规范文件
R005-2026

中　国　船　级　社

国内航行海船建造规范

2026

2026 年 7 月 1 日生效

北　京



中　国　船　级　社

国内航行海船建造规范

2026

第 1 篇　总　　则

目　录

第 1 篇　总则
第 1 章　通则 1-1
第 1 节　适用范围 1-1
第 2 节　规范 1-1
第 3 节　定义 1-2
第 4 节　图纸提交与审图 1-2

第 1 章 通　　则

第 1 节　适 用 范 围

1.1.1　适用范围

1.1.1.1　本规范适用于国内航行船长20m及以上的钢质海船。

1.1.1.2　本规范适用于新船。规范生效前建造的船舶，原则上应继续符合其原先适用的规范要求。重大改建船舶，改建部分及其相关部分应适用新规范。对船舶的舯剖面图或等效结构图已批准的船舶，仍应适用原规范。

1.1.1.3　如船舶涉及下列方面，尚应符合中国船级社（以下简称“CCS”）《钢质海船入级规范》相关要求：

(1)　冰区航行；

(2)　设置蒸汽控制系统；

(3)　设置货物冷藏装置；

(4)　具有轮机自动化控制系统。

1.1.1.4　对具有特殊型式、特殊功能或特殊用途的船舶，尚应符合CCS《钢质海船入级规范》第8篇的相关补充规定。

1.1.1.5　船舶的材料与焊接，应符合CCS《材料与焊接规范》的要求。

1.1.1.6　除另有指明外，本规范不适用于下列船舶：

(1)　军船；

(2)　木质船；

(3)　游艇；

(4)　高速船；

(5)　小水线面船；

(6)　帆船；

(7)　渔船。

第 2 节　规　　范

1.2.1　规范

1.2.1.1　规范是一本内容完整的技术要求。旨在控制安全与质量达到适当水平，并得到广泛的认同。

1.2.1.2　“专门规范”是指只有专门内容、且与本规范配套使用的技术规定。

1.2.1.3　对现有规范中没有包括的内容，或规范中有原则要求、需进一步细化的内容，或需增加具体可操作性的内容，或新颖船舶或设备或系统，将制定相应的指南。凡规范中引用“指南”，则“指南”中涉及的内容均构成规范的要求。

1.2.1.4　CCS 的 COMPASS 计算软件系统，包括结构计算与评估、船舶性能、轴系振动与强度计算、短路电流计算。计算软件在审图、建造中和建造后检验等方面发挥重要作用。

1.2.1.5　规范是船舶及相关产品的设计、制造及试验的依据，但不是设计唯一依据。规范不能替代制造厂的工艺控制和质量控制，也不能减轻或解除制造方的责任。

1.2.1.6　CCS 颁布的规范的解释权属 CCS 总部。

1.2.2　规范制订

1.2.2.1　制订规范的主要依据为：

(1)　使用经验；

(2)　有关理论和科研成果；

(3)　国际海事组织(IMO)、国际船级社协会(IACS)等通过的有关公约、规则、决议、统一要求，以及中国政府有关的法定要求等适用部分。

1.2.2.2　规范或其修改通报的初稿，发送到有关船舶及产品的主管机关、设计、制造、检验、船东、科研、高等院校等单位征求意见。

1.2.2.3　根据上述有关方面的专家的评议意见或建议，对规范或修改通报初稿进一步补充和完善，并经CCS技术委员会或其分委会审定后，由CCS总裁签署后颁布。

1.2.2.4　根据使用经验证明和事故调查涉及的安全情况，中国政府有关的法定要求生效，且涉及本规范需要修改时，CCS将直接颁布修改通报。

1.2.3　规范生效

1.2.3.1　除另有说明外，规范(含修改通报)发布后，一般在6个月后生效。生效日期注明在相应篇的第1页或出版物的扉页上。

1.2.3.2　除特别说明外，规范适用于新建船舶。

1.2.3.3　如经建造厂和船东同意，对建造中的船舶可以采用新规范的要求；同样，如新规范的要求比较合理而可行时，可同意建造中的船舶采用新规范的要求。不管何种情况，均应在相应技术文件中注明。

1.2.3.4　规范的生效日期仅与规范批准颁布日期有关，不受其他法定要求生效的影响。

第 3 节　定　　义

1.3.1　定义

1.3.1.1　除另有规定外，本规范定义如下：

(1)　**中国水域**：系指中华人民共和国沿海的港口、内水、领海以及国家管辖的一切水域。

(2)　**国内航行**：系指在中国水域航行。当船舶航行于中国水域或特殊区域或某一航区时，应满足适用的中国政府主管机关制定的国家规则。

(3)　**航区**：系指中华人民共和国海事局《国内航行海船法定检验技术规则》所定义的航区。

(4)　**特定航线**：系指船舶专门从事于两个或几个港口之间的航行。

(5)　**乘客**：系指除下列人员以外的每一个人：船长、船员和在船上以任何职业从事或参与该船业务工作的人员；或一周岁以下的儿童。

(6)　**客船**：系指乘客定额超过12人的船舶。

(7)　**客滚船**：系指具有滚装处所或特种处所以装载滚装货物的客船。

(8)　**货船**：系指非客船的任何船舶。

(9)　**油类**：就其用途而言，系指任何形式的石油，包括原油、燃油、油泥、油渣和精制石油产品，不包括《国内航行海船法定检验技术规则》第3章所规定的石油化学产品。

(10)　**油船**：系指其构造主要适用于装运散装油类的船舶，包括兼用船(矿砂/油类等)在内的船型。

(11)　**滚装船**：系指利用装卸货跳板使有轮车辆滚进滚出的船舶。

(12)　**集装箱船**：系指其构造在货舱内和在甲板上专门装载集装箱的船舶。

(13)　**散货船**：系指在货物区域内通常建造为单甲板、具有顶边舱、底边舱和双层底，且主要从事运输散装干货的船舶。

(14)　**机动船**：系指设有主要用于航行目的的机械推进装置的船舶。

(15)　**新船**：系指本规范生效之日及以后签订建造合同的新建船舶。

1.3.1.2　应用：

(1)　在应用本规范时，对于设计用于距岸不超过200n mile的远海航区的船舶，可按近海航区的技术要求；对于设计用于距岸不超过20n mile的近海航区的船舶，可按沿海航区的技术要求。

第 4 节　图纸提交与审图

1.4.1　图纸资料审查

1.4.1.1　开工前，申请方应按本规范各篇的有关规定，将申请书连同一式 3 份图纸资料

提交指定的审图单位进行审查。采用图纸分批提交时，至少应首先提交必要的船体图纸资料。

系列船或按已批准主要结构图纸在一年内再续造的船舶，根据不同情况，可免除或可适当减少提交审查图纸的份数。

1.4.1.2　船舶检验、试验项目表及工艺性文件，如焊接工艺、焊接规格表、无损检测图、机械安装工艺(轴系合理校中除外)、倾斜试验大纲、系泊和航行试验大纲等，均应提交现场验船师审查。

1.4.1.3　提交审查的图纸资料，应给出规范要求的所必需的尺寸和有关数据。

1.4.1.4　“批准”指图纸资料已审查，符合规范的要求。对图纸资料的批准仅包含规范要求的项目，而不涉及规范不要求的项目。

1.4.1.5　经审查认为符合规定的图纸资料，应在批准的图纸资料上，盖“批准”章。批准的条件和限制意见，可写在图纸资料上，也可在退图的信函中陈述，但应在图纸资料上注明。

1.4.1.6　“备查”指图纸资料已审查，仅用作其他相关批准图纸审核过程中的支持性资料和信息。

1.4.2　批准图纸的有效期

1.4.2.1　批准的图纸仅在审图申请书或合同/协议上所指定的船厂、建造工程编号或建造艘数范围内有效。

1.4.2.2　凡属下列情况之一，已经批准的船舶图纸即自行失效：

(1)　自批准之日起已满 4 年时；

(2)　如新规范(含规范修改通报)生效对船舶剖面图有影响，新建船舶自船舶剖面图批准之日起已满 1 年时；

(3)　审图申请书或合同/协议中填写的工程编号或艘数全部建造完工时；

(4)　批准的建造厂或建造工程编号改变，或超过建造艘数时。

1.4.2.3　中国政府主管机关的法定要求或接受的国际公约、规则及其修正案的生效，影响批准图纸有效性时，已经批准的船舶法定图纸即自行失效。



中　国　船　级　社

国内航行海船建造规范

2026

第 2 篇　船　　体

目　录

第 2 篇　船体
第 1 章　通则 2-1
第 1 节　一般规定 2-1
第 2 节　船体构件 2-2
第 3 节　材料 2-10
第 4 节　船体结构的焊缝设计 2-17
第 5 节　结构强度直接计算 2-27
第 6 节　结构防腐 2-43
第 7 节　有限航区船舶 2-44
第 8 节　结构布置 2-46
第 9 节　船首甲板装置 2-53
第 10 节　液舱晃荡 2-57
第 2 章　船体结构 2-58
第 1 节　一般规定 2-58
第 2 节　总纵强度 2-59
第 3 节　外板 2-74
第 4 节　甲板 2-77
第 5 节　单层底 2-81
第 6 节　双层底 2-84
第 7 节　舷侧骨架 2-91
第 8 节　甲板骨架 2-95
第 9 节　悬臂梁 2-103
第 10 节　支柱 2-106
第 11 节　非水密支承舱壁 2-108
第 12 节　水密舱壁 2-108
第 13 节　深舱 2-112
第 14 节　首尾柱、球鼻首、尾轴架 2-117
第 15 节　船端加强 2-121
第 16 节　主机基座及轴隧 2-126
第 17 节　上层建筑及甲板室 2-127
第 18 节　直升机甲板 2-134
第 19 节　舷墙及栏杆 2-136
第 20 节　舱口和舱口盖 2-137
第 21 节　车辆甲板 2-163
第 22 节　重货加强 2-166
第 23 节　液货舱结构温度场及其热应力分析 2-167
第 24 节　承载有木质支撑钢卷的结构加强 2-171
附录 1　装载仪 2-177
附录 2　用于船上稳性计算的计算机软件 2-184
附录 3　船首底部砰击强度评估方法 2-191
附录 4　船舶结构单元屈曲强度评估 2-196

第 3 章　艏装 2-239
第 1 节　舵 2-239
第 2 节　锚泊及系泊设备 2-257
第 3 节　木铺板及护舷木条 2-267
第 4 节　桅或起重柱 2-268
第 5 节　应急拖带装置 2-268
第 6 节　常规船舶上与拖带和系泊相关的船用配件与船体支撑结构 2-270
第 7 节　甲板设备支撑结构 2-275
附录 1　弯矩及剪力分布计算指南 2-279
附录 2　直接系泊分析 2-287
附录 3　锚泊设备载荷计算 2-290
第 4 章　航行冰区的加强 2-293
第 1 节　一般规定 2-293
第 5 章　双壳油船 2-294
第 1 节　一般规定 2-294
第 2 节　外板 2-297
第 3 节　甲板 2-299
第 4 节　双层底结构 2-299
第 5 节　双壳结构 2-302
第 6 节　甲板骨架 2-304
第 7 节　平面油密横舱壁 2-305
第 8 节　平面油密纵舱壁 2-307
第 9 节　槽形油密横舱壁 2-308
第 10 节　槽形油密纵舱壁 2-309
第 11 节　非油密舱壁和制荡舱壁 2-310
第 12 节　特殊要求 2-311
第 13 节　货油舱舱口 2-313
附录 1　双壳油船结构强度直接计算 2-315
第 6 章　单壳油船 2-321
第 1 节　一般规定 2-321
第 2 节　外板和甲板 2-321
第 3 节　纵骨架式船底骨架 2-322
第 4 节　横骨架式船底骨架 2-324
第 5 节　纵骨架式舷侧骨架 2-325
第 6 节　横骨架式舷侧骨架 2-326
第 7 节　横骨架式甲板骨架 2-328
第 8 节　凸型甲板结构 2-328
第 7 章　集装箱船 2-330
第 1 节　一般规定 2-330
第 2 节　总纵强度 2-331
第 3 节　甲板结构 2-345
第 4 节　外板 2-347
第 5 节　舷侧骨架 2-347
第 6 节　双层底 2-348

第 7 节　舱壁 2-349
第 8 节　船首舷侧结构加强 2-349
第 9 节　船长大于 250m 的集装箱船的补充要求 2-351
第 10 节　大开口船舶弯扭组合的总纵强度 2-358
附录 1　集装箱系固 2-362
附录 2　集装箱船结构强度直接计算 2-383
附录 3　剪流的计算 2-419
附录 4　屈曲能力 2-422
附录 5　船体梁极限弯曲能力 2-437
第 8 章　散货船 2-447
第 1 节　一般规定 2-447
第 2 节　船底骨架 2-447
第 3 节　舷侧骨架 2-448
第 4 节　水密舱壁 2-451
第 5 节　底边舱 2-451
第 6 节　顶边舱 2-453
第 7 节　装载手册和装载仪的附加要求 2-456
第 8 节　货舱舱口盖 2-459
第 9 节　双舷侧结构 2-459
附录 1　散货船结构强度直接计算 2-462
附录 2　载货量曲线 2-469
第 9 章　滚装船、客船、客滚船与渡船 2-476
第 1 节　一般规定 2-476
第 2 节　船体结构 2-476
第 3 节　升降平台和车辆坡道 2-479
第 4 节　首门和内门 2-479
第 5 节　舷门和尾门 2-485
第 6 节　车辆跳板 2-488
第 7 节　直接计算 2-489
第 8 节　露天玻璃栏杆 2-492
第 10 章　拖船 2-494
第 1 节　一般规定 2-494
第 2 节　船体骨架 2-494
第 3 节　机 舱 棚 2-494
第 4 节　舷墙及护舷材 2-494
第 5 节　拖曳设备与支承结构 2-495
第 6 节　拖曳绞车应急释放系统 2-495
第 11 章　近海供应船 2-498
第 1 节　一般规定 2-498
第 2 节　货物围护和其他设施 2-498
第 3 节　外板和甲板 2-500
第 4 节　船体骨架 2-500
第 5 节　上层建筑和甲板室 2-500
第 12 章　驳船 2-502

第 1 节　一般规定 2-502
第 2 节　总纵强度 2-502
第 3 节　外板和甲板 2-502
第 4 节　船体骨架 2-504
第 5 节　船端加强 2-507
附录 1　箱形驳船横向强度校核方法 2-509
第 13 章　起重船 2-513
第 1 节　一般规定 2-513
第 2 节　总纵强度 2-513
第 3 节　外板 2-513
第 4 节　甲板 2-514
第 5 节　单层底 2-514
第 6 节　双层底 2-515
第 7 节　舷侧骨架 2-516
第 8 节　强力甲板骨架 2-516
第 9 节　支柱与桁架 2-517
第 14 章　挖泥船 2-518
第 1 节　一般规定 2-518
第 2 节　总纵强度 2-519
第 3 节　外板 2-520
第 4 节　甲板及甲板骨架 2-521
第 5 节　船底骨架 2-522
第 6 节　舷侧骨架 2-524
第 7 节　坐底作业加强 2-524
第 8 节　泥舱 2-525
第 9 节　对开式挖泥船和泥驳 2-529
第 10 节　其他 2-535
第 15 章　半潜船 2-537
第 1 节　一般规定 2-537
第 2 节　结构强度 2-537
第 16 章　矿砂船 2-540
第 1 节　一般规定 2-540
第 2 节　总纵强度 2-541
第 3 节　船体骨架 2-541
第 4 节　舱壁 2-545
第 5 节　快速装载要求 2-547
第 17 章　下水工作船 2-548
第 1 节　一般规定 2-548
第 2 节　总纵强度 2-549
第 3 节　横向强度 2-549
第 4 节　局部强度 2-550
第 5 节　结构强度直接计算 2-553
附录 1　下水工作船结构强度直接计算 2-554
第 18 章　双体船 2-556

第 1 节　一般规定 2-556
第 2 节　结构强度 2-556
第 3 节　总载荷 2-556
附录 1　双体船结构强度直接计算 2-559
第 19 章　沙船 2-563
第 1 节　一般规定 2-563
第 2 节　泥沙舱区域结构的特殊要求 2-563

第1章 通 则

第 1 节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本篇适用于焊接结构的钢质海上航行船舶。

1.1.1.2 船体还应满足第 1 篇的适用要求。

1.1.2 定义

1.1.2.1 **船长*L***(m)：即规范船长，系指沿结构吃水处水线，由首柱前缘量至舵柱后缘的长度；对无舵柱的船舶，由首柱前缘量至舵杆中心线的长度；但均不应小于结构吃水处水线总长的96%，且不必大于97%。对于具有非常规船首和船尾的船舶，其船长L需特别考虑。

对于箱形船体，L 为沿结构吃水处水线自船首端壁前缘量至船尾端壁后缘的长度。

对于无舵杆的船舶(如设有全回转推进器的船舶)，L 为结构吃水处水线总长的 97%。

1.1.2.2 **船宽 *B***(m)：系指在船中结构吃水处量取的最大型宽。

1.1.2.3 **型深 *D***(m)：在船长中点处，沿船舷由平板龙骨上缘量至上层连续甲板横梁上缘的垂直距离；对甲板转角为圆弧形的船舶，则由平板龙骨上缘量至横梁上缘延伸线与肋骨外缘延伸线的交点。

1.1.2.4 **吃水 *d***(m)：即结构吃水，系指在船长中点处，由平板龙骨上缘量至结构吃水处水线的垂直距离。结构吃水是满足船舶尺度的强度要求并反映满载工况的吃水，且应不小于核定干舷对应的吃水。

1.1.2.5 **方形系数 C_b**：系指对应于结构吃水处水线的型方形系数，由下式确定：

$$C_b = \frac{\nabla}{LBd}$$

式中：∇——在结构吃水处的型排水体积，m^3；

L、B、d——见本节 1.1.2.1，1.1.2.2，1.1.2.4。

1.1.2.6 **上层连续甲板**：船体的最高一层全通甲板。

1.1.2.7 **强力甲板**：

(1) 上层连续甲板；

(2) 在船中部 0.5L 区域内长度不小于 0.15L 的上层建筑甲板，和此上层建筑区域以外的上层连续甲板。

1.1.2.8 **下甲板**：上层连续甲板以下第 1 层连续甲板为第 2 甲板，依次向下为第 3 甲板……，总称为下甲板。

1.1.2.9 **舱壁甲板**：各水密横舱壁上伸到达的连续甲板。

1.1.2.10 **干舷甲板**：量计干舷高度的甲板。

1.1.2.11 **平台甲板**：强力甲板以下，不计入船体总纵强度的不连续甲板。

1.1.2.12 **上层建筑及甲板室**：上层连续甲板上，由一舷伸至另一舷的或其侧壁板离船壳板向内不大于 4%船宽 B 的围蔽建筑为上层建筑，即首楼、桥楼、尾楼。其他的围蔽建筑为甲板室。

1.1.2.13 **长上层建筑及短上层建筑**：长度大于 0.15L，且不小于其高度 6 倍的上层建筑为长上层建筑。不符合长上层建筑条件的为短上层建筑。

1.1.2.14 **长甲板室及短甲板室**：长度大于 0.15L，且不小于其高度 6 倍的甲板室为长甲板室。不符合长甲板室条件的为短甲板室。

1.1.2.15 **装载率γ** (m^3/t)：货舱容积对货舱内货物质量的比值(货舱容积不包括舱口围所包围的容积)。

1.1.2.16 **首、尾垂线**：首垂线为通过船长 L 的首柱前缘与结构吃水处水线交点的垂线。尾垂线为距离首垂线 L 处与结构吃水处水线的垂线。

1.1.2.17　**大开口**：符合下述任一条件的甲板开口为大开口：

(1)　$\frac{b}{B_1} \geq 0.7$；

(2)　$\frac{l_H}{l_{BH}} \geq 0.89$；

(3)　$\frac{b}{B_1} > 0.6$ 和 $\frac{l_H}{l_{BH}} > 0.7$。

式中：b ——开口宽度，m，如有几个舱口并列，则 b 代表各开口宽度之和，即 $b=b_1+b_2$，见图 1.1.2.17；

B_1 ——在开口长度中点处包括开口在内的甲板宽度，m；

l_H ——舱口长度，m；

l_{BH} ——每一舱口两端横向甲板条中心线之间的距离，m，见图 1.1.2.17。如舱口前或后再无其他舱口时，则 l_{BH} 算到舱壁为止。

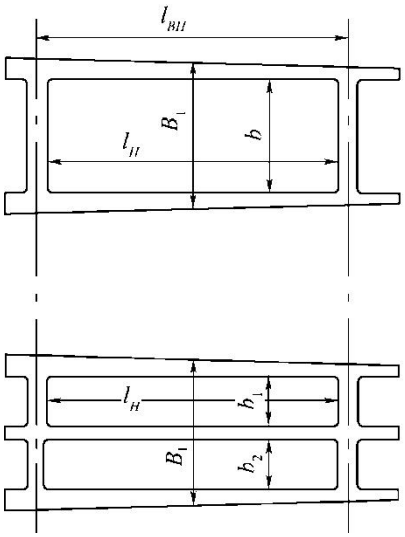


图 1.1.2.17

1.1.2.18　**主要构件**：船体的主要支撑构件称为主要构件，如强肋骨、舷侧纵桁、强横梁、甲板纵桁、实肋板、船底桁材、舱壁桁材等。

1.1.2.19　**次要构件**：一般是指板的扶强构件，如肋骨、纵骨、横梁、舱壁扶强材、组合肋板的骨材等。

1.1.2.20　**载重线船长** L_L(m)：《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇定义的船长。

1.1.2.21　**位置 1**：《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇定义的位置 1。

1.1.2.22　**位置 2**：《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇定义的位置 2。

1.1.2.23　**主肋骨**：防撞舱壁与尾尖舱舱壁之间，最下层甲板以下的舷侧肋骨。

1.1.2.24　**甲板间肋骨**：两层甲板之间的肋骨。

1.1.2.25　**首尖舱**：位于防撞舱壁之前，舱壁甲板之下的舱。

1.1.2.26　**尾尖舱**：位于船舶尾部最后一道水密舱壁之后，舱壁甲板或水密平台甲板之下的舱。

1.1.2.27　**最大服务航速** V（kn）：船舶按其设计在营运中以最深航行吃水、螺旋桨最大转速（RPM）和发动机的相应最大持续功率（MCR）所保持的最大航速。

第 2 节　船体构件

1.2.1　一般要求

1.2.1.1　除另有规定者外，本篇内所要求的构件剖面模数和惯性矩均为连同带板的最小

要求值，且假定带板是与构件的腹板相垂直的。当构件的腹板与带板不垂直，且其腹板与带板的夹角小于 75°时，其剖面特征(惯性矩、剖面模数和剪切面积)应相对于与带板平行的轴进行计算。当构件为轧制型材时，其实际剖面模数可按下式近似地确定：

$$W = W'\sin\alpha \qquad \text{cm}^3$$

式中：W'——假定构件的腹板垂直于带板时的构件实际剖面模数，cm^3；

α——构件的腹板与带板之间的夹角，(º)。

1.2.1.2　本篇内所规定的各种构件，除另有规定者外，不应任意开孔。

1.2.1.3　公式或表格中，如仅规定船中部及船端的构件尺寸时，则中间区域的构件尺寸应予逐渐变化。构件中断处，应有良好的过渡。

1.2.1.4　本篇各表列数值，除另有规定者外，其中间值均可用内插法求得。

1.2.1.5　考虑到商品化的船用板材、轧制型材是尺寸不连续的产品系列，为了在保证结构强度的前提下提供一个经济、合理的结构要求，在根据本篇所要求的构件尺寸选取钢材产品时，其舍入容差按下述原则确定：

(1)　规范要求的板材厚度，如小数小于或等于 0.25mm 可予不计；大于 0.25mm 且小于 0.75mm 时，应取为 0.5mm；大于或等于 0.75mm 时，应进为 1.0mm；

(2)　对于采用轧制型材的构件，其包括有效带板的剖面模数可比规范要求的值小 3%；

(3)　对于同一区域、位置相邻的一组采用轧制型材的同类构件，当在建造时选用相同尺寸时，其包括有效带板的剖面模数应不小于该组各单独构件规范要求值的平均值，但这一平均值应不小于该组中单个构件最大规范要求值的 95%；

(4)　上述(2)、(3)两原则不可同时使用。

1.2.1.6　除另有规定者外，本篇所规定的各种构件尺寸均系最小值。在营运中腐蚀和磨耗较严重的部分构件，设计时可适当增厚。

1.2.1.7　对于在使用中可能经常承受靠泊、顶推或拖带等外力的局部构件，应作适当加强。

1.2.2　构件的带板

1.2.2.1　主要构件带板的有效剖面积 A 应按下列各式确定，但取值不小于面板剖面积：

(1)　安装在平板上：

$$A = 10fbt_p \qquad \text{cm}^2$$

(2)　安装在槽形板上且与槽向平行的：

$$A = 10at \qquad \text{cm}^2$$

(3)　安装在槽形板上且与槽向垂直的：

$$A = 10b_ft_f \qquad \text{cm}^2$$

式中：f ——系数，等于 $0.3(l/b)^{2/3}$，但不大于 1；

b ——主要构件所支承的面积的平均宽度，m；

l ——主要构件的长度，m；

t_p ——带板的平均厚度，mm；

b_f——主要构件面板宽度，m；

t_f ——主要构件面板厚度，mm；

a ——槽形板平面部分的宽度，m；

t ——槽形板厚度，mm。

1.2.2.2　次要构件的带板宽度，取为 1 个骨材间距。

1.2.3 构件的跨距点

1.2.3.1 除另有规定者外，本篇计算构件所取的计算跨距均为跨距点之间的有效跨距。

1.2.3.2 主要构件的跨距点应取距离构件末端为 b_e 的点(见图 1.2.3.2)：

$$b_e = b_b(1-\frac{d_w}{d_b})$$

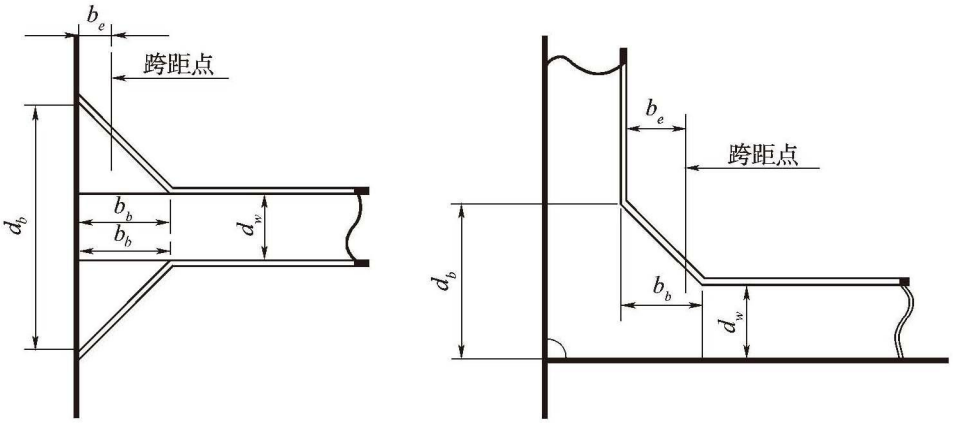


图 1.2.3.2

1.2.3.3 次要构件的跨距点，当设置端部肘板时，见图 1.2.3.3(1)。当不设置端部肘板时，跨距点取在该构件的端部，如图 1.2.3.3(2)所示。

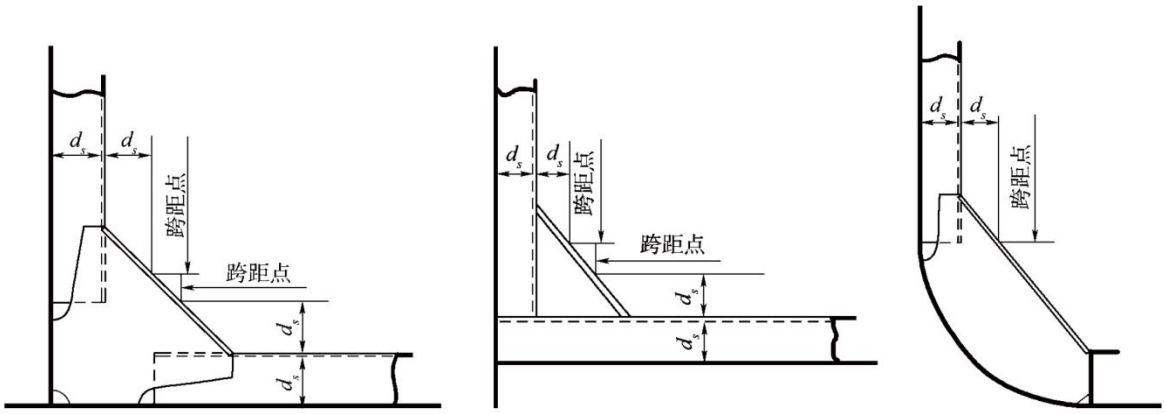


图 1.2.3.3(1)



图 1.2.3.3(2)

1.2.3.4 除本篇另有规定者外，对于有曲度的构件，其跨距为跨距点之间的弦长。

1.2.3.5 如构件两端的支撑结构不能有效地防止转动和位移，则构件使用的有效跨距应另行考虑。

1.2.4 构件的几何特性

1.2.4.1 轧制型材(包括球扁钢、不等边角钢和不等边不等厚角钢)(见图 1.2.4.1)连同带板的剖面积 A_z、惯性矩 I 和剖面模数 W 可按下列各式计算：

$$A_z = A_1 + A \qquad \text{cm}^2$$

$$I = I_{x1} + (y_1 - y)^2 A_1 + \frac{At^2}{12} \times 10^{-2} + (0.05t + y)^2 A \qquad \text{cm}^4$$

$$W = \frac{I}{0.1h - y} \qquad \text{cm}^3$$

式中：h ——型材的高度，mm；
A_1——型材的剖面积，cm^2；
I_{x1}——型材的自身惯性矩，cm^4；
y_1 ——型材的中和轴位置，cm；
A ——带板剖面积，cm^2；
t ——带板厚度，mm；
y ——连带板的中和轴位置，按下式计算：

$$y = \frac{A_1 y_1 - 0.05At}{A_Z} \qquad \text{cm}$$

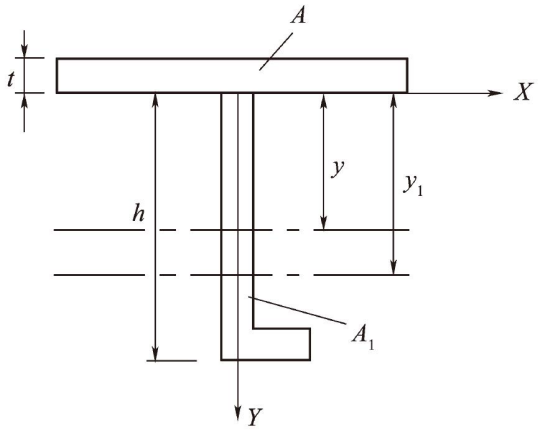


图 1. 2. 4. 1

1.2.4.2　如 T 型材的面板和带板的厚度不大于 1/10 的腹板高度，T 型材连同带板的剖面模数 W 和惯性矩 I (见图 1.2.4.2) 可按下列各式计算：

$$W = \frac{d_w}{10}\left[a + \frac{f_s}{6}\left(1 + \frac{2(A-a)}{2A + f_s}\right)\right] \qquad \text{cm}^3$$

$$I = \frac{d_w^2}{100}\left[\frac{1}{3}f_s + \frac{Aa - 0.25f_s^2}{A + a + f_s}\right] \qquad \text{cm}^4$$

式中：α —— 面板剖面积，cm^2；
A —— 带板剖面积，cm^2；如带板 A 小于面板α时，取 A 等于α；
f_s —— 腹板剖面积，cm^2；
d_w —— 腹板高度，mm。

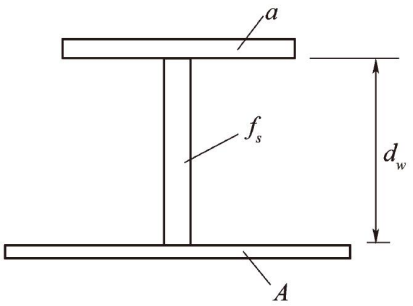


图 1. 2. 4. 2

1.2.4.3　槽形舱壁一个槽形宽度 s 的剖面模数 W 和惯性矩 I(见图 1.2.4.3)可按下列各式计算：

$$W = d_w t\,(a + \frac{b}{3}) \qquad \text{cm}^3$$

$$I = \frac{1}{20} d_w^2 t\,(a + \frac{b}{3}) \qquad \text{cm}^4$$

式中：a ——槽形平面部分宽度，m；
B ——槽形斜面部分宽度，m；
d_w ——槽形深度，mm；
t ——槽形舱壁板厚度，mm；
α ——槽形斜面部分与平面部分的夹角。

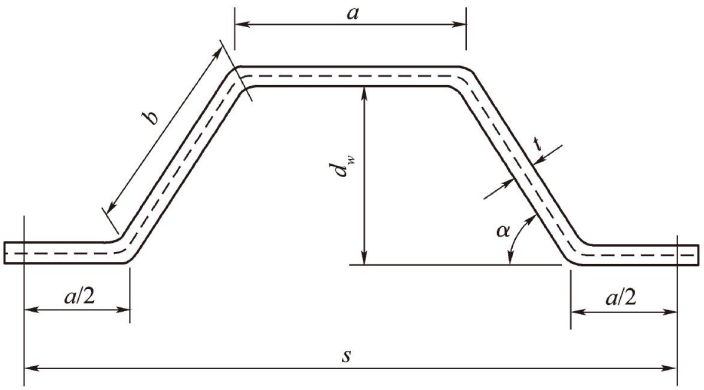


图 1. 2. 4. 3

1.2.4.4　双层板舱壁剖面模数 W 和惯性矩 I(见图 1.2.4.4)可按下列各式计算：

$$W = b(fst_p + \frac{bt_w}{6}) \times 10^3 \qquad \text{cm}^3$$

$$I = 5(fst_p + \frac{bt_w}{6}) b^2 \times 10^4 \qquad \text{cm}^4$$

式中：b ——双层板的间距，m；
s ——隔板平均间距，m；
t_p ——双层板舱壁的板厚，mm；
t_w ——隔板的厚度，mm；
f ——系数，与本章 1.2.2.1 的规定相同。

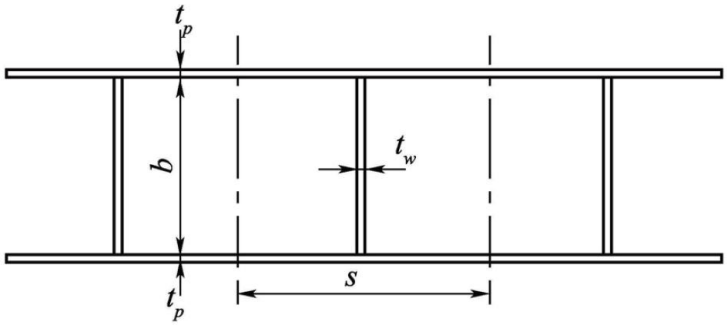


图 1.2.4.4

1.2.4.5　构件剖面的最小惯性半径 r 应按下式计算：

$$r=\sqrt{\frac{I}{A}} \qquad \text{cm}$$

式中：I ——构件剖面的最小惯性矩，cm^4；

A ——构件的剖面积，cm^2。

1.2.5　结构细则

1.2.5.1　主要构件的布置，应确保结构的有效连续性，避免剖面或高度的突然变化。当构件在舱壁或其他主要构件的两侧对接时，应保证其位置在同一直线上。液舱内的主要构件应构成一个连续性的支撑，并尽可能构成一个完整的环形框架。环形框架的接合处应做成具有足够半径的圆角。一般圆角半径应不小于邻接构件的腹板高度。

1.2.5.2　主要构件的腹板厚度 t_w 应不小于 $0.01S_W$ (mm)，其中 S_W 为腹板上的水平扶强材间距或无扶强的腹板高度(mm)；在干货舱内 t_w 应不小于 7mm，在液体舱内应不小于 8mm；对船长小于 60m 的船舶可减小 1mm，对船长小于 40m 的船舶可减小 2mm。

1.2.5.3　主要构件面板的剖面积 A_f 一般应不超过 $d_wt_w/150(cm^2)$，其中 d_w 为腹板的高度(mm)，t_w 为腹板的厚度(mm)。

1.2.5.4　主要构件应设置防倾肘板。当主要构件为对称剖面时，应每 4 个骨材间距设置防倾肘板，如主要构件面板的宽度大于400mm，还应在防倾肘板处设置背肘板。当主要构件为非对称剖面时，应每隔1根骨材设置防倾肘板。主要构件承受集中载荷处也应设置防倾肘板。在主要构件端肘板的趾端处，如腹板高度与其厚度之比大于55时，也应设置防倾肘板或加强筋。防倾肘板的高度应伸至主要构件的面板， 宽度应不小于其高度的40%； 当主要构件的面板或折边无支撑的宽度超过15t(t为主要构件面板的厚度)时，防倾肘板的厚度t_b(mm)应不小于(5+0.025L)，但不必大于主要构件的腹板厚度，其中L为船长(计算时取值不必大于300m)。当防倾肘板的自由边长l_b (m)大于0.06t_b时，则防倾肘板应有面板或折边，其面板或折边的截面积$A(cm^2)$，一般应不小于10l_b。

1.2.5.5　所有结构上的开口应尽量避开应力集中区域，如无法避开时应作相应的补偿，开口的角隅处均应有良好的圆角。构件与板材直接连接时应避免出现硬点。

1.2.5.6　在船中 0.4L 区域内，当强力甲板纵桁的腹板高度大于 $65t\sqrt{K}$ (t 为腹板厚度，K 为材料系数)时，应设置平行于面板的水平加强筋。

1.2.6　次要构件的端部连接

1.2.6.1　除本篇另有规定外，次要构件的端部连接应符合本条的规定。

1.2.6.2　次要构件的端部一般应设置连接肘板，如图 1.2.6.2 所示。当次要构件穿过主要构件时，次要构件与主要构件腹板的相交处，应予以焊接。

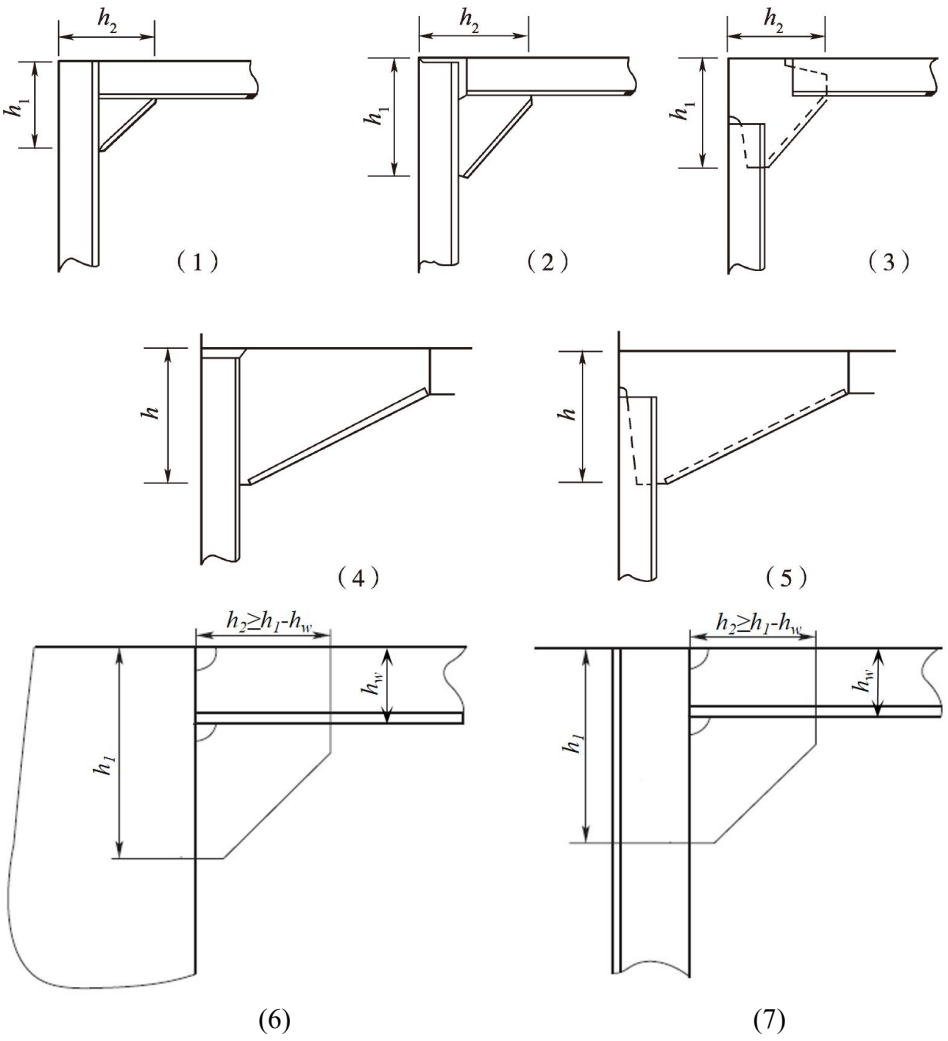


图 1.2.6.2

1.2.6.3　参与总纵弯曲的次要构件在舱壁或横向主要构件处切断时，应设置连接肘板以保证结构的纵向连续性。位于舱壁或横向主要构件两侧的肘板应对齐。

1.2.6.4　确定肘板尺寸的骨材剖面模数 W 应按下述规定选取：

(1)　对次要构件连接到主要构件上的肘板，W 为次要构件的剖面模数；

(2)　肋骨端部的肘板，W 为肋骨的剖面模数；

(3)　其他肘板，W 为连接构件中的剖面模数的小者。

1.2.6.5　肘板的厚度 t 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t = (0.25\sqrt{W} + 2)\sqrt{\frac{R_{eH_s}}{R_{eH_b}}} + C \quad \text{mm，对于有面板或折边的肘板}$$

$$t = (0.25\sqrt{W} + 3.5)\sqrt{\frac{R_{eH_s}}{R_{eH_b}}} + C \quad \text{mm，对于无面板或折边的肘板}$$

式中：W—— 规范要求的骨材剖面模数，cm^3；

R_{eH_s}—— 骨材的材料屈服应力，N/mm^2；

R_{eH_b}—— 肘板的材料屈服应力，N/mm^2；

C——系数，液舱中的肘板取 2.5，其他肘板取 1.5。

肘板的最小厚度一般应为 6.5mm，也不必大于 15mm。

1.2.6.6　规范要求的骨材剖面模数 $W \geqslant 500\ cm^3$ 或肘板的自由边长大于肘板厚度的 50

倍时，肘板应有折边或面板。折边或面板宽度 b 应不小于按下式计算所得之值：

$$b = 0.04W + 40 \text{ mm}，且不小于 50\text{mm}$$

式中：W——规范要求的骨材剖面模数，cm^3。

1.2.6.7　肘板的臂长 h 应不小于 2.2 倍的骨材高度 h_w(但当骨材端部焊接时可减为不小于 2 倍，见图 1.2.6.2(1))，且应不小于按下式计算所得之值：

$$h = 75\sqrt{\frac{W}{t - C}} \text{ mm}$$

式中：W—— 规范要求的骨材剖面模数，cm^3;

t—— 肘板的厚度，mm；

C—— 系数，见本节 1.2.6.5。

1.2.6.8　肘板的两臂长应尽可能相等。 如肘板的两臂长不等时，应符合下述要求：

$$h_1 + h_2 \geqslant 2h$$
$$h_1 \geqslant 0.8h$$
$$h_2 \geqslant 0.8h$$

式中：h_1 和 h_2 ——肘板两臂的实际臂长，如图 1.2.6.2 所示，mm；

h ——肘板的臂长，mm，见本节 1.2.6.7。

1.2.6.9　当骨材与肘板的连接采用搭接时，搭接长度应不小于骨材高度 h_w 的 1.25 倍。

1.2.6.10　当骨材用肘板与主要构件连接时，该肘板一般应延伸至主要构件的面板。

1.2.7　主要构件的端部连接

1.2.7.1　除本篇另有规定外，主要构件的端部连接应符合本条的规定。

1.2.7.2　主要构件的端部应设置连接肘板。 当肘板连接两个主要构件时，肘板的尺寸可按剖面模数较小的主要构件的尺寸确定。

1.2.7.3　包括主要构件腹板高度在内的端肘板臂长，应不小于 2 倍的主要构件的腹板高度，肘板的厚度应不小于主要构件腹板的厚度。肘板应有折边或面板，其尺寸一般与主要构件的面板相同。主要构件的腹板应与连接构件相焊接。当肘板无扶强的三角形边长大于 $100t$(t 为肘板的腹板厚度)时，应按本篇第 5 章 5.12.2.6 设置平行于肘板面板的加强筋。

1.2.7.4　非液舱内的主要构件，采用整体式端肘板与舱壁连接时(即主要构件的腹板在端部逐渐升高)，肘板臂长应不小于 1.5 倍的主要构件的腹板高度。主要构件的腹板应与舱壁相焊接，面板应连续延伸至舱壁。

1.2.7.5　当甲板纵桁或强横梁与舱壁或外板上的垂直构件相连接时，为保证连接节点具有足够的抗转动刚度，可以要求增大垂直构件的尺度。

1.2.7.6　为避免主要强力构件端部的应力集中，在大型肘板趾端处，其腹板厚度应适当加厚，肘板的面板应向端部削斜。趾高一般应不大于肘板趾部厚度 t_w，且应不小于 15mm。建议的大型肘板趾端结构型式，见图 1.2.7.6。

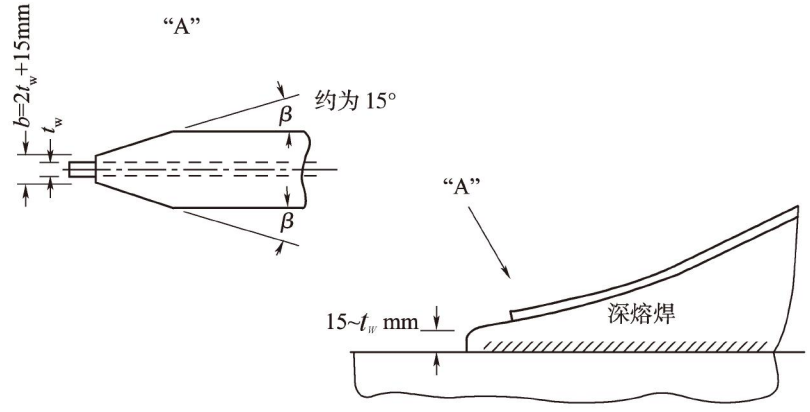


图 1.2.7.6

1.2.8 **骨材的标准间距**

1.2.8.1 肋骨、横梁或纵骨(船底、舷侧、甲板)的标准间距 s_b 应按下式计算：

$$s_b = 0.0016L + 0.5 \quad \text{m，且不大于 } 0.7\text{m}$$

式中：L——船长，m。

1.2.8.2 在首尾尖舱内，肋骨或舷侧纵骨的标准间距 s_b 应为按本节 1.2.8.1 计算所得值和 0.6m 的小者。

1.2.8.3 在船端 $0.05L$ 区域内，上层建筑及甲板室的甲板纵骨或横梁的标准间距 s_b 应按本节 1.2.8.1 计算所得值和 0.6m 的小者。

第 3 节 材 料

1.3.1 **一般要求**

1.3.1.1 船体结构用钢材的化学成分和力学性能应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章的有关规定。

1.3.1.2 船用钢材的制造和试验应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 1 章及第 2 章的规定。

1.3.1.3 首柱、尾柱、舵柱、尾轴架、舵杆及其他结构用的锻钢件、铸钢件应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 5 章和第 6 章的规定。

1.3.1.4 除另有规定外，钢材的弹性模量可取为 $2.06\times10^5\text{N/mm}^2$。

1.3.1.5 屈服点大于或等于 265N/mm^2 的钢属于高强度钢。

1.3.1.6 船体上使用高强度钢时，其种类、等级及分布情况，应在结构图上注明，以便维修。

1.3.1.7 船体结构钢的材料系数 K 见表 1.3.1.7。

材料系数 *K* **表 1.3.1.7**

屈服强度 R_{eH}（N/mm^2）	材料系数 K	屈服强度 R_{eH}（N/mm^2）	材料系数 K
235	1.0	355	0.72
265	0.92	390	0.68（0.66①）
315	0.78	460	0.62②

注：①仅适用于满足本篇第 7 章第 1 节 7.1.1.4 要求的集装箱船的强力甲板和舱口围板；
②仅适用于集装箱船的强力甲板、舱口围板及其顶板且厚度 t 在 $50\text{mm}<t\leq100\text{mm}$ 范围内的钢板。
③对于屈服强度不在表格之列的材料，其材料系数可特殊考虑。

1.3.1.8 除特别说明外，材料的屈服强度（材料的屈服应力或屈服点）系指《材料与焊接规范》中的规定最小屈服强度，非比例延伸强度系指规定非比例延伸强度的最小值。

1.3.2 **正常气温下船体结构用钢的要求**

1.3.2.1 当船长大于等于 90m 时，船体结构用钢应符合下述 1.3.2.2 的要求。在表 1.3.2.2(1)至表 1.3.2.2(5)中没有提及的强力构件或船长小于 90m 的船体结构用钢一般可以使用 A/AH 钢级。钢级应与建造的实际板厚及材料级别相对应。

1.3.2.2 船体各强力构件的材料级别和钢级应不低于相应表 1.3.2.2(1)至表 1.3.2.2(6)的规定。一般要求按表 1.3.2.2(1)的规定。下列表格中给出了附加的最低要求：

表 1.3.2.2(2)：对除表 1.3.2.2(3)覆盖的液化气船外，船长大于 150m 的单层强力甲板船的最低材料钢级；

表 1.3.2.2(3)：船长大于 150m 的薄膜型液化气船；

表 1.3.2.2(4)：船长大于 250m 的船舶；

表 1.3.2.2(5)：冰区加强船舶。

1.3.2.3 对不同材料级别的船体构件，应根据船体构件所取的板厚按表 1.3.2.2(6)选用钢

级。

1.3.2.4　当板厚大于规范要求的厚度时，应根据建造的实际板厚按表 1.3.2.2(6)选用钢级。

1.3.2.5　用于制造支撑舵和螺旋桨毂的尾框架、舵、挂舵臂和尾轴架的板材一般应不低于由材料级别 II 所对应的钢级。对于承受集中力的舵结构，如半平衡舵的下部支撑处即舵叶缺口处，或平衡舵的上部分，应取材料级别 III。

1.3.2.6　船长小于 90m 的船舶，在船中 0.4*L* 区域内，凡采用材料级别 III 的单列板的宽度应不小于 800＋5*L* mm(*L* 为船长，m)，但不必大于 1800mm。

1.3.2.7　用于增强构件的材料级别，以及用于焊接连接件的材质(低碳钢或高强度结构钢)例如舭龙骨垫板，通常应与该处的船体外板相同。

当构件与圆弧形舷板连接时，对所需的钢级，应作特殊考虑，并应注意到所需结构布置及连接的细则。

船舶材料级别和钢级　　表 1.3.2.2(1)

构件类别	构件名称	材料级别/钢级
次要类	(1) 纵舱壁板，除主要类要求者外 (2) 露天甲板板，除主要类或特殊类要求者外 (3) 舷侧板	船中 0.4*L* 内，级别 I 船中 0.4*L* 外，A/AH 钢级
主要类	(1) 船底板，包括平板龙骨 (2) 强力甲板板，除特殊类要求的甲板 (3) 强力甲板以上的强力构件的连续纵向板，除舱口围板 (4) 纵舱壁最上一列板 (5) 垂直列板(舱口纵桁)和顶边舱的最上一列斜板	船中 0.4*L* 内，级别 II 船中 0.4*L* 外，A/AH 钢级
特殊类	(1) 强力甲板处的舷顶列板① (2) 强力甲板处的甲板边板① (3) 纵舱壁处的甲板列板，不包括双壳船在内壳舱壁处的甲板板①	船中 0.4*L* 内，级别 III 船中 0.4*L* 外，级别 II 船中 0.6*L* 外，级别 I
	(4) 集装箱船和其他有类似舱口的船舶在货舱口角隅处与舷侧之间的强力甲板板	船中 0.4*L* 内，级别 III 船中 0.4*L* 外，级别 II 船中 0.6*L* 外，级别 I 货舱区域内,最小级别 III
	(5) 散货船、矿砂船、兼用船及其他有类似舱口的船舶在货舱口角隅处的强力甲板 (5.1)薄膜型液化气船在液态和气态穹顶开口角隅处的凸形甲板和内甲板	船中 0.6*L* 内，级别 III 其余货舱区域内，级别 II
	(6) 船长小于 150m 且整个船宽范围内设有双层底的船舶的舭列板	船中 0.6*L* 内，级别 II 船中 0.6*L* 外，级别 I
	(7) 其他船舶舭列板①	船中 0.4*L* 内，级别 III 船中 0.4*L* 外，级别 II 船中 0.6*L* 外，级别 I
	(8) 长度超过 0.15*L* 的纵向舱口围板，包括舱口围顶板和舱口围顶板边缘 (9) 纵向货舱舱口围板的端肘板，纵向货舱舱口围板与甲板室的过渡	船中 0.4*L* 内，级别 III 船中 0.4*L* 外，级别 II 船中 0.6*L* 外，级别 I 不低于 D/DH 钢级

注：① 在船中 0.4*L* 区域内，凡采用材料级别 III 的单列板的宽度应不小于 800+5*L* mm(*L* 为船长，m),但不必大于 1800mm，除非受船舶设计几何尺寸的限制。

船长大于 150m 的单层强力甲板船的最低材料钢级　　表 1.3.2.2(2)

构件名称	材料钢级
参与总纵强度的强力甲板的纵向板 强力甲板以上的强力构件的连续纵向板	船中 0.4*L* 区域内，B/AH 钢级
底部和强力甲板之间无内部连续纵舱壁船舶的单舷侧列板	货舱区域内，B/AH 钢级

注：本表适用于除表 1.3.2.2(3)覆盖的液化气船以外的船舶。

船长大于 150m 的薄膜型液化气船的最低材料钢级①　　表 1.3.2.2(3)

构件名称		材料钢级
参与纵向强度的强力甲板的纵向板		船中 0.4*L* 区域内，B/AH 钢级
强力甲板以上的强力构件的连续纵向板	凸形甲板板	船中 0.4*L* 区域内，材料级别 II
	内甲板板 凸形甲板与内甲板间的纵向强力构件板	船中 0.4*L* 区域内，B/AH 钢级

注：① 表 1.3.2.2(3)适用于如图 1.3.2.2 所示具有甲板布置的薄膜型液化气船。表 1.3.2.2(3)也适用于在强力甲板以上具有双层甲板布置的类似船型。

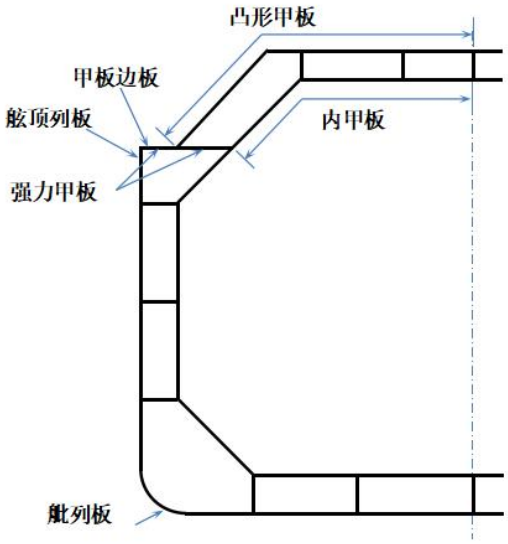


图 1.3.2.2　薄膜型液化气船典型甲板布置

船长超过 250m 船舶的最低材料钢级　　表 1.3.2.2(4)

构 件 名 称	材 料 钢 级
强力甲板处舷顶列板①	船中 0.4*L* 区域内，E/EH 钢级
强力甲板边板①	船中 0.4*L* 区域内，E/EH 钢级
舭列板①	船中 0.4*L* 区域内，D/DH 钢级

注：① 船中 0.4*L* 区域内的表中钢级为 D/DH 或 E/EH 的单列板板宽应不小于 800＋5*L* mm (*L* 为船长，m)，但不必大于 1800mm，除非受船舶设计几何尺寸的限制。

冰区加强船舶的最低材料钢级　　表 1.3.2.2(5)

构 件 名 称	材 料 钢 级
冰区加强区域的外板	B/AH 钢级

各材料级别要求的钢级　　表 1.3.2.2(6)

材料级别	I		II		III	
板厚(mm)	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢
$t \leqslant 15$	A	AH	A	AH	A	AH
$15 < t \leqslant 20$	A	AH	A	AH	B	AH
$20 < t \leqslant 25$	A	AH	B	AH	D	DH
$25 < t \leqslant 30$	A	AH	D	DH	D	DH
$30 < t \leqslant 35$	B	AH	D	DH	E	EH
$35 < t \leqslant 40$	B	AH	D	DH	E	EH

材料级别	I		II		III	
板厚(mm)	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢
40＜t≤50	D	DH	E	EH	E	EH

1.3.2.8　船中 0.4L 区域内的甲板板、舷顶列板以及纵舱壁上列板的材料级别，在尾楼前端和桥楼两端处，亦应保持不变。

1.3.2.9　集装箱船的中部 0.4L 区域内的强力甲板、舷顶列板及抗扭箱形结构所用的材料级别，在整个货舱区域内应保持不变。

1.3.2.10　在具有尾楼的液货船上，尾楼前的强力甲板向前延伸至任何泵舱开口的周围，其材质应保持一致。

1.3.2.11　在船体结构为 T 型或十字型接头，且使用全焊透焊接处和板材在板厚方向承受重大拉应力的构件，建议采用具有全厚度特性的 Z 向钢钢板。

1.3.3　对冷藏舱室结构用钢的要求

1.3.3.1　当冷藏舱内结构的最低设计温度 t_D 低于 0℃时，除符合本节 1.3.2 要求外，其甲板板、甲板纵桁腹板、与甲板连接的纵舱壁上列板以及支承舱口盖的承梁及其面板，所选用的钢材级别一般应符合表 1.3.3.1 的规定。

冷藏舱内结构用钢的钢级　　表 1.3.3.1

板厚(mm)	-10℃≤t_D＜0℃		-25℃≤t_D＜-10℃		-40℃≤t_D＜-25℃	
	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢
t≤12.5	B	AH	D	DH	E	EH
12.5＜t≤25.5	D	DH	E	EH	特殊考虑①	特殊考虑②
t＞25.5	E	EH	特殊考虑①	特殊考虑②	特殊考虑①	特殊考虑②

注：① 一般可用奥氏体不锈钢。
② 一般可用 FH 钢级。

1.3.3.2　决定冷藏舱甲板的最低设计温度可以按温度梯度计算法确定，也可按表 1.3.3.2 确定。若有关的内部舱室之一为非冷藏舱时，则该舱的温度应取为 5℃。

冷藏舱甲板的设计温度　　表 1.3.3.2

序号	布置	甲板温度
1	冷藏舱内甲板无绝缘材料覆盖时	以冷藏舱内温度计算
2	甲板在冷藏舱内的一面用绝缘材料覆盖，而另一面无绝缘材料时	以无绝缘材料一面的温度为准
3	甲板的两面均有绝缘材料覆盖： (1) 温差≤11℃时 (2) 11℃＜温差≤33℃时	 以甲板上方和下方两舱内的平均温度计算 以甲板上方和下方两舱内的平均温度减去 3℃后计算

1.3.4　暴露于低气温下的船舶

1.3.4.1　对于冬季拟常态化在低气温区域(小于−10℃)营运的船舶，其暴露结构材料应根据设计温度 t_D 选取，设计温度 t_D 的定义见本节 1.3.4.6。

1.3.4.2　最低压载水线(BWL)以上的暴露于低气温下的船体结构用钢（包括表 1.3.4.2 注⑤所指的板材）及适用于 1.3.4.7 的液货舱边界板的材料应不低于表 1.3.4.2 的规定，对于 BWL 以上非暴露于低气温下的船体结构用钢(除了表 1.3.4.2 中注明的⑤)和 BWL 以下的船体结构用钢适用于本节 1.3.2 的要求。

低温下的材料级别　　表 1.3.4.2

构件类别	构件名称	材料级别	
		船中 0.4L 内	船中 0.4L 外
次要类	通常的露天甲板板 BWL 以上的舷侧板 BWL 以上的横舱壁⑤	I	I

构件类别	构件名称	材料级别	
		船中 0.4*L* 内	船中 0.4*L* 外
	暴露于低温货物下的液货舱边界板⑥		
主要类	强力甲板板① 强力甲板以上的纵向连续构件(不包括舱口围板) BWL 以上的纵舱壁⑤ BWL 以上的顶边舱舱壁⑤	II	I
特殊类	舷侧顶列板，包括圆弧形舷板② 强力甲板边板② 纵舱壁处的甲板板③ 纵向连续的舱口围板④	III	II

注：① 大开口角隅处的强力甲板板应作特殊考虑。凡可能发生局部高应力处的强力甲板板应按材料级别 III 或选用 E/EH 钢级。

② 船长大于 250m 的船舶，在船中 0.4*L* 范围内，应选用不低于 E/EH 钢级。

③ 船宽超过 70m 的船舶，至少有 3 列甲板板应为材料级别 III。

④ 应选用不低于 D/DH 钢级。

⑤ 适用于与暴露在低气温下船体外板相连接的板材。至少有一列板被同样认为是暴露板，该板的宽度至少为 600mm。

⑥ 适用于非液化气船的暴露于低温货物下的液货舱边界板，应满足 1.3.4.7 的要求。

1.3.4.3　对不同材料级别的船体构件所要求的钢级，应根据船体构件所取的板厚和设计温度按表 1.3.4.3 选取。设计温度 t_D＜−55℃时，其所用的钢级应经 CCS 特殊考虑。

1.3.4.4　凡采用钢级 E/EH 及 FH 或材料级别 III 的单列板的宽度应不小于 800+5*L*mm(*L* 为船长，m)，但不必大于 1800mm。

1.3.4.5　用于制造尾柱、舵、挂舵臂和尾轴架的板材应不低于按本节 1.3.2 的要求。

低温下各材料级别要求的钢级　　**表 1.3.4.3**

材料级别 I										
板厚(mm)	−11～−15℃		−16～−25℃		−26～−35℃		−36～−45℃		−46～−55℃	
	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢
t≤10	A	AH	A	AH	B	AH	D	DH	D	DH
10＜t≤15	A	AH	B	AH	D	DH	D	DH	D	DH
15＜t≤20	A	AH	B	AH	D	DH	D	DH	E	EH
20＜t≤25	B	AH	D	DH	D	DH	D	DH	E	EH
25＜t≤30	B	AH	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
30＜t≤35	D	DH	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
35＜t≤45	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH	–	FH
45＜t≤50	D	DH	E	EH	E	EH	–	FH	–	FH
材料级别 II										
板厚(mm)	−11～−15℃		−16～−25℃		−26～−35℃		−36～−45℃		−46～−55℃	
	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢
t≤10	A	AH	B	AH	D	DH	D	DH	E	EH
10＜t≤20	B	AH	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
20＜t≤30	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH	–	FH
30＜t≤40	D	DH	E	EH	E	EH	–	FH	–	FH
40＜t≤45	E	EH	E	EH	–	FH	–	FH	–	–
45＜t≤50	E	EH	E	EH	–	FH	–	FH	–	–
材料级别 III										
板厚(mm)	−11～−15℃		−16～−25℃		−26～−35℃		−36～−45℃		−46～−55℃	
	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢
t≤10	B	AH	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
10＜t≤20	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH	–	FH
20＜t≤25	D	DH	E	EH	E	EH	E	FH	–	FH
25＜t≤30	D	DH	E	EH	E	EH	–	FH	–	FH

30＜t≤35	E	EH	E	EH	–	FH	–	FH	–	–
35＜t≤40	E	EH	E	EH	–	FH	–	FH	–	–
40＜t≤50	E	EH	–	FH	–	FH	–	–	–	–

注：表中“–”为不适用。

1.3.4.6　设计温度 t_D 应为航区内的最低日平均温度的平均值，其中：

平均值：整个观测周期的统计平均。

日平均：一昼夜内的平均。

最低：一年内的最低。

对季节性有限航区，适用营运期间的最低值。

图 1.3.4.6 为温度定义。

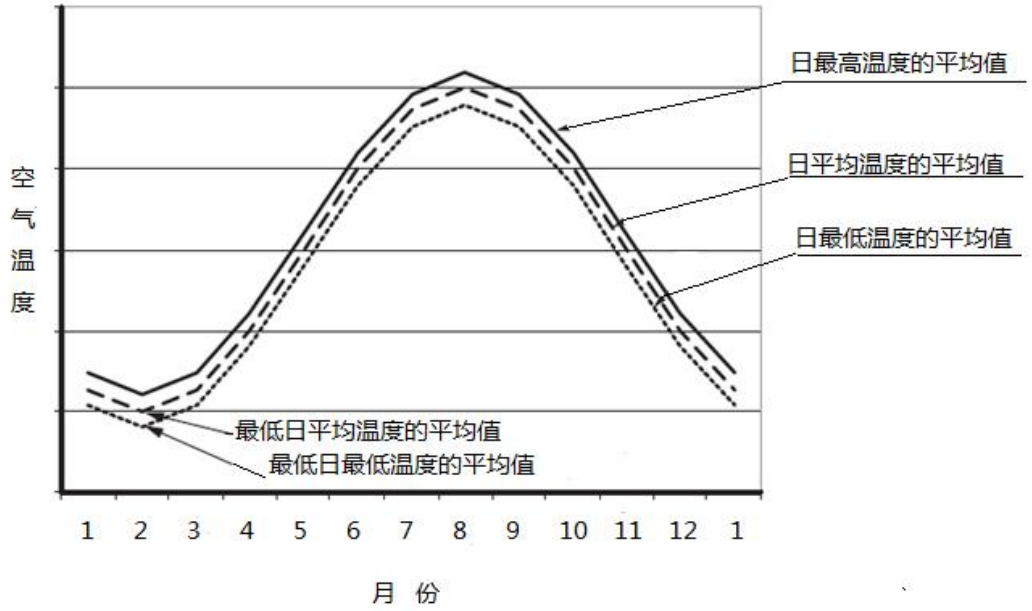


图 1.3.4.6　通用温度定义

1.3.4.7　非液化气船的低温货物

如果非液化气船需要装载温度低于-10℃的液态货物，例如在冬季从岸上储物仓卸载液态货物，则按照表 1.3.4.3 选取的液货舱边界板的材料级别应基于：

(1) 最低货物设计温度 t_C（℃）；

(2) 钢级对应于表 1.3.4.2 的材料级别Ⅰ。

最低货物设计温度 t_C 应在装载手册中给定。

1.3.5　铝合金材料的使用

1.3.5.1　钢质船上的上层建筑、甲板室和舱口盖等类似结构，可使用铝合金材料等效代替本规范要求的船体结构钢。使用的铝合金材料的化学成分和力学性能应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 8 章的有关规定。

1.3.5.2　除另有规定外，铝合金的弹性模量可取为 70000N/ mm^2 。

1.3.5.3　铝合金结构的尺寸可按下式求得：

板厚：$t_a = t_s\sqrt{K_a}$　　mm

剖面模数：$W_a = W_s K_a$　　cm^3

式中：t_s　——使用低碳钢规范要求的板厚，mm；

W_s　——使用低碳钢规范要求的剖面模数，cm^3；

K_a ——铝合金的材料系数，$K_a=\frac{235}{R'_{\text{lim}}}$；

R'_{lim} ——焊接状态下母材最小可保证的屈服应力 $R'_{p0.2}$ N/mm²，取不大于焊接状态下母材的最小可保证的抗拉强度 R'_m 的 70%：

$$R'_{p0.2}=\eta_1 R_{p0.2}$$

$$R'_m=\eta_2 R_m$$

$R_{p0.2}$ ——交货状态下母材最小可保证的屈服应力，N/mm²；

R_m ——交货状态下母材最小可保证的抗拉强度，N/mm²。η_1 和 η_2 在表 1.3.5.3⑴中给出。

焊接结构用铝合金 **表 1.3.5.3(1)**

铝合金	η_1	η_2
未经加工硬化处理的铝合金（退火状态 O 或退火矫平状态 H111 下 5000 系列）	1	1
经加工硬化处理的铝合金（除 O 或 H111 状态外 5000 系列）	$R'_{p0.2}/R_{p0.2}$	R'_m/R_m
经热处理硬化的铝合金（6000 系列）(1)	$R'_{p0.2}/R_{p0.2}$	0.6

注：(1) 如无资料提供，系数 η_1 应取为表 1.3.5.3(2)所定义的金相效率系数 β；

$R'_{p0.2}$ ——焊接状态下材料的最小可保证的屈服应力，N/mm²；

R'_m ——焊接状态下材料的最小可保证的抗拉强度，N/mm²。

铝合金——金相效率系数β **表 1.3.5.3(2)**

铝合金	回火状态	总厚度（mm）	β
6005A(开口型材)	T5 或 T6	$t\leqslant 6$	0.45
		$t>6$	0.40
6005A(闭口型材)	T5 或 T6	所有	0.50
6061 (型材)	T6	所有	0.53
6082 (型材)	T6	所有	0.45

1.3.5.4 铝合金的焊接工艺应经认可。铝合金与钢材之间的连接方法以及有关防腐蚀措施的资料应提交审查。

1.3.6 不锈钢材料的使用

1.3.6.1 油船及化学品船的液货舱等结构，可使用不锈钢等效代替本规范要求的船体结构钢。

1.3.6.2 除另有规定外，不锈钢的弹性模量可取为 2.06×10⁵N/mm²。

1.3.6.3 不锈钢的材料系数 K 应按下式计算：

$$K=\frac{235}{R_{eHT}}$$

式中：R_{eHT}——设计允许的最高货物温度下，不锈钢的最小屈服强度或规定非比例延伸强度，N/mm²，应按下列各式计算：

$R_{eHT}=-40\ln(T)+127+R_{P0.2}$，对于不含氮奥氏体不锈钢；

$R_{eHT}=-48\ln(T)+142+R_{P0.2}$，对于含氮奥氏体不锈钢；

$R_{eHT}=-65\ln(T)+200+R_{P0.2}$，对于双相不锈钢。

T ——设计允许的最高货物温度，℃；

$R_{P0.2}$——室温下，不锈钢的最小屈服强度或规定非比例延伸强度，N/mm²，按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 8 节规定。

对于双相不锈钢，材料系数 K 应不小于 0.68。

第 4 节　船体结构的焊缝设计

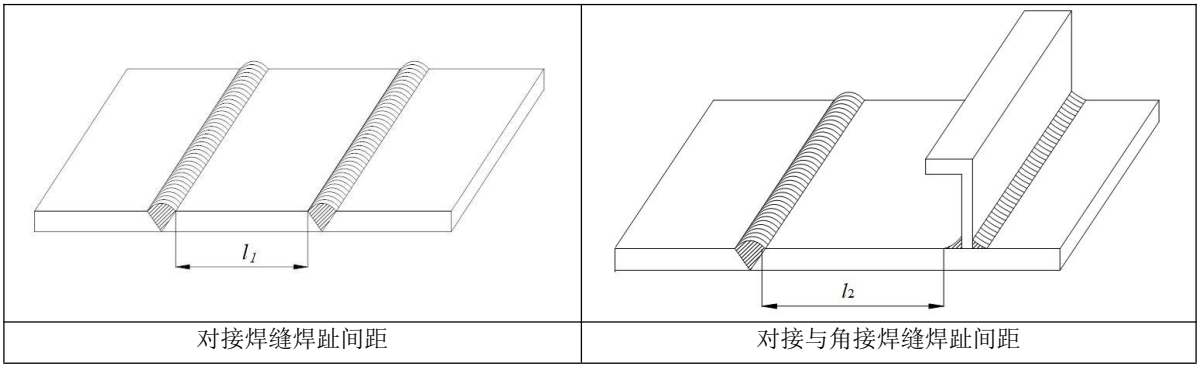
1.4.1　一般要求

1.4.1.1　本节规定适用于一般船体结构和构件的焊缝设计。船体结构的焊接工艺应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关规定。

1.4.1.2　船体结构的焊缝布置应考虑到便于焊工施焊。施焊时焊缝位置尽可能采用平焊。

1.4.1.3　船体各种焊接结构应避免将焊缝布置于应力集中区域。在结构剖面突变之处应有足够的过渡区域，尽量避免焊缝过分地集中。

1.4.1.4 船体主要构件中的平行焊缝应保持一定的距离，其中，对接焊缝之间的平行距离 l_1 应不小于 100mm，且避免尖角相交，对接焊缝与角接焊缝之间的平行距离 l_2 应不小于 10mm。上述焊缝之间的距离一般指两焊趾间内侧的距离(如图 1.4.1.4 所示)。



对接焊缝焊趾间距	对接与角接焊缝焊趾间距

图 1.4.1.4　平行焊缝间距

1.4.1.5　船体外板、甲板、内底板及舱壁板等各自的拼接，均应采用对接焊缝。

1.4.1.6　船体板材的连接，特别是高负荷区域的板材一般不宜采用搭接焊缝。

1.4.1.7　船体结构中，凡承受高应力的焊缝，应尽量避免采用固定垫板连接。

1.4.1.8　船体结构下列部位的角焊缝应采用双面连续焊缝：

(1)　风雨密甲板和上层建筑外围壁边界的角焊缝，包括舱口围板、升降口和其他开口处围板的角焊缝；

(2)　液体舱、水密舱室的周界；

(3)　基座和支承结构的连接处；

(4)　尾尖舱内所有结构(包括舱壁扶强材)的角焊缝；

(5)　装载化学品和食用液体货舱内的所有角焊缝；

(6)　散货船的货舱内主肋骨及其上下肘板与舷侧外板、上下边舱的斜板之间的所有角焊缝；

(7)　液舱内所有搭接焊缝；

(8)　船首 0.25L 区域内，主要构件和次要构件与船底板连接处的所有角焊缝；

(9)　中桁材与龙骨板的连接角焊缝；

(10)　厨房、配膳室、洗衣室、浴室、厕所和蓄电池室等处的周界角焊缝；

(11)　船体所有主要、次要构件端部与板材连接的角焊缝和肘板端部与板材连接的搭接

焊缝；

(12) 其他特殊结构、在高强度钢板上安装附件和连接件时的角接焊缝应特殊考虑。

1.4.1.9 高强度钢角焊缝通常应为双面连续焊缝。

1.4.1.10 船体结构主要构件焊接的细节，包括焊缝型式和尺寸，应清楚地标明在提交审核的图纸上。自动焊的使用范围应在图纸上注明。

1.4.1.11 布置船体外板边接缝时，应考虑甲板、纵桁、纵骨和内底边板等纵向构件的布置，外板边接缝与纵向构件的角焊缝应避免重合或形成过小的交角，外板端接缝尽量避开内部纵向构件的趾端及横向构件的角焊缝。

1.4.2 焊接材料

1.4.2.1 船体结构所用的焊接材料应符合 CCS《材料与焊接规范》的规定。所选用焊接材料的级别应与船体结构用的钢级相适应，并符合表 1.4.2.1 的规定。H47 级钢的焊接材料选用参照 CCS《船用高强度钢厚板应用指南》，其他钢材的焊接材料选用参照 CCS《船舶焊接检验指南》。

焊接材料选用表 **表 1.4.2.1**

船体结构钢级 / 焊接材料级别	A	B	D	E	AH27 AH32 AH36	DH27 DH32 DH36	EH27 EH32 EH36	FH27 FH32 FH36	AH40	DH40	EH40	FH40
1	×											
2	×	×	×									
3	×	×	×	×								
1Y	×				×②							
2Y	×	×	×		×	×						
3Y	×	×	×	×	×	×	×					
4Y	×	×	×	×	×	×	×	×				
2Y40	①	①	①		×	×			×	×		
3Y40	①	①	①	①	×	×	×		×	×	×	
4Y40	①	①	①	①	×	×	×	×	×	×	×	×
5Y40	①	①	①	①	×	×	×	×	×	×	×	×

注：“×”为适用的钢级；

①在普通强度结构钢焊接中不宜采用过高强度级别的焊接材料。

②当采用 1Y 级焊接材料焊接时，母材的厚度不大于 25mm。

1.4.2.2 当不同强度的母材被焊接连接时，除在结构不连续处或应力集中区域内应选用较高强度等级的焊接材料外，一般可选用与较低强度级别的母材相适应的焊接材料。当母材的连接强度相同，韧性级别不同时，除结构受力情况复杂或施工条件恶劣者外，一般可选用与较低韧性级别相适应的焊接材料。

1.4.2.3 焊接下列船舶构件和结构时应采用低氢焊接材料：

(1) 船体大合拢时的环形对接缝和纵桁材对接缝；

(2) 具有冰区加强的船舶，船体外板端接缝和边接缝；

(3) 桅杆、吊货杆、吊艇架、系缆桩等承受强大载荷的舾装件及其他所有承受高应力的零部件；

(4) 要求具有较大刚度的构件，如首框架、尾框架、尾轴架等，及其与外板和船体骨架的接缝；

(5) 主机基座及其相连接的构件。

1.4.2.4 当焊接高强度钢或钢材碳当量大于 0.41%时，建议采用低氢焊接材料。

1.4.3　对接、搭接与塞焊焊缝

1.4.3.1　不同厚度钢板进行对接，若其单侧厚度差小于等于 4mm 时，可在焊缝宽度内使焊缝的外形均匀过渡。若其单侧厚度差大于 4mm 时，应将厚板的边缘削斜，使其与焊缝均匀过渡，宽度应不小于单侧厚度差的 3 倍，坡口两边的高度差 d 不大于 4mm，如图 1.4.3.1(1)所示；但坡口宽度不小于单侧厚度差的 3 倍时，不必削斜，可在焊缝宽度内使焊缝的外形均匀地过渡，如图 1.4.3.1(2)所示。



（1）　　（2）

图 1.4.3.1　不同厚度钢板对接示意图

1.4.3.2　承受高拉伸应力或压缩载荷部位的板一般不采用搭接焊连接。当采用搭接焊缝时，搭接的宽度(*b*)应不小于两块连接板中较薄板厚的 3 倍，但不大于 4 倍。见图 1.4.3.2。接头应布置在便于焊接的位置，以利于得到良好的焊缝。搭接表面应紧密贴合，搭接焊缝的两个边缘应施以连续角焊。

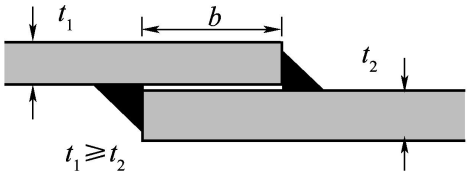


图 1.4.3.2

1.4.3.3　若板材与其内侧的型材腹板无法直接采用角焊缝进行连接时，可采用扁钢衬垫于构件腹板和外板材之间，扁钢与板材可采用连续熔透焊缝或长孔塞焊。塞焊孔的长度应不小于 75mm，孔的宽度应不小于板厚的 2 倍，孔的端部呈半圆形，两孔端间距应不大于 150mm。长孔塞焊通常不必在孔内填满焊肉。

1.4.4　角接焊缝

1.4.4.1　船体角接焊缝通常应为双面焊接，包括角焊缝（填角焊缝）、部分熔透角焊缝及全熔透角焊缝。角接焊缝的型式和使用部位如表 1.4.4.1 所示。

1.4.4.2　船体角接焊缝的尺寸，应符合下述要求：

(1)　角焊缝的焊喉厚度 *h* 按下式计算所得：

$$h = w_\tau \, t_p \, \frac{d}{l} \qquad \text{mm}$$

式中：t_p ——角焊缝连接构件中较薄一块板的厚度，mm，如本节表 1.4.4.1 中序号 1 的 t_1 或 t_2 中较小值；

d ——焊缝节距，mm；指间断角焊缝中，前一条焊缝的起始处至后一条焊缝的起始处的长度。如本节图 1.4.4.2 所示；若角焊缝为连续焊缝时，令 d 等于 l；

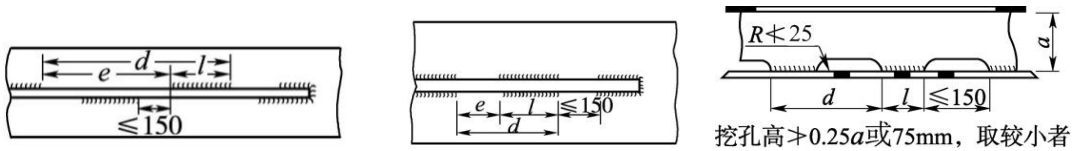
l ——焊缝长度，mm；指焊缝的连续长度，但应不小于 75mm；

w_τ——焊接系数，船体结构的焊接系数规定在表 1.4.4.2 中。当采用认可的单道自动深熔焊工艺时，w_τ可取为表值的 85%。

角焊缝的焊脚高度 *K* 应不小于按下式计算所得之值：

$$K = \sqrt{2}h \quad \text{mm}。$$

(2) 全熔透焊接时，无钝边要求。部分熔透焊接时，钝边宽度 f 在 3mm 和 1/3t 之间。应确保焊道渗透至坡口根部的坡口角度，α 通常在 40°到 60°之间。全熔透/部分熔透的焊道应覆盖坡口根部。

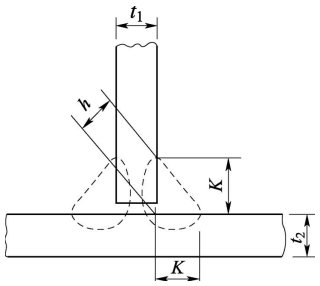
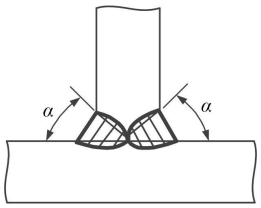
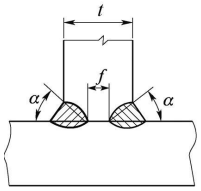
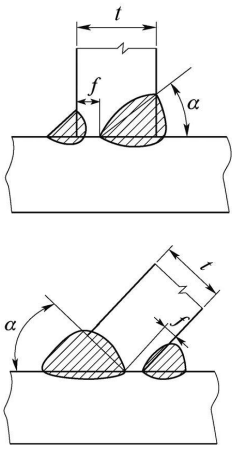


交错间断角焊缝　　链式间断角焊缝　　挖孔焊

l—焊缝长度，*e*——焊缝间距，*d*——焊缝节距，间断角焊缝两端部位及挖孔焊孔端部周围连续包焊

图 1.4.4.2

角接焊缝的型式　　**表 1.4.4.1**

序号	角接焊缝名称	型式	备注
1	双面填角焊		用于一般结构 *K*——焊脚高度 *h*——焊喉厚度 t_1，t_2——焊件厚度
2	双面全熔透焊		用于高拉应力区域或认为危险的区域 α——坡口角度
3	双面对称坡口部分熔透焊		用于较高拉应力区域或认为危险的区域 *t*——焊件厚度 *f*——钝边宽度 α——坡口角度
4	双面非对称坡口部分熔透焊		用于较高拉应力区域或认为危险的区域 *t*——焊件厚度 *f*——钝边宽度 α——坡口角度

焊接系数　　**表 1.4.4.2**

项目		焊接系数	备注
1　一般结构(除下列另有规定外)			
(1)　水密或油密板材的周界		0.34	
(2)　非密性板材周界		0.13	
(3)　纵骨、肋骨、横梁和其他次要构件与外板、甲板或舱壁板		0.10	
		0.13	液舱内
		0.21	端部连接处
(4)　板格加强筋(即小扶强材)		0.10	
(5)　搭接焊缝		0.27	
(6)　纵骨为扁钢时，对板		0.21	双面连续焊
2　货舱区船底结构			
(1)　密性的中桁材	对平板龙骨	0.44	
	对内底板	0.44	
(2)　非密性中桁材(或中内龙骨)	对平板龙骨	0.27	
	对内底板(或中内龙骨的面板)	0.21	不开孔
(3)　密性肋板、旁桁材的四周边界		0.39	
(4)　非密性肋板、旁桁材(或旁内龙骨)和肘板等的四周边界		0.16	
		0.21	在端部 0.2 跨距长度处
		0.27	主肋骨下端舭肘板处
(5)　内底纵骨和内底骨材对内底板		0.13	在重货加强区域
(6)　支撑平面舱壁、槽形舱壁、双层板舱壁、舱壁凳的肋板对内底板		0.44	双面连续焊
3　舷侧骨架			
(1)　强肋骨和舷侧纵桁的腹板对外板		0.16	
(2)　强肋骨和舷侧纵桁的腹板对面板		0.13	
(3)　舭肘板对外板或内底板		0.34	
(4)　散货船的货舱主肋骨对外板		0.40	见本篇 8.3.6
(5)　散货船的货舱主肋骨的端肘板		0.44	见本篇 8.3.6
4　甲板及其支承结构			
(1)　强力甲板边板对外板		0.44	见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇 5.2.5 一般为双面连续焊
(2)　其他甲板对外板和舱壁板(液舱边界除外)		0.21	
(3)　悬臂梁的腹板对甲板及根部肘板对外板		0.44	
(4)　悬臂梁腹板对面板		0.21	
(5)　支柱：	端部连接	0.34	舱口纵桁端部 0.15 跨距长度内为 0.21
	端部连接(管状)	0.44	
(6)　纵桁腹板的连接和支柱端部肘板处		0.21	

项目	焊接系数	备注
(7) 舱口纵桁、甲板强横梁腹板对甲板、面板	0.16	
5 舱壁和液舱结构		
(1) 水密的平面舱壁、槽形舱壁、双层板舱壁对船底、内底、舭板、底边舱和顶边舱、甲板和舱壁凳的面板	0.44	
(2) 上、下舱壁凳板对舱壁凳面板	0.44	底凳处应全焊透
(3) 舱壁凳板对内底板、甲板、边舱斜板	0.44	
(4) 舱壁板对舷侧外板	0.34	
(5) 舱壁板对起支柱作用的次要构件	0.13	
(6) 非水密舱壁的周界	0.13	
(7) 制荡舱壁和开孔平台板的周界	0.10	
6 油船货油舱区域结构		
(1) 船底纵骨对外板	0.21	船首 0.25L 区域
(2) 主要构件之间的连接	0.44	底部结构
	0.34	甲板结构
(3) 纵向油密舱壁周界	0.44	焊喉厚度 h≥0.34t，t 为舱壁板厚，mm
(4) 横向油密舱壁的底部	0.44	焊喉厚度 h≥0.34t，t 为舱壁板厚，mm
(4) 横向油密舱壁对甲板、舷侧外板和纵舱壁	0.34	
(5) 非密性舱壁周界	0.21	一般
(6) 双层底内的非水密桁材及肋板的周界	0.34	在端部 0.2L 区域内
	0.40	在舱壁凳下
	0.44	
(7) 底边舱和顶边舱内的横框架与外板、甲板、斜底(顶)板	0.34	
(8) 双层壳横隔板或横框架、舷侧纵桁周界	0.34	一般
	0.40	端部 0.2L 区域内
(9) 双层壳、双层底及底边舱、顶边舱内的主要构件之间	0.34	
(10) 底边舱、顶边舱及双层壳内纵向或横向框架对面板	0.27	
(11) 货油舱内主要构件腹板对纵、横舱壁、内底、甲板	0.34	一般
	0.44	端部 0.2L 区域内
(12) 货油舱内主要构件腹板对面板	0.27	一般
	0.34	端部 0.2L 区域内
7 耙吸式挖泥船的漏斗型泥舱结构		
(1) 舱壁周界	0.44	在底部和舭部处
	0.34	在甲板和围板处
(2) 横向构件对纵舱壁	0.44	
(3) 支柱的端部连接	0.34	
(4) 自卸船等的泥舱铰链	0.44	部分熔透焊

项目			焊接系数	备注
8 机舱的结构				
(1) 非水密的中桁材(或中内龙骨)对平板龙骨和内底板(或中内龙骨面板)			0.27	
(2) 非水密肋板对机座推力轴承座和锅炉座处的中桁材(或中内龙骨)			0.27	
(3) 非水密肋板、旁桁材(或旁内龙骨)对外板和内底板			0.21	部分熔透焊，纵桁腹板应向两侧削斜，钝边宽度≤1/3 纵桁腹板厚度
(4)	主机座纵桁腹板对面板		0.44	
	主机座纵桁对外板和内底板		0.44	
	实肋板对主机座纵桁		0.27	
	肘板对主机座纵桁		0.21	
(5) 纵向或横向骨材对外板			0.13	
9 在船首 0.25*L* 区域的结构				
(1) 肋板和桁材(或中内龙骨等)对外板和内底板			0.21	
(2) 船底纵骨对外板			0.13	
(3) 横向和纵向舷侧构架对外板			0.13	
(4) 液舱舭肘板对肋骨和内底板			0.34	
(5) 抗拍击纵桁对外板与肋骨			0.34	
(6) 首尖舱内的全部结构			0.13	除有关条文中要求更大的焊接系数外
10 尾尖舱内的全部结构，包括尾尖舱壁扶强材			0.21	除有关条文中要求更大的焊接系数外
11 上层建筑与甲板室				
(1) 外围壁对甲板			0.34	第一层与第二层建筑
			0.21	其余各层
(2) 内隔壁对甲板			0.13	
12 舱口及关闭装置				
(1) 舱口围板对甲板			0.34	角隅处为 0.44
(2) 舱口围板扶强材(加强筋、肘板)		对舱口围板	0.13	
		对甲板	0.21	
(3) 舱口盖板支承扁钢			0.16	
(4) 楔耳和配件等			0.44	可要求加强焊
(5) 舱口盖结构			0.10	对液舱或上方承受负荷的舱口盖为 0.13
13 操纵控制系统				
(1) 舵	①组合下舵杆、下舵杆内部隔板与舵叶板的连接		0.44	
	②舵叶板和内隔板的长孔塞焊		0.44	
	③其他结构		0.21	
(2) 导流管、推进器的人字架等的		主结构	0.44	
		其余结构	0.21	
(3) 侧推器、减摇装置的		主结构	0.44	
		其余结构	0.21	

项目		焊接系数	备注
14 舾装设备及其他附件			
(1) 人孔盖围槛对甲板、内底板和舱壁板		0.34	
(2) 外板或风雨密围壁上的门框结构		0.34	
(3) 水密门上的加强筋		0.21	
(4) 通风筒、空气管等的围板	对甲板	0.34	载重线勘划规定的位置1和位置2
	对其他部位处	0.21	
(5) 通风筒等附件		0.21	
(6) 流水孔及排水口对甲板		0.44	
(7) 桅、起重柱和起重机基座等对甲板		0.44	见CCS《材料与焊接规范》第3篇5.2.7
(8) 甲板机械的基座对甲板		0.21	特殊设备由设计决定
(9) 带缆桩等系泊设备底座对甲板		0.21	可要求加强焊或完全焊透
(10) 舷墙支撑肘板对甲板		0.21	
(11) 舷墙和栏杆的支柱等对甲板		0.34	
(12) 舭龙骨垫板对外板		0.34	
(13) 舭龙骨对垫板		0.21	

1.4.4.3 “T”型角接中的竖板(如扶强材、纵骨等的腹板)厚度大于15mm，且大于平列板(如舱壁板、外板或甲板)的厚度时，其角接焊缝应为双面连续焊，且焊喉厚度 h 应不小于本节表1.4.4.4(2)的规定，并应不小于按下式计算所得之值：

$$h=0.5\,C\,t_v \qquad \text{mm}$$

$$h=0.21\,t_h \qquad \text{mm}$$

式中：t_v ——竖列板厚度，mm；

t_h ——平列板厚度，mm；

C ——系数，取为0.21(干货舱)或0.27(液舱)。

1.4.4.4 所有角焊缝的焊喉厚度，除本节1.4.4.2及1.4.4.3规定者外，应符合下列要求：

(1) 焊喉厚度的极限值应符合表1.4.4.4(1)的规定；

(2) 焊喉厚度的最小值还应符合表1.4.4.4(2)的规定。

焊喉厚度的极限值表　　表 1.4.4.4(1)

焊缝型式	焊喉厚度的极限值(mm)	
	最小值	最大值
双面连续角焊缝	$0.21t_p$	$0.44\,t_p$
间断角焊缝	$0.27\,t_p$	$0.44\,t_p$

注：① t_p 见本节1.4.4.2(1)。

② 当实际板厚 t'_p 超过25mm时，表中 $t_p=0.5(t'_p+25)$。

焊喉厚度的最小值表　　表 1.4.4.4(2)

板厚 t_p		≤7.5	>7.5
焊喉厚度的最小值(mm)	手工焊或自动焊	3	3.25
	自动深熔焊	3	3

注：t_p 见本节1.4.4.2(1)。

1.4.4.5 当船体构件采用间断角焊缝时，对下列部位在包角焊缝的规定长度内应采用双面

连续角焊缝：

(1) 肘板趾端的包角焊缝长度应不小于连接骨材的高度，且不小于 75mm；

(2) 型钢端部，特别是短型钢的端部削斜时，其包角焊缝的长度应不小于型钢的高度且不小于削斜长度；

(3) 各种构件的切口、切角和挖孔焊的端部处，以及其他构件的垂直交叉连接处的包角焊，当板厚大于 12mm 时，包角焊缝的长度应不小于 75mm，板厚小于或等于 12mm 时，其包角焊缝长度应不小于 50mm。

1.4.4.6 当船体构件采用挖孔间断焊时，孔的两端应呈圆弧形，并应光滑。但在下列位置处，不准开孔：

(1) 在肘板趾端的应力集中区域内；

(2) 与主支承构件相交时，其主肋骨、纵骨及扶强材等的相交处两侧至少各 230mm 区域内。

1.4.4.7 当构件贯穿水密或油密舱壁时，舱壁上的贯穿孔应按有关标准要求设置密性补板，并应按图 1.4.4.7(1)所示，在密性焊缝一侧的贯穿构件上切割一小半圆孔，从半圆孔到舱壁处应为包角双面连续角焊缝，以确保舱壁的密性。

邻接液舱的舱壁，为了防止危险气体或液体渗漏至相邻舱室内，在紧靠油气密或水密舱壁前后 150mm 的填角焊缝应有适当的坡口并确保焊透。见图 1.4.4.7(2)。但也允许采用其他等效措施。

1.4.4.8 主要构件角焊缝尺寸应符合下列规定：

(1) 焊接系数可按表 1.4.4.8 查得；

(2) 当主要构件的腹板因次要构件贯穿而开口，且切口的宽度超过骨材间距 15%时，则其焊接系数 W_t或填角焊缝的焊脚高度 K 应乘以按下式计算的修正系数 C：

$$C=\frac{0.85\text{倍骨材间距}}{\text{切口之间的腹板长度}}$$

(3) 计算焊喉厚度时，可包括构件端部的焊缝长度。

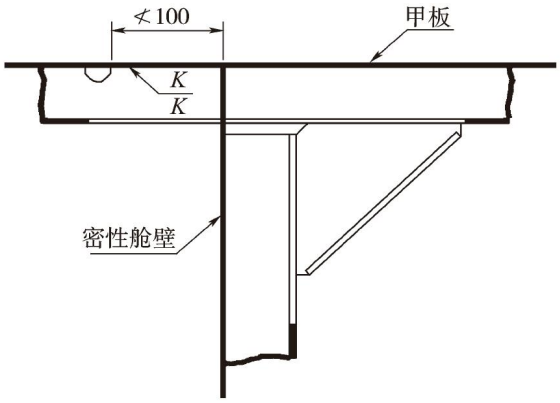


图 1.4.4.7(1)

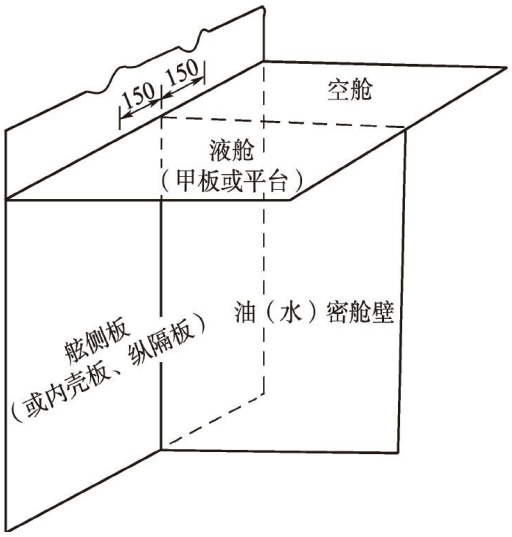


图 1.4.4.7(2)

主要构件的焊接系数表　　表 **1.4.4.8**

T 型构件面板的剖面积 A(cm^2)	位置①	液舱内		干货舱内	
		腹板对面板	腹板对平列板	腹板对面板	腹板对平列板
		w_τ	w_τ	w_τ	w_τ
A≤30	端部	0.21	0.27	0.21	0.21
	其余区域	0.10	0.16	0.10	0.13
30＜A≤65	端部	0.21	0.34	0.21	0.21
	其余区域	0.13	0.27	0.13	0.16
65＜A≤95	端部	0.34	0.44③	0.21	0.27
	其余区域	0.27②	0.34	0.16	0.21
95＜A≤130	端部	0.34	0.44③	0.27	0.34
	其余区域	0.27②	0.34	0.21	0.27
A＞130	端部	0.44	0.44③	0.34	0.44③
	其余区域	0.34	0.34	0.27	0.34

注：① 表中“端部”加大焊接系数的焊缝长度应为每端 0.2 倍构件的长度，从构件端部(包括端肘板)量起，但至少应超过肘板的趾端。垂直桁材腹板上端的焊接系数可不必加大，但下端加大焊接系数的焊缝长度，则应扩大到 0.3 倍构件的长度。“构件长度”是指构件(包括端部肘板)的总长度。

② 在油船的货油舱内的构件，其焊接系数应为 0.34。角焊缝最终焊喉厚度应不小于 $0.34t_p$，t_p 见本节 1.4.4.2(1)。

③ 当“T”型构件腹板局部增厚时，其焊喉厚度由 $0.44t_p$，或 $0.34t_c$ 来决定，取其大者，其中 t_p 见本节 1.4.4.2(1)，t_c 为增厚板厚度。

④ 船长超过 120m 的油船，其底部横向构件与外底板的焊接系数，舷侧横向构件与外板的焊接系数，以及纵横向舱壁上的垂直桁材在深度一半以下的桁材与壁板的焊接系数，均应不小于 0.34。

1.4.4.9　主要构件的端部连接焊缝面积应不小于构件的横剖面面积，且焊接系数应不小于 0.34(液舱内)或 0.27(在其他处所)。

1.4.4.10　当纵向强力构件在支持点处被切断，且强力构件的连续性系由肘板提供时，其焊缝面积 A_w 应不小于强力构件的横剖面面积。

1.4.4.11　当次要构件贯穿主要构件，并由主要构件的腹板支持时，其连接焊缝应符合下列要求：

(1) 焊缝面积 A_w 应不小于 $0.5\sqrt{W}$，且焊接系数应不小于 0.34(液舱内)或 0.27(干货舱内)，其中 W 为次要构件的剖面模数(cm^3)；

(2) 在油船的油舱内：焊缝尺寸应较本条(1)增大 20%。

1.4.4.12 次要构件端部连接的角焊缝应符合表 1.4.4.12 的规定，如表中有 2 个数值时，取其较大值。

次要构件端部连接的焊接系数 **表 1.4.4.12**

构件连接	焊缝面积 A_w (cm^2)	焊接系数 w_τ
1、骨材直接焊于甲板、外板、舱壁板等	$0.25A_s$ 或 6.5	0.34
2、骨材与肘板连接或其与肘板的搭接 (1) 在干舱内 (2) 在液舱内 (3) 在船首 0.15L 区域内主肋骨与舭肘板的连接		 0.27 0.34 0.34
3、肘板与骨材面板连接和肘板与外板、甲板、舱壁板等的连接	—	0.34
4、骨材端部不以焊接固定时，骨材端部与板的连接为 0.1 倍骨材跨距范围	—	0.34

注：① 表中 A_s——扶强材的横剖面面积， cm^2；

A_w——焊缝面积(cm^2) = 焊缝总长(cm)×焊喉厚度(cm)。

1.4.4.13 在甲板室的干舱内可接受单面连续角接焊。采用单面连续角接焊时，角焊缝的焊脚高度 K 为 1.4.4.2 计算值的 2 倍，此处的 d/l 取 1。

第 5 节 结构强度直接计算

1.5.1 一般要求

1.5.1.1 当本篇有专门要求时；或者采用新颖的结构形式；或者结构的布置、船舶尺度超出本规范规定时应进行结构强度直接计算。

1.5.1.2 除另有规定外，本节一般适用于本篇要求的舱段与整船有限元结构强度直接计算。

1.5.1.3 直接计算所考虑的装载工况应包括船舶设计中最为严重的装载工况。

1.5.1.4 有限元模型结构尺寸应采用船舶建造厚度，不考虑船东附加厚度。

1.5.1.5 除另有规定外，直接计算不能降低本篇所要求的结构尺寸。

1.5.1.6 直接计算可采用适用的通用程序，如使用非通用程序时，送审单位还应提供所采用的计算机程序可靠性说明的文件。

1.5.1.7 航区系数 f_r 应按下述要求确定：

$f_r = 1.0$，远海航区；

$f_r = 0.9$，近海航区；

$f_r = 0.85$，沿海航区；

$f_r = 0.8$，遮蔽航区。

1.5.1.8 应提交下列资料：

(1) 所用图纸清单；

(2) 所用的有限元计算程序说明；

(3) 结构有限元模型的详细说明；

(4) 模型中结构构件属性与材料特性说明；

(5) 边界条件的详细说明；

(6) 装载工况的详细说明；

(7) 所施加的载荷的详细说明；

(8) 总体和局部变形图；

(9) 屈服强度评估结果；
(10) 屈曲强度评估结果；
(11) 表明结构是否满足设计衡准的结果列表。

1.5.1.9 定义

(1) 坐标系统取右手坐标系，见图 1.5.1.9，即：
① x 方向为船体的纵向，向船首方向为正；
② y 方向为船体的横向，向左舷为正；
③ z 方向为船体的垂向，向上为正。

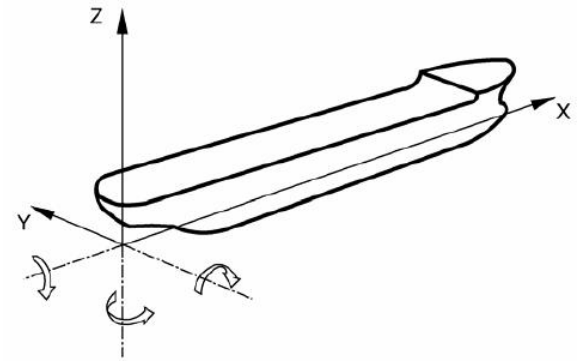


图 1.5.1.9 坐标系

(2) 相当应力(von Mises 应力)σ_e，应按下式计算：

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：σ_x——单元 x 方向的应力，N/mm²；
σ_y——单元 y 方向的应力，N/mm²；
τ_{xy}——单元 xy 平面的剪应力，N/mm²。

(3) 剪应力τ，对于主要构件沿腹板深度方向，板单元的平均剪应力可按下式计算：

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\tau_i A_i)}{A_w} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：A_i——第 i 单元的有效剪切面积，mm²；
τ_i——第 i 单元的剪应力，N/mm²；
A_w——实际结构总的有效剪切面积，mm²。

1.5.2 运动和加速度

1.5.2.1 船舶绝对运动和加速度

(1) 横摇周期T_R应按下式计算：

$$T_R = 2\frac{k_r}{\sqrt{GM}} \qquad \text{s}$$

式中：k_r—— 横摇转动半径，m，没有确切数值时，可按下列各式估算：

$k_r = 0.35B$ 油船压载工况
$k_r = 0.25B$ 矿砂船
$k_r = 0.39B$ 其他
其中：B——船宽，m。

GM—— 计算工况下的初稳性高度，没有确切数值时，可按下列各式估算：

$GM = 0.12B$ 对于液货船和散货船
$= 0.07B$ 其他

(2) 最大横摇角φ_m应按下式计算，但不必大于 0.523 rad：

$$\varphi_m = f_r k \frac{62.5 - 1.25T_R}{B + 75} \quad \text{rad}$$

式中：T_R——按本条(1)计算；

B——船宽，m

f_r——航区系数，见本节 1.5.1.7；

k——系数，应按下列各式取值：

k=1.2　　对于无舭龙骨的船舶

k=1.0　　对于有舭龙骨的船舶

k=0.8　　对于有主动式减摇装置的船舶

(3) 纵摇周期T_P应按下式计算：

$$T_P = 1.80\sqrt{\frac{L}{10}} \quad \text{s}$$

式中：L—— 船长，m。

(4) 最大纵摇角ψ_m应按下式计算，但不必大于 0.14 rad：

$$\psi_m = 0.25\frac{a_0}{C_b} \quad \text{rad}$$

式中：C_b—— 方形系数；

a_0—— 加速度系数，应按下式计算：

$$a_0 = f_r(3\frac{C}{L} + C_V\frac{V}{\sqrt{L}})$$

其中：f_r——航区系数，见本节 1.5.1.7；

$C_V = \frac{\sqrt{L}}{50}$，取不大于 0.2；

V——最大服务航速，kn；

C——系数，见本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1；

L——船长，m。

1.5.2.2 船舶相对运动和加速度

(1) 纵荡加速度a_x应按下式计算：

$$a_x = 2a_0\sqrt{C_b} \quad \text{m/s}^2$$

式中：C_b——方形系数；

a_0——见本节 1.5.2.1(4)。

(2) 横荡加速度a_y应按下式计算：

$$a_y = 3a_0 \quad \text{m/s}^2$$

式中：a_0——见本节 1.5.2.1(4)。

(3) 升沉加速度a_z应按下式计算：

$$a_z = 7\frac{a_0}{\sqrt{C_b}} \quad \text{m/s}^2$$

式中：C_b——方形系数；

a_0——见本节 1.5.2.1(4)。

(4) 横摇角加速度a_r应按下式计算：

$$a_r = \varphi_m\left(\frac{6.28}{T_R}\right)^2 \quad \text{rad/s}^2$$

式中：T_R —— 横摇周期，s，按本节 1.5.2.1(1)计算；

φ_m —— 最大横摇角，rad，按本节 1.5.2.1(2)计算。

(5) 纵摇角加速度 a_p 应按下式计算：

$$a_p = \psi_m \left(\frac{6.28}{T_p} \right)^2 \qquad \text{rad/s}^2$$

式中：T_p —— 纵摇周期，s，按本节 1.5.2.1(3)计算；

ψ_m —— 最大纵摇角，rad，按本节 1.5.2.1(4)计算。

(6) 横向合成加速度 a_t 应按下式计算：

$$a_t = \sqrt{a_y^2 + \left[a_r \left(z - z_{rp} \right) + 10 \sin \varphi_m \right]^2} \qquad \text{m/s}^2$$

式中：a_y —— 横荡加速度，见本条(2)；

a_r —— 横摇角加速度，见本条(4)；

φ_m —— 最大横摇角，见本节 1.5.2.1(2)；

z —— 计算点至基线的垂向距离，m ；

z_{rp} —— 横摇转动轴和纵摇转动轴到基线的垂直距离，应按下列两式计算，取小者：

$$z_{rp1} = \frac{D}{4} + \frac{d_1}{2} \qquad \text{m}$$

$$z_{rp2} = \frac{D}{2} \qquad \text{m}$$

其中：D ——型深，m；

d_1 ——计算工况下的吃水，m。

(7) 纵向合成加速度 a_l 应按下式计算：

$$a_l = \sqrt{a_x^2 + \left[a_p \left(z\text{-}z_{rp} \right) + 10 \sin \psi_m \right]^2} \qquad \text{m/s}^2$$

式中：z_{rp} 、 z ——见本条(6)；

a_x ——纵荡加速度，见本条(1)；

a_p ——纵摇角加速度，见本条(5)；

ψ_m ——最大纵摇角，rad，按本节 1.5.2.1(4)计算。

(8) 垂向合成加速度 a_v 应按下列两式计算，取大者：

$$a_{v1} = \sqrt{a_z^2 + a_r^2 y^2} \qquad \text{m/s}^2$$

$$a_{v2} = \sqrt{a_z^2 + a_p^2 \left(x\text{-}0.45L \right)^2} \qquad \text{m/s}^2$$

式中：a_z —— 升沉加速度，见本条(3)；

a_r —— 横摇角加速度，见本条(4)；

a_p —— 纵摇角加速度，见本条(5)；

x —— 计算点至尾垂线的纵向距离，m；

y —— 计算点至纵中剖面的横向距离，m；

L —— 船长，m。

1.5.3 舷外水压力

1.5.3.1 舷外水压力包括海水静压力和海水动压力。

1.5.3.2 海水静压力 p_{hs} 应按下式计算：

$$p_{hs} = \rho_w g \left(d_1 - z \right) \qquad \text{kN/m}^2, \qquad \text{当载荷计算点位于水线面以下时}$$

$= 0$ kN/m²， 当载荷计算点位于水线面以上时

式中：ρ_w——海水密度，取 1.025 t/m³；

d_1——计算工况下的吃水，m；

z——计算点至基线的垂向距离，m。

1.5.3.3 海水动压力

(1) 舷侧水线处的海水动压力 p_{WL} 应按下式计算：

$$p_{WL} = f_r\left(2B^{0.66} + 3CC_b + 0.4d_1\right) \quad \text{kN/m}^2$$

式中：f_r——航区系数，见本节 1.5.1.7；

B——船宽，m；

C_b——方形系数；

d_1——计算工况下的吃水，m。

C——系数，见本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1。

(2) 船底边缘处(舭部)的海水动压力 p_{BS} 应按下式计算：

$$p_{BS} = p_{WL} - 1.2d_1 \quad \text{kN/m}^2$$

式中：p_{WL}、d_1——见本条(1)。

(3) 船底中纵剖面处的海水动压力 p_{BC} 应按下式计算：

$$p_{BC} = 0.5\left(p_{WL} - 1.2d_1\right) \quad \text{kN/m}^2$$

式中：p_{WL}、d_1——见本条(1)。

(4) 水线面以下任意点的海水动压力 p_{hd} 应按下式计算：

$$p_{hd} = p_{WL} + \left(p_{BS} - p_{WL}\right)\left(1 - \frac{z}{d_1}\right) + \left(p_{BC} - p_{BS}\right)\left(1 - \frac{2y}{B}\right) \quad \text{kN/m}^2$$

式中：p_{WL}——按本条(1)计算；

p_{BS}——按本条(2)计算；

p_{BC}——按本条(3)计算；

B——船宽，m；

d_1——计算工况下的吃水，m；

y——计算点至纵中剖面的横向距离，m；

z——计算点至基线的垂向距离，m。

(5) 水线面以上舷侧外板上任意点的海水动压力 p_{hd} 应按下式计算：

$$p_{hd} = p_{WL} - 10\left(z - d_1\right) \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{当 } d_1 < z \leqslant d_1 + \frac{p_{WL}}{10} \text{ 时}$$

$$p_{hd} = 0 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{当 } d_1 + \frac{p_{WL}}{10} < z \text{ 时}$$

式中：p_{WL}——按本条(1)计算；

d_1——计算工况下的吃水，m；

z——计算点至基线的垂向距离，m。

(6) 露天甲板的上浪载荷 p_{wdk} 应按下式计算，且不小于零：

$$p_{wdk} = p_{WL} - 10\left(z_{dk} - d_1\right) \quad \text{kN/m}^2$$

式中：p_{WL}——按本条(1)计算；

d_1——计算工况下的吃水，m；

z_{dk}——露天甲板至基线的垂向距离，m。

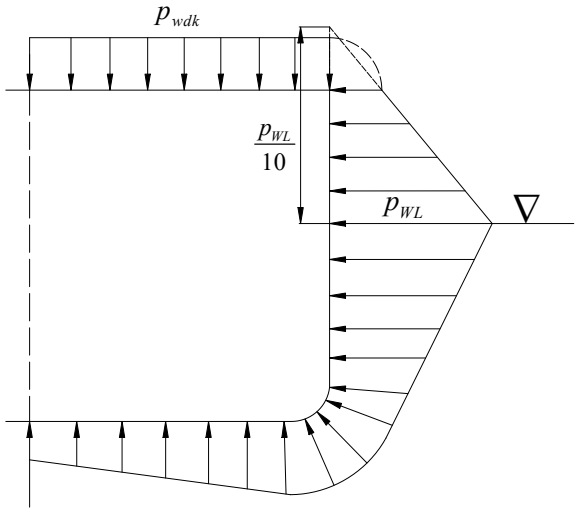


图 1.5.3.3　舷外海水动压力

1.5.4　干散货压力

1.5.4.1　干散货引起的压力应按本节 1.5.4.2 和 1.5.4.3 计算。

1.5.4.2　干散货上表面应按下述要求确定：

(1)　对棱柱形货舱，当干散货装载至舱口围板顶部时，货物上表面应按货舱范围内相同货物体积等效确定。等效货物水平表面在内底以上 h_C 处，如图 1.5.4.2(1)所示，应按下式计算：

$$h_C = h_{HPU} + h_0 \qquad \text{m}$$

式中：h_{HPU} ——从内底至顶边舱与舷侧外板或内壳板下交点的垂直距离，m，见图 1.5.4.2(1)；

h_0 ——从顶边舱与舷侧外板或内壳下交点至等效货物水平面的垂直距离，$h_0 = \frac{S_A}{B_H}$，m；

$$S_A = S_0 + \frac{V_{HC}}{l_H}$$

S_0 ——从顶边舱与舷侧外板或内壳板下交点至上甲板水平面的阴影面积，m^2，见图 1.5.4.2(1)；

V_{HC} ——由甲板至围板顶部范围内舱口围板所包围的容积，m^3；

l_H ——货舱长度，m；

B_H ——货舱的平均宽度，m。

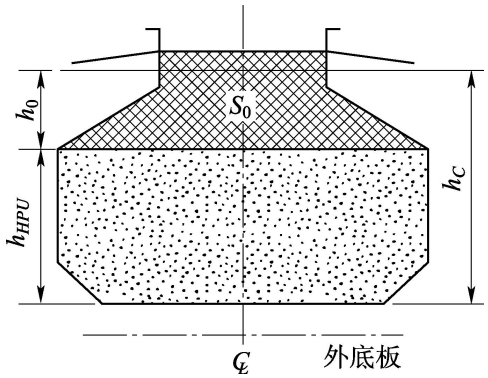


图 1.5.4.2（1）　h_C 、 h_0 、 h_{HPU} 和 S_0 的定义

(2)　对棱柱形货舱，当干散货未装载至上甲板时，假定干散货上表面沿船体横向为抛物面，沿货舱长度方向的各横剖面形状相同，如图 1.5.4.2(2)所示。货物上表面形状的各参

数根据货舱内的货物体积（取 M/ρ_C ）确定，应按下列各式计算：

$$h_C = h_y + h_2 + h_{HPL} \quad \text{m} \quad \text{当} h_2 \geqslant 0 \text{时}$$

$$h_C = h_y + h_{22} \quad \text{m} \quad \text{当} |y| \leqslant \frac{B_2}{2} \text{且} h_2 < 0 \text{时}$$

$$h_C = 0 \quad \text{m} \quad \text{当} |y| > \frac{B_2}{2} \text{且} h_2 < 0 \text{时}$$

式中：h_2——距离，m，见图 1.5.4.2(2)，应按下式计算：

$$h_2 = \frac{M}{\rho_C B_H l_H} - \frac{B_H + B_{IB}}{2B_H} h_{HPL} - \frac{B_H}{6}\tan\delta + \frac{V_{TS}}{B_H \cdot l_H}$$

h_y——距离，m，见图 1.5.4.2(2)，应按下列各式计算：

$$h_y = h_1(1 - \frac{4y^2}{B_H^2}) \quad \text{当} h_2 \geqslant 0 \text{时}$$

$$h_y = h_1(1 - \frac{4y^2}{B_2^2}) \quad \text{当} h_2 < 0 \text{时}$$

B_2——当 $h_2 < 0$ 时的货物表面宽度，m，见图 1.5.4.2(2)，应按下式计算：

$$B_2 = \sqrt{\frac{\frac{6}{l_H}(\frac{M}{\rho_C} + V_{TS}) + \frac{3B_{IB}^2}{B_H - B_{IB}} h_{HPL}}{\tan\delta + \frac{3h_{HPL}}{B_H - B_{IB}}}}$$

h_{22}——当 $h_2 < 0$ 时的距离，m，见图 1.5.4.2(2)，应按下式计算：

$$h_{22} = h_{HPL}(\frac{B_2 - B_{IB}}{B_H - B_{IB}})$$

h_{HPL}——从内底至底边舱与舷侧外板或内壳上交点的垂直距离，m，见图 1.5.4.2(2)。如无底边舱，h_{HPL} 取 0。

h_1——距离，m，见图 1.5.4.2(2)，应按下列各式计算：

$$h_1 = \frac{B_H}{4}\tan\delta \quad \text{当} h_2 \geqslant 0 \text{时}$$

$$h_1 = \frac{B_2}{4}\tan\delta \quad \text{当} h_2 < 0 \text{时}$$

M——货舱干散货质量，t；

V_{TS}——在货舱长度 l_H 范围内，横舱壁底凳的总体积，m^3。该体积不包括底边舱穿过横舱壁的部分；

B_H、l_H——见本条(1)；

B_{IB}——内底平均宽度，m，见图 1.5.4.2(2)；

ρ_C——干散货密度，t/m^3；

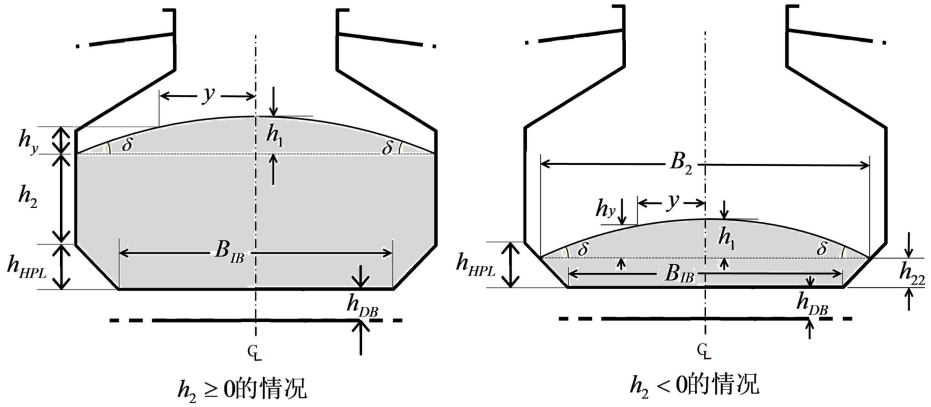
δ——货物的休止角，按下列情况确定：

$\delta = 35^\circ$，　当货物为矿石和煤时

$= 30^\circ$，　当货物为盐、黄砂、石子、谷物时

$= 25^\circ$，　当货物为散装水泥时

y ——计算点距中纵剖面的横向距离，m。



$h_2 \geq 0$的情况　　$h_2 < 0$的情况

图 1.5.4.2（2）　h_y、h_1、h_2、h_{22}和h_{HPL}的定义

(3)　对非棱柱形货舱，干散货上表面可取在上甲板水平面处，密度取 M / V_H，其中 V_H 为货舱容积，不包括舱口围板包围的部分。

1.5.4.3　干散货引起的总压力 p_C 按下式计算，取不小于零：

$$p_C = \rho_C K_C (g + 0.5a_v)(h_C + h_{DB} - z) \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：ρ_C ——干散货密度，t/m³；

a_v ——所考虑货舱形心处的垂向加速度，m/s²，见本节 1.5.2.2(8)；

h_C ——从内底至干散货上表面的垂直距离，m，按本节 1.5.4.2 确定；

h_{DB} ——双层底高度，m；

z ——计算点距基线的垂向距离，m。

K_C ——系数，应按下列各式计算：

$K_C = \cos^2\alpha + \tan^2(45^\circ - 0.5\delta)\sin^2\alpha$，对于内底、底边舱、横舱壁和纵舱壁、底凳、垂直顶凳、内壳和舷侧板；

$K_C = 0$，对于顶边舱，上甲板和倾斜顶凳；

α ——所考虑板与水平面之间的夹角，（°）；

δ ——货物的休止角，（°），见本节 1.5.4.2(2)。

1.5.5　液舱内液体压力

1.5.5.1　液舱内液体产生的侧向压力 p_l 应按下式计算：

$$p_l = \rho g\left(h + 2.5 f_r\right) \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：ρ——液体的质量密度，t/m³，计算时取值应不小于 1.025t/m³；

h——计算点量至液舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

f_r——航区系数，见本节 1.5.1.7。

1.5.6　舱段结构强度直接计算

1.5.6.1　设计载荷应符合下述要求：

(1) 一般应考虑总体载荷与局部载荷，包括垂向弯矩、舷外水压力、货物载荷与液舱液体压力等。

(2) 波浪弯矩 M_w 应按本篇第 2 章第 2 节 2.2.3 计算，并考虑按本节 1.5.1.7 的航区系数，取 f_rM_w。

1.5.6.2 模型范围应符合下述要求：

(1) 纵向范围一般应至少覆盖船中货舱区的 1/2 个货舱+1 个货舱+1/2 个货舱长度。

(2) 通常，主要构件和设计载荷对称于纵中剖面时，可以仅模型化船体结构的右舷(或左舷)。当舱段结构或载荷不对称于纵中剖面时，应采用全宽模型。

(3) 垂向范围应取主船体范围内的所有构件，包括主甲板上的所有主要构件。

1.5.6.3 单元选取应符合下述原则：

(1) 一般来说，船体的内外壳板与强框架、纵桁、肋板、平面舱壁桁材、肋骨等的高腹板以及槽型舱壁和壁凳用板单元模拟。在高应力区和高应力变化区应尽可能避免使用三角形单元，如减轻孔、人孔、舱壁与壁凳连接处、邻近折角或结构不连续处。

(2) 对于承受水压力或货物压力的各类板上的扶强材用梁单元模拟，并考虑偏心的影响；纵桁、肋板上加强筋、肋骨和肘板等主要构件的面板和加强筋可用杆单元模拟。

1.5.6.4 网格划分应符合下述原则：

(1) 在横向或垂向按纵骨间距或类似的间距划分，纵向按肋骨间距或类似的间距大小划分，舷侧也参照该尺寸划分，网格形状应尽量接近正方形。

(2) 船底纵桁和肋板在腹板高度方向应不少于 3 个单元。底边舱与顶边舱强框架在腹板高度方向应不少于 2 个单元。

(3) 一般来说，槽型舱壁每一翼板和腹板至少应划分为一个板单元；在槽型舱壁下端接近底凳处的板单元和凳板的邻近单元，其长宽比应接近 1。

(4) 板单元的长宽比通常应不超过 3，槽型舱壁板单元的长宽比应不超过 2。模型中应尽可能减少使用三角形板单元；在可能产生高应力或高应力梯度的区域内，板单元的长宽比应尽可能接近 1，并应避免使用三角形单元。

(5) 当采用详细应力分析时，网格细化建模应尽可能模拟结构的真实几何形状和结构细节，以准确反映细化节点的真实结构响应。

1.5.6.5 应对舱段模型纵向范围内中部货舱(含舱壁)内的所有主要构件进行强度评估。

1.5.6.6 当主要构件的开孔影响到构件的应力分布或刚度时，可按下述方法处理：

(1) 对于主要构件腹板开孔，如减轻孔、人孔等，应按本节表 1.5.6.6 的规定模拟。

主要构件腹板开孔模拟 **表 1.5.6.6**

$h_0/h<0.35$ 且 $g_0<1.2$	开孔无须建模
$0.35\leqslant h_0/h<0.5$ 且 $g_0<1.2$	等效板厚为 $t_1=\dfrac{h-h_0}{h}t_w$
$h_0/h<0.5$ 且 $1.2\leqslant g_0<2$	等效板厚为 $t_2=\dfrac{h-h_0}{hg_0}t_w$
$h_0/h\geqslant 0.5$ 或 $g_0\geqslant 2$	按开孔的几何形状建模，也可通过移除开孔处相应的单元进行。

其中：t_w——腹板厚度；

l_0——垂直于主要构件腹板高度方向的开孔长度，见图 1.5.6.6(1)；如连续开孔之间的距离 $d_0<0.25h$，l_0 应取跨越连续开孔的长度值，见图 1.5.6.6(2)；

h_0——平行于主要构件腹板高度方向的开口高度，见图 1.5.6.6(1)；

h——开孔处的主要构件腹板高度，见图 1.5.6.6(1)；

$g_0=1+\dfrac{l_0^2}{2.6\left(h-h_0\right)^2}$。

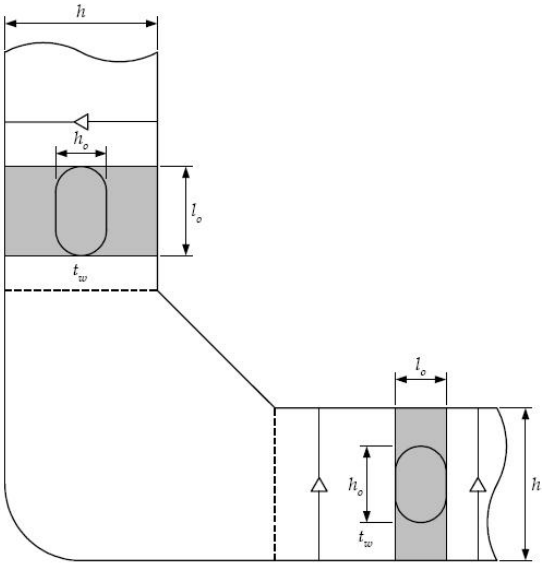


图 1.5.6.6(1)　腹板开孔

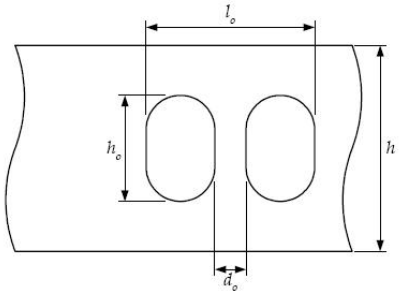


图 1.5.6.6(2)　连续开孔之间的距离 d_0<0.25h 时的 l_0 长度

(2)　当采用详细应力分析时，开孔四周的最内两圈单元网格大小应不大于 50mm×50mm，网格划分应保证从细化区域向粗网格区域的平稳过渡。直接与开孔边缘焊接的加强筋应以板单元模拟；位于开孔附近距离边缘 50mm 以外的腹板加强筋可以杆或梁单元模拟；如图 1.5.6.6(3)所示。许用应力为：

$$[\sigma_e] = 1.6 \times 235 / K \quad \text{N/mm}^2$$

式中：K——材料系数。

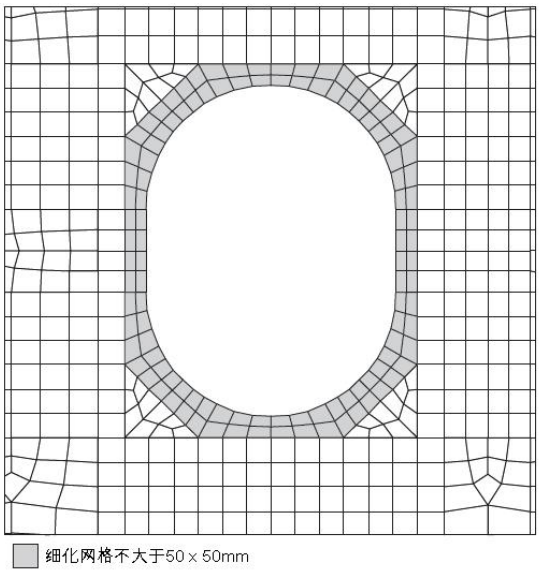


图 1.5.6.6(3)　腹板开孔细化

1.5.7 整船结构强度直接计算方法

1.5.7.1 整船结构强度直接计算的流程见图1.5.7.1。

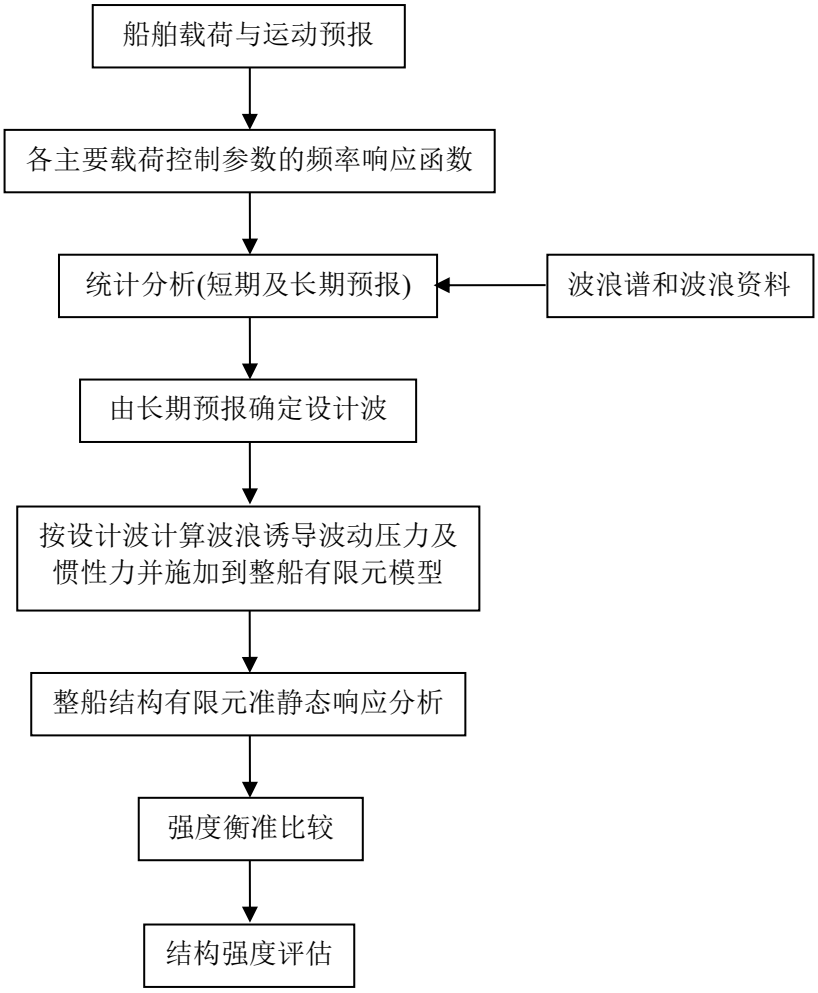


图 1.5.7.1 整船结构强度直接计算流程图

1.5.7.2 波浪载荷应采用等效设计波方法确定，并符合下述要求：

(1) 船舶运动与波浪载荷应基于二维线性切片理论、三维线性理论(考虑非线性修正)或非线性波浪理论计算；

(2) 计算设计波下的船舶运动和波浪载荷响应输入参数按下列规定：

① 所取的波浪频率(波长)数应不少于 20 个，波浪频率范围应按波长与船长比(λ/L)范围的 0.2~3 选取，步长取 0.1；

② 计算所取浪向角不应少于 7 个，包括 0º(顶浪)、30º、60º、90º、120º、150º、180º(随浪)；

③ 计算航速取零。

1.5.7.3 应按以下要求进行统计分析：

(1) 船舶在不规则波上的运动和波浪载荷响应及其短期和长期预报计算采用 P-M 波浪谱：

$$S(\omega, H_{1/3}, T_2, \theta) = \begin{cases} \dfrac{2}{\pi} 124 H_{1/3}^2 T_2^{-4} \omega^{-5} \exp\left(-\dfrac{496}{T_2^4 \omega^4}\right) \cos^2\theta, & |\theta| \le \dfrac{\pi}{2} \\ 0, & \theta\text{为其他值} \end{cases}$$

式中：ω——波浪圆频率，rad/s；

$H_{1/3}$——有义波高，m；

T_2——波浪跨零周期，s；

$\dfrac{2}{\pi}\cos^2\theta$——能量扩散函数；

θ——组合波与主浪向之间的夹角，rad。

(2) 计算中所取的波浪散布图为船舶航行海区中最恶劣的波浪散布图。

1.5.7.4 设计波应按以下要求计算：

(1) 设计波参数的定义见图 1.5.7.4(1)：

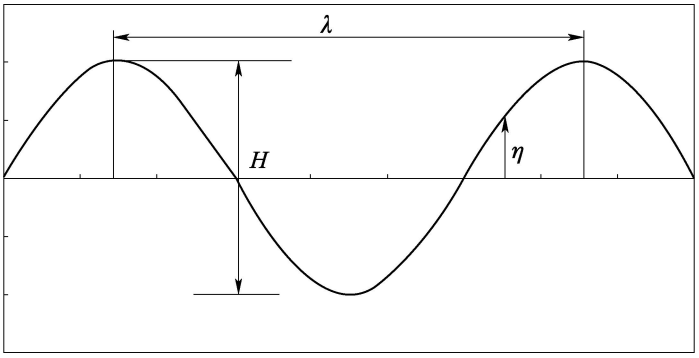


图 1.5.7.4(1) 设计波参数

图中：λ——波长，相邻两个波峰间的最小距离，m；

H——波高，波峰到波谷间的最小距离，m；

η——波面，为正弦方程。

(2) 长期预报值的概率水平应根据主要载荷控制参数进行选取。

(3) 计算出主要载荷控制参数在规则波不同航向角下的频率响应函数曲线，如图1.5.7.4(2)。

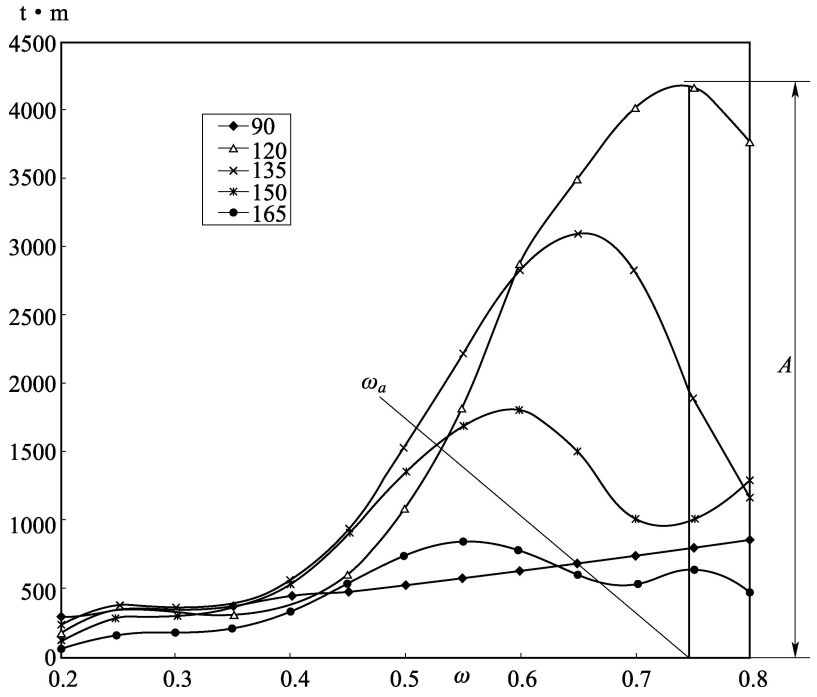


图 1.5.7.4(2) 频率响应函数示意图

(4) 根据频率响应函数确定主要载荷控制参数达到极值的波浪频率ω_a。

(5) 设计波波长按下式计算：

$$\lambda = (2\pi g) / \omega_a^2$$

式中：λ——设计波波长，m；

g——重力加速度；

ω_a——主要载荷控制参数极值对应的波浪频率，rad/s，由本条(4)确定。

(6) 设计波波幅用下式进行计算：

$$a_w = \frac{L_j}{A_j}$$

式中：a_w——设计波波幅；

A_j——主要载荷控制参数的极值；

L_j——主要载荷控制参数的长期预报值，概率水平按本条(2)取；

j——主要载荷控制参数编号。

(7) 主要载荷参数达到极值的时刻t_j按下式确定：

$$t_j = (n\pi + \pi / 2 - \varepsilon_j) / \omega_a$$

式中：ω_a——主要载荷控制参数极值对应的波浪频率，rad/s，由本条(4)确定；

ε_j——主要载荷控制参数极值对应的相位角，rad；

j——同本条(6)；

n——0或1。

(8) 设计波下的波浪压力及其他载荷分量用下式计算：

$$P_i = A_i a_w \sin(\omega_a t_j + \varepsilon_i)$$

式中：P_i——船体任意计算位置的波浪压力或其他载荷分量值；

A_i——波浪压力或其他载荷分量P_i频率响应函数的幅值；

ε_i——波浪压力或其他载荷分量值P_i对应的相位；

t_j——主要载荷参数达到极值的时刻，根据本条(7)确定。

1.5.7.5　载荷分量及其施加：

(1)　空船质量通过调整各部分的材料密度来模拟钢料、舾装和小的设备的质量。大的设备、压载水采用质量单元来模拟，质量单元可建在相应的结构上，也可通过虚拟结构和实际结构进行连接；

(2)　舱内及甲板上的货物质量，采用适当的质量单元进行模拟；

(3)　静水压力应按计算工况的吃水，作用在船体外部湿表面上；

(4)　波浪压力应按等效设计波方法进行计算，作用在船体外部湿表面上；

(5)　惯性载荷应基于按等效设计波方法计算所得的惯性加速度，作用在整个模型上。

1.5.7.6　整船质量模型应与船舶静水浮态相匹配。总重力与总浮力的误差不大于0.0001Δ，其中Δ为相应吃水时的型排水量，t；质心与浮心的纵坐标误差不大于0.0025L，其中L为船长，m；横坐标误差不大于0.0001B，其中B为船宽，m。

1.5.8　屈服强度评估

1.5.8.1　构件的应力应不超过相关的许用应力衡准。

1.5.8.2　板单元应力应采用膜应力，即弯曲板单元的中面应力。

1.5.8.3　对于槽型舱壁，槽型端部的应力可以通过舱壁板内的平均应力外推得到。

1.5.8.4　对于应力集中和形状很差的单元应力可不考虑。

1.5.9　屈曲强度评估

1.5.9.1　板格的屈曲安全因子λ应不小于相关的最小屈曲安全因子。

1.5.9.2　应对所有主要构件进行平板屈曲强度评估，屈曲评估中临界屈曲应力应考虑适当的标准减薄厚度。

1.5.9.3　在屈曲强度计算中应考虑双轴向压应力和剪应力，且应使用板的中面应力来进行屈曲强度评估。

1.5.9.4　临界屈曲应力与弹塑性修正

(1)　短边受压板格弹性临界屈曲应力σ_{xcr_e}为：

$$\sigma_{xcr_e} = k_x C_1 \frac{\pi^2 E}{12(1-v^2)}\left(\frac{t}{s}\right)^2 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：k_x——短边受压及弯曲屈曲系数，按表1.5.9.4(1)计算；

C_1——边界约束系数，见表1.5.9.4(2)；

t　——板格厚度，mm；

s　——板格的短边长度，mm，取扶强材间距；

E　——材料弹性模量，N/mm^2；

v　——材料泊松比。对钢材，v = 0.3；

x　——板格长边方向。

(2)　长边受压板格弹性临界屈曲应力σ_{ycr_e}为：

$$\sigma_{ycr_e} = k_y C_2 \frac{\pi^2 E}{12(1-v^2)}\left(\frac{t}{s}\right)^2 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：k_y——长边受压及弯曲屈曲系数，按表1.5.9.4(1)计算；

C_2——边界约束系数，见表1.5.9.4(2)；

y　——板格短边方向；

其余符号同本条(1)。

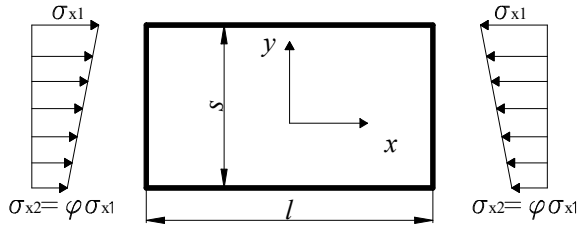
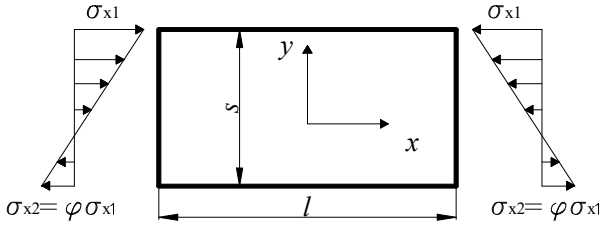
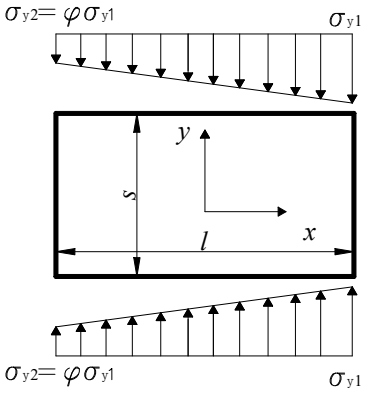
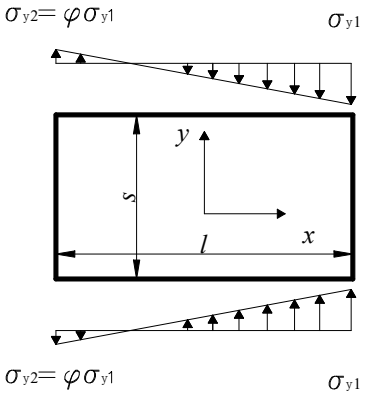
(3)　受剪切板格弹性临界屈曲应力τ_{cr_e}为：

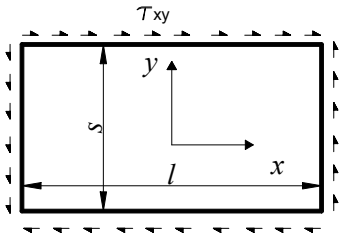
$$\tau_{cr_e} = k_t C_1 \frac{\pi^2 E}{12(1-v^2)}\left(\frac{t}{s}\right)^2 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：k_t——剪切屈曲系数，按表 1.5.9.4(1)计算；

其余符号同本条(1)、(2)。

板格屈曲系数 **表 1.5.9.4(1)**

屈曲载荷工况		屈曲系数
短边受压	 其中：$0 \leqslant \varphi \leqslant 1$	$k_x = \dfrac{8.4}{\varphi + 1.1}$
	 其中：$-1 \leqslant \varphi < 0$	$k_x = 7.6 - 6.4\varphi + 10\varphi^2$
长边受压	 其中：$0 \leqslant \varphi \leqslant 1$	$k_y = \left[1 + \left(\dfrac{s}{l}\right)^2\right]^2 \dfrac{2.1}{\varphi + 1.1}$
	 其中：$-1 \leqslant \varphi < 0$	$k_y = 1.909(1+\varphi)\left[1 + \left(\dfrac{s}{l}\right)^2\right]^2 - k_p\varphi$ $+10\varphi(1+\varphi)\left(\dfrac{s}{l}\right)^2$ 其中： $k_p = \begin{cases} 24\left(\dfrac{s}{l}\right)^2 & \dfrac{l}{s} \leqslant \dfrac{3}{2} \\ 2 + 16\left(\dfrac{s}{l}\right)^2 + 8\left(\dfrac{s}{l}\right)^4 & \dfrac{l}{s} > \dfrac{3}{2} \end{cases}$

屈曲载荷工况		屈曲系数
边缘受剪		$k_t = 5.34 + 4\left(\frac{s}{l}\right)^2$

板格边界约束系数 C_1、C_2 **表 1.5.9.4(2)**

边界情况	C_1	C_2	
		位于双层底或双壳之间	其他位置
角钢或 T 型扶强材	1.1	1.3	1.2
扁钢或球扁钢	1.0	1.2	1.1

1.5.9.5 应对板格的弹性临界屈曲应力进行修正，弹塑性修正公式如下：

$$\sigma_{\substack{xcr\\(ycr)}} = \begin{cases} \sigma_{\substack{xcr_e\\(ycr_e)}} & \sigma_{\substack{xcr_e\\(ycr_e)}} \text{当} \dfrac{R_{eH}}{2} \\ R_{eH}\left(1 - \dfrac{R_{eH}}{4\sigma_{\substack{xcr_e\\(ycr_e)}}}\right) & \sigma_{\substack{xcr_e\\(ycr_e)}} \text{当} \dfrac{R_{eH}}{2} \end{cases}$$

$$\tau_{cr} = \begin{cases} \tau_{cr_e} & \tau_{cr_e} \text{当} \dfrac{\tau_s}{2} \\ \tau_s\left(1 - \dfrac{\tau_s}{4\tau_{cr_e}}\right) & \tau_{cr_e} \text{当} \dfrac{\tau_s}{2} \end{cases}$$

式中：σ_{xcr_e}、σ_{ycr_e}、τ_{cr_e} —— 分别为板格在单轴应力作用下的 x 轴、y 轴的弹性临界屈曲压应力和临界屈曲剪应力，见本节 1.5.9.4。

R_{eH} —— 材料的屈服应力，N/mm²；

$\tau_s = \dfrac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$。

1.5.9.6 屈曲强度评估中，屈曲安全因子λ应为板格临界屈曲应力与计算所得的实际压应力之比，见表 1.5.9.6。σ_x、σ_y、τ_{xy} 在计算时取绝对值计入。若 x 轴、y 轴的工作应力为拉应力时，该应力分量取为零。

λ计算值 **表 1.5.9.6**

板格长宽比 / 应力状态	$1 \leqslant \dfrac{l}{s} \leqslant \sqrt{2}$	$\sqrt{2} < \dfrac{l}{s} \leqslant 8$
双向压缩	$\dfrac{1}{(1+k_1)}\dfrac{\sigma_{xcr}}{\sigma_x}$	$\dfrac{1}{(1+k_1^2)}\dfrac{\sigma_{xcr}}{\sigma_x}$
x 轴压缩＋剪切	$\dfrac{1}{\sqrt{(1+k_2^2)}}\dfrac{\sigma_{xcr}}{\sigma_x}$	
y 轴压缩＋剪切	$\dfrac{1}{\sqrt{(1+k_3^2)}}\dfrac{\sigma_{ycr}}{\sigma_y}$	

双向压缩＋剪切	$\dfrac{1}{\sqrt{(1+k_1^2+k_2^2)}}\dfrac{\sigma_{xcr}}{\sigma_x}$

其中：$k_1=\dfrac{\sigma_y/\sigma_{ycr}}{\sigma_x/\sigma_{xcr}}$，$k_2=\dfrac{\tau_{xy}/\tau_{cr}}{\sigma_x/\sigma_{xcr}}$，$k_3=\dfrac{\tau_{xy}/\tau_{cr}}{\sigma_y/\sigma_{ycr}}$

注：① σ_{x1}、σ_{y1} 分别为板格边所受对应 x 轴、y 轴工作应力中的较大值，σ_{x2}、σ_{y2} 为对应的较小值，计算时 σ_x、σ_y 应按板格边中面应力的平均值(取两个对边节点的平均值)计入；τ_{xy} 为平均剪应力。σ_{x1}、σ_{x2}、σ_{y1}、σ_{y2}、τ_{xy} 如本节表 1.5.9.4(1)所示。

② σ_{xcr}、σ_{ycr}、τ_{cr} 分别为板格在单轴应力作用下的 x 轴、y 轴的弹塑性修正后的临界屈曲压应力和临界屈曲剪应力。

第 6 节　结构防腐

1.6.1　一般要求

1.6.1.1　所有船舶均应采取有效的措施以防止船体构件的过分腐蚀。

1.6.1.2　所有以船体外板为界的海水压载舱，应根据涂料商建议涂装有效的保护涂层，如环氧涂料或其他等效的防腐蚀涂料。

1.6.1.3　散货船舱口围板和舱口盖的所有内、外表面和货舱的所有内表面，不包括内底区域和舷侧肋骨下肘板趾端以下大约 300mm 至内底边线的底边舱斜板，均应采用符合涂料制造商推荐的有效的保护涂层（环氧涂层或等效涂层）。在选择涂料时，船东应适当考虑将来营运中预定的装货情况。

1.6.1.4　结构表面在涂刷涂料之前，应按涂料制造厂的工艺要求进行表面处理，并达到相应的清洁度要求。涂层的层数和总的干膜厚度应符合设计的要求。

1.6.1.5　在两种不同金属连接处应采取适当措施以防电化腐蚀。

1.6.1.6　外加电流保护系统不允许在油船液货舱内使用。

1.6.2　底漆或涂料

1.6.2.1　如在建造期内使用车间底漆时，应在钢材表面处理后立即涂车间底漆。底漆的成分应不影响以后的焊缝质量，也不致在以后的焊接工作中产生重大的有害影响，并应与以后使用的结构防腐蚀系统有关的油漆或涂料相适应。底漆应按 CCS 有关的规定进行认可。

1.6.3　液舱牺牲阳极的阴极保护

1.6.3.1　如在装运闪点不超过 60℃液货的液货舱或其邻近的液舱内设置牺牲阳极的阴极保护系统，则应提交一份标明牺牲阳极位置及其固定细节的图纸备查。

1.6.3.2　在确定阴极保护要求时，应计及与这些受保护表面相邻接的无涂料表面（如液舱的附件）的影响。

1.6.3.3　油船铝合金牺牲阳极、镁合金牺牲阳极、锌及锌合金牺牲阳极：

(1)　铝合金牺牲阳极允许在货油舱及其相邻的液舱中使用，但仅限于势能不超过 28 kg•m (200 lb•ft)的部位。阳极的重量应取装配时的重量，包括衬垫和装置设施。

(2)　阳极的高度通常应从液舱底部量至阳极中心，如牺牲阳极位于一个水平构件的上表面（如舱壁桁材和平台），而该水平构件的宽度不小于 1.0m，且有不小于 75mm 向上的折边或面板时，则阳极的高度也可以从该水平构件上表面量起。

(3)　除非有邻近构件的保护外，铝阳极不应设在液舱舱口或清洗口的下面（为了避免任何金属零件落在安装的阳极上）。

(4)　镁合金牺牲阳极不允许在液货舱内和邻近液货舱的液舱内使用。

(5)　锌合金牺牲阳极的使用位置可不受限制。

1.6.3.4　牺牲阳极的安装要求：

(1)　牺牲阳极应根据受保护表面的结构特征合理布置，同时应注意相邻构件和开口的影响。

(2)　牺牲阳极应装有钢芯，钢芯应使阳极耗蚀后仍能保持住阳极，且阳极应有足够的

刚度，以避免与其支座发生共振。

(3) 阳极与结构的连接应可靠。可采用下列的连接方法：

①钢芯以足够尺寸的连续焊与结构连接；

②钢芯用螺栓连接到独立的支座上，每个支座上至少应有 2 只带有锁紧螺母的螺栓；

③其他经认可的机械夹紧装置。

(4) 舱内牺牲阳极不应固定在船壳板上，牺牲阳极的两端点也不应固定在可能发生相对运动的分开的构件上。

(5) 牺牲阳极应固定在扶强材上或与平面舱壁扶强材相对应的位置上。钢芯或支座与构件焊接时，布置应避免焊缝应力提高。当钢芯或支座与不对称扶强材焊接时，应与其腹板连接，且焊缝距腹板边缘的距离至少 25mm；当扶强材或桁材具有对称面板时，则钢芯或支座可连接到腹板或面板的中线，但应避开自由边缘。建议阳极尽可能不装在高强度钢纵骨的面板上。

1.6.4 船体外部保护

1.6.4.1 舷侧外板，特别是轻、重载重水线之间的舷侧外板，以及露天甲板和舱口盖，均应提供适当的防腐措施。

1.6.4.2 如设有外加电流阴极保护系统时，应提交显示有关阳极布置、参比电极、线路图以及与舵、螺旋桨的连接方法的图纸或资料。

1.6.4.3 对电缆穿过船壳板的密封装置的布置，应使其包围在一个小的隔离空间内。电缆不应通过货物或者燃料闪点不超过 60℃的舱室，当电缆通过这些舱室的隔离空舱时，应将它们封闭在厚度不小于 10mm 的坚实钢管内。

1.6.4.4 对于拟用水下检验代替坞内检验的船舶，船体水线以下部分应采用高效防腐蚀涂料，该涂料的细则应提交备查。

1.6.5 腐蚀余量

1.6.5.1 除本篇另有规定外，按本篇计算的船体构件尺寸均已包含本条规定的腐蚀余量 t_c。

1.6.5.2 船体构件，包括板材和骨材的腐蚀余量 t_c 应按表 1.6.5.2 确定。

腐蚀余量 t_c **表 1.6.5.2**

厚度 t(mm)	腐蚀余量 t_c (mm)
≤10	1.5
＞10	0.1t+0.5，最大 3.2

1.6.5.3 对于压载舱或液货舱的周界，腐蚀余量应不小于 2.5mm。

1.6.5.4 对于干燥处所(但不包括散货船的装货处所)，其腐蚀余量应为 0.5t_c (t_c 见表 1.6.5.2)，但应不小于 1.0mm。

第 7 节 有限航区船舶

1.7.1 一般要求

1.7.1.1 本节规定适用于在有限航区航行的船舶。

1.7.1.2 本节无规定者，均应符合本篇其他章节的有关要求。

1.7.1.3 有限航区定义见本规范第 1 篇第 1 章第 3 节。

1.7.1.4 航行于有限航区的非高速、主船体为铝合金材质的客船、渡船、交通船、公务船，船体结构应满足 CCS《非高速全铝合金海船结构指南》的要求。

1.7.2 总纵强度

1.7.2.1 按本篇第 2 章第 2 节的要求校核船舶的总纵强度时，船中最小剖面模数 W_o 值可按下述要求减小：

(1) 在近海航区航行的船舶减小 5%；
(2) 在沿海航区航行的船舶减小 10%；
(3) 在遮蔽航区航行的船舶减小 15%。

1.7.2.2 按本篇第 2 章第 2 节或第 7 章第 2 节、第 10 节的要求校核船舶的总纵强度时，波浪弯矩和波浪剪力可按下述要求减小：
(1) 在近海航区航行的船舶减小 10%；
(2) 在沿海航区航行的船舶减小 15%；
(3) 在遮蔽航区航行的船舶减小 20%。

1.7.2.3 按本篇第 13 章、第 14 章要求校核起重船、挖泥船作业工况时的总纵强度时，波浪弯矩和波浪剪力可按下述要求减小：
(1) 在近海航区作业的船舶减小 15%；
(2) 在沿海航区作业的船舶减小 30%；
(3) 在遮蔽航区作业的船舶减小 45%；
(4) 对仅在港内作业的起重船减小 70%。

1.7.3 构件规范尺寸的折减

1.7.3.1 在有限航区内航行的船舶，除本节 1.7.3.2 和 1.7.3.3 规定外，按本篇其他章节要求计算的船体构件尺寸，仅指规范要求的板的厚度、构件的剖面积和剖面模数的计算值，可按下述要求减小：
(1) 在近海航区内航行的船舶减小 5%；
(2) 在沿海航区航行的船舶减小 10%；
(3) 在遮蔽航区内航行的船舶减小 15%。

折减后的构件尺寸应符合本节 1.7.3.4 的要求。

1.7.3.2 船长等于或大于 65m 的船舶，若按本篇第 2 章第 2 节要求取 F_d 和/或 F_b 小于 1，则计算其船中 0.4L 范围内船体外板和甲板厚度时应满足如下要求：
（1）F_d 值小于 1 时，主甲板和舷顶列板不能按 1.7.3.1 的规定减小其厚度值；
（2）F_b 值小于 1 时，船底板和舭列板不能按 1.7.3.1 的规定减小其厚度值；
（3）F_d 值或 F_b 值小于 1 时，舷侧外板不能按 1.7.3.1 的规定减小其厚度值。

1.7.3.3 对下列情况，不能按 1.7.3.1 的规定减小其规范尺寸：最小厚度要求，深舱水密要求，油密要求，冰区加强及船首底部加强要求等所规定的构件尺寸，以及舱壁、承载重货的内底板和内底骨架、载货甲板骨架、车辆甲板、支柱、首尾柱、尾轴架、主机座结构和舵等构件。

1.7.3.4 对于船长小于 65m 的有限航区船舶，其最小板厚应满足如下要求：
(1) 其外板厚度应不小于 5mm；
(2) 强力甲板厚度应不小于 5mm，其他甲板的厚度应不小于 4mm；
(3) 双层底内底板的厚度应不小于 5mm；
(4) 钢质风雨密舱口盖板的厚度应不小于 5mm。

1.7.3.5 船长小于 40m 的船舶，计算横骨架式船底板厚时，肋骨间距 s 可取实船肋骨间距值。

1.7.3.6 平板龙骨的厚度应不小于船底板规范要求厚度计算值加 1.5mm，且不小于相邻船底板的厚度。

1.7.3.7 对航行于沿海航区或遮蔽航区的船舶，可以免除本章 9 节船首甲板装置的要求。

1.7.3.8 航行于沿海航区或遮蔽航区的船舶，可免除本篇第 2 章第 15 节船首底部加强的规定。

1.7.3.9 在沿海航区或遮蔽航区内航行的船长小于 65m 的客船，其第二层及以上不参与船体梁总纵弯曲的上层建筑和甲板室可采用密加筋的铝合金加筋板，对于船长 65m 及以上的客船，其不参与船体梁总纵弯曲的上层建筑和甲板室可特殊考虑。

1.7.3.10 密加筋的铝合金加筋板用于 1.7.3.9 所述的上层建筑和甲板室时，其板厚可按照与本篇第 2 章第 17 节和第 9 章第 2 节的规定强度等效的原则确定，但不小于 5mm。

1.7.4 锚泊设备

1.7.4.1　除起重船、打桩船等工程船舶外，按本篇第 3 章第 2 节要求配备的锚设备，可按下述规定减免：

(1)　除本条(2)规定之外，在沿海航区航行的船舶，其锚泊设备可按舾装数 *N* 降低 1 档选取。船长小于 30m 的交通艇或专线渡船，首锚可仅配 1 只，锚链可配一半的长度；

(2)　在沿海航区航行的耙吸式挖泥船，锚泊设备可按舾装数 *N* 降低 2 档选取；

(3)　在遮蔽航区航行的船舶，锚泊设备可按舾装数 *N* 降低 2 档选取。船长小于 30m 的交通艇或专线渡船，首锚可仅配 1 只，锚链可配一半的长度；

(4)　在具有防波堤的港口水域作业的船舶，其锚泊设备可按舾装数 *N* 之半选取，锚链可配一半的长度。

1.7.4.2　有限航区船舶的首锚可采用超大抓力锚。每只超大抓力锚的质量可为本篇第 3 章表 3.2.1.1(2)中规定的普通无杆首锚质量的 50%。超大抓力锚的质量一般应不超过 1500kg，其要求见 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 10 章第 1 节的规定。

1.7.5　开口及其关闭装置

1.7.5.1　沿海航区和遮蔽航区航行船舶的通风筒，如满足下列要求，则不必装设封闭装置：

对“位置 1”的通风筒，其围板高出甲板以上 4.5m 或要求的其他上层建筑标准高度的 2 倍，取小者；

对“位置 2”的通风筒，其围板高出甲板以上 2.3m 或要求的其他上层建筑标准高度，取小者。

1.7.5.2　航行于遮蔽航区的船舶，按本章第 8 节 1.8.7 要求的开口，其关闭设备超过甲板的高度可按表 1.7.5.2 确定。

遮蔽航区航行船舶开口关闭设备超过甲板的高度　(单位：mm)　　表 1.7.5.2

开口关闭设备项目	封闭上层建筑与甲板室出入口门槛	货舱口围板	其他小舱口围板	露天机舱棚出入口门槛		升降口通道门槛	通风筒围板		空气管
相应条款	1.8.7.1	1.8.7.2（1）	1.8.7.2（1）	1.8.7.3（1）	1.8.7.3（2）&（6）	1.8.7.2（3）	1.8.7.4（6）	1.8.7.4（3）&（4）	1.8.7.5
位置 1	250	450	300	300	外门 300 内门 150	250	超过上一层甲板 1000	450	300
位置 2	100	300	150	150	150	100	1000	300	150

1.7.5.3　仅在港内航行与作业的工程船舶，如不损害其安全作业，经同意，其开口关闭设备超过甲板的高度可以适当降低，但至少应为表 1.7.5.2 中位置 2 规定的要求。

第 8 节　结构布置

1.8.1　一般规定

1.8.1.1　本节规定了船体主要结构的布置的原则要求。

1.8.1.2　除另有说明外，本节适用于机动自航船舶。

1.8.1.3　除本节规定外，还应符合中国政府主管机关的规定。

1.8.1.4　本节中船长 L_{WL} 系指在最深分舱载重线两端的垂线间量得的长度。

1.8.2　水密舱壁的布置

1.8.2.1　所有船舶至少应设有以下水密舱壁：

(1)　一道防撞舱壁；

(2)　一道尾尖舱舱壁；

(3)　机器处所每端一道舱壁。

1.8.3 防撞舱壁的布置

1.8.3.1 客船防撞舱壁的布置应符合下述要求：

(1) 船舶应设有通至舱壁甲板的水密的首尖舱舱壁或防撞舱壁。此舱壁应位于距首垂线不小于船长 L_{WL} 的 5%且不大于 3.0m 加船长 L_{WL} 的 5%处。如船舶水线以下的任何部分自首垂线向前延伸，例如球鼻首，则上述距离应自下列各点之一来量计，取其小者：

① 这类延伸部分的长度中点；

② 首垂线以前船长 L_{WL} 的 1.5%处；

③ 首垂线以前 3m 处。

(2) 当船舶首部设有长的上层建筑时，其首尖舱舱壁或防撞舱壁应风雨密地延伸至舱壁甲板的上一层甲板。此延伸部分不必直接设于下面舱壁之上，但应位于上述(1)规定的限度内(以下(3)除外)，并且形成台阶部分的舱壁甲板应风雨密。

(3) 当设有首门且装货斜坡道形成防撞舱壁在舱壁甲板以上的延伸部分时，高出舱壁甲板 2.3m 的坡道部分可以向前伸展超过上述(1)规定的限度。坡道全长范围内都应风雨密。

1.8.3.2 货船防撞舱壁的布置应符合下述要求：

(1) 船舶应设有通至干舷甲板的水密的防撞舱壁。此舱壁应位于距首垂线不小于船长 L_{WL} 的 5%或 10m 处，取其小者，且除经同意外，不应大于船长 L_{WL} 的 8%。如船舶水线以下的任何部分自首垂线向前延伸，例如球鼻首，则上述规定的距离应自下列各点之一来量计，取小者：

① 这类延伸部分的长度中点；

② 首垂线以前船长 L_{WL} 的 1.5%处；

③ 首垂线以前 3m 处。

(2) 防撞舱壁在上述(1)所指范围内可以具有台阶或凹入。舱壁上不允许开门、人孔、通风管道或任何其他开口。

(3) 当船舶首部设有长的上层建筑时，其防撞舱壁应风雨密延伸至干舷甲板的上一层甲板。此延伸部分不必直接设于下面舱壁之上，但应位于上述(1)规定的限度内(以下(4)除外)，并且形成台阶部分的甲板应风雨密。

(4) 当设有首门且装货斜坡道形成防撞舱壁在干舷甲板以上的延伸部分时，高出干舷甲板 2.3m 的坡道部分可以向前伸展超过上述(1)规定的限度。坡道全长范围内都应风雨密。

(5) 干舷甲板以上防撞舱壁延伸部分的开口数，应在适应船舶设计及正常作业情况下减至最少。所有这类开口应能够风雨密关闭。

1.8.4 尾尖舱及机器处所的舱壁和尾管的布置

1.8.4.1 客船尾尖舱及机器处所的舱壁和尾管的布置应符合下述要求：

(1) 应设置尾尖舱舱壁以及将机器处所与前后客货处所隔开的舱壁，并应水密延伸至舱壁甲板。但只要不降低船舶分舱的安全程度，尾尖舱舱壁在舱壁甲板下方可以形成台阶。

(2) 在所有情况下，尾管应封闭在具有适当容积的水密处所内。尾管填料函压盖应装设于水密轴隧内或与尾管室分开的其他水密处所内，而该处所的容积，应能保证在尾管填料函压盖渗漏而浸水时将不致淹没限界线。

1.8.4.2 货船尾尖舱及机器处所的舱壁和尾管的布置应符合下述要求：

(1) 必须设置将机器处所与前后载货和载客处所隔开的舱壁，此舱壁应作成水密向上延伸至干舷甲板。

(2) 尾管应封闭在具有适当容积的一个(或多个)水密处所内。也可允许采取其他措施，使在尾管受损的情况下向船体内渗水的危险减少到最小程度。

1.8.5 水密舱壁和内部甲板上的开口、围壁通道的布置和水密性

1.8.5.1 水密舱壁上开口的数量，应在适应船舶设计和正常作业的情况下减至最少。这些开口均应设有保证该舱壁水密完整性的设施。

1.8.5.2 水密通风管道及围壁通道在客船上应至少向上延伸到舱壁甲板，在货船上应至少向上延伸到干舷甲板。

1.8.5.3 对客船，凡由船员舱室进入锅炉舱的围壁通道或隧道，及用作装设管子或任何

其他用途的围壁通道或隧道，如穿过水密舱壁，应为水密；在航行中用作通道的每一围壁通道或隧道，至少其一端的出口应通过保持水密到足够高度的围阱，才能由限界线以上处所出入；围壁通道或隧道的另一端出入口可为水密门，其型式按所在位置决定，此类围壁通道或隧道不得通过防撞舱壁之后的第一个分舱舱壁；

1.8.6 舱壁甲板/干舷甲板以下外板上开口和舷墙上排水舷口

1.8.6.1 外板上的开口数量应在适应船舶设计及船舶正常作业情况下减至最少。

1.8.6.2 排水舷口应能迅速排出甲板积水和放尽积水，舷墙上的排水舷口面积应满足以下要求：

(1) 干舷甲板上每个阱内在船舶每侧的最小排水舷口面积(A)应按下式算得。在上层建筑甲板上的每个阱的最小面积应为按下式算得面积的一半：

如阱内舷墙长度 l 为 20 m 或以下：

$$A = 0.7 + 0.035l \qquad \text{m}^2$$

如 l 超过 20 m，$A = 0.07l$，m^2。

在任何情况下，所取之 l 值不必大于 $0.7L_L$。

如果舷墙平均高度大于 1.2m，则所需面积对每 0.1m 高度差，按每米阱长增加 0.004m^2。如果舷墙平均高度小于 0.9m，则所需面积对每 0.1m 高度差，按每米阱长减少 0.004m^2。

(2) 对没有舷弧的船舶，则按(1)算得的面积应增加 50%。如果舷弧小于标准舷弧，此百分数应用线性内插法求得。

(3) 如干舷甲板露天部分的凸形甲板未在其长度一半范围内装设栏杆，或者如在分立的上层建筑之间设有连续或大体连续的舱口侧围板，排水舷口的最小面积应按下表计算：

舱口或凸形甲板的宽度与船舶宽度比值	排水舷口面积与舷墙总面积比值
40%或小于 40% 75%或大于 75%	20% 10%

介于中间宽度比值的排水舷口面积，应用线性内插法求得。

(4) 当船舶干舷甲板上的上层建筑或上层建筑甲板的任一端或两端都是开敞的而由开敞甲板上的舷墙形成阱时，上层建筑内的开敞处所应有适当的排水设施。

(5) 排水舷口的下边缘应尽实际可能接近甲板。所需排水舷口面积的 2/3 应分布在阱内最接近舷弧最低点的二分之一范围内。所需排水舷口面积的三分之一应沿剩下的阱长平均分布。在舷弧为零或舷弧很小的露天干舷甲板或露天上层建筑甲板上，排水舷口面积应沿阱长平均分布。

(6) 舷墙上所有排水舷口，应用间距约为 230 mm 的栏杆或铁条保护。如排水舷口设有盖板，则应有足够空隙以防卡住。铰链的销子或轴承应用耐腐材料制成。盖板不应装设锁紧装置。

1.8.7 其他开口及其关闭装置

1.8.7.1 封闭上层建筑端壁上的出入口应符合下述要求：

(1) 应装设钢质或其他相当材料的门，永久地和牢固地装在端壁上，并应有加强筋加强，使整个结构与完整的端壁具有同等的强度，并在关闭时保持风雨密。

(2) 门均应向外侧开启以增加对海水冲击的保护。

(3) 出入口的门槛高度应高出甲板至少 380mm。

1.8.7.2 货舱口及其他舱口、干舷甲板和上层建筑甲板的各种开口应符合下述要求：

(1) 舱口围板在甲板上的最小高度应：

① 在位置 1 时，为 600mm；和

② 在位置 2 时，为 450mm。

(2) 除本条(1)规定外，处于位置 1 和位置 2 的货舱口和其他舱口的结构及其保持风雨密的方法，还应满足载重线的有关要求。

(3) 干舷甲板和上层建筑甲板的开口应满足以下要求：

① 在“位置 1”或“位置 2”或在非封闭上层建筑内的人孔或平的小舱口，应用能达到水密的坚固罩盖关闭。除使用间隔紧密的螺栓紧固以外，罩盖应永久地附装于开口处。

② 在干舷甲板上，除货舱口及其他舱口、机舱口、人孔与平的小舱口以外的开口，应由封闭的上层建筑或强度相当和风雨密的甲板室、升降口来保护。在露天的上层建筑甲板或在干舷甲板上的甲板室顶部，通往干舷甲板以下的处所或封闭的上层建筑以内的处所的任何开口，应用坚固的甲板室或升降口作保护。在上述甲板室或升降口的通道，应装设符合本节 1.8.7.1 要求的门。

③ 在“位置 1”，升降口通道的门槛在甲板以上的高度至少应为 600mm，在“位置 2”则至少应为 380mm。

1.8.7.3 机舱开口应符合下述要求：

(1) 机舱开口应有钢质舱棚有效地围闭，其出入口应设有风雨密门，门槛高度应至少高出甲板 600mm(位置 1)/ 380mm(位置 2)。舱棚的其他开口应设有永久附装其上的罩盖。

(2) 核定干舷小于基本干舷的船舶，如机舱棚没有其他结构保护，则应装设双道门，且内门门槛高度应为 230mm，外门门槛高度应为 600mm。

(3) 机舱通风筒如围板高度符合本节 1.8.7.4（6）的要求，可不必装设风雨密关闭装置。对须向应急发电机舱连续供风的通风筒，如稳性计算中计入其浮力或视其保护通向下层的开口，则应装设符合本节 1.8.7.4(6)要求高度的围板，而不必装设风雨密关闭装置。

(4) 如机舱和应急发电机舱通风筒围板小于本节 1.8.7.4(6)要求的高度，则应装设风雨密关闭装置。

(5) 机炉舱顶棚开口应装设钢质的或其他相当材料的风雨密罩盖，并永久附设其上。

(6) “A”型船舶的机舱棚应由下列装置之一保护：

① 至少为标准高度的封闭尾楼或桥楼，或

② 同等高度和相当强度的甲板室。

但是，如果没有从干舷甲板直接进入机舱的开口，机舱棚可以是露天的。此时，在机舱棚上可允许装设一扇符合本节 1.8.7.1 要求的门，但该门应通向一个与机舱棚有同样坚固结构的处所或通道，同时又用钢质或其他相当材料的第二扇风雨密门把进入机舱的梯道分开。

1.8.7.4 通风筒应符合下述要求：

(1) 在位置 1 或位置 2，通往干舷甲板或封闭上层建筑甲板以下的处所的通风筒，应设有钢质或其他相当材料的围板，其结构应坚固并与甲板牢固地连接。如通风筒围板的高度大于 900mm 时，则应有专门的支撑。

(2) 通过非封闭的上层建筑的通风筒，应在干舷甲板上设有坚固的钢质或其他相当材料的围板。

(3) 在位置 1，甲板以上的围板高度应不小于 900mm。

(4) 在位置 2，甲板以上的围板高度应不小于 760mm。

(5) 通风筒围板的厚度应按表 1.8.7.4 选取，但不必超过甲板厚度。

通风筒围板厚度 **表 1.8.7.4**

通风筒内径(mm)	围板厚度(mm)
≤200	7.5
250	8.0
300	8.5
350	9.0
400	9.5
≥450	10.0

(6) 在位置 1 的通风筒，其围板高出甲板以上 4.5m，和在位置 2 的通风筒，其围板高出甲板以上 2.3m，均不必装设封闭装置。

(7) 除本条(6)规定外，通风筒的开口应装设有效的风雨密关闭装置。当载重线船长 L_L 不超过 100m 时，关闭装置应永久安装在通风筒围板上；当载重线船长 L_L 大于 100m 时，关闭装置可贮放在所安装的通风筒附近。

1.8.7.5　空气管应符合下述要求：

(1)　空气管除应符合本节规定外，还应符合本规范第 3 篇第 3 章的有关规定。

(2)　压载水舱和其他舱柜的空气管，自甲板至水可能从管口进入下面的那一点的高度，在干舷甲板上应不小于 760mm，在上层建筑甲板上应不小于 450mm。空气管露出甲板部分，其结构应坚固。

(3)　露天甲板上的空气管，其壁厚应至少为：

管子外径 80mm 及以下　　6.0mm

管子外径 165mm 及以上　　8.5mm

中间值可用内插法决定。

(4)　空气管应装设自动关闭装置。

1.8.8　双层底(除液货船外)的布置

1.8.8.1　客船和 500 总吨及以上的货船应设置双层底，且在适应船舶设计及船舶正常作业的情况下，该双层底应尽实际可能自防撞舱壁延伸至尾尖舱舱壁。

1.8.8.2　如需设置双层底，其内底应延伸至船舷两侧，以保护船底至舭部弯曲部位。内底板的任何部分应不低于自龙骨线量起垂直高度不低于 h 的平行于龙骨线的水平面。h 按下式计算：

$$h = B / 20$$

在任何情况下，h 值不应小于 760 mm，也不必大于 2000 mm。

1.8.8.3　设于双层底内且与货舱等的排水装置相连的小阱，不应向下延伸超过所需的深度。从小阱的底部至与龙骨线重合的水平面的垂直距离不应小于 h/2 或 500 mm，取大者，或者证明船舶该部分符合本节 1.8.8.5 的规定。

其他阱（如主机下的润滑油阱）的布置应能证明船舶该部分符合本节 1.8.8.5 的规定。作为等效规定，主机下的润滑油阱可延伸入按距离 h 所定义的边界线下的双层底，但阱的底部至与龙骨线重合的水平面的垂直距离不小于 h/2 或 500 mm，取大者。

1.8.8.4　专供装载液体的水密舱，如当该舱的底部或船侧破损时不致有损于船舶的稳性安全，可不设双层底。

1.8.8.5　客船和 500 总吨及以上的货船按照本节 1.8.8.1、1.8.8.3 或 1.8.8.4 未设双层底的任何部分，应能满足《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇第 2-1 章所规定的破损要求。

1.8.9　隔离空舱的布置

1.8.9.1　隔离空舱系指空的处所，其设置是为了使隔离空舱每一侧的舱室没有共同的界面；隔离空舱可以垂直或水平设置。隔离空舱应适当通风，并应有足够大的尺寸，以便可以进入检查、维护和安全撤离。

1.8.9.2　燃油舱或润滑油舱与淡水（饮用水、推进装置和锅炉用水）舱之间应设置隔离空舱。

燃油舱、润滑油舱与灭火泡沫液体舱之间应设置隔离空舱。

对双层底的内底板在舷侧升高的船舶，仅要求在双层底燃油舱和直接布置在燃油装满至内底板的这些燃油舱上面的液舱之间设置隔离空舱。但燃油舱与液舱的相对位置为角对角的情况，液舱不认为是相邻的。

1.8.9.3 隔离空舱的设置还应符合第 3 篇第 2 章第 8 节 2.8.2 的规定。

1.8.10　首部干舷甲板及防撞舱壁前舱室的布置

1.8.10.1　首部干舷甲板及封闭上层建筑(如设有)的布置应满足载重线对最小船首高度的要求。

1.8.10.2　位于防撞舱壁以前的首尖舱和其他舱室不可用来载运燃油及其他易燃品。

1.8.10.3　远海航区船舶的锚链管和锚链柜应水密延伸至露天甲板。若设有出入口，则应用坚固的盖关闭并用间距紧密的螺栓紧固。

1.8.10.4　其他航区船舶的锚链管和锚链柜应水密延伸至干舷甲板，且若在干舷甲板以下的锚链管和锚链柜上设出入口，则应用坚固的盖关闭并用间距紧密的螺栓紧固。若设有上层建筑，则锚链管和锚链柜至少应自干舷甲板风雨密延伸至露天甲板，且若在该延伸的锚链

管和锚链柜上设出入口，则应保持风雨密关闭。

1.8.11 客船限界线以上的布置

1.8.11.1 应采取措施，以限制海水在舱壁甲板以上进入及漫流。此类措施可包括装设局部舱壁或桁材。当局部水密舱壁和桁材装于水密舱壁上方或附近的舱壁甲板上时，应与外板及舱壁甲板连接，以使在船舶破损横倾的情况下限制海水沿甲板漫流。如局部水密舱壁与其下方的舱壁错开，则两者间的舱壁甲板应作有效的水密。

1.8.11.2 舱壁甲板或其上一层甲板应为风雨密。露天甲板上的所有开口，应设有足够高度和强度的围板，并应设有能迅速关闭成风雨密的有效装置。应按需要装设排水舷口、栏杆及流水孔，以便在任何天气情况下均能迅速排除露天甲板上的积水。

1.8.11.3 客船空气管除应符合本节 1.8.7.5 的要求外，终止于上层建筑内的空气管开口端，应至少高出船舶横倾 15°或由直接计算决定的中间浸水阶段的最大横倾角(取大者)时的水线以上 1m。此外，除了油舱以外的舱室的空气管可以通过上层建筑的舷侧排气。

1.8.11.4 在限界线以上外板上的舷窗、舷门、装货门和装燃料门以及关闭开口的其他装置，应考虑到所装设的处所及其相对于最深分舱载重线的位置，作有效的设计与构造，并应具有足够的强度。

1.8.11.5 在舱壁甲板以上第一层甲板以下处所内的所有舷窗，应设有有效的内侧舷窗盖，其布置应能易于有效地关闭，并紧固成水密。

1.8.12 双壳油船的舱室布置

1.8.12.1 边舱或处所应延伸到舷侧全深或是从双层底顶端到最上层甲板，无论船舶的舷缘是否为圆弧形。各边舱或处所应布置成使得全部货油舱皆位于这些舱或处所壳板型线的内侧面。载重量 5000t 及以上的油船，其整个货油舱(包括污油水舱)区长度应由压载舱或非载运油类的舱室处所加以保护，用以此种保护的边舱和双层底应符合下述要求：

(1) 边舱内壳与舷侧壳板之间垂直距离 W 应不小于下式计算值：

$$W = 0.5 + DW/20000 \quad \text{m} \quad \text{或}$$
$$W = 2.0 \quad \text{m}$$
$$\text{取小者，最小值} W = 1.0 \quad \text{m}$$

式中：DW——载重量，t，系指船舶在相对密度为 1.025t/m^3 的水中处于与勘定的夏季干舷相应的载重线时的排水量和该船空载排水量之间的差数。

(2) 双层底高度 h 应不小于下式计算值：

$$h = B/15 \quad \text{m} \quad \text{或}$$
$$h = 2.0 \quad \text{m}$$
$$\text{取小者，最小值} h = 1.0 \quad \text{m}$$

1.8.12.2 载重量 600t 及以上但小于 5000t 的油船的边舱和双层底应符合以下要求：

(1) 边舱内壳与舷侧壳板之间的垂直距离 W 应不小于下式计算值：

$$W = 0.4 + 2.4DW/20000 \quad \text{m}$$
$$\text{最小值} W = 0.76 \quad \text{m}$$

(2) 双层底高度 h 应不小于下式计算值：

$$h = B/15 \quad \text{m}$$
$$\text{最小值} h = 0.76 \quad \text{m}$$

1.8.12.3 货油舱的保护，应按照中国政府主管机关对防止油船在碰撞或搁浅事故中的油污染关于通过边舱或舷侧处所以及双层底液舱处所保护货油舱的要求或允许的其他方式。

1.8.12.4 载重量为 20000t 及以上的原油油船和载重量为 30000t 及以上的成品油油船均应设置专用压载舱。专用压载舱容量的确定应使该船在不依靠利用货油舱装载压载水而安全地进行压载航行。专用压载舱的容量应至少能使船舶的吃水和纵倾在航行的任何情况，不论处于何种压载情况，包括只是空载加专用压载水的情况在内，均应符合下列各项要求：

(1) 不考虑任何船舶变形的船中部型吃水 d_m 应不小于：

$$d_m = 2.0 + 0.02L_L \quad \text{m}$$

(2) 在首、尾垂线处的吃水应相当于由(1)给出的船中吃水，与之相联系的尾纵倾不大于 $0.015L_L$。

(3) 尾垂线处的吃水应不小于螺旋桨达到完全浸没所要求的吃水。

1.8.12.5 货油舱的布置和尺寸应使在船长范围内任何一处舷侧破损和船底破损造成的假设泄油量是有限的。

载重量小于 5000t 的油船的货油舱的长度应不超过 10m 或下列各值之一，取大者：

(1) 货油舱内不设纵向舱壁：$(0.5b_i / B + 0.1)L_L$，但不超过 $0.2L_L$。

(2) 货油舱中心线上设置纵向舱壁：$(0.25b_i / B + 0.15)L_L$。

(3) 货油舱内设置两个或以上纵向舱壁：

① 对边油舱：$0.2L_L$

② 对中间货油舱：

(a) 如 b_i / B 等于或大于 1/5：$0.2L_L$

(b) 如 b_i / B 小于 1/5：

(i) 未设置中心线纵向舱壁：$(0.5b_i / B + 0.1)L_L$

(ii) 设置中心线纵向舱壁：$(0.25b_i / B + 0.15)L_L$

b_i 为相应于夏季干舷水平面上，自舷侧舱内垂直量取的从船侧到相关货舱纵向舱壁外侧之间的最小距离。

载重量小于 5000t 的油船的各货油舱每舱容积不应超过 $700m^3$，除非边舱按 1.8.12.1(1)布置并满足下列要求：

$$W = 0.4 + 2.4DW / 20000 \quad \text{m}；$$
$$\text{最小值} W = 0.76 \quad \text{m}。$$

1.8.12.6 污油水舱、燃油舱和货泵舱的结构和布置应按照中国主管机关对油船防污染的规定。

1.8.12.7 燃油舱和货泵舱的结构和布置应按照中国主管机关对油船防污染的规定。

1.8.13 单壳油船的舱室布置

1.8.13.1 载重量为 600t 以下的油船，其货油舱可为单壳结构。

1.8.13.2 货油舱的布置和尺寸应符合本节 1.8.12.5 的规定。

1.8.13.3 污油水舱、燃油舱和货泵舱的结构和布置应按照中国主管机关对油船防污染的规定。

1.8.14 油船货物区域中处所出入

1.8.14.1 通过水平开口、舱口或人孔的通道尺寸应足以保证穿戴自储式呼吸装置和保护设备的人员上下梯子不受阻碍，而且净孔尺寸应便于将负伤人员从舱底提升上来。最小的净孔尺寸应不小于 600mm×600mm，相应的角端圆半径最大值应不大于 100mm。如净孔尺寸较上述最小尺寸增大，角端园半径最大值也应相应增大。如通过货舱口进入货舱，梯子的顶部应尽可能靠近舱口围板；如舱口围板的高度超过 900mm，则在梯子同一位置的舱口围板外侧应设置踏板。

1.8.14.2 如通过制荡舱壁、肋板、纵桁和强肋骨上的垂向开口和人孔到达该处所长度或宽度范围，这些开孔的最小尺寸应不小于 600mm×800mm，除非设有格栅或踏板，否则这些开孔应位于从船底板量起不超过 600mm 的高度处。

1.8.14.3 对载重量小于 5000t 的油船，如能证明这些开口的通行和转移伤员的能力，经同意，可设置较小尺度的开口，但任何情况下开口不应小于 400mm×600mm 或 450mm×550mm。

第 9 节　船首甲板装置

1.9.1　船首甲板装置与设备的强度要求

1.9.1.1　本条是对位于距船首 0.25*L* 区域内的空气管、通风管及其关闭装置的强度要求，但不适用于油船的货油舱透气系统与惰性气体系统。

1.9.1.2　所有船长 80m 及以上的船舶，距夏季载重线以上高度小于 0.1*L* 或 22m，取其小者，露天甲板上的本节 1.9.1.1 规定的项目，应满足本节 1.9.1 的相关要求。

1.9.1.3　空气管、通风管及其关闭装置的水平压力 p 可按下式计算：

$$p=0.5\rho V^2 C_d C_s C_p \qquad \text{kN/ m}^2$$

式中：ρ ——海水密度，取 1.025t/m^3；

V ——海水越过船首甲板的速度，m/s；

=13.5m/s，对于 $h \le 0.5h_1$；

$=13.5\sqrt{2(1-\frac{h}{h_1})}$ m/s，对于 $0.5h_1 < h < h_1$；

其中，h =夏季载重线到露天甲板的距离，m；

h_1=0.1L或22m取小者。

C_d ——外形系数(对管子取 0.5，对空气管头或通风管头一般取 1.3，对与其轴线垂直的圆柱形空气管头或通风管头取 0.8)；

C_s ——砰击系数，取 3.2；

C_p ——保护系数，紧靠挡浪板或首楼背后的管子头和通风管头取 0.7，紧靠舷墙背后及其他位置取 1.0。

1.9.1.4　作用在管子及其关闭装置上水平方向的力可以按本节 1.9.1.3 用每一部件的最大投影面积计算。

1.9.1.5　空气管和通风管应计算关键位置的弯矩与弯曲应力：即贯穿点、焊接或法兰连接点、支撑肘板趾端。净截面的弯曲应力应不超过 0.8R_{eH}，R_{eH} 是规定的屈服应力或室温下 0.2%的规定非比例伸长应力。对不计入防腐保护的净厚度应加 2.0mm 的腐蚀余量。

1.9.1.6　对用头部关闭的不超过表 1.9.1.6 所列投影面积的 760mm 高的标准空气管，管子壁厚和肘板垂向臂长的规定见表 1.9.1.6。如需要肘板时，应设置 3 个或更多的径向肘板。每块肘板总壁厚应为 8mm 或以上，最小水平臂长 100mm，垂向臂长应符合表 1.9.1.6 的规定但不必超过头部连接法兰。对其他高度的空气管，应满足本节 1.9.1.5～1.9.1.7 所述相关要求。甲板上肘板趾端应适当加强。

1.9.1.7　对其他形式的空气管，载荷应按本节 1.9.1.3 和 1.9.1.4 计算，支撑形式应按本节 1.9.1.5 的要求决定。如设有肘板时，应根据肘板垂向臂长确定适当的板厚与长度，管子壁厚应不小于表 1.9.1.6 标明的值。

1.9.1.8　头部关闭的标准高度 900mm 的通风管不超过表 1.9.1.8 所列投影面积时，管子壁厚和肘板垂向臂长的规定见表 1.9.1.8。如需要肘板时，要求见本节 1.9.1.6。

760mm 空气管壁厚与肘板标准　　**表 1.9.1.6**

名义管子直径(mm)	最小总壁厚(mm)	头部最大投影面积(cm^2)	肘板垂向臂长①(mm)
40③	6.0	—	520
50③	6.0	—	520
65	6.0	—	480

名义管子直径(mm)	最小总壁厚(mm)	头部最大投影面积(cm^2)	肘板垂向臂长①(mm)
80	6.3	—	460
100	7.0	—	380
125	7.8	—	300
150	8.5	—	300
175	8.5	—	300
200	8.5②	1900	300②
250	8.5②	2500	300②
300	8.5②	3200	300②
350	8.5②	3800	300②
400	8.5②	4500	300②

注：①肘板(本节见 1.9.1.6)不必超出头部连接法兰。

②如安装的空气管总壁厚小于 10.5mm，或头部投影面积超过表列头部最大投影面积时，要求设置肘板。

③新船不允许使用。

④对于其他高度的空气管，应满足本节 1.9.1.5~1.9.1.11 的要求

900mm 通风管壁厚与肘板标准　　表 1.9.1.8

名义管子直径(mm)	最小总壁厚(mm)	头部最大投影面积 (cm^2)	肘板垂向臂长(mm)
80	6.3	—	460
100	7.0	—	380
150	8.5	—	300
200	8.5	550	—
250	8.5	880	—
300	8.5	1200	—
350	8.5	2000	—
400	8.5	2700	—
450	8.5	3300	—
500	8.5	4000	—

注：对于其他高度的通风筒，应满足本节 1.9.1.5~1.9.1.11 的要求。

1.9.1.9　对高度大于 900mm 的通风管，应配置肘板或替代的支撑措施，管子壁厚应不小于表 1.9.1.8 标明的值。

1.9.1.10　所有部件与空气管、通风管的连接件应能承受本节 1.9.1.3 和 1.9.1.4 规定的载荷。

1.9.1.11　在本节 1.9.1.1 及 1.9.1.2 所定义的区域中，不适合使用旋转蘑菇头型通风管头。

1.9.2　船首露天甲板小舱口的强度与锁紧

1.9.2.1　本条的规定适用于所有船长 80m 及以上的船舶，距夏季载重线以上高度小于 0.1L 或 22m，取其小者，在船首 0.25L 区域露天甲板上的小舱口的强度与锁紧。

1.9.2.2　小舱口系指设计用于通往甲板以下处所且在关闭时能达到风雨密或水密的舱口，舱口开口面积通常为 $2.5m^2$ 及以下。

1.9.2.3　为紧急脱险设计的舱口不需满足本节 1.9.2.8(1)、1.9.2.8(2)、1.9.2.9(3)、1.9.2.10 的要求。为紧急脱险设计的舱口的锁紧装置应为快速作用型(如一个作用手轮像中心锁紧装置一样进行关闭/开启舱口盖)，可从舱口盖的两侧操作。开启锁紧装置所需最大的力应不超过 150N，且可以接受在铰链端使用弹簧平衡器，补偿弹簧或其他等效装置来减小开启此类舱口盖所需要的力。

1.9.2.4　矩形钢质小舱口盖的板厚、扶强材布置与尺寸应符合图 1.9.2.4 和表 1.9.2.4 的规定。扶强材如设置时，应根据金属对金属接触点定位，如图 1.9.2.4 所示，应符合本节 1.9.2.9(1)的要求。主扶强材应连续。所有扶强材应焊至内缘扶强材，见图 1.9.2.9。

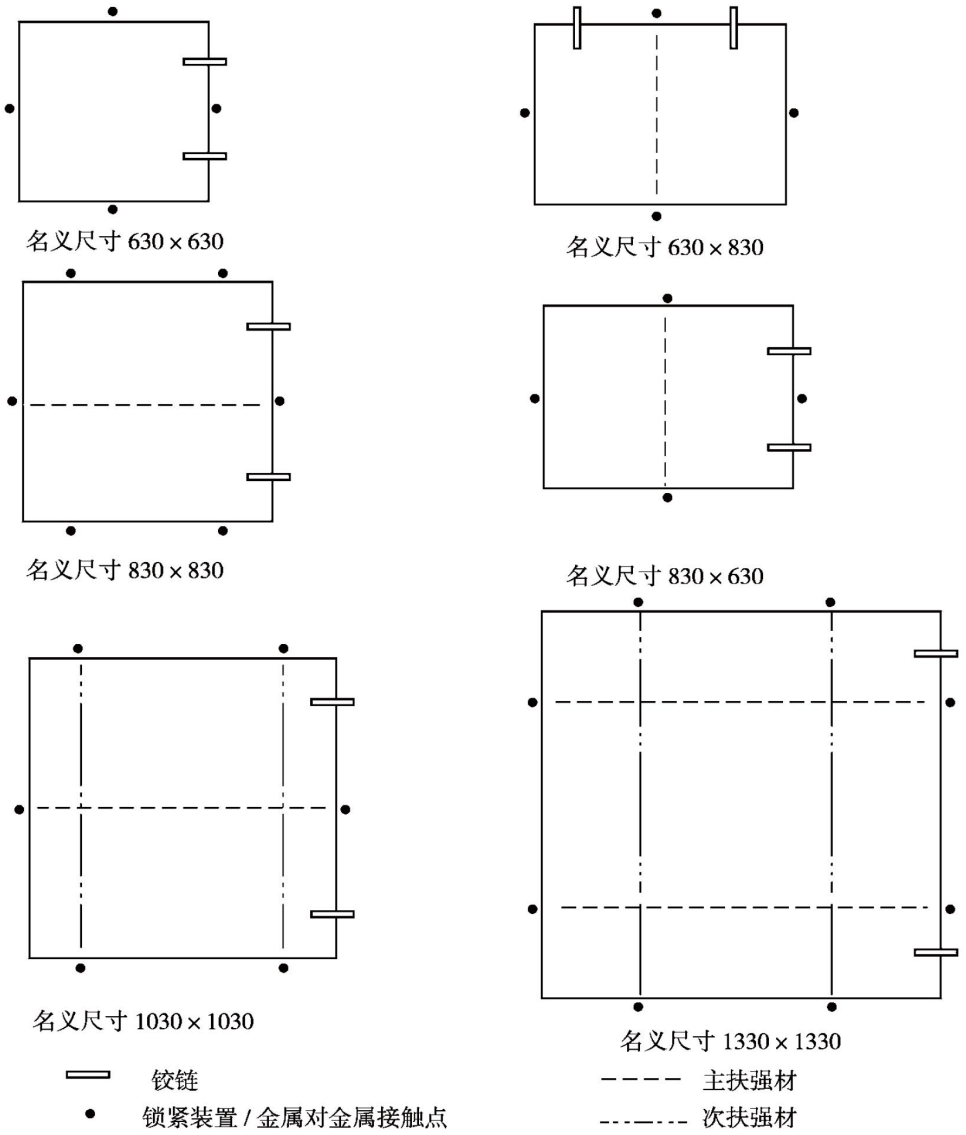


图　1.9.2.4(单位：mm×mm)

1.9.2.5　舱口围板的上缘应设置水平方向型材，此型材离围板上缘通常为 170～190mm。

1.9.2.6　对圆形或类似形状的小舱口盖，舱口盖板厚度及加强应与周围结构等强度。

1.9.2.7　对非钢质小舱口盖，要求的尺寸应提供等效强度。

1.9.2.8　位于船首露天甲板上的小舱口应配有下列任何一种主锁紧装置：

船首甲板小舱口盖的尺寸　　**表 1.9.2.4**

名义尺寸 mm×mm	盖板厚度 mm	主扶强材	次扶强材
		板材(mm×mm)；数量	
630×630	8	—	—
630×830	8	100×8；1	—
830×630	8	100×8；1	—
830×830	8	100×10；1	—
1030×1030	8	120×12；1	80×8；2

名义尺寸 mm×mm	盖板厚度 mm	主扶强材	次扶强材
		板材(mm×mm)；数量	
1330×1330	8	150×12；2	100×10；2

(1) 翼型螺母压紧在压板上；

(2) 快速作用夹扣；

(3) 中心锁紧装置。

主锁紧装置不能使用带有楔块的把手(旋转锁紧把手)。

1.9.2.9 主锁紧装置的要求应满足如下要求：

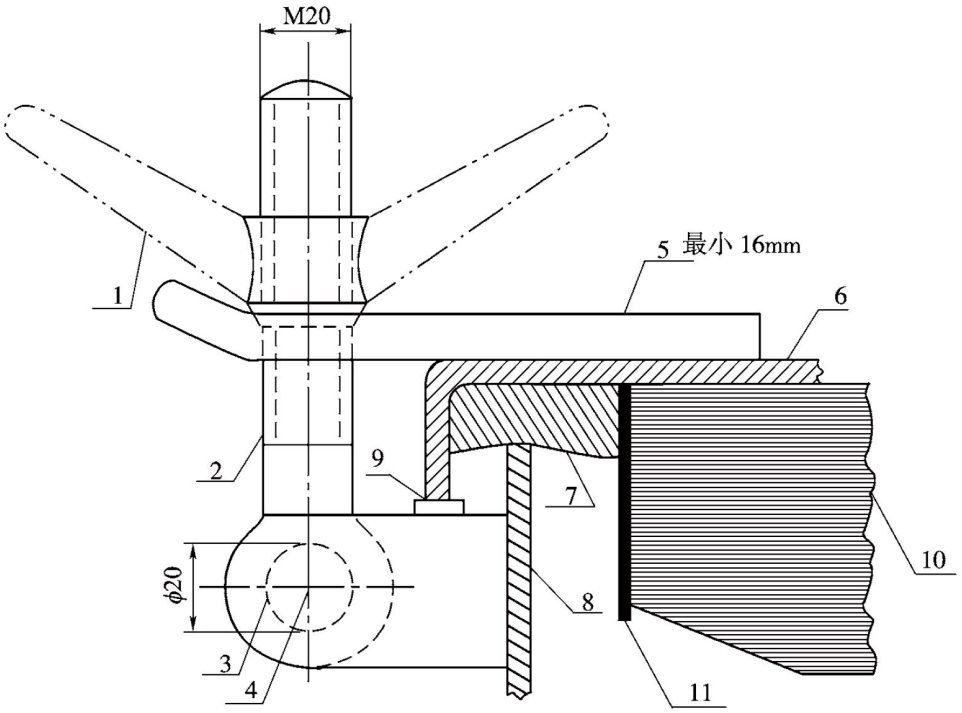
(1) 舱口盖上应配置具有弹性的填料。应设计成在设计压紧工况下允许金属与金属接触，以防止上浪载荷对填料造成过度压缩，并可能进一步导致锁紧装置松开或脱开。金属对金属接触点应根据图 1.9.2.4 对准每一个锁紧装置，并具有足够的承载能力。

(2) 主锁紧装置应在设计压力下能被一个人在不使用任何工具时打开。

(3) 主锁紧装置使用翼型螺母时，压板的设计应加强。压板自由端表面应向上翘曲或采用自由端表面升高及类似方法。压板的厚度应不小于 16mm，如图 1.9.2.9 所示。

(4) 最前货舱口前的小舱口盖的铰链应布置在舱口盖的前部边缘。应使上浪的主要方向会导致舱口盖关闭

(5) 位于主舱口之间(例如 1 号和 2 号之间)的小舱口，铰链应设置在舱口盖前部边缘或船外侧边缘，对横浪和首斜浪情况下的甲板上浪起到有效防护。



1-翼型螺母 2-螺栓 3-销轴 4-销轴中心 5-压板 6-舱口盖 7-垫片 8-舱口围板 9-金属承压板(焊接在锁紧螺栓肘板上用作金属与金属接触) 10-扶强材 11-内缘扶强材

图 1.9.2.9

1.9.2.10 首部甲板上的小舱口应配备独立的次锁紧装置，例如通过滑动螺栓、搭扣或松动配合的垫板，即使当主锁紧装置松动或脱开时也能保持舱口盖就位，次锁紧装置应安装在舱口盖铰链的对面一侧。

第 10 节　液舱晃荡

1.10.1　一般要求

1.10.1.1　部分装载的液舱，应按本节要求对液舱结构进行晃荡载荷作用下的强度评估（以下简称晃荡评估）。

1.10.1.2　对本节无规定者，应满足 CCS《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》的要求。

1.10.1.3　除另有规定外，针对含内部构件的液舱，部分装载一般系指液体装载高度大于 10%舱深且小于 90%舱深；针对无内部构件的光滑液舱，部分装载一般系指液体装载高度大于 5%舱深且小于 95%舱深。

1.10.1.4　除特别说明外，本节所述晃荡评估应包含横向晃荡和纵向晃荡两个运动方向。

1.10.1.5　根据船舶与液舱晃荡谐振运动的判定，将晃荡运动及其载荷分为水平一、水平二、水平三。符合晃荡运动水平一的液舱应计算晃荡运动水平一下的晃荡载荷，符合晃荡运动水平二的液舱应计算晃荡运动水平一和二下的晃荡载荷；符合晃荡运动水平三的液舱应计算晃荡运动水平一、二和三下的晃荡载荷。

1.10.1.6　为降低晃荡运动水平，可考虑增设内部构件进行制荡，或通过限制装载来避开晃荡谐振。

1.10.2　适用范围

1.10.2.1　本节适用于油船、化学品船、液化气体运输船等液货船及散货船、矿砂船、干货船等。

1.10.2.2　本节适用于所有液货舱、压载舱及其他允许自由液面移动的液舱。

1.10.2.3　船长 L 小于 100m 的船舶在进行液舱晃荡评估时，如液舱有效晃荡长度不超过 $0.16L$，则该液舱不必考虑水平三纵向晃荡评估；如液舱有效晃荡宽度不超过 $0.6B$（B 为船宽），则该液舱不必考虑水平三横向晃荡评估。

1.10.2.4　对满足下列条件之一的液舱，可不必进行纵向晃荡评估：

（1）船长 L 小于 65m 的船舶且有效晃荡长度不超过 $0.13L$；

（2）有效晃荡长度不超过 $0.03L$。

1.10.2.5　对满足下列条件之一的液舱，可不必进行横向晃荡评估：

（1）船长 L 小于 65m 的船舶且有效晃荡宽度不超过 $0.56B$；

（2）有效晃荡宽度不超过 $0.32B$。

1.10.2.6　对满足下列条件之一的液舱，可不必进行晃荡评估：

（1）容积不大于 $100m^3$；

（2）设置在双层底或双壳内的液舱或其他格形构造液舱；

（3）用作压载的散货船干货舱。

1.10.3　图纸资料

1.10.3.1　按本节要求进行晃荡评估时，应将液舱周界结构图、液舱内部构件结构图（如有时）提交批准。

1.10.3.2　应将晃荡载荷下的船体结构强度评估报告提交备查。

1.10.4　晃荡载荷计算

1.10.4.1　除另有规定外，本节规定的晃荡运动及其载荷的计算，应满足 CCS《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》的要求。

1.10.4.2　经认可，晃荡模型试验的结果可作为替代的晃荡设计载荷。

1.10.5　强度评估

1.10.5.1　应对液舱下列构件进行晃荡载荷下的尺寸评估：

（1）构成液舱边界的板、扶强材；

（2）液舱内制荡舱壁板、扶强材；

（3）液舱内主要构件的腹板及加强筋。

1.10.5.2　除另有规定外，晃荡载荷下的尺寸评估应满足 CCS《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》的要求。

第 2 章　船体结构

第 1 节　一般规定

2.1.1　适用范围

2.1.1.1　本章规定主要适用于干货船。本章无规定者，按本篇第 1 章的要求。

2.1.1.2　本章适用的基本结构形式为多层甲板或单层甲板且设有单层底或双层底，以及正常尺度的舱口布置。

2.1.1.3　船底和强力甲板开口线外一般采用纵骨架式。

2.1.1.4　对于具有自卸系统的船舶，其自卸货系统应满足 CCS《船舶与海上设施起重设备规范》的相关要求。

2.1.2　图纸资料

2.1.2.1　应将下列图纸资料提交批准。对特殊结构和布置，如认为必要，可要求增加送审图纸资料的范围：

(1)　主要横剖面图；
(2)　基本结构图，包括纵剖面、各层甲板、内底结构、上层建筑和甲板室结构图；
(3)　首柱结构图；
(4)　尾柱结构图；
(5)　外板展开图；
(6)　油密和水密舱壁图；
(7)　主机基座和推力轴承座结构图；
(8)　尾轴架结构图；
(9)　货舱口围板结构图；
(10)　货舱舱口盖结构图；
(11)　锚设备布置图，包括舾装数计算；
(12)　舵、舵杆和舵柄图；
(13)　桅、起重柱、起重机基座及其支撑结构图；
(14)　冰区加强结构图；
(15)　焊接方式和规格；
(16)　初步及完工装载手册；
(17)　典型节点图册（可包含在结构图中）。

2.1.2.2　应将下列图纸资料提交备查：

(1)　总布置图；
(2)　型线图或型值表；
(3)　肋骨型线图；
(4)　舱容图；
(5)　船体及设备说明书；
(6)　总纵强度计算书（适用时）；
(7)　结构强度直接计算报告（适用时）；
(8)　疲劳强度评估报告（适用时）。

2.1.3　船体结构强度直接计算和疲劳评估

2.1.3.1　船长为 150m 及以上的普通干货船，其货舱区域主要构件应进行有限元直接强度计算验证。如载运集装箱，可参照本篇第 7 章附录 2 的适用要求；如载运散货，可参照本篇第 8 章附录 1 的适用要求。

2.1.3.2　船长为 150m 及以上的普通干货船，应对其货舱区域的下述部位进行疲劳强度校核，校核方法可参照 CCS《船体结构疲劳强度指南》：

(1) 纵骨(船底、舷侧、甲板及内壳)与横向强框架的连接部位；

(2) 纵骨(船底、舷侧、甲板及内壳)与横舱壁的连接部位；
(3) 底边舱斜板或内壳与内底板连接处（如有时）；
(4) 横舱壁与内底板、纵桁连接处。

第 2 节　总纵强度

2.2.1　一般要求

2.2.1.1　对于船长大于等于 65m 的船舶应按本节要求校核其总纵强度。对于船长小于 65m 的非常规船型或特殊装载的船舶，也可按本节要求校核其总纵强度。

对于船长大于等于 90m 的集装箱船或主要运载集装箱的船舶，其总纵强度应满足本篇第 7 章第 2 节和本节 2.2.5.1 的要求。

2.2.1.2　对符合以下条件的船舶，总纵强度需作如下特别考虑：

(1)　对于具有以下一个或多个特征的船舶，一般应采用直接计算法确定，其中，波浪载荷的直接计算见本节 2.2.9：

$$L/B \leqslant 5$$
$$B/D \geqslant 2.5$$
$$L \geqslant 500\text{m}$$
$$C_b < 0.6$$

(2)　对于具有甲板大开口的船舶，还应按本篇第 7 章第 10 节的要求校核弯扭组合的总纵强度；

(3)　对于具有大外飘的船舶，可要求考虑砰击引起的附加弯矩；

(4)　对于载运特殊货物(如载运加热货物)、非常规船型或非常规设计的船舶，应根据货物特性或船型作直接计算确定；若不能进行直接计算则需通过船模试验综合确定设计载荷。

2.2.2　设计静水弯矩和设计静水剪力

2.2.2.1　应以下述工况计算船体梁各横剖面处的静水弯矩和静水剪力：

满载：　出港、到港；

压载：　出港、到港。

对装载手册中所规定的各种工况也应计算。

2.2.2.2　在计算静水弯矩和静水剪力时，向下的载荷取为正值，向上的载荷取为负值，从尾端向船首沿船长积分。静水弯矩 M_s 和静水剪力 F_s 的符号(正、负)规定见图 2.2.2.2。

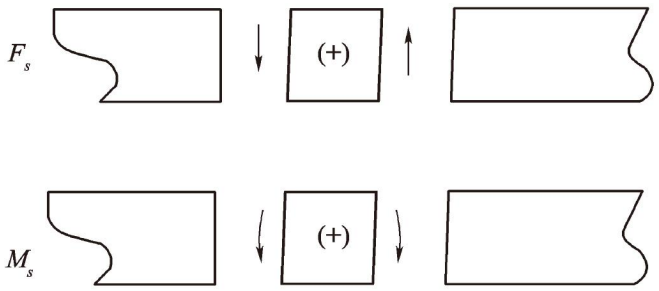


图 2.2.2.2

2.2.2.3　通常按出港和到港情况，并应考虑燃料、淡水和贮藏品等对下列装载和压载工况沿船长计算各横剖面的静水弯矩 M_s 和静水剪力 F_s。

如在任何航行中途，上述消耗品的数量和布置对于总纵强度是严重的情况时，该状态的计算书应提交备查。凡拟在航行中进行压载/排压载操作的船舶，对于压载舱在压载/排压载的前后工况也应提交审核，审核后纳入装载手册作为操作指南。

(1)　普通干货船、集装箱船、滚装船和冷藏货船、散货船、矿砂船：

① 最大吃水时的均匀装载工况；
② 压载工况；
③ 特殊装载工况，如小于最大吃水时的集装箱装载或轻载工况，重货、空舱或非均匀货物装载工况，装甲板货工况等(如适用时)；
④ 短程航行或港内工况(如适用时)；
⑤ 坞内起浮工况；
⑥ 装卸瞬时工况(如适用时)；

(2) 油船：
① 均匀装载工况(不包括干压载舱和清洁压载舱)和压载或部分装载工况；
② 任何指定的非均匀装载工况；
③ 在航行途中明显不同于压载工况的与清舱或其他操作有关的工况；
④ 坞内起浮工况；
⑤ 装卸瞬时工况(如适用时)。

(3) 化学品船：
① 计算工况与油船指定的工况相同；
② 装载高密度货或加热货和需隔离的货的工况。

(4) 液化气体船：
① 对所有允许装载的货品的均匀装载工况；
② 压载工况；
③ 一舱或多舱为空舱或部分装载，或同时装载几种密度明显不同的货物的工况；
④ 经核准所增加蒸汽压力下的港内工况；
⑤ 坞内起浮工况。

(5) 兼用船：
① 计算工况与油船和货船指定工况相同。

2.2.2.4 在压载工况中部分压载的压载舱(有关指导和解释见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章附录 3)：

压载工况中，出港、到港和中途工况下，首尾尖舱和/或其他压载舱的部分压载工况不应作为设计工况，除非满足下述要求：

- 上述压载舱在空舱与满舱之间的所有压载高度下，满足设计应力的限制。

为了证明在空舱与满舱之间的所有压载高度下满足要求，对所有出港、到港工况以及本节 2.2.2.3 要求的中途工况，预期部分压载的压载舱应假定为：

- 空舱；
- 满舱；
- 预期高度的部分压载。

如多个压载舱需部分压载，应考虑空舱、满舱和预期高度的部分压载的所有组合。

可是，对于在货舱区域具有大的边压载水舱的常规矿砂船，当 1 对或最多 2 对压载舱为空舱或满舱，导致船舶纵倾超过下列条件之一时，只需证明这 1 对或最多 2 对压载舱在保证船舶状态不超过以下任一纵倾限制的最大、最小和预期高度时的强度满足要求。所有其他边压载舱的压载高度应考虑为空舱和满舱之间。上述纵倾条件为：

- 3%船长的尾倾，或
- 1.5%船长的首倾，或
- 不能保持螺旋桨浸深(I/D)不小于 25%的任何纵倾，其中；

I = 螺旋桨中心线至水线的距离

D = 螺旋桨直径 (见图 2.2.2.4)

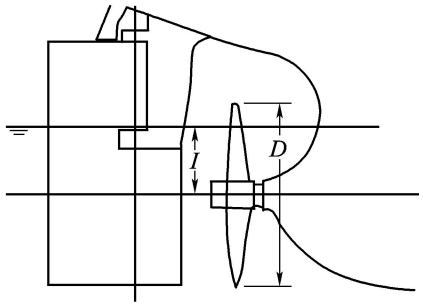


图 2. 2. 2. 4

上述提及的成对边压载舱的最大和最小压载高度应在装载手册说明。

2.2.2.5　在装货工况中部分压载的压载舱：

装货工况中，本节 2.2.2.4 的要求仅适用于首尾尖舱。

2.2.3　波浪弯矩和波浪剪力

2.2.3.1　船体梁各横剖面的中拱波浪弯矩 $M_W(+)$和中垂波浪弯矩 $M_W(-)$应按下列公式计算：

$$M_W(+) = +190MCL^2BC_b \times 10^{-3} \qquad \text{kN·m}$$

$$M_W(-) = -110\,MCL^2B(C_b + 0.7) \times 10^{-3} \qquad \text{kN·m}$$

式中：M——弯矩分布系数，见图 2.2.3.1；

L——船长，m；

B——船宽，m；

C_b——方形系数，但计算取值不应小于 0.60；

C——系数，按下列各式计算：

C=0.0412L+4，　　当 L ＜90m 时；

$C=10.75-\left(\dfrac{300-L}{100}\right)^{3/2}$，　　当 90≤$L$≤300m 时；

C=10.75，　　当 300＜L＜350m 时；

$C=10.75-\left(\dfrac{L-350}{150}\right)^{3/2}$，　　当 350≤$L$≤500m 时。

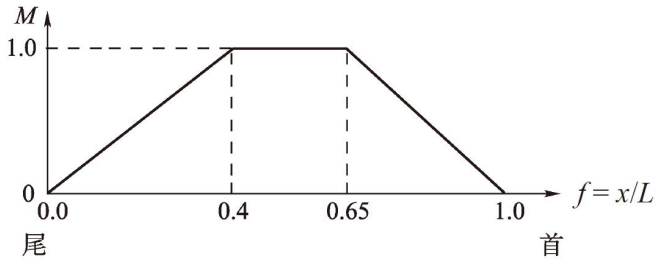


图 2. 2. 3. 1

2.2.3.2　船体梁各横剖面的中拱波浪剪力 $F_w(+)$和中垂波浪剪力 $F_w(-)$应按下列各式计算：

$$F_w(+) = +30F_1CLB(C_b+0.7)\times10^{-2} \qquad \text{kN}$$

$$F_w(-) = -30\,F_2CLB(C_b+0.7)\times10^{-2} \qquad \text{kN}$$

式中：F_1 和 F_2 ——剪力分布系数，见图 2.2.3.2(1)和 2.2.3.2(2)；

C ——系数，见本节 2.2.3.1；
C_b——同本节 2.2.3.1；
L ——船长，m；
B ——船宽，m。

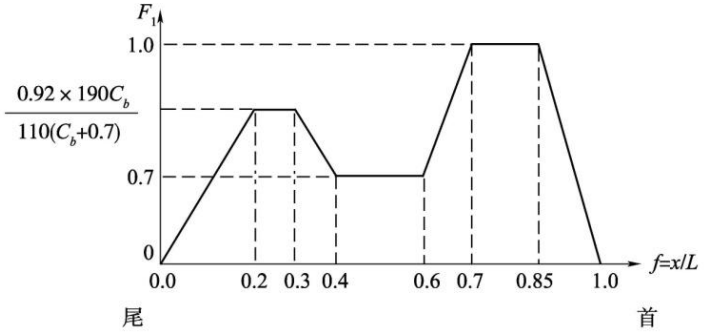


图 2.2.3.2(1)

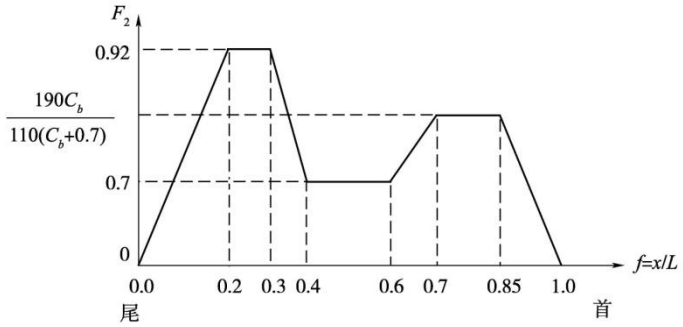


图 2.2.3.2(2)

2.2.4 船体梁剖面特性计算

2.2.4.1 将船体梁横剖面对其水平中和轴的惯性矩，除以中和轴到强力甲板边线的垂直距离，可得出甲板处的船体梁剖面模数 W_d；除以从中和轴到平板龙骨上表面的垂直距离，可得出船底处的船体梁剖面模数 W_b。

2.2.4.2 强力甲板及其以下所有在 0.4L 区域内连续的纵向构件的剖面积，均可计入船体梁剖面模数。强力甲板以上可计入舷顶列板伸出强力甲板的部分和连续的舷边角钢的剖面积。强力甲板以上的连续凸形甲板和连续纵向舱口围板(多个并列舱口的内侧舱口围板除外)，当由纵舱壁或高腹板桁材作有效支持时，也可将其剖面积计入船体梁剖面模数。

2.2.4.3 在有多个并列舱口时，其连续内侧舱口围板及其以下的支持结构的有效剖面积，应根据其支持条件用直接计算法予以确定。在无详细计算时，可采用下列规定：

(1) 支持连续内侧舱口围板的甲板下连续纵桁，应取 50%的剖面积计入船体梁剖面模数。如甲板下连续纵桁直接与纵舱壁连结时，可将其 100%的剖面积计入船体梁剖面模数。如甲板下连续纵桁为箱形结构或非箱形结构而有适当支持与船底相联结的，可允许 80%的剖面积计入船体梁剖面模数。上述纵桁的长细比均应不大于 60；

(2) 连续的内侧舱口围板的计算剖面积的百分比，可与其下面所支持的甲板下连续纵桁所取的百分比相同。

2.2.4.4 对于本节 2.2.4.2 和 2.2.4.3 的情况，在计算船体梁剖面模数时所用的计算点到中和轴之间的垂直力臂 Z_t 应按下式计算，Z_t 的计算值应大于中和轴到强力甲板边线的垂直距离：

$$Z_t = Z_c\left(0.9 + 0.2\frac{y}{B_1}\right) \qquad \text{m}$$

式中：Z_c ——中和轴至连续强力构件顶点的垂直距离，m；

y ——连续强力构件的顶点与船体中心线之间的水平距离，m；

B_1 ——计算剖面处的船宽，m。

在计算中，Z_c 和 y 均应量到能给出 Z_t 最大值的位置。

2.2.4.5 如甲板纵骨或纵桁布置在强力甲板以上，其剖面积可全部计入船体梁剖面模数。力臂 Z_t 为中和轴到强力甲板边线的垂直距离加上纵向构件的高度。

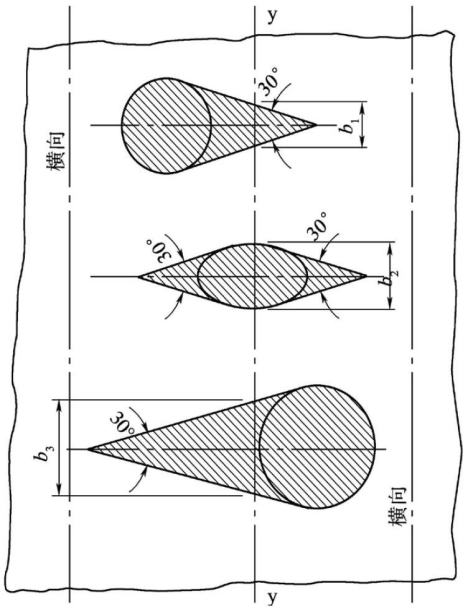
2.2.4.6 如甲板开口长度(首尾方向)超过 2.5m，或者宽度超过 1.2m 或 0.04B(取其小者)，或者采用扇形焊接的扇形孔，在计算船体梁剖面模数时，应扣除其剖面积。

2.2.4.7 比本节 2.2.4.6 规定小的甲板小开口(包括人孔、减轻孔、焊缝处的单个扇形孔等)，如其宽度或阴影区宽度(阴影区为夹角为 30°的两根切线之间所形成的区域，见图 2.2.4.7)在一个横剖面上的总和 b_c 符合下式要求或在甲板及船底处降低的剖面模数不超过 3%，则在计算船体梁剖面模数时，不必扣除其剖面积：

$$b_c \leqslant 0.06(B_1 - \Sigma b)$$

式中：B_1 ——计算剖面处的船宽，m；

Σb ——计算剖面处按本节 2.2.4.6 规定应扣除的开口宽度的总和，m。



在 y-y 剖面处小开孔宽度之和为 $b_c = b_1+b_2+b_3$

图 2.2.4.7

2.2.4.8 若纵骨或纵桁的开孔(如减轻孔、流水孔、焊缝处的单个扇形孔)高度不超过腹板高度的 25%(但对扇形孔深度最大不超过 75mm)时，则在计算船体梁剖面模数时不必扣除其面积。

2.2.5 船体梁弯曲强度

2.2.5.1 在甲板处和龙骨处的船中最小剖面模数 W_0[①]应不小于按下式计算所得之值：

$$W_0 = CL^2B\,(C_b+0.7)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：C ——系数[②]，按本节 2.2.3.1 选取；

C_b——同本节 2.2.3.1；

L ——船长，m；

① 船中最小剖面模数要求适用于无限航区船舶，且可能不适用于非常规型式或设计的船舶（例如：具有非常规的尺度比和/或重量分布的船舶）。对于此类船舶，应予以特殊考虑。

② 对于营运船，C 取为本节 2.2.3.1 计算值的 0.9 倍。

B ——船宽，m；

K ——材料系数。

计入船中最小剖面模数 W_0 的纵向连续构件尺寸应在船中 0.4L 区域内保持不变。但在特殊情况下，考虑到船舶种类、船型和装载条件，且不降低船舶的装载适应性，纵向连续构件尺寸可向船中 0.4L 区域的两端逐渐减小。若船舶甲板或底部区域有部分纵向强力材料作为货油舱或压载水舱的边界，且这些液舱具有有效的防腐蚀系统，则允许这些边界的尺寸有一些折减，但任何情况下最小船体梁剖面模数的折减都不能超过 5%。

2.2.5.2　船中剖面对水平中和轴的惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I = 3W_0L/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W_0 ——按本节 2.2.5.1 计算所得的船中最小剖面模数，cm^3；

L ——船长，m；

K ——材料系数。

2.2.5.3　船中 0.4L 区域外的船体梁弯曲强度应满足本节 2.2.5.4 的要求，且还应满足下述要求：

(1)　作为最低要求，应对下述部位的船体梁弯曲强度进行校核：

——机舱前端处；

——最前货舱的前端处；

——任何船体横剖面有重大改变处；

——任何骨架形式变化处。

(2)　应校核参与总纵强度并承受压缩和剪切应力构件的屈曲强度，特别在骨架形式变化区域或船体横剖面重大改变发生区域。

(3)　应在整个船长范围内保持结构的连续性。当结构布置发生重大改变时，应设置足够的过渡结构。

(4)　对于具有甲板大开口的船舶，如集装箱船，应校核在或接近首尾四分之一船长位置处的剖面。对于在上层建筑、甲板室或机舱后具有货舱的船舶，应对最后货舱的尾端，和甲板室或机舱的尾端处的剖面进行强度校核。

2.2.5.4　设计者应提供船体梁沿船长各剖面的许用中拱静水弯矩 $\overline{M}_s$ (+)和许用中垂静水弯矩 $\overline{M}_s$ (−)，但应满足以下条件：

(1)　船体梁许用中拱和中垂静水弯矩 $\overline{M}_s$，应包络住装载手册中给出的任一航行工况下所计算的最严重的中拱和中垂设计静水弯矩，见本节 2.2.2。

(2)　船体梁许用中拱和中垂静水弯矩 $\overline{M}_s$ 应不大于按下列公式计算所得之值：

$$\overline{M}_s\,(+)_{\max} = \overline{M} - M_W\,(+) \qquad \text{kN·m}$$

$$\overline{M}_s\,(-)_{\min} = -\overline{M} - M_W\,(-) \qquad \text{kN·m}$$

式中：M_W ——波浪弯矩，见本节 2.2.3.1；

$\overline{M}$ ——许用合成弯矩，kN·m，按下列两式计算，取小者；

$$\overline{M} = F_dW_d\,[\sigma] \times 10^{-3} \qquad \text{kN·m}$$

$$\overline{M} = F_bW_b\,[\sigma] \times 10^{-3} \qquad \text{kN·m}$$

其中：F_d、F_b——根据 2. 2. 5. 6(1)确定；

W_d——甲板处的剖面模数，cm^3；

W_b——龙骨处的剖面模数，cm^3；

船体梁的许用弯曲应力［σ］③按下述要求确定：

$$[\sigma] = 175/\text{K} \qquad \text{N/mm}^2$$，船中 0.4L 区域

③ 船中 0.4L 区域以外的船体梁许用弯曲应力一般按本条要求执行。

$[\sigma]=125/K$　　N/mm^2，船端 0.1L 区域

其余区域用线性内插法求得，其中 K 为材料系数。

2.2.5.5　总纵弯曲应力应按下式计算：

$$\sigma=\frac{\left|\overline{M}_s+M_W\right|}{W_c}\times10^3 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$\overline{M}_s$ ——许用静水弯矩，kN·m，见本节 2.2.5.4；

M_W ——波浪弯矩，kN·m，按本节 2.2.3.1 计算；

W_c ——计算点处的船体梁剖面模数，cm^3。

2.2.5.6　局部构件尺寸的折减系数应符合下列规定：

(1)　当甲板处和龙骨处的最大总纵弯曲应力小于许用弯曲应力［σ］时，可取适宜的折减系数 F_d 和 F_b，以减小局部构件的尺寸，但应符合以下条件：

$$F_d\geqslant\frac{\sigma_d}{[\sigma]}$$

$$F_b\geqslant\frac{\sigma_b}{[\sigma]}$$

式中：σ_d ——甲板处的总纵弯曲应力，N/mm^2；

σ_b ——龙骨处的总纵弯曲应力，N/mm^2；

［σ］——弯曲许用应力，N/mm^2，见本节 2.2.5.4(2)。

在按本篇计算外板 t_1 和甲板 t_1 厚度时，折减系数 F_d 可基于中垂弯矩计算，F_b 可基于中拱弯矩计算。

对于外板和甲板，折减系数 F_d 和 F_b 应不小于 0.67；对于骨材，折减系数 F_d 和 F_b 应不小于 0.75。

(2) 对船长小于 65m 的船舶，F_d 和 F_b 均取为 1。

(3) 对船长 90 米及以上的集装箱船，F_d 和 F_b 计算时总纵弯曲应力和弯曲许用应力见第 7 章第 2 节要求。

2.2.5.7　当船体为部分采用高强度钢时，高强度钢的垂向范围应不小于：

当强力甲板结构采用高强度钢时，从该甲板边线向下 $y_1(1-K/F_d)$的区域；当船底结构采用高强度钢时，从平板龙骨向上 $y_2(1-K/F_b)$的区域。y_1 和 y_2 分别为中和轴至甲板边线和平板龙骨的垂直距离(m)，如图 2.2.5.7 所示。其中 K 为材料系数，F_d、F_b 见本章 2.2.5.6。

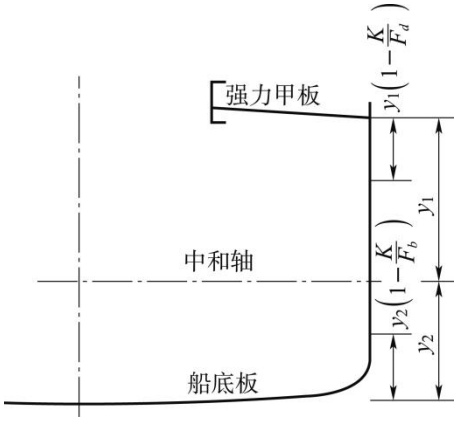


图　2.2.5.7

2.2.5.8　当船中部区域采用高强度钢而端部采用低碳钢时，使用高强度钢板的区域应延伸至端部所要求的低碳钢板厚与船中部高强度钢板厚相同处为止(见图 2.2.5.8)。

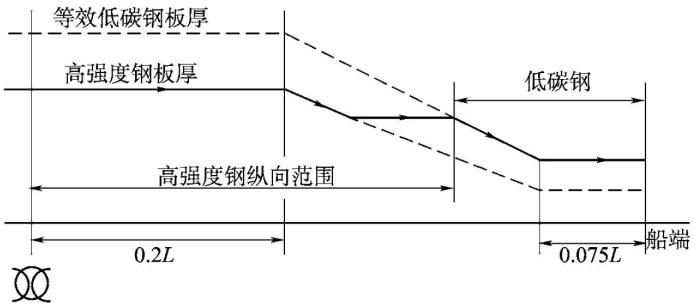


图　2.2.5.8

2.2.5.9　当强力甲板结构采用高强度钢时，与强力甲板焊接的纵向连续构件(舱口围板、甲板开口的加强构件等)通常也应采用相应的高强度钢。

2.2.6　船体梁剪切强度

2.2.6.1　设计静水剪力

(1)　在各种装载情况下，沿船体梁各横剖面处的设计静水剪力应满足下述条件：

$$F_s(+) \leqslant \overline{F}_s(+)$$

$$|F_s(-)| \leqslant |\overline{F}_s(-)|$$

式中：F_s ——计算工况下的设计静水剪力，kN；

$\overline{F}_s$ ——许用静水剪力，kN，按 2.2.6.2 计算。

(2)　对表 2.2.6.2 中船体剖面类型 1 和 2，如货舱间隔装载或严重不均匀装载，应对横舱壁处的静水剪力 F_s 进行修正。剪力修正如图 2.2.6.1 所示。剪力修正值 N_k 和 N_m 分别按下列各式计算：

$$N_k = F|F_{sA} - F_{sB}| \quad \text{kN}$$

$$N_m = F|F_{sA} - F_{sC}| \quad \text{kN}$$

式中：F_{sA}、F_{sB}、F_{sC}——分别是横舱壁 A、B 和 **C** 处用船体梁计算所得剪力，kN；

F——静水剪力修正系数，按下式计算：

$$F = \frac{B_0}{2.2(B + l_H)}$$

式中：B_0——计算舱段内双层底平坦部分平均宽度，m；

B ——船宽，m；

l_H ——舱长，m。

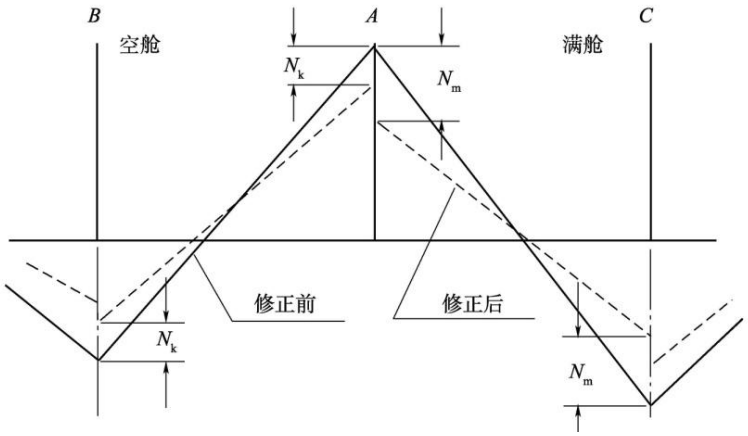


图 2. 2. 6. 1

2.2.6.2　设计者应提供船体梁沿船长各剖面的许用静水剪力 $\overline{F}_s$ (+)和 $\overline{F}_s$ (−)，但应满足以下条件：

(1)　船体梁许用正、负静水剪力 $\overline{F}_s$，应包络住装载手册中给出的任一航行工况下最严重的船体梁正、负设计静水剪力，见本节 2.2.2。

(2)　船体梁许用正、负静水剪力 $\overline{F}_s$ 应不大于按下列公式计算所得之值：

$$\overline{F}_s(+)_{\max} = [\tau]\ \frac{I\delta}{S}\times 10^{-2}\ -F_w(+)\quad \text{kN}$$

$$\overline{F}_s(-)_{\min} = -[\tau]\ \frac{I\delta}{S}\times 10^{-2}\ -F_w(-)\quad \text{kN}$$

式中：F_w ——波浪剪力，kN；按 2. 2. 3. 2 计算；

I ——计算横剖面对水平中和轴的惯性矩，cm^4；

S ——计算横剖面上，水平中和轴以上有效纵向构件对水平中和轴的静矩，cm^3；

许用剪切应力［τ］=110/K，N/mm^2，其中 K 为材料系数；

δ ——取δ_1 和δ_2 的小者，δ_1 和δ_2 按下列各式计算：

$$\delta_1 = \frac{t_1}{f_1 + m_1}$$

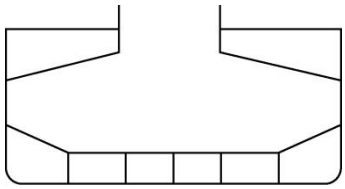
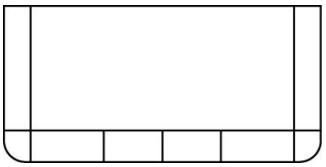
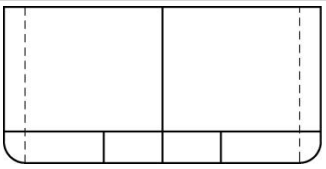
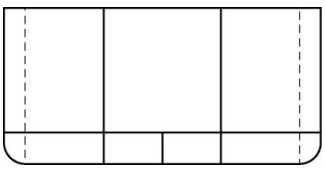
$$\delta_2 = \frac{t_2}{f_2 + m_2}$$

t_1 ——计算剖面上水平中和轴处舷侧外板的厚度(双壳船为内外壳板厚度之和)，mm；

t_2 ——计算剖面上水平中和轴处纵舱壁板的厚度，mm；

f_1、f_2、m_1 及 m_2 ——系数，见表 2. 2. 6. 2。

系数 f_1、f_2、m_1 及 m_2　　**表 2.2.6.2**

序号	船体横剖面类型	系数 f_i	系数 m_i
1		f_1=0. 5	m_1=0
2		f_1 = 0. 5	m_1 = 0
3		f_1 = 0. 261+0. 058A_1/A_2 f_2 = 0. 478−0. 116 A_1/A_2	m_1 = 0. 5 m_2 m_2 = 0. 5 (0. 1+γ)
4		f_1 = 0. 154+0. 08 A_1/A_2 f_2 = 0. 346−0. 08 A_1/A_2	$m_1 = m_2$ m_2 = (0. 1+γ) $\frac{b}{B}$

注：A_1、A_2—— 分别为舷侧外板和纵舱壁板的受剪切面积，cm^2；计算时仅考虑横剖面一舷相应构件的面积，但中纵舱壁面积为实际的面积，不考虑其中线的对称性而进行折减；

b —— 纵舱壁板距舷侧的水平距离，m；

B—— 船宽，m；

γ —— 如横向非均匀装载时，γ=0.15；横向均匀装载时，γ=0。

2.2.6.3　对于表 2.2.6.2 规定以外的横剖面形式，如有 3 道或 3 道以上纵舱壁的船舶，其舷侧外板和纵舱壁板上的剪切应力可由直接计算法确定。

2.2.6.4　剪切应力④：

(1)　舷侧外板上的剪切应力τ按下式计算：

$$\tau = \frac{\left|\overline{F}_s + F_w\right| S}{I\delta_1} \times 10^2 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$\overline{F}_s$ ——许用静水剪力，kN，见本节 2.2.6.2；

S ——静矩，cm^3，如计算点在水平中和轴以上时，S 为通过计算点的水平线以上的所有纵向构件对水平中和轴的静矩，如计算点在水平中和轴以下时，则 S 为通过计算点的水平线以下的所有纵向构件对水平中和轴的静矩；

F_w、I 及δ_1——见本节 2.2.6.2。

(2)　纵舱壁板上的剪切应力τ按下式计算：

$$\tau = \frac{\left|\overline{F}_s + F_w\right| S}{I\delta_2} \times 10^2 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$\overline{F}_s$、S ——同 2.2.6.4(1)；

F_w、I 及δ_2 ——见本节 2.2.6.2。

2.2.7　屈曲强度

2.2.7.1　船长大于等于 90m 的船舶，受船体梁弯曲和剪切应力的板格及纵向构件，应按下述规定作屈曲强度校核。

2.2.7.2　板格和纵骨的工作压应力σ按本节 2.2.5.5 计算(但取值应不小于 30/K，N/mm^2，K 为材料系数)，并应符合下式要求：

$$\sigma \leqslant \frac{1}{\beta}\sigma_c$$

式中：β=1，对板和对加强材的腹板(局部屈曲)；

β=1.1，对加强筋；

σ_c ——临界屈曲应力，按本节 2.2.7.6 计算。

2.2.7.3　板格的工作剪切应力τ按本节 2.2.6.4 计算，并应符合下式要求：

$$\tau \leqslant \tau_c$$

式中：τ_c——临界屈曲剪切应力，按本节 2.2.7.7 计算。

2.2.7.4　板的理想弹性屈曲应力按下列各式计算：

(1)　受压板格的理想弹性屈曲应力σ_E应按下式计算：

$$\sigma_E = 0.9K_c E\left(\frac{t_b}{1000s}\right)^2 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：E ——材料弹性模量，N/mm^2；

s ——板格的短边长度，m；

t_b ——减去表 2.2.7.4 给定值后的板的净厚度，mm；

K_c——系数，按下列公式计算：

---

④ 经认可，可采用剪切应力直接计算。

$K_c = \dfrac{8.4}{\psi + 1.1}$，对于具有与压应力平行的纵向加强筋的板；

$K_c = C\left[1 + \left(\dfrac{S}{l}\right)^2\right]^2 \dfrac{2.1}{\psi + 1.1}$，对于具有与压应力垂直的横向加强筋的板。

其中：l——板格的长边长度，m；

C=1.3，由肋板或高腹板梁扶强的板格；

C=1.21，加强筋是角钢或 T 型材；

C=1.10，加强筋是球扁钢；

C=1.05，加强筋是扁钢；

ψ——为最小与最大压应力之比值，$0 \leqslant \psi \leqslant 1$，(见图 2.2.7.4)。

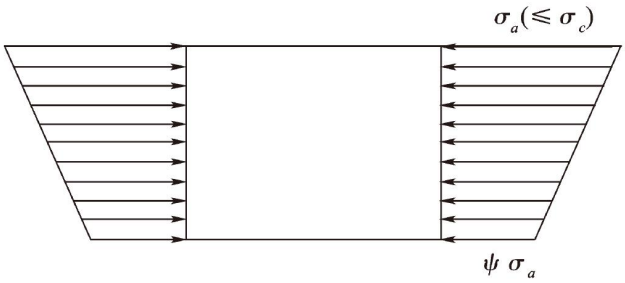


图 2. 2. 7. 4

(2) 受剪切板格的理想弹性屈曲剪切应力τ_E按下式计算：

$$\tau_E = 0.9K_t E\left(\frac{t_b}{1000s}\right)^2 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$K_t = 5.34+4\left(\dfrac{s}{l}\right)^2$；

E、t_b、s 和 l 见本条(1)。

标准减薄厚度 **表 2.2.7.4**

结构	标准减薄厚度 (mm)	最小最大极限值 (mm)
散装干货舱； 一面在压载舱或液货舱内的垂直表面及倾斜表面(与水平线夹角＞25°)	0.05t	0.5～1
一面在压载舱或液货舱内的水平表面及倾斜表面(与水平线夹角≤25°)； 两面均在压载舱或液货舱内的垂直表面及倾斜表面(与水平线夹角＞25°)	0.10t	2～3
两面均在压载舱或液货舱内的水平表面及倾斜表面(与水平线夹角≤25°)	0.15t	2～4

注：表中 t 为设计的板厚值，mm。

2.2.7.5 纵骨的理想弹性屈曲应力按下列各式计算：

(1) 横截面无转动的柱屈曲模式(垂直于板的平面)，纵骨的理想弹性屈曲应力σ_E应按下式计算：

$$\sigma_E = 0.001E\frac{I_a}{Al^2} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：I_a ——纵骨惯性矩，cm^4；包括带板，且按本节表 2.2.7.4 减薄后的厚度计算；

A ——纵骨横截面面积，cm^2，包括带板，且按本节表 2.2.7.4 减薄后的厚度计算；

l ——纵骨跨距，m。

(2) 扭转屈曲模式，纵骨的理想弹性屈曲应力σ_E按下式计算：

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E I_W}{I_p l^2 \times 10^4}\left(n^2 + \frac{K_B}{n^2}\right) + 0.385E\frac{I_t}{I_p} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$K_B = \dfrac{Cl^4}{\pi^4 E I_W} \times 10^6$；

n ——半波数，由表 2.2.7.5 给出；

I_t ——剖面的圣维南惯性矩(不包括带板)，cm⁴，应按下列各式计算：

$I_t = \dfrac{h_w t_w^3}{3} \times 10^{-4}$，对扁钢；

$I_t = \dfrac{1}{3}\left[h_w t_w^3 + b_f t_f^3\left(1 - 0.63\dfrac{t_f}{b_f}\right)\right] \times 10^{-4}$，对有折边剖面；

I_p ——扶强材与板连接处的剖面极惯性矩，cm⁴：

$I_p = \dfrac{h_w^3 t_w}{3} \times 10^{-4}$，对扁钢；

$I_p = \left(\dfrac{h_w^3 t_w}{3} + h^2 b_f t_f\right) \times 10^{-4}$，对有折边剖面；

I_w ——扶强材与板连接处的剖面扇形惯性矩，cm⁶：

$I_w = \dfrac{h_w^3 t_w^3}{36} \times 10^{-6}$，对扁钢；

$I_w = \dfrac{t_f b_w^3 h_w^2}{12} \times 10^{-6}$，对 T 形剖面；

$I_w = \dfrac{b_f^3 h_w^2}{12\left(b_f + h_w\right)^2}\left[t_f\left(b_f^2 + 2b_f h_w + 4h_w^2\right) + 3t_w b_f h_w\right] \times 10^{-6}$，对角钢和球扁钢；

l ——纵骨跨距，m；

E ——材料弹性模量，N/mm²。

其中：h_w——腹板高度，mm；

t_w——按本节表 2.2.7.4 减薄后的腹板厚度，mm；

b_f——面板宽度，mm；

t_f ——按本节表 2.2.7.4 减薄后的面板厚度，mm，对球扁钢，可用球的平均厚度；

C——由支持板格产生的弹簧刚度，按下式计算：

$$C = \frac{K_p E t_p^3}{3s\left(1 + \dfrac{1.33K_p h_w t_p^3}{1000 s t_w^3}\right)} \times 10^{-3}$$

s ——纵骨的间距，m；

t_p ——板格厚度，mm，按本节表 2.2.7.4 减薄后的厚度计算；

$K_p = 1 - \eta_p$ 取正值，对于折边剖面，K_p 取不小于 0.1；

$\eta_p = \dfrac{\sigma}{\sigma_{EP}}$；

σ ——工作压应力，按本节 2.2.5.5 计算，但取值应不小于 30/K，N/mm²， 其中 K 为材料系数；

σ_{EP}——按本节 2.2.7.4 计算所得的支持板的理想弹性屈曲应力。

半波数 *n* 值 **表 2.2.7.5**

	$0 < K_b \leqslant 4$	$4 < K_B \leqslant 36$	$36 < K_B \leqslant 144$	$(n\text{-}1)^2 n^2 < K_B \leqslant n^2(n+1)^2$
n	1	2	3	N

(3) 纵骨腹板和面板的屈曲：

① 对纵骨的腹板，理想弹性屈曲应力σ_E应按下式计算：

$$\sigma_E = 3.8E\left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：t_w、h_w、E 见本条(2)。

② 对于角钢和 T 形截面的纵骨，面板的屈曲可按下式要求校核：

$$\frac{b_f}{t_f} \leqslant 15$$

式中：b_f——对角钢为面板的宽度，对 T 形截面为面板的半宽，mm；

t_f ——面板厚度，mm。

2.2.7.6 受压时的临界屈曲应力σ_c按下列各式计算：

$$\sigma_c = \sigma_E \qquad \text{当 } \sigma_E \leqslant \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_c = R_{eH}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_E}\right) \qquad \text{当} \sigma_E > \frac{R_{eH}}{2}$$

式中：R_{eH}——材料的屈服应力，N/mm^2；

σ_E ——按本节 2.2.7.4(1)和 2.2.7.5 计算的理想弹性屈曲应力，N/mm^2。

2.2.7.7 受剪时的临界屈曲剪切应力τ_c按下列各式计算：

$$\tau_c = \tau_E, \qquad \text{当 } \tau_E \leqslant \frac{\tau_s}{2}$$

$$\tau_c = \tau_s\left(1 - \frac{\tau_s}{4\tau_E}\right), \qquad \text{当} \tau_E > \frac{\tau_s}{2}$$

式中：$\tau_s = \dfrac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$；

R_{eH}——材料的屈服应力，N/mm^2；

τ_E ——按本节 2.2.7.4(2)计算的理想弹性屈曲剪切应力，N/mm^2。

2.2.8 装载手册和装载仪

2.2.8.1 船舶竣工后，设计部门应及时编制该船的装载手册，并提交审批。装载手册的编制格式可参照 CCS 的《装载手册编制指南》。

2.2.8.2 船舶的装载应符合装载手册的规定，以避免在船体结构中产生不允许有的应力。

2.2.8.3 装载手册应包括以下内容：

(1) 船舶设计所依据的装载工况，包括沿船长的许用静水弯矩和许用静水剪力曲线；

(2) 各种装载情况下的静水弯矩和静水剪力的计算值，必要时还应考虑对扭转载荷和横向载荷的限制；

(3) 结构(如舱口盖、甲板和双层底等)所允许的局部载荷。

2.2.8.4 装载仪应符合下述规定：

(1) 装载仪既可为模拟式又可为数字式的仪器，借助该仪器可以容易并迅速地确认在某一指定的读出点处的静水弯矩、静水剪力以及如适用时还有静水扭矩和横向载荷，在任何装载或压载工况下均不应超过规定的许用值；

(2) 通常应为装载仪配备操作手册；

(3) 不接受单点式装载仪；

(4) 对装载仪的具体要求见本章附录 1。

2.2.8.5 符合下述规定之一的船舶为第 I 类船舶：

(1) 甲板大开口船舶，应考虑大开口处船体梁垂向弯曲和水平弯曲以及扭转和横向载荷所产生的合成应力；

(2) 可能非均匀装载的船舶，即货物和/或压载可以是不均匀分布。船长 120m 以下的船舶，如设计考虑了货物和压载的不均匀分布，则属于第 II 类船舶；

(3) 化学品船和气体运输船。

2.2.8.6 符合下述规定之一的船舶为第 II 类船舶：

(1) 其布置使得货物和压载分布的变化可能性很小的船舶，以及在定期航线和以固定贸易方式营运的船舶，对于这类船舶的装载手册应给予足够重视；

(2) 第 I 类中除外的船舶。

2.2.8.7 除船长小于 90m 且载重量不超过夏季载重线吃水对应的排水量的 30%的第 II 类船舶无需配备装载手册外，其他的所有船舶均应备有经批准的装载手册。

2.2.8.8 船长 100m 及以上的所有第 I 类船舶应配备经认可的装载仪。

2.2.8.9 船长 150m 及以上的散货船、矿砂船和兼用船应按本篇第 8 章第 7 节的要求配备经认可的装载手册和装载仪。

2.2.8.10 对在沿海航区和遮蔽航区航行的船舶，可不配备装载仪。

2.2.8.11 装载手册的批准条件：

(1) 装载手册的批准应以船舶的完工数据为依据，手册应包括批准船体结构尺寸所依据的设计装载和压载工况；

(2) 如船舶的改建导致船舶主要数据的改变，则要签发一份新的经批准的装载手册；

(3) 装载手册应采用使用者能够理解的语言编制。

2.2.8.12 装载仪的批准条件：

(1) 装载仪应包括以下内容并经认可：

① 型式认可的确认，如有时；

② 确认船舶的完工数据已被采用；

③ 确认读出点的数目和位置；

④ 确认所有读出点的有关许用值；

⑤ 按照经确认的装载计算测试报告检查装载仪在船上的正确安装和操作，并检查是否备有一份操作手册的副本。

(2) 如船舶的改建导致船舶主要数据的改变，则装载仪也要作相应的改变并重新认可；

(3) 操作手册和装载仪的输出结果应采用使用者能够理解的语言编制；

(4) 安装后要确认装载仪的操作情况，并检查船上是否具备装载仪操作手册和经批准的测试装载工况。

2.2.9 波浪载荷的直接计算

2.2.9.1 波浪载荷直接计算应基于以下假定：

(1) 计算软件应基于三维线性或非线性波浪理论，并得到认可；

(2) 对于远海航区的船舶，波浪载荷的预报采用基于北大西洋海洋环境的 IACS Rec. 34 波浪统计资料；对于有限航区的船舶，波浪载荷的预报需基于所航行海区的波浪统计资料，如所航行海区的波浪统计资料不限于一种，则选取其中最严重的一种进行计算；

(3) 所取的波浪频率数、浪向角和计算航速要求见本篇第 1 章第 5 节；

(4) 计算采用的波浪谱及能量扩散函数，见本篇第 1 章第 5 节；

(5) 取 10^{-8} 概率水平的长期预报结果作为计算结果。

2.2.9.2 波浪载荷计算的水动力模型应满足以下要求：

(1) 质量模型应能正确反映实船的质量及分布，确保质量与实船的误差不大于 0.1%，重心位置与实船的误差不大于 0.1%L；

(2) 湿表面模型应足够精细，能够在水动力意义上准确地描述实船的形状，排水量与实船的误差不大于 0.1%，浮心位置与实船的误差不大于 0.1%L，网格数一般不小于 2000。

2.2.9.3 通过线性波浪理论得到的波浪弯矩和波浪剪力应按下述要求进行非线性修正：

(1) 中拱波浪弯矩 $M_W(+)$ 和中垂波浪弯矩 $M_W(-)$ 应按下列各式计算：

$$M_W(+) = Mf_{nl\text{-}h}M_{W,cal} \qquad \text{kN·m}$$

$$M_W(-) = -Mf_{nl\text{-}s}M_{W,cal} \qquad \text{kN·m}$$

式中：$M_{W,cal}$——基于线性波浪理论直接计算得到，在 0.4L 至 0.6L 之间垂向波浪弯矩的最大值；

M——弯矩沿船长的分布系数，见本篇第 2 章图 2.2.3.1；

$f_{nl\text{-}h}$，$f_{nl\text{-}s}$——非线性修正系数，按下列各式确定：

$$f_{nl\text{-}h} = \frac{190C_b}{95C_b + 55(C_b + 0.7)}$$

$$f_{nl\text{-}s} = \frac{110(C_b + 0.7)}{95C_b + 55(C_b + 0.7)}$$

C_b——方形系数，但计算取值不应小于 0.6。

(2) 中拱波浪剪力 $F_W(+)$ 和中垂波浪剪力 $F_W(-)$ 应按下列各式计算：

$$F_W(+) = F_{nl,1}F_{WV,\max} \qquad \text{kN}$$

$$F_W(-) = -F_{nl,2}F_{WV,\max} \qquad \text{kN}$$

式中：$F_{nl,1}$，$F_{nl,2}$——考虑非线性修正后剪力沿船长的分布系数，分别见图 2.2.9.3(1)和 2.2.9.3(2)。图中 $f_{nl\text{-}h}$，$f_{nl\text{-}s}$ 见本条(1)；

$F_{WV,\max}$ 应按下式计算：

$$F_{WV,\max} = \max\left(\frac{\max\left|F_{WV,CAL,A}\right|}{0.92}, \frac{\max\left|F_{WV,CAL,F}\right|}{1.0}\right) \qquad \text{kN}$$

其中：$F_{WV,CAL,A}$——为 $x/L < 0.5$ 各剖面的波浪剪力直接计算值，kN；

$F_{WV,CAL,F}$——为 $x/L \geqslant 0.5$ 各剖面的波浪剪力直接计算值，kN。

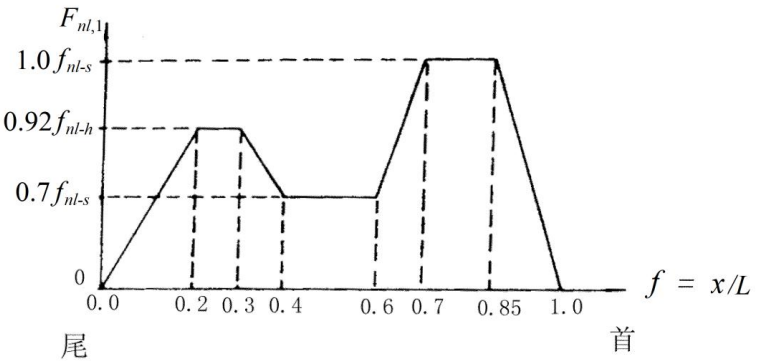


图 2.2.9.3(1) 系数 $F_{nl,1}$ 沿船长的分布图

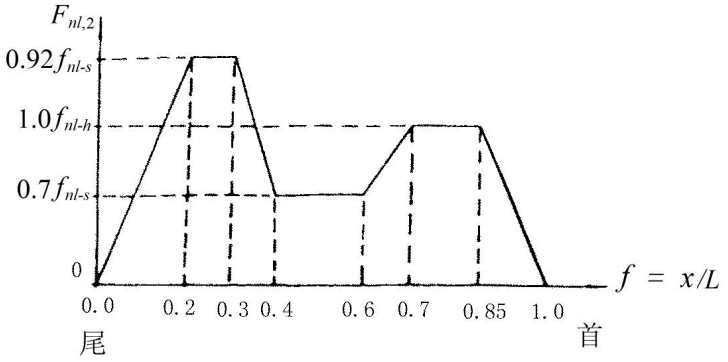


图 2.2.9.3(2) 系数 $F_{nl,2}$ 沿船长的分布图

2.2.9.4　对于工程船等需进行短期作业的特定船舶，应基于设计方提供的最严重的短期海况，采用波浪载荷短期预报确定作业工况的波浪载荷。短期预报的时间一般取为 3 小时或设计方提供的作业时长的大者。

第 3 节　外　板

2.3.1　船底板

2.3.1.1　船底板是指由平板龙骨至舭列板之间的外板。

2.3.1.2　船底为横骨架式时，船中部 0.4*L* 区域内的船底板厚度 *t* 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1=0.072sE^{-1}(L+170)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2=7.0s\sqrt{(d+h_1)F_bK} \quad \text{mm}$$

式中：*s* ——肋骨间距，m，计算时取值应不小于肋骨的标准间距；

d ——吃水，m；

L ——船长，m；但计算时取不必大于 200m；

F_b——折减系数，见本章 2.2.5.6；

$E=1+\frac{s^2}{S^2}$，其中，*S* 为船底桁材或龙骨间距，m；

$h_1=0.26C$，计算时取不大于 0.2*d*；

C ——系数，见本章第 2 节 2.2.3.1；

K ——材料系数。

2.3.1.3　船底为纵骨架式时，船中 0.4*L* 区域内的船底板厚度 *t* 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1=0.043s(L+230)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2=5.6s\sqrt{(d+h_1)F_bK} \quad \text{mm}$$

式中：*s* ——纵骨间距，m，计算时取值应不小于纵骨的标准间距；

d ——吃水，m；

L ——船长，m，计算时取不必大于 190m；

F_b、h_1——见本节 2.3.1.2；

K ——材料系数。

2.3.1.4　离船端 0.075*L* 区域内的船底板厚度 *t* 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=(0.035L+6)\sqrt{\frac{sK}{0.7}} \quad \text{mm}$$

式中：*L* ——船长，m，计算时取值不必大于 300m；

s ——肋骨或纵骨间距，m，计算时取值应不小于 0.7；

K ——材料系数。

2.3.1.5　船底板厚度应不小于按下式计算所得之值：

$$t=(0.035L+6)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：*L*——船长，m；

K——材料系数。

船中部 0.4*L* 区域以外的船底板厚度，应能逐渐向端部船底板厚度过渡。

2.3.1.6　首部船底板的厚度还应符合本章第 15 节中的有关规定。

2.3.2 **平板龙骨**

2.3.2.1 平板龙骨的宽度 b 应不小于按下式计算所得之值：

$$b = 900+3.5L \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

平板龙骨的宽度不必大于 1800mm。平板龙骨的宽度应在整个船长内保持不变。

2.3.2.2 平板龙骨的厚度应不小于按其结构形式按本节 2.3.1 计算所得的船底板厚度加 2mm，且应不小于相邻船底板的厚度。

2.3.3 **舭列板**

2.3.3.1 舭列板厚度，当舭列板处为横骨架式时，应不小于按本节 2.3.1.2 计算所得；当舭列板处为纵骨架式时，应不小于按本节 2.3.1.3 计算所得。

2.3.3.2 当船底和舷侧均为纵骨架式，而舭部不设纵骨，横向强力构件或相当舭肘板的设置符合本章 2.6.15.5 的要求时，舭列板的厚度应不小于 $\frac{rF_b}{165K_L}$（r 为舭部半径，mm，K 为材料系数，F_b 为船底折减系数），且应不小于相邻船底板的厚度。

2.3.4 **舷侧外板**

2.3.4.1 舷侧外板系指从舭列板至舷顶列板之间的外板。

2.3.4.2 舷侧为横骨架式时，船中部 0.4L 区域内舷侧外板厚度 t 应符合下列规定：

(1) 距基线 $\frac{3}{4}D$ 以上的舷侧外板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.073sE^{-1}(L+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \qquad \text{mm}$$

$$t_2 = 4.2s\sqrt{(d+h_2)K} \qquad \text{mm}$$

(2) 以距基线 0.5D 为中点的 $\frac{1}{2}D$ 范围内的舷侧外板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.06s(L+110)\sqrt{\frac{F_m}{K}} \qquad \text{mm}$$

$$t_2 = 5.1s\sqrt{(d+h_2)K} \qquad \text{mm}$$

(3) 距基线 $\frac{1}{4}D$ 以下的舷侧外板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.072sE^{-1}(L+110)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \qquad \text{mm}$$

$$t_2 = 6.3s\sqrt{(d+h_1)F_bK} \qquad \text{mm}$$

式中：s ——肋骨间距，m，计算时取值应不小于肋骨的标准间距；

L ——船长，m，计算时取值不必大于 190m；

d ——吃水，m；

F_d、F_b——折减系数，见本章 2.2.5.6；

F_m——折减系数，取 F_d 和 F_b 中的大者；

$E = 1+\frac{s^2}{S^2}$ ，其中，S 为舷侧纵桁间距，m；

$h_2 = 0.5C$，计算时，取不大于 0.36d；

h_1、C 见本节 2.3.1.2；

K ——材料系数。

(4) 在计算 t_1 时，除本章第 2 节规定的高强度钢最小范围外，材料系数 K 可取 1。

2.3.4.3　舷侧为纵骨架式时，船中部 0.4L 区域内舷侧外板厚度 t 应符合下列规定：

(1)　距基线 $\frac{1}{2}D$ 以上的舷侧外板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1=0.06s(L+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2=4.2s\sqrt{(d+h_2)K} \quad \text{mm}$$

(2)　距基线 $\frac{1}{4}D$ 以下的舷侧外板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1=0.06s(L+110)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2=5.4s\sqrt{(d+h_1)F_bK} \quad \text{mm}$$

式中：s ——纵骨间距，m，计算时取值应不小于纵骨的标准间距；

L ——船长，m，计算时取值不必大于 190m；

d ——吃水，m；

F_d、F_b——折减系数，见本章 2.2.5.6；

h_1——见本节 2.3.1.2；

h_2 ——见本节 2.3.4.2；

K ——材料系数。

(3)　距基线 $\frac{1}{4}D$ 至距基线 $\frac{1}{2}D$ 区域内的舷侧外板厚度 t，根据上述(1)、(2)中的 t_2 用内插法求得，但不应小于上述(2)中的 t_1。

(4)　在计算 t_1 时，除本章第 2 节规定的高强度钢最小范围外，材料系数 K 可取 1。

2.3.4.4　离船端 0.075L 区域内的舷侧外板厚度应符合本节 2.3.1.4 的要求。

2.3.4.5　舷侧外板厚度应不小于按下式计算所得之值：

$$t=(0.035L+6)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m；

K——材料系数。

船中部 0.4L 区域以外的舷侧外板厚度，应能逐渐向端部舷侧外板厚度过渡。

2.3.5　舷顶列板

2.3.5.1　舷顶列板的宽度应不小于：

$$b=800+5L \quad \text{mm，但也不必大于 1800mm}$$

式中：L——船长，m。

2.3.5.2　舷侧为横骨架式时，船中 0.4L 区域内舷顶列板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1=0.085s\,E^{-1}\,(L_1+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2=1.05s\sqrt{(L+75)K} \quad \text{mm}$$

式中：s ——肋骨间距，m，计算时取值应不小于肋骨的标准间距；

L ——船长，m；

L_1=L，m，但计算时，取不必大于 200m；

F_d、E 见本节 2.3.4.2；

K ——材料系数。

2.3.5.3　舷侧为纵骨架式时，船中 0.4*L* 区域内的舷顶列板厚度 *t* 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1=0.06s(L_1+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \qquad \text{mm}$$

$$t_2=0.9s\sqrt{(L+75)K} \qquad \text{mm}$$

式中：*s* ——纵骨间距，m，计算时取值应不小于纵骨的标准间距；

L ——船长，m；

$L_1=L$，其中 *L* 为船长，m，但计算时取值不必大于 200m；

F_d——折减系数，见本章 2.2.5.6；

K ——材料系数。

2.3.5.4　在船中部 0.4*L* 区域内的舷顶列板的厚度，在任何情况下均应不小于强力甲板边板厚度的 0.8 倍，也不小于相邻舷侧外板的厚度。舷顶列板的厚度可逐渐向两端过渡到端部的舷侧外板厚度。

2.3.5.5　舷顶列板与甲板边板的连接采用焊接时，舷顶列板上缘应平整，在船中部 0.5*L* 范围内应避免焊接其他装置；在此范围内或上层建筑间断处，如舷顶列板高出甲板，则在舷顶列板的甲板以上部分不应开流水孔。

用圆弧舷板时，圆弧半径应不小于板厚的 15 倍。圆弧舷板厚度至少应等于甲板板厚度。加工后应采取措施保证钢材应具有的性能。在船中部 0.5*L* 区域内的圆弧舷板上应尽量避免焊接甲板装置。

2.3.6　局部加强

2.3.6.1　与尾柱连接的外板、轴毂处的包板以及多推进器尾轴架托掌固定处的外板厚度，应不小于端部外板厚度的 1.5 倍，也不小于中部外板的厚度。

2.3.6.2　锚链筒处的外板及其下方一块板应予加厚或用复板。锚链筒出口处应有足够的圆弧半径，用钢板或铸钢制作的锚唇外缘的圆弧半径建议不小于锚链直径的 12 倍。

2.3.7　外板开口

2.3.7.1　在船中部 0.5*L* 区域内，舭列板弯曲部分应尽量避免开口，必需开口时，应开成长轴沿船长方向布置的椭圆形开口。

2.3.7.2　舷顶列板上的圆形孔，如避开舷缘和舱口边线外的任何甲板开口，且此孔的高度不超过舷顶列板高度的 20%或 380mm(以小者为准)时，则一般不必补偿。此项圆形孔应充分避开上层建筑端点。圆弧形舷缘上不允许开口。

2.3.7.3　海水进口及其他开口角隅应有足够大的圆角。海水箱厚度和钢级应不低于相邻的外板，船长等于及大于 90m 时，应不小于 12mm，但不必大于 25mm。

2.3.7.4　舷门等开口角隅应采用足够大的圆角，而且要避开上层建筑端点和货舱口边线外的甲板开口。在船中部 0.5*L* 范围内，应完全补偿，补偿可用加厚板或复板，在船长方向应有足够长度。

2.3.8　舭龙骨

2.3.8.1　如在船体上安装有舭龙骨时，舭龙骨应连接在一根连续的扁钢上，此扁钢可焊接在船体上，舭龙骨上的端接缝、扁钢上的端接缝与外板上的端接缝都应相互错开。舭龙骨和扁钢不能突然中断， 应逐渐减小，且在端点处的船体内应有适当的内部支持。

