

中　国　船　级　社

钢质海船入级规范

2012

第 7 分册

第 10 篇　散货船结构（CSR）

人民交通出版社
北　京

书　　名：钢质海船入级规范 2012（第 7 分册）
著 作 者：中国船级社
责任编辑：张　放
出版发行：人民交通出版社
地　　址：(100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网　　址：http://wwww.chinasybook.com
销售电话：(010)64981400，59757915
总 经 销：北京交实文化发展有限公司
印　　刷：北京鑫正大印刷有限公司
开　　本：880×1230　1/16
印　　张：23
字　　数：529 千
版　　次：2012 年 5 月　第 1 版
印　　次：2012 年 5 月　第 1 次印刷
统一书号：15114·1724
本册定价：130.00 元
（有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换）

中　国　船　级　社

钢质海船入级规范

2012

第 10 篇　散货船结构（CSR）

2012 年 7 月 1 日生效

地址　　Add：北京市东直门南大街 9 号船检大厦
CCS Mansion,9 Dongzhi Men Nan Da Jie
Beijing 100007,P.R.China
电话　　Tel：0086-010-58112288
传真　　Fax：0086-010-58112811
邮码 Postcode：100007
电 子 邮 箱 ：CCS@CCS.org.cn

目 录

第 1 章 总则 10-1
第 1 节 适用范围 10-1
第 2 节 符合验证 10-4
第 3 节 功能要求 10-6
第 4 节 符号和定义 10-8

第 2 章 总布置设计 10-16
第 1 节 分舱布置 10-16
第 2 节 舱室布置 10-19
第 3 节 通道布置 10-22

第 3 章 结构设计原则 10-29
第 1 节 材料 10-29
第 2 节 净尺寸方法 10-36
第 3 节 腐蚀增量 10-38
第 4 节 极限状态 10-40
第 5 节 腐蚀防护 10-42
第 6 节 结构布置原则 10-44

第 4 章 设计载荷 10-67
第 1 节 通则 10-67
第 2 节 船舶运动和加速度 10-67
第 3 节 船体梁载荷 10-69
第 4 节 载荷工况 10-73
第 5 节 外部压力 10-75
第 6 节 内部压力和力 10-84
第 7 节 装载工况 10-93
第 8 节 装载手册和装载仪 10-98
附录 1 载货量曲线 10-102
附录 2 直接强度分析的标准装载工况 10-109
附录 3 疲劳评估标准工况 10-120

第 5 章 船体梁强度 10-123
第 1 节 屈服校核 10-123
第 2 节 极限强度校核 10-131
附录 1 船体梁极限强度 10-133

第 6 章 船体结构尺寸 10-142
第 1 节 板材 10-142
第 2 节 普通扶强材 10-152

第3节 普通扶强材和加筋板格的屈曲和极限强度 10-167
第4节 主要支撑构件 10-181
附录1 屈曲和极限强度 10-194

第7章 直接强度分析 10-199
第1节 主要支撑构件的直接强度评估 10-199
第2节 货舱结构整体舱段有限元强度分析 10-200
第3节 详细应力评估 10-207
第4节 疲劳强度评估的热点应力分析 10-210
附录1 有限元模型的纵向范围 10-215
附录2 有限元分析中基于位移的屈曲评估 10-216

第8章 结构细部疲劳校核 10-220
第1节 总体考虑 10-220
第2节 疲劳强度评估 10-221
第3节 主要构件应力评估 10-225
第4节 扶强材应力评估 10-227
第5节 舱口角的应力评估 10-239
附录1 横剖面扭转特性 10-242

第9章 其他结构 10-249
第1节 首部 10-249
第2节 尾部 10-257
第3节 机器处所 10-263
第4节 上层建筑和甲板室 10-268
第5节 舱口盖 10-272
第6节 船体和上层建筑开口布置 10-289

第10章 船体舾装 10-301
第1节 舵和操纵装置 10-301
第2节 舷墙和栏杆 10-326
第3节 设备 10-328

第11章 建造和试验 10-340
第1节 建造 10-340
第2节 焊接 10-342
第3节 舱室试验 10-348

第12章 附加入级标志 10-351
第1节 抓斗附加入级标志 10-351

第13章 营运船舶换新衡准 10-352
第1节 船级的保持 10-352
第2节 测厚和接受衡准 10-352

第 1 章　总　　则

第 1 节　适 用 范 围

1　一般要求

1.1　结构要求

1.1.1　本规范适用于 2006 年 4 月 1 日及以后签订建造合同的船级社入级船舶。

注：“签订建造合同”系指预期船东和造船者之间签署船舶建造合同的日期。有关“签订建造合同”日期的进一步详细说明，见 IACS 程序要求（PR）No. 29。

1.1.2　本规范适用于船长 L90m 或以上，在全球不受限制航行的单舷侧和双舷侧散货船的船体结构。

散货船系指在货物长度区域通常具有单层甲板、双层底、底边舱和顶边舱以及单舷侧或双舷侧结构、且主要用于运输散装干货的海上自航船舶，不包括矿砂船和兼装船。

本规范也适用于至少一个货舱具有底边舱和顶边舱的混合型散货船。货舱内没有底边舱和 / 或顶边舱的结构强度应符合本规范的强度标准。

1.1.3　本规范内有关船体尺度、布置、焊接、结构细部、材料和设备的 IACS 要求适用于具有下列特征的所有类型的散货船：

- $L < 350$m
- $L/B > 5$
- $B/D < 2.5$
- $C_B \geqslant 0.6$

1.1.4　本规范要求适用于符合第 3 章第 1 节规格要求的钢质焊接船体结构，也适用于部分钢质焊接船舶，如上层建筑或小型舱口盖为非钢质材料且符合第 3 章第 1 节要求。

1.1.5　对使用与［1.1.4］中的要求不同的船体材料的船舶和具有新颖特征或特殊船体设计的船舶，船级社将根据本规范中所采用的原理和衡准单独予以考虑。

1.1.6　本规范应用中所考虑的结构吃水应不小于相应于核定干舷的吃水。

1.1.7　如按直接计算得到的结构尺寸与第 7 章中所要求的不同，应提交第 2 节中所详述的足够的支持性文件。

1.2　起重设备方面的应用限制

1.2.1　起重设备的固定部件视为船体的组成部分，是永久性焊接在船体上的结构（如起重机基座、桅、起重柱、吊货杆承座等，不包括起重机、吊货杆、绳索、索具，以及在一般情况下任何可拆卸的部件），仅考虑与船体结构直接相互作用的部分。预埋在船体结构中的桅杆稳索视为固定部件。

1.2.2　起重设备的固定部件及其与船体结构的连接可符合船级社的起重设备规范，和 / 或如有要求时，签发起重设备证书（特别是签发起货设备检验簿）。

CCS1.2.2　如有要求，起重设备的固定部件及基座可按 CCS《起重设备规范》的要求，和 / 或如有要求时，签发起重设备证书（特别是签发起货设备检验簿）。与起重设备固定部件连接的船体结构连接构件应以强度直接计算验证。

1.2.3　固定式起重设备的支撑结构和可能要用于支撑移动式设备的结构设计应考虑到设备的操作对其施加的额外载荷，额外载荷由船舶建造者或其承包商提供。

1.3　焊接工艺方面的应用限制

1.3.1　本规范要求还适用于船体结构焊接的准备工作、施焊和检查。

当船级社认为适当时，这些要求应由船级社所规定的有关焊接制造和焊接工艺认可的一般要求作补充。

CCS1.3.1　本规范要求还适用于船体结构焊接的准备工作、施焊和检查。

当 CCS 认为适当时，除本规范规定外，应符合 CCS《材料与焊接规范》的相关规定。

2　规范适用范围

2.1　船体部分

2.1.1　一般要求

就本规范应用而言，船舶视作分为下列三个部分：

- 首部
- 中部
- 尾部

2.1.2　首部

首部包括位于防撞舱壁前方的结构，即：

- 首尖舱结构
- 首柱

此外还包括：

- 平船底前部区域的加强
- 船首外飘区域的加强

2.1.3　中部

中部包括位于防撞舱壁与尾尖舱的舱壁之间的结构。

如平船底前部区域或船首外飘区域延伸至防撞舱壁后方，则视为属于首部。

2.1.4　尾部

尾部包括位于尾尖舱舱壁后方的结构。

2.2　适用于船体各部分的规范

2.2.1　按表 1 所列的各个章节适用于船体各部分的结构尺寸。

适用于船体各部分结构尺寸的章节　　**表 1**

船体部分	适用章节	
	一　般	特　定
首部	第 1 章 第 2 章 第 3 章 第 4 章 第 5 章 第 9 章 (1)，不包括： 第 9 章第 1 节 第 9 章第 2 节 第 11 章	第 9 章第 1 节
中部		第 6 章 第 7 章 第 8 章
尾部		第 9 章第 2 节

注：(1) 另见 [2.3]。

2.3　适用于船舶其他项目的规范

2.3.1　按表 2 所列的各个章节适用于船舶其他项目的构件尺寸。

适用于其他项目构件尺寸的章节　　表 2

项　　目	适 用 章 节
机器处所	第 9 章第 3 节
上层建筑和甲板室	第 9 章第 4 节
舱口盖	第 9 章第 5 节
船体和上层建筑开口	第 9 章第 6 节
舵	第 10 章第 1 节
舷墙和栏杆	第 10 章第 2 节
设备	第 10 章第 3 节

3　船级标志

3.1　附加营运特性标志 BC-A、BC-B 和 BC-C

3.1.1　下述要求适用于［1.1.2］中所定义的船长为 150m 或以上的船舶。

3.1.2　散货船应授予下列附加营运特性标志之一：

(1) BC-A：对设计装载货物密度为 1.0t/m^3 及以上的干散货物，且最大吃水工况中有指定空货舱组，并且装载工况中包括 BC-B 的要求的散货船。

(2) BC-B：对设计装载货物密度为 1.0t/m^3 及以上的干散货物，且所有货舱装货，并且装载工况中包括 BC-C 的要求的散货船。

(3) BC-C：对设计装载货物密度小于 1.0t/m^3 干散货物的散货船。

3.1.3　对由于设计中采用的装载工况而应在营运中遵循的限制，应以下列附加营运特性标志作更为详细的说明：

- {(t/m^3) maximum cargo density (in t/m^3)}：如设计的最大货物密度小于 3.0 t/m^3，适用于 BC-A 和 BC-B 附加营运特性标志。（见第 4 章第 7 节［2.1］）
- {no MP}：如散货船未根据第 4 章第 7 节［3.3］中规定的工况按多港口装 / 卸货物设计，适用于所有附加营运特性标志。
- {allowed combination of specified empty holds}：适用于 BC-A 附加营运特性标志。（同样见第 4 章第 7 节［2.1］）

3.2　附加标志 GRAB[X]

3.2.1　适用范围

对具有［3.1.2］所述附加营运特性标志 BC-A 或 BC-B 之一的船舶，附加标志 GRAB[X] 是强制性的。对于这些船舶应符合第 12 章第 1 节规定的 GRAB[X] 附加标志要求，空抓斗重量 X 应等于或大于［20］t。

对所有其他船舶，附加标志 GRAB[X] 系自愿采用。

3.3　船级标志 CSR

3.3.1　适用范围

除经船级社同意授予的船级符号以及上述营运特性和附加标志之外，船舶完全符合本规范，将被授予船级标志 CSR。

CCS3.3.1　符合本篇要求的散货船，授予附加标志：Bulk Carrier，CSR 或 Bulk Carrier Double Side Skin，CSR。

第 2 节　符 合 验 证

1　一般要求

1.1　新建船舶

1.1.1　对于新建船舶，按 [2] 的规定送审的图纸资料应符合本规范第 1 章至第 11 章的适用要求，在授予船舶或船舶长度附加营运特性标志和入级标志时，应考虑到相关标准。

1.1.2　船级社在建造中检验船舶时，应：

- 批准按规范要求提交的图纸资料；
- 建造中，保持对船舶建造所用材料和设备设计的验证和检查；
- 进行检验或得到适当证据以确信结构尺寸和构造满足已批准图纸的相关规范要求；
- 参与规范规定的试验和试航；
- 授予建造标记。

1.1.3　船级社应以具体规范规定，其所检验的建造中船舶的何种材料和设备通常应按何种规格接受设计鉴定并在工厂接受检查。

1.1.4　验船师在船舶建造期间所作检验应包括以下工作：

- 在规范适用范围内全面检查船舶各部分；
- 检查建造方法和程序（如规范有要求）；
- 在规范要求范围内检查选择的项目；
- 参与试验和试航（若适用且认为有必要）。

1.2　营运船舶

1.2.1　营运船舶应符合本规范第 13 章的要求。

2　应提交的文件

2.1　在建造中被船级社检验的船舶

2.1.1　应提交批准的图纸资料

表 1 中所列的图纸资料应提交船级社批准。此外，船级社可按审核船舶设计的需要，要求其他图纸资料供批准或备查。

结构图应标明各种船体部分的连接结构的细节，并且对设计所用材料作具体的说明，一般应包括制造过程、焊接工艺和热处理。另见第 11 章第 2 节 [1.4]。

2.1.2　应提交备查的图纸资料

除按 [2.1.1] 的要求外，还应提交下列图纸资料供船级社备查：

- 总布置图；
- 舱容图，表明所有舱室和液舱的容积和重心位置；
- 型线图；
- 静水力曲线图；
- 空船重量分布图；
- 进坞图。

此外，设计单位如按规范要求进行直接计算分析，还应将相关文件提交船级社（见 [3]）。

2.2　船级社代表相关主管机关检验的船舶

2.2.1　应提交批准的图纸资料

除按 [2.1] 的要求外，还应将国家有关规则所要求的图纸提交船级社批准。

应送审的图纸资料　　**表 1**

图 纸 或 资 料	含 下 列 有 关 资 料
船中剖面图 横剖面图 外板展开图 甲板和纵剖面图 双层底结构图 支柱布置图 骨架结构图 深舱和压载舱的舱壁、制荡舱壁结构图	入级符号 主要尺寸 最小压载吃水 肋骨间距 合同营运航速 货物密度 甲板和双层底设计载荷 钢材等级 腐蚀防护 甲板和外板开口及有关补偿 船底和舷侧平面区域的边界 加强和 / 或不连续性的结构细部 舭龙骨及其与船体结构连接细节
水密分隔舱壁结构图 水密隧道结构图	开口及其关闭装置（如设有）
首部结构图	
尾部结构图	
机器处所结构图 推进装置和锅炉的底座的结构图	推进装置的型号、功率和转速 机械装置和锅炉的质量和重心
上层建筑和甲板室 机舱棚	所用铝合金的延伸性和机械性能（如适用）
舱口盖和舱口围板	舱口盖的设计载荷 密封和锁紧装置，锁紧螺栓的型号和位置 舱口盖距夏季载重线和首端的距离
侧推器总布置图（如设有），管隧结构及侧推器与管隧和船体结构的连接	
舷墙和排水舷口	干舷甲板和上层建筑甲板上的舷墙和排水舷口的布置与尺寸
方窗和舷窗，布置图及细节	
泄水孔和卫生排泄孔	
舵和挂舵臂 (1)	最大营运前进航速
尾框架或尾柱、尾管 螺旋桨轴毂和尾轴架 (1)	
水密门图和有关操纵装置示意图	操纵装置 功率调节和位置指示线路的电力图
外门和舱口图	
吊杆和起货设备 货物升降机结构图	设计载荷（力和力矩） 与船体结构的连接
通海阀箱、减摇装置凹槽等	
锚链管	
人孔图	

续上表

图 纸 或 资 料	含 下 列 有 关 资 料
处所出入和逃生通道图	
通风图	各处所的使用和各舱室通风出口位置及高度
液舱测试图	各舱室测试程序 测试用管子的高度
装载手册和装载仪	第 4 章第 7 节所定义的装载工况 (另见第 4 章第 8 节)
舾装数计算	计算用几何要素 设备清单 钢索的结构和破断负荷 合成纤维绳的材料、结构、破断负荷和相应的延伸率

注：(1) 如采用其他操舵或推进系统（譬如导管舵或全向推进系统），应提交有关布置和结构尺寸图纸。有关全向推进系统，见第 10 章第 1 节 [11]。

3　计算机程序

3.1　一般要求

3.1.1　为了增加散货船结构设计中的灵活性，可接受使用计算机程序的直接计算（见第 7 章）。这种计算的目的在于评估结构是否满足规范要求。

3.2　一般程序

3.2.1　可自由选择目前可用的计算机程序，并应按照第 7 和 / 或第 8 章的要求处理模型和载荷工况。船级社可以通过预定测试算例的对比计算对这些程序进行检查。但船级社不给出计算机程序具有通用效力的认可。

3.2.2　直接计算可用于以下方面：

- 整体强度；
- 总纵强度；
- 梁和板架；
- 细部的强度。

3.2.3　直接计算中使用的计算模型、边界条件和载荷工况应经船级社同意。

应提交计算文件，包括输入和输出。审查中，船级社可能有必要进行独立的对比计算。

第 3 节　功 能 要 求

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节规定了在设计和建造期间应符合的有关船舶结构的功能要求，以满足下列目标。

1.2　设计寿命

1.2.1　如对船舶进行正确的操作和维护，可使船舶在预期设计寿命期间内保持安全和不污染环境，除另有特别说明外，设计寿命假定等于二十五年。取决于船舶的实际状态和维护，并考虑到老化作用，特别是疲劳、涂层损耗、腐蚀和磨损，船舶的实际寿命可能比设计寿命长或短。

1.3　环境条件

1.3.1　船舶结构设计是基于整个设计寿命期间航行于北大西洋环境的假设。因此，相应的波浪状态，即统计波浪散布图考虑了结构强度设计的基本原则。

1.4　结构安全

1.4.1　船舶建造者和操作者，对于船舶的设计、建造，以及后来的操作和维护，应使由于结构破损和由此造成的进水、水密完整性失效而导致的船舶灭失所造成的海上人命安全和海洋环境污染的危险减至最小。

1.5　结构可到达

1.5.1　船舶的设计和建造，应提供足够的进入所有空间处所和内部结构的通道设施，以能对结构进行全面检查、近观检查和厚度测量。

1.6　建造质量

1.6.1　作为目标，必要时船舶应采用认可的材料，按可控的质量生产标准进行建造。

2　功能要求定义

2.1　一般要求

2.1.1　有关船舶结构的功能要求见 [2.2] 至 [2.6]。

2.2　结构强度

2.2.1　船舶的设计，应能使处于完整状态下的船舶经受住设计寿命期间内的环境条件，以满足合理装载工况。结构强度应进行屈曲和屈服验证。极限强度计算应包括船体梁的极限能力以及板材和扶强材的极限强度。

2.2.2　船舶应设计为具有足够的剩余强度，承受在合理预见的破损状态下，如碰撞、搁浅或进水，所产生的波浪载荷和内部载荷。剩余强度计算应考虑到船体梁的极限剩余能力，包括永久性变形和后屈曲性能。

2.2.3　船舶应根据预期的疲劳寿命对典型结构细部进行评估。

2.3　涂层

2.3.1　在需要涂层时，应按提交的船舶处所的用途（如货舱、液舱、隔离空舱等）和材料以及其他防腐系统（如阴极保护或其他替代措施）的功能来选择涂料。按照制造厂关于钢材预处理、涂料选择、应用和维护的说明书实施和维护的涂层保护系统，应符合 SOLAS 公约要求、船旗国主管机关要求和船东的规定。

2.4　腐蚀增量

2.4.1　为保证船舶营运寿命，应在结构强度计算所要求的净尺寸上增加足够的腐蚀增量。腐蚀增量应根据内部和外部结构的使用情况和对腐蚀介质接触情况确定，如水、货物或腐蚀性空气。另外，还应考虑防腐系统，如涂层、阴极保护或采用替代措施。

2.5　通道设施

2.5.1　应设置能够确保安全进入船舶结构的通道设施，以便对结构进行全面检查、近观检查和厚度测量。对于 20000 总吨及以上的散货船，通道设施应在船舶结构通道手册中予以说明。参见 SOLAS II-1 章 3-6 条。

2.6　建造质量工艺

2.6.1　船舶建造质量工艺中应包括材料制造、装配、连接和焊接工艺、钢材表面预处理以及涂层的说明书。

3　其他规则

3.1　国际规则

3.1.1　对于船舶所涉及的这些规范，设计者、建造者和船东应关注下列要求：

船舶应按照 IMO 在国际范围内规定的、并由船旗国或代表船旗国的船级社实施的综合规则框架内进行设计、建造和营运。法定要求制定了船舶法定方面的标准，如救生、分舱、稳性、防火等。

这些要求关系到船舶的营运和货物装运安排，因此可能影响船舶的结构设计。

涉及散货船强度所适用的主要国际性文件有：

- 国际海上人命安全公约（SOLAS）；
- 国际载重线公约（ILLC）。

3.2　国家规则

3.2.1　应注意船旗国的适用国家规则。

符合国家主管机关的适用规则并不作为授予船级的条件。

4　制造工艺

4.1　制造厂应符合的要求

4.1.1　制造厂必须配备适当的设备和设施，以能正常地进行材料、制造加工、构件等的作业。

制造厂必须配置足够的合格人员，并须将所有负责项目的监督、管理人员的姓名及其职责范围通知船级社。

4.2　质量控制

4.2.1　从要求和便利出发，制造厂的人员必须在制造中和完工时对所有构件进行检查，以确保构件完好、尺寸准确，以及工艺合格并符合良好的造船标准。

构件经制造厂检查和修正后，应交船级社的验船师检验，检验通常在构件未油漆、并能够正常进入的情况下，分为适当的分段进行。

验船师可以拒绝检验未经制造厂适当检查通过的构件，并可以要求制造厂在检查和修正合格后再次提交检验。

5　结构细部

5.1　制造文件中的细部

5.1.1　与构件的质量和功能有关的重要细部应记入制造文件（车间图纸等）中。这不仅应包括结构尺寸，而且如相关，还应包括表面状况（如气割边和焊缝的修整）、特殊制造方法所涉及的检查和验收要求，以及允许公差之类项目。为此目的，应使用一个标准（工厂标准或国家标准等），并应提交船级社。有关焊接接头的细部，见第 11 章第 2 节。

如果因制造文件中没有细部或细部的内容欠缺而对构件的质量或功能产生怀疑，船级社可以要求制造厂经适当改进后提交。这应包括补充或附加部分（如加强）的规定，即使这些部分在审图时未予要求。

第 4 节　符号和定义

1　主要符号和单位

1.1

1.1.1　除另有规定外，本规范使用的一般符号及其单位为表 1 中所规定者。

主 要 符 号　　表 1

符　　号	含　　义	单　　位
A	面积	m^2
	普通扶强材和主要支撑构件横剖面面积	cm^2
B	型宽 (见 [2])	m

续上表

符　号	含　义	单　位
C	系数	—
D	型深 (见 [2])	m
E	杨氏模量	N/m^2
F	力和集中载荷	kN
I	船体梁惯性矩	m^4
	普通扶强材和主要支撑构件惯性矩	cm^4
L	船长 (见 [2])	m
M	弯矩	kN·m
Q	剪力	kN
S	主要支撑构件间距	m
T	吃水 (见 [2])	m
V	船舶的航速	knot
Z	船体梁剖面模数	m^3
A	加速度	m/s^2
B	带板宽度	m
	普通扶强材和主要支撑构件面板宽度	mm
G	重力加速度 (见 [2])	m/s^2
H	高度	m
	普通扶强材和主要支撑构件腹板高度	mm
K	材料系数 (见 [2])	—
l	普通扶强材和主要支撑构件长度 / 跨距	m
M	质量	t
N	项目数	—
P	压力	kN/m^2
R	半径	mm
	板材曲率半径或舭部半径	m
S	普通扶强材间距	m
T	厚度	mm
W	普通扶强材和主要支撑构件剖面模数	cm^3
X	纵向轴 *X* 坐标 (见 [4])	m
Y	横向轴 *Y* 坐标 (见 [4])	m
Z	垂向轴 *Z* 坐标 (见 [4])	m
Γ	安全因子	—
Δ	变形 / 位移	mm
θ	角度	(°)
Ξ	Weibull 形状参数	—
P	密度	t/m^3
Σ	弯曲应力	N/mm^2
T	剪应力	N/mm^2

2　符号

2.1　船舶主要数据

2.1.1

L：规范船长，m，见［3.1］；

L_{LL}：干舷船长，m，见［3.2］；

L_{BP}：垂线间长，m，取自最深分舱载重线（即分舱要求（适用的）所允许的最大吃水的相应水线）的两端的垂线间量得的船舶长度；

FP_{LL}：干舷首垂线。干舷首垂线取自长度L_{LL}的前端，并与在计量长度L_{LL}的水线上的首柱前边相重合；

AP_{LL}：干舷尾垂线。干舷尾垂线取自长度 L_{LL} 的后端；

B：型宽，m，见［3.4］；

D：型深，m，见［3.5］；

T：型吃水，m，见［3.6］；

T_S：结构吃水，m，取最大吃水（并见第 1 章第 1 节［1.1.6］）；

T_B：第 4 章第 7 节［2.2.1］所定义的正常压载工况下船中最小压载吃水，m；

T_{LC}：所计及装载工况下的船中吃水，m；

Δ：在海水（密度 ρ= 1.025 t/m^3）中吃水 T 时的型排水量，t；

C_B：总方形系数 $C_B=\dfrac{\Delta}{1.025LBT}$；

V：最大营运前进航速，kn，即，船舶在最深航行吃水、最大螺旋桨 RPM 和相应的主机 MCR（最大持续功率）情况下设计能够在营运中保持的最大速度；

x, y, z：相对参考坐标系统的计算点的 X，Y 和 Z 坐标，m。

2.2　材料

2.2.1

E：杨氏模量，N/mm^2，应取为：

对普通钢材 $E = 2.06\times10^5$ N/mm^2；

对不锈钢　$E = 1.95\times10^5$ N/mm^2；

对铝合金　$E = 7.0\times10^4$ N/mm^2；

R_{eH}：材料最小屈服应力，N/mm^2；

k：材料系数，见第 3 章第 1 节［2.2］；

v：泊松比。除另有规定者外，应考虑取值为 0.3；

R_m：材料最小极限抗拉强度，N/mm^2；

R_Y：材料名义屈服应力，N/mm^2，除另有规定者外，应取值为 235/kN/mm^2。

2.3　载荷

2.3.1

g：重力加速度，取为 9.81m/s^2；

ρ：海水密度，取为 1.025 t/m^3；

ρ_L：所载液体密度，t/m^3;

ρ_C：所载散装干货密度，t/m^3；

C：波浪参数，取为：

- $C = 10.75 - \left(\dfrac{300-L}{100}\right)^{1.5}$　　对 $90 \leqslant L < 300$m 的船舶
- $C = 10.75$　　对 $300 \leqslant L \leqslant 350$m 的船舶

h：液舱高度，m，取自舱底至舱顶的垂直距离，不包括任何小舱口；

Z_{TOP}：自液舱最高点至基线的垂直距离，m。对压载货舱，Z_{TOP} 为自舱口围板顶部至基线的垂直距离，m；

l_H：舱室长度，m；

M_{SW}：所计及船体横剖面处的设计静水弯矩，kN·m：

- 中拱工况　　$M_{SW}=M_{SW,H}$
- 中垂工况　　$M_{SW}=M_{SW,S}$

M_{WV}：所计及船体横剖面处的波浪垂向弯矩，kN·m：

- 中拱工况　　$M_{WV}=M_{WV,H}$
- 中垂工况　　$M_{WV}=M_{WV,S}$

M_{WH}：所考虑船体横剖面处的波浪水平弯矩，kN·m；

Q_{SW}：所考虑船体横剖面处的设计静水剪力，kN；

Q_{WV}：所考虑船体横剖面处的波浪垂向剪力，kN；

p_S：静水压力，kN/m^2；

p_W：波浪压力或动压力，kN/m^2；

p_{SF}，p_{WF}：进水工况下的静水和波浪压力，kN/m^2；

σ_X：船体梁正应力，N/mm^2；

a_X，a_Y，a_Z：分别为 X、Y 和 Z 各方向的加速度，m/s^2；

T_R：横摇周期，s；

θ：横摇单幅值，（°）；

T_P：纵摇周期，s；

Φ：纵摇单幅值，（°）；

k_r：横摇回转半径，m；

G_M：初稳性高度，m；

λ：波浪长度，m。

2.4　结构尺寸

2.4.1　船体梁结构尺寸

I_Y：船体横剖面对其水平中和轴的惯性矩，m^4；

I_Z：船体横剖面对其垂向中和轴的惯性矩，m^4；

Z_{AB}，Z_{AD}：分别为船底处和甲板处的剖面模数，m^3；

N：自基线至船体横剖面水平中和轴的垂直距离，m。

2.4.2　局部结构尺寸

s：普通扶强材间距，m，沿弦长在跨距中点量取；

S：主要支撑构件间距，m，沿弦长在跨距中点量取；

l：普通扶强材或主要支撑构件跨距，m，视具体情况沿弦长量取；

l_b：肘板长度，m；

t_C：腐蚀增量，mm；

h_w：普通扶强材或主要支撑构件的腹板高度，mm，视具体情况；

t_w：普通扶强材或主要支撑构件的腹板净厚，mm，视具体情况；

b_f：普通扶强材或主要支撑构件的面板宽度，mm，视具体情况；

t_f：普通扶强材或主要支撑构件的面板净厚，mm，视具体情况；

t_P：普通扶强材或主要支撑构件带板的净厚，mm，视具体情况；

b_p：扶强材或主要支撑构件带板的宽度，m，用于屈服强度校核；

A_s：扶强材或主要支撑构件连同宽度 s 带板的净横剖面积，cm^2；

A_{sh}：扶强材或主要支撑构件净剪切横剖面积，cm^2；

I：普通扶强材或主要支撑构件（视具体情况而定，不计带板），对平行于板的中和轴的净惯性距，cm^4；

I_P：普通扶强材或主要支撑构件与板材连接处的净极惯性矩，cm^4，视具体情况；

I_w：普通扶强材或主要支撑构件与板材连接处的净剖面惯性矩，cm^6，视具体情况；

I_s：扶强材或主要支撑构件连同宽度 s 船壳板对其与板材平行的中和轴的净惯性矩，cm^4；

Z：普通扶强材或主要支撑构件连同宽度 b_p 带板的净剖面模数，cm^3，视具体情况。

3　定义

3.1　规范船长

3.1.1　规范船长 L，m，是沿夏季载重线，由首柱前边量至舵柱后缘的距离，或如无舵柱，由首柱前缘量至舵杆中心的距离。L 应不小于夏季载重水线总长的 96%，且不必大于夏季载重水线总长的 97%。

3.1.2　对无舵杆的船舶（如设有全向推力器的船舶），规范船长 L 应取等于夏季载重水线总长的 97%。

3.1.3　对设有特殊首柱或尾柱装置的船舶，规范长度 L 应按具体情况予以考虑。

3.2　干舷船长

3.2.1　参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 3(1, a) 条

干舷船长 L_{LL}，m，是指自龙骨顶部向上量至最小型深 85% 处水线从首柱前边量至舵杆中心的距离。L_{LL} 应不小于该水线总长的 96%。

3.2.2　参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 3(1, c) 条

如在最小型深 85% 处水线以上的首柱外形为凹入的，则总长的前端和首柱前边均应从 (该水线以上的) 首柱外形最后一点垂直投影在该水线上的点量起 (见图 1)。

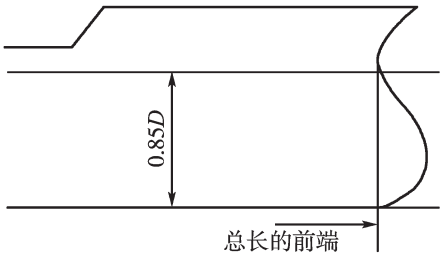


图1　凹面首柱外形

3.3　规范船长 *L* 的端部和船中

3.3.1　首端

规范船长 L 的首端（FE）是首柱前端至夏季载重水线的垂线，见图 2。

规范船长的尾端（AE）是距离首端 L 处至水线的垂线，见图 2。

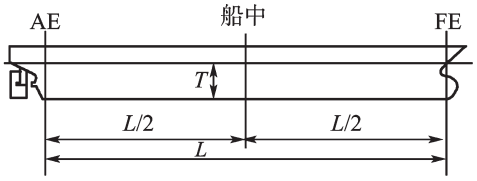


图2　端部和船中

3.3.2　船舯

船舯是首端之后 0.5L 距离处至水线的垂线。

3.3.3　船中部分

除另有规定外，船中部分是指船舶中部 0.4L 区域内的部分。

3.4　型宽

3.4.1　型宽 B，m，是船中量自露天甲板以下的最大型宽。

3.5　型深

3.5.1　型深 D，m，是在船中横剖面上由型基线量至最上层连续甲板船舷处甲板横梁上缘的垂直距离。

3.6　型吃水

3.6.1　型吃水 T，m，是在船中横剖面上由型基线量至夏季载重水线的垂直距离。

3.7　空船重量

3.7.1　空船重量，t，是指不包括货物、燃料、润滑油、压载水、淡水以及给水、消耗物料、乘客和船员及其个人用品。

3.8　载重量

3.8.1　载重量，t，是密度 $\rho = 1.025\ t/m^3$ 海水中夏季吃水处的排水量和空载排水量之差。

3.9　干舷甲板

3.9.1　参照经修正的国际载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 3(9) 条

干舷甲板定义见经修正的国际载重线公约第三条

3.10　舱壁甲板

3.10.1　参照 SOLAS 公约第 II-1/2.5 条

舱壁甲板是除两尖舱舱壁外，各水密横舱壁有效延伸所至的最上层甲板。

3.11　强力甲板

3.11.1　船长范围内一个区域的强力甲板，是该区域船壳板延伸到的最上层连续甲板。

3.12　上层建筑

3.12.1　一般要求

参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 3(10, a) 条

上层建筑是在干舷甲板上的甲板建筑物，从舷边跨到舷边或其侧壁板离船壳板向内不大于 0.04B。

3.12.2　封闭和开敞上层建筑

上层建筑可以是：

- 封闭的，指：
  1）由符合第 9 章第 4 节要求的前、侧和后围壁封闭的上层建筑。
  2）所有前、侧和后开口设有有效的风雨密关闭装置。
- 开敞的，指非封闭的上层建筑。

3.13　首楼

3.13.1　参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 3(10, g) 条

首楼是从首垂线向后延伸至尾垂线前方一点的上层建筑。首楼起点可以是首垂线前方的一点。

3.14　后升高甲板

3.14.1　参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 3(10, i) 条

后升高甲板是从尾垂线向前延伸的上层建筑，高度一般低于一个标准上层建筑，并有完整的前端壁 (非开启型舷窗设有风暴盖，人孔设有螺栓固定盖)(见图 3)。前端壁如因有门和出入开口而非完整，则该上层建筑应视为尾楼。

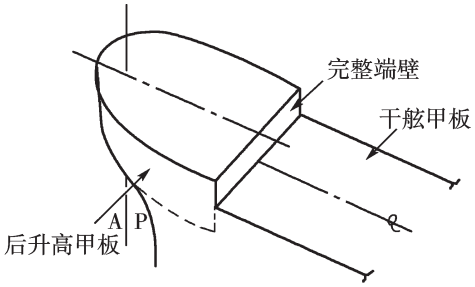


图3　后升高甲板

3.15　甲板室

3.15.1　甲板室是位于干舷甲板或以上的除上层建筑外的甲板建筑物。

3.16　围壁通道

3.16.1　围壁通道是类似于甲板室的甲板建筑物，但不设有下甲板。

3.17　制荡舱壁

3.17.1　制荡舱壁是液舱内具有开口的舱壁或部分舱壁。

3.18　上层建筑标准高度

3.18.1　参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 33 条

上层建筑标准高度定义见表 2。

上层建筑标准高度　　表 2

干舷船长 L_{LL}（m）	标准高度 h_s（m）	
	后升高甲板	所有其他上层建筑
$90 < L_{LL} < 125$	$0.3 + 0.012\ L_{LL}$	$1.05 + 0.01\ L_{LL}$
$L_{LL} \geqslant 125$	1.80	2.30

3.19　A 型和 B 型船舶

3.19.1　A 型船舶

参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 27.1) 条

A 型船舶：

- 专为载运散装液体货物而设计；
- 其露天甲板具有高度完整性，仅设有通向货舱的小型出入开口，并以钢质或等效材料的水密填料盖关闭；和
- 载货时，货舱具有低渗透率。

对 A 型船舶应根据经修正的 1966 年国际载重线公约中所述要求核定干舷。

3.19.2　B 型船舶

参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 27.5) 条

凡未列入 [3.19.1] 关于 A 型船舶规定的所有船舶应视为 B 型船舶。

对 B 型船舶应根据经修正的 1966 年国际载重线公约中所述要求核定干舷。

3.19.3　B-60 型船舶

参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 27.9) 条

B-60 型船舶是船长超过 100m 的任何 B 型船舶，并在根据经修正的 1966 年国际载重线公约的适用要求核定干舷时，取自表的干舷值的减小值应不大于对相应船长在表“B”和“A”上所列数值之差的 60%。

3. 19. 4　B-100 型船舶

参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 27. 10) 条

B-100 型船舶是船长超过 100m 的任何 B 型船舶，并在根据经修正的 1966 年国际载重线公约的适用要求核定干舷时，取自表的干舷值的减小值应不大于对相应船长在表“B”和“A”上所列数值之差的 100%。

3. 20　位置 1 和位置 2

3. 20. 1　位置 1

参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 13 条

位置 1 包括：

- 露天干舷甲板和后升高甲板；
- 位于沿首柱前端至自龙骨顶部向上量至最小型深 85% 处水线，首垂线起 0. 25L_{LL} 前方的露天上层建筑甲板。

3. 20. 2　位置 2

参照经修正的载重线公约 (MCS. 143(77) 决议) 第 13 条

位置 2 包括：

- 位于沿首柱前端至自龙骨顶部向上量至最小型深 85% 处水线，首垂线起 0. 25L_{LL} 后方，且在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；
- 位于沿首柱前端至自龙骨顶部向上量至最小型深 85% 处水线，首垂线起 0. 25L_{LL} 前方，且在干舷甲板以上至少两个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板。

4　参照坐标系统

4. 1

4. 1. 1　船舶的几何尺寸、运动、加速度和载荷系根据下列右向坐标系统（见图 4）来定义：

- 原点：船舶对称纵剖面、*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。

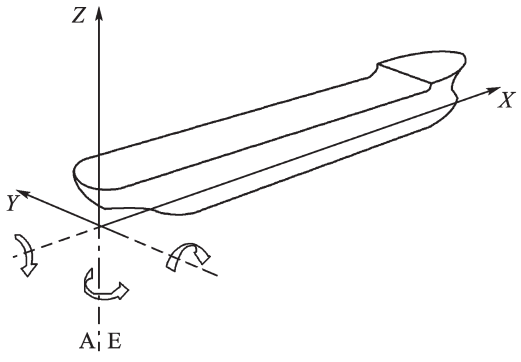


图4　参照坐标系统

4. 1. 2　正转角以绕 *X*、*Y* 和 *Z* 轴的逆时针方向来确定。

第2章　总布置设计

第1节　分 舱 布 置

1　水密横舱壁的数量和布置

1.1　水密舱壁的数量

1.1.1　一般要求

除了符合1.1.2要求外，所有船舶还应至少设有下列水密横舱壁：

- 一道防撞舱壁；
- 一道尾尖舱舱壁；
- 机舱在船中的船舶，设二道舱壁构成机器处所的边界；机舱在尾部的船舶，在机器处所前部设一道舱壁；设有电力推进装置的船舶，发电机舱和机舱都应由水密舱壁封闭。

1.1.2　附加舱壁

对不要求符合分舱规定的船舶，应设有适当间距且数目不少于表1所示的横舱壁。

舱 壁 数 目　　表1

船　　长L(m)	尾机型船舶的舱壁数(1)	其他船舶舱壁数
$90 \leqslant L < 105$	4	5
$105 \leqslant L < 120$	5	6
$120 \leqslant L < 145$	6	7
$145 \leqslant L < 165$	7	8
$165 \leqslant L < 190$	8	9
$L \geqslant 190$	应逐例规定	

注：(1) 尾尖舱舱壁和尾机舱舱壁为同一舱壁。

2　防撞舱壁

2.1　防撞舱壁的布置

2.1.1　参照SOLAS公约第II-1章B部分第11条

应设置水密的防撞舱壁延伸到干舷甲板。该舱壁与首垂线FP_{LL}间的距离应不小于L_{LL}的5%或10m，取较小者，且不大于L_{LL}的8%。

2.1.2　参照SOLAS公约第II-1章B部分第11条

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2.1.1条规定的距离(m)应自下列各点之一量取，取最小者：

- 此类延伸部分的长度中点；或
- 首垂线之前L_{LL}的1.5%处；或
- 首垂线之前3m处。

2.1.3　参照SOLAS公约第II-1章B部分第11条

防撞舱壁可以具有台阶或凹入，但它们应在2.1.1或2.1.2条所规定的限度内。

舱壁上不允许开门、人孔、通风管道或任何其他开口。

3　尾尖舱、机器处所舱壁和尾管

3.1

3.1.1　一般要求

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B 部分第 11 条

还应设置尾尖舱舱壁，以及将机器处所与前后装货处所隔开的舱壁，这些舱壁应水密延伸至干舷甲板。尾尖舱舱壁可以在舱壁甲板以下具有台阶，但船舶的分舱安全等级不会因此而降低。

3.1.2　尾管

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B 部分第 11 条

尾管应封闭在具有适当容积的一个 (或多个) 水密处所内。经船级社同意亦可采取其他措施，使在尾管装置受损的情况下向船内渗水的危险减少到最小程度。

4　液舱舱壁的数目和布置

4.1　拟载运液体货物舱室中的舱壁

4.1.1　拟载运液体货物舱室中的的水密横舱壁和纵舱壁的数目和位置应符合船舶的分舱要求。

5　水密横舱壁的布置

5.1　一般要求

5.1.1　如果水密舱壁不适合布置在一个平面内，则可以设置具有台阶的舱壁。此种情况下，构成台阶的甲板部分应为水密且具有与舱壁等效的强度。

6　水密舱壁上的开口

6.1　一般要求

6.1.1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B-1 部分第 25-9 条和 IMO A684(17) 决议 B 部分

为适应船舶设计和船舶正常作业，水密分隔上的开口数量应保持最少。凡是为了出入、管路、通风、电缆等需要而穿过水密舱壁和内部甲板时，须设有保持水密完整性的装置。如果表明任何继续进水能易于控制而且不损害船舶安全，则船级社可以允许放宽对干舷甲板以上的开口的水密性要求。

6.1.2　分舱甲板以下的防撞舱壁不允许开门、人孔、通风管道或任何其他开口。

6.1.3　穿过水密分舱舱壁的系统，不得使用铅或其他遇热易于失效的材料，因这些系统在火灾时的破坏会损害舱壁的水密完整性。

6.1.4　在水密分舱舱壁中，不允许设置不构成管系部分的阀。

6.1.5　关于符合 6.2 和 6.3 条规定的门或其他关闭装置的密性程度以及操纵系统的要求，在表 2 中作了具体规定。

6.2　干舷甲板以下水密舱壁上的开口

6.2.1　海上使用的开口

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B-1 部分第 25-9 条

在海上使用的为确保内部开口的水密完整性而设置的门应是滑动水密门，该门能从驾驶室遥控关闭，也能从舱壁的每一侧就地操纵。在控制位置应装设显示门是开启或关闭的指示器，并且在门关闭时发出声响报警。在主动力失灵时，动力、控制和指示器应能可操作。特别应注意减少控制系统失灵的影响。每一个动力操纵的滑动水密门应有一个独立的手动机械操纵装置。应确保能从门的任一侧用手开启和关闭该门的可能性。

6.2.2　通常在航行时关闭的开口

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B-1 部分第 25-9 条

用以保证内部开口的水密完整性且通常在航行时关闭的出入门和舱盖，应在该处和驾驶室装设显

示这些门或舱盖是开启还是关闭的设施。每一个此类门或舱盖必须张贴一个告示牌，其大意是不能让它开着。这类门或舱盖的使用应经值班驾驶员批准。

门　　表 2

			滑动式			铰链式			滚动式（甲板处所间的货物）
			驾驶室遥控操纵指示	驾驶室指示器	仅就地操纵	驾驶室遥控操纵指示	驾驶室指示器	仅就地操纵	
水密	干舷甲板以下	海上打开	X						
		通常关闭 (2)		X			X(3)		
		保持关闭 (2)			X(4)(5)			X(4)(5)	X(4)(5)
风雨密 / 水密 (1)	干舷甲板以上	海上打开	X						
		通常关闭 (2)		X			X		
		保持关闭 (2)						X(4)(5)	

注：(1) 在浸水最终阶段平衡水线以下位置需设置水密门；其他位置可设置风雨密门。

(2) 在门的两面均应张贴“在海上保持关闭”的告示。

(3) 船长 150m 及以上的 A 型船舶和减少干舷的 B 型船舶，在机舱和操舵装置处所之间可设置铰链式水密门，但该门门槛应高于夏季载重水线。

(4) 开航前该门应关闭。

(5) 如该门在航程中可通过，则应设置防止擅自打开的装置。

6.2.3　大型的货物处所门或坡道

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B-1 部分第 25-9 条

可以装设结构满意的水密门或坡道用作大型的货物处所内部分隔，条件是船级社确信此种门或坡道是必要的。这些门或坡道可以是铰链的、滚动的或滑动的门或坡道，但不应是遥控操纵的。

此类门应在开航前关妥，并应在航行中保持关闭。如果在航程中需要通过任何此类门或坡道，则应设有适当装置以防未经授权的开启。

“满意”是指这些门或坡道的结构尺寸和密封要求应能有效地承受浸水水线处的最大水压头。

6.2.4　在海上保持永久关闭的开口

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B-1 部分第 25-9 条

为保证内部开口的水密完整性，在海上保持永久关闭的其他关闭装置，应有一个告示牌张贴其上，其大意是必须保持关闭。用螺栓紧固盖子的人孔不必设该告示牌。

6.3　干舷甲板以上舱壁上的开口

6.3.1　一般要求

位于浸水最终阶段平衡水线以下的浸水限界面上的开口应为水密的。浸没在正复原力臂曲线范围内的开口仅应是风雨密的。

6.3.2　在海上使用的门

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B-1 部分第 25-9 条

在海上使用的门应是滑动水密门，该门能从驾驶室遥控关闭，也能从舱壁的每一侧就地操纵。在控制位置应装设显示门是开启或关闭的指示器，并且在门关闭时发出声响报警。在主动力失灵时，动力、控制和指示器应能操作。特别应注意减少控制系统失灵的影响。每一个动力操纵的滑动水密门应有一个独立的手动机械操纵装置。该装置应能从门的任一侧用手开启和关闭该门。

6.3.3　通常在海上关闭的门

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B-1 部分第 25-9 条

通常在航行时关闭的门应在该处和驾驶室装设显示这些门是开启还是关闭的指示装置。每一个此类门必须张贴一个告示牌，其大意是不能让它开着。

6.3.4　在海上保持永久关闭的开口

参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B-1 部分第 25-9 条

在海上保持关闭的门应是铰链的门。这些在海上保持关闭的门和其他关闭装置应有一个告示牌张贴其上，其大意是必须保持关闭。设有螺栓紧固盖子的人孔不必设该告示牌。

第 2 节　舱 室 布 置

1　定义

1.1　隔离舱

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

1.2　A 类机器处所

1.2.1　参照 SOLAS 公约第 II-2 章 A 部分第 3.31 条

A 类机器处所是指装有下列设备的处所和通往这些处所的围壁通道：

- 用作主推进的内燃机；或
- 用作非主推进的合计总输出功率不小于 375kW 的内燃机；或
- 任何燃油锅炉和燃油装置。

2　隔离舱

2.1　隔离舱布置

2.1.1　隔离舱应设置在拟装载液态碳氢化合物（燃油、润滑油）和淡水（饮用水、推进装置和锅炉用水）的舱室之间，以及拟装载灭火用液态泡沫的液舱之间。

2.1.2　把燃油舱与润滑油舱分开的隔离舱以及把润滑油舱与拟载运灭火用液态泡沫或淡水或锅炉给水的液舱分开的隔离舱，如船级社认为这些液舱所位于的处所的性能和尺寸大小不适宜或不合理时，可以不设置，但是：

- 装载淡水或锅炉给水的液舱，与其相邻液舱的共同界面板的厚度须按第 6 章第 1 节的规定得到并增加 2mm，所有的其他情况下，则须增加 1mm。
- 这些板的边缘处的角焊缝焊喉的厚度须不小于板本身的厚度。
- 进行结构试验时，须按第 11 章第 2 节的要求，水压头增加 1m。

2.1.3　拟载运易燃液体的处所应使用隔离舱把它们与居住和服务处所分开。

2.1.4　对双层底内底板在舷侧升高的船舶，仅要求在双层底燃油舱和承受燃油压头的内底板之上的紧邻液舱间设置隔离舱。

如果角对角的情况发生，液舱应不被认为是相邻的。

没有用隔离舱隔开的相邻液舱应具有足够的尺寸，以确保易于检查。

3　双层底

3.1　一般要求

3.1.1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B 部分第 12-1 条

双层底的设置，应在适应船舶设计及船舶正常作业的情况下，尽实际可能自防撞舱壁延伸至尾尖舱舱壁。

3.1.2　参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B 部分第 12-1 条

如需设置双层底时，其高度应满足第 3 章第 6.4.2 条的要求，其内底应延伸至船舷两侧，以保护船底至舭部弯曲部位。

3.1.3　参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B 部分第 12-1 条

设于双层底内且与货舱排水装置相连的小阱，不应向下延伸至超过所需的深度。但可以准许船舶轴隧后端的污水阱延伸至外底。如其他阱的布置与符合 3.1 条的双层底具有等效的保护作用，则船级社可允许设置。

3.1.4　参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B 部分第 12-1 条

在专供装载液体的水密舱处，如船级社认为当该舱的底部破损时不致有损于船舶的安全，可不设双层底。

4　防撞舱壁前的舱室

4.1　一般要求

4.1.1　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。

5　最小船首高度

5.1　一般要求

5.1.1　参照经修订的 ILLC(IMO MSC 223(82) 决议第 39(1) 条)

船首高度 F_b，为在首垂线处，自相应于核定夏季干舷和设计纵倾的水线，量至船侧露天甲板上边的垂直距离，此高度应不小于：

$$F_b = [6075(L_{LL}/100) - 1875(L_{LL}/100)^2 + 200(L_{LL}/100)^3] \times [2.08 + 0.609C_B - 1.603C_{wf} - 0.0129(L/T_1)]$$

式中：F_b——计算的最小船首高度，mm；

T_1——最小型深的 85% 处的吃水，m；

D_1——计算型深是船中处型深加干舷甲板边板的厚度。对于圆弧形舷缘半径大于宽度 (B) 的 4% 或上部舷侧为特殊形状的船舶，计算型深系取自一中央截面的计算型深，此截面两舷上侧垂直并具有同样的梁拱，且上部截面面积等于实际的中央截面的上部截面面积。

C_{wf}——$L_{LL}/2$ 的前体水线面面积系数：

$$C_{wf} = \frac{A_{wf}}{\frac{L_{LL}}{2}B}$$

A_{wf}——吃水 T_1 处 $L_{LL}/2$ 的前体水线面面积，m^2。

对核定木材干舷的船舶，在应用上述公式时应采用夏季干舷 (而不是木材夏季干舷)。

5.1.2　参照经修订的 ILLC(IMO MSC 143(77) 决议第 39(2) 条)

如 5.1.1 条要求的船首高度是由舷弧得到的，则舷弧应自首垂线量起至少延伸船长的 15%；如是由设置上层建筑得到的，此上层建筑应自首柱延伸至首垂线后至少 0.07L 处，并按第 9 章第 4 节规定封闭。

5.1.3　参照经修订的 ILLC(IMO MSC 143(77) 决议第 39(3) 条)

对为适合特殊营运要求而不能达到 5.1.1 和 5.1.2 条的要求的船舶，可由船级社给予特殊考虑。

5.1.4　参照经修订的 ILLC(IMO MSC 143(77) 决议第 39(4)(a) 条)

如首楼的长度小于 0.15L 但大于 0.07L，只要 0.07L 与首垂线之间首楼的高度不小于上层建筑标准高度的一半，则首楼甲板的舷弧可予以计及。

5.1.5　参照经修订的 ILLC(IMO MSC 143(77) 决议第 39(4)(b) 条)

如首楼的高度小于上层建筑标准高度的一半，则计算的船首高度可按下述方式确定：

a) 如干舷甲板有自 0.15L 之后延伸的舷弧，在首垂线后 0.15L 处取高度等于船中深度的一点为原点，作一通过首楼舱壁与甲板交点的抛物线，交于首垂线上一点，该点应不高于首楼甲板的高度（如图 1 所示）。但是，如果图 1 中高度 h_t 的值小于高度 h_b 的值，则在有效船首高度中，h_t 可用 h_b 代替：

$$h_t = Z_b\left(\frac{0.15L}{x_b}\right)^2 - Z_t$$

式中：Z_b——按图 1 所示；

Z_t——按图 1 所示；

h_f——上层建筑标准高度的一半。

b) 如干舷甲板有延伸不到 0.15L 的舷弧或无舷弧，在 0.07L 处从首楼甲板边线作一平行于基线的直线交首垂线上一点（如图 2 所示）。

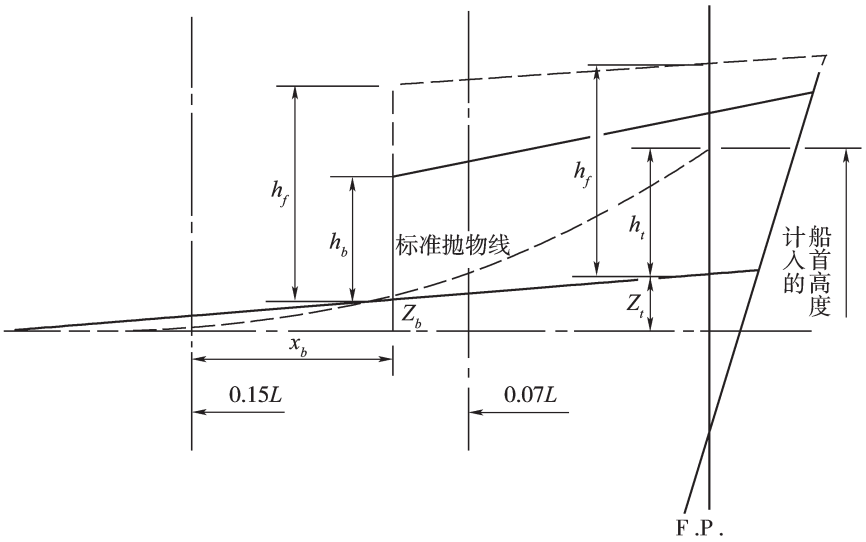


图1　干舷甲板有自0.15L之后延伸的舷弧时的计算船首高度

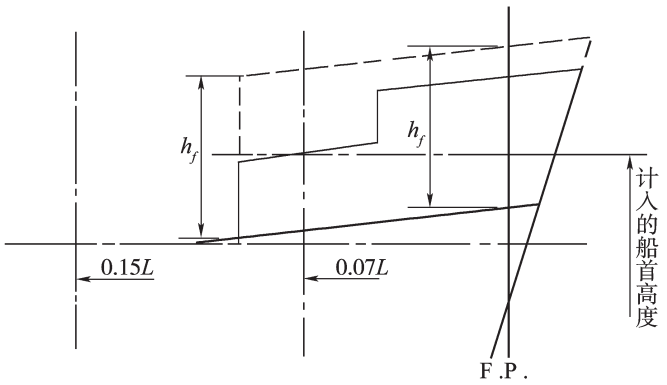


图2　干舷甲板有延伸不到0.15L的舷弧时的计算船首高度

6　轴隧

6.1　一般要求

6.1.1　轴隧应为水密的。

7　水密通风管道和围壁通道

7.1　一般要求

7.1.1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章 B 部分第 19.1 条

水密通风管道及围壁通道应至少向上延伸到干舷甲板。

8　燃油舱柜

8.1　一般要求

8.1.1　参照 SOLAS 公约第 II-2 章 B 部分第 4.2 条

燃油的储藏、输送和使用的布置应能保证船舶和船上人员的安全。

8.1.2　参照 SOLAS 公约第 II-2 章 B 部分第 4.2 条

燃油舱柜应尽可能是船体结构的一部分，并位于 A 类机器处所之外。

除双层底舱外，如果其他燃油舱柜必应邻近或位于 A 类机器处所内，其垂直面中至少有一面应与该机器处所的界面相邻接，并最好与双层底舱具有共同的界面，且燃油舱柜与机器处所的共同的界面的面积应减至最小。

若此种燃油舱柜位于 A 类机器处所界面之内，则其中不得储存闪点低于 60℃的燃油。

8.1.3　参照 SOLAS 公约第 II-2 章 B 部分第 4.2 条

燃油舱柜可不设在从燃油舱柜溢出或渗漏的燃油能落于热表面而构成火灾或爆炸危险的地方。

应采取预防措施防止在压力作用下可能从任何油泵、过滤器或加热器逸出的任何油类接触热表面。

锅炉处所内，燃油舱柜不可位于紧靠锅炉的上方或高温区域内，除非在船级社的同意下进行特殊布置。

8.1.4　如果拟装载货物或煤的舱室位于加热液体容器附近，应采取适当的隔热措施。

第3节　通 道 布 置

1　一般要求

1.0　适用范围

1.0.1　本节适用于 20000 总吨及以上的船舶。

1.1　进入货舱和其他处所的通道

1.1.1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 3-6.2.1 条 (MSC.151(78) 决议)

在船舶整个寿命期间内 , 在每一处所应设置通道 , 以供对船舶结构进行全面检查、近观检查和厚度测量。该通道应符合第 1.3 条和第 2 条的要求。

1.1.2　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 3-6.2.2 条 (MSC.151(78) 决议)

当正常装卸货物的操作容易损坏该固定通道 , 或在该处设置固定通道不切实际 , 作为替代 , 主管机关可允许设置在第 2 条中规定的移动式或便携式通道，只要固定、安装、悬吊和支撑便携式通道的装置构成船舶结构的固定部分。所有便携式设备应易于船上人员安装或使用。

1.1.3　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 3-6.2.3 条 (MSC.151(78) 决议)

所有通道的构造和材料及其与船舶结构连接的附件均应经船级社同意。

1.2　货舱、压载舱和其他处所的安全通道。

1.2.1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 3-6.3.1 条 (MSC.151(78) 决议) 和 IACS UI SC191

为确保全面的检查，应直接从开敞甲板安全进入货舱、隔离空舱、压载水舱和货物区域的其他处所。可从泵舱、深隔离舱、管隧、货舱、双壳处所或不装油或危险货物的类似处所安全进入双层底处所或前部各压载舱。

双舷侧舱既可从顶边舱或双层底舱进入又可从这两个舱室同时进入。

1.2.2　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 3-6.3.2 条 (MSC.151(78) 决议)

长度为 35m 或以上的液货舱或液货舱的分舱，应至少设置 2 个出入舱口和梯子，并根据实际情况尽可能远离。

长度小于 35m 的液货舱应至少设置 1 个出入舱口和梯子。

当 1 个液货舱被 1 道或多道制荡舱壁或类似的隔堵所分开，如没有易于从舱的一端到另一端的通道，则至少应设置 2 个出入舱口和梯子。

1.2.3　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 3-6.3.3 条 (MSC.151(78) 决议)

每个货舱应至少设置 2 个尽可能远离的出入通道。通常出入通道应对角线布置，即 1 个出入通道布置在左舷靠近货舱前端舱壁处，另 1 个出入通道布置在右舷靠近货舱后端舱壁处。

1.3　一般技术规定

1.3.1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 3-6.5.1 条 (MSC.151(78) 决议) 和 IACS UI SC191

通过水平开口、舱口或人孔的通道的尺寸应足以保证穿戴自给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，其最大角隅半径为 100mm。

当结构分析的结果应减少开口周围的应力时，在此种情况下，采取增加净孔尺寸的方法认为是恰当的，例如净孔尺寸 600mm×600mm 且最大角隅半径 100mm 的开口设置成 600mm×800mm，角隅半径 300mm。

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步。

1.3.2　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 3-6.5.2 条 (MSC.151(78) 决议) 和 IACS UI SC191

对通过制荡舱壁、肋板、桁材和强肋骨上的垂向开口和人孔通达该处所的长度或宽度范围，其开口的最小尺寸应不小于 600mm×800mm，角隅半径 300mm，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。

须经确认担架上的负伤人员易于撤走，方可接受尺寸为 850mm×620mm、上半部分的宽度大于 600mm 而下半部分宽度可小于 600mm、总高度不小于 850mm 的垂向开口代替尺寸为 600mm×800mm 和角隅半径 300mm 的开口（见图 1）。

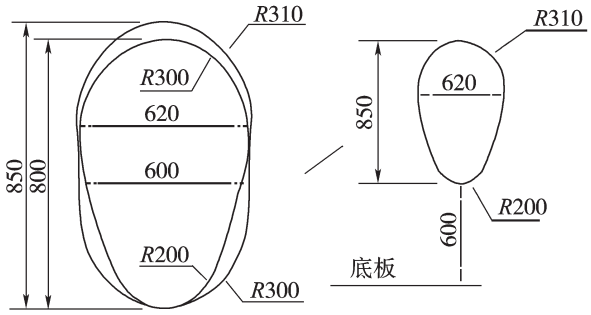


图1　替代的垂向开口

2　通道技术规定

2.1 定义

参照 IMO 技术规定 2(MSC.158(78) 决议)。

2.1.1　横档

横档系指垂直梯子的梯级或垂直表面上的梯级。

2.1.2　踏板

踏板系指斜梯的梯级或垂直通道开口的梯级。

2.1.3　斜梯的梯段

斜梯的梯段系指斜梯的斜撑架的实际长度。对于垂直梯是上下平台之间的距离。

2.1.4　梯台

梯台系指：

1) 梯子框架；或

2) 设置在该处所中的舷侧壳板、横舱壁和 / 或纵舱壁上的加强水平板结构。就构成宽度小于 5m 的双壳处所的压载舱而言，该水平板结构若沿舷侧壳板或纵舱壁的肋骨或扶强材构成 600mm 宽度及以上的连续过道，则可作为梯台和纵向永久通道。在梯台的板材上用作永久通道的开孔应设有栏杆或栅格罩，以安全通往梯台或前往每一个横向强框架的安全通道。

2.1.5　垂直梯

垂直梯系指倾斜角度为 70º ～ 90º 的梯子。垂直梯的歪斜应不超过 2º。

2.1.6　顶部障碍物

顶部障碍物系指通道上方包括扶强材在内的甲板和梯台结构。

2.1.7　甲板以下距离

甲板以下距离系指甲板板以下的距离。

2.1.8　横向甲板

横向甲板系指在舱口围板间和舷内侧的主甲板横向区域。

2.2　永久通道

2.2.1　参照 IMO 技术规定 3.1 和 3.2(MSC.158(78) 决议)

结构构件，除双层底处所外，均应设有 1 个永久通道，其要求如第 2.7 条至第 2.13 条中的适用规定。

永久通道应尽可能是船舶整体结构的一部分，确保其牢固且对船舶总强度有利。

2.2.2　参照 IMO 技术规定 3.3(MSC.158(78) 决议) 和 IACS UI SC191

永久通道中的高架走道部分 (如设有)，其净宽应不小于 600mm，但在绕过垂直桁材处净宽可减至 450mm，并应在通道开放一边全长范围设置栏杆。对单独设置的走道，则应在两边均设有栏杆。

构成部分通道并当船舶处于正浮位置时与水平面斜成 5º 或以上的倾斜构件，应为防滑结构。

栏杆高度为 1000mm，由扶手和 500mm 高度处的中间横档构成，构造要牢靠。栏杆支柱的间距应不超过 3m。

2.2.3　参照 IMO 技术规定 3.4(MSC.158(78) 决议)

从船底通往永久通道和垂向开孔的通道应设置为易于到达的走道、梯子或踏板。踏板应设置脚踏的侧向支撑。靠垂直面设置梯子横档时，横档中心距垂直面的距离应不小于 150mm。当设置的垂向人孔高于行走平面 600mm 时，应在两面设有易于到达的踏板和有把手的可登平台。

2.3　梯子结构

2.3.1　一般要求

参照 IMO 技术规定 3.5(MSC.158(78) 决议)

永久式斜梯应有小于 70° 的倾角。除在开口处的间隙可减至 600mm 外，距斜梯表面 750mm 范围内不应有障碍物。在最大 6m 的垂向高度处应设置大小合适的休息平台。梯子和扶手应由钢或有足够强度和刚度的等效材料制成，通过支柱紧固在液舱结构上。支撑的方式和支柱的长度应使振动减到最小。货舱内梯子的设计与布置应不增加起货操作的困难和使损坏起货设备的风险减至最小。

2.3.2　斜梯

参照 IMO 技术规定 3.6(MSC.158(78) 决议)

梯台之间的斜梯宽度应不小于 400mm。踏板应以垂向间距 200 ～ 300mm 的距离等间距布置。如

使用钢材，踏板应由截面不小于 22mm×22mm 的两根方钢构成水平梯级，方钢的角点边缘朝上。踏板应由边桁材支撑，以双面连续焊固定。所有斜梯应在踏板两侧合适的高度处设置结构牢固的扶手。

2.3.3　垂直梯和螺旋梯

参照 IMO 技术规定 3.7(MSC.158(78) 决议)

对于垂直梯和螺旋转梯，其宽度和结构应符合国际或国家标准。

2.4　通过开孔的通道

2.4.1　通过水平开孔、舱口或人孔的通道

参照 IMO 技术规定 3.10(MSC.158(78) 决议)

对于通过水平开孔、舱口或人孔的通道，最小的净孔尺寸应不小于 600mm×600mm。如通道是通过货舱口进入货舱，则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，则还应在梯子同一位置处的舱口围板外侧设置梯级。

2.4.2　通过垂向开孔或人孔的通道

参照 IMO 技术规定 3.11(MSC.158(78) 决议)

如通过制荡舱壁、肋板、纵桁和强肋骨上的垂向开孔和人孔的通道贯穿该处所的长度或宽度范围时，这些开孔的最小尺寸应不小于 600mm×800mm，除非设有格栅或其他踏板，否则开孔应位于从通道起高度不超过 600mm 处。

2.5　出入货舱和其他处所的通道梯子

2.5.1　一般要求

参照 IMO 技术规定 3.13.1 和 3.13.2(MSC.158(78) 决议)

出入货舱和其他处所的通道梯子：

(a) 若邻近各层甲板的上表面之间或甲板与货舱底之间的垂直距离不大于 6m，应设垂直梯或斜梯。

(b) 若邻近各层甲板的上表面之间或甲板与货舱底之间的垂直距离大于 6m，在货舱的一端除了货舱最上面 2.5m(不计顶部障碍物的净值) 部分和最下面 6m 部分可设置垂直梯外，其余应由一段或数段斜梯组成，但连接垂直梯的一段或数段斜梯的垂向伸展范围应不小于 2.5m。

2.5.2　参照 IMO 技术规定 3.13.2(MSC.158(78) 决议)

货舱另一端的另一通道可由数段错开的垂直梯组成，这种垂直梯应由设置在梯子一侧的一个或垂直间距不超过 6m 的数个台架连接。相邻梯段的侧向间隔应至少为一个梯子宽度。梯子最上面的入口部分 (此处直通货舱) 应在 2.5m 长度内保持垂直 (不计顶部障碍物的净值), 且应与一连接梯子的平台相接。

2.5.3　参照 IMO 技术规定 3.13.3(MSC.158(78) 决议)

若甲板和舱内纵向通道，或梯台，或正对入口的下面舱底之间的垂直距离为 6m 或小于 6m，垂直梯可用作顶边舱的通道。该舱甲板入口处的垂直梯最上部应在 2.5m 长度内保持垂直 (不计顶部障碍物的净值) 并由一连接梯子的平台架构成，而且除非垂直梯底部与纵向通道、梯台或垂向范围内的舱底相接，否则，平台应设置在梯子一侧。

2.5.4　参照 IMO 技术规定 3.13.4(MSC.158(78) 决议)

除以上 2.5.3 所允许者外，若甲板和正对入口的下面梯台之间，梯台与梯台之间，或甲板或梯台与正对入口的下面舱底之间的垂直距离大于 6m，应使用斜梯或组合梯进入液舱或舱室。

2.5.5　参照 IMO 技术规定 3.13.5(MSC.158(78) 决议)

若是以上 2.5.4 的情况，甲板入口处的梯子最上部应在 2.5m 长度内保持垂直 (不计顶部障碍物的净值)，且底部与一楼梯平台连接，该楼梯平台又下接斜梯。斜梯的梯段实际长度应不超过 9m 且垂向高度应不超过 6m。梯子的最下部可在不小于 2.5m 的垂向长度内保持垂直。

2.5.6　参照 IMO 技术规定 3.13.6(MSC.158(78) 决议)

在宽度小于 2.5 米的双壳边舱内，进入该处所的通道可由垂直梯组成，这种垂直梯包括在梯子一侧的一个或垂直间距不超过 6m 的数个楼梯平台。

相邻梯段的侧向间隔应至少为一个梯子宽度。

2. 5. 7　参照 IMO 技术规定 3. 13. 7(MSC. 158(78) 决议)

可考虑将螺旋梯作为斜梯的替代设备。按此考虑，最上面 2. 5m 部分可继续由螺旋梯构成，不必换为垂直梯。

2. 6　进入液舱的梯子

2. 6. 1　参照 IMO 技术规定 3. 14(MSC. 158(78) 决议)

从甲板进入舱室的入口处的垂直梯最上部应在 2. 5m 长度内保持垂直（不计顶部障碍物的净值），且与一楼梯平台连接。该楼梯平台应设置在垂直梯的一侧。如果该垂直梯底部与设置在甲板结构以下 1. 6 ～ 3m 处的纵向或横向永久通道相连，则该垂直梯可位于该范围内。

2. 7　到达货舱甲板下结构的通道

2. 7. 1　参照 IMO 技术规定表 2，1. 1(MSC. 158(78) 决议)

应在横向甲板两边以及中心线附近安装到达顶部构件的固定通道。

应能从货舱通道或从主甲板直接到达每个通道，每个通道应安装在甲板下 1. 6 ～ 3m 处。

2. 7. 2　参照 IMO 技术规定表 2，1. 2(MSC. 158(78) 决议)

一道横向固定通道设置在横向甲板顶部下 1. 6 ～ 3m 处的横舱壁上，可视为与 2. 7. 1 等效。

2. 7. 3　参照 IMO 技术规定表 2，1. 3(MSC. 158(78) 决议)

通向横向甲板顶部结构的通道也可以经过顶凳。

2. 7. 4　参照 IMO 技术规定表 2，1. 4(MSC. 158(78) 决议) 和 IACS UI SC191

船舶横舱壁设有全顶凳，即顶凳在顶边舱之间和舱口端横梁之间的全范围内延伸，且允许在顶凳通道内对所有骨材和板材进行检查，则不要求设置横向甲板的固定通道。

2. 7. 5　参照 IMO 技术规定表 2，1. 5(MSC. 158(78) 决议)

如果内底板以上的垂直距离为 17m 或以下，也可选择使用移动式通道通向横向甲板顶部结构。

2. 8　到达双舷侧散货船双舷侧舱的通道

2. 8. 1　参照 IMO 技术规定表 2，2. 8 和表 1，2. 1(MSC. 158(78) 决议)

对于舭部底边舱上折角点以上的双壳处所，按下列要求提供固定通道：

(a) 水平最上平台与甲板间垂向距离为 6m 或以上时，在全舱长范围内设置连续纵向固定通道，且允许有一个通道在距甲板下 1. 6 ～ 3m 处通过横向强框架，同时在该舱两端设有垂直梯；

(b) 集成在结构上的连续纵向固定通道间的垂向直距离不超过 6m；和

(c) 平板梯台应尽可能与横舱壁水平桁成一直线。

2. 9　到达单舷侧散货船货舱垂直结构的通道

2. 9. 1　参照 IMO 技术规定表 2，1. 6(MSC. 158(78) 决议)

在所有的货舱内应设置垂向固定通道，能够对左右舷均匀分布在整个舱室 (包括在横向舱壁两端的) 中至少 25% 以上的舱内肋骨进行检验。但每舷至少应安装 3 个垂向固定通道 (货舱前、后两端和跨距中点)。

垂向固定通道设置安装在舱内两个相邻肋骨之间，要有利于对两个舱内肋骨进行检查。可携式通道可以用于越过底边压载舱斜板通往垂向固定通道。

2. 9. 2　参照 IMO 技术规定表 2，1. 7(MSC. 158(78) 决议)

此外，可携式或移动式通道可以用于沿其余舱内肋骨到达上肘板和横舱壁。

2. 9. 3　参照 IMO 技术规定表 2，1. 8(MSC. 158(78) 决议)

可携式或移动式通道可以用于沿舱内肋骨到达上肘板以代替 2. 8. 1 所要求的永久通道。这些通道设备应在船上备用。

2. 9. 4　参照 IMO 技术规定表 2，1. 9(MSC. 158(78) 决议)

到达货舱肋骨的垂直梯的宽度至少为 300mm。

2.9.5　参照 IMO 技术规定表 2，1.10(MSC.158(78) 决议)

在单壳结构中，6m 以上垂直梯可以接受用来检查货舱肋骨。

2.10　到达双舷侧散货船货舱垂直结构的通道

2.10.1　参照 IMO 技术规定表 2，1.11(MSC.158(78) 决议)

对于双舷侧散货船，不要求用垂直梯对货舱壁进行检验。这种检验应在双壳处所内进行。

2.11　到达单舷侧散货船顶边压载舱的通道

2.11.1　参照 IMO 技术规定表 2，2.1(MSC.158(78) 决议)

对于高度为 6m 及以上的每一顶边舱，应在甲板下方 1.6m 至 3m 处设置一个沿强肋骨的纵向连续固定通道，并在附近安装垂向通道梯子通往该舱。

2.11.2　参照 IMO 技术规定表 2，2.2(MSC.158(78) 决议)

如果在该舱底部 600mm 范围内没有设置通向横向环型腹板的出入孔，并且强框架肋骨环的腹板在舷侧壳板和斜板上的高度大于 1m，则应设置梯子和扶手栏杆以安全通过每个横向强框架。

2.11.3　参照 IMO 技术规定表 2，2.3(MSC.158(78) 决议)

安装在每个舱的两端和中间的 3 个固定通道应设置从舱底到斜板和舱口边桁材交点处的栈桥。现有的纵向结构如设在该处所的斜板上，则可以作为通道部分使用。

2.11.4　参照 IMO 技术规定表 2，2.4(MSC.158(78) 决议)

对于高度小于 6m 顶边舱，可以使用可替换设施或可携式设备替代永久通道。

2.12　到达舭部底边舱的通道

2.12.1　参照 IMO 技术规定表 2，2.5(MSC.158(78) 决议) 和 IACS UI SC191

对于每个高度为 6m 及以上的舭部底边舱，应在环型腹板净开口顶部下面 1.2m 处沿强肋骨设置一个纵向连续的固定通道，且在每个通往该舱的通道附近安装一垂直通道梯子。

在舱的每一端，应在纵向连续固定通道和舱底间设置梯子。

作为替换，纵向连续固定通道可在甲板顶部下最小 1.6m 处通过环型腹板净开口之上的上腹板，条件是该设置能更便于对确定的结构危险区域进行检查。净宽至少 600mm 的大型纵向构件可用于这样的走道。

对于双舷侧散货船，若结合使用替代方法到达前往折点的通道，则纵向连续固定通道可设置在距舭部折点 6m 的范围内。

2.12.2　参照 IMO 技术规定表 2，2.6(MSC.158(78) 决议)

如果在该舱底 600mm 范围内没有设置穿过横向环型腹板的出入口，且和强框架肋骨环的腹板距船侧壳板和斜板的高度大于 1m，则应设置踏板 / 和扶手栏杆以安全通过每个横向强框架环型肋骨。

2.12.3　参照 IMO 技术规定表 2，2.7(MSC.158(78) 决议)

对于高度小于 6m 的舭部底边舱，可以使用可替换设施或可携式设备替代永久通道。这些设备应能在所需的区域内可靠使用。

2.13　首尖舱的通道

2.13.1　参照 IMO 技术规定表 2，2.9(MSC.158(78) 决议)

对于防撞舱壁中心线处深 6m 或以上的首尖舱，应设置合适的通道，以到达如甲板下结构、纵桁、防撞舱壁和边壳结构等危险区域。

2.13.2　参照 IMO 技术规定表 2，2.9.1(MSC.158(78) 决议)

对于距甲板顶或紧靠上方的纵桁的垂向高度小于 6m 的梯台，应考虑设置带可携式通道设备的合适通道。

2.13.3　参照 IMO 技术规定表 2，2.9.2(MSC.158(78) 决议)

若甲板顶到梯台、梯台之间或最低梯台到舱底的距离为 6m 或以上，则应提供替代的通道设施。

3　轴隧

3.1　一般要求

3.1.1　轴隧应足够宽大，以确保易于到达轴系。

3.1.2　进入轴隧的通道应按第 2 章第 1 节第 6 条的要求在机舱后舱壁上设置水密门，长度大于 7m 的轴隧，应在分舱甲板上设置同时能用作水密通风筒的脱险通道。

4　到达舵机舱的通道

4.1　一般要求

4.1.1　舵机舱应易于到达，并应尽可能与机舱隔开。

4.1.2　为了确保工作时到达操舵机械和控制装置，应配备适当的设施。

这些设施应包括栏杆、格栅或其他在水压液体渗漏时能保证适合工作的防滑表面。

第 3 章　结构设计原则

第 1 节　材　　料

1　一般要求

1.1　材料标准

1.1.1　本节要求适用于采用符合船级社材料规范特性的钢材建造的焊接结构船舶。

1.1.2　可以接受具有不同特性的材料，但应向船级社提交有关说明书（制造、化学成分、力学性能、焊接等）予以认可。

1.2　材料试验

1.2.1　材料应按照船级社材料规范的适用要求进行试验。

1.3　加工工序

1.3.1　本节要求假设焊接及其他冷或热加工过程按照由 IACS UR W 定义的现行正确施工方法和船级社材料规范的适用要求进行。特别是：

- 母材和焊接工艺应在为拟定使用的指定种类的材料所规定的限制范围内。
- 可要求在焊接前进行特定预热。
- 焊接或其他冷 / 热加工过程后可能需要进行适当的热处理。

2　船体结构用钢

2.1　一般要求

2.1.1　表 1 系目前船舶建造中使用的钢材的力学性能。

船体结构用钢的力学性能　　表 1

钢板等级 $t \leqslant 100$mm	最小屈服应力 R_{eH}(N/mm^2)	最小极限抗拉强度 R_m(N/mm^2)
A－ B－ D－ E	235	400 ~ 520
AH32－DH32－EH32－FH32	315	440 ~ 570
AH36－DH36－EH36－FH36	355	490 ~ 630
AH40－DH40－EH40－FH40	390	510 ~660

2.1.2　如在船体建造中采用高强度钢，则应将标明其使用部位的范围和位置及其种类与尺寸的图纸提交船级社审批。

2.1.3　表 1 中所示以外的高强度钢，船级社应逐例考虑。

2.1.4　如船上使用最小屈服应力 R_{eH} 并非 235 N/mm^2 的钢材，在确定船体结构尺寸时，应计入 [2.2] 所定义的材料系数 k。

2.1.5　要求船上保持一份标明船体结构所采用的钢材的种类与等级的图纸。如使用表 1 中所示以外的钢材，其力学性能和化学成分以及任何工艺要求或建议应与上述图纸一起存放在船上。

2.2　材料系数 k

2.2.1　除另有规定外，用于确定一般强度钢和高强度钢的尺寸的材料系数 k 应取自表 2 中，该因子是最小屈服应力 R_{eH} 的函数。

R_{eH} 的中间值可通过线性内插法求得。

屈服应力大于 390N/mm^2 的钢材，船级社应逐例考虑。

材 料 系 数 *k*　　**表 2**

最小屈服应力 R_{eH}(N/mm^2)	*k*	最小屈服应力 R_{eH}(N/mm^2)	*k*
235	1.0	355	0.72
315	0.78	390	0.68

2.3　钢材等级

2.3.1　各种强度构件用钢，其等级应不低于表 4-1 中所规定的材料级别 I、II、III 和等级在表 3 中对应的等级。此外，对于船长大于 150m、250m、BC-A 和 BC-B 的船舶，材料等级的要求在表 4-2 到表 4-4 中给出。

表 4-1 至表 4-4 中没有列入的强度构件，可以使用 A/AH 级钢。

2.3.2　用于制造尾柱、舵、挂舵臂和尾轴架的板材一般应不低于与材料级别 II 相对应的钢级。对于承受集中应力的舵和舵体板（如：在半悬挂舵的下舵承或悬挂舵的上部）应取材料级别 III。

2.3.3　在船中 0.6*L* 区域内，插入在内底中的主、辅机座的底板应取材料级别 I。在其他情况下，应至少采用 A/AH 级钢。

2.3.4　（空）

2.3.5　钢材等级应根据建造厚度来选取。

材料级别 I、II 和 III 要求的钢级　　**表 3**

材料级别	I		II		III	
建造厚度（mm）	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS
$t \leqslant 15$	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
$40 < t \leqslant 50$	D	DH	E	EH	E	EH

注：NSS：一般强度钢；HSS：高强度钢。

一般情况下的材料级别和钢级　　**表 4-1**

构 件 类 别	材料级别 / 钢级
次要类： A1　纵舱壁列板，属于主要类除外 A2　露天甲板板，属于主要或特殊类除外 A3　舷侧板	 - 船中 0.4*L* 内材料级别 I - 船中 0.4*L* 外钢级 A/AH
主要类： B1　船底板，包括龙骨板 B2　强力甲板板，不包括属于特殊类者 B3　强力甲板以上的纵向连续构件，不包括舱口围板 B4　纵舱壁的最上列板 B5　顶边舱的垂直列板 (舱口边纵桁) 和最上列斜板	 - 船中 0.4*L* 内材料级别 II - 船中 0.4*L* 外钢级 A/AH

续上表

构 件 类 别	材料级别 / 钢级
特殊类： C1　强力甲板处的舷顶列板 (1) C2　强力甲板边板 (1) C3　纵舱壁处的甲板板，不包括双舷侧内壳舱壁处的甲板板 (1)	 - 船中 0.4*L* 内材料级别 III - 船中 0.4*L* 外材料级别 II - 船中 0.6*L* 外材料级别 I
C5　货舱开口角隅处的强力甲板板	- 船中 0.6*L* 内材料级别 III - 其余货舱区域内材料级别 II
C6　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 (1)	- 船中 0.6*L* 内材料级别 II - 船中 0.6*L* 外材料级别 I
C7　其他船舶的舭列板 (1)	- 船中 0.4*L* 内材料级别 III - 船中 0.4*L* 外材料级别 II - 船中 0.6*L* 外材料级别 I
C8　长度大于 0.15*L* 的纵向舱口围板 C9　纵向舱口围板的端部肘板和甲板室过渡区域 (2)	- 船中 0.4*L* 内材料级别 III - 船中 0.4*L* 外材料级别 II - 船中 0.6*L* 外材料级别 I - 不低于钢级 D/DH

注：(1) 在船中 0.4*L* 范围内，凡采用材料级别 III 的单列板的宽度应不小于 800+*5L*(mm)，但不必大于 1800(mm)，除非受到船舶设计的几何形状的限制。

(2) 应用于纵向舱口围板长度大于 0.15*L* 的散货船。

船长 *L* 大于 150m 且有单层强力甲板的船舶的最小材料钢级　　表 4-2

构　件　类　别	材　料　钢　级
强力甲板板的纵向强力构件	船中 0.4*L* 内钢级 B/AH
强力甲板上的纵向连续强力构件	船中 0.4*L* 内钢级 B/AH
船底和强力甲板间没有内部纵向连续舱壁船舶的单舷侧板列	货舱区域内钢级 B/AH

船长 *L* 大于 250m 的船舶的最小材料钢级　　表 4-3

构　件　类　别	材　料　钢　级
强力甲板处的舷顶列板 (1)	船中 0.4*L* 内钢级 E/EH
强力甲板上的甲板边板 (1)	船中 0.4*L* 内钢级 E/EH
舭列板 (1)	船中 0.4*L* 内钢级 D/DH

注：(1) 在船中 0.4*L* 范围内，凡采用材料级别 III 的单列板的宽度应不小于 800+5*L*(mm)，但不必大于 1800(mm)，除非受到船舶设计的几何形状的限制。

***BC-A* 和 *BC-B* 船舶的最小材料钢级**　　表 4-4

构　件　类　别	材　料　钢　级
普通舷侧肋骨的下肘板 (1), (2)	钢级 D/DH
全部或部分位于舷侧外板和底边舱斜板或内底板交点上下 0.125*l* 范围内的舷侧外板板列 (2)	钢级 D/DH

注：(1) 术语“下肘板”意指下肘板腹板和位于舷侧外板和底边舱斜板或内底板交点向上 0.125*l* 范围内的舷侧肋骨下部腹板。

(2) 舷侧肋骨跨距，*l*，定义为支撑结构间的距离（见第 3 章第 6 节图 19）。

2.3.6 对建造厚度大于表 3 中的限制厚度的板材和型钢的钢级，船级社将根据具体情况予以考虑。

2.3.7 在具体情况下，如 [2.3.8]，考虑到沿船体梁的应力分布，在船中 0.4*L* 区域内所要求的级别可按实际情况扩大至该区域以外。

2.3.8 船中 0.4*L* 区域内的强力甲板板、舷顶列板和纵舱壁上列板的材料级别，在尾楼前端和桥楼两端的足够长度范围内，应予以保持。

2.3.9 焊接连接在船体外板外侧上的长度大于 0.15*L* 的轧制件，如槽钢，应具有与该处船体外板相同的材料级别。

2.3.10 如果全熔透焊缝位于可能发生在板厚方向承受局部高应力部位处，船级社可以根据具体情况要求使用在全厚度方向具有足够的延展性能的轧制件（Z 向钢），以防止发生层状撕裂的危险。

2.4 暴露于低气温下的结构

2.4.1 对于设计在低气温地区航行的船体结构用钢应符合 [2.4.2] 至 [2.4.6] 的要求。

2.4.2 拟定航行在低气温（≤ −20ºC）地区（如在冬季定期航行到北极或南极水域）的船舶，其暴露于低气温的结构的材料应根据取自 [2.4.3] 所定义的设计温度 t_D 来选取。

2.4.3 设计温度 t_D 应取为航区内的最低日平均气温的平均值，其中：

平均值：整个观测周期（至少 20 年）的统计平均

平均：一昼夜内的平均

最低：一年内的最低

图 1 所示的为北极水域的温度定义。

对季节性有限航区，适用营运期间的最低值。

2.4.4 最低压载水线（BWL）以上暴露于低气温的各种强度构件，其材料应不低于表 5 中根据构件的种类（次要，主要和特殊）给出的材料级别 I，II 和 III 所相应的钢级。

关于非暴露于低气温的结构和 BWL 以下的结构，见 [2.3]。

2.4.5 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 6、表 7 和表 8 选取。设计温度 t_D 小于 −55ºC 时，其所用的钢级应经船级社特殊考虑。

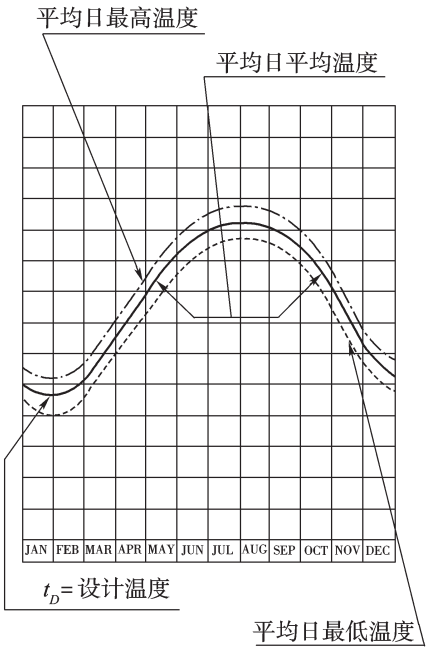


图1 通用温度定义

材料级别和钢级的使用—暴露于低温的结构　　表 5

构　件　类　别	材　料　级　别	
	船中 0.4*L* 内	船中 0.4*L* 外
次要类		
露天甲板板，一般而言	I	I
BWL 以上的舷侧板		
BWL 以上的横舱壁		
主要类		
强力甲板板 (1)	II	I
强力甲板以上的纵向连续构件，不包括纵向舱口围板		
BWL 以上的纵舱壁		
BWL 以上的顶边舱舱壁		
特殊类		
强力甲板处的舷顶列板 (2)	III	II
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)		

注：(1) 货舱大开口角隅处的板材应作特殊考虑。凡可能发生局部高应力处的部位均应采用材料级别 III 或 E/EH 钢级。

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

(3) 对船宽超过 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。

低温下材料级别 I 要求的钢级　　表 6

建造厚度 (mm)	−20/−25ºC		−26/−35ºC		−36/−45ºC		−45/−55ºC	
	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS
$t \leqslant 10$	A	AH	B	AH	D	DH	D	DH
$10 < t \leqslant 15$	B	AH	D	DH	D	DH	D	DH
$15 < t \leqslant 20$	B	AH	D	DH	D	DH	E	EH
$20 < t \leqslant 25$	D	DH	D	DH	D	DH	E	EH
$25 < t \leqslant 30$	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
$30 < t \leqslant 35$	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
$35 < t \leqslant 45$	D	DH	E	EH	E	EH	—	FH
$45 < t \leqslant 50$	E	EH	E	EH	—	FH	—	FH

注：“NSS”和“HSS”分别指“一般强度钢”和“高强度钢”。

低温下材料级别 II 要求的钢级　　表 7

建造厚度 (mm)	−20/−25ºC		−26/−35ºC		−36/−45ºC		−45/−55ºC	
	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS
$t \leqslant 10$	B	AH	D	DH	D	DH	E	EH
$10 < t \leqslant 20$	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
$20 < t \leqslant 30$	D	DH	E	EH	E	EH	—	FH
$30 < t \leqslant 40$	E	EH	E	EH	—	FH	—	FH
$40 < t \leqslant 45$	E	EH	—	FH	—	FH	—	—
$45 < t \leqslant 50$	E	EH	—	FH	—	FH	—	—

注：“NSS”和“HSS”分别指“一般强度钢”和“高强度钢”。

低温下材料级别 III 要求的钢级　　表 8

建造厚度 (mm)	−20/−25℃		−26/−35℃		−36/−45℃		−45/−55℃	
	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS
$t \leqslant 10$	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
$10 < t \leqslant 20$	D	DH	E	EH	E	EH	—	FH
$20 < t \leqslant 25$	E	EH	E	EH	—	FH	—	FH
$25 < t \leqslant 30$	E	EH	E	EH	—	FH	—	FH
$30 < t \leqslant 40$	E	EH	—	FH	—	FH	—	—
$40 < t \leqslant 45$	E	EH	—	FH	—	FH	—	—
$45 < t \leqslant 50$	—	FH	—	FH	—	—	—	—

注：“NSS”和“HSS”分别指“一般强度钢”和“高强度钢”。

2.4.6　要求为 III 级或 E/EH 和 FH 级的单列板，其宽度应不小于从下列式中所给之值，但不必大于 1.8m：

$$b = 0.005L + 0.8$$

3　锻钢件和铸钢件

3.1　一般要求

3.1.1　结构构件用锻钢件和铸钢件的力学性能和化学成分应符合船级社材料规范的适用要求。

CCS 3.1.1　结构件用锻钢件和铸钢件的力学性能和化学成分应符合 CCS《材料与焊接规范》的相关要求。

3.1.2　拟进行焊接的结构构件用钢应具有船级社根据具体情况认为适合于此用途的力学和化学性能。

3.1.3　所采用的钢材应按照船级社材料规范的适用要求进行试验。

CCS3.1.3　所采用的钢材应按照 CCS《材料与焊接规范》的适用要求进行试验。

3.2　锻钢件

3.2.1　经船级社按具体情况考虑，轧制型材可以接受用来代替锻制产品。

在此情况下，可以要求已接受用于代替锻制部件的轧制部件在质量和试验方面符合船级社材料规定的适用要求。

CCS3.2.1　经 CCS 按具体情况考虑，轧制型材可以接受用来代替锻制产品。

在此情况下，可以要求已接受用于代替锻制部件的轧制部件在质量和试验方面符合 CCS 对锻件的相关要求。

3.3　铸钢件

3.3.1　按照船级社材料规范的适用要求，用于制造首柱、尾柱、舵、舵机部件和甲板机械的铸钢件一般可以采用规定的最低抗拉强度 R_m 等于 400N/mm^2 或 440N/mm^2 的可焊接碳钢和碳锰钢。

3.3.2　铸钢部件与构成船体强度构件的主要板材的焊接应由船级社根据具体情况予以考虑。

船级社可以对此类铸钢件提出附加的性能和试验要求，特别是冲击性能应与焊有铸钢件的钢板的冲击性能相当，以及无损检测。

3.3.3　承受高应力的舵机铸钢件，特别是用于焊接而成的组合件和无键装配的舵柄或转子应进行表面和内部无损检测，以检查它们的内部结构。

4　铝合金结构

4.1　一般要求

4.1.1　铝合金的特性应符合船级社材料规范的要求。

一般应采用 5000 系列铝镁合金或 6000 系列铝镁硅合金。

CCS4.1.1　铝合金的特性应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 8 章的要求。

一般应采用 5000 系列铝镁合金或 6000 系列铝镁硅合金。

4.1.2　对用于低温的结构或拟用于其他特殊用途的结构，所采用的铝合金应经船级社同意。

4.1.3　除另经商定外，铝合金的杨氏模数取 70000N/mm^2，泊松比取 0.33。

4.2　挤压板材

4.2.1　板和扶强材的组合型挤压件，可参照作为挤压板材使用。

4.2.2　一般情况下，适用范围限于甲板、舱壁、上层建筑和甲板室。在其他方面的使用，船级社可根据具体情况予以同意。

4.2.3　挤压板材的取向应使其扶强材平行于主应力方向。

4.2.4　挤压板材与主要构件间的连接应予以特别注意。

4.3　焊接接头的力学性能

4.3.1　焊接热输入将局部降低经加工硬化（除 O 或 H111 状态外的 5000 系列）或热处理硬化（6000 系列）的铝合金的机械强度。

4.3.2　5000 系列铝合金的焊接性能一般为 O 或 H111 状态下的性能。如经适当验证，可以考虑较高的力学特性。

4.3.3　6000 系列铝合金的焊接性能应经船级社同意。

CCS4.3.3　6000 系列铝合金的焊接性能应满足 CCS《材料与焊接规范》所规定的焊接工艺认可试验的相关要求。

4.4　材料系数 *k*

4.4.1　铝合金的材料系数 k 应从下列公式中得到：

$$k = \frac{235}{R'_{\text{lim}}}$$

式中：R'_{lim}——焊接状态下母材最小可保证的屈服应力 $R'_{p0.2}$，N/mm^2，但应不取为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/mm^2；

R_m——交货状态下母材最小可保证的抗拉强度，N/mm^2。

η_1 和 η_2 在表 9 中给出。

4.4.2　如两种不同的铝合金进行焊接，材料系数 k 应考虑的为铝合金组装件中结构尺寸较大者的材料系数。

焊接结构用铝合金　　**表 9**

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 10 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/mm^2；

R'_m——焊接状态下材料的最小可保证的抗拉强度，N/mm^2。

铝合金—金相效率系数 β 表 10

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(闭合型材)	T5 或 T6	所有	0.50
6061(型材)	T6	所有	0.53
6082(型材)	T6	所有	0.45

5 其他材料和产品

5.1 一般要求

5.1.1 其他材料和产品，例如铸铁件制造的部件、如准许还有铜和铜合金制造的产品、铆钉、锚、锚链、起重机、桅、起重柱、吊杆、零件和钢丝绳索，一般应符合船级社材料规范的适用要求。

CCS5.1.1 其他材料和产品，例如铸铁件制造的部件、如准许还有铜和铜合金制造的产品、铆钉、锚、锚链、起重机、桅、起重柱、吊杆、零件和钢丝绳索，一般应符合 CCS《材料与焊接规范》的适用要求。

5.1.2 本规范未包括的塑料或其他特殊材料的使用应由船级社根据具体情况予以考虑。在此情况下，有关材料的验收要求应经船级社同意。

5.1.3 在焊接加工中使用的材料应符合船级社材料规范的适用要求。

CCS5.1.3 在焊接加工中使用的材料应符合 CCS《材料与焊接规范》中第 3 篇第 2 章的有关要求。

5.2 铸铁件

5.2.1 通常，铁素体 / 珠光体组织的灰铸铁件、可锻铸铁件或球墨铸铁件仅允许用于次要的低应力构件的制造。

5.2.2 普通铸铁件不可用于窗或舷窗；适应类别的高等级铸铁件的使用将由船级社根据具体情况予以考虑。

CCS5.2.2 铸铁件一般不能用于窗或舷窗。

第 2 节 净尺寸方法

符号

t_{as_built}：建造厚度：为新建阶段中所提供的实际厚度，mm，包括 $t_{voluntary_addition}$（如有）。

t_C：腐蚀增量厚度：按第 3 章第 3 节所定义的，mm。

$t_{gross_offered}$：总提供厚度：为新建阶段中所提供的实际总（全）厚度，mm，不包括船东的腐蚀损耗额外裕度 $t_{voluntary_addition}$（如有）。

$t_{gross_required}$：总要求厚度：要求净厚度加上 t_C 所得到的总（全）厚度，mm。

$t_{net_offered}$：净提供厚度：总提供厚度减去 t_C 所得到的净厚度，mm。

$t_{net_required}$：净要求厚度：按规范满足所有结构强度要求所需的净厚度，mm，并按最靠近的 0.5mm 圆整。

$t_{voluntary_addition}$：自愿增加厚度：除 t_C 以外船东自愿增加的额外腐蚀磨耗余量，mm。

1 一般原理

1.1.1 净尺寸分析明确地说明“净尺寸”必须从船舶新建阶段开始一直到整个船舶设计寿命中都得以保持，以满足结构强度的要求。该方法明确地将净厚度与为了船舶在营运期间可能发生的腐蚀而加上的厚度区分开来。

2　应用衡准

2.1　一般要求

2.1.1　应用本规范规定的衡准所得到的尺寸为本节［3.1］至［3.3］中所规定的净尺寸，即，该尺寸提供了承受载荷所需的强度特性，不包括任何腐蚀增量和船东自愿增加厚度，如船东的额外裕度，如有时。下列总提供尺寸为例外，即，它们已包括腐蚀增量，但没有加上自愿增加值，如：船东的额外裕度：

- 上层建筑和甲板室尺寸，按第 9 章第 4 节；
- 第 10 章第 1 节中舵结构的尺寸；
- 锻钢件和铸钢件制成的厚重构件的尺寸。

2.1.2　所需的强度特性是：

- 包括构成主要支撑构件的板材的厚度；
- 普通扶强材和根据具体情况而定的主要支撑构件的剖面模数、剪切面积、惯性矩和局部厚度；
- 船体梁的剖面模数、惯性矩和一次矩。

2.1.3　船舶应至少用净尺寸加上第 3 章第 3 节所规定的腐蚀增量得到的总尺寸来建造。自愿增加厚度应作为额外的附加。

3　净尺寸方法

3.1　净尺寸定义

3.1.1　要求厚度

总要求厚度 $t_{gross_required}$ 不小于第 3 章第 3 节所定义的腐蚀增量 t_C 与净要求厚度相加所得总厚度，按下式计算：

$$t_{gross_required} = t_{net_required} + t_C$$

3.1.2　提供厚度

总提供厚度 $t_{gross_offered}$ 系指在新建阶段中所提供的总厚度，是从建造厚度减去自愿增加厚度后得到的，按下式计算：

$$t_{gross_offered} = t_{as_built} - t_{voluntary_addition}$$

3.1.3　板材净厚度

净提供厚度 $t_{net_offered}$ 系指总提供厚度减去 t_C 后得到的净厚度，按下式计算：

$$t_{net_offered} = t_{gross_offered} - t_C = t_{as_built} - t_{voluntary_addition} - t_C$$

3.1.4　扶强材的净剖面模数

净横剖面尺寸应从构成如图 1 所示的扶强材剖面的构件的总提供厚度中减去 t_C 后得到。

球扁钢可以作为与第 3 章第 6 节［4.1.1］中所规定的等效的角钢来考虑。

对于净横剖面应进行净强度特性计算。

在对承受船体梁的应力以及由于如双层底结构的局部结构的局部弯曲而引起的应力的扶强材进行净强度特性评估时，船体梁的剖面模数或结构的刚度可从有关构件的总提供厚度中减去 0.5 t_C 后得到。

3.2　所应计及的净尺寸

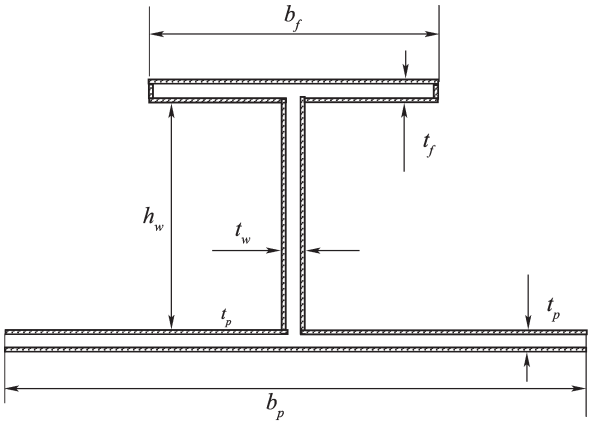
3.2.1　船体梁屈服校核

按第 5 章第 1 节进行船体梁屈服强度校核所应计及的构件，其净厚度应从总提供厚度中减去 0.5 t_C 求得。

3.2.2　由于船体梁弯矩和剪力引起应力的总体应力

按第 5 章第 1 节进行船体梁弯曲和剪切总纵应力所应计及的构件，其净厚度应从总提供厚度中减

去 0.5t_C 求得。



注：阴影部分为腐蚀增量。

对带板而言，其两边均减去［3.2］中所应计及的腐蚀增量的一半。

图1 扶强材的净尺寸

3.2.3 船体梁屈曲校核

按第 6 章第 3 节进行船体梁屈曲强度校核所应计及的构件，其净厚度应从总提供厚度中减去 t_C 求得。

3.2.4 船体梁极限强度校核

按第 5 章第 2 节进行船体梁极限强度校核所应计及的构件，其净厚度应从总提供厚度中减去 0.5 t_C 求得。

3.2.5 强度直接计算

应按第 7 章进行校核的主要支撑构件，其板材的净厚度应从总提供厚度中减去 0.5t_C 求得。

按第 6 章第 3 节进行船体梁屈曲强度校核，并使用直接计算分析所得到的应力，所应计及的板厚，其净厚度应从总提供厚度中减去 t_C 求得。

3.2.6 疲劳校核

应按第 8 章进行疲劳校核的构件，其净厚度应从总提供厚度中减去 0.5t_C 求得。

3.2.7 船长 L 小于 150m 的船舶的主要支撑构件的校核

对于船长 L 小于 150m 的船舶，按第 6 章第 4 节［2］进行校核主要支撑构件时，其板的净厚度等于总厚度减去 t_C。

3.3 结构图纸提供的信息

3.3.1 结构图纸应反映出各结构部件的总尺寸和第 13 章第 2 节所要求的换新厚度。

如建造厚度中包括自愿增加厚度，则应在图纸中予以清楚地说明并做好标识。

第 3 节 腐 蚀 增 量

符号

t_C：总腐蚀增量，mm，定义见 1.2。

t_{C1}，t_{C2}：所计及构件一侧的腐蚀增量，mm，定义见表 1。

$t_{reserve}$：储备厚度，mm，定义见第 13 章第 2 节，取为：

$$t_{reserve} = 0.5$$

构件一侧的腐蚀增量　　**表 1**

舱室类型	构件		腐蚀增量，t_{C1} 或 t_{C2}(mm)	
			船长大于等于 150m BC-A 或 BC-B 的船舶	其他
压载水舱 (2)	主要构件的面板	液舱顶部以下 3m 范围内 (3)	2.0	
		任何其他地方	1.5	
	其他构件	液舱顶部以下 3m 范围内 (3)	1.7	
		任何其他地方	1.2	
干散货舱 (1)	横舱壁	上部 (4)	2.4	1.0
		底凳斜板，垂向板和顶板	5.2	2.6
		其他部分	3.0	1.5
	其他构件	上部分 (4)	1.8	1.0
		单舷侧散货船舷侧肋骨上端肘板的腹板和翼板		
		单舷侧散货船舷侧肋骨下端肘板的腹板和翼板	2.2	1.2
		其他部分	2.0	1.2
	底边舱斜板，内底板	连续木铺板	2.0	1.2
		没有连续木铺板	3.7	2.4
暴露于大气	水平构件和露天甲板 (5)		1.7	
	非水平构件		1.0	
暴露于海水 (7)			1.0	
燃油舱和滑油舱 (2)			0.7	
淡水舱			0.7	
空舱 (6)	不经常进入的处所，如仅能通过人孔、管隧等才可进入		0.7	
干舱	甲板室、机舱、泵舱、储藏室、舵机舱、等舱室的内部		0.5	
除上述外的其他舱室			0.5	

注：(1) 干散货舱包括拟载运干散货的货舱，可以载运压载水。

(2) 压载水舱与加热燃油舱之间板材的腐蚀增量应增加 0. 7mm。

(3) 只适用于舱顶部为露天甲板的压载舱。

(4) 货舱的上部相应于顶边舱和内船壳或舷侧外板的连接处以上的区域。如果不设顶边舱，则上部相当于货舱高度的上三分之一。

(5) 水平构件系指角度在 20° 以下的构件视为水平线。

(6) 管隧处的外板的腐蚀增量应视为压载水舱的构件考虑。

(7) 正常压载吃水和结构吃水间的舷侧外板应增加 0. 5mm。

1　腐蚀增量

1.1　一般要求

1.1.1　本节中所规定的腐蚀增量的值的应用应与第 5 节有关保护涂层的要求相关联。对与碳钢不同的材料，腐蚀增量应予特殊考虑。

1.2　腐蚀增量确定

1.2.1　钢材的腐蚀增量

构件两侧的每一侧的腐蚀增量，t_{C1} 或 t_{C2}，在表 1 中作了规定。

构件两侧的总腐蚀增量 t_C 用下式求得：

$$t_C = \text{按 0.5 向上舍入}\ (t_{C1} + t_{C2}) + t_{reserve}$$

对设定舱室内部构件，总腐蚀增量 t_C 用下式求得：

$$t_C = \text{按 0.5 向上舍入}\ (2t_{C1}) + t_{reserve}$$

式中 t_{C1} 是表 1 中对朝向该舱室的一侧规定的值。

当构件受到一个以上的腐蚀增量的值的影响时（如：干散货舱内的延伸至较低区域以上的板材），在应用结构尺寸衡准中，一般应考虑与该构件相适应的腐蚀增量的最严重值。

除普通扶强材的腹板和面板外，总腐蚀增量 t_C 应不小于 2mm。

1.2.2　用于铝合金的腐蚀增量

对用铝合金制造的构件，腐蚀增量 t_C 应取为 0。

第 4 节　极 限 状 态

1　一般要求

1.1　一般原则

1.1.1　本规范的要求涵盖了表 1 中指出的结构强度评估。

结构强度评估　　表 1

		屈服校核	屈曲校核	极限强度校核	疲劳校核
局部结构	普通扶强材	√	√	√ (1)	√ (2)
	承受横向压力的板材	√	√	√ (3)	—
主要支撑构件		√	√	√	√ (2)
船体梁		√	√ (4)	√	—

注：√表示应进行结构评估

(1) 扶强材的极限强度校核包括在扶强材的屈曲校核中。

(2) 扶强材和主要支撑构件的疲劳校核系指这些构件的连接细节的疲劳校核。

(3) 板材的极限强度校核包括在板材的屈服校核公式中。

(4) 对构成船体梁强度的扶强材和板材，由船体梁弯矩和剪力产生的应力的屈曲校核。

1.1.2　进水工况下船体结构的强度应予评估。

1.2　极限状态

1.2.1　使用性极限状态

与正常使用有关的使用性极限状态包括：

- 可能减少结构的工作寿命或影响构件的有效性或外形的局部损伤；
- 影响有效使用和构件外形或设备功能的不可接受的变形。

1.2.2　最终极限状态

最大承受载荷能力的极限状态，或在一些情况下，最大适用应变或变形的极限状态，包括：

- 剖面、构件或连接由于断裂或过度变形达到最大抵抗能力；
- 整个或部分结构失稳。

1.2.3　疲劳极限状态

疲劳极限状态与因周期性载荷而造成损坏的可能性有关。

1.2.4　事故极限状态

事故极限状态认为任何一个货舱的进水不致扩展到其他舱室，包括：

- 舱体梁的最大承受载荷能力；
- 双层底结构的最大承受载荷能力；
- 舱壁结构的最大承受载荷能力。

任一货舱内某一构件的单一失效事故，应考虑对整个加筋板格作极限强度评估。

2　强度衡准

2.1　使用性极限状态

2.1.1　船体梁

对船体梁的屈服强度校核，应力为相应于 10^{-8} 概率水平的载荷。

2.1.2　板材

对构成主要支撑构件的板材的屈服强度校核和屈曲校核，应力为相应于 10^{-8} 概率水平的载荷。

2.1.3　普通扶强材

对普通扶强材的屈服强度校核，应力为相应于 10^{-8} 概率水平的载荷。

2.2　最终极限状态

2.2.1　船体梁

船体梁的极限强度为承受最大垂向总纵弯矩，它由 10^{-8} 概率水平的垂向总纵弯矩乘以局部安全因子获得。

2.2.2　板材

普通扶强材与主要支撑构件间的板材的极限强度应能承受 10^{-8} 概率水平的载荷。

2.2.3　普通扶强材

普通扶强材的极限强度应能承受 10^{-8} 概率水平的载荷。

2.3　疲劳极限状态

2.3.1　结构细部

典型的结构细部，例如普通扶强材和主要支撑构件的连接，其疲劳寿命按 10^{-4} 参照压力求得。

2.4　事故极限状态

2.4.1　船体梁

货舱进水状态下的船体梁的总纵强度应按照第 5 章第 2 节的要求进行评估。

2.4.2　双层底结构

货舱进水状态下的双层底结构应按照第 6 章第 4 节的要求进行评估。

2.4.3　舱壁结构

货舱进水状态下的舱壁结构应按照第 6 章第 1 节、第 2 节和第 3 节的要求进行评估。

3　针对冲击载荷的强度校核

3.1　一般要求

3.1.1　对冲击载荷的结构响应，如首部船底砰击、首外飘砰击以及抓斗跌落，它们取决于载荷面积、载荷量级和结构板架。

3.1.2　构成板架构件（即普通扶强材和主要支撑构件以及有带板的普通扶强材间的板材）的极限强度应能承受作用其上的最大冲击载荷。

第 5 节 腐 蚀 防 护

1 一般要求

1.1 应予防护的结构

1.1.1 所有海水压载舱、货舱和压载货舱应分别按照［1.2］，［1.3］和［1.4］的要求装设防腐蚀系统。

1.1.2 对于船长（L_{LL}）不小于 150m 的船舶，其货舱长度区域内的双舷侧空舱的涂层应符合［1.2］的要求。

1.1.3 拟载运燃油的处所，其内表面不要求防腐涂层。

1.1.4 狭窄处所一般应填满有效的防护物，特别是位于船舶两端的这些处所，因不易于接近，难以进行检查和维护。

1.2 海水压载舱和双舷侧空舱的防护

1.2.1 船长（L）不小于 90m 的船舶任何地方的所有专用海水压载舱（压载货舱除外）和船长（L_{LL}）不小于 150m 的船舶货舱长度区域内的双舷侧空舱均应配备有效的防腐系统，例如按照制造厂建议采用硬保护涂层或等效的方法。

涂层应为浅色，即容易辨别锈的颜色，以便于检查。在适用时，也可以按照本节［2］的规定，使用牺牲阳极。

1.2.2 对于在 IMO 通过经修正的 SOLAS II-1/3-2 的日期及以后签订建造合同的船舶，将强制执行 IMO“压载舱和空舱的保护涂层性能标准”，由于经修正 SOLAS 公约规定，舱室内部的涂层应满足 IMO 的性能标准要求。

为与 IMO A.798(19) 和 IACS UI SC122 相一致，建造开始之前，经与船级社协商后，涂层系统的选择，包括涂层选择、技术规格和检查计划，应在建造者、涂层系统供应者和船东之间达成一致。对于这些舱室涂层系统的技术规格应备有证明文件，且文件应经船级社核实，其完全符合涂层性能标准。

建造者应表明所选择的涉及表面预处理和施工方法的涂层系统符合制造厂的工艺规程和方法。

建造者应表明涂层检查员具有符合 IMO 标准要求的正式合格证书。

船级社的现场验船师将不会对涂层的施工进行检验，但会核查涂层检验员的报告，以核实所规定的造船厂涂层工艺已被实施。

1.3 货舱处所防护

1.3.1 涂层

船厂和船东有责任选择适用于拟装载货物的涂层，特别是与货物相适应。

1.3.2 应用

舱口围板和舱口盖的所有内、外表面和货舱（边舱壁和横舱壁）的所有内表面，不包括内底区域和部分底边舱斜板以及底凳斜板，均应采用符合制造厂建议的环氧树脂或其他等效涂料的有效保护涂层。

边舱壁和横舱壁区域应分别按照［1.3.3］和［1.3.4］的规定涂刷涂层。

1.3.3 应敷涂层的舷侧区域

应敷有涂层区域的内表面为：

- 内舷侧板。
- 顶边舱斜板的内表面。
- 从肋骨下端肘板（对于单舷侧散货船）或底边舱上端（对于双舷侧散货船）至以下 300mm 的底边舱斜板的内表面。

这些区域如图 1 所示。

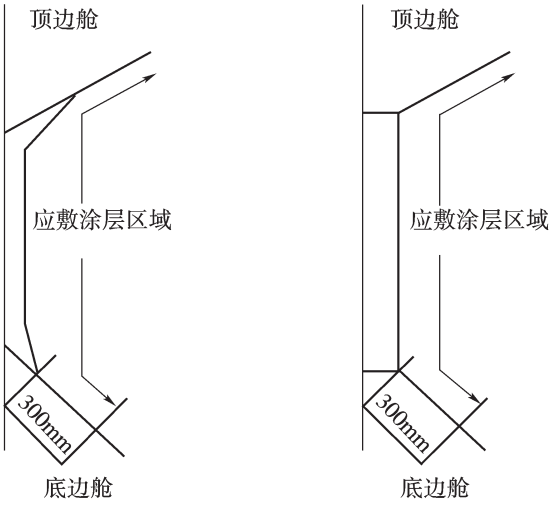


图1　应敷涂层的舷侧区域

1.3.4　应敷涂层的横舱壁区域

横舱壁应敷涂层的区域为距肋骨端肘板（对于单舷侧散货船）或底边舱上端（对于双舷侧散货船）以下 300mm 处水平线之上的所有区域。

1.4　压载舱处所防护

1.4.1　适用范围

舱口围板和舱口盖的所有内、外表面，以及压载货舱的所有内表面，均应采用符合制造厂建议的环氧树脂或其他等效涂料的有效保护涂层。

2　牺牲阳极

2.1　一般要求

2.1.1　阳极应装钢芯，并应采用阳极支撑设计，使其具有足够的刚度，以至即使阳极耗蚀后仍能保持住阳极。

钢芯应连续焊接于结构上。或者，可用螺栓连接到每个支架上，至少要有 2 只带防松螺母的螺栓。但也可以接受其他机械夹紧装置。

2.1.2　阳极各端点的支架不得固定在可能发生独自运动的分开的构件上。

2.1.3　如阳极钢芯或支架与结构焊接时，焊缝应光顺。

3　采用铺板的内底板防护

3.1　一般要求

3.1.1　内底如设有铺板，应符合 [3.2] 和 [3.3] 中的要求。

3.2　布置

3.2.1　构成舭部上方和内底上的木铺板应易于搬动，以便进入维护。

3.2.2　如双层底内拟装载燃油，则内底上的铺板应用 30mm 高的护条与内底板隔开，使漏油易于排泄到舭部。

3.2.3　如双层底内拟装载水 , 内底上的铺板可以铺设在内底板上 , 但事先须在其上采用适当的防护敷料。

3.2.4　船厂应注意铺板的布置不要影响到内底的密性。

3.3　结构尺寸

3.3.1　松木铺板的厚度应不小于 60mm。在货舱口下的铺板的厚度应增加 15mm。

如肋板间距大，则厚度可由船级社视具体情况另行考虑。

第 6 节　结构布置原则

符号

本节未定义的符号，见第 1 章第 4 节中所定义的表。

b_h：货舱开口的宽度，m。

l_b：端肘板的自由边的长度，m。

1　适用范围

本节要求适用于货舱区域。对其他区域，应适用第 9 章第 1 至 4 节的要求。

2　一般原则

2.1　定义

2.1.1　主要骨架间距

主要骨架间距，m，是指主要支撑构件间的距离。

2.1.2　次要骨架间距

次要骨架间距，mm，是指普通扶强材间的距离。

2.2　结构连续性

2.2.1　一般要求

自船中部至端部的尺寸应尽可能地逐渐减少。

应注意船体骨架系统改变处，主要支撑构件或普通扶强材的连接处，船首、尾部和机舱端部，以及上层建筑端部的结构连续性。

2.2.2　纵向构件

纵向构件的布置应确保强度的连续性。

承受船体梁总纵强度的纵向构件应向船舶的端部连续延伸至足够的距离。

特别是，应确保货舱区域内的纵舱壁包括垂直和水平主要支撑构件连续延伸至货舱区域以外。嵌接肘板是可以接受的方法。

2.2.3　主要支撑构件

主要支撑构件的布置，应确保足够的强度连续性。

应避免高度或横剖面的突然变化。

2.2.4　普通扶强材

参与船体梁总纵强度的普通扶强材一般应在穿过主要支撑构件时，保持连续性。

2.2.5　板材

对承受载荷方向板建造厚度的变化不得超过较厚板厚度的 50%。对焊接的焊前准备应按照第 11 章第 2 节［2.2］中的要求。

2.2.6　应力集中

如应力集中可能发生在结构间断处，则应充分考虑减少应力集中，并应作足够的补偿和加强。

开口应尽量避开高应力区域。

如布置开口，则开口形状的应力集中应保持在可接受的范围之内。

开口应有良好的圆形，且边缘光滑。

焊接接头应适当错开应力可能高度集中的部位。

2.3　与高强度钢的连接

2.3.1　与高强度钢的连接

如船体结构中使用不同强度的钢材，应适当注意与高强度钢相邻的低强度钢的应力。

如低强度钢的扶强材由高强度钢的主要支撑构件支撑，则应适当注意主要支撑构件的刚度及其尺寸，以避免由于主要支撑构件的变形而造成扶强材的过大应力。

如在甲板和船底结构处采用高强度钢，不承受船体梁总纵强度的纵向构件，以及与强力甲板或船底板和舭列板焊接的构件，例如纵向舱口围板、排水沟角钢，甲板开口的加强构件，舭龙骨等，一般应用同等的高强度钢制成。同样的要求适用于焊接在承受船体梁总纵强度的主要构件（如舱口围板、纵桁和桁材）的腹板上的不连续的纵向加强筋。

3　板材

3.1　板材的结构连续性

3.1.1　嵌入板

一般应通过嵌入板方式增加局部板厚。嵌入板应采用性能（屈服和钢级）至少与其焊接的板材同等的材料制成。

4　普通扶强材

4.1　扶强材剖面

4.1.1　带有球型形状的扶强材剖面

球型剖面可取为等效于组合剖面。等效的角钢剖面的尺寸，mm，应从下列公式中得到。

$$h_w = h'_w - \frac{h'_w}{9.2} + 2$$

$$b_f = \alpha\left(t'_w + \frac{h'_w}{6.7} - 2\right)$$

$$t_f = \frac{h'_w}{9.2} - 2$$

式中：h_w'、t_w'——球型剖面的高度和净厚度，mm，如图 1 所示；

α——系数，等于：

$$\alpha = 1.1 + \frac{(120 - h'_w)^2}{3000} \qquad \text{对 } h'_w \leqslant 120$$

$$\alpha = 1.0 \qquad \text{对 } h'_w > 120$$

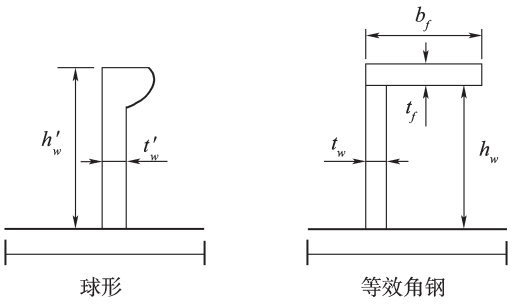


图1　扶强材的尺寸

4.2　普通扶强材跨距

4.2.1　普通扶强材

普通扶强材的跨距 l 应如图 2 所示量取。弯曲形扶强材的跨距沿弦长量取。

4.2.2　双层壳体内的普通扶强材

设在双层壳体内的普通扶强材，即当主要支撑构件的腹板与作为其带板的内壳和外壳连接时，其跨距 l 应如图 3 所示量取。

4.2.3　用撑柱支撑的普通扶强材

长度超过 120m 的船舶不应采用撑柱支撑普通扶强材的布置。

在主要支撑构件中间距离处设置 1 根撑柱支撑的普通扶强材的跨距 l 应取为 $0.7l_2$。

若主要支撑构件间设有 2 根撑柱，则普通扶强材的跨距 l 应取为 $1.4l_1$，和 $0.7l_2$ 中的较大值。

l_1 和 l_2 为图 4 和图 5 中所定义的跨距。

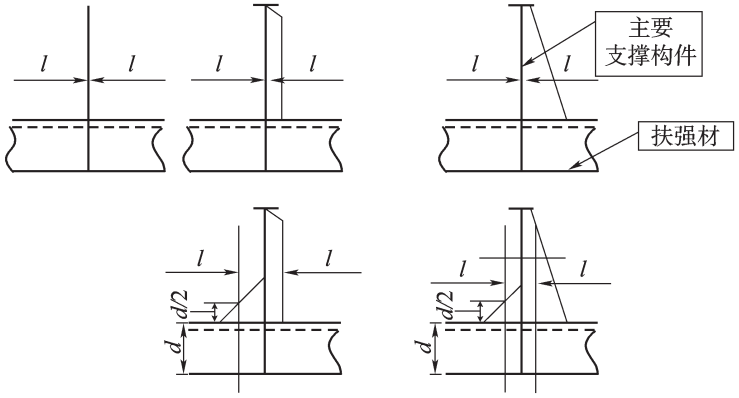


图2　普通扶强材的跨距

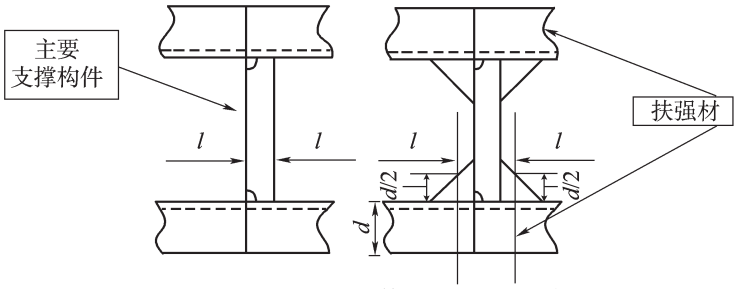


图3　双层壳体内的普通扶强材的跨距

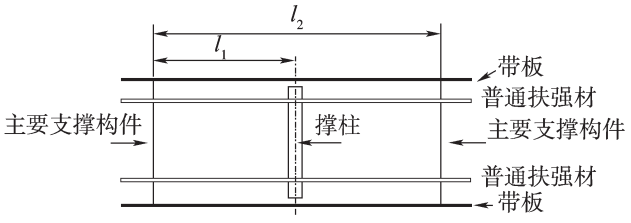


图4　具有1根撑柱的普通扶强材的跨距

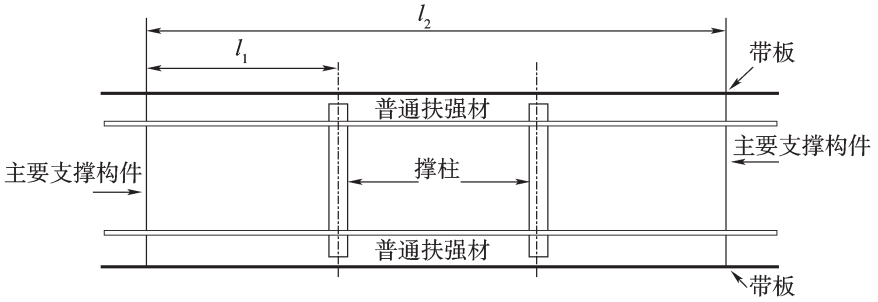


图5　具有2根撑柱支撑的普通扶强材的跨距

4.3　带板

4.3.1　用于屈服校核的有效宽度

在普通扶强材的屈服强度校核中所用实际净剖面模数中应予考虑的有效带板宽度 b_p，应从下列公式中得到：

- 当带板延伸在普通扶强材的两侧时：

  $b_p = 0.2l$，或

  $b_p = s$

  取较小值。

- 当带板延伸在普通扶强材的一侧时（即普通扶强材边界开口）：

  $b_p = 0.5s$

  $b_p = 0.1l$

  取较小值。

4.3.2　用于屈曲校核的有效宽度

对于普通扶强材的屈曲校核，普通扶强材带板的有效宽度在第 6 章第 3 节 [5] 作了规定。

4.4　普通扶强材的几何特性

4.4.1　一般要求

扶强材的几何特性，如惯性矩、剖面模数、剪切剖面面积、腹板的长细比等应根据第 3 章第 2 节中所定义的净厚度进行计算。

4.4.2　不垂直于带板的扶强材

扶强材的实际净剖面模数应沿平行于带板的一根轴线进行计算。

当扶强材不垂直于带板时，则实际净剖面模数，cm^3，可以从下列公式中得到。

$$w = w_0 \sin\alpha$$

式中：w_0——假设垂直于带板的扶强材的实际净剖面模数，cm^3。

α——扶强材腹板和带板间的夹角，（°），如图 6 所示，但应取不小于 50°。

当 α 在 50° 与75° 之间时，应予以修正。

当扶强材腹板和带板间的夹角小于 50° 时，则应在适当的间距处设置防倾肘板。如不对称扶强材的腹板和带板间的夹角小于 50°，则扶强材面板应设置在开阔斜角的一侧，如图 7 所示。

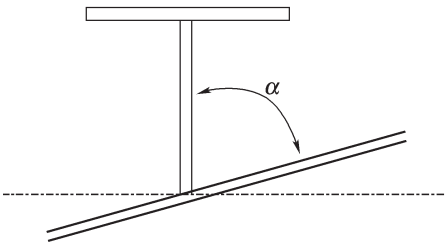


图6　扶强材腹板和带板间的夹角

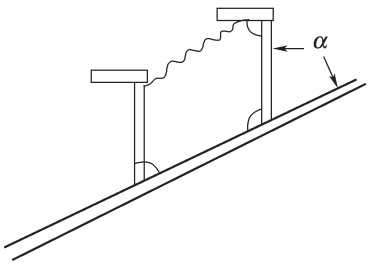
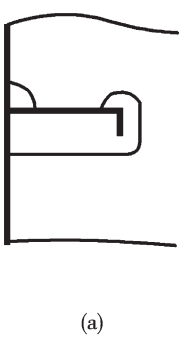


图7　夹角小于50° 时的扶强材的定位

4.5　普通扶强材端部连接

4.5.1　一般要求

当普通扶强材连续穿过主要支撑构件时，则应将它们与腹板适当地连接起来，以保证载荷正常地传递。图 8 至图 11 为若干连接示例。



(a)



(b)

图 8

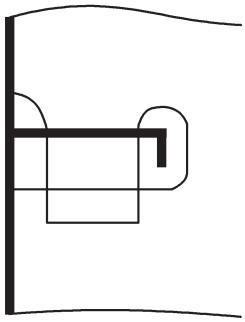


图9 用领板连接

(a) 无领板连接和；(b) 在纵骨侧面有扶强材的连接

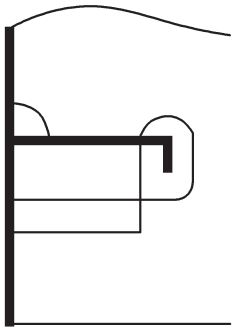


图10 用1块大领板连接

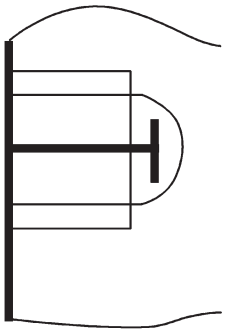


图11 用2块大领板连接

4. 5. 2 扶强材结构连续性

当普通扶强材在主要支撑构件处切断时，则应设置肘板，以确保结构的连续性。在这种情况下，肘板应具有不小于普通扶强材的净剖面模数和净剖面面积。

肘板的净厚度应不小于所要求的普通扶强材腹板的净厚度。

当肘板为下列情形之一时，肘板应有折边或有焊接的面板加强：

- 肘板的净厚度，mm，小于 $15l_b$，l_b 为端肘板或肘板的自由边长度，m；或
- 肘板的长臂大于 800mm。

折边翼板或面板的净剖面面积，cm^2，应至少为 $10l_b$。

4. 5. 3 端部连接

扶强材的端部连接应由主要支撑构件足够地支撑。一般情况下，普通扶强材应采用加强筋或肘板支撑。

如扶强材穿过的贯穿口以领板加强，领板应使用与主要支撑构件同等的材料。

用以支撑普通扶强材的肘板或加强筋，考虑结构连续性应具有足够的剖面面积和惯性矩，并考虑疲劳强度，应具有合理的形状。如没有设置支撑普通扶强材的肘板或加强筋，或考虑到疲劳强度而采用了特殊的开口形式时，船级社可要求对开口进行疲劳强度评估。

5 主要支撑构件

5.1 一般要求

5. 1. 1 主要支撑构件的布置应确保强度的足够连续性。应避免高度或横剖面的突然变化。

5. 1. 2 如基于有限元分析、疲劳评估和极限强度评估结果，确保主要支撑构件布置具有足够的强度，应依据这些评估结果布置主要支撑构件。

5.2　加强筋布置

5.2.1　如主要支撑构件的腹板高度，mm，大于 100t 时，t 为主要支撑构件的腹板的净厚度，mm，主要支撑构件的腹板应设置加强筋。

一般情况下，主要支撑构件的腹板加强筋的间距应不大于 110t。

腹板加强筋和肘板的净厚度应不小于其所设置处的主要构件的最小净厚度。

另外，预计在横向主要支撑构件上存在高剪应力和 / 或高压应力的交叉连接等的端肘板处，应设置加强筋。这些部位不得开孔。在这些部位，为普通扶强材穿过而开的切口应以领板予以加强。

加强筋的宽度应大于 1/12 的加强筋长度。

5.2.2　与面板焊接的防倾肘板（见图 12）一般应设置在：

- 每 4 个普通扶强材间距处，不超过 4m；
- 端肘板趾部；
- 圆形面板处；
- 集中载荷处；
- 靠近剖面改变处。

如对称面板的宽度大于 400mm，则应在防倾肘板处设置背肘板。

如主要支撑构件的面板在腹板的任一侧超过 180mm，则防倾肘板也应支撑面板。

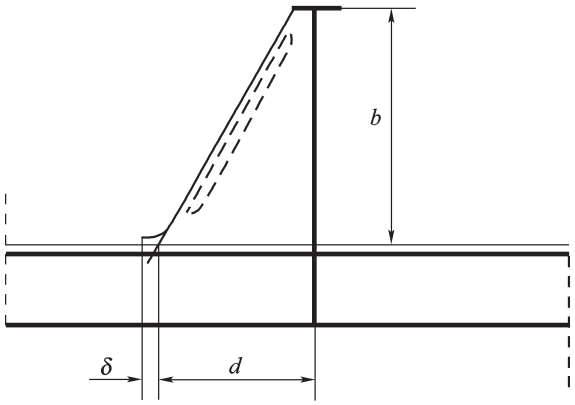


图12　主要支撑构件：普通扶强材处的腹板加强筋

5.2.3　主要支撑构件面板的宽度（不包括环形主要支撑结构，如舭部底边舱和顶边舱内的横向框架）应不小于腹板高度的十分之一，防倾肘板间距按［5.2.2］规定。

5.2.4　防倾肘板的臂长应不小于下列值中之较大者，m。

$$d = 0.38b$$

$$d = 0.85\sqrt{\frac{s_t}{t}}$$

式中：b——防倾肘板的高度，m，如图 12 所示；

s_t——防倾肘板的间距，m；

t——防倾肘板的净厚度，mm。

5.2.5　净厚度，mm，小于 10l_b 的防倾肘板应有折边或用焊接的面板加强。

折边或面板的净剖面面积，cm^2，应不小于 7l_b，l_b 为肘板自由边的长度，m。

如肘板的高度或宽度大于 3m，则应设置平行于肘板自由边的附加加强筋。

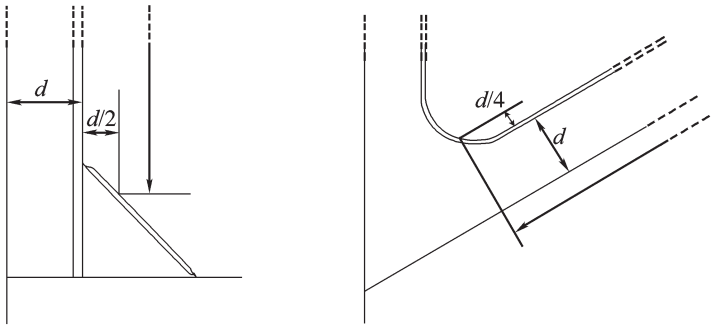
5.3　主要支撑构件跨距

5.3.1　定义

无端部肘板的主要支撑构件的跨距 l，m，取两支撑之间的构件长度。

具有部端肘板的主要支撑构件的跨距 l，m，取两端肘板上的 1/2 主要支撑构件高度处之间的长度，见图 13(a) 所示。

然而，对于构件面板连续至肘板面板的弧形肘板，见图 13(b) 所示，其跨距取两端肘板上的 1/4 主要支撑构件高度处之间的长度。



(a)　　(b)

图13　主要支撑构件跨距

5.4　主要支撑构件的有效宽度

5.4.1　一般要求

对用于屈服校核的实际净剖面模数中应予考虑的主要支撑构件的带板的有效宽度，应取相邻主要支撑构件之间的平均间距。

5.5　几何特性

5.5.1　一般要求

主要支撑构件的几何特性，如惯性矩、剖面模数、剪切剖面面积、腹板长细比等应按照第 3 章第 2 节所规定的净厚度进行计算。

5.6　端部肘板连接

5.6.1　一般要求

当主要支撑构件的端部与舱壁、内底等连接时，则所有主要支撑构件的端部连接均应与舱壁、内底等相应另一侧的有效支撑构件予以平衡。

在主要支撑构件的腹板上，位于端肘板之内缘处及其他主要支撑构件的连接部位，并适当间隔，应设置防倾肘板以有效支撑主要支撑构件。

5.6.2　肘板尺寸（图 14）

除另有规定外，肘板的臂长一般应不小于主要构件的跨距长度的 1/8。肘板两端的臂长应尽量相等。

端肘板的高度应不小于主要支撑构件的高度。端肘板的净厚度应不小于主要支撑构件的腹板的净厚度。

端肘板的尺寸，如具有端肘板的主要支撑构件的剖面模数，应不小于跨距中点处的主要支撑构件的剖面模数。

端肘板的面板的宽度，mm，应不小于 $50(l_b+1)$。

此外，面板的净厚度应不小于肘板腹板的净厚度。

端肘板的刚度设计，应提供足够的腹板抗屈曲稳定性。

可使用下列规定：

- 当长度 l_b 大于 1.5m 时，则肘板的腹板应予加强。
- 腹板加强筋的净剖面面积，cm^2，应不小于 $16.5l$，l 为加强筋的跨距，m。
- 应设置防倾扁钢，以防止腹板加强筋的横向屈曲。当对称面板的宽度大于 400mm 时，则应设置附加背肘板。

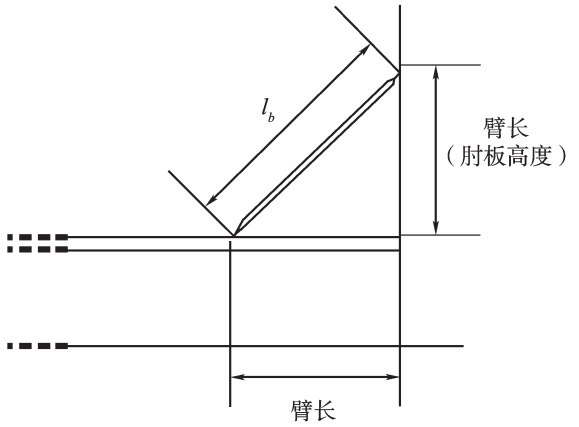


图14　肘板尺寸

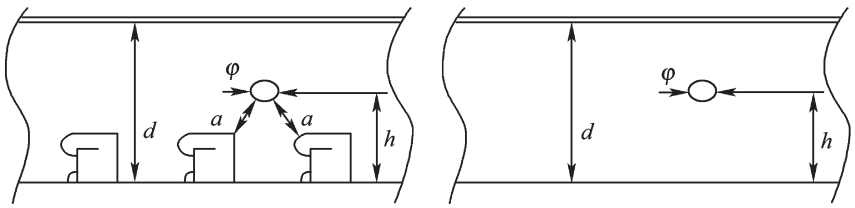
5.7　切口与孔

5.7.1　普通扶强材穿过的切口应减至最少，并应有良好的圆形，且边缘平滑。

切口的深度应不大于主要支撑构件的深度的 50%。

5.7.2　当开口，如减轻孔，开设在主要支撑构件上时，则应与面板和开口角隅等距离，且高度一般应不大于腹板高度的 20%。如采用自由边减轻孔，一般减轻孔的尺寸和位置，按图 15 所示。