第 4 节　甲　板

2.4.1　一般要求

2.4.1.1　本节规定适用于纵骨架式和横骨架式的各层甲板。

2.4.1.2　在船中部 0.4*L* 区域内中断的平台甲板，应在中断处以水平肘板延伸适当长度。

2.4.2　强力甲板

2.4.2.1　船中 0.4*L* 区域内开口边线外强力甲板厚度 *t*，除应符合中剖面模数要求外，还应不小于按下列各式计算所得之值：

(1)　横骨架式：

$$t_1=0.085s\,E^{-1}\,(L_1+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2=1.05s\sqrt{(L+75)K} \quad \text{mm}$$

式中：*s* —— 横梁间距，m，计算时取值应不小于横梁的标准间距；

L —— 船长，m；

$L_1=L$，m，但计算时取值不必大于 200m；

F_d—— 折减系数，见本章 2.2.5.6；

$E=1+\frac{s^2}{S^2}$，其中，*S* 为甲板纵桁间距；

K ——材料系数。

(2)　纵骨架式：

$$t_1=0.06s(L_1+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2=0.9s\sqrt{(L+75)K} \quad \text{mm}$$

式中：*s* ——纵骨间距，m，计算时取值应不小于纵骨的标准间距；

L ——船长，m；

$L_1=L$，m，但计算时取值不必大于 200m；

F_d——折减系数，见本章 2.2.5.6；

K ——材料系数。

2.4.2.2　在开口边线以内及离船端 0.075*L* 区域内的强力甲板，无论是纵骨架式或横骨架式，其厚度 *t* 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.9s\sqrt{(L+75)K} \quad \text{mm}$$

式中：*s* ——骨材间距，m，计算时取值应不小于骨材的标准间距；

L ——船长，m；

K ——材料系数。

2.4.2.3　强力甲板(包括端部甲板)的最小厚度 *t* 应不小于 6mm。

2.4.2.4　在船中部 0.5*L* 区域内的长桥楼甲板作为强力甲板时，其船中剖面模数及最小厚度应符合本章 2.2.5 及 2.4.2.1 的要求。

2.4.2.5　船中部强力甲板厚度应在船中部 0.4*L* 区域内保持相同，并逐渐向端部甲板厚度过渡。

2.4.2.6　如强力甲板在船首端无首楼保护时，在距首垂线 0.15*L* 以前的强力甲板板厚还应满足首楼甲板的要求。

2.4.3　甲板边板

2.4.3.1　强力甲板边板厚度，应不小于强力甲板厚度。船中 0.4*L* 区域的强力甲板边板宽度应满足本篇第 1 章第 3 节的有关要求。强力甲板边板在端部的宽度，应不小于其在船中部宽度的 65%。

2.4.4　甲板开口

2.4.4.1　当强力甲板上机炉舱、货舱开口的角隅是抛物线形或椭圆形时，角隅处的甲板不需设嵌入板，但应符合图 2.4.4.1 的规定。

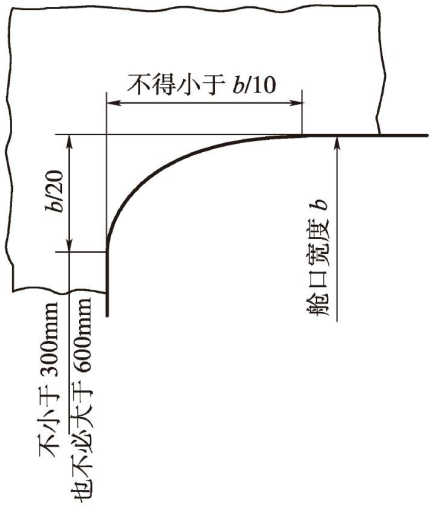


图 2.4.4.1

2.4.4.2　当强力甲板上的机炉舱、货舱开口的角隅是圆形时,角隅处要求设嵌入板,且角隅半径与舱口宽度之比不小于 1/20,但对于舱口围板处未设置甲板纵桁者不小于 1/10。如甲板伸进舱口围板内,圆形角隅的最小半径为 300mm；如舱口围板以套环形式与甲板内缘焊接时,圆形角隅最小半径为 150mm。

角隅处嵌入板的延伸范围应符合图2.4.4.2 的规定（R 为舱口角隅半径；e 应不小于 760mm，且对于纵骨架式应不小于 1 个纵骨间距）。角隅处嵌入板端接缝应与舱口围板的端接缝以及甲板骨架的角接焊缝错开，嵌入板的厚度应较强力甲板增加 4mm。当嵌入板厚度或延伸范围不能满足上述要求时，应采用包括屈服、屈曲及疲劳在内的直接计算方法予以验证。

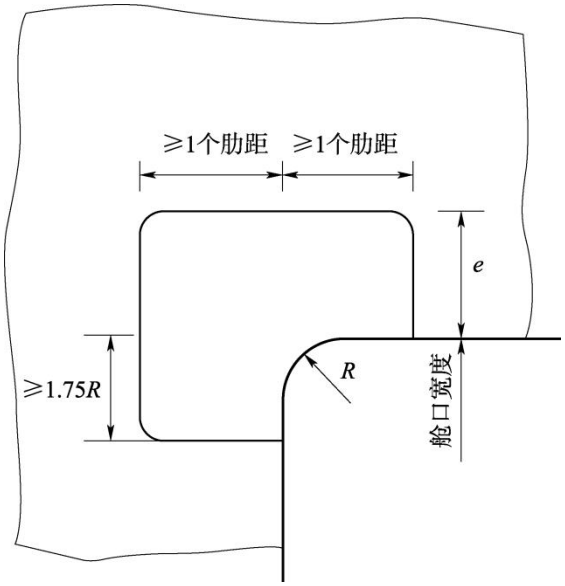


图 2.4.4.2

2.4.4.3　在强力甲板舱口边线外的开口应尽量减少，并应避开舱口角隅。所有开口角隅应有良好的圆角和光滑的边缘。

船中部桥楼和甲板室的端壁和货舱口角隅之间的强力甲板上应尽量避免开口。

2.4.4.4　在船中部 0.5*L* 区域内，强力甲板舱口线外的开口，符合本章 2.2.4.7 的规定时，不必补偿。符合下列要求者，开口边缘不必加强：

(1)　椭圆形开口的长轴应沿船长方向布置，且开口的长宽比不小于 2；

(2)　其他形状的开口，如试验证明其应力集中系数对低碳钢小于 2；对高强度钢小于 1.5。

2.4.4.5　在船中 0.5*L* 区域内，强力甲板舱口线外的开口不符合本章 2.2.4.7 规定时，应予以补偿。通常的补偿方法是加厚甲板。当开口不符合本节 2.4.4.4(1)、(2)的规定时，应采用套环形式(如图 2.4.4.5)，或其他等效方式加强开口边缘。当采用套环形式时，圆环板的剖面积 *A* 应不小于按下式计算所得之值：

$$A = 0.5rt \qquad \text{mm}^2$$

式中：*r*——开口半径，mm，对椭圆形开口取为开口宽度的一半；

t ——甲板厚度，mm。

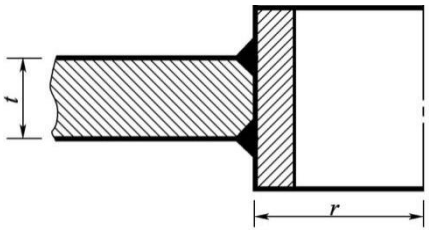


图 2. 4. 4. 5

2.4.4.6　下甲板开口应符合下述要求：

(1)　第 2 甲板机舱、货舱开口角隅处要求加厚板，厚度应较甲板增加 2.5mm。第 3 甲板及以下甲板(包括平台甲板)的舱口角隅处一般不要求加厚板；

(2)　舱口线外的开口应尽量避开舱口角隅处和其他高应力区域。本节 2.4.4.4 和 2.4.4.5 的规定一般也适用于下甲板，但开口总宽度(见本章图 2.2.4.7 所示阴影部分)超过该甲板用作中剖面模数计算宽度的 15%时，方需补偿。

2.4.4.7　甲板开口的上述规定，一般也适用于船中部 0.5*L* 以外区域。

2.4.5　甲板负荷不超过 40kPa 的下甲板和平台甲板

2.4.5.1　第 2 甲板在船中部 0.4*L* 区域内的货舱口边线外的甲板厚度 *t*，应不小于按下式计算所得之值：

$$t=12s\sqrt{K} \quad \text{mm，且不小于 6mm}$$

在舱口边线以内及离船端 0.075*L* 区域内的厚度 *t*，应不小于按下式计算所得之值：

$$t=10s\sqrt{K} \quad \text{mm，且不小于 6mm}$$

式中：*s*——骨材间距，m，计算时取值应不小于骨材的标准间距；

K ——材料系数。

2.4.5.2　第 3 甲板和平台甲板的厚度 *t*，应不小于按下式计算所得之值：

$$t=10s\sqrt{K} \quad \text{mm，且不小于 6mm}$$

式中：*s*——骨材间距，m，计算时取值应不小于骨材的标准间距；

K ——材料系数。

2.4.6　升高甲板

2.4.6.1　对于升高甲板的要求见本章 2.17.8。

2.4.7 上层建筑端部

2.4.7.1 上层建筑端部甲板的加强应符合本章 2.17.6 的要求。

2.4.8 甲板敷盖

2.4.8.1 甲板敷盖材料应不腐蚀钢板，否则应用不腐蚀钢板的保护层使之与钢板有效地隔离。

2.4.8.2 在露天钢甲板上的木铺板厚度，当船长小于 120m 时，应不小于 50mm(松木)及 45mm(柚木)；当船长等于或大于 120m 时，应分别不小于 60mm 及 50mm。在遮蔽舱室内的钢甲板上的松木铺板厚度应不小于 40mm。

设有上述木铺板的钢甲板厚度可比不设木铺板的减薄 1mm。该木铺板的每一板条应在每一横梁处用螺柱固定于甲板上。

2.4.8.3 如以化学敷料代替钢甲板上的木铺板时，则钢甲板的厚度不应减薄。

第 5 节 单 层 底

2.5.1 适用范围

2.5.1.1 本节规定适用于船长不大于 90m 的横骨架式单层底船舶。

2.5.2 中内龙骨

2.5.2.1 在船舶中纵剖面处应设置中内龙骨。中内龙骨的高度应等于肋板的高度，其腹板厚度 t 和面板剖面积 A 应不小于按下列各式计算所得之值：

在船中部 0.4L 区域内： $t=\sqrt{LK}+2$ mm，且不小于 6mm

$A=0.67LK$ cm^2，且不小于 12.5 cm^2

在船端 0.075L 区域内： $t=\sqrt{LK}+0.5$ mm，且不小于 6mm

$A=0.52LK$ cm^2，且不小于 12.5 cm^2

式中：L——船长，m；

K——材料系数。

在首尖舱内，中内龙骨可与肋板等高、等厚和具有相同的面板剖面积。

2.5.2.2 中内龙骨一般应贯通全船，在舱壁处中断时应用下列方式之一与舱壁连接：

(1) 将中内龙骨的腹板在 1 个肋距内逐渐升高至舱壁处，该处高度应为原高度的 1.5 倍。中内龙骨的面板应延伸至舱壁，并与之焊接，如图 2.5.2.2(1)所示。

(2) 用有面板或折边的肘板与舱壁连接，肘板的高度和长度应等于中内龙骨的高度。此时，中内龙骨面板可不与舱壁焊接。肘板的厚度应与中内龙骨腹板厚度相同。如图 2.5.2.2(2)所示。

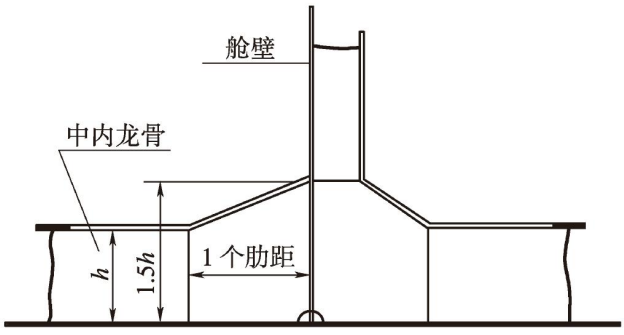


图 2.5.2.2(1)

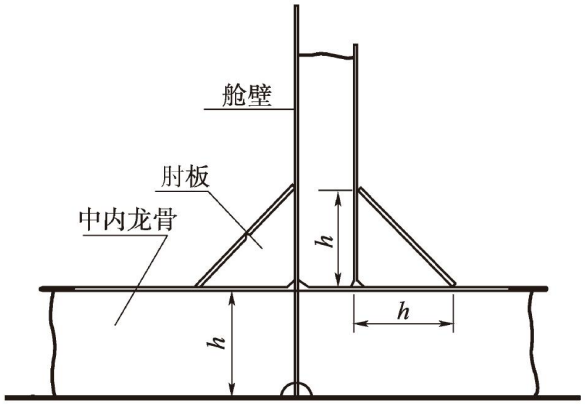


图 2.5.2.2(2)

(3) 将中内龙骨面板宽度在 1 个肋距内逐渐放宽，至舱壁处其宽度为原宽度的两倍，并与舱壁焊接。如图 2.5.2.2(3)所示。

2.5.2.3 在机舱内，中内龙骨腹板厚度应按本节 2.5.2.1 计算值增加 1mm。如单机船的机座纵桁在整个机舱长度内是贯通的，并且在两端舱壁的背面均设有过渡的肘板时，则机舱内的中内龙骨可以省略，但在中内龙骨中断处的机舱内应设置长度不小于 2 个肋距的肘板作为中内龙骨的过渡，如图 2.5.2.3 所示。

对尾机型船舶，此种机座纵桁应尽可能地向尾延伸，且其端部应由强肋骨或实肋板支持。如由于尾部线型过于尖瘦导致在尾尖舱舱壁后无法设过渡肘板时，可不设过渡肘板。

2.5.3 旁内龙骨

2.5.3.1 旁内龙骨的高度与该处肋板高度相同。其腹板的厚度 t 和面板的剖面积 A，应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t=\sqrt{LK} \quad \text{mm 且不小于 6mm}$$

$$A=0.25L+5 \quad \text{cm}^2 \text{ 且不小于 10 cm}^2$$

式中：L——船长，m；

K——材料系数。

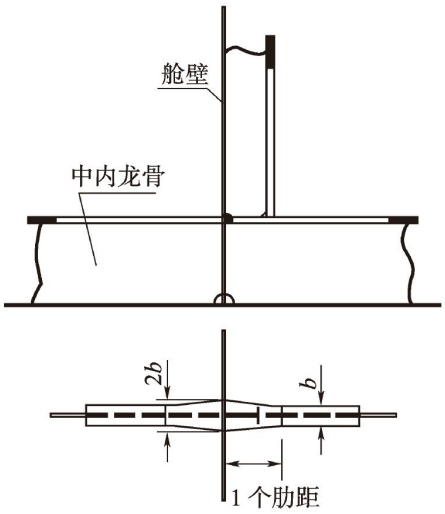


图 2.5.2.2(3)

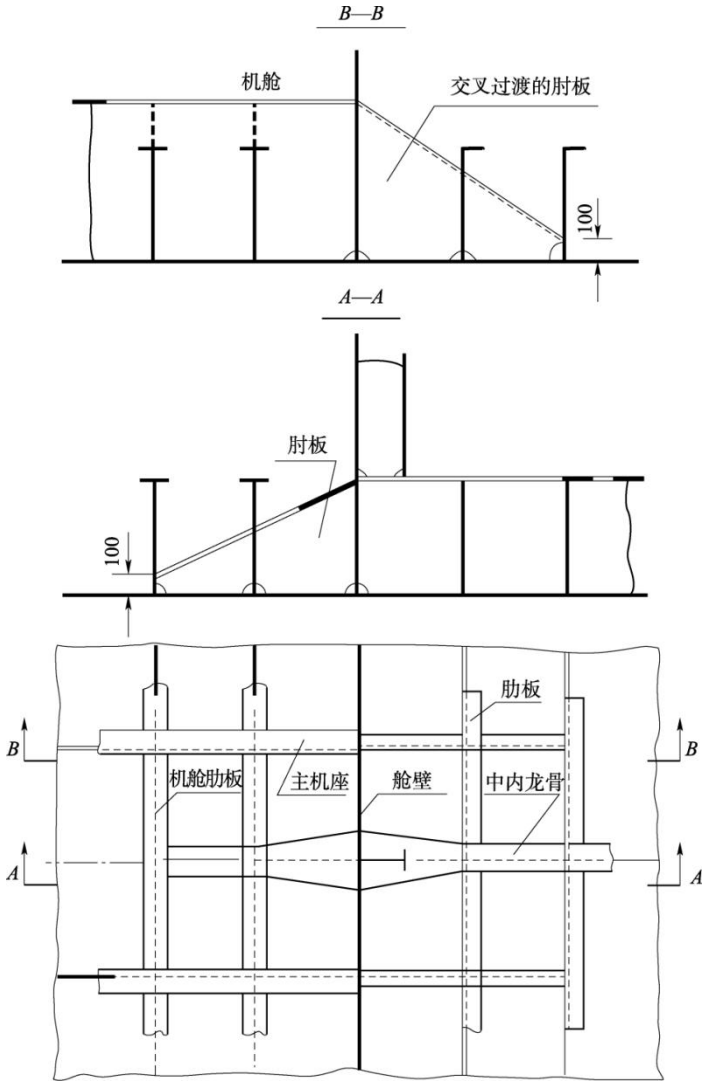


图 2. 5. 2. 3

在机舱内，旁内龙骨腹板的厚度应不小于本节 2.5.2.1 所要求的中内龙骨腹板的厚度。

2.5.3.2　当船宽等于或小于 9m 时，应在中内龙骨两侧至少各设 1 道旁内龙骨；当船宽大于 9m 小于 16m 时，应在中内龙骨两侧至少各设 2 道旁内龙骨。若船底板格长与宽之比值超过 4 时，还应设置连续或间断的纵向加强筋。旁内龙骨应尽可能均匀设置并向首尾延伸。主机基座纵桁外侧，应设置按本节 2.5.3.1 要求的旁内龙骨，并应注意结构的连续性。对机舱在尾部的双机型船舶，若因机舱狭小而无法设置时，可不设置。

2.5.3.3　旁内龙骨在舱壁处的连接与对中内龙骨的要求相同(见本节 2.5.2.2)。

2.5.4　肋板

2.5.4.1　每个肋位处应设置实肋板，其中纵剖面处腹板高度 h、厚度 t 及面板剖面积 A 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$h = 42(B+d)-70 \quad \text{mm}$$

$$t = (0.01h+3)\sqrt{K} \quad \text{mm，但不小于 6mm 且不必大于 14mm}$$

$$A = (4.8d-3)\,K \quad \text{cm}^2$$

式中：B——船宽，m；

d——吃水，m；

K——材料系数。

2.5.4.2　肋板面板的厚度应不小于肋板腹板的厚度，面板宽度应不小于其厚度的 10 倍，但亦不必大于 15 倍。

2.5.4.3　对具有显著的舭部(或向首尾端)升高的船舶，应增加实肋板的高度。当实肋板是水密舱壁或深舱、液舱舱壁的组成部分时，肋板在中纵剖面处的高度应不小于 900mm，其厚度应不小于舱壁底列板的厚度。

对小型船舶，肋板在中纵剖面处的高度可适当减小。

2.5.4.4　在机舱区域内，肋板腹板的厚度应不小于本节 2.5.2.1 所要求的中内龙骨腹板的厚度。对中机型船舶，机舱肋板的腹板高度和面板剖面积应按本节 2.5.4.1 的计算值增加 10%；对尾机型船舶，机舱肋板的面板剖面积应按本节 2.5.4.1 的计算值增加 10%。肋板面板不应以折边代替。

机舱位于尾部或者处于底部肋板升高部位，则肋板高度应根据船舶线型和强度予以相应的增高。

2.5.5　舭肘板

2.5.5.1　肋板与肋骨之间应用舭肘板连接。舭肘板的高度由基线算起为纵中剖面处肋板高度的 2 倍。舭肘板长度，由肋骨内缘算起等于纵中剖面处肋板高度。舭肘板厚度等于肋板厚度。舭肘板应有面板或折边。当为折边时，其折边宽度不应大于 10 倍肘板厚度，但不小于 50mm。

2.5.5.2　由于船舶线型或其他原因不能设置舭肘板时，肋板应向船侧升高到舭肘板所需的高度。

2.5.5.3　当舭肘板或肋板与肋骨搭接时，其搭接长度应不小于下列规定：

(1)　当肋骨高度等于或小于 100mm 时，搭接长度应不小于 2 倍肋骨高度；

(2)　当肋骨高度大于 100mm 时，搭接长度应不小于 1.5 倍肋骨高度，且不小于 200mm。

2.5.6　流水孔

2.5.6.1　船底肋板、旁内龙骨上均应开流水孔，流水孔大小应考虑到泵的抽唧率，使自船底部的各个流水孔至吸口均能自由流通。

第 6 节　双 层 底

2.6.1　一般要求

2.6.1.1　双层底除应满足本节要求外，还应满足本篇第 1 章第 8 节的有关要求。

2.6.1.2　双层底中断处船底纵向骨架应保持连续性，中断区域的单底中内龙骨和旁内龙骨应为双层底中桁材和旁桁材的延续部分；而内底板应在不小于 3 个肋距内逐渐缩小为中内龙骨和旁内龙骨的面板，此面板在双层底中断处的宽度应不小于旁内龙骨间距的一半。内底边板亦应向中断区域延伸不小于 3 个肋距；当内底边板为倾斜时，其延伸部分应有面板或折边，其宽度可逐渐减小。中断区域内，不与双层底旁桁材直接连续的旁内龙骨，应向双层底内延伸 3 个肋距，其高度可逐渐降低，其自由边应有折边。

2.6.1.3　机舱内，在主机部位应布置足够的纵桁，并应保持结构的连续性。对中机型船舶，这些纵桁应在整个机舱长度内延伸，并应向机舱前、后舱壁处延伸至少 3 个肋距，但向机舱后壁以后的延伸部分还应支持最前面的轴隧中间轴承；对尾机型船舶，这些纵桁应尽可能向尾延伸，并应与强肋骨或肋板有效连接。

在主机基座纵桁外侧，应设有旁桁材，并应注意结构的连续性。

2.6.1.4　所有肋板、旁桁材上均应开人孔；除轻型肋板外，开孔的高度应不大于该处双层底高度的 50%，否则应予加强。各肋板开孔位置在船长方向应尽量按直线排列，以便利人员出入。在肋板的端部范围内（一般取纵舱壁处的 1 个纵骨间距或 600mm 的大者）和横舱壁处的 1 个肋距内的旁桁材上，不应开人孔和减轻孔，否则开孔边缘应予加强。且开孔要光滑。

2.6.1.5　所有肋板、旁桁材、船底及内底纵骨上，均应有适当的流水孔和透气孔，并应考虑到泵的抽唧率，使自舱内各处到空气管和吸口的空气与水能自由流通。

2.6.1.6 双层底内肋板和桁材的最小厚度为 6mm。

2.6.1.7 内底板与外板连接的一列板为内底边板。

2.6.2 中桁材

2.6.2.1 在船体中纵剖面处应设置中桁材。中桁材高度 h_0 应不小于：

$$h_0 = 25B+42d+300 \quad \text{mm，且不小于 760mm}$$

式中：B——船宽，m；

d——吃水，m。

对于双壳结构的船舶(设有双层底和双舷侧结构)，可用内外壳中点之间的距离 B_e 作为等效船宽代替式中的船宽 B(见图 2.6.2.1)。B_e 的取值一般应不小于 $0.9B$，如双层底的强度符合 CCS 的直接计算强度标准，B_e 的取值应不小于 $0.8B$。



图 2.6.2.1

2.6.2.2 中桁材的厚度 t 应不小于下述规定：

(1) 船中部 $0.4L$ 区域内：

$$t = (0.0077h_0+4)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：h_0——双层底计算高度，mm；

K——材料系数。

(2) 船端 $0.075L$ 区域内，中桁材厚度可比本条(1)的要求减少 2mm。

(3) 炉舱内中桁材厚度应较船中部 $0.4L$ 区域内中桁材增厚 2.5mm。

2.6.2.3 中桁材在船中部 $0.75L$ 区域范围内应连续，并应尽量向首尾柱延伸。

2.6.2.4 船中部 $0.75L$ 区域内，中桁材上不应开人孔或减轻孔，在个别特殊情况下一定要开孔时，应适当加强。

船中部 $0.75L$ 区域以外，中桁材(舱壁前后 1 个肋距内除外)上可以开孔，但开孔的高度应不大于该处中桁材高度的 40%。

2.6.3 箱形中桁材

2.6.3.1 中桁材可用箱形中桁材(管隧)代替。箱形中桁材侧板厚度应不小于水密肋板的厚度，侧板之间的距离一般应不大于 2m；对船长 150m 及以上船舶，经直接计算验证，应不大于 3m。

箱形中桁材区域的船底板和内底板应适当增厚。

2.6.3.2 箱形中桁材的骨架应符合下列要求：

(1) 在箱形中桁材内的每个肋位上，应设置船底骨材和内底骨材，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=22sdl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——肋骨间距，m；

d——吃水，m；

l——跨距，m，取两道侧板的间距；

K——材料系数。

(2) 船底骨材和内底骨材的两端应逐渐放大，与箱形中桁材侧板连接，其放大后的高度和长度应不小于骨材高度的 1.5 倍。同时，侧板的外侧无肋板的肋位上，应设置与实肋板等厚的肘板，并与船底和内底纵骨连接。

(3) 箱形中桁材内在船体中心线处，应设置船底纵向骨材，该骨材在横向骨架处可间断。

2.6.3.3 箱形中桁材和中桁材的衔接处，至少应有不小于 3 个肋距的相互交叉过渡区。

2.6.4 横骨架式旁桁材

2.6.4.1 旁桁材的厚度应不小于按下式计算所得之值：

$$t=(0.0077h_0+1)\sqrt{K} \qquad \text{mm}$$

式中: h_0 ——双层底计算高度,mm；

K ——材料系数。

水密旁桁材厚度应较上式计算所得之值增厚 1mm。如双层底与边液舱或深隔离舱内部相连通时,水密旁桁材厚度还应符合深舱要求。

2.6.4.2 船宽大于 10m 的船舶，中桁材两侧至少各设 1 道旁桁材；船宽大于 18m 时，中桁材两侧至少各设 2 道旁桁材，桁材之间的间距一般不大于 4m。但距首垂线 0.2L 以前区域，旁桁材设置间距应不大于 3 个肋距。旁桁材应尽可能均匀设置。

2.6.5 横骨架式实肋板

2.6.5.1 货舱和机舱实肋板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值，但不必超过 15mm：

$$t=\left(0.0077h_0+1\right)\sqrt{K} \qquad \text{mm}$$

式中：h_0——双层底计算高度，mm；

K——材料系数。

炉舱内实肋板和污水阱处的实肋板应较上式增加 2.5mm。

2.6.5.2 至少每隔 4 个肋距应设置实肋板，且间距不大于 3.2m。船长超过 90m 或肋板高度超过 0.9m 时，实肋板上应设置垂直加强筋，其间距不大于 1.5m，一般厚度与肋板相同。加强筋的宽度应不小于 150mm；船长小于 90m 时，加强筋的宽度取不小于 1.65L(mm)，但不小于 50mm。

机舱、锅炉座下、推力轴承座下应每个肋位上设置实肋板。横舱壁以及支柱下应设置实肋板。距首垂线 0.2L 以前区域应每个肋位上设置实肋板。

2.6.6 横骨架式水密肋板

2.6.6.1 水密肋板的厚度按下述规定：

(1) 水密肋板厚度较货舱实肋板厚度增加 2mm，但一般不必大于 15mm。

在横向水密舱壁下应尽量设置水密肋板；

(2) 油舱的油密肋板厚度与上述要求相同。

2.6.6.2 水密肋板的高度大于 0.9m 而不超过 2m 时，应设置间距不大于 0.9m 的垂直加强筋， 加强筋两端应削斜，其厚度和宽度应满足 2.6.5.2 的要求，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=5.5shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——加强筋间距，m；

h——由内底板到溢流管顶的垂直距离，m；

l——加强筋跨距，m；即实取的双层底高度；

K——材料系数。

油舱的油密肋板加强筋的要求与上式相同。

2.6.6.3 当双层底与边液体舱或隔离舱内部相连通，或实肋板的高度超过 2m 时，水密

肋板的尺度应不小于对深舱的要求，同时垂直加强筋的端部要加肘板。

2.6.7 组合肋板

2.6.7.1 横骨架式的双层底在不设置实肋板的肋位上应设置组合肋板。其在中桁材及内底边板处的肘板宽度应不小于中桁材高度的 75%；其厚度应与该区域肋板的板厚相同；如双层底高度等于或大于 800mm 时，肘板应有面板或折边，其宽度为厚度的 10 倍，但不宜大于 90mm。旁桁材一边应设扶强材，扶强材尺寸与内底骨材相同，如图 2.6.7.1。图中 l 值大于 2.5m 时，应设符合本节 2.6.7.2 要求的中间撑柱。

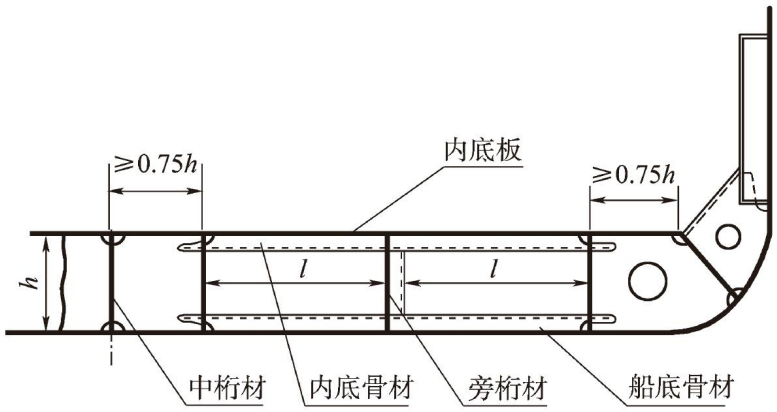


图 2.6.7.1

2.6.7.2 组合肋板船底骨材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=(15-2.5l_1)sdl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——肋骨间距，m；

d——吃水，m；

l ——骨材跨距，m，自肘板边缘量至旁桁材(如图 2.6.7.1)；

l_1——同 l，但 l＞2.5m 时，取 l_1=2.5m；

K——材料系数。

如在上述骨材跨距 l 的一半处设置中间撑柱时，则船底骨材的剖面模数应不小于上式计算值的一半。

中间撑柱截面积 A 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$A=23.8+0.04W \qquad \text{cm}^2\text{，当 } W>85\text{cm}^3\text{ 时}$$

$$A=0.32W \qquad \text{cm}^2\text{，当 } W\leq 85\text{cm}^3\text{ 时}$$

式中：W——船底骨材的剖面模数，cm^3。

内底骨材的剖面模数应为船底骨材的 85%。

在锅炉舱区域内的骨材及撑柱应增厚 2mm。

2.6.7.3 组合肋板的船底骨材及内底骨材与肘板的搭接要求与本章 2.5.5.3 舭肘板与肋骨的搭接相同。

2.6.8 轻型肋板

2.6.8.1 横骨架式双层底在不设置实肋板的肋位上，可设置轻型肋板以代替组合肋板。轻型肋板腹板厚度不小于所在区域实肋板厚度。其开孔边缘至内底或船底的最小距离应不小于 0.2 倍中桁材高度；从中桁材和内底边板至开口边缘的距离应不小于 0.5 倍中桁材高度；旁桁材与开口边缘的距离不小于 0.25 倍中桁材高度；开口长度应不超过 1.2 倍中桁材高度，如图 2.6.8.1 所示。肋板上的垂直扶强材尺寸应符合本节 2.6.5.2 的要求，其间距应不大于 2.2m。

2.6.9　**横骨架式内底板及内底边板**

2.6.9.1　内底板的厚度 t 应不小于按下列各式计算所得之值：

在船中部 0.4L 区域内　　$t=(0.04L+5s+2.1)\sqrt{K}$　　mm

在机舱区域内　　$t=(0.055L+4.8)\sqrt{K}$　　mm

式中：L——船长，m，计算时取值不必大于 400m；

s ——肋骨间距，m；

K——材料系数。

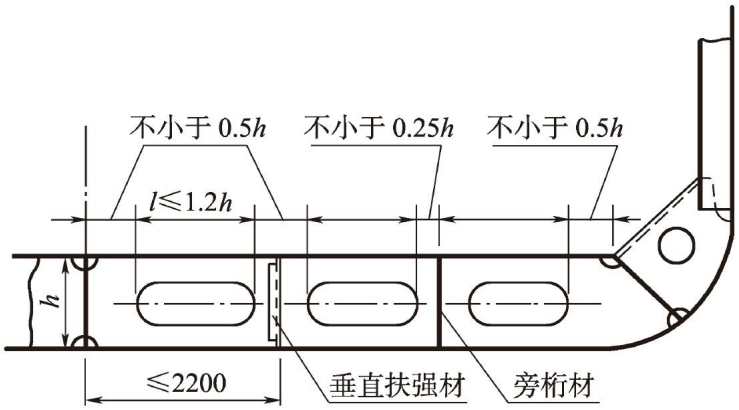


图 2.6.8.1

船端部 0.075L 区域内的厚度为船中部 0.4L 区域内厚度的 0.9 倍。其他区域的厚度应自船中部 0.4L 区域的厚度向端部的厚度逐渐过渡。

2.6.9.2　内底板的局部增厚：

(1)　双层底内为燃油舱的区域，内底板厚度应不小于 8mm。

(2)　如货舱舱口下未铺设木铺板时，应将舱口下内底板至少增厚 2mm。如采用抓斗或其他类似机械卸货而又未按本篇 3.3.1.5 规定铺设木铺板时，内底板至少增厚 5mm。

2.6.9.3　内底边板的宽度，当内底边板为向下倾斜形式时，应不小于中桁材高度的 80%；为水平形式时，应不小于舭肘板宽度加 50mm。

内底边板向下倾斜时，在货舱区域内，当船长等于或小于 110m 时，应较内底板增厚 1.5mm；当船长大于 110m 时，应增厚 2mm。机舱和炉舱区域，不小于各区域的内底板厚度。

2.6.10　**纵骨架式船底桁材**

2.6.10.1　中桁材的高度和厚度与本节 2.6.2.1 和 2.6.2.2 要求相同。但在实肋板之间的中桁材两侧，应各设通达邻近纵骨的肘板，其间距一般不大于 1.20m，肘板厚度与肋板相同。如中桁材是水密的，则在肘板和肋板之间(间距大于一个肋距时)应设置间距不大于 0.9m 的垂直加强筋，其剖面模数应符合 2.6.6.2 的要求，厚度与中桁材腹板厚度相同，宽度应符合 2.6.5.2 的要求。

2.6.10.2　对船宽大于 12m 但不大于 20m 的船舶，中桁材两侧至少应各设 1 道旁桁材。对船宽大于 20m 的船舶，中桁材两侧至少应各设 2 道旁桁材，桁材之间的间距一般不大于 5m。距首垂线 0.2L 以前区域，旁桁材间距应不大于 4 个纵骨间距。旁桁材应尽可能均匀设置。

旁桁材和水密旁桁材的厚度应符合本节 2.6.4.1 的要求。如双层底与边液舱或深隔离舱内部相连通时，水密旁桁材厚度还应符合深舱要求。

旁桁材和水密旁桁材一般均应设置垂直加强筋。旁桁材垂直加强筋间距不大于 1.5m，厚度与旁桁材腹板厚度相同，宽度应符合 2.6.5.2 的要求。水密旁桁材的垂直加强筋间距不大于 0.9m，厚度与水密旁桁材腹板厚度相同，宽度应符合 2.6.5.2 的要求，剖面模数 W 应符合 2.6.6.2 的要求。

当旁桁材和水密旁桁材设置水平加强筋时，加强筋厚度一般与桁材腹板厚度相同，宽度

应符合 2.6.5.2 的要求；水密旁桁材上的水平加强筋，其剖面模数 W 还应符合 2.6.6.2 的要求。

2.6.11 纵骨架式肋板

2.6.11.1 在机舱区域，至少每隔 1 个肋位上应设置实肋板，但在主机座、锅炉座、推力轴承座下的每个肋位处均应设置实肋板。横舱壁下和支柱下应设置实肋板。

距首垂线 0.2L 以前区域应在每隔 1 个肋位上设置实肋板。其余区域实肋板间距应不大于 3.6m。

2.6.11.2 纵骨架式实肋板厚度应较本节 2.6.5.1 要求的实肋板厚度增厚 10%，但不必大于 15mm，而水密和油密肋板厚度与本节 2.6.6.1 相同。

肋板上的每根纵骨处应设置垂直加强筋。肋板垂直加强筋的厚度等于肋板厚度，宽度应符合 2.6.5.2 的要求。水密肋板的垂直加强筋尺寸还应满足本节 2.6.6.2 的要求。垂直加强筋应与内外底纵骨焊接。

肋板厚度与高度之比一般不小于 1/130。如双层底与边液舱或深隔离舱内部相连通时，水密肋板厚度及其扶强材均应按深舱的要求。

2.6.12 纵骨架式船底纵骨

2.6.12.1 船底纵骨的最大间距应不大于 1m。

2.6.12.2 船底纵骨的剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W=\frac{8.5f}{1.73-F_b}(d+h_1)sl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

l——纵骨跨距，m，但不小于 1.5m；

d——吃水，m；

f——系数，有中间垂直撑柱时为 0.52，无中间垂直撑柱时为 1.0；

F_b——折减系数，见本章 2.2.5.6；

h_1——见本章 2.3.1.2；

K——材料系数。

如实肋板间距大于 2.5m，可在跨距中点设置连接船底纵骨与内底纵骨的垂直撑柱，其剖面积 A 应不小于按下式计算所得之值：

$$A=23.8+0.04W \quad \text{cm}^2, \quad \text{当 } W>85\text{cm}^3 \text{ 时}$$

$$A=0.32W \quad \text{cm}^2, \quad \text{当 } W\leqslant 85\text{cm}^3 \text{ 时}$$

式中：W——纵骨的剖面模数，cm^3。

2.6.12.3 内底纵骨的剖面模数为船底纵骨剖面模数的 85%。在锅炉舱内，纵骨、撑柱及肘板等应增厚 2mm。

2.6.12.4 纵骨穿过非水密肋板时，纵骨应与肋板和该处肋板上的垂直加强筋焊接。当纵骨在水密肋板处中断时，纵骨应以肘板与水密肋板连接。肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的要求。当船长超过 200m 或纵骨采用了高强度钢时， 船底纵骨应穿过水密肋板，但也可采用相应的替代结构。

2.6.13 纵骨架式内底板及内底边板

2.6.13.1 内底板的厚度应符合本节 2.6.9 的要求。但在计算船中部 0.4L 区域内的内底板厚度时，式中 s 应取纵骨间距，且计算值可减少 1mm。

2.6.13.2 内底边板的厚度除符合按本节 2.6.13.1 的要求外，还应按本节 2.6.9.3 的要求增厚。

2.6.13.3 内底边板应在每个肋位处设置通达邻近底纵骨的肘板(见图 2.6.13.3)，肘板边缘应作加强，肘板厚度与肋板相同。

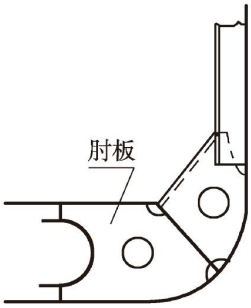


图 2.6.13.3

2.6.14 铲车在舱内装卸货物的加强

2.6.14.1 采用铲车在货舱内装卸货物时，内底板及骨架还应符合本章第 21 节对车辆甲板的有关要求。

2.6.15 舭肘板

2.6.15.1 舭肘板应在每个肋位上设置。舭肘板厚度与实肋板厚度相同。舭肘板上可以开圆形减轻孔，但孔缘任何地方的板宽均应不小于舭肘板宽度的$\frac{1}{3}$。

2.6.15.2 舭肘板的自由边缘应有面板或折边，面板或折边的宽度一般为其厚度的 10 倍。

2.6.15.3 舭肘板的标准高度和宽度按下述规定：

连接次要构件的舭肘板的高度为内底板至最近一层甲板之间高度的 10%或肋骨腹板高度的 2.2 倍，取大者。连接主要构件的舭肘板的高度为肋骨腹板高度的 1.65 倍。舭肘板的宽度和高度相同。舭肘板的宽度和高度按图 2.6.15.3 所示量取。如双层底内底边板为水平式时，则在舭肘板趾端的双层底内肋板上应设置垂直加强筋(如图 2.6.15.3 所示)，加强筋的要求与本节 2.6.5.2 相同。

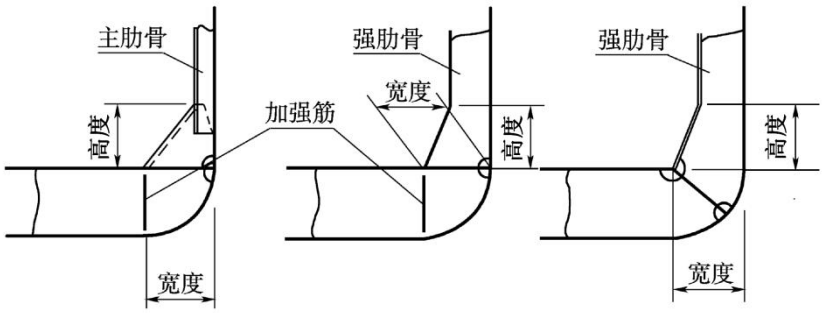


图 2.6.15.3

2.6.15.4 如舭肘板与肋骨的连接方式采用搭接时，则搭接长度应符合本章 2.5.5.3 的要求。

2.6.15.5 当船底和舷侧采用纵骨架式且舭部不设纵骨时，该处的横向强力构件或相当舭肘板的间距 S 应不超过下式要求：

$$S = 8\times10^{6}\frac{t^{2}}{Dr}\sqrt{\frac{t}{r}} \qquad \text{mm}$$

式中：t ——舭板厚度，mm；

D——型深，m；

r ——舭部半径，mm。

同时，在实肋板之间还应设置适当数量的与舭部上下端弯曲处纵骨相连接的中间舭肘板。

第 7 节　舷侧骨架

2.7.1　**一般要求**

2.7.1.1　肋骨或舷侧纵骨的最大间距应不大于 1.0m。

2.7.2　**肋骨**

2.7.2.1　除首尾尖舱外，主肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得值：

$$W = cc_1 sdl^2 K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——肋骨间距，m；

d ——吃水，m；

l ——肋骨跨距， m，但无论如何应不小于 $\sqrt{D}$ (D 为型深)，在从距首垂线 0.2L 至防撞舱壁之间的区域内，应取用该区域中相似结构布置的最大肋骨跨距；

$$c = \frac{2 + \dfrac{0.65d}{D}}{1.45 - \dfrac{\sqrt{D}}{l}}$$

c_1 ——系数，当 L＜90m 时， c_1=1.05，当 L≥90m 时， c_1=1；

K——材料系数。

2.7.2.2　对主肋骨剖面模数的修正：

(1)　如舭肘板的高度小于本章 2.5.5.1 或 2.6.15.3 规定值，则每减小 100mm，按本节 2.7.2.1 规定计算所得的主肋骨剖面模数应增加 2.7%。

(2)　如主肋骨与横梁或近舷侧甲板纵骨相连接的肘板的臂长大于本篇 1.2.6.7 的规定值，则每增加 100mm，按本节 2.7.2.1 规定计算所得的主肋骨剖面模数可减小 1.3%。

2.7.2.3　如按均匀布置的原则设置符合本节 2.7.3.1 要求的舷侧纵桁，则可按下列规定减小主肋骨的剖面模数：

(1)　当设置 1 根舷侧纵桁时，主肋骨的剖面模数可为按本节 2.7.2.1 或 2.7.2.2 计算所得值的 1/2。

(2)　当设置 2 根舷侧纵桁时，主肋骨的剖面模数可为按本节 2.7.2.1 或 2.7.2.2 计算所得的 2/7。

(3)　当设置 3 根舷侧纵桁时，主肋骨的剖面模数可为按本节 2.7.2.1 或 2.7.2.2 计算所得值的 1/5。

2.7.2.4　舱口端梁下的主肋骨剖面模数应不小于本节所规定的普通主肋骨剖面模数的 1.67 倍。

2.7.2.5　当机舱位于船中部时，如未按本节 2.7.4.2 的规定在机舱内设置强肋骨，则应将机舱内主肋骨的剖面模数增加 50%。

2.7.2.6　在任何情况下，主肋骨的尺寸应不小于其上甲板间肋骨的尺寸，且剖面模数不小于 20cm^3。

2.7.2.7　主肋骨的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=3.2Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W——本节所规定的主肋骨剖面模数，cm^3；

l ——肋骨跨距，m，无舷侧纵桁时，同本节 2.7.2.1 的规定，当设有舷侧纵桁时，为肋板的面板或内底板的上缘与纵桁之间或舷侧纵桁之间或舷侧纵桁与最下层甲板的边线之间的垂直距离；

K——材料系数。

2.7.2.8　首、尾尖舱内的肋骨应满足下述要求：

(1)　首、尾尖舱内最下层甲板以下的主肋骨剖面模数 W 和剖面惯性矩 I 应分别不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=4.6sdDK \qquad \text{cm}^3$$

$$I=3.5Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：s——肋骨间距，m；

d——吃水，m；

D——型深，m；

l——肋骨跨距，m，即为肋板上缘与舷侧纵桁(开孔平台)或舷侧纵桁(开孔平台)之间或舷侧纵桁(开孔平台)与最下层甲板间的垂直距离；

K——材料系数。

(2) 当首尖舱内的最下层甲板位于满载水线以上 1m 处下方时，最下层甲板至满载水线以上 1m 处区域内的甲板间肋骨也应满足本条(1)的要求。

(3) 首尖舱内的其他甲板间肋骨应满足本节 2.7.2.9 的要求。

2.7.2.9 甲板间及上层建筑肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = CC_1sdl\sqrt{D}K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——肋骨间距，m；

d ——吃水，m；

l ——肋骨跨距，m。对于甲板间肋骨，当其实际距跨距小于 2.6m 时，应取 l=2.6m，对于上层建筑肋骨当其实际跨距小于 2.3m 时应取 l=2.3m；

D ——型深，m；

C ——系数，取 $C=0.7+4\dfrac{d}{D}$；

C_1——系数，按肋骨所在位置确定：对于上甲板以下第一层甲板间，C_1=1.0，第二层甲板间，C_1=1.1，第三层及其以下各层甲板间，C_1=1.45，对于首楼肋骨，C_1=0.90，桥楼和尾楼肋骨 C_1=0.80；

K——材料系数。

2.7.2.10 舱口端梁下的甲板间肋骨的剖面模数，应不小于本节所规定的普通甲板间肋骨剖面模数的 1.67 倍。

2.7.2.11 当机舱位于船中部时，如未按本节 2.7.4.2 的规定在机舱内设置强肋骨，则应将机舱内载重水线以上最低一层甲板以下的甲板间肋骨剖面模数增大 50%。

2.7.2.12 如首楼或尾楼的长度大于 0.25L，则位于首楼后端或尾楼前端的两根肋骨的尺寸应按该处上甲板下的甲板间肋骨公式计算。

2.7.2.13 桥楼两端各 4 根肋骨的尺寸应按该处上甲板下的甲板间肋骨公式计算。

2.7.2.14 肋骨端部的连接结构应符合下述要求：

(1) 肋骨上端与横梁的连接肘板尺寸应符合本篇 1.2.6 的规定。当甲板为纵骨架式时，应将肋骨上端处的肘板伸至最近一根甲板纵骨，并予以焊接。

(2) 主肋骨下端的舭肘板应符合本章第 5 节和第 6 节的有关要求。

(3) 如将甲板间肋骨在下甲板处中断，则在中断处应设置肘板，肘板的尺寸与甲板间肋骨上端肘板的尺寸相同。若将甲板间肋骨及该甲板下方的肋骨均直接与下甲板焊接，则甲板间肋骨的下端可不设肘板。

2.7.3 舷侧纵桁

2.7.3.1 支持主肋骨和甲板间肋骨的舷侧纵桁的剖面模数 W 和剖面惯性矩 I，应分别不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=7.8hbl^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$I=2.5Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：b ——舷侧纵桁支持面积的宽度，m；

h ——从舷侧纵桁跨距中点至上甲板边线的垂直距离，m；

l ——舷侧纵桁的跨距，m；

K——材料系数。

2.7.3.2 在舷侧纵桁与横舱壁的连接处，应设置连接肘板，并应符合本篇 1.2.7 的要求。在舷侧纵桁与强肋骨的连接处，应使舷侧纵桁的面板或折边具有足够的连续性。

2.7.3.3　在横骨架式的机舱区域内，当主肋骨跨距大于 6m 时，应设置支持主肋骨的舷侧纵桁，其

剖面模数和剖面惯性矩均应符合本节 2.7.3.1 的规定，但其腹板高度应不小于主肋骨高度的 2.5 倍。

2.7.3.4　在横骨架式的机舱区域内，也可用间断的舷侧纵桁替代本节 2.7.3.3 所述的舷侧纵桁，但其间距一般应为 2.5m；其腹板高度与主肋骨的高度相同；其腹板厚度 t 和面板的剖面积 A，应分别不小于按下列两式计算所得之值：

$$t=0.023L+6 \quad \text{mm}$$

$$A=(0.14L+1)K \quad \text{cm}^2$$

式中：L——船长，m，计算时取不大于 215m；

K——材料系数。

2.7.4　横骨架式强肋骨

2.7.4.1　对于支持舷侧纵桁的强肋骨，其尺寸应由直接计算予以确定，计算时，假定强肋骨两端为刚性固定，强肋骨承受由舷侧纵桁传递的集中载荷(舷侧纵桁的计算水压头，应为舷侧纵桁的跨距中点至上甲板边线的垂直距离，m)的作用，取许用弯曲应力为 $93.2/K$ N/mm^2，许用剪切应力为 $83.4/K$ N/mm^2。

2.7.4.2　当机舱位于船尾部、且船侧为横骨架式结构时，则在机舱区域内，应设置间距不大于 5 个肋骨间距的强肋骨， 强肋骨应从内底延伸至上甲板。

2.7.4.3　在横骨架式的机舱区域内，支持舷侧纵桁的强肋骨的尺寸，应按本节 2.7.4.1 予以确定。

2.7.4.4　在横骨架式的机舱区域内，不支持舷侧纵桁的强肋骨，其剖面模数 W 应不小于按下列两式计算所得之值：

在最下层甲板以下：　$W=5Shl^2K$　cm^3

在甲板间：　$W=3.5Sdl\sqrt{D}\,K$　cm^3

式中：S ——强肋骨间距，m；

h ——从强肋骨跨距中点至上甲板边线的垂直距离，m；

l ——强肋骨的跨距，m；

d ——吃水，m；

D——型深，m；

K ——材料系数。

2.7.4.5　在横骨架式的机舱区域内，强肋骨的腹板高度应不小于相邻肋骨高度的 2.5 倍。

2.7.4.6　横骨架式强肋骨端部的连接结构应符合本章 2.6.15 和 2.8.7.9 的有关规定。

2.7.5　舷侧纵骨

2.7.5.1　上甲板以下的舷侧纵骨(包括舭部纵骨)的剖面横数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=\frac{8.5}{f}hsl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；

l ——纵骨跨距，m；

f ——系数，应按下列两式计算，计算时取不大于 1.077：

$$f=1.73-F_d\frac{Z-Z_n}{D-Z_n}，\text{当 } Z\geq Z_n \text{ 时；}$$

$$f=1.73-F_b\frac{Z_n-Z}{Z_n}，\text{当 } Z<Z_n \text{ 时；}$$

h ——计算压头，应按下式计算：

$$h = 0.26C + d - \frac{Z}{D}(0.06C + d)$$

Z_n ——船体横剖面的水平中和轴距基线的高度，m；

D ——型深，m；

d ——吃水，m；

C ——系数，见本章第 2 节 2.2.3.1；

F_b、F_d ——折减系数，见本章第 2 节 2.2.5.6；

Z ——纵骨距基线的高度，m；

K——材料系数。

2.7.5.2 在从距首垂线 0.2L 至首尖舱舱壁之间的区域内，上甲板以下的舷侧纵骨的剖面模数，除应符合本节 2.7.5.1 的规定外，还应符合本节 2.7.5.4 的规定。

2.7.5.3 当机舱位于船尾部时，机舱区域内的舷侧纵骨的剖面模数，除应符合本节 2.7.5.1 规定外，还应不小于按本节 2.7.5.5 计算所得值的 0.8 倍。

2.7.5.4 在首尖舱内，舷侧纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=7.5shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；

h——从纵骨至载重线要求最小船首高度以上 3m 的垂直距离，m；且不应小于纵骨至上甲板边线的垂直距离；

l——纵骨跨距，m；但计算时取值不应小于 1.5m；

K——材料系数。

2.7.5.5 在尾尖舱内，舷侧纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=8.5sl^2(h+0.167D)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；

l ——纵骨跨距，m，但计算时取值不应小于 1.5m；

h ——从纵骨至上甲板边线的垂直距，m，但应取 h 不小于 3m；

D——型深，m，但计算时取值不必大于 20m；

K——材料系数。

2.7.5.6 舷侧纵骨(包括舭部纵骨)的剖面模数，不必大于与其间距相同的船底纵骨的剖面模数。

2.7.5.7 舷侧纵骨应穿过强肋骨，且在纵骨腹板与强肋骨腹板的相交处应予以焊接。当舷侧纵骨在横舱壁处中断时，在舷侧纵骨与横舱壁的连接处应设置肘板，肘板应符合本篇 1.2.6 的有关规定。

2.7.6 纵骨架式强肋骨

2.7.6.1 当舷侧为纵骨架式时，应设置支持舷侧纵骨的强肋骨。 强肋骨应设置在实肋板平面内。 强肋骨的间距，当船长等于或小于 100m 时，一般应不大于 3.6m； 当船长大于 100m 时，一般应不大于(0.006L+3.0)，m，其中 L 为船长。在首、尾尖舱内，纵骨架式强肋骨的间距：当船长等于或小于 100m 时，应不大于 2.5m；当船长等于或大于 300m 时，应不大于 3.5m，中间值用内插法求得。

2.7.6.2 除机舱区域和首、尾尖舱外，纵骨架式强肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=10Shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S ——强肋骨间距，m；

h ——从强肋骨跨距中点至上甲板边线的垂直距离，m；

l ——强肋骨跨距，m；

K——材料系数。

2.7.6.3 在纵骨架式的机舱区域内，强肋骨剖面模数 W 应不小于按下列两式计算所得之值：

在最下层甲板以下：　$W=10Shl^2K$　　cm^3

在甲板间：　$W=4.4Sdl\sqrt{D}\,K$　　cm^3

式中：S ——强肋骨间距，m；

h ——从强肋骨跨距中点至上甲板边线的垂直距离，m；

l ——强肋骨的跨距，m；

d ——吃水。m；

D——型深，m；

K——材料系数。

强肋骨腹板高度应不小于其所支持的舷侧纵骨高度的 2.5 倍。

2.7.6.4　在纵骨架式的首尖舱内，强肋骨的剖面模数 W 和剖面惯性矩 I，应分别不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=14Shl^2K \quad cm^3$$

$$I=2.5Wl/K \quad cm^4$$

式中：S——强肋骨间距，m；

h——从强肋骨跨距中点至首尖舱舱顶的垂直距离，或至溢流管顶的垂直距离的一半，m，取大者；

l ——强肋骨跨距，m；

K——材料系数。

当设有撑杆时，强肋骨和撑杆应符合本篇第 6 章第 5 节的有关规定。

2.7.6.5　在纵骨架式的尾尖舱内，强肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=10Shl^2K \quad cm^3$$

式中：S——强肋骨间距，m；

h——从强肋骨跨距中点至上甲板边线的垂直距离，m；

l ——强肋骨跨距，m；

K——材料系数。

2.7.6.6　纵骨架式强肋骨端部的连接结构应符合本章第 6 节、第 8 节和本篇第 5 章的有关规定。

第 8 节　甲板骨架

2.8.1　一般要求

2.8.1.1　甲板的计算压头 h 应符合表 2.8.1.1 的规定，其对应的设计载荷 p 应按下式计算：

$$p=\frac{9.81h}{\gamma} \quad kpa$$

式中：h——计算压头，m，见本节表 2.8.1.1；

γ——装载率，m^3/t，取标准装载率 $1.39m^3/t$。

对于深舱处的甲板还应满足本章第 13 节的相关要求，其对应的设计载荷 p 应按下式计算：

$$p=9.81\rho h \quad kpa$$

式中：h——计算压头，m，见本章第 13 节的规定；

ρ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 $1.025t/m^3$。

甲板计算压头　　**表 2.8.1.1**

甲板名称及位置	计算压头 h(m)	许用货物载荷(kPa)
露天甲板(最小构件尺寸)： 距首垂线 0.075L 以前 距首垂线 0.075L～0.15L 之间	 主要构件：h_0+3；次要构件：1.5h_0 主要构件：h_0+2；次要构件：1.25h_0 h_0	 8.5 8.5 8.5

甲板名称及位置	计算压头 h(m)	许用货物载荷(kPa)
距首垂线 0.15L 以后		
露天甲板(规定货物载荷)： 距首垂线 0.075L 以前 距首垂线 0.075L～0.15L 之间 距首垂线 0.15L 以后	 0.49p+h_0− 1.2 0.37p+h_0−1.2 0.14p+h_0−1.2	 p (＞8.5) p (＞8.5) p (＞8.5)
非露天货物甲板	0.14p，但不小于甲板间的平均高度 H	max(p，7.06H)
居住处所的甲板	1.2	—
仓库处所的甲板	2.0	—
机舱平台以及修理间和机舱物料间处所的甲板	2.6	—
上层建筑甲板： 第 1 层 第 2 层 第 3 层及以上 距首垂线 0.2L 以前的首楼甲板	 0.90，露天部分增加(h_0−1.2) 0.60，露天部分增加(h_0−1.2) 0.45，露天部分增加(h_0−1.2) 同相应位置的露天甲板	—

注：① 表中 h_0 应不小于按下式计算所得之值，但应不小于 1.2m，也不必大于 1.5m：

$$h_0 = 1.20 + \frac{2}{1000}\left(\frac{100+3L}{D-d} - 150\right) \qquad \text{m}$$

式中：L——船长，m；

D——型深，m；

d ——吃水，m。

② 对于船长小于 90m 的船舶，可适当减小其首尾端区域的主要构件的计算压头，但应不小于相同位置的次要构件的计算压头。

③ 上层建筑甲板的定义见本章 2.17.1.6。

2.8.2 甲板横梁

2.8.2.1 甲板横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = (C_1 C_2 Dd + C_3 shl^2)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：C_1——系数，根据横梁所在区域的甲板(包括桥楼、尾楼甲板和机舱平台)总层数决定：对于 1 层，C_1=2，对于 2 层，C_1=1.33，对 3 层，C_1=1.05，对于 4 层及 4 层以上，C_1=0.93，对于首楼甲板，C_1=1.33；

C_2、C_3——系数，见表 2.8.2.1；

D ——型深，m；

d ——吃水，m；

s ——横梁间距，m；

h ——甲板计算压头，m， 见本节 2.8.1.1；

l ——横梁跨距，m，计算时取值应不小于 2m；

K——材料系数。

系数 C_2 和 C_3 **表 2.8.2.1**

甲板名称	C_2	C_3
距首垂线 0.075L 以前的露天/强力甲板或露天首楼甲板	0.8	0.54B
距首垂线 0.075L～0.15L 的露天/强力甲板或露天首楼甲板	0.8	与舷侧相连的横梁：0.36B 其他横梁：0.33B
距首垂线 0.15L 以后的露天/强力甲板或露天首楼甲板	0.54	
露天的短桥楼和尾楼甲板	0.14	
货物甲板及其他甲板（包括机舱和首尾尖舱平台）	0.40	4.0
居住处所的强力甲板或下层甲板	0.52	4.0

注：表中 B 为船宽，m。

2.8.2.2 对于露天甲板，其横梁剖面模数 W 不必大于按下式计算所得之值：

$$W=Bshl^2K \qquad cm^3$$

式中：B——型宽，m，计算时取值不大于 21.5m；

s、h、l——见本节 2.8.2.1；

K——材料系数。

2.8.2.3　甲板横梁的腹板高度应不小于 60mm。

2.8.2.4　横梁与肋骨的连接应符合本篇 1.2.6 的要求。

2.8.2.5　应将横梁穿过甲板纵桁，并应在横梁与纵桁腹板的相交处进行焊接。当需将横梁在舱口纵桁或甲板纵桁的腹板处中断时，应设置肘板将横梁与纵桁连接，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的规定，肘板应延伸至甲板纵桁面板。

2.8.3　横骨架式甲板纵桁

2.8.3.1　对于距首垂线 0.075L 以前的露天强力甲板，其支持横梁的甲板纵桁的间距应不大于 3.6m；对于尾尖舱舱壁以后的上甲板和下甲板，其支持横梁的甲板纵桁的间距应不大于 3m。

2.8.3.2　支持横梁的甲板纵桁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=4.75bhl^2K \qquad cm^3$$

式中：b ——甲板纵桁所支承面积的平均宽度，m；

h——甲板的计算压头，m，见本节 2.8.1.1；

l——甲板纵桁的跨距，m；

K——材料系数。

2.8.3.3　当支持横梁的甲板纵桁承受 1 个集中载荷时，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=0.102cPlK \qquad cm^3$$

式中：P ——集中载荷，kN；

l ——甲板纵桁跨距，m；

c ——系数，按表 2.8.3.3 选取。表中，a 为 P 的作用点至纵桁两支点间较远一点的距离，m；

K——材料系数。

系数 *C* **表 2.8.3.3**

a/l	0.94	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.60	0.50
c	1.44	3.36	5.68	7.36	8.64	9.20	9.60	10

2.8.3.4　当支持横梁的甲板纵桁承受 2 个或 3 个集中载荷时，其剖面模数 W 应由直接计算确定。计算时，假定纵桁的两端为刚性固定，许用弯曲应力为 $124/K$ N/mm^2。

2.8.3.5　甲板纵桁的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2Wl/K \qquad cm^4$$

式中：W——本节所要求的甲板纵桁剖面模数，cm^3；

l ——甲板纵桁的跨距，m；

K——材料系数。

2.8.3.6　甲板纵桁的腹板高度应不小于横梁穿过处的切口高度的 1.6 倍。对切口的设计，应使腹板上的应力集中为最小。甲板纵桁腹板的厚度应不小于其高度的 1%加 4mm。

2.8.3.7　当需将电缆和管系穿过甲板纵桁的腹板时，在腹板上的开孔高度应不超过腹板高度的 25%，开孔的宽度应不超过横梁间距的 60%或纵桁腹板的高度(为其大者)，否则应予以补偿。通常的补偿方法是设置补强复板、套环或加厚板，补强构件的横剖面积应不小于因

开孔损失的纵桁腹板横剖面积，补强构件材料的强度等级应不低于腹板的材料强度等级。开孔的边缘至纵桁面板的距离应不小于纵桁腹板高度的 40%；开孔的边缘应光滑并具有良好的圆角。不应将开孔密度集中地布置在相邻的肋位内。离纵桁肘板趾端 200mm 范围内的纵桁腹板上，不应有任何开孔。

2.8.3.8　甲板纵桁的端部与横舱壁的连接应符合本篇 1.2.7 的有关规定。 对于参加总纵强度的甲板纵桁，应特别注意其在横舱壁处的结构纵向连续性。

2.8.4　横骨架式强横梁

2.8.4.1　对于支持甲板纵桁的强横梁，其尺寸应由直接计算确定。计算时，假定强横梁两端为刚性固定，并承受由甲板纵桁传递的集中载荷，许用弯曲应力为 $124/K$ N/mm^2。

2.8.4.2　支持甲板纵桁的强横梁的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W——按本节 2.8.4.1 计算所得的强横梁剖面模数，cm^3；

l ——强横梁的跨距，m；

K——材料系数。

2.8.4.3　支持甲板纵桁的强横梁的腹板厚度和腹板上的开孔均应符合本节 2.8.7.7 和 2.8.7.8 的规定。

2.8.4.4　支持甲板纵桁的强横梁与肋骨或强肋骨或纵舱壁的连接结构应符合本节 2.8.7.9 的规定。

2.8.5　甲板纵骨

2.8.5.1　露天/强力甲板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=c_1shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$W=(c_2sh+c_3sl^2L^2\times10^{-4})K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；

h——甲板的计算压头，m，按本节 2.8.1.1 的规定，但在船中部 0.4L 区内的甲板开口线以外，$h\geq\dfrac{22.6L}{1780-L}$；

l ——纵骨跨距，m，计算时取值应不小于 2m；

c_1、c_2 和 c_3——系数，按本节表 2.8.5.1 的规定；

L ——船长，m，计算时取值不必大于 200m；

K——材料系数。

系数 c_1、c_2 、c_3　　**表 2.8.5.1**

序号	甲板纵骨位置	区域	c_1	c_2	c_3
1	距首垂线 0.075L 以前		12.5	63.5	7.8
2	距首垂线 0.075L～0.15L		12.5	57	7.2
3	距首垂线 0.15L 处	开口线外	9	48.5	6.2
		开口线内	7.5	40	5.5
4	距首垂线 0.15L～0.3L	开口线外	见注		
		开口线内	7.5	40	5.5
5	船中部 0.4L 区域	开口线外	10.5	—	—
		开口线内	7.5	40	5.5
6	距尾垂线 0.075L～0.3L	开口线外	见注		
		开口线内	7.5	40	5.5
7	距尾垂线 0.07L 以后		7.5	40	5.5

注：对于该处甲板纵骨的剖面模数，可以通过将船中部和端部的甲板纵骨的剖面模数直线过渡后予以确定。

2.8.5.2　货物甲板纵骨剖面模数(包括机舱、首尾尖舱内甲板/平台纵骨)W应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=(2.5shl^2+0.6sL)K \qquad \text{cm}^3，对\ L\geqslant 90\text{m}$$

$$W=5shl^2K \qquad \text{cm}^3，对\ L<90\text{m}$$

式中：s、h、l、L、K——见本节 2.8.5.1。

2.8.5.3　居住甲板和上层建筑甲板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=(2.5shl^2+0.52sL)K \qquad \text{cm}^3，对\ L\geqslant 90\text{m}$$

$$W=4.4shl^2K \qquad \text{cm}^3，对\ L<90\text{m}$$

式中：s、h、l、L、K——见本节 2.8.5.1。

2.8.5.4　甲板纵骨腹板高度均应不小于 60mm。

2.8.5.5　应将开口线外的甲板纵骨穿过强横梁，且在纵骨与强横梁腹板的相交处，应予以焊接。当甲板纵骨在舱口端梁或强横梁的腹板处中断时(限于甲板开口线内或船端部分)，在甲板纵骨与舱口端梁或强横梁的连接处，应设置肘板，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的有关规定，并应将肘板沿舱口端梁腹板或强横梁腹板伸至舱口端梁或强横梁的面板。

2.8.5.6　当甲板纵骨在横舱壁处中断时，在甲板纵骨与横舱壁的连接处，应设置肘板，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的有关规定。当船长大于 200m 时或采用高强度钢时，应将甲板开口线外的强力甲板纵骨连续穿过横舱壁，但也可采用相应的替代结构。

2.8.5.7　不应将开口线外的强力甲板纵骨终止在同一横剖面处，而应将其末端适当错开，并应将其延伸至横向构件。

2.8.6　纵骨架式甲板纵桁

2.8.6.1　对于支持强横梁的甲板纵桁，其尺寸应由直接计算确定，计算时，假定甲板纵桁的两端为刚性固定，并承受由强横梁传递的集中载荷，许用弯曲应力为 $124/K$　N/mm^2。

2.8.6.2　支持强横梁的甲板纵桁剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W——按本节 2.8.6.1 计算所得的甲板纵桁剖面模数，cm^3；

l ——甲板纵桁跨距，m；

K——材料系数。

2.8.6.3　支持强横梁的甲板纵桁的腹板厚度和腹板上的开孔应分别符合本节 2.8.3.6 和 2.8.3.7 中的有关规定。

2.8.6.4　支持强横梁的甲板纵桁与横舱壁的连接结构应符合本节 2.8.3.8 中的有关规定。

2.8.7　纵骨架式强横梁

2.8.7.1　当甲板为纵骨架式时，应设置支持甲板纵骨的强横梁。甲板强横梁应设置在实肋板平面内。强横梁的间距：当船长等于或小于 100m 时，一般应不大于 3.6m；当船长大于 100m 时，一般应不大于$(0.006L+3.0)$m，其中 L 为船长。在首、尾尖舱内，纵骨架式强横梁的间距：当船长等于或小于 100m 时，应不大于 2.5m； 当船长等于或大于 300m 时，应不大于 3.5m；中间值用内插法求得。

2.8.7.2　在机舱区域和尾尖舱内，应将支持甲板纵骨的强横梁设在强肋骨所处的肋位上。

2.8.7.3　支持甲板纵骨的强横梁剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=5Shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S——强横梁间距，m；

h——甲板的计算压头，m，按本节 2.8.1.1 的规定；

l ——强横梁跨距，m；

K——材料系数。

2.8.7.4　对单甲板船，其强横梁剖面模数应较按本节 2.8.7.3 计算所得的值增大 15%。

2.8.7.5　当支持甲板纵骨的强横梁承受集中载荷时，对于其所增加的剖面模数，可按本节 2.8.3.3 或 2.8.3.4 对甲板纵桁的规定计算。

2.8.7.6　支持甲板纵骨的强横梁剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W——本节所规定的强横梁剖面模数，cm^3；

l ——强横梁跨距，m；

K——材料系数。

2.8.7.7　强横梁的腹板高度应不小于甲板纵骨穿过处的切口高度的 1.6 倍。对切口的设计，应使腹板的应力集中为最小。强横梁腹板的厚度应不小于其高度的 1%加 4mm。

2.8.7.8　当需将电缆和管系穿过时，可在甲板强横梁的腹板上进行开孔，开孔的边缘应光滑并具有良好的圆角，见图 2.8.7.8。开孔高度h应不超过腹板高度H的 25%，开孔的宽度l应不超过甲板纵骨间距s的 60%或腹板高度H(为其大者)，开孔的下边缘至强横梁面板的距离h_1应不小于腹板高度H的 40%，否则应予以补偿。

通常的补偿方法是设置补强复板、套环或加厚板，补强构件的横剖面积应不小于因开孔损失的强横梁腹板横剖面积，补强构件材料的强度等级应不低于腹板的材料强度等级，补偿后的开孔一般应满足如下要求：补偿后的开孔高度h一般不大于腹板高度H的 35%；补偿后的开孔上边缘至甲板距离h_2不小于腹板高度H的 10%，且至少为 50 mm；下边缘至面板的距离h_1不小于腹板高度H的 20%，且至少为 60 mm。

不应将开孔密集地布置在相邻的纵骨间距内，即相邻两孔边缘的间距l_1应不小于开孔宽度l（若相邻两孔的宽度不同，l取大者）的两倍，离强横梁肘板趾端 200mm范围内的强横梁腹板上不应有任何开孔，且开孔应避开高应力区域。

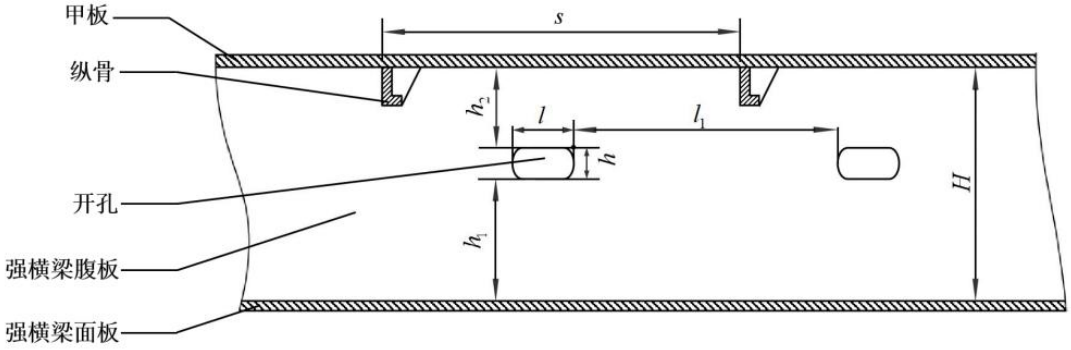


图 2.8.7.8 甲板强横梁开孔示意图

2.8.7.9　强横梁端部与肋骨或强肋骨或纵舱壁之间应设置连接肘板，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.7 的有关规定。当将强横梁与强肋骨或纵舱壁垂直桁的连接结构设计成整体形时，一般应使其形成环形框架，连接处的肘板应为圆弧形。其圆弧半径一般应不小于强横梁腹板高度和强肋骨或纵舱壁垂直桁腹板高度中的小者，并应设面板将强横梁面板与强肋骨或纵舱壁垂直桁面板相连接，面板的尺寸应与强横梁面板尺寸相同。

2.8.8　舱口甲板纵桁

2.8.8.1　当将露天甲板的舱口甲板纵桁(包括露天甲板舱口围板)同时兼作甲板纵桁、且以舱口两端作为支点时，舱口甲板纵桁的剖面模数 W 和剖面惯性矩 I 应分别不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=7hbl^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$I=2.6Wl/K \qquad cm^4$$

式中：h——甲板的计算压头，m，见本节 2.8.1.1；

b——舱口甲板纵桁所支承面积的平均宽度，m；

l——舱口甲板纵桁的跨距，m；

K——材料系数。

2.8.8.2　下甲板舱口甲板纵桁的剖面模数 W 和剖面惯性矩 I 应分别不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=5.2hbl^2K \qquad cm^3$$

$$I=2Wl/K \qquad cm^4$$

式中：h——甲板的计算压头，m，见本节 2.8.1.1；

b——下甲板舱口甲板纵桁所支承面积的平均宽度，m；

l——下甲板舱口甲板纵桁的跨距，m；

K——材料系数。

2.8.8.3　当下甲板舱口甲板纵桁承受集中载荷时，还应增加其剖面模数，所增加的剖面模数应为本节 2.8.3.3 或 2.8.3.4 计算所得值的 1.1 倍。

2.8.8.4　舱口甲板纵桁腹板在甲板以下的高度应不小于与其相连接的横梁腹板的高度。

2.8.8.5　舱口甲板纵桁腹板的厚度应不小于其高度的 1%加 4mm，舱口围板厚度和结构应符合本章 2.20.3.2 的要求。

2.8.8.6　在计算舱口甲板纵桁(包括舱口围板)的剖面模数和剖面惯性矩时，可算至舱口围板的水平面上缘(应扣除水平面板上的开孔)；当不设水平面板时，仅能算至围板的水平加强筋上缘。

2.8.8.7　对于舱口甲板纵桁延伸构件的尺寸，应予逐渐过渡。

2.8.8.8　当甲板为纵骨架式时，应设肘板将舱口甲板纵桁与强横梁相连接，若甲板下舱口甲板纵桁的腹板高度与强横梁的腹板高度相同，则应将舱口甲板纵桁直接与强横梁相连接。当强横梁的间距大于 2 个肋骨间距时，应在强横梁之间增设 1 块防倾肘板，防倾肘板应伸至舱口甲板纵桁面板和邻近的甲板纵骨，肘板的厚度应与邻近的强横梁腹板厚度相同，肘板的折边或面板应符合本篇第 1 章 1.2.6.6 的规定。

2.8.8.9　当甲板为横骨架式时，在每根横梁与舱口甲板纵桁的连接处均应设置肘板，并应将肘板伸至舱口甲板纵桁的面板，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的规定

2.8.9　舱口端横梁

2.8.9.1　应按下列要求设置舱口端横梁：

(1)　当在舱口的四角设有符合本章第 10 节要求的支柱(即舱口端横梁不支持舱口纵桁)时，舱口端横梁的剖面模数应符合本节 2.8.2.1 的要求，但计算式中的 s 应为端横梁实际支承面积的宽度。

(2)　当舱口端横梁支持舱口纵桁承受的全部载荷、且在甲板中纵剖面处的舱口端横梁下设有支柱以及在甲板中纵剖面处还设有甲板纵桁或纵舱壁时，在船宽范围内，端横梁应为连续结构，其剖面模数 W 和剖面惯性矩 I 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=4.6chAlK \qquad cm^3$$

$$I=3Wl/K \qquad cm^4$$

式中：l——端横梁的跨距，m；

K——材料系数；

A ——载荷面积，m^2；应按下列情况予以确定：

① 当甲板为纵骨架式、且舱口纵桁的延伸部分支持 1 根或 1 根以上强横梁时，见图 2.8.9.1(1)：

$$A=F_1+2F_3+F_4+F_5$$

② 当甲板为纵骨架式，但舱口纵桁的延伸部分不支持强横梁时，见图 2.8.9.1(2)：

$$A = F_1 + F_2 + F_3$$

③ 当甲板为横骨架式，且不设附加纵桁时，见图 2.8.9.1(3)：

$$A = F_1 + F_4$$

④ 当甲板为横骨架式，且设附加纵桁时，见图 2.8.9.1(4)：

$$A = F_1 + F_4;$$

h——甲板的计算压头，m，见本节 2.8.1.1；

c——系数，根据舱口纵桁距中纵剖面的距离 a 选取：当 $a \geq l/2$(l 为端横梁的跨距)时，c=1.6，当 $a \leq l/3$ 时，c=1.5，当 $l/3 < a < l/2$ 时，以内插法求得 c。

2.8.9.2 舱口端横梁与肋骨或强肋骨或纵舱壁的连接结构应符合本节 2.8.7.9 的要求。

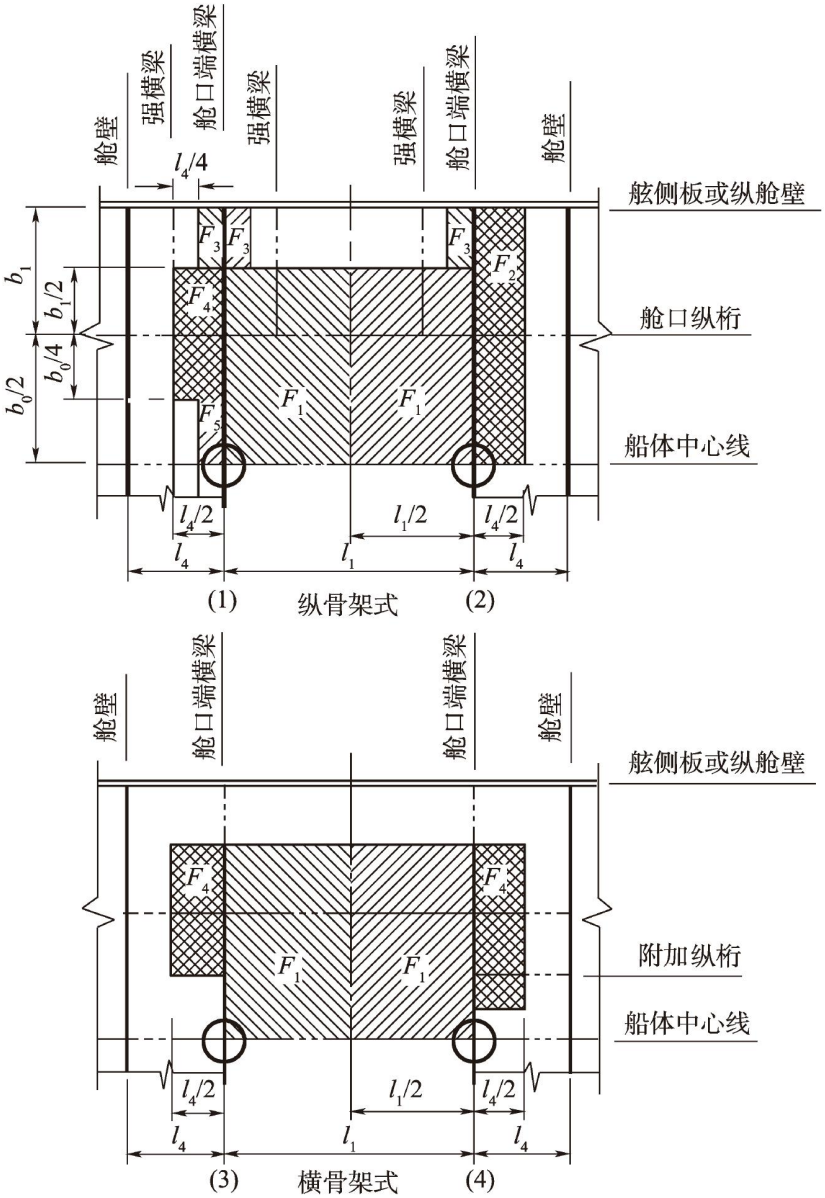


图 2.8.9.1

第 9 节　悬 臂 梁

2.9.1　一般要求

2.9.1.1　本节所述的悬臂梁是从舷边延伸至其所支持的舱口甲板纵桁的甲板强横梁，关于悬臂梁及其支持肋骨的结构形式，如图 2.9.1.1 所示。

2.9.1.2　悬臂梁及其支持肋骨的计算剖面均为在其连接肘板趾端处(即肘板圆弧的切点)所对应的剖面。

2.9.1.3　本节的要求适合于对悬臂梁的布置大致均匀、舱口纵桁受到悬臂梁支持以及甲板和舱口盖承受均匀载荷的情况。

2.9.2　悬臂梁

2.9.2.1　悬臂梁计算剖面处的剖面模数 W_i 应不小于按下式各式计算之值：

(1)　当悬臂梁未得到舱口纵桁的支持时：

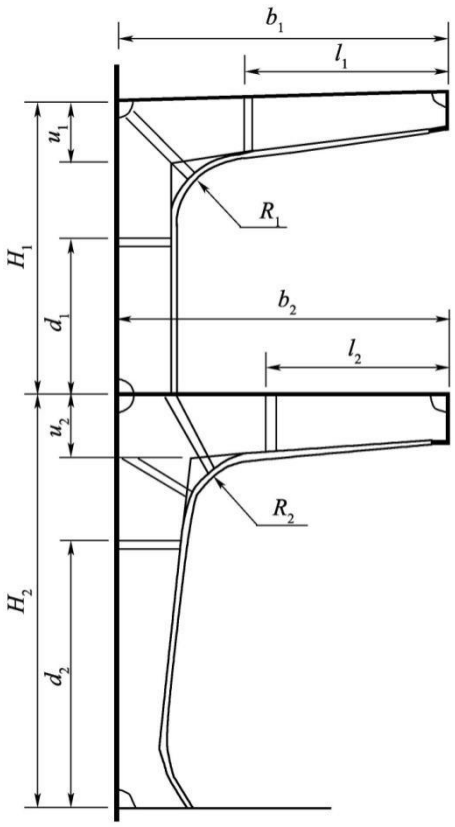


图 2.9.1.1

$$W_i = 30.6 S\, l_i\, (l_i\, h_1 + b_0\, h_2) K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S ——悬臂梁的载荷宽度，m；

l_i ——悬臂梁跨距，m；

b_0 ——舱口宽度，m；

h_1 ——舱口开口线外的甲板计算压头，m，见本章 2.8.1.1；

h_2 ——舱口开口线内的甲板或舱盖的计算压头，m，见本章 2.8.1.1 或 2.20.2；

K——材料系数。

(2)　舱口纵桁两端设有符合本章 2.8.9 要求的舱口端横梁，悬臂梁又得到舱口纵桁的部分支持时：

$$W_i = W_0 - G \qquad \text{cm}^3$$

式中：$W_0 = 30.6Sl_i(l_ih_1 + b_0h_2)K$，$\text{cm}^3$，其中 S、l_i、b_0、h_1 和 h_2 见本条(1)；

$$G = \frac{8l_i}{(n+1)l_h}(W_h + W_P)\text{，}\ \text{cm}^3\text{；}$$

其中：W_h——按本章 2.8.8.1 或 2.8.8.2 计算所得的舱口纵桁剖面模数，cm^3，计算跨距为悬臂梁间距；

W_p——按本章 2.8.3 计算所得的舱口纵桁延伸线上的甲板纵桁剖面模数，cm^3，取 W_p 不大于 W_h；

n ——舱口范围内悬臂梁的数目；

l_h ——舱口长度，m；

l_i ——悬臂梁跨距，m。

(3) 当舱口纵桁两端由横舱壁支承，且悬臂梁得到舱口纵桁的部分支持时：

$$W_i = \frac{n+1}{n}\left[0.5\left(1+\frac{1}{Q}\right)W_o - QG - (1-Q)E\right] \qquad \text{cm}^3$$

式中：W_o、G、n ——见本条(2)；

$\text{Q} = \frac{l_h}{l_b}$；

其中：l_h、l_b——见本节图 2.9.2.1(1)；

$E = \frac{4}{n+1}(W_1 + W_2)$，$\text{cm}^3$，舱口端横梁中点无支柱等构件支持时，或

$E = \frac{4}{n+1}\left[(W_1 + W_2) + \frac{2l_i}{b_0}(W_2 + W_3)\right]$，$\text{cm}^3$，舱口端横梁中点有支柱或舱壁支持时；

其中：W_1、W_2、W_3 为图 2.9.2.1(2)中所示的舱口端横梁剖面模数，cm^3，取 W_2 为舱口开口线两侧的舱口端横梁剖面模数中的较小值；

l_i、b_0——见本节图 2.9.2.1(1)。

悬臂梁剖面模数 W_i 还应不小于按本条(2)计算所得之值。

(4) 在舱口纵桁处承受集中载荷，且悬臂梁得到舱口纵桁的部分支持时：

$$W_i = W_0' - \frac{3.5l_i}{S}W_h \qquad \text{cm}^3$$

式中：W_0'——悬臂梁承受集中载荷和均布载荷且未得到舱口纵桁支持时的剖面模数，cm^3，计算时，假定悬臂梁一端为刚性固定，许用弯曲应力为 115.2N/mm^2；

l_i、S、W_h——见本条(1)、(2)。

悬臂梁剖面模数 W_i 还应不小于按本条(2)、(3)计算所得之值。

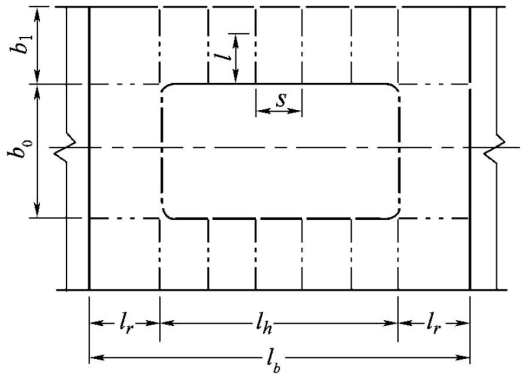


图 2.9.2.1(1)

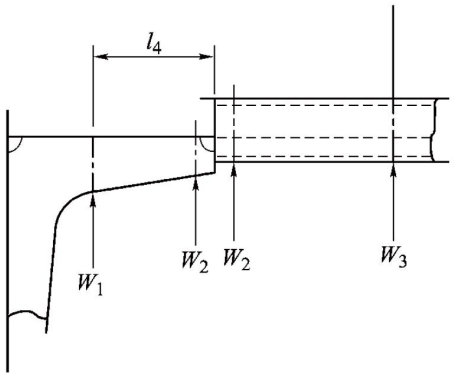


图 2.9.2.1(2)

2.9.2.2 悬臂梁在计算剖面处的惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=9\ W_i l_i / K_i \qquad \text{cm}^4$$

式中：W_i——按本节 2.9.2.1 计算所得的悬臂梁剖面模数，cm^3；

l_i——悬臂梁跨距，m；

K_i——材料系数。

2.9.2.3 悬臂梁腹板净剖面积 A_x 应不小于按下式计算所得之值：

$$A_x = 0.43S\left(2h_i X + b_0 h_2 + \frac{0.283}{S}P_c\right)\frac{W_i}{W_0} \qquad \text{cm}^2$$

式中：S、b_0、h_1、h_2——见本节 2.9.2.1(1)；

X ——悬臂梁校核剖面距舱口纵桁的距离，m；

W_0——见本节 2.9.2.1(2)，cm^3；

W_i——见本节 2.9.2.1 计算所得的悬臂梁剖面模数，cm^3；

P_c ——按本节 2.9.2.1(4)计算时，作用在舱口纵桁处的集中载荷，kN，无集中载荷时，$P_c=0$。

2.9.3 支持肋骨

2.9.3.1 支持肋骨在计算剖面处的剖面模数 W_{fi}，应不小于按下式计算所得之值：

$$W_{fi} = \frac{d_i}{H_i}\left[\frac{b_i}{l_i}W_i - W_{f(i-1)}\right] \qquad \text{cm}^3$$

式中：d_i、H_i、b_i、l_i——见本节图 2.9.1.1；

$W_{f(i-1)}$——$(i-1)$层甲板悬臂梁的支持肋骨剖面模数，cm^3，对于上甲板 $W_{f(i-1)}=0$；

W_i——见本节 2.9.2.1 计算所得的悬臂梁剖面模数，cm^3；

i——表示甲板层数的标号，上甲板：i 为 1，二甲板：i 为 2，依次类推。

2.9.3.2 下甲板支持肋骨的尺寸一般不小于上一层甲板间的支持肋骨尺寸。

2.9.4 结构要求

2.9.4.1 悬臂梁和支持肋骨之间应设置连接肘板。肘板的圆弧半径应不小于 u_i，肘板面板剖面积和腹板厚度均应不小于所连接构件中的大者；肘板趾端(悬臂梁和支持肋骨计算剖面处)应设防倾肘板，在连接肘板的腹板上应设置适当数量的加强筋，如本节图 2.9.1.1 所示。

2.9.4.2 当甲板为纵骨架式时，悬臂梁应按本篇 1.2.5.4 的要求设置防倾肘板；当甲板为横骨架式时，悬臂梁防倾肘板的间距一般为 3m。

2.9.4.3 悬臂梁和支持肋骨腹板的最小厚度，应不小于腹板高度的 1%加 4.5mm。当腹板高度大于 700mm 时，应设置间距不大于 1.5 倍腹板高度的垂直加强筋。

2.9.4.4 悬臂梁和支持肋骨的腹板高度和面板剖面积，可以从计算剖面起向端部逐渐过

渡，但端部最小高度应不小于计算剖面处腹板高度的 50%，端部面板剖面积应不小于计算剖面处面板剖面积的 60%。当纵骨穿过悬臂梁和支持肋骨时，还应符合本章 2.8.7.7 的有关要求。

2.9.4.5　悬臂梁和支持肋骨的有效带板面积，应按本篇 1.2.2.1 计算。

2.9.4.6　如悬臂梁和支持肋骨是由 2 个或 3 个靠在一起的“T”型剖面的构件组成时，应将此种悬臂梁看作是一根悬臂梁，在按本节 2.9.2.1 进行计算求出组合悬臂梁的剖面模数后，根据“T”型构件的实际数量，求出每个“T”型剖面所需的尺寸。

2.9.4.7　应用肘板将舱内支持肋骨与内底牢固连接，在双层底内的对应于悬臂梁和支持肋骨的平面上，应设置实肋板或其他加强结构。

2.9.4.8　舱口纵桁在甲板板以下的腹板高度一般应不应小于悬臂梁端部的腹板高度。应将悬臂梁与舱口纵桁牢固连接。

第 10 节　支　柱

2.10.1　支柱的载荷

2.10.1.1　对于支柱所受的载荷 P，应按下式计算：

$$P=7.06\,abh+P_0 \qquad \text{kN}$$

式中：a ——支柱所支持的甲板面积的长度，m，见图 2.10.1.1；

b ——支柱所支持的甲板面积的平均宽度，m，见图 2.10.1.1；

h ——支柱所支持的甲板的计算压头，m，见本章 2.8.1.1；

P_0——上方支柱所传递的载荷，kN。

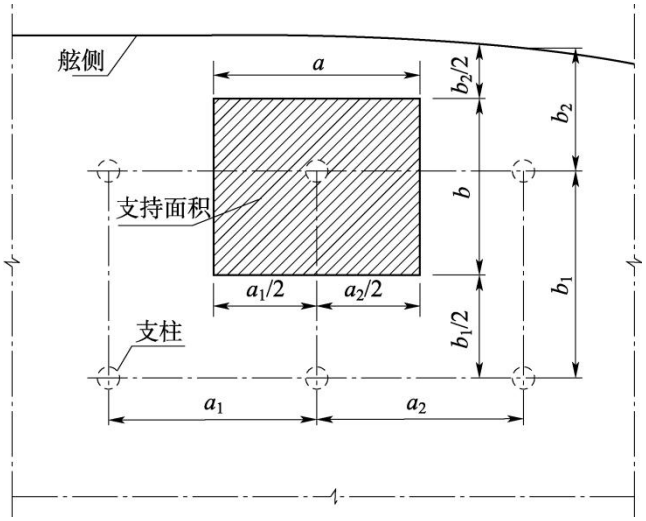


图 2.10.1.1

2.10.2　支柱的剖面积

2.10.2.1 支柱的剖面积 A 应不小于按下式计算所得之值：

$$A=\frac{KP}{12.26-5.10\dfrac{l}{r\sqrt{K}}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：P ——支柱所受的载荷，kN；

l ——支柱的有效长度，m，为支柱全长的 0.8 倍；

r ——支柱剖面的最小惯性半径，cm；

K——材料系数，但取值应不小于 0.72。

2.10.3　支柱的最小壁厚

2.10.3.1　管形支柱的壁厚 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t=\frac{P}{0.392d_p-4.9l} \qquad \text{mm}$$

$$t=\frac{d_p}{40} \qquad \text{mm}$$

式中：P ——支柱所受的载荷，kN，见本节 2.10.1.1；

l ——见本节 2.10.2.1；

d_p——管形支柱的平均直径，mm。

管形支柱的最小壁厚：船长 L＜60m 时为 5mm；60m≤L＜90mm 时为 6mm；L≥90m 时为 7mm。

2.10.3.2　组合形支柱以及轧制型材支柱均应符合下列规定：

(1)　空心矩形剖面支柱的壁厚 t 以及工字形或槽形剖面支柱的腹板厚度 t，应不小于按下列两式计算所得值中的小者：

$$t=\frac{br}{60l} \qquad \text{mm}$$

$$t=\frac{b}{55} \qquad \text{mm}$$

式中：b ——空心矩形剖面的长度，mm，工字形或槽形剖面的腹板高度；

l、r——见本节 2.10.2.1。

空心矩形剖面支柱的最小壁厚以及工字形或槽形剖面支柱的最小腹板厚度：船长 L＜60m 时为 5mm；60m≤L＜90m 时为 6mm；L≥90m 时为 7mm。

(2)　角形剖面支柱的角边厚度 t 以及槽形剖面支柱的面板厚度 t 均应不小于按下列两式计算所得值中的小者：

$$t=\frac{br}{20l} \qquad \text{mm}$$

$$t=\frac{b}{18} \qquad \text{mm}$$

式中：b ——角形剖面的角边宽度，mm，槽形剖面的面板宽度；

r、l——同本节 2.10.2.1。

(3)　工字形剖面支柱的面板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得值中的小者：

$$t=\frac{br}{40l} \qquad \text{mm}$$

$$t=\frac{b}{36} \qquad \text{mm}$$

式中：b ——工字形剖面的面板宽度，mm；

r、l——同本节 2.10.2.1。

2.10.4　支柱端部的结构加强

2.10.4.1　应保证支柱上下端处的结构能合理地承受和传递载荷。管形支柱和空心矩形剖面支柱的上端应与由有效肘板支持的板相连接。在组合形或轧制型材支柱的上端和下端应设纵向和横向的肘板。在支柱的下方应设置复板或加厚板。

2.10.4.2　应将支柱设置在实肋板上或桁上，并应在实肋板或桁材上设置垂直加强筋。当支柱的间距较大时，应将支柱设置在实肋板与桁材的交叉点上，如不设在交叉点上则应在支柱下面设置局部肋板或局部桁材。在支柱下面的肋板和桁材上不准开设人孔。

2.10.4.3　当在轴隧上或其他较弱的骨架上设置支柱时，则应对该部位的结构作适当加强。

2.10.4.4　对于压载舱或其他液舱内的支柱，应注意可能受拉的影响。

2.10.4.5　在油舱内不应选用管形支柱或空心矩形剖面的支柱。

第 11 节　非水密支承舱壁

2.11.1　一般要求

2.11.1.1　舱壁板的最小厚度在下层货舱内应为 7mm，在甲板间舱内应为 6mm；船长小于 90m 时，最小厚度均应为 5mm。

2.11.1.2　舱壁扶强材的最大间距为 1500mm。

2.11.1.3　支承横梁、纵骨、纵桁、强横梁等的舱壁扶强材的剖面积 A(包括宽度不超过 600mm 的扶强材带板)应不小于按下列各式计算所得之值：

$$A = \frac{KP}{12.26 - 5.1\dfrac{l}{r\sqrt{K}}} \quad \text{cm}^2，\text{当}\frac{s}{t} \leqslant 80 \text{ 时；}$$

$$A = \frac{KP}{4.86 - 1.475\dfrac{l}{r\sqrt{K}}} \quad \text{cm}^2，\text{当}\frac{s}{t} \geqslant 120 \text{ 时}$$

$$80 < \frac{s}{t} < 120 \text{ 时，A 由内插法求得。}$$

式中：P、r——见本章 2. 10. 2. 1；

l——扶强材跨距，m；

s——扶强材间距, mm；

t——舱壁板厚度, mm，

K——材料系数，但取值应不小于 0.72。

2.11.1.4　扶强材腹板的最小高度，在下层货舱内应为 150mm，在甲板间舱内应为 100mm；船长小于 90m 时，最小高度分别应为 100mm 和 75mm。

第 12 节　水密舱壁

2.12.1　一般要求

2.12.1.1　水密舱壁除应满足本节要求外，还应满足本篇第 1 章第 8 节的有关要求。

2.12.1.2　横向水密舱壁的总数一般应不少于表 2.12.1.2 的规定。对于船长大于 190m 的船舶，由直接计算确定。

水密舱壁总数　　**表 2.12.1.2**

船长 / 船型	$L \leqslant 60$	$60 < L \leqslant 85$	$85 < L \leqslant 105$	$105 < L \leqslant 125$	$125 < L \leqslant 145$	$145 < L \leqslant 165$	$165 < L \leqslant 190$
中机型	4	4	5	6	7	8	9
尾机型	3	4	5	6	6	7	8

2.12.1.3　横向水密舱壁的设置应符合下列要求：

(1)　除防撞舱壁和尾尖舱壁外，其余水密舱壁均应通至舱壁甲板；

(2)　货舱舱壁应均匀地间隔设置。当一个货舱的长度超过 0.15L 或 30m(取大者)时，横向结构应予以加强，并提交相应的技术支持文件。

(3)　由于特殊运输需求，如水密舱壁的设置无法满足表 2.12.1.2 的要求时，只要进行适当的结构补偿并经直接计算证实船体的横向强度是足够的，可减少一道或几道水密舱壁。

2.12.1.4　水密舱壁为深舱舱壁组成部分时，其结构应同时符合本章第 13 节对深舱舱壁

的要求。

2.12.1.5　舱壁形式可采用平面舱壁、对称槽形舱壁或双层板舱壁。

2.12.2　防撞舱壁

2.12.2.1　计算防撞舱壁构件时，其 h 值应为相应规定高度的 1.25 倍。

2.12.3　平面舱壁板

2.12.3.1　平面舱壁板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值，但应不小于 5.5mm：

$$t=4s\sqrt{hK} \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——在舷侧处由列板下缘量到舱壁甲板的垂直距离，m，取值应不小于 2.5m；

K ——材料系数。

2.12.3.2　污水沟或舱底污水井处的舱壁板应增厚 2.5mm，尾管通过处舱壁板的厚度应增加 1 倍。

2.12.3.3　舱壁最下列板由内底板算起(单底时自船底算起)的高度应不小于 900mm。如舱壁一面设有双层底而另一侧为单底时，最下列板至少高出双层底平面 300mm。

2.12.3.4　如舱壁板厚度同与其连接的桁材腹板厚度相差过大时，该连接区域的舱壁板应予增厚。

2.12.4　平面舱壁扶强材

2.12.4.1　舱壁扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=Cshl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——在舷侧处由扶强材跨距中点量到舱壁甲板的垂直距离，m，但取值不小于 2m；

l ——扶强材跨距，m；

C——系数，按下面情况选取：

C=6，扶强材端部不连接或与无扶强的板直接连接；

C=3，扶强材端部用肘板连接；扶强材端部直接同纵向构件搭接；

K——材料系数。

扶强材端部直接同纵骨架式甲板板(内底板)连接，且扶强材和纵骨的腹板在同一平面内；扶强材端部同甲板或桁材腹板直接连接，但甲板或桁材另一边应具有与之连接且与该扶强材在同一直线上的至少为相同剖面的相邻构件。

2.12.4.2　当横向舱壁支持甲板纵桁时，应在甲板纵桁位置设置舱壁扶强材，该扶强材连带板剖面积还应符合本章第 11 节对非水密支承舱壁的要求。

2.12.4.3　舱壁扶强材端部肘板尺寸应符合本篇 1.2.6 的规定。

扶强材端部不连接的形式仅适用于上甲板间舱。

2.12.4.4　扶强材上下端的肘板应分别延伸到舱壁邻近的横梁或肋板，并牢固地与之焊接。如甲板或底部为纵骨架式而舱壁扶强材末端之肘板又不在纵骨平面内时，应在肘板末端与纵骨之间设置加强筋。

2.12.4.5　扶强材腹板的最小高度应满足本章 2.11.1.4 的要求，腹板的厚度 t 应符合下列要求：

对于有折边或面板的轧制或组合扶强材：$t \geqslant \dfrac{d_w}{60\sqrt{K}}$ mm

对于扁钢扶强材：$t \geqslant \dfrac{d_w}{18\sqrt{K}}$ mm

式中：d_w——扶强材腹板高度，mm；

K——材料系数。

2.12.5　对称槽形舱壁

2.12.5.1　槽形各部分尺度的代号见本篇第 1 章图 1.2.4.3。

2.12.5.2　槽形舱壁的尺寸应符合下述要求：

(1)　槽形舱壁一个槽形宽度的剖面数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=Cshl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：l ——槽形跨距，m；

h ——在舷侧处由槽形跨距中点量至舱壁甲板的垂直距离，m，但取值不小于 2m；

s ——一个槽形宽度，m；

C——系数，按表 2.12.5.2 规定的端部固定情况选取；

K——材料系数。

(2)　槽形斜面部分与平面部分的夹角$\alpha \geqslant 40^{\circ}$；

(3)　当槽形跨距超过 15m 时，在跨距中点附近应设置隔板或等效的加强措施。

C 值　　**表 2.12.5.2**

上端 / 下端	直接同甲板连接	按本节图 2.12.5.2(2)或(3)所示
按本节图 2.12.5.2(1)或(2)或(3)所示	5.04	3.84

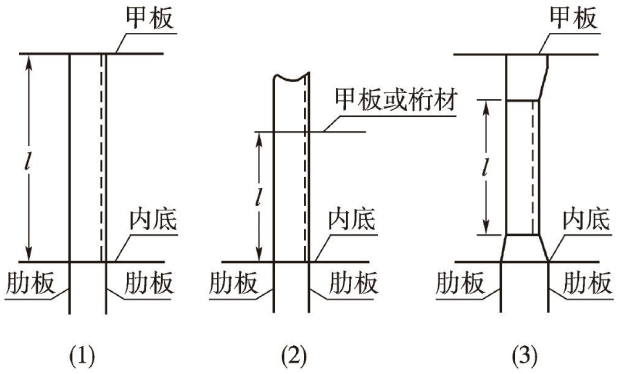


图 2. 12. 5. 2

2.12.5.3　对称槽形舱壁板的厚度 t 应符合本节 2.12.3.1 的规定，且应符合下列要求：

$$\text{在顶部：}\ t \geqslant \frac{a}{85\sqrt{K}} \qquad \text{mm}$$

$$\text{在底部：}\ t \geqslant \frac{a}{70\sqrt{K}} \qquad \text{mm}$$

式中：a ——槽型平面部分宽度，mm；

K——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求(另见本篇第 1 章 1.5.9)，则可取较低强度等级的 K 值计算。

2.12.5.4　槽形舱壁跨距中点的板厚应保持至不低于跨距中点以上 0.2l 处。

2.12.6　双层板舱壁

2.12.6.1　双层板舱壁隔板剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=Cshl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——隔板间距，m，见本篇第 1 章图 1.2.4.4；

h ——在舷侧处由跨距中点量至舱壁甲板的垂直距离，m，但取值不小于 2m；

l ——隔板跨距，m；

C——系数，按表 2.12.6.1 规定的端部固定情况选取；

K ——材料系数。

***C* 值** **表 2.12.6.1**

下端 \ 上端	直接同甲板连接	按本节图 2.12.5.2(2)或(3)所示
按本节图 2.12.5.2(1)或(2)或(3)所示	3.96	3.00

2.12.6.2　双层板舱壁的尺寸符合本节 2.12.6.1 和 2.12.3.1 的要求外，还应符合下列要求：

(1)　双层板舱壁板厚度 t_p 应符合下列要求：

$$\text{在顶部：}\ t_p \geqslant \frac{s}{75\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

$$\text{在底部：}\ t_p \geqslant \frac{s}{65\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

式中：s ——隔板间距，mm；

K——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求(另见本篇第 1 章 1.5.9)，则可取较低强度等级的 K 值计算。

(2)　双层板舱壁的隔板厚度 t_w 和剪切面积 A_w 应符合下列要求：

$$\text{在顶部：}\ t_w \geqslant \frac{b}{85\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

$$A_w \geqslant 0.12\frac{W}{l} \quad \text{cm}^2$$

$$\text{在底部：}\ t_w \geqslant \frac{b}{75\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

$$A_w \geqslant 0.18\frac{W}{l} \quad \text{cm}^2$$

式中：b ——双层板舱壁的舱壁板之间的间距，mm；

W ——本节 2.12.6.1 要求的剖面模数，cm^3 ；

l ——隔板的跨距，m；

K ——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求(另见本篇第 1 章 1.5.9)，则可取较低强度等级的 K 值计算。

2.12.6.3　双层板舱壁跨距中点处板的厚度应保持至不低于跨距中点以上 0.2l。双层板舱壁隔板自每端 1/3 长度内不应开人孔或类似开孔。

2.12.7　桁材

2.12.7.1　桁材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=6.6bhl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：b ——桁材支持面积的宽度，m；

h——在舷侧处，由桁材跨距中点量至舱壁甲板的垂直距离，m，但取值不小于 2m；

l ——桁材跨距，m；

K——材料系数。

2.12.7.2　桁材腹板高度应不小于其支持的舱壁扶强材腹板高度的 2.5 倍，面板宽度应不大于腹板高度或面板厚度的 35 倍。

2.12.7.3　桁材的末端应用肘板连接。肘板应延伸至邻近的肋骨或舱壁扶强材，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.7 的有关规定。

2.12.8　水密舱壁台阶

2.12.8.1　舱壁台阶处甲板或平台的横梁剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=4.2shl^2K \qquad cm^3$$

式中：s ——横梁间距，m；

h——在舷侧处由构成舱壁台阶处的甲板或平台量至舱壁甲板的垂直距离，m，但取值不小于 2m；

l ——横梁跨距，m，但取值不小于 2m；

K ——材料系数。

2.12.8.2　台阶处甲板板或平台板的厚度应按本节 2.12.3.1 的规定增厚 1mm，此时公式中的 s 取横梁间距。

2.12.8.3　台阶处甲板板或平台板的厚度及横梁尺寸，在任何情况下皆应不小于本章第 4 节及第 8 节对相应的甲板板和横梁所要求的尺寸。

第 13 节　深　舱

2.13.1　一般要求

2.13.1.1　本节所述的深舱是指用于装载液体（如水、燃油、植物油、泥浆等）的舱，其在舱室或甲板间构成船体的一部分。

2.13.1.3　对于采用溢流法压载水置换的压载舱，计算压头 h 除应满足本节要求外，还应不小于计算点至溢流点的垂直距离。

2.13.2　平面舱壁

2.13.2.1　平面舱壁板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=3.95s\sqrt{\rho hK}+2.5 \qquad mm$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——由舱壁板列下缘量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

K ——材料系数。

板的厚度应不小于：当 $L\geqslant 90m$ 时为 8mm；当 $60m\leqslant L<90m$ 时为 7mm；当 $L<60m$ 时为 6mm。

2.13.2.2　污水沟或污水阱处的舱壁板应增厚 2.5mm。

2.13.2.3　舱壁扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=8s\rho hl^2K \qquad cm^3$$

式中：s ——扶强材间距，m；

l ——扶强材跨距，m；

h ——由扶强材跨距中点量到深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m。扶强材端部应用肘板连接，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的有关要求。扶强材端部也可同甲板或桁材直接连接，但甲板或桁材另一边应具有与之连接且与该扶强材在同一直线上的至少为相同剖面的相邻构件；

ρ ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

K ——材料系数。

扶强材剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2.3Wl/K \qquad cm^4$$

式中：W、l 同上。

2.13.3　对称槽形舱壁

2.13.3.1　槽形舱壁的尺寸应符合下述规定：

(1)　槽形舱壁一个槽形宽度的剖面模 W 应不小于下式计算所得之值：

$$W=Cs\rho hl^2K \qquad cm^3$$

式中：l ——槽形跨距，m；

h ——由槽形跨距中点量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

s ——一个槽形宽度，m；

C——系数，按表 2.13.3.1 规定的端部固定情况选取；

K——材料系数。

(2) 槽形斜面部分与平面部分的夹角$\alpha \geqslant 40°$。

(3) 当槽形跨距超过 15m 时，应在跨距中点附近设置水平桁材。

C 值 **表 2.13.3.1**

下端 \ 上端	直接同甲板连接	按本节图 2. 12. 5. 2(2)或(3)所示
按本节图 2. 12. 5. 2(1)或(2)或(3)所示	13. 3	10. 3

2.13.3.2 槽形舱壁板的厚度t应符合本节 2.13.2.1 规定，且应符合下式要求：

$$t \geqslant \frac{a}{70\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

式中：a——槽型平面部分宽度，mm；

K——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求(另见本篇第 1 章 1.5.9)，则可取较低强度等级的K值计算。

2.13.3.3 槽形舱壁跨距中点处的板厚应保持至不低于跨距中点以上 0.2l 处。

2.13.4 双层板舱壁

2.13.4.1 双层板舱壁隔板剖面模数 W 和舱壁板间距 b 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=Cs\rho hl^2K \quad \text{cm}^3$$

$$b=40l \quad \text{mm}$$

式中：s ——隔板间距，m；

h ——由跨距中点量至深舱顶的垂直距离， 或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

l ——隔板跨距，m；

C——系数，按表 2.13.4.1 规定的端部固定情况选取；

K——材料系数。

C 值 **表 2.13.4.1**

下端 \ 上端	直接同甲板连接	按本节图 2. 12. 5. 2(2)或(3)所示
按本节图 2. 12. 5. 2(1)或(2)或(3)所示	10. 2	8

2.13.4.2 双层板舱壁板厚度t_p除应符合本节 2.13.2.1 的规定外，还应符合下列要求：

$$\text{在顶部：} \quad t_p \geqslant \frac{s}{75\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

$$\text{在底部：} \quad t_p \geqslant \frac{s}{65\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

式中：s——隔板间距，mm；

K——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求(另见本篇第 1 章 1.9.9)，则可取较低强度等级的K值计算。

2.13.4.3 双层板舱壁的隔板厚度t_w和剪切面积A_w应符合下列要求：

在顶部：$t_w \geqslant \dfrac{b}{85\sqrt{K}}$ mm

$A_w \geqslant 0.07\dfrac{W}{l}$ cm^2

在底部：$t_w \geqslant \dfrac{b}{75\sqrt{K}}$ mm

$A_w \geqslant 0.10\dfrac{W}{l}$ cm^2

式中：b——双层板舱壁的舱壁板之间的间距，mm；

W——本节 2.13.4.1 要求的剖面模数，cm^3 ；

l——隔板的跨距，m；

K——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求(另见本篇第 1 章 1.5.9)，则可取较低强度等级的 K 值计算。

2.13.4.4　双层板舱壁跨距中点处的板厚应保持至不低于跨距中点以上 0.2l 处。

双层板舱壁隔板自每端 1/3 长度内不应开人孔或类似开孔。

2.13.5　**桁材**

2.13.5.1　桁材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=11.7bph l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：b——桁材支持面积的宽度，m；

h——由桁材跨距中点处量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

l——桁材跨距，m；

K——材料系数。

2.13.5.2　桁材的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：W、l、K 同本节 2.13.5.1。

2.13.5.3　桁材腹板高度应不小于被支持的舱壁扶强材腹板高度的 2.5 倍，面板的宽度应不大于腹板高度或面板厚度的 35 倍。

2.13.5.4　桁材的末端应用肘板连接。肘板应延伸至邻近的肋骨或舱壁扶强材，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.7 的有关规定。

2.13.6　**横骨架式舷侧**

2.13.6.1　肋骨应符合下列要求：

(1)　除首尖舱、尾尖舱肋骨外，肋骨剖面模数应按本章第 7 节要求增加 15%。

(2)　肋骨剖面模数 W 和剖面惯性距 I 除符合上述要求外，还应不小于按下式计算所得之值：

$$W=6.8s\rho hl^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I=3.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：s——肋骨间距，m；

l——肋骨跨距，m，由肋板或内底的上缘量至舷侧纵桁或舷侧纵桁之间，或舷侧纵桁至甲板间的垂直距离；

h——由肋骨跨距中点量至深舱顶的垂直距离，或者量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

K——材料系数。

(3)　肋骨端部肘板的臂长应较本篇 1.2.6 的要求增加 20%。

2.13.6.2　支持肋骨的舷侧纵桁除应符合本节 2.13.5.3 和 2.13.5.4 的要求外，其剖面模数 W 和惯性矩 I 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=11.7bph l^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I=2.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：b——桁材支持面积的宽度，m；

h——由桁材跨距中点量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，但不小于由桁材跨距中点量至上甲板的垂直距离或量至平板龙骨以上1.4d(d为吃水)处的垂直距离的小者，m；

ρ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于1.025；

l——桁材跨距，m；

K——材料系数。

2.13.6.3　在距首垂线0.2L以前区域的深舱内，应设置间距不大于5m的舷侧纵桁，或设置符合本章2.15.1.11要求的开孔平台。当舱长超过14m且以开孔平台代替舷侧纵桁时，应设置强肋骨或横向制荡舱壁。

2.13.6.4　支持舷侧纵桁的强肋骨，其尺寸应按本章2.7.4.1要求计算。但计算压头h为自舷侧纵桁量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶距离的一半，取大者；但不小于由桁材量至上甲板的距离或量至平板龙骨以上1.4d(d为吃水)处的垂直距离的小者。

2.13.7　纵骨架式舷侧

2.13.7.1　舷侧纵骨剖面模数W除应符合本章第7节要求外，还应不小于按下式计算所得之值：

$$W=8.8sph l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

h——由纵骨量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于1.025；

l——纵骨跨距，m；

K——材料系数。

舷侧纵骨端部连接应符合2.7.5.7的有关要求。端部肘板的臂长应较本篇1.2.6要求增大20%。

2.13.7.2　支持舷侧纵骨的强肋骨的剖面模数W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W=11.7sph l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——强肋骨间距，m；

h——由强肋骨跨距中点量至深舱顶垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于1.025；

l——强肋骨跨距，m；

K——材料系数。

2.13.7.3　强肋骨剖面惯性矩I应不小于按下式计算所得值：

$$I=2.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：W、l、K同本节2.13.7.2。

2.13.7.4　距首垂线0.2L以前区域的深舱内，支持纵骨的强肋骨剖面模数应按本节2.13.7.2计算所得之值再增加20%。强肋骨的间距：当船长等于或小于100m时，一般应不大于3.0m；当船长等于或大于300m时，一般应不大于4.2m，中间值用内插法求得。当深舱深度大于16m时，应设置开孔平台且在强肋骨处设置强横梁。

2.13.8　甲板及其骨架

2.13.8.1　深舱甲板(或平台)板的厚度t除应符合本章第4节要求外，还应不小于按下式计算所得之值：

$$t=3.95s\sqrt{\rho hK}+3.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——骨材间距，m；

h——由甲板(或平台)量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

K——材料系数。

深舱甲板(或平台)板厚度 t 应不小于：当船长 L≥90m 时为 8mm；当 60m≤L＜90m 时为 7mm；当 L＜60m 时为 6mm。

2.13.8.2　深舱甲板(或平台)纵骨或横梁剖面模数 W，除应符合本章第 8 节要求外，还应不小于按下式计算所得之值：

$$W=8.8s\rho hl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨或横梁间距，m；

h——由甲板(或平台)量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

l——纵骨或横梁的跨距，m；

K——材料系数。

剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2.3Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W、l　、K 同上。

2.13.8.3　深舱甲板(或平台)纵桁或强横梁剖面模数 W，除应符合本章第 8 节要求外，还应不小于按下式计算所得之值：

$$W=11.7S\rho hl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S——纵桁或强横梁间距，m；

h ——由甲板(或平台)量至深舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

l——桁材或强横梁跨距，m；

K——材料系数。

剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2.5Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W、l、K 同上。

2.13.8.4　甲板纵桁和强横梁的腹板高度应符合本章第 8 节的有关要求。

2.13.8.5　距首垂线 0.2L 以前区域的深舱内，支持甲板纵骨的强横梁间距与本节 2.13.7.5 规定的强肋骨间距相同。

2.13.9　船底骨架

2.13.9.1　距首垂线 0.2L 以前区域深舱横骨架式单底还应符合下列要求：

(1)　横骨架式单底应在每一肋位处设置实肋板，肋板尺寸应不小于本章 2.15.1.1 的要求。在强肋骨处肋板高度和面板尺寸应不小于强肋骨的相应尺寸；

(2)　横骨架式单底中内龙骨剖面模数 W 应不小于按下列两式计算所得的大者：

$$W=9s\,h_1\,l^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$W=9.8s\rho\,h_2\,l^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S ——中内龙骨的平均支承宽度，m；

l ——中内龙骨的跨距，m；

h_1——在舷侧处由跨距中点量到上甲板的垂直距离，m；在距首垂线 0.15L 以前区域应量到量计船首最小高度的甲板(见《1966 年国际载重线公约》第 39 条)以上 3m 的垂直距离；

h_2——由跨距中点量到深舱顶的垂直距离，或量到溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

ρ ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

K ——材料系数。

剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2.5Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W、l、K 同上。

(3) 横骨架式单底应设置间距不大于 3 个肋骨间距的间断旁内龙骨。旁内龙骨的尺寸与肋板相同。

2.13.9.2 距首垂线 0.2L 以前区域深舱纵骨架式单底，支持纵骨的实肋板间距与本节 2.13.7.4 规定的强肋骨间距相同。实肋板应由连续中内龙骨或纵舱壁支持。实肋板和中内龙骨的尺寸应符合本篇第 6 章第 3 节的有关要求。

2.13.10 制荡舱壁

2.13.10.1 深舱由一舷至另一舷时，在中纵剖面处应设置纵舱壁或制荡舱壁。在距首垂线 0.3L 以前区域，如舱宽最大处超过 0.5B，则应在舱宽中心线设置制荡舱壁；如舱宽最大处超过 0.7B，则建议在船宽中心线设置纵舱壁。

2.13.10.2 制荡舱壁厚度与本节所述舱壁相同。扶强材剖面模数为舱壁扶强材的 50%，但 h 值为量至深舱顶。扶强材两端应用肘板连接，制荡舱壁上开孔面积应不小于舱壁总面积的 5%，也不大于 10%。

第 14 节 首尾柱、球鼻首、尾轴架

2.14.1 首柱

2.14.1.1 矩形首柱在夏季载重线以上 0.5m 处以下区域的横剖面面积 A，应不小于按下列各式计算所得之值：

$A = 1.2L$ cm^2，当 $L < 90$m

$A = 1.63L - 38$ cm^2，当 $L \geq 90$m

式中：L ——船长，m。

夏季载重线以上 0.5m 处以上区域的首柱横剖面面积可逐渐减小，至顶端可减小 25%。

2.14.1.2 钢板焊接首柱在夏季载重线以上 0.5m 处以下区域的板厚 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = (0.08L + 5.5)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：L ——船长，m，但计算时取值不必大于 230m。

K ——材料系数。

夏季载重线以上 0.5m 处以上区域的厚度可逐渐减小，至顶端可等于船端外板的厚度。

首柱应以水平肘板加强，其间距应不大于 1m。肘板厚度应不小于邻接外板的厚度。肘板应向后延伸与肋骨或舷侧纵桁连接，但至少应超过首柱板与外板的对接缝。

对曲率半径较大的首柱，沿其中纵剖面处应设置与水平肘板厚度相同的纵向加强筋。

2.14.1.3 铸钢首柱应便于制造，其所有圆角应有足够大的半径。铸钢首柱的剖面积应不小于本节 2.14.1.1 对矩形首柱剖面面积的规定，在铸钢首柱上应有水平加强筋。

2.14.2 无舵柱的尾柱

2.14.2.1 无舵柱的尾柱由尾框底骨、推进器柱及其在推进器柱上的轴毂组成。

2.14.2.2 钢板焊接的推进器柱(如图 2.14.2.2 所示)尺寸应不小于按下列各式计算所得之值：

剖面长度：$a = 46\sqrt{L}$ mm

剖面厚度：$t = 2.3\sqrt{L} + 3$ mm

式中：L ——船长，m。

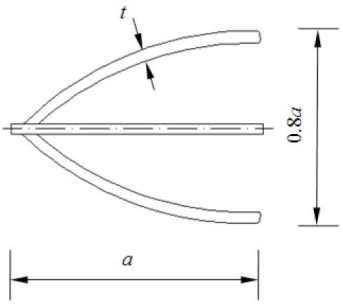


图 2.14.2.2(1)

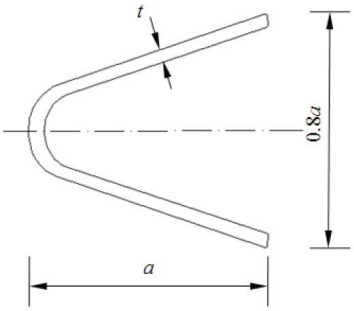


图 2.14.2.2(2)

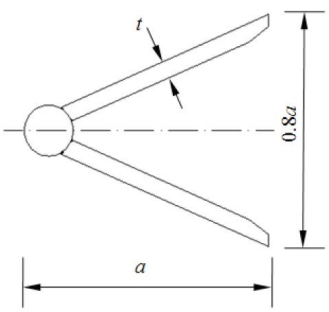


图 2.14.2.2(3)

2.14.2.3　铸钢推进器柱(如图 2.14.2.3 所示)尺寸应不小于按下列各式计算所得之值：

剖面长度：$a=41\sqrt{L}$　　mm

剖面厚度：$t_1=3\sqrt{L}$　　mm

$t_2=4\sqrt{L}$　　mm

圆角半径：$R=4.9\sqrt{L}$　　mm

式中：L——船长，m。

2.14.2.4　钢板或铸钢推进器柱应设置水平肘板予以加强，其位置根据船体骨架与推进器柱结构而定，但其间距不大于 650mm。铸钢尾柱应便于制造，所有圆角应有足够大的半径，曲率半径较大的部分还应设置纵向加强筋。

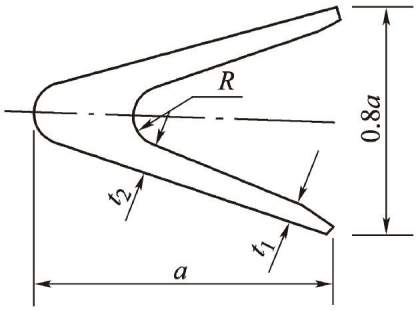


图 2.14.2.3

2.14.2.5　尾框底骨(如图 2.14.2.5 所示)任一计算剖面处对垂直中和轴(Z 轴)的剖面模数 W_z，应不小于按下式计算所得之值：

$$W_z=\frac{K}{80}Px \quad \text{cm}^3$$

式中：P——尾框底骨对舵叶的支持力，N，应按本篇第 3 章第 1 节的有关规定计算；

K——材料系数。对于钢板组合的尾框底骨，K 为按本篇 1.3.1.7 所取的材料系数；对于铸钢的尾框底骨，K 为按本篇 3.1.1.3 所取的材料系数；

x——计算剖面至舵杆中心线的距离，m，其取值应不小于 $0.5l_s$，l_s 为最大距离(见图 2.14.2.5)。

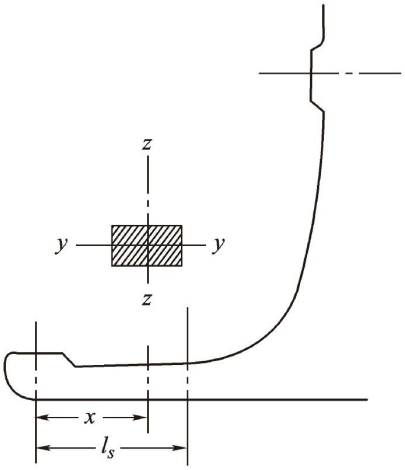


图 2.14.2.5

2.14.2.6　尾框底骨任一计算剖面处对水平中和轴(Y 轴)的剖面模数 W_y，应不小于按下式计算所得之值：

$$W_y = 0.5W_z \qquad \text{cm}^3$$

式中：W_z ——按本节 2.14.2.5 计算的剖面模数，cm^3。

2.14.2.7　尾框底骨任一横剖面的剖面积 A_s，应不小于按下式计算所得之值：

$$A_s = \frac{K}{48}P \qquad \text{mm}^2$$

式中：P 和 K 见本节 2.14.2.5。

2.14.2.8　在长度 l_s 范围内，尾框底骨任一横剖面上的相当应力 σ_e 应符合下式要求：

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqslant 115/K \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$\sigma = \dfrac{Px}{W_z}$，N/mm^2，其中 P 和 x 见本节 2.14.2.5，W_z 为计算剖面对 Z 轴的剖面模数，cm^3；

$\tau = \dfrac{P}{A_s}$，N/mm^2，其中 P 见本节 2.14.2.5，A_s 为计算剖面的剖面积，mm^2；

K 见本节 2.14.2.5。

2.14.2.9　在钢板组合的尾框底骨中，应设置间距不超过 760mm 的横向隔板。如钢板组合的尾框底骨内宽度超过 900mm 时，还应装设中心线垂直隔板。

2.14.2.10　尾框底骨应由推进器柱轴毂前端向船首延伸至少 3 个肋位，并与平板龙骨牢固连接。该延伸部分的横剖面面积允许逐渐减小到与平板龙骨有效连接所需的面积。

2.14.2.11　尾轴管应与肋板或舱壁牢固连接。与尾轴管连接的肋板应增厚 3mm。

2.14.2.12　推进器柱在尾管轴或推进器轴通出处的毂壁厚度 t，在搪孔完毕后应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.1d_s+60 \quad \text{mm}，但不必大于 } 0.3d_s$$

式中：d_s ——尾管轴或推进器轴的直径，mm。

2.14.3　双推进器船推进器柱

2.14.3.1　双推进器船和船身组成一体的推进器柱，其尺寸(如图 2.14.3.1(1)和(2)所示)应不小于按下列各式计算所得之值：

$$\text{剖面宽度：} b = 33\sqrt{L} \qquad \text{mm}$$

剖面厚度：$t_1 = 3.3\sqrt{L}$ mm

$t_2 = 3.7\sqrt{L}$ mm

$t_3 = 4.5\sqrt{L}$ mm

圆角半径：$R = 4.4\sqrt{L}$ mm

式中：L——船长，m。

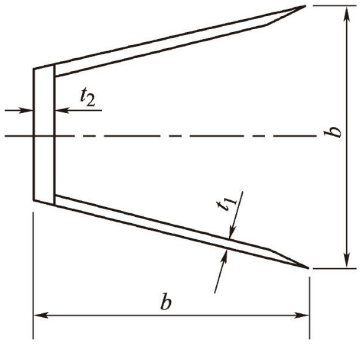


图 2.14.3.1(1)

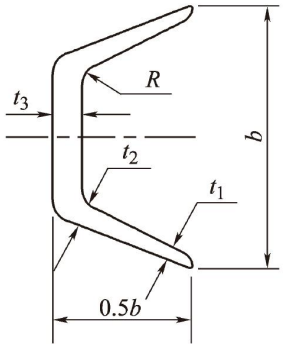


图 2.14.3.1(2)

2.14.4 **推进器净空**

2.14.4.1 推进器与尾柱、舵之间的最小间隙(如图 2.14.4.1 所示)建议不小于下列要求：

a $= 0.12D$ m

b $= 0.20D$ m

c $= 0.14D$ m

d $= 0.04D$ m

式中：D——螺旋桨直径，m。

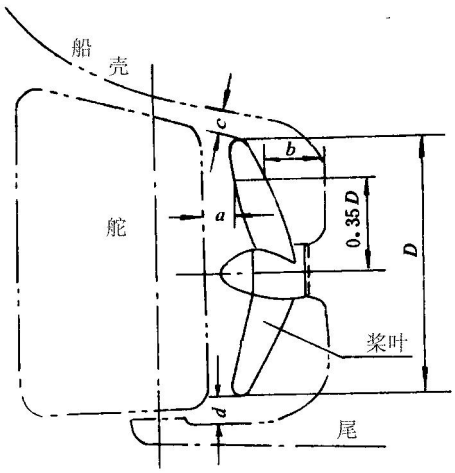


图 2.14.4.1

2.14.5 **球鼻首**

2.14.5.1 设置球鼻首的船舶，球鼻结构应有足够支持，并与首尖舱结构组成一个整体。一般应按下列要求加强：

(1) 在球鼻首前端应设置间隔约 1m 的水平隔板，并与中纵桁连接；

(2) 由首尖舱肋骨到球鼻首肋骨的过渡区域应装设横向垂直隔板；

(3) 对于长球鼻，一般应设置横向制荡舱壁作附加加强或每隔 5 个肋距设置强肋骨；

(4) 对于宽球鼻，一般应在中纵剖面处设置制荡舱壁作附加加强；

(5) 球鼻前端以及易受锚和锚链碰损部分的外板应予增厚，加厚板的厚度可取为钢板首柱的厚度。

2.14.6 尾轴架

2.14.6.1 尾轴架可采用铸钢、钢板焊接和分段铸件或锻件焊接构成，支臂与轴毂的焊缝应充分焊透。

2.14.6.2 人字形尾轴架每个支臂和轴毂的尺寸，应不小于按下列各式计算所得之值：

支臂厚度：	$t=0.45d_s$	mm
支臂截面积：	$A=0.45\,d_s^2$	mm^2
轴毂厚度：	$t=0.33\,d_s$	mm
轴毂长度：	$l=3\,d_s$	mm

式中：d_s——轴支架处尾管轴或推进器轴直径，mm。

2.14.6.3 尾轴架固定处的船体骨架应予加强，船体外板按本章 2.3.6.1 加厚。支臂应伸进船体内部，并与肋板、纵桁和外板牢固连接。

第 15 节 船端加强

2.15.1 首尖舱内的加强

2.15.1.1 在每个肋位处均应设置实肋板，其腹板高度 h、厚度 t 和面板剖面积 A，应分别不小于按下列各式计算所得之值：

$$h=85D+140 \quad \text{mm，但不必大于 1500mm}$$

$$t=(0.03L+6)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

$$A=0.85BK \quad \text{cm}^2$$

式中：B ——船宽，m；

D ——型深，m；

L——船长，m，计算时取值不必大于 200m；

K ——材料系数。

2.15.1.2 在中纵剖面处应设置中内龙骨，其腹板的高度和厚度以及面板剖面积均应符合本节 2.15.1.1 对实肋板的规定。

2.15.1.3 若因船底过分尖瘦，则可不必将中内龙骨的腹板伸至船底，其高度约为肋板高度的 1/3。或者，不设置中内龙骨，但在肋板的腹板上应设置数道水平加强筋，且在这些肋板腹板的上缘设置开孔平台，以代替肋板的面板。

2.15.1.4 在本节 2.15.1.3 所述的情况下，应在防撞舱壁前的若干档肋位内，设置逐渐减小尺寸的中内龙骨，以作为防撞舱壁后的中桁材或中内龙骨的延伸部分。

2.15.1.5 当舷侧为横骨架式时，应在每隔 1 档肋位处设置垂向间距不大于 2m 的强胸横梁，其垂向设置范围应为从肋板的上缘至最下层甲板，且至少应达到满载水线以上 1m 处。强胸横梁的剖面积 A 和最小剖面惯性矩 I 应分别不小于按下列两式计算所得之值：

$$A=(0.27L+8)K \quad \text{cm}^2$$

$$I=cehl^2 \quad \text{cm}^4$$

式中：L ——船长，m，计算时取值不必大于 250m；

c ——强胸横梁的水平间距，m；

e ——强胸横梁的垂直间距，m；

h_i——强胸横梁至载重线要求最小船首高度以上 3m 的垂直距离，且不应小于至上甲板的垂直距离，m；

l ——强胸横梁的跨距，m；

K——材料系数。

2.15.1.6　当首尖舱为液舱且其最宽处的宽度超过 0.5B(B 为船宽)时，在中纵剖面处应设置有效的支撑构件或制荡舱壁，以支持强胸横梁。制荡舱壁应符合本章 2.13.10.2 的规定。

2.15.1.7　当首尖舱长度超过 10m 时，还应在首尖舱内设置横向的制荡舱壁或强肋骨，以对其作横向的附加加强。横向的制荡舱壁应符合本章 2.13.10.2 的规定，强肋骨应符合本章 2.7.2.8 的规定。

2.15.1.8　当舷侧为横骨架式时，在每道强胸横梁处应设置具有折边或面板的舷侧纵桁，其腹板高度 h 和厚度 t 应分别不小于按下列各式计算所得之值：

$$h=5.6L+166 \quad \text{mm}，\text{当 } L<90\text{m 时}$$

$$h=3.0L+400 \quad \text{mm}，\text{当 } L\geqslant 90\text{m 时}$$

$$t=0.023L+6 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m，计算时取值不必大于 250m。

2.15.1.9　在舷侧纵桁与肋骨的连接处的下缘，应设肘板，肘板的厚度应不小于舷侧纵桁腹板的厚度，并应将肘板伸至舷侧纵桁的折边或面板；在设有强胸横梁处，沿肋骨的肘板臂长应不小于舷侧纵桁腹板高度的 75%；在未设强胸横梁处，肘板臂长应不小于舷侧纵桁腹板高度的 50%。在舷侧纵桁腹板与肋骨相交处，应予以焊接。

2.15.1.10　当舷侧为横骨架式且用开孔平台结构代替强胸横梁和舷侧纵桁时，开孔平台的间距应不大于 2.5m。其垂向设置范围为从肋板的上缘至满载水线以上的最下层甲板，但应不低于满载水线以上 1.0m。

2.15.1.11　当舷侧为横骨架式时，开孔平台应符合下列要求：

(1)　每一平台的开孔面积应不小于该平台总面积的 10%；

(2)　开孔平台板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.023L+5 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m；

(3)　当开孔平台为横骨架式时，在开孔平台下，每隔 1 档肋位应至少设置一道横梁，其不连带板的剖面积 A 应不小于按下式计算所得之值：

$$A=\left(0.13L+4\right)CK \quad \text{cm}^2$$

式中：L——船长，m；

C——系数，当横梁每隔 1 档肋位设置时，C=1；当横梁每档肋位设置时，C=0.5；

K——材料系数；

当开孔平台为纵骨架式时，在开孔平台下应设置适当数量的强横梁，且强横梁与纵骨的尺寸应特殊
考虑。

(4)　开孔平台的横梁与肋骨的连接肘板尺寸应符合本篇 1.2.6 的要求。

2.15.1.12　当舷侧为纵骨架式且舱深超过 10m 时，应在适当位置设置 1 层或多层开孔平台，或者，应在每根强肋骨处设置 1 道或多道符合本节 2.15.1.5 规定的强胸横梁。

2.15.1.13　当舷侧为纵骨架式时，在首尖舱舱顶和开孔平台(如设有时)处应设置适当数量的强横梁，强横梁与强肋骨的连接肘板应符合本篇 1.2.7 的规定。

2.15.1.14　当舷侧为纵骨架式时，开孔平台应符合本节 2.15.1.11(1)～(3)的要求，同时应在开孔平台横梁与舷侧板的连接处设置肘板，且应将肘板伸至邻近的舷侧纵骨。

2.15.1.15　在强肋骨与舷侧纵骨连接处的前缘应设置肘板。肘板的厚度应不小于强肋骨腹板的厚度；应将肘板伸到强肋骨的面板；在设有强胸横梁处沿舷侧纵骨的肘板臂长应不小于强肋骨腹板高度的 75%；在未设强胸横梁处，沿舷侧纵骨的肘板臂长应不小于强肋骨腹板高度的 50%。

2.15.1.16 对纵骨架式船底结构，应特殊考虑。

2.15.2　首尖舱外的舷侧加强

2.15.2.1　当舷侧为横骨架式时，对于从距首垂线 0.15L 至防撞舱壁区域内的舷侧结构，应按下列要求进行加强：

(1)　当主肋骨跨距不超过 9m 时，应沿首尖舱内的舷侧纵桁或开孔平台的延伸线设置间断的舷侧纵桁；

(2)　当主肋骨跨距不超过 9m 且未设置间断舷侧纵桁时，对于该区域的外板，应按下述要求予以增厚：

当 L≤150m 时，应较本章规定的厚度增厚 15%；

当 L≥200m 时，应较本章规定的厚度增厚 5%；

当船长 L 为中间值时，应由线性内插法求得需增厚的百分比数。

(3)　当主肋骨跨距超过 9m 时，应沿首尖舱内的舷侧纵桁或开孔平台的延伸线设置间断的舷侧纵桁，并应将其延伸至距首垂线 0.2L 处。

(4)　当下甲板间肋骨跨距超过 2.6m 或上甲板间肋骨跨距超过 3m 时，应设置间断舷侧纵桁；但若将舷侧外板按本条(2)的要求进行增厚时，则可不设舷侧纵桁。

2.15.2.2　本节 2.15.2.1 所述的间断舷侧纵桁的腹板高度可与肋骨高度相同，但应将间断舷侧纵桁的腹板在距防撞舱壁不少于 2 档肋距的长度内向防撞舱壁处逐渐升高，使其在防撞舱壁处的高度与首尖舱内舷侧纵桁的腹板高度相同。若在首尖舱内所设的是开孔平台，则应按本节 2.15.1.8 规定计算首尖舱内舷侧纵桁的腹板高度。间断舷侧纵桁的腹板厚度 t 以及面板剖面积 A 应分别不小于下列两式计算所得之值：

$$t=0.023L+6 \quad \text{mm，且不必大于 12mm}$$

$$A=0.14L+1 \quad \text{cm}^2\text{，且不小于 7cm}^2$$

式中：L ——船长，m。

2.15.3　船首底部的加强

2.15.3.1　当船长 L 等于或大于 65m，且航行中最小首吃水小于 0.04L 时，应对其从首垂线向后的底部平坦部分进行加强。横向加强范围的边线高于基线应不小于 0.014B(B 为船宽))，但不必大于 0.28m。纵向加强范围的端线距首垂线的长度 X 应不小于按下式计算所得之值：

$$X=\left(0.65-\frac{C_b}{2}\right)L \qquad \text{m}$$

式中：L ——船长，m；

C_b——方形系数，当 C_b <0.7 时，C_b =0.7，当 C_b >0.8 时，C_b =0.8。

对于设置专用压载水舱的油船，应根据仅使用专用压载水舱时的工况，确定其最小首吃水。

2.15.3.2　在加强范围内，对横骨架式的双层底骨架应作下列加强：

(1)　应在每档肋位处设置实肋板；

(2)　一般应设置间距不大于 3 档肋骨间距的旁桁材，并于其中间设置有折边的半高旁桁材，应将旁桁材和半高旁桁材尽量向首延伸。

2.15.3.3　在加强范围内，对纵骨架式双层底骨架应作下列加强：

(1)　应在每隔 1 档肋位处设置实肋板，且间距一般不超过 2.5m。；

(2)　船底纵骨剖面模数应比按本章 2.6.12.2 的计算值大 10%，且代入公式中的 l 值应不小于 1.85m；

(3)　一般应设置间距不大于 3 倍纵骨间距的旁桁材，并应将其尽量向船首延伸。

2.15.3.4　在加强范围内，对横骨架式单层底骨架应作下列加强：

(1)　对于肋板腹板的高度和厚度，除应符合本节 2.15.1.1 的规定外，还应按实际可能向船首逐档加高肋板的腹板高度，并适当增加腹板厚度，以保证其稳定性。肋板的面板剖面积应比本节 2.15.1.1 的要求值大 50%，且不应以折边代替肋板的面板；

(2)　应设置间距不大于 3 档肋骨间距的旁内龙骨，并在其中间加设半高旁内龙骨或等

效的底部纵向扶强构件，且应尽可能地将其向船首延伸。

2.15.3.5　在加强范围内，对首部船底板应作下列加强：

(1)　首部船底板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = CC_1\left(1.8 - 26\frac{d_1}{L}\right)\sqrt{\frac{seK}{s_b}} \quad \text{mm}$$

式中：L ——船长，m；

d_1——航行中的最小首吃水，m；

s ——骨材间距，m；

s_b——骨材标准间距，m；

e ——纵向位置修正系数，见表 2.15.3.5；

C ——系数，当 $65 \le L \le 145$m 时，$C=7.3+0.081L$；

当 $145 < L \le 200$m 时，$C=19.0$；

当 $200 < L \le 300$m 时，$C=23.6-0.023L$；

当 $L > 300$m 时，$C=16.7$；

$C_1 = 1.2 - \dfrac{s}{2l}$，其中 l 为主要构件间距，　C_1 大于 1 时，取 C_1 等于 1；

K ——材料系数。

(2)　对于与加强范围相邻的船底板和外板，应予以逐渐过渡。

修正系数 e　　表 2.15.3.5

位置	e
从距首垂线(X-0.125L)至距首垂线 X 之间	$\frac{2f-1}{0.05-C_b}$
从首垂线至距首垂线(X-0.2L)之间	$0.5+\frac{f}{0.9-C_b}$
其余位置	1

注：C_b——见本节 2.15.3.1；

f ——所计算的位置至首垂线的距离 x(m)与船长 L(m)之比，即 $f=\frac{x}{L}$；

X ——见本节 2.15.3.1。

2.15.3.6　对符合以下任一条件的船舶，其首部船底的加强应按本章附录 3 规定的直接计算评估方法进行验证：

(1)　当船舶的最小首吃水小于 0.01L 时；

(2)　当主要构件的布置与本节 2.15.3 相关规定不符时。

2.15.3.7　在加强范围内，对纵骨架式单层底骨架应作下列加强：

(1)　应在每隔 1 档肋位处设置实肋板，实肋板应符合 2.15.3.4(1)的规定；

(2)　船底纵骨剖面模数应比按本章 2.6.12.2 的计算值大 10%，且代入公式中的 l 值应不小于 1.85m；

应设置间距不大于 3 倍纵骨间距的旁内龙骨，并应将其尽量向船首延伸。

2.15.4　尾尖舱内的加强

2.15.4.1　在每档肋位上应设置实肋板，其厚度应较本节所要求的首尖舱内的实肋板厚度增厚 1.5mm。对于单螺旋桨船舶，应将其肋板伸至尾管以上的足够高度。在推进器柱、尾轴架和挂舵臂处，一般应将肋板伸至舱顶并应增加其厚度。

2.15.4.2　当舷侧为横骨架式时，在肋板以上应设置垂向间距不大于 2.5m 的强胸横梁和舷侧纵桁或符合本节 2.15.1.11 要求的开孔平台。强胸横梁、舷侧纵桁及其与肋骨的连接均应符合对首尖舱的要求。

2.15.4.3　当舷侧为纵骨架式时，在舱顶应设置适当数量的强横梁。强横梁与强肋骨的连接肘板应符合本篇 1.2.7 的要求。

2.15.4.4　在液舱内，尾尖舱上部和尾突出体或巡洋舰尾的中纵剖面处一般应设置制荡舱壁。但当尾部悬伸特别宽大时，可要求在其左右舷另外设置纵向制荡舱壁。制荡舱壁应符合本章 2.13.10.2 的要求，且应在其每一肋位处设置扶强材。

2.15.5　尾尖舱上面的舷侧加强

2.15.5.1　当尾尖舱上面的甲板间舱舷侧为横骨架式，且甲板间舱高度大于 3m 时，应设抗拍击的间断舷侧纵桁，其腹板高度与肋骨相同，其腹板厚度和面板剖面积应满足本节 2.15.2.2 的要求；如不设间断舷侧纵桁，则应按本节 2.15.2.1(2)的要求增加该区域的外板厚度。

2.15.5.2　当尾尖舱上面的甲板间舱舷侧为横骨架时，应设置不大于 4 档肋骨间距的强肋骨，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=3.5\,S\,dh\sqrt{D}\,K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S ——强肋骨间距，m；

d ——吃水，m；

h ——甲板间舱高度，m；

D——型深，m；

K ——材料系数。

2.15.5.3　当尾尖舱上面的甲板间舱舷侧为纵骨架式时，应设置支持纵骨的强肋骨。强肋骨的间距：当船长等于或小于 100m 时，应不大于 2.5m；　当船长等于或大于 300m 时，应不大于 3.5m；中间值用内插法求得。强肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=4.4\,S\,dh\sqrt{D}\,K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S、d、h、D 和 K 同本节 2.15.5.2

2.15.6　**首部外飘的结构加强**

2.15.6.1　对于集装箱船、滚装船、客船、汽车运输船及具有类似首部外飘的船舶，其首部舷侧结构加强应满足本篇第 7 章第 8 节的要求。

第 16 节　主机基座及轴隧

2.16.1　**主机基座**

2.16.1.1　主机基座的结构应具有足够的强度和刚度。主机基座通常是由两道纵桁，及设在每个肋位处的横隔板及横肘板组成。横隔板设在纵桁之间，并应尽量升高。横肘板设在纵桁外侧，宽度一般不小于其高度。横肘板应与纵桁面板焊接。

2.16.1.2　主机基座纵桁应与底部旁桁材设在同一平面内；如无法办到，则应在机座纵桁下设置与旁桁材同厚的局部桁材。

在个别情况下，局部桁材可为仅与内底及肋板焊接的半高旁桁材。

2.16.1.3　主机基座构件尺寸

(1)　1470kW 以上的大型低速柴油机主机基座，其纵桁的水平面板厚度 t、纵桁的腹板厚度 t_1 及横隔板、横肘板的厚度 t_2 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t=1.44\sqrt[3]{p}+10s \qquad \text{mm}$$

$$t_1=0.65t\left(1+\frac{h-1}{10}\right) \qquad \text{mm，对 } L\geqslant 90\text{m}$$

$$t_1=0.70t \qquad \text{mm，对 } L<90\text{m}$$

$$t_2=0.77t_1 \qquad \text{mm，对 } L\geqslant 90\text{m}$$

$$t_2=0.80\,t_1 \qquad \text{mm，对 } L<90\text{m}$$

式中：P——主机功率，kW；

s ——肋骨间距，m；

h ——纵桁腹板高度，m。

(2)　1470kW 及以下的主机基座纵桁腹板的厚度，当采用柴油机时应较机舱区双层底旁桁材或单层底旁内龙骨增厚 60%；当采用涡轮机或电动机时增厚 30%。同时均应有较腹板增厚 40%的连续水平面板。主机基座纵桁的末端应逐渐消失。

横隔板及横肘板的厚度，当采用柴油机时应较肋板增厚 40%，当采用涡轮机或电动机时应增厚 30%。横隔板及横肘板应有面板或折边。

(3)　大功率涡轮机主机，大功率电动主机，大功率中速、高速柴油主机基座尺寸可适当减小。

2.16.1.4　主机基座纵桁的水平面板应在固定螺栓处以适当数量的垂直肘板支持。肘板的高度应为宽度的 2 倍。

2.16.1.5　当主机基座及推力轴承座的固定螺栓直接穿过内底板时，该区域内底板厚度 t_3 应不小于下列要求：

(1)　当装设 1470kW 以上的大型低速柴油主机时，　$t_3=t$，t 见本节 2.16.1.3(1)；

(2)　当装设 1470kW 及以下的主机时，t_3 为该区域的内底板厚度的 2 倍，且不小于 20mm；

(3)　当装设大功率涡轮机主机等时，　t_3 值将另行考虑。

上述区域的双层底内不应装载油、水，在靠近固定螺栓处并应设置局部桁材或半高桁材。邻近的油水舱的纵向隔板和旁纵桁可视为固定螺栓处的局部桁材。

2.16.2 **轴隧**

2.16.2.1 轴隧应为水密结构。

2.16.2.2 轴隧板的厚度应符合本章 2.12.3.1 对水密舱壁板的要求。拱形顶板在干货舱内的厚度可减少 10%，平形顶板在干货舱内的厚度应不小于对水密舱壁厚度要求的 1.1 倍。

在货舱口下的顶板厚度应至少增加 2mm，否则应按本篇 3.3.1.5 的要求铺设木铺板。

2.16.2.3 轴隧扶强材应尽量设在肋骨平面内，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=6shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——扶强材垂直部分的中点至舱壁甲板的垂直距离，m；

l ——扶强材垂直部分的长度，m；

K ——材料系数。

平顶形的横梁应不小于水密舱壁台阶处横梁的要求(见本章 2.12.8)。

扶强材垂直部分的下端应与内底板焊接。

2.16.2.4 轴隧经过或邻接深舱时，其相邻部分之壁板及扶强材应符合本章第 13 节对深舱的要求。

2.16.2.5 推力轴承龛及轴隧尾室的结构，应符合水密舱壁台阶的要求。如其周围为深舱时，应符合对深舱舱壁及扶强材的要求。

2.16.2.6 轴隧应有通向露天甲板的应急通道，其围壁结构应符合对水密舱壁的要求。通道的关闭装置应能两面操纵。

第 17 节 上层建筑及甲板室

2.17.1 **一般要求**

2.17.1.1 所有船舶应设置首楼或增大舷弧，使船首最小高度符合中国政府主管机关的要求。

2.17.1.2 上层建筑和甲板室如承受本节规定以外的载荷时，除应符合本节要求外，还应适当增大构件尺寸。

2.17.1.3 当在船中 0.5L 区域内设置长上层建筑时，第 1 层长上层建筑的甲板结构应满足强力甲板的要求，舷侧外板应满足船体外板的要求。

2.17.1.4 当在船中 0.5L 区域内设置长甲板室时，根据长甲板室参与船体梁总纵弯曲的程度，第 1 层长甲板室的甲板板厚度和骨架尺寸应增大。

2.17.1.5 近海供应船首楼甲板上的甲板室应符合本篇第 11 章第 5 节的要求。

2.17.1.6 上层建筑/甲板室各层的定义：最低层或第 1 层通常系指直接位于计量规范型深 D 时所量到最上层连续甲板上的上层建筑/甲板室。第 2 层指位于最低层之上的那一层，依次类推。

2.17.1.7 第 N 层上层建筑/甲板室的甲板是指该层上层建筑/甲板室的顶甲板。

2.17.1.8 对于具有特大干舷的船舶，即假定船舶有一个比规范型深 D 低一个标准上层建筑高度的虚拟型深 D'，也能达到或超过载重线规定的未经修正的表列干舷值时(见图 2.17.1.8)，则在应用本节的要求时，可将第 1 层作为第 2 层处理，第 2 层作为第 3 层处理。上层建筑的标准高度 h_s 应按下式计算：

$$h_s=1.05+0.01L_L \qquad \text{m，且 } 1.8\leqslant h_s\leqslant 2.3$$

式中：L_L——载重线船长，m。

但上述规定不适用于减小干舷的“B”型船舶。

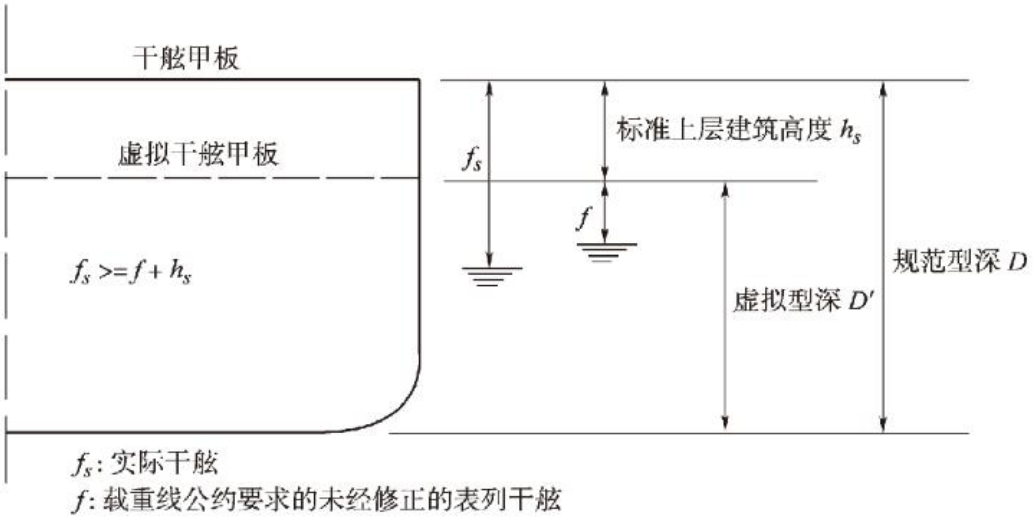


图 2.17.1.8

2.17.2 **计算压头**

2.17.2.1 露天的上层建筑端壁和甲板室围壁(端壁和侧壁)的计算压头 h 应按下式计算，且应不小于表 2.17.2.1 所列的最小值：

$$h=\alpha\delta(\beta\lambda-\gamma) \qquad \text{m}$$

式中：α、β、λ和δ——系数，分别按本节 2.17.2.2、2.17.2.3、2.17.2.4 和 2.17.2.5 确定。

γ——自夏季载重线至扶强材跨距中点或至板格中心的垂直距离，m。

表 2.17.2.1

船长 L(m)	计算压头 h_{min}(m)	
	最下层无保护前端壁	其他位置
$L\leqslant 50$	3.0	1.5
$50<L<250$	$0.01L+2.5$	$0.005L+1.25$
$L\geqslant 250$	5.0	2.5

2.17.2.2 系数α按下列各式计算：

$\alpha = 0.0083L_1+2.0$，最下层无保护前端壁

$\alpha = 0.0083L_1+1.0$，第二层无保护前端壁

$\alpha = 0.0067L_1+0.5$，第三层及以上无保护前端壁、各层有保护前端壁和各层侧壁

$\alpha = 0.001L_1 - 0.8(X/L)+0.7$，各层位于船中以后的后端壁

$\alpha = 0.001L_1 - 0.4(X/L)+0.5$，各层位于船中以前的后端壁

式中：L、L_1——船长，m，L_1取值不必大于 300m；

X——尾垂线至所考虑舱壁的距离，m；在确定甲板室侧壁的构件尺寸时，应将甲板室分成长度大致相等而不超过 $0.15L$ 的若干部分，而 X 则应量至每一部分长度的中点。

2.17.2.3 系数β按下列各式计算：

$$\beta = 1.0+\left(\frac{X/L-0.45}{C_b+0.2}\right)^2，\ \text{当 } X/L\leqslant 0.45$$

$$\beta = 1.0+1.5\left(\frac{X/L-0.45}{C_b+0.2}\right)^2，\ \text{当 } X/L>0.45$$

式中：L ——船长，m；

X ——见 2.17.2.2；

C_b——方形系数，当 C_b＜0.6 时，取 C_b=0.6； 当 C_b ＞0.8 时， 取 C_b=0.8； 当上层建筑后端壁位于船中以前， 用以确定后端壁β值的 C_b 应不小于 0.8。

2.17.2.4 系数λ按下列各式计算：

$$\lambda = \frac{L}{10}e^{-L/300} - \left[1-(\frac{L}{150})^2\right]$$，当 L＜150m 时

$$\lambda = \frac{L}{10}e^{-L/300}$$ ，当 150m≤L＜300m 时

$\lambda = 11.03$ ，当 L≥300m 时

式中：L—— 船长，m。

2.17.2.5 系数δ按下式计算：

$$\delta = 0.7\frac{b}{B_1} + 0.3$$，且不小于 0.475

式中：b ——所考虑位置的甲板室宽，m；

B_1——船舶的露天甲板在所考虑位置处的最大实际宽度，m。

对于上层建筑、机舱棚的露天部分和保护泵舱开口的甲板室应取δ=1。

2.17.3 上层建筑端壁和甲板室围壁

2.17.3.1 上层建筑端壁板和甲板室围壁板的厚度 t 应不小于：

$$t = 3s\sqrt{hK} \quad \text{mm}$$

板的最小厚度 t_{min} 应按如下要求：

当 L_1≥65m： $t_{min} = (0.01L_1 + 5.0)\sqrt{K}$ mm，对最下层

$t_{min} = (0.01L_1 + 4.0)\sqrt{K}$ mm，对其他各层，且不小于 5mm

当 L_1<65m： $t_{min} = 5.0$ mm，对最下层无保护前端壁

$t_{min} = 4.0$ mm，对其他各层

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——计算压头，m；按本节 2.17.2 计算；

L_1——船长，m，L_1 取值不必大于 300m；

K ——材料系数。

2.17.3.2 上层建筑端壁和甲板室围壁的扶强材剖面模数 W 应不小于：

$$W=3.5shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——扶强材间距，m；

l——扶强材跨距，m；应取为甲板间高度，但在任何情况下取值不应小于 2.0m；

h——计算压头，m，按本节 2.17.2 计算；

K ——材料系数。

除本节 2.17.3.3 和 2.17.3.4 规定的情况外，甲板室围壁扶强材的端部可不设肘板，但扶强材的腹板应与甲板有效焊接。甲板室侧壁扶强材的剖面模数不必大于位于正下方的甲板肋骨考虑间距和跨距时的剖面模数。

2.17.3.3 下列情况的扶强材端部应用肘板连接或采用其他等效措施，肘板尺寸应符合本篇 1.2.6 的有关规定：

(1) 最下层前端壁扶强材；

(2) 船长大于 150m 的上层前端壁扶强材；

(3) 单层甲板室侧壁扶强材；

(4) 最下层尾甲板室后端壁扶强材；

(5) 船长大于 150m 的上层甲板室侧壁扶强材，设置二层或二层以上甲板室时最下层甲板室的侧壁扶强材；如不设肘板而直接与甲板焊接时，扶强材剖面模数应增加 20%。

2.17.3.4 在船中部的露天机舱棚和泵舱棚前端壁扶强材，以及位于量计型深 D 的甲板上的露天机舱棚和泵舱棚后端壁扶强材的两端应用肘板连接，如不用肘板而直接与甲板连接时，则按相应位置甲板室扶强材剖面模数增加 20%。除此以外的露天机舱棚和泵舱棚的扶强材两端都应与甲板焊接。

2.17.4 上层建筑的侧壁

2.17.4.1 上层建筑舷侧骨架应符合下列要求：

（1）上层建筑舷侧为横骨架式时，应符合本章第 7 节的有关要求。

（2）上层建筑舷侧为纵骨架式且位于尾垂线向船首 0.3L 区域内，纵骨剖面模数应不小于：

$$W = 6.5sl^2(0.6 + 0.167D_1)K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

l——纵骨跨距，m，取不小于 1.5m；

$D_1 = d + H_b$，且不大于 20m，m，其中，

H_b——勘划载重线所要求的最小船首高度，m；

d——吃水，m。

K——材料系数。

支持舷侧纵骨的强肋骨剖面模数应不小于：

$$W = 8.8Sl^2(0.6 + 0.167D_1)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：D_1、K 同上式；

S——强肋骨间距，m；

l——强肋骨跨距，m。

（3）上层建筑舷侧为纵骨架式且位于尾垂线向船首 0.3L 区域外，纵骨剖面模数应不小于：

$$W = 7.5sl^2(0.6 + 0.167D_2)K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

l——纵骨跨距，m，取不小于 1.5m；

$D_2 = d + H_b$，m，其中，

H_b——勘划载重线所要求的最小船首高度，m；

d——吃水，m。

K——材料系数。

支持舷侧纵骨的强肋骨剖面模数应不小于：

$$W = 10Sl^2(0.6 + 0.167D_2)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：D_2、K 同上式；

S——强肋骨间距，m；

l——强肋骨跨距，m。

如果该上层建筑位于船中 0.4L 区域内并参与总纵强度时，还需要满足本章第 2 节 2.2.7 的相关要求。

2.17.4.2 上层建筑的舷侧外板应符合下列要求：

(1) 首楼的舷侧外板厚度 t 应不小于：

$$t = (0.028L + 5.5)\sqrt{\frac{sK}{s_b}} \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m；

s——肋骨或纵骨间距，m，计算时取值应不小于 s_b；

s_b——肋骨或纵骨的标准间距，m；

K——材料系数。

(2) 桥楼和尾楼的舷侧外板厚度 t 应不小于：

$$t = (0.025L + 5)\sqrt{\frac{sK}{s_b}} \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m；

s——肋骨或纵骨间距，m，计算时取值应不小于 s_b；

s_b——肋骨或纵骨的标准间距，m；

K——材料系数。

2.17.5 甲板

2.17.5.1 上层建筑的甲板骨架应符合本章第 8 节的有关要求。首楼甲板骨架还应符合下述要求：

(1) 在距首垂线 0.075L 以前区域，支持横梁的甲板纵桁的间距一般不大于 3.5m；支持甲板纵骨的强横梁的间距一般不大于 2.5m；

(2) 甲板纵桁和强横梁腹板高度应不小于所支持的横梁或纵骨穿过处开口高度的 2 倍。

2.17.5.2 甲板室甲板纵骨或横梁剖面模数 W 应不小于：

$$W = 5shl^2K \qquad \text{cm}^3\text{，且不小于 } 25s$$

式中：s——甲板纵骨或横梁间距，m；

l——甲板纵骨或横梁跨距，m；

h——计算压头，m，按下列选取：

在第一层：0.9m；

在第二层：0.6m；

在第三层和以上：0.45m。

K——材料系数。

2.17.5.3 甲板室甲板纵桁和强横梁尺寸按本章第 8 节的有关要求计算，但计算压头按本节 2.17.5.2 的规定。甲板室纵桁的腹板厚度应不小于其高度的 1%加 2mm。但不小于 4mm。

2.17.5.4 除首楼外的上层建筑和甲板室的甲板板厚度 t 应不小于：

$$t = (0.02L + C)\sqrt{\frac{sK}{s_b}} - t_c \qquad \text{mm，且不小于 } 5\text{mm}$$

式中：L——船长，m；计算时取值不必大于 100m；

s——甲板纵骨或横梁间距，m，计算时取值应不小于 s_b；

s_b——甲板纵骨或横梁的标准间距，m；

C——系数，按下列选取：

在第一层：5.5；

在第二层：5.0；

在第三层和以上：4.5；

t_c——对于上层建筑或甲板室内部干燥处所的甲板，t_c＝1；其他情况 t_c＝0；

K——材料系数。

2.17.5.5 首楼甲板板厚度 t 应不小于：

$$t = (0.02L + 6)\sqrt{\frac{sK}{s_b}} \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m；

s——甲板纵骨或横梁间距，m，计算时取值应不小于 s_b；

s_b——甲板纵骨或横梁的标准间距，m；

K——材料系数。

2.17.6 **上层建筑的局部加强**

2.17.6.1 当尾楼或桥楼上面有大甲板室或其他建筑物时，在尾楼或桥楼内应设置间距约 9m 的强肋骨或局部舱壁以支持甲板室的侧壁和端壁。

其他高负荷区域下也应设置相应的强力构件。

2.17.6.2 上层建筑内强肋骨或局部舱壁应尽可能设置在与其下面的水密舱壁或其他强力构件同一垂直平面内。

2.17.6.3 上层建筑端部的下面应设置支柱、隔壁、舱壁或其他强力构件以支持上层建筑。

2.17.6.4 为降低舷侧无内缩的上层建筑端部主船体结构中的应力集中，上层建筑的舷侧外板应延伸至上层建筑端部以外，且其高度逐步减小至主船体的舷顶列板，过渡应光顺(延伸板的自由边缘一般应做成长轴为水平布置的椭圆状，见图 2.17.6.4)。延伸板应用加强肘板支持，上缘应用相同厚度而宽度不小于 10 倍厚度的面板加强。延伸板应满足下述要求：

(1) 当上层建筑端壁位于船中部 0.5*L* 区域内，延伸板的长度应不小于 1.5 倍的上层建筑高度，延伸板的厚度应增加 25%；

(2) 当上层建筑端壁位于离船端 0.2*L* 区域内，延伸板的长度应不小于上层建筑高度，延伸板的厚度可不增加；

(3) 当上层建筑端壁位于离船端 0.2*L* 至 0.25*L* 之间区域内，延伸板的长度和厚度的增加值应按内插法求得。

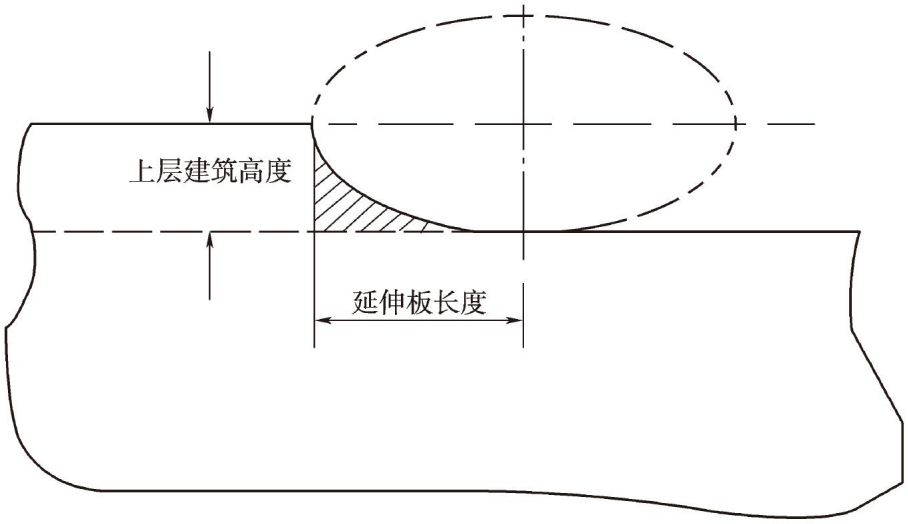


图 2.17.6.4

2.17.6.5 从上层建筑端壁向内至少 2 个肋距至舷侧外板延伸部分端点外 2 个肋距之间区域(见图 2.17.6.5)， 上甲板的甲板边板和舷顶列板应按下列要求增加厚度：

(1) 当上层建筑端壁位于船中部 0.5*L* 区域内，甲板边板和舷顶列板的厚度应增加 20%；

(2) 当上层建筑端壁位于离船端 0.2*L* 区域内，甲板边板和舷顶列板的厚度可不增加；

(3) 当上层建筑端壁位于离船端 0.2*L* 至 0.25*L* 之间区域内，甲板边板和舷顶列板的增加值应按内插法求得。

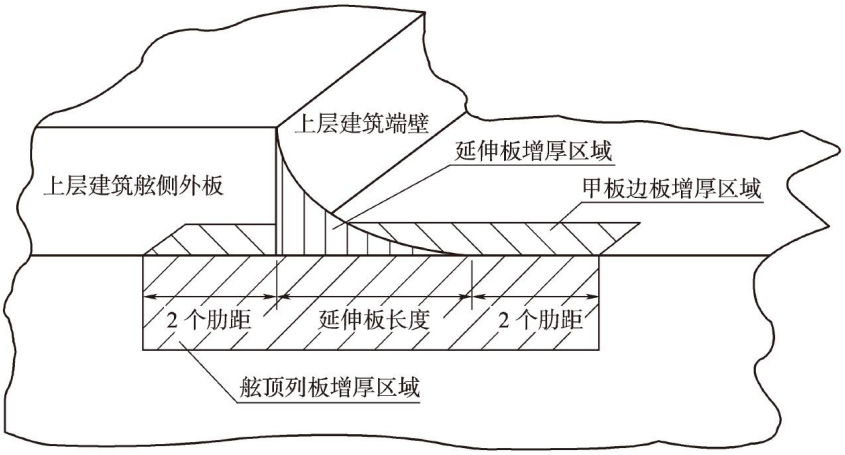


图 2.17.6.5

2.17.7 **甲板室的局部加强**

2.17.7.1 甲板室端部的下面应设支柱、隔板、舱壁或其他强力构件以支持甲板室。应注意甲板室角隅和支持结构区域与甲板的连接，一般应加复板或采用其他有效结构。

2.17.7.2 长甲板室侧壁上的开口应有足够的加强和圆角。门或类似开口的下面和上面应有足够高度的连续围壁板。甲板室顶的吊艇架区域应加强。在船中部 0.5*L* 区域内的甲板室端区应尽量减小侧壁开口的尺寸和数量。

2.17.7.3 最下层长甲板室端壁和侧壁一般应以间距约 9m 的局部舱壁或垂直桁材加强，此加强构件应尽可能和甲板室下面甲板间舱的加强结构位于同一平面内。

2.17.8 **升高甲板**

2.17.8.1 升高甲板区的主肋骨按本章第 7 节的要求确定，此时肋骨跨距应量至升高甲板。

升高甲板的甲板骨架应按本章第 8 节对强力甲板的有关要求确定。

升高甲板区的舷顶列板厚度应按本章第 3 节的要求选取；甲板厚度应按本章第 4 节对强力甲板的有关要求选取。此时型深可取升高甲板处的型深。

甲板台阶处端壁板厚度及扶强材应按相应上层建筑的端壁选取。

2.17.8.2 船中部 0.5*L* 区域内升高甲板台阶处的加强：

(1) *L*＜65m 时，强力甲板的甲板边板和升高甲板的甲板边板应分别自台阶处端壁向首尾延伸 3 至 4 个肋距，并逐渐消失；

(2) *L*≥65m 时，台阶处上下甲板应交错 2 至 3 个肋距，此时各层甲板的甲板边板应自交错部分的甲板端部再向前延伸 2 至 3 个肋距。在交错部分的两甲板间，应设置与纵中剖面平行的垂直隔板，隔板的间距不应大于 1.5m，厚度等于台阶处的端壁厚度，隔板上应以加强筋加强，其自由边应有折边或面板。

2.17.8.3 在船中部 0.5*L* 区域以外升高甲板台阶处，强力甲板的甲板边板，应自台阶处延伸 3 个肋距，并逐渐消失。

2.17.8.4 在升高甲板端壁向首尾各 3 至 5 个肋距的范围内，舷顶列板的厚度应增加 30%。当升高甲板与长桥楼相连时，在台阶前后至少各 2 个肋距的范围内，升高甲板区域舷侧外板的顶列板厚度应增加 25%；桥楼区域舷侧外板应自桥楼甲板边板端部逐渐向升高甲板区域舷侧外板的顶列板过渡，该过渡区的长度须大于桥楼高出升高甲板的高度的 1.5 倍。

2.17.9 **机舱棚**

2.17.9.1 机舱在露天甲板上的开口应以坚固可靠的钢质舱棚保护，干舷甲板及尾升高甲板上的机舱棚，应尽可能设于上层建筑或甲板室内。

2.17.9.2 机舱棚的门应为钢质且结构坚固，并在其内外两面均可关闭。

2.17.9.3 露天机舱棚围壁的构件尺寸，应按相应位置的甲板室围壁的要求进行计算。

2.17.9.4 非露天机舱棚的构件尺寸应符合下列要求：

(1) 机舱棚围壁板最小厚度，在货舱区域应不小于 6.5mm；在居住舱室区域应不小于 5mm；

(2) 机舱棚围壁扶强材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=8slK \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——扶强材间距，m；

l——扶强材跨距，m；

K ——材料系数。

对 $L\geqslant 65$m 的船舶，扶强材高度应不小于 60mm。

2.17.9.5 当机舱棚扶强材支持甲板强横梁或纵桁，或扶强材与下面的支柱在同一直线上时，扶强材应适当加强。

2.17.9.6 当机舱棚的围壁支持其上面的甲板时，围壁上门、窗等开口应有效地加强。对支持烟囱或排气烟道的机舱棚部分应注意加强。

2.17.10 挡浪板

2.17.10.1 计算载荷参照本节 2.17.2 按上层建筑前端壁的要求确定。

2.17.10.2 挡浪板的板厚和扶强材尺寸按本节 2.17.3 确定。

2.17.10.3 支持挡浪板的主要构件(水平桁材和垂直桁材)尺寸应用直接计算法确定，许用应力如下：

$$[\sigma_e]=\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}=235/K \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：K——材料系数。

第 18 节 直升机甲板

2.18.1 一般要求

2.18.1.1 本节要求适用于具有直升机正常起降场地和设施的船舶。

2.18.1.2 本节所涉及的直升机甲板仅指直升机甲板结构。

2.18.1.3 对于采用螺栓连接、拼接等非焊接形式的直升机甲板，其结构强度要求应特殊考虑。

2.18.2 图纸资料

2.18.2.1 应将下列图纸资料提交批准：

(1) 直升机甲板布置详图，包括总体外形尺寸、降落区域/停放区域(如有时)；

(2) 直升机甲板结构图（其相应的强度计算书提交备查）。

2.18.2.2 装载手册中应包括拟使用的直升机型号及其参数，包括最大起飞重量、直升机总长(含旋翼转动)、轮印尺寸和轮距等。

2.18.3 直升机甲板的布置

2.18.3.1 直升机甲板的布置和构造应满足船旗国主管机关接受的适用标准，如 IMO 海安会通函 MSC/Circ.895 以及 MSC.1/Circ.1524《有关客滚船直升机降落区域的建议》的附件、国际航运商会(ICS)《关于直升机/船舶营运指南》、《国际航空搜救手册》(IAMSAR)、海洋平台直升飞降落区域标准(CAP437)等。

2.18.4 设计工况

2.18.4.1 直升机平台结构的设计应考虑以下 3 种设计工况：甲板均布载荷工况、直升机着陆冲击工况和直升机系留工况(如规定要将直升机安全地存放在直升机甲板的预定位置上)：

(1) 甲板均布载荷工况：

① 考虑整个甲板区域上面覆盖 2kN/m^2 的均布载荷；

(2) 直升机着陆冲击工况：应考虑下列载荷的联合作用：

① 直升机正常降落时的垂直冲击载荷 P_H=1.5P (P 为最大起飞重量)，并均匀分布在直升机着陆时着地的轮印上(一般情况下假定为两轮同时着地)。如无实际轮印尺寸资料，轮印尺寸可取 0.30m×0.30m 的正方形面积。结构构件的设计应按其受力最不利的直升机着地位置考虑。

当直升机平台的起降甲板为上层建筑或甲板室顶甲板，且其下处所通常有人活动(如控制室、船员住室等)时，则上述垂直冲击载荷 P_H=1.75P；

② 直升机平台结构自重；

③ 必要时，还应考虑 0.5kN/m^2 的均布载荷，以考虑雪、冰或其他环境载荷；

(3) 直升机系留工况：应考虑下列载荷的联合作用：

① 承受最大起飞重量的机轮载荷，其着地承载面积可按直升机着陆冲击工况中的假定；

② 直升机平台结构自重；

③ 必要时，还应考虑 0.5kN/m^2 的均布载荷，以考虑雪、冰或其他环境载荷；

④ 还应考虑在可存放的相应环境条件下，直升机和直升机平台结构由于船舶运动而产生的惯性力。如无合适资料，则水平惯性力和垂直惯性力可取存放的直升机和直升机平台结构自重相应载荷的 0.5 倍。

2.18.4.2 对具有非轮式降落机构的直升机，其着地承载面积应按照直升机制造商提供的数据予以确定。

2.18.5 直升机甲板板

2.18.5.1 直升机甲板的初始板厚可按本章 2.21.2.1(1)计算求得，其中，载荷取上述各设计工况中规定取用的直升机轮印载荷。

2.18.5.2 如直升机甲板为船中 0.4L 内的强力甲板时，按 2.18.5.1 算得的轮印载荷还应乘以系数 1.18；该系数从船中 0.4L 内沿船长向船首或船尾线性递减至 1.00。

2.18.5.3 直升机甲板板厚的确定应基于按 2.18.4.1 或 2.18.4.2 计算所得的直升机甲板初始板厚，且满足整个直升机甲板结构直接计算的强度验证。

2.18.5.4 舱口盖的直升机甲板除满足本节要求外，还应满足本章第 20 节的要求。

2.18.5.5 如直升机甲板作为露天甲板或其他用途甲板的一部分，则尺寸应不低于相同位置上对这些甲板的要求。

2.18.6 直接计算强度验证

2.18.6.1 直升机甲板结构的直接计算应采用三维有限元结构分析手段，程序和结构理想化应采用公认的程序和使用方法。

2.18.6.2 直升机甲板板、甲板骨架及其支撑结构的许用弯曲应力［σ］、许用剪切应力［τ］和受压构件的许用应力［σ_{cb}］如下：

(1) 许用弯曲应力［σ］按表 2.18.6.2 确定；

许用弯曲应力［σ］ **表 2.18.6.2**

构件 / 设计工况	甲板板	甲板纵骨和横梁等甲板次要构件	甲板纵桁、甲板强横梁等甲板主要构件和平台支柱、撑杆等平台桁架构件
甲板均布载荷工况	0.6R_{eH}③	0.6R_{eH}	0.6R_{eH}①
直升机着陆冲击工况	R_{eH}②	R_{eH}	0.9R_{eH}①
直升机系留工况	R_{eH}	0.9R_{eH}	0.9R_{eH}①

表中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2；对于铝合金结构，取 $R_{p0.2}$，见本规范第 1 章第 3 节；

①——对于承受轴向压缩的构件，应按许用弯曲应力和许用临界屈曲应力之小者进行校核；

②——对于直升机着陆冲击工况，直升机甲板板的应力若按承受垂向分布载荷的四边铰支板进行求解时，该项的许用应力可取 1.1R_{eH}；

③——对于甲板均布载荷工况，直升机甲板板厚应不小于 2.18.5 和本规范中的最小板厚规定。

(2) 许用剪切应力；[τ] = [σ] / $\sqrt{3}$；

(3) 许用压应力[σ_{cb}] 按本章 2.2.7.5(1)和 2.2.7.6 计算。

2.18.6.3 作为强力甲板的直升机甲板的甲板骨材和桁材的弯曲许用应力值，应乘以表 2.18.6.3 中的折减系数。

折减系数 **表 2.18.6.3**

直升机甲板所处位置	折减系数
船中 0.4L 区域	0.7
船首、尾垂线区域	1.0
其间区域	线性内插

2.18.6.4 对于兼作直升机甲板的舱口盖，还应符合本章第 20 节的要求。

第 19 节 舷墙及栏杆

2.19.1 一般要求

2.19.1.1 所有露天甲板四周应装设栏杆或舷墙。舷墙或栏杆的高度应至少离甲板 1m，当此高度妨碍船舶正常工作时，可准许采用较小的高度，但所提供的适当防护措施应经主管机关的认可。

2.19.1.2 对甲板上设计成装运木材时，则应装有固定舷墙，其高度至少为 1m，上缘应特别加强并有与甲板连接的坚固舷墙支架支撑，舷墙上设有必要的排水舷口，或者装有同样高度、结构特别加强的栏杆。

2.19.2 舷墙

2.19.2.1 对船长小于 65m 的船舶，干舷甲板上的舷墙板厚度应不小于 5mm；对船长等于或大于 65m 的船舶，干舷甲板上的舷墙板厚度应不小于 6mm。对其他甲板上的舷墙可予以适当减薄。

2.19.2.2 在舷墙的上缘应设有扁钢或型钢。

2.19.2.3 应在甲板的横梁或梁肘板位置设置舷墙的支撑肘板。支撑肘板应有折边或面板。当肋距不大于 620mm 时，肘板的间距应不大于 3 档肋距；当肋距大于 620mm 或需在甲板上载运木材时，肘板的间距 应不大于 2 档肋距。当首楼甲板上的舷墙外倾较大时，应在甲板的每档横梁位置设支撑肘板。

2.19.2.4 支撑肘板根部的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = (30 + 0.45L)SH^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S ——肘板间距，m；

L ——船长，m，计算时取值不必大于 100m；

H——舷墙高度，m；

K ——材料系数。

如未将肘板的折边部分与甲板焊接，则不应将折边部分计入支撑肘板根部的剖面模数。

2.19.2.5 对舷墙上的桅侧稳索和吊杆稳索等的系固处以及导缆孔安装处均应予以加强。

2.19.2.6 如在舷墙上开有通道口或其他开口，则应在开口的两旁设置加强的支撑肘板。在上层建筑端部加强区域的舷墙上不应开有通道口或其他开口。

2.19.2.7 在船中部，应尽可能不将舷墙与舷顶列板相焊接，以避免其参加船体总纵弯曲。

2.19.3 栏杆

2.19.3.1 装设在上层建筑和干舷甲板上的栏杆应至少为 3 档。栏杆的最低一档以下的开口应不超过 230mm，其他各档的间隙应不超过 380mm。如船舶设有圆弧形舷缘，则栏杆支座应置于甲板的平坦部位。其他位置上应装设至少有 2 档的栏杆。

2.19.3.2 若设置露天玻璃栏杆，可参照本篇第 9 章第 8 节相关要求。

第 20 节　舱口和舱口盖

2.20.1　一般要求

2.20.1.1　对于露天的舱口和舱口盖除应满足本节要求外，还应满足《1966 年国际载重线公约》1988 年议定书附则 B 修正案附则 I 的有关要求。

2.20.1.2　对于非露天的舱口盖，可根据其结构形式按本节相关要求确定其结构尺寸，但仅需计及许用货物载荷。

2.20.1.3　对深舱内的钢质舱口盖尺寸，可根据其所在的位置，按本节的有关要求予以确定。但不论在何种情况下，其尺寸应不小于本章第 13 节对深舱甲板及其骨架的要求。

2.20.1.4　当在舱口盖上装载车辆或使用车辆装卸货物时，舱口盖的尺寸还应符合本章第 21 节对车辆甲板的要求。

2.20.1.5　对于兼作直升机甲板的舱口盖，舱口盖的尺寸还应符合本章第 18 节对直升机甲板的要求。

2.20.1.6　除另有规定外，舱口盖扶强材和桁材的带板宽度应按本篇第 1 章第 2 节 1.2.2 确定，但扶强材的面积应不包括在桁材的带板中。

2.20.1.7　对于货舱内下甲板装货舱口盖，其强度校核应按照 2.20.3 的规定。

2.20.1.8　舱口围板的高度：

(1) 在位置 1，其高度应不小于 600mm；

(2) 在位置 2，其高度应不小于 450mm；

(3) 采用钢质风雨密舱口盖的船舶，在不影响船舶安全和采取有效措施的条件下，经船旗国主管机关同意，对其舱口围板高度可适当降低；

(4) 在非露天干舷甲板或露天上层建筑甲板上的货舱口，可按其所在位置及所需的舱口保护程度，设置适当高度的围板。

2.20.1.9　舱口盖类型

(1) 单壳舱口盖

由钢材或等效材料构成的符合国际载重线公约第 16 条要求的一种舱口盖。这种舱口盖有连续的顶板和侧板，向下是敞开的，其底部扶强结构是暴露的。舱口盖应为风雨密，除特殊免除外，应设置衬垫材料及扣紧装置。

(2) 双壳舱口盖

如同本条(1)所定义的舱口盖，但具有连续的底板，使底部扶强结构和内部构件与外部环境隔离。

(3) 箱型舱口盖

一种特殊类型的活动舱口盖，通过防水帆布和压紧装置来保证风雨密，其设计应符合国际载重线公约第 15 条要求。

注：现代设计中，在很多情况下吊离式舱口盖也称为箱型舱口盖，但不属于本条(3)定义的舱口盖。现代吊离式舱口盖应属于单壳或双壳舱口盖这两种类型之一。

2.20.2　钢质风雨密舱口盖

2.20.2.1　一般要求

(1) 本条适用于所有露天甲板上的货舱舱口盖和舱口围板。根据本节的规定，部分要求适用于以下分类的某些特定船型：

①　类型 1 船舶：除散货船、自卸散货船、矿砂船和兼用船以外的船舶；

②　类型 2 船舶：散货船、自卸散货船、矿砂船和兼用船。

(2) 强度要求适用于舱口盖和具有加筋板构造的舱口围板及舱口盖的封闭装置。

(3) 本条要求适用于钢质舱口盖和舱口围板。舱口盖和舱口围板的材料应满足本篇第 1 章第 3 节的有关要求。舱口盖顶板、底板和主要支撑构件应为材料级别 I。若采用等效材料或新颖结构设计时，应提交 CCS 认可。

(4) 舱口盖的主要支撑构件和扶强材在舱口盖的长度和宽度范围内应尽可能连续，如无法实现时，应采用适当的布置方式以确保舱口盖有足够的承载能力，但不应采用端部削斜的连接方式。

平行于扶强材方向的主要支撑构件的间距应不超过其跨距的 1/3。当强度评估采用平面应变或壳单元的有限元分析时，这项要求可适当放宽。

舱口围板的扶强材在舱口围板的宽度和长度范围内应连续。

(5) 除另有规定外，本条规定中板厚 t 均为净板厚。

构件的净厚度要满足本节 2.20.2.3-2.20.2.6 以及 2.20.2.8 规定的最小净尺寸要求。

总厚度等于净厚度 t 加上腐蚀余量 t_s，腐蚀余量见本节 2.20.2.10 的要求。

采用有限元方法进行强度计算时应基于净尺寸。

2.20.2.2　舱口盖和舱口围板的载荷模型

舱口盖和舱口围板的结构强度评估采用的载荷应符合下列规定。

定义：

L——船长，m；

L_L——载重线船长，m；

X——结构构件中点至 L 或 L_L 后端的纵向距离，m；

D_{min}——最小型深，m，见载重线公约附则 I 第 3 条的规定；

h_N——标准上层建筑高度，m，按下式计算：

$$h_N = 1.05 + 0.01L_L \text{，且} 1.8 \leqslant h_N \leqslant 2.3 \text{。}$$

(1) 垂向露天设计载荷

舱口盖的垂向露天设计载荷 p_H 由载重线公约给出，可按表 2.20.2.2(1)进行计算。垂向露天设计载荷不应与本条(3)、(4)中的货物载荷进行组合。

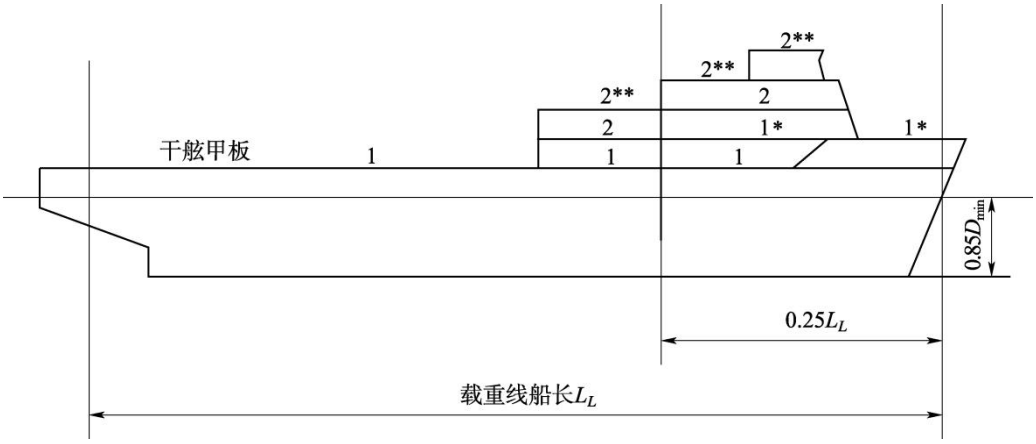
位置 1 和位置 2 见图 2.20.2.2(1)。

对勘划增加干舷船舶，实际干舷甲板上的舱口盖的设计载荷可按上层建筑甲板来进行计算，前提是夏季干舷对应的吃水应不超过基于假定干舷甲板计算的最小干舷而确定的吃水，并且假定干舷甲板应低于实际干舷甲板至少一个标准上层建筑高度 h_N，如图 2.20.2.2(2)所示。

露天甲板舱口盖的垂向露天设计载荷　　表 2.20.2.2(1)

<table>
<tr><td rowspan="2">舱口盖位置</td><td colspan="2">垂向露天设计载荷 p_H，kN/m^2</td></tr>
<tr><td>$\frac{x}{L_L} \leqslant 0.75$</td><td>$0.75 < \frac{x}{L_L} \leqslant 1.0$</td></tr>
<tr><td rowspan="5">1</td><td colspan="2">对于 24m≤L_L≤100m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$\frac{9.81}{76}(1.5L_L + 116)$</td><td>干舷甲板上：$\frac{9.81}{76}\left[(4.28L_L + 28)\frac{x}{L_L} - 1.71L_L + 95\right]$</td></tr>
<tr><td>位于干舷甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上：$\frac{9.81}{76}(1.5L_L + 116)$</td></tr>
<tr><td colspan="2">对于 L_L>100m</td></tr>
<tr><td rowspan="3">9.81×3.5</td><td>载重线公约规定的 B 型船舶的干舷甲板上：$9.81\left[(0.0296L_1 + 3.04)\frac{x}{L_L} - 0.0222L_1 + 1.22\right]$</td></tr>
<tr><td>干舷小于载重线公约规定的 B 型船舶的干舷甲板上：$9.81\left[(0.1452L_1 - 8.52)\frac{x}{L_L} - 0.1089L_1 + 9.89\right]$
L_1=L_L，且不大于 340m</td></tr>
<tr><td>位于干舷甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上：9.81×3.5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td colspan="2">对于 24m≤L_L≤100m</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\frac{9.81}{76}(1.1L_L + 87.6)$</td></tr>
</table>

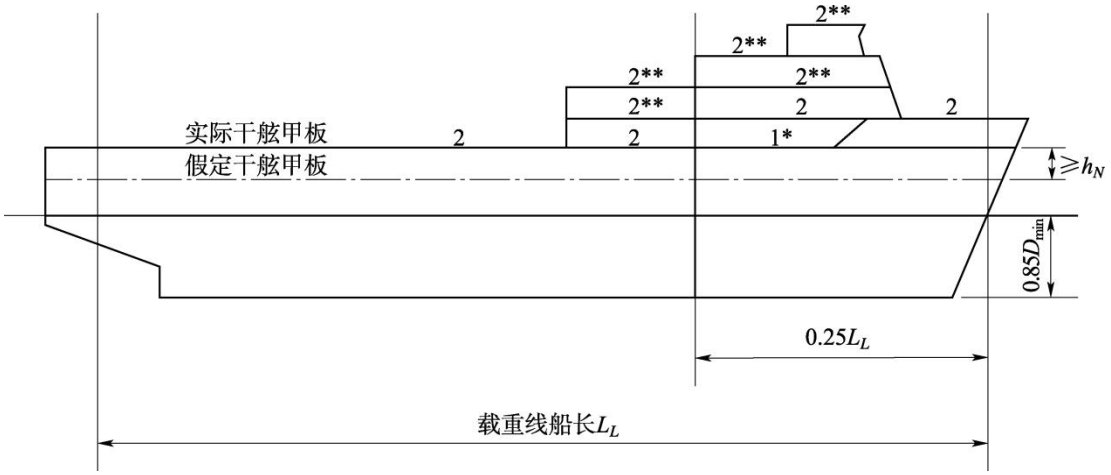
	对于 L_L>100m
	9.81× 2.6
	位于最低位置 2 甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板： 9.81× 2.1



注：*——折减载荷，位于干舷甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上；

**——折减载荷，对于 L_L>100m，位于最低位置 2 甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上。

图 2.20.2.2(1)　位置 1 和位置 2



注：*——折减载荷，位于干舷甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上；

**——折减载荷，对于 L_L>100m，位于最低位置 2 甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上。

图 2.20.2.2(2)　增加干舷的位置 1 和位置 2

(2) 水平露天设计载荷

①一般水平露天设计载荷

露天舱口盖的外侧裙板和舱口围板的水平露天设计载荷 p_A 应按下式计算：

$$p_A = f_n f_c (f_b c_L C_w - z) \quad \text{kN/m}^2$$

式中：$C_w = \dfrac{L}{25} + 4.1$，对于 L<90 m；

$= 10.75 - \left(\dfrac{300 - L}{100}\right)^{1.5}$，　　对于 $90\text{m} \leqslant L < 300\text{m}$；

$= 10.75$，　　对于 $300\text{m} \leqslant L < 350\text{m}$；

$=10.75-\left(\frac{L-350}{150}\right)^{1.5}$，　　对于 350m≤$L$≤500m；

$c_L=\sqrt{\frac{L}{90}}$，　　对于 L<90 m；

$c_L=1$，　　对于 L≥90m；

$f_n=20+\frac{L_1}{12}$，对于无保护的前端舱口围板和舱口盖裙板；

$f_n=10+\frac{L_1}{12}$，对于位于实际干舷甲板到夏季载重线的距离超过载重线公约规定的最小未修正表列干舷至少一个标准上层建筑高度处且无保护的前端舱口围板和舱口盖裙板；

$f_n=5+\frac{L_1}{15}$，　对于两侧的舱口围板和舱口盖裙板、有保护的前端舱口围板和舱口盖裙板；

$f_n=7+\frac{L_1}{100}-\frac{8x'}{L}$，对于船中之后的后端舱口围板和舱口盖裙板；

$f_n=5+\frac{L_1}{100}-\frac{4x'}{L}$，对于船中之前的后端舱口围板和舱口盖裙板；

L_1=L，但不必大于 300m；

$f_b=1.0+\left(\frac{\frac{x'}{L}-0.45}{C_b+0.2}\right)^2$，当 $\frac{x'}{L}<0.45$ 时；

$f_b=1.0+1.5\left(\frac{\frac{x'}{L}-0.45}{C_b+0.2}\right)^2$，当 $\frac{x'}{L}\geqslant 0.45$ 时；

C_b——方形系数，0.6≤C_b≤0.8，对于船中之前后端舱口围板和舱口盖裙板，取 C_b 不必小于 0.8；

x' ——所考虑的横向围板或舱口盖前后端裙板至船长 L 后端的距离，m；对于两侧的舱口围板和舱口盖裙板，在船长方向上划分为长度近似相等且不超过 0.15 L 的若干部分，x'取每部分的中点至船长 L 后端的距离；

z ——夏季载重线到扶强材跨距中点或板中点的垂直距离，m；

$f_c=0.3+0.7\frac{b'}{B'}$，其中 $\frac{b'}{B'}$ 应取不小于 0.25；

b' ——所考虑位置处的舱口围板宽度，m；

B'——船舶的露天甲板在所考虑位置处的最大实际宽度，m。

水平露天设计载荷不得小于表 2.20.2.2(2)规定的最小值。

最小水平露天设计载荷 $P_{A\min}$　　**表 2.20.2.2(2)**

L	$P_{A\min}$ kN/m²	
	无保护前端处	其他位置
≤ 50m	30	15
> 50m	$25+\frac{L}{10}$	$12.5+\frac{L}{20}$
< 250m		
≥ 250m	50	25

②适用于类型 2 船舶舱口围板的水平露天设计载荷

第一货舱舱口盖的前端横向舱口围板的压力P_{coam}应按下列各式计算：

P_{coam} = 220 kN/m²，当按照《钢质海船入级规范》第 8 章第 13 节设置首楼时；

P_{coam} = 290 kN/m²，其他情况；

其他舱口围板的压力P_{coam}应按下式计算：

$P_{coam}=220$ kN/m^2

注：舱口盖直接计算时不必包含水平露天设计载荷p_A和P_{coam}，除非用于根据 2.20.2.9（2）③来设计的舱口盖水平支撑底部结构。

(3) 货物载荷

①均布载荷。由纵摇和垂荡（例如船舶处于正浮状态）引起的作用于舱口盖上的货物均布载荷 p_L 应按下式计算：

$$p_L=p_C\left(1+a_V\right) \quad \text{kN/m}^2$$

式中：p_C——货物均布载荷，kN/m^2；

a_V——垂向加速度附加值，按下式计算：

$a_V=Fm$；

$F=\dfrac{0.11v_0}{\sqrt{L}}$；

$m=m_0-5\left(m_0-1\right)\dfrac{x}{L}$，当$0\leqslant\dfrac{x}{L}\leqslant 0.2$；

$m=1.0$，当$0.2<\dfrac{x}{L}\leqslant 0.7$；

$m=1+\dfrac{m_0+1}{0.3}\left[\dfrac{x}{L}-0.7\right]$，当$0.7<\dfrac{x}{L}\leqslant 1.0$；

$m_0=1.5+F$；

v_0——夏季载重线吃水时的最大速度，且取值不小于$\sqrt{L}$，kn。

②集中载荷。由纵摇和垂荡（例如船舶处于正浮状态）引起的作用于舱口盖上的除集装箱载荷以外的货物集中载荷 P 应按下式计算：

$$P=P_s(1+a_V) \quad \text{kN}$$

式中：Ps——集中力，kN；

a_V——垂向加速度附加值。

(4) 集装箱载荷

①当集装箱堆装在舱口盖上时，应采用②—④中所定义的载荷。

②船舶正浮状态箱角载荷

由纵摇和垂荡（例如船舶处于正浮状态）引起的作用于舱口盖上集装箱堆垛的箱角处的载荷 P 应按下式计算：

$$P=9.81\frac{M}{4}\left(1+a_V\right) \quad \text{kN}$$

式中：a_V——（3）①中定义的垂向加速度附加值；

M——集装箱堆垛最大设计重量，t。

③船舶横倾状态箱角载荷

当集装箱堆装在舱口盖上，如图 2.20.2.2(4)所示，由纵摇、垂荡和横摇运动产生的载荷按下列公式计算：

$$A_z=9.81\tfrac{M}{2}\left(1+a_V\right)\left(0.45-0.42\frac{h_m}{b}\right) \quad \text{kN}$$

$$B_z=9.81\tfrac{M}{2}\left(1+a_V\right)\left(0.45+0.42\frac{h_m}{b}\right) \quad \text{kN}$$

$$B_y=2.4M \quad \text{kN}$$

式中：a_V——垂向加速度附加值，按本条(3)进行计算；

M ——集装箱堆垛最大设计质量，t；

h_m——在舱口盖顶板以上的集装箱堆垛重心的设计高度，m，可看作集装箱堆垛高度的加权平均值，其中每个集装箱的重心取在集装箱中心位置，

$$=\sum\left(z_i \cdot W_i\right)/M\ ;$$

z_i——舱口盖顶到第 i 个集装箱的中心距离，m

W_i——第 i 个集装箱的重量，t

b——箱脚中心线间的距离，m；

A_z、B_z——集装箱垂向堆角支反力；

B_y——集装箱横向堆角支反力。

舱口盖强度评估时 A_z 和 B_z 的值应在舱口盖图纸上标明。

注：建议在计算货物（集装箱）系固时考虑按上述计算的载荷作为集装箱堆垛箱脚的最大值。

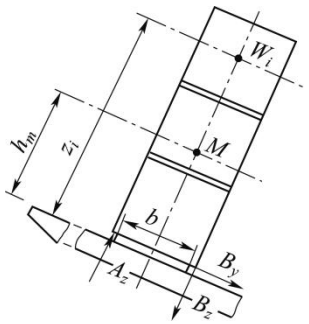


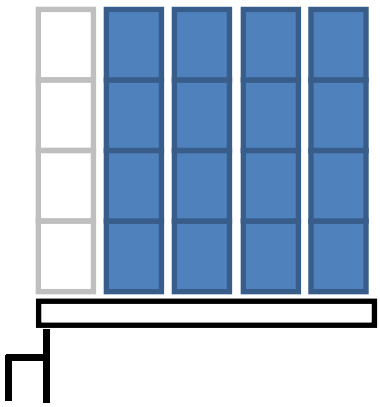
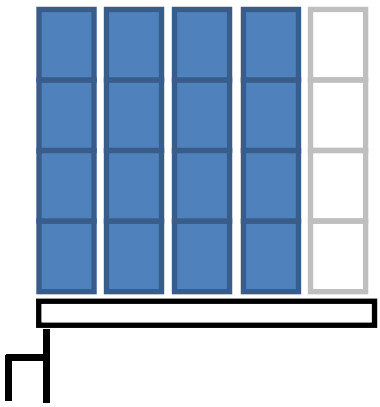
图 2.20.2.2(4)

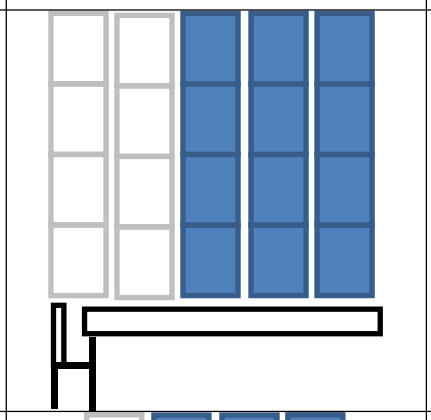
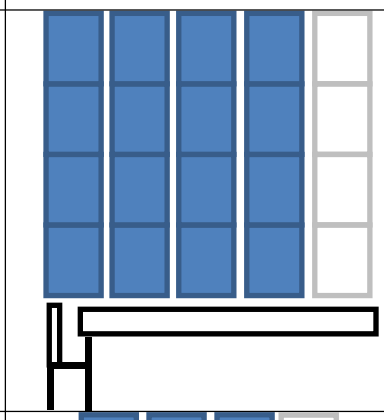
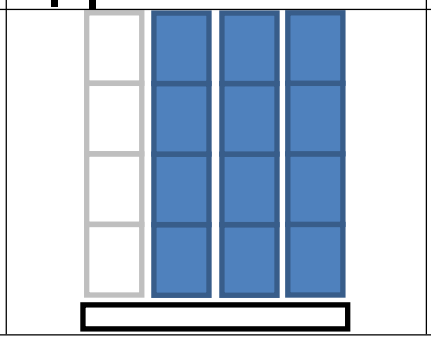
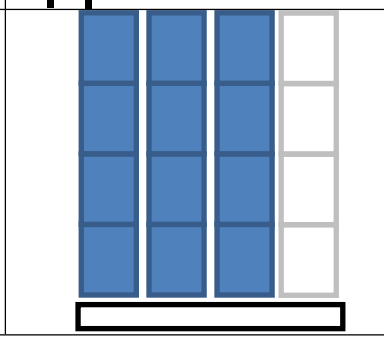
④部分装载工况。上述②、③规定的载荷还应考虑实际运营中可能出现的非均匀装载状态，例如特定集装箱堆垛位置空载。对于部分装载工况中的每一个舱口盖，应考虑表 2.20.2.2（4）中的横倾方向。集装箱舱口盖部分装载工况可使用简单方法来评估，即最外层没有堆装集装箱且都全部都装载在舱口盖上的部分装载工况。如果集装箱堆垛由舱口盖和集装箱支柱共同支撑的，则这部分集装箱堆垛是可以忽略的，见表 2.20.2.2（4）集装箱舱口盖的部分装载。

另外，为了考虑舱口盖垂向支撑的最大载荷，在集装箱堆垛只由舱口盖和集装箱支柱共同支撑且为空置的工况是需要进行分析的。

当更多或不同的集装箱堆垛为空置时可能需要考虑校核部分装载工况。因此 CCS 可能要求校核除表 2.20.2.2(4)以外的其他部分装载工况。

集装箱舱口盖的部分装载 表 2.20.2.2(4)

横倾方向	←	→
舱口盖由纵向舱口围板支撑且所有集装箱堆垛均放置在舱口盖上时		

横倾方向		
舱口盖由纵向舱口围板支撑且最外层集装箱堆垛由舱口盖和集装箱支柱共同支撑时		
舱口盖不由纵向舱口围板支撑（沿船宽方向货舱中部舱口盖）		

⑤舱口盖上混装20’和40’集装箱。

对于集装箱混装工况（20’和 40’集装箱），舱口盖前后端的箱脚集中力不得大于 40’集装箱的设计堆重引起的力；舱口盖中间位置处箱脚集中力不得大于 20’集装箱的设计堆重引起的力。

(5) 除上述(1)~(4)规定的载荷外，钢质风雨密舱口盖应考虑船体弹性变形引起横向载荷，且加载后的应力总和应不超过 2.20.2.5 中规定的许用应力。

2.20.2.3 钢质风雨密舱口盖结构净尺寸应符合下列规定：

(1) 局部净板厚

舱口盖顶板局部净板厚应不小于按下列各式计算所得之值，且不小于 6mm：

$$t = 0.0158F_p s\sqrt{\frac{p}{0.95R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

$$t = 0.01s \quad \text{mm}$$

式中：F_p ——拉伸和弯曲组合因子，按下列公式计算：

$F_p = 1.5$，一般情况；

$F_p = 1.9\dfrac{\sigma}{\sigma_a}$，对于主要支撑构件带板，当$\dfrac{\sigma}{\sigma_a} \geqslant 0.8$时；

s ——扶强材间距，mm；

p ——p_H和p_L，按本节 2.20.2.2 进行计算，kN/m^2；

σ ——舱口盖顶板的最大正应力， N/mm^2，根据图 2.20.2.3 选取；

σ_a——许用应力，见表 2.20.2.5，N/mm^2；

R_{eH} ——材料的屈服应力，N/mm^2。

对于受压的翼板还应满足本节 2.20.2.6 对屈曲强度的要求。

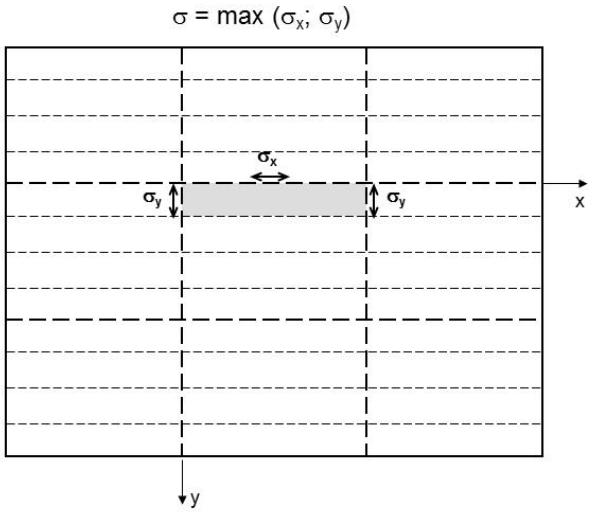


图 2.20.2.3

①当舱口盖承受轮印载荷时，舱口盖顶板的厚度还应满足本章第 21 节的有关要求。

双壳舱口盖和箱型桁材的底板板厚应通过本节2.20.2.4规定的直接计算来确定且应满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求。当底板作为强力构件考虑时，底板的净尺寸应不低于5mm。当舱口盖上装载大件货时，底板的净厚度不得小于按下式计算的值：

$$t = 6.5s \times 10^{-3} \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，mm；

当底板不作为强度构件考虑时，该舱口盖的底板总厚度应不小于 5mm。

注：大件货特指绑扎在舱口盖上大型或超大型货物。例如起重机、风力发电站和涡轮机等的货物部件。可当作在舱口盖上均匀分布的货物，例如木材、管子和钢卷，不必看作为大件货物。

(2) 舱口盖扶强材应符合下列规定：

在均布载荷作用下，两端固定的扶强材的净剖面模数 Z、净剪切剖面面积 A_{shr} 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$Z = \frac{psl^2}{f_{bc}\sigma_a} \quad \text{cm}^3$$

$$A_{shr} = \frac{8.7psl}{\sigma_a}10^{-3} \quad \text{cm}^2$$

式中：l ——扶强材跨距，m，视适用情况，取主要支撑构件的间距或主要支撑构件与边缘支撑之间的距离。当在所有普通骨材跨距的两端设有肘板时，普通扶强材跨距可减去肘板最小臂长的 2/3，但不大于总跨距的 10%；

s ——扶强材间距，mm；

p —— p_H 和 p_L，按本节 2.20.2.2 进行计算，kN/m^2；

f_{bc} ——普通扶强材的边界系数，等于：

f_{bc}=8，对于普通扶强材两端简支或一端简支另一端固定的情况；

f_{bc}=12，对于普通扶强材两端固定的情况；

σ_a ——表 2.20.2.5 的许用应力，N/mm^2。

对于双壳舱口盖底板的扶强材，由于不存在侧向载荷因此可不考虑上述要求。对于为压载或液体货物设计的双壳舱口盖，舱口盖底板的扶强材应根据CCS要求进行加强。

扶强材（U 型材/吊架除外）腹板的净厚度，不得小于 4mm。

扶强材净剖面模数的计算基于带板宽度等于扶强材间距的假定。

对于平行于主要支撑构件的扶强材，在穿过主要支撑构件时应保持连续，同时可计入主要支撑构件剖面特性的计算。应验证扶强材上由主要支撑构件弯曲和侧向压力产生的组合应力不超过本节 2.20.2.5 规定的许用应力。当舱口盖底板不作为强度构件时，其扶强材可不必

考虑此条要求。

对于受压的舱口盖扶强材，应按本节 2.20.2.6 的规定校核侧向和扭转屈曲强度。

当舱口盖承受轮印载荷时应满足本章第 21 节的有关要求；当舱口盖承受集中载荷时，舱口盖扶强材尺寸可通过直接计算来确定且应满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求。

(3) 主要支撑构件的净尺寸应符合下列规定：

①主要支撑构件尺寸应按本节 2.20.2.4 规定的直接计算来确定且应满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求。

主要支撑构件的所有部分应按本节 2.20.2.6 来验证其具有足够的安全性来抵抗屈曲。

主要支撑构件腹板的净厚度应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t = 6.5s \times 10^{-3} \quad \text{mm}$$

$$t_{min} = 5 \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，mm；

②舱口盖裙板的净尺寸应符合下列规定：

应根据本节2.20.2.4对裙板的尺寸进行验证且应满足本节2.20.2.5规定的许用应力要求。

暴露于海水冲刷的外侧裙板的净厚度应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t = 0.0158s\sqrt{\frac{p_A}{0.95R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

$$t = 8.5s \times 10^{-3} \qquad \text{mm}$$

$$t_{min}=5 \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，mm；

p_A——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2 进行计算，kN/m^2；

裙板的惯性矩要求参见 2.20.2.9（1）④。

2.20.2.4 强度计算

舱口盖的应力应采用有限元分析确定。

本节中的应力计算模型将分别用于 2.20.2.5 和 2.20.2.6 的屈服强度和屈曲强度评估。

应使用 2.20.2.1（5）中定义的净尺寸。

(1) 有限元计算方法的一般要求

舱口盖的有限元强度计算，应尽量按实际情况对舱口盖几何特性进行模拟。在任何情况下，单元的宽度应不大于扶强材的间距。在载荷传递节点和开口处，网格划分要尽可能良好。单元的长宽比应不大于 3。

主要支撑构件腹板的单元高度不得超过腹板高度的 1/3，需对承受侧向载荷的板的支撑扶强材进行理想化模拟。扶强材可采用梁单元或壳/板单元来进行模拟。屈曲加强筋在应力计算分析时可忽略。

图 2.20.2.4（1）所示装有 U 型材的舱口盖需要做等效有限元分析。在骨材横剖面，节点需位于 U 型材腹板与舱口盖之间连接处，也需位于 U 型材腹板和翼板连接处。

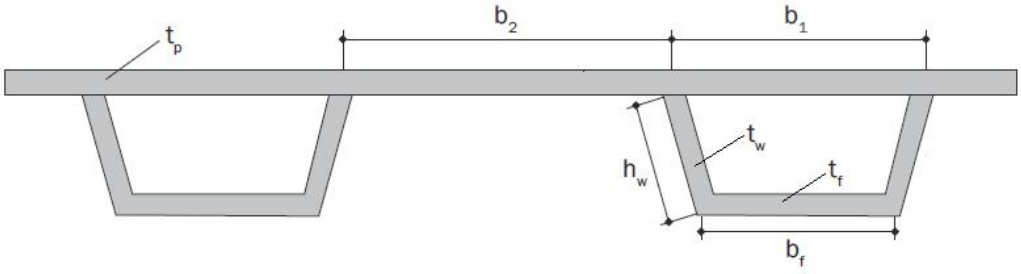


图 2.20.2.4（1） 装有 U 型材的舱口盖

①坐标系统采用右手坐标系：

x 轴沿纵向，以船首为正方向；

y 轴沿横向，以左舷为正方向；

z 轴沿型深方向，向上为正方向。

②有限元分析时，结构尺寸应基于净厚度。

③有限元模型范围按如下要求确定：

(a)如舱口盖的桁材、载荷和支承边界条件只对称于 x 轴或 y 轴一个轴，则可取舱口盖的 1/2 进行校核；

(b)如舱口盖的桁材、载荷或支承边界条件不对称于任何一个轴，则应取舱口盖整体进行强度校核，如图 2.20.2.4(2)。

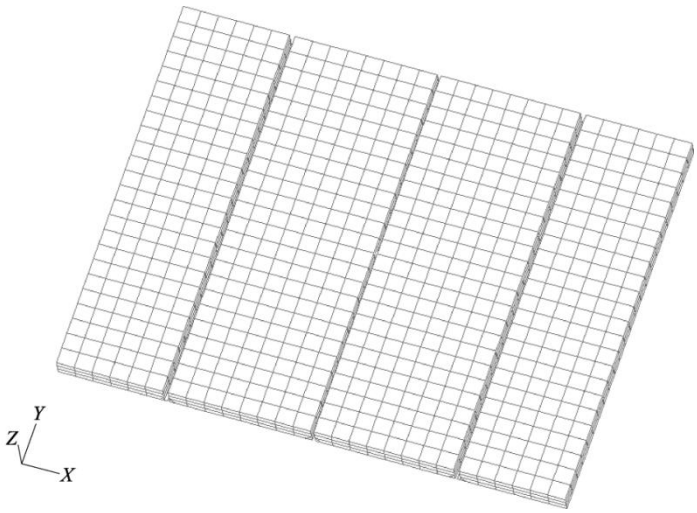


图 2.20.2.4(2)　舱口盖有限元模型

④模型单元应符合以下要求：

(a)舱口盖的所有板材、桁材和扶强材均应包含在有限元模型中。

(b)所有板材，如顶板、底板、肘板、主要支撑构件的腹板、面板等用板单元模拟，且尽量避免采用三角形单元；

(c)所有扶强材用梁单元、杆单元或板单元模拟；

⑤单元网格尺寸控制如下：

(a)网格间距不应大于骨材间距；

(b)桁材在垂直方向上应布置不少于 3 个单元；

(c)三角形或四边形单元的角度不应小于 60 度也不应大于 120 度。

⑥边界条件按如下要求确定：

(a)如舱口盖的桁材和载荷对称于 xz 平面，则对称面内节点的纵向位移为 0，绕 y、z 两个坐标轴的角位移为 0，即 $\delta_x = \theta_y = \theta_z = 0$(如图 2.20.2.4(3))；

(b)如舱口盖的桁材和载荷对称于 yz 平面，则对称面内节点的横向位移为 0，绕 x、z 两个坐标轴的角位移为 0，即 $\delta_y = \theta_x = \theta_z = 0$(如图 2.20.2.4(3))；

(c)支承处的节点一般应约束 z 向的线位移，即 $\delta_z = 0$；

(d)应按照限位器限制的方向约束其线位移；

(e)如舱口盖是折叠式的，则铰链处应设置为 z 向位移刚性关联。

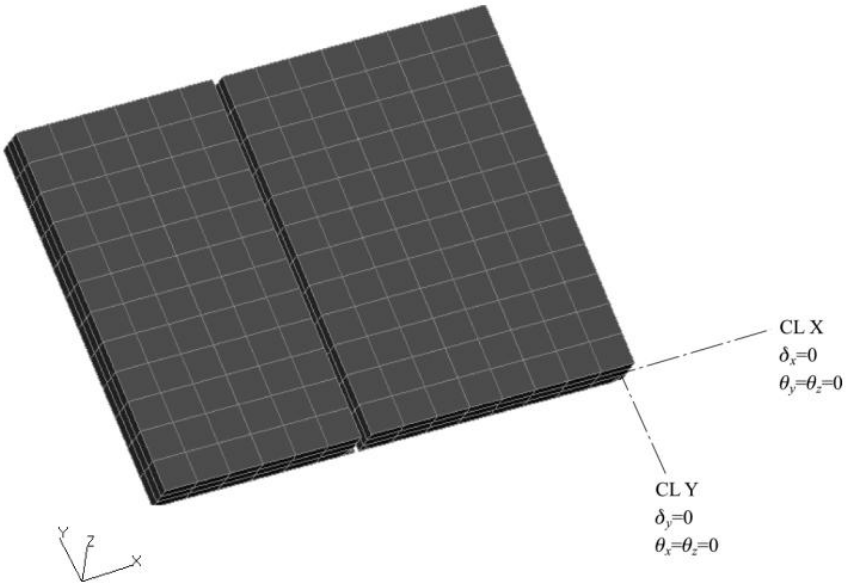


图 2.20.2.4(3)　舱口盖模型的边界条件

2.20.2.5　舱口盖结构强度屈服和变形衡准

（1） 许用应力

所有舱口盖结构构件应符合以下公式：

$\sigma_{vm} \le \sigma_a$，对于板单元；

$\sigma_{axial} \le \sigma_a$，对于杆单元或者梁单元。

式中：σ_a——表格 2.20.2.5 中的许用应力；

R_{eH}——材料屈服应力；

σ_{vm}——等效应力可按下式计算：

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^{\,2} - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^{\,2} + 3\tau^2} \text{ N/mm}^2$$

式中：σ_x——x 向的正应力，N/mm²

σ_y——y 向的正应力，N/mm²

τ——x-y 面内的剪切应力，N/mm²

σ_{axial}——杆单元或者梁单元的轴向应力，N/mm²

当采用有限元方法的壳单元进行强度分析时，应力应从单元的中心处进行选取；需要特别关注的是，在非对称桁材的翼板处，应力从单元中心读取可能会导致偏于危险的结果。因此，在这种情况下网格需要足够细化，或从单元四边读取的应力不大于许用应力。当选用壳单元进行分析时，应选取单元中面应力。

对于屈服应力为390 N/mm²的钢材，计算时R_{eH}取368 N/mm²。

结构应力集中的评估，根据实际情况进行控制。

许用应力　　**表 2.20.2.5**

构件	承受载荷	σ_a，N/mm²
舱口盖结构	外部压力，定义见 2.20.2.2(1)	$0.80R_{eH}$
	其他载荷，定义见 2.20.2.2(2)~(5)	对于静载荷+动载荷 $0.90R_{eH}$ 对于静载荷 $0.72R_{eH}$

（2）变形

主要支撑构件由于本节 2.20.2.2 所规定载荷作用产生的垂向变形应不大于 $0.0056l_g$，其中 l_g 是主要支撑构件的最大跨距。

注：舱口盖上安排载运集装箱且允许混合堆装时，即在两个 20′集装箱的上方堆装一个 40′集装箱，应注意舱口盖的挠度。还应考虑由于舱口盖变形与舱内货物发生可能的碰触。

2.20.2.6　舱口盖结构的屈曲要求

（1）一般要求

所有的舱口盖结构都要进行屈曲强度校核。屈曲评估应采用附录 5 的要求进行。

屈曲校核应采用 2.20.2.1（5）定义的净尺寸进行。

（2）长细比要求

长细比要求应符合附录 5 第 2 节中的规定。长细比要求不需要应用于双壳舱口盖的下边界，除非该货舱设计用于运输压载或液体货物。

对无横向支撑的构件跨距大于 3m 时，主要支撑构件面板的宽度应不小于高度的 40%。与面板连接的防倾肘板可作为主要支撑构件的横向支撑。

（3）屈曲要求

①适用于舱口盖结构承受压应力、剪应力和侧向压力的屈曲评估。下列结构单元都应进行屈曲评估：

(a)加筋和非加筋板格，包括曲板和采用 U 型材的面板；

(b)开口处主要支撑构件的腹板。

舱口围板的屈曲强度评估应满足本条要求。

板格类型和评估方法，侧向压力的施加，应力，安全系数和屈曲校核衡准见 2.20.2.6（3）②-2.20.2.6（3）⑤。屈曲评估的程序和详细要求在附录 5 第 4 节中给出，包括不规则板格的理想化，参考应力和屈曲衡准的定义。

除非另有规定，2.20.2.6（3）中使用的符号在附录 5 中定义。

②板格类型和评估方法

舱口盖结构的板格应模拟成附录 5 第 4 节 4.2 中定义的加筋板格（SP）或者非加筋板格（UP）。应按照表 2.20.2.6（3）①、图 2.20.2.6（3）①和图 2.20.2.6（3）② 的规定，使用附录 5 第 1 节 1.3 中定义的方法 A（-A）和方法 B（-B）进行评估。对于具有开孔的腹板板格，屈曲评估时应使用开孔的评估程序。

对装有 U 型材的舱口盖，应根据附录 5 第 5 节 5.2.5 中装有 U 型材板格的具体要求进行额外屈曲评估。

结构构件和评估方法　　**表** 2.20.2.6（3）①

结构单元	评估方法(1)(2)	常规板格定义
舱口盖顶板/底板结构，见图 2.20.2.6（3）①		
舱口盖顶板、底板	SP-A	长度：横向桁材之间 宽度：纵向桁材之间
不规则加筋板格	UP-B	局部骨材/PSM 之间的板
舱口盖主要支撑构件腹板，见图 2.20.2.6（3）②		
横向/纵向桁材腹板 （单壳形式）	UP-B	局部骨材/面板、PSM 之间的板
横向/纵向桁材腹板 （双壳形式）	SP-B(3)	长度：PSM 之间 宽度：完整腹板高度
带开孔的腹板板格	开孔评估	局部骨材/面板、PSM 之间的板
不规则加筋板格	UP-B	局部骨材/面板、PSM 之间的板
注(1)：SP 和 UP 分别代表加筋板格和非加筋板格。 注(2)：A 和 B 分别代表方法 A 和方法 B。 注(3)：如横向/纵向桁材腹板上不规则的布置了屈曲筋/肘板，可使用 UP-B 方法。		

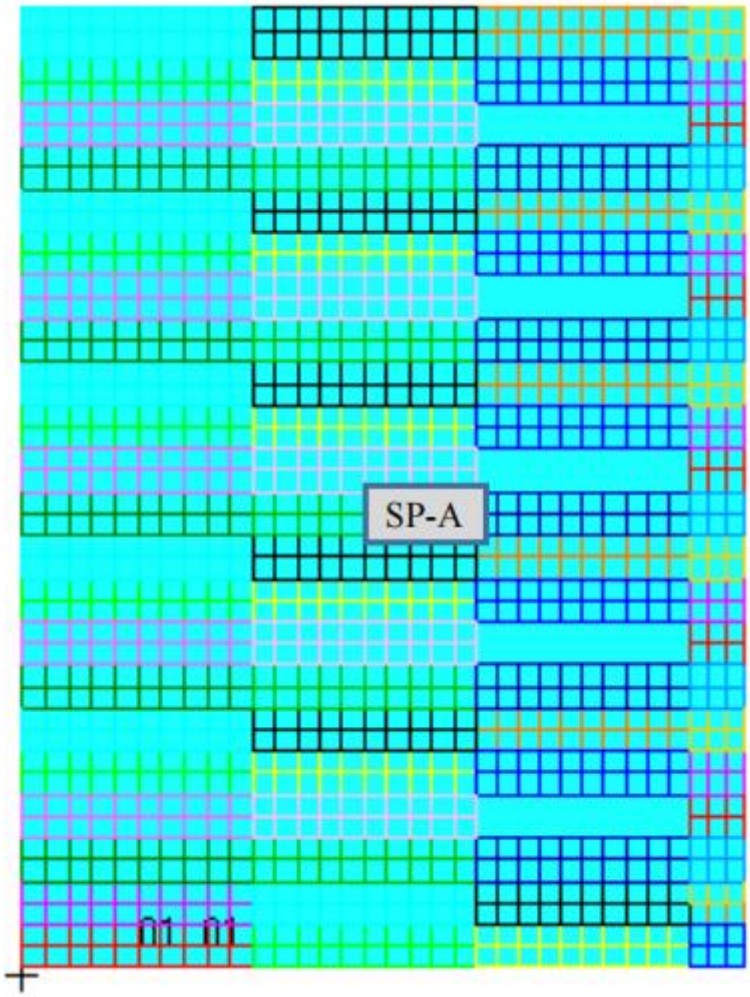


图 2.20.2.6（3）①

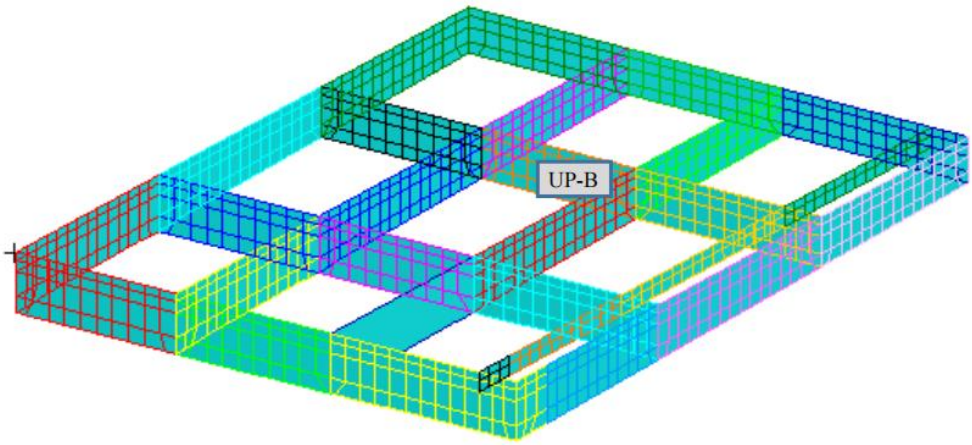


图 2.20.2.6（3）②

③施加的侧向压力和应力

舱口盖的屈曲评估基于 2.20.2.2（1）和 2.20.2.2（2）定义的侧向压力，根据 2.20.2.4 进行有限元分析获得的应力。

④安全因子

对于所有舱口盖结构构件，安全因子 S=1.0 适用于附录 5 第 5 节 5.2.2 和附录 5 第 5 节 5.2.3 分别定义的板和加强筋屈曲能力公式。

⑤屈曲衡准

如果一个结构单元满足以下的衡准，则认为其具有可接受的屈曲强度：

$$\eta_{act} \leq \eta_{all}$$

式中：η_{act}——基于所施加应力的屈曲利用因子，附录 5 第 1 节 1.3.2.2 和附录 5 第 4 节中所定义，根据附录 5 第 5 节计算。

η_{all}——许用屈曲利用因子，见表 2.20.2.6（3）⑤

许用屈曲利用因子　　表 2.20.2.6（3）⑤

结构单元	承受载荷	η_{all},许用屈曲利用因子
板和骨材 主要支撑构件腹板	外部压力，定义见 2.20.2.2(1)	0.80
	其他载荷，定义见 2.20.2.2(2)~(5)	0.90，对于静载荷+动载荷 0.72，对于静载荷

2.20.2.7　舱口盖细节要求：

(1) 舱口盖上的集装箱基座

舱口盖上的集装箱基座应符合本篇第 7 章附录 1 的有关要求。在本节 2.20.2.2 规定的货物载荷及集装箱载荷的作用下，集装箱基座的支持结构的计算应力应符合本节 2.20.2.5 的要求。

(2) 风雨密性

除以下要求外，舱口盖还应满足 IACS Rec.14 的有关要求。

①衬垫材料(一般要求)

密封衬垫材料应适合于船舶所有预期的航行工况，且适合于所要载运的货物。所选密封衬垫材料的尺寸和弹性应能承受可能产生的变形，外力应仅由钢结构承受。

应对密封衬垫进行压紧来实现舱口盖在所有预期操作条件下的有效密封。对于舱盖与船体结构之间，或各盖板之间有较大相对运动的船舶，密封衬垫应予以特殊考虑。

②风雨密衬垫的免除

对于仅运输集装箱的货舱舱口盖，如船东要求并符合下述条件，则本条(2)对于风雨密密封衬垫的要求可以免除：

舱口围板的高度应不小于600mm。

- 露天甲板舱口盖位于深度 $H(x)$ 以上的部位， $H(x)$ 应符合下述计算标准：

$$H(x) \geqslant T_{fb} + f_b + h \qquad \text{m}$$

式中：T_{fb}——与勘定的夏季载重线相应的吃水，m；

f_b——最小要求干舷，m，按修订后的载重线公约ICLL Reg.28确定；

$$h = 4.6m \text{ 当 } \frac{x}{L_L} \leqslant 0.75 ;$$

$$h = 6.9m \text{ 当 } \frac{x}{L_L} > 0.75 ;$$

- 围板处贴近每一板格的边缘应装上曲径式密封、排水挡板或其他等效装置，这些开口的净剖面尺寸应尽可能小。
- 如舱口用多块舱口盖板覆盖，盖板之间间隙的净开口宽度应不大于50mm。
- 曲径式密封与舱口盖板之间的间隙应视为完整稳性和破损稳性计算要求的未被保护的开口。
- 对于货舱的排水和必要的消防系统应参照本规范第8篇第6章的相关要求。
- 安装非风雨密舱口盖的货舱应配备舱底水报警器。
- 此外，集装箱载运危险货物的积载和隔离应符合IMO MSC/Circ.1087的第三章的要求。

③多板格舱口盖的交叉连接处应提供有效的排水布置

2.20.2.8　舱口盖的舱口围板应符合下列要求：

（1）舱口围板的净厚度应不小于按下列各式计算所得之值：

①　类型 1 船舶：

$$t = 0.0142s\sqrt{\frac{p_A}{0.95R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

$$t_{\min} = 6 + \frac{L_1}{100} \quad \text{mm}$$

②　类型 2 船舶：

$$t = 0.016s\sqrt{\frac{p_{coam}}{0.95R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

$$t_{\min} = 9.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，mm；

p_A——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2（2）①进行计算，kN/m^2；

p_{coam}——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2（2）②进行计算，kN/m^2；

$L_1 = L$，不必大于 300 m。

在船中 0.4L 区域内连续的纵向舱口围板，还应满足本章第 2 节的有关要求。

（2）舱口围板扶强材应满足下述要求：

舱口围板扶强材应在舱口围撑板处保持连续。

两端约束扶强材的净剖面模数 Z、净剪切面积 A_{shr} 应不小于按下列各式计算所得之值：

①　类型 1 船舶：

$$Z = \frac{p_A s l^2}{f_{bc} R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

$$A_{shr} = \frac{p_A s l^2}{R_{eH}} 10^{-2} \quad \text{cm}^2$$

式中：f_{bc}——一般情况为 12，对于在围板角隅处，扶强材端部削斜时取 8；

l——扶强材跨距，m，取为舱口围撑板间距；

s——扶强材间距，mm；

p_A——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2（2）①进行计算，kN/m^2；

对于舱口角隅处削斜的围板扶强材，其固定支撑处的剖面模数和剪切面积应增加 35%，在削斜扶强材端部的围板总厚度应不小于：

$$t_{gr} = 19.6\sqrt{\frac{p_A s\left(l - 0.0005s\right)}{1000R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

②　类型 2 船舶：

$$Z = 1.21\frac{p_{coam} s l^2}{f_{bc} c_p R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

式中：f_{bc}——一般情况为 16，

对于在围板角隅处，扶强材端部削斜时取 12；

l——扶强材跨距，m；

s——扶强材间距，mm；

p_A——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2（2）① 进行计算，kN/m^2；

p_{coam}——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2（2）② 进行计算，kN/m^2；

c_p——普通扶强材塑性剖面模数与弹性剖面模数之比，其带板宽度等于 40t（t 为带板的净厚度），mm；如无更精确的估算值时，c_p取为 1.16。

在船中 0.4L 区域内连续的纵向舱口围板，其水平扶强材还应满足本章第 2 节的有关要求。

（3）舱口围撑板用来传递载荷，除满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求外，还应满足下述要求：

①舱口围撑板剖面模数和腹板厚度

对位于甲板连接处的具有折边或面板的梁式舱口围撑板（如图 2.20.2.8（3）的例 1 和 2），其净剖面模数 Z 和净厚度 t_w 应不小于按下式计算所得之值：

$$Z = \frac{Ps_c H_c^2}{1.9R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

$$t_w = \frac{2Ps_c H_c}{hR_{eH}} \quad \text{mm}$$

式中：H_C——舱口围撑板的高度，m；

s_c——舱口围撑板间距，mm；

h——与甲板连接处的撑板深度，mm；

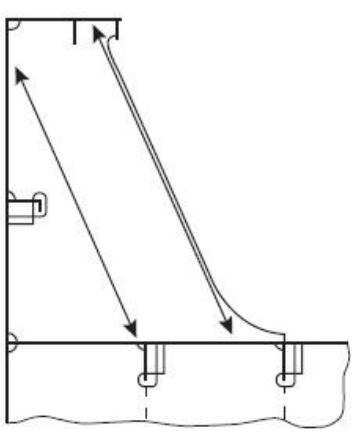
p——水平露天设计载荷，kN/m^2；当为一般载荷时，取为 p_A，按本节 2.20.2.2（2）①进行计算；当为类型 2 船舶时，取为p_{coam}，按本节 2.20.2.2（2）②进行计算。

对于如图 2.20.2.8（3）例 3 和 4 的其他型式舱口围撑板，应采用交叉梁分析或有限元方法来确定其尺寸，并满足本节 2.20.2.5 的强度衡准。

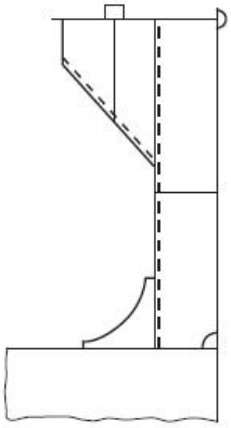
舱口围撑板应由适当的支持结构支撑。计算舱口围撑板的剖面模数时，仅当撑板有适当的支持结构且焊接提供足够连接时，其面板面积方可计入。

腹板与甲板的焊接应采用双面连续焊，焊喉应不小于 $0.44t_w$。

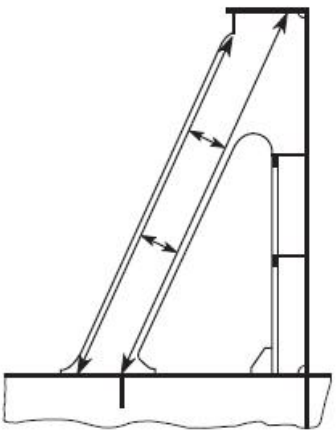
对于类型 2 船舶，舱口围撑板腹板趾端与甲板板的连接应采用全熔透焊或 K 形部分熔透焊，延伸距离不小于撑板宽度的 15%。对于其他船舶，舱口围板撑板下端的腹板趾部焊喉大小应符合本篇第 1 章的有关要求。



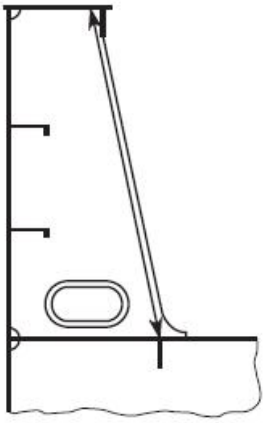
例 1



例 2



例 3



例 4

图 2.20.2.8（3） 舱口围撑板举例

②对于传递舱口盖支撑摩擦力的舱口围撑板，应对其疲劳强度进行考虑。

（4）舱口围板还应符合下述要求：

①作为船体纵向结构部分的舱口围板，在设计时应满足本章第 2 节总纵强度的有关要求。

②焊接到舱口围板上的结构构件和舱口围板上的顶部开口应具有足够的疲劳强度。

③在长度大于 0.1L 的连续纵向舱口围板的两端应设置斜肘板或等效的过渡结构和相应的支持结构。在这些肘板的端部应采用长度为 300mm 的全焊透焊缝将其连接到甲板上。

④局部细节的设计应能将舱口盖上的载荷传递到舱口围板，并通过其传递到以下的甲板结构之上。舱口围板及其支撑结构应进行足够加强来承受来自舱口盖的纵向、横向及垂向载荷。应检查甲板下结构能承受撑板所传递的载荷。除非另外说明，焊接和材料应符合 CCS 的有关要求。

⑤对于在甲板上载运货物(例如木材、煤或焦炭)的船舶，撑板的间距应不大于 1.5m。

⑥舱口围板应延伸到甲板横梁的下边缘或舱口边桁材安装在甲板横梁的下边缘，延伸的舱口围板或舱口边桁材且应有折边或设置面板或半圆钢。见图 2.20.2.8（4）。

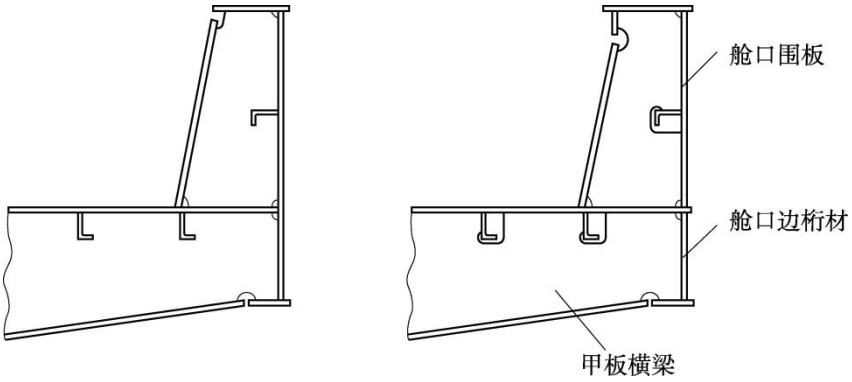


图 2.20.2.8（4）　舱口围板的延伸

⑦舱口围板的排水布置应符合以下要求：

如果通过布置排水挡板或将舱口侧围板和端围板沿垂向进行延伸，将排水沟布置在密封线以内，则应在排水沟的适当位置提供排水孔。

舱口围板的排水口的布置应与应力集中区域(如舱口角隅，起重机支柱过渡区域)保持足够的距离。

排水口应布置在排水沟的端部，并应采用止回阀来防止水从外部倒流进去。另外，消防软管不能与排水口相连接。

如在舱口盖和船舶结构的钢材之间存在连续的外部接触面，则在钢材接触面与密封件之间的空间亦应有排水设施。

2.20.2.9　钢质风雨密舱口盖的封闭装置

(1)紧固装置

①一般要求

在舱口盖与舱口围板之间以及在交叉接头处，应通过紧固装置产生足够的密封线压力，以保持风雨密。紧固装置应能承受由于船体变形所引起的舱口盖与舱口围板间的相对位移。

紧固装置应保证结构可靠，并牢固地与舱口围板、甲板或舱口盖连接。每块舱口盖上的各紧固装置应具有大致相同的刚性。根据本节 2.20.2.3(3)②的要求，舱口盖(包括由多个部分组成的舱口盖)的每一侧都应配备足够数量的紧固装置。

限位块、紧固装置的材料以及其焊接材料均应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关要求。材料的技术规格应在舱口盖的图纸上标示出。

②杆状压紧器

如采用杆状压紧器，则应设置减振垫片或弹性垫块。

③液压式压紧器

如采用液压式压紧器，则应有可靠措施，以确保当液压系统出现故障时，在关闭位置处仍能保持机械锁紧。

④紧固装置的横剖面面积

紧固装置的实际横剖面面积应不小于：

$$A = 0.28qS_{SD}k_l \quad \text{cm}^2$$

裙板要有足够的刚度来支撑紧固装置之间的密封线压力，裙板的惯性矩应不小于：

$$I = 6qs_{SD}^4 \quad \text{cm}^4$$

式中：q——密封线压力，N/mm，不小于 5N/mm；

S_{SD}——紧固装置间距，m，应取不小于 2m；

$k_l = (\frac{235}{R_{eH}})^e$

R_{eH}——材料的屈服应力，N/mm^2，但 R_{eH} 应取不大于 $0.7R_m$；

R_m——材料的抗拉强度，N/mm^2；

e=0.75　当 $R_{eH} > 235$　N/mm^2；

e=1.00　当 $R_{eH} \leqslant 235$　N/mm^2；

舱口面积超过 5m^2 时，固定杆或螺栓的实际直径应不小于 19mm。

对于会产生显著弯曲和剪切应力的特殊设计的紧固装置，可按本条(1)⑤的止跳装置来设计。设计载荷为密封线压力 q 与紧固装置距离 S_{SD} 的乘积。

⑤止跳装置

对于其上系固货物的舱口盖的紧固装置，应根据本节 2.20.2.2(4)中载荷确定的提升力来进行设计，如图 2.20.2.9(1)。应考虑在实际中可能遇到的不对称载荷。在这些载荷作用下，紧固装置中的等效应力不能超过：

$$\sigma_V = \frac{150}{k_l} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：k_l 同本条④。

注：对于防止舱口盖翻转，表 2.20.2.2(4)中的部分装载工况可能不能涵盖所有非对称装载的最危险情况。

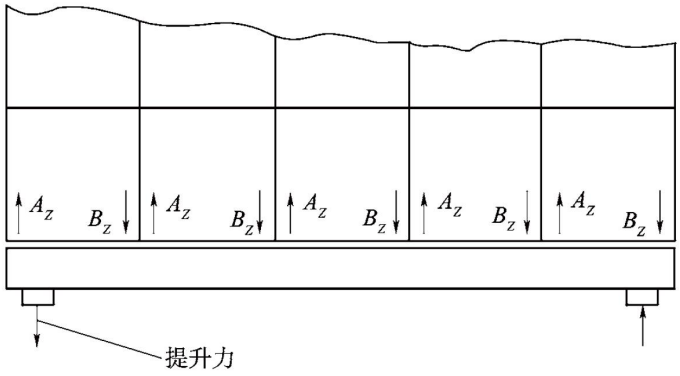


图 2.20.2.9(1)　舱口盖的提升力

止跳装置的免除应参照以下要求：

如果没有由于船舶横摇造成的舱口盖的提升，则舱口盖的紧固装置可以免除。在这种情况下，应经过交叉梁分析或有限元分析证明舱口盖达到平衡状况，垂向的舱口盖支撑应使用只受压的边界单元。如果紧固装置被免除，横向舱口盖导轨的有效高度应达到在舱口盖支撑以上 h_E，如图 2.20.2.9(2)，h_E 应不小于：

$$h_E = 1.75(2se + d^2)^{0.5} - 0.75d \quad \text{mm}$$

$$h_{E\min} = \text{舱口盖边板高度} + 150 \quad \text{mm}$$

式中：e——横向舱口盖导轨的内侧与舱口盖边板的最大距离，mm；

s——横向舱口盖导轨间的总间隙，$10 \le s \le 40$，mm；

d——横向限位块的上边界与舱口盖支撑的距离，mm；

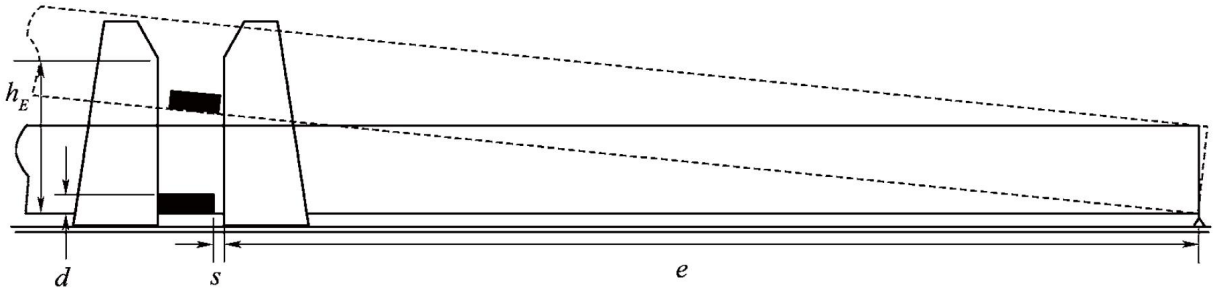


图 2.20.2.9(2)　横向舱口盖导轨的高度

横向舱口盖导轨及其支持结构的尺寸应按照横向载荷作用在高度 h_E 计算。

(2) 舱口盖支承、限位块及支持结构

①水平质量力

出于舱口盖支撑结构设计，水平质量力应按下式计算：

$$F_h = ma$$

式中：F_h——水平质量力，kN；

$a_X = 0.2g$ 纵向；

$a_Y = 0.5g$ 横向；

m——舱口盖上所系固货物的质量和舱口盖的质量总和；

纵向和横向加速度可不必同时考虑。

②舱口盖支承

为传递由本节 2.20.2.2 中工况以及本条(2)①中水平质量力所引起的支撑力，应保证支承的标称表面压力一般不超过下式计算所得之值：

$$p_{n\max} = dp_n \quad \text{N/mm}^2$$

式中：d=3.75-0.015L

$d_{\max} = 3.0$

$d_{\min} = 1.0$，一般情况

$d_{\min} = 2.0$，对部分装载工况，见本节 2.20.2.2(5)

P_n——许用标称表面压力，见表 2.20.2.9(2)。

许用标称表面压力 P_n　　**表 2.20.2.9(2)**

支承材料	如下作用力时的 P_n(N/mm^2)	
	垂向力	水平力(在限位块上)
船体结构钢	25	40
淬火钢	35	50
低摩擦系数材料	50	—

对于不易发生相对位移的金属支承表面，其最大标称表面压力为：

$$p_{n\max} = 3p_n \quad \text{N/mm}^2$$

注：当设备商能够证明舱口盖垂向支撑结构的材料具有足够的能力承载更大的表面标称压力时，CCS可对许用标称表面应力进行放宽。其中载荷不但应包括静载荷还应考虑具有足够应力循环

相对运动的动载荷。另外，需对垂向载荷和相关水平运动的长期分布谱进行假定并取得CCS批准。

支承的图纸应提交批准。支承的图纸中必须标明材料制造厂商所给出的最大许用压力。

如预期在支承表面会产生较大的相对位移，则建议采用具有低摩擦特性的材料。

支承的支持结构的设计应使其压力均匀分布。

无论限位块如何进行布置，支承必须能在纵向和横向传递下述载荷 P_h：

$$P_h = \mu \frac{P_V}{\sqrt{d}}$$

式中：P_V——垂向支撑力；

μ——摩擦系数；

μ=0.5，钢对钢；

对于非金属，低摩擦特性的支承材料对钢之间的摩擦系数μ可以减少，但应不小于0.35，并应令CCS满意；

支承、邻近结构以及支持结构的许用应力应不超过本节2.20.2.5中的要求。

对于承受水平力 P_h 的支承的支持结构和邻近结构，应对其疲劳强度进行考虑。

③舱口盖限位块

应对舱口盖进行充分地压紧来防止水平移动。对于其上装载货物的舱口盖，应设有限位块。

限位块及其支持结构的尺寸由本节2.20.2.2(2)产生的载荷和本条(2)①中载荷的大者确定。

舱口盖和舱口围板上的限位块及其支持结构的许用应力应根据本节2.20.2.5确定。另外，应考虑本条(2)②的要求。

特别对于类型2船舶，应遵守以下附加要求：

舱口盖应通过限位块有效锁紧，以可承受175kN/m^{2}压力产生的横向力。

除第1舱舱口盖外，舱口盖应通过限位块有效锁紧，以可承受175 kN/m^{2}压力产生的作用于首端的纵向力。

第1舱舱口盖应通过限位块有效锁紧，以可承受230 kN/m^{2}压力产生的作用于首端的纵向力。如按《钢质海船入级规范》第8章第13节设置首楼，该压力可减小到175kN/m^2。

限位块、支撑结构和限位块焊缝的焊喉计算的相当应力应不超过许用值 $0.8R_{eH}$。

2.20.2.10 腐蚀余量和换新

（1）舱口盖和舱口围板的腐蚀余量

舱口盖构件的尺寸要求采用下列一般腐蚀余量 t_c，见表 2.20.2.10。

舱口盖和舱口围板的腐蚀余量 t_c　　表 2.20.2.10

适用	结构	t_S[mm]
集装箱船、汽车运输船、纸张运输船以及客船的露天甲板舱口	舱口盖	1.0
	舱口围板	1.5 当 $t \leqslant 10$
		$\frac{0.1t}{\sqrt{K}} + 0.5$，但不大于 3 当 $t > 10$
类型 2 船舶的露天甲板舱口	舱口盖，一般情况	2.0
	双壳舱口盖的顶板和底部板	2.0
	双壳舱口盖的内部结构	1.5
	舱口围板和围板撑板	1.5
其他船舶的露天甲板舱口	舱口盖，一般情况	2.0
	双壳舱口盖的顶板和底部板	1.5
	双壳舱口盖和封闭箱型横梁的内部结构	1.0
	不作为船体纵向构件的舱口围板	1.5

适用	结构	t_S[mm]
	作为船体纵向构件的舱口围板	1.5 当 $t \leqslant 10$
		$\frac{0.1t}{\sqrt{K}}+0.5$，但不大于 3 当 $t>10$
	围板撑板和扶强材	1.5

注：t：规范要求的舱口围板的净厚度；

K：材料系数。

（2）换新

当测量厚度小于 t_{net} + 0.5 mm 时，以下结构构件需进行换新：

- 单壳舱口盖
- 双壳舱口盖的板
- 表 2.20.2.10 中给出腐蚀余量的舱口围结构

涂装应保持在“良好”状态，“良好”的定义见第 1 篇第 5 章 5.1.5.1(15)。

当 CCS 验船师根据舱盖板腐蚀和变形情况，对舱口盖顶板或底板换新或认为有必要时，应对双壳舱口盖的内部结构进行测厚，如测量厚度小于 t_{net}，内部结构应要求换新。

当腐蚀余量 t_S=1.0mm 时，钢材换新的厚度是 $t_{net,}$ 当测量厚度在 t_{net} 和 t_{net}+0.5mm 之间时，可通过采用涂装或年度测厚的措施替代换新。

对于表 2.20.2.10 中没有给出腐蚀余量的舱口围结构，钢板换新和涂装或年度测厚应符合 CCS 的相关规定。

2.20.3 钢质箱型舱口盖

2.20.3.1 钢质箱型舱口盖的设计载荷应符合下列规定：

(1) 露天舱口盖的垂向露天设计载荷按本节表 2.20.2.2(1)进行计算。

(2) 舱口盖上的许用货物载荷 p 应由船东或设计方规定，且应包含在装载手册中。同时应符合下述要求：

①下甲板舱口盖上的许用货物载荷 p 应不小于：

$$p = 7.06h \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：h——舱口盖至上一层甲板的舱口盖扶强材下缘的垂直距离，m。

本条要求不适用于将下甲板舱口盖作为下甲板的多用途货船(见本节图 2.20.3.1(2))。

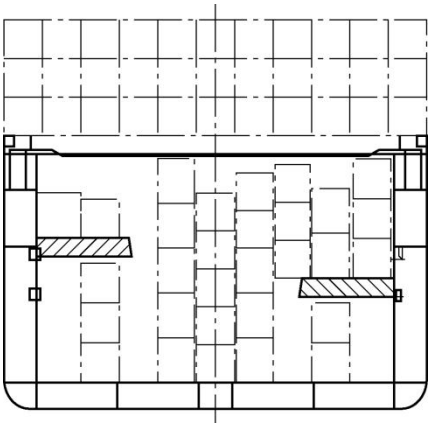


图 2.20.3.1(2)

②居住舱室内舱口盖上的许用货物载荷 p 应不小于 12.7kN/m^2。

2.20.3.2 舱口盖局部尺寸应符合下列规定：

(1) 舱口盖顶板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值，且应不小于 6mm：

$$t = 0.01s \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，mm。

(2) 钢质箱形舱口盖的扶强材和桁材的尺寸应符合以下规定：

①在均布的垂向露天设计载荷作用下，扶强材的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W = 7.82Kspl^2 \times 10^{-4} \quad \text{cm}^3$$

$$I = 1.44spl^3 \times 10^{-3} \quad \text{cm}^4$$

式中：p——垂向露天设计载荷，kN/m^2；

s——扶强材间距，mm；

l——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

②在均布货物载荷作用下，扶强材的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W = 1.064Kspl^2 \times 10^{-3} \quad \text{cm}^3$$

$$I = 1.8spl^3 \times 10^{-3} \quad \text{cm}^4$$

式中：p——许用货物载荷，kN/m^2；

s——扶强材间距，mm；

l——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

③当扶强材的两端设置有效的肘板或为连续时，扶强材的剖面模数可较①或②计算所得之值减小 33%，剖面惯性矩可减小 80％。

④钢质箱型舱口盖的桁材应采用本节的直接计算法予以确定。但当钢质箱型舱口盖承受均布载荷，且仅在一个方向设置桁材时，桁材也可按①和②确定。(3)

2.20.3.3　钢质箱型舱口盖结构强度的直接计算应符合本节 2.20.2.4 的规定。

2.20.3.4　钢质箱型舱口盖结构屈服和变形衡准

钢质箱型舱口盖的屈服强度和挠度应满足表 2.20.3.4 的要求。

钢质箱型舱口盖　　**表 2.20.3.4**

载荷	许用正应力 ［σ］(N/mm^2)	许用挠度 (m)
垂向露天设计载荷	$0.70R_{eH}$	$0.0049l$
除垂向露天设计载荷以外的载荷	$0.65R_{eH}$	$0.0044l$

2.20.3.5 钢质箱型舱口盖结构屈曲强度应满足表 2.20.3.5（1）的要求。

钢质箱型舱口盖结构屈曲强度衡准　　**表 2.20.3.5（1）**

构件		衡准
舱口盖顶板板格	单向设置桁材	对于桁材弯曲而引起的舱口盖顶板板格的压应力应不大于临界屈曲应力σ_c的 0.8 倍，σ_c可按 2.20.3.5（1）的规定计算。
	双向设置桁材	用有限元板单元模型分析计算所得的舱口盖顶板板格的双轴向压应力，应符合本节 2.20.2.6(1)的规定。
桁材腹板		桁材腹板板格的剪切应力应不大于临界屈曲剪切应力τ_c的 0.8 倍，τ_c可按 2.20.3.5（3）的规定计算。
与桁材平行的扶强材		对于平行于扶强材方向的桁材弯曲而引起的扶强材带板中的压应力应不大于临界屈曲应力σ_c的 0.8 倍，σ_c可按 2.20.3.5（2）的规定计算。

(1)　舱口盖板临界应力

对于平行于扶强材方向的主要支撑构件弯曲而引起的舱口盖板板格的压应力σ，应不超过临界屈曲应力σ_{c1}的 0.8 倍，σ_{c1}应按下列两式计算：

$$\sigma_{c1} = \sigma_{E1} \qquad \text{当} \ \sigma_{E1} \le \frac{R_{eH}}{2};$$

$$\sigma_{c1}=R_{eH}\left(1-\frac{R_{eH}}{4\sigma_{E1}}\right)\qquad 当\ \sigma_{E1}>\frac{R_{eH}}{2}；$$

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm²；

$\sigma_{E1}=3.6E\left(\frac{t}{1000s}\right)^2$，N/mm²；

E——弹性模量，钢材取为 2.06×10⁵ N/mm²；

t——板格的净厚度，mm；

s——扶强材的间距，m。

对于垂直于扶强材方向的主要支撑构件弯曲而引起的舱口盖板板格的平均压应力σ，应不超过临界屈曲应力σ_{c2}的 0.8 倍，σ_{c2}应按下列两式计算：

$$\sigma_{c2}=\sigma_{E2}\qquad 当\ \sigma_{E2}\le\frac{R_{eH}}{2}；$$

$$\sigma_{c2}=R_{eH}\left(1-\frac{R_{eH}}{4\sigma_{E2}}\right)\qquad 当\ \sigma_{E2}>\frac{R_{eH}}{2}；$$

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm²；

$\sigma_{E2}=0.9mE\left(\frac{t}{1000s_s}\right)^2$，N/mm²；

$$m=c\left[1+\left(\frac{s_s}{l_s}\right)^2\right]^2\frac{2.1}{\psi+1.1}$$

E——弹性模量，钢材取为 2.06×10⁵N/mm²；

t——板格的净厚度，mm；

s_s——板格的短边长度，m；

l_s——板格的长边长度，m；

ψ——最小压应力与最大压应力之比值；

c=1.3，当板格由主要支撑构件支撑；

c=1.21，当板格由角钢或 T 型钢扶强材支撑；

c=1.1，当板格由球扁钢扶强材支撑；

c=1.05，当板格由扁钢扶强材支撑。

(2) 舱口盖扶强材临界应力

对于平行于扶强材方向的主要支撑构件的弯曲而引起的舱口盖扶强材带板中的压应力σ，应不超过临界屈曲应力σ_{cs}的 0.8 倍，σ_{cs}应按下列两式计算：

$$\sigma_{cs}=\sigma_{Es}\qquad 当\ \sigma_{Es}\le\frac{R_{eH}}{2}；$$

$$\sigma_{cs}=R_{eH}\left(1-\frac{R_{eH}}{4\sigma_{Es}}\right)\qquad 当\ \sigma_{Es}>\frac{R_{eH}}{2}；$$

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm²；

σ_{Es}——扶强材的理想弹性屈曲应力，N/mm²，取σ_{E3}和σ_{E4}中之小值；

$\sigma_{E3}=\frac{0.001EI_a}{Al^2}$，N/mm²；

E——弹性模量，钢材取为 2.06×10⁵N/mm²；

I_a——扶强材的惯性矩，cm⁴，计算时应包括带板，带板宽度取为扶强材间距；

A——扶强材的横剖面面积，cm²，计算时应包括带板，带板宽度取为扶强材间距；

l——扶强材跨距，m；

$\sigma_{E4}=\frac{\pi^2EI_w}{10^4I_pl^2}\left(m^2+\frac{K}{m^2}\right)+0.385E\frac{I_t}{I_{\mathrm{p}}}$，N/mm²；

$K=\dfrac{Cl^4}{\pi^4 EI_w}\times 10^6$；

m——半波数，由表 2.20.3.5（2）给出；

I_w——扶强材与板连接处的剖面扇形惯性矩，cm^6，应按下列各式计算：

$I_w=\dfrac{h_w^3 t_w^3}{36}\times 10^{-6}$，对扁钢；

$I_w=\dfrac{t_f b_f^3 h_w^2}{12}\times 10^{-6}$，对 T 型钢；

$I_w=\dfrac{b_f^3 h_w^2}{12\left(b_f+h_w\right)^2}\left[t_f\left(b_f^2+2b_f h_w+4h_w^2\right)+3t_w b_f h_w\right]\times 10^{-6}$，对角钢和球扁钢；

I_p——扶强材与板连接处的剖面极惯性矩，cm^4，应按下列两式计算：

$I_p=\dfrac{h_w^3 t_w}{3}\times 10^{-4}$，对扁钢；

$I_p=\left(\dfrac{h_w^3 t_w}{3}+h_w^2 b_f t_f\right)\times 10^{-4}$，对有折边的扶强材；

I_t——扶强材的圣维南惯性矩，cm^4，应按下式计算，计算时不包括带板

$I_t=\dfrac{h_w t_w^3}{3}\times 10^{-4}$，对扁钢；

$I_t=\dfrac{1}{3}\left[h_w t_w^3+b_f t_f^3\left(1-0.63\dfrac{t_f}{b_f}\right)\right]\times 10^{-4}$，对有折边的扶强材；

h_w——扶强材的腹板高度，mm；

t_w——扶强材的腹板净厚度，mm；

b_f——扶强材翼板宽度，mm；

t_f——扶强材翼板净厚度，mm；

s——扶强材间距，m；

C——由舱口盖顶板产生的弹簧刚度，应按下式计算：

$$C=\frac{k_p E t_p^3}{3s\left(1+\dfrac{1.33k_p h_w t_p^3}{1000st_w^3}\right)}\times 10^{-3}$$；

$k_p=1-\eta_p$，取值应不小于 0，对于有折边的扶强材，取值应不小于 0.1；

$\eta_p=\dfrac{\sigma}{\sigma_{E1}}$；

σ ——见主要支撑构件翼板带板正应力；

σ_{E1} ——见 2.20.3.5(1)；

t_p ——舱口盖板板格的净厚度，mm。

半波数 *m* 值 **表 2.20.3.5（2）**

K	$0<K\leqslant 4$	$4<K\leqslant 36$	$36<K\leqslant 144$	$(m-1)^2m^2<K\leqslant m^2(m+1)^2$
m	1	2	3	m

对于扁钢扶强材和容易失稳的扶强材，腹板的高度和厚度比应满足下列要求：

$$\frac{h}{t_w}\leq 15\sqrt{k}$$

式中：h——扶强材腹板高度，mm；

t_w——扶强材腹板净厚度，mm；

$k=\dfrac{235}{R_{eH}}$；

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2。

(3) 舱口盖主要支撑构件腹板板格临界应力

应对主要支持构件的腹板板格进行屈曲校核，腹板板格是由主要支撑构件的腹板加强筋、与之相交的其他主要支撑构件、面板(或舱口盖底板)、舱口盖顶板围成的。

主要支撑构件腹板板格的剪切应力τ应不超过临界屈曲应力τ_c的 0.8 倍，τ_c应按下列两式计算：

$$\tau_c=\tau_E \qquad \text{当 } \tau_E\le\frac{\tau_F}{2}\text{；}$$

$$\tau_c=\tau_E\left(1-\frac{\tau_F}{4\tau_E}\right) \qquad \text{当 } \tau_E>\frac{\tau_F}{2}\text{；}$$

式中：$\tau_F=\dfrac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$，N/mm^2；

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2；

$\tau_E=0.9k_tE\left[\dfrac{t_{pr,n}}{1000d}\right]^2$，N/mm^2；

E——弹性模量，钢材取为 2.06×10^5 N/mm^2；

$t_{pr,\,n}$——主要支撑构件腹板的净厚度，mm；

$k_t=5.35+4.0\left(\dfrac{d}{a}\right)^2$；

a——腹板板格中长边长度，m；

d——腹板板格中短边长度，m。

对于平行于扶强材方向的主要支撑构件，腹板板格边长应考虑实际尺寸。

对于垂直于扶强材方向的主要支撑构件或者舱口盖结构没有扶强材的情况，在计算τ_c时应假定板格是边长为 d 的正方形，应考虑板格端部剪切应力的平均值τ。

2.20.3.6 钢质箱型舱口盖应按下列要求配备防水帆布和封闭装置：

(1) 对位于干舷甲板和上层建筑甲板上的露天舱口，至少应覆两层结实的防水帆布。

(2) 不应用黄麻制作防水帆布。在防水帆布被制成舱盖布以前的单位面积最小重量为：

如帆布涂煤焦油 0.65kg/m^2；

如帆布涂化学涂料 0.65kg/m^2；

如帆布涂黑油 0.55kg/m^2；

(3) 在舱口围板或水平加强筋上应焊有楔耳，楔耳应有适合楔子的斜度。楔耳宽度应不小于 65 mm，中心间距不大于 600mm，近舱口角隅的楔耳距舱口角隅应不大于 150mm。

(4) 应采用硬木做楔子。楔子的斜率应不大于 1:6，其薄头厚度至少为 13mm。

(5) 对位于干舷甲板及上层建筑甲板上的露天舱口，应配备扁钢或其他相当属具，以便能有效地压紧覆在舱口盖上防水帆布。对于长度大于 1.5m 的舱口盖，至少应用两套装置予以压紧。

(6) 对于其他位置的露天舱口，应配备供系缚用的松紧螺栓或其他装置。

2.20.3.7 钢质箱型舱口盖的舱口围板应符合下列规定：

(1) 露天舱口围板的结构：

①围板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.05L+6.5 \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m，计算时取值不必大于 90m。

②当围板高度等于或大于 600mm 时，应在其上缘或离上缘约 250mm 处设置水平球扁钢或其他等强度构件。水平球扁钢的腹板高度应不小于 180mm，并应在水

平球扁钢与甲板之间设置间距不大于 3m 的垂直加强筋或肘板。加强筋或肘板的腹板高度应不小于水平球扁钢的腹板高度，并应具有折边或面板。当围板高度大于 900mm 时，应减小上述加强筋或肘板的间距。当围板高度等于或大于 1200mm 时，应在围板半高处增设一根水平球扁钢或其他等强度构件。当舱口围板承受集装箱时，应对舱口围板及其支撑构件作相应加强；

③如在围板上缘不设面板，则在该处应用半圆钢或其他能保证围板刚性和上缘部分圆滑的型材；

④当甲板板不伸入围板内时，应将舱口角隅处的围板弯成圆形。在船中部 0.5*L* 区域内，此圆角半径应符合本章 2.4.4 的要求。

当甲板板伸入围板内，而甲板开口的角隅处符合本章 2.4.4 要求，且将纵向围板在舱口角隅处削斜延伸时，则舱口角隅处的舱口围板可为方形；

⑤不应将与舱口围板大致在一直线上的外伸肘板或供收藏钢质舱盖的轨道焊于甲板室或桅屋上，除非经过计算后表明可以将舱口围板作为船体的纵向强力构件；

⑥如将露天舱口围板同时兼作甲板纵桁时，其结构应符合本章 2.8.8 的有关要求。

(2) 当将下甲板舱口围板同时兼作甲板纵桁时，其结构还应符合本章 2.8.8 的有关要求。

2.20.4 带活动横梁的舱口盖

2.20.4.1 带活动横梁的舱口盖的设计载荷应符合下列规定：

(1) 露天舱口盖的垂向露天设计载荷按本节表 2.20.2.2(1)进行计算；

(2) 舱口盖上的许用货物载荷应符合本节 2.20.3.1(2)的要求。

2.20.4.2 带活动横梁的舱口盖应符合下列规定：

(1) 对于带活动横梁的舱口盖，如其舱口盖板为钢质，则应满足本节 2.20.3.2(1)的要求；如为木质盖板，厚度 *t* 应不小于按下式所得之值，且不小于 60mm：

$$t = 40S \qquad \text{mm}$$

式中：*S*——舱口活动横梁间距，m。

若设计载荷大于 18.4kN/m^2，则应按比例增加板厚。

木质盖板的两端应用宽为 65mm，厚为 3mm 的镀锌扁钢进行围箍，并予以有效固定。

(2) 在垂向露天设计载荷作用下，带活动横梁的露天舱口盖应符合下列规定：

①活动横梁的剖面模数 *W*、剖面惯性矩 *I* 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W = 0.782KSpl^2 \qquad \text{cm}^3$$

$$I = 1.44Spl^3 \qquad \text{cm}^4$$

式中：*p*——垂向露天设计载荷，按本节 2.20.4.1 进行计算，kN/m^2；

S——舱口活动横梁的间距，m；

l——舱口活动横梁的跨距，m；

K——材料系数。

②活动横梁距端部至少为 180mm 长度内的腹板加厚 1 倍，或在原腹板上加设复板。

③活动横梁的上下缘应设有连续面板。上缘面板的宽度应达到使支承舱口盖板的宽度不小于 65mm，并在腹板平面内加装高为 50mm 的扁钢。

④在活动横梁的承座上应设有效的装置，以将舱口活动横梁固定在其中。承座的支承长度至少为 75mm。

⑤钢质盖板扶强材的剖面模数 *W*、剖面惯性矩 *I* 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W = 0.664Kspl^2 \qquad \text{cm}^3$$

$$I = 1.13spl^3 \qquad \text{cm}^4$$

式中：*p*——垂向露天设计载荷，按本节 2.20.4.1 进行计算，kN/m^2；

l——扶强材跨距，m；

s——扶强材间距，m；

K——材料系数。

(3) 在均布货物载荷作用下，带活动横梁的舱口盖应满足下述要求：

①舱口活动横梁的剖面模数 *W*、剖面惯性矩 *I* 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W = 1.064KSpl^2 \quad \text{cm}^3$$

$$I = 1.8Spl^3 \quad \text{cm}^4$$

式中：p——许用货物载荷，kN/m^2；

S——舱口活动横梁的间距，m；

l——舱口活动横梁的跨距，m；

K——材料系数。

②舱口活动横梁还应满足本条(2)中②～④的要求。

③钢质盖板扶强材的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W = 1.064Kspl^2 \quad \text{cm}^3$$

$$I = 1.8spl^3 \quad \text{cm}^4$$

式中：p——许用货物载荷，kN/m^2；

l——扶强材跨距，m；

s——扶强材间距，m；

K——材料系数。

(1) 带活动横梁的舱口盖具有变化横剖面的扶强材和桁材的尺寸应符合本节 2.20.3.2(3)规定。

2.20.4.3　带活动横梁的舱口盖结构强度的直接计算应符合本节 2.20.2.4 的规定。

2.20.4.4　带活动横梁的舱口盖结构屈服和变形应符合本节 2.20.3.4 的规定。

2.20.4.5　带活动横梁的舱口盖结构屈曲强度应符合本节 2.20.3.5 的规定。

2.20.4.6　带活动横梁的舱口盖的封闭装置应符合本节 2.20.3.6 的规定。

2.20.4.7　带活动横梁的舱口盖的舱口围板应符合本节 2.20.3.7 的规定。

2.20.5　其他类型的开口

2.20.5.1　对于其他类型开口，应符合本篇第 1 章 1.12.7 的要求。

2.20.5.2　露天甲板上的小舱口还应符合下列要求：

(1) 小舱口围板的高度应符合本节 2.20.1.8 的要求，其厚度应不小于本章对舱口开口线内的甲板所规定的最小厚度或 11mm，为其小者；

(2) 小舱口应配以钢质风雨密的舱口盖，并设可靠的紧固装置，以在任何情况下都能使舱口盖保持风雨密，舱口盖的板厚应不小于本章对舱口开口线内的甲板所规定的最小厚度或 8mm，为其小者。

(3) 位于船首露天甲板上的小舱口盖的强度和锁紧，还应符合本篇第 1 章第 7 节的有关要求。

第 21 节　车辆甲板

2.21.1　一般要求

2.21.1.1　当在甲板或舱口盖上装载车辆或使用车辆装卸货物时，甲板或舱口盖的构件尺寸除应满足本篇有关相应要求外，还应按本节的要求校核甲板或舱口盖的强度。

2.21.1.2　当在内底板上装载车辆或使用车辆装卸货物时，也可参照本节的要求校核内底板的强度。

2.21.2　甲板

2.21.2.1　甲板厚度应符合下列要求：

(1)　甲板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = CJ\sqrt{PK} + 1.5 \quad \text{mm}$$

式中：P——轮印上的荷重，t，如两个轮印之间的距离很小，则可将其视为一个轮印，并

取轮印上的荷重之和；

K ——材料系数；

C、J——系数，应按下列各式计算：

当 $0.5 \leqslant \frac{u}{v} < 1$ 时：

$$J=0.73(0.85-\frac{u}{v})+\frac{4.58}{\frac{v}{s}+0.62}$$

$$C=1-(0.099\frac{v}{s}+0.013)(2.5-\frac{l}{s})$$

当 $1 \leqslant \frac{u}{v} < 2$ 时：

$$J=0.51(0.79-\frac{u}{v})+\frac{4.58}{\frac{v}{s}+0.62}$$

$$C=1-(0.156\frac{v}{s}+0.009)(2.5-\frac{l}{s})$$

当 $2 \leqslant \frac{u}{v} < 3$ 时：

$$J=0.4(0.66-\frac{u}{v})+\frac{4.30}{\frac{v}{s}+0.57}$$

$$C=1-(0.196\frac{v}{s}+0.013)(2.5-\frac{l}{s})$$

其中：$\frac{u}{v}$ ——为轮印长度和宽度比值，见图 2.21.2.1(1)，对于 1 个板格上有 2 个轮印时，如图 2.21.2.1(2)，取 $u'=2u$；如 $\frac{u'}{v} \geq 3$ 时，按 $u_1=v_1=\sqrt{u'v}$ 进行计算；

l ——骨材跨距，m；

s ——骨材间距，m；

当 $\frac{l}{s} > 2.5$ 时，取 $\frac{l}{s}=2.5$。

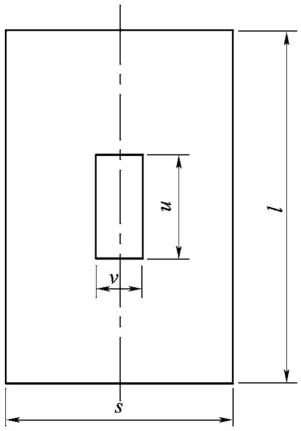


图 2.21.2.1(1)

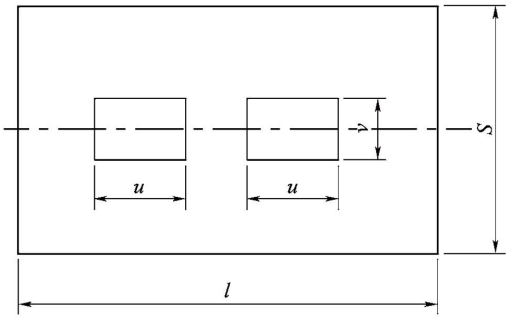


图 2.21.2.1(2)

(2) 当甲板上使用叉式装卸车装卸货物且无车辆轮印和自重等资料时，可按下式求得甲板厚度：

$$\frac{s}{t} \leqslant \frac{111}{P+1}+27$$

式中：t ——甲板厚度，mm；

s ——甲板纵骨或横梁的间距，mm；

P——叉式装卸车所能铲起的货物重量，t。

(3) 如在具有绝缘层的甲板上装载或使用车辆，则在根据甲板厚度确定甲板的允许载荷时，应考虑甲板变形对绝缘层的影响。

2.21.2.2 甲板横梁或纵骨的剖面模数应符合下列要求：

(1) 当载货甲板上使用叉式装卸车装卸货物时，甲板横梁或纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=(0.375J_1Pl+1.25J_2hsl^2)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：P ——叉式装卸车的总重量，t；

h ——甲板计算压头，m，见本章 2.8.1.1；

s ——骨材间距，m；

l ——骨材跨距，m；

K ——材料系数；

J_1、J_2 ——系数，按表 2.21.2.2 查得。

系数 J_1、J_2 **表 2.21.2.2**

J	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5 及以上
J_1	15.4	14.6	13.35	11.8	10.1
J_2	1.89	1.85	1.73	1.55	1.30

注：表中 J=轮距/骨材跨距，轮距为同一轴上两端的最外侧两轮的距离。

(2) 当甲板为永久性载运车辆甲板时，横梁或纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=(0.536J_1Pl+1.25J_2shl^2)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：P——1 根车轴上的载荷，t，即为车辆的总重量除以车轴的数量；当重量不平均时，P 应为最大的车轴轴载荷；

h——甲板的计算压头，m，应符合本章 2.8.1.1 的规定，但 h 不必大于 2.5m；

s ——骨材间距，m；

l ——骨材跨距，m；

K ——材料系数；

J_1、J_2——系数，按表 2.21.2.2 查得。

(3) 甲板横梁或纵骨除满足上述要求外，还应按下述要求进行强度校核：假定横梁或纵骨二端刚性固定，梁上仅承受车轮的集中负荷，许用弯曲应力为 $104/K$ N/mm^2。

2.21.2.3 甲板强横梁或纵桁的剖面模数应符合下列要求：

(1) 当甲板强横梁或纵桁仅承受均布载荷时，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=4.75bhl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：b ——强横梁或纵桁间距，m；

l ——强横梁或纵桁跨距，m；

h ——甲板的计算压头，m，应符合本章 2.8.1.1 的规定；

K ——材料系数。

(2) 当甲板强横梁或纵桁承受集中载荷时不管其是否同时承受均布载荷，对其剖面模数均应由计算予以确定。计算时可认为强横梁或纵桁的两端为刚性固定，其许用弯曲应力为 $118/K$ N/mm^2。

2.21.3 舱口盖

2.21.3.1 当在舱口盖上装载车辆或使用车辆装卸货物时，舱口盖板的厚度应满足本节 2.21.2.1 的规定。

2.21.3.2　当在舱口盖上装载车辆或使用车辆装卸货物时，舱口盖的扶强材剖面模数 W 应不小于下式计算所得之值：

$$W=(J_3Pl+1.67J_4shl^2)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：P——1 根车轴上的载荷，t，见本节 2.21.2.2；

h——舱口盖上的计算压头，m，见本章 2.20.2；

s——扶强材间距，m；

l——扶强材跨距，m；

K——材料系数；

J_3、J_4——系数，按表 2.21.3.2 查得。

系数 J_3、J_4　　**表 2.21.3.2**

J	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
J_3	11.96	10.69	9.58	8.46	7.46	6.51	5.55	4.23	2.38
J_4	2.32	1.89	1.55	1.28	1.07	0.91	0.73	0.36	0.11

注：表 J=轮距/扶强材跨距，轮距为同一轴上两端的最外侧两轮之间的距离。

第 22 节　重货加强

2.22.1　一般要求

2.22.1.1　本节规定适用具有重货加强的船舶。

2.22.1.2　对于装载率 γ（见第 1 章 1.1.2.15）不大于 0.833m³/t 的船舶（承载有木质支撑钢卷时除外），应满足本节要求。

2.22.1.3　当货舱内底板装载大件货物或承受类似集中载荷作用时，加强要求应特殊考虑。

2.22.2　结构要求

2.22.2.1　货舱区域的强力甲板和船底骨架均应为纵骨架式，并应在货舱区域设置双层底。

2.22.3　船底骨架的加强

2.22.3.1　实肋板间距一般应不大于 2.5m，其厚度应不小于本章 2.6.11.2 的要求。

2.22.3.2　船底桁材间距一般应不大于 3.6m，旁桁材的厚度应不小于本章 2.6.10.2 的要求。

2.22.3.3　水密或油密肋板的厚度应符合本章 2.6.11.2 的要求。

2.22.3.4　内底板的厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t=(0.04L+5s+1.1)\sqrt{K}+5 \qquad \text{mm}$$

$$t=4.65s\sqrt{\frac{HK}{\gamma}} \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，计算时取值不必大于 400m；

s——内底纵骨间距，m；

γ——装载率，m³/t，其值应不大于 0.833；

H——在船中部舷侧处，从内底板量至甲板的垂直距离，m；

K——材料系数。

2.22.3.5　内底纵骨剖面模数 W 应不小于按本章 2.6.12.2 要求的船底纵骨剖面模数的 85%，且应不小于按下式计算所得之值：

$$W=\frac{8.5}{\gamma}Hsl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：γ、H、s 同本节 2.22.3.4；

l——内底纵骨跨距，m；

K——材料系数。

2.22.3.6　如在内底纵骨的跨距中点处设有垂直撑柱，且内底纵骨承受均布载荷，则可采用直接计算确定内底纵骨和撑柱的尺寸。

2.22.3.7　对箱形中桁材的设置应符合本章 2.6.3 的要求，但其内底骨材的剖面模数应不小于按本节 2.22.3.5 计算所得之值，其中 *s* 为骨材间距，*l* 为骨材跨距。

第 23 节　液货舱结构温度场及其热应力分析

2.23.1　一般要求

2.23.1.1　本节规定适用于散装运输液化气体船以及在大气压力下载运液货温度大于 80℃的散装运输危险化学品船，油船和沥青船等船舶，且为 CCS《钢质海船入级规范》第 8 篇第 10 章、CCS《散装运输危险液体化学品船舶构造与设备规范》第 A4 章和 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇第 A4 章，以及 CCS 有关规范中要求进行液货舱温度应力计算的具体规定。

2.23.1.2　未经批准，不得采用以下两种装载模式：

(1)　在相邻液货舱或液货舱区域同时装载不同温度和自然状态的液货；

(2)　在液货舱及相邻的压载水舱内同时装载较高(低)温度的液货和压载水。

2.23.1.3　本节规定中，对于液货舱温度应力计算包含前后执行的两个分析流程：第 1 步，对于给定的液货热/冷源温度和外界环境温度，通过传热分析求出液货舱及其相关结构的空间温度场分布；第 2 步，将求出的温度场分布作为输入条件，进行热力学分析，求出温度场中任一结构由于温差引起的热膨胀温度应力。

2.23.1.4　本节规定中的传热计算基于三维空间定常稳态传热假定，且材料参数和边界条件为不随温度变化的线性热传导分析方法，并在计算中仅考虑结构和绝缘的传导作用效应。

2.23.1.5　本节规定中的热力学计算基于“场序热—结构耦合(sequentially coupled problem)”假定，即计及温度场变化对结构机械场产生的影响，但不考虑后者变化对前者的影响。另外，计算中不考虑结构的高温蠕变效应。

2.23.1.6　在计算中，假定船体各个构件之间以传导方式进行热传递，空气仅以自然对流方式与所接触的船体构件进行对流换热。

2.23.1.7　传热计算和热应力分析应使用公认的有限元热分析程序和有限元结构分析程序进行求解。

2.23.1.8　如使用不同于本规范的其他假定或计算方法，应经认可。

2.23.2　图纸资料

2.23.2.1　提交的计算资料除符合有关文件对结构有限元直接计算送审的一般要求之外，还应提交传热计算和热应力分析及其相关的图纸资料文件如下：

(1)　绝缘层布置图及连接详图；

(2)　绝缘层热力学参数(导热系数等)；

(3)　热平衡计算分析报告，应包含以下内容：

a. 液货载运设计最高温度(附加标志所标温度)；

b. 内舷侧、内底和甲板的钢板外表面温度设计目标值(如有时)；

c. 拟驶航线上的最低/最高环境温度(大气和水温)等；

d. 所考虑的空间温度场分布。

(4)　热应力计算报告：基于(3)得出的温度场分布，且按本节要求进行的热应力计算，包括热应力与船舶相应海况及装载工况组合下的合成应力校核。

2.23.3　分析模型

2.23.3.1　模型范围：对整体液货舱，按本篇第 5 章附录 1 的规定。必要时(温度梯度较

大)，应考虑对最前一个液货舱的前端区域和最后一个液货舱的后端区域进行建模分析。对独立液货舱，至少应取整个液货舱结构。如需考虑温度对液货舱支承结构乃至对船体的影响，见 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇附录 1 的有关规定要求。对于热传导分析，模型之中应包含模型范围内所有参与作用的热绝缘材料和结构，但可忽略不锈钢内胆；对于热应力分析，模型仅为结构模型。

2.23.3.2　结构单元：单元类型和网格划分等建模原则要求按本篇第 1 章第 5 节的规定。

2.23.3.3　绝缘单元：对于岩棉保温隔热层的绝缘单元类型，一般取实体单元，厚度取绝缘层厚度(不包括不锈钢内胆)，其余建模原则，如单元选取与网格划分等与结构类似，但在某些结构(绝缘)复杂的交汇处，如纵、横槽形舱壁与顶凳相交部位，可酌情简化。

2.23.3.4　传热分析的边界条件：

(1)　对于确定低温下结构材料级别要求钢级的传热分析，按以下要求：

a. 适用于 CCS《散装危险化学品船舶构造与设备规范》规定需进行温度应力计算的散装危险化学品船，外界大气温度和水温的温度边界条件按 CCS《散装危险化学品船舶构造与设备规范》第 A4 章取用。对于适用于 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》规定需进行温度应力计算的散装液化气体船，外界大气温度和水温的温度边界条件按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇第 A4 章取用；

b. 上述 a 以外的船舶，外界大气温度和水温的温度边界条件为：

位于吃水线以下部分——定义的表面温度为水中的最低温度，如拟驶航线可能结冰，则应取 0℃；

位于吃水线以上部分——定义的表面温度为拟驶航线中的大气环境可能达到的最低温度，如-20℃等；

(2)　对于计算最大温度应力的传热分析，应按液货温度与营运航线上外界环境温度的最大温差值作为温度载荷输入条件。

(3)　对液货舱绝缘层或裸露的结构壳板直接接触液货的一面——定义的表面温度为液货载运时所达稳定最高温度；

(4)　对于双层底和双舷侧之间的空间——该空间的环境温度可直接取值为略高于外界温度，并在内舷侧壳板和内底板的外侧表面(背向液货一面)定义上述空气与钢板的对流传热设定(假定空气的热传导非常小)，也可将该空间划为空气单元的三维有限元模型，且一并计入传热有限元模型。在实施传热计算中，按 2.23.1.6 的假定，不考虑空气的热传导。若对液货舱周界的最高温度指标有特殊要求时，按要求指定的表面温度进行定义；

(5)　对独立液货舱结构外表面的温度定义，按以上适用的规定。

(6)　半载工况下液货舱内的气体温度可假定为液货温度，并采用气体对流换热边界条件模拟气体对结构的作用。

2.23.3.5　热力学分析中，对整体液货舱模型的结构边界条件，按本篇第 5 章附录 1 的规定。对独立液货舱，模型的结构边界条件取与温度载荷对应的载荷工况的边界条件。此外，上述模型的结构边界中，对舱段模型的某一端面（如端面 B），应放开在船长方向线位移 δ_x 的约束。

2.23.4　温度计算及载荷工况

2.23.4.1　应使用从传热分析中得到的三维空间温度场分布值作为热力学计算的温度载荷。本规范所规定的液货船，对于独立液货舱，应计算满载状态下的温度载荷；对于整体液货舱，则装载工况按图 2.23.4.1，且按以下规定取用：

(a)——仅考虑中垂模式；

(b)、(c)——分别考虑中垂和中拱。

且对于(a)、(b)、(c)，均需考虑上述模式下的满载和半载状态，半载状态是指液货装载高度为液舱高度的一半。

如装载手册中规定的或实际营运中的装载工况劣于上述计算工况时，还应包括按此装载模式计算得出的温度载荷。对于其他船舶类型的液货舱，则按适用规范的规定要求计算相应装载工况下的温度载荷。

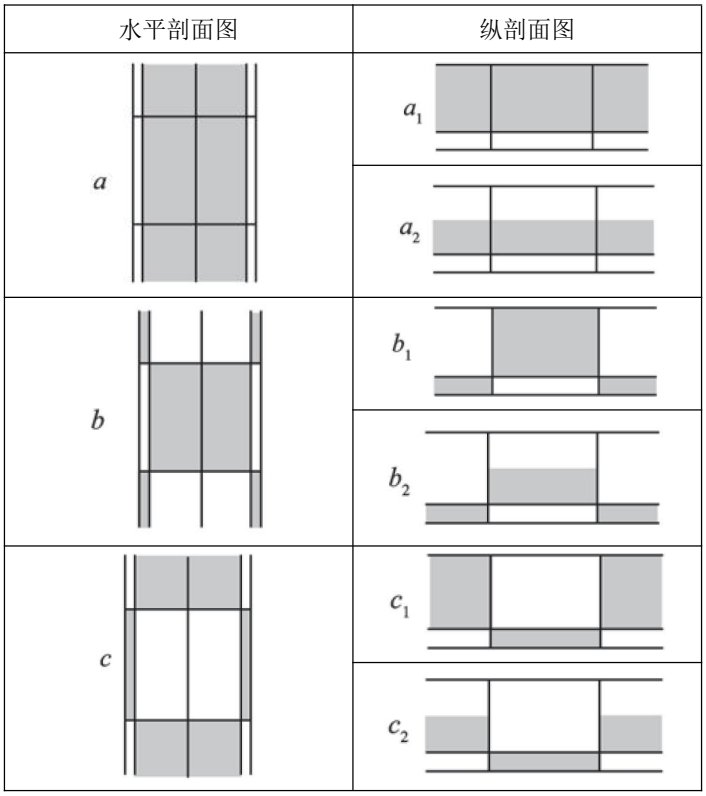


图 2.23.4.1

2.23.4.2　对于上述所计算的温度载荷，施加到与此相应的各个装载工况的模型中。常规载荷工况的计算和加载应分别按照按本篇第 5 章附录 1、CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇第 4 章附录 1 和附录 2，以及其他有关文件中的适用规定或常规作法进行。

2.23.4.3　若仅温度载荷作用引起的热应力中的纵向拉、压应力小于 $42/K$ N/mm^2(K 为材料系数)。经同意，在计算模型两端可不施加船体梁总纵弯矩。

2.23.4.4　钢材的热传导系数与线膨胀系数，以及空气的对流换热系数由设计方提供。对于沥青船，初步设计时可参考如下：

碳钢的热传导系数：60.6w/(m ·K) ——用于传热计算(温度分析)

碳钢的线膨胀系数：11×10^{-6}(1/K) ——用于热应力计算(结构分析)

空气的对流换热系数：11.6w/(m^2 ·K) ——用于传热计算(温度分析)。若有限元模型的长度单位用 mm，该值取用时应乘以 10^{-6}。

对绝缘材料，热传导系数由设计方提供。

2.23.5　强度衡准

2.23.5.1　对整体液货舱模型，按本篇第 5 章附录 1 的规定；对独立液货舱模型的船体部分，按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇附录 1 和附录 2；对石油沥青船的独立液货舱的构造材料，按 CCS《钢质海船入级规范》第 8 篇第 10 章第 2 节。

2.23.5.2　如波浪载荷基于动态载荷法直接计算得出，则按 2.23.5.1 取用的许用应力可乘以 1.1 倍，最小屈曲安全因子可乘以 0.9 倍。

2.23.5.3　对于未考虑船体梁总纵弯矩的有限元模型，其许用应力应在本篇第 5 章附录 1 的基础上作如下调整，其余规定不变：

对所有板材　　$[\sigma_e]=175/K$

对纵向板材　　$[\sigma_l]=110/K$

对纵桁　　$[\tau]=83/K$

对横向构件(包括肋板、横舱壁)　　$[\tau]=93/K$

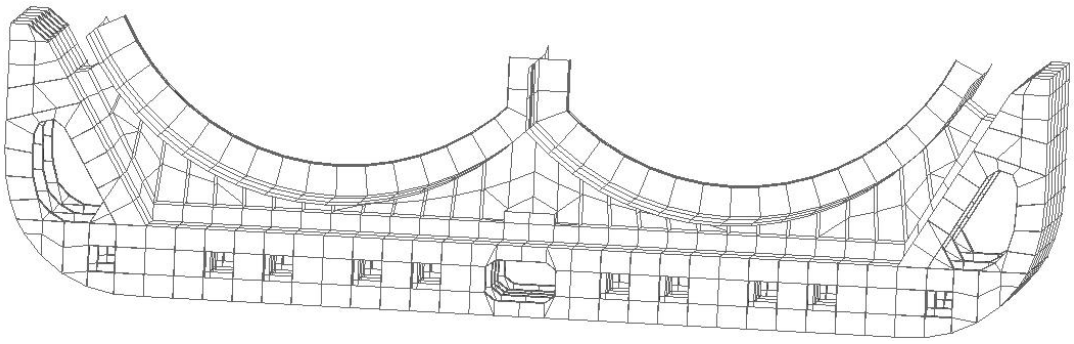
式中：K——材料系数。

2.23.6　内胆或薄膜

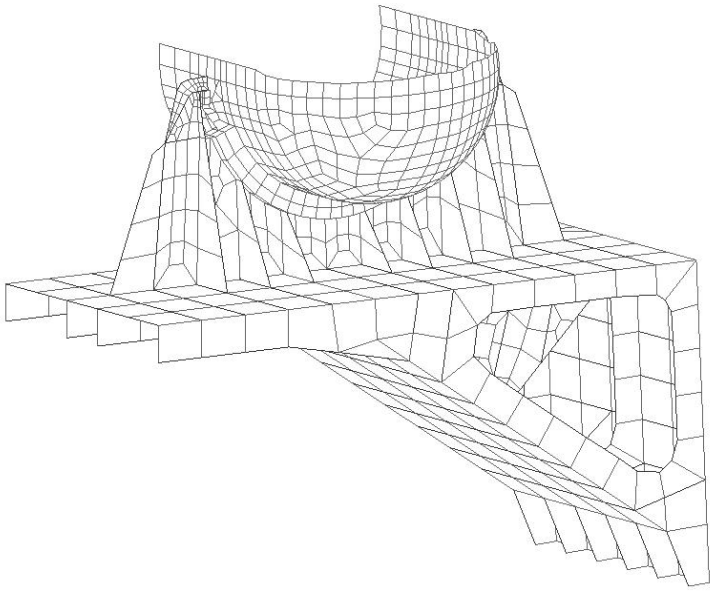
2.23.6.1　对整体液货舱模型，应考虑采用合适的弹性接头和可作微移的铆固装置消除或减弱由于内胆或薄膜热胀冷缩引起的自身内应力作用与变形，且应确保内胆或薄膜的热应力值不超过其许用应力值，且其变形不导致对绝缘层功能的损害。

2.23.7　独立液货舱支撑结构温度场分析

2.23.7.1　温度场分析的有限元模型应包括支撑结构及与其相连的船体结构和独立液货舱结构。



（1）独立液货舱支撑结构温度场分析有限元模型



（2）甲板罐支撑结构温度场分析有限元模型

图 2.23.7.1　独立液货舱支撑结构有限元模型

2.23.7.2　结构有限元模型的单元类型和网格尺度应满足本规范第 1 章第 5 节的相关要求。

2.23.7.3　层压木结构应采用体单元，且一般采用 6 面体单元。

2.23.7.4　模型纵向范围应包括支撑结构前后各 1 个强框间距，横向范围取船宽（对于甲板罐，可取支撑结构全宽），垂向范围取自船底至支撑结构顶部（对于甲板罐，取甲板结构至支撑结构顶部）。

2.23.7.5　与支撑结构连接的船体结构按本节 2.23.3.4 设置传热分析边界条件，与支撑结构相连的独立液货舱设置为液货的温度，暴露在空气中的支撑结构设置为对流换热边界条

件，见图 2.23.7.5。

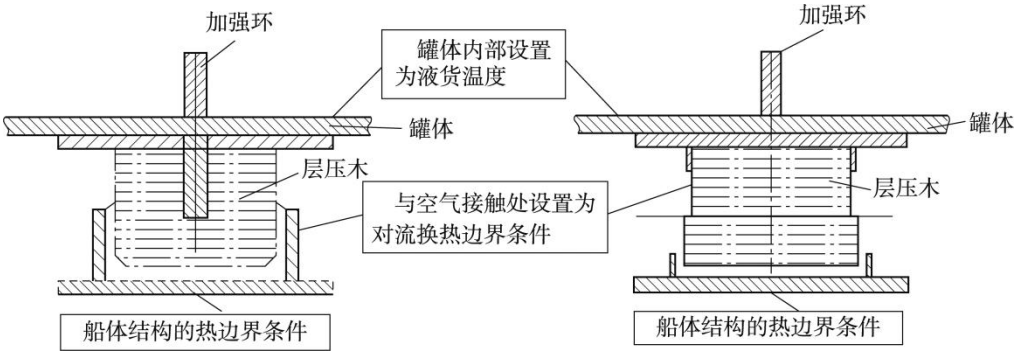


图 2. 23. 7. 5　支撑结构温度场分析的边界条件示意图

2.23.7.6　模型的材料属性和空气对流系数见本节 2.23.4.4 的相关要求。

2.23.7.7　温度场分析时应至少包括 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 4 章所规定的外界环境温度工况。

第 24 节　承载有木质支撑钢卷的结构加强

2.24.1　一般要求

2.24.1.1　拟载钢卷的船舶，在不小于与底边舱斜板或内壳板接触的上层钢卷顶的高度范围内，其内底板、舭部底边舱斜板和内壳板的厚度，及其扶强材的剖面模数和剪切面积应符合本节的要求。

2.24.1.2　此规定基于将图 2.24.1.2 所示方式假定为置于垫料上钢卷的标准系固方式。

2.24.1.3　假定所有的钢卷具有相同的特性。

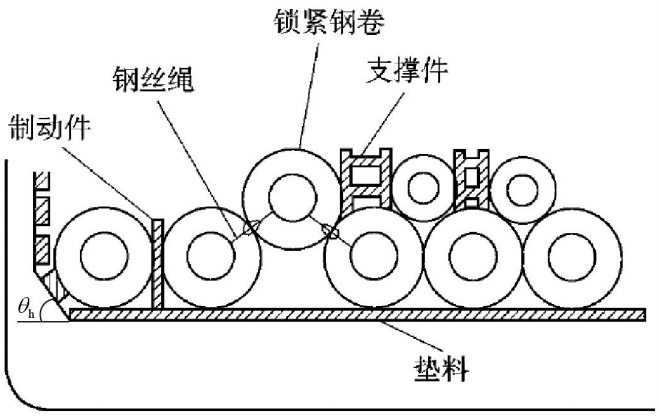


图 2. 24. 1. 2　承载钢卷的内底

2.24.2　加速度

2.24.2.1　为了计算加速度，计算点横向和垂向位置采用如下坐标。

$$y_{G-SC}=\begin{cases}B_h/4 & \text{左舷}\\ -B_h/4 & \text{右舷}\end{cases}$$

$$z_{G-SC}=h_{DB}+\left\{1+\left(n_1-1\right)\frac{\sqrt{3}}{2}\right\}\frac{d_{SC}}{2}$$

式中：

B_h ——货舱中间位于底边舱斜板与舷侧外板或内壳板相连处的货舱宽度，m；

d_{SC} ——钢卷直径，m；

h_{DB} ——双层底高度，m；

垂向加速度a_v，m/s^2，应根据本篇第 1 章第 5 节 1.5.2 定义的公式计算，由横摇产生的切向加速度a_R，m/s^2，应根据下式计算：

$$a_R = \varphi_m \left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 \sqrt{y_{G-SC}{}^2 + R^2}$$

式中，最大横摇角φ_m、横摇周期T_R见本规范第 1 篇第 1 章第 5 节 1.5.2 中规定的公式；

$$R = z_{G-SC} - \min\left(\frac{D}{4} + \frac{d}{2}, \frac{D}{2}\right)$$

d ——吃水，m。

2.24.3 **内底板**

2.24.3.1 纵骨架式内底板的板材厚度应不小于按下式求得的大值：

$$t = K_1 \sqrt{\frac{\left(g + 0.5a_v\right)F_{SC}}{\lambda_p R_{eH}}} + t_c \qquad \text{mm}$$

式中：K_1——系数，取为：

$$K_1 = \sqrt{\frac{1.7slK_2 - 0.73s^2K_2^2 - \left(l - l'\right)^2}{2l'\left(2s + 2lK_2\right)}}$$

t_c——腐蚀增量，mm，一般取 2.5mm，如货舱设计为用抓斗装/卸货时，t_c应取 5mm。

a_v ——垂向加速度，m/s^2，应根据本篇第 1 章第 5 节 1.5.2 定义的公式计算；

g——重力加速度，$g = 9.81\,\text{m/s}^2$；

F_{SC}——钢卷的等效质量，kg，取为：

$$F_{SC} = K_S \frac{W_{SC} n_1 n_2}{n_3}$$

λ_p——板的许用弯曲应力系数，一般取 0.8，当计算构件对船体梁强度不起作用时取 0.9；

l ——沿弦长量取的基本板格的长边长度，m；

s ——沿l跨距中点处弦长量取的基本板格的短边长度，m；

K_S——系数，取为：

K_s=1.4，当钢卷排成一层，以一个钢卷锁紧时

K_s=1.0，在其他情况下

W_{SC}——单个钢卷的质量，kg；

R_{eH}——材料的最小屈服应力，N/mm^2；

n_1 ——钢卷的层数；

n_2 ——内底每一基本板格的载荷点数量（见图 2.24.3.1）。对于与内底实肋板位置相关的钢卷装载，见图 2.24.3.1（2），$n_2 = n_3$；对于与内底实肋板位置无关的钢卷装载，见图 2.24.3.1（1），n_2应与表 2.24.3.1（1）一致，超出表 2.24.3.1（1）的情况，n_2应按下式确定：

$$\frac{n_2 - 1}{n_3} + INT\left(\frac{n_2 - 1}{n_3}\right) \cdot 0.2 < \frac{l}{l_s} \le \frac{n_2}{n_3} + INT\left(\frac{n_2}{n_3}\right) \cdot 0.2$$

其中：$INT(\ )$为取整函数，取数值的整数部分。

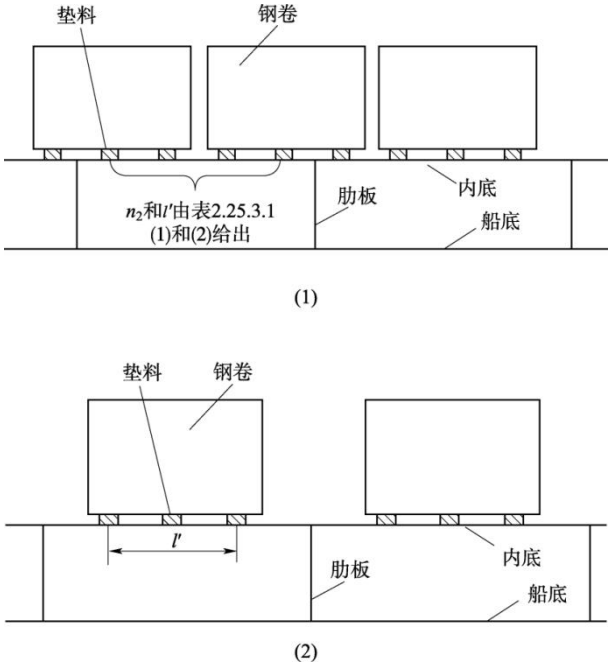


图 2.24.3.1 钢卷装载工况

n_3——单个钢卷的支承垫料数量；

l_s ——钢卷的长度，m；

K_2——系数，取为：

$$K_2 = -\frac{s}{l} + \sqrt{\left(\frac{s}{l}\right)^2 + 1.37\left(\frac{l}{s}\right)^2\left(1-\frac{l'}{l}\right)^2 + 2.33}$$

l'——沿船长方向，内底板每一基本板格的载荷点之间的距离（见图 2.24.3.1）。对于与内底实肋板位置相关的钢卷装载，见图 2.24.3.1（2），l'应取为支撑一排钢卷的最外端垫料之间的距离；对于与内底实肋板位置无关的钢卷装载，见图 2.24.3.1（1），l'应与表 2.24.3.1（2）一致，超出表 2.24.3.1（2）的情况，l'应按下式确定：

$$l' = \left[\frac{n_2-1}{n_3} + 0.2\cdot INT\left(\frac{n_2-1}{n_3}\right)\right] l_s$$

其中：$INT(\ )$为取整函数，取数值的整数部分。

每一基本板格的载荷点数量 n_2 表 **2.24.3.1（1）**

n_2	$n_3=2$	$n_3=3$	$n_3=4$	$n_3=5$
1	$0<\frac{l}{l_s}\le 0.5$	$0<\frac{l}{l_s}\le 0.33$	$0<\frac{l}{l_s}\le 0.25$	$0<\frac{l}{l_s}\le 0.2$
2	$0.5<\frac{l}{l_s}\le 1.2$	$0.33<\frac{l}{l_s}\le 0.67$	$0.25<\frac{l}{l_s}\le 0.5$	$0.2<\frac{l}{l_s}\le 0.4$
3	$1.2<\frac{l}{l_s}\le 1.7$	$0.67<\frac{l}{l_s}\le 1.2$	$0.5<\frac{l}{l_s}\le 0.75$	$0.4<\frac{l}{l_s}\le 0.6$
4	$1.7<\frac{l}{l_s}\le 2.4$	$1.2<\frac{l}{l_s}\le 1.53$	$0.75<\frac{l}{l_s}\le 1.2$	$0.6<\frac{l}{l_s}\le 0.8$

n_2	$n_3=2$	$n_3=3$	$n_3=4$	$n_3=5$
5	$2.4<\frac{l}{l_s}\le 2.9$	$1.53<\frac{l}{l_s}\le 1.87$	$1.2<\frac{l}{l_s}\le 1.45$	$0.8<\frac{l}{l_s}\le 1.2$
6	$2.9<\frac{l}{l_s}\le 3.6$	$1.87<\frac{l}{l_s}\le 2.4$	$1.45<\frac{l}{l_s}\le 1.7$	$1.2<\frac{l}{l_s}\le 1.4$
7	$3.6<\frac{l}{l_s}\le 4.1$	$2.4<\frac{l}{l_s}\le 2.73$	$1.7<\frac{l}{l_s}\le 1.95$	$1.4<\frac{l}{l_s}\le 1.6$
8	$4.1<\frac{l}{l_s}\le 4.8$	$2.73<\frac{l}{l_s}\le 3.07$	$1.95<\frac{l}{l_s}\le 2.4$	$1.6<\frac{l}{l_s}\le 1.8$
9	$4.8<\frac{l}{l_s}\le 5.3$	$3.07<\frac{l}{l_s}\le 3.6$	$2.4<\frac{l}{l_s}\le 2.65$	$1.8<\frac{l}{l_s}\le 2.0$
10	$5.3<\frac{l}{l_s}\le 6.0$	$3.6<\frac{l}{l_s}\le 3.93$	$2.65<\frac{l}{l_s}\le 2.9$	$2.0<\frac{l}{l_s}\le 2.4$

沿船长方向内底每一基本板格的载荷点之间的距离　　表 **2.24.3.1**（**2**）

n_2	n_3			
	2	3	4	5
1	垫料的实际宽度			
2	$0.5l_s$	$0.33l_s$	$0.25l_s$	$0.2l_s$
3	$1.2l_s$	$0.67l_s$	$0.50l_s$	$0.4l_s$
4	$1.7l_s$	$1.20l_s$	$0.75l_s$	$0.6l_s$
5	$2.4l_s$	$1.53l_s$	$1.20l_s$	$0.8l_s$
6	$2.9l_s$	$1.87l_s$	$1.45l_s$	$1.2l_s$
7	$3.6l_s$	$2.40l_s$	$1.70l_s$	$1.4l_s$
8	$4.1l_s$	$2.73l_s$	$1.95l_s$	$1.6l_s$
9	$4.8l_s$	$3.07l_s$	$2.40l_s$	$1.8l_s$
10	$5.3l_s$	$3.60l_s$	$2.65l_s$	$2.0l_s$

2.24.4　**底边舱斜板和内壳板**

2.24.4.1　底边舱斜板和内壳板纵骨架式底边舱斜板和内壳的板材厚度应不小于按下式求得的值：

$$t=K_1\sqrt{\frac{a_{hopper}F_{SC}^{'}}{\lambda_p R_{eH}}}+t_c \quad \text{mm}$$

式中：K_1——系数，定义见 2.24.3；

t_c ——腐蚀增量，mm，一般取 2.5mm，如货舱设计为用抓斗装/卸货时，距内底最低点向上 1.5m 范围内的底边舱斜板和内壳板 t_c 取 3.5mm。

R_{eH}——材料的最小屈服应力，N/mm^2；

a_{hopper} ——系数，取为：

$$a_{hopper}=-a_R\sin\left(\tan^{-1}\left|\frac{y_{G-SC}}{R}\right|-\theta_h\right)+g\cos\left(\theta_h-\varphi_m\right)$$

θ_h——内底板与底边舱斜板或内壳板之间的夹角，（°），见图 2.24.1.2；

φ_m——见本篇第 1 章第 5 节 1.5.2 中规定的公式，（°）；

a_R——切向加速度，定义见 2.24.2；

g ——重力加速度，$g=9.81\,\mathrm{m/s^2}$；

$y_{G\text{-}SC}$——重心横向位置，定义见 2.24.2；

R ——系数，定义见 2.24.2；

$F_{SC}^{'}$ ——钢卷的等效质量，kg，取为：

$$F_{SC}^{'}=C_k\cdot\frac{W_{SC}n_2}{n_3}$$

λ_p——板的许用弯曲应力系数，见 2.24.3；

C_k——系数，取为：

$C_k=3.2$，用于钢卷排为两层或两层以上的情况，或钢卷排为一层且锁紧钢卷位于底边舱斜板或内壳板起第二个或第三个的情况；

$C_k=2.0$，在其他情况下。

2.24.5 内底板上的扶强材

2.24.5.1 内底板上的单跨扶强材的剖面模数W和剪切面积A应不小于按下列公式求得之值：

$$W=1.1K_3\frac{\left(g+0.5a_v\right)F_{SC}}{8\lambda_s R_{eH}}\qquad cm^3$$

$$A=\frac{5\left(g+0.5a_v\right)F_{SC}}{0.9\tau_{eH}\sin\phi}\times10^{-3}\qquad cm^2$$

式中：K_3——系数，定义见表 2.24.5.1，当n_2大于 10 时，K_3取$2l_e/3$；

l_e——扶强材的有效跨距，m，见本篇第 1 章第 2 节 1.2.3；

a_v ——垂向加速度，$\mathrm{m/s^2}$，应根据本篇第 1 章第 5 节 1.5.2 定义的公式计算；

g ——重力加速度，$g=9.81\,\mathrm{m/s^2}$；

F_{SC}——钢卷的等效质量，kg，定义见 2.24.3；

R_{eH}——材料的最小屈服应力，N/mm^2；

λ_s——扶强材的许用弯曲应力系数，取为 0.9；

τ_{eH}——材料的剪切屈服应力，$\mathrm{N/mm^2}$，取为：

$$\tau_{eH}=\frac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$$

ϕ ——扶强材腹板与外板的夹角，（°），在扶强材跨距中点量取。

系数 K_3 **表 2.24.5.1**

n_2	1	2	3	4	6	7	8	9	10
K_3	l_e	$l_e-\frac{l'^2}{l_e}$	$l_e-\frac{2l'^2}{3l_e}$	$l_e-\frac{5l'^2}{9l_e}$	$l_e-\frac{7l'^2}{15l_e}$	$l_e-\frac{4l'^2}{9l_e}$	$l_e-\frac{3l'^2}{7l_e}$	$l_e-\frac{5l'^2}{12l_e}$	$l_e-\frac{11l'^2}{27l_e}$

2.24.6 底边舱斜板或内壳上的扶强材

2.24.6.1 底边舱斜板或内壳上单跨扶强材的剖面模数W和剪切面积A应不小于按下列公式求得之值：

$$W = 1.1K_3 \frac{a_{hopper} F'_{SC}}{8\lambda_s R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

$$A = \frac{5a_{hopper} F'_{SC}}{0.9\tau_{eH} \sin\phi} \times 10^{-3} \quad \text{cm}^2$$

式中：K_3——系数，定义见表 2.24.5.1，当n_2大于 10 时，K_3取$2l_e/3$；

l_e——扶强材的有效跨距，m，见本篇第 1 章第 2 节 1.2.3；

R_{eH}——材料的最小屈服应力，N/mm^2；

a_{hopper}——系数，定义见 2.24.4.1;

τ_{eH}——材料的剪切屈服应力，N/mm^2，见 2.24.5.1；

λ_s——扶强材的许用弯曲应力系数，见 2.24.5.1；

F'_{SC}——钢卷的等效质量，kg，定义见 2.24.4；

ϕ——夹角，（°），定义见 2.24.5。

附录1　装 载 仪

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本附录适用于按本章2.2.8要求配备的船上电子计算机系统组成的装载仪。

1.2　装载仪的检验

1.2.1　装载仪的检验包括硬件检验、软件认可、实船安装检验、建造后检验。装载仪检验的实施步骤见图1.2.1。

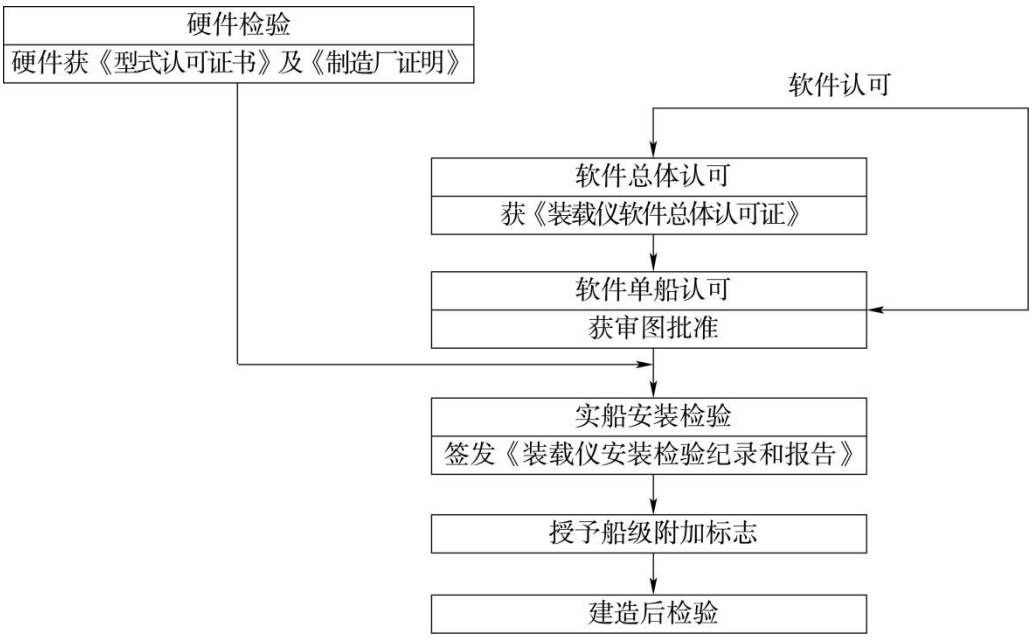


图1.2.1　装载仪检验的实施步骤

1.2.2　软件认可可以采用以下两种方式：

(1)　软件总体认可后再进行针对特定船的软件单船认可；

(2)　对一特定船直接进行软件单船认可。

1.2.3　装载仪在船上的配备可采用以下两种形式：

(1)　船上配备单台装载仪；

(2)　船上配备两套相同的装载仪，即主用机加备用机的形式。

2　硬件检验

2.1　一般要求

2.1.1　装载仪硬件检验应按CCS《钢质海船入级规范》第1篇第3章以及本节规定进行产品检验，一般包括图纸资料审查、型式试验。

2.1.2　装载仪硬件一般由计算机及必要的外围设备组成，如打印机与计算机分开而成为单独提供的设备，可不对打印机进行型式试验。

2.1.3　如船上装有两台可用的装载仪，可免除型式认可证书的要求，但应进行安装试验。

2.2　图纸资料

2.2.1　申请硬件检验时下述图纸资料应提交批准：

(1)　硬件及外围设备的技术条件；

(2) 装载仪的固定及安装图；
(3) 型式试验大纲。

2.3 型式试验

2.3.1 型式试验，应在授权的验证试验机构内进行试验，一般应有验船师在场。

2.3.2 型式试验项目

(1) 外观检查；
(2) 性能试验；
(3) 电源波动试验；
(4) 干热试验；
(5) 湿热试验；
(6) 振动试验；
(7) 倾斜和摇摆试验；
(8) 外壳防护试验；
(9) 低温试验；
(10) 电磁兼容性试验。

2.3.3 如装载仪仅用于计算目的，不涉及输入外部信号及输出控制信号，且装载仪硬件安装在室内空调环境中，可适当减少型式试验项目。

2.3.4 如采用主用机加备用机的形式，其硬件可不进行型式试验。

2.3.5 型式试验方法，可参照CCS《船舶与海上设施用电气电子设备型式试验指南》或接受的标准的有关要求。

3 软件的功能要求

3.1 一般要求

3.1.1 装载仪的功能应至少包括能迅速、方便地计算和显示其所安装的船舶任一装载或空载状态下船体指定部位的静水弯矩和静水剪力。适用时，因货物装载不均匀而产生的静水扭矩，并显示其最大许用值。

3.1.2 不接受单点(即全船只有一个校核点)装载仪。

3.1.3 装载仪不可取代已批准或确认的完工装载手册或稳性资料(以下简称完工装载手册)，其计算结果仅适用于认可所针对的船舶。

3.1.4 对某艘船舶而言，总强度方面的要求是强制的。但如所配备的装载仪还具有计算稳性的功能时，无论是强制的或非强制的要求，稳性计算软件应能计算所有适用于该船应的稳性要求(包括完整稳性、谷物稳性和破损稳性)以及包含相应的稳性资料，并应经认可。

3.1.5 建议软件具备用户实时帮助功能，即软件系统可对输入、输出、计算和打印提供实时帮助。

3.1.6 软件应能确保普通用户无法修改已输入的船舶几何特征，空船重量及重心、舱容表、许用值曲线等实船数据。

3.1.7 软件应能确保用户无法修改已输入的应用程序。

3.1.8 软件应尽可能减少明显的或不合逻辑的输入错误，如输入值超过实际最大舱容或舱容为负值时，软件应能提醒用户。

3.1.9 软件应能清楚地判断装载状况是否满足要求，即对某一装载工况，进行计算。当计算结果超过许用值时，应能以明显方式，如突出显示、特殊标志或兼有听觉和视觉报警等，在屏幕上显示或打印输出提示用户。

3.1.10 软件应设有口令，当输入非法口令时，计算机应拒绝工作，并报警提示用户。

3.1.11 软件应至少能计算任意装载工况下的排水量及其重心，完成总强度(和稳性，如适用时)计算及衡准，并以屏幕显示及打印输出进行计算和保存计算结果的日期和时间。屏幕显示及打印输出的包括首、尾吃水在内的全部输入数据及计算结果应使用明确的、一致的计量单位，易于和批准的完工装载手册作比较，以避免可能产生的混乱与误解，每页上均应能以明显方式显示软件标识及版本号。

3.1.12 软件界面应对用户充分友好，用户操作失误时能报警提示用户，并尽可能避免

因用户操作失误引起的数据丢失或死机现象。

3.2 总强度

3.2.1 对总强度的软件功能要求可见本章2.2.8。

3.3 完整稳性

3.3.1 软件应采用直接计算方法校核完整稳性，满足下列要求：

(1) 软件应能计算并显示重心高度及初稳性高度，并对它们进行自由液面修正，并在适用时与许用值进行比较，如超出许用值，应能自动报警。

(2) 软件至少应能计算并显示 *GZ* 曲线，并对其进行自由液面修正。

(3) 软件应能计算任意装载工况下的完整稳性，并按规定进行完整稳性衡准，其衡准方法应与完工装载手册保持一致，如选用其他衡准方法应在送审时加以说明，并经审图单位同意。如发现超出许用衡准值时，软件应能自动报警。

3.3.2 如软件按本节 3.5.2 的规定校核破损稳性，则也可基于同样的方法校核完整稳性。

3.4 散装谷物稳性

3.4.1 软件应满足3.3的有关要求。

3.4.2 软件应输入许用倾侧力矩曲线。

3.4.3 软件应能计算并按规定进行散装谷物稳性衡准，其衡准方法应与完工装载手册保持一致，一般至少能计算实际谷物移动倾侧力矩及许用倾侧力矩，并对两者进行比较，若发现超出许用值，软件应能自动报警。

3.5 破损稳性

3.5.1 如软件采用直接计算方法校核破损稳性，则应满足下列要求：

(1) 软件应说明其计算方法是采用损失浮力法或增加重量法，建议采用前者。

(2) 软件应对 GZ 曲线进行自由液面修正。

(3) 软件应考虑对原装有液体的舱室破损后液体流失进行修正。

(4) 软件应事先定义破损舱室与相关的破损工况以供船员计算时选用，并能计算及显示破损后的 GZ 曲线。

(5) 软件应能计算任意破损工况下的平衡位置与稳性，其内容应包括首、尾吃水及平均吃水、纵倾值、横倾角、平衡水线至进水开口的距离、剩余初稳性高度及剩余稳性等，并按规定进行破损稳性衡准，其衡准方法应与完工装载手册保持一致。如发现超出许用衡准值时，软件应能自动报警。

3.5.2 如软件基于已批准的极限曲线（许用重心高度曲线或初稳性高度曲线）或装载工况来校核破损稳性，则应满足下列要求：

(1) 软件应能计算和显示任意装载工况下的排水量、重心位置、浮态及初稳性高度，并按规定进行自由液面修正，与批准的相应数据进行比较。

(2) 如发现超出许用衡准值（使用极限曲线时）或超出可接受且偏于安全的误差（与装载工况比较时），软件应能自动报警。

3.6 散货船、矿砂船和混装船的附加要求

3.6.1 除上述规定外，散货船、矿砂船和混装船的装载仪还应满足本篇第8章第7节的要求。

4 软件认可

4.1 一般要求

4.1.1 软件认可分软件总体认可及软件单船认可，应包括：

(1) 验证使用的数据符合船舶的当前状况；

(2) 验证和批准测试工况；

(3) 验证软件适合于要求的船舶类型与相应的各项计算。

4.2 软件总体认可要求

4.2.1 装载仪软件总体认可是指对软件的设计及计算程序的认可，即按照申请书中所述的适用范围，选择具有代表性的测试船舶，对该软件的设计方法、计算功能和原理以及软件编写和使用的有关技术文件进行认可。

4.2.2 装载仪软件总体认可具体包括以下内容：

(1) 软件的设计方法、计算功能和原理应与船级/法定要求相符合，同时应满足本附录3中有关要求；

(2) 对于所选择的不同测试船型，按本附录4.6要求选择的典型装载工况计算结果与批准的装载手册或审图软件计算结果相比，应满足本附录4.7规定的精度要求；

(3) 装载仪用户操作手册应满足本附录4.8有关要求。

4.2.3 经总体认可的软件，将签发《装载仪软件总体认可证书》。

4.2.4 在《装载仪软件总体认可证书》上应加注适用范围及限制条件，如适用船型及功能限制等。

4.2.5 《装载仪软件总体认可证书》有效期不超过5年。证书到期时，如经申请方确认该软件的版本未发生变化时，则将予以换发《装载仪软件总体认可证书》。但负责认可的审图单位应根据需要，如用户投诉等，对软件进行不定期地评估。

4.2.6 申请方对软件进行了更改，而未经重新认可时，所签发的《装载仪软件总体认可证书》将不再有效。

4.2.7 经总体认可的装载仪软件，版本升级式或变更后应重新申请认可，送审的图纸资料与已认可的版本相重复的部分可不必送审，但申请方应在申请书上注明。

4.3 软件总体认可实施步骤

4.3.1 装载仪软件总体认可应根据审图有关规定进行。

4.3.2 申请方应填写装载仪软件认可申请书，申请书的有关内容可参见本附录3有关要求。

4.3.3 测试船的选择应能确保覆盖申请书中所要求的所有船型及功能，且：

(1) 对强度计算软件，申请方应选择至少一条测试船的计算结果，测试船可以是提供的样船，也可由申请方自行确定，若为后者，则事先应经审图单位同意；

(2) 对稳性计算软件，测试船的选择应符合本章附录2第6.1款的规定。

4.3.4 申请方应将下列图纸资料提交船舶审图单位。审批后1份退申请方，1份送总部，1份由审图单位存档(若测试船同时申请软件单船认可，则用户操作手册及计算测试报告应各增加1份，以便提交执行检验单位)：

(1) 软件系统说明书(备查)，其内容应包括软件设计方法、计算功能和原理、数据结构及软件流程图，同时应对申请书中所确定的功能项目及该软件准确计算能力等方面，如所使用的数值积分和插值方法等，进行说明；

(2) 装载仪用户操作手册(备查)；

(3) 软件中输入的测试船舶数据(备查)，如船舶主尺度、空船重量分布与重心、邦金曲线、静水力数据、舱容数据以及许用静水剪力，许用静水弯矩和适用时的舱壁剪力修正系数和静水扭矩的许用值，若该软件还具有完整稳性、散装谷物稳性、破损稳性等计算功能，还应提交相应数据；

(4) 装载计算测试报告(批准)，其工况选取应按本附录4.6要求，并经审图部门同意，其内容应包含输入数据及全部输出结果；

(5) 测试船的总布置图、型线图、完工装载手册及要求增加的其他图纸或数据，以供

备查或校核计算用；

(6) 一套包括执行软件和内部测试数据在内的安装软盘。

4.3.5 对上述图纸资料审批完毕后可签发《装载仪的软件认可证书》。

4.4 软件单船认可要求

4.4.1 装载仪软件单船认可是指就某一特定船舶而言，对安装在该船上的装载仪软件进行认可。即对安装在该船上装载仪的软件设计方法、计算功能和原理、输入数据、用户操作手册以及实船测试报告等文件进行认可。

4.4.2 软件单船认可具体包括以下内容：

(1) 软件的设计方法、计算功能和原理应与入级要求相符合，同时应满足本附录3有关要求。

(2) 软件中的所有输入数据应与实船相符，即取自批准或确认的完工文件，同时特别注意空船重量及重心应取自倾斜试验报告。如软件包括计算稳性功能时，输入数据还应符合附录2第6.2款的规定；

(3) 沿船长的计算点及数量应符合规范的要求；

(4) 沿船长的计算点处的许用静水弯矩、许用静水剪力及适用时许用静水扭矩及舱壁剪力修正系数应计算正确，并与完工装载手册保持一致；

(5) 按本附录4.6要求选择的典型装载工况计算结果与完工装载手册或审图软件计算结果相比，应满足本附录4.7规定的精度要求；

(6) 装载仪用户操作手册应满足本附录4.8有关要求。

4.4.3 已取得《装载仪软件总体认可证书》的软件，对证书中适用的船型及功能，申请装载仪单船软件认可时，涉及软件的设计方法及所使用的计算功能和原理部分的内容可不必送审。

4.4.4 尚未取得《装载仪软件总体认可证书》的软件，申请方可直接申请装载仪软件单船认可。

4.5 软件单船认可实施步骤

4.5.1 软件单船认可应根据审图有关规定进行。

4.5.2 申请书的有关内容可参见本附录3有关要求。

4.5.3 申请方应将下列图纸资料提交：

(1) 若软件未获总体认可，应提交本附录4.3.4(1)、(2)、(3)、(4)、(5)及(6)项所规定的适用于具体船舶的内容；

(2) 若软件已获总体认可，应提交本附录4.3.4(2)、(3)、(4)、(5)及(6)项所规定的适用于具体船舶的内容以及《装载仪软件总体认可证书》的复印件。

4.6 测试工况

4.6.1 测试工况应选自完工装载手册。

4.6.2 测试工况至少应包含以下装载工况：

(1) 排水量最小者，如空船工况或轻压载到港工况；

(2) 静水弯矩最大者，如压载或部分装载工况；

(3) 排水量最大者，如满载工况；

(4) 产生静水剪力极大值的任意工况，如隔舱装矿工况等；

(5) 如软件具有计算散装谷物稳性功能时，则测试工况还应包括满舱端部平舱，满舱端部不平舱及部分装载工况；

(6) 如软件具有计算完整稳性及破损稳性功能时，所需的典型工况应符合附录2第6.2款的规定。

4.6.3 测试工况应包括出港及到港工况，并尽可能覆盖所有装载舱室及软件所有功能。

4.6.4 经批准的测试工况应作为输入数据保存，确保用户无法修改。船上还应备有1份经批准的测试工况的复印件。

4.7 许用值与误差控制

4.7.1　软件所选用的所有许用值及沿船长计算点应取自批准的完工文件。

4.7.2　静水剪力及静水弯矩曲线应与完工装载手册对应的曲线趋势保持一致。静水弯矩峰值通常应发生在静水剪力为0处。

4.7.3　静水剪力、静水弯矩、静水扭矩最大值及其沿船长各计算点处的计算值与完工装载手册计算结果相比，误差应控制在表4.7.3范围内。

误差控制　　表4.7.3

	误差 (与批准值相比，%)
静水剪力	≤±5%
静水弯矩	≤±5%
静水扭矩	≤±5%

4.7.4　软件计算稳性时，其计算误差应符合附录2第5款的规定。

4.7.5　审核时如发现装载仪个别点计算值与完工装载手册误差较大，而又无充分证据说明装载仪计算错误时，应用审图软件进行校核，并以审图软件计算结果为准，如发现完工装载手册有原则性错误，应将有关情况通报原完工装载手册审批单位，并建议对原完工装载手册进行修订。

4.8　操作手册

4.8.1　船上应至少保存1份该船装载仪操作手册。

4.8.2　装载仪操作手册应用船上用户使用的语言编写，并与屏幕显示和打印输出以及船上批准的完工装载手册使用的语言相同。若该语言不是英文则还应译成英文。

4.8.3　操作手册应用简洁而易懂的方式编写，推荐使用流程框图来解释操作过程。

4.8.4　操作手册应包括下述内容：

(1)　软件概况及其版本号；

(2)　《装载仪软件总体认可证书》复印件(适用时)；

(3)　运行软件所需的硬件说明以及软件安装的指南；

(4)　菜单与对话显示的软件运行步骤，运行软件可能遇到的错误和警示以及在此情况下的下一步操作说明；

(5)　空船重量和重心坐标；

(6)　装载计算测试工况的载重量说明；

(7)　许用静水剪力和静水弯矩图表及适用时的许用货物扭矩；

(8)　剪力修正系数(适用时)；

(9)　通过算例，表明操作程序；

(10)　输入与输出的数据以及屏幕输出格式表示的计算结果，并以必要的文字加以说明；

(11)　功能键的说明。

5　实船安装检验

5.1　一般要求

5.1.1　船东或委托方应向船舶停靠港的检验单位提交申请。

5.1.2　船员可通过学习或培训等方法，掌握本船装载仪的操作与计算，安装检验应由该船船员来操作。

5.1.3　装载仪上船安装后应尽早进行实船安装检验，以验证装载仪能满意地运行及计算、校核强度与稳性。若此时完工装载手册尚未批准，安装检验可推迟到批准后进行。

5.2　检验与试验

5.2.1　如船上采用主用计算机加备用计算机的方式配备装载仪，应对这两套装载仪分别进行安装检验，并要求两套均合格。

5.2.2　进行实船安装检验应有验船师在场。安装检验一般应包括下列项目：

(1)　核查硬件的证书；

(2) 核查船上是否保存用户操作手册、装载计算测试报告；

(3) 系统安装环境及位置检查：检查系统安装位置、安装方式应符合说明书的要求；

(4) 系统稳定性试验：计算机系统连续运行1h应能正常工作；

(5) 硬件及外围设备自检功能试验：按使用说明书对带有自检功能的硬件和外围设备进行自检；

(6) 电源瞬时中断试验：电源瞬时中断30s后重新启动，系统应满足：

① 系统仍能正常工作；

② 系统的程序和数据不丢失。

(7) 软件保密性试验：输入非合法口令(或人为误操作)计算机系统应拒绝工作；

(8) 软件封闭性试验：普通用户应无法改动应用程序及已输入的船舶几何特征、舱容表、许用值曲线等实船数据；

(9) 系统功能试验：根据批准的装载计算测试报告中的装载工况，由该船船员操作，其计算结果应与批准的装载计算测试报告相同。如软件具有计算稳性功能时，试验还应符合附录2第8款的规定。

5.2.3 安装检验时由装载仪打印出的装载计算测试报告应由现场验船师确认及签署。安装检验合格后，现场验船师签发报告。

5.3 现有船上装载仪的检验

5.3.1 对装有已获其他IACS成员船级社认可的装载仪的船舶，可复核该船级社批准的操作手册、装载计算测试报告和所签发的装载仪硬件和软件有关证书文件，并按本附录5.2.2进行安装检验。

5.3.2 对装有不符合有关规定装载仪的船舶或对装有非IACS成员船级社认可的装载仪的船舶，应重新进行检验。

附录 2　用于船上稳性计算的计算机软件

应用

船上安装的稳性软件应包含所有适用于该船的强制性的法定的完整和破损稳性要求。本附录，对安装于船用计算机上能进行稳性计算的软件进行认可。

第 2 款中规定了主动和被动系统。本附录仅包含被动系统和离线操作模式的主动系统。

1　总则

——稳性计算软件的范围应与批准的稳性资料相一致，并应至少包括确保满足适用稳性要求必需的所有资料和完成所有的计算或校核。

——认可的稳性软件并不替代批准的稳性资料，而是作为经批准的稳性资料的补充，以便于稳性计算。

——输入/输出资料应易于和批准的稳性资料作比较，以避免操作者对批准的稳性资料产生疑惑和可能的误述。

——船上计算机稳性软件应备有操作手册。

——稳性资料显示和打印以及操作手册使用的语言应与船上批准的稳性资料使用的语言相同。可要求将其翻译成中文。

——用于稳性计算的船上计算机软件是船舶专用的，其计算结果仅适用于认可所针对的船舶。

——如果涉及到船舶主要数据或内部布置变动的改建时，则任何原稳性计算软件的单船认可不再有效。该软件应作相应修订并重新认可。

2　计算系统

被动系统要求手工输入数据；

主动系统采用传感器读取以及输入液舱内的货物容量等数据取代手工输入；

第三类系统，即集成系统，基于传感器提供的输入来控制或触发动作，不包含在本附录范围内。

3　稳性软件类型

根据船舶稳性要求，稳性软件可进行四种类型的计算：

类型 1

软件仅计算完整稳性(适用不要求符合破损稳性衡准的船舶)。

类型 2

软件基于极限曲线计算完整稳性并校核破损稳性，或者基于极限曲线校核所有稳性要求（含完整和破损稳性）。

类型 3

软件直接为各装载工况 (适用某些油船等)计算完整稳性和破损稳性，其中破损稳性为基于相应的公约或者规则预编的破损工况。

类型 4

软件直接应用用户定义的破损，计算某个实际装载工况和实际进水情况下的破损稳性，从而为安全返港（SRtP）提供操作信息。

类型 3 和类型 4 稳性软件的破损稳性，应基于船体型线模型，即直接根据完整的三维几何模型进行计算。

4　功能要求

4.1 对各类稳性软件的一般要求

4.1.1　计算程序应显示各种装载工况下的相关参数，以协助船长判断船舶装载是否在批准的极限范围之内。每一确定的装载工况下应显示以下参数：

—— 载重量数据；

—— 空船数据；
—— 纵倾；
—— 吃水标志和首尾垂线处的吃水；
—— 装载工况下的排水量、VCG、LCG 和 TCG(如适用)的概要；
—— 进水角和相应的进水开口（不适用于采用极限曲线对所有稳性要求进行校核的类型 2 软件。但是，如果除极限曲线外还给出了完整稳性衡准，应显示进水角和相应的进水开口）；
—— 稳性衡准的满足情况：所有计算稳性衡准的列表、极限值、计算值和结论(满足或未满足衡准)（不适用于采用极限曲线对所有稳性要求进行校核的类型 2 软件。但是，如果除极限曲线外还给出了完整稳性衡准，应显示极限值、计算值和结论）。

4.1.2 如没有符合任何装载限制，则应分别在屏幕上显示和纸面上打印清晰的警报。

装载限制应包括但不限于下列内容：
—— 纵倾、吃水、液体密度、液舱充装高度、初始横倾；
—— 对类型 2，结合上述参数考虑极限 KG/GM 曲线的使用；
—— 勘划木材载重线时，木材的堆装高度限制。

4.1.3 类型 3 软件应包括按适用规则预定义的船舶两舷的破损工况，以对给定的装载工况进行自动校核。

4.1.4 保存计算的日期和时间应为屏幕显示和纸面打印的一部分。

4.1.5 各纸面打印应含有计算程序，包括版本号的识别。

4.1.6 计量单位应能被清楚识别，并在装载计算使用中保持一致。

4.1.7 对于类型 3 和类型 4 软件，系统应视适用情况并根据稳性软件类型预装整个船体的详细计算机模型，包括附体、所有舱室、破损稳性计算中考虑的液舱和上层建筑相关部分、受风面积、进水点、横贯浸水装置、内部舱室连接和逃生路线等。

4.1.8 对于类型 1 和类型 2 软件，如稳性计算时使用完整的三维模型，对计算机模型的要求应视适用情况并根据稳性软件的类型满足上述 4.1.7 的规定。

4.2 对类型 4 稳性软件的进一步要求

4.2.1 常规（类型 1、2 和 3）和安全返港（类型 4）软件无需完全分开。如果常规软件和安全返港软件没有完全分开，则：
—— 应提供常规软件和类型 4 软件之间的切换功能；
—— 针对两种功能（常规操作和安全返港）的实际完整装载工况应相同；
—— 安全返港模块只需在发生事故时激活；

类型 4（安全返港）软件的认可仅仅是对稳性的认可。

4.2.2 对于满足安全返港的客船，如同时有船用稳性计算机和岸基支持，其软件不必完全相同。

4.2.3 除在批准的稳性资料中已给出更精确的渗透率外，应按下表给出每一内部处所的渗透率。

处所	渗透率			
	默认值	满载	部分装载	空舱
集装箱处所	0.95	0.70	0.80	0.95
干货处所	0.95	0.70	0.80	0.95
滚装处所	0.95	0.90	0.90	0.95
液货	0.95	0.70	0.80	0.95
拟装载消耗液体	0.95	0.95	0.95	0.95
储物处所	0.95	0.60	（0.60）	0.95
机器处所	0.85			
空舱	0.95			
起居处所	0.95			

4.2.4 系统应能够计入适用的力矩，例如风、救生艇降落、货物移动和乘客移动。

4.2.5 系统一般应按照《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇计入风的影响，但是

若事故地点的风压明显不同（与 P=120N/m^2 比较，相当于蒲氏 6 级风，风速约为 13.8m/s 或 27kn），应允许人工输入风速/风压。

4.2.6　系统应能评估开启主要水密门对稳性的影响（例如，对于应校核的破损工况，应考虑破损舱室范围内的任一水密门，并进行附加的破损稳性计算和显示）。

4.2.7　系统应采用最新批准的空船重量和重心资料。

4.2.8　软件的输出内容应能在任一实际破损时向船长提供足够清楚的信息，以确保快速准确地评估船舶稳性、进水对逃生通道的影响、为管理和/或控制船舶稳性而对设备进行的必要控制。

在安全返港软件中输入实际装载工况后，应提供下列输出内容（完整稳性）：

—— 载重量数据；
—— 空船数据；
—— 纵倾；
—— 横倾；
—— 吃水标志和首尾垂线处的吃水；
—— 装载工况下的排水量、VCG、LCG 和 TCG（如适用）的概要；
—— 进水角和相应的进水开口；
—— 自由液面；
—— GM 值；
—— 相应于 0°、5°、10°、15°、20°、25°、30°、40°、50°和 60°等在不小于 60°的横倾范围内的 GZ 值；
—— 相应完整稳性衡准的符合情况：所有计算的完整稳性衡准的列表、极限值、计算值以及评估（满足或未满足衡准）；
—— 《国内航行海船法定检验技术规则》规定的极限 GM/KG 曲线；

当发生事故时，相应于实际装载工况的实际破损情况，应提供下列输出内容（破损稳性）：

—— 纵倾；
—— 横倾；
—— 吃水标志和首尾垂线处的吃水；
—— 累进进水角和相应的累进进水开口；
—— GM 值；
—— 相应于 0°、5°、10°、15°、20°、25°、30°、40°、50°和 60°等在不小于 60°的横倾范围内的 GZ 值；
—— 相应稳性衡准的符合情况：所有计算的稳性衡准的列表、极限值、计算值以及结论（满足或未满足衡准）；
—— 类型 4 软件（安全返港）的残存衡准由主管机关确定；
—— 相关的进水点（非保护和风雨密）及从破损水线至各点的距离；
—— 所有浸水舱室及所考虑的渗透率的列表；
—— 每个浸水舱室的进水量；
—— 逃生路线浸水角；
—— 标明进水后的水线面和破损舱室的船舶侧视图、甲板图以及横剖面图。

5　可接受的误差

根据程序类型和范围，可接受的误差应按 5.1 或 5.2 分别确定。除非认为对偏差有满意的解释，且认为其对于船舶安全没有不利影响，不应接受偏离这些误差。

预编输入数据的示例包括以下内容：

静水力数据：　相应于吃水的排水量、LCB、LCF、VCB、KM_t 和 MCT。

稳性数据：　相应于排水量、稳性极限在合适的横/纵倾角的 KN 或 MS 值。

舱室数据：　舱容、LCG、VCG、TCG 和 FSM/相应于舱内谷物水平面的谷物倾侧力矩。

输出数据的示例包括以下内容：

静水力数据：　相应于吃水以及实际吃水、纵倾的排水量、LCB、LCF、VCB、KM_t

和 MCT。

稳性数据： FSC(自由液面修正)、GZ 值、KG、GM、KG/GM 值，许用谷物倾侧力矩，导出的稳性衡准，如 GZ 曲线下的面积，气象衡准。

舱室数据： 计算的舱容、LCG、VCG、TCG 和 FSM/相应于舱内谷物水平面的谷物倾侧力矩。

按照相同的输入数据采用计算程序与采用独立的程序或批准的稳性资料，其计算结果的计算精度应在 5.1 或 5.2 规定的可接受误差之内。

5.1 仅采用批准的稳性资料作为稳性计算基础的预编数据的程序应在打印输入数据时无误差。

输出数据误差应接近零，但可以接受涉及计算小数圆整或缩减输入数据位数的微小误差。基于和批准的稳性资料中不同的纵倾使用静水力和稳性数据造成的额外误差可经审查后予以接受。

5.2 采用船体形状模型作为稳性计算基础的程序，应允许输出的基本计算数据与批准的稳性资料数据，或与认可的模型求得的数据之间存在误差，可接受的误差应符合表 1。

表 1

船体形状相关量	
排水量	+/- 2%
浮心纵向位置，从 AP 量起	+/- 1%/50cm
浮心垂向位置	+/- 1%/5cm
浮心横向位置	+/-0.5% *B* / 5 cm
飘心纵向位置，从 AP 量起	+/-1%/50cm
每厘米纵倾力矩	+/- 2%
横稳心高度	+/-1%/5cm
纵稳心高度	+/-1%/50cm
稳性交叉曲线	+/- 5cm
舱室相关量	
舱容或载重量	+/- 2%
重心纵向位置，从 AP 量起	+/-1%/50cm
重心垂向位置	+/-1%/5cm
重心横向位置	+/-0.5%*B*/5cm
自由液面力矩	+/-2%
移动力矩	+/-5%
舱内物水平面	+/-2%
纵倾和稳性	
吃水(首吃水、尾吃水、平均吃水)	+/-1%/5cm
GM_t(自由液面修正前后)	+/-1%/5cm
GZ 值	+/-5%/5cm

进水角	+/-2º
平衡角	+/-1º
从 WL 到未受保护的开口和风雨密开口或其他相关的点的距离(如适用)	+/-5%/5cm
稳性力臂曲线下的面积	+/-5%/0.0012m • rad

注：

1. 偏差 （%） = [(基本值 – 申请值)/ 基本值] × 100

式中，“基本值”可取自批准的稳性资料或认可的计算机模型。

2. 当表 1 中的误差有两个值时，可接受的误差取其中大者。

3. 如果对比中使用的各程序的计算方法存在差异，若进行了足够详细的软件检查并表明此类差异在技术上是合理的，则可接受偏差大于表 1 所列的值。

4. 除非认为对差异的解释是令人满意的，且稳性计算清楚地表明偏差不影响船舶符合要求的稳性衡准，否则不应接受偏离这些误差。

6 认可程序

用于稳性计算的船上软件的认可条件

用于稳性计算的船上软件应得到认可，包括：

——验证形式认可(如有时)；

——验证使用数据符合船舶的当前状况(参见 6.2)；

——验证和批准测试工况；

——验证软件适合于要求的船舶类型与稳性计算；

——验证 4.1.2 中的功能要求。

用于稳性计算的船上计算机软件的满意运行情况应通过安装测试予以验证(参见 8)。船上应具备批准的测试工况和计算机/软件操作手册的复印件。

6.1 总体批准(可选)：

收到计算程序的总体批准申请时，可向申请者提供由两组或更多的设计数据构成的测试数据，各组均应包括船舶的船体形状数据、舱室数据、空船特性和载重量数据，数据应尽可能详细，以精确定义船舶及其装载工况。根据递交认可的软件采用的数据形式，可接受的船体形状和舱室数据可以采用曲面坐标的形式为船体形状和舱室限界建模，如：型值表，或者采用预计算列表数据形式，如静水力表、舱容表等。此外，也可基于至少两艘测试船舶进行总体认可。

一般，应对申请认可的两种船型以及各船型的至少一组设计数据进行测试。当仅要求认可一种船型时，应对该船舶类型至少两组不同船体形状的数据进行测试。对基于输入船体形状数据的计算软件，应提供对认可软件适用的三种船舶类型的设计数据组，或者如仅要求认可一种船型，应提供不同船体形状的至少三组数据。由于船体形状、典型布置和货物性质而要求不同的设计数据组的代表船型包括：油船、散货船、集装箱船以及其他干货船和客船。申请者应使用测试数据组对测试船舶运行计算程序。获得的结果(以及程序求得的静水力数据和交叉曲线数据(如合适))应提交，以评估程序的计算精度。应采用相同的数据组进行类似的计算，并与申请者提交的程序计算结果作比较。

6.2 单船认可：

——应验证安装在特定船舶上的计算程序的计算结果以及计算程序使用的实际船舶数据的精确性。

——在接受数据验证的申请后，应同意从船舶批准的稳性资料中选用至少 4 种装载工况，作为测试工况。对于装运散装液体货物的船舶，至少有一种工况应包括部分装载的液舱。对于装运散装谷物的船舶，至少有一种谷物装载工况应包括部分装载的谷物舱室。在测试工况下，各舱室应至少装载一次。测试工况通常应涵盖从最深可预见到的装载工况到轻压载工况的装载吃水范围，并且应包括至少一种出港工况和一种到港工况。

对用于安全返港（SRtP）的类型 4 稳性软件，应至少检查三个破损工况，每一破

损工况对应至少三个批准的稳性资料中的装载工况。软件的输出应与批准的破损稳性手册或者其他独立软件中的相应的装载/破损工况的结果进行对比。

——按照目前备案的图纸和文件，以及船上进一步可能的确认，应验证，申请人提交的下列数据符合船舶的布置和最近批准的空船特性。

——识别计算程序，包括版本号。

——主尺度，静水力特性和船舶外形(如适用)。

——首垂线和尾垂线的位置以及(如合适)导出船舶吃水标志实际位置处的船首和船尾吃水的计算方法。

——从最近批准的倾斜试验或空船重量检验得到的船舶空船重量与重心位置。

——型线图、型值表或对船舶建模必需的其他船体形状数据的合适描述。

——舱室定义，包括肋骨间距和舱容中心以及舱容表(测深/液位表)和自由液面修正(如合适)。

——各装载工况的货物和消耗品分布。

验证不应免除申请者和船东在确保输入船上计算机软件的资料应符合船舶当前情况的责任。

7 操作手册

应提供简单易懂的操作手册，且包含至少以下方面的介绍和说明(如合适)：

——装置

——功能键

——菜单显示

——输入和输出数据

——操作软件所需的最低硬件配置

——测试装载工况的使用

——计算机引导的对话步骤

——警示清单

8 安装测试

为确保最终软件或更新的软件安装后计算机的正确工作，船长应负责在验船师在场的情况下，按照以下方式进行测试计算：

在批准的测试工况下，应计算至少一种装载情况(空船状态除外)。注：实际装载工况结果不适用于检验计算机的正确工作。

通常，测试工况永久储存在计算机内。

操作步骤：

—— 复原到测试装载情况并开始计算；将稳性结果与文件中数据作比较。

—— 改变载重量的某些项目(液货重量和货物重量)至足以改变至少 10%的吃水或排水量。应审核结果，以确保与认可的测试工况的偏差在合理范围内。

—— 修改上述改动的装载工况，以恢复最初的测试工况，并比较结果。确保批准的测试工况的有关输入和输出数据已复制。

—— 此外，也可选择一种或多种测试工况，并且象预定装载一样，将各种选择的测试工况下所有载重量数据输入程序以进行测试计算。应验证，结果与批准的测试工况的复印件中的结果完全一致。

9 定期测试

船长应负责在每次年度检验中通过采用至少一种批准的测试工况来检验船上计算机进行稳性计算的精度。如计算机检验时验船师不在场，则计算机检验得到的测试工况结果的复印件应作为测试合格的文件保留在船上，供验船师验证。

在每次特别检验中，检验所有批准的测试装载工况时应有验船师在场。

测试程序应按照第 8 款开展。

10 其他要求

应提供防止非故意或非授权修改程序和数据的保护。
该程序应监视程序的运行，当程序被不正确地或不正常地使用时应发出警告。
该程序和系统储存的任何数据应予以保护，防止因断电而受损。
应包含有关超越使用限制的错误信息，如舱室溢装或者超过勘划的载重线等。

附录 3　船首底部砰击强度评估方法

1　一般规定

1.1　一般规定

1.1.1　本附录规定了单体船船首底部的砰击强度评估方法。

1.1.2　本方法规定的船首底部结构砰击强度评估是基于 Ochi-Mottor 理论进行砰击压力极值的计算预报，并采用抗塑性破坏方法进行板材和板架结构的砰击强度评估。

1.1.3　砰击压力计算所需的相对运动数据应通过三维线性耐波性运动程序求解给出。

2　砰击压力计算

2.1　计算位置

2.1.1　船首底部砰击压力直接计算纵向范围应与本篇第 2 章 2.15.3 规定的加强范围一致。

2.2　评估工况

2.2.1　对船首底部结构的砰击强度直接计算评估，应根据装载手册确定具有航行状态下最小首吃水的装载工况。

2.3　海浪环境与计算条件

2.3.1　海浪的功率谱密度函数 $S(\omega)$ 采用双参数 P-M 谱，按下式计算：

$$S(\omega)=\frac{124H_S^2}{T_Z^4}\omega^{-5}\exp(-\frac{496}{T_Z^4}\omega^{-4})f_0(\theta)$$

式中：H_S——有义波高，m；

T_Z——平均跨零周期，s；

ω——波浪圆频率，rad/s；

$f_0(\theta)$——波浪扩散函数，按下式计算：

$$f_0(\theta)=\begin{cases}\dfrac{2}{\pi}\cos^2(\theta-\theta_m), & |\theta-\theta_m|<90\\ 0, & \text{其他}\end{cases}$$

其中：θ ——扩展浪向，（°）；

θ_m——主浪向，（°）。

2.3.2　砰击压力计算采用短期海况极值预报，有义波高 H_S 按下式计算：

$$H_S=\begin{cases}8-0.6\left(\dfrac{300-L}{100}\right)^{1.5} & \text{m},\ L<300\text{m}\\ 8+0.6\left(\dfrac{L-300}{100}\right)^{1.5} & \text{m},\ L\geq 300\text{m}\end{cases}$$

平均跨零周期T_Z及计算航行时间t_n按表 2.3.3 选取，中间值可采用线性插值法求得。

海浪条件选取 **表 2.3.2**

有义波高 H_S (m)	6.0	7.0	8.0	9.0
平均跨零周期 T_Z (s)	8.703	9.400	9.990	10.503
计算航行时间 t_n (h)	41	35	35	35

2.3.3 计算航速采用 0.75V，V 的定义见第 1 章 1.1.2.27。

2.3.4 计算航向角取顶浪和顶斜浪工况，浪向角间隔不大于 30 度。

2.3.5 计算波浪频率范围取为 0.2 到 1.8rad/s，步长取 0.05rad/s。

2.3.6 线性横摇阻尼可采用试验或经验公式确定，如无适用，可取为横摇临界阻尼值的 5%。

2.4 砰击压力计算

2.4.1 各横剖面处的砰击压力P_B，kPa，按下式计算：

$$P_B=\frac{1}{2}\rho k_1 C_{ps}\left\{V_0^2-2E_v\ln\left[1-(1-\alpha)^{1/n}\right]\right\}$$

式中：ρ——海水密度，t/m^3，取为 1.025；

k_1——砰击系数，按下式计算：

$$k_1=\exp\left(1.377+2.419a_1-0.873a_3+9.624a_5\right)$$

其中：a_1,a_3,a_5——d_1吃水下的计算横剖面按下式三参数保角变换方程映射到到单位圆的系数：

$$Z_0=U(\zeta+a_1\zeta^{-1}+a_3\zeta^{-3}+a_5\zeta^{-5})$$

d_1——$d/10$，m，d为吃水；

Z_0——剖面坐标;

ζ——圆的坐标;

U——尺度比，$U=\dfrac{d_1}{1-a_1+a_3-a_5}$；

C_{ps}——系数，取为 0.44；

V_0——临界砰击速度，m/s，按下式计算：

$$V_0=\begin{cases}0.0925\sqrt{L}, & \text{对集装箱船、客船和车辆运输船}\\ 0.07\sqrt{L}, & \text{对其他船型}\end{cases}$$

E_v——计算横剖面的垂向船波相对速度方差，由本附录 2.3 谱分析计算结果确定；

α——保证率，取为 0.01；

n——砰击次数，用计算航行时间t_n小时内平均砰击次数N代替，按下式计算：

$$N=3600\frac{t_n}{2\pi}\sqrt{\frac{E_v}{E_r}}\exp\left\{-\left(\frac{T_f^2}{E_r}+\frac{V_0^2}{E_v}\right)\right\}$$

其中：E_r——计算横剖面的垂向船波相对运动方差，由本附录 2.3 谱分析计算结果确定；

T_f——评估工况下计算横剖面的吃水，m。

3　强度评估

3.1　板的砰击强度

3.1.1　板的极限承载压力P_{cp}按下式计算：

$$P_{cp}=\frac{12\mathrm{R}_{eH}t_1^2}{a^2\left[3-\frac{2}{\beta^2}\left(\sqrt{1+3\beta^2}-1\right)\right]}\quad \text{MPa}$$

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2；

t_1——板厚度，mm；

a——板短边长度，mm；

b——板长边长度，mm；

β——板的边长比，$\beta=b/a$。

3.1.2　当板的极限承载压力P_{cp}与砰击压力P_B满足下述关系，则认为板具有足够抗砰击能力：

$$1000\frac{P_{cp}}{P_B}\geqslant 0.75$$

式中：P_B——砰击压力，kPa，见本附录 2.4.1。

3.2 **纵骨的砰击强度**

3.2.1 纵骨的极限承载能力按下式计算：

$$P_{cl}=\frac{16R_{eH}W_T}{al^2} \quad \text{MPa}$$

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm²；

a——纵骨间距，mm；

l——纵骨跨距，mm；

W_T——包括带板的纵骨剖面模数，mm³。

3.2.2 当纵骨的极限承载压力P_{cl}与砰击压力P_B满足下述关系，则认为纵骨具有足够抗砰击能力：

$$1000\frac{P_{cl}}{P_B}\geqslant 0.75$$

式中：P_B——砰击压力，kPa，见本附录 2.4.1。

3.3 **板架的砰击强度**

3.3.1 **有限元**结构模型

（1）模型的纵向范围应包括本附录 2.1.1 规定的计算范围并至少向前后延伸一个强框架距离；横向范围的选取应充分考虑降低边界条件对底部板架结构响应的影响，例如对油船应选取从底边舱在内底的折角处至船中线之间，其他船型类似选取。

（2）模型的单元选取和网格划分应符合本篇第 1 章第 5 节的要求。

（3）应对首部船底加强范围内的所有主要构件进行强度评估。

（4）当主要构件的开孔影响到构件的应力分布或刚度时，应按本篇第 1 章第 5 节的要求处理。

3.3.2 边界条件

模型边界处的肋板和纵桁刚性固定。

3.3.3 计算载荷

根据砰击原理，认为砰击压力是作用在中纵桁处的肋板上，其作用面积为边长S_1的正方形，S_1按下式计算：

$$S_1=\sqrt{1.1C_bLB\times 10^{-3}} \quad \text{m}$$

船首各站处的砰击压力的极限值不出现在同一时刻，所以必须对各站处作用砰击压力分别进行计算，求得底部板架的最大压力，砰击压力在肋板上的分布按下述三种情况确定：

(1) $S_1<S$：

砰击压力仅作用在一块肋板上，见图 3.3.3(1)，单位长度肋板上作用力Q按下式计算：

$$Q=C_DP_BS_1 \quad \text{kN/m}$$

式中：S——肋板间距，m；

P_B——砰击压力，kPa，见本附录 2.4.1；

C_D——动态砰击系数，取为 0.8。

(2) $S < S_1 < 2S$：

砰击压力作用在二块肋板上，见图 3.3.3(2)，单位长度肋板上作用力Q按下式计算：

$$Q = 0.5C_D P_B S_1 \quad \text{kN/m}$$

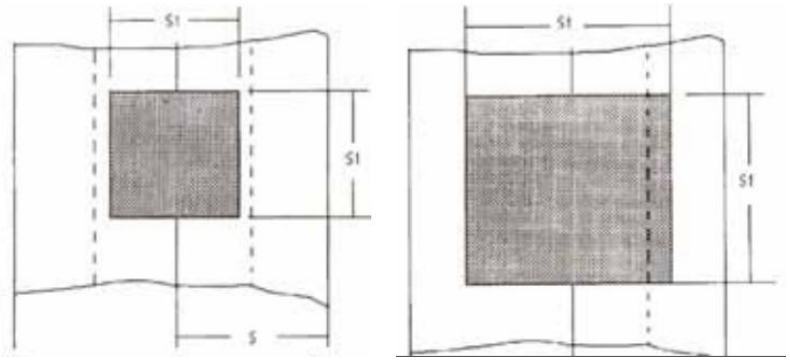
(3) $S_1 > 2S$：

砰击压力作用在三块肋板上，中间肋板单位长度肋板上作用力Q_C按下式计算：

$$Q_C = C_D P_B S \quad \text{kN/m}$$

边肋板单位长度上的作用力Q_S按下式计算

$$Q_S = 0.5C_D P_B (S_1 - S) \quad \text{kN/m}$$



(1) (2)

图 3.3.3

3.3.4 许用应力

板架砰击强度直接计算的许用应力按表 3.3.4 确定。

许用应力 **表 3.3.4**

构件	内底板处正应力 σ（N/mm²）	外底板处正应力 σ（N/mm²）	剪切应力 τ（N/mm²）	相当应力 σ_e（N/mm²）
纵桁	122/*K*	112/*K*	108/*K*	180/*K*
肋板	132/*K*	132/*K*	98/*K*	196/*K*

注：表中*K*为材料系数。

附录 4　船舶结构单元屈曲强度评估

第 1 节　应用与定义

缩写

EPP —— 单元板格，定义见[1.2.3.1]

PSM —— 主要支撑构件

SP —— 加筋板格，定义见[1.2.3.3]

UP —— 非加筋板格，定义见[1.2.3.3]

1.1　应用

1.1.1　一般要求

1.1.1.1　关于船舶强度的相关统一要求

本附录给出了屈曲评估的一般流程（见图 1.1.1.1），且对于舱口盖结构，与第 2 章第 20 节一起联合使用。本附录在下文中，将第 2 章第 20 节称之为相关统一要求。

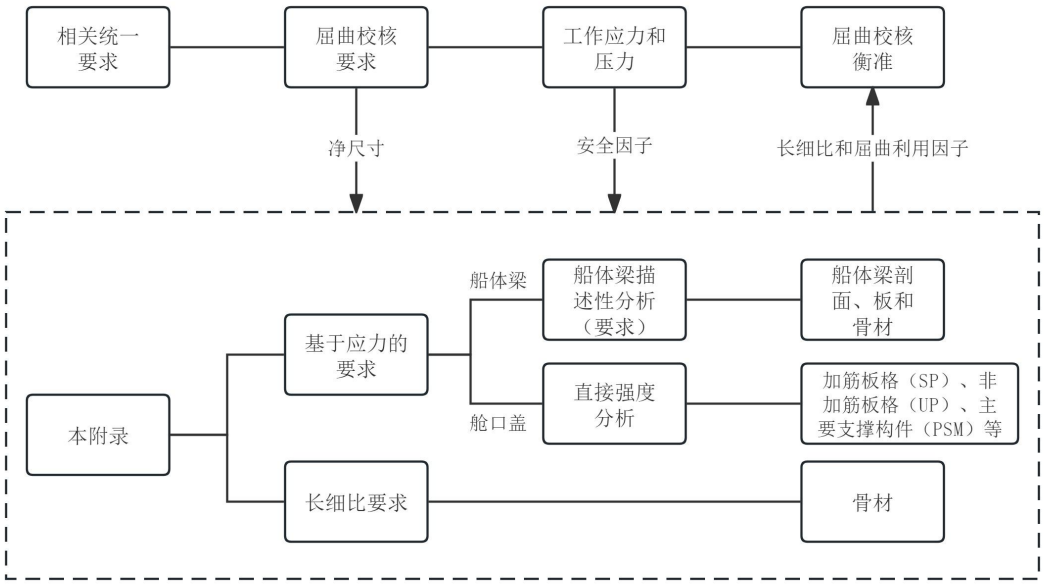


图 1.1.1.1　本附录与相关统一要求联合使用的应用一览图

1.1.2　本附录的应用

1.1.2.1　本附录的章节及应用说明

屈曲校核应按以下进行：

（1） 第 1 节 与屈曲能力有关的一般性定义、许用屈曲利用因子和屈曲校核衡准；

（2） 第 2 节 纵骨和横向骨材的长细比要求[①]；

（3） 第 3 节 承受船体梁应力的板、纵骨和横向骨材、主要支撑构件及其他构件的描述性屈曲要求[②]；

① 本附录第 2 节要求仅适用于舱口盖结构的骨材。

② 本附录第 3 节不作为强制性要求。

（4） 第 4 节 舱口盖结构件（包括板、骨材和主要支撑构件）的直接强度分析（通常采用有限元）的屈曲要求；

（5） 第 5 节 板格、骨材、主要支撑构件和柱结构的屈曲能力确定。

1.1.2.2 本附录的屈曲评估

对于船体梁、舱口盖或其他结构组件，应根据适用的相关统一要求，校核第 2 节中定义的长细比要求和第 3 节或第 4 节中规定的屈曲要求。

1.1.2.3 替代方法

本附录包含了确定板、纵骨、主要支撑构件和柱屈曲能力的一般方法。对于本附录中未涵盖的特殊情况，例如在两个方向上具有加强筋的整个板结构（即同时设有主、次加强筋的加筋板），经 CCS 同意，可使用其他更先进的方法，如有限元分析方法。

1.2 术语和假定

1.2.1 屈曲

1.2.1.1 屈曲强度

屈曲强度或承载力是指结构在面内压应力和/或剪应力以及侧向载荷作用下的强度。考虑[1.2.1.2]中屈曲行为的屈曲强度给出了结构极限能力的下限估计值，或者不遭受较大永久变形时结构所能承受的最大载荷。

对于每个结构构件，其屈曲强度应对应于最不利或最关键的屈曲模式。

1.2.1.2 屈曲行为

屈曲强度评估同时考虑了弹性屈曲和后屈曲行为。后屈曲可根据载荷情况、长细比和结构类型，考虑载荷的内部重新分布。例如，对于板的屈曲评估，通常可以利用其正面的弹性后屈曲效应。

如上所述，对于细长结构，计算所得的屈曲强度通常高于理想弹性屈曲应力（最小特征值）。若接受细长板格的弹性屈曲，则意味着在更高的屈曲利用水平下，可能会出现较大的弹性挠度和平面内刚度降低。

1.2.2 净尺度方法

1.2.2.1 一般要求

除非另有规定，本附录中的所有构件尺寸要求，包括长细比要求，均基于通过从总厚度中扣除全部腐蚀增量 t_c 而得到的净构件尺寸。

1.2.2.2 腐蚀增量

本附录中提及的腐蚀增量 t_c 的定义见相关统一要求。

1.2.2.3 应力计算模型

用于计算屈曲评估的应力计算的结构模型（通常基于净构件尺寸）的相关建模等要求见相关统一要求。

1.2.3 结构理想化

1.2.3.1 单元板格（EPP）

单元板格（EPP） 是骨材和/或主要支撑构件之间的板的非加筋部分。单元板格的长为 a，宽为 b，分别对应于板的最长边和最短边， 如图 1.2.3.1 所示。

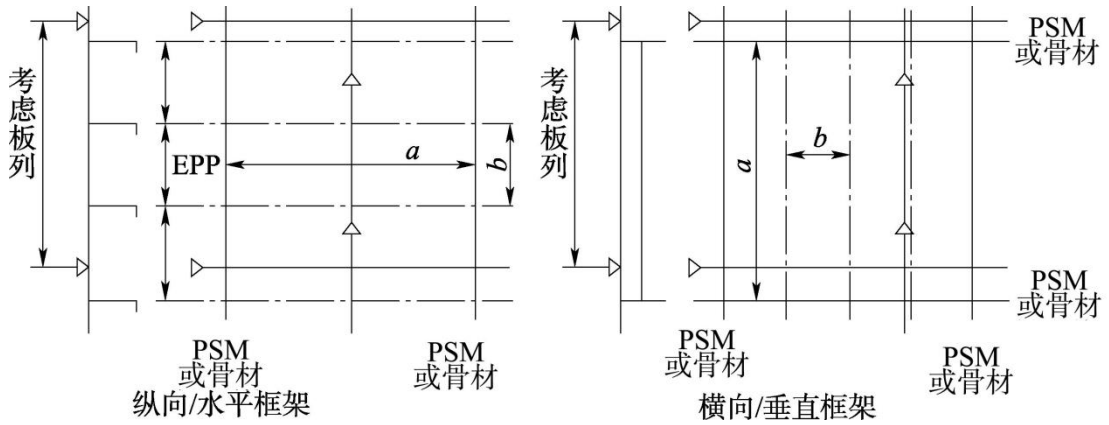


图 1.2.3.1　单元板格（EPP）的定义

1.2.3.2　骨材的标准类型

典型骨材类型的横截面尺寸定义说明如图 1.2.3.2（1）所示，包括扁钢、球扁钢、角钢、L2 和 T 型材。如适用，其他类型的骨材可理想化为用于屈曲校核的图 1.2.3.2（1）中的典型类型之一。对于通常安装在某些舱口盖中的 U 型材，其横截面尺寸定义说明如图 1.2.3.2（2）所示。

除非另有规定，屈曲校核中的骨材跨距应取其全跨度或全长度 l ，mm，即等于主要支撑构件的间距。

横截面尺寸中的符号定义如下：

b_1 —— 由 U 型材所围的带板宽度，mm，如图 1.2.3.2（2）所示；

b_2 —— 相邻 U 型材之间的带板宽度，mm，如图 1.2.3.2（2）所示；

b_f —— 骨材的翼板或面板宽度，mm，如图 1.2.3.2（1）和图 1.2.3.2（2）所示；

$b_{f\text{-}out}$ —— 骨材腹板厚度中面到翼板边缘处最大距离，mm，如图 1.2.3.2（1）所示；

d_f —— L2 型钢横截面的翼板延伸部分的宽度，mm，如图 1.2.3.2（1）所示；

e_f —— 带板至翼板中心的距离，mm，如图 1.2.3.2（1）所示。详细定义见第 5 节[符号]；

h_w —— 骨材腹板高度，mm，如图 1.2.3.2（1）和图 1.2.3.2（2）所示；

t_f —— 翼板净厚度，mm；

t_p —— 带板净厚度，mm；

t_w —— 腹板净厚度，mm。

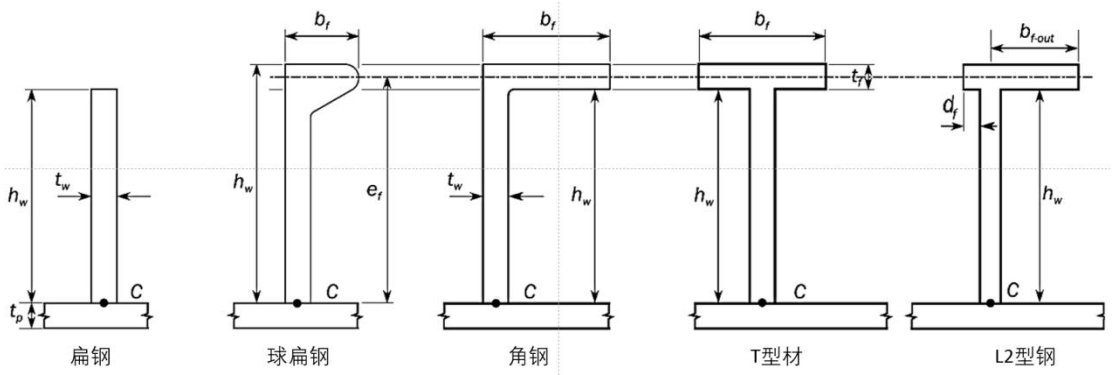


图 1.2.3.2（1）　典型骨材横截面尺寸说明

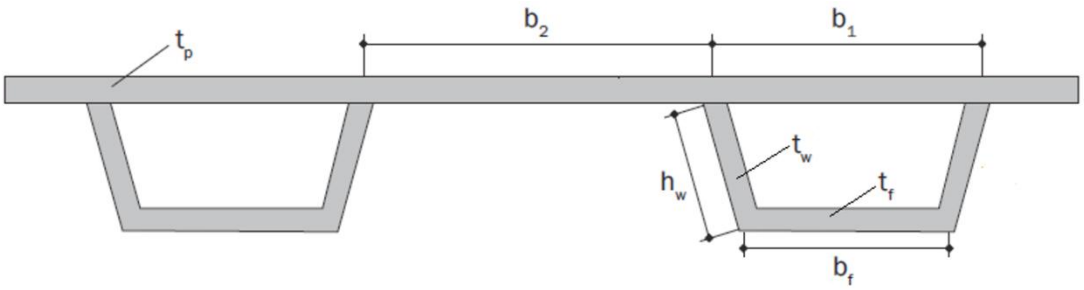


图 1.2.3.2（2） U 型材横截面尺寸说明

1.2.3.3 加筋板格（SP）与非加筋板格（UP）

对于骨材与其带板之间具有相对较强相互作用的板格，每根骨材与其带板应作为一个整体模拟为一个加筋板格，以使屈曲评估中能够考虑其局部和整体屈曲模式。

但对于单元板格，如屈曲强度校核中不考虑设置在其边缘的骨材与之相互作用的效应，则该板格应模拟为非加筋板格。

1.2.4 正负号规定

1.2.4.1 应力

本附录中，压应力和剪应力为正值，拉力为负值。

1.3 评估方法和接受衡准

1.3.1 评估方法

1.3.1.1 方法 A 与方法 B

考虑到不同的边界条件类型，应按如下两种方法之一进行屈曲评估：

（1）方法 A：受到周围结构/邻接板的约束作用，基本板格的所有边界都强迫保持直线（但可以在面内各方向上自由移动）；

（2）方法 B：由于边界处的面内刚度较小和/或没有周围结构/邻接板的约束作用，基本板格的边界不是强迫保持直线。

1.3.1.2 SP-A、SP-B、UP-A 和 UP-B 模型

对于[1.2.3.3]中定义的加筋板格和非加筋板格结构模型的屈曲评估，用方法 A 或方法 B 进行板的屈曲评估，对此建立了以下四个屈曲评估模型：

（1）SP-A：加筋板格，且使用方法 A；

（2）SP-B：加筋板格，且使用方法 B；

（3）UP-A：非加筋板格，且使用方法 A；

（4）UP-B：非加筋板格，且使用方法 B；

1.3.2 屈曲利用因子

1.3.2.1 利用因子η，定义为施加的载荷与对应的屈曲能力之比。

1.3.2.2 对于组合载荷，利用因子η_{act}，定义为施加的等效应力与对应的屈曲能力之比，如图 1.3.2.2 所示，且表示如下：

$$\eta_{act} = \frac{W_{act}}{W_U} = \frac{1}{\gamma_c}$$

式中：

W_{act} —— 施加的等效应力。对于描述性和直接强度分析的屈曲评估，实际施加的等效应力分别在第 3 节和第 4 节中给出；

W_U —— 等效屈曲能力。对于板和骨材，对应的屈曲或极限能力在第 5 节中给出；

γ_c —— 结构失效时的应力倍增因子。

对于每一种典型的失效模式，对应的板格能力应基于施加的实际应力组合，按照比例增大或者减小应力直至结构垮塌进行计算，也就是说，当实施应力增加或减少，而使其值落在屈曲强度相关曲线或表面上时，则得到板格对应的屈曲能力。

图 1.3.2.2 表示某一结构件在σ_x和σ_y应力作用下的屈曲能力和屈曲利用系数。

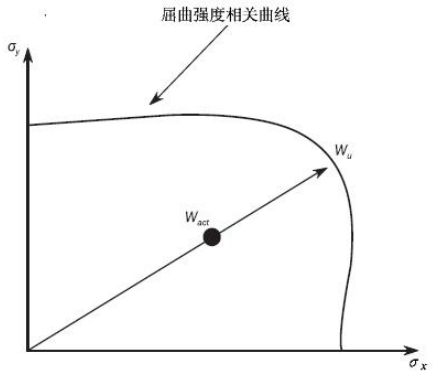


图 1.3.2.2　屈曲能力和屈曲利用因子示例

1.3.3　许用屈曲利用因子

1.3.3.1　许用屈曲利用因子η_{all}，按相关统一要求中的规定取用。

1.3.4　屈曲接受衡准

1.3.4.1　如果一个结构件满足如下衡准，则具有可接受的屈曲强度：

$$\eta_{act} \leq \eta_{all}$$

式中：

η_{act} —— 基于所施加应力的屈曲利用因子，定义见[1.3.2.2]；

η_{all} —— 许用屈曲利用因子，定义见[1.3.3.1]。

第 2 节　　尺度比要求

符号

本节中未定义的符号见第 1 节[1.2.3.2]。

R_{eH} —— 所计算结构件的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2.1　一般要求

2.1.1　引言

2.1.1.1　骨材单元（U 型材除外）应满足本节给出的适用长细比和尺度比要求。

2.2 骨材

2.2.1 骨材尺度比

2.2.1.1 所有骨材类型的净尺寸

骨材的净厚度应满足如下衡准：

（1）骨材腹板：

$$t_w \geq \frac{h_w}{C_w}\sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

（2）翼板：

$$t_f \geq \frac{b_{f-out}}{C_f}\sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

式中：

C_w, C_f —— 长细比系数，由表 2.2.1.1 中给出。

长细比系数 表 2.2.1.1

骨材类型	C_w	C_f
角钢和 L2 型钢	75	12
T 型材	75	12
球扁钢	45	-
扁钢	22	-

如果上述（2）的要求不能满足，则用于强度评估（包括实际净剖面模数）的翼板有效自由外伸部分，mm，应取为：

$$b_{f-out-max} = C_f t_f \sqrt{\frac{235}{R_{eH}}}$$

对于组合型材，采用以下替代方法：对于组合型材的腹板，使用其相关屈服强度（不含腹板边上的加强筋），结合表 2.2.1.1 中的角钢和 L2 型钢要求进行评估。腹板边上的加强筋可作为扁钢加强筋，按[2.2.1.1]进行评估。对翼板，[2.2.1.2]中的要求仍然适用。

2.2.1.2 角钢和 T 型材的净尺寸

角钢和 T 型材的翼板总宽度 b_f，mm，应满足如下衡准：

$$b_f \geq 0.2h_w$$

2.3 主要支撑构件

2.3.1 尺度比和刚度比

2.3.1.1 腹板和翼板的尺度比

主要支撑构件腹板和翼板的净厚度一般应满足本规范第 9 篇第 8 章第 2 节[4.1]的相关要求。

第 3 节　船体梁描述性分析的屈曲要求

符号

η_{all}：许用屈曲利用因子，定义见第 1 节[1.3.3.1]；

LCP：载荷计算点，定义见[3.1.2.1]。

3.1　一般要求

3.1.1　引言

3.1.1.1　本节适用于承受船体梁压应力和剪应力的板格（包括平板、曲板）、骨材和纵舱壁的槽形结构。

3.1.1.2　对承受船体梁应力的构件进行屈曲校核的船舶纵向范围见相关统一要求。

3.1.1.3　设计载荷组：应对相关统一要求中定义的设计装载工况相对应的所有设计载荷组以最不利的压力组合进行屈曲校核。

对于每个设计载荷组的所有静载荷和动载荷工况，侧向压力应按[3.1.2.1]中定义的载荷计算点进行计算，且应与相关统一要求中的船体梁应力进行组合施加。

3.1.2　定义

3.1.2.1　载荷计算点

单元板格(EPP)和骨材的载荷计算点 (LCP) 定义如下：

（1）EPP 的船体梁应力载荷计算点

EPP 的船体梁应力应按表 3.1.2.1 规定的载荷计算点计算。

板屈曲评估的载荷计算点(LCP)坐标　　表 3.1.2.1

LCP 坐标	船体梁弯曲应力		船体梁剪切应力
	非水平布置板	水平布置板	
x 坐标	EPP 长边中点		
y 坐标	EPP 上端和下端点，A1 和 A2，见图 3.1.2.1(1)	EPP 舷侧和舷内端点，A1 和 A2，见图 3.1.2.1(1)	EPP 中点，B 点见图 3.1.2.1(1)
z 坐标	与 *x* 和 *y* 值对应		

（2）　纵骨的船体梁应力载荷计算点

纵骨的船体梁应力应按下列荷载计算点计算：

①　纵骨的跨中；

②　纵骨与带板的交点。

（3）　水平加强筋的压力载荷计算点

压力的载荷计算点：

①　骨材全长度 *l* 的中点；

②　骨材与带板的交点。

（4）　非水平加强筋的压力载荷计算点

侧向压力 *P* 应取全长度 *l* 中点的压力与下列公式计算所得之值的大者：

$P = \dfrac{p_U + p_L}{2}$，当垂直加强筋的上端在最低零压力线以下时；

$P = \dfrac{l_1}{l}\dfrac{p_L}{2}$，当垂直加强筋的上端在最低零压力线或以上时。

式中：l_1——垂直加强筋下端与零压力线之间的距离，m；

p_U、p_L——分别为垂直加强筋跨距 *l* 的上下端侧向压力。

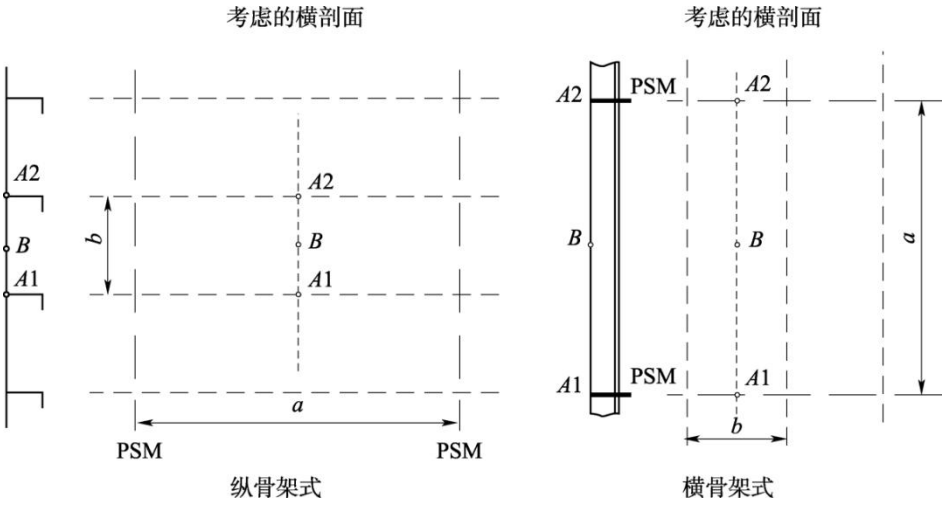


图 3.1.2.1（1） 板屈曲评估载荷计算点(PSM 系指主要支撑构件)

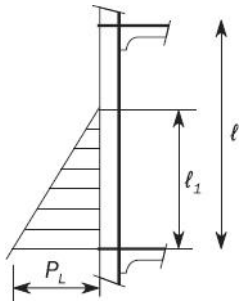


图 3.1.2.1（2） 垂直加强筋压力定义

3.1.3 等效板格

3.1.3.1 具有板厚变化的纵向加筋布置情况

对于纵向加筋布置，如果单元板格(EPP)的板厚沿着宽度 b 方向上有变化，则应将板格等效后再进行屈曲校核。等效板格的板厚取为 t_1，板格宽度 b_{eq}，mm，定义如下：

$$b_{eq} = l_1 + l_2(\frac{t_1}{t_2})^{1.5}$$

式中：l_1——板格中较小板厚 t_1 部分的宽度，mm，定义见图 3.1.3.1；

l_2——板格中较大板厚 t_2 部分的宽度，mm，定义见图 3.1.3.1。

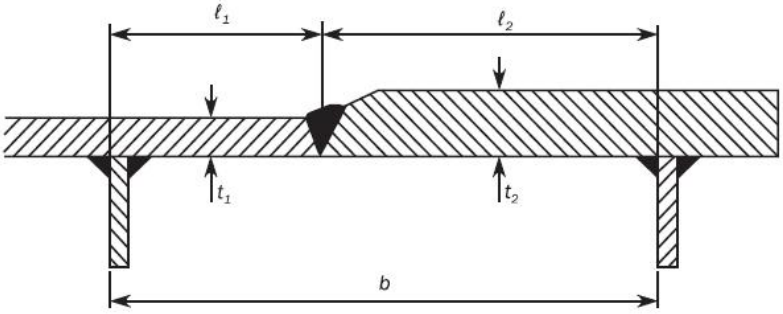


图 3.1.3.1 在宽度跨区上的板厚变化

3.1.3.2 具有板厚变化的横向加筋布置情况

对于横向加筋布置，如果单元板格(EPP)内板厚有所不同，则板和骨材的屈曲校核应针对每个板厚分别进行，并视其为在整个板格范围内保持不变。所施加的应力和侧向压力应取自板格的载荷计算点。

3.1.3.3 具有不同材料的板格

如果一个板格是由不同材料的板构成的，则在其屈曲评估中应采用各种材料中最小的屈服强度。

3.2 屈曲衡准

3.2.1 整体加筋板结构

3.2.1.1 加筋板的整体屈曲强度应满足以下衡准：

$$\eta_{overall} \le \eta_{all}$$

式中：$\eta_{overall}$——第 5 节[5.2.1]中定义的最大屈曲利用因子。

3.2.2 板

3.2.2.1 基本板格的屈曲强度应满足以下衡准：

$$\eta_{plate} \le \eta_{all}$$

式中：η_{plate}——根据第 5 节[5.2.2]中定义的屈曲能力方程，采用 SP-A 模式计算的板的最大屈曲利用因子。

对于单舷侧散货船底边舱和顶边舱之间的垂向加强舷侧板的η_{plate}，第 5 节表 5.2.2.3 的工况 12 和工况 16 中对应的“夹紧”板格的短边平均应力为σ_y且$\varphi_y = 1$。

3.2.3 骨材

3.2.3.1 加强筋和单舷侧散货船舷侧肋骨的屈曲强度应满足如下衡准：

$$\eta_{stiffener} \le \eta_{all}$$

式中：$\eta_{stiffener}$——根据第 5 节[5.2.3]中定义的能力方程，计算的骨材最大屈曲利用因子。

注 1：该项能力校核仅当[3.2.1]中定义的加筋板的整体屈曲强度满足后才进行。

注 2：该项能力校核仅适用于沿屈曲板格长边的骨材。

3.2.4 垂直槽形纵舱壁

3.2.4.1 垂直纵舱壁上的垂向槽条的剪切屈曲强度应满足以下衡准：

$$\eta_{shear} \le \eta_{all}$$

式中：η_{shear}——槽型舱壁的最大剪切屈曲利用因子；

$$\eta_{shear} = \frac{\tau_{bhd}}{\tau_c}$$

τ_{bhd}——作用在纵舱壁上的船体梁剪应力，N/mm^2，见相关统一要求。

τ_c ——临界剪切屈曲应力，N/mm^2，见第 5 节[2.2.3]。

3.2.5 水平槽形纵舱壁

3.2.5.1 对于每个“1/2 面板+1 个腹板＋1/2 面板”的水平槽条组合单元(槽条组合单元，见图 3.2.5.1 中的灰色区域)，均应满足以下衡准：

$$\eta_{column} \le \eta_{all}$$

式中：η_{column}——最大整体柱屈曲利用因子，见第 5 节 [5.3.1]。

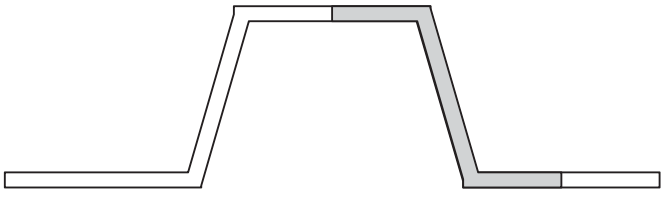


图 3.2.5.1 槽条组合单元

第 4 节　舱口盖直接强度分析屈曲要求

符号

R_{eH_P}——板格的屈服应力，定义见[4.2.1.3]

R_{eH_S}——骨材的屈服应力，定义见[4.2.1.3]

α—— 板格的长宽比，定义列于第 5 节的[符号]中。

η_{all} ——许用屈曲利用因子，定义见第 1 节[1.3.3.1]

4.1　一般要求

4.1.1　引言

4.1.1.1　本节要求基于舱口盖直接强度分析（通常有限元方法）和承受正应力、剪应力和侧向压力的屈曲评估。

4.1.1.2　根据相关统一要求进行直接强度分析的所有结构单元都应分别进行屈曲评估。下列结构单元都应进行屈曲评估：

- 加筋和非加筋板格。
- 开口处腹板。

4.2　·

4.2.1　一般要求

4.2.1.1　舱口盖结构中的板格应模拟成加筋或非加筋板格，选用第 1 节[1.3.1.1]中定义的方法 A 或方法 B 计算板屈曲能力，其组合也等同于使用第 1 节[1.3.1.2]中定义的屈曲评估模型。

4.2.1.2　板格的平均厚度

如果有限元分析中板格内厚度不均匀，屈曲评估时应采用下面的加权平均板厚：

$$t_{avr} = \frac{\sum_1^n A_i t_i}{\sum_1^n A_i}$$

式中：A_i——第 i 个板单元的面积；

t_i ——第 i 个板单元的净厚度；

n ——构成屈曲板格的有限元单元个数。

4.2.1.3　板格和骨材的屈曲应力

板格的屈服应力R_{eH_P}取为板格内所有单元屈服应力的最小值。

骨材的屈服应力R_{eH_S}取为骨材中的所有单元屈服应力的最小值。

4.2.2　加筋板格

4.2.2.1　对于加筋板（SP），每一个骨材连同带板都应理想化为相关统一要求中定义的加筋板格模型。

4.2.2.2　如果加筋板格内的骨材属性或骨材间距有变化，则应对该板格的所有构造，即对每根骨材及其之间的板分别进行计算。计算位置处的板厚、骨材属性和骨材间距假设应用于整个板格。

4.2.2.3　加筋板格骨材的屈曲评估仅适用于沿屈曲板格长边方向的骨材。

4.2.3 非加筋板格

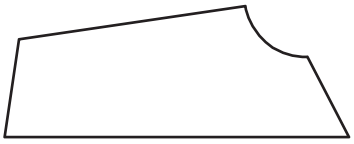
4.2.3.1 不规则板格

在强框架、水平桁材和肘板处，板格的几何形状（即由腹板加强筋/面板围成的边界）有可能为非矩形形状。对此，应分别根据 [4.2.3.2] 和 [4.2.3.3] 将不规则和三角形几何形状的板格定义为等效的矩形板格，并应满足屈曲评估。

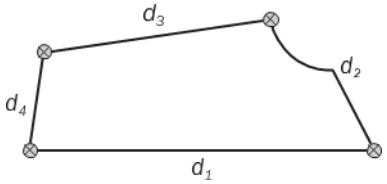
4.2.3.2 几何形状非规则板格的等效

为进行屈曲评估，不规则几何形状非加筋板格应根据如下步骤理想化为等效板格：

（1）确定板格多边形边界上的最接近直角（90°）的四个角；

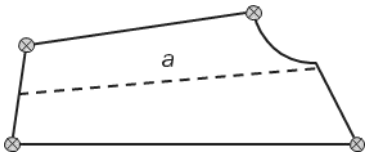


（2）计算角与角之间沿板格多边形边界的距离，即端点之间所有直线线段的总和；



（3）确定总长度最小的对边，即 $d_1 + d_3$ 和 $d_2 + d_4$ 的最小值；

（4）在选定的对边的中点作连线（中点定义为距一端点为一半距离的点）。该线定义了能力模型的纵向。其长度定义为该能力模型的长度 a；



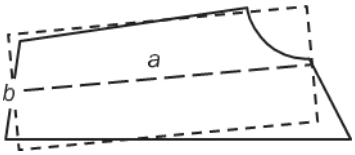
（5）短边长度 b，mm，应取为：

$$b = \frac{A}{a}$$

式中：

A ——板的面积，mm^2；

a ——（4）中定义的长度，mm。

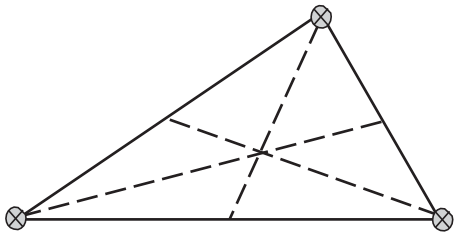


（6）直接强度分析得到的应力，应先转化到等效矩形板格的局部坐标系统中，再用于屈曲评估。

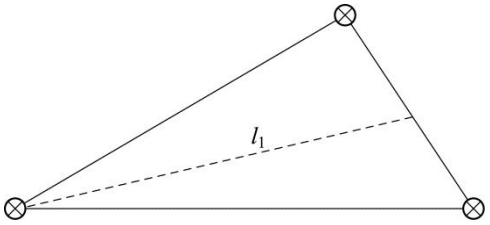
4.2.3.3 三角形非加筋板格的模拟

为进行板的屈曲评估，三角形非加筋板格应根据如下步骤理想化为等效板格：

(1) 画出如下所示的中线；



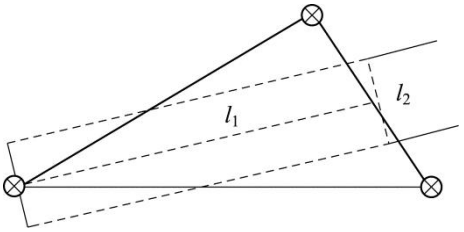
(2) 找出最长的中线。该中线的长度 l_1，mm，定义了能力模型的纵向；



(3) 模型的宽度 l_2，mm，取为；

$$l_2 = \frac{A}{l_1}$$

式中：A ——板的面积，mm^2



(4) 等效矩形板格的短边长度 b 和长边长度 a，mm，取为：

$$b = \frac{l_2}{C_{tri}}$$

$$a = l_1 C_{tri}$$

式中：$C_{tri} = 0.4\frac{l_2}{l_1} + 0.6$

(5) 直接强度分析得到的应力，应先转化到等效矩形板格的局部坐标系统中，再用于屈曲评估。

4.2.4 参考应力

4.2.4.1 应力分布应取自根据相关统一要求进行的直接计算分析，并施加到屈曲模型上。

4.2.4.2　对于有限元分析，参考应力用第 6 节中的基于应力的参考应力计算方法得到。

4.2.5　侧向压力

4.2.5.1　用于直接计算分析中的侧向压力也应用于屈曲评估中。

4.2.5.2　如果由数个有限板单元构成的屈曲板格的侧向压力不为常数，则应根据如下公式计算得到平均侧向压力，N/mm^2：

$$P_{avr} = \frac{\sum_1^n A_i P_i}{\sum_1^n A_i}$$

式中：

A_i——第 i 个板单元的面积，mm^2；

P_i——第 i 个板单元的侧向压力，N/mm^2；

n——屈曲板格内有限单元的个数。

4.2.6　屈曲衡准

4.2.6.1　UP-A 板格

UP-A 板格的受压屈曲强度应满足以下衡准：

$$\eta_{UP-A} \leq \eta_{all}$$

式中：η_{UP-A} ——根据第 5 节[5.2.2]中定义的方法 A 算得的板的最大利用因子。

4.2.6.2　UP-B 板格

UP-B 板格的压缩屈曲强度应满足以下衡准：

$$\eta_{UP-B} \leq \eta_{all}$$

式中：η_{UP-B} ——根据第 5 节[5.2.2]中定义的方法 B 算得的板的最大屈曲利用因子。

4.2.6.3　SP-A 板格

SP-A 板格的受压屈曲强度应满足以下衡准：

$$\eta_{SP-A} \leq \eta_{all}$$

式中：$\eta_{SP\text{-}A}$——加筋板格的最大利用因子，取为下列各项的最大值：

- 第 5 节[5.2.1]中定义的整体加筋板屈曲能力$\eta_{overall}$；
- 根据第 5 节[5.2.2]中定义的方法 A 算得的板的能力η_{plate}；
- 第 5 节[5.2.3]中定义的骨材屈曲能力$\eta_{stiffener}$，且对于骨材两侧的每个 EPP，分别单独考虑其属性（厚度、尺寸）、[4.2.5.2]中定义的压力和参考应力。

注 1：仅当第 5 节 [5.2.1] 定义的整体加筋板能力满足后才能进行骨材的屈曲能力校核。

4.2.6.4　SP-B 板格

SP-B 板格的压缩屈曲强度应满足以下衡准：

$$\eta_{SP-B} \leq \eta_{all}$$

式中：$\eta_{SP\text{-}B}$——加筋板格的最大利用因子，取为下列各项的最大值：

- 第 5 节[5.2.1]中定义的整体加筋板能力$\eta_{overall}$；
- 根据第 5 节[5.2.2]中定义的方法 B 算得的板的能力η_{plate}；

- 第 5 节[5.2.3]中定义的骨材屈曲能力$\eta_{stiffener}$，且对于骨材两侧的每一 EPP，分别单独考虑其属性（厚度、尺寸），[4.2.5.2] 定义的压力和参考应力。

注 1：仅当第 5 节 [5.2.1] 定义的整体加筋板能力满足后才能进行骨材的屈曲能力校核。

4.2.6.5 开口处腹板

主要支撑构件的开口处腹板应满足以下衡准：

$$\eta_{opening} \leq \eta_{all}$$

式中：$\eta_{opening}$——开口处腹板的最大利用因子，根据第 1 节[1.3.2.2]的定义和按照第 5 节[5.2.4]计算得到的失效时的应力倍增因子γ_c进行计算得到。

第 5 节 屈曲能力

符号

A_p —— 骨材带板的净横截面积，mm²；

$$A_p = st_p$$

A_s —— 不包括带板的骨材净横截面积，mm²；

a —— 板格长边长度，mm；

b —— 板格短边长度，mm；

b_{eff} —— 骨材的有效带板宽度，mm，定义见[5.2.3.5]

b_{eff1} —— 不考虑剪滞效应的加强筋有效带板宽度，mm，取为：

（1）如果$\sigma_x > 0$，

① 对描述性评估：

$$b_{eff1} = \frac{C_{x1}b_1 + C_{x2}b_2}{2}$$

② 对有限元分析：

$$b_{eff1} = C_x b$$

（2）如果$\sigma_x \leq 0$，

$$b_{eff1} = b$$

b_f —— 骨材翼板宽度，mm；

b_1, b_2 —— 所考虑的骨材每一侧的板格宽度，mm。对于设有 U 型材的加筋板格，b_1 和 b_2 的定义见第 1 节图 1.2.3.2（2）；

C_{x1}, C_{x2} —— 对于所考虑的骨材，针对每一侧板格 EPP1 和 EPP2，根据表 5.2.2.3 工况 1 所定义的折减因子；

d —— 如表 5.2.2.6 所示，与圆柱轴线平行的对应曲板边长，单位为 mm；

e_f —— 带板至翼板中心的距离，mm，见第 1 节图 1.2.3.2（1），且按如下取用：

$e_f = h_w$ 扁钢

$e_f = h_w - 0.5t_f$ 球扁钢

$e_f = h_w + 0.5t_f$　　角钢、L2 型钢和 T 型材

F_{long} —— 系数，定义见[5.2.2.4]；

F_{tran} —— 系数，定义见[5.2.2.5]；

h_w —— 骨材腹板高度，mm，见第 1 节图 1.2.3.2（1）；

l —— 骨材跨距，mm，等于主要支撑构件间距。对舷侧肋骨，其跨距等于舷侧外板处的顶边舱与底边舱之距；

R —— 曲板的半径，mm；

R_{eH_P} —— 板的最小屈服应力，N/mm²；

R_{eH_S} —— 骨材的最小屈服应力，N/mm²；

S —— 分项安全因子，除非在相关统一要求中有特别说明，否则应取为 1.0；

t_p —— 板格的净厚度，mm；

t_w —— 骨材腹板的净厚度，mm；

t_f —— 骨材翼板的净厚度，mm；

$x\text{-}axis$ —— 平行于矩形屈曲板格长边方向的局部坐标轴；

$y\text{-}axis$ —— 垂直于矩形屈曲板格长边方向的局部坐标轴；

α —— 板格长宽比，定义见表 5.2.2.3，且取为：$\alpha = \frac{a}{b}$；

β —— 系数，取为：$\beta = \frac{1-\psi}{\alpha}$；

ω —— 系数，取为：$\omega = min\,(3, \alpha)$；

σ_x —— 施加在板格边缘上沿 x 轴方向的应力，N/mm²；

σ_y —— 施加在板格边缘上沿 y 轴方向的应力，N/mm²；

σ_1 —— 沿板格边缘的最大名义应力，N/mm²；

σ_2 —— 沿板格边缘的最小名义应力，N/mm²；

σ_E —— 弹性参考屈曲应力，N/mm²，按如下计算：

（1）应用于根据[5.2.2.1]计算板格极限状态时：

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}\left(\frac{t_p}{b}\right)^2$$

（2）应用于根据[5.2.2.6]计算曲板板格极限状态时：

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}\left(\frac{t_p}{d}\right)^2$$

τ —— 施加的剪应力，N/mm²；

τ_c —— 剪切屈曲强度，N/mm²；

ψ —— 边缘应力比，取为：$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$；

γ —— 作用在载荷上的应力倍增因子。当该因子使得载荷达到相关方程成立时，$\gamma = \gamma_c$；

γ_c —— 失效时的应力倍增因子；

γ_{GEB} —— 整体弹性屈曲能力的应力倍增因子。

5.1 一般要求

5.1.1 引言

5.1.1.1 本节包含用于确定板格、骨材、主要支撑构件和支柱结构屈曲能力的方法。

5.1.1.2 应用本节规定时，施加在结构构件上的应力σ_x, σ_y 和 τ定义如下：

（1）对于船体梁描述性屈曲要求，见第 3 节。

（2）对于舱口盖直接强度分析屈曲要求，见第 4 节。

5.1.1.3 屈曲能力

计算极限屈曲能力，首先要施加实际的应力组合，然后再按比例增加或者减小应力，直到本节[5.2.1.1]、[5.2.2.1]和[5.2.3.1]中定义的对应相关方程等于 1.0 为止。

5.1.1.4 屈曲利用因子

结构构件的屈曲利用因子为其不同屈曲模式得到的利用因子的最大值。

5.1.1.5 侧向压力

对于在[5.1.1.3]中定义的屈曲能力的计算，侧向压力应予以施加，且视为常量。

5.2 板格的屈曲能力

5.2.1 整体加筋板格

5.2.1.1 弹性加筋板格的极限状态应基于如下相关方程，该式为根据[5.2.3.4]进行骨材屈曲校核而设定的前提条件：

$$\frac{\gamma_c}{\gamma_{GEB}} = 1$$

且对应的屈曲利用因子定义如下：

$$\eta_{overall} = \frac{1}{\gamma_c}$$

式中：整体弹性屈曲能力的应力倍增因子，γ_{GEB}，应基于下列公式计算得到：

$\gamma_{GEB} = \gamma_{GEB,bi+\tau}$ $\quad \tau \neq 0$ 和 $(\sigma_x > 0$ 或 $\sigma_y > 0)$

$\gamma_{GEB} = \gamma_{GEB,bi}$ $\quad \tau = 0$ 和 $(\sigma_x > 0$ 或 $\sigma_y > 0)$

$\gamma_{GEB} = \gamma_{GEB,\tau}$ $\quad \tau \neq 0$ 和 $(\sigma_x \leq 0$ 或 $\sigma_y \leq 0)$

其中：$\gamma_{GEB,bi+\tau}$，$\gamma_{GEB,bi}$ 和 $\gamma_{GEB,\tau}$为在[5.2.1.2]、[5.2.1.3]和[5.2.1.4]中分别定义的不同载荷组合的整体弹性屈曲能力的应力倍增因子。对于$\gamma_{GEB,bi+\tau}$，$\gamma_{GEB,bi}$ 和 $\gamma_{GEB,\tau}$ 的计算，σ_x 与 σ_y 均不能取小于 0。

σ_x, σ_y —— 施加在板格上名义应力，N/mm^2，按[5.2.2.7]中的定义取用；

τ —— 施加的剪应力，N/mm^2，按[5.2.2.7]中的定义取用。

5.2.1.2 对于承受双轴向载荷的加筋板，其应力倍增因子$\gamma_{GEB,bi}$为：

$$\gamma_{GEB,bi} = \frac{\pi^2}{L_{B1}^2 L_{B2}^2} \frac{\left[D_{11} L_{B2}^4 + 2(D_{12} + D_{33}) n^2 L_{B1}^2 L_{B2}^2 + n^4 D_{22} L_{B1}^4\right]}{L_{B2}^2 N_x + n^2 L_{B1}^2 N_y}$$

式中：

N_x—— 作用在板格短边边缘单位长度上，沿着板格 x 轴方向的等效力，N/mm，按下式计算：

$$N_x = \sigma_{x,av}(A_p + A_s)/s$$

对于设置 U 型材的加筋板格，加强筋间距 s 取为：

$s = b_1 + b_2$

式中 b_1 和 b_2 的定义见图 5.3.1.4。

N_y—— 作用在沿板格 y 轴方向的单位长度力，N/mm，按下式计算：

$N_y = c\sigma_y t_p$

L_{B1}—— 骨材跨距，mm，等于主要支撑构件之间的距离，即$L_{B1} = l$。

L_{B2}—— 加筋板的宽度，mm，取为 6 倍骨材间距，即$L_{B2} = 6s$。

n—— 与骨材垂直方向的半波数，应使得计算得到的 $\gamma_{GEB,bi}$为大于 0 的最小值。

c—— 考虑作用在板格边界上与骨材方向垂直的应力影响系数，取为：

$c = 0.5(1 +)$　　对于 $0 \leq \leq 1$

$c = \frac{1}{2(1-)}$　　对于$\Psi < 0$

Ψ—— 表 5.3.1.3 中工况 2 所示的边缘应力比。

$\sigma_{x,av}$—— 泊松修正后板和骨材的平均应力，MPa，取为：

$\sigma_{x,av} = \sigma_x - \nu c\sigma_y A_s/(A_p + A_s) \geq 0$　　对于 $\sigma_x > 0$ 且 $\sigma_y > 0$

$\sigma_{x,av} = \sigma_x$　　对于 $\sigma_x \leq 0$ 或$\sigma_y \leq 0$

$D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33}$ —— 加筋板的弯曲刚度系数，N·mm，一般定义为：

$$\left.\begin{aligned} D_{11} &= \frac{EI_{eff}10^4}{s} \\ D_{12} &= \frac{Et_p^3\nu}{12(1-\nu^2)} \\ D_{22} &= \frac{Et_p^3}{12(1-\nu^2)} \\ D_{33} &= \frac{Et_p^3}{12(1+\nu)} \end{aligned}\right\}$$

对于设置 U 型材的加筋板格，D_{12} 和 D_{22} 定义为：

$$D_{22} = \frac{Et_p^3}{12(1-\nu^2)}\left[1.2 + 4.8 \times Min\left(1.0,\ \frac{b_1^2}{h_w(b_1+b_2)}\right) \times Min\left(1.0, \left(\frac{t_w}{t_p}\right)^3\right)\right]$$

$$D_{12} = \nu D_{22}$$

h_w——U 型材的腹板宽度，定义见图 5.3.1.4。

I_{eff}——骨材连同有效带板宽度的截面惯性矩，cm⁴，与 [5.2.3.4]中的 I 相同。

5.2.1.3　对于承受纯剪切载荷的加筋板，其应力倍增因子 $\gamma_{GEB,\tau}$为：

$$\gamma_{GEB,\tau} = \frac{\sqrt[4]{D_{11}^3 D_{22}}}{(L_{B1}/2)^2 N_{xy}}\left[8.125 + 5.64\sqrt{\frac{(D_{12}+D_{33})^2}{D_{11}D_{22}}} - 0.6\frac{(D_{12}+D_{33})^2}{D_{11}D_{22}}\right]$$　　对于 $D_{11}D_{22}$

$$\geq (D_{12} + D_{33})^2$$

$$\gamma_{GEB,\tau}=\frac{\sqrt{2D_{11}(D_{12}+D_{33})}}{(L_{B1}/2)^2N_{xy}}\left[8.3+1.525\frac{D_{11}D_{22}}{(D_{12}+D_{33})^2}-0.493\frac{D_{11}^2D_{22}^2}{(D_{12}+D_{33})^4}\right]$$ 对于 $D_{11}D_{22}$

$$<(D_{12}+D_{33})^2$$

其中：$N_{xy}=\tau t_p$

5.2.1.4 对于承受组合载荷的加筋板，其应力倍增因子$\gamma_{GEB,bi+\tau}$为：

$$\gamma_{GEB,bi+\tau}=\frac{1}{2}\gamma_{GEB,\tau}{}^2\left[-\frac{1}{\gamma_{GEB,bi}}+\sqrt{\frac{1}{\gamma_{GEB,bi}{}^2}+4\frac{1}{\gamma_{GEB,\tau}{}^2}}\right]$$

式中：$\gamma_{GEB,bi}$和$\gamma_{GEB,}$的定义分别见[5.2.1.2]和[5.2.1.3]。

5.2.2 板

5.2.2.1 板的极限状态

板的极限能力应基于下列相关方程：

$$\left(\frac{\gamma_{c1}\sigma_xS}{\sigma_{cx}}\right)^{e_0}-B\left(\frac{\gamma_{c1}\sigma_xS}{\sigma_{cx}}\right)^{\frac{e_0}{2}}\left(\frac{\gamma_{c1}\sigma_yS}{\sigma_{cy}}\right)^{\frac{e_0}{2}}+\left(\frac{\gamma_{c1}\sigma_yS}{\sigma_{cy}}\right)^{e_0}+\left(\frac{\gamma_{c1}|\tau|S}{\tau_c}\right)^{e_0}=1$$

$$\left(\frac{\gamma_{c2}\sigma_xS}{\sigma_{cx}}\right)^{\frac{2}{\beta_p^{0.25}}}+\left(\frac{\gamma_{c2}|\tau|S}{\tau_c}\right)^{\frac{2}{\beta_p^{0.25}}}=1 \text{ 对 } \sigma_x\geq 0$$

$$\left(\frac{\gamma_{c3}\sigma_yS}{\sigma_{cy}}\right)^{\frac{2}{\beta_p^{0.25}}}+\left(\frac{\gamma_{c3}|\tau|S}{\tau_c}\right)^{\frac{2}{\beta_p^{0.25}}}=1 \text{ 对 } \sigma_y\geq 0$$

$$\frac{\gamma_{c4}|\tau|S}{\tau_c}=1$$

由此得到：

$$\gamma_c=Min\,(\gamma_{c1},\gamma_{c2},\gamma_{c3},\gamma_{c4})$$

相应的屈曲利用因子：

$$\eta_{plate}=\frac{1}{\gamma_c}$$

式中：

σ_x,σ_y____ 施加在板格边界上的正应力，N/mm^2，定义见[5.2.2.7]；

τ ____ 施加在板格边界上的剪应力，N/mm^2；

σ_{cx}____ 沿着与屈曲板格长边平行的方向的极限屈曲应力，N/mm^2，定义见[5.2.2.3]；

σ_{cy}____ 沿着与屈曲板格短边平行的方向的极限屈曲应力，N/mm^2，定义见[5.2.2.3]；

τ_c____ 极限屈曲剪应力，N/mm^2，定义见[5.2.2.3]；

$\gamma_{c1},\gamma_{c2},\gamma_{c3},\gamma_{c4}$ 对于上面每一个不同极限状态在失效时的应力倍增因子。γ_{c2} 和 γ_{c3} 仅分别在 $\sigma_x \geq 0$ 和 $\sigma_y \geq 0$ 成立时才考虑；

B —— 系数，定义见表 5.2.2.1；

e_0 —— 系数，定义见表 5.2.2.1；

β_p —— 板的长细比参数，定义为：

$$\beta_p = \frac{b}{t_p}\sqrt{\frac{R_{eH_P}}{E}}$$

系数B和e_0的定义　　表 5.2.2.1

施加的应力	B	e_0
$\sigma_x \geq 0$ 和 $\sigma_y \geq 0$	$0.7 - 0.3\beta_p/\alpha^2$	$2/\beta_p^{0.25}$
$\sigma_x < 0$ 或 $\sigma_y < 0$	1.0	2.0

5.2.2.2　参考细长度

参考细长度按下式计算：

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_{eH_P}}{K\sigma_E}}$$

式中：K ——屈曲因子，定义见表 5.2.2.3 和表 5.2.2.6。

5.2.2.3　极限屈曲应力

板格的极限屈曲应力，N/mm^2，取为：

$$\sigma_{cx} = C_x R_{eH_P}$$

$$\sigma_{cy} = C_y R_{eH_P}$$

受剪板格的极限屈曲应力，N/mm^2，取为：

$$\tau_c = C_\tau \frac{R_{eH_P}}{\sqrt{3}}$$

式中：C_x, C_y, C_τ ——折减因子，定义见表 5.2.2.3。

对于[5.2.2.1]中的第一个方程，当 $\sigma_x < 0$ 或 $\sigma_y < 0$ 时，折减因子应取为：$C_x = C_y = C_\tau = 1$

对于其他工况：

（1）对 SP-A 和 UP-A，应采用如下 c_1，根据表 5.2.2.3 计算 C_y

$$c_1 = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \geq 0$$

（2）对 SP-B 和 UP-B，应采用如下 c_1，根据表 5.2.2.3 计算 C_y

$$c_1 = 1$$

（3）对于单舷侧散货船的垂向加筋舷侧板，应采用如下 c_1，根据表 5.2.2.3 计算 C_y

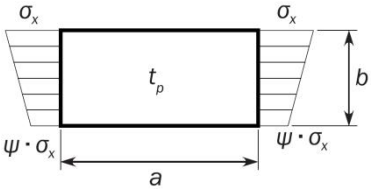
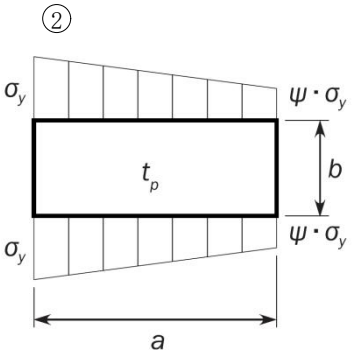
$$c_1 = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \geq 0$$

（4）对于槽形舱壁的槽条，应采用如下 c_1，根据表 5.2.2.3 计算 C_y

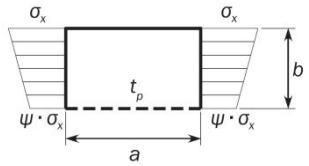
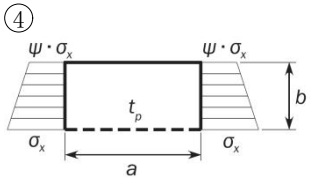
$$c_1 = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \geq 0$$

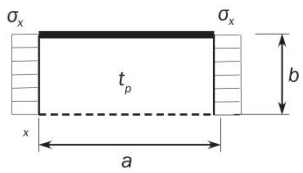
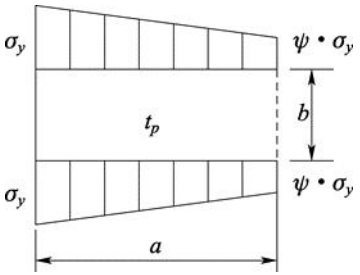
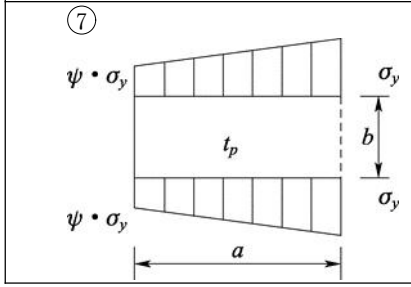
板的边界条件应视为简支（参见表 5.2.2.3 中的工况①、②和⑮）。如果板的边界条件与简支相差很大，可以在 CCS 同意的前提下，根据表 5.2.2.3 的不同工况，采用更恰当的边界条件。

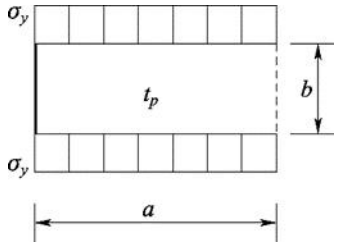
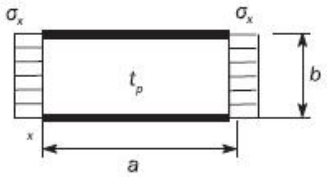
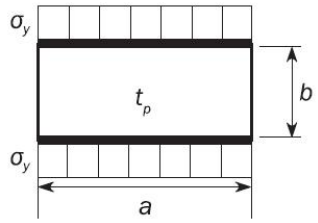
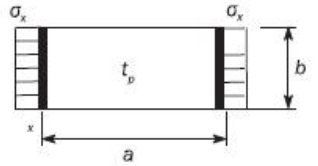
平面板格的屈曲因子和折减因子 表5.2.2.3

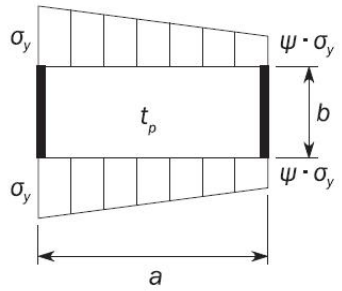
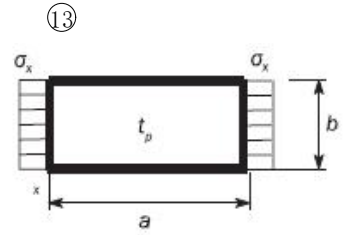
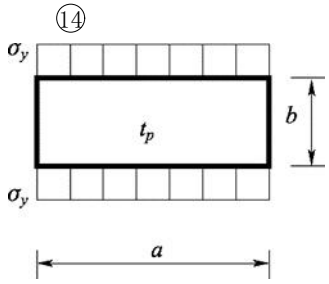
<table>
<tr><th>工况</th><th>应力比ψ</th><th colspan="2">长宽比α</th><th>屈曲因子 K</th><th>折减因子 C</th></tr>
<tr><td rowspan="3">①

</td><td>$1\ge\psi\ge 0$</td><td colspan="2" rowspan="2">$K_x=F_{long}\dfrac{8.4}{\psi+1.1}$</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="3">当$\sigma_x\le 0$时，$C_x=1$；
当$\sigma_x>0$时：
$C_x=1$　对$\lambda\le\lambda_c$
$C_x=c\left(\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{0.22}{\lambda^2}\right)$　对$\lambda>\lambda_c$
其中：
$c=(1.25-0.12\psi)\le 1.25$
$\lambda_c=\dfrac{c}{2}\left(1+\sqrt{1-\dfrac{0.88}{c}}\right)$</td></tr>
<tr><td>$0>\psi>-1$</td></tr>
<tr><td>$\psi\le -1$</td><td colspan="2">$K_x=F_{long}\left[5.975(1-\psi)^2\right]$</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">②

</td><td rowspan="3">$1\ge\psi\ge 0$</td><td colspan="2">$K_y=F_{tran}\dfrac{2\left(1+\dfrac{1}{\alpha^2}\right)^2}{1+\psi+\dfrac{(1-\psi)}{100}\left(\dfrac{2.4}{\alpha^2}+6.9f_1\right)}$</td><td rowspan="3">当$\sigma_y\le 0$时，$C_y=1$；
当$\sigma_y>0$时：
$C_y=c\left(\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{R+F^2(H-R)}{\lambda^2}\right)$
其中：
$c=(1.25-0.12\psi)\le 1.25$
$R=\lambda(1-\lambda/c)$　对$\lambda<\lambda_c$
$R=0.22$　对$\lambda\ge\lambda_c$
$\lambda_c=0.5c(1+\sqrt{1-0.88/c})$</td></tr>
<tr><td>$\alpha\le 6$</td><td>$f_1=(1-\psi)(\alpha-1)$</td></tr>
<tr><td>$\alpha>6$</td><td>$f_1=0.6(1-\dfrac{6\psi}{\alpha})(\alpha+\dfrac{14}{\alpha})$
但不大于$14.5-\dfrac{0.35}{\alpha^2}$</td></tr>
<tr><td>$1-\dfrac{4\alpha}{3}\le\psi<0$</td><td colspan="2">$K_y=\dfrac{200F_{tran}\left(1+\beta^2\right)^2}{(1-f_3)(100+2.4\beta^2+6.9f_1+23f_2)}$</td><td></td></tr>
</table>

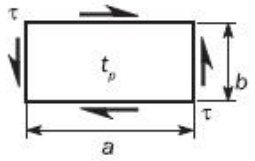
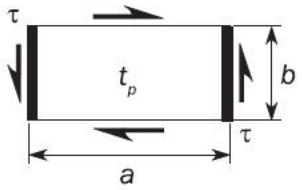
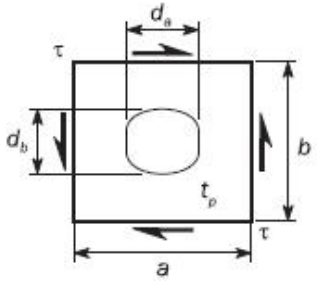
		$\alpha > 6(1-\psi)$	$f_1 = 0.6(\frac{1}{\beta}+14\beta)$ 但不大于 $14.5-0.35\beta^2$ $f_2 = f_3 = 0$	$F = \left(1-\left(\frac{K}{0.91}-1\right)\Big/\lambda_p^2\right)c_1 \geq 0$ $\lambda_p^2 = \lambda^2 - 0.5$ 且 $1 \leq \lambda_p^2 \leq 3$ c_1 的定义见 5.3.1.3。 $H = \lambda - \frac{2\lambda}{c(T+\sqrt{T^2-4})} \geq R$ $T = \lambda + \frac{14}{15\lambda} + \frac{1}{3}$
		$3(1-\psi) \leq \alpha \leq 6(1-\psi)$	$f_1 = \frac{1}{\beta} - 1$ $f_2 = f_3 = 0$	
		$1.5(1-\psi) \leq \alpha < 3(1-\psi)$	$f_1 = \frac{1}{\beta} - (2-\omega\beta)^4 - 9(\omega\beta-1)(\frac{2}{3}-\beta)$ $f_2 = f_3 = 0$	
		$1-\psi \leq \alpha < 1.5(1-\psi)$	如果 $\alpha > 1.5$，则 $f_1 = 2\left(\frac{1}{\beta} - 16\left(1-\frac{\omega}{3}\right)^4\right)(\frac{1}{\beta}-1)$ $f_2 = 3\beta - 2$； $f_3 = 0$ 如果 $\alpha \leq 1.5$，则 $f_1 = 2\left(\frac{1.5}{1-\psi}-1\right)\left(\frac{1}{\beta}-1\right)$ $f_2 = \frac{\psi(1-16f_4^2)}{1-\alpha}$； $f_3 = 0$ $f_4 = \left[1.5 - Min(1.5;\alpha)\right]^2$	

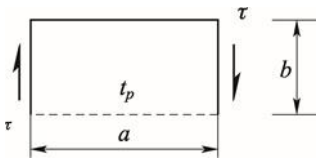
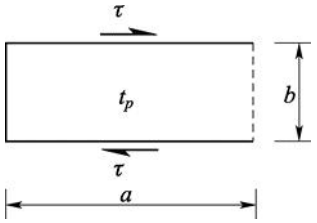
		$0.75(1-\psi)\le\alpha<(1-\psi)$	$f_1=0$ $f_2=1+2.31(\beta-1)-48\left(\frac{4}{3}-\beta\right)f_4^2$ $f_3=3f_4(\beta-1)\left(\frac{f_4}{1.81}-\frac{\alpha-1}{1.31}\right)$ $f_4=\left[1.5-\mathrm{Min}(1.5;\alpha)\right]^2$	
	$\psi<1-\frac{4\alpha}{3}$	$K_y=5.972F_{tran}\frac{\beta^2}{1-f_3}$ 式中， $f_3=f_5\left(\frac{f_5}{1.81}+\frac{1+3\psi}{5.24}\right)$ $f_5=\frac{9}{16}\left[1+Max(-1;\psi)\right]^2$		
③  	$1\ge\psi\ge0$	$K_x=\frac{4(0.425+1/\alpha^2)}{3\psi+1}$		对于UP-A评估模型： $C_x=1$ 对$\lambda\le0.75$ $C_x=\frac{0.75}{\lambda}$ 对$\lambda>0.75$ 对于UP-B评估模型： $C_x=1$ 对 $\lambda\le0.7$ $C_x=\frac{1}{\lambda^2+0.51}$ 对 $\lambda>0.7$
	$0>\psi>-1$	$K_x=4(0.425+1/\alpha^2)(1+\psi)$ $-5\psi(1-3.42\psi)$		
④  	$1\ge\psi\ge-1$	$K_x=\left(0.425+\frac{1}{\alpha^2}\right)\frac{3-\psi}{2}$		
	-	$\alpha\ge1.64$	$K_x=1.28$	

⑤  		$\alpha < 1.64$	$K_x = \frac{1}{\alpha^2} + 0.56 + 0.13\alpha^2$	
⑥  	$1 \geq \psi \geq 0$	$K_y = \frac{4(0.425+\alpha^2)}{(3\psi+1)\alpha^2}$		对于UP-A评估模型： $C_y = 1$ 对$\lambda \leq 0.75$ $C_y = \frac{0.75}{\lambda}$ 对$\lambda > 0.75$ 对于UP-B评估模型： $C_y = 1$ 对 $\lambda \leq 0.7$ $C_y = \frac{1}{\lambda^2+0.51}$ 对 $\lambda > 0.7$
	$0 > \psi \geq -1$	$K_y = 4\left(0.425+\alpha^2\right)(1+\psi)\frac{1}{\alpha^2} - 5\psi(1-3.42\psi)\frac{1}{\alpha^2}$		
⑦  	$1 \geq \psi \geq -1$	$K_y = \left(0.425+\alpha^2\right)\frac{3-\psi}{2\alpha^2}$		

⑧ 	--	$K_y = 1 + \frac{0.56}{\alpha^2} + \frac{0.13}{\alpha^4}$	
⑨ 	—	$K_x = 6.97$	$C_x = 1$ 对$\lambda \le 0.83$ $C_x = 1.13\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right)$ 对$\lambda > 0.83$
⑩ 	—	$K_y = 4 + \frac{2.07}{\alpha^2} + \frac{0.67}{\alpha^4}$	$C_x = 1$ 对$\lambda \le 0.83$ $C_x = 1.13\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right)$ 对$\lambda > 0.83$
⑪ 	—	$\alpha \ge 4$ 时 $K_x = 4$ $\alpha < 4$ 时 $K_x = 4 + 2.74\left[\frac{4-\alpha}{3}\right]^4$	$C_x = 1$ 对$\lambda \le 0.83$ $C_x = 1.13\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right)$ 对$\lambda > 0.83$

⑫  	-	K_y 与工况②中的相同。		如果 $\alpha < 2$，则 $C_y = C_{y2}$； 如果 $\alpha \geq 2$，则 $C_y = \left(1.06 + \frac{1}{10\alpha}\right) C_{y2}$； 上式中，$C_{y2}$ 是指根据工况②计算的 C_y。
⑬  	—	$\alpha \geq 4$	$K_x = 6.97$	$C_x = 1$　对 $\lambda \leq 0.83$ $C_x = 1.13\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right)$ 对 $\lambda > 0.83$
		$\alpha < 4$	$K_x = 6.97 + 3.1\left[\frac{4-\alpha}{3}\right]^4$	
⑭  	—	$K_y = \frac{6.97}{\alpha^2} + \frac{3.1}{\alpha^4}\left(\frac{4 - 1/\alpha}{3}\right)^4$		$C_y = 1$　对 $\lambda \leq 0.83$ $C_y = 1.13\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right)$ 对 $\lambda > 0.83$

⑮  	—	$K_\tau = \sqrt{3}\left[5.34+\frac{4}{\alpha^2}\right]$	$C_\tau = 1$　对$\lambda \le 0.84$ $C_\tau = \frac{0.84}{\lambda}$　对$\lambda > 0.84$
⑯  	—	$K_\tau = \sqrt{3}\left[5.34+\text{Max}\left[\frac{4}{\alpha^2};\frac{7.15}{\alpha^{2.5}}\right]\right]$	
⑰  	—	$K_\tau = K_{\tau case15} r$ $K_{\tau case15}$是指按工况⑮计算得到的K_τ r=开口折减因子，取作： $r = \left(1-\frac{d_a}{a}\right)\left(1-\frac{d_b}{b}\right)$ $\frac{d_a}{a} \le 0.7$　且　$\frac{d_b}{b} \le 0.7$	

<table>
<tr>
<td>⑱

</td>
<td>—</td>
<td>$K_\tau = \sqrt{3}\left(0.6+\frac{4}{\alpha^2}\right)$</td>
<td rowspan="2">$C_\tau = 1$ 对$\lambda \le 0.84$
$C_\tau = \frac{0.84}{\lambda}$ 对$\lambda > 0.84$</td>
</tr>
<tr>
<td>⑲

</td>
<td>—</td>
<td>K_τ= 8</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4">边缘的边界条件：- - - - - - - - - - - - 板边缘自由 ； ———————板边缘简支; ▬▬▬▬▬ 板边缘夹紧</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4">注(1)：表中列出的是一般工况，其中的应力分量(σ_x,σ_y)应理解为在局部坐标系中。</td>
</tr>
</table>

5.2.2.4　修正因子F_{long}

修正因子F_{long}取决于屈曲板格长边边缘上的加强筋类型，其定义参见表 5.2.2.4。对于具有不同边缘加强筋的板格，应采用F_{long}的平均值。对于表 5.2.2.4 中以外的加强筋类型，采用的c值应得到 CCS 认可。对于该种情况，如果能够用非线性有限元分析对其进行屈曲强度校核，且 CCS 也认可，则选用的值c可大于表 5.2.2.4 中给出的数值。

修正因子F_{long}　　表 5.2.2.4

<table>
<tr><th colspan="3">结构单元类型</th><th>F_{long}</th><th>c</th></tr>
<tr><td colspan="3">非加筋板格</td><td>1.0</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td rowspan="6">加筋板格</td><td colspan="2">两端都不固支的加强筋</td><td>1.0</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td rowspan="5">两端固支的加强筋</td><td>扁钢(1)</td><td rowspan="4">$F_{long}=c+1\ for\ \frac{t_w}{t_p}>1$
$F_{long}=c\left(\frac{t_w}{t_p}\right)^3+1\ for\ \frac{t_w}{t_p}\le 1$</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td>球扁钢</td><td>0.30</td></tr>
<tr><td>角钢</td><td>0.40</td></tr>
<tr><td>T 型材</td><td>0.30</td></tr>
<tr><td>刚度较大的桁材（如底肋板）</td><td>1.4</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td>安装在舱口盖上的 U 型材(2)</td><td>（1）对于安装 U 型材的板，包括 EPP b_1 和 EPP b_2：
● 对于 $b_2<b_1$：F_{long}=1；
● 对于 $b_2\ge b_1$：
$F_{long}=\left(1.55-0.55\frac{b_1}{b_2}\right)\left[1+c\left(\frac{t_w}{t_p}\right)^3\right]$
（2）对于 U 型材的其他板：F_{long}=1</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td colspan="5">注（1）：t_w为腹板净厚度，mm，且不按照本节[5.4.3.5]中的定义进行修正。
（2）：b_1、b_2和t_w的定义见第 1 节图 1.2.3.2（2）。</td></tr>
</table>

5.2.2.5　修正因子F_{tran}

修正因子F_{tran}应取为：

（1）对于单舷侧散货船的顶边舱和底边舱之间的横骨架式 EPP：

① 如果两个相邻的肋骨由邻近板格上安装的各一个防倾肘板支撑， 则 $F_{tran}=1.25$；

② 如果两个相邻的肋骨由邻近板格上分别安装的各两个防倾肘板支撑， 则 $F_{tran}=1.33$；

③ 在其他位置， $F_{tran}=1.15$

（2）对于设置在舱口盖的 U 型材的带板：

$$F_{tran}=\mathrm{Max}\left(3-0.08(F_{tran0}-6)^2,1.0\right)\le 2.25$$

式中：

$$F_{tran0}=\mathrm{Min}\left(\frac{b_2}{b_1}+\frac{6b_2^2}{\pi^2 h_w(b_1+b_2)}\left(\frac{t_w}{t_p}\right)^3,6\right)$$，对 EPP 的 b_2；

$$F_{tran0}=\mathrm{Min}\left(\frac{b_1}{b_2}+\frac{6b_1^2}{\pi^2 h_w(b_2+b_1)}\left(\frac{t_w}{t_p}\right)^3,6\right)$$，对 EPP 的 b_1

式中：b_1、b_2 和 h_w 的定义见本节图 1.2.3.2（2）。

表 5.2.2.3 中工况 2 所定义的参数 F 应替换为以下公式：

$$F=\left[1-\left(\frac{K_y}{0.91F_{tran}}-1\right)/\lambda_p^2\right]c_1\geq 0$$

（3）对于其他情况，修正因子F_{tran}应取为 1.0。

5.2.2.6　曲面板格

对于$R/t_p\leq 2500$ 的曲板板格，适用如下要求，否则应适用本节[5.2.2.1]给出的平板的极限能力要求。

曲面板格极限状态应基于如下相关方程：

$$\left(\frac{\gamma_c\sigma_{ax}S}{C_{ax}R_{eH_P}}\right)^{1.25}-0.5\cdot\left(\frac{\gamma_c\sigma_{ax}S}{C_{ax}R_{eH_P}}\right)\left(\frac{\gamma_c\sigma_{tg}S}{C_{tg}R_{eH_P}}\right)+\left(\frac{\gamma_c\sigma_{tg}S}{C_{tg}R_{eH_P}}\right)^{1.25}+\left(\frac{\gamma_c\tau\sqrt{3}S}{C_{\tau}R_{eH_P}}\right)^2=1.0$$

相应的屈曲利用因子：

$$\eta_{curved_plate}=\frac{1}{\gamma_c}$$

式中：

σ_{ax}——　施加在曲板板格所对应圆柱的轴向应力，N/mm^2。对于轴向拉应力情况，应取为$\sigma_{ax}=0$；

σ_{tg}——　施加在曲板板格上的切向应力，N/mm2。对于环向拉应力情况，应取为$\sigma_{tg}=0$；

C_{ax},C_{tg},C_{τ}　——曲面板格的屈曲折减因子，定义见表 5.2.2.6。

曲面板格应力倍增因子γ_c不必小于将其伸展为平面板格按照本节[5.2.2.1]所给出的γ_c值。

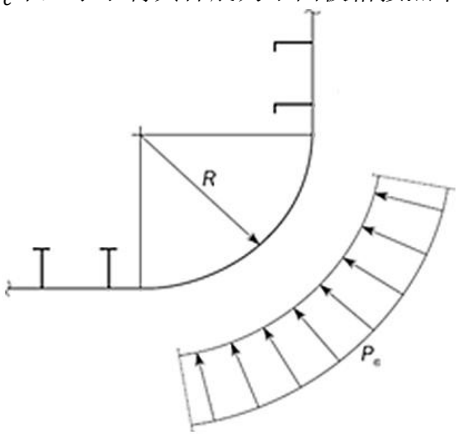
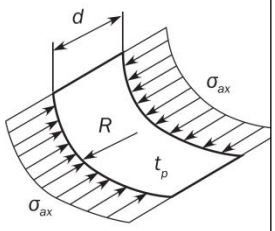
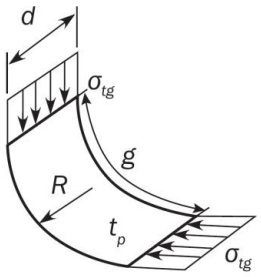
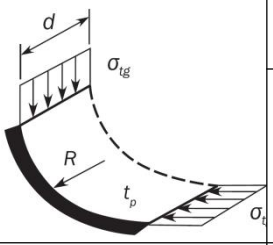
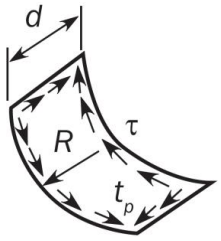


图 5.2.2.6　舭列板为横骨架式

满足$R/t_p \leq 2500$ 的曲面板格的屈曲因子和折减因子　　表 5.2.2.6

工况	长宽比	屈曲因子 K	折减因子 C
1  	$\frac{d}{R} \leq 0.5\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 1 + \frac{2}{3}\frac{d^2}{Rt_p}$	对于一般性应用： $C_{ax} = 1$，对$\lambda \leq 0.25$ $C_{ax} = 1.233 - 0.933\lambda$，对 $0.25 < \lambda \leq 1$ $C_{ax} = 0.3/\lambda^2$，对 $1 < \lambda \leq 1.5$ $C_{ax} = 0.2/\lambda^2$，对$\lambda > 1.5$ 对于单个曲面区域，如舷列板,其边界由平面板格所围，如图 5.2.2.6 所示，则： $C_{ax} = \frac{0.65}{\lambda^2} \leq 1.0$
	$\frac{d}{R} > 0.5\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 0.267\frac{d^2}{Rt_p}\left[3 - \frac{d}{R}\sqrt{\frac{t_p}{R}}\right]$ $\geq 0.4\frac{d^2}{Rt_p}$	
2  	$\frac{d}{R} \leq 1.63\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \frac{d}{\sqrt{Rt_p}} + 3\frac{(Rt_p)^{0.175}}{d^{0.35}}$	对于一般性应用： $C_{tg} = 1$，对$\lambda \leq 0.4$ $C_{tg} = 1.274 - 0.686\lambda$，对 $0.4 < \lambda \leq 1.2$ $C_{tg} = \frac{0.65}{\lambda^2}$，对$\lambda > 1.2$ 对于单个曲面区域，如舷列板,其边界由平面板格所围，如图 5.2.2.6 所示，则： $C_{tg} = \frac{0.8}{\lambda^2} \leq 1.0$
	$\frac{d}{R} > 1.63\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 0.3\frac{d^2}{R^2} + 2.25\left(\frac{R^2}{dt_p}\right)^2$	
3  	$\frac{d}{R} \leq \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \frac{0.6d}{\sqrt{Rt_p}} + \frac{\sqrt{Rt_p}}{d} - 0.3\frac{Rt_p}{d^2}$	同工况 2
	$\frac{d}{R} > \sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 0.3\frac{d^2}{R^2} + 0.291\left(\frac{R^2}{dt_p}\right)^2$	
4  	$\frac{d}{R} \leq 8.7\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \sqrt{3}\sqrt{28.3 + \frac{0.67d^3}{R^{1.5}t_p^{1.5}}}$	$C_\tau = 1$，对 $\lambda \leq 0.4$； $C_\tau = 1.274 - 0.686\lambda$， 对 $0.4 < \lambda \leq 1.2$； $C_\tau = \frac{0.65}{\lambda^2}$，对$\lambda > 1.2$
	$\frac{d}{R} > 8.7\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \sqrt{3}\frac{0.28d^2}{R\sqrt{Rt_p}}$	
边缘的边界条件： - - - - - - - - - - - - 板边缘自由； ———————— 板边缘简支； ▬▬▬▬▬▬ 板边缘夹紧。			

5.2.2.7　施加在板格上的正应力和剪应力

施加在板格上用于[5.2.1.1]中加筋板格的整体弹性屈曲能力及[5.2.2.1]中板格能力计算的双向正应力σ_x和σ_y，N/mm^2，应取为：

（1） 对于有限元分析，见第 4 节[4.2.4]中的参考应力定义；

（2） 对于整体加筋板格能力和板格能力的描述性要求，轴向或横向压应力应根据相关统一要求进行计算，所考虑的加强筋或所考虑的单元板格的载荷计算点定义分别见第 3 节[3.1.2.1]的（1）和（2）。但对于横向加筋布置，用于评估整体加筋板格能力的横向压应力应取为骨材带板按第 3 节[3.1.2.1]（1）中定义的载荷计算点处计算得到的压应力；

（3） 对于梁系分析，其应力根据梁理论得到，应根据下式计算得到：

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{xb} + \nu\sigma_{yb}}{1-\nu^2}$$
$$\sigma_y = \frac{\sigma_{yb} + \nu\sigma_{xb}}{1-\nu^2}$$

式中：

σ_{xb}, σ_{yb} ——根据交叉梁系分析得到的分别沿着带板的 x 和 y 方向的应力，N/mm^2；

用于[5.2.1.1]中加筋板格的整体弹性屈曲能力及[5.2.2.1]板格屈曲能力计算的剪应力τ，N/mm^2，应取为：

① 对于有限元分析，本章第 4 节[4.2.4]中定义的参考剪应力；

② 描述性要求中，对于板格屈曲能力计算，应根据相关统一要求计算得到的剪应力，板格载荷计算点定义见第 3 节[3.1.2.1]（1）；

③ 描述性要求中，对于加筋板格的整体弹性屈曲能力计算，应根据相关统一要求计算得到的剪应力，载荷计算点的定义如下：

（a）对于所分析的加强筋，在其整体跨距l的中间位置；

（b）在加强筋与其带板的交线处的点；

（4）对于梁系分析，PSM 腹板带板的剪应力$\tau = 0$。

5.2.3 骨材

5.2.3.1 屈曲模式

应对下列屈曲模式进行校核：

（1） 加强筋失效导致的结构屈曲（*SI*）；

（2） 带板失效导致的结构屈曲（*PI*）。

5.2.3.2 扁钢的腹板厚度

为计及局部侧向变形引起的刚度降低影响，对于扁钢加强筋，在本节[5.2.1]和[5.2.3.4]中计算其截面积A_s、模量Z和惯性矩I时，应采用以下定义的有效腹板厚度，mm：

$$t_{w_red} = t_w\left(1 - \frac{2\pi^2}{3}\left(\frac{h_w}{s}\right)^2\left(1 - \frac{b_{eff1}}{s}\right)\right)$$

5.2.3.3 球扁钢的理想化

球扁钢应按等效剖面考虑。等效剖面的净尺寸按下列各式得到：

$$h_w = h_w^{'} - \frac{h_w^{'}}{9.2} + 2$$

$$b_f = \alpha\left(t_w^{'} + \frac{h_w^{'}}{6.7} - 2\right)$$

$$t_f = \frac{h_w^{'}}{9.2} - 2$$

$$t_w = t_w^{'}$$

式中：$h_w^{'}, t_w^{'}$——球扁钢的净高度和厚度，mm，见图 5.2.3.3；

α——系数，等于：

$$\alpha = 1.1 + \frac{\left(120 - h_w^{'}\right)^2}{3000} \quad \text{对 } h_w^{'} \le 120$$

$$\alpha = 1.0 \quad \text{对 } h_w^{'} > 120$$

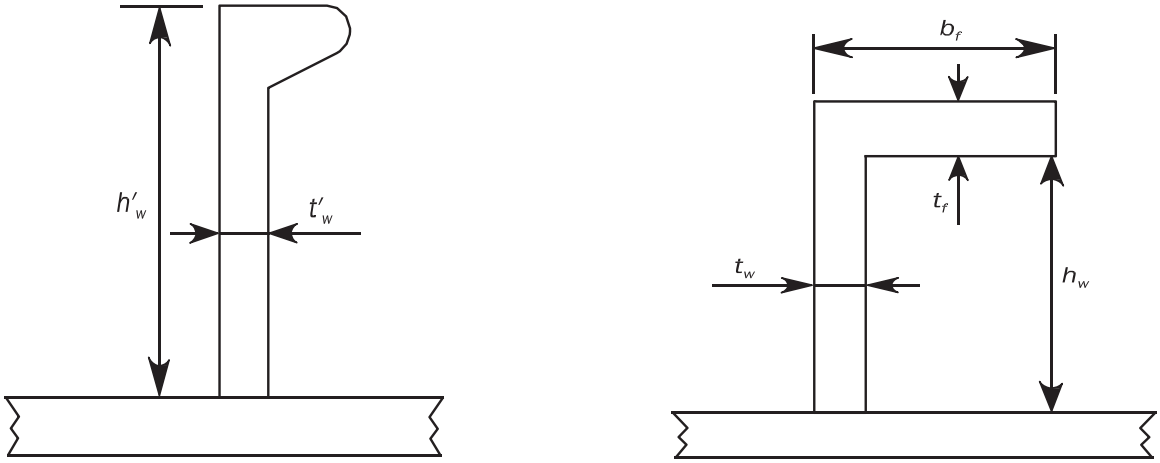


图 5.2.3.3　球扁钢骨材的理想化

5.2.3.4　极限屈曲能力

当$\sigma_a + \sigma_b + \sigma_w > 0$，且初始设置$\gamma = 1$时，骨材的极限屈曲能力应根据以下相关方程进行校核：

$$\frac{\gamma_c \sigma_a + \sigma_b + \sigma_w}{R_{eH}} S = 1$$

相应的屈曲利用因子定义为：

$$\eta_{stiffener} = \frac{1}{\gamma_c}$$

式中：

σ_a　——作用在骨材及其带板的跨中位置处的有效轴向应力，　N/mm²，

$$\sigma_a = \sigma_x \frac{st_p + A_s}{b_{eff1} t_p + A_s}$$

σ_x　——作用在骨材及其带板的名义轴向应力，　N/mm²，

（1）对于有限元分析，σ_x是指带板中沿着加强筋轴向方向的应力，按[5.2.3.6]修正后的应力；

（2）　对于描述性屈曲评估，σ_x是指施加在加强筋及其带板上的名义轴向应力，N/mm²，根据第 3 节[3.2.2.1]计算，骨材的载荷计算点见第 3 节[3.1.2.1]；

（3）对于交叉梁系分析，σ_x是指作用在所连接屈曲板格 *x* 方向的应力。

R_{eH}　——最小屈服强度，N/mm²

（1）对于加强筋导致的失效（*SI*），$R_{eH} = R_{eH_S}$

（2）对于带板导致的失效（*PI*），$R_{eH} = R_{eH_P}$

σ_b　——骨材的弯曲应力，　N/mm²

$$\sigma_b = \frac{M_0 + M_1 + M_2}{1000Z}$$

Z　——骨材的净剖面模数，包括按照[5.2.3.5]的带板有效宽度，按如下计取：

（1）对于加强筋导致的失效（*SI*），取骨材翼板顶面处计算得到的剖面模数；

（2）对于带板导致的失效（*PI*），取带板底面处计算得到的剖面模数。

M_2 ——由于削斜骨材的偏心引起的弯矩，N·mm，按如下计算：

（1）对于连续加强筋

$$M_2 = 0$$

（2）对于一端或两端削斜的骨材

$$M_2 = C_{snip} w_{na} \gamma \sigma_x (A_p + A_s)$$

C_{snip} ——考虑削斜骨材端部效应的系数，按如下计算：

（1）对于骨材导致的失效（*SI*），$C_{snip} = -1.2$；

（2）对于带板导致的失效（*PI*），$C_{snip} = 1.2$；

σ_w ——扭转引起的应力，N/mm^2，定义见[5.4.4.4]

M_1 ——由于侧向压力 P 引起的弯矩，N·mm，按如下计算：

（1）对于连续骨材

$$M_1 = C_i \frac{|P| s l^2}{24 \times 10^3}$$

（2）对于两端削斜的骨材

$$M_1 = C_i \frac{|P| s l^2}{8 \times 10^3}$$

（3）对于一端连续/固支，一端削斜的骨材

$$M_1 = C_i \frac{|P| s l^2}{14.2 \times 10^3}$$

P ——侧向压力，kN/m^2

（1） 对于有限元屈曲分析，*P* 是指第 4 节[4.2.5.2]中定义的带板上的平均压力；

（2）对于描述性屈曲评估，*P* 是指在第 3 节[3.1.2.1]中定义的骨材载荷计算点处计算得到的静压力。

C_i ——压力系数：

（1） $C_i = C_{SI}$，对于加强筋导致的失效（*SI*）；

（2） $C_i = C_{PI}$，对于带板导致的失效（*PI*）；

C_{PI} ——带板导致的失效模式的压力系数：

（1）$C_{PI} = 1$，如果侧向压力施加在加强筋背侧；

（2）$C_{PI} = -1$，如果侧向压力施加在与加强筋同侧；

C_{SI} ——加强筋导致的失效模式的压力系数

（1） $C_{SI} = -1$，如果侧向压力施加在加强筋背侧；

（2） $C_{SI} = 1$，如果侧向压力施加在与加强筋同侧；

M_0 ——由于骨材的侧向变形 *w* 引起的弯矩，N·mm

$M_0 = F_E C_{sl} \frac{\gamma}{\gamma_{GEB} - \gamma} w_0$，且前提条件为$\gamma_{GEB} - \gamma > 0$

γ_{GEB} ——在[5.2.1]中定义的整体弹性屈曲能力的应力倍增因子；

F_E ——骨材的理想弹性屈曲力，N：

$$F_E = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 EI \times 10^4$$

I ——包括有效带板宽度的骨材惯性矩，cm^4。I 应满足下式：

$$I \geq \frac{s t_p^3}{12 \times 10^4}$$

t_p ——带板净厚度，mm，按下式取为：

（1）对于描述性要求：两个带板的平均厚度；

（2）对于有限元分析：所计算的 EPP 在骨材一边的厚度

C_{sl} ——整体柔度相关的变形折减系数，按如下计算：

（1）$C_{sl} = 1 - \frac{1}{12}\lambda_G^4$，对于$\lambda_G \leq 1.56$；

（2）$C_{sl} = 3/\lambda_G^4$，对于$\lambda_G > 1.56$；

λ_G ——加筋板整体柔度的参考细长度，按如下计算：

$$\lambda_G = \sqrt{\frac{\gamma_{ReH}}{\gamma_{GEB}}}$$

其中：$\gamma_{ReH} = \frac{\text{Min}\,(R_{eH_P},\ R_{eH_S})}{\sqrt{\sigma_{x,av}^2+\sigma_y^2-\sigma_{x,av}\sigma_y+3\tau^2}}$

$\sigma_{x,av}$ ——板和骨材的平均轴向应力，定义见 [5.2.1.2]；

σ_y ——板的横向应力，定义见 [5.2.1.1]；

τ ——板的剪切应力，定义见本节[5.2.1.1]；

w_0 ——假定缺陷值，mm，取为：

$w_0 = l/1000$；

σ_w ——扭转变形引起的应力，N/mm²，取为：

（1）对于骨材导致的失效（*SI*）

① 对于$\sigma_a > 0$：

$\sigma_w = Ey_w e_f \Phi_0 \left(\frac{m_{tor}\pi}{l_{tor}}\right)^2 \left(\frac{1}{1-\frac{\gamma\sigma_a}{\sigma_{ET}}} - 1\right)$，且前提条件为$\sigma_{ET} - \gamma\sigma_a > 0$

② 对于$\sigma_a \leq 0$：

$\sigma_w = 0$

（2）对于带板导致的失效（*PI*）

$\sigma_w = 0$

y_w ——从骨材横截面中心到骨材翼板自由边缘的距离，mm，取为：

（1）对扁钢，$y_w = \frac{t_w}{2}$；

（2）对角钢和球扁钢，$y_w = b_f - \frac{h_w t_w^2 + t_f b_f^2}{2A_s}$；

（3）对 L2 型材，$y_w = b_{f-out} + 0.5t_w - \frac{h_w t_w^2 + t_f\left(b_f^2 - 2b_f d_f\right)}{2A_s}$

（4）对 T 型材，$y_w = \frac{b_f}{2}$

Φ_0 ——系数，取为：

$$\Phi_0 = \frac{l_{tor}}{m_{tor} h_w} \times 10^{-4}$$

σ_{ET} ——扭转屈曲参考应力，N/mm²，取为：

$$\sigma_{ET} = \frac{E}{I_p}\left[\left(\frac{m_{tor}\pi}{l_{tor}}\right)^2 I_\omega \times 10^2 + \frac{1}{2(1+\nu)} I_T + \left(\frac{l_{tor}}{m_{tor}\pi}\right)^2 \varepsilon \times 10^{-4}\right]$$

I_p ——骨材关于点 *C* 的净极惯性矩，cm⁴，按表 5.4.4.4 定义，点 *C* 如第 1 节图 1.2.3.2（1）所示，且按表 5.2.3.4 定义；

I_T ——骨材的净圣维南惯性矩，cm⁴，按表 5.2.3.4 定义；

I_ω ——加强筋关于点 C 的净剖面扇形惯性矩，cm⁶，点 C 如第 1 节图 1.2.3.2（1）所示，且按表 5.2.3.4 定义；

l_{tor} ——骨材跨距，mm，等于主要支撑构件之间的距离，即$l_{tor} = l$。当加强筋有防倾肘板支撑时，l_{tor}应取为相邻的主要支撑构件和防倾肘板之间的最大距离；

m_{tor} ——半波数，其取值应使得扭转屈曲参考应力取为不小于 0 的最小值；

ε ——固定度，取为：

$\varepsilon = \left(\frac{3b}{t_p^3} + \frac{2h_w}{t_w^3}\right)^{-1}$ 对于球扁钢、角钢、L2 型材及 T 型材；

$\varepsilon = \left(\frac{t_p^3}{3\mathrm{b}}\right)$ 对于扁钢；

A_w ——腹板净面积，mm²；

A_f ——翼板净面积，mm²。

惯性矩 表 5.2.3.4

横截面特性	扁钢	球扁钢、角钢、L2 型材和 T 型材
I_p	$\frac{h_w^3 t_w}{3\times 10^4}$	$\left(\frac{A_w(e_f - 0.5t_f)^2}{3} + A_f e_f^2\right)\times 10^{-4}$
I_T	$\frac{h_w t_w^3}{3\times 10^4}\left(1 - 0.63\frac{t_w}{h_w}\right)$	$\frac{(e_f - 0.5t_f)t_w^3}{3\times 10^4}\left(1 - 0.63\frac{t_w}{e_f - 0.5t_f}\right) + \frac{b_f t_f^3}{3\times 10^4}\left(1 - 0.63\frac{t_f}{b_f}\right)$
I_ω	$\frac{h_w^3 t_w^3}{36\times 10^6}$	对球扁钢和角钢： $\frac{A_f^3 + A_w^3}{36\times 10^6} + \frac{e_f^2}{10^6}\left(\frac{A_f b_f^2 + A_w t_w^2}{3} - \frac{(A_f b_f + A_w t_w)^2}{4(A_f + A_w)}\right)$ 对 T 型材： $\frac{b_f^3 t_f e_f^3}{12\times 10^6}$
注： (1) t_w 为腹板净厚度，mm，本表中不使用 [5.2.3.2] 中定义的 t_{w_red}； (2) 对于球扁钢和角钢，d_f 取为 0。		

5.2.3.5 带板的有效宽度

骨材的有效带板宽度，b_{eff}，mm，应取为：

（1） 当$\sigma_x > 0$ 时：

① 对于有限元分析：

$$b_{eff} = Min\,(C_x b, \chi_s s)$$

② 对于描述性评估：

$$b_{eff} = Min\left(\frac{C_{x1}b_1 + C_{x2}b_2}{2}, \chi_s s\right)$$

（2） 当$\sigma_x \le 0$ 时：

$$b_{eff} = \chi_s s$$

式中：χ_s——有效宽度系数，取为：

① 如果$\frac{\ell_{eff}}{s} \ge 1$，则：

$$\chi_s = \frac{1.12}{1 + \frac{1.75}{\left(\frac{\ell_{eff}}{s}\right)^{1.6}}} \le 1.0$$

② 如果$\frac{\ell_{eff}}{s}<1$，则：

$$\chi_s = 0.407\frac{\ell_{eff}}{s}$$

ℓ_{eff}——骨材有效长度，mm，取为：

（1）对于两端固支的加强筋，$\ell_{eff}=\frac{l}{\sqrt{3}}$；

（2）对于一端简支、一端固支的加强筋，$\ell_{eff}=0.75l$；

（3）对于两端简支的加强筋，$\ell_{eff}=l$；

5.2.3.6 针对骨材屈曲能力评估的有限元应力修正

当按照第 4 节[4.2.4]，从有限元分析得到的参考应力 x 和 y 均为压应力时，x 应根据下列公式进行修正：

（1）如$\sigma_x<\nu\sigma_y$，则：

$$\sigma_{xcor}=0$$

（2）如$\sigma_x\geq\nu\sigma_y$，则：

$$\sigma_{xcor}=\sigma_x-\nu\sigma_y$$

5.2.4 主要支撑构件

5.2.4.1 开口位置处的腹板

应基于轴向压应力和剪切应力的联合作用，进行主要支撑构件开口位置处腹板屈曲评估。与开口两边邻接的腹板应作为单独的非加筋板格，如表 5.2.4.1 所示。

应采用[5.2.2.1]的相关方程，且：

$$\sigma_x=\sigma_{av}$$

$$\sigma_y=0$$

$$\tau=\tau_{av}$$

式中：σ_{av}——所计算的腹板区域内，即表 5.2.4.1 中的 P1、P2 和 P3 区域内的加权平均压应力，N/mm^2；

在应用表 5.2.4.1 时，加权平均剪切应力按如下取值：

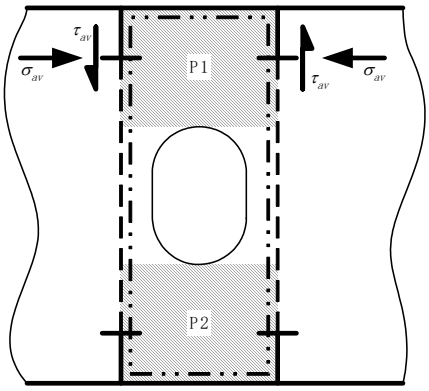
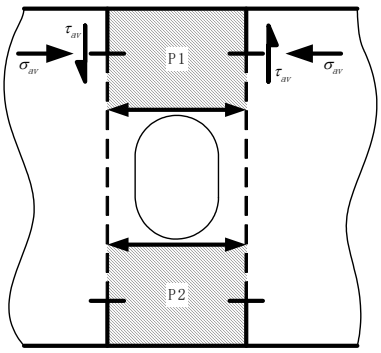
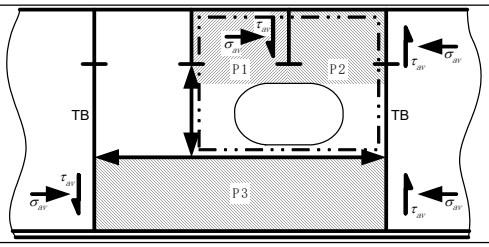
（1）如果模型中建立了主要支撑构件上的开口模型，则：

τ_{av}——计算的腹板面积上的加权平均剪切应力，N/mm^2。腹板面积如表 5.2.4.1 中的 P1、P2、P3 所示；

（2）如果模型中没有建立主要支撑构件上开口的模型，则：

τ_{av}——表 5.2.4.1 中给出的加权平均剪切应力，N/mm^2。

开口腹板的屈曲折减因子　　表 5.2.4.1

结构布置(1)		C_x, C_y	C_τ	
			支撑构件上的开口已建在模型中	支撑构件上的开口未建在模型中
(a) 边缘未加强(2)		对于 P1 和 P2 区域，应采用各自的折减因子，按表 5.2.2.3 中的工况③或⑥选取，且板边应力比取 ψ = 1.0。	对于 P1 和 P2 区域，应采用各自的折减因子，按表 5.2.2.3 中的工况⑱或⑲选取。	对于表 5.2.2.3 中的工况⑰适用的情况，P1 和 P2 区域应采用共同的折减因子，按工况⑰选取，且 $\tau_{av} = \tau_{av}(web)$； 对于表 5.2.2.3 中的工况⑰不适用的情况，P1 和 P2 区域应采用各自的折减因子，按工况⑱或⑲选取，且 $\tau_{av} = \tau_{av}(web)h/(h-h_0)$
(b) 边缘有加强		对于 P1 和 P2 区域，应采用各自的折减因子，按表 5.2.2.3 选取，且为： C_x，按工况①；或 C_y，按工况②。 且板边应力比取ψ＝1.0。	对于 P1 和 P2 区域，应采用各自的折减因子，按表 5.2.2.3 中的工况⑮选取。	对于 P1 和 P2 区域，应采用各自的折减因子，按表 5.2.2.3 中的工况⑮选取，且：$\tau_{av} = \tau_{av}(web)h/(h-h_0)$
(c) 腹板上开口示例		板格 P1 和 P2 应按照(a)评估；板格 P3 应按照(b)评估。		

式中：

h ——主要支撑构件开口腹板的高度，m；

h_0——沿腹板高度方向量得的开口高度，m；

$\tau_{av}(web)$—— 覆盖主要支撑构件腹板高度 h 的加权剪应力，N/mm^2

注（1）：开口腹板位置处的屈曲评估应考虑的板格如图中阴影所示，编号为 P1、P2 等。

注（2）：对于具有开口且边缘未作加强的主要支撑构件的腹板板格，如构造(a)所示，适用的屈曲评估方法取决于其具体边界条件。如果沿翼板或沿带板的一条长边不承受“线内支持”，即该边缘可以自由被拉紧，则应使用方法 B。其他情况下，如板格短边与板的翼板相连的典型情况，则应使用方法 A。

5.2.4.2　开口腹板的折减因子

与开口邻接的腹板板格的折减因子, C_x或C_y与C_τ组合，应按表 5.2.4.1 所示选取。

5.2.4.3　由垂直骨材穿过的主要支撑构件腹板，应根据图 5.2.4.3 进行等效板格的理想化。

板格宽度的修正也适用于其他槽孔构造的情况，只要腹板和领板至少与穿过的骨材的一侧相连。

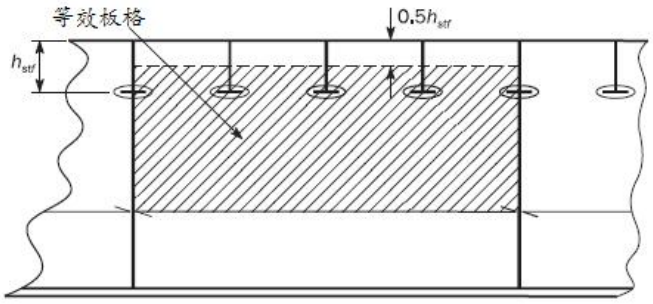


图 5.2.4.3　主要支撑构件腹板的理想化

5.2.5　装有 U 型材的加筋板格

5.2.5.1　局部板格屈曲

对于装有 U 型材的加筋板，应按如下分别校核每个 EPP b_1, b_2, b_f和h_w（见第 1 节图 1.2.3.2(2)）的局部板格屈曲：

（1）带板板格 EPP b_1, b_2应使用 SP-A 模型评估。计算表 5.2.2.3 工况①的屈曲系数 K_x 时，应使用表 5.2.2.4 定义的 U 型材的修正系数F_{long}；计算表 5.2.2.3 工况②的 K_y时，应使用[5.2.2.5]定义的 U 型材的F_{tran}。

（2）面板和腹板板格 EPP b_f和h_w应使用 UP-B 方法评估，且$F_{long}=1,\ F_{tran}=1$。

5.2.5.2　加筋板整体屈曲及骨材的屈曲

装有 U 型材加筋板格的骨材的整体加筋板格能力和极限能力评估时，翘曲应力$\sigma_w=0$，且包括有效宽度带板的弯曲惯性矩应基于以下假设计算：

（1）U 型材的两侧腹板板格应取为垂直于带板，厚度等于t_w，高度等于带板与骨材翼板之间的距离；

（2）带板的有效宽度b_{eff}取为 EPP，b_1, b_2分别按照 SP-A 模型计算得到的b_{eff}之和；

（3）不考虑剪滞效应的骨材带板有效宽度b_{eff1}取为 EPP，b_1, b_2分别计算得到的 b_{eff1}之和。

5.3　柱结构的屈曲能力

5.3.1　槽形结构的柱屈曲

5.3.1.1　屈曲利用因子

轴向受压槽形结构的柱屈曲利用因子η, 按下式计算：

$$\eta_{column}=\frac{\sigma_{av}}{\sigma_{cr}}$$

式中：σ_{av}——构件中的平均压应力，N/mm²；

σ_{cr}——最小临界屈曲应力，N/mm²，按如下取用：

①$\sigma_{cr}=\sigma_E$ ，对 $\sigma_E \le 0.5R_{eH_S}$；

②$\sigma_{cr}=\left(1-\frac{R_{eH_S}}{4\sigma_E}\right)R_{eH_S}$ ，对 for $\sigma_E > 0.5R_{eH_S}$

σ_E——最小弹性受压屈曲应力，N/mm²，按[5.3.1.2]计算；

R_{eH_S}——材料屈服应力，N/mm²。对于组合截面构件，应取各构件材料屈服应力的小者。

5.3.1.2　弹性柱屈曲应力

轴向受压构件的弹性柱屈曲应力σ_E，N/mm²，按下式计算：

$$\sigma_E = \pi^2 E f_{end} \frac{I}{A l_{pill}^2} \times 10^{-4}$$

式中：I——关于横截面最弱轴的净惯性矩，cm^4；

A——构件的净横截面积，cm^2；

l_{pill}——构件的无支撑长度，m；

f_{end}——端部约束因子，对应于适用的简单支持的端部，且应按如下取用，但对于在顶凳或底凳处的固定端部深度超过 2 倍槽形的情况除外：

- $f_{end} = 1.0$，两端简支；
- $f_{end} = 2.0$，一端简支，另一端固定；
- $f_{end} = 4.0$，两端固定。

第 6 节　基于应力的参考应力

符号

a　——第 5 节中定义的板格长边长度，mm；

b　——第 5 节中定义的板格短边长度，mm；

A_i　——屈曲板格中第 i 个板单元的面积，mm^2；

n　——屈曲板格中的板单元数；

σ_{xi}　——作用在屈曲板格短边方向，在第 i 个板单元的形心位置沿着 x 方向的实际应力，N/mm^2；

σ_{yi}　——作用在屈曲板格长边方向，在第 i 个板单元的形心位置沿着 y 方向的实际应力，N/mm^2；

ψ　——边缘应力比，定义见第 5 节；

τ_i　——屈曲板格第 i 个板单元形心位置处的实际膜剪应力，N/mm^2。

6.1　基于应力的方法

6.1.1　引言

6.1.1.1　本节给出了一种通过二次多项式曲线和使用最小二乘法线性分布和加权平均法得到线性分布来确定所计算的屈曲板格边缘应力分布的方法。参考应力是指将板单元中心处的应力变换到所计算屈曲板格局部坐标系下的应力分量。

6.1.1.2　定义

规则板格是指形状为矩形的板格。非规则板格是指不规则的板格，详见第 4 节[4.2.3.1]。

6.1.2　应力施加

6.1.2.1　规则板格

对于某一规则板格，如满足下列条件，则其参考应力应按照[6.2.1]针对规则板格的定义进行选取：

- 在规则板格长边 a 的每 1/3 部分中，都至少包括一个板单元的形心；
- 在沿着板格的局部 x 坐标方向，该单元的形心与相邻的 1/3 板格部分中的至少一个单元形心的距离应不小于 $a/4$。

否则，其参考应力应按照[6.2.2]针对非规则板格的定义进行选取。

6.1.2.2　非规则板格和曲板板格

非规则板格的参考应力应按照[6.2.2]的定义进行选取。

6.2　参考应力

6.2.1　规则板格

6.2.1.1　纵向应力

作用在屈曲板格短边上的纵向应力σ_x应根据如下方法进行计算：

对于板的屈曲校核，将$\sigma_x(x)$的分布假设为如下二阶多项式曲线形式：

$$\sigma_x = Cx^2 + Dx + E$$

应力$\sigma_x(x)$的最佳拟合曲线可以考虑将各个单元的面积作为加权因子的面积加权平方差Π为最小得到：

$$\Pi = \sum_{i=1}^{n} A_i\left[\sigma_{xi} - (Cx_i^2 + Dx_i + E)\right]^2$$

上式中的未知系数 C、D 和 E 应使得$\partial\Pi$分别对 *C*、*D* 和 *E* 的第一阶偏导数为零，即

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\Pi}{\partial C} = 2\sum_{i=1}^{n} A_i x_i^2\left[\sigma_{xi} - \left(Cx_i^2 + Dx_i + E\right)\right] = 0 \\ \dfrac{\partial\Pi}{\partial D} = 2\sum_{i=1}^{n} A_i x_i\left[\sigma_{xi} - \left(Cx_i^2 + Dx_i + E\right)\right] = 0 \\ \dfrac{\partial\Pi}{\partial E} = 2\sum_{i=1}^{n} A_i\left[\sigma_{xi} - \left(Cx_i^2 + Dx_i + E\right)\right] = 0 \end{cases}$$

未知系数 *C*、*D* 和 *E* 可以通过联立求解上述 3 个方程组得到。

$$\sigma_{x1} = \frac{1}{b}\int_0^b \sigma_x(x)dx = \frac{b^2}{3}C + \frac{b}{2}D + E$$

$$\sigma_{x2} = \frac{1}{b}\int_{a-b}^{a} \sigma_x(x)dx = \left(a^2 - ab + \frac{b^2}{3}\right)C + \left(a - \frac{b}{2}\right)D + E$$

如果$-\frac{D}{2C} < \frac{b}{2}$ 或者 $-\frac{D}{2C} > a - \frac{b}{2}$，，则$\sigma_{x3}$应予以忽略。否则，$\sigma_{x3}$应取为：

$$\sigma_{x3} = \frac{1}{b}\int_{x_{min}}^{x_{max}} \sigma_x(x)dx = \frac{b^2}{12}C - \frac{D^2}{4C} + E$$

式中：$x_{min} = -\frac{b}{2} - \frac{D}{2C}$

$$x_{max} = \frac{b}{2} - \frac{D}{2C}$$

纵向应力应为：$\sigma_x = Max\left(\sigma_{x1}, \sigma_{x2}, \sigma_{x3}\right)$；

边缘应力比应为：$\psi_x = 1$

对于加筋板的整体弹性屈曲评估及骨材的屈曲评估，作用在带板短边上的应力σ_x应为：

$$\sigma_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i\sigma_{xi}}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

应力σ_x的边缘应力比等于 1.0。

6.2.1.2　横向应力

施加在屈曲板格长边上的横向应力σ_y，应通过对所计算屈曲板格内的所有单元的横向应力进行插值计算到短边边缘上获得。

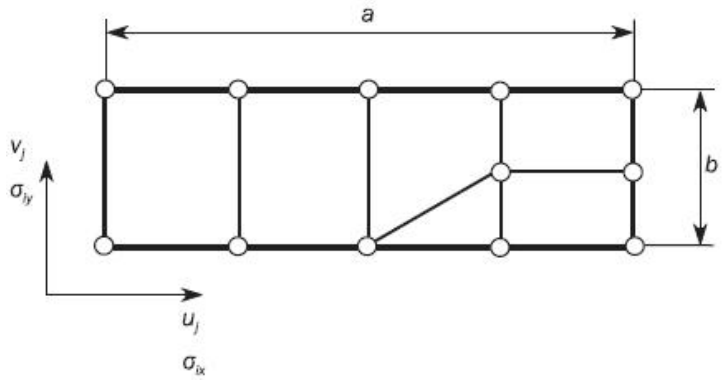


图 6.2.1.2　　屈曲板格

$\sigma_y(x)$的分布假设为直线，即：

$$\sigma_y(x) = A + Bx$$

$\sigma_y(x)$的最佳拟合曲线应通过最小二乘法，考虑将各个单元的面积作为加权因子的面积加权平方差Π为最小得到

$$\Pi = \sum_{i=1}^{n} A_i\left[\sigma_{yi} - (A + Bx_i)\right]^2$$

未知数 *A* 和 *B* 应使得$\partial\Pi$分别对 *A* 和 *B* 的第一阶偏导数为零。

$$\frac{\partial \Pi}{\partial A} = 2\sum_{i=1}^{n} A_i\left[\sigma_{yi} - (A + Bx_i)\right] = 0$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial B} = 2\sum_{i=1}^{n} A_i x_i\left[\sigma_{yi} - (A + Bx_i)\right] = 0$$

求解上述两个方程，可以得到未知数 *A* 和 *B* 如下：

$$A = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} A_i\sigma_{yi}\right)\left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i\sigma_{yi}\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n} A_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i\right)^2}$$

$$B = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} A_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i\sigma_{yi}\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} A_i\sigma_{yi}\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n} A_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} A_i x_i\right)^2}$$

横向应力计算如下：

$$\sigma_y = max\,(A, A + Ba)$$

边缘应力比计算如下：

$$\psi_y = \frac{min\,(A, A + Ba)}{max\,(A, A + Ba)} \quad ，\text{如果 } \sigma_y > 0$$

$$\psi_y = 1 \quad ，\qquad \text{如果 } \sigma_y \le 0.$$

6.2.1.3　剪应力

剪应力τ应采用面积加权平均方法，根据下式计算得到：

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i\tau_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

6.2.2 非规则板格和曲板板格

6.2.2.1 参考应力

纵向、横向和剪应力都应采用面积加权平均方法，根据如下计算得到：

$$\sigma_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \sigma_{xi}}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

$$\sigma_y = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \sigma_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \tau_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

边缘应力比应取为：

$$\psi_x = 1$$

$$\psi_y = 1$$

第 3 章　舾　装

第 1 节　舵

3.1.1　一般要求

3.1.1.1　基本假设

(1) 本节规定适用于普通剖面型舵，以及部分为了提升舵力，采用特殊布置以剖面优化加强型的舵。对于剖面形状不包含在本节中的舵型，需要特殊考虑。

(2) 本节规定适用于钢质舵。非钢质舵需要特殊考虑。

3.1.1.2　设计考虑

(1) 应提供有效的方式以在不产生过度的舵承压力时支撑舵体的重量，例如采用在舵杆上部设置一个上舵承的方式。上舵承处的船体结构应适当地加强。

(2) 应有合适的装置，以防止舵被抬升。

(3) 通海的舵杆围阱，结构吃水（无纵倾）处水线之上安装有密封装置或填料函，以防止海水进入舵机舱，导致舵承处的润滑剂被冲走。若舵杆围阱的顶部低于结构吃水（无纵倾）处水线，应设有两个分开的水密密封/填料函。

3.1.1.3　材料

(1) 舵的焊接件材料应符合 CCS《材料与焊接规范》船体结构钢的有关规定。

(2) 在每一条规范要求中，应考虑普通强度或高强度钢板的材料系数 K。如无特殊规定，材料系数应按本篇第 1 章第 3 节取值。

(3) 舵及挂舵臂的钢板钢级应符合本篇第 1 章第 3 节的有关规定。

(4) 舵杆、舵销、连接螺栓、键及舵的铸件应满足 CCS《材料与焊接规范》的轧制、锻造或铸造碳锰钢的要求。

(5) 对于舵杆、舵销、键和螺栓，其所使用材料的最小屈服应力应不小于 200N/mm^2。本节的要求基于材料的屈服应力为 235N/mm^2。所用材料的屈服应力若不同于 235N/mm^2，材料系数 K 应按下式计算得到：

$$K = \left(\frac{235}{R_{eH}} \right)^e$$

式中：e=0.75 对于 R_{eH} >235N/mm^2；

e =1.00 对于 $R_{eH} \leq$ 235N/mm^2；

R_{eH} ——所用材料规定的最小屈服应力，N/mm^2,应不大于 0.7 R_m 或 450 N/mm^2, 取其小值；

R_m ——所用材料的抗拉强度，N/mm^2。

3.1.1.4　焊接和设计细节

(1)　应尽可能少用塞焊。在有大的面内应力垂直于塞焊处，以及半悬挂舵的缺口处，不可用塞焊。

当使用塞焊时，塞焊长度应至少 75mm，宽度为 2t，其中 t 为舵板厚度，mm。塞焊端部的间距应不大于 125mm，焊脚尺寸符合本篇第 1 章第 1 节 1.4.4 的计算要求，焊接系数为 0.44。应用适合的化合物填充绕孔边界填角焊后留下的塞焊孔，如采用环氧油灰。塞焊不应在孔内填满焊肉。

应使用连续对接焊代替塞焊。当采用连续对接焊时，应留根 6-10mm，坡脚应至少为 15 度。

(2) 在半悬挂舵缺口处，舵板（铸钢承座实心体处除外）倒角圆弧半径应不小于 5 倍舵板厚度，且不小于 100mm。舵旁板的焊接应避免焊到圆弧处。接近圆弧处的边以及焊脚应磨平。

(3) 承受舵弯曲产生较大应力的舵旁板焊接，以及舵板与锻钢或铸钢承座实心体或者厚板的焊接，应采用全焊透。在高应力区域，比如半悬挂舵缺口处以及悬挂舵上部分，应采用

铸钢或者焊接在隔板上。通常应采用双面全焊透。如果背面不可施焊，应焊接在陶瓷垫板或相当材料上。可采用钢质垫板，且应单面连续焊接在坡口上，见图 3.1.1.4（3）。单面焊的坡口角度应至少为 15°。

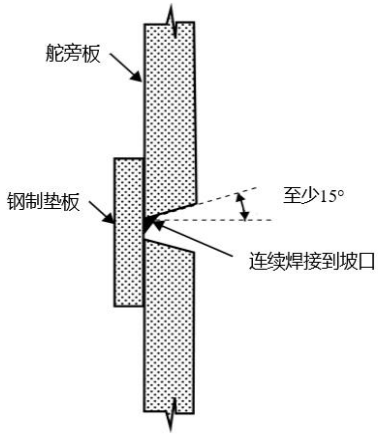


图 3.1.1.4（3） 舵旁板全焊透时使用钢制垫板

(4) 对于舵杆围阱的焊接以及设计细节的要求见本节 3.1.9.2。

(5) 当舵杆与舵叶水平法兰连接时，对于其焊接以及设计细节的要求见本节 3.1.6.1(4)。

(6) 对于挂舵臂的焊接以及设计细节的要求见本节 3.1.9.1(3)。

3.1.1.5 等效设计

(1) 可以接受与本节要求不同的设计，如该设计具有与本节相当的要求。

(2) 为了证明不同设计的等效性，可采用满足所有相关破坏模式的直接计算具体分析。这些破坏模式包括屈服、疲劳、屈曲、断裂。由于空蚀可能带来的破坏也应加以考虑。

(3) 如认为必要，可能需要提供试验结果，或者全尺度试验结果以证明等效的设计方法。

3.1.2 舵力和舵杆扭矩

3.1.2.1 无缺口舵叶

(1) 舵力是舵尺寸计算的基础，舵力 C_R 应按下式计算：

$$C_R = 132K_1K_2K_3AV^2 \quad \text{N}$$

式中: C_R ——舵力，N；

A——舵叶面积，m^2；

V—— 最大服务航速，kn。当航速小于 10 kn 时，V 应被下式取代：

$$V_{\min} = (V + 20)/3$$

对于倒车工况，应采用最大倒车航速 V_{astern}（船舶在最深航行吃水，在设计最大倒车功率下，预计能达到最大速度），且该航速应不小于下式计算所得之值：

$$V_{astern} = 0.5V$$

K_1——系数，依据展舷比λ而定；

$K_1 = (\lambda + 2)/3$，λ 的取值应不大于 2；

$\lambda = b^2 / A_t$；

b ——舵面积的平均高度，m。舵的平均宽度和平均高度如图 3.1.2.1 计算；

A_t——舵叶面积 A 以及高度 b 范围内可能设有的舵柱和挂舵臂面积，m^2;

K_2——依据舵的类型以及剖面形状选取的系数，见表 3.1.2.1；经认可，可以采用试验提供数据；

K_3=0.8 当舵位于螺旋桨尾流之外时

=1.15 当舵在螺旋桨导流管后面时

=1.0 其他情况。

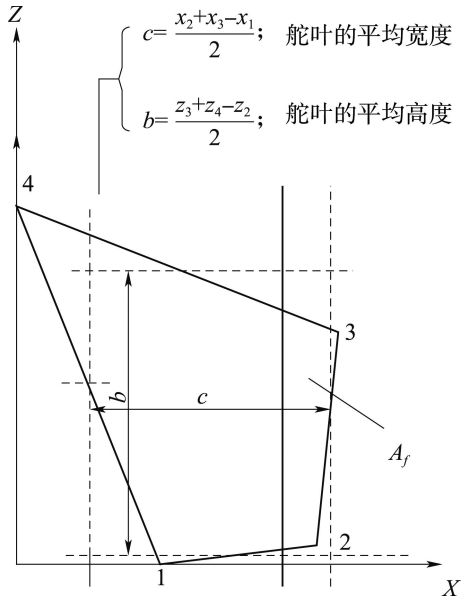


图 3.1.2.1

系数 K_2 表 **3.1.2.1**

翼型		K_2	
		正车时	倒车时
NACA-00 哥汀根翼型		1.1	0.80
平边翼型		1.1	0.90
中空翼型		1.35	0.90
高升力舵		1.7	1.30
鱼尾型		1.4	0.8
单板型		1.0	1.0
混合翼型 （如 HSVA）		1.21	0.9

(2) 对于正车和倒车工况，舵杆扭矩 Q_R 均应按下式计算：

$$Q_R = C_R r \quad \text{Nm}$$

式中：$r = c(\alpha - k)$，m；

c——舵面积的平均宽度，m，见图 3.1.2.1；

α ——系数，正车时取 0.33，倒车时取 0.66。对襟翼舵可特殊考虑，如不能提供试验数据，正车时取 0.40，倒车时取 0.66；

$$k = \frac{A_f}{A}$$；

A_f——位于舵杆前的舵叶部分面积，m^2；

对于正车工况，$r_{\min} = 0.1c$，m。

3.1.2.2 有缺口的舵叶（半悬挂舵）

总的舵力 C_R 应按本节 3.1.2.1⑴计算。压力在舵叶面积上的分布是确定舵杆扭矩和舵叶

强度的依据，应由下述所得：

舵叶面积可分为两个矩形或两个不规则四边形部分，面积为 A_1 和 A_2，因此 $A = A_1 + A_2$，见图 3.1.2.2。

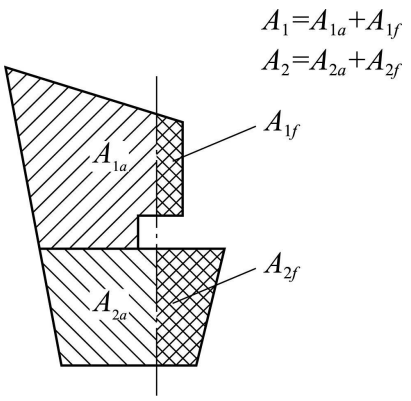


图 3.1.2.2　面积 A_1 和 A_2

力臂 r_1 与 r_2 应按下式计算：

$$r_1 = c_1(\alpha - k_1)，\text{m}；$$

$$r_2 = c_2(\alpha - k_2)，\text{m}；$$

式中：c_1，c_2——A_1 和 A_2 部分面积的平均宽度，依据图 3.1.2.1；

$$k_1 = \frac{A_{1f}}{A_1}；$$

$$k_2 = \frac{A_{2f}}{A_2}；$$

A_{1a} ——位于舵杆中心线后的舵叶 A_1 部分面积，m^2;

A_{1f} ——位于舵杆中心线前的舵叶 A_1 部分面积，m^2;

A_{2a} ——位于舵杆中心线后的舵叶 A_2 部分面积，m^2;

A_{2f} ——位于舵杆中心线前的舵叶 A_2 部分面积，m^2;

α= 0.33，对于正车工况；

α= 0.66，对于倒车工况；

对于舵位于挂舵臂之类固定结构之后的部分:

α= 0.25，对于正车工况；

α= 0.55，对于倒车工况；

各部分的合力可取为：

$$C_{R1} = C_R \frac{A_1}{A} \quad \text{N}$$

$$C_{R2} = C_R \frac{A_2}{A} \quad \text{N}$$

各部分的合成扭矩可取为：

$$Q_{R1} = C_{R1} r_1 \quad \text{Nm}$$

$$Q_{R2} = C_{R2} r_2 \quad \text{Nm}$$

对于正车工况和倒车工况下舵杆的总扭矩 Q_R，应按下式计算：

$$Q_R = Q_{R1} + Q_{R2} \quad \text{Nm}$$

对于正车工况，Q_R应不小于下式计算所得之值：

$$Q_{R\min} = 0.1C_R \frac{A_1c_1 + A_2c_2}{A} \quad \text{Nm}$$

3.1.3 舵强度计算

3.1.3.1 在本节 3.1.2 定义的舵力和舵杆扭矩引起舵叶弯矩和剪力，舵杆的弯矩和扭矩，舵销轴承、舵杆轴承的支持力，挂舵臂和尾框底骨的弯矩、剪力、扭矩。舵体应由水平和垂直的隔板支持以构成一个弯曲梁。

3.1.3.2 弯矩、剪力、扭矩以及支持力大小应由直接计算或者经认可的近似简化方法得到。对于有尾框底骨和挂舵臂支撑的舵，为了反映准确的舵体弹性支持力，尾框底骨和挂舵臂这些结构均应包含在模型中。弯矩和剪力的分布可参考本章后的附录 1。

3.1.4 舵杆尺寸

3.1.4.1 传递舵杆扭矩的舵杆直径应满足扭转应力τ_t不超过下式计算所得之值：

$$\tau_t = 68/K \quad \text{N/mm2}$$

传递舵杆扭矩的舵杆直径d_t应不小于下式计算所得之值：

$$d_t = 4.2\sqrt[3]{Q_R K} \quad \text{mm}$$

式中：Q_R——总的舵杆扭矩，N·m，定义见本节 3.1.2.1⑵和 3.1.2.2；

K——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3⑸。

3.1.4.2 合成应力要求的舵杆尺寸

舵杆的等效弯曲和扭转合成应力应不超过 118/K，N/mm^2。

K——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3⑸。

等效应力σ_c应按下式计算得到：

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_t^2} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：弯曲应力$\sigma_b = \dfrac{10.2M}{d_c^3} \times 10^3 \quad N/mm^2$

剪切应力$\tau_t = \dfrac{5.1Q_R}{d_c^3} \times 10^3 \quad N/mm^2$。

舵杆直径d_c应不小于按下式计算所得之值：

$$d_c = d_t \sqrt[6]{1 + \frac{4}{3}\left(\frac{M}{Q_R}\right)^2} \quad \text{mm}$$

式中：M——考虑剖面的舵杆弯矩, N·m。

对于舵杆围阱伸入舵内的悬挂舵，舵杆尺寸应按照本章附录 1 的 2.2 规定的两个工况进行校核。

3.1.4.3 使用规定的最小屈服应力超过 235N/mm^2 的钢材可导致舵杆直径明显减小，在使用前，可要求对舵杆弹性变形进行评估。为防止在轴承处产生过大的边缘应力，应该避免较大的舵杆变形。

3.1.5 舵叶

3.1.5.1 许用应力

舵叶水平剖面的剖面模数和腹板面积应满足下述的系列应力不超过其后的应力许用值：

(1) 一般，除了如（2）要求的舵叶有缺口的剖面处以外

①弯曲应力σ_b　　110/K　　N/mm^2

②剪切应力τ　　50/K　　N/mm^2

③等效应力 $\sigma_e = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$　　120/ K　　N/mm²

K——舵叶材料系数，见本节 3.1.1.3(2)。

（2）半悬挂舵挂舵臂舵销处缺口处的应力

①弯曲应力 σ_b　　75　　N/mm²

②剪切应力 τ　　50　　N/mm²

③等效应力 $\sigma_e = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$　　100　　N/mm²

注：（2）使用高强度钢，许用应力也不可折减。

3.1.5.2　舵叶

舵旁板、顶板和底板的板厚 t 应不小于下式计算所得之值：

$$t = 5.5 s\beta\sqrt{K}\sqrt{d + C_R 10^{-4}/A} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：d ——结构吃水，m；

C_R——舵力，N，见本节 3.1.2.1；

A ——舵叶面积，m²；

$\beta = \sqrt{1.1 - 0.5(\frac{s}{b})^2}$，如 $\frac{b}{s}$ ≥2.5，则 β 最大取 1。

s——板格的短边长度，m；

b——板格的长边长度，m；

K——舵叶材料系数，见本节 3.1.1.3(2)。

舵叶的导边板应不小于 1.2 倍的舵旁板厚度，但也不必大于 22mm。隔板厚度应不小于舵旁板厚度的 70%，且不小于 8mm。

与实心体连接处的舵板应按 3.1.5.3(4)加厚。

3.1.5.3　舵叶结构与实心锻件或铸钢件的连接

(1) 舵杆或舵销的实心锻钢或铸钢承座，除以下情况以外，应设置凸缘。

当隔板厚度小于下值时，可不要求有凸缘：

-10 mm，对焊接于半悬挂舵下舵销承座的隔板和焊接于悬挂舵舵杆联接实体的垂直隔板；

-20 mm，对其他隔板。

(2) 实心承座一般应通过两个水平隔板和两个垂直隔板与舵结构相连接。

(3) 与舵杆承座连接结构的最小剖面模数。

与舵杆承座实心部分连接的舵叶结构由垂直隔板和舵板组成，其剖面模数 W_S 应不小于按下式计算所得之值：

$$W_S = c_s d_c^3 \left(\frac{H_E - H_X}{H_E}\right)^2 \frac{K}{K_s} 10^{-4} \quad \text{cm}^3$$

式中：c_s ——系数，应取：

c_s = 1.0，如舵板无开口或该开口由全熔透焊板封闭；

c_s = 1.5，如所考虑的舵板横剖面有一开口；

d_c——按本节 3.1.4 计算的下舵承处舵杆直径，mm；

H_E——舵叶下缘和实心部件上缘之间垂直距离，m；

H_X——所考虑横剖面和实心部件上缘之间垂直距离，m；

K——舵叶材料系数，见本节 3.1.1.3(2)；

K_s——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3(5)。

舵叶剖面的实际剖面模数应按舵叶对称轴计算。其计及剖面模数的有效舵叶宽度 b 应不大于按下式计算所得之值：

$$b = s_v + 2H_X/3 \quad \text{m}$$

式中：s_v ——两垂直隔板的间距，m，见图 3.1.5.3。

舵杆螺母的通道开口如未用全熔透焊接板封闭，则开口应相应扣除。

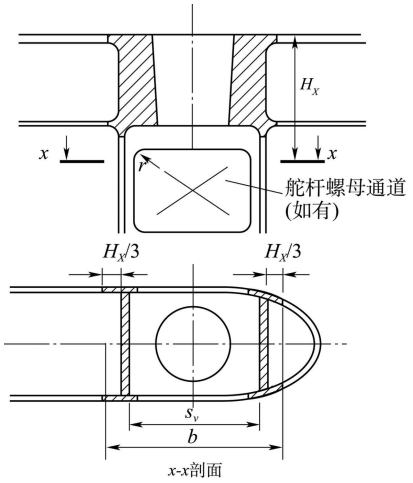


图 3.1.5.3　舵叶与舵杆承座连接处剖面（仅一侧开孔示意图）

(4) 承座附近的水平隔板厚度以及这些隔板之间的舵叶厚度 t_H 应不小于按下式计算所得之值的大者：

$$t_H = 1.2t \quad \text{mm}$$

$$t_H = 0.045 d_s^{\,2} / S_H \quad \text{mm}$$

式中：t ——见本节 3.1. 5.2；

d_s ——直径，mm，应按如下取值：

$d_s = d_c$，见本节 3.1.4.2，承座与舵杆相连时

$d_s = d_p$，见本节 3.1.7.1，承座与舵销相连时

S_H ——两个水平隔板间的距离，mm。

加厚水平隔板应延伸至至少实体前后一个垂直隔板。

(5) 与舵杆承座焊接的垂直隔板和舵杆承座以下的舵旁板的厚度，mm，应不小于表 3.1. 5.3 中的值。

舵旁板和垂直隔板的板厚表　　**表** 3.1.5.3

舵的型式	垂直隔板厚度(mm)		舵旁板厚度(mm)	
	无开口舵叶	有开口舵叶	无开口舵叶	有开口舵叶
由尾框底骨支撑的舵	$1.2t$	$1.6t$	$1.2t$	$1.4t$
半悬挂舵和悬挂舵	$1.4t$	$2.0t$	$1.3t$	$1.6t$

表中：t 为舵板厚度，mm，定义见本节 3.1. 5.2。

加厚垂直隔板及舵板应延伸至实体之下至少一个水平隔板。

3.1.5.4　单板舵

(1) 舵杆直径

舵杆直径应按本节 3.1. 4.1 和 3.1. 4.2 计算得到。对悬挂舵其下段的三分之一可向下过渡至下舵杆直径的 0.75 倍。

(2) 舵叶厚度

舵叶厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t_b = 1.5 s V \sqrt{K} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——加强筋间距，m，应不大于 1m；

V——航速，kn，见本节 3.1.2.1(1)；

K——舵叶材料系数，见本节 3.1.1.3(2)。

(3) 加强筋

加强筋的厚度 t_a 应不小于舵叶厚度：

$$t_a = t_b \quad \text{mm}$$

加强筋的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 0.5sC_1^2V^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：C_1——自舵后端至舵杆中心线的水平距离，m；

K——材料系数，分别见本节 3.1.1.3(2)或 3.1.1.3(5)。

3.1.6 舵杆连接

3.1.6.1 水平法兰连接

(1) 连接螺栓直径 d_b 应不小于下式计算所得之值：

$$d_b = 0.62\sqrt{d_s^3 K_b / n e_m K_s} \quad \text{mm}$$

式中：d_s——舵杆直径，按 3.1.4.1 及 3.1.4.2 要求的直径 d_t 与 d_c 取大值，mm；

n ——螺栓总数，应不小于 6；

e_m——螺栓中心与螺栓系统中心平均间距，mm；

K_s——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3(5)；

K_b——螺栓材料系数，见本节 3.1.1.3(5)。

(2) 连接法兰的厚度 t_f 应不小于按下式计算所得之值取大者：

$$t_f = d_b\sqrt{K_f / K_b} \quad \text{mm}$$

$$t_f = 0.9d_b \quad \text{mm}$$

式中：K_f——连接法兰材料系数，见本节 3.1.1.3(5)；

K_b——螺栓材料系数，见本节 3.1.1.3(5)；

d_b——按不超过 8 个螺栓数计算所得的螺栓直径，mm。

(3) 螺栓孔与法兰边之间距离应不小于 $0.67d_b$。

(4) 舵杆与法兰的焊接节点应满足下图 3.1.6.1 要求或者相当设计。

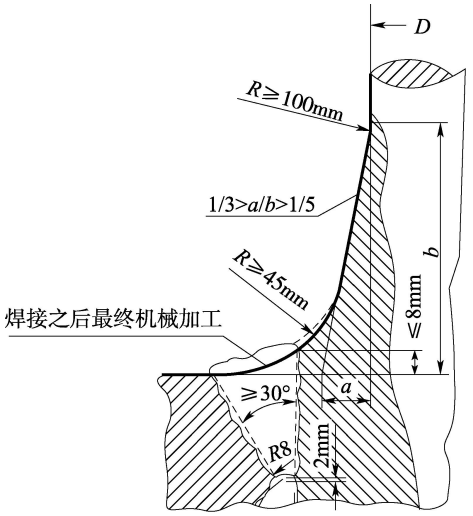


图 3.1.6.1 舵杆与法兰的焊接节点

(5) 连接法兰的螺栓应为铰孔螺栓，螺母应有可靠的止动装置。

3.1.6.2 舵杆与舵叶的垂向法兰连接

(1) 连接的螺栓直径 d_b 应不小于按下式计算所得之值：

$$d_b = 0.81 d_s \Big/ \sqrt{n} \times \sqrt{K_b / K_s} \quad \text{mm}$$

式中：d_s——连接法兰处的舵杆直径，mm；

n ——螺栓总数，至少应有 8 个；

K_b——螺栓材料系数，见本节 3.1.1.3(5)；

K_s——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3(5)。

(2) 螺栓面积对法兰中心的静矩 m 应不小于按下式计算所得之值：

$$m = 0.00043 d_s^3 \quad \text{cm}^3$$

(3) 连接法兰的厚度应不小于螺栓直径，螺栓孔以外的材料宽度应不小于 $0.67 d_b$。

(4) 连接法兰的螺栓应为铰孔螺栓，螺母应有可靠的止动装置。

3.1.6.3 有键锥形连接

(1) 锥度和连接长度

不使用液压拆/装的锥形连接在直径方向上的锥度 c 应在 1:8−1:12 之间。

其中 $c = (d_0 - d_u)/l_c$，见图 3.1. 6.3（a）及图 3.1.6.3（c）。

直径 d_0 和 d_u 见图 3.1.6.3（a），锥体长度 l_c 见图 3.1.6.3（c）。

锥形连接应由螺母紧固。螺母应紧固，例如使用图 3.1.6.3（a）所示紧固板。

锥形应精确适配。连接长度 l 一般应不小于 $1.5 d_0$。

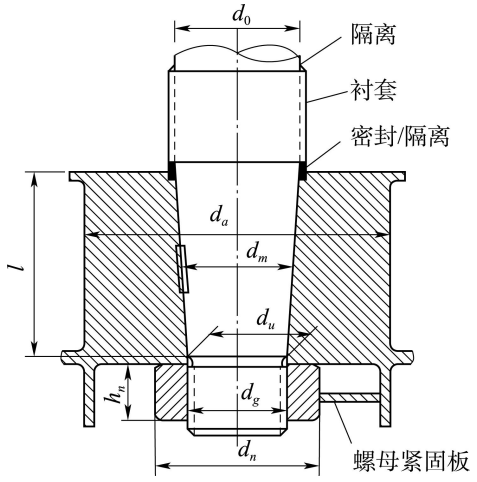


图 3. 1. 6. 3(a) 有键锥形连接

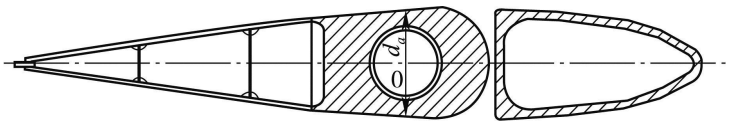


图 3. 1. 6. 3(b) 舵枢外径 d_a

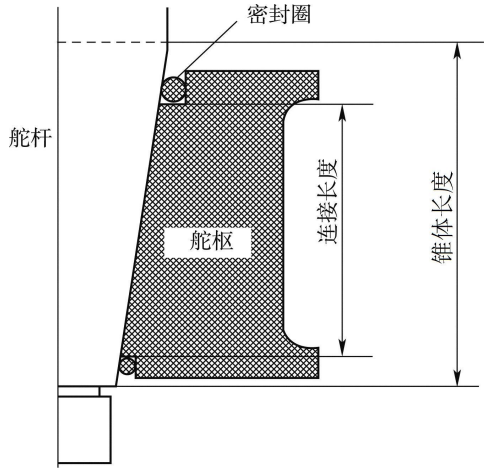


图 3.1.6.3(c)　锥体长度和连接长度

(2) 键的尺寸

舵杆和舵之间的连接应设有一个键，其剪切面积 a_s 应不小于：

$$a_s = \frac{17.55 Q_F}{d_k R_{eH1}} \quad \text{cm}^2$$

式中：Q_F ——舵杆的设计屈服扭矩；

$$Q_F = 0.02664 d_t^3 / K \qquad \text{N·m}$$

如实际直径 d_{ta} 大于计算要求直径 d_t，应取实际直径 d_{ta}，但不必大于 1.145 d_t；

d_t ——按本节 3.1. 4.1 计算的舵杆直径，mm；

K——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3(5)；

d_k ——舵杆锥体装键处的平均直径，mm；

R_{eH1} ——键材料规定的最小屈服应力，N/mm²。

在键与舵杆或承座之间的(未打磨)键有效表面积 a_k，cm²，应不小于：

$$a_k = \frac{5 Q_F}{d_k R_{eH2}}$$

式中：R_{eH2} ——键、舵杆或承座材料规定的最小屈服应力，N/mm²。

(3) 螺母的尺寸应符合下列要求，见图 3.1.6.3(a)：

螺纹外径 $d_g \geq 0.65\ d_o$

螺母高度 $h_n \geqslant 0.6 d_g$；

螺母外径 $d_n \geq 1.2\ d_u$ 或 $1.5 d_g$，取较大者。

(4) 应证明 50%设计屈服扭矩通过锥形连接摩擦传递。可按 3.1.6.4(2)和 3.1.6.4(3)计算当扭矩 $Q'_F = 0.5 Q_F$ 时所要求的推入压力和推入长度。

(5) 除了 3.1.6.3(2)和 3.1.6.3(4)的要求，当舵杆与舵通过有键连接时，认为所有的扭矩都通过键传递，键的尺寸和压入力、压入长度应根据所传递扭矩（不可大于舵杆设计屈服扭矩）计算。

3.1.6.4 具有特殊拆装专用装置的锥形连接

(1) 舵杆直径如超过 200mm，建议通过液压连接进行压入配合。在此情况下，锥部应更细长，锥度在 $c \approx$ 1:12 至 $\approx$ 1:20 之间。

如用液压方式连接，螺母应有效紧固于舵杆或舵销。

为使舵杆和舵体之间的连接能安全传递扭转力矩，推入压力和推入长度应由 3.1.6.4(2)和 3.1.6.4(3)确定。

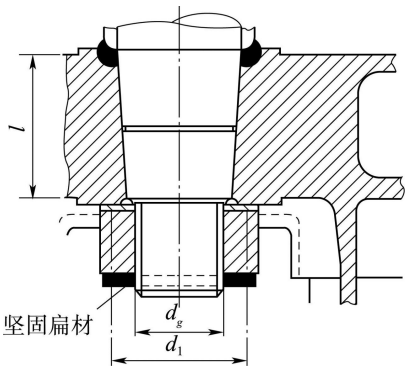


图 3.1.6.4　无键锥形联接

(2) 推入压力

推入压力应不小于以下两式计算所得之值的大者：

$$p_{req1} = \frac{2Q_F \times 10^3}{d_m^{\ 2} l \pi \mu_0} \quad \text{N/mm}^2$$

$$p_{req2} = \frac{6M_c \times 10^3}{l^2 d_m} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：Q_F——按本节 3.1.6.3(2)确定的舵杆设计屈服扭矩，N·m；

d_m——锥体平均直径，mm；见图 3.1.6.3（a）；

l ——连接长度，mm；

μ_0 ——摩擦系数，等于 0.15；

M_c ——锥形连接最上端的舵杆弯矩(例如悬挂舵)，N·m。

对于舵杆围阱伸入舵内的悬挂舵，锥形连接应按照本章附录 1 的 2.2 规定的两个工况进行校核。

应证明推入压力不超过锥体的许用表面压力。许用表面压力 p_{perm}，应按下式计算确定：

$$p_{perm} = \frac{0.95R_{eH}(1-\alpha^2)}{\sqrt{3+\alpha^4}} - p_b \quad \text{N/mm}^2$$

式中：$p_b = \dfrac{3.5M_c \times 10^3}{d_m l^2}$ N/mm²；

R_{eH}——舵枢材料规定的最小屈服应力，N/mm²；

$\alpha = \dfrac{d_m}{d_a}$；

d_m——直径，mm，定义见图 3.1.6.3(a)；

d_a ——舵枢外径见图 3.1.6.3（a），mm，应不小于 $1.25d_0$。见图 3.1.6.3（a）及 3.1.6.3（b）(最小直径处量取)。

(3) 推入长度

推入长度 Δl，mm，应满足下式：

$$\Delta l_1 \le \Delta l \le \Delta l_2$$

式中：$\Delta l_1 = \dfrac{p_{req} d_m}{E\left(\dfrac{1-\alpha^2}{2}\right)c} + \dfrac{0.8R_{tm}}{c}$ mm

$$\Delta l_2 = \frac{p_{perm} d_m}{E\left(\frac{1-\alpha^2}{2}\right)c} + \frac{0.8R_{tm}}{c} \quad \text{mm}$$

R_{tm}——平均粗糙度，mm，等于 0.01；

c——直径锥度，见本节 3.1.6.4(1)。

注：如用液压方式连接，所要求的锥体推入力 P_e，N，可按下式计算：

$$P_e = p_{req} d_m \pi l \left(\frac{c}{2} + 0.02 \right)$$

数值 0.02 是采用油压摩擦系数的基准。该值是变量，视机加工和粗糙度的具体细节而定。如在装配过程中，产生了因舵的重量引起的部分推入效应，可在确定所需的推入长度时予以考虑，并应经批准。

3.1.7 舵销

3.1.7.1 舵销尺寸

舵销直径 d_p 应不小于：

$$d_p = 0.35\sqrt{BK_p} \quad \text{mm}$$

式中：B——支撑力，N；

K_p——舵销材料系数，见本节 3.1.1.3（5）。

3.1.7.2 连接

(1) 锥度

舵销如为锥形，直径方向锥度应符合以下规定：

1:8 至 1:12，对于有键或者其他手动安装舵销，如果由止动螺母锁定；

1:12 至 1:20，对于以油压和液压螺母装配舵销。

(2) 舵销销座的推入压力

如采用干式装配，舵销销座的推入压力，应按下式计算的 p_{req1} 确定。

如采用注油装配，舵销销座推入压力应按下式计算的 p_{req1} 和 p_{req2} 中大者确定。

$$p_{req1} = 0.4 \frac{B d_0}{d_m^2 l} \quad \text{N/mm}^2$$

$$p_{req2} = \frac{6 M_{bp}}{l^2 d_m} \times 10^3 \quad \text{N/mm}^2$$

式中：B ——舵销销座的支撑力，N；

d_0——舵销直径，mm，见图 3.1.6.3（a）。

M_{bp}——舵销锥形连接的弯矩，按下式确定：

$$M_{bp} = B l_a \quad \text{Nm}$$

l_a——舵销轴承中部与接触面（锥形连接与舵销）顶端之间的长度，m，见图 3.1.7.2。

推入长度 Δl_1 应按本节 3.1.6.4(3)的类似方法计算，采用要求的舵销轴承推入压力和舵销轴承的属性。

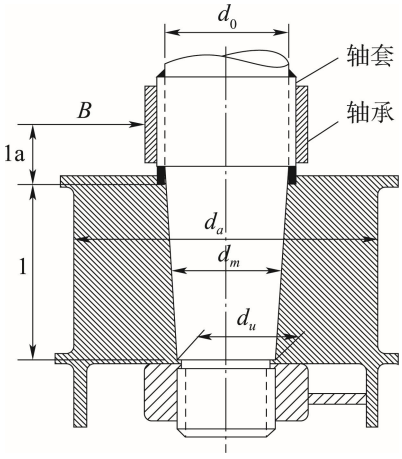


图 3.1.7.2　舵销连接 l_a 示意图

3.1.7.3　螺母和螺纹的最小尺寸应依据 3.1.6.3(3)得到。

3.1.7.4　舵销承座

舵枢处舵销承座的长度应不小于舵销直径 d_p。d_p 应在轴套外径处量取。

舵销承座的厚度应不小于 $0.25d_p$。

3.1.8　舵杆、舵轴和舵销的轴承

3.1.8.1　轴套和衬套

(1) 舵杆轴承

轴承应有轴套和衬套，对于直径小于 200mm 的舵杆和舵销，可根据需要安装轴套。轴套和衬套的最小厚度 t_{min} 应取为：

t_{min} = 8mm　　金属材料和合成材料

t_{min} = 22mm　　木材

(2) 舵销的轴承

任何衬套或轴套的厚度 t，mm，应不小于下式及 3.1.8.1(1)定义的最小厚度。

$$t = 0.01\sqrt{B}$$

式中：B——相关轴承支撑力，N。

3.1.8.2　最小轴承表面积

应提供足够的润滑。

支承面积 A_b (定义为投影面积：支承面长度×轴套的外径)，应不小于：

$$A_b = \frac{P}{q_a} \qquad \text{mm}^2$$

式中：P——轴承支持力，N，定义见本节 3.1.3.2；

q_a ——按表 3.1.8.2 确定的许用表面压力。

各种不同材料许用表面压力 q_a 应按下表确定。如有许用表面压力大于表 3.1.8.2 数值，且已经由试验验证过，可按供应商说明书选取。

许用表面压力表 q_a　　表 3.1.8.2

衬套材料	q_a (N/mm^2)
铁梨木	*2.5*
白合金，油润滑	*4.5*
邵氏硬度大于 60 的 D 级合成材料①	*5.5*②
钢材③、青铜和热压青铜-石墨材料	*7.0*

注：

①压痕硬度试验应在 23℃及具有 50%湿度情况下，应按公认的标准进行。合成材料应是认可型的。

②根据轴承供应商说明书与试验，表面压力超过 5.5N/mm² 可能接受，但无论如何不超过 10 N/mm²。
③不锈钢和耐磨钢，并以认可方式同舵杆衬套组合。

3.1.8.3　轴承尺寸

轴承长度与直径的比值应不大于 1.2。

舵销处轴承长度 L_P 应满足下式：$D_P \le L_P \le 1.2D_P$

式中：D_P=在舵销轴套外面量取的实际直径，mm。

3.1.8.4　舵承间隙

金属材料轴承的直径方向间隙应不小于 d / 1000 + 1.0mm（式中 d 为舵杆或舵销轴套外径）。如采用非金属轴承，轴承的径向间隙应考虑材料的膨胀和热膨胀特性予以专门确定，除非生产商推荐并提供更小间隙的成功使用经验的报告，否则该间隙应不小于 1.5mm。

3.1.9　挂舵臂与舵杆围阱的强度

3.1.9.1　挂舵臂

有一个弹性支持的半悬挂舵和两个弹性支持的半悬挂舵的弯矩和剪力应由直接计算确定，或者可以依据附录 1 中 2.4 和附录 1 中 2.5 的指南。

水平 x 轴的剖面模数 W 应不小于：

$$W = M_b K / 67 \quad \text{cm}^3$$

式中：M_b——计算剖面的弯矩，N・m。

剪应力 τ 应不大于：

$$\tau = 48 / K \quad \text{N/mm}^2$$

K——材料系数，分别见本节 3.1.1.3(2)或 3.1.1.3(5)。

(1) 等效应力

挂舵臂高度范围内任何位置的等效应力应不超过 120/ K，N/mm²。等效应力 σ_v 应按下式计算：

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\left(\tau^2 + \tau_T^2\right)} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：$\sigma_b = M_b / Z_x$，N/mm²；

Z_x .——挂舵臂计算剖面的剖面模数，cm³；

$\tau = B_1 / A_h$，N/mm²；

B_1——舵销轴承的支持力，N；

A_h——挂舵臂 y 方向的有效剪切面积，mm²；

$\tau_T = M_T 10^3 / 2A_T t_h$，N/mm²；

M_T——扭矩，N・m；

A_T——挂舵臂薄壁封闭剖面内外限界所封闭面积的平均值（即薄壁封闭剖面中心线所围面积），mm²；

t_h——挂舵臂的板厚，mm；

K——材料系数，分别见本节 3.1.1.3(2)或 3.1.1.3(5)。

(2) 挂舵臂板

挂舵臂的侧板厚度 t 不小于：

$$t = 2.4\sqrt{LK} \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m；

K——材料系数，分别见本节 3.1.1.3(2)或 3.1.1.3(5)。

(3) 与船体结构的焊接与连接

挂舵臂应有效地连接至船尾结构，例如板材与外板及横/纵桁的连接，以实现力的合理传递，见图 3.1. 9.1。

当挂舵臂与船体结构的连接处设计为挂舵臂曲线型过渡到船体板，应特别注意挂舵臂弯曲的有效性以及横隔板的应力。

挂舵臂内应在与外板对齐处设置肘板或者水平桁材，如图 3.1.9.1 所示。

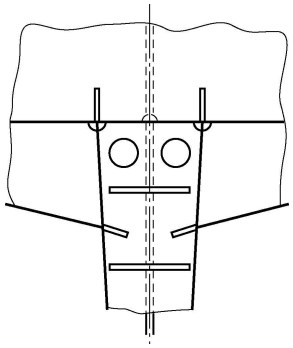


图 3.1.9.1　挂舵臂与船尾结构的连接

应有数量充足且厚度足够的挂舵臂横隔板向上伸入船体，直至达到最近一层平台甲板。

应与横隔板一起安设加强肋板，以实现与船体充分连接。

尾尖舱的中纵舱壁(制荡舱壁)应与挂舵臂相连。

横隔板与外板连接处应避免扇形孔。

挂舵臂板与外板之间应全焊透。焊接半径应该尽可能的大，并且需要打磨。

3.1.9.2　舵杆围阱

本要求适用于伸入艉柱以下的舵杆围阱，这种布置的舵杆围阱承受舵力。

(1) 材料，焊接以及与船体的连接

舵杆围阱的钢材应保证可焊性，熔炼分析的含碳量不超过 0.23%，或者碳当量 C_{EQ} 不超过 0.41%。

舵杆围阱的板材钢级一般不应低于本篇第 1 章第 3 节中材料级别 II 所对应钢级。

舵杆围阱与船壳或导流尾鳍底部的连接焊缝应为全焊透。

对延伸到船壳或导流尾鳍以下的舵杆围阱，凸肩圆角半径 r, ㎜, 见图 3.1.9.2 应尽可能大并满足下式：

r=0.1d_c/ K ，且应不小于：

r=60mm　　当$\sigma \geq 40/K$　N/mm^2

r=30mm　　当$\sigma < 40/K$　N/mm^2

式中：d_c——3.1.4.2 定义的舵杆直径

σ——舵杆围阱的弯曲应力，N/㎜^{2}

K——舵杆围阱的材料系数，分别见本节 3.1.1.3(2)或 3.1.1.3(5)。

弧形可用打磨方式制成。如用砂轮打磨，应在焊缝方向上避免砂轮划痕。应用模板核查弧形的精度。至少应核查四个，并应向验船师提交报告。

非钢质材料舵杆围阱应作特殊考虑。

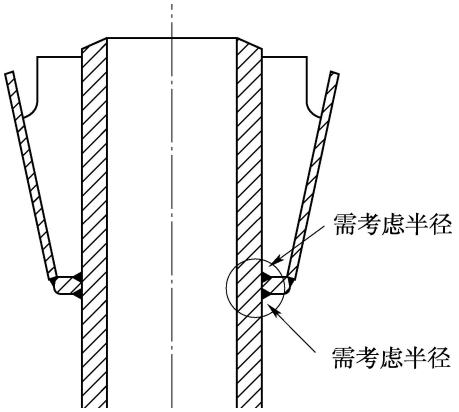


图 3. 1. 9. 2

(2) 结构尺寸

舵杆围阱的尺寸应使弯曲和剪切的合成应力不超过 $0.35R_{eH}$。

焊接的舵杆围阱弯曲应力σ应满足下式：

$$\sigma \leqslant 80/K \quad \text{N/mm}^2$$

式中：σ——舵杆围阱的弯曲应力，3.1.9.2(1)中定义；

K——材料系数，分别见本节 3.1.1.3(2)或 3.1.1.3(5)，应不小于 0.7；

R_{eH}——所用材料规定的最小屈服应力，N/mm²。

在计算弯曲应力时，所计跨距是下舵杆轴承高度中点与舵杆围阱在船壳或导流尾鳍底部的夹入点之间的距离。

3.1.10 其他

3.1.10.1 舵扇与舵柄

(1) 舵柄在距舵杆中心的任一剖面对其垂直轴的剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 0.14(1-\frac{D_S}{R})D_t^3(K_t/K_s) \quad \text{mm}^3$$

式中：D_s——舵柄上计算剖面到舵杆中心线距离，不超过销轴孔径，见图 3.1.10.1，mm；

D_t——舵柄处的舵杆直径，但计算时取值不必大于按本节 3.1.4.1 计算值的 1.145 倍，mm；

R——舵扇半径或舵柄长度，mm。

K_t——舵柄材料系数，见本节 3.1.1.3(5)；

K_s——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3(5)。

对于一个幅条以上的舵扇，各幅条的剖面数总和应不小于上式要求。

矩形舵柄剖面的宽度与高度之比应不大于 2。

(2) 舵扇、舵柄毂的高度 $h \geqslant 1.0D_t$，外径 $D_0 \geqslant 1.8D_t$，见图 3.1.10.1。当舵柄毂的高度 h 大于 D_t 时，外径 D_0 的要求可相应减少。应保证 $h \times D_0^2 \geq 3.24D_t^3$，且无论如何 D_0 不能小于 $1.6D_t$。D_t 定义同本条 3.1.10.1(1)。

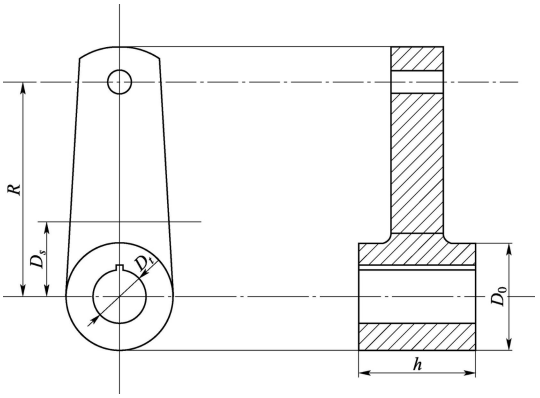


图 3.1.10.1

(3) 若舵柄(舵扇)毂由两个半块对合组成，应至少安装一个键，且在每一端至少配置 2 个螺栓进行栓固。螺栓应进行预紧，每个螺栓的预紧力应对应螺栓材料许用应力的 70%，如使用双键，预紧力可适当降低。全部螺栓的总剖面积 A_b 应不小于下式计算所得之值：

$$A_b = 0.2 \times \frac{D_t^3}{b}(K_b/K_s) \quad \text{mm}^2$$

式中：D_t——舵柄处的舵杆直径，但计算时取值不必大于按本节 3.1.4.1 计算值的 1.145 倍，mm；

b——两端螺栓中心线距离，mm；

K_b——螺栓材料系数，见本节 3.1.1.3(5)；

K_s——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3(5)。

(4) 舵柄(舵扇)与舵柄之间的连杆剖面积 A_r 和剖面惯性矩 I_r 应不小于按下式计算所得之值：

$$A_r = 0.12 \times \frac{D_t^3}{R}(K_r / K_s) \quad \text{mm}^2$$

$$I_r = 6.6\frac{D_t^3 l^2}{R} \times 10^{-6}(K_r / K_s) \quad \text{mm}^4$$

式中：D_t——被动舵舵柄处的舵杆直径，但计算时取值不必大于按本节 3.1.4.1 计算值的 1.145 倍，mm；

l——连杆长度，mm；

R——被动舵的舵柄长度，mm；

K_r——连杆材料系数，见本节 3.1.1.3(5)；

K_s——舵杆材料系数，见本节 3.1.1.3(5)。

(5) 对于转叶式舵机，其转子和叶片应满足本条 3.1.10.1⑴和 3.1.10.1⑵中舵柄毂及舵柄的要求。

3.1.10.2　舵柄与舵杆的连接

(1) 舵柄与舵杆的连接应保证在任何操作情况下可将机械力由转舵机构传递到舵杆。舵柄与舵杆的连接传递的扭矩 T_d 应不小于 2 倍的舵机设计扭矩，但不必大于按本节 3.1.6.3(2)计算的舵杆设计屈服扭矩 Q_F。舵机设计扭矩为与本规范第 3 篇第 13 章 13.1.6.5 中设计压力对应的舵机扭矩。

(2) 如通过摩擦传递扭矩，舵柄与舵杆连接的平均表面压力 p_r 应不小于下式计算所得之值：

$$p_r \geq \frac{2T_{fr}}{\pi D_m{}^2 lf} \times 10^3 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：T_{fr}——摩擦传递的扭矩，N·m；

$=T_d$，无键连接；

$=0.5T_d$，有键连接；

T_d——舵柄与舵杆连接传递的扭矩，N·m，按本节 3.1.10.2（1）确定；

D_m——舵杆直径或锥体的平均直径，mm；

l——与舵杆有效连接部分长度，mm；

f——摩擦系数，对于液压连接取 0.15，对于干式连接取 0.18。

(3) 如为锥形连接，应使用螺母进行紧固防止发生轴向的位移。螺母的尺寸应能保证在不考虑舵柄与舵杆之间摩擦力的情况下，承受舵及舵杆的重量，可参照本节 3.1.6.3(3)的要求。

(4) 当舵柄与舵杆之间使用了多只胀紧套或锥形套筒连接，如图 3.1.10.2 所示，还应考虑轴向力的影响。

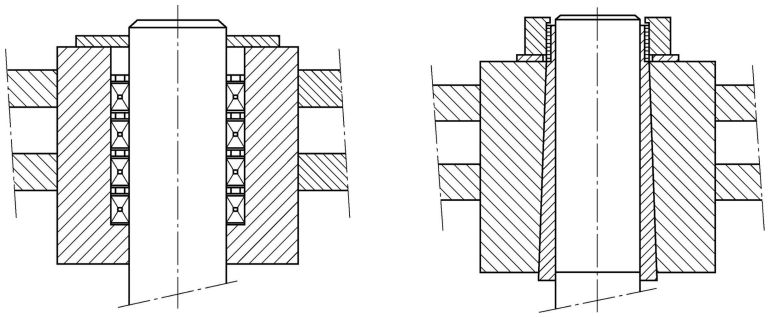
此时舵柄与舵杆的连接传递的扭矩 T_{d1} 应不小于下式计算所得之值。

$$T_{d1} = \sqrt{T_d^2 + (2 \cdot W \cdot D_m)^2 \cdot 10^{-4}} \qquad \text{Nm}$$

式中：T_d——扭矩，N·m，按本节 3.1.10.2(1)确定；

W——舵以及舵杆的重量，kg；

D_m——舵杆直径，mm。



a) 胀紧套　　b) 锥形套筒

图 3.1.10.2

(5) 无键锥形连接的直径锥度应不大于 1:15，有键锥形连接的直径锥度应不大于 1:10。

(6) 如为有键连接，键的剪切面积 A_s 应不小于按下式计算所得之值：

$$A_s = \frac{70\left(T_d - k_{key}T_{fr}\right)}{D_k R_{eH}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：T_d——舵柄与舵杆连接传递的扭矩，N·m，按本节 3.1.10.2 计算；

k_{key}——系数，按下列情况确定：

=0.7，舵柄毂由两块对合，并由螺栓进行夹紧；

=0.9，舵杆与舵柄进行液压装配；

=1.0，其他情况。

T_{fr}——摩擦传递的扭矩，N·m，按以下公式计算：

$$T_{fr} = \frac{\pi p_r D_m^2 l f}{2} \times 10^{-3}$$

其中：p_r——舵柄与舵杆连接的平均表面压力，N/ mm^2，按本节 3.1.10.2(2)确定。当采用液压装配或冷缩配合的锥形连接时，应取为推入平均表面压力；

D_m，l，f 定义同本节 3.1.10.2(2)；

D_k——舵杆装键处的平均直径，mm；

R_{eH}——键材料的屈服应力，N/mm^2。

(7) 如为有键连接，键的受挤压面积 A_k (不计圆边部分)应不小于按下式计算所得之值：

$$A_k = \frac{22\left(T_d - k_{key}T_{fr}\right)}{D_k R_{eH}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：T_d，k_{key}，T_{fr}，D_k——同本节 3.1.10.2(6)；

R_{eH}——键材料的屈服应力，N/mm^2。

(8) 当安装两个键时，每个键的剪切面积 A_s 和受挤压面积 A_k 可取为按单键计算所得之值的 2/3。

(9) 键槽应有足够的圆弧倒角，倒角的半径通常应不小于键厚度的 5%。舵杆及舵柄上键槽的挤压应力应不超过所用材料屈服应力的 90%。

(10) 当采用液压装配或冷缩配合的锥形连接，应按下列要求确定推入长度和推入平均表面压力：

①推入长度 S 应满足下式要求：

$$S_1 \leqslant S \leqslant S_2$$

最小推入长度 $S_1=\dfrac{1}{k_1}[\dfrac{2p_rD_mk_2^2}{E(k_2{}^2-1)}+0.02]$ mm

最大推入长度 $S_2=\dfrac{1}{k_1}[1.6R_{eH}D_m\dfrac{k_2^2}{E\sqrt{3k_2^4+1}}+0.02]$ mm

式中：p_r ——舵柄与舵杆连接的平均表面压力，N/ mm²，按本节 3.1.10.2(2)确定；

K_1 ——锥体的直径锥度；

$K_2=\left(D_m+2t_a\right)/D_m$；

D_m ——锥体的平均直径，mm；

t_a ——舵柄毂的平均厚度，mm；

R_{eH} ——舵柄毂或舵杆材料的屈服应力，取小者；N/ mm²；

E ——弹性模量，取 2.06×10^5，N/ mm²。

②推入平均表面压力 P 应按下式计算：

$$P=\frac{SE(k_2^2-1)k_1}{2D_mk_2^2}\quad \text{N/mm}^2$$

式中：k_1，k_2，D_m，E 同本条(1)；

S ——按本条①确定的推入长度，mm。

3.1.10.3　冰区加强

(1) 具有冰级标志的船舶，舵的结构尺寸和布置应符合本篇第 4 章的有关规定。

第 2 节　锚泊及系泊设备

3.2.1　舾装数

3.2.1.1　海船的锚泊设备应根据船舶种类及其航行水域并根据本节 3.2.1.2 所求得的舾装数 N，按表 3.2.1.1(1)和表 3.2.1.1(2)的要求配备。本节对拖索和系船索的数量、长度及破断负荷的要求仅为指导性要求。

对工作特殊，船东要求加大锚重，且借助于其他设施进行锚泊作业的非自航船舶，其锚链的配备可仅按规范要求的锚重选取。

本节关于锚泊设备的要求系针对因等待靠泊、潮水等而暂时系泊于港口或遮蔽区的船舶。

因此，符合本节要求的设备并非用于在风暴天气下使船舶与毫无遮蔽的海岸保持距离，或使移动或漂动中的船舶停下。在上述条件下，作用在锚泊设备上的载荷将由于形成高能量载荷而增大，并导致其部件的损坏或丢失，特别是较大尺度的船舶。

符合本节规定的锚泊设备能使船舶在良好的锚地底质上系留，以防止出现走锚情况。在不良的锚地底质上，锚的抓力将明显降低。

本节所要求锚泊设备的舾装数(EN)公式基于假定的最大水流速度为 2.5m/s、最大风速为 25m/s、最小出链长度在 6~10 之间。出链长度系指抛出锚链的长度与水深之比。对于船长大于 135m 的船舶，本节所要求的锚泊设备可认为适用于最大水流速度为 1.54m/s、最大风速为 11m/s、最大有义波高为 2m。

假定在正常情况下，一艘船舶只使用一只锚。

锚及锚链的制造应满足 CCS《材料与焊接规范》的相关要求。

首锚应与其锚链连接，布置于船上，并随时可用。

除正常按计划抛锚作业，锚泊设备对船舶在应急情况下的安全也有重要作用，如丧失操作性、非计划性修理以及其他非预计情况。

3.2.1.2　舾装数 N 按下式计算：

$$N=\Delta^{\frac{2}{3}}+2(Bh+S_{fun})+\frac{A}{10}$$

式中：Δ——夏季载重线下的型排水量，t；

B——船宽，m；

h——从夏季载重水线到最上层舱室顶部的有效高度，m；即：

$$h = a + \sum h_i$$

其中：a——从船中夏季载重水线至上甲板边线处距离，m；

h_i——各层宽度大于 $B/4$ 的舱室，在其中心线处量计的高度，m；对最下层的层高 h_1 从上甲板中心线量起，或从具有不连续上甲板时的名义甲板线量起，见图 3.2.1.2（1）。

A ——船长 L 范围内夏季载重水线以上的船体部分和上层建筑以及各层宽度大于 $B/4$ 的甲板室和烟囱的侧投影面积的总和，m^2。当 A_{FS} 大于零时，烟囱的侧投影面积应计入 A。此时，烟囱的侧投影面积应从上甲板，或从具有不连续上甲板时的名义甲板线量起，直到有效高度 h_F 。

S_{fun} ——烟囱的有效正投影面积，m^2，即：

$$S_{fun} = A_{FS} - S_{shield}$$

其中：A_{FS} ——烟囱的正投影面积，m^2，从上甲板中心线，或具有不连续上甲板时的名义甲板线量起，直到有效高度 h_F 。当沿烟囱高度方向，所有高度的烟囱宽度均小于或等于 $B/4$， A_{FS} 取为零。

h_F ——烟囱的有效高度，m，从上甲板中心线，或具有不连续上甲板时的名义甲板线量起，直到烟囱的顶部。烟囱的顶部可取为烟囱宽度达到 $B/4$ 的平面。

S_{shield} ——烟囱正投影面积 A_{FS} 被宽度超过 $B/4$ 的甲板室遮蔽（掉的）部分的面积，m^2。如果不只一个遮蔽部分，单个遮蔽部分，如 $S_{shield1}$， $S_{shield2}$ 等，应相加，见图 3.2.1.2（3）。在确定 S_{shield} 时，所有宽度超过 $B/4$ 的甲板室的宽度可假设为 B，参见图 3.2.1.2（3）中确定 $S_{shield1}$， $S_{shield2}$ 的方式。

当船上安装了多个烟囱，则:

h_F ——烟囱的有效高度，m，从上甲板中心线，或从具有不连续上甲板时的名义甲板线量起，直到最高烟囱的顶部。最高烟囱的顶部可取为所有烟囱宽度之和达到 $B/4$ 的平面。

A_{FS} ——各烟囱的正投影面积之和，m^2，从上甲板中心线，或从具有不连续上甲板时的名义甲板线量起，直到有效高度 h_F 。当沿烟囱高度方向，所有高度的各烟囱宽度之和均小于或等于 $B/4$， A_{FS} 可取为零。

A——船长 L 范围内夏季载重水线以上的船体部分和上层建筑以及各层宽度大于 $B/4$ 的甲板室和烟囱的侧投影面积的总和，m^2；当 A_{FS} 大于零时，各烟囱的总侧投影面积应计入 A。烟囱在横向的遮蔽效果应在计算总侧投影面积时予以考虑，例如当两个或三个烟囱的侧投影面积全部或部分重叠，重叠部分的面积只需计入一次。

拖船的艉装数，按下式计算：

$$N = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2(aB + \sum b_i h_i) + \frac{A}{10}$$

式中：a、B 和 h_i 同上所述；

b_i——上层建筑宽度或各层宽度超过 $B/4$ 甲板室的宽度，m。

对船长小于 45m 的仅用于拖带的拖船，可仅使用一只锚，并保证第二只锚及对应锚链存放可随时进行安装。在丢失锚时，拖船应保持在港内直到替换锚安装完毕。

计算 h 和 A 时，不必计及舷弧和纵倾，即 h 是船中干舷与各层宽度大于 $B/4$ 的舱室高度之和。

凡是超过 1.5m 高度的挡风板和舷墙，均应视为上层建筑或甲板室的一部分。

宽度大于 $B/4$ 的甲板室如在宽度为 $B/4$ 或以下的甲板室之上，应计入上面的甲板室而忽略下面的甲板室。

在确定 h 和 A 时，可不考虑舱口围板高度和集装箱之类任何甲板货的高度。在确定 A 时，高于 1.5m 的舷墙，图 3.2.1.2（2）所示的面积 A_2 应计入 A。表 3.2.1.1(2)中的有档首锚链的总长度应在两只首锚之间分为大致相等的部分。