当减轻孔开在肘板上时，自减轻孔的周边至肘板的自由折边的距离应不小于减轻孔的直径。



$\varphi \leqslant d/4, h \leqslant d/2, a \geqslant \varphi$　　$\varphi \leqslant d/3, h \leqslant d/2$

无领板

图15　减轻孔的位置和尺寸

5.7.3　开口不得设置在端肘板的趾端。

5.7.4　在主要支撑构件的跨距中部的 0.5 倍跨距范围内，开口的长度应不大于相邻开口间的距离。在跨距两端，开口的长度应不大于相邻开口间的距离的 25%。

5.7.5　在主要支撑构件腹板上，具有大开口的情况下（如双层底内设管隧），应考虑主要支撑构件上的次应力，开口应予以加强。

主要支撑构件的等效净剪切面积可按下式计算：

$$A_{sh}=\frac{A_{sh1}}{1+\dfrac{0.0032l^2A_{sh1}}{I_1}}+\frac{A_{sh2}}{1+\dfrac{0.0032l^2A_{sh2}}{I_2}}$$

式中（见图 16）：I_1，I_2——分别为高腹板（1）和（2）的平行于板中和轴的连带板净剖面惯性矩，cm^4；

A_{sh1}，A_{sh2}——分别为高腹板（1）和（2）的净剪切面积，腹板高度应计入普通扶强材穿过开口高度的减少，cm^2；

l——高腹板（1）和（2）的跨距，cm。

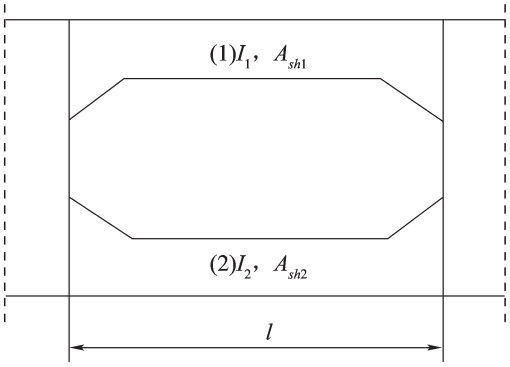


图16 主要支撑构件腹板上的大开口

6 双层底

6.1 一般要求

6.1.1 双层底延伸

参照 SOLAS 公约第 II-1 章，B 部分，12-1 条

双层底的设置应从防撞舱壁延伸至尾尖舱舱壁。

6.1.2 骨架系统

船长大于 120m 的船舶，至少在货舱区域内，其船底、双层底和底边舱斜舱壁应布置为纵骨架式。肋板和船底桁材的间距不仅受制于肋骨间距，而且绝对值的要求，m，还应符合 [6.3.3] 和 [6.4.1] 的规定。

6.1.3 双层底高度

除另有规定外，双层底的高度应不小于 B/20 或 2m，取较小值。

在双层底的高度发生变化处，此变化一般应逐渐地并在足够的长度内进行；内底板的折角应位于实肋板处。

如不能位于实肋板处，则在越过折角处应适当布置纵向结构，如局部纵桁、纵向肘板等。

6.1.4 双层底尺寸

双层底的宽度按图 17 所示取得。

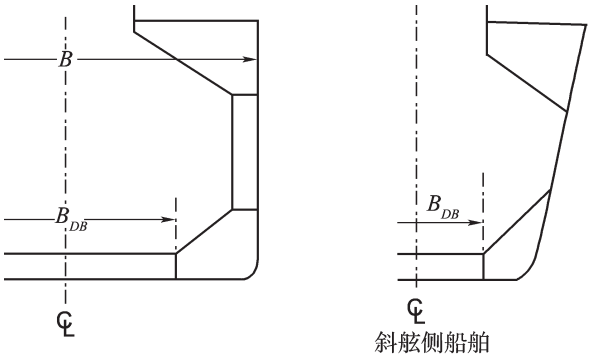


图17 双层底的宽度

6.1.5 进坞

船底应有足够的强度承受船舶进坞产生的载荷。当在实肋板之间设置坐坞肘板并与中桁材和船底外板连接时，坐坞肘板应连接至相邻船底纵骨。

6.1.6 强度连续性

在纵骨架式改变为横骨架式处，应通过设置附加桁材或肋板，对强度的连续性予以特别注意。如该变化发生在中部 0.6*L* 范围内，则一般应用斜板保持内底的连续。

船底和内底的纵向普通扶强材一般应连续穿过肋板。

如设有底边舱斜舱壁的下列板，其实际净厚度和屈服应力应不小于与其连接的内底板的实际净厚度和屈服应力。

6.1.7　加强

船底应在预期存在集中载荷的部位进行局部加强，如主机和推力轴承座下。

在各支柱轴线、舱壁扶强材的端肘板的趾端、以及舱壁底凳斜板下，应设置桁材和肋板。如不设桁材和肋板，则应另增主要支撑构件或支撑肘板，以适当加强。

如设置固体压载，其位置应安全地予以固定，为此，在必要时可使用中间肋板。

6.1.8　人孔和减轻孔

通常，在肋板和桁材上应设置人孔和减轻孔，以确保可达性和通风。

液舱顶部的人孔的数量应在确保自由通风和可进入双层底所有部分的情况下减至最少。

6.1.9　透气孔和泄水孔

在肋板和桁材上，应设置透气孔和泄水孔。

透气孔应尽可能地开在内底板附近，泄水孔则应尽可能地靠近船底板。

透气孔和泄水孔应设计为有助于装满压载水和清除沉淀物，以有效更换压载水。

6.1.10　液舱顶部排水

应设置有效装置将水从液舱顶部排出。如设置阱来排水，则阱的深度应不超过双层底的高度的一半。

6.1.11　防撞垫板

应在测深管下设置具有足够厚度的防撞垫板或进行其他等效布置，以防止测深锤损坏船底板。

6.1.12　箱形龙骨

如设置箱形龙骨，则中桁材一般可用两根间距不大于 3m 的桁材来代替。

肋板处的结构应确保肋板的足够连续性。

6.2　龙骨

6.2.1　龙骨的宽度应不小于下列公式所得之值，m：

$$b = 0.8 + L/200$$

6.3　桁材

6.3.1　中桁材

中桁材在货舱区域应保持延伸，从船首至船尾应尽可能保持延伸，其结构连续性应在船舶的全长范围内连续。

如双层底舱室用来装载燃油、淡水或压载水，中桁材应为水密，但如端部处的狭窄液舱或当在自中心线至 0.25*B* 范围内设置了其他水密桁材等的情况除外。

6.3.2　旁桁材

旁桁材在货舱区域的平行舯体范围内应保持延伸，在货舱区域的首端至尾端应尽可能保持延伸。

6.3.3　间距

相邻桁材的间距，m，一般应不小于 4.6m 或船底或内底普通扶强材的间距的 5 倍，取较小者。

依据按第 7 章的要求进行分析的结果，可以接受较大的间距。

6.4　肋板

6.4.1　间距

肋板的间距，m，一般应不大于 3.5m 或 4 个按设计者指定的肋距，取较小者。依据按第 7 章的要求进行分析的结果，可以接受较大的间距。

6.4.2 横舱壁处的肋板

当横舱壁下设置底凳时，底凳的两面侧板同一平面之下应设置实肋板。当横舱壁下不设置底凳时，垂直槽形横舱壁两面翼板同一平面之下或平面横舱壁同一平面之下应设置实肋板。

6.4.3 腹板加强筋

在纵向普通扶强材处的肋板上应设置腹板加强筋。当不设腹板加强筋时，应对开口和纵向扶强材的连接作疲劳强度评估。

6.5 舭列板和舭龙骨

6.5.1 舭列板

如舭部省去设置纵向扶强材，则应尽量在靠近舭弯曲部设置纵向扶强材。

6.5.2 舭龙骨

舭龙骨不得直接与船体外板焊接。在船体外板上需设置中间扁钢。舭龙骨端部应按图 18 所示削斜或大半径圆弧形过渡。舭龙骨端部应位于船体外板内侧的横向舭部扶强材处。中间扁钢的端部不得位于分段的接缝处。

舭龙骨和中间扁钢应使用具有与舭列板相同屈服应力钢制成。长度大于 0.15L 的舭龙骨应使用与舭列板相同钢级的钢材制造。

中间扁钢的净厚度应与舭列板的净厚度相等。但该厚度一般可不大于 15mm。

舭龙骨上应避免扇形孔。

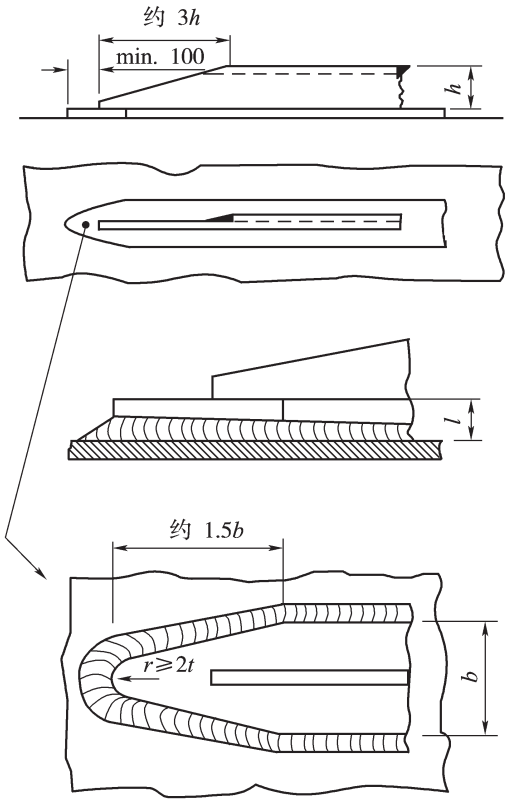


图18 舭龙骨布置示例

7 双舷侧结构

7.1 适用范围

7.1.1 本条要求适用于纵骨架式或横骨架式舷侧结构。

横骨架式舷侧结构由用水平桁材支撑的横向肋骨组成。

纵骨架式舷侧结构由用垂向主要支撑构件支撑的纵向普通扶强材组成。

底边舱和顶边舱范围内的舷侧结构一般应为纵骨架式。如分别按［6.1.2］和［9.1.1］的要求接受横骨架式双层底和甲板，则该舷侧结构可为横骨架式。

7.2　设计原则

7.2.1　当双舷侧舱室作为空舱时，舱室边界的构件应根据第 6 章按压载水舱进行结构设计。在这种情况下，相应空气管应考虑在舷侧处干舷甲板以上延伸 0.76m。

对于腐蚀增加量，此舱室仍然作为空舱考虑。

7.3　结构布置

7.3.1　一般要求

双舷侧结构应通过在双层壳体范围内设置强肋骨和舷侧纵桁进行全面加强。

内舷侧结构，包括纵桁，在货舱区域内应确保连续，并延续至货舱区域外。可以允许采用嵌接肘板的方法。

7.3.2　主要支撑构件间距

对横骨架式，舷侧横向主要支撑构件的间距一般应不大于 3 个肋距。

依据按第 7 章的要求对货舱内的主要支撑构件进行分析的结果，可以接受较大间距。

双舷侧的水平主要支撑构件间的垂直距离应不超过 6m。除非设置了符合安全通道要求的适当构件。

7.3.3　主要支撑构件装配

舷侧横向主要支撑构件应与顶边舱和底边舱内的强肋骨设置在同一直线上。然而，若舷侧强肋骨顶部不能实行时，则在顶边舱内，与双舷侧强肋骨同一直线上，应设置大肘板。

双舷侧内的横舱壁应与货舱横舱壁设置在同一平面上。

垂直主要支撑构件应设置在舱口端横梁处。

除另有规定外，水平舷侧纵桁应设置在防撞舱壁后至首端以后 0.2L 范围内，并应与首尖舱桁材在同一直线上。

7.3.4　横向普通扶强材

舷侧外板和内舷侧的横向普通扶强材应在双舷侧高度范围内连续或设置肘板端部连接。横向普通扶强材应与纵桁有效连接。在上下两端处，舷侧外板和内舷侧横向普通扶强材及支撑的水平桁应用肘板连接。

7.3.5　纵向普通扶强材

舷侧外板和内舷侧纵向普通扶强材，如设有，应在货舱区域的平行中体范围内连续，并应在与货舱舱壁在同一平面内的横舱壁处设置肘板。舷侧外板和内舷侧纵向普通扶强材应与双舷侧结构的横向强框架腹板有效地连接。对于货舱区域平行中体以外的舷侧纵骨和内壳普通扶强材，应特别注意结构的连续性。

7.3.6　舷顶列板

舷顶列板的宽度应不小于下列式中所得之值，m：

$$b = 0.715 + 0.425\,L/100$$

舷顶列板既可与甲板边板焊接又可成圆弧形。

如成圆形，则其半径，mm，应不小于 $17t_s$，t_s 为舷顶列板的净厚度，mm。

舷顶列板与甲板板的填角焊缝既可是全熔透焊也可是深熔透焊。

经焊接的舷顶列板的上缘应为圆形且无缺口。舷墙、眼板等附件不得直接焊接在舷顶列板的上缘，但首部和尾部除外。

圆形舷顶列板的纵向焊缝应位于距离不小于舷顶列板的最大净厚度的 5 倍处的弯曲区域之外。

上层建筑布置在船舶端部时，从圆形舷顶列板到角形舷顶列板的过渡应设计周密，以避免任何不

连续性。

7.3.7　板材连接

应注意船体内壳板和内底板连接部位处的结构布置，以不致造成应力的集中。

内舷侧板的折角应通过与折角在同一平面内的普通扶强材或其他等效的方法适当加强。

底边舱板与内船体及与内底的连接应以主要支撑构件支撑。

7.4　纵骨架式双舷侧结构

7.4.1　一般要求

在双舷侧宽度变化或终断处，应确保强度的足够连续性。

7.5　横骨架式双舷侧结构

7.5.1　一般要求

舷侧和内舷侧的横框架可用中间撑柱连接。中间撑柱一般应用垂直肘板与横框架连接。

8　单舷侧结构

8.1　适用范围

8.1.1　本条适用于横骨架式单舷侧结构。

如单舷侧结构由横向或纵向主要支撑构件支撑，则上述［7］中有关双舷侧内的这些主要支撑构件的要求也适用于这些主要支撑构件。

8.2　总体布置

8.2.1　每个肋位上均应设置肋骨。如果空气管经过货舱，则应采用合适的措施对其进行保护，以避免机械损伤。

8.3　肋骨

8.3.1　一般要求

肋骨应采用具有整体式上和下肘板的对称横剖面结构，并应设有软趾。

肋骨的翼板在端肘板连接处应成圆弧形（不是折角形）。圆弧半径应不小于下列式中给出的 r，mm：

$$r=\frac{0.4b_f^2}{t_f+t_C}$$

式中：t_C——第 3 章第 3 节中所规定的腐蚀增量；

b_f 和 t_f——圆弧形翼板的宽度和净厚度，mm。翼板的端部应削斜。

船长小于 190m 的船舶，低碳钢肋骨可为非对称的，并设置独立肘板。肘板的面板或翼板的两端应削斜。肘板应设有软趾。

肋骨的尺寸在图 19 中说明。

8.4　上肘板和下肘板

8.4.1

肘板的面板或翼板应在两端削斜。

肘板应设有软趾。

肘板的建造厚度应不小于与其连接的肋骨腹板的建造厚度。

8.4.2　上和下肘板的尺寸（尤其是高度和长度）应不小于图 20 中所示的尺寸。

8.5　防倾肘板

8.5.1　位于最前面的货舱内和 BC-A 船舶的货舱内的非对称剖面肋骨应在每 2 个肋位处设置防倾肘板，见图 21 所示。

防倾肘板的建造厚度应不小于与其连接的肋骨腹板的建造厚度。

防倾肘板与舷侧肋骨和外板的连接应采用双面连续焊。

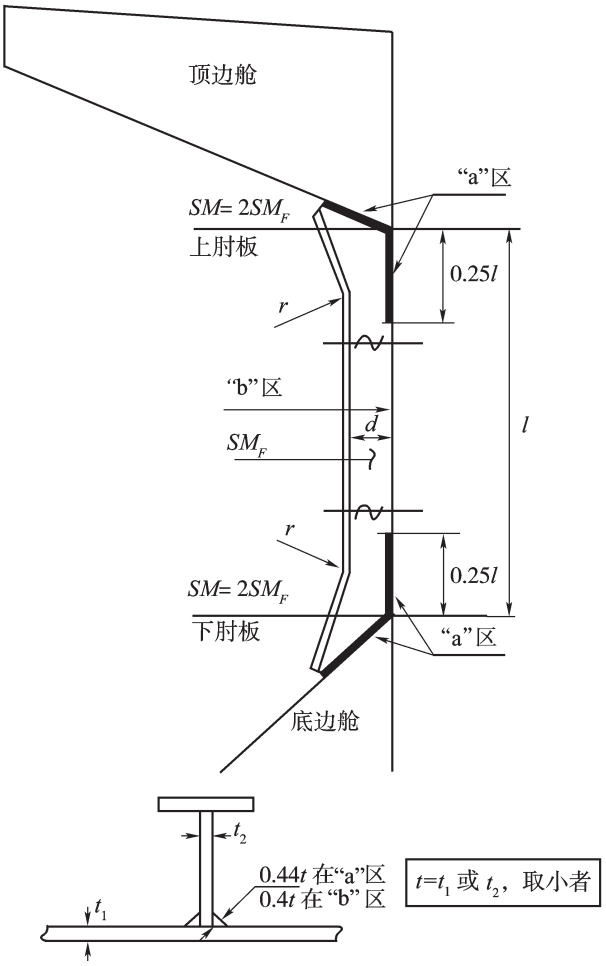


图19　肋骨尺寸

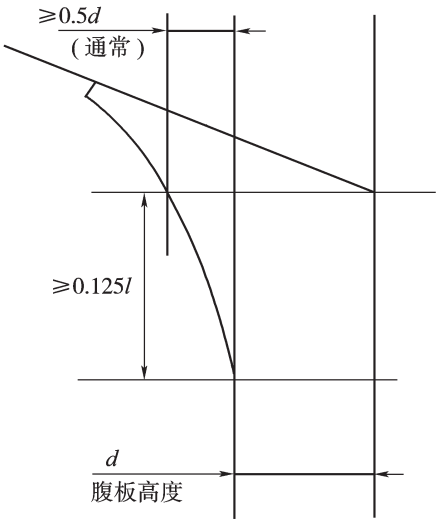


图20　上肘板和下肘板尺寸

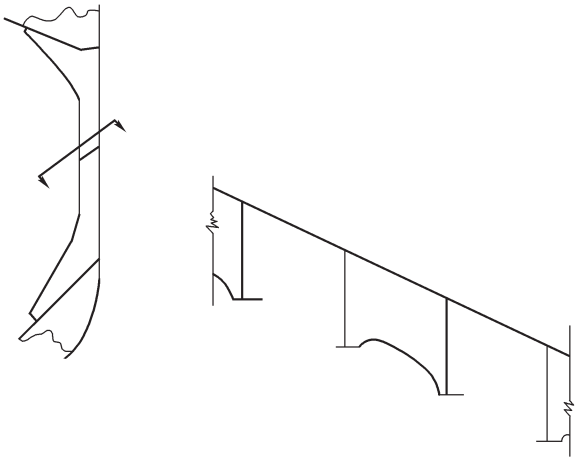


图21　设置在最前面货舱内的防倾肘板

8.6　支撑结构

8.6.1　应确保在底边舱和顶边舱范围内，按图 22 所示连接肘板的肋骨的上下端部连接结构的连续性。为防止屈曲，肘板应按［5.6.2］中的要求进行加强。

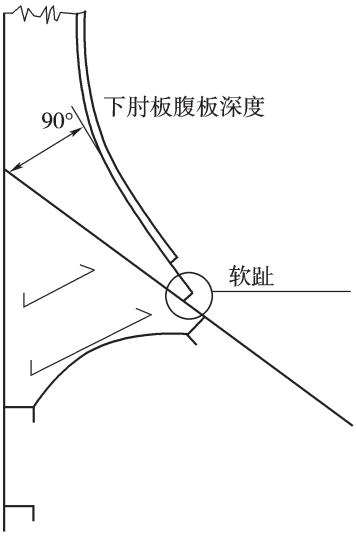


图22 下端支撑结构示例

9 甲板结构

9.1 适用范围

9.1.1 舱口线以外的甲板和顶边舱斜板应为纵骨架式。舱口线以内，倘若确保足够的结构连续性，可考虑相应纵骨架式以外的其他结构布置。

9.2 总体布置

9.2.1 顶边舱内强框架的间距应不大于 6 个肋距。

依据按第 7 章要求进行的分析的结果，船级社可以接受较大间距。

9.2.2 甲板支撑结构应由纵向或横向布置的并由主要支撑构件支撑的普通扶强材构成。

9.2.3 舱口间甲板

在开口线内，横向甲板一般采用横骨架式结构。横梁应用桁材适当支撑，并从舱口纵桁向舷墙方向延伸至第二根纵骨。如不能实行时，则应在舱口纵桁和第二根纵骨间设置间断扶强材。

应采用中间厚度的板，以保证舷侧处的强力甲板与舱口间的甲板平顺连接。

9.2.4 顶边舱结构

顶边舱结构应尽量在机舱范围内延伸，并应适当逐渐过渡。

当在顶边舱强框架平面之外设置双舷侧主要支撑构件时，在其对应直线处应设置大肘板。

9.2.5 甲板边板

甲板边板的宽度应不小于下列式中所得之值，m：

$$b = 0.35 + 0.5L/100$$

如采用圆形甲板边板，其半径应符合［7.3.6］的要求。

9.2.6 下列部位应通过适当的交错结构和适当嵌接件，以保证强度具有足够连续性：

- 有阶梯的强力甲板
- 骨架系统变化处

9.2.7 在甲板机械、起重机、起重柱和设备，如拖航设备、系泊设备等下的甲板支撑结构应予适当加强。

9.2.8 在重集中载荷处的下面，一般应设置支柱或其他支撑结构。

9.2.9 在甲板室和局部上层建筑的端部及角隅处，应考虑适当的加强布置。

9.2.10 舱口端横梁与甲板结构的连接

舱口端横梁与甲板结构的连接应通过在顶边舱内设置附加强肋骨或肘板予以适当保证。

9.2.11　甲板板结构

舱口或甲板上的其他开口，应有良好的圆形的角隅，并应予以适当补偿。

9.3　纵骨架式甲板

9.3.1　一般要求

除舱口开口线以内，货舱区域平行舯体范围内的甲板纵骨应在甲板强横梁和横舱壁处保持连续。对于货舱区域平行舯体以外的甲板纵骨，如果纵向强度的连续性得到足够保证，则可考虑其他布置。

纵向扶强材的端部连接应确保具有足够的弯曲和剪切强度。

9.4　横骨架式甲板

9.4.1　一般要求

当甲板结构采用横骨架式时，应在每档肋位处设置甲板横梁或横向扶强材。

横梁或甲板横向扶强材应用肘板与舷侧结构或肋骨连接。

9.5　舱口支撑结构

9.5.1　货舱开口处应设置加强尺寸的舱口纵桁和舱口端横梁。

9.5.2　应确保舱口端横梁与强框架的连接。舱口端横梁应与顶边舱横向强框架对齐。

9.5.3　纵向舱口围板应通过甲板下纵桁确保足够的强度连续性，以消除开口的影响。

在舱口角隅处，舱口围板位置处甲板下纵桁或其延伸部分与舱口端横梁应有效连接，以保证强度的连续性。

9.5.4　对于货舱设计为使用抓斗装 / 卸货和有 GRAB[X] 附加船级标志的船舶，为防止货舱开口处的钢丝绳划槽，应在舱口纵桁（即顶边舱板上部）/ 货舱内的舱口端横梁上以及舱口围板的上部设置防护装置（如半圆钢）。

9.6　强力甲板上的开口

9.6.1　一般要求

强力甲板上的开口应减至最少，并应尽可能地相互分开和远离有效上层建筑的间断处。开口应尽量远离舱口角隅、舱口围板侧板和舷侧外板处。

9.6.2　小开口位置

开口一般应开设在如图 23 所示的阴影部分外，定义为：

- 圆形舷顶列板，如设有，或舷侧外板的弯曲区域。
- $e = 0.25(B - b)$，距货舱开口边缘。
- $c = 0.07l + 0.1b$ 或 $0.25b$，取较大者。

式中：b——所考虑的舱口的宽度，m，横向量取（见图 23）；

l——两连续舱口间的横向甲板条在所考虑的角隅的宽度，m，纵向量取（见图 23）。

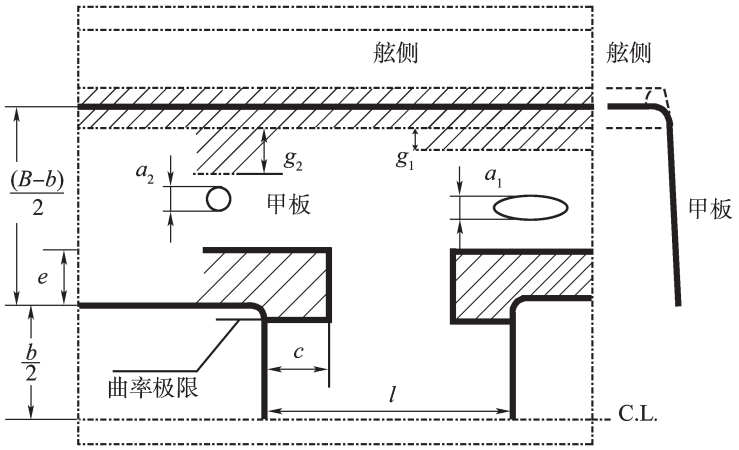


图23　强力甲板上的开口位置

此外，在这些范围和开孔间或连同开孔间的横向距离应不小于下列各项：

- 在上述范围和开孔间的或图 23 所示舱口和开孔间的横向距离

(1) $g_2 = 2a_2$ 对圆形开口

(2) $g_1 = a_1$ 对椭圆形开口

- 在如图 24 所示的开口间的横向距离

(3) $2(a_1 + a_2)$ 对圆形开口

(4) $1.5(a_1 + a_2)$ 对椭圆形开口

式中：a_1——椭圆形开口的横向尺寸，或圆形开口的直径，视情况而定；

a_2——椭圆形开口的横向尺寸，或圆形开口的直径，视情况而定；

a_3——椭圆形开口的纵向尺寸，或圆形开口的直径，视情况而定。

- 在开孔间的纵向距离应不小于下列各项：

(5) $(a_1 + a_3)$ 对圆形开口

(6) $0.75(a_1 + a_3)$ 对椭圆形开口和对与圆形开口在同一平面上的椭圆形开口

如开口布置不符合这些要求，依据第 5 章进行的总纵强度评估，应考虑减去这些开口的面积。

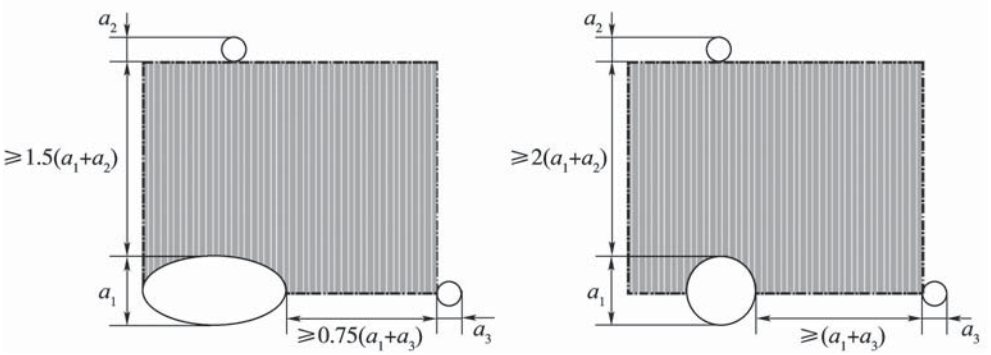


图24　强力甲板上的椭圆形和圆形开口

9. 6. 3　舱口角隅

对位于货舱区域内的舱口，一般应在开口呈圆形的角隅处，设置按以下所给的公式所确定厚度的嵌接板。当连续甲板纵桁设置在舱口围板下面时，圆形角隅的半径应不小于舱口宽度的 5%。对于船长 L 为 150m 及以上的船舶，角隅半径、嵌入板的厚度及范围可以通过第 7 章第 2、3 节的直接计算强度评估，包括屈曲分析的结果以及第 8 章第 5 节的舱口角隅疲劳强度评估的结果来确定。

如横向布置两个或以上的舱口，则角隅半径由船级社基于具体情况另行考虑。

对位于货舱区域内的舱口，对于开口呈椭圆形或抛物线和半轴椭圆形的角隅处，一般不要求设嵌接板，抛物线拱的一半长度不小于：

- 舱口宽度的 1/20 或 600mm，取较小值，横向
- 横向尺寸的两倍，船长方向

如需嵌接板，其净厚度，mm，从下列式中得到：

$$t_{INS} = (0.8 + 0.4l/b) \cdot t$$

取不小于 t 或大于 $1.6t$。

式中：l——两连续舱口间横向甲板条在所考虑的角隅处的宽度，m，沿纵向量取（见图 23）；

b——所考虑的舱口宽度，m，沿横向量取（见图 23）；

t——舱口边的甲板的实际净厚度，mm。

对端部舱口的末端角隅，嵌接板的厚度应大于相邻甲板的实际厚度的 60%。当计算表明舱口角隅

处的应力小于许用值时，船级社可接受较小的厚度。

如需设置嵌接板，其布置如图 25 所示，其中 d_1，d_2，d_3 和 d_4 应大于普通扶强材间距。

对位于货舱区域之外的舱口，可由船级社基于具体情况，考虑将角隅处嵌接板的厚度减薄。

CCS9.6.3　舱口角隅

对位于货舱区域内的舱口，一般应在开口呈圆形的角隅处，设置按以下所给的公式所确定厚度的嵌接板。当连续甲板纵桁设置在舱口围板下面时，圆形角隅的半径应不小于舱口宽度的 5%。

如横向布置两个或以上的舱口，则舱口角隅设计一般以直接计算法验证。

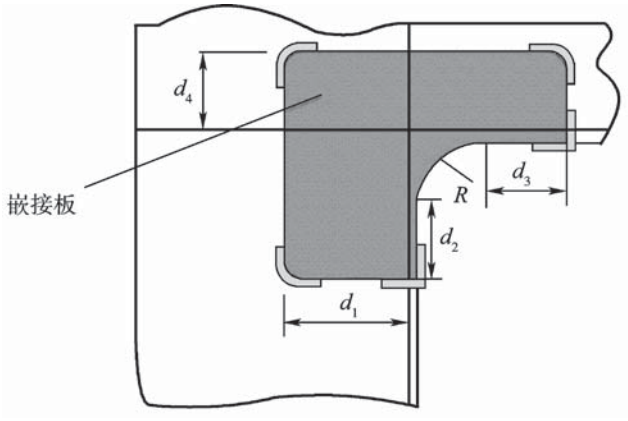


图25　舱口角隅嵌接板

10　舱壁结构

10.1　适用范围

10.1.1　本节要求适用于平面或槽形的纵舱壁和横舱壁结构。

10.1.2　平面舱壁

平面舱壁可以由水平或垂直扶强材扶强。

水平骨架式的舱壁以垂直主要支撑构件支撑的水平普通扶强材构成。

垂直骨架式的舱壁以水平桁材支撑的垂直普通扶强材构成。

10.2　一般要求

10.2.1　舱壁垂直主要支撑构件的腹板高度从底部至甲板可逐渐减小。

10.2.2　尾管处的尾尖舱舱壁板的净厚度比尾尖舱舱壁板的其余部分增加至少 60%。

10.3　平面舱壁

10.3.1　一般要求

如舱壁不向上延伸至最上层连续甲板，则应在舱壁延伸部分内进行适当加强。

舱壁应在甲板纵桁处予以扶强。

底边舱和顶边舱水密舱壁的扶强材的腹板应与船体内壳斜板的纵向扶强材的腹板对齐。

在纵舱壁的任何垂直折角处，均应设有主要支撑构件。折角与主要支撑构件间的距离应不大于 70mm。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。

与横舱壁同一平面处的双层底内应设置实肋板。

10.3.2　普通扶强材端部连接

普通扶强材穿过水密舱壁的相交处应为水密。

一般情况下，普通扶强材的端部应以肘板连接。如因船体型线等原因不能用肘板进行端部连接时，应终断于相邻纵骨之间的横向局部构件，或如不可能，可以接受削斜端部，但普通扶强材和相应板的尺寸应作相应的修正。

10.3.3　普通扶强材削斜端部

在承受静水压力的舱壁上不允许有削斜端部。如设置削斜的普通扶强材，则削斜角应不大于 30°，并且端部应尽可能延伸至舱壁边界。

10.3.4 普通扶强材的肘板

如普通扶强材以肘板连接，则普通扶强材的端肘板的臂长（如图 26 和图 27 所示）应不小于下列之值，mm：

- 对臂长 a：
  - 水平扶强材的肘板和垂直扶强材的底部肘板：

$$a = 100l$$

  - 垂直扶强材的上肘板：

$$a = 80l$$

- 对臂长 b，取其中较大值：

$$b = 80\{(w + 20)/t\}^{0.5} \text{ 和}$$

$$b = \alpha psl/t$$

式中：l——跨距，扶强材支点之间量取，m；

w——扶强材的净剖面模数，cm^3；

t——肘板的净厚度，mm；

p——跨距中点处计算的设计压力，kN/m^2；

α——系数，等于：

$\alpha = 4.9$ 对液舱舱壁

$\alpha = 3.6$ 对水密舱壁

扶强材与肘板的连接应使连接部分的净剖面模数不小于扶强材的净剖面模数。

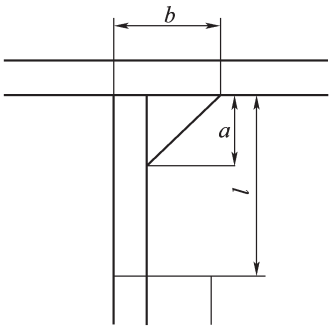


图26 平面舱壁上普通扶强材上端肘板

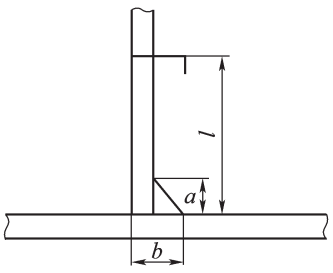


图27 平面舱壁上普通扶强材下端肘板

10.4 槽形舱壁

10.4.1 一般要求

对于船长为 190m 及以上的船舶，横向垂直槽形水密舱壁应设底凳，一般在甲板下设顶凳。对船长小于 190m 的船舶，槽形舱壁可以从内底一直延伸到甲板，对于 150m 及以上的船舶，应提供根据本规范第 7 章关于直接计算的要求满足总体强度的证据。

10.4.2 构造

槽形舱壁的主要尺寸 a，R，c，d，t，φ 及 s_C 见图 28 中的规定。

弯曲半径应不小于下列所得之值，mm：

$$R = 3.0t$$

式中：t——槽形板的建造厚度，mm。

图 28 中示的槽形角 φ 不小于 55°。

如焊缝在平行于弯曲轴线方向的弯曲区域内，其焊接工艺应提交船级社认可。

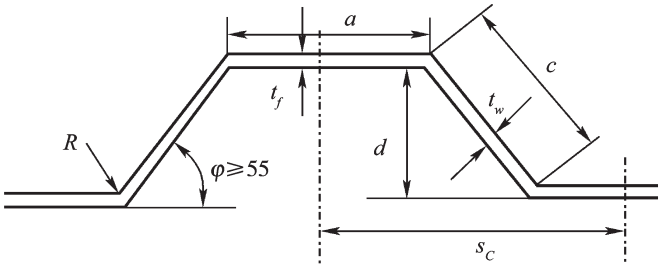


图28　槽形舱壁的尺寸

10. 4. 3　槽条的实际剖面模数

槽条的净剖面模数应从下列式中得到，cm^3：

$$w = \left[\frac{d\left(3at_f + ct_w\right)}{6}\right]10^{-3}$$

式中：t_f,t_w——槽条板的净厚度，mm，图 28 所示；

d, a, c——槽条的尺寸，mm，图 28 所示。

当不能确保舱壁端部处的腹板的连续性时，槽条的净剖面模数应从下列式中得到，cm^3：

$$w = 0.5\ at_f d \cdot 10^{-3}$$

10. 4. 4　槽条跨距

槽条的跨距 l_C 应取为图 29 所示的距离。

就 l_C 的定义而言，在中纵剖面处，甲板至顶凳内端的距离，取不大于：

——3 倍槽深，对一般情况

——2 倍槽深，对矩形顶凳

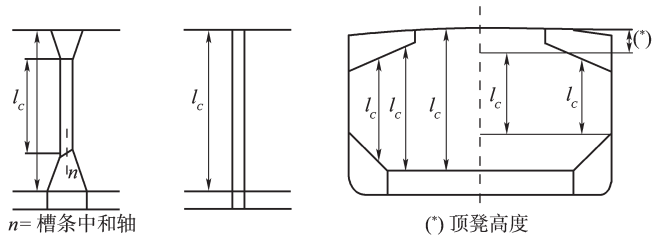


图29　槽条跨距

10. 4. 5　结构布置

槽形舱壁应确保在槽条端部的强度连续性。

如槽形舱壁在主要支撑构件处切断，则应注意确保在主要支撑构件每一侧的槽条正确对中。

如果垂直槽形横舱壁或纵舱壁焊接在内底板上，应分别在槽条翼板处设置实肋板或桁材。

一般情况下，与边界结构连接的第 1 个垂直槽形的宽度不小于槽形翼板的典型宽度。

10. 4. 6　舱壁凳式结构

位于双层底纵桁或实肋板处的底凳内应设置隔板或强框架，视具体情况而定。

应设置肘板或深腹板将顶凳与甲板强横梁或舱口端横梁连接，视具体情况而定。

10. 4. 7　底凳结构

如果设底凳，其高度一般不小于槽形深度的 3 倍。

底凳边板的垂直扶强材的两端应通过肘板与凳的上下端连接。

底凳顶板的边缘到槽形翼板平面部分表面的距离 d 应按照图 30 中所示。

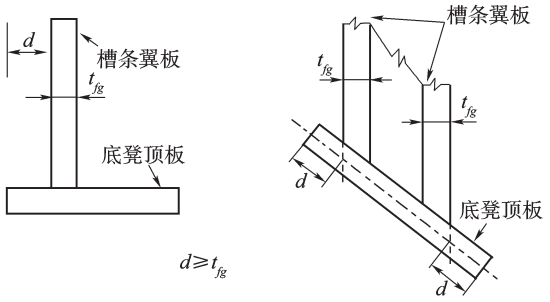


图30 底凳顶板边缘到槽形翼板平面表面的许用距离d

底凳底部应与双层底肋板或纵桁安装在同一条直线上，视情况而定，底部宽度不小于槽形平均深度的 2. 5 倍。

为了有效的支撑槽形舱壁，底凳内应设隔板，隔板与双层底纵桁或肋板安装在同一条直线上，视情况而定。

与底凳顶板连接的肘板和隔板应避免有扇形孔。

如果槽条在底凳处中断，槽形舱壁板应通过全熔透焊接与底凳顶板连接。凳侧板应通过全熔透焊接或深熔焊接与凳顶板和内底板连接。支撑实肋板应通过全熔透焊接或深熔焊接与内底板连接。

10. 4. 8 顶凳结构

如果设顶凳，其高度一般应取为槽形深度 2 ～ 3 倍。矩形顶凳的高度一般应是槽形深度的 2 倍，在舱口边纵桁处由甲板平面向下量取。

顶凳应由相邻的舱口端横梁之间的甲板纵桁或大肘板支撑。

顶凳底板的宽度一般应与底凳顶板的宽度相等。非矩形顶凳的顶部的宽度应不小于槽形深度的2倍。

顶凳边板的垂直扶强材的端部与顶凳顶端和底端应用肘板连接。

顶凳内设置隔板，它与延伸到舱口端围板桁材或甲板横向主要支撑构件的甲板纵桁有效地安装在同一条直线上，视情况而定，以有效地支撑槽形舱壁。

与顶凳底板相连接的肘板和隔板上应避免有扇形孔。

10. 4. 9 对中

如果不设顶凳，在甲板下应设有两强横梁或纵向加强横梁，视情况而定，它们与槽形翼板应安装在同一条直线上。

如果不设底凳，在底部，槽形翼板与支撑肋板或纵桁应安装在同一条直线上。

槽形与支撑肋板或纵桁一般应通过全熔透焊接与内底板相连接。

内底纵骨穿过该处双层底肋板处的切口应用领板封住。支撑肋板或纵桁间应用抗剪板互相连接。

凳边板应与槽形翼板对中。底凳内边板垂直扶强材和肘板应与内底结构（纵骨或类似构件）对齐，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。

10. 4. 10 受压翼板的有效宽度

考虑舱壁强度校核的槽形翼板受压后的有效宽度，m，应从下列公式中得到：

$$b_{ef} = C_E a$$

式中：C_E ——系数，取为：

$$C_E = \frac{2.25}{\beta} - \frac{1.25}{\beta^2} \qquad \text{对 } \beta > 1.25$$

$$C_E = 1.0 \qquad \text{对 } \beta \leqslant 1.25$$

β——系数，取为：

$$\beta = 10^3 \frac{a}{t_f}\sqrt{\frac{R_{eH}}{E}}$$

a——槽形翼板的宽度，m（见图 28）；

t_f——翼板净厚度，mm。

10.4.11　有效卸货板

有效卸货板应：

- 无折角；
- 按第 11 章的要求与槽条和底凳顶板焊接；
- 安装的最小倾斜角为 45°，且其下边缘与底凳边板对齐；
- 厚度不小于槽形平面部分厚度的 75%；
- 至少与槽形翼板具有相同的材料特性。

10.4.12　有效封槽板

有效封槽板应：

- 与满足［10.4.11］中厚度、材料特性和焊接要求的卸货板组合；
- 高度不小于翼板宽度的一半；
- 与底凳边板安装在同一直线；
- 按第 11 章的要求与底凳顶板、槽条和卸货板焊接；
- 至少与翼板具有相同的厚度和材料特性。

10.4.13　（空）

10.4.14　（空）

10.4.15　（空）

10.5　非密性舱壁

10.5.1　不作支柱的非密性舱壁

不用作支柱的非密性舱壁应设置舱壁扶强材，扶强材的最大间距等于：

- 0.9m，对横舱壁；
- 2 个肋骨间距，最大 1.5m，对纵舱壁。

舱壁扶强材的深度不小于 1/12 的扶强材长度。舱壁扶强材的净厚度不小于所考虑舱壁板要求的最小厚度。

10.5.2　作支柱的非密性舱壁

用作支柱的非密性舱壁应设置舱壁扶强材，扶强材的最大间距等于：

- 2 个肋骨间距，当肋骨间距不超过 0.75m 时；
- 1 个肋骨间距，当肋骨间距大于 0.75m 时。

每 1 根垂直扶强材，带板宽度等于板净厚度的 35 倍或 1/12 的扶强材长度，取较小者，应符合第 6 章第 2 节中关于支撑载荷的适用要求。

如非密性舱壁支撑纵骨架式甲板，则应在甲板强横梁处设置垂直桁材。

10.6　围壁通道和隧道的水密舱壁

10.6.1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章，B 部分，19.1 条

水密围壁通道、隧道、箱形龙骨及通风管道，均应与相应高度的水密舱壁具有同等强度。其水密方法及关闭其开口的装置，均应使船级社满意。

11 支柱

11.1 一般要求

11.1.1 支柱应尽可能地安装在同一垂线上。如不可能，应采取有效的措施将载荷传递到其下面的支撑上。

11.1.2 支柱应与双层底桁材成一直线或尽实际可能与其靠近，支柱上面和下面的结构应有足够强度来有效分担载荷。若与内底相连的支柱不是位于肋板和桁材的相交处，应布置适当支撑支柱的局部肋板或桁材或等效结构。

11.1.3 设在液舱内的支柱应为实心或开口截面式。在拟装载的成品可能产生爆炸性气体的处所内，支柱应为开口截面式。

11.1.4 连接

必要时，支柱的顶端和底端应用厚复板和肘板加以固定。如支柱很可能承受拉伸载荷，如液舱内的支柱，则支柱的顶端和底端应予有效地固定，以使其能承受拉伸载荷，并用嵌接板代替复板。

一般情况下，复板的净厚度应不小于支柱的净厚度的1.5倍。

支柱在其顶端和底端的连接应用连续焊。

第 4 章　设 计 载 荷

第 1 节　通　　则

1　一般要求

1.1

1.1.1　等效设计波方法（EDW）用于设定设计载荷，包括在静水中和波浪中的船体梁载荷以及与板垂直的侧向载荷。

1.1.2　外部静水压力及货物和压载引起的内部静压力视为静水中的侧向载荷。外部水动压力以及货物和压载引起的内部惯性压力视为波浪中的侧向载荷。

1.1.3　垂向静水剪力和弯矩、波浪引起的垂向剪力和弯矩以及波浪引起的水平弯矩视为船体梁载荷。

1.1.4　波浪中侧向载荷和船体梁载荷引起的应力应使用对每一等效设计波确定的载荷组合因子组合起来。

第 2 节　船舶运动和加速度

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

a_0：加速度参数，取：

$$a_0 = f_p(1.58 - 0.47C_B)\left(\frac{2.4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} - \frac{600}{L^2}\right)$$

T_R：横摇周期，s，定义见 [2.1.1]。

θ：横摇单幅值，（°），定义见 [2.1.1]。

T_P：纵摇周期，s，定义见 [2.2.1]。

Φ：纵摇单幅值，度，定义见 [2.2.1]。

f_p：与概率水平对应的系数，取：

$f_p = 1.0$，对应 10^{-8} 概率水平的强度评估

$f_p = 0.5$，对应 10^{-4} 概率水平的强度评估

1　一般要求

1.1

1.1.1　假定船舶运动和加速度具有周期性。本节的公式所定义的运动幅值为峰值至谷值幅度的一半。

1.1.2　作为本节公式的替代，当根据船舶特征和预定用途予以证明后，船级社可接受从直接计算或模型试验得到的船舶运动和加速度值。通常，所要确定的船舶运动和加速度值为 10^{-8} 或 10^{-4} 概率水平的数值。在任何情况下，模型试验或计算（包括海浪散布图和波浪谱）均应提交船级社批准。

2　船舶绝对运动和加速度

2.1　横摇

2.1.1　横摇周期 T_R，s，和横摇单幅值 θ，（°），由下式得出：

$$T_R = \frac{2.3k_r}{\sqrt{GM}}$$

$$\theta = \frac{9000(1.25 - 0.025T_R)f_p k_b}{(B+75)\pi}$$

式中：k_b——系数，取：

$k_b = 1.2$，无舭龙骨的船舶

$k_b = 1.0$，有舭龙骨的船舶

k_r——所考虑装载工况的横摇回转半径，m。当 k_r 未知时，可用表 1 的值；

GM——所考虑装载工况的稳性高度，m。当 GM 未知时，可用表 1 的值。

k_r 值 和 GM 值　　表 1

装　载　工　况		k_r	GM
满载工况	隔舱或均匀装载	0.35B	0.12B
	钢卷装载	0.42B	0.24B
正常压载工况		0.45B	0.33B
重压载工况		0.40B	0.25B

2.2　纵摇

2.2.1　纵摇周期 T_P，s，和纵摇单幅值 Φ，（°），由下式得出：

$$T_P = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$$

$$\Phi = f_p \frac{960}{L}\sqrt[4]{\frac{V}{C_B}}$$

式中：$\lambda = 0.6\left(1 + \frac{T_{LC}}{T_S}\right)L$

2.3　垂荡

2.3.1

垂荡引起的垂向加速度，m/s^2，由下式得出：

$$a_{heave} = a_0 g$$

2.4　横荡

2.4.1　横荡引起的横向加速度，m/s^2，由下式得出：

$$a_{sway} = 0.3a_0 g$$

2.5　纵荡

2.5.1　纵荡引起的纵向加速度，m/s^2，由下式得出：

$$a_{surge} = 0.2a_0 g$$

3　船舶相对加速度

3.1　一般要求

3.1.1　任何一点 X，Y 和 Z 方向加速度是由［2.1］至［2.5］定义船舶绝对运动和加速度产生的加速度分量。

3.2　加速度

3.2.1　任何一点的纵向、横向和垂向加速度参考值由下式得出：

- 纵向　　$a_X = C_{XG} g \sin\Phi + C_{XS} a_{surge} + C_{XP} a_{pitch-x}$
- 横向　　$a_Y = C_{YG} g \sin\theta + C_{YS} a_{sway} + C_{YR} a_{roll-y}$
- 垂向　　$a_Z = C_{ZH} a_{heave} + C_{ZR} a_{roll-z} + C_{ZP} a_{pitch-z}$

式中：C_{XG},C_{XS},C_{XP},C_{YG},C_{YS},C_{YR},C_{ZH},C_{ZR},C_{ZP}——第 4 章第 4 节［2.2］定义的载荷组合因子；

$a_{pitch-x}$——纵摇引起的纵向加速度，m/s^2：

$$a_{pitch-x} = \Phi \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_P}\right)^2 R$$

a_{roll-y}——横摇引起的横向加速度，m/s^2：

$$a_{roll-y} = \theta \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 R$$

a_{roll-z}——横摇引起的垂向加速度，m/s^2：

$$a_{roll-z} = \theta \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 y$$

$a_{pitch-z}$——纵摇引起的垂向加速度，m/s^2：

$$a_{pitch-z} = \Phi \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_P}\right)^2 \left| (x - 0.45L) \right|$$

其中 $\left| (x - 0.45L) \right|$ 应取不小于 $0.2L$

$$R = z - \min\left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}, \frac{D}{2}\right)$$

x，y，z——任何一点在第 1 章第 4 节定义的参考坐标系中的 X，Y 和 Z 的坐标，m。

第 3 节　船体梁载荷

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

x：计算点在参考坐标系中的 X 坐标，m。

f_p：与第 4 章第 2 节所定义的概率水平相对应的系数。

1　一般要求

1.1　弯矩和剪力的符号规则

1.1.1　本节采用的弯矩和剪力应取绝对值。弯矩和剪力的符号应按第 4 节表 3 考虑。船舶任一横剖面处的垂向弯矩、水平弯矩和剪力的符号规则如图 1 所示，即：

- 当垂向弯矩 M_{SW} 和 M_{WV} 在强力甲板引起拉应力时为正值（中拱弯矩）；反之则为负值（中垂弯矩）；
- 当水平弯矩 M_{WH} 在右舷引起拉应力时为正值；反之则为负值；
- 垂向剪力 Q_{SW},Q_{WV} 当所考虑船舶横截面之前的合力向下时为正值和在其后横截面的合力向上时为正值；反之则为负值。

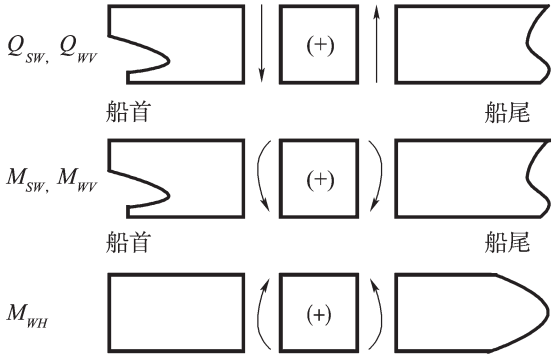


图1　剪力Q_{SW}, Q_{WV}和弯矩M_{SW}、M_{WV}、M_{WH}的符号规则

2　静水载荷

2.1　一般要求

2.1.1　通常，应施加单个装载工况的垂向静水弯矩和剪力值。造船商必须提交第 4 章第 7 节所定义每一装载工况的总纵强度计算书。

垂向静水弯矩和剪力值应视作船体梁强度的上限。

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_{SW} 和 Q_{SW} 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载或排压载，应提交任一压载水舱压载和 / 或排压载前后的中间工况计算书，批准后应纳入装载手册作为指导。

2.1.2　压载工况下压载舱的部分压载

出港、到港或中间阶段尖舱和 / 或其他压载水舱部分压载的压载工况不得用作设计工况，除非：

- 在空舱和满舱之间所有压载高度下，满足设计应力限制，和
- 对 BC-A 和 BC-B 船舶，在空舱和满舱之间所有压载高度下，满足第 5 章第 1 节 [2.1.3] 所述进水工况下船体梁总纵强度要求。

为验证满足空舱与满舱之间的所有压载水平，如果拟部分压载的压载舱在出港、到港和按 [2.1.1] 要求的任一中间工况假定为以下情况，将被认为是可接受的：

- 空舱
- 满舱
- 给定水平的部分压载

当有多个液舱拟部分压载时，这些液舱的所有空舱、满舱和给定水平的部分压载的所有组合都应考虑。

2.1.3　载货工况下的压载舱部分压载

载货工况下，[2.1.2] 的要求仅适用于尖舱。

2.1.4　顺序法压载水交换

[2.1.2] 和 [2.1.3] 的要求不适用于顺序法压载水交换。

2.2　静水弯矩

2.2.1　船体任一横剖面的设计静水弯矩 $M_{SW,H}$ 和 $M_{SW,S}$ 分别为 [2.1.1] 所定义的装载工况中该船体横剖面中拱和中垂工况下得到的最大静水弯矩。如由设计者规定，可考虑更大的值。

2.2.2　在初期设计阶段，如果船体任一横剖面的设计静水弯矩未作定义，可参考图 2 所示纵向分布。

图 2 的 M_{SW} 是中拱或中垂工况下的船中设计静水弯矩，kN•m，应不小于按以下各式计算所得之值：

- 中拱工况　　$M_{SW,H}=175CL^2B\ (C_B+0.7)10^{-3}-M_{WV,H}$
- 中垂工况　　$M_{SW,S}=175CL^2B\ (C_B+0.7)10^{-3}-M_{WV,S}$

式中：$M_{WV,H}$ 和 $M_{WV,S}$ 是垂向波浪弯矩，kN • m，定义见［3.1］。

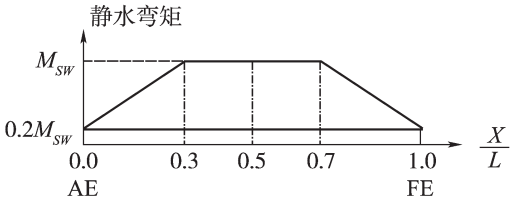


图2　静水弯矩初步分布

2.3　静水剪力

2.3.1　船体任一横剖面的设计静水剪力 Q_{SW} 为在［2.1.1］所定义的装载工况下计算得到的该船体横剖面的最大正剪力或负剪力。如由设计者规定，可考虑更大的值。

2.4　进水工况下的静水弯矩和静水剪力

2.4.1　进水工况下的中拱和中垂时的静水弯矩 $M_{SW,F}$ 以及静水剪力 $Q_{SW,F}$ 应在进水情况下确定，并考虑每个货舱单独进水至平衡水线。

这意味着双舷侧处所可不考虑进水；且货舱可不考虑完全进水，而是仅进水至平衡水线。

2.4.2　为计算进水重量，应作以下假定：

a）空货舱和载有货物的货舱内货物以上剩余空间的渗透率取为 0.95；

b）应对所载货物使用适当的渗透率和散货密度。对铁矿砂，最小渗透率为 0.3，相应的散货密度为 3.0 t/m^3。对水泥，最小渗透率为 0.3，相应的散货密度为 1.3t/m^3。在这方面，固体散货“渗透率”系指货物微粒、颗粒或任何较大料块间的可进水体积与散货总体积之比。

对包装货物（例如钢厂产品），应取货物的实际密度，渗透率为零。

2.4.3　为确定进水对船体梁静水弯矩和静水剪力的影响，应进行详尽的计算。应考虑船舶设计所依据的装载工况，对每一装载工况，每个货舱应考虑单独进水至平衡水线。因此，应对所考虑的装载工况和进水货舱的任一组合进行静水弯矩和静水剪力计算。

3　波浪载荷

3.1　垂向波浪弯矩

3.1.1　完整工况

完整工况下船体任一横剖面的垂向波浪弯矩，kN • m，由以下公式得出：

- 中拱工况　　$M_{WV,H}=190F_Mf_pCL^2BC_B10^{-3}$
- 中垂工况　　$M_{WV,S}=110F_Mf_pCL^2B(C_B+0.7)10^{-3}$

式中：F_M——表 1 所定义的分布因子（见图 3）。

分 布 因 子 F_M　　**表 1**

船体梁横剖面位置	分布因子 F_M
$0\leqslant x<0.4L$	$2.5\frac{x}{L}$
$0.4L\leqslant x\leqslant 0.65L$	1.0
$0.65L<x\leqslant L$	$2.86\left(1-\frac{x}{L}\right)$

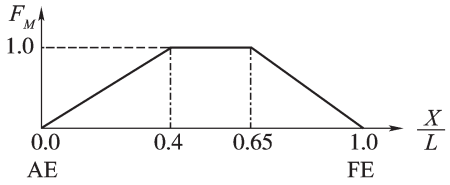


图3　分布因子F_M

3.1.2　进水工况

进水工况下船体任一横剖面的垂向波浪弯矩，kN·m，由下式得出：

$$M_{WV,F}=0.8M_{WV}$$

式中：M_{WV} 定义见［3.1.1］。

3.1.3　港内工况

港内工况下船体任一横剖面的垂向波浪弯矩，kN·m，由下式得出：

$$M_{VW,P}=0.4M_{WV}$$

式中：M_{WV} 定义见［3.1.1］。

3.2　垂向波浪剪力

3.2.1　完整工况

完整工况下船体任一横剖面的垂向波浪剪力，kN，由下式得出：

$$Q_{WV}=30F_Q f_p CLB(C_B+0.7)10^{-2}$$

式中：F_Q——表 2 所定义的正剪力和负剪力分布因子（见图 4）。

分布因子F_Q　　表 2

船体梁横剖面位置	分布因子 F_Q	
	正波浪剪力	负波浪剪力
$0\leqslant x<0.2L$	$4.6A\frac{x}{L}$	$4.6\frac{x}{L}$
$0.2L\leqslant x\leqslant 0.3L$	0.92A	0.92
$0.3L<x<0.4L$	$(9.2A-7)\left(0.4-\frac{x}{L}\right)+0.7$	$2.2\left(0.4-\frac{x}{L}\right)+0.7$
$0.4L\leqslant x\leqslant 0.6L$	0.7	0.7
$0.6L<x<0.7L$	$3\left(\frac{x}{L}-0.6\right)+0.7$	$(10A-7)\left(\frac{x}{L}-0.6\right)+0.7$
$0.7L\leqslant x\leqslant 0.85L$	1	A
$0.85L<x\leqslant L$	$6.67\left(1-\frac{x}{L}\right)$	$6.67A\left(1-\frac{x}{L}\right)$

注：$A=\frac{190C_B}{110(C_B+0.7)}$

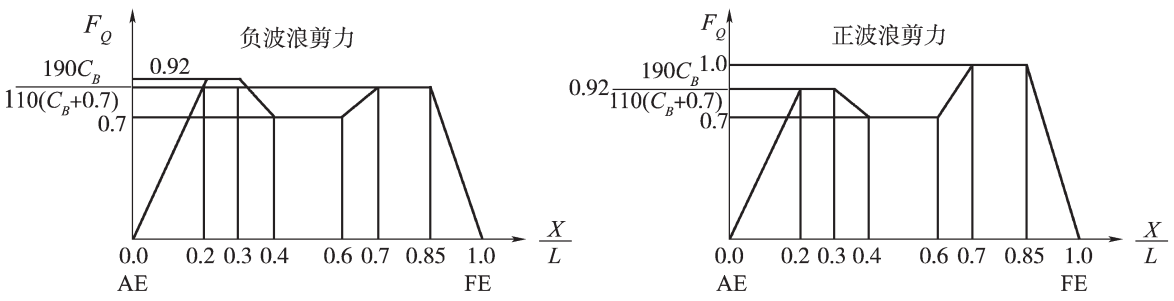


图4　分布因子F_Q

3.2.2　进水工况

进水工况下船体任一横剖面的垂向波浪剪力，kN，由下式得出：

$$Q_{WV,F} = 0.8Q_{WV}$$

式中：Q_{WV} 定义见［3.2.1］。

3.2.3　港内工况

港内工况下船体任一横剖面的垂向波浪剪力，kN，由下式得出：

$$Q_{WV,P} = 0.4Q_{WV}$$

式中：Q_{WV} 定义见［3.2.1］。

3.3　水平波浪弯矩

3.3.1　船体任一横剖面的水平波浪弯矩，kN·m，由下式得出：

$$M_{WH} = \left(0.3 + \frac{L}{2000}\right) F_M f_P C L^2 T_{LC} C_B$$

式中 F_M 是［3.1.1］所定义的分布因子。

3.4　波浪扭矩

3.4.1　船体任一横剖面的波浪扭矩，kN·m，由下式得出：

$$M_{WT} = f_P(|M_{WT1}| + |M_{WT2}|)$$

式中：$M_{WT1} = 0.4C\sqrt{\frac{L}{T}} \cdot B^2 D C_B F_{T1}$；

$M_{WT2} = 0.22CLB^2 C_B F_{T2}$；

F_{T1}, F_{T2}——分布因子，定义如下：

$$F_{T1} = \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$$

$$F_{T2} = \sin^2\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$

第 4 节　载 荷 工 况

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

$a_{surge}, a_{pitch-x}, a_{sway}, a_{roll-y}, a_{heave}, a_{roll-z}, a_{pitch-z}$：加速度分量，定义见第 4 章第 2 节。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节所述载荷工况用于：

- 按照第 6 章第 1 节、第 2 节和第 4 节的适用要求分别对板材、普通扶强材和主要支撑构件作局部强度分析；
- 按照第 7 章适用要求对结构构件作直接强度分析；
- 按照第 8 章适用要求对结构细部作疲劳校核。

1.1.2　对局部强度分析和直接强度分析，载荷工况为［2］所述各自独立的载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2。

1.2　等效设计波

1.2.1　所产生的响应值与对结构构件起主导作用载荷分量的长期响应值相当的规则波，被设定为等效设计波（EDWs），由以下组成：

- 迎浪，垂向波浪弯矩达到最大时的规则波（EDW“H”）
- 随浪，垂向波浪弯矩达到最大时的规则波（EDW“F”）
- 横摇运动达到最大时的规则波（EDW“R”）
- 水线处水动压力达到最大时的规则波（EDW“P”）

EDW“H”和 EDW“F”的波峰和波谷的定义见图 1。EDW“R”和 EDW“P”的上风舷向下和上风舷向上的定义见图 2。

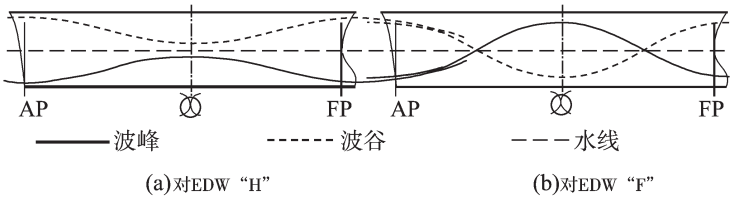


图1　EDW“H”和“F” 波峰和波谷定义

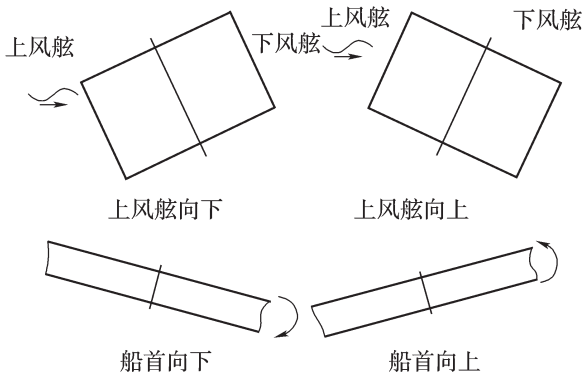


图2　船舶运动定义

2　载荷工况

2.1　一般要求

2.1.1　与等效设计波（EDWs）对应的载荷工况定义见表 1，相应的船体梁载荷和船舶运动见表 2。如果船舶结构或船舶装载工况关于船舶中纵剖面不对称，结构强度评估应包括横浪时波浪来自右舷（此时右舷是上风舷）的载荷工况（R1、R2、P1 和 P2）。

载 荷 工 况 定 义　　**表 1**

载荷工况	H1	H2	F1	F2	R1	R2	P1	P2
EDW	“H”		“F”		“R”		“P”	
首向	迎浪		随浪		横浪 (左舷：上风舷)		横浪 (左舷：上风舷)	
结果	最大弯矩		最大弯矩		最大横摇		最大外部压力	
	中垂	中拱	中垂	中拱	(+)	(−)	(+)	(−)

参考船体梁载荷和船舶运动　　表 2

载荷工况	H1	H2	F1	F2	R1	R2	P1	P2
垂向弯矩和剪力	是		是		—		是	
水平弯矩	—		—		是		—	
垂荡	向下	向上	—	—	向下	向上	向下	向上
纵摇	船首向下	船首向上	—	—	—	—	—	—
横摇	—	—	—	—	右舷向上	右舷向下	右舷向上	右舷向下
纵荡	船尾	船首	—	—	—	—	—	—
横荡	—	—	—	—	—	—	向左舷	向右舷

2.2　载荷组合因子

2.2.1　载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 中考虑的船体梁载荷和加速度分量，应用每一分量的参考值乘以表 3 所定义的相应载荷组合因子 LCF 得出。

载荷组合因子 LCF　　表 3

	LCF	H1	H2	F1	F2	R1	R2	P1	P2
M_{WV}	C_{WV}	−1	1	−1	1	0	0	$0.4-\frac{T_{LC}}{T_s}$	$\frac{T_{LC}}{T_s}-0.4$
Q_{WV}	$C_{QW}{}^{(1)}$	−1	1	−1	1	0	0	$0.4-\frac{T_{LC}}{T_s}$	$\frac{T_{LC}}{T_s}-0.4$
M_{WH}	C_{WH}	0	0	0	0	$1.2-\frac{T_{LC}}{T_s}$	$\frac{T_{LC}}{T_s}-1.2$	0	0
a_{surge}	C_{XS}	-0.8	0.8	0	0	0	0	0	0
$a_{pitch\text{-}z}$	C_{XP}	1	−1	0	0	0	0	0	0
$g\sin\Phi$	C_{XC}	1	−1	0	0	0	0	1	−1
a_{sway}	C_{YS}	0	0	0	0	0	0	1	−1
$a_{roll\text{-}y}$	C_{YR}	0	0	0	0	1	−1	0.3	−0.3
$g\sin\theta$	C_{YG}	0	0	0	0	1	−1	0.3	−0.3
a_{heave}	C_{ZH}	$0.6\frac{T_{LC}}{T_s}$	$-0.6\frac{T_{LC}}{T_s}$	0	0	$\frac{\sqrt{L}}{40}$	$-\frac{\sqrt{L}}{40}$	1	−1
$a_{roll\text{-}z}$	C_{ZR}	0	0	0	0	1	−1	0.3	−0.3
$a_{pitch\text{-}z}$	C_{ZP}	1	−1	0	0	0	0	0	0

注：(1) C_{QW} 的 LCF 仅用于在船中剖面以后的部分。其符号相反的值应用于在船中剖面以前的部分。

2.2.2　垂向静水弯矩应与乘上载荷组合因子的船体梁波浪载荷相加。

2.2.3　内部载荷为所载重量（包括甲板载荷）引起的静压力或静力加上这些重量由于加速度引起的惯性压力或惯性力乘上载荷组合因子之积的和。

第 5 节　外 部 压 力

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

L_2：规范船长 L，但应取不大于 300m。

C：波浪系数，定义见第 1 章第 4 节 [2.3.1]。

λ：波长，m，与载荷工况对应，定义见 [1.3.1]，[1.4.1] 和 [1.5.1]。

f_p：与概率水平相对应的系数，定义见第 4 章第 2 节。

T_{LCi}：所考虑的装载工况下，所考虑横剖面的吃水，m。

B_i：所考虑横剖面在水线处的型宽，m。

x, y, z：关于第 1 章第 4 节所定义参考坐标系中载荷点的 X,Y 和 Z 坐标，m。

1　舷侧外板和船底板的外部海水压力

1.1　一般要求

1.1.1　外板上任何一点的总压力 p，kN/m^2，应由下式得出，且不应为负值：

$$p = p_S + p_W$$

式中：p_S——静水压力，定义见 [1.2]；

p_W——视具体情况而定，与 [1.3]，[1.4] 或 [1.5] 所定义的水动压力相等的波浪压力，并按 [1.6] 修正。

1.2　静水压力

1.2.1　对各装载工况，外板上任何一点对应于静水中吃水的静水压力 p_S，kN/m^2，由表 1 中公式得出（见图 1）。

静 水 压 力 p_S　　表 1

位　　置	静水压力 p_S (kN/m^2)
水线处及以下的点 ($z \leqslant T_{LCi}$)	$\rho g(T_{LCi} - z)$
水线以上的点 ($z > T_{LCi}$)	0