对船长小于 90m 的船舶，也可以使用本章附录 3 的载荷计算来选取锚泊设备。

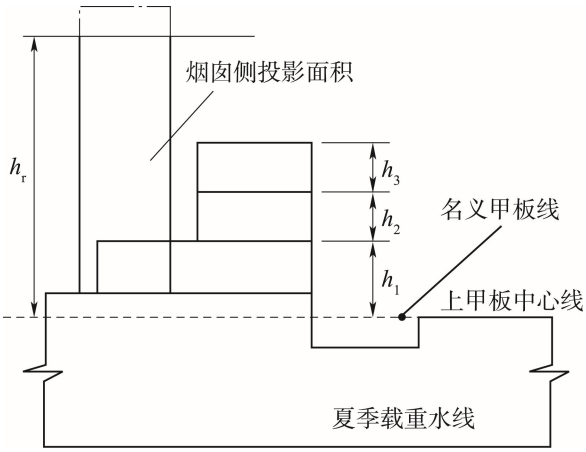


图 3.2.1.2（1）

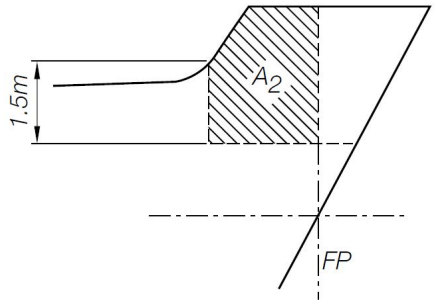


图 3.2.1.2（2）

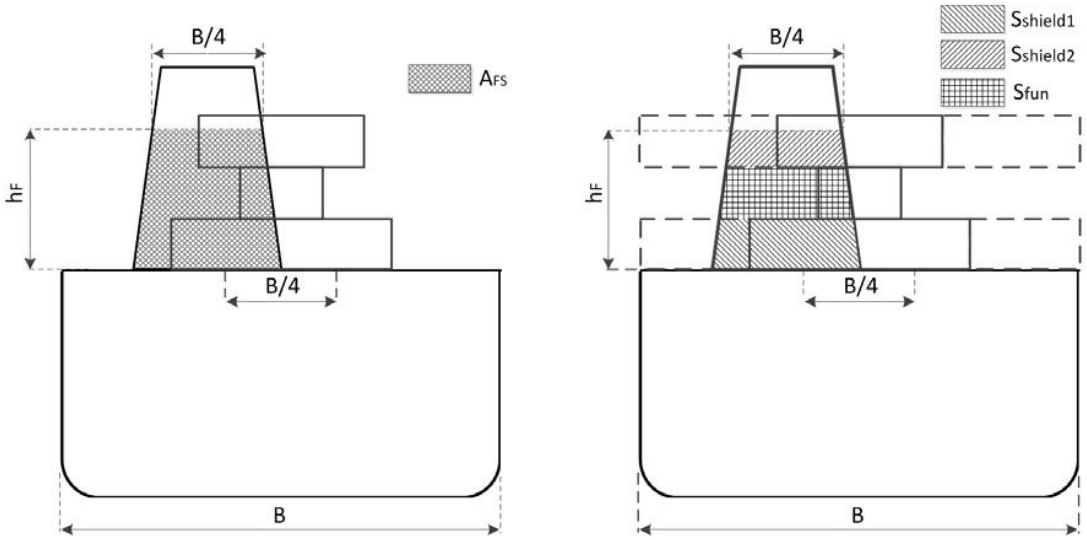


图 3.2.1.2（3）

设备配置 **表** 3.2.1.1(1)

船 型	要求配置的设备
货船、散货船、油船、耙吸式挖泥船、渡船等	按 *N* 选取。
拖船	按 *N* 选取。
近海供应船	按 *N* 选取，但锚链按 *N* 增大 2 档选取。
有人驳船	按 *N* 选取。
无人驳船	按 *N* 选取，但首锚可仅配 1 只，锚链可仅配一半长度。
起重船、打桩船等工程船舶	按 N 选取，但起重机、打桩机等的侧投影面积应计入 N。若作业用锚满足本表的要求，可代替首锚。

3.2.2 **锚**

3.2.2.1 每个首锚的质量可以与本节表 3.2.1.1(2)所列锚质量相差在−7％至+7％范围内，但首锚的总质量应不小于表列锚质量的总和。

3.2.2.2 普通无杆锚的锚头质量，包括梢子与转轴在内，应不小于该锚总质量的 60%。

3.2.2.3 可以采用有杆的首锚，但其质量(不包括横杆)应不小于本节表 3.2.1.1(2)所规定的无杆锚质量的 80%。

3.2.2.4 当采用大抓力锚作为首锚时，每只锚的质量可以为本节表 3.2.1.1(2)规定的普通无杆首锚质量的 75%，当采用超大抓力锚作为首锚时，每只锚的质量可以为本节表 3.2.1.1(2)规定的普通无杆首锚质量的 50%，其具体要求详见 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 10 章第 1 节的规定。

锚泊和拖带设备 **表 3.2.1.1(2)**

序号	舾装数 N		首锚		有档首锚链				拖索		系船索		
	超过	不超过	数量	每只质量(kg)	总长度(m)	直径			长度(m)	船舶设计最小破断负荷(kN)	数量	每根长度(m)	船舶设计最小破断负荷(kN)
						1 级	2 级	3 级					
1	50	70	2	180	220	14	12.5		180	98	3	80	37
2	70	90	2	240	220	16	14		180	98	3	100	40
3	90	110	2	300	247.5	17.5	16		180	98	3	110	42
4	110	130	2	360	247.5	19	17.5		180	98	3	110	48
5	130	150	2	420	275	20.5	17.5		180	98	3	120	53
6	150	175	2	480	275	22	19		180	98	3	120	59
7	175	205	2	570	302.5	24	20.5		180	112	3	120	64
8	205	240	2	660	302.5	26	22	20.5	180	129	4	120	69
9	240	280	2	780	330	28	24	22	180	150	4	120	75
10	280	320	2	900	357.5	30	26	24	180	174	4	140	80
11	320	360	2	1020	357.5	32	28	24	180	207	4	140	85
12	360	400	2	1140	385	34	30	26	180	224	4	140	96
13	400	450	2	1290	385	36	32	28	180	250	4	140	107
14	450	500	2	1440	412.5	38	34	30	180	277	4	140	117
15	500	550	2	1590	412.5	40	34	30	190	306	4	160	134
16	550	600	2	1740	440	42	36	32	190	338	4	160	143
17	600	660	2	1920	440	44	38	34	190	370	4	160	160
18	660	720	2	2100	440	46	40	36	190	406	4	160	171
19	720	780	2	2280	467.5	48	42	36	190	44	4	170	187
20	780	840	2	2460	467.5	50	44	38	190	479	4	170	202
21	840	910	2	2640	467.5	52	46	40	190	518	4	170	218
22	910	980	2	2850	495	54	48	42	190	559	4	170	235
23	980	1060	2	3060	495	56	50	44	200	603	4	180	250
24	1060	1140	2	3300	495	58	50	46	200	647	4	180	272
25	1140	1220	2	3540	522.5	60	52	46	200	691	4	180	293
26	1220	1300	2	3780	522.5	62	54	48	200	738	4	180	309
27	1300	1390	2	4050	522.5	64	56	50	200	786	4	180	336
28	1390	1480	2	4320	550	66	58	50	200	836	4	180	352
29	1480	1570	2	4590	550	68	60	52	220	888	5	190	352
30	1570	1670	2	4890	550	70	62	54	220	941	5	190	362
31	1670	1790	2	5250	577.5	73	64	56	220	1024	5	190	384
32	1790	1930	2	5610	577.5	76	66	58	220	1109	5	190	411
33	1930	2080	2	6000	577.5	78	68	60	220	1168	5	190	437
34	2080	2230	2	6450	605	81	70	62	240	1259			
35	2230	2380	2	6900	605	84	73	64	240	1356			

序号	舾装数 N		首锚		有档首锚链				拖索		系船索		
	超过	不超过	数量	每只质量(kg)	总长度(m)	直径			长度(m)	船舶设计最小破断负荷(kN)	数量	每根长度(m)	船舶设计最小破断负荷(kN)
						1 级	2 级	3 级					
36	2380	2530	2	7350	605	87	76	66	240	1453			
37	2530	2700	2	7800	632.5	90	78	68	260	1471			
38	2700	2870	2	8300	632.5	92	81	70	260	1471			
39	2870	3040	2	8700	632.5	95	84	73	260	1471			
40	3040	3210	2	9300	660	97	84	76	280	1471			
41	3210	3400	2	9900	660	100	87	78	280	1471			
42	3400	3600	2	10500	660	102	90	78	280	1471			
43	3600	3800	2	11100	687.5	105	92	81	300	1471			
44	3800	4000	2	11700	687.5	107	95	84	300	1471			
45	4000	4200	2	12300	687.5	111	97	87	300	1471			
46	4200	4400	2	12900	715	114	100	87	300	1471			
47	4400	4600	2	13500	715	117	102	90	300	1471			
48	4600	4800	2	14100	715	120	105	92	300	1471			
49	4800	5000	2	14700	742.5	122	107	95	300	1471			
50	5000	5200	2	15400	742.5	124	111	97	300	1471			
51	5200	5500	2	16100	742.5	127	111	97	300	1471			
52	5500	5800	2	16900	742.5	130	114	100	300	1471			
53	5800	6100	2	17800	742.5	132	117	102	300	1471			
54	6100	6500	2	18800	742.5		120	107					
55	6500	6900	2	20000	770		124	111					
56	6900	7400	2	21500	770		127	114					
57	7400	7900	2	23000	770		132	117					
58	7900	8400	2	24500	770		137	122					
59	8400	8900	2	26000	770		142	127					
60	8900	9400	2	27500	770		147	132					
61	9400	10000	2	29000	770		152	132					
62	10000	10700	2	31000	770			137					
63	10700	11500	2	33000	770			142					
64	11500	12400	2	35500	770			147					
65	12400	13400	2	38500	770			152					
66	13400	14600	2	42000	770			157					
67	14600	16000	2	46000	770			162					

3.2.3 **锚链**

3.2.3.1 对 N 小于 90 的船舶，可用试验载荷相等的无档锚链代替。

3.2.3.2 除起重船、打桩船等工程船舶外，在以下情况可使用钢丝绳替代锚链：

（1）船长小于 90m，且仅需要一只应急锚（在正常临时锚泊作业时不需用锚）；

（2）船舶用于定位的（至少 4 点）锚设备（如布缆船或铺管船）。

3.2.3.3　使用钢丝绳替代锚链时，应满足下述要求：

（1）钢丝绳的总长应为表 3.2.1.1(2)中的有档锚链相应要求长度的 1.5 倍，最小破断强度应为与相应 1 级有档锚链破断强度相同。

（2）锚的重量应比表 3.2.1.1（2）中相应锚重增加 25%。

（3）在钢丝绳和锚之间应设一段短的锚链，其长度为 12.5 m 或锚存放位置至锚机的距离，取小者。

（4）所有与钢丝绳（包括钢丝绳的中间部分）接触的表面都需要进行倒圆，倒圆半径不小于 10 倍的钢丝绳直径。

（5）应根据制造商建议选取合适的钢丝绳，并应提供维护和检查手册。

3.2.3.4　锚链于连接锚的一端应装设 1 个转环。

3.2.3.5　锚链的舷内链端应通过紧固件连接到结构上，并能在锚链舱外易于到达的地方，迅速解脱。紧固件及其船体支撑结构应能承受不小于 15%且不大于 30%所安装锚链的破断负荷。

3.2.3.6　拉伸应力小于 400N/mm^2 的 1 级链不能用于大抓力锚。3 级链仅适用于链径为 20.5mm 或以上的锚链。

3.2.3.7　表 3.2.1.1（2）中所列锚链总长度应尽可能平均分配给两只首锚的锚链。

3.2.4　拖索和系船索

3.2.4.1　系船索的数量、长度及破断负荷应标注在船舶的系泊布置图上。表 3.2.1.1（2）所列的拖索为船舶上配有的用于拖船或其他船舶拖带本船所使用的，为选取拖索而计算舾装数时，应计入甲板货（名义能力工况）的侧投影面积。作为 3.2.4 条的替代方法，可根据本章附录 2 直接系泊分析的方式确定系泊索的数量及最小破断负荷。

3.2.4.2　舾装数 N 小于等于 2000 船舶的系泊索应按表 3.2.1.1（2）的要求确定，对于 $A/\mathrm{N}>0.9$ 的船舶，表 3.2.1.1（2）中所给出的系泊索数量应根据下式增加：

$$1\text{ 根系泊索}\quad 0.9<\frac{A}{\mathrm{N}}\le 1.1$$

$$2\text{ 根系泊索}\quad 1.1<\frac{A}{\mathrm{N}}\le 1.2$$

$$3\text{ 根系泊索}\quad 1.2<\frac{A}{\mathrm{N}}$$

3.2.4.3　舾装数大于 2000 船舶的系泊索的强度以及首缆、尾缆和横缆（参见图 3.2.4.2）的数量是基于侧投影面积 A_1 确定的。侧投影面积 A_1 可根据本节 3.2.1.2 中侧投影面积 A 的类似方法计算，并考虑如下因素：

在计算侧投影面积 A_1 时，应考虑压载吃水。对吃水变化小的船型，如客船和滚装船，可使用夏季载重水线来计算侧投影面积 A_1。

在计算侧投影面积 A_1 时，除非船舶预期经常系泊于高桩码头，应考虑码头的风力折减。可假设码头平面高于水线 3m，即在所考虑装载工况下，水线上 3m 范围内的侧投影面积可以不计入。

在计算侧投影面积 A_1 时，名义能力工况（定义见本章 3.6.2.10）的甲板货应计入。如果压载吃水工况所计算的侧投影面积 A_1 大于装载甲板货的满载工况，则甲板货可不计入。侧投影面积 A_1 应取为这两种工况下的大者。

（1）本条中的系泊索要求是基于最大流速 1.0 m/s 所确定的，基于的最大风速（m/s）如下：

$V_W = 25-0.002(A_1-2000)$　$2000m^2 < A_1 \le 4000m^2$ 的客船、渡船和汽车运输船

$=21$　$A_1 > 4000m^2$ 的客船、渡船和车辆运输船

=25　　其他船

风速代表了地面 10m 以上任意方向的 30s 平均风速，流速代表了船首或船尾（±10°）且在平均吃水的一半处。同时，假定船舶系泊于实心的码头对交叉流有遮蔽效果。由更高的风速或流速、交叉流、额外波浪载荷或非实心码头带来的屏蔽减弱所引起的额外的载荷需要特殊考虑。另外应注意不利的系泊布置可能会增加单根系泊索的载荷。

横缆：与船舶垂直的系泊索，限制船舶在离岸方向的运动；

倒缆：几乎与船舶平行的系泊索，限制船舶前后的运动；

首缆/尾缆：介于船舶纵向和横向之间的系泊索，限制船舶在离岸方向和前后方向的运动。对各方向运动的限制取决于绳索的方向。

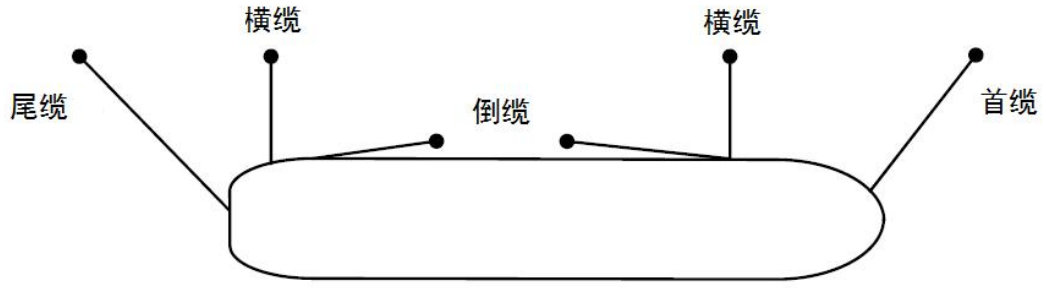


图 3.2.4.2　横缆、倒缆、首缆/尾缆示意图

（2）艏装数 N 大于 2000 船舶的系泊索的船舶设计最小破断负荷应不小于下式计算所得之值，且应不超过 1275 kN：

$$MBL_{SD} = 0.1 \cdot A_1 + 350 \qquad \text{kN}$$

如果认为系泊索不足以满足本条（1）中风速的要求，对这些船可接受更大的风速 V_W^*。

$$V_W^* = V_W \sqrt{\frac{MBL_{SD}^*}{MBL_{SD}}}$$

其中：V_W ——本条（1）所定义的风速；

MBL^* ——预期使用的系泊索的船舶设计最小破断负荷；应取为不小于根据 $21\,m/s$ 的风速所计算得到之值，即：

$$MBL_{SD}^* \geq \left(\frac{21}{V_W}\right)^2 \cdot MBL_{SD}$$

MBL ——根据本条（2）公式计算所得的船舶设计最小破断负荷。

如果预期使用的风速 V_W^* 高于本条（1）所述的 V_W 时，船舶设计最小破断负荷应取为：

$$MBL_{SD}^* = \left(\frac{V_W^*}{V_W}\right)^2 \cdot MBL_{SD}$$

（3）艏装数 N 大于 2000 船舶的首缆、尾缆和横缆的总数应不小于：

$$n = 8.3 \cdot 10^{-4} \cdot A_1 + 6$$

对油船、化学品船、散货船和矿砂船，首缆、尾缆和横缆的总数应不小于：

$$n = 8.3 \cdot 10^{-4} \cdot A_1 + 4$$

首缆、尾缆和横缆的总数应四舍五入到最近的整数。

（4）首缆、尾缆和横缆的总数和系泊索的强度应进行相互修正，修正后的系泊索强度 MBL^* 应为：

$$MBL_{SD}^{**} = 1.2 \cdot MBL_{SD} \cdot n / n^{**} \leq MBL_{SD} \qquad \text{当系泊索数量增加时}$$

$$MBL_{SD}^{**} = MBL_{SD} \cdot n / n^{**} \qquad \text{当系泊索数量减少时}$$

其中：MBL_{SD}——本条（1）和（2）中的 MBL_{SD} 或 MBL_{SD}^{*}；

n^{**}——增加或减少后的首缆、尾缆和横缆的总数；

n——根据船型及上述公式计算所得的在四舍五入之前的值。

（5）所有倒缆的数量应取为不小于：

2 根　舾装数小于 5000 时

4 根　舾装数大于等于 5000 时

倒缆的船舶设计最小破断负荷应和首缆、尾缆和横缆的一致。如果首缆、尾缆和横缆的数量根据系泊索的船舶设计最小破断负荷进行调整，倒缆的数量也应按以下公式增加，但取为计算值的向上最近偶数取整。

$$n_S^{*} = MBL_{SD} / MBL_{SD}^{**} \cdot n_S$$

其中：MBL_{SD}——本条（1）和（2）中的 MBL_{SD} 或 MBL_{SD}^{*}；

n_S——倒缆的数量；

n_S^{*}——增加的倒缆数量。

3.2.4.4　舾装数 N 小于等于 2000 船舶的系泊索长度可根据表 3.2.1.1（2）的要求确定，舾装数大于 2000 船舶的系泊索长度可取为 200m。每根系泊索的长度最多可比要求值减少 7%，但所有系泊索的总长度应不低于按每根取要求值时的总长度。

3.2.4.5　本节表 3.2.1.1(2)所列的拖索和系船索是钢丝抗拉强度不小于 1.37kN/mm^2 的柔韧镀锌钢丝绳。钢丝绳的结构形式见 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 10 章第 4 节的规定。

3.2.4.6　拖索和系船索，可以采用植物纤维、合成纤维或钢丝与植物纤维组成的缆索。使用植物纤维、合成纤维的缆索，其周长应不小于 63mm(直径 20mm)。

3.2.4.7　缆索的破断负荷大于 736kN 时，应采用专门设计的缆车来进行操作。

3.2.4.8　工程船上的作业用绞车可以代替锚机，但应保证有效地收放锚链。

3.2.5　船首甲板锚机固定的强度要求

3.2.5.1　本节 3.2.5 是对所有船长 80m 及以上的船舶，距夏季载重线以上高度小于 0.1L 或 22m，取小者，露天甲板上位于距船首 0.25L 区域内的锚机固定的强度要求。

3.2.5.2　当系泊绞车和锚机为整体式时，系泊绞车被认为是锚机的一部分。

3.2.5.3　作用在锚机上的压力和计算面积可按下述计算(见图 3.2.5.3)：

(1)　垂直于轴线由船首向后方向，力 P_x 为 200kN/m^2 乘以该方向的投影面积。

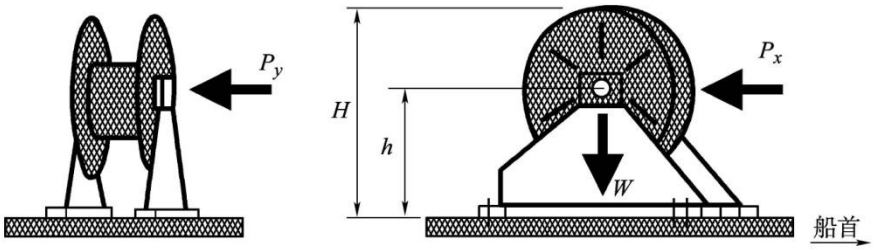
(2)　平行于轴线分别作用于舷内和舷外侧，力 P_y 为 150kN/m^2 乘以 f 倍该方向的投影面积，f 定义如下：

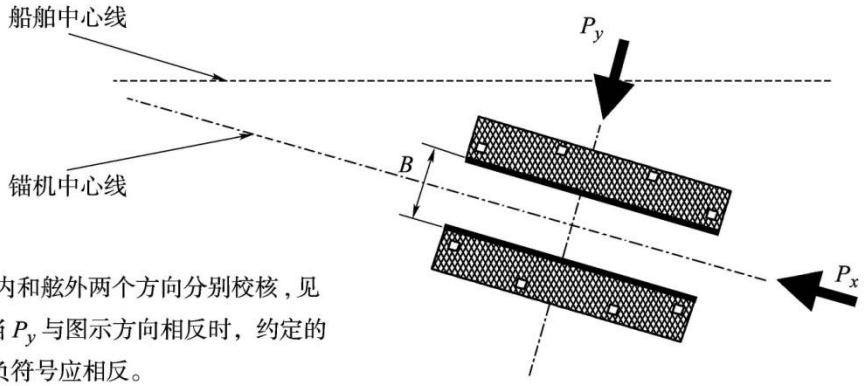
$$f = 1 + \frac{B}{H} \quad \text{，但不大于 2.5}$$

式中：B——平行于轴线的锚机计算宽度，m；

H——锚机最大高度，m。

3.2.5.4　固定锚机于甲板上的螺栓、楔块和限位块上的力应予计算，锚机由 N 个螺栓组支持，每个螺栓组包含 1 个或多个螺栓，见图 3.2.5.3。





注：

P_y 应按舷内和舷外两个方向分别校核，见 3.2.5.3。当 P_y 与图示方向相反时，约定的 y_i 值的正负符号应相反。

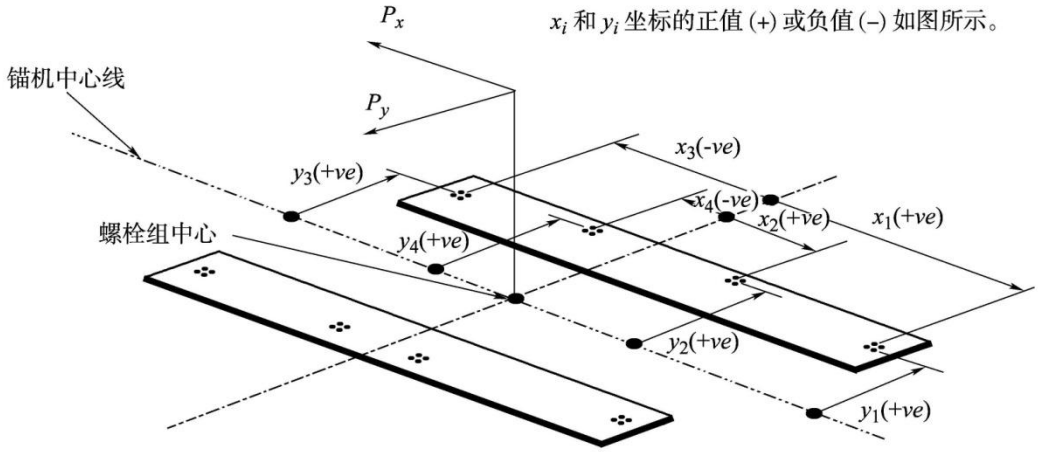


图 3. 2. 5. 3

3.2.5.5　第 i 个螺栓组(或螺栓)的轴向 R_i 可按下式计算：

$$R_{xi} = \frac{P_x h x_i A_i}{I_x} \qquad \text{kN}$$

$$R_{yi} = \frac{P_y h y_i A_i}{I_y} \qquad \text{kN}$$

$$R_i = R_{xi} + R_{yi} - R_{si} \qquad \text{kN}$$

式中：P_x ——垂直于轴线的作用力，kN；

P_y ——平行于轴线的作用力，kN，舷内侧或舷外侧，取较大者；

h ——锚机轴线离安装平面的高度，cm；

x_i，y_i ——第 i 个螺栓组到所有 N 个螺栓组的中心的 x 和 y 方向的坐标，cm，以

作用力的相反方向为正值；

A_i ——第 i 个螺栓组所有螺栓横剖面面积之和，cm^2；

$I_x = \sum A_i x_i^2$，cm^4，N 个螺栓组对 y 轴惯性矩之和；

$I_y = \sum A_i y_i^2$，cm^4，N 个螺栓组对 x 轴惯性矩之和；

R_{si} ——由锚机重量作用在第 i 个螺栓组上的静反力，kN。

3.2.5.6 作用在第 i 个螺栓组上的剪切力 F_{xi}、F_{yi}，以及合成力 F_i 可按下式计算：

$$F_{xi} = \frac{P_x - \alpha g W}{N} \quad \text{kN}$$

$$F_{yi} = \frac{P_y - \alpha g W}{N} \quad \text{kN}$$

$$F_i = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2} \quad \text{kN}$$

式中：α ——摩擦系数，取 0.5；

W ——锚机重量，t；

g ——重力加速度，取 9.81m/s^2；

N ——螺栓组数量。

3.2.5.7 本节 3.2.5.5 的轴向力与本节 3.2.5.6 的横向力，在支撑结构的设计中应予考虑。

3.2.5.8 应计算每个螺栓组中的单个螺栓的轴向拉伸应力。水平力 F_{xi} 和 F_{yi} 通常由剪切楔块承受。如紧配螺栓设计成支撑 1 个或 2 个方向的剪切力时，应计算单个螺栓的等效应力，并与验证负荷下的应力相比较。相对于螺栓强度的安全系数应不小于 2.0。当底座垫片采用环氧树脂时，计算中应适当考虑。

3.2.5.9 支承锚机与本节 3.2.5.3～3.2.5.7 所述固定锚机的螺栓载荷的甲板骨架强度应进行直接计算。

第 3 节 木铺板及护舷木条

3.3.1 木铺板

3.3.1.1 在单层底船的肋板、舭肘板上以及双层底船的舭部污水沟上，应铺设遮蔽板并应设有局部的活动铺板，以便掀开进行检查。

3.3.1.2 如在货舱口下方的内底板上铺设木铺板，则木铺板下面应垫木条，该木条的厚度至少应为 30mm。如双层底柜内不装燃油，可直接铺设在先涂好一层沥青化合物或其他有效敷料的内底板上。

3.3.1.3 不论单层底或双层底船，如在货舱内铺设木铺板，其厚度应根据船长 L 按下述规定选取：

$L \le 60$ m：木铺板厚度应不小于 50mm；

60m $< L \le 90$ m：木铺板厚度应不小于 55mm；

$L > 90$ m：木铺板厚度应不小于 60mm。

3.3.1.4 位于货舱口下方的内底板或轴隧顶板如增厚 2mm，可免予铺设木铺板。

3.3.1.5 如使用抓斗或其他类似机械进行装卸，则在货舱口下方的内底板上铺设双层木铺板(每层厚度按本节 3.3.1.3 规定)，如内底板已增厚 5mm，可免予铺设木铺板。

3.3.1.6 如货舱舱壁的另一侧为深油舱且具有加热设备时，应在货舱一侧铺设木铺板或敷设绝缘。如铺设木铺板，其厚度应按本节 3.3.1.3 规定。

3.3.1.7 货舱内的入孔盖及其附件，应尽量不高出内底板或木铺板，如高出内底板，则对每一入孔应先加钢镶框，再加上木铺板或钢盖板，使其逐渐过渡。

3.3.1.8 铺设木铺板的双层底柜顶板或轴隧顶板的外表面，应涂刷沥青溶液或其他有效的涂料；不铺设木铺板的双层底柜顶板或轴隧顶板则应涂刷油漆。

3.3.2 护舷木条

3.3.2.1 装运杂货的处所，应沿船舷内侧装设护舷木条，其边缘之间距应不超过 300mm，其宽度与厚度应根据船长 L 按下列规定选取。

$L \le 60$ m：护舷木条的宽度应不小于 100mm，厚度应不小于 30mm；

$60\text{m} < L \le 90$ m：护舷木条的宽度应不小于 120mm，厚度应不小于 40mm；

$L > 90$ m：护舷木条的宽度应不小于 150mm，厚度应不小于 50mm。

护舷条亦可采用钢质材料。

第 4 节　桅或起重柱

3.4.1　一般要求

3.4.1.1　轻型吊杆装置的桅或起重柱，应至少有 2 个牢固的支持点。具有足够强度的上层建筑甲板或甲板室甲板，可作为其中一个有效的支持点。

3.4.1.2　桅或起重柱穿过甲板支持点处应牢固地与甲板连接，甲板开孔周围应作有效的补强。

3.4.2　壁厚

3.4.2.1　桅或起重柱的外径 D 与厚度 t 的关系值应符合下式规定：

$$D \le \frac{1000t}{25-t} \quad \text{mm，当 } t \le 15 \text{ mm 时}$$

$$D \le 100t \quad \text{mm，当 } t > 15 \text{ mm 时}$$

3.4.2.2　桅或起重柱的最小壁厚为 6mm，如桅或起重柱兼作通风筒时，则应不小于 7mm。

3.4.3　局部加强

3.4.3.1　轻型吊杆的桅或起重柱的下端、桅肩、吊货杆座、千斤索眼板和桅支索眼板固定区域等应力集中的部位，应根据需要加装腹板或增加壁厚。用腹板加强时，腹板的高度和宽度应按情况稍大于上述零部件的高度和宽度或该处桅或起重柱的外径。

3.4.3.2　桅或起重柱强度计算的工况和安全系数应符合船旗国主管机关的规定。

第 5 节　应急拖带装置

3.5.1　适用范围

3.5.1.1　本节适用于 20000 载重吨及以上的液货船，包括油船、化学品液货船和液化气体船，在应急情况下拖离危险区时的所需设备。

3.5.2　图纸资料

3.5.2.1　下列图纸资料应提交批准：

(1)　应急拖带装置的布置图。

(2)　应急拖带装置的拖力点及导缆装置结构图（其相应的计算书也应提交备查）。

(3)　支撑拖力点和导缆装置的局部结构图。

(4)　应急拖带装置的操作手册。

3.5.3　一般要求

3.5.3.1　应急拖带装置的设计应考虑到船舶失去动力时易于操作，并能快速地与拖船连接。

3.5.3.2　应急拖带装置应经认可，并应符合下列规定：

(1)　尾部应急拖带装置应预先装配好，并能在泊港状态下不超过 15min 内投入使用。

(2)　尾部短拖索的回收装置应设计成在失去动力和不利环境下，能由 1 个人进行手工操作。回收装置应予以保护，以防不利的天气和其他情况。

(3)　首部应急拖带装置应设计成至少用 1 个适当定位的导向滚轮将短拖索紧固到防擦装置上，以便拖索的连接。

(4)　首部应急拖带装置应能在泊港状态下不超过 1h 内投入使用。

(5)　符合尾部应急拖带装置规定的首部应急拖带装置可被接受。

(6)　所有应急拖带装置均应有明显的标志，以便在黑暗中和能见度差的情况下，也能安全

和有效地使用。

3.5.4 布置与强度

3.5.4.1 应急拖带装置的典型布置见图 3.5.4.1。

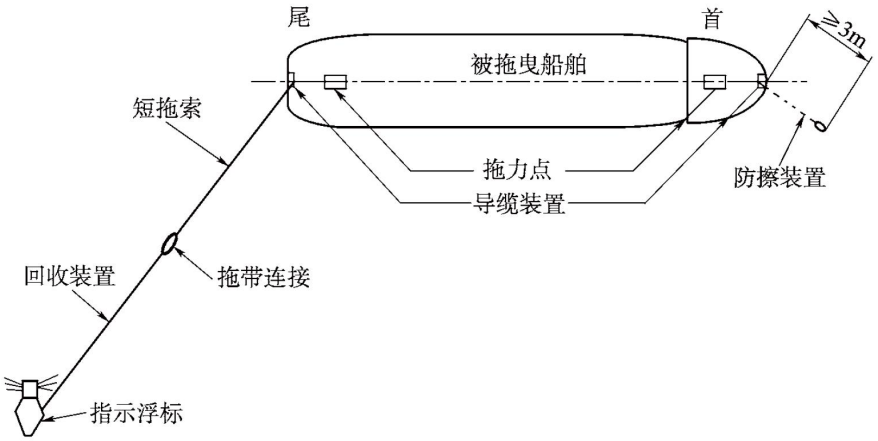


图 3.5.4.1 应急拖曳装置典型布置图

首部和尾部的拖力点及导缆装置的位置应能确保从首部或尾部任一侧均易于拖带，并最大限度减小拖带装置的应力。拖带装置的主要部件见表 3.5.4.1。

拖带装置的主要部件 表 3.5.4.1

主要部件	设置部位		强度要求
	船首	船尾	
回收装置	任选	要求	—
短拖索	任选	要求	要求
防擦装置	要求	根据设计确定	要求
导缆装置	要求	要求	要求
拖力点	要求	要求	要求
滚轮托架	要求	根据设计确定	—

3.5.4.2 拖带装置的强度应能满足拖索从船中心线向左或向右 90°及垂直向下 30°的工作要求。拖带装置的主要部件的安全系数应不小于 2。拖带装置主要部件的安全工作负荷(SWL)见表 3.5.4.2。

部件安全工作负 表 3.5.4.2

船舶载重量(t)	安全工作负荷(kN)
20000～50000	1000
≥50000	2000

3.5.5 装置与部件的要求

3.5.5.1 短拖索应具有一个硬质末端眼环，以便与标准的弓形卸扣连接。短拖索的长度不小于 $2H+50$m，其中 H 为尾部导缆装置处的海上最轻压载时的干舷高度(m)。

3.5.5.2 防擦装置的设计可以使用不同的方法。如采用防擦链时应符合下列要求：

(1) 防擦链应为有档链，其长度应从拖力点延伸至导缆装置以外至少 3m；

(2) 防擦链的一端应适合与拖力点连接，另一端应装配一个标准的梨形无档链环，以便通过标准弓形卸扣与短拖索连接。典型端部结构和梨形链环如图 3.5.5.2(2)所示；

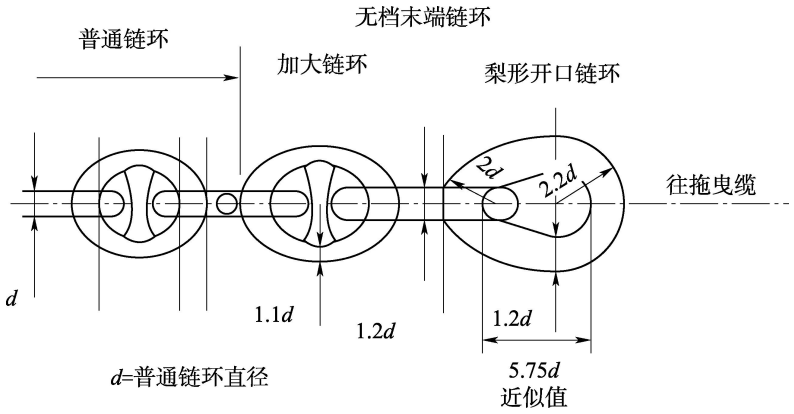


图 3.5.5.2(2)　典型防擦链的端部结构

(3)　防擦链的设计、制造、试验和证书，除本条要求外，应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 10 章第 2 节的有关规定；

(4)　防擦链应采用认可的 M2 或 M3 级锚链钢，由认可的工厂制造；

(5)　防擦链普通链环的直径应符合表 3.5.5.2(5)的要求，其他链环的名义直径按图 3.5.5.2(2)要求确定；

(6)　防擦链的存放应能确保其快速连接到拖力点上。

普通链环的最小名义直径　　表 3.5.5.2(5)

应急拖带装置型号	普通链环的最小名义直径 *d*	
	2 级链	3 级链
ETA1000	62mm	52mm
ETA2000	90mm	76mm

3.5.5.3　导缆装置可为导缆孔或带滚柱的导缆器。导缆装置应具有足够大的开口，以便通过防擦装置、短拖索及相关部件的最大部分。该开口的尺寸建议为 450×600mm。导缆装置的位置应尽可能靠近甲板，使拖力点至导缆装置之间的防擦链在受力时大致保持与甲板平行。导缆装置应具有足够大的支承表面，其弯曲比率(导缆装置的支承表面直径与短拖索的直径之比)应不小于 7：1。

3.5.5.4　拖力点是拖带装置在船上的紧固端，其应为止链器或拖力眼板或其他等强度的装置。拖力点可结合导缆装置进行设计。

第 6 节　常规船舶上与拖带和系泊相关的船用配件与船体支撑结构

3.6.1　一般要求

3.6.1.1　本节要求适用于拖带和系泊操作用的船用配件及支撑结构的设计与构造。

3.6.1.2　船体支撑结构的最小净尺度应满足本节 3.6.3.5 和 3.6.4.5 的要求。净厚度，t_{net}，是获得上述要求的最小净尺度必须的构件板厚。这要求总厚度应由 t_{net} 增加本节 3.6.6 所述总腐蚀增量 t_c 获得。

3.6.1.3　本节要求适用于 2018 年 7 月 1 日及以后签订合同的船舶。

3.6.1.4　本节要求不适用于伴航拖带、运河拖带及液货船的应急拖带。

3.6.2　定义

3.6.2.1　常规船舶：系指 500GT 及以上除高速船、特殊用途船舶、海洋平台以外的所有新造排水型船舶。特殊用途船舶系指机械自航船舶，根据其功能，载有 12 名以上特殊人员。

3.6.2.2　船用配件：系指下列正常系泊船舶用的系缆桩与缆柱、系缆器、立式滚轮、导缆孔以及用于正常拖带或其他拖带船舶的类似部件。其他部件如绞盘、绞车等不包含在本节

中。任何船用配件与支撑结构的焊接、螺栓或其他等效设施是船用配件的部分，如根据工业标准选用，应满足该工业标准。

3.6.2.3　船体支撑结构：系指上部或内部安装船用配件并直接承受作用在船用配件上的力的部分船体结构。用于上述正常拖带或其他拖带、系泊操作的绞盘、绞车等的船体支撑结构也应符合本节的规定。

3.6.2.4　工业标准系指国际标准(ISO 等)或船舶建造的国家认可的国家协会颁布的标准。

3.6.2.5　正常拖带：系指与船舶正常操作所配合的，为在港口和遮蔽水域操纵船舶所需要的拖带作业。

3.6.2.6　其他拖带：系指除本章第 5 节的应急拖带以外，船舶安装有拖带设备，用于被其他船舶或拖船拖带（如在紧急情况下被帮助）。

3.6.2.7　伴航拖带：系指特定河口所要求的拖带，特别是油船或 LNG 运输船。主要目的是在船舶推进装置或操舵装置损坏后控制船舶。

3.6.2.8　运河拖带：系指用于船舶通过运河时的拖带。

3.6.2.9　液货船应急拖带：系指帮助应急状况下的液货船的拖带，参见本章第 5 节。

3.6.2.10　名义能力工况：系指船舶布置中各预定装货位置上计及了最大可能甲板货的理论工况。对于集装箱船，名义能力工况代表了船舶布置中各预定装箱位置上计及了最大可能数量的集装箱的理论工况。

3.6.2.11　船舶设计最小破断负荷（MBL_{SD}）：系指新的、干的系泊索或拖索的破断负荷，船用配件和船体支撑结构应根据船舶设计最小破断负荷设计以满足系泊限制要求或其他拖带的拖带要求。

3.6.2.12　缆索设计破断负荷（*LDBF*）：系指新的、干的、捻制系泊索的最小破断负荷。适用于所有合成索材料。

3.6.3　拖带

3.6.3.1　在船首、舷侧和船尾用于正常拖带和其他拖带操作的船用配件及其船体支撑结构的强度应满足本节 3.6.3.2 至 3.6.3.6 要求。当船用配件拟同时用于拖带和系泊，还应满足 3.6.4 的系泊要求。

3.6.3.2　拖带用的船用配件应位于部分甲板结构(强力构件和/或桁材)上，以有效分布拖带负荷。其他如用于预定用途、确定强度足够的布置(如舷墙导缆孔等)可以被接受。

3.6.3.3　考虑载荷

船用配件的船体支撑结构的最小设计负荷应为：

(1)　用于正常拖带操作，设计负荷应为拖带与系泊布置图中标明的预期的最大拖带负荷(如系柱静拖力)的 1.25 倍。

(2)　对于其他拖带服务，应为表 3.2.1.1(2)中艉装数 *N* 对应的拖索的船舶设计最小破断负荷。

注：在选择拖索时应计入包括甲板货（名义能力工况）的侧投影面积，并使用该拖索的破断负荷作为设计载荷。

(3)　对同时用于正常拖带和其他拖带的船用设备，设计载荷应取为（1）和（2）中的大者。

(4)　当设计者所选定配件的拖带安全工作负荷大于 3.6.3.6 规定的拖带安全工作负荷时，设计载荷应根据拖带安全工作负荷与设计载荷之间的换算关系进行增加。

(5)　设计载荷应根据拖带与系泊布置图中的布置，各种可能出现的方向施加于配件。当拖索在配件处转向，作用在配件上的设计载荷应为拖索设计载荷的合力，但不需超过 2 倍的拖索设计负荷。参见图 3.6.3.3（5）。

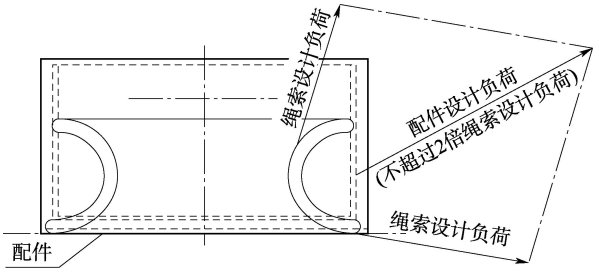


图 3.6.3.3(5)

3.6.3.4　可根据接受的工业标准选择船用配件，并至少基于以下载荷：

（1）正常拖带，拖带与系泊布置图上所标明的预期的最大拖带负荷(如系柱静拖力)；

（2）其他拖带，表 3.2.1.1(2)中艏装数 N 对应的拖索的船舶设计最小破断负荷，并参见 3.6.3.3（2）的注。

（3）对同时用于正常拖带和其他拖带的船用设备，设计载荷应取为（1）和（2）中的大者。

如果工业标准中给出了双柱带缆桩的不同受力型式，如 8 字缠绕两根缆桩和 1 个绳圈缠绕单个缆桩的型式，双柱带缆桩应根据 1 个绳圈缠绕于单个缆桩的型式选取。

如船用配件没有按接受的工业标准选择时，评估该配件的强度及配件与船舶的连接时的设计负荷应符合 3.6.3.3 和 3.6.3.5 的要求。双柱带缆桩应根据 1 个绳圈缠绕于单个缆桩的型式。使用梁理论或有限元进行强度分析时，应使用净尺寸的方法。总腐蚀增量的要求详见本节 3.6.6，磨损增量的要求详见本节 3.6.7。经同意，可通过载荷试验的方式替代强度分析。

3.6.3.5　船体支撑结构

(1)　布置

船用配件下加强部件应对作用在船用配件上的拖带载荷的任何方向(水平方向和垂直方向)的变化作有效布置，例如图 3.6.3.5（1）所示。配件与船体支撑结构应保证合适的对齐。

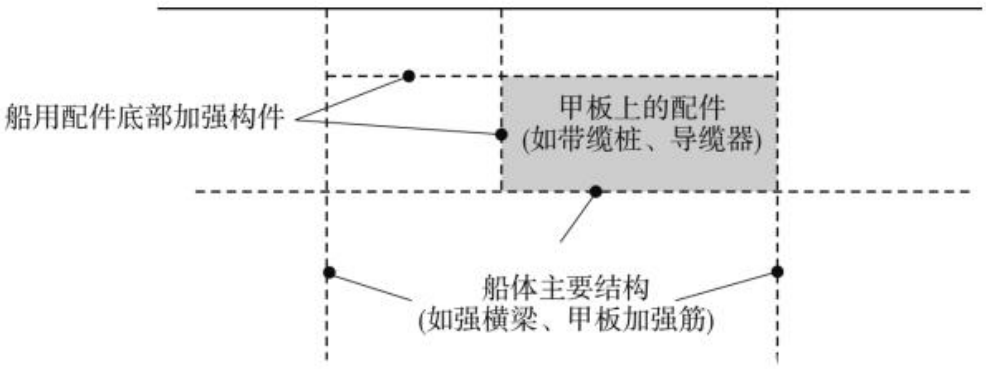


图 3.6.3.5（1）

(2)　拖带载荷的作用点

船用配件上拖带载荷的作用点应是拖索的附着点或拖索方向变化处。对于带缆桩，拖索的连接点应位于基座以上 4/5 的筒体高度，如图 3.6.3.5（2）所示。

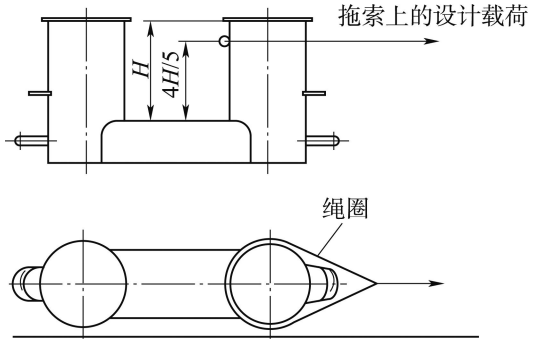


图 3.6.3.5（2）

(3)　许用应力

本节 3.6.3.3 规定的设计负荷下的许用应力如下：

1）采用梁理论或交叉梁系分析进行强度评估：

正应力：$1.0R_{eH}$；

剪切应力：$0.6R_{eH}$；

正应力指弯曲应力和轴向应力的合成，相应的剪切应力作用方向垂直于正应力。不考虑应力集中因素。

2）采用有限元分析方法进行强度评估：

Von Mises 应力：$1.0R_{eH}$；

使用有限元分析进行强度计算时，网格应足够精细以尽可能真实地表示几何形状。单元的长度与宽度比应不超过 3。强桁材应使用板单元或平面应力单元模拟。对称桁材面板可使用梁或桁架单元模拟。桁材腹板单元的高度不可超过腹板高度的 1/3。对于小型开孔的桁材腹板，其腹板厚度应折算减薄到覆盖整个腹板高度范围的平均厚度。大型开孔应直接模拟。加强筋可通过板单元，平面应力单元或梁单元进行模拟。加强筋的网格尺寸应足够精细到能较好地获取弯曲应力。如用板单元或平面应力单元模拟扁钢，在扁钢的自由边界应建立虚杆单元，并应评估虚杆单元的应力。应读取每个单元中部的应力结果。对于板单元，应评估单元中平面的应力。

R_{eH}为材料的规定最小屈服强度。

3.6.3.6　拖带安全工作负荷(TOW)

(1)　拖带安全工作负荷（TOW）是用于拖带用途的船用配件安全极限作业载荷；

(2)　用于正常拖带操作的 TOW 应不超过本节 3.6.3.3(1)给定设计负荷的 80％;

(3)　用于其他拖带操作的 TOW 应不超过本节 3.6.3.3(2)给定的设计负荷的 80%;

(4)　同时用于正常拖带和其他拖带的 TOW 应为(2)和(3)中的大者；

(5)　每一船用配件的 TOW（单位为 t）应标记(焊点或等效方法)在用于拖带的甲板配件上。对同时用于拖带和系泊的配件，除 TOW 外，根据 3.6.4.6 要求的 SWL（单位为 t）也应进行标记。

(6)　上述要求的 TOW 仅适用于不超过一个拖索的使用。如无根据其他方式选择，对于双式带缆桩，TOW 为 1 根缆索用 1 个绳圈缠绕于单个缆桩型式的载荷极限；

(7)　本节 3.6.5 描述的拖带与系泊布置图应注明拖索的使用方法。

3.6.4 **系泊**

3.6.4.1　用于系泊操作的船用配件及其船体支撑结构的强度，以及绞车和绞盘的船体支撑结构的强度应满足本节 3.6.4.2 至 3.6.4.6 要求。

3.6.4.2　系泊用船用配件、绞车和绞盘应位于部分甲板结构(强力构件和/或桁材)上，以有效分布系泊负荷。其他如用于预定用途、确定强度足够的布置(如舷墙导缆孔等)可以被接受。当船用配件同时拟用于拖带和系泊，还应满足 3.6.3 的拖带要求。

3.6.4.3　考虑载荷

(1)　船舶配件的船体支撑结构的最小设计负荷应为本章 3.2.4 所确定的船舶设计最小破断负荷的 1.15 倍。

注：在评估横向风载荷、拖轮布置和系索选择时应计入包括甲板货（名义能力工况）的侧投影面积。

(2)　绞车的船体支撑结构的最小设计负荷应为预计的最大刹车支持负荷的 1.25 倍，最大刹车支持负荷应不小于 80%的本章 3.2.4 所确定的船舶设计最小破断负荷。对绞盘，最小设计载荷应为 1.25 倍的最大卷入力。

(3)　当设计者所选定配件的安全工作负荷大于 3.6.4.6 规定的安全工作负荷时，设计载荷应根据安全工作负荷与设计载荷之间的换算关系进行增加。

(4)　设计载荷应根据拖带与系泊布置图中的布置，各种可能出现的方向施加于配件。当系泊索在配件处转向，作用在配件上的设计载荷应为系泊索设计载荷的合力，但不需超过 2 倍的系泊索设计负荷。参见图 3.6.3.3（5）。

3.6.4.4　可根据接受的工业标准选择船用配件，应至少基于本章 3.2.4 所确定的船舶设计最小破断负荷。

如果工业标准中给出了双柱带缆桩的不同受力型式，如 8 字缠绕两根缆桩和 1 个绳圈缠绕单个缆桩的型式，双柱带缆桩应根据 8 字缠绕两根缆桩的型式选取。

如船用配件没有按接受的工业标准选择时，评估该配件的强度及配件与船舶的连接时的

船体支撑结构应符合本节 3.6.4.3 和 3.6.4.5 的要求。双柱带缆桩应根据 8 字缠绕两根缆桩的型式，应注意在此种型式下，每根缆桩能承受 2 倍的作用在系泊索上的载荷，如果采用了其他型式而忽略了这种效果，配件使用中将可能出现过载的情况。使用梁理论或有限元进行强度分析时，应使用净尺寸的方法。腐蚀增量的要求详见本节 3.6.6，磨损增量的要求详见本节 3.6.7。经同意，可通过载荷试验的方式替代强度分析。

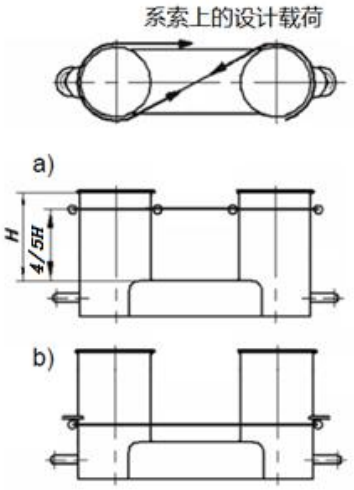
3.6.4.5　船体支撑结构

(1)　布置

船用配件下加强部件应对作用的系泊载荷的任何方向(水平方向和垂直方向)的变化作有效布置，参见图 3.6.3.5（1）所示。配件与船体支撑结构应保证合适的对齐。

(2)　系泊载荷的作用点

船用配件上系索载荷的作用点应是系索的附着点或系索方向变化处。对于带缆桩，系泊索的连接点应位于基座以上至少 4/5 的筒体高度，如图 3.6.4.5（2）中 a)所示。如果筒体上安装了挡板以保证系泊索尽可能低，则系泊索的作用点可取为挡板的高度，如图 3.6.4.5（2）中 b)所示。



3.6.4.5（2）

(3)　许用应力

本节 3.6.4.3 规定的设计负荷下的许用应力如下：

1）采用梁理论或交叉梁系分析进行强度评估：

正应力：$1.0R_{eH}$；

剪切应力：$0.6R_{eH}$；

正应力指弯曲应力和轴向应力的合成，相应的剪切应力作用方向垂直于正应力。不考虑应力集中因素。

2）采用有限元分析方法进行强度评估：

Von Mises 应力：$1.0R_{eH}$；

使用有限元分析进行强度计算时，网格应足够精细以尽可能真实地表示几何形状。单元的长度与宽度比应不超过 3。强桁材应使用板单元或平面应力单元模拟。对称桁材面板可使用梁或桁架单元模拟。桁材腹板单元的高度不可超过腹板高度的 1/3。对于小型开孔的桁材腹板，其腹板厚度应折算减薄到覆盖整个腹板高度范围的平均厚度。大型开孔应直接模拟。加强筋可通过板单元，平面应力单元或梁单元进行模拟。加强筋的网格尺寸应足够精细到能较好地获取弯曲应力。如用板单元或平面应力单元模拟扁钢，在扁钢的自由边界应建立虚杆单元，并应评估虚杆单元的应力。应读取每个单元中部的应力结果。对于板单元，应评估单元中平面的应力。

3.6.4.6　安全工作负荷(SWL)

(1)　安全工作负荷（SWL）是用于系泊用途的船舶配件安全极限作业载荷；

(2)　除根据 3.6.4.3（3），设计者选用更大安全工作负荷（SWL）的配件，安全工作负荷应不超过按本章 3.2.4 所确定的船舶设计最小破断负荷。

(3) 每一船用配件的 SWL（单位为 t）应标记(焊点或等效方法)在用于系泊的甲板配件上。对同时用于拖带和系泊的配件，除 SWL 外，根据 3.6.3.6 要求的 TOW（单位为 t）也应进行标记。

(4) 上述要求的 SWL 仅适用于不超过一个系泊索的使用。

(5) 本节 3.6.5 描述的拖带与系泊布置图应注明系泊索的使用方法。

3.6.5 拖带与系泊布置图

(1) 每个船用配件预定用途的 SWL 和 TOW 应在拖带与系泊布置图上注明，该布置图应配备在船上指导船长。应注意拖带安全工作负荷（TOW）是拖带用途的极限作业载荷而安全工作负荷（SWL）为系泊用途, 如无根据其他方式选择，对于拖带用双式带缆桩，TOW 为 1 根缆索用 1 个绳圈缠绕于单个缆桩型式的载荷极限；

(2) 提供的布置图应包括的每个船用配件的信息，涉及：

1）船上位置；

2）配件型号；

3）SWL/TOW；

4) 用途(系泊/港区拖带/其他拖带)；及

5) 施加拖带或系泊载荷的方法，包括角度变化的限制。

配件的 SWL 及 TOW 的确定应考虑其用途及施加载荷的方法，并提交批准。

布置图中还应包括：

1）系泊索的布置图（显示系泊索的数量）；

2）船舶设计最小破断负荷（MBL_{SD}）；

3) 确定艏装数大于 2000 船舶的船舶设计最小破断负荷的环境条件，包括任意方向的 30s 平均风速和首部或尾部（±10°）的最大流速；

(3) 上述（2）中的信息应具体反映在引航员卡中，为引航员提供港区/其他拖带操作的正确信息。

3.6.6 腐蚀增量

总腐蚀增量 t_c，mm，应不小于下列值：

（1）船体支撑结构，2mm。

（2）甲板上的基座或底座（基座和底座不是根据所接受工业标准制造的船用配件的一部分），2mm；

（3）船用配件（不是根据所接受工业标准制造的），2mm。

3.6.7 磨损增量

在 3.6.6 的腐蚀增量基础上，对于不是根据所接受的工业标准制造的船用配件，其经常与绳索接触的表面，应考虑不小于 1mm 的磨损增量。

3.6.8 建造后检验

任何甲板配件及其基座或底座，与配件相邻的船体结构应按本规范检查。

第 7 节 甲板设备支撑结构

3.7.1 一般要求

3.7.1.1 属于甲板设备和属具(如本节 3.7.1.2(1)至(5)所列)的支撑结构的资料应提交批准，支撑结构系指上部或内部安装甲板设备和属具并直接承受作用在甲板设备和属具上的力的部分船体结构。

3.7.1.2 本节内容包括对下列设备和配件的支撑结构和基座的尺度要求：

(1) 锚机；

(2) 挚链器；

(3) 甲板起重机，吊杆和起重柱；

(4) 应急拖带布置；

(5) 其他需特别认可的甲板设备和配件。

3.7.1.3 如甲板设备可能遇到多种载荷工况，如作业载荷和上浪载荷，评估基座和支撑结构的强度时应独立施加作业载荷和上浪载荷，载荷应在锚链的方向施加。

3.7.2 锚机和挚链器的支撑结构

3.7.2.1 以下图纸和资料应提交批准：

(1) 锚机支撑结构详图；

(2) 锚机基座设计详图，包括底脚螺栓和基座与甲板连接的材料明细表；

(3) 挚链器基座设计的详细说明，包括材料明细表以及基座与甲板的连接详图。

3.7.2.2 同时还应提交以下图纸和资料：

(1) 锚泊设备的一般布置图；

(2) 本节 3.7.2.3 和 3.7.2.4 中定义的设计载荷和相关的作用在基座和支撑结构上的反力。

3.7.2.3 校核下列载荷工况下锚机和挚链器支撑结构的强度：

(1) 锚机(带挚链器)： 破断负荷的 45%

(2) 锚机(不带挚链器)： 破断负荷的 80%

(3) 挚链器： 破断负荷的 80%

破断负荷系指根据本章表 3.2.1.1（2）确定的锚链的最小破断负荷。载荷应在锚链的方向施加。

3.7.2.4 对于满足本章 3.2.5.1 的锚机，还应按本节 3.2.5 的要求校核船首甲板锚机固定的强度。

3.7.2.5 在支撑结构和基座的强度校核中，为较好地描述区域中的结构部件在各个方向上的受力分布情况，应尽可能采用三维有限元模型进行分析。如用交叉梁系或板梁组合模型，则模型简化应合理且趋于保守。分析应基于线弹性理论。模型中的构件取净厚度，腐蚀余量按本篇第 1 章第 6 节 1.6.5。

3.7.2.6 对于三维有限元模型，模型范围、单元及边界条件的取用原则如下：

(1) 模型范围及边界条件：采用局部立体结构模型(以下简称局部模型)，以基座有效作用平面矩形($a\times b$)形心为中心，向四周分别扩展至少一倍的该矩形相对应的长、宽距离($3a\times 3b$)。垂向从基座面扩展至甲板之下的第一个平台甲板或至少 $D/4$ 处(D 为型深)。如按上述方法框取的模型边界上未设置结构的主要支撑构件，则模型应再延伸直至边界落在结构的主要支撑构件上，边界条件可考虑自由支持或固支。若边界条件或模型范围的大小对中心区域的计算结果较为敏感，则应再适当扩大局部模型的取用范围，以不影响中心区域的计算结果为原则。

(2) 局部模型的理想化：单元选取、特性及其建模网格划分等原则按本篇第 1 章第 5 节 1.5.6。

3.7.2.7 各种工况下，支撑结构和基座的计算应力应不大于以下许用值：

(1) 使用梁理论或交叉梁系分析进行强度评估：

正应力：$1.0R_{eH}$

剪应力：$0.6R_{eH}$

正应力指弯曲应力和轴向应力的和，相应的剪切应力作用方向垂直于正应力。不考虑应力集中因素。

(2) 采用有限元分析方法进行强度评估：

Von Mises 应力：$1.0R_{eH}$

使用有限元分析进行强度计算时，网格应足够精细以尽可能真实地表示几何形状。单元的长度与宽度比应不超过 3。强桁材应使用板单元或平面应力单元模拟。对称桁材面板可使用梁或桁架单元模拟。桁材腹板单元的高度不可超过腹板高度的 1/3。对于小型开孔的桁材腹板，其腹板厚度应折算减薄到覆盖整个腹板高度范围的平均厚度。大型开孔应直接模拟。加强筋可通过板单元，平面应力单元或梁单元进行模拟。加强筋的网格尺寸应足够精细到能较好地获取弯曲应力。如用板单元或平面应力单元模拟扁钢，在扁钢的自由边界应建立虚杆单元，并应评估虚杆单元的应力。应读取每个单元中部的应力结果。对于板单元，应评估单元中平面的应力。

R_{eH}为材料的规定最小屈服强度。

3.7.3 起重机、吊杆和起重柱的支撑结构

3.7.3.1 船上被认定为船舶基本特征的起重设备，如起重船的起重设备及潜水补给船的潜水器吊放系统，其支撑结构应符合 CCS《船舶与海上设施起重设备规范》的要求。

对其他的起重设备，包括安全工作负荷大于 30kN，或作用于支撑结构的最大倾覆力矩超过 100kN·m 的起重机、吊杆和起重柱的支撑结构，应符合本节要求。

3.7.3.2 这些要求不包括以下项目：

(1) 工作人员或乘客使用的起重设备的支撑结构，见本节 3.7.5.2；

(2) 甲板连接区域以上起重设备基座或桅杆的结构；

(3) 被视为起重设备一部分的底角螺栓及其布置。

3.7.3.3 起重设备系指起重机、吊杆和起重柱。

3.7.3.4 安全工作负荷系指在任何规定的变幅长度范围内、起重设备可起升的最大载荷。

3.7.3.5 自重系指计算起重设备的总重量，包括任何起重零部件的重量。

3.7.3.6 倾覆力矩系指起重设备在安全工作负荷下作业，起重设备与船舶结构连接处所计算得出的最大弯矩，应考虑变幅长度和自重的影响。

3.7.3.7 以下图纸和资料应提交批准：

(1) 起重设备支撑结构，包括与甲板连接的详图；

(2) 安全工作负荷、自重、垂直反作用力以及起重设备支撑结构上的最大倾覆力矩的详图；

(3) 近海作业时，使用起重设备时的最差海况。

3.7.3.8 同时应提交起重机/吊杆/起重柱的布置图。

3.7.3.9 对限于港内使用的起重设备，工况校核的载荷应包括起重设备自重及 130%安全工作负荷。

3.7.3.10 对可以用于近海(系指开敞水域，该水域的海况会使船舶产生显著运动，海上风力通常大于蒲氏 2 级)作业的起重设备，以下各项应提交批准：

(1) 使用起重设备时的最差海况；

(2) 最恶劣工况下的垂直及水平加速度；

(3) 规定设计海况和风环境下的最恶劣风载荷；

(4) 所校核的载荷方案应能说明这些环境载荷。作为最低标准，附加于起重设备自重的 150%安全工作负荷也应进行校核。

3.7.3.11 计算分析要求、模型化方法参见本节 3.7.2.5 和 3.7.2.6，模型中构件取建造厚度。

3.7.3.12 各种工况下，起重设备支撑结构和基座的计算应力应不大于以下许用值：

(1) 采用梁理论或交叉梁系分析进行强度评估：

正应力：$0.67R_{eH}$

剪应力：$0.39R_{eH}$

正应力指弯曲应力和轴向应力的和，相应的剪切应力作用方向垂直于正应力。不考虑应力集中因素。

(2) 采用有限元分析方法进行强度评估：

Von Mises 应力：$0.80R_{eH}$

R_{eH}为材料的规定最小屈服强度，N/mm^2。

3.7.3.13 除本节 3.7.3.12 要求外，同时还应按本篇第 1 章第 5 节 1.5.9 规定来校核支撑结构抗屈曲失效的能力。屈曲强度评估中，构件的标准减薄厚度取 1.0mm，最小屈曲安全因子取 1.0。

3.7.4 应急拖带装置的支撑结构

3.7.4.1 载重量不小于 20000t 的用于散装运输易燃液体货品的船舶（包括油船、化学品液货船和液化气体船）应在其首尾两端安装应急拖带装置。

3.7.4.2 关于应急拖带装置的安全工作载荷规定如下：

(1) 载重量大于或等于 20000t，但小于 50000t 的船舶，取 1000kN；

(2) 载重量大于或等于 50000t 的船舶，取 2000kN。

3.7.4.3 以下图纸应提交批准：

应急拖带装置支撑结构图，包括与甲板连接的详图。

3.7.4.4 同时还应提交以下支持性资料：

能明确表示载荷作用位置及方向的详细说明的应急拖带装置详图。

3.7.4.5 船上强力端和导缆孔处的甲板最小总厚度应为 15mm。

3.7.4.6 强力端和属具与甲板相连部分及其支撑结构的设计载荷应为安全工作载荷的两倍。结构计算应考虑采用设计载荷的实际的力作用方向，另外还应考虑所提议的特殊布置。

3.7.4.7 计算分析要求、模型化方法参见本节 3.7.2.5 和 3.7.2.6，模型中构件取建造厚度。

3.7.4.8 本节 3.7.4.6 中规定的设计载荷作用于强力受力点和导缆孔所在支撑结构和焊接点上的计算应力，应不大于本节 3.7.2.7 规定的许用值。

3.7.4.9 同时还应确保支撑结构具备抗屈曲失效的能力。

3.7.5 其他需要提交特别认可的甲板设备或配件的支撑结构

3.7.5.1 以下要求是关于本节 3.7.2 至 3.7.4 中未涉及的甲板设备的其他项目。以下细节应提交批准。它们可以分别说明或包括在主要结构图纸中：

(1) 标明甲板设备/舾装件的支撑结构的图纸；

(2) 甲板设备/舾装件施加于结构上的载荷受力情况。

3.7.5.2 供工作人员使用的起重设备应提供如下支撑：

(1) 一般，救生装置(救生艇，救生筏和救助艇)应安装在特制的支架、基座或专用机械上。施加于船舶结构上的设计载荷应由救生装置的供应商进行确定（至少应包含 2.2 倍最大工作载荷静态作用下的支反力和力矩），计算分析要求和模型化方法参见本节 3.7.2.5 和 3.7.2.6，模型中构件取建造厚度，计算应力应不大于表 3.7.3.12 中的许用值。救生装置的供应商应提供相关的计算资料；

(2) 支撑结构应充分满足设计载荷要求。应局部加强和局部增加板厚度。还可要求设置主要支撑构件。如适用时，应符合附加的国家和国际规则的要求；

(3) 在升降运行设备的固定点所在位置应设置船员升降机的支撑结构；

(4) 在舷梯的固定点所在位置应设置登乘梯(舷梯)的支撑结构。

3.7.5.3 对安装在桅杆上助航设备的支撑结构规定如下：

(1) 桅杆应以舱壁、高腹板横梁或纵桁的形式布置足够的主要支撑构件。这类构件应布置在桅杆结构以下或附近；

(2) 为把载荷从桅杆结构传递至主要支撑构件，在桅杆与甲板形成连接的桅杆结构以下位置应布置甲板下加强构件；

(3) 可要求增加甲板的厚度以保证焊接连接处的厚度足够。

3.7.5.4 挡浪板支撑结构应设计为其所能承受的设计载荷，应和挡浪板自身所能承受的设计载荷相等。恰当的设计是能将载荷从挡浪板传递至船舶的主要支撑构件。与甲板形成连接的挡浪板结构所在甲板下应设置有效加强结构。

3.7.5.5 拖船拖曳设备支撑结构应满足本篇第 10 章第 5 节 10.5.3 拖曳设备与支承结构的要求。

附录 1　弯矩及剪力分布计算指南

1　一般规定

1.1　适用范围

1.1.1　本附录适用于一些基本舵型，其舵 – 舵杆系统的弯矩、剪力和支撑力应按本附录 2.1 – 2.5 进行估算。

2　舵 - 舵杆系统的受力

2.1　悬挂舵

分析数据

l_{10} - l_{30} =该系统各构件长度，m；

I_{10} - I_{30} =这些构件的惯性矩，cm^4。

舵叶的载荷 P_R：

$$P_R = C_R / (l_{10} 10^3) \quad \text{kN/m}$$

弯矩和剪力

弯矩和剪力可按下式计算所得：

$$M_b = C_R (l_{20} + (l_{10}(2c_1 + c_2)/3(c_1 + c_2))) \quad \text{N·m}$$

$$B_3 = \frac{M_b}{l_{30}} \quad \text{N}$$

$$B_2 = C_R + B_3 \quad \text{N}$$

式中：C_R——舵力，N。

图 2.1 中所示锥形连接顶端的最大弯矩 M_c 适用于舵叶与舵杆连接。

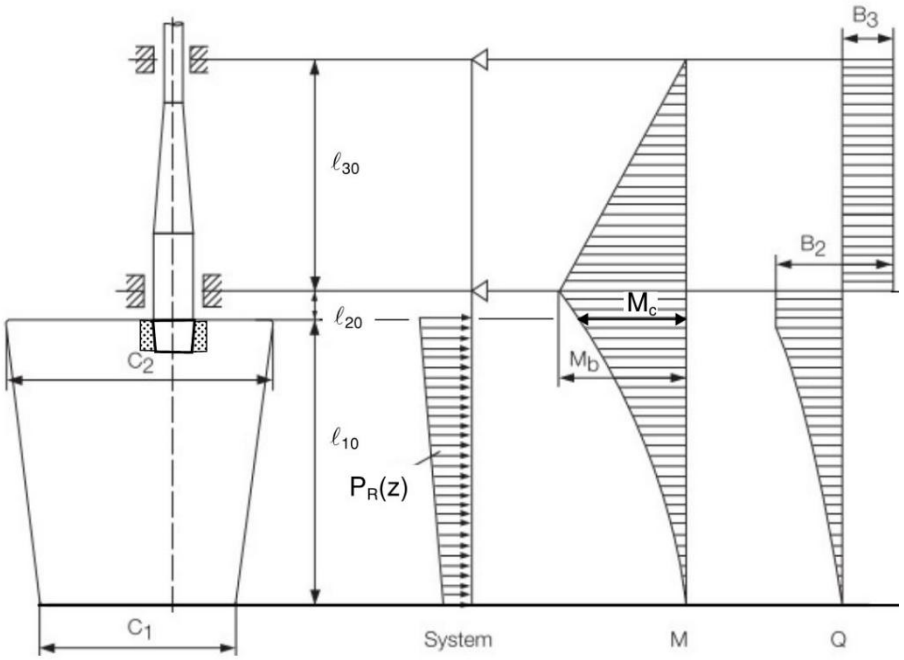


图 2.1 悬挂舵

2.2　有舵杆围阱的悬挂舵

分析数据

l_{10}-l_{30}——该系统各构件长度，m；

I_{10}-I_{30}——这些构件的惯性矩，cm^4。

舵叶的载荷 P_R：

$$P_R = C_R / ((l_{10} + l_{20})10^3) \quad \text{kN/m}$$

弯矩和剪力

对于有延伸到舵内的舵杆围阱的悬挂舵，应根据下述两个工况校核其强度，两个工况下的弯矩和剪力可分别按图 2.2（1）和图 2.2（2）确定。

（1）压力施加于整个舵区域；

$$\text{舵力}\, C_R = C_{R1} + C_{R2}$$

$$\text{舵扭矩}\, Q_R = Q_{R1} + Q_{R2}$$

$$\text{舵杆弯矩}\, M_b = M_{CR2} - M_{CR1}$$

（2）压力施加于轴承中部以下舵区域。

舵力 C_{R2} 对应舵扭矩 Q_{R2} 施加于舵叶面积 A_2

$$\text{舵杆弯矩}\, M_b = M_{CR2}$$

$$M_{CR1} = C_{R1}(CG_{1Z} - l_{10}) \quad \text{N·m}$$

$$M_{CR2} = C_{R2}(l_{10} - CG_{2Z}) \quad \text{N·m}$$

式中：

C_{R1}——舵叶面积 A_1 内的舵力，N；

C_{R2}——舵叶面积 A_2 内的舵力，N；

CG_{1Z}——舵叶面积 A_1 重心距基线的垂直位置，m；

CG_{2Z}——舵叶面积 A_2 重心距基线的垂直位置，m。

$$C_R = C_{R1} + C_{R2} \quad \text{N}$$

$$B_3 = (M_{CR2} - M_{CR1}) / (l_{20} + l_{30}) \quad \text{N}$$

$$B_2 = C_R + B_3 \quad \text{N}$$

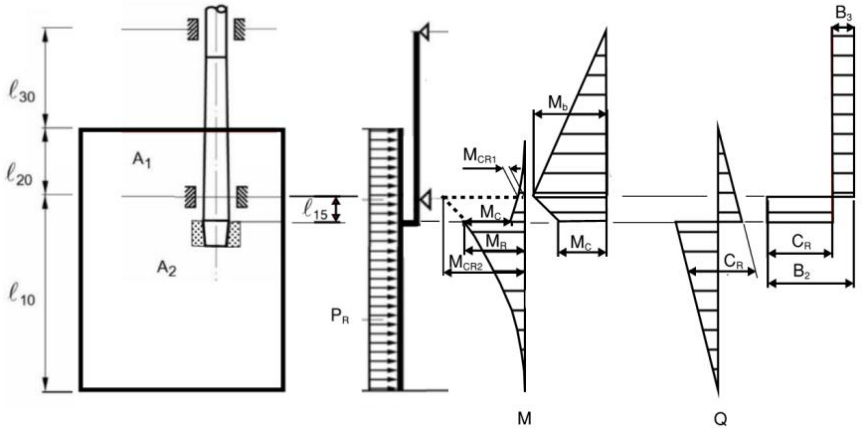


图 2.2（1）

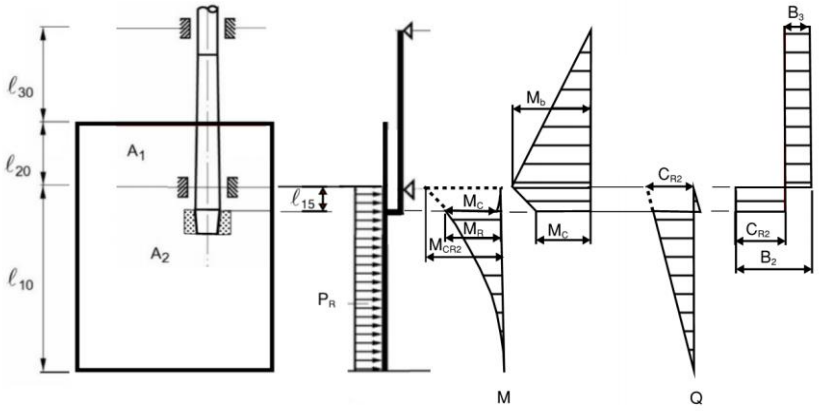


图 2.2（2）

2.3　对尾框底骨支撑的舵

分析数据

l_{10}-l_{50}——该系统各构件长度，m；

I_{10}-I_{50}——这些构件的惯性矩，cm^4。

对尾框底骨支撑的舵，长度l_{20}是舵体下缘至尾框底骨中心的距离，I_{20}是尾框底骨中舵销的惯性矩。

I_{50}——底骨绕 z 轴的惯性矩，cm^4；

l_{50}——底骨的有效长度，m。

舵叶的载荷P_R：

$$P_R = C_R / (l_{10}10^3) \quad \text{kN/m}$$

Z——底骨支撑处的弹簧常数

$$Z = 6.18 \times I_{50} / l_{50}^3 \quad \text{kN/m}$$

式中：C_R——舵力，N；

弯矩和剪力

弯矩和剪力见图 2.3。

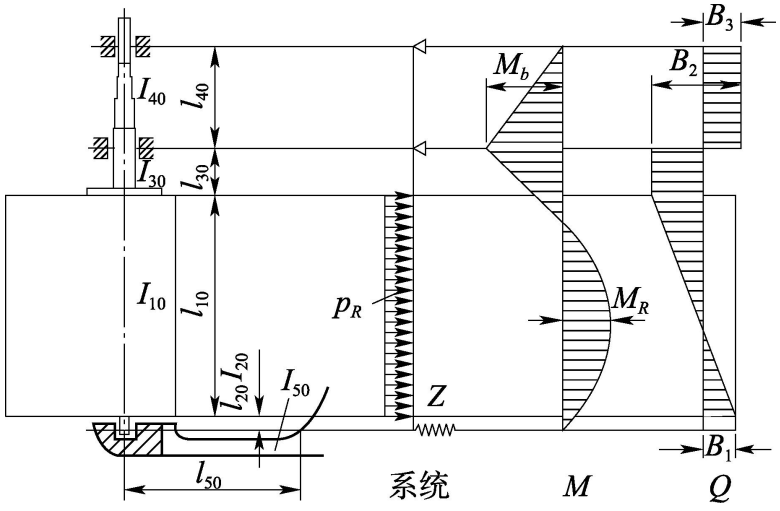


图 2.3　尾框底骨支撑的舵

2.4 单舵钮的半悬挂舵

分析数据

l_{10}-l_{40}——该系统各构件长度，m；

I_{10}-I_{40}——这些构件的惯性矩，cm^4；

Z——挂舵臂的支撑弹簧常数；

$Z=1/(f_b+f_t)$，kN/m，对挂舵臂的支撑，见图 2.4.1:

f_b——作用于支承中心的 1 kN 单位力所造成的挂舵臂的单位位移，m/kN：

$$f_b=\frac{1.3h^3}{6.18I_n} \quad \text{m/kN(指导值)}$$

I_n——挂舵臂水平剖面对 x 轴的惯性矩，cm^4，见图 2.4.1；

f_t——因扭矩产生的单位位移，m/kN；

$$f_t=\frac{he^2\sum u_i/t_i}{3.14\times10^8F_T^2} \quad \text{m/kN}$$

F_T——挂舵臂薄壁封闭剖面内外限界所封闭面积的平均值（即薄壁封闭剖面中心线所围面积），m^2；

u_i——形成 F_T 面积的各块板的宽度，mm；

t_i——各块板 u_i 宽度内的板厚，mm；

h——挂舵臂的高度，m，按图 2.4.1 定义。这个值是从挂舵臂上端曲线的切点处开始往下量至下挂舵臂销中线处。

e——按图 2.4.2 确定的距离，量至挂舵臂高度 h/2 处，m，

舵叶的载荷：

$$p_{R10}=\frac{C_{R2}}{l_{10}\times10^3} \quad \text{kN/m}$$

$$p_{R20}=\frac{C_{R1}}{l_{20}\times10^3} \quad \text{kN/m}$$

式中：C_R，C_{R1}，C_{R2}——定义见本附录 2.2。

弯矩和剪力

弯矩和剪力见图 2.4.1。

挂舵臂

挂舵臂的载荷见下式：

M_b——弯矩=B_1z，N·m

$M_{b\max}=B_1h$，N·m

Q——剪力=B_1，N

$M_T(z)$=扭矩= $B_1e(z)$，N·m

B_1的估值：

$B_1=C_Rb/(l_{20}+l_{30})$，N

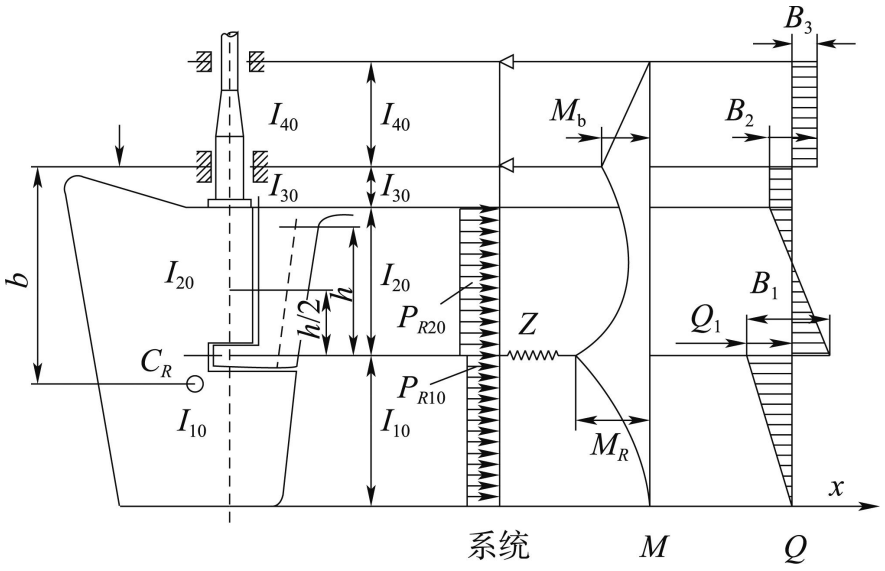


图 2.4.1 单舵钮的半悬挂舵

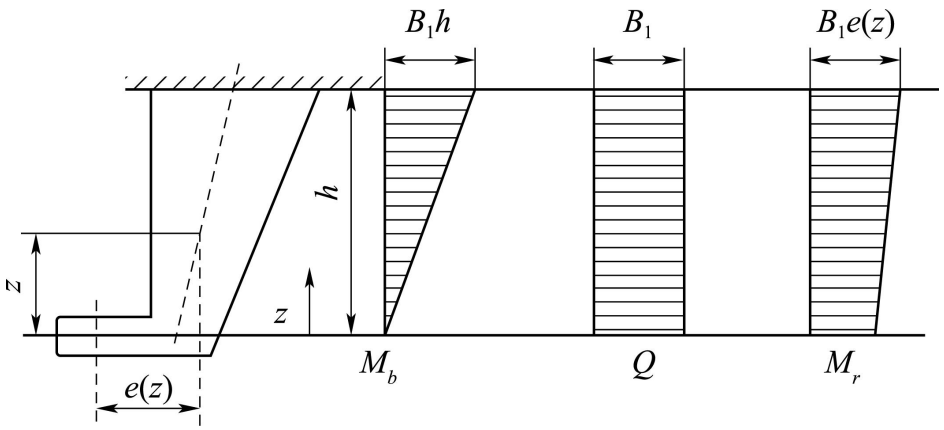


图 2.4.2 单舵钮的半悬挂舵的挂舵臂

2.5 有二个共轭弹性支点的半悬挂舵

分析数据

K_{11}，K_{22}，K_{12}——挂舵臂柔性常数，按有二个共轭弹性支点的挂舵臂计算，见图 2.5.1。这二个共轭弹性支撑在水平位移 y_i 方面由下式定义：

在挂舵臂下轴承处：

$$y_1 = -K_{12}B_2 - K_{22}B_1$$

在挂舵臂上轴承处：

$$y_2 = -K_{11}B_2 - K_{12}B_1$$

式中：y_1，y_2 ——挂舵臂上下轴承处水平位移，m；

B_1，B_2 ——挂舵臂上下轴承处水平支撑力，kN；

K_{11}，K_{22}，K_{12}——以 m/kN 计，按下式计算所得：

$$K_{11} = 1.3 \times \frac{\lambda^3}{3EJ_{1h}} + \frac{e^2\lambda}{GJ_{th}}$$

$$K_{22} = 1.3 \times \left[\frac{\lambda^3}{3EJ_{1h}} + \frac{\lambda^2(h-\lambda)}{2EJ_{1h}} \right] + \frac{e^2\lambda}{GJ_{th}}$$

$$K_{12}=1.3\times\left[\frac{\lambda^3}{3EJ_{1h}}+\frac{\lambda^2(d-\lambda)}{EJ_{1h}}+\frac{\lambda(h-\lambda)^2}{EJ_{1h}}+\frac{(h-\lambda)^3}{3EJ_{2h}}\right]+\frac{e^2\lambda}{GJ_{th}}$$

式中：h——挂舵臂高度，m，定义见图 2.5.1。此高度值从上挂舵臂端部的曲率过渡点向下量至下挂舵臂销的中线；

λ——长度，m，定义见图 2.5.2。此高度值从上挂舵臂端部的曲率过渡点向下；量至上挂舵臂轴承的中线。如果$\lambda=0$，则对于只有 1 个弹性支点的挂舵臂，以上公式收敛至弹簧常数 Z 的公式，且假定该部分为中空横截面；

e——挂舵臂扭转力臂，m，定义见图 2.5.1(在 $z=h/2$ 处取值)；

J_{1h}——在上挂舵臂轴承以上部位，挂舵臂对 x 轴的惯性矩，m^4。应注意 J_{1h} 是长度λ内的平均值，见图 2.5.1；

J_{2h}——在上下挂舵臂轴承之间部位，挂舵臂对 x 轴的惯性矩，m^4。应注意 J_{2h} 是长度 $h-\lambda$ 内的平均值，见图 2.5.1；

J_{th}——挂舵臂抗扭刚度因子，m^4，对任何薄壁封闭剖面：

$$J_{th}=\frac{4F_T^2}{\sum_i\frac{\mu_i}{t_i}}\quad m^4$$

F_T——挂舵臂薄壁封闭剖面内外限界所封闭面积的平均值（即薄壁封闭剖面中心线所围面积），m^2；

u_i——构成 F_T 面积的各块板的长度，mm；

t_i——上述各板厚度，mm。

应注意 J_{th} 取为平均值，在挂舵臂高度内有效。

舵叶的载荷：

$$p_{R10}=\frac{C_{R2}}{l_{10}\times10^3}\quad kN/m$$

$$p_{R20}=\frac{C_{R1}}{l_{20}\times10^3}\quad kN/m$$

式中：C_R，C_{R1}，C_{R2}——定义见本附录 2.2。

弯矩和剪力

弯矩和剪力见图 2.5.1。

挂舵臂弯矩

考虑剖面挂舵臂的弯矩，可按下式计算所得：

-下端和挂舵臂上支撑之间：

$$M_H=F_{A1}z\quad N\cdot m$$

-挂舵臂上支撑之上：

$$M_H=F_{A1}z+F_{A2}(z-d_{lu})\,N\cdot m$$

式中：F_{A1}——挂舵臂下支撑处支持力，N，应按图 2.5.1 得到，与 B_1 相等；

F_{A2}——挂舵臂上支撑处支持力，N，应按图 2.5.1 得到，与 B_2 相等；

z——距离，m，比 h 小，应按图 2.5.2 定义；

d_{lu}——距离，m，挂舵臂上下轴承之间，按图 2.5.1，$d_{lu}=h-\lambda$。

挂舵臂剪力

挂舵臂计算剖面剪力 Q_H 应按下式计算所得，

-下端和挂舵臂上支撑之间：

$$Q_H = F_{A1}\ \text{N}$$

-挂舵臂上支撑之上：

$$Q_H = F_{A1} + F_{A2}\ \text{N}$$

式中：F_{A1}，F_{A2}——支持力，N

挂舵臂计算剖面扭矩应按下式计算得到，

-下端和挂舵臂上支撑之间：

$$M_T = F_{A1}e(\text{z}) \quad \text{N·m}$$

-挂舵臂上支撑之上：

$$M_T = F_{A1}e(\text{z}) + F_{A2}e(\text{z}) \quad \text{N·m}$$

式中：F_{A1}，F_{A2}——支持力，N

$e(\text{z})$——扭转力臂，m，按图 2.5.2 定义。

挂舵臂剪应力计算

对于位于上下轴承间的挂舵臂，应计算如下应力：

τ_s——剪应力，应按下式计算得到：

$$\tau_s = \frac{F_{A1}}{A_H} \quad \text{N/mm}^2$$

τ_T——扭转应力，对于中空的挂舵臂应按下式计算得到：

$$\tau_T = \frac{M_T 10^{-3}}{2F_T t_H} \quad \text{N/mm}^2$$

对于实心的挂舵臂，τ_T应基于具体几何形状计算其扭转应力。

对于位于上轴承以上剖面的挂舵臂，应计算以下应力：

τ_s——剪应力，应按下式计算得到：

$$\tau_s = \frac{F_{A1} + F_{A2}}{A_H} \quad \text{N/mm}^2$$

τ_T——扭转应力，对于中空的挂舵臂应按下式计算得到：

$$\tau_T = \frac{M_T 10^{-3}}{2F_T t_H} \quad \text{N/mm}^2$$

对于实心的挂舵臂，τ_T应基于具体几何形状计算其扭转应力。

式中：F_{A1}，F_{A2}——支持力，N；

A_H——挂舵臂在 y 方向的有效剪切面积，mm²；

M_T——扭矩，N·m；

F_T——挂舵臂薄壁封闭剖面内外限界所封闭面积的平均值（即薄壁封闭剖面中心线所围面积），m²；

t_H——挂舵臂板厚，mm。对于一个特定剖面的挂舵臂，当t_H最小时，τ_T最大。

挂舵臂弯曲应力计算

对于长度 h 范围内的一般剖面挂舵臂，应计算以下应力：

σ_B——弯曲应力，应按下式计算得到：

$$\sigma_B = \frac{M_H}{W_X} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：M_H——计算剖面弯矩，N·m；

W_X——绕 X 轴的剖面模数，cm^3,见图 2.5.2。

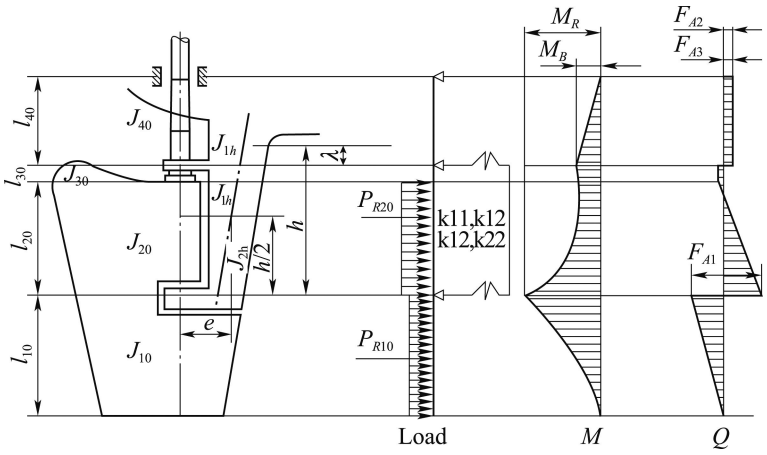


图 2. 5. 1

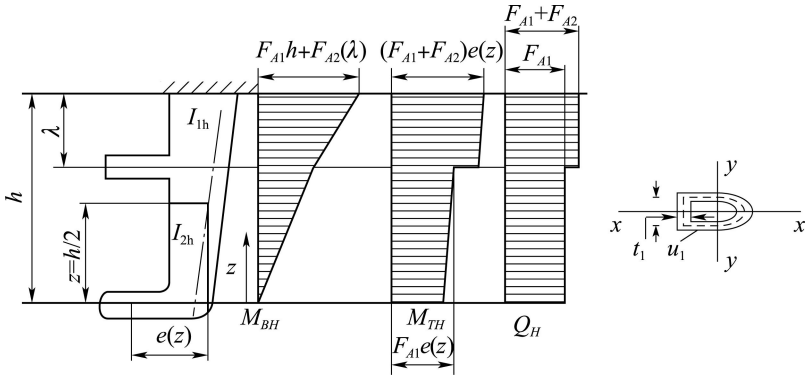


图 2. 5. 2

附录 2　直接系泊分析

1　一般要求

1.1　本附录作为本章 3.2.4 条对系泊索要求的替代，可通过直接系泊分析的方法来确定船舶需要的系泊约束，如系泊索的数量与强度。直接系泊分析可优化单个船舶的系泊设备及布置、以及针对所考虑船舶类型及尺寸的典型码头系泊设施。

2　文件

2.1　计算应记录在报告中，报告应包括为系泊布置图上最终选定的系泊设备，包括系泊索，及相应布置所作计算的所有假定条件。

3　计算方法

3.1　应进行三维准静态计算来确定系泊索载荷。计算中应至少考虑风和流产生的载荷。应考虑系泊索和护舷或靠船墩的几何及材料的非线性。应采用迭代计算程序，使作用在系泊缆和护舷或靠船墩上的力与施加在船舶上的力和力矩平衡，从而得出收敛解。

4　环境条件

4.1　系泊索载荷应根据本章 3.2.4.3 所述环境条件进行计算。对于某些船型或计划定期停靠的特定港口，可考虑额外荷载，如波浪荷载或横流，或增加的风荷载和流荷载。

5　计算步骤

系泊载荷的直接分析及确定所需系泊索的数量及强度应按照下述步骤：

（1）确定所考虑船型和尺寸的典型码头系泊设施；

（2）确定船用系泊设备和布置；

（3）确定所使用的系泊索类型；

（4）确定要计算的系泊布局；

（5）确定要计算的船舶装载工况；

（6）选定或确定风、流阻力系数；

（7）确定风、流载荷和力矩；

（8）计算所有系泊索上的载荷；

（9）确定所需系泊索的强度；

（10）如果系泊索的强度需要调整，调整步骤（2）、（3）和/或（4），可考虑是否更改系泊索的数量，并重复步骤（8）和（9）。

5.1　码头系泊设施

5.1.1　码头系泊设施的特性对于系泊索载荷结果有重大影响。系泊分析应采用所考虑船型和尺寸所对应的典型码头系泊设施，如泊位的类型、钩/带缆桩的类型和布置、护舷或靠船墩的类型和布置、以及码头高出水线的高度。

5.1.2　在很多情况下，护舷或靠船墩并不会影响到系泊索的载荷。因此，最初可考虑通用的护舷或靠船墩布置以及无限刚度变形特性。如果在产生临界系泊索载荷的工况，并没有护舷或靠船墩的载荷，则可忽略特定的护舷或靠船墩布置和特性。

5.1.3　如预计所考虑船型可遇到明显不同特点的码头系泊设施，则应开展额外的计算以考虑这些不同特点。

5.2　船用系泊设备和布置

5.2.1　在计算中应选定系泊设备和布置，如系泊甲板的位置、系泊绞车及导缆孔的位置。

作为初始尝试，可根据本章 3.2.4 的系泊索数量确定系泊设备。

5.3　系泊索

5.3.1 系泊分析应采用拟随船舶提供的系泊缆类型。系泊分析应考虑系泊索的几何非线性和材料非线性。系泊索的载荷-变形特性可从绳索制造商的数据表中获取。如能获取，应考虑系泊索的破断特性。

5.3.2 为保证系泊索载荷的均匀分布，对同一用途，如首尾缆、横缆及倒缆，应使用相同的系泊索类型和特性。对于高硬度系泊索，如钢索或高模量合成纤维索，应考虑使用弹性末端值以提高系泊系统的弹性，并在系泊分析中予以考虑。

5.4　系泊布局

5.4.1　为计算系泊索的载荷，应假定一个实际的系泊布局，即：需确定每根系泊索连接的带缆桩及绞车、所沿路径、通过的导缆孔、以及到岸边的钩或带缆桩。系泊缆的内侧部分（导缆孔与船上固定点之间）是系泊索的伸长部分，应在系泊分析中予以考虑。

5.4.2　为防止岸边系泊点的载荷过大，应限制连接到同一个岸边系泊点的最大缆绳数量。对于多用途码头，每个岸边带缆桩的缆绳数量应限制为三根。对其他类型的泊位，每个岸边带缆桩的系泊索数量也受到限制，如，通过可用的钩子数量进行限制。应根据所考虑船型所遇到的典型泊位类型进行合理假设。

5.4.3　还应评估备选系泊布局，考虑将船舶系泊至假定港口系泊设施的可能和合理方案。应评估船舶相对于岸边带缆桩/钩的不同位置，以确定船舶正常操作的临界系泊索载荷。对例如油船、LNG 船或渡船，如通常系泊于相对于岸边系泊设施的相同位置，可免除本条要求。

5.5　装载工况

5.5.1　应考虑本章 3.2.4.3 所述装载工况。

5.6　风、流阻力系数

5.6.1　为计算作用在船舶上的风、流力和力矩，需要与所考虑船型、尺寸和装载工况对应的风、流阻力系数。风、流阻力系数应尽可能适用于所考虑船舶与装载工况。

5.6.2　风、流阻力系数有不同的计算方法。某行业指南提供了适用于油船和液化天然气运输船的阻力系数。由于线型和上层建筑的相似性，这些系数也可用于散货船和矿砂船。对于其他船型，系数可从文献中获取（如有），或通过 CFD 计算或模型试验确定。CFD 计算应通过适当的有效性和灵敏度研究进行证明。

5.6.3　有些因素可能会影响阻力系数，如阻挡（龙骨下间隙的限制、实体码头岸壁）、船舶吃水以及实体码头和建筑物或码头上储存的货物（例如集装箱堆）对风的阻挡。阻挡和船舶吃水的影响只能用适当的系数来考虑。应根据实际水深与吃水比以及所考虑的船舶吃水来选择或确定系数。某行业指南提供了压载和满载吃水条件、以及不同水深吃水比的风、流阻力系数。风阻力系数通常不考虑风屏蔽效应。实体码头的防风效果可通过等效减少船舶的侧风面积来考虑。因无法预估是否存在，建筑物或储存在码头上的货物的阻挡可不必考虑。

5.7　计算风、流力和力矩

5.7.1　风、流力和力矩可根据给定的环境条件、所考虑船舶的几何特征及选定的风、流阻力系数进行计算。通常情况下，应计算船舶的纵向和横向载荷，以及关于垂向轴（艏摇）的力矩。

5.7.2　应计算所有方向的风力的力矩，间隔最好取为 15°，最大不超过 30°。流力的计算方向应参照本章 3.2.4.3 的要求。对定期系泊于非实体码头或岸堤的船舶，需额外考虑横流的影响。

5.8　计算系泊索载荷

5.8.1　对所有考虑的场景和所有应用环境的组合，应确定同一用途的系泊索组合的最大系泊索载荷。

5.8.2　当预计所有系泊索都连接到绞车时，为更好地在同一用途的系泊索组合中分配系泊索载荷，应考虑刹车打滑的影响。因此，可确定系泊索组合的平均系泊索载荷，并作为根据 5.9 确定所需系泊索强度的系泊索载荷。

5.9　系泊索强度

5.9.1　所需的系泊索强度，即：船舶设计最小破断负荷（MBL_{SD}），应由计算所得的最大系泊索载荷（$F_{L,max}$）除以系泊索的工作载荷限制系数（*WLL*）而得到。工作载荷限制系数和得到的不同系泊索材料的船舶设计最小破断负荷见表 5.9.1。

WLL 系数和 MBL_{SD}　　**表 5.9.1**

系泊索材料	*WLL*	MBL_{SD}
钢索	0.55	$1.82\times F_{L,max}$
纤维索	0.5	$2.0\times F_{L,max}$

5.9.2 最佳情况下，船舶使用的所有系泊索都有相同的特性和强度，以避免系泊索的混淆。但如果不同用途的系泊索所计算中的最大载荷有明显差异，则可选用不同特性和强度的系泊索，如首缆和尾缆与倒缆取不同特性和强度的系泊索。

附录 3　锚泊设备载荷计算

1　一般要求

1.1　本附录作为本章 3.2.1.2 条对船长在 90m 以下单体船舶锚泊要求的替代方法，可通过直接载荷计算的方法来确定船舶需要的锚泊设备。

2　总载荷 F_{EN}

2.1　由风和流作用在锚泊状态下单体船舶上的总载荷（静态+动态）F_{EN} 载荷，kN，可由下式计算所得：

$$F_{EN} = 2(F_{SLPH} + F_{SH} + F_{SS})$$

其中：F_{SLPH}——作用在船体水下部分的静态流载荷；

F_{SH}——作用在船体部分的静态风载荷；

F_{SS}——作用在上层建筑的静态风载荷；

2.1.1　计算 F_{SLPH}

作用在船体水下部分的静态流载荷 F_{SLPH}，kN，可按下式计算：

$$F_{SLPH} = \frac{1}{2}\rho C_f S_m V_c^2 10^{-3}$$

其中：ρ——水的密度，取为 1025kg/m^3；

C_f——系数，可按下式计算：

$$C_f = (1+k)\frac{0.075}{(\log R_e - 2)^2}$$

其中：R_e——雷诺数，可按下式计算：

$$R_e = \frac{(V_c L_{WL})}{1.054 \cdot 10^{-6}}$$

L_{WL}——水线处船长；

k——系数，可按下式计算：

$$k = 0.017 + 20\frac{C_{bWL}}{L_{WL}^2 T^{-0.5} B_{WL}^{-1.5}}$$

C_{bWL}——水线处方形系数，可按下式计算：

$$C_{bWL} = \frac{\Delta}{1.025 L_{WL} B_{WL} T}$$

其中：Δ——水线处型排水体积，m^3；

S_m——吃水下船体部分的总湿表面的面积，m^2；S_m 可由设计者提供，如无相关数据，可取为 $6 \cdot \Delta^{2/3}$；

V_c——流速，m/s；

2.1.2　计算 F_{SH}

作用在船体部分的静态风载荷 F_{SH}，kN，可由下式计算所得：

$$F_{SH}=\frac{1}{2}\rho(C_{hfr}S_{hfr}+0.02S_{hlat})V_W^2 10^{-3}$$

其中：ρ——空气的密度，取为 1.22kg/m³；

V_W——风速，m/s；

S_{hfr}——船体和舷墙（如有）前表面，m²，投影在船舶的垂直平面上，该垂直平面位于船舶后端后方，并垂直于船舶纵轴；

S_{hlat}——船体和舷墙（如有）一侧的部分侧表面，m²，整个船舶的长度，投影在船舶的垂直平面上，该垂直平面平行于船舶纵轴，并根据图 2.1.2 划定界限，图 2.1.2 中 B 为船宽，m。

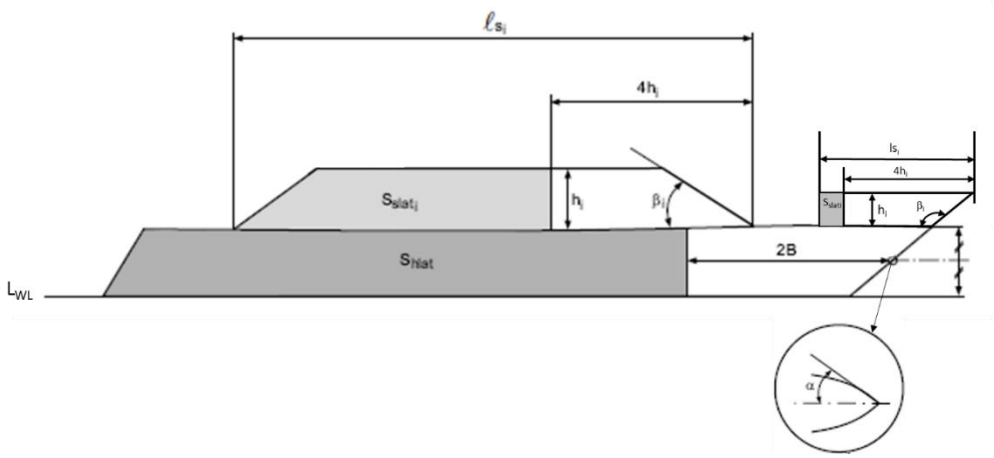


图 2.1.2

C_{hfr}——系数，取为 $0.8\sin\alpha$，α 见图 2.1.2;

船体的上部，是在船舶的整个长度上，从一侧延伸到另一侧，延伸到最上层连续甲板的部分。

2.1.3 计算 F_{SS}

(1) 一般情况

作用在上层建筑和甲板室的静态风载荷 F_{SS}，kN，可由下式计算所得：

$$F_{SS}=\frac{1}{2}\rho\sum(C_{sfr_i}S_{sfr_i}+0.08S_{slat_i})V_W^2 10^{-3}$$

其中：ρ——空气的密度，取为 1.22kg/m³；

V_W——风速，m/s；

S_{sfr_i}——各层上层建筑或甲板室，包含舷墙（如有）的前表面，m²，投影在船舶的垂直平面上，该垂直平面位于船舶后端后方，并垂直于船舶纵轴；

S_{slat_i}——各层上层建筑或甲板室，包含舷墙（如有）一侧的部分侧表面，m²，整个船舶的长度，投影在船舶的垂直平面上，该垂直平面平行于船舶纵轴，并根据图 2.1.2 划定界限，当 $4h_i \geq l_{si}$，则 S_{slat_i} 取为 0；

C_{sfr_i}——系数，取为 $0.8\sin\beta_i$，β_i 见图 2.1.2，当 β_i 大于 90°时取为 90°;

(2) 上层建筑位于船舶前部

当上层建筑位于船体前部，上层建筑的前壁和侧壁与侧壳连续时，作用在上层建筑的静态风载荷 F_{SS}，kN，可由下式计算所得：

$$F_{SS}=\frac{1}{2}\rho\sum(C_{hfr_i}S_{hfr_i}+0.08S_{slat_i})V_W^2 10^{-3}$$

其中：S_{hfr_i}——各层上层建筑或甲板室，包含舷墙（如有）的前表面，m^2，投影在船舶的垂直平面上，该垂直平面位于船舶后端后方，并垂直于船舶纵轴；

C_{hfr_i}——系数，取为$0.8\sin\alpha_s$，α_s见图 2.1.2 的α，自船体前部的上层建筑的高度方向中部位置测量;

这部分静态载荷需要加到根据 2.1.3（1）计算所得的静态载荷上。

3 锚重量

3.1 单个锚重量，kg，至少应为：

普通无杆锚：$P=\left(F_{EN}/7\right)\cdot 10^2$

大抓力锚：$P=\left(F_{EN}/10\right)\cdot 10^2$

超大抓力锚：$P=\left(F_{EN}/15\right)\cdot 10^2$

4 锚链

4.1 有档锚链尺寸

锚链直径根据不同等级的最小破断负荷 *BL* 和验证负荷 *PL* 来确定。

锚链直径 **表 4.1**

	CCS 1 级	CCS 2 级	CCS 3 级
BL	$6F_{EN}$	$6.8F_{EN}$	$7.5F_{EN}$
PL	0.7*BL*		

锚链尺寸应与锚的重量相匹配。如果船上锚的重量超过本附录 3.1 计算重量的 7%，则应按照 3.1 的公式计算出对应的F_{EN}，并再次计算相应的 *BL* 和 *PL*。

4.2 单根锚链的长度

连接到每个锚的锚链长度L_{cc}，m，应至少等于：

当 P<180 时，$L_{cc}=30\ln(\mathrm{P})-42$

当 P≥180 时，L_{cc}应根据本章表 3.2.1.1（2）选取。

其中 P 为根据本附录 3.1 确定的普通无杆锚的重量。

第 4 章　航行冰区的加强

第 1 节　一般规定

4.1.1　**一般要求**

4.1.1.1　对于航行冰区的结构加强，其要求应基于船东所选择拟取得的冰级标志。冰级标志及其有关规定见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 4 章。

4.1.1.2　对于未有冰级标志或非入级船舶，航行冰区的结构加强不是规范的强制要求，但采取适当的抗冰结构加强措施有利于冰区航行安全。

第 5 章　双壳油船

第 1 节　一般规定

5.1.1　适用范围

5.1.1.1　本章适用于具有双层底、双壳、机舱位于尾部、载运闪点(闭杯试验)不超过 60℃、雷特蒸气压低于大气压的原油和石油产品的油船货油舱结构及货油舱邻接的泵舱、压载舱、隔离舱的结构，但不包括不邻接货油舱的舱壁，本章中无规定者按本篇第 2 章和第 6 章中有关要求。

5.1.1.2　对仅载运闪点(闭杯试验)超过 60℃货油的双壳油船也应满足本章要求。但对货油舱内加热的最高温度至少比该货油闪点低 10℃的油船，本章 5.1.3.4～5.1.3.8 及 5.4.1.3 的要求可以不适用。如油船运输异于上述的液体，则可根据所运输液体的性质和密度另行考虑构件的布置和尺寸。对于要装运密度大于 1.025t/m^3 液体的油船，其液货舱区域的结构强度应作特殊考虑。

5.1.2　图纸资料

5.1.2.1　油船按本篇第 2 章第 1 节规定提交审查的图纸资料中应包括下述的内容：

(1)　纵骨与其他构件连接的节点；

(2)　横向框架与纵向框架相交处的结构节点；

(3)　甲板上所有开口的关闭装置；

(4)　在主要结构和布置图上应表明满载时作为空舱的干货舱或专用压载水舱；

(5)　在甲板结构图上应表明所有开口和开孔的位置。

5.1.3　货油舱的尺度限制和布置

5.1.3.1　本条所述的边油舱指的是具有油密纵舱壁的油船上以内壳为一个边界的货油舱，其余货油舱称中间油舱。

5.1.3.2　有关分舱、货油舱尺度、双边壳间距和双层底高度应满足本篇第 1 章第 8 节的要求。

5.1.3.3　专用压载舱、清洁压载舱、污油水舱等的布置应满足本篇第 1 章第 8 节的要求。

5.1.3.4　货油舱区前后两端应设有隔离舱，以便与机炉舱、干货舱、居住舱室等隔离。隔离舱舱壁间应有足够的距离，以便于进出，且应遮隔全部货油舱端部舱壁面积。舱壁间距一般应不小于 760mm，对于小型油船，如布置困难，可接受较小的舱壁间距值，但不得小于 600mm。当需要隔离的两个舱室为对角时，可在角隅处设置隔板予以隔离。泵舱、压载舱、燃油舱可兼作隔离舱。

5.1.3.5　与货油舱相邻的舱室的出入口应设在露天甲板；穿过或邻接货油舱的通道和管隧，当未设置隔离舱进行隔离时，应设有机械通风，且出入口也应设在露天甲板。

5.1.3.6　泵舱下部如凹入机舱，凹入部位的总高度自基线向上量取一般应不大于船舶型深的 1/3；载重量不超过 25000t 的船舶，经同意可以增高，但最高应不超过型深的 1/2。

5.1.3.7　船舶驾驶室如设在货油舱区域上方，则与货油舱甲板应至少有 2m 高度的开敞空间予以分离。

5.1.3.8　应设有使甲板上溢油与起居和服务区域隔开的设施，该设施可为安装一个高度不小于 300mm 连续延伸到两舷的固定挡板。对于具有尾部装卸油设施的船舶，此项挡油布置应予特别考虑，以保证甲板上的溢油不致流出舷边。

5.1.4　结构型式

5.1.4.1　对于船长大于 65m 的油船，货油舱区域的甲板骨架、船底骨架和内底骨架应为纵骨架式，船长大于 190m 时，舷侧、内壳和纵舱壁一般也应为纵骨架式。货油舱区域以外的船体结构可为横骨架式或纵骨架式。纵骨架式与横骨架式之间应有良好的过渡。

5.1.4.2　双壳油船的典型中剖面和本章所用的构件名称如图 5.1.4.2 所示。

5.1.4.3　货油舱由双层底、双壳、隔离空舱和甲板围成，双层底内和双壳内不允许装货油和燃油。

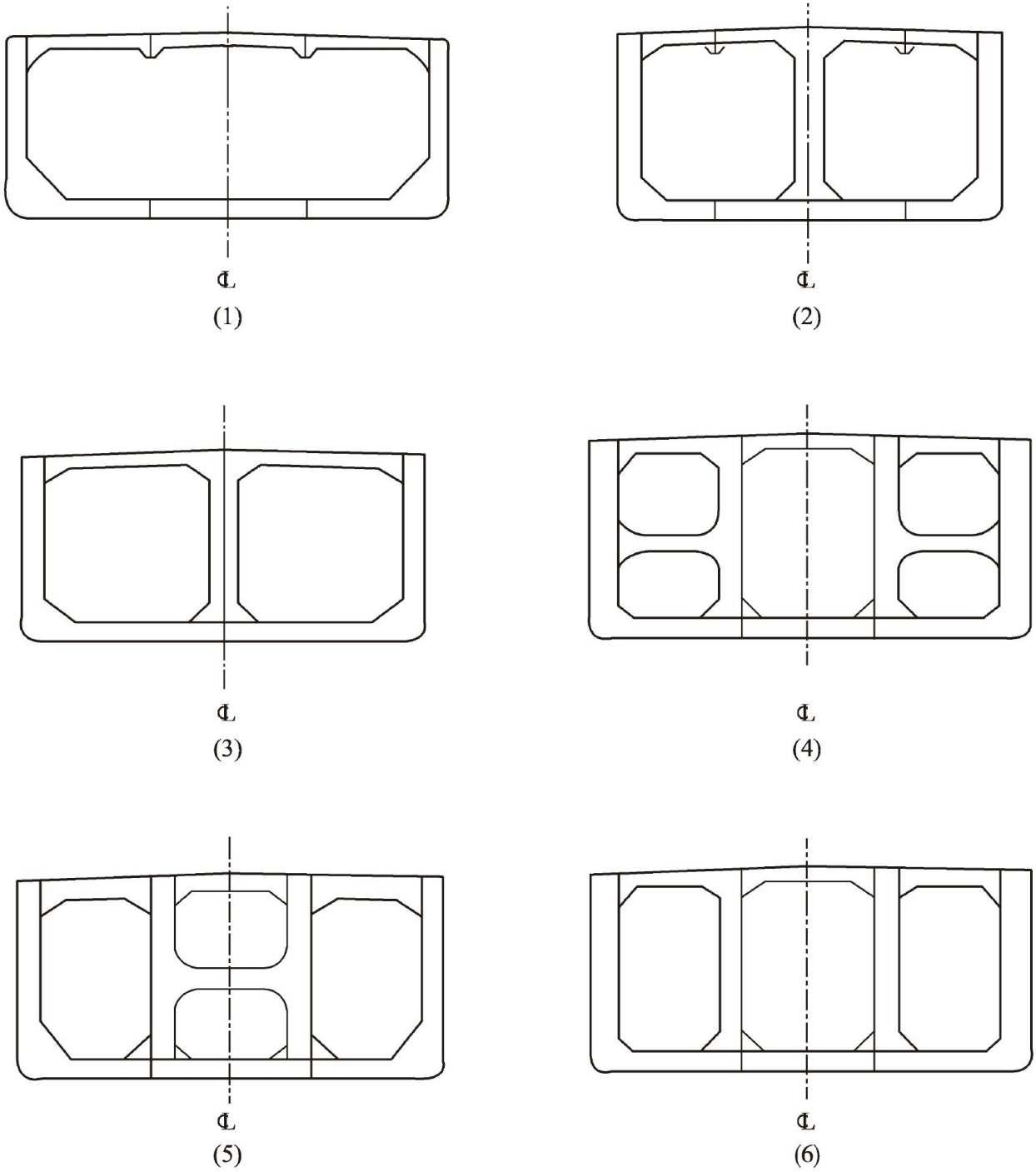
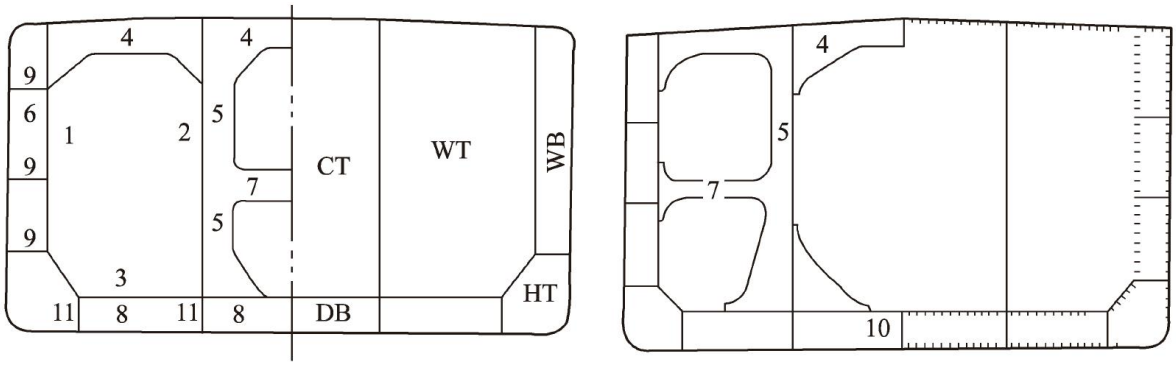
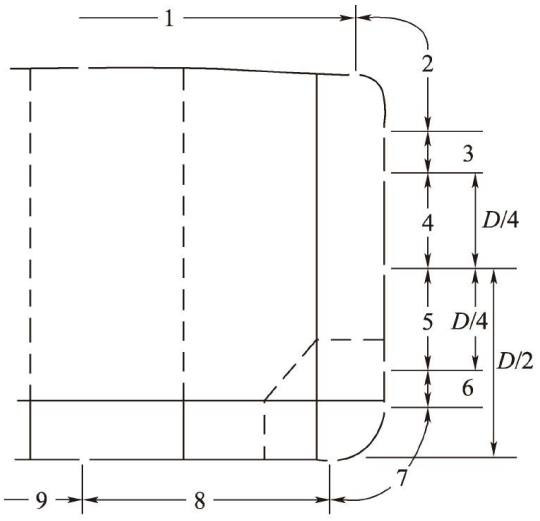


图 5.1.4.2(1)　典型中剖面



1—内壳；2—纵舱壁；3—内底；4—甲板强横梁 5—纵舱壁垂直桁材；
6—双壳横隔板；7—撑材；8—双层底肋板；9—双壳平台；10—双层底中桁材；
11—双层底旁桁材；WB—边压载舱；WT—边油舱；CT—中间油舱；HT—底边舱；DB—双层底



1—甲板板；2—甲板边板和舷顶列板；3—舷侧板 1；4—舷侧板 2；5—舷侧板 3；6—舷侧板 4；
7—舭列板；8—船底板；9—平板龙骨；

图 5.1.4.2(2)　典型中剖面和构件名称

5.1.5　最小厚度

5.1.5.1　货油舱区域(包括边压载舱、货油舱区两端或货油舱间的隔离空舱)内主要构件的腹板和面板以及外板、甲板、舱壁板、内壳板的最小厚度 t 应不小于按下式计算所得之值。

$$t = 6.5 + L/50 \quad \text{mm，但不小于 } 7.5\text{mm}$$

式中：L——船长，m，计算时取值不大于 300m。

次要构件的最小厚度也应满足上述的要求，但不必大于 11mm。

5.1.5.2　泵舱、隔离空舱的及其他空舱内构件的最小厚度可按本节 5.1.5.1 要求减小 1mm，但不小于 7.5mm。

5.1.6　双壳油船的总纵强度

5.1.6.1　双壳油船应满足本篇第 2 章第 2 节规定的总纵强度要求。

5.1.7　船体结构强度直接计算和疲劳评估

5.1.7.1　船长为 150m 及以上的油船，其货油舱区域主要构件(纵向、横向)应按本章附

录 1 进行直接计算。

5.1.7.2　船长为 150m 及以上的油船，应按 CCS《船体结构疲劳强度指南》，对其货舱区域的下述部位进行疲劳强度校核：

(1)　纵骨（船底、舷侧、甲板及内壳）与横向强框架的连接部位；

(2)　纵骨（船底、舷侧、甲板及内壳）与横舱壁的连接部位；

(3)　底边舱或内壳与内底板连接处。

第 2 节　外　板

5.2.1　一般要求

5.2.1.1　本节的公式适用于纵骨架式船底板、平板龙骨、舭列板、舷侧外板、舷顶列板厚度的确定。

5.2.2　船底板

5.2.2.1　船中部 0.4L 区域内的船底板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.052s(L_1 + 170)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 4.9s\sqrt{(h_w + 0.8d)K} \quad \text{mm}$$

式中：s ——纵骨间距，m，且应不小于纵骨标准间距；

d ——吃水，m；

L_1——船长，m，但计算时取值不大于 190m；

F_b——折减系数，见本篇第 2 章第 2 节 2.2.5.6；

K——材料系数；

$$h_w = 0.2B^{0.66} + \left(0.25 + \frac{0.82}{\sqrt{L}}\right)C$$

其中：B——船宽，m；

L——船长，m；

C——见本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1。

5.2.3　平板龙骨

5.2.3.1　在整个货油舱区域内，平板龙骨的宽度 b 应不小于按下式计算所得之值：

$$b = 900 + 3.5L \quad \text{mm}$$

平板龙骨的厚度 t 应不小于：

$$t = t_0 + 2.0 \quad \text{mm} \quad L \leqslant 190\text{m}$$

$$t = t_0 + 3.0 \quad \text{mm} \quad L > 190\text{m}$$

式中：L ——船长，m；

t_0——按本节 5.2.2.1 确定的船底板厚度，mm。

5.2.4　舭列板

5.2.4.1　船中部 0.4L 区域内舭列板厚度应与船底板厚度相同。

5.2.4.2　当船底和舷侧为纵骨架式而舭部不设纵骨时，舭列板厚度还应不小于 $\frac{rF_b}{165K}$ (r 为舭部半径，mm，K 为材料系数，F_b 为船底折减系数)，且该部位的骨架应符合本章第 4 节 5.4.4.1 的要求。

5.2.5　舷侧外板

5.2.5.1　舷侧为纵骨架式时，船中部 0.4L 区域内舷侧外板厚度 t 应符合下述规定：

(1) 距基线$\frac{3}{4}D$以上舷侧外板厚度t应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.058s(L+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 7.1s\sqrt{h_w K} \quad \text{mm}$$

式中：s ——纵骨间距，m，且应不小于纵骨标准间距；

L ——船长，m，计算时取值不大于190m；

F_d——折减系数，见本篇第2章第2节2.2.5.6；

K——材料系数；

h_w——见本节5.2.2.1。

(2) 距基线$\frac{1}{4}D$以下处舷侧外板厚度t应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.06s(L+110)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 5.2s\sqrt{(h_w + 0.8d - 0.2D)K} \quad \text{mm}$$

式中：s ——纵骨间距，m，且应不小于纵骨标准间距；

d ——吃水，m；

F_b——折减系数，见本篇第2章第2节2.2.5.6；

L ——船长，m，计算时取值不大于190m；

K——材料系数；

h_w——见本节5.2.2.1。

(3) 距基线$\frac{1}{4}D$以上与距基线$\frac{3}{4}D$以下区域的舷侧外板厚度t应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = s\left[t_{11} + (t_{12} - t_{11})h\right] \quad \text{mm}$$

$$t_2 = s\left[t_{21} + (t_{22} - t_{21})h\right] \quad \text{mm}$$

式中：$t_{11} = \frac{t_{1,z=0.25D}}{s_{z=0.25D}}$

$t_{12} = \frac{t_{1,z=0.75D}}{s_{z=0.75D}}$

$t_{21} = \frac{t_{2,z=0.25D}}{s_{z=0.25D}}$

$t_{22} = \frac{t_{2,z=0.75D}}{s_{z=0.75D}}$

$h = \frac{z - 0.25D}{0.5D}$

$s_{z=0.25D}$ ——$0.25D$处的纵骨间距，m，且应不小于纵骨标准间距；

$s_{z=0.75D}$ ——$0.75D$处的纵骨间距，m，且应不小于纵骨标准间距；

$t_{1,z=0.25D}$ ——$0.25D$处的t_1板厚，mm；

$t_{1,z=0.75D}$ ——$0.75D$处的t_1板厚，mm；

$t_{2,z=0.25D}$——$0.25D$处的t_2板厚，mm；

$t_{2,z=0.75D}$——$0.75D$处的t_2板厚，mm；

s ——计算点处的纵骨间距，m，且应不小于纵骨标准间距；

D——型深，m；

z ——计算点至基线的距离。

(4) 在计算 t_1 时，除第 2 章第 2 节规定的高强度钢最小范围外，材料系数 K 可取 1。

5.2.6 舷顶列板

5.2.6.1 舷顶列板宽度应满足本篇第 2 章第 3 节 2.3.5.1 的要求。.

5.2.6.2 在船中部 0.4L 区域内，舷顶板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值，且应不小于相邻舷侧外板的厚度：

$$t_1 = 0.06s(L_1 + 110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s\sqrt{(L+75)K} \quad \text{mm}$$

式中：s ——纵骨间距，m，应不小于纵骨标准间距；

L ——船长，m；

L_1=L，其中 L 为船长，m，但计算时取值不大于 190m；

K——材料系数；

F_d——折减系数，见本篇第 2 章第 2 节 2.2.5.6。

5.2.7 端部外板

5.2.7.1 端部外板厚度均应按本篇第 2 章第 3 节有关规定。

第 3 节 甲 板

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 本节的公式适用于船中 0.4L 区域内纵骨架式强力甲板板厚度的确定。

5.3.2 强力甲板

5.3.2.1 船中部 0.4L 区域内强力甲板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.06s(L_1 + 110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s\sqrt{(L+75)K} \quad \text{mm}$$

式中：s ——纵骨间距，m，且应不小于纵骨标准间距；

L ——船长，m；

L_1=L，其中 L 为船长 m，但计算时取值不大于 190m；

K——材料系数；

F_d——折减系数，见本篇第 2 章第 2 节 2.2.5.6。

5.3.2.2 端部强力甲板厚度应符合本篇第 2 章第 4 节的有关规定。

5.3.3 甲板边板与舷顶列板的连接

5.3.3.1 甲板边板与舷顶列板的连接应符合本篇第 2 章第 3 节的有关规定。

第 4 节 双层底结构

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 除本节另有规定外，油舱双层底结构的尺寸和布置应符合本篇第 2 章第 6 节的要求。

5.4.1.2 双层底应保持完整性，在货油舱的内底上不应开设人孔，也不应从机舱出入。进入双层底的出入口应通至露天甲板。

5.4.1.3 位于货油舱下的双层底应布置成能注入压载水，以清除可能存在的可燃气体。

5.4.1.4 如采用箱形中桁材或管隧时，则该箱形中桁材或管隧不应与机舱相通。应在相距最大距离处，设有通向开敞甲板的至少两个出口。如上述出口之一是经由泵舱，则从泵舱进入箱形中桁材或管隧的出入口应具有水密舱口盖。

5.4.1.5 肋板、旁桁材上应开人孔，开孔要求见本篇第 2 章第 6 节 2.6.1，同时也应符合

本篇第 1 章第 8 节的要求。

5.4.1.6　肋板、旁桁材、船底纵骨和内底纵骨上应有流水孔和透气孔，要求见本篇第 2 章第 6 节 2.6.1。

5.4.2　船底桁材

5.4.2.1　双层底内在船纵中剖面处应设置中桁材或箱形中桁材，在两侧还应设置旁桁材。

5.4.2.2　纵舱壁或槽形纵舱壁底凳下面应设置桁材，底边舱斜板下应设置旁桁材。

5.4.2.3　槽形横舱壁的底凳下的双层底内还应根据要求设置局部桁材，见本章第 9 节 5.9.3.2。

5.4.2.4　中桁材的厚度应不小于按下式计算所得之值，同时也应满足本篇第 2 章第 13 节深舱要求：

$$t = (0.008h_0 + 1.0)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：h_0——中桁材计算高度，mm，见本篇第 2 章第 6 节 2.6.2.1；

K——材料系数。

5.4.2.5　箱形中桁材侧板的厚度应不小于按下式计算所得之值，同时也应满足本篇第 2 章第 13 节深舱要求：

$$t = 0.008h_0\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：h_0 、K——同本节 5.4.2.4 规定。

5.4.2.6　旁桁材的厚度应不小于按下式计算所得之值，当旁桁材为水密时，还应同时满足本篇第 2 章第 13 节深舱要求：

$$t = (0.007h_0 + 1.0)\sqrt{K} \quad \text{mm，但不必大于 14mm}$$

式中：h_0 、K——同本节 5.4.2.4 规定。

5.4.2.7　对于船宽大于 12m 但不大于 20m 的船舶，中纵剖面两侧至少应各设 1 道旁桁材(包括底边舱处旁桁材在内)。对于船宽大于 20m 的船舶，纵中剖面两侧可各设 2 道旁桁材(包括底边舱处旁桁材和纵舱壁下的旁桁材在内)；也可按直接计算方法确定设置旁桁材的数目。

5.4.2.8　中桁材、箱形中桁材和旁桁材上应设置水平加强筋，其剖面惯性矩应满足本章 5.12.2.5 要求。

5.4.2.9　实肋板之间中桁材两侧每隔一档肋位应各设通达邻近纵骨的肘板，肘板厚度与实肋板相同。

5.4.2.10　箱形中桁材内部骨架应符合下列要求：

(1)　在箱形中桁材内每隔一档肋位应设置横向船底骨材和内底骨材，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 22sdl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——骨材间距，m；

d——吃水，m；

l——跨距，m，取箱形中桁材两侧板的间距；

K——材料系数。

(2)　横向船底骨材和内底骨材的两端应逐渐放大，并与箱形中桁材侧板连接，其放大后的高度应不小于骨材高度的 1.5 倍。同时，在侧板的外侧相应的位置上应设置与实肋板等厚的肘板，并与船底和内底纵骨连接。

(3)　箱形中桁材内在船体中心线处应设置内底纵骨和船底纵骨，骨材在横向骨架处可间断。

5.4.2.11　对于船长 90m 及以上的油船，中桁材、箱形中桁材、旁桁材应按直接计算方法进行校核，直接计算应符合本章附录 1 的要求。如船长小于 150m 时，也可采用其他经认可的等效直接计算方法。

5.4.3 **船底肋板**

5.4.3.1 横舱壁、槽形横舱壁底凳下面应设置实肋板。

5.4.3.2 实肋板间距一般应不大于(0.006*L*+3.2)，m，其中 *L* 为船长。

5.4.3.3 实肋板厚度 *t* 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=(0.007h_0+1.0)\sqrt{K} \quad \text{mm，但不必大于 14mm}$$

式中：h_0、K——同本节 5.4.2.4。

水密实肋板同时也应满足深舱要求。

5.4.3.4 对于船长 90m 及以上的油船，肋板厚度应按直接计算方法进行校核，直接计算应符合本章附录 1 的要求。如船长小于 150m 时，也可采用其他经认可的等效直接计算方法。肋板在桁材处切断时应注意对中，确保它的横向连续性。

5.4.3.5 实肋板上船底纵骨与内底纵骨之间应设置垂直扶强材。

5.4.4 **舭肘板**

5.4.4.1 当船底和舷侧采用纵骨架式而舭部不设纵骨时，在实肋板间的舭部应设置适当数量与舭部上下端弯曲处纵骨相连接的中间舭肘板。舭肘板与实肋板或舭肘板之间距离 *S* 应不超过按下式计算所得之值：

$$S=8\times10^6\frac{t^2}{Dr}\sqrt{\frac{t}{r}} \quad \text{mm}$$

式中：*t*——舭列板厚度，mm；

D——型深，m；

r——舭部半径，mm。

舭肘板的厚度与实肋板厚度相同。

5.4.5 **船底纵骨**

5.4.5.1 船底纵骨的最大间距应不大于 1m。

5.4.5.2 船底纵骨的剖面模数 *W*，应不小于按下式计算所得之值：

$$W=11.5sdl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：*s*——纵骨间距，m；

d——吃水，m；

l——纵骨跨距，m；

K——材料系数。

5.4.5.3 纵骨穿过非水密肋板时，纵骨应与肋板和该处肋板上的垂直加强筋焊接。

当纵骨在水密肋板处中断时，纵骨应用肘板与水密肋板连接。肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的要求。当船长超过 190m 或纵骨采用高强度钢时，船底纵骨应穿过水密肋板，但也可采用相应的等效替代结构。

5.4.6 **内底板和内底纵骨**

5.4.6.1 内底板的厚度 *t* 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1=\frac{s}{70\sqrt{K}}\times10^3 \quad \text{mm}$$

式中：*s*——内底纵骨间距，m；

K——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板的屈曲校核要求，则可取较低强度等级的 *K* 值计算；

$$t_2=4s\sqrt{hK}+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：*K*——材料系数；

h——纵中剖面处内底板至舱顶的垂直距离，m。

5.4.6.2 内底纵骨应与对应的船底纵骨位于同一垂直剖面内。

5.4.6.3　内底纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 8.4s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s，h——见本节 5.4.6.1；
l——纵骨跨距，m；
K——材料系数。

5.4.7　底边舱斜板及斜板纵骨

5.4.7.1　底边舱斜板的厚度应不小于按下列各式计算所得之值，且还应不小于相邻的内壳板要求的厚度：

$$t_1 = \frac{s}{70\sqrt{K}} \times 10^3 \quad \text{mm}$$

式中：s——斜板纵骨间距，m；
K——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板的屈曲校核要求，则可取较低强度等级的 K 值计算；

$$t_2 = 4s\sqrt{hK} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：K——材料系数；
h——列板下缘至中纵剖面处舱顶的垂直距离，m。

5.4.7.2　斜板纵骨的剖面模数应不小于按下式计算所得之值，且应不小于相邻内壳板纵骨的剖面模数：

$$W = 8.4s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——斜板纵骨间距，m；
h——斜板纵骨至中纵剖面处舱顶的垂直距离，m；
K——材料系数。

第 5 节　双壳结构

5.5.1　一般要求

5.5.1.1　本节适用于双壳油船货油舱区域双壳内骨架布置方式和尺寸的确定。

5.5.1.2　双壳内的横隔板和平台应开人孔，人孔可开成圆形或长圆形，长圆的长轴方向应是垂直方向或船长方向，除通道开口外，上下相邻平台上的孔一般不应在同一垂直线上。开孔周边应予以加强。

5.5.1.3　对于边舱作为压载水舱的双壳油船，其内壳结构还应满足本篇第 2 章第 13 节对深舱的要求。

5.5.2　双壳的结构布置

5.5.2.1　双壳内与货油舱横舱壁水平桁材同样高度处应设置纵向连续的平台。在底边舱顶部高度处应设平台(该平台由稳性要求也可不开人孔)。平台、货油舱横舱壁的水平桁材和纵舱壁的水平桁材应形成水平强框架结构。

5.5.2.2　双壳内在货油舱横舱壁同一平面处应设置横框架或横隔板。

5.5.2.3　双壳内横框架或横隔板间距一般应不大于 $0.006L$+3.2m，且应设置在双层底肋板的同一平面内，与货油舱甲板强横梁、纵舱壁的垂直桁材、内壳与纵舱壁之间或纵舱壁之间的横向撑材(如设置的话，见本章第 1 节图 5.1.4.2(2))和双层底的肋板构成横向强框架结构。

5.5.3　舷侧纵骨

5.5.3.1　舷侧纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 7.2s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；
h ——从计算纵骨量至船中甲板边线的垂直距离，m，但取值不小于 $0.25D$；

l ——纵骨跨距，m；

D——型深，m；

K——材料系数。

5.5.3.2　船长超过 150m 或纵骨采用高强度钢时，离船底和强力甲板 0.1D 范围内的舷侧纵骨应连续穿过水密横隔板。

舷侧纵骨在水密横隔板处切断时，应用肘板与横隔板连接。肘板应有面板，它的臂长应较本篇第 1 章 1.2.6 的要求增大 20%。如面板采用折边，则折边宽度还应不小于其厚度的 8 倍。

5.5.4　舷侧肋骨

5.5.4.1　舷侧肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=7.2s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——肋骨间距，m；

h ——从肋骨跨距中点至船中甲板边线的垂直距离，m，但取值不小于 0.25D；

l ——肋骨跨距，m，但取值不小于 2.5m；

D——型深，m；

K——材料系数。

5.5.4.2　舷侧肋骨的两端应设肘板。肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的要求。

5.5.5　内壳板及其扶强材

5.5.5.1　内壳板应伸展到舷侧全深或从双层底顶端到最上层甲板。内壳板的布置应使得全部货油舱皆位于边压载舱的内侧，同时应尽量向首尾方向延伸并与该处结构有效连接和过渡。

5.5.5.2　内壳板的厚度应不小于按下式计算所得之值：

$$t=3.75s\sqrt{hK}+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——板列下缘至纵中剖面处舱顶的垂直距离，m，但不小于 0.4D；

K——材料系数；

D——型深，m。

5.5.5.3　内壳板的纵骨间距应与舷侧纵骨间距相同，纵骨的剖面模数 W 应满足本章第 8 节 5.8.4.4 要求。

5.5.5.4　船长超过 150m 或纵骨采用高强度钢时，离船底和甲板 0.1D 范围内的内壳纵骨应连续穿过水密横隔板。当纵骨在上述横隔板处切断时，应用肘板与横隔板连接，肘板的尺寸应满足本节 5.5.3.2 要求。

5.5.5.5　内壳板垂直扶强材的剖面模数 W 应满足本章第 8 节 5.8.3.3 要求。

5.5.5.6　垂直扶强材两端应设肘板。肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的要求。

5.5.6　平台

5.5.6.1　双壳内与货油舱横舱壁的水平桁材同一高度设置的非水密平台的厚度 t 应满足本章第 1 节 5.1.5 要求。

5.5.6.2　平台纵骨的尺寸应满足本章 5.12.2.5 要求。

5.5.6.3　平台上舷侧肋骨与内壳板垂直扶强材之间应设置加强筋。加强筋的尺寸应满足本章 5.12.2.5 要求。

5.5.7　双壳内的横隔板

5.5.7.1　双壳内的水密横隔板和扶强材应满足本篇第 2 章第 13 节深舱要求。

5.5.7.2　舷侧和内壳纵骨穿过水密横隔板时应符合本节 5.5.3.2 和 5.5.5.4 要求。横隔板上舷侧纵骨与内壳板纵骨之间应设置加强筋。

5.5.7.3　双壳内支持舷侧纵骨和内壳纵骨的非水密横隔板应设置在双层底肋板的同一平面内，非水密横隔板的厚度应满足本章第 1 节 5.1.5 条要求。舷侧纵骨和内壳纵骨应穿过

该横隔板，在开口处应设置补板将纵骨与横向结构相连接。横隔板上舷侧纵骨与内壳纵骨之间应设置扶强材。

第 6 节　甲板骨架

5.6.1　一般要求

5.6.1.1　本节适用于双壳油船货油舱区域纵骨架式甲板骨架布置方式和尺寸的确定。

5.6.2　强横梁

5.6.2.1　强横梁应设置在每个设有肋板的平面内。

5.6.2.2　强横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=CLS(l+1)K \quad \text{cm}^3$$

式中：C——系数，中间油舱 $C=1.80$，边油舱 $C=1.92$；

S ——强横梁间距，m；

L ——船长，m，计算时取值应不小于 65m，但也不必大于 190m；

l ——强横梁跨距，m；

K——材料系数。

5.6.2.3　强横梁剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=7.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：W、l、K——见本节 5.6.2.2。

上述强横梁的腹板高度还应不小于甲板纵骨穿过腹板的开口高度的 2.5 倍。

5.6.2.4　强横梁腹板上应每隔 1 根甲板纵骨设置垂直于面板的加强筋，当强横梁腹板高度大于 $210t\sqrt{K}$ (t 为腹板厚度, K 为材料系数)时，应在距面板 1/4 腹板高度位置加设水平加强筋。加强筋的尺寸应满足本章 5.12.2.5 要求。

强横梁在端肘板趾端附近和其他部位一般应设置间距不大于 4.5m 或 20 倍面板宽度(取较小者)的防倾肘板。防倾肘板应满足本篇第 1 章 1.2.5.4 要求。

5.6.2.5　强横梁应设端肘板与内壳板、纵舱壁、舷侧骨架及连续甲板纵桁相连接，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.7 要求。当与连续甲板纵桁连接时，肘板应伸至纵桁面板并与之焊接。

5.6.3　甲板纵桁

5.6.3.1　连续甲板纵桁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=0.1Lbl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：L——船长，m；

b——连续甲板纵桁支承面积的平均宽度，m；

l ——连续甲板纵桁跨距，m；

K——材料系数。

5.6.3.2　当连续甲板纵桁的腹板高度大于 $65t\sqrt{K}$ (t 为腹板厚度，K 为材料系数)时，应设置平行于面板的水平加强筋，加强筋应满足本章 5.12.2.5 要求。

连续甲板纵桁应按本篇第 1 章 1.2.5.4 的要求设置防倾肘板。

5.6.3.3　甲板纵桁与横舱壁或横舱壁垂直桁的连接应符合本篇第 1 章 1.2.7 的要求。

5.6.4　甲板纵骨

5.6.4.1　甲板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=csl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

l——纵骨跨距，m，但取值不小于 2.5m；

c——系数，取下列的较大值：$c=0.35L$ 或 $c=0.12L+12.6$，其中 L 为船长，m；当 $L>190$m 时，取 190m；

K——材料系数。

5.6.4.2　甲板纵骨连同它所附连的甲板一起，在船中部 0.4L 区域以外，可以逐渐向端部过渡，在离首、尾端 0.075L 处，甲板纵骨剖面模数应不小于按本节 5.6.4.1 计算所得之值的 80%，同时也应不小于本篇第 2 章 2.8.5.1 所规定的端部甲板纵骨的要求。

5.6.4.3　甲板纵骨与横舱壁的连接应具有足够的刚性，并应保证纵向强度的连续性。当船长大于 150m 或甲板纵骨采用高强度钢时，甲板纵骨应连续穿过横舱壁。

甲板纵骨在横舱壁处切断时，应用肘板与舱壁连接，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的有关规定。如肘板采用折边面板，则折边的宽度还应不小于其厚度的 8 倍。

甲板纵骨应与强横梁腹板焊接，当与强横梁加强筋相遇时，且应与加强筋焊接。

第 7 节　平面油密横舱壁

5.7.1　一般要求

5.7.1.1　平面横舱壁的骨架型式一般可采用水平桁材和垂直扶强材或垂直桁材和水平扶强材。

5.7.1.2　横舱壁的水平桁材应与双壳内的平台、纵舱壁的水平桁材在同一平面内。垂直扶强材应设在船底和内底纵骨的同一纵剖面内。

5.7.1.3　当设置垂直桁材时，垂直桁材应与甲板纵桁、船底桁材在同一纵剖面内。水平扶强材应设在舷侧和内壳纵骨的同一水平面内。

5.7.2　舱壁板厚度

5.7.2.1　舱壁板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 3.75s\sqrt{hK} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h——板列下缘至纵中剖面处舱顶的垂直距离，m，但不小于 0.4D；

K——材料系数。

5.7.2.2　舱壁板厚度 t 还应符合下列要求：

(1)　当舱壁设置水平桁材和垂直扶强材时：

舱壁上部 3/4 区域：$t \geqslant \dfrac{s}{70\sqrt{K}}$　mm

舱壁下部 1/4 区域：$t \geqslant \dfrac{s}{60\sqrt{K}}$　mm

(2)　当舱壁设置垂向桁材和水平扶强材时：

舱壁上部 3/4 区域：$t \geqslant \dfrac{s}{85\sqrt{K}}$　mm

舱壁下部 1/4 区域：$t \geqslant \dfrac{s}{70\sqrt{K}}$　mm

式中：s ——扶强材间距，mm；

K——材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求(另见本篇第 1 章 1.5.9)，则可取较低强度等级的 K 值计算。

5.7.3　水平桁材和垂直扶强材

5.7.3.1　水平桁材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=10.5b(h+1.2)l^2K \quad c\text{m}^3$$

式中：b——水平桁材支承宽度，m，为与水平桁材相交的垂直扶强材上下段长度和之半；

h——水平桁材至纵中剖面处舱顶的垂直距离，m；

l ——水平桁材的跨距，m；

K——材料系数。

水平桁材腹板高度应不小于垂直扶强材穿过水平桁材开口高度的 2.5 倍。

5.7.3.2　当水平桁材与纵舱壁水平桁材和双壳内平台不形成环状框架时，水平桁材两端肘板应伸至邻近的垂直桁材或横隔板。肘板厚度与水平桁材腹板厚度相同，肘板面板与水平桁材面板相同。

5.7.3.3　水平桁材两端应设端肘板，它应满足本篇第 1 章第 2 节 1.2.7 要求。在端肘板平面内舱壁的另一侧还应设置支撑肘板。

5.7.3.4　水平桁材在端肘板趾端附近和其他部位一般应设置间距不超过 4.5m 或 15 倍面板宽度(取较小者)的防倾肘板。防倾肘板应满足本篇第 1 章 1.2.5.4 要求。

5.7.3.5　水平桁材腹板厚度应不小于 s/80(s 为加强筋间距，mm)。在水平桁材腹板上应单面在每根垂直扶强材上设置垂直于面板的加强筋。当水平桁材高度超过 $165t\sqrt{K}$ (t 为腹板厚度，K 为材料系数)时，应在离面板 1/4 腹板高度处加设 1 根平行于面板的加强筋。

5.7.3.6　当在甲板纵中剖面处设置连续甲板纵桁时，在纵中剖面处应设置中心垂直桁材，其尺寸由直接计算确定，它们之间的连接应满足本篇 1.2.7 条要求。

5.7.3.7　垂直扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=7.2s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h——扶强材跨距中点至纵中剖面处舱顶的垂直距离，但取值不小于 $0.25D$，m；

l ——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

5.7.3.8　扶强材两端应用肘板与内底及甲板纵骨连接，肘板应符合本篇 1.2.6 的有关规定。扶强材穿过水平桁材时应与水平桁材的腹板及其垂直加强筋焊接。

5.7.4　垂直桁材和水平扶强材

5.7.4.1　垂直桁材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=Cb(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：b ——垂直桁材支承宽度，m，为与垂直桁材相交的水平扶强材左右段长度和之半；

h——垂直桁材跨距中点至纵中剖面处舱顶的垂直距离，m；

l ——垂直桁材的跨距，m；

C——系数，纵中剖面处垂直桁材取 C＝11，不在纵中剖面并支持水平扶强材的垂直桁材取 C＝8.8；

K——材料系数。

垂直桁材腹板高度应不小于水平扶强材穿过垂直桁材开口深度的 2.5 倍。

5.7.4.2　垂直桁材与底纵桁和甲板纵桁不形成环状框架时，垂直桁材两端肘板应伸至相邻的强横梁或肋板，肘板厚度与垂直桁材腹板厚度相同，肘板面板与垂直桁材面板相同，或采用其他有效的替代结构型式，确保结构的连续性。

5.7.4.3　垂直桁材两端应设端肘板，它应满足本篇第 1 章第 2 节 1.2.7 要求，在端肘板平面内舱壁的另一侧还应设置支撑肘板。

5.7.4.4　垂直桁材在端肘板趾端附近和其他部位一般应设置间距不超过 4.5m 或 15 倍面板宽度(取较小者)的防倾肘板。防倾肘板应满足本篇第 1 章 1.2.5.4 要求。

5.7.4.5　在垂直桁材的腹板上应设置平行于面板，且间距不大于 $60\sqrt{K}$ (K 为材料系数)倍腹板厚度的加强筋。当垂直桁材支持横舱壁水平扶强材时，应在每根水平扶强材处设置垂直于面板的加强筋，加强筋的尺度应符合本章 5.12.2.5 的要求。

5.7.4.6　水平扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=7.2s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h——计算扶强材至纵中剖面处舱顶的垂直距离，m，但取值不小于 $0.25D$，m；

l ——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

5.7.4.7　扶强材应用肘板与内壳及纵舱壁的水平扶强材连接，肘板尺寸按本章 1.2.6 要求。

水平扶强材应与垂直桁材腹板及垂直桁材加强筋焊接。

第 8 节　平面油密纵舱壁

5.8.1　一般要求

5.8.1.1　纵舱壁应连续通过所有油舱，并应尽量向首尾延伸。在舱壁终断处应有大肘板或其他纵向过渡构件，以确保构件的有效连续性。

5.8.1.2　纵舱壁的骨架型式可为水平桁材和垂直扶强材或垂直桁材和水平扶强材。

水平桁材应设在横舱壁的水平桁材同一水平面内，垂直扶强材应设在肋骨横剖面内。垂直桁材应设在船底肋板的同一横剖面内，水平扶强材应设在舷侧纵骨的同一水平面内。

5.8.1.3　平面纵舱壁处的双层底内应设置连续桁材。

5.8.2　舱壁板厚度

5.8.2.1　纵舱壁板厚度 t 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t = 3.75s\sqrt{hK} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——板列下缘至纵中剖面处舱顶的垂直距离，但不小于 $0.4D$，m；

K——材料系数；

D——型深，m。

5.8.2.2　甲板 $0.1D$ 范围内的纵舱壁板厚度，可不必大于相同骨材间距的舷顶列板厚度。

5.8.3　水平桁材和垂直扶强材

5.8.3.1　水平桁材剖面模数按本章 5.7.3.1 计算和满足相关要求，但计算跨距应不小于 3m。

5.8.3.2　水平桁材与横舱壁水平桁材的连接要求见本篇 1.2.7。

5.8.3.3　垂直扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=7.2s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s、h、l、K ——同本章 5.7.3.7。

5.8.3.4　扶强材两端应用肘板固定。肘板应伸至最近的内底纵骨及甲板纵骨，肘板尺寸应符合本篇 1.2.6 的要求，但下端肘板沿扶强材高度不小于船底至邻近 1 道水平桁材距离的 15％。垂直扶强材应与水平桁材腹板及水平桁材腹板加强筋焊接。

5.8.4　垂直桁材和水平扶强材

5.8.4.1　当设置 1 道纵舱壁时，可在肋板平面内设置对称于中纵剖面的垂直桁材，也可在纵舱壁一侧设置垂直桁材。当设置 2 道纵舱壁时，应在设撑材的舱内设置舱壁垂直桁材。

5.8.4.2　垂直桁材的剖面模数应不小于按下式计算所得之值：

$$W=CS(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S ——垂直桁材间距，m；

h ——垂直桁材跨距中点至舱顶的垂直距离，m；

l ——垂直桁材跨距，m；

C ——系数，无水平撑材时 C=11，有 1 根水平撑材时 C=3.2，有 2 根水平撑材时 C=3；

K——材料系数。

5.8.4.3　垂直桁材端肘板应符合本篇第 1 章 1.2.7 的要求。

5.8.4.4　水平扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=7.2s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h——扶强材至纵中剖面处舱顶的垂直距离，但不小于 0.25D，m；

l ——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

5.8.4.5　当船长大于 150m 或采用高强度钢时，纵舱壁水平扶强材在距甲板和距船底 0.1D 范围内应连续通过横舱壁。当水平扶强材在横舱壁处切断时，应用肘板与横舱壁连接。当横舱壁设置垂直扶强材时，水平扶强材端肘板应伸至邻近的横舱壁垂直扶强材，肘板的尺寸应符合本章 5.5.3.2 规定。

水平扶强材应与垂直桁材腹板及垂直桁材腹板加强筋焊接。

5.8.5　撑材

5.8.5.1　具有 2 道纵舱壁的油船，横向强框架内应设置图 5.1.4.2(2)所示的水平撑材。撑材的位置为：当设置 1 根水平撑材时，撑材中心线位于距甲板 0.5D 至 0.7D 处；当设置 2 根水平撑材时，则上面 1 根位于距甲板 0.4D 至 0.5D 范围内，下面 1 根位于距甲板 0.7D 至 0.8D 处。与水密横舱壁相邻的横向强框架内可以不设撑材。

5.8.5.2　水平撑材的剖面积 A 及剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$A=1.1Kbs(h+1.2)+50K \quad \text{cm}^2$$
$$I=2.1bs(h+1.2)l^2 \quad \text{cm}^4$$

式中：b——支承宽度，m，设 1 根撑材时取型深的一半；设 2 根撑材时，取自相邻撑材至甲板或船底之间距离的一半；

h——撑材中心线至甲板边线的垂直距离，m；

s ——强框架间距，m；

K——材料系数；

l ——撑材长度，m。

5.8.5.3　撑材两端应设置坚固的垂直肘板和水平肘板与内壳和纵舱壁垂直桁材连接。垂直肘板应与撑材腹板在同一平面内，水平肘板应与撑材面板在同一平面内。

5.8.5.4　撑材腹板上应设置平行于面板的加强筋。当 L≤90m 时，加强筋与面板之间，或 2 根加强筋之间的距离应不超过 $80t\sqrt{K}$ (t 为撑材腹板厚度，K 为材料系数)；当 L≥190m 时，加强筋与面板之间，或 2 根加强筋之间的距离应不超过 $55t\sqrt{K}$ 。中间值用内插法求得。

撑材腹板上应设置肘板以支持面板和水平加强筋。

5.8.5.5　撑材应进行屈曲校核。

第 9 节　槽形油密横舱壁

5.9.1　一般要求

5.9.1.1　除另有规定外，槽形各部分尺寸的符号见本篇第 1 章图 1.2.4.3 所示。

5.9.1.2　槽形横舱壁除特殊情况外一般应采用垂直槽形，槽形斜面部分与平面部分的夹角应不小于 40°。

5.9.1.3　对于船长 190m 及以上的油船，垂直槽形舱壁应设底凳，一般情况下也应设顶凳。

5.9.2　槽形尺寸和舱壁板

5.9.2.1　槽形横舱壁厚度应按本章 5.7.2.1 确定，计算时 s 值取槽形平面部分或斜面部分宽度之大者，且应符合下式要求：

$$t \geq \frac{s}{70\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

式中：s——槽形平面部分或斜面部分宽度之大者，mm；

K—材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求(另见本篇第 1 章 1.5.9)，则可取较低强度等级的 K 值计算。

5.9.2.2　槽形舱壁一个槽形的剖面模数 W 和惯性矩 I 应不小于下列各式计算所得之值：

$$W=8.8s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I=3.2Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：s ——一个槽形宽度，m；

h ——自槽条跨距中点至纵中剖面处舱顶的垂直距离，m；

l ——槽条跨距，m；

K——材料系数。

5.9.3 **底凳**

5.9.3.1 底凳应满足 8.4.1 要求。

5.9.3.2 底凳下面的双层底内部纵桁材间距超过 3.8m 时，底凳下面的双层底内还应设置局部桁材。在底凳内对应于中桁材、旁桁材、局部桁材处应设置纵向隔板。

5.9.4 **顶凳**

5.9.4.1 顶凳应满足 8.4.1 的要求。

5.9.5 **结构布置**

5.9.5.1 如果不设顶凳，在甲板下应设两强横梁，它们与槽形平面部分安装在同一条直线上。

5.9.5.2 如果不设底凳，在底部，槽形舱壁板通过全熔透焊与内底板连接，支撑肋板通过全熔透焊或深熔焊与内底板连接。支撑肋板的厚度和材料特性应至少与槽形平面部分相同。另外，内底纵桁穿过该处双层底肋板处的切口应用衬板封住。支撑肋板间应用抗剪板互相连接。

5.9.5.3 底凳的边板与槽形平面部分安在同一条直线上，底凳内边板垂直扶强材和肘板与内底纵骨应安装在同一条直线上，以便这些加强构件之间以合理的方式传递载荷。在内底板和凳顶板之间的凳边板的任何地方，不应采用折角形式。

5.9.6 **水平桁材**

5.9.6.1 槽形横舱壁设置水平桁材时，水平桁材的尺度和结构要求应符合本章 5.7.3 对于平面舱壁水平桁材的规定。

5.9.6.2 水平桁材的腹板计算高度取面板与舱壁间的最小距离。

第 10 节 槽形油密纵舱壁

5.10.1 **一般要求**

5.10.1.1 除另有规定外，槽形各部分尺寸的符号见本篇第 1 章图 1.2.4.3 所示。

5.10.1.2 一般情况下槽形斜面部分与平面部分的夹角应不小于 40°。

5.10.1.3 对于船长为 190m 及以上的油船建议不采用槽形纵舱壁。

5.10.1.4 槽形纵舱壁可为水平槽形或垂直槽形。应避免纵舱壁和横舱壁的槽形同时为水平布置。

5.10.2 **垂直槽形纵舱壁**

5.10.2.1 槽形纵舱壁的舱壁板厚度按本章 5.8.2.1 的要求。计算时 s 值取槽形平面部分或斜面部分宽度之大者，且应符合下式要求：

$$t \geq \frac{s}{70\sqrt{K}} \quad \text{mm}$$

式中：s——槽形平面部分或斜面部分宽度之大者，mm；

K—材料系数。对于高强度钢，若在直接计算中，取较低强度等级的材料系数仍能满足板屈曲校核要求（另见本篇第 1 章 1.5.9），则可取较低强度等级的 K 值计算。

5.10.2.2 槽形舱壁一个槽形的剖面模数 W 和惯性矩 I 应不小于下列各式计算所得之值：

$$W=8.8s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I = 3.2Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：s ——一个槽形宽度，m；

h ——自槽条跨距中点至纵中剖面处舱顶的垂直距离，m，h 应不小于 2.5m；

l ——槽条跨距，m；

K ——材料系数。

5.10.2.3　一般情况下垂直槽形油密纵舱壁应设顶凳和底凳。

5.10.2.4　底凳的高度一般不小于槽深的 3 倍。底凳顶板的厚度和材料特性不低于其上面舱壁板的要求。在从底凳顶向下深度等于槽形平面部分宽度的范围内的边板(或垂直或倾斜)的厚度和材料至少与满足槽条下端的舱壁刚度要求的槽形平面部分的厚度和材料特性一样。

底凳顶板的边缘到槽形平面部分表面的距离不小于槽形平面部分厚度的 1.5 倍。底凳底部与双层底箱形中桁材安装在同一条直线上，底部宽度不小于槽形平均深度的 2.5 倍。

底凳内边板上与本章 5.4.2.10 所述骨材同一平面上设置垂直扶强材，其两端通过肘板与凳的上下端连接。底凳边板上还应设置水平扶强材，其惯性矩 I 可按本章 5.12.2.5(2)确定。底凳内在实肋板平面内应设置横隔板，它的厚度与双层底内实肋板厚相同。

上述肘板、横隔板与底凳顶板焊接应避免有扇形孔。

5.10.2.5　顶凳的高度一般取为槽深 2～3 倍，而矩形顶凳的高度一般是槽深的 2 倍，但应大于甲板强横梁的高度。顶凳底板的宽度一般与底凳顶板的宽度相等。非矩形顶凳的顶部宽度不小于槽深的 2 倍。顶凳的边板可直接与甲板相连接，横向通过肘板与横梁相连接。

顶凳底板的厚度和材料与其下面的舱壁板相同，顶凳边板的厚度不小于相同材料的舱壁板上部厚度的 80%，顶凳边板上设置垂直扶强材，它两端通过肘板与凳的上下端连接。顶凳边板上还应设置水平扶强材。顶凳内甲板强横梁平面内应设置横隔板，它的厚度与强横梁腹板厚度相同。

上述肘板和横隔板与顶凳底板焊接时应避免有扇形孔。

5.10.2.6　如不设底凳，在底部，槽形平面部分与箱形中桁材的侧板安装在同一平面内，通过深熔焊与内底板相连接。

5.10.2.7　如设置水平桁材，则应满足 5.9.6 要求。

5.10.3　水平槽形纵舱壁

5.10.3.1　水平槽形纵舱壁的舱壁板厚度按本章 5.8.2.1 的要求，计算时 s 值取槽形平面部分或斜面部分宽度之大者。

5.10.3.2　槽形舱壁一个槽形的剖面模数按本章 5.10.2.2 确定。

5.10.3.3　水平槽形舱壁的底部平面部分应与双层底内的纵桁材位于同一平面内，它通过深熔焊与内底板相连接，顶部直接与甲板焊接。船长超过 150m 时，底部和顶部平面部分宽度均应不小于 $0.1D$。

5.10.3.4　底部和顶部平面部分宽度大于槽形平面部分或斜面部分宽度时应有适当的扶强结构。

5.10.3.5　水平槽形舱壁的垂直桁材应设置在实肋板平面内，它应满足本章 5.8.4 的要求，垂直桁材的腹板计算高度取垂直桁面板与舱壁间的最小距离。

第 11 节　非油密舱壁和制荡舱壁

5.11.1　一般要求

5.11.1.1　货油舱内若设置横向非油密舱壁或制荡舱壁时，其开孔面积应不小于舱壁总面积的 10%，纵向非油密舱壁还应不超过 25%。

5.11.1.2　支持底中纵桁的非油密舱壁，开孔的位置应不损及舱壁对于船体的有效支持。舱壁下部的必要开孔(如管子、通道等开孔)一般为圆形，且边缘应加强。

5.11.1.3　非油密舱壁或制荡舱壁应设有不小于 600mm×800mm 的通道开口。

5.11.2　舱壁板及扶强材

5.11.2.1　舱壁板的厚度应不小于本章 5.1.5 的要求。支持中纵桁的横舱壁板厚还应符合

本章 5.7.2.2 的要求，同时，板格的最大边长应不大于舱壁板厚度的 180 倍。

5.11.2.2　支持底中纵桁的非油密横舱壁的垂向净剖面积 A，应不小于按下式计算所得之值：

$$A = 0.14 l_x b D_x K \quad \text{cm}^2$$

式中：l_x ——所计算的非油密横舱壁的相邻两个舱壁(油密或非油密)之间的距离，m；

b ——油舱总宽度，m；

D_x——非油密横舱壁或横向制荡舱壁的实际深度，m；

K——材料系数。

5.11.2.3　扶强材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=125 s l^2 K \frac{l_x}{L} \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——扶强材间距，m；

l ——扶强材跨距，m；

K——材料系数；

l_x——见本节 5.11.2.2；

L——船长，m。

5.11.2.4　扶强材端部应用肘板连接。肘板尺寸应符合本篇 1.2.6 的要求。

5.11.3　垂直桁材和水平桁材

5.11.3.1　在非油密舱壁或制荡舱壁上，应于所支承的强力构件的同一平面内设置桁材或扶强材。

5.11.3.2　垂直桁材的剖面模数应不小于对同样布置的油密舱壁垂直桁材的要求的一半。

5.11.3.3　水平桁材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=150 b l^2 K \frac{l_x}{L} \quad \text{cm}^3$$

式中：b ——支承宽度，m，为与桁材相交的扶强材上、下段长度之和的一半；

l ——桁材跨距，m；

K——材料系数；

l_x——见本节 5.11.2.2；

L——船长，m。

第 12 节　特殊要求

5.12.1　一般要求

5.12.1.1　压载水线以下 2m 至满载水线以上 2m 之间的舷侧纵骨及内壳纵骨应尽可能采用对称剖面，在纵舱壁上述范围内的纵骨也建议采用对称剖面，以避免产生附加的扭转应力。如舷侧纵骨采用高强度钢，且横向主要构件腹板上的垂直加强筋或肘板直接与舷侧纵骨连接时，则上述范围内的加强筋或肘板的趾端应有良好的圆弧，见图 5.12.1.1。但如有恰当的疲劳评估，则其他的结构布置也将给予考虑。

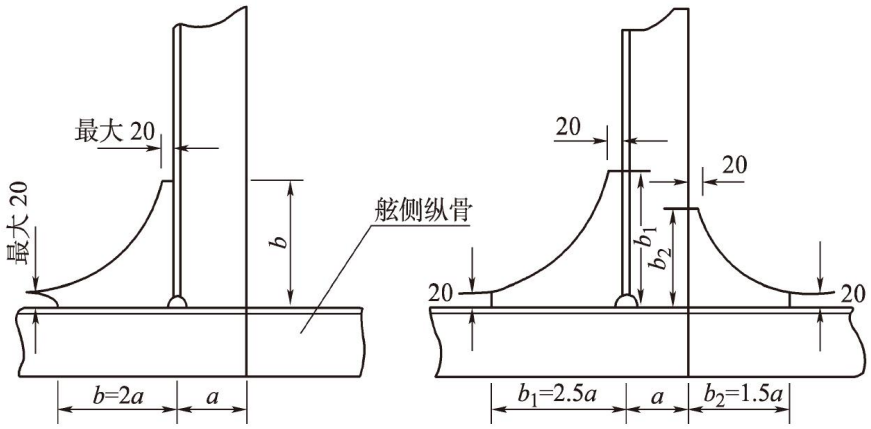
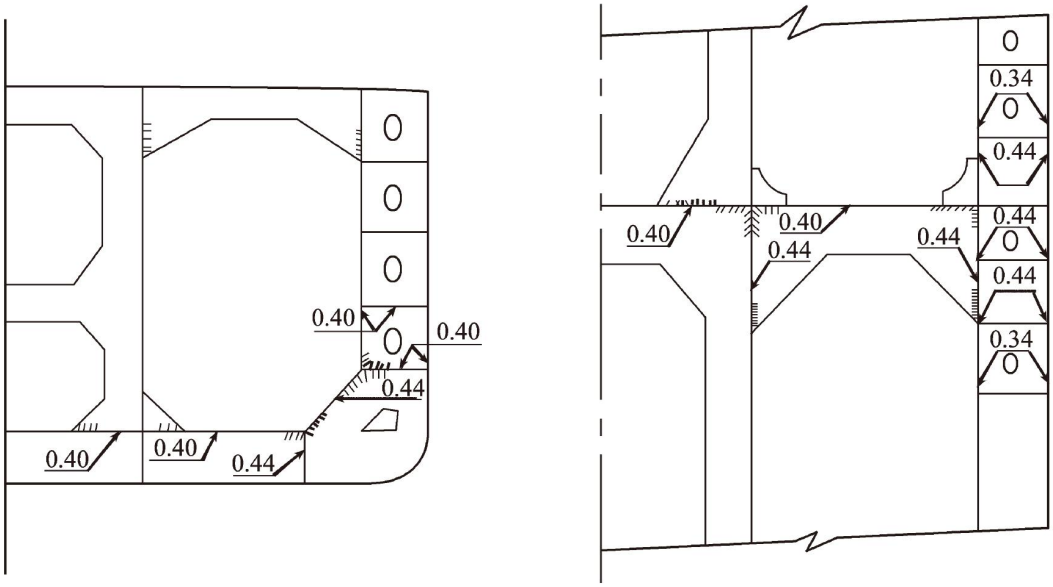


图 5.12.1.1

5.12.1.2　高强度钢的舷侧纵骨在货油舱区域穿过水密横隔板时，则在舭部上缘至 0.8*D* 吃水线之间的舷侧纵骨，应用相同材料的圆弧形肘板安装在舱壁前后两侧，并应确保舱壁前后的肘板对中。

5.12.1.3　对于船长大于 250m 的油船，应特别注意如图 5.12.5.6(1)和(2)所示的横向强框架、横舱壁水平桁与有关相邻构件之间连接时应对中、角焊缝应采用深熔焊或加大焊喉厚度。加大焊喉厚度的长度应不小于 2*s* 或 1.2m，取较大值，其中 *s* 为次要构件间距，m。



注：图中阴影部分表示需深熔焊，其余区域需按图中所示的焊接系数加大焊喉厚度。

图 5.12.1.3

5.12.2　**结构细则**

5.12.2.1　纵骨采用扁钢时，其高度与厚度之比，当纵骨贯穿舱壁时，应不大于 $18\sqrt{K}$ (*K* 为材料系数)；当纵骨在舱壁处中断时，不应大于 $15\sqrt{K}$ 。扶强材采用扁钢时，高度与厚度之比应不大于 $18\sqrt{K}$ 。

5.12.2.2

(1)　主要构件减轻孔直径应不大于腹板高度的 20%。孔的边缘至面板的距离应不小于腹板高度的 40%，且一般与通过骨材的切口角隅保持等距离。开孔位置应避开切口和肘板趾端。开孔边缘应整齐光滑。

(2)　对于大于上述直径的开孔，应按本章附录 1 的要求进行直接计算校核。

(3)　在横撑材及其端部连接处的主要构件(如舷侧纵桁、纵舱壁水平桁等)腹板上均不得

开减轻孔。

5.12.2.3　距甲板和距船底 0.1D(其中 D 为型深)范围内的纵向主要构件腹板上的开孔一般应作加强。高腹板的纵向和横向桁材上所开设的通道孔，应提供适当补强以满足腹板抵抗局部变形和剪切屈曲。

5.12.2.4　用于暖油管系的开孔，其下边缘距外板的距离应不小于 100mm；如与通过纵骨的切口相近时，纵骨切口应设封板。

5.12.2.5　主要构件腹板加强筋的腹板高度应不小于 75mm。当同时在面板的平行方向和垂直方向布置加强筋时，与面板平行的加强筋的尺寸应不小于与面板垂直的加强筋的尺寸。加强筋的剖面惯性矩应分别符合下述要求：

(1)　与主要构件面板垂直的加强筋剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=0.175(\frac{h}{s})^{2.4}st^3 \quad \text{cm}^4$$

式中：h——主要构件水平扶强材间距或无扶强的腹板高度，m；

s——加强筋间距，m；

t——腹板厚度，mm。

计算时，当 $h/s<1$ 时，仍取 1；当 $h/s>3.3$ 时，仍取 3.3。

(2)　与主要构件面板平行的加强筋剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

对纵向加强筋：

$$I=1.62l^2A \quad \text{cm}^4$$

对其他加强筋：

$$I=0.82l^2A \quad \text{cm}^4$$

式中：l ——加强筋跨距，m；

A——加强筋连同带板的横剖面积，cm^2。

5.12.2.6　大肘板应设加强筋，使肘板无扶强的三角形边长不大于肘板厚的 100 倍。加强筋与面板平行，邻近面板的加强筋，距面板的距离不大于肘板板厚的 30 倍，其他加强筋间距可不大于肘板板厚的 45 倍。肘板的面板和加强筋应给予适当支持以防倾。肘板面板不与构件面板连续时，肘板面板的两端应削斜。

5.12.2.7　肘板加强筋的高度应不小于 75mm，其剖面惯性矩 I 规定如下：

对甲板纵桁和龙骨的肘板应不小于：

$$I=3l^2A \quad \text{cm}^4$$

对其他主要构件的肘板应不小于：

$$I=2l^2A \quad \text{cm}^4$$

式中：l——加强筋跨距，m；

A——加强筋及其带板的剖面积，cm^2。

5.12.2.8　在货油舱区域，主要构件的端肘板应尽可能采用面板连续的整体肘板。当连接二个主要构件的面板宽度不相同时，面板较大的主要构件应将其面板宽度保持至肘板自由边的中点，并向较小面板的主要构件面板逐渐过渡，过渡的斜率一般应不超过 1：3，当面板宽度大于 500mm 时，应不超过 1：4。较厚的面板连接到较薄面板时，其厚度差应不超过 4mm，超过时应按 1：3 的比例过渡。

第 13 节　货油舱舱口

5.13.1　一般要求

5.13.1.1　货油舱舱口应满足本篇第 1 章第 8 节的要求。

5. 13. 2　货油舱舱口要求

5.13.2.1　舱口围板的高度应不小于 600mm，其厚度应不小于 10mm；若围板高度大于 600mm 时，应增加厚度，并在围板上部设置水平扶强材加强。

5.13.2.2　舱口盖板的厚度应不小于 12mm；如舱盖面积大于 1.2m^2 时，应用加强筋加强或增加盖板的厚度。

5.13.2.3　紧固舱盖的螺栓间距一般应不大于 460mm，在角隅处与舱口角隅的间距应不超过 230mm。

5.13.2.4　舱盖上应有直径不小于 150mm 的观察孔。孔上应有保证油密的有效盖闭装置。

附录 1　双壳油船结构强度直接计算

1　一般规定

1.1　适用范围

1.1.1　本附录适用于本章要求的双壳油船结构强度直接计算。

1.1.2　对于本附录无规定者，均应符合本篇第 1 章第 5 节的有关要求。

1.1.3　当液货舱部分装载时，应考虑因液体运动而引起的晃荡压力作用下的晃荡强度。

2　设计载荷

2.1　一般要求

2.1.1　除本附录另有规定外，设计载荷见本篇第 1 章第 5 节。

2.1.2　除本附录另有规定外，总体载荷工况下的静水弯矩取设计方提供的许用静水弯矩 $\overline{M}_s$；波浪弯矩 M_w 应按本篇第 1 章第 5 节 1.5.6.1(2)计算。

2.1.3　港内工况时不计入波浪载荷(压力和弯矩)的影响；港内工况的许用静水弯矩 $\overline{M}_{sp}$ 由设计方确定，但应能包络住装载手册中给出的港口装卸工况下的设计静水弯矩。

3　计算工况

3.1　一般要求

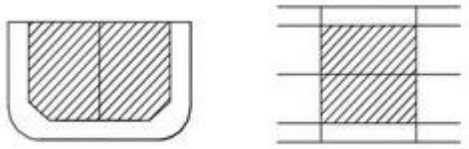
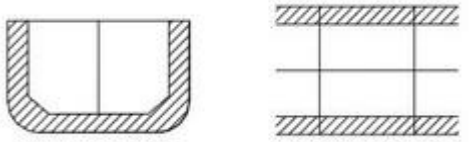
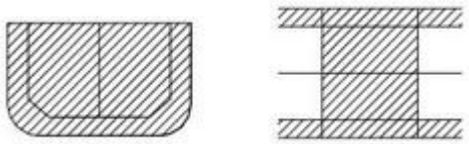
3.1.1　通常，应根据本附录表 3.2.1~3.2.3 选取相应的计算工况进行校核。如装载手册中存在本附录表 3.2.1~3.2.3 中计算工况以外的更为严重的其他装载工况，也应对此装载工况进行结构强度直接计算。

3.2　计算工况

3.2.1　对于具有一道纵舱壁油船，计算工况见表 3.2.1。其中计算工况 LC2、LC3、LC5、LC6，如结构不对称于纵中剖面时，计算工况应包括左右舷液舱分别装载的工况。

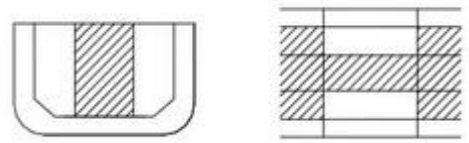
计算工况　　**表 3.2.1**

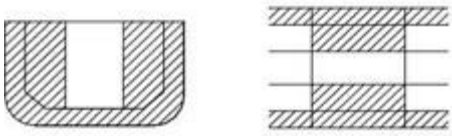
工况	吃水	静水弯矩	波浪弯矩	装载模式
LC1	d	$\overline{M}_s$	M_w	
LC2	d	$\overline{M}_s$	M_w	
LC3	$0.35D$	$\overline{M}_{sp}$	—	

工况	吃水	静水弯矩	波浪弯矩	装载模式
LC4	0.35D	$\overline{M}_{sp}$	—	
LC5	d	$\overline{M}_{s}$	M_w	
LC6	0.25D	$\overline{M}_{sp}$	—	
LC7	压载吃水	$\overline{M}_{s}$	M_w	
LC8	重压载吃水	$\overline{M}_{s}$	M_w	

3.2.2　对于具有两道纵舱壁油船，计算工况见表 3.2.2。

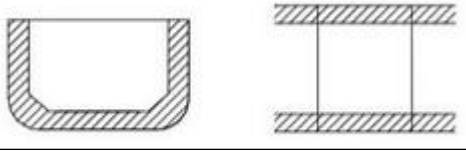
计算工况　　**表 3.2.2**

工况	吃水	静水弯矩	波浪弯矩	装载模式
LC1	d	$\overline{M}_{s}$	M_w	
LC2	d	$\overline{M}_{s}$	M_w	
LC3	d	$\overline{M}_{s}$	M_w	
LC4	0.25D	$\overline{M}_{sp}$	—	

工况	吃水	静水弯矩	波浪弯矩	装载模式
LC5	0.25D	$\overline{M}_{sp}$	—	
LC6	0.35D	$\overline{M}_{sp}$	—	
LC7	0.35D	$\overline{M}_{sp}$	—	
LC8	压载吃水	$\overline{M}_{s}$	M_w	
LC9	重压载吃水	$\overline{M}_{s}$	M_w	
LC10	重压载吃水	$\overline{M}_{s}$	M_w	

3.2.3　对于无纵舱壁油船，计算工况见表 3.2.3。

计算工况　　**表 3.2.3**

工况	吃水	静水弯矩	波浪弯矩	装载模式
LC1	d	$\overline{M}_{s}$	M_w	
LC2	0.35D	$\overline{M}_{sp}$	—	
LC3	压载吃水	$\overline{M}_{s}$	M_w	

工况	吃水	静水弯矩	波浪弯矩	装载模式
LC4	重压载吃水	$\overline{M}_s$	M_w	

4 结构模型化

4.1 一般要求

4.1.1 除本附录另有规定外，结构模型化要求见本篇第 1 章第 5 节(典型有限元模型见图 4.1.1)。

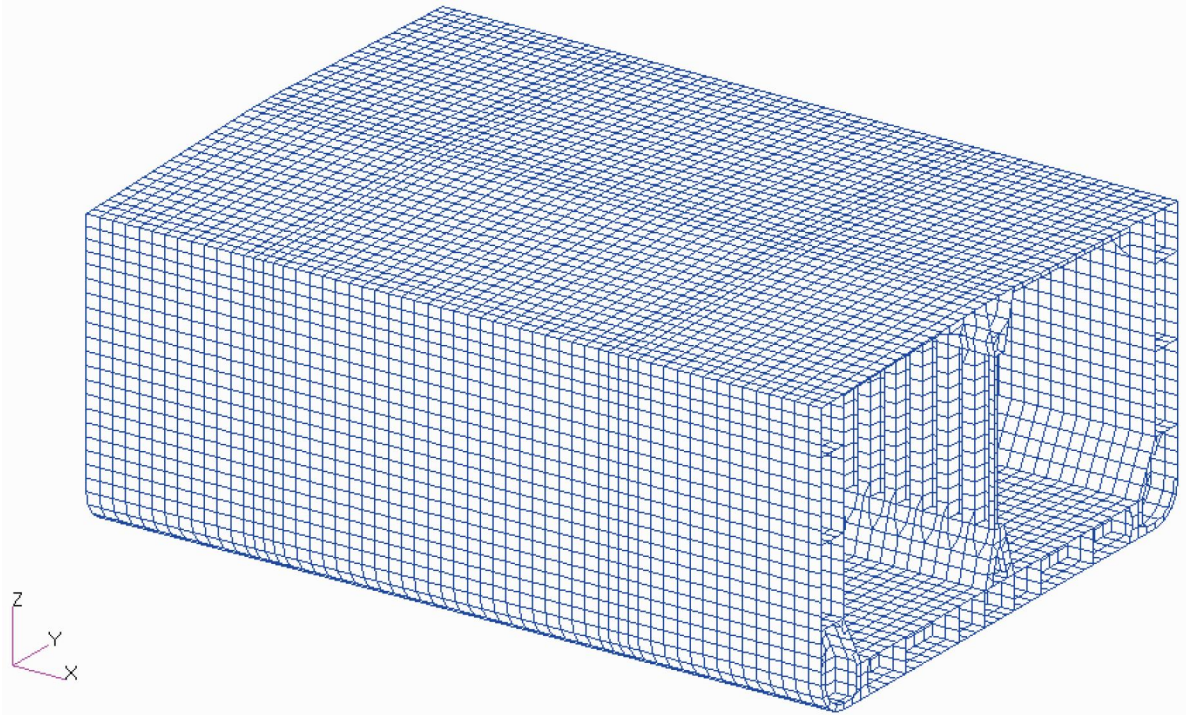


图 4.1.1 有限元模型

4.2 边界条件

4.2.1 纵中剖面对称边界条件

4.2.1.1 如果采用半宽模型，纵中剖面内节点的横向线位移、绕纵中剖面内两个坐标轴的角位移约束，即：$\delta_y = \theta_x = \theta_z = 0$；

4.2.1.2 如果采用全宽模型，中部货舱前后舱壁处纵中剖面与船底板的交点 G 的横向线位移约束，即：$\delta_y = 0$；

4.2.2 局部载荷工况边界条件（见表 4.2.2）

4.2.2.1 端面 A 与 B 施加对称面边界条件，端面内节点的纵向线位移、绕端面内两个坐标轴的角位移约束，即：$\delta_x = \theta_y = \theta_z = 0$；

4.2.2.2 舷侧外板、内壳板、纵舱壁与中部货舱前后舱壁交线上应设置垂向弹簧单元，弹簧单元弹性系数均匀分布，弹性系数按下式计算：

$$K = \frac{5GA}{6l_H n} \quad \text{N/mm}$$

式中：G——材料的剪切弹性模量；对于钢材，G=0.792×10^5 N/mm^2;

A——前后舱壁处舷侧外板、内壳板或纵舱壁板的剪切面积，mm^2；

l_H——中部货舱长度，mm；

n——舷侧外板、内壳板或纵舱壁板上垂向交线节点数量。

局部载荷边界条件 **表 4.2.2**

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
纵中剖面（半宽模型）	–	固定	–	固定	–	固定
节点 G（全宽模型）	–	固定	–	–	–	–
端面 A、B	固定	–	–	–	固定	固定
交线 C	–	–	弹簧	–	–	–

4.2.3 总体载荷工况边界条件(见表 4.2.3)

4.2.3.1 在端面 A 与 B 内中和轴与纵中剖面相交处建一个独立点 H，在独立点上施加总纵弯矩，端面各纵向构件节点自由度δ_x、δ_y、δ_z与独立点相关。

4.2.3.2 端面 A 与 B 内独立点 H 的横向线位移、垂向线位移、绕纵向轴的角位移约束，即： $\delta_y = \delta_z = \theta_x = 0$；端面 A 内独立点 H 纵向线位移约束，即 $\delta_x = 0$ 。

总体载荷边界条件 **表 4.2.3**

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
纵中剖面(半宽模型)	—	固定	—	固定	—	固定
节点 G(全宽模型)	—	固定	—	—	—	—
端面 A、B	相关	相关	相关	—	—	—
独立点 H(端面 A)	固定	固定	固定	固定	弯矩	—
独立点 H(端面 B)	—	固定	固定	固定	弯矩	—

4.2.4 模型边界条件见图 4.2.4。

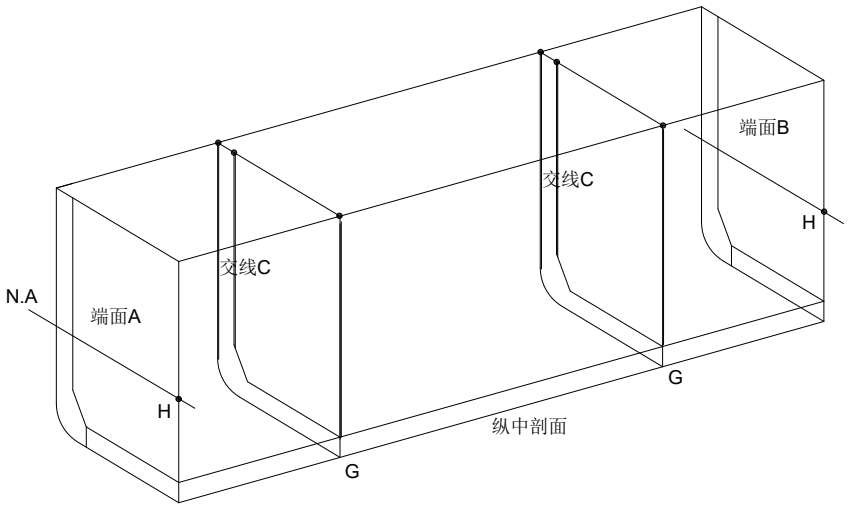


图 4. 2. 4 边界条件

5 屈服强度评估

5.1 许用应力

5.1.1　应对舱段模型纵向范围内中部货舱(含舱壁)内的所有主要构件进行强度评估，评估应力为将局部载荷工况应力与总体载荷工况应力按照本篇第 1 章 1.5.1.9（2）进行合成后的应力。

5.1.2　各主要构件的许用应力见表 5.1.2。

许用应力　　**表 5.1.2**

构件	许用应力(N/mm^2)	
	$[\sigma_e]$	$[\tau]$
甲板	220/K	—
船底外板、内底板	220/K	—
舷侧外板、内壳板、纵舱壁、双壳内平台	220/K	115/K
船底纵桁	235/K	115/K
双层底肋板	175/K	95/K
横舱壁	175/K	95/K
底凳、顶凳边板	195/K	95/K
横向强框架	195/K	95/K
其他	195/K	—

注：K ——材料系数。

6　屈曲强度评估

6.1　屈曲安全因子

6.1.1　构件的标准减薄厚度见表 6.1.1。

标准减薄厚度　　**表 6.1.1**

位置		标准减薄厚度(mm)
露天甲板下 1.5m 内	甲板、外板	1.0
	内壳、纵舱壁	2.0
	包括横舱壁在内的内部结构①	2.0
其他部位	外板	1.0
	内壳、纵舱壁	1.0
	包括横舱壁在内的内部结构①	1.0
注：①对于无涂层的油舱，如未安装惰性气体系统，标准减薄厚度应增加 1mm。		

6.1.2　板格屈曲安全因子λ应不小于表 6.1.2 中的最小屈曲安全因子。

最小屈曲安全因子　　**表 6.1.2**

构件	最小屈曲安全因子
甲板	0.8
船底板、内底板	0.8
舷侧外板、内壳板、底边舱斜板、纵舱壁	0.8
双层底纵桁、双壳内平台	1.0
横舱壁、底凳、顶凳	0.8
横向构件腹板，包括船中肋骨、舱壁水平桁与垂直桁腹板	1.0

第 6 章　单壳油船

第 1 节　一般规定

6.1.1　适用范围

6.1.1.1　本章适用于单壳单底或单壳双底的油船货油舱结构及与货油舱邻接的泵舱、压载舱、隔离舱的结构，但不包括不邻接货油舱的舱壁。

6.1.1.2　凡本章未规定者，还应符合本篇第 2 章和第 5 章的相关规定。

6.1.2　结构布置

6.1.2.1　有关分舱、货油舱尺度和双层底高度等应满足本篇第 1 章第 8 节的要求。

6.1.2.2　对于船长大于 65m 的油船，货油舱区域的甲板骨架、船底骨架和内底骨架应为纵骨架式，舷侧可为纵骨架式或横骨架式。对于船长小于 65m 的油船可全部采用横骨架式。

6.1.3　最小厚度

6.1.3.1　有关货油舱区域、泵舱、隔离空舱及其他空舱内构件的最小厚度应满足本篇第 5 章第 1 节 5.1.5 的要求。

第 2 节　外板和甲板

6.2.1　一般要求

6.2.1.1　货油舱区域横骨架式的外板和甲板厚度可按本节的有关规定确定。

6.2.2　船底板和舭列板

6.2.2.1　船中部 0.4L 区域内的船底板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.072sE^{-1}(L+170)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 7.0s\sqrt{(d+h_1)F_bK} \quad \text{mm}$$

式中：s——肋骨间距，m，计算时取值应不小于肋骨的标准间距；

d——吃水，m；

L——船长，m；

F_b——折减系数，见本篇第 2 章 2.2.5.6；

K——材料系数；

$E=1+\frac{s^2}{S^2}$，其中 S 为船底桁材或龙骨间距，m；

h_1——0.26C，计算时取不大于 0.2d；

C——系数，见本篇第 2 章 2.2.3.1。

6.2.2.2　舭列板的厚度应不小于按 6.2.2.1 计算所得的船底板的厚度，同时，也不小于相邻船底板的实际厚度。

6.2.3　平板龙骨

6.2.3.1　平板龙骨的宽度应不小于本篇第 5 章 5.2.3.1 的要求，厚度不应小于本节所要求的船底板厚度加 2mm，且均应不小于相邻船底板的厚度。

6.2.4　舷侧外板

6.2.4.1　船中部 0.4L 区域内舷侧外板厚度 t 应符合下述规定：

(1)　距基线 3D/4 以上的舷侧外板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.075sE^{-1}(L+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \qquad \text{mm}$$

$$t_2 = 4.2s\sqrt{(d+h_2)K} \quad \text{mm}$$

(2) 距基线 $D/4$ 以下的舷侧外板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.075sE^{-1}(L+110)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 6.3s\sqrt{(d+h_1)F_bK} \quad \text{mm}$$

式中：s、d、L、h_1、K——见本节 6.2.2.1；

F_b、F_d——折减系数，见本篇第 2 章 2.2.5.6；

h_2——$0.5C$，但不大于 $0.36d$；C 为系数，按本篇第 2 章 2.2.3.1 选取；

$E=1+\frac{s^2}{S^2}$，其中 S 为舷侧纵桁间距，m。

(3) 距基线 $D/4$ 以上，$3D/4$ 以下区域的舷侧外板厚度，由上述计算所得之值用内插法求得。

(4) 在计算 t_1 时，除第 2 章第 2 节规定的高强度钢最小范围外，材料系数 K 可取 1。

6.2.5 舷顶列板

6.2.5.1 舷顶列板的宽度应不小于 $0.1D$。舷顶列板厚度应不小于相邻舷侧外板厚度。

6.2.5.2 在船中部 $0.4L$ 区域内，舷顶列板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.086sE^{-1}(L+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 1.05s\sqrt{(L+75)K} \quad \text{mm}$$

式中：s、d、L、F_d、E、S、K——见本节 6.2.4.1。

6.2.6 强力甲板

6.2.6.1 在船中 $0.4L$ 区域内，强力甲板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$t_1 = 0.086sE^{-1}(L+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 4.2s\sqrt{DK} \quad \text{mm}$$

式中：s ——横梁间距，m，计算时取值应不小于肋骨的标准间距；

D——型深，m；

$E=1+\frac{s^2}{S^2}$，S 为甲板纵桁间距，m；

L、F_d、K——见 6.2.5.2。

6.2.6.2 强力甲板厚度一般应不小于按 6.2.5.2 计算所得的舷侧顶列板的厚度。

第 3 节 纵骨架式船底骨架

6.3.1 一般规定

6.3.1.1 本节适用于纵骨架式的单层底结构。

6.3.2 船底纵骨

6.3.2.1 船底纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=10sDl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；

D——型深，m；

l ——纵骨跨距，m；

K——材料系数。

6.3.2.2　船底纵骨与舱壁的连接应具有足够的刚性，且应保持其强度的连续性。若纵骨采用高强度钢时，则应连续贯穿横舱壁。

6.3.2.3　船底纵骨如在横舱壁处切断，应设置与横舱壁连接的肘板，肘板的尺寸应符合本篇 1.2.6 的要求，同时其折边宽度还应不小于其厚度 8 倍。

纵骨应与肋板腹板和肋板垂向加强筋焊接。

6.3.3　**肋板**

6.3.3.1　肋板间距应不大于 3.6m。

6.3.3.2　当在货油舱区域设置 1 道纵中舱壁时，肋板剖面模数 W 及惯性矩 I 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W = 11SDl^2K \quad \text{cm}^3$$
$$I = 10.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：S——肋板间距，m；

D——型深，m；

l——肋板跨距，m；

K——材料系数。

6.3.3.3　对货油舱区域设置 2 道纵舱壁的船舶，若中舱内设置符合本节 6.3.4.2 要求的连续中内龙骨时，中舱肋板的剖面模数 W 及其在纵舱壁跨距点处腹板的净剖面积 A 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W = C_1SDl^2K \quad \text{cm}^3$$
$$A = C_2SDlK \quad \text{cm}^2$$

式中：S ——肋板间距，m；

D——型深，m；

l——肋板跨距，m；

K——材料系数。

中内龙骨和肋板的弯矩系数 C_1 和切力系数 C_2，根据该舱肋板的道数和系数 C，查下表(中间值用内插法).其中系数 C 按下式计算：

$$C = \frac{l_G^3 I_F}{l_F^3 I_G}$$

式中：l_G——中内龙骨跨距，m；

l_F——肋板跨距，m；

I_G——中内龙骨剖面惯性矩，cm^4；

I_F——肋板剖面惯性矩，cm^4。

C			0.02	0.06	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
3道肋板	龙骨	C_1	8.99	8.99	8.53	7.60	6.91	6.20	5.74	5.27	4.96	4.65	4.43	4.19
		C_2	0.84	0.84	0.81	0.73	0.68	0.62	0.59	0.54	0.51	0.48	0.46	0.45
	肋板	C_1	1.55	1.74	1.98	2.48	2.85	3.22	3.47	3.66	3.84	4.03	4.15	4.28
		C_2	0.31	0.33	0.35	0.39	0.42	0.45	0.47	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53
5道肋板	龙骨	C_1	12.71	12.25	11.63	10.23	9.24	8.22	7.53	6.82	6.29	5.74	5.43	5.12
		C_2	1.43	1.39	1.33	1.21	1.12	1.03	0.97	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77
	肋板	C_1	1.55	1.86	2.23	2.79	3.16	3.53	3.78	4.03	4.22	4.40	4.53	4.59
		C_2	0.32	0.34	0.37	0.41	0.44	0.47	0.49	0.51	0.53	0.54	0.55	0.56

注：(1)　设 2 道肋板时，可按 3 道肋板计算，但中内龙骨的系数 C_1 可减小 20%，C_2 可减少 25%；

(2)　设 4 道肋板时，系数按内插法求得。

在肋板跨距中点剖面处腹板的净剖面积应不小于 $\left(\frac{1}{1.6C_2}-1\right)A$。上述 W 和 A 也可直接计算确定。

6.3.3.4　对在货油舱区域设置 2 道纵舱壁的船舶，其边舱肋板的尺寸(包括剖面模数和

跨距点处腹板的净剖面积)，一般应与中舱肋板相同。

6.3.3.5　肋板腹板的高度均应不小于船底纵骨开口高度的 2.5 倍。

6.3.3.6　肋板端部应设肘板与纵舱壁或舷侧连接。肘板应符合本篇 1.2.7 的要求。当与舷侧连接时，应尽可能构成环形框架。

边油舱内，当舷侧和纵舱壁为横骨架式时，边舱肋板在端部的升高应伸至最下一根舷侧纵桁及纵舱壁处最下一根水平桁；当舷侧和纵舱壁为纵骨架式时，边舱肋板与强肋骨、纵舱壁垂直桁和甲板强横梁应构成横向强肋框。横向强肋框在边舱肋板接合处的圆角半径一般应不小于邻接构件的腹板高度，接合处的面板应保持连续且截面积不小于肋板面板的截面积。

6.3.3.7　肋板腹板厚度应不小于 s/80(s 为加强筋间距)。在肋板腹板上一般应在纵骨位置单面设置垂直加强筋。当肋板腹板高度大于 $165t\sqrt{K}$ (t 为腹板厚度，K 为材料系数)时，则应在距面板 1/4 腹板高度处加设 1 根平行于面板的加强筋。

垂直加强筋和水平加强筋的尺寸应符合本篇第 5 章 5.12.2.5 的有关要求。

6.3.3.8　肋板在端肘板的趾端附近和其他部位一般按本篇 1.2.5.4 的有关规定应设置防倾肘板。

6.3.4　中内龙骨和旁内龙骨

6.3.4.1　当船长大于 70m 且设置 1 道纵中舱壁时，一般在其左、右舷约 1/4 船宽处应各设 1 道间断旁内龙骨。

6.3.4.2　对于不设纵中舱壁的油船，应设置连续中内龙骨。连续中内龙骨的剖面模数及腹板在任一剖面处的净剖面积 A 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 10SDblK \quad \text{cm}^3$$

$$A = 1.45bDSK \quad \text{cm}^2$$

式中：b ——支持宽度，m，取该处肋板在两舷侧的跨距点之间的距离之半；

S ——肋板间距，m；

D——型深，m；

l ——中内龙骨的跨距，m；

K——材料系数。

6.3.4.3　中内龙骨的腹板高度应不小于肋板的腹板高度，中内龙骨的腹板厚度应不小于肋板的腹板厚度加 2mm。

6.3.4.4　间断旁内龙骨的腹板厚度和面板尺度与该处的肋板相同，其高度可为肋板的一半。

6.3.5　中内龙骨的加强和端部连接

6.3.5.1　中内龙骨在肋板之间或肋板与横舱壁之间的中点处的两侧应设置坞墩肘板。该肘板应与适当的船底纵骨相连接，肘板应有面板或折边。肘板厚度与中内龙骨腹板厚度相同；

肘板的高度在中内龙骨的一侧应伸至中内龙骨的面板并与之焊接，在另一侧可中止于某一适当的水平加强筋处。

连续中内龙骨端肘板的趾端附近，还应设置防倾肘板。

6.3.5.2　在连续中内龙骨腹板的一面，应设置水平加强筋，在垂直桁腹板和端部肘板区域，还应适当地增设垂直加强筋。

水平加强筋的间距应不大于 $50t\sqrt{K}$ (t 为中内龙骨腹板厚度，K 为材料系数)。水平加强筋和垂直加强筋的尺寸应符合本篇第 5 章 5.12.2.5 的有关要求。

第 4 节　横骨架式船底骨架

6.4.1　一般规定

6.4.1.1　本节适用于横骨架式的单层底结构。

6.4.2　肋板

6.4.2.1　每个肋位处应设置实肋板，其在中纵剖面处的腹板高度 h、厚度 t 及面板剖面积 A 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$h=42(B+d)-70 \quad \text{mm}$$

$$t=(0.01h+3)\sqrt{K} \quad \text{mm，但不必大于 14mm}$$

$$A=(4.8d-3)K \quad \text{cm}^2$$

式中：B——船宽，m；

d——吃水，m；

K——材料系数。

6.4.2.2　肋板面板的厚度应不小于肋板腹板的厚度，面板宽度应不小于其厚度的 10 倍，但亦不必大于 15 倍。

6.4.3　中内龙骨和旁内龙骨

6.4.3.1　对于不设纵中舱壁的油船，应设置连续中内龙骨。在整个货油舱区域内，其腹板厚度 t 和面板剖面积 A 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t=\sqrt{LK}+2 \quad \text{mm，且不小于 6mm}$$

$$A=0.67LK \quad \text{cm}^2\text{，且不小于 12.5 cm}^2$$

式中：L——船长，m；

K——材料系数。

6.4.3.2　中内龙骨一般应贯通全船，在横舱壁处中断时应将中内龙骨的腹板在 1 个肋距内逐渐升高至舱壁处，该处高度应为原高度的 2 倍。中内龙骨的面板应延伸至舱壁，并作各 15° 的削斜，如图 6.4.3.2 所示。

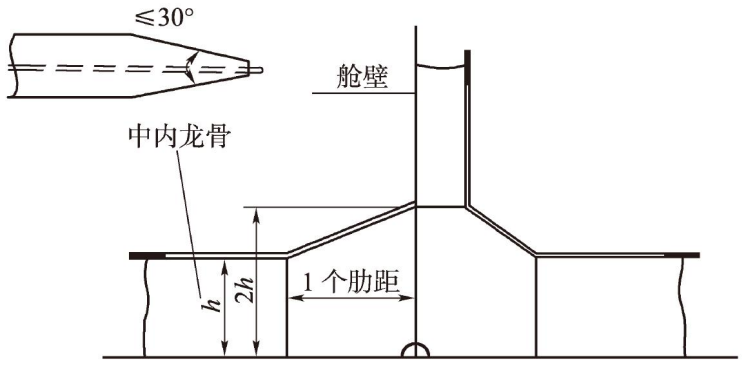


图 6.4.3.2

6.4.3.3　当船宽等于或小于 7m 时，可不设旁内龙骨；大于 7m 小于 12m，应在中内龙骨两侧至少各设 1 道旁内龙骨；当船宽大于 12m 时，应在中内龙骨两侧至少各设 2 道旁内龙骨。旁内龙骨应尽可能均匀设置并向首尾延伸。

6.4.3.4　旁内龙骨的高度与该处肋板高度相同。其腹板的厚度 t 和面板的面积 A，应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t=\sqrt{LK} \quad \text{mm 且不小于 6mm}$$

$$A=0.25L+5 \quad \text{cm}^2\text{ 且不小于 10cm}^2$$

式中：L——船长，m；

K——材料系数。

第 5 节　纵骨架式舷侧骨架

6.5.1　舷侧纵骨

6.5.1.1　舷侧纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=8.4s(h+1.2)l^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；

h ——从计算纵骨量至船中甲板边线的垂直距离，m，但不小于 2.5m；

l ——纵骨跨距，m；

K——材料系数。

6.5.1.2　舭部纵骨的尺寸，应由最下一根舷侧纵骨逐渐过渡到船底纵骨的尺寸。

6.5.1.3　当船底和舷侧采用纵骨架式而舭部不设纵骨时，该处的横向强力构件或相当舭肘板的间距应符合本篇第 5 章 5.4.4.1 的要求。

6.5.1.4　舷侧纵骨在横舱壁处切断时，应用肘板与横舱壁连接。肘板的臂长应较本篇 1.2.6 的要求增大 20%，同时其折边的宽度还应不小于其厚度的 8 倍。

舷侧纵骨应与强肋骨腹板焊接。

6.5.2　强肋骨

6.5.2.1　强肋骨应设置在纵骨架式船底的每个实肋板平面内。

6.5.2.2　强肋骨剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=CS(h+1.2)l^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S——强肋骨间距，m；

h——强肋骨跨距中点至甲板边线的垂直距离，m；

l——强肋骨跨距，m；

C——系数，无水平撑材时 $C=11$；有 1 根水平撑材时，$C=3.2$；有 2 根水平撑材时 $C=3$；

K——材料系数。

6.5.2.3　强肋骨的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=7.5Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W——强肋骨剖面模数，cm^3；

l——强肋骨跨距，m；

K——材料系数。

6.5.2.4　强肋骨端肘板趾端附近、撑杆处和其他部位一般应按本篇 1.2.5.4 的有关规定设置防倾肘板。

6.5.2.5　强肋骨腹板厚度应不小于 $s/80$(s 为加强筋间距或无扶强的腹板高度，mm)。在强肋骨腹板上一般应单面在每根纵骨处设置垂直于面板的加强筋。当强肋骨腹板高度超过 $165t\sqrt{K}$ (t 为腹板厚度，K 为材料系数)时，应在离面板 1/4 腹板高度处加设 1 根平行面板的加强筋。加强筋的尺度应符合本篇第 5 章 5.12.2.5 的有关要求。

6.5.2.6　强肋骨与强横梁及肋板连接应尽可能构成横向强肋框，横向强肋框在接合处的圆角半径一般应不小于邻接构件的腹板高度。强肋骨上端肘板如采用独立肘板，则其肘板尺寸应符合本篇 1.2.7 的规定。

连接肋板的肘板按本章 6.3.3.6 的规定。

6.5.3　撑材

6.5.3.1　在舷侧强肋骨与纵舱壁垂直桁之间，如设置水平撑材时，水平撑材的尺寸、扶强及端部连接应分别符合本篇第 5 章的有关要求。

第 6 节　横骨架式舷侧骨架

6.6.1　肋骨

6.6.1.1　肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=11s(h+1.2)l^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——肋骨间距，m；

h——从肋骨的跨距中点量至甲板边线的垂直距离，m，但取值不小于 2.5m；

l——肋骨跨距，m，但取值不小于 2.5m；

K——材料系数。

当设置强肋骨时，肋骨剖面模数可较上式计算所得之值减小 15%。

在肋板及强横梁平面内的肋骨剖面模数建议予以适当增大。

6.6.1.2　用以连接肋骨与强横梁的肘板，其高度及宽度一般应不小于强横梁腹板高度。

6.6.1.3　不在肋板及强横梁平面内的肋骨，应以肘板与甲板和船底连接，肘板的臂长应较本篇 1.2.6 的要求增大 20%。与甲板连接的肘板应有不小于 80mm 的面板或折边，且应延伸至甲板的最近 1 根纵骨，并与之焊接。

舭肘板应延伸至船底最近 1 根纵骨，并与之焊接，同时舭部肘板还应盖住整个舭部。舭部肘板的面板宽度应不小于 120mm。

6.6.1.4　肋骨下端如与舭部肘板搭接时，其搭接长度应不小于肋骨高度的 2 倍。肋骨应与舷侧纵桁腹板焊接。

6.6.2　强肋骨

6.6.2.1　当型深大于 11m 时，或当油密或非油密横舱壁间距大于 15m 时，应在纵骨架式船底的实肋板平面内设置符合本章 6.5.2 规定的强肋骨；如船底采用横骨架式时，则其舷侧骨架的加强将作特殊考虑。若强肋骨不支持舷侧纵桁，则强肋骨的剖面模数可比 6.5.2.2 要求之值减小 20%。

强肋骨腹板上的防倾肘板参照本章 6.5.2.4 规定。

强肋骨腹板上的加强筋参照本章 6.5.2.5 规定。

强肋骨与强横梁及肋板连接的肘板参照本章 6.5.2.6 规定。

6.6.3　舷侧纵桁

6.6.3.1　当型深小于等于 7.5m 时，应设 1 道舷侧纵桁，但当型深小于 6.0m 时，可不设舷侧纵桁。

当型深大于 7.5m 时，一般应设 2 道舷侧纵桁。

6.6.3.2　舷侧纵桁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=12b(h+1.2)l^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：b ——支持宽度，m，取与计算纵桁相交的肋骨上下段总长度之半；

h ——自舷侧纵桁量至中纵剖面处舱顶的垂直距离，m；

l ——舷侧纵桁跨距，m，当设有强肋骨时取为强肋骨间距；

K——材料系数。

具有 2 道或 2 道以上舷侧纵桁时，则其最上面 1 道舷侧纵桁的剖面模数应比上式求得之值增大 20%。

6.6.3.3　舷侧纵桁腹板高度应不小于肋骨穿过舷侧纵桁的开口高度的 2.5 倍。

6.6.3.4　舷侧纵桁端肘板趾端附近、撑杆处和其他部位一般应按本篇第 1 章 1.2.5.4 的有关规定设置防倾肘板。

6.6.3.5　舷侧纵桁腹板厚度应不小于 s/80(s 为加强筋间距或无扶强的腹板高度，mm)。在舷侧纵桁腹板上一般应单面在每根肋骨处设置垂直于面板的加强筋。当舷侧纵桁腹板高度超过 $165t\sqrt{K}$ (t 为腹板厚度，K 为材料系数)时，应在离面板 1/4 腹板高度处加设 1 根平行于面板的加强筋。加强筋的尺度应符合本篇第 5 章 5.12.2.5 的有关要求。

6.6.3.6　舷侧纵桁末端与横舱壁的连接应符合下述要求：当舷侧纵桁与横舱壁板连接时，舷侧纵桁在距舱壁板约 1 个腹板高度范围内逐渐升高至原高度的 2 倍，纵桁腹板应与舱壁板焊接，纵桁面板应延伸至舱壁；如舷侧纵桁与横舱壁上水平桁连接时，应符合本篇 1.2.7 的要求。

6.6.4　撑材

6.6.4.1　在舷侧纵桁与纵舱壁水平桁之间设置水平撑材时，水平撑材的尺寸、扶强及端部连接应分别符合本篇第 5 章的有关要求。

第 7 节　横骨架式甲板骨架

6.7.1　甲板横梁

6.7.1.1　货油舱区域的甲板横梁的剖面模数和惯性矩应不小于下列各式计算所得之值：

$$W=10.8shl^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I=2.3Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：s ——横梁间距，m；

h ——甲板计算压头，m，按本篇 2.8.1.1 确定，但不小于油舱呼吸阀的设定压力；

l ——横梁跨距，m，但不小于 2.5m；

K——材料系数。

6.7.1.2　甲板横梁应用肘板与舷侧肋骨相连接。肘板的尺寸应符合本章 6.6.1.3 的要求。甲板横梁应贯穿连续甲板纵桁，并与连续甲板纵桁焊接。

6.7.2　甲板纵桁

6.7.2.1　强力甲板上一般应在船底纵桁的同一纵剖面上设置连续甲板纵桁。

6.7.2.2　连续甲板纵桁的剖面模数和惯性矩应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=12bhl^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I=2.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：b ——甲板纵桁支承面积的平均宽度，m；

h ——甲板计算压头，m，与本节 6.7.1.1 相同；

l ——甲板纵桁跨距，m；

K——材料系数。

6.7.2.3　甲板纵桁的腹板高度一般应不小于甲板横梁开口高度的 2.5 倍。

6.7.2.4　甲板纵桁与横舱壁或横舱壁垂直桁的连接应符合本篇 1.2.7 的要求。

6.7.2.5　甲板纵桁应按本篇 1.2.5.4 的规定设置防倾肘板。

第 8 节　凸型甲板结构

6.8.1　一般规定

6.8.1.1　凸型甲板结构如图 6.8.1.2 所示。它作为强力甲板的一部分，应有效地嵌入主船体的结构内。

6.8.1.2　当设有凸型甲板时，计算型深 D_1 应从基线量至相当甲板。相当甲板的位置按下式确定：

$$D_1=D+0.6\frac{b_t h_t}{B}, \qquad \text{当}\frac{b_t}{B}\leqslant 0.8\text{ 时；}$$

$$D_1=D+h_t(2.6\frac{b_t}{B}-1.6), \qquad \text{当}\frac{b_t}{B}>0.8\text{ 时。}$$

式中：D、B ——分别为型深和船宽，m；

b_t、h_t ——分别为凸型甲板的平均宽度和高度，m，见图 6.8.1.2。

6.8.1.3　当计算舷侧、甲板、船底和舱壁的构件尺寸时，若计算公式中涉及型深 D，应采用计算型深 D_1 代替；若计算压头取至甲板边线时，计算压头应增加(D_1-D)。

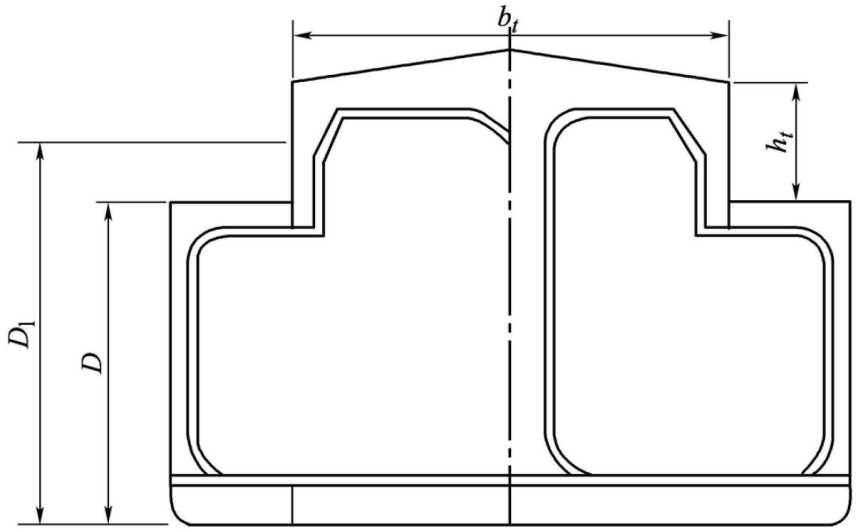


图 6.8.1.2

6.8.2 **结构布置**

6.8.2.1 凸型甲板结构一般应在整个货油舱长度内分布，并向两端作有效的延伸。凸型甲板的侧壁板在两端的延伸长度一般应不小于其高度的 1.5 倍，并构成圆弧形的延伸肘板。延伸肘板应有面板或折边。

6.8.2.2 凸型甲板和侧壁一般应采用纵骨架式。凸型甲板的横向强力构件应与甲板强横梁布置在同一平面内。

6.8.2.3 凸型甲板的侧壁与强力甲板的连接处的结构布置，应使结构具有足够的刚度和强度的连续性。

6.8.2.4 当甲板采用纵骨架式，舷侧采用横骨架式时，在甲板的强横梁位置应设置强肋骨。确定甲板强横梁尺寸的计算跨距应从舷侧的跨距点量至纵舱壁。同时，在凸型甲板的侧壁处应设置连续甲板纵桁。连续甲板纵桁的腹板高度应不小于甲板强横梁的腹板高度。连续甲板纵桁的面板剖面积应不小于甲板强横梁面板的剖面积。

6.8.2.5 在凸型甲板的前后端处应设置延伸肘板和加强的垂直扶强材或相当结构，以保证凸型甲板的结构与主船体和上层建筑之间的强度连续性。在前后端壁处，强力甲板应按本篇 2.4.4 的要求在甲板开口的角隅处作圆弧过渡。

6.8.2.6 若凸型甲板的强力构件或纵向扶强材布置在外侧时，其布置和构件尺寸应特殊考虑。

6.8.3 **构件尺寸**

6.8.3.1 凸型甲板和侧壁板的厚度以及侧壁外强力甲板的厚度应满足本篇第 5 章第 3 节的要求。

6.8.3.2 凸型甲板的纵骨和强横梁的尺寸应不小于本篇第 5 章第 6 节强力甲板的甲板骨架的相应要求。

6.8.3.3 船中 0.4L 区域内的各横剖面在凸型甲板和龙骨处的船体中剖面模数应满足本篇第 2 章第 2 节的相应要求，凸型甲板内的所有纵向连续构件均可计入船体中剖面模数内。

第 7 章　集装箱船

第 1 节　一般规定

7.1.1　适用范围

7.1.1.1　本章的规定适用于在货舱内和甲板上载运标准集装箱的船舶。

7.1.1.2　对于本章中无规定者，均应符合本篇第 2 章的有关要求。

7.1.1.3　对集装箱船使用厚度大于 50mm 且不超过 100mm、最小屈服强度大于 355 N/mm^2 的高强度钢时，应满足 CCS《船用高强度钢厚板应用指南》的要求。

7.1.1.4　对集装箱船强力甲板和舱口围板使用屈服强度 390 N/mm^2 的高强度钢时，按本篇第 1 章第 3 节 1.3.1 要求，材料系数 K 可取为 0.66，但应满足以下条件：

（1）板厚大于 50mm；

（2）对上述 390 N/mm^2 高强度钢区域，应采用疲劳谱分析方法进行评估，评估位置除本章附录 2 中 4.1.5 要求外，还应增加舱口围板与支撑构件连接处，以及其他受船体梁弯扭响应较大的关键位置；

（3）应按 CCS《船体结构建造监控指南》的要求对甲板和舱口围的关键位置进行建造监控。

7.1.2　图纸资料

7.1.2.1　除本篇第 2 章第 1 节规定的图纸资料外，还应将下列图纸提交批准：

(1)　集装箱的装载布置图；

(2)　集装箱底座受力处的结构加强图；

(3)　箱格导轨的布置和结构连接图。

7.1.3　布置及结构形式

7.1.3.1　本章所要求的船体基本结构形式为双层底和双层壳舷侧结构，且在双层壳舷侧的顶部应设置有效的抗扭箱结构。在保证船体结构强度的情况下，也可用双层底和具有抗扭箱或其他等效结构的单层壳舷侧结构代替。

7.1.3.2　在舷侧顶部应采用纵骨架式，且对于船长大于 100m 的船舶，在双层底内也应采用纵骨架式。

7.1.3.3　除敞口集装箱船外，船体在水动力扭矩作用下，强力甲板舱口的平均扭转角一般不超过 0.006°/m，强力甲板舱口的对角线伸长一般不超过 35mm。

7.1.4　船体结构强度直接计算和疲劳强度评估

7.1.4.1　船长为 150m 及以上或者强力甲板舱口宽度大于 0.85*B*(*B* 为船宽)时，应按本章附录 2 进行舱段有限元结构强度直接计算。

船长为 150m 及以上的集装箱船应按 CCS《船体结构疲劳强度指南》，对其货舱区域的下述部位进行疲劳强度校核：

(1) 纵骨(船底、舷侧、甲板及内壳)与横向强框架的连接部位；

(2) 纵骨(船底、舷侧、甲板及内壳)与横舱壁的连接部位；

(3) 内壳与内底板连接处。

7.1.4.2　符合下列条件之一的集装箱船，还应按本章附录 2 进行整船有限元结构强度直接计算和疲劳强度评估：

(1) 船长 L 大于 250m；

(2) 船宽 B 大于 32.26m；

(3) 强力甲板舱口宽度大于 0.89B(B 为船宽)；

(4) 结构布置非常规形式。

第 2 节　总纵强度

7.2.1　一般规定

7.2.1.1　适用范围

（1）适用范围

本节适用船长 90 米及以上的集装箱船和主要以集装箱载运货物的船舶。船长等于或大于 65 米且小于 90 米的集装箱船，其总纵强度要求见第 2 章第 2 节。

（2）波浪载荷适用条件

本节 7.2.2.3 中给出的波浪载荷适用于满足下述条件的船舶：

船长　　$90\ m \le L \le 500\ m$

尺度比　　$5 \le L/B \le 9$；$2 \le B/d \le 6$

方形系数　　$0.55 \le C_b \le 0.9$

对于不满足上述条件的船舶，可要求进行特殊考虑，例如采用直接计算方法。

（3）强度评估的纵向范围

应评估 0.2L~0.75L 船长范围的刚度、屈服强度、屈曲强度和船体梁极限强度，应校核船体横剖面显著变化的位置，如骨架形式变化处，双岛设计中前甲板室的前后端处。

此外，上述区域以外也应当进行强度评估，最少应包括最前部货舱的前端和最后部货舱的后端。

（4）对于船长 90 米及以上的集装箱船和主要以集装箱载运货物的船舶，其船体梁的船中最小剖面模数 W_0 应满足本篇第 2 章第 2 节的要求。

7.2.1.2　符号和定义

（1）符号

L —— 船长，m，见第 1 章 1.1.2

B —— 型宽，m，见第 1 章 1.1.2

C —— 波浪参数，见 7.2. 2.3(1)

d —— 吃水,m，见第 1 章 1.1.2

C_b —— 方形系数，见第 1 章 1.1.2

C_W —— 吃水 d 处的水线面系数 $C_W = A_W/(LB)$

A_W —— 吃水 d 处的水线面面积，m^2

R_{eH} —— 材料最小屈服应力，N/mm^2

K —— 材料系数

E —— 杨氏模量，钢材 $E = 2.06 \times 10^5$ N/mm^2

M_S —— 航行工况中所考虑横剖面的垂向静水弯矩， kN·m

M_{Smax}，M_{Smin}——航行工况中所考虑横剖面的许用最大最小垂向静水弯矩，kN·m，见 7.2.2.2(2)

M_W——所考虑横剖面的垂向波浪弯矩，kN·m

F_S——航行工况中所考虑横剖面的垂向静水剪力，kN

F_{Smax}，F_{Smin}——航行工况中所考虑横剖面的许用最大最小垂向静水剪力，kN，见 7.2.2.2(2)

F_W——所考虑横剖面的垂向波浪剪力，kN

q_v——所考虑横剖面处的剪流，按本章附录 3 计算

f_{NL-Hog}——中拱非线性修正因子，见 7.2.2.3（2）

f_{NL-Sag}——中垂非线性修正因子，见 7.2.2.3（2）

f_R——折减因子，见 7.2.2.3（2）

t_{net}——净厚度，mm，见 7.2.1.3（1）

t_{res}——储备厚度，取 0.5mm

I_{net}——所考虑横剖面的船体梁净垂向惯性矩，m^4，按 7.2.1.3 规定的净尺寸计算

σ_{HG}——船体梁弯曲应力，N/mm^2，定义见 7.2.2.5

τ_{HG}——船体梁剪切应力，N/mm^2，定义见 7.2.2.5

x——所考虑位置的纵向坐标，m

z——所考虑位置的垂向坐标，m

z_n——水平中和轴距基线的距离,m

（2）首端与尾端

规范船长 L 的首端（FE），如图 7.2.1.2（1）所示，是首柱前端至结构吃水水线的垂线。

规范船长 L 的尾端（AE），如图 7.2.1.2（1）所示，是距离首端 L 处至结构吃水水线的垂线。

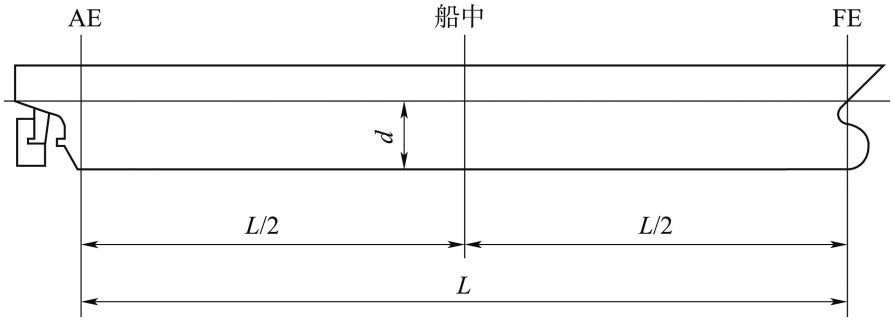


图 7.2.1.2（1） 船长 L 的端部

（3）参考坐标系统

船舶的几何尺寸、载荷以及载荷效应按下述右手坐标系统定义（见图 7.2.1.2（2））

原点：船舶对称纵剖面、船长 L 尾端和基线的相交处

X 轴：纵向轴，向前为正

Y 轴：横向轴，向左为正

Z 轴：垂向轴，向上为正

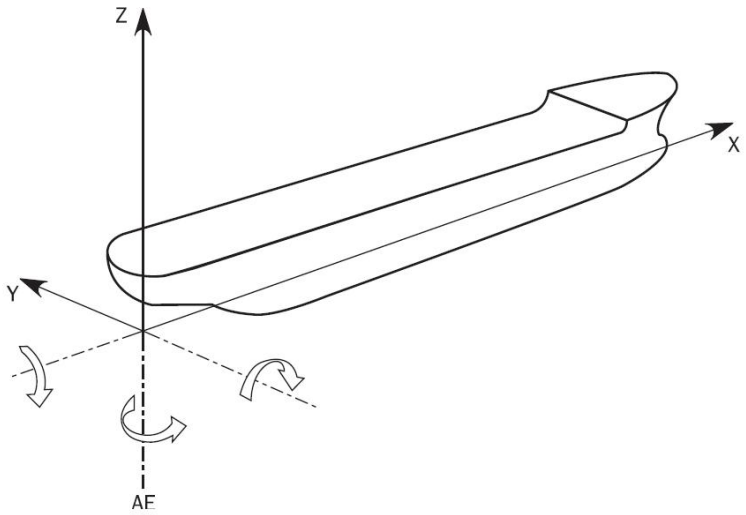


图 7.2.1.2（2） 参考坐标系统

7.2.1.3 腐蚀增量和净厚度

（1）净尺寸定义

强度评估采用所有构件的净尺寸。

板材、骨材腹板和面板的净厚度系指建造厚度减去自愿增加厚度 t_{vol_add} 和一定比例的腐蚀增量 t_c 后得到的厚度，按下式计算：

$$t_{net} = t_{as_built} - t_{vol_add} - \alpha t_c$$

式中：α ——腐蚀增量因子，取值见表 7.2.1.3（1）。

如采用自愿增加厚度，应明确标示在图纸中。

腐蚀增量因子 **表 7.2.1.3（1）**

结构要求	特性/分析类型	α
屈服强度(7.2.3)	剖面特性	0.5
屈曲强度(7.2.4)	剖面特性 (应力计算)	0.5
	屈曲能力	1.0
船体梁极限强度(7.2.5)	剖面特性	0.5
	屈曲/崩溃能力	0.5

（2）腐蚀增量确定

表 7.2.1.3（2）规定了结构构件两侧的腐蚀增量，t_{c1} 或 t_{c2}。结构构件两侧的总腐蚀增量 t_c，mm，按下式计算：

$$t_c = \left(t_{c1} + t_{c2}\right) + t_{res}$$

对舱室内部构件，总腐蚀增量 t_c 按下式计算：

$$t_c = 2t_{c1} + t_{res}$$

骨材的腐蚀增量由其与带板连接处的位置确定。

构件单侧的腐蚀增量　　表 7.2.1.3（2）

舱室类型	一侧的腐蚀增量，t_{c1} 或 t_{c2}（mm）
暴露于海水	1.0
暴露于大气	1.0
压载水舱	1.0
空舱和干舱	0.5
淡水舱、燃油舱和滑油舱	0.5
居住处所	0.0
集装箱货舱	1.0
除上述外的其他舱室	0.5

（3）净剖面特性确定

支撑构件的净剖面模数、净惯性矩和净剪切面积计算应采用带板、腹板和面板的净厚度，如图 7.2.1.3 所示。计算净剖面积、平行于带板方向的净惯性矩和相关中和轴位置时，应假设从型材剖面的表面扣除 $0.5\alpha t_c$ 的腐蚀增量。

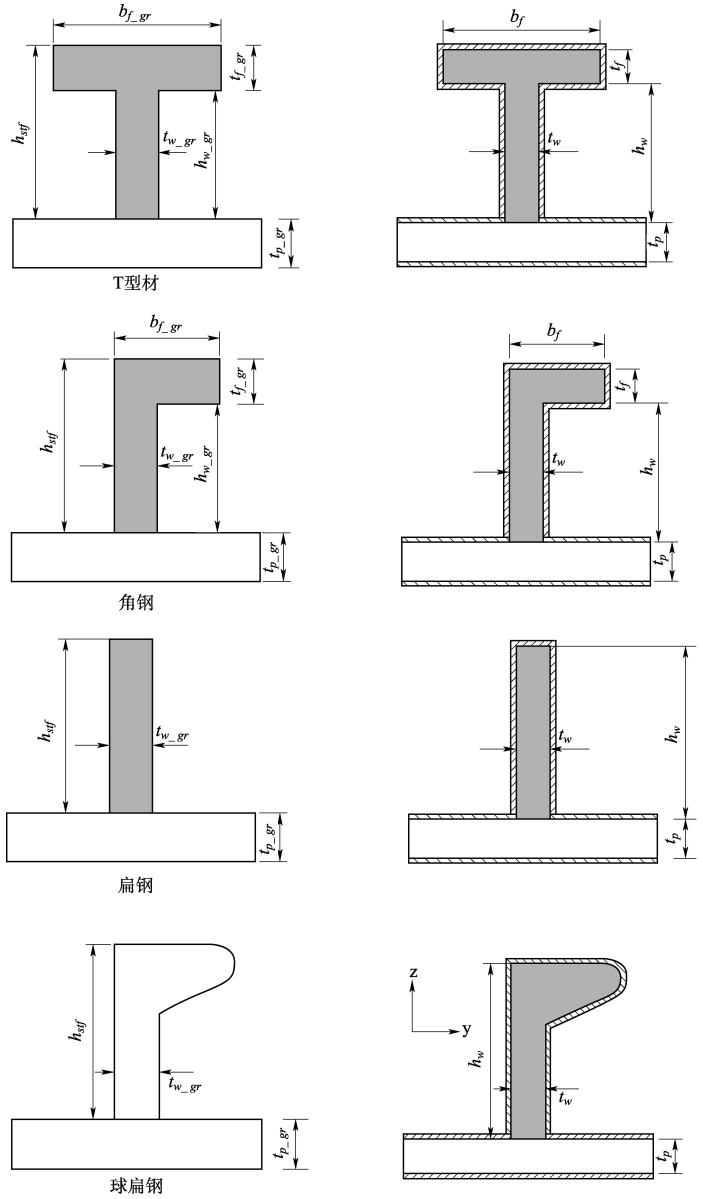


图 7.2.1.3　支撑构件的净剖面特性

7.2.2 载荷

7.2.2.1 船体梁载荷符号约定

船舶任意横剖面处的垂向弯矩、垂向剪力的符号约定如图 7.2.2.1，即：

- 垂向弯矩 M_S 和 M_W 在强力甲板产生拉应力（中拱弯矩）时为正；在船底产生拉应力（中垂弯矩）时为负
- 垂向剪力 F_S 和 F_W 在所考虑的横剖面之后作用的合力向下或在所考虑的横剖面之前作用的合力向上时为正，反之则为负。

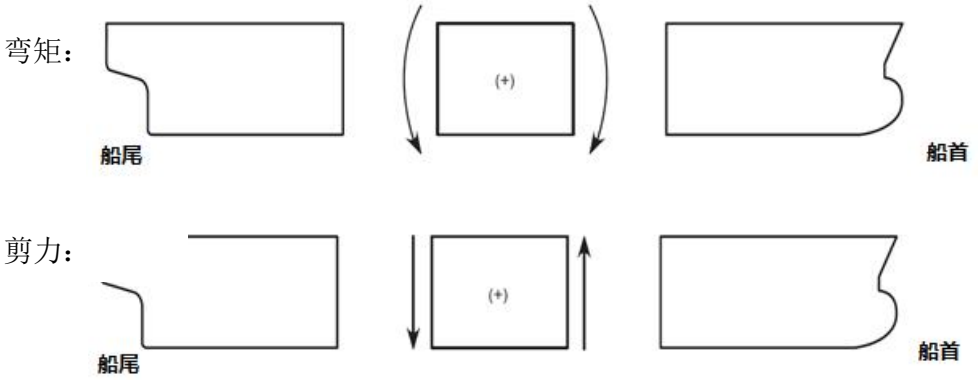


图 7.2.2.1 弯矩和剪力的符号约定

7.2.2.2 静水弯矩和剪力

（1）一般要求

应按 7.2.2.2（2）中规定的设计装载工况，计算船长范围内的各横剖面的静水弯矩（M_S，kN·m）、静水剪力（F_S，kN）。

（2）设计装载工况

通常，基于出港和到港的燃料、淡水和备品数量的设计载货和压载工况，应在计算 M_S 和 F_S 时考虑。如果认为任一航行中间阶段的消耗品数量和配置更加不利，则除了出港和到港工况计算书外，还应提交该中间阶段的工况计算书。如拟在航行途中进行压制和排压载，应提交任一压载水舱和/或排压载前后的中间工况计算书，批准后应纳入装载手册中作为指导。

航行工况中在任意纵向位置处的许用垂向静水弯矩 M_{Smax} 和 M_{Smin}，许用垂向静水剪力 F_{Smax} 和 F_{Smin}，应包络：

- 装载手册定义的航行工况中最大、最小静水弯矩和剪力
- 设计方给定的最大、最小静水弯矩和剪力

装载手册应包含相关的装载工况，包络航行工况以及第 2 章第 2 节 2.2.2.3 规定装载工况的船体梁静水载荷。

7.2.2.3　波浪载荷

（1）波浪参数

波浪参数定义如下：

$$C = 1 - 1.50\left(1 - \sqrt{\frac{L}{L_{ref}}}\right)^{2.2} \quad ，当 L \le L_{ref} 时$$

$$C = 1 - 0.45\left(\sqrt{\frac{L}{L_{ref}}} - 1\right)^{1.7} \quad ，当 L > L_{ref} 时$$

式中：L_{ref}——参考船长，m，取：

$L_{ref} = 315C_W^{-1.3}$ ，当按 7.2.2.3（2）计算垂向波浪弯矩时

$L_{ref} = 330C_W^{-1.3}$ ，当按 7.2.2.3（3）计算垂向波浪剪力时

（2）垂向波浪弯矩

垂向波浪弯矩 M_W，kN·m，沿船长分布如图 7.2.2.3（2），其中：

$$M_{W-Hog} = +1.5 f_R L^3 C C_W \left(\frac{B}{L}\right)^{0.8} f_{NL-Hog}$$

$$M_{W-Sag} = -1.5 f_R L^3 C C_W \left(\frac{B}{L}\right)^{0.8} f_{NL-Sag}$$

式中: f_R——折减因子，取：

$$f_R = 0.85$$

f_{NL-Hog}——中拱非线性修正因子，取：

$$f_{NL-Hog} = 0.3\frac{C_B}{C_W}\sqrt{d} \quad ，且不大于1.1$$

f_{NL-Sag}——中垂非线性修正因子，取：

$$f_{NL-Sag} = 4.5\frac{1 + 0.2 f_{Bow}}{C_W\sqrt{C_B}L^{0.3}} \quad ，且不小于 1.0$$

f_{Bow}——船首外飘因子，取：

$$f_{Bow} = \frac{A_{DK} - A_{WL}}{0.2 L z_f}$$

A_{DK}——从 $0.8L$ 到船首范围内最上层甲板水平投影面积，m^2，包括首楼甲板（如有时），

如图 7.2.2.3（1）所示，不包括平板舷墙等结构。

A_{WL}——吃水 d 处从 0.8 L 到船首范围内的水线面面积，m^2；

z_f——在 FE 处（如图 7.2.2.3（1）所示），从吃水 d 处水线量至最上层甲板（或者首楼甲板）的垂向距离，m，不包括平板舷墙等结构。

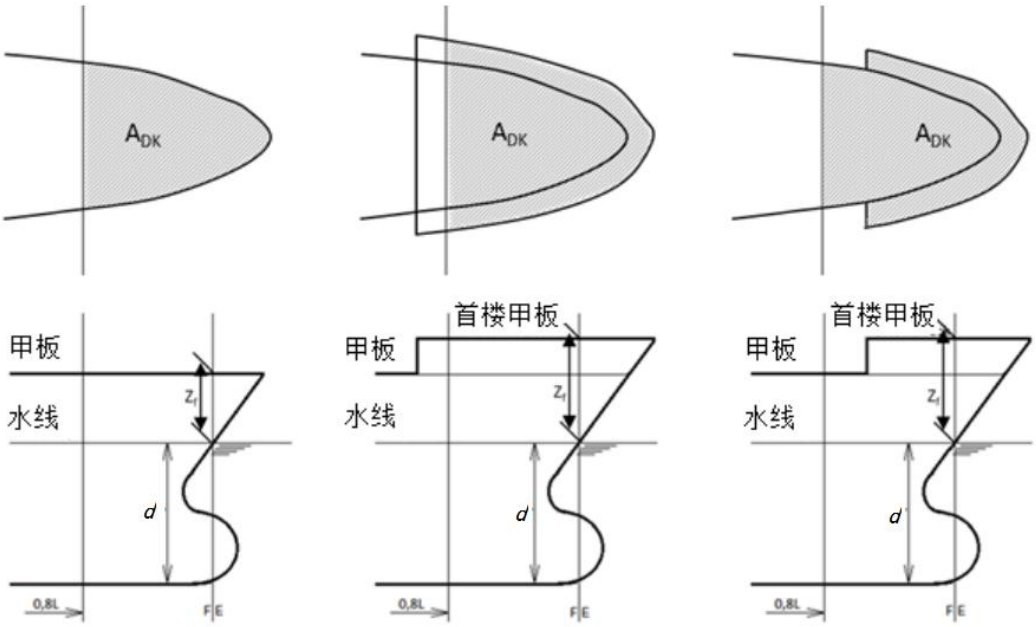


图 7.2.2.3（1）　投影面积 A_{DK} 与垂向距离 z_f

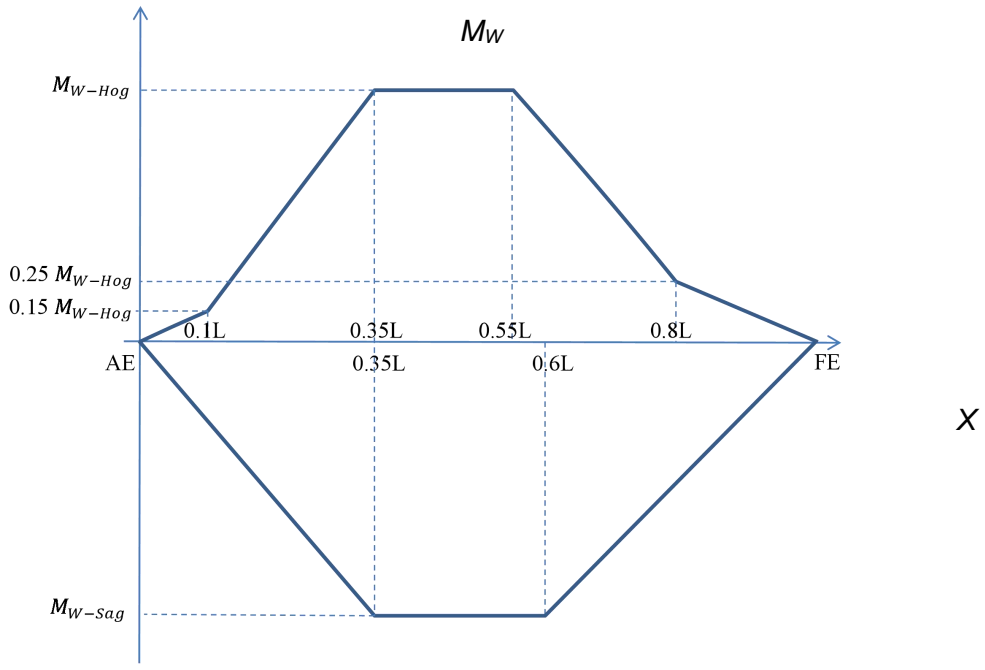


图 7.2.2.3（2）　垂向波浪弯矩 M_W 沿船长的分布

（3）垂向波浪剪力

垂向波浪剪力 F_W，kN，沿船长分布如图 7.2.2.3（3）所示，其中：

$$Fw_{Hog}^{Aft} = +5.2 f_R L^2 C C_W \left(\frac{B}{L}\right)^{0.8} \left(0.3 + 0.7 f_{NL-Hog}\right)$$

$$Fw_{Hog}^{Fore} = -5.7 f_R L^2 C C_W \left(\frac{B}{L}\right)^{0.8} f_{NL-Hog}$$

$$Fw_{Sag}^{Aft} = -5.2 f_R L^2 C C_W \left(\frac{B}{L}\right)^{0.8} \left(0.3 + 0.7 f_{NL-Sag}\right)$$

$$Fw_{Sag}^{Fore} = +5.7 f_R L^2 C C_W \left(\frac{B}{L}\right)^{0.8} \left(0.25 + 0.75 f_{NL-Sag}\right)$$

$$Fw^{Mid} = +4.0 f_R L^2 C C_W \left(\frac{B}{L}\right)^{0.8}$$

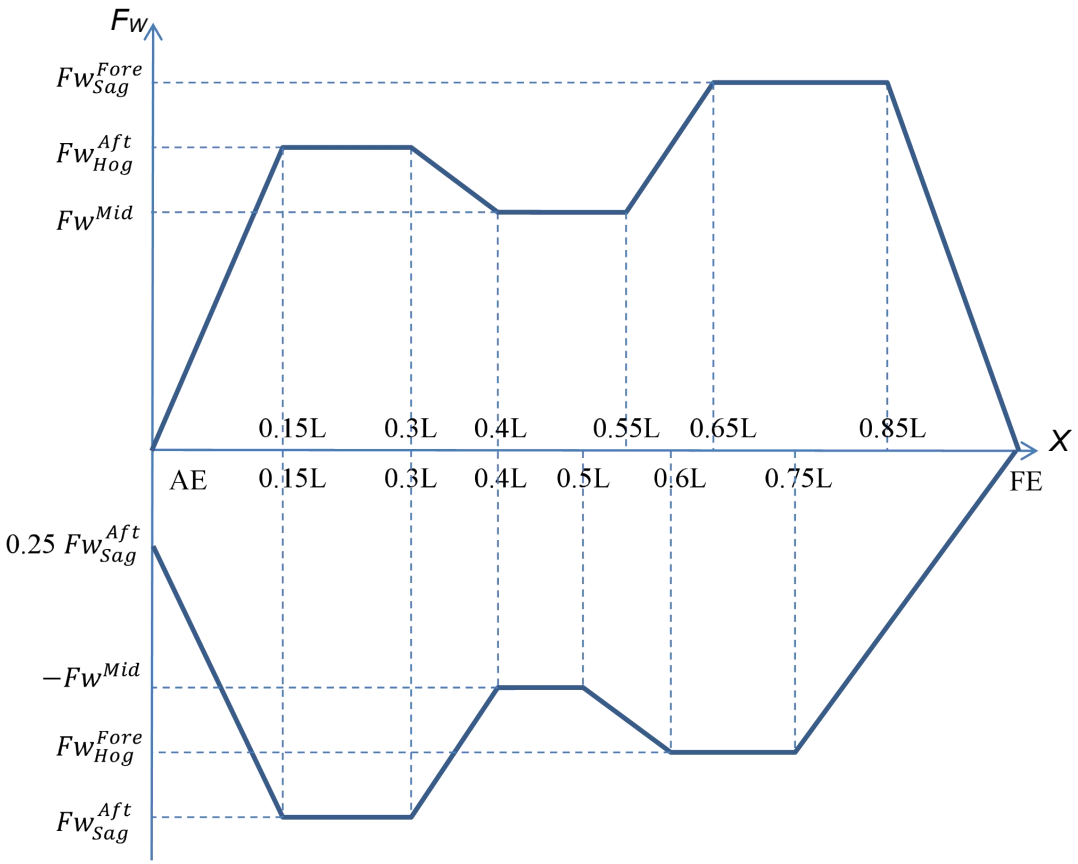


图 7.2.2.3（3）　垂向波浪剪力沿船长的分布

7.2.2.4　载荷工况

强度评估应校核表 7.2.2.4 给定的最大中拱与中垂工况。对于每一个载荷工况，任一横剖面应组合 7.2.2.2 规定的静水载荷与 7.2.2.3 规定的波浪载荷，参考图 7.2.2.4。

静水与波浪弯矩/剪力的组合　　表7.2.2.4

载荷工况	弯矩		剪力	
	M_S	M_W	F_S	F_W
中拱	M_{Smax}	M_{WH}	F_{Smax} ，当x ≤ 0.5L	F_{Wmax}，当x ≤ 0.5L
			F_{Smin} ，当x > 0.5L	F_{Wmin} ，当x > 0.5L
中垂	M_{Smin}	M_{WS}	F_{Smin} ，当x ≤ 0.5L	F_{Wmin} ，当x ≤ 0.5L
			F_{Smax} ，当x > 0.5L	F_{Wmax} ，当x > 0.5L
M_{WH}: 所考虑横剖面的中拱波浪弯矩, 取正值，M_W见图7.2.2.3（2）				
M_{WS}: 所考虑横剖面的中垂波浪弯矩, 取负值，M_W见图7.2.2.3（2）				
F_{Wmax}: 所考虑横剖面的最大波浪剪力, 取正值，F_W见图7.2.2.3（3）				
F_{Wmin}: 所考虑横剖面的最小波浪剪力, 取负值，F_W见图7.2.2.3（3）				

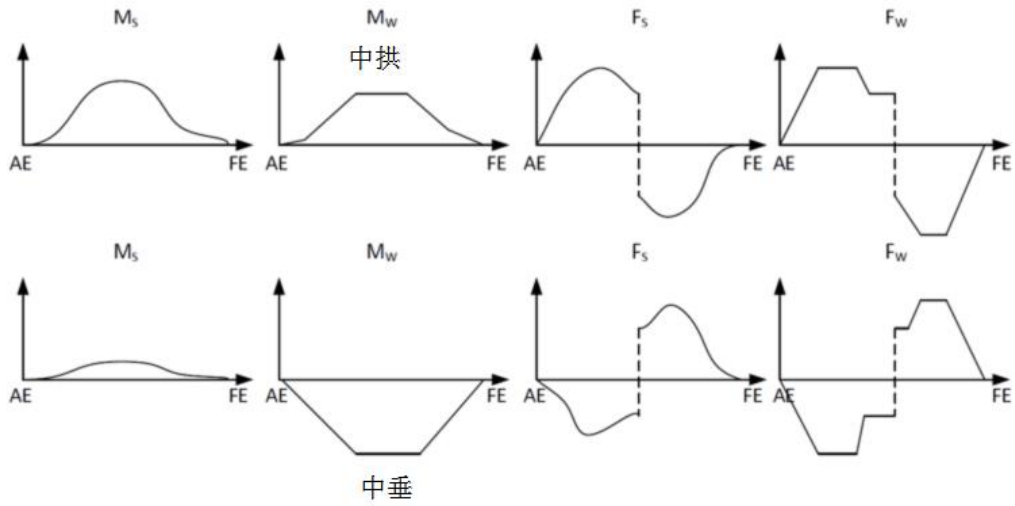


图7.2.2.4　最大中拱与中垂工况载荷的组合，见表7.2.2.4

7.2.2.5　船体梁应力

对于 7.2.2.4 中定义的中拱和中垂工况，船体梁应力， N/mm²，由所考虑的载荷计算点计算，如下：

弯曲应力：

$$\sigma_{HG}=\frac{\gamma_S M_S+\gamma_W M_W}{I_{net}}\left(z-z_n\right)10^{-3}$$

剪切应力：

$$\tau_{HG}=\frac{\gamma_S F_S+\gamma_W F_W}{t_{net}/q_v}10^{3}$$

式中：γ_S，γ_W——分项安全因子，取：

$$\gamma_S=1.0$$

$$\gamma_W = 1.0$$

7.2.3 强度评估

7.2.3.1 一般要求

应在整个船长范围内保持结构的连续性。当结构布置发生显著变化时，应设置足够的过渡结构。

7.2.3.2 刚度衡准

应校核 7.2.2.4 所列的“中拱”和“中垂”2 种载荷工况。

净惯性矩，I_{net}，m^4，应满足下式要求：

$$I_{net} \geq 1.55L\left|M_S + M_W\right|10^{-7}$$

7.2.3.3 屈服强度评估

（1）一般接受的衡准

应校核 7.2.2.4 中定义的“中拱”和“中垂”载荷工况的屈服强度，船体梁等效应力σ_{eq}，N/mm^2，应小于许用应力σ_{perm}，N/mm^2，如下：

$$\sigma_{eq} < \sigma_{perm}$$

式中：$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau^2}$

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{eH}}{\gamma_1\gamma_2}$$

γ_1——材料分项安全因子，取：

$$\gamma_1 = K\frac{R_{eH}}{235}$$

γ_2——载荷组合和许用应力分项安全因子，取：

$\gamma_2 = 1.24$，当按7.2.3.3（2）评估弯曲强度时

$\gamma_2 = 1.13$，当按7.2.3.3（3）评估剪切强度时

（2）弯曲强度评估

应按 7.2.3.3（1）的要求评估下述位置横剖面的弯曲应力：

- 船底
- 甲板
- 舱口围板顶端
- 不同屈服强度钢材的交界处

应考虑下述船体梁应力组合，船体梁应力定义见 7.2.2.5：

$$\sigma_x = \sigma_{HG}$$
$$\tau = 0$$

（3）剪切强度评估

应按 7.2.3.3（1）的要求评估所有对剪切能力有贡献的构件的剪切应力[①]。

应考虑下述船体梁应力组合，船体梁应力定义见 7.2.2.5：

$$\sigma_x = 0$$
$$\tau = \tau_{HG}$$

[①] 对于 0.2*L*~0.75*L* 之外的区域进行剪切强度校核时，许用应力一般也按 7.2.3.3(1)。

7.2.4 屈曲强度

7.2.4.1 适用范围

本节要求适用于船体梁弯曲正应力和剪切应力作用下的板格和纵骨。对于船体梁弯曲引起的作用在板格及纵骨上的正应力，仅考虑该正应力为压应力时的屈曲强度。

7.2.4 使用的符号的定义见附录 4“屈曲能力”。

7.2.4.2 屈曲衡准

屈曲评估衡准定义如下：

$$\eta_{act} \le 1$$

式中：η_{act}——最大利用因子，定义见7.2.4.3

7.2.4.3 屈曲利用因子

利用因子η_{act},系指失效时应力倍增因子的倒数 γ_c，见图 7.2.4.3。

$$\eta_{act} = \frac{1}{\gamma_c}$$

失效极限状态定义见：

- 本章附录4的2，基本板格
- 本章附录4的3，整体加筋板格
- 本章附录4的4，纵骨

每一个失效极限状态被定义成一个方程，γ_c 的取值应满足该方程。

图 7.2.4.3 说明了如何确定纵向应力和剪切应力组合作用下构件极限失效时的应力倍增因子 γ_c。其中：

σ_x，τ —施加的屈曲应力组合，见7.2.4.4（1）

σ_c，τ_c—对应屈曲应力 σ_x 和 τ 的临界屈曲应力，按本章附录 4 计算.