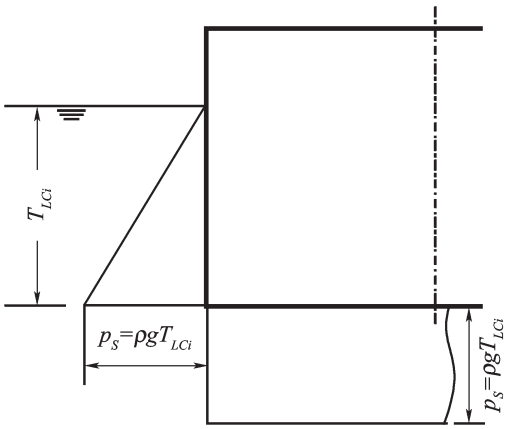


图1　静水压力p_S

1.3　载荷工况 H1、H2、F1 和 F2 的水动压力

1.3.1　对于载荷工况 H1、H2、F1 和 F2，水线以下外板上任何一点的水动压力 p_H 和 p_F，kN/m^2，应按表 2 得出。

压力 p_{F2} 分布示意图见图 2。

载荷工况 H1、H2、F1 和 F2 的水动压力　　表 2

载 荷 工 况	水动压力 (kN/m^2)
H1	$p_{H1} = -kk_p p_{HF}$
H2	$p_{H2} = kk_p p_{HF}$
F1	$p_{F1} = -p_{HF}$
F2	$p_{F2} = p_{HF}$

式中：$p_{HF}=3f_p f_{nl}C\sqrt{\dfrac{L+\lambda-125}{L}}\left(\dfrac{z}{T_{LCi}}+\dfrac{|2y|}{B_i}+1\right)$；且$\dfrac{2y}{B_i}\leqslant 1.0$，$z$ 应取不大于 T_{LCi}；

f_{nl}——考虑非线性影响的系数，取：

$f_{nl}=0.9$　　对 10^{-8} 概率水平

$f_{nl}=1.0$　　对 10^{-4} 概率水平

k——沿船舶纵向的幅值系数，取：

$$k=1+\frac{12}{C_B}\left(1-\sqrt{\frac{|2y|}{B}}\right)\left|\frac{x}{L}-0.5\right|^3 \quad \text{对 } 0.0\leqslant x/L\leqslant 0.5$$

$$k=1+\frac{6}{C_B}\left(3-\frac{|4y|}{B}\right)\left|\frac{x}{L}-0.5\right|^3 \quad \text{对 } 0.5\leqslant x/L\leqslant 1.0$$

k_p——沿船舶纵向的相位系数，取：

$k_p=\left(1.25-\dfrac{T_{LC}}{T_S}\right)\cos\left(\dfrac{2\pi|x-0.5L|}{L}\right)-\dfrac{T_{LC}}{T_S}+0.25$，对局部强度分析（非满载工况），直接强度分析和疲劳强度评估；

$k_p=-1.0$，对局部强度计算（满载工况）；

λ——波长，m，取：

$\lambda=0.6\left(1+\dfrac{T_{LC}}{T_S}\right)L$　　对载荷工况 H1 和 H2

$\lambda=0.6\left(1+\dfrac{2}{3}\dfrac{T_{LC}}{T_S}\right)L$　　对载荷工况 F1 和 F2

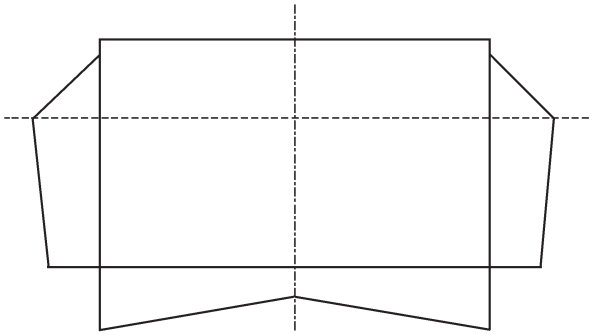


图2　船中处水动压力p_{F2}的分布

1.4　载荷工况 R1 和 R2 的水动压力

1.4.1　对于载荷工况R1和R2，水线以下外板上任何一点的水动压力p_R，kN/m^2，应由下列公式得出。压力 p_{R1} 的分布示意图见图 3。

$$p_{R1}=f_{nl}\left(10y\sin\theta+0.88f_pC\sqrt{\frac{L+\lambda-125}{L}}\left(\frac{|2y|}{B}+1\right)\right)$$

$$p_{R2}=-p_{R1}$$

式中：f_{nl}——考虑非线性影响的系数，取：

$f_{nl}=0.8$　　对 10^{-8} 概率水平

$f_{nl}=1.0$　　对 10^{-4} 概率水平

$\lambda=\dfrac{g}{2\pi}T_R^2$；

y——载荷点 Y 坐标，m，左舷取为正值。

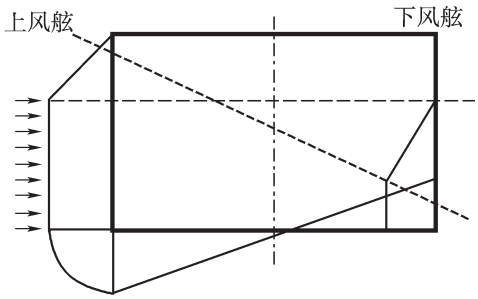


图3　船中处水动压力p_{R1}的分布

1.5　载荷工况 P1 和 P2 的水动压力

1.5.1　对于载荷工况 P1 和 P2，水线以下外板上任何一点的水动压力 p_P，kN/m^2，应由表 3 得出。压力 p_{P1} 的分布示意图见图 4。

载荷工况 P1 和 P2 的水动压力　　**表 3**

载　荷　状　态	水 动 压 力 (kN/m^2)	
	上风舷	下风舷
P1	$p_{p1}=p_p$	$p_{p1}=p_p/3$
P2	$p_{p2}=-p_p$	$p_{p2}=-p_p/3$

式中：$p_p=4.5f_pf_{nl}C\sqrt{\dfrac{L+\lambda-125}{L}}\left(2\dfrac{|z|}{T_{LCi}}+3\dfrac{|2y|}{B}\right)$；

f_{nl}——考虑非线性影响的系数，取：

$f_{nl}=0.65$　　对 10^{-8} 概率水平

$f_{nl}=1.0$　　对 10^{-4} 概率水平

$\lambda=\left(0.2+0.4\dfrac{T_{LC}}{T_S}\right)L$；

y——载荷点 Y 坐标，m，定义见［1.4.1］。

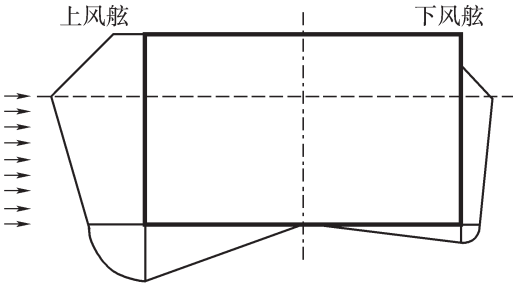


图4　船中处水动压力p_{P1}的分布

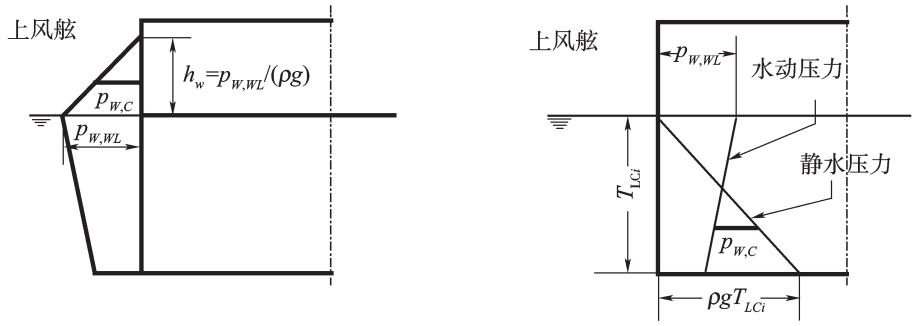
1.6　水动压力的修正

1.6.1　对于水线处的正水动压力（载荷工况 H1、H2、F2、R1、R2 和 P1），舷侧处水线以上的水动压力 $p_{W,C}$，kN/m^2，由下式得出（见图 5）：

- $p_{W,C}=p_{W,WL}+\rho g(T_{LCi}-z)$　　对 $T_{LCi}\leqslant z\leqslant h_W+T_{LCi}$
- $p_{W,C}=0$　　对 $z\geqslant h_W+T_{LCi}$

式中：$p_{W,WL}$——所考虑载荷工况下在水线处的正水动压力：

$$h_W=\frac{p_{W,WL}}{\rho g}$$



当水动压力为正值时　　当水动压力为负值时

图5　水动压力的修正

1.6.2　对于水线处的负水动压力（载荷工况 H1、H2、F1、R1、R2 和 P2），水线以下的水动压力 $p_{W,C}$，kN/m^2，由下式得出（见图 5）：

$$p_{W,C}=p_W \qquad \text{取不小于 } \rho g(z-T_{LCi})$$

式中：p_W——所考虑载荷工况下在水线以下的负水动压力。

2　露天甲板的外部压力

2.1　一般要求

2.1.1　露天甲板上的外部压力适用于露天甲板上局部结构的尺度校核，而不适用于疲劳强度评估。露天甲板上如设有挡浪板，对挡浪板之后露天甲板的外部压力不允许按 [2.2] 和 [2.3] 折减。

2.2　载荷工况 H1、H2、F1 和 F2

2.2.1　对于载荷工况 H1、H2、F1 和 F2，露天甲板任何一点的外部压力 p_D，kN/m^2，应由下式得出：

$$p_D=\varphi p_W$$

式中：p_W——由表 4 公式得出的压力；

φ——系数，定义见表 5。

载荷工况 H1、H2、F1 和 F2 的露天甲板压力　　**表 4**

位　　置	压　力　p_W (kN/m^2)	
	$L_{LL}\geqslant 100$m	$L_{LL}<100$m
$0\leqslant x_{LL}/L_{LL}\leqslant 0.75$	34.3	$14.9+0.195\,L_{LL}$
$0.75<x_{LL}/L_{LL}\leqslant 1$	$34.3+(14.8+a(L_{LL}-100))\left(4\dfrac{x_{LL}}{L_{LL}}-3\right)$	$12.2+\dfrac{L_{LL}}{9}\left(5\dfrac{x_{LL}}{L_{LL}}-2\right)+3.6\dfrac{x_{LL}}{L_{LL}}$

式中：a：系数，取：

a = 0.0726，对 B 型干舷船舶；

a = 0.356，对 B-60 型或 B-100 型干舷船舶。

x_{LL}：从干舷船长 L_{LL} 尾端量得的载荷点的 X 坐标。

露天甲板压力系数　　**表 5**

露天甲板位置	φ	露天甲板位置	φ
干舷甲板	1.00	第 4 层甲板室	0.25
上层建筑甲板，包括首楼甲板	0.75	第 5 层甲板室	0.20
第 1 层甲板室	0.56	第 6 层甲板室	0.15
第 2 层甲板室	0.42	第 7 层甲板室及以上	0.10
第 3 层甲板室	0.32		

2.3　载荷工况 R1、R2、P1 和 P2

2.3.1　对于载荷工况 R1、R2、P1 和 P2，露天甲板任何一点的外部压力 p_D，kN/m^2，应由下式得出：

$$p_D = 0.4\varphi p_W$$

式中：p_W——载荷状态 P1，P2，R1 和 R2，露天甲板边线处的水动压力，可由［1.6］按 z 坐标确定。

p_W 应取露天甲板边线处（左舷和右舷）水动压力中之大者，且应取不小于 0；

φ——系数，定义见表 5。

2.4　露天甲板的承载载荷

2.4.1　分布载荷引起的压力

如果露天甲板上有分布载荷，对应于该载荷的静压力 p_S 应由设计者规定，通常应取不小于 10kN/m^2。

该载荷引起的总压力 P 应不得与［2.2］和［2.3］所定义的压力同时考虑。总压力 p，kN/m^2，应取等于以下两式计算所得值之大者：

$$p = p_S + p_W$$

$$p = p_D$$

式中：p_S——分布载荷引起的静压力，如有时；

p_W——分布载荷引起的动压力，kN/m^2，取：

$$p_W = \frac{a_Z}{g} p_S$$

a_Z——所考虑载荷工况下分布载荷重心处的垂向加速度，m/s^2，由第 4 章第 2 节［3.2］定义的公式得出；

p_D——所考虑载荷工况下露天甲板压力，定义见［2.2.1］和［2.3.1］。

2.4.2　单元载荷引起的集中力

如果露天甲板上有单元载荷，则由该单元载荷引起的静压力和动压力应考虑。

该载荷造成的总压力 F 应不得与［2.2］和［2.3］所定义的压力同时考虑。总压力 F，kN，应取等于以下两式计算所得值之大者：

$$F = F_S + F_W$$

式中：F_S——单元载荷引起的静力，kN，取：

$$F_S = m_U g$$

F_W——单元载荷引起的动力，kN，取：

$$F_W = m_U a_Z$$

m_U——单元载荷的质量，t；

a_Z——所考虑载荷工况下单元载荷重心处的垂向加速度，m/s^2，由第 4 章第 2 节［3.2］定义的公式得出。

3　上层建筑和甲板室的外部压力

3.1　露天甲板

3.1.1　上层建筑和甲板室的露天甲板的外部压力应按［2］得出。

3.2　露天驾驶室顶棚

3.2.1　露天驾驶室顶棚的侧向压力，kN/m^2，应取不小于：

$$p = 12.5$$

3.3　上层建筑侧壁

3.3.1　上层建筑侧壁的侧向压力，kN/m^2，由下列公式得到：

$$p_{SI} = 2.1 C f_p c_F (C_B + 0.7) \frac{20}{10 + z - T}$$

式中：f_p——概率因子，取：

$f_p = 1.0$　　对板材

$f_p = 0.75$　　对普通加强筋和主要支撑构件

c_F——分布因子，见表 6。

分 布 因 子 c_F　　表 6

位　　置	c_F
$0 \leqslant x/L < 0.2$	$1.0 + \frac{5}{C_B}\left(0.2 - \frac{x}{L}\right)$，$x/L$ 取不小于 0.1
$x/L \geqslant 0.2$	1.0

3.4　上层建筑和甲板室端部舱壁

3.4.1　用于确定尺寸的侧向压力，kN/m^2，应取以下两式中之大者：

$$p_A = nc[b_C - (z - T)]$$

$$p_A = P_{A\min}$$

式中：n——表 7 中按层数定义的系数，

最低层甲板通常系指计量型深 D 的最上层连续甲板的正上面一层，然而，如果实际距离 $(D-T)$ 超过根据修订的 ILLC 的最小未修正表列干舷至少一层标准上层建筑高度，该高度定义见第 1 章第 4 节 [3.18.1]，则该层可以定义为第 2 层，其上面一层为第三层；

c——系数，取为：

$$c = 0.3 + 0.7 \frac{b_1}{B_1}$$

对机舱棚的露天部分，c 应取不小于 1.0；

b_1——所考虑位置处的甲板室宽度；

B_1——船舶的露天甲板在所考虑位置处的最大实际宽度；

b_1/B_1 应取不小于 0.25；

b——表 8 中定义的系数；

x——所考虑舱壁计算点的 X 坐标，m。当确定甲板室边线时，甲板室应被分为长度近似相等的若干部分，每部分不超过 $0.15L$，x 取每部分的中点的 X 坐标；

z——扶强材跨距中点或板跨距中点的 Z 坐标，m；

l——跨距，m，应取上层建筑或甲板室高度，并不小于 2.0m；

$p_{A\min}$——最小侧向压力，kN/m^2，定义见表 9。

系　数　n　　表 7

舱 壁 类 型	位　　置	n
无保护的前端	最低层	$20 + L_2/12$
	第二层	$10 + L_2/12$
	三层及以上	$5 + L_2/15$
有保护的前端	所有层	$5 + L_2/15$
侧壁	所有层	$5 + L_2/15$
后端	船中之后	$7 + L_2/100 - 8x/L_2$
	船中之前	$5 + L_2/100 - 4x/L_2$

系　数　*b*　　**表 8**

舱 壁 位 置	*b*
$\frac{x}{L}<0.45$	$1.0+\left(\frac{x/L-0.45}{C_B+0.2}\right)^2$
$\frac{x}{L}\geqslant 0.45$	$1.0+1.5\left(\frac{x/L-0.45}{C_B+0.2}\right)^2$

式中：C_B：方形系数 0. 6 ≤ C_B ≤ 0. 8。当决定船中之前的后端壁尺寸时，C_B 可不必小于 0. 8。

最小侧向压力 $p_{A\min}$　　**表 9**

	$p_{A\min}$(kN/m^2)	
L	无保护前端的最底层	其　　他
90 < *L* ≤ 250	25 + *L*/10	12.5+*L*/20
L > 250	50	25

注：对第 4 层及以上，$p_{A\min}$ 应取等于 12. 5 kN/m^2。

4　船首区域的压力

4. 1　船首外飘区域压力

4. 1. 1　考虑船首外飘区域加强的船首压力，kN/m^2，应由下列公式得到：

$$p_{FB}=K(\ p_S+p_W)$$

式中：p_S, p_W——正常压载工况吃水 T_B 时载荷工况 H、F、R 和 P 中的静水压力和最大水动压力；

K——系数，取：

$$K=\frac{c_{FL}(0.2V+0.6\sqrt{L})^2}{42C(C_B+0.7)\left[1+\frac{20}{C_B}\left(\frac{x}{L}-0.7\right)^2\right]}(10+z-T_B)$$，取不小于 1. 0

c_{FL}——系数，取：

$c_{FL}=0.8$　　一般情况

$c_{FL}=\frac{0.4}{1.2-1.09\sin\alpha}$　　当外飘角大于 40°

其中，载荷计算点处的外飘角 α 为肋位平面内垂线与舷侧外板切线之间的夹角（见图 7）。

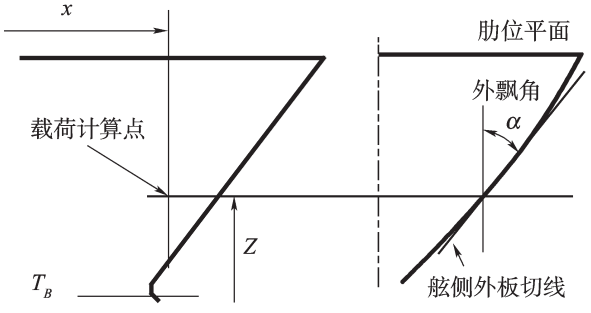


图7　外飘角定义

4.2　设计船底砰击压力

4.2.1　考虑船首平底区域加强的船底砰击压力，kN/m^2，应由下式得到：

$$p_{SL} = 162c_1c_{SL}\sqrt{L} \qquad \text{当 } L \leqslant 150\text{m}$$

$$p_{SL} = 1984c_1c_{SL}(1.3 - 0.002L) \qquad \text{当 } L > 150\text{m}$$

式中：c_1——系数，取：

$$c_1 = 3.6 - 6.5\left(\frac{T_{BFP}}{L}\right)^{0.2}$$，取不大于 1.0

T_{BFP}——正常压载工况下首垂线处的最小设计压载吃水，m。当采用连续压载水交换时，T_{BFP} 应按连续交换考虑；

c_{SL}——分布系数，取（见图 6）：

$$c_{SL} = 0 \qquad \text{对 } \frac{x}{L} \leqslant 0.5$$

$$c_{SL} = \frac{\frac{x}{L} - 0.5}{c_2} \qquad \text{对 } 0.5 < \frac{x}{L} \leqslant 0.5 + c_2$$

$$c_{SL} = 1.0 \qquad \text{对 } 0.5 + c_2 < \frac{x}{L} \leqslant 0.65 + c_2$$

$$c_{SL} = 0.5\left(1 + \frac{1 - \frac{x}{L}}{0.35 - c_2}\right) \qquad \text{对 } \frac{x}{L} > 0.65 + c_2$$

c_2——系数，取：

$$c_2 = 0.33C_B + \frac{L}{2500} \qquad \text{取不大于 } 0.35$$

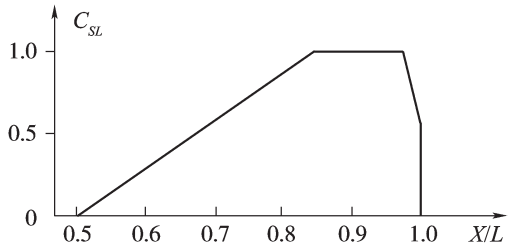


图6　分布因子C_{SL}

4.2.2　在压载水交换操作时，船长有责任观测天气条件和首垂线处的吃水，尤其当操作过程中首吃水小于 T_{BFP} 时。

以上的要求和吃水 T_{BFP} 应在操作手册中作明确说明。

5　舱口盖的外部压力

5.1　一般要求

5.1.1　如果舱口盖上有特定载荷，压力应按 [2.4] 得出。

5.2　波浪压力

5.2.1　舱口盖上任何点的压力应按照 [2.2.1] 得到，取 φ 等于 1.0。然而，当舱口盖位于高出干舷甲板至少一个上层建筑标准高度（定义见第 1 章第 4 节 [3.18]）时，压力 p_W 可取为 34.3 kN/m^2。

第 6 节　内部压力和力

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

ρ_C：干散货密度，t/m^3，取为：

- 表 1 给定值，对船长 L 为 150m 及以上的船舶；
- 装载手册中的最大密度，对船长 L 小于 150m 的船舶。

干 散 货 密 度　　**表 1**

装 载 类 型	密　度	
	BC-A,BC-B	BC-C
货舱载货至上甲板	$\max(M_H/V_H,1.0)$	1.0
货舱未载货至上甲板	3.0(1)	–

注：(1) 除设计者另有规定外。

ρ_L：内部液体的密度，t/m^3，当内部液体为压载水时取为 1. 025。

M_H：均匀装载工况下最大吃水时货舱中实际货物质量，t。

V_H：货舱容积，m^3，不包括舱口围板所包围的容积。

K_C：系数，取：

$K_C = \cos^2\alpha + (1-\sin\psi)\sin^2\alpha$ 对内底、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，（ ° ）。

ψ：散货（视为已排干和已移动过的）的假定休止角，（ ° ）；如无更精确的值，可取以下数值：

$\psi = 30°$　　一般情况

$\psi = 35°$　　铁矿砂

$\psi = 25°$　　水泥

h_C：内底至散货的上表面的垂直距离，m，定义见 [1. 1. 1] 或 [1. 1. 2]。

h_{DB}：中纵剖面处双层底的高度，m。

h_{LS}：从内底量起，底凳的平均高度，m。

z_{TOP}：正浮工况下，液舱顶的 Z 坐标，m。

z_{BO}：溢流管顶部的 Z 坐标，m。

a_X：所考虑货舱或液舱重心的纵向加速度，m/s^2，由第 4 章第 2 节 [3. 2] 定义的公式得出。

a_Y：所考虑货舱或液舱重心的横向加速度，m/s^2，由第 4 章第 2 节 [3. 2] 定义的公式得出。

a_Z：所考虑货舱或液舱重心的垂向加速度，m/s^2，由第 4 章第 2 节 [3. 2] 定义的公式得出。

B_H：货舱的平均宽度，m。

b_{IB}：内底的宽度，m，定义见图 2。

D_1：船中处从基线至干舷甲板边线的距离，m。

s_C：槽条间距，m；见第 3 章第 6 节图 28。

x, y, z：在第 1 章第 4 节所定义参考坐标系中载荷点的 X,Y 和 Z 坐标，m。y 在上风舷取为正值。

x_G, y_G, z_G：所考虑货舱或液舱重心在第 1 章第 4 节所定义参考坐标系中的 X、Y 和 Z 坐标，m。

d_{AP}：空气管顶部至舱室顶部的距离，m，取为：

$$d_{AP} = z_{BO} - z_{TOP}$$

1　干散货引起的侧向压力

1.1　干散货上表面

1.1.1　当干散货密度足以使货舱装载至舱口围板顶部时，干散货上表面是在所考虑的以舷侧外板或内壳板（视具体情况而定）为限界的货舱内，按相同货物体积所确定的等效水平表面。

对圆柱形货舱，干散货的等效水平表面可取在内底以上由下式得出的 h_C，m，距离处，（见图 1）：

$$h_C = h_{HPU} + h_0$$

式中：$h_0 = \dfrac{S_A}{B_H}$；

$S_A = S_0 + \dfrac{V_{HC}}{l_H}$；

h_{HPU}——从内底至顶边舱与舷侧外板或内壳（视具体情况而定）下交点的垂直距离，m，定义见图 1；

S_0——从顶边舱与舷侧外板或内壳（视具体情况而定）下交点至上甲板水平面的阴影面积，m^2，定义见图 1；

V_{HC}——容积，m^3，包括舱口围板包围的容积。

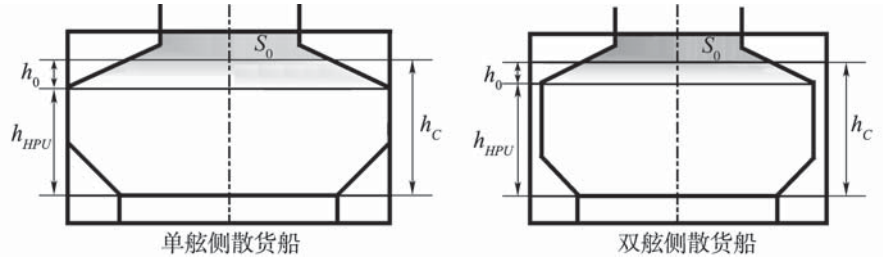


图1　h_C、h_0、h_{HPU}和S_0的定义

1.1.2　当干散货密度使货舱未装载至上甲板时，干散货上表面是在中线处宽度为 $B_H/2$ 的平面，倾斜部分在舷侧处的角度等于休止角的一半（$\psi/2$），在所考虑货舱内应按相同货物体积（取 M/ρ_C）确定。

对圆柱形货舱，干散货的上表面可取在内底以上由下式得出的距离 h_C，m，距离处，（见图 2）：

$$h_C = h_{HPL} + h_1 + h_2$$

式中：h_{HPL}——从内底至底边舱与内壳上交点的垂直距离，m，定义见图 2。如无底边舱，h_{HPL} 取为 0；

h_1——由下式得出的垂直距离，m，见图 2：

$$h_1 = \frac{M}{\rho_C \cdot B_H \cdot l_H} - \frac{B_H + b_{IB}}{2B_H} h_{HPL} - \frac{3}{16} B_H \tan\frac{\psi}{2} + \frac{V_{TS}}{B_H \cdot l_H}$$

M——所考虑散货质量，t，定义见第 4 章第 7 节；

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

h_2——视 y 而定的散货上表面，m，由下式得出：

$$h_2 = \frac{B_H}{4}\tan\frac{\psi}{2} \qquad \text{如果 } 0 \leqslant |y| \leqslant \frac{B_H}{4}$$

$$h_2 = \left(\frac{B_H}{2} - |y|\right)\tan\frac{\psi}{2} \qquad \text{如果 } \frac{B_H}{4} \leqslant |y| \leqslant \frac{B_H}{2}$$

用于强度评估的散货表面形状。

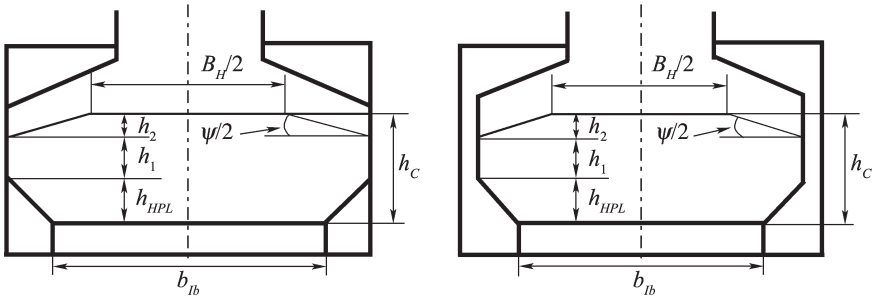


图2　h_C、h_1、h_2和h_{HPL}的定义

对非圆柱形货舱，以及规范另有描述性要求者，干散货上表面可取在上甲板水平面处，密度取 M/V_H。

1.2　静水中的干散货压力

1.2.1　静水中的干散货压力 p_{CS}，kN/m^2，由下式得出：

$$p_{CS} = \rho_C g K_C (h_C + h_{DB} - z)$$

1.3　干散货引起的惯性压力

1.3.1　各载荷工况，干散货引起的惯性压力 p_{CW}，kN/m^2，由以下各式得出：

- 载荷工况 H：

$$p_{CW} = \rho_C [0.25 a_X (x - x_G) + K_C a_Z (h_C + h_{DB} - z)]$$

- 载荷工况 F：

$$p_{CW} = 0$$

- 载荷工况 R 和 P：

$$p_{CW} = \rho_C [0.25 a_Y (y - y_G) + K_C a_Z (h_C + h_{DB} - z)]$$

对第 6 章的局部强度校核和第 8 章的纵向扶强材疲劳校核，载荷工况 H1 中 $x - x_G$ 应取为 $0.25 l_H$；载荷工况 H2 中 $x - x_G$ 应取为 $-0.25 l_H$。总压力（$p_{CS} + p_{CW}$）不应为负值。

1.4　干散货引起的剪切载荷

1.4.1　为计算垂直方向的合力，应考虑干散货沿底边舱斜板和底凳斜板的作用力引起的剪切载荷。

静水中干散货沿倾斜构件的作用力引起的剪切载荷 $p_{CS\text{-}S}$（向下至内底板为正值），kN/m^2，由下式得出：

$$p_{CS\text{-}S} = \rho_C g \frac{(1 - K_C)(h_C + h_{DB} - z)}{\tan\alpha}$$

波浪中干散货沿倾斜构件的作用力引起的剪切载荷 $p_{CW\text{-}S}$（向下至内底板为正值），kN/m^2, 由下式得出：

- 载荷工况 H、R 和 P：

$$p_{CW\text{-}S} = \rho_C a_Z \frac{(1 - K_C)(h_C + h_{DB} - z)}{\tan\alpha}$$

- 载荷工况 F：

$$p_{CW\text{-}S} = 0$$

1.4.2　为计算纵向和横向的合力，应考虑干散货在内底板上引起的剪切载荷。

波浪中干散货引起的纵向剪切载荷 $p_{CW\text{-}S}$（向前为正值），kN/m^2，由下式得出：

- 载荷工况 H：

$$p_{CW\text{-}S} = 0.75\rho_C a_X h_C$$

- 载荷工况 F、R 和 P：

$$p_{CW\text{-}S} = 0$$

波浪中干散货引起的横向剪切载荷 $p_{CW\text{-}S}$（上风舷为正值），kN/m^2，由下式得出：

- 载荷工况 R 和 P：

$$p_{CW\text{-}S} = 0.75\rho_C a_Y h_C$$

- 载荷工况 H 和 F：

$$p_{CW\text{-}S} = 0$$

2　液体引起的侧向压力

2.1　静水中液体引起的压力

2.1.1　静水中液体压力 p_{BS}，kN/m^2，取以下两式之大者：

$$p_{BS} = \rho_L g(z_{TOP} - z + 0.5d_{AP})$$

$$p_{BS} = \rho_L g(z_{TOP} - z) + 100P_{PV}$$

式中：p_{PV}——所考虑安全阀的设定压力，bar，如有时。

对局部强度评估，静压力 p_{BS} 应取不小于 25 kN/m^2。

2.1.2　如果船舶拟以径流法进行交换压载水操作，则第 7 章所述港内工况下的局部强度评估和直接强度分析中所用静压力 p_{BS} 应不小于：

$$p_{BS} = \rho_L g(z_{TOP} - z + d_{AP}) + 25$$

当管路或泵的布置可能导致更高的压力时，可以要求补充计算。

2.1.3　在疲劳强度评估中，液体的静压力 p_{BS}，kN/m^2，应由下式得到：

$$p_{BS} = \rho_L g(z_{TOP} - z)$$

当 p_{BS} 为负时，p_{BS} 取 0。

当所考虑的载荷点位于燃油舱、其他油舱或淡水舱内时，假定液舱内液面达到舱室高度的一半，z_{TOP} 取为正浮工况下，液面的 Z 坐标。

2.2　液体引起的惯性压力

2.2.1　对各载荷工况，液体引起的惯性压力 p_{BW}，kN/m^2，由以下各式得出。当船舶用径流法进行交换压载水操作时，局部强度评估和直接强度分析中不考虑压载水的惯性力。总压力（p_{BS} + p_{BW}）不应为负值。

- 载荷工况 H：

$$p_{BW} = \rho_L[a_Z(z_{TOP} - z) + a_X(x - x_B)]$$

对第 6 章的局部强度和第 8 章的纵向扶强材疲劳校核，在载荷工况 H1 中 $(x-x_B)$ 应取 $0.75l_H$，在载荷工况 H2 中（$x-x_B$）应取为 $-0.75l_H$。

- 载荷工况 F：

$$p_{BW}=0$$

- 载荷工况 R 和 P：

$$p_{BW}=\rho_L[a_Z(z_B-z)+a_Y(y-y_B)]$$

式中：x_B——当首部向下时为液舱后端的 X 坐标，当首部向上时为液舱前端的 X 坐标，m，见图 3；

y_B——当上风舷向下时为最下风舷处液舱顶的 Y 坐标，当上风舷向上时为最上风舷的 Y 坐标，m，见图 3；

z_B——下列点的 Z 坐标：

- 满舱舱室：舱顶
- 压载货舱：舱口围板顶部

参考点 B 定义为以垂向轴线与总体加速度矢量$\overrightarrow{A_G}$之间夹角 φ 旋转之后的最高点，见图 3。φ 由下式得到：

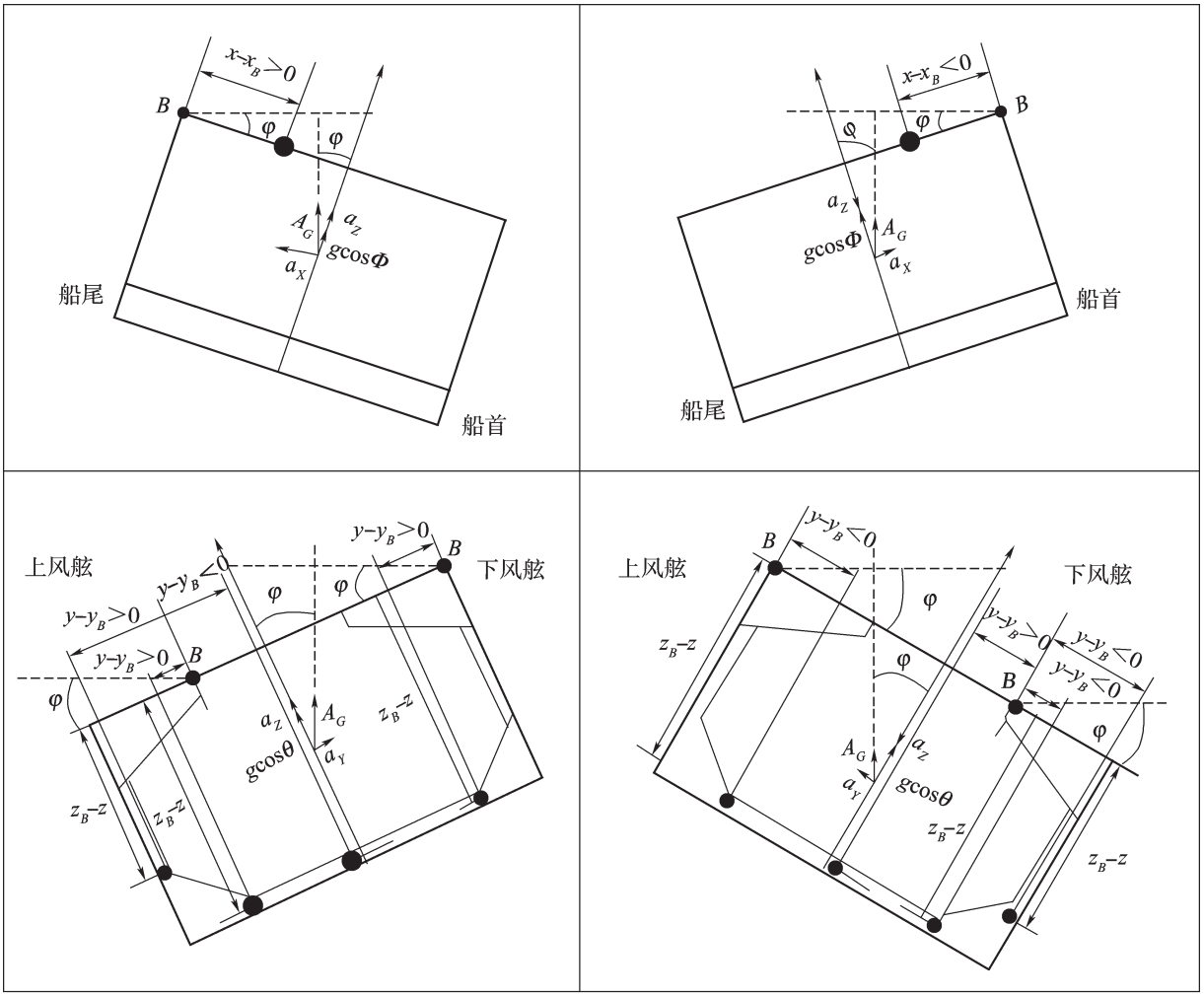


图3　x_B和y_B的定义

- 载荷工况 H1 和 H2：

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{|a_X|}{g\cos\Phi + a_Z}\right)$$

- 载荷工况 R1（P1）和 R2（P2）：

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{|a_Y|}{g\cos\theta + a_Z}\right)$$

式中：θ——横摇单幅值，（°），见第 4 章第 2 节［2. 1. 1］；

Φ——纵摇单幅值，（°），见第 4 章第 2 节［2. 2. 1］。

总压力（$P_{BS}+P_{BW}$）不应为负值。

3　进水工况下侧向压力和力

3. 1　适用范围

3. 1. 1　在进水工况下应考虑的侧向压力如下：

- ［3. 2］ 一般情况；
- ［3. 3］ 特别对槽形横舱壁；
- ［3. 4］ 特别对双层底。

3. 2　一般要求

3. 2. 1　作用于构成舱室边界但拟不载运液体的板材（船底和舷侧外板除外）上的压力 p_F，kN/m^2，由下式得出：

$$p_F = \rho g\left(1 + 0.6\frac{a_Z}{g}\right)(z_F - z)，\text{不小于 } gd_0$$

式中：Z_F——所考虑横剖面处干舷甲板边线的 Z 坐标，m。如有破损稳性计算结果，可考虑以最深平衡水线取代干舷甲板，在此情况下，船级社可要求考虑中间状态；

d_0——距离，m，取为：

- d_0= 0. 02L　　对于 90m ≤ L < 120m
- d_0= 2. 4　　对于 L ≥ 120m

3. 3　垂直槽形水密横舱壁

3. 3. 1　适用范围

每个货舱应按单独进水考虑。

3. 3. 2　一般要求

作用于各舱壁的载荷，为货物载荷和所校核舱壁的相邻一个货舱进水产生载荷的组合。在任何情况下，应考虑仅由进水引起的压力。

应采用货物载荷和进水载荷的最不利组合校核各舱壁的尺寸，该组合取决于装载手册中的装载工况：

- 均匀装载工况
- 非均匀装载工况

考虑装货舱和空舱的单独进水。

就此项而言，均匀装载工况系指按不同货物密度修正后，每个货舱的最高和最低装载率之比不超过 1. 20 的装载工况。

在本要求中，不必考虑在均匀装载工况下涉及多港装卸操作所造成的非均匀装载工况。

对货舱的特定设计载荷限制应由设计者在装载手册中定义的装载工况提出。

就此项而言，载运包装货物的货舱应视为空舱。

除非船舶拟在非均匀装载工况下仅载运铁矿砂或密度为 1.78 t/m^3 及以上散货，货舱可以载运的最大货物质量还应按装至中纵剖面线处的上甲板平面考虑。

3.3.3　进水液面

进水液面 Z_F 是当船舶处于正浮位置时自基线垂直量取的距离，m，等于：

- 一般情况：
  - D_1　　对最前面的槽形横舱壁
  - $0.9D_1$　对其他舱壁

  若船舶在非均匀装载工况下应载运密度小于 1.78 t/m^3 的散货，可假设以下数值：
  - $0.95D_1$　对最前面的槽形横舱壁
  - $0.85D_1$　对其他舱壁
- 载重量小于 50,000 吨的 B 型干舷船舶：
  - $0.95D_1$　对最前面的槽形横舱壁
  - $0.85D_1$　对其他舱壁

  若船舶在非均匀装载工况下载运密度小于 1.78 t/m^3 的散货，可假设以下数值：
  - $0.9D_1$　对最前面的槽形横舱壁
  - $0.8D_1$　对其他舱壁

3.3.4　装货舱未进水时舱壁槽条上的压力和力

舱壁各点的压力，kN/m^2，应由下式得出：

$$p_B = \rho_C g (h_C + h_{DB} - z) \tan^2\left(45 - \frac{\psi}{2}\right)$$

作用于槽条上的力，kN，应由下式得出：

$$F_B = \rho_C g s_C \frac{(h_C - h_{LS})^2}{2} \tan^2\left(45 - \frac{\psi}{2}\right)$$

3.3.5　装货舱进水时舱壁槽条上的压力和力

依据 z_F 和 h_C 的值（见［3.3.3］和［1.1］），应考虑两种情况：

- 第一种情况，当 $z_F \geqslant h_C + h_{DB}$

舱壁上在基线以上 z_F 和 h_C+h_{DB} 之间任何一点的压力，kN/m^2，应由下式得出：

$$p_{B,F} = \rho g (z_F - z)$$

舱壁上在基线以上低于 h_C+h_{DB} 任何一点的压力，kN/m^2，应由下式得出：

$$p_{B,F} = \rho g (z_F - z) + [\rho_C - \rho (1 - p_{erm})] g (h_C + h_{DB} - z) \tan^2\left(45 - \frac{\psi}{2}\right)$$

式中：p_{erm}——货物渗透率，对铁矿砂、煤和水泥应取为 0.3。

作用于槽条上的力，kN，应由下式得出：

$$F_{B,F} = s_C \left[\rho g \frac{(z_F - h_C - h_{DB})^2}{2} + \frac{\rho g (z_F - h_C - h_{DB}) + (p_{B,F})_{LE}}{2} (h_C - h_{LS})\right]$$

式中：$(p_{B,F})_{LE}$——在槽条下端计算的压力 $p_{B,F}$，kN/m^2。

- 第二种情况，当 $z_F < h_C + h_{DB}$

舱壁上在基线以上 z_F 和 h_C+h_{DB} 之间任何一点的压力，kN/m^2，应由下式得出：

$$p_{B,F} = \rho_C g (h_C + h_{DB} - z) \tan^2\left(45 - \frac{\psi}{2}\right)$$

舱壁上在基线以上低于 z_F 任何一点的压力，kN/m^2，应由下式得出：

$$p_{B,F}=\rho g(z_F-z)+[\rho_C(h_C+h_{DB}-z)-\rho(1-p_{erm})(z_F-z)]g\tan^2\left(45-\frac{\psi}{2}\right)$$

式中：p_{erm}——货物渗透率，对铁矿砂、煤和水泥应取为 0.3。

作用于槽条上的力，kN，应由下式得出：

$$F_{B,F}=s_C\left[\rho_C g\frac{(h_C+h_{DB}-z_F)^2}{2}\tan^2\left(45-\frac{\psi}{2}\right)\right]+s_C\left[\frac{\rho_C g(h_C+h_{DB}-z_F)\tan^2\left(45-\frac{\psi}{2}\right)+(p_{B,F})_{LE}}{2}(z_F-h_{DB}-h_{LS})\right]$$

式中：$(p_{B,F})_{LE}$——在槽条下端计算的压力 $p_{B,F}$，kN/m^2。

3.3.6　空舱进水时舱壁槽条的压力和作用力

由于进水对舱壁各点产生的静水压力，kN/m^2，应由下式得出：

$$p_F=\rho g(z_F-z)$$

作用于槽条上的力，kN，应由下式得出：

$$F_F=s_C\rho g\frac{(z_F-h_{DB}-h_{LS})^2}{2}$$

3.3.7　合成压力和合力

均匀和非均匀装载工况计算的合成压力和合力应按以下各式得出：

- 均匀装载工况

计算舱壁尺寸时考虑的舱壁结构各点的合成压力，kN/m^2，应由下式得出：

$$p=p_{B,F}-0.8p_B$$

作用于槽条上的合力，kN，应由下式得出：

$$F=F_{B,F}-0.8F_B$$

式中：p_B——未进水货舱内的压力，kN/m^2，按［3.3.4］的规定得出；

$p_{B,F}$——进水货舱内的压力，kN/m^2，按［3.3.5］的规定得出；

$F_{B,F}$——进水货舱内作用于舱壁槽条的力，kN，按［3.3.5］的规定得出；

F_B——非进水货舱内作用于舱壁槽条的力，kN，按［3.3.4］的规定得出。

- 非均匀装载工况

计算舱壁尺寸时考虑的舱壁结构各点的合成压力，kN/m^2，应由下式得出：

$$p=p_{B,F}$$

作用于槽条上的合力，kN，应由下式得出：

$$F=F_{B,F}$$

式中：$p_{B,F}$——进水货舱内的压力，kN/m^2，按［3.3.5］的规定得出；

$F_{B,F}$——进水货舱内作用于舱壁槽条的力，kN，按［3.3.5］的规定得出。

3.4　双层底

3.4.1　适用范围

每个货舱应按单独进水考虑。

3.4.2　一般要求

作用于双层底的载荷，为外部海水压力、货物载荷和双层底所在货舱进水产生载荷的组合。

应采用货物载荷和进水载荷的最不利组合，该组合取决于装载手册中的装载工况：

- 均匀装载工况；
- 非均匀装载工况；
- 包装货物工况（例如钢厂产品）。

对各装载工况，在计算货舱允许装载量时应考虑所载运干散货的最大密度。

3.4.3　进水液面

进水液面 z_F 是船舶在正浮位置从基线量起的垂直距离，m，取为：

- 对载重量小于 50000t 的 B 类干舷船舶：
  - $0.95D_1$　对最前面货舱
  - $0.85D_1$　对其他货舱
- 对其他船舶：
  - D_1　对最前面货舱
  - $0.9D_1$　对其他货舱

4　试验侧向压力

4.1　静水压力

4.1.1　在液舱试验时，作用于板材和扶强材的总压力，kN/m^2，由下式得出：

$$p_{ST} = 10(z_{ST} - z)$$

式中：z_{ST}——试验载荷高度，m，定义见表 2。

试 验 载 荷 高 度　　表 2

试 验 舱 室 或 结 构	试 验 载 荷 高 度 (m)
双层底液舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{TOP} + d_{AP}$ $z_{ST} = z_{ml}$
底边舱、顶边舱、双舷侧舱、用作液舱的首尾尖舱、隔离舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{TOP} + d_{AP}$ $z_{ST} = z_{TOP} + 2.4$
液舱舱壁，深舱，燃油舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{TOP} + d_{AP}$ $z_{ST} = z_{TOP} + 2.4$ $z_{ST} = z_{TOP} + 10p_{PV}$
压载货舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{TOP} + d_{AP}$ $z_{ST} = z_h + 0.9$
不用作液舱的首尾尖舱	以下之大者： $z_{ST} = z_F$ $z_{ST} = z_{ml}$
干舷甲板以下水密门	$z_{ST} = z_{fd}$
锚链舱（如在防撞舱壁之后）	$z_{ST} = z_{TOP}$

续上表

试 验 舱 室 或 结 构	试 验 载 荷 高 度 (m)
独立液舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{TOP} + d_{AP}$ $z_{ST} = z_{TOP} + 0.9$
压载管道	试验载荷高度对应于压载水泵最大压力

注：z_{ml}：限界线 Z 坐标，m；

z_h：舱口顶端 Z 坐标，m；

z_F：定义见［3. 2. 1］；

Z_{fd}：干舷甲板 Z 坐标，m；

p_{PV}：安全阀的设定压力，bar。

第 7 节　装 载 工 况

符号

M_H：最大吃水时，均匀装载工况下货舱内实际载货量，t。

M_{Full}：均匀装载工况下，货舱内货物取虚拟密度（载货量 / 货舱舱容，最小取 1. 0 t/m^3）装至舱口围板顶部时的载货量，t：

$$M_{Full} = V_{Full} \cdot \max(M_H/V_{H,1.0})$$

在任何情况下，M_{Full} 应不小于 M_H。

M_{HD}：最大吃水时，有指定空舱组的设计装载工况下，货舱的最大允许载货量，t。

V_{Full}：货舱容积，m^3，包括舱口围板包围的容积。

V_H：容积，m^3，见第 4 章第 6 节。

T_{HB}：最大压载吃水，m。

1　适用范围

1. 1　船长 L 小于 150m 的船舶

1. 1. 1　按照第 5 章第 1 节总纵强度校核和第 6 章板材、次要构件和主要支撑构件的局部强度校核，应考虑装载手册中、船中横剖面图纸上以及设计者另行规定的最不利装载工况。

1. 2　船长 L 为 150m 及以上的船舶

1. 2. 1　［2］至［4］的要求适用于船长 L 为 150m 及以上船舶。

1. 2. 2　这些要求不妨碍其他应提交计算的设计装载工况被纳入装载手册，而且不能以任何方式替代必需的装载手册和装载仪。

1. 2. 3　最大装载工况吃水应取为夏季载重线型吃水。

1. 2. 4　为了压载舱的容量和布置以及稳性之目的，［2］所列装载工况适用于第 5 章第 1 节要求的总纵强度校核，第 6 章局部强度校核，第 7 章直接强度分析。［3］所列装载工况应用于局部强度校核。［4］所列装载工况应用于直接强度分析。

1. 2. 5　在营运时，只要总纵强度和局部强度不超出装载手册和船上装载仪的要求以及适用的稳性要求，散货船装载工况可不同于装载手册规定的设计装载工况。

2　一般要求

2.1　设计装载工况—— 一般要求

2.1.1　为确定货舱的最大载货量，应考虑船舶最大吃水时载货且携有 50% 消耗备品的相应工况。

2.1.2　BC-C

最大吃水时的均匀装载工况，所有货舱（包括舱口）货物密度相同且 100% 满载，所有压载舱为空舱。

2.1.3　BC-B

按 BC-C 要求，加上：

最大吃水时的均匀装载工况，货物密度为 3.0t/m^3，所有货舱装载率（货物质量 / 货舱舱容）相同，所有压载舱为空舱。

如果该设计装载工况的货物密度小于 3.0t/m^3，船舶允许载运的最大货物密度应以附加营运特性标志 {maximum cargo density *x*. *y* t/m^3} 标明。

2.1.4　BC-A

按 BC-B 要求，加上：

至少一个载货工况有指定空货舱组，货物密度 3.0t/m^3，最大吃水时所有载货舱的装载率（货物质量 / 货舱舱容）相同，所有压载舱为空舱。

指定空货舱组应以附加营运特性标志 {holds *a*, *b*, …may be empty} 标明。

如果货物密度小于 3.0t/m^3，船舶允许载运的最大货物密度应以附加营运特性标志 {holds *a*, *b*, … may be empty with maximum cargo density *x*. *y* t/m^3} 标明。

2.2　适用的压载工况

2.2.1　压载舱舱容和布置

所有散货船应有足够舱容的压载舱，且其布置应至少满足以下要求：

正常压载工况

正常压载工况所指压载（无货物）工况为：

- 压载舱可为满舱、部分压载或空舱。压载舱如为部分压载，应满足第 4 章第 3 节的条件；
- 任一货舱或可在海上装载压载水的货舱应为空舱；
- 螺旋桨应全浸没；和
- 船舶应尾倾且应不超过 0.015L_{BP}。

在评估螺旋桨浸深和纵倾时，可用首尾垂线处吃水。

重压载工况

重压载工况所指压载（无货物）工况为：

- 压载舱可为满舱、部分压载或空舱。压载舱如为部分压载，应满足第 4 章第 3 节的条件；
- 至少一个在海上用于装载压载水的货舱应为满舱；
- 螺旋桨浸深 *I*/*D* 应至少为 60%，其中：

  I = 螺旋桨中线至水线距离

  D = 螺旋桨直径
- 船舶应尾倾且应不超过 0.015L_{BP}；
- 重压载工况下的船首型吃水应不小于 0.03L_{BP} 或 8m 两者中之小值。

2.2.2　强度要求

所有散货船均应满足以下强度要求：

(a) 正常压载工况

- 船首底部结构应按规范要求加强，以承受［2.2.1］所述正常压载工况下最小首吃水时的砰击；
- ［2.2.1］所述正常压载工况，应满足第 4 章第 3 节的总纵强度要求；和

- 另外，对于所有压载舱均 100% 满舱的工况，应满足第 4 章第 3 节的总纵强度要求。

(b) 重压载工况

- [2. 2. 1] 所述重压载工况，应满足第 4 章第 3 节的总纵强度要求；
- 另外，所有压载舱均 100% 满舱且一个设计可在海上装载压载水的货舱（如有）100% 满舱时，应满足第 4 章第 3 节的总纵强度要求；和
- 如有一个以上设计可在海上装载压载水的货舱，则总纵强度评估中不要求假定两个或更多货舱同时 100% 满舱，除非重压载工况明确规定有这种工况。除非对每个货舱单独校核过，否则专用重压载货舱和对使用其他货舱压载的任何 / 所有限制均应在装载手册中注明。

2.3　出港和到港工况

2.3.1　除另有规定外，[2. 1] 和 [2. 2] 定义的每个设计装载工况应对如下出港和到港工况进行校核：

出港工况：燃油舱不小于 95% 满，其他消耗备品 100% 满；

到港工况：消耗备品 10%。

3　设计装载工况（局部强度）

3.1　定义

3.1.1　一个货舱或两个相邻装货货舱内的最大允许或最小要求载货量，与双层底上的净载荷相关。双层底上的净载荷是吃水和货舱载货量以及双层底舱所装燃油和压载水质量的函数。

3.2　适用的一般工况

3.2.1　最大吃水时，任一货舱双层底处燃油舱（如有）为 100% 满舱，双层底处压载舱为空舱时，该货舱应能载运 M_{Full} 的货物。

3.2.2　最大吃水时，任一货舱所有双层底舱为空舱时，该货舱应能载运 50%M_H 的货物。

3.2.3　最大压载吃水时，任一货舱双层底处所有舱为空舱时，该货舱应能空舱。

3.3　适用的附加工况（授予附加营运特性标志〔No MP〕时除外）

3.3.1　67% 最大吃水时，任一货舱双层底处燃油舱（如有）为 100% 满舱，双层底处压载舱为空舱时，该货舱应能载运 M_{Full} 的货物。

3.3.2　83% 最大吃水时，任一货舱双层底处所有舱为空舱时，该货舱应能空舱。

3.3.3　67% 最大吃水时，任何两个相邻货舱双层底处燃油舱（如有）为 100% 满舱，双层底处压载舱为空舱时，该两货舱均应能载运 M_{Full} 的货物。货舱载货量和该货舱双层底处燃油舱的这一要求，也适用于相邻货舱装满压载水的工况（如适用）。

3.3.4　75% 最大吃水时，任何两个相邻货舱双层底处所有舱为空舱时，该两货舱均应能空舱。

3.4　仅适用于 BC－A 的附加工况

3.4.1　最大吃水时，拟空舱的货舱，当货舱双层底处所有舱为空舱时，该货舱应能空舱。

3.4.2　最大吃水时，拟装载重货的货舱，当货舱双层底处燃油舱（如有）为 100% 满舱，双层底处压载舱为空舱时，该货舱应能载运 M_{HD} 加 10%M_H 的货物。

在营运中，最大允许载货量应限制在 M_{HD}。

3.4.3　最大吃水时，按照设计装载工况如果两个相邻货舱载货，而与它们相邻的货舱为空舱情况下，当货舱双层底处的燃油舱（如有）为 100% 满舱，双层底处压载舱为空舱时，该两相邻货舱除设计装载工况规定的最大载货量外，还应能各自加载 10%M_H。

在营运中，最大允许载货量应限制在设计装载工况规定的最大载货量。

3.5　仅适用于压载货舱的附加工况

3.5.1　任何重压载吃水时，设计为压载舱的货舱当该货舱双层底所有舱 100% 满舱，该货舱应能 100% 装满压载水（包括舱口）。当该货舱装满压载水而相邻的顶边舱、斜边舱和双层底舱为空舱时，

强度应满足要求。

3.6　仅适用于港内装 / 卸时的附加工况

3.6.1　港内，67% 最大吃水时，任一货舱应能装载航行状态下的最大允许装货量。

3.6.2　港内，67% 最大吃水时，任何两个相邻货舱双层底处的燃油舱（如有）为 100% 满舱，双层底处的压载舱为空舱时，这两个货舱均应能装载 M_{Full}。

3.6.3　港口装 / 卸过程中吃水减少时，货舱最大允许载货量可按航行工况下最大吃水时的最大允许载货量的 15% 增加，但不得超过航行工况下最大吃水时的允许载货量。最小要求载货量可按同样数量减少。

3.7　货舱载货量曲线

3.7.1　装载手册和装载仪应包括货舱载货量曲线。曲线应基于 [3.2] 至 [3.6]（[3.5.1] 除外）给出的局部强度设计装载衡准，表明航行工况下和港口装 / 卸时的最大允许载货量和最小要求载货量与吃水的函数关系。载货量曲线根据第 4 章附录 1 计算。

3.7.2　对于设计装载工况规定以外的其他吃水，最大允许载货量和最小要求载货量应按作用于船底浮力的变化进行调整。浮力变化应按照吃水处的水线面面积计算。

装载手册和装载仪应包括每一货舱以及每两相邻货舱的货舱载货量曲线。

4　直接强度分析的设计装载工况

4.1　装载模式

4.1.1　适用于不同营运特性标志散货船的装载模式汇总见表 1，应按照 [2] 和 [3] 在直接强度分析中考虑。

4.1.2　装载手册中如有未包括在表 1 中的其他装载工况，分析时也应考虑。

适用于附加营运特征标志散货船的装载模式　　表 1

编号	装　载　模　式	参　　考	BC-			BC-, (no MP)		
			A	B	C	A	B	C
1	满载均匀装载	3.2.1	x	x	x	x	x	x
2	非满载	3.2.2	x	x	x	x	x	x
3	最大压载	3.2.3	x	x	x	x	x	x
4	多港 – 1	3.3.1	x	x	x			
5	多港 – 2	3.3.2	x	x	x			
6	多港 – 3	3.3.3	x	x	x			
7	多港 – 4	3.3.4	x	x	x			
8	隔舱装载	3.4.1 & .2	x			x		
9	连舱隔舱装载	3.4.3	x			x		
10	重压载	3.5.1	x	x	x	x	x	x
11	港内 – 1	3.6.1				x	x	x
12	港内 – 2	3.6.2				x	x	x

4.2　静水弯矩和剪力

4.2.1　表 1 中的每一个装载模式均应考虑本章第 4 节定义的载荷工况。装载模式与载荷工况组合时应使用表 2 给出的垂向静水弯矩和表 3 给出的垂向静水剪力。

4.2.2　如果装载手册中某一装载工况的最大静水弯矩值比表 2 中的相应装载模式更严重，应用装载手册之值替代表 2 中之值。

垂 向 静 水 弯 矩　　**表 2**

		装载模式				
		满载均匀装载工况	非满载 隔舱装载 正常压载	多港 连舱隔舱装载 最大压载	重压载 （货舱压载）	港内工况
载荷工况	H1	$0.5M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	—
	H2	$0.5M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	0	
	F1	$0.5M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	
	F2	$0.5M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	0	
	R1	$0.5M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	
		$0.5M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	0	
	R2	$0.5M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	
		$0.5M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	0	
	P1	$0.5M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	
	P2	$0.5M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	0	
	静	—				$M_{SW,P,S}$
						$M_{SW,P,H}$

注：$M_{SW,H}$——航行工况下，中拱状态许用垂向静水弯矩；

$M_{SW,S}$——航行工况下，中垂状态许用垂向静水弯矩；

$M_{SW,P,H}$——港内工况下，中拱状态许用垂向静水弯矩；

$M_{SW,P,S}$——港内工况下，中垂状态许用垂向静水弯矩。

垂 向 静 水 剪 力　　**表 3**

		装载模式				
		满载均匀装载工况	隔舱装载 (BC-A)	多港 (BC-B 和 BC-C)	重压载 （货舱压载）	重压载 （货舱压载除外）
载荷工况	H1	—	Q_{SW}	Q_{SW}	Q_{SW}	—
	H2	—	Q_{SW}	Q_{SW}	Q_{SW}	—
	F1	—	Q_{SW}	Q_{SW}	Q_{SW}	—
	F2	—	Q_{SW}	Q_{SW}	Q_{SW}	—

注：Q_{SW}——所考虑横舱壁处的许用静水剪力。

4.3　适用范围

4.3.1　直接强度分析的最少要求装载工况，包括垂向剪力分析，见第 4 章附录 2。

4.3.2　疲劳评估的标准装载工况见第 4 章附录 3。

第 8 节　装载手册和装载仪

1　一般要求

1.1　所有船舶

所有船舶的船上应配备一份经认可的装载手册。

另外，所有船舶应配备一台经认可的装载仪。

装载仪是船舶规定的船载设备，其计算结果仅适用于其认可的船舶。

经认可的装载仪不能取代经认可的装载手册。

1.2　船长 L 为 150m 及以上船舶

BC-A、BC-B 和 BC-C 船舶应按本节适用要求，配备经认可的装载手册和经认可的装载仪。

装 / 卸顺序指导见 [5]。

2　装载手册

2.1　定义

2.1.1　所有船舶

装载手册是说明以下各项的文件：

- 船舶设计所依据的装载工况，包括许用静水弯矩和许用静水剪力。装载手册应包括交换压载水步骤和进坞步骤；
- 静水弯矩和静水剪力计算结果；
- 结构（舱口盖、甲板、双层底等）的许用局部装载。

2.1.2　船长 L 为 150m 及以上船舶

除 [2.1.1] 的内容以外，对 BC-A、BC-B 和 BC-C 船舶，装载手册还应说明：

- 按照第 5 章第 1 节进水工况下货舱静水弯矩和静水剪力包络线结果和许用值；
- 满载吃水时可能空舱的货舱或货舱组合。如满载吃水时不允许任何货舱空舱，应在装载手册中明确声明；
- 每个货舱载货和其双层底内物品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；
- 每两个相邻货舱载货和其双层底内物品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。该平均吃水可取两个货舱中部吃水的平均值；
- 双层底最大允许载货量以及除散货以外的货物的性质的说明书；
- 甲板和舱口盖的最大许用载荷。如船舶未获批准在甲板和舱口盖载货，则应在装载手册中予以明确声明；
- 压载水最大变化率，以及以能达到的压载变化率为基础的装载计划，应取得港口方面同意的建议。

2.2　认可条件

2.2.1　所有船舶

认可的装载手册应基于船舶完工数据。该手册应包括设计（载货和压载）装载工况，合适时应分为出港和到港工况，作为认可船体构件尺寸的依据。

如果由于改建造成船舶主要数据发生变化，应重新签发一份经认可的新装载手册。

2.2.2　船长 L 为 150m 及以上船舶

除 [2.2.1] 外，BC-A、BC-B 和 BC-C 船舶的装载手册还应包括以下装载工况，合适时应分为出到港工况：

- 最大吃水时，均匀轻货和均匀重货装载工况；
- 最大吃水时，轻货和重货隔舱装载工况（如适用）；
- 压载工况。对压载货舱邻接顶边舱、底边舱和双层底舱的船舶，当压载货舱装满压载水而顶边舱、底边舱和双层底舱为空舱时，强度应达到要求；
- 船舶装货至最大吃水，但燃料有限的短途航行工况；
- 多港装 / 卸工况；
- 甲板载货工况（如适用）；
- 典型装载顺序。对均匀装载工况、相关的部分装载工况和隔舱装载工况（如适用），船舶从开始装货到装至最大载重量的装载顺序，还应包括这些工况的典型卸货顺序。制定典型装 / 卸顺序应不超过适用的强度限制，制定典型装载顺序还应充分注意装载速率和排压载能力。表 1 显示《装载顺序汇总表》的一个示例，仅供指导；
- 海上交换压载水的典型顺序（如适用）。

2.3　语言

2.3.1　装载手册应以使用者通晓的语言编写。如该语言不是英语，应包括英译文。

3　装载仪

3.1　定义

3.1.1　所有船舶

装载仪是一个模拟或数字仪器，在任一装载或压载工况下通过它可以方便迅速地确认静水弯矩、剪力在规定读出点没有超过规定的许用值。

3.1.2　船长 L 为 150m 及以上船舶

BC-A、BC-B 和 BC-C 船舶的装载仪是经认可的如［3.1.1］定义的数字系统。除［3.1.1］的规定外，它还应按适用情况确定：

- 每个货舱载货和其双层底内物品的质量与货舱中部吃水的函数关系；
- 每两个相邻货舱载货和其双层底内物品的质量与货舱平均吃水的函数关系；
- 货舱进水工况下，货舱的静水弯矩和剪力。

没有超过规定的许用值。

3.2　认可条件

3.2.1　所有船舶

装载仪须经认可，认可内容为：

- 验证型式认可，如有；
- 验证船舶完工数据已经使用；
- 验收所有读出点的数量和位置；
- 验收读出点的相关许用值；
- 按同意的试验条件，核查装载仪在船上是否正确安装和操作，以及是否有一份操作手册副本可用。

3.2.2　船长 L 为 150m 及以上船舶

另外，对 BC-A、BC-B 和 BC-C 船舶的认可，还应按适用情况包括：

- 验收所有读出点的船体梁弯矩许用值；
- 验收所有读出点的船体梁剪力许用值；
- 验收每个货舱货物和双层底物品与吃水函数关系的极限值；
- 验收每两个相邻货舱货物和双层底物品与吃水函数关系的极限值。

3.2.3　如果由于改建造成船舶主要数据发生变化，装载仪应相应修改并经认可。

典型装载顺序汇总表指导

表 1

LOADING/UNLOADING SEQUENCE SUMMARY FORM

Vessel name	Voyage No.	Condtion	Yard	Id. Number



Hold No.		7	6	5	4	3	2	1
Volume of Hold(m^3)								
Height of Hold(m)								

Port (specific or typical):	Condition at commencement of loading/discharging	
Total mass of cargo to be loaded/discharge:	Condition at end of loading/discharging	
Dock water density(t/m^3)	Maximum loading/discharging rate:	Average loading/discharging rate:
Number of loaders/dischargers	Maximum Ballasting/Deballasting rate:	Average Ballasting/Deballasting rate:

Note: During each pour it has to be controlled that allowable moment for hull girder shear force, bending moments and mass in holds are not exceeded Loading/discharging specification may have to be pressed to allow for ballasting/deballasting in order to keep actual values within limits.