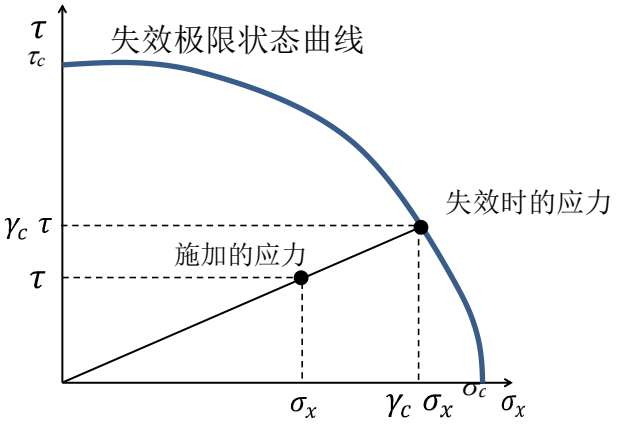


图 7.2.4.3 失效极限状态曲线和失效时应力倍增因子示例

7.2.4.4 应力确定

（1）屈曲评估的应力组合

按 7.2.2.4 中规定的“中拱”和“中垂”载荷工况考虑下述应力组合。应力在载荷计算点处求得，载荷计算点定义见 7.2.4.4（2）。

（a）纵向加筋布置

应力组合 1：

$$\sigma_x = -\sigma_{HG}$$
$$\sigma_y = 0$$
$$\tau = 0.7\tau_{HG}$$

应力组合2：

$$\sigma_x = -0.7\sigma_{HG}$$
$$\sigma_y = 0$$
$$\tau = \tau_{HG}$$

（b）横向加筋布置

应力组合1：

$$\sigma_x = 0$$
$$\sigma_y = -\sigma_{HG}$$
$$\tau = 0.7\tau_{HG}$$

应力组合2：

$$\sigma_x = 0$$
$$\sigma_y = -0.7\sigma_{HG}$$
$$\tau = \tau_{HG}$$

（2）载荷计算点

基本板格（EPP）的船体梁应力按表 7.2.4.4 中定义的载荷计算点计算。

板屈曲评估的载荷计算点（LCP）坐标　　表 7.2.4.4

LCP 坐标系	船体梁弯曲应力		船体梁剪切应力
	非水平布置板	水平布置板	
x 坐标	EPP长边中点		
*y*坐标	EPP上端和下端 (A1 和 A2 见图7.2.4.4)	EPP舷侧和舷内端 (A1 和 A2 见图7.2.4.4)	EPP中点 (B 点见图7.2.4.4)
*z*坐标	对应于x和y的值		

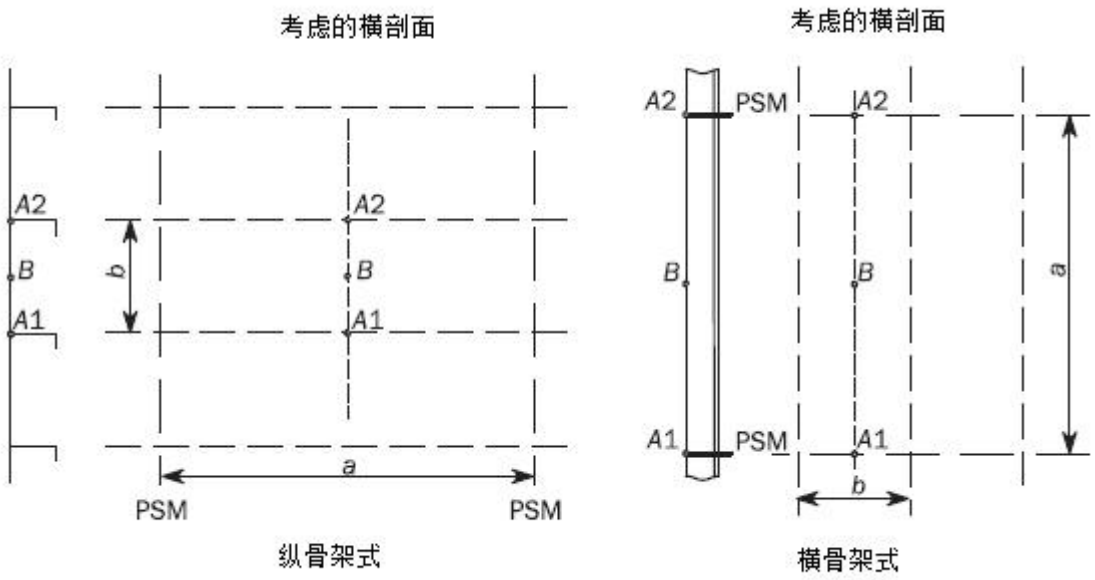


图7.2.4.4　板屈曲评估的LCP(PSM系指主要支撑构件)

纵向加强筋的船体梁应力按下述载荷计算点计算：

- 所考虑加强筋的跨中
- 加强筋与带板的交点处

7.2.5 船体梁极限强度

7.2.5.1　一般要求

船体梁极限强度适用于船长 L 150m 及以上的船舶。

7.2.5.4 中给出的衡准适用于完整船体结构。

应校核 7.2.2.4 中定义的中拱和中垂工况下船体梁极限弯曲能力。

7.2.5.2　船体梁极限弯矩

极限强度校核时，中拱与中垂工况所采用的船体梁垂向极限弯矩 M 取：

$$M = \gamma_S M_S + \gamma_W M_W$$

式中：M_S ——许用静水弯矩，kN·m，见7.2.2.2

M_W ——垂向波浪弯矩，kN·m，见7.2.2.3

γ_S ——静水弯矩的分项安全因子，取：

$$\gamma_S = 1.0$$

γ_W ——垂向波浪弯矩的分项安全因子，取：

$$\gamma_W = 1.2$$

7.2.5.3　船体梁极限弯曲能力

（1）一般要求

船体梁横剖面的极限弯矩能力 M_U，系指船体梁发生崩溃失效时的最大弯曲能力。

（2）船体梁极限弯矩能力的确定

在中拱和中垂工况下，船体梁横剖面的极限弯矩能力，定义为所考虑横剖面的弯矩能力与曲率χ曲线的最大值（ M_{UH} 为中拱工况， M_{US} 为中垂工况，见图 7.2.5.3）。曲率χ对于中拱工况为正值，对于中垂工况为负值。

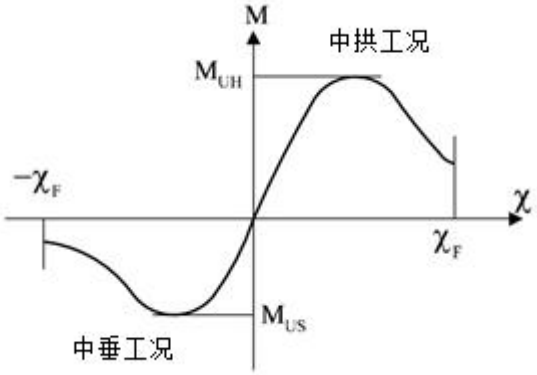


图 7.2.5.3　弯矩能力 M 与曲率 χ

船体梁极限弯曲能力 M_U 按本章附录 5 中的增量-叠代法计算，或采用附录 5 中的替代方法。

7.2.5.4　接受的衡准

任一横剖面的船体梁极限弯曲能力应满足下述衡准：

$$M \le \frac{M_U}{\gamma_M \gamma_{DB}}$$

式中：M ——垂向弯矩，kN·m，应按7.2.5.2计算

M_U ——船体梁极限弯曲能力，kN·m，按7.2.5.3计算

γ_M ——涵盖材料、几何及强度预报不确定性的船体梁垂向极限弯曲能力的分项安全因子，取做：

$$\gamma_M = 1.05$$

γ_{DB} ——涵盖双层底弯曲效应的船体梁垂向极限弯曲能力的分项安全因子。取做：

- 对于中拱工况: $\gamma_{DB} = 1.15$
- 对于中垂工况: $\gamma_{DB} = 1.0$

对于内底的双层底宽度小于船中处的横剖面，或双层底结构形式不同与船中处的横剖面（如机舱横剖面），中拱工况下 γ_{DB} 可以减小，但应取得同意。

7.2.6 大型集装箱船补充要求

7.2.6.1 一般要求

对于船宽 B 大于 32.26 米的集装箱船，除满足 7.2.3 到 7.2.5 的要求外，还应满足 7.2.6.2 和 7.2.6.3 的要求。

7.2.6.2 屈服与屈曲评估

进行船体结构屈服和屈曲强度分析时需包括船体梁载荷（波浪扭矩，水平弯矩及货物静扭矩）及局部载荷的作用，评估时应考虑各项面内应力成分（轴向力及剪切应力），具体分析方法按见本章附录 2 第 3 节。

7.2.6.3 颤振

进行船体梁极限强度评估时，应考虑砰击颤振对于船体梁波浪弯矩的影响，具体方法见 CCS《船体结构波激振动和砰击颤振直接计算评估指南》。

第 3 节 甲板结构

7.3.1 一般要求

7.3.1.1 甲板结构的尺寸除应分别符合本篇第 2 章第 4 节和第 8 节的规定外，还应符合本篇第 2 章第 2 节和本章第 2 节对总纵强度的要求。

7.3.1.2 在货舱区域内，强力甲板应为纵骨架式，同时，按本篇第 2 章第 2 节和本章第 2 节所要求的船体剖面模数确定的强力甲板构件尺寸在货舱区域内应保持不变。

7.3.1.3 为了保证船体结构的强度，应特别注意甲板结构的连续性，应尽量避免其形状、剖面和厚度的突变。对甲板开口长度的两端结构应作有效地过渡。应使舱口角隅和开口处结构所引起的应力集中为最小。

7.3.1.4 如强力甲板开口线内、外的厚度差超过 12mm，则在其间应设置厚度为二者平均厚度的过渡板。

7.3.1.5 如将下层甲板作为支持舷侧骨架的主要构件，则可要求对其适当加厚。

7.3.2 横向甲板条

7.3.2.1 当强力甲板的横向甲板条构成横舱壁的顶板时，其宽度 b 应不小于按下式计算所得之值：

$$b=1000+1.5L \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

7.3.2.2 如在横舱壁顶部设置箱形结构，则强力甲板的横向甲板条宽度可通过计算酌情减少。

7.3.2.3 强力甲板的横向甲板条厚度 t 除应符合本篇 2.4.2.2 的要求外，还应不小于按下式计算所得之值：

$$t=10+0.01L \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

7.3.2.4 强力甲板以下的第二层甲板横向甲板条厚度 t 应不小于按下式计算所得之值，但不应小于 8mm：

$t=12s$　　mm

式中：s——横梁间距，m，计算时取值不小于横梁的标准间距。

7.3.2.5　第二层甲板以下的其他甲板横向甲板条厚度可为 8mm。

7.3.2.6　在横向甲板条上应设有足够的横向扶强构件，对其应力集中处应予以增厚。

7.3.2.7　应对横向甲板条的端部与抗扭箱结构进行有效的连接。

7.3.3　强力甲板纵桁

7.3.3.1　在强力甲板下，应设置支持纵向舱口围板的纵桁(设有抗扭箱结构处除外)。

7.3.3.2　应使强力甲板纵桁在整个货舱区域内连续，如机舱位于货舱之间，则应将纵桁通过机舱。

7.3.3.3　应将强力甲板纵桁的两端完整地伸入货舱区域以外的结构。应特别注意纵桁与横向箱形梁的连接。

7.3.4　甲板开口

7.3.4.1　对于强力甲板上的舱口，其开口角隅应为圆角。近舷侧处的开口角隅半径应不小于(0.35+0.0005L)(m)(L 为船长，m)；在强力甲板纵桁与横向甲板条相交处的角隅半径应不小于 0.25m。对于采用负半径的园角隅，设计方应提供技术依据。

7.3.4.2　对于邻接机舱的货舱，应尽可能加大其舱口的角隅半径，近似地可将其定为不小于 0.04B(B 为船宽)。

7.3.4.3　在舱口的开口角隅处应设嵌入板，其厚度应较强力甲板厚度增加 15%。对于邻接机舱的货舱，其舱口角隅处的嵌入板厚度应较强力甲板增厚 25%。嵌入板增厚值应不小于 4mm，但也不必大于 7mm，其材料应与强力甲板相同。当嵌入板厚度不能满足上述要求时，应采用包括屈服、屈曲及疲劳在内的直接计算方法予以验证。嵌入板的延伸范围应符合图 7.3.4.3 的规定（R 为舱口角隅半径；e 应不小于 760mm，且对于纵骨架式应不小于 1 个纵骨间距）。

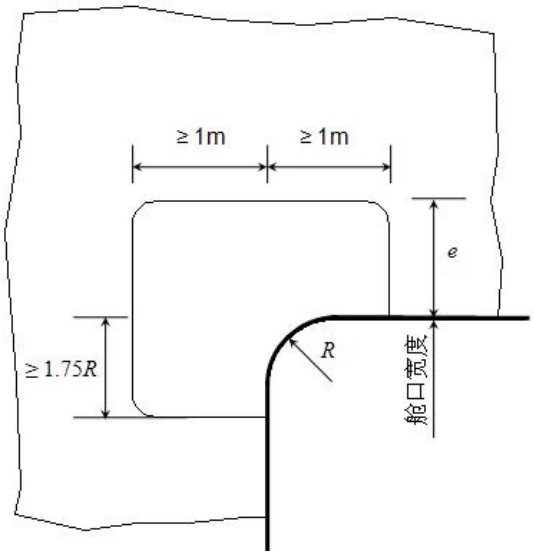


图 7.3.4.3

7.3.4.4　在货舱区域内的舱口开口边线外的强力甲板上，一般不应设有任何开口。

7.3.5　舱口围板

7.3.5.1　如舱口围板在整个开口范围内保持连续，则在舱口围板的端部应具有良好的结构过渡。

7.3.5.2　舱口围板的结构应符合本篇第 2 章第 20 节中的有关规定。

第 4 节　外　板

7.4.1　船底板和舭列板

7.4.1.1　船底板的厚度除应符合本篇第 2 章第 3 节的有关规定外，还应符合本篇第 2 章第 2 节和本章第 2 节对总纵强度的要求。

7.4.1.2　对横骨架式的船底板和舭列板，应特别注意其屈曲强度。

7.4.2　舷顶列板和舷侧外板

7.4.2.1　舷顶列板和舷侧外板的厚度除应符合本篇第 2 章第 3 节的有关规定外，还应符合本篇第 2 章第 2 节和本章第 2 节对总纵强度的要求，同时，对其受力较大的部位以及双层壳舷侧结构在舷侧外板的终端处，可要求局部加厚。

7.4.2.2　舷顶列板与以下的一列舷侧外板的厚度差应不大于舷顶列板板厚的 1/2。

第 5 节　舷侧骨架

7.5.1　单层壳舷侧骨架

7.5.1.1　舷侧骨架的布置以及舷侧骨架的尺寸，均应符合本篇第 2 章第 7 节的要求。也可要求通过直接计算校核其主要支持构件的强度。

7.5.1.2　如舷侧为纵骨架式，则应将强肋骨与双层底内的实肋板和抗扭箱的横框架布置在同一剖面上，使它们构成整体框架，以保证船舶的横向强度。

7.5.2　双层壳舷侧骨架

7.5.2.1　双层壳舷侧内的横框架和水平隔板(包括开孔平台)的厚度 t，应不小于按下式计算所得之值，但不必大于 9mm：

$$t=7.5+0.015L \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

7.5.2.2　在横框架和水平隔板上应设置扶强构件，且在其切力较大处予以局部加厚。

第 6 节　双 层 底

7.6.1　一般要求

7.6.1.1　除本节另有规定外，双层底的构件尺寸应符合本篇第 2 章第 6 节的有关规定，但在集装箱的角座下方应予以局部加强。如双层底与边液舱或深隔离舱内部相连通时，水密肋板和水密桁材还应满足本篇第 2 章第 13 节对深舱的要求。

7.6.1.2　对于仅装载集装箱的货舱，本篇第 2 章第 6 节 2.6.9.2(2)的要求不适用。

7.6.1.3　对于船长为 150m 及以上的集装箱船，双层底结构可按本章 7.9.10 的要求，但 7.9.10.12 除外。

7.6.2　桁材和肋板

7.6.2.1　在集装箱的角座下方应设置旁桁材。

7.6.2.2　货舱区桁材应设置垂直或水平加强筋，加强筋宽度一般应不小于 150mm；船长小于 150m 时，加强筋的宽度取不小于 L(mm)，但不小于 50mm。

7.6.2.3　对于纵骨架式的双层底，在横舱壁下面以及在舱长中点处和距横舱壁 1/4 舱长处的支持结构下面均应设置实肋板。

7.6.2.4　货舱区域实肋板厚度应满足下述要求：

（1）实肋板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值，但不必大于 12mm：

$$t = 0.6\sqrt{LK} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长；

K——材料系数。

（2）水密肋板的厚度除应满足本条（1）的要求外，还应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 0.02L\sqrt{K} + 7 \quad \text{mm}$$

式中：　L、K 定义见本条（1）。

7.6.2.5　对于纵骨架式集装箱船，货舱区域中桁材的厚度 t 应不小于：

$$t = f_{db}\left(0.0077h_0 + 4\right)\sqrt{K} \qquad \text{mm}$$

货舱区域旁桁材的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = f_{db}\left(0.0077h_0 + 1\right)\sqrt{K} \qquad \text{mm}$$

式中：　f_{db}——双层底高度修正系数：

当 $L<150m$ 时，$f_{db}=1$；

当 $L\geq150m$ 时，$f_{db}= h_0/h_a$，但应不小于 0.9；若纵桁满足本章附录 2 中整船结构强度直接计算的要求，$f_{db}= h_0/h_a$，但应不小于 0.85。

h_0——双层底计算高度，mm，见第 2 章第 6 节；

h_a——双层底实际高度，mm；

K——材料系数。

7.6.2.6　若机舱与尾尖舱之间设有货舱，其底部主要构件应符合本篇第 2 章第 6 节的有关要求。

7.6.2.7　对于纵骨架式且设有中桁材的双层底，应在实肋板之间中桁材两侧各设一档通

达邻近纵骨的肘板。

7.6.2.8　对于纵骨架式双层底，当采用箱型中桁材形式时，其布置以及环形强框架剖面模数应满足本章第 9 节 7.9.10.6 有关要求。

7.6.3　双层底的支持结构

7.6.3.1　在舱长中点处或距横舱壁 1/4 舱长处所设的双层底的支持结构，可采用有效扶强的箱形结构或其他等效结构。

第 7 节　舱　壁

7.7.1　内层壳纵壁

7.7.1.1　内层壳纵壁的构件尺寸除应符合本篇第 2 章第 12 节和第 13 节的有关规定外，还应符合本篇第 2 章第 2 节和本章第 2 节对总纵强度的要求。

7.7.1.2　在货舱区域内，内层壳纵壁的纵向构件应保持连续。如机舱位于货舱之间，则内层壳纵壁的纵向构件在机舱区域内也应连续通过。

7.7.1.3　如将内层壳纵壁设计成阶梯形时，则在其阶梯部分应具有不小于 3 个肋距的交叉长度予以过渡。

7.7.1.4　在内层壳纵壁的两端终止处，应具有良好的过渡结构。

7.7.1.5　内层壳纵壁(抗扭箱处)的顶列板与下一列板的厚度差应不大于 25mm。

7.7.2　水密横舱壁

7.7.2.1　在水密横舱壁的顶部和底部，一般应设置箱形结构，同时，在水密横舱壁上应设置垂直桁材和水平桁材，以支持舱壁的扶强材。应将垂直桁材的上端和下端分别与强力甲板纵桁和双层底内的旁桁材对齐。当舱壁的深度与宽度的比值较大时，应采用直接计算确定其垂直桁的尺寸。

第 8 节　船首舷侧结构加强

7.8.1　一般要求

7.8.1.1　船首部舷侧结构(包括首楼舷侧结构)应予以加强。加强范围自首垂线起向后 0.1L 之间与夏季载重线以上区域。如距首垂线 0.15L 处的最大外飘角α（见图 7.8.1.3(1)）大于 40°，则加强的纵向范围应延伸至距首垂线 0.15L 处。在加强区域内舷侧构件的尺寸应符合本节的要求。

7.8.1.2　除本节要求外，船首舷侧结构还应满足本篇中的其他有关规定。

7.8.1.3　船首砰击计算压头 h_s 按下式计算：

$$h_s = C_s\,(0.22+0.15\tan\alpha)(0.4V\sin\beta+0.6\sqrt{L}\,)^2 \qquad \text{m}$$

式中：C_s=0.144(C-0.5h_1)，且不大于 0.8；

C——波浪系数，见本篇 2.2.3.1；

α——计算点处的外飘角，定义为在该处横剖面上，垂线与外板切线之间的夹角，度，见图 7.8.1.3(1)；

β——计算点处的首尖角，定义为在该处水平面上，中心线与外板切线之间的夹角，度，见图 7.8.1.3(2)；

V——最大服务航速，kn；

L——船长，m，但计算时取值不必大于 250 m。

其中：h_1——夏季载重线与计算点之间的垂直距离，m，见图 7.8.1.3(1)。对于外板，计算点取板格中心；对于构件，计算点取跨距中点。

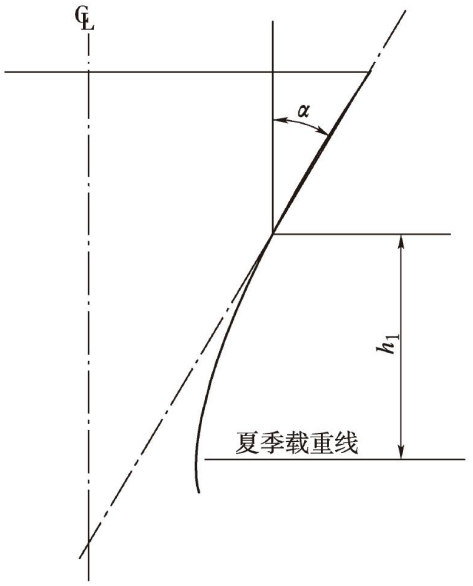


图 7.8.1.3(1)

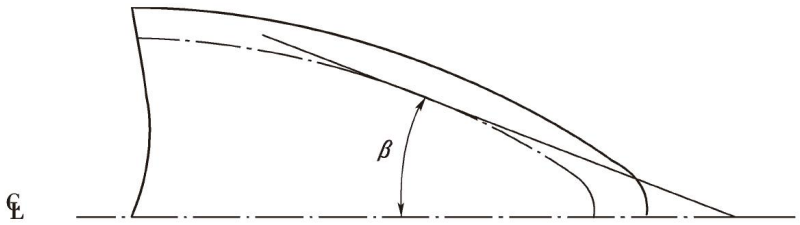


图 7.8.1.3(2)

7.8.2 舷侧外板

7.8.2.1 舷侧外板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=3.2\,b_{r1}\,s\sqrt{h_s K}+1.5 \qquad \text{mm}$$

式中：b_{r1}——系数，按以下取用，且不小于 0.72：

$$b_{r1}=1.0 \qquad \frac{s}{l}\le 0.4$$

$$b_{r1}=1.187-0.467\frac{s}{l} \qquad \frac{s}{l}>0.4$$

其中：s ——次要构件间距，m；

l ——次要构件跨距，m；

h_s ——船首砰击计算压头，见本节第 7.8.1.3；

K ——材料系数。

7.8.3 次要构件

7.8.3.1 舷侧纵骨或舷侧肋骨等次要构件的剖面模数 W 和腹板剖面积 A，应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=2.7s\,h_s\,l^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$A=0.38\,b_{r2}\,ls\,h_s\,K \qquad \text{cm}^2$$

式中：$b_{r2}=1-\frac{s}{2l}$；

s ——次要构件间距，m；

h_s——船首砰击计算压头，见本节第 7.8.1.3；

l ——次要构件跨距，m；

K——材料系数。

7.8.3.2 当舷侧纵骨或舷侧肋骨等次要构件的腹板与外板的夹角小于 70°时，应在构件跨距中点设置防倾肘板，以加强板格的横向稳定。

7.8.4 主要构件

7.8.4.1 舷侧水平桁材或垂直桁材等主要构件的剖面模数 W 与腹板剖面积 A，应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=2.1Sh_sl^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$A=0.265Sh_slK \qquad \text{cm}^2$$

式中：S ——桁材间距，m；

h_s——船首砰击计算压头，见本节第 7.8.1.3；

l ——桁材跨距，m；

K——材料系数。

第 9 节 船长大于 250m 的集装箱船的补充要求

7.9.1 一般要求

7.9.1.1 本节适用于船长大于 250m 的大型全集装箱船舶。

7.9.1.2 对于本节无规定者，均应符合本篇第 1 章和第 2 章的有关要求。

7.9.1.3 船首部舷侧结构(包括首楼舷侧结构)的加强应符合本章第 8 节的要求。

7.9.2 总纵强度

7.9.2.1 总纵强度应满足本章第 2 节的要求。

7.9.3 甲板结构

7.9.3.1 甲板结构应符合本篇第 2 章第 4 节和第 8 节的有关要求。

7.9.3.2 货舱区域甲板结构的主要构件应经直接计算法验证。

7.9.3.3 强力甲板的最小厚度 $t_{\min}$ 应按下式计算：

$$t_{\min} = (0.02L + 5.5)\sqrt{K} \qquad \text{mm}$$

式中：L ——船长，m；

K ——材料系数。

7.9.3.4 强力甲板开口线外、内的厚度差较大时，应在开口线内一侧至少应设置两块中间过渡板，相邻板之间的厚度差应向开口线内侧逐步递减，且厚度差一般应不超过厚板板厚的 1/2。通常厚板在连接处将按照不大于 1：4 的比例对高出的边缘予以削斜。

7.9.4 箱形横向甲板结构

7.9.4.1 箱形横向甲板结构是指货舱横舱壁顶部的横向箱形桁材结构。

7.9.4.2 箱形横向甲板结构的宽度和结构尺寸应经直接计算法验证。

7.9.4.3 初步设计时，箱形横向甲板结构的宽度可按下式计算：

$$b = \max(32.5B + 400,\quad 1000) \qquad \text{mm}$$

式中：B——船宽，m。

7.9.4.4 在强力甲板平面内，箱形横向甲板结构的甲板最小厚度应按下式计算：

$$t = (10 + 0.01L)\sqrt{K}\ \text{mm}，\text{但应不小于 } 12\text{mm}$$

式中：L ——船长，m，计算时取值不必大于 300m；

K ——材料系数。

7.9.4.5 箱形横向甲板结构的底板最小厚度应按下式计算：

$$t = 10s\sqrt{K}\ \text{mm}，\text{但不小于 } 8\text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m，计算时取值应不小于 0.95m；

K ——材料系数。

7.9.4.6 箱形横向甲板结构的侧板(见图 7.9.4.6)应符合下述要求：

(1) 侧板厚度 t_1 应不小于按下式计算所得之值：

$$t_1 = 12s\ \text{mm}，\text{但不小于 } 10.5\text{mm}$$

式中：s——侧板扶强材间距，m。

(2) 端部加强嵌入板的厚度 t_2 应不小于按下式计算所得之值：

$$t_2 = 12s\ \text{mm}，\text{但不小于 } 14.5\text{mm}$$

式中：s——侧板扶强材间距，m。

(3) 端部嵌入板的最小范围按下列公式计算：

$$a_1 = 1.75R \quad \text{mm}$$

$$a_2 = 0.5b_s \quad \text{m}$$

式中：R ——在强力甲板平面内，货舱口角隅半径，m；

b_s ——双舷侧宽度，m。

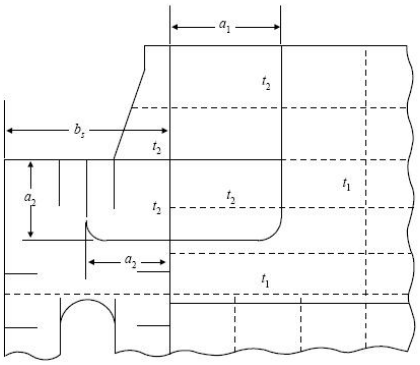


图 7.9.4.6

7.9.5 **强力甲板开口**

7.9.5.1 强力甲板上货舱舱口角隅应为圆形角隅或具有负半径的圆形角隅。货舱舱口角隅的设计应经直接计算予以验证。

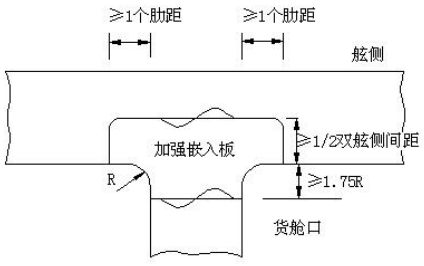
7.9.5.2 对于近舷侧处的圆形角隅，其半径应不小于按下式计算所得之值：

$$R = 0.35 + 0.0005L \quad \text{m}$$

式中：L——船长，m。

7.9.5.3 强力甲板纵桁与箱形横向甲板结构相交处的圆形角隅半径应不小于 0.25m。

7.9.5.4 强力甲板在货舱舱口角隅处应设置加强嵌入板，其延伸范围一般应不小于图 7.9.5.4 的要求。加强嵌入板的厚度应大于等于相邻强力甲板厚度。强力甲板在货舱舱口角隅处的加强应经疲劳评估予以验证。



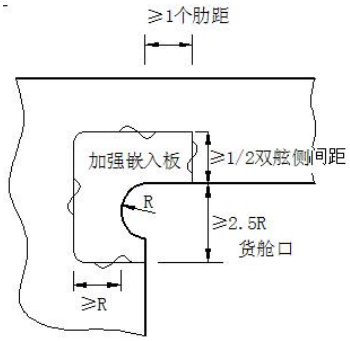


图 7.9.5.4

7.9.5.5　在货舱区域内的舱口开口线外的强力甲板上一般不应布置大的出入口开孔。

7.9.5.6　对于小的开孔(如通风管或排水口的孔)，应避开货舱舱口角隅、纵向舱口围板的端部、箱形横向甲板结构的端部及其他应力集中处。

7.9.6　货舱舱口围板

7.9.6.1　除在机舱区域处，货舱舱口围板在整个开口范围内应保持连续，舱口围板的端部应具有良好的结构过渡。

7.9.6.2　舱口围板的结构应符合本篇第 2 章第 20 节中的有关规定。

7.9.6.3　舱口围板上应设置间距不大于 3.15m 的肘板，并应具有面板。但经直接计算强度评估，肘板间距最大应不超过 6.3m。舱口围板肘板应能有效支持舱口围板的面板，肘板的趾端应终止在强力甲板的纵骨处。在箱形横向甲板结构处的舱口围板肘板还应符合本节 7.9.4.6 的要求。

7.9.6.4　舱口围板的面板在货舱舱口角隅处应设置加强嵌入板，其范围见图 7.9.6.4。加强嵌入板的厚度应大于等于相邻舱口围板面板的厚度。舱口围板的面板在货舱舱口角隅处的加强应经疲劳评估予以验证。

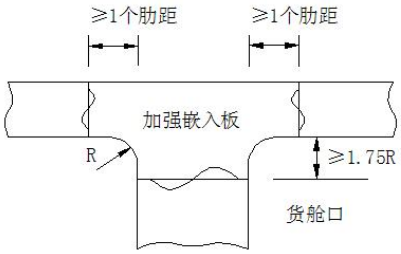


图 7.9.6.4

7.9.7　外板

7.9.7.1　除本节有规定者外，外板应符合本篇第 2 章第 3 节的有关要求。

7.9.7.2　除本节 7.9.7.1 外，外板厚度还应不小于按下式计算所得之值：

$$t=\sqrt{LK}\qquad \text{mm，但不必大于 16mm}$$

式中：L ——船长，m；

K ——材料系数。

7.9.7.3　舷顶列板与相邻舷侧外板的厚度差一般应不大于厚板板厚的 1/2。通常厚板在连接处将按照不大于 1:4 的比例对高出的边缘予以削斜。

7.9.8　双舷侧结构布置

7.9.8.1　整个货舱区域应设置双舷侧，内壳结构应尽量向首尾延伸并与该处结构有效连接和过渡。内壳的支持构件应设在双舷侧内，不能设置在货舱一侧。

7.9.8.2　双舷侧内壳应为连续结构，包括在机舱区域。但考虑到线型变化及集装箱箱位布置的原因，双舷侧内壳沿船长方向可设计成阶梯形。阶梯处的嵌接布置应足以保证内壳舱壁有效交叉，且至少应有不小于 3 个肋距的交叉长度予以过渡。

7.9.8.3　考虑到线型变化及集装箱箱位布置的原因，双舷侧内壳在垂直方向可设计水平台阶。

7.9.8.4　双舷侧内在货舱水密横舱壁同一平面处应设置横隔板或横框架。在干舷甲板以下，应尽可能设置水密横隔板，对于压载舱应设置制荡舱壁。

7.9.8.5　双舷侧内在货舱横向非水密支持舱壁同一平面处应设置横隔板或横框架。

7.9.8.6　双舷侧内横隔板或横框架应设置在双层底肋板同一平面处。

7.9.8.7　双舷侧内的横隔板和平台上应开人孔，人孔可开成圆形或长圆形。长圆的长轴方向应是垂直方向或船长方向。除通道开口外，上下相邻平台上的孔不应在同一垂线上。开口周边应予加强。

7.9.9　双舷侧结构尺度

7.9.9.1　双舷侧结构的主要构件包括舷侧外板、垂直横隔板、水平隔板、内壳纵舱壁板。主要构件的尺寸应经直接计算验证。

7.9.9.2　内壳板应符合下述要求：

(1)　内壳板的最小厚度 t 应按下式计算：

$$t = 7 + 0.02L\sqrt{K} \qquad \text{mm}$$

式中：L ——船长，m，计算时取值不必大于 300m；

K ——材料系数。

(2) 内壳板应符合本节 7.9.11.4 的要求。

(3)　船中 0.4L 区域，构成液舱边界的内壳板厚度 t 应不小于：

$$t = (4 + 0.6\frac{z - z_n}{D - z_n})s\sqrt{hK} + 2.5 \qquad \text{mm，在水平中和轴以上}$$

$$t = \left(4 + 0.2\frac{z_n - z}{z_n}\right)s\sqrt{F_b hK} + 2.5 \qquad \text{mm，在水平中和轴以下}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——由板列下缘 1/3 板列高度处量至液舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

D ——型深，m；

Z_n ——船体横剖面的水平中和轴距基线的高度，m；

Z ——计算点距基线的高度，m；

F_b—折减系数，见本篇第 2 章 2.2.5.6；

K ——材料系数。

(4) 构成液舱边界的内壳板厚度 t 应不小于：

$$t = 4s\sqrt{hK} + 2.5 \qquad \text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——由板列下缘 1/3 板列高度处量至液舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

K ——材料系数。

(5) 内壳的顶列板与下一列板的厚度差一般应不大于 25mm，最大应不超过 35mm。通常厚板在连接处将按照不大于 1:4 的比例对高出的边缘予以削斜。

7.9.9.3 纵骨(舷侧、内壳)应满足本篇第 2 章的有关要求。纵骨腹板的最小厚度为 10mm。纵骨应连续穿过垂直横隔板。其中，舷侧纵骨在按本篇第 2 章 2.7.5.1 确定时，计算压头 h 应按下列各式计算：

$$h = 0.26C + d - \frac{Z}{D_F}d \quad \text{m，当 } Z<D_F \text{ 时；}$$

$$h = 0.2C + 0.06C\frac{D-Z}{D-D_F} \text{ m，当 } Z\geq D_F \text{ 时；}$$

式中：D——型深，m；

D_F ——最小型深，m，在船长中点处，自平板龙骨上缘至舷侧干舷甲板横梁上缘之间的垂直距离；

d ——吃水，m；

C ——系数，见本篇第 2 章 2.2.3.1；

Z ——纵骨距基线的高度，m。

7.9.9.4 构成液舱边界的垂直横隔板、水平横隔板厚度 t 应不小于：

$$t = 4s\sqrt{hK} + 2.5 \qquad \text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——由板列下缘 1/3 板列高度处量至液舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

K ——材料系数。

垂直横隔板、水平隔板的最小厚度为 10mm。水密隔板的最小厚度为 11mm。

7.9.10 双层底

7.9.10.1 除本节有规定者外，双层底结构应符合本篇第 2 章第 6 节的有关要求。

7.9.10.2 双层底的主要构件包括内底板、实肋板、纵桁和船底外板。主要构件的布置和尺寸应经直接计算验证。

7.9.10.3 在舱长中点处或距横舱壁 1/4 舱长处所设的双层底支持结构，应采用有效扶强的横向箱形结构或开式剖面结构。

7.9.10.4 箱形中桁材侧板之间的距离一般应不大于 2m。但经直接计算强度评估，侧板之间的距离最大应不超过 3m。

7.9.10.5 箱形中桁材内应设置船底和内底纵骨，纵骨应保持连续。船体中心线上的船底纵骨应适当加大。

7.9.10.6　箱形中桁材内应在实肋板平面内和实肋板间距中间的平面内设置环形强框架。环形强框架中的内底横向桁材，其剖面模数应不小于船底横向桁材的 85%。船底横向桁材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=10.6Sdl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S ——环形强框架间距，m；

d ——吃水，m，但取值应不小于船底至干舷甲板垂直距离的 0.66 倍；

l ——跨距，m，取两道侧板的间距；

K ——材料系数。

7.9.10.7　中桁材两侧至少应各设 3 道旁桁材，桁材之间的距离一般不大于 3.5m。距首垂线 0.2L 以前区域，旁桁材间距应不大于 4 个纵骨间距。旁桁材应尽可能均匀设置，并应尽可能向首尾延伸。

7.9.10.8　在集装箱的角座下方应设置旁桁材，并予以局部加强。

7.9.10.9　货舱区域实肋板应满足下述要求：

(1)　在水密横舱壁、横向非水密支持舱壁/货舱中点支承下，1/4 舱长位置和其他位置处的集装箱角隅下应设置实肋板，实肋板间距一般应不大于 3.6m。

(2)　实肋板的厚度 t 应满足本章第 6 节有关要求，且应不小于按下式计算所得之值：

$$t=10s\sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}+2.5 \qquad \text{mm}$$

式中：s——加强筋间距，m；

R_{eH}——材料的屈服应力，N/mm^2。

(3)　水密肋板的厚度除应满足本条(2)的要求外，还应满足本章第 6 节有关要求。

7.9.10.10　货舱内底板的厚度应不小于按下式计算所得之值：

$$t=1.36(s+0.66)\sqrt[4]{LdK^2} \qquad \text{mm}$$

式中：L ——船长，m；

d ——吃水，m；

s ——纵骨间距，m；

K ——材料系数。

构成液舱边界的货舱内底板还应满足本篇第 2 章第 13 节对深舱的要求。

7.9.10.11　货舱内底纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=\frac{9.54dsl^2K}{2.1-F_b} \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；

l ——纵骨跨距，m；

d ——吃水，m；

F_b ——计算点处的折减系数；

K ——材料系数。

7.9.10.12　船首底部的加强应满足本篇第 2 章第 15 节 2.15.3 的有关要求。在加强范围内，对纵骨架式双层底骨架进行加强时，本篇第 2 章第 15 节 2.15.3.3(1)可不适用，但实肋板间距应不大于 3.2m 或四倍纵骨间距（取大者）。

7.9.10.13　货舱区域中桁材和旁桁材的厚度以及中桁材支撑肘板的布置应满足本章第 6

节有关要求。

7.9.11 **货舱横舱壁**

7.9.11.1 横舱壁的主要构件包括舱壁板、垂直桁和水平桁。主要构件的尺寸应经直接计算法验证。

7.9.11.2 横舱壁桁材的腹板厚度应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 10s\sqrt{\frac{R_{eH}}{235}} + 0.5 \qquad \text{mm，且不小于 9mm}$$

式中：s ——腹板加强筋间距，m；

R_{eH} ——材料的屈服应力，N/mm^2。

7.9.11.3 在水密横舱壁的顶部和底部，一般应设置箱形结构。同时，在水密舱壁上应设置垂直桁材和水平桁材，以支持舱壁的扶强材。应将垂直桁材的上端和下端分别与强力甲板纵桁和双层底内的桁材对齐。

7.9.11.4 水密横舱壁板和扶强材的尺寸按本篇第 2 章第 12 节的要求确定，其计算压头 h 应按下述规定确定：

(1) 对于水密横舱壁板，其计算压头 h 应按下述要求确定(取大者)：

①由板列下缘量至适用的破舱稳性计算所得到的最深平衡水线的垂直距离；

②由板列下缘量至干舷甲板的垂直距离；

③2.5m。

(2) 对于扶强材，其计算压头 h 应按下述要求确定(取大者)：

①由扶强材跨距中点量至适用的破舱稳性计算所得到的最深平衡水线的垂直距离；

②由扶强材跨距中点量至干舷甲板的垂直距离；

③2m。

7.9.11.5 水密横舱壁板的最小厚度为 8mm。

7.9.11.6 货舱中沿船长方向每隔 2 个 20 英尺箱位应设置 1 道横向非水密支持舱壁。横向非水密支持舱壁一般由垂直桁和水平桁组成。

7.9.12 **设计验证**

7.9.12.1 除另有规定者外，设计验证不能降低本节对船体结构的要求。对船体结构的设计验证包括：

(1) 直接计算强度评估；

(2) 疲劳强度评估；

7.9.12.2 应按本章附录 2，对集装箱船整船、货舱段主要结构、甲板开口角隅局部结构在规定载荷作用下进行直接计算强度评估。

7.9.12.3 应按 CCS《船体结构疲劳强度指南》的要求，对集装箱船货舱结构进行疲劳强度评估。

第 10 节 大开口船舶弯扭组合的总纵强度

7.10.1 **一般要求**

7.10.1.1　对于具有甲板大开口的船舶，应采用下述方法校核船体弯扭组合的总纵强度：

（1）船长 $L \le 250m$，本节规定的方法或本条（2）规定的方法；

（2）船长 $L > 250m$，本章附录 2 规定的整船直接计算方法。

7.10.1.2　在货舱区域内，至少应计算下列 7 个横剖面处的应力：

(1) 机舱前端；

(2) 开口长度的前端，开口长度即为自机舱前的货舱舱口的后端至最前一个货舱舱口前端的距离；

(3) 在开口长度内应有 5 个剖面，其中，至少应有 3 个剖面位于船中 0.4L 范围内。在设置剖面时，应尽可能将剖面设置在纵向结构突变处。

7.10.1.3　在货舱区域内，还应计算除本节 7.10.1.2 要求外的其他任何纵向结构突变处的横剖面上的应力。

7.10.2　波浪弯矩

7.10.2.1　垂向波浪弯矩 M_v 应按下式计算：

$$M_v = 9.81MKFL^2B(C_b + 0.7)\times 10^{-2} \quad \text{kN·m}$$

式中：L——船长，m；

B——船宽，m；

M——弯矩分布系数，见本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1；

C_b——方形系数，当实际方形系数小于 0.6 时，取 0.6；

$$K = 4.47\left(\frac{L}{1000} - 0.230\right)^2 + 0.817$$

F——系数，取按下列各式计算所得之值：

$F = 9.4 - 0.95\left(\dfrac{300 - L}{100}\right)^{3/2}$，当 $L \le 300m$ 时；

$F = 9.4$，当 $300 < L < 350m$ 时；

$F = 9.4 - 0.45\left(\dfrac{L - 350}{100}\right)^{3/2}$，当 $350 \le L \le 500m$ 时。

7.10.2.2　在船中剖面处的水平波浪弯矩 M_H 应按下式计算：

$$M_H = 0.431L^2B \qquad \text{kN·m}$$

式中：　L、B 见本节 7.10.2.1。

在船长两端处的 M_H 为零，沿船长的 M_H 为由船中向两端按直线分布。

7.10.3　扭矩

7.10.3.1　沿船长任一剖面处的水动力扭矩 $M_T(x)$ 应按下式计算：

$$M_T(x)=9.81e^{-0.00295L}\frac{LB^3C_T}{20000}\left(1.75+1.5\frac{\varepsilon}{D}\right)\left(1-\cos\frac{2\pi}{L}x\right)\ \text{kN·m}$$

式中：*e*——自然对数底；

L——船长，m；

B——船宽，m；

D——型深，m；

$C_T=13.2-43.4C_W+78.9C_W{}^2$；

其中C_W——水线面系数，不必大于$0.165+0.95C_b$；

ε——从船基线以下的剪切中心至船基线的距离，m；

x——从任一剖面至尾垂线的距离，m；

C_b——方形系数，同本节 7.10.2.1。

7.10.3.2　货物扭矩是由于货物重量、消耗品或压载的横向分布不均匀所引起的。如无其他的指定装载情况，在船中剖面处的货物扭矩M_{TC},按下式计算：

$$M_{TC}=15.7Bn_Bn_t\ \text{kN·m}$$

式中：*B*——船宽，m；

n_B——在船中部货舱内沿船宽方向的集装箱行数；

n_t——在船中部货舱内的集装箱层数，不包括甲板上和舱口盖上的集装箱。

在船长两端处的M_{TC}为零，沿船长的M_{TC}为由船中向两端按直线分布。

7.10.4　应力计算及衡准

7.10.4.1　静水弯曲应力σ_s应按下式计算：

$$\sigma_s=\frac{M_s}{W_v}\times10^3\ \text{N/mm}^2$$

式中：M_s——许用静水弯矩，kN·m；

W_v——甲板处或船底处的垂向弯曲剖面模数，*c*m^3，垂向弯曲剖面模数的计算应符合本篇第 2 章第 2 节的有关规定。

在强力甲板处和龙骨处的许用静水弯曲应力［σ_s］均为 88/*K*, N/mm^2，其中 *K* 为材料系数。

7.10.4.2　船舶处于迎浪状态时的垂向合成弯曲应力σ_c应按下式计算：

$$\sigma_c = \frac{M_s + M_V}{W_V} \times 10^3 \ \text{N/mm}^2$$

式中：M_s、W_V——同本节 7.10.4.1；

M_V——垂向波浪弯矩，kN·m，见本节 7.10.2.1。

在强力甲板处的许用垂向合成弯曲应力［σ_c］为$157/K$, N/mm²；在龙骨处的许用垂向合成弯曲应力［σ_c］为$150/K$, N/mm²，其中 K 见 7.10.4.1。

7.10.4.3　船舶处于斜浪状态时的合成应力应为下述应力之和：

(1) 垂向弯曲合成应力σ_c应按下式计算：

$$\sigma_c = \frac{M_s + 0.6M_V}{W_V} \times 10^3 \ \text{N/mm}^2$$

式中：M_s、W_V——同本节 7.10.4.1；

M_V——见本节 7.10.2.1。

(2) 水平弯曲应力σ_H应按下式计算：

$$\sigma_H = \frac{yM_H}{I_H} \times 10^5 \ \text{N/mm}^2$$

式中：M_H——水平波浪弯矩，kN·m，见本节 7.10.2.2；

y——计算点距横剖面中心线的水平距离，m；

I_H——水平惯性矩，cm⁴。

(3) 由水动力扭矩M_T及货物扭矩M_{TC}所产生的翘曲正应力。

在强力甲板处和船底处的许用合成应力均为 157/K,N/mm²，其中 K 见 7.10.4.1。

附录 1　集装箱系固

1　一般规定

1.1　适用范围

1.1.1　本附录的集装箱堆装及系固要求基于符合国际标准化组织 ISO 1496-1：2013 所建造集装箱制定。

本附录为船舶上初次安装集装箱系固系统的检验要求。在此声明并不是所有集装箱都能承受其许用负荷。许用负荷是根据多年的使用经验制定，并且有可能会超过 ISO 标准的规定。船东或船舶操作者有义务确定在该系统中使用的集装箱可以承受加载于箱子之上的载荷。

1.1.2　常用货运集装箱的外部尺寸、额定重量及角件定位尺寸见表 1.1.2。

常用货运集装箱的外部尺寸、额定重量及角件定位尺寸①　　表 1.1.2

公称长度	集装箱型号	长度 (mm)	宽度 (mm)	高度 (mm)	箱角件孔中心距(纵向) (mm)	箱角件孔中心距(横向)(mm)	额定重量 (kg)
ISO668 20 英尺	1CC	6058	2438	2591	5853	2259	30480 (24000)②
	1C			2438			
	1CX			<2438			
ISO668 40 英尺	1AAA	12192	2438	2896	11985	2259	30480
	1AA			2591			
	1A			2438			
	1AX			<2438			
ISO668 45 英尺	1EEE	13716	2438	2896	11985 13509	2259	30480
	1EE			2591			
43 英尺		13103	2438	2591	11985	2259	30480
48 英尺		14630	2591	2908	11985 14422	2259	30480
53 英尺		16154	2591	2908	11985 15947	2259	30480

注：① 本表格中 ISO 标准集装箱的数据是根据 ISO 668：2013 确定。

② 根据 ISO 668：1995 的 Amd 1：2005 之前版本制造的 20 英尺集装箱额定重量为 24000kg。用于系固系统设计的集装箱空箱重量建议如下：

20 英尺集装箱　2.5t

40 英尺集装箱　3.5t

43 英尺和 45 英尺集装箱　4.0t

48 英尺集装箱和 53 英尺集装箱　4.5t

1.2　其他规定

1.2.1　对非集装箱船舶，其集装箱系固设备应符合本附录 1~5 的要求。

1.3　图纸资料

1.3.1　应将下列图纸资料提交批准：

(1)　集装箱排列和重量布置图；

(2)　箱格导轨结构图(如有时)；

(3)　绑扎桥结构图(如有时)；

(4)　甲板箱柱结构图(如有时)；

(5)　非箱格导轨集装箱系固设备布置图(如有时)；

(6)　系固设备详图（固定式及便携式设备，含安全工作负荷）；

(7)　固定式系固设备布置图及其船体支撑结构图；

(8)　集装箱系固手册/布置方案(船上应配有经批准的集装箱系固手册/布置方案)。

1.4　船舶操作限制

与航向、航速相关的不当操作或是极限情况(如大幅横摇)，可能会对船舶及货物产生超过本附录 4 所确定的载荷中的不利载荷。船长有义务正确驾驶以避免过度的船舶运动，以减少作用在货物堆装系统上的载荷。

1.5　定义

1.5.1　**排位(Bay)**：集装箱堆垛的纵向位置标识。一个集装箱的横向堆垛，与舱口或舱口盖相关联，包含多垛(或排)集装箱。

1.5.2　**导轨(Cell Guides)**：由垂直角钢制成的刚性系固系统，在集装箱的长度和宽度方向留有间隙，为集装箱堆垛提供定位和水平约束作用。

1.5.3　**集装箱块(Container Block)**：一定数量的集装箱堆垛，之间通过双头堆锥和/或桥接件连接。

1.5.4　**集装箱堆垛(Container Stack)**：单独的垂直集装箱堆，可通过扭锁、扭锁加绑扎杆或导轨进行系固。

1.5.5　**角件(Corner Fitting)**：一种固定装置，典型为铸件，为集装箱搬运和系固提供连接用的标准开口和接触面。为集装箱端部框架结构的组成部分，通常符合 ISO 1161 标准的规定。类似的装置可能布置在距离端部框架结构有一定距离的内部角柱处，如 45 英尺箱的 40 英尺位置的角件。

1.5.6　**角柱(Corner Post)**：加强的垂向结构，位于集装箱端部的角件之间，用于承受起吊、堆装及系固时的压力和拉力。一些集装箱在距离端部一定距离的位置还有内部角柱，如 40 英尺的位置。

1.5.7　**设计破断负荷(Design Breaking Load)**：部件的设计破断负荷由原型试验确定。设计破断负荷不应超过试验中在发生破坏前最后记录的载荷数据。

1.5.8　**设计初稳性高度(Design GM Value)**：用于集装箱绑扎计算的 GM 值由设计方确定，并在集装箱系固手册/布置方案中标明。至少应包含最小值和最大值两个值。最小值应不小于装载最多集装箱数量工况时的 GM 值，最大值应不小于所有预期装载集装箱工况时

的最大值。在初始设计时，设计初稳性高度的最小值可取为 0.025B，最大值可取为 0.075B，其中 B 为船舶的宽度。

1.5.9 **ISO 货运集装箱(ISO Freight Container)**：设计尺寸和额定重量满足 ISO 集装箱标准的集装箱，如：

ISO 1496-1 系列 1 货运集装箱(ISO 1496-1 Series 1 freight containers)；

ISO 668 外部尺寸和额定重量(ISO 668 External dimensions and ratings)；

ISO 1161 集装箱角件和规格(ISO 1161 Corner fittings and specifications)。

1.5.10 **绑扎装置(Lashing Assembly)**：由杆、钢丝绳或链制成的拉力元件、张紧装置以及绑扎点，用于系固集装箱堆垛。

1.5.11 **绑扎点(Lashing Point)**：焊接在甲板、舱口盖、箱柱及绑扎桥上，用于绑扎装置与船体结构或舱口盖连接的装置，包括 D 形环、绑扎眼板等。

1.5.12 **绑扎桥(Lashing Bridge)**：甲板上的横向升高平台，舱口盖和甲板上的集装箱可通过绑扎装置绑扎到绑扎桥上。

1.5.13 **安全工作负荷(SWL)**：系固设备的安全工作负荷为设计破断负荷除以一个合适的安全系数。部件上作用的最大剩余载荷不能超过其安全工作负荷。

1.5.14 **验证负荷(Proof Load)**：集装箱系固设备在生产试验中使用的试验负荷。最小验证负荷按表 2.2.1 确定。

1.5.15 **排/垛(Row/ Stack)**：集装箱堆垛的横向位置标识。

1.5.16 **扭变(Racking)**：水平力产生的集装箱端壁和侧壁的变形。

1.5.17 **系固设备(Securing Device)**：所有用于系固和支持集装箱的固定式和便携式装置的总称。

1.5.18 **层(Tier)**：集装箱堆垛的垂向位置标识。堆垛最下层位置的集装箱为第一层。

1.5.19 **花篮螺丝(Turnbuckle)**：一种形式的张紧装置，用于连接绑扎杆和绑扎点。

1.5.20 **扭锁(Twistlock)**：安装在角件中的设备，用于系固上层的集装箱，可承受拉力、压力和剪切力。

1.6 特殊考虑

1.6.1 对于 ISO1496-1 标准以外的集装箱以及特殊的集装箱装载方式，其集装箱的系固应根据其参数、许用负荷按本附录 4.8 中的方法考虑。

2 材料与试验

2.1 材料

2.1.1 制造箱格导轨结构及与船体相连接的固定式系固设备所用钢材，应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关规定。

2.2 原型试验

2.2.1 除箱格导轨外，对系固设备均应进行原型试验以确定其破断负荷。至少应在每种部件中抽取 2 件进行原型试验。表 2.2.1 为破断负荷与许用负荷之间的关系。当试验负荷达到表列验证负荷时，试件应无永久变形(夹头部分除外)。

设计破断负荷和验证负荷 **表 2.2.1**

项目	最小设计破断负荷(kN)		最小验证负荷(kN)	
	SWL≤400	*SWL*＞400	*SWL*≤400	*SWL*＞400
绑扎装置：				
钢丝绳	3×*SWL*			
杆(高强度钢)	2×*SWL*		1.5×*SWL*	
链(低碳钢)	3×*SWL*			
链(高强度钢)	2.5×*SWL*			
其他系固设备	2×*SWL*	*SWL*＋400	1.5×*SWL*	*SWL*＋200

注：① 高强度钢的屈服应力应不小于 315N/mm^2。

② 若不用钢材而采用其他材料，则对其破断负荷和验证负荷，将另行考虑。

③ *SWL* 为安全工作负荷，kN。

2.2.2 若两个试件中有 1 个试件在试验负荷未达到设计破断负荷之前发生破坏，则应增加 1 个试件。如符合下列 3 个条件，则仍可认为原型试验合格：

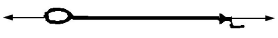
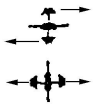
(1) 发生破坏的试件的实际破断负荷不小于设计破断负荷的 95％；

(2) 对所增加的 1 个试件进行的原型试验合格；

(3) 包括所增加的 1 个试件在内，3 个试件的实际破断负荷的平均值不小于设计破断负荷。

2.2.3 系固设备可按表 2.2.3 的模式进行试验。

试验模式 **表 2.2.3**

系固设备	试验模式示意图	建议的最小值(kN)		
		SWL	验证负荷	破断负荷
绑扎杆(高强度钢)		180	270	360
绑扎杆		250	375	500
绑扎链(高强度钢)		80	—	200
绑扎链		100	—	300
绑扎钢丝绳		120	—	360
花篮螺丝		250	375	500
扭锁		200	300	400
		250	375	500
堆锥		200	300	400
埋入式底座		250	375	500
底座		250	375	500
		200	300	400

系固设备	试验模式示意图	建议的最小值(kN)		
		SWL	验证负荷	破断负荷
D 形环		250	375	500
绑扎眼板		250	375	500
撑柱		应根据堆装布置的单独计算结果作为安全工作负荷，按表 2.2.1 确定试验负荷。		

2.3 **产品试验**

2.3.1 当制造厂按照原型试验合格的系固设备的图纸资料进行成批生产时，对其产品还应按下列两者之一的要求进行产品试验：

(1) 批量试验：对于除绑扎装置用的链或钢丝绳以外的系固设备，在每 50 件(不足 50 件仍按 50 件计)中应抽取 1 个试件，并对其进行验证负荷试验。验证负荷为其安全工作负荷的 1.5 倍。对于绑扎装置用的链或钢丝绳，在每 50 件(不足 50 件仍按 50 件计)中应抽取 1 个试件，并对其进行破断试验；

(2) 逐件试验：对系固设备应按其相应的安全工作负荷逐件进行试验。但对绑扎装置用的链或钢丝绳，在每批产品出厂前，从中抽取 1 个试件，并对其进行破断试验。

2.3.2 当按本附录 2.3.1(1)的要求对批量产品进行试验时，如在下述试验负荷范围内，试件产生永久变形，则认为该试件不合格：

(1) 1.5 × SWL，当 SWL＜250 kN 时；

(2) SWL+125，当 SWL≥250 kN 时。

2.3.3 当 1 个试件过早地出现破坏或严重的塑性变形时，则需另抽取 2 个试件并对其进行复试。如复试结果均合格，则可以验收该批产品。

2.3.4 当按本附录 2.3.1(2)进行产品试验时，若试件产生永久变形，则应不予验收。

3 集装箱的堆装与系固

3.1 **一般要求**

3.1.1 对集装箱应用下述一种装置或几种装置的组合进行系固。这些装置是锁紧装置、绑扎装置、箱格导轨、撑柱、单压撑柱或其他等效的支撑结构。

3.1.2 对集装箱的系固方式应按本附录 4 的规定经受力计算后予以确定，并应能保证集装箱和系固设备的强度。

3.2 **集装箱露天甲板上的堆装和系固**

3.2.1 将集装箱堆装在露天甲板上应符合下述要求：

(1) 露天甲板上应设置可供人员进行工作用的安全通道，并设有供安装和检查系固设备用的足够通道；

(2) 对于甲板上和舱口盖上的集装箱，一般应纵向排列；

(3) 不应使集装箱伸出船边，对伸出舱口围板或其他舱面结构物的集装箱须提供适当的支承；

(4) 当将集装箱堆装在舱口盖上时，应装设能防止舱口盖滑动的制动器或其他等效装

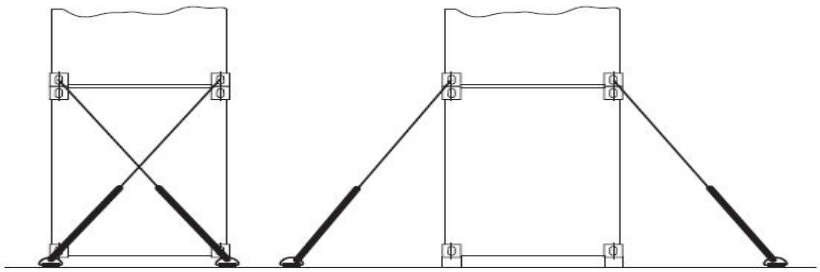
置。

3.2.2　堆装在露天甲板上的集装箱的系固应符合下述要求：

(1)　应使用扭锁和(或)绑扎装置进行系固；

(2)　为提高绑扎效率，可将固定系固点布置在绑扎桥上。此种情况下，绑扎力的计算应考虑绑扎桥结构与集装箱堆垛间的相对位移；

(3)　通常情况下，应使用内绑扎型式进行系固，如图 3.2.2（a）所示。图 3.2.2（b）所示的外绑扎形式，在绑扎杆连接的角件承受拉力时，由于扭锁与集装箱角件之间存在间隙，扭锁在该间隙没有关闭之前将不承受拉力，此时绑扎杆可能将承受过大的拉力而被破坏。如选用外绑扎形式，则上述情况需在系固计算中予以考虑。如无实际数据，半自动扭锁考虑 12mm 的垂向间隙，全自动扭锁考虑 20mm 的垂向间隙。



（a）内绑扎　　（b）外绑扎

图 3.2.2　内绑扎与外绑扎

3.2.3　可以采用箱格导轨装置。

3.2.4　当计算所得分离力不超过 375kN 时，可增加垂向绑扎进行系固。

3.3　集装箱在舱内的堆装系固

3.3.1　无箱格导轨装置

(1)　对于货舱内和甲板间舱内的集装箱，一般应纵向排列；

(2)　对集装箱可仅用锁紧装置或用锁紧装置、撑柱、单压撑柱或绑扎装置的组合，并参照本附录 3.2 的规定进行系固；

(3)　若经计算表明在集装箱层之间出现分离力，则应在该层设扭锁。对其他位置可考虑使用双头定位锥；

(4)　若经计算表明各层集装箱均无分离力出现，则对于锁紧装置可考虑全部由双头定位锥替代；

(5)　撑柱与船体结构须牢固连接，若有可能，撑柱与船体结构的连接方式应适合于不同高度的集装箱堆；

(6)　单压撑柱与船体结构的连接可为固定式、铰接式或可拆式 3 种，对该处的船体结构应作必要的加强。安装单压撑柱时，应使其紧靠箱角件并保持最小间隙；

(7)　为了传递横向载荷，相邻集装箱堆之间的连接构件的位置和强度均应与撑柱或单压撑柱的位置和强度相一致；

(8)　如有必要，对支持撑柱和单压撑柱的船体结构应作加强。

3.3.2　箱格导轨装置

(1)　箱格导轨装置不应与船体构件形成整体结构，设计时应使其不受船体主应力的影响；

(2)　箱格导轨装置应为坚固结构，设计时应能使其将船舶运动时产生的集装箱负荷传

递到船体结构，并能承受由集装箱装卸时产生的负荷以及阻止集装箱移动，导轨的厚度应不小于 12mm；

箱格导轨装置的许用应力如下(R_{eH}为材料的屈服应力，N/mm^2)：

许用剪应力：$[\tau]=0.4\,R_{eH}$

许用正应力：$[\sigma]=0.67\,R_{eH}$

(3) 箱格导轨装载一般应有钢板和型钢构成，对箱格导轨的上端应作有效的支撑。

(4) 在箱格导轨之间要设置横撑材，对其间距应按作用在导轨上的载荷而定。但一般不超过 5m，并尽可能将其布置在集装箱角的同一水平面上。在舱的全宽内，对横撑材至少应设有两个支撑点，以防止其纵向移动，但如横撑材在纵向的最大位移不超过 20mm，仅设 1 个支撑点；

(5) 在箱格导轨与横撑材之间的连接处应有足够的抗扭转强度；

(6) 在箱格导轨上应设置适当间距的中间肘板；

(7) 当由结构受力计算表明需要安装纵向拉杆时，对其间距和位移的要求同本附录 3.3.2(4)；

(8) 如位于货舱两边和两端的导轨与纵、横舱壁相连接，则该舱壁要作局部加强，以承受附加负荷；

(9) 每只集装箱和导轨之间的横向间隙之和应不超过 25mm，纵向间隙之和应不超过 40mm。应注意箱格导轨的安装精度，以确保对集装箱的顺利吊装；

(10) 引导集装箱进入箱格导轨的导箱构件应是坚固设备，一般应将其安装在导轨的顶部。

(11) 如在货舱内需要堆装不同高度的集装箱，导轨需要考虑水平力加载在支撑的中间位置的强度。

3.4 20 英尺与 40 英尺集装箱在货舱内的混合堆装

3.4.1 在用于装载 40 英尺集装箱的箱格导轨装置的处所，可以配备装 20 英尺集装箱的临时中间箱格导轨设施。其结构应适应于对这两种规格集装箱的装载。

3.4.2 在用于装载 40 英尺集装箱的箱格导轨装置的处所全长范围的 1/2 处，可以考虑对 20 英尺集装箱进行支撑。

3.4.3 当用于装载 40 英尺集装箱的箱格导轨装置的处所中间处的 20 英尺集装箱不用支撑时，应按下述要求堆装集装箱：

(1) 20 英尺集装箱堆上不堆装 40 英尺集装箱时，允许的 20 英尺集装箱堆垛的总重量按加速度和堆垛层数可由表 3.4.3(1)得出。

(2) 20 英尺集装箱顶部至少堆装 1 层 40 英尺集装箱时，允许的 20 英尺集装箱堆垛的总重量按加速度和堆垛层数可由表 3.4.3(2)得出。

(3) 在用于装载 40 英尺集装箱的箱格导轨装置的处所全长范围的 1/2 处的最底层 20 英尺集装箱端壁所受的扭变力应不超过 185kN。集装箱的堆装应尽可能保证所有的门端或封闭端是朝向相同方向。表 3.4.3(1)和表 3.4.3(2)所列重量适用于最大额定重量 30480kg 的 20 英尺集装箱。

(4) 在 20 英尺集装箱层与层之间、20 英尺集装箱与舱底之间以及 20 英尺集装箱与 40 英尺集装箱之间应安装堆锥以防止横向滑移；

(5) 如用前后拉压组件将 2 个 20 英尺集装箱前后连接相当于 1 个 40 英尺集装箱时，则在 20 英尺集装箱堆上不需堆装 40 英尺集装箱。

20 英尺集装箱堆装重量(t)　　表 **3.4.3(1)**

a_t (g) / 层数	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40
12	168.9	163.5	158.4	153.6	149.1	144.8	140.8	137.0	133.4	129.9	126.7
11	168.8	163.4	158.2	153.5	148.9	144.7	140.7	136.9	133.3	129.8	126.6
10	168.4	163.0	157.9	153.1	148.6	144.3	140.3	136.5	133.0	129.5	126.3
9	167.4	162.0	156.9	152.2	147.7	143.5	139.5	135.7	132.1	128.8	125.5
8	166.7	161.3	156.3	151.5	147.1	142.9	138.9	135.1	131.6	128.2	125.0
7	166.4	161.0	156.0	151.3	146.8	142.6	138.7	134.9	131.4	128.0	124.8
6	164.8	159.5	154.5	149.8	145.4	141.2	137.3	133.6	130.1	126.7	123.6
5	152.5	152.5	152.5	149.3	144.9	140.8	136.9	133.2	129.7	126.4	123.2
4	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	121.5
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t (g) / 层数	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51
12	123.6	120.7	117.9	115.2	112.6	110.2	107.8	105.6	103.4	101.4	99.4
11	123.5	120.6	117.8	115.1	112.5	110.1	107.7	105.5	103.3	101.3	99.3
10	123.2	120.3	117.5	114.8	112.3	109.8	107.5	105.3	103.1	101.0	99.1
9	122.5	119.6	116.8	114.1	111.6	109.2	106.8	104.6	102.5	100.4	98.5
8	122.0	119.1	116.3	113.6	111.1	108.7	106.4	104.2	102.0	100.0	98.0
7	121.8	118.9	116.1	113.5	110.9	108.5	106.2	104.0	101.9	99.8	97.9
6	120.6	117.7	115.0	112.3	109.8	107.5	105.2	103.0	100.9	98.9	96.9
5	120.2	117.3	114.6	112.0	109.5	107.1	104.8	102.7	100.6	98.6	96.6
4	118.5	115.7	113.0	110.4	108.0	105.6	103.4	101.2	99.2	97.2	95.3
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t (g) / 层数	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62
12	97.5	95.6	93.8	92.1	90.5	88.9	87.4	85.9	84.5	83.1	81.7
11	97.4	95.5	93.8	92.1	90.4	88.8	87.3	85.8	84.4	83.0	81.7
10	97.2	95.3	93.6	91.9	90.2	88.6	87.1	85.6	84.2	82.8	81.5
9	96.6	94.7	93.0	91.3	89.7	88.1	86.6	85.1	83.7	82.3	81.0
8	96.2	94.3	92.6	90.9	89.3	87.7	86.2	84.7	83.3	82.0	80.6
7	96.0	94.2	92.4	90.8	89.1	87.6	86.1	84.6	83.2	81.8	80.5

6	95.1	93.3	91.5	89.9	88.3	86.7	85.2	83.8	82.4	81.0	79.7
5	94.8	93.0	91.3	89.6	88.0	86.5	85.0	83.5	82.1	80.8	79.5
4	93.4	91.7	90.0	88.3	86.8	85.2	83.8	82.4	81.0	79.7	78.4
3	91.5	89.8	88.2	86.6	85.0	83.5	82.1	80.7	79.4	78.1	76.8
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0
a_t(g) 层数	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73
12	80.4	79.2	78.0	76.8	75.6	74.5	73.4	72.4	71.4	70.4	69.4
11	80.4	79.1	77.9	76.7	75.6	74.5	73.4	72.3	71.3	70.3	69.4
10	80.2	78.9	77.7	76.5	75.4	74.3	73.2	72.2	71.2	70.2	69.2
9	79.7	78.5	77.3	76.1	74.9	73.8	72.8	71.7	70.7	69.7	68.8
8	79.4	78.1	76.9	75.8	74.6	73.5	72.5	71.4	70.4	69.4	68.5
7	79.2	78.0	76.8	75.6	74.5	73.4	72.3	71.3	70.3	69.3	68.4
6	78.5	77.2	76.0	74.9	73.8	72.7	71.6	70.6	69.6	68.7	67.7
5	78.2	77.0	75.8	74.7	73.5	72.5	71.4	70.4	69.4	68.4	67.5
4	77.1	75.9	74.8	73.6	72.5	71.5	70.4	69.4	68.4	67.5	66.6
3	75.6	74.4	73.2	72.1	71.1	70.0	69.0	68.0	67.1	66.1	65.2
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0
a_t (g) 层数	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84
12	68.5	67.6	66.7	65.8	65.0	64.1	63.3	62.6	61.8	61.1	60.3
11	68.4	67.5	66.6	65.8	64.9	64.1	63.3	62.5	61.8	61.0	60.3
10	68.3	67.4	66.5	65.6	64.8	64.0	63.2	62.4	61.6	60.9	60.1
9	67.9	67.0	66.1	65.2	64.4	63.6	62.8	62.0	61.2	60.5	59.8
8	67.6	66.7	65.8	64.9	64.1	63.3	62.5	61.7	61.0	60.2	59.5
7	67.5	66.6	65.7	64.8	64.0	63.2	62.4	61.6	60.9	60.1	59.4
6	66.8	65.9	65.0	64.2	63.4	62.6	61.8	61.0	60.3	59.6	58.8
5	66.6	65.7	64.8	64.0	63.2	62.4	61.6	60.8	60.1	59.4	58.7
4	65.7	64.8	63.9	63.1	62.3	61.5	60.7	60.0	59.3	58.5	57.8
3	64.3	63.5	62.6	61.8	61.0	60.3	59.5	58.8	58.1	57.4	56.7
2	61.0	61.0	60.3	59.5	58.7	58.0	57.2	56.5	55.8	55.2	54.5

注：表中层数为 20 英尺集装箱堆垛层数，a_t 为堆垛中间层的横向加速度。例如：堆装 7 层 20 英尺集装箱，且集装箱堆上不堆装 40 英尺集装箱时，如堆垛中间层的横向加速度 a_t 为 0.45g，则该堆垛的总重量应不超过 110.9t，但堆垛中每层集装箱的重量可不相同。

20 英尺集装箱顶部至少堆装 1 层 40 英尺集装箱堆装重量(t)　　表 **3.4.3(2)**

a_t (g) / 层数	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40
12	210.8	209.9	209.2	208.4	207.6	206.8	205.9	205.3	204.5	203.6	203.5
11	218.4	217.6	216.8	216.1	215.3	214.6	213.9	213.0	209.8	204.5	200.4
10	227.4	226.7	225.9	225.3	224.7	223.5	217.4	211.5	206.0	200.8	197.0
9	238.6	237.9	237.2	232.1	225.3	218.9	212.8	207.1	201.7	196.5	193.1
8	244.0	243.1	235.5	228.4	221.7	215.3	209.3	203.7	198.3	193.2	188.4
7	213.5	213.5	213.5	213.5	213.5	209.1	203.3	197.8	192.6	187.7	183.0
6	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	181.4	176.8
5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5
4	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t (g) / 层数	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51
12	198.5	193.8	189.3	185.0	180.9	177.0	173.2	169.6	166.1	162.8	159.6
11	195.5	190.8	186.4	182.1	178.1	174.2	170.5	167.0	163.6	160.3	157.1
10	192.2	187.6	183.2	179.1	175.1	171.3	167.6	164.1	160.8	157.6	154.5
9	188.3	183.9	179.6	175.5	171.6	167.9	164.3	160.9	157.6	154.4	151.4
8	183.8	179.4	175.3	171.3	167.5	163.8	160.4	157.0	153.8	150.7	147.8
7	178.5	174.3	170.2	166.4	162.7	159.1	155.7	152.5	149.4	146.4	143.5
6	172.5	168.4	164.5	160.8	157.2	153.8	150.5	147.4	144.4	141.5	138.7
5	152.5	152.5	152.5	152.5	150.5	147.3	144.1	141.1	138.2	135.5	132.8
4	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t(g) / 层数	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62
12	156.5	153.6	150.7	148.0	145.4	142.8	140.3	138.0	135.7	133.4	131.3
11	154.1	151.2	148.4	145.7	143.1	140.6	138.2	135.8	133.6	131.4	129.3
10	151.5	148.6	145.9	143.2	140.7	138.2	135.8	133.5	131.3	129.2	127.1
9	148.5	145.7	143.0	140.4	137.9	135.5	133.1	130.9	128.7	126.6	124.6
8	144.9	142.2	139.6	137.0	134.6	132.2	129.9	127.7	125.6	123.5	121.6
7	140.8	138.1	135.6	133.1	130.7	128.4	126.2	124.1	122.0	120.0	118.1
6	136.0	133.5	131.0	128.6	126.3	124.1	122.0	119.9	117.9	116.0	114.1
5	130.3	127.8	125.4	123.2	121.0	118.8	116.8	114.8	112.9	111.0	109.3
4	122.0	121.1	118.9	116.7	114.6	112.6	110.7	108.8	107.0	105.2	103.5

3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0
a_t(g) / 层数	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73
12	129.2	127.2	125.2	123.3	121.5	119.7	118.0	116.3	114.6	113.1	111.5
11	127.2	125.2	123.3	121.4	119.6	117.9	116.1	114.5	112.9	111.3	109.8
10	125.1	123.1	121.2	119.4	117.6	115.9	114.2	112.5	111.0	109.4	107.9
9	122.6	120.7	118.8	117.0	115.3	113.6	111.9	110.3	108.8	107.3	105.8
8	119.6	117.8	115.9	114.2	112.5	110.8	109.2	107.7	106.1	104.7	103.2
7	116.2	114.4	112.6	110.9	109.3	107.6	106.1	104.6	103.1	101.7	100.3
6	112.3	110.5	108.8	107.2	105.6	104.0	102.5	101.1	99.6	98.2	96.9
5	107.5	105.8	104.2	102.6	101.1	99.6	98.2	96.8	95.4	94.1	92.8
4	101.9	100.3	98.8	97.3	95.8	94.4	93.0	91.7	90.4	89.2	87.9
3	91.5	91.5	91.5	90.4	89.0	87.7	86.4	85.2	84.0	82.8	81.7
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0
a_t(g) / 层数	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84
12	110.0	108.5	107.1	105.7	104.4	103.0	101.8	100.5	99.3	98.1	96.9
11	108.3	106.9	105.4	104.1	102.7	101.4	100.2	98.9	97.7	96.6	95.4
10	106.5	105.0	103.7	102.3	101.0	99.7	98.5	97.3	96.1	94.9	93.8
9	104.4	103.0	101.6	100.3	99.0	97.8	96.5	95.3	94.2	93.0	91.9
8	101.8	100.5	99.2	97.9	96.6	95.4	94.2	93.0	91.9	90.8	89.7
7	98.9	97.6	96.3	95.1	93.8	92.7	91.5	90.4	89.3	88.2	87.1
6	95.6	94.3	93.1	91.9	90.7	89.5	88.4	87.3	86.3	85.2	84.2
5	91.5	90.3	89.1	88.0	86.8	85.7	84.7	83.6	82.6	81.6	80.6
4	86.7	85.6	84.5	83.4	82.3	81.3	80.2	79.3	78.3	77.3	76.4
3	80.6	79.5	78.5	77.5	76.5	75.5	74.5	73.6	72.7	71.9	71.0
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

注：表中层数为 20 英尺集装箱堆垛层数（不包含顶层 40 英尺集装箱的层数），a_t 为堆垛中间层的横向加速度。例如：堆装 7 层 20 英尺集装箱，且集装箱堆上至少堆装一层 40 英尺集装箱时，如堆垛中间层的横向加速度 a_t 为 0.45g，则该堆垛的总重量应不超过 162.7t（不包含顶层 40 英尺的集装箱的重量），但堆垛中每层集装箱的重量可不相同。

4 集装箱的受力与系固设备的计算

4.1 一般要求

4.1.1 对于集装箱所受的力，应根据船舶装载工况及船舶运动予以确定。这些力包括由于船舶的横摇、纵摇和垂荡运动所产生的集装箱惯性力以及集装箱的总重量、风力、系固力和波浪的冲击力。

4.1.2　集装箱上所受的力可分为 F_x、F_y 及 F_z 三个分力，如图 4.1.2 所示。其中 *ox* 为横摇中心轴，F_x、F_y 及 F_z 均作用在集装箱的中心，即认为集装箱的重心位于箱的中心处，在系固计算中可接受集装箱的重心位置位于箱高的 45%处。

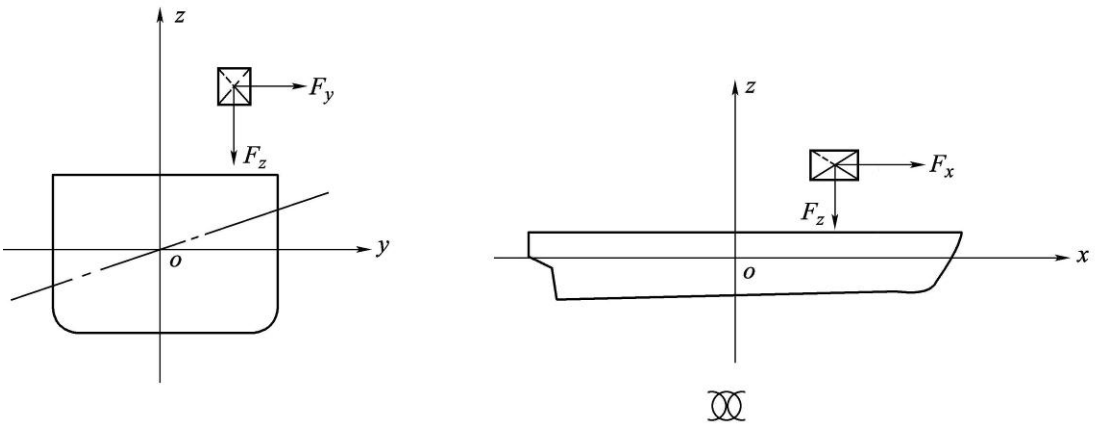


图 4.1.2　集装箱受力分析

4.2　集装箱系固加速度

4.2.1　用于集装箱系固计算的横向加速度 a_t 按下式计算：

$$a_t = (g + b_v)\cdot \sin\phi_m + b_h \cdot \cos\phi_m + (\frac{2\pi}{T_R})^2 \cdot \phi_m \cdot (z - z_{ROLL}) \qquad \mathrm{m/s^2}$$

式中：g ——重力加速度，取 9.81 $\mathrm{m/s^2}$；

b_v ——由纵摇和升沉引起的垂向运动的加速度，$\mathrm{m/s^2}$；

b_h ——由艏摇和横荡引起的横向运动的加速度，$\mathrm{m/s^2}$；

ϕ_m ——船舶横摇角，rad；

T_R ——船舶横摇周期，s；

z ——集装箱重心位置距基线高度，m；

z_{ROLL} ——船舶横摇中心线距基线高度，m；

在上述横向加速度计算公式中，b_v，b_h 由船舶的主尺度、方形系数以及航速确定，横摇角及横摇周期则由船舶主尺度与初稳性高度确定。横向加速度 a_t 可通过船舶计算系统进行拟合确定。

4.2.2　用于集装箱系固计算的垂向加速度 a_v 按下式计算：

$$a_v = 0.866 k_x \cdot g \qquad \mathrm{m/s^2}$$

式中：g——重力加速度，取 9.81 m/s^2；

k_x——纵向分布系数，可通过船舶计算系统确定。

4.2.3　用于集装箱系固计算的纵向加速度 a_l 按下式计算：

$$a_l = g \cdot (0.4 - 0.001L_{BP})$$，但不必小于 1.5 m/s^2

式中：g——重力加速度，取 9.81 m/s^2；

L_{BP}——垂线间长，m。

4.3　集装箱的受力

4.3.1　对平行于甲板的横向分力 F_y 应按下式计算：

$$F_y = Ga_t + Q \qquad \text{kN}$$

式中：G——集装箱的总重量，t；

a_t——横向加速度，m/s^2，见本附录 4.2.1；

$Q = qA$,kN，其中 q 为风压，对于舷旁外侧的集装箱 q=0.95kPa（对于最底层集装箱还需考虑 0.95kPa 的飞溅力），对于中间和货舱内的集装箱 q=0，A 为受风压作用的集装箱的侧面积，m^2。当邻近的集装箱堆间距离不超过 1m，内侧的集装箱的风载荷可不计入。当集装箱堆间距离为 5m 或以上，内侧的集装箱的风载荷应完全计入。距离在 1m 到 5m 的情况，需要进行线性插值计算。当暴露面积小于 1/3 的侧向面积时，风载荷可以忽略。

4.3.2　对垂直于甲板的垂向分力 F_z 应按下式计算：

校核集装箱垂向支撑结构强度时为：

$$F_z = Ga_v \qquad \text{kN}$$

式中：G——见本附录 4.3.1；

a_v——见本附录 4.2.2；

4.3.3　对平行于甲板的纵向分力 F_x 应按下式计算：

$$F_x = Ga_l \qquad \text{kN}$$

式中：G——见本附录 4.3.1；

a_l　——见本附录 4.2.3。

4.4　集装箱上力的分配和组合

4.4.1　在每只集装箱上，力的分配如下：

(1)　对于横向分力 F_y 由箱的前后两端壁传递到支撑点 x。对第 i 只集装箱的每个端壁传递的横向力 H_i 应按下式计算：

$$H_i = F_{yi}/2 \qquad \text{kN}$$

H_i 的分配：假定集装箱的重心位于箱的中心处时，在集装箱端壁上端为 $H_i/2$，在下端为 $H_i/2$。

假定集装箱的重心位于箱的 45%高度时，在集装箱端壁上端为 $0.45H_i$，在下端为 $0.55H_i$。式中：F_{yi}——第 i 只集装箱的横向分力，见本附录 4.3.1。

(2)　对于垂向分力 F_z，由箱的 4 个底角传递到座点处的支撑结构上。对第 i 只集装箱的每只底角处的垂向分力 V_i 应按下式计算：

$$V_i = F_{zi}/4 \qquad \text{kN}$$

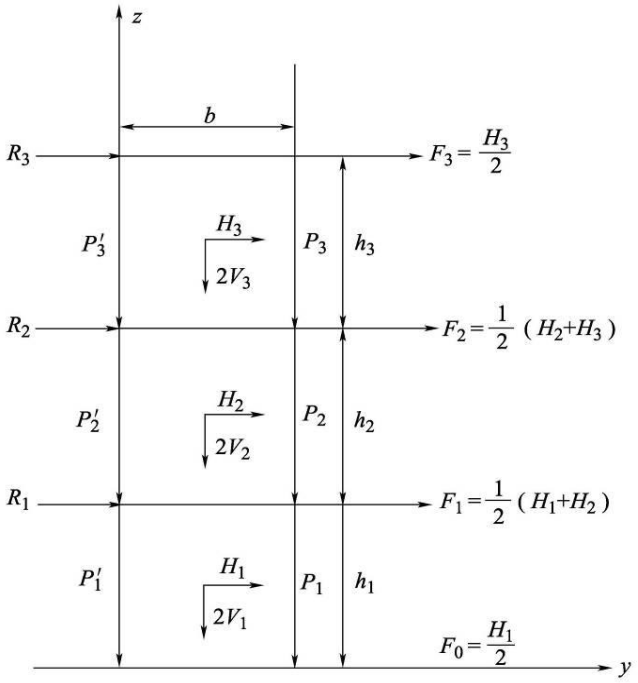
式中：F_{zi} ——第 i 只集装箱的垂向分力，见本附录 4.3.2。

(3)　对于纵向分力，由箱的左右纵壁传到支撑点 x。对第 i 只集装箱的每道纵壁传递的纵向分力 L_i 应按下式计算：

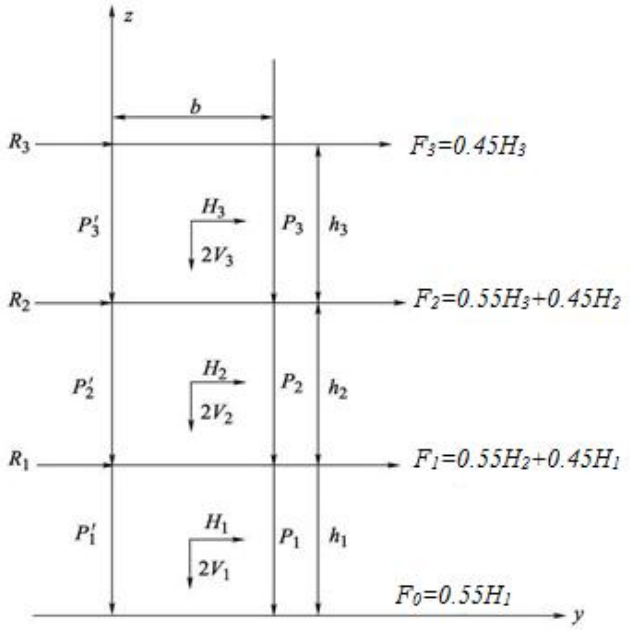
$$L_i = F_{xi}/2 \qquad \text{kN}$$

式中：F_{xi} ——第 i 只集装箱的纵向分力，见本附录 4.3.3。

4.4.2　对于一垛 3 层的集装箱，其端壁上力的分配如图 4.4.2 及表 4.4.2。对其纵壁上的力可用类似的方法予以处理。



(a) 重心位于箱中心



(b) 重心位于 45%箱高处

图 4.4.2　集装箱端壁上的力

各层集装箱端壁上的力　　表 4.4.2

层次 / 力	第 1 层	第 2 层	第 3 层
每道端壁上的横向扭变力 R_i	$F_3+F_2+F_1$	F_3+F_2	F_3
每一箱底角处最大箱角压力 P_i	$V_3+\frac{F_3}{b}(h_3+h_2+h_1)+V_2+\frac{F_2}{b}(h_2+h_1)+V_1+\frac{F_1}{b}h_1$	$V_3+\frac{F_3}{b}(h_3+h_2)+V_2+\frac{F_2}{b}h_2$	$V_3+\frac{F_3}{b}h_3$
每一箱底角处最小箱角压力 P_i'	$V_3-\frac{F_3}{b}(h_3+h_2+h_1)+V_2-\frac{F_2}{b}(h_2+h_1)+V_1-\frac{F_1}{b}h_1$	$V_3-\frac{F_3}{b}(h_3+h_2)+V_2-\frac{F_2}{b}h_2$	$V_3-\frac{F_3}{b}h_3$
每一箱底角处剪切力 S_i	$0.55(H_3+H_2+H_1)$	$0.55(H_3+H_2)$	$0.55H_3$

注：当 $P_i'<0$ 时，即为分离力。

4.5　集装箱绑扎装置的计算

4.5.1　绑扎装置可为钢丝绳、钢杆或钢链组成。对于其安全工作负荷，可根据本附录表 2.2.1 的破断负荷予以决定。

4.5.2　如图 4.5.2 为 1 垛 2 层的集装箱，对第 2 层用绑扎装置进行内绑扎。当假定重心在集装箱中心处，选定绑扎装置的有效剖面积 A 时，可按下式计算集装箱上所承受的剩余

扭变力 T (T 应符合本附录 4.7.2(2)的要求)：

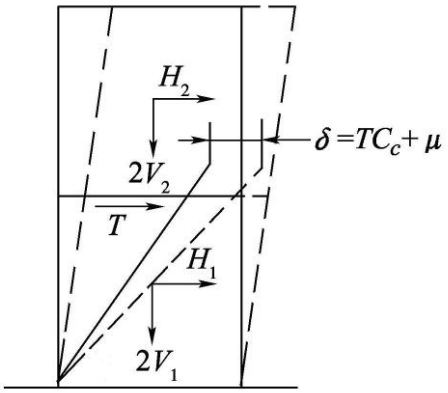


图 4.5.2　一垛 2 层集装箱

$$T = \frac{\frac{1}{2}H_1 + H_2 - \frac{AEl_y^2}{l^3}\mu}{\frac{AEl_y^2}{l^3}C_c + 1} \quad \text{kN}$$

式中：H_1、H_2 ——见本附录 4.4.1(1)；

l ——绑扎装置的总长度，应包含受拉装置，花篮螺丝及眼板。可通过公式计算获得：

$$l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2} \text{，mm；}$$

l_x ——绑扎装置在纵向的长度分量，mm；

l_y ——绑扎装置在横向的长度分量，mm；

l_z ——绑扎装置在垂向的长度分量，mm；

E ——绑扎装置的弹性模量，按如下取：钢丝绳 10000kN/cm^2，钢链(按钢链的名义直径)4000kN/cm^2；钢杆(绑扎到第 1 层集装箱箱顶或第 2 层集装箱箱底)14000 kN/cm^2，钢杆(绑扎到第 2 层集装箱箱顶或第 3 层集装箱箱底)17500kN/cm^2，钢杆(绑扎到第 3 层集装箱箱顶或第 4 层集装箱箱底)19000kN/cm^2；

A ——绑扎装置的有效剖面积，cm^2；

μ ——集装箱底座处的滑动位移，mm，对于集装箱门端的第一层和第二层取为 4mm，对于封闭端取为 0；

C_c ——集装箱横向框架的柔度，如无实际资料，可取门端柔度为 0.27 mm/kN，封闭端柔度为 0.06 mm/kN，纵壁的柔度为 0.168 mm/kN。

4.5.3　绑扎装置所产生的绑扎力应不超过本附录 4.7.2(1)所规定的集装箱角件上的许用负荷。

4.6　支撑力

4.6.1　当舱内集装箱的堆装不用导轨而用刚性支撑时，支点的受力如下：

如图 4.6.1 所示，对支撑力 Q_3、Q_5 应按下述计算：

$$Q_3 = \frac{1}{h_1}[H_4(h_1 - Z_4) + H_5(h_1 - Z_5)] + \frac{1}{h_2}[H_1 Z_1 + H_2 Z_2 + H_3 Z_3] \qquad \text{kN}$$

$$Q_5 = \frac{1}{h_1}(H_4 Z_4 + H_5 Z_5) \qquad \text{kN}$$

式中：H_1、H_2、H_3、H_4 及 H_5 见本附录 4.4.1(1)。

Q_i 是对一垛集装箱的支撑力。当横向并列有 n 垛集装箱，且 n 不超过 4 时，支撑力应为 $n\,Q_i$；当 n 超过 4 时，对支撑力 $Q_i(n)$，可按下式计算：

$$\text{如 } n - m \le 4\text{，则 } Q_i(n) = Q_i \cdot \left[1 - \frac{(n-4)^2}{2 \cdot n \cdot m}\right]$$

$$\text{如 } n - m > 4\text{，则 } Q_i(n) = Q_i \cdot \left(\frac{8+m}{2 \cdot n}\right)$$

式中：n——使用同一横向支撑的并列堆垛数；

m——所有集装箱堆垛的最高层数；

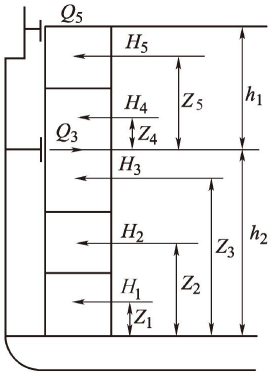


图 4.6.1　刚性支撑的支点受力

4.6.2　当舱内集装箱的堆装用弹性支撑时，支点的受力如下：

如图 4.6.2 所示，一垛集装箱有 i、j 及 k 三个弹性支撑点，支撑力分别 Q_i、Q_j 及 Q_k。支撑力可根据支撑点处弹性支撑的位移与集装箱总位移相等的原则求得，且应考虑各支撑力间的相互影响。对支撑力 Q_i、Q_j 及 Q_k 也可按下式求得：

$$Q_k(C_{sk} + kC_c) + (kQ_i + kQ_j)C_c + \delta_k = C_c[(H_{k+1} + H_{k+2} + H_{k+3} + H_{k+4})k + \sum_{r=1}^{k} H_r(r - \frac{1}{2})]$$

$$Q_j(C_{sj} + jC_c) + jQ_iC_c + \delta_j = C_c[(H_{j+1} + H_{j+2})j + \sum_{r=1}^{j} H_r(r - \frac{1}{2})]$$

$$Q_i(C_{si} + iC_c) + \delta_i = C_c[H_{i+1}i + \sum_{r=1}^{i} H_r(r - \frac{1}{2})]$$

式中：C_{si}、C_{sj} 及 C_{sk}——分别为 i、j 及 k 支撑点的柔度， mm/kN；

δ_i、δ_j 及 δ_k——分别为 i、j 及 k 支撑点处的初始间隙；

C_c——见表 4.5.2。

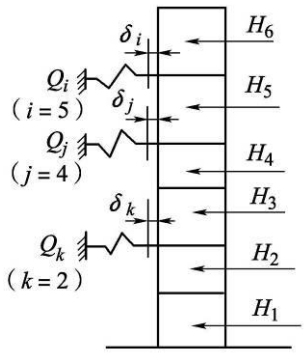


图 4.6.2　弹性支撑的支点受力

4.7　集装箱的许用负荷

4.7.1　对集装箱无论采用何种系固方式，作用在集装箱上的力均应不超过集装箱的许用负荷。

4.7.2　如图 4.7.2 所示，符合国际标准组织(ISO)标准系列 1 的集装箱许用负荷如下：

(1)　作用于角件上的绑扎力：

端壁或侧壁上的水平分力应不超过 150kN 或 225kN，衡准值取决于水平分力的作用方向，详见图 4.7.2 a）；

端壁或侧壁上的垂直分力应不超过 300kN；

角件上水平分力和垂直分力的合力应不超过 300kN。

(2)　端壁或侧壁上的扭变力：

端壁上的横向扭变力应不超过 150kN；

侧壁上的纵向扭变力应不超过 100kN。

(3)　作用于角件上的垂向拉力和压力：

顶角件上的垂向拉力应不超过 250kN；

底角件上的垂向拉力应不超过 250kN；

集装箱角柱上的压力应不超过 848kN。

(4)　作用于角件上的横向水平压力和拉力：

20 英尺集装箱顶角件上的水平压力(拉力)应不超过 225kN；

40 英尺集装箱顶角件上的水平压力(拉力)应不超过 340kN；

20 英尺集装箱底角件上的水平压力(拉力)应不超过 350kN；

40 英尺集装箱底角件上的水平压力(拉力)应不超过 500kN。

当支撑在中间堆层时，20 英尺集装箱的总水平压力(拉力)应不超过 575kN， 40 英尺集装箱的总水平压力(拉力)应不超过 840kN。

(5)　对于 45 英尺集装箱，作用于角件上的垂向压力：

在 45 英尺位置堆装，并在 45 英尺位置支撑，集装箱角柱上的压力应不超过 942 kN；

在 40 英尺位置堆装，并在 40 英尺位置支撑，集装箱底角件上的压力应不超过 404 kN。

45 英尺集装箱其余许用负荷同 40 英尺集装箱。

(6)　对于特殊尺寸(如 43 英尺、48 英尺、53 英尺)集装箱，需要提交测试试验数据。

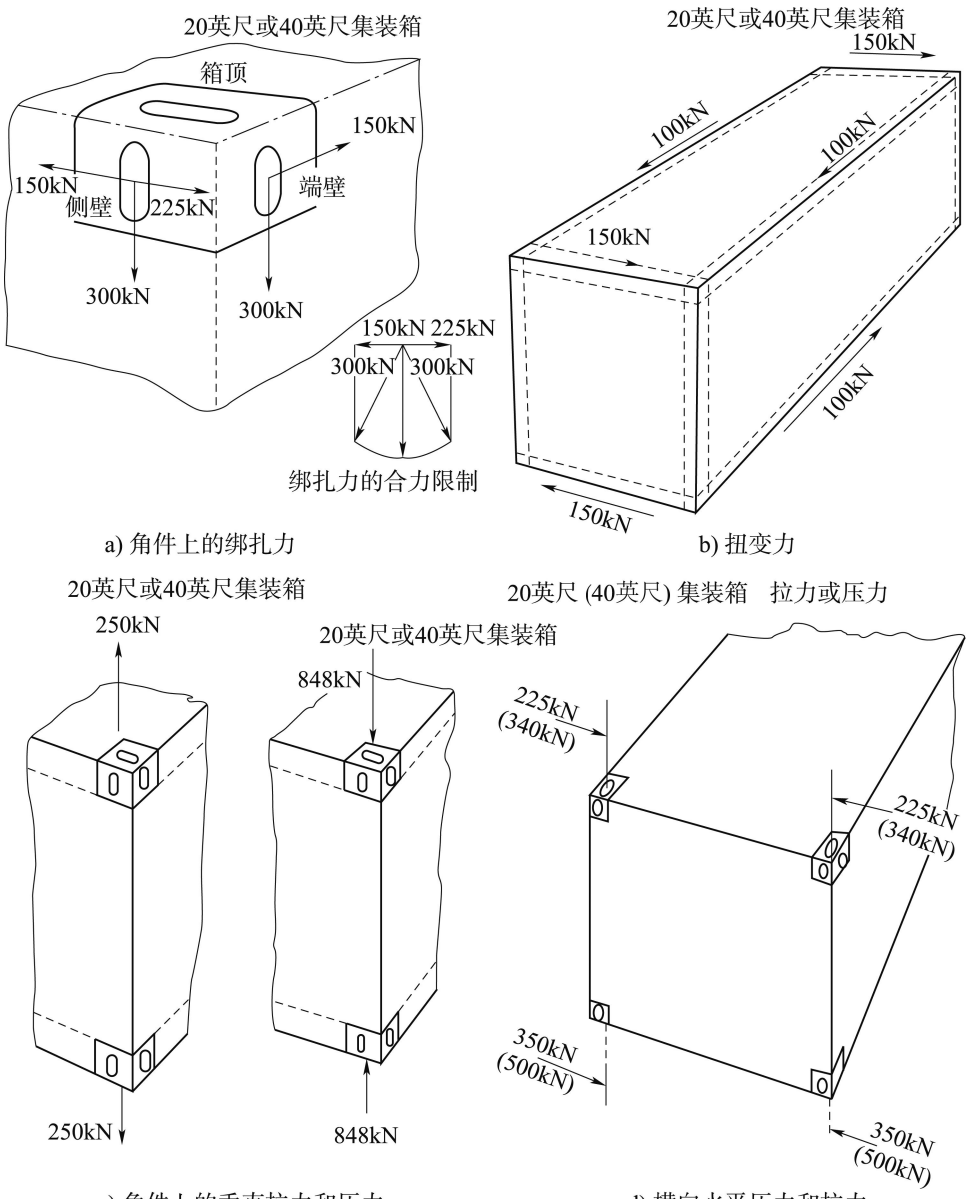


图 4.7.2　20 英尺或 40 英尺集装箱的许用负荷

4.8 **集装箱系固的直接计算方法**

4.8.1 一般要求

4.8.1.1 可使用 2 维梁模型来模拟集装箱，并计算集装箱及其绑扎的强度。

4.8.1.2 除非堆垛间使用双头堆锥或其他类似设备相连，否则每个堆垛应分别计算。

4.8.1.3 集装箱层间的间隙计入扭锁或堆锥的法兰厚度。

4.8.2 几何建模

4.8.2.1 根据集装箱的尺寸使用梁单元建立集装箱的框架模型。

4.8.2.2 通过调整集装箱角柱的截面积来分别获得门端和封闭端的柔度，方法如下图 4.8.2.2：

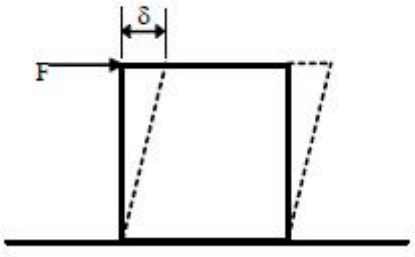


图 4.8.2.2 门端和封闭端的柔度

例如：集装箱门端的柔度为 0.291mm/kN，当 F=1000kN 时，框架的变形应为 291mm。

4.8.2.3 两层集装箱间的扭锁应使用刚性单元模拟，并且其中一端铰接以避免弯矩的传递。

4.8.2.4 两层集装箱间的堆锥应使用非线性单元模拟，以实现只承受压力不承受拉力。

4.8.2.5 绑扎杆应根据实际的弹性模量和截面积建立。

4.8.3 约束条件与载荷

4.8.3.1 与船体结构相连的单元只限制其平动自由度。

4.8.3.2 载荷以集中载荷的方式加载于集装箱的箱角处。横向载荷加载于集装箱的顶部和底部箱角，而垂向载荷只加载于底部箱角。

4.8.4 计算结果

4.8.4.1 可在模型中提取结果来校核集装箱是否符合本附录 4.7 规定的集装箱的许用负荷，以及系固设备所受的载荷是否超过其安全工作负荷。

5 集装箱系固结构的强度评估

5.1 **一般要求**

5.1.1 本要求适用于位于集装箱船甲板上的绑扎桥和箱柱结构，以及固定式系固设备（绑扎眼板、地令等）的支撑结构。

5.2 **绑扎桥**

5.2.1 绑扎杆的安全工作负荷(破断负荷的 50%)是校核绑扎桥强度的理论最大载荷。

5.2.2 校核绑扎桥强度时，应按集装箱系固手册中可能出现最大绑扎力的工况进行加载，绑扎力按集装箱系固手册计算获得。绑扎力的方向应与绑扎杆的方向一致，可分解为纵向，横向以及垂向的分力进行加载，绑扎力加载于绑扎桥的系固眼板位置。计算绑扎力时应考虑绑扎桥与集装箱堆垛间的相对位移，应不超过表 5.2.2 中所列之值：

绑扎桥与集装箱堆垛间相对位移　　表 5.2.2

一层箱高绑扎桥	两层箱高绑扎桥	三层箱高绑扎桥
10mm	25 mm	35 mm

5.2.3　初始设计时，可按实际情况中可能出现最大绑扎力的工况进行加载，绑扎力取为每根绑扎杆（或其他系固设备）安全工作负荷的 60%。

5.2.4　校核绑扎桥强度时，应计算绑扎力分别加载于绑扎桥前部和后部的工况，以及同时加载的工况。

5.2.5　为较好地描述各结构部件在各个方向上的受力分布情况，绑扎桥的强度校核应采用三维有限元结构分析方法。模型范围、单元及边界条件的取用原则如下：

(1)　有限元模型应包括所有在甲板或舱口盖以上的绑扎桥结构。边界条件可约束与甲板或舱口盖连接处的三个平动自由度。

(2)　板单元的网格尺寸一般可采用 100mm×100mm，在高应力区和高应力变化区尽可能避免使用三角形单元。

5.3　甲板箱柱

5.3.1　甲板箱柱在设计时应考虑最危险的工况，应同时考虑作用在箱柱上的横向载荷和垂向载荷。

5.3.2　如有绑扎点布置在箱柱上，还应同时考虑绑扎力的水平及垂向分量。

5.4　固定式系固设备

5.4.1　所连接系固设备的安全工作负荷应作为固定式系固设备支撑结构的设计载荷。

5.5　强度衡准

5.5.1 各种工况下，绑扎桥结构、甲板箱柱结构以及固定式货物系固设备支撑结构的许用应力如下(R_{eH}为材料的屈服应力，N/mm^2)：

$$\text{许用剪应力：}[\tau]=0.4\,R_{eH}$$

$$\text{许用相当应力：}[\sigma]=0.88R_{eH}$$

附录 2　集装箱船结构强度直接计算

1　一般规定

1.1　适用范围

1.1.1　本附录适用于本章要求的集装箱船结构强度直接计算。

1.1.2　对于本附录无规定者，　均应符合本篇第 1 章第 5 节的有关要求。

2　货舱区域主要结构强度直接计算

2.1　一般要求

2.1.1　货舱段直接计算适用于货舱区域主要构件在典型装载工况下的强度评估。主要构件包括：

(1)双层底结构（船底板、内底板、纵桁和实肋板）；

(2)双舷侧结构 (舷侧板、内壳板、纵向平台和横向强框架)；

(3)横舱壁结构（横舱壁板、舱壁桁材）；

(4)甲板结构（甲板、抗扭箱）。

2.1.2 如在中部货舱之间布置燃油舱时，还应按本附录 2.8 对燃油舱区域结构进行强度评估。

2.2　结构模型化

2.2.1　除本附录另有规定外，结构模型化要求见本篇第 1 章第 5 节。

2.2.2　货舱段模型纵向范围一般应至少覆盖船中货舱区域的“1/2 个货舱+1 个货舱+1/2 个货舱”范围，即“1 个 40 英尺箱位+2 个 40 英尺箱位+1 个 40 英尺箱位”的长度；垂向应取至舱口围范围；横向应取全宽范围。

2.2.3　模型中一般应包括横向水密舱壁和横向支撑舱壁，横向支撑舱壁位于模型的中间和前、后端，典型有限元模型见图 2.2.3(1)～(3)。

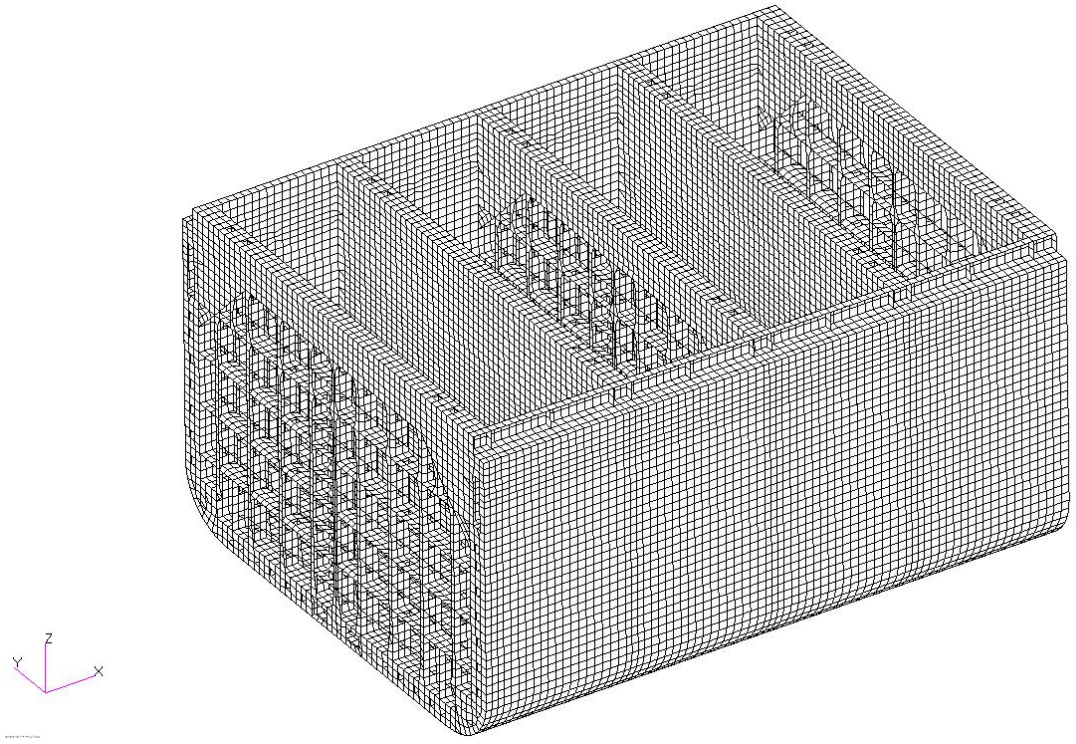


图 2.2.3(1)　典型有限元模型

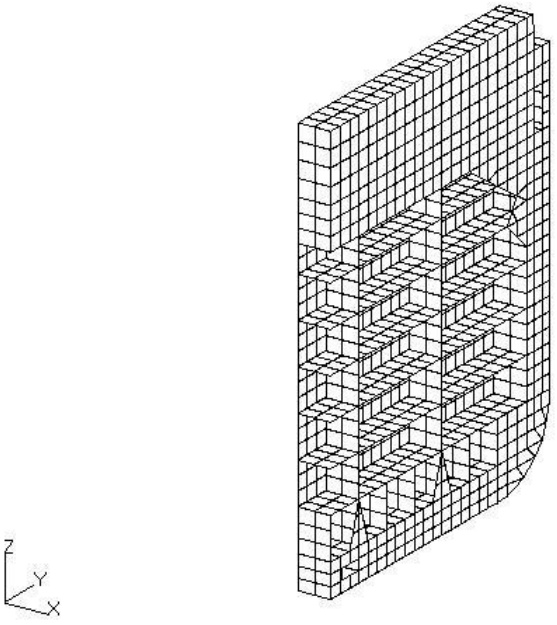


图 2.2.3(2)　典型的水密横舱壁有限元模型（半宽）

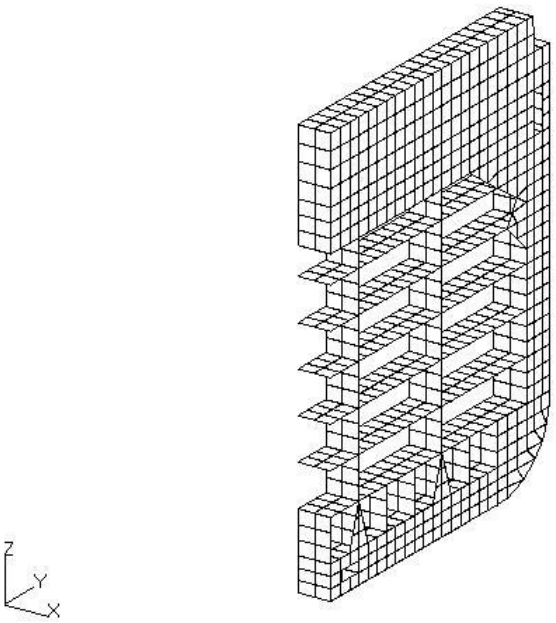


图 2.2.3(3)　典型的横向支撑舱壁有限元模型（半宽）

2.3　设计载荷

2.3.1　除本附录另有规定外，设计载荷见本篇第 1 章第 5 节。

2.3.2　总体载荷包括静水弯矩和波浪弯矩。静水弯矩 M_s 取设计方提供的许用中拱静水弯矩 $\overline{M}_{s-Hog}$ 和许用中垂静水弯矩 $\overline{M}_{s-Sag}$。垂向波浪弯矩 M_w 包括中拱波浪弯矩 M_{w-Hog} 和中垂波浪弯矩 M_{w-Sag}，按本章第 2 节 7.2.2.3 计算。

2.3.3　局部载荷包括如下：

(1)海水静压力；

(2)海水动压力；

(3)船体结构和集装箱自重；

(4)由船舶运动加速度引起的船体结构和集装箱动载荷，船舶运动加速度见 2.3.5；

2.3.4　舷外海水动压力是由局部波浪载荷引起的附加压力，分为波峰动压力和波谷动压力。波峰动压力 p_{hd} 见本篇第 1 章 1.5.3.3（4）和（5）。波谷动压力 p_{hd1} 按下式计算，分布示意图见图 2.3.4。

$$p_{hd1} = \max\left(-p_{hd}, \rho_w g\left(z - d_1\right)\right) \quad \text{KN/m}^2$$

式中：　p_{hd} ——按本篇第 1 章 1.5.3.3（4）；

ρ_w ——海水密度，取 1.025t/m^3；

g——重力加速度，取 9.81m/s^2；

z——计算点至基线的垂直距离，m；

d_1——计算工况下的吃水，m。

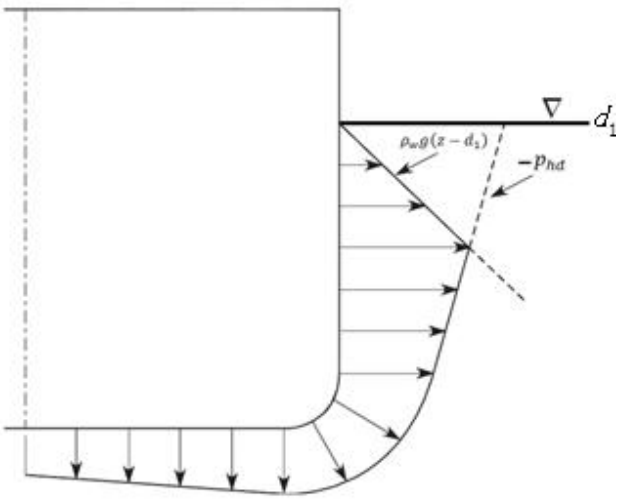


图 2.3.4　波谷动压力在船体横剖面上的分布示意图

2.3.5　由船舶运动引起的垂向加速度 a_v 按下式计算，以向下为正：

$$a_v = f_{LC}(C_{ZH}a_z - C_{ZP}a_p(x - 0.45L)) \qquad \text{m/s}^2$$

式中：

f_{LC} ——系数，应按下列各式取值：

f_{LC} =-1.0，计算工况为中垂时

f_{LC} = 1.0，计算工况为中拱时

C_{ZH} ——垂荡加速度项载荷组合因子，C_{ZH} =0.15-0.5 f_T，$f_T = d_1/d$；d——吃水，m；

a_z ——按本篇第 1 章 1.5.2.2（3）计算；

C_{ZP} ——纵摇加速度项载荷组合因子，取 0.7；

a_p ——按本篇第 1 章 1.5.2.2（5）计算。

x——计算点的 x 坐标，m；

L——船长，m。

由船舶运动引起的纵向加速度 a_l 按本篇第 1 章第 5 节 1.5.2.2（7）计算，计算时航速取为最大服务航速的一半。

2.4　计算工况

2.4.1　应按照表 2.4.1 的计算工况进行校核。如装载手册中存在表 2.4.1 以外更为严重的装载工况，也应对这些装载工况进行结构强度直接计算。图 2.4.1 为各计算工况的示意图。

计算工况　　**表 2.4.1**

工况	工况描述	静水弯矩	波浪弯矩	吃水	海水动压力	箱重	船体结构和集装箱动载荷加速度
1	一个 40 英尺箱位的舱内和舱盖上为空；其余舱内和舱盖上装满	$\overline{M}_{s-Hog}$	M_{w-Hog}	d	p_{hd}	40ft 重箱	a_v

工况	工况描述	静水弯矩	波浪弯矩	吃水	海水动压力	箱重	船体结构和集装箱动载荷加速度
2	一个 40 英尺箱位的舱内为空，舱盖上装满；其余舱内和舱盖上装满	$\overline{M}_{s-Hog}$	M_{w-Hog}	d	p_{hd}	40ft 重箱	a_v
3	一个 40 英尺箱位的舱内为空，舱盖上装满；其余舱内和舱盖上装满	$\overline{M}_{s-Hog}$	M_{w-Hog}	d	p_{hd}	20ft 重箱	a_v
4	所有舱的舱内和舱盖上装满	$\overline{M}_{s-Sag}$	M_{w-Sag}	$0.9d$	p_{hd1}	20ft 重箱	a_v
5	所有舱的舱内和舱盖上装满	$\overline{M}_{s-Hog}$	M_{w-Hog}	d	p_{hd}	40ft 轻箱	a_v
6	所有舱的舱内和舱盖上装满	$\overline{M}_{s-Hog}$	M_{w-Hog}	d	p_{hd}	40ft 重箱	a_v
7	一个 40 英尺箱位的舱内和舱盖上为空；其余舱内和舱盖上装满（船舶横倾）	—	—	d	—	40ft 重箱	—
8	所有舱的舱内和舱盖上装满（船舶横倾）	—	—	d	—	20ft 重箱	—
9	所有舱的舱内和舱盖上装满（船舶纵向运动）	$\overline{M}_{s-Sag}$	M_{w-Sag}	d	p_{hd1}	舱内 40ft 重箱,舱盖 20ft 重箱	a_l， a_v
10	破损（船舶横倾）	—	—	d_{dam}	—	40ft 重箱(除中间破损舱外)	—

注：(1) d——吃水，m；

(2) 重箱——单个箱重取许用堆重除以最大装箱层数得到；

(3) 轻箱——单个箱重应按不大于下列各式取值：

货舱内： 55%的重箱重量；

舱口盖上：90%的舱盖上许用堆重除以最大装箱层数或17吨，取小者；

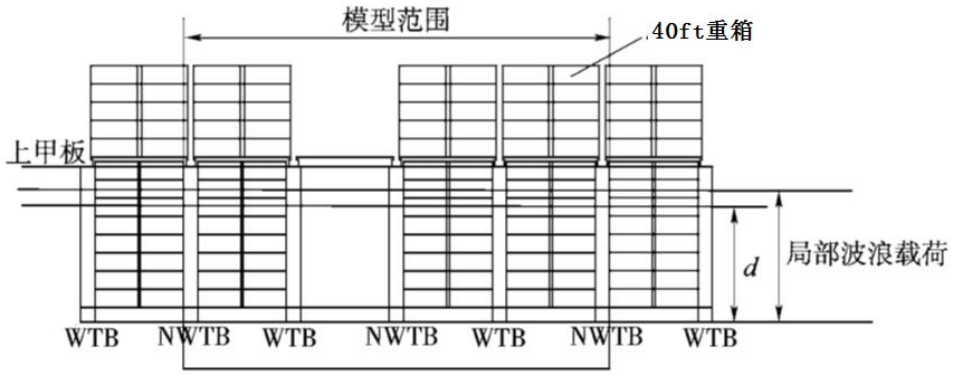
(4) 工况7、8中，横倾角按本篇第1章第5节计算；如有波浪载荷直接计算预报时，可接受直接计算预报的横倾角，但均应不小于18°；

(5) 工况9中，舱内及舱口盖上的载荷值的确定，见2.4.3与2.4.4；

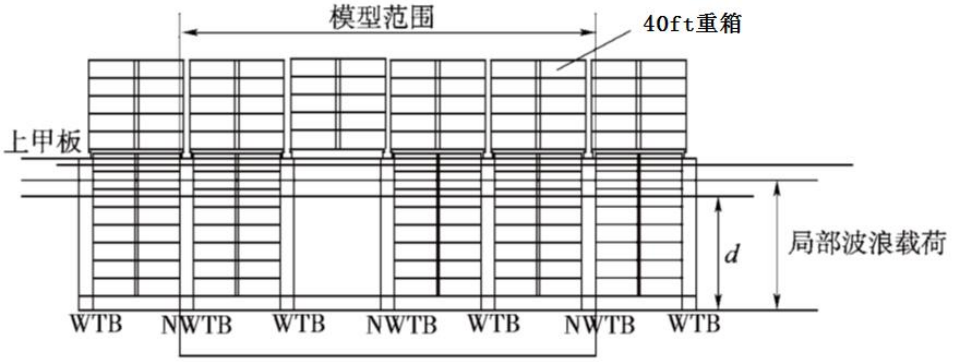
(6) 如出现一个货舱包含 2 个及以上 40 英尺箱位，则每个箱位必须按空舱进行计算；

（7）d_{dam}——定义见本附录 2.4.5。

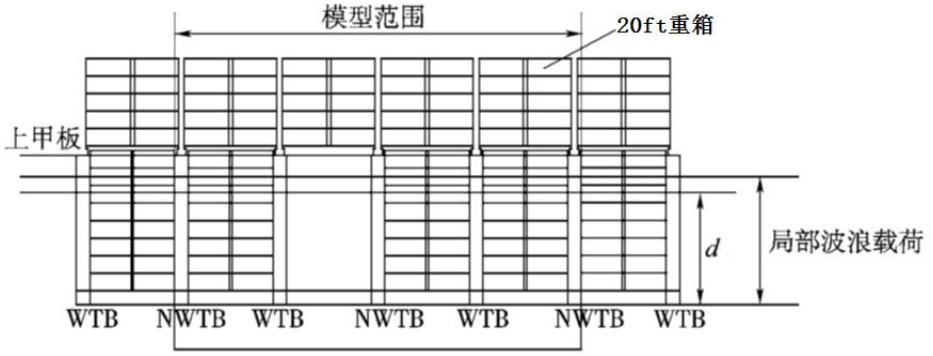
工况 1



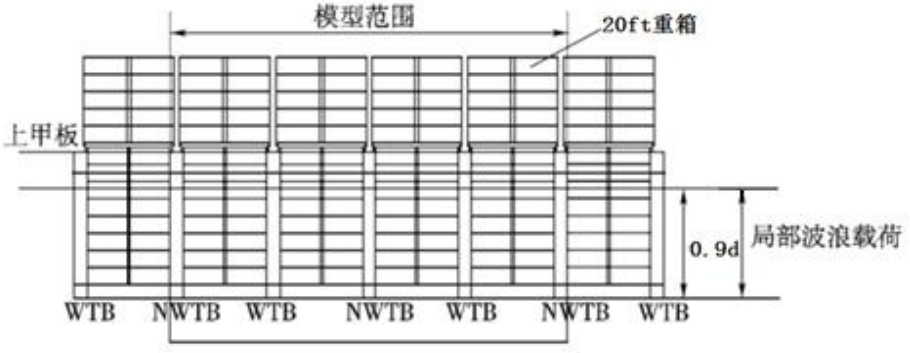
工况 2



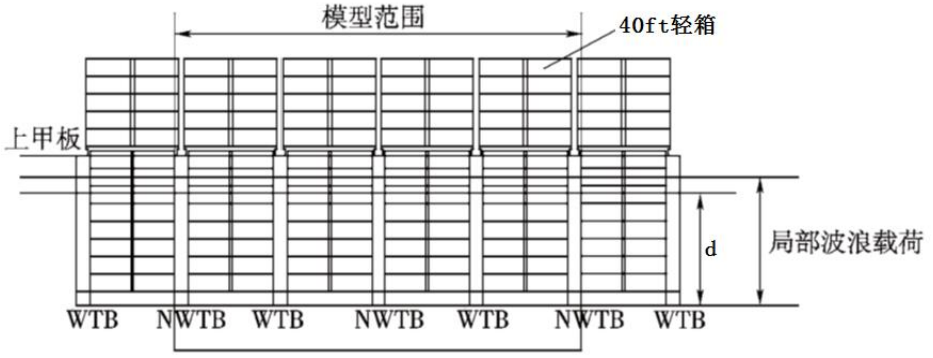
工况 3



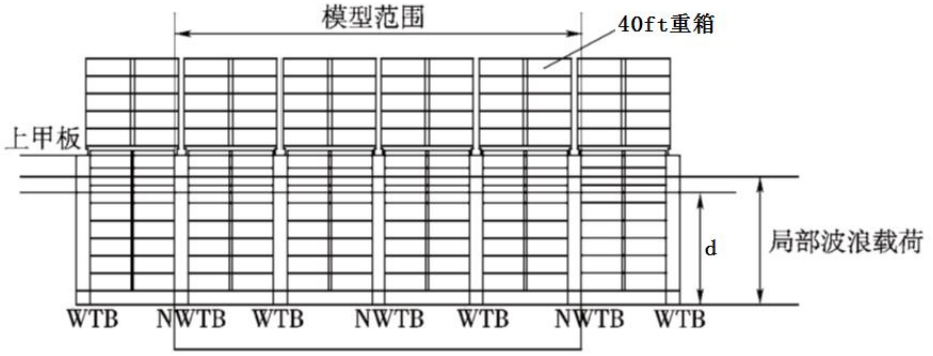
工况4



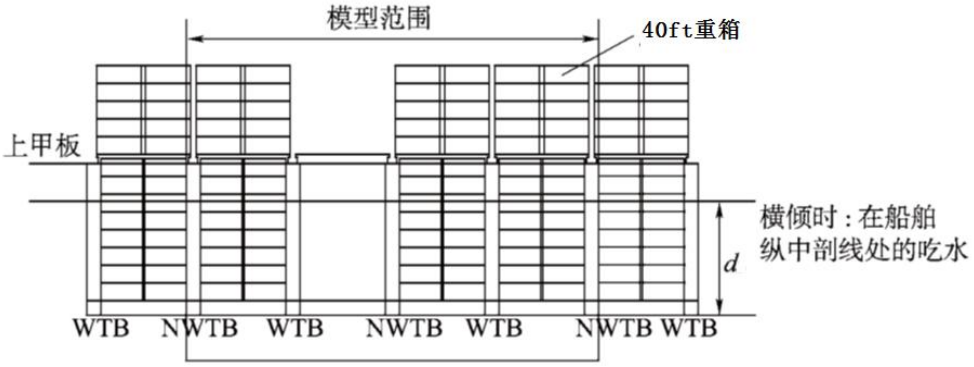
工况5



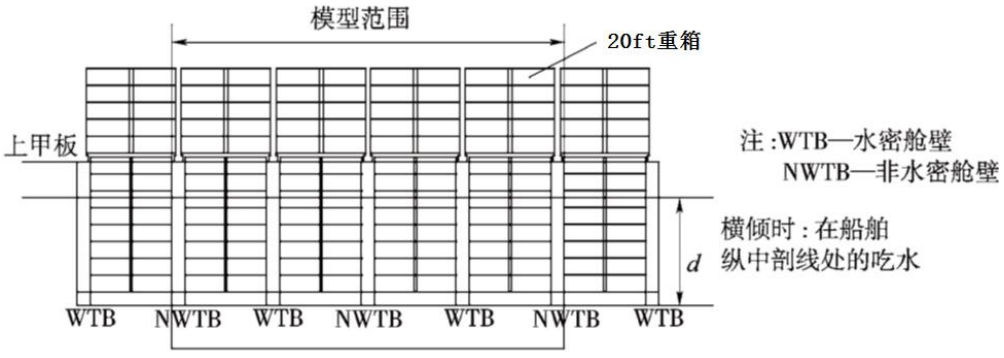
工况6



工况7



工况8



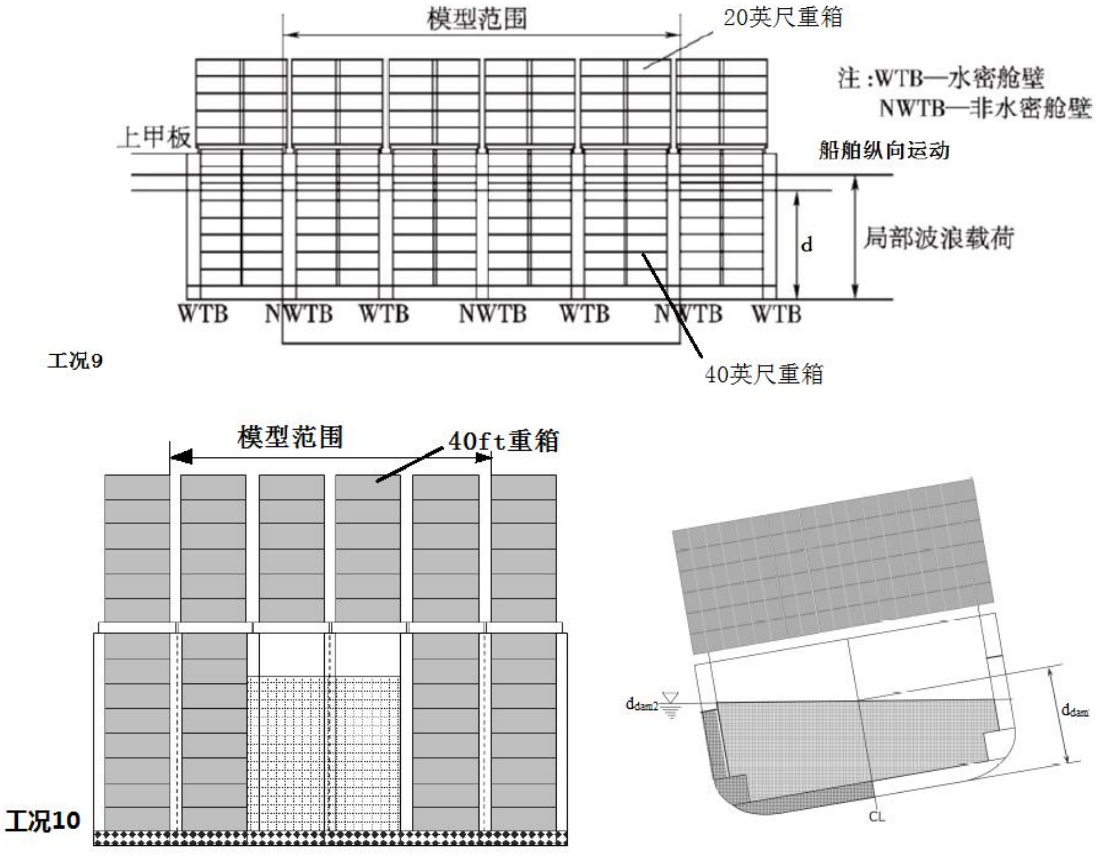


图 2.4.1　计算工况示意图

2.4.2　横倾工况(工况7、工况8)中，假定船舶静横倾至最大横摇角计算各载荷分量。货舱内集装箱的横向载荷分量，按其在横舱壁对应的箱角分布位置为作用点，以一组集中力形式，作用在横舱壁上。甲板上集装箱的横向载荷分量，以一组沿横向分布的剪力形式，作用在横向舱口围板顶端的单元节点上。

2.4.3　如集装箱船设有箱型甲板纵桁、且甲板横向抗扭箱的跨距不超过13.0m时，可不必计算工况9。

2.4.4　纵荡工况（工况9）中，货舱内每一集装箱由于纵向运动加速度产生的纵向力应按各集装箱的物理位置，由集装箱对应箱角位置传递到横舱壁（或横向支撑舱壁）的主要构件上。舱口盖上集装箱载荷应按下述要求计算：

（1）每个舱口盖上集装箱的纵向力应按舱口盖上堆高中点处纵向加速度确定，不计入由纵向力在每堆的基座处产生的力矩。

（2）集装箱的堆重和层数按装载手册或货物操作手册中允许的最大堆重和层数取值。

（3）甲板上位于舷侧至纵向舱口围板间的集装箱载荷不计。

（4）舱口盖上纵向力总量的15%，应以分布力形式作用在纵向和横向舱口围板顶部的节点上，以模拟舱口围板处支承块由于纵向运动受到的摩擦力。

（5）舱口盖上纵向力总量的其余 85%，应作用在舱口盖一端纵向止滑块对应（横向舱口围板顶端）的节点上。如止滑块位置未知，则假定为舱口盖后端宽度的 1/2 处，如舱口盖数未知，假定每一舱口由 3 块舱口盖覆盖。

2.4.5　破损工况（工况 10）中，假定船舶任一货舱进水达到最深平衡水线。有限元模型中且仅考虑中间货舱和同侧压载舱同时破损情况。集装箱载荷加载同 2.4.2。破损点的最

大高度 d_{dam2} 和中纵剖面处的 d_{dam} 由最深平衡水线确定。

2.5 边界条件

2.5.1 局部载荷工况边界条件

2.5.1.1 载荷对称的计算工况（工况1、2、3、4、5、6、9），边界条件见表2.5.1.1(1)；载荷非对称的计算工况（工况7、8、10），边界条件见表2.5.1.1(2)；表中节点、交线、端面示意见图2.5.1.1。

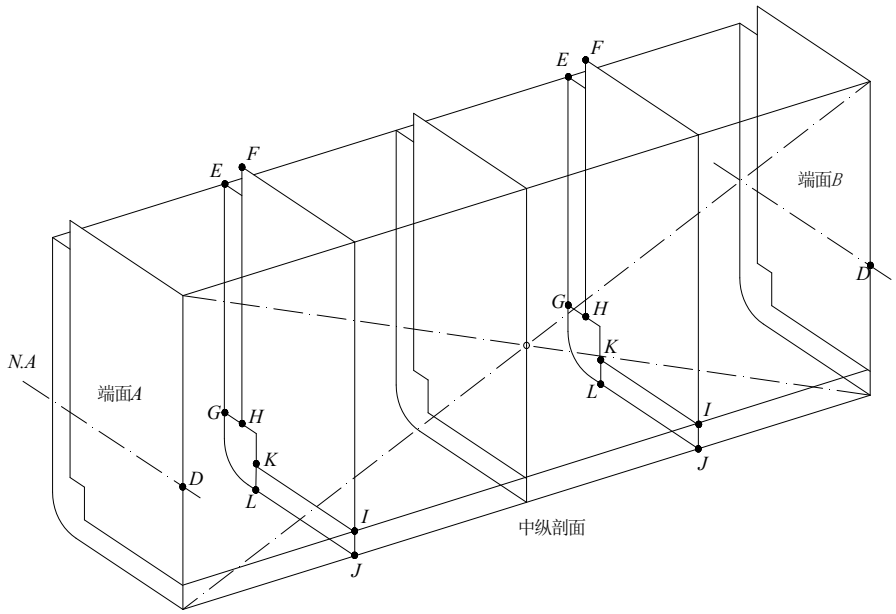


图 2.5.1.1 边界条件

2.5.1.2 对于载荷对称的计算工况，舷侧外板、内壳板与前后横舱壁交线上节点应设置垂向弹簧单元，对于载荷非对称的计算工况，除舷侧外板、内壳板与前后横舱壁交线上节点应设置垂向弹簧单元外，船底板、内底板与前后横舱壁交线上节点还应设置水平弹簧单元。弹簧单元弹性系数均匀分布，按下式计算：

$$K = \frac{5GA}{6l_H n} \quad \text{N/mm}$$

式中：G——材料的剪切弹性模量，对于钢材，G=0.792×10^5 N/mm^2;

A——前后舱壁处舷侧外板、内壳板、船底板、内底板的剪切面积，mm^2；

l_H——中部货舱长度，mm；

n——舷侧外板、内壳板上垂向交线节点数量或船底板、内底板上水平交线节点数量。

对称载荷边界条件 表 2.5.1.1(1)

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
节点 *J*	—	固定	—	—	—	—
端面 *A*、*B*	固定	—	—	—	固定	固定

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
交线 *EG*、*FH*	—	—	弹簧	—	—	—

非对称载荷边界条件　　表 2.5.1.1(2)

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
端面 A、B	固定	—	—	—	固定	固定
交线 EG、FH	—	—	弹簧	—	—	—
交线 IK、JL	—	弹簧	—	—	—	—

2.5.2　总体载荷工况边界条件

2.5.2.1　总体载荷工况边界条件见表2.5.2.1，仅适用于表2.4.1中船体梁的弯曲应力的计算。

2.5.2.2　在端面*A*与*B*内中和轴与纵中剖面相交处建一个独立点*D*（见图2.5.1.1），在独立点上施加总纵弯矩，端面各纵向构件节点自由度δ_x、δ_y、δ_z独立点相关。

2.5.2.3 端面A与B内独立点D的横向线位移、垂向线位移、绕纵向轴的角位移约束，即：$\delta_y=\delta_z=\theta_x=0$；端面A内独立点D纵向线位移约束，即$\delta_x=0$。

总体载荷边界条件　　表 2.5.2.1

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
节点 *J*	—	固定	—	—	—	—
端面 A、B	相关	相关	相关	—	—	—
独立点 D(端面 A)	固定	固定	固定	固定	弯矩	—
独立点 D(端面 B)	—	固定	固定	固定	弯矩	—

2.6　强度评估

2.6.1　评估区域

2.6.1.1　应对中间货舱和向前后延伸一个横框架范围内的主要构件进行评估。

2.6.2　屈服强度评估

2.6.2.1　应将局部载荷工况与总体载荷工况产生的应力合成后进行强度校核。板单元应力取为单元中点处的相当应力。

2.6.2.2　各工况下，主要构件的许用应力见表 2.6.2.2。

许用应力 **表 2.6.2.2**

构件名称	计算工况	许用应力(N/mm²)	
		$[\sigma_e]$	$[\tau]$
甲板板	LC1、2、3、4、5、6、9	225/*K*	—
船底外板、内底板	LC1、2、3、4、5、6、9	225/*K*	—
舷侧板、纵舱壁	LC1、2、3、4、5、6、9	225/*K*	115/*K*
船底纵桁	LC1、2、3、4、5、6、9	235/*K*	115/*K*
双层底肋板	LC1、2、3、4、5、6、7、8、9	175/*K*	90/*K*
横向强框架	LC1、2、3、4、5、6、7、8、9	195/*K*	95/*K*
边舱纵向平台	LC1、2、3、4、5、6、9	225/*K*	—
	LC 7、8	175/*K*	90/*K*
横舱壁板	LC1、2、3、4、5、6、9	180/*K*	100/*K*
	LC10	235/*K*	—
横舱壁桁材	LC1、2、3、4、5、6、7、8、9	175/*K*	—
	LC10	235/*K*	—
双层底及舷侧平台与水密横舱壁结构连接处	LC10	235/*K*	—
甲板横向抗扭箱	LC 7、8	175/*K*	90/*K*
	LC9	175/*K*	—
	LC10	235/*K*	—
肘板趾端部局部应力集中	LC1、2、3、4、5、6、7、8、9、10	220/*K*	—

注： (1) *K*——材料系数。

(2) 在计算工况 9 中，位于舱口围板顶端舱盖纵向止滑块处节点的单元，由于其直接承受来自舱盖载荷，相当应力的许用值为$[\sigma_e]$=195/*K* N/mm²

2.6.3 屈曲强度评估

2.6.3.1 应对集装箱船的船体结构的外板、内底板、甲板、舱壁板和主要及局部支撑构件腹板结构及支柱和支撑舱壁水平/垂直桁等构件进行有限元屈曲评估。

2.6.3.2 评估区域见 2.6.1。

2.6.3.3 除 2.6.3.4～2.6.3.8 规定外，屈曲评估应按照《钢质海船入级规范》第 2 篇第 7 章附录 2 中 2.6.3.3 的要求进行。

2.6.3.4 屈曲评估中，所有板格和加强筋等构件的屈曲能力计算均应基于扣除标准减薄厚度t_r后的尺寸，标准减薄厚度t_r见表 2.6.3.4。

标准减薄厚度 **表 2.6.3.4**

位置	标准减薄厚度t_r mm
甲板、边舱甲板（如第二层甲板等）	1.0
纵舱壁板（内壳板）	1.0

位置	标准减薄厚度t_r mm
外板（包括船底板）、内底板	1.0
双层底及边舱内结构（桁材、肋板）	1.0
横舱壁结构（水密、非水密）	0.0
甲板横向抗扭箱	0.0

注：如屈曲评估采用其他厚度折减方式（如基于腐蚀余量），许用屈曲利用因子应另行考虑。

2.6.3.5　对于有限元模型计算局部载荷工况与总体载荷工况合并得到的应力（包括正应力、剪应力的各个分量），若应力成分为局部应力或包含局部应力成分，则计算应力应按如下要求进行应力修正：

$$\sigma_A = \frac{\sigma t}{t - t_r} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：σ_A——经修正后的屈曲工作应力（包括轴向应力和剪应力的各个分量），N/mm^2；

σ——有限元计算得到的应力（包括轴向应力和剪应力的各个分量）, N/mm^2；

t——有限元计算所使用的板厚，mm；

t_r——标准减薄厚度，mm，见表 2.6.3.4。

2.6.3.6　屈曲评估的许用屈曲利用因子η_{all}，见表 2.6.3.6。

许用屈曲利用因子η_{all}　　表 2.6.3.6

结构部件	许用屈曲利用因子η_{all}
— 板（包括开口处腹板） — 加强筋 — 加筋板格	1.00
— 支杆、支柱 — 按杆件屈曲模式校核的支撑舱壁水平/垂直桁	0.75
— 防撞舱壁（如需要）	0.90

2.6.3.7　集装箱船的船体板格的加筋/非加筋板格的评估方法定义见表 2.6.3.7 和图 2.6.3.7（1）～2.6.3.7（6）。

板格类型及对应的评估方法　　表 2.6.3.7

结构单元	**评估方法**	**常规板格定义**
纵向结构，见图 2.6.3.7（1）、（4）、（6）		
外壳板（船底外板、舷侧外板） 内底板 内壳/纵舱壁板 底边舱水平纵向平台和垂直边板	SP-A	长度：强框架之间 宽度：主要构件之间
舱口围侧板	SP-A 或 UP-A	长度：强框架之间 宽度：主要构件之间
上甲板	SP-B[5]	长度：强框架之间 宽度：主要构件之间
双层底纵桁	SP-B[5]	长度：强框架之间 宽度：整个腹板高度
横向结构，见图 2.6.3.8（2）		
甲板横框架/横向抗扭箱腹板，包括规则网格形	SP-A[6]	局部加强筋 / 面板 /主要构件之间

结构单元	评估方法	常规板格定义
状的肘板		
甲板横骨架/横向抗扭箱腹板腹板，包括不规则网格形状的肘板	SP-B[5]	局部加强筋 / 面板 /主要构件之间
双壳边舱横隔板	SP-B[5]	长度：整个腹板高度 宽度：主要构件之间
双壳边舱横隔板（单独布置）	SP-B	长度：整个腹板高度 宽度：主要构件之间
不规则的加筋板格，如底边舱和舭部处的腹板板格（连续排列布置）	UP-A	局部加强筋 / 面板 /主要构件之间
不规则的加筋板格，如底边舱和舭部处的腹板板格（非连续排列布置）	UP-B[5]	局部加强筋 / 面板 /主要构件之间
双层底肋板	SP-A[6]	长度：整个腹板高度 宽度：主要构件之间
水密横舱壁和横向支撑舱壁，见图 2.6.3.8（3）、（4）、（5）		
所有规则的舱壁加筋板格，包括与常规加强筋垂直的次要屈曲加强筋（如短梁）	SP-A	长度：主要构件之间 宽度：主要构件之间
所有不规则的舱壁加筋板格，如底边舱和舭部处的腹板板格	UP-A	局部加强筋 / 面板之间
舱壁水平桁腹板，包括规则网格形状的肘板（板格三排列及以上）	SP-B[5]	局部加强筋 / 面板之间
舱壁水平桁腹板，包括规则网格形状的肘板（板格两排列及以下）	SP-B [5]	局部加强筋 / 面板之间
舱壁水平桁腹板，包括不规则网格形状的肘板	UP-B	局部加强筋 / 面板之间
舱壁垂直桁腹板，包括规则网格形状的肘板	SP-B [5]	局部加强筋 / 面板之间
舱壁垂直桁腹板，包括不规则网格形状的肘板	UP-B	局部加强筋 / 面板之间
舱口间甲板，见图 2.6.3.8（6）		
舱口间纵向甲板条	SP-B[5]	局部加强筋 /主要构件之间
舱口间横向甲板条	SP-B	局部加强筋 /主要构件之间

注：① SP 表示加筋板格

② UP 表示非加筋板格；

③ A 表示方法 A；

④ B 表示方法 B；

⑤对于主要构件腹板板格的某一长边，如沿着面板，或沿着不具有“边缘支持”特性的附连带板，如：“向内受拉”的特性，应选择方法 B（SP-B 或 UP-B）。对于其他情况，则应选择方法 A（SP-A 或 UP-A）；

⑥对于板的短边缘与铺板（带板翼缘）相连的典型情况，应选择方法 A（SP-A 或 UP-A），但如果板格某一长边不具有“边缘支持”特性，且能够被“向内受拉”，应选择方法 B（SP-B 或 UP-B）；

⑦ “边缘支持”——系指板格的某一边缘（一直）受到邻接板格和/或边缘加强筋的结构支持或约束；

⑧ “向内受拉”——系指板格的某一边缘能够被自由地拉着朝向板中心。

本表中，“边缘支持”和“向内受拉”所表征的力学特性互为相反。

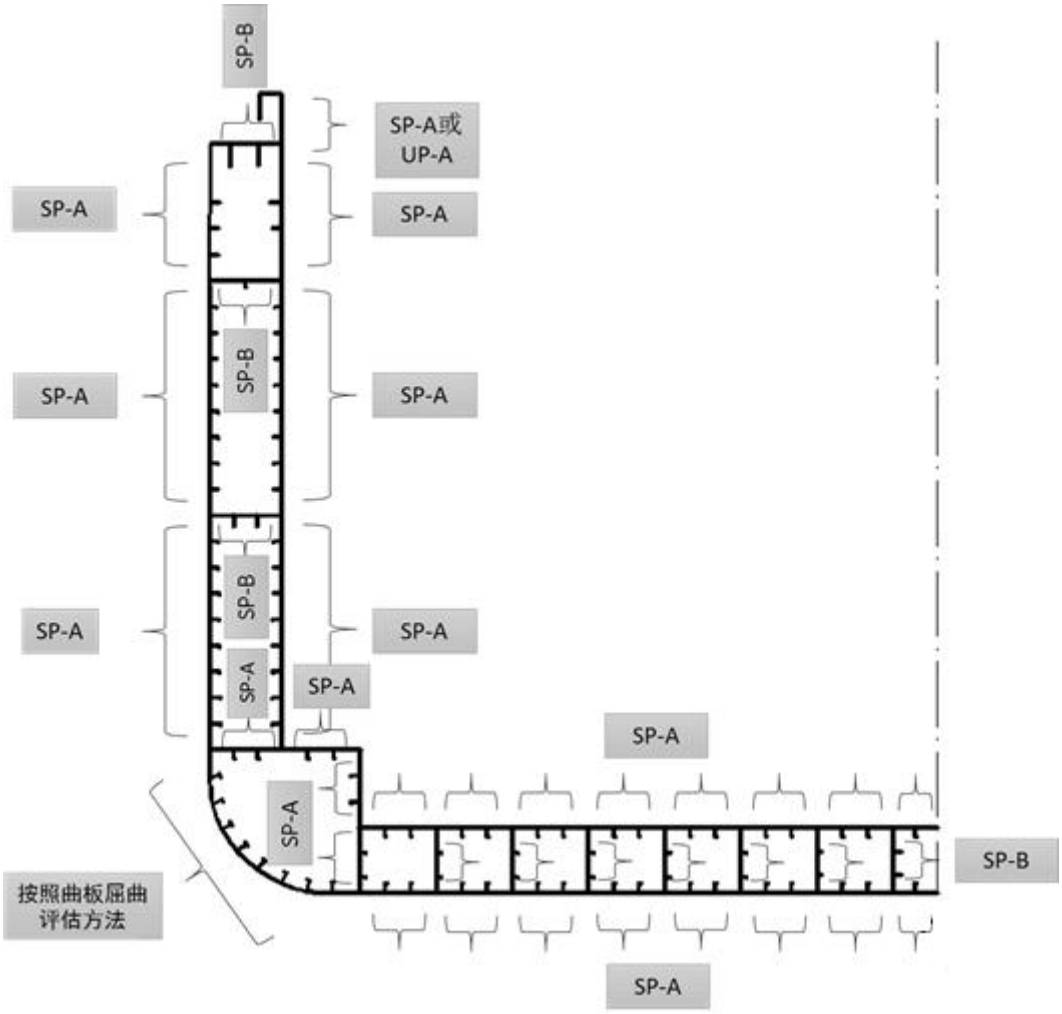


图 2.6.3.7(1)　典型集装箱船的纵向板格

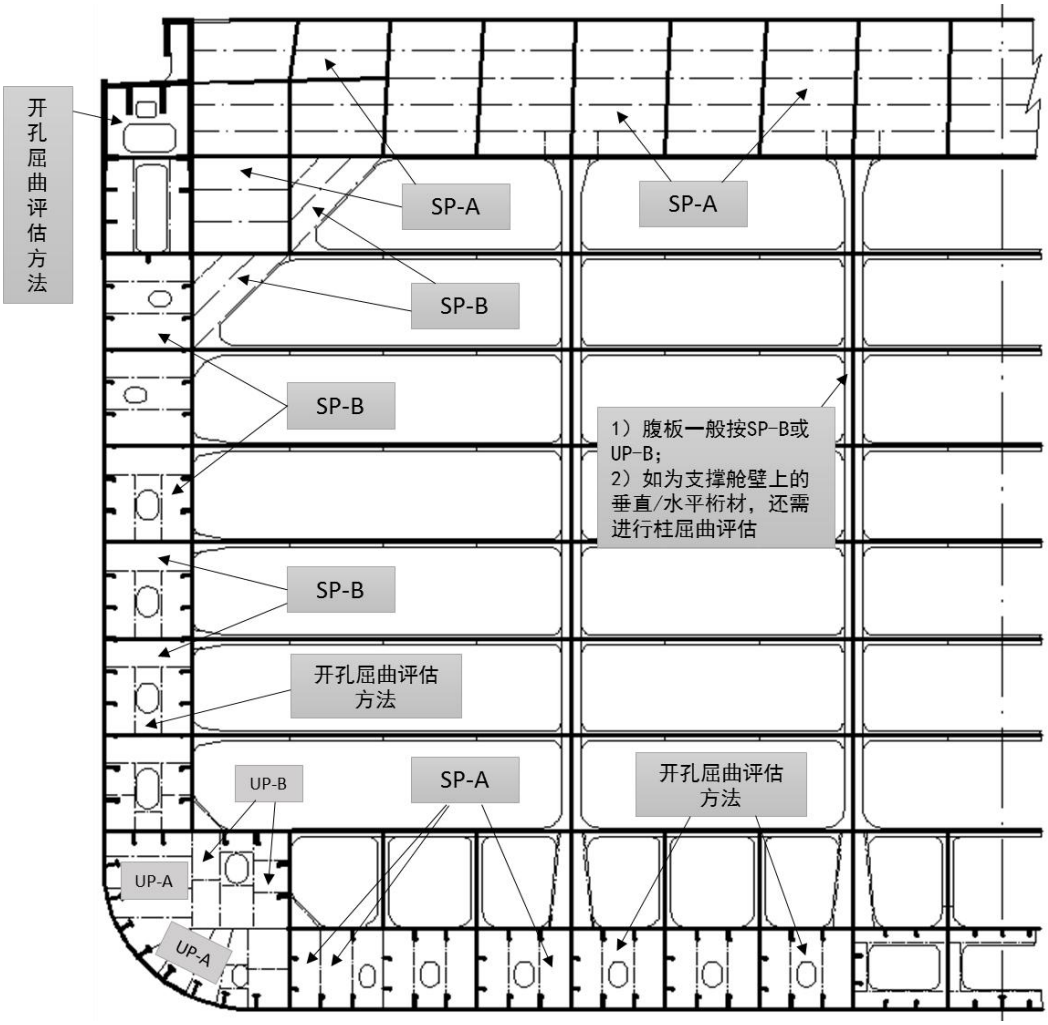


图 2.6.3.7(2)　典型集装箱船（支撑）舱壁位置处的横向构件

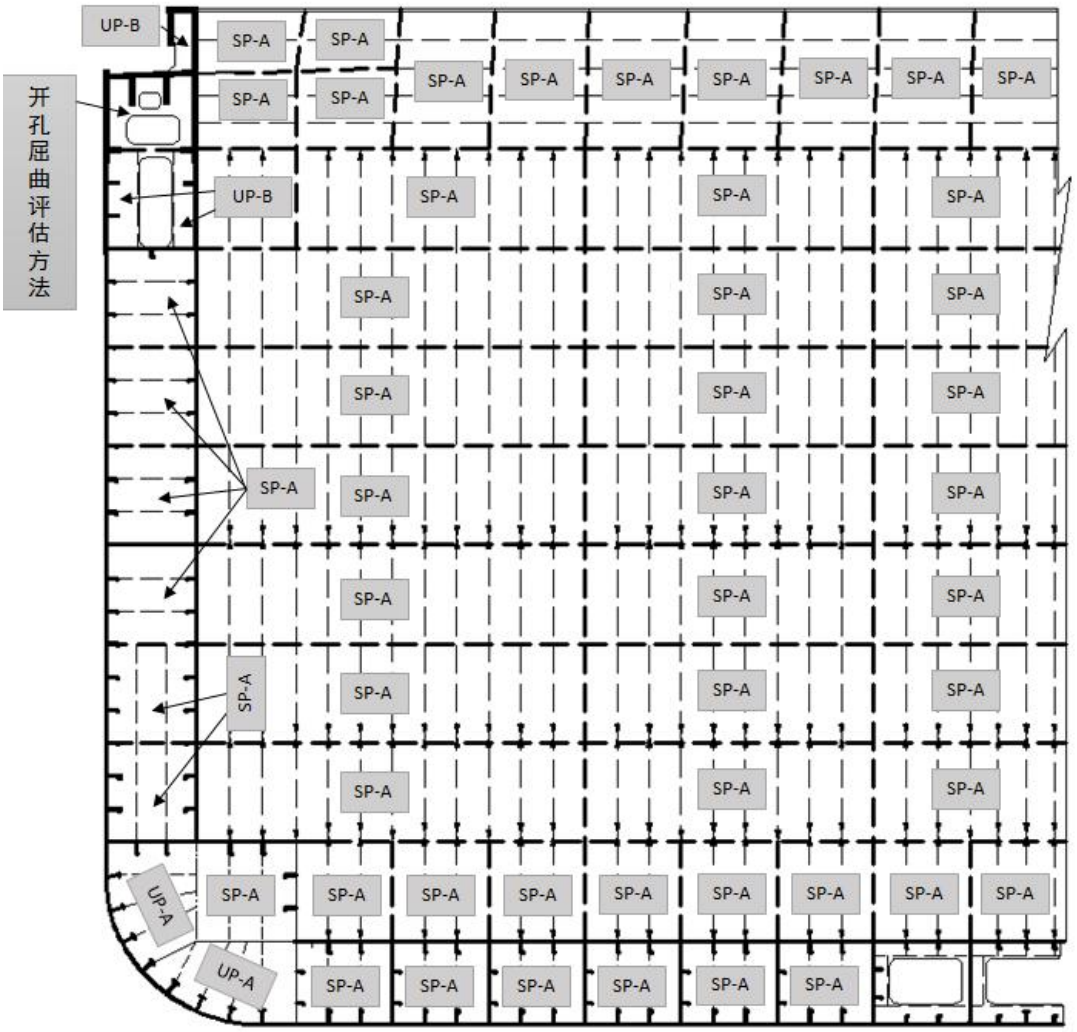


图 2.6.3.7(3)　典型集装箱船的水密横舱壁

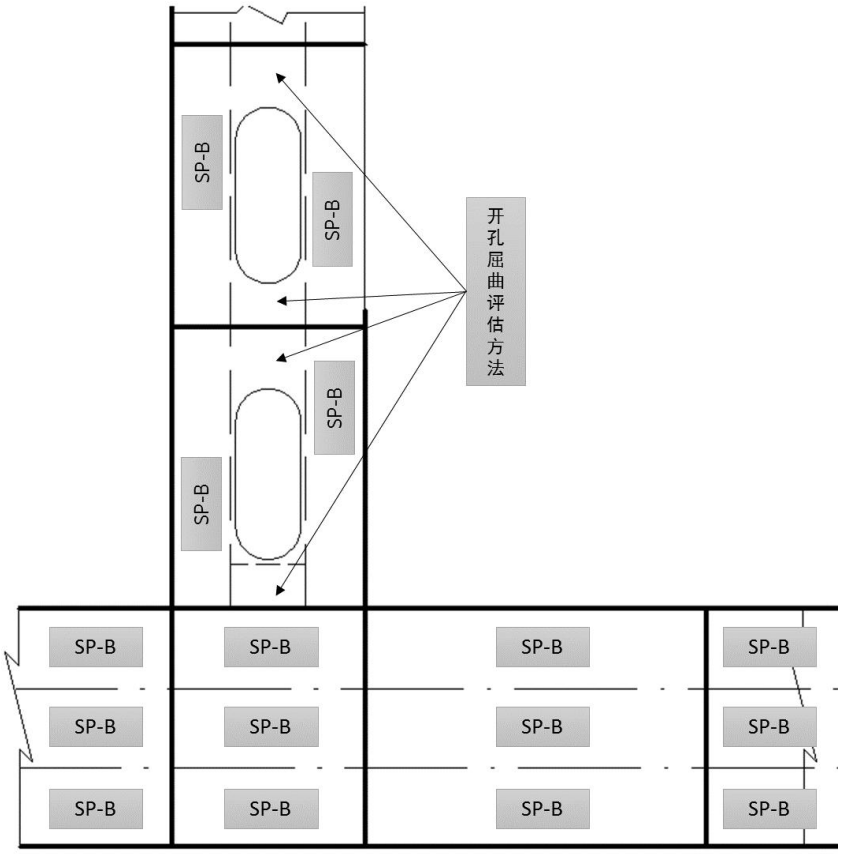


图 2.6.3.7(4)　横舱壁垂直桁与双层底纵桁

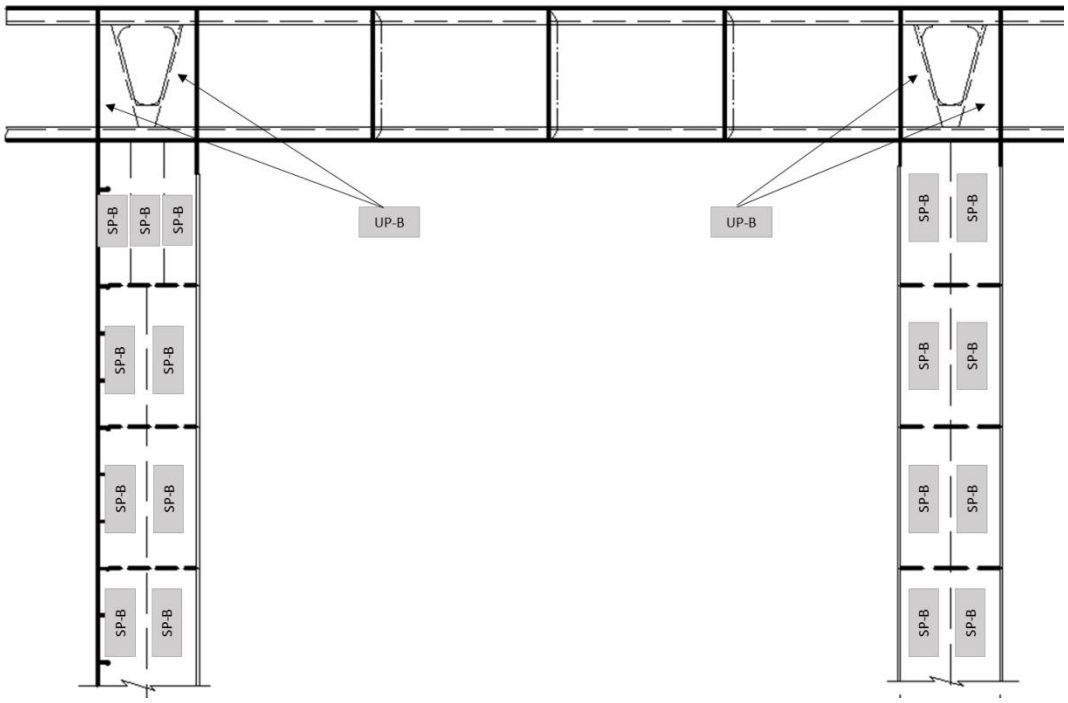


图 2.6.3.7(5)　横舱壁水平桁

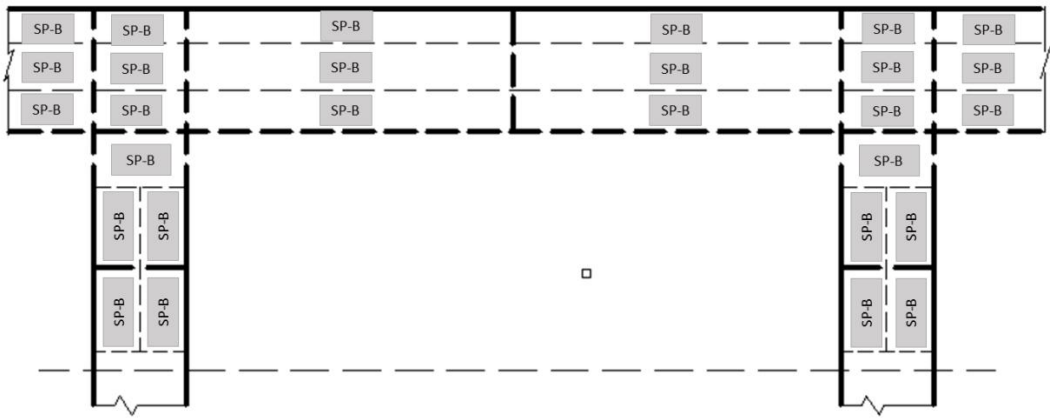


图 2.6.3.7(6)　舱口间甲板条

2.6.3.8　对于支撑舱壁上的垂直桁和水平桁，见图 2.6.3.8，其构件屈曲的利用因子应取腹板板格（加筋/非加筋板格）的最大屈曲利用因子和桁材的柱子最大屈曲利用因子的大者。

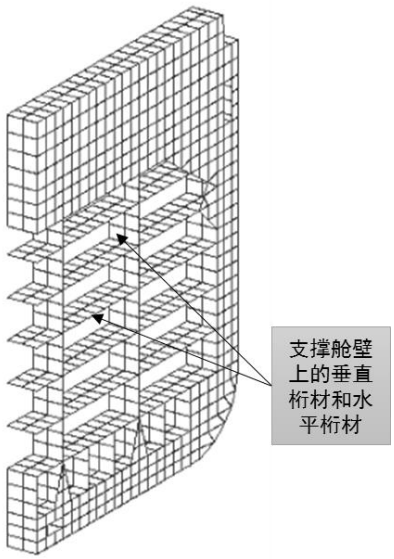


图 2.6.3.8　支撑舱壁上的垂直桁和水平桁

2.7　细化网格分析

2.7.1　为了更加准确细致地评估局部结构应力集中处的应力水平及分布情况，至少应对 2.6.1 要求的评估区域内的以下关键部位作细化模型分析和强度评估：

（1）支撑舱壁与水密横舱壁之间最中间位置的横向强框架（对于有两道支撑横舱壁的货舱，该位置为两道支撑横舱壁中间位置）台阶处，见图 2.7.1（1）。

（2）水密横舱壁区域的船底纵桁与内底板、船底外板结构连接处，见图 2.7.1（2）。

（3）支撑舱壁位于台阶附近的大肘板趾端，见图 2.7.1（3）。

如果其他危险部位应力超出许用衡准，也应进行细化网格分析。

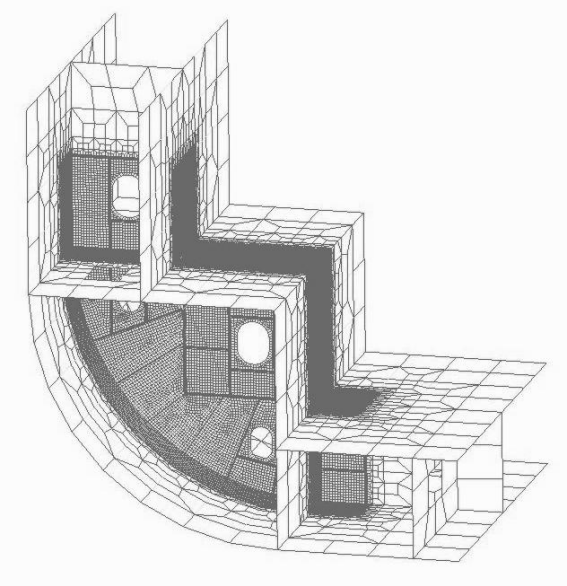


图 2.7.1（1）　横向强框架细化示意图

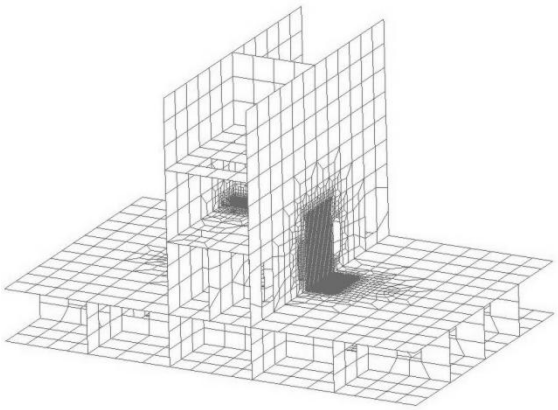


图 2.7.1（2）　纵桁与内底板、船底外板结构连接处细化示意图

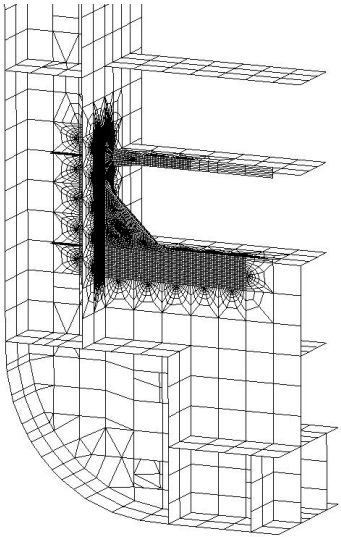


图 2.7.1（3）　支撑舱壁大肘板趾端细化示意图

2.7.2　细化网格分析可采用子模型法和嵌入法。子模型法采用细化网格区域的单独局部有限元模型，其边界条件和载荷从货舱段有限元模型得到。嵌入法为将细化网格模型嵌入货舱段有限元模型中进行分析。

2.7.3　如果使用局部有限元模型，其范围应使关键部位的应力不会受到边界条件和施加载荷的显著影响。细化网格模型的边界应与货舱段有限元模型中的主要构件（比如桁材和肋板）相一致。

2.7.4　细化网格区域的网格尺寸应不大于 50mm×50mm。一般情况下，细化网格区域的范围在关键部位的所有方向上应不少于 10 个单元。

2.7.5　细化网格区域内的所有板材和加强筋应使用板单元模拟。网格密度的过渡应保持平稳。细化网格区域内单元的长宽比应尽可能保持接近 1，避免网格密度的变化和使用三角形单元，避免使用角度小于 60°或大于 120°的畸变单元。任何情况下，单元的长宽比应不超过 3。细化网格区外的加强筋可使用梁单元模拟。

2.7.6　对于横向强框架，如采用有限元子模型法，模型纵向范围应至少为“1＋1”个强框架间距，即被校核横向强框架向前后各延伸一个强框架间距，前后端的强框架可不必建模。除此之外，该模型应包括船舶整个型宽和型深。

2.7.7　细化网格分析应按照本附录规定的计算工况进行。

2.7.8　细化网格分析如使用子模型法时，从货舱段有限元模型计算得到的节点位移应作为给定位移施加到单独局部有限元模型的对应边界节点上。

2.7.9　细化网格分析的应力衡准及校核方法见表 2.7.9。

细化网格分析的最大许用膜应力　　**表 2.7.9**

单元应力	**屈服利用因子** **（适用于所有工况）**
非邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leq 1.7$
邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leq 1.5$

其中：（1）λ_y——屈服利用因子

$$\lambda_y = \frac{\sigma_e}{[\sigma_e]}$$

（2）舱段有限元模型中，如果位于应进行细化网格校核区域的单元的 Von Mises 应力超出表 2.7.9 规定的许用值，则由细化网格分析得到的，面积相当于舱段有限元模型网格大小的细化网格 Von Mises 应力计算结果的平均值应不超过表 2.7.9 规定的许用值；

（3）最大许用应力基于 50mm×50mm 的网格尺寸。如使用更小的网格尺寸，可使用等效于要求的网格尺寸的范围内使用面积加权 Von Mises 应力方法计算所得的应力与许用应力作比较。计算平均应力时，仅当单元的所有边界都在上述网格尺寸区域内才计入。

平均Von Mises应力应基于单元面积进行加权计算：

$$\sigma_{e-av}=\frac{\sum_{1}^{n}A_i\sigma_{e-i}}{\sum_{1}^{n}A_i}$$

式中：σ_{e-av}——Von Mises平均应力；

σ_{e-i}——考虑区域的第i个板单元的Von Mises应力；

A_i——考虑区域内的第i个板单元的面积；

n——考虑区域内的单元的个数。

注 1：平均应力的计算基于单元形心处应力，不使用内插法和/或外推法得到应力值；

注 2：对结构不连续处和竖板结构处不得采用应力平均方法进行评估。

2.8 燃油舱区域舱段结构强度评估

2.8.1 当集装箱船货舱区域设置燃油舱时，燃油舱区域的以下主要构件应进行结构强度评估：

（1）燃油舱周界结构；

（2）燃油舱区域连续甲板和舱口间甲板结构；

（3）燃油舱内部板架结构，如桁材和强框架结构；

（4）燃油舱下部双层底结构（外底板、内底板、纵桁、肋板）；

（5）燃油舱处舷侧结构（舷侧外板、内壳板、舷侧平台板、舷侧强框架）。

2.8.2 结构模型化

2.8.2.1 燃油舱舱段模型纵向范围一般应至少覆盖完整的燃油舱区域结构，并向前后各延伸一个 40 英尺箱位货舱结构，即“1 个 40 英尺箱位+燃油舱+1 个 40 英尺箱位”，典型的有限元模型见图 2.8.2.1。

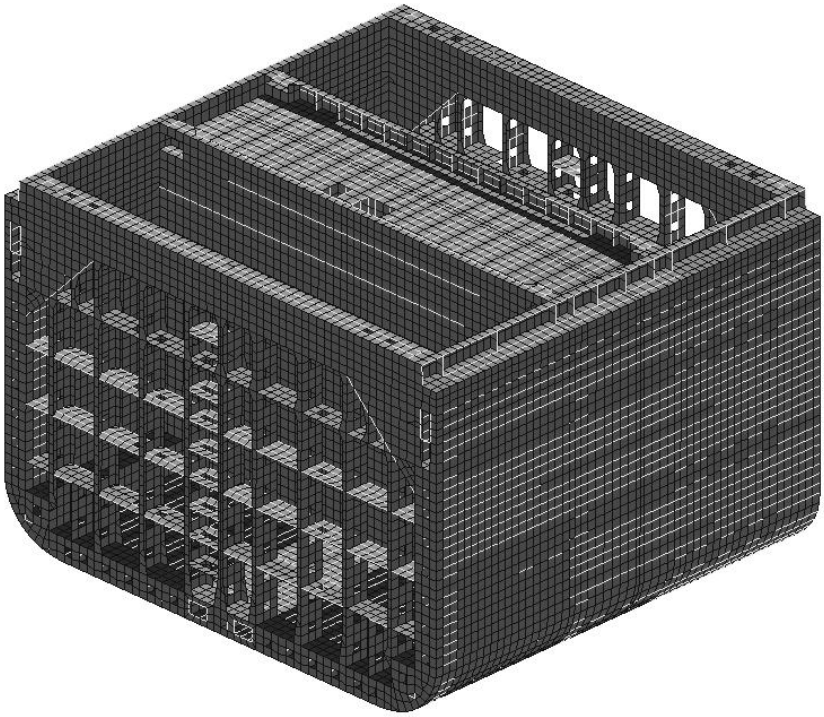


图 2.8.2.1　燃油舱有限元模型

2.8.2.2　除上述建模要求外，其他结构模型化要求见本附录 2.2。

2.8.3　设计载荷

2.8.3.1　除液舱内液体压力外，其他载荷见本附录 2.3。

2.8.3.2　液舱内液体压力

液舱内液体压力分为动载工况压力和静载工况压力。

（1）压载舱内动载工况压力 p_{blast1} 和燃油舱内动载工况压力 p_{HD1} 分别按下列各式计算：

$$p_{blast1} = \rho_w \left(a_v + g\right) h_1 + 10 p_v \qquad \text{kN/m}^2$$

$$p_{HD1} = \rho_f \left(a_v + g\right) h_1 + 10 p_v \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：h_1——载荷作用点到舱顶的距离，m；

ρ_w——海水密度，取 1.025t/m^3；

ρ_f——燃油密度，取 1.0t/m^3；

p_v——动载系数，应按下式计算，但取值应不小于 0：　$p_v = \Delta z - 1.5$，其中：

Δz——舱顶距溢流管顶的距离，m。

（2）压载舱内静载工况压力 p_{blast} 和燃油舱内静载工况压力 p_{HO} 分别按下列各式计算：

$$p_{blast} = \rho_w g h_2 \qquad \text{kN/m}^2$$

$$p_{HO} = \rho_f g h_2 \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：h_2——载荷作用点到溢流管顶的距离，m；

ρ_w、ρ_f——同 2.8.3.2（1）。

2.8.4　计算工况

2.8.4.1　为全面评估燃油舱结构，计算工况需根据燃油舱的布置形式确定，基本原则为：分别按燃油舱满载、隔舱装载和空载等情况对燃油舱区域结构进行强度分析。图 2.8.4.1 为几种典型燃油舱布置形式，表 2.8.4.1（1）～表 2.8.4.1（3）为典型燃油舱布置形式时的计算工况。

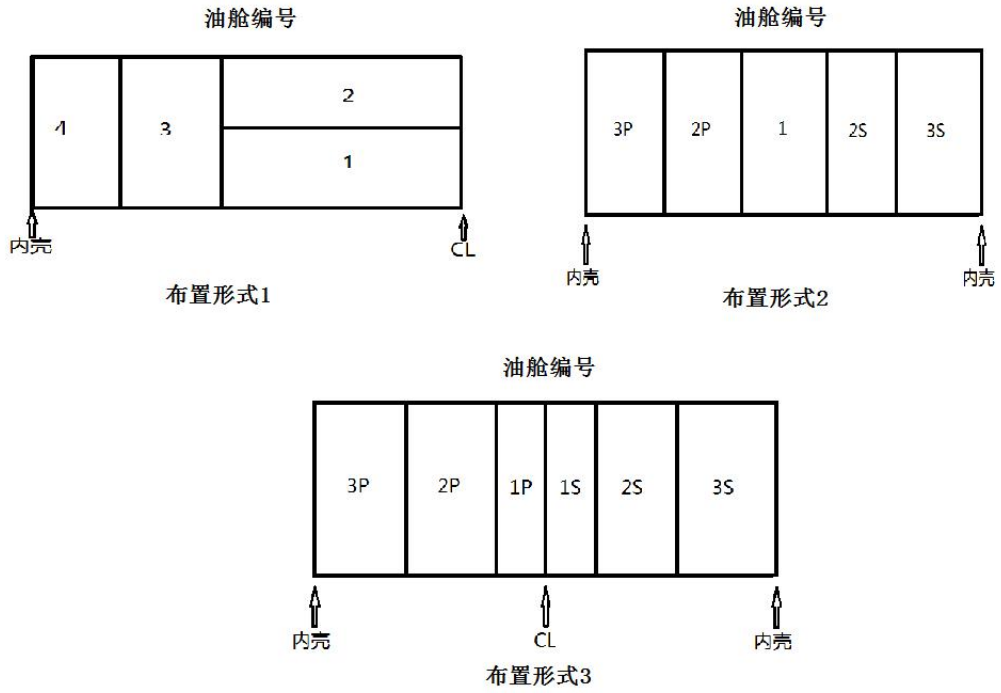


图 2.8.4.1　典型燃油舱布置形式简明示意图（俯视）

典型燃油舱布置形式 1 时的计算工况　　表 **2.8.4.1（1）**

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
波浪	中拱	中拱	中拱	中拱	中垂	中垂	中垂	中垂	中拱	中拱	中拱	中拱	静水	静水
吃水	d	d	d	d	0.9d	0.9d	0.9d	0.9d	d	d	d	d	d	d
箱重（teu）	轻箱	轻箱	轻箱	轻箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱
边压载舱	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	空	空
底压载舱	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	空	空
油舱	空	全满	1，3，4 满	2，3，4 满	3 满	1，2，4 满	1，3 满	2，4 满	空	全满	1，3，4 满	2，3，4 满	1,3 满	2 满
备注									一个箱位空	一个箱位空	一个箱位空	一个箱位空		

注 1：“按装载手册”处，如装载手册中无对应工况时，取为空。

2：“一个箱位空”系指一个 40 英尺箱位的舱内和舱盖上为空。

典型燃油舱布置形式 2 时的计算工况　　表 **2.8.4.1（2）**

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
波浪	中拱	中拱	中拱	中拱	中垂	中垂	中垂	中垂	中拱	中拱	中拱	中拱	静水	静水
吃水	d	d	d	d	0.9d	0.9d	0.9d	0.9d	d	d	d	d	d	d
箱重（teu）	轻箱	轻箱	轻箱	轻箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱
边压载舱	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	空	空
底压载舱	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	空	空
油舱	空	全满	1，3 满	2 满	空	全满	1，3 满	2 满	空	全满	1，3 满	2 满	1,3 满	2 满
备注									一个箱位空	一个箱位空	一个箱位空	一个箱位空		

注 1：“按装载手册”处，如装载手册中无对应工况时，取为空。

2：“一个箱位空”系指一个 40 英尺箱位的舱内和舱盖上为空。

典型燃油舱布置形式 3 时的计算工况　　表 **2.8.4.1（3）**

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
波浪	中拱	中拱	中拱	中拱	中垂	中垂	中垂	中垂	中拱	中拱	中拱	中拱	中拱	中拱	中拱	中拱	静水	静水
吃水	d	d	d	d	0.9d	0.9d	0.9d	0.9d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
箱重（teu）	轻箱	轻箱	轻箱	轻箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱
边压载舱	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	空	空
底压载舱	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	空	空
油舱	空	全满	3P、1P、2S 满	2P、1S、3S 满	空	全满	3P、1P、2S 满	2P、1S、3S 满	空	全满	3P、1P、2S 满	2P、1S、3S 满	空	全满	3P、1P、2S 满	2P、1S、3S 满	全满	3P、1P、2S 满
备注													一个箱位空	一个箱位空	一个箱位空	一个箱位空		

注 1：“按装载手册”处，如装载手册中无对应工况时，取为空。

2：“一个箱位空”系指一个 40 英尺箱位的舱内和舱盖上为空。

2.8.5　边界条件

2.8.5.1　边界条件应按照本附录 2.5 的相关规定。

2.8.6　强度评估

2.8.6.1　评估区域

2.8.6.1　应对中间舱和向前后延伸一个横框架范围内的主要构件进行评估

2.8.6.2　屈服强度评估

（1）应将局部载荷工况与总体载荷工况产生的应力合成后进行强度校核。板单元应力取为单元中点处的相当应力。

（2）各主要构件的许用应力见表 2.8.6.2。

许用应力　　表 2.8.6.2

构件名称	许用应力（N/mm²）	
	$[\sigma_e]$	$[\tau]$
船底板、内底板	225/K	_
舷侧外板、内壳纵舱壁	225/K	115/K
船底纵桁	235/K	115/K
燃油舱周界与船底纵桁交界处	235/K	115/K
双层底肋板	175/*K*	90/*K*
横向强框架	195/*K*	95/*K*
燃油舱舱壁（不包括内壳纵舱壁）	180/K	100/K
燃油舱内桁材和舱壁间桁材腹板	195/K	100/K

注：*K*——材料系数。

2.8.6.3　屈曲强度评估

（1）屈曲强度评估方法见本附录 2.6 的相关规定。

2.8.6.4　细化网格分析

（1）对于燃油舱周界与船底纵桁连接处、燃油舱内平台角隅处等危险区域，如果屈服应力超出许用衡准，可进行细化网格分析。细化网格分析的方法、单元要求及评估衡准见本附录 2.7。

3　整船结构强度直接计算

3.1　一般要求

3.1.1　应采用整船结构强度直接计算在弯扭载荷联合作用下评估船体主要构件的总纵强度。计算时，可采用如下两种方法。

方法 1：船体梁载荷（垂向弯矩、水平弯矩、扭矩）直接施加于整船有限元模型。

方法 2：波浪载荷直接计算得到的载荷施加于整船有限元模型。

3.2　计算工况

3.2.1　静水载荷工况

3.2.1.1　静水载荷工况应根据装载手册选取，一般取产生最大静水弯矩的满载工况和最大GM的正常压载工况。

3.2.1.2　最大静水弯矩工况下，船舶应处于或接近正浮状态，达到或接近吃水d，且静水弯矩在船中0.4L区域达到最大值。如在船中区域有一40英尺箱位为空箱，还应包括该装载情况下的最大静水弯矩工况。

3.2.1.3　如装载手册中存在更为严重的非均匀装载工况，也应予以考虑。

3.2.2　波浪载荷工况

3.2.2.1　由3.2.1所确定的静水载荷工况作为波浪载荷工况的基本装载工况。

3.2.2.2　除本附录另有规定外，波浪载荷工况的参数如波长、波高和相位等应根据等效设计波方法确定，见本篇第1章第5节。波浪载荷工况应包括迎浪工况、斜浪工况和横浪工况。

3.2.2.3　波浪载荷直接计算的主要载荷控制参数应为垂向波浪弯矩、水平波浪弯矩、波浪扭矩、加速度和横摇角。预报在其寿命期内可能遭遇的最大波浪载荷应包括在世界各海域内航行时所历经的海况，用出现各种周期与波高的概率表示，建议采用 IACS 推荐的波浪散布图。主要载荷控制参数的概率水平一般取 10^{-8}，也可取最大垂向波浪弯矩预报值与本章第 2 节要求值相等所对应的概率水平。

3.2.3　计算工况

3.2.3.1　计算工况由静水载荷工况和波浪载荷工况的不同组合组成，通常，集装箱船整船结构强度分析应按照表 3.2.3.1 的计算工况进行校核。对于双岛型集装箱船，还应对前岛的前后端处最大扭矩计算工况进行校核。

计算工况　　**表 3.2.3.1**

装载工况 / 主要载荷控制参数	均匀满载	正常压载	非均匀装载（如有时）
最大垂向波浪弯矩	适用	适用	适用
最大水平波浪弯矩	适用	适用	适用
L/2 处最大扭矩	适用	适用	适用
L/4 处最大扭矩	适用	适用	适用
3L/4 处最大扭矩	适用	适用	适用
船首最大垂向加速度	适用	适用	适用
最大横摇角	-	适用	-

3.3　结构模型化

3.3.1　模型范围

3.3.1.1　整船三维有限元模型应包括主船体范围内的所有纵向受力构件，如甲板结构、舷侧与纵舱壁结构、双层底结构。模型中还应包括横向主要结构如横舱壁、横框架及横向甲板条等。局部支撑构件如肘板等可不计入模型中，主要构件腹板开孔的要求见本篇第 1 章第 5 节，肘板的开孔可忽略不计。图 3.3.1.1 所示为一典型集装箱的整船有限元模型。

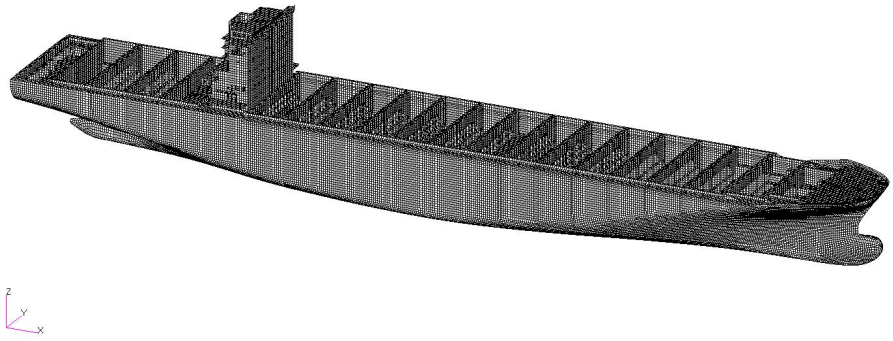


图 3.3.1.1　典型集装箱船整船结构有限元模型

3.3.2　单元选取

3.3.2.1　根据结构的实际受力状态将模型中的各类结构离散为下述单元类型：

(1)板壳单元(四节点和三节点单元)：如甲板、舷侧外板、船底板、内底板、纵舱壁与横舱壁、船底纵桁、肋板、边舱水平桁、横向强框架等。

(2)梁单元：如桁材、横梁及水密舱壁扶强材等；

(3)杆单元：如支柱等。

3.3.3　网格划分

3.3.3.1　除本附录另有规定外，结构模型化要求见本篇第 1 章第 5 节。

3.3.3.2　在船中部区域单元的长宽比应不超过 3，其他部位应不超过 2。在单元划分时，应避免使用翘曲的四边形单元。

3.3.4　边界条件

3.3.4.1　为消除刚体位移，在船体的相应节点(见图 3.3.4.1)应施加适当的线位移约束。

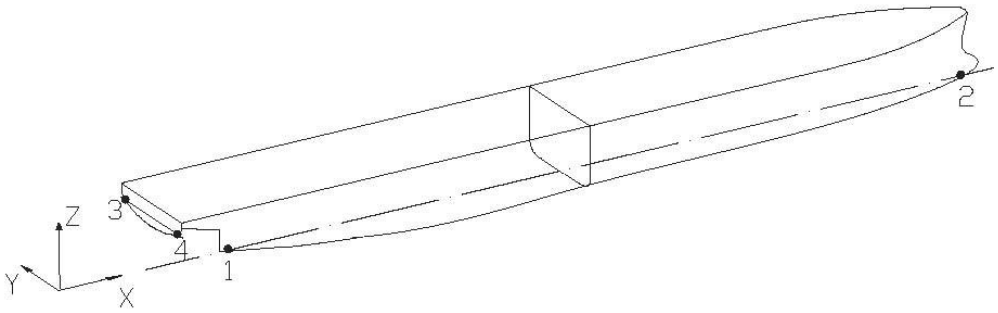


图 3.3.4.1　边界条件示意图

3.3.4.2　船底平板龙骨(纵中剖面处)在船尾(本附录图3.3.4.1中节点1)处沿横向的线位移约束，即：$\delta_y = 0$；船首(本附录图3.3.4.1中节点2)处，沿纵向、横向和垂向的线位移约束，即：$\delta_x = \delta_y = \delta_z = 0$。

3.3.4.3　尾封板水平桁材距纵中剖面距离相等的左(节点3)、右(节点4)各一节点处，沿垂向的线位移约束，即：$\delta_z = 0$。

3.3.5　细化分析

3.3.5.1　整船有限元计算下列区域应力结果超过本附录3.4.1规定的许用应力的90%时，则应予以细化网格分析：

（1）货舱区域横向强框架台阶处；

（2）双层底纵桁与横舱壁连接处；

（3）支撑横舱壁处桁材面板和大肘板趾端；

（4）纵向舱口围肘板趾端处；

（5）舱口围顶板和甲板的舱口角隅处；

（6）内壳、舱口围、甲板以及横舱壁垂直桁和水平桁上的开孔处。

3.3.5.2　细化网格分析应满足本附录 2.7 的要求。

3.4　屈服强度评估

3.4.1　板材(包括桁材腹板)的许用应力为：

$$[\sigma_e] = 220/K \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：K ——材料系数。

3.4.2　梁单元取轴向应力，其许用应力为：

$$[\sigma] = 220/K \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：K ——材料系数。

3.4.3　细化网格分析的应力衡准及校核方法见本附录 2.7.9 的要求，其中$[\sigma_e]$按 3.4.1 计算。

3.5　屈曲强度评估

3.5.1　整船结构有限元屈曲强度校核应符合本附录2.6.3的规定。

4 疲劳强度评估

4.1 一般要求

4.1.1 本节给出了集装箱船关键位置在弯扭载荷作用下的疲劳强度评估方法。

4.1.2 疲劳评估的波浪载荷计算应基于整船结构分析所采用的等效设计波方法，见第 1 章第 5 节。

4.1.3 疲劳损伤计算基于 Palmgren-Miner 线性累积损伤原理，结合 S-N 曲线、海况参数等进行。

4.1.4 除本节给出的评估方法外，也可按照 CCS《基于谱分析的船体结构疲劳强度评估指南》的有关要求进行疲劳评估。

4.1.5 应基于粗网格计算结果，对关键位置的船体结构进行筛选，确定疲劳评估节点。评估节点应至少包括纵向舱口围板端肘板趾端、机舱前(后)端舱口角隅、第 1 货舱靠船首端舱口角隅及一个位于船中区域的货舱舱口角隅等部位。

4.2 载荷

4.2.1 疲劳评估的载荷由整船分析对应工况得到。

4.2.2 装载工况应取装载手册中产生最大静水弯矩时的满载工况。

4.2.3 计算工况

4.2.3.1 一般应计算的设计波载荷工况如下：

(1)LC1：距艉 1/2 船长处垂向波浪弯矩最大(中拱)；

(2)LC2：距艉 1/2 船长处垂向波浪弯矩最小(中垂)；

(3)LC3：距艉 1/2 船长处水平波浪弯矩最大；

(4)LC4：距艉 1/2 船长处水平波浪弯矩最小；

(5)LC5：距艉 1/4 船长处波浪扭矩最大；

(6)LC6：距艉 1/4 船长处波浪扭矩最小；

(7)LC7：距艉 1/2 船长处波浪扭矩最大；

(8)LC8：距艉 1/2 船长处波浪扭矩最小；

(9)LC9：距艉 3/4 船长处波浪扭矩最大；

(10)LC10：距艉 3/4 船长处波浪扭矩最小。

4.2.3.2 应按本附录 4.2.3.1 的计算工况计算得到整船结构的位移和应力。

4.2.3.3 应力范围应以本附录 4.2.3.1 规定的各工况计算结果，按下列组合进行合成：

$$\Delta\sigma_{12} = \sigma_{LC1} - \sigma_{LC2}$$

$$\Delta\sigma_{34} = \sigma_{LC3} - \sigma_{LC4}$$

$$\Delta\sigma_{56} = \sigma_{LC5} - \sigma_{LC6}$$

$$\Delta\sigma_{78} = \sigma_{LC7} - \sigma_{LC8}$$

$$\Delta\sigma_{910} = \sigma_{LC9} - \sigma_{LC10}$$

其中：$\Delta\sigma_{ij}$ ——组合工况 i、j 的应力范围，当评估节点为角隅或开孔等的自由边时，取为自由边边缘切向应力范围，N/mm^2；

σ_{LCi} ——计算工况 i 时的应力值，当评估节点为角隅或开孔等的自由边时，取为自由边边缘切向应力值，N/mm^2。

4.3 结构模型化

4.3.1 一般规定

4.3.1.1 局部细化有限元模型的模型化应符合本附录 4.3.2~4.3.7 要求。

4.3.1.2 疲劳分析可将局部结构的三维细化有限元模型独立出来，在其模型的边界节点

施加由整船三维粗网格有限元分析得到的位移结果作为强迫位移边界条件进行单独分析，也可将细化模型直接嵌入整船模型中进行分析。细化模型的边界在满足以下模型范围的要求下，应尽量取在结构的强支撑和强框架的结构上。

4.3.2　船中区域舱口角隅局部结构细化模型

4.3.2.1　船中区域局部细化模型部位一般选取出现最大应力或横向甲板条发生最大翘曲位移的甲板开口位置处，见图 4.3.2.1(1)、(2)，相应的模型范围如下：

(1)纵向取横向甲板条角隅前后各延伸半个 40 英尺箱位长度；

(2)垂向从二甲板至舱口围顶部；

(3)横向从中心线至舷侧，模型包括上甲板处的舱口角隅、舱口围板顶板处角隅过渡结构。

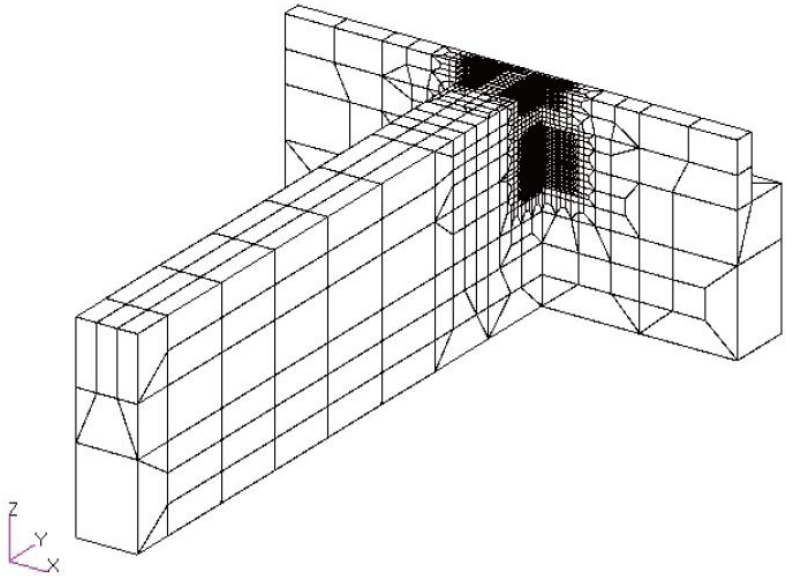


图 4.3.2.1(1)　货舱区域处舱口角隅有限元模型

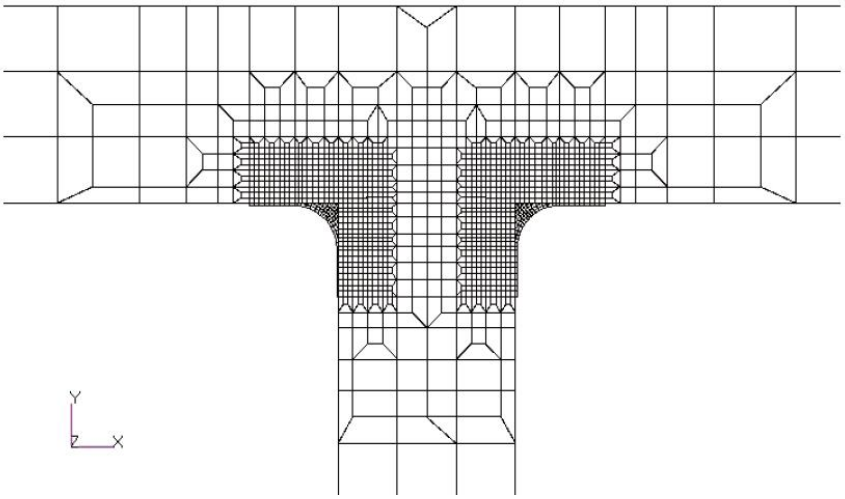


图 4.3.2.1(2)　货舱区域处舱口角隅有限元模型(上甲板角隅处放大)

4.3.3　机舱前端舱口角隅局部结构细化模型

4.3.3.1　机舱前端局部细化模型取左舷机舱前端舱壁处舱口角隅位置处，相应的模型范围如下：

(1)纵向从机舱前端横舱壁向前延伸半个 40 英尺箱位长度，向后延伸的距离与向前相近

似至横向强框架(一般为整船模型的横向强框架处的网格线)；

(2)垂向从二甲板至舱口围板(在上层建筑处一般至第一层甲板)；

(3)横向从船中心线至舷侧。

4.3.3.2　模型应包括上甲板开孔结构、舱口围板顶板处圆弧过渡结构及上层建筑前端与舱口围板之间的圆弧过渡肘板，并在模型中精确描述其几何形状，见图 4.3.3.2(1)～(3)所示。

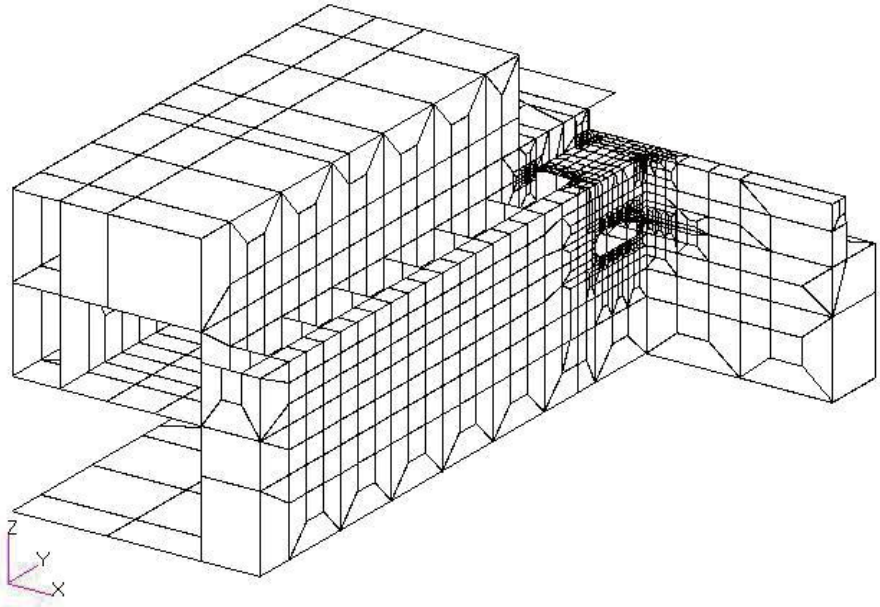


图4.3.3.2(1)　机舱前端舱壁处舱口角隅有限元模型

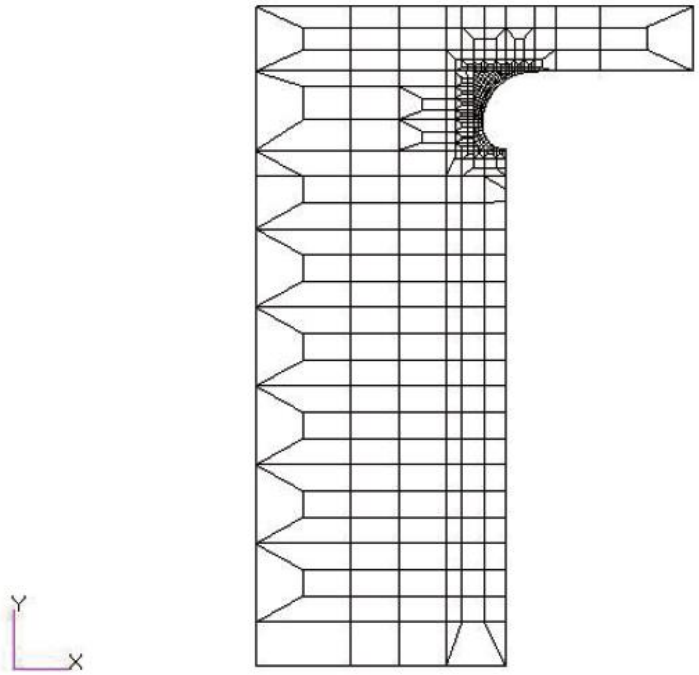


图 4.3.3.2(2)　机舱前端舱壁处舱口角隅有限元模型(上甲板角隅处)

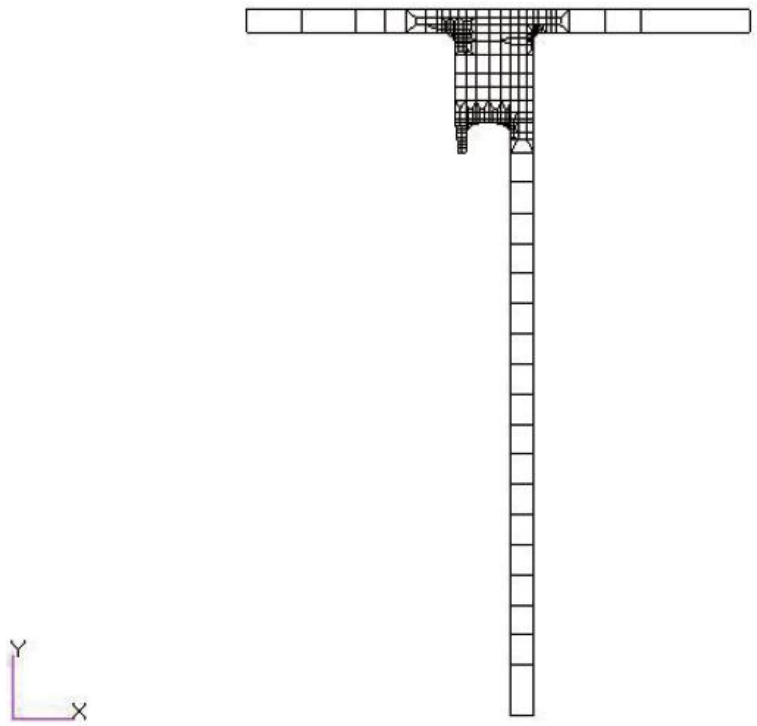


图 4.3.3.2(3)　机舱前端舱壁处舱口角隅有限元模型(舱口围板顶板处)

4.3.4　机舱后端舱口角隅与第 1 货舱前端舱口角隅局部细化模型的规定同 4.3.3.1。

4.3.5　单元选取与划分

4.3.5.1　模型中主要纵向构件如上甲板、外壳板、纵舱壁及横向板材由板单元模拟，纵骨及加强筋由梁单元模拟；热点应力校核部位的单元划分见本附录 4.3.5.4。

4.3.5.2　模型中上甲板区域的角隅圆弧、舱口围顶板圆弧等的几何形状应在细化模型中精确反映，所有的开孔(通风系统、通道开口等)应在模型中精确描述。

4.3.5.3　如有限元程序不能给出开口角隅边缘切向应力，可采用在开口角隅边缘位置上设置虚杆单元，求解得到单元轴向应力的方法，以得到角隅边缘的切向应力，并可实施于下列位置：

(1)上甲板及舱口围顶板沿开口角隅圆弧边缘；

(2)沿上层建筑至纵向舱口围板的圆弧连接肘板上边缘(如有时)。

4.3.5.4　对热点应力校核部位的板单元应按板厚×板厚($t\times t$)的网格大小划分，并保持该划分密度从热点应力中心向四周空间各方向扩展至少 $10t$ 距离，然后逐渐向外过渡至模型边界。

4.3.6　边界条件

4.3.6.1　整船三维有限元粗网格分析模型的边界条件见本附录 3.3.4。

4.3.6.2　当采用独立子模型进行分析时，应将整船模型由上述各工况计算得到的粗网格模型边界处的节点位移传递到细化网格模型对应的节点上，作为细网格模型的强迫位移边界条件。

4.4　疲劳强度评估

4.4.1　船体结构应力范围的长期分布假设服从双参数 Weibull 分布，Weibull 分布的形状参数ξ应按下式计算：

$$\xi = 1.45 - 0.036 f\sqrt{L}$$

式中：L——船长，m；

$f = 1 - 0.08z/d_1$　　当 $z \le d_1$ 时；

$f = 0.92 + 0.08(z - d_1)/(D - d_1)$　　当 $z > d_1$ 时；

$f = 0.92$　　当计算点在横舱壁上时；

D——型深，m；

d_1——计算工况下的吃水，m；

z——计算点距基线的高度，m。

4.4.2　设计 S-N 曲线应按以下选取：

对于焊接节点，疲劳强度评估采用 D 曲线；

对于母材自由边，疲劳强度评估采用 C 曲线。

4.4.3　累积损伤度 D_T 应按下式计算：

$$D_T = \frac{N_D \alpha}{K} \frac{{S_D}^m}{\left(\ln N_L\right)^{m/\xi}} \mu \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)$$

式中：　N_D——船舶在 20 年营运期间的载荷循环总次数，通常取 0.65×10^8；

N_L——载荷谱回复周期的循环次数，取为 10^8；

α——船舶在航系数，取 0.85；

K——S-N 曲线参数，见本附录表 4.4.3 (1)；

S_D——设计应力范围，N/mm^2，应按下式计算：

$$S_D = \max\left(f_c \cdot f_{mean} \cdot f_t \cdot \left|\Delta\sigma_{ij}\right|\right)$$

$\Delta\sigma_{ij}$ ——组合工况 i、j 的应力范围，见本附录 4.2.3.3；

f_c——腐蚀修正系数，取 1.07；

f_{mean}——平均应力修正系数，按下式选取：

对于焊接节点

$$f_{mean} = \begin{cases} \min\left(1.0, 0.85 + 0.3\sigma_{mean}/\Delta\sigma_{ij}\right), \sigma_{mean} \geq 0 \\ \max\left(0.7, 0.85 + 0.3\sigma_{mean}/\Delta\sigma_{ij}\right), \sigma_{mean} \leq 0 \end{cases}$$

对于母材自由边

$$f_{mean} = \begin{cases} \min\left(1.0, 0.8 + 0.4\sigma_{mean}/\Delta\sigma_{ij}\right), \sigma_{mean} \geq 0 \\ \max\left(0.6, 0.8 + 0.4\sigma_{mean}/\Delta\sigma_{ij}\right), \sigma_{mean} \leq 0 \end{cases}$$

σ_{mean} ——所计算装载的平均应力；

f_t——板厚修正系数，按下式选取：

$f_t = 1.0$　　当 $t \leq 22$ 时；

$f_t = \left(\frac{t}{22}\right)^n$　　当 $t > 22$ 时；

n ——系数，见本附录表 4.4.3 (2)；

t ——热点处的板厚，mm，取为裂纹容易产生和扩展处结构的板厚；

ξ——Weibull 分布形状参数，见本附录 4.4.1；

m——S-N 曲线反斜率，取为 3；

Γ ——完全 GAMMA 函数值，应按下式计算：

$$\Gamma(x)=\int_0^{\infty}u^{x-1}e^{-u}du$$

$$\mu=1.0-\frac{\gamma\left(1+\frac{m}{\xi},\nu\right)-\nu^{-\frac{\nabla m}{\xi}}\gamma\left(1+\frac{m+\nabla m}{\xi},\nu\right)}{\Gamma\left(1+\frac{m}{\xi}\right)}$$

$$\nu=\left(\frac{S_q}{S_D}\right)^{\xi}\ln N_L$$

S_q——S-N 曲线二线段的交点处的应力幅值，见本附录表 4.4.3 (1)。

∇m ——S-N 曲线两段反斜率差，取为 2；

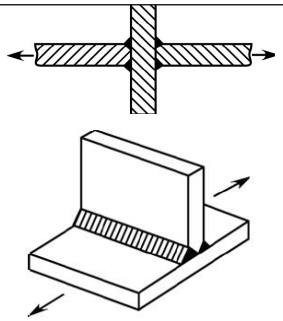
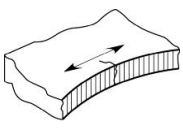
$\gamma\ (x,\nu)$——不完全 GAMMA 函数值，应按下式计算：

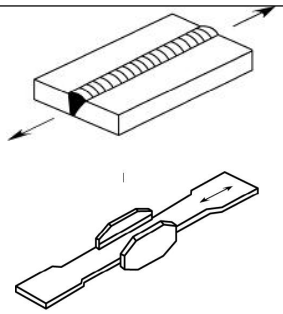
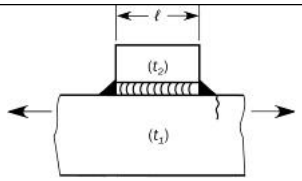
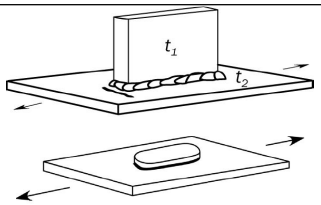
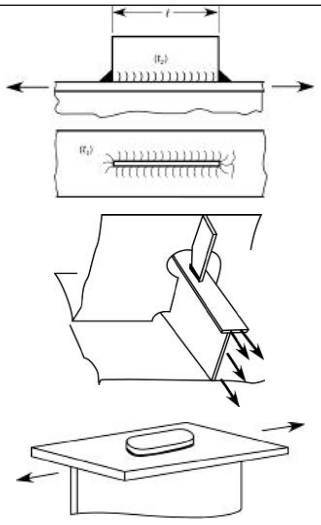
$$\gamma(x,v)=\int_0^{v}u^{x-1}e^{-u}du$$

表 4.4.3 (1)

S-N 曲线	K	S_q
C	3.464×10^{12}	70.2305
D	1.520×10^{12}	53.3680

表 4.4.3 (2)

结构节点	示意图	系数 n
十字接头或 T 型接头，载荷方向与焊缝方向垂直		0.25
对接接头，载荷方向与焊缝方向垂直		0.2
程序控制的机器或者火焰切割的板边缘，载荷方向与板边缘平行		0.1

结构节点	示意图	系数 n
切割后机械打磨光滑或其他方式打磨光滑的板边缘		0
对接焊缝，板边的焊接件，焊缝方向与载荷方向平行		0.1
有焊接件的扁钢或球扁钢，载荷方向与焊缝方向平行		0
板材上焊有肘板，载荷方向与焊缝方向平行；搭接板		0.2
焊有肘板或搭接板的 T 型材面板，载荷方向与焊缝方向平行		0.1

4.4.4　结构疲劳寿命应按下式计算：

$$T_F = \frac{20}{D_T}$$

4.4.5　结构在设计寿命期间内的累积损伤度 D_T 应满足下式要求：

$$D_T \leq \frac{20}{T_D}$$

式中：T_D——设计疲劳寿命，年。

附录 3　剪流的计算

1　一般规定

附录描述了由船体梁垂向剪力引起的作用于船舶横剖面的剪流的直接计算流程。横剖面每一处的剪流 q_v 按剖面在 Z 坐标方向上承受单位垂向剪力计算，1N。

每毫米的单位剪流 q_v，N/mm，可被认为等于：

$$q_v = q_D + q_l$$

式中：　q_D——定剪流，如 2 定义；

q_l——环绕封闭单元的不定剪流，如 3 定义：

计算单位剪流 q_v 时，需计入纵向扶强材。

2　定剪流

横剖面每一处的定剪流 q_D，N/mm，可按以下线性积分求得：

$$q_D(\mathrm{s}) = -\frac{1}{10^6 I_{y-net}}\int_0^s (z - z_n)\, t_{net} d_s$$

式中：　s——沿横剖面的流动坐标的坐标值，m

$I_{y\text{-}net}$——横剖面的惯性矩，m^4

t_{net}——板的净厚度，mm

z_n——水平中和轴的垂向坐标，m

假设剖面由图 1 所示的线段组成，线段内的板厚为定值，定剪流可以根据下式计算：

$$q_{Dk} = -\frac{t_{net}\ell}{2 \cdot 10^6 I_{Y-net}}(z_k + z_i - 2z_n) + q_{Di}$$

式中：　q_{Dk}, q_{Di}——节点 k 和节点 i 各自的定剪流，N/mm；

l——线段的长度，m：

y_k, y_i——线单元端点的 Y 坐标，m，如图 1 定义；

z_k, z_i——线单元端点的 Z 坐标，m，如图 1 定义；

当横剖面包含闭合单元时，闭合单元应按图 2 所示采用虚拟缝隙进行切割，以获得定剪流。

然而，虚拟缝隙不允许设置在约束其他闭合单元的边界上。

分叉点处定剪流的计算可按图 2 所示的类似水流计算的方式进行。

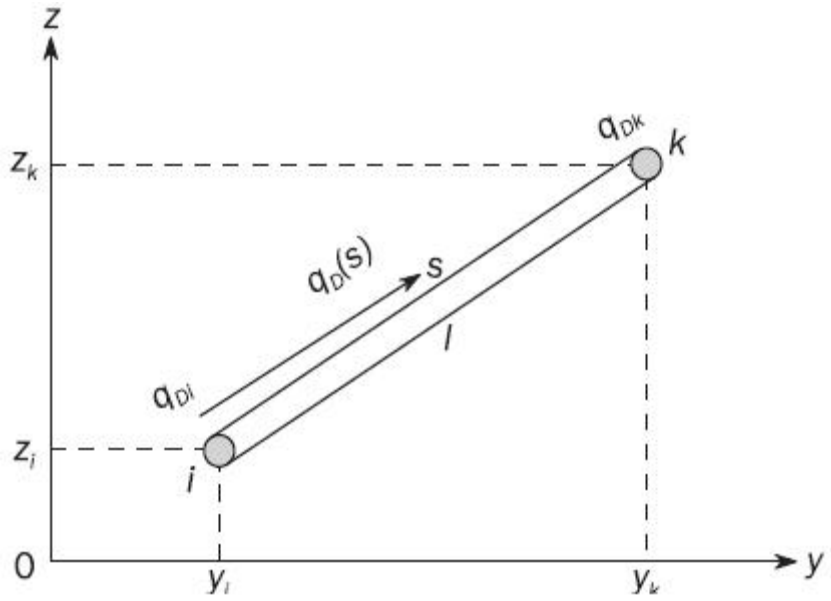


图 1　线段的定义

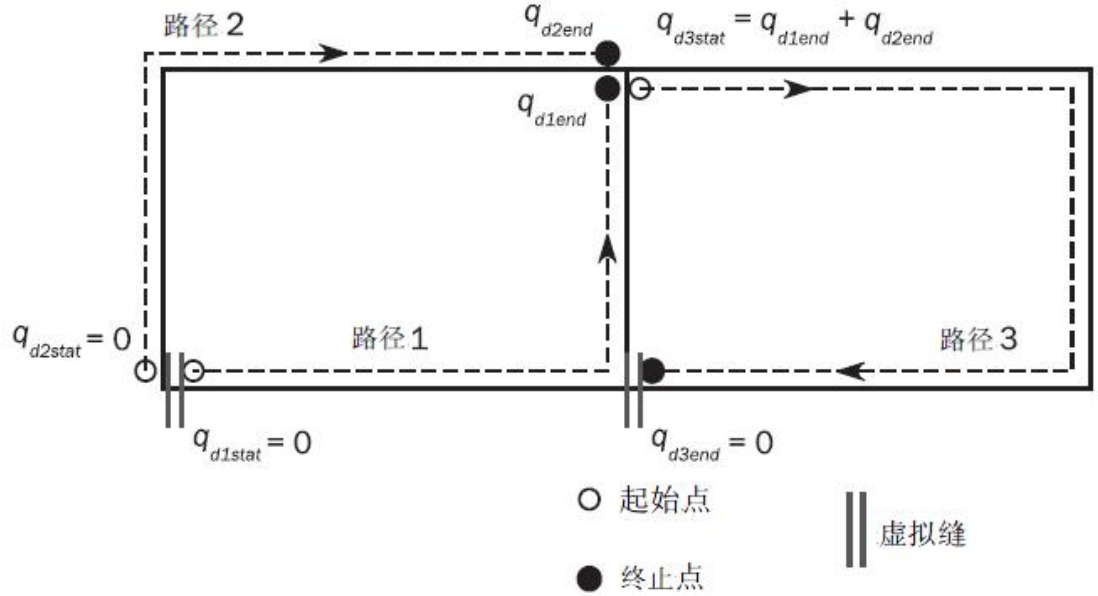


图 2　分叉点处定剪流的计算

3　不定剪流

不定剪流环绕闭合单元起作用并可以在同一闭合单元中当做定值。可按下列等式系统确定不定剪流。在等式中，对多个参数环绕所有闭合单元进行边界积分。

$$q_{Ic}\oint_c \frac{1}{t_{net}}ds - \sum_{m=1}^{N_w}\left(q_{Im}\oint_{c\&m}\frac{1}{t_{net}}ds\right) = -\oint_c \frac{q_D}{t_{net}}ds$$

式中：　N_w——闭合单元 c 和其他单元间公共边界的数量

$c\&m$——闭合单元 c 和 m 的公共边界

$q_{Ic}q_{Im}$——分别环绕闭合单元 c 和闭合单元 m 的不定剪流，N/mm；

假定由图 1 所示的线段组合而成，且每段内的板厚相同，上式可以表示为：

$$q_{Ic}\sum_{j=1}^{N_c}\left(\frac{\ell}{t_{net}}\right)_j-\sum_{m=1}^{N_w}\left\{q_{Im}\left[\sum_{j=1}^{N_m}\left(\frac{\ell}{t_{net}}\right)_j\right]_m\right\}=-\sum_{j=1}^{Nc}\phi_j$$

$$\phi_j=\left[-\frac{\ell^2}{6\cdot 10^3 I_{Y-net}}(z_k+2z_i-3z_n)+\frac{\ell}{t_{net}}q_{Di}\right]_j$$

式中： N_c——闭合单元 c 的线段数量

N_m——闭合单元 c 和 m 的公共边界数量

q_{Di}——根据 2 计算的定剪流，N/mm；

需考虑 2 及本条所规定的流动坐标方向的差异。

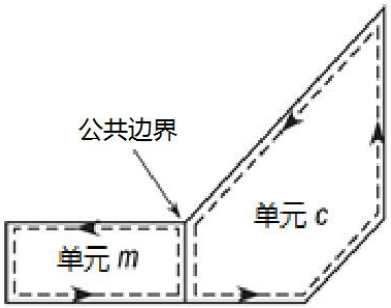


图 3　闭合单元和公共边界

4　剖面特性的计算

当剖面假定由线单元构成时，剖面特性可根据下式获得：

$$\ell=\sqrt{(y_k-y_i)^2+(z_k-z_i)^2}$$

$$a_{net}=10^{-3}\ell t_{net}\qquad A_{net}=\sum a_{net}$$

$$s_{y-net}=\frac{a_{net}}{2}(z_k+z_i)\qquad S_{y-net}=\sum s_{y-net}$$

$$i_{y0-net}=\frac{a_{net}}{3}(z_k^2+z_kz_i+z_i^2)\qquad I_{y0-net}=\sum i_{y0-net}$$

式中： a_{net}, A_{net}——线段和剖面各自的面积，m^2；

$s_{y\text{-}net}$, $S_{y\text{-}net}$——线段和剖面对于基线的一阶矩，m^3；

$i_{y0\text{-}net}$, $I_{y0\text{-}net}$——线段和剖面对于基线的惯性矩，m^4；

水平中和轴的高度z_n，m，可按如下获得：

$$z_n=\frac{S_{y-net}}{A_{net}}$$

关于水平中和轴的惯性矩，m^4，可按以下求得：

$$I_{y-net}=I_{y0-net}-z_n^2A_{net}$$

附录 4　屈曲能力

符号说明：

x 轴——　平行于矩形屈曲板格长边方向的局部坐标轴。

y 轴——　垂直于矩形屈曲板格长边方向的局部坐标轴。

σ_x ——　施加在板格边缘上沿 x 轴方向的应力，N/mm²。

σ_y ——　施加在板格边缘上沿 y 轴方向的应力，N/mm²。

τ ——　施加的剪应力，N/mm²

σ_a——　加强筋上的轴向应力，N/mm²

σ_b——　加强筋上的弯曲应力，N/mm²

σ_w——　加强筋上的翘曲应力，N/mm²

$\sigma_{cx},\sigma_{cy},\tau_c$——　临界应力，N/mm²，对于板的定义见本附录 2.1.1

R_{eH_S}——　加强筋的最小屈服应力，N/mm²

R_{eH_P}——　板的最小屈服应力，N/mm²

a——　板格长边的长度，mm，如表 2 所示

b——　板格短边长度，mm，如表 2 所示

d——　如表 3 中曲板板格，平行于圆柱轴一边的长度，mm。

σ_E——　弹性屈曲参考应力，N/mm²，定义为：

（1）应用于根据本附录 2.1.2 计算板格极限状态时

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}\left(\frac{t_p}{b}\right)^2$$

（2）应用于本附录 2.2 的曲板板格时

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}\left(\frac{t_p}{d}\right)^2$$

μ——　泊松比，取 0.3

t_p ——　板格的净厚度，mm。

t_w ——　加强筋的腹板净厚度，mm。

t_f ——　加强筋的翼板净厚度，mm。

b_f ——　加强筋的翼板宽度，mm。

h_w ——　加强筋的腹板高度，mm，如图 1 所示。

e_f ——　从带板到翼板中心的距离，mm，取为：

（1）对扁钢：$e_f = h_w$

（2）对球扁钢：$e_f = h_w - 0.5t_f$

（3）对角钢和 T 型材：$e_f = h_w + 0.5t_f$

α ——　板格的长宽比，取为：

$$\alpha = \frac{a}{b}$$

β ——　系数，取为：

$$\beta = \frac{1-\psi}{\alpha}$$

ψ ——　边缘应力比，定义为

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

σ_1 —— 最大应力，N/mm²

σ_2 —— 最小应力，N/mm²

R —— 曲面板格的曲率半径，mm。

ℓ —— 加强筋跨距，mm，等于主要支撑构件之间的间距

S—— 扶强材间距，mm

ω—— 系数，取为：ω=min(3;α)

1 基本板格（EPP）

1.1 定义

基本板格指扶强材和强框架之间非加筋部分的板。

由于受到周围结构及相邻板（主要指甲板、船底、内底、舷侧和纵舱壁上的纵向加筋板格）的约束，基本板格的各条边保持为直线（但可以在面内移动）。

1.2 厚度有变化的基本板格

1.2.1 纵向加筋板格

对于纵向加筋布置，如果基本板格的板厚在宽度 b 跨区上变化，则屈曲校核可按厚度等于较小板厚 t_1 的等效基本板格进行。此等效基本板格的宽度 b_{eq}，mm，定义如下：

$$b_{eq} = \ell_1 + \ell_2\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1.5}$$

式中：

ℓ_1 —— 基本板格中较小板厚 t_1 部分的宽度，mm，定义见图 1；

ℓ_2 —— 基本板格中较大板厚 t_2 部分的宽度，mm，定义见图 1。

如果一个板格是由不同材料的板构成的，则在其屈曲评估中应采用最小屈服强度。

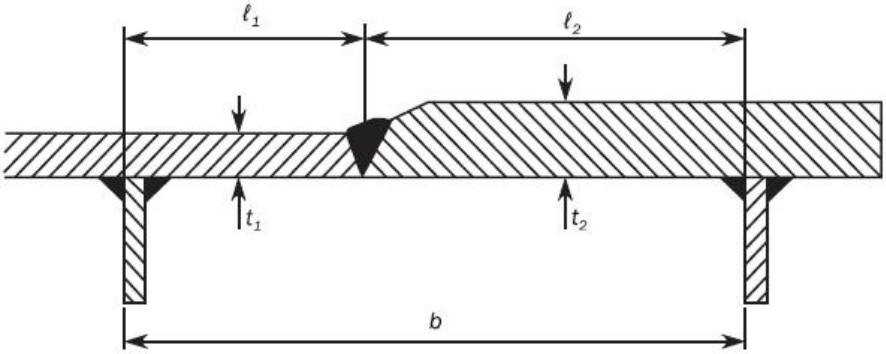


图 1 在宽度跨区上的板厚变化

1.2.2 横向加筋板格

对于横向加筋布置，如果基本板格内板厚有所不同，则板和加强筋的屈曲校核应针对每个板厚分别进行，并视其为在整个板格范围内保持不变。所施加的应力和侧向压力应取自板格的载荷计算点。

2 板的屈曲能力

2.1 板格

2.2.1 板的极限状态

板极限状态应基于下面的相关方程。正应力下的屈曲校核针对压应力，当正应力（σ_x，σ_y）小于零时，删除式中对应项，进行纯剪切屈曲校核。

(a) 纵骨架式

$$\left(\frac{\gamma_C \sigma_x}{\sigma_{cx}}\right)^{2/\beta_p^{0.25}} + \left(\frac{\gamma_C |\tau|}{\tau_c}\right)^{2/\beta_p^{0.25}} = 1$$

(b) 横骨架式

$$\left(\frac{\gamma_C \sigma_y}{\sigma_{cy}}\right)^{2/\beta_p^{0.25}} + \left(\frac{\gamma_C |\tau|}{\tau_c}\right)^{2/\beta_p^{0.25}} = 1$$

式中：

σ_x, σ_y ——施加在板格边界上的正应力，N/mm^2，定义见 7.2.4.4

τ ——施加在板格边界上的剪应力，N/mm^2，定义见 7.2.4.4

σ_{cx} ——沿着与屈曲板格长边平行的方向的极限屈曲应力，N/mm^2, 定义见本附录 2.1.3

σ_{cy} ——沿着与屈曲板格短边平行的方向的极限屈曲应力，N/mm^2, 定义见本附录 2.1.3

τ_c ——极限屈曲剪应力，N/mm^2, 定义见本附录 2.1.3

β_p ——板的长细比参数，定义为：

$$\beta_p = \frac{b}{t_p}\sqrt{\frac{R_{eH_P}}{E}}$$

2.1.2 参考细长度

参考细长度定义为

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_{eH_P}}{K\sigma_E}}$$

式中：K ——屈曲因子，定义见表 2 和表 3。

2.1.3 极限屈曲应力

板格的极限屈曲应力，N/mm^2，为

$$\sigma_{cx} = C_x R_{eH_P}$$

$$\sigma_{cy} = C_y R_{eH_P}$$

受剪板格的极限屈曲应力，N/mm^2，为

$$\tau_c = C_\tau \frac{R_{eH_P}}{\sqrt{3}}$$

式中：

C_x, C_y, C_τ ——折减因子，定义见表 2。

板的边界条件应视为简支（参见表 2 中的工况 1、2 和 15）。如果板的边界条件与简支相差很大，可以在同意的前提下，根据表 2 的不同工况，采用更恰当的边界条件。

2.1.4 修正因子 F_{long}

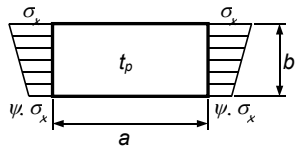
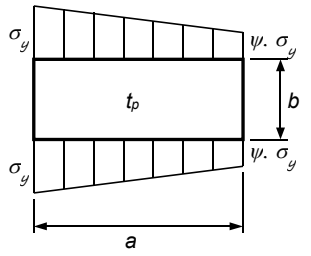
修正因子 F_{long} 依赖于屈曲板格长边边缘上的加强筋类型，其定义参见表 1。对于具有不同边缘加强筋的板格，应采用 F_{long} 的平均值。对于表 1 中以外的加强筋类型，c 值应得到认可。在该情况下，只要能够用非线性有限元分析通过屈曲强度校核对其进行确认，且认为合适，则选用的 c 值可大于表 1 中给出的数值。

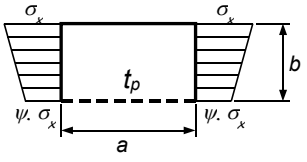
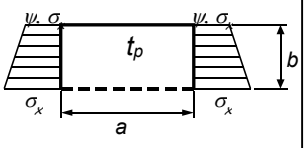
修正因子 F_{long} **表 1**

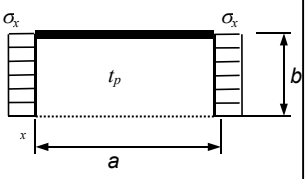
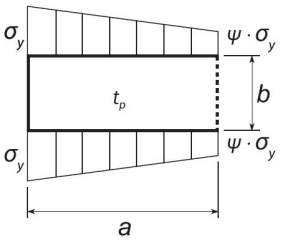
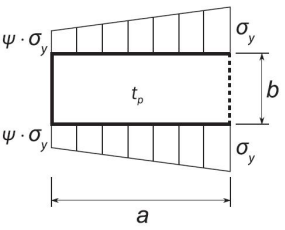
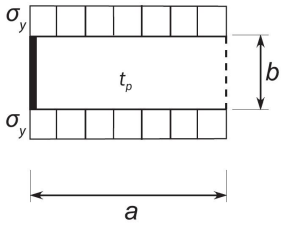
结构单元类型			F_{long}	c
非加筋板			1.0	N/A
加筋板	两端都不固支的加强筋		1.0	N/A
	两端固支的	扁钢(1)	t	0.1

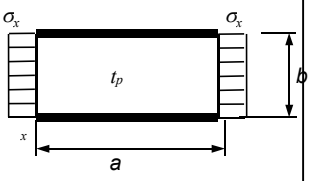
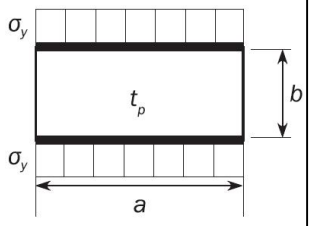
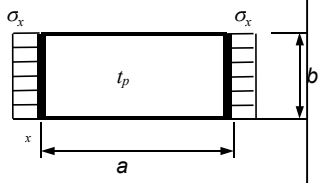
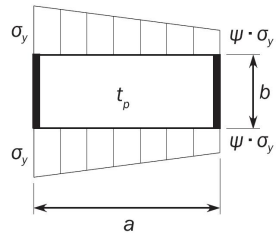
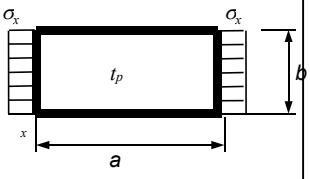
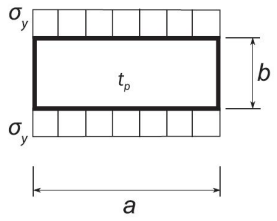
	加强筋	球扁钢	如果 $\frac{t_w}{t_p} \le 1$，则 $F_{long} = c\left(\frac{t_w}{t_p}\right)^3 + 1$	0.3
		角钢		0.4
		T 型材		0.3
		刚度较大的桁材（如底肋板）	1.4	N/A
注（1）：t_w 为腹板净厚度，mm，且不按照本附录 4.3.5 中的定义进行修正。				

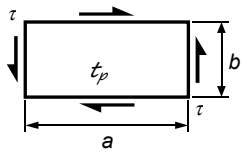
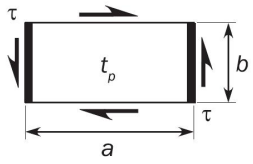
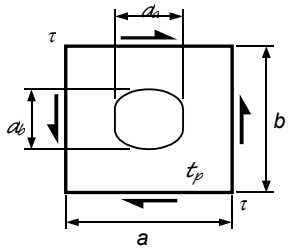
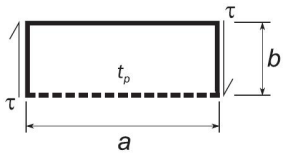
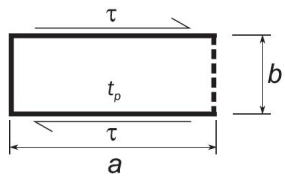
平面板格的屈曲因子和折减因子　　表2

工况	应力比 ψ	长宽比 α	屈曲因子 K	折减因子 C
1 	1 ≥ ψ ≥ 0		$K_x = F_{long}\frac{8.4}{\psi + 1.1}$	$C_x = 1$　对于 $\lambda \le \lambda_c$ $C_x = c\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right)$　对于 $\lambda > \lambda_c$ 其中: $c = (1.25 - 0.12\psi) \le 1.25$ $\lambda_c = \frac{c}{2}\left(1 + \sqrt{1 - \frac{0.88}{c}}\right)$
	0 > ψ ≥ -1		$K_x = F_{long}\left[7.63 - \psi\,(6.26 - 10\,\psi)\right]$	
	ψ ≤ -1		$K_x = F_{long}\left[5.975(1-\psi)^2\right]$	
2 	1 ≥ ψ ≥ 0		$K_y = \frac{2\left(1+\frac{1}{\alpha^2}\right)^2}{1+\psi+\frac{(1-\psi)}{100}\left(\frac{2.4}{\alpha^2}+6.9 f_1\right)}$	$C_y = c\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{R + F^2(H-R)}{\lambda^2}\right)$ 其中: $c = (1.25 - 0.12\psi) \le 1.25$ $R = \lambda(1 - \lambda / c)$　对于 $\lambda < \lambda_c$ $R = 0.22$　对于 $\lambda \ge \lambda_c$ $\lambda_c = 0.5\,c\,\left(1 + \sqrt{1 - 0.88 / c}\right)$ $F = \left(1 - \left(\frac{K}{0.91} - 1\right) / \lambda_p^2\right) c_1 \ge 0$ $\lambda_p^2 = \lambda^2 - 0.5$　对于 $1 \le \lambda_p^2 \le 3$ $c_1 = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \ge 0$ $H = \lambda - \frac{2\lambda}{c(T + \sqrt{T^2 - 4})} \ge R$ $T = \lambda + \frac{14}{15\lambda} + \frac{1}{3}$
		α ≤ 6	$f_1 = (1-\psi)(\alpha - 1)$	
		α > 6	$f_1 = 0.6\left(1 - \frac{6\psi}{\alpha}\right)\left(\alpha + \frac{14}{\alpha}\right)$ 但不大于 $14.5 - \frac{0.35}{\alpha^2}$	
	0 > ψ ≥ 1-4α/3		$K_y = \frac{200\left(1+\beta^2\right)^2}{(1-f_3)\left(100 + 2.4\beta^2 + 6.9 f_1 + 23 f_2\right)}$	
		α > 6(1-ψ)	$f_1 = 0.6\left(\frac{1}{\beta} + 14\beta\right)$ 但不大于 $14.5 - 0.35\beta^2$ $f_2 = f_3 = 0$	
		3(1-ψ) ≤ α ≤ 6(1-ψ)	$f_1 = \frac{1}{\beta} - 1$ $f_2 = f_3 = 0$	

工况	应力比 ψ	长宽比 α	屈曲因子 K	折减因子 C
		$1.5(1-\psi) < \alpha \le 3(1-\psi)$	$f_1 = \frac{1}{\beta} - (2-\omega\beta)^4 - 9(\omega\beta-1)\left(\frac{2}{3}-\beta\right)$ $f_2 = f_3 = 0$	
		$1-\psi \le \alpha < 1.5(1-\psi)$	对于 $\alpha > 1.5$: $f_1 = 2\left(\frac{1}{\beta} - 16\left(1-\frac{\omega}{3}\right)^4\right)\left(\frac{1}{\beta}-1\right)$ $f_2 = 3\beta - 2$ $f_3 = 0$ 对于 $\alpha \le 1.5$: $f_1 = 2\left(\frac{1.5}{1-\psi}-1\right)\left(\frac{1}{\beta}-1\right)$ $f_2 = \frac{\psi(1-16f_4^2)}{1-\alpha}$ $f_3 = 0$ $f_4 = (1.5\text{-}Min(1.5;\alpha))^2$	
		$0.75(1-\psi) \le \alpha < 1-\psi$	$f_1 = 0$ $f_2 = 1 + 2.31(\beta-1) - 48\left(\frac{4}{3}-\beta\right)f_4^2$ $f_3 = 3f_4(\beta-1)\left(\frac{f_4}{1.81} - \frac{\alpha-1}{1.31}\right)$ $f_4 = (1.5\text{-}Min(1.5;\alpha))^2$	
	$\psi < 1-4\alpha/3$		$K_y = 5.972\frac{\beta^2}{1-f_3}$ 其中: $f_3 = f_5\left(\frac{f_5}{1.81} + \frac{1+3\psi}{5.24}\right)$ $f_5 = \frac{9}{16}(1+Max(-1;\psi))^2$	
3 	$1 \ge \psi \ge 0$		$K_x = \frac{4(0.425 + 1/\alpha^2)}{3\psi + 1}$	$C_x = 1$ 对于 $\lambda \le 0.7$ $C_x = \frac{1}{\lambda^2 + 0.51}$ 对于 $\lambda > 0.7$
	$0 > \psi \ge -1$		$K_x = 4(0.425 + 1/\alpha^2)(1+\psi) - 5\psi(1-3.42\psi)$	
4 	$1 \ge \psi \ge -1$		$K_x = \left(0.425 + \frac{1}{\alpha^2}\right)\frac{3-\psi}{2}$	

工况	应力比 ψ	长宽比 α	屈曲因子 K	折减因子 C
5  	—	$\alpha \geq 1.64$	$K_x = 1.28$	
		$\alpha < 1.64$	$K_x = \frac{1}{\alpha^2} + 0.56 + 0.13\alpha^2$	
6  	$1 \geq \psi \geq 0$		$K_y = \frac{4(0.425 + \alpha^2)}{(3\psi + 1)\alpha^2}$	$C_y = 1$ 对于 $\lambda \leq 0.7$ $C_y = \frac{1}{\lambda^2 + 0.51}$ 对于 $\lambda > 0.7$
	$0 > \psi \geq -1$		$K_y = 4(0.425 + \alpha^2)(1 + \psi)\frac{1}{\alpha^2} - 5\psi(1 - 3.42\psi)\frac{1}{\alpha^2}$	
7  	$1 \geq \psi \geq -1$		$K_y = (0.425 + \alpha^2)\frac{(3 - \psi)}{2\alpha^2}$	
8  	-		$K_y = 1 + \frac{0.56}{\alpha^2} + \frac{0.13}{\alpha^4}$	

工况	应力比 ψ	长宽比 α	屈曲因子 K	折减因子 C
9 	-	$K_x = 6.97$		$C_x = 1$ 对于 $\lambda \le 0.83$ $C_x = 1{,}13\left[\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right]$ 对于 $\lambda > 0.83$
10 	-	$K_y = 4 + \frac{2.07}{\alpha^2} + \frac{0.67}{\alpha^4}$		
11 	-	$\alpha \ge 4$	$K_x = 4$	
		$\alpha < 4$	$K_x = 4 + 2.74\left(\frac{4-\alpha}{3}\right)^4$	
12 	-	K_y 与工况 2 中的相同		• 对于 $\alpha < 2$: $C_y = C_{y2}$ • 对于 $\alpha \ge 2$: $C_y = \left(1.06 + \frac{1}{10\alpha}\right) C_{y2}$ 其中: $C_{y2} = C_y$（由工况 2 确定）
13 	-	$\alpha \ge 4$	$K_x = 6.97$	$C_x = 1$ 对 $\lambda \le 0.83$ $C_x = 1{,}13\left[\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right]$ 对 $\lambda > 0.83$
		$\alpha < 4$	$K_x = 6.97 + 3.1\left(\frac{4-\alpha}{3}\right)^4$	
14 	-	$K_y = \frac{6.97}{\alpha^2} + \frac{3.1}{\alpha^2}\left[\frac{4 - 1/\alpha}{3}\right]^4$		$C_y = 1$ 对 $\lambda \le 0.83$ $C_y = 1.13\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{0.22}{\lambda^2}\right)$ 对 $\lambda > 0.83$

工况	应力比 ψ	长宽比 α	屈曲因子 K	折减因子 C
15 	-		$K_\tau = \sqrt{3}\left[5.34 + \frac{4}{\alpha^2}\right]$	$C_\tau = 1$ 对 $\lambda \le 0.84$ $C_\tau = \frac{0.84}{\lambda}$ 对 $\lambda > 0.84$
16 	-		$K_\tau = \sqrt{3}\left\{5.34 + Max\left[\frac{4}{\alpha^2}; \frac{7.15}{\alpha^{2.5}}\right]\right\}$	
17 	-		$K = K'r$ K' = 工况 15 给出的 K. r = 开口折减因子，取： $r = \left(1 - \frac{d_a}{a}\right)\left(1 - \frac{d_b}{b}\right)$ 其中 $\frac{d_a}{a} \le 0.7$ 且 $\frac{d_b}{b} \le 0.7$	
18 	-		$K_\tau = 3^{0.5}(0.6 + 4/\alpha^2)$	$C_\tau = 1$ 对 $\lambda \le 0.84$ $C_\tau = \frac{0.84}{\lambda}$ 对 $\lambda > 0.84$
19 	-		$K_\tau = 8$	
板边缘边界条件: - - - - - - - - - 板边缘自由 ———————— 板边缘简支 ━━━━━━━ 板边缘夹紧				
注（1）：表中列出的是一般工况，其中的应力分量(σ_x, σ_y)应理解为在局部坐标系中。				

2.2 曲板板格

对于 $R / t \leq 2500$ 的曲板板格极限状态适用下面的要求。否则，应适用本附录 2.1.1 给出的板的极限状态要求。

曲板板格极限状态应基于下面的相关方程：

$$\left(\frac{\gamma_c \sigma_{ax}}{C_{ax} R_{eH_P}}\right)^{1.25} + \left(\frac{\gamma_c \tau \sqrt{3}}{C_\tau R_{eH_P}}\right)^2 = 1.0$$

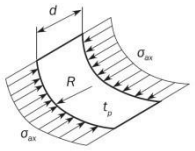
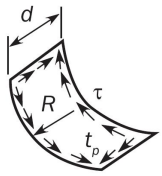
式中：

σ_{ax} ——施加在曲板板格所对应圆柱的轴向应力，N/mm²。对于轴向拉应力情况，应取为 $\sigma_{ax} = 0$；

C_{ax}, C_τ ——曲板板格的屈曲折减因子,定义见表 3。

对曲面板格，其应力倍增因子 γ_c 应不小于将其伸展为平面板格按照本附录 2.1.1 所给出的 γ_c 值。

具有 $R / t_p \leq 2500$ 的曲面板格的屈曲因子和折减因子 **表3**

工况	长宽比	屈曲因子K	折减因子C
1  	$\frac{d}{R} \leq 0.5\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 1 + \frac{2}{3}\frac{d^2}{Rt_p}$	对于一般性应用： $C_{ax} = 1$ for $\lambda \leq 0.25$ $C_{ax} = 1.233\text{-}0.933\lambda$ for $0.25 < \lambda \leq 1$ $C_{ax} = 0.3/\lambda^3$ for $1 < \lambda \leq 1.5$ $C_{ax} = 0.2/\lambda^2$ for $\lambda > 1.5$ 对于单个曲面区域，如其边界由平面板格所围的舭列板，则 $C_{ax} = 0.65/\lambda^2 \leq 1.0$
	$\frac{d}{R} > 0.5\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = 0.267\frac{d^2}{Rt_p}\left[3 - \frac{d}{R}\sqrt{\frac{t_p}{R}}\right] \geq 0.4\frac{d^2}{Rt_p}$	
2  	$\frac{d}{R} \leq 8.7\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \sqrt{3}\sqrt{28.3 + \frac{0.67d^3}{R^{1.5}t_p^{1.5}}}$	$C_\tau = 1$ 对$\lambda \leq 0.4$ $C_\tau = 1.274 - 0.686\lambda$ 对 $0.4 < \lambda \leq 1.2$ $C_\tau = 0.65/\lambda^2$ 对$\lambda > 1.2$
	$\frac{d}{R} > 8.7\sqrt{\frac{R}{t_p}}$	$K = \sqrt{3}\frac{0.28d^2}{R\sqrt{Rt_p}}$	
边缘的边界条件： ——— 板边缘简支			

3 整体加筋板格能力

加筋板格弹性极限状态应基于以下相关方程

$$\frac{P_Z}{c_f} = 1$$

式中 c_f 和 P_Z 的定义见本附录 4.4.3。

4 纵向加强筋的屈曲能力

4.1 屈曲模式

应对下列屈曲模式进行校核：

（1） 加强筋失效导致的屈曲失效（SI）；

（2） 附连板失效导致的屈曲失效（PI）；

4.2 侧向压力

下纵向扶强材的屈曲评估中，认为侧向压力为常量。

4.3 加强筋理想化

4.3.1 加强筋的有效长度l_{eff}加强筋的有效长度l_{eff}，mm，取为：

（1）对于两端固支的加强筋，$l_{eff}=\frac{l}{\sqrt{3}}$；

（2）对于一端简支、一端固支的加强筋，$l_{eff}=0.75l$；

（3）对于两端简支的加强筋，$l_{eff}=l$；

4.3.2 有效带板宽度b_{eff1} l

加强筋的有效带板宽度b_{eff1}，mm，不考虑剪切滞后效应，取为：

$$b_{eff1}=\frac{C_{x1}b_1+C_{x2}b_2}{2}$$

式中：

C_{x1}, C_{x2}——表2所定义的加强筋两侧板格在工况1下分别对应的折减系数

b_1, b_2——加强筋两侧板格的宽度，mm。

4.3.3 有效带板宽度b_{eff}

加强筋的有效带板宽度b_{eff}，mm，取为：

$$b_{eff}=min\left(b_{eff1},\chi_s s\right)$$

式中

χ_s ——有效宽度系数，取为:

- $\chi_s=min\left[\frac{1.12}{1+\frac{1.75}{\left(\frac{\ell_{eff}}{s}\right)^{1.6}}};1\right]$ 当$\frac{\ell_{eff}}{s}\geq 1$ 时
- $\chi_s=0.407\frac{\ell_{eff}}{s}$ 当$\frac{\ell_{eff}}{s}<1$ 时

4.3.4 带板净厚度 t_p

板的净厚度 tp，mm，取两侧带板的平均值。

4.3.5 扁钢的有效腹板厚度

为计及局部侧向变形引起的刚度降低，对于扁钢加强筋，计算其净截面积A_s、净模量Z和惯性矩I时应该采用以下定义的有效腹板厚度，mm

$$t_{w_red}=t_w\left(1-\frac{2\pi^2}{3}\left(\frac{h_w}{s}\right)^2\left(1-\frac{b_{eff1}}{s}\right)\right)$$

4.3.6 加强筋的净剖面模数 Z

加强筋的净剖面模数 Z，根据带板有效宽度 beff 计算，cm3，取：

（1）对于加强筋导致的失效（SI），取加强筋翼板顶部计算的剖面模数；

（2）对于带板导致的失效（PI），取带板上计算的剖面模数；

4.3.7 加强筋的惯性矩 I

加强筋的惯性矩 I，cm4，根据带板有效宽度b_{eff}计算，应符合下面的要求：

$$I\geq\frac{s\,t_p^{\,3}}{12\cdot 10^4}$$；

4.3.8 球扁钢的理想化

球扁钢应视为等效的角钢。等效的组合剖面的净尺寸，mm，通过下列公式得到：

$$h_w = h'_w - \frac{h'_w}{9.2} + 2$$

$$b_f = \alpha\left(t'_w + \frac{h'_w}{6.7} - 2\right)$$

$$t_f = \frac{h'_w}{9.2} - 2$$

$$t_w = t'_w$$

式中：h'_w, t'_w——　球扁钢的高度和净厚度，mm，如图 2 所示

α ——　系数，取为：

$$\alpha = 1.1 + \frac{(120 - h'_w)^2}{3000} \quad \text{对于 } h'_w \le 120$$

$$\alpha = 1.0 \text{ 对} \quad h'_w > 120$$

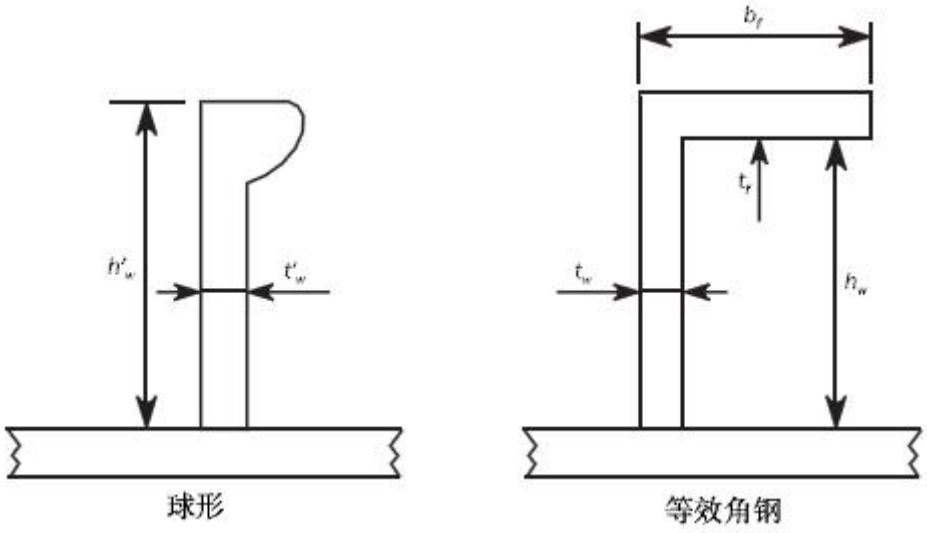


图 2　球扁钢的理想化

4.4　极限屈曲能力

4.4.1　纵向加强筋的极限状态

当$\sigma_a + \sigma_b + \sigma_w > 0$时，加强筋的极限屈曲能力应根据以下相关方程进行校核：

$$\frac{\gamma_c \sigma_a + \sigma_b + \sigma_w}{R_{eH}} = 1$$

式中：

σ_a　　——加强筋跨中位置处的有效轴向应力，N/mm²，定义见本附录 4.4.2

σ_b　　——加强筋上的弯曲应力，N/mm²，定义见本附录 4.4.3,

σ_w　　——扭转引起的应力，N/mm²，定义见本附录 4.4.4

R_{eH}　　——给定的材料最小屈服应力，N/mm²

（1）对于加强筋导致的失效（SI），$R_{eH} = R_{eH_S}$

（2）对于带板导致的失效（PI），$R_{eH} = R_{eH_P}$

4.4.2　有效轴向应力σ_a

作用在加强筋及其带板上的位于跨中位置的有效轴向应力σ_a，N/mm²，取为:

$$\sigma_a = \sigma_x \frac{s t_p + A_s}{b_{eff1} t_p + A_s}$$

式中

σ_x ——施加在加强筋及其带板上的名义轴向应力，N/mm²，根据 7.2.4.4.1 a)计算

A_s ——加强筋的净剖面面积，mm²

4.4.3 弯曲应力σ_b

加强筋的弯曲应力，N/mm2，按下式计算：

$$\sigma_b = \frac{M_o + M_1}{1000 Z}$$

式中：

M_1 ——由于侧向压力 P 引起的弯矩，Nmm，

（1）对于连续加强筋

$$M_1 = C_i \frac{|P| s \ell^2}{24 \cdot 10^3}$$

（2）对于削斜的加强筋

$$M_1 = C_i \frac{|P| s \ell^2}{8 \cdot 10^3}$$

P ——侧向压力，kN/m2，指加强筋载荷计算点处的静压力；

C_i ——压力系数：

（1）对于加强筋导致的失效（SI），$C_i = C_{SI}$；

（2）对于带板导致的失效（PI），$C_i = C_{PI}$；

C_{PI} ——带板导致的失效模式的压力系数：

（1）如果侧向压力施加在加强筋背侧，则$C_{PI} = 1$；

（2）如果侧向压力施加在与加强筋同侧，则$C_{PI} = -1$；

C_{SI} ——加强筋导致的失效模式的压力系数

（1）如果侧向压力施加在加强筋背侧，则$C_{SI} = -1$；

（2）如果侧向压力施加在与加强筋同侧，则$C_{SI} = 1$；

M_0 ——由于加强筋的侧向变形 w 引起的弯矩，Nmm

$$M_0 = F_E \left(\frac{P_z w}{c_f - P_z} \right)，且 c_f - P_z > 0$$

F_E ——加强筋的理想弹性屈曲力，N

$$F_E = \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^2 EI \cdot 10^4$$

；

P_z ——由带板上的应力σ_x、σ_y、τ 引起的，作用在加强筋中间跨距位置处的名义侧向压力，N/mm2,

$$P_z = \frac{t_p}{s} \left(\sigma_{xl} \left(\frac{\pi s}{\ell} \right)^2 + \sqrt{2} \tau_1 \right)$$

$$\sigma_{x\ell} = \gamma_c \sigma_x \left(1 + \frac{A_s}{s t_p} \right)，且不小于 0$$

$\tau_1 = \gamma|\tau| - t_p\sqrt{R_{eH_P}E\left(\frac{m_1}{a^2}+\frac{m_2}{b^2}\right)}$，且不小于 0；

m_1 m_2 ——系数，取值如下：

（1）如果$\alpha \geq 2$，则

$m_1 = 1.47\ m_2 = 0.49$

（2）如果$\alpha < 2$，则

$m_1 = 1.96\ m_2 = 0.37$

w ——加强筋的变形，mm，取为：

$w = w_0 + w_1$

w_0 ——假定的缺陷，mm，取为：

（1）一般情况，$w_0 = \ell / 1000$；

（2）对两端削斜的加强筋，考虑加强筋导致的失效（SI）

$w_0 = -w_{na}$

（3）对两端削斜的加强筋，考虑带板导致的失效（PI）

$w_0 = w_{na}$

w_{na} ——带板中点至计及带板有效宽度的加强筋中和轴的距离。

w_1 ——由侧向载荷 P 导致的加强筋在其跨距中点处的变形，mm。如为均布载荷，w_1 可取为:

（1）一般情况，$w_1 = C_i\frac{|P|\,s\,\ell^4}{384\cdot 10^7 E\,I}$；

（2）对于两端削斜的加强筋，$w_1 = C_i\frac{5|P|\,s\,\ell^4}{384\cdot 10^7 E\,I}$。

c_f ——加强筋提供的弹性支持，N/mm2，取为：

$$c_f = F_E\left(\frac{\pi}{\ell}\right)^2(1+c_p)$$

c_p ——系数，取

$$c_p = \frac{1}{1+\frac{0.91}{c_{xa}}\left(\frac{12\,I}{s\ t_p^{\ 3}}10^4 - 1\right)}$$

c_{xa} ——系数，取为

（1）如果$\ell \geq 2s$，则$c_{xa} = \left[\frac{\ell}{2s}+\frac{2s}{\ell}\right]^2$；

（2）如果$\ell < 2s$，则$c_{xa} = \left[1+\left(\frac{\ell}{2s}\right)^2\right]^2$。

4.4.4 扭转变形引起的应力σ_w

扭转变形引起的应力，N/mm2，取为：

（1）对于加强筋导致的失效（SI）

$$\sigma_w = Ey_w\left(\frac{t_f}{2} + h_w\right)\Phi_0\left(\frac{\pi}{\ell}\right)^2\left(\frac{1}{1-\frac{0.4R_{eH_S}}{\sigma_{ET}}} - 1\right)$$

（2）对于带板导致的失效（PI）

$$\sigma_w = 0$$

式中：

y_w ——从加强筋横截面中心到加强筋翼板自由边缘的距离，mm，取为：

（1）对扁钢，$y_w = \frac{t_w}{2}$；

（2）对角钢和球扁钢，$y_w = b_f - \frac{h_w t_w^2 + t_f b_f^2}{2A_s}$；

（3）对 T 型材，$y_w = \frac{b_f}{2}$。

Φ_0 ——系数，取为：

$$\Phi_0 = \frac{\ell}{h_w}10^{-3}$$

σ_{ET} ——扭转屈曲参考应力，N/mm²

$$\sigma_{ET} = \frac{E}{I_p}\left(\frac{\varepsilon\pi^2 I_\omega 10^2}{\ell^2} + 0.385I_T\right)$$

I_p ——加强筋关于点 C 的净极惯性矩，cm4，按表 4 定义，点 C 如图 3 所示

I_T ——加强筋的净圣维南惯性矩，cm4，按表 4 定义。

I_ω ——加强筋关于点 C 的净剖面扇形惯性矩，cm6，按表 4 定义，点 C 如图 3 所示

ε ——固定度，取为：

$$\varepsilon = 1 + \frac{\left(\frac{\ell}{\pi}\right)^2 10^{-3}}{\sqrt{I_\omega\left(\frac{0.75s}{t_p^3} + \frac{e_f - 0.5t_f}{t_w^3}\right)}}$$

惯性矩 **表 4**

横截面特性	扁钢	球扁钢、角钢和 T 型材
I_P	$\frac{h_w^3 t_w}{3\cdot10^4}$	$\left(\frac{A_w(e_f-0.5t_f)^2}{3} + A_f e_f^2\right)10^{-4}$
I_T	$\frac{h_w t_w^3}{3\cdot10^4}\left(1-0.63\frac{t_w}{h_w}\right)$	$\frac{(e_f-0.5t_f)t_w^3}{3\cdot10^4}\left(1-0.63\frac{t_w}{e_f-0.5t_f}\right)$ + $\frac{b_f t_f^3}{3\cdot10^4}\left(1-0.63\frac{t_f}{b_f}\right)$

I_ω	$\frac{h_w^3 t_w^3}{36\cdot 10^6}$	对球扁钢和角钢： $\frac{A_f e_f^2 b_f^2}{12\cdot 10^6}\left(\frac{A_f+2.6A_w}{A_f+A_w}\right)$ 对 T 型材： $\frac{b_f^3 t_f e_f^2}{12\cdot 10^6}$
A_w:腹板净面积，mm²。 A_f:翼板净面积，mm²。		

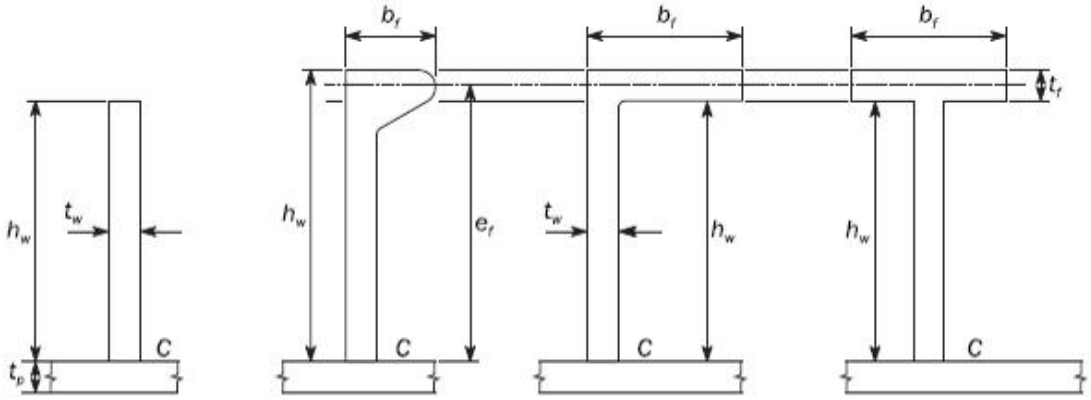


图 3　加强筋横截面

附录 5　船体梁极限弯曲能力

符号

$I_{y\text{-}net}$　：　船体横剖面对其水平中和轴的惯性矩，m^4

$Z_{B\text{-}net}$, $Z_{D\text{-}net}$　：　船底和甲板处的剖面模数，m^3

R_{eH_S}　：　所考虑扶强材材料的最小屈服强度，N/mm^2

R_{eH_P}　：　所考虑板材料的最小屈服强度，N/mm^2

$A_{s\text{-}net}$　：　扶强材的净剖面面积，cm^2，不计及带板

$A_{p\text{-}net}$　：　带板的净剖面面积，cm^2

1　一般假定

1.1　船体梁极限能力的计算方法应能识别出所有主要纵向构件的关键失效模式。

1.2　如果结构受压超出了其屈曲限度，其承载额能力将降低。为确定横框架之间的纵向构件的最弱失效模式，需考虑各个构件的所有相关失效模式，如：板材屈曲、加强筋扭转屈曲、加强筋腹板屈曲、加强筋侧向或总体屈曲以及它们的相互作用。

2　增量—叠代方法

2.1　假定

应用增量-迭代方法时，一般应遵循以下假定：

- 计算针对两个相邻横框架之间的船体剖面进行；
- 船体梁剖面在各曲率下保持平面；
- 船体材料认为具有弹性—塑性特性；
- 船体梁剖面可以被划分为一系列单元，见 2.2.2，单元之间无相互作用。

根据叠代过程，每一曲率χi 下作用于横剖面的弯矩 Mi 通过对作用于所有单元上的应力σ求和获得。由单元应变ε引起的应力σ在每一曲率增量下通过单元的非线性载荷—端缩曲线σ—ε获得。

根据单元的失效机理，这些曲线按照本附录 2.3 所定义的公式进行计算。应力σ取所考虑的各条载荷—端缩曲线σ—ε结果的最小值。

重复该流程，直至所取曲率值在中拱与中垂状态下达到由下式求得的值χ_F，m^{-1}：

$$\chi_F = \pm 0.003 \frac{M_y}{EI_{y-net}}$$

式中：　M_Y——M_{Y1} 和 M_{Y2} 的小者，kNm；

$M_{Y1} = 10^3 R_{eH} Z_{B\text{-}net.}$

$M_{Y2} = 10^3 R_{eH} Z_{D\text{-}net.}$

如χ_F 的值不足以评估 M-χ曲线的峰值，应重复此流程，直至所取曲率值允许对该曲线进行最大弯矩的计算。

2.2　计算流程

2.2.1　通则

M-χ曲线应通过增量—叠代方式求得，概况见图 1 的流程。

本方法中，船体梁极限弯矩能力 M_U 的定义为船体横剖面垂向弯矩 M 与曲率χ关系曲线的峰值，如图 1 所示。该曲线应通过增量—叠代方式求得。

增量程序的每一步由作为强制曲率χ_i结果的作用于船体横剖面上的计算弯矩 M_i表征。

每一步的χ_i值，应将曲率的增量$\Delta\chi$与前一步轴的曲率值χ_{i-1}相加而求得。此曲率增量对应于船体梁横剖面对其水平中和轴的转角增量。

这一转角增量在每个船体结构单元中引起轴向应变ε，其值依赖于单元的位置。在中拱工况下，中和轴上方的结构单元被拉长，中和轴下方的单元被压缩，在中垂工况下正相反。

应变ε引起的各结构单元应力σ，应从各单元的载荷—端缩曲线σ—ε得出，该曲线计入各单元在非线性弹性—塑性区域的特性。

对于每一步，由于σ—ε为非线性关系，在船体梁横剖面上所有构成单元中引起的应力分布确定了中和轴位置的变化。对于所考虑的计算步骤，中和轴的新位置应通过叠代过程求得，以达到作用于船体所有单元的应力平衡。

一经知道中和轴的位置且求得剖面结构单元的相关应力分布，则中和轴新位置的剖面弯矩 M_i应通过总和各单元的应力而求得，此弯矩与当前计算步的曲率χ_i相对应。

上述增量—叠代方式的主要步骤概括如下（参见图 1）：

第 1 步：将船体横剖面划分为加筋板单元；

第 2 步：按表 1 所示对所有单元的应力—应变关系作出定义；

第 3 步：对于具有曲率增量值（即该曲率引起强力甲板的应力等于 1%的屈服强度）的第 1 增量步，初始化曲率χ_1和中和轴；

$$\chi_1=\Delta\chi=0.01\frac{R_{eH}}{E}\frac{1}{z_D-z_n}$$

式中：　　z_D——强力甲板边线的 Z 坐标，m，

z_n：横剖面中和轴的Z坐标, m，均对应本章第二节7.2.1.2中定义的坐标系。

第 4 步：计算各单元相应的应变$\varepsilon_i=\chi_1(z_i-z_n)$和相应的应力$\sigma_i$；

第 5 步：通过确定整个横剖面的力平衡来确定各增量步的中和轴 z_{NA_cur}

$$\Sigma A_{i\text{-}net}\sigma_i = \Sigma A_{j\text{-}net}\sigma_j$$（i-th 单元受压，j-th 单元受拉）

第 6 步：通过合计所有单元的贡献计算相应的弯矩：

$$M_U=\sum\sigma_{Ui}A_{i-net}\left|(z_i-z_{NA_cur})\right|$$

第 7 步：比较当前增量步的弯矩与前一增量步的弯矩。如 M-χ关系中的斜率小于一个固定负值，则结束此过程并定义 M_U的峰值。否则，增加曲率$\Delta\chi$量并转到第 4 步。

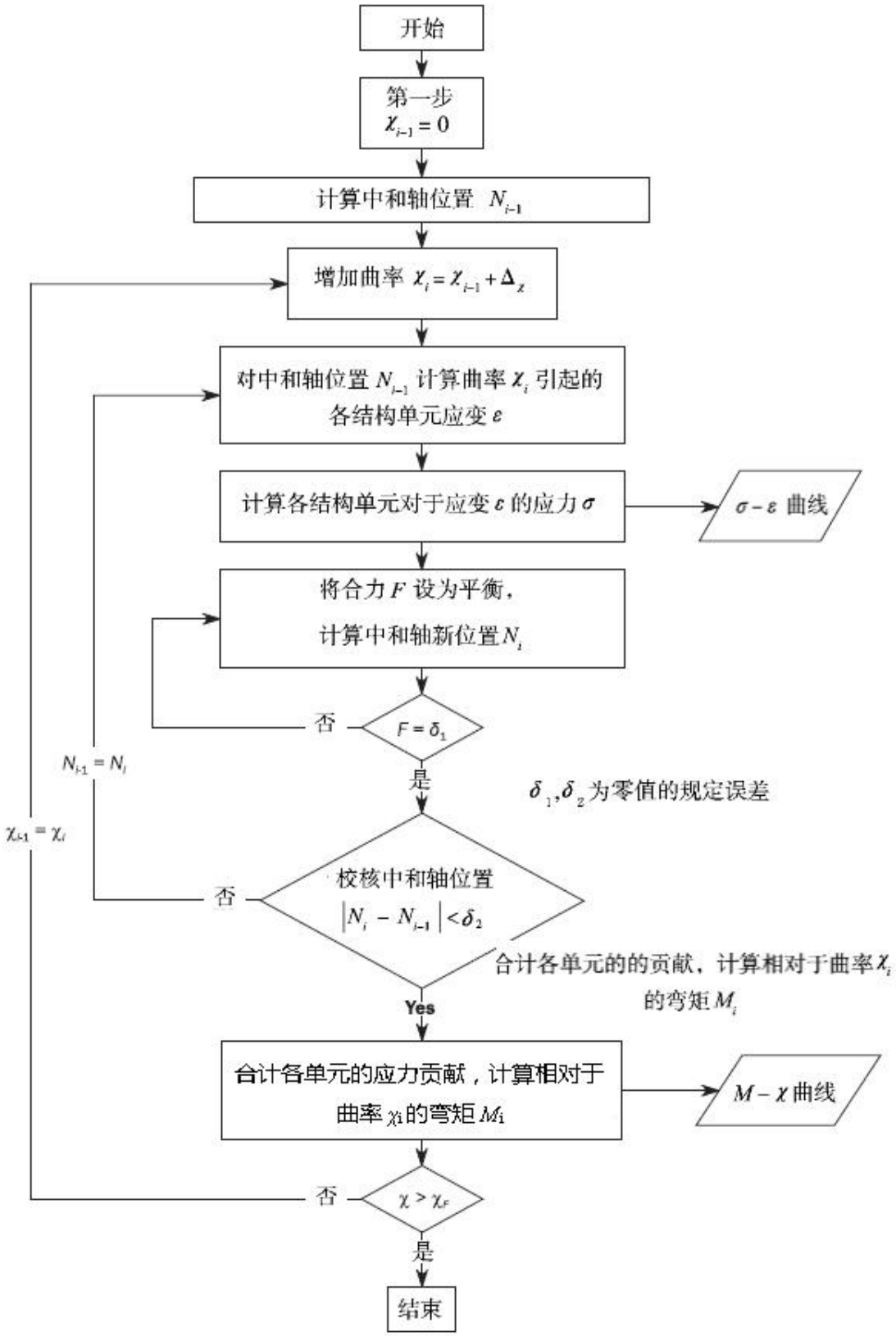


图 1　M-χ曲线计算程序流程图

2.2.2　船体梁横剖面建模

船体梁横剖面由对船体梁极限强度有贡献的构件构成。

两端削斜扶强材也应建模，但不应考虑其对船体梁强度的贡献。

构件分为普通扶强材单元、加筋板单元或硬角单元。

将包括纵桁或舷侧纵桁腹板的板格理想化为加筋板单元、普通扶强材单元的带板或硬角

单元。

板格分为如下两类：

——纵向加筋板格，长边沿纵向；

——横向加筋板格，长边沿与纵向垂直的方向；

- 硬角单元

硬角单元是船体梁横剖面中刚度较大的单元，主要按弹性—塑性失效模式损坏（材料屈服），这些单元一般由两块不共面的板组成。

硬角单元离板交点的范围是在横向加筋板上取 20 t_{net}，在纵向加筋板上取 0.5s，见图 2。其中： t_{net}——板的净厚度，mm；

s——相邻纵向扶强材的间距，mm；

舭部，舷顶列板—甲板边板单元，纵桁—甲板的连接和大纵桁的面板—腹板连接都是典型的硬角单元。

- 普通扶强材单元

普通扶强材单元包括一个普通扶强材和带板。

原则上带板宽度是：

——当扶强材两侧的板格是纵向加筋时，等于普通扶强材的平均间距；

——当扶强材一侧的板格是纵向加筋，另一侧是横向加筋时，等于纵向加筋板格的宽度，见图 2。

- 加筋板单元

普通扶强材单元之间，普通扶强材单元与硬角单元之间或硬角单元之间的板作为加筋板单元，见图 2。

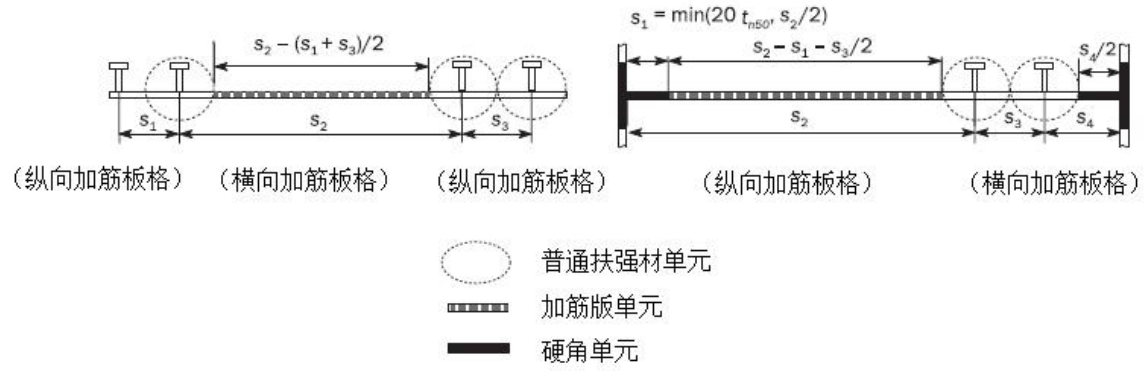


图 2　带板和硬角单元的宽度范围

船体梁剖面建模的典型示例如图 3 所示。

尽管有前面的建模原则，这些图应用于上甲板、舷顶列板和舱口旁纵桁附近的建模。

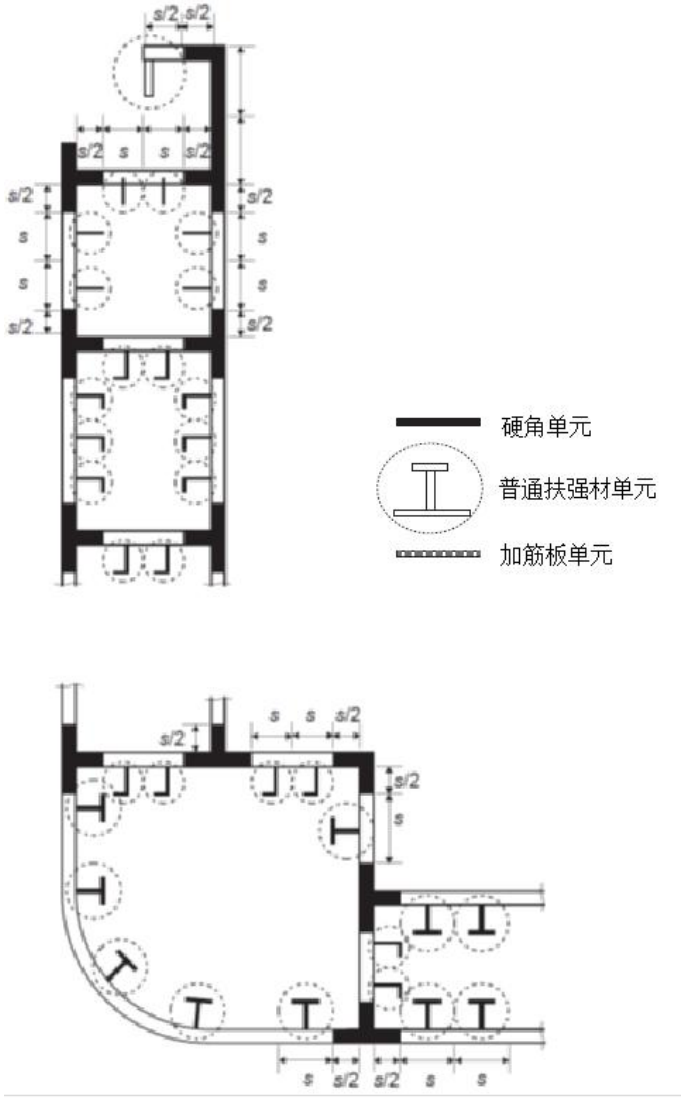


图 3　船体剖面上加筋板单元、普通扶强材单元和硬角单元的示例

注：

（1）如图 4 所示的折角点，角度大于 30°的折角区域附近板定义为硬角单元。一侧硬角单元的范围是从折角点起在横向加筋板上取 $20t_{n50}$，在纵向加筋板上取 $0.5s$。

（2）当板由纵向不连续扶强材加强时，仅认为纵向不连续扶强材将板分成不同的基本板格。

（3）当加筋板单元上有开孔时，开孔应根据第 2 章第 2 节图 2.2.4.7 所示的方法进行扣除。

（4）当带板由不同厚度和/或屈服应力的钢材组成时，由下式得出的平均厚度和/或平均屈服应力用于计算。

$$t_{net} = \frac{t_{1-net}s_1 + t_{2-net}s_2}{s} \qquad R_{eH_P} = \frac{R_{eH_P1}t_{1-net}s_1 + R_{eH_P2}t_{2-net}s_2}{t_{net}s}$$

式中 R_{eH_P1}, R_{eH_P2}, $t_{1\text{-}net}$,$t_{2\text{-}net}$, s_1, s_2 和 s 如图 5 所示。

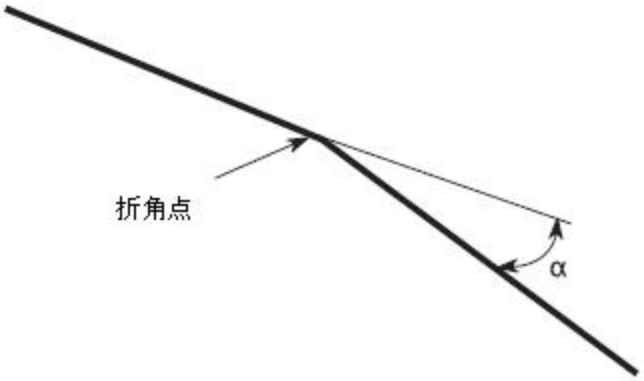


图 4　有折角点的板

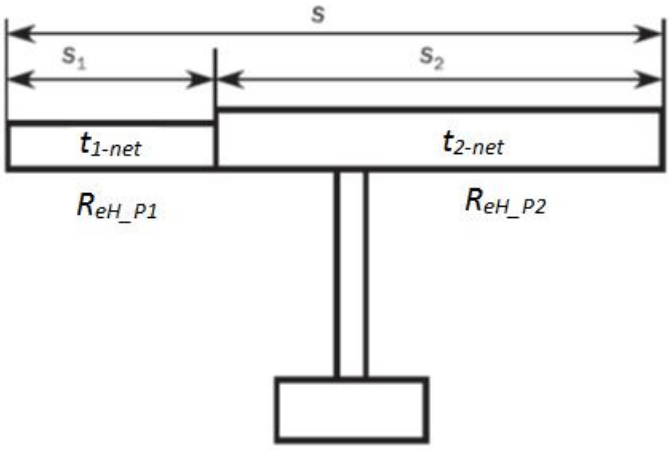


图 5　有不同厚度和屈服应力的单元

2.3　载荷—端缩曲线

2.3.1　加筋板单元和普通扶强材单元

构成船体梁横剖面的加筋板单元和普通扶强材单元可按表 1 所规定的失效模式之一崩溃破坏。

- 当板由纵向不连续扶强材加强，单元的应力应根据本附录 2.3.2 至 2.3.7 获得，考虑纵向不连续构件

在为校核船体梁极限强度而计算总力时，认为纵向不连续扶强材的面积为零。

- 若加筋板单元上有开孔，则在为校核船体梁极限强度而计算总力时，加筋板单元的面积应减去开孔的面积。
- 对加筋板单元，计算应力—应变曲线的载荷端缩比例时，板的有效宽度应取全板宽，即：到与其他板和纵向扶强材的交点，而不是到硬角单元的端点也不是到普通扶强材单元的带板。在为校核船体梁极限强度而计算总力时，加筋板单元的面积应取硬角单元和普通扶强材单元之间的面积或硬角单元之间的面积。

表 1 ：加筋板单元和普通扶强材单元失效模式

单元	失效模式	σ—ε曲线定义见
拉长的加筋板单元或普通扶强材单元	弹塑性崩溃	本附录 2.3.2
缩短的普通扶强材单元	梁柱屈曲 扭转屈曲 折边型材的腹板局部屈曲 扁钢的腹板局部屈曲	本附录 2.3.3 本附录 2.3.4 本附录 2.3.5 本附录 2.3.6
缩短的加筋板单元	板屈曲	本附录 2.3.7

2.3.2　结构单元的弹塑性崩溃破坏（硬角单元）

对于组成船体梁横剖面的结构单元，描述其弹塑性崩溃破坏的载荷—端缩曲线σ—ε的方程由下式得出。

$$\sigma = \Phi R_{eHA}$$

式中：　R_{eHA}——所考虑单元的等效最小屈服应力，N/mm2，由以下公式得到：

$$R_{eHA} = \frac{R_{eH_P}A_{p-net} + R_{eH_S}A_{s-net}}{A_{p-net} + A_{s-net}}$$

Φ——边缘函数，等于：

$$\Phi = -1 \text{ 对 } \varepsilon < -1$$
$$\Phi = \varepsilon \text{ 对 } -1 \le \varepsilon \le 1$$
$$\Phi = 1 \text{ 对 } \varepsilon > 1$$

ε——相对应变，等于：

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_Y}$$

ε_e——单元应变

ε_Y——单元达到屈服应力时的应变，等于：

$$\varepsilon_Y = \frac{R_{eHA}}{E}$$

2.3.3　梁柱屈曲

对于组成船体梁横剖面的普通扶强材的梁柱屈曲，描述其载荷—端缩曲线σ_{CR1}—ε的方程由下式得出：

$$\sigma_{CR1} = \Phi\sigma_{C1}\frac{A_{s-net} + A_{pE-net}}{A_{s-net} + A_{p-net}}$$

式中：　Φ——本附录 2.3.2 所定义的边缘函数

σ_{C1}——临界应力，N/mm²，等于：

$$\sigma_{C1} = \frac{\sigma_{E1}}{\varepsilon} \text{ 对于 } \sigma_{E1} \le \frac{R_{eHB}}{2}\varepsilon$$
$$\sigma_{C1} = R_{eHB}\left(1 - \frac{R_{eHB}\varepsilon}{4\sigma_{E1}}\right) \text{ 对于 } \sigma_{E1} > \frac{R_{eHB}}{2}\varepsilon$$

R_{eHB}——所考虑单元的等效最小屈服应力，N/mm²，由下式获得：

$$R_{eHB} = \frac{R_{eH_P}A_{pEI-net}\ell_{pE} + R_{eH_S}A_{s-net}\ell_{sE}}{A_{pEI-net}\ell_{pE} + A_{s-net}\ell_{sE}}$$

$A_{pEI-net}$——有效面积，cm²，等于：

$$A_{pEI-net} = 10b_{E1}t_{net}$$

l_{pE}——扶强材（带板宽度 b_{E1}）中和轴距带板底部的距离，mm

l_{sE}——扶强材（带板宽度 b_{E1}）中和轴距扶强材顶部的距离，mm

ε——本附录 2.3.3 定义的相对应变

σ_{E1}——柱屈曲欧拉应力，N/mm²，等于：

$$\sigma_{E1} = \pi^2 E\frac{I_{E-net}}{A_{E-net}\ell^2}10^{-4}$$

I_{E-net}——普通扶强材的净惯性矩，cm⁴，且带板宽度为 b_{E1}

A_{E-net}——普通扶强材的净面积, cm², 带板宽度为 b_{E1}

b_{E1}——有效船壳带板宽度，m，等于：

$$b_{E1}=\frac{s}{\beta_E} \text{ 对于 } \beta_E>1.0$$

$$b_{E1}=s \text{ 对于 } \beta_E\le 1.0$$

$$\beta_E=10^3\frac{s}{t_{n50}}\sqrt{\frac{\varepsilon R_{eHp}}{E}}$$

$A_{pE\text{-net}}$——宽度为 b_E 的船壳带板的净剖面面积，cm²，等于：

$$A_{pE-net}=10b_E t_{net}$$

b_E——有效船壳带板宽度，m，等于：

$$b_E=\left(\frac{2.25}{\beta_E}-\frac{1.25}{\beta_E^2}\right)s \text{ 对于 } \beta_E>1.25$$

$$b_E=s \text{ 对于 } \beta_E\le 1.25$$

2.3.4 扭转屈曲

对于组成船体梁横剖面的普通扶强材的扭转屈曲，描述其载荷—端缩曲线σ_{CR2}—ε的方程由下式得出。

$$\sigma_{CR2}=\Phi\frac{A_{s-net}\sigma_{C2}+A_{p-net}\sigma_{Cp}}{A_{s-net}+A_{p-net}}$$

式中： Φ——本附录 2.3.2 所定义的边缘函数

σ_{C2}——临界应力，N/mm²，等于：

$$\sigma_{C2}=\frac{\sigma_{E2}}{\varepsilon} \qquad \text{当}\sigma_{E2}\le\frac{R_{eH_S}}{2}\varepsilon\text{时}$$

$$\sigma_{C2}=R_{eH_S}\left(1-\frac{R_{eH_S}\varepsilon}{4\sigma_{E2}}\right) \qquad \text{当}\sigma_{E2}>\frac{R_{eH_S}}{2}\varepsilon\text{时}$$

ε——本附录 2.3.2 定义的相对应变

σ_{E2}——扭转欧拉屈曲应力，N/mm²，取本章附录 4 的 4.4.4 定义的σ_{ET}

σ_{CP}——带板屈曲应力，N/mm²，等于

$$\sigma_{CP}=\left(\frac{2.25}{\beta_E}-\frac{1.25}{\beta_E^2}\right)R_{eH_P} \quad \text{对于 } \beta_E>1.25$$

$$\sigma_{CP}=R_{eH_P} \text{对于 } \beta_E\le 1.25$$

β_E——本附录 2.3.3 定义的系数。

2.3.5 由折边型材制成的普通扶强材的腹板局部屈曲

对于组成船体梁横剖面的折边普通扶强材的腹板局部屈曲，描述其载荷—端缩曲线σ_{CR3}—ε的方程由下式得出：

$$\sigma_{CR3}=\Phi\frac{10^3 b_E t_{net}R_{eH_P}+(h_{we}t_{w-net}+b_f t_{f-net})R_{eH_S}}{10^3 s t_{net}+h_w t_{w-net}+b_f t_{f-net}}$$

式中： Φ——本附录 2.3.2 所定义的边缘函数

b_E——本附录 2.3.3 定义的船壳带板有效宽度，m

h_{we}——腹板有效高度，mm，等于

$$h_{we}=\left(\frac{2.25}{\beta_w}-\frac{1.25}{\beta_w^2}\right)h_w \text{ 对于 } \beta_w\ge 1.25$$

$$h_{we}=h_w \text{ 对于 } \beta_w<1.25$$

βw—— $\beta_w=\frac{h_w}{t_{w-net}}\sqrt{\frac{\varepsilon R_{eH_S}}{E}}$

ε——本附录 2.3.2 定义的相对应变

2.3.6 扁钢制成的普通扶强材的腹板局部屈曲

对于组成船体梁横剖面的普通扁钢扶强材的腹板局部屈曲，描述其载荷—端缩曲线σ_{CR4}—ε的方程由下式得出。

$$\sigma_{CR4} = \Phi \frac{A_{p-net}\sigma_{CP} + A_{s-net}\sigma_{C4}}{A_{p-net} + A_{s-net}}$$

式中： Φ——本附录 2.3.2 所定义的边缘函数

σ_{CP}——本附录 2.3.4 定义的带板屈曲应力，N/mm^2，

σ_{C4}——临界应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_{C4} = \frac{\sigma_{E4}}{\varepsilon} \qquad \text{对于 } \sigma_{E4} \le \frac{R_{eH_S}}{2}\varepsilon$$

$$\sigma_{C4} = R_{eH_S}\left(1 - \frac{R_{eH_S}\varepsilon}{4\sigma_{E4}}\right) \qquad \text{对于 } \sigma_{E4} > \frac{R_{eH_S}}{2}\varepsilon$$

σ_{E4}——局部欧拉屈曲应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_{E4} = 160000\left(\frac{t_{w-net}}{h_w}\right)^2$$

ε——本附录 2.3.2 定义的相对应变

2.3.7 板屈曲

对于组成船体梁横剖面的横向加筋板格的屈曲，描述其载荷—端缩曲线σ_{CR5}—ε的方程由下式得出：

$$\sigma_{CR5} = min\begin{Bmatrix} R_{eH_P}\Phi \\ \Phi R_{eH_P}\left[\frac{s}{\ell}\left(\frac{2.25}{\beta_E} - \frac{1.25}{\beta_E^2}\right) + 0.1\left(1 - \frac{s}{\ell}\right)\left(1 + \frac{1}{\beta_E^2}\right)^2\right] \end{Bmatrix}$$

式中： Φ——本附录 2.3.2 所定义的边缘函数

β_E——本附录 2.3.3 所定义的系数

s——板的宽度，m，可取扶强材间距

l——板的长边长度，m

3 替代方法

3.1 通则

3.1.1 当采用替代方法时，在计算开始前应取得许可。应将分析方法所基于的原理及详细的结果对比提交审核。根据采用的方法，可能需要对分项安全系数进行校准。

3.1.2 弯矩曲率关系 M-χ可由其他方法建立。该模型应考虑对非线性响应具有重要影响的所有相关效应，包括：

（a） 几何非线性特性；

（b） 材料非弹性特性；

（c） 几何缺陷和残余应力（板材和加强筋的几何不平度）；

（d） 同步作用载荷：

- 双轴向受压；
- 双轴向拉伸；
- 剪切和侧向压力；

（e） 边界条件；

（f） 屈曲模式之间的相互作用；

（g） 结构部件（如板材、加强筋、桁材等）之间的相互作用；

（h） 后屈曲能力；

（i） 船体梁受压侧的过载单元可能导致板、扶强材等的永久屈曲破坏（双层底效应或类似情况）。

3.2 非线性有限元分析

3.2.1　高级非线性有限元计算模型可用于船体梁极限能力的评估。模型应考虑对非线性响应具有重要影响的在本附录 3.1.2 中列出的相关因素。

3.2.2　对于几何缺陷的形状和尺度，在建模时应特别予以注意。应保证几何缺陷的形状和尺度能引发最严重的失效模式。

第 8 章　散 货 船

第 1 节　一般规定

8.1.1　适用范围

8.1.1.1　本章适用于通常在装货处所具有单甲板、双层底、顶边舱和底边舱，且主要用于运输散装干货的船舶，不包括矿砂船。

8.1.1.2　对本章无规定者，均应符合本篇第 2 章的有关要求。

8.1.1.3　本章提及的双舷侧散货船系指所有货舱边界均为双舷侧结构的散货船，其内、外壳之间的最小距离大于等于 1000mm。

8.1.2　图纸资料

8.1.2.1　除本篇第 2 章第 1 节规定的资料图纸外，还应将下列资料提交备查：

(1)　航行时各舱柜最大压头以及与底边舱、顶边舱相通的任何双层底的详细情况；

(2)　如货舱内装载压载水或液体货物，应提供任何部分装载深度的详细情况。

8.1.3　船体结构强度直接计算和疲劳评估

8.1.3.1　船长为150m及以上的散货船，其货舱区域主要构件(纵向、横向)应按本章附录1进行直接计算。

8.1.3.2　船长为 150m 及以上的散货船，应按 CCS《船体结构疲劳强度指南》，对其货舱区域的下述部位进行疲劳强度校核。

(1)　纵骨（船底、舷侧、甲板及内壳）与横向强框架的连接部位；

(2)　纵骨（船底、舷侧、甲板及内壳）与横舱壁的连接部位；

(3)　底边舱或内壳与内底板连接处；

(4)　内底板与底凳侧板的连接处；

(5)　槽形横舱壁与底凳顶板的连接处；

(6)　槽形横舱壁与顶凳底板的连接处；

(7)　单壳散货船货舱肋骨与顶边舱和底边舱的连接处。

8.1.4　货舱免受装卸设备损坏的保护

8.1.4.1　对于载重线船长 L_L 为 150 m 及以上且载运密度为 1000 kg/m^3 及以上固体散装货物的散货船，在舱口边纵桁(靠近顶边舱斜板的上部位置)、舱口端横梁和舱口围板的上部位置上应设置防护装置，如半圆钢棒，以保护货舱口免受抓斗绳索刮伤。

第 2 节　船底骨架

8.2.1　一般要求

8.2.1.1　对于重货加强的散货船，其船底骨架应符合本篇第 2 章第 22 节的规定。

8.2.1.2　如双层底与底边舱相通，则其尺寸应符合本篇第 2 章第 13 节对深舱构件的要求。

8.2.1.3　对于船长 150m 及以上的散货船，实肋板厚度由直接计算确定，但最小厚度应不小于下式计算所得之值：

$$t_{\min} = \max\left(0.6\sqrt{L} + 3,\quad 12\right) \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m，计算时取值不大于 300m。

8.2.1.4　对于船长 150m 及以上的散货船，水密实肋板厚度除满足 8.2.1.3 的要求外，尚应符合第 2 章第 13 节对深舱的规定。

8.2.1.5　当双层底为纵骨架式且经直接计算验证，箱形中桁材内船底骨材和内底骨材的间距可接受最大 1.5 倍肋距。

8.2.1.6　船长小于 150m，具有重货加强且有指定空舱或间隔空舱的散货船，其船底骨架除应符合本节要求外，双层底的主要构件(纵向、横向)应按本章附录 1 进行直接计算。

第 3 节　舷侧骨架

8.3.1　适用范围

8.3.1.1　本节适用于主要用来载运散装干货的、货物处所建有单层甲板、顶边舱和底边舱、货舱仅由舷侧外板限界的散货船的舷侧结构。

8.3.2　舷侧外板

8.3.2.1　舷侧外板的厚度应按本篇第 2 章的要求确定。货舱区域内底边舱与顶边舱之间的舷侧外板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=\sqrt{L} \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m；

8.3.3　主肋骨

8.3.3.1　船长 190m 及以上的散货船货舱区的主肋骨应与其上、下肘板为整体式结构，且均应为对称横剖面。

8.3.3.2　船长 190m 以下的散货船货舱区的低碳钢主肋骨可设置分离式的上、下肘板，可采用非对称的横剖面。

8.3.3.3　主肋骨腹板的最小厚度应按下式计算：

$$t=7.0+0.03L \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m，取值不必大于 200m。

8.3.3.4　舱内主肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=5.8sh_1l^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——肋骨间距，m；

K——材料系数；

h_1——肋骨跨距中点和处于满载水线以上$(0.01L+0.8)$的点之间的垂直距离，m，见图 8.3.3.4。

其中：L——船长，m；

l——肋骨跨距 m，为斜板与舷侧板交点之间的距离，当 $l<0.25D$ 时取 $0.25D$，D 为型深。

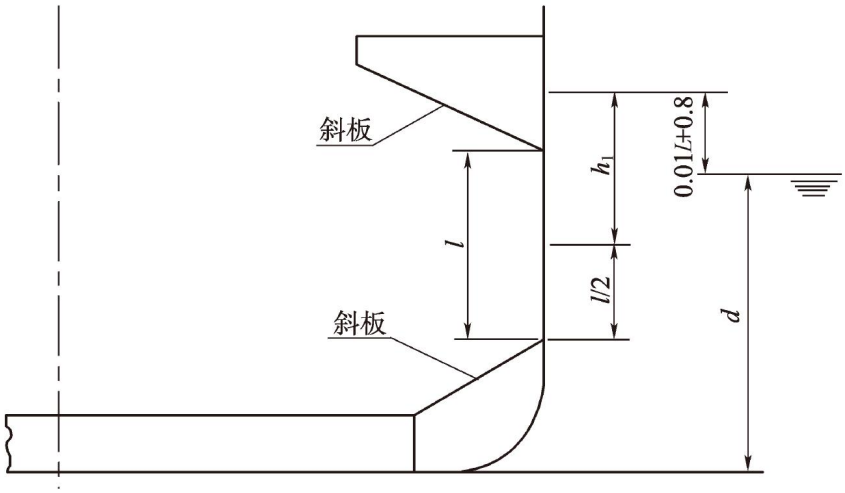


图 8.3.3.4

8.3.3.5　主肋骨腹板的高度和厚度之比应不超过下列值：

$60\sqrt{K}$，对于具有对称面板的主肋骨

$50\sqrt{K}$，对于具有非对称面板的主肋骨

式中：K——材料系数。

8.3.3.6　主肋骨面板突出部分的最大宽度应不超过面板厚度的 $10\sqrt{K}$ 倍。

8.3.3.7　肋骨面板在与上、下肘板面板的连接处应为圆弧型(见图 8.3.3.7)，其曲率半径不小于下式值：

$$r=\frac{0.4b_f^2}{t_f} \qquad \text{mm}$$

式中：b_f——上或下肘板的面板的宽度，mm；

t_f ——上或下肘板的面板的厚度，mm。

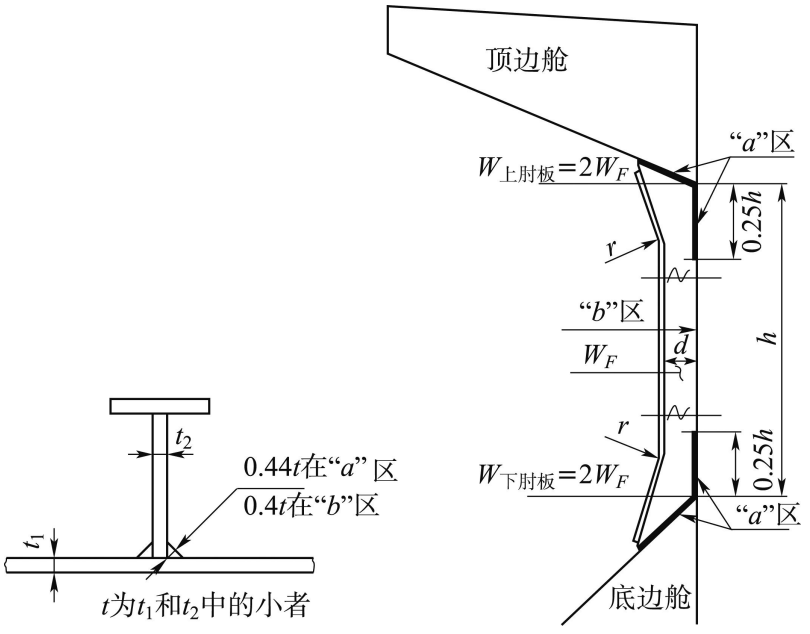


图 8.3.3.7

8.3.4 **主肋骨的上肘板和下肘板**

8.3.4.1 主肋骨的下肘板的厚度应不小于主肋骨腹板的厚度，且应不小于按本节 8.3.3.3 计算所得之值再增加 2mm。

8.3.4.2 主肋骨的上肘板的厚度应不小于主肋骨腹板的厚度。

8.3.4.3 上和下肘板的外形尺寸应不小于如图 8.3.4.3 所示的尺寸。

8.3.4.4 如图 8.3.3.7 所示位置主肋骨和肘板或整体肘板的剖面模数应不小于本节 8.3.3.4 计算所得之值的 2 倍。

8.3.4.5 在顶边舱和底边舱内应设置如图 8.3.4.5 所示的连接肘板，以确保主肋骨上下两端结构连续性。连接肘板一般应按图 8.3.4.5 设置防屈曲筋予以加强，以提高其稳定性。

8.3.4.6 上、下肘板的端部应设置软趾，软趾形式可按本篇第 1 章第 2 节图 1.2.7.6 所示设置。

8.3.4.7 支撑 8.3.4.5 所述连接肘板的舷侧纵骨、顶边舱斜板纵骨和底边舱斜板纵骨，在计算剖面模数时跨距应取为对应强框架的间距。当主肋骨的上肘板、下肘板和连接肘板的布置不同于本节时，舷侧纵骨、顶边舱斜板纵骨和底边舱斜板纵骨应对连接肘板形成有效支撑。

8.3.5 **第 1 货舱舷侧结构的加强**

8.3.5.1 主肋骨的腹板最小厚度应为本节 8.3.3.3 所要求的腹板最小厚度的 1.15 倍。

8.3.5.2 为了防止船壳板变形，应适当增大毗邻防撞舱壁的主肋骨的尺寸。作为替代，也可将首尖舱内的舷侧纵桁或开孔平台延伸至第 1 货舱的第 1 根肋骨处，该延伸结构在与肋骨连接处应有足够的抗剪切面积。

8.3.5.3 如第 1 货舱的主肋骨为非对称截面时，则应在主肋骨的跨距中点附近设置间隔的防倾肘板，如图 8.3.5.3 所示。

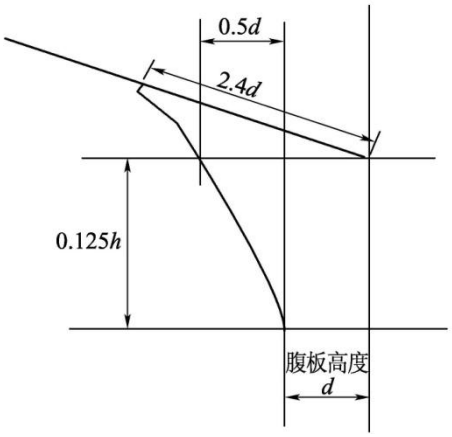
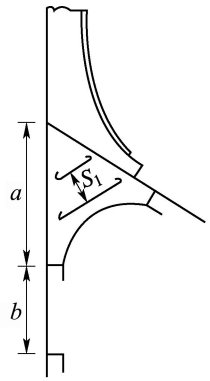


图 8.3.4.3



$a \geqslant a'$，$S_1 \leqslant \frac{a'+b}{2}$，$a'=0.3h-0.5b$

图 8.3.4.5

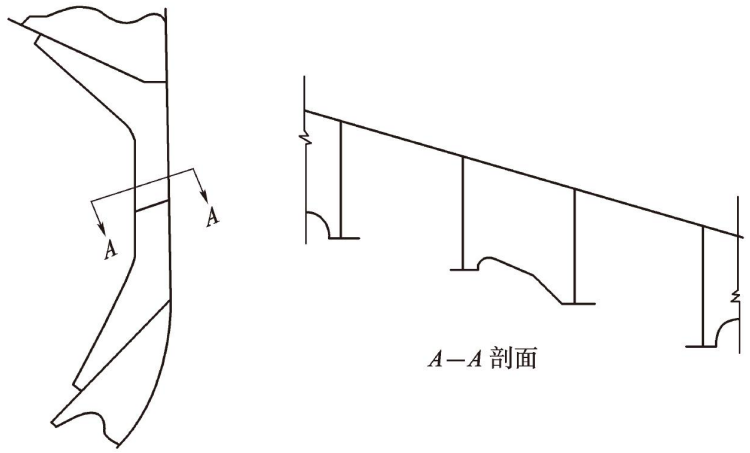


图 8.3.5.3

8.3.6 **主肋骨和上、下肘板与舷侧外板和斜板的焊接**

8.3.6.1 连接主肋骨和肘板至舷侧外板、顶边舱和底边舱斜板的填角焊缝，以及主肋骨和肘板的腹板与面板连接的填角焊缝应采用双面连续焊，焊喉的尺寸要求如下(见图 8.3.3.7)：

在“*a*”区域：0.44*t*

在“*b*”区域：0.4*t*

式中：*t* 为二个连接板中较薄板的厚度，mm。

8.3.6.2 如船的线型妨碍有效的填角焊时，肋骨和肘板的腹板边缘可以要求削斜，以便达到上述焊接连接相同的有效性。

第 4 节 水密舱壁

8.4.1 **一般要求**

8.4.1.1 水密舱壁应符合本篇第 2 章第 12 节的要求。当横舱壁构成压载货舱的周界时，还应符合本篇第 2 章第 13 节对深舱舱壁要求。

8.4.1.2 水密槽形舱壁上、下端如设置凳式结构时，其结构应符合下列要求：

(1) 底凳斜边板应设置在实肋板上，其厚度除应不小于本篇第 2 章第 12 节舱壁板厚度外，还应不小于本章 8.5.2.1 对底边舱斜板的要求；

(2) 底凳斜边板如设置扶强材时，其剖面模数应不小于本章 8.5.3.1 对底边舱斜板纵骨要求；

(3) 底凳内部应在船底桁材位置处设置纵向板，其厚度与内底纵桁厚度相同；

(4) 顶凳高度一般应取为槽形深度 2～3 倍，而矩形顶凳的高度一般应取为槽形深度的 2 倍，上述尺寸在舱口边纵桁处由甲板平面向下量取。顶凳底板的宽度一般应与底凳顶板的宽度相等。非矩形顶凳的顶部宽度不小于槽形深度的 2 倍。

(5) 位于液舱处的凳式结构，还应满足本篇第 2 章第 13 节对深舱构件的要求。

第 5 节 底 边 舱

8.5.1 **一般要求**

8.5.1.1 底边舱在货舱水密舱壁处应尽可能设置水密隔壁，否则应设置制荡舱壁。

8.5.1.2 应考虑底边舱首尾末端结构的连续性。

8.5.1.3 在计量底边舱构件的计算压头 *h* 时，当底边舱与顶边舱相通，则舱顶应量至顶边舱的最高点；当底边舱与双舷侧内的压载舱相通，则舱顶应量至双舷侧内压载舱的最高点。

8.5.1.4 本节的要求适用于纵骨架式底边舱。

8.5.2 **斜板**

8.5.2.1 斜板厚度应不小于本篇第 2 章第 6 节对内底板的要求。具有重货加强时，应按

本篇 2.22.3.4 要求增加厚度，但可从斜板与内底板交接处往舷侧逐渐过渡，至舷侧处可不必增厚。当底边舱与顶边舱边舱相通或为压载货舱周界时，斜板厚度还应不小于本篇第 2 章第 13 节的深舱要求。

8.5.2.2　当底边舱设置水密侧壁时，侧壁板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=4s\sqrt{hK}+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——由列板下缘量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者；

K——材料系数。

8.5.3　纵骨

8.5.3.1　斜板纵骨剖面模数 W 应不小于本篇第 2 章第 6 节对内底纵骨的要求。

具有重货加强时，还应不小于按下式计算所得之值：

$$W=8.5Hsl^2K/\gamma \quad \text{cm}^3$$

式中：γ ——见本篇第 2 章第 22 节；

H——纵骨量至顶边舱斜板下表面的垂直距离， m；当无顶边舱时，为纵骨量至上甲板的垂直距离；

s ——纵骨间距，m；

l ——纵骨跨距，m；

K——材料系数。

当底边舱与顶边舱相通或为压载货舱周界时，斜板纵骨的剖面模数还应不小于：

$$W=9shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s、l、K——同上；

h ——自纵骨量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者。

8.5.3.2　底边舱内的舷侧纵骨和舭部纵骨剖面模数 W 应不小于本篇第 2 章第 7 节的要求。

8.5.3.3　底边舱内的船底纵骨剖面模数 W 应不小于本篇第 2 章第 6 节的要求。

8.5.4　横向支持构件

8.5.4.1　在货舱内设置肋板的肋位处应设置支持底边舱纵骨的横向支持构件。

8.5.4.2　船底肋板和舷侧强肋骨的剖面模数 W 和剖面惯性矩 I 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=12Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I=2.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：S——肋板或强肋骨间距，m；

l ——肋板或强肋骨跨距，m；

h——在舷侧处，自跨距中点量至上甲板的垂直距离，m；

K——材料系数。

8.5.4.3　斜板强横梁剖面模数 W 和剖面惯性矩 I 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=12Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I=2.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：S——强横梁间距，m；

l ——强横梁跨距，m；

h——自跨距中点量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者；

K——材料系数。

具有重货加强时，斜板强横梁剖面模数 W 和剖面惯性矩 I 还应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W=6.6HSl^2K/\gamma \quad \text{cm}^3$$

$$I=1.8Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：γ见本篇第 2 章第 22 节；

H——自跨距中点量至顶边舱斜板下表面的垂直距离，m；

S ——强横梁间距，m；

l ——强横梁跨距，m；

K——材料系数。

8.5.4.4　肋板、强肋骨和强横梁之间应作有效的连接。纵骨应连续地穿过肋板、强肋骨和强横梁，并与其腹板焊接。主要构件腹板高度应不小于纵骨穿过处开孔高度的 2.5 倍，腹板上应于斜板纵骨与船底纵骨或与舷侧纵骨之间适当设置加强筋，其要求与本篇第 2 章第 6 节 2.6.11.2 相同。在主要构件面板与纵骨之间至少应每隔 1 根纵骨设置肘板，其厚度与主要构件腹板厚度相同。

8.5.4.5　当由于线型瘦削而导致难以设置横向强框架时，可采用非水密横隔板代替上述船底肋板、舷侧强肋骨和斜板强横梁组成的强框架，非水密横隔板的厚度和扶强材应满足 8.5.6 的要求。

8.5.4.6　当货舱舷侧为横骨架式时，在底边舱舱顶的每一肋位处应设置肘板。肘板厚度与底边舱内强肋骨框架处腹板厚度相同。肘板沿斜板和舷侧方向的长度应不小于货舱主肋骨下端肘板的自由边长度，并应与相邻近的纵骨焊接。肘板上应设置防屈曲的加强筋,其方向见本章图 8.3.4.5，其剖面尺寸与肋板加强筋相同。

8.5.5　水密隔壁

8.5.5.1　水密隔壁板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=4s\sqrt{hK}+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——由列板下缘量至舱顶的垂直距离或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者；

K——材料系数。

8.5.5.2　水密隔壁扶强材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=8.2shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——由扶强材跨距中点量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者；

l ——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

扶强材两端应用肘板连接。

8.5.6　非水密隔壁和制荡隔壁

8.5.6.1　非水密隔壁或制荡隔壁板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值，且应不小于 8mm：

$$t=12s \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m。

8.5.6.2　非水密隔壁或制荡隔壁扶强材剖面模数应不小于按本节 8.5.5.2 计算所得的 50%。扶强材两端应用肘板连接。

第 6 节　顶 边 舱

8.6.1　一般要求

8.6.1.1　顶边舱在货舱水密舱壁处应尽可能设置水密隔壁，否则应设置制荡舱壁。

8.6.1.2　应考虑顶边舱首尾末端结构的连续性。

8.6.2　斜板和舱口垂向列板

8.6.2.1　斜板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值，且不应小于 8mm：

$$t=4s\sqrt{hK}+2.5 \quad \text{mm}$$

$$t=12s\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：s ——纵骨间距，m；

K——材料系数；

$h = h_1 \cos\theta + b_1 \sin\theta$，或自板列下缘量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者；

h_1——自板列下缘量至顶边舱的最高点的垂直距离，m；

b_1——自板列下缘量至顶边舱任一侧最高点的水平距离，m，取大者；

$\theta = 30°$。

最下列板的厚度应比上式计算所得增加 1mm。

8.6.2.2　舱口垂向列板及顶边舱斜板的顶列板厚度应不小于开口线外甲板厚度的 60%，且不小于 $18s$(s 为纵骨间距，m)。垂向列板处应设置间距不大于 2 个肋距的伸至甲板和斜板纵骨的肘板，且应与之焊接。

8.6.3　纵骨

8.6.3.1　甲板纵骨、斜板纵骨和舷侧纵骨剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=10shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

l ——纵骨跨距，m；

K——材料系数；

$h = h_1 \cos\theta + b_1 \sin\theta$，或自纵骨量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者，且应不小于 1.5m；

h_1——自纵骨量至顶边舱最高点的垂直距离，m；

b_1——自纵骨量至顶边舱任一侧最高点的水平距离，m，取大者；

$\theta = 30°$。

8.6.3.2　甲板纵骨和舷侧纵骨的尺寸还应符合本篇第 2 章的有关要求。

8.6.4　横向支持构件

8.6.4.1 支持纵骨的甲板强横梁、斜板强横梁和舷侧强肋骨的剖面模数 W 及剖面惯性矩 I，应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=7.5Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

$$I=2.5Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：S ——强横梁或强肋骨间距，m；

l ——强横梁或强肋骨跨距，m；

K ——材料系数；

$h = h_1 \cos\theta + b_1 \sin\theta$，或自跨距中点量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者，且应不小于 1.5m；

h_1——自跨距中点量至顶边舱的最高点的垂直距离，m；

b_1——自跨距中点量至顶边舱任一侧最高点的水平距离，m，取大者；

$\theta = 30°$。

8.6.4.2　强横梁或舷侧强肋骨还应不小于本篇第 2 章的要求，其腹板高度应不小于纵骨穿过处开口高度的 2 倍。腹板厚度应不小于其高度的 1%加 4mm。

8.6.4.3　甲板强横梁、斜板强横梁和舷侧强肋骨之间应以肘板连接。

8.6.4.4　纵骨应连续穿过甲板强横梁、斜板强横梁和舷侧强肋骨，并与其腹板焊接，在主要构件面板与纵骨之间至少应每隔 1 根纵骨设置肘板，其厚度与主要构件腹板厚度相同。

8.6.4.5　支持顶边舱内纵骨的横向支持构件的间距，当船长 L 等于或小于 100m 时，一般不大于 3.6m；当船长 L 大于 100m 时，一般应不大于$(0.006L+3.0)$m。如果按本章附录 1 的要求，通过结构强度直接计算评估，可以接受较大的间距。

8.6.4.6　当由于线型瘦削而导致难以设置横向强框架时，可采用非水密横隔板代替上述甲板强横梁、舷侧强肋骨和斜板强横梁组成的强框架，非水密横隔板的厚度和扶强材应满足 8.6.7 的要求。

8.6.4.7　当货舱舷侧为横骨架式时，顶边舱舷侧底部应在每一肋位处设置肘板，其厚度与顶边舱内强肋骨框架处腹板厚度相同，沿舷侧和斜板方向应伸至邻边的纵骨，并与之焊接。

该肘板应与货舱肋骨上端肘板在同一平面内。

8.6.4.8　当采用圆弧形舷缘时，应在舷缘处于强横梁之间设置伸至邻近甲板纵骨和舷侧纵骨的肘板，并与之焊接。

8.6.4.9　在舱口端围板处，顶边舱内应设置与围板在同一平面内的横向支持构件。

8.6.5　肋骨

8.6.5.1　当舷侧为横骨架式时，肋骨剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=10shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s ——肋骨间距，m；

l ——肋骨跨距，m；

K——材料系数；

$h=h_1\cos\theta+b_1\sin\theta$，或自跨距中点量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者；

h_1——自跨距中点量至顶边舱的最高点的垂直距离，m；

b_1——自跨距中点量至顶边舱任一侧最高点的水平距离，m，取大者；

$\theta=30°$。

肋骨还应符合本篇 2.13.6.1 的要求。

8.6.5.2　肋骨两端应设置伸至邻近甲板纵骨和斜板纵骨的肘板，且应与之焊接。其厚度与货舱主肋骨上端肘板相同。

8.6.6　水密隔壁

8.6.6.1　水密隔壁板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值，且不小于 8mm：

$$t=4s\sqrt{hK}+2.5 \qquad \text{mm}$$

$$t=12s\sqrt{K} \qquad \text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

K——材料系数；

$h=h_1\cos\theta+b_1\sin\theta$，或自板列下缘量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者；

h_1——自板列下缘量至顶边舱的最高点的垂直距离，m；

b_1——自板列下缘量至顶边舱任一侧最高点的水平距离，m，取大者；

$\theta=30°$。

最下列板的厚度应比上述计算所得之值增加 1mm。

8.6.6.2　水密隔壁扶强材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=10shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——扶强材间距，m；

l ——扶强材跨距，m；

K——材料系数；

$h=h_1\cos\theta+b_1\sin\theta$，或自跨距中点量至舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，m，取大者；

h_1——自跨距中点量至顶边舱的最高点的垂直距离，m；

b_1——自跨距中点量至顶边舱任一侧最高点的水平距离，m，取大者；

$\theta=30°$。

扶强材两端应用肘板连接。

8.6.7　非水密隔壁和制荡隔壁

8.6.7.1　非水密隔壁或制荡隔壁的厚度 t 应符合本章 8.5.6.1 的要求。

8.6.7.2　非水密隔壁或制荡隔壁扶强材剖面模数应不小于按本节 8.6.6.2 计算所得的 50%。扶强材两端应用肘板连接。

第 7 节　装载手册和装载仪的附加要求

8.7.1　一般要求

8.7.1.1　本节适用于船长 150m 及以上的散货船、矿砂船和兼用船。

8.7.1.2　载货量曲线按本章附录 2 进行计算和绘制。

8.7.2　装载手册

8.7.2.1　装载手册应包括的内容：

(1)　船舶设计所依据的装载工况的静水弯矩、静水剪力，如适用时，包括扭转载荷的计算结果；

(2)　静水弯矩和剪力的许用值；

(3)　满载吃水时空的货舱和货舱组。如在满载吃水时不允许有空舱，则在装载手册中应有明确的说明；

(4)　以货舱中部位置的吃水函数的形式给出每一舱内许用载货量及所要求的最小载货量和双层底内的油和水的重量；

(5)　以两货舱相应范围的平均吃水的函数形式给出任意两相邻舱内许用载货量及所要求的最小载货量和双层底内油和水的重量。平均吃水为两舱各自中点位置的吃水平均值；

(6)　双层底许用载货量以及除散货以外的货物性质说明书；

(7)　甲板和舱口盖的最大许用载荷，如船舶未批准在甲板和舱口盖上载货，则在装载手册中应予以说明；

(8)　最大的压载水变化率以及关于以能达到的压载水变化率为基础的装载计划，应取得港口当局同意的建议。

8.7.2.2　装载手册的批准条件

除了满足本篇 2.2.8.11 的要求外，装载手册还应包括以下工况，按适用与否，分为出港和到港状态：

(1)　最大吃水时轻货和重货的隔舱装载工况，如适用时；

(2)　最大吃水时轻货和重货的均匀装载工况；

(3)　压载工况。对具有与顶边舱、底边舱和双层底相邻的压载货舱的散货船，当该压载货舱充满水而底边舱、顶边舱和双层底舱为空时，应保证有足够的强度。

(4)　船舶装至最大吃水但燃料有限的短航程工况，如适用时；

(5)　多港口装/卸工况，如适用时；

(6)　甲板载货工况，如适用时；

(7)　船舶在均匀装载工况、相关的部分装载工况和隔舱装载工况(如适用时)下从开始装货到装至最终载货量的过程中的典型装载顺序。这些工况下的典型卸货顺序也应包括在内。在制定典型的装/卸载顺序时应注意不应超过适用的强度限制。在制定典型的装/卸载顺序时要注意装/卸载速率和压载水排放量，表 8.7.2.2 为《装载顺序汇总表》的一个示例，仅供指导；

(8)　航行中更换压载水的典型过程，如适用时。

8.7.3　装载仪

8.7.3.1　具有装载仪显示功能的数据装载仪是一个由本篇 2.2.8.4 中定义并经认可的数字系统，除了满足本篇 2.2.8.4 中要求外，如适用时，应准确给出：

(1)　每一个货舱内货物重量和相应的双层底内的油和水与货舱中部吃水的函数关系；

(2)　任意两相邻货舱内货物重量和相应的双层底内的油和水与两货舱相应的平均吃水的函数；

8.7.3.2　装载仪的批准条件

装载仪应经过批准，除满足 2.2.8.12 的要求外，如适用时，还应包括以下方面内容的批准：

(1)　所有读出点的船体梁弯矩的许用值；

(2)　所有读出点的船体梁剪力的许用值；

(3)　以吃水的函数形式给出的每一舱内载货量和双层底内油和水的重量；

(4) 以吃水的函数形式给出的任意两相邻舱内载货量及双层底内油和水的重量。

8.7.4 **装/卸货顺序指导**

8.7.4.1 制定典型的装/卸货顺序手册，应充分注意装/卸货速率、压载/排压载能力和适用的强度限制。

8.7.4.2 造船者应准备和提交典型装/卸货顺序以供认可。

8.7.4.3 典型装/卸载顺序的相关内容应包括：

(1) 轻货和重货隔舱装载工况；

(2) 均匀轻货和均匀重货装载工况

(3) 船舶装货至最大吃水，但燃料有限的短途航行工况；

(4) 多港装/卸工况；

(5) 甲板载货工况

(6) 连舱装载工况。

8.7.4.4 装/卸货顺序可针对具体的港口或为典型顺序。

8.7.4.5 装/卸货顺序应对从开始装货到装至最大载重量的各步骤逐一编写。装货设备每次移至另一货舱，即定为一个步骤。每一步骤均应形成文件提交。除总纵强度外，还应考虑各货舱的局部强度。

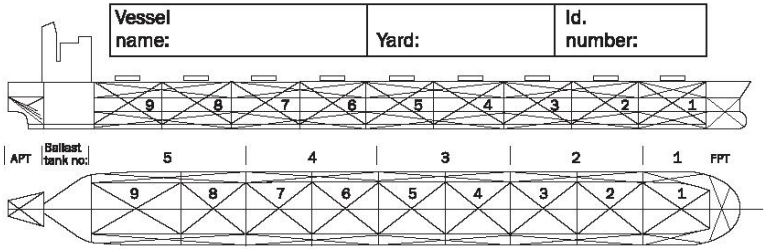
8.7.4.6 对每个装载工况，均应包括所有步骤的汇总。此汇总应突出各步骤的关键信息，如：

(1) 在不同步骤中，每个货舱装载的货物量；

(2) 在不同步骤中，每个压载舱排放的压载水量；

(3) 每个步骤结束时，最大静水弯矩和剪力；

(4) 每个步骤结束时，船舶纵倾和吃水。



Vessel name:	Yard:	Id. number:

Port (specific or typical):	Condition at commencement of loading/discharging:	
Total mass of cargo to be loaded/discharged:	Condition at end of loading/discharging:	
Dock water density (t/m³):	Maximum loading/discharging rate:	Average loading/discharging rate:
Number of loaders/dischargers:	Maximum ballasting/deballasting rate:	Average ballasting/deballasting rate:

Volume of Hold, Vh (m³)									
Height of hold, h (m)									

Note: During each pour it it has to be controlled that allowable limits for hull girder shear forces, bending moments and mass in holds are not exceeded. Loading/discharging operations may have to be paused to allow fo ballasting/deballasting in order to keep actual values within limits.