Hold content at commencement of Loading/discharging

Cargo mass									
Density(t/m^3)									
Grade									

Ballasting contents at commencement of loading/discharging

Wings or peaks	APT	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	FPT
Upper									
Lower/peak									

Commencement of loading/discharging

T_{aft} (m)	t_{rim} (m)	t_{fwd} (m)	Maximum	
			S.F.(%)	B.M.(%)

CARGO OPERATIONS

BALLASTING OPERATIONS

Pour No./ Crade	Hold	Hold	Hold 7	Hold 6	Hold 5	Hold 4	Hold 3	Hold 2	Hold 1	Upper Lower/Peak	APT	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	No. B.T.	FPT
1										Upper									
										Lower/peak									
2										Upper									
										Lower/peak									
3										Upper									
										Lower/peak									
4										Upper									
										Lower/peak									
5										Upper									
										Lower/peak									
6										Upper									
										Lower/peak									
7										Upper									
										Lower/peak									
8										Upper									
										Lower/peak									
										Upper									
										Lower/peak									

Values at end of port(from harbor to sea)

T_{aft} (m)	t_{rim} (m)	t_{fwd} (m)	Maximum	
			S.F.(%)	B.M.(%)

Total cargo onboard(t): Remaining cargo to be loaded(t) Total amount of bunkers Onboard(t):

Draft Survey										Upper									
										Lower/peak									
Draft Survey										Upper									
										Lower/peak									

Hold content at end of loading/discharging

cargo mass									
Total mass loaded/ discharged(t)									

Ballasting contents at end of loading/discharging

Wings or peaks	APT								FPT
Upper									
Lower/peak									

Value at end of loading/discharging(m^3)

T_{aft} (m)	t_{rim} (m)	t_{fwd} (m)	Maximum	
			S.P.(%)	B.M.(%)

Maximum occuing values among all conditions above

Net load on Double bottom									
Net load in two adjacent holds									tons

Net load on double bottom=$(M_h/v)\cdot h/T$(t/m^3)
Where: M_h=Mass in hold+mass in DB(t);
V=Total volume of hold(m^3);
h=height of hold from inner bottom to top of coaming(m);
T=Draught(m)。

Approved by: _____

Date : _____

3.2.4　装载仪总是应配备一本操作手册。

操作手册和装载仪输出应以使用者通晓的语言编写。如该语言不是英语，应包括英译文。

3.2.5　装载仪安装之后，应按同意的试验条件验证其操作。应核查船上可进行装载仪的同意的试验条件和备有装载仪操作手册。

4　年度检验和换证检验

4.1　一般要求

4.1.1　每次年检和换证检验，均应核查船上是否有经认可的装载手册。

4.1.2　船长应按试验装载工况，定期核查装载仪的精度。

4.1.3　每次换证检验，均应在验船师在场的情况下作此核查。

5　装 / 卸货顺序指导

5.1　一般要求

5.1.1　制定典型装 / 卸货顺序，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。

5.1.2　造船者应准备和提交典型装 / 卸货顺序以供认可。

5.1.3　典型装 / 载货顺序的相关内容应包括：

- 轻货和重货隔舱装载工况；
- 均匀轻货和均匀重货装载工况；
- 船舶装货至最大吃水，但燃料有限的短途航行工况；
- 多港装 / 卸工况；
- 甲板载货工况；
- 连舱装载工况。

5.1.4　装 / 卸货顺序可针对具体港口或为典型顺序。

5.1.5　该顺序应从开始装货到装至最大载重量一个步骤一个步骤编写。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船级社。除总纵强度外，还应考虑各货舱的局部强度。

5.1.6　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，例如：

- 在不同步骤中，每个货舱装有多少货物；
- 在不同步骤中，每个压载舱排放多少压载水；
- 每个步骤结束时，最大静水弯矩和剪力；
- 每个步骤结束时，船舶纵倾和吃水。

附录1　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最低点的垂直距离，m。

h_a：船舶块状装载时后货舱中纵剖面处从内底板顶部到上甲板最低点的垂直距离，m。

h_f：船舶块状装载时前货舱中纵剖面处从内底板顶部到上甲板最低点的垂直距离，m。

M_{BLK}：装载手册中块状装载工况给出的一个货舱的最大货物质量，t。

$\sum$：两个相邻货舱的质量之和。

M_H：定义见第 4 章第 7 节。

M_{Full}：定义见第 4 章第 7 节。

M_{HD}：定义见第 4 章第 7 节。

M_D：每个货舱给出的最大载货量，t。

T_{HB}：定义见第 4 章第 7 节。

T_i：第 i 装载工况下货舱长度 l_H 中点处的吃水，m。

V_H：定义见第 4 章第 6 节。

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. 75 T_S 或两相邻货舱空舱的压载工况吃水，取大者，m。

1　一般要求

1. 1　适用范围

1. 1. 1　本附录要求适用于船长 L 为 150m 及以上船舶。

1. 1. 2　本附录所述步骤用于确定以下内容：

- 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；
- 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　计算结果应纳入被核查的装载手册，装载手册也应从设计角度表明结构吃水时，每个货舱和每两个相邻货舱的最大允许载货量。

1. 1. 4　以下与最大允许载货量和最小要求载货量相关的注解应在装载手册中陈述。

如果船舶从事载运诸如热钢卷和重货等对双层底局部强度不利的营运，且该装载情况未在装载手册中陈述时，货舱最大允许载货量和最小要求载货量应特别考虑。

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　一般要求

航行工况下单个货舱的载货量曲线定义见［2. 1. 2］至［2. 1. 5］。当然，如果已经对船舶结构用比第 4 章第 7 节［3. 7. 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那些相应工况。

2. 1. 2　未授予 {No MP} 标志的 BC-A 船舶

- 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：

$$W_{\max}(T_i) = M_{HD} + 0.1M_H - 1.025V_H\frac{(T_S - T_i)}{h}$$

但是，在任何情况下，$W_{\max}(T_i)$ 应不大于 M_{HD}

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：

$$W_{\min}(T_i)=0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant 0.83T_S$$

$$W_{\min}(T_i)=1.025V_H\frac{(T_i-0.83T_S)}{h} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i > 0.83T_S$$

- 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：

$$W_{\max}(T_i)=M_{Full} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i \geqslant 0.67T_S$$

$$W_{\max}(T_i)=M_{Full}-1.025V_H\frac{(0.67T_S-T_i)}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67T_S$$

最小要求载货量（$W_{\min}(T_i)$），t，应按下式得出：

$$W_{\min}(T_i)=0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant T_S$$

未授予 {No MP} 标志的 BC-A 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 1。

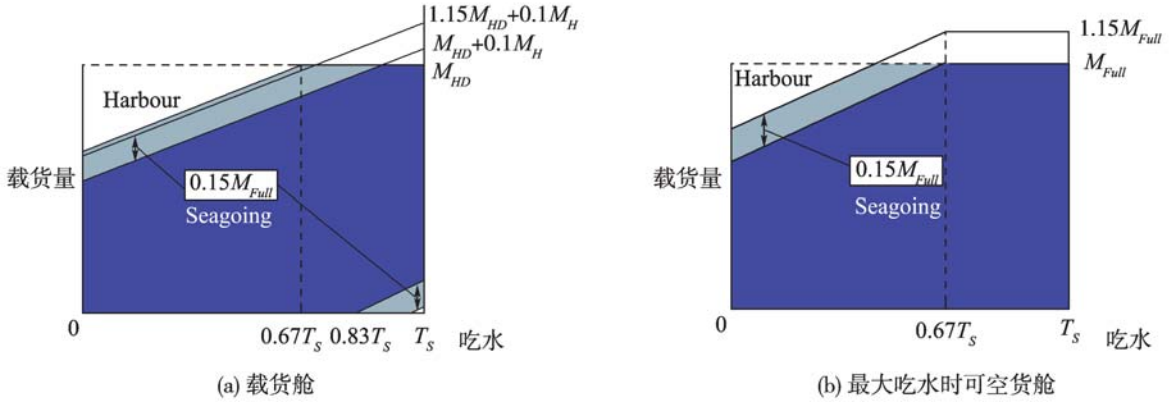


图1　未授予{No MP}标志的BC-A船舶载货量曲线示例

2.1.3　授予 {No MP} 标志的 BC-A 船舶

- 载货舱

不同吃水（T_i）时，最大允许载货量（$W_{\max}(T_i)$）与［2.1.2］规定相同。

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：

$$W_{\min}(T_i)=0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant T_{HB}$$

$$W_{\min}(T_i)=1.025V_H\frac{(T_i-T_{HB})}{h} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i > T_{HB}$$

$$W_{\min}(T_i)=0.5M_H-1.025V_H\frac{(T_S-T_i)}{h}\geqslant 0 \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i$$

- 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：

$$W_{\max}(T_i)=M_{Full}-1.025V_H\frac{(T_S-T_i)}{h}$$

不同吃水（T_i）时，最小要求载货量（$W_{\min}(T_i)$），t，应按下式得出：

$$W_{\min}(T_i)=0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant T_S$$

授予 {No MP} 附加标志的 BC-A 船舶的货舱载货量曲线示例见图 2。

2.1.4　未授予 {No MP} 标志的 BC-B 和 BC-C 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：

$$W_{\max}(T_i)=M_{Full} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i \geqslant 0.67T_S$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} - 1.025V_H\frac{(0.67T_S - T_i)}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67T_S$$

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：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant 0.83T_S$$

$$W_{\min}(T_i) = 1.025V_H\frac{(T_i - 0.83T_S)}{h} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i > 0.83T_S$$

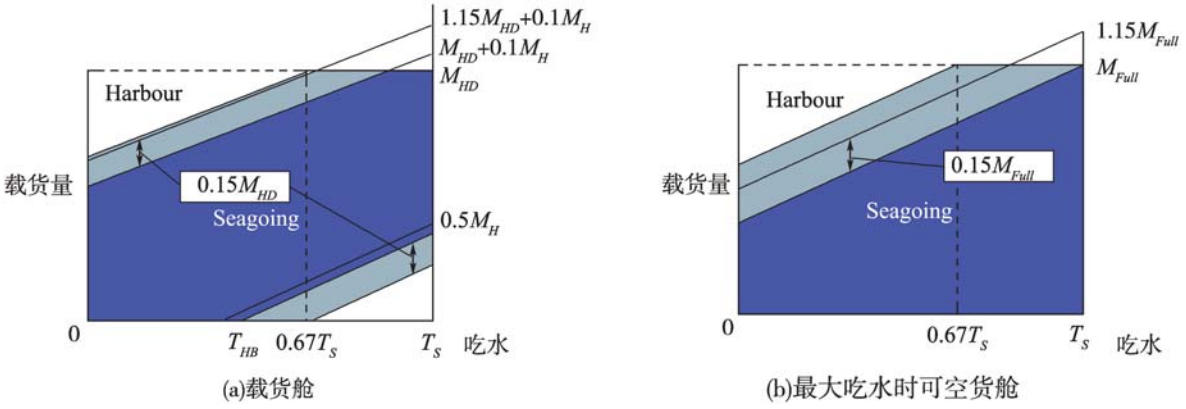


图2　授予{No MP}标志的BC-A船舶载货量曲线示例

BC-B 和 BC-C 船舶的货舱载货量曲线示例见图 3。

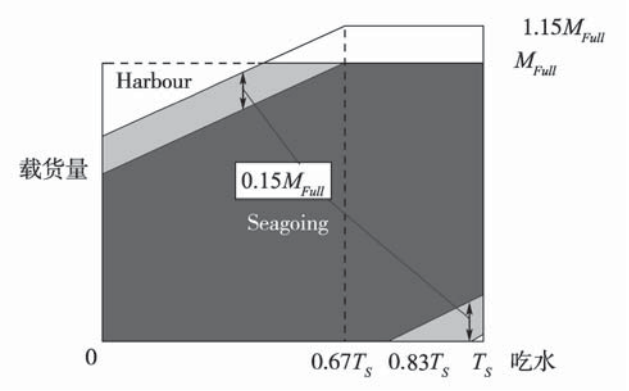


图3　未授予{No MP}标志的BC-B和BC-C船舶载货量曲线示例

2.1.5　授予 {No MP} 标志的 BC-B 和 BC-C 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：

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} - 1.025V_H\frac{(T_S - T_i)}{h}$$

不同吃水（T_i）时，最小要求载货量（$W_{\min}(T_i)$），t，应按下列公式计算获得：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant T_{HB}$$

$$W_{\min}(T_i) = 1.025V_H\frac{(T_i - T_{HB})}{h} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i > T_{HB}$$

或者

$$W_{\min}(T_i) = 0.5M_H - 1.025V_H\frac{(T_S - T_i)}{h} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i$$

$$W_{\min}(T_i) \geqslant 0.0$$

授予 {No MP} 标志的 BC-B 或 BC-C 船舶的货舱载货量曲线示例见图 4。

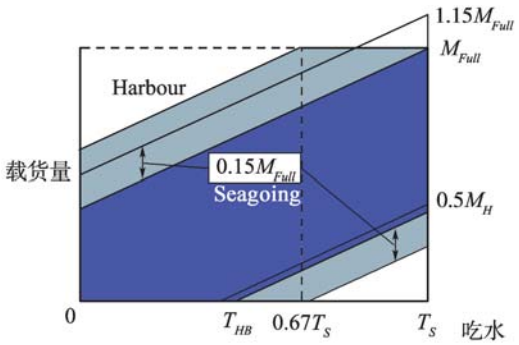


图4　授予{No MP}标志的BC-B和BC-C船舶载货量曲线示例

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　一般要求

港内工况下单个货舱的载货量曲线定义见 [2.2.2]。当然，如果已经对船舶结构用比第 4 章第 7 节 [3.7.1] 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那些相应工况。

2.2.2　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%。但在任何情况下，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　未授予 {NO MP} 标志的 BC-A 船舶

除了 [2.1.2] 的要求外，港内工况不同吃水 T_i 时，最大允许载货量 $W_{\max}(T_i)$，t，还应按下列公式校核：

载货舱

$$W_{\max}(T_i) = M_{HD} \qquad \text{当 } T_i \geqslant 0.67T_S$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{HD} + 0.1M_H - 1.025V_H\frac{0.67T_S - T_i}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67T_S$$

2.2.4　授予 {No MP} 标志的 BC-A 船舶

除了 [2.1.3] 的要求外，港内工况不同吃水 T_i 时，最大允许载货量 $W_{\max}(T_i)$，t，还应按下列公式校核：

最大吃水时可空的货舱

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i \geqslant 0.67T_S$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} - 1.025V_H\frac{0.67T_S - T_i}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67T_S$$

2.2.5　授予 {No MP} 标志的 BC-B 和 BC-C 船舶

除了 [2.2.2] 的要求外，港内工况不同吃水 T_i 时，最大允许载货量 $W_{\max}(T_i)$，t，还应按下列公式校核：

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i \geqslant 0.67T_S$$

$$W_{\max}(T_i) = M_{Full} - 1.025V_H\frac{0.67T_S - T_i}{h} \qquad \text{当 } T_i < 0.67T_S$$

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　一般要求

航行工况下两个相邻货舱的载货量曲线定义见 [3.1.2] 至 [3.1.3]。当然，如果已经对船舶结构用

比第 4 章第 7 节［3. 7. 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那些相应工况。

3. 1. 2　具有块状装载工况且未授予 {No MP} 标志的 BC-A 船舶

不同吃水（T_i）时，最大允许载货量（$W_{\max}(T_i)$），t，应按下列公式的大者得出：

$$W_{\max}(T_i) = \sum(M_{BLK} + 0.1M_H) - 1.025\left(\frac{V_f}{h_f} + \frac{V_a}{h_a}\right)(T_S - T_i)$$

或者

$$W_{\max}(T_i) = \sum M_{Full} - 1.025\left(\frac{V_f}{h_f} + \frac{V_a}{h_a}\right)(0.67T_S - T_i)$$

但是，$W_{\max}(T_i)$ 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，应按下式得出：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant 0.75T_S$$

$$W_{\min}(T_i) = 1.025\left(\frac{V_f}{h_f} + \frac{V_a}{h_a}\right)(T_i - 0.75T_S) \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i > 0.75T_S$$

3. 1. 2 bis　具有块状装载工况且授予 {No MP} 标志的 BC-A 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：

$$W_{\max}(T_i) = \sum(M_{BLK} + 0.1M_H) - 1.025\left(\frac{V_f}{h_f} + \frac{V_a}{h_a}\right)(T_S - T_i)$$

但是，$W_{\max}(T_i)$ 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：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant T_{HB}$$

$$W_{\min}(T_i) = 1.025\left(\frac{V_f}{h_f} + \frac{V_a}{h_a}\right)(T_i - T_{HB}) \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i > T_{HB}$$

具有块状装载工况的 BC-A 船舶的货舱载货量曲线示例见图 5。

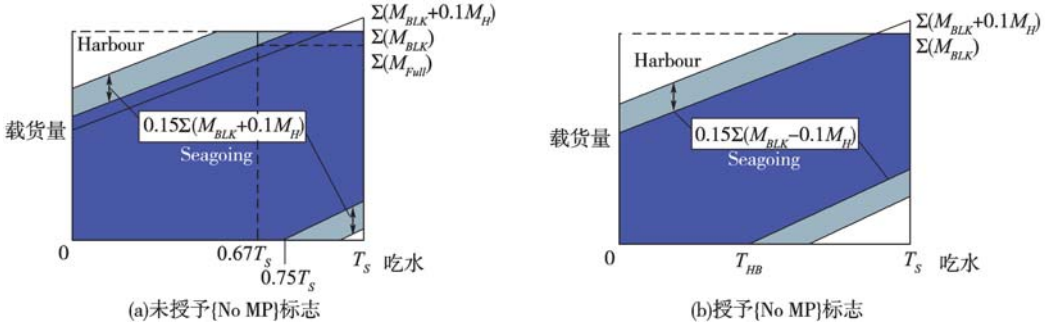


图5　具有块状装载工况的BC-A船舶载货量曲线示例

3. 1. 3　（空）

3. 1. 4　无块状装载工况且未授予 {No MP} 标志的 BC-A 船舶和未授予 {No MP} 标志的 BC-B 和 BC-C 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：

$$W_{\max}(T_i) = \sum M_{Full} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i \geqslant 0.67T_s$$

$$W_{\max}(T_i) = \sum M_{Full} - 1.025\left(\frac{V_f}{h_f} + \frac{V_a}{h_a}\right)(0.67T_S - T_i) \qquad \text{当 } T_i < 0.67T_S$$

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：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant 0.75T_S$$

$$W_{\min}(T_i) = 1.025\left(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a}\right)(T_i - 0.75T_S) \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i > 0.75T_S$$

3.1.5　无块状装载工况且授予 {No MP} 标志的 BC-A 船舶和授予 {No MP} 标志的 BC-B、BC-C 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：

$$W_{\max}(T_i) = \sum M_{Full} - 1.025\left(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a}\right)(T_S - T_i) \quad \text{当 } T_i < T_S$$

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：

$$W_{\min}(T_i) = 0 \qquad \text{当 } T_i \leqslant T_{HB}$$

$$W_{\min}(T_i) = 1.025\left(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a}\right)(T_i - 0.75T_{HB}) \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i > 0.75T_{HB}$$

无块状装载工况的 BC-A 船舶和 BC-B、BC-C 船舶的货舱载货量曲线示例见图 6。

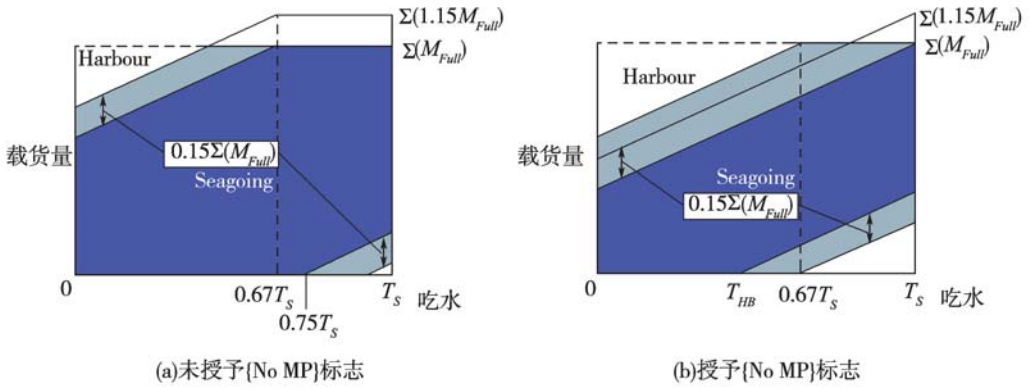


图6　无块状装载工况的BC-A船舶和BC-B、BC-C船舶的载货量曲线示例

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　一般要求

港内工况下两个相邻货舱的载货量曲线定义见 [3.2.2]。当然，如果已经对船舶结构用比第 4 章第 7 节 [3.7.1] 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那些相应工况。

3.2.2　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%。但在任何情况下，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　有块状装载工况且授予 {No MP} 标志的 BC-A 船舶

除了 [3.1.2bis] 的要求外，港内工况不同吃水 T_i 时，最大允许载货量 $W_{\max}(T_i)$，t，还应按下列公式得出：

$$W_{\max}(T_i) = \sum M_{Full} - 1.025\left(\frac{V_f}{h_f}+\frac{V_a}{h_a}\right)(0.67T_S - T_i)$$

$$W_{\max}(T_i) \leqslant \sum M_{BLK}$$

3.2.4　无块状装载工况且授予 {No MP} 标志的 BC-A 船舶和授予 {No MP} 标志的 BC-B、BC-C 船舶

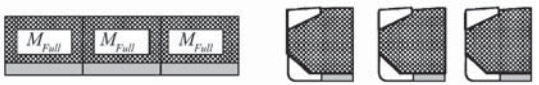
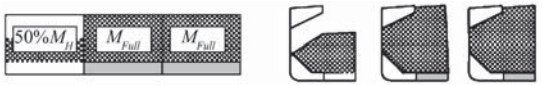
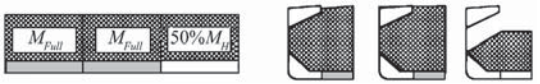
除了［3.1.5］的要求外，港内工况不同吃水 T_i 时，最大允许载货量 $W_{\max}(T_i)$，t，还应按下列公式得出：

$$W_{\max}(T_i) = \sum M_{Full} \qquad \text{当 } T_S \geqslant T_i \geqslant 0.67T_S$$

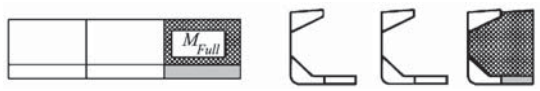
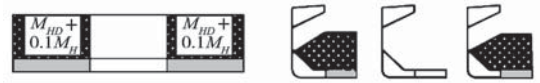
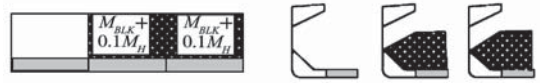
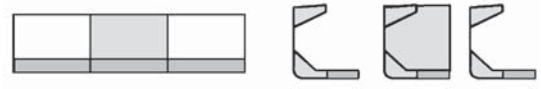
$$W_{\max}(T_i) = \sum M_{Full} - 1.025\left(\frac{V_f}{h_f} + \frac{V_a}{h_a}\right)(0.67T_S - T_i) \qquad \text{当 } T_i < 0.67T_S$$

附录2 直接强度分析的标准装载工况

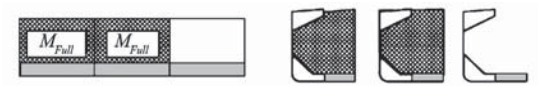
适用于BC-A船舶隔舱装载工况下空舱的弯矩分析（中间舱为空舱） 表1

编号	描述[a]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波） 垂向静水弯矩[b]				备注（如下）
1	满载 ([2.1.3])	T_S		P1				1), 2)
				$0.5M_{SW,S}$				
2	满载 ([3.2.1])	T_S		P1				1), 3)
				$0.5M_{SW,S}$				
3	非满载 ([3.2.2])	T_S		P1				3)
				0				
4	非满载 ([3.2.2])	T_S		P1				3)
				0				
5	最大压载 ([3.2.3])	T_{HB}		R1	R1	P1		4), 5)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$		
6	多港 -3 ([3.3.3])	$0.67T_S$		H1				3), 6)
				$M_{SW,S}$				
7	多港 -3 ([3.3.3])	$0.67T_S$		H1				3), 6)
				$M_{SW,S}$				

续上表

编号	描述[a]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				备注（如下）
				垂向静水弯矩[b]				
8	多港 -4 ([3.3.4])	$0.75T_S$		F2	P1			3), 6)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$			
9	多港 -4 ([3.3.4])	$0.75T_S$		F2	P1			3), 6)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$			
10	隔舱装载 ([3.4.1])	T_S		F2	P1			2)
				$M_{SW,H}$	0			
11	连舱隔舱 装载 ([3.4.3])	T_S		H1	F2	P1		2), 8), 9), 10)
				$M_{SW,S}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$		
12	连舱隔舱 装载 ([3.4.3])	T_S		H1	F2	P1		2), 8), 9), 10)
				$M_{SW,S}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$		
13	重压载 ([3.5.1])	T_{HB}(min)		H1	R1	R1		11), 12)
				$M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$		
14	重压载	T_{HB}(min)		R1	R1			11), 12), 13)
				0	$M_{SW,S}$			

续上表

编号	描述 a)	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				备注（如下）
				垂向静水弯矩 b)				
15	港内 -2 ([3.6.2])	$0.67T_S$		—	—			3), 14), 15)
				$M_{SW,P,H}$	$M_{SW,P,S}$			
16	港内 -2 ([3.6.2])	$0.67T_S$		—	—			3), 14), 15)
				$M_{SW,P,H}$	$M_{SW,P,S}$			

注：a）参考条文号与第4章第7节规定的装载模式对应。

b）$M_{SW,H}$，$M_{SW,S}$：航行工况下，中拱/中垂许用静水垂向弯矩。

$M_{SW,P,H}$，$M_{SW,P,S}$：港内工况下，中拱/中垂许用静水垂向弯矩。

备注：

1）单个装载模式（M_{Full} 密度取 3.0t/m^3），可以代替这两个装载模式。

2）原则上，计算干货压力时货物密度应取 3.0t/m^3。

3）计算干货压力时，货物密度应为：M_H/V_H 或 1.0t/m^3 中之大者。

4）当无压载货舱时，应分析正常压载工况，并假设 $M_{SW,S}=0$。

5）压载货舱的位置应适当调整。

6）当授予 {no MP} 附加标志时，该工况不要求。

7）对于垂向剪力分析，应考虑最大剪力（$Q_{SW}+Q_{WV}$）连同折减后的垂向弯矩（$0.8M_{SW}+0.65C_{WV}M_{WV}$）。

8）仅当该工况纳入装载手册中时，该工况才要求。

9）“M_{BLK}”为取决于装载手册中设计装载工况下的最大载货量。

10）可用装载手册给出的实际静水弯矩取代设计值。

11）仅当空舱设计为压载货舱时，该工况才要求。

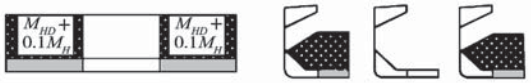
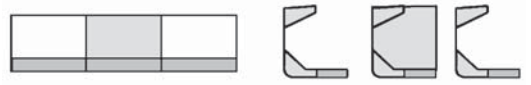
12）原则上，应使用重压载工况下的最小吃水。

13）如果装载手册对该工况明确禁止时，该工况不要求。

14）当授予 {no MP} 附加标志时，应分析该工况。

15）外部波浪压力和内部压力可按静压力考虑。

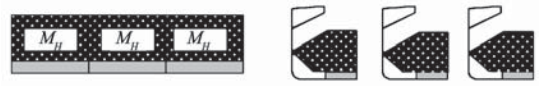
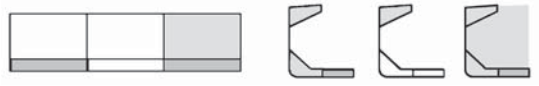
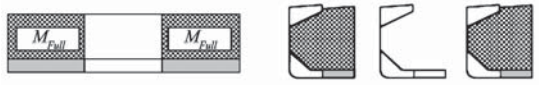
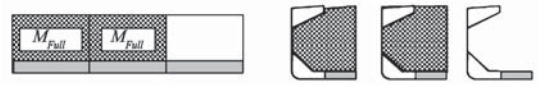
适用于 BC-A 船舶空舱的剪力分析（中间舱为空舱）　　**表 2**

编号	描述 a)	吃水	装载模式　后　中　前	载荷工况（设计波） 垂向静水弯矩 b) 静水剪力				备注 （见表 1）
10SF	隔舱装载 （[3.4.1]）	T_s		F2				2), 7)
				0.8$M_{SW,H}$				
				Q_{SW}				
13SF	重压载 （[3.5.1]）	T_{HB} (min)		H1				7), 11) ,12)
				0.8$M_{SW,S}$				
				Q_{SW}				

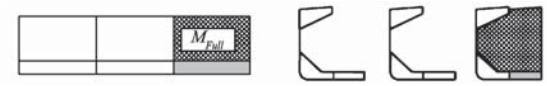
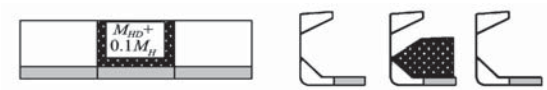
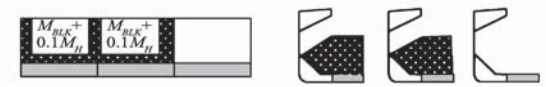
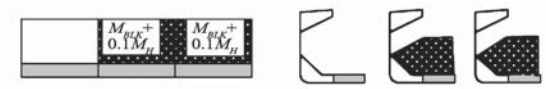
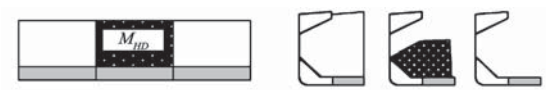
注：a）参考条文号与第 4 章第 7 节规定的装载模式对应。

b）$M_{SW,H}$，$M_{SW,S}$：航行工况下，中拱 / 中垂许用静水垂向弯矩。

适用于 BC-A 船舶隔舱装载工况下载货舱的弯矩分析（中间舱为载货舱） **表 3**

编号	描述 [a]	吃水	装载模式（后 中 前）	载荷工况（设计波） 垂向静水弯矩 [b]				备注（如下）
1	满载 ([2.1.3])	T_S		P1				1), 2)
				$0.5M_{SW,S}$				
2	满载 ([3.2.1])	T_S		P1				1), 3)
				$0.5M_{SW,S}$				
3	非满载 ([3.2.2])	T_S		P1				3)
				0				
4	最大压载 ([3.2.3])	T_{HB}		R1	R1	P1		4), 5)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$		
5	多港 -2 ([3.3.2])	$0.83T_S$		F2	P1			3), 6)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$			
6	多港 -3 ([3.3.3])	$0.67T_S$		P1				3), 6)
				$M_{SW,S}$				
7	多港 -3 ([3.3.3])	$0.67T_S$		P1				3), 6)
				$M_{SW,S}$				
8	多港 -4 ([3.3.4])	$0.75T_S$		F2	R1	R1	P1	3), 6)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	

续上表

编号	描述[a]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				备注（如下）
				垂向静水弯矩[b]				
9	多港 -4 ([3.3.4])	$0.75T_S$		F2	R1	R1	P1	3), 6)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	
10	隔舱装载 ([3.4.2])	T_S		F2	P1			2)
				$M_{SW,H}$	0			
11	连舱隔舱装载 ([3.4.3])	T_S		H1	F2	P1		2), 8), 9), 10)
				$M_{SW,S}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$		
12	连舱隔舱装载 ([3.4.3])	T_S		H1	F2	P1		2), 8), 9), 10)
				$M_{SW,S}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$		
13	重压载 ([3.5.1])	T_{HB}(min)		H1	R1	R1		11), 12)
				$M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$		
14	重压载	T_{HB}(min)		R1	R1			11), 12), 13)
				0	$M_{SW,S}$			
15	港内 -1 ([3.6.1])	$0.67T_S$		—	—			2), 15)
				$M_{SW,P,H}$	$M_{SW,P,S}$			
16	港内 -1 ([3.6.1])	$0.67T_S$		—	—			3), 14), 15)
				$M_{SW,P,H}$	$M_{SW,P,S}$			

续上表

编号	描述[a]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				备注（如下）
				垂向静水弯矩[b]				
17	港内 -1 ([3.6.1])	$0.67T_S$		—	—			3), 14), 15)
				$M_{SW,P,H}$	$M_{SW,P,S}$			
18	港内 -2 ([3.6.2])	$0.67T_S$		—	—			3), 14), 15)
				$M_{SW,P,H}$	$M_{SW,P,S}$			
19	港内 -2 ([3.6.2])	$0.67T_S$		—	—			3), 14), 15)
				$M_{SW,P,H}$	$M_{SW,P,S}$			

注：a）参考条文号与第4章第7节规定的装载模式对应。

b）$M_{SW,H}$，$M_{SW,S}$：航行工况下，中拱/中垂许用静水垂向弯矩。

$M_{SW,P,H}$，$M_{SW,P,S}$：港内工况下，中拱/中垂许用静水垂向弯矩。

备注：

1）单个装载模式（M_{Full} 密度取 3.0t/m^3），可以代替这两个装载模式。

2）原则上，计算干货压力时货物密度应取 3.0t/m^3。

3）计算干货压力时，货物密度应为：M_H/V_H 或 1.0 t/m^3，取大者。

4）当无压载货舱时，应分析正常压载工况，并假设 $M_{SW,S}=0$。

5）压载货舱的位置应适当调整。

6）当授予 {no MP} 附加标志时，该工况不要求。

7）对于垂向剪力分析，应考虑最大剪力（$Q_{SW}+Q_{WV}$）连同折减后的垂向弯矩（$0.8M_{SW}+0.65C_{WV}M_{WV}$）。

8）仅当该工况纳入装载手册中时，该工况才要求。

9）“M_{BLK}”为取决于装载手册中设计装载工况下的最大载货量。

10）可用装载手册给出的实际静水弯矩取代设计值。

11）仅当载货舱设计为压载货舱时，该工况才要求。

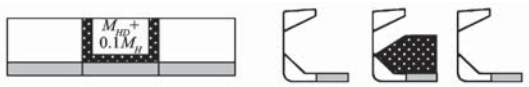
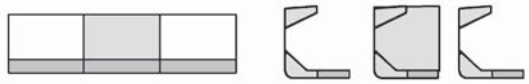
12）原则上，应使用重压载工况下的最小吃水。

13）如果装载手册对该工况明确禁止时，该工况不要求。

14）当授予 {no MP} 附加标志时，应分析该工况。

15）外部波浪压力和内部压力可按静压力考虑。

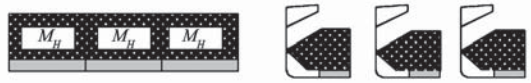
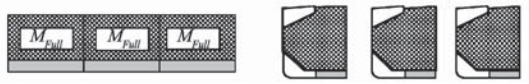
适用于 BC-A 船舶载货舱的剪力分析（中间舱为载货舱） **表 4**

编号	描述 [a]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波） 垂向静水弯矩 [b] 静水剪力				备注（见表 3）
10SF	隔舱装载（[3.4.2]）	T_S		F2				2), 7)
				$0.8M_{SW,H}$				
				Q_{SW}				
13SF	重压载（[3.5.1]）	T_{HB}(min)		H1				7), 11) ,12)
				$0.8M_{SW,S}$				
				Q_{SW}				

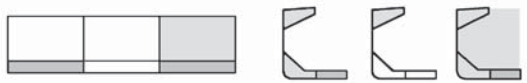
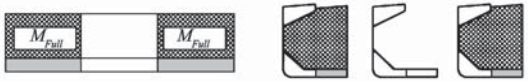
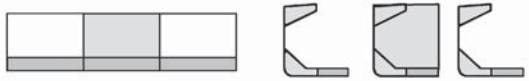
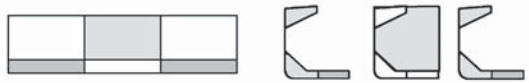
注：a）参考条文号与第 4 章第 7 节规定的装载模式对应。

b）$M_{SW,H}$，$M_{SW,S}$：航行工况下，中拱 / 中垂许用静水垂向弯矩。

适用于 BC-B 和 BC-C 船舶的弯矩分析 **表 5**

编号	描述 [a]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波） 垂向静水弯矩 [b]				备注（如下）
1	满载（[2.1.3]）	T_S		P1				1), 2), 3)
				$0.5M_{SW,S}$				
2	满载（[3.2.1]）	T_S		P1				2), 4)
				$0.5M_{SW,S}$				
3	不满载（[3.2.2]）	T_S		P1				4)
				0				

续上表

编号	描述[a]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				备注（如下）
				垂向静水弯矩[b]				
4	最大压载（[3.2.3]）	T_{HB}		R1	R1	P1	F2	5), 6), 14)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,H}$	
5	多港 -2（[3.3.2]）	$0.83T_S$		F2	P1			4), 7)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$			
6	多港 -3（[3.3.3]）	$0.67T_S$		P1				4), 7)
				$M_{SW,S}$				
7	多港 -3（[3.3.3]）	$0.67T_S$		P1				4), 7)
				$M_{SW,S}$				
8	多港 -4（[3.3.4]）	$0.75T_S$		F2	R1	R1	P1	4), 7)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	
9	多港 -4（[3.3.4]）	$0.75T_S$		F2	R1	R1	P1	4), 7)
				$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	
10	重压载（[3.5.1]）	T_{HB}(min)		H1	R1	R1		9), 10)
				$M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$		
11	重压载	T_{HB}(min)		R1	R1			9), 10), 11)
				0	$M_{SW,S}$			
12	港内 -1（[3.6.1]）	$0.67T_S$		—	—			4), 12), 13)
				$M_{S,P}$(+)	$M_{S,P}$(−)			

续上表

编号	描述 [a]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				备注（如下）
				垂向静水弯矩 [b]				
13	港内 -1（[3.6.1]）	$0.67T_S$		—	—			4), 12), 13)
				$M_{S,P}(+)$	$M_{S,P}(-)$			
14	港内 -2（[3.6.2]）	$0.67T_S$		—	—			4), 12), 13)
				$M_{S,P}(+)$	$M_{S,P}(-)$			
15	港内 -2（[3.6.2]）	$0.67T_S$		—	—			4), 12), 13)
				$M_{S,P}(+)$	$M_{S,P}(-)$			

注：a）参考条文号与第 4 章第 7 节规定的装载模式对应。

b）$M_{SW,H}$，$M_{SW,S}$：航行工况下，中拱 / 中垂许用静水垂向弯矩。

$M_{SW,P,H}$，$M_{SW,P,S}$：港内工况下，中拱 / 中垂许用静水垂向弯矩。

备注：

1）仅适用于 BC-B 船舶。

2）对 BC-B 船舶，单个装载模式（M_{Full} 密度取 3.0t/m^3），可以代替这两个装载模式。

3）原则上，计算干货压力时货物密度应取 3.0t/m^3。

4）计算干货压力时，货物密度应为：M_H/V_H 或 1.0t/m^3，取大者。

5）当无压载货舱时，应分析正常压载工况，并假设 $M_{SW,S}=0$。

6）压载货舱的位置应适当调整。

7）当授予 {no MP} 附加标志时，该工况不要求。

8）对于垂向剪力分析，应考虑最大剪力（$Q_{SW}+Q_{WV}$）连同折减后的垂向弯矩（$0.8M_{SW}+0.65C_{WV}M_{WV}$）。

9）仅当货舱设计为压载货舱时，该工况才要求。

10）原则上，应使用重压载工况下的最小吃水。

11）如果装载手册对该工况明确禁止时，该工况不要求。

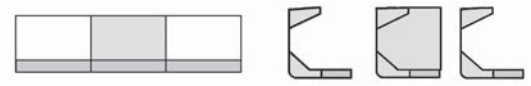
12）当授予 {no MP} 附加标志时，应分析该工况。

13）外部波浪压力和内部压力可按静压力考虑。

14）当授予 {no MP} 附加标志时，应分析载荷工况 F2。

适用于 BC-B 和 BC-C 船舶剪力分析

表 6

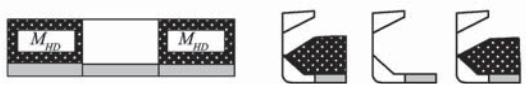
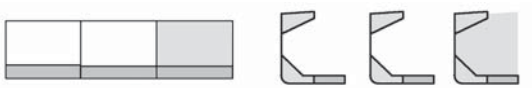
编号	描述 [a)]	吃水	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				备注（见表 5）
				垂向静水弯矩 [b)]				
				静水剪力				
5SF	多港 -2 ([3. 3. 2])	$0.83T_S$		F2				4), 7), 8)
				$0.8M_{SW,H}$				
				Q_{SW}				
10SF	重压载 ([3. 5. 1])	T_{HB}(min)		H1				8), 9) 10)
				$0.8M_{SW,S}$				
				Q_{SW}				

注：a）参考条文号与第 4 章第 7 节规定的装载模式对应。

b）$M_{SW,H}$，$M_{SW,S}$：航行工况下，中拱 / 中垂许用静水垂向弯矩。

附录 3　疲劳评估标准工况

适用于 BC-A 船舶隔舱装载工况下空舱的疲劳评估（中间舱为空舱）　　表 1

编号	描述	吃水 a)	装载模式　后　中　前	载荷工况（设计波）				垂向静水弯矩 b)	备注（如下）
1	满载	T		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(1)}$	1)
				H2	F2	R2	P2		
2	隔舱装载	T		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(2)}$	2)
				H2	F2	R2	P2		
3	正常压载	T_{NB}		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(3)}$	
				H2	F2	R2	P2		
4	重压载	T_{HB}		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(4)}$	3)
				H2	F2	R2	P2		
				H1	F1	R1	P1	$M_{S,(4)}$	4)
				H2	F2	R2	P2		

注：a）T：型吃水；T_{NB}：正常压载工况下吃水；T_{HB}：重压载工况下吃水。

b）$M_{S,(1)}$，$M_{S,(2)}$，$M_{S,(3)}$，$M_{S,(4)}$：垂向静水弯矩，定义见第 8 章第 3 节 [3.2.2]。

备注：

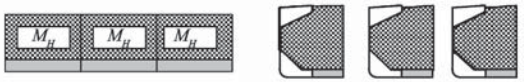
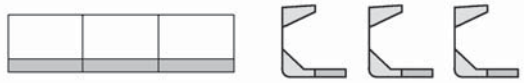
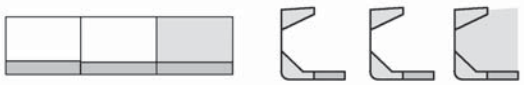
1）计算干货压力时，货物密度应取 M_H/V_H。

2）原则上，计算干货压力时货物密度应取 3.0t/m^3。

3）仅当空舱不被指定为压载货舱时，该工况才要求，压载货舱的位置应适当调整。

4）仅当空舱被指定为压载货舱时，该工况才要求。

适用于 BC-A 船舶隔舱装载工况下载货舱的疲劳评估（中间舱为载货舱） **表 2**

编号	描述	吃水 a)	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				垂向静水弯矩 b)	备注（如下）
1	满载	T		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(1)}$	1)
				H2	F2	R2	P2		
2	隔舱装载	T		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(2)}$	2)
				H2	F2	R2	P2		
3	正常压载	T_{NB}		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(3)}$	
				H2	F2	R2	P2		
4	重压载	T_{HB}		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(4)}$	3)
				H2	F2	R2	P2		
				H1	F1	R1	P1	$M_{S,(4)}$	4)
				H2	F2	R2	P2		

注：a）T：型吃水；T_{NB}：正常压载工况下吃水；T_{HB}：重压载工况下吃水。

b）$M_{S,(1)}$，$M_{S,(2)}$，$M_{S,(3)}$，$M_{S,(4)}$：垂向静水弯矩，定义见第 8 章第 3 节 [3.2.2]。

备注：

1）计算干货压力时，货物密度应取 M_H/V_H。

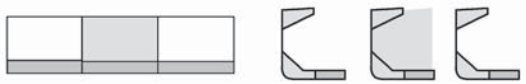
2）原则上，计算干货压力时货物密度应取 3.0t/m^3。

3）仅当载货舱不被指定为压载货舱时，该工况才要求，压载货舱的位置应适当调整。

4）仅当载货舱被指定为压载货舱时，该工况才要求。

适用于 BC-B，BC-C 船舶的疲劳评估

表 3

编号	描述	吃水 a)	装载模式 后 中 前	载荷工况（设计波）				垂向静水弯矩 b)	备注（如下）
1	满载	T		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(1)}$	1)
				H2	F2	R2	P2		
2	正常压载	T_{NB}		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(3)}$	
				H2	F2	R2	P2		
3	重压载	T_{HB}		H1	F1	R1	P1	$M_{S,(4)}$	2)
				H2	F2	R2	P2		
				H1	F1	R1	P1	$M_{S,(4)}$	3)
				H2	F2	R2	P2		

注：a）T：型吃水；T_{NB}：正常压载工况下吃水；T_{HB}：重压载工况下吃水。

b）$M_{S,(1)}$，$M_{S,(2)}$，$M_{S,(3)}$，$M_{S,(4)}$：垂向静水弯矩，见第 8 章第 3 节 [3.2.2]。

备注：

1）计算干货压力时，货物密度应取 M_H/V_H。

2）仅当中部舱不被指定为压载货舱时，该工况才要求，压载货舱的位置应适当调整。

3）仅当中部舱被指定为压载货舱时，该工况才要求。

第 5 章　船体梁强度

第 1 节　屈 服 校 核

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

M_{SW}：所考虑船体横剖面处完整工况下的设计静水弯矩，kN·m，定义见第 4 章第 3 节［2.2］

- $M_{SW} = M_{SW,H}$　中拱工况；
- $M_{SW} = M_{SW,S}$　中垂工况。

M_{WV}：所考虑船体横剖面处完整工况下的垂向波浪弯矩，kN·m，定义见第 4 章第 3 节［3.1］。

$M_{SW,F}$：所考虑船体横剖面处进水工况下的静水弯矩，kN·m，按第 4 章第 3 节计算。

$M_{WV,F}$：所考虑船体横剖面处进水工况下的垂向波浪弯矩，kN·m，按第 4 章第 3 节计算。

$M_{WV,P}$：所考虑船体横剖面处港内工况下的垂向波浪弯矩，kN·m，按第 4 章第 3 节计算。

M_{WH}：所考虑船体横剖面处水平波浪弯矩，kN·m，定义见第 4 章第 3 节［3.3］。

Q_{SW}：所考虑船体横剖面处的设计静水剪力，kN，定义见第 4 章第 3 节［2.3］。

Q_{WV}：所考虑船体横剖面处完整工况下的垂向波浪剪力，kN，定义见第 4 章第 3 节［3.2］。

$Q_{SW,F}$：所考虑船体横剖面处进水工况下的静水剪力，kN，按第 4 章第 3 节计算。

$Q_{WV,F}$：所考虑船体横剖面处进水工况下的垂向波浪剪力，kN，按第 4 章第 3 节计算。

$Q_{WV,P}$：所考虑船体横剖面处港内工况下的垂向波浪剪力，kN，按第 4 章第 3 节计算。

k：材料系数，定义同第 1 章第 4 节［2.2.1］。

x：第 1 章第 4 节［4］所定义的参考坐标系下计算点的 X 坐标，m。

z：第 1 章第 4 节［4］所定义的参考坐标系下计算点的 Z 坐标，m。

N：第 1 章第 4 节［4］所定义的参考坐标系下，［1.2］所定义的船体横剖面重心的 Z 坐标，m。

V_D：［1.4.2］所定义的垂向距离，m。

I_Y：船体横剖面对其水平中和轴的净惯性矩，m^4，按［1.5］计算。

I_Z：船体横剖面对其垂直中和轴的净惯性矩，m^4，按［1.5］计算。

S：船体横剖面的净静矩，m^3，按［1.6］计算。

Z_A：船体横剖面任何一点处的净剖面模数，m^3，按［1.4.1］计算。

Z_{AB}, Z_{AD}：分别为船底和甲板处的净剖面模数，m^3，按［1.4.2］计算。

C：第 1 章第 4 节［2.3.1］所定义的波浪系数。

$\sigma_{l,ALL}$：［3.1.1］所定义的许用正应力，N/mm^2。

$\tau_{l,ALL}$：［3.1.1］所定义的许用剪切应力，N/mm^2。

ρ：海水密度，取为 1.025 t/m^3。

1　船体梁横剖面强度特征

1.1　一般要求

1.1.1　本条结合第 4 章第 3 节规定的船体梁载荷，规定了用于［2］至［5］校核的船体梁强度特征的计算准则。

1.2　船体梁横剖面

1.2.1　一般要求

船体梁横剖面应考虑由对船体梁纵向强度起作用的构件组成，亦即包括［1.3］所定义的强力甲板及

其以下所有连续纵向构件，并考虑到［1.2.2］至［1.2.9］的要求。

当船体梁强度特征用于以下计算时，这些构件采用基于总提供厚度减去 $0.5t_C$ 后的净提供尺寸（参见第 3 章第 2 节）：

- 按［2］至［5］的船体梁屈服校核
- 第 5 章第 2 节的极限强度校核
- 第 6 章的板材、普通扶强材和主要支撑构件强度校核中的船体梁应力计算。

1.2.2　连续凸形甲板和连续纵向舱口围板

如连续凸形甲板和连续纵向舱口围板被纵舱壁或主要支撑构件有效支持时，可计入船体梁横剖面。

1.2.3　焊接在强力甲板以上的纵向普通扶强材或纵桁

焊接在强力甲板以上的纵向普通扶强材或纵桁（包括按［1.2.2］规定设置的任何凸形甲板）可计入船体梁横剖面内。

1.2.4　由纵舱壁支承的舱口间纵桁

设在舱口之间由纵舱壁支承的纵桁的剖面积应计入船体梁横剖面内。

1.2.5　垂直槽形纵舱壁

垂直槽形纵舱壁不应计入船体梁横剖面内。

1.2.6　非钢质构件

对总纵强度起作用的构件若不是杨氏模量 E 等于 2.06×10^5 N/mm^2 的钢质构件，则其可计入船体梁横剖面内的钢质等效剖面积，m^2，由下式得出：

$$A_{SE} = \frac{E}{2.06\times10^5} A_M$$

式中：A_M——所考虑构件剖面积，m^2。

1.2.7　大的开口

大的开口为：

- 长度超过 2.5 m 或宽度超过 1.2 m 的椭圆形开口
- 直径超过 0.9 m 的圆形开口

大的开口和焊接用的大的扇形孔，应从船体梁横剖面面积内扣除。

1.2.8　小的开口

在一个横剖面内强力甲板或船底上尺寸小于［1.2.7］规定的开口，不必从船体梁横剖面面积内扣除，假如：

$$\Sigma b_S \leqslant 0.06（B-\Sigma b）$$

式中：Σb_S——所考虑横剖面内强力甲板或船底上小开口的总宽度，m，按图 1 所示确定；

Σb ——所考虑横剖面内大开口的总宽度，m，按图 1 所示确定。

小开口的总宽度 Σb_S 如不符合以上衡准，仅从船底横剖面面积中扣除超出宽度的部分。

1.2.9　减轻孔、排水孔和单个扇形孔

纵骨内的减轻孔、流水孔和单个扇形孔如其高度小于 $0.25h_w$ 且不大于 75 mm，则不必扣除其面积，h_w 为腹板高度，mm。

否则，超出部分应扣除或予以补偿。

1.3　强力甲板

1.3.1　强力甲板一般为最上层连续甲板。

若上层建筑或甲板室对总纵强度起作用，强力甲板为该上层建筑的甲板或最上层甲板室的甲板。

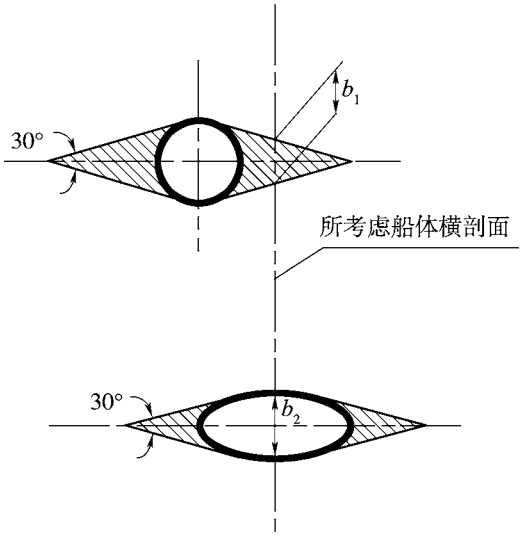
1.3.2　在 0.4 L 船中区域内延伸至少 0.15 L 的上层建筑，一般可计为对总纵强度起作用。

其他上层建筑和甲板室，其对总纵强度所起作用应逐例评估，估算其在总纵强度中分担的百分比。

1.4　剖面模数

1.4.1　船体横剖面上任何一点的剖面模数，m^3，由下式得出：

$$Z_A = \frac{I_Y}{|z-N|}$$



包括在 Σb 和 Σb_S 内的 b_1 和 b_2

图 1　Σb 和 Σb_S 的计算

1.4.2　船底和甲板处的剖面模数，m^3，由下式得出：

- 船底：

$$Z_{AB} = \frac{I_Y}{N}$$

- 甲板：

$$Z_{AD} = \frac{I_Y}{V_D}$$

式中：V_D——垂直距离，m，等于：

- 一般：

$$V_D = z_D - N$$

z_D——在第 1 章第 4 节 [4] 所定义的参考坐标系下 [1.3] 所定义的强力甲板边线的 Z 坐标，m。

- 如按 [1.2.2] 规定在计算 I_Y 时计入连续凸形甲板或舱口围板，则：

$$V_D = (z_T - N)\left(0.9 + 0.2\frac{y_T}{B}\right) \geqslant z_D - N$$

y_T, z_T——在第 1 章第 4 节 [4] 所定义的参考坐标系下，连续凸形甲板或舱口围板顶部的 Y 坐标和 Z 坐标，m，y_T 和 z_T 应从使 V_D 值达到最大的点量取。

- 如按 [1.2.3] 规定在计算 I_Y 时计入焊接在强力甲板上的纵向普通扶强材或纵桁，则连续凸形甲板和舱口围板的 V_D 值由上式得出。在此情况下，y_T 和 z_T 是纵向扶强材或纵桁顶部在第 1 章第 4 节 [4] 所定义参考坐标系统下的 Y 坐标和 Z 坐标，m。

1.5　惯性矩

1.5.1　惯性矩 I_Y 和 I_Z，m^4，分别是按［1.2］所定义的船体梁横剖面对水平和垂直中和轴计算的惯性矩。

1.6　静矩

1.6.1　基线以上高度 z 处的静矩，m^3，是按［1.2］所定义的船体梁横剖面在高度 z 以上的部分对其水平中和轴的静矩。

2　船体梁应力

2.1　正应力

2.1.1　一般要求

按［1.2.6］规定计入船体梁横剖面内的构件若不是杨氏模量 E 等于 2.06×10^5 N/mm^2 的钢质构件，则正应力由下式得出：

$$\sigma_1 = \frac{E}{2.09\times10^5}\sigma_{1S}$$

式中：σ_{1S}——所考虑构件的正应力，N/mm^2，按［2.1.2］和［2.1.3］计算，将此构件视为具有［1.2.6］所定义的钢质等效剖面积 A_{SE}。

2.1.2　垂向弯矩引起的正应力

垂向弯矩引起的正应力，N/mm^2，由下式得出：

- 船体横剖面位于 Z_{VD} 以下的任何一点，$Z_{VD} = V_D + N$：

$$\sigma_1 = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{Z_A}10^{-3}$$

- 船底：

$$\sigma_1 = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{Z_{AB}}10^{-3}$$

- 甲板：

$$\sigma_1 = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{Z_{AD}}10^{-3}$$

2.1.3　BC – A 或 BC – B 船舶进水工况下的正应力

除［2.1.2］的要求外，本要求适用于 BC – A 或 BC – B 船舶。

在第 4 章第 3 节所规定的进水工况下任何一点的正应力，N/mm^2，由下式得出：

$$\sigma_1 = \frac{M_{SW,F} + M_{WV,F}}{Z_A}10^{-3}$$

2.2　剪切应力

2.2.1　一般要求

在完整工况下由垂向剪力 Q_{SW} 和 Q_{WV} 引起的剪切应力和 BC – A 或 BC – B 船舶在进水工况下由垂向剪力 $Q_{SW,F}$ 和 $Q_{WV,F}$ 引起的剪切应力通常通过直接计算得出。

完整工况下垂向剪力 Q_{SW} 和 Q_{WV} 组合使用时，它们取相同的符号，此原则同样适应于进水工况下垂向剪力 $Q_{SW,F}$ 和 $Q_{WV,F}$ 的组合使用情况。

应按［2.2.2］计入剪力修正量 ΔQ_C，最前货舱前端和最后货舱后端不必计入剪力修正量。

作为替代方法，在完整工况下由垂向剪力 Q_{SW} 和 Q_{WV} 引起的剪切应力和 BC – A 或 BC – B 船舶在进水工况下由垂向剪力 $Q_{SW,F}$ 和 $Q_{WV,F}$ 引起的剪切应力可分别按［2.2.2］和［2.2.3］的简化方法得出。

2. 2. 2　垂向剪力引起的剪切应力的简化计算

计算点处由垂向剪力引起的剪切应力，N/mm^2，由下式得出：

$$\tau_1 = (Q_{SW} + Q_{WV} - \varepsilon \Delta Q_C)\frac{S}{I_Y t}\delta$$

式中：t——舷侧外板和内壳板的最小净厚度，mm，按表 1；

δ——表 1 所定义的剪力分布系数；

$$\varepsilon = \mathrm{sgn}(Q_{SW})$$

ΔQ_C——剪力修正量（见图 2），如适用时，考虑双层底桁材传递至横舱壁的载荷量：

- 非均匀装载工况的船舶：如隔舱装载工况和货舱装有压载水的重压载工况；

$$\Delta Q_C = \alpha \left| \frac{M}{B_H l_H} - \rho T_{LC,\ mh} \right|, \text{对每个非均匀装载工况}$$

- 其他船舶：

$$\Delta Q_C = 0$$

$\varphi = 1.38 + 1.55\dfrac{l_0}{b_0}$，不大于 3. 7；

$$\alpha = g\frac{l_0 b_0}{2 + \varphi\dfrac{l_0}{b_0}};$$

l_0，b_0——分别为所考虑货舱的双层底平面部分的长度和宽度，m；b_0 应在货舱中间的船体横剖面处量取；

l_H——所考虑货舱的长度，m，在槽形横舱壁高度的中间位置处量取；

B_H——船宽，m，在所考虑货舱中间的船体横剖面内底平面量取；

M——所考虑剖面所在的货舱的货物总质量，t：

- 非均匀装载工况时，相邻货舱装货：

  M 包含货舱内的货物总质量和双层底压载舱内的压载水质量，该压载舱由底边舱板或纵舱壁处旁纵桁包围；

- 其他情况：

  M 为货舱内货物总质量；

$T_{LC,\ mh}$——吃水，m，在所考虑货舱中间的船体横剖面处从基线垂直量至所考虑装载工况的水线。

垂向剪力引起的剪切应力　　**表1**

船舶类型	位　　置	t（mm）	δ
单舷侧船舶	舷侧	t_S	0.5
双舷侧船舶	舷侧	t_S	0.5（1 −Φ）
	内壳	t_{IS}	0.5Φ

式中：t_S、t_{IS} ——分别为舷侧外板和内壳板的最小净厚度，mm；

t_{SM}、t_{ISM}——分别为舷侧外板和内壳板所有板列的平均净厚度，mm，根据 $\sum(L_i t_i)/\sum l_i$ 计算，式中 l_i 和 t_i 分别是舷侧外板和内壳板的第 i^{th} 列板的长度，m，和净厚度，mm；

Φ——系数，$\Phi = 0.275 + 0.25\dfrac{t_{ISM}}{t_{SM}}$

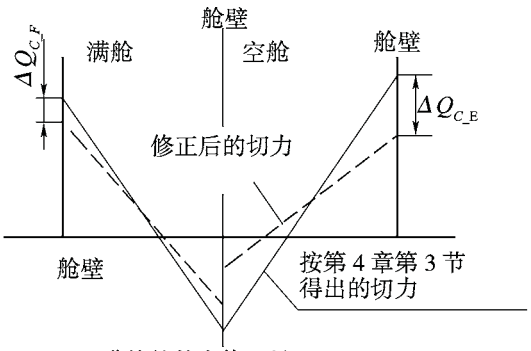


图 2　剪力修正量 ΔQ_C

2. 2. 3　BC—A 或 BC—B 船舶进水工况下的剪切应力

除［2. 2. 1］和［2. 2. 2］的要求以外，本要求适用于 BC – A 或 BC – B 船舶。

在第 4 章第 3 节所规定的进水工况下任何一点的剪切应力，N/m^2，由下式得出：

$$\tau_1 = (Q_{SW,F} + Q_{MV,F} - \varepsilon \Delta Q_C)\frac{S}{I_Y t}\delta$$
$$\varepsilon = \mathrm{sgn}(Q_{SW,F})$$

式中：ΔQ_C——剪力修正量，按［2. 2. 2］计算，进水质量应包含进 M 中，吃水 $T_{LC,\ mh}$ 应量至平衡水线；

t——舷侧板净厚度，mm。

3　校核衡准

3.1　正应力

3. 1. 1　应校核按［2. 1. 2］以及，当适用时，按［2. 1. 3］计算的正应力 σ_1 符合下式：

$$\sigma_1 \leqslant \sigma_{1,ALL}$$

式中：$\sigma_{1,ALL}$——许用正应力，N/m^2，由以下各式得出：

$$\sigma_{1,\ ALL} = \frac{130}{k} \qquad \text{对于} \frac{x}{L} \leqslant 0.1$$

$$\sigma_{1,\ ALL} = \frac{190}{k} - \frac{1500}{k}\left(\frac{x}{L} - 0.3\right)^2 \qquad \text{对于 } 0.1 < \frac{x}{L} < 0.3$$

$$\sigma_{1,\ ALL} = \frac{190}{k} \qquad \text{对于 } 0.3 \leqslant \frac{x}{L} \leqslant 0.7$$

$$\sigma_{1,\ ALL} = \frac{190}{k} - \frac{1500}{k}\left(\frac{x}{L} - 0.7\right)^2 \qquad \text{对于 } 0.7 < \frac{x}{L} < 0.9$$

$$\sigma_{1,\ ALL} = \frac{130}{k} \qquad \text{对于} \frac{x}{L} \geqslant 0.9$$

3.2　剪切应力

3. 2. 1　应校核按［2. 2. 1］或［2. 2. 2］以及，当适用时，按［2. 2. 3］计算的剪切应力 τ_1 符合下式：

$$\tau_1 \leqslant \tau_{1,ALL}$$

式中：$\tau_{1,ALL}$——许用剪切应力，N/m^2：

$$\tau_{1,ALL}=120/k$$

4　剖面模数和惯性矩

4.1　一般要求

4.1.1　[4.2] 至 [4.5] 的要求规定了符合 [3] 所示校核衡准的船体梁最小净剖面模数，以及为确保足够的船体梁刚度而要求的船中净剖面惯性矩。

4.1.2　材料系数 k 应被定义为按 [1] 所述的对总纵强度起作用的船底和甲板构件所用的材料。当应用高强度钢材料系数时，应符合 [4.5] 的要求。

4.2　船中 0.4L 以内的剖面模数

4.2.1　船中剖面的净剖面模数 Z_{AB} 和 Z_{AD} 应不小于按下述公式计算所得之值，m^3：

- $Z_{R,MIN}=0.9CL^2B（C_B+0.7）k10^{-6}$

4.2.2　此外，船中 0.4L 内的净剖面模数 Z_{AB} 和 Z_{AD} 应不小于按下述公式计算所得之值，m^3：

- $$Z_R=\frac{M_{SW}+M_{WV}}{\sigma_{1,ALL}}10^{-3}$$

此外，对于 BC-A 和 BC-B 船舶：

- $$Z_R=\frac{M_{SW,F}+M_{WV,F}}{\sigma_{1,ALL}}10^{-3}$$

4.2.3　如从船体梁横剖面面积扣除 [1.2.8] 所定义的小开口的总宽度 Σb，则由 [4.2.1] 或 [4.2.2] 定义的 $Z_{R,MIN}$ 值和 Z_R 值可减少 3%。

4.2.4　基于 [4.2.1] 剖面模数要求的对总纵强度起作用的构件尺寸（见 [1]）应在船中 0.4 L 内保持不变。

4.3　船中 0.4 L 以外的剖面模数

4.3.1　船中 0.4 L 以外的净剖面模数 Z_{AB} 和 Z_{AD} 应不小于按下述公式计算所得之值，m^3：

- $$Z_R=\frac{M_{SW}+M_{WV}}{\sigma_{1,ALL}}10^{-3}$$

- 此外，对 BC—A 和 BC—B 船舶：

$$Z_R=\frac{M_{SW,F}+M_{WV,F}}{\sigma_{1,ALL}}10^{-3}$$

4.3.2　对船体梁总纵强度起作用的构件尺寸（见 [1]）在船中 0.4 L 以外可分别按第 9 章第 1 节或第 9 章第 2 节的规定逐渐减至对首尾结构局部强度所要求的最小值。

4.4　船中剖面惯性矩

4.4.1　船中剖面对其水平中和轴的净惯性矩应不小于按下述公式计算所得之值，m^4：

$$I_{YR}=3Z'_{R,MIN}L\cdot10^{-2}$$

式中的 $Z'_{R,MIN}$ 是所要求的净船中剖面模数 $Z_{R,MIN}$，m^3，按 [4.2.1] 的规定计算，但假定 $k=1$。

4.5　高强度钢的范围

4.5.1　如在按 [4.2] 或 [4.3] 计算船底或甲板的要求剖面模数时使用高强度钢材料系数，则对总纵强度起作用的所有构件（见 [1]）应至少在由以下各式得出的垂直距离，m，内采用相关的高强度钢：

- 基线以上（用于船底剖面模数）：

$$V_{HB}=\frac{\sigma_{1B}-k\sigma_{1,ALL}}{\sigma_{1B}+\sigma_{1D}}\,z_D$$

- 在船体横剖面中和轴以上 V_D（见［1. 4. 2］）处的水平线以下（用于甲板剖面模数）；

$$V_{HD}=\frac{\sigma_{1D}-k\sigma_{1,ALL}}{\sigma_{1B}+\sigma_{1D}}(N+V_D)$$

式中：σ_{1B},σ_{1D}——分别为船底和甲板的正应力，N/m^2，按［2. 1］计算；

z_D——在第 1 章第 4 节［4］所定义的参考坐标系下由［1. 3］定义的强力甲板的 Z 坐标，m。

4. 5. 2　如按本规范的规定为了强度的目的而要求高强度钢时，其在长度方向应至少在船中 0. 4 L 延伸。

5　许用静水弯矩和剪力

5. 1　完整工况下的许用静水弯矩和剪力

5. 1. 1　许用静水弯矩

船体任一横剖面处在完整工况下中拱或中垂许用静水弯矩，是按［4.2］和［4.3］计算船体梁剖面模数时计及的 M_{SW} 值。

在船体横剖面内的结构不连续的情况下，逐例考虑许用静水弯矩的分布。

5. 1. 2　许用静水剪力 —直接计算

如按［2.2.1］通过计算分析得出剪切应力，则船体任一横剖面处在完整工况下的许用静水正或负剪力，kN，由下式得出：

$$Q_P=\varepsilon\,|\,Q_T\,|\,-Q_{WV}$$

式中：ε = sgn（Q_{SW}）

Q_T——剪力，kN，在船体净横剖面的最大应力点产生剪切应力 τ = 120/k N/mm^2，并按［2.2.2］计入剪力修正量 ΔQ_C。

若船舶建造者要求，可以考虑一个较小的许用静水剪力。

5. 1. 3　许用静水剪力—简化计算

如通过［2.2.2］的简化方法得出剪切应力，则船体任一横剖面处在完整工况下的许用静水正或负剪力，kN，由下式得出：

$$Q_P=\varepsilon\left(\frac{120}{k\delta}\frac{I_Y t}{S}+\Delta Q_C\right)-Q_{WV}$$

式中：ε = sgn（Q_{SW}）

δ——表 1 所定义的剪力分布系数；

t——舷侧外板、内壳板的最小净厚度，mm，按表 1；

ΔQ_C——［2.2.2］所定义的剪力修正量，横舱壁前后货舱分别单独考虑。

若船舶建造者要求，可以考虑一个较小的许用静水剪力。

5. 2　港内工况的许用静水弯矩

5. 2. 1　许用静水弯矩

船体任一横剖面处港内工况的中拱或中垂许用静水弯矩，kN·m，由下式得出：

$$M_{P,P}=M_{SW}+M_{WV}-M_{WV,P}$$

若船舶建造者要求，可以考虑一个较小的港内工况的许用静水弯矩。

5. 2. 2　许用静水剪力

船体任一横剖面处港内工况的许用静水正或负剪力，kN，由下式得出：

$$Q_{P,P} = \varepsilon Q_P + Q_{WV} - Q_{WV,P}$$

式中：ε = sgn（Q_{SW}）

Q_p——航行时的许用静水剪力，kN，按［5.1.3］计算。

若船舶建造者要求，可以考虑一个较小的港内工况的许用静水剪力。

5.3　进水工况下的许用静水弯矩和剪力

5.3.1　许用静水弯矩

船体任一横剖面处在进水工况下中拱或中垂许用静水弯矩，是按［4.2］和［4.3］计算船体梁剖面模数时计及的 $M_{SW,F}$ 值。

在船体横剖面内的结构不连续的情况下，逐例考虑许用静水弯矩的分布。

5.3.2　许用静水剪力 — 直接计算

如按［2.2.1］通过计算分析得出剪切应力，则船体任一横剖面处在进水工况下的许用静水正或负剪力，kN，由下式得出：

$$Q_{P,F} = \varepsilon|Q_T| - Q_{WV,F}$$

式中：ε = sgn（$Q_{SW,F}$）；

Q_T——剪力，kN，在船体净横剖面的最大应力点产生剪切应力 $\tau = 120/k$　N/mm^2，并按［2.2.2］计入剪力修正量 ΔQ_C。

5.3.3　许用静水剪力—简化计算

如通过［2.2.2］的简化方法得出剪切应力，则船体任一横剖面处在进水工况下的许用静水正或负剪力，kN，由下式得出：

$$Q_{P,F} = \varepsilon\left(\frac{120}{k\delta}\frac{I_Y t}{S} + \Delta Q_C\right) - Q_{WV,F}$$

式中：ε = sgn（Q_{SW}）；

δ——表 1 所定义的剪力分布系数；

t——舷侧外板和内壳板的最小净厚度，mm，按表 1；

ΔQ_C——剪力修正量，按［2.2.2］计算，其中质量 M 包括所考虑货舱进水的质量，吃水 T_{LC} 应量至平衡水线。

第 2 节　极限强度校核

1　适用范围

1.1　一般要求

1.1.1　本节要求适用于船长 L 为 150m 及以上的船舶。

2　船体梁极限强度校核

2.1　船体梁载荷

2.1.1　弯矩

在校核船体梁极限强度时，所考虑的中垂和中拱工况下的弯矩 M，kN·m，由下式按完整、进水和港内工况得出：

$$M = M_{SW} + \gamma_W M_{WV}$$

式中：M_{SW}，$M_{SW,F}$，$M_{SW,P}$——所考虑的船体梁横剖面在中垂和中拱工况下的设计静水弯矩，kN·m，分别按完整（M_{SW}）、进水（$M_{SW,F}$）和港内（$M_{SW,P}$）工况计算；

M_{WV}，$M_{WV,F}$，$M_{WV,P}$——所考虑的船体梁横剖面在中垂和中拱工况下的垂向波浪弯矩，kN·m，定义见第 4 章第 3 节，分别按完整（M_{SW}）、进水（$M_{SW,F}$）和港内（$M_{SW,P}$）工况计算；

γ_W——船体梁波浪弯矩的安全因子，取为：$\gamma_W = 1.20$。

2.2　船体梁弯矩

2.2.1　M—χ 曲线

在中垂和中拱工况下，船体梁横剖面的极限弯矩能力，定义为所考虑的横剖面弯矩能力 M 与曲率 χ 曲线的最大值（见图 1）。

曲率 χ 对中拱工况为正值，对中垂工况为负值。

M-χ 曲线按附录 1 规定的衡准，通过增量—叠代程序得出。

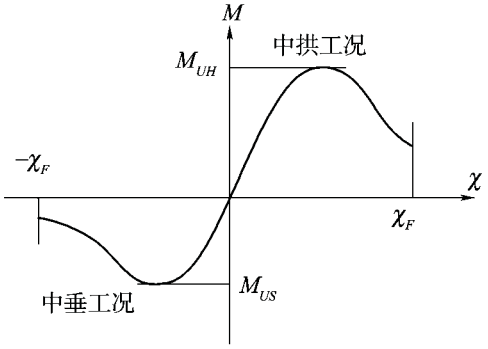


图 1　弯矩能力 M 与曲率 χ 的对应曲线

2.2.2　船体梁横剖面

船体梁横剖面由对船体梁纵向强度起作用的单元构成，按第 3 章第 2 节 [3.2.4]，计及其净提供结构尺寸。

2.3　校核衡准

2.3.1　应对任一船体横剖面的船体梁极限弯曲能力予以校核，且应满足下式：

$$M \leqslant \frac{M_U}{\gamma_R}$$

式中：M_U——所考虑的船体梁横剖面极限弯矩能力，kN·m，且基于总提供厚度减去 0.5 t_C 的净提供尺寸计算：

$$M_U = M_{UH} \quad \text{中拱工况}$$

$$M_U = M_{US} \quad \text{中垂工况}$$

M_{UH}——中拱工况下的极限弯矩能力，定义见 [2.2.1]；

M_{US}——中垂工况下的极限弯矩能力，定义见 [2.2.1]；

M——船舶在完整、进水和港内工况下的弯矩，kN·m，定义见 [2.1.1]；

γ_R——安全因子，取为 1.10。

附录 1　船体梁极限强度

符号

本附录中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

I_Y：船体横剖面对其水平中和轴的惯性矩，m^4，按第 5 章第 1 节［1.5.1］计算。

Z_{AB}, Z_{AD}：分别为船底和甲板的剖面模数，m^3，定义见第 5 章第 1 节［1.4.2］。

R_{eHs}：所考虑扶强材材料的最小屈服应力，N/mm^2。

R_{eHp}：所考虑板材料的最小屈服应力，N/mm^2。

A_s：扶强材净剖面面积，不含带板，cm^2。

A_p：带板的净剖面面积，cm^2。

1　船体梁极限强度校核

1.1　引言

1.1.1　本附录规定了求得 M—χ 曲线和极限纵向弯矩能力 M_U 的衡准，应按［2.1］所规定的增量—叠代简化方法计算。

2　M—χ 曲线的计算衡准

2.1　基于增量—叠代方式的简化方法

2.1.1　计算流程

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 的定义如图 1 所示，为船舶横剖面垂向弯矩 M 与曲率 χ 关系曲线的峰值。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 $\Delta\chi$ 与前一步骤的曲率值 χ_{i-1} 相加而求得。此曲率增量相应于船体梁横剖面对其水平中和轴的转角增量。

该角位移增量引起船体各结构单元的轴向应变 ε，其值依各单元的位置而定。在中拱工况下，中和轴以上的结构单元拉长，中和轴以下的结构单元则缩短。中垂工况则与之相反。

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—塑性域的特性。

在每一步中，由于 σ—ε 为非线性关系，故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。对于各相关计算步骤，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 应通过总合各单元的应力而求得，此弯矩与当前计算步的曲率 χ_i 相应。

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（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：

$$\chi_1 = \Delta\chi = \frac{0.01\dfrac{R_{eH}}{E}}{z_D - N}$$

式中：z_D——强力甲板边线的 z 向坐标，对应于第一章第 4 节 [4] 中所定义的参考坐标；

第 4 步　计算各单元相应的应变 $\varepsilon_i = \chi(z_i - z_{NA})$ 和相应的应力 σ_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}：

$\sum A_i\sigma_i = \sum A_j\sigma_j$（$i$-th 受压单元，$j$-th 受拉单元）

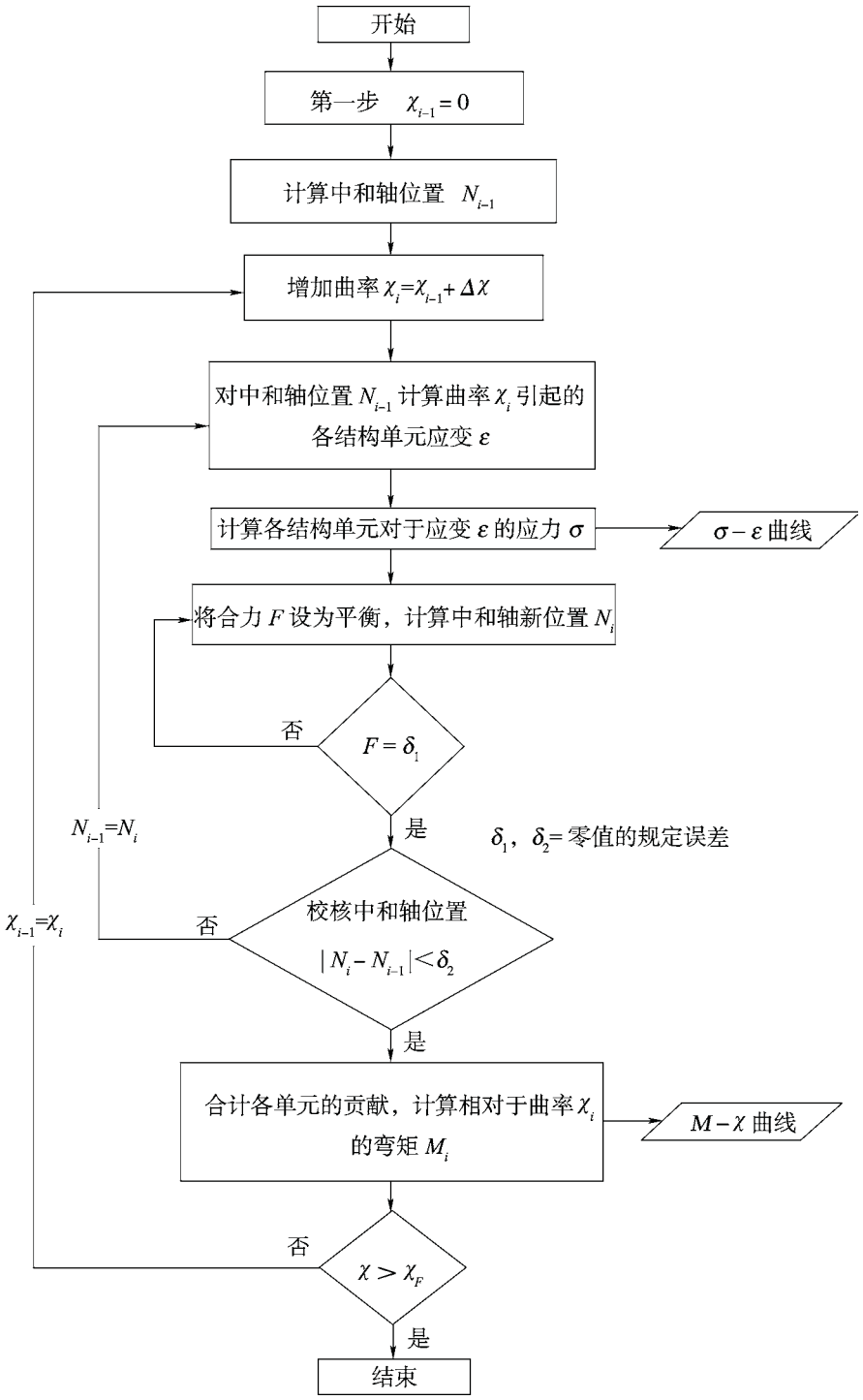


图 1　M-χ 曲线计算程序流程图

第 6 步　通过合计所有单元的贡献计算相应的弯矩：

$$M_U = \sum \sigma_{Ui} A_i |（z_i - z_{NA_cur}）|$$

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。

2. 1. 2　假定

在应用［2. 1. 1］所述程序时，一般应作以下假定：

- 在两个相邻横框架之间的船体横剖面计算极限强度；
- 在每次增加曲率时，船体梁横剖面保持平面状态；
- 船体材料具有弹塑性特性；
- 船体梁横剖面分为一组单元，且视为独立起作用。

这些单元为：

——横骨架式板格和 / 或连同带板的普通扶强材，其结构特性说明见［2.2.1］

——板材交叉而成的硬角，其结构特性说明见［2.2.2］

- 根据叠代程序，按各曲率值 χ_i 作用于横剖面的弯矩 M_i，通过总合作用于各单元的应力 σ 的贡献量而求得。相应于单元应变 ε 的应力 σ，应按每一曲率增量从各单元的非线性载荷—端缩曲线 σ—ε 得出。

  对于单元的失效机制而言，这些曲线应按［2. 2］所规定的公式计算。应力 σ 选为所考虑的每条载荷—端缩曲线 σ—ε 得出数值中的最小者。
- 重复该流程，直至所取曲率值在中拱和中垂工况下达到由下式求得的 χ_F 值（以 m^{-1} 计）：

$$\chi_F = \pm 0.003 \frac{M_Y}{EI_Y}$$

式中：M_Y——M_{Y1} 值和 M_{Y2} 值的小者，kN·m：

$$M_{Y1} = 10^3 R_{eH} Z_{AB}$$

$$M_{Y2} = 10^3 R_{eH} Z_{AD}$$

如果 χ_F 值不足以估算 M—χ 曲线的峰值，则应重复此流程，直至所取曲率值允许对该曲线进行最大弯矩的计算。

2. 1. 3　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。

考虑到两端削斜扶强材对船体梁强度没有贡献，两端削斜扶强材也应虚拟建模。

构件分为普通扶强材单元，加筋板单元或硬角单元。

将包括双层底纵桁或舷侧纵桁的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上刚度较在的构成单元，主要按弹塑性失效模式损坏（材料屈服）；这此单元一般由两面三刀块不共面的板组成。

  硬角单元离板交点的范围是在横向加筋板上取 $20t_p$，在纵向加筋板上取 0. 5s（图 6）。

t_p——板的总提供厚度，mm。

s——相邻纵轴扶强材的间距，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腹板一面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，等于普通扶强材平均间距；

——当扶强材一侧板格是纵向加筋，另一侧是横向加筋时，等于纵向加筋板格的宽度（图 6）。

- 加筋板单元

普通扶强材单元之间、普通扶强材单元和硬角单元之间或硬角单元之间的板作为加筋板单元（图 6）。

船体梁横剖面建模的典型例子如图 7 和图 8 所示。

尽管有前面的建模原则，这些图应用于上甲板、舷顶列板和舱口旁给桁附近警戒的建模。

注：（1）如图 9 所示的折角点，角度大于 30°的折角附近区域板应定义为硬角。一侧硬角单元的范围是从折角点起在横向加筋板上取 $20t_p$，在纵向加筋板上取 0.5s。

（2）当板由纵向不连续扶强材加强，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，开孔应根据第 5 章第 1 节 [1.2.7]、[1.2.8] 和 [1.2.9] 考虑。

（4）当带板由不同厚度和 / 或屈服应力的钢材组成时，使用由下式的平均厚度和 / 或平均屈服应力：

$$t=\frac{t_1s_1+t_2s_2}{s}$$

$$R_{eHp}=\frac{R_{eHp1}t_1s_1+R_{eHp2}t_2s_2}{ts}$$

式中：R_{eHp1}、R_{eHp2}、t_1、t_2、s_1、s_2 和 s 如图 10 所示。

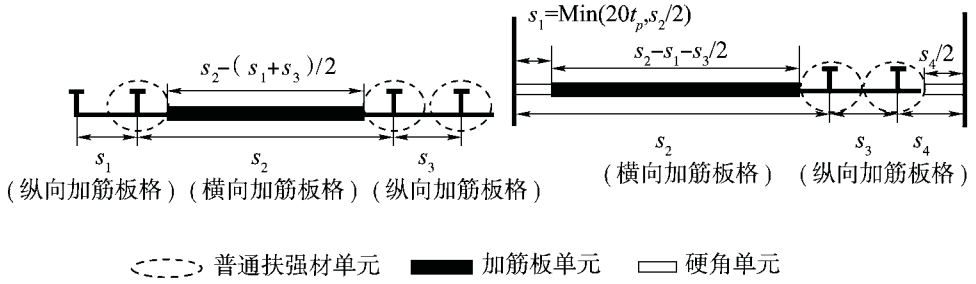


图 6　硬角单元和带板的宽度

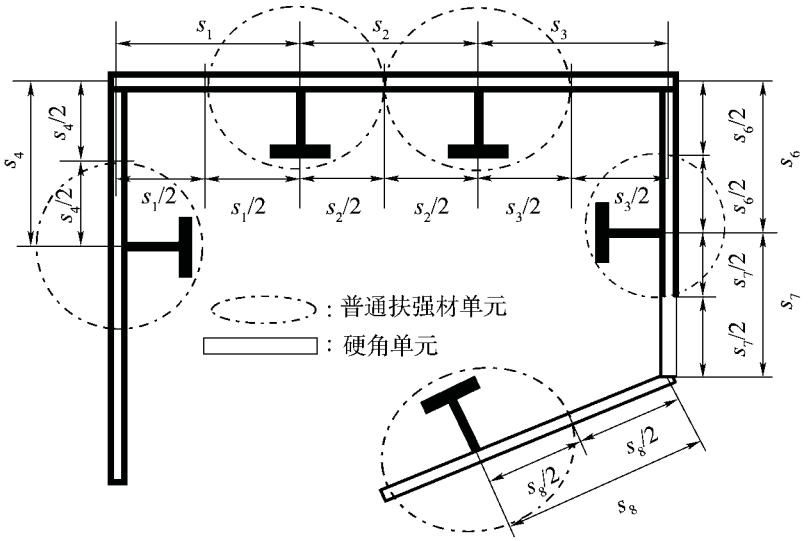


图 7　硬角单元和带板的宽度

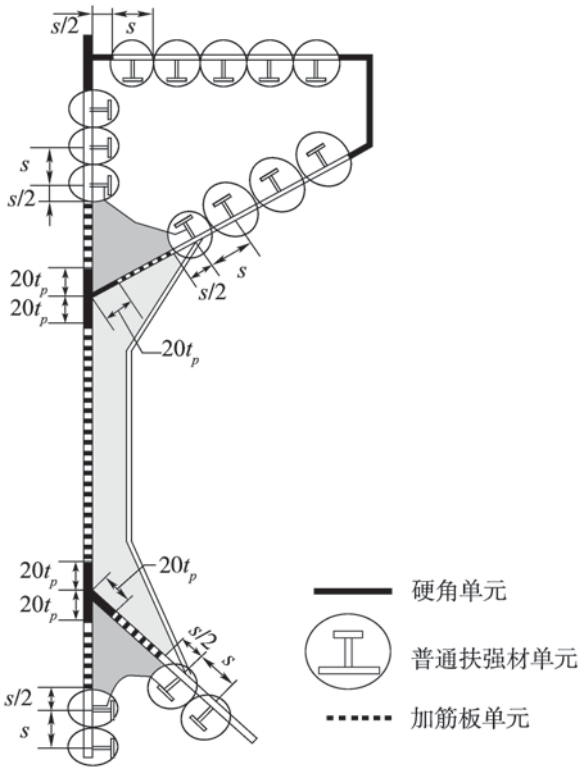


图 8　船体横剖面上加筋板单元、普通扶强材单元和硬角单元示例

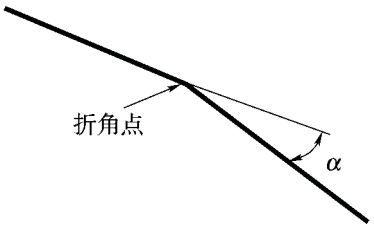


图 9　有折角点的板

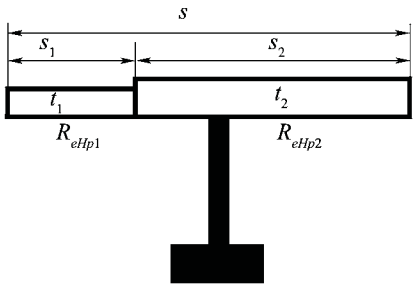


图 10　有不同厚度和屈服应力的单元

2.2　载荷—端缩曲线 σ—ε

2.2.1　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 [2.2.3] 至 [2.2.7] 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 0。
- 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。开孔的处理方法应根据第 5 章第 1 节 [1.2.7] 至 [1.2.9]。
- 对加筋板单元，计算载荷—缩短曲线时，板的有效宽度应取全板宽，即：到与其他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。

2.2.2　硬角单元

对拉长和缩短的硬角单元，应按 [2.2.3] 得出相关的载荷—端缩曲线 σ—ε。

加筋板单元和普通扶强材单元失效模式　　**表 1**

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	弹塑性崩溃破坏	[2.2.3]
缩短的普通扶强材单元	梁柱屈曲	[2.2.4]
	扭转屈曲	[2.2.5]
	折边型材的腹板局部屈曲	[2.2.6]
	扁钢腹板局部屈曲	[2.2.7]
缩短的加筋板单元	板屈曲	[2.2.8]

2.2.3　结构单元的弹塑性崩溃破坏

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，且对正（缩短）和负（拉长）应变均有效（见图 2）：

$$\sigma = \Phi R_{eHA}$$

式中：Φ——边缘函数，等于：

$$\Phi = -1 \qquad \text{对 } \varepsilon < -1$$
$$\Phi = \varepsilon \qquad \text{对 } -1 \leqslant \varepsilon \leqslant 1$$
$$\Phi = 1 \qquad \text{对 } \varepsilon > 1$$

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：

$$\varepsilon_Y = \frac{R_{eHA}}{E}$$

R_{eHA}——所考虑单元的等效最小屈服应力，N/mm^2，由以下公式得到：

$$R_{eHA} = \frac{R_{eHp}A_p + R_{eHs}A_S}{A_p + A_S}$$

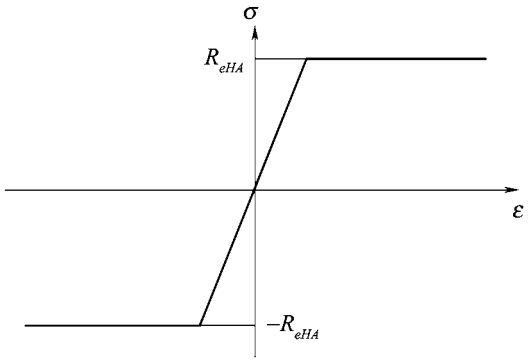


图 2　弹塑性崩溃破坏的载荷—端缩曲线 σ—ε

2.2.4　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（见图 3）：

$$\sigma_{CR1} = \Phi\sigma_{C1}\frac{A_S + A_{pE}}{A_S + A_p}$$

式中：Φ——[2.2.3] 所定义的边缘函数；

σ_{C1}——临界应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_{C1}=\frac{\sigma_{E1}}{\varepsilon} \qquad 对\sigma_{E1}\leqslant\frac{R_{eHB}}{2}\varepsilon$$

$$\sigma_{C1}=R_{eHB}\left(1-\frac{R_{eHB}\varepsilon}{4\sigma_{E1}}\right) \qquad 对\sigma_{E1}>\frac{R_{eHB}}{2}\varepsilon$$

R_{eHB}——所考虑单元的等效最小屈服应力，N/mm^2，由下式获得：

$$R_{eHB}=\frac{R_{eHp}A_{pE1}l_{pE}+R_{eHs}A_s l_{sE}}{A_{pE1}l_{pE}+A_s A_{sE}}$$

A_{pE1}——有效面积，cm^2，等于：

$$A_{pE1}=10b_{E1}t_p$$

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——[2. 2. 3] 定义的相对应变；

σ_{E1}——柱子欧拉应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_{E1}=\pi^2 E\frac{I_E}{A_E l^2}10^{-4}$$

I_E——普通扶强材净惯性矩，cm^4，且带板宽为 b_{E1}；

b_{E1}——有效船壳带板宽度，m，等于：

$$b_{E1}=\frac{s}{\beta_E} \qquad 对\ \beta_E>1.0$$

$$b_{E1}=s \qquad 对\ \beta_E\leqslant 1.0$$

$$\beta_E=10^3\frac{s}{t_p}\sqrt{\frac{\varepsilon R_{eHp}}{E}}$$

A_{pE}——船壳带板宽度为 b_E 的净剖面积，cm^2，$A_{pE}=10b_E t_p$；

b_E——船壳有效带板宽度，m，等于：

$$b_E=\left(\frac{2.25}{\beta_E}-\frac{1.25}{\beta_E^2}\right)s \qquad 对\ \beta_E>1.25$$

$$b_E=s \qquad 对\ \beta_E\leqslant 1.25$$

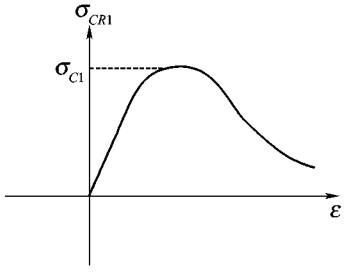


图 3　梁柱屈曲的载荷—端缩曲线 σ_{CR1}—ε

2. 2. 5　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（见图 4）：

$$\sigma_{CR2} = \Phi \frac{A_s\sigma_{C2} + A_p\sigma_{CP}}{A_s + A_P}$$

式中：Φ———[2. 2. 3] 所定义的边缘函数；

σ_{C2}———临界应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_{C2} = \frac{\sigma_{E2}}{\varepsilon} \qquad 对\sigma_{E2} \leqslant \frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon$$

$$\sigma_{C2} = R_{eHs}\left(1 - \frac{R_{eHs}\varepsilon}{4\sigma_{E2}}\right), \qquad 对\sigma_{E2} > \frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon$$

σ_{E2}——扭转欧拉屈曲应力，N/mm^2，定义见第 6 章第 3 节 [4. 3]；

ε——[2. 2. 3] 定义的相对应变；

σ_{CP}——带板屈曲应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_{CP} = \left(\frac{2.25}{\beta_E} - \frac{1.25}{\beta_E^{\ 2}}\right)R_{eHp} \qquad 对\ \beta_E > 1.25$$

$$\sigma_{CP} = R_{eHp} \qquad 对\ \beta_E \leqslant 1.25$$

β_E——[2. 2. 4] 定义的系数。

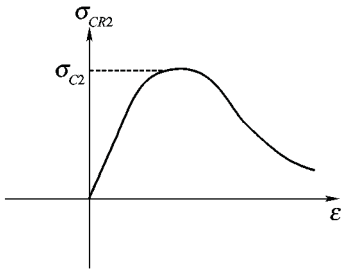


图 4　扭转屈曲的载荷—端缩曲线 σ_{CR2}—ε

2. 2. 6　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：

$$\sigma_{CR3} = \Phi \frac{10^3 b_E t_p R_{eHp} + (h_{we}t_w + b_f t_f) R_{eHs}}{10^3 s t_p + h_w t_w + b_f t_f}$$

式中：Φ——[2. 2. 3] 定义的边缘函数；

b_E——[2. 2. 4] 定义的船壳带板的有效宽度，m；

h_{we}——腹板有效高度，mm，等于：

$$h_{we} = \left(\frac{2.25}{\beta_w} - \frac{1.25}{\beta_w^{\ 2}}\right)h_w \qquad 对\beta_w > 1.25$$

$$h_{we} = h_w \qquad 对\ \beta_w \leqslant 1.25$$

$$\beta_w = \frac{h_w}{t_w}\sqrt{\frac{\varepsilon R_{eHs}}{E}}\ ;$$

ε——[2. 2. 3] 定义的相对应变。

2. 2. 7　扁钢制成的普通扶强材腹板的局部屈曲

对于组成船体梁横剖面的普通扁钢扶强材腹板的局部屈曲，描述其载荷—端缩曲线 σ_{CR4}—ε 的方程由下式给出（见图 5）：

$$\sigma_{CR4} = \Phi \frac{A_p\sigma_{CP} + A_s\sigma_{C4}}{A_p + A_s}$$

式中：Φ——[2. 2. 3] 所定义的边缘函数；

σ_{CP}——[2. 2. 5] 定义的带板屈曲应力，N/mm^2；

σ_{C4}——临界应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_{C4} = \frac{\sigma_{E4}}{\varepsilon} \qquad 对\sigma_{E4} \leqslant \frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon$$

$$\sigma_{C4} = R_{eHs}\left(1 - \frac{R_{eHs}\varepsilon}{4\sigma_{E4}}\right) \qquad 对\sigma_{E4} > \frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon$$

σ_{E4}——局部欧拉屈曲应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_{E4} = 160000\left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2$$

ε——[2. 2. 3] 定义的相对应变。

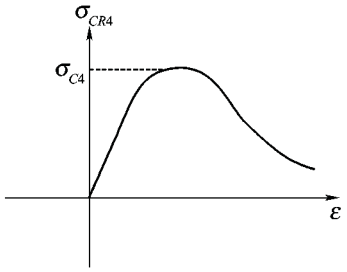


图 5　腹板局部屈曲的载荷—端缩曲线 σ_{CR4}—ε

2. 2. 8　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：

$$\sigma_{CR5} = \min\begin{cases} R_{eHp}\Phi \\ \Phi R_{eHp}\left[\dfrac{s}{l}\left(\dfrac{2.25}{\beta_E} - \dfrac{1.25}{\beta_E^2}\right) + 0.1\left(1 - \dfrac{s}{l}\right)\left(1 + \dfrac{1}{\beta_E^2}\right)^2\right] \end{cases}$$

式中：Φ——[2. 2. 3] 定义的边缘函数；

$\beta_E = 10^3 \dfrac{s}{t_p}\sqrt{\dfrac{\varepsilon R_{eHp}}{E}}$；

s——板的宽度，m，可取为扶强材间距；

l——板的长边，m。

第 6 章　船体结构尺寸

第 1 节　板　　材

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

I_Y：船体横剖面对其水平中和轴的净惯性矩，m^4, 按第 5 章第 1 节［1.5］计算，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

I_Z：船体横剖面对其垂直中和轴的净惯性矩，m^4, 按第 5 章第 1 节［1.5］计算，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

N：第 5 章第 1 节［1.2］所定义的船体净横剖面重心在第 1 章第 4 节［4］定义的坐标系统中的 Z 坐标，m，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

t：板格的净厚度，mm。

p_S，p_W：［3.1.2］中定义的完整工况下的静水和波浪压力，kN/m^2。

P_F：［3.1.3］中定义的进水工况下的压力，kN/m^2。

P_T：［3.1.4］中定义的试验工况下的压力，kN/m^2。

σ_X：［3.1.5］中定义的正应力，$N/m\,m^2$。

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。

c_a：板格的长宽比系数，等于：

$$c_a = 1.21\sqrt{1+0.33\left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69\frac{s}{l}$$　　取为不大于 1.0

c_r：板格的曲率系数，等于

$$c_r = 1-0.5\frac{s}{r}$$　　取为不小于 0.4

r：曲率半径，m。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节的要求适用于承受侧向压力板材的强度校核以及承受船体梁平面正应力的参与纵向强度板材的强度校核。

另外，应按第 6 章第 3 节对板材和加筋板格进行屈曲校核。

1.2　净厚度

1.2.1　如第 3 章第 2 节所规定的，本节中的所有厚度均为净厚度，即它们不包括任何腐蚀增量。总厚度按第 3 章第 2 节［3］的规定求得。

1.2.2　每块板材的净厚度（mm）为按［1.5.1］中定义的所考虑典型板材的每个载荷计算点（见表 1）计算的净厚度的最大值。所计及的几何形状是与载荷计算点有关的基本板格的几何形状。

1.3　压力组合

1.3.1　外壳构件

静水和波浪侧向压力的计算应分别考虑：

- 外部海水静水压力和波浪压力
- 与外板邻接舱室在装载情况下的内部静水和波浪压力。如与外板邻接舱室拟装液体，该内部静水和波浪压力应从相应的外部海水静水和波浪压力中减去。

1.3.2　非外壳构件

对于分隔两个相邻舱室的构件，作用于该构件的侧向静水和波浪压力是分别考虑这两个舱室分别被装载时的压力。

1.4　基本板格

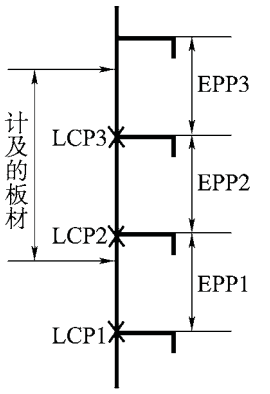
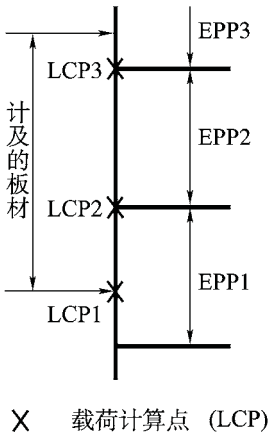
1.4.1　基本板格（EPP）是扶强材之间板材的最小未加强部分。

1.5　载荷计算点

1.5.1　除另有规定外，应计算以下构件位置的侧向压力和船体梁应力：

- 纵骨架式，位于基本板格的下边缘（见表 1）或，如果是水平板材，位于所计及的基本板格的 y 值最小处，视具体情况而定；
- 横骨架式，位于基本板格的下边缘或列板的下边缘（见表 1），或如果是水平板材，位于所计及的基本板格的 y 值最小处。

载 荷 计 算 点　　**表 1**

纵 向 加 强 板	横 向 加 强 板
	

2　一般要求

2.1　槽形舱壁

2.1.1　除非另有规定，槽形舱壁的板材净厚度应不小于所求得的板格净厚度，s 等于图 1 中定义的 a 和 c 中的大者。

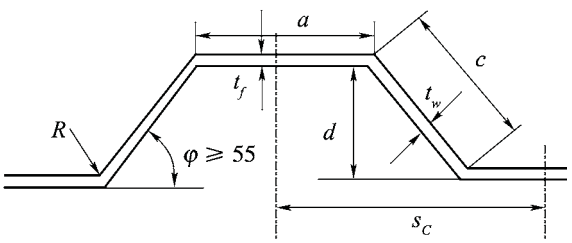


图 1　槽形舱壁

2.2　最小净厚度

2.2.1　板材的净厚度应不小于表 2 中的值。

另外，在货物区域，从正常压载吃水至 T_S 以上 $0.25T_S$（最小 2.2 m），舷侧外板的净厚度应不小于从下列公式中获得之值（mm）：

$$t=28(s+0.7)\frac{(BT_s)^{0.25}}{\sqrt{R_{eH}}}$$

板材的最小净厚度（mm）　　**表 2**

板　　材	最小净厚度（mm）	板　　材	最小净厚度（mm）
龙骨	7.5+0.03L	舷内侧，底边舱斜板和顶边舱斜板	$0.7L^{1/2}$
船底，内底	5.5+0.03L	横向和纵向水密舱壁	$0.6L^{1/2}$
露天强力甲板和凸形甲板（如有）	4.5+0.02L	制荡舱壁	6.5
舷侧,舭部	$0.85L^{1/2}$	起居甲板	5.0

2.3　舭列板

2.3.1 纵骨架式舭列板的净厚度（mm）应不小于从［3.2］获得的值。

2.3.2 横骨架式舭列板的净厚度（mm）应不小于下列公式中获得的值：

$$t=0.76[(p_S+p_W)s_b]^{0.4}R^{0.6}k^{0.5}$$

式中：R——舭部半径，m；

s_b——肋板或横向舭肘板的间距，m。

2.3.3　舭列板的净厚度应不小于相邻的 2m 宽船底或船侧板的实际净厚度，取其大者。

2.4　龙骨板

2.4.1 龙骨板的净厚度应不小于相邻的 2m 宽船底的实际净厚度。

2.5　舷顶列板

2.5.1　焊接的舷顶列板

焊接的舷顶列板的净厚度应不小于相邻的 2m 宽舷侧板的实际净厚度。如需要，计入高强度钢修正量。

2.5.2　圆弧舷顶列板

圆弧舷顶列板的净厚度应不小于相邻甲板板的实际净厚度。

2.5.3　有效上层建筑中断处的舷顶列板的净厚度

对船中 0.5L 长度范围内的有效上层建筑中断处，应在该上层建筑末端每侧约 1/6 船宽的长度范围内增加舷顶列板的净厚度。

净厚度的这种增加应不小于舷顶列板净厚度的 40%，但无需超过 4.5 mm。

如果上层建筑中断于船中 0.5L 以外，净厚度的增加可减少至 30%，但无需超过 2.5mm。

2.5.4　非有效上层建筑中断处的舷顶列板的净厚度

对船中 0.6L 之内的非有效上层建筑中断处，应沿该上层建筑末端每侧约 1/6 船宽的长度增加舷顶列板的净厚度。

净厚度的这种增加应等于 15%，但无需超过 4.5 mm。

2.6　甲板边板

2.6.1　一般要求

甲板边板的净厚度应不小于相邻甲板板材的实际净厚度。

2.6.2　长上层建筑中断处的甲板边板的净厚度

对船中 0.5L 长度范围内的长上层建筑中断处，应在该上层建筑末端每侧约 1/6 船宽的长度范围内增加甲板边板的净厚度。

净厚度的这种增加应不小于甲板边板净厚度的 40%，但无需超过 4.5mm。

如果上层建筑中断于船中 0.5L 以外，净厚度的增加可减少至 30%，但无需超过 2.5mm。

2.6.3　短上层建筑中断处的甲板边板的净厚度

对船中 0.6L 长度范围内的短上层建筑中断处，应在该上层建筑末端每侧约 1/6 船宽的长度范围内增加甲板边板的净厚度。

净厚度的这种增加应等于 15%，但无需超过 4.5 mm。

2.7　承载有木质支撑钢卷的内底

2.7.1　一般要求

拟载钢卷的船舶，其内底、舭部底边舱斜板和内壳的净厚度应符合［2.7.2］至［2.7.4］的要求。

此规定基于将图 2 所示方式假定为钢卷的标准系固方式。

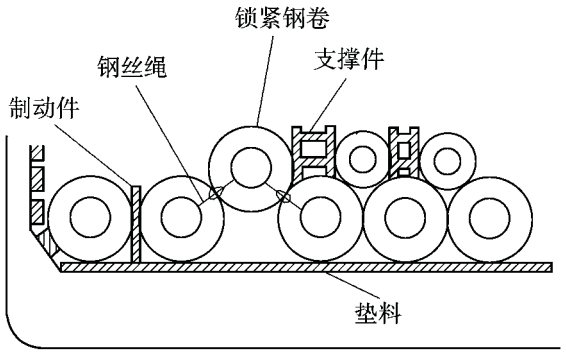


图 2　承载钢卷的内底

2.7.1 bis1　加速度

为了计算加速度，重心采用如下坐标。

若货舱中心位于距 A. E. 0.45L 之前，取货舱后舱壁向前 $x_{G\text{-}sc}=0.75l_H$

若货舱中心位于距 A.E. 0.45L 之后，取货舱后舱壁向后 $x_{G\text{-}sc}=0.75l_H$

$$y_{G\text{-}sc}=\varepsilon\frac{B_h}{4}$$

$$z_{G\text{-}sc}=h_{DB}+\left\{1+(n_1-1)\frac{\sqrt{3}}{2}\right\}\frac{d_{sc}}{2}$$

式中：ε——当考虑左舷构件时，取 1.0；当考虑右舷构件时，取 -1.0；

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}——内底板高度，m；

l_H——货舱长度，m。

垂向加速度 a_z，m/s^2，应根据第 4 章第 2 节［3.2］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：

$$a_R = \theta \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 \sqrt{y_{G-SC}{}^2 + R^2}$$

式中：θ，T_R 和 R：定义见第 4 章第 2 节［3.2］。

2.7.2　内底板

纵骨架式内底板的板材净厚度（mm）应不小于按下式求得的值：

$$t = K_1\sqrt{\frac{\{g[\cos(C_{ZP}\Phi)\cos(C_{ZR}\theta)] + a_z\}F}{\lambda_p R_Y}}$$

式中：K_1——系数，取为：

$$K_1 = \sqrt{\frac{1.7slK_2 - 0.73s^2K_2{}^2 - (l-l')^2}{2l'(2s+2lK_2)}}$$

a_z——垂向加速度，m/s^2，定义见［2.7.1 bis1］；

Φ——纵摇单幅值，（°），定义见第 4 章第 2 节［2.2］；

θ——横摇单幅值，（°），定义见第 4 章第 2 节［2.1］；

C_{ZP}，C_{ZR}——载荷组合因子，定义见第 4 章第 4 节［2.2］；

F——力，kg，取为：

$$F = K_S\frac{Wn_1n_2}{n_3}\qquad \text{对于 } n_2 \leqslant 10 \text{ 且 } n_3 \leqslant 5$$

$$F = K_S n_1 W\frac{l}{l_S}\qquad \text{对于 } n_2 > 10 \text{ 或 } n_3 > 5$$

λ_p——表 6 定义的系数；

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——单个钢卷的质量，kg；

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 3 和图 4）。当 $n_3 \leqslant 5$ 时，n_2 可根据 n_3 和 l/l_s 的值从表 3 获得；

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：

$$K_2 = -\frac{s}{l} + \sqrt{\left(\frac{s}{l}\right)^2 + 1.37\left(\frac{s}{l}\right)^2\left(1 - \frac{l'}{l}\right)^2 + 2.33}$$

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 3 和图 4）。当 $n_2 \leqslant 10$ 且 $n_3 \leqslant 5$ 时，l' 按 l，l_s，n_2 和 n_3 之值从表 4 获得。当对于 $n_2 > 10$ 且 $n_3 > 5$ 时，l' 取 l。

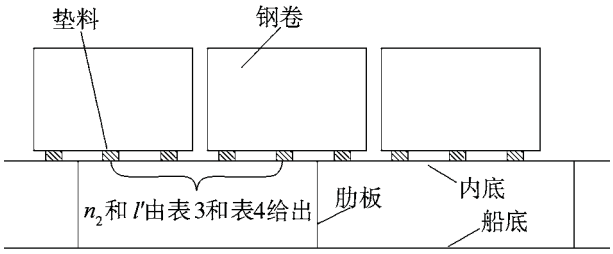


图 3　钢卷装载工况

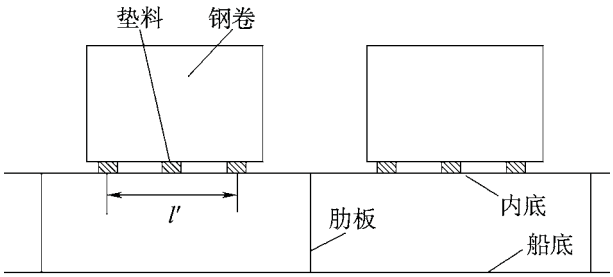


图 4　钢卷装载工况

2.7.3　底边舱斜板和内壳板纵骨架式底边舱斜板和内壳的板材净厚度（mm）应不小于按下式求得的值：

$$t = K_1\sqrt{\frac{a_{hopper}F'}{\lambda_p R_Y}}$$

式中：　K_1——系数，定义见 2.7.2；

θ_h——内底板与底边舱斜板或内壳板之间的夹角，（°）；

$a_{hopper} = -C_{YR}a_R\sin\left(\tan^{-1}\left|\frac{y_{G\text{-}sc}}{R}\right| - \theta_h\right) + g\cos(\theta_h - G_{YG}\theta)\cos(C_{XG}\phi) + C_{YS}a_{sway}\sin\theta_h$；

a_R——切向加速度，定义见［2.7.1 bis1］；

a_{sway}——横荡引起的横向加速度，m/s^2，定义见第 4 章第 2 节［2.4］；

C_{XG}，C_{YS}，C_{YR}，C_{YG}——载荷组合因子，定义见第 4 章第 4 节［2.2］；

$y_{G\text{-}sc}$——横向重心位置，定义见［2.7.1 bis1］；

R——系数，定义见第 4 章第 2 节［3.2.1］；

F'——力，kg，取为：

$$F' = \frac{Wn_2C_k}{n_3}$$　　对于 $n_2 \leqslant 10$ 且 $n_3 \leqslant 5$

$$F' = C_kW\frac{l}{l_s}$$　　对于 $n_2 > 10$ 或 $n_3 > 5$

λ_p——表 6 定义的系数；

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。

每一基本板格的载荷点数量 n_2　　表 3

n_2	n_3=2	n_3=3	n_3=4	n_3=5
1	$0<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.5$	$0<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.33$	$0<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.25$	$0<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.2$
2	$0.5<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.2$	$0.33<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.67$	$0.25<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.5$	$0.2<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.4$
3	$1.2<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.7$	$0.67<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.2$	$0.5<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.75$	$0.4<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.6$
4	$1.7<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.4$	$1.2<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.53$	$0.75<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.2$	$0.6<\frac{l}{l_s}\leqslant 0.8$
5	$2.4<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.9$	$1.53<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.87$	$1.2<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.45$	$0.8<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.2$
6	$2.9<\frac{l}{l_s}\leqslant 3.6$	$1.87<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.4$	$1.45<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.7$	$1.2<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.4$
7	$3.6<\frac{l}{l_s}\leqslant 4.1$	$2.4<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.73$	$1.7<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.95$	$1.4<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.6$
8	$4.1<\frac{l}{l_s}\leqslant 4.8$	$2.73<\frac{l}{l_s}\leqslant 3.07$	$1.95<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.4$	$1.6<\frac{l}{l_s}\leqslant 1.8$
9	$4.8<\frac{l}{l_s}\leqslant 5.3$	$3.07<\frac{l}{l_s}\leqslant 3.6$	$2.4<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.65$	$1.8<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.0$
10	$5.3<\frac{l}{l_s}\leqslant 6.0$	$3.6<\frac{l}{l_s}\leqslant 3.93$	$2.65<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.9$	$2.0<\frac{l}{l_s}\leqslant 2.4$

沿船长方向内底每一基本板格的载荷点之间的距离　　表 4

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	$5.3l_s$	$3.60l_s$	$2.65l_s$	$2.0l_s$

3　承受侧向压力的板材的强度校核

3.1　载荷模型

3.1.1　一般要求

应考虑完整工况下由海水和不同种类货物以及压载引起的静水和波浪侧向压力，这取决于所考虑的板材位置和其相邻舱室的类型。

组成不拟载运液体的舱室边界的板材（不包括船底板和舷侧外板）应承受进水工况下的侧向压力。

在第 4 章第 4 节定义的相互独立的载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 下，应按 10^{-8} 概率水平计算波浪侧向压力和船体梁载荷。

3.1.2　完整工况下的侧向压力

完整工况下的侧向压力由静水压力和波浪压力组成。

静水压力 p_S 包括：

- 第 4 章第 5 节［1］定义的静水压力；
- 第 4 章第 6 节定义的不同种类货物和压载的静水内部压力。

对各载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2，波浪压力 p_W 包括：

- 第 4 章第 5 节［1］定义的水动压力；
- 第 4 章第 6 节定义的不同种类货物和压载的惯性压力。

3.1.3　进水工况下的侧向压力

进水工况下的侧向压力 p_F 定义见第 4 章第 6 节［3.2.1］。

3.1.4　试验工况下的侧向压力

试验工况下的侧向压力 p_T 取为：

- 对于船底外板和舷侧外板　　$p_T = p_{ST} - p_S$
- 其他　　$p_T = p_{ST}$

式中：p_{ST}——第 4 章第 6 节［4］定义的试验压力；

p_S——压力，其值取为：

- 如果试验在船舶处于漂浮状态时进行：第 4 章第 5 节［1］定义的静水压力，其吃水 T_1 为设计者定义的试验吃水。如果未定义 T_1，则视为试验不在船舶处于漂浮状态时进行。
- 如果试验不在船舶处于漂浮状态时进行：$p_S = 0$。

3.1.5　正应力

对船体梁总纵强度起作用的板材进行强度校核时考虑的正应力是从下列公式获得的中垂和中拱工况（如适用）中 σ_X 的最大值，N/mm^2:

$$\sigma_X = \left[C_{SW} \left| \frac{M_{SW}}{I_Y} \right| (z - N) + C_{WV} \left| \frac{M_{WV}}{I_Y} \right| (z - N) - C_{WH} \left| \frac{M_{WH}}{I_Z} \right| y \right] 10^{-3}$$

式中：M_{SW}——中拱或中垂工况（视具体情况）中的许用静水弯矩，kN·m；

M_{WV}——第 4 章第 3 节定义的中拱或中垂工况（视具体情况）中的垂向波浪弯矩，kN·m；

M_{WH}——第 4 章第 3 节定义的水平波浪弯矩，kN·m；

C_{SW}——表 5 中定义的每种载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 的组合因子；

C_{WV}，C_{WH}——表 5 中给出的第 4 章第 4 节［2.2］中定义的每种载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 的组合因子。

组合因子 C_{SW}，C_{WV} 和 C_{WH}　　**表 5**

LC	中　拱			中　垂		
	C_{SW}	C_{WV}	C_{WH}	C_{SW}	C_{WV}	C_{WH}
H1	不适用			−1	−1	0
H2	1	1	0	不适用		
F1	不适用			−1	−1	0
F2	1	1	0	不适用		

续上表

LC	中　　拱			中　　垂		
	C_{SW}	C_{WV}	C_{WH}	C_{SW}	C_{WV}	C_{WH}
R1	1	0	$1.2-\frac{T_{LC}}{T_S}$	−1	0	$1.2-\frac{T_{LC}}{T_S}$
R2	1	0	$\frac{T_{LC}}{T_S}-1.2$	−1	0	$\frac{T_{LC}}{T_S}-1.2$
P1	1	$0.4-\frac{T_{LC}}{T_S}$	0	−1	$0.4-\frac{T_{LC}}{T_S}$	0
P2	1	$\frac{T_{LC}}{T_S}-0.4$	0	−1	$\frac{T_{LC}}{T_S}-0.4$	0

3.2　板材厚度

3.2.1　完整工况

横向承载板格的净厚度应不小于从下列公式中获得之值，mm:

$$t=15.8c_a c_r s\sqrt{\frac{P_S+P_W}{\lambda_P R_Y}}$$

式中：λ_p——表 6 定义的系数。

系　数　λ_p　　表 6

板　　材		系　数　λ_p
对船体梁总纵强度起作用	纵骨架式板材	$0.95-0.45\left\|\frac{\sigma_X}{R_Y}\right\|$，取为不大于0.9
	横骨架式板材	$0.95-0.90\left\|\frac{\sigma_X}{R_Y}\right\|$，取为不大于0.9
对船体梁总纵强度不起作用		0.9

3.2.2　进水工况下的净厚度（分隔货舱的垂直槽形横舱壁的槽条除外）

组成不拟载运液体的舱室边界的板材（不包括船底板和舷侧外板）应在进水工况下进行校核，但分隔货舱的垂直槽形横舱壁除外。为此，其净厚度应不小于从下列公式中获得之值，mm:

$$t=15.8c_a c_r s\sqrt{\frac{P_F}{\alpha\lambda_p R_Y}}$$

式中：λ_p——表 6 定义的系数，通过计及进水工况下的 σ_X 来确定；

α——系数，取为：

$\alpha=0.95$　　对于防撞舱壁的板材

$\alpha=1.15$　　对于舱室的其他水密边界的板材

3.2.3　进水工况下分隔货舱的垂直槽形水密横舱壁的槽条净厚度

分隔货舱的垂直槽形水密横舱壁的板材净厚度 t，mm，应不小于从下列公式中获得之值：

$$t=14.9s\sqrt{\frac{1.05p}{R_{eH}}}$$

式中：p——第 4 章第 6 节［3.3.7］中定义的合成压力，kN/m^2；

s——板宽，m，取槽条翼板或腹板宽度的较大值。

对于组合型槽形舱壁，当翼板和腹板的厚度不同时：

• 较窄的板材的净厚度应不小于从下列公式中获得之值，mm：

$$t_N = 14.9s\sqrt{\frac{1.05p}{R_{eH}}}$$

• 较宽的板材的净厚度应不小于从下列公式中获得之值的大者，mm：

$$t_W = 14.9s\sqrt{\frac{1.05p}{R_{eH}}}$$

$$t_W = \sqrt{\frac{462s^2p}{R_{eH}} - t^2_{NP}}$$

式中：t_{NP}——较窄板材的实际净厚度，mm，取不大于：

$$t_{NP} = 14.9s\sqrt{\frac{1.05p}{R_{eH}}}$$

s——板宽，m，取槽条翼板或腹板宽的较大值。

槽条（图 5）下部的净厚度应从内底（如果不设底凳）或底凳顶部向上不小于 $0.15l_C$ 范围内保持不变，这里是 l_C 槽条跨距，m，按第 3 章第 6 节［10.4.4］选取。净厚度还应满足［3.2.1］、第 2 节中［3.6.1］与［3.6.2］和第 3 节中［6］的要求。

槽条中部的净厚度应从甲板（如果不设顶凳）或顶凳底部向下不大于 $0.3l_C$ 范围内保持不变。净厚度还应满足［3.2.1］、第 2 节中［3.6.1］与［3.6.2］的要求。

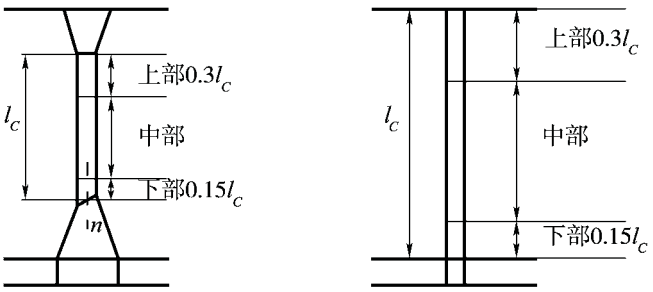


图 5　槽条各部分

3. 2. 3　bis1　底凳和顶凳的净厚度

底凳顶板的净厚度和材料特性应不低于［3.2.3］中对其上面槽形舱壁板的要求。

在从底凳顶向下深度等于槽形翼板宽度的范围内的底凳边板（或垂直或倾斜）上部的净厚度和材料特性应不小于［3.2.3］中对槽条下端翼板的要求，并按适用情况取较大的值。

顶凳底板的净厚度和材料特性应与［3.2.3］中对其下面的舱壁板的要求相同，并按适用情况取较大的值。

当采用相同的材料时，顶凳边板下部的净厚度应不小于［3.2.3］中对舱壁板上部要求的 80%，并按适用情况取较大的值。

底凳和顶凳的净厚度应不小于［3.2.1］、［3.2.2］和［3.2.4］中的要求。

3. 2. 3　bis2　槽形舱壁支撑肋板的净厚度

当不设置底凳时，槽形舱壁的支撑肋板和管隧横梁的净厚度和材料特性应不小于［3.2.3］中对槽条翼板的要求；

当设置底凳时，支撑肋板的净厚度和材料特性应不小于［3.2.2］中第一句对底凳边板的要求。

3. 2. 4　试验工况

第 4 章第 6 节［4］定义的舱室或结构的板材应在试验工况下进行校核。为此，其净厚度应不小于从下列公式中获取的值，mm:

$$t = 15.8 c_a c_r s \sqrt{\frac{P_T}{1.05 R_Y}}$$

第 2 节　普通扶强材

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

L_2：规范船长，但不取为大于 300 m。

I_Y：船体横剖面对其水平中和轴的净惯性矩，m^4, 按第 5 章第 1 节［1.5］计算，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

I_Z：船体横剖面对其垂向中和轴的净惯性矩，m^4, 按第 5 章第 1 节［1.5］计算，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

N：第 5 章第 1 节［1.2］所定义的船体净横剖面重心在第 1 章第 4 节［4］定义的坐标系统中的 Z 坐标，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

p_S，p_W：［3.1.2］定义的完整工况下的静水和波浪压力，kN/m^2。

p_F：［3.1.3］定义的进水工况下的压力，kN/m^2。

p_T：［3.1.4］定义的试验工况下的压力，kN/m^2。

$б_x$：［3.1.5］定义的正应力，N/mm^2。

s：普通扶强材的间距，m，沿跨距中点处弦长量取。

l：普通扶强材的跨距，m，在支撑构件之间沿弦长量取，见第 3 章第 6 节［4.2］。

h_w：腹板高度，mm。

t_w：腹板净厚度，mm。

b_f：面板宽度，mm。

t_f：面板净厚度，mm。

b_p：扶强材带板宽度，m，用于屈服校核，定义见第 3 章第 6 节［4.3］。

w：扶强材净剖面模数，cm^3，其带板宽度为 b_p, 按第 3 章第 6 节［4.4］进行计算。

A_{Sh}：扶强材净剪切截面积，cm^2，按第 3 章第 6 节［4.4］进行计算。

m：系数，取为：

$m = 10$　　对于垂直扶强材

$m = 12$　　对于其他扶强材

τ_a：许用剪应力，N/mm^2，取为：

$$\tau_a = \frac{R_Y}{\sqrt{3}}$$

1　一般要求

1.1　适用范围

1. 1. 1　本节的要求适用于承受侧向压力的普通扶强材以及承受船体梁正应力的对船体梁纵强度起作用的普通扶强材的屈服校核。

承受特定载荷的普通扶强材也应进行屈服校核，例如集中载荷。

另外，应按第 6 章第 3 节对普通扶强材进行屈曲校核。

1.2　净结构尺寸

1.2.1　如第 3 章第 2 节所规定的，本节中的所有结构尺寸均为净结构尺寸，即它们不包括任何腐蚀增量。

总结构尺寸按第 3 章第 2 节 [3] 的规定求得。

1.3　压力组合

1.3.1　外壳构件

静水和波浪侧向压力的计算应分别考虑：

- 外部海水静水压力和波浪压力；
- 与外板邻接舱室在装载情况下的内部静水和波浪压力。如与外板邻接舱室拟装液体，该内部静水和波浪压力应从相应的外部海水静水和波浪压力中减去。

1.3.2　非外壳构件

对于分隔两个相邻舱室的构件，作用于该构件的侧向静水和波浪压力是分别考虑这两个舱室分别被装载时的压力。

1.4　载荷计算点

1.4.1　水平扶强材

除非另有规定，应在所考虑的普通扶强材的跨距中点计算侧向压力和船体梁应力（如有）。

1.4.2　垂直扶强材

侧向压力 p 应取为在跨距中点求得的值与从下列公式求得值中的最大值：

- $p=\dfrac{p_U+p_L}{2}$　　当垂直扶强材的上端在最低零压力水平线之下时
- $p=\dfrac{l_1}{l}\dfrac{p_L}{2}$　　当垂直扶强材的上端在最低零压力水平线处或之上时（见图 1）

式中：l_1——垂直扶强材下端与最低零压力线之间的距离，m；

p_U，p_L——分别是垂直扶强材跨距 l 的上端和下端的侧向压力。

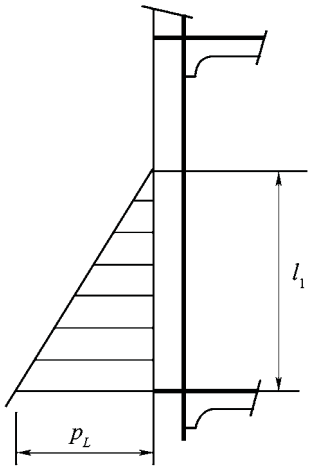


图 1　垂直扶强材压力的定义

2　一般要求

2.1　（空）

2.1.1（空）图 2（空）

2.2 普通扶强材腹板的净厚度

2.2.1 除单舷侧散货船的肋骨之外的普通扶强材腹板的最小净厚度

普通扶强材腹板的净厚度应不小于以下大者，mm：

- $t = 3.0 + 0.015L_2$；
- 根据第 6 章第 1 节确定的带板净要求厚度的 40%。

2.2.2 单舷侧散货船肋骨的最小净厚度

货物区域内肋骨腹板的净厚度应不小于从下列公式中获得之值，mm：

$$t_{MIN} = 0.75\alpha（7 + 0.03L）$$

式中：α——系数，取为：

$\alpha = 1.15$ 对于在最前面货舱处的肋骨腹板

$\alpha = 1.00$ 对于在其他货舱处的肋骨腹板

2.2.3 普通扶强材腹板的最大净厚度

普通扶强材腹板的净厚度，mm，应小于带板净提供厚度的 2 倍。

2.3 普通扶强材的净尺寸

2.3.1 扁钢

扁钢普通扶强材（见图 3）的净尺寸应符合下列要求：

$$\frac{h_w}{t_w} \leqslant 20\sqrt{k}$$

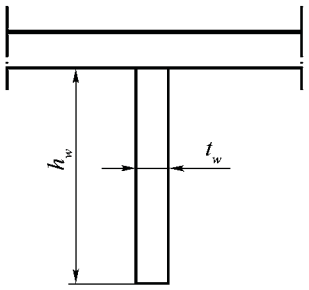


图 3 扁钢的净尺寸

2.3.2 T 形材

T 形材普通扶强材的净尺寸（见图 4）应符合下列要求：

$$\frac{h_w}{t_w} \leqslant 65\sqrt{k}$$

$$\frac{b_f}{t_f} \leqslant 33\sqrt{k}$$

$$b_f t_f \geqslant \frac{h_w t_w}{6}$$

2.3.3 角钢

角钢普通扶强材的净尺寸（见图 5）应符合下列要求：

$$\frac{h_w}{t_w} \leqslant 55\sqrt{k}$$

$$\frac{b_f}{t_f} \leqslant 16.5\sqrt{k}$$

$$b_f t_f \geqslant \frac{h_w t_w}{6}$$

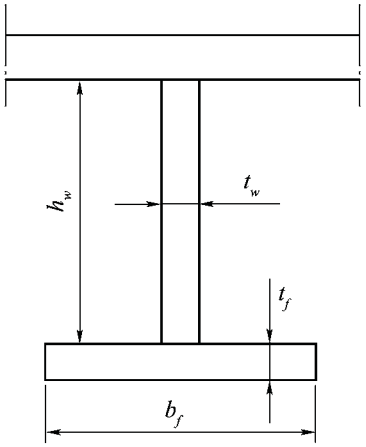


图 4　T 形材的净尺寸

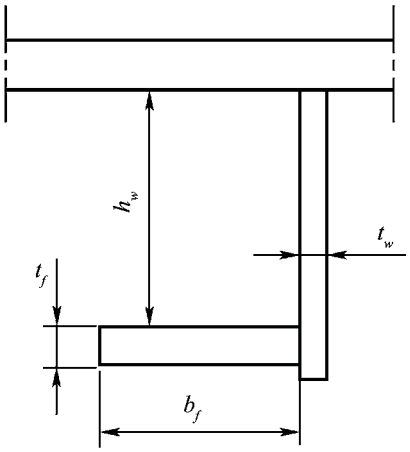


图 5　角钢的净尺寸

2.4　连接普通扶强材的撑柱

2.4.1 连接普通扶强材的撑柱的净剖面积 A_{SR}，cm^2，和对主轴的净惯性矩 I_{SR}，cm^4，应不小于从下列公式中获得之值：

$$A_{SR} = \frac{p_{SR} s l}{20}$$

$$I_{SR} = \frac{0.75 s l (p_{SR1} + p_{SR2}) A_{ASR} l^2_{SR}}{47.2 A_{ASR} - s l (p_{SR1} + p_{SR2})}$$

式中：p_{SR}——压力，取下列公式中获得的较大值，kN/mm^2：

$$p_{SR} = 0.5 (p_{SR1} + p_{SR2})$$

$$p_{SR} = p_{SR3}$$

p_{SR1}——撑柱处的外部压力，kN/m^2，作用于撑柱所在舱室外的一舷；

p_{SR2}——撑柱处的外部压力，kN/m^2，作用于撑柱所在舱室外的另一舷；

p_{SR3}——撑柱跨距中点处的内部压力，kN/m^2，位于撑柱所在舱室内；

l——撑柱连接的普通扶强材的跨距，m（见第 3 章第 6 节 [4.2.3]）；

l_{SR}——撑柱长度，m；

A_{ASR}——撑柱的实际净剖面面积，cm^2。

2.5　承载有木质支撑钢卷内底的普通扶强材

2.5.1　一般要求

本条要求适用于承载有木质支撑（垫料）钢卷的内底、底边舱斜板和内壳上的普通扶强材，如第 6 章第 1 节图 2 所示。

如果钢卷排为二层或二层以上，则对于仅最底层钢卷触及底边舱斜板或内壳板的情况，可采用 [2.5.2] 至 [2,5.3] 的公式。在其他情况下，通过直接强度分析或其他方法计算净剖面模数和净剪切剖面积。

2.5.2　内底板上的普通扶强材

内底板上的单跨普通扶强材的净剖面模数 w，cm^3 和净剪切剖面积 A_{sh}，cm^2 应不小于按下列公式求

得之值：

$$w = K_3 \frac{[g\cos(C_{ZP}\Phi)\cos(C_{ZR}\theta) + a_Z]F}{8\lambda_S R_Y}$$

$$A_{sh} = \frac{5[g\cos(C_{ZP}\Phi)\cos(C_{ZR}\theta) + a_Z]F}{\tau_a \sin\phi} \times 10^{-3}$$

式中：K_3——系数，定义见表 1。当 n^2 大于 10 时，K_3 取 $2l/3$；

a_Z——垂向加速度，m/s^2，定义见第 6 章第 1 节［2. 7. 1bis1］；

Φ——纵摇单幅值，（°），定义见第 4 章第 2 节［2.2］；

θ——横摇单幅值，（°），定义见第 4 章第 2 节［2.1］；

C_{ZP}，C_{ZR}——载荷组合因子，定义见第 4 章第 4 节［2. 2］；

F——力，kg，定义见第 6 章第 1 节［2. 7. 2］；

λ_S——系数，定义见表 3；

ϕ——夹角，（°），定义见［3.2.3］。

2. 5. 3　底边舱斜板或内壳板上的普通扶强材

底边舱斜板或内壳板上的单跨普通扶强材的净剖面模数 w，cm^3 和净剪切剖面积 A_{sh}，cm^2 应不小于按下列公式求得之值：

$$w = K_3 \frac{a_{hopper}F'}{8\lambda_S R_Y}$$

$$A_{sh} = \frac{5a_{hopper}F'}{\tau_a \sin\phi} 10^{-3}$$

式中：K_3——系数，定义见表 1。当 n_2 大于 10 时，K_3 取 $2l/3$；

θ_h——内底板与底这舱斜板或内壳板之间的夹角，（°）；

a_{hopper}——加速度，m/s^2，定义见第 6 章第 1 节［2. 7. 3］；

F'——力，kg，定义见第 6 章第 1 节［2. 7. 3］；

λ_S——系数，定义见表 3；

ϕ——夹角，（°），定义见［3. 2. 3］；

l'——沿船长方向，每一基本板格的载荷点之间的距离，m。

系　数　K_3　　表 1

n_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_3	l	$l-\frac{l'^2}{l}$	$l-\frac{2l'^2}{3l}$	$l-\frac{5l'^2}{9l}$	$l-\frac{l'^2}{2l}$	$l-\frac{7l'^2}{15l}$	$l-\frac{4l'^2}{9l}$	$l-\frac{3l'^2}{7l}$	$l-\frac{5l'^2}{12l}$	$l-\frac{11l'^2}{27l}$

2. 5. 4（空）

2. 6　用于救生艇或救助艇的降落设备处的甲板普通扶强材

2. 6. 1　甲板普通扶强材的结构尺寸应由直接计算确定。

2. 6. 2　降落设备施加的载荷应与降落设备的安全工作载荷一致。

2. 6. 3　合成应力，N/mm^2，应不超过以下小者：

$$\frac{100}{235}R_{eH}\text{和}\frac{54}{235}R_m$$

式中：R_m——扶强材材料的极限抗拉强度，N/mm^2。

3　屈服校核

3.1　载荷模型

3.1.1　一般要求

应考虑完整工况下由海水以及不同种类货物和压载引起的静水和波浪侧向载荷，这取决于所考虑的普通扶强材的位置和其相邻舱室的类型。

组成不拟载运液体的舱室边界的板材上的普通扶强材（不包括船底板和舷侧外板上的普通扶强材）在进水工况下应经受侧向压力。

在第 4 章第 4 节定义的相互独立的载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 中，应按 10^{-8} 概率水平计算波浪侧向载荷和船体梁载荷。

3.1.2　完整工况下的侧向压力

完整工况下的侧向压力由静水压力和波浪压力组成。

静水压力 p_S 包括：

- 第 4 章第 5 节［1］定义的静水压力；
- 第 4 章第 6 节定义的不同种类货物和压载的静水内部压力。

对每种载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2，波浪压力 p_W 包括：

- 第 4 章第 5 节［1］定义的水动压力；
- 第 4 章第 6 节定义的不同种类货物和压载的惯性压力。

3.1.3　进水工况下的侧向压力

进水工况下的侧向压力 p_F 定义见第 4 章第 6 节［3.2.1］。

3.1.4　试验工况下的侧向压力

试验工况下的侧向压力 p_T 等于：

- $p_T = p_{ST} - p_S$，对于船底板和舷侧外板
- $p_T = p_{ST}$，其他

式中：p_{ST}——第 4 章第 6 节［4］定义的试验压力

p_S——压力，其值等于：

- 如果试验在船舶处于漂浮状态时进行：第 4 章第 5 节［1］定义的静水压力，其吃水 T_1 为设计者定义的试验吃水。如果未定义 T_1，则视为试验不在船舶处于漂浮状态时进行。
- 如果试验不在船舶处于浮态时进行：$p_S = 0$

3.1.5　正应力

对船体梁总纵强度起作用的普通扶强材进行强度校核时考虑的正应力是从下列公式获得的中垂和中拱工况（如适用）中 σ_X 的最大值，N/mm^2：

$$\sigma_X = \left[C_{SW}\left|\frac{M_{SW}}{I_Y}\right|(z-N) + C_{WV}\left|\frac{M_{WV}}{I_Y}\right|(z-N) - C_{WH}\left|\frac{M_{WH}}{I_Z}\right|y\right]10^{-3}$$

式中：M_{SW}——中垂或中拱工况（视具体情况）中的许用静水弯矩，kN·m；

M_{WV}——第 4 章第 3 节定义的中垂或中拱工况（视具体情况）中的垂向波浪弯矩，kN·m；

M_{WH}——第 4 章第 3 节定义的水平波浪弯矩，kN·m；

C_{SW}——表 2 中定义的每种载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 的组合因子；

C_{WV}，C_{WH}——表 2 中给出的第 4 章第 4 节［2.2］中定义的每种载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 的组合因子。

组合因子 C_{SW}，C_{WV} 和 C_{WH}　　表 2

LC	中　拱			中　垂		
	C_{SW}	C_{WV}	C_{WH}	C_{SW}	C_{WV}	C_{WH}
H1	不适用			−1	−1	0
H2	1	1	0	不适用		
F1	不适用			−1	−1	0
F2	1	1	0	不适用		
R1	1	0	$1.2-\frac{T_{LC}}{T_S}$	−1	0	$1.2-\frac{T_{LC}}{T_S}$
R2	1	0	$\frac{T_{LC}}{T_S}-1.2$	−1	0	$\frac{T_{LC}}{T_S}-1.2$
P1	1	$0.4-\frac{T_{LC}}{T_S}$	0	−1	$0.4-\frac{T_{LC}}{T_S}$	0
P2	1	$\frac{T_{LC}}{T_S}-0.4$	0	−1	$\frac{T_{LC}}{T_S}-0.4$	0

3.2　除单舷侧散货船的肋骨之外的单跨普通扶强材的强度衡准

3.2.1　边界条件

本条的要求适用于视为两端固定的普通扶强材。

对于其他边界条件，应逐例考虑屈服校核。

3.2.2　相同普通扶强材组

如设有一组相同普通扶强材，将［3.2.3］至［3.2.7］中计算的最小净剖面模数作为对同组所有扶强材要求值的平均值是可以接受的，但该平均值应不小于最大要求值的 90%。

这同样适用于最小净剪切剖面积。

3.2.3　完整工况下的单跨普通扶强材的净剖面模数和净剪切剖面积

承受侧向压力的单跨普通扶强材的净剖面模数 w，cm^3 和净剪切剖面积 A_{Sh}，cm^2，应不小于从下列公式中获得之值：

$$w=\frac{(p_S+p_W)\,sl^2}{m\lambda_S R_Y}10^3$$

$$A_{sh}=\frac{5(p_S+p_W)\,sl}{\tau_a\sin\phi}$$

式中：λ_S——表 3 定义的系数；

ϕ——扶强材腹板和外板的夹角，（°），在扶强材跨距中点量取，当 ϕ 小于 75° 时，应予以修正。

系　数　λ_S　　表 3

普通扶强材	系　数　λ_S
对船体梁总纵强度起作用的纵向扶强材	$1.2\left(1.0-0.85\left\|\frac{\sigma_X}{R_Y}\right\|\right)$取不大于0.9
其他扶强材	0.9

3.2.4　船长 L 小于 150 m船舶的压载货舱槽形舱壁的净剖面模数

船长小于 150 m的船舶，承受横向压力的压载货舱槽形舱壁的净剖面模数 w，cm^3，应不小于从下述公式中获得的值：

$$w = K\frac{(p_S + p_W)\, s_C l^2}{m\lambda_S R_Y}10^3$$

式中：K——系数，根据端部连接形式由表 4 和表 5 给出。当 $d_H < 2.5d_0$，每一半间距槽形舱壁的剖面模数和内底处底墩的剖面模数都应计算；

s_C——槽形的半间距长度，m，定义见第 3 章第 6 节图 28；

l——支点间的长度，m，如图 6 所示；

λ_S——系数，定义见表 3。

K 值，$d_H \geqslant 2.5d_0$ 时　　**表 4**

上　端		
由桁材支撑	直接焊接至甲板	焊接至被船体结构有效支撑的顶凳
1.25	1.00	0.83

K 值，$d_H < 2.5d_0$ 时　　**表 5**

剖面模数	上 端 支 撑		
	由桁材支撑	连接至甲板	连接至凳
槽形舱壁	0.83	0.71	0.65
凳底处	0.83	1.25	1.13

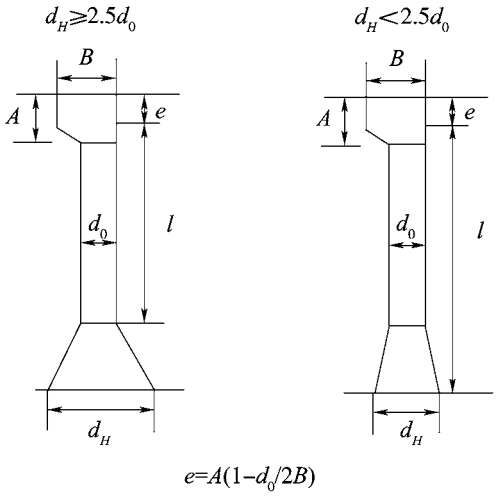


图 6　l 的量取

3. 2. 5　进水工况下单跨普通扶强材的净剖面模数和净剪切剖面积（不包括分隔货舱的垂直槽形横舱壁槽条）。

进水工况下单跨普通扶强材的净剖面模数 w，cm^3 和净剪切剖面积 A_{Sh}，cm^2，（不包括分隔货舱的垂直槽形横舱壁槽条），应不小于从下列公式中获得之值：

$$w = \frac{p_F s l^2}{16\alpha\,\lambda_S R_Y}10^3$$

$$A_{sh} = \frac{5p_F sl}{\alpha\tau_a \sin\phi}$$

式中：λ_S，ϕ——[3. 2. 3] 条定义的系数和夹角，通过计及进水工况下的 σ_x 来确定 λ_s；

α——系数，等于：

α= 0. 95　　对于防撞舱壁的普通扶强材

α= 1. 15　　对于舱室的其他水密边界的普通扶强材

$\alpha\lambda_S$ 不取为大于 1. 0。

3. 2. 6 （空）

3. 2. 7　试验工况下的单跨普通扶强材的净剖面模数和净剪切剖面积

试验工况下的单跨普通扶强材的净剖面模数 w，cm^3 和净剪切剖面积 A_{sh}，cm^2，应不小于从下列公式中获得之值：

$$w = \frac{p_T s l^2}{1.05 m R_Y} 10^3$$

$$A_{sh} = \frac{5 p_T s l}{1.05 \tau_a \sin\phi}$$

式中：ϕ——[3. 2. 3] 中定义的角度。

3. 3　单舷侧散货船肋骨的强度衡准

3. 3. 1　肋骨的净剖面模数和净剪切剖面积

承受侧向压力的肋骨的净剖面模数 w，cm^3 和净剪切剖面积 A_{sh}，cm^2，在跨距中点区域内应不小于从下列公式中获得之值：

$$w = 1.125 \alpha_m \frac{(p_S + p_W) s l^2}{m \lambda_S R_Y} 10^3$$

$$A_{sh} = 1.1 \alpha_S \frac{5 (p_S + p_W) s l}{\tau_a \sin\phi} \left(\frac{l - 2 l_B}{l} \right)$$

式中：α_m——系数，等于：

$\alpha_m = 0.42$　　对于 BC−A 船舶；

$\alpha_m = 0.36$　　对于其他船舶；

λ_S——系数，等于 0. 9；

l——第 3 章第 6 节图 19 中定义的肋骨跨距，m，取值应不小于 0.25D；

α_S——系数，等于：

$\alpha_S = 1.1$　　对于 BC−A 船规定为空舱的货舱肋骨；

$\alpha_S = 1.0$　　对于其他肋骨；

l_B——图 7 中定义的下肘板长度，m；

p_S，p_W——[1.3] 和 [1.4.2] 定义的完整条件下的静水和波浪压力，kN/m^2。

此外，对于拟在重压载工况下装载压载水的货舱的舷侧肋骨，其沿整个跨距的净剖面模数 w，cm^3 和净剪切剖面积 A_{sh}，cm^2，应符合 [3.2.3] 的要求。l 是第 3 章第 6 节 [4.2] 定义的舷侧肋骨跨距，考虑端部的肘板。

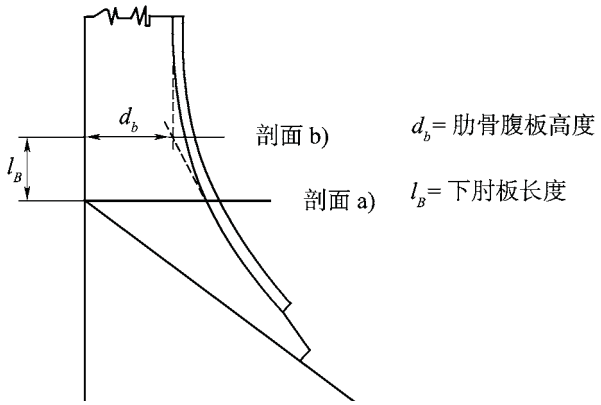


图 7　肋骨下肘板长度

3. 3. 2　补充强度要求

除了［3.3.1］的要求外，直接位于防撞舱壁后面的 3 道肋骨的净惯性矩，cm^4，应不小于从下列公式中获得之值：

$$I = 0.18\frac{(p_S + p_W)\, l^4}{n}$$

式中：l——肋骨跨距，m；

n——从舱壁至所考虑肋骨的肋骨数量，等于 1，2 或 3。

作为替代，支撑结构，例如水平纵桁，应设在防撞舱壁和与顶边舱和底边舱的横框架处于同一位置的肋骨之间，从最前面的货舱内保持首尖舱纵桁的连续性。

3. 3. 3　肋骨的下肘板

在第 3 章第 6 节图 19 所示的下肘板水平线，肋骨和肘板或整体肘板以及连带外板的净剖面模数应不小于从［3. 3. 1］获得的肋骨跨距中间区域所要求的净剖面模数 w 的 2 倍。

此外，对于拟在重压载工况下装载压载水的货舱，下肘板水平线处的净剖面模数 w，cm^3，应不小于从［3. 3. 1］和［3. 2. 3］获得的净剖面模数较大者的 2 倍。

肋骨下肘板的净厚度 t_{LB}，mm，应不小于肋骨腹板的净厚度加上 1. 5 mm。

此外，肋骨下肘板的净厚度 t_{LB} 应符合下列公式：

- 对于对称翼板肋骨：

$$\frac{h_{LB}}{t_{LB}} \leqslant 87\sqrt{k}$$

- 对于不对称翼板肋骨：

$$\frac{h_{LB}}{t_{LB}} \leqslant 73\sqrt{k}$$

下肘板的腹板深度 h_{LB} 可从底边舱的斜舱壁与舷侧外板的相交处垂直于下肘板的面板进行测量（见第 3 章第 6 节图 22）。

对于直接位于防撞舱壁后的 3 道肋骨，其尺寸按［3. 3. 2］增加，当 t_{LB} 大于 1. 73t_W 时，厚度 t_{LB} 可取作从下列公式中获得的 t'_{LB}：

$$t'_{LB} = (t^2_{LB} t_W)^{\frac{1}{3}}$$

式中：t_W——按［3.3.1］确定的对应于 A_{sh} 的净厚度。

翼板突出量应不超过净翼板厚度的 $12k^{0.5}$ 倍。

3. 3. 4　肋骨的上肘板

在第 3 章第 6 节图 19 所示的上肘板水平线，肋骨和肘板或整体肘板以及连带外板的净剖面模数应不小于从［3. 3. 1］获得的肋骨跨距中间区域所要求的净剖面模数 w 的 2 倍。

此外，对于拟在重压载工况下装载压载水的货舱，上肘板水平线处的净剖面模数 w，cm^3，应不小于从［3. 3. 1］和［3. 2. 3］获得的净剖面模数较大者的 2 倍。

肋骨上肘板的净厚度 t_{UB}，mm，应不小于肋骨腹板的净厚度。

3. 4　单舷侧散货船的肋骨的上下连接

3. 4. 1　下列构件的剖面模数：

- 支撑下部连接肘板的舷侧外板和底边舱纵骨
- 支撑上部连接肘板的舷侧外板和顶边舱纵骨

对于每个下部和上部连接肘板，均能分别满足下列等式关系（见第 3 章第 6 节图 22）：

$$\sum_{n} w_i d_i \geqslant \alpha_T \frac{(p_S + p_W)\, l^2 l_1^2}{16 R_Y}$$

式中：n——支撑肋骨下 / 上端连接肘板的舷侧外板和底边舱 / 顶边舱的纵向扶强材的数量，如适用；

w_i——支撑肋骨下 / 上端连接肘板的舷侧外板或底边舱 / 顶边舱的第 i 个纵向扶强材的净剖面模数，cm^3；

d_i——从上述第 i 个纵向扶强材至舷侧外板与底边舱 / 顶边舱的交点的距离，m；

l_1——底边舱 / 顶边舱中横向支撑强框架的间距，m，如适用；

R_Y——支撑边肋骨下 / 上端肘板的舷侧外板和底边舱 / 顶边舱的纵向扶强材材料的等效屈服应力的最低值，N/mm^2；

α_T——系数，等于：

$\alpha_T = 150$　　对于支撑下部连接肘板的纵向扶强材

$\alpha_T = 75$　　对于支撑上部连接肘板的纵向扶强材

l——［3. 3. 1］中定义的肋骨跨距，m；

p_S，p_W——舷侧肋骨静水和波浪压力。

3. 4. 2　由第 i 个纵向扶强材支撑的肘板的净连接面积 A_i，cm^2，应从下列公式中获得：

$$A_i = 0.4 \frac{w_i s}{l_1^2} \frac{k_{bkt}}{k_{lg,i}}$$

式中：w_i——支撑肋骨的下端或上端连接肘板的舷侧舱壁或斜舱壁（按适用情况）的第 i 个纵向扶强材的净剖面模数，cm^3；

l_1——定义见［3.4.1］；

k_{bkt}——肘板的材料系数；

k_{lg}，i——第 i 个纵向扶强材的材料系数；

s——肋骨间距，m。

3. 5　多跨普通扶强材的强度衡准

3. 5. 1　校核衡准

按［3.5.2］计算的多跨距普通扶强材的最大正应力 σ 和剪应力 τ 应符合表 6 中的公式。

多跨普通扶强材的校核衡准　　**表 6**

工　况	完　整	进　水	试　验
正应力	$\sigma \leqslant \lambda_S R_Y$	$\sigma \leqslant \alpha\lambda_S R_Y$	$\sigma \leqslant 1.05 R_Y$
剪应力	$\tau \leqslant \tau_a$	$\tau \leqslant \alpha\tau_a$	$\tau \leqslant 1.05\tau_a$

注：λ_S——[3.2.3] 中定义的系数；

α——[3.2.5] 中定义的系数。

3.5.2　多跨普通扶强材

多跨普通扶强材的最大正应力 σ 和剪应力 τ 由直接计算确定，并计及：

- 静水和波浪压力和力的分布，如有
- 中间支撑（甲板，桁材等）的数量和位置
- 扶强材两端和中间支撑的固定情况
- 扶强材中间跨距上的几何特征

3.6　分隔货舱的垂直槽形水密横舱壁在进水工况下的尺度

3.6.1　分隔货舱的垂直槽形水密横舱壁的槽条的弯曲能力和剪切能力

分隔货舱的水密舱壁的槽条的弯曲能力和剪切能力应符合下列公式：

$$0.5W_{LE} + W_M \geqslant \frac{M}{0.95R_{eH}}10^3$$

$$\tau \leqslant \frac{R_{eH}}{2}$$

式中：M——从下列公式中获得的槽条弯矩，kN·m：

$$M = Fl_C/8$$

F——按第 4 章第 6 节 [3.3.7] 计算的合成力，kN；

l_C——槽条跨距，m，根据 [3.6.2] 获得；

W_{LE}——槽条半宽的净剖面模数 cm^3，应按 [3.6.2] 在槽条的下端计算，不大于从下列公式中获得之值：

$$W_{LE,M} = W_G + \left(\frac{Qh_G - 0.5h_G^2 s_C p_G}{R_{eH}}\right)10^3$$

W_G——槽条半宽的净剖面模数，cm^3，应按 [3.6.2] 在泄货板或封槽板（按适用情况）的上端处计算；

Q——从下列公式获得的槽条的剪切力，kN：

$$Q = 0.8F$$

h_G——泄货板或封槽板（按适用情况）的高度，m（图 11 至图 15）；

p_G——合成压力，kN/m^2，应按第 4 章第 6 节 [3.3.7] 在泄货板或封槽板（按适用情况）的中间处计算；

s_C——槽条间距，m，应按第 3 章第 6 节图 28 取；

W_M——槽条半宽的净剖面模数，cm^3，应按 [3.6.2] 在槽条的跨距中点计算，取不大于 $1.15W_{LE}$；

τ——槽条的剪切应力，N/mm^2，按下式求得：

$$\tau = 10\frac{Q}{A_{sh}}$$

A_{sh}——剪切面积，cm^2，按如下原则计算。

考虑到槽形腹板与翼板可能不垂直，则剪切面积应予减少。一般情况下，减少的剪切面积可用腹板剖面面积乘以（$\sin\varphi$），φ 为腹板与翼板之间的夹角（见第 3 章第 6 节图 28）。

槽条实际净剖面模数按照 [3.6.2] 计算。

第 1 节图 6-22 定义的舱壁上部槽条的净剖面模数应不小于本条及第 1 节 [3.2.1] 对槽条中部要求的剖面模数的 75%，并应考虑不同屈服应力的修正。

3.6.2　槽条下端的净剖面模数

a）槽条下端的净剖面模数（图 11 至图 15）应按具有不大于第 3 章第 6 节［10. 4. 10］中所示的受压有效翼板宽度 b_{ef} 计算。

b）不被局部肘板支撑的腹板

除 e）情况外，如下部槽条腹板不被底凳顶板（或内底下面）下面的局部肘板支撑，则计算槽条剖面模数时认为槽条腹板 30% 有效。

c）有效卸货板

如按第 3 章第 6 节［10. 4. 11］中的规定设置有效的卸货板（图 11 和图 12），则计算下端（图 11 和图 12 中横剖面 1）槽条的剖面模数时，槽条翼板净面积可增加下式所得值，cm^2：

$$I_{SH} = 2.5\alpha\sqrt{t_f t_{SH}}$$

但不大于 $2.5at_f$。

式中：α——槽形翼板宽度，m（见第 3 章第 6 节图 30）；

t_{SH}——卸货板净厚度，mm；

t_f——翼板净厚度，mm。

d）有效封槽板

如按第 3 章第 6 节［10. 4. 12］的规定设置有效封槽板（图 13 至图 15），则计算下端（图 13 至图 15 中横剖面 1）槽条的净剖面模数时，槽条翼板面积可增加下式所得值，cm^2：

$$I_G = 7\ h_G t_f$$

式中：h_G——封槽板的高度，m（见图 13 至图 15），应取不大于（10/7）S_{GU}；

S_{GU}——封槽板的宽度，m；

t_f——槽形翼板净厚度，mm。

e）凳斜顶板

若槽条腹板与水平面夹角不小于 45°的凳斜顶板焊接，则在计算槽条的剖面模数时认为槽条腹板完全有效。当夹角小于 45°时，槽条腹板的有效程度由 0°时为 30% 与 45°时为 100% 之间线性插值求得。

若设有有效封槽板时，则在计算槽条的净剖面模数时翼板的净面积可按上述 d）中的规定增加。只有设卸货板时可不增加翼板的面积。

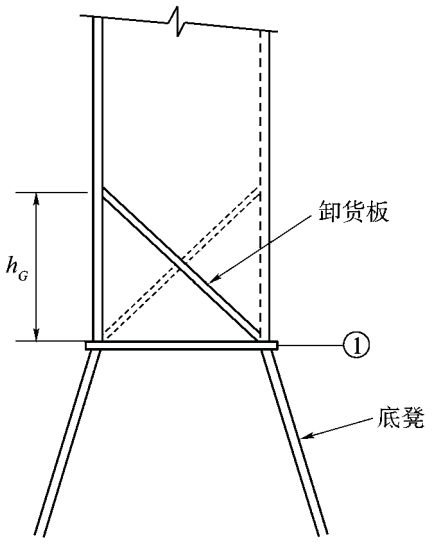


图 11　对称卸货板

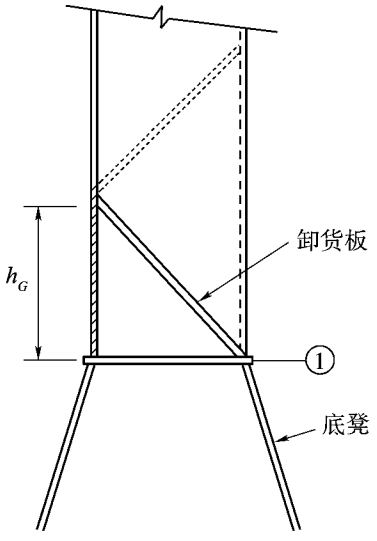


图 12　非对称卸货板

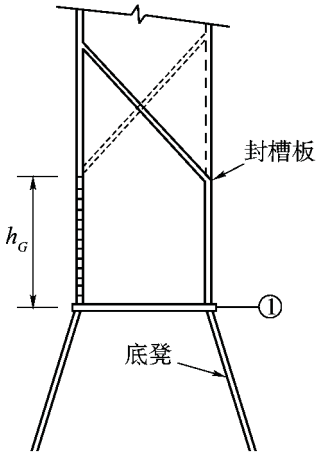


图 13　对称封槽板 / 卸货板

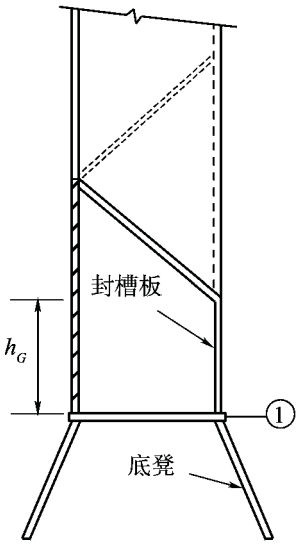


图 14　非对称封槽板 / 卸货板

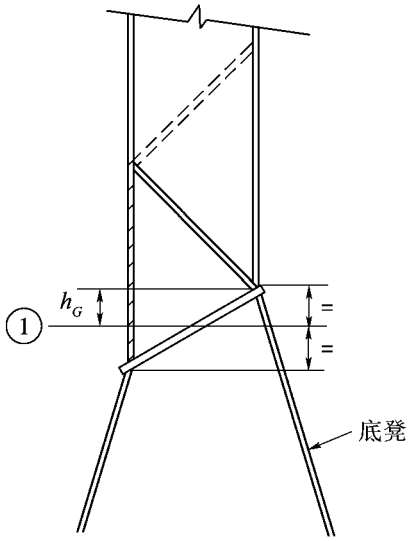


图 15　非对称封槽板 / 卸货板

3. 6. 3　顶凳和底凳的扶强材

顶凳和底凳的扶强材的净剖面模数应大于从下式得到的值或［3. 2. 5］中的要求。

$$w = \frac{psl^2}{16\alpha\,\lambda_S R_Y} 10^3$$

式中：p——第 4 章第 6 节［3. 3. 7］中定义的压力，kN/m^2；

α 和 λ_S——定义见［3. 2. 5］。

4　主要支撑构件的腹板加强筋

4. 1　净结构尺寸

4. 1. 1　如果主要支撑构件的腹板加强筋与普通扶强材面板焊接，腹板加强筋一半高度处的净剖面积应不小于从下列公式中获得之值，cm^2：

$$A = 0.1 k_1 psl$$

式中：k_1——系数，取决于腹板与普通扶强材的连接，取为：

$k_1 = 0.30$　　对无领板的连接（见第 3 章第 6 节图 8）；

$k_1 = 0.225$　　对有一块领板的连接（见第 3 章第 6 节图 9）；

$k_1 = 0.20$　　对有一块或两块大领板的连接（见第 3 章第 6 节图 10 和 11）。

p ——作用在普通扶强材上的压力，kN/m^2。

4.1.2　非水密主要支撑构件的腹板加强筋的净剖面模数应不小于从下列公式中获得之值，cm^3：

$$w = 2.5 s^2 t S_s^2$$

式中：s——腹板加强筋的长度，m；

t——主要支撑构件的腹板净厚度，mm；

S_s——腹板加强筋的间距，m。

4.1.3　腹板加强筋的连接端部

当不设置肘板时，如果主要支撑构件的腹板加强筋与普通扶强材面板焊接，压载水舱中主要支撑构件的腹板加强筋的端部处应力，N/mm^2，应符合下式：

$$\sigma \leqslant 175$$

式中：　$\sigma = 1.1 K_{con} K_{longi} K_{stiff} \dfrac{\Delta\sigma}{\cos\theta}$；

K_{con}——考虑应力集中的系数，取为：

K_{con} = 3.5，对于在双层底或双舷侧舱中的扶强材（见图 8）

K_{con} = 4.0，对于其他情况（例如底边舱，顶边舱等）（见图 8）

K_{longi}——考虑纵骨横剖面形状的系数，取为：

K_{longi} = 1.0，对于对称剖面的扶强材（例如 T 型材，扁钢）

K_{longi} = 1.3，对于非对称剖面的扶强材（例如角钢，球扁钢）

K_{stiff} ——考虑扶强材端部形状的系数，取为：

K_{stiff} = 1.0，对于扶强材端部的标准形状（见图 9）

K_{stiff} = 0.8，对于扶强材端部的改进形状（见图 9）

θ ——如图 10 中给出；

$\Delta\sigma$ ——从纵骨传入腹板加强筋端部的应力范围，N/mm^2，由下式获得：

$$\Delta\sigma = \frac{2W}{0.322 h' [(A_{w1}/l_1) + (A_{w2}/l_2)] + A_{s0}}$$

W——动载荷，N，由下式获得：

$$w = 1000 (l - 0.5s) sp$$

p——按第 4 章第 6 节［2.2.1］由腹板加强筋所处舱室的液体引起的概率水平为 10^{-4} 的最大惯性压力，kN/m^2，计算点取为加强筋跨距中点；

l ——纵骨跨距，m；

s——纵骨间距，m；

A_{s0}，A_{w1}，A_{w2}——图 10 中给出的几何参数，mm^2；

l_1，l_2——图 10 中给出的几何参数，mm；

h'——由下式获得，mm：

$$h' = h_s + h'_0$$

h_s——图 10 给出，mm；

h_0'——由下式获得，mm：

$h'_0 = 0.636 b'$　　对于 $b' \leqslant 150$

$h'_0 = 0.216 b' + 63$　　对于 $150 < b'$

b'：腹板加强筋端部的最小宽度，mm，如图 9 所示。

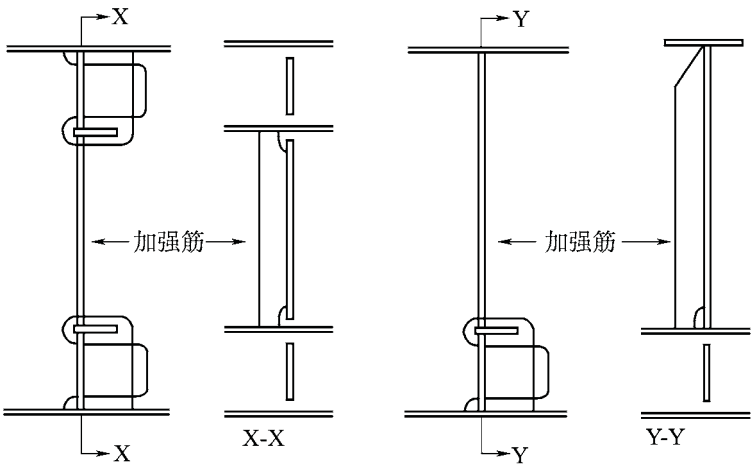


图 8　设置在主要支撑构件上的腹板加强筋

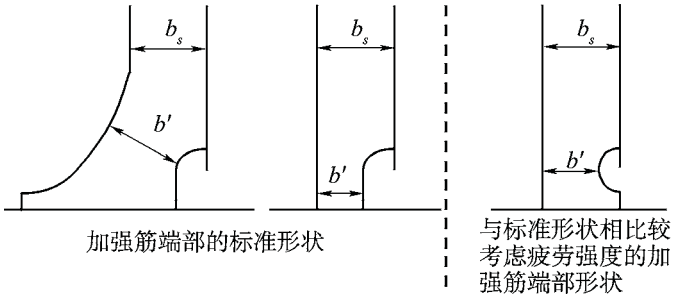
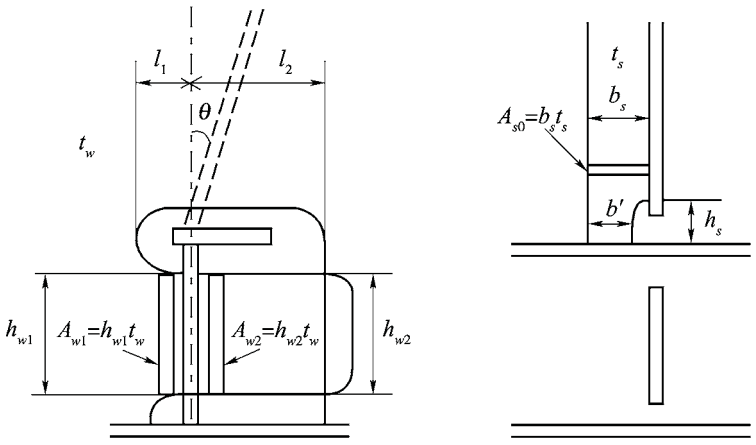


图 9　腹板加强筋的端部形状



注：t_s—腹板加强筋净厚度，mm；

t_w—环板净厚度，mm。

图 10　几何参数的定义

第 3 节　普通扶强材和加筋板格的屈曲和极限强度

符号

本节中未定义的符号参见第 1 章第 4 节。

本节中，压应力和剪应力取为正值，拉应力取为负值。

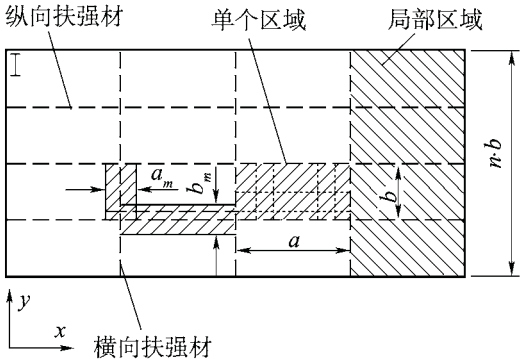
a：一般为局部板格长边的长度，mm；对于表 2 中的 BLC3-10 的情况，为局部板格的边长，mm。

b：一般为局部板格短边的长度，mm；对于表 2 中的 BLC3-10 的情况，为局部板格的边长，mm。

α：基本板格的长宽比，取为：

$$\alpha = \frac{a}{b}$$

n：局部或整个板格内基本板格宽度的数量。



纵向：长度 a 方向的扶强材；横向：宽度 b 方向的扶强材

图 1　板格总体布置

t：净板厚，mm。

σ_n：船体梁弯曲引起的正应力，N/mm^2。

τ_{SF}：[2.1.3] 定义的剪力引起的剪应力，N/mm^2。

σ_x：x 方向的膜应力，N/mm^2。

σ_y：y 方向的膜应力，N/mm^2。

τ：x–y 平面的剪应力，N/mm^2。

λ：基准细长度，取为：

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_{eH}}{K\sigma_e}}$$

K ：按表 2 和表 3 的屈曲因子。

σ_e：基准应力，按以下确定：

对于 LC1 和 LC2，基准应力取为：

$$\sigma_e = 0.9E\left(\frac{t}{b'}\right)^2$$

b'：基本板格的短边长度；

对于 LC3 至 LC10，基准应力取为：

$$\sigma_e = 0.9E\left(\frac{t}{b}\right)^2$$

Ψ：边缘应力比，取为：

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$$

式中：σ_1——最大压应力。

σ_2——最小压应力或拉应力。

S：安全因子，取为：

S = 1.0，除涉及以下情况之外；

S = 1.1，对于单独的无遮掩的承受局部载荷的结构（如舱口盖、基座）；

S =1.15，对于按［4.2］计算的舱口围板、顶边舱和底边舱斜板、内底、内壳（如可能）、单舷侧构造的舷侧外板和横舱壁的顶凳和底凳的纵向和横向普通扶强材在侧向屈曲模式下的极限强度；

对铝合金结构，安全系数在每一工况中增加 0.1。

F_1：根据表 1，基本板格沿长边扶强材的边界条件修正系数。如果板格纵向边上的固定程度不相等时，则应采用适用的 F_1 系数的最小值。

修 正 系 数 F_1　　**表 1**

	F_1 (2)	板边的扶强材
两端削斜的扶强材	1.00	
当两端与邻近结构有效连接 (1) 的指导值	1.05	扁钢
	1.10	球扁钢
	1.20	角钢和T型材
	1.30	刚性大的桁材（如底肋板）

注：（1）精确值可通过直接计算来确定。

（2）对于具有不同边缘扶强材的板格，应采用 F_1 的平均值。

1　一般要求

1.1

1.1.1　本节要求适用于承受压应力、剪应力和侧向压力的构件的屈曲校核。

1.1.2　应对下列部件进行屈曲校核：

a）按［2］、［3］和［4］的要求及对第 4 章第 4 节所定义的完整工况下的所有载荷工况：

- 船体横剖面分析中的基本板格和普通扶强材，
- 第 7 章所要求的有限元模型中的基本板格模型。

b）按［6］的要求且仅在进水工况下：

- 垂直槽形水密横舱壁。

1.1.3　基本板格的边界条件应视为简支。如果边界条件与简支有明显区别，可按表 2 的情况 3、4 和 7 至 10，采用更为合适的边界条件。

2　适用范围

2.1　用于船体横剖面分析的载荷模型

2.1.1　一般要求

所计及船体横剖面的构件应按以下各项的组合根据屈曲衡准进行校核：

- 船体梁弯曲引起的正应力 σ_n，定义见［2.1.2］，
- 剪应力 τ_{SF}，定义见［2.1.3］，
- 视具体情况在完整工况下施加在构件上的侧向压力。

在第 4 章第 4 节定义的相互独立的载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 中，应按 10^{-8} 的概率水平计算侧向压力和船体梁载荷。

2.1.2　正应力 σ_n

对于［2.1.1］中所指的每个相互独立的载荷工况，计及的正应力 σ_n 为按第 6 章第 1 节［3.1.5］和第 6 章第 2 节［3.1.5］中的公式，分别按基本板格和普通扶强材计算的在所考虑结构件上的最大压应力。

对普通横向扶强材，每个相互独立载荷工况的正应力 σ_n 是每端计算的最大压应力。

2.1.3　剪应力

对于［2.1.1］中所指的每个相互独立载荷工况，计及的剪应力 τ_{SF} 是剪力引起的剪应力，kN，等于：

$$Q = Q_{SW} + C_{QW}Q_{WV}$$

式中：Q_{SW}——所计及船体横剖面在完整工况下的设计静水剪力，kN，定义见第 4 章第 3 节［2.3］；

Q_{WV}——所计及船体横剖面在完整工况下的垂向波浪剪力，kN，定义见第 4 章第 3 节［3.2］；

C_{QW}——载荷组合因子，定义见第 4 章第 4 节表 3。

如果在初步设计阶段无设计静水剪力数据，可用以下默认值，kN：

$$Q_{SW0} = 30CLB（C_B + 0.7）10^{-2}$$

2.1.4　侧向压力

屈曲校核所应计及的侧向压力，其对于曲面板格的定义见第 6 章第 1 节［3.1］，对于普通扶强材的定义见第 6 章第 2 节［3.1］。

曲面板格的载荷计算点位于曲面板格沿曲线的两端长度中点。

普通扶强材的载荷计算点的定义见第 6 章第 2 节［1.4］。

2.2　适用范围

2.2.1　屈曲和极限强度衡准的适用范围在附录 1 中描述。

3　基本板格的屈曲衡准

3.1　板

3.1.1　一般要求

基本板格的净厚度应符合下列要求：

$$t \geqslant b/100$$

在船体横剖面分析中，基本板格的验证应按［3.1.2］进行。应针对以下两种不同的应力组合情况进行验证：

- 应力组合 1：［2.1.2］中定义的正应力的 100% 和［2.1.3］中定义的剪应力的 70%；
- 应力组合 2：［2.1.2］中定义的正应力的 70% 和［2.1.3］中定义的剪应力的 100%。

在有限元模型分析中，基本板格的验证应按［3.2］进行。

3.1.2　横剖面分析中的基本板格验证

每个基本板格均应符合下列衡准，且考虑［2.1］中定义的载荷：

- 纵骨架式板材

$$\left(\frac{|\sigma_x|S}{\kappa_x R_{eH}}\right)^{e1} + \left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}}\right)^{e3} \leqslant 1.0 \qquad \text{对于应力组合 1，且} \sigma_x = \sigma_n \text{及} \tau = 0.7\tau_{SF}$$

$$\left(\frac{|\sigma_x|S}{\kappa_x R_{eH}}\right)^{e1} + \left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}}\right)^{e3} \leqslant 1.0 \qquad \text{对于应力组合 2，且} \sigma_x = 0.7\sigma_n \text{及} \tau = \tau_{SF}$$

- 横骨架式板材

$$\left(\frac{|\sigma_y|S}{\kappa_y R_{eH}}\right)^{e2} + \left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}}\right)^{e3} \leqslant 1.0 \qquad \text{对于应力组合 1，且} \sigma_y = \sigma_n \text{及} \tau = 0.7\tau_{SF}$$

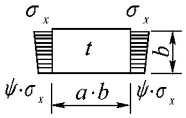
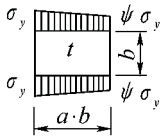
$$\left(\frac{|\sigma_y|S}{\kappa_y R_{eH}}\right)^{e2} + \left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}}\right)^{e3} \leqslant 1.0 \qquad \text{对于应力组合 2，且} \sigma_y = 0.7\sigma_n \text{及} \tau = \tau_{SF}$$

上述条件中的每一项必须小于 1.0。

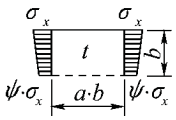
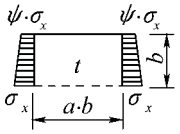
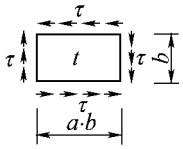
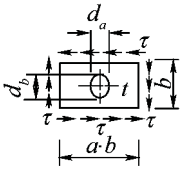
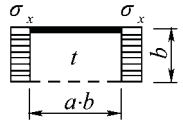
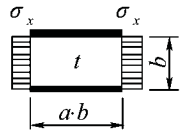
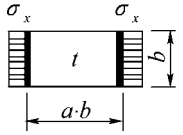
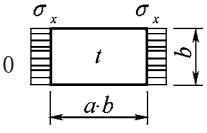
折减系数 κ_x 和 κ_y 由表 2 和 / 或表 3 给出。

系数 e_1、e_2 和 e_3 按表 4 中的定义。为确定 e_3，对于纵骨架式板材 κ_y 应取 1，对于横骨架式板材，κ_x 应取 1。

基本板格的屈曲和折减系数　　表 2

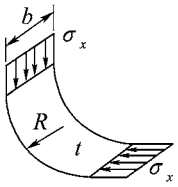
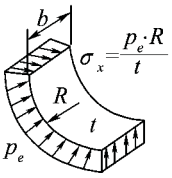
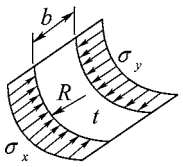
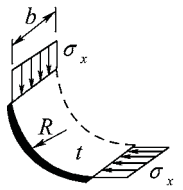
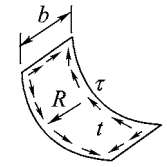
屈曲载荷工况	板边应力比 ψ	长宽比 $\alpha=a/b$	屈曲系数 K	折减系数 k
1 	$1\geqslant\psi\geqslant 0$	$\alpha\geqslant 1$	$K=\dfrac{8.4}{\psi+1.1}$	$k_x=1$，对 $\lambda\leqslant\lambda_c$ $k_x=c\left(\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{0.22}{\lambda^2}\right)$ 对 $\lambda>\lambda_c$ $c=(1.25-0.12\psi)\leqslant 1.25$ $\lambda_c=\dfrac{c}{2}\left(1+\sqrt{1-\dfrac{0.88}{c}}\right)$
	$0>\psi>-1$		$K=7.63-\psi\ (6.26-10\psi)$	
	$\psi\leqslant -1$		$K=(1-\psi)^2\cdot 5.975$	
2 	$1\geqslant\psi\geqslant 0$	$\alpha\geqslant 1$	$K=F_1\left(1+\dfrac{1}{\alpha^2}\right)^2\dfrac{2.1}{(\psi+1.1)}$	$K_y=c\left(\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{R+F^2(H-R)}{\lambda^2}\right)$ $c=(1.25-0.12\psi)\leqslant 1.25$ $R=\lambda\left(1-\dfrac{\lambda}{c}\right)$，对 $\lambda<\lambda_c$ $R=0.22$，对 $\lambda\geqslant\lambda_c$ $\lambda_c=\dfrac{c}{2}\left(1+\sqrt{1-\dfrac{0.88}{c}}\right)$ $F=\left(1-\dfrac{\frac{K}{0.91}-1}{\lambda_p^2}\right)\cdot c_1\geqslant 0$ $\lambda_p^2=\lambda^2-0.5$，对 $1\leqslant\lambda_p^2\leqslant 3$ $c_1=1$，对直接载荷引起的 σ_y $c_1=\left(1-\dfrac{F_1}{\alpha}\right)\geqslant 0$，对弯曲（一般情况下）引起的 σ_y $c_1=0$，对极端工况下（如水密舱壁）的弯曲引起的 σ_y $H=\lambda-\dfrac{2\lambda}{c\left(T+\sqrt{T^2-4}\right)}\geqslant R$ $T=\lambda+\dfrac{14}{15\lambda}+\dfrac{1}{3}$
	$0>\psi>-1$	$1\leqslant\alpha\leqslant 1.5$	$K=F_1\left[\left(1+\dfrac{1}{\alpha^2}\right)^2\dfrac{2.1(1+\psi)}{1.1}-\dfrac{\psi}{\alpha^2}(13.9-10\psi)\right]$	
		$\alpha>1.5$	$K=F_1\left[\left(1+\dfrac{1}{\alpha^2}\right)^2\dfrac{2.1(1+\psi)}{1.1}-\dfrac{\psi}{\alpha^2}(5.87+1.87\alpha^2+\dfrac{8.6}{\alpha^2}-10\psi)\right]$	
	$\psi\leqslant -1$	$1\leqslant\alpha\leqslant\dfrac{3(1-\psi)}{4}$	$K=F_1\left(\dfrac{1-\psi}{\alpha}\right)^2\cdot 5.975$	
		$\alpha>\dfrac{3(1-\psi)}{4}$	$K=F_1\left[\left(\dfrac{1-\psi}{\alpha}\right)^2\cdot 3.9675+0.5375\left(\dfrac{1-\psi}{\alpha}\right)^4+1.87\right]$	

续上表

屈曲载荷工况	板边应力比ψ	长宽比$\alpha=a/b$	屈曲系数K	折减系数k
3 	$1\geqslant\psi\geqslant0$	$\alpha>0$	$K=\dfrac{4\left(0.425+\dfrac{1}{\alpha^2}\right)}{3\psi+1}$	$k_x=1$, 对$\lambda\leqslant0.7$ $K_x=\dfrac{1}{\lambda^2+0.51}$,对$\lambda>0.7$
	$0>\psi\geqslant-1$		$K=4\left(0.425+\dfrac{1}{\alpha^2}\right)(1+\psi)-5\psi(1-3.42\psi)$	
4 	$1\geqslant\psi\geqslant-1$	$\alpha>0$	$K=\left(0.425+\dfrac{1}{\alpha^2}\right)\dfrac{3-\psi}{2}$	
5 	═══		$K=K_\tau\sqrt{3}$	$k_\tau=1$, 对$\lambda\leqslant0.84$ $k_\tau=\dfrac{0.84}{\lambda}$,对$\lambda>0.84$
		$\alpha\geqslant1$	$K_\tau=\left[5.34+\dfrac{4}{\alpha^2}\right]$	
		$0<\alpha<1$	$K_\tau=\left[4+\dfrac{5.34}{\alpha^2}\right]$	
6 	═══		$K=K'r$ $K'=K$, 按照载荷工况5 r=折减因子 $r=\left(1-\dfrac{d_a}{a}\right)\left(1-\dfrac{d_b}{b}\right)$ 且$\dfrac{d_a}{a}\leqslant0.7$和$\dfrac{d_b}{b}\leqslant0.7$	
7 	═══	$\alpha\geqslant1.64$	$K=1.28$	$k_x=1$, 对$\lambda\leqslant0.7$ $k_x=\dfrac{1}{\lambda^2+0.51}$,对$\lambda>0.7$
		$\alpha<1.64$	$K=\dfrac{1}{\alpha^2}+0.56+0.13\alpha^2$	
8 	═══	$\alpha\geqslant\dfrac{2}{3}$	$K=6.97$	$k_x=1$, 对$\lambda\leqslant0.83$ $k_x=1.13\left[\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{0.22}{\lambda^2}\right]$, 对$\lambda>0.83$
		$\alpha<\dfrac{2}{3}$	$K=\dfrac{1}{\alpha^2}+2.5+5\alpha^2$	
9 	═══	$\alpha\geqslant4$	$K=4$	
		$4>\alpha>1$	$K=4+\left[\dfrac{4-\alpha}{3}\right]^4\cdot2.74$	
		$\alpha\leqslant1$	$K=\dfrac{4}{\alpha^2}+2.07+0.67\alpha^2$	
10 	═══	$\alpha\geqslant4$	$K=6.97$	
		$4>\alpha>1$	$K=6.97+\left[\dfrac{4-\alpha}{3}\right]^4\cdot3.1$	
		$\alpha\leqslant1$	$K=\dfrac{4}{\alpha^2}+2.07+4\alpha^2$	
边界条件说明： ----- 板边为自由 ——— 板边为简支 ═══ 板边为固定				

注：表 2 的载荷工况为一般工况。应力的每个分量（σ_x，σ_y）应理解为局部坐标之值。

曲板板格的屈曲系数和折减系数，$R/t \leqslant 2500$[1]　　**表 3**

屈曲载荷工况	长宽比 b/R	屈曲系数K	折减系数κ
1a  	$\dfrac{b}{R}\leqslant 1.63\sqrt{\dfrac{R}{t}}$	$K=\dfrac{b}{\sqrt{Rt}}+3\dfrac{(Rt)^{0.175}}{b^{0.35}}$	κ_x=1,对$\lambda\leqslant 0.4$[2] κ_x=1.274–0.686·λ，对0.4<$\lambda\leqslant$1.2 $\kappa_x=\dfrac{0.65}{\lambda^2}$，对$\lambda>1.2$
1b  p_e 为外部压力，N/mm^2	$\dfrac{b}{R}>1.63\sqrt{\dfrac{R}{t}}$	$K=0.3\dfrac{b^2}{R^2}+2.25\left(\dfrac{R^2}{bt}\right)^2$	
2  	$\dfrac{b}{R}\leqslant 0.5\sqrt{\dfrac{R}{t}}$	$K=1+\dfrac{2}{3}\dfrac{b^2}{Rt}$	κ_y=1,对$\lambda\leqslant 0.25$[2] κ_y=1.233–0.933·λ，对0.25<$\lambda\leqslant$1 $\kappa_y=0.3/\lambda^3$，　对1<$\lambda\leqslant$1.5 $\kappa_y=0.2/\lambda^2$，　对$\lambda>1.5$
	$\dfrac{b}{R}>0.5\sqrt{\dfrac{R}{t}}$	$K=0.267\dfrac{b^2}{Rt}\left[3-\dfrac{b}{R}\sqrt{\dfrac{t}{R}}\right]\geqslant 0.4\dfrac{b^2}{Rt}$	
3  	$\dfrac{b}{R}\leqslant\sqrt{\dfrac{R}{t}}$	$K=\dfrac{0.6\cdot b}{\sqrt{Rt}}+\dfrac{\sqrt{Rt}}{b}-0.3\dfrac{Rt}{b^2}$	同载荷工况1a
	$\dfrac{b}{R}>\sqrt{\dfrac{R}{t}}$	$K=0.3\dfrac{b^2}{R^2}+0.291\left(\dfrac{R^2}{bt}\right)^2$	
4  	$\dfrac{b}{R}\leqslant 8.7\sqrt{\dfrac{R}{t}}$	$K=K_\tau\sqrt{3}$ $K_\tau=\left[28.3+\dfrac{0.67b^3}{R^{1.5}t^{1.5}}\right]^{0.5}$	κ_τ=1，对$\lambda\leqslant 0.4$ κ_τ=1.274–0.686·λ，对0.4<$\lambda\leqslant$1.2 $\kappa_\tau=\dfrac{0.65}{\lambda^2}$，对$\lambda>1.2$
	$\dfrac{b}{R}>8.7\sqrt{\dfrac{R}{t}}$	$K_\tau=0.28\dfrac{b^2}{R\sqrt{Rt}}$	
边界条件说明： – – – – –　板边自由 ————　板边简支 ————　板边固定			

注：1. 对半径很大的曲板区域，κ 值不必取小于按扩展的平面区域得出的值；

2. 对位于平面内局部或整个区域的曲面单个区域，如舭列板，折减系数可按如下取为：

载荷工况 1b　　$\kappa_x = \dfrac{0.8}{\lambda^2} \leqslant 1.0$

载荷工况 2　　$\kappa_y = \dfrac{0.65}{\lambda^2} \leqslant 1.0$

3.2　有限元模型分析中的基本板格验证

3.2.1　一般要求

基本板格的屈曲校核应在 [3.2.2] 中定义的载荷下，按照 [3] 的要求进行。

对于表 2 的每一相关工况，屈曲和折减系数应按 [3.2.2] 加载到所考虑的基本板格上所得的计算应力而确定。

3.2.2　应力

对于屈曲校核，屈曲应力应按表 2 或表 3，包括对于第 4 章第 7 节要求的装载工况和按第 7 章要求得到的应力比 ψ 予以确定。

3.2.3　泊松效应

对于屈曲评估，用叠加法或直接法求解的应力应予以折减，这是因为泊松效应在两个分析方法中均被计入。修正应在局部和整体载荷引起的应力累加之后进行。

σ_x* 和 σ_y* 两者均为压应力，以应用于按下列公式进行的应力折减：

$$\sigma_x = (\sigma_x^* - 0.3\sigma_y^*)/0.91$$

$$\sigma_y = (\sigma_y^* - 0.3\sigma_x^*)/0.91$$

式中：σ_x*，σ_y*——含有泊松效应的应力。

若压应力满足条件 $\sigma_y^* < 0.3\sigma_x^*$，则 $\sigma_y = 0$ 和 $\sigma_x = \sigma_x^*$

若压应力满足条件 $\sigma_x^* < 0.3\sigma_y^*$，则 $\sigma_x = 0$ 和 $\sigma_y = \sigma_y^*$

3.2.4　校核衡准

每个基本板格均应符合以下衡准，且考虑 [2.1] 中定义的载荷：

$$\left(\frac{|\sigma_x| S}{\kappa_x R_{eH}}\right)^{e1} + \left(\frac{|\sigma_y| S}{\kappa_y R_{eH}}\right)^{e2} - B\left(\frac{\sigma_x \sigma_y S^2}{R^2_{eH}}\right) + \left(\frac{|\tau| S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}}\right)^{e3} \leqslant 1.0$$

此外，每个压应力 σ_x 和 σ_y，以及剪应力 τ 应满足下列公式：

$$\left(\frac{|\sigma_x| S}{\kappa_x R_{eH}}\right)^{e1} \leqslant 1.0$$

$$\left(\frac{|\sigma_y| S}{\kappa_y R_{eH}}\right)^{e2} \leqslant 1.0$$

$$\left(\frac{|\tau| S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}}\right)^{e3} \leqslant 1.0$$

折减因数 κ_x 和 κ_y 由表 2 和 / 或表 3 给出。

- 当 $\sigma_x \leqslant 0$（拉应力），则 $\kappa_x = 1.0$
- 当 $\sigma_y \leqslant 0$（拉应力），则 $\kappa_y = 1.0$

系数 e_1、e_2、e_3 以及系数 B 按表 4 中的定义。

系数 e_1、e_2 和 e_3 和系数 B　　表 4

指数e_1-e_3和系数B	板　格	
	平　面	曲　面
e_1	$1+\kappa_x^4$	1.25
e_2	$1+\kappa_y^4$	1.25
e_3	$1+\kappa_x\kappa_y\kappa_\tau^2$	2.0
B σ_x和σ_y为正值（压应力）	$(\kappa_x\kappa_y)^5$	0
B σ_x和σ_y为负值（拉应力）	1	—

3.3　腹板和翼板

3.3.1　对桁材剖面的非加筋腹板和翼板，应按［3.1］证实其基本板格有足够的屈曲强度。

4　局部和整体板格的屈曲衡准

4.1　纵向和横向扶强材

4.1.1　在船体横剖面分析中，局部和整体板格的纵向和横向普通扶强材应符合［4.2］和［4.3］的要求。

4.2　侧向屈曲模式中的极限强度

4.2.1　校核衡准

纵向和横向普通扶强材应符合以下衡准：

$$\frac{\sigma_a+\sigma_b}{R_{eH}}S\leqslant 1$$

式中：σ_a——扶强材轴向均布压应力，N/mm^2：

$\sigma_a=\sigma_n$　　对纵向扶强材

$\sigma_a=0$　　对横向扶强材

σ_b——扶强材弯曲应力，N/mm^2：

σ_b 按［4.2.2］计算，且 $\sigma_x=\sigma_n$ 及 $\tau=\tau_{SF}$

4.2.2　弯曲应力 σ_b 的估算

扶强材弯曲应力 σ_b，N/mm^2，应等于：

$$\sigma_b=\frac{M_0+M_1}{W_{st}10^3}$$

式中：M_0——由扶强材变形 w 引起的弯矩，N·mm，应为：

$$M_0=F_{Ki}\frac{p_z w}{c_f-p_z}\qquad \text{且}(c_f-p_z)>0$$

M_1——由侧向载荷 p 引起的弯矩，N·mm，应为：

$$M_1=\frac{pba^2}{24\cdot 10^3}\qquad \text{对纵向扶强材}$$

$$M_1=\frac{pb(nb)^2}{8c_s10^3}\qquad \text{对横向扶强材，且对普通横向扶强材，}n\text{ 取 1}$$

W_{st}——（纵向或横向）扶强材的净剖面模数，cm^3，包括按［5］的板材有效宽度，应为：

- 若侧向压力施加于扶强材上：
  若侧向压力作用在扶强材同侧，则 W_{st} 为翼板处计算的净剖面模数；
  若侧向压力作用在扶强材背面，则 W_{st} 为带板处计算的净剖面模数；
- 若未有侧向压力施于扶强材上：
  则 W_{st} 为翼板和带板处所计算的最小的净剖面模数；

c_S——计入横向扶强材边界条件的系数：

$c_S = 1.0$　　对于简支扶强材；

$c_S = 2.0$　　对于受部分约束的扶强材；

p——侧向载荷，kN/m^2，按第 4 章第 5 节和第 4 章第 6 节定义，且按第 6 章第 2 节［1.4］定义的载荷点计算；

F_{ki}——扶强材的理想屈曲力，N，应为：

$$F_{Kix} = \frac{\pi^2}{a^2} EI_x 10^4 \qquad \text{对于纵向扶强材}$$

$$F_{Kiy} = \frac{\pi^2}{(nb)^2} EI_y 10^4 \qquad \text{对于横向扶强材}$$

I_x，I_y——纵向或横向扶强材的净惯性矩，cm^4，包括按［5］要求的带板有效宽度。I_x 和 I_y 应符合下列衡准：

$$I_x \geqslant \frac{bt^3}{12 \cdot 10^4}$$

$$I_y \geqslant \frac{at^3}{12 \cdot 10^4}$$

p_z——由 σ_x、σ_y 和 τ 引起的扶强材名义侧向载荷，N/mm^2；

$$p_{zx} = \frac{t_a}{b}\left[\sigma_{xl}\left(\frac{\pi b}{a}\right)^2 + 2c_y\sigma_y + \tau_1\sqrt{2}\right] \qquad \text{对于纵向扶强材}$$

$$p_{zy} = \frac{t_a}{b}\left[2c_y\sigma_{xl} + \sigma_y\left(\frac{\pi a}{nb}\right)^2\left(1 + \frac{A_y}{at_a}\right) + \tau_1\sqrt{2}\right] \qquad \text{对于横向扶强材}$$

$$\sigma_{xl} = \sigma_x\left(1 + \frac{A_x}{b \cdot t_a}\right)$$

t_a——带板的净提供厚度，mm；

c_x，c_y——考虑垂直于扶强材轴线且沿扶强材长度呈变化分布应力的系数，应为：

$0.5(1+\psi)$　　对 $\leqslant \psi \leqslant 1$

$\dfrac{0.5}{1+\psi}$　　对 $\psi < 0$

A_x，A_y——不计带板的纵向或横向扶强材的净剖面积，mm^2：

$$\tau_1 = \left[\tau - t\sqrt{R_{eH}E\left(\frac{m_1}{a^2} + \frac{m_2}{b^2}\right)}\right] \geqslant 0$$

m_1，m_2——系数，应为：

$$\frac{a}{b}\geqslant 2.0 \qquad m_1=1.47 \qquad m_2=0.49$$

对于纵向扶强材：

$$\frac{a}{b}<2.0 \qquad m_1=1.96 \qquad m_2=0.37$$

$$\frac{a}{n\cdot b}\geqslant 0.5 \qquad m_1=0.37 \qquad m_2=\frac{1.96}{n^2}$$

对于横向扶强材：

$$\frac{a}{n\cdot b}<0.5 \qquad m_1=0.49 \qquad m_2=\frac{1.47}{n^2}$$

$$w=w_0+w_1$$

w_0——假定的缺陷，mm，取为：

$$w_0=\min\left(\frac{a}{250},\frac{b}{250},10\right) \qquad \text{对于纵向扶强材}$$

$$w_0=\min\left(\frac{a}{250},\frac{n\cdot b}{250},10\right) \qquad \text{对于横向扶强材}$$

对两端削斜的扶强材，w_0 应不小于带板中点至计及带板有效宽度的扶强材中和轴的距离；

w_1——由侧向载荷 p 导致的扶强材在其跨距中点处的变形，mm。如为均布载荷，w_1 可用下列之值：

$$w_1=\frac{pba^4}{384\cdot 10^7 EI_x} \qquad \text{对于纵向扶强材}$$

$$w_1=\frac{5ap(nb)^4}{384\cdot 10^7 EI_y c_s^2} \qquad \text{对于横向扶强材}$$

c_f——扶强材提供的弹性支持，N/mm^2，应为：

- 对纵向扶强材：

$$c_f=F_{Kix}\frac{\pi^2}{a^2}(1+c_{px})$$

$$c_{px}=\frac{1}{1+\dfrac{0.91\left(\dfrac{12\cdot 10^4 I_x}{t^3 b}-1\right)}{c_{xa}}}$$

其中：c_{xa}——系数，取为：

$$c_{xa}=\left(\frac{a}{2b}+\frac{2b}{a}\right)^2 \qquad \text{对于} a\geqslant 2b$$

$$c_{xa}=\left[1+\left(\frac{a}{2b}\right)^2\right]^2 \qquad \text{对于} a<2b$$

- 对于横向扶强材

$$c_f=c_s F_{Kiy}\frac{\pi^2}{(n\cdot b)^2}(1+c_{py})$$

$$c_{py}=\frac{1}{1+\dfrac{0.91\left(\dfrac{12\cdot 10^4 I_y}{t^3 b}-1\right)}{c_{ya}}}$$

其中：c_{ya}——系数，取为：

$$c_{ya}=\left(\frac{nb}{2a}+\frac{2a}{nb}\right)^2 \qquad \text{对于} nb\geqslant 2a$$

$$c_{ya}=\left[1+\left(\frac{nb}{2a}\right)^2\right]^2 \qquad \text{对于} nb<2a$$

4.2.3　不承受侧向压力的纵向和横向普通扶强材的等效衡准

不承受侧向压力的纵向和横向普通扶强材，如其净惯性矩 I_x 和 I_y，cm^4，不小于按下式所得之值，则视为符合［4.2.1］之要求：

- 对纵向扶强材　$I_x=\dfrac{p_{zx}a^2}{\pi^2 10^4}\left(\dfrac{w_0 h_w}{\dfrac{R_{eH}}{S}-\sigma_x}+\dfrac{a^2}{\pi^2 E}\right)$

- 对横向扶强材　$I_y=\dfrac{p_{zy}(nb)^2}{\pi^2 10^4}\left(\dfrac{w_0 h_w}{\dfrac{R_{eH}}{S}-\sigma_y}+\dfrac{(nb)^2}{\pi^2 E}\right)$

4.3　扭转屈曲

4.3.1　纵向扶强材

纵向扶强材应符合以下衡准：

$$\frac{\sigma_x S}{\kappa_T R_{eH}}\leqslant 1.0$$

式中：κ_T——系数，应为：

$$\kappa_T=1.0 \qquad \text{对于} \lambda_T\leqslant 0.2$$

$$\kappa_T=\frac{1}{\Phi+\sqrt{\Phi^2-\lambda_T^2}} \qquad \text{对于} \lambda_T>0.2$$

$\Phi=0.5[1+0.21(\lambda_T-0.2)+\lambda_T^2]$；

λ_T——基准细长度，应为：

$$\lambda_T=\sqrt{\frac{R_{eH}}{\sigma_{KiT}}}$$

$$\sigma_{KiT}=\frac{E}{I_p}\left(\frac{\pi^2 I_w 10^2}{a^2}\varepsilon+0.385I_T\right)，\quad \text{N/mm}^2；$$

I_p——扶强材的净极惯性矩，cm^4，按表 5 定义，且与图 2 所示的点 C 相关；

I_T——扶强材的净圣维南惯性矩，cm^4，按表 5 定义；

I_w——扶强材的净扇形惯性矩，cm^6，按表 5 定义，且与图 2 所示的点 C 相关；

ε——固定程度，应为：

$$\varepsilon=1+10^{-4}\sqrt{\frac{a^4}{\frac{3}{4}\pi^4 I_w\left(\frac{b}{t^3}+\frac{4h_w}{3t_w^3}\right)}}$$

A_w——腹板净面积，为：

$$A_w=h_w t_w$$

A_f——翼板净面积，为：

$$A_f=b_f t_f$$

$e_f=h_w+\frac{t_f}{2}$，mm。

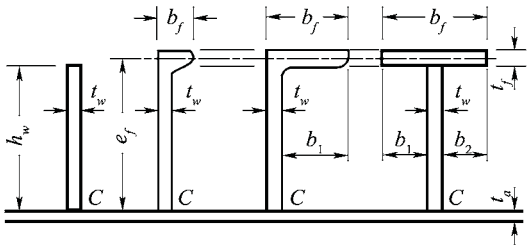


图 2　扶强材的尺寸

惯　性　矩　　**表 5**

剖　面	I_p	I_T	I_w
扁　钢	$\frac{h_w^3 t_w}{3\cdot10^4}$	$\frac{h_w t_w^3}{3\cdot10^4}\left(1-0.63\frac{t_w}{h_w}\right)$	$\frac{h_w^3 t_w^3}{36\cdot10^6}$
有球缘或折边的型材	$\left(\frac{A_w h_w^2}{3}+A_f e_f^2\right)10^{-4}$	$\frac{h_w t_w^3}{3\cdot10^4}\left(1-0.63\frac{t_w}{h_w}\right)+\frac{b_f t_f^3}{3\cdot10^4}\left(1-0.63\frac{t_f}{b_f}\right)$	对球扁钢和角钢剖面：$\frac{A_f e_f^2 b_f^2}{12\cdot10^6}\left(\frac{A_f+2.6A_w}{A_f+A_w}\right)$ 对 T 型剖面：$\frac{b_f^3 t_f e_f^2}{12\cdot10^6}$

4. 3. 2　横向扶强材

承受轴向压应力且不受纵向扶强材支撑的横向扶强材，应近似地符合［4. 3. 1］的要求。

5　带板的有效宽度

5. 1　普通扶强材

5. 1. 1　普通扶强材带板的有效宽度由下式确定（另见图 1）：

- 对纵向扶强材　　$b_m=\min(\kappa_{xb}，\kappa_s s)$
- 对横向扶强材　　$a_m=\min(\kappa_{xa}，\kappa_s s)$

式中：$\kappa_s = 0.0035\left(\frac{l_{eff}}{s}\right)^3 - 0.0673\left(\frac{l_{eff}}{s}\right)^2 + 0.4422\left(\frac{l_{eff}}{s}\right) - 0.0056$，且不大于 1.0

s——扶强材间距，mm；

l_{eff} ——按以下方式取值：

- 对纵向扶强材：

$l_{eff} = a$　　若两端简支

$l_{eff} = 0.6a$　　若两端固定

- 对横向扶强材：

$l_{eff} = b$　　若两端简支

$l_{eff} = 0.6b$　　若两端固定

5.2　主要支撑构件

5.2.1　主要支撑构件加筋翼板的有效宽度 e'_m 可按以下 a）项和 b）项所述确定，且标注为：

e：受支撑板材的宽度，mm，从其中心量至相邻未受支撑区域的中心。

e_m：主要支撑构件带板的有效宽度，mm，按表 6 并考虑加载类型（为确定单侧或不对称翼板的有效宽度，可要求作专门计算）。

e_{m1} 适用于承受均布载荷或承受不少于 6 个等间距的单个载荷的主要支撑构件。

e_{m2} 适用于承受 3 个或更少的单个载荷的主要支撑构件。

a）平行于主要支撑构件腹板的加强（见图 3）

$$b < e_m$$

$$e'_m = n \cdot b_m$$

n——有效宽度 e_m 内的加强筋间距 b 的整数，应为：

$$n = \mathrm{int}\left(\frac{e_m}{b}\right)$$

b）垂直于主要支撑构件腹板的加强（见图 4）

$$a \geqslant e_m$$

$$e'_m = na_m < e_m$$

对于$b \geqslant e_m$或$a < e_m$，b 和 a 应分别予以对换。

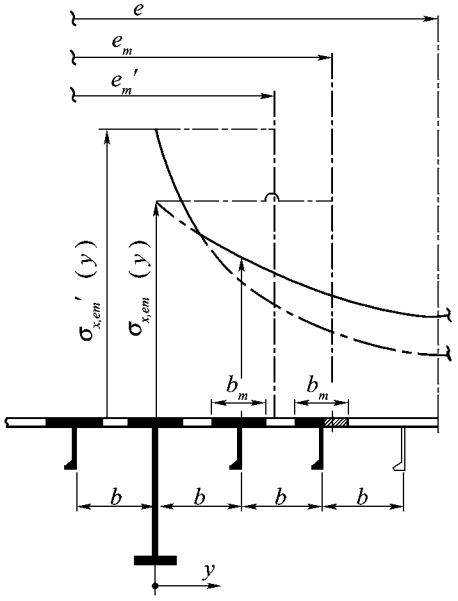


图 3　平行于腹板的加强

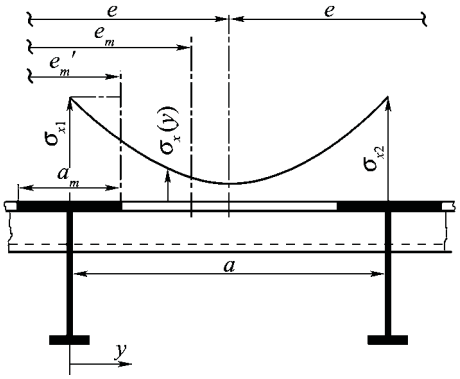


图 4　垂直于腹板的加强

带板的有效宽度　　表 6

l/e	0	1	2	3	4	5	6	7	≥8
e_{m1}/e	0	0.36	0.64	0.82	0.91	0.96	0.98	1.00	1.0
e_{m2}/e	0	0.20	0.37	0.52	0.65	0.75	0.84	0.89	0.9

注：中间值可通过直接内插法获得。

l——弯矩曲线上零弯矩点之间的长度，即，如果是简支桁材，等于无支撑的跨距，如果桁材两端受到约束，等于 0.6 倍的无支撑的跨距。

6　进水工况下的垂直槽形水密横舱壁

6.1　一般要求

6.1.1　舱壁槽条腹板的剪切屈曲校核

按第 6 章第 2 节［3.6.1］计算的剪应力 τ 应符合下列公式：

$$\tau \leqslant \tau_c$$

式中：τ_c——临界剪切屈曲应力，N/mm^2，从下列公式中求得：

$$\tau = \tau_E \qquad \text{对于} \tau_E \leqslant \frac{R_{eH}}{2\sqrt{3}}$$

$$\tau_c = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sqrt{3}\tau_E}\right) \qquad \text{对于} \tau_E > \frac{R_{eH}}{2\sqrt{3}}$$

τ_E——欧拉剪切屈曲应力，N/mm^2，从下列公式中求得：

$$\tau_E = 0.9 k_t E \left(\frac{t_w}{10^3 c}\right)^2$$

k_t——系数，取为 6.34；

t_w——槽条腹板的净厚度，mm；

c——槽条腹板的宽度，m（见第 3 章第 6 节图 28）。

第 4 节　主要支撑构件

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

L_2：规范船长 L，但取不大于 300 m。

I_Y：船体横剖面对其水平中和轴的净惯性矩，m^4，按第 5 章第 1 节［1.5］计算，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

I_Z：船体横剖面对其垂直中和轴的净惯性矩，m^4，按第 5 章第 1 节［1.5］计算，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