	Hold content at commencement of loading/discharging										Ballast content at commencement of loading/discharging									Commencement of loading/discharging (sea)				
																				T aft (m)	T rim (m)	T fwd (m)	Maximum	
																							S.F. (%)	B.M. (%)
Cargo mass										Wings or peaks	APT	Ball. no. 5	Ball. no. 4	Hold. no. 6	Ball. no. 3	Hold. no. 4	Ball. no. 2	Ball. no. 1	FPT					
Density (t/m³)										Upper														
Grade										Lower/Peaks														

	CARGO OPERATIONS										BALLAST OPERATIONS									Values at end of pour (from harbour to sea)				
																				T aft (m)	T rim (m)	T fwd (m)	Maximum	
																							S.F. (%)	B.M. (%)
Pour no. /grade	Hold 9	Hold 8	Hold 7	Hold 6	Hold 5	Hold 4	Hold 3	Hold 2	Hold 1	Upper Lower/Peaks	APT	Ballast tank no. 5	Ballast tank no. 4	No.5 Ballast hold	Ballast tank no.3	No.4 Ballast hold	Balalst tank no. 2	Ballast tank no.1	FPT					
1										Upper														
										Lower/Peaks														
2										Upper														
										Lower/Peaks														
3										Upper														
										Lower/Peaks														
4										Upper														
										Lower/Peaks														
5										Upper														
										Lower/Peaks														
6										Upper														
										Lower/Peaks														
7										Upper														
										Lower/Peaks														
8										Upper														
										Lower/Peaks														
										Upper														
										Lower/Peaks														
Draft Survey (for loading):	Total cargo onboard (t):				Remaining cargo to be loaded (t):					Total amount of bunkers onboard (t):														
n-1										Upper														
										Lower/Peaks														
n										Upper														
										Lower/Peaks														

	Hold content at end of loading/discharging										Ballast content at end of loading/discharging									Values at end of loading/discharging (sea)				
																				T aft (m)	T rim (m)	T fwd (m)	Maximum	
																							S.F. (%)	B.M. (%)
Cargo mass:										Wings or peaks	APT	Ball. no. 5	Ball. no. 4	No. 6 hold	Ball. no. 3	No. 4 hold	Ball. no. 2	Ball. no. 1	FPT					
										Upper														
Total mass loaded/discharge (t):										Lower/Peaks														

	Maximum occuring values among all conditions above									
Net load on Double Bottom:										tons/m²
Net load in two adjacent holds:										tons

Net load on double bottom = (Mh/V) h-T (t/m²)
- where: Mh = Mass in hold + mass in DB (t)
V = Total volume of hold (m³)
h = height of hold from inner bottom to top of coaming (m)
T = draught (m)

Approved by:

Place, date, stamp and sign

第 8 节　货舱舱口盖

8.8.1　**一般要求**

8.8.1.1　本节适用于散货船、矿砂船和兼用船。货舱舱口盖应满足本篇第 2 章第 20 节的有关要求。

第 9 节　双舷侧结构

8.9.1　**一般要求**

8.9.1.1　本节适用于散货船货舱区域的双舷侧结构。

8.9.1.2　双舷侧内的横隔板和平台上可开人孔，人孔可开成圆形或长圆形，长圆的长轴方向应是垂直方向或船长方向，除通道开口外，上下相邻平台上的孔不应在同一垂直线上。开孔周边应予以加强。

8.9.2　**双舷侧的结构布置**

8.9.2.1　如整个货舱区域设双舷侧，内壳结构应在货舱首尾端尽量延伸并与该处结构有效连接和过渡。内壳的支持构件应设在双舷侧内，不能设置在货舱一侧。

8.9.2.2　双舷侧内不可载货,内壳板的布置应使得全部货舱均位于双舷侧的内侧。

8.9.2.3　当载重线船长 L_L 为 150m 及以上时，在任何船体横剖面处，双舷侧宽度应不小于 1m。双舷侧宽度为外壳与内壳之间的型距离，垂直于舷侧外板量取。对双舷侧散货船，该宽度要求不受船长限制。

8.9.2.4　当载重线船长 L_L 为 150m 及以上时，双舷侧结构布置应符合以下规定：

(1)　在各种障碍物处（如管系、垂直梯子），双舷侧内净通道的最小宽度应不小于 0.6m；

(2)　当双舷侧内为横骨架式时，骨材内表面之间的最小间距应不小于 0.6m；

(3)　当双舷侧内为纵骨架式时，骨材内表面之间的最小间距应不小于 0.8m。货舱长度平行部分以外，由于结构形状的需要，该间距可以减小，但应不小于 0.6m。

在量取该间距时，不必考虑骨材的端部肘板,量取方法见图 8.9.2.4

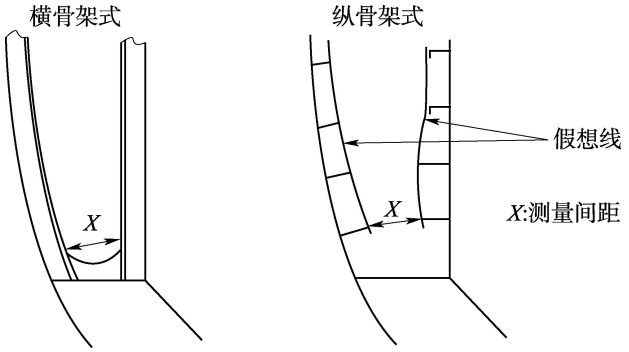


图 8.9.2.4

8.9.2.5　双舷侧内在货舱水密横舱壁同一平面处应尽可能设置水密横隔板。否则应设置横框架，对于压载舱应设置制荡舱壁。

8.9.2.6　双舷侧内横框架或横隔板应设置或隔档设置在双层底肋板同一平面处，且与顶边舱和底边舱中的横向支持构件、双层底的肋板构成横向强框架结构。

8.9.2.7　在顶边舱底部和底边舱顶部必须设置平台，该平台考虑分舱和稳性要求可不开人孔。

8.9.3　**最小厚度**

8.9.3.1　双舷侧内主要构件的腹板和面板、平台、横隔板和内壳板的最小厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=7.5+0.015L$$，但不必大于 11mm

8.9.3.2　如果双舷侧内为指定空舱，则本节 8.9.3.1 规定的最小厚度可减小 1mm。

8.9.4　内壳板

8.9.4.1　当双舷侧内为指定空舱时，内壳板的厚度 t 除应满足本节 8.9.3 的要求外，尚应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 4s\sqrt{hK} \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——由内壳板列板下缘量到舱壁甲板的垂直距离，m；

K——材料系数。

当不设置底边舱时，内壳板最下列板的厚度应较计算所得增厚 1mm，宽度应不小于 900mm；。如内壳板厚度比与其连接的桁材腹板厚度小且相差过大时，该连接区域的内壳板一般应予增厚。

8.9.4.2　当双舷侧内为压载舱时，内壳板厚度 t 除应满足本节 8.9.3 的要求外，尚应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 4s\sqrt{hK} + 2.5 \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——由内壳板板列下缘量至压载舱舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

K——材料系数。

当不设置底边舱时，内壳板最下列板的厚度应较计算所得增厚 1mm。

8.9.4.3　当不设置顶边舱时，距强力甲板 0.1D 范围内的内壳板厚度应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 4s\sqrt{DK} \qquad \text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

D——型深，m；

K ——材料系数。

但内壳板的厚度不必大于相同骨材间距的舷顶列板厚度。

8.9.4.4　内壳板的扶强材间距应与舷侧肋骨或舷侧纵骨间距相同。

8.9.4.5　在指定空舱中，内壳板扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=3shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——扶强材跨距中点量到上甲板的垂直距离，m，但取值不小于 2m；

l ——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

8.9.4.6　在压载舱中，内壳板扶强材的剖面模数 W 和惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=8.2shl^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$I=2.3Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——扶强材跨距中点量到舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

l——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

8.9.4.7　船长超过 150m 或水平扶强材采用高强度钢时，离船底和强力甲板 0.1D 范围内

的内壳水平扶强材应连续穿过水密横隔板。当水平扶强材在水密横隔板处切断时，应用肘板与横隔板连接。

8.9.4.8　垂向扶强材的两端应设肘板。

8.9.4.9　肘板的尺寸应符合规范第 2 篇第 1 章 1.2.6 的要求。

8.9.5　横隔板

8.9.5.1　当双舷侧内的水密横隔板构成指定空舱的边界时，其尺寸应满足本节 8.9.4.1 和 8.9.4.5 的要求。

8.9.5.2　当双舷侧内的水密横隔板构成压载舱的边界时，其尺寸应满足本节 8.9.4.2 和 8.9.4.6 的要求。

8.9.5.3　横隔板上舷侧纵骨和内壳水平扶强材之间应设置加强筋。

8.9.5.4　当双舷侧内为纵骨架式时，在双舷侧内与肋板同一肋位上应设置或隔档设置支持舷侧纵骨和内壳水平扶强材的非水密横隔板，非水密横隔板的厚度应满足本节 8.9.3 的要求。舷侧纵骨和内壳水平扶强材应穿过该横隔板。

8.9.6　深舱平台

8.9.6.1　深舱平台应满足本篇第 2 章第 13 节的相关要求。

附录 1　散货船结构强度直接计算

1　一般规定

1.1　一般要求

1.1.1　本附录适用于本章要求的散货船结构强度直接计算。

1.1.2　对于本附录无规定者，均应符合本篇第 1 章第 5 节的有关要求。

2　设计载荷

2.1　一般要求

2.1.1　除本附录另有规定外，设计载荷见本篇第 1 章第 5 节。

2.1.2　除本附录另有规定外，总体载荷工况下的静水弯矩取设计方提供的许用静水弯矩 $\overline{M_s}$；波浪弯矩 M_w 应按本篇第 1 章第 5 节 1.5.6.1(2)计算。

2.1.3　港内工况时不计入波浪载荷(压力和弯矩)的影响；港内工况的许用静水弯矩 $\overline{M_{sp}}$ 由设计方确定，但应能包络住装载手册中给出的港口装卸工况下的设计静水弯矩，且装卸货顺序应在装载手册中说明。

3　计算工况

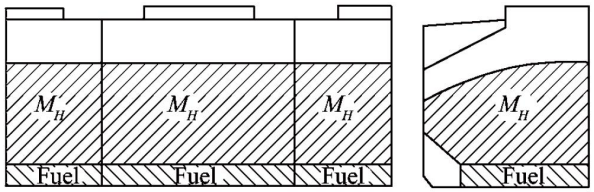
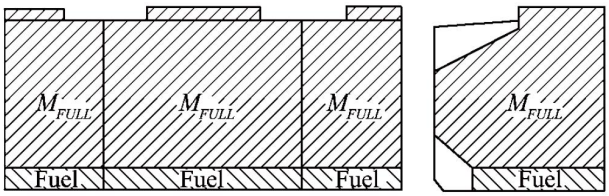
3.1　一般要求

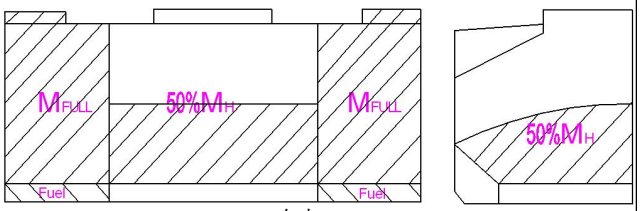
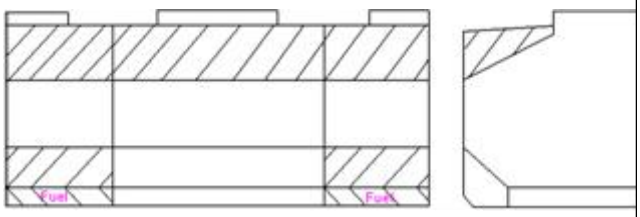
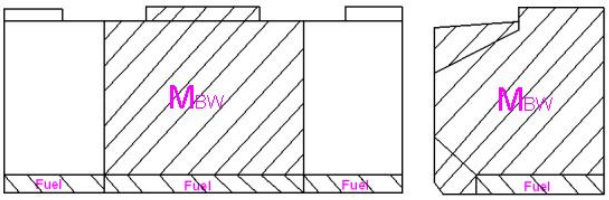
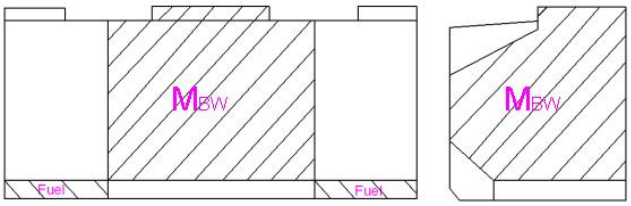
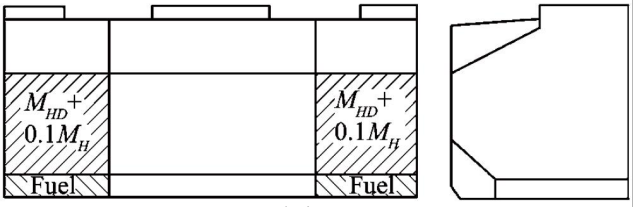
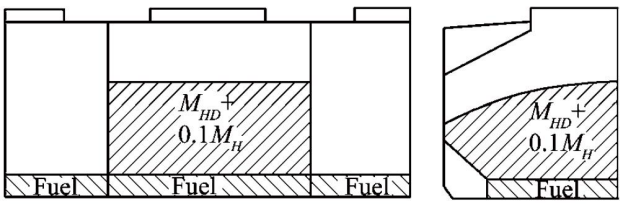
3.1.1　通常，所考虑的装载工况应包括船舶设计中最为严重的装载工况。应根据本附录表 3.2.1 选取相应的计算工况进行校核。如装载手册中存在本附录表 3.2.1 中计算工况以外的更为严重的装载工况，也应对此装载工况进行结构强度直接计算。

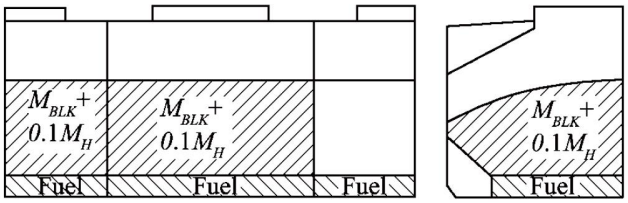
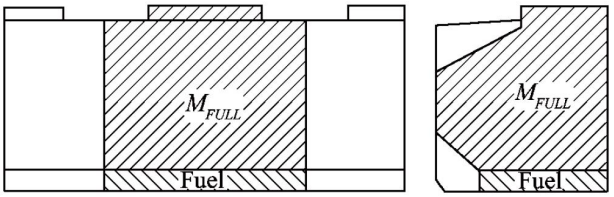
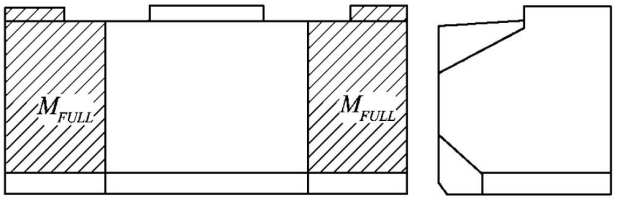
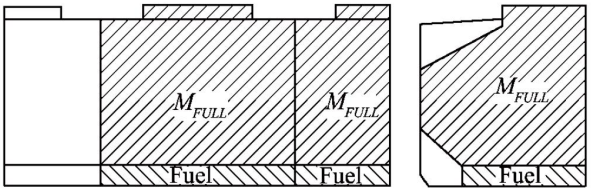
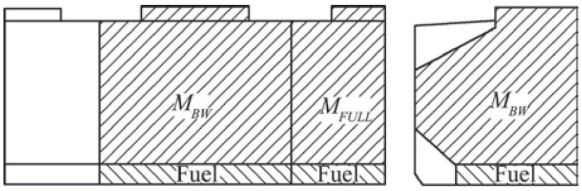
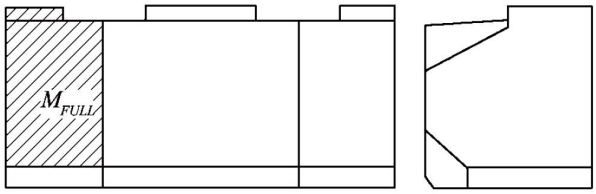
3.2　计算工况

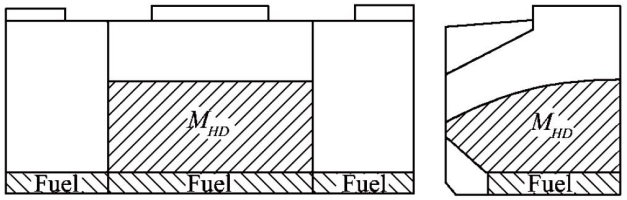
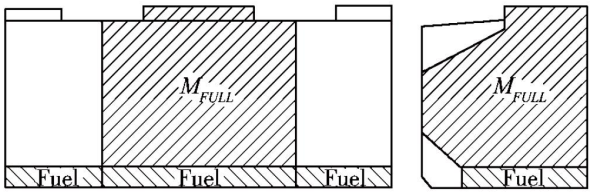
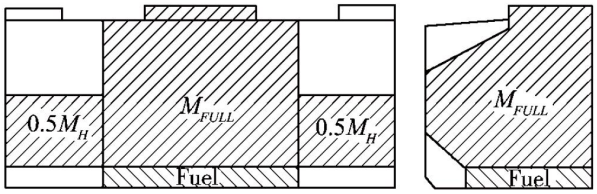
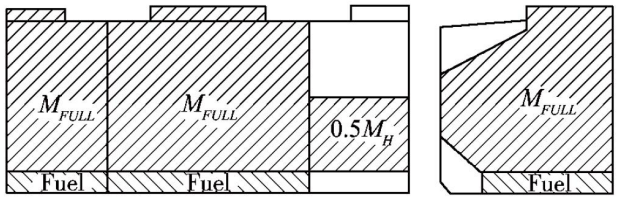
3.2.1　舱段有限元分析应按照表 3.2.1 的适用工况进行。

计算工况　　**表** 3.2.1

工况类型	工况编号	计算工况	装载模式	静水弯矩	波浪弯矩
满载	1	满载	 吃水= d	$\overline{M}_s$	M_w
	2	满载	 吃水= d	$\overline{M}_s$	M_w

工况类型	工况编号	计算工况	装载模式	静水弯矩	波浪弯矩
	3	非均匀满载	 吃水= d	1.1 M_a，但不必大于 $\overline{M}_s$，如无此工况，则取 $\overline{M}_s$	M_w
压载	4	正常压载	 吃水=最深压载吃水	$\overline{M}_s$	M_w
	5	重压载	 吃水= 重压载吃水	$\overline{M}_s$	M_w
	6	重压载	 吃水= 重压载吃水	$\overline{M}_s$	M_w
隔舱装载	7	一舱隔舱装载	 吃水=d	$\overline{M}_s$	M_w
	8	一舱隔舱装载	 吃水= d	$\overline{M}_s$	M_w
	9	连舱隔舱装载		$\overline{M}_s$	M_w

工况类型	工况编号	计算工况	装载模式	静水弯矩	波浪弯矩
			 吃水= d		
多港装卸	10	多港-1	 吃水=0.67d	$\overline{M}_s$	M_w
	11	多港-2	 吃水=0.83d	$\overline{M}_s$	M_w
	12	多港-3a	 吃水=0.67d	$\overline{M}_s$	M_w
	13	多港-3b	 吃水=0.67d	$\overline{M}_s$	M_w
	14	多港-4	 吃水=0.75d	$\overline{M}_s$	M_w
港口装	15	港内-1a		$\overline{M}_{sp}$	—

工况类型	工况编号	计算工况	装载模式	静水弯矩	波浪弯矩
卸			 吃水=0.67d		
	16	港内-1b	 吃水=0.67d	$\overline{M}_{sp}$	—
	17	港内-1c	 吃水=0.67d	$\overline{M}_{sp}$	—
	18	港内-2	 吃水=0.67d	$\overline{M}_{sp}$	—

注：

M_a ——对应工况的实际静水弯矩，kNm；

M_H——最大吃水时，均匀装载工况下的货舱实际载货量，t；

M_{FULL}——以虚拟密度装至舱口围顶部时的载货量，t，即

$$M_{FULL} = V_{FULL} \cdot \max(M_H / V_{FULL}, 1.0)$$

M_{HD}——最大吃水时，有指定空舱的设计装载工况下，货舱的最大允许载货量，t；

M_{BW} ——货舱内最大压载水质量，t；

M_{BLK}——块状装载工况下的最大货物质量，t；

V_H——货舱容积，m^3，不包括舱口围板所包围的容积；

V_{FULL}——货舱容积，m^3，包括舱口围板包围的容积；

ρ_w——海水密度，取 1.025t/m^3；

4 结构模型化

4.1 一般要求

4.1.1 除本附录另有规定外，结构模型化要求见本篇第 1 章第 5 节(典型有限元模型见图 4.1.1)。

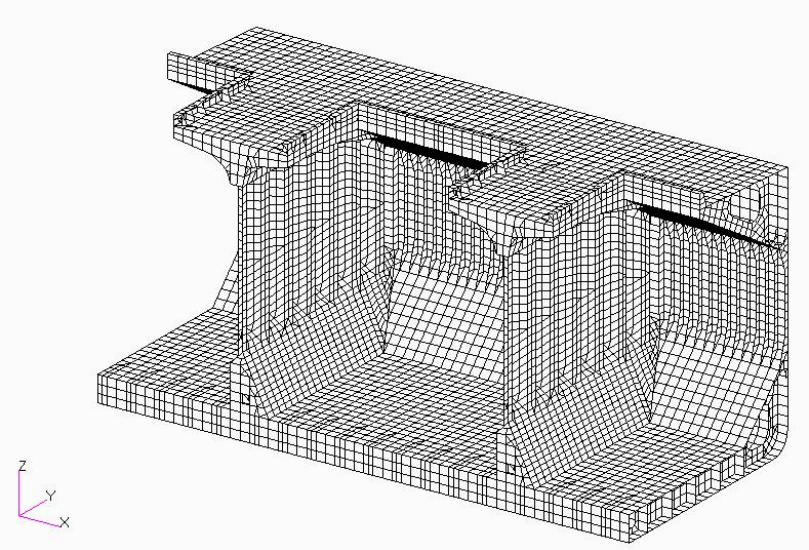


图 4.1.1　有限元模型

4.2　边界条件

4.2.1　纵中剖面对称边界条件

4.2.1.1　如果采用半宽模型，纵中剖面内节点的横向线位移、绕纵中剖面内两个坐标轴的角位移约束，即：$\delta_y = \theta_x = \theta_z = 0$；

4.2.1.2　如果采用全宽模型，中部货舱前后舱壁处纵中剖面与船底板的交点 G 的横向线位移约束，即：$\delta_y = 0$；

4.2.2　局部载荷工况边界条件(见表 4.2.2)

4.2.2.1　端面 A 与 B 施加对称面边界条件，端面内节点的纵向线位移、绕端面内两个坐标轴的角位移约束，即：$\delta_x = \theta_y = \theta_z = 0$；

4.2.2.2　舷侧外板、内壳板与中部货舱前后舱壁交线上应设置垂向弹簧单元，弹簧单元弹性系数均匀分布，弹性系数按下式计算：

$$K = \frac{5GA}{6l_H n} \qquad \text{N/mm}$$

式中：G——材料的剪切弹性模量，对于钢材，$G = 0.792 \times 10^5$　　N/mm^2;

A——前后舱壁处舷侧外板、内壳板的剪切面积，mm^2；

l_H——中部货舱长度，mm；

n——舷侧外板、内壳板上垂向交线节点数量。

局部载荷边界条件　　**表 4.2.2**

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
纵中剖面(半宽模型)	—	固定	—	固定	—	固定
节点 G(全宽模型)	—	固定	—	—	—	—
端面 A、B	固定	—	—	—	固定	固定
交线 C	—	—	弹簧	—	—	—

4.2.3　总体载荷工况边界条件(见表 4.2.3)

4.2.3.1　在端面 A 与 B 内中和轴与纵中剖面相交处建一个独立点 H，在独立点上施加总纵弯矩，端面各纵向构件节点自由度 δ_x、δ_y、δ_z 与独立点相关。

4.2.3.2　端面 A 与 B 内独立点 H 的横向线位移、垂向线位移、绕纵向轴的角位移约束，即：$\delta_y = \delta_z = \theta_x = 0$；端面 A 内独立点 H 纵向线位移约束，即 $\delta_x = 0$。

总体载荷边界条件　　**表 4.2.3**

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	Δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
纵中剖面(半宽模型)	—	固定	—	固定	—	固定
节点 *G*(全宽模型)	—	固定	—	—	—	—
端面 *A*、*B*	相关	相关	相关	—	—	—
独立点 *H*(端面 *A*)	固定	固定	固定	固定	弯矩	—
独立点 *H*(端面 *B*)	—	固定	固定	固定	弯矩	—

4.2.4　模型边界条件见图 4.2.4。

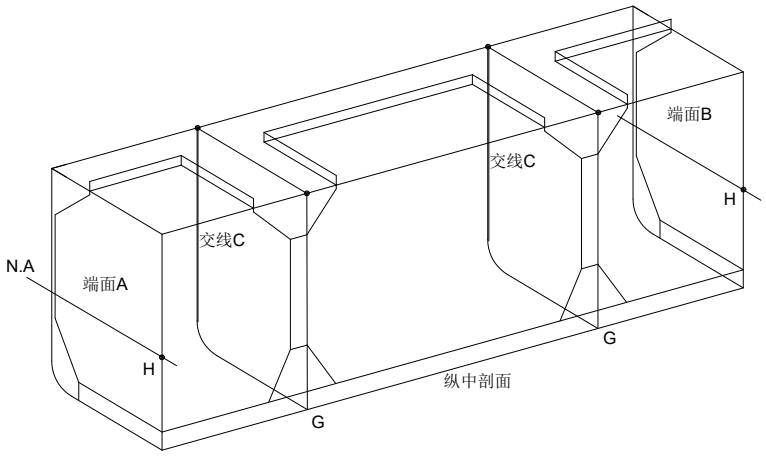


图 4.2.4　边界条件

5　屈服强度评估

5.1　许用应力

5.1.1　应对舱段模型纵向范围内中部货舱(含舱壁)内的所有主要构件进行强度评估，评估应力为将局部载荷工况应力与总体载荷工况应力按照本篇第 1 章 1.5.1.9（2）进行合成后的应力。

5.1.2　各主要构件的许用应力见表 5.1.2。

许用应力　　**表 5.1.2**

结构分类	许用应力(N/mm²)	
	$[\sigma_e]$	$[\tau]$
甲板	220/*K*	—
船底外板、内底板	220/*K*	—
舷侧外板、内壳板、双壳内平台	220/*K*	115/*K*
底边舱斜板、顶边舱斜板	220/*K*	115/*K*
船底纵桁	235/*K*	115/*K*
双层底肋板	175/*K*	95/*K*
横舱壁	175/*K*	95/*K*
底凳、顶凳侧板	195/*K*	95/*K*

结构分类	许用应力(N/mm²)	
	$[\sigma_e]$	$[\tau]$
横向强框架	195/*K*	95/*K*
舱口间甲板	175/*K*	—
其他	195/*K*	—

注：K ——材料系数。

6 屈曲强度评估

6.1 屈曲安全因子

6.1.1 构件的标准减薄厚度见表 6.1.1。

标准减薄厚度 **表 6.1.1**

位置		标准减薄厚度(mm)
露天甲板下 1.5m 内的压载水舱	一边与压载水相连	1.0
	两边与压载水相连	2.0
其他部位		1.0

6.1.2 板格屈曲安全因子 λ 应不小于表 6.1.2 中的最小屈曲安全因子。

最小屈曲安全因子 **表 6.1.2**

结构	最小屈曲安全因子
甲板、舱口间甲板	0.8
船底外板、内底板	0.8
舷侧外板、内壳板	0.8
底边舱斜板、顶边舱斜板	0.8
双层底纵桁、双壳内平台	1.0
双层底肋板、横向强框架	1.0
横舱壁、底凳、顶凳	0.8

附录 2　载货量曲线

符号

h：船舶中纵剖面处从内底板顶部到上甲板的垂直距离，m；

h_a：连舱装载工况下后部货舱船舶中纵剖面处从内底板顶部到上甲板的垂直距离，m；

h_f：连舱装载工况下前部货舱船舶中纵剖面处从内底板顶部到上甲板的垂直距离，m；

M_H：见本章附录 1；

M_{FULL}：见本章附录 1；

M_{HD}：见本章附录 1；

M_D：每个货舱给出的最大载货量，t；

M_{BLK}：见本章附录 1；

T_{HB}：最大压载吃水，m；

T_i：第 i 装载工况下货舱长度 l_H 中点处的吃水，m；

d：吃水，m；

V_H：货舱容积，m^3，不包括舱口围板所包围的容积；

V_f 和 V_a：前部和后部货舱容积，m^3，不包括舱口围板包围的容积；

$T_{\min}$：$0.75d$ 或两相邻货舱空舱的压载工况吃水，取大者，m；

$\sum$：两个相邻货舱的质量和。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本附录适用于船长为 150m 及以上船舶。

1.1.2　本附录用于确定以下内容：

(1)　每个货舱的最大允许载货量和最小要求载货量与货舱中部吃水的函数关系；

(2)　每两个相邻货舱的最大允许载货量和最小要求载货量与货舱平均吃水的函数关系。

1.1.3　计算结果应纳入装载手册。

2　每个货舱的最大和最小载货量

2.1　航行工况下单个货舱的最大允许载货量和最小要求载货量

2.1.1　航行工况下单个货舱的载货量曲线定义见本附录 2.1.2 至 2.1.5。如果已经对船舶结构用比本章附录 1 更严重的装载工况校核后，最小要求载货量和最大允许载货量可基于更严重的装载工况。

2.1.2　具有多港工况的隔舱装载船舶

对于载货舱，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下式得出：

$$W_{\max}(T_i) = M_{HD} + 0.1M_H - 1.025V_H\frac{(d-T_i)}{h}$$

$W_{\max}(T_i)$ 应不大于 M_{HD}

对于载货舱，不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \le 0.83d$$

$$W_{\min}(T_i) = 1.025V_H\frac{(T_i - 0.83d)}{h} \qquad \text{当 } d \ge T_i > 0.83d$$

对于最大吃水时可空的货舱，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

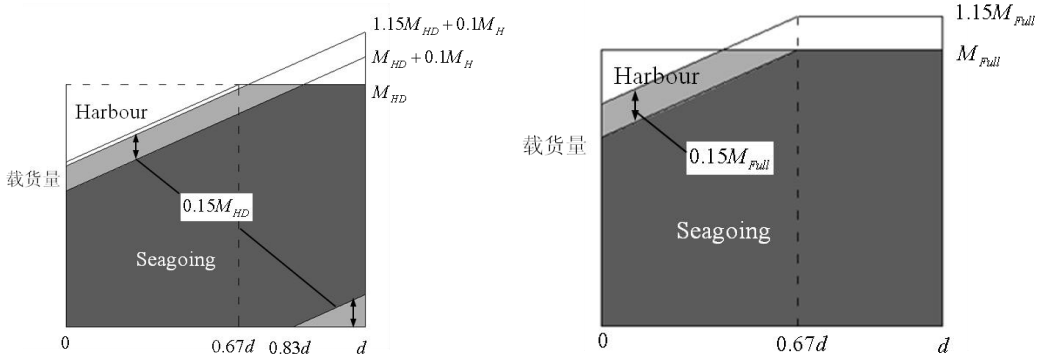
$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} \qquad \text{当 } d \geq T_i \geq 0.67d$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} - 1.025V_H \frac{(0.67d - T_i)}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67d$$

对于最大吃水时可空的货舱，不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下式得出：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leq d$$

具有多港工况的隔舱装载船舶的载货舱和最大吃水时可空货舱的载货量曲线示例见图 2.1.2。



(a)载货舱　　(b) 最大吃水时可空货舱

图 2.1.2　具有多港工况的隔舱装载船舶载货量曲线

2.1.3　无多港工况的隔舱装载船舶

对于载货舱，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，与 2.1.2 相同。

对于载货舱，不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leq T_{HB}$$

$$W_{\min}(T_i) = \min \begin{cases} 1.025V_H \dfrac{(T_i - T_{HB})}{h} & \text{当 } d \geq T_i > T_{HB} \\ 0.5M_H - 1.025V_H \dfrac{(d - T_i)}{h} \geq 0 & \text{当 } d \geq T_i \end{cases}$$

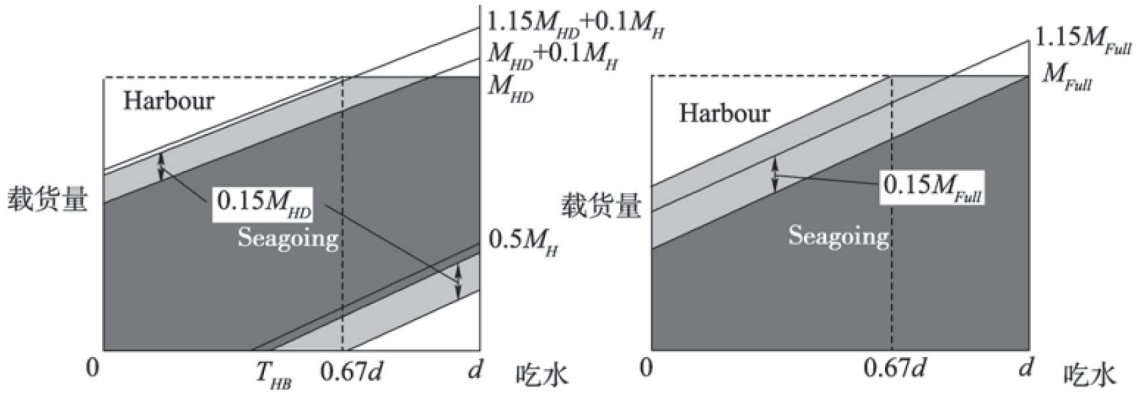
对于最大吃水时可空的货舱，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} - 1.025V_H \frac{(d - T_i)}{h}$$

对于最大吃水时可空的货舱，不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下式得出：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leq d$$

无多港工况的隔舱装载船舶的载货舱和最大吃水时可空货舱的载货量曲线见图 2.1.3。



(a) 载货舱　　(b) 最大吃水时可空货舱

图 2.1.3　无多港工况的隔舱装载船舶载货量曲线

2.1.4　具有多港工况的均匀装载船舶

不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} \qquad \text{当 } d \geq T_i \geq 0.67d$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} - 1.025V_H \frac{(0.67d - T_i)}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67d$$

不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leq 0.83d$$

$$W_{\min}(T_i) = 1.025V_H \frac{(T_i - 0.83d)}{h} \qquad \text{当 } d \geq T_i > 0.83d$$

具有多港工况的均匀装载船舶的货舱载货量曲线见图 2.1.4。

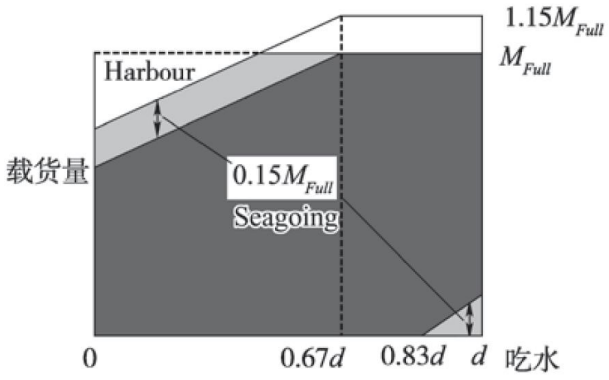


图 2.1.4　均匀装载船舶载货量曲线

2.1.5　无多港工况的均匀装载船舶

不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} - 1.025V_H \frac{(d - T_i)}{h}$$

不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leq T_{HB}$$

$$W_{\min}(T_i) = \min \begin{cases} 1.025V_H \dfrac{(T_i - T_{HB})}{h} \geq 0 & \text{当 } d \geq T_i > T_{HB} \\ 0.5M_H - 1.025V_H \dfrac{(d - T_i)}{h} \geq 0 & \text{当 } d \geq T_i \end{cases}$$

无多港工况的均匀装载船舶的货舱载货量曲线见图 2.1.5。

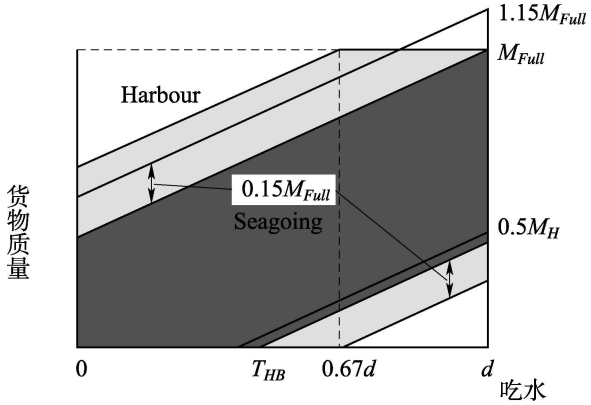


图 2.1.5　均匀装载船舶载货量曲线

2.2　港内工况下单个货舱的最大允许载货量和最小要求载货量

2.2.1　港内工况下单个货舱的载货量曲线定义见本附录 2.2.2。如果已经对船舶结构用比本章附录 1 更严重的装载工况校核后，最小要求载货量和最大允许载货量可基于更严重的装载工况。

2.2.2.　对于所有船舶，港口装/卸货时，与吃水对应的单个货舱的最大允许载货量和最小要求载货量可以增加或减少航行工况下最大吃水时的最大允许载货量的 15%。每个货舱的最大允许载货量应不大于设计最大吃水时的最大允许载货量。

2.2.3　具有多港工况的隔舱装载船舶

港口装/卸货时，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，除了满足本附录 2.1.2 要求，还应按下式校核：

对于载货舱

$$W_{\max}(T_i) = M_{HD} \qquad \text{当 } T_i \geq 0.67d$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{HD} - 1.025V_H \frac{(0.67d - T_i)}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67d$$

2.2.4　无多港工况的隔舱装载船舶

港口装/卸货时，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，除了满足本附录 2.1.3 要求，还应按下式校核：

对于最大吃水时可空的货舱

$$W_{\max}(T_i) = M_{FULL} \qquad \text{当 } T_i \geq 0.67d$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{FULL} - 1.025V_H \frac{(0.67d - T_i)}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67d$$

2.2.5　无多港工况的均匀装载船舶

港口装/卸货时，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，除了满足本附录 2.2.2 要求，还应按下式校核：

$$W_{\max}(T_i) = M_{FULL} \qquad \text{当 } d \geq T_i > 0.67d$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{FULL} - 1.025V_H \frac{(0.67d - T_i)}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67d$$

3　每两个相邻货舱的最大和最小载货量

3.1　航行工况下两个相邻货舱的最大允许载货量和最小要求载货量

3.1.1　航行工况下两个相邻货舱的载货量曲线定义见本附录 3.1.2。如果已经对船舶结构用比本章附录 1 更严重的装载工况校核后，最小要求载货量和最大允许载货量可基于更严重的装载工况。

3.1.2　具有多港装载工况的块状装载的隔舱装载船舶

不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\max}(T_i)=\sum(M_{BLK}+0.1M_H)-1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(d-T_i)\text{ 或者}$$

$$W_{\max}(T_i)=\sum M_{FULL}-1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(0.67d-T_i)$$

$W_{\max}(T_i)$ 不大于 $\sum M_{BLK}$ 。

不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$W_{\min}(T_i)=0$　　当 $T_i \le 0.75d$

$W_{\min}(T_i)=1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(T_i-0.75d)$　　当 $d \ge T_i > 0.75d$

3.1.3　无多港工况但具有块状装载的隔舱装载船舶

不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\max}(T_i)=\sum(M_{BLK}+0.1M_H)-1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(d-T_i)$$

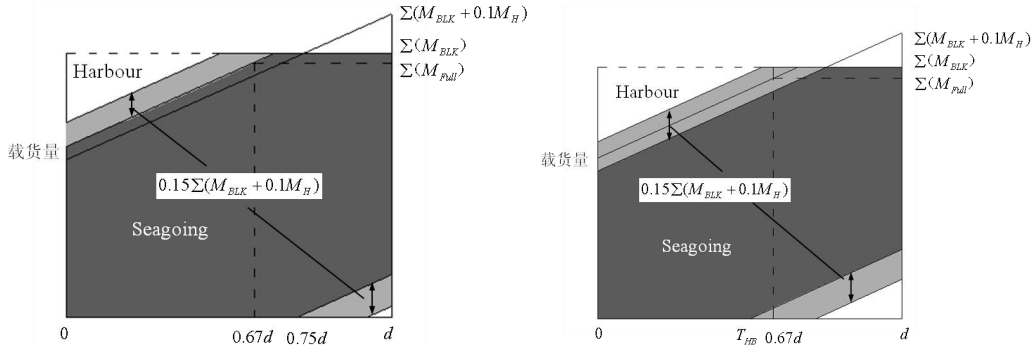
$W_{\max}(T_i)$ 不大于 $\sum M_{BLK}$ 。

不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$W_{\min}(T_i)=0$　　当 $T_i \le T_{HB}$

$W_{\min}(T_i)=1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(T_i-T_{HB})$　　当 $d \ge T_i > T_{HB}$

具有块状装载的隔舱装载船舶的货舱载货量曲线见图 3.1.3。



(a) 具有多港工况　　(b)无多港工况

图 3.1.3　块状装载的隔舱装载船舶的货舱载货量曲线

3.1.4　具有多港工况但不具有块状装载的隔舱装载船舶和均匀装载船舶

不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\max}(T_i)=\sum M_{FULL} \qquad \text{当 } d \geq T_i \geq 0.67d$$

$$W_{\max}(T_i)=\sum M_{FULL}-1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(0.67d-T_i) \qquad \text{当 } T_i < 0.67d$$

不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\min}(T_i)=0 \qquad \text{当 } T_i \leq 0.75d$$

$$W_{\min}(T_i)=1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(T_i-0.75d) \qquad \text{当 } d \geq T_i > 0.75d$$

3.1.5　无多港工况且不具有块状装载的隔舱装载船舶和均匀装载船舶

不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

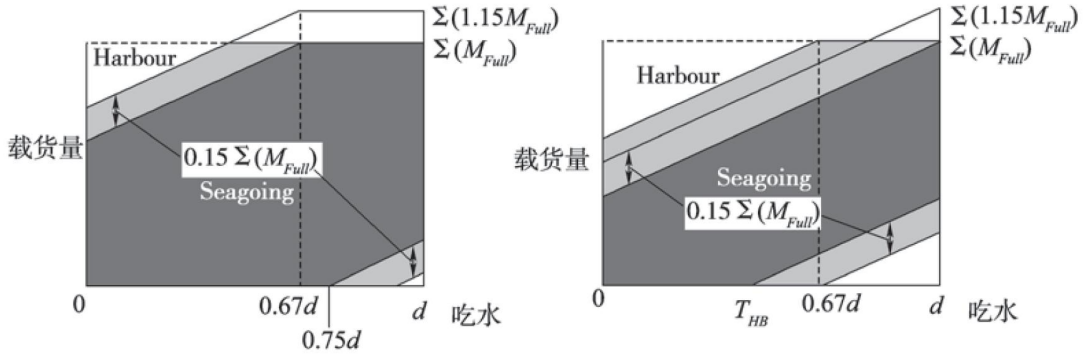
$$W_{\max}(T_i)=\sum M_{FULL}-1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(d-T_i) \qquad \text{当 } T_i < d$$

不同吃水(T_i)时，最小要求载货量($W_{\min}(T_i)$)，t，应按下列公式得出：

$$W_{\min}(T_i)=0 \qquad \text{当 } T_i \leq T_{HB}$$

$$W_{\min}(T_i)=1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(T_i-T_{HB}) \qquad \text{当 } d \geq T_i > T_{HB}$$

不具有块状装载的隔舱装载船舶的货舱载货量曲线见图 3.1.5。



(a) 具有多港工况　　(b) 无多港工况

图 3.1.5　不具有块状装载的隔舱装载船舶和均匀装载船舶的货舱载货量曲线

3.2　港内工况下两个相邻货舱的最大允许载货量和最小要求载货量

3.2.1　港内工况下两个相邻货舱的载货量曲线定义见本附录 3.2.2。如果已经对船舶结构用比本章附录 1 更严重的装载工况校核后，最小要求载货量和最大允许载货量可基于更严重的装载工况。

3.2.2　对于所有船舶，港口装/卸货时，与吃水对应的货舱的最大允许载货量和最小要求载货量可以增加或减少航行工况下最大吃水时的最大允许载货量的 15%。每个货舱的最大允许载货量应不大于设计最大吃水时的最大允许载货量。

3.2.3　无多港工况但具有块状装载的隔舱装载船舶

港口装/卸货时，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{\max}(T_i)$)，t，除了满足本附录 3.1.3 要求，还应按下式校核：

$$W_{\max}(T_i)=\sum M_{FULL}-1.025(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a})(0.67d-T_i)$$

$$W_{\max}(T_i) \leq M_{BLK}$$

3.2.4　无多港工况且不具有块状装载的隔舱装载船舶和均匀装载船舶

港口装/卸货时，不同吃水(T_i)时，最大允许载货量($W_{max}(T_i)$)，t，除了满足本附录 3.1.5 要求，还应按下式校核：

$$W_{\max}(T_i) = M_{FULL} \qquad \text{当 } d \geq T_i \geq 0.67d$$

$$W_{\max}(T_i) = \sum M_{FULL} - 1.025(\frac{V_f}{h_f} + \frac{V_a}{h_a})(0.67d - T_i) \qquad \text{当 } T_i < 0.67d$$

第 9 章　滚装船、客船、客滚船与渡船

第 1 节　一般规定

9.1.1　适用范围

9.1.1.1　本章要求适用于下列定义的滚装船、客船、客滚船与渡船：

(1)　滚装船系指一种设计和制造成能装载车辆或使用车辆装卸集装箱或托盘货物的专用船舶；

(2)　客船系指载运乘客超过 12 人的船舶；

(3)　客滚船系指具有滚装处所或特种处所的客船；

(4)　渡船系指为载运乘客（不设卧铺）和/或车辆往返于海峡两岸或岛屿间作定班期营运而专门设计的船舶。载运乘客超过 12 人的渡船为客渡船。

9.1.1.2　滚装处所系指通常不予分隔并通常延伸至船舶的大部分长度或整个长度的处所，能以水平方向正常装卸油箱内备有自用燃油的机动车辆和/或货物（在铁路或公路车辆、运载车辆（包括公路或铁路槽罐车）、拖车、集装箱、货盘、可拆槽罐之内或之上，或在类似装载单元或其他容器之内或之上的包装或散装货物）。

9.1.1.3　特种处所系指在舱壁甲板以上或以下围蔽的车辆处所，车辆能够驶进驶出，并有乘客进出通道。若用于停放车辆的全部总净高度不超过 10m，特种处所占用的甲板可多于一层。

9.1.1.4　对于本章无规定者，均应符合本篇第 2 章的有关要求。

9.1.2　图纸资料

9.1.2.1　除本篇第 2 章第 1 节所规定的图纸资料外，还应将下列图纸资料提交批准：

(1)　跳板结构图（其相应的强度计算书提交备查）；

(2)　首门、内门、尾门、舷门结构图及其操作维护手册（其相应的强度计算书提交备查）；

(3)　升降平台结构图（其相应的强度计算书提交备查）；

(4)　车辆坡道结构图（其相应的强度计算书提交备查）。

9.1.2.2　应提供车辆甲板强度直接计算书(如适用)、横向强度直接计算书(如适用)、载运车辆的轮印布置及载荷、轴载荷等与设计载荷有关的资料备查。

第 2 节　船体结构

9.2.1　一般要求

9.2.1.1　船体结构布置应符合本篇第 1 章第 8 节的有关规定。

9.2.1.2　船体的基本结构形式应为具有单层或多层甲板的结构，也可在干舷甲板或舱壁甲板以下设置左右边舱。

9.2.1.3　如横舱壁道数不符合本篇第 2 章第 12 节的规定时，应设置局部横舱壁或强肋骨和强横梁，以保证船体的横向强度。

9.2.1.4　船长大于 65m 时，强力甲板和船底一般应为纵骨架式。

9.2.1.5　舱壁甲板以上车辆舱的强横梁与强肋骨可采用连续性圆角连接或无肘板交叉连接，见图 9.2.1.5(1)、(2)。圆角连接的圆角半径 R 应不小于强横梁和强肋骨腹板高度的大者。无肘板交叉连接接头(强横梁与强肋骨之间)的腹板厚度 t_3 应不小于按下列两式计算所得之值的大者，且应不小于强横梁和强肋骨腹板厚度的大者。

$$t_3 = \frac{1}{K}\left(\frac{\sigma_1 A_1}{d_{w2}} - \frac{t_2\tau_2}{100}\right) \quad \text{mm}$$

$$t_3 = \frac{1}{K}\left(\frac{\sigma_2 A_2}{d_{w1}} - \frac{t_1\tau_1}{100}\right) \quad \text{mm}$$

式中：A_1、A_2——分别为强肋骨和强横梁的面板的剖面积，cm^2；

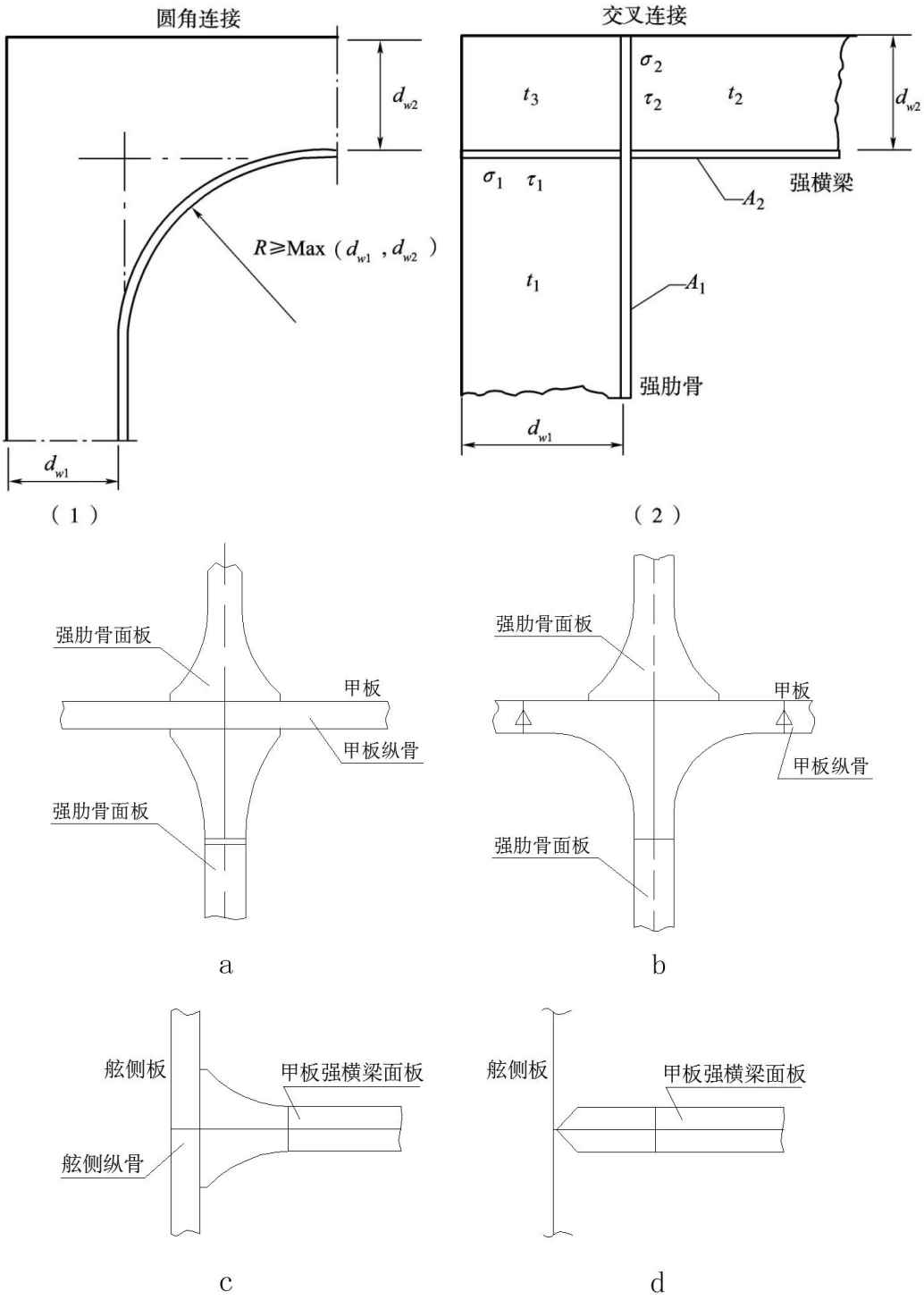
d_{w1}、d_{w2}——分别为强肋骨和强横梁的腹板高度，mm；

t_1、t_2——分别为邻近交叉连接接头处强肋骨和强横梁的腹板厚度，mm；

σ_1、σ_2——分别为邻近交叉连接接头处强肋骨和强横梁的弯曲应力，N/mm^2；

τ_1、τ_2——分别为邻近交叉连接接头处强肋骨和强横梁的剪应力，N/mm^2；

K——材料系数。



(3)

图 9.2.1.5

对于无肘板交叉连接的强肋骨或强横梁的面板应保持连续至甲板板和舷侧外板，并应有

良好的过渡，典型节点型式见图 9.2.1.5(3)。

9.2.1.6　必要时车辆系固设备与船体结构系固点区域的结构应作局部加强。

9.2.1.7　减摇水舱和平衡水舱的构件尺寸应符合本篇第 2 章第 13 节对深舱的要求，对可能承受晃荡载荷的构件尺寸应增大 10%。

9.2.2　总纵强度

9.2.2.1　总纵强度应满足本篇第 2 章第 2 节的要求。当强力甲板下舷侧外板具有较大的开口，导致舷侧外板明显降低了向强力甲板传递的剪力时，则强力甲板及其以下开口范围内的纵向连续构件对总纵强度的有效性可采用有限元直接计算确定。

9.2.3　横向强度

9.2.3.1　滚装船、客滚船和载运车辆的渡船应按本章第 7 节的有关规定校核横向强度。

9.2.4　上层建筑甲板

9.2.4.1　当上层建筑甲板为强力甲板时，除首楼外的甲板板厚度应符合本篇第 2 章第 17 节 2.17.5.4 的规定，且应满足本篇第 2 章第 2 节总纵强度的屈曲强度要求，但均不应小于 6mm。

9.2.4.2　当上层建筑甲板为强力甲板时，上层建筑甲板骨架应满足本篇第 2 章第 8 节的有关要求，且应满足本篇第 2 章第 2 节总纵强度的屈曲强度要求。

9.2.5　舷侧骨架

9.2.5.1　舷侧骨架应满足本篇第 2 章第 7 节的有关要求。但在计算干舷甲板以下的舷侧骨架的主要构件尺寸时，计算压头可量计至干舷甲板边线。

9.2.6　车辆甲板

9.2.6.1　车辆甲板结构应满足本篇第 2 章第 21 节的要求。

9.2.6.2　车辆甲板主要支撑构件的强度应满足本章第 7 节的有关规定。

9.2.7　火车车辆甲板

9.2.7.1　甲板上的路轨应设置在甲板纵桁或甲板纵骨处，不应计入路轨对结构强度的影响。

9.2.7.2　甲板板厚应符合本篇第 2 章第 4 节的有关要求。

9.2.7.3　甲板骨架的纵骨或横梁应符合本篇第 2 章第 8 节的有关规定，计算压头 h 取 $0.14p$，p 为设计货物载荷，kPa。对于支撑路轨的甲板纵骨还应符合本篇第 2 章第 21 节的有关规定。

9.2.7.4　甲板骨架的纵桁和强横梁应符合本篇第 2 章第 21 节 2.21.2.3。当甲板骨架同时设置强横梁和纵桁时，可按本章第 7 节的有关规定，采用直接计算法确定强横梁和纵桁的尺寸。计算时应分别考虑火车车轮载荷和起重器支撑点的集中载荷。

9.2.7.5　若火车车辆甲板拟载运公路车辆时，还应符合本章对车辆甲板的有关规定。

9.2.7.6　采用起重器对火车车辆进行系固时，起重器的支撑点应尽量布置在甲板结构的主要支撑构件上，否则该区域的结构应作相应的局部加强。

9.2.8　居住处所甲板室甲板骨架

9.2.8.1　甲板室甲板纵骨或横梁剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 5shl^2K \quad \text{cm}^3，且不小于 } 25s$$

式中：s——甲板纵骨或横梁间距， m；

l——甲板纵骨或横梁跨距，m；

h——计算压头，m，取 0.45m，对露天部分还应增加 $(h_0 - 1.2)$ m，其中 h_0 按本篇第 2 章第 8 节 2.8.1.1 计算；

K——材料系数。

甲板室甲板纵桁和强横梁尺寸按本篇第 2 章第 8 节的有关要求计算，但计算压头取

0.45m，甲板室纵桁的腹板厚度应不小于其腹板高度的 1%加 2mm，且应不小于 4mm。

9.2.9 **行李和储藏处所甲板室甲板骨架**

9.2.9.1 甲板室甲板骨架按本篇第 2 章第 8 节的非露天货物甲板的要求计算。

第 3 节 升降平台和车辆坡道

9.3.1 **升降平台**

9.3.1.1 升降平台一般设计为板架结构。

9.3.1.2 在升降平台的安放位置上应设有紧固装置。

9.3.1.3 升降平台的支持构件应有足够强度，在设计升降平台时，应根据升降平台承受的实际载荷(包括其自重)对下述支点处的零件或构件进行强度校核：

(1) 软支点：如对于链条和钢丝索等零件，许用载荷为 1/5 破断载荷；

(2) 硬支点：许用应力为：

$$\text{许用弯曲应力}[\sigma] \le 85/K \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\text{许用剪切应力}[\tau] \le 43/K \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\text{许用相当应力}[\sigma_e] = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le 108/K \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：K——材料系数。

(3) 应对受压构件进行屈曲校核。

9.3.1.4 升降平台板的厚度应按车辆甲板板厚要求计算。

9.3.1.5 当在升降平台上使用叉式装卸车装卸货物时，其扶强材尺寸应符合本篇第 2 章第 21 节对车辆甲板横梁或纵骨的规定。

9.3.1.6 对于专门装载车辆的升降平台，其扶强材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值；

$$W = 1.39 J_1 P l K \qquad \text{cm}^3$$

式中：J_1、P、l——见本篇第 2 章第 21 节 2.21.2.2(2)；

K——材料系数。

9.3.1.7 对于升降平台的桁材的尺寸，可通过直接计算按下列衡准确定：

$$\text{许用弯曲应力}[\sigma] \le 128/K \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\text{许用剪切应力}[\tau] \le 64/K \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\text{许用相当应力}[\sigma_e] = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le 160/K \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\text{挠度：} f \le l/400 \qquad \text{mm}$$

式中：K——材料系数；

l——骨材支撑点之间的距离，mm。

9.3.2 **车辆坡道**

9.3.2.1 固定式车辆坡道应符合本篇第 2 章第 21 节车辆甲板的有关规定。

9.3.2.2 活动式车辆坡道应符合本章第 6 节车辆跳板的有关规定。其硬支点应满足本节 9.3.1.3(2)的要求。

第 4 节 首门和内门

9.4.1 **一般要求**

9.4.1.1 适用范围

(1) 本节要求适用于通向完整的或长的船首部封闭上层建筑的首门和内门的布置、强度和紧固。也可用于等效于最小船首高度的长的非封闭上层建筑结构。

(2) 本节规定适用下列两种首门形式：

①罩壳式首门：靠纵向布置的升降臂，通过两个或多个位于近门顶的门主要结构上

的绞链绕一水平轴向上和向外开启。

②边绞链式首门：通过两个或多个位于近舷侧的绞链绕垂直轴向外旋转开启，或利用绞接于门上和船上的水平连杆作水平移动开启。边绞链式首门应预先考虑为成对设置的。

如使用其他形式的首门，应作特殊考虑。

9.4.1.2 布置

(1) 首门应位于干舷甲板之上。为满足该要求，位于防撞舱壁之前和最大载重线以上，用于布置跳板或其他有关机械设备的干舷甲板内的水密凹槽，可视为干舷甲板的一部分。

(2) 应设置一道内门作为防撞舱壁的一部分。若该内门位于防撞舱壁位置的规定限度内(见本篇第 1 章第 12 节 1.12.3.1 或 1.12.3.2 的规定)，则不必直接设在防撞舱壁上面。为此可按本篇第 1 章第 12 节 1.12.3.1 或 1.12.3.2 中规定的位置布置一车辆跳板。如不能满足上述规定，则应尽实际可能在防撞舱壁位置的规定限度内装设单独的风雨密内门。

(3) 设置首门是为了保证符合营运条件的密闭性和有效地保护内门。构成防撞舱壁部分的内门在货舱整个高度内应为风雨密，且在门的后面装设固定的密封支持装置。

(4) 首门和内门的设置应使得在首门损坏或脱落情况下，不会引起内门或防撞舱壁的结构损坏。如不能达到上述要求，则应按本节 9.4.1.2 (2)中的规定，装设单独的风雨密内门。

(5) 对内门的要求是基于这样的假设：即车辆在装载位置上被有效地固缚而不致移动。

9.4.1.3 定义：

(1) 紧固装置：使门保持关闭，防止其绕铰链转动的一种装置。

(2) 支持装置：指将门承受的外载荷或内载荷传递给紧固装置，再从紧固装置传递给船体结构的一种装置，或将门承受的载荷传递给船体结构除紧固装置以外的一种装置，如绞链、制动器或其他固定装置。

(3) 锁紧装置：指将紧固装置锁紧在关闭位置的一种装置。

(4) 客滚船：见本章第 1 节 9.1.1.1(3)。

(5) 滚装处所：见本章第 1 节 9.1.1.2。

(6) 特种处所：见本章第 1 节 9.1.1.3。

9.4.2 主要结构、紧固装置和支持装置的强度衡准

9.4.2.1 首门和内门的主要构件、紧固装置和支持装置的尺寸应按承受本节 9.4.3 中规定的设计载荷确定，且许用应力如下：

许用弯曲应力 $[\sigma]=120/K$ N/mm^2

许用剪切应力 $[\tau]=80/K$ N/mm^2

许用相当应力 $[\sigma_e]=\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}=150/K$ N/mm^2

式中：K——材料系数，该值不小于 0.72(除非进行疲劳分析)。

9.4.2.2 应验证主要构件具有足够的屈曲强度。

9.4.2.3 对紧固和支持装置中钢对钢的支承，将设计载荷除以支承的投影面积所得的支承压力应不超过 $0.8R_{eH}$，其中 R_{eH} 为支承材料的屈服应力。对其他支承材料，其许用支承应力应按制造厂的技术规格确定。

9.4.2.4 紧固和支持装置的布置应使螺栓不承受支持力。在螺栓不承受支持力的螺纹处最大拉应力应不超过 125/K，N/mm^2。

9.4.3 设计载荷

9.4.3.1 首门

(1) 确定首门的主要构件、紧固装置和支持装置的尺寸时的设计外压力 P_e，应不小于按下式计算所得之值：

$$P_e=2.75\lambda C_H(0.22+0.15\tan\alpha)(0.4V\sin\beta+0.6\sqrt{L})^2 \quad \text{kN/m}^2$$

式中：V——合同航速，kn；

L——船长，m，其取值不必大于 200m；

λ——系数，根据船舶预定航行区域确定：

λ=1.0 远海航区和近海航区的船舶；

λ=0.8　沿海航区的船舶；

λ=0.5　遮蔽航区的船舶。

C_H——系数，按以下确定：

$C_H = 0.0125L$　($L < 80$ m)

$C_H = 1$　($L \geq 80$ m)

α——计算点的外飘角，定义为在垂直于门外板水平切线的垂直平面内测得的垂线与舷侧外板切线间的夹角，计算点则位于在门底以上 $h/2$ 高度的水平面与首柱的交点往后 $l/2$ 处，见图 9.4.3.1 (1)；

l——门底以上 $h/2$ 高度处门的长度，m，见图 9.4.3.1(1)；

β——计算点的入射角，定义为平行于中心线的纵向直线与在水平面内的外板切线间的夹角，计算点与α角相同，见图 9.4.3.1(1)。

h——门的高度，m，从门底平面到上甲板或门顶的距离，取小者。

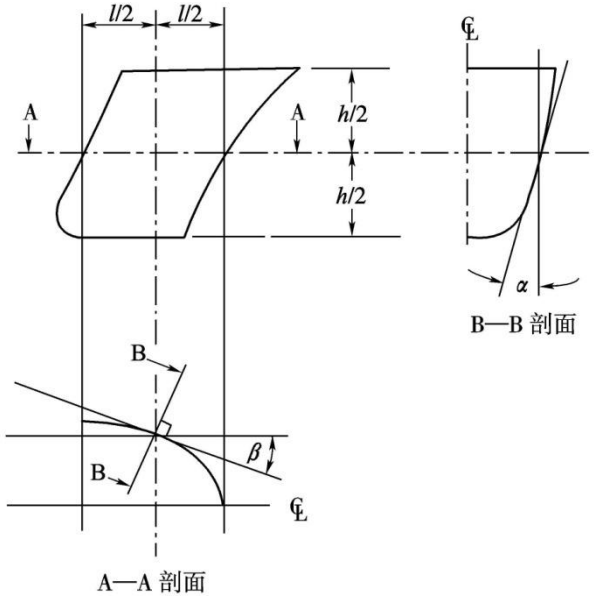


图 9.4.3.1(1)

(2)　计算首门紧固装置和支持装置的尺寸时的设计外力应按下列公式计算：

$$F_x = P_e A_x \quad \text{kN}$$

$$F_y = P_e A_y \quad \text{kN}$$

$$F_z = P_e A_z \quad \text{kN}$$

式中：A_x——门的底平面与上甲板舷墙之间或门底与门顶之间，门的横向垂直投影面积，m^2，取小者，如舷墙是门的一部分，则应包括舷墙。如舷墙的外飘角比相邻舷侧板的外飘角小 15°，可从门底平面的高度量至上甲板或门顶，取小者。计算门底平面至上甲板或门顶高度时，应不包括舷墙，见图 9.4.3.1 (2)；

A_y——门的底平面与上甲板舷墙之间或门底与门顶之间，门的纵向垂直投影面积，m^2，取小者，如舷墙是门的一部分，则应包括舷墙。如舷墙的外飘角比相邻舷侧板的外飘角小 15°，可从门底平面的高度量至上甲板或门顶，取小者，见图 9.4.3.1 (2)；

A_z——门的底平面与上甲板舷墙之间或门底与门顶之间，门的水平投影面积，m^2，取小者，如舷墙是门的一部分，则应包括舷墙。如舷墙的外飘角比相邻舷侧板的外飘角小 15°，可从门底平面的高度量至上甲板或门顶，取小者，见图 9.4.3.1 (2)；

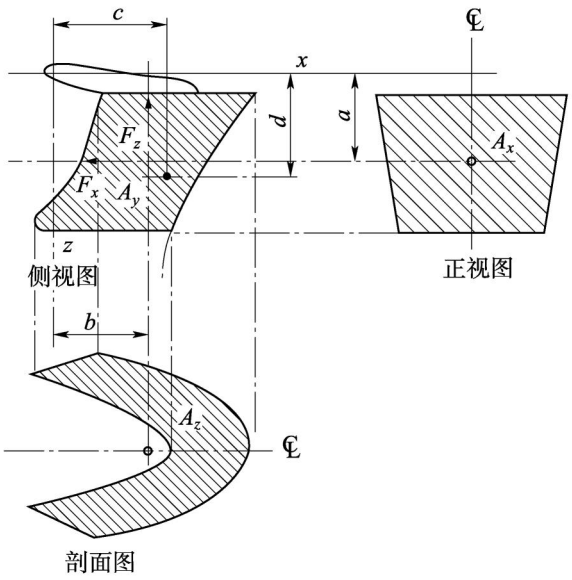


图 9.4.3.1(2)

对于不常见形状或尺寸的首门(包括舷墙)，例如船具有圆形球鼻艏与大的首柱倾角，应特殊考虑设计外力计算中采用的面积和角度。

(3) 罩壳式首门在外负荷作用下的关闭力矩 M_y 应按下列公式计算：

$$M_y = F_x a + 10Wc - F_z b \qquad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中：F_x，F_z——由本节 9.4.3.1(2)中求得；

W——罩壳式首门的质量，t；

a——从罩壳的旋转中心到罩壳式首门的横向垂直投影面形心的垂直距离，m，如图 9.4.3.1(2)所示；

b——从罩壳的旋转中心到罩壳式首门的水平投影面形心的水平距离，m，如图 9.4.3.1(2)所示；

c——从罩壳的旋转中心到罩壳重心的水平距离，m，如图 9.4.3.1(2)所示。

(4) 此外，罩壳式首门的升降臂及其支承应按起升和降落操作期间作用的静力和动力并计及最小风压 1.5 kN/m^2 后确定其尺寸。

9.4.3.2 内门

(1) 确定内门的主要构件、紧固和支持装置以及周围结构尺寸时的设计外压力，应为 p_e 和静水压力 p_h 中的大者：

$$p_e = 0.45L \qquad \text{kN/m}^2$$

$$p_h = 10h \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：L——船长，m，其取值不必大于 200m；

h——从载荷计算点到货舱顶的距离，m。

(2) 确定内门紧固装置尺寸时的设计内压力 p_i 应不小于 25kN/m^2。

9.4.4 首门的构件尺寸

9.4.4.1 一般要求

(1) 首门的强度应与周围结构相当。

(2) 首门应予足够加强并应采取措施防止关闭时产生横向或垂向移动。对罩壳式首门，为了门的开启和关闭，升降臂与门结构及船体结构的连接应有足够的强度。

9.4.4.2 板和骨材

(1) 首门的板厚应不小于按首门骨材间距计算所得的舷侧外板厚度，且应不小于首端外板的厚度要求。

(2) 水平或垂直扶强材的剖面模数应不小于对船端肋骨的要求。必要时应考虑船体肋

骨与首门加强材在端部固定方面的差异。

(3) 扶强材腹板的净剖面积 A 应不小于按下式计算所得之值：

$$A=\frac{QK}{10} \qquad \text{cm}^2$$

式中：Q——加强材中的切力，kN，用本节 9.4.3.1(1)中给出的均布外力 P_e 计算；

K——材料系数。

9.4.4.3 主要结构

(1) 首门的扶强材应由构成门的主要加强构件支持。

(2) 首门和该处船体结构的主要构件均应有足够的刚度，以保证门周围支持结构的完整性。

(3) 主要构件的尺寸通常应按照本节 9.4.3.1(1)中给出的外压力和本节 9.4.2.1 中给出的许用应力，由直接计算确定。通常可用两端简支的单跨梁计算弯曲应力。

9.4.5 内门的构件尺寸

9.4.5.1 一般要求

(1) 主要构件的尺寸通常应按照本节 9.4.3.2(1)中给出的外压力以及本节 9.4.2.1 中给出的许用应力，由直接计算确定。通常可采用简单梁理论的计算公式。

(2) 如内门用作车辆跳板，则其尺寸还应符合本章第 6 节的规定。

(3) 紧固和支持装置上的作用力分布，考虑结构的柔度、支点的实际位置及其刚度，通常由直接计算确定。

9.4.6 首门的紧固和支持装置

9.4.6.1 一般要求

(1) 对首门应设置与周围结构的强度和刚度相适应的紧固和支持装置。首门处的船体支持结构应适合于承受与紧固和支持装置相同的设计载荷和设计应力。当要求密封时，则密封材料应为较柔软的类型，且支持力应仅由钢结构承受。可以考虑采用其他类型的密封。紧固和支持装置间的最大设计间隙一般应不超过 3mm。

应提供一种机械固定方法将门固定在开启位置。

(2) 在计算支持和紧固装置上的反力时，仅考虑在相关方向上具有有效刚度的主要支持装置和紧固装置。用于对密封材料施加局部压缩的小的或柔性的装置(如夹扣)，通常不包括在本节 9.4.6.2(5)要求的计算中。紧固和支持装置的数量通常应尽可能少，但应考虑本节 9.4.6.2(6)和本节 9.4.6.2(7)中所要求的余量，并在船体结构中为足够的支持留有可用空间。

(3) 对向外开启的罩壳式首门，转轴的布置通常应使罩壳在外载荷作用下能自动关闭，即 $M_y>0$ 。此外，本节 9.4.3.1 (3) 中给出的关闭力矩 M_y 应不小于：

$$M_{y0}=10Wc+0.1\sqrt{(a^2+b^2)(F_x^2+F_z^2)} \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

式中：F_x，F_z——由本节 9.4.3.1(2)中求得；

W——罩壳式首门的质量，t；

a——从罩壳的旋转中心到罩壳式首门的横向垂直投影面形心的垂直距离，m，如图 9.4.3.1(2)所示；

b——从罩壳的旋转中心到罩壳式首门的水平投影面形心的水平距离，m，如图 9.4.3.1(2)所示；

c——从罩壳的旋转中心到罩壳重心的水平距离，m，如图 9.4.3.1(2)所示。

9.4.6.2 构件尺寸

(1) 紧固和支持装置应予适当设计，以便在承受反力时应力控制在本节 9.4.2.1 给出的许用应力范围内；

(2) 对罩壳式首门，在确定作用在有效紧固和支持装置上的反力时，假定门为一刚体，并考虑与门的自重同时作用的下列外力组合：

第 1 种情况：F_x 和 F_z；

第 2 种情况：每边分别施加 $0.7F_y$，并同时施加 $0.7F_x$ 和 $0.7F_z$。

(3) 对边绞链式首门，在确定作用在有效紧固和支持装置上的反力时，假定门为一刚

体，并考虑与门的自重同时作用的下列外力组合：

第 1 种情况：F_x、F_y 和 F_z 作用在两扇门上；

第 2 种情况：$0.7F_x$ 和 $0.7F_z$ 作用在两扇门上，且 $0.7F_y$ 单独作用在每扇门上。

上述(2)、(3)式中的 F_x、F_y 和 F_z 按本节 9.4.3.1(2)中所示确定，且作用在投影面积的形心。

(4) 按本节 9.4.6.2(2)和本节 9.4.6.2.(3)(第 1 种情况)确定的支持反力通常对通过面积 A_x (见图 9.4.3.1(2))形心的横轴产生一零力矩。对罩壳式首门，在门底销轴和/或楔块的纵向反力所产生的力矩应不是向前的。

(5) 作用在紧固或支持装置上反力的分布，在考虑船体结构的柔性、支点的实际位置和支座刚(柔)度的情况下，由直接计算给出。

(6) 紧固装置以及该处支持装置的布置应采用具有冗余度的设计，以使得任何单个紧固装置或支持装置发生失效时，剩下的装置仍然能够承受反作用力，此时本节 9.4.2 中给出的许用应力可提高 20%。

(7) 对罩壳式首门，应在门的下部装设两个紧固装置，并使其都能在本节 9.4.2.1 中给出的许用应力范围内，提供防止首门开启所需的全部反力。该反力所平衡的开启力矩 M_0 应按下式计算：

$$M_0 = 10Wd + 5A_x a \qquad \text{kN·m}$$

式中：A_x——由本节 9.4.3.1(2)中求得；

W——罩壳式首门的质量，t；

a——从罩壳的旋转中心到罩壳式首门的横向垂直投影面形心的垂直距离，m，如图 9.4.3.1(2)所示；

d——从绞链轴到门重心的垂直距离，m(见图 9.4.3.1(2))。

(8) 对罩壳式首门，除铰链外，应能在不超过本节 9.4.2.1 中给出的许用应力范围内，承受垂直设计力：

$$F_z - 10W \qquad \text{kN}$$

式中：F_z——由本节 9.4.3.1(2)中求得；

W——罩壳式首门的质量，t。

(9) 在设计载荷的传力路线上，从门经过紧固和支持装置至船体结构，包括焊缝在内的所有传力部件的强度衡准应与紧固和支持装置相同。传力部件应包括销子、支撑肘板和背肘板。

(10) 对边绞链式首门，在桁材端部应设推力轴承，以防在关闭两扇门时由于不对称压力作用造成门的相互错位(见图 9.4.6.2)。推力轴承的各部分应靠紧固装置相互紧固。也可提议作用相同的其他布置方案。

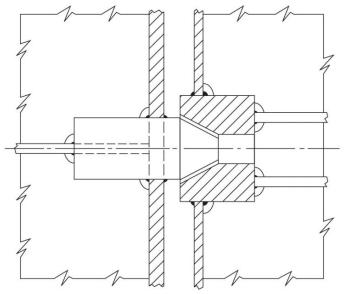


图 9. 4. 6. 2

9.4.7 紧固和锁紧装置

9.4.7.1 操作系统

(1) 紧固装置应易于到达且操作简单。紧固装置应配备机械式锁紧装置(自锁或独立锁装置)或为重力式。开启和关闭系统应与紧固和锁紧装置联锁，使其只能按一定顺序操作。

(2) 首门和通向车辆甲板的内门应装设遥控装置，以便从干舷甲板以上的某一位置对下列情况进行遥控操作：

①门的开启和关闭；

②每扇门的紧固和锁紧装置。

每扇门和每个紧固和锁紧装置的开启/关闭位置均应在遥控台上得到显示。未经许可的人员应不能接近门的操作控制板。应在每一控制板上设置“离港前所有紧固装置均应关闭和锁紧”的告示牌，并应增设警告指示灯。

(3) 如使用液压紧固装置，则系统在关闭位置应能机械锁紧。即如出现液压油泄漏时，紧固装置仍能保持锁紧。该液压系统在紧固装置处于关闭位置时应与其他液压管路隔绝。

9.4.7.2 门的指示/监控系统见第 4 篇第 2 章第 9 节的有关规定。

9.4.8 操作和维护手册

9.4.8.1 船上应备有首门和内门的操作和维护手册。操作和维护手册应包含下列必要的资料：

(1) 主要数据和设计图纸：

特种安全预警；

船舶详细资料；

跳板设备和设计载荷；

门和跳板的设备平面图；

制造商建议的设备试验；

设备描述：首门、内门、首跳板/门、舷门、尾门、中央电源单元；驾驶室控制屏，机舱控制室控制屏。

(2) 使用条件：

船舶装/卸载时的横倾与纵倾限制；

操作门时的横倾与纵倾限制；

门/跳板操作指示；

门/跳板应急操作指示。

(3) 维护和功能试验：

维护范围与维护计划；

故障解答；

制造商维护程序。

(4) 检验和修理记录，包括锁门装置、锁紧装置和支承装置的检验、维修和换新。

应确保上述资料包含在操作和维护手册中，并且维护部分包括维修所需要的信息和故障解答[①]。

9.4.8.2 船上应备有首门和内门的关闭和紧固书面操作程序，并在适当的部位张贴。

第 5 节 舷门和尾门

9.5.1 舷门和尾门的一般要求

9.5.1.1 本节要求适用于防撞舱壁后的舷门以及通向封闭处所的尾门的布置、强度和紧固。

9.5.1.2 客船的尾门应位于干舷甲板之上，滚装货船的尾门和舷门可设在干舷甲板之上或之下。

9.5.1.3 舷门和尾门的设置应确保其密闭性和结构完整性，并与其所处的位置及周围的结构相当。

9.5.1.4 当任一舷门的门槛低于最高载重线时，其布置应特殊考虑。即应考虑在该处设置一道与舷门等强度和水密的内门，并在两门之间的处所内装设水渗漏探测装置，且该处所的舱底泄水系统由易于到达的螺杆阀控制。

9.5.1.5 门一般应向外开启。

9.5.1.6 定义：

(1) 紧固装置：指用于防止门绕绞链转动或绕附连于船上的附件旋转，使门保持关闭

[①] 建议门的支持和紧固装置的检查由船上工作人员每月或在可能导致损坏的事故（包括恶劣海况或门区域的触碰）发生后记录一次。上述损坏记录应报告。

状态的一种装置。

(2) 支持装置、紧固装置、锁紧装置、客滚船、滚装处所和特种处所的定义见本章第 4 节 9.4.1.3 的定义。

9.5.2 舷门和尾门的强度衡准

9.5.2.1 舷门和尾门的主要构件、紧固和支持装置的尺寸应按本节 9.5.3 规定的设计载荷确定，其许用应力如下：

$$\text{许用弯曲应力}[\sigma]=120/K \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\text{许用剪切应力}[\tau]=80/K \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\text{许用相当应力}[\sigma_e]=\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}=150/K \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：K——材料系数，但取不小于 0.72(除非进行疲劳分析)。

9.5.2.2 应验证主要构件具有足够的屈曲强度。

9.5.2.3 在紧固和支持装置中钢对钢的支承，用设计载荷除以支承的投影面积所得的名义支承压力应不大于 0.8 R_{eH}，R_{eH} 为支承材料的屈服应力。对其他支承材料，其许用支承压力应按制造厂的说明书确定。

9.5.2.4 紧固和支持装置的布置应使螺栓不承受支承力，在螺栓不承受支承力的螺纹处最大拉应力应不大于 125/K，N/ mm^2，K 与本节 9.5.2.1 的规定相同。

9.5.3 舷门和尾门的设计载荷

9.5.3.1 确定舷门和尾门的主要构件、紧固和支持装置的尺寸时，设计力应不小于按下列各式计算所得之值：

(1) 对内开式门的紧固或支持装置的设计力：

$$\text{外力：} \quad F_e=AP_e+F_p \qquad \text{kN}$$

$$\text{内力：} \quad F_i=F_0+10W \qquad \text{kN}$$

(2) 对外开式门的紧固或支持装置的设计力：

$$\text{外力：} \quad F_e=AP_e \qquad \text{kN}$$

$$\text{内力：} \quad F_i=F_0+10W+F_p \qquad \text{kN}$$

(3) 主要构件的设计力：

$$\text{外力：} \quad F_e=AP_e \qquad \text{kN}$$

$$\text{内力：} \quad F_i=F_0+10W \qquad \text{kN}$$

式中：A——门孔的面积，m^2；

W——门的质量，t；

F_p——总的密封力，kN；密封线压力一般应不小于 5N/mm；

F_o——取 F_c 与 5A 中之大者，kN；

F_c——由于货物松动等引起的意外力，kN；在整个面积 A 上的均匀分布，且应取不小于 300kN，对燃料舱门和引水员门类似的小门，F_c 值可以适当减少。如设有诸如内部跳板等附加结构能使门免受货物松动等引起的意外力的作用，则 F_c 值可取为零；

P_e——外部设计压力，kN/m^2；在门孔的重心确定，且应不小于：

$$P_e=10(d-Z_G)+25 \qquad \text{kN/m}^2\text{，对} \quad Z_G<d$$

$$P_e=25 \qquad \text{kN/m}^2\text{，对} \quad Z_G\geq d$$

另外，对装有首门船舶的尾门，P_e 应不小于按下式计算所得之值：

$$P_e=0.6\lambda C_H(0.8+0.6\sqrt{L})^2 \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：d——最深分舱载重线处的吃水，m；

Z_G——门的面积中心在基线以上的高度，m；

λ ——系数，按船舶拟航行的区域而定：

λ=1.0　远海航区和近海航区的船舶；

λ=0.8　沿海航区的船舶；

λ=0.5　遮蔽航区的船舶。

C_H——系数，按以下确定：

$C_H = 0.0125L$　($L < 80$ m)

$C_H = 1$　($L \geq 80$ m)

L ——船长，m，取不大于 200m。

9.5.4　舷门和尾门的构件尺寸

9.5.4.1　舷门和尾门的强度应与周围结构的强度相当。

9.5.4.2　舷门和尾门应适当扶强，且应采取措施，防止门关闭后有任何的横向或垂向移动。在吊臂、操纵臂和铰链与门结构以及船体结构的连接，应有足够的强度。

9.5.4.3　当门作为车辆跳板时，铰链的设计应考虑可能导致铰链受力不均匀的船舶纵倾角和横倾角。

9.5.4.4　舷门开口角隅应设圆角过渡，且应在两侧设强肋骨及在开口的上、下缘设纵桁或相当构件予以扶强，并应符合本篇第 2 章第 3 节 2.3.7 的有关规定。

9.5.4.5　门板的厚度应不小于用门扶强材间距算得的舷侧外板的厚度，且应不小于同一位置上的舷侧外板的最小厚度。当门作为车辆跳板时，其厚度应符合本章第 6 节的有关规定。

9.5.4.6　水平扶强材或垂直扶强材的剖面模数应不小于对舷侧肋骨的要求。如有必要，应考虑舷侧肋骨和门扶强材，在固定程度方面的差异。当门作为车辆跳板时，扶强材尺寸应符合本章第 6 节的规定。

9.5.4.7　扶强材应由构成门的主要构件来支持。

9.5.4.8　主要构件及门周围的船体结构应具有足够的刚度，以保证门周围结构的完整性。

9.5.4.9　主要构件的尺寸应按本节 9.5.3.1 规定的设计力和本节 9.5.2.1 规定的许用应力标准，用直接计算确定。通常可用两端简支的单跨梁计算弯曲应力。

9.5.5　门的紧固和支持

9.5.5.1　舷门和尾门应装设足够的紧固和支持装置，以便与周围的结构强度和刚度相当。近门处的船体支持结构应适合于如紧固和支持装置相同的设计载荷和应力。

当要求密封时，密封材料应为比较柔软型的，且其支承力应仅由钢结构承受。也可以考虑其他类型的密封材料。

紧固和支持装置之间的最大设计间隙，一般应不大于 3mm。

应提供一种机械固定方法将门固定在开启位置。

9.5.5.2　在计算作用在装置上的反力时，仅包括和考虑在有关方向上具有有效刚度的主要支持和紧固装置。用于对密封材料施加局部压缩的小的和/或柔性的装置，如夹扣，一般不包括在本节 9.5.5.4 要求的计算中。紧固和支持装置的数量，一般应为实际的最少量，但需考虑本节 9.5.5.5 规定的余量要求，并在船体结构中为足够支持预留可用的空间。

9.5.5.3　紧固和支持装置应适当设计，以便在承受反力时，应力控制在本节 9.5.2.1 规定的许用应力范围内。

9.5.5.4　作用在紧固和支持装置上反力的分布，可以在考虑了船体结构的柔性和支点的实际位置后，用直接计算确定。

9.5.5.5　紧固装置以及该处支持装置的布置应采用具有冗余度的设计，以使得任何单个紧固装置或支持装置发生失效时，剩余的装置仍能承受反作用力，此时本节 9.5.2.1 中给出的许用应力可提高 20%。

9.5.5.6　在设计载荷轨迹中所有传力部件，从门通过紧固和支持装置至船体结构，包括焊接，其强度标准应与紧固和支持装置的要求相同。传力部件应包括销子和肘板。

9.5.6　门的紧固和锁紧装置的布置及其操作系统

9.5.6.1　紧固装置应易于到达且操作简单。

紧固装置应配备机械式锁紧装置(自锁或独立装置)或重力式的。开启和关闭系统以及紧固和锁紧装置应通过一定程序的操作方式来联锁。

9.5.6.2　对净开口面积大于 6 m^2，且部分或全部位于干舷甲板以下的门，应装设遥控装置，以便从干舷甲板上的某一位置遥控操纵门的开启和关闭以及有关的紧固和锁紧装置。要求装设遥控装置的门，门及紧固和锁紧装置的开启　/关闭位置均应能在遥控站显示。未经许可的人员不应靠近操纵控制板。在操纵板处应设置“船离港前关闭和锁紧所有紧固装置”的告示牌，并应增设警告指示灯。

9.5.6.3　如使用液压紧固装置，则系统在关闭位置应能机械锁住。如液压油发生泄漏，紧固装置仍能保持锁住。对紧固和锁紧装置液压系统，当在关闭位置时应与其他液压回路隔离。

9.5.6.4　门的指示/监控系统见第 4 篇第 2 章第 9 节的有关规定。

9.5.7　操作和维护手册

9.5.7.1　船上应备有舷门和尾门的操作和维护手册。操作和维护手册应包含下列必要的资料：

(1)　主要数据和设计图纸；

特殊安全防范措施；

船舶详细资料；

跳板设备和设计载荷；

门和跳板的设备平面图；

制造商建议的设备试验；

设备描述：首门、内门、首跳板/门、舷门、尾门、中央电源单元；驾驶室控制屏，机舱控制室控制屏。

(2)　使用条件；

船舶装/卸载时的横倾与纵倾限制；

操作门时的横倾与纵倾限制；

门/跳板操作指示；

门/跳板应急操作指示。

(3)　维护和功能试验；

维护范围与维护计划；

故障解答和可接受的偏差；

制造商维护程序。

(4)　检验和修理记录，包括锁门装置、锁紧装置和支承装置的检验、维修和换新。

应确保上述资料包含在操作和维护手册中，并且维护部分包括维修所需要的信息和故障解答[①]。

9.5.7.2　船上应备有舷门和尾门的关闭和紧固书面操作程序，并在适当的部位张贴。

第 6 节　车辆跳板

9.6.1　车辆跳板的结构强度

应符合本篇第 2 章第 21 节对车辆甲板的有关规定。

9.6.2　车辆跳板的骨架

应按如下要求进行强度校核：

(1)　跳板处于放下状态；

(2)　设计的车辆负荷乘上 1.1 的系数以最不利的位置作用于跳板上，同时考虑跳板的自身重量负荷；

(3)　许用弯曲应力为：$[\sigma]=141/K$，N/mm^2，其中 K 为材料系数；许用挠度为：$[f]=l/200$

[①] 建议门的支持和紧固装置的检查由船上工作人员每月或在可能导致损坏的事故（包括恶劣海况或舷门和尾门区域的触碰）发生后记录一次。上述损坏记录应报告。

mm，其中 l 为车辆跳板主要构件支撑点之间的距离，mm。

9.6.3 车辆跳板连接铰链

应满足如下要求：

(1) 轴销的直径 d 应满足下式：

$$d \geq d_0$$

(2) 铰链中心眼板的尺寸应满足下列两式：

$$\frac{F}{2b_0t_0} \leq [\tau]，\quad b_0 \geq d_0$$

(3) 铰链的两侧眼板的尺寸应满足下列两式：

$$\frac{F}{4t_1t_2} \leq [\tau]，\quad t_1 \geq d_0/2$$

式中：d_0——轴销最小要求直径，$d_0 = 0.92\sqrt{\frac{F}{[\tau]}}$ mm；

F——铰链传递的最大作用力，N；

t_1、t_2、b_0、t_0、d——铰链各部件尺寸，mm，见图 9.6.3；

$[\tau]$——许用剪切应力，$[\tau] = 81.6/K$，N/mm^2，其中 K 为材料系数。

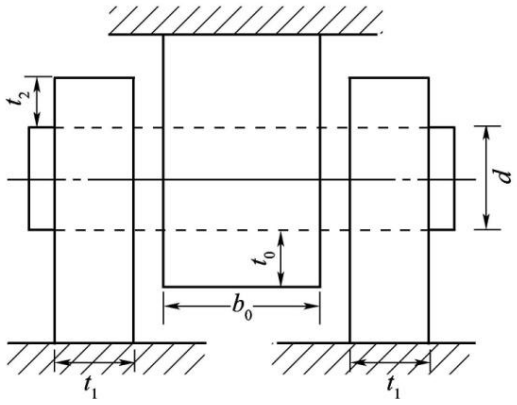


图 9.6.3

第 7 节 直接计算

9.7.1 一般要求

9.7.1.1 本节规定了车辆甲板骨架的强横梁和纵桁以及船体结构横向强度的直接计算方法。

9.7.2 设计载荷和计算工况

9.7.2.1 船舶运动加速度见本篇第 1 章第 5 节的有关规定。

9.7.2.2 车辆甲板结构强度直接计算时，甲板载荷应按下式计算：

车辆载荷 $P_h = (g + 0.5a_v)M$ kN

均布载荷 $p_{d_h} = (g + 0.5a_v)p$ kN/m^2

甲板自重载荷 $p_{s_h} = (g + 0.5a_v)m_s$ kN/m^2

式中：g——重力加速度，取 9.81 m/s^2；

a_v——垂向合成加速度，m/s^2，见本节 9.7.2.1；

M——设计车辆质量，t；

p——车辆甲板设计均布载荷，t/m^2，应不小于 0.25 t/m^2；

m_s——甲板自重，t/m²。

9.7.2.3　横向强度直接计算时，假定船舶横倾至最大横摇角（如船体结构对于中纵剖面不对称，应分别考虑向左舷横摇和向右舷横摇），设计载荷按下列各式计算：

(1)　车辆甲板载荷为垂向载荷和横向载荷，应分别按下式计算：

车辆垂向载荷　$P_{r_v} = (g\cos\varphi_m + 0.5a_v)M$　　kN

车辆横向载荷　$P_{r_t} = (g\sin\varphi_m + 0.5a_t)M$　　kN

均布垂向载荷　$p_{d_r_v} = (g\cos\varphi_m + 0.5a_v)p$　　kN/m²

均布横向载荷　$p_{d_r_t} = (g\sin\varphi_m + 0.5a_t)p$　　kN/m²

甲板自重垂向载荷　$p_{s_r_v} = (g\cos\varphi_m + 0.5a_v)m_s$　　kN/m²

甲板自重横向载荷　$p_{s_r_t} = (g\sin\varphi_m + 0.5a_t)m_s$　　kN/m²

式中：g——重力加速度，取 9.81 m/s²；

φ_m——最大横摇角，rad，见本节 9.7.2.1，应不小于 0.35rad；

a_v——垂向合成加速度，m/s²，见本节 9.7.2.1；

a_t——横向合成加速度，m/s²，见本节 9.7.2.1；

M——设计车辆质量，t；

p——车辆甲板设计均布载荷，t/m²，应不小于 0.25 t/m²；

m_s——甲板自重，t/m²。

(2)　上层建筑和甲板室的甲板载荷为垂向载荷和横向载荷，应分别按下式计算：

垂向载荷 $p_{u_r_v} = (g\cos\varphi_m + 0.5a_v)m_0$　　kN/m²

横向载荷 $p_{u_r_t} = (g\sin\varphi_m + 0.5a_t)m_0$　　kN/m²

式中：g——重力加速度，取 9.81 m/s²；

φ_m——最大横摇角，rad，见本节 9.7.2.1，应不小于 0.35rad；

a_v——垂向合成加速度，m/s²，见本节 9.7.2.1；

a_t——横向合成加速度，m/s²，见本节 9.7.2.1；

m_0——设计载荷，t/m²，包含甲板自重，且应不小于 0.25 t/m²。

(3)　舷外水压力为海水静压力 p_{hs}，按第 1 章第 5 节 1.5.3.2 计算。

9.7.2.4　计算工况见表 9.7.2.4。

计算工况　　**表 9.7.2.4**

工况	载荷区域	车辆甲板强度直接计算	横向强度直接计算
1	车辆甲板	车辆载荷 P_h 甲板自重载荷 p_{s_h}	车辆垂向载荷 P_{r_v} 车辆横向载荷 P_{r_t} 甲板自重垂向载荷 $p_{s_r_v}$ 甲板自重横向载荷 $p_{s_r_t}$
	上层建筑和甲板室	-	垂向载荷 $p_{u_r_v}$ 横向载荷 $p_{u_r_t}$
	舷外	-	海水静压力 p_{hs}
2	车辆甲板	均布载荷 P_{d_h} 甲板自重载荷 p_{s_h}	均布垂向载荷 $p_{d_r_v}$ 均布横向载荷 $p_{d_r_t}$ 甲板自重垂向载荷 $p_{s_r_v}$ 甲板自重横向载荷 $p_{s_r_t}$
	上层建筑和甲板室	-	垂向载荷 $p_{u_r_v}$ 横向载荷 $p_{u_r_t}$
	舷外	-	海水静压力 p_{hs}

9.7.3 车辆甲板结构强度的计算模型和边界条件

9.7.3.1 车辆甲板结构强度的直接计算模型可采用二维或三维梁系或板梁组合模型，模型范围选取的原则通常为：以车辆甲板的纵桁和强横梁作为主要分析对象，纵向应至少取二分之一的甲板长度，也可根据载荷分布、甲板结构及其支撑结构(如支柱、舱壁等)的具体情况，选择某一段典型的甲板结构计算模型。无论模型长度如何，载荷选取应考虑整层甲板范围。

9.7.3.2 车辆甲板结构强度计算时，为尽量减少约束边界条件对车辆甲板结构强度计算结果的影响，约束边界条件宜施加在距车辆甲板平面之上和/或之下的适当距离处。对于模型的前后端面，垂直于端面方向的线位移为零，绕端面内两坐标轴的角位移为零。

9.7.4 横向强度的计算模型和边界条件

9.7.4.1 横向强度的直接计算模型可采用二维或三维梁系或板梁组合模型，模型范围选取的原则通常为：以甲板的主要构件及其支持结构（如支柱、舱壁、舷侧结构以及横向强框架等）的主要构件作为主要的分析对象，模型范围至少应包括：垂向为基线至舱壁甲板以上的各层甲板及其支持结构；横向取整个船宽；纵向在船中处至少取 5 档强框架长度或一个设计车长，取大者。

9.7.4.2 对于模型的前后端面，垂直于端面方向的线位移为零，绕端面内两坐标轴的角位移为零；舷侧强框架或强肋骨与舷侧外板的交线 AA′、BB′、CC′、DD′，垂向线位移为零。内底与左舷舷侧外板的交线 A′B′，横向线位移为零；如未设置内底，可将横向线位移约束施加在中内龙骨与船底板的交线 EF（或类似位置）处（见图 9.7.4.2）。

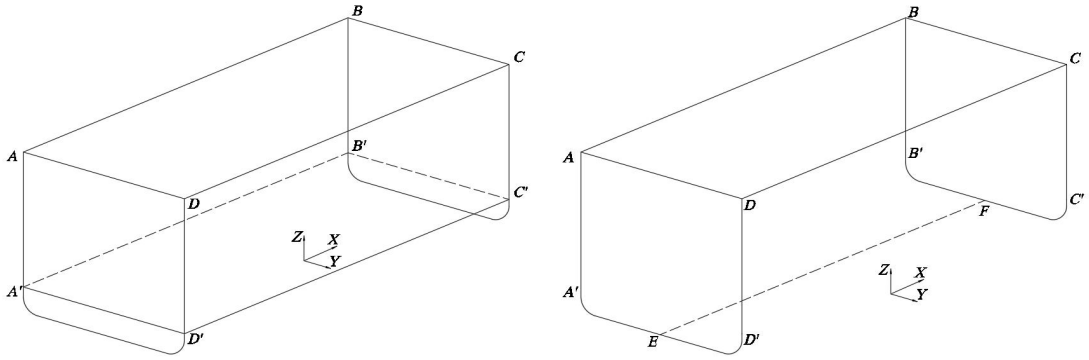


图 9.7.4.2

9.7.5 许用应力

9.7.5.1 二维或三维梁系模型的许用应力

许用弯曲应力$[\sigma]$为：

$$[\sigma]=165/K \quad ，\mathrm{N/mm^2}，但对横向主要构件取\ 180/K，\mathrm{N/mm^2}；$$

许用剪切应力$[\tau]$为：

$$[\tau]=94/K \quad ，\mathrm{N/mm^2}；$$

式中：K——材料系数；

σ——弯曲应力，$\mathrm{N/mm^2}$；

τ——剪切应力，$\mathrm{N/mm^2}$。

9.7.5.2 板梁组合模型的许用应力

许用剪切应力$[\tau]$为：

$$[\tau]=94/K \quad ，\mathrm{N/mm^2}；$$

许用相当应力$[\sigma_e]$为：

$$[\sigma_e]=\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x\sigma_y+3\tau_{xy}^2}=180/K \quad ，\mathrm{N/mm^2}$$

式中：K——材料系数；

σ_x——平面应力状态下结构任一点 X 坐标方向的正应力，N/mm^2；

σ_y——平面应力状态下结构任一点 Y 坐标方向的正应力，N/mm^2；

τ_{xy}——平面应力状态下结构任一点 X 坐标方向的剪切应力，N/mm^2

第 8 节　露天玻璃栏杆

9.8.1　一般要求

9.8.1.1　本节的要求仅适用于露天玻璃栏杆。露天玻璃栏杆系指位于露天甲板，以玻璃为面材，配以金属等其他材质结构的护栏。

9.8.1.2　在本篇第 1 章第 1 节 1.1.2.22 所规定的位置 2 以上的露天甲板，可以使用玻璃栏杆代替本篇第 2 章第 19 节所规定的舷墙或栏杆，但不适用于系泊操作、救生艇及救生筏集合站和登乘站等区域。

9.8.1.3　玻璃的制造应符合公认的行业或国家标准。

9.8.1.4　露天玻璃栏杆布置图应提交 CCS 批准、适用载荷和结构强度计算资料应提交 CCS 备查。

9.8.2　布置要求

9.8.2.1　露天玻璃栏杆高度应至少离甲板 1m。

9.8.2.2　除排水舷口布置有特别要求外，露天玻璃栏杆上的开口（如两块玻璃板的间隙，或玻璃板与甲板间的间隙等）应不大于 76mm。

9.8.2.3　如形成阱，应设有必要的排水舷口，排水舷口的开孔高度应不大于 230mm。

9.8.3　设计压力

9.8.3.1　对于最下层露天甲板，其玻璃栏杆的最小设计压力 P_w 应按如下要求计算：

$$P_w=9.81h，\text{kN/m}^2$$

式中，h——本篇第 2 章第 17 节 2.17.2 计算压头。

9.8.3.2　对于更高层的露天甲板，其玻璃栏杆的最小设计压力 P_w 应按如下要求计算：

（1）　在结构吃水上方 1.7C 米以下范围内，P_w=5kN/m^2。其中，C 为本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1 所规定系数；

（2）　其他位置，P_w=2.5kN/m^2。

9.8.4　最小尺寸要求

9.8.4.1　对于采用单层钢化安全玻璃的露天玻璃栏杆，应满足以下要求：

（1）　玻璃最小厚度应不小于 6mm；

（2）　应在顶部设置护栏，其最小剖面模数不小于 17cm^3；

（3）　栏杆支柱间距应不超过 1.5m，支柱最小剖面模数不小于 20cm^3。

9.8.4.2　对于采用层压钢化安全玻璃的露天玻璃栏杆，应满足以下要求：

（1）　单层玻璃最小厚度应不小于 4mm；

（2）　应在顶部设置护栏，其最小剖面模数不小于 17cm^3；

（3）　栏杆支柱间距应不超过 1.5m，支柱最小剖面模数不小于 20cm^3。

9.8.4.3　上述 9.8.4.1 和 9.8.4.2 所规定的剖面模数要求基于钢质材料计算，若采用其他材质，其刚度与强度应等效于规范要求的钢质构件。

9.8.4.4　玻璃板应至少在两侧采用金属安装框架进行支撑，玻璃板可采用机械方式或粘合剂固定在金属框架上。若金属安装框架采用螺栓与栏杆支柱连接，单侧受力螺栓不应少于 2 个。

9.8.4.5　玻璃板和金属框架之间的重叠部分应不小于 10mm 或 b/75mm，取大者，但不用大于 20mm，b 为玻璃板宽度，mm。

9.8.4.6　在公共区域，应采用层压钢化安全玻璃制作露天玻璃栏杆。

9.8.5 **玻璃厚度**

9.8.5.1 采用单层钢化安全玻璃时，其厚度应不小于下式计算所得：

$$t = b\sqrt{\beta P}/200 \quad \text{mm}$$

式中：b——玻璃短边长，mm；

P——计算载荷，$P = 0.5Pw$，kN/m²；

P_w——设计压力，kN/m²，见本节 9.8.3；

β——系数，按下列各式计算：

1）对于四周均设置牢固支持的玻璃：

$$\beta = 0.54A_R - 0.078A_R^2 - 0.17，\text{对 } A_R \le 3.6$$

$$\beta = 0.7645，\text{对 } A_R > 3.6$$

2）对于仅两侧设置牢固支撑的玻璃：

$$\beta = 0.7645$$

其中：A_R——玻璃长宽比因子，按下式计算：

$$A_R = a / b$$

a——玻璃长边长，mm；

b——玻璃短边长，mm。

9.8.5.2 采用层压钢化安全玻璃时，其等效厚度应不小于 9.8.5.1 计算值所得。等效厚度按下式计算：

$$t_e = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} t_i^2} \quad \text{mm}$$

式中：n—玻璃层数；

t_i—第 i 层玻璃的厚度。

9.8.6 **栏杆支柱**

9.8.6.1 对于结构吃水上方 1.7C 米以下范围内的栏杆支柱，其根部剖面模数 W 应不小于按下式计算所得：

$$W = 655\frac{PSl^2}{R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

式中：S——支柱间距，m；

l——支柱高度，m；

P——计算载荷，P=P_w，kN/m²；

P_w——设计压力，kN/m²，见本节 9.8.3；

R_{eH}——屈服强度，N/mm²。

9.8.6.2 对于结构吃水上方 1.7C 米以下范围内的栏杆支柱，其根部剪切面积 A 应不小于按下式计算所得：

$$A = 22.7\frac{PSl}{R_{eH}} \quad \text{cm}^2$$

式中：S——支柱间距，m；

l——支柱高度，m；

P——计算载荷，P=P_w，kN/m²；

R_{eH}——屈服强度，N/mm²。

第 10 章　拖　　船

第 1 节　一般规定

10.1.1　适用范围

10.1.1.1　本章规定适用于专门从事拖曳的船舶。

10.1.1.2　对于本章无规定者，均应符合本篇第 2 章的有关要求。

10.1.1.3　决定拖船构件尺寸时， 吃水 d 应取不小于型深的 85%。

10.1.1.4　在计算舵力时，设计航速 V 应取不小于 10kn。

10.1.2　图纸资料

10.1.2.1　除本篇第 2 章第 1 节规定的图纸资料外，还应将下列图纸提交批准：

(1)　拖曳设备的支承结构图（其相应的强度计算书提交备查）；

(2)　拖曳布置图；

(3)　钢质护舷材布置（结构）图。

第 2 节　船体骨架

10.2.1　强横梁

10.2.1.1　在较长的机舱开口中部，应设置一道全贯通的强横梁。

10.2.2　首尖舱外的舷侧加强

10.2.2.1　当舷侧为横骨架式时，首尖舱外的舷侧骨架应按本篇 2.15.2 的要求加强，但加强范围应延伸到离首垂线 0.3L 处。在加强范围内，主肋骨和甲板间肋骨的剖面模数应较本篇第 2 章第 7 节有关要求增大 20%。

第 3 节　机 舱 棚

10.3.1　机舱棚

10.3.1.1　露天机舱棚的高度应不小于 900mm，扶强材的间距应不大于 750mm。其围壁的板厚应较本篇 2.17.9.3 的要求增厚 20%，扶强材的剖面模数应较本篇 2.17.9.3 的要求增大 50%。

第 4 节　舷墙及护舷材

10.4.1　舷墙

10.4.1.1　拖船应设置内倾式舷墙。舷墙板厚度 t 应不小于下列要求：

t =5mm，当 $L \leqslant 30$m 时；

t =6mm，当 $30 < L < 50$m 时；

t =7mm，当 $L \geqslant 50$m 时。

式中：L——船长，m。

10.4.1.2　舷墙应在横梁位置上设置有折边或面板的支撑肘板， 支撑肘板间距应不大于 2 个肋距。

10.4.2　护舷材

10.4.2.1　拖船在整个船长范围内应沿甲板边线设置护舷材，其厚度可取船中 0.4L 处的舷侧外板的厚度。护舷材内应设置加强筋。

第 5 节　拖曳设备与支承结构

10.5.1　拖钩、拖缆机

10.5.1.1　拖钩或拖缆固定导向点的位置通常应位于船长中点后方 5%～10%船长处，但在各种装载状态下， 其位置不应在拖船重心纵向位置之前（倒拖的拖船除外），并应置于尽可能低的位置，以使拖船在正常工作时的横倾力矩减到最小。

10.5.1.2　拖缆机及其构件的设计应根据拖船所选用主拖缆的破断负荷来决定。拖钩应能承受其验证负荷作用而不产生永久变形。主拖缆的破断负荷及拖钩的验证负荷可根据 CCS《海上拖航指南》进行确定。

10.5.2　释放装置

10.5.2.1　拖钩应设有可靠的释放装置，不论拖船的横倾角和拖索的方向如何，都能方便地随时解脱拖索，同时又能避免任何意外地解脱拖索。

10.5.2.2　操纵释放装置的地点应安置在能见到拖钩的地方。建议在驾驶室亦能操纵释放装置。

10.5.3　支承结构

10.5.3.1　在拖曳设备下应尽可能设置支柱或支承舱壁。

10.5.3.2　拖曳设备处支承结构的设计载荷应不小于拖船所选用主拖缆的破断负荷。

10.5.3.3　支承结构的主要构件应用直接计算法确定，许用应力如下：

许用剪切应力　$[\tau]=87/K$　N/mm^2

许用弯曲应力　$[\sigma]=150/K$　N/mm^2

许用相当应力　$[\sigma_e]=\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}=213/K$　N/mm^2

式中：K——材料系数。

第 6 节　拖曳绞车应急释放系统

10.6.1　适用范围及定义

10.6.1.1　本节要求是在遮蔽水域、港口或码头作业的拖船(包括通常不沿船舶横向方向进行拖带操作的拖船)上拖曳绞车的应急释放系统的最低要求。

10.6.1.2　本节要求不适用于仅用于长距离远洋拖航、锚操作或类似近海作业的拖船上的拖曳绞车。

10.6.1.3　本节要求适用于 2020 年 1 月 1 后及以后签订建造合同日期的船舶。

10.6.1.4　本节要求是防止由于不可预期事件（可能是丧失动力或转舵能力以及其他原因）造成拖缆载荷作用于船舶横向（船宽方向）而导致拖船发生倾覆，其中由于偏距和反向横向力（拖缆载荷与船舶的推力或阻力方向相反）产生的力偶而导致拖船横倾并最终发生倾覆，见图 10.6.1.4。

10.6.1.5　就本节而言，有如下定义：

（1）　应急释放系统: 系指能够在正常和失电状态下以可控方式释放拖缆载荷的机械装置及相关控制装置；

（2）　最大设计载荷：系指由制造商所给出（制造商额定）的绞车能支持的最大载荷；

（3）　绳索偏角：系指施加载荷（拖缆载荷）与卷入绞车滚筒的拖缆方向之间的夹角，见图 10.6.1.5。

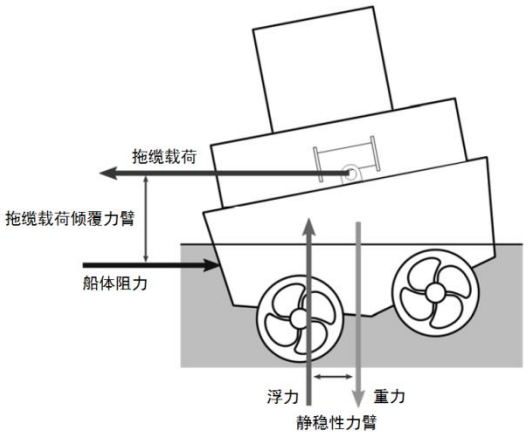


图 10.6.1.4 拖曳作业中的载荷

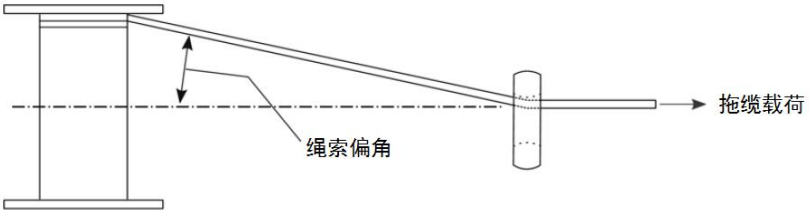


图 10.6.1.5 绳索偏角

10.6.2 **一般要求**

10.6.2.1 拖缆在船内的一端与绞车滚筒之间应为弱连接，或应设计为能够在较低的载荷释放拖缆。

10.6.2.2 所有的拖曳绞车都应安装应急释放系统。

10.6.3 **应急释放系统的性能要求**

10.6.3.1 应急释放系统应能够在所有正常工况或可合理预见到的非正常工况（包括但不限于：船舶失电、由于恶劣天气导致的不断变化的拖缆载荷）的所有拖缆载荷、绳索偏角及船舶倾斜角情况下进行操作。

10.6.3.2 应急释放系统应在拖缆载荷最高达到至少最大设计载荷时仍能进行操作。

10.6.3.3 应急释放系统应在尽可能短的时间开始工作，最多不超过启动后 3 秒。

10.6.3.4 应急释放系统应使绞车卷筒转动并且拖缆以可控的方式放出，即当应急释放系统启动后仍有足够的转动阻力来避免拖缆以不可控的方式从卷筒放出。应避免卷筒进行自由或不可控地旋转，从而避免拖缆卡住影响绞车的释放操作。

10.6.3.5 一旦应急释放系统启动后，转动绞车卷筒所需的拖缆载荷应不大于：

(1) 卷筒上有两层拖缆时最大设计载荷的 5%或 5 吨，取小者，或；

(2) 如能证明转动阻力不超过能使船舶倾斜至最低无保护开口发生浸没的载荷的 25%，取 15%的最大设计载荷。

10.6.3.6 在船舶失电状态下应能实施拖缆应急释放。为此目的，当需要额外的动力源时，该动力源应满足本节 10.6.3.7 的要求。

10.6.3.7 本节 10.6.3.6 条所要求的额外动力源应能根据适用情况满足下述条件中最严格的条件：

(1) 能够尝试释放拖缆 3 次（即 3 次启动应急释放系统）。当该动力源为超过 1 台的绞车提供动力，则至少保证为需求最大的绞车提供 3 次启动；

(2) 当绞车设计为卷筒释放机械装置需要持续供给动力（例如刹车使用弹簧张力且使用液压或气动力进行释放），应提供足够的动力，保证应急释放系统在失电状态下至少工作 5 分钟（例如保持刹车打开并允许拖缆释放）。供给时间可降低为能够在本节 10.6.3.5 所述载荷作用下释放卷筒上所有拖缆所需时间（如该时间小于 5 分钟）。

10.6.4 应急释放系统的操作要求

10.6.4.1 应急释放应能够从驾驶室和甲板上的绞车控制站进行操作。甲板上的绞车控制站应位于安全位置。对于紧邻绞车的位置，除非有文件表明该位置至少能够得以防护，以防拖缆破断或绞车故障的危害，否则该位置不能被认定为安全位置。

10.6.4.2 应急释放控制靠近邻绞车操作的一个应急停止按钮（如设有），并应明显标示、清晰可见、容易接近并且位于可安全进行操作的位置。

10.6.4.3 应急释放功能的优先级应高于任何应急停止功能。从任意位置启动绞车应急停止都不应阻碍任意位置进行应急释放操作。

10.6.4.4 应急释放控制应能够强制取消，强制取消可在应急释放启动位置以外的控制位置进行操作。无论在任何位置进行启动应急释放，都应保证可在驾驶室进行取消，并且不需要在甲板上进行手动干预。

10.6.4.5 应急释放的控制应进行保护以免发生误操作。

10.6.4.6 驾驶室应安装应急释放系统正常操作下的所有电源和/或压力值的指示器。超出应急释放系统正常操作所允许的限值应自动发出报警。

10.6.4.7 如适用，应急释放系统的控制应提供一个完全独立于可编程电子系统的硬接线系统。

10.6.4.8 操作或可能影响应急释放系统控制的计算机系统应满足本规范第 7 篇第 2 章第 6 节中 III 类系统的要求。

10.6.4.9 应急释放系统安全操作的关键部件应由制造商进行标示。

10.6.4.10 绞车的年度检验方法应有记录。

10.6.5 应急释放系统的试验要求

10.6.5.1 一般要求

(1) 本节中的所有试验要求都需要由验船师进行见证。

(2) 对每个应急释放系统或型式，本节 10.6.3 条的性能要求应在制造商工厂或在拖曳绞车进行安装后试验时进行验证。当仅通过试验进行验证不可行时(由于健康或安全因素)，经同意，可结合检验、分析或证明进行试验。

(3) 应急释放系统的性能及操作说明书应有制造商的记录，并保留在绞车所安装的船上。

(4) 应急释放系统的检验说明书应有经同意的制造商记录，并保留在绞车所安装的船上。

(5) 如进行绞车年度检验及特殊检验时需要，甲板上应提供足够尺寸的强力点。

10.6.5.2 安装试验

(1) 应急释放系统的全部功能应在拖曳绞车安装后试验时进行试验，并取得验船师满意。试验可在系柱拖力试验时或连接到船舶甲板上的强力点并施加经确认的拖缆载荷。

(2) 如绞车之前已经验证满足本节 10.6.3 条的性能要求，在安装试验时的载荷应至少为最大设计载荷的 30%或船舶系柱拖力的 80%，取小者。

第 11 章　近海供应船

第 1 节　一般规定

11.1.1　适用范围

11.1.1.1　本章规定适用于向移动式或固定式的近海工程设施运送专门的备品与货物而设计和建造的供应船，也适用于近海拖曳供应船和拖曳锚作供应船。

11.1.1.2　对于本章无规定者，均应符合本篇第 2 章的有关要求。

11.1.1.3　适用于本章的船型系将起居处所及驾驶室设于首部和具有尾部货物甲板的供应船。

11.1.1.4　拖曳供应船除符合本章要求之外，还应符合本篇第 10 章第 5 节的要求。拖曳供应船在从事拖曳作业时，一般不应装载甲板货。

11.1.2　图纸和资料

11.1.2.1　除本篇第 2 章第 1 节规定的图纸资料外，还应将下列图纸提交批准：

(1)　独立的货物舱(柜)及其固定和支承结构图；

(2)　表示负荷、作用点以及绑扎布置的甲板图；

(3)　拖曳布置图；

(4)　拖缆机、尾缆桩以及锚作供应船的尾滚筒的基座及其支承结构图(其相应的强度计算书提交备查)；

(5)　活动甲板及其可拆部件的存放设施；

(6)　排水布置图；

(7)　护舷材布置（结构）图。

第 2 节　货物围护和其他设施

11.2.1　货物围护

11.2.1.1　甲板货物装载区应设有保护和固定甲板货物的围护设施，一般应设置坚固的内栏杆、搁架或内舷墙，且应固定于已作相应加强的船体结构上。

11.2.1.2　船上应备有合适的固定甲板货物的锁紧和绑扎设备。

11.2.1.3　小舱口(包括逃口)、控制阀、通风筒和空气管等应避开货物围护区，并置于有保护的位置。

11.2.2　门和出入口

11.2.2.1　如有可能，通往机器处所的通道应布置在首楼内。从露天载货甲板进入机器处所的任何出入口应设有两道风雨密关闭装置。通向露天载货甲板以下处所的出入口最好从上层建筑甲板内部或以上位置进入。

11.2.2.2　直接通往开敞货物甲板的门和在开敞货物甲板上的舱口等，在航行中应保持关闭。这些门应有明显的标志，以表明除出入时外应保持关闭状态。

11.2.3　舷窗、方窗和天窗

11.2.3.1　舷窗、方窗和天窗应满足本篇第 1 章第 8 节的相关要求。

11.2.3.2　仅允许在下列位置设置方窗，其余位置均应设置舷窗，见图 11.2.3.2：

(1)　干舷甲板上第 2 层及其以上各层：

①　在甲板室和上层建筑的后端壁上；

②　在非外板部分的甲板室和上层建筑的两侧。

(2)　干舷甲板上第 3 层及其以上各层：

①　在甲板室和上层建筑的前端壁上，但在露天甲板上第 1 层前端壁上只可设置舷窗。

11.2.3.3　应在下列位置设置永久附装的窗盖：

(1)　舷窗：

①　在舷侧外板上；

②　在上层建筑和甲板室的前端壁上；

③　在干舷甲板以上直至第 3 层(包括第 3 层)甲板室和上层建筑的两侧；

④　在干舷甲板上第 1 层和第 2 层的上层建筑，甲板室、围壁和升降口围罩的后端壁上。

(2)　方窗：

①　在干舷甲板上第 2 和第 3 层的甲板室和上层建筑的两侧；

②　在干舷甲板上第 2 层的上层建筑、甲板室、围壁和升降口围罩的后端壁上。

11.2.3.4　在干舷甲板上第 2 层及其以上各层的方窗，如设有进行关窗的安全通道，则可以铰链式风暴盖以替代窗盖。

11.2.3.5　驾驶室前端壁的方窗应设置窗盖或风暴盖。应为风暴盖的使用提供方便和安全的通道设施(例如：带栏杆的通道)。窗盖或风暴盖也可以是活动式的，只要它们存放在方窗的邻近可以快速装上。至少有两个窗盖或风暴盖具有可提供清晰视域的手段。

11.2.3.6　舷窗的窗盖和本节 11.2.3.4 及 11.2.3.5 未提及的方窗的窗口盖应是内铰链式的。

11.2.3.7　方窗的钢化安全玻璃厚度应不小于下式计算所得，且最小不低于 10mm。

$$t = b\sqrt{\varphi\beta\eta h} \qquad \text{mm}$$

式中：φ —系数，对于前端壁取 2，侧壁和后端壁取 1.2；

η —系数，对第 4 层及以上的前端壁和侧壁取 223，对第 4 层及以上的后端壁取 125，其他情况取 500；

h —方窗设计压头，按第 2 章第 17 节 2.17.2 计算；

β —系数，按下式计算：

$$\beta = 0.54A_R - 0.078A_R^2 - 0.17 \quad \text{对 } A_R \le 3.6$$

$$= 0.7645 \quad \text{对 } A_R > 3.6$$

其中：A_R —方窗长宽比因子，按下式计算：

$$A_R = a / b$$

a —方窗长边长，m；

b —方窗短边长，m。

11.2.3.8　如装有天窗，则天窗的结构应牢固，天窗的围板高度，当其位于开敞的干舷甲板、后升高甲板和首垂线起 $L/4$ 以前的开敞上层建筑甲板上时，应为 600mm，当其位于距首垂线 $L/4$ 以后的开敞上层建筑甲板时，应为 450mm。天窗的玻璃厚度应与相同位置的舷窗或方窗玻璃厚度相同。天窗应装有坚固的风暴盖。

11.2.3.9　对于层压钢化安全玻璃，其等效厚度应不小于 11.2.3.7 计算所得之值。等效厚度按下式计算，且单层玻璃的厚度应不小于 4mm。

$$t_e = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} t_i^2}$$

式中：n —玻璃层数；

t_i —第 i 层玻璃的厚度。

11.2.4　空气管、通风筒和排水舷口

11.2.4.1　位于露天货物甲板和首楼甲板上的空气管应设有自动关闭装置。

11.2.4.2　机舱通风筒应布置在上层建筑甲板以上，如无上层建筑甲板时，则应布置在

与上层建筑甲板相当的高度上。

11.2.4.3　在货物甲板舷墙上的排水舷口，其面积应较本篇 1.8.6.2 的要求作适当的增加，其分布应确保最有效地排除甲板货内的积水和首楼后端壁处凹入处所内的积水。

对于航行在容易发生冰冻区域的船舶，在排水舷口处不应设置挡板。

11.2.4.4　柴油机排气口应位于甲板以上尽可能高的位置，且应设火星熄灭器。

第 3 节　外板和甲板

11.3.1　外板

11.3.1.1　舷侧外板厚度应符合本篇第 2 章第 3 节的有关要求，但应不小于 9mm。

11.3.1.2　锚作供应船直接与重型带缆桩相邻的船尾滚筒处外板及其他高负荷区的外板应作局部增厚。

11.3.2　甲板

11.3.2.1　甲板板的最小厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.025L+7 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

对于载货区域的货物甲板厚度 t 还应不小于按下式计算所得之值：

$$t=4.8s\sqrt{hK}+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——横梁或纵骨间距，m；

h——实际的甲板计算压头，m，但不小于 3.5m，$h=0.14p$，其中 p 为甲板负荷，kPa；

K——材料系数。

11.3.2.2　供应船接近尾部的甲板以及受集中载荷作用的甲板应作局部增厚。

第 4 节　船体骨架

11.4.1　甲板骨架

11.4.1.1　货物甲板的构件尺寸应适应设计的负荷，但在任何情况下其计算压头均应不小于 3.5m。

11.4.1.2　特定的货物可能引起集中载荷时，应相应增加构件尺寸。

11.4.2　舷侧骨架

11.4.2.1　水线以上的舷侧部分应设置护舷材，其厚度可取舷侧外板的厚度。护舷材内应设置加强筋。如不设置护舷材，甲板以下至少 600㎜ 以内的外板厚度应增加 5㎜。

11.4.2.2　主肋骨和甲板间肋骨的剖面模数应较本篇第 2 章第 7 节有关要求增大 25%。肋骨上不应开焊接扇形孔。

11.4.3　船底骨架

11.4.3.1　尾部船底平坦部分应作适当加强。

第 5 节　上层建筑和甲板室

11.5.1　构件尺寸

11.5.1.1　上层建筑肋骨剖面模数应较本篇第 2 章第 7 节的有关要求增大 25%。其端壁构件尺寸应不小于本节表 11.5.1.2 的有关要求。

11.5.1.2　位于首楼甲板上的各层甲板室的构件尺寸应符合表 11.5.1.2 的要求。

甲板室板厚、扶强材剖面模数及扶强材腹板高度　　表 **11.5.1.2**

位 置	板 厚 t(mm)	扶强材剖面模数 W (cm^3)	扶强材高度 (mm)
前 端 壁	12s 或 8.0，取大者	34sl^2	不小于 100
侧 壁	10s 或 6.5，取大者	27sl^2	不小于 75
后 端 壁	8s 或 6.5，取大者	27sl^2	不小于 65

注：表中 s 和 l 分别为扶强材间距和跨距，m。

11.5.2　端部连接

11.5.2.1　上层建筑和甲板室扶强材两端应用肘板连接或采用其他等效措施。

第 12 章　驳　　船

第 1 节　一般规定

12.1.1　**适用范围**

12.1.1.1　本章定义的驳船是指无自航能力、依靠他船顶推和拖曳航行的船舶。包括下述类型：

(1)　货舱内装载一般干货的驳船；

(2)　货舱内装载货油的驳船；

(3)　载驳船上的船载驳，且货舱内装载一般干货；

(4)　为在甲板上装载货物而专门设计的箱形驳；

(5)　专用于海洋工程导管架结构的运输，在导管架下水作业时采用尾倾方式将导管架滑入水中的驳船；

(6)　货舱内装载化学品的驳船；

(7)　货舱内装载液化气体的驳船。

12.1.1.2　对于本章无规定者，货舱内装载散装货油的驳船应根据其结构形式符合本篇第 5 章或第 6 章的有关要求；货舱内装载化学品的驳船应根据其结构形式符合 CCS《散装运输危险液体化学品船舶构造与设备规范》第 2 篇第 A4 章的有关要求；货舱内装载液化气体的驳船应根据其结构形式符合 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇附录 1 和附录 2 的有关要求；其他驳船应符合本篇第 2 章的有关要求。

12.1.1.3　对于箱形驳，规范船长 L 为结构吃水处水线总长的 97%。

12.1.2　**图纸资料**

12.1.2.1　除本篇第2章第1节规定的图纸资料外，　下列图纸资料应提交批准；

(1)　与固定甲板货的绑扎等用具相连接的结构和装置的细节；

(2)　拖缆桩及其支承结构的细节；

(3)　顶推驳船应提供全部连接结构与支持布置的详细资料；

(4)　船载驳的纵向强度（强度计算书提交备查）和起吊布置。

12.1.3　**结构布置**

12.1.3.1　甲板上具有大开口的驳船，其甲板骨架和船底骨架一般应采用纵骨架式。

12.1.3.2　驳船应设有一完整地延伸至强力/露天甲板的防撞舱壁，且其位置一般应符合表12.1.3.2的要求。如经破损稳性计算评估，可接受防撞舱壁距首垂线的更大距离。

表 12.1.3.2

船长 L(m)	防撞舱壁距首垂线的距离(m)	
	最小值	最大值
≤150	0.05L	0.05L+4.5
＞150	0.05L 或 10 中之较小者	0.08L

12.1.3.3　当驳船没有固定的船首和船尾，两端的结构和形状相同，则每一端均应设置防撞舱壁。

12.1.3.4　对于顶推驳船，一般在其尾部应设置一道防撞舱壁。

12.1.3.5　水密横舱壁的总数一般应不少于表12.1.3.5的规定。对于船长大于190m的船舶，由直接计算确定。水密横舱壁的布置应注意合理均匀。

水密横舱壁总数　　**表 12.1.3.5**

船长(m)	L≤60	60＜L≤85	85＜L≤105	105＜L≤145	145＜L≤165	165＜L≤190
水密舱壁总数	3	4	5	6	7	8

12.1.3.6　对于箱形驳，一般应按表12.1.3.6的要求设置首尾贯通的纵舱壁，其构件尺寸应按水密纵舱壁的要求计算。纵舱壁应注意合理布置。对于*B*/*D*大于6的箱形驳，由直接计算确定。

纵舱壁总数　　**表 12.1.3.6**

B/*D*	*B*/*D*≤2.5	2.5＜*B*/*D*≤3	3＜*B*/*D*≤4	4＜*B*/*D*≤5	5＜*B*/*D*≤6
纵舱壁总数	0	1	2	3①	3

注：①　中纵舱壁可由纵向桁架代替。

12.1.3.7　对于*B*/*D*≥3的箱形驳，应用直接计算法校核其横向强度(见本章附录1)。

第 2 节　总纵强度

12.2.1　一般要求

12.2.1.1　总纵强度应符合本篇第 2 章第 2 节的有关要求，但有关装载仪的要求不适用于驳船。对于船长小于 100m 的箱形驳，本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1 中系数 C 按下式计算：

$C=0.0016L^2-0.1539L+7.9653$　　当 $L<90m$ 时；

$C=-0.0108L^2+2.1363L-97.714$　　当 $90\le L<100m$ 时。

12.2.1.2　采用吊车进行吊装的船载驳， 应对悬吊满载状态进行总纵强度计算。许用应力规定如下；

许用弯曲应力［σ］=150/*K*　　N/mm^2

许用剪切应力［τ］=100/*K*　　N/mm^2

式中：*K*——材料系数。

12.2.1.3　甲板上具有大开口的驳船，应按本篇第7章进行扭转强度校核。

12.2.1.4　对于箱形驳，如其水密横舱壁和纵舱壁的设置满足本章第1节的结构布置要求，则在应用本篇第2章第2节的总纵强度要求时，尺度比可超出本篇第2章第2节2.2.1.2的规定，但应同时满足下列条件：

$$L/B>3$$
$$B/D\le 6.0$$

12.2.1.5　对于不满足本节 12.2.1.4 条件的箱形驳，一般应采用直接计算法确定，其中，波浪载荷的直接计算见第 2 章 2.2.9。

第 3 节　外板和甲板

12.3.1　一般要求

12.3.1.1　外板和甲板除满足本节的要求外，对于货舱内装载货油的驳船还应符合本篇第6章的有关要求，其他驳船应符合本篇第2章的有关要求。

12.3.2　外板

12.3.2.1　对于每舷有两个舭折角的驳船，舭列板的厚度按船底板厚度公式进行计算。对于具有尖舭折角的驳船，一般不采用折边的形式；若舭折角采用外板折边的形式，则从板的内缘量得的曲率半径应不小于板厚的10倍。当设置圆钢时，其直径应不小于相邻接的较厚板厚度的3倍。若采用焊接的舭折角，则应保证在焊缝断面内能保持外板的厚度。

12.3.2.2　对于船长小于 100m，且无舭部升高的驳船，平板龙骨的厚度按船底板厚度公式进行计算。

12.3.3 **甲板**

12.3.3.1 甲板上具有大开口的驳船， 船中部0.4L区域强力甲板的半剖面积a应不小于按下式计算所得之值：

$$a=\frac{1}{4.3}B(L+30) \quad \text{cm}^2$$

式中：L —— 船长，m；

B —— 船宽，m。

甲板半剖面积系指甲板纵中剖面的一侧，大开口以外的甲板板、甲板纵骨以及甲板纵桁等纵向连续构件的剖面积之和。

12.3.3.2 箱形驳载货部位的甲板厚度还应不小于按下式计算所得之值：

$$t=4.5s\sqrt{hK} \quad \text{mm，但不小于 6mm}$$

式中：s——横梁或纵骨间距，m；

h——计算压头，m；h=0.14p+0.3，其中 p 为设计货物载荷，kPa；

K ——材料系数。

12.3.3.3 当甲板上装载车辆时，甲板板还应满足本篇第 2 章第 21 节的有关要求。

第 4 节 船 体 骨 架

12.4.1 **一般要求**

12.4.1.1 对于货舱内装载干货的驳船，其船体骨架应满足本篇第 2 章的有关要求。对于货舱内装载货油的驳船，其船体骨架应满足本篇第 6 章的有关要求。对于箱形驳，其船体骨架应满足本节的有关要求。

12.4.1.2 在甲板和船底的横向主要构件处应设置强肋骨，使船底、舷侧和甲板的横向主要构件构成横向框架，以加强横向强度。

12.4.1.3 箱形驳一般采用纵骨架式。当采用横骨架式时，应适当设置横向强框架或横向桁架，以加强横向强度。

12.4.1.4 图 12.4.1.4 为箱形驳的纵骨架式结构示意图。

12.4.1.5 图 12.4.1.5 为箱形驳的横骨架式结构示意图。

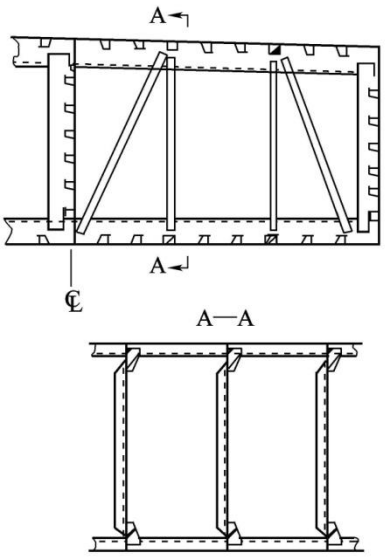


图 12.4.1.4

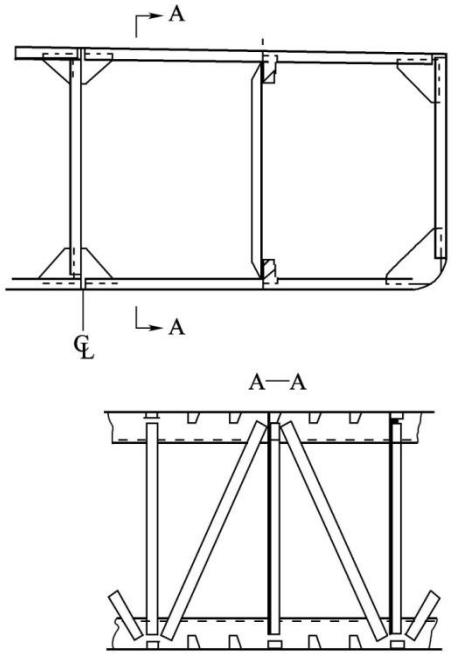


图 12.4.1.5

12.4.2 **箱形驳的船底骨架**

12.4.2.1 横骨架式应在每个肋位处设置船底横向骨材，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=9.5sDl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——船底横向骨材间距，m；

D——型深，m；

l ——船底横向骨材跨距，m；船底横向骨材的支持结构应为舷侧、纵舱壁或船底纵桁；

K ——材料系数。

12.4.2.2 纵骨架式的船底纵骨剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=CsDl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

D——型深，m；

l——纵骨跨距，m；船底纵骨的支持结构应为横舱壁或船底横桁。

C——系数，取为：

C=12，箱形驳的倾斜首端；

C=10.5，其他。

K ——材料系数。

12.4.2.3 船底纵桁(包括纵向桁架的下弦杆)的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=9.5SDl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——船底纵桁所支承面积的平均宽度，m；

D——型深，m；

l ——船底纵桁跨距，m；船底纵桁的支持结构应为横舱壁、桁架的支柱；

K ——材料系数。

12.4.2.4 船底横桁(包括横向桁架的下弦杆)的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=CSDl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——船底横桁所支承面积的平均宽度，m；

D——型深，m；

l——船底横桁跨距，m；船底横桁的支持结构应为舷侧、纵舱壁或桁架的支柱；

C——系数，取为：

C=11，箱形驳的倾斜首端；

C=9.5，其他。

K ——材料系数。

12.4.2.5 船底的主要构件(船底纵桁和船底横桁)应满足下述要求：

(1) 主要构件的腹板高度 h 应不小于次要构件(船底横向骨材和船底纵骨)穿过处切口高度的 2 倍，且应不小于按下式计算所得之值：

$$h=125l \quad \text{mm}$$

式中：l —— 主要构件的跨距，m。

(2) 主要构件的腹板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=h/100+3 \quad \text{mm，且不小于 7mm}$$

式中：h —— 主要构件的腹板高度，mm。

12.4.3 **箱形驳的舷侧骨架**

12.4.3.1 肋骨剖面模数应不小于按下式计算所得之值：

$$W=9.5shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——肋骨间距，m；

l——肋骨跨距，m；

h——计算压头，m；从肋骨跨距中点至甲板边线的垂直距离，但不小于(0.01L+0.7)，其中 L 为船长，m；

K ——材料系数。

12.4.3.2　舷侧纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=Cshl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——舷侧纵骨间距，m；

l——舷侧纵骨跨距，m。

h——计算压头，m；从舷侧纵骨至甲板边线的垂直距离，但不小于(0.01L+0.7)，其中 L 为船长，m；

C——系数，取为：

C=9.0，箱形驳的倾斜首端；

C=8.0，其他。

K ——材料系数。

12.4.3.3　纵骨架式强肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W= C\ Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——强肋骨间距，m；

l——强肋骨跨距，m；

h——计算压头，m；从强肋骨跨距中点至甲板边线的垂直距离，但不小于(0.01L+0.7)，其中 L 为船长，m；

C——系数，取为：

C=9.5，箱形驳的倾斜首端；

C=8.5，其他。

K ——材料系数。

12.4.3.4　纵骨架式强肋骨应满足本节 12.4.2.5 的要求。

12.4.4　箱形驳的甲板骨架

12.4.4.1　横骨架式甲板横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=4.5shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——横梁间距，m；

l——横梁跨距，m；

h——计算压头，m；h=0.14p+0.3，但不小于(0.02L+0.76)，其中 L 为船长，m；p 为设计货物载荷，kPa；

K ——材料系数。

12.4.4.2　纵骨架式甲板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=5shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

l——纵骨跨距，m；

h——计算压头，m；同本节 12.4.4.1；

K ——材料系数。

12.4.4.3　甲板纵桁(包括纵向桁架的上弦杆)的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=5Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——纵桁所支承面积的平均宽度，m；

l——纵桁跨距，m；

h——计算压头，m；同本节 12.4.4.1；

K ——材料系数。

12.4.4.4　甲板强横梁(包括横向桁架的上弦杆)的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=5Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——强横梁所支承面积的平均宽度，m；

l——强横梁跨距，m；

h——计算压头，m；同本节 12.4.4.1；

K ——材料系数。

12.4.4.5　甲板的主要构件(甲板纵桁和甲板强横梁)应满足下述要求：

(1)　主要构件的腹板高度 h 应不小于次要构件(甲板横梁和甲板纵骨)穿过处切口高度的 2 倍，且应不小于按下式计算所得之值：

$$h=58.5l \quad \text{mm}$$

式中：l——主要构件的跨距，m。

(2)　主要构件的腹板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=h/100+3 \quad \text{mm，且不小于 7mm}$$

式中：h——主要构件的腹板高度，mm。

12.4.4.6　当甲板上装载车辆时，甲板骨架还应满足本篇第 2 章第 21 节的有关要求。

12.4.4.7　当甲板上装载集装箱时，集装箱底座应设置在支持构件上，且还应用直接计算法校核甲板骨架的强度。计算载荷取集装箱的静载荷，许用应力如下：

许用正应力［σ］=0.5R_{eH}

许用剪切应力［τ］=0.292 R_{eH}

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2。

12.4.5　箱形驳的桁架结构

12.4.5.1　为了支持船体结构，箱形驳需设置延伸至首尾的纵向桁架或对称横向桁架。

12.4.5.2　桁架由上弦杆、下弦杆、支柱和斜杆组成。

12.4.5.3　纵向桁架的上弦杆为甲板纵桁，下弦杆为船底纵桁。

12.4.5.4　横向桁架的上弦杆为甲板强横梁，下弦杆为船底横桁。

12.4.5.5　支柱应符合本篇第 2 章第 10 节的有关规定，其所受的载荷 P 应取下列公式计算值中的大者：

$$P_1 = pa_1b_1 \quad \text{kN}$$
$$P_2 = 10D\,a_2b_2 \quad \text{kN}$$

式中：p ——设计货物载荷，kPa；

a_1——支柱所支持的甲板面积的平均长度，m；

b_1——支柱所支持的甲板面积的平均宽度，m；

D ——型深，m；

a_2——支柱所支持的船底面积的平均长度，m；

b_2——支柱所支持的船底面积的平均宽度，m；

12.4.5.6　斜杆一般应与水平线成 45°，其剖面积不小于相邻支柱剖面积要求值的 50%。

第 5 节　船端加强

12.5.1　一般要求

12.5.1.1　对于具有普通海船船首形状的驳船，其船端加强应按本篇第 2 章第 15 节的要求。

12.5.1.2　对于首端具有倾斜形状的箱形驳，其船端加强应满足本节的要求。图 12.5.1.2 表示了一种典型的倾斜首端的形式和结构布置。

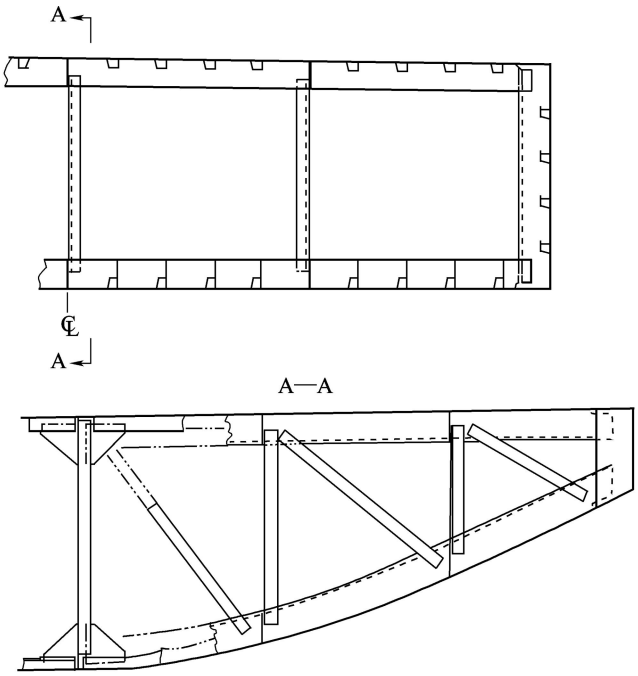


图 12.5.1.2

12.5.2 **倾斜首端的结构要求**

12.5.2.1 倾斜首端的结构要求适用于从船首向后至船底平面部分和倾斜部分交接点的垂直面处。如果防撞舱壁在该垂直面的后面，则倾斜首端的结构要求应适用于从船首向后至防撞舱壁处。

12.5.2.2 船底纵骨的跨距不应超过 2.5m。船底纵骨可由横舱壁或船底横桁支持。

12.5.2.3 船底横向骨材的跨距不应超过 2.5m。船底横向骨材可由纵舱壁或船底纵桁支持。

12.5.2.4 主要构件的尺度除应满足本章第 4 节对箱形驳的有关要求外，还应满足下述要求：

(1) 通常，主要构件的腹板高度不应小于次要构件穿过处切口高度的 2.5 倍。

(2) 主要构件的腹板高度 h 应不小于按下式计算所得之值：

$$h=Cl \quad \text{mm}$$

式中：l——主要构件的跨距，m；

C——系数，按下列选取：

对于甲板强横梁：83.5；

对于舷侧强肋骨：125；

对于船底横桁：156。

12.5.2.5 船底板的厚度应一直保持到夏季载重水线，由该点向上至载重水线以上 1m 处，板厚可逐步减至舷侧外板的要求。

12.5.3 **船首底部的砰击加强**

12.5.3.1 船首底部的砰击加强应符合本篇第 2 章第 15 节 2.15.3 的要求。

12.5.3.2 如箱形驳的拖曳或顶推航速小于 10kn，最小首吃水≥0.01L（L 为船长，m），可免除本篇第 2 章第 15 节船首底部加强的规定。

附录 1　箱形驳船横向强度校核方法

1　一般规定

1.1　适用范围

1.1.1　本方法仅适用于按照本篇第 12 章第 12.1.3.7 条要求规定应进行的箱形驳船横向强度校核。

1.1.2　本方法不适用集中载荷(如大型基座、重型载运件支座及其支撑)作用下的局部结构强度评估。

2　载　荷

2.1　载荷类型

2.1.1　横向强度的计算工况仅考虑甲板最大许用载荷和舷外水压力的作用。不考虑船体梁弯矩(包括垂向和水平)的作用。

2.1.2　舷外水压力载荷由静水压力和波浪水动压力两部分组成：

在基线处：$P_B = 10d \pm 1.5C$　　kN/m^2

在水线处：$P_w = \pm 3C$　　kN/m^2

在舷侧顶端处：$P_s = 3P_0$　　kN/m^2

式中：C ——见第 2 章第 2 节 2.2.3.1。

d ——吃水，m；

P_0——按下式计算：

$$P_0 = C - 0.67(D - d) \quad \text{kN/m}^2$$

D ——型深，m。

为考虑横浪作用沿船长局部范围内产生的效果，在计算工况中采用施加于两舷的不对称舷外水压力来模拟。其中一舷侧受到静水压力和波浪动压力的叠加作用，另一舷侧受到静水压力和反向动波浪压力的叠加作用，但计算值小于零时取零计入。

载荷作用分布情况见图 2.1.2 所示。

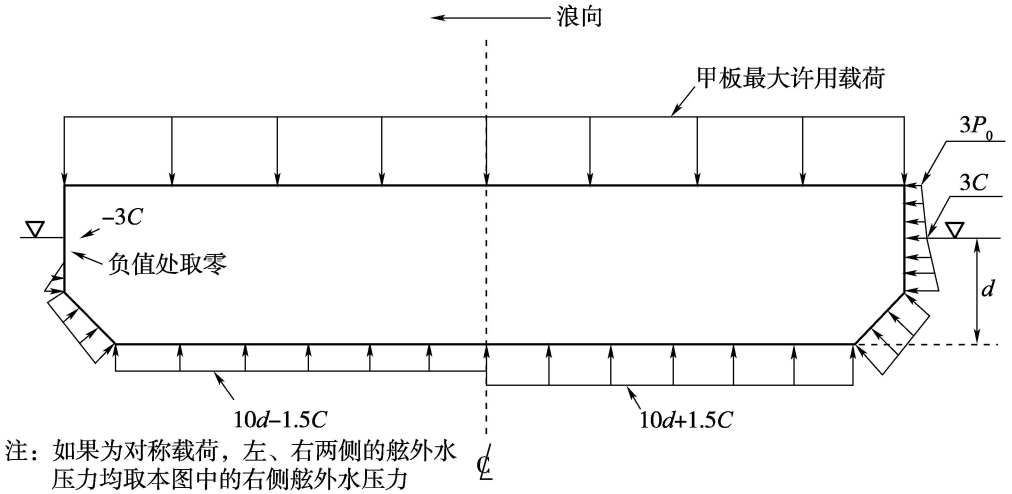


图 2.1.2

2.1.3　对于计算工况，考虑下列两种情况：

(1)　对称工况：甲板最大许用载荷 + 舷外静水压力 + 由外向内作用的两舷对称受压的波浪动压力；

(2)　非对称工况：甲板最大许用载荷 + 舷外静水压力 + 一舷由外向内、另一舷由内向外作用的反对称波浪动压力。

2.1.4　对于仅航行于有限航区的箱形驳船，按 2.1.2 计算时所用的 C 值可按以下规定予以折减：

(1)　对近海航区：0.90；

(2)　对沿海航区：0.85；

(3)　对遮蔽航区：0.80。

3　结构模型

3.1　结构模型化

3.1.1　模型范围

(1)　纵向：一般取船中的一个典型舱段作为分析对象，模型的前后端面(端面 A 和端面 B)取在横舱壁处(包括横舱壁)；

(2)　横向：取整个船宽；

(3)　垂向：取整个型深。

见图 3.1.1

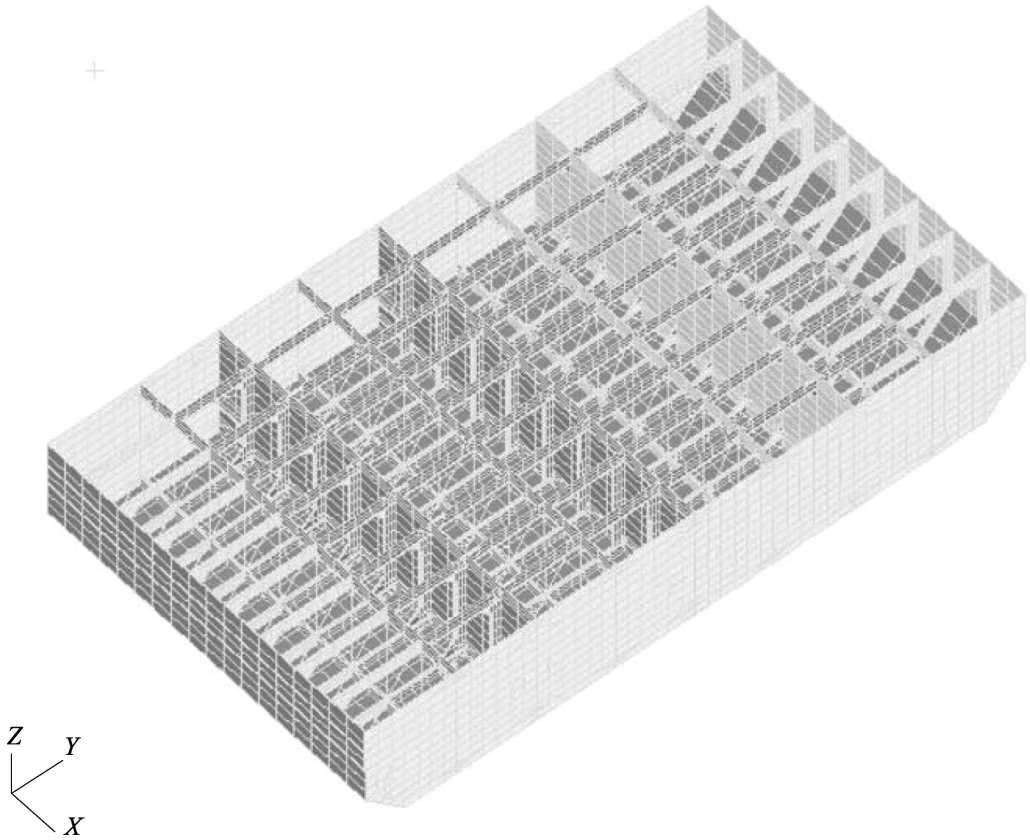


图 3.1.1　模型范围(图中隐去甲板)

3.1.2　模型单元及网格尺寸

3.1.2.1　模型单元和网格尺寸按一般舱段有限元模型的规定，见本篇第 1 章第 5 节 1.5.6。

3.1.2.2　对于横向桁架的斜撑杆，一般用杆单元模拟。

3.1.3　边界条件

3.1.3.1　模型前后两端横舱壁边缘上所有节点均约束 3 个线位移，见图 3.1.3.1。

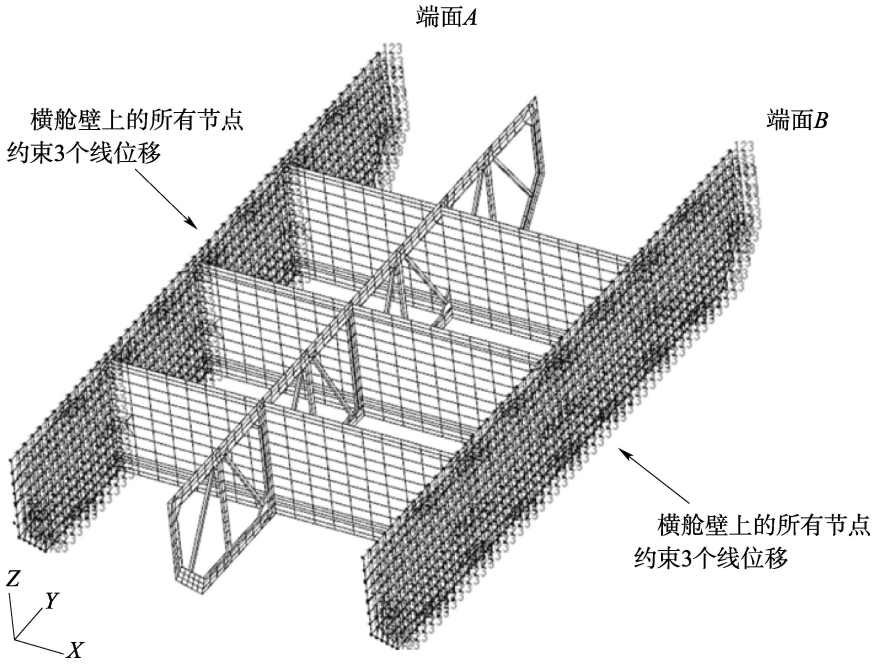


图 3.1.3.1　模型边界条件

4　强度评估

4.1　一般要求

4.1.1　结果评估

4.1.1.1　有限元的结果评估取值范围应基于模型当中的一个横向强框架，见图 4.1.1.1。

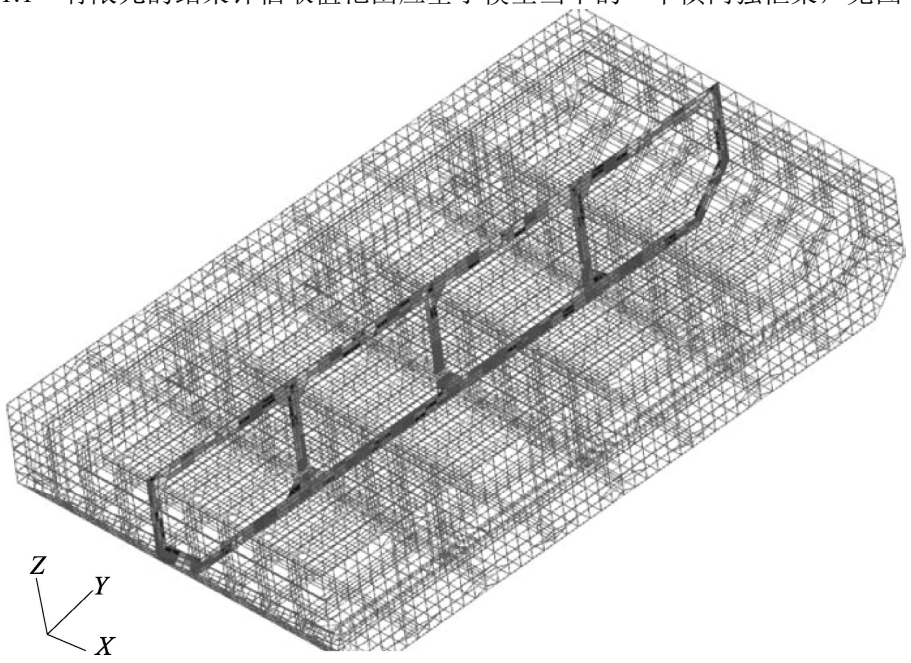


图 4.1.1.1

4.1.1.2　对于肋板和横梁腹板，其剪应力可取腹板总高度的平均剪应力作为计算的剪应力值。

4.2　屈服强度评估

4.2.1　强度衡准

4.2.1.1　各个工况下，各构件的计算应力应不大于表 4.2.1.1(1)和表 4.2.1.1(2)中规定的相应许用应力值。

板单元　　**表 4.2.1.1(1)**

构件	$[\sigma_e]$	$[\tau]$
强肋骨腹板、纵舱壁垂直桁腹板	170/K	—
甲板横梁腹板、船底肋板	170/K	90/K

梁单元和杆单元　　**表 4.2.1.1(2)**

构件	$[\sigma_{rod}]$
模拟横框架强构件腹板上面板的梁单元或设置在横向构件上的梁	170/K
横向桁架撑杆	141/K

表中：σ_e　——板单元相当应力(即 Von Mises 应力)，N/mm^2；

$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$　，该值基于单元形心处的膜应力；

σ_x　——单元 X 方向的应力，N/mm^2；

σ_y　——单元 Y 方向的应力，N/mm^2；

τ_{xy}　——单元 XY 平面的剪切应力，N/mm^2；

τ　——基于腹板总高度的平均剪应力，N/mm^2；

σ_{rod}　——杆单元的轴向应力或梁单元的正应力(不包括弯曲应力成分)，N/mm^2；

K　——材料系数。

第 13 章　起 重 船

第 1 节　一般规定

13.1.1　适用范围

13.1.1.1　本章适用于甲板与船底均为纵骨架式的单甲板起重船。

13.1.1.2　本章也适用于打捞船和打桩船。

13.1.1.3　对于本章无规定者，均应符合本篇第 2 章的有关要求。

13.1.2　定义

13.1.2.1　船首与船尾：非自航起重船船首与船尾的称谓，依其所处的状态不同而不同，在调遣时与一般船舶的规定相同，即将前进方向的船体的前端称为船首，相应另一端称为船尾。在调遣以外的其他状态，则将安装有起重臂的一端称为船首，相应另一端称为船尾。

13.1.3　布置和结构

13.1.3.1　船体纵向连续构件，应尽可能自首至尾连续设置。

13.1.3.2　全船应设置 2 道或 2 道以上首尾贯通的纵舱壁(或纵向桁架)。

13.1.3.3　在首部与尾部适当位置应各设 1 道水密横舱壁。中部对于船长不超过 50m 的船舶应至少设一道水密横舱壁，对于船长超过 50m 的船舶应至少设 2 道水密横舱壁，水密横舱壁的布置应注意合理均匀。

13.1.3.4　起重机支持结构处，应设置纵横支承舱壁或具有足够强度和刚度的其他有效结构。这种加强结构应能有效地传递应力。该处的甲板应予以增厚或设置复板。复板的厚度应不小于该处的甲板厚度。其他甲板机械及较大荷重作用处的船体结构应作局部加强。

第 2 节　总纵强度

13.2.1　一般要求

13.2.1.1　总纵强度要求应符合本篇第2章第2节的有关规定。应计及调迁和起重工况。

13.2.1.2　对于扒杆式起重船，如起重工况计算所得的静水弯矩为中垂弯距，则还应加上由船舶最大起吊荷重传递到船体上的最大水平分力所产生的附加弯矩(中垂弯矩)。

13.2.1.3　对于起重工况，波浪弯矩和波浪剪力可根据预定的作业水域按本篇第 1 章第 7 节确定。

第 3 节　外　　板

13.3.1　最小厚度

13.3.1.1　外板的最小厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.044L+5.6 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

13.3.2　船底板

13.3.2.1　船中部 0.5L 范围内的船底板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=1.32s\sqrt{LK}+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——纵骨间距，m；

L——船长，m；

K——材料系数。

13.3.3　舷侧外板

13.3.3.1　船中部 0.5L 范围内的舷侧外板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=1.27s\sqrt{LK}+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——骨材间距，m；

L——船长，m；

K——材料系数。

第 4 节　甲　　板

13.4.1　甲板厚度

13.4.1.1　船中部 0.5L 范围内的强力甲板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 8.75s\sqrt{K} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——纵骨间距，m；

K——材料系数。

13.4.1.2　上述区域以外的强力甲板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 7.13s\sqrt{K} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——纵骨间距，m；

K——材料系数。

13.4.1.3　载货部位的甲板厚度还应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 4.5s\sqrt{hK} \qquad \text{mm，但不小于 6mm}$$

式中：s——横梁或纵骨间距，m；

h——计算压头，m；$h = 0.14p + 0.3$，其中 p 为设计货物载荷，kPa；

K——材料系数。

第 5 节　单 层 底

13.5.1　中内龙骨

13.5.1.1　起重船应设置中内龙骨，并在中内龙骨两侧设置间距不超过 2.5m 的旁内龙骨。

13.5.1.2　中内龙骨腹板的厚度 t 与面板剖面积 A 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t=0.065L+5 \quad \text{mm}$$
$$A=0.60L+9 \quad \text{cm}^2$$

式中：L——船长，m。

13.5.2　旁内龙骨

13.5.2.1　旁内龙骨腹板的厚度 t 与面板剖面积 A 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t=0.065L+5 \quad \text{mm}$$
$$A=0.24L+10 \quad \text{cm}^2$$

式中：L——船长，m。

13.5.3　实肋板

13.5.3.1　实肋板的间距应不超过 2.5m。

13.5.3.2　实肋板的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 4Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——肋板间距，m；

K——材料系数；

h——计算压头，m，取 d 或 0.66D 中的大值(d 与 D 分别为吃水与型深，m)；

l——肋板跨距，m。

13.5.3.3　肋板腹板的高度 h 应不小于按下式计算所得之值，且应大于纵骨通过处开口高度的 2.5 倍：

$$h=60\,l_1 \quad \text{mm}$$

式中：l_1——纵舱壁之间或纵舱壁与舷侧之间的水平距离，m。

13.5.4 **船底纵骨**

13.5.4.1 船底纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 11.90shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

K——材料系数；

h——计算压头，m，取 d 或 $0.66D$ 中的大值(d 与 D 分别为吃水与型深，m)；

l ——纵骨跨距，m。

第 6 节 双 层 底

13.6.1 **一般要求**

13.6.1.1 设置双层底时，双层底的高度 h 由下式确定，且应不小于 700mm：

$$h=b/18 \quad \text{mm}$$

式中：b——纵舱壁(或纵桁架)之间的水平距离，mm。

13.6.1.2 机舱区域内的中桁材、旁桁材、实肋板与内底板的厚度，应按本节以下有关各式计算所得之值分别增加 2mm。

13.6.2 **中桁材**

13.6.2.1 中桁材的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.05L+4 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

13.6.3 **旁桁材**

13.6.3.1 旁桁材的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.60\sqrt{L}+2 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

13.6.4 **实肋板**

13.6.4.1 实肋板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.60\sqrt{L}+2 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

13.6.5 **内底板**

13.6.5.1 内底板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 0.67s\sqrt{LK} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s——内底纵骨间距，m；

K——材料系数；

L——船长，m。

13.6.6 **纵骨**

13.6.6.1 船底纵骨剖面模数按本章 13.5.4.1 计算。

13.6.6.2 内底纵骨剖面模数为船底纵骨剖面模数的 85%。

第 7 节　舷侧骨架

13.7.1　强肋骨

13.7.1.1　强肋骨应设置在实肋板的平面内，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 9.5Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——强肋骨间距，m；

K——材料系数；

h——从强肋骨跨距中点到上甲板边线的垂直距离，m；

l ——强肋骨跨距，m。

13.7.1.2　强肋骨腹板的高度 h 应不小于按下式计算所得之值，且应大于纵骨穿过处开口高度的 2 倍：

$$h=100l \quad \text{mm}$$

式中：l——强肋骨跨距，m。

第 8 节　强力甲板骨架

13.8.1　强力甲板载荷

13.8.1.1　强力甲板计算压头 h 按表 13.8.1.1 选取。

计算压头 *h*　　**表 13.8.1.1**

类　别	纵　骨	纵桁与强横梁	支　柱
计算压头 h(m)	$0.02L+0.76$	$0.085L-1.04(D-d)$	$0.098L-1.1(D-d)$

注：表中 L 为船长，m；D 为型深，m；d 为吃水，m。

13.8.1.2　甲板上载有负荷时，计算压头应取 $0.14p$，m，但应不小于表 13.8.1.1 中相应的计算压头 h 值，其中 p 为设计载荷，kPa。

13.8.2　甲板纵桁

13.8.2.1　甲板纵桁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 3.5bhl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：b——甲板纵桁支承面积的平均宽度，m；

K——材料系数；

l ——甲板纵桁的跨距，m；

h——甲板计算压头，m；见本节 13.8.1。

13.8.3　强横梁

13.8.3.1　强横梁应设置在强肋骨的平面内，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 3.9Shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——强横梁间距，m；

K——材料系数；

l ——强横梁跨距，m；

h——甲板计算压头，m，见本节 13.8.1。

13.8.3.2　强横梁腹板的高度应不小于纵骨通过处开口高度的 2 倍。

13.8.4　甲板纵骨

13.8.4.1　甲板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 8.5shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

K——材料系数；

h——甲板计算压头，m，见本节 13.8.1；

l ——纵骨跨距，m。

第 9 节　支柱与桁架

13.9.1　支柱

13.9.1.1 支柱应符合本篇第 2 章第 10 节的有关规定，但强力甲板下的支柱的计算压头 h 值，按本章 13.8.1 确定。

13.9.2　纵向桁架

13.9.2.1　纵向桁架由甲板纵桁、内龙骨、支柱与斜撑杆组成。

13.9.2.2　纵向桁架支柱的剖面积应符合本篇第 2 章第 10 节的要求。

13.9.2.3　桁架斜撑杆：

(1)　桁架斜撑杆的倾角为 45°左右。

(2)　桁架斜撑杆的剖面积应不小于按本篇第 2 章第 10 节计算所得的支柱剖面积的一半，同时撑杆长度与撑杆的剖面最小惯性半径之比应不大于 120。

第 14 章　挖 泥 船

第 1 节　一般规定

14.1.1　适用范围

14.1.1.1　本章适用于单层甲板自航与非自航的钢质挖泥船，包括：

(1)　耙吸式挖泥船；
(2)　绞吸/斗轮式挖泥船；
(3)　链斗式挖泥船；
(4)　抓斗式挖泥船；
(5)　泥驳；
(6)　吹泥船；
(7)　对开式挖泥船；
(8)　对开式泥驳。

铲斗式挖泥船可参照本章规定并作适当加强。

14.1.1.2　本章无规定者均按本篇第 2 章的要求。

14.1.1.3　本章规定适用于下列主尺度比值范围的挖泥船：

有泥舱的挖泥船　$B/D \leqslant 3$
其他类型挖泥船　$B/D \leqslant 5$

超出上述规定者，应用直接计算法校核其横向强度。

14.1.2　图纸资料

14.1.2.1　除本篇第 2 章第 1 节规定的图纸资料外，适用时还应将下列图纸资料提交批准：

(1)　泥舱、泵舱、挖泥机械舱和开槽的剖面图；
(2)　泥舱舱壁和开槽舱壁(包括斜底部分结构)及其连接区域；
(3)　泥舱舱壁和开槽舱壁(包括斜底部分结构)的过渡布置图；
(4)　拆除和再装配挖泥设备用专门布置图(如在航行期间将挖泥设备收藏起来时)；
(5)　挖泥设备(对主船体结构有直接影响者)的支撑/基座结构图；
(6)　对开式泥驳和对开式挖泥船：
　①　液压装置连接件的结构图；
　②　甲板铰链图、甲板室铰链图(其相应的强度计算书提交备查)；
　③　铰链与船体结构的连接图；
　④　液压装置连接件与船体结构的连接图；
　⑤　船底平面和甲板平面的纵向承压板图；
　⑥　甲板室纵向承压板及其与船体结构的连接图；
　⑦　横向承压板图。

14.1.2.2　应将下列图纸资料提交备查(如适用)：

(1)　挖泥设备布置图(含挖泥设备的设计载荷)。

14.1.3　定义

14.1.3.1　**开底泥舱**：在挖泥船和泥驳上能打开舱底泥门，自动卸出挖掘物的泥舱。

14.1.3.2　**箱形龙骨**：在船体中心线上，纵向布置于开底泥舱下部的泥舱区域前后端壁之间的由船底板、泥舱内的侧板以及内部构架组成的箱形结构。

14.1.3.3　**架空横梁**：在甲板开口线内，横跨于泥舱纵舱壁或泥舱舱口围板之间的一种组合梁结构。

14.1.3.4　**架空纵梁**：在甲板开口线内，纵跨于泥舱前后端壁之间的一种组合梁结构。

14.1.3.5　**开槽**：为布置挖泥设备，在挖泥船船体上的凹进部分或阱。

14.1.3.6　**对开泥驳或对开挖泥船**：由沿船体纵向分开的两个独立半体组成，半体通过

设在泥舱前后端壁旁的甲板铰链和液压装置相互连接的泥驳或挖泥船。

第 2 节　总纵强度

14.2.1　一般要求

14.2.1.1　本节规定适用于船长大于等于 65m 的挖泥船和泥驳。对开挖泥船和泥驳总纵强度的规定见本章第 9 节。

14.2.1.2　泥舱纵舱壁、箱形龙骨以及开槽纵壁等连接纵向构件，在其中断处应有良好的过渡，避免剖面突变。

14.2.1.3　对于符合 14.1.1.1 要求的挖泥船和泥驳，可不必校核泥舱处的大开口强度。

14.2.2　船体梁弯曲强度

14.2.2.1　船中剖面模数应符合下列要求：

(1)　船中最小剖面模数 W_o 应不小于按下式计算所得之值：

$$W_0=CL^2B(C_b+0.7)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：C ——系数，按本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1 确定；

L ——船长，m；

B ——船宽，m；

C_b——船舶在设计夏季载重线下的方形系数，但计算取值应不小于 0.6;

K——材料系数。

此 W_0 值一般在船中 0.4L 区域内应保持不变，但如能符合本条(2)要求，船中点以外部分可予降低。

(2)　船中 0.4L 区域内的各横剖面在甲板、龙骨和泥舱舱口围板顶(适用时)处的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$\text{对挖泥工况：}\ W=\frac{M_{sd}+M_w}{[\sigma]}\times 10^3 \qquad \text{cm}^3$$

$$\text{对调迁工况：}\ W=\frac{M_s+M_w}{[\sigma]}\times 10^3 \qquad \text{cm}^3$$

式中：M_{sd}——挖泥作业时静水弯矩，kN·m，按本节 14.2.5.1 确定；

M_s ——调迁时静水弯矩，kN·m，按本节 14.2.5.1 确定；

M_w ——波浪弯矩，kN·m，按本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1 计算，并应符合本篇第 2 章第 2 节 2.2.1.2 相关要求；

$[\sigma]$ ——许用弯曲应力，N/mm^2，按本篇第 2 章第 2 节 2.2.5.4(2)的规定。

14.2.3　船中剖面惯性矩

14.2.3.1　对有泥舱的挖泥船和泥驳，其船中剖面对水平中和轴的惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=3.5W_0L/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：W_0——按本节 14.2.2.1(1)要求的船中剖面模数， cm^3；

L ——船长，m;

K——材料系数。

14.2.4　船体梁剪切强度

14.2.4.1　对有泥舱的挖泥船和泥驳，应进行剪切应力校核。

14.2.4.2　在泥舱前后端壁附近的船体剖面上剪切应力τ应符合下列要求：

$$\text{对挖泥工况：}\ \tau=\frac{\left|F_{sd}+F_w\right|}{2Dt}\leqslant[\tau] \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\text{对调迁工况：}\ \tau=\frac{\left|F_s+F_w\right|}{2Dt}\leqslant[\tau] \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：F_{sd} ——挖泥作业时静水剪力，kN，按本节 14.2.5.1 计算；

F_s ——调迁时静水剪力，kN，按本节 14.2.5.1 计算；

F_w ——波浪剪力，按本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.2 计算，并应符合本篇第 2 章第 2 节 2.2.1.2 相关要求；

D ——型深，m；

t ——舷侧外板和纵舱壁板的平均厚度之和或舷侧外板的平均厚度，mm；

$[\tau]$——同本篇第 2 章第 2 节 2.2.6.2，但当船体为部分采用高强度钢时，$[\tau]$=110 N/mm^2。

若计算所得的切应力大于 $[\tau]$ 时，需加厚舷侧外板。沿船长方向的加强范围应向泥舱端壁外延伸不小于 0.04L(L 为船长，m)。

14.2.5 设计静水弯矩和设计静水剪力

14.2.5.1 应按下列挖泥工况及调迁工况计算船体梁各横剖面的静水弯矩和静水剪力，并考虑出港、到港的影响。

(1) 相应于最大挖泥吃水的最大装载工况；

(2) 对设有几个泥舱的挖泥船，各泥舱不同时卸空时的各种工况；

(3) 吃水至夏季载重水线时的调迁工况；

(4) 如适用，泥舱为空舱时的压载调迁工况；

(5) 较上述工况更为危险的装载工况。

14.2.6 中剖面模数和惯性矩的计算

14.2.6.1 计算中剖面模数和惯性矩时应符合下列规定：

(1) 强力甲板及其以下所有连续的纵向构件，均可计入船中剖面模数和惯性矩；

(2) 连续的舱口围板，若有纵舱壁或高腹板桁材作有效支撑时，可计入 100％的剖面积，否则仅可计入 80％的剖面积；

(3) 架空纵梁两端有良好过渡者，可计入 60％的剖面积；

(4) 箱形龙骨两端有良好过渡者，可计入 85％的剖面积；

(5) 纵桁腹板上的开口大于腹板高度的 20％时，应扣除开口的剖面积。

舷侧溢流口的剖面积一般不予扣除，但应符合本章第 10 节 14.10.3.1 的要求。

第 3 节 外 板

14.3.1 船底板

14.3.1.1 有泥舱的挖泥船和泥驳的船底板厚度应较本篇第 2 章第 3 节 2.3.1.2 和 2.3.1.3 规定增厚 15％。

14.3.2 平板龙骨

14.3.2.1 对在船纵中线上有开槽或有泥门者，应在开槽或泥门开口的两侧设置平板龙骨，每侧平板龙骨的宽度应不小于本篇第 2 章第 3 节 2.3.2.1 规定值的一半。平板龙骨的位置应在进坞布置图上标明。

14.3.2.2 平板龙骨的厚度应较船底板规定值增厚 2mm。

14.3.3 外板开口

14.3.3.1 船底板上泥门开口或开槽的角隅应为椭圆形或圆形，其开口角隅半径与开口宽度之比应不小于 1/10。

14.3.3.2 舷顶列板上一般不应开口，否则应符合本章第 10 节 14.10.3.1 的规定。

14.3.4 局部加强和特别要求

14.3.4.1 连接开底泥舱纵舱壁或开槽围壁的船底板厚度，应较本节规定所得的厚度增加 1mm，其宽度应不小于平板龙骨的宽度。

14.3.4.2 当开底泥舱延伸至船中 0.4L 之外时，船中部外板厚度应向泥舱端壁外延伸 2

档肋距，并逐渐向首尾两端过渡。

14.3.4.3　耙吸式挖泥船的吸管连接区域的外板、绞吸式挖泥船及链斗式挖泥船定位桩处的外板以及开槽的围壁板均应较舷侧外板增厚 2mm。

14.3.4.4　耙吸式挖泥船的耙头与舭部和舷侧相碰擦的区域，应采取加强措施，如加厚板、增设骨材或设置护舷材等。

14.3.4.5　耙吸式挖泥船在舷侧设置凹进舷侧外板的吸泥管开槽时，在船长方向足够长度的范围内，应设导槽包复板。包复板的厚度应不小于舷侧外板厚度，包复板的宽度应能覆盖导槽，导槽包复板在其内侧应以强肋骨和纵桁加强。纵桁的尺寸应足以承受舷侧纵骨传递的载荷，以保持纵向构件的连续性。

14.3.4.6　链斗式挖泥船的开槽宽度应保证在船体最大允许工作倾角下，斗链的悬垂部分不至碰擦槽壁的下缘。

14.3.4.7　链斗式挖泥船连接开槽端壁的船底板厚度应增厚 50%，加厚范围沿船宽方向应不小于开槽宽度的 2 倍，沿船长方向自端壁板起向首尾各延伸至少 2 个肋距。

14.3.4.8　链斗式挖泥船的开槽纵壁板上应设有防止斗桥移动时造成破坏的护材。

第 4 节　甲板及甲板骨架

14.4.1　强力甲板

14.4.1.1　船中强力甲板的厚度除应符合本章第 2 节的要求外，还应较本篇第 2 章第 4 节的有关规定增厚 1mm。

14.4.1.2　对具有封闭式泥舱的挖泥船，在泥舱区域内的甲板厚度应适当增厚。

14.4.2　甲板半剖面积

14.4.2.1　对船长小于 65m 的挖泥船和开底泥驳，中部强力甲板的半剖面积 a 应不小于按下式计算所得之值：

对于方体船：

$$a = C_1 \frac{B}{D} - C_2 D t_1 + C_3 (B - b) t_2 \qquad \text{cm}^2$$

对于开底泥驳：

$$a = C_1 \frac{B}{D} - 1.6 D t_1 - 3.05 D t_3 \qquad \text{cm}^2$$

式中：B——船宽，m；

D——型深，m；

b ——中部船底开槽或开口宽度，m；

t_1 ——按本篇第 2 章第 3 节 2.3.4 规定的舷侧板厚度，mm，对于在船中 0.4L 内具有连续纵舱壁的船，t_1 应计入纵舱壁厚度；

t_2 ——在船中 0.4L 区域内连续的内底板厚度，mm；

t_3 ——连续纵向舱口围板腹板厚度，mm；

$C_1 = 0.065L^2 - L + 9$ (L 为船长)；

C_2、C_3——按表 14.4.2.1 选取。

上述甲板半剖面积系指甲板纵中剖面的一侧，大开口以外的甲板板、甲板边板、甲板纵骨及甲板纵桁等连续纵向构件的剖面积之和。对两端有良好过渡的架空纵梁，其剖面积可计入 60%。

由甲板半剖面积决定的甲板厚度不应作航区折减。

C_2 和 C_3 值　　**表 14.4.2.1**

船舶结构类型	C_2	C_3
船中 0.4L 内无连续纵舱壁的方体船	2.15	0.32

船中 0.4*L* 内有连续纵舱壁的方体船	3.07	0.205

14.4.3 **甲板骨架**

14.4.3.1 边舱甲板为横骨架式时，应在强肋骨位置上设边舱强横梁，其腹板高度应为强肋骨腹板高度的 2/3，其腹板厚度及面板剖面积应与强肋骨相同。

14.4.3.2 对具有封闭式泥舱的挖泥船，泥舱区域内的甲板骨架的剖面模数应较本篇第 2 章第 8 节有关规定增加 10%。

14.4.3.3 对于耙吸式挖泥船，泥舱边舱区的甲板纵骨的剖面模数应较本篇第 2 章第 8 节有关规定增加 20％。

14.4.4 **局部加强**

14.4.4.1 对链斗式挖泥船和铰吸式挖泥船，与开槽围壁板相连接的甲板厚度应增加 1mm，其宽度应不小于平板龙骨的宽度。

14.4.4.2 与重型挖泥机械底座相连接的甲板厚度及骨架的设计应有足够的强度和刚度，必要时应进行局部强度校核，见第 10 节 14.10.6 的规定。

14.4.4.3 对于下列区域的甲板及甲板骨架应予足够加强：

(1) 斗塔和斗桥吊架处；

(2) 绞刀架及其吊架支承处(对用液压起升的绞刀架支承处应有足够的强度和刚度，必要时应进行局部强度校核)；

(3) 支承吸管的吊架处；

(4) 定位桩支承处；

(5) 拖缆桩处；

(6) 绞车座处；

(7) 抓斗吊机处；

(8) 耙吸式挖泥船吸泥管导槽处的甲板边板厚度应增厚 60％，加厚板应至少向导槽两端强肋骨外延伸 1 档肋距；

(9) 其他工作机械区域。

14.4.5 **甲板开口**

14.4.5.1 对于强力甲板上的舱口，其开口角隅应做成椭圆形或圆形；且对于泥舱最前端和最后端的角隅，角隅半径与开口宽度之比应不小于 1/10。对于采用负半径的圆角隅，应经结构强度直接计算予以验证。

第 5 节 船底骨架

14.5.1 **一般要求**

14.5.1.1 泵舱内的船底骨架应按机舱的要求加强。

泵舱内因泥泵布置而使双层底中断的地方，底部构架应作特殊加强。

泥泵底座应不低于本篇第 2 章第 16 节对主机基座的要求。

其他挖泥设备或专用机械的底座，抓斗、铲斗机的底盘和链斗式挖泥船的斗塔等与船底构架连接时，则该构架应作适当加强。

14.5.1.2 船长等于或大于 65m 的耙吸式挖泥船，除泥舱区域外应尽可能地从首尖舱舱壁到尾尖舱舱壁之间设置双层底。

14.5.1.3 双层底的结构应符合本篇第 2 章第 6 节的要求。

对纵骨架式双层底的实肋板间距还应符合本章第 6 节 14.6.2.1 对强肋骨间距的规定。

14.5.1.4 泥舱向两端过渡的船底纵向构件应保持连续性。在双层底区域内泥舱纵舱壁和开槽纵壁的肘板下方应设附加旁桁材。附加旁桁材应从肘板末端起延伸不小于 3 个肋距。

14.5.2 **横骨架式单层底**

14.5.2.1 边舱和开槽两侧区域内应在每个肋位设置实肋板。

实肋板的剖面模数 W、腹板高度 h 和腹板厚度 t 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=(16.4sdl^2+150)K \quad \text{cm}^3$$

$$h=110l \quad \text{mm}$$

$$t=(0.01h+3.5)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：s——肋板间距，m；

K——材料系数；

d——吃水，m；

l——肋板跨距，m，沿肋板面板从外板内缘量至泥舱纵舱壁或开槽侧壁板内缘之距离，$l<0.3B$ 时取 $0.3B$(B 为船宽，m)。

14.5.2.2　舷侧和泥舱侧壁在船底处的间距大于 3.5m 时， 在边舱内应设置旁内龙骨。旁内龙骨的厚度应等于该处肋板的厚度。

14.5.3　纵骨架式单层底

14.5.3.1　船底纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=11.5sdl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s ——纵骨间距，m；

K——材料系数；

d——吃水，m；

l——纵骨跨距，m。

船底纵骨与横舱壁或肋板的连接应符合本篇第 1 章第 2 节 1.2.6 的规定。

14.5.3.2　边舱肋板的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=16.4Sdl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——肋板间距，m；

K——材料系数；

d——吃水，m；

l——肋板跨距，m，沿肋板面板从外板内缘量至泥舱纵舱壁板内缘之距。

边舱肋板腹板高度应不小于其跨距的 1/9，并应不小于纵骨开口高度的 2.5 倍。肋板腹板厚度应不小于肋板高度的 0.01 倍加 4.5mm。

边舱内设有 1 道旁内龙骨时，其肋板剖面模数可减少 5%。

14.5.3.3　设置 2 道纵舱壁的箱形船， 边舱内的肋板应符合本节 14.5.3.2 的要求。

中舱肋板的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=9Sdl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——肋板间距，m；

K——材料系数；

d——吃水，m；

l——中舱肋板跨距，m，为纵舱壁之间的距离。

中舱肋板的剖面模数也应不小于边舱肋板的剖面模数。中舱肋板腹板高度应不小于其跨距的 1/12，并应不小于纵骨开口高度的 2.5 倍。肋板腹板厚度应不小于肋板高度的 0.01 倍加 4.5mm。

14.5.3.4　肋板腹板在船底纵骨位置上应设垂直加强筋，其厚度与肋板腹板等厚， 其宽度为厚度的 8 倍。

14.5.4　横骨架式双层底

14.5.4.1　舷侧与泥舱侧壁在船底处的间距大于 3.5m 时，应在边舱内设置旁桁材， 旁桁材的厚度应等于该区域肋板的厚度。

14.5.5　纵骨架式双层底

14.5.5.1　船底纵骨的剖面模数 W 应不小于本节 14.5.3.1 的规定。

内底纵骨的剖面模数应不小于船底纵骨剖面模数的 85%。

第 6 节　舷侧骨架

14.6.1　横骨架式舷侧骨架

14.6.1.1　开底泥驳的边舱内应尽可能设置舷侧纵桁。

14.6.2　纵骨架式舷侧骨架

14.6.2.1　强肋骨间距应不大于 $0.01L+2.5$m(L 为船长，m)。对耙吸式挖泥船，强肋骨间距还应满足对泥舱强框架间距的要求。

强肋骨剖面模数应按本篇第 2 章第 7 节 2.7.6.2 确定。

当设置符合本节 14.6.3 要求的横撑或斜撑时，则强肋骨剖面模数可减少 50%。

14.6.2.2　强肋骨撑杆处及其他部位应按本篇第 1 章第 2 节 1.2.5.4 规定设置防倾肘板。

14.6.3　横撑和斜撑

14.6.3.1　边舱内设置横撑或斜撑时，撑杆面积 A 和惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$A=(1.5abh+10)K \qquad \text{cm}^2$$

$$I=3Al^2/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：a——撑杆间距，m；

b——撑杆支撑宽度，m，为与撑杆相交的肋骨上下长度总和的一半；

K——材料系数；

h——计算压头，m，从支撑点量到空气管顶的距离；

l——包括肘板在内的撑杆长度，m。

第 7 节　坐底作业加强

14.7.1　适用范围

14.7.1.1　如挖泥船需坐底作业或在使用期间允许搁浅时，则其船底结构应符合本节的要求。

14.7.2　船底结构加强

14.7.2.1　船底板厚度应较本篇第 2 章第 3 节 2.3.1.2 和 2.3.1.3 规定增厚 20%。

14.7.2.2　横骨架式单层底结构应作下列加强：

(1)　肋板腹板上应设垂直加强筋，其间距应不大于 1.25m；

(2)　旁内龙骨的间距应不大于 2.2m，并应设置腹板尺寸为 100mm×10mm 的中间球扁钢纵骨或相当的构件。

14.7.2.3　纵骨架式单层底结构应作下列加强：

(1)　肋板间距一般应不大于 3 个肋距，并采用与船底纵骨等间距的垂直加强筋加强，加强筋的板厚与肋板板厚相同；

(2)　旁内龙骨间距应不大于 3 个船底纵骨间距；

(3)　在船底纵骨跨距中间应设置间断的横向骨材。

14.7.2.4　横骨架式双层底结构应作下列加强：

(1)　每个肋位处应设实肋板，实肋板上的垂直加强筋的间距一般应不大于 1.25m；

(2)　旁桁材间距应不大于 2.2m，并在船底纵桁间距中间应设置船底纵骨，其纵骨的剖面模数参照本篇第 2 章第 6 节 2.6.12.2 选取。

14.7.2.5　纵骨架式双层底结构应作下列加强：

(1)　实肋板间距一般应不大于 3 个肋距，并采用与船底纵骨等间距的垂直加强筋加强，加强筋的板厚与肋板板厚相同；

(2)　旁桁材的间距一般应不大于 4 个船底纵骨间距；

(3)　在船底纵骨跨距中间应设置间断的横向骨材。

第 8 节　泥　　舱

14.8.1　**适用范围**

14.8.1.1　本节船底骨架要求适用于箱形结构的单层底泥舱。

14.8.2　**箱形龙骨**

14.8.2.1　箱形龙骨侧板厚度和扶强材剖面模数应符合本节对泥舱舱壁的有关规定。箱形龙骨在泥舱肋板处及支柱下端应予适当加强。

14.8.2.2　箱形龙骨在泥舱端壁处中断时，应设置长度不小于 2 个肋距的过渡肘板或采用其他有效措施，以保证箱形龙骨的良好过渡。

14.8.2.3　箱形龙骨在泥舱肋板平面内应设置强框架，以保证船宽范围内横向强度的连续性。

14.8.3　**泥舱肋板**

14.8.3.1　泥舱肋板高度应不小于 0.13B(B 为船宽，m)。平板肋板的间距应不大于 4.5m，箱形肋板的中心间距一般应不大于 6m。当箱形肋板的中心间距大于 6m 时，其高度应相应增加。

14.8.3.2　平板肋板的腹板厚度应不小于本章第 3 节 14.3.1.1 的规定值。肋板腹板扣除开孔后的净剖面积 A，在距肋板跨距端点等于肋板高度一半的长度范围内，应不小于按下式计算所得之值：

$$A = 0.93(h_1 Sl - \alpha s_0 h_1 - \rho f S + 0.102P')K \qquad \text{cm}^2$$

式中：S——肋板间距，m；

K——材料系数；

l ——肋板跨距，m，在泥舱纵舱壁之间沿肋板的上缘与下缘量得的距离的平均值；

$h_1=\rho(D+h_f)-d+1.25$，m，当 $h_1<d$ 时，取 d；

ρ ——泥浆密度，t/m^3，同本节 14.8.4.2；

D——型深，m；

h_f——溢流闸液面至甲板边线的垂直距离，m，当溢流闸液面位于甲板边线以下时，h_f 为负值；

d ——吃水，m；

s_o——泥门面积，m^2；

f ——箱形龙骨横剖面面积，m^2；

P'——在一个肋板间距内的支柱负荷，kN，按本节 14.8.8.2 计算；

α ——系数：

对柱塞式泥门，　$\alpha=2$；

对铰链式泥门，　$\alpha=1$；

对抽斗式泥门，　$\alpha=0$。

在其他范围内，其净剖面积 A 可减少 20%。

14.8.3.3　平板肋板腹板上应设垂直加强筋，加强筋的间距应不大于 80t(t 为肋板腹板厚度，mm)，加强筋的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 40slK \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——加强筋间距，m；

K——材料系数；

l——加强筋跨距，m。

肋板上缘应用扁钢或型材予以加强。

14.8.3.4　箱形肋板的侧板厚度和扶强材剖面模数应符合本节对泥舱舱壁的有关规定。

14.8.4　**泥舱舱壁**

14.8.4.1　泥舱两端和开槽端部应设置横贯两舷的水密横舱壁。

泥舱纵舱壁两端应用上下肘板向外延伸。上肘板应与甲板纵桁或强框架连接，下肘板应与旁内龙骨或旁桁材连接，延伸长度应不小于 2 个肋距，肘板高度应不小于 1/4 舱深。

14.8.4.2　泥舱舱壁板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值，且应不小于 8mm 或当采用抓斗装卸时不小于 10mm：

$$t = 3.95s\sqrt{\rho hK} + 2.5 \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

K——材料系数；

ρ ——泥浆密度，t/m^3，$\rho=P/V$；

P ——在最大作业吃水下泥舱内最大载泥质量，t；

V ——到最高的溢流口为止的泥舱舱容，m^3；

h ——由舱壁列板下缘量至最高溢流闸液面的垂直距离，若不设溢流口，则应量至泥舱舱口围板上缘的垂直距离，m。

14.8.4.3　泥舱舱壁最下列板在距船底 0.1D 高度范围内的板厚，应不小于该处船底板的厚度，D 为型深。

14.8.4.4　对泥舱舱壁的易磨损区域，设计时可考虑增加 2mm 的板厚磨耗余量。

14.8.4.5　泥舱舱壁扶强材的剖面模数 W 及剖面惯性矩 I，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 8s\rho hl^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$I = 2.3Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：s——扶强材间距，m；

K——材料系数；

ρ——泥浆密度，t/m^3，同本节 14.8.4.2；

h——由扶强材跨距中点量至最高溢流闸液面的垂直距离，若不设溢流口，则应量至泥舱舱口围板上缘的垂直距离，m；

l——扶强材跨距，m，如设有桁材，为扶强材末端与桁材之间或桁材与桁材之间的距离。

当设水平扶强材时，最上面两根扶强材的尺寸应与甲板下第 3 根扶强材的尺寸相同。

扶强材端部应用肘板连接，肘板尺寸按本篇第 1 章第 2 节 1.2.6 的规定确定。

14.8.4.6　泥舱舱壁桁材的剖面模数 W 及剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 11.7b\rho hl^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$I = 2.5Wl/K \qquad \text{cm}^4$$

式中：b——桁材支承面积的宽度，m；

K——材料系数；

ρ——泥浆密度，t/m^3，同本节 14.8.4.2；

h——由桁材跨距中点量至溢流闸液面的垂直距离；若不设溢流口，则应量至泥舱舱口围板上缘的垂直距离，m；

l——桁材跨距，m。

当设有符合本章第 6 节 14.6.3 要求的撑杆时，泥舱舱壁桁材的剖面模数可减少 50%。

14.8.4.7　泥舱舱壁桁材腹板高度应不小于舱壁扶强材穿过处开口高度的 2.5 倍，面板宽度应不大于腹板高度和面板厚度 35 倍中的小值。

14.8.4.8　泥舱舱壁桁材应按本篇第 1 章第 2 节 1.2.5.4 的要求设防倾肘板。

14.8.4.9　对于耙吸式挖泥船，泥舱舱壁扶强材和桁材的剖面模数可按 14.8.4.5 和 14.8.4.6 的要求值减小 10%。

14.8.5　边舱横舱壁和强框架

14.8.5.1　边舱在泥舱平板肋板或箱形肋板中心平面内应设置横舱壁或强框架。

强框架应由肋板、强肋骨、泥舱纵舱壁垂直桁、强横梁和撑杆(如设置时)组成，其尺寸应符合本章有关规定。

当泥舱肋板和边舱横舱壁或强框架间距超过限定值时，应进行泥舱区域横向强度校核。

14.8.5.2　边舱横舱壁为水密舱壁或深舱舱壁时，舱壁板和扶强材应符合本篇第 2 章第 12 节或第 13 节的规定。

14.8.5.3　边舱横舱壁为非水密舱壁时，舱壁板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.03L+5.6 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

舱壁扶强材的剖面模数可较水密舱壁扶强材剖面模数减少 40%。扶强材两端应设肘板。但支承纵骨、纵桁等构件的扶强材的剖面面积尚须满足本篇第 2 章第 11 节的要求。

14.8.5.4　边舱横舱壁在与泥舱肋板连接处应予适当加强。

14.8.6　泥舱强横梁和架空横梁

14.8.6.1　在泥舱肋板平面内应设置泥舱强横梁或架空横梁。

14.8.6.2　泥舱强横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=(5.75Shl^2+0.102CFl)K \quad \text{cm}^3$$

式中：S——强横梁间距，m；

K——材料系数；

h——计算压头，m，按本篇第 2 章第 8 节 2.8.1.1 选取；

l——强横梁跨距，m，不设中间支柱时为泥舱纵舱壁间距，设中间支柱时为泥舱纵舱壁至支柱中心线的距离；

F——泥门启闭机械最大作用力，kN；

C——系数：

设中间支柱时 $C=100K(1-K)^2$；

不设中间支柱时 $C=100K(1-K)$；

其中：K——力作用点到最邻近的端点的距离与 l 之比。

14.8.6.3　泥舱强横梁的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2Wl/K \quad \text{cm}^4$$

式中：W、l、K 与本节 14.8.6.2 规定相同。

泥舱强横梁的腹板高度应不小于纵骨穿过处开口高度的 2 倍，腹板厚度应不小于其高度的 1%加 4mm。

14.8.6.4　泥舱强横梁与泥舱纵舱壁的连接应符合本篇第 2 章第 8 节 2.8.7.9 的规定。

14.8.6.5　架空横梁的剖面模数 W 应符合本节 14.8.6.2 的规定，式中 S 为架空横梁的面板宽度，m；l 为架空横梁的跨距，m，当不设中间支柱时，跨距 l 为泥舱纵舱壁之间的距离，当设中间支柱时，为泥舱纵舱壁至支柱中心线的距离。

当架空横梁支承起重机和/或吸泥管时，还应增加其剖面模数，并由计算确定。计算时假定架空横梁的两端为刚性固定，许用弯曲应力取 $98/K$ N/mm^2。

架空横梁在扣除开孔后的总净剖面积 A 应不小于按下式计算所得之值：

$$A=(2S(C_1D^2+C_2l^2)+20)K \quad \text{cm}^2$$

式中：S——肋板间距，m；

K——材料系数；

D——型深，m；

l——肋板跨距，m，按本节 14.8.3.2 规定量取；

C_1、C_2 按表 14.8.6.5(1)、(2)查取，当 $C_1D^2+C_2l^2$ 为负值时取绝对值。

C_1 值　　**表 14.8.6.5(1)**

$\frac{d_1}{D}$ \ $\frac{D+h_f}{D}$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0.4	−0.1849	−0.2637	−0.3616	−0.4804	−0.6222	−0.7890
0.5	−0.1808	−0.2596	−0.3575	−0.4763	−0.6181	−0.7850
0.6	−0.1727	−0.2515	−0.3494	−0.4682	−0.6100	−0.7768
0.7	−0.1593	−0.2381	−0.3360	−0.4548	−0.5966	−0.7634
0.8	−0.1394	−0.2182	−0.3161	−0.4350	−0.5767	−0.7435

C_2 值 **表 14.8.6.5(2)**

$\frac{d_1}{D}$ \ $\frac{D+h_f}{D}$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0.4	0.1157	0.1327	0.1497	0.1667	0.1837	0.2007
0.5	0.1083	0.1253	0.1423	0.1593	0.1763	0.1933
0.6	0.1010	0.1180	0.1350	0.1520	0.1690	0.1860
0.7	0.0937	0.1107	0.1277	0.1447	0.1617	0.1787
0.8	0.0864	0.1034	0.1204	0.1374	0.1544	0.1724

注：表中 $d_1=d-1.25$，m；h_f 见本节 14.8.3.2；对于铰链式泥门，查表所得 C_2 值应增加 15%。

当 $C_1D^2+C_2l^2>0$ 时，架空横梁的最小惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I = 3Al_1^2 / K \qquad \text{cm}^4$$

式中：A——架空横梁的总剖面积，cm^2；

K——材料系数；

l_1——架空横梁的跨距，m。

当泥舱肋板间距大于 4m 时，架空横梁的构件尺寸应用直接计算验证，计算时剖面积应按扣除开孔计。计算模型的假定和许用弯曲应力同上。

14.8.7 甲板纵桁和架空纵梁

14.8.7.1 支承泥门启闭机械的纵桁或架空纵梁，其剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = (5.3bhl^2 + 1.94Fl)K \qquad \text{cm}^3$$

式中：b ——甲板纵桁支承面积的平均宽度，m，对架空纵梁，为其面板的宽度，m；

h ——计算压头，m，按本篇第 2 章第 8 节 2.8.1.1 选取；

K——材料系数；

l ——纵桁或纵梁的跨距，m；

F——泥门启闭机械的最大作用力，kN。

14.8.8 支柱

14.8.8.1 当设置箱形龙骨时，一般应设支柱，将泥舱肋板和泥舱强横梁或架空横梁连接起来。管形钢质支柱的尺寸应按本篇第 2 章第 10 节 2.10.2.1 和 2.10.3.1 的规定，但其壁厚应较 2.10.3.1 计算值增加 1mm，且不小于 7mm。

14.8.8.2 支柱负荷 P'应不小于按下式计算所得之值：

$$P' = 7.06abh + \frac{2Fe}{l} + \Delta P \qquad \text{kN}$$

式中：a ——计算支柱所支持的甲板面积的长度，m，对架空横梁，为其面板的宽度；

b ——计算支柱所支持的甲板面积的宽度，m，对架空横梁，为其面板长度的一半；

h ——计算支柱所支持的甲板的计算压头，m，按本篇第 2 章第 8 节 2.8.1.1 选取；

F——泥门启闭机械的最大作用力，kN；

e ——泥门启闭机械力的作用点距横梁端点的距离，m；

l ——强横梁或架空横梁跨距，m；

ΔP ——支柱承受的起重机和/或吸泥管的作用力，kN。

14.8.9 连续舱口围板

14.8.9.1 舱口围板的厚度应不小于按本节 14.8.4.2 计算的泥舱纵舱壁上列板的厚度。

舱口围板水平扶强材间距，在围板下部应不超过围板厚度的 80 倍，在围板上部应不超过围板厚度的 65 倍。水平扶强材的惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I=2Al^2 \qquad \text{cm}^4$$

式中：A——水平扶强材和带板的总剖面积，cm^2；

l——舱口围板肘板间距，m。

14.8.9.2　舱口围板在泥舱两端应予延伸，延伸长度一般应不小于围板高度的 1.5 倍。

14.8.9.3　舱口围板上缘应设面板或其他能保证围板刚度的型材加强。

14.8.9.4　舱口围板的肘板应设置在横梁的位置上。肘板的厚度应等于舱口围板的厚度，肘板下端的宽度应不小于舱口围板高度的 1/3。如舱口围板与泥舱纵舱壁板不在同一平面内，则肘板下端的宽度还应不小于泥舱纵壁至舱口围板距离的 2 倍，并应在肘板的同一平面上，在泥舱内设置支撑肘板，其厚度与舱口围板厚度相同。肘板应有折边或面板，其宽度为其厚度的 10 倍。

第 9 节　对开式挖泥船和泥驳

14.9.1　一般要求

14.9.1.1　本节适用于自航与非自航钢质单甲板对开式泥驳和对开式挖泥船。本节未规定者应符合本章其他适用规定。

14.9.1.2　通常每个半体均应设置一个锚链舱和一条锚链，对于对开泥驳，可只在某一半体上设置一台锚机，但应设置合适的导向装置，以便顺利地收放另一半体上的锚。

对无人的对开泥驳，可仅配首锚 1 只，锚链长度可为规定长度的一半。

14.9.1.3　每个半体均应配置舵和舵机，并应安装能使两个舵同步动作的自动化系统。

14.9.1.4　当泥舱超出船中 0.4L 区域时，船中部外板、甲板的板厚应向泥舱端壁外延伸 2 档肋距，并逐渐向首尾两端过渡。

14.9.1.5　对舭部区域的外板和纵骨应予以足够加强。

14.9.1.6　除本篇第 1 章第 3 节 1.3.2 要求的钢材等级外，对承受高应力(铰链、液压装置、承压板等反作用力)的板，当厚度大于 20mm 时，应采用 D 级钢，当厚度大于 40mm 时，建议采用 E 级钢。

14.9.1.7　对于半体中的实肋板，按本篇第 2 章第 5 节 2.5.4.1 计算时，公式中的 B 可取半体宽度。

14.9.2　总纵强度

14.9.2.1　船长大于等于 65m 的对开式泥驳和挖泥船的船中剖面模数应符合本章第 2 节 14.2.2.1(1)的要求。船长小于 65m 的对开式泥驳和挖泥船的中部强力甲板的半剖面积应符合本章第 4 节 14.4.2.1 的要求。

14.9.2.2　对所有的对开式泥驳和挖泥船，均应对调迁和挖泥工况校核半体的总纵强度，并考虑出港、到港的影响。

14.9.2.3　船中 0.4L 区域内半体横剖面上任一点的总纵弯曲应力应按下式计算，并应不超过 175/K，N/mm^2，其中 K 为材料系数。

$$\sigma = \left(\frac{M_X}{I_X} Y - \frac{M_Y}{I_Y} X \right) \times 10^5 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：M_X、M_Y——关于主惯性轴的弯矩，kN·m，按 14.9.2.4 计算；

X、Y　——计算点在主惯性轴坐标系 GXY 中的坐标值，m，见图 14.9.2.3；

I_X、I_Y——关于主惯性轴的惯性矩，cm^4。

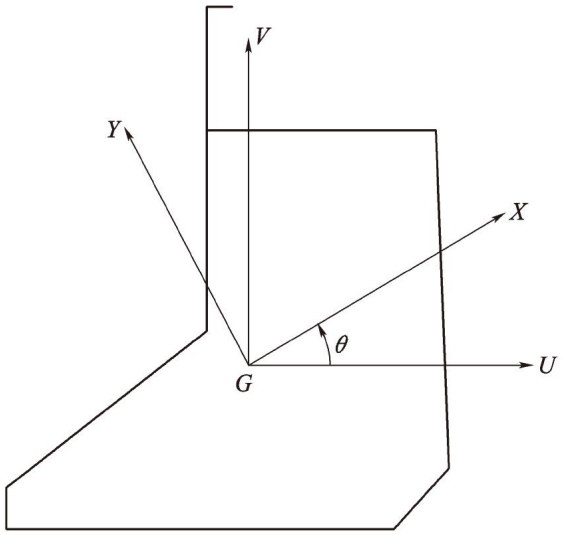


图 14.9.2.3

14.9.2.4　关于半体主惯性轴(*GX*，*GY*)的弯矩 M_X 和 M_Y 应按下式计算：

$$M_X = M_u \cos\theta + M_v \sin\theta \qquad \text{kN·m}$$

$$M_Y = -M_u \sin\theta + M_v \cos\theta \qquad \text{kN·m}$$

式中：M_u、M_v——分别为剖面的垂向弯矩和水平弯矩，kN·m。

14.9.2.5　在船中区域，作用于半体的垂向弯矩 M_u 应按下式计算：

调迁工况：$M_u = 0.5(M_s + M_{wv})$　　kN·m

挖泥工况：$M_u = 0.5(M_{sd} + M_{wv})$　　kN·m

式中：M_s、M_{sd}——相应工况下最大垂向静水弯矩，kN·m，中拱弯矩为正，中垂弯矩为负；

M_{wv}——垂向波浪弯矩，按本篇第 2 章第 2 节 2.2.3.1 计算。

14.9.2.6　在船中区域，作用于半体的水平弯矩 M_v 按下式确定：

调迁工况：$M_v = M_{sH} + M_{wH}$　　kN·m

挖泥工况：$M_v = M_{sHd} + M_{wH}$　　kN·m

式中：M_{wH}——水平波浪弯矩，kN·m，其正负号取与 M_{sH} 或 M_{sHd} 的正负号相同，并按下式计算：

$$M_{wH} = \pm 0.2L^{2.25}(d + 0.3B)\,C_b \qquad \text{kN·m}$$

其中：L——船长，m；

B——船宽，m；

D——相应工况下的吃水，m；

C_b——相应工况下的方形系数；

M_{sH}——调迁工况下的水平静水弯矩，kN·m，一般 $M_{sH}=0$；

M_{sHd}——挖泥工况下的水平静水弯矩，kN·m，如舷侧缘受压，水平静水弯矩为正；如舷侧缘受拉，水平静水弯矩为负，并按下式计算：

$$M_{sHd} = \pm 0.125PL_p(2L_d - L_p) \qquad \text{kN·m}$$

其中：L_p——泥舱舱长，m，见图 14.9.2.6；

L_d——甲板铰链间长，m，见图 14.9.2.6；

P ——单位长度水平载荷，kN/m，按下式计算：

$$P = 4.9\rho(h_1 - a)^2 - 5.0(d - a)^2$$

其中：ρ ——泥浆密度，t/m^3，同本节 14.8.4.2；

h_1——最高载泥面至基线的高度，m；

a ——船底密封装置的高度，m；

d ——相应工况下的吃水，m；

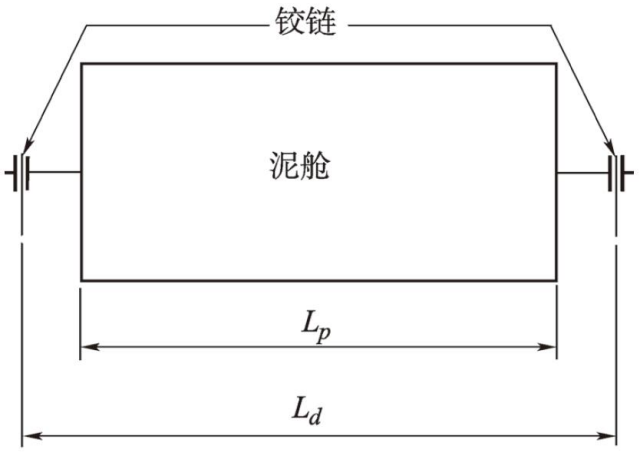


图 14.9.2.6

14.9.3 **甲板铰链和液压装置**

14.9.3.1 连接两个半体的液压装置应具有足够的功率，以保证在所有预期的海况条件下能有效地开闭半体，及不会因船的运动和振动导致半体的意外分开。

14.9.3.2 与甲板铰链、液压装置连接处的局部结构应予以足够加强，并能有效地将载荷传递到船体结构中去。

14.9.3.3 连接两个半体的甲板铰链及液压装置连接件的构件尺寸由直接计算确定，作用其上的载荷应根据在各设计工况下预期的最大静动载荷的适当组合来确定。

14.9.3.4 各设计工况下甲板铰链所承受的合力 F_h 应按下式计算：

$$F_h = \sqrt{(F_{sh} + F_{dh})^2 + F_{dv}^2} \qquad \text{kN}$$

式中：F_{sh} ——甲板铰链的水平静力，kN，按本节 14.9.3.6(1)计算；

F_{dh} ——甲板铰链的水平动力，kN，按本节 14.9.3.7 计算；

F_{dv} ——甲板铰链的垂向动力，kN，按本节 14.9.3.7 计算。

14.9.3.5 各设计工况下液压装置所承受的水平力 F_r 应按下式计算：

$$F_r = F_{sr} + F_{dr} \qquad \text{kN}$$

式中：F_{sr} ——液压装置的水平静力，kN，按本节 14.9.3.6(2)计算；

F_{dr} ——液压装置的水平动力，kN，按本节 14.9.3.7 计算。

14.9.3.6 甲板铰链及液压装置的水平静力应按下式计算确定：

(1) 铰链水平静力 F_{sh}：

$$F_{sh} = 0.5\left[F_w - F_s + 2(1 - \frac{h_4}{h_5})F_{sr} + \frac{M}{h_5}\right] \qquad \text{kN}$$

式中：F_w ——泥舱范围内舷外静水压力，kN，按下式计算：

$$F_w = 5.0(d-a)^2 L_p$$

F_s ——泥浆水平压力，kN，按下式计算：

$$F_s = 4.9\rho(h_1 - a)^2 L_p$$

ρ、h_1、d、a、L_p ——同本节 14.9.2.6；

F_{sr} ——液压装置的水平作用力，kN，按本条(2)确定；

M ——力矩，kN·m，使半体打开的力矩为正，闭合的力矩为负，按下式确定：

$$M=F_s\ h_2-F_w\ h_3+\Delta\ b_1-W_1\ b_2-W_s\ b_3$$

h_2 ——泥浆水平压力至铰链点的垂直距离，m；

h_3 ——舷外静水压力至铰链点的垂直距离，m；

h_4 ——液压装置水平力至铰链点的垂直距离，m；

h_5 ——甲板铰链至基线的垂直距离，m；

Δ ——载泥时半体的静水浮力，kN；

W_l ——不载泥时半体的重力，kN；

W_s ——半体泥浆的重力，kN；

b_1、b_2、b_3——分别为Δ、W_l、W_s至铰链点的水平距离。参见图 14.9.3.6。

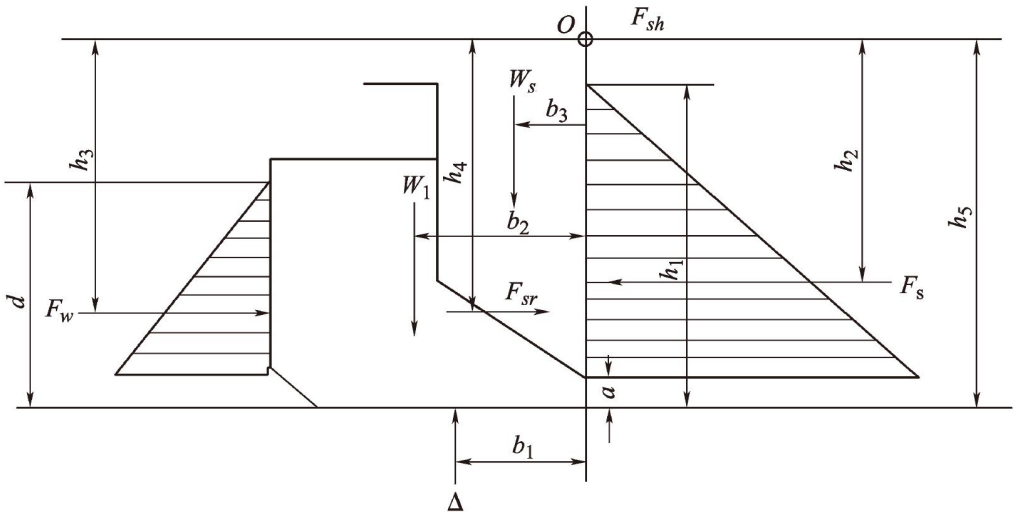


图 14.9.3.6

(2) 液压装置的水平静力 F_{sr} 等于作用在液压缸柱塞端面上的压力 F_p，kN，其对铰链点的力矩应大于等于打开力矩 M，以保证两个半体的闭合，即有：

$$F_{sr}=F_p\geqslant\frac{M}{2h_4}\quad\text{kN}$$

14.9.3.7 甲板铰链及液压装置所承受的由船舶波浪中运动引起的动载荷，应按照预期作业的海况条件，经动力计算及统计分析得到。对于预期作业海况有义波高不超过 3m 的情况，也可按下列公式计算：

甲板铰链水平动力：$F_{dh}=0.28fB^2L$ kN

甲板铰链垂向动力：$F_{dv}=0.055fB^2L^2/d$ kN

式中：L——船长，m；

B——船宽，m；

d——甲板铰链间距，m；

f——系数，取 f=1.5。

14.9.3.8 在本节 14.9.3.6 中的算式仅适用于泥舱两端各设一具甲板铰链和一台液压装置的情况。当铰链和/或液压装置的数量不同时，应通过求解作用在船体上的静动力系来得到。

14.9.3.9 铰链各部分的构件尺寸应按下列要求确定：

(1) 销轴直径 d 应不小于按下列两式计算所得之值：

$$d_1=54\sqrt{\frac{F}{R_{eH}}}\quad\text{mm}$$

$$d_2=13.2\sqrt[3]{\frac{F(2a-t_{2c})}{R_{eH}}}\quad\text{mm}$$

式中：F ——铰链的合力，kN，按本节 14.9.3.4 计算；

a ——两块侧眼板内缘之间或两侧眼板衬套内缘之间的距离，mm；

t_{2c} ——中心眼板或其衬套与销轴的接触长度，mm；

R_{eH} ——销轴材料的屈服应力，N/mm^2。

(2) 眼板应符合下列要求：

中心眼板：$b_{2c}\ t_{2c}+b_{1c}\ t_{1c} \geqslant \dfrac{2500F}{R_{eH}}$ mm^2

两侧眼板：$b_{2s}\ t_{2s}+b_{1s}\ t_{1s} \geqslant \dfrac{1250F}{R_{eH}}$ mm^2

式中：F ——同(1)；

R_{eH} ——眼板材料的屈服应力，N/mm^2；

b_{1c}、b_{2c}、b_{1s}、b_{2s}、t_{1c}、t_{2c}、t_{1s}、t_{2s} ——见图 14.9.3.9。

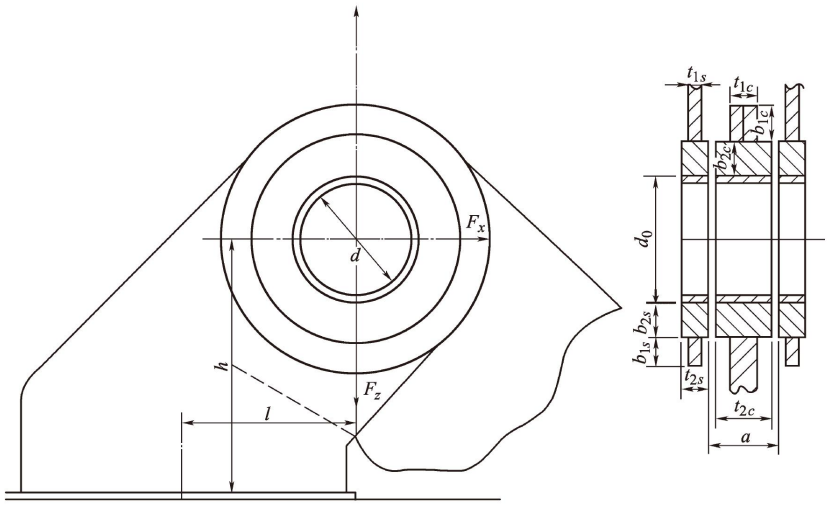


图 14.9.3.9

(3) 中心眼板、两侧眼板与甲板连接处的剖面应符合下列要求：

$$\left(\frac{F_z}{A}+\frac{F_x h+F_z l}{W}\right)\times 10^3 \leqslant 0.6\,R_{eH} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：F_x ——铰链的水平力，kN，按下式计算：

$$F_x = F_{sh} + F_{dh}$$

F_z ——铰链的垂向力，kN，按下式计算：

$$F_z = F_{dv}$$

h ——销轴中心至甲板的垂直距离，mm；

l ——销轴中心至剖面中和轴的水平距离，mm；

A ——剖面面积，mm^2；

W ——剖面的剖面模数，mm^3；

R_{eH} ——眼板材料的屈服应力，N/mm^2。

14.9.4 甲板室铰链

14.9.4.1 作用在甲板室上的载荷应根据船舶装载情况及船舶运动予以确定。

14.9.4.2 甲板室所承受的力可分为 F_x、F_y 及 F_z 三个分力，如图 14.9.4.2 所示。图中 OX 为横摇中心轴；F_x、F_y 及 F_z 均作用在甲板室的重心处。

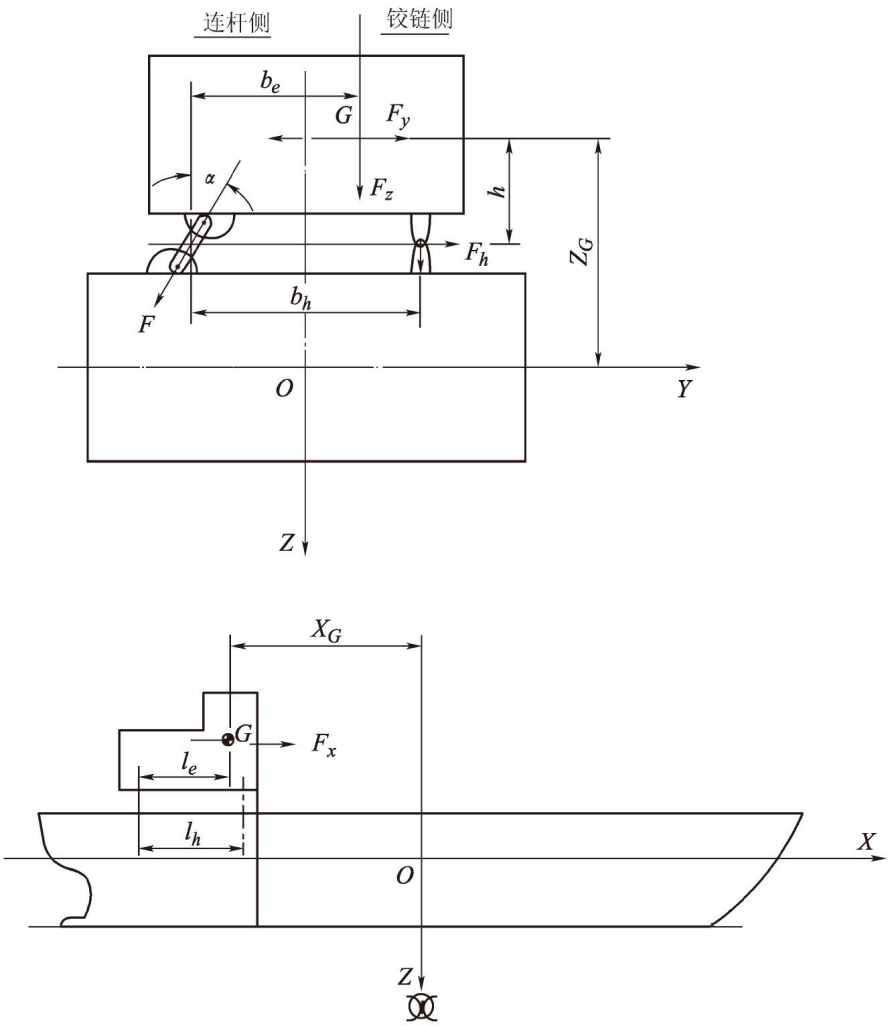


图 14.9.4.2

14.9.4.3　横摇中心轴至基线的距离可取为$(\frac{D}{4}+\frac{d}{2})$和$\frac{D}{2}$中的小值。其中，$D$ 和 d 分别为型深和吃水，m。

14.9.4.4　平行于甲板的纵向、横向分力 F_x、F_y 及垂直于甲板的垂向分力 F_z 可按下列公式计算：

$$F_x = Mg(0.19+0.026Z_G) \quad \text{kN}$$

$$F_y = Mg(0.5+0.039Z_G) \quad \text{kN}$$

$$F_z = Mg(1.17+0.026X_G) \quad \text{kN}$$

式中：M ——甲板室的质量，t；

Z_G ——甲板室重心至 OXY 平面的垂直距离，m；

X_G ——甲板室重心至 OYZ 平面的水平距离，m；

g ——重力加速度，m/s^2。

14.9.4.5　当两个半体均设置纵向承压板时，可假定横向分力 F_y、垂向分力 F_z 由甲板室铰链承受，纵向分力 F_x 由纵向承压板承受。否则甲板室铰链也应承受纵向分力 F_x。

14.9.4.6　甲板室铰链所承受的力应根据铰链的型式、位置及甲板室重心的实际位置，通过求解力系平衡方程求得。

14.9.4.7　当甲板室铰链由两个铰链及两根端部铰接的连杆组成时，如图 14.9.4.2 所示，铰链所承受的力可按下列公式计算：

连杆轴向力 F：

$$F=\frac{l_e}{l_h\cos\alpha}\left[F_y\frac{h}{b_h}+F_z(1-\frac{b_e}{b_h})\right] \qquad \text{kN}$$

铰链的横向力 F_h：

$$F_h=\frac{l_e}{l_h}\left[F_y(1-\frac{h}{b_h}\tan\alpha)+F_z(1-\frac{b_e}{b_h})\tan\alpha\right] \qquad \text{kN}$$

铰链的垂向力 F_v：

$$F_v=\frac{l_e}{l_h}(F_y\frac{h}{b_h}+F_z\frac{b_e}{b_h}) \qquad \text{kN}$$

每块承压板的纵向力 F_c：

$$F_c=\frac{1}{n_c}F_x \qquad \text{kN}$$

式中：F_x、F_y、F_z——作用于甲板室重心的分力，kN，可按本节 14.9.4.4 确定；

α ——连杆中心线与垂线间的夹角，°；

l_e ——甲板室重心至较远铰链的纵向距离，m；

be——甲板室重心至连杆中心处垂线的横向距离，m；

h ——甲板室重心至通过铰链中心水平线的垂直距离，m；

b_h ——铰链中心与连杆中心之间的横向距离，m；

l_h ——前后铰链中心之间的纵向距离，m；

n_c ——纵向承压板的数量。

14.9.4.8　甲板室铰链各部分的构件尺寸应按本节 14.9.3.9 要求确定。

第 10 节　其　　他

14.10.1　舷墙、栏杆和排水舷口

14.10.1.1　对开敞泥舱的挖泥船和泥驳，在泥舱区域不应装设舷墙，但应装设栏杆或防滑装置，对设有舷墙的挖泥船，则应在舷墙的全部长度范围内开有足够面积的排水舷口。

14.10.2　护舷材

14.10.2.1　挖泥船和泥驳按其作业特点，一般应在整个船长范围内沿甲板边线设置护舷材。但对需要泥驳配合作业的挖泥船还应在最低作业水线处增设一根护舷材。两根护舷材之间还应设置适当间距的垂直护舷材。护舷材厚度可取船中 0.4L 处船侧板的厚度。护舷材内应设置加强筋。

14.10.3　溢流管口

14.10.3.1　应尽可能避免在舷顶列板上开溢流管口。船长超过 65m 时，泥舱溢流管口不应开在距舷顶列板上缘 800mm 范围内。开口角隅半径应不小于 150mm，并应有适当的补偿。在任何情况下，泥舱溢流管口都不能开在结构不连续处(如上层建筑中断处等)的舷顶列板上。

14.10.4　水密围阱

14.10.4.1　泥泵周围和耙吸式挖泥船吸泥管与船壳贯穿吸口处的舱室局部范围内，应保证其水密性。

14.10.5　隔离舱

14.10.5.1　链斗式挖泥船斗桥开槽处应设置隔离舱，其尺寸应足以在因挖泥设备和挖掘物体撞击造成开槽侧板及船底板破损情况下防止相邻舱室进水，并且这些隔离舱是可以进入的。

14.10.6　作业设备的支撑结构和底座

14.10.6.1　与设备的结构件和底座连接的局部支撑结构以及作业设备底座应有足够的强度，必要时应进行强度校核。

14.10.6.2　若采用直接计算校核，则模型可参考本篇第 3 章 3.7.2.5 和 3.7.2.6，载荷按设备的工作负荷施加(如液压绞车的工作支持负荷)，强度衡准可参考本篇第 3 章表 3.7.3.12。

第 15 章　半 潜 船

第 1 节　一般规定

15.1.1　适用范围

15.1.1.1　本章适用于装运船舶、海上设施或其他大件货物的半潜船。

15.1.1.2　对于本章未作规定者，还应符合本篇第 2 章的有关要求。

15.1.2　定义

15.1.2.1　**半潜船**：系指有较大开敞露天载货甲板，一般在首部或尾部有较高上层建筑或甲板室或浮箱，具备在装卸货物作业过程中呈半潜状态能力的船舶。

15.1.2.2　**半潜状态**：系指举升甲板被水淹没，仅依赖上层建筑或甲板室或浮箱提供储备浮力的状态。

15.1.2.3　**举升甲板**：系指承载货物并在装卸货物作业过程中被水淹没的开敞露天甲板。

15.1.2.4　**最大沉深**：系指半潜作业状态下允许下潜到的最大吃水。

15.1.3　图纸资料

15.1.3.1　除本篇第 2 章第 1 节规定的图纸资料外，需提交下列图纸资料备查：

(1)　静水力曲线和沉浮曲线；

(2)　操作手册。

第 2 节　结构强度

15.2.1　一般要求

15.2.1.1　所有压载水舱都应设置空气管，其直径应符合本规范的有关规定。对于所有压载水舱，应在其纵、横强力构件上的适当位置开设一定数量的人孔，以便能顺利到达舱内各部位，同时在空舱情况下能起到通风作用。

15.2.1.2　如非自航半潜驳需拖航使用，则应进行拖航强度计算，并考虑拖带设备的布置和相应的结构加强。

15.2.1.3　半潜船船体结构所采用的一般强度钢或高强度钢应符合本规范的有关规定。

15.2.1.4　如采用直接计算法或其他通用的经验公式来决定各构件的尺寸时，则应将有关的计算与计算假定及计算说明一并提交审查。

15.2.2　总纵强度

15.2.2.1　总纵强度应满足如下要求：

（1）航行工况时，总纵强度应满足本篇第 2 章的要求；

（2）半潜船典型作业工况，总纵波浪载荷可取为本篇第 2 章 2.2.3 要求的 50%；

（3）半潜船在港口系泊状态下装卸货工况，总纵波浪载荷可取为本篇第 2 章第 2.2.3 要求的 20%；

（4）还应考虑可能的或假定的最危险作业工况。

15.2.2.2　半潜船船中至少 0.25L 区域内的甲板处和龙骨处的最小剖面模数 W_0 应满足本篇第 2 章 2.2.5.1 的要求。

15.2.2.3　计入纵强度剖面模数的构件，应在半潜船中部 0.4L 区域内保持纵向连续。但起重机轨道不应计入剖面模数中。

15.2.2.4　对设计用于在 3 类航区或港内作业的非自航的半潜驳，其作业状态下的总纵强度中的载荷和计算工况可以按照 CCS《浮船坞入级规范》中的相关要求计算。

15.2.3　横向强度

15.2.3.1　应对整个船长范围内典型横向结构进行横向强度校核。

15.2.3.2　横向强度计算的工况应包括半潜船典型的作业工况，其中应含有假定期望的最危险作业工况。

15.2.3.3　横向强度校核时，应考虑下述载荷的作用：

(1)　半潜船的自重(包括龙骨墩)；

(2)　被运输对象的最大重量；

(3)　特定吃水下的外部静水压力；

(4)　相应于(3)规定的吃水，且半潜船举起被运输对象最大重量时，均布压载水的内部静水压力；

15.2.3.4　弯曲许用应力为 170/K，N/mm^2，剪切许用应力为 95/K，N/mm^2，任何点合成应力的许用应力取为 180/K，N /mm^2 (K 为材料系数)。

15. 2. 4　局部强度

15.2.4.1　航行工况下的局部强度按本篇第 2 章第 13 节的相关要求计算，沉浮作业工况(含调节压载水位工况过程)按本节要求计算。

15.2.4.2　构成压载水舱、油舱、淡水舱、污水舱、空舱等舱壁周界的板材厚度 t，应不小于按下式计算所得之值，且应不小于 7.5 mm：

$$t=t_0+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：$t_0 = 3.95s\sqrt{\rho hK}$，其中，当 $l/s<4$ 时，t_0 还应乘以 $1.1-\frac{s}{2.5l}$；

K——材料系数；

s——扶强材间距，m；

ρ ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

h——计算压头，m，见表 15.2.4.2，且从板列下缘量起；

l ——扶强材跨距，m。

表 15.2.4.2

构件位置	压头 h(m)
1. 一侧承受外部静水压力，另一侧承受舱内静水压力的周界壁板，如边舱的船体外板等。	h_1:从沉浮曲线上得到的该处最大水位差。
2. 压载水舱的周界。	h_2:两侧之间可能出现的最大压差，且不小于 3.5m。
3. 空舱水密周界。	以下压头中的大者： h_1:从沉浮曲线上得到的该处最大水位差。（如适用） h_2:两侧之间可能出现的最大压差，且不小于 3.5m。（如适用） h_3:计算点到最大沉深水面的垂直距离，且不小于 3.5m。 h_4:沉浮曲线上最大沉深时刻处的水位差。
4. 采用压缩空气排压载水的压载舱(如适用)。	以下压头中的大者： h_1:从沉浮曲线上得到的该处最大水位差。（如适用） h_2:两侧之间可能出现的最大压差，且不小于 3.5m。（如适用） h_3:计算点到最大沉深水面的垂直距离，且不小于 3.5m。 h_4:沉浮曲线上最大沉深时刻处的水位差。 h_5:与压缩空气相当的水压头，且不小于 3.5m。

15.2.4.3　对于本节 15.2.4.2 定义的舱室周界板上承受侧向载荷的骨材，如舱壁扶强材、纵骨、横梁、普通肋骨等构件的最小剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 7shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——骨材间距，m；

K——材料系数；

l——骨材跨距，m；

h——计算压头，m，见表 15.2.4.2，计算点取跨距中点。

15.2.4.4　主要构件(如强横梁、强肋骨、桁材等)的剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 7bhl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：b——支承宽度，m，取主要构件的间距；

K——材料系数；

l——计算跨距，m；

h——计算压头，m，见本节表 15.2.4.2，计算点取跨距中点。

15.2.4.5　非水密支承舱壁板厚及扶强材尺寸，可按本规范的有关规定确定，但负荷 P 应取为支柱实际支持的负荷。

15.2.4.6　撑杆的剖面积、壁厚和端部加强，按本篇第 2 章第 10 节支柱的有关规定，但负荷 P 应取为：

$$P = 9.8shl \qquad \text{kN}$$

式中：s——撑杆间距，m；

h——撑杆处最大压差，m，应从撑杆的最下端处量至最大压差时的水面；

l——撑杆支撑处上下方桁材距中点之间的垂直距离，m。

第 16 章　矿 砂 船

第 1 节　一般规定

16.1.1　适用范围

16.1.1.1　本章规定适用于单甲板、货舱区具有二道纵舱壁、中舱为双层底、机舱在尾部、中舱装矿砂、自航式矿砂船的货舱区域的结构布置和构件尺寸的确定。矿砂船典型的横剖面如图 16.1.1.1 所示。

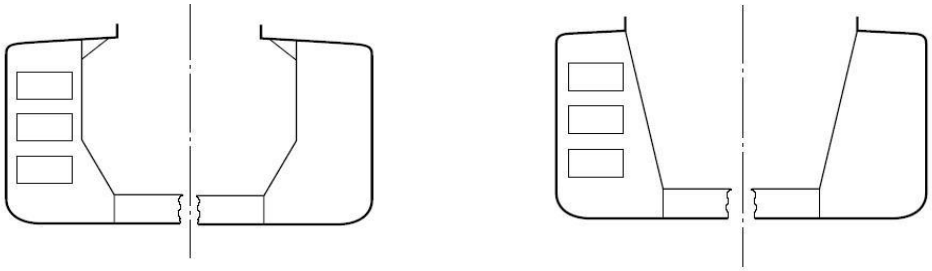


图 16.1.1.1

16.1.1.2　矿砂船装载手册和装载仪的要求应符合本篇第 8 章第 7 节的要求。

16.1.1.3　本章第 3 节和第 4 节的要求仅适用于货舱区，本章无规定者均应符合本篇第 2 章的有关要求。

16.1.1.4　矿砂船对最大货物密度和多港口装/卸货物的相关要求，见 CCS《矿砂船船体结构强度直接计算指南》。

16.1.2　布置及结构形式

16.1.2.1　矿砂船在货舱区域的船底和货舱开口线外的强力甲板均应为纵骨架式，开口边线以内强力甲板采用横骨架式。

16.1.2.2　货舱区域中舱的水密横舱壁应尽可能与边舱的水密横舱壁位于同一平面内，否则应采取措施，以保证横向强度。但中舱的水密横舱壁和边舱的水密横舱壁可采用不同的结构形式。

16.1.2.3　货舱区域边舱内可设置强框架、水密横舱壁、制荡舱壁，它们应与中舱船底肋板位于同一平面内。

16.1.2.4　如必要，可在强框架之间的船底设置中间肋板。

16.1.3　船体结构强度直接计算和疲劳强度评估

16.1.3.1　船长 150m 及以上的矿砂船，船体主要构件应按 CCS《矿砂船船体结构强度直接计算指南》进行直接计算。

16.1.3.2　船长 150m 及以上的矿砂船，应按 CCS《船体结构疲劳强度指南》，对其货舱区域的下述部位进行疲劳强度校核：

（1）　纵骨（船底、舷侧、甲板及纵舱壁）与横向强框架的连接部位；

（2）　纵骨（船底、舷侧、甲板及纵舱壁）与横舱壁的连接部位；

（3）　纵舱壁与内底板连接处；

（4）　内底板与底凳连接处；

（5）　纵舱壁折角（如有时）。

16.1.3.3　船长 250m 及以上的矿砂船应特殊考虑波激振动和砰击颤振对船体结构疲劳强度的影响，具体方法见 CCS《船体结构波激振动和砰击颤振直接计算评估指南》。

第 2 节　总纵强度

16.2.1　**一般要求**

16.2.1.1　总纵强度应满足本篇第 2 章第 2 节的要求。

16.2.1.2　货舱甲板开口为大开口时，还应按规范本篇第 7 章第 10 节的要求校核弯扭组合的总纵强度，其中的货物扭矩一般可取为零。

16.2.2　**船体梁极限强度**

16.2.2.1　航行过程中船体梁任一横剖面处的弯曲极限能力应满足以下要求：

(1)　船体梁垂向极限弯曲能力应满足以下衡准：

$$\gamma_S \overline{M}_S + \gamma_W M_W \leq \frac{M_U}{\gamma_R}$$

式中：$\overline{M}_S$ ——许用静水弯矩，kN·m；

M_W ——波浪弯矩，kN·m；

M_U ——船体梁垂向极限弯曲能力，kN·m；

γ_S、γ_W、γ_R——分项安全系数，取为：

$\gamma_S = 1.0$

$\gamma_W = 1.2$

$\gamma_R = \gamma_M \cdot \gamma_{DB}$

γ_M —— 计及材料、几何、强度不确定性的分项安全因子，$\gamma_M = 1.05$；

γ_{DB}——计及双层底弯曲效应的分项安全因子，取为：

中拱工况 $\gamma_{DB} = 1.10$；中垂工况 $\gamma_{DB} = 1.0$。

(2)　M-χ曲线

在中垂和中拱工况下，船体梁垂向极限弯曲能力 Mu，定义为所考虑横剖面的弯矩能力 M 与曲率χ曲线的最大值。

曲率χ对中拱工况为正值，对中垂工况为负值。

M-χ曲线按本篇第 7 章附录 5 规定的增量-迭代法计算。

(3)　船体梁横剖面由对船体梁纵向强度起作用的结构单元构成，计算时应扣除表 16.2.2.1 所规定的标准减薄厚度。

标准减薄厚度　　**表 16.2.2.1**

位置		标准减薄厚度
风雨密甲板 1.5m 以内的压载水舱	一边与压载水相连	1.0
	两边与压载水相连	2.0
其他部位		1.0

16.2.2.2　船长 250m 及以上的矿砂船应特殊考虑砰击颤振对船体梁极限强度的影响，具体方法见 CCS《船体结构波激振动和砰击颤振直接计算评估指南》。

第 3 节　船体骨架

16.3.1　**双层底结构**

16.3.1.1　除本节另有规定外，矿砂船的双层底结构布置和构件尺寸应符合本篇第 2 章第 6 节和第 8 章第 2 节的有关要求，但船长 230m 及以上时实肋板间距可取不大于 2.8m。

16.3.1.2　中舱双层底宽度和高度除满足本章强度要求外，还应满足装货后的稳性要求。

16.3.1.3　双层底高度超过本篇第 2 章第 6 节中规定的最小值的 1.5 倍时，肋板和桁材的加强筋尺寸应予增大，对加强筋、肋板和桁材应进行屈曲校核。

16.3.1.4　双层底内的水密肋板、水密桁材上的加强筋的尺寸应按深舱舱壁扶强材的要

求，并应在两端设肘板连接。

16.3.1.5　当边舱采用单底结构时，须注意中舱的双层底内底板向单底边舱的良好过渡，内底板应向边舱内延伸足够宽度，且与舱壁或强框架间应设置连接肘板，肘板的厚度 t（mm）应不小于 5+0.025L，其中 L 为船长（计算时取值不必大于 300m），肘板厚度应与内底板过渡良好。

16.3.1.6　当边舱采用单底结构时，若仅在强框架间中舱底部设中间肋板时，应注意肋板向边舱的良好过渡，在边舱的对应位置设垂向肘板。该肘板在横向一般应向舷侧延伸足够宽度，在垂向应伸出内底板在边舱的延伸部分以上足够高度，肘板厚度可取为实肋板厚度。对于船长 150m 及以上的矿砂船，肘板厚度也可由直接计算确定，但应不小于 16.3.1.8 规定的实肋板的最小厚度。

16.3.1.7　如双层底与边舱相通或中舱为风暴压载水舱，则其尺寸也应符合本篇第 2 章第 13 节对深舱构件的要求。

16.3.1.8　实肋板的最小厚度应不小于下式计算所得之值：

$$t_{\min} = \max\left(0.6\sqrt{L} + 2.5, 12\right) \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m，计算时取值不大于 300m。

16.3.2　单底结构

16.3.2.1　船底纵骨的剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 11.5sdl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

d——吃水，m；

l——纵骨跨距，m；

K——材料系数。

16.3.2.2　舭部纵骨的尺寸，应是最下一根舷侧纵骨的尺寸逐渐过渡到船底纵骨的尺寸。

16.3.2.3　肋板间距应不大于 3.6 m。肋板剖面模数 W 及跨距点处肋板净面积应不小于按下列两式计算值，但不必大于对应的中舱肋板的尺寸：

$$W = 4.59SDl^2K \qquad \text{cm}^3$$

$$A = 0.56SDlK \qquad \text{cm}^2$$

式中：S——肋板间距，m；

D——型深，m；

l——肋板跨距，m；

K——材料系数。

16.3.2.4　船底桁材的间距和尺寸应由直接计算决定。

16.3.3　甲板骨架

16.3.3.1　甲板骨架应满足本篇第 2 章第 8 节的有关要求。

16.3.3.2　舱口之间的甲板结构应进行屈曲校核。

16.3.4　舷侧骨架

16.3.4.1　舷侧通常采用纵骨架式，离船底和甲板 0.1D 以内的舷侧纵骨应连续穿过横舱壁。舷侧纵骨的剖面模数 W 除应满足本篇第 2 章 2.7.5 的有关要求外，还应不小于按下式计算所得之值：

$$W=7.2s(h+1.2)l^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

h——从计算纵骨量至船中甲板边线的垂直距离，m，但不小于 2.5m；

l——纵骨跨距，m；

K——材料系数。

16.3.4.2　强肋骨应设置在纵骨架式船底的实肋板平面内。

16.3.4.3　强肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得值：

$$W = CS(h+1.2)l^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：S——强肋骨间距，m；

h——强肋骨跨距中点至甲板边线的垂直距离，m；

l——强肋骨跨距，m；

C——系数，无水平撑材时 $C=11$；有 1 根水平撑材时 $C=3.2$；有 2 根水平撑材时 $C=3$。

K——材料系数。

16.3.4.4　强肋骨腹板净面积应不小于按下式计算所得值：

$$A = C_1S(h+1.2)lK \qquad \text{cm}^2$$

式中：S——强肋骨间距，m；

h——强肋骨跨距中点至甲板边线的垂直距离，m；

l——强肋骨跨距，m；

C_1——系数，有 1 根水平撑材时，跨距点剖面处为 0.5，其他剖面为 0.25；有 2 根水平撑材时，跨距点剖面处为 0.66，其他剖面为 0.33；

K——材料系数。

16.3.4.5　对于船长 150m 及以上的矿砂船，强肋骨的尺寸也可由直接计算确定。

16.3.5　边舱内的强框架

16.3.5.1　边舱内强框架由强横梁、强肋骨、实肋板、纵舱壁垂直桁材和撑材组成。

16.3.5.2　强框架间距应不大于：

$$S = 0.006L + 3.2 \qquad \text{m，但不应大于 5.6m；}$$

式中：L——船长，m；

16.3.5.3　撑材应满足本篇第 5 章第 8 节的有关要求。对于船长 150m 及以上的矿砂船，撑材也可由直接计算确定。

16.3.5.4　撑材应作为梁进行整体屈曲校核。

16.3.5.5　边舱内强框架腹板的最小厚度应不小于下式计算所得之值：

$$t_{\min} = \max\left(0.6\sqrt{L} + 2.5, 12\right) \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长，m，计算时取值不大于 300m。

16.3.6　货舱周界

16.3.6.1　货舱周界系指货舱中除内底以外的与货物接触的纵舱壁、槽形横舱壁及其上、下壁凳（如有时）、平面横舱壁、上甲板、舱口围。

16.3.6.2　货舱周界板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 4.65C_1s\sqrt{\frac{K_CHK}{\gamma}} \qquad \text{mm}$$

式中：s——板格短边长度，m；

γ——装载率，m^3/t，其值应不大于 0.833；

H——在船中部舷侧处，从板格下沿量至甲板的垂直距离，m；

C_1=1.2－$\frac{s}{2l}$，其中 l 为板格长边长度，C_1 大于 1 时，取 C_1 等于 1；

K_C　——货物压力系数，取：

$Kc = \cos^2\alpha + (1-\sin\psi)\sin^2\alpha$　对横舱壁和纵舱壁、底凳、垂直顶凳、舱口围；

$K_C = 0$　对上甲板和倾斜顶凳。

α——所考虑板与水平面之间的夹角，（°）；

Ψ——散货假定的休止角，（°），装载矿砂取为 35°；

K——材料系数。

16.3.6.3　货舱周界扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=\frac{8.5}{\gamma}K_C Hsl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：γ、K_C同本节 16.3.6.2；

l ——扶强材跨距，m；

s ——扶强材间距，m；

H——在船中部舷侧处，从扶强材跨距中点量至甲板的垂直距离，m；

K——材料系数。

16.3.7 货舱区非水密主要构件腹板加强筋

16.3.7.1 货舱区非水密主要构件腹板加强筋的尺寸在计算时应扣除表 16.3.7.1 所列的标准减薄厚度。

标准减薄厚度 **表 16.3.7.1**

位置	标准减薄厚度mm
两边均在压载舱内	2.0
其他	1.0

16.3.7.2 腹板加强筋的净厚度应满足下述要求：

（1） 加强筋腹板最小净厚度

加强筋腹板净厚度应不小于 3.0+0.015L，其中 L 为船长（计算时取值不必大于 300m）。

（2） 加强筋腹板

$$t_w \geq \frac{h_w}{C_w}\sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

（3） 翼板

$$t_f \geq \frac{b_{f-out}}{C_f}\sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

式中：C_w, C_f——长细比系数，由表 16.3.7.2 给出；

$b_{f\text{-}out}$——腹板厚度中部到翼板边缘处的最大距离，mm，如图 16.3.7.2 所示；

h_w——加强筋板高度，mm，如图 16.3.7.2 所示；

t_f——翼板的净厚度，mm；

t_w——腹板的净厚度，mm；

R_{eH}——加强筋的最小屈服强度，N/mm^2。

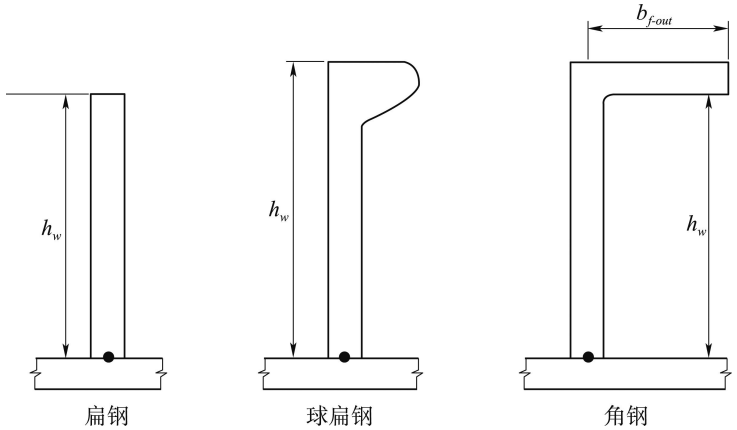


图 16.3.7.2 加强筋的尺度参数

长细比系数 **表 16.3.7.2**

加强筋类型	C_w	C_f
角钢	75	12
球扁钢	45	—
扁钢	22	—

16.3.7.3 如腹板加强筋为角钢和 T 型材，其翼板总宽 b_f，（mm），应满足下述要求：

$$b_f \geqslant 0.25h_w$$

式中：h_w——定义同 16.3.7.2。

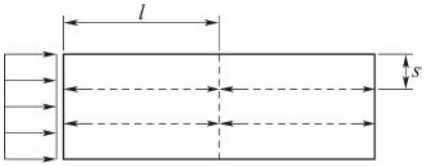
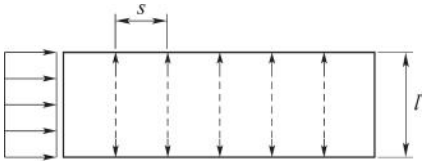
16.3.7.4 腹板加强筋的弯曲刚度

设置在矿砂船货舱区非水密主要构件上的腹板加强筋，连同有效带板 s_{eff} 的净惯性矩 I_{st}，应不小于表 16.3.7.4 中给出的最小惯性矩，有效带板宽度 s_{eff} 取为：

$$s_{eff} = 0.8s \quad \text{mm}$$

式中：s——腹板板格宽度，mm，取腹板加强筋的间距。

腹板加强筋的刚度要求 **表 16.3.7.4**

加强筋布置形式		腹板加强筋的最小惯性矩（cm^4）
A	腹板加强筋沿着主要构件跨距方向布置 	$I_{st} \geq Cl^2 A_{eff} \dfrac{R_{eH}}{235}$
B	腹板加强筋垂直于主要构件跨距方向布置 	$I_{st} \geq 1.14ls^2 t_w \left(2.5\dfrac{1000l}{s} - 2\dfrac{s}{1000l}\right)\dfrac{R_{eH}}{235}\cdot 10^{-5}$

式中：C——长细比系数，取为：

C=1.43，对于纵向加强筋，包括削斜筋；

C=0.72，其他加强筋；

l—— 腹板加强筋的长度，m

（1） 对焊接在局部支撑构件上的腹板加强筋，长度在局部支撑构件翼板之间量取；

（2） 对削斜的腹板加强筋，长度在侧向支撑之间量取，例如主要构件翼板之间的总距离，如加强筋布置 B 所示；

A_{eff} —— 腹板加强筋的净横截面积，包括有效宽度假定为 80%加强筋间距 s 的带板，cm^2；

t_w ——主要构件的腹板净厚度，mm；

R_{eH}—— 主要构件腹板的最小屈服强度，N/mm^2。

第 4 节 舱 壁

16.4.1 **水密横舱壁**

16.4.1.1 水密横舱壁的底部应设置实肋板。

16.4.1.2 水密横舱壁及其上、下壁凳(如有时)构件尺寸除满足本节要求外，还应满足本篇第 2 章第 12 节的有关要求。

16.4.1.3 当横舱壁构成压载货舱的周界时，还应满足本篇第 2 章第 13 节对深舱舱壁要求。

16.4.1.4　水密横舱壁的最下列板厚度应不小于本篇第 2 章 2.22.3.4 和 2.23.3.1 规定的内底板厚度，向上逐渐减薄。

16.4.2　**水密纵舱壁**

16.4.2.1　纵舱壁应是平面舱壁，通常采用纵骨架式。

16.4.2.2　纵舱壁的底部应设置连续底纵桁。

16.4.2.3　纵舱壁的构件尺寸除满足本节要求外，还应满足本篇第 2 章第 12 节的有关要求。

16.4.2.4　纵舱壁折角处板厚应适当增加，纵舱壁折角处可设置水平桁材予以加强，以提高纵舱壁的横向抗压能力，水平桁材的尺寸由直接计算确定。

16.4.2.5　在纵舱壁的任何垂直折角处，均应设有主要构件。折角与主要构件间的距离应不大于 70 mm。如折角不是垂直的，则应用与折角在同一直线上的普通扶强材适当加强，或采取其他等效的措施。

16.4.2.6　舱壁板

(1)　舱壁板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 4s\sqrt{hK} + 2.5 \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

h——板列下缘至纵中剖面处舱顶的垂直距离，但不小于 $0.4D$，m；

K——材料系数。

(2)　在距甲板 $0.1D$ 范围内舱壁板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 4.2s\sqrt{DK} + 2.5 \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

D——型深，m；

K——材料系数。

(3)　舱壁板厚度 t 还应符合下列要求：

$$t \geq (as)/(27D) \qquad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，mm；

a——板格中心至 $D/2$ 水平面的垂直距离，m；

D——型深，m。

(4)　纵舱壁的最下列板厚度应不小于本篇第 2 章 2.22.3.4 和 2.23.3.1 规定的内底板厚度，再逐渐过渡到纵舱壁板厚度。

(5)　距甲板 $0.1D$ 范围内的纵舱壁板厚度，可不必大于相同骨材间距的舷顶列板厚度。

16.4.2.7　垂直桁材

(1)　纵舱壁垂直桁材应设置在边舱内，垂直桁材的尺寸应按本章 16.3.4.3 计算，对于船长 150m 及以上的矿砂船，也可由直接强度计算确定；

(2)　垂直桁材两端肘板应符合规范第 2 篇第 1 章 1.2.7 的有关规定。

(3)　在垂直桁材腹板上一般应设置防屈曲加强筋。

16.4.2.8　水平扶强材

(1)　水平扶强材应不小于按下式计算所得之值：

$$W=7.2s(h+1.2)l^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：s——水平扶强材间距，m；

h——水平扶强材至中剖面处舱顶的垂直距离，但不小于 2.5m；

l——水平扶强材跨距，m；

K——材料系数。

（2）　水平扶强材在距甲板和距内底 $0.1D$ 范围内应连续通过横舱壁。

16.4.3　**制荡舱壁**

16.4.3.1　必要时在边舱内设置开孔式平面制荡舱壁。

16.4.3.2　制荡舱壁应符合本篇第 5 章第 11 节的有关要求。

第 5 节　快速装载要求

16.5.1　**一般要求**

16.5.1.1　本节规定适用于具有所有货舱单舱一次性 100%装载（快速装载）工况的矿砂船。

16.5.1.2　快速装载时的平均装载速率应不超出表 16.5.1.2 的规定；对于更高的平均装载速率应另行考虑。

平均装载速率　　表 16.5.1.2

载重吨（t）	平均装载速率（t/h）
220000~250000	14000
>250000	16000

16.5.2　**船体结构强度**

16.5.2.1　在快速装载的整个过程中，船体梁的实际静水弯矩和静水剪力不应超出港内工况许用静水弯矩和许用静水剪力。

16.5.2.2　在快速装载的整个过程中，应保证双层底和横舱壁有足够的局部强度。结构强度直接计算应按 CCS《矿砂船船体结构强度直接计算指南》要求进行。

16.5.3　**设备配备及要求**

16.5.3.1　如需通过压载调整来控制船体梁的实际静水弯矩和静水切力不超出港口工况的许用静水弯矩和许用静水切力，则应符合 16.5.3.2 和 16.5.3.3 的要求。

16.5.3.2　压载系统应能匹配 16.5.1.2 中平均装载速率的要求，包括压载舱布置、压载泵的能力以及压载管系的布置等。

16.5.3.3　船上应配备液舱（如压载舱、燃油舱等）遥控测深仪、船舶吃水读取系统，并与船上装载仪同步。装载过程中液位无变化的燃油舱等不需考虑在内。

16.5.4　**快速装载手册要求**

16.5.4.1　船上应配备经批准的快速装载手册或可包含在其他经批准的装载手册中。

16.5.4.2　快速装载的装载顺序，应包括从装货开始至装货结束每一步骤的装货及与之同步的压载调整（如需要）操作顺序，确保在整个装载过程中（包括每个货舱从空舱装载至满舱）符合本规定 16.5.2.1 的要求。

16.5.4.3　快速装载手册中至少应包括下述内容：

(1)　每一步骤每一货舱的装货量；

(2)　每一步骤每一压载舱的压载水调整量；

(3)　每一步骤结束时的最大静水弯矩与剪力；

(4)　每一步骤结束时的船舶吃水与纵倾。

第 17 章　下水工作船

第 1 节　一般规定

17.1.1　一般要求

17.1.1.1　本章适用于在船厂和/或港区水域内，专用于建造中的船舶或海上设施从岸上平移下水作业或从水中移向岸上，以及在上述规定水域内进行短距移位的非自航工作船。

17.1.1.2　对于本章无规定者，还应符合本篇第 2 章以及 CCS《浮船坞入级规范》的有关要求。

17.1.2　图纸资料

17.1.2.1　除本篇第 2 章第 1 节规定的图纸资料外，需提交下列图纸资料备查：

(1)　静水力曲线和沉浮曲线；

(2)　操作手册。

17.1.3　定义

17.1.3.1　**下水工作船**：系指有较大开敞露天浮箱甲板，首部和/或尾部，以及两舷处设有较高上层建筑或甲板室专用下水船，其中，两舷处的上层建筑可以纵向不连续布置，且一些上层建筑或甲板室视需要可拆卸。浮箱甲板上敷设数根专用轨道和移物台车。当被移物实施岸上平移下水和从水上移至岸上的作业时，先使浮箱甲板与岸边平地保持在同一水平面上，再通过移物台车移动被移物。在水中，通过船的起浮和半潜，实施被移物的装卸操作。船上不配置起重机设施。图 17.1.3.1 为某一典型的下水工作船示意图。

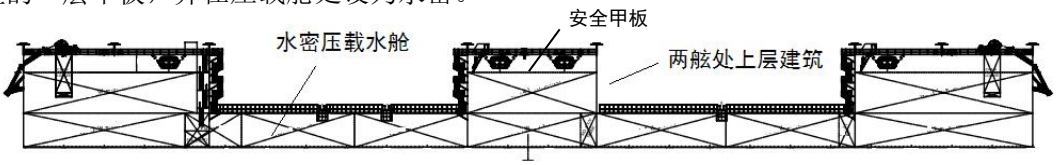
17.1.3.2　**半潜状态**：系指浮箱甲板被水淹没，仅依赖上层建筑或甲板室或浮箱提供储备浮力的状态。

17.1.3.3　**浮箱甲板**：系指承载并装卸被移物作业过程中被水淹没的开敞露天甲板，也称举升甲板。

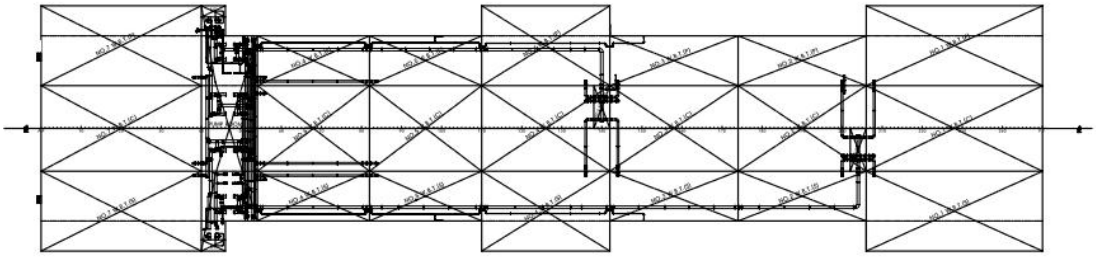
17.1.3.4　**最大沉深**：系指半潜作业状态下允许下潜到的最大吃水。

17.1.3.5　**浮箱总长 L_D(m)**：由下水工作船最前面浮箱前端缘量至最后面浮箱后端缘的长度。对于不属于浮箱整体结构的端部平台以及天桥部分不包括在浮箱总长的长度范围内。

17.1.3.6　**安全甲板**：系指在两舷上层建筑或甲板室内位于顶甲板之下、压载舱之上设置的一层甲板，并在压载舱处设为水密。



左舷纵剖面图



压载水舱平面

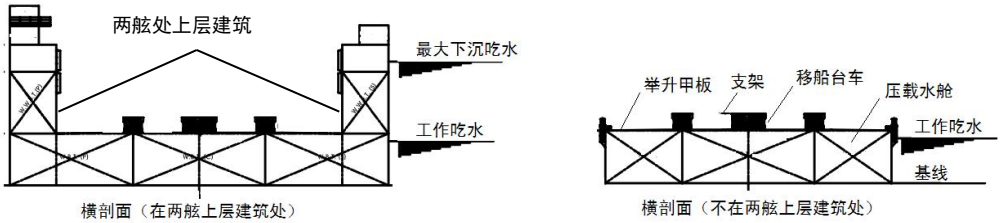


图 17.1.3.1　某一典型的下水工作船示意图

第 2 节　总纵强度

17.2.1　一般要求

17.2.1.1　除本节另有规定外，总纵强度应符合本篇第 2 章第 2 节的要求。

17.2.1.2　总纵强度应计及码头作业工况与港区作业工况(如有时)。

17.2.1.3　计入船体梁剖面模数的构件应在船中部 $0.4L_D$ 区域内保持纵向连续，但移物轨道不应计入在内。

17.2.2　载荷

总纵强度载荷规定如下：

(1)　浮力假定沿船长均匀分布；

(2)　按如下设计工况考虑对于移物重量及分布假定：

①　被移物停放船上情况：假定被移物所有的重量(基于设计举升能力)按实际情况分配至下水工作船的移物台车上，再通过移物台车传递到车下位置的浮箱甲板上。在计算时，应取移物台车承载总量等于被移物总重量(否则在总体力系上会引起浮力与重力的不平衡)。此外，应注意移物台车的最大承重负荷应不小于上述分配的单车载荷；

②　被移物平移上船情况：假定被移物重量分配方法按①，但仅部分长度的被移物移入船内，按照实际压载水配置，校核强度薄弱处剖面的弯曲和剪切强度。此时的工作船吃水应基于潮汐变化的海面标高和上述实际被移物进船部分重量、工作船重和浮力的静力平衡。

(3)　应考虑所有实际操作工况(应包括典型的作业工况，其中应含有移物下水和上岸，以及起浮/下沉装卸物等使用操作过程中的最不利情形)下的静水弯矩和静水剪力。

17.2.3　总纵强度校核

17.2.3.1　总纵强度校核应按照本篇第 2 章第 2 节的要求进行，但应符合下述要求；

(1)　对于码头作业工况，许用弯曲应力取为 $137/K$，N/mm^2；剪切应力取为 $95/K$，N/mm^2(K 为材料系数，且取值不小于 0.72)；

(2)　对于港区作业工况，许用弯曲应力取为 $175/K$，N/mm^2；剪切应力取为 $110/K$，N/mm^2(K 为材料系数，且取值不小于 0.72)；

(3)　船中最小剖面模数要求 W_0 不作要求；

(4)　对于下水工作船在码头进行作业的工况，不计及波浪载荷；

(5)　对于下水工作船在港内进行作业的工况，波浪载荷取本篇第 2 章第 2 节要求的 50%。

第 3 节　横向强度

17.3.1　一般要求

17.3.1.1　应按本节规定，对整个船长范围内典型横向结构进行横向强度校核。除校核屈服强度外，还应按本篇第 2 章第 2 节 2.2.7 对横向弯曲和剪切作用下的板格及横向构件进行屈曲强度校核。

17.3.1.2　浮箱首尾两端区域的横向强度应不低于对浮箱中部的要求。

17.3.2 载荷

17.3.2.1 下水工作船的横向主要受力构件在整个船长范围内均应满足下列载荷分量的组合作用(一般情况下可忽略移物轨道、台车及其设施的重量，也可忽略有关水平作用的静水压力影响)：

(1) 下水工作船自重，包括两舷上层建筑或甲板室(如有时)自重和浮箱自重；

(2) 移物重量，见本节 17.2.2；

(3) 给定吃水下作用在浮箱甲板上的静水压力。一般情况下，最严重的工况发生在吃水深度达至移物台车支架顶部之时(即被移物的底部刚被抬出水面)；

(4) 舱内静水压力，该压载与本条(3)中的吃水相关；

(5) 浮箱底板外部水压力；

(6) 计算的剖面部位上为达到重力与浮力平衡而所要求的两舷上层建筑或甲板室纵壁的反力(如有时)，且计算时，可假定作用在两舷上层建筑或甲板室内外纵壁上的反力相等。

17.3.3 计算模型

17.3.3.1 在浮箱的横向长度上(如对称，可仅取半舷范围)对浮箱纵剖面进行横向弯曲强度和剪切强度校核。计算剖面的纵向范围长度取横舱壁间距，且剖面的校核位置应包括横向强度较弱处。

17.3.3.2 当下水工作船以设计举升能力举升纵向长度小于浮箱总长的船舶时，由于受到本节 17.3.2.1(1)、(3)、(4)、(5)和(6)载荷的联合作用，在空出位置处的剖面上将可能会发生横向中拱。因此，适用时应对以上剖面进行该工况的校核。最严重的工况通常发生在压载水高度为最小时(即仅有残余水)。

17.3.4 横向强度校核

17.3.4.1 横向主要构件的许用应力如下：

许用正应力 $[\sigma]=170/K$ N/mm^2

许用剪应力 $[\tau]=95/K$ N/mm^2

许用相当应力 $[\sigma_e]=\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}=180/K$ N/mm^2

17.3.4.2 对于浮箱端部设置首尾端平台的下水工作船，应特别注意对该端部在高度减小位置处的结构强度应不低于按本节 17.3.4.1 计算的横向强度要求值。

第 4 节 局部强度

17.4.1 一般要求

17.4.1.1 船体结构的构件尺寸应不小于本节有关规定，且应满足总纵强度、横向强度以及直接计算的要求。

17.4.1.2 浮箱的纵骨，以及横梁和普通肋骨等重要骨材应保持连续。如有间断，应采用肘板过渡。

17.4.2 构成舱室周界的板

17.4.2.1 构成压载水舱、油舱、淡水舱、污水舱、空舱等舱壁周界的板材厚度 t，应不小于按下式计算所得之值：

$$t=t_0+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：$t_0=3.95s\sqrt{\rho hK}$，mm，其中，当 $l/s<4$ 时，t_0 还应乘以 $1.1-\frac{s}{2.5l}$；

s ——扶强材间距，m；

K——材料系数；

h——计算压头，m，见表 17.4.2.1；

l ——扶强材跨距，m。

表 17.4.2.1

构件位置	压头 h(m)	备注
1. 一侧承受外部静水压力，另一侧承受舱内静水压力的周界壁板，如上层建筑内的水密压载舱室纵向壁板和浮箱外壳板等。	从沉浮曲线上得到的该处最大水位差。	
2. 压载水舱的周界。	两侧之间可能出现的最大压差，且不小于 3.5m。	
3. 气垫空间位置处，如气垫空间位置区域内的安全甲板、上层建筑内的水密压载舱室纵向壁板及内部舱壁板等	气垫空间一侧的内部压头：沉浮曲线上最大沉深时该处的水位差。压头取为内外压力之差，且不小于 3.5m。	尚应满足上述 1 和 2 的要求。
4. 空舱水密周界	计算点到最大沉深水面的垂直距离，且不小于 3.5m。	尚应满足上述 3 的要求。
5. 上述区域以外的通常的油舱、淡水舱和污水舱等。	计算点量至液舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者。	

17.4.2.2　构成液舱周界和非水密舱壁所要求的最小板厚为 7.5 mm。

17.4.3　舱室周界板上的骨材

17.4.3.1　对于本节 17.4.2.1 定义的舱室周界板上承受侧向载荷的骨材，如舱壁扶强材、纵骨、横梁、普通肋骨等构件的剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 7shl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——骨材间距，m；

K——材料系数；

l ——骨材跨距，m；

h——计算压头，m，见本节 17.4.2.1，计算点取跨距中点。

17.4.4　两舷上层建筑的顶甲板板

17.4.4.1　设置两舷的上层建筑顶甲板尺寸在以下两个区域的板厚 t，应不小于按下式计算所得之值，且应不小于 6.5mm：

$t = 10s\sqrt{K}$ mm，船中 $0.4L_D$ 区域

$t = (7.8s + 2.2)\sqrt{K}$ mm，在离浮箱端 $0.1L_D$ 区域

式中：s——纵骨间距，m；

K——材料系数。

17.4.4.2　船中部 $0.4L_D$ 范围内的板厚应大于端部板厚。

17.4.5　两舷上层建筑或甲板室的顶甲板纵骨和横梁

17.4.5.1　设置两舷的上层建筑顶甲板纵骨、横梁的剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = Csl^2 \qquad \text{cm}^3$$

式中：C——系数，对船中部 $0.4L_D$ 范围内的纵骨，取 14.5；对横梁及首尾端部的纵骨，取 5.4；

s ——骨材间距，m；

l ——骨材跨距，m。

17.4.6 安全甲板板

17.4.6.1 安全甲板的厚度 t，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = t_0 + 2.5 \qquad \text{mm}$$

当 $l/s < 4$ 时，t_0 还应乘以 $1.1 - \dfrac{s}{2.5l}$

式中：$t_0 = 3.4s\sqrt{hK}$，mm；

K——材料系数；

s——骨材间距，m；

l——骨材跨距，m；

h——从安全甲板横梁顶端量至同一舷侧位置之上的甲板横梁顶端的垂直高度，m。

17.4.6.2 除本节 17.4.6.1 外，安全甲板的厚度还应考虑气垫压力和甲板放置物品/设备重量压力的单独作用影响。

17.4.6.3 安全甲板的最小板厚之值为 7.5 mm。

17.4.7 安全甲板上的横梁和纵骨

17.4.7.1 设于安全甲板上的横梁或纵骨的剖面模数 W，应按下式计算：

$$W = 4.5KshL^2 \quad \text{cm}^3$$

式中：K——材料系数；

s——骨材间距，m；

l——骨材跨距，m；

h——从安全甲板横梁顶端量至同一舷侧位置之上的甲板横梁顶端的垂直高度，m。

17.4.7.2 除本节 17.4.7.1 外，安全甲板的横梁和纵骨尺寸的校核还应考虑气垫压力和甲板放置物品/设备重量压力的单独作用影响。

17.4.8 横向强框架（强横梁、强肋骨和底肋板）和桁材

17.4.8.1 主要构件(如强横梁、强肋骨和桁材等)的剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 7bhl^2K \qquad \text{cm}^3$$

式中：b——支承宽度，m，取主要构件的间距；

K——材料系数；

l——计算跨距，m；

h——计算压头，m，见本节 17.4.3.1，计算点取跨距中点。

17.4.9 撑杆

17.4.9.1 设置在两舷甲板室和浮箱中的撑杆剖面积、腹板和面板要求应满足 17.4.9.4 和 17.4.9.5 的要求。

17.4.9.2 水平撑杆承受的负荷 P，应不小于按下式计算所得之值：

$$P = p \qquad \text{kN}$$

式中：$p = 9.8shl_1$，kN。

其中：h——撑杆处最大压差水头高，m；

s——撑杆间距，m；

l_1——水平撑杆支撑处上下方骨材跨距中点之间的垂直距离，m，见本节图 17.4.9.3。

17.4.9.3 斜向布置撑杆承受的负荷 P，应不小于按下式计算所得之值：

(1) 对撑杆 1(见图 17.4.9.3)：

$$P=\frac{p\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)} \qquad \text{kN}$$

式中：p——见 17.4.9.2，且 h 应从撑杆的最下端处量至最大压差时的水面；

α、β——斜向布置撑杆与水平面的夹角，(º)，见图 17.4.9.3；

(2) 对撑杆 2(见图 17.4.9.3)：

$$P=\frac{p\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta)} \qquad \text{kN}$$

式中：p、α和β——同(1)中定义。

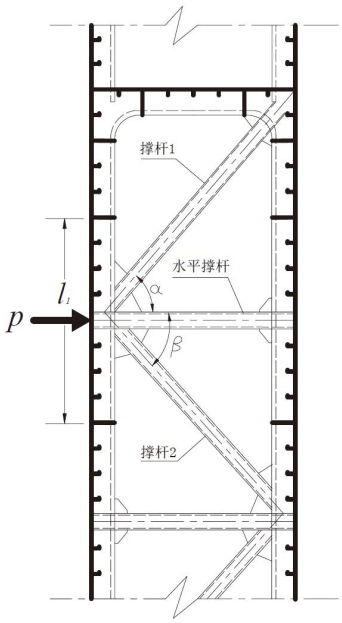


图 17.4.9.3 水平撑杆支撑处上下方骨材跨距中点之间的垂直距离 l_1

17.4.9.4 撑杆横剖面积 A 应符合本篇第 2 章第 10 节 2.10.2 的要求。

17.4.9.5 组合形撑杆以及轧制型材撑杆应符合本篇第 2 章第 10 节 2.10.3.2 的要求。

17.4.10 移物台车轨道位置下浮箱支撑结构的局部强度

17.4.10.1 移物台车轨道位置下浮箱支撑结构的局部强度可基于支撑结构承受沿浮箱整个长度上，按本节 17.2.2 规定的载荷进行分析计算。强度衡准见本节 17.3.4.1。该局部强度的校核也可包含在整船结构强度直接计算中。

17.4.11 浮箱端部平台结构

17.4.11.1 浮箱端部平台结构承受的载荷一般假定为 5.75 kN/m^2，且许用应力 $[\sigma]=60/K$，N/mm^2，许用剪应力 $[\tau]=35/K$，N/mm^2。如预期或要求的载荷更大，应予特殊考虑。

17.4.12 天桥结构

17.4.12.1 下水工作平台天桥结构承受的载荷一般假定为 3.59 kN/m^2，且许用应力 $[\sigma]=60/K$，N/mm^2，许用剪应力 $[\tau]=35/K$，N/mm^2。如预期或要求的载荷更大，应予特殊考虑。

第 5 节 结构强度直接计算

17.5.1 一般要求

17.5.1.1 下水工作船应按本章附录 1 要求进行整船结构强度直接计算，并应提交批准。

附录 1　下水工作船结构强度直接计算

1　一般规定

1.1　适用范围

1.1.1　本附录适用于本章要求的下水工作船结构强度直接计算。

1.1.2　对于本附录无规定者，均应符合本篇第 1 章第 5 节的有关要求。

2　设计载荷

2.1　一般要求

2.1.1　设计载荷应至少包括如下项目：

(1)　下水工作船自重；

(2)　按照本章第 2 节 17.2.2 假定作用于浮箱甲板上的被移物重量；

(3)　浮箱底板的外部水压力及舷外静水压力；

(4)　浮箱甲板浸没于水的静水压力；

(5)　压载舱水压力。

3　计算工况

3.1　一般要求

3.1.1　计算工况应至少包括如下情况，并应符合本章第 2 节 17.2.2 及本船的特殊性：

(1)　工况 1：作业工况；

(2)　工况 2：以设计举升能力举升被移物，且平浮状态下的下水工作船吃水位置至移物台车支架顶时的工况；

(3)　工况 3：升沉过程中压载水调配时可能出现的危险工况。

3.1.2　应尽量使模型的总浮力与重力平衡，见本篇第 1 章第 5 节 1.5.7.6。

3.1.3　施加被移物的重力载荷的工况中，应包含假定其重量分布曲线最大值的坐标位于整船模型中央的情况。

4　结构模型化

4.1　一般要求

4.1.1　整船模型范围如下：

(1)　纵向(x 向)：取整个船长；

(2)　横向(y 向)：取整个船宽；

(3)　垂向(z 向)：取沿基线至顶甲板。

4.1.2　模型单元和网格尺寸要求见本篇第 1 章第 5 节的相关要求。

4.1.3　模型的边界条件应以约束整船模型的刚体位移为目的，一般边界设在首尾两端部或船中部的强框架剖面上(见图 4.1.3)。

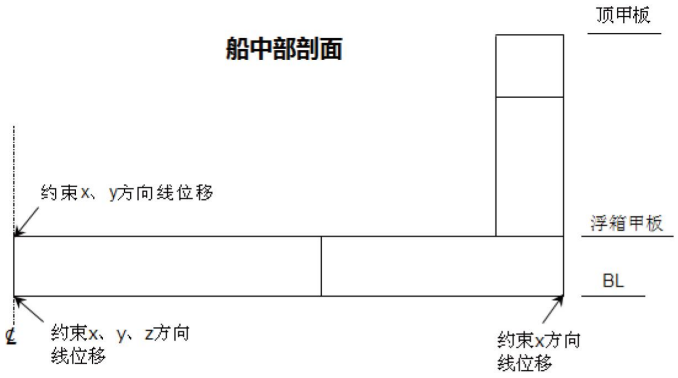


图 4.1.3　边界条件

5　屈服强度评估

5.1　许用应力

5.1.1　许用应力见表 5.1.1。

许用应力　　表 **5.1.1**

构件	相当应力或轴向应力(N/mm²)	剪应力(N/mm²)
板单元	$[\sigma_e]=185/K$	$[\tau]=100/K$
横向桁架撑杆	$[\sigma]=141/K$	—

注：K——材料系数。

6　屈曲强度评估

6.1　一般要求

6.1.1　屈曲强度评估见本篇第 5 章附录 1。

第 18 章　双 体 船

第 1 节　一般规定

18.1.1　一般要求

18.1.1.1　本章适用于主船体由连接桥结构连接左右两个片体组成的双体船。

18.1.1.2　对于本章无规定者，还应符合本篇第 2 章的有关要求。

18.1.2　定义

18.1.2.1　**船长 *L*(m)**：沿夏季载重线，由最前端支柱体前缘量至最后端支柱体尾缘的长度，并应计入下潜体从首至尾的长度与刚性水密船体位于设计水线以下部分的总长(不包括设计水线处及以下的附体)之差的 50%。

18.1.2.2　**船宽 *B*(m)**：刚性水密船体的最大型宽，不包括设计水线处及以下的附体。

18.1.2.3　**型深 *D*(m)**：在船长 L 中点处，沿片体外舷舷侧自平板龙骨上表面至干舷甲板下表面之间的垂直距离。

18.1.2.4　**片体宽度 b(m)**：在船长 L 中点处，片体内外侧壁外表面之间的最大水平距离。

18.1.2.5　**连接桥宽度 b_1(m)**：在船长 L 中点处，沿湿甲板两片体内侧壁外表面之间的水平距离。

18.1.2.6　**连接桥结构**：连接左右两片体的甲板及其他附属的强力(箱体)结构。

18.1.2.7　**湿甲板**：连接桥结构的最下暴露表面结构。

18.1.2.8　**左、右片体**：分别位于连接桥结构之下两舷处的纵向单船体结构。

第 2 节　结构强度

18.2.1　一般要求

18.2.1.1　双体船的单片体结构可按本篇对于单船体的适用要求。

18.2.1.2　对于连接桥结构，其最小尺度应满足本规范对于单船体的强力甲板要求，并应进行适当加强，以抵抗波浪载荷对连接桥湿甲板的砰击影响。

18.2.1.3　包含连接桥的双体船的总强度(含总纵强度、总横强度及扭转强度)应按本章附录 1 规定的整船结构强度直接计算进行校核。

18.2.1.4　连接桥结构纵剖面应按本章 18.3.2.4 规定的剪力计算校核其剪切强度，剪应力需满足下式要求（K 为材料系数）：

$$\tau \leqslant 90/K \quad \text{N/mm}^2$$

第 3 节　总 载 荷

18.3.1　一般要求

18.3.1.1　对具有以下特征的双体客船、公务船，可按本节 18.3.2 确定船舶的总载荷，也可按本节 18.3.1.2 和 18.3.1.3(如适用)进行载荷直接计算：

$$L \leqslant 60\text{m}$$
$$L/D \leqslant 15$$
$$B/D \leqslant 3.5$$
$$b_1/B \leqslant 0.4$$

18.3.1.2　对超出 18.3.1.1 范围的双体船总载荷应采用直接计算方法确定。波浪载荷的直接计算方法按本篇第 2 章第 2 节 2.2.9 要求进行。如用切片理论，则分析方法须计及双船体之间的水动力相互作用。

18.3.1.3　如波浪载荷直接通过船模试验得到，则有关计算原理/计算程序或试验大纲(适用时)应事先征得认可。

18.3.2　计算载荷

18.3.2.1　双体船总纵弯矩 M_{by} 为静水弯矩 M_{bys} 与波浪弯矩 M_{byw} 的叠加值。波浪弯矩 M_{byw} 取片体波浪弯矩的 2 倍，片体波浪弯矩按本篇第 2 章第 2 节 2.2.3 的要求确定；静水弯矩 M_{bys} 按本篇第 2 章第 2 节 2.2.2 的要求确定。静水弯矩取各装载工况下船中 0.4L 范围内最大值，波浪弯矩按船中 0.4L 范围取值。

18.3.2.2　双体船连接桥总横弯矩 M_{bx} 可按下式计算：

$$M_{bx}=9.81C_1C_2C_3\Delta（b+b_1) \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

其中，$C_1=0.150(\frac{b}{D})^2-0.778\frac{b}{D}+0.866$

$$C_2=-2.386\frac{b_1}{B}+1.937$$

式中：

b——片体宽度，m；

b_1——连接桥宽度，m；

D——船舶型深，m；

B——船宽，m。

C_3——航区系数，远海航区 1.0，近海航区 0.8，沿海航区 0.6，遮蔽航区 0.5；

Δ——双体船排水量，t。

18.3.2.3　双体船连接桥的总横扭矩 M_{ty} 可按下式计算：

$$M_{ty}=1.226C_3\Delta L \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

C_3——航区系数，远海航区 1.0，近海航区 0.8，沿海航区 0.6，遮蔽航区 0.5；

Δ——双体船排水量，t；

L——船长，m。

18.3.2.4　双体船连接桥的垂向剪力 Q_t 可按下式计算：

$$Q_t=9.81C_1C_2C_3\Delta \qquad \text{kN}$$

其中，$C_1=0.164(\frac{b}{D})^2-0.874\frac{b}{D}+0.974$

$$C_2=-1.958\frac{b_1}{B}+1.783$$

式中：

b——片体宽度，m；

b_1——连接桥宽度，m；

D ——船舶型深，m；

B ——船宽，m。

C_3 ——航区系数，远海航区 1.0，近海航区 0.8，沿海航区 0.6，遮蔽航区 0.5；

Δ——双体船排水量，t。

附录 1　双体船结构强度直接计算

1　一般规定

1.1　一般要求

1.1.1　本附录适用于本章要求的双体船结构强度直接计算。

1.1.2　对于本附录无规定者，均应符合本篇第 1 章第 5 节的有关要求。

2　载　荷

2.1　一般要求

2.1.1　直接计算评估时载荷可按 2.2.1~2.2.3 规定的等效载荷形式施加，也可按 2.2.4 规定的等效设计波方法进行。

2.1.2　按等效载荷的形式施加时，双体船总纵弯矩 M_{by}、总横弯矩 M_{bx}、总横扭矩 M_{ty} 按本章第 3 节计算，该载荷包括静水载荷及波浪载荷。

2.2　载荷施加

2.2.1　双体船的总纵弯矩 M_{by}，可通过在计算模型上施加沿船长分布的等效垂向分布力 $q(x)$或与之等效的一系列集中力的方式进行。载荷应施加于片体纵向主要构件上，如舷侧、纵舱壁、船底中纵桁或其他纵桁上。在单片体同一横剖面上的力可以分成几份，并左右对称于单片体中纵剖面，同时两片体施加的载荷应对称于双体船中纵剖面。当使用系列集中力时，每个集中力应等于分布力乘以该集中力加载区间的长度。$q(x)$按下式计算：

$$q(x)=q_0\left(\sin\frac{\pi x}{L}-0.637\right) \qquad \text{kN/m}$$

式中：　$q_0=\dfrac{46}{L^2}M_{by}$，kN/m, 其中：$M_{by}$ 按本章 18.3.2.1 计算。

2.2.2　连接桥的总横弯矩 M_{bx}，可通过沿片体内侧舭部的系列节点上施加横向对开力等效，如图 2.2.2 所示。横向对开力 f_y 按下式计算：

$$f_y=\frac{M_{bx}}{nz} \qquad \text{kN}$$

式中：　M_{bx}——连接桥总横弯矩，kN·m，按本章计算；

z——横向对开力施加点至连接桥中纵剖面中和轴的垂向距离，m；

n——单个片体施加横向对开力的节点总数。

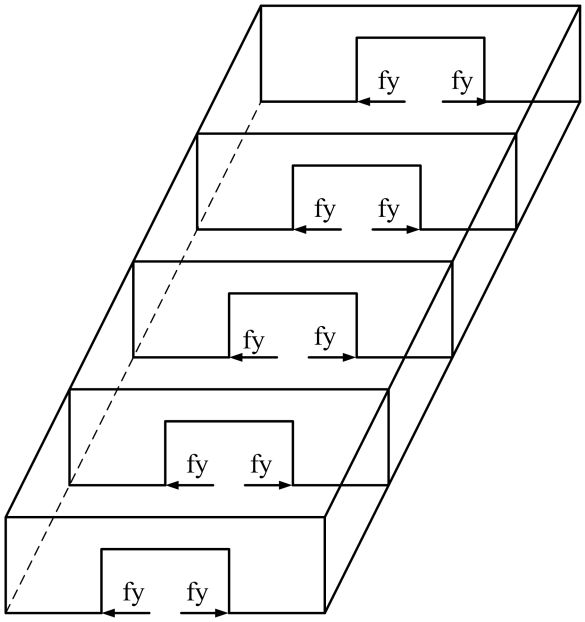


图 2.2.2　总横弯矩通过施加横向对开力的示例

2.2.3　双体船总横扭矩 M_{ty}，可通过反对称分布在片体中纵剖面内的垂向均布力等效施加。反对称分布是指垂向均布等效力，即关于双体船中纵剖面反对称和关于中横剖面反对称，如图 2.2.3 所示。等效的垂向分布载荷 p_x，由下式计算：

$$p_x = \frac{4M_{ty}}{L^2} \qquad \text{kN/m}$$

式中：　L——双体船船长，m；

M_{ty}——连接桥扭矩，kN·m，按本章计算。

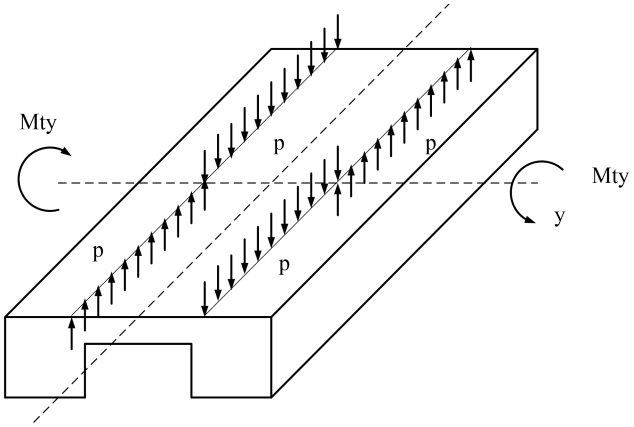


图 2.2.3　总横扭矩通过施加反对称垂向分布力的示例

2.2.4　载荷的施加也可采用本篇第 1 章第 5 节 1.5.7 进行。此时应根据本附录 3.1.1 的载荷组合工况寻找相应的等效设计波。

3　计算工况

3.1　一般要求

3.1.1　双体船结构强度直接计算分析中，应按下述（1）~（6）载荷组合工况进行计算，船长大于 50m 的船舶，还应按下述（7）~（12）载荷组合工况进行补充计算：

（1）M_{bx}（向内）；

（2）M_{bx}（向外）；
（3）0.8 M_{bx}（向内）＋0.6M_{ty}；
（4）0.8 M_{bx}（向外）＋0.6 M_{ty}；
（5）0.6 M_{bx}（向内）＋0.8 M_{ty}；
（6）0.6 M_{bx}（向外）＋0.8 M_{ty}；
（7）M_{by}（中拱）；
（8）M_{by}（中垂）；
（9）0.8 M_{by}（中拱）＋0.6 M_{ty}；
（10）0.8 M_{by}（中垂）＋0.6 M_{ty}；
（11）0.6 M_{by}（中拱）＋0.8 M_{ty}；
（12）0.6 M_{by}（中垂）＋0.8 M_{ty}。

4　结构模型化

4.1　一般要求

4.1.1　整船模型应包含整个船体结构，如船体外板、纵/横舱壁、甲板结构、连接桥、片体等构件。

4.1.2　模型单元和网格尺寸见本篇第 1 章第 5 节有关要求。

4.1.3　一般情况下，下列部位应考虑进行细化网格分析：
（1）双体船连接桥前端壁（或强横梁）与片体连接的内角处；
（2）双体船连接桥后端壁（或强横梁）与片体连接的内角处；
（3）实际结构形状在粗网格模型中无法真实表达的位置；
（4）其他全船粗网格模型计算应力超过 95%许用应力的部位。

4.1.4　细化网格分析时，细化区域单元网格大小应不大于 50mm×50mm，网格划分应保证从细化区域向粗网格区域的平稳过渡。

4.2　边界条件

4.2.1　对于处于平衡状态的整船有限元模型，可采用表 4.2.1 及图 4.2.1 设置边界支点及约束条件。

整船有限元模型边界条件　　**表 4.2.1**

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
支点 *A*	固定	固定	固定	—	—	—
支点 *B*	—	固定	固定	—	—	—
支点 *C* (*C*')	—	— (固定)	固定 (—)	—	—	—

注：① *A*、*B*、*C*' 组合用于扭转工况，其中，点 *C*'的 *z* 向位置位于连接桥纵中剖面的湿甲板上；
② 纵向弯曲工况时，若 *z* 向力系不平衡，则可引起支点 *A*、*B* 处的附加支座反力，此时应忽略 *A*、*B* 处的结果(该工况仅用于考察船中区域)。

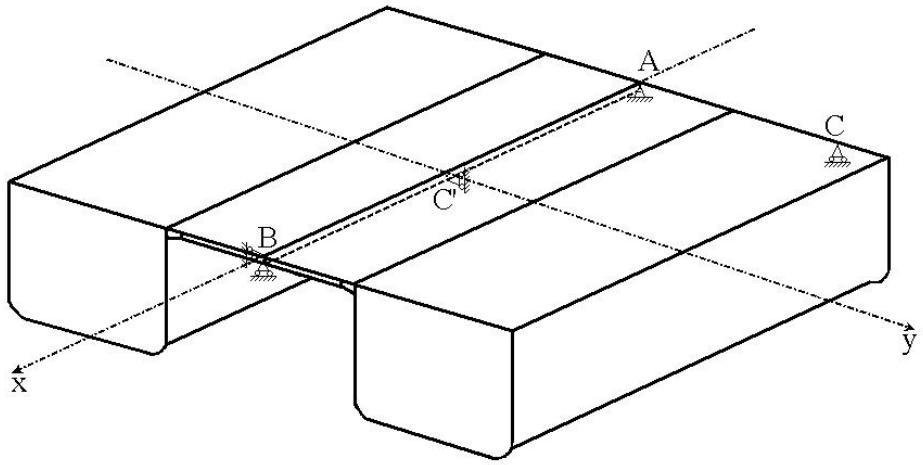


图 4.2.1

5 屈服强度评估

5.1 许用应力

5.1.1 许用应力见表 5.1.1。

许用应力 **表 5.1.1**

构件	相当应力[σ_e] (N/mm^2)	剪应力[τ] (N/mm^2)
板单元	200/K	90/K

注：K——材料系数。

5.1.2 载荷按本附录 2.2.1~2.2.3 施加时，细化网格区域构件板单元相当应力应不大于 1.2×235/K（K 为材料系数）。载荷按本附录 2.2.4 等效设计波的方法进行施加时，细化网格区域构件板单元相当应力应不大于 1.5×235/K（K 为材料系数）

6 屈曲强度评估

6.1 一般要求

6.1.1 屈曲强度评估要求见本篇第 5 章附录 1。

第 19 章　沙　　船

第 1 节　一般规定

19.1.1　适用范围

19.1.1.1　本章适用于自卸式运沙船(以下称沙船)，典型沙船的横剖面布置如图 19.1.1.1（1）和 19.1.1.1（2）。

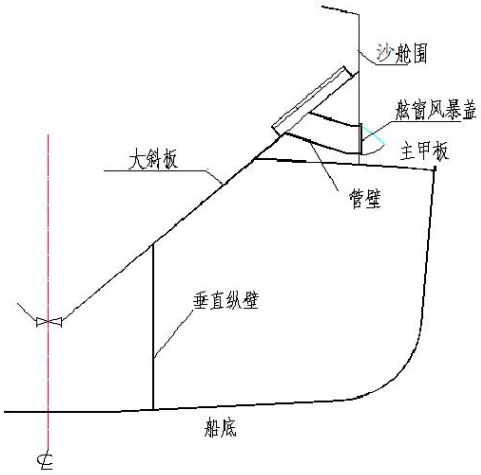


图 19.1.1.1(1)

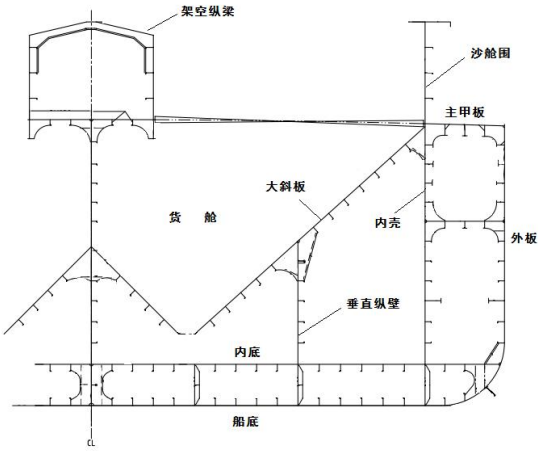


图 19.1.1.1(2)

19.1.1.2　本章规定适用于主尺度满足 $B/D \leqslant 3.5$ 的沙船。

19.1.1.3　对于本章未作规定者，还应符合本篇第 14 章和第 2 章的有关适用要求。

第 2 节　泥沙舱区域结构的特殊要求

19.2.1　大斜板及其支撑结构

19.2.1.1　对于设有大斜板的货舱，应在左、右斜板下面各设置 1 道垂直纵壁，且应满足水密舱壁的要求。货舱大斜板结构应满足本篇第 14 章对泥舱舱壁的适用要求，且应符合本篇第 8 章对底边舱的有关要求。

19.2.1.2　舱壁扶强材或垂直桁材连同带板(舱壁板)的剖面积应符合本篇第 2 章第 10 节对支柱的要求。其中，在计算支柱的载荷 P 时，P_0 的取值应为上方斜板在承载面积 $a \times b$ 范围内的泥沙浆体积重量。

19.2.1.3　对于大斜板下的支柱强度校核，应计及其上方支持的泥沙体积重量或舱口围板及其扶强材支持的斜板上的泥沙体积重量。

19.2.2　船底肋板

19.2.2.1　对于 19.2.1.1 的货舱结构，船底肋板可按本篇第 14 章第 5 节 14.5.2.1 校核。

19.2.2.2　位于边舱纵壁至船舯之间的沙舱大斜板下支撑支柱的实肋板腹板上，应设置

垂直加强筋，厚度与肋板相同，宽度为 100 mm，且两端应削斜，见图 19.2.2.2。

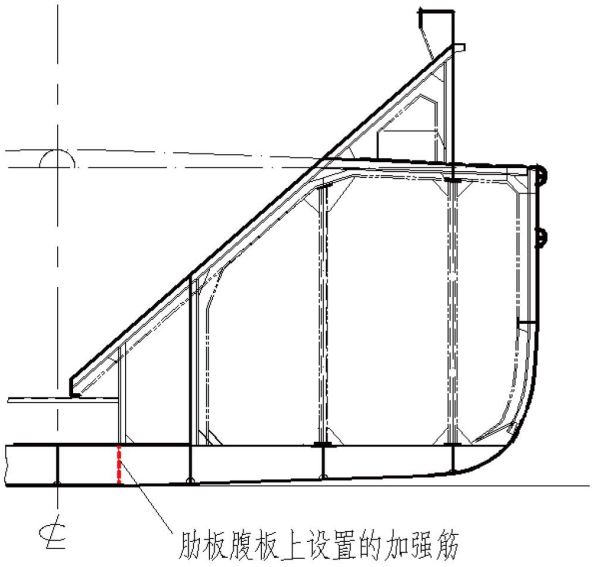


图 19.2.2.2　肋板腹板设置加强筋



中　国　船　级　社

国内航行海船建造规范

2026

第 3 篇　轮　　机

目　录

第 3 篇　轮机

第 1 章　通则 …… 3-1

第 1 节　一般要求 …… 3-1

第 2 节　一般规定 …… 3-1

第 3 节　布置 …… 3-4

第 2 章　泵与管系 …… 3-6

第 1 节　一般规定 …… 3-6

第 2 节　碳钢、低合金钢与不锈钢 …… 3-8

第 3 节　铜与铜合金 …… 3-11

第 4 节　其他材料 …… 3-12

第 5 节　管路连接、热处理与无损检测 …… 3-13

第 6 节　泵、阀与附件 …… 3-21

第 7 节　试验 …… 3-22

第 8 节　布置 …… 3-23

第 3 章　船舶管系与舱室通风系统 …… 3-26

第 1 节　一般规定 …… 3-26

第 2 节　除机器处所外其他舱室的排水 …… 3-26

第 3 节　机器处所的排水 …… 3-27

第 4 节　舱底泵与舱底水管系 …… 3-28

第 5 节　客船排水的附加要求 …… 3-31

第 6 节　排水的其他附加要求 …… 3-32

第 7 节　非机动船舶的舱底排水与压载管系 …… 3-32

第 8 节　压载与甲板排水管系 …… 3-33

第 9 节　遥控的舱底水与压载水管系 …… 3-34

第 10 节　空气、溢流与测量管 …… 3-34

第 11 节　舱室通风系统 …… 3-37

第 4 章　动力管系 …… 3-39

第 1 节　一般规定 …… 3-39

第 2 节　燃 油 管 系 …… 3-39

第 3 节　蒸汽管系 …… 3-44

第 4 节　锅炉给水、排污与凝水管系 …… 3-44

第 5 节　冷却水管系 …… 3-45

第 6 节　滑油管系 …… 3-46

第 7 节　液压传动管系 …… 3-47

第 8 节　热油系统 …… 3-48

第 9 节　液货船锅炉使用原油或污油作为燃料的有关要求 …… 3-49

第 10 节　排气管路 …… 3-50

第 5 章　油船管系 …… 3-52

第 1 节　一般规定 …… 3-52

第 2 节　货油装卸管系 …… 3-52

第 3 节　舱底、压载与其他管系 …… 3-54

第 4 节　货油加热 3-56
第 5 节　货油舱测深 3-56
第 6 节　货油舱的透气装置 3-57
第 7 节　油船双层壳体间的规定 3-58
第 8 节　运载闪点超过 60℃货油油船的规定 3-58
第 6 章　锅炉与压力容器 3-59
第 7 章　汽 轮 机 3-60
第 8 章　燃气轮机 3-61
第 9 章　柴 油 机 3-62
第 10 章　齿轮传动装置 3-63
第 11 章　轴系与螺旋桨 3-64
第 1 节　一般规定 3-64
第 2 节　轴　系 3-64
第 3 节　轴系传动装置 3-67
第 4 节　螺旋桨 3-72
第 12 章　轴系振动与校中 3-78
第 1 节　一般规定 3-78
第 2 节　扭转振动 3-79
第 3 节　纵向振动 3-82
第 4 节　回旋振动 3-83
第 5 节　轴系校中 3-83
第 13 章　操舵装置与锚机装置 3-86

第 1 章　通　　则

第 1 节　一般要求

1.1.1　适用范围

1.1.1.1　船舶的主推进机械和辅助机械装置，锅炉、压力容器、泵和管系以及齿轮传动装置应符合本篇的有关规定。

1.1.1.2　轮机还应符合本规范第 1 篇的适用要求。

1.1.2　图纸资料

1.1.2.1　船舶建造前应按本篇各章所列图纸资料提交审批。根据不同装置情况，可要求提交其他有关的图纸资料。

1.1.2.2　经批准的图纸，其基本设计、材料或其他方面作任何重要改动，均应将修改的图纸重新送审批准。

第 2 节　一般规定

1.2.1　环境条件

1.2.1.1　主、辅机和轴系传动装置，以及船舶必需的机械设备，其设计、选型和布置均应符合表 1.2.1.1 中船舶倾斜角的规定，以保证其能正常运转。考虑到船舶的类型、尺寸和营运情况，可采用较小的倾斜角。

船舶倾斜角　　**表 1.2.1.1**

装置和设备	倾斜角①(°)			
	横向		纵向	
	横倾	横摇	纵倾	纵摇
主机和辅机	15	22.5	5②	7.5
安全设备： 如应急发电机装置、应急消防泵及其驱动装置	22.5③	22.5③	10	10

注：①　横向和纵向倾斜可能同时发生。

②　当船舶长度大于 100m 时，纵倾倾斜角可取 500/L，式中 L 为船舶总长度，m。

③　装运液化气体、化学品的船舶，其应急电源还应在船舶进水以致于最终横倾达 30°的极限状态下能保持供电。

1.2.1.2　船舶必需的机械设备，其设计和布置均应符合表 1.2.1.2 中环境温度的规定，以保证其能正常运转。对限定航区的船舶，环境温度可按航区实际情况选取。

环境温度　　**表 1.2.1.2**

环　境	位　置	温　度 (℃)
大　气	室　内	0 至 45
	在特定处所内或机械设备上	按特定处所或设备的实际温度
	开敞甲板	−25 至 45
海　水	所有位置	32

1.2.1.3　确定船舶主、辅往复式内燃机的功率，应采用下列基准环境条件：

绝对大气压　　0.1MPa

环境温度　　45℃

相对湿度	60%
海水温度(中冷器进口处)	32℃

发动机制造厂在试验台上不必按本条规定提供模拟的基准环境条件。

1.2.1.4　对限定航区的船舶，确定主、辅机功率所根据的环境条件，应适应于该航区的情况。

1.2.2　振动

1.2.2.1　推进装置的设计、结构和安装应避免在常用转速范围内因振动而产生过大的应力。

1.2.3　倒车功率

1.2.3.1　为确保在所有正常情况下对船舶的适当控制，SOLAS 第 II-1/28.1 条所要求的最小倒车功率应由船舶设计者确定，且不应超过推进装置所设计的最大允许倒车功率（MPAP）。倒车试验应按照 ISO 19019:2005 第 5.4 节的规定进行。

1.2.3.2　当汽轮机用作主推进机械时，倒车试验应证明其能以 MPAP 运行至少 15min，且应限制在 30min 之内或按制造厂推荐的时间进行，以避免因“风阻（windage）”和摩擦导致汽轮机过热。

1.2.3.3　具有换向离合装置、可调螺距螺旋桨或电力推进装置的主推进系统，以 MPAP 倒车运转时不应使推进机械装置过载。

1.2.3.4　倒车试验应从控制位置上实施。船厂应提供试验大纲，该试验大纲应经验船师同意。试验大纲还应包括制造商的特殊操作特性规定（如有）[①]。

1.2.4　超负荷能力

1.2.4.1　主机和发电机组的原动机，应具有 110%额定功率运转的能力。

1.2.5　瘫船起动

1.2.5.1　船舶机械设备的布置，应能在没有外来帮助的情况下，只通过船上可用的设备使其从“瘫船”状态达到运转的目的。

“瘫船” 状态是指主推进装置、锅炉和辅机已停止运行，且在恢复推进的过程中，假定已没有储能可用于起动和运行推进装置、主发电机和其他必需辅助设备的一种状态。

如应急动力源是一台满足本篇 9.5.3 和本规范第 4 篇 2.2.1.6 要求的应急发电机，则这台发电机可用于恢复主推进装置、锅炉和辅机的运行，但为发动机运行所必需的任何动力供应系统应保护到起动装置的类似水平。

如未安装应急发电机或应急发电机未满足上述要求，则使主辅机械进入运转的布置，应能在没有外界帮助的情况下，在船上提供初始起动所需的压缩空气、电力或其他任何动力源。如为此而要求采用应急空气压缩机或应急发电机，则应采用手动起动的柴油机或手动压缩机。

使主辅机械进入运转的配置应有足够的容量，以使在瘫船后 30 min 内得到为恢复发动机运行所需的起动能源和任何动力供应系统。对蒸汽主推进装置，此处的 30min 应为瘫船后至第一台主锅炉点火成功的时间。

1.2.5.2　本节 1.2.5.1 条对下列船舶不要求：

(1)　沿海航区及其之下航区货船和遮蔽航区客船；

(2)　500 总吨以下货船。

1.2.6　材料

1.2.6.1　主、辅机械和推进轴系的主要零部件以及锅炉和压力容器在制造中所用的材料，应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关规定。

1.2.6.2　所有船舶，应禁止新装含有石棉的材料。

---

① 本条内容适用于：

（1）2026 年 1 月 1 日及以后签订建造合同的船舶。

（2）2026 年 1 月 1 日及以后，上述（1）之外船舶的倒车试验应符合《国内航行海船入级和检验规则》第 5 章第 5 节 5.5.4.4 的相关要求。

1.2.7 燃料

1.2.7.1 主推进机械及发电机组的原动机或锅炉用的燃油，其闪点(闭杯试验)一般应不低于 60℃，应急发电机组的原动机所用燃油的闪点可不低于 43℃。

1.2.7.2 对于限定航区的船舶，如有专门的措施，其燃油的储藏或使用处所的环境温度能限制在低于该燃油闪点 10℃以下范围内时， 可使用闪点低于 60℃，但不低于 43℃的燃油。

1.2.7.3 如符合下列条件，可以使用闪点低于 60℃但不低于 43℃的燃油(例如为应急消防泵发动机和位于 A 类机器处所以外的辅机供油)：

(1) 除布置在双层底舱外，其他燃油舱柜应位于 A 类机器处所以外；

(2) 在燃油泵的吸油管上应设有油温测量装置；

(3) 燃油滤器的进口侧和出口侧均设有截止阀和/或旋塞；

(4) 应尽可能使用焊接结构的管接头或圆锥型的或球型的组合管接头

(5) 整个燃油系统均应位于 A 类机器处所之外。

(6) 燃油舱柜的布置还应符合《钢质海船入级规范》第 6 篇第 3 章 3.2.1.5（1）-（5）的要求。

1.2.7.4 在货船上，可使用闪点低于 43℃的燃油，但这种燃料不应储存在任何机器处所内，且整套装置的布置应提交批准。

1.2.7.5 使用硫含量不超过 0.10 % (m/m)馏分油的船舶，除符合本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶使用低硫馏分油指南》的要求。

1.2.8 排放处理

1.2.8.1 为减少燃油燃烧装置 SOx 排放而安装废气清洗系统（简称 EGC 系统）的船舶，除符合本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶废气清洗系统试验及检验指南》、《船舶废气清洗系统设计与安装指南》的要求。

1.2.8.2 为减少柴油机 NOx 排放而安装选择性催化还原系统（简称 SCR 系统）的船舶，除符合本篇有关规定外，还应满足 CCS《选择性催化还原（SCR）系统认可与检验指南》、《选择性催化还原（SCR）系统船上应用指南》的要求。

1.2.9 清洁能源动力

1.2.9.1 使用天然气为燃料的船舶（液化气体运输船除外），除满足本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶应用天然气燃料规范》的相关要求。

1.2.9.2 使用天然气为燃料的液化气体运输船舶，除满足本篇有关规定外，还应满足 CCS《液化气体运输船舶气体燃料发动机系统设计与安装指南》的相关要求。

1.2.9.3 使用液化气体（天然气除外）为燃料的液化气体运输船舶，除满足本篇有关规定外，还应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 16 章 16.9 的相关要求。

1.2.9.4 使用甲醇/乙醇为燃料的船舶，除满足本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶应用甲醇/乙醇燃料指南》的相关要求。

1.2.9.5 使用生物柴油或生物柴油与常规燃油混合物为燃料的船舶，除满足本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶应用生物燃油指南》的相关要求。

1.2.9.6 配备燃料电池发电系统的船舶，除满足本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶应用燃料电池发电装置指南》的相关要求。

1.2.9.7 使用液化石油气为燃料的船舶，除符合本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶应用液化石油气燃料指南》的相关要求。

1.2.9.8 使用氨为燃料的船舶，除符合本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶应用氨燃料指南》的相关要求。

1.2.10 试验

1.2.10.1 轮机装置安装完毕后，应根据本规范的有关规定和同意的试验大纲，进行系泊试验和航行试验。

试验结束后，应由船厂提供有关试验的技术文件和试验报告。

第 3 节　布　　置

1.3.1　脱险通道

1.3.1.1　机器处所的脱险通道应符合《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇第 2-2 章的相关规定。

1.3.2　锅炉布置

1.3.2.1　当在机器处所二层及以上平台甲板上设有锅炉， 而且锅炉间未用水密舱壁与机器处所隔开时， 锅炉所在的平台甲板应设置 200mm 高的围板以防可能泄漏的油污水漫延滴落至下层。 该区域的油污水可以泄放到舱底。 泄放柜不可构成溢流系统的组成部分。

1.3.2.2　锅炉与燃油舱之间的距离应不小于表 1.3.2.2 的规定。

对 500 总吨以下的货船，如采取有效隔热措施，表中距离可适当减小。

锅炉与燃油舱之间的距离(mm)　　**表 1.3.2.2**

		双层底燃油舱的顶板	燃油舱壁
水管锅炉	外壁	—	450
	底部	600	—
火管锅炉	后封头	—	600
	底部	450	—

1.3.3　舱棚天窗

1.3.3.1　A 类机器处所的天窗应为钢质，且不应包含玻璃板，应适当采取措施，以便在发生火灾后，使烟气能从被保护处所释放。

1.3.4　通风

1.3.4.1　机器处所应有足够的通风，以保证当其中的机器或锅炉在各种气候包括恶劣天气条件下按全功率运转时，有充分的空气以确保该处所人员的安全与舒适及机器的运转。

1.3.4.2　所有能积聚可燃或有毒气体或蒸汽的处所均应具有适当的通风。

1.3.5　客船应急装置的位置

1.3.5.1　应急电源、消防泵、舱底泵(防撞舱壁以前处所专用的舱底泵除外)、规范要求的任何固定灭火系统，以及为船舶安全必需的其他应急装置，除锚机外，不应安装在防撞舱壁以前。

1.3.6　防护设施

1.3.6.1　机械运转时，可能对工作人员构成危险的部位，应设置防护罩或栏杆等安全设施。

1.3.6.2　为避免机械设备和系统在操作及转换中的差错，应设有安全操作说明标牌和标签。

1.3.6.3　所有机械设备和管路的表面温度可能伤人时应以栏杆或围护进行保护，当其表面温度可能超过 220℃时，其表面应有有效的防护设施，以防触及可燃液体引起着火。如绝热设施的表面是吸油的或可能被油渗透，则应采用薄钢板或类似材料妥善包裹。

1.3.7　通信

1.3.7.1　机器处所或通常控制发动机的控制室与驾驶室之间，至少应设置 2 套独立的通信设施。其中 1 套应为在机器处所和驾驶室均能直接显示指令和回令的车钟。其他能控制推进器速度和方向的任何位置也应配备适当的通信设施，以便接收来自驾驶室和机舱的指令。

1.3.8　维修通道

1.3.8.1　机、炉舱内应设有便于操纵、维护和检修各种机械设备的通道。

1.3.9 轴系填料箱

1.3.9.1 轴系通过水密舱壁处应设有填料箱，其设置应便于从机舱方面压紧和更换填料。尾管的前端密封处和中间轴的轴承处，应便于接近和维修。

1.3.10 接地

1.3.10.1 为防止主推进柴油机曲轴/轴系和船体之间产生过大的电势差，应设有合适的接地装置。

第 2 章　泵与管系

第 1 节　一般规定

2.1.1　一般要求

2.1.1.1　除另有说明外，本章规定适用于所有船舶的管系。化学品货物管系、化学品处理管系和液化气体货物管系、液化气体处理管系以及液化天然气、液化石油气、氨、甲醇/乙醇等燃料管系应分别符合《散装运输危险化学品船舶构造与设备规范》、《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》、《船舶应用天然气燃料规范》、《船舶应用液化石油气燃料指南》、《船舶应用氨燃料指南》、《船舶应用甲醇乙醇燃料指南 》等适用的 CCS 规范和指南的相关规定。

2.1.2　图纸和资料

2.1.2.1　对所有船舶，应将下列图纸资料提交批准：

(1)　机、炉舱布置图；
(2)　舱底水和压载管系图；
(3)　空气管、测量管和溢流管布置图；
(4)　主辅机和锅炉燃油供油管系图；
(5)　燃油驳运管系图；
(6)　主辅机滑油管系图；
(7)　主辅机冷却水管系图；
(8)　压缩空气管系图；
(9)　蒸汽管系图；
(10)　凝水和乏汽管系图；
(11)　锅炉给水管系和锅炉泄放管系图；
(l2)　燃油加热管系图；
(13)　燃油、滑油净化管系图；
(14)　主、辅机排气管系图；
(15)　机舱通风管路布置图；
(16)　液压系统管系图；
(17)　疏排水管路布置图；
(18)　认为必要的其他图纸资料。

2.1.2.2　对油船，还应将下列图纸资料提交批准：

(1)　货油管系图；
(2)　货泵舱和隔离空舱舱底水管系图；
(3)　货油加热管系图；
(4)　透气系统布置图(包括驱气除气系统)；
(5)　闭式测量系统图(如采用时)；
(6)　货泵舱布置图。

2.l.2.3　对所有船舶，应将下列图纸资料提交备查(如相关内容已在送审图纸中反映，则可不必提交)：

(1)　轮机说明书；
(2)　机械设备明细表；
(3)　机械设备计算书。

2.1.2.4　图纸上应注明管子、阀和附件等的材料、尺寸、类型、设计压力和设计温度、安全阀的调定压力等；如无另附计算书时，图上还应附有必要的规范计算。

2.1.3 设计压力

2.1.3.1 管系设计压力是管系最高许用工作压力，应不小于安全阀或溢流阀的最高设定压力。

2.1.3.2 燃油管系的设计压力应按表 2.1.3.2 取值。

燃油管系的设计压力 **表 2.1.3.2**

工作温度 / 工作压力	$T \leqslant 60℃$	$T > 60℃$
$P \leqslant 0.7$MPa	0.3MPa 或最高工作压力，取较大者。	0.3MPa 或最高工作压力，取较大者。
$P > 0.7$MPa	最高工作压力。	1.4MPa 或最高工作压力，取较大者。

2.1.3.3 在特殊场合，设计压力另行规定。

2.1.4 设计温度

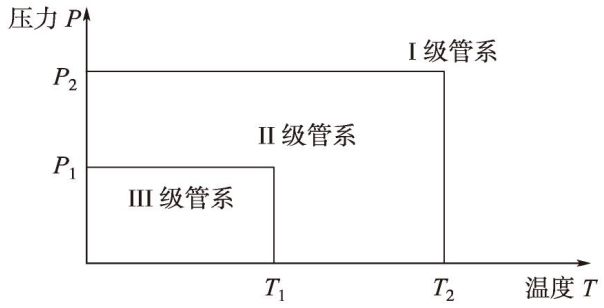
2.1.4.1 设计温度应取管内流体的最高温度。

对过热蒸汽管，如过热器出口蒸汽的温度能被严格控制，则其设计温度应取所设计的管路的工作蒸汽温度。如在正常使用中温度波动会超过设计温度 15℃时，则用来确定许用应力所使用的温度应增加该超额数值。在特殊场合，设计温度另行规定。

2.1.5 管系等级

2.1.5.1 为确定适当的试验要求、连接型式以及热处理和焊接工艺规程，不同用途的压力管系按其设计压力和设计温度分为 3 级，如表 2.1.5.1 所示。

管 系 等 级 **表 2.1.5.1**



管 系	I 级		II 级		III 级	
	设计压力 $>P_2$(MPa)	设计温度 $>T_2$(℃)	设计压力 $\leqslant P_2$(MPa)	设计温度 $\leqslant T_2$(℃)	设计压力 $\leqslant P_1$(MPa)	设计温度 $\leqslant T_1$(℃)
蒸汽	>1.6	或>300	≤1.6	和≤300	≤0.7	和≤170
热油	>1.6	或>300	≤1.6	和≤300	≤0.7	和≤150
燃油、滑油、可燃液压油	>1.6	或>150	≤1.6	和≤150	≤0.7	和≤60
其他介质	>4.0	或>300	≤4.0	和≤300	≤1.6	和≤200

注：① 当管系的设计压力和设计温度其中一个参数达到表中 I 级规定时，即定为 I 级管系； 当设计压力和设计温度两个参数均达到表中规定时，即定为 II 级或 III 级管系。

② 有毒和腐蚀介质、加热温度超过其闪点的可燃介质和闪点低于 60℃介质，以及液化气体等一般为 I 级管系；如设有安全保护措施以防泄漏和泄漏后产生的后果，（如管路通过管套、防护套、屏蔽保护，以确保管内液体泄漏后不会导致周围区域发生潜在的危险或损坏），也可为 II 级管系，但有毒介质除外。

③ 货油管系一般为 III 级管系。

④ 不受压的开式管路如泄水管、溢流管、排气管、透气管和锅炉放汽管等也为 III 级管系。

⑤ 其他介质是指空气、气体、水和不可燃液压油和用于选择性催化还原(SCR)系统的尿素（管系材料根据 ISO 18611-3:2014 选取时）等；另外，氧气和乙炔管系应为 I 级管系（有开口的泄放管除外）。

⑥ 热油是指本篇第 4 章第 8 节热油系统所用的循环油液。

2.1.6 材料

2.1.6.1 各种管子、阀和附件所用的材料应与介质和管路承担的用途相适应。对用于腐蚀性极强的介质的管子材料，应根据实际情况进行设计考虑。

2.1.6.2 所有 I 级管系和 II 级管系中的管子、阀和附件，海底阀、舷旁阀和短管以及安装在防撞舱壁上的阀的材料和试验应符合 CCS《材料与焊接规范》的相关要求。

2.1.6.3 III 级管系中的管子、阀和附件的材料和试验应符合适用的标准。

第 2 节 碳钢、低合金钢与不锈钢

2.2.1 碳钢和低合金钢钢管、阀件和附件

2.2.1.1 用于 I 级和 II 级管系的管子，应为无缝钢管或按照认可的焊接工艺而制造的焊接管。

2.2.1.2 碳钢和碳锰钢钢管、阀件和附件一般不能用于流体温度超过 400℃的管系，但是，如其冶金性能和高温耐久强度(100000h 以上的最大抗拉极限强度)符合国家或国际规则和标准， 并且这些数值能由钢厂保证，则可以用于更高温度的管系。

特殊合金钢钢管、阀和附件的使用应符合 CCS《材料与焊接规范》的相关规定。

2.2.2 管壁厚度的计算

2.2.2.1 受内压的钢管，其最小壁厚δ应不小于按下式计算之值[①]：

$$\delta=\delta_o+b+c \qquad \text{mm}$$

式中：δ_o——基本计算壁厚，mm，见本节 2.2.2.2 的规定；

b ——弯曲附加余量，mm。对于仅受内压的管子，b 值应按管子弯曲处的计算应力不超过许用应力的方法选取。当 b 值不能更准确确定时，其应按本节 2.2.2.3 的规定选取；

c ——腐蚀余量，mm，其值按表 2.2.2.1 的规定选取；

对于穿过舱柜的管路，应增加一个计及外部腐蚀的附加腐蚀余量，该腐蚀余量取决于外部介质；如采用涂层、衬层等措施对管子及其接头进行了有效的防蚀保护，则腐蚀余量最多可减少 50%；当使用有足够抗蚀性能的特种钢时，其腐蚀余量可以减少，甚至可减少到零。

钢管腐蚀余量 *C*，mm **表 2.2.2.1**

管 系 用 途	*C*	管 系 用 途	*C*
过热蒸汽管系	0.3	滑油管系	0.3
饱和蒸汽管系	0.8	燃油管系	1.0
货油舱蒸汽加热管系	2.0	货油管系	2.0
锅炉开式给水管系	1.5	冷藏装置制冷剂管系	0.3
锅炉闭式给水管系	0.5	淡水管系	0.8
锅炉排污管系	1.5	海水管系	3.0
压缩空气管系	1.0	冷藏货舱盐水管系	2.0
液压油管系	0.3		

2.2.2.2 钢管基本计算壁厚δ_o应按下式计算：

$$\delta_o=pD/(2[\sigma]e+p) \qquad \text{mm}$$

式中：p ——设计压力，MPa，见本章 2.1.3 的规定；

D ——钢管外径，mm；

［σ］——钢管许用应力，N / mm^2，见本节 2.2.2.4 的规定；

① 本公式适用于外径与内径之比不超过 1.7 的管子。

e ——焊接有效系数，对无缝钢管，电阻焊和高频焊钢管应取 1，其他方法制造的管子，e 值另行考虑。

2.2.2.3 弯曲附加余量 b 应不小于按下式计算之值：

$$b=0.4\frac{D}{R}\delta_o \qquad \text{mm}$$

式中：R ——平均弯曲半径，mm，通常 R 不小于 $3D$；

D ——钢管外径，mm；

δ_o ——基本计算壁厚，mm，见本节 2.2.2.2 的规定。

2.2.2.4 钢管许用应力［σ］应取下列公式计算的最小值：

$$[\sigma]=\frac{R_m}{2.7} \qquad \text{N/mm}^2$$

$$[\sigma]=\frac{R_{eH}^T}{1.6} \qquad \text{N/mm}^2$$

$$[\sigma]=\frac{\sigma_D^T}{1.6} \qquad \text{N/mm}^2$$

$$[\sigma]=\sigma_c^T \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：R_m ——材料在室温下的抗拉强度，N／mm²；

R_{eH}^T ——材料在设计温度下的屈服点或 0.2％的规定非比例伸长应力($R_{P0.2}$)，N／mm²；

σ_D^T ——材料在设计温度下 100000h 内产生破断的平均应力，N／mm²；

σ_c^T ——材料在设计温度下 100000h 内产生 1%蠕变的平均应力，N／mm²；

R_m、R_{eH}^T、σ_D^T 应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关规定；R_{eH}^T 也可接受国家或国际标准；如认为必要，在基于可靠的情况下，可酌情选用 σ_c^T。

2.2.2.5 本节 2.2.2.1 所述的最小壁厚δ未考虑制造负公差，因此，当有制造负公差时，管子的壁厚δ_m应不小于按下式计算之值：

$$\delta_m=\frac{\delta}{1-\frac{|a|}{100}} \qquad \text{mm}$$

式中：a——壁厚的制造负公差百分数；正公差时 a 取 0。

2.2.2.6 当由本节 2.2.2.5 所述公式计算所得的最小壁厚小于表 2.2.2.6(1)、表 2.2.2.6(2)或表 2.2.2.6(3)所列的数值时，则应采用表列相应的标准管的最小公称壁厚。

螺纹管的壁厚，应量至螺纹根部。

钢管外径与最小公称壁厚δ，mm　　表 2.2.2.6(1)

外 径 D	最小公称壁厚 δ			
	一般用管③④⑥⑧⑨⑩	与船体结构有关的舱柜的空气管、溢流管和测量管①②③④⑥⑦⑧	舱底、压载水管、一般海水管和液舱内的蒸气加热盘管①③④⑤⑥⑦⑧	通过压载舱和燃油舱的舱底水管、空气管、溢流管和测量管。通过燃油舱的压载管和通过压载舱的燃油管①②③④⑤⑥⑦⑧
10.2～12 13.5～19.3 20	1.6 1.8 2.0			
21.3～25 26.9～33.7 38～44.5	2.0 2.0 2.0	4.5	3.2 3.2 3.6	6.3
48.3 51～63.5	2.3 2.3	4.5 4.5	3.6 4.0	6.3 6.3

外 径 D	最小公称壁厚 δ			
	一般用管③④⑥⑧⑨⑩	与船体结构有关的舱柜的空气管、溢流管和测量管①②③④⑥⑦⑧	舱底、压载水管、一般海水管和液舱内的蒸气加热盘管①③④⑤⑥⑦⑧	通过压载舱和燃油舱的舱底水管、空气管、溢流管和测量管。通过燃油舱的压载管和通过压载舱的燃油管①②③④⑤⑥⑦⑧
70	2.6	4.5	4.0	6.3
76.1～82.5 88.9～108 114.3～127	2.6 2.9 3.2	4.5 4.5 4.5	4.5 4.5 4.5	6.3 7.1 8.0
133～139.7 152.4～168.3 177.8	3.6 4.0 4.5	4.5 4.5 5.0	4.5 4.5 5.0	8.0 8.8 8.8
193.7 219.1 244.5～273	4.5 4.5 5.0	5.4 5.9 6.3	5.4 5.9 6.3	8.8 8.8 8.8
298.5～368 406.4～457.2	5.6 6.3	6.3 6.3	6.3 6.3	8.8 8.8

注：① 如采用涂层、衬层等措施对管子及其接头进行有效的防蚀保护，其最小壁厚可以适当减薄，但减薄最多不超过 1mm；

② 除液货闪点小于 60℃的液货舱测量管外，表列测量管的最小壁厚系适用于液舱外部的测量管；

③ 对于允许采用的螺纹管， 最小壁厚应自螺纹根部量起；

④ 焊接钢管和无缝钢管的外径和壁厚的数值取自 ISO 的推荐文件 R336，如按其他标准选取管子壁厚可适当减小；

⑤ 通过深舱的舱底水管和压载管的最小壁厚应另行考虑，通过货油舱的压载水管的最小壁厚应不小于本篇第 5 章第 3 节表 5.3.4.2 规定的值；

⑥ 外径大于 457mm 的管子的最小壁厚可参照国家或国际标准，但任何情况下其最小壁厚不应小于表 2.2.2.6(1)中管子外径为 406.4～457mm 所对应的值；

⑦ 舱底、测量、空气和溢流管的最小内径应为：

舱底管 50mm

测量管 32mm

空气和溢流管 50mm

⑧ 本表所列的最小壁厚一般是指公称壁厚，因此不必考虑负公差和弯曲减薄余量；

⑨ 排气管的最小壁厚应另行考虑；

⑩ 货油管的最小壁厚应另行考虑。

不锈钢管外径 D 与最小公称壁厚δ，mm　　表 2.2.2.6(2)

管子外径(D)	不锈钢管最小公称壁厚(δ)
≤10	1.0
11～18	1.5
19～83	2.0
84～169	2.5
170～246	3.0
247～340	3.5
341～426	4.0
427～511	4.5
512～597	5.0

奥氏体不锈钢管外径与最小公称壁厚δ，mm　　表 2.2.2.6(3)

管子外径(D)	最小公称壁厚(δ)
10.2 ～ 17.2	1.0
21.3 ～ 48.3	1.6
60.3 ～ 88.9	2.0
114.3 ～ 168.3	2.3
219.1	2.6
273.0	2.9
323.9 ～ 406.4	3.6
>406.4	4.0

注：可接受按国家或国际标准选取外径及壁厚。

2.2.2.7　甲板排水管和泄水管的最小壁厚应符合《国内航行海船法定检验技术规则》第3篇第2章2.11的有关规定。

2.2.2.8　露天甲板以上的空气管的最小壁厚应符合本规范第2篇1.8.7.5的有关规定。

第3节　铜与铜合金

2.3.1　铜和铜合金管、阀件和附件

2.3.1.1　I级和II级管系中所使用的铜和铜合金管应为无缝管。

2.3.1.2　III级管系所用的铜和铜合金材料，应根据接受的标准进行制造和试验。

2.3.1.3　铜和铜合金管、阀件和附件的使用温度一般应不超过下列规定：

铜和铝黄铜：200℃；

铜镍合金：300℃；

适合高温用途的特殊青铜：260℃。

2.3.2　管壁厚度的计算

2.3.2.1　受内压的铜和铜合金管，其最小壁厚δ应不小于按下式计算所得之值[②]：

$$\delta=\delta_0+b+c \qquad \text{mm}$$

式中：δ_0——基本计算壁厚，mm，见本节2.3.2.2的规定；

b——弯曲附加余量，mm。对于仅受内压的管子，b值应按管子弯曲处的计算应力不超过许用应力的方法选取。当b值不能更准确确定时，其应按本节2.3.2.3的规定选取；

c——腐蚀余量，对铜、黄铜和类似合金、不含铅的铜锡合金和镍含量低于10%的铜镍合金c=0.8mm，对镍含量为10%及以上的铜镍合金c=0.5mm，对于介质对管材不产生腐蚀者，c=0。

2.3.2.2　铜和铜合金管的基本计算壁厚δ_0应按下式计算：

$$\delta_0=\frac{pD}{2[\sigma]e+p} \qquad \text{mm}$$

式中：p——设计压力，MPa，见本章2.1.3的规定；

D——管子外径，mm；

$[\sigma]$——许用应力，N／mm^2，由表2.3.2.2查得；

e——焊接有效系数，对无缝铜管与认可的焊接管制造商提供的视为相当于无缝管的焊接管应取1，其他方法制造的管子，e值另行考虑。

铜和铜合金管许用应力　　**表2.3.2.2**

管子材料	材料条件	抗拉强度(N/mm^2)	许用应力(N/mm^2)										
			设计温度(℃)										
			50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
铜	退火	215	41	41	40	40	34	27.5	18.5	—	—	—	—
铝黄铜	退火	325	78	78	78	78	78	51	24.5	—	—	—	—
铜镍合金CuNi5Fe1Mn	退火	275	68	68	67	65.5	64	62	59	56	52	48	44

② 本公式适用于外径与内径之比不超过1.7的管子。

CuNi10Fe1Mn													
铜镍合金 CuNi30	退火	365	81	79	77	75	73	71	69	67	65.5	64	62

注：① 如金属温度处于表中所列数值之间，则许用应力可采用线性内插法求得；
② 表内未包括的材料，许用应力的选取应提交详细资料。

2.3.2.3 弯曲附加余量 b 应不小于下式计算之值：

$$b=0.4\frac{D}{R}\delta_0 \qquad \text{mm}$$

式中：R——平均弯曲半径，mm，通常 R 应不小于 $3D$；
D——管子外径，mm；
δ_0——基本计算壁厚，mm，见本节 2.3.2.2 的规定。

2.3.2.4 本节 2.3.2.1 所述最小壁厚δ并未考虑制造负公差，当考虑制造负公差修正时，管子的壁厚δ_m应不小于按下式计算之值：

$$\delta_m=\frac{\delta}{1-\frac{|a|}{100}} \qquad \text{mm}$$

式中：a——壁厚的制造负公差百分数；正公差时 a 取 0。

铜和铜合金管外径与最小公称壁厚δ_m，mm　　表 2.3.2.5

外径 D	最小公称壁厚δ_m	
	铜	铜合金
8～10	1.0	0.8
12～20	1.2	1.0
25～44.5	1.5	1.2
50～76.1	2.0	1.5
88.9～108	2.5	2.0
133～159	3.0	2.5
193.7～267	3.5	3.0
273～470	4.0	3.5
508	4.5	4.0

注：① 外径和壁厚的数值取自 ISO 标准；
② 如按其他标准选取管径，管子壁厚可适当减小。

2.3.2.5 当由本节 2.3.2.4 所述公式计算所得的最小壁厚小于表 2.3.2.5 所列数值时，则应采用表列相应的标准管的最小公称壁厚。

螺纹管的壁厚应量至螺纹根部。

第 4 节　其他材料

2.4.1　灰铸铁管、阀和附件

2.4.1.1 灰铸铁管、阀和附件一般不用于 I 级和 II 级管系，但设计温度不超过 220℃的 II 级蒸汽管系的阀和附件可以采用灰铸铁材料。

2.4.1.2 灰铸铁管、阀和附件一般可用于 III 级管系及油船货油舱内的货油管路，但不应用于下列用途：

(1) 油船露天甲板上压力大于 1.6MPa 的货油管；
(2) 介质温度超过 220℃的管、阀件和附件；

(3) 承受压力冲击、过大应力和振动的管路；
(4) 舷旁阀和海水箱上的阀、舷侧管和海水箱上的管；
(5) 安装在防撞舱壁上的阀；
(6) 燃油舱柜外壁上受静压的阀；
(7) 锅炉排污管路；
(8) 蒸汽管、消防水管、舱底水管和压载水管。

灰铸铁一般也可用于在油船露天甲板上压力不大于 1.6MPa 的货油管路， 但与货油装卸软管连接的分配总管及其阀件和附件除外。

2.4.2 球墨铸铁管、阀和附件

2.4.2.1 II 级和 III 级管系中使用的铁素体球墨铸铁管、阀和附件，其材料的最低伸长率在标距为 $5.65\sqrt{S_0}$ 时应不小于 12%，式中 S_0 为试样的横截面积。

2.4.2.2 铁素体球墨铸铁管、阀和附件可用于舱底、压载和货油管系。

2.4.2.3 铁素体球墨铸铁管、阀和附件不应用于介质温度超过 350℃的管系。

2.4.2.4 铁素体球墨铸铁管、阀和附件用于舷旁管和舷旁阀时，其材料性能应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关规定。

2.4.2.5 当球墨铸铁材料的伸长率小于本节 2.4.2.1 的最低要求时，则应作为灰铸铁处理。

2.4.3 塑料管

2.4.3.1 塑料管在船上的应用范围及其部位应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章附录 1 中的表 1 规定， 并满足表中规定的防火要求。

2.4.3.2 船上所用塑料管应根据其化学成分、机械性能和耐温极限选取。

2.4.3.3 塑料管一般不用于介质温度高于 60℃或低于 0℃的管系。

2.4.3.4 船上所用塑料管的设计、制造、使用和试验应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章附录 1 的有关规定。

2.4.4 挠性软管

2.4.4.1 挠性软管通常指带有为安装而预制的端部配件的金属或非金属的短软管。

2.4.4.2 挠性软管可用于固定管路系统和机械部件之间的固定连接，亦可用于便携式设备和管路之间的临时连接。

2.4.4.3 船上所用挠性软管的设计、制造、使用和试验应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章附录 2 的有关规定。

第 5 节 管路连接、热处理与无损检测

2.5.1 管段连接

2.5.1.1 管段直接连接可采用下列方式：

(1) 管子之间或管子与阀箱或其他附件之间对接焊，对接焊应为全焊透型式，并对根部质量有特殊规定[①]，或全焊透型式但对根部质量无特殊规定；

(2) 套筒焊接连接，套筒焊接应按照公认的标准，以适当尺寸的套筒与有关焊接工艺进行；

(3) 认可型的螺纹套筒连接；

(4) 机械接头。

管段连接 **表 2.5.1.2(1)**

连接方式	适用管系等级	适用外径
采取改善焊缝根部质量措施的对接焊	I、II、III	不限

① 对根部质量有特殊规定，意指对接焊以双面焊的型式完成，或第一道焊接工序以衬垫焊的型式或内部充惰气的单面焊型式完成，或以接受的其他类似方法。

不采取改善焊缝根部质量措施的对接焊	II、III	
套筒焊接连接	III	
	I、II，但有毒介质或预期工作中可引起疲劳、严重腐蚀或缝隙腐蚀的管系除外	$D \leqslant 88.9$ mm

2.5.1.2 上述管子连接方式的使用范围如下：

(1) 对接焊连接和套筒焊接连接应符合表 2.5.1.2(1)的规定。

(2) 螺纹套筒连接应符合公认的标准。螺纹套筒连接可用于下述外径的管系，但不应用于输送有毒或易燃介质或预期工作中可引起疲劳、严重腐蚀或缝隙腐蚀的管系，用于将小口径仪表（例如压力/温度传感器）连接到易燃介质输送管路的外径不大于 25mm 的螺纹套筒连接除外。二氧化碳系统中的螺纹连接只可用于被保护处所内和二氧化碳气瓶室。

① 锥形螺纹的螺纹连接可适用于外径不大于 33.7mm 的 I 级管系和外径不大于 60.3mm 的 II 级和 III 级管系；

② 平行螺纹的螺纹连接可用于外径不大于 60.3mm 的 III 级管系；

③ 在特殊情况下，如其满足公认的国际或国家标准的要求，可以接受大于上述规定的尺寸。

2.5.2 法兰连接

2.5.2.1 典型的法兰连接示于图 2.5.2.1 中。

对于小直径管子，根据个别情况及工作状态，可以采用套筒连接、螺纹套筒连接或其他管段直接对接型式(如喇叭套筒或突肩连接)。

2.5.2.2 对上述各型法兰连接的选用，应符合表 2.5.2.2 的规定。

2.5.2.3 法兰及其螺栓的尺寸应根据国家标准或可接受的标准选取。 对于特殊用途的法兰及其螺栓的尺寸应另行考虑[①]。

垫片尺寸和形状应根据国家标准或可接受的标准选取，并应适于在设计压力和设计温度下所输送的介质。

法兰连接应符合国家或国际标准，并适于使用的管路系统以及输送的流体、设计压力和温度条件、外部的和周期的载荷及其所在的位置。

① 在特殊用途中，对于安装温度、压力和尺寸均超过可靠值的法兰，应对法兰和螺栓进行完整的计算。

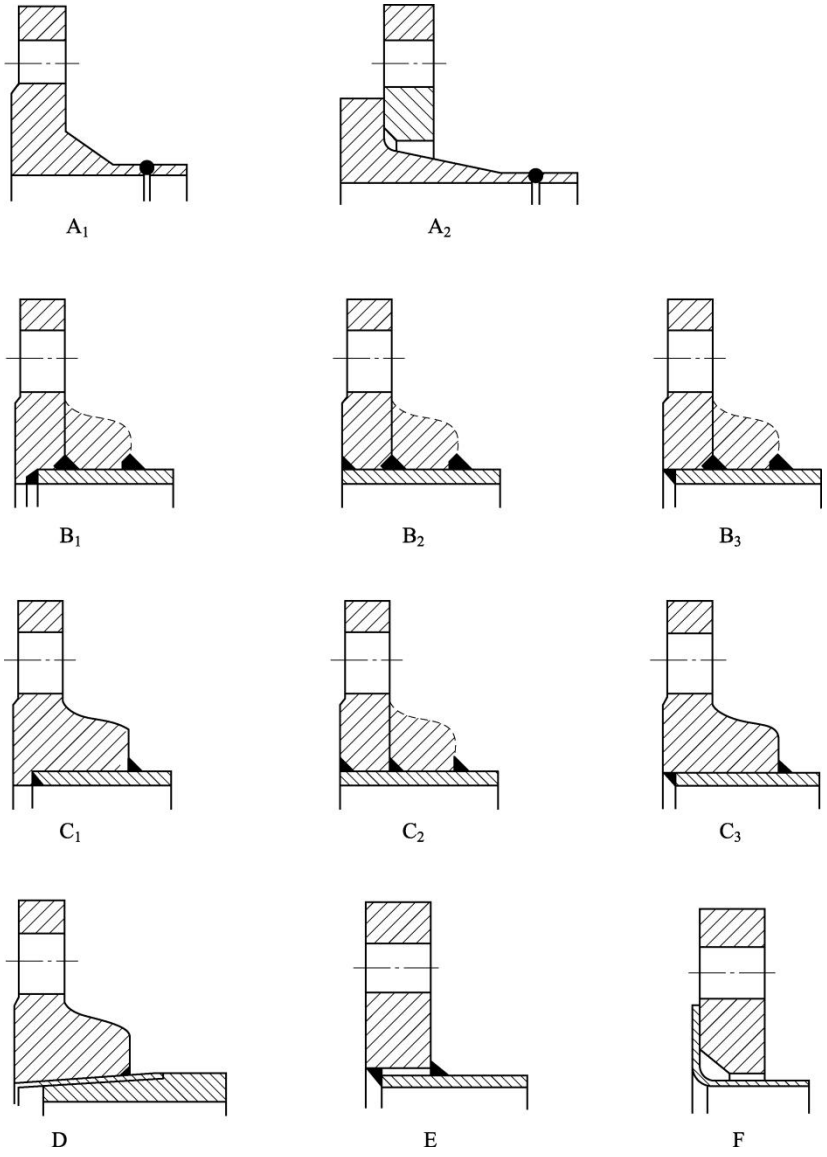


图 2.5.2.1　典型法兰连接

注：① 对于图示 D 型，管子和法兰都应有逐渐收尾的螺纹，管子固紧部分的螺纹直径不应明显小于无螺纹管子外径。法兰旋紧到位后，管子再与法兰胀紧。

② 图示角焊缝的焊脚、法兰坡口熔深尺寸一般应等于 1.5 倍的管子壁厚，但不小于 5mm。

典型法兰连接的应用　　表 2.5.2.2

管系等级	有毒或有腐蚀性的介质④，可燃介质④，液化气	滑油和燃油	蒸汽③和热油	其他介质①②③
I	A、B⑥	A、B	A、B⑥	A、B
II	A、B、C	A、B、C、E⑦	A、B、C、D⑤、E⑤	
III		A、B、C、E	A、B、C、D、E	A、B、C、D、E、F②

注：① 包括水、空气、其他气体、液压油；

② F 型仅适用于水管和开口管路；

③ 设计温度超过 400℃时，仅适用 A 型；

④ 设计压力超过 1MPa 时，仅适用 A 型；

⑤ 设计温度超过 250℃时，不应用 D 型和 E 型；

⑥ B 型仅适用于外径小于 150mm 的管子；

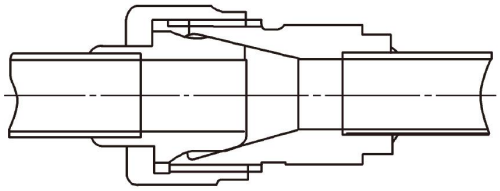
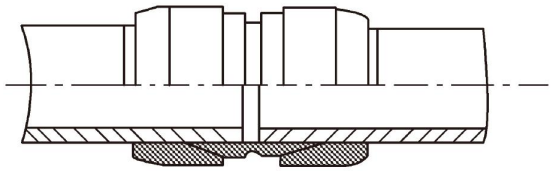
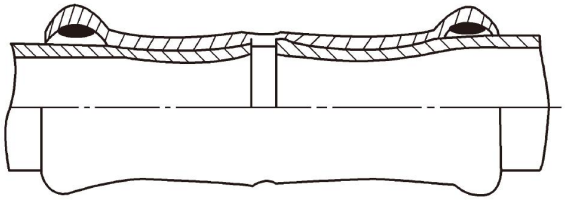
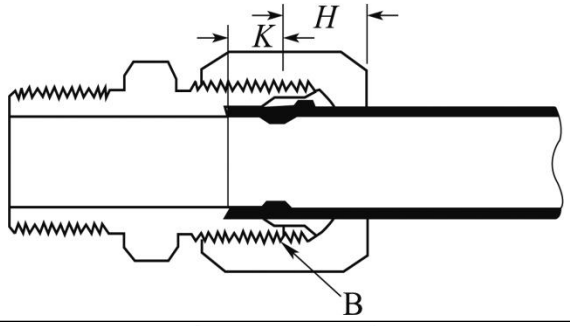
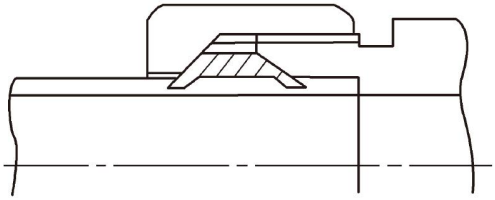
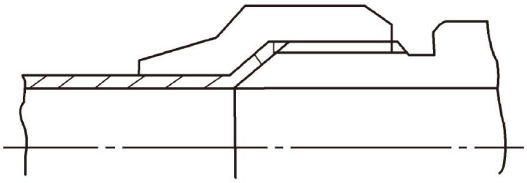
⑦ E 型仅适用于设计温度小于 150℃和设计压力小于 1.6MPa 的油管。

2.5.3 机械接头

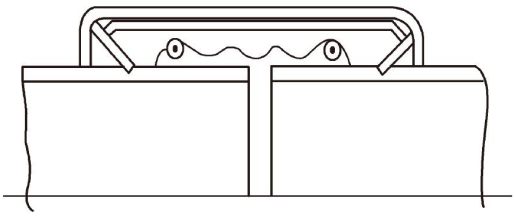
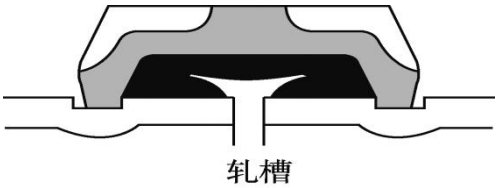
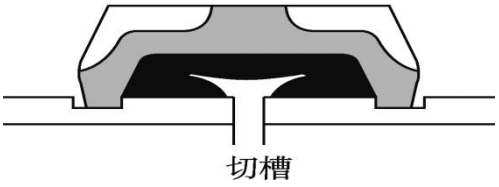
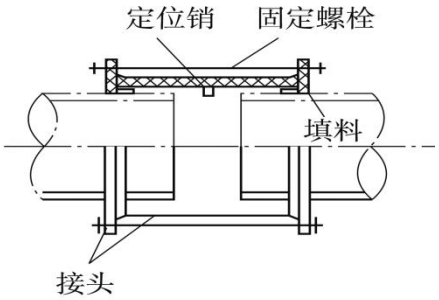
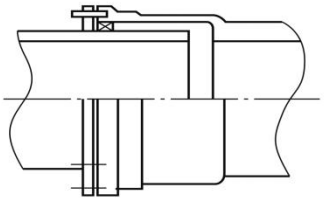
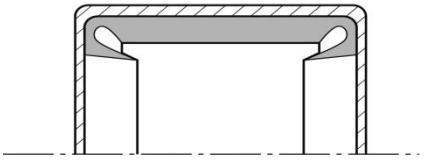
2.5.3.1 本条所适用的各类机械接头图示于表 2.5.3.1(1)中。

机械接头应根据不同用途和位置按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章附录 3 的要求进行型式认可。

机械接头举例 **表 2.5.3.1(1)**

管接头	
电焊和铜焊型	
压力接头	
镦粗型	
压紧型	
典型压力型[①]	
咬合型	
扩管型	

① 本条内容适用于 2020 年 1 月 1 日起提交认可的任何机械接头和 2020 年 1 月 1 日以后对机械接头现有设计型式认可的任何更新。

滑套接头	
夹扣型	
机械槽型	 
滑动型	  

机械接头的应用　　表 2.5.3.1(2)

管　系		接头类型			管系类别	耐火试验情况
		管接头	压力接头	滑套接头		
可燃液体 (闪点不大于 60℃)						
1	货油管系[①]	×	×	×	干式	30 min 干烧（*）
2	原油洗舱管系[①]	×	×	×	干式	
3	透气管系[③]	×	×	×	干式	
惰性气体						
4	水封排水管系	×	×	×	湿式	30 min 湿式（*）
5	扫舱排放管系	×	×	×	湿式	30 min 湿式（*）
6	总管[①②]	×	×	×	干式	30 min 干烧（*）
7	支管[①]	×	×	×	干式	30 min 干烧（*）
可燃液体(闪点大于 60℃)						
8	货油管系[①]	×	×	×	干式	30 min 干烧（*）
9	燃油管系[②③]	×	×	×	湿式	30 min 湿式（*）
10	滑油管系[②③]	×	×	×	湿式	
11	液压油管系[②③]	×	×	×	湿式	
12	热油管系[②③]	×	×	×	湿式	
海　水						
13	舱底水管系[④]	×	×	×	干式/湿式	8 min 干烧+22 min 湿式（*）
14	充水灭火管系，如消防总管、喷淋管系[③]	×	×	×	湿式	30 min 湿式（*）
15	非充水灭火管系，如泡沫、水幕管系、消防总管[③]	×	×	×	干式/湿式	8 min 干烧+22 min 湿式（*）泡沫灭火系统应参照 FSS 规则第 6 章
16	压载管系[④]	×	×	×	湿式	30 min 湿式（*）
17	冷却水管系[④]	×	×	×	湿式	30 min 湿式（*）
18	洗舱服务管	×	×	×	干式	不要求耐火试验

管系		接头类型				
		管接头	压力接头	滑套接头	管系类别	耐火试验情况
19	非重要管系	×	×	×	干式 干式/湿式 湿式	不要求耐火试验
淡水						
20	冷却水管系④	×	×	×	湿式	30 min 湿式（*）
21	冷凝回水管④	×	×	×	湿式	30 min 湿式（*）
22	非重要管系	×	×	×	干式 干式/湿式 湿式	不要求耐火试验
卫生/排放/疏水						
23	甲板排水管(船内)⑤	×	×	×	干式	不要求耐火试验
24	卫生排放管	×	×	×	干式	不要求耐火试验
25	疏水管和排放管(舷外)	×	×	-	干式	不要求耐火试验
测深/透气						
26	湿舱/干舱	×	×	×	干式，湿式	不要求耐火试验
27	油舱(闪点大于 60℃) ②③	×	×	×	干式	
其他						
28	启动/控制空气管④	×	×	-	干式	30 min 干烧（*）
29	杂用空气管(非重要的)	×	×	×	干式	不要求耐火试验
30	盐水管	×	×	×	湿式	
31	CO_2 管系（被保护处所外）	×	×	-	干式	30 min 干烧（*）
32	CO_2 管系（被保护处所内）	×	×	-	干式	机械接头材料的熔点应大于 925°C，参照 FSS 规则第 5 章
33	蒸汽管	×	×	×⑥	湿式	不要求耐火试验

备注：

× ——允许使用；

– ——不允许使用；

* —— 耐火试验要求见钢质海船入级规范第3篇第2章附录3 1.5.5（6）。

-

耐火性能：

在火灾事故下，如机械接头（包含任何部件）易于损坏，则其应注意如下脚注：

①在泵舱和开敞甲板，应进行耐火试验。

②滑动型接头不能接受在 A 类机器处所或生活处所内。如连接接头位于易看见和到达的位置，可接受在其他的机器处所内。

③认可的耐火型式，除非机械接头安装在 SOLAS 公约第 II-2/9.2.3.3.2.2（10）条定义的开敞甲板，且不用于燃油管系。

④在 A 类机器处所内，应进行耐火试验。

通用：

⑤仅适用于客船舱壁甲板（或货船干舷甲板）以上。

⑥表 2.5.3.1(1)所示的滑动型滑套机械接头，可用于设计压力不超过 1.0MPa(10bar)的甲板管路。

⑦如果接头通过“30min 干烧”试验，则认为其也满足“8min 干烧+22min 湿式”和/或“30min 湿式”试验要求。如果接头通过“8min 干烧+22min 湿式”试验，则认为其也满足“30min 湿式”试验要求。

管系等级下的机械接头的应用　　表 2.5.3.1(3)

接头型式	系统管系等级		
	I 级	II 级	III 级
管接头			
电焊和铜焊型	× (D_0≤ 60.3mm)	× (D_0≤60.3mm)	×
压力接头			
镦粗型	×	×	×
咬合型	×	×	×
典型压力型①	×	×	×
扩管型	×	×	×
压紧型	–	–	×
滑套接头			
机械槽型	×	×	×
夹扣型	-	×	×
滑动型	-	×	×

备注：

× 允许使用；

- 不允许使用；

D_0 管子外径。

2.5.3.2 如适用，机械接头应为表 2.5.3.1(2)所要求的耐火型。耐火试验要求见《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章附录 3 中 1.5.5（6）的规定。

2.5.3.3 机械接头的材料应与管系材料和内外介质相容。

2.5.3.4 机械接头的适用性以及在每一类服务中可接受的使用见表 2.5.3.1（2）；依据管系级别和管路尺寸的机械接头的应用见表 2.5.3.1（3）。

在特殊情况下，可以接受超过上述尺寸但符合公认的国内和/或国际标准的机械接头。

2.5.3.5 由于使用咬合环或其他结构元件而导致管壁厚度减小，应在确定设计压力下的最小管壁厚度时予以考虑。

2.5.3.6 在发生破损时会引起浸水或火灾的机械接头，不应直接连接至客船舱壁甲板（或货船干舷甲板）之下的舷侧或易燃液体舱的管段上。易燃液体系统中的机械接头的数量应尽可能少；通常应使用符合公认标准的法兰接头。

2.5.3.7 机器处所和高失火危险处所(如货泵舱和车辆处所)的舱底水系统的机械接头应是耐火型的。要求耐火型的机械接头详见表 2.5.3.1(2)。

2.5.3.8 机械接头应作 4 倍于设计压力的爆破压力试验。设计压力超过 20MPa 时，其

① 本条内容适用于 2020 年 1 月 1 日起提交认可的任何机械接头和 2020 年 1 月 1 日以后对机械接头现有设计型式认可的任何更新。

爆破压力可特别考虑。

2.5.3.9　具有机械接头的管路应予以适当的调节、校直和支撑。支架或吊架不应用在连接处对管路进行强迫校直。

2.5.3.10　滑套接头不应用于货舱内、液舱内和不易接近的其他处所内的管系。与液舱同种介质的方可在液舱内使用滑套接头。

滑动型滑套接头不应作为管路连接的主要方式，除非管路的轴向变形需要补偿。

2.5.3.11　机械接头不应用于下列场合：

(1)　穿过压载舱和燃料舱的舱底水管系；

(2)　穿过货舱和燃料舱的海水和压载管系，包括空气和溢流管系；

(3)　穿过机器处所、货舱和压载舱的燃料和油类管系，包括空气和溢流管系。

2.5.3.12　机械接头应根据制造厂的安装说明进行安装。机械接头安装所需的特殊工具和仪表应由制造厂提供。

2.5.4　热处理与无损检测

2.5.4.1　管系的热处理与无损检测应符合 CCS《材料与焊接规范》的相关规定。

第 6 节　泵、阀与附件

2.6.1　泵

2.6.1.1　泵应按接受的标准进行设计制造。

2.6.1.2　液压试验

所有泵的受压部件应在车间进行液压试验，试验压力为 1.5 倍设计压力，但不必大于设计压力加 7MPa。

离心泵的设计压力取性能曲线上的最大压头；容积式泵的设计压力取安全阀的调整压力。

蒸汽驱动泵的蒸汽一侧的试验压力为 1.5 倍蒸汽工作压力。

2.6.1.3　流量试验

应按泵的设计条件(标定转速和标定压力)检查泵的流量。对离心泵的特性曲线(压头-流量曲线)应由验船师确认。

对已经做过流量试验的同型号泵，可不进行流量试验。

2.6.1.4　安全阀流量试验

对带有安全阀的容积式泵，安全阀的调整压力和相应于泵最大标定流量时安全阀的流量应进行试验。

对已经做过安全阀流量试验的同类泵的安全阀，可不进行安全阀的流量试验。

2.6.2　阀和附件

2.6.2.1　阀应按接受的标准进行设计制造。对于除此之外的新型结构的阀或非标准阀，应提交详细的图纸资料。

2.6.2.2　管系中的阀和附件的强度，应与它们所连管路的强度相适应，并在最高工作压力下能有效地工作。阀应由钢、铸铁、铜、铜合金或其他适于其用途的材料制成。

2.6.2.3　所有阀件的结构，均应能防止当工作时阀盖及压盖发生松出或松动的可能。旋入式阀盖不应用于 I 级和 II 级管系中公称直径超过 40mm 的阀，以及公称直径超过 40mm 的海底阀、舷旁阀和装在易燃液体系统中的阀。

2.6.2.4　船用阀件应以手轮顺时针方向转动为关闭，反之为开启。

2.6.2.5　阀上应设有显示阀开闭状态的指示装置，但能通过其他方法观察到者除外；对于遥控阀，其遥控位置亦应显示阀的开闭状态。

2.6.2.6　阀件和旋塞应有标明用途的铭牌。单向阀的阀壳上应有永久性流向标记。

2.6.2.7　阀体上的焊接颈部应足够长，以确保阀不因接头处焊接和焊后热处理而变形。

2.6.2.8　所有阀件应在车间进行液压试验。其试验压力应为 1.5 倍设计压力。

2.6.3 空气管关闭装置

2.6.3.1 本规范第 2 篇 1.8.7.5 要求空气管安装自动关闭装置时，该空气管自动关闭装置应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章附录 4 的要求进行设计、制造和试验。

第 7 节 试 验

2.7.1 管路装船前液压试验

2.7.1.1 所有 I 级和 II 级管系用管以及设计压力大于 0.35MPa 的蒸汽管、给水管、压缩空气管和燃油管连同附件一起，在制造完工后包扎绝热材料或涂上涂层之前，均应经液压试验。

2.7.1.2 液压试验的试验压力 P_s 应不低于下式计算之值：

$$P_s=1.5p \qquad \text{MPa}$$

式中：p ——设计压力，MPa，见本章 2.1.3 的规定。

2.7.1.3 当设计温度超过 300℃时，所使用的钢管和附件的试验压力 P_s，应由下式决定，但不必超过 $2p$。

$$P_s=1.5\frac{[\sigma]_{100}}{[\sigma]_t}p \qquad \text{MPa}$$

式中：p ——同本节 2.7.1.2；

$[\sigma]_{100}$——100℃时的许用应力，N/mm^2；

$[\sigma]_t$——设计温度下的许用应力，N/mm^2。

为避免在弯曲处和 T 型接管处产生过大的应力，上述试验压力可以减小到 $1.5p$。在试验温度下，膜应力应不超过屈服点的 90%。

2.7.1.4 当管路的液压试验在船上进行时，可以和装船后的密性试验一起进行。

2.7.1.5 内径小于 15mm 的管子，可以不要求液压试验。

2.7.1.6 由于技术原因，在装船前无法对管路各段进行完整的液压试验，应申请认可对所有管路的闭合长度作试验，且应特别注意闭合处的接缝。

2.7.2 阀和附件装船前液压试验

2.7.2.1 用于 I 级和 II 级管系且与管系非一体式的阀和附件，应按接受的标准进行液压试验，但试验压力不应小于设计压力的 1.5 倍。

安装在载重线之下舷侧的阀件、旋塞和接管应进行液压试验，其试验压力应不小于 0.5MP。

2.7.3 装船后的试验

2.7.3.1 所有管系均应在工作情况下检查泄漏情况。

2.7.3.2 液体燃料管系、油舱加热管系、通过双层底舱或深舱的舱底水管路以及液压管系，应按照表 2.7.3.2 的要求进行液压试验。

装船后的液压试验 **表 2.7.3.2**

管 系	试 验 压 力
液体燃料管系	1.5 倍设计压力，但不小于 0.4MPa
油舱加热管系	
通过双层底舱或深舱的舱底水管路	不小于该舱的试验压力
液压管系	1.25 倍设计压力，但不必超过设计压力加 7MPa

2.7.3.3 当 I 级和 II 级管系在船上安装过程中采用对接焊连接时，则在焊接后应根据本

节 2.7.1.1 至 2.7.1.4 的要求进行液压试验。在安装过程中和液压试验之前，除接头处外，管段可以包扎绝热材料。

2.7.3.4　如上述对接焊焊缝的整个圆周均应经超声波或射线检测，并取得良好结果，则本节 2.7.3.3 所要求的液压试验可以免除。

2.7.3.5　对水敏感的管系，可采用气压试验来替代液压试验。在某些场合下，管系也可采用液压-气压组合试验，即其中系统部分充满水，上方自由空间用测试气体（通常是空气或氮气）加压。当气压试验不可避免时，安全防护措施应充分。

第 8 节　布　　置

2.8.1　管路布置

2.8.1.1　管路应加以固定，并应能避免管子因温度变化或船体变形而损坏。

2.8.1.2　管子穿过水密或气密结构处，应采用贯通配件或座板。管子用螺栓固定在水密舱壁上时，螺栓孔不应穿舱壁。

管子穿过有防火分隔的甲板或舱壁处，其布置不应破坏甲板或舱壁的防火分隔。

2.8.1.3　穿过干舷甲板（客船为舱壁甲板）以下防撞舱壁的管子应装有能在干舷甲板(客船为舱壁甲板) 以上操作的遥控阀，且该阀通常应处于关闭状态。当遥控系统失效时，该阀应能自动关闭或在干舷甲板(客船为舱壁甲板)以上手动关闭。

上述阀应紧靠防撞舱壁的前侧或后侧安装，其所在处所不是货物处所。

上述阀应为钢质、青铜或其他认可的塑性材料，普通铸铁或类似材质的阀不能采用。

2.8.1.4　在舱壁甲板以下的防撞舱壁只准穿过 1 根管子，以处理首尖舱内的液体。首尖舱如被纵向分隔成两个分舱以装载不同的液体时，则每一分舱可各装 1 根穿过防撞舱壁的管子。

2.8.1.5　对有破舱稳性要求的船舶，如在假定浸水舱范围内设有管系，其布置应保证继续浸水不会扩展到那些假定浸水的舱室以外的其他舱室。

2.8.1.6　淡水管不应通过油舱，油管也不应通过淡水舱，如不可避免时，应在油密隧道或套管内通过。

2.8.2　舱柜分隔

2.8.2.1　下列舱柜相邻布置时，应以隔离空舱隔开：

(1)　滑油舱柜与淡水舱柜；

(2)　锅水舱柜与燃油舱柜；

(3)　淡水舱柜与燃油舱柜；

(4)　锅水舱柜与滑油舱柜。

2.8.2.2　如燃油舱柜和滑油舱柜直接相邻，则其相邻舱壁的焊接应为全焊透型式的。

2.8.3　防蚀

2.8.3.1　钢管应有防止锈蚀的保护措施，并在全部加工(即钢管弯制、成形和焊接)完成以后，施以保护涂层。

2.8.4　防火

2.8.4.1　应避免燃油舱柜的空气管、溢流管和测量管通过居住舱室，如有困难时，则通过该类舱室的管子不应有可拆接头。

2.8.4.2　蒸汽管、油管、水管、油柜和其他液体容器，应避免设在配电板上方及后面。如不可避免时，则应有可靠的防护措施。

油管及油柜还应避免设在锅炉、烟道、蒸汽管、排气管及消声器的上方。如有困难时，则应采取有效措施，防止油类滴落在上述管路或设备的热表面上。

2.8.5　防护

2.8.5.1　布置在载运干货的货舱及其他处所内（包括集装箱船和滚装船货物处所）的管子，应具有保护措施以防止因货物产生的机械损伤。

2.8.5.2　各种管系应根据需要在管子、附件、泵、滤器和其他设备上设有放泄阀或旋塞。

2.8.5.3　使用时压力可能超过设计压力的管路，应在泵的输出端管路上设有安全阀。对于油管路，由安全阀溢出的液体应流回至泵的吸入端或舱柜内。管路中的加热器和空气压缩机的冷却器也应装设安全阀。安全阀的调整压力，一般应不超过管路的设计压力。

2.8.5.4　压力管路上如装有减压阀时，应在减压阀后装设安全阀及压力表，并应设有装设截止阀的旁通管路或至少另设有一只可供随时更换的备用减压阀。控制系统供气管路上减压阀设置及相关要求详见本规范第 7 篇 2.2.2.2。

2.8.6　绝热包扎

2.8.6.1　温度在 220℃以上的所有机械表面的绝热包扎应满足本篇 1.3.6.3 的要求。可拆接头及阀件处的绝热材料应便于拆换。

2.8.6.2　非冷藏装置的管路通过冷藏舱(包括渔船的冷藏渔舱)时，应包扎防冻材料，并与钢构件作绝热分隔。

2.8.6.3　一般情况下，通过温度为 0℃或低于 0℃舱室的管子，应与该舱室的钢构件作绝热分隔。

2.8.7　膨胀补偿

2.8.7.1　承受胀缩或其他应力的管子，应采用管子弯曲或膨胀接头等必要的补偿措施。

2.8.7.2　与膨胀接头毗连的管子应适当地校直和固定。必要时，波纹管型膨胀接头需加以防护，以防机械损伤。

2.8.7.3　一般滑动式膨胀接头只能用于在船舶正常航行中工作人员可随时到达进行检查处所的管子。干货舱和深舱等不便检查处所的管子，不应装设滑动式膨胀接头。但位于装载与管子内所输送液体相同的舱柜内的管子可使用滑动式膨胀接头。

滑动式膨胀接头不应用于下列管系中：

(1)　I 级管系；

(2)　II 级管系中的油(如燃料油、润滑油、液压油、热油)管路；

(3)　舵机液压系统；

(4)　起动空气和控制空气系统；

(5)　锅炉供水系统；

(6)　固定式气体灭火系统；

(7)　位于干货舱、深舱和双层底舱内的舱底水管路；

(8)　位于管弄中的货油管路；

(9)　位于 A 类机器处所、起居处所及无机械通风的管弄内的 III 级管系中的油(如燃料油、润滑油、液压油、热油)管路；

(10)　通过其他液舱的管路；

(11)　排气系统。

滑动式膨胀接头的具体使用要求，见本章第 5 节 2.5.3 的相关规定。

2.8.8　阀和附件的安装

2.8.8.1　阀、旋塞、管子或其他附件直接连接于舱柜壁板以及要求水密结构的舱壁、甲板、平台或轴隧壁时，应采用螺柱旋入焊于壁板上的座板而不穿透座板的方法加以固定。

2.8.8.2　机舱、炉舱、泵舱及轴隧内阀件的布置应便于操作。凡装在花钢板以下不便于操作的阀件，应将阀杆接长或配备便于操作的工具，花钢板根据需要相应开孔及加盖。

2.8.8.3　当海水系统装有安全阀时，则该阀应装在花钢板之上易于见到的地点，其布置应使海水自安全阀的任何排放均能易于发现。

2.8.8.4　所有遥控阀均应设有与遥控操纵机构无关的就地手动操纵装置。使用手动装置进行开闭后，不能使阀的遥控系统的功能受到影响。

对于海底阀、舷旁阀和防撞舱壁上的阀，应永久附有就地手动操纵装置。

2.8.9 舷旁阀和附件的安装(甲板排水管和卫生排泄管上的除外)

2.8.9.1 所有海水进口及其舷外排出口的阀或旋塞，均应直接固定在壳板或附连于壳板的钢质海水箱箱壁上。阀或旋塞的安装，应满足下列要求之一：

(1) 阀或旋塞均应采用螺柱旋入焊于外板或海水阀箱上的座板，而不穿透座板的方法加以固定。

(2) 阀或旋塞，可装在焊于外板或海水阀箱壁的短管上，短管壁厚应满足本篇表 5.3.4.2 的要求，亦可与其连接处船体外板厚度同厚。短管应有足够的加强，以保证刚性。

2.8.9.2 所有直接固定在外板上的吸入阀、排出阀或旋塞，均应装有贯通外板的凸肩。如吸入阀、排出阀或旋塞装在座板或接管上，而座板或接管在外板上已构成凸肩时，则阀和旋塞的凸肩可以免除。锅炉排污阀或旋塞的凸肩穿过外板处，应在外板外侧焊有护环。

2.8.9.3 舷侧锅炉排污阀的操纵装置，应位于花钢板以上易于接近之处，并应有显示阀开闭状态的指示装置。

2.8.9.4 舷侧排水孔应避免开在救生艇及舷梯卸放区域内，如布置有困难时，则应有防止水排至救生艇内或舷梯上的有效措施。

2.8.9.5 海底阀、舷外排出阀和旋塞，应装在易于接近且便于察看之处，并应有显示其开闭状态的指示装置。主海底阀的手轮或手动操纵装置的操纵位置，应高出花钢板之上。一般应高出花钢板以上 450mm。

当舷侧进水或排出管路通过边舱时，上述舷旁阀可装在边舱的内舱壁上。在边舱的内舱壁和船壳板之间的管子壁厚应满足本篇表 5.3.4.2 的要求，亦可与其连接处船体外板厚度同厚。

2.8.9.6 海底阀和海水箱的所有船舷开口，均应装设格栅， 栅条沿船壳纵向布置，格栅有效通流面积一般应不小于海底阀通流面积的 2 倍，且应有用低压蒸汽或压缩空气吹洗格栅的设施。

2.8.9.7 钢质舷旁阀和附件以及海水箱等，应有适当的防蚀保护措施。

2.8.9.8 海水箱的布置应避免形成气囊。如在海水箱顶部装设透气管时，应在其根部装设截止阀。透气管的开口端应高于舱壁甲板以上或在舱壁甲板附近通至舷外并装设舷旁截止阀。

第 3 章　船舶管系与舱室通风系统

第 1 节　一般规定

3.1.1　适用范围

3.1.1.1　除另有说明外，本章规定适用于船舶管系和舱室通风系统。

3.1.2　材料

3.1.2.1　除本章另有说明外，管子、阀和附件应使用钢、铸铁、铜、铜合金或适合于其用途的材料来制造。

3.1.2.2　铝、铅和塑料等热敏感材料不应用于关系船舶安全的重要管系，以及当泄漏或破损后可能造成火灾或水密舱室浸水的可燃液体管系或海水管系。塑料管的使用，见本篇第 2 章第 4 节的有关要求。

3.1.3　图纸资料

3.1.3.1　本章需送审的图纸资料见本篇 2.1.2。

第 2 节　除机器处所外其他舱室的排水

3.2.1　一般要求

3.2.1.1　所有船舶均应设有有效的舱底排水装置，以便能抽除及排干任何水密舱室中的水，但固定用来装载淡水、压载水、燃油或液体货物以及设有在所有实际可能情况下能够使用的其他有效抽除设施的处所除外。对于某些特殊舱室，舱室的进水将无损于船舶的残存能力及船舶安全时，则可免设舱底排水设备。

冷藏货舱应设置有效的排水装置，其具体要求见本规范第 5 篇第 3 章的有关规定。

3.2.1.2　排水管系的布置应在船舶正浮或横倾不超过 5°时，任何舱室或水密区域内的积水，均能通过至少 1 个吸口予以排出。为此，除在短而狭的舱室内设置 1 个吸口即可有效地排水以外，其余舱室一般均应在两舷设置吸口。

3.2.1.3　对于客船，在事故后所有实际可能的情况下，无论船舶正浮或倾斜，应能抽除并排干任 1 个水密分舱内的积水，但固定油舱和水舱除外。

货舱舱底水吸口的布置　　**表 3.2.2.1**

货 舱 情 况		每一舱舱底水吸口布置
单层底船舶	船底向两舷升高≥5°	后端靠近中纵剖面处 1 只
	船底向两舷升高＜5°	后端每舷 1 只
双层底船舶	内底板向两舷延伸形成舭污水沟	每舷 1 只
	内底板向两舷升高	中纵剖面处 1 只
	内底板向两舷延伸并不形成污水沟	每舷设 1 只污水井及 1 只吸口
仅有一个货舱且该舱长度＞35m		前后端均应设置
首、尾端狭窄货舱		中纵剖面处 1 只

3.2.2　货舱

3.2.2.1　货舱的舱底水吸口设置，应符合表 3.2.2.1 的规定。

3.2.2.2　客船舱壁甲板和货船干舷甲板上封闭的货物处所

位于客船舱壁甲板和货船干舷甲板上封闭的货物处所要求的排水装置，亦可按下列要求通过泄水孔以重力泄放的形式进行排放：

(1)　当船舶横倾为 5°时，其干舷不会使舱壁甲板或干舷甲板边缘浸水，则该货物处所可通过设有足够数量适当尺度的泄水孔直接将水排向舷外。

此类泄水孔舷外排出管的布置，应符合《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇第 2 章 2.11 的要求；

(2) 当船舶横倾为 5°或小于 5°时，其干舷使舱壁甲板或干舷甲板边缘浸水，则该货物处所内排出的水应导向一个或多个容量足够的泄水舱，该泄水舱应有高水位报警器和向舷外排放的有效装置；

(3) 应在左右舷均布置泄水孔，泄水孔的数量与布置应能防止水的不合理积聚；泄水孔的开口端应设有格栅；一般泄水孔的通径应不小于 100mm；

(4) 如上述封闭的货物处所由固定式压力水雾灭火系统保护，则甲板泄水系统还应考虑固定式压力水雾灭火系统工作时增加的水量要求；

(5) 如上述封闭的货物处所由 CO_2 灭火系统保护，则甲板泄水孔应设有防止此类窒息性气体泄漏的装置；

(6) 受石油或其他危险品物质污染的水，不应排向机器处所或其他可能存在火源的处所。

3.2.3 交替装载液货或干货的货舱和深舱

3.2.3.1 如舱柜内底板以不小于 5°的下倾角向中纵剖面倾斜，则可在中纵剖面处设 1 只吸口而不设边吸口。

3.2.3.2 上述舱柜的液货和压载水的注入管和抽吸管应设有盲板法兰或其他隔离装置，舱底水支吸管也应设置盲板法兰，以便在装载干货时将液货和压载水的注入管和抽吸管隔断，而装载液货或压载水时将舱底水支吸管隔断。

3.2.4 首、尾尖舱和隔离空舱

3.2.4.1 首、尾尖舱如作为干舱，应装设舱底水支管及吸口或用有效的手动泵排水，手动泵吸口至泵的高度应不大于 7m。

3.2.4.2 隔离空舱应设有适当的排水设施。

3.2.5 首、尾尖舱和机器处所之上的处所

3.2.5.1 锚链舱和首尖舱以上的水密舱室，应设手动泵或通过接至动力舱底泵的吸口或其他设备进行排水。

3.2.5.2 尾尖舱以上的小围蔽舱室和舵机舱，应设手动泵或接至动力舱底泵的吸口进行排水。这些舱室也可用内径不小于 38mm 的疏水管将水泄入轴隧(或尾机型船舶的机器处所)内，并应在照明良好且易于察看的地点装设自闭式旋塞或阀。

3.2.6 轴隧和管隧

3.2.6.1 轴隧和管隧内一般应在尾端设 1 只舱底水支吸口。如首端有积水可能或其长度超过 35m 时，则应在首端增设吸口。

第 3 节 机器处所的排水

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 机器处所内舱底水排除装置的布置，应在船舶正浮或横倾不大于 5°时，至少能通过两个舱底水吸口进行排水，上述吸口之一应为支吸口，另一个为直通舱底泵吸口。

3.3.1.2 对于客船，在事故后所有实际可能的情况下，无论船舶正浮或倾斜，均应能排除机器处所内的积水。

3.3.2 机器处所内舱底水吸口布置

3.3.2.1 机器处所内舱底水吸口的布置，应符合表 3.3.2.1 的规定。

对沿海航区及其之下航区货船或 500 总吨以下的船舶，表中直通吸口的数量均可改为 1 个。

对 500 总吨以下的船舶，表中支吸口的数量均可改为 2 个。

对 100 总吨以下的船舶，表中支吸口的数量均可改为 1 个。

3.3.2.2　对于由曲柄坑或其他凹槽、具有反梁拱的双层底顶板或双层底不连续所形成的双层底顶板上凹陷处的排水，可要求增设额外的舱底水吸口。

3.3.2.3　电力推进船舶的机舱，除按机舱情况布置支吸口和直通舱底泵吸口外，还应设有防止在发电机和推进电动机下面积水的设施。

3.3.2.4　在客船上，位于机器处所内的每台独立动力舱底泵应有引自该处所的直通吸口，但任一处所内上述吸口不必多于 2 个，当装有 2 个或 2 个以上这种吸口时；则在该处所内每舷至少有 1 个吸口。

机器处所舱底水吸口布置　　**表 3.3.2.1**

机器处所 情 况		舱 底 水 支 吸 口	直通舱底泵吸口
单层底主机舱	船底向两舷升高≥5°	中纵剖面处 1 只	中纵剖面处 1 只
	船底向两舷升高＜5°及所有客船	中纵剖面处 1 只及每舷 1 只	中纵剖面处 1 只
双层底主机舱	内底板扩展至机舱全长并在两舷形成舭污水沟	每舷 1 只	每舷 1 只
	内底板扩展至机舱全长和全宽	每舷 1 只污水井，每井内 1 只	每舷污水井内 1 只
尾机型船舶机舱		前端每舷 1 只及 后端中纵剖面处 1 只	机舱前端每舷 1 只
用水密舱壁与机舱隔开的炉舱或辅机舱； 电力推进船舶的独立电动机机舱		按货舱要求	每 1 水密分舱至少设 1 只

3.3.3　机器处所应急舱底水吸口

3.3.3.1　除本节 3.3.2.1 至 3.3.2.4 所要求的舱底水吸口以外，在每一主机机器处所还应设 1 个应急舱底水吸口，该吸口一般应通向 1 台主冷却水泵并装设截止止回阀，阀杆应适当延伸以使手轮高出花钢板以上。一般应高出花钢板以上 450mm。

3.3.3.2　在汽轮机主机的船舶上，应急吸口的直径至少应为主循环泵进口直径的 2/3；在其他船舶上，应急吸口直径应不小于泵的进口直径。

3.3.3.3　当主冷却水泵不适合用来抽输舱底水时，则应急舱底水吸口可接至除舱底泵外的最大 1 台动力泵，其排量应不小于所要求的舱底泵排量，吸口尺寸至少应与泵的进口尺寸相同。

当应急舱底水吸口连接的泵是自吸式泵时，则该船同舷的直通舱底泵吸口可以不设，但客船除外。

3.3.3.4　应急舱底水吸口阀应设有清楚而永久性的铭牌。

3.3.3.5　对于下列船舶，机器处所不要求设舱底水应急吸口。

(1)　小于 500 总吨的货船；

(2)　小于 100 总吨的客船；

(3)　小于 500 总吨的遮蔽航区客船。

第 4 节　舱底泵与舱底水管系

3.4.1　舱底泵数量

3.4.1.1　每艘船舶的动力舱底泵数量，应符合表 3.4.1.1 的规定。但对下列船舶可按如下要求：

(1)　小于 100 总吨且载客不超过 100 人的客船，如航行时间不超过 4 小时，可设 2 台独立动力舱底泵；

(2)　小于 100 总吨的货船，舱底泵可设 1 台机带泵和 1 台手动泵。

动力舱底泵数量　　表 3.4.1.1

船舶种类、航区及参数			独立动力泵	主机带动或独立动力泵
客　船	近海航区及其之上航区客船 载客 500 人及以上的沿海航区客船	舱底泵衡准数≥30	3 台	1 台
		舱底泵衡准数＜30	2 台	1 台
	上述表列客船之外的客船		2 台	1 台
除客船外的船舶		船长＞91.5m	2 台	—
		船长≤91.5m	1 台	1 台

3.4.1.2　在本节 3.4.1.1 中所述的每台舱底泵，可由几台泵组成的舱底泵组代替。每一泵组的总排量应不小于本节 3.4.2.4 中所规定的 1 台舱底泵的计算排量。

3.4.1.3　独立动力的卫生泵、压载泵及总用泵，如其排量足够且为自吸式泵或带自吸装置的泵并与舱底水管系有适当的连接时，均可作为独立动力舱底泵。

3.4.1.4　除客船外的其他船舶，1 个舱底水喷射器如有适当压力的海水泵供水并与舱底水管系有适当连接时，可取代 1 台所要求的独立动力舱底泵。

3.4.1.5　客船中所述的舱底泵衡准数 C 应按下式计算：

当 $P_1 > P$ 时：　$C = \dfrac{72(M + 2P_1)}{V + P_1 - P}$

在其他情况下：　$C = \dfrac{72(M + 2P)}{V}$

式中：M —— 机器处所(见《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇第 2－1 章 1.2.1)的容积，m^3，其位于舱壁甲板以下；加上机器处所或后方位于内底以上的任何固定燃油舱的容积；

V —— 舱壁甲板以下的船舶总容积，m^3；

P —— 舱壁甲板以下的乘客处所和船员处所的总容积，m^3，其为乘客和船员提供居住和使用的处所，但不包括行李、物料、食品和邮件室；

$$P_1 = KN$$

其中：N —— 核准该船搭载的乘客数；

$$K = 0.056L$$

其中：L —— 船长(见《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇第 2－1 章 1.2.1)，m；

但是，如 KN 的数值大于 P 与舱壁甲板以上的实际乘客处所总容积之和，则 P_1 应取上述之和或 KN 值的 2/3，取较大者。

3.4.2　舱底泵的型式和排量

3.4.2.1　所有的动力舱底泵，均应为自吸式泵或带自吸装置的泵。

3.4.2.2　连接应急舱底水吸口的冷却水泵，不必为自吸式泵或带自吸装置的泵。

3.4.2.3　每一动力舱底泵应能使流经所需的舱底水总管的水流速度不小于 2m/s。

3.4.2.4　每一舱底泵的排量 Q 应不小于按下式计算之值：

$$Q = 5.66\, d_1^2 \times 10^{-3} \quad m^3/h$$

式中：d_1 ——舱底水总管内径，mm，按本节 3.4.3.1 所述公式计算。

3.4.2.5　除客船外的其他船舶，当一台舱底泵的排量稍小于规定值时，则其差额可由其他舱底泵超过的排量补足，通常，该差额应限制在规定值的 30%之内。

3.4.3　舱底水管

3.4.3.1　舱底水总管的内径 d_1 应按下式计算，但是舱底水总管的实际内径可按最接近的

标准尺度取整，但不应小于计算值 5mm：

$$d_1 = 25 + 1.68\sqrt{L(B+D)} \qquad \text{mm}$$

式中：L——船长(在最深分舱载重线两端的垂线间量得的长度)，m；

当机舱舱底水系统仅服务于机器处所而不为货舱或货物处所服务时，则公式中 L 的长度可取为船长减去所有货舱或货物处所的总长度。但无论如何，此时机舱舱底水总管的流通横截面积不应小于机舱 2 根舱底水支管的流通横截面积之和。

B——船宽(在或低于最深分舱载重线处，由一舷肋骨外缘至另一舷肋骨外缘间的最大宽度)，m；

D——至舱壁甲板的型深，m。

当舱壁甲板或干舷甲板上封闭货物处所内的舱底水排放通过本舱底水系统进行排放时，则 D 应按下列要求选取：

(1) 当封闭货物处所延伸至船舶全长时，则 D 应量至舱壁甲板以上的第一层甲板。

(2) 当封闭货物处所的长度较短时，D 应取为至舱壁甲板的型深加上 lh/L，此处 l 和 h 分别为此类封闭货物处所的累计长度和高度。

3.4.3.2 在任何情况下，舱底水总管的内径应不小于最大舱底水支管的内径。

3.4.3.3 装货处所和机器处所的舱底水支管内径 d_2 应按下式计算，但是舱底水支管的实际内径可按最接近的标准尺度取整，但不应小于计算值 5mm：

$$d_2 = 25 + 2.15\sqrt{l(B+D)} \qquad \text{mm}$$

式中：l ——舱室长度，m；

B ——船宽，m；

D ——至舱壁甲板的型深，m。

3.4.3.4 舱底水支管的内径一般应不小于 50mm。

对于船长小于或等于 25m 的船舶，舱底水支管的内径一般应不小于 40mm。

3.4.3.5 直通舱底泵的舱底水管内径， 应不小于该船的舱底水总管的内径。

3.4.3.6 轴隧舱底水支管内径一般应不小于 65mm。

对于船长小于或等于 60m 的船舶，轴隧舱底水支管内径一般应不小于 50mm。

3.4.3.7 连接舱底水总管和分配阀箱的连接管的截面积，应不小于连接于该阀箱的两个最大舱底水支管的规定截面积的总和，也不必大于所规定的舱底水总管的截面积。

3.4.4 舱底泵和舱底水管的连接

3.4.4.1 舱底泵与舱底水管系的连接，应确保当其他舱底泵在拆开检修时，至少有 1 台泵仍能继续工作。

3.4.4.2 泵及其管路的布置，应能使所连接的任何泵的工作不受同时工作的其他泵的影响。

3.4.4.3 所有舱底水吸入管路，直至与舱底泵吸入阀箱连接之前，不应与其他管路有任何连接。

3.4.5 止回布置

3.4.5.1 为防止水密舱室间、水密舱室与货舱和机器处所间、干燥舱室与海水或舱柜间发生沟通的可能性，下列附件上应装设截止止回阀：

(1) 舱底水分配阀箱或舱底水支管；

(2) 舱底泵或舱底水总管上舱底水吸入软管的接管；

(3) 直通舱底泵吸入管；

(4) 舱底泵与舱底水总管之间的连接管。

3.4.6 盲断布置

3.4.6.1 对于既可装载压载水又可装载干货的深舱和货舱，应设有转换装置，以便当装

载干货时盲断压载水注入管和抽吸管，而装载压载水时盲断舱底水吸入管。

深舱装载燃油或货油(闭杯闪点超过 60℃)时的盲断布置，见本篇 4.2.9.1 的规定。

3.4.7 通过深舱和双层底舱的舱底水管

3.4.7.1 在深舱内，舱底水管最好在管隧内通过，否则管壁厚度应符合本篇表 2.2.2.6(1)的规定，并采用焊接接头或其他可靠接头，接头数量应保持最少。

3.4.7.2 在深舱内，舱底水管段应装设非滑动式膨胀接头。货舱舱底水管通过深舱时，应在该舱底水吸入管的开口端附近安装认可型的止回阀。

3.4.7.3 舱底水管应尽量避免通过双层底舱，如不能避免时，则通过双层底舱的舱底水管的管壁厚度应符合本篇表 2.2.2.6(1)的要求。

3.4.7.4 双层底舱内的管段应装设非滑动式膨胀接头。

3.4.7.5 安装完成后，通过深舱和双层底舱的管路应经压力试验，试验压力应不小于该舱的试验压力。

3.4.8 舱底附件

3.4.8.1 凡机、炉舱和货舱的内底板延伸至两舷不形成舭部污水沟者，均应将舱底水吸口设于污水井中。污水井应由钢板制成，其容积应不小于 0.15m^3。

对于 500 总吨以下的船舶，机、炉舱和货舱污水井容积，可适当减小，但应不小于 0.10m^3。

3.4.8.2 机器处所和轴隧内的每根舱底水支吸管及直通舱底泵吸管(应急吸管除外)，均应设置泥箱，该泥箱应易于接近，并自泥箱引一直管至污水井或污水沟。直管下端或应急舱底水吸口不应装设滤网箱。

对于 100 总吨以下的船舶，机、炉舱的舱底水吸入管，可在管端装设滤网箱以替代泥箱。

3.4.8.3 货舱及除机器处所和轴隧外的其他舱室舱底水吸入管的开口端，应封闭在网孔直径不大于 10mm 的滤网箱内。滤网箱的通流面积应不小于该舱底水吸入管截面积的 2 倍。滤网箱应便于拆装和清理。

3.4.8.4 舱底阀件、旋塞和泥箱应尽可能装在靠近机器处所和轴隧的花钢板处或在花钢板之上，如装在花钢板之下时，则花钢板应有活门或盖子以及指明上述附件存在的铭牌。

3.4.9 其他

3.4.9.1 残油(油泥)舱和油类标准排放接头的设计、构造和布置，应符合国内法规的规定。

3.4.9.2 舱底水系统的设置，应遵守有关防止船舶造成污染方面的规定。

第 5 节 客船排水的附加要求

3.5.1 舱底泵和舱底水总管的布置

3.5.1.1 客船所要求的动力舱底泵，应尽可能置于分开的水密舱室内。如机器和锅炉装于 2 个或 2 个以上的水密舱室内时，则舱底泵应尽可能分散布置在所有这些舱室内。

3.5.1.2 船长等于或大于 91.5m 或舱底泵衡准数等于或大于 30 的客船，在海上可能浸水的一切通常情况下，其抽水布置应至少有 1 台动力泵可供使用。此项要求可采取下列措施之一予以满足：

(1) 所需各泵中的 1 台是可靠的固定式潜水舱底泵，其动力源位于舱壁甲板以上；

(2) 各泵及其动力源应在整个船长范围内分布，在该船所需要经受的任何浸水情况下，于未破损的 1 个舱内至少有一台泵可供使用。

3.5.1.3 舱底水总管应不布置在距舷侧 1/5 船宽的范围内(在最深分舱载重线水平面上垂直于中纵剖面的方向量计)。

3.5.1.4 当舱底泵或舱底泵与舱底水总管的连接管布置在距舷侧 1/5 船宽范围内时，则此连接管上应装设止回阀。应急舱底泵及其与舱底水总管之间的连接管应布置在距舷侧 1/5 船宽线的船内侧。

3.5.2 舱底水管的布置

3.5.2.1　应有设施，以防装有舱底水吸管的舱室，由于设有该吸管的其他舱室因碰撞或搁浅使吸管断裂或其他损坏而引起浸水。为此，当该管子的任何部分位于距舷侧不足 1/5 船宽或在箱形龙骨内者，应在其开口端所在舱室内的管子上装设止回阀。

3.5.2.2　所有与舱底排水设备有关的分配阀箱、阀及旋塞，应设在通常情况下可以到达之处。其布置应使浸水时，舱底泵之一能用于任何舱室排水；此外，在距舷侧 1/5 船宽处绘 1 线，处于线外侧的舱底泵或其与舱底水总管连接的管子损坏时，不应使舱底水系统丧失作用。如仅有一组管子为各泵共用时，则控制舱底水管所必需的阀件或旋塞，应能自舱壁甲板以上操作。如除主舱底排水系统外，还设有应急舱底排水系统时，则该应急系统应独立于主系统，其布置应在浸水时有一台舱底泵能用于任一个舱室排水；在此情况下，仅操纵应急系统所需的阀和旋塞，应能在舱壁甲板以上操作。

3.5.2.3　在本章 3.5.2.2 中所述的能自舱壁甲板以上操作的所有阀和旋塞的控制器，应在其操作处加以明显标志，并设有显示其开闭状态的指示装置。

第 6 节　排水的其他附加要求

3.6.1　油船舱底排水的附加要求

3.6.1.1　油船舱底排水的附加要求，见本篇第 5 章第 3 节的有关规定。

3.6.2　使用固定式压力水雾灭火系统处所排水的附加要求[①]

3.6.2.1　使用固定式压力水雾灭火系统处所应设有舱底排水和泄水设施，以便排除由于固定式压力水雾系统工作可能在甲板上或双层底内底板上形成的大量积水。并应符合下列要求：

(1)　对于客船：

①　在舱壁甲板以上处所，应设有满足 MSC.1/Circ.1320 通函相关要求的泄水孔以保证这些水能被迅速排往舷外。

当船舶在航行时应保持泄水孔的阀门处于打开状态，对按《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇第 2 章 2.11 要求需装设截止阀的泄水孔管路上的阀门，应装设能从舱壁甲板以上位置操作的可靠关闭装置；

②　在舱壁甲板以下处所，可要求在本章第 2 至第 5 节的要求以外另装满足 MSC.1/Circ.1320 通函相关要求的泵和排水设施。排水系统的阀门应能从所保护位置的外部靠近灭火系统控制的位置进行操作。污水井应具有足够的容量，并应布置在船侧，其在每一水密舱内，相互间的距离不应超过 40m；

(2)　对于货船：

排水和抽水装置应能够防止形成自由液面，并满足 MSC.1/Circ.1320 通函相关要求。排水系统的阀门应能从所保护位置的外部靠近灭火系统控制的位置进行操作。污水井应具有足够的容量，并应布置在船侧，其在每一水密舱内相互间的距离不应超过 40 m。

如不可能，在批准稳性资料时应将增加的水重量和自由液面对船舶稳性的不良影响考虑到其认为必要的程度。这些信息应包括在所要求的向船长提供的稳性资料中。

3.6.2.2　对于船舶的封闭车辆和滚装处所及特种处所，如安装了固定式压力水雾系统，应采取措施防止排水装置的堵塞，并满足 MSC.1/Circ.1320 通函的相关要求。

3.6.3　通常无人的其他机器处所排水的附加要求：

3.6.3.1　位于水线以下通常无人的其他机器处所(如：侧推器舱、应急消防泵舱、等等)，应设有舱底水报警装置。

第 7 节　非机动船舶的舱底排水与压载管系

3.7.1　一般要求

① 参见 MSC.1/Circ.1320 通函：《闭式车辆处所和滚装处所以及特种处所消防水的排放指南》。

3.7.1.1　非机动船舶应在对浮力和漂浮性有影响的所有水密舱室(固定用来装载液体的舱室除外)均设有排水设施。

3.7.1.2　本节是对非机动船舶的舱底排水与压载管系的补充要求。除以下规定的项目外，其他应参照有推进机械的船舶的排水规定和原则执行。

3.7.2　码头趸船和无辅助动力的非机动船舶

3.7.2.1　码头趸船和无辅助动力的非机动船舶，至少应设 2 台可移式手动泵供各舱排水用。且各舱均应设有供排水设施接入舱底进行排水的有效通道。

3.7.2.2　手动泵吸入管内径 d 应不小于按下式计算所得之值：

$$d = 0.01\,T + 50 \qquad \text{mm}$$

式中：T——上甲板以下的吨位数。

当船舶分隔成较小的水密舱室时，则泵的吸入管内径可为 50mm。手动泵的水缸内径应不小于 2 倍吸入管内径。

3.7.3　有辅助动力并有人看管的非机动船舶

3.7.3.1　有辅助动力的非机动船舶，应设有供舱柜和主要舱室舱底排水的动力泵及固定式舱底水排放系统。

3.7.3.2　有辅助动力并有人看管的船舶应设有二台动力驱动的舱底泵。

3.7.3.3　近海航区及其之下航区有辅助动力并有人看管的船舶可仅设有一台动力驱动的舱底泵，但此时舱底泵不能用作消防泵。”

3.7.3.4　要求设有舱底水排放措施的所有舱室均应设有与船舶舱底水系统相连的舱底水支吸口。

3.7.3.5　机舱除舱底水支吸口外，还应设有一个直通舱底泵吸口。

3.7.3.6　作为干舱的首尾尖舱可使用手动泵排水。

3.7.3.7　位于甲板上的舱室可直接向舷外排水。

3.7.4　有辅助动力无人看管的非机动船舶

3.7.4.1　有辅助动力无人看管的船舶至少应设有一台动力驱动的舱底泵。

3.7.4.2　机、泵舱应设有接至动力舱底泵的舱底水吸口。

3.7.4.3　其他舱室可使用手动泵进行排水。但各舱均应设有供排水设施接入舱底进行排水的有效通道。

3.7.5　非机动船舶的压载系统

3.7.5.1　设有压载舱的非机动船舶，各压载舱均应设有通过管路连接的压载水系统。

3.7.5.2　码头趸船和无辅助动力的非机动船舶可使用一台可移式泵作为压载泵。

3.7.5.3　有辅助动力的非机动船舶至少应设有一台动力驱动的压载泵。

第 8 节　压载与甲板排水管系

3.8.1　压载管系

3.8.1.1　压载管系的布置和压载舱吸口的数量，应使船舶在正常营运条件下的正浮或倾斜位置均能排除和注入各压载舱的压载水。

3.8.1.2　当压载舱长度超过 35m 时，一般应在前、后端均设置吸口。

3.8.1.3　压载管系的布置，应避免舷外的水或压载舱内的水进入货舱、机器处所或其他舱室。

3.8.1.4　压载水管不应通过饮水舱、锅炉水舱或滑油舱。如不可避免，则在饮水舱、锅炉水舱或滑油舱内的压载管壁厚应符合本篇表 2.2.2.6(1)第 5 列的要求，并应采用焊接接头；亦可使用该压载水管在套管内通过的方式。

3.8.1.5　压载管系不应与干货舱及机、炉舱的舱底管系和油舱管系接通，但泵与阀箱之

间的连接管、泵排出舷外总管和本节 3.8.1.6 所述的情况除外。

3.8.1.6　干货舱或油舱(包括深舱)可能用作压载舱时，压载管系应装设盲板或其他隔离装置。饮用淡水舱兼作压载舱时，为避免两个系统相互沟通，也应符合这一要求。含油压载水的排放，应符合有关防止船舶造成污染的规定。

3.8.1.7　燃油与压载水的交替装载应符合本篇第 4 章 4.2.8 的相关要求。

3.8.1.8　油船压载水系统的要求，见本篇第 5 章第 3 节的有关规定。

3.8.2　甲板排水管和卫生排泄管

3.8.2.1　甲板排水管和卫生排泄管的要求，见《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇第 2 章 2.11 的规定。

3.8.2.2　甲板排水管和卫生排泄管上所有直接固定在外板上的吸入阀、排出阀或舷旁接管的安装应符合本篇 2.8.9.2 的相关要求。

第 9 节　遥控的舱底水与压载水管系

3.9.1　布置

3.9.1.1　如设有机舱外舱底水总管，则其布置应满足下列要求之一：

(1)　如仅设有一根舱底水总管且设有管隧，则该总管应位于管隧内，并尽可能位于管隧的较高部位。每一接至该总管的舱底水支吸管上均应装设遥控阀；

(2)　如仅设有一根舱底水总管且未设有管隧，则该总管应位于不易受机械碰损的处所，如双层底压载舱、空舱等。每一接至该总管的舱底水支吸管上均应装设遥控阀，该遥控阀应位于能够达到的干舱内；

(3)　设两根舱底水总管，每一货舱均设有分别接至每一舱底水总管的舱底水支吸管，并在每一舱底水吸入支管上装设遥控阀。

3.9.1.2　货舱舱底水总管的尺寸应与机器处所舱底水总管的尺寸相同，

3.9.1.3　在机器处所内应装设货舱舱底水总管截止阀。

3.9.2　阀件

3.9.2.1　舱底水吸入支管的遥控阀应为截止止回阀或串联在一起的截止阀及止回阀。

3.9.3　泵

3.9.3.1　遥控舱底泵和压载泵应在遥控操纵板上设有泵的运转指示装置。

第 10 节　空气、溢流与测量管

3.10.1　一般要求

3.10.1.1　本节所提到的“货油”是指闪点超过 60℃(闭杯试验)的油类。

3.10.1.2　空气管、溢流管和测量管应以钢或其他认可材料制造。

3.10.1.3　空气管以及所有测量管的顶端，均应设置铭牌。

3.10.1.4　除符合本节要求外，空气管还应符合本规范第 2 篇 1.8.7.5 的要求。

3.10.2　空气管的布置

3.10.2.1　储藏水、燃油、滑油的舱柜以及隔离空舱和管隧均应装设空气管，必要时，轴隧也应装设空气管。空气管应从舱柜的高处引出并远离注入管。

3.10.2.2　顶板的长度或宽度不小于 7m 的舱柜，应设 2 根或多根空气管，其间距应适当；如特殊情况无法布置，则在确保有效透气的情况下可以接受 1 根空气管。如舱柜顶部形状特殊或不规则时，则空气管的数目和位置应根据实际情况来决定。

3.10.2.3　具有阴极保护的舱柜，应在其前、后端设置空气管。

3.10.2.4　所有双层底舱均应设置空气管，延伸至两舷的每一个双层底分舱应自两舷引出空气管。但对于船舶首尾部宽度较小的双层底舱，如一根空气管能确保舱室的有效透气，则可以设置一根透气管。

3.10.2.5　空气管的布置，应在任一个舱柜破舱浸水后，不致使海水通过空气总管进入位于其他水密舱室内的舱柜。

3.10.2.6　日用燃油舱柜、沉淀舱柜及滑油舱柜的空气管的安装和布置应使空气管在破损时不会直接导致飞溅海水和雨水进入的危险。

3.10.2.7　本节 3.10.2.6 条对下列船舶不要求：

(1)　沿海航区及其之下航区船舶；

(2)　小于 500 总吨货船。

3.10.3　空气管的终止

3.10.3.1　下列舱柜和隔离舱的空气管，应引至干舷甲板以上的敞开地点：

(1)　燃油舱柜；

(2)　货油舱；

(3)　加热的滑油舱和液压油舱；

(4)　位于机器处所之外且未设溢流管并能用泵灌装的舱柜；

(5)　与燃油舱或货油舱相邻的隔离舱。

3.10.3.2　除本节 3.10.3.1 中规定的舱柜外，下列舱柜和隔离舱的空气管，应引至舱壁甲板以上：

(1)　双层底舱；

(2)　延伸至外板的深舱；

(3)　能直接从舷外和海水箱注水的舱柜；

(4)　其他隔离舱。

3.10.3.3　滑油舱柜或容积小于 0.5m^3 的燃油放泄柜(非动力注入柜)的空气管，如其出口端位于溢油不致与电气设备及热表面接触之处，则可以终止于机器处所之内。

3.10.3.4　燃油和货油舱柜空气管的开口端，应位于开敞甲板上不致因溢油或油气而产生危险的处所。

3.10.3.5　燃油和货油舱柜的空气管的管端，应装设耐腐蚀和便于更换的金属防火网。

3.10.3.6　空气管管端金属防火网的净通流面积，应不小于对该空气管所要求的横截面积。

3.10.4　空气管尺寸

3.10.4.1　对于能用船内泵或岸泵通过注入总管灌装的所有舱柜，每一个舱柜的空气管的总横截面积，应比各自注入管的有效截面积至少大25%。任何情况下，上述舱柜空气管的内径应不小于50mm。当多个舱柜共用一根空气管时，则共用空气管的横截面积至少应为其中两个舱柜中所需最大空气管横截面积之和。

3.10.4.2　如舱柜装有本节规定的溢流管时，则空气管的横截面积至少应为该舱柜注入管横截面积的 20%。

当装有本节规定溢流管的几个舱柜共用一根空气管时，则该空气管的横截面积，至少应为独立舱柜中两根最大注入管横截面积之和的 20%。

3.10.4.3　对于冰区航行的船舶，空气管的截面积应适当增大。

3.10.4.4　参与船体结构的舱柜，其空气管的壁厚，应符合本篇表 2.2.2.6(1)的规定。

3.10.4.5　轴隧和管隧所安装的空气管，其内径应不小于 75mm。

3.10.4.6　舱柜空气管的内径应不小于 50mm。对于容积小于 0.5m^3 的重力注入舱柜，可采用较小直径的空气管。

3.10.5　溢流管的布置

3.10.5.1　相应于空气管高度的液体压头大于该舱柜所能承受的压力，或空气管的截面积小于本节3.10.4.1的要求时，则所有能用泵灌装的舱柜，均应装设溢流管。当多个舱柜共用一根空气管时，来自一个舱柜的空气管不应视为另一舱柜的溢流管，但至溢流舱的共用溢流管除外。

3.10.5.2　燃油和滑油舱柜的溢流管，应引向有足够容积的溢流柜或预留有溢流空间的储存舱柜。

除燃油和滑油舱柜外，其他舱柜的溢流管应引至开敞处所或溢流柜。

3.10.5.3　溢流管上应装设具有良好照明的观察器，观察器应安装在垂直管上易于察看之处。作为等效办法，也可装设报警装置，以便当舱柜溢流或油量达到舱柜的预定液面高度时予以报警。

3.10.5.4　溢流管上不应装设截止阀或旋塞。

3.10.6　溢流管的尺寸

3.10.6.1　每一舱柜溢流管的截面积，应不小于该舱柜注入管截面积的1.25倍。当多个舱柜共用一根溢流管时，则共用溢流管的横截面积至少应为其中两个舱柜中所需最大溢流管横截面积之和。

3.10.7　溢流管串流的预防

3.10.7.1　用于交替装载燃油、货油、压载水或干货等深舱的溢流管，如与其他舱柜的溢流总管相连接，则其布置应能防止来自其他舱柜的液体或气体等进入装有干货的深舱，还应能防止装在深舱内的液体进入其他舱柜之内。

3.10.7.2　溢流管的布置，应在任一舱柜破舱浸水后，不致使海水通过溢流总管进入位于其他水密舱室内的舱柜。

3.10.8　测量管

3.10.8.1　所有舱柜、隔离空舱、管隧以及不易经常接近的污水沟或污水井，均应设置测量管。测量管一般应引至舱壁甲板以上随时可以接近的地点。

测量管应尽可能靠近抽吸口。

3.10.8.2　其他测量装置可用来代替舱柜的测量管。测量装置在装船后应经试验合格。

3.10.8.3　为防止海水通过测量管进入舱柜，所有可能进水的测量管均应装有永久附连的可靠关闭装置。

3.10.8.4　测量管下端开口处的底板上，应安装适当厚度和尺寸的防击板。

3.10.9　短测量管

3.10.9.1　在机器处所和轴隧内，当测量管不可能如本节 3.10.8.1 要求那样延伸时，则可安装延伸至花钢板以上的短测量管。并应满足下列要求：

(1)　测量管应易于接近，并应装设旋塞或用链条与管子相连的螺旋帽；

(2)　在客船上，仅机器处所范围内的隔离空舱和双层底舱柜可以使用短测量管，并在任何情况下均应安装自闭式关断装置。

3.10.10　燃油舱柜测量管的附加要求

3.10.10.1　应设有安全而有效的设施，以确定任何燃油舱柜内的存油量。如使用测量管，则它们不应终止于测量管溢油有被引燃危险的任何处所，尤其不应终止于乘客或船员处所。作为一般原则，它们不应终止于机器处所。然而，如布置有困难时，可准许测量管终止于机器处所，但应满足下列要求：

(1)　安装满足本节 3.10.10.3 要求的油面计；

(2)　测量管终止于远离着火危险的位置，否则应采取预防措施，例如安装有效的防火网，以防止从测量管终端溢出的油与着火源相接触；

(3)　测量管终端装有自闭式关断装置，并在其下面装有一个小直径的自闭式控制旋塞，用于确定该关断装置打开前没有燃油存在。应采取措施确保从控制旋塞溢出的油没有着火危险。

3.10.10.2　如燃油舱柜设有满足要求的溢流管或高液位报警装置，则当其测量管终止于机器处所时，仅需满足上述 3.10.10.1(2)和(3)的要求。

对位于双层底舱的燃油舱柜，当其测量管终止于机器处所时，对下列船舶仅需满足上述 3.10.10.1(2)和(3)的要求：

(1)　沿海航区及其之下航区船舶；

(2) 小于 500 总吨货船。

3.10.10.3 如满足下述条件，可使用其他的油面计代替测量管：

(1) 在客船上，此类装置不应在舱柜顶部以下贯穿，且在其损坏或舱柜注油过量时不应有燃油溢出；

(2) 在货船上，此类装置损坏或舱柜注油过量时不应有燃油溢到处所内。可以使用装有平板玻璃且在油面计和油柜之间设有自闭阀的油面计。禁止使用圆柱形玻璃油面计。

3.10.11 滑油舱柜测量管的附加要求

3.10.11.1 一般确定滑油舱柜内存油量的设施应符合本节 3.10.10 的要求。但如其终止于机器处所内的测量管装有适当的关闭装置，则对 3.10.10.1(1)和 3.10.10.1(3)的要求可以不适用。

3.10.12 其他易燃油类舱柜测量管的附加要求

3.10.12.1 位于含有点火设施的处所内的易燃油类舱柜，确定其舱柜内存油量的设施应符合本节 3.10.10 的要求。

3.10.12.2 对位于其他位置的易燃油类舱柜，如使用油面计替代测量管，则至少应符合 3.10.10.3(2)的要求。

3.10.13 测量管尺寸

3.10.13.1 测量管的内径应不小于 32mm，重燃油舱柜测量管的内径应不小于 50mm。当测量管通过温度为 0℃或 0℃以下的舱室时，其内径应不小于 65mm。

第 11 节 舱室通风系统

3.11.1 一般要求

3.11.1.1 A 类机器处所应有足够的通风，以保证其中的机器或锅炉在所有气候包括恶劣气候条件下全功率运转时，该处所能有充足的空气供应，从而确保工作人员的安全和舒适以及机器的运转。

其他机器处所应有适于该机器处所的适当通风。

对于具有连续通风要求的机器处所，其通风筒高度应符合本规范第 2 篇 1.8.7.4(6)的相关规定，而不必装设风雨密关闭装置，使其可以在所有气候条件下使用。如由于船舶的尺度和布置使得通风筒的高度不可行时，则可接受较低的通风筒围板高度，但应按本规范第 2 篇 1.8.7.4(7)的要求装设风雨密关闭装置，并采取其他适当措施确保这些处所能有不间断和足够的通风。

3.11.1.2 所有锅炉舱自然通风用的风斗，应具有能将风斗转至任何所需位置并能加以固定的转动装置。

3.11.1.3 灯间、油漆间以及其他储存易燃、易爆物品或可能积聚有毒气体、易爆气体的舱室，均应设有安全和有效的通风装置。

3.11.1.4 当舱室通风管通过其他舱室时，应符合有关防火分隔和破舱稳性的相关要求。

3.11.2 通风筒

3.11.2.1 通风筒应符合本规范第 2 篇 1.8.7.4 的有关规定。

3.11.3 通风帽

3.11.3.1 通风帽应设在开敞甲板上，并尽量远离排气管口、天窗和升降口等处。

3.11.4 应急发电机室通风

3.11.4.1 应急发电机室可闭通风百叶窗和通风关闭装置应满足如下要求：

（1）失火时，通风百叶窗和通风关闭装置应能手动操作或动力操作（液压/气动/电动）。

（2）正常情况下，手动操作的通风百叶窗和通风关闭装置应保持常开。手动操作位置处，

应设有相应的告示牌。

（3）动力操作的通风百叶窗和通风关闭装置应为故障开启型。正常情况下关闭动力操作的通风百叶窗和通风关闭装置是可被接受的；但当应急发电机起动/运行时，动力操作的通风百叶窗和通风关闭装置应能自动开启。

（4）应能从应急发电机室外有清晰标志的安全位置通过人工操作关闭通风开口，上述人工关闭操作位置应能易于确认关闭动作，并应在该位置指示百叶窗的启闭状态。不应从其他遥控位置关闭应急发电机室的通风开口。

第4章 动 力 管 系

第 1 节 一般规定

4.1.1 适用范围

4.1.1.1 除另有说明外，本章规定适用于船舶的动力管系。

4.1.2 材料

4.1.2.1 除本章另有说明外，管子、阀和附件应使用钢、铸铁、铜、铜合金或适合于其用途的材料来制造。

4.1.2.2 铝、铅和塑料等热敏感材料不应用于关系船舶安全的重要管系，以及当泄漏或破损后可能造成火灾或水密舱室浸水的可燃液体管系或海水管系。塑料管的使用，见本篇 2.4.3 的有关要求。

4.1.3 图纸资料

4.1.3.1 本章需送审的图纸资料见本篇 2.1.2。

第 2 节 燃 油 管 系

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 船舶使用的燃油，应符合本篇 1.2.7 的规定。

4.2.1.2 在不构成船体结构部分的油柜、燃油泵、过滤器、锅炉燃烧器以及需经常打开进行清洁和调整的燃油装置下面，均应设置油盘。油盘内的残油应泄至专设的污油柜内，如污油柜设于船体双层底结构内，则其泄油管上应装设截止阀或其他可靠的隔断装置，以防双层底舱破损后海水通过泄油管进入舱内。泄油管与舱柜溢流系统应相互独立。

4.2.1.3 燃油舱柜人孔门及燃油管路法兰接头的垫片，应采用耐油、耐热的材料制成。

4.2.1.4 凡所用燃油必需经分油机分离的船舶，应设有主用及备用燃油分离设备和加热设备。

4.2.1.5 设有锅炉燃烧装置、燃油沉淀柜和日用油柜的处所，应有良好的通风并易于出入。

4.2.1.6 所有独立驱动的燃油驳运泵、锅炉燃油泵、柴油机燃油供给泵及分油机的动力源，除能就地切断外，还应能在其所在舱室外面易于到达的地点进行应急切断。

4.2.1.7 燃烧重油的柴油机燃烧系统， 应有能立即换用船用柴油的切换设施。

4.2.1.8 推进和重要系统所必需的每一种燃油，应配备两个燃油日用柜或等效布置。每一油柜的容量，

至少能供推进装置于最大持续功率和发电机组正常工作负荷情况下工作 8h；

燃油日用柜的设置，应满足当一个油柜在清洁或修理时，另一个油柜可持续供应燃油。

4.2.1.9 本节 4.2.1.8 所述日用柜系指仅装有即可使用的高质燃油的燃油柜，即其中燃油的等级和质量符合设备制造商所要求的规格。日用柜应予以明确并不能用于任何其他用途。1 个配有或未配有净化器的沉淀柜，或单独的净化器和 1 个日用柜均不能接受作为 2 个日用柜的“等效布置”。

最常用的系统应用举例如下：

(1) 例 1

①按条文正常要求——主、辅机和锅炉均使用重油(HFO)工作(单一燃油船舶)

重油日用柜 至少 8h 的容量 主机+辅机+辅锅炉	重油日用柜 至少 8h 的容量 主机+辅机+辅锅炉	船用柴油日用柜 用于初始起动或机器/锅炉的修理工作

②等效布置

重油日用柜 至少 8h 的容量 主机+辅机+辅锅炉	船用柴油日用柜 至少 8h 的容量 主机+辅机+辅锅炉

本布置仅适用于主、辅机在所有工况下以及在对主机操纵期间，均可使用重油工作。

辅锅炉如设有引火器，可能需另增加 1 个 8h 容量的船用柴油日用柜。

(2) 例 2

①按条文正常要求——主机和辅锅炉使用重油工作，辅机使用船用柴油(MDO)工作

重油日用柜 至少 8h 的容量 主机+辅锅炉	重油日用柜 至少 8h 的容量 主机+辅锅炉	船用柴油日用柜 至少 8h 的容量 辅机	船用柴油日用柜 至少 8h 的容量 辅机

②等效布置

重油日用柜 至少 8h 的容量 主机+辅锅炉	船用柴油日用柜 至少达到下列最高容量： • 4h(主机+辅机+辅锅炉)，或 • 8h(辅机+辅锅炉)	船用柴油日用柜 至少达到下列最高容量： • 4h(主机+辅机+辅锅炉)，或 • 8h(辅机+辅锅炉)

上述(1)②和(2)②等效布置的适用条件为：二种燃料均可使用的推进和重要系统，应能进行二种燃料之间的迅速转换使用，并能在海上所有正常工况下使用二种燃料(MDO 和 HFO)中的任一种进行工作。

4.2.1.10 对于有限航区船舶，本节 4.2.1.8 所要求的每一燃油日用柜的容量，可根据不同情况予以减少，但不少于 4h；

4.2.1.11 本节 4.2.1.8 条对下列船舶不要求：

(1) 遮蔽航区船舶；

(2) 小于 500 总吨的货船。

4.2.2 锅炉燃烧装置

4.2.2.1 本章称“重要用途辅锅炉”，系指为船舶安全航行服务的辅机供应蒸汽的辅助锅炉。

4.2.2.2 主锅炉、重要用途辅锅炉和供重油加热用蒸汽的辅助锅炉，应设有不少于 2 套燃油供油装置，每套装置通常包括 1 台压力泵、1 个滤器和 1 个加热器（如需），当其中任何 1 套发生故障时，其余的装置均应能保持锅炉产生重要用途所需的全部蒸汽。如另有废气锅炉能供应重要用途的蒸汽时，则辅助锅炉可仅设 1 套燃油供油装置。燃油废气两用锅炉的废气侧能供应重要用途的蒸汽时，也可仅设 1 套燃油供油装置。

对近海航区及其之下航区货船或遮蔽航区客船，如设有 1 台便于安装和连接的完整的压力备品泵，则其中 1 套燃油供油装置中的压力泵可不要求。

对 500 总吨以下的货船，可仅设 1 套燃油供油装置。

4.2.2.3 燃油装置的压力泵不应与给水、舱底水和压载水管系相连接。

4.2.2.4 当采用重力供油时，则向燃烧器供油的管路上应装设双联滤器。

4.2.2.5 主锅炉应设有不需船外供应动力的初始升汽设施。

4.2.2.6 当锅炉燃烧器接有蒸汽吹洗或蒸汽雾化设施时，则应有有效措施防止燃油进入蒸汽系统。

4.2.2.7 燃烧器应布置为当燃烧器的燃油供应未切断前，燃烧器不能抽出。

4.2.2.8 每台锅炉的供油总管上，应安装 1 只速闭总阀。该总阀应位于适当的地点，使

在应急情况下能直接操纵，或能在适当地点予以遥控。如为自动控制燃油锅炉，还应符合CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇的有关规定。

4.2.2.9　顶燃式锅炉，应有当火焰熄灭时自动切断燃烧器的燃油供应，并发出视觉和听觉报警的设施。小型顶燃式辅助锅炉，可以例外。

4.2.2.10　应有可靠的止回装置，以防止在切断燃烧器的供油后，燃油从回油系统流至燃烧器。

4.2.2.11　燃油、废气交替使用的炉膛，其废气进口管应设有隔断装置和联锁装置，使在切断废气进口后才能将燃油供入燃烧器。

4.2.3　燃油泵、滤器与隔离阀

4.2.3.1　当主柴油机设有燃油供给泵时，应设有 1 台在主机输出最大持续功率时有足够容量的主供给泵和 1 台能使船舶正常航行的足够容量的备用泵。备用泵应为独立动力驱动并能供立即使用。当装有 2 台或多台主机并各设有供给泵时，则可仅设 1 台能供立即使用的备用泵或备有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵。

对近海航区及其之下航区货船或遮蔽航区客船，如设有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵，则可不设备用泵。

对 500 总吨以下的货船，可不设备用泵或备品泵。

4.2.3.2　当设有喷油器冷却泵时，其备用泵的配备应符合本节 4.2.3.1 的规定。

4.2.3.3　柴油机燃油供油管路上应安装燃油过滤器。 对主机和安装在辅柴油机供油总管上的过滤器， 其布置应做到当对过滤器进行清洗时， 能保证不中断向柴油机供应过滤燃油。

4.2.3.4　以在不中断向发动机供油时可清洗为目的，且并联安装的燃油过滤器(如双联滤器)的布置，应使在压力下因误操作而打开滤器的可能性降至最小。滤器/滤器腔应有适当的措施，以在投入运用时透气，在打开之前释放压力。

为此，应该采用有泄放至安全地点的泄放管路的阀或旋塞。

4.2.3.5　当设有动力泵驳运燃油时，则应设有一台备用泵。如有合适的泵接入该系统，则可作为备用泵。

4.2.3.6　对于工作时有可能使压力超过其系统设计压力的所有泵，均应装设安全阀。安全阀排出的油应流回至泵的吸入端或其他合适的舱柜，并能有效地将泵的排出压力限制在系统的设计压力之内。

4.2.3.7　泵与吸入管以及排出管之间应设有阀或旋塞，以便将泵与管路切断并打开进行维修。

4.2.3.8　在使用同一供油来源的多台发动机装置中，应提供隔离各自发动机供油和溢油管线的装置。隔离装置不应影响其他发动机的工作，并应能够从不会因任何发动机失火而无法靠近的位置操作。隔断装置应能可靠手动关闭。

4.2.3.9 电控柴油机的燃油和液压油系统以及电控系统的冗余配置要求应符合本篇第 9 章附录 2 第 2.1.3 和 2.2.3 条的相关要求。

4.2.4　燃油管路

4.2.4.1　燃油管路应与其他管路隔离。不许油进入结构上不宜装油的舱柜或进入用于装载淡水的舱柜。燃油管路如确需与压载管系连接时，则管路间应设置盲通两用法兰或其他可靠的隔离装置。

4.2.4.2　从双层底舱抽吸的每根吸油管，均应装设阀或旋塞。

4.2.4.3　燃油装置的阀和旋塞，应能在花钢板以上易于到达的地点进行操纵。

4.2.4.4　燃油管线不应位于紧靠高温装置的上方和附近。这些装置包括锅炉、蒸汽管线、排气总管、消音器或本篇第 1 章 1.3.6.3 条要求加以隔热的其他设备。应尽实际可能使燃油管线的布置远离热表面、电气装置或其他着火源，并应予以围罩或采取其他适当保护措施，以避免燃油喷到或渗漏到着火源上，应最大限度地减少这种管系的接头数量。

4.2.4.5　向锅炉输送热燃油的压力管，应为具有法兰接头或焊接接头的无缝钢管或其他合适材料的管子。上述管路应安装在有良好照明的部位，且在花钢板以上易于看到的地点。法兰接头的数量应保持最少。法兰应经机加工，其接头垫片应耐油并在油温达 150℃时不致

渗漏，垫片应尽可能减薄。管子及其法兰的尺寸应至少能承受 1.37MPa 的压力或设计压力，取大者。

4.2.4.6　从锅炉旁的控制阀到燃烧器的短连接管段，可使用结构坚固的锥面螺纹接头。

4.2.4.7　燃烧器接管可以使用挠性软管，但应备有足够数量的带有连接接头的备用挠性软管。挠性软管应符合本篇 2.4.4 的相关要求。

4.2.4.8　燃油管及其阀件和附件应用钢质或其他等效的材料制成。安装在燃油舱(柜)并承受静压头的阀件，可使用球墨铸铁。而且普通铸铁的阀件可用在设计压力低于 0.7MPa 和设计温度低于 60℃的燃油管系上。

某些地方可限制地使用挠性软管。挠性软管应符合本篇 2.4.4 的相关要求。

4.2.5　燃油布置及燃油舱柜

4.2.5.1　燃油系统中，凡压力超过 0.18MPa 的燃油加热部件，应尽可能不设置在隐蔽处所，以便于检视。上述部件设置处，应设有足够照明。

4.2.5.2　每一燃油管如损坏后会使燃油从设在双层底上方的储油柜、沉淀柜和日用油柜溢出，则应在这些油柜舱壁上或在长度不超过按下式计算的焊于油柜舱壁上的刚性短管上装设阀或旋塞；这些阀或旋塞除能就地关闭外，还应能在该舱柜所在处所之外易于接近且安全的地点进行遥控关闭。舱柜容量小于 0.5m^3 者的出口阀门或旋塞，可不设遥控关闭装置：

$$L = 0.8D + 80 \quad \text{mm}$$

式中：L——刚性短管长度，mm；

D——钢管外径，mm。

应急发电机和应急消防泵的燃油阀遥控切断控制，应独立于其他阀的遥控切断控制。

如有深油舱位于轴隧、管隧内或类似处所内的特殊情况，则这些深油舱应装设阀，但在失火时可由在轴隧、管隧或类似处所外的管路上加装的阀进行控制。如这种加装的阀是安装在机器处所，则此阀应于该处所外予以操纵。

4.2.5.3　当深油舱的注入管不是在靠近舱顶处相连接，则在舱柜壁上应装设止回阀或设有如本节 4.2.5.2 所规定的既能就地关闭，又能遥控关闭的阀或旋塞。

4.2.5.4　燃油舱柜不应直接位于锅炉或其他高温热表面的上方。应采取预防措施，防止任何油类在压力下可能从泵、滤器或加热器溢出与热表面相接触。

4.2.5.5　燃油舱柜尽可能成为船体结构的一部分，并尽可能位于 A 类机器处所之外。除双层底舱柜外，其他燃油舱柜如必需与 A 类机器处所相邻或位于 A 类机器处所之内时，至少他们的垂直侧面之一应连续于该机器处所限界面，并最好与双层底柜具有共同的限界面且与机器处所共同的限界面的面积保持最小。

当上述舱柜位于 A 类机器处所之内时，不应用它们盛装闪点(闭杯试验)低于 60℃的燃油。

一般情况下，应避免使用孤立架设的燃油柜，但如在客船上使用这种油柜时，则不应位于 A 类机器处所之内。如准许使用时，则该油柜下应设置足够大小的油密溢油盘，此盘应有能导至适当尺寸的溢油柜的适当排泄管。

4.2.5.6　沉淀舱柜应有放水的设施。

如未设沉淀舱柜时，则燃油舱或日用油柜应有放水的设施。

4.2.5.7　燃油舱柜放水用的阀或旋塞应为自闭式的，且应设有收集油柜排出的含油污水的适当舱柜。

4.2.5.8　400 总吨及以上的船舶其首尖舱或防撞舱壁之前的舱内不应装载油类。400 总吨以下的所有船舶，在合理和可行的范围内，应尽量符合上述规定。

4.2.5.9　油船和化学品船货物区域的燃油舱位置

在油船和化学品船上，当载运闪点不超过 60℃和/或有毒液货[①]时，与液货舱或污油水舱有共同限界面的燃油舱不应位于（或部分延伸至）液货舱区段（Cargo tank block）内，燃油舱可位于液货舱区段（Cargo tank block）的后方和/或前方。

在考虑溢油和火灾安全后，可以接受独立燃油舱布置在货物区域开敞甲板。

---

① 有毒液货是包含 IBC 规则第 17 章表格中蒸汽探测（k 栏）为有毒蒸气的货物。

独立燃油舱及其相关燃油管系（包括泵）的布置可按照位于机器处所内的燃油舱和相关燃油管系的要求；但电气设备应满足危险区域的相关要求。

液货舱区段（Cargo tank block），系指最后液货舱或污油水舱后舱壁至最前液货舱或污油水舱前舱壁的部分，延伸至船舶的整个深度和宽度，但不包括液货舱或污油水舱甲板上方的区域，如图 4.2.5.9。

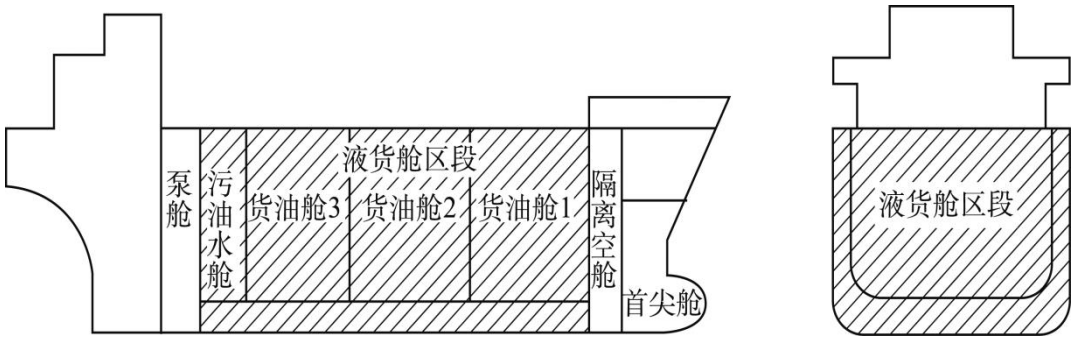


图 4.2.5.9

4.2.6 注入管路

4.2.6.1 船舶加油应通过固定的管路进行。注入管应伸入舱柜内并尽可能接近底部。

4.2.6.2 如船上设有加油站，则该站应与其他处所隔离，并能有效的排水和通风。加油站还应布置成能安全地从船的两舷进行加油。

4.2.6.3 注入管路上应有防止超压的设施。如安装安全阀作为防止超压措施，则该阀的溢油应排至溢流舱柜或其他安全处所。

4.2.7 燃油(滑油)加热

4.2.7.1 燃油(滑油)舱柜、加热器或分油机内的燃油(滑油)加热介质的温度应不超过220℃，燃油(滑油)贮存舱柜内燃油(滑油)加热的最高温度至少应比它们的闪点低 10℃。

但如满足《钢质海船入级规范》第 6 篇第 3 章 3.2.1.5 条(1)至(5)的所有条件，则燃油日用油柜、沉淀油柜和燃油供应系统中的其他油柜中的燃油可以加热至该限制温度以上。

4.2.7.2 加热燃油(滑油)的蒸汽管路的凝水或热水管的回水，应排至具有良好照明的专用凝水观察柜内。凝水观察柜的布置应易于看清凝水或回水中是否有油存在。

4.2.7.3 加热器的燃油侧应装有安全阀，安全阀排出的油应引至相关泵的吸口或其他安全的地点。

4.2.7.4 采用加热燃油的船舶，其燃油管路和驳油管路应按需要设置适当的加热设施。

4.2.7.5 需加热的燃油(滑油)舱柜和加热器，应装有指示油温的适当设施。

4.2.7.6 当燃油(滑油)加热需使用蒸汽加热器或其他加热介质的加热器时，除非不可能达到介质着火的温度，否则，除温度控制装置外，至少还应设置一套高温报警器或低流量报警器。

4.2.7.7 应尽可能避免采用电加热器供燃油或滑油加热。

当采用电加热器加热时，应采取措施，以保证在有电流通过时，全部加热器件始终都浸没在油液之中，为避免加热器件的表面温度达到 220℃或以上， 应设置一个独立于自动控制传感器的安全温度开关，该温度开关应在达到限制温度时切断电力供应，并且能手动复位。

4.2.7.8 柴油机的排气不应直接用于加热燃油。

4.2.8 燃油和压载水的交替装载

4.2.8.1 150 总吨及以上的油船和任何客船，以及 4000 总吨及以上的其他船舶，一般不应在燃油舱内装载压载水。如必需在燃油舱中装载压载水，则应设有适当的防止含油压载水污染海洋的设施。

4.2.8.2 燃油舱如用作交替装载燃油和压载水，则所设的沉淀舱柜或日用油柜的容量应能足够供全船正常航行 12h 之用，否则，抽吸这些油舱的管路应布置成当用燃油泵从任一油

舱抽油的同时，压载泵可用于任何其他舱柜。

4.2.9 交替装载油、压载水或干货的深舱

4.2.9.1 可交替装载燃油、货油、压载水或干货的深舱，当用于装载干货时，其油和压载水的注入管与抽吸管以及蒸汽加热管(如不需拆除时)，均应设有盲板或其他可靠的隔断装置。当深舱用于装载油类或压载水时，则其舱底水吸入管应装有盲板或其他可靠的隔断装置。

4.2.9.2 如深舱与溢流系统相连接，则应有设施使深舱装载干货时，液体与油气不致从其他舱柜进入该深舱。

4.2.10 燃油与货油的隔离

4.2.10.1 输送植物油和类似货油的油管，不应通过燃油舱，燃油管也不应通过装载上述货油的舱柜。

4.2.11 其他易燃油类的布置

4.2.11.1 在压力下使用于动力传动系统、控制和驱动系统，以及加热系统中的其他易燃油类，其储藏、分配和使用的布置，应保证船舶和船上人员的安全。在含有点火设施的处所，这些布置应至少符合本节 4.2.4.8、4.2.5.4 和本篇第 3 章第 10 节有关规定。

第 3 节 蒸汽管系

4.3.1 布置

4.3.1.1 蒸汽管一般不应穿过灯具间、油漆间和货舱。但当通过货舱为不可避免时，则货舱内的蒸汽管应有防止机械损伤的可靠措施，管子接头应尽可能少，并尽量采用对接焊接。

4.3.1.2 工作压力大于 0.98MPa 的蒸汽管沿燃油舱壁布置时，管子与燃油舱壁的距离一般应不小于 250mm。

4.3.1.3 蒸汽管路应布置在机、炉舱内容易看到且便于接近的地方。除加热管路和吹洗管路外，蒸汽管路一般不应敷设在花钢板下面。

4.3.1.4 如 2 台或 2 台以上锅炉的蒸汽管相连通时，则应在每台锅炉至总管的连接管上加设 1 只截止止回阀。在这些阀中间的管段上应有泄放凝水用的阀。

4.3.2 泄放凝水

4.3.2.1 管子的斜度和放水阀或旋塞的数量和位置，应在船舶处于正常纵倾、正浮或横倾不超过 5°时，能自蒸汽管系任何管段有效地泄放凝水。放水阀和旋塞的布置应便于接近。

如设有凝水阻汽器时，则应有旁通管路。

4.3.3 热膨胀应力

4.3.3.1 工作温度超过 350℃的蒸汽管路，应考虑其热膨胀应力数值及安装工艺。

第 4 节 锅炉给水、排污与凝水管系

4.4.1 给水泵

4.4.1.1 主锅炉、重要用途的辅锅炉或供重油加热用蒸汽辅锅炉，至少应有 2 台独立动力的给水泵，在任何一台给水泵发生故障停止工作时，其余泵的排量应足够补给全负荷工况下的锅炉用水。

对近海航区及其之下航区货船或遮蔽航区客船，辅锅炉可设 1 台给水泵和 1 台便于安装和连接的备品泵。

对 500 总吨以下货船可不设备用泵或备品泵。

4.4.1.2 强制循环锅炉应有 2 台独立动力循环水泵，其中 1 台为备用。对于非重要用途的强制循环辅助锅炉，可只设 1 台循环水泵。

4.4.1.3 如另设有停泊用的给水泵，则该泵可兼作其他用途，但不应用于驳油或抽输含油污水，并应保证海水不致混入给水系统。

4.4.2 给水管系

4.4.2.1 主锅炉、重要用途的辅锅炉应有 2 套独立的给水管系(包括给水泵在内)，当其中一套停止工作时，另一套管系应能保证锅炉的正常工作。对用蒸汽加热的蒸汽发生器，如重要用途的蒸汽能同时从另一来源得到，则可只装一套给水管系。

对近海航区及其之下航区货船、遮蔽航区客船或 500 总吨以下货船，辅锅炉可仅设 1 套给水管系。

给水管系的布置应使油或含油污水不致混入到锅炉内的水中。

4.4.2.2 泵与吸入管以及排出管之间应设有阀或旋塞，以便能将泵与管路切断并打开进行维修。

4.4.3 备用给水

4.4.3.1 装有主锅炉的船舶，应设有足够容量的锅炉水舱柜。

4.4.3.2 装有主锅炉的船舶，应设有 1 台或多台具有足够生产量的海水淡化装置，以补充系统中锅水的损失。装有重要用途辅助锅炉的船舶，应根据需要设置海水淡化装置。

4.4.4 冷凝水泵

4.4.4.1 应至少设有 2 台独立动力冷凝水泵，以处理主、辅冷凝器的冷凝水，其中 1 台为备用。

独立动力给水泵可作为备用冷凝水泵。

对近海航区及其之下航区货船或遮蔽航区客船，辅锅炉可设 1 台冷凝水泵和 1 台便于安装和连接的备品泵。

对 500 总吨以下货船可不设备用泵或备品泵。

4.4.5 排污管系

4.4.5.1 锅炉排污管的内径应按本篇 6.3.7.2 的规定选配，其船底或船舷阀的布置及结构，应符合本篇 2.8.9.2 及 2.8.9.3 的规定。

4.4.5.2 2 台或 2 台以上的锅炉，其上、下排污管可接至一根公共的排出管，但每台锅炉的排出管上应装有止回阀。在排污管上建议装置节流圈。

第 5 节 冷却水管系

4.5.1 冷却水泵

4.5.1.1 对于柴油机船舶，当仅装有 1 台主机时，应设有 1 台在主机输出最大功率时，有足够容量的主冷却水泵和 1 台能使船舶正常航行的足够容量的备用泵，备用泵应为独立动力驱动并应能供立即使用。当装有 2 台或 2 台以上主机时，如各自均带有冷却水泵，则可备有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵作为备用冷却水泵。

对近海航区及其之下航区货船或遮蔽航区客船，要求的备用冷却水泵，可用其他具有足够排量的泵或备有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵代替。

对 500 总吨以下货船，可以不设本篇 4.5.1.1 要求的备用泵或备品泵。

4.5.1.2 蒸汽动力装置船舶，其冷凝器的主循环水泵应设有代用泵，代用泵的排量应足够维持船舶的正常操纵(一般为不少于主循环水泵排量的 30%)。当主循环水泵系由 2 台排量相接近的独立动力泵组成时，则可不设代用泵。

当以海水进水舜装置代替主循环水泵时，则除应设有 1 台独立动力循环水泵且其排量至少为循环水最大需用量的 30%外，还应接通 1 台合适的最大的泵作为船舶操纵时供应循环水的第二套设施。

4.5.1.3 当每台辅机均带有冷却水泵时，则可不设备用冷却水泵。如多台辅机共用一冷却水系统时，则仍应设备用泵。 也可用其他足够排量的泵代替备用泵。

4.5.1.4 当主机和(或)辅机使用淡水冷却且与海水系统有应急连接时，则可不设备用淡水泵。

4.5.2 管系及附件

4.5.2.1 柴油机冷却管系的布置，应能有效地调节冷却水的进水温度，闭式冷却管系应设有淡水膨胀水箱，并建议装设高温警报器。

4.5.2.2 对于工作时有可能使压力超过其系统设计压力的冷却水泵，应在泵的出口端装设安全阀。如安全阀的排水泄至舱底，则该阀应位于花钢板以上易于见到的地点，且阀的排水应能易于看到。

4.5.2.3 海水冷却管系或循环系统的冷却水泵应连接不少于 2 个舷外海水吸口，而海水吸口尽可能分布于两舷。在船舶正常航行情况下，任一台冷却泵或循环泵均可自任一海水吸口吸取海水。

4.5.2.4 所有用海水冷却的装置，均应有防蚀措施。

4.5.2.5 海水冷却泵和海水箱之间的管路上，应装有滤器，其布置应使滤器在清洗时不致中断冷却水的供应。

4.5.2.6 主柴油机闭式淡水冷却管系，应按需要装设适当的加热设备或与辅机淡水冷却管系接通。

第 6 节 滑油管系

4.6.1 滑油泵

4.6.1.1 主机及其齿轮传动装置应设有 1 台在其输出最大持续功率时， 有足够容量的主滑油泵和 1 台能使船舶正常航行的足够容量的备用泵，备用泵应为独立动力驱动，并应能供立即使用。

对多台主机及其齿轮传动装置船舶，可只设 1 台独立动力备用泵；如每台主机及其齿轮传动装置各装有自带滑油泵，则可设 1 台便于安装和连接的完整的备品泵代替独立动力备用泵。

对有限航区船舶，如主机及其齿轮传动装置单机功率不大于 440kW 时，可以不设备用泵。

4.6.1.2 重要用途的辅机及其齿轮传动装置，如每台机器均带有滑油泵，则可不设备用泵，如多台辅机及其齿轮传动装置共用一滑油管系，则仍应设备用泵。

4.6.2 管系及附件

4.6.2.1 滑油管系应与其他管系隔开。柴油机及齿轮箱不宜采用共同的滑油系统。

4.6.2.2 滑油管系应装有滤器。对于主推进机械，滤器的结构应在不中断供应船舶正常航行所要求的过滤油的情况下，对滤器进行内部清洗。对于发电机组，滤器的结构应在不中断供应发电机组于正常工作负荷情况下所要求的过滤油的情况下，对滤器进行内部清洗。滤器前后应设有压力表。如在高速发动机上装设滑油应急自动旁通装置时，应经同意。

主涡轮机及大功率减速齿轮箱的滑油滤器均应设有磁性装置。

4.6.2.3 如滑油泵能使管系的压力超过设计值时，则应在泵的排出端装设安全阀。安全阀排出的滑油应流回至泵的吸入端，并能有效地将泵的排出压力限制在管系的设计压力之内。

4.6.2.4 滑油管系应设有滑油压力明显下降时能发出视觉和听觉的报警装置。

4.6.2.5 如装有 2 台或多台柴油机，则各油底壳引至滑油循环舱柜的泄油管应独立， 避免曲轴箱之间互通。

4.6.3 对主涡轮机和主涡轮发电机滑油管系的附加要求

4.6.3.1 主涡轮机和电力推进船舶的主涡轮发电机的滑油管系，应有应急供油设备。为此，可用下列任一方法：

(1) 用一重力油柜，其容量为：对主涡轮机，应不少于整个装置润滑 5min 所需油量；对主涡轮发电机，为涡轮机卸去负荷后从最大额定转速至停止转动时所需的滑油量。该油柜应能在滑油泵的供油发生故障时，自动地立即向涡轮机供油，并设有当油柜中油位低于规定

值时即能发出视觉和听觉的报警器。

(2) 由备用滑油泵或应急滑油泵供油。泵的布置，应使其效能不受主电源失电的影响而能自动投入工作。

4.6.3.2 重力油柜应设有溢流管，溢流管应引至滑油循环柜，其截面积应不小于来自滑油泵的注入管的 1.25 倍。溢流管上应装设具有照明的液流观察器。

4.6.4 滑油布置及滑油舱柜

4.6.4.1 滑油舱柜与相邻舱柜的分隔应符合本篇 2.8.2 的规定。

4.6.4.2 滑油循环舱的容量，应能容纳循环于系统中的全部滑油。

在必需设双层底的船舶上，当柴油机滑油循环舱延伸至船舶的外底板时，则应在柴油机油底壳至滑油循环舱之间的泄油管上装设截止阀。该阀应能在花钢板以上易于接近的地点进行关闭。如柴油机的滑油循环舱用隔离空舱与外底板隔开，则可不设上述截止阀。

滑油循环舱的进油管，应延伸至最低工作液面以下适当深度，并应与出油口尽量远离。

4.6.4.3 压力润滑系统的布置，应符合本章 4.2.4.4、4.2.4.8、4.2.5.1、4.2.5.2、4.2.5.4、4.2.6.3 及本篇第 3 章第 10 节有关规定。

容量小于 0.5m^3 的油柜可以不设遥控关闭装置。

如设计方确认当误动滑油舱柜上的遥控关闭阀会危及主机或重要辅机的运转安全时，则可以不设遥控关闭装置。

4.6.4.4 所有船舶均应设有适当容量的滑油储存柜。

4.6.4.5 滑油的加热应符合本章 4.2.7 的相关要求。

第 7 节 液压传动管系

4.7.1 材料

4.7.1.1 液压传动管系中的所有部件，应由不受浸蚀、与液压油不起化学作用的材料制造。

4.7.1.2 液压油应有良好的化学稳定性和粘温性能。

4.7.1.3 液压动力传输系统中起主要作用的部件一般应采用钢质材料制造。材料试验应按 CCS《材料与焊接规范》的要求进行。

4.7.2 管系

4.7.2.1 液压传动管系不应用于该管系外的任何机件的润滑。

4.7.2.2 液压管及配件的强度，应能承受管系内可能产生的最高波动压力。

4.7.2.3 液压传动管系中应设有滤油器和溢流阀，溢流一般应回至油箱。

4.7.2.4 液压管系和液压油缸等设备应有放气装置，管系布置应避免空气储积。

4.7.2.5 管系中如设有蓄能器，则应在进油端装设溢流阀。除另有规定外，气液式蓄能器的空气端应装有安全阀或易熔塞，否则应在供气管路上装设，且蓄能器的空气端与安全阀或易熔塞之间不应设置隔离阀。

4.7.2.6 软管的使用应符合本篇 2.4.4 的相关要求。软管的布置，应避免急转弯和扭曲，并远离振源和热源。

4.7.2.7 液压传动遥控的重要阀件，应能用手动泵应急操纵，并在操纵处所装有指示开或关的装置。

4.7.2.8 重要用途液压传动装置中的动力油泵，应设有备用泵，且能迅速转换使用。

4.7.3 布置

4.7.3.1 工作压力大于 1.5MPa 的液压部件，一般应独立布置。如不可能，则应对其提供适当的防护。

第 8 节　热油系统

4.8.1　一般要求

4.8.1.1　用于热油系统的循环油液，　应与被加热的液体相容。

4.8.1.2　当使用热油对闪点低于 60℃的液货加热时，一般应采用双回路系统，且二回路系统的布置应完全位于货物区域内。如采用单回路系统，则应符合下列条件：

(1)　系统的布置应在循环泵不工作时，盘管内能保持高于液货静压 3m 水柱以上的正压；

(2)　热油系统膨胀柜应设有高低液位报警装置；

(3)　在热油系统膨胀柜内，应有探测易燃液货气的措施；可接受适用的便携式设备；

(4)　每个加热盘管上的阀，应有锁紧装置，以便在所有时间内能使盘管保持静压。

4.8.1.3　系统中的热油加热器详见本篇第 6 章第 5 节的相关规定。

4.8.2　图纸资料

4.8.2.1　应将热油系统管路和泵吸系统图提交批准。

4.8.3　设计制造

4.8.3.1　热油系统一般应至少设有 2 台热油循环泵和滤器。

4.8.3.2　燃油式热油加热器和废气加热式热油加热器的进口阀和出口阀，除能就地操纵外，还应能从热油加热器所在处所外面易于到达处加以关闭。或者作为处所外对阀关闭的替代措施，也可以设有装置能将系统内的热油靠重力迅速泄至收集柜内。

4.8.3.3　应设有装置，以便能从热油加热器所在处所的里面和外面，使膨胀柜内的油液靠重力迅速泄至适当的油柜。

4.8.3.4　热油加热器的监测和保护应符合本篇第 6 章 6.5.5 的相关规定。

4.8.3.5　热油管应为无缝钢管或焊接钢管。

4.8.3.6　热油系统内的泵、阀和类似设备的壳体，应采用钢或同等的塑性材料制造。表面与热油直接接触的部件，不应使用铜或铜合金材料，以免其对热油起氧化作用。

4.8.3.7　热油管路一般应采用焊接连接，但为便于进行检查和维修，可以采用有限而必要的法兰接头。必要时应采取措施，以防法兰连接处油液飞溅。热油加热器管路进出接口应采用公称压力不小于 1.6MPa 的船用凹槽式钢法兰或平面钢法兰。如采用平面钢法兰，则其垫片应采用金属网缠绕石墨垫片或膨胀石墨复合垫片。

热油管路不应使用螺纹接头。

4.8.3.8　热油管系应设有补偿器或膨胀接头。

4.8.3.9　热油加热器和热油管路均应包覆隔热层，但法兰接头不应被隔热材料覆盖。隔热材料的自燃点应尽可能不低于管内热油的自燃点。

4.8.3.10　热油系统还应符合本规范其他有关篇章的要求。

4.8.4　布置

4.8.4.1　热油加热器如位于主辅机舱内，则应设有防护热油泄漏后扩散的有效措施，如防护围板等。

4.8.4.2　热油循环泵应能从其所在处所的外面进行关停。

4.8.4.3　在热油系统可能发生泄漏的装置的下方，应设置油盘，油盘内的存油应泄放至适当的污油柜。

4.8.4.4　热油系统应设有适当容积的膨胀油柜。热油膨胀柜和泵吸装置，一般应位于与热油加热器处所相同的处所内。

4.8.4.5　热油膨胀柜和热油储存柜的透气管，应通往开敞甲板。

4.8.4.6　热油管路和泵吸系统应符合本章第 2 节的有关规定。为热油膨胀柜补充热油的泵，可仅设一台。

4.8.4.7　热油管路不应穿过起居处所和控制站；对热油管穿过主、辅机器处所，应尽可能加以限制。

4.8.4.8　热油加热器舱应有适当的机械通风和良好的照明。

4.8.4.9　热油加热器舱应设有认可的自动探火系统或火灾报警系统。

4.8.5　废气加热式热油加热器的附加要求

4.8.5.1　废气加热式热油加热器尚应符合本篇第 6 章 6.5.4.5 和 6.5.4.6 的相关规定。

4.8.6　试验

4.8.6.1　热油系统和装置，应按照本篇第 2 章和第 6 章有关要求进行液压试验和密性试验。

4.8.6.2　安装完工后，热油系统应按照试验大纲进行工作试验。

第 9 节　液货船锅炉使用原油或污油作为燃料的有关要求

4.9.1　一般要求

4.9.1.1　按下列要求，液货船上的主或辅锅炉可以使用原油或污油作为燃料。为此，原油装置的所有布置图包括管路敷设图和安全设备，在每一情况下均应提交批准。

4.9.1.2　锅炉使用的原油或污油，可直接取自货油舱或溢流污油舱或其他适当油柜。这些油柜应设在货油舱区域，并以气密舱壁的隔离空舱与非气体危险区域分隔开。

4.9.1.3　锅炉和燃烧器的结构与制造工艺，应证明适宜于原油工作。

锅炉的整个表面应同机舱气密隔开。锅炉在使用前应进行气密试验。泵、滤器、分油机和加热器的整个系统(如设有时)，应设在货泵舱或认为是危险的另外舱室，并应以气密舱壁与机舱和锅炉舱相分隔。当原油以蒸汽或热水加热时，加热盘管的出口应引至同上述部件安装在一起的独立观察柜。此闭式柜应按照液货船的规定，装有引至露天安全地点的透气管，且在出口处设有抗蚀材料制成的、易于拆下清洁的、合适的防火金属丝网。

4.9.1.4　驱动泵和分油机的电动机、内燃机和蒸汽机(蒸汽温度大于 220℃)，应设在机舱或其他非危险舱室内。

如驱动轴穿过泵舱的舱壁或甲板时，应设有气密填料函，该填料函应自泵舱之外能对其进行有效润滑。

4.9.1.5　泵应在排出端装有释压旁通管路，使油通到吸入端，且泵应可以由位于锅炉前端附近或机器控制室和机舱外部进行遥控，使其关停。

4.9.1.6　原油或污油必需进行预热时，其温度应进行自动控制，并应设有高温报警器。

4.9.2　布置

4.9.2.1　原油或污油管路以及本节 4.9.2.3 所述泄油盘的排泄管的壁厚，如表 4.9.2.1 所示。

原油、污油和排泄管外径与壁厚，mm　　表 4.9.2.1

外径 d_e	壁厚 t
$d_e \leqslant 82.5$	≥6.3
$88.9 < d_e \leqslant 108$	≥7.1
$114.3 < d_e \leqslant 139.7$	≥8.0
$152.4 \leqslant d_e$	≥8.8

管路的接头应为加厚法兰型，且法兰接头数目应保持最少。在机、炉舱内这些管子，应安装在金属导管内， 该导管应为气密并紧密连接到与泵舱分隔的前舱壁，并连接至泄油盘。此导管(和封闭的管路)不应布置在距舷侧 1/5 船宽(B)的范围内。并装成使其对锅炉处于倾斜升高，这样当发生泄漏的情况或出油压力故障时，使油自然地流向泵舱。气密导管应装设带气密门的观察孔，该孔要开在导管内管路的接头之处，并且应在泵舱一侧设有自动关闭型的泄油盘，使泄漏出的原油排入泵舱。

为检测泄漏，应在本节 4.9.2.3 所述的残油柜上，安装带有相应报警的液位指示器。在导管的最高部位还应装有透气管，且应引到安全地点的开敞空间。其出口端应装有以耐蚀材

料编织的合适的阻火金属丝网，此金属丝网应易于拆下清洁。

导管应与经认可的惰气系统或蒸汽供应管路永久地相连，以供下列可能使用：

导管中失火或泄漏时送入惰气或蒸汽；

在泄漏情况下进行管路施工之前对导管进行驱气。

4.9.2.2　对本节 4.9.2.1 所述的导管与舱壁相接之处，出油和回油管应装在泵舱一侧，并具有从靠近锅炉前端或从机器控制室的某一点进行遥控关闭的阀。遥控阀应与罩壳的排气风机(本节 4.9.3.1 所述)相连锁，以保证不论何时，只要原油在循环，则风机就应运转。

4.9.2.3　锅炉应装有泄油盘或沟槽，盘或槽应有适当的深度和合适的范围，以能集聚由燃烧器、阀件和接头处可能泄漏出的油。

此油盘或沟槽应装有耐蚀材料制成的阻火金属丝网，并易于拆下清洁。油的排出和回流管应以密封穿过的方法通过油盘或油槽，并应连接到供油总管。

每一锅炉的供油总管上，应装设一个快关总阀。

油盘或油槽应装设放泄管，将油排泄到泵间的集油柜中。此集油柜应装有引到安全地点、开敞处所的透气管，透气管的出口端应装有以耐蚀材料制成的金属丝网，并易于拆下清洁。该放泄管应设有能防止气体回流入锅炉间或机舱的装置。

4.9.3　其他要求

4.9.3.1　锅炉应装有合适的罩壳，罩壳的布置应尽可能将燃烧器、阀件及油管罩进罩壳内，而在另一侧，且不能妨碍空气进入燃烧器的调节器。

如有必要，罩壳应在位于能进行检查和接触位于其后的油管及阀之处，装有合适的门。应装有引到安全地点、开敞处所的导管，导管的出口应安装适当的阻火金属丝网，并易于拆下清洁。且至少应装设 2 台具有防止叶轮发生火花的机械传动排气风机，以使罩壳内部的压力小于锅炉间的气压。排气风机应连接成，在其中 1 台运行停止或失效时能自动替换。

排气风机的原动机应布置在导管之外，且其轴穿过舱壁时应布置成气密。

安装在气体危险区域或可能变成危险区域(如在敷有原油管路的罩壳或导管内)的电气设备，应按要求确证其为安全型设备。

4.9.3.2　当可用燃料油供给锅炉和从锅炉回流时，则应将燃烧装置布置在锅炉房内。燃烧用燃料油的供给和回流，应通过合适的机械连锁装置来实施，以使锅炉燃料油在燃烧时，能自动排除原油的介入，反之亦然。

4.9.3.3　锅炉舱应装设机械通风装置，并应设计成能避免形成气囊。

通风应特别考虑对可能产生火花的电气设备、机械和其他设备的有效性。锅炉舱的通风应与服务于其他舱室的通风分开，并满足 CCS 的相关要求。

4.9.3.4　本节 4.9.2.1 所述的导管、罩壳导管(排气风机下段锅炉处)和可能减少通风的所有区域内，应装有可燃气体探测装置的气样吸入口。应在锅炉前端附近和在机器控制室内设有视觉报警装置。应设有在机舱及其控制室能听到的听觉报警器。

4.9.3.5　锅炉应设有点火前进行自动扫气的设施。

4.9.3.6　应在机、炉舱设额外的灭火装置，该装置与本规范所要求的灭火装置无关，这样以使某一认可的灭火剂有可能直接喷射到锅炉前端和本节 4.9.2.3 所述的泄油盘上。灭火剂喷射时，应自动停止锅炉罩壳的排气风机。

4.9.3.7　在靠近炉前易于看到的位置应设警告牌。该警告牌应表明，当本节 4.9.3.4 所述可燃气体探测装置测得爆炸性混合物时，值班人员应立即关闭泵舱内原油排出和回流管的遥控阀，关停有关泵，将惰性气体送入本节 4.9.2.1 所述的导管中，并使锅炉转到正常的燃油运行状态。

4.9.3.8　除正常的燃烧控制外，还要求设置 1 个引火油头。

第 10 节　排气管路

4.10.1　布置

4.10.1.1　除废气锅炉外，　锅炉烟道不应与柴油机的排气管相连接。

4.10.1.2　燃油锅炉的烟道或烟囱内，不应装设烟道调节器或其他封闭烟道的设备。

4.10.2 消声器

4.10.2.1 消声器的结构应便于进行内部清洁和检查，且应有空气或蒸汽冲洗装置或其他清洁装置及放水阀或旋塞。

4.10.2.2 消声器的外部应包扎绝热材料。

4.10.3 热水器

4.10.3.1 排气、排烟管道上设置的热水器，一般应为开式。如其设置闭式热水器，则其强度计算，应符合本篇第 6 章的有关规定。

4.10.3.2 闭式热水器应装安全阀、压力表以及水位表等附件。

4.10.3.3 闭式热水器制成后，应进行 1.5 倍设计压力的液压试验，且试验压力应不小于 0.4MPa。安全阀试验应按本篇 6.3.5.3 要求进行。

4.10.3.4 开式热水器应装有足够直径的透气管，透气管上不应装有任何关闭装置。

第5章 油船管系

第1节 一般规定

5.1.1 适用范围

5.1.1.1 本章规定适用于载运闪点(闭杯试验)不超过60℃的原油及石油产品的尾机型油船。

对于载运闪点(闭杯试验)超过60℃的货油的油船，应符合本章第8节的规定。

5.1.1.2 油船管系除应符合本章所述的规定外，凡本篇第2、3及第4章的有关规定，如对其适用者也应满足。

5.1.2 危险处所内的布置

5.1.2.1 柴油机或其他能构成火源的设备，均不应位于货油舱、泵舱、隔离空舱或其他可能有货油或易爆气体的处所之内，或位于直接与货油舱、污油水舱相邻的处所或区域之内。在上述处所内管子(或加热管)里面的蒸汽或其他液体的温度，应不超过220℃。

5.1.3 货油舱的蒸汽连接

5.1.3.1 当货油舱或货油管系设有蒸汽熏舱连接管时，则该连接管应装有截止止回阀。通向上述连接管的主供汽管上，应在远离货油舱易于接近的地点装1个总截止阀。

熏舱管的布置可根据需要，使货油舱的上部和下部能分别进行供汽。

5.1.4 货泵舱

5.1.4.1 货泵舱应位于货油区域之内或与货油舱区域相邻接，并应在开敞甲板设有易于进出的通道。

货泵舱应完全独立于机器处所，且不应与其直接相通。

5.1.4.2 泵舱内蒸汽带动泵及蒸汽管路的泄水管，应在离舱底足够高度处终止。

5.1.5 污油水舱

5.1.5.1 油船上指定用于收集和处理货油舱洗舱水、含油压载水及其他含油污水的污油水舱，其透气布置、液位测量装置、加热管系及含油污水和货油的输送管系等，均应符合有关货油舱的规定。

5.1.5.2 从污油水舱排放含油污水，应遵守有关防止船舶造成污染的规定。

5.1.6 油气驱除设备

5.1.6.1 船上应有在卸油后驱除货油舱油气，及对所有与货油舱相邻的舱室进行通风和驱除油气的设施。为监测可燃气体，船上应备有便携式测爆仪。

5.1.7 货油管电气接地

5.1.7.1 货油舱和管系的防静电接地和跨接，应符合本规范第4篇1.3.4.11的要求。

5.1.8 火星的预防与消除

5.1.8.1 主机、辅机、锅炉以及其他燃烧设备的排气管出口，应位于主甲板上足够高度处，该出口与货油区域的水平距离应不小于10m。如内燃机设有经认可的火星熄灭器，锅炉和其他燃烧设备的排气管也设有火星熄灭器，则该距离可减至5m。

第2节 货油装卸管系

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 货油管系应至少设有2台独立动力货油泵，以便能泵运每个货油舱内的货油。其布置应使其中任1台泵不能工作时，不影响其他泵的工作。

5.2.1.2 当货油舱内货物的驳运为通过位于各自货油舱内的1台单独的深井泵进行时，

应提供能在深井泵故障时排出货油舱内货油的应急措施。

5.2.2 货油泵

5.2.2.1 货油泵除可兼用于原油洗舱、货泵舱的排水(见本章 5.3.2.1)，以及注入和排除货油舱内的压载水外，不应兼作其他用途。货油泵不应与货油区域以外的舱室有任何连接。

5.2.2.2 货油泵应位于独立泵舱内。

5.2.2.3 如采用蒸汽温度不超过 220℃的蒸汽机或汽轮机作为货油泵的原动机，则可在泵舱内。

5.2.2.4 当货油泵由穿过泵舱舱壁或甲板的轴系驱动时，应在泵舱的一侧安装轴的气密填料函。该填料函应能在泵舱的外侧进行润滑，其结构应设计成能防止发生过热，填料函的密封部应由不致产生火花的材料制成。如采用波纹管贯通附件时，则应在安装前作试验压力为 0.34MPa 的液压试验。

5.2.2.5 对安装于货油泵舱并由穿过泵舱舱壁的轴驱动的货油泵，应装设能从货油泵舱外部监测货油泵轴的舱壁填料函、轴承和泵壳温度的温度传感器，并当上述填料函、轴承和泵壳温度过高时触发报警。

5.2.2.6 对于工作时有可能使压力超过其系统设计压力的货油泵，均应装设安全阀。安全阀排出的油应流回至泵的吸入端，并能有效地将泵的排出压力限制在该系统的设计压力之内。

5.2.2.7 货油泵除能就地关停外，还应能在泵舱以外的适当地点关停。

5.2.2.8 每台货油泵出口端和货油泵控制站附近均应设有货油压力表。

5.2.2.9 船上所设扫舱泵及其管路系统的安全要求，应与货油泵及其管路系统相同。

5.2.2.10 对于任何用于同时驱动货物和压载泵的液压和/或电气综合系统(货物和压载综合系统)，应符合本规范第 4 篇第 2 章 2.6.7 的相关规定。

5.2.3 货油管路

5.2.3.1 货油管路只能敷设在货油区域之内。但下述 5.2.3.12 规定的货油舱区域以外的首尾装卸装置除外。

5.2.3.2 除另有规定外，货油管路应完全独立于其他任何管路。

5.2.3.3 当货油舱和污油水舱设有直接的注入管时，则注入管应伸入舱内，其出口应尽可能接近舱底，以减少静电的产生。

5.2.3.4 如需通过吸入管路装油，则应设有旁通管，绕过货油泵，将吸入管路与输出管路接通。旁通管上应设置截止阀。

5.2.3.5 货油管路如需兼作货油舱压载管用,则在海水进口阀和货油总管间的连接管上，应设置盲板法兰或可拆短管，并在盲板法兰或可拆短管的两端接管上设截止阀。

含油压载水的排放应遵守有关防止船舶造成污染的规定。

5.2.3.6 与接岸软管直接连接的货油装卸管路的终端接管、阀件及其他附件，均应为钢质或塑性材料制成，并应具有坚固的结构和牢固的支撑。

每根货油装卸接岸连接管均应装置手动截止阀。

5.2.3.7 货油管路应按需要设置膨胀接头或弯头。

5.2.3.8 货油管路应有能将管路内和泵内的货油排至货油舱、污油水舱或岸上的设施。

5.2.3.9 货油舱内的阀门传动装置，应引至开敞甲板上；如货油舱与甲板以下的泵舱或管隧相邻，则传动装置可装在泵舱或管隧内的舱壁上。

货油舱阀门的传动装置在穿过甲板或舱壁处，应设密封填料函，其结构应能在货油舱外面更换填料。传动装置应设有指示阀门开或闭的装置。

5.2.3.10 货油管路的阀件、传动杆及货油泵挠性联轴器等的摩擦部分，应选用在动作时不致产生火花的材料制成。

5.2.3.11 货油管路不应穿过压载舱，如不可避免，则在压载舱内的货油管壁厚，应符合本章表 5.3.4.2 的要求，并应采用焊接接头。

5.2.3.12 首尾装卸装置

当船舶在货油舱区域以外的首部或尾部设有装、卸货油的连接接头时，则应满足下列要求：

(1) 用于首尾装卸的货油管路应位于起居处所、服务处所、机器处所和控制站之外。并应有清楚的标识；

(2) 位于货油区域之外的所有用于首尾装卸的货油管路的连接，均应采用焊接连接；

(3) 用于首尾装卸的货油管路，在与货油区域内的货油总管连接处，应设有盲通两用法兰或可拆短管， 并在盲板法兰或可拆短管的两端接管上设截止阀；

(4) 首、尾装卸通岸连接接头的末端，应设有截止阀和盲板法兰。接头下方应设有围油栏或溢油盘；

(5) 首、尾装卸货油管路的布置，应使管路内的油能自泄至货油舱或污油水舱内；

(6) 上述(4)所述的接头和围油栏边缘 3m 范围内，应视为气体危险区，并应有清晰的标识；

(7) 货油区域所要求的固定式甲板泡沫系统，应能有效保护首尾货物装卸区域。

5.2.4 遥控阀

5.2.4.1 甲板上和泵舱内的阀如为遥控时，则应设有与遥控机构无关的就地手动操纵装置，或装设万一甲板上主液压回路损坏时能操纵阀件执行器的应急装置；例如在尽量靠近阀件执行器管路上，装设带截止阀的连接管，供船上备用的可移式泵连接之用。

5.2.4.2 当阀及其执行器位于货油舱内时，则应在每一货油舱内设置 2 个独立的吸口，或设有万一执行器产生故障时能抽空货油舱的其他设施。

建议阀件执行器的供液管由甲板垂直引入货油舱内，并在甲板上的管路设有带截止阀的连接管，以便万一主液压管路损坏时，能连接船上备用的可移式泵作应急操纵阀件之用。

5.2.4.3 在遥控站应设有指示遥控阀是打开还是关闭的装置。

5.2.4.4 所有执行器均应设计成当工作介质失压时，处于关闭状态的阀件仍能保持关闭，且在正常工作情况下，不致发生货油污染执行器内的工作介质。

5.2.4.5 压缩空气不应用作在货油舱内的执行器的工作介质。

5.2.4.6 货油舱内的执行器，其供液柜应位于货油舱顶部以上尽可能高的地点，且其供液管路应自货油舱的最高部位引入。供液柜应为封闭式并装有引至开敞甲板上安全处所的空气管，空气管开口端应装有金属防火网。该柜还应设有高、低液位听觉和视觉报警装置。

第 3 节 舱底、压载与其他管系

5.3.1 货油区域以外的船舶首尾端部的抽吸管系布置

5.3.1.1 机器处所和首部的抽吸管系布置，除本节另有规定者外，均应符合货船的有关规定。

5.3.1.2 机器处所的舱底水总管及直通舱底泵的舱底水管内径 d_1 应按本篇 3.4.3.1 的要求进行计算，公式中 L 的长度可取为船长减去所有货油区域的总长度。但无论如何，此时机舱舱底水总管的流通横截面积不应小于机舱 2 根舱底水支管的流通横截面积之和。

5.3.1.3 机器处所的舱底水支管内径 d_2，见本篇 3.4.3.3 的要求。

5.3.1.4 凡与船舶首、尾端的泵、舱柜或舱室相连接的舱底、压载和燃油等管路，不应通过货油舱或与货油舱及货油管路相连接。必要时，这些管路可以通过货油区域的压载舱和空舱。

5.3.1.5 所有服务于与货油舱直接相邻的各舱室的所有泵的布置，亦应符合本章 5.2.2.2～5.2.2.5 条对货油泵的要求，但服务于位于货油舱后部并直接与货油舱相邻的燃料油舱的泵和管路除外。为上述燃料油舱服务的泵和管路可位于机舱之内。

5.3.1.6 除另有规定外，货油区域以外的管系与货油区域内的管系应相互独立。

5.3.2 货泵舱的排水

5.3.2.1 货泵舱的排水应由专用舱底泵或喷射器进行。如用货油泵或扫舱泵进行排水，则应在舱底水管吸入端装设截止止回阀，在泵的吸入管与舱底水阀箱之间装设截止阀。

对于 150 总吨以下的油船，货油泵舱的舱底水可用吸入管内径为 50mm 的手动泵进行排水。

5.3.2.2 货泵舱的舱底水吸入管不应进入机器处所。

5.3.2.3　货泵舱舱底水的排放应遵守有关防止船舶造成污染的规定。建议将货泵舱的舱底水排入污油水舱。

5.3.2.4　所有货泵舱均应设有舱底水水位监测装置，以及适当的同步报警装置。

5.3.3　货油区域内隔离空舱的排水

5.3.3.1　隔离空舱舱底水抽吸设备应安装在货油区域内。如用货油泵或扫舱泵进行排水，应符合本节 5.3.2.1 的规定；隔离舱亦可用舱底水喷射器进行排水。

5.3.4　货油区域内的压载水管系

5.3.4.1　货油区域内压载水舱和双层底舱的压载水管系，应有专设的压载泵和独立的压载管路。压载泵应设在货泵舱内或货油区域内的其他适当处所内。压载泵的布置亦应符合本章 5.2.2.2 至 5.2.2.5 对货油泵的规定。但如压载泵位于单独的压载泵舱内，则其中 5.2.2.5 的规定可以不要求。

5.3.4.2　压载管路不应通过货油舱。 如无法避免时，通过货油舱的压载管路应为重型钢管，且应采用焊接或重型法兰接头，货油舱内的管子壁厚应不小于表 5.3.4.2 要求。接头的数量应保持最少。如采用较碳钢更耐腐蚀的材料时，则管壁厚度可予减小。

货油舱内管子壁厚　　表 5.3.4.2

管子公称直径①(mm)	管子壁厚(mm)
50	6.3
100	8.6
125	9.5
150	11.0
200 及以上	12.5

注：①　公称直径在表列之间的管子，壁厚可用插入法计算

5.3.4.3　货油舱内的压载管应设置弯管膨胀接头或波纹管膨胀接头，但不应采用滑动式膨胀接头。

5.3.4.4　压载管路可以在货泵舱内通过活动短管与货油管路连接作为应急排放之用，但应在压载管路的接管上装有止回阀和截止阀，在货油管路的接管上装有截止阀。

5.3.4.5　当压载泵设置在货泵舱内时，该泵的海水进口应与货油泵的海水进口完全分开。

5.3.4.6　消防总管的供水，可作为用于货油区域内压载水舱压载水排放或隔离空舱舱底水排放的喷射泵的动力水。但应满足下列条件：

(1)　喷射泵应位于货油区域内(如泵舱)；

(2)　用于上述目的的引自消防管的供水管，应从货舱区域的上甲板引入；

(3)　在上述管路穿过甲板前并尽量靠近甲板的适当位置，装设截止止回阀。

5.3.5　隔离空舱的空气管及测量管

5.3.5.1　货油舱前后两端的深隔离空舱，以及货油区域内非装货的其他舱柜或隔离空舱，均应装设引至开敞甲板的空气管和测量管。空气管的出口端应设可更换的金属防火网。空气管可能进水的最低点离货油舱甲板的高度应不小于 760mm。

5.3.5.2　本节 5.3.5.1 中所要求的空气管和测量管，应尽可能避免穿过货油舱。但对未设边压载水舱或空边舱的油船，其双层底处所的空气管和测量管可以穿过货油舱，但穿过货油舱的管子壁厚应符合本章表 5.3.4.2 的要求，且这些管子应为整根，或采用焊接接头。

5.3.6　混装船各处所的位置和分隔

5.3.6.1　污油水舱应以隔离空舱围隔，但如污油水舱在干货航程中可能载有污油水，且其限界面为船体、主货物甲板、货油泵舱舱壁或燃油舱时可除外。这些隔离空舱不应向双层底、管隧、泵舱或其他封闭处所开孔。应设有向隔离空舱灌水和排水的装置。

5.3.6.2　应设有设施以隔断连接泵舱和本节 5.3.6.1 所述污油水舱的管路。隔断设施应包括 1 只阀，阀后接装有盲通法兰或具有适当盲板法兰的短管。此项装置应邻接于污油水舱，

如此种布置不可行时，可以设置在泵舱内直接位于穿过舱壁的管路之后。应设有独立的泵及管系装置，以便当船舶从事于干货运输时将污油水舱内的污物直接经开敞甲板排放。

5.3.6.3　污油水舱的舱口和舱柜清洗开口仅可设在开敞甲板上，并应配备关闭装置。这些关闭装置应有锁紧设施，并由负责的高级船员控制，如采用螺栓紧固的盖板，且螺栓间距能保证水密时可以除外。

5.3.6.4　如设有边货舱时，甲板下的货油管系应设在这些边舱内。未设有边货舱时，则甲板下的货油管系应布置在特别导管内，导管应可清洗和通风。

第 4 节　货油加热

5.4.1　一般要求

5.4.1.1　加热货油的介质温度应不超过 220℃。

5.4.2　蒸汽加热

5.4.2.1　加热货油的蒸汽应为饱和蒸汽。

5.4.2.2　加热货油的凝水总管应接至专用的凝水观察柜。该柜可位于机舱内具有良好通风和照明的地点，且应尽可能远离锅炉、柴油机的排气管和电气设备。柜的上排污管应接至污油柜。

5.4.2.3　加热货油的蒸汽管路和凝水管路，只能通过货油舱的顶部进入货油舱。蒸汽管路和凝水管路应敷设在露天甲板上。

5.4.2.4　每一个货油舱加热管路的进、出口处，均应设有截止阀或旋塞。每一货油舱的凝水支管出口处，应设有检查加热盘管有否漏油的阀或旋塞。该阀或旋塞的开口应位于开敞甲板上。

5.4.2.5　加热货油的蒸汽管及凝水管，应在货油区域适当地点设有盲通两用法兰或短管，以便在货油不需加热或加热管从货油舱拆除的情况下，能将管路隔断。也可在每一货油舱的加热支管上，设置盲通两用法兰。

5.4.3　热油加热

5.4.3.1　货油的热油加热应符合本篇第 4 章第 8 节的相关要求。

5.4.3.2　加热货油的热油供应管和回流管，应通过货油舱的顶部进、出货油舱。

5.4.3.3　每一个货油舱热油加热管路的进、出口处，均应设有截止阀。

5.4.3.4　加热货油的热油供应管和回流管，应在货油区域适当地点设有盲通两用法兰或短管，以便在货油不需加热或加热管从货油舱拆除的情况下，能将管路隔断。

第 5 节　货油舱测深

5.5.1　一般要求

5.5.1.1　每一个货油舱均应设有测定舱内液位的适当装置，并应分别符合下列 5.5.2～5.5.4 的相关规定。

5.5.2　闭式测量装置

5.5.2.1　设有固定惰性气体系统的油船，其货油舱应装设闭式测量装置。该装置在使用中不应有气体自货油舱逸出。

5.5.3　限制式测量装置

5.5.3.1　对不要求装设闭式测量装置的货油舱，可装设在使用中允许有限量油气自货油舱逸出的测量管或其他测量装置。该装置应设计成，使油气或货油在压力下突然放出和货油溢至甲板的可能性减至最小。此外，还应设有在使用之前释放舱内压力的设施。

在使用中可能有油气逸出的限制式测量装置，不应布置在封闭处所内。

5.5.4　开式测量装置

5.5.4.1　可设置供测量上部空间用的单独开口作为测量货油舱液位的备用措施。

第 6 节　货油舱的透气装置

5.6.1　一般要求

5.6.1.1　每个货油舱均应设有透气装置，以限制货油舱内的压力或真空度。货油舱的透气管不应与其他舱柜的空气管相连接。透气装置应具有如下的功能：

(1)　在货油装卸和驱除油气的过程中，使大量的气体通过本装置进出货油舱；

(2)　在正常航行中，由于温度变化，使少量的油气排出货油舱或少量的空气进入货油舱；

(3)　应设有一套允许蒸气、空气或惰性气体混合物充分释放的辅助设施以替代本条(1)装置失效时之用。如果本节 5.6.2.2 条要求的隔断装置发生损坏或误关闭时，辅助设施应能防止超压或欠压。作为替代，可按本节 5.6.1.1(1)要求布置进行保护的每一液货舱中设置压力传感器。传感器的监测系统应布置在货物控制室或通常进行货物操作位置处。 监测设备还应备有通过对液货舱内过压或真空状况进行探测报警的报警装置。

5.6.2　透气系统及压力真空系统

5.6.2.1　透气系统及压力真空系统可以是分开的，或者是合一的，也可连接于一惰性气体系统。

5.6.2.2　透气管及压力真空阀的竖管应自货油舱的最高部位引出。当自每一货油舱(或几个货油舱)引出的管子集中于 1 根总管时，则应在各舱与总管之间的连接管上装设隔断装置。任何隔断装置隔断后均应按照本节 5.6.1.1（2）条的规定能使由于液货舱内温度变化所产生的气体继续流通无阻。如对与公共透气装置隔离的货油舱或货油舱组在装货和压载或卸载，这些货油舱或货油舱组应装有本节 5.6.1.1(3)要求的 1 套过压或低压保护装置。隔断装置应能在装载和压载或卸载过程中，使大量蒸汽、空气或惰性气体混合物能够继续通过。

5.6.2.3　在压力真空阀上或通向压力真空阀的管子上，不应装设截止阀。但可装设旁通阀或设有能使压力真空阀保持开启位置的装置，并应有指示旁通阀已开启或压力真空阀已固定于开启位置的设施。

5.6.2.4　压力真空阀应位于开敞甲板，且应有能易于检查其效用的设施。

5.6.2.5　压力真空阀应能调整舱内的压力，以防止货油舱承受高于该舱试验压力的正压(一般不大于 0.021MPa)和低于 0.007MPa 的负压。

5.6.2.6　用于装货时的透气系统，考虑到舱内气体可能增加的因素，为防止任何货油舱的压力超过设计压力，每个货油舱透气管的截面积，应根据最大设计装油速率乘以至少为 1.25 的系数来决定。

5.6.2.7　透气管路上可能积聚凝水的地点，应设有泄水装置。

5.6.3　油气出口的布置

5.6.3.1　透气管出口和必要时压力真空阀的进、出口，应设有易于更换的金属防火网[1]。金属网应由耐腐蚀的材料制成。

5.6.3.2　装货时使用的透气管出口和压力真空阀的出口，应布置成使油气垂直向上排出。透气管的出口和压力真空阀的进、出口，均应布置成能防止海水进入货油舱。

5.6.4　透气管出口的高度和位置

5.6.4.1　本节 5.6.1.1(1)规定的用于货油装卸和压载的透气出口为下列两者之一：

(1)　应允许蒸气混合物自由流通；

(2)　应使排泄蒸气混合物的节流速度应不小于 30m/s。

其布置应使蒸气混合物垂直向上排出。

当采用蒸气混合物自由排出的方式时，其出口应布置在货油舱甲板以上不小于 6m 处；

---

① 参见 MSC/Circ.677 号通函：《经修订的液货船上防止火焰进入液货舱装置的设计、试验和安装位置标准》和 MSC/Circ.450/Rev.1 号通函：《经修订的液货舱透气和除气布置设计时应考虑的因素》

或其出口位于步桥范围以内 4m 时，应位于前后步桥以上不小于 6m 处，且应离开含有着火源的围蔽处所的最近进气口和开口，以及可能构成着火危险的甲板机械和设备的水平距离，均应不小于 10m。

当采用高速排气方式时，则排气出口应布置在货油舱甲板以上不小于 2m 处，且应离开含有着火源的围蔽处所的最近进气口和开口，以及可能构成着火危险的甲板机械和设备的水平距离，均应不小于 10m。

5.6.4.2　本节 5.6.1.1(2)规定的压力释放开口应按照本节 5.6.4.1 的要求布置。

5.6.5　预防透气系统液体上升

5.6.5.1　应采取措施，以防止透气系统内液体上升至可能超过液货舱设计压头的高度。可通过采用高位报警或溢流控制系统或其他等效措施，连同独立测量装置和液货舱充装程序来实现。就本条而言，溢流阀不被视为等效于溢流系统。

第 7 节　油船双层壳体间的规定

5.7.1　双层壳体间的惰化、通风和可燃气体测定

5.7.1.1　双层壳体间应装设合适的通风接头。

5.7.1.2　对要求装设惰性气体系统的油船：

(1)　双层壳体间应装设惰性气体接头；

(2)　当上述处所与惰性气体分配系统连接时，应设有防止可燃气体通过该系统进入该处所的装置；

(3)　当上述处所不是与惰性气体分配系统连接时，应设有适当装置，以便与惰性气体总管接通。

5.7.1.3　船上应配备便携式氧气和可燃气体浓度测量仪表。在选择这种仪器时，应注意到与本节 5.7.1.4 中提到的取样系统配合使用。

5.7.1.4　当采用挠性软管取样不能可靠地测量双层壳体间的气体时，则应安装固定式气体取样管路，这些管路的走向应与该处所的设计相适应。

5.7.1.5　气体取样管路的材料和结构应防止管内产生节流。如采用塑料型材料，则应是导电型的。

第 8 节　运载闪点超过 60℃货油油船的规定

5.8.1　一般要求

5.8.1.1　运载闪点(闭杯试验)超过 60℃的货油，　而且货油舱内加热的最高温度至少比该货油闪点低 10℃的油船，　应符合本章规定，　但本章下列各条款的要求可以不适用：

5.1.2，5.1.4，5.1.6，5.1.8，5.2.2.1～5.2.2.5，5.2.3.1，5.2.3.12，5.2.4.5，5.3.1.5，5.3.3.1，5.3.4.1，5.3.4.6，5.5.2.1，5.6.1～5.6.5，5.7.1。

5.8.2　货油舱空气管

5.8.2.1　每一货油舱均应设有空气管，空气管应自舱的最高部位引至干舷甲板以上的开敞地点。该空气管不应与其他非货油舱舱柜的空气管相连接。

5.8.2.2　本节 5.8.2.1 所要求的空气管，各货油舱可单独设置，也可将几个货油舱引出的空气管汇集于一根总管。

5.8.2.3　空气管(包括支管和总管)出口端的高度，在干舷甲板以上应不小于 760mm。

5.8.2.4　空气管出口端应设有耐腐蚀和便于更换的金属防火网。

第 6 章　锅炉与压力容器

锅炉与压力容器应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章的规定。

第 7 章　汽 轮 机

汽轮机应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 7 章的规定。

第 8 章　燃气轮机

燃气轮机应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 8 章的规定。

第 9 章　柴 油 机

柴油机应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章的规定。

第 10 章　齿轮传动装置

齿轮传动装置应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 10 章的规定。

第 11 章　轴系与螺旋桨

第 1 节　一般规定

11.1.1　适用范围

11.1.1.1　本章规定适用于柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机和电力推进船舶的轴系。

11.1.2　一般要求

11.1.2.1　当推力轴、中间轴、尾管轴(通过尾管但不安装螺旋桨的轴)及螺旋桨轴的联轴器是非整体式时，则应确保倒车时联轴器与轴之间不产生相对运动，而且不致于在轴上引起过度的应力集中。

11.1.2.2　轴系及螺旋桨的材料应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关规定。

锻钢轴的抗拉强度，一般应在下列范围内选择：

(1)　碳钢和锰钢为 400～760N/mm^2，但对于轴的扭振应力超过轴瞬时许用扭振应力 90%时，轴的抗拉强度至少取 500N/mm^2；

(2)　合金钢不超过 800N/mm^2。

如材料抗拉强度超过本章 11.1.2.2(1)和(2)的限制值，则轴径计算应符合本章 11.2.2.1 的规定，扭振许用应力计算应符合本篇第 12 章 12.2.3.3 的规定。

轴系联轴器也可用球墨铸铁制造。

11.1.2.3　主推进轴系及其传动装置应能承受足够的倒车功率。

对具有减速齿轮、可调螺距螺旋桨或电力推进装置等的主推进轴系，倒车运转时不应引起主机的超负荷。

11.1.2.4　主推进轴系及其传动装置中的滑动轴承温度应不超过 70℃，滚动轴承温度应不超过 80℃。

11.1.2.5　CCS 可考虑接受替代计算方法。替代计算方法应包括所有工况下完整动态轴系的全部相关载荷。并考虑轴系连接部件的尺寸与布置。

此外，替代计算方法应考虑持续和瞬时工作载荷（疲劳强度的结构尺寸），以及峰值工作载荷（屈服强度的结构尺寸）。疲劳强度分析可根据不同载荷假定分别实施，如第 11 章第 2 节，第 12 章第 2 节。

11.1.3　轴系的振动与校中

11.1.3.1　轴系还应满足本篇第 12 章轴系振动与校中的要求。

11.1.4　图纸资料

11.1.4.1　应将下列轴系和螺旋桨图纸资料提交批准：

(1)　轴系布置图；

(2)　推力轴、中间轴、尾管轴(如有)、螺旋桨轴图；

(3)　尾管总图，包括油封装置和尾管轴承图；

(4)　轴系强度计算书，包括联轴器的连接计算、螺栓计算等；

(5)　螺旋桨强度计算书；

(6)　螺旋桨图(包括与船体的间隙等)；

(7)　螺旋桨液压装配图及计算书(对无键或有键连接液压装配的螺旋桨)。

11.1.4.2　图纸应标有足够详细的尺寸，以及为验证计算所必需的参数。

第 2 节　轴　系

11.2.1　一般要求

11.2.1.1　按本节计算的轴最小直径，其扭转振动附加应力应符合本篇第 12 章轴系振动与校中的规定。

11.2.2 轴的直径

11.2.2.1 低周疲劳衡准（通常小于 10^4），即主要循环形式表现为从零负荷到满负荷，再回到零负荷，包括反向扭矩（如适用）。

轴的直径 d 应不小于按下式计算的值：

$$d = FC\sqrt[3]{\frac{N_e}{n_e}\left(\frac{560}{R_m+160}\right)} \quad \text{mm}$$

式中：F——推进装置型式系数，

F=95，对于涡轮推进装置、具有滑动型联轴节的柴油机推进装置和电力推进装置的中间轴；

F=100，对于所有其他型式的柴油机推进装置和所有螺旋桨轴；

C——不同轴的设计特性系数(具体数值见表 11.2.2.1)或按下式计算；

$$C = \left[\frac{scf}{1.45}\right]^x$$

x ——低周循环的缺口敏感度。该值主要适用于软质钢（$R_m < 600$），当考虑具有较大应力梯度的高强度钢影响时，该值可能要适量提高；

scf ——应力集中因子，当法兰根部过渡圆角半径为 0.08 d 时，该值为 1.45；

N_e——轴传递的额定功率(齿轮箱和轴承的损失可不计)，kW；

n_e——轴传递 N_e 的额定转速，r/min；

R_m——轴材料的抗拉强度，对于中间轴，当中间轴采用碳钢和锰钢时，如 R_m＞760N/mm² 时，取 760N/mm²；当中间轴采用合金钢时，如 R_m＞800N/mm² 时，取 800N/mm²；当中间轴的合金钢材料认可满足扭转疲劳试验①、纯净度②和检测相关要求时，轴材料的抗拉强度取值可大于 800N/mm²，但应小于 950N/mm²。对于此类合金钢材料纯净度应满足《材料与焊接规范》第 1 篇第 5 章 5.1.1.1、5.3.2.1、5.3.2.3、5.3.4.5 要求；检测应满足《材料与焊接规范》第 1 篇第 5 章 5.1.6 要求。对于螺旋桨轴和尾管轴，如 R_m＞600N/mm² 时，取 600N/mm²。

不同轴的设计特性系数 C　　表 11.2.2.1

具有下述型式的中间轴					对在发动机外的推力轴		具有下述型式的螺旋桨轴		
整体连接法兰	液压无键套合联轴器	键槽	径向孔	纵向槽	在推力环处向外等于推力轴直径的部分，其余部分可按圆锥减小到中间轴直径	在轴向轴承处，此处滚柱轴承用作推力轴承	无键套合或法兰连接的螺旋桨轴	有键螺旋桨轴	适用于 11.2.2.3 规定的螺旋桨轴长度以前的螺旋桨轴或尾管轴到尾尖舱舱壁部分的直径
1.0①	1.0⑦	1.10②⑤⑥	1.10③⑤	1.20④⑤	1.10	1.10	1.22	1.26	1.15

注：① 法兰根部过渡圆角半径应不小于 0.08 d。

② 至少在键槽及从键槽两端延伸到 0.2d 的长度范围内，C 取 1.10。在这个范围以外， 轴的直径可以减至以 C=1.0 的计算直径。键槽底部横截面的过渡圆角半径应不小于 0.0125d。

③ 至少在孔及从孔两边缘延伸到 0.2d 的长度范围内，C 取 1.10。在这个范围以外， 轴的直径可以减至以 C=1.0 的计算直径。镗孔直径应不大于 0.3d。径向孔（d_h）和偏心(r_{ec})轴向孔相交的情况不适用，如下图所示。

① 扭转疲劳试验应满足《锻钢件检验指南》7.4.6 要求。

② 纯净度应满足《锻钢件检验指南》7.4.6 条要求。

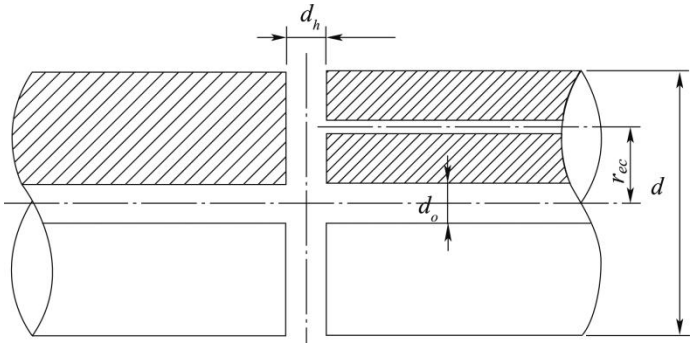


图 11.2.2.1　径向孔和偏心轴向孔相交图

④　至少在槽及从槽两边延伸到 0.3d 的长度范围内，C 取 1.20。在这个范围以外，轴的直径可以减至以 C=1.0 的计算直径。一般槽长度应小于 0.8d，宽度应大于 0.15d，内径应小于 0.7d。槽的末端圆角不小于槽宽度的一半，槽的数量应不大于 3。当槽的数量为 2 时，各槽应 180°平均分布；当槽的数量为 3 时，各槽应 120°平均分布。槽的棱边圆角应尽量避免，因应力集中略微增加。

⑤　当遇到轴上有多种型式时，则其修正时，多个系数应连乘计算。

⑥　其中 d 为以 C=1.0 时计算所得的值。

⑦　当轴的扭振应力超过持续许用扭振应力 90%时，则套合直径应增大，如增加直径 1～2%。

⑧　对设有转速禁区的轴系，一般不采用键槽。

11.2.2.2　尾尖舱舱壁前的螺旋桨轴或尾管轴直径可以向前逐渐减小到中间轴直径。

11.2.2.3　螺旋桨轴在从螺旋桨桨毂前面到尾管后轴承前端轴段的直径应不小于 11.2.2.1 规定的值。如这部分轴段长度小于规定直径的 2.5 倍，则符合规定直径的轴段应由尾管后轴承前端向前延伸，使具有规定直径轴段的长度不小于规定直径的 2.5 倍。

11.2.2.4　直径过渡区域应设计为平缓锥度或者过渡半径。作为指导，过渡半径推荐取直径的变化值。

11.2.3　轴的修正

11.2.3.1　如轴的孔径 d_0 大于 0.4d 时，则轴的实际外径 d_a 应不小于按下式计算所得之值：

$$d_a = d\sqrt[3]{\frac{1}{1-(\frac{d_0}{d_a})^4}} \qquad \text{mm}$$

式中：d ——按本节 11.2.2.1 式计算的轴直径，mm；

d_0 ——轴的实际孔径，mm。

11.2.3.2　轴上的槽或孔的边缘应磨光滑。

11.2.3.3　对于仅在港口内航行的船舶轴系的直径，可较上述计算结果相应减少 3%。

11.2.4　轴套

11.2.4.1　尾管轴或螺旋桨轴在轴承档处的铜套厚度 t 应不小于按下式计算的值：

$$t = 0.03\,d + 7.5 \qquad \text{mm}$$

式中：d ——尾管轴或螺旋桨轴在轴承档处的直径，mm。

当采用不锈钢铀套时，轴套厚度取上述计算值的一半，但不小于 6mm。

11.2.4.2　在轴承档之间的轴套厚度可适当减小，但应不小于 0.75t。

11.2.4.3　一个轴承处轴套一般应是整体铸造。需要时，轴套可由几段组成，但应采用可靠的方法焊成一体以防海水浸入。

11.2.4.4　如两段轴承轴套之间使用玻璃钢或工程塑料等物包覆轴身时，则其包覆工艺及与轴套衔接处的结构应能有效地防止海水浸入。一般轴套衔接处可做成半圆槽，包覆多层玻璃钢或工程塑料且用铜丝或不锈钢丝扎牢。接缝部分不应处在轴承区域内。

11.2.4.5　整体式或分段轴套，在粗加工后应进行 0.2MPa 的液压试验，应无裂纹或泄漏现象。

11.2.4.6　轴套应采用热套或液压套合法压入到轴上，不应用销子固定。

11.2.4.7　应提供有效的措施，以防止海水从轴套后端与桨毂之间浸入轴。

11.2.5　尾管或支柱及其轴承

11.2.5.1　位于尾管或支柱中邻接并支撑螺旋桨的螺旋桨轴后轴承长度规定如下：

(1)　对水润滑的轴承，其长度应不小于规范所要求的该轴承处螺旋桨轴计算直径的 4 倍。对于水润滑的合成材料，如果轴承设计和材料经过试验证明符合 CCS 规定，轴承长度可适当减小，但不小于规范所要求的该轴承处螺旋桨轴计算直径的 2 倍。水润滑轴承的合成材料应经型式认可，本条款中的型式认可要求适用于所有由合成材料制成的螺旋桨轴后轴承，有关螺旋桨轴后轴承合成材料的型式认可测试要求，参见 CCS《高分子轴承材料指南》。

(2)　对油润滑的白合金轴承的长度，应不小于规范所要求的该轴承处螺旋桨轴直径的 2 倍。如果计及轴和螺旋桨重量的静载荷计算得到的轴承比压小于 0.8MPa，轴承长度可适当减少，但不小于实际直径的 1.5 倍。