N：第 5 章第 1 节［1.2］所定义的船体净横剖面重心在第 1 章第 4 节［4］定义的参考坐标系中的 Z 坐标，m，对于所有构件，按总提供厚度减去 $0.5t_C$ 计。

p_S，p_W：［2.1.2］定义的完整工况下的静水和波浪压力，kN/m^2。

σ_x：［2.1.5］定义的正应力，N/mm^2。

s：主要支撑构件的间距，m。

l：主要支撑构件的跨距，m，在支撑构件之间量取，见第 3 章第 6 节［5.3］。

h_w：腹板高度，mm。

t_w：腹板净厚度，mm。

b_f：面板宽度，mm。

t_f：面板净厚度，mm。

b_p：构件带板的宽度，m，对于屈服校核，定义见第 3 章第 6 节［4.3］。

w：构件净剖面模数，cm^3，其带板宽度为 b_p，按第 3 章第 6 节［4.4］计算。

A_{Sh}：构件净剪切剖面积，cm^2，按第 3 章第 6 节［5.5］计算。

m：系数，等于 10。

τ_a：许用剪应力，N/mm^2，取为：$\tau_a = 0.4R_Y$。

k：第 1 章第 4 节［2.2.1］中定义的材料系数。

x，y，z：第 1 章第 4 节中定义的参考坐标系的计算点的 X、Y 和 Z 坐标，m。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节要求适用于支柱和对船体梁总纵强度起作用的承受侧向压力和 / 或船体梁正应力的主要支撑构件的强度校核。

承受特定载荷的构件也应进行屈服校核，例如集中载荷。

1.2　船长 L 小于 150m 船舶的主要支撑构件

1.2.1　对于船长 L 小于 150 m 船舶的主要支撑构件，其强度校核应按［2］与［4］的规定进行。

1.2.2　虽有上述规定，这些构件的强度校核可通过船级社认为适当的直接强度评估来进行。

CCS1.2.2　虽有上述规定，这些构件的强度校核可通过 CCS《散货船结构强度直接计算分析指南》规定的方法进行。

1.3　船长 L 为 150m 及以上船舶的主要支撑构件

1.3.1　对于船长 L 为 150m 及以上的船舶的主要支撑构件，应按第 7 章的规定进行直接强度分析，还应满足［4］的要求。另外，BC—A 和 BC—B 船的主要支撑构件应符合［3］的要求。

1.4　净结构尺寸

1.4.1　按第 3 章第 2 节的规定，本节中的所有结构尺寸均为净结构尺寸，即它们不包括任何腐蚀增量。

总结构尺寸按第 3 章第 2 节［3］获取。

1.5　主要支撑构件腹板的最小净厚度

1.5.1　主要支撑构件腹板的净厚度，mm，应不小于 $0.6\sqrt{L_2}$。

2　船长 L 小于 150m 的船舶的主要支撑构件的结构尺寸

2.1　载荷模型

2.1.1　一般要求

应考虑完整工况下海水以及不同种类货物和压载引起的静水和波浪侧向载荷，这取决于所考虑的主要支撑构件的位置和相邻舱室的类型。

在第 4 章第 4 节定义的相互独立的载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 下，应按 10^{-8} 概率水平计算波浪侧向载荷和船体梁载荷。

2.1.2　完整工况下的侧向压力

完整工况下的侧向压力由静水压力和波浪压力组成。

静水压力（p_S）包括：

（a）第 4 章第 5 节［1］定义的静水压力；

（b）第 4 章第 6 节定义的不同种类货物和压载的内部静水压力。

对各载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2，波浪动压力（p_W）包括：

（c）第 4 章第 5 节［1］定义的水动压力；

（d）第 4 章第 6 节定义的不同种类货物和压载的惯性压力。

2.1.3　外壳构件

静水和波浪侧向压力的计算应分别考虑：

- 外部海水静水和波浪压力；
- 考虑邻接外壳的舱室作为装载的静水和波浪内部压力。

邻接外壳的舱室如不拟装载液体，则仅计及外部海水压力。

2.1.4　非外壳构件

对于分隔两个相邻舱室的某个构件，其静水和波浪侧向计算压力为考虑这两个舱室分别装载时得到的压力。

2.1.5　正应力

对船体梁总纵强度起作用的主要支撑构件进行强度校核时，所考虑的正应力应为由下列公式获得的中垂和中拱工况（如适用）中 σ_x 的最大值，N/mm^2:

$$\sigma_X = C\left[C_{SW}\left|\frac{M_{SW}}{I_Y}\right|(z-N)+C_{WV}\left|\frac{M_{WV}}{I_Y}\right|(z-N)-C_{WH}\left|\frac{M_{WH}}{I_Z}\right|y\right]10^{-3}$$

式中：M_{SW}——中拱或中垂工况（视具体情况）中的许用静水弯矩，kN·m；

M_{WV}——第 4 章第 3 节定义的中拱或中垂工况（视具体情况）中的垂向波浪弯矩，kN·m；

M_{WH}——第 4 章第 3 节定义的水平波浪弯矩，kN·m；

C_{SW}——表 1 中定义的各种载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 的组合因子；

C_{WV}，C_{WH}——表 1 中给出的第 4 章第 4 节［2.2］定义的各种载荷工况 H1、H2、F1、F2、R1、R2、P1 和 P2 的组合因子。

组合因子 C_{SW}，C_{WV} 和 C_{WH}　　**表 1**

LC	中拱			中垂		
	C_{SW}	C_{WV}	C_{WH}	C_{SW}	C_{WV}	C_{WH}
H1	不适用			−1	−1	0
H2	1	1	0	不适用		
F1	不适用			−1	−1	0
F2	1	1	0	不适用		
R1	1	0	$1.2-\frac{T_{LC}}{T_S}$	−1	0	$1.2-\frac{T_{LC}}{T_S}$
R2	1	0	$\frac{T_{LC}}{T_S}-1.2$	−1	0	$\frac{T_{LC}}{T_S}-1.2$
P1	1	$0.4-\frac{T_{LC}}{T_S}$	0	−1	$0.4-\frac{T_{LC}}{T_S}$	0
P2	1	$\frac{T_{LC}}{T_S}-0.4$	0	−1	$\frac{T_{LC}}{T_S}-0.4$	0

2.2　中桁材和旁桁材

2.2.1　腹板净厚度

双层底结构内桁材，按各自位置其净厚度，mm，应不小于下列公式所规定的 t_1 至 t_3 的最大值：

$$t_1 = C_1 \frac{p_S |x - x_c|}{(d_0 - d_1)\tau_a}\left[1 - 4\left(\frac{y}{B_{DB}}\right)^2\right]$$，若 $|x - x_c|$ 小于 0.25l_{DB}，则 $|x - x_c|$ 取作 0.25l_{DB}

$$t_2 = 1.75 \times \sqrt[3]{\frac{H^2 a^2 \tau_a}{C'_1} t_1}$$

$$t_3 = \frac{C''_1 a}{\sqrt{k}}$$

式中：p——下列公式中给出的压力差，kN/m^2：

$$p = |(p_{S,IB} + p_{W,IB}) - (p_{S,BM} + p_{W,BM})|$$

$p_{S,IB}$——内底板在静水中的货物或压载压力，kN/m^2，按第 4 章第 6 节在所考虑双层底结构的中心处计算；

$p_{W,IB}$——惯性引起的内底板的货物或压载压力，kN/m^2，按第 4 章第 6 节在所考虑双层底结构的中心处计算；

$p_{S,BM}$——船底板在静水中的外部海水和压载压力，kN/m^2，按第 4 章第 5 节与第 4 章第 6 节在所考虑双层底结构的中心处计算；

$p_{W,BM}$——惯性引起的船底板的外部海水和压载压力，kN/m^2，按第 4 章第 5 节与第 4 章第 6 节在所考虑双层底结构的中心处计算；

S——所考虑的中桁材或旁桁材的两个相邻处所的中心之间的距离，m；

d_0——所考虑的中桁材或旁桁材的高度，m；

d_1——所考虑点处的开口高度（如有时），m；

l_{DB}——双层底长度，m。若横舱壁设有壁凳，l_{DB} 可取作趾端之间的距离；

x_c——所考虑双层底结构的中心在第 1 章第 4 节定义的参考坐标系中的 x 坐标，m；

B_{DB}——船中部底边舱趾端之间的距离，m，见图 3；

C_1——由表 2 获得的系数，取决于 B_{DB}/l_{DB}。对于 B_{DB}/l_{DB} 的中间值，C_1 应用线性插值方法确定；

a——所考虑点处的桁材高度，m。然而，如果桁材上设有水平扶强材，a 为从该水平扶强材至船底板或内底板的距离，或所考虑水平扶强材之间的距离；

S_1——垂直普通扶强材或肋板的间距，m；

C'_1——由表 3 获得的系数，取决于 S_1/a。对于 S_1/a 的中间值，C'_1 应通过线性插值方法确定；

H——其值从下列公式中获得：

- 当桁材设有未加强的开口　$H = 1 + 0.5\frac{\phi}{\alpha}$
- 其他情况　$H = 1.0$

ϕ——开口的长径，m；

α——a 或 S_1 的大者，m；

C''_1——由表 4 获得的系数，取决于 S_1/a。对于 S_1/a 的中间值，C''_1 应通过线性插值方法确定。

系　数　C_1　　**表 2**

B_{DB}/l_{DB}	0.4及以下	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6及以上
C_1	0.5	0.71	0.83	0.88	0.95	0.98	1.00

系　数　C'_1　　表 3

$\frac{S_1}{a}$	0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4及以上
C_1'	64	38	25	19	15	12	10	9	8	7

系　数　C''_1　　表 4

$\frac{S_1}{a}$		0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6及以上
C_1''	中桁材	4.4	5.4	6.3	7.1	7.7	8.2	8.6	8.9	9.3	9.6	9.7
	旁桁材	3.6	4.4	5.1	5.8	6.3	6.7	7.0	7.3	7.6	7.9	8.0

2.3　肋板

2.3.1　腹板净厚度

双层底结构内肋板，按各自位置其净厚度，mm，应不小于下列公式所规定的 t_1 至 t_3 的最大值：

$$t_1 = C_2 \frac{pSB_{DB}}{(d_0 - d_1)\tau_a}\left(\frac{2|y|}{B'_{DB}}\right)\left\{1-2\left(\frac{x-x_c}{l_{DB}}\right)^2\right\}$$

若 $|x-x_c|$ 小于 0.25l_{DB}，则 $|x-x_c|$ 取作 0.25l_{DB}

若 $|y|$ 小于 $B'_{DB}/4$，则 $|y|$ 取作 $B'_{DB}/4$

$$t_2 = 1.75 \times \sqrt[3]{\frac{H^2 a^2 \tau_a}{C'_2}t_1}$$

$$t_3 = \frac{8.5S_2}{\sqrt{k}}$$

式中：　S——实肋板间距，m；

d_0——所考虑点处的实肋板高度，m；

d_1——所考虑点处的开口高度，如有时，m；

B'_{DB}——所考虑实肋板位置处底边舱趾端之间的距离，m；

C_2——由表 5 获得的系数，取决于 B_{DB}/l_{DB}。对于 B_{DB}/l_{DB} 的中间值，C_2 应通过线性插值方法确定；

p，B_{DB}，x_c，l_{DB}——定义见［2.2.1］；

a——所考虑点处的实肋板高度，m。然而，如果肋板上设有水平扶强材，a 为从该水平扶强材至船底板或内底板的距离，或所考虑水平扶强材之间的距离；

S_1——垂直普通扶强材或桁材的间距，m；

C'_2——表 6 给出的系数，取决于 S_1/d_0。对于 S_1/d_0 的中间值，C'_2 应通过线性插值方法确定；

H——其值从下列公式中获得：

a）　当实肋板上有加强的开口或无开口：

1）若切口未加强：

$$H = \sqrt{4.0\frac{d_2}{S_1} - 1.0}$$，且不小于 1.0

2）若切口设有加强：

$$H = 1.0$$

b）若实肋板上有未加强的开口：

1）若切口未加强：

$$H=\left(1+0.5\frac{\phi}{d_0}\right)\sqrt{4.0\frac{d_2}{S_1}-1.0}\ ，\ 不小于1+0.5\frac{\phi}{d_0}$$

2）若切口设有加强：

$$H=1+0.5\frac{\phi}{d_0}$$

式中：d_2——在实肋板的上、下部未加强切口的深度，m，取大者；

ϕ——开口的长径，m；

S_2——S_1 或 a 的小者，m。

系　数　C_2　　表 5

$\frac{B_{DB}}{l_{DB}}$	0.4及以下	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6及以上
C_2	0.48	0.47	0.45	0.43	0.40	0.37	0.34

系　数　C'_2　　表 6

$\frac{S_1}{d_0}$	0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4及以上
C_2'	64	38	25	19	15	12	10	9	8	7

2.4　双舷侧结构的水平桁

2.4.1　腹板净厚度

双舷侧结构中的水平桁材，按各位置其净厚度，mm，应不小于下列公式所规定的 t_1 至 t_3 的最大值：

$$t_1=C_3\frac{pS|x-x_c|}{(d_0-d_1)\tau_a}\ ，若\ |x-x_c|\ 小于\ 0.25l_{DS}，则\ |x-x_c|\ 取作\ 0.25l_{DS}$$

$$t_2=1.75\times\sqrt[3]{\frac{H^2a^2\tau_a}{C'_3}}\ t_1$$

$$t_3=\frac{8.5S_2}{\sqrt{k}}$$

式中：p——下列公式给出的压力差，kN/m^2:

$$p=|(p_{S,SS}+p_{W,SS})-(p_{S,LB}+p_{W,LB})|$$

$p_{S,SS}$——舷侧外板在静水中的外部海水和压载压力，kN/m^2，按第 4 章第 5 节与第 4 章第 6 节，垂向在底边舱上端及纵向在 l_{DS} 中心量取；

$p_{W,SS}$——惯性引起的舷侧外板的外部海水和压载压力，kN/m^2，按第 4 章第 5 节与第 4 章第 6 节，垂向在底边舱上端及纵向在 l_{DS} 中心量取；

$p_{S,LB}$——纵舱壁静水压载压力，kN/m^2，按第 4 章第 6 节，垂向在底边舱上端及纵向在 l_{DS} 中心量取；

$p_{W,LB}$——惯性引起的纵舱壁压载压力 ,kN/m^2，按第 4 章第 6 节 , 垂向在底边舱上端及纵向在 l_{DS} 中心量取；

S——水平桁材所支撑部分的宽度，m；

d_0——水平桁材深度，m；

d_1——所考虑点处的开口（如有时）深度，m；

x_c——所考虑双舷侧结构中心在第 1 章第 4 节所定义的参考坐标系中的 x 坐标；

l_{DS}——横舱壁之间所考虑的双舷侧结构长度，m；

h_{DS}——底边舱上端和顶边舱下端之间的双舷侧结构高度，m；

C_3——表 7 给出的系数，取决于 h_{DS}/l_{DS}。对于 h_{DS}/l_{DS} 中间值，C_3 用线性插值方法确定；

a——所考虑点处的水平桁材深度，m。如水平桁材上设有水平扶强材，a 为所考虑的水平扶强材至双舷侧结构舷侧外板或纵舱壁的距离，或所考虑水平扶强材之间的距离；

S_1——横向普通扶强材或强肋骨间距，m；

C'_3——表 8 给出的系数，取决于 S_1/la。对于 S_1/la 中间值，C'_3 用线性插值方法确定；

H——其值由下式求得：

- 纵桁如有一个未加强的开口　　$H = 1 + 0.5\dfrac{\phi}{\alpha}$
- 其他情况　　$H = 1.0$

ϕ——开口的长径，m；

α——a 或 S_1 的大者，m；

S_2——a 或 S_1 的小者，m。

系　数　C_3　　**表 7**

$\dfrac{h_{DS}}{l_{DS}}$	0.5及以下	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3及以上
C_3	0.16	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.54

系　数　C'_3　　**表 8**

$\dfrac{S_1}{a}$	0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4及以上
C_3'	64	38	25	19	15	12	10	9	8	7

2.5　双舷侧结构中的横框架

2.5.1　横框架腹板净厚度

双舷侧结构中横框架腹板按各自位置，其净厚度（mm）应不小于下列公式所规定的 t_1 至 t_3 的最大值：

$$t_1 = C_4 \frac{pSh_{DS}}{(d_0 - d_1)\tau_a}\left(1\text{–}1.75\frac{z - z_{BH}}{h_{DS}}\right)$$，若 $z\text{–}z_{BH}$ 大于 0.4h_{DS}，则 $z\text{–}z_{BH}$ 取为 0.4h_{DS}

$$t_2 = 1.75 \times \sqrt[3]{\frac{H^2a^2\tau_a}{C'_4}}\,t_1$$

$$t_3 = \frac{8.5S_2}{\sqrt{k}}$$

式中：　S——横框架所支撑部分的宽度，m；

d_0——横框架深度，m；

d_1——所考虑点处的开口深度，m；

C_4——表 9 给出的系数，取决于 h_{DS}/l_{DS}。对于 h_{DS}/l_{DS} 中间值，C_4 用线性插值方法确定；

Z_{BH}——底边舱上端在第 1 章第 4 节所定义的参考坐标系中的 z 坐标；

p, h_{DS} 和 l_{DS}——按［2. 4. 1］的要求；

a——所考虑点处的横框架深度，m。然而如横框架设有垂直扶强材，a 为所考虑的垂直扶强材至舷侧外板或纵舱壁的距离，或所考虑的垂直扶强材之间的距离；

S_1——水平普通扶强材或水平桁材间距，m；

C'_4——表 10 给出的系数，取决于 S_1/a。对于 S_1/a 中间值，C'_4 用线性插值方法确定；

H——其值由下式求得：

- 横框架如有一个未加强开口　　$H = 1 + 0.5\dfrac{\phi}{\alpha}$
- 其他情况　　$H = 1.0$

ϕ——开口的长径，m；

α——a 或 S_1 的大者，m；

S_2——a 或 S_1 的小者，m。

系　数　C_4　　表 9

$\dfrac{h_{DS}}{l_{DS}}$	0.5及以下	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3及以上
C_4	0.62	0.61	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41

系　数　C'_4　　表 10

$\dfrac{S_1}{a}$	0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4及以上
C_4'	64	38	25	19	15	12	10	9	8	7

2.6　舭部底边舱和顶边舱及其他结构的主要支撑构件

2.6.1　载荷计算点

水平构件的侧向压力和船体梁应力（如有），除另有规定外，应在所考虑的主要支撑构件的跨距中点处计算。

垂直构件的侧向压力 p 应取在跨距中点处的计算值和按下式计算所得压力值中的最大值：

- $p = \dfrac{p_U + p_L}{2}$　　当垂直构件上端在最低零压力面以下时
- $p = \dfrac{l_1}{l}\dfrac{p_L}{2}$　　当垂直构件上端在最低零压力面或以上时（见图 1）

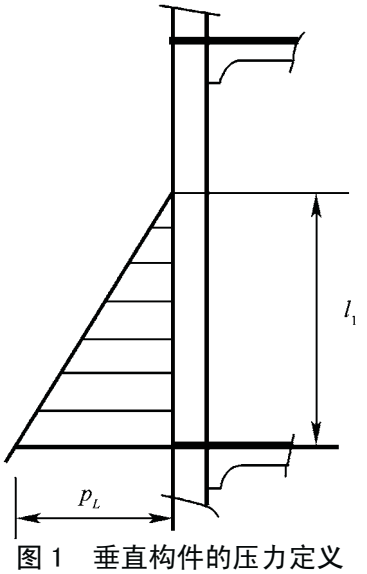


图 1　垂直构件的压力定义

式中：　l_1——垂直构件下端和最低零压力面之间的距离，m；

p_U，p_L——分别为垂直构件跨距 l 上下端的侧向压力。

2.6.2　边界条件

本项要求适用于视为两端刚固的主要支撑构件。对明显偏离上述条件的边界条件，应逐例考虑屈服强度校核。

2.6.3　完整工况下的净剖面模数、净剪切剖面积和腹板净厚度

承受侧向压力的净剖面模数 w，cm^3、净剪切剖面积 A_{sh}，cm^2 和腹板净厚度 t_w，mm，应不小于由下式计算所得之值：

$$w = \frac{(p_S + p_W)\, sl^2}{m\lambda_S R_Y} 10^3$$

$$A_{sh} = \frac{5(p_S + p_W)\, sl}{\tau_a \sin\phi}$$

$$t_w = 1.75 \cdot \sqrt[3]{\frac{h_w \tau_a}{10^4 C_5}\ A_{sh}}$$

式中：λ_S——表 11 所定义的系数；

ϕ——主要支撑构件腹板和外板的夹角，(°)，在构件跨距中点量取；当 ϕ 小于 75° 时，应作修正；

C_5——表 12 给出的系数，取决于 s_1 和 d_0。对于 s_1/d_0 中间值，系数 C_5 用线性插值方法确定；

s_1——腹板加强筋或防倾肘板间距，m；

d_0——平行于外板的腹板加强筋间距，m。

系　数　λ_S　　**表 11**

主要支撑构件	系　数　λ_S
对船体梁总纵强度起作用的纵向构件	$1.1\left(1.0-0.85\left\|\frac{\sigma_X}{R_Y}\right\|\right)$，且取不大于0.8
其他构件	0.8

系　数　C_5　　**表 12**

s_1/d_0	0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	2.0及以上
C_5	60.0	40.0	26.8	20.0	16.4	14.4	13.0	12.3	11.1	10.2

3　BC-A 和 BC-B 船舶主要支撑构件附加要求

3.1　进水工况下双层底能力和货舱许用装载评估

3.1.1　双层底剪切能力

双层底剪切能力应按以下各构件端部剪切强度之和计算：

- 邻近两个底边舱的所有肋板端部，邻近每个舱壁凳（若未设凳（见图 2），则为横舱壁）的两个肋板取小于其一半的剪切强度；肋板剪切强度按 [3.1.2] 计算；
- 邻近两个舱壁凳（或如不设凳，则为横舱壁）的所有双层底纵桁端部；桁材剪切强度按 [3.1.3] 计算。

在端部货舱内桁材或肋板如中途终止且不直接与边界凳或底边舱桁材相连，其强度仅按一端评估。

在计算双层底剪切能力时，所计及的肋板和桁材是底边舱和凳（如不设凳，则为横舱壁）构成的

货舱限界以内的桁材和肋板。底边舱旁桁材与直接位于凳（如不设凳，则为横舱壁）与内底连接处以下的肋板不可计入。

当双层底的几何形状和 / 或结构布置与以上假定不符时，双层底剪切能力应尽量在适用情况下按第 7 章的要求以直接计算确定。

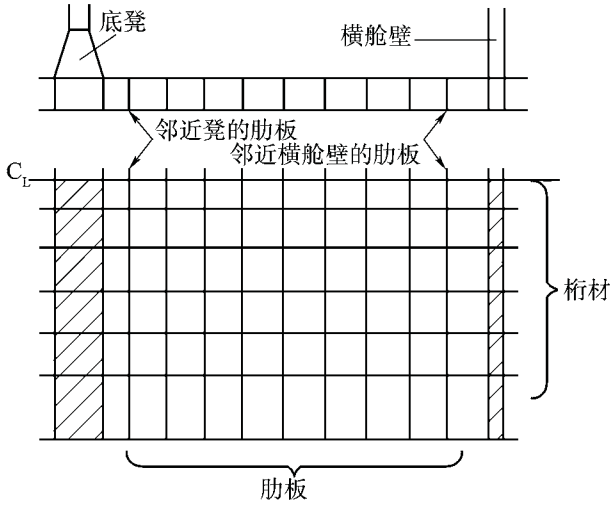


图 2　双层底结构

3. 1. 2　肋板剪切强度

肋板剪切强度应从下列公式获得，kN:

- 位于邻近底边舱的肋板板格处　　$S_{f1} = A_f \dfrac{\tau_A}{\eta_1} 10^{-3}$

- 位于最外格（即较靠近底边舱的格）的开口处　　$S_{f2} = A_{f,\,h} \dfrac{\tau_A}{\eta_2} 10^{-3}$

式中：A_f——邻近底边舱的肋板的净剖面积，mm^2；

$A_{f,h}$——位于最外格（即较靠近底边舱的格）的开口处的肋板的净剖面积，mm^2；

τ_A——许用剪切应力，N/mm^2，等于下列二值中的小者：

$$\tau_A = 0.645 \frac{R_{eH}^{0.6}}{(s / t_N)^{0.8}} \quad 和 \quad \tau_A = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$$

t_N——肋板腹板净厚度，mm；

s ——所计及板格的加强筋的间距，m；

η_1——系数，等于 1.1；

η_2——系数，一般等于 1.2，若在最外格的开口处进行适当加强，经船级社逐例审查，可减为 1. 1。

3. 1. 3　桁材剪切强度

桁材剪切强度，应从下列公式获得，kN：

- 邻近凳（或横舱壁，如无凳）的桁材板格处　　$S_{g1} = A_g \dfrac{\tau_A}{\eta_1} 10^{-3}$

- 最外格（即较靠近凳，或如无凳则较靠近横舱壁）的最大开口处　　$S_{g2} = A_{g,\,h} \dfrac{\tau_A}{\eta_2} 10^{-3}$

A_g——邻近凳（或横舱壁，如无凳）的桁材板格的净剖面面积，mm^2；

$A_{g,h}$——位于最外格（即较靠近凳，或如无凳则较靠近横舱壁）的最大开口处的桁材板格的净剖面积，mm^2；

τ_A——[3.1.2] 定义的许用剪切应力，N/mm^2，其中 t_N 是桁材腹板的净厚度；

η_1——系数，等于 1.1；

η_2——系数，一般等于 1.15，若在最外格的最大开口处进行适当加强，经船级社逐例审查，可减为 1.1。

3. 1. 4　许用货舱装载

许用货舱装载，t，应从下列公式获得：

$$W = \rho_C V \frac{1}{F}$$

式中：F——系数，等于：

- $F = 1.1$　　一般货物
- $F = 1.05$　　对于钢材产品

V——水平面 h_B 处货物的体积，m^3；

h_B——从下列公式获得的货物平面，m^2：

$$h_B = \frac{X}{\rho_C g}$$

X——从下列公式获得的压力，kN/m^2：

- 对于干散货，取下列小者：

$$X = \frac{Z + g\left(z_F - 0.1D_1 - h_F\right)}{1 + \frac{\rho}{\rho_C}\left(perm - 1\right)}$$

$$X = Z + \rho g\left(z_F - 0.1D_1 - h_{Fperm}\right)$$

- 对于钢材产品：

$$X = \frac{Z + \rho g\left(z_F - 0.1D_1 - h_F\right)}{1 - \frac{\rho}{\rho_C}}$$

D_1——在船中舷侧处，从基线量至干舷甲板的距离，m；

h_F——内底进水压头，此系当船舶在正浮状态时从内底垂直量至基线以上高度 z_F 处的距离，m；

Z_F——进水水位，m，定义见第 4 章第 6 节 [3.4.3]；

$perm$——货物的渗透率，不必取大于 0.3；

Z——压力，kN/m^2，取下列二值中的小者：

- $Z = \frac{C_H}{A_{DB,H}}$
- $Z = \frac{C_E}{A_{DB,E}}$

C_H——双层底的剪切能力，kN，按 [3.1.1] 计算，对每个肋板计及剪切强度 S_{f1} 和 S_{f2}（见 [3.1.2]）中的小者，对每个桁材计及剪切强度 S_{g1} 和 S_{g2}（见 [3.1.3]）中的小者；

C_E——双层底的剪切能力，kN，按 [3.1.1] 计算，对每个肋板计及剪切强度 S_{f1}（见 [3.1.2]），对

每个桁材计及剪切强度 S_{g1} 和 S_{g2}（见［3.1.3］）中的小者；

- $A_{DB,H}=\sum_{i=1}^{n}S_i B_{DB,i}$
- $A_{DB,E}=\sum_{i=1}^{n}S_i (B_{DB}-s)$

n——凳（或横舱壁，如无凳）之间的肋板数量；

S_i——第 i 个肋板的间距，m；

$B_{DB,i}$——宽度，m，等于：

- $B_{DB,i}=B_{DB}-s$　　对于 $S_{f1}<S_{f2}$ 的肋板（见［3.1.2］）
- $B_{DB,i}=B_{DB,h}$　　对于 $S_{f1}\geqslant S_{f2}$ 的肋板（见［3.1.2］）

B_{DB}——底边舱之间双层底的宽度，m（见图 3）；

$B_{DB,h}$——所计及的两个开口之间的距离，m（见图 3）；

s——邻近底边舱的内底纵向普通扶强材的间距，m。

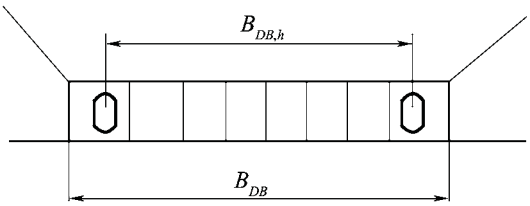


图 3　尺寸 B_{DB} 和 $B_{DB,h}$

4　支柱

4.1　承受轴向压缩载荷支柱的屈曲

4.1.1　一般要求

应校核支柱压应力不超过按［4.1.2］计算的临界柱屈曲应力。

4.1.2　支柱临界柱屈曲应力

支柱的临界柱屈曲应力，N/mm^2，应从下列公式获得：

$$\sigma_{cB}\ \upsilon_{E1}\qquad\text{对于}\ \sigma_{E1}\leqslant\frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_{cB}=R_{eH}\left(1-\frac{R_{eH}}{4\sigma_{E1}}\right)\qquad\text{对于}\ \sigma_{E1}>\frac{R_{eH}}{2}$$

式中：σ_{E1}——欧拉柱屈曲应力，N/mm^2，从下列公式获得：

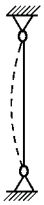
$$\sigma_{E1}=\pi^2 E\ \frac{I}{A(fl)^2}10^{-4}$$

I——支柱的最小净惯性矩，cm^4；

A——支柱的净剖面积，cm^2；

f——系数，由表 13 给出。

系　数　*f*　　**表 13**

支柱的边界条件	*f*
两端刚固 	0.5
一端刚固，一端铰接 	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
两端铰接 	1.0

附录 1　屈曲和极限强度

1　对第 6 章第 3 节的应用

总体应用要求

1.1.1　变化的剪应力

如果剪应力在基本板格的宽度 b 上不均匀，则应采用以下两值的大者：

- τ 的平均值
- $0.5\,\tau_{max}$

1.1.2　基本板格内的厚度变化

如果基本板格的板厚在宽度 b 范围内变化，则屈曲校核可按厚度等于较小板厚 t_1 的等效基本板格 $a\times b'$ 进行。此等效基本板格宽度定义如下：

$$b' = b_1 + \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1.5}$$

式中：b_1——较小板厚 t_1 的那部分基本板格宽度；

b_2——较大板厚 t_2 的那部分基本板格宽度。

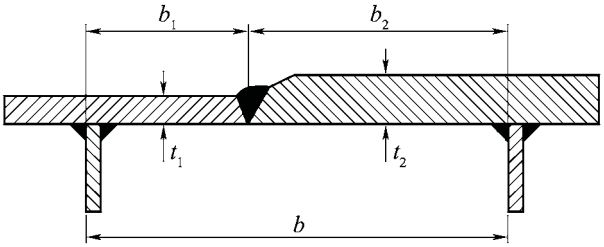


图 1　区域宽度内的板厚变化

1.1.3　具有开孔的肋板或其他高腹桁材的评估

下列计算流程可用于具有开孔的高腹桁材的评估：

a）将板材区域按图 2 分成小基本板格

b）对基本板格和所有的小基本板格按下列边界条件分别予以计算：

- 对小板格 1 至 4：所有边缘简支（第 6 章第 3 节表 2 中的载荷工况 1 和 2）
- 对小板格 5 至 6：简支，且一边自由（第 6 章第 3 节表 2 中的载荷工况 3）

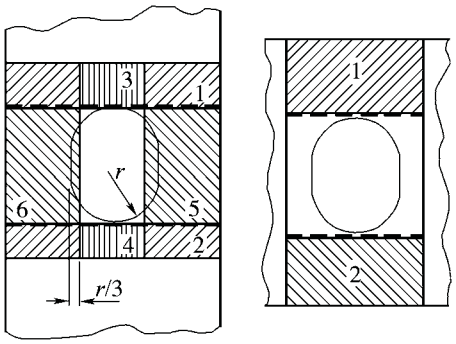


图 2　具有开孔的高腹桁材的基本板格

1.2　船体梁横剖面分析的应用

1.2.1　基本板格的理想化

基本板格的屈曲校核应在第 6 章第 3 节［2.1］中定义的载荷下，按第 6 章第 3 节［3］要求进行。

对屈曲和折减系数，平面板格按第 6 章第 3 节表 2 确定，曲面板格按第 6 章第 3 节表 3 确定。

对第 6 章第 3 节表 2 中的屈曲和折减系数的确定，下列工况应按板材的应力类型和骨架形式取用：

- 对于压缩正应力：
  - 对于纵骨架式板材，屈曲载荷工况 1，x 方向的膜应力为第 6 章第 3 节［2.1.2］中定义的正应力 σ_n；
  - 对于横骨架式板材，屈曲载荷工况 2，y 方向的膜应力为第 6 章第 3 节［2.1.2］中定义的正应力 σ_n，且对换 a，b 值，以获得在载荷工况 2 中的所计及的 α 值大于 1。
- 对剪应力：屈曲工况 5，τ 为第 6 章第 3 节［2.1.3］中定义的剪应力 τ_{SF}。

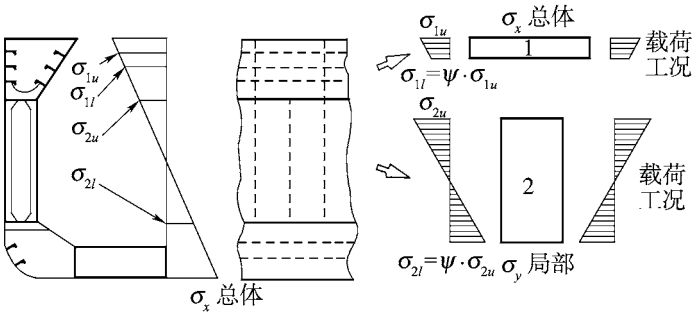


图 3　基本板格的理想化

1.2.2　普通扶强材

局部和整体板格的纵向和横向普通扶强材的屈曲校核应在第 6 章第 3 节［2.1］中定义的载荷下，按第 6 章第 3 节［4］进行，且：

- σ_x 在第 6 章第 3 节［2.1.2］中定义的正应力 σ_n
- σ_y=0

扶强材带板的有效宽度应按第 6 章第 3 节［5］确定。常量应力值应假定为下列数值中对应的大者：

- 扶强材长度一半处的应力
- 相邻基本板格最大压应力的 0.5 倍

1.2.3　设有与其平行的扶强材的主要支撑构件

主要支撑构件带板的有效宽度应按第 6 章第 3 节［5.2］的要求确定。

此外，当普通扶强材设于主要支撑构件的带板上并与主要支撑构件平行时，屈曲校核应计及惯性矩 I_x，且计入与带板相连的平行普通扶强材的惯性矩（见第 6 章第 3 节图 3）。

1.2.4　设有垂直于桁材的扶强材的主要支撑构件

主要支撑构件带板的有效宽度应按第 6 章第 3 节［5.2］的要求确定。

此外，当普通扶强材设于主要支撑构件的带板上并与主要支撑构件垂直时，屈曲校核应计及惯性矩 I_x，且按（见第 6 章第 3 节图 4）计入有效宽度。

1.3　有限元模型分析的其他应用

1.3.1　沿屈曲板格长度非均匀压应力

如果压应力在非承载板边缘的整个长度上不均匀（如桁材承受弯曲时），压应力值应取距离具有最大压应力的横向板边 $b/2$ 处之值（见图 4）。该值应不小于沿纵向边缘压应力的平均值。

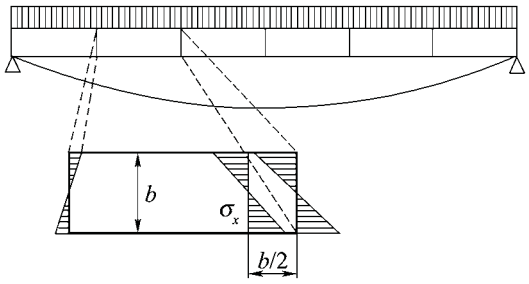


图 4　沿纵向边缘 *a* 的非均匀压应力

1. 3. 2　非矩形基本板格的屈曲应力计算

a）四边形板格

按图 5，搜索出可完全环绕不规则屈曲板格的一组矩形。在几种可能之中，取出面积最小的矩形。将该矩形收缩成原板格的面积，且保持长宽比和中心位置不变。从而求出具有尺寸 a、b 的最后的矩形板格。

b）梯形的基本板格

用上、下边的平均值 a，原板格高度 b 求得矩形。

c）直角三角形

将直角三角形的勾、股边乘以 $\sqrt{0.5}$，以求得同样面积和长宽比的矩形。

d）一般三角形

一般三角形按上述 a）处理。

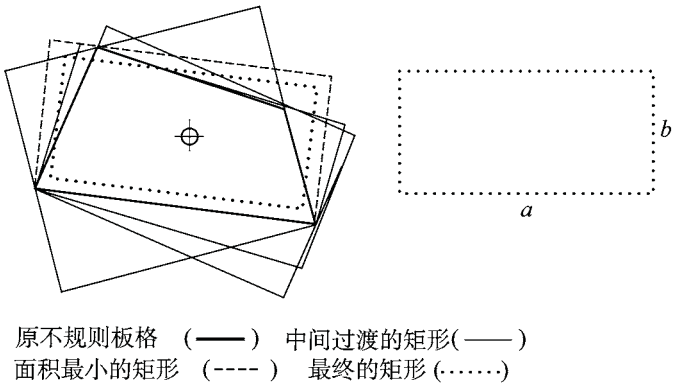


图 5　非矩形基本板格的近似

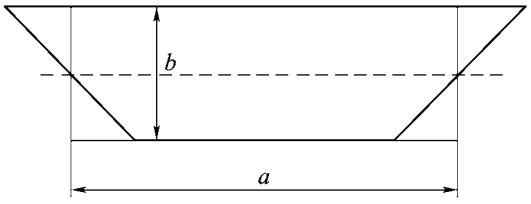


图 6　梯形基本板格的近似

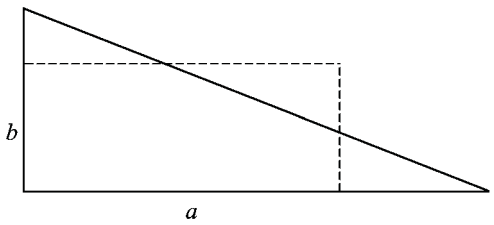


图 7　直角三角形的近似

1. 3. 3　舷侧外板的屈曲评估

为计算垂直加筋的舷侧外板的屈曲衡准，下列工况应予考虑：

若垂向应力和剪应力在基本板格的高度范围呈大致的常量：

- 按照第 6 章第 3 节表 2 中的屈曲载荷工况 1、2 和 5 应予考虑
- $\psi = f(\sigma_1, \sigma_2)$　　对于水平应力
- ψ=1.0　　对于垂向应力
- t=t_{min}(基本板格)

若在基本板格的高度范围分布水平应力、垂向应力和剪应力，则下列应力情况应予以分开考虑：

a） 纯垂向应力

- 屈曲区域的尺寸按 $b \times b$（$a = 1$）考虑
- ψ=1.0
- 基本板格中的最大垂向应力应按适用的衡准考虑

b） 剪应力与垂向应力相关联

- 屈曲区域的尺寸按 $2b \times b$（$a = 2$）考虑
- ψ=1.0
- 下列两个应力合成应予以考虑：
  - 基本板格中最大垂向应力加上剪应力和发生最大垂向应力处的总纵应力
  - 基本板格中最大的剪应力加上垂向应力和发生最大剪应力处的总纵应力
- 计入的板厚为最大垂向 / 剪应力发生之处的板厚

c） 分布的纵向应力与垂向应力和剪应力相关联

- 采用基本板格的实际尺寸 [a=f (a,b)]
- 对纵向应力，采用实际的板边应力比 ψ
- 对垂向应力和剪应力，采用其平均值
- t=t_{min}(基本板格)

1. 3. 4　槽型舱壁的屈曲评估

横向基本板格（面板）应使用平行于槽条的正应力进行评估。斜的基本板格（腹板）应使用正应力和剪应力的合成进行评估。

板格宽度 b 应按图 8 量取。

a）面板评估

- 按第 6 章第 3 节表 2，采用屈曲载荷工况 1
- 屈曲区域的尺寸按 $b \times b$（$\alpha = 1$）考虑
- $\psi = 1.0$
- 基本板格中的最大垂向应力应按适用的衡准考虑
- 计入的板厚为最大垂向应力发生之处的板厚

b）腹板评估

- 按第 6 章第 3 节表 2，采用屈曲载荷工况 1 和 5
- 屈曲区域的尺寸按 $2b \times b$（$\alpha = 2$）考虑
- $\psi = 1.0$
- 下列两个应力合成应予以考虑：
  - 基本板格中最大垂向应力加上剪应力和发生最大垂向应力处的总纵应力

- 基本板格中最大的剪应力加上垂向应力和发生最大剪应力处的总纵应力
- 计入的板厚为最大垂向应力 / 剪应力发生之处的板厚

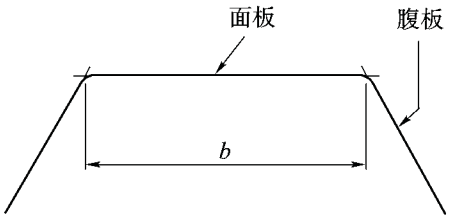


图 8 槽型舱壁 *b* 的量取

第 7 章　直接强度分析

第 1 节　主要支撑构件的直接强度评估

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　船长 150m 及以上的船舶，应基于三维（3D）有限元（FE）分析进行主要支撑构件的直接强度评估。

1.1.2　本章规定了三个有限元分析步骤：

a）整体舱段有限元强度分析（有限元分析第一步），用于评估货舱结构主要支撑构件的整体强度，按照第 2 节进行。

b）详细应力评估（有限元分析第二步），用细化网格评估高应力区域，按照第 3 节进行。

c）热点应力分析（有限元分析第三步），用精细网格计算应力集中点的热点应力进行疲劳强度评估，按照第 4 节进行。

直接强度评估的有限元分析流程图见图 1。

1.2　计算机程序

1.2.1　用于有限元分析的计算机程序应适合于拟进行的分析。在分析开始前，未经认可的程序应向船级社证明其可靠性，并令船级社满意。

1.3　提交分析报告

1.3.1　应提交一份详细的有限元直接强度分析报告，包括分析的背景资料。该报告应包括以下资料：

a）分析中所用图纸清单，包括日期和版本；

b）结构建模准则的详细说明，以及模型与实际结构的任何差别；

c）结构模型图；

d）模型中所用材料特性、板厚及梁特性；

e）边界条件的详情；

f）所有分析的装载工况；

g）载荷施加信息；

h）挠度结果的汇总和图表；

i）应力结果的汇总和图表；

j）屈曲强度评估的详情；

k）表明结构满足设计衡准的表列结果；

l）所用的有限元计算程序，包括日期和版本。

1.4　净尺寸

1.4.1　直接强度计算应基于第 3 章第 2 节规定的净尺寸方法。

1.5　施加的载荷

1.5.1　设计载荷

直接强度分析应施加按第 4 章给定的设计载荷，载荷的概率水平为 10^{-8}，疲劳强度评估设计载荷的概率水平为 10^{-4}。应将可能作用于船体结构上的最恶劣载荷状态的静、动载荷组合施加到三维有限元模型上。

1.5.2　结构重量

船体结构重量的影响应包括在静载荷中，但不应包括在动载荷中。钢材的标准密度应取 7.85t/m^3。

1.5.3　装载工况

三维有限元分析中，应考虑第 4 章第 7 节规定的装载工况。

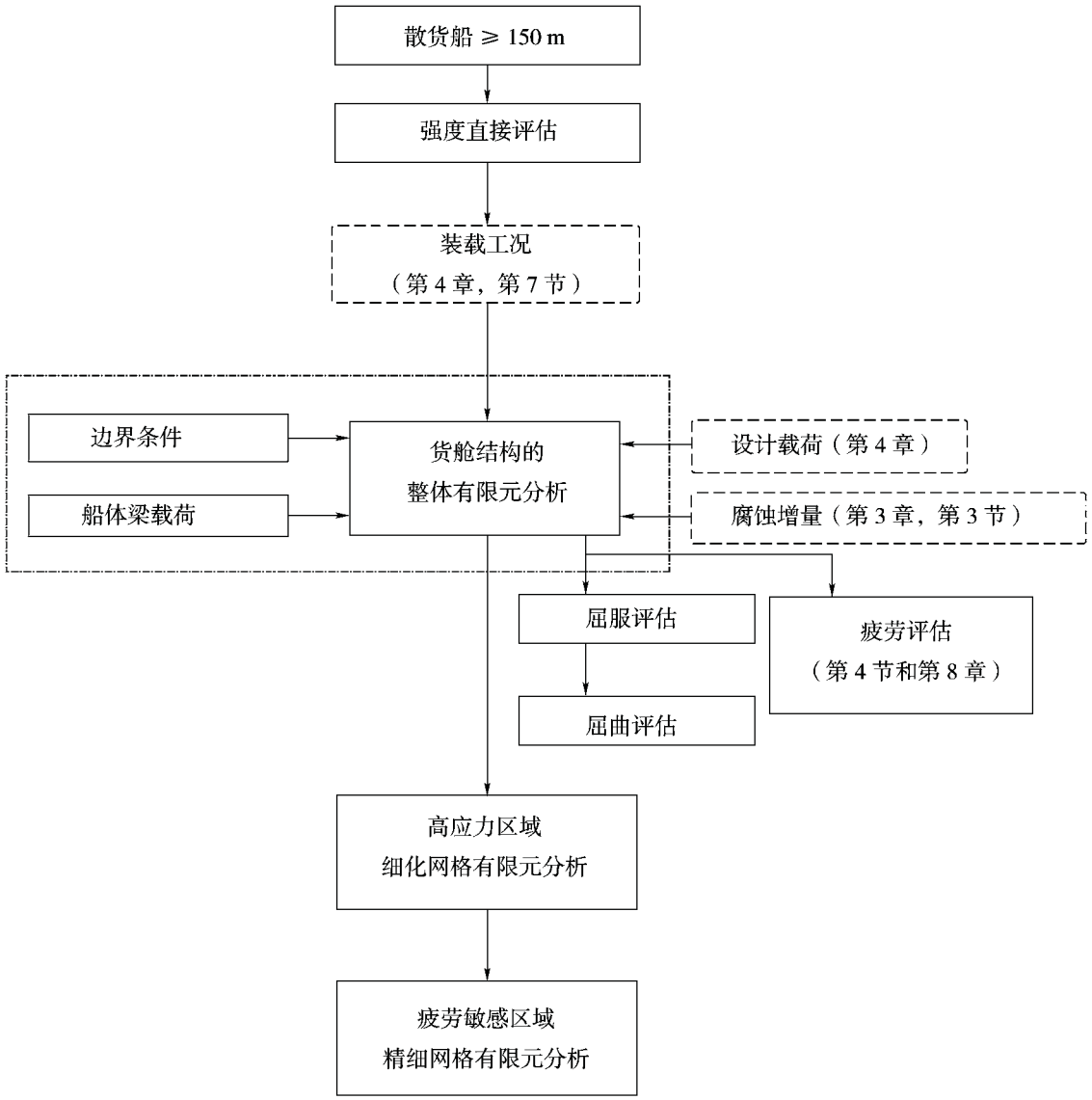


图 1　有限元分析流程

第 2 节　货舱结构整体舱段有限元强度分析

符号

本节未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

M_{SW}：设计垂向弯矩，定义见第 1 章第 4 节表 2。

M_{WV}：中拱或中垂状态下垂向波浪弯矩，定义见第 4 章第 3 节 [3.1.1]。

M_{WH}：水平波浪弯矩，定义见第 4 章第 3 节 [3.3.1]。

Q_{SW}：所考虑横舱壁位置处的许用静水剪力，见第 4 章第 7 节表 3。

Q_{WV}：垂向波浪剪力，定义见第 4 章第 3 节［3.2.1］。

C_{WV}, C_{WH}：载荷组合因子，定义见第 4 章第 4 节表 3。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节规定的流程针对船中区域的货舱结构直接强度分析。

1.1.2　货舱结构整体舱段有限元强度分析用于验证在所施加的静、动载荷作用下，以下各项内容满足在可接受的衡准范围内：

a）船体梁和主要支撑构件的应力水平；

b）主要支撑构件的屈曲能力；

c）主要支撑构件的挠度。

2　分析模型

2.1　模型范围

2.1.1　有限元模型的纵向范围应覆盖三个货舱和四个横舱壁。模型端部的横舱壁连同各自壁凳应包括在模型中。模型的两端均应形成垂直平面，任何位于端面位置的强框架应包括在模型中。模型范围的详细要求见附录 1。

2.1.2　有限元模型应包括船舶的两舷，以考虑横向波浪载荷的不对称性。

2.1.3　所有主要构件应在有限元模型中建模，其中包括：内壳和外壳、双层底肋板和桁材系统、横框架和垂直桁材、水平纵桁以及横舱壁和纵舱壁。这些构件上的所有板和扶强材均应建模。

2.2　有限元建模

2.2.1　［2.1.3］所述的所有主要构件（板和扶强材）均应在有限元模型中建模。

2.2.2　有限元网格边界应尽可能模拟实际结构的扶强材排列规律，并应表示扶强材之间板格的真实几何形状。

2.2.3　应以适当的单元类型恰当表示每个构件的刚度。选择单元类型应按照以下准则：

（1）扶强材应以梁单元或具有轴向、扭转、双向剪切和弯曲刚度的杆单元建模。但主要支撑构件的腹板加强筋和面板可用仅具有轴向刚度、沿单元长度剖面积不变的杆单元建模。

（2）板应以具有面外弯曲刚度、双轴向刚度和面内刚度的壳单元建模。对于不承受侧向压力的板可用仅具有双轴向刚度、面内刚度的膜单元建模。

对于膜元和壳元，应仅采用图 1 所示的线性四边形单元或三角形单元。

应尽可能避免三角形单元，特别是在高应力区域和开孔周围、肘板连接处和折角连接处这些应力梯度大的区域。

（3）加筋板可用能恰当表示板格刚度的二维（2D）正交异性单元建模。

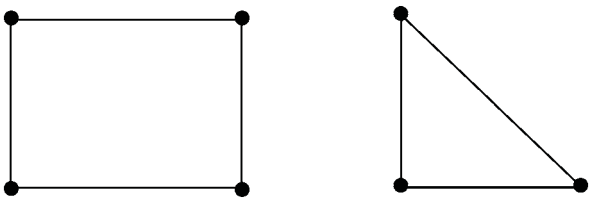


图 1　线性四边形和三角形的膜、壳单元

2.2.4　当有限元模型中没有使用正交异性单元时：

- 网格尺寸应小于等于所表示的纵骨间距或舷侧肋骨间距。
- 扶强材应以杆（rod）和 / 或梁（beam/bar）单元建模。

- 主要支撑构件腹板沿高度方向至少分为 3 个单元。然而，对于底边舱和顶边舱内的横向主要支撑构件，若其高度小于普通纵向扶强材的间距，则主要支撑构件沿高度方向分成 2 个单元是可以接受的。
- 舷侧肋骨和端部肘板的腹板应以壳单元建模，面板应以壳 / 梁 / 杆单元建模。舷侧肋骨腹板沿高度方向可不必划分多个单元。
- 单元长宽比应不大于 4:1。

典型网格示例见附录 1。

2.2.5　当有限元模型中加筋板用正交异性单元表示时：

- 对于双层底纵桁或肋板构件，单元高度应为双层底高度。
- 如扶强材位于两个正交异性单元间的边缘，扶强材既可使用梁 / 杆元建模，也可将扶强材刚度赋到两个正交异性单元上来虚拟建模。
- 如果扶强材位于一个正交异性单元和一个膜 / 壳单元间的边缘，扶强材应以梁 / 杆单元建模。
- 如果扶强材位于两个膜 / 壳单元间的边缘，扶强材应使用梁 / 杆单元建模。
- 如设置双壳，主要支撑构件的腹板沿高度应以一个单元建模。
- 如没有设置双壳，至少三档肋骨应有一根建模，肋骨与其相连的端部肘板的腹板应以壳单元建模，面板应以壳 / 梁元建模。
- 单元长宽比应不大于 2:1。

2.3　边界条件

2.3.1　模型两端应按表 1 和表 2 要求简支。端部两剖面的纵向构件节点应与位于中心线上中和轴处的独立点刚性关联，见表 1。两端独立点应按表 2 约束。

两端的刚性关联　　**表 1**

模型两端的纵向构件节点	平　移			旋　转		
	D_x	D_y	D_z	R_x	R_y	R_z
所有纵向构件	RL	RL	RL	—	—	—
“RL”是指与独立点的相关自由度刚性关联。						

独立点的支撑条件　　**表 2**

独立点的位置	平　移			旋　转		
	D_x	D_y	D_z	R_x	R_y	R_z
模型后端的独立点	—	约束	约束	—	—	—
模型前端的独立点	约束	约束	约束	约束	—	—

2.4　装载工况

2.4.1　一般要求

装载工况由装载模式和载荷工况组成，见第 4 章附录 2，对于常规设计船舶是强制工况。

2.5　船体梁载荷的考虑

2.5.1　一般要求

每个装载工况应与其相应的船体梁载荷相关。载荷组合应采用第 4 章第 4 节对每个载荷工况规定的波浪垂向、水平弯矩和波浪垂向剪力的载荷组合因子（LCFs）。

2.5.2　垂向弯矩分析

应对第 4 章第 7 节表 2 所列的工况进行垂向弯矩分析，最少要求的工况见第 4 章附录 2。

在垂向弯矩分析中，船体梁载荷目标值为在有限元模型的中部舱中心处可能产生的最大垂向弯矩。船体梁目标值应按照表 3 得到，并考虑第 4 章第 7 节表 2 和第 4 章附录 2 规定的垂向静水弯矩。

垂向弯矩分析的目标载荷　　**表 3**

船体梁作用	静水	波浪	考虑位置
垂向弯矩	M_{SW}	$C_{WV}\,M_{WV}$	中部舱中心
垂向剪力	0	0	中部舱中心
水平弯矩	—	$C_{WH}\,M_{WH}$	中部舱中心
水平剪力	—	0	中部舱中心

2. 5. 3　垂向剪力分析

应对第 4 章第 7 节表 3 所列的工况进行垂向剪力分析，最少要求的工况见第 4 章附录 2。

在垂向剪力分析中，船体梁载荷目标值为在有限元模型的中部舱横舱壁处可能产生的最大垂向剪力，折减后的垂向弯矩应同时考虑。船体梁载荷目标值应按照表 4 得到，并考虑第 4 章第 7 节表 2、表 3 和第 4 章附录 2 规定的垂向静水弯矩和剪力。

垂向剪力分析的目标载荷　　**表 4**

船体梁作用	静水	波浪	考虑位置
垂向弯矩	$0.8M_{SW}$	$0.65C_{WV}\,M_{WV}$	横舱壁
垂向剪力	Q_{SW}	Q_{WV}	横舱壁
水平弯矩	—	0	横舱壁
水平剪力	—	0	横舱壁

2. 5. 4　局部载荷的影响

由于施加在模型上的局部载荷引起的船体梁剪力和弯矩分布按照船体梁简单梁理论计算。

模型两端的反作用力和由于局部载荷引起的船体梁剪力和弯矩分布应按照下列公式计算：

$$R_{V_fore}=-\frac{\sum_i (x_i-x_{aft})\vec{f_i}\cdot z}{x_{fore}-x_{aft}} \qquad R_{V_aft}=\sum_i f_i.z+R_{V_fore}$$

$$R_{H_fore}=-\frac{\sum_i (x_i-x_{aft})f_i.y}{x_{fore}-x_{aft}} \qquad R_{H_aft}=-\sum_i f_i.y+R_{H_fore}$$

$$Q_{V_FEM}(x)=R_{V_aft}-\sum_i f_i.z \qquad \text{当 } x_i<x$$

$$Q_{H_FEM}(x)=R_{H_aft}+\sum_i f_i.y \qquad \text{当 } x_i<x$$

$$M_{V_FEM}(x)=(x-x_{aft})R_{V_aft}-\sum_i (x-x_i)f_i.z \qquad \text{当 } x_i<x$$

$$M_{H_FEM}\ x\ =(x-x_{aft})R_{H_aft}+\sum_i (x-x_i)f_i.y \qquad \text{当 } x_i<x$$

式中：x_{aft}——尾端支撑的位置；

x_{fore}——首端支撑的位置；

x——计算位置；

R_{V_aft}，R_{V_fore}，R_{H_aft}，R_{H_fore}——首端和尾端的垂向、水平反作用力；

Q_{V_FEM}，Q_{H_FEM}，M_{V_FEM}，M_{H_FEM}——施加在有限元模型上的局部载荷引起的船体梁垂向、水平剪力和弯矩，Q_{V_FEM}，M_{V_FEM} 和 M_{H_FEM} 的符号与第 4 章第 3 节的规定一致，反力的符号规定为导致正剪力为正；

f_i——所有局部载荷引起的节点 i 处的作用力；

x_i——节点 i 的纵向坐标。

2.5.5　计算船体梁载荷的方法

弯矩分析中，评估主要支撑构件时考虑船体梁载荷 / 应力可以采用两种不同的方法。

a）将船体梁载荷直接施加到有限元模型上（直接法），或

b）将采用侧向载荷的结构分析中得到的应力单独与船体梁应力相叠加（叠加法）。

剪力分析时，应使用直接法。

2.5.6　直接法

直接法中，在三维有限元模型中直接考虑船体梁载荷的影响。为了考虑［2.5.2］和［2.5.3］规定的船体梁载荷和［2.5.4］规定的局部载荷影响，应在模型两端施加平衡载荷。

为了控制目标位置处的剪力，两组强迫弯矩应施加在模型两端。这些弯矩按照下列公式计算：

$$M_{Y_aft_SF} = M_{Y_fore_SF} = \frac{(x_{fore} - x_{aft})}{2}[Q_{V_T}(x_{eq}) - Q_{V_FEM}(x_{eq})]$$

$$M_{Z_aft_SF} = M_{Z_fore_SF} = \frac{(x_{fore} - x_{aft})}{2}[Q_{H_T}(x_{eq}) - Q_{H_FEM}(x_{eq})]$$

为了控制目标位置处的弯矩，另外两组强迫弯矩应施加在模型两端。这些弯矩按照下列公式计算：

$$M_{Y_aft_BM} = -M_{Y_fore_BM} = -\left[M_{V_T}(x_{eq}) - M_{V_FEM}(x_{eq}) - M_{Y_aft_SF}\left(2\frac{x_{eq} - x_{aft}}{x_{fore} - x_{aft}} - 1\right)\right]$$

$$M_{Z_aft_BM} = -M_{Z_fore_BM} = -\left[M_{H_T}(x_{eq}) - M_{H_FEM}(x_{eq}) - M_{Z_aft_SF}\left(2\frac{x_{eq} - x_{aft}}{x_{fore} - x_{aft}} - 1\right)\right]$$

式中：

x_{eq}——船体梁载荷评估时所考虑的位置；

Q_{V_FEM}，Q_{H_FEM}，M_{V_FEM}，M_{H_FEM}——定义见［2.5.4］；

Q_{V_T}，Q_{H_T}，M_{V_T}，M_{H_T}——x_{eq} 位置处的垂向、水平剪力和弯矩目标值，定义见表 7-3 或表 7-4，Q_{V_T}，M_{V_T} 和 M_{H_T} 的符号与第 4 章第 3 节的规定一致；

$M_{Y_aft_SF}$，$M_{Y_fore_SF}$，$M_{Y_aft_BM}$，$M_{Y_fore_BM}$——为控制垂向剪力和弯矩而施加在模型前后端的强迫弯矩，绕 y 轴顺时针方向为正，其符号规定与有限元模型坐标轴一致，其他弯矩、剪力和反力的符号与第 4 章第 3 节的规定一致；

$M_{Z_aft_SF}$，$M_{Z_fore_SF}$，$M_{Z_aft_BM}$，$M_{Z_fore_BM}$——为控制水平剪力和弯矩而施加在模型前后端的强迫弯矩，绕 z 轴顺时针方向为正，其符号规定与有限元模型坐标轴一致，其他弯矩、剪力和反力的符号与第 4 章第 3 节的规定一致；

模型端部的强迫弯矩可以由以下方法生成。

- 模型端部剖面施加分布力，产生的合力应等于零，产生的弯矩应等于强迫弯矩。分布力应施加到纵向构件节点上，边界条件按照表 1 规定。分布力根据薄壁梁理论确定。
- 在［2.3.1］中定义的独立点上施加集中弯矩。

2.5.7　叠加法

叠加法中，垂向弯矩分析时，按照下式计算得到的应力应与三维有限元分析的纵向构件每个单元

的纵向应力叠加。垂向剪力分析应按照［2.5.6］。

$$\sigma_{SIM} = \frac{M_{V_T}}{I_Y/(z-N)} - \frac{M_{H_T}}{I_Z/y}$$

式中：M_{V_T}，M_{H_T}——分别为所考虑剖面的垂向、水平弯矩目标值，包括局部载荷引起的修正，取为：

$$M_{V_T} = M_{SW} + C_{WV} \cdot M_{WV} - M_{V_FEM}$$

$$M_{H_T} = C_{WH} \cdot M_{WH} - M_{H_FEM}$$

I_Y——剖面绕水平中和轴的垂向惯性矩，按照第 3 章第 2 节［3. 2. 1］计算；

I_Z——剖面的水平惯性矩，按照第 3 章第 2 节［3. 2. 1］计算；

N——船体横剖面重心的 Z 坐标，定义见第 5 章第 1 节；

y——单元的 Y 坐标；

z——单元的 Z 坐标。

3　分析衡准

3.1　一般要求

3. 1. 1　评估货舱

三舱段（1+1+1）有限元模型的中部舱的所有主要支撑构件（包括舱壁），应进行三维有限元分析评估。

3. 1. 2　结构分析结果应满足屈服强度、屈曲强度和主要构件挠度的衡准。

3.2　屈服强度评估

3. 2. 1　参考应力

参考应力应为有限元分析中得到的平面单元（壳或膜）中心的 Von Mise 相当应力，或线单元（梁或杆）的轴向应力，有限元分析应按照［2. 5. 4］或［2. 5. 5］考虑船体梁载荷。

如果 FE 模型中没有考虑开孔效应，开孔周围的参考应力应按照腹板高度和开孔高度之比调整剪切应力的方法适当修正。

当所评估的单元小于［2. 2. 4］或［2. 2. 5］中定义的标准网格尺寸时，参考应力应由标准网格尺寸内单元上的平均应力获得。

3. 2. 2　相当应力

Von Mise 相当应力按照下式计算：

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

式中：σ_x，σ_y——单元正应力，N/mm^2；

τ_{xy}——单元剪应力，N/mm^2。

在叠加法中，应力 σ_{SIM}（定义见［2. 5. 7］）应与纵向应力分量叠加。

3. 2. 3　许用应力

有限元模型中没有正交各向异性单元（见［2. 2. 4］）时，参考应力应不超出 235/k　N/mm^2，其中 k 为材料系数，定义见第 3 章第 1 节。

有限元模型中包含正交异性单元（见［2. 2. 5］）时，参考应力应不超过 205/k　N/mm^2，其中 k 为材料系数，定义见第 3 章第 1 节。

3.3　屈曲和极限强度评估

3. 3. 1　一般要求

主要支撑构件的板格屈曲和极限强度评估应按照第 6 章第 3 节进行。

3.3.2　板格应力

每块板格的应力应按照下列步骤得到：

1）当网格模型与基本板格的几何形状不同时，作用于基本板格上的应力 σ_x、σ_y 和 τ 应将周围网格的单元应力或附录 2 所述方法得到的位移用外插和 / 或内插法得到。

2）在屈曲评估中，由于泊松效应，叠加法或直接法两种分析方法得到的应力均应进行折减，修正应在局部、整体载荷应力求和之后进行。

当 σ_x*，σ_y* 应力均为压应力时，应力折减应按照下式进行：

$$\sigma_x = (\sigma_x^* - 0.3\sigma_y^*)/0.91$$

$$\sigma_y = (\sigma_y^* - 0.3\sigma_x^*)/0.91$$

如压应力满足条件 $\sigma_y^* < 0.3\sigma_x^*$，则 $\sigma_y = 0$，$\sigma_x = \sigma_x^*$

如压应力满足条件 $\sigma_x^* < 0.3\sigma_y^*$，则 $\sigma_x = 0$，$\sigma_y = \sigma_y^*$

σ_x*，σ_y*：包含泊松效应的应力。

3）通过适当的线性近似，沿所考虑的屈曲板格边缘确定应力分布，如图 2 所述。

4）按照第 6 章第 3 节计算边缘因子 ψ。

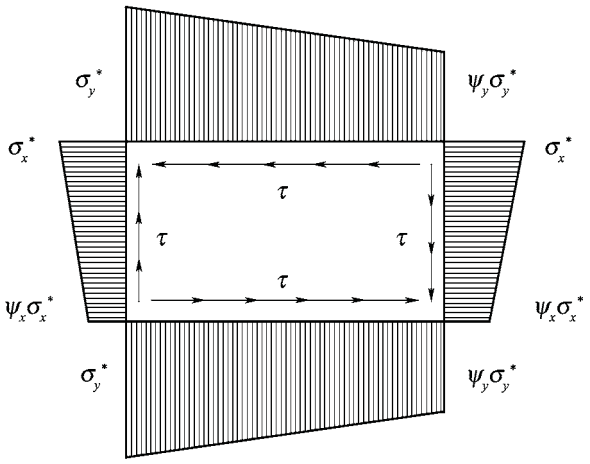


图 2　用于屈曲评估的板格应力

3.3.3　边界条件

评估时，应根据应力分布和开孔几何形状将第 6 章第 3 节表 2 的屈曲工况 1、2、5 或 6 施加到屈曲板格上。

如果实际边界条件与简支条件有明显不同，第 6 章第 3 节表 2 的其他工况可施加到屈曲板格上。

3.3.4　安全因子

板的屈曲和极限强度评估安全因子应取 1.0。

3.4　主要支撑构件的挠度

有限元分析中得到的外底板相对扰度，δ_{max}，mm，应不超过以下衡准：

$$\delta_{max} \leqslant \frac{l_i}{150}$$

式中：δ_{max}——由如下公式得到的最大相对扰度，不包括次要扰度，mm：

$$\delta_{max} = \max\left(|\delta_{B1}|, |\delta_{B2}|\right)$$

其中：δ_{B1}，δ_{B2}——见图 3 所示；

l_i——双层底平坦部分的长度或宽度，mm，取小者。

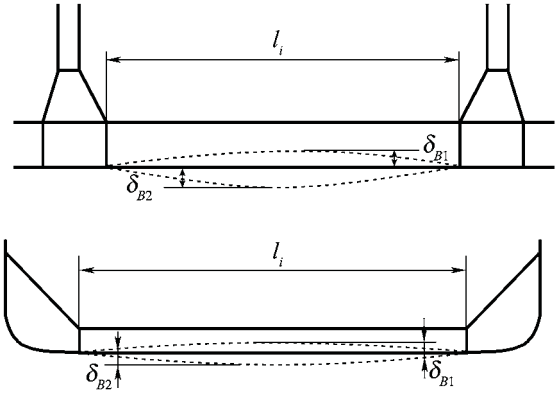


图 3　相对扰度的定义

第 3 节　详细应力评估

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节给出了用细化网格进行详细应力评估的步骤，以评估主要支撑构件的高应力区域。

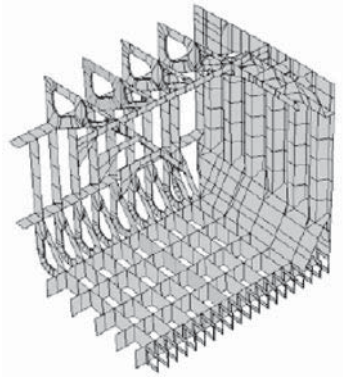
用符合第 2 节［2.2.4］建模准则的模型进行第 2 节要求的整体舱段分析时，对表 1 中所列的区域，如果非正交异性单元的计算应力超过第 2 节［3.2.3］规定的许用应力的 95% 而小于 100%，或正交异性单元的计算应力超过第 2 节［3.2.3］规定的许用应力的 85% 而小于 100%时，应予以细化。

2　分析模型

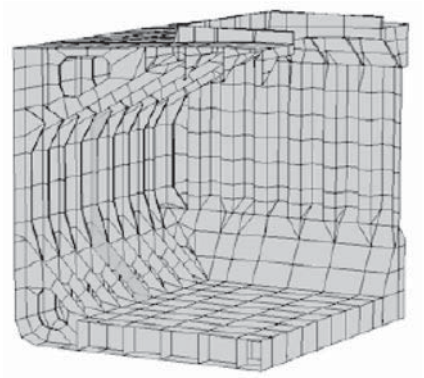