(3)　对油润滑的合成橡胶或增强树脂或塑料的轴承，其长度应不小于规范所要求的该轴承处螺旋桨轴直径的 2 倍。如果计及轴和螺旋桨重量的静载荷计算得到的轴承比压小于 0.6MPa，轴承长度可适当减少，但不小于实际直径的 1.5 倍。油润滑轴承的合成材料应经型式认可，本条款中的型式认可要求适用于所有由合成材料制成的螺旋桨轴后轴承，有关螺旋桨轴后轴承合成材料的型式认可测试要求，参见 CCS《高分子轴承材料指南》。

若材料已被证明具有足够承载能力以及使用经验，则可考虑增加轴承的压力。

(4)　对脂润滑的轴承，其长度应不小于规范所要求的该轴承处螺旋桨轴计算直径的 4 倍。

(5)　采用其他的轴承材料或润滑方式时，应提供采用其轴承长度的背景资料，如轴承材料的膨胀特性、承压能力等试验结果或使用经验。

11.2.5.2　对水润滑的直径等于或大于 400mm 的铁梨木轴承，以及各种尺寸的橡胶或塑料轴承，应采用强力海水润滑系统，且在进入尾尖舱处或隔舱壁前轴承处的润滑管路上，应装设控制水量的截止阀或旋塞。

11.2.5.3　对油润滑的轴承，应装有可靠的油封装置。

11.2.5.4　对油润滑的轴承，如采用重力油柜润滑系统时，则油柜应设在满载水线以上适当的位置，且在机舱内应设有一低油位报警装置。

11.2.5.5　对油润滑的轴承，应设有冷却润滑油的措施。为此，可在尾尖舱中保持充水至高出尾管的高度，或采用其他适当措施。

11.2.5.6　尾管在船上安装以前，应进行压力为 0.2MPa 的液压试验。

11.2.5.7　邻接并支撑螺旋桨的轴承使用滚动轴承时，应按照 ISO 281 或其他公认接受标准计算该滚动轴承的使用寿命，计算的使用寿命应满足拆检周期限定要求。使用滚动轴承的船舶一般应为双套推进系统的沿海航行非客船。选用的滚动轴承一般应具有调心功能，滚动轴承的数量、安装与使用条件等应经 CCS 同意。

第 3 节　轴系传动装置

11.3.1　适用范围

11.3.1.1　本节规定适用于联轴器、液力传动装置、离合器、Z 型推进装置、侧推装置(若申请附加标志)及可调螺距螺旋桨的传动与操纵装置。齿轮传动装置见本篇第 10 章。

11.3.2　联轴器

11.3.2.1　法兰联轴器应满足以下要求：

(1)　对于连接两轴的法兰联轴器，法兰厚度应不小于 11.2.2.1 要求的中间轴直径的 20%，且不能小于与轴材料抗拉强度相等的联轴器紧配螺栓的直径。法兰根部的过渡圆角半径应不小于联轴器处实际轴径的 8%。对于非平行面的法兰应特别考虑，但法兰的厚度不应小于连接螺栓的直径。

(2)　对于把螺旋桨连接到螺旋桨轴上的法兰联轴器，法兰厚度应不小于邻近联轴器法兰处螺旋桨轴实际直径的 25%。法兰根部的过渡圆角半径应不小于联轴器处轴直径的 12.5%。

(3) 过渡圆角处应加工光顺，并在螺母和螺栓头处不形成凹槽。圆角可由几个半径的圆弧成型，其应力集中系数应不大于过渡圆角半径为 0.08 倍实际轴径的应力集中系数。

11.3.2.2 对于用键传递扭矩的联轴器，键材料的抗拉强度应不小于轴材料的抗拉强度，键受剪切的有效截面积应满足下式的要求：

$$BL \geqslant \frac{d^3}{2.6d_m} \qquad \text{mm}^2$$

式中：B——键的宽度，mm；

L——键的有效长度，mm；

d——由 11.2.2.1 确定的中间轴直径，mm；

d_m——键中部处轴的直径，mm。

11.3.2.3 用液压无键套合到轴上的联轴器，应满足以下要求：

(1) 对于套筒式联轴器，应具有传递 2.8 倍额定扭矩的能力，且其最大过盈的当量应力应不超过套筒材料屈服点的 70%。

(2) 对于不属于上述(1)所指的一般液压套合联轴器，则实际选用的轴向推入量 S 或过盈量δ应满足下列要求：

$$S_1 \leqslant S \leqslant S_2 \qquad \text{mm}$$

$$\delta_1 \leqslant \delta \leqslant \delta_2 \qquad \text{mm}$$

$$S_1 = \frac{\delta_1}{K} = \frac{1}{K}\left[\frac{1672N_e}{An_e}(c_1 + c_2) + 0.03\right] \qquad \text{mm}$$

$$S_2 = \frac{\delta_2}{K} = \frac{0.034 \times 10^{-4}}{K} R_{eH} d_1 (c_1 + c_2) \frac{K_2^2 - 1}{\sqrt{3K_2^4 + 1}} \qquad \text{mm}$$

式中：S_1——最小轴向推入量，mm；

S_2——最大轴向推入量，mm；

δ_1——最小过盈量，mm；

δ_2——最大过盈量，mm；

K——套合轴的锥度；

N_e——轴传递的额定功率，kW；

n_e——传递 N_e 时轴的转速，r/min；

A——套合面的理论接触面积，mm²；

$c_1 = \dfrac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} - \mu_1$；

$c_2 = \dfrac{K_2^2 + 1}{K_2^2 - 1} + \mu_2$；

$K_1 = \dfrac{d_0}{d_1}$；

$K_2 = \dfrac{d_2}{d_1}$；

d_0——轴中孔直径，mm；

d_1——套合接触长度范围内轴的平均直径，mm；

d_2——套合接触长度范围内联轴器平均外径，mm；

μ_1=μ_2=0.3；

R_{eH}——联轴器材料的屈服点，N/mm²。

11.3.2.4 夹壳式联轴器应符合下列要求：

(1) 夹壳联轴器的强度应不小于中间轴的强度；

(2) 夹壳式联轴器应装有键。对于传递推力的夹壳式联轴器，应装有可靠的轴向锁紧装置；

(3) 扭矩是由联轴器夹紧后产生的摩擦力矩和键传递，摩擦力矩应不小于额定扭矩以保证不打滑，此时键尺寸应不小于 11.3.2.2 公式确定值的 2/3；

(4) 联轴器的总夹紧长度通常至少为轴径的 2.4 倍。

11.3.2.5 如采用其他型式的联轴器或其他的连接方式传递扭矩，应提供试验结果或使用经验的背景材料，以证明其可靠性。

11.3.3 联轴器螺栓

11.3.3.1 在联轴器接合面处的紧配螺栓的直径 d_f 应不小于按下式计算的值：

$$d_f = 0.65\sqrt{\frac{d^3(R_m + 160)}{DZR_{mb}}} \qquad \text{mm}$$

式中：d ——实心中间轴规范计算直径，如考虑冰区加强应按本篇第 14 章的要求，mm；

Z ——螺栓数；

D ——节圆直径，mm；

R_m ——中间轴材料的抗拉强度，N/mm^2；

R_{mb}——螺栓材料的抗拉强度，N/mm^2，应不小于中间轴材料的抗拉强度。计算时，螺栓材料的抗拉强度取值不大于 1.7 倍中间轴材料的抗拉强度，但不大于 1000N/mm^2。

11.3.3.2 如采用普通螺栓连接时，则螺栓的螺纹根部直径 d_n 应不小于按下式计算的值：

$$d_n = 25\sqrt{\frac{N_e \times 10^6}{n_e DZR_{mb}}} \qquad \text{mm}$$

式中：N_e——轴传递的额定功率，kW；

n_e——轴传递 N_e 时的转速，r/min；

其他符号意义与本节 11.3.3.1 相同。

应提供普通螺栓预紧力及安装工艺备查。

11.3.3.3 螺旋桨与螺旋桨轴的连接螺栓应为紧配螺栓，其直径至少应比本节 11.3.3.1 计算的值增大 5%。

11.3.3.4 对仅航行在港口的船舶，其连接螺栓的直径可以减小 4%。

11.3.3.5 对连接曲轴各段及曲轴与推力轴的联轴器紧配螺栓，其直径至少应比 11.3.3.1 计算的值增大 5%。

11.3.4 离合器及操纵装置

11.3.4.1 采用摩擦元件的离合器，在正常运转时不应有打滑现象；在空车运转时，其带排扭矩不应使与其连接的推进轴系有带转现象。

11.3.4.2 离合器所传递的最大扭矩，一般应不小于主机额定扭矩的 1.5 倍。

11.3.4.3 对气压操纵的弹性离合器，在操纵处应设有充气压力表、离合器结合和脱开的信号装置，以及空气高、低压报警装置。

11.3.4.4 气压弹性离合器的供气系统，应设有应急的充气设备。

11.3.4.5 对于可倒、顺的传动离合器，其换向时间应不大于 15s。

11.3.4.6 单桨船舶的离合装置应设有机械联接装置以便在应急情况时能传递必要的功率。

11.3.4.7 离合器的控制装置失去动力时，离合器应能维持当前状态直至其恢复动力，否则应设置不间断的后备动力源（如电源、气源）。

11.3.5 液力传动装置

11.3.5.1 单桨船舶轴系的液力传动装置，应设有应急的机械联接机构，以便当液压系统失灵时能够传递足够的功率。

11.3.5.2 液力传动装置的滑油系统应是独立的循环系统。系统中应设有滤器、冷却器、集油柜等设备，对液力齿轮传动装置机组，则在循环系统中还应设有磁性滤器。

11.3.5.3　液力传动装置应设有独立的备用泵，对双机双桨推进系统可只设 1 台备用泵。

11.3.5.4　液力传动装置的滑油系统，除应装设滑油温度计及压力表外，还应设有高温和低压的报警装置。

11.3.5.5　液力偶合器的涡轮、泵轮应进行静平衡试验，并建议进行动平衡试验。

11.3.5.6　液力传动装置的操纵处应设有充油和放油的信号装置。

11.3.5.7　液力传动装置可在机旁、集中控制室或驾驶室操纵。如设置几套操纵机构时，各套之间应互为联锁。

11.3.5.8　多机单桨船舶的液力传动装置的操纵机构应设有联锁装置，以防止主机不同转向时同时充油。

11.3.5.9　液力传动装置的操纵处应设有标明螺旋桨轴转速的转速表及旋转方向的指示器。

11.3.6　可调螺距螺旋桨传动装置

11.3.6.1　调距桨的液压传动系统应装有独立的备用泵，其备用泵容量应不小于单套调距桨液压传动系统正常运转时动力液压油泵所需的容量。对于双套推进轴系的调距桨液压传动系统，可共用一台独立的备用泵；如每套调距桨液压传动系统各装有独立液压泵，则可设 1 台便于安装和连接的完整的备品泵。

对功率不超过 200kW 的推进装置，如另装 1 台手动泵以控制螺距，且该手动泵能使桨叶在足够短的时间内从正车位置转至倒车位置，则独立的备用泵可不设。

11.3.6.2　机舱操纵台与驾驶室内均应装有螺距角指示器，且与螺旋桨实际螺距角的偏差不超过±1°。

11.3.6.3　机舱与驾驶室内的操纵系统应互为联锁。对非机械操纵系统，则机旁应设有备用手动操纵装置。

11.3.6.4　液压可调螺距螺旋桨的操纵系统，应能灵敏而准确地控制所需桨叶的角度。

11.3.6.5　在任意工况下，可调螺距螺旋桨工作应能稳定，在 0°螺距角时，其波动值应不超过±0.5°。

11.3.6.6　在额定转速下操纵可调螺距螺旋桨，从正(或负)全负荷螺距角的 1/3 到负(或正)全负荷螺距角的 1/3 所需时间应不超过 15S。

11.3.6.7　调距桨的调距范围，应保证在额定转速下主机能发出额定功率，以及规定的倒车功率。

11.3.6.8　桨叶紧固螺栓螺纹根部的直径 d_k 应不小于下式计算值：

$$d_k = 2.6\sqrt{\frac{W_{0.35R}R_{p0.2}\alpha_A}{dZR_{eH}}} \qquad \text{mm}$$

式中：$W_{0.35R}$ ——在半径 0.35R 处展开的圆柱截面的剖面模数，mm^3；

$W_{0.35R} = 0.11(Bt^2)_{0.35R}$

其中：B　——半径为 0.35R 处截面上的桨叶宽度，mm；

t　——半径为 0.35R 处截面上的最大桨叶厚度，mm；

$R_{p0.2}$——螺旋桨材料非比例伸长应力，N/mm^2；

α_A ——紧固螺栓的旋紧系数，取 1.2～1.6，取决于所用的旋紧方法；

d　——紧固螺栓的螺栓孔节圆直径，mm；

Z　——螺栓数；

R_{eH} ——紧固螺栓屈服强度，N/mm^2。

11.3.6.9　在下列情况时，调距桨应具有报警功能：

(1)　液压系统压力过低；

(2)　液压油主油箱油位过低；

(3)　油滤器堵塞；

(4)　桨毂润滑油压力过低(油脂润滑方式除外)；

(5)　液压油油温过高；

(6)　调距功能失效；

(7) 控制系统的电力供应故障。

11.3.6.10 应装设有适当装置，确保在改变螺距时不至引起推进装置超载或停机。

11.3.6.11 在控制系统发生故障时，应有措施以确保桨叶位置不改变或者缓慢地转到终端位置，以便应急控制系统有足够的时间投入工作。

11.3.6.12 调距桨系统应设有应急控制设施，以便在遥控系统故障时还能继续对螺旋桨进行操纵。建议装设能把螺旋桨叶片锁定在“正车”位置上的装置。

当实行“定距桨状态”应急工况时，应有有效措施防止进行调距操作。

11.3.6.13 可调桨的液力传动与操纵系统，其管系与动力元件在装船前，应进行 1.5 倍设计压力的液压试验；装船后应进行 1.25 倍设计压力的密性试验。但不必超过设计压力加 7MPa。

11.3.6.14 可调桨及其主要零部件，应按照 CCS《材料与焊接规范》相关要求，进行材料试验和无损探伤检测。

11.3.6.15 可调桨的叶片与桨毂间应有良好的防水、沙渗入及润滑油脂泄漏的密封装置。

11.3.6.16 桨毂内应充填润滑油脂。

11.3.6.17 主推进用调距桨的控制系统应按以下要求进行试验和记录，以证明控制系统故障和控制位置转换时螺旋桨推力无显著变化，且螺距响应时间不超过最大值。

(1) 全范围螺距响应试验，以验证螺旋桨螺距与转速组合曲线的符合性，控制手柄应在正车和倒车方向的至少三个位置（例如，微速正车/倒车、半速正车/倒车、全速正车/倒车）进行测试，试验应在正常和应急工况下进行；不受控制位置影响的试验可仅从某一控制位置进行。

(2) 故障安全性试验，以证明螺距命令和控制或反馈信号的故障会触发报警，并且不会引起推力的显著变化，这些故障应能被清楚地识别并包含在测试程序中。

(3) 试验应记录控制手柄的位置、实际螺距（本地显示和遥控显示）、螺旋桨转速、螺距响应时间（螺距改变指令发出直至螺距和转速就位之间的响应时间），以及控制位置转换时螺旋桨推力的变化。

(4) 试验程序（包括需要记录的参数清单和螺距响应时间最大值）应由螺距控制系统制造商或集成商准备和提交，并经船旗国主管机关同意。

11.3.7 Z 型推进装置

11.3.7.1 Z 型推进装置应设有从驾驶室、机械控制站（如设有）和就地控制其推力方向的设施。在上述控制地点应设有推力方向指示器。

11.3.7.2 当主机输出轴与 Z 型推进装置输入轴不在一个水平面时，其轴系应设有万向联轴器，且万向联轴器应成对设置，并具有相同的轴间夹角，其夹角一般应不大于 10°为宜。

11.3.7.3 Z 型推进装置的操舵回转装置动力设备如为电动或电动液压时，应设有备用动力设备或其他紧急操纵措施。

如船舶设有两台或两台以上的 Z 型推进装置，则可不设备用动力设备。

11.3.7.4 Z 型推进装置的输入轴、立轴及螺旋桨轴的直径，应不小于按本篇 11.2.2.1 公式计算所得之值。

11.3.7.5 Z 型推进装置轴系振动计算，应符合本篇第 12 章的规定。

11.3.7.6 Z 型推进装置的螺旋桨的强度和安装，应符合本篇第 11 章第 4 节的规定。

11.3.7.7 与系统故障有联系的所有报警应显示于驾驶台。在下列情况时，Z 型推进装置应具有报警功能：

(1) 滑油低压；

(2) 滑油高温；

(3) 液压油低位；

(4) 液压油低压；

(5) 液压油高温(装有油冷却器时)；

(6) 液压油滤器压差过高(装有滤油器时)

(7) 离合器低压。

11.3.7.8 Z 型推进装置的上下齿箱、转舵齿轮箱、舵柱等部件制造完毕后，应进行 0.2MPa 的液压试验，组装后应进行密性试验。密性试验可以 0.1MPa 压力的液体进行；亦可

以 0.03MPa 的压缩空气用涂皂液的方法进行试验检查，不应有渗漏现象。

11.3.7.9　液压管路应进行 1.5 倍设计压力的液压试验，装船后应连同附件进行 1.25 倍设计压力的密性试验。

11.3.7.10　Z 型推进装置及其主要零部件及配套件，应按照 CCS《材料与焊接规范》进行材料试验和无损探伤检测。

11.3.7.11　Z 型推进装置的操舵装置部分应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 13 章第 1 节的规定。

11.3.8　侧推装置

11.3.8.1　侧推装置应有足够的侧推力，能满足船舶低速航行及靠离码头的工作要求。

11.3.8.2　侧推装置及其组成部件的材料、试验，应符合 CCS《材料与焊接规范》的相关规定。

11.3.8.3　驱动侧推装置的柴油机，应符合本篇第 9 章的有关规定。

11.3.8.4　驱动侧推装置的电动机及其配电系统，应符合本规范第 4 篇的有关规定。

11.3.8.5　轴系及其部件、螺旋桨的设计，应符合本章的有关规定。

11.3.8.6　侧推装置的管隧厚度应不小于相邻船体部分的厚度。

11.3.8.7　安装的轴密封装置，应能防止海水以保护钢轴不受海水腐蚀。

11.3.8.8　对下列故障应在驾驶室均设有单项或组合报警指示：

(1)　原动机和伺服机构过载；

(2)　遥控系统电源故障；

(3)　报警系统电源故障；

(4)　滑油柜(如装有)液位低；

(5)　滑油压力低(如系强制润滑系统)；

(6)　液压日用柜液位低；

(7)　液压系统压力低。

11.3.8.9　下列项目应在驾驶室内设有单项指示：

(1)　原动机运行和停车；

(2)　可调螺距螺旋桨装置的螺距；

(3)　定距桨装置的转向和转速。

11.3.8.10　在驾驶室应设有停止侧推装置运行的装置，该装置应独立于遥控系统。

第 4 节　螺 旋 桨

11.4.1　一般要求

11.4.1.1　螺旋桨应作表面质量和尺寸偏差的检查，并进行静平衡试验。对组合式和可调螺距螺旋桨的静平衡试验， 应在机械加工后分别进行，还与桨毂及所有附件装配成套后进行。

11.4.1.2　组合式螺旋桨的桨叶固定螺栓，应用锻钢制成，其材料的抗拉强度应不小于 400N/mm^2。

11.4.1.3　螺旋桨及其附件的固定螺栓、螺母等，均应有可靠的防止松动及防蚀措施。

11.4.2　螺旋桨与船壳板间隙

11.4.2.1　为避免螺旋桨激励给予船体的不良影响，螺旋桨与船壳板之间应有足够的距离，建议其最小间隙见第 2 篇 2.14.4 的规定。

11.4.3　螺旋桨桨叶厚度

11.4.3.1　螺旋桨桨叶厚度 t(固定螺距螺旋桨为 0.25R 和 0.6R 剖面处，可调螺距螺旋桨为 0.35R 和 0.6R 剖面处)应不小于按下式计算所得之值：

$$t=\sqrt{\frac{Y}{K-X}} \qquad \text{mm}$$

式中：Y——功率系数，按本节 11.4.3.2 求得；

K——材料系数，查表 11.4.3.1；

X——转速系数，按本节 11.4.3.3 求得。

螺旋桨材料系数 K **表 11.4.3.1**

材料	抗拉强度 R_m (N/mm²)	材料密度 G (g/cm³)	材料系数 K
碳钢与合金钢	400	7.9	0.57
铁素体与马氏体不锈钢	500	7.7	1.04
奥氏体不锈钢	450	7.9	1.04
Cu1 锰青铜	440	8.3	1
Cu2 镍锰青铜	440	8.3	1
Cu3 镍铝青铜	590	7.6	1.38
Cu4 锰铝青铜	630	7.5	1.17

注：上表以外的材料，K 值可参照决定。

11.4.3.2 功率系数 Y 按下式计算：

$$Y=\frac{1.36A_1N_e}{Zbn_e}$$

式中：$A_1=\frac{D}{P}(K_1-K_2\frac{D}{P_{0.7}})+K_3\frac{D}{P_{0.7}}-K_4$；

D ——螺旋桨直径，m；

P ——所计算剖面处的螺距，m；

$P_{0.7}$——0.7R 剖面处的螺距，m；

R ——螺旋桨半径，m；

K_1，K_2，K_3，K_4——系数，查表 11.4.3.2；

N_e ——主机的额定功率，kW；

Z ——桨叶叶数；

b ——所计算剖面处的桨叶宽度，m；

n_e ——螺旋桨在主机额定功率时的转速，r/min；

对于桨叶随缘尾翘的机翼型剖面，上式求得之A_1值应增加30%。桨叶随缘尾翘系指桨叶切面的随边有相对叶面螺距基准线(外弦)的位移，如图11.4.3.2所示，0.6R剖面为非尾翘形，0.25R剖面为尾翘形。

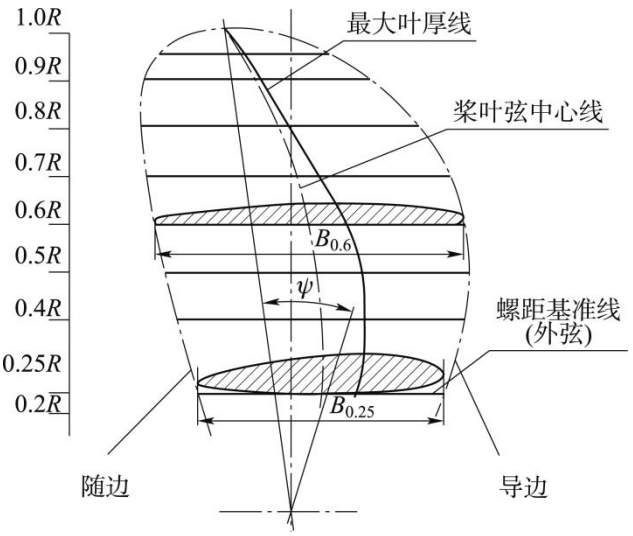


图 11. 4. 3. 2

螺旋桨不同半径处 K 值系数　　表 11.4.3.2

K / r	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
0.25R	634	250	1410	4	82	34	41	380
0.35R	520	285	1320	16	64	28	57	420
0.60R	207	151	635	34	23	12	65	330

11.4.3.3　转速系数 X 按下式计算：

$$X = \frac{A_2 G A_d n_e^2 D^3}{10^{10} Zb}$$

式中：$A_2 = \frac{D}{P}(K_5 + K_6\varepsilon) + K_7\varepsilon + K_8$；

D、P、n_e、Z 和 b 见 11.4.3.2；

ε ——桨叶纵斜角，(°)。对向后纵斜角取正值，对向前纵斜角取负值。桨叶纵斜角在螺旋桨侧视图上，按以下三种情况所取的角度：

— ε_1 和 ε_2 为向后纵斜角：取向后纵斜之大者(如图 11.4.3.3(1)所示，取 $\varepsilon = \varepsilon_1$)；

— ε_1 和 ε_2 为向前纵斜角：取向前纵斜之小者(如图 11.4.3.3(2)所示，取 $\varepsilon = \varepsilon_2$)；

— ε_1 和 ε_2 为中线两侧纵斜角：取向后纵斜(如图 11.4.3.3(3)所示，取 $\varepsilon = \varepsilon_1$)。

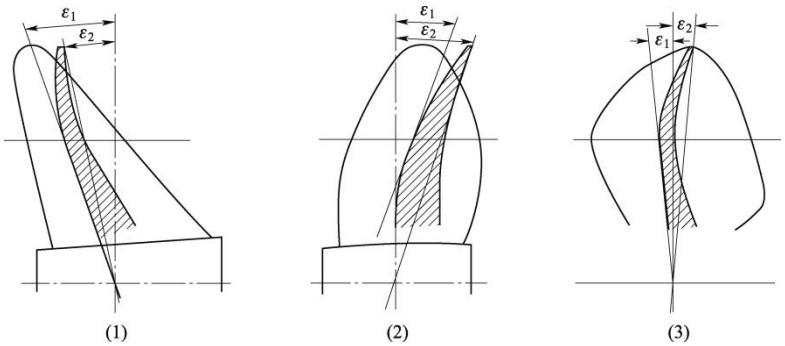
ε_1 为桨叶侧投影 0.6R 处桨叶厚度线后侧线之切线与垂直于桨轴线的中线之间的夹角；

ε_2 为按下式计算的角度：

$$\varepsilon_2 = \tan^{-1}\frac{e}{R}$$

式中：e——纵斜(指桨叶剖面径向参考线的前后倾斜，计算时，取叶梢在桨轴上投影点和参考线与桨轴线交点之间的距离)，m；

R 同 11.4.3.2。



(1)　　(2)　　(3)

图 11.4.3.3　桨叶纵斜角

K_5，K_6，K_7，K_8——系数，查表 11.4.3.2；

G ——桨叶材料密度，g/cm^3；

A_d ——螺旋桨圆盘面积比。

11.4.3.4　可采用其他计算方法来确定螺旋桨桨叶厚度，但应提供试验结果或使用经验的背景材料。

11.4.3.5　根据螺旋桨使用情况，可以要求提供详细的伴流数据或增大叶片厚度。

11.4.4　螺旋桨与螺桨轴的安装

11.4.4.1　如用法兰连接螺旋桨时，则连接螺栓的直径应符合本章 11.3.3.1 和 11.3.3.3 的规定。法兰厚度应符合本章 11.3.2.1(2)的规定。

11.4.4.2　如用键安装时，则螺旋桨桨毂应有精确的锥度，以便与螺旋桨轴的锥端相配

合，桨毂前端配合面长度一般不小于螺旋桨轴的直径。

螺旋桨轴锥端的锥度应不大于 1/10。油压无键安装的螺旋桨，锥度应不大于 1/15。

螺旋桨轴的圆柱体与圆锥体交界处，不应有凸肩或圆角，轴上键槽前端应平滑，且呈汤匙形。其形状和尺寸一般可按图 11.4.4.2。图中 $r_1<r_2<r_3<r_4$，$AB=BC=CD=DF=x$(x 为键槽深度)。r_1、r_2、r_3、r_4 可参考下列数值：

$r_1=x/8$、$r_2=3x/8$、$r_3=3x/4$、$r_4=x$。

r_5 值见表 11.4.4.2。

装配螺旋桨紧固螺母的螺纹轴端，其外径应不小于螺旋桨轴锥体大端直径计算值的 60%。

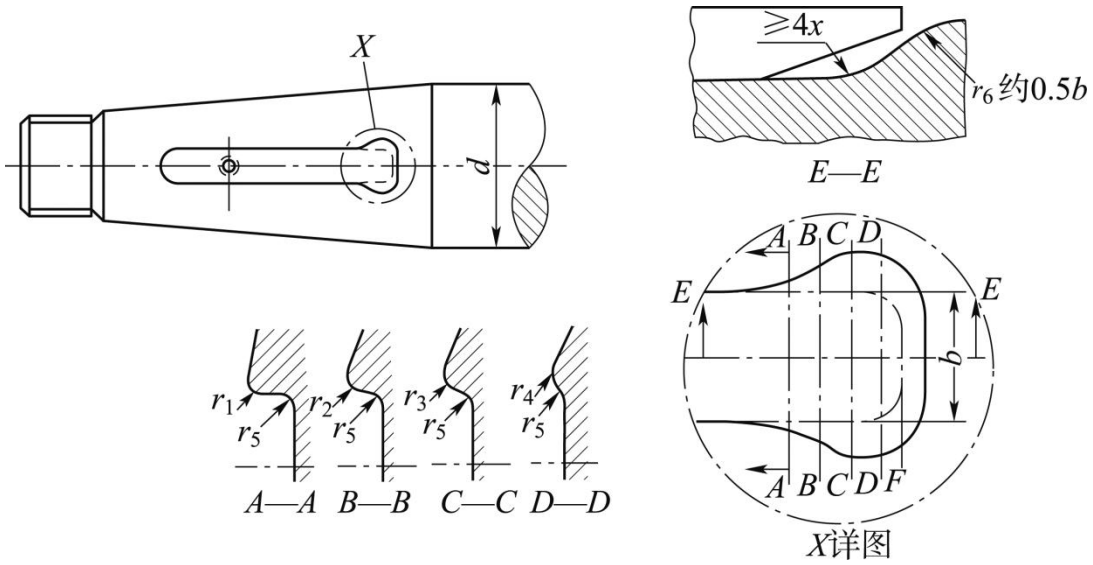


图 11. 4. 4. 2

r_5 值　　表 11.4.4.2

d(mm)	r_5(mm)
$d\leqslant 150$	3
$150<d\leqslant 250$	4
$250<d\leqslant 400$	5
>400	6

轴上键槽前端到轴锥部大端的距离应不小于 0.2 倍锥部大端的直径。

桨毂与键的顶端应有适当的间隙。键的两侧应紧贴在轴及桨毂的键槽内。键槽底部的边缘应磨光滑，圆角半径应不小于锥部大端直径的 1.25%。

键应用螺钉固定在轴上，螺钉孔不应放在距前端键长 1/3 的范围内。螺钉孔的深度应不大于螺钉孔直径，且孔的边缘应打磨光滑。

装配螺旋桨紧固螺母的螺纹轴端，其外径应不小于螺旋桨轴直径计算值的 60%。

11.4.4.3　对于完全用键来传递扭矩时，则键受剪切的有效截面积应符合下式规定，且键材料的抗拉强度应等于或大于轴材料的抗拉强度：

$$BL\geqslant\frac{d^3}{2.35d_m}\qquad \text{mm}^2$$

式中：B ——键的宽度，mm；

L——键的有效长度，mm；

d ——计算的中间轴直径（计算时，中间轴材料的抗拉强度大于 800N/mm^2 时，取 800N/mm^2），mm；

d_m ——在键中部处的轴直径，mm。

11.4.4.4　对用键安装螺旋桨，一般应符合下列要求，且键的尺寸可适当减小：

(1)　在海水温度为 35℃时，防止摩擦滑动的安全系数不小于 1.0；

(2)　在海水温度为 15℃时，桨毂内表面压力不小于 20MPa；

(3)　在海水温度为 0℃时，桨毂内表面主应力不大于其材料最小屈服点的 35%。

11.4.5　螺旋桨油压无键安装

11.4.5.1　用油压无键安装螺旋桨时，则螺旋桨套合到轴上的轴向推入量应满足 11.4.5.2 的要求。

11.4.5.2　在 0℃时，作用在桨毂上的最大等效单轴向应力（Mises-Hencky）应不大于基于试样值而得到的螺旋桨屈服应力的 70%或 0.2%非比例伸长应力。对于铸铁，应不大于名义抗拉强度的 30%。

用油压无键安装螺旋桨时，则螺旋桨套合到轴上的轴向推入量 S 应满足下式要求：

在 35℃时最小表面压力：

$$P_{35}=\frac{S_F T}{AB}\left(-\frac{S_F K}{2}+\sqrt{\mu^2+B\left(\frac{F_v}{T}\right)^2}\right) \qquad \text{N/mm}^2$$

在 35℃时最小推入量：

$$S_{35}=P_{35}\frac{d_1}{K}\left(\frac{1}{E_2}\left(\frac{K_2^2+1}{K_2^2-1}+\mu_2\right)+\frac{1}{E_1}(1-\mu_1)\right) \qquad \text{mm}$$

温度 t(t<35℃)时的最小推入量：

$$S_t=S_{35}+\frac{d_1}{K}(a_2-a_1)(35-t) \qquad \text{mm}$$

温度 t 时相应最小表面压力：

$$P_t=P_{35}\frac{S_t}{S_{35}} \qquad \text{N/mm}^2$$

温度 t 时最小推入负荷：

$$W_t=AP_t\left(\mu+\frac{K}{2}\right) \qquad \text{N}$$

温度 0℃时最大许用表面压力：

$$P_{\max}=\frac{0.7R_{eH}(K_2^2-1)}{\sqrt{3K_2^4+1}} \qquad \text{N/mm}^2$$

温度 0℃时最大推入量：

$$S_{\max}=\frac{P_{\max}}{P_{35}}S_{35} \qquad \text{mm}$$

温度 35°C 时最大推入量：

$$S_{\max}=\frac{P_{\max}}{P_{35}}S_{35}-\frac{35(\alpha_2-\alpha_1)d_1}{K} \qquad \text{mm}$$

式中：$B=\mu^2-\dfrac{S_F^2K^2}{4}$

$T=1762\dfrac{N_e}{V}$　　N

$F_v=\dfrac{2000CM_e}{d_1}$　　N

S_F ——在 35℃时防止滑移的摩擦安全系数。在额定扭矩（根据额定功率和转速计算）加上由扭转而产生的扭矩作用下，其安全系数应不小于 2.8；

T ——额定推力，N；

V ——功率为 N_e 时船速，Kn；

μ ——结合面的摩擦系数。对于用油压方法，桨毂用铜合金和钢制造时，摩擦系数为 0.13；

F_v ——结合面上的切向力，N；

M_e ——对应于 N_e 和 n_e 的额定扭矩，Nm；

C ——常数

C=1　对汽轮机、齿轮传动的柴油机、电力驱动装置以及用液压或电磁或高弹性联轴器直接驱动的柴油机；

C＝1.2　对上述规定以外直接驱动的柴油机。

如套合处有很大的脉动扭矩，C 值相应增加。

K ——螺旋桨轴端锥度，K≤1/15；

N_e ——传递到螺旋桨轴的额定功率，kW；

n_e ——传递 N_e 时的螺旋桨转速，r/min；

A ——螺旋桨毂与螺旋桨轴的 100%理论接触面积，mm²，从图纸上得到，不扣除油槽；

$$K_2 = \frac{d_2}{d_1};$$

d_1 ——轴向方向锥度中点处螺旋桨轴直径，mm；

d_2 ——对应于 d_1 轴向位置处桨毂的平均外径，mm；

μ_1 ——轴材料的泊松比，见表 11.4.5.2；

μ_2 ——螺旋桨材料的泊松比，见表 11.4.5.2；

E_1 ——螺旋桨轴材料弹性模数，见表 11.4.5.2；

E_2 ——螺旋桨材料弹性模数，见表 11.4.5.2；

t ——螺旋桨套合时的温度，℃；

α_1 ——螺旋桨轴材料的线膨胀系数，见表 11.4.5.2；

α_2 ——螺旋桨材料的线膨胀系数，见表 11.4.5.2；

R_{eH} ——螺旋桨材料的屈服点或 0.2%非比例伸长应力，N/mm²。

材料系数　　**表 11.4.5.2**

材料	弹性模量（N/mm²）	泊松比	线膨胀系数（1/℃）
铸钢和锻钢	20.6×10^4	0.29	12×10^{-6}
铸铁	9.8×10^4	0.26	12×10^{-6}
铜合金 Cu1 和 Cu2	10.8×10^4	0.33	17.5×10^{-6}
铜合金 Cu3 和 Cu4	11.8×10^4	0.33	17.5×10^{-6}

11.4.5.3　如在 0℃以下用油压无键安装螺旋桨时，螺旋桨套合到轴上的安装环境温度应不小于按下式计算的值：

$$t_{\min} = \frac{KP_{\max}S_{35} - P_{35}KS_{35} - 35P_{35}d_1\left(\alpha_2 - \alpha_1\right)}{P_{35}d_1\left(\alpha_1 - \alpha_2\right)} \quad ℃$$

11.4.5.4　在套合之前，应对桨毂与轴锥部的实际接触面积进行检查，该接触面积应不小于理论接触面积（100%）的 70%。不接触带不应环绕整个桨毂或延伸到整个桨毂全长。在最后拉入后，应用螺母把螺旋桨固定在螺旋桨轴上。螺母应固定在轴上。

11.4.5.5　在套合之前，应使螺旋桨与轴的温度相等，配合表面应清洁、无油脂。螺旋桨的配合情况应在车间内进行验证。

11.4.5.6　作出与温度有关的安装曲线及相应的负荷资料，应保留在船上。同时应备有必要的拆装专用工具。

11.4.5.7　11.4.5.2 的计算公式适用于正车工况，对于倒车状态也能提供足够的安全性。计算公式适用于实心轴，不适用轴和桨毂间有轴套的螺旋桨。

第 12 章　轴系振动与校中

第 1 节　一般规定

12.1.1　一般要求

12.1.1.1　轴系的布置及轴的结构尺寸除应符合本篇第 11 章的规定外，还应符合本章的规定，且所要求的轴系扭振、纵振、回旋振动及校中获得批准后，整个轴系方可最后获得批准。

12.1.1.2　轴系振动与校中的计算书应提交批准。如认为必要时，其实测报告应提交批准或备查。

12.1.1.3　对新颖或复杂的轴系，如有类似装置的实测报告并符合本章规定时，经详细研究后也可给予批准。

12.1.1.4　如已批准的轴系其后又作更改，如安装高弹性联轴器、轴承尺寸改变、更换机型、更换齿轮箱、更换螺旋桨、增减轴承等等，均需根据不同情况重新进行轴系振动与校中计算，并提交批准。

12.1.1.5　轴系振动与校中计算书，应包括审查核算所需要的详细资料及必要的说明。

12.1.2　振动的转速禁区

12.1.2.1　如轴系振动的振幅或应力或扭矩超过本章规定的持续运转的许用值时，则在这个共振转速 n_c 附近应设“转速禁区”。在此禁区内，机器不应持续运转。

12.1.2.2　应避开的转速范围如下：

$$\frac{16n_c}{18-r} \sim \frac{(18-r)n_c}{16}$$

式中：$r=\dfrac{n_c}{n_e}$，其中 n_e 为额定转速(r/min)。

12.1.2.3　如振幅或应力或扭矩接近瞬时运转许用值时，则转速禁区应适当扩大；反之如稍超过持续运转许用值时，转速禁区可适当缩小。

12.1.2.4　转速禁区也可由实测确定，即可取超过持续运转许用值的转速，并适当计入转速表的误差。

12.1.2.5　因扭振而引起齿轮齿击，或弹性元件的振动扭矩大于持续运转的许用交变扭矩时，也应设转速禁区。

12.1.2.6　如设转速禁区，则转速表在转速禁区附近的读数误差应在±2%以内。

12.1.2.7　所设转速禁区应在转速表上用红色标明，并应在操纵台前设告示牌。

12.1.3　测量

12.1.3.1　柴油机制造厂应在台架上对所设计的或有重大修改的柴油机进行扭振和纵振(如有要求时)测量，并校核其当量参数值。

12.1.3.2　可根据所提供的振动计算方法、振幅或应力或扭矩大小等情况，决定是否需要用实测来验证。如提供类似装置的实测报告并符合本章规定者，则可不必进行实船轴系振动测量。

12.1.3.3　振动测量所采用的仪器型式、测点位置和转速间隔，应能正确反映所测振动的特性。交变扭转应力为最大最小扭转应力幅值，可在重复循环过程中的相关工况下测量。

12.1.3.4　一般当实测与计算的固有振动频率误差小于±5%时，可用实测振幅或应力(扭矩)按计算振型推算系统各处的振幅或应力(扭矩)。

12.1.3.5　扭振测量报告应包括试验转速下各测点的简谐次数、角振幅或应力、固有频率、各轴的扭振应力、各弹性联轴器和齿轮的振动扭矩(如适用时)，并作出应力/扭矩与转速曲线图，且加绘其允许值。

12.1.3.6　测量时，主机从最低稳定转速开始到额定转速为止，转速分档并转速稳定情况下进行测量。在共振转速附近，转速间隔应适当减少。

12.1.3.7　一般在以下情况下进行扭转振动测量：

(1)　在 r＝0.8~1.0 常用转速范围内，扭振计算应力达到其持续运转许用值的 70％或以上时；

(2)　在 r＜0.8 转速范围内，扭振计算应力小于其瞬时运转许用值，但达到该值的 90％或以上时；

(3)　含有非常规部件的某些新颖轴系。

12.1.4　其他

12.1.4.1　如机器底座采用弹性支承时，则轴系应采用弹性联接。

12.1.4.2　与本章有关的计算方法、提交资料等可参照 CCS《船上振动控制指南》有关规定。

12.1.4.3　对于采用主机润滑油循环供油并靠其阻尼工作的扭振减振器或纵振减振器，应安装减振器进油压力指示器和低压报警装置或振幅监测装置。除非有有效的手段识别减振器是否正常工作。

12.1.4.4　扭振许用应力和纵振许用振幅值，也可按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 3《柴油机曲轴强度评定》进行确定。

第 2 节　扭转振动

12.2.1　适用范围

12.2.1.1　本节的规定适用于下列系统：

(1)　主柴油机推进系统，但对仅在港口航行的船舶且主推进柴油机额定功率小于 110kW 者除外；

(2)　重要用途的额定功率等于或大于 110kW 的辅柴油机系统；

(3)　涡轮机推进系统；

(4)　电力推进系统。

12.2.2　扭振计算书

12.2.2.1　扭振计算书应包括：机型、额定功率、额定转速、轴系布置图、轴材料的抗拉强度、系统的扭振当量参数及必要的说明、所要求的各节振动的霍尔茨表以及相应的相对振幅矢量和、主要谐次的振动响应计算及相应的许用值。

12.2.2.2　如装置在使用中存在不同工况时，如带离合器、多机并车、轴带发电机等等，均需按不同工况分别进行扭振计算。

12.2.2.3　如备用的螺旋桨与工作的螺旋桨结构尺寸有较大差别时，则还应对安装备用螺旋桨的系统进行扭振计算。

12.2.2.4　对长期使用的特殊转速要求，如可调桨的运转转速范围，轴带发电机的运转转速范围等，也应加以说明。

12.2.2.5　对可调桨轴系，应对螺距为零和最大时的扭振进行计算。

12.2.2.6　除进行正常工况下的扭振计算外，还应对 1 缸熄火进行扭振计算。

12.2.2.7　一般应计算 $0.8n_{\min}$～$1.2n_e$($n_{\min}$ 为最低稳定转速，r/min)范围内直到 12 次简谐的振动情况。对柴油机推进轴系，当采用能量法计算扭振时，还应计算超过 $1.2n_e$ 的 1 节主简谐产生的非共振情况。

12.2.3　许用应力

12.2.3.1　计算轴系扭振许用应力时，以轴的基本直径为基础，而不计应力集中的影响。即对曲轴以曲柄销直径为准，对中间轴以轴的最小直径为准，对螺旋桨轴以其后轴承到隔舱壁密封填料函之间的最小直径为准。

12.2.3.2　主推进柴油机曲轴的扭振许用应力应不超过按下式计算所得之值：

持续运转(0＜r≤1.0)：

$$[\tau_c] = \pm[(52-0.031\,d)-(33.8-0.02d)\,r^2] \qquad \text{N/mm}^2$$

(1.0＜r≤1.05)：

$$[\tau_c] = \pm[(18.1-0.0113d)+(87.3-0.052d)\sqrt{r-1}\,] \qquad \text{N/mm}^2$$

瞬时运转 (0＜r＜0.8)：

$$[\tau_t] = \pm 2.0[\tau_c] \qquad \text{N/mm}^2$$

12.2.3.2～12.2.3.4 中符号意义如下：

$[\tau_c]$——持续运转扭振许用应力，N/mm^2；

$[\tau_t]$——瞬时运转扭振许用应力，N/mm^2；

d ——轴的基本直径，mm；

$r=\dfrac{n_c}{n_e}$；

n_c ——共振转速，r/min；

n_e ——额定转速，r/min。

12.2.3.3 高周疲劳衡准（通常远大于 10^7），即持续运转的扭转振动应力和反向弯曲应力。并通过安全裕量考虑反向弯曲应力的影响，见本篇第 11 章 11.2.2 的规定。

推力轴、中间轴、螺旋桨轴和尾管轴的扭振许用应力应不超过按下式计算所得之值：

持续运转(0< r＜0.9)：

$$[\tau_c] = \pm C_W C_K C_D\,(3-2\,r^2) \qquad \text{N/mm}^2;$$

(0.9≤r≤1.05)：

$$[\tau_c] = \pm 1.38\,C_W C_K C_D \qquad \text{N/mm}^2;$$

瞬时运转(0< r≤0.8)：

$$[\tau_t] = 1.7[\tau_c]/\sqrt{C_K} \qquad \text{N/mm}^2;$$

式中：C_W ——材料系数：$C_W=(R_m+160)/18$；

R_m ——轴材料的抗拉强度，当中间轴采用碳钢和锰钢时，如 R_m＞600N/mm^2 时，取 600N/mm^2；当中间轴采用合金钢时，如 R_m 大于 800N/mm^2 时，取 800N/mm^2。当中间轴的合金钢材料认可满足扭转疲劳试验①、纯净度②和检测相关要求时，轴材料的抗拉强度取值可大于 800N/mm^2，但应小于 950N/mm^2。对于此类合金钢材料纯净度应满足《材料与焊接规范》第 1 篇第 5 章 5.1.1.1、5.3.2.1、5.3.2.3、5.3.4.5 要求；检测应满足《材料与焊接规范》第 1 篇第 5 章 5.1.6 要求。对螺旋桨轴和尾管轴，如 R_m 大于 600N/mm^2 时，取 600N/mm^2；

C_K ——形状系数，见表 12.2.3.3；

C_D ——尺度系数：$C_D=0.35+0.93\,d^{-0.2}$。作为直径函数的该系数并不只是表示统计数据上的尺度影响，而是将统计影响和缺口敏感度相结合。

① 扭转疲劳试验应满足《锻钢件检验指南》7.4.6 要求。

② 纯净度应满足《锻钢件检验指南》7.4.6 条要求。

形状系数 C_K　　表 12.2.3.3

中 间 轴						推 力 轴		螺旋桨轴和尾管轴		
整体连接法兰	过盈套合联轴器	键槽(圆锥连接)	键槽(圆柱连接)	径向孔	纵向槽	在推力环两侧	在轴向轴承处滚柱轴承用作推力轴承	无键套合或法兰连接的螺旋桨轴	有键螺旋桨轴	适用于11.2.2.3规定的螺旋桨轴长度以前的螺旋桨轴或尾管轴到尾尖舱舱壁部分的直径
1.0①	1.0①	0.6	0.45	0.50	0.30②	0.85	0.85	0.55	0.55	0.8

注：① 对于多圆弧过渡的中间轴，如所用的 C_K 值大于 1，则应提供试验依据或使用经验。

② 形状系数 0.3 为满足表 11.2.2.1 注④中的限制条件情况下的近似值。更精确的形状系数 C_k 值可通过有限元直接计算方法或者按下式计算：

$$C_k = \frac{1.45}{scf}$$

式中：scf ——应力集中因子，指最大局部主应力与 $\sqrt{3}$ 倍名义扭转应力（依据无槽的带孔轴计算）的比值。按下式计算：

$$scf = 2.3 + 0.8 \times \frac{(l-e)/d}{\sqrt{(1-d_0/d)\times e/d}}$$

l ——槽长度，mm；

e ——槽宽度，mm；

d ——轴的基本直径，mm；

d_0 ——轴的实际孔径，mm。

以上公式适用于：

120 度、180 度或 360 度平均分布的槽；

半圆形的槽两端，对于多圆弧过渡设计的槽端能减少局部应力，但影响未计入该经验公式；

无棱边圆角的槽（倒角形式除外），因为任何棱边圆角都将略微增加应力集中因子。

$$\alpha_{t(hole)} = 2.3 - 3\times\frac{e}{d} + 15\times\left(\frac{e}{d}\right)^2 + 10\times\left(\frac{e}{d}\right)^2\times\left(\frac{d_i}{d}\right)^2$$

$\alpha_{t(hole)}$ ——径向孔应力集中因子，或简化为 2.3。

12.2.3.4　发电用柴油机及重要用途的辅柴油机曲轴与传动轴，以及恒速运转的推进柴油机曲轴，其扭振许用应力应不超过按下式计算所得之值：

持续运转 $(0.95 \leqslant r \leqslant 1.05)$：

$$[\tau_c] = \pm(21.59 - 0.0132\,d) \qquad \text{N/mm}^2$$

瞬时运转 $(0 < r < 0.95)$：

$$[\tau_t] = \pm 5.5[\tau_c] \qquad \text{N/mm}^2$$

12.2.3.5　对恒速运转的推进轴系，如提供使用经验的背景材料，轴的扭振许用应力可适当提高。

12.2.3.6　除轴材料为球墨铸铁外，当 12.2.3.2 和 12.2.3.4 中轴材料的抗拉强度大于 430N/mm² 时，则扭振许用应力 τ' 可用下式计算：

$$\tau' = \frac{R_m + 184}{614}\tau \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：R_m——轴材料的抗拉强度，N/mm²；如 R_m > 600N/mm² 时，取 600N/mm²；

τ——按本节 12.2.3.2 和 12.2.3.4 计算的扭振许用应力，N/mm²。

12.2.4　发电机的附加要求

12.2.4.1　在额定工况下，交流发电机转子处的合成振幅应不大于 3.5°(电角)，当通过带整流的变频器可以确保输出稳定的电源给电网正常使用时，电角可不受 3.5° 的限制。

12.2.4.2　施加在发电机转子处的振动惯性扭矩，在 r=0.95～1.10 范围内应不超过±2M_e (M_e为额定转速时的平均扭矩)，在 r<0.95 范围内应不超过±6M_e。如一台主机驱动 2 台或多台发电机时，应分别考虑每台发电机本身的额定扭矩。

12.2.5　齿轮啮合处和弹性联轴器的许用振动扭矩

12.2.5.1　齿轮传动装置中的齿轮啮合处的振动扭矩，在 r=0.9～1.05 范围内一般应不超过全负荷平均扭矩的 1/3。如轮齿齿面接触应力和齿根弯曲应力小于 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 10 章附录 1 规定的许用值时，则可以考虑采用较高的振动扭矩值，但不应产生齿击现象。

12.2.5.2　弹性联轴器的弹性元件，在持续运转时的振动扭矩应不超过其许用交变扭矩值；瞬时运转时应不超过其瞬时运转的许用交变扭矩值。

12.2.5.3　在无负荷的动力输出分支上，齿轮啮合处的振动扭矩一般应不超过全负荷平均扭矩的 20%。

12.2.6　其他

12.2.6.1　在柴油机常用转速范围内或特殊使用转速范围内，不应产生危险的共振转速。

12.2.6.2　在正常工况下，在常用转速(r=0.8～1.0)范围内一般不设转速禁区。

12.2.6.3　在 r=0.8 时，由共振上波坡产生的扭振应力应不超过持续运转许用应力[τ_c]。

12.2.6.4　在 r=0.8～1.05 范围内，由共振和重要的非共振产生的合成应力，应不超过本节规定的扭振许用应力的 1.5 倍。

12.2.6.5　根据制造厂提供的经验数据或详细计算资料，可采用制造厂提供的扭振许用应力(或扭矩)值。

12.2.6.6　曲轴扭振许用应力也可按照国际船级社协会(IACS)统一要求计算，但应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 3 的规定提交计算书。

第 3 节　纵向振动

12.3.1　一般要求

12.3.1.1　对主推进轴系，设计单位和船厂应保证在整个转速范围内没有过大振幅的纵向振动。否则，应根据不同情况设转速禁区或采取必要的减振措施。

12.3.1.2　低速二冲程柴油机直接推进轴系的纵向振动特性，应提交批准。

12.3.2　纵振计算书

12.3.2.1　纵振计算书应包括：机型、额定功率、额定转速、轴系布置图、系统的纵振当量参数及必要的说明，0 节和 1 节振动的霍尔茨表以及相应的相对振幅矢量和、主要简谐的振动响应及相应的许用值。

12.3.3　许用振幅

12.3.3.1　柴油机推进轴系，在 r=0～1.0 范围内，由轴系纵振产生的曲轴自由端持续运转的纵振振幅应不超过按下式计算所得的值：

$$[A_{a1}]=\frac{R[\Delta a_0]}{2(\Delta a_k)_{\max}(R+\frac{d_j}{2})} \qquad \text{mm}$$

式中：[A_{a1}]——曲轴自由端持续运转许用纵振振幅，mm；

$(\Delta a_k)_{\max}$ ——所计算纵振振型曲轴中相对振幅差的最大值，mm；

d_j ——曲轴主轴颈直径，mm；

[Δa_0]——允许的曲轴臂距差的最大值，mm；

R——曲拐回转半径，mm。

12.3.3.2　瞬时运转的许用纵振振幅，一般可为持续运转许用值的 1.5 倍。

12.3.3.3　如超过持续运转的许用值，则应设转速禁区。一般在 r=0.85 时由共振或上波坡产生的纵振振幅应不超过持续运转许用值，在 r=1.0 时由共振或下波坡产生的纵振振幅也应不超过持续运转许用值。

12.3.3.4　根据制造厂提供的经验数据或详细的计算资料，可采用制造厂提供的许用纵振振幅。

第 4 节　回旋振动

12.4.1　一般要求

12.4.1.1　对主推进轴系，设计单位和船厂应保证在常用转速范围内没有过大振幅的回旋振动，否则应根据不同情况设转速禁区或采取必要的调频措施等。

12.4.1.2　对具有人字架、万向轴的推进轴系的回旋振动特性，应提交批准。

12.4.2　回旋振动计算书

12.4.2.1　回旋振动计算书应包括：机型、额定功率、额定转速、速比(如适用时)、轴系布置图、轴承位置及长度、轴承材料、螺旋桨的质量和惯量、1 次和叶片次正逆回旋振动共振转速。

12.4.2.2　回旋振动计算时，应计入轴承的刚度，并应考虑各轴承的负荷分配情况。

12.4.3　应避开的转速范围

12.4.3.1　对具有人字架的轴系、万向轴的轴系，叶片次正回旋共振转速不应在 r=0.85～1.0 范围内出现，1 次正回旋共振转速应大于额定转速 20％以上。

第 5 节　轴系校中

12.5.1　一般要求

12.5.1.1　主推进轴系的校中应满足本节的要求。如采用环保润滑油的轴系，轴系校中还应满足 CCS《美国环保署环保润滑油要求实施检验指南》第 4 章的要求。

12.5.1.2　主推进轴系的校中和轴承的布置，应使轴系具有合理的轴弯曲力矩和轴承反力，并使由于船体变形或轴承磨损而对轴系校中产生的影响减到最小。

12.5.1.3　大型船舶轴系校中，应考虑船舶压载与满载时船体变形的影响。

12.5.1.4　下列主推进轴系的轴系校中计算书包括其校中说明，应提交批准：

(1)　尾管后轴承处螺旋桨轴的实际直径(以下简称螺旋桨轴直径)等于或大于 250mm 的轴系；

(2)　没有尾管前轴承的、螺旋桨轴直径等于或大于 200mm 的轴系；

(3)　大齿轮由 2 个或 2 个以上小齿轮传动的具有减速齿轮的轴系；

(4)　确定采用尾管轴承斜镗孔或轴承倾斜的轴系；

(5)　轴带发电机或电动机、并作为低速推进轴一部分的轴系。

12.5.1.5　轴系校中说明，应正确体现轴系冷态校中的计算结果，且至少应包括本节 12.5.4 和 12.5.5 的内容。

12.5.1.6　螺旋桨轴直径小于 250mm 的主推进轴系，可不提交轴系校中计算书，但在本篇第 11 章 11.1.4.1(4)要求的轴系强度计算书中，还应包括轴承间距的选取等，相关内容可参考 CCS《船上振动控制指南》第 9 章轴系校中的有关要求。同时，在船厂提交的轴系校中工艺文件中，还应包括校中说明的内容。

12.5.2　轴系校中计算

12.5.2.1　轴系校中计算结果应满足 12.5.3 的要求。

12.5.2.2　对柴油机直接推进轴系，轴系校中计算一般应计算到柴油机自由端第 1 个主轴承。对齿轮传动轴系，轴系校中计算应计算到大齿轮的前端。

12.5.2.3　轴系校中计算时，应计入柴油机或齿轮箱运转后轴承受热(如 55℃)膨胀的影响，并尽可能计入中间轴轴承下方双层底舱加热(如 45℃)膨胀的影响。

12.5.2.4　轴系校中计算时，应计入实际可能的不同安装环境温度(如分别以 0℃、10℃、20℃进行计算)的影响。

12.5.2.5　轴系校中计算书应包括：机型、额定功率、额定转速、轴系布置图、各集中载荷及其作用位置、轴承的位置及长度、柴油机输出法兰处的允许弯矩和剪力、各轴承的许用负荷、轴承间隙、螺旋桨轴与尾管后轴承的相对倾角、齿轮箱有关资料和大齿轮前后轴承的允许负荷差。

12.5.2.6　应提供冷态和热态情况下轴系合理校中时的轴承变位值、轴截面的弯矩或弯曲应力、剪力、相对倾角、轴承负荷，以及轴承负荷影响系数。对于螺旋桨轴直径等于或大于 500mm，或采用多斜率尾管后轴承设计的轴系，还应提供额定转速下至少零舵角时，考虑螺旋桨水动力的轴承变位值、相对倾角，以及轴承负荷，计算结果应满足 12.5.3.2 和 12.5.3.7 的要求。

12.5.2.7　应提供轴承负荷测量程序，包括实测轴承、顶举位置、被测轴承的负荷顶举系数。

12.5.2.8　应提供轴系安装(轴法兰未连接)时各对法兰的偏移和开口值。

12.5.2.9　如尾管轴承斜镗孔或轴承倾斜时，应包括斜镗孔或倾斜的细节与详细描述。

12.5.3　轴系校中要求

12.5.3.1　在静态下，所有轴承应为正负荷，即不应出现轴承脱空现象。轴承负荷一般应不小于相邻两跨距间所有重量总和的 20％。

12.5.3.2　轴承负荷一般应不超过下列规定值或制造厂的规定值：

尾管后轴承：本篇 11.2.5.1 的规定值；

尾管前轴承：0.8N/mm^2；

非金属材料尾管轴承：0.3N/mm^2；

中间轴轴承：0.8N/mm^2；

齿轮轴轴承：1 N/mm^2；

柴油机主轴承：柴油机厂的规定值。

12.5.3.3　各轴的附加弯曲应力，一般应不超过下列值：

螺旋桨轴和尾管轴：20N/mm^2；

中间轴：20N/mm^2；

推力轴：15N/mm^2；

大齿轮轴：10N/mm^2 或齿轮箱厂的规定值。

12.5.3.4　施加到柴油机输出法兰处的弯矩和剪力，应不超过柴油机制造厂的规定值(如有要求时)。主机主轴承最小负荷，一般应不小于主轴承许用负荷的10％；也可以接受柴油机厂规定的最低值，但应在轴系校中计算书中体现。

12.5.3.5　齿轮箱大齿轮前后轴承负荷之差，应满足制造厂的有关规定。一般应不超过两轴承之间轴段与大齿轮重量之和的20%。

但如提供轴系运转状态校中计算结果，并确认轴承结构是按运转状态合力作用角确定时，则前后轴承负荷之差可不受20%的限制，但应满足本篇第10章附录1的有关要求。

12.5.3.6　在尾管后轴承支点处，螺旋桨轴与尾管后轴承的相对倾角，在静态下应不超过 3.0×10^{-4} rad。

12.5.3.7　对于螺旋桨轴直径等于或大于 500mm，或采用多斜率尾管后轴承设计的轴系，在尾管后轴承支点处，螺旋桨轴与尾管后轴承的相对倾角，在静态和考虑螺旋桨水动力的运转状态下应不超过 3.0×10^{-4} rad，也可接受公认的模型技术进行替代，例如多点支撑轴承模型或轴承油膜和转轴相互作用的流体结构三维有限元模型，适当的假设以及经验证的建模方法应在提交的报告中予以说明。在各分析工况下计算油膜厚度应不低于油膜建立的最小值，该衡准可替代后轴承相对倾角衡准。

12.5.4　轴系校中条件

12.5.4.1　船舶上层建筑、主机、锅炉、发电机以及其他重大设备均已吊装就位。校中

安装及检验过程中，船上应无重大设备的迁移及压载的变更。

12.5.4.2　轴系区域船体的加工及装焊工程应结束。

12.5.4.3　船舶结构的温度应稳定并尽可能均匀。

12.5.4.4　尾管装置已安装完毕。

12.5.4.5　在船舶处于漂浮状态时，考虑采取防止螺旋桨轴移动或转动的措施。

12.5.4.6　在船舶处于正常的漂浮状态时，螺旋桨浸水状态应尽量与计算书相近。

12.5.5　轴系校中步骤

12.5.5.1　满足 12.5.4 条件后，可按批准的轴系校中计算或校中工艺文件(分别按 12.5.1.4 或 12.5.1.6)进行轴系校中。

12.5.5.2　轴系安装时，如与计算条件不符而且可能影响校中结果时，例如安装时的环境温度、螺旋桨浸没情况、船舶状态、柴油机主轴承负荷调整等，则应将校中计算书包括其校中说明重新提交批准，除非在计算书中已包含上述内容的影响。

12.5.5.3　船厂应充分考虑镗排挠度对尾轴管加工精度的影响。尾轴管精加工后，应测量尾管镗孔尺寸，确认尾管本体中心线偏差情况。尾轴承外圆加工时应考虑上述偏差情况，视情况对尾管中心线的偏差量做加工补偿。

12.5.5.4　尾轴承压装完成后，应测量尾轴承处斜度。对于整体尾管，浇注安装完成后，也应测量尾轴承处斜度。

12.5.5.5　在轴系法兰没有连接情况下，如尾管前轴承出现脱空状态，则螺旋桨轴前法兰处向下施加的力，应符合计算书的要求。

12.5.5.6　如设有临时支承，则其轴向距离应符合计算书的要求。

12.5.5.7　轴系校中时，应以螺旋桨轴前法兰为基准，自尾向首调节各轴承或临时支承及柴油机(或齿轮箱)位置，调整未连接的各对法兰的偏移和开口，并符合相应要求。

12.5.5.8　对直线校中的轴系，各对法兰的偏移和开口的误差，应满足 12.5.6.1 的要求，并做出记录。

12.5.5.9　对合理校中的轴系，各对法兰的偏移和开口应符合轴系校中计算书的要求，其误差应满足 12.5.6.1 的要求。法兰连接后，应在漂浮状态下，至少对尾管前轴承（如有）、中间轴承、主机最后三道轴承（直接传动推进系统）、大齿轮轴轴承（如有）进行负荷验证，其误差应满足 12.5.6.2 的要求，并做出记录。

12.5.5.10　在完成轴系校中调整的同时，应检查齿轮的啮合情况或测量柴油机曲轴臂距差，其结果应满足 12.5.6.3 或 12.5.6.4 的要求，并做出记录。

12.5.5.11　轴系校中完工后，应按相应技术要求配置各法兰联接螺栓、配置柴油机(或齿轮箱)垫片或浇铸环氧树脂、配置机座底脚联接螺栓，然后加以连接和紧固。

12.5.6　轴系校中检验

12.5.6.1　检查各对法兰偏移和开口，其误差一般应不超过±0.08mm。

12.5.6.2　对采用轴系校中计算的轴系，一般可采用负荷顶举试验测量冷态的轴承实际负荷。顶举位置应与计算书相同。实测负荷与计算值的误差，一般应不超过计算值的±20%。如超过，则可按实测结果进行轴系校中计算，如仍满足 12.5.3 的其他要求时，则仍可以接受。但主机主轴承至少为正负荷。

12.5.6.3　对齿轮传动轴系，应检查轮齿的啮合情况，并符合齿轮箱制造厂的有关规定。

12.5.6.4　对柴油机直接传动轴系，应检查柴油机曲轴臂距差，并符合柴油机厂的有关规定。

第 13 章　操舵装置与锚机装置

操舵装置与锚机装置应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 13 章的规定。

中　国　船　级　社

国内航行海船建造规范

2026

第 4 篇　电气装置

目 录

第 4 篇　电气装置

第 1 章　通则 4-1

第 1 节　一般规定 4-1

第 2 节　工作条件 4-5

第 3 节　设计、制造与安装 4-6

第 2 章　船上电气装置 4-13

第 1 节　主电源 4-13

第 2 节　应急电源 4-15

第 3 节　外来电源 4-19

第 4 节　供电与配电 4-20

第 5 节　系统保护 4-22

第 6 节　辅助机械 4-26

第 7 节　照明与航行灯 4-28

第 8 节　船内通信系统 4-30

第 9 节　船舶与乘员安全系统 4-31

第 10 节　电热器具 4-35

第 11 节　蓄电池组 4-35

第 12 节　电缆 4-37

第 13 节　避雷 4-48

第 14 节　交流高压电气装置特殊要求 4-49

第 15 节　电力推进装置附加要求 4-53

第 16 节　油船附加要求 4-53

第 17 节　载运油箱中有自用燃料车辆船舶附加要求 4-56

第 18 节　载运危险货物船舶附加要求 4-56

第 1 章　通　　则

第 1 节　一般规定

1.1.1　一般要求

1.1.1.1　本篇规定适用于国内航行的海船的电气装置。除本篇另有规定外，远海航区航行海船的电源配备和布置等要求应符合 CCS《钢质海船入级规范》（以下简称《钢质海船入级规范》）第 4 篇的规定。

1.1.1.2　对电力推进装置、为推进装置服务的配套设备和对船舶安全必不可少的辅助电气设备的制造和试验，应符合本篇的相关规定和《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章的规定。

1.1.1.3　电气装置还应符合本规范第 1 篇的适用要求。

1.1.1.4　电气装置应能：

（1）确保为保持船舶处于正常操作状态和满足正常居住条件所必需的所有电力辅助设备供电，而不需求助于应急电源；

（2）确保在各种紧急状态下，向安全所必需的电气设备供电；

（3）确保旅客、船员及船舶的安全，免受电气事故的危害。

1.1.2　定义

1.1.2.1　本篇的定义如下：

（1）**重要设备**：系指推进、操舵和船舶安全所必需的设备。包括：

① **主重要设备**：系指为保持推进和操舵需连续运转的设备。例如：

（a）操舵装置；

（b）调距桨装置；

（c）为主、辅柴油机服务的鼓风机、燃油供给泵、喷油嘴冷却泵、滑油泵和冷却水泵，以及推进用涡轮机所必需的相应设备；

（d）为向主重要设备供汽的辅锅炉服务的和在蒸汽轮机船上为蒸汽装置服务的强力鼓风机、给水泵、循环水泵、真空泵、冷凝水泵以及油燃烧装置；

（e）单独作推进/操舵用的方位推进器连同其滑油泵和冷却水泵；

（f）用于电力推进装置的电气设备连同其滑油泵和冷却水泵；

（g）向上述（a）至（f）设备供电的发电机及有关电源；

（h）向上述（a）至（f）设备提供动力的液压泵；

（i）重油粘度控制设备；

（j）消防泵和其他灭火剂泵；

（k）航行灯、航行设备和其他信号设备；

（l）船内安全通信设备；

（m）照明系统；

（n）以上（a）至（m）所列设备的控制、监视和安全设备/系统。

② **次重要设备**：系指为保持推进和操舵不必连续运转的设备，以及为保持船舶安全必需的设备。例如：

（a）锚机；

（b）燃油输送泵和燃油处理设备；

（c）滑油输送泵和滑油处理设备；

（d）重油预热设备；

（e）起动空气和控制空气压缩机；

（f）舱底、压载和平衡泵；

（g）机舱和炉舱通风机；

（h）保持危险区域处于安全状态必需的设备；
（i）探火与失火报警系统；
（j）水密关闭设备；
（k）为降低环境空气温度的制冷设备（见本章 1.2.1.2）；
（l）向上述（a）至（k）设备供电的发电机和有关电源；
（m）向上述（a）至（k）设备提供动力的液压泵；
（n）货物围护系统的控制、监视和安全系统；
（o）上述（a）至（m）设备的控制、监视和安全设备/系统。

③ 船舶上作业所需的特殊设备可作为重要设备。

（2）**非重要设备**：系指短时间不运转不会对船舶推进和操舵有损害，也不会危及乘客、船员、货物、船舶以及机械安全的设备。

（3）**应急设备**：系指在主电源失电后，须由应急电源供电的设备。

（4）**主电源**：系指向主配电板供电，并通过主配电板对为保持船舶处于正常操作和居住条件所必需的所有设备配电的电源。

（5）**应急电源**：系指在主电源供电发生故障的情况下，用来向应急配电板供电的电源。

（6）**瘫船状态**：系指主推进装置、锅炉和辅机已停止运行，且在恢复推进的过程中，假定无储存的能源起动和运行推进装置、主发电机和其他重要辅机的状态。

（7）**一次配电系统**：系指与发电机有直接电气连接的系统。

（8）**二次配电系统**：系指与发电机无直接电气连接的系统，例如用双绕组变压器加以隔离的系统。

（9）**低压系统**：系指工作于额定频率为 50Hz 或 60Hz、导体间最高电压不超过 1000V 的交流系统，或在额定工作条件下导体间最高瞬时电压不超过 1500V 的直流系统。

（10）**高压系统**：系指额定电压大于 1kV 但不超过 15kV，额定频率为 50Hz 或 60Hz 的交流系统，或在额定工作条件下最高瞬时电压超过 1500V 的直流系统。

（11）**开关设备和控制设备组件**：系指一个或多个开关电器，连同控制、测量、信号、保护和调节设备等的组合，由制造厂负责加上所有电气和机械的内部连接件和结构件组装完成的组件。

（12）**主配电板**：系指由主电源直接供电、并分配和控制电能至船上各种设备的开关设备和控制设备组件。

（13）**应急配电板**：系指正常情况下由主配电板供电，而在主电源供电系统发生故障的情况下，由应急电源或临时应急电源直接供电，并分配和控制电能至各种应急设备的开关设备和控制设备组件。

（14）**分配电板**：系指用于控制和分配电能至最后分路的开关设备和控制设备组件。

（15）**最后分路**：系指位于配电系统最后一个过电流保护电器之后的部分。

（16）**完全选择性保护**：系指在有 2 个或 2 个以上过电流保护电器串联的电路中，当发生过电流故障时，只是最接近故障点的保护电器起保护作用，而不会导致其他保护电器动作的过电流选择性保护。

（17）**部分选择性保护**：系指在有 2 个或 2 个以上过电流保护电器串联的电路中，当发生过电流故障时，只是在一定的短路电流范围内，才能做到最接近故障点的保护电器起保护作用，而不会导致其他保护电器动作的过电流选择性保护。

（18）**后备保护**：系指由于最接近故障点的保护电器有故障或缺乏能力，或者其它保护电器有故障，以致它们的动作不能及时清除系统故障的情况下起作用的保护设备或系统。

（19）**供电连续性**：系指在某电路发生故障期间以及故障之后，非故障电路的供电能始终得以保证。

（20）**危险区域**：系指通常可能聚集易燃或易爆蒸气、气体、粉尘或爆炸物的区域。

（21）**围蔽处所**：系指由舱壁和甲板所围蔽的处所，可以有可关闭的门、窗或其他开口。

（22）**半围蔽处所**：系指由于具有诸如顶板、风障和舱壁等结构，以致其自然通风条件与在开敞甲板上的处所有显著差异，且其布置又使气体不易扩散的处所。

（23）**船舶失电**：系指主、辅助机械，包括主电源不能工作，但起动他们的设备（如压缩空气、起动蓄电池等）仍然可用的状态。

（24）**蓄电池的贮存寿命**：系指蓄电池在规定条件下的贮存期间，在此期间的最后仍能

保持其规定的性能。

（25）**气闸**：气闸应设有两扇间距不小于 1.5m，但也不必大于 2.5m 的气密门；气密门应为自闭式，且没有任何门背钩装置。

（26）**纹波电压**：纹波电压的幅值为图 1.1.2.1（26）中所示的 U_{max} 与 U_{min} 之差值。

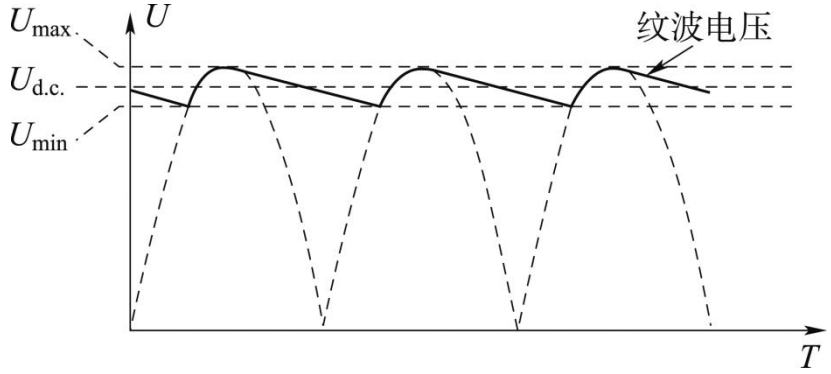


图 1.1.2.1（26）　纹波电压示意图

（27）**不间断电源（UPS）**[①]：变流器、开关和储能装置（如蓄电池）组合构成的，在交流输入电源故障时，用以维持负载供电连续性的电源设备。

（28）**0区**：爆炸性气体环境连续出现或长时间存在的区域。

（29）**1区**：在正常运行时，可能出现爆炸性气体环境的区域。

（30）**2区**：在正常运行时，不可能出现爆炸性气体环境的区域，即使出现，也是偶尔发生并且仅是短时间存在的区域。

1.1.3　图纸资料

1.1.3.1　应将下列图纸资料提交批准：

（1）主电源和应急电源电力负荷估算书；

（2）短路电流计算书（适用于存在发电机总容量（包括单台运行、长期并联运行和短时并联转移负荷）大于 250kVA 的工况的船舶）；

（3）提供表明符合本篇 2.5.1.1 和 2.5.4.1 要求的保护电器协调动作的分析（适用于存在发电机总容量（包括单台运行、长期并联运行和短时并联转移负荷）大于 250kVA 的工况的船舶，非机动船可不必提交）；

（4）电力系统图，图中应标明：

①　电机、变压器、蓄电池组和电力电子设备的主要额定参数；

②　主配电板和应急配电板引出的所有馈电线；

③　区配电板（如设有时）和分配电板；

④　电缆的型号、截面积和负载电流；

⑤　保护电器（例如短路、过载、逆功率和卸载保护等）的额定值和整定值；

⑥　遥控切断；

⑦　绝缘监测和报警；

⑧　联锁。

（5）主要电力设备布置图，应标明下列设备的安装位置：

①　主发电机和应急发电机；

②　主配电板和应急配电板（或应急蓄电池充放电板）；

③　应急蓄电池组；

④　重要电气设备（见本章 1.1.2.1）。

（6）主照明系统图；

（7）主照明布置图；

（8）应急照明、临时应急照明（如设有时）、附加应急照明（如设有时）系统图；

（9）应急照明、临时应急照明（如设有时）、附加应急照明（如设有时）布置图；

（10）低位照明（如设有时）系统图（如由应急电源供电时）；

[①] 参见 IEC62040-3 出版物《不间断电源系统（UPS）第 3 部分：确定性能和试验要求的方法》。

（11）船内通信系统图，包括：

① 主机传令钟系统；

② 重要电话系统；

③ 救生用通信系统；

④ 轮机员报警系统。

（12）船内通信系统布置图，包括：

① 主机传令钟系统；

② 重要电话系统；

③ 救生用通信系统；

④ 轮机员报警系统。

（13）船舶和乘员安全系统图，包括：

① 通用紧急报警系统；

② 公共广播系统；

③ 探火和失火报警系统；

④ 水密门关闭报警系统；

⑤ 灭火剂施放前报警等其他报警系统（见本篇第 2 章第 9 节）。

（14）船舶和乘员安全系统布置图，包括：

① 通用紧急报警系统；

② 公共广播系统；

③ 探火和失火报警系统

④ 水密门关闭报警系统；

⑤ 灭火剂施放前报警等其他报警系统（见本篇第 2 章第 9 节）。

（15）主干电缆走向图（适用于客船和高压电气装置）；

（16）危险区域划分图（适用于油船等载运有爆炸危险货物的船舶）；

（17）电力推进系统单线图，图中应标明：

① 电机、变压器、蓄电池和电力电子设备的主要额定参数；

② 电缆型号、截面积和负载电流；

③ 断路器和熔断器的型号和主要额定参数；

④ 接地故障监视。

（18）电力推进控制位置和控制站布置图；

（19）电力推进监测和报警项目表；

（20）电力推进系统半导体变换器的布置，包括冷却系统的布置；

（21）电力推进船舶电力系统各主要节点（包括主配电板、分配电板等）的谐波畸变计算；

（22）危险区域电气设备布置图，应包括危险区域内所有电气设备和下述信息：

① 防爆类型、防爆类别和温度组别；

② 防护等级；

③ 安装区域的危险类别。

（23）本质安全电路的校核资料[①]，包括对电压、电流、电容和电感的校核。

1.1.3.2 认为必要时，可要求提交全船电气说明书备查以及增加送审图纸和资料的范围。

1.1.4 试验

1.1.4.1 本节 1.1.1.2 及 1.1.2.1（1）所指各电气设备，均应按《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章的规定在制造厂进行试验。如认为必要，可要求进行本篇规定以外的其他试验。

1.1.4.2 当电气装置在船上安装完工后，应按审查同意的试验大纲进行系泊试验和航行试验。

---

① 本质安全电路的安装应使电路内设备（包括电缆）的电容和电感不超过关联设备标示值，每个本质安全设备允许的输入电压和输入电流应大于或等于各自关联设备的标示值。参见 IEC 60079-14 出版物《爆炸性气体环境--第 14 部分：电气设施设计、选择和安装》或与其等效的标准。

第 2 节　工作条件

1.2.1　环境条件

1.2.1.1　除非另有规定（例如本节 1.2.1.2），所有电气设备均应在下列环境条件下正常工作：

（1）环境空气温度和初级冷却水温度如表 1.2.1.1（1）所列，但适用于电子设备的环境空气温度的上限为 55℃；

环 境 温 度　　**表 1.2.1.1（1）**

介　质	部　位	温　度　（℃）	
		包括热带海区在内的航区	除热带海区以外的航区
空气	围蔽处所内	0～45	0～40
	温度超过 45℃（或 40℃）或低于 0℃的处所内	按这些处所的温度	按这些处所的温度
	开敞甲板	−25～45	−25～40
水		32	25

（2）倾斜摇摆如表 1.2.1.1（2）所列；

倾 斜 角　　**表 1.2.1.1（2）**

设备组件	倾斜角（°）①②			
	横向		纵向	
	横倾	横摇	纵倾	纵摇
应急电气设备、开关设备、电器及电子设备	22.5	22.5	10	10
上列以外的设备、组件	15	22.5	5	7.5

注：① 可能同时发生横向和纵向倾斜；

② 装运液化气体和化学品的船舶，其应急电源还应在船舶进水以致于最终横倾达 30°的极限状态下能保持供电。

（3）船舶正常营运中所产生的振动和冲击；

（4）潮湿空气、盐雾、油雾和霉菌。

1.2.1.2　当电气设备安装在环境空气温度受到控制的处所时，适用于电气设备的最高环境空气温度可以由 45℃降低至不低于 35℃，其条件是：

（1）该设备是非应急设备；

（2）至少有 2 套制冷单元进行温度控制，在其中 1 套制冷单元失效时，其余单元能满意地保持其设计温度；

（3）该设备开始时应能在环境空气温度 45℃条件下处于安全工作状态，直至达到较低环境空气温度时为止。冷却设备的环境空气温度应为 45℃；

（4）在连续有人的控制站内设有听觉和视觉报警，以指示制冷单元的任何故障；

（5）有关电缆的载流量，应以其整个长度上所遭遇到的最高环境空气温度为准确定。

1.2.2　电压和频率波动

1.2.2.1　从主或应急电力系统供电的电气设备应能在正常的电压和频率波动情况下可靠工作。

1.2.2.2　除非国家标准或国际标准中另有说明，电气设备应能在表 1.2.2.2 规定的电压和

频率偏离额定值的波动情况下可靠工作：

电压和频率波动 **表 1.2.2.2**

设备	参数	稳态（%）	瞬态	
			%	恢复时间（s）
一般交流设备	电压	+6 ～ −10	±20	1.5
	频率	±5	±10	5
由直流发电机供电或经整流器供电的设备	电压	±10	—	—
	电压周期性波动	5	—	—
	纹波电压	10	—	—
由蓄电池供电的设备： 充电期间接于蓄电池者① 充电期间不接于蓄电池者	 电压 电压	 +30 ～ −25 +20 ～ −25	—	—

注：① 应对由充/放电特性决定的不同的电压波动予以考虑，包括充电设备的纹波电压。

1.2.2.3 在表 1.2.2.2 规定的限值内不能正常工作的任何特殊系统，例如电子电路，不应直接从系统供电，应采用其他方式，例如通过稳压装置。

1.2.3 谐波成分

1.2.3.1 交流电气设备应能在供电电源的谐波成分不大于 8%的情况下正常工作。当电源的谐波成分可能大于 8%时，应注意设备的选择，保证其正常工作。

第 3 节 设计、制造与安装

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 电气设备的设计、制造与安装应考虑安全和便于检修。

1.3.1.2 电气设备不同电位的带电部件之间和带电部件与接地金属之间，按其绝缘材料的性质和工作条件，应具有适应其工作电压的足够的电气间隙和爬电距离。

1.3.1.3 除整步开关外，电气设备经开关断开电源后，不应经控制电路或指示灯继续保留电压。

1.3.1.4 电气设备连接和紧固用的螺栓和螺母，均应有防止其受振动而松脱的措施。

1.3.1.5 制造电气设备所用的材料，应符合下列要求：

（1）一般应用耐久、滞燃和耐潮的材料制成，除非对可能遭受到的大气环境和温度作了适当的防护；

（2）绝缘材料和绝缘绕组均应能耐潮、耐海上空气和耐油雾，除非针对这些因素采取了专门的防护措施；

（3）导电部分一般应用铜或铜合金制造；

（4）金属部分除其材料本身有较好的耐腐蚀性能外，均应有可靠的防护层；

（5）禁止新装设备使用石棉。

1.3.1.6 当非铝质电气附件与铝质件相连接时，应采取适当的防止电解腐蚀的措施。

1.3.1.7 凡具有内部接线的电气设备，均应附上带有接线编号的原理电路图或接线图。电气设备的接线端头，应具有与图纸相符的耐久标志或符号。

1.3.1.8 应急报警装置的控制器，应涂上红色和设有标明其用途的耐久铭牌。

1.3.1.9 调节电阻、启动电阻、充电电阻、电热器具以及其他在工作时能产生高温的电气设备，在安装时应有防止导致附近物体过热和起火的措施。

1.3.1.10 电气设备不应贴近油舱、油柜或双层底储油舱等外壁表面安装。如必需安装

时，则电气设备与此类舱壁表面之间，至少应有 50mm 的距离，但本节 1.3.1.9 中所规定的电气设备，严禁在上述油舱、油柜外壁表面安装。

1.3.1.11　应将发电机组安装成使其转轴与船舶首尾线平行。对卧式电动机，也应尽量使其转轴与船舶首尾线平行安装。

1.3.1.12　除安装在专用舱室内的电气设备外，其他电气设备的对地电压或工作电压超过 50V 的带电部分，均应有防止偶然触及的防护措施。

1.3.1.13　当电气设备的外壳温度超过 80℃时，应加防护措施或在布置上予以安排，以防止工作人员偶然触及而灼伤。

1.3.1.14　在水密的舱壁、甲板、甲板室的外围壁上，不应钻孔以螺栓紧固电气设备及电缆。

1.3.1.15　电气设备及电缆，不应安装在船舶外板上。

1.3.1.16　导线和电气设备应离开磁罗经适当的距离，或者对这些导线和电气设备加以屏蔽，以使其外部干扰磁场能减至最低限度。

1.3.1.17　在《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 9 节 3.9.1.1 规定的场景下使用的 UPS 装置，当其为应急设备供电时，应安装于适当位置。采用阀控密封型蓄电池的 UPS 装置，如果根据 IEC 62040-1，IEC 62040-2，IEC 62040-3，IEC 62040-4 和/或 IEC62040-5-3 出版物（如适用）或其他接受的标准的规定设置了通风，可与普通电气设备置于同一舱室内。

1.3.2　外壳防护

1.3.2.1　电气设备的外壳防护型式，应符合 IEC 60529 出版物《外壳防护型式的分级》或与其等效的标准的规定。

1.3.2.2　电气设备的外壳防护型式的选择，应与安装的场所相适应。其最低防护等级应符合表 1.3.2.2 的要求。

外壳防护等级的最低要求　　表 1.3.2.2

（1）	（2）	（3）	（4）							
			设备							
处所	环境条件	防护等级	配电板，控制设备，电动机起动器	发电机	电动机	变压器半导体变换器	照明设备	电热器具	电炊设备	附具（例如开关，接线盒）
干燥的居住处所	只有触及带电部分的危险	IP20	X	—	X	X	X	X	X	X
干燥的控制室			X	—	X	X	X	X	X	X
控制室	滴水和（或）中等机械损伤危险	IP22	X	—	X	X	X	X	X	X
机炉舱（花钢板以上）			X	X	X	X	X	X	X	IP44
舵机舱			X	X	X	X	X	X	—	IP44
冷藏机室（氨装置室除外）			X	—	X	X	X	X	—	IP44
应急机械室			X	X	X	X	X	X	—	IP44
一般贮藏室			X	—	X	X	X	X	—	X
配膳室			X	—	X	X	X	X	X	IP44
粮食库			X	—	X	X	X	X	—	X
浴室	较大的水和	IP34	—	—	—	—	X	IP44	—	IP55

（1）	（2）	（3）	（4）							
			设备							
机炉舱（花钢板以下）	（或）机械损伤危险		—	—	IP44	—	X	IP44	—	IP55
围蔽的燃油分离室			IP44	—	IP44	—	X	IP44	—	IP55
围蔽的滑油分离室			IP44	—	IP44	—	X	IP44	—	IP55
压载泵舱	较大的水和（或）机械损伤危险	IP44	X	—	X	X	IP34	X	—	IP55
冷藏舱			—	—	X	—	IP34	X	—	IP55
厨房和洗衣间			X	—	X	X	IP34	X	X	X
双层底中的轴隧或管道	喷水危险、货物粉尘存在、严重机械损伤、腐蚀性气体	IP55	X	—	X	X	X	X	—	IP56
干货舱			—	—	—	—	X	—	—	X
露天甲板	大量浸水的危险	IP56	X	—	X	—	IP55	X	—	X

注：① 表中“X”表示按（3）栏要求，如不能满足（3）栏要求时，则按注②要求；表中“—”表示一般不应安装此种设备。

② 设备本身不能达到防护要求时，应采用其他措施，或改善安装场所条件来确保本表要求。

③ 如在有爆炸性粉尘存在的处所中安装电气设备，则应符合本章 1.3.3.7 的规定。

④ 按《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 3 节的规定制造，并按本篇第 2 章第 1 节和第 2 节的规定安装的主配电板和应急配电板，可不按本表规定。

1.3.2.3　若在机舱安装固定式局部水基灭火系统，则电气和电子设备的防护等级应满足《钢质海船入级规范》第4篇第1.3.2.3和1.3.2.4的规定。

1.3.3　防爆

1.3.3.1　如需在可能出现爆炸性气体、蒸气而有爆炸危险的处所安装电气设备，则应为符合下列要求的合格防爆电气设备：

（1）防爆电气设备的制造和试验，应符合接受的有关标准[①]的规定；

（2）应具有认可的防爆主管试验机构核发的防爆合格证。

1.3.3.2　船上通常使用下列几种类型的合格防爆电气设备：

（1）本质安全型 Ex“i”；

（2）隔爆型 Ex“d”；

（3）增安型 Ex“e”；

（4）正压型 Ex“p”；

（5）特别保护型 Ex“s”；

（6）充砂型 Ex“q”；

（7）浇封型 Ex“m”。

1.3.3.3　可在蓄电池室、油灯间和油漆间（包括其通风道）等有爆炸危险处所中安装的电气设备应符合下列要求：

（1）在油漆间（包括其通风管道）仅能安装其作业所必需的电气设备，这些电气设备应为本节 1.3.3.2（1）~（5）所列合格防爆电气设备。其余处所可安装本节 1.3.3.2 所列合格防爆电气设备，且其防爆类别和温度组别应不低于表 1.3.3.3 的规定；

（2）电缆（包括路过电缆和终端电缆）应为铠装型的或敷设在金属管道中；

（3）电气设备的开关、保护电器和电动机控制设备应能分断所有极或相，且最好安装

① 参见 IEC 60079 出版物《爆炸性气体环境中使用的电气设备》或与其等效的标准，例如 GB 3836《爆炸性环境用防爆电气设备》等。

在非危险处所。

此外，对油漆间通风口附近等处所、蓄电池室、油船以及运载油箱中有自用燃料车辆船舶的有关要求，详见本节 1.3.3.4、1.3.3.5、第 2 章第 11 节、第 16 节以及第 17 节的规定。

防爆类别与温度组别 **表 1.3.3.3**

处所	类别[①]	温度组别[①]
蓄电池室	ⅡC[②]	T1
油漆间	ⅡB	T3
油灯间	ⅡA	T3
氨装置室[③]	ⅡA	T1
乙炔储藏室	ⅡC	T2
危险货物舱	按载运危险货物的类别	按载运危险货物的类别
60℃及 60 以下闪点的油管管隧	ⅡA	T3

注：① 本表和本篇以下章节所列防爆电气设备的类别及温度组别，均采用 IEC 60079 出版物《爆炸性气体环境中使用的电气设备》或 GB 3836《爆炸性环境用电气设备》的有关规定。

② 本表和本篇以下章节所列防爆电气设备类别ⅡA、ⅡB、ⅡC 仅适用于隔爆型电气设备及本质安全型电路和电气设备，如采用其他类型防爆电气设备，则应采用II类设备。

③ R717 制冷机室中安装的电气设备应满足《钢质海船入级规范》第 5 篇第 2 章第 5 节的要求。

1.3.3.4　在开敞甲板上距油漆间进气和排气通风口 1m 或距机械通风排气出口 3m 范围内，可安装下列电气设备：

（1）本节 1.3.3.2（1）～（5）所列合格防爆电气设备，而电缆及其安装应符合 1.3.3.3（2）的规定；

（2）无火花型（Ex“n”）防爆电气设备；

（3）工作时不会产生电弧，并且其表面不会达到不允许高温的电气设备；

（4）具有简单的正压外壳或防蒸气外壳（防护等级至少为 IP55），并且其表面不会达到不允许高温的电气设备。

1.3.3.5　与油漆间相通的围蔽处所如符合下列所有要求，则可认为是非危险处所：

（1）通向油漆间的门或油漆间的门应为自闭式气密门（水密门可看作气密门），且无阻挡措施；

（2）油漆间设有合适的、独立的自然通风系统，其风源来自安全区域；

（3）在油漆间入口处应安装警告牌，写明油漆间内有易燃液体存在。

1.3.3.6　除另有明文规定者外，在有爆炸危险的处所中不应安装插座。

1.3.3.7　在有爆炸性粉尘沉积的处所中，如需要安装电气设备，则这些电气设备应符合下列要求：

（1）外壳防护等级至少为 IP55；

（2）在连续工作情况下，其最高表面温度，应至少比 5mm 厚该类粉尘层的引燃温度低 75K。

1.3.4　接地

1.3.4.1　电气设备的带电部件以外的所有可接近的金属部分均应接地。但下列情况除外：

（1）灯头；

（2）安装在非导电材料制成或复盖的灯座或照明设备上的灯罩、反光镜和防护件；

（3）设在非导电材料上的金属部件和拧入或贯穿非导电材料的螺钉，这些金属部件和螺钉并以非导电材料与带电部件和接地的非带电部件相隔离， 因此在正常使用中它们不可能带电和接触接地部件；

（4）具有双重绝缘和/或加强绝缘的可携式设备，但应满足公认的安全要求；

（5）为防止轴电流的绝缘轴承座；

（6）荧光灯管的紧固件；

（7）工作电压不超过 50V 的设备。对交流，此项电压为方均根值，且不应使用自耦变压器取得此项电压；

（8）电缆紧固件。

1.3.4.2　当电气设备直接紧固在船体的金属结构上或紧固在与船体金属结构有可靠电气连接的底座或支架上时，可不另设专用导体接地。

1.3.4.3　不论是专用导体接地或靠设备底座或支架接地，其接触面均应光洁平贴，保证有良好的接触，并应有防止松动和生锈的措施。

1.3.4.4　如采用专用导体接地，则其导体应用铜或导电良好的耐蚀材料制成，必要时应有防止机械损伤及防蚀措施。不同型式的铜接地导体的截面积应不小于表 1.3.4.4 的规定。

1.3.4.5　可移动和可携电气设备的不带电裸露金属部分，应以附设在软电缆或软电线中的连续接地导体，并通过插头和插座接地，其接地导体的截面积应不小于表 1.3.4.4 的规定。

接地导体的截面积　　**表 1.3.4.4**

接地导体的形式	相关的载流导体截面积，S（mm²）	铜接地导体的最小截面积，Q （mm²）
软电缆或软电线中的连续接地导体	$S \leqslant 16$	$Q = S$
	$S > 16$	$Q = S/2$，但不小于 16
固定敷设电缆中的连续接地导体	$S \leqslant 16$	$Q = S$，但不小于 1.5
	$S > 16$	$Q = S/2$，但不小于 16
单独固定的接地导体	$S \leqslant 2.5$	$Q = S$，但不小于 1.5
	$2.5 < S \leqslant 120$	$Q = S/2$，但不小于 4
	$S > 120$	$Q = 70$

1.3.4.6　电缆的金属外护层（编织层或铠装）应于两端作有效接地，但最后分路可只在电源端接地。对于控制和仪表设备的电缆或本质安全电路电缆，由于技术上或安全上的原因，如一端接地较为有利时，则不必两端接地。

1.3.4.7　电缆的金属外护层可采用下列方式之一进行接地：

（1）用金属夹箍夹住，并以专用铜接地导体连接至船体的金属结构上。该接地导体的截面积与电缆导体截面积间的关系应符合 IEC 60092-352 中表 2 的规定或下列规定：

当 $S \leqslant 25mm^2$ 时，$Q \geqslant 1.5mm^2$；

当 $S > 25mm^2$ 时，$Q \geqslant 4mm^2$；

（2）用专用接地填料函接地，这种填料函能保证有效的接地连接；

（3）用电缆紧固件接地，这种电缆紧固件应以耐腐蚀的金属材料制成，并应能使电缆金属外护层与接地金属之间有良好的接触。

1.3.4.8　应保证电缆的金属外护层在其全长上，特别是在连接处和分支处保证电气上的连续性。

1.3.4.9　连续接地导体或单独接地导体与船体结构的各连接点，应位于船上易于到达之处，并应以直径不小于 4mm 的黄铜或其他耐腐蚀材料制成的螺钉紧固，该螺钉应仅作接地之用。

1.3.4.10　如铝上层建筑用加绝缘方式紧固在钢质船体上，以达到防止电解腐蚀目的，则在上层建筑与船之间应设置单独的跨接线，且其连接方式应能防止电解腐蚀，其连接点设在便于检查之处。

1.3.4.11　为防止液体/气体/蒸气流动而产生的静电放电危害，凡用作易燃液体和能挥发出可燃气体和/或产生易燃粉尘固体的货舱（柜）、处理装置和管系应满足下列要求：

（1）上述货舱（柜）、处理装置和管系与船体间的电阻应不超过 1 MΩ。

（2）直接或通过支承件焊接或用螺栓固定安装在船体上的货舱（柜）、处理装置和管系不需要接地搭接片即可满足 1.3.4.11（1）的要求。

（3）与船体非固定连接的货舱（柜）、处理装置和管系，应加专门的接地搭接片，例如：

①　独立液货舱；

②　与船体电气隔离的货舱（柜）、管系；

③　作为可拆短管的管路连接件。

④ 采用不导电材料（例如聚四氟乙烯）垫片或密封件的膜片阀。

（4）接地搭接片应符合下列规定：

① 清晰可见以便于清楚的发现任何缺陷；

② 设计和安装地点应使其免受机械损伤，同时应不受锈蚀物或油漆等高电阻率介质的影响；

③ 易于安装和更换。

（5）接地搭接片应用铜或导电良好的耐腐蚀材料制成，其截面积应不小于 10mm^2。

1.3.5 电磁兼容性

1.3.5.1 应采取适当的措施。以减小由于电磁能量所产生的干扰，从而保证所有电气设备和电子设备在船舶电磁环境中能正常工作。

1.3.5.2 各类电气设备和电子设备所产生的干扰电压（电流）允许值和抑制干扰的措施，参照接受的标准[①]的有关规定。

1.3.6 视觉和听觉信号

1.3.6.1 除本节 1.3.6.2 另有规定外，视觉信号的颜色应符合表 1.3.6.1 的规定。

1.3.6.2 除上述规定之外，视觉和听觉信号应符合接受的规则或标准[②]。

视觉信号的颜色 **表 1.3.6.1**

颜色	含 义	说 明	应 用 举 例
红	危险或报警	危险或需要立即采取行动的警告	重要设备停止运转； 水、油等温度或压力达到临界值； 重要电路失电
黄	注意	状态的改变或即将改变	温度或压力值异常，但未达到临界值
绿	安全（正常运转或正常工作状态）	安全状态指示	机械正常运转； 液体正常循环； 压力、温度和电流等在限定值以内
蓝	指导/信息（根据需要给予特定的含义）	可赋予上述红、黄、绿三色未涉及的特定含义	电动机准备起动； 空载发电机准备合闸； 停转电动机加热电路接通
白	无具体含义	任何含义，可在认为红、黄、绿三色不适用时应用	对地绝缘指示； 同步指示灯； 电话呼叫； 自动控制的设备

1.3.7 含有谐波滤波器的电力系统的谐波畸变[③]

1.3.7.1 船舶电力系统在主汇流排上安装谐波滤波器时应满足 1.3.7.2 至 1.3.7.6 的要求，仅用于单个设备变频调速（例如泵的电动机）的谐波滤波器和用于单个设备/系统提高电磁兼容性的谐波滤波器可不必满足该要求。

1.3.7.2 电力系统的总谐波畸变（THD）不应超过 8%。如果超过该畸变限值，则所有设备应选择用于较高的特定畸变限值的设计，并应提供该谐波畸变计算且保存在船上，以便验船师年度检验时核查。

1.3.7.3 应安装能连续监测主汇流排谐波的设备，并在超过可接受的限值时应发出报警。连续监测的谐波数值应存储在机舱集中监测系统内，或者记录在轮机日志中以便验船师检验。

1.3.7.4 船舶配电系统集成商应通过计算确定谐波滤波器故障时谐波畸变的影响。配电系统集成商应向船东提供指导性文件，明确在正常航行和谐波滤波器出现故障时允许的电力系统操作模式，以维持在可接受的畸变限值内。前述计算结果和指导性文件的正确性应经验船师在航行试验时验证。

1.3.7.5 三相谐波滤波器应对单相设置独立保护。单相保护装置的触动应能自动切断整

---

① 参见 IEC 60533 出版物《船舶电气设备和电子设备的电磁兼容性》或相应标准。

② 参见 IMO 通过的 A.1021（26）决议《警报和指示器规则》。

③ 适用于合同建造日期为 2017 年 7 月 1 日及以后的船舶，以及适用于 2017 年 7 月 1 日及以后进行了谐波滤波器改装的船舶。

个滤波器并发出报警。除此之外，三相谐波滤波器还应设置独立于过电流保护设备的三相电流不平衡检测装置，电流不平衡时应发出报警。上述报警应设置在就地和/或有人值班处所。

1.3.7.6　对于单个电容元器件（例如安全阀或者过压切断开关）应考虑设置额外保护以避免破裂。保护措施应根据电容器型式确定。

第 2 章　船上电气装置

第 1 节　主　电　源

2.1.1　发电机组

2.1.1.1　应配备足以供给本篇 1.1.1.4（1）所述设备用电的主电源，除本节 2.1.1.2 另有规定外，主电源至少应由 2 台发电机组组成。

2.1.1.2　在遮蔽航区或与其相当的航区航行的船舶的主电源应符合下列规定：

（1）货船至少设 1 台发电机组；

（2）客船上为主机服务的各种辅机、舵机油泵、消防泵和舱底泵如由主机驱动，则至少应设 1 台发电机组。

2.1.1.3　除本节 2.1.1.2 另有规定外，发电机组的台数和容量，应能在任一发电机组停止工作时，仍能继续对正常推进运行、船舶安全所必需的设备供电。同时，最低舒适居住条件也应得到保证，至少应包括适当的炊事、取暖、食品冷冻、机械通风、卫生和淡水等设备的供电。小于 500 总吨的货船可不必保证舒适居住条件。

2.1.1.4　对在远海航区和近海航区航行的所有客船和 500 总吨以上货船、以及在沿海航区航行的所有客船，其发电机组应能在任一发电机或其原动机不工作时，其余发电机组仍能供应从瘫船状态起动主推进装置所必需的电力。

2.1.1.5　如船舶推进和操纵必须依靠主电源，则船舶推进、操舵和保证船舶安全所必需设备的供电连续性应符合下列要求：

（1）在正常由 1 台以上发电机并联运行同时供电的情况下，应设有包括将非重要设备自动卸去，必要时也可将保证居住条件的设备和次重要设备自动卸去（见本篇 2.5.7.1）等保护措施，以确保当运行中任何一台发电机停止工作后，其余发电机能继续运行，并保持对推进、操舵和保证船舶安全所必需设备的供电；

（2）对主发电机的总容量超过 500kVA 的船舶，在正常由 1 台发电机供电的情况下，应提供措施，以能在失电后自动起动备用发电机，并自动连接至主配电板。该备用发电机应具有足够的容量，以保证重要辅助设备的自动起动或自动顺序起动。备用发电机应尽快自动起动并连接至主配电板，最好在失电后 30s 内完成，最长不超过 45s。

2.1.1.6　所有客船和 500 总吨及以上的货船，如船舶推进必须依靠主电源，则主汇流排应至少分成两个独立的分段。平时这些分段应由不带脱扣机构的断路器或可使汇流排方便分开的隔离开关、开关加以连接，并尽可能将发电机和其他双套设备均分地连接于这些分段上。

2.1.1.7　可设置一公共发电站兼作主电源和电力推进电源，在此情况下应符合本章第 15 节的有关规定。

2.1.1.8　在交流系统中，当 1 台发电机停止工作时，其余机组应有足够的储备容量，以使当最大电动机起动时所导致的系统电压的大幅度降落，不会使任何电机失速或使任何其他设备失效。容量特大且非船舶安全航行必不可少的电动机，例如侧推器电动机，可以在所有发电机投入工作情况下起动，但不应导致任何重要设备停止工作。

2.1.1.9　主电源装置应是：不论推进机械和轴系的速度和旋转方向如何，均应能使本篇 1.1.1.4（1）所指的设备处于工作状态。

2.1.1.10　在计算发电机容量时，如果无法提供具体的冷藏集装箱功率，则冷藏集装箱的插座既可供电给 20′的冷藏集装箱，也可供电给 40′的冷藏集装箱，建议每个插座按 11kW 计算。仅能供给 20′集装箱的插座，建议每个插座按 7.5kW 计算。计算冷藏集装箱的负荷时可采用 0.6 的需用系数。

2.1.1.11　非机动船可根据需要设置主电源。当主电源是发电机时，不必符合以上 2.1.1.1 至 2.1.1.9 的规定。

2.1.2　主推进装置驱动的发电机（如轴带发电机）

2.1.2.1　主推进装置驱动的发电机和/或发电机系统如满足下列要求，则可作为主电源的组成部分：

（1）当船舶在各种气候条件下航行、操作和停泊时，能进行正常运转并且其电压波动应符合《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章的有关规定，频率变化应符合本篇 1.2.2.2 的规定；

（2）发电机和/或发电机系统的容量，应能在其他任一发电机发生故障时，仍符合 2.1.1.3 的有关规定；

（3）考虑到配电系统保护电器的选择性保护，发电机和/或发电机系统的短路电流应足以使发电机断路器脱扣。当在主汇流排上发生短路时，应设有保护措施以确保发电机不会受到危害，并在故障清除后再次使用；

（4）备用发电机的自动起动应符合 2.1.1.5（2）的规定。

2.1.2.2　主推进装置驱动的发电机和/或发电机系统，不作为主电源的组成部分，如满足下列条件，则可用来向船舶航行时正常操作和起居条件所需的电气设备供电：

（1）设有足够容量的备用电源（本节 2.1.1.1 所要求的主电源的一部分）；

（2）频率变化超过下述限值时，应按照 2.1.1.5（2）的规定自动起动至少一台发电机（本节 2.1.1.1 所要求的主电源的一部分）：

稳态频率波动：±5.5%

瞬态频率波动：±11%（5s）；

（3）电压波动应符合《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章的有关规定，频率变化符合 1.2.2.2 的规定；

（4）考虑到配电系统保护电器的选择性保护，发电机和/或发电机系统的短路电流应足以使发电机断路器脱扣；

（5）自动卸载应符合 2.5.7 的规定；

（6）在设有驾驶室遥控推进装置的船舶上，应提供措施或程序，以确保在操纵工况下向重要设备供电，从而避免船舶失电。

2.1.3　变压器

2.1.3.1　除在遮蔽航区或与其相当航区航行的货船以外，如变压器构成本节 2.1.1.1 要求的主电源供电系统和照明系统的必要部分时，则其台数、容量和布置应满足下列要求：

（1）应能在任何 1 台变压器停止工作时，其余变压器应足以保证正常推进和船舶安全所必需设备安全运转；

（2）每一变压器均应具有外壳或等效的分隔，以能形成一独立单元，且其初级和次级侧均应设有独立的电路；

（3）每一初级电路的每一相上均应设有开关和保护；

（4）每一次级电路均应设有多极隔离开关。

2.1.4　配电板的安装

2.1.4.1　主配电板相对于主发电站的位置，应尽可能具有正常供电的完整性，使其只有在同一处所发生火灾或其他事故才会受到影响。主配电板的围蔽，例如利用位于该处所主界限以内的机器控制室所提供的围蔽，不能视作配电板与发电机隔开。小于 500 总吨的货船可不必满足本条要求。

2.1.4.2　配电板的后面和上方不应设有水、油及蒸汽管、油柜以及其他液体容器。如不能避免时则应有可靠的防护措施。

2.1.4.3　主配电板的前后应留有足够宽度的通道。其前面通道的宽度应至少为 0.8m。后面通道的宽度应至少为 0.6m，与加强肋骨间的通道宽度应至少为 0.5m。如配电板的结构型式可在前面和侧面进行维护检查和更换部件时，则可不设后通道。

2.1.4.4　当主配电板长度超过 4m 时，应尽可能在主配电板的两端均设有通道。除安装在机器控制室中的主配电板外，均应在其后通道的入口处配置带锁的门。

2.1.4.5　主配电板的前后均应铺有防滑和耐油的绝缘地毯或经绝缘处理的木格栅。

2.1.5　主发电机组的自动接入和切断

2.1.5.1　发电机组的起动、停止和负载分配以及断路器闭合/脱扣等操作采用自动控制时，应满足 2.1.5.2 至 2.1.5.6 的要求。

2.1.5.2　应设置以下故障报警：

（1）汇流排电压偏离额定值（高和低）；

（2）汇流排频率偏离额定值（高和低）；

（3）自动卸载；

（4）发电机主开关自动合闸失败；

（5）发电机主开关自动脱扣；

（6）负载分配失败（设置必要的延时，负载分配比例参见《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章 3.2.8.5）。

2.1.5.3　应设有避免两台及以上发电机组同时接入主配电板公共汇流排的措施。

2.1.5.4　因短路故障而失电后，发电机断路器仅能合闸 1 次。

2.1.5.5　如由于主汇流排长时间的电压或频率波动原因而起动备用发电机组，则有故障的发电机组应在该备用发电机组接入主汇流排之前尽快切断。

2.1.5.6　应限制主发电机组的自动起动次数，以避免耗尽起动能源。

第 2 节　　应急电源

2.2.1　一般要求

2.2.1.1　除本节 2.2.4 另有规定外，所有客船和 500 总吨及以上的货船均应设有符合本节 2.2.1 ～ 2.2.3 的规定的应急电源。

2.2.1.2　应急电源的布置应符合下列要求：

（1）应急电源连同其变换设备（如设有时）、临时应急电源、应急配电板以及应急照明配电板等均应安装在最高一层连续甲板以上易于从露天甲板到达之处，且它们不应装设在防撞舱壁之前。但对货船，在特殊情况下经同意者可以例外；

（2）应急电源连同其变换设备（如设有时）、临时应急电源、应急配电板和应急照明配电板相对于主电源连同其变换设备（如设有时）、主配电板等的位置应布置成，能确保主电源连同其变换设备（如设有时）、主配电板等所在的处所或任何 A 类机器处所发生火灾或其他事故时，不致妨碍应急电源的供应、控制和分配。设有应急电源连同其变换设备（如设有）、临时应急电源以及应急配电板等的处所，应尽可能不与 A 类机器处所或装有主电源连同其变换设备（如设有时）或主配电板所在处所的限界面相毗邻。

2.2.1.3　应急电源可以是发电机，该发电机应符合下列要求：

（1）由一具有独立的冷却装置和燃料供给，并设有符合本规范第 3 篇第 9 章 9.5.3 规定的起动装置的柴油机驱动；

（2）除设有符合本节 2.2.1.5 规定的临时应急电源的货船外，在主电源供电失效时应能自动起动和自动连接于应急配电板，且本节 2.2.2.2 （对客船）或 2.2.3.2 （对货船）所规定的各项设备自动换接至应急配电板。原动机的自动起动系统和原动机的特性均应能使应急发电机在安全而实际可行的前提下，尽快地承载额定负载（最长不超过 45s）。

2.2.1.4　应急电源也可以是蓄电池组，该蓄电池组应符合下列要求：

（1）承载应急负载而不必再充电，并在整个放电期间蓄电池组的电压变化应能保持在其额定电压的±12%范围内；

（2）当主电源的供电失效时，自动连接至应急配电板；

（3）能对本节 2.2.2.1 （对客船）或 2.2.3.1 （对货船）所规定的各项设备（另有说明者除外）供电，并能立即对本节 2.2.2.2 （对客船）或 2.2.3.2 （对货船）所规定的各项设备供电。

2.2.1.5　除设有符合本节 2.2.1.3（2）所规定的自动起动应急发电机的货船外，当应急电源为应急发电机时，还应设置一蓄电池组作为临时应急电源，并应符合下列要求；

（1）承载应急负载而不必再充电，并在整个放电期间蓄电池组的电压变化应能保持在其额定电压的±12%范围内；

（2）当主电源或应急电源的供电失效时，均应能立即自动向本节 2.2.2.2 （对客船）或 2.2.3.2 （对货船）所规定的各项设备供电。

2.2.1.6　如从瘫船状态恢复推进必须依靠应急电源，则其容量应足以供给下列设备的用

电：

（1）本节 2.2.2.1（1）至 2.2.2.1（2）⑥或 2.2.3.1（1）至 2.2.3.1（3）⑥所规定的各项设备；

（2）从瘫船状态恢复船舶推进和其他机械（如适用）恢复运转。

2.2.1.7　应急配电板应尽可能靠近应急电源安装，并符合下列要求：

（1）如应急电源为发电机，则应急配电板应与应急发电机安装在同一处所，但如应急配电板的工作会因此受到妨碍者，则可例外；

（2）如应急电源为蓄电池组，则该蓄电池组不应与应急配电板安装在同一处所；

（3）应急配电板的后面和上方不应设有水、油及蒸汽管、油柜以及其他液体容器。如不能避免时则应有可靠的防护措施；

（4）应急配电板的前面应铺有防滑和耐油的绝缘地毯或经绝缘处理的木格栅。

2.2.1.8　在主配电板或机器控制室内的适当地点应装设指示器，以指示应急电源或临时应急电源的蓄电池正在放电。

2.2.1.9　在正常情况下，应急配电板应通过相互连接的馈电线由主配电板供电。该馈电线应按本章 2.5.9.6 的规定设置保护，并应能在主电源供电失效时在应急配电板处自动切断。

2.2.1.10　为保证应急电源的迅速可用，必要时应设有在应急配电板上自动将非应急电路切断的设施，以确保向应急电路供电。

2.2.1.11　如采取适当的措施，使在所有情况下均能确保独立的应急工作时，则应急发电机可以例外地用来短时间地向非应急电路供电（另见 2.2.5）。

2.2.1.12　配员非机动船的应急电源应满足 2.2.4 的要求。

2.2.1.13　可采用《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 9 节规定的 UPS 装置作为应急电源或临时应急电源向本节 2.2.2 和 2.2.3 要求的应急设备供电。

2.2.2　客船应急电源的供电范围和时间

2.2.2.1　应急电源应有足够的容量，以确保在应急情况下向必要的安全设备供电，并应考虑到这些设备可能要同时工作。

应急电源在计及某些负载的起动电流和瞬变特性后，应至少能对下列设备（如依靠电力工作时）按以下规定的时间供电：

（1）对下列各处的应急照明供电，近海航区航行船舶的供电时间为 12h，沿海航区航行船舶的供电时间为 6h：

① 每一登乘救生艇、筏的集合地点、登乘地点和舷外；
② 通达登乘救生艇、筏集合地点、登乘地点的走廊、梯道和出口；
③ 包括梯道和出口在内的脱险通道全线（包括转弯和叉路口处）距甲板高度不超过 0.3m 处的照明（如需应急电源供电时）；
④ 所有服务及起居处所内的通道、梯道、出口及乘人电梯内；
⑤ 超过 16 人的居住舱室；
⑥ 机器处所及主发电站内包括它们的控制位置；
⑦ 所有控制站、机器控制室以及每一主配电板和应急配电板处；
⑧ 消防员装备贮放处所；
⑨ 操舵装置处；
⑩ 现行《国内航行海船法定检验技术规则》（以下简称《国内海船法规》） 第 4 篇第 2-2 章要求的消防泵、喷水器供水泵、应急舱底泵等处以及这些泵的电动机起动处；

（2）对下列设备供电， 近海航区航行船舶的供电时间为 12h，沿海航区航行船舶的供电时间为 6h：

① 现行《国内海船法规》第 4 篇第 8 章要求的航行灯和其他号灯；
② 现行《国内海船法规》第 4 篇第 4 章要求的甚高频无线电装置、中频无线电装置（如设有时）、船舶地面站（如设有时）以及中频/高频无线电装置（如设有时）；

③ 所有在紧急状态下需要的船内通信设备[①]；

④ 现行《国内海船法规》第 4 篇第 5 章要求的航行设备，对小于 5000 总吨的船舶，当此项规定为不合理或不可行时，经同意可不满足这一要求；

⑤ 探火和失火报警系统以及防火门的吸持和释放系统；

⑥ 断续使用的白昼信号灯、船舶号笛、手动失火报警按钮和所有在紧急状态下需要的船内信号设备（例如通用紧急报警系统、灭火剂施放预告报警器等）；

⑦ 现行《国内海船法规》第 4 篇第 2-2 章要求的消防泵之一；

⑧ 自动喷水器泵（如设有时）；

⑨ 应急舱底泵以及操纵电动遥控舱底阀所必需的所有设备；

以上③至⑥项所列的各项设备，如具有安装于适当位置，能按规定的时间供电的独立蓄电池组供应急状态使用者，则可除外；

（3）对操舵装置如按《钢质海船入级规范》第 3 篇第 13 章要求需由应急电源供电者，应按该条的规定时间供电；

（4）对下列各项设备供电 0.5h：

① 现行《国内海船法规》第 4 篇第 2-1 章要求由动力操作的水密门，连同其指示器及报警信号；

② 将旅客或船员提升至甲板上以便脱险的电梯应急装置（如设有时）。

2.2.2.2 本节 2.2.1.5 所要求的临时应急电源应具有足够的容量，至少应能对下列各项设备（如依靠电力进行工作时）供电：

（1）对下列设备应供电 0.5h：

① 本节 2.2.2.1（1）所要求的照明（2.2.2.1（1） ③除外）和本节 2.2.2.1（2）①所要求的航行灯和其他号灯；

② 本节 2.2.2.1（2）③、⑤及⑥项所要求的设备，但如具有安装于适当位置，可供应急状态使用，且满足应急供电时间的独立蓄电池组供电者，则可除外；

（2）供操作水密门所需电力，但不必同时操作所有的水密门，除非设有一独立的过渡性储备能源；

（3）对操作水密门有关的控制设备、指示器和报警电路供电 0.5h。

2.2.2.3 凡设有滚装装货处所或特种处所的客船，除设有以上要求的应急照明外，还应设有符合下列要求的附加应急照明：

（1）在所有的旅客公共处所和走廊应设有附加应急照明，并符合下列要求：

① 在所有其他电源发生故障和在各种横倾条件下，至少应能维持照明 3h；

② 所提供的照明应能照亮逃生设施的周围；

③ 其电源应是设置于灯具内部的蓄电池，该蓄电池应尽实际可能地由应急配电板连续充电。或也可用其他的照明设备替代，但该照明设备至少是认可有效的；

④ 该附加照明设备应有明显的故障指示；

⑤ 设置灯具内部的蓄电池应定期地更换，其间隔期应考虑到蓄电池在使用中所经受的环境条件规定的使用寿命；

（2）在每一船员处所的走廊、娱乐场所和通常有人的工作处所，除非设有符合本条（1）要求的附加应急照明，否则均应配备可携式充电电池灯。

2.2.3 货船应急电源的供电范围和时间

2.2.3.1 应急电源应有足够的容量，以确保在应急情况下向必要的安全设备供电，并应考虑到这些设备可能要同时工作。

应急电源在计及某些负载的起动电流和瞬变特性后，应至少能对下列设备（如依靠电力工作时）按以下规定的时间供电：

（1）对现行《国内海船法规》第 4 篇第 3 章所要求的每一登乘救生艇、筏的集合地点、登乘地点和舷外的应急照明供电 3h；

---

① 在紧急情况下需要的船内通信设备应包括：（1）重要电话系统；（2）应急车钟；（3）公共广播系统；（4）应急情况下的通信；（5）值班驾驶员与负责关闭在中心控制站无法关闭的水密门船员之间的通信设施；（6）驾驶室与主消防控制站之间的通信设施。

（2）对下列处所的应急照明供电， 近海航区航行船舶的供电时间为 6h，沿海航区航行船舶的供电时间为 3h：

① 所有走廊、梯道、出口处；

② 机器处所及主发电站内，包括它们的控制位置；

③ 所有控制站、机器控制室以及每一主配电板和应急配电板处；

④ 消防员装备贮放处所；

⑤ 操舵装置处；

⑥ 在 2002 年 7 月 1 日或之后建造的液货船的所有货泵舱内；

（3）对下列设备供电， 近海航区航行船舶的供电时间为 6h，沿海航区航行船舶的供电时间为 3h：

① 现行《国内海船法规》第 4 篇第 8 章要求的航行灯和其他号灯；

② 现行《国内海船法规》第 4 篇第 4 章要求的甚高频无线电装置、中频无线电装置（如设有时）、船舶地面站（如设有时）以及中频/高频无线电装置（如设有时）；

③ 所有在紧急状态下需要的船内通信设备[①]；

④ 5000 总吨及以上的船舶，现行《国内海船法规》第 4 篇第 5 章要求的航行设备；

⑤ 探火和失火报警系统；

⑥ 断续使用的白昼信号灯、船舶号笛、手动失火报警按钮和所有在紧急状态下需要的船内信号设备（例如通用紧急报警系统、灭火剂施放预告报警器等）；

⑦ 现行《国内海船法规》第 4 篇第 2-2 章所要求的消防泵之一（如为应急发电机供电者）；

以上③至⑥项所列的各项设备，如具有安装于适当位置，能按规定的时间的独立蓄电池组供应急状态使用者，则可除外；

（4）对操舵装置，按《钢质海船建造规范》第 3 篇第 13 章要求需由应急电源供电者，应按该条的规定时间供电。

2.2.3.2 本节 2.2.1.5 所要求的临时应急电源应具有足够的容量，至少应能对下列各项设备（如依靠电力进行工作时）供电 0.5h：

（1）本节 2.2.3.1（1）、（2）所要求的照明和本节 2.2.3.1（3）①所要求的航行灯和其他号灯。但对机器处所、服务和起居处所内所需的应急照明，可以设置固定装设、单独、自动充电并以继电器控制的蓄电池灯；

（2）本节 2.2.3.1（3）中③、⑤和⑥项所述设备，如具有装设于适当位置，可供应急状态使用，且足以按规定时间供电的独立蓄电池组供电者，则可除外。

2.2.4 小于 500 总吨货船和遮蔽航区或与其相当的航区航行船舶的应急电源

2.2.4.1 小于 500 总吨货船和遮蔽航区或与其相当的航区航行的所有船舶，可设有符合本节 2.2.1 和 2.2.2（对客船）或者本节 2.2.1 和 2.2.3（对货船）的应急电源，也可设有符合下列要求的蓄电池组作为应急电源：

（1）不应与主电源所在同一处所，并尽可能安装在最高一层连续甲板以上；

（2）符合本节 2.2.1.4（1）、（2） 和 2.2.1.7 的规定；

（3）立即对本节 2.2.4.2 规定的各项设备供电。

2.2.4.2 应急电源的容量应足以对下列设备供电 3h：

（1）登乘救生艇、筏的集合地点、登乘地点及舷外、所有走廊、梯道和出口、主配电板、应急电源所在处所以及控制站的照明；

（2）超过 16 人所居住舱室的照明；

（3）现行《国内海船法规》第 4 篇第 8 章要求的航行灯和其他号灯；

（4）在紧急情况下需要使用的船内通信设备和船内信号设备（例如通用紧急报警系统等）；

---

① 在紧急情况下需要的船内通信设备应包括：（1）重要电话系统；（2）应急车钟；（3）公共广播系统；（4）应急情况下的通信。

（5）探火和失火报警系统（如设有时）；

（6）断续使用的白昼信号灯、船舶号笛和手动失火报警按钮（如设有时）；

（7）船上配备的无线电通信设备。

2.2.5 港内停泊时使用应急发电机

2.2.5.1 如符合下列要求，则应急发电机可在船舶停泊港内期间向主电网供电：

（1）为防止发电机及其原动机过载，应设有能卸除足够非应急负载的装置，以确保发电机组的安全运行；

（2）原动机应配置用于主发电机原动机和无人看管要求的燃油滤器、润滑油滤器、监视设备和保护设备；

（3）原动机的燃油供应柜应有适当的容量并设有低位报警，该低位报警应设定在对应于足够在本节 2.2.2 或 2.2.3 规定的供电时间内进行应急操作所需燃油量的液位上报警；

（4）原动机应按连续工作定额设计和制造，并应按经审核同意的计划保养系统的规定确保其随时可用，以及能在海上发生紧急情况时起到其自身的作用；

（5）在应急发电机组和应急配电板的所在位置应装设火灾探测器；

（6）应设有能迅速地转换至应急运行的转换装置；

（7）为在港内使用应急发电机而附加的控制、监视和供电电路的布置和保护，应使其任何电气故障都不会对主设备和应急设备的运行产生影响。为安全操作，必要时应在应急配电板上设有隔离这些电路的开关；

（8）船上应备有包括所要求的燃油柜液位、港口/海上模式转换装置的位置和通风口在内的操作说明书，以确保船舶在航行途中用于应急发电机组和应急配电板独立应急操作的所有阀门、开关等处在正确的位置上。该操作说明书应张贴在应急发电机室内。

第 3 节 外来电源

2.3.1 额定电压 1kV 及以下岸电连接

2.3.1.1 如船上的设备需由岸电或其他外来电源供电，则应在船上便于连接来自外部电源软电缆的适当地方设置一符合《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3.3.2.11 规定的岸电箱。在岸电箱与主配电板或应急配电板间应以固定敷设并具有足够定额的电缆相连。

2.3.1.2 当岸电或/和船电系统为中性点接地的交流三相系统时，则应设有将船体与岸地相连接的设施。当船电系统为以船体作回路的直流系统时，应将岸电的负极接于船体。

2.3.1.3 在主配电板或应急配电板上应设有岸电指示器，以指示岸电电缆已经通电。

2.3.1.4 如采用自动控制设备连接和断开岸电，自动控制设备应满足《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章的适用要求。

2.3.1.5 除 2.3.1.6 所述之外，应设有所有主发电机和应急发电机与岸电之间的联锁装置，以避免同时供电。

2.3.1.6 如岸电连接系统具备与船舶电站短时并联转移负载的功能，应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 19 章第 19.2.5.3、19.2.5.4 和 19.2.6 的要求。

2.3.2 额定电压 1kV 以上的岸电连接

2.3.2.1 仅采用断电方式在岸电和船舶电站之间转移负载的岸电连接系统，至少应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 19 章第 19.2.1.2、19.2.2、19.2.3、19.2.4、19.2.5.2 和 19.2.6 的要求。

2.3.2.2 具备岸电和船舶电站之间短时并联转移负载功能的岸电连接系统，至少应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 19 章第 19.2.1.2、19.2.2、19.2.3、19.2.4、19.2.5.3、19.2.5.4 和 19.2.6 的要求。

2.3.2.3 船上安装的岸电设备应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 19 章第 3 节的要求。

第 4 节　　供电与配电

2.4.1　供电与配电系统

2.4.1.1　可采用下列配电系统：

（1）直流

双线绝缘系统；

负极接地的双线系统；

利用船体作负极回路的单线系统。

（2）交流单相

双线绝缘系统

一线接地的双线系统；

一线利用船体作回路的单线系统。

（3）交流三相

三线绝缘系统；

中性点接地的四线系统；

利用船体作为中性线回路的三线系统；

小于 500 总吨船舶可以采用三相四线绝缘系统。

2.4.1.2　高压系统的供电和配电系统见本篇 2.14.2.1 的规定。

2.4.1.3　散装运载闪点（闭杯试验）不超过 60℃的原油和石油产品的船舶，其配电系统见本篇 2.16.2.1 的规定。

2.4.2　绝缘配电系统

2.4.2.1　在绝缘配电系统中，发电机的中性点不应连接在一起。

2.4.2.2　用于电力、电热和照明的绝缘配电系统，不论是一次系统还是二次系统，均应设有连续监测绝缘电阻，且能在绝缘电阻异常低时发出听觉或视觉报警信号的绝缘电阻监测报警器。

但除油船等载运危险货物的船舶以外，小于 1600 总吨的船舶可以用接地指示器代替绝缘电阻监测报警器。

2.4.3　接地和船体回路配电系统

2.4.3.1　1600 总吨及以上船舶的动力、电热和照明配电系统，均不应采用利用船体作回路的配电系统。但并不排除用于下列情况：

（1）　外加电流型阴极保护系统；

（2）　有限的和局部的接地系统，如由此可能产生的任何电流并不直接流过任何危险区；

（3）　在最不利条件下循环电流不超过 30mA 的绝缘电阻监测设备。

2.4.3.2　当采用船体作回路的配电系统时，所有最后分路的所有极或相均应是绝缘的，其船体回路导体应连接至相应分配电板中的绝缘汇流排，该汇流排应与船体连接。

2.4.3.3　高压系统中的接地配电系统应符合本篇 2.14.2.1 的有关规定。

2.4.3.4　在利用船体作回路的配电系统中，与船体相连接地线的截面积应与绝缘敷设极或相的导线相同，并不应用裸线。

2.4.3.5　设备的外壳及其安装螺栓均不应作为回路导体，或者作连接该回路导体用。

2.4.3.6　用于平时不载流的工作接地线，其截面积应为载流导线的截面积的一半，但应不小于 1.5mm^2。

2.4.3.7　接地配电系统的系统接地应与电气设备的平时不带电部分的接地分开。

2.4.4　供电电压与频率

2.4.4.1　交流配电系统的最高电压应不超过表 2.4.4.1 的规定。

交流配电系统的最高电压　　表 2.4.4.1

序号	用途	最高电压（V）
1	固定安装、连接于固定布线的电力设备	15000
2	（1） 固定安装并连接于固定布线的电炊设备和电热设备 （2） 与插座连接，运行中不需手握持，并以截面积符合本篇 1.3.4.5 要求的连续接地导体接地的可移动设备	1000
3	（1） 固定安装的照明设备 （2） 向下列设备供电的插座（表中序号 2 和 4 未规定者）： ① 具有双重绝缘的设备； ② 以符合本篇 1.3.4.5 要求的连续接地导体接地的设备	250
4	人特别容易触电的场所的插座： （1） 无论是否使用隔离变压器供电； （2） 由只供 1 个用电设备的安全隔离变压器供电。 这些插座系统的两根导线均应对地绝缘。	55① 250
5	仪器设备和控制系统②	55③ 250

注：　① 对于额定电压不高于 24V 的插座，其最高电压为 55V。
② 电压为 500V 以上配电系统的控制电压见本节 2.4.4.2 的规定。
③ 对于额定电压不高于 48V 的仪器设备和控制系统，其最高电压为 55V。

2.4.4.2　500V 以上的配电系统，除电压不高于 1000V 配电系统中所有控制设备均封闭在相应的控制柜内者外，其控制电压均应不高于 230V。

2.4.4.3　交流配电系统的标准频率为 50Hz 或 60Hz。

2.4.4.4　直流配电系统的最高电压应不超过表 2.4.4.4 的规定。

直流配电系统的最高电压　　表 2.4.4.4

序号	用　途	最高电压（V）
1	电力设备	1500
2	电炊设备、电热设备、照明设备及插座	500
3	通讯设备、仪器仪表装置	250
4	救生艇/筏的供电插座	55

2.4.5　负载的平衡

2.4.5.1　对交流三线或四线系统，应在最后分路上将用电设备加以组合，以便在正常情况下，使各相负载在分配电板、区配电板以及主配电板处尽可能平衡在其各自额定负载的 15%以内。

2.4.6　需用系数

2.4.6.1　供电给 2 个或 2 个以上最后分路的电路，其电流定额可以根据总负载乘以一个合理的需用系数来确定。当在区配电板或分配电板上留有备用线路时，则采用需用系数之前，应将增添负载所留的余量加到总负载中去。

2.4.6.2　在计算电缆的截面积、开关设备和熔断器的定额时，可以应用需用系数。

2.4.6.3　起货机电路的需用系数，可根据制造厂以及制造厂与购货方之间商定的资料确定，如缺乏确切的资料，则可应用表 2.4.6.3 中所提供的需用系数。

需用系数　　表 2.4.6.3

电动机台数	应提供的电流定额	
	各电动机容量相同时	各电动机容量不相同时
2	电动机总额定电流的 100%	
3	电动机总额定电流的 67%	最大电动机额定电流的 100%+其余每台电动机额定电流的 50%
4	电动机总额定电流的 62%	
5	电动机总额定电流的 60%	
6 或更多	电动机总额定电流的 58%	

2.4.7 重要设备供电

2.4.7.1 除另有明文规定者外，主重要设备应直接由主配电板或应急配电板（要求应急电源供电者）供电，但如其获得完全选择性保护则可例外。

2.4.8 无线电设备与航行设备的供电

2.4.8.1 现行《国内海船法规》第 4 篇第 4 章和第 5 章要求配备的无线电设备（以下简称无线电设备）和电气/电子航行设备（以下简称航行设备）的供电，应符合 2.4.8.2～2.4.8.4 的规定。

2.4.8.2 除《国内海船法规》第 4 章允许免设无线电设备分配电板的情况外，无线电设备分配电板应与航行设备分配电板相互独立。

2.4.8.3 无线电设备分配电板和需由应急电源供电的航行设备分配电板，均应由主配电板和应急配电板设独立馈电线供电，并应在每一分配电板上设有主电源与应急电源之间的转换器具。这一转换一般应能自动进行。无线电设备分配电板的供电发生任何故障，则应在驾驶室发出视觉和听觉报警信号。

2.4.8.4 每一用电设备应由各自的分配电板设独立最后分路供电。

2.4.9 辅助机械电动机等设备供电

2.4.9.1 除上述供电要求以外，辅助机械电动机、照明设备、航行灯、船内通信系统以及乘员与船舶安全系统等的供电，应符合本章相应节的要求。

2.4.9.2 对于交流配电系统，额定电流大于 16A 的最后分路不应向一个以上设备供电，但仅向额定电流不大于 32A 的插座供电时除外。

2.4.10 插座

2.4.10.1 供一般可携设备用的插座应符合本篇表 2.4.4.1 中序号 3 和序号 4 的规定。

2.4.10.2 不同电压和/或不同频率配电系统中的插座，应使用不可互换的插头和插座连接。

2.4.10.3 在机器处所内花钢板以下，围蔽的燃油和润滑油分离机室内不准安装插座。

2.4.10.4 如必需在货舱中安装插座，则应安装在能防止机械损伤之处。

2.4.10.5 冷藏集装箱用插座另见《钢质海船入级规范》第 5 篇第 4 章的有关规定。

2.4.10.6 用于电力电路并且额定电流大于 16A（交流）或 10A（直流）的插座，应具有联锁功能，以确保当插座有电时，不能插入/拔出插头。

2.4.11 变压器并联供电

2.4.11.1 并联运行的变压器应符合下列要求：

（1）变压器绕组的联接组应该相同；

（2）变压器应有相同的额定电压比（偏差在允许范围内）；

（3）变压器应有相同的阻抗电压（相互之间阻抗电压的比值应在 0.9～1.1 的范围以内）；

（4）当多台变压器并联运行时，该组中最小变压器额定容量应不小于并联运行中最大变压器额定容量的 50%。

2.4.12 原动机的安全、控制和报警系统供电

2.4.12.1 本条原动机系指驱动构成主电源的发电机的柴油机、燃气轮机和汽轮机等。

2.4.12.2 原动机的安全、控制和报警系统应由 2 个独立电源供电，其供电电源和布线应保证在出现单一故障时，能满足本章 2.1.1.3 的要求。

2.4.13 柴油机电控系统供电

2.4.13.1 柴油机电控系统的供电应满足《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 2 第 2.2.4 的要求。

第 5 节 系统保护

2.5.1 一般要求

2.5.1.1　电气装置中应设有合适的保护电器，以能在发生包括短路在内的过电流和其他电气故障时对其进行保护。各保护电器的性能及其布置应能提供完善协调的自动保护，以保证在某处发生故障的情况下，通过保护电器的选择性作用确保无故障重要设备电路的供电连续性，消除故障的影响，从而减少对系统的损害和发生火灾的危险。

在下述保护电器间应能提供协调的保护：

（1）主发电机保护电器、主汇流排分段断路器（如设有脱扣器）、连接主汇流排馈电线保护电器（如设有时）以及主汇流排上引出馈电线保护电器之间；

（2）除本节 2.5.3.6 另有规定者外，对含有重要设备的分配电板，其馈电保护电器与分配电板分支电路保护电器之间；

（3）应急发电机保护电器和应急汇流排引出馈电线保护电器之间；主配电板至应急配电板的互连馈线保护电器与应急汇流排上引出馈电线保护电器之间。

2.5.1.2　在配电系统的每一不接地的极或相上均应设有短路保护。

2.5.1.3　过载保护应设置在：

（1）直流双线绝缘系统或交流单相绝缘系统：至少一个极（或相）上；

（2）交流三相绝缘系统：至少二相上；

（3）接地系统：每一不接地的极（或相）上。

2.5.1.4　在配电系统中，凡接地导体上均不应装设熔断器以及与绝缘极不相联动的开关。

2.5.2　短路电流计算

2.5.2.1　在计算最大预期短路电流时，应考虑到：

（1）满足最大需要功率的可能并联连接的所有发电机；

（2）需同时运行的所有电动机。

2.5.2.2　必要时，应对交流系统短路回路的预期短路功率因数进行计算，如该计算值小于与所选用的开关电器的接通或分断能力相对应的功率因数的规定值时，则其分断能力应相应地减小。

2.5.2.3　短路计算应参照《钢质海船入级规范》第 4 篇附录 1，或接受的其他计算方法进行。

2.5.2.4　一般应计算下列各处的短路电流：

（1）发电机输出端短路；

（2）主汇流排短路；

（3）应急配电板、区配电板以及分配电板的汇流排短路；

（4）电力和照明变压器次级短路。

此外，为判断保护电器动作的选择性，必要时还应进行单台最小发电机供电情况下，被保护电路末端短路情况下短路电流的计算。

2.5.3　短路保护电器的选择

2.5.3.1　应采用熔断器或断路器作短路保护。

2.5.3.2　除本节 2.5.3.3 和 2.5.3.5 另有规定外，作短路保护的电器的短路分断能力应符合下列要求：

（1）　熔断器和一般用途断路器的额定短路分断能力，应不低于其安装点所应分断的最大预期短路电流。对于交流系统，其额定短路分断能力应不低于其安装点的预期对称短路电流（方均根值）；

（2）　重要设备有关电路用断路器的额定运行短路分断能力，应不低于其安装点所应分断的最大预期短路电流。对于交流系统，其额定运行短路分断能力应不低于其安装点的预期对称短路电流（方均根值）。

2.5.3.3　使用类别 B 断路器（带短延时）的额定短时耐受电流，应不低于其安装点其触头分断瞬间的最大预期短路电流。对于交流系统，其额定短时耐受电流应不低于其安装点其触头分断瞬间的预期对称短路电流（方均根值）。

2.5.3.4　除本节 2.5.3.5 另有规定者外，所有可能在短路情况下接通的断路器或开关，其额定短路接通能力应不低于其安装点的预期短路电流的最大峰值。

2.5.3.5　如在发电机侧设有必需的额定短路通断能力的熔断器或断路器（但不是发电机

断路器）作为后备，则可使用额定短路分断能力和/或额定短路接通能力低于其安装点最大预期短路电流的断路器。

该后备保护组合的短路性能应至少具备接受的标准[①]对单个断路器的要求。该断路器应具有与该后备保护组合中负载侧断路器相同的使用类别，以及等于该组合电源端处最大预期短路电流的额定短路通断能力。

2.5.3.6　符合本节 2.5.3.5 规定的后备保护可以用于非重要设备电路和具有自动转换功能的双套重要设备电路。在非重要设备电路中，同一熔断器或断路器可作为一个以上断路器的后备保护。

2.5.3.7　可以使用熔断器接在负载侧的带熔断器断路器，但其提供后备保护的熔断器与断路器应设计成协调动作的，从而保证当它们承受会引起熔断器熔断的过电流的情况下，熔断器能在适当的时候熔断，以防止在断路器的极间或极与金属部件之间产生飞弧。

2.5.3.8　在确定对上述后备保护组合的短路性能要求时，可计及该组合中各元件的阻抗。例如当该组合中的负载侧断路器离开其后备保护熔断器或断路器较远时，可以计及它们之间的连接电缆的阻抗。

2.5.4　短路选择性保护

2.5.4.1　除本节 2.5.3.6 另有规定者外，重要设备电路的短路保护应是选择性保护，并应符合下列规定：

（1）在发生短路故障情况下，应保证仅限最接近故障点的保护电器动作切断故障电路；

（2）串联连接的保护电器的动作时间应仔细协调；

（3）在选择性保护所要求的时间内，保护电器应具有能承载其安装处的短路电流而不分断的能力。

2.5.5　过载保护电器的选择

2.5.5.1　用作过载保护的断路器，应具有与其保护对象的过载能力以及系统的选择性要求相适应的脱扣特性（过电流-脱扣时间特性）。

2.5.5.2　等于及小于 320A 的熔断器，如具有合适的特性可用作过载保护，但 200A 以上时，推荐采用断路器或与它相类似的设备作过载保护。

2.5.6　发电机的保护

2.5.6.1　除本节 2.5.6.8 另有规定者外，应采用能同时分断所有绝缘极的断路器作发电机的过载和短路保护，其过载保护应与发电机的热容量相适应。并应满足下列要求：

（1）过载 10%～50%之间，经少于 30s 的延时断路器应分断，若发电机过电流能力允许时，可超过前述限值；

（2）过电流大于 50%，但小于发电机的稳态短路电流，经与系统选择性保护所要求的短暂延时后断路器应分断。

断路器的短延时脱扣器建议按下列规定进行整定：始动值为发电机额定电流的 200%～250%，延时时间：直流最长为 0.2s，交流最长为 0.6s；

（3）在可能有 3 台及以上发电机并联连接的情况下，还应设有瞬时脱扣器，并应整定在稍大于其所保护发电机的最大短路电流下断路器瞬时分断。经同意，其他等效措施也可接受。

2.5.6.2　单机容量小于 50kW（或 kVA）且不并联运行的发电机，可以一多极联动开关，并在每一绝缘极上设一熔断器作保护。

2.5.6.3　容量为 1500kVA 或以上的发电机应配备一合适的保护装置或系统，以能在发电机内部或发电机至其断路器之间的供电电缆发生短路的情况下，使发电机灭磁并使其断路器分断。本条要求对于应急发电机不适用。

2.5.6.4　并联运行的交流发电机应设有延时 3～10s 动作的逆功率保护。并联运行的直流发电机应设在瞬时或经短暂延时（少于 1s）动作的逆电流保护。并联运行的发电机的逆功率（或逆电流）值按原动机的类型不同可整定为：

---

① 参见 IEC60947-2 出版物《低压开关设备和控制设备 第 2 篇 断路器》。

（1）原动机为柴油机：发电机额定功率（电流）的 8%～15%；

（2）原动机为涡轮机：发电机额定功率（电流）的 2%～6%。

当供电电压下降至额定电压的 50%时，逆功率或逆电流保护不应失效，但其动作值可以有所改变。

逆电流保护，应适当考虑由船舶电网例如起货机所产生的逆电流。

如有均压线，则逆电流保护应设在直流发电机的正极。

2.5.6.5　并联运行的发电机应设有欠电压保护并能满足下列要求：

（1）在发电机不发电情况下闭合断路器时应瞬时动作；

（2）当电压降低至额定电压的 70%～35%时，应经系统选择性保护要求的延时后动作。

2.5.6.6　并联运行的直流涡轮发电机组中的涡轮机的超速限制器动作时，应能同时切断发电机的断路器。

2.5.6.7　在发电机转速显著下降的情况下，发电机保护电器应仍保持有效。

2.5.6.8　应急发电机应设置短路保护。应急发电机过载应发出听觉和视觉报警信号，且不应导致其断路器分断。

2.5.7　自动卸载

2.5.7.1　应设有适当的卸载装置或其他等效措施，自动将非重要负载及保证居住条件的设备予以卸载，必要时，次重要设备也可予以卸载，以确保被连接的发电机不发生持续过载。根据发电机的过载能力，此种卸载可分一级或多级进行。在这种情况下，应先行卸掉非重要负载。

2.5.8　电力和照明变压器的保护

2.5.8.1　电力和照明变压器的初级电路，应以多极断路器或熔断器作短路保护和过载保护。过载保护也可设在次级电路中。

2.5.8.2　并联运行变压器的次级电路应设有隔离措施，作此用途的开关或断路器应能承受冲击电流。

2.5.9　馈电线路的保护

2.5.9.1　每一馈电线路应以同时分断所有绝缘极的多极断路器或多极开关加熔断器作过载和短路保护，临时应急照明馈电线路可仅用熔断器。

2.5.9.2　当采用多极开关加熔断器作过载和短路保护时，应满足下列要求：

（1）主配电板引出的馈电分路上的熔断器，应设于汇流排与开关之间；

（2）分配电板引出的等于及小于 60A 的最后分路，且由它供电的用电设备可在它的附近关闭时，则可免设开关。

2.5.9.3　供电给具有独立过载保护的用电设备（例如电动机）的线路可仅设短路保护。

2.5.9.4　操舵装置馈电线路的保护应符合本规范第 3 篇第 13 章的规定。

2.5.9.5　岸电箱至主配电板或应急配电板间的固定敷设连接电缆，应以断路器或开关加熔断器进行保护。此项保护应设于岸电箱中。

2.5.9.6　一般情况下由主配电板供电给应急配电板的互连馈线，应在主配电板上设有过载和短路保护。如允许反向供电时，则还应在应急配电板上至少设有该馈线的短路保护。

2.5.10　电动机的保护

2.5.10.1　额定功率等于或大于 1.0kW 和所有重要设备电动机，均应设有独立的过载、短路保护以及符合本节 2.5.10.6 要求的欠电压保护。

电动机及其专用馈电电缆可采用公共的短路保护。

2.5.10.2　舵机电动机的保护应符合本规范第 3 篇第 13 章的规定。

2.5.10.3　保护电器应设计成可在正常使用条件下电动机在正常加速期间的电流通过。当电动机的过载保护电器的时间—电流特性与电动机的起动周期不相适应时，则在电动机加速过程中，可允许过载保护有短暂的失效，但短路保护仍应保持有效。

2.5.10.4　对连续工作制的电动机的保护电器，应保证电动机在过载情况下有可靠热保护的延时特性，其最大持续电流，应不超过被保护电动机额定电流的 125%。

2.5.10.5　断续工作制电动机的保护电器的整定电流和延时特性，应在考虑了实际使用情况后选定。

2.5.10.6　电动机应设有下述两者之一的欠电压保护：

（1）欠电压保护，在电压降低或失电时分断电路并防止电动机自动重新起动；

（2）欠电压释放，在电压降低或失电时分断电路，当电压恢复时电动机可重新自行起动，但应避免过大的电压降落或过大的冲击电流。

当电压在额定电压的 85%以上时，保护电器应允许电动机起动。当电压低于额定电压的 20%左右，且在额定频率下，保护电器应分断电路，同时在需要时应有一定的延时。

2.5.10.7　当多相电机采用熔断器保护时，应设置防止单相运转保护。

2.5.11　照明电路的保护

2.5.11.1　每一照明电路应设有过载和短路保护。

2.5.12　蓄电池的保护

2.5.12.1　蓄电池组（除内燃机的起动用蓄电池外）均应设有短路保护，其保护电器应尽可能靠近蓄电池组。

2.5.12.2　每一蓄电池充电器，应设有由于充电器电源电压的降低或丧失而导致蓄电池放电的合适的保护。

2.5.13　电表、指示灯和控制电路的保护

2.5.13.1　电压表、测量仪表的电压线圈、接地指示器、指示灯以及它们的连接导线应采用熔断器加以保护。但如满足下列所有条件时，则指示灯本身可以不设保护：

（1）指示灯与设备装在同一壳体内；

（2）指示灯从设备壳体内部电路供电；

（3）设备中保护电器的定额小于 25A；

（4）指示灯电路的故障不会导致重要设备供电的失效。

2.5.13.2　控制和保护用电器及设备的电压线圈应采用熔断器进行保护。但如满足下列条件，则其本身可不设保护：

（1）线圈与设备在同一壳体内，且由一总的保护电器进行保护；

（2）线圈由设备的电路供电，且该电路的保护电器的定额小于 25A。

2.5.14　电力半导体设备的保护

2.5.14.1　电力半导体设备应设有过载和短路保护。

第 6 节　　辅助机械

2.6.1　一般要求

2.6.1.1　额定功率等于或大于 1.0kW 的电动机及所有重要用途的电动机，均应由独立的最后分路供电。

2.6.1.2　每台电动机均应设置有效的起动和停止装置，其位置一般在电动机旁，且应便于管理电动机人员的操纵。

2.6.1.3　额定功率等于或大于 0.5kW 的电动机及其控制装置，应设置能够把满负载从电源的所有带电电极上切断的装置。如这种控制装置是装在主配电板或其他配电板上，或者是邻近于这些配电板之处，则可以用这些配电板上的切断开关来切断上述负载的电源，否则应在控制装置箱内装设一个切断开关或者单独装设一个有封闭外壳的切断开关。

2.6.1.4　当起动器或用于切断电动机的任何其他电器装置远离电动机时，则应采取下列的任何一种措施：

（1）能够在“分断”位置上把电路锁定在断开状态的措施；

（2）在邻近电动机处装设一附加的切断开关；

（3）使安装在每一个带电极或相上的熔断器可以方便地由专职人员卸除和保管。

2.6.1.5　如采用公共起动系统（即以一套起动器逐个起动多台电动机）时，此系统中每

台电动机均应配备欠电压保护、过电流保护、切断设施和运转指示器，其有效程度应不低于每台电动机单独使用 1 套起动器时的要求。如起动系统属于自动类型，则应另备适当的手动操作设施。如此项起动器是用于重要用途的电动机，则其起动部分应为双套，且应设置转换设施，当其中 1 套发生故障时，能立即进行转换。

2.6.1.6　用改变励磁进行调速的电动机，应设有在全励磁的情况下才能起动的装置。

2.6.1.7　电动机的欠电压、过载及短路等保护应符合本篇第 2 章第 5 节有关规定。

2.6.2　操舵装置

2.6.2.1　电动或电动液压操舵装置应符合本规范第 3 篇第 13 章的规定。

2.6.3　固定式潜水舱底泵

2.6.3.1　固定式潜水舱底泵的电动机应接于应急配电板。馈电电缆应从电动机的接线端连续敷设至舱壁甲板以上。

电缆应具有不透性的护套和铠装。电缆及其端头应能承受与舱壁甲板高度相等的水柱压力。

2.6.3.2　在任何情况下固定式潜水舱底泵应能自舱壁甲板以上进行起动。如固定式潜水舱底泵的电动机附近另有“起动”、“停止”按钮时，则应保证在舱壁甲板以上还能将该“起动”、“停止”按钮的所有控制线路切断。

2.6.3.3　固定式潜水舱底泵的电源，还应符合本规范第 3 篇第 3 章第 5 节有关规定。

2.6.4　甲板机械

2.6.4.1　电动甲板机械的电磁制动器，应附有人工释放装置。

2.6.4.2　锚机、绞缆机的电动机，如技术条件中未作特殊要求时，其工作定额应不小于 30min。

2.6.4.3　吊艇机电力拖动装置应设有当艇回复至原位时的限位开关。

2.6.4.4　吊艇机电力拖动装置应与手动装置以及手动制动器相联锁。

2.6.5　消防设备

2.6.5.1　消防泵和固定式应急消防泵的电动机及消防自动喷水系统和水雾灭火系统的供电，应符合现行法定要求。

2.6.6　风机和油泵的切断

2.6.6.1　起居处所、服务处所、货物处所和控制站的动力通风，应能从其所服务的处所外面易于到达的位置将其停止。此位置应在其所服务的处所失火时不易被隔断。

对于货船和载客不超过 36 人的客船，厨房炉灶排气管道的风机应能在厨房内将其停止；对于载客超过 36 人的客船，该关闭装置应装设在厨房外接近厨房入口的位置。

2.6.6.2　机器处所风机和油泵的切断：

（1）服务于机器处所动力通风的切断应集中在两个位于服务处所外部的位置上进行，其中之一应位于这种处所的外面易于到达之处，且应在其所服务的处所失火时不易被隔断。

机器处所动力通风的停止设备应与其他处所的通风停止设备完全分开；

（2）应设有停止强力送风和抽风机、燃油驳运泵、燃油装置用泵、润滑油供应泵、热油循环泵和油分离器（净油器）的控制设备。除油分离器外，该控制设备应位于各有关处所的外部，从而不会在其所服务的处所失火时被隔断。

2.6.6.3　对客船的附加要求：

（1）对于客船，本节 2.6.6.2 所要求的控制设备应位于一个控制位置或者集中在尽可能少的位置上。这些位置均应具有通往开敞甲板上的安全通道；

（2）对于载客超过 36 人的客船，除机器处所和货物处所的通风以及现行法规另有规定之外，其动力通风应设有集中控制设备，以便在两个尽可能远离位置均可停止所有通风机。

服务于货物处所动力通风系统的风机，应能从该处所外的安全位置将其停止。

2.6.7　液货船上的货物和压载综合系统

2.6.7.1　以下要求适用于液货船上安装的货物和压载综合系统。

2.6.7.2　货物和压载综合系统系指任何用于同时驱动货物和压载泵（包括主动的控制系统和安全系统，不包括被动部件，如：管系）的液压和/或电气综合系统。

2.6.7.3　在某些应急情况下或在航行途中，为增强液货船的安全，可能有必要操作货物和/或压载系统，所以应采取措施，防止由于货物和压载综合系统（包括其控制和安全系统）的单个故障造成货泵和压载泵同时失效。

2.6.7.4　货物和压载综合系统应具有下列特性：

（1）货物和压载系统的应急停车电路应与控制系统的电路独立。控制系统电路或应急停车电路中的单个故障，不应造成整个货物和压载综合系统的失效；

（2）货泵的应急手动停止应布置成不会引起动力单元的停止，以致于造成压载泵的失效；

（3）控制系统应具有备用电源，可要求由主配电板提供两路供电来满足。当任何一路电源发生故障时，应在货物和压载综合系统的每一控制板的安装位置发出听觉和视觉报警。

（4）在自动或遥控系统故障的情况下，应能采用第二种控制方法操作货物和压载综合系统。这一要求可通过设置手动越控和/或冗余的控制系统来实现。

2.6.8　渡船车辆跳板的控制系统

2.6.8.1　车辆跳板控制站的位置应布置于使操作人员能观察到跳板的运动状态。

2.6.8.2　控制系统发生电力故障时应发出听觉和视觉报警，同时跳板应自动保持在位。当供电恢复时，操纵机构应复位后才能继续进行操作。

2.6.8.3　控制站应设有跳板状态的指示器。

2.6.8.4　应设有在下述情况下使控制和驱动线路不能动作的措施：

（1）任何遮盖物未取下；

（2）如有车辆围栏，而未关闭。

2.6.8.5　跳板在运行时应在跳板旁醒目位置发出连续的听觉和视觉指示。

2.6.8.6　跳板由可伸缩的锁紧装置固定时，应设有在锁紧装置合上时确保动力不中断的设施，以及在锁紧装置未脱开前不可能降落。

2.6.8.7　除尾门外，如另设有由码头边出入的跳板，在尾门开启或关闭前，跳板相对于水平的角度应小于 10°。

2.6.8.8　出入的跳板在工作时与水平的最大倾斜应不大于预定角度，如超过所允许的预定角度时，则应发出听觉和视觉报警。

2.6.8.9　如设置遥控锁紧的装置时，则应设有在锁紧控制或锁住机构失效时的锁紧跳板的替代设施。

第 7 节　　照明与航行灯

2.7.1　一般要求

2.7.1.1　安装在货舱、外走道及其他易受机械损伤处所的灯具应有坚固的保护栅。

安装在振动较大处所的灯具应采取减振措施。

直接固定在木板或其他易燃材料上的灯具，应采取防火隔热措施。

2.7.1.2　行李舱、邮件舱、粮食舱、冷藏舱及其他类似舱室的照明开关不应设在室内，并应在照明开关处装有接通指示灯。潮湿处所及有爆炸危险处所，其照明开关应能切断所有绝缘极。

2.7.1.3　邻近工作电压高于 250V 放电灯的处所和其他必要的地方，应设置提醒人们注意的“高压危险”的警告标志。

2.7.2　供电、控制等

2.7.2.1　照明分配电板每一容量大于 16A 的最后分路的供电灯点应不超过 1 个。每一容量小于或等于 16A 的最后分路的供电灯点数应不超过：

对于 55V 及 55V 以下的电路　10 点；

对于 56～120V 电路　14 点；

对于 121～250V 电路　24 点。

供电给灯头紧贴成簇的檐板照明、壁灯、电标志等最后分路，如其最大工作电流不超过 10A，所供应的灯点可不受限制。

照明电路的最后分路不应向电热及电力设备供电，但对于小型的厨房设备（如面包片烘烤器、小搅拌器、咖啡壶）、小型的电动机（如台扇、舱室电扇、电冰箱）、衣橱加热器和类似用具可以除外。

2.7.2.2　主机舱、除主机舱外的大型机器处所、大型厨房、通道（包括出入口）、通向艇甲板的梯道、公共处所以及旅客超过 16 人的客舱等处所的照明，至少应由照明用的两个最后分路供电，其中之一可为应急照明最后分路。当其中任何一路不能供电时，另一路仍应能保持上述处所必要的照明。主机舱及炉舱的照明灯点应交错布置。

对货船，以上要求照明至少由两个最后分路供电的舱室或处所，可减少至主机舱和锅炉舱，其中之一可为应急照明最后分路。

2.7.2.3　每一主竖防火区至少需有两路独立照明的馈电线，其中一路可为应急照明馈电线。

2.7.2.4　货舱内固定照明的控制，应由位于货舱以外适当位置的能切断所有绝缘极的开关完成，并应装有电源接通指示灯。

2.7.2.5　船上各种场所所安装的照明灯具，其防护等级应符合本篇表 1.3.2.2 的要求。对某些有特殊要求的场所，其照明开关应按本节 2.7.1.2 的规定进行安装。

2.7.2.6　照明电路应按本章 2.5.11.1 设置保护。

2.7.2.7　主照明系统应向全船供旅客或船员正常出入和使用的部位提供照明，并从主电源得到电源供应。

2.7.2.8　在确定照明电路的电流定额时，若缺乏精确资料，每 1 只灯座应按能与它连接的最大负载计算，但最小为 60W。如灯具的结构只能装接定额低于 60W 的灯者，则可除外。居住处所照明分路内的每个插座应按照 200VA 计算。

2.7.3　应急照明

2.7.3.1　应急照明的布置和客滚船的附加应急照明应符合本章第 2 节的有关规定。

2.7.3.2　在客船上，在包括梯道和出口在内的脱险通道全线（包括拐弯和叉路口处）距甲板高度不超过 0.3m 处，应设置符合接受标准[①] 的灯光或光致发光条显示标志。该显示标志应使乘客能辨认出整个脱险通道并迅速识别出脱险通道出口。

如采用灯光，则应由应急电源供电（见本章 2.2.2.1（1）③）。

2.7.3.3　各种应急照明灯均应在灯具上有明显的标志，或在结构上与一般照明灯不同。

2.7.3.4　在临时应急照明电路内不应装设就地开关。

2.7.3.5　除驾驶室和救生艇、筏存放处舷外的应急照明灯外，在本章 2.2.2.1（1）、2.2.3.1（2）和 2.2.4.2 规定处所的应急照明电路内不应装设就地开关。

2.7.3.6　主照明系统和应急照明系统各自的电源、相关的变换设备（如设有时）、主或应急配电板和照明配电板（不包括区配电板和分配电板）不应安装在同一处所内，以使设有这些设备的任一处所发生火灾或其他事故时，两系统不致同时失效。

2.7.3.7　在客船上，所有客舱均应设有辅助照明，以清楚地示明出口，使乘客能够找到通向门的通道。辅助照明可与应急电源相连，或在每一客舱中配备独立电源，在客舱正常照明断电时自动点亮，并延续至少 30min。

2.7.4　航行灯

2.7.4.1　每 1 盏航行灯均应由安装在驾驶室内易于接近位置上的航行灯控制箱引出的独立分路供电，而且应在这些分路的每个绝缘极上用安装在该控制箱内的开关和熔断器或断路器进行控制和保护。

2.7.4.2　航行灯控制箱应直接由主配电板和应急配电板供电；如按照本章第 2 节设置临时应急电源，航行灯控制箱应直接由应急配电板和临时应急充放电板供电。

---

① 参见 IMO 通过的 A.752（18）决议《客船上低位照明的鉴定、试验和应用指南》。

对于小于 500 总吨货船和遮蔽航区或与其相当的航区航行的所有船舶，航行灯控制箱应由主配电板和应急充放电板或者应急配电板供电。

2.7.4.3　应在航行灯控制箱上或驾驶室的适当位置设置转换开关，以能对本节 2.7.4.2 所要求的供电电源进行转换。

2.7.4.4　应设有在每 1 盏航行灯发生故障时能发出听觉和视觉报警信号的自动指示器，如采用与航行灯串联连接的灯光指示，则应有防止由于信号灯故障而导致航行灯熄灭的措施。并应设有航行灯控制箱电源故障的听觉和视觉报警。500 总吨以下的船舶可免除此要求。

2.7.4.5　航行灯控制箱可扩展至对现行《国内海船法规》第 4 篇第 8 章规定的信号灯供电，其他用电设备不应接入该控制箱。

第 8 节　　船内通信系统

2.8.1　主机传令钟系统

2.8.1.1　自驾驶室至机器处所或机器控制室内通常控制螺旋桨转速和推力方向的位置（以下简称螺旋桨通常控制位置）之间，至少应设置两套相互独立的命令传送设施。其中之一应为符合本节 2.8.1.2 规定的主机传令钟系统。

2.8.1.2　主机传令钟系统应符合下列规定：

（1）发信器和收信器的控制器应有适当的安全保持措施，以防止其被无意地移动；

（2）应是个双向系统，由收信器发出的信号应同样立即在发信器上显示；

（3）在设有几个控制位置的情况下，已得到应答的命令应在所有控制位置上都有显示。如可用转换开关对控制位置进行选择时，则应设有指示以表明正在使用的控制位置；

（4）发信器和收信器均应配备呼叫信号发生器，该信号发生器应自发送命令开始工作，直至得到正确应答为止。应在机舱内任何位置均能听到这一听觉信号，如有必要，还应附加视觉信号；

（5）在螺旋桨通常控制位置上应设有主机（适用于可换向主机）错向的听觉报警器；

（6）应由独立的最后分路供电，并在驾驶室内设有失电的听觉和视觉报警器。

2.8.1.3　本节 2.8.1.1 所要求的另一命令传送设施可为应急主机传令钟系统，其功能应符合本节 2.8.1.2（1）和（2）的规定，并应由应急电源供电。

2.8.1.4　可设置一本节 2.8.2.2（4）规定的电话系统代替应急主机传令钟系统。

2.8.2　重要电话系统

2.8.2.1　重要电话系统应保证在船舶各种工况下通话清晰。

2.8.2.2　下列处所之间应设有电话系统：

（1）驾驶室——机器控制室；

（2）驾驶室——舵机舱内操舵装置控制位置；

（3）驾驶室——无线电室：如不用电话就能通话，则不需设此电话；

（4）驾驶室——螺旋桨通常控制位置：如设有应急主机传令钟系统，则不需设此电话；

（5）驾驶室——螺旋桨各其他控制位置：如这些位置设有主机传令钟的复示器，则不需设此电话；

（6）机器控制室——螺旋桨各其他控制位置：如这些位置上设有主机传令钟的复示器，则不需设此电话。

2.8.2.3　本节 2.8.2.2 所列各项电话系统均应是单独直通线路，如果任何时候均能确保驾驶室能进行插入忙线通话，则可采用一共用电话系统。

2.8.2.4　本节 2.8.2.3 所述共用电话系统应是一独立系统，除供 2.8.2.2 所述处所通话外，仅允许向与船舶安全相关的处所提供通话，例如消防控制站、二氧化碳室和应急发电机室等。

2.8.2.5　凡安装在机舱（机器控制室除外）内的电话系统均应设有双向呼叫设备，并应设计成在主推进装置全功率运行情况下，机舱内的任何位置都能听到，还应附加上视觉信号。

2.8.2.6　在主电源失电情况下重要电话系统应仍能工作。

2.8.3　应急情况下的通信

2.8.3.1　在应急控制站、救生艇筏集合和登乘地点与驾驶室等要害位置之间，应设有能

传送命令的相互通信系统。

2.8.3.2　该通信系统可由可携式设备或固定安装的设备组成，并应在主电源失电情况下仍能工作。

2.8.4　轮机员报警系统

2.8.4.1　所有客船和500总吨及以上货船应设有能由机舱或机器控制室操作的轮机员报警系统，并应能在轮机员起居处所清晰地听到。

2.8.4.2　听觉警报器可以集中安装在轮机员起居处所的走廊中，或者安装在各轮机员舱室和餐厅中。

如采用分散布置，则应能单一和集中地向轮机员发出报警。

第9节　船舶与乘员安全系统

2.9.1　通用紧急报警系统

2.9.1.1　为发出通用紧急报警信号，500总吨及以上货船和所有客船应设有一由船舶号笛或汽笛以及附加电铃、小型振膜电警笛或其他等效设备组成的通用紧急报警系统。500总吨及以上货船设有满足2.9.2.1（1）至（8）的要求的公共广播系统时，可不必再设置独立的通用紧急报警系统。

在客船上该报警信号应能分别向船员和乘客，以及同时向两者发出。

配员超过12人的非机动船上应设有通用紧急报警系统，或者符合本节2.9.2.1规定的公共广播系统。

2.9.1.2　除船舶号笛或汽笛外，该报警系统应能自驾驶室和至少一个其他要害位置[①]进行操作，并应在被触发后一直保持报警状态，直至人工将其关闭或由于公共广播系统工作而暂时中断。对于客船，该报警系统还应能从安全中心进行操作。

2.9.1.3　当通用紧急报警系统在工作时，应自动关闭娱乐音响系统。

2.9.1.4　该报警系统应由专门的馈电线供电，在主电源失电后应能自动转换至应急电源供电。在客船上该报警系统还应由临时应急电源供电。

2.9.1.5　在全船所有起居处所、通常船员工作处所以及对客船还应包括开敞甲板上均能听到该报警信号。

在内外部处所中，该紧急报警的最小声压级应为80dB（A），并至少应高出船舶在中等气候条件下的正常设备运转情况下的环境噪声10dB（A）。在舱室内睡眠位置和浴室内的声压级应至少为75dB（A），并至少应高出环境噪声10dB（A）。

2.9.1.6　每一电铃或小型振膜电警笛或其他等效电气声响设备应设有独立的短路保护。

2.9.2　公共广播系统

2.9.2.1　500总吨及以上货船均应设有符合下列要求的公共广播系统：

（1）应能从驾驶室和消防控制站等处所，向船员通常所在的所有处所以及集合站发送广播信息；

（2）应不需要接收者进行任何操作即可接收广播信息；

（3）应有防止未经许可使用的保护；

（4）放大器应有足够的输出功率，以使作广播紧急通告用的所有扬声器能同时工作；

（5）其布置应能防止音频反馈或其他干扰；

（6）当船舶在正常航行状态下航行时，广播紧急通告的声压级应不低于：

①　内部处所75dB（A），并应至少高于语音干扰声压级20dB（A）；

②　外部处所80dB（A），并应至少高于语音干扰声压级15dB（A）；

（7）应能由主电源和应急电源供电。

（8）如采用公共广播系统发出通用报警信号，则应符合下列要求：

①　符合本节2.9.1的性能要求；

---

① 其他要害位置是指除驾驶室之外的，在紧急情况下可用于控制和激发通用紧急报警系统的地点，消防控制站或者货物控制室通常可被认为是要害位置。

② 至少设置两个放大器，并单独供电；

③ 扬声器电路应布置成即使一个放大器或一个扬声器电路发生故障，仍能维持报警信号的发送，但其强度可以有所减弱；

④ 当扬声器由内置音量控制器控制时，在发出报警信号时，音量控制应自动失效；

⑤ 能随时发出清晰的报警信号，其他同时发送的信号应自动中断；

⑥ 每一扬声器应设有独立的短路保护。

2.9.2.2 所有客船应设有符合下列要求的公共广播系统：

（1）应能从驾驶室和中央控制站等处所，同时向船员和乘客或两者通常所在的所有处所以及集合站发送广播信息，同时也应可以分别向船员和乘客发送广播信息；

（2）应符合本节 2.9.2.1（2）～（6）的规定；

（3）在驾驶室的控制位置上应能切断本广播系统从其他位置上发出的任何广播；

（4）系统控制单元所在处所属《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇第 2-2 章定义的控制站，在每一这样的控制站均应具有下列应急功能控制：

① 应急功能的清晰显示；

② 任何其他输入系统或程序的自动越控；

③ 所有音量控制和开/关控制的自动越控，以使所有处所中均能获得要求的音量；

（5）至少应设有独立且分开的 2 个放大器，并独立供电；

（6）每一防火区应至少设有 2 个与各自放大器相连接的扬声器环路，其电缆并应在整个长度上都尽可能分开敷设；

（7）每一扬声器均应设有独立的短路保护；

（8）应能由主电源、应急电源和临时应急电源供电；

（9）如公共广播系统用来发出通用紧急报警信号，则还应符合本节 2.9.1 的要求。

2.9.3 固定式灭火剂施放前报警

2.9.3.1 对任何滚装处所和载运整体式冷藏集装箱的货舱、经门或舱口盖进出的处所（普通货舱除外）和通常有人员工作或出入的其他被固定式气体灭火系统保护的处所，应设有施放灭火剂的听觉和视觉自动报警装置。该系统应在灭火剂施放前至少工作 20s。

2.9.3.2 被固定式高倍泡沫灭火系统保护的机器处所、货泵舱、车辆处所、滚装处所和特种处所等处所内应设有施放灭火剂的听觉和视觉报警，以便在系统施放时能发出警告。报警持续时间应考虑撤离该处所所需的时间，应在灭火剂施放前至少工作 20s。

2.9.3.3 上述报警系统应由应急电源供电。

2.9.3.4 用于保护主推进发动机和主发电机组所在机器处所的固定式灭火系统的设计，应确保除施放灭火介质外的任何工作不应导致自动切断该机器处所风机和油泵，例如消防演习时打开施放箱（柜）门等。

2.9.4 升降机报警

2.9.4.1 具有内部控制器的升降机应设有一能从其轿厢内操作的应急听觉呼叫器，这一报警信号应传送至通常有人的位置。

2.9.4.2 该应急听觉呼叫器应独立于升降机的动力和控制电路，并应由应急电源供电。

2.9.5 冷藏处所关闭报警

2.9.5.1 如通向冷藏货舱和伙食冷藏库等冷藏处所的门不能从其内部开启，则应设有能从该处所内部触发一误关报警，并将其传送至通常有人位置的设施。

2.9.6 探火和失火报警系统

2.9.6.1 探火和失火报警系统应符合《国内海船法规》第 4 篇第 2-2 章的有关规定。

2.9.6.2 探火和失火报警系统的电源应不少于两套，其中一套应为应急电源。该系统应由专用的独立馈电线供电，这些馈电线应接至位于或邻近于该系统控制板上的自动转换开关。主（应急）馈电线应从主（应急）配电板直接接至转换开关，而不通过任何其他分电箱。

2.9.6.3 自动转换开关的操作或其中一套电源的故障不应导致探火与失火报警系统性

能降低。

2.9.6.4　如果短暂断电会导致探火与失火报警系统的性能降低，则应设置有足够容量的蓄电池以确保电源转换过程中系统能够持续运行。

2.9.6.5　电源至自动转换开关的连接应布置成单一故障不会导致所有供给自动转换开关的电源失效。

2.9.6.6　探火与失火报警系统的应急电源也可以由蓄电池供给。当采用蓄电池供电时，其布置应满足下列要求：

（1）蓄电池应具有足够的容量，按照本章 2.2.2 或 2.2.3 对应急电源要求的时间，对探火与失火报警系统供电；

（2）充电装置的功率应足以在对处于完全放电状态的电池充电时维持对探火系统的正常供电。

（3）蓄电池应位于探火与失火报警系统控制板内或附近，或在另一个适合在应急情况下使用的位置。

（4）馈电线应从蓄电池或蓄电池充放电板直接接至转换开关，而不通过任何其他分电箱。

2.9.7　防火门

2.9.7.1　现行法定要求的防火门的动力、控制、指示和报警系统应由应急电源供电。

2.9.7.2　对 I 级和 II 级客船[①]，应在通常有人的控制站内设有每一遥控操作的防火门是“开启”还是“关闭”的指示器。

2.9.7.3　对客船，防火门的控制和指示系统应按故障安全原则设计，并具有人工复位的释放系统。该人工复位装置应能在防火门的两边都能进行操作。

2.9.8　客船上的水密门

2.9.8.1　动力操作滑动水密门的动力电路及其相关连的控制、指示和报警电路应直接由应急配电板、或者由位于舱壁甲板以上连接于应急配电板的专用配电板供电。

2.9.8.2　如开启和关闭水密门的操作设备中具有电动机，则除非设有独立的过渡性储备能源，当主电源或应急电源发生故障时，应能自动转换至临时应急电源供电。其容量应至少足够操作水密门 3 次，即关－开－关。

2.9.8.3　动力操作滑动水密门的操作系统或控制系统的单一电气故障，不应导致关闭着的门被开启，或者妨碍任何水密门的人工操作。

2.9.8.4　应在邻近水密门操作设备电路的某点进行供电的连续监视。任何断电故障均应在驾驶室的集控台上发出听觉和视觉报警。

2.9.8.5　电气动力、控制、指示和报警电路均应设有对发生的故障进行保护，以使一水密门电路中的故障不应导致任何其他水密门电路发生故障。一水密门报警或指示电路的短路或其他故障，不应导致该水密门的动力操作失效。其布置应保证水渗漏进位于舱壁甲板以下电气设备时不致使水密门开启。

2.9.8.6　必需安装在舱壁甲板以下的电气部件的外壳，应具有下列防浸水的防护等级：

（1）电动机、相关连的电路和控制部件：IPX7；

（2）门位置指示及相关连的电气部件：IPX8；

其水压试验应基于该部件所在位置可能出现的压力，浸水 36h；

（3）门移动警告信号设备：IPX6。

2.9.8.7　包括电缆在内的水密门的电气控制设备，应尽可能靠近装设该水密门的舱壁安装，且应布置成在船舶遭受任何损坏时使其产生损坏的可能性减至最小。

2.9.8.8　每当遥控动力关闭水密门时，应发出一不同于该区域中其他报警的听觉报警信号，该报警信号应在水密门开始移动前至少 5s，但不超过 10s 时发出，并持续至该门完全关闭为止。在乘客区域和噪音超过 85dB（A）区域内的该项听觉报警还应加上一间断的视觉信号。

2.9.8.9　集控台应安放在驾驶室内，其上应设置一具有下列两种控制模式的“控制模式”

---

① 客船等级的规定见《国内海船法规》第 4 篇第 1 章。

开关：

（1）正常情况使用的“就地控制”模式，该模式可不使用自动关闭设备即能将任何水密门就地开启和就地关闭；

（2）应急状态下使用的“关闭门”模式，该模式能自动关闭任何一扇开启着的水密门，同时可就地开启任何门，而在脱开其就地控制机构后能将其自动再关闭。

2.9.8.10　驾驶室内的集控台上应设置一标有每扇水密门位置的略图。集控台和舱壁甲板以上的水密门手动操纵处应设有显示门是“开启”还是“关闭”的视觉指示器。

该指示电路应独立于每扇水密门的控制电路。

2.9.8.11　应不可能在集控台上遥控打开任何一扇水密门。

2.9.9　货船上的水密出入门和舱盖等

2.9.9.1　为确保在海上使用的内部开口的水密完整性而设置的滑动水密门，其操作、控制和指示应符合下列要求：

（1）应能在驾驶室遥控关闭、也能在舱壁的两侧就地操作；

（2）在控制位置上应设置表明门是开启或关闭着的指示器；

（3）在门关闭时应发出听觉和视觉报警信号；

（4）每一动力操作的门应有一独立的手动操作装置，并应能从门的任何一侧手动开启和关闭该门。

2.9.9.2　为保证内部开口的水密完整性在航行中关闭的出入口上的门和舱盖，应在其就地和驾驶室内设有显示这些门或舱盖是开启或关闭着的指示器。

2.9.9.3　所有通向在破损分析中假定为完整的且位于最终水线以下的舱室的外部开口，除货舱盖以外，均应在驾驶室设有表明其开启或关闭着的指示器。

2.9.9.4　在主电源失电的情况下，本节 2.9.9.1 所涉及的动力、控制、指示和听觉和视觉报警设备应仍能工作。

2.9.10　滚装船特种处所和滚装处所边界中的门

2.9.10.1　以下要求适用于本规范第 2 篇第 9 章所定义的特种处所或滚装处所边界中的门，通过该门这些处所可能浸水。

对货船，如舷门和尾门无任何部分处在最高水线以下，且门的开口面积不大于 6m^2，则本节 2.9.10.2 至 2.9.10.5 的要求不适用。

2.9.10.2　在驾驶桥楼和每个操作控制屏上应设有独立的指示灯和听觉报警器，以显示门已关闭及其紧固和锁紧装置已处于适当的位置。

指示屏应具有试灯功能，且不应关闭指示灯。

2.9.10.3　指示系统应按故障安全原则设计[①]，并设计成：如门未完全关闭和未完全锁紧，以视觉报警显示；如锁紧装置变成开启或锁紧装置变成非锁紧，以听觉报警显示。指示系统的电源应独立于操作和关闭门的电源，且应设有备用电源，该备用电源可以是应急电源或其他的可靠电源（如 UPS）。

应对指示系统的传感器加以保护，以防来自水、结冰和机械的损伤。

2.9.10.4　在驾驶桥楼的指示屏上应设有“在港/在航”工况的选择功能，如船离港时首门、尾门或舷门等未关闭或任一紧固装置不在正确位置上时，则应在驾驶桥楼发出听觉报警。

---

① 当指示系统满足下列要求时，则可认为是按故障安全原则设计的：

（1）指示屏具有下列功能：

- 电源故障报警；
- 接地故障报警；
- 指示灯试验；
- 对门关闭、门锁紧、门未关闭和门未锁紧能分别进行指示。

（2）当门关闭时，电气限位开关应闭合（当设有多个限位开关时，可串联连接）。

（3）当紧固装置起作用时，电气限位开关应闭合（当设有多个限位开关时，可串联连接）。

（4）设两个电路（也可在一多芯电缆中），一个电路作为门关闭和未关闭指示，另一电路作为锁紧和未锁紧指示。

（5）当限位开关错位时，应指示：未关闭/未锁紧/紧固装置不在位（如适用时）。

2.9.10.5　对于舷门和尾门，客船应配备带听觉报警和电视监控的水渗漏探测系统[①]，以向驾驶桥楼和机舱控制室显示门的任何渗漏情况。货船应配备带听觉报警的水渗漏探测系统[②]，以向驾驶桥楼显示门的任何渗漏情况。

2.9.10.6　对于内门，应配备带听觉报警和电视监控的水渗漏探测系统[①]。以向驾驶桥楼和机舱控制室显示内门的任何渗漏情况。

2.9.10.7　在首门和内门之间应装设电视监控系统[①]，并在驾驶桥楼和机舱控制室内配置监视器。该系统用以监视门的位置及其足够数量的紧固装置。应对所监视物体的亮度和色彩对比度给以特殊考虑；

2.9.10.8　在首门和跳板之间的区域应设排水系统[②]，当不设置跳板时，则首门与内门之间区域应设排水系统[①]。该系统在驾驶桥楼应设有听觉报警功能，当区域内积水水位超过车辆甲板 0.5m 或高水位报警值（取小者）时发出警报。

2.9.10.9　客滚船在航行途中，应对特种处所和滚装处所进行不间断巡逻或通过有效途径（如电视监控）进行监控，以确保发现在恶劣天气下机动车辆的任何移动或乘客未经许可而进入上述处所的情况。

第 10 节　　电热器具

2.10.1　一般要求

2.10.1.1　所有电取暖器应固定装设。

2.10.1.2　在有可燃气体和尘埃易于聚集的地方，不应装设电热器具。

2.10.1.3　电热器具的安装对甲板、舱壁或其他周围物品应不致产生过热的危险。

2.10.2　电热和电炊设备的控制及装设

2.10.2.1　每个电热器和电炊设备，应作为 1 个完整的单元用 1 个安装在其邻近的多极联动开关进行控制。对于舱室取暖器，则可采用单极开关。

2.10.3　电热器具的供电

2.10.3.1　每只电热器应分别接到 1 个独立的电热最后分路上。但数量不多于 10 只，且总的电流定额不超过 16A 的小型电热器可共同连接至 1 个独立的电热最后分路上。

第 11 节　　蓄电池组

2.11.1　布置和安装

2.11.1.1　蓄电池组[③]应安放在不受过热、过冷、溅水、蒸汽、其他损害其性能或加速其性能恶化影响的处所内。其安装应不致因其所产生的气体或电解液的泄漏，而导致人员遭受危险和设备遭受损坏。

2.11.1.2　蓄电池组应布置得易于接近，以便对其进行更换、检查、测试、注液和清洁。

2.11.1.3　蓄电池组不应安装在起居处所。但如充电时不会产生有害气体的气密蓄电池可以例外。

2.11.1.4　如蓄电池组有遭受机械损伤或下落物体的危险，则应有适当的防护措施。

2.11.1.5　充电功率[④]大于 2kW 的蓄电池组，应安放在专用舱室内或安放在开敞甲板上的箱或柜中。

2.11.1.6　充电功率为 0.2kW 至 2kW 的蓄电池组，应按本节 2.11.1.5 的规定安放，也可安放在适当处所内的箱或柜中，或者敞开安放在机器处所内通风良好的地方。

2.11.1.7　充电功率小于 0.2kW 的蓄电池组，可以安放在任何合适处所中的开敞位置上或者蓄电池箱内。

---

① 故障安全原则见本节 2.9.10.3 脚注。

② 故障安全原则见本节 2.9.10.3 脚注。

③ 本节所述蓄电池组为酸性铅板型和碱性镍板型。锂离子蓄电池组应满足 CCS《船舶应用电池动力规范》的要求。

④ 充电功率系指蓄电池组的标称电压乘最大充电电流值。

2.11.1.8　每只蓄电池周围间隙应大于 20mm，并应用不吸潮、耐电解液腐蚀的绝缘材料楔隔、衬垫和固定，并采取防止漏出的电解液与船体接触的措施。

2.11.1.9　安放蓄电池的专用舱室、箱、柜及其通风管道等，凡可能经受电解液或电解液逸出气体引起腐蚀的表面均应有防腐蚀措施。

2.11.1.10　原动机起动蓄电池组应尽可能接近该原动机安装。

2.11.1.11　用作应急电源和临时应急电源的蓄电池组的安放位置应符合本篇 2.2.1.2 的规定。

2.11.1.12　在蓄电池室的门、箱和柜的外面应有禁止烟火的标志。

2.11.2　通风

2.11.2.1　蓄电池室、箱和柜均应通风，以避免可燃气体的危险积聚。

2.11.2.2　如需要的换气量较小，通风管道能从蓄电池室、箱或柜的顶部直接向上通至开敞空气，而通风管的任何部分与铅垂线的夹角均不大于 45°，则可以采用自然通风。

2.11.2.3　蓄电池室采用自然通风时，进风风管的截面积应和出风风管的截面积相等，截面积 A，应不小于：

（1）排气型蓄电池

$$A = \frac{50 \times U_n \times Q \times n}{1000} \quad \text{cm}^2$$

（2）阀控密封型蓄电池

$$A = \frac{20 \times U_n \times Q \times n}{1000} \quad \text{cm}^2$$

上述两式中：U_n——蓄电池标称电压，V；

Q——蓄电池容量，Ah；

n——蓄电池数量，只。

2.11.2.4　安装蓄电池组的专用舱室、箱或柜，如蓄电池组的总充电功率大于 2kW，则应设有机械通风装置，排风量 Q 应不小于：

（1）排气型蓄电池

$$Q = 0.11In \quad \text{m}^3/\text{h}$$

式中：I ——产生气体期间的最大充电电流，但不小于充电设备能够输出的最大充电电流的 25% ，A；

n ——串联的蓄电池数量，只。

（2）阀控密封型蓄电池

排风量可减少至 2.11.2.4（1）规定排风量的 25%。

2.11.2.5　除本节 2.11.2.3 和 2.11.2.4 规定的通风量计算方法以外，根据蓄电池的实际应用情况，也可接受采用其他工业标准（例如 IEC 62485-2:2010 第 7.2 和 7.3，或 IEC 62040-1:2017 附录 CC 第 CC.2）计算通风量。

2.11.2.6　除安放在开敞甲板上或本节 2.11.1.6 和 2.11.1.7 规定的处所内的箱、柜以外，蓄电池室、箱或柜的通风系统应独立于其他通风系统。其排气管道应通向能安全稀释可燃气体且无点燃源之处，其进风口应开向可燃气体可能积聚之处。其出风口应设在顶部，进风口应设在底部，并有防止水和火焰进入的措施。

2.11.2.7　蓄电池室、箱或柜的机械通风装置，应有防止通风叶片偶然与机壳发生摩擦产生火花的措施。非金属的通风叶片应用抗静电材料制成。

2.11.2.8　除通风口外，蓄电池室的其他开孔均应作有效封闭，以防止爆炸性气体进入邻近舱室。

2.11.3　充电设备

2.11.3.1　所有蓄电池组均应设有充电设备。按使用要求，该充电设备应能将蓄电池组从完全放电状态开始在不超过 10 h 的时间内充至额定容量的 80%。

2.11.3.2　应设有控制和监视蓄电池组充电的适当措施，以及本篇 2.5.12.2 规定的保护。

2.11.3.3　对浮充电路或在充电期间负载连接至蓄电池组的其他情况，最大蓄电池电压应不超过与其连接设备的安全值。

2.11.4　电气设备

2.11.4.1　在蓄电池室内应避免安装电气设备。如必需安装时，应选用符合本篇 1.3.3.3 规定的合格防爆电气设备。

2.11.5　蓄电池组型式、位置和维护周期记录

2.11.5.1　对用于重要设备和应急设备的蓄电池组，应制定一记录表并保持更新。该记录表应经审核，并至少应包括蓄电池组的下列信息：

—— 型式和制造厂的型号；
—— 电压和安时定额；
—— 安放位置；
—— 所服务的设备和/或系统；
—— 维护/更换周期；
—— 上一次维护和/或更换日期；
—— 贮存中的更换蓄电池，其制造日期和贮存寿命。

2.11.5.2　应提出一更换蓄电池的程序，以保证在更换蓄电池时，所更换者均为具有等效性能的蓄电池。

2.11.5.3　安装排气型蓄电池和/或阀控密封型蓄电池时应保证提供本节 2.11.2.4 或 2.11.2.5 要求的足够通风，其位置和安装应符合本节 2.11.1 的有关要求。

2.11.5.4　上述经审核的详细记录表和程序，应纳入到船舶安全管理体系中。上述详细记录表和程序还应纳入到船舶操作维护程序中按适当间隔周期进行检查，并由验船师予以确认。

第 12 节　　电　　缆

2.12.1　一般要求

2.12.1.1　电缆的选择应根据敷设场所的环境条件、敷设方法、电流定额、工作定额、需用系数等因素来确定。

2.12.1.2　任何电缆的额定电压应不低于它所在电路的额定电压。

2.12.1.3　可携式电气设备应采用移动软电缆。

2.12.1.4　在非接地系统中使用的电缆，应具有合适的定额以便能承受在发生故障时施加在电缆绝缘上的附加应力。

2.12.2　绝缘材料和电压等级的选择

2.12.2.1　绝缘材料的最高工作温度，至少应比电缆安装场所可能存在的最高环境温度高 10℃。

2.12.2.2　电缆绝缘材料一般应根据表 2.12.2.2 来选用。如选用其他绝缘材料应符合 IEC60092 系列出版物。

绝缘材料及其最高工作温度　　**表 2.12.2.2**

绝缘材料	缩写	导体最高工作温度 （℃）	
		正常工作	短路
乙丙橡胶	EPR	90	250
高模量或硬质乙丙橡胶	HEPR	90	250
交联聚乙烯	XLPE	90	250
硅橡胶	S95	95②	350①
用于无卤电缆的交联聚烯烃	HF90	90	250

注：① 不适用于镀锡铜导体，仅适用于电力电缆。
② 硅橡胶允许导体最高工作温度 180℃，但实际最高工作温度受护套材料的限制。

2.12.2.3　电缆的额定电压用 U0/U 表示，U0 为电缆任一导体和“地”（电缆的金属护层

或周围介质）之间的电压，U 为电缆任何两相导体之间的电压。电缆的额定电压应根据配电系统的系统额定电压和接地方式选择，不低于表 2.12.2.3 所列值。

交流系统电缆额定电压的选择 **表 2.12.2.3**

系统额定（相间）电压（kV）	电缆额定电压 U_0/U（kV）	
	I 类配电系统	II 类配电系统
≤0.25	0.15/0.25	0.15/0.25
≤1.0	0.6/1.0	0.6/1.0
≤3.0（3.3）	1.8/3.0	3.6/6.0
≤6.0（6.6）	3.6/6.0	6.0/10.0
≤10.0（11）	6.0/10.0	8.7/15.0

附注：① I 类配电系统：设有自动切断接地故障电路保护设备的系统。

② II 类配电系统：交流绝缘系统或者交流高阻抗接地系统，发生接地故障时电源不断开。

2.12.3 保护层的选择

2.12.3.1 电缆应根据其安装处所，选择具有满足环境条件要求的耐液体护套。例如固定敷设在露天甲板、浴室、货舱、冷藏处所、机器处所或可能出现凝结水或有害蒸气（例如油蒸气）的任何其他地点的电缆，均应具有不透性护套。护套的性质应满足环境条件的要求。

2.12.3.2 在选择不同类型的外护层时，应着重考虑对每根电缆在安装和使用时可能受到的机械作用。如认为外护层的机械强度不够，则电缆应安装在管子或管道或电缆槽内或采取其他防护措施。

2.12.3.3 所有电气设备以外的电缆及布线至少应为阻燃型的。一般应采用通过接受标准[①]规定的成束阻燃试验的电缆，如采用通过接受标准[②]规定的单根阻燃试验的电缆，而需成束敷设时，则应采取限制火焰沿电缆束蔓延的措施（见本节 2.12.10）。

2.12.3.4 需在失火状态下工作的设备电缆，包括其供电电缆，如穿过较大失火危险处所[③]和客船上的主竖防火区，应布置成任一处所或主竖区内失火不会影响到其他处所或主竖区内设备的工作。可采取下列的任何一种措施来满足上述要求：

（1）在较大失火危险处所采用符合《钢质海船入级规范》第 4 篇 3.5.1.1 规定的耐火电缆[④]，其安装和连续敷设应保持防火完整性，如图 2.12.3.4 所示；

（2）至少为双环路/辐射型配电，且其电缆是远离敷设的，并且在失火状态下环路/辐射型配电中至少一路能保持工作。

但故障安全系统、有自我检测功能的系统或电缆远离敷设的双套系统可以不作要求。

---

① 参见IEC 60332-3-22出版物《电缆在火焰条件下的试验第3-22部分：成束电线或电缆的垂直火焰蔓延试验-A类》或与其等效标准。

② 参见IEC 60332-1-2出版物《电缆和光缆在火焰条件下的试验第1-2部分：单根绝缘电线或电缆的垂直火焰蔓延试验-1kW标称预混合型火焰程序》或与其等效标准。

③ “较大失火危险处所”，是指下列处所：

（1）SOLAS 公约第 II-2 章第 3.30 所定义的机器处所，SOLAS 公约第 II-2 章第 9.2.2.3.2.2（10）所定义的极少或无失火危险处所除外，（包含经由 MSC.1/Circ.1436 和 MSC.1/Circ.1510 修订的 MSC/Circ.1120 对 SOLAS 公约第 II-2 章表格 9.3，9.4，9.5，9.6，9.7 和 9.8 的解释）；

（2）装有燃油处理设备或其他易燃物质的处所；

（3）厨房和装有烹调设备的配膳间；

（4）装有烘干设备的洗衣房；

（5）货物处所，除闪点高于 60℃的液货舱以及根据 SOLAS 公约第 II-2 章第 10.7.1.2 或 10.7.1.4 豁免的货物处所；和

（6）车辆处所、滚装处所和特种处所。

④ 耐火电缆应易于区分。

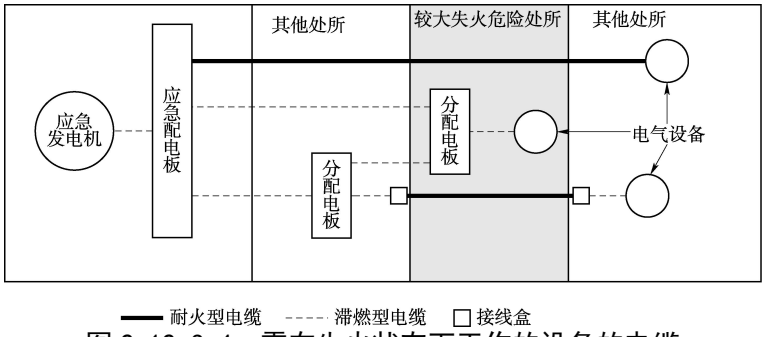


图 2.12.3.4　需在失火状态下工作的设备的电缆

2.12.3.5　需在失火状态下维持工作的设备包括：

（1）通用紧急报警系统；

（2）探火和失火报警系统；

（3）灭火系统和灭火剂施放报警系统；

（4）公共广播系统；

（5）动力操作防火门的控制和动力系统以及所有防火门的状态指示系统；

（6）动力操作水密门的控制和动力系统以及它们的状态指示系统；

（7）应急照明；

（8）低位照明系统；

（9）可能形成火灾和/或爆炸蔓延系统的遥控停止/关闭设备；

（10）应急消防泵。

2.12.3.6　至应急消防泵的电缆，不应穿过装有主消防泵及其动力源和/或原动机的机器处所。至应急消防泵的电缆穿过其他较大失火危险处所时，应采用耐火电缆。

2.12.3.7　特殊情况下必要时，例如射频电缆或数字计算机信息传输系统电缆，经同意可以使用不符合本节 2.12.3.3 要求的特种电缆。

2.12.3.8　在客船上的旅客处所和服务处所，只应安装无卤电缆。

2.12.4　导体截面积的确定

2.12.4.1　电缆所能承载的最大连续负载，应不超过该电缆经过校正系数校正后的标称电流。在估算最大连续负载时，可以考虑各个负载需用系数和最大负载的持续时间。

2.12.4.2　馈电给起货机或旋转起重机、起锚机及绞缆机的电缆定额，应与工作定额相适应。

2.12.4.3　直流发电机均压线电缆的截面积应不小于主电路电缆截面积的 50%；三相四线制中性线截面积应为相线的 50%，当相线截面积小于或等于 16mm^2 时，中性线截面积应与相线相同。

2.12.5　连续工作制的电流定额

2.12.5.1　电缆承载的最大连续负载，应不超出表 2.12.5.1 所列数值。如根据经验或者计算得出的数据对电流定额进行更精确的估定时，则可将详细内容提交 CCS 批准。

2.12.5.2　本节中采用的电缆连续工作制是指电流（具有恒定负载）的持续时间大于电缆的发热时间常数的 3 倍，即大于临界持续时间（见图 2.12.5.2）的工作制。

电缆连续工作时的电流定额（基准环境温度 45℃）（A）　　表 2.12.5.1

截面积	导体最高工作温度 90℃			导体最高工作温度 95℃		
mm^2	单芯	双芯	三芯或四芯	单芯	双芯	三芯或四芯
1	18	15	13	20	17	14
1.5	23	20	16	26	22	18
2.5	30	26	21	32	27	22
4	40	34	28	43	37	30
6	52	44	36	55	47	39
10	72	61	50	76	65	53

截面积	导体最高工作温度 90℃			导体最高工作温度 95℃		
mm^2	单芯	双芯	三芯或四芯	单芯	双芯	三芯或四芯
16	96	82	67	102	87	71
25	127	108	89	135	115	95
35	157	133	110	166	141	116
50	196	167	137	208	177	146
70	242	206	169	256	218	179
95	293	249	205	310	264	217
120	339	288	237	359	305	251
150	389	331	272	412	350	288
185	444	377	311	470	400	329
240	522	444	365	553	470	387
300	601	511	421	636	541	445

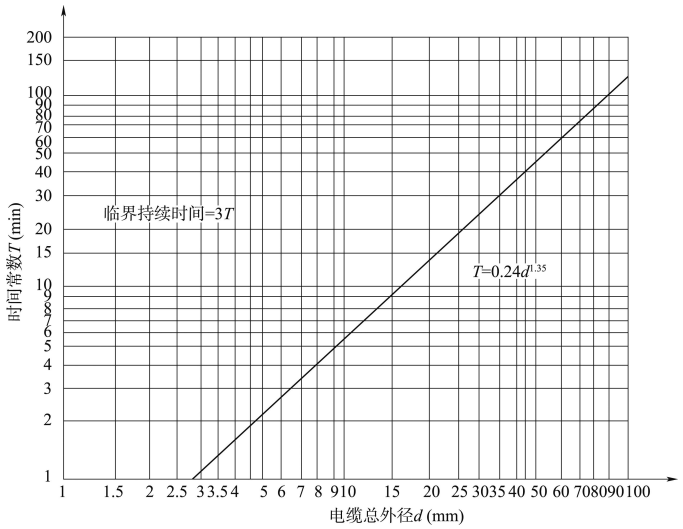


图 2.12.5.2　电缆的时间常数

2.12.6　电流定额的校正系数

2.12.6.1　不同环境温度时的校正系数：

当已知环境温度不同于 45℃时，应采用表 2.12.6.1 所示的校正系数。

不同环境温度的校正系数　　表 2.12.6.1

环境温度（℃） 导体最高工作温度（℃）	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
60	1.29	1.15	1.00	0.82	—	—	—	—	—	—	—
65	1.22	1.12	1.00	0.87	0.71	—	—	—	—	—	—
70	1.18	1.10	1.00	0.89	0.77	0.63	—	—	—	—	—
75	1.15	1.08	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58	—	—	—	—
80	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.65	0.53	—	—	—
85	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61	0.50	—	—
90	1.10	1.05	1.00	0.94	0.88	0.82	0.74	0.67	0.58	0.47	—
95	1.10	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63	0.55	0.45

2.12.6.2　成束电缆敷设时的校正系数：

（1）按下列方式之一敷设的电缆，如能保证每束电缆周围冷却空气自由循环，则可直接采用表 2.12.5.1 所列的电流定额：

①　不超过 6 根的电缆成束敷设在导板上，或管道、管子或电缆槽内；

②　超过 6 根的电缆按下列方式组合：

在任何 2 组 6 根束集之间的距离应至少等于最粗电缆的直径

○○○○○○　　○○○○○○　　○○○○○○

或在任何 2 组 3 根束集之间的水平及垂直距离应至少等于最粗电缆的直径

○○○　○○○　○○○

○○○　○○○　○○○

（2）对于可能以额定负荷同时工作而又靠紧在一起，且周围无空气自由循环的 6 根以上的电缆束[①]，则应采用 0.85 的校正系数。当采用 0.85 的校正系数时，应注意电缆敷设层数，一般每束电缆不宜超过两层。

2.12.6.3　非连续工作制的校正系数：

（1）“0.5h”或“1h”工作制的校正系数，可采用图 2.12.6.3（1）所给出的相应的校正系数。这些校正系数只是在停止工作的时间长于图 2.12.5.2 中所给出的临界持续时间时才适用。

（2）重复短时工作制的校正系数，可采用图 2.12.6.3（2）所给出的相应的校正系数。

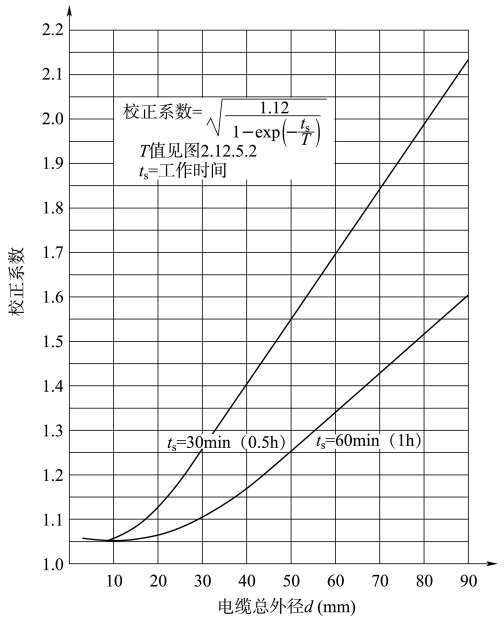
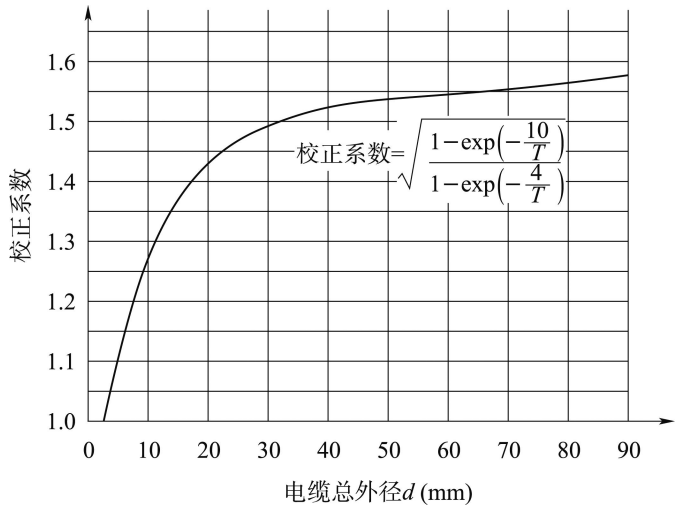


图 2.12.6.3（1）　“0.5h”和“1h”工作制的校正系数



注：　本图所给出的校正系数是按 10min 为周期的粗略计算，其中 4min 为恒定负载，6min 为空载。

图 2.12.6.3（2）　重复短时工作制的校正系数

① 成束电缆系指两根或多根电缆敷设在单独的管道、电缆槽或电缆通道内，或者是未加封闭且相互间不可分开的一束电缆。

2.12.7 电缆的并联使用

2.12.7.1 导体截面等于或大于 10mm^{2}时，才可作并联使用。进行并联使用的所有电缆应为相同的阻抗、截面和导体最高工作温度，其电流定额应为所有并联导体的定额之和。

2.12.8 短路容量

2.12.8.1 电缆及其绝缘导体应能耐受最大短路电流所产生的机械应力和热效应。

2.12.9 电缆的走线

2.12.9.1 电缆的走线应尽可能平直且易于检修。

2.12.9.2 电缆的走线应避免潮气或水滴凝结的影响。

2.12.9.3 电缆的走线应尽量远离锅炉、热管、电阻器等的热源，并具有不受机械损伤的保护。

2.12.9.4 电缆敷设不应跨越船体伸缩接头，如确实不能避免时，应将电缆弯成一个环形伸缩弯头，该伸缩弯头的长度应正比于船体伸缩长度。伸缩弯头的最小内半径应为电缆外径的 12 倍。

2.12.9.5 导体最高工作温度不同的电缆不应敷设在一起。如此种成束敷设不可避免时，则任何 1 根电缆的工作温度不应达到高于该束中温度定额最低的电缆所允许的温度。

2.12.9.6 具有不同护套或外护层的电缆，如敷设时可能损坏其他电缆的护套或外护层时，则不应成束敷在一起。

2.12.9.7 当主汇流排按照本章 2.1.1.1（5）的规定分成两个或两个以上独立分段时，不同主发电机至主配电板的电缆应至少分成两路敷设，并尽可能远离，例如从左右两舷或从不同甲板平台分开敷设。

2.12.9.8 对要求两路供电的重要设备，例如对航行灯控制箱供电的两路电缆，应尽最大可能在水平及垂直方向远离敷设。

2.12.9.9 对具有双套设备的重要设备或互为备用完成同一重要功能（例如操舵装置的双套动力设备等）的双套系统，其各自的供电及其控制用电缆应尽可能在水平及垂直方向远离敷设。

2.12.9.10 在客船上，配电系统的布置应使《钢质海船入级规范》第 6 篇所规定的任何主竖区内发生的火灾，不致妨碍任何其他主竖区内安全所必需的设备的供电。如主馈电线和应急馈电线通过任何主竖区时，在垂直和水平方向上均尽可能远离敷设，则可认为满足这一要求。

2.12.9.11 用于重要设备或应急动力设备、应急照明、以及应急状态下使用的船内通信或信号设备的电缆应尽量远离厨房、洗衣间、机器处所及其舱棚、以及其他较大失火危险处所，但对这些处所中的设备供电的电缆可例外。

如可能，所有这些电缆的敷设方式应能防止由于邻近处所失火时可能造成的舱壁高温而使其失效。

2.12.9.12 主干电缆和重要设备的供电和控制用电缆应远离具有较大失火危险的机械、机械部件[①]敷设。除非是：

（1）这些设备本身的电缆；

（2）以钢质舱壁或甲板与这些设备隔开的电缆；

（3）采用耐火电缆。

2.12.9.13 干线电缆暗式敷设的路径上的封闭板应便于开启。

---

① 包含易燃物的机械、机械部件或设备被认为是具有较大失火危险的机械、机械部件或设备。

2.12.9.14　电缆不应直接埋在用可燃材料制成的隔热或隔声绝缘层内。采用不燃材料包复后，将绝缘层分开时，则可敷设在绝缘层内，但这些电缆应该相应降低负荷。

2.12.9.15　耐火电缆的布置和走线应符合下列要求：

（1）应布置成由于在本节 2.12.3.4 规定的处所或区域之一的局部火灾所引起的有关设备的功能减损为最小；

（2）电缆应尽可能平直走线。

2.12.9.16　本质安全电路的电缆应与非本质安全电路的电缆分开敷设（例如：不应束聚在一起，不应放在同一罩壳或管道内，也不应用同一夹线板固定）。本质安全电路电缆的外护套应为蓝色或具有蓝色条纹标识。蓝色条纹应清晰可见。

“ia”和“ib”等级的本质安全电路不应共用同一根电缆，应具有各自的专用电缆。

2.12.10　限制火焰沿电缆束蔓延的措施

2.12.10.1　如采用通过接受标准规定的单根阻燃试验的电缆（见本节 2.12.3.3），而需成束敷设[①]时，则应采取以下 2.12.10.2～2.12.10.4 规定的限制火焰沿电缆束蔓延的措施。

2.12.10.2　设置挡火板（如图 2.12.10.2 所示）：

（1）在围蔽或半围蔽处所中垂直敷设的电缆，应在下列位置设置挡火板：

①　除电缆安装在完全封闭的电缆槽内者外，在每隔一层甲板或大约每 6m 处；

②　在主配电板和应急配电板的电缆入口处；

③　电缆进入机器控制室处；

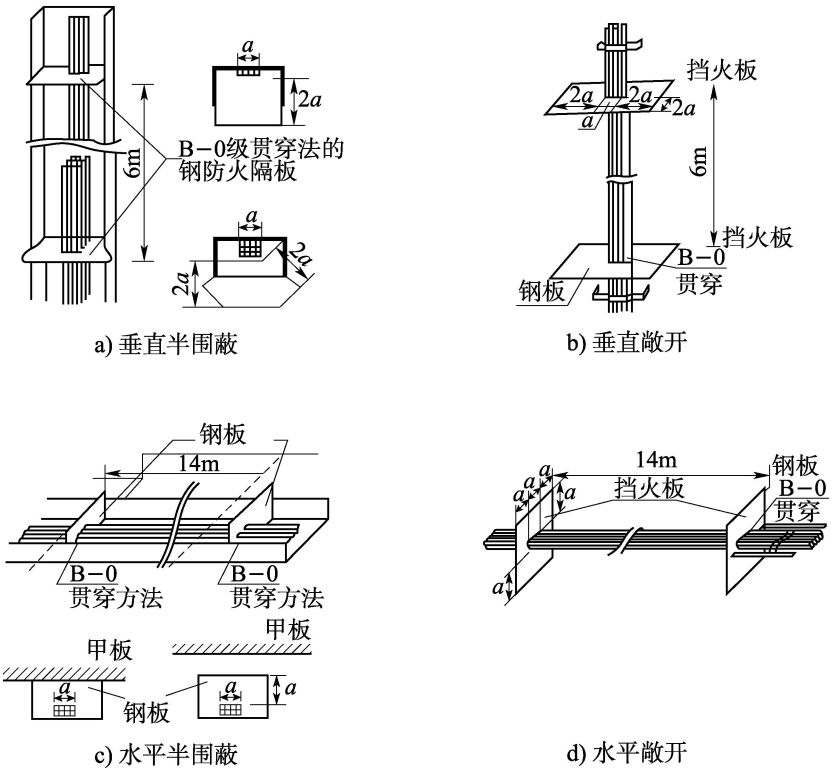
④　在推进机械和重要辅助机械的集中控制屏的电缆入口处；

⑤　全封闭电缆通道的每一端。

（2）在围蔽或半围蔽处所内水平敷设的电缆，挡火板的设置位置与上述（1）相同，但挡火板间的最大距离可增加至 14m。

（3）在货舱和货物区域内高度低于人体颈部的通道内，挡火板只能安装在舱室的边界上。

① 这里的“成束敷设”，系指从机器处所及具有较大失火危险处所中出来的 5 根或多于 5 根，以及在其他处所中多于 10 根电缆紧靠敷设在电缆槽中者。



a) 垂直半围蔽　　b) 垂直敞开

c) 水平半围蔽　　d) 水平敞开

图 2.12.10.2　挡火板的位置

2.12.10.3　挡火板的设计应满足下列要求：

（1）电缆穿过挡火板处的耐火特性应满足 B－0 级分隔的要求；

（2）挡火板应以厚度至少为 3mm 的钢板制成；

（3）电缆垂直敷设在非完全封闭的电缆槽时，挡火板应覆盖电缆槽截面积；

（4）电缆敞开敷设时，挡火板应向四周延伸至电缆最大敷设尺寸的 2 倍，但不必延伸至穿过天花板、甲板、舱壁或电缆槽的刚性侧壁。

2.12.10.4　可采用下列在电缆束上涂以耐火涂料的方法代替前面规定的挡火板：

（1）对于水平敷设的电缆，每隔 14m 涂 1m 长的耐火涂料（见图 2.12.10.4）；

（2）对于垂直敷设的电缆，在电缆整个长度范围涂的耐火涂料（见图 2.12.10.4）。

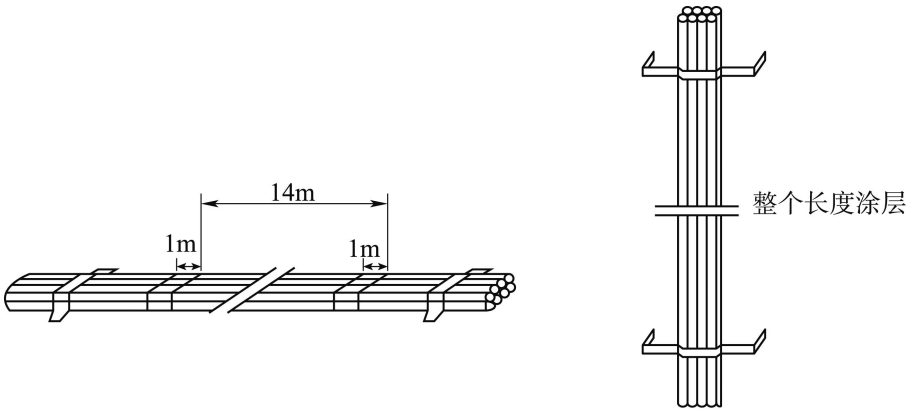
2.12.11　电缆的机械保护

2.12.11.1　容易受到机械损伤的电缆，应以金属缆槽或罩壳或钢管来保护，如其外护层能足以承受这种可能的损坏者，则可例外。

2.12.11.2　货舱中的电缆，以及存在异常的机械损伤危险的其他处所的电缆，即使已有铠装，仍应加以适当保护。

2.12.11.3　用作电缆机械性保护的金属罩壳，应有有效的防腐蚀措施。

2.12.11.4　如电缆通过舱底花钢板下敷设时，应有防止油水浸渍和防止机械损伤的可靠措施。



a) 水平敷设　　b) 垂直敷设

图 2.12.10.4　耐火涂料的位置

2.12.12　弯曲半径

2.12.12.1　在敷设电缆时，弯曲最小内半径一般应根据制造商的建议，并且不应小于表 2.12.12.1（1）和表 2.12.12.1（2）的规定。

额定电压 1.8/3kV 及以下的电缆最小弯曲内半径　　表 2.12.12.1（1）

电 缆 结 构		电缆外径 D（mm）	最小弯曲内径 F
绝　缘	外 护 层		
热固性材料（铜导体为圆形）	非铠装或非编织	≤25	4D
		>25	6D
	金属编织屏蔽或铠装	任何	6D
	金属线铠装、金属条铠装	任何	6D
	合成聚脂/金属薄片带屏蔽或组合带屏蔽	任何	8D
热固性材料（铜导体为特定形状）	任何	任何	8D

额定电压 3.6/6.0（7.2）kV 及以上的电缆最小弯曲内半径　　表 2.12.12.1（2）

电 缆 结 构	电缆外径 D（mm）	最小弯曲内径 F
单芯电缆	任何	12D
三芯电缆	任何	9D

2.12.13　电缆的紧固

2.12.13.1　除用于可携式设备以及敷设在管子、管道、电缆槽或特别罩壳内者以外，电缆均应有效地加以支承和紧固。

2.12.13.2　电缆紧固件或扎带应坚固，并应具有足够的表面积和一定的形状，使电缆能保持紧固而不损伤其护套或外护层。

2.12.13.3　电缆紧固件、支承和附件均应用耐蚀材料制成，或在安装前进行适当的防蚀处理。

2.12.13.4　支承件之间的距离，应按电缆的类型和承受振动的可能性适当地选择，其距离一般应符合表 2.12.13.4 的规定。

2.12.13.5　电缆采用非金属电缆紧固件或扎带固定，并且未敷设在水平电缆托架或支承

件之上时，应以最大不超过1m 的间隔附加金属电缆紧固件，防止火灾时电缆脱落，引起人员伤害或对逃生通道造成阻碍。

电缆外径与支承件距离（mm）　　表 2.12.13.4

电缆的外径		支承间距离	
超过	不超过	非铠装电缆	铠装电缆
-	8	200	250
8	13	250	300
13	20	300	350
20	30	350	400
30	-	400	450

2.12.14　电缆贯穿舱壁和甲板

2.12.14.1　电缆贯穿水密隔舱壁或甲板时，可采用单独水密填料函，或用容纳多根电缆的水密填料箱，但完工后应保持隔舱壁或甲板的水密完整性。

2.12.14.2　当电缆穿过非水密舱壁或结构钢时，孔口应用合适的材料作衬垫。如钢材厚度等于或大于 6mm，则适当倒圆孔口可以被认为与衬垫等效。

2.12.14.3　电缆贯穿有某种防火要求的舱壁和甲板时，应保证不会削弱甲板和舱壁的防火完整性。

2.12.14.4　穿过甲板的电缆，应用适当高度的金属导管或围框加以保护。

2.12.14.5　用作填料函和衬垫的材料，不应对电缆或船体构件有腐蚀危险。

2.12.14.6　如在舱壁或结构钢中切割方形孔时，则孔角应有一定的曲率半径。

2.12.14.7　采用电缆贯穿密封系统时，应按照《钢质海船入级规范》第 1 篇第 4 章附录 3 的要求编制登记簿。

2.12.15　电缆在金属管子或管道或电缆槽中敷设

2.12.15.1　当电缆在金属管子、管道、电缆槽内敷设时，应符合下列规定：

（1）管子或管道或电缆槽内壁应光滑，并应有防蚀措施；

（2）管子或管道或电缆槽的端部应采取措施以使电缆的护套或外护层不致受损；

（3）管子或管道的内截面积和弯曲半径，应使其所容纳的电缆容易拉进和拉出；管子或管道的弯曲内径应不小于电缆弯曲半径的允许值，外直径等于或大于 63mm 的管子，其弯曲内半径应不小于管子外直径的 2 倍；

（4）穿管系数（电缆外径截面积的总和与管子或管道或电缆槽内截面积之比）应不大于 0.4；

（5）管子或管道或电缆槽应可靠接地；

（6）管子或管道或电缆槽的布置应使水不能在内部积聚（因考虑可能凝水）；

（7）必要时应设置通风开口，以流通空气，并避免管子或管道或电缆槽线路上的任何部分有积水的可能。通风开口最好设在管子或管道或电缆槽的最高点及最低点；

此项通风开口仅在不会因此而增加火灾危险的情况下方可设置。

（8）当管子很长且必要时，应设膨胀接头；

2.12.15.2　如电缆系敷设在围壁通道内，则围壁通道的构造，不应使之成为火灾由一甲板间或舱室传到另一处的通道。

2.12.15.3　用作冷阴极辉光放电灯的电缆，除非用金属屏蔽加以保护，否则均不应安装在金属管中。

2.12.16　电缆在冷藏处所内的敷设

2.12.16.1　与冷藏处所无关的电缆，不应穿过冷藏处所敷设。敷设在冷藏处所中的电缆，应具有不透性护套，而且应有防止遭受机械性损伤的防护。如采用铠装电缆，则铠装（除非是已经镀过锌的）应进一步采用耐潮外护层以防止腐蚀。

2.12.16.2　冷藏处所内的电缆应全部明线敷设。

2.12.16.3　固定电缆的金属支承件均应镀锌或采用其他防腐蚀措施。

2.12.17　减少张力

2.12.17.1　电缆的敷设应使其本身重量或任何其他原因所施加在电缆上的张力减至最小。特别是对于小截面的电缆和垂直敷设或敷在垂直管子内的电缆。

2.12.18　电动力

2.12.18.1　为防止由于短路导致的电动力作用，单芯电缆应牢靠地固定，支承件的强度应承受预期短路电流相当的电动力。

2.12.19　交流单芯电缆的敷设

2.12.19.1　交流电力系统应尽量采用双芯或多芯电缆，如必需采用单芯电缆而线路电流又超过 20A 者，则应符合下列规定：

（1）电缆应为非铠装的或为以非磁性材料铠装和覆盖的；

（2）属于同一线路导线应装在同一管子或管道或电缆槽内；紧固电缆的紧固件应将各相导线一同夹持紧固件以非磁性材料制成者除外；

（3）当由 2 根、3 根或 4 根单芯电缆分别构成单相电路，三相电路或三相四线电路，电缆应尽量相互紧贴敷设。在各种情况下，两相邻电缆外护层之间的间隙不应大于单根电缆的直径；

（4）额定电流大于 250A 的单芯电缆，必需靠近钢质舱壁敷设时，电缆与舱壁之间至少应有 50mm 的间隙，但不同相的单芯电缆系按品字形敷设时，则可例外；

（5）磁性材料不应用于同一线路的一群单芯电缆之间。在电缆穿越钢板时，应将同一线路的所有导线都在一起穿过钢板或填料函，其布置应使电缆之间无磁性材料存在；电缆和磁性材料之间的间隙应不小于 75mm，但不同相的单芯电缆系按品字形敷设时，则可例外；

（6）为使导线截面积等于或大于 185mm^2 的单芯电缆所构成的相当长的三相线路的阻抗达到一定程度的平衡，应每隔 15m 以内，将各相换位 1 次；

亦可将 3 根不同相的单芯电缆按品字形敷设；

如走线的长度不超过 30m 者，则不必采取此项措施；

（7）如线路中每相有几根单芯电缆并联时，所有电缆应沿相同的路径敷设和具有相同的截面积；

此外，为防止电流负载的分配不均匀，属于同相的电缆应尽量同其他相的电缆交错排列。例如：每相有 6 根电缆时，正确的排列次序见表 2.12.19.1；

电缆排列次序　　表 2.12.19.1

每相并联根数	一层排列次序	二层排列次序
2	ABC　CBA	ABC CBA
3		ABCA BCABC
4		ABCABC CBACBA
5		ABCABCA BCABCABC
6		ABCABCABC CBACBACBA

2.12.20　电缆防电磁干扰的敷设

2.12.20.1　为尽可能避免不必要的电磁干扰，电缆的敷设应符合接受的标准[①]的有关规定。

2.12.21　电缆金属外护层的接地

2.12.21.1　电缆金属外护层（编织层或铠装）的接地应符合本篇第 1 章第 3 节的有关要求。

① 参见 IEC 60533 出版物《船舶电气和电子设备的电磁兼容性》或有关标准的有关规定。

2.12.22 电缆端头的处理

2.12.22.1 截面积大于 4mm^2 的各种导线的端接头，应为焊接的接线头、压接型接线头或者机械夹头，不应采用腐蚀性焊剂。

2.12.22.2 电缆接头和接线端头的温度，一般应不超过电缆绝缘的最高工作温度。

2.12.22.3 导体在接线端固定时，无论在连接处或分支处，均应能承受短路电流的热效应和机械应力。

2.12.23 电缆的连接和分支

2.12.23.1 电缆的敷设通常不应有接头，如由于维修或分段造船需要连接接头时，这种接头的导电连续性、 绝缘性、机械强度和防护性、接地和耐火或阻燃等特性均应不低于对电缆的相应要求。

2.12.23.2 电缆应在适当的接线盒内进行连接和分支，应使所有的导线加以适合紧固和绝缘，并防止大气的作用。接线端或汇流排应具有适合于电缆定额的尺寸。

2.12.23.3 连接和分支处应有清晰的标志。

2.12.24 接线盒

2.12.24.1 接线盒应用滞燃材料制成，导电部分应架设在坚固耐久、滞燃和耐潮的材料上，并具有永久性的高介电强度的绝缘电阻。

2.12.24.2 接线盒内的导电部分之间应用滞燃绝缘材料作适当阻隔，以使不同极性的导线间或导线和接地金属之间不致发生短路。

2.12.24.3 所有接线盒应有说明其用途的铭牌或与敷设图上相一致的耐久编号标志。如接线盒的安装为暗式，则封闭板应便于开启。

2.12.25 塑料制电缆托架和保护封闭罩壳

2.12.25.1 塑料[①]制电缆托架和保护封闭罩壳[②]应根据《钢质海船入级规范》第 4 篇附录 2 进行型式试验。

2.12.25.2 塑料制电缆托架或保护封闭罩壳应用金属固定件或金属扎带来补充，使得一旦失火时，防止该电缆托架或保护封闭罩壳和其固定的电缆跌落，引起人员伤害或对逃生通道造成阻碍。当用在开敞甲板上时，还应具有防紫外线照射的能力。

2.12.25.3 电缆托架或保护封闭罩壳的负载应在安全工作负载范围内。支承间距不应大于制造厂建议的值或不超过安全工作负载试验确定的值，一般间距不大于 2m。支承间距应考虑到下列因素：

（1）电缆托架或保护封闭罩壳的大小；

（2）该材料的机械和物理特性；

（3）电缆托架或保护封闭罩壳的面积；

（4）电缆的重量、外部受力、推力和振动；

（5）系统可能达到的最大加速度；

（6）所有负载之和。

2.12.25.4 除保护封闭罩壳内只有单根电缆外，各电缆外径的截面积之和与管道内截面积之比应不大于 0.4。

第 13 节 避 雷

2.13.1 防止直接结构损坏

2.13.1.1 对金属结构船舶，由于其桅、构件和船体构成了固有的对地低电阻通路，故不需另设避雷系统。

2.13.1.2 对具有较多非金属构件的船舶，则应设有避雷系统。

2.13.1.3 避雷系统应由接闪器、引下线和接地端子组成。

---

① 指具有热塑性和热固性的塑料材料，如 PVC（聚氯乙烯）和 FRP（纤维增强塑料）。

② 指管状的封闭罩壳或其他非圆形的封闭管道。

2.13.1.4　金属桅杆和金属构件可作为避雷系统的一部分或全部。

2.13.1.5　金属桅索，如支索、侧支索等的末端应可靠接地。

2.13.1.6　引下线的连接应以铜铆钉或夹钳的方式进行，并应易于接近和在布置上加以考虑或具有保护以能减小意外的损坏。夹钳可以是铜、铜合金或与引下线相同的材料，并应有锯齿状的接触类型和有效的锁紧装置。不应采用软焊连接。

2.13.1.7　接闪器与接地端子间的电阻不应超过 0.02Ω。

2.13.1.8　当船舶在干船坞或船台上时，应有适当的措施确保船舶的避雷系统或金属船体与岸地相连。连接到岸地的整个电缆应位于船舶的外部。

2.13.1.9　避雷系统中的接闪器应符合下列要求：

（1）在每一非金属桅杆上应安装接闪器；

（2）接闪器应以直径不小于 12mm 的铜或铜合金导电杆组成，并应至少高出桅顶 300mm。也可采用其他材料，如不锈钢、铝合金、经防锈处理的铁杆等，但应符合 2.13.1.7 的要求。所有这些材料均应耐海水腐蚀；

（3）对液货船，位于桅杆顶端或其附近的可燃气体通风口应由接闪器进行保护，接闪器应高出通风口至少 2m。如钢桅高出通风口 2m，则可作为接闪器。

2.13.1.10　避雷系统中的引下线应符合下列要求：

（1）引下线应由铜或铜合金带或铜缆组成，为防止表面放电，铜缆应有绝缘且成圆形。也可以采用其他材料，如不锈钢、铝合金或钢条，但应符合 2.13.1.7 的规定。这些材料均应耐海水腐蚀；

（2）铜引下线的截面积应不小于 70mm^2，并应牢固固定在船体结构上。在接闪器与接地体间引下线应尽可能敷成直线，如必需弯曲，则弯曲半径至少为导体等效直径的 10 倍。

2.13.1.11　引下线末端应可靠地连接至其附近船体金属结构的接地端子上。如有必要应采取措施防止发生电化腐蚀。

2.13.2　防止间接损坏

2.13.2.1　在所有船舶上，设备的安装均应能减小雷击所引起的对电气系统的间接损坏效应。

2.13.2.2　设备的金属外壳应可靠接地，对处于桅顶或其他突出构件上的航行灯和其他设备应予以特别注意。

2.13.2.3　通常作为抑制信号干扰的电缆屏蔽或铠装的接地不能作为唯一的避雷接地通路，应设有本节 2.13.2.2 所要求的专门接地。

2.13.2.4　在本节 2.13.1.2 所要求的避雷系统中的引下线附近，应避免有电缆环或如管子之类的金属环存在。贴近引下线的电缆应安装在接地的金属管中。

2.13.2.5　沿金属甲板的电缆应贴近甲板敷设，并应充分利用电缆束附近或其上的例如栏杆、管子等的接地金属构件的屏蔽作用。

2.13.2.6　应设有将可能在无线电和航行设备等天线中感生的任何雷电能量泄放至地的措施。应考虑安装例如火花放电器或浪涌分流器等设备作保护，以防止过高的电压瞬变。

第 14 节　　交流高压电气装置特殊要求

2.14.1　一般要求

2.14.1.1　本节的规定适用于额定电压（相间电压）超过 1kV 的交流三相电气装置。除另有明文规定外，低压电气设备的构造和安装一般也适用于交流高压电气装置。

2.14.1.2　系统额定电压应不超过 15kV。但如有特殊需要，经同意可以采用更高的电压。

2.14.1.3　电压超过 1kV 的高压电气设备和低压电气设备不应组合在同一外壳内，除非采取隔离或其他合适的措施，以确保人员能够无危险地接近低压电气设备。

2.14.2　系统设计

2.14.2.1　高压电气装置的配电应符合下列要求：

（1）应将主配电板至少分成 2 个独立的分段，通过至少 1 个断路器或其他合适的隔离设备分隔开，每 1 分段至少由 1 台发电机供电。如 2 个独立配电板由电缆进行连接，则在电

缆的每一端应设有断路器。

双套设备应分开连接至不同分段上；

（2）当采用中性点接地系统时，接地故障电流应不大于配电板上或配电板分段上最大1台发电机的满载电流，也不应小于其接地故障保护电器最小动作电流的3倍。

不论采用何种方式供电，都应保证至少有一电源中性点接地。中性点直接接地的电气设备或其他中性点接地系统中，应能承受单相接地故障电流，直至其接地故障保护电器脱扣所需的时间为止；

（3）每台发电机均应设有将其中性点接地连接切断的措施，以便于在切断中性点接地连接后进行维修和测量绝缘电阻；

（4）所有接地电阻器都应与船体相连接，其与船体连接中的任何环流都不会对无线电、雷达、通信和控制设备电路产生干扰；

（5）在中性点接地的系统中，则主配电板每一独立分段都应将中性点与船体相连接。

2.14.2.2　高压电气设备的外壳防护等级均应与其安装场所相适应，除至少应符合本篇表1.3.2.2的规定外，还应满足下列要求：

（1）旋转电机的外壳防护等级至少应为IP23，其接线盒的防护等级至少应为IP44。安装在非专职人员可以到达处所的电动机，其外壳防护等级至少为IP4X，以防止人员接近或触及电机的带电或转动部分；

（2）变压器的外壳防护等级至少应为IP23，如安装在非专职人员可以到达的处所时，则其外壳防护等级至少为IP4X。

变压器如无外壳，其安装应符合本节2.14.7.1的规定；

（3）具有金属外壳的控制设备、配电设备组件和静止变换器的外壳防护等级至少应为IP32，如安装在非专职人员可以到达的处所时，则其外壳防护等级至少为IP4X。

2.14.2.3　高压电气设备的电气间隙和爬电距离应符合下列要求：

（1）通常对未经型式试验的设备，其非绝缘部件间的相对相和相对地之间的电气间隙应不小于表2.14.2.3的规定值。

如电压为所列额定电压的中间值，则应取电压高的这一档次值。如电气间隙低于表2.14.2.3所列值，则应进行相应的冲击电压试验；

最小电气间隙　　**表2.14.2.3**

额定电压（kV）	最小电气间隙（mm）
3（3.3）	60
6（6.6）	90
10（11）	120
15	160

（2）带电部件之间及带电部件与接地金属部件之间的爬电距离，应符合IEC出版物60092-503关于系统的额定电压、绝缘材料特性和开关及故障时产生瞬间过电压的规定。

2.14.2.4　对高压电力系统的保护有下列特殊要求：

（1）应设有保护装置，以对发电机至主配电板之间的连接电缆出现相间故障和发电机内部绕组出现故障进行保护。该保护电器应能使发电机断路器脱扣，并自动对发电机进行灭磁。

在中性点接地的配电系统中，相对地间故障也应按上述要求处理；

（2）系统中任何接地故障应有视觉和听觉报警。在低阻抗或直接接地的系统（有效接地的系统，其接地系数① 小于0.8）中，应设有能自动切断故障电路的保护设备。在高阻抗接地系统（非有效接地的系统，其接地系数大于0.8）中，如发生接地故障时输出电源未断开，则设备的绝缘应按相对相电压来设计；

（3）电力变压器应设有过载和短路保护。如变压器需并联运行，则其初级侧保护电器的脱扣应能自动分断连接于次级侧的开关；

（4）电压互感器在次级侧应设置过载和短路保护；

① 接地系数：指相对地电压与相对相的电压之比，在$1/\sqrt{3}$和1之间取值。

（5）不应用熔断器作过载保护；

（6）通过变压器从高压系统获得供电的低压系统应设有过电压保护，可采取下列方式：

① 低压系统直接接地；

② 适当的中性点电压限制器；

③ 变压器初级和次级绕组间的接地屏蔽。

2.14.3 旋转电机

2.14.3.1 应引出发电机定子绕组所有相的端头，以便安装差动保护。

2.14.3.2 在定子绕组应设有温度检测器，以能在温度一旦超过允许值时，触发安装在通常有人值班的处所内的视觉和听觉报警器发出报警信号。

如采用埋置式温度检测器，则应设有电路的过电压保护。

2.14.3.3 除通常对旋转电机要求的试验项目以外，对单个线圈还应按照接受的标准[①]进行高频高压试验，以验证匝间绝缘对陡峭前沿的操作过电压的承受能力。

2.14.4 电力变压器

2.14.4.1 干式变压器应符合接受的标准[②]，液冷式变压器也应符合接受的标准[③]。

2.14.4.2 油浸式变压器应设有下列报警和保护：

（1）低油位-报警；

（2）高油温-报警；

（3）低油位-脱扣或降低载荷；

（4）高油温-脱扣或降低载荷；

（5）高气压继电器-脱扣。

2.14.5 电缆

2.14.5.1 电缆应按照接受的标准[④]制造。

2.14.6 控制设备和配电设备组件

2.14.6.1 控制设备和配电设备组件应按照接受的标准[⑤]制造。

2.14.6.2 控制设备和配电设备组件的结构应符合下列要求：

（1）应具有符合接受标准[⑥]规定的金属封闭结构或绝缘材料封闭型结构；

（2）抽出式断路器或开关不论是在工作位置，还是断开位置上，均应有机械锁定机构。为维修之便，抽出式断路器、开关和固定安装的断路器可采用键式锁定。

在抽出式断路器处于工作位置情况下，其固定部件之间应无相对位移；

（3）抽出式断路器和开关的固定触头，应安排成在抽出状态下，其带电触头被自动覆盖。断路器和开关的进线和出线应清晰标示，可采用标牌或者颜色区分；

（4）应提供足够数量的接地和短路设备，以保证对电路能安全地进行维修工作；

（5）开关设备和控制设备应具有内部电弧分级（IAC）。当开关设备和控制设备仅允许专职人员靠近时，应至少具有 A 类可触及性（参见 IEC62271-200 附录 A 第 A 2.2）。如果安装在非专职人员可以到达的处所，应具有 B 类可触及性。开关设备和控制设备的安装和布置位置应与其 IAC 级和外壳各面（前面、侧面和后面）等级一致。

2.14.6.3 对辅助系统的要求：

---

① 参见 IEC60034-15 出版物《旋转电机第 15 篇模绕定子线圈的交流旋转电机的耐压等级》或其他等效的标准。

② 参见 IEC60076-11 出版物《干式电力变压器》或其他等效的标准。

③ 参见 IEC60076 系列出版物适用部分或其他等效的标准。

④ 参见 IEC60092-353 出版物《船舶电气设备——第 353 部分：额定电压 1kV 和 3kV 电力电缆》和 IEC60092-354 出版物《船舶电气设备——第 354 部分：额定电压 6kV（Um=7.2kV）到 30kV（Um=36kV）固体挤出绝缘单芯和三芯电力电缆》。

⑤ 参见 IEC62271-200 出版物《交流额定电压 1kV 以上至 52kV 金属封闭开关设备和控制设备》或其他等效的标准。

⑥ 参见 IEC62271-200 出版物《交流额定电压 1kV 以上至 52kV 金属封闭开关设备和控制设备》和符合 IEC62271-201 出版物《交流额定电压 1kV 以上至 52kV 绝缘材料封闭式开关设备》。

（1）如电能或机械能用作断路器和开关的操作能源，则应能提供所有部件至少连续 2 次操作的储备能源。

但是，用于过载、短路或欠压的脱扣应独立于任何电源储备。如释放电路断路或电源发生故障而产生报警的话，可采用分励脱扣；

（2）当辅助电路必需外部电源供电时，应至少设有 2 套外部电源，并布置成使其中 1 套发生故障或丧失功能的情况下，不会导致 1 台以上发电机和/或成组的重要设备不能工作。如必要，上述电源之一应是能从瘫船状态起动的应急电源。

2.14.6.4　任一控制设备和配电设备组件均应进行工频高压试验。试验程序和电压值应符合接受标准[①]的规定。

2.14.7　安装

2.14.7.1　如设备没有外壳，而是安装在构成设备“外壳”的舱室中时，则应设有仅在电源断开和设备已经接地的情况下，该舱室的门方可打开的连锁措施。

在安装高压设备处所的入口，应设有一适当的标志牌，以指明高压危险。安装在上述处所以外的高压设备也应设有类似的标志牌。

在高压设备附近应留有足够且无障碍的工作空间，以避免设备维护时潜在的严重人员伤害。配电板和舱壁/天花板之间的空隙应满足 IAC 级[②]的要求。

2.14.7.2　高压电缆的敷设应符合下列要求：

（1）高压电缆路经居住处所时，应敷设在封闭的电缆敷设系统内；

（2）高压电缆应与其他不同工作电压的电缆分隔开，特别是它们不应敷设在同一电缆束、或同一电缆槽、同一管道中或者同一箱（盒）中。

当不同电压等级的高压电缆安装在同一电缆托架上时，电缆间的电气间隙应不小于按 2.14.2.3（1）所要求的较高电压等级的最小值。但高压电缆不应与额定电压 1kV 及以下的电缆安装在同一电缆托架上；

（3）通常，具有连续并有效接地的金属护套或铠装高压电缆应安放在托架上。否则，整根电缆均应安装在有效接地的金属封闭罩壳中；

（4）高压电缆所有导体的端头应尽实际可能有效地覆盖上合适的绝缘材料，在接线盒中如导体无绝缘层，则相间和相对地之间均应用合适的绝缘材料制成的坚固隔板隔开。径向场类型的高电压电缆，如在绝缘中具有控制电场的导电层，应具有提供电应力控制的端头。

端头应是与电缆的绝缘和保护层材料相兼容的形式，且应将电缆的所有金属保护层（例如金属带、金属丝等）接地；

（5）高压电缆应具有合适的标志，以便识别；

（6）对新的高压电缆装置，或在已有的装置上加装高压电缆，投入运行前，对每一完工的电缆和其附件应在绝缘电阻试验之后进行耐电压试验，在试验完毕后导体应连接至地一段足够时间，以便清除任何聚集的电荷，然后重复绝缘电阻试验。耐电压试验可按下面的方法进行：

① 额定电压大于 1.8/3kV（U_m[③]=3.6kV）的电缆可按高压电缆制造商建议的试验方法或下面的方法进行交流电压耐压试验：在导体和金属屏蔽/护套之间施加 5min 的系统相间电压或者施加 24h 的系统额定电压；作为交流电压耐压试验的替代方案，应施加 4 U_0 的直流电压持续 15min；

② 额定电压为 1.8/3kV（U_m=3.6kV）及以下的电缆应按下面的方法进行直流电压耐压试验：施加 4 U_0 的直流电压持续 15min。

---

① 参见 IEC62271-200 出版物《交流额定电压 1kV 以上至 52kV 金属封闭开关设备和控制设备》第 8 部分出厂试验或其他等效的标准。

② 参见 IEC62271-200 出版物《交流额定电压 1kV 以上至 52kV 金属封闭开关设备和控制设备》（参见本节第 2.14.6.2（5）条）。

③ U_m 是设备可承受的“最高系统电压”的最大值。最高系统电压是在正常运行条件下，在系统的任何时间和任何点上出现的电压的最高值，但不包括瞬变电压，比如，由于系统的开关操作及暂态的电压波动所出现的电压值。

第 15 节　　电力推进装置附加要求

电力推进装置应符合本篇的适用规定以及《钢质海船入级规范》第 8 篇第 15 章的规定。

第 16 节　　油船附加要求

2.16.1　一般要求

2.16.1.1　载运原油和成品油船舶上的电气装置，应符合本节规定以及本篇其他适用的规定。

2.16.1.2　本节依据 IEC60092-502 的规定，按照 0 区、1 区和 2 区划分了油船的典型危险区域。对本节未提及的区域或处所，可根据 IEC60079-10-1 规定的原则，进行危险区域划分。

2.16.1.3　在任何危险区域中，原则上不应敷设电缆和安装电气设备。如确属无法避免，则应符合本节的有关规定。

2.16.2　配电系统

2.16.2.1　可采用以下的配电系统：

（1）直流双线绝缘系统；

（2）交流单相双线绝缘系统；

（3）交流三相三线绝缘系统。

2.16.2.2　不同电压的网络不应有电气上的直接连接。

2.16.2.3　发电机电路、供电和配电电路均不应接地，也不应使用以船体作回路的系统，但下列可以例外：

（1）本质安全型电路；

（2）控制和仪表电路，如因技术上或安全上原因不能使用不接地系统，且在正常和故障情况下可能产生的船体电流均不超过 5A；

（3）有限和局部的接地系统，如由此可能产生的任何电流不直接流过危险处所；

相间电压为 1000V（方均根值）及以上的交流配电系统，如由此可能产生的任何电流不直接流过任何危险处所。

2.16.3　电缆及其敷设

2.16.3.1　除本质安全型电路中的电缆以外，敷设在 0 区和 1 区的所有电缆应至少具有不透性护套，并加上金属编织层或其他金属保护层。

2.16.3.2　本质安全型电路的电缆应具有金属屏蔽，并至少加上不透性外护套。

2.16.3.3　如电缆被货油长期浸没，则电缆的结构应能经受这些物质的浸泡，或者将电缆密封在能经受这些物质的封闭罩壳（例如金属管）中。

2.16.3.4　可能经受腐蚀的所有电缆，应在其金属编织层、铠装外加上不透性外护套。

2.16.3.5　电缆或电缆管穿越分隔危险与非危险区域的气密舱壁和甲板时，其布置不应破坏舱壁或甲板的气密完整性。

2.16.3.6　敷设在甲板上或首尾步桥上的电缆应作保护，防止其遭受机械性损伤。所敷设的电缆应避免发生应变或擦伤，且应考虑到船体结构的膨胀或走动，而留有适当的余量。当设有膨胀弯头时，应能接近，以利维护。

2.16.3.7　敷设在货泵舱中的电缆应作适当防护，以防机械损伤。

2.16.3.8　连接可携式电气器具的移动式软电缆或电线，不应通过危险区域或处所，但本质安全电路的软电缆或电线可以除外。

2.16.4 危险区域中的电气设备

2.16.4.1 在危险区域中安装电气设备，应根据危险区域的级别来选取合适的合格防爆电气设备，其防爆类别和温度组别应不低于ⅡA T3。

2.16.4.2 下列设备允许安装在0区：

（1）本质安全型设备“ia”；

（2）“ia”等级本质安全电路内包含的简单电气设备和元件（例如热电偶、光电元件、压力计、接线盒和开关），不会存储或产生超过IEC60079—14 限制的电能或能量；

（3）潜没泵，应至少设有两种独立的方式在出现低液位时自动切断供电。

2.16.4.3 下列设备允许安装在1区：

（1）本节2.16.4.2中所述电气设备；

（2）本质安全型设备“ib”；

（3）“ib”等级本质安全电路内包含的简单电气设备和元件（例如热电偶、光电元件、压力计、接线盒和开关），不会储存或产生超过IEC60079—14 限制的电能或能量；

（4）隔爆型设备“d”；

（5）正压型设备“p”；

（6）增安型设备“e”；

（7）浇封型设备“m”；

（8）充砂型设备“q”；

（9）特殊型设备[①] “s”；

（10）外加电流阴极保护系统的阳极或电极、测深仪或计程仪的传感器，应将这些设施设置在气密围蔽处所，并且不应毗邻液货舱壁；

（11）路经电缆。

2.16.4.4 下列设备允许安装在2区：

（1）本节2.16.4.3中所述电气设备；

（2）无火花型电气设备“n”；

（3）正常工作时不会出现火花、电弧和热点的设备。

2.16.4.5 发射天线及其所属索具的位置均应远离易燃或易爆蒸气或气体的出口。

2.16.4.6 可在危险区域或处所内安装的电气设备，其开关和保护电器应能分断所有的极或相，而且应设在安全的区域或处所内。设备、开关和保护电器应有清晰而耐久的标志，以便于识别。

2.16.5 接地与防静电

2.16.5.1 在危险区域或处所中所有电气设备，不管其工作电压如何，其金属外壳均应可靠接地。

2.16.5.2 为防止静电放电危害，货油舱（柜）、处理装置和管系应按本篇1.3.4.11的规定进行接地。

2.16.5.3 桅索应与船体有可靠的电气连接。

2.16.6 载运闪点（闭杯）不超过60℃货油的油船的危险区域划分

2.16.6.1 以下区域或处所应属于0区：

（1）货油舱、污油水舱以及货油舱和污油水舱的任何压力真空管系或其他透气系统；

（2）含有货油的管路和设备的内部空间。

2.16.6.2 以下区域或处所应属于1区：

（1）毗邻货油舱的隔离空舱和压载舱；

---

① 电气设备采用专用标准未包括的防爆型式（隔爆型、增安型、本质安全型、正压型、充油型、充砂型、浇封型和无火花型）时，经检验单位认可，可作为特殊型电气设备，标志为“s”。

（2）货泵舱，其机械通风应满足以下要求：

① 货泵舱的机械通风发生故障时应在有人值班处所发出视觉和听觉报警；

② 机械通风故障后，应立即采取措施恢复通风；

③ 若在较长的时间内无法恢复机械通风，除以下设备之外，其余电气设备均应能在安全区域进行关断，并应有措施防止未经许可的再次接通：

（a）本质安全型设备；

（b）隔爆型灯具；

（c）隔爆型通用紧急报警发声器，但其内部应无产生火花的触点。

④ 在机械通风停止较长时间后或初次使用时，货泵舱应至少进行 5 次换气后，电气设备（本质安全设备、隔爆型灯具和隔爆型通用紧急报警发声器除外）才可接通电源。

（3）直接在货油舱上方的围蔽或半围蔽处所（例如甲板间处所）或其舱壁在货油舱舱壁之上并与之成一直线的围蔽或半围蔽处所；

（4）除隔离空舱以外其他与货油舱毗邻而且在货油舱顶板下面的处所（例如围壁通道、走道和杂货舱）以及货油舱下面的双层底和管隧；

（5）距离货油舱舱口、气体或蒸气出口[①]、货油分配阀门、货油舱阀门、货油管路法兰、货泵舱通风出口以及允许由于温度变化引起的气体或蒸气少量流通的货油舱压力/真空阀 3m 以内的开敞甲板区域或开敞甲板上半围蔽处所；

（6）在装卸货油、压载或驱除货油舱气体过程中通过大量气体或蒸气混合物的货油舱出口向上，以 6m 为半径、无限高度的垂直圆柱内；以及自该出口向下，以 6m 为半径的半球面内的开敞甲板区域，或开敞甲板上的半围蔽处所；

（7）距离货泵舱入口、货泵舱通风入口、隔离舱入口或其它 1 区开口处所 1.5m 以内的开敞甲板区域或开敞甲板上的半围蔽处所；

（8）所有货油舱（包括在货舱区域的所有压载舱）上面的开敞甲板区域，其构造限制了自然通风，宽度为船的全宽，前后向货油舱首尾舱壁各向外水平延伸 3m，离甲板高度为 2.4m 以内的区域；

（9）在货油分配阀门下方溢流挡板内，以及以挡板为界向外水平延伸 3m，离甲板高度为 2.4m 以内的开敞甲板区域；

（10）贮放输油软管的舱室；

（11）装有货油管路的围蔽或半围蔽处所；

（12）《钢质海船入级规范》第 6 篇第 3 章第 3.4.13.1 规定的首尖舱及其透气管开口。

2.16.6.3　以下区域或处所应属于 2 区：

（1）如无特殊规定，则距离 2.16.6.2 中规定的 1 区中的开敞处所或半围蔽处所周围 1.5m 以内的区域；

（2）在 2.16.6.2（6）条中定义的区域之外 4m 的处所；

（3）在由于温度变化引起的气体或蒸气少量流通的货油舱出口和货油舱压力/真空阀 3m 以内的开敞甲板区域或开敞甲板上半围蔽处所以外 2m 的区域；

（4）在通向 1 区的气闸内；

（5）如甲板上设有连续围板（以使溢流被保留在甲板上并使之远离居住处所和服务区），则以此为界，向外延伸 3m，且离甲板高度 2.4m 以内的开敞甲板区域；

（6）所有货油舱（包括在货舱区域的所有压载舱）上面的开敞甲板区域，确保自然通风的开敞甲板，宽度为船的全宽，前后向油货舱首尾舱壁各向外水平延伸 3m，距离属于 1 区开敞或半围蔽处所周围甲板的高度为 2.4m 以内的区域；

（7）该处所邻近本节 2.16.6.2（8）和 2.16.6.3（6）条定义的开敞甲板区域，但低于主

① 这些开口包括观察孔、洗舱开口、油面空部容积（液货舱膨胀余位）测定开口、测深管、货油蒸气出口等位置。

甲板，并在主甲板上或不高于主甲板上方 0.5m 处有一开口，除非：

① 这些处所的入口以及处所的所有其它开口（包括通风出口和进气口），不朝向液货舱区域，并距液货舱最前部舱壁至少 5m，远离液货舱出口或气体或蒸气出气口水平距离至少 10m 的位置；并且

② 该处所设有机械通风。

2.16.6.4 某些危险区域或处所，例如有开口直接通向危险区域或处所的区域或处所，如其通风、增压（正压保护）、开口处门的设置以及其他安全保护措施符合接受标准[①]的有关规定，则该区域或处所的危险性可以降低，或者作为非危险区域或处所。

2.16.7 载运闪点（闭杯）超过 60℃货油，且不加热或加热温度低于其闪点 15℃以上的油船的危险区域划分

2.16.7.1 货油舱、污油水舱、货油舱和污油水舱的任何压力/真空阀管系或其它透气系统以及含有货油或处理可燃气体或蒸气的管系和设备的内部空间属于 2 区。

2.16.8 载运闪点（闭杯）超过 60℃货油，且将其加热至其闪点以上或加热至与其闪点之差小于 15℃的油船的危险区域划分

2.16.8.1 该类油船应符合本节 2.16.6 对载运闪点（闭杯）不超过 60℃货油油船的规定。

第 17 节 载运油箱中有自用燃料车辆船舶附加要求

2.17.1 一般要求

2.17.1.1 本节适用于对设有载运油箱中有自用燃料车辆处所的船舶的电气装置。

2.17.1.2 本节所要求的合格防爆电气设备应符合本篇1.3.3的规定，并且其防爆类别和温度组别应不低于IIA T3。

2.17.2 在客船的舱壁甲板以上的特种处所以及客船和货船每小时换气次数不少于 10 次的闭式滚装处所和闭式车辆处所装载车辆

2.17.2.1 在离车辆甲板或装车平台 450mm 的高度内和该处所的排气通风导管内，应安装合格防爆电气设备。

2.17.2.2 在 2.17.2.1 规定以外的部位内，如不使用合格防爆电气设备，则应安装外壳防护等级至少为 IP55 的电气设备。

2.17.3 在客船舱壁甲板以下的特种处所以及客船和货船每小时换气次数少于 10 次的闭式滚装装货处所和闭式车辆处所装载车辆

2.17.3.1 在该处所及其排气通风导管内应安装合格防爆电气设备。

2.17.4 在除车辆处所、特种处所和滚装处所以外的货物处所装载车辆

2.17.4.1 在所有船舶上，除车辆处所、特种处所和滚装处所以外的货物处所载运油箱中有自用燃料车辆时，应满足 SOLAS 公约第 II 章第 20.2.1.2 的要求。

2.17.5 在客船和货船的开式滚装处所、开式车辆处所以及露天甲板的某区域装载车辆

2.17.5.1 在该区域中安装的电气设备，外壳防护等级应符合本篇表 1.3.2.2 的有关规定。

第 18 节 载运危险货物船舶附加要求

① 参见 IEC60092-502 出版物《船舶电气设备－第 502 部分 液货船特殊要求》。

2.18.1 一般要求

2.18.1.1 具有载运本节 2.18.1.2 规定危险货物装货处所的船舶上的电气装置，应符合本节规定以及本篇其他适用的规定。

2.18.1.2 按 IMO《国际海运危险品规则》（《IMDG 规则》）和《国际海运固体散货规则》（《IMSBC 规则》）的有关规定，需对电气设备采取安全措施的危险货物分为以下几类：

（1）有包装的危险货物：

1 类　　爆炸品，但在配装组 S 中的 1.4 类爆炸品除外；

2.1 类　　压缩、液化或加压溶解的所有易燃气体；

2.3 类　　具有 2.1 类次危险性的所有有毒气体；

3 类　　闪点（闭杯试验）低于 23℃的所有易燃液体；

4.3 类　　遇水会散发易燃气体的液体，闪点低于 23℃；

6.1 类　　闪点（闭杯试验）低于 23℃的所有有毒物质；

8 类　　闪点（闭杯试验）低于 23℃的所有腐蚀性液体；

9 类　　杂类危险物质，会散发易燃蒸气。

（2）散装固体危险货物：

4.1 类　　易燃固体物质；

4.2 类　　易于自燃的物质；

4.3 类　　遇水会散发易燃气体的物质；

5.1 类　　氧化物；

9 类　　杂类危险物质，经验已经表明或可能表明按其危险性质应采用本节规定的任何其他物质；

MHB　　在散装载运时可能具有化学危害的物质，但在《IMDG规则》中归入危险货物类别的物质除外。

2.18.1.3 由于载运本节规定的危险货物可能产生的危险区域可分为以下两类：

（1）在正常工作状态下可能出现爆炸性环境[①]的区域或处所，称为危险区；

（2）在正常工作状态下不太可能出现爆炸性环境，即使出现也仅仅是偶然的和短时间的区域或处所，称为扩大危险区。

2.18.1.4 在危险区域中仅可安装船舶安全与营运所必不可少的电气设备，所安装和使用的电气设备的防爆性能应适合于所载运货物的特性。

2.18.2 载运本节 2.18.1.2（1）规定的有包装的 1 类爆炸品（在配装组 S 中的 1.4 类爆炸品除外）

2.18.2.1 下列区域或处所属危险区：

（1）闭式装货处所和闭式或开式滚装装货处所；

（2）固定安装的容器（例如：弹药箱）。

2.18.2.2 在本节 2.18.2.1 规定的危险区内，可安装符合本节 2.18.8.2 规定的电缆，以及不低于表 2.18.2.2 要求的电气设备。

可安装的电气设备　　**表 2.18.2.2**

环境	电气设备			
	类型	防爆类别	温度组别或最高表面温度	外壳防护等级
爆炸性粉尘环境	一般电气设备		100℃	IP65
爆炸性气体环境	本质安全型 Ex“i”	IIA	T5	
	隔爆型 Ex“d”	IIA		
	增安型 Ex“e”（仅适用	II		

① 爆炸性环境可能由于爆炸性气体和/或粉尘的存在而存在。

环境	电气设备			
	类型	防爆类别	温度组别或 最高表面温度	外壳防护等级
	于照明灯具）			
爆炸性粉尘和爆炸性气体兼有的环境	本质安全型 Ex“i”	IIA	T5	IP65
	隔爆型 Ex“d”	IIA		
	增安型 Ex“e”（仅适用于照明灯具）	II		

2.18.3　载运 4.1、4.2、5.1、9 类和产生爆炸性粉尘环境的 MHB 类散装固体危险货物

2.18.3.1　下列区域或处所属危险区：

（1）　闭式装货处所；

（2）　危险区域的通风管道（如设有）；

（3）　有开口直接通向以上（1）或（2）所列处所的围蔽或半围蔽处所，并无防止易燃粉尘进入该处所的适当措施。

2.18.3.2　在本节 2.18.3.1 规定的危险区内，允许安装符合 2.18.8.2 的规定的电缆，以及不低于下列要求（除 2.18.5 另有规定之外）的电气设备：

（1）一般电气设备

—— 外壳防护等级　IP55；

—— 最高表面温度　200℃；或者

（2）合格防爆电气设备

—— 外壳防护等级　IP55；

—— 温度组别　　T3。

2.18.3.3　如载运的危险货物要求较本节 2.18.3.2 规定更低的表面温度，则应按该货物的要求（另见本节 2.18.7）。

2.18.3.4　载运 5.1 类硝酸铵（UN1942）、硝酸铵基肥料（UN2067）、9 类硝酸铵基肥料（UN2071）、硝酸铵基肥料和硝酸铵基肥料 MHB 时，除合格防爆电气设备外，危险区域内的所有电气设备应按照 2.18.8.1 的要求关断。

2.18.4　载运闪点低于 23℃有包装的易燃液体（3、6.1 和 8 类）、有包装的易燃气体（2.1 类）、散发易燃蒸气的有包装杂类危险物质（9 类）和遇水会散发易燃气体的物质（4.3 类固体和遇水产生易燃气体的 MHB 类）

2.18.4.1　下列区域或处所属危险区：

（1）闭式装货处所和闭式滚装装货处所；

（2）危险区的通风管道（如设有）；

（3）离危险区任何排风口周围 1.5m 范围内的露天甲板区域，或者露天甲板上的半围蔽处所；

（4）有开口直接通向以上（1）和（2）所列处所的围蔽或半围蔽处所，并无防止易燃气体进入该处所的适当措施；

2.18.4.2　下列区域或处所属扩大危险区：

（1）以自闭式气密门（水密门可认为是气密的）与本节 2.18.4.1（1）和（2）所列危险处所分隔，并有自然通风的处所；

（2）与本节 2.18.4.1 所列危险区相毗邻的气闸（如设有）的里面；

（3）在 2.18.4.1（3）规定的危险区之外 1.5m 范围的露天或半围蔽处所。

2.18.4.3　在本节 2.18.4.1 和 2.18.4.2 规定的危险区域内，可安装本节 2.18.8.2 规定的电缆，以及不低于表 2.18.4.3 要求（除 2.18.5 另有规定之外）的电气设备。

可安装的电气设备　　表 2.18.4.3

危险区类别	电气设备		
	类型	防爆类别	温度组别或最高表面温度
危险区	本质安全型 Ex“i”	IIC	T4
	隔爆型 Ex“d”	IIC	
	正压型 Ex“p”	II	
	浇封型 Ex“m”	II	
扩大危险区	以上危险区允许安装的设备	IIC 或 II	T4
	无火花型 Ex“n”	II	
	正常工作时不产生火花或电弧的设备		135℃

2.18.4.4　如所载运的货物不包括氢气、氢气混合物以及在一定条件下可能产生氢气的散装货物，则以上规定的防爆类别可为 II B。

2.18.5　只载运散装固体危险货物和 MHB

2.18.5.1　载运散装固体危险货物（含能产生爆炸性气体环境的固体危险货物）和 MHB，危险区内安装的合格防爆电气设备应符合表 2.18.5.1 的最低要求。

在危险区内使用的电气设备特性（举例）　　表 2.18.5.1

危险货物	IMO 分类	主要危险[①]	粉尘防爆	气体防爆	
			外壳防护等级	防爆类别	温度组别
硅铁铝粉末 UN1395	4.3	H_2	—	IIC	T2
无涂层硅铝粉 UN1398	4.3	H_2	—	IIC	T2
铝熔炼副产品或铝再熔炼副产品 UN3170	4.3	H_2	—	IIC	T2
铝熔炼/再熔副产品，经处理的	MHB（WF and/or WT and/or CR）	H_2	—	IIC	T1
硝酸铵 UN1942	5.1	—	—	—	T4
硝酸铵基肥料 UN2067	5.1	—	—	—	T4
硝酸铵基肥料 UN2071	9	—	—	—	T4
硝酸铵基肥料	—	—	—	—	T4
硝酸铵基肥料 MHB	MHB（OH）	—	—	—	T4
褐煤砖	MHB（CB and/or SH）	粉尘、甲烷	IP55	IIA	T4
煤	MHB（CB and/or SH and/or WF and/or CR）	粉尘、甲烷	IP55	IIA	T4
直接还原铁（A）	MHB（SH and/or WF）	H_2	—	IIC	T2
直接还原铁（B）	MHB（SH and/or WF）	H_2	—	IIC	T2
直接还原铁（C）	MHB（SH and/or WF）	H_2	—	IIC	T2
直接还原铁（D）	MHB（SH and/or WF）	H_2	—	IIC	T2
磷铁合金（包括砖型块）	MHB（WF and/or WT）	H_2	—	IIC	T1
硅铁,硅含量 25%至 30%，或硅含量 90%或以上	MHB（WF and/or WT）	H_2	—	IIC	T1

危 险 货 物	IMO 分类	主要危险[①]	粉 尘 防 爆	气 体 防 爆	
			外壳防护等级	防爆类别	温度组别
硅铁 UN1408,硅含量 30%或以上,但小于 90%（包括砖形块）	4.3	H_2	—	IIC	T1
废氧化铁或废海绵铁 UN1376	4.2	粉尘	IP55	IIA	T2
含植物油种子饼 UN1386（b）	4.2	已烷	—	IIA	T3
种子饼 UN2217	4.2	已烷	—	IIA	T3
种子饼和其他经加工含油植物残渣	MHB （SH）	粉尘	IP55	IIA	T3
硅锰合金（低碳）	MHB（WF and/or WT and/or TX）	H_2	—	IIC	T1
从纸和塑料回收的固态燃料	MHB （SH）	易燃	IP55	—	T3
甘蔗生物质颗粒	MHB（CB and/or WF and/or WT and/or OH）	易燃、粉尘	IP55	IIA	T3
硫磺 UN1350（压块及粗粒）	4.1	易燃、粉尘	IP55	—	T4
锌灰 UN1435	4.3	H_2	—	IIC	T2
烤木	MHB（CB and/or SH and/or CR）	易燃、粉尘	IP55	—	T3
木球团，含有添加剂和/或粘合剂	MHB（WF）	粉尘	IP55	—	T3
木球团，不含有添加剂和/或粘合剂	MHB（OH）	粉尘	IP55	—	T3

注：① 这里的“危险”一词专指因危险货物和电气设备而产生的爆炸危险。

2.18.6 正压保护和气闸的应用

2.18.6.1 有开口直接通向毗邻危险区（例如本节 2.18.4.1（4）规定的危险区） 的处所，如具有接受标准[①]规定的正压保护，则可使其成为非危险处所。

2.18.6.2 如设置与 2.18.4.1 所列危险区域相毗邻的气闸，则毗邻气闸并设有自然通风的外部处所，可认为是安全区域。

2.18.7 特殊规定

2.18.7.1 如未获得拟载运的货物特性的详细资料，或者船舶拟载运本节 2.18.1.2 规定的所有货物，则可安装在危险区域中的电气设备应符合下列规定：

——外壳防护等级 IP65
——最高表面温度 85℃
——防爆类别 II C
——温度组别 T6

2.18.8 危险区域内电气设备的安装

2.18.8.1 如安装的电气设备为不适合在有爆炸危险的区域中使用者，则应能将其关断，并应有防止未经批准的再次接通的保护。该项关断应在危险区域之外进行，且一般应采用隔离开关或可锁定的开关实施。

2.18.8.2 电缆均应是铠装的或者应具有编织的屏蔽层，否则应敷设在金属管道中。

2.18.8.3 装货处所中应尽可能避免电缆接头，如不可避免，则接头应围蔽在防爆的金属或高强度塑料制成的接线盒中，或者将其密封在波纹套筒电缆接头中。

① 参见 IEC 60092-506 出版物《专辑 载运特殊危险货物和仅散装有危险货物船舶》。

2.18.8.4　甲板和舱壁上的电缆贯穿应是密封的，以防止易燃气体或蒸气透过。

2.18.9　危险区域内的可携电气设备

2.18.9.1　如为船舶营运必需在危险区域内使用可携电气设备，则应采用适合于该危险区域中使用的合格防爆电气设备，且除本质安全电路外，一般应自带电源。

2.18.10　载运闪点低于 23℃有包装的易燃液体（3 类、6.1 类或 8 类）、铝熔炼/再熔炼副产品（UN3170）、经加工的铝熔炼/再熔炼副产品（MHB）、硅铁（MHB）和硅铁（UN1408）

2.18.10.1　带有法兰、阀门、泵的舱底水管路构成了释放源，含有该释放源的围蔽处所（例如管弄、舱底泵舱等）应作为一个扩大危险区（等同于 2 区），除非具有连续机械通风，换气次数应至少为每小时 6 次。

2.18.10.2　围蔽处所未设置具有自动起动功能的冗余机械通风时，不适合在 2 区使用的设备应在通风故障时自动切断，且重要系统（例如舱底和压载系统）应采用适合在 2 区使用的合格防爆型设备。

2.18.10.3　当设置了冗余机械通风装置时，不适合在 2 区使用的设备和重要系统应与机械通风联锁，以避免在机械通风停止时设备和系统还能工作。应在有人值班处所设置机械通风故障的听觉和视觉报警。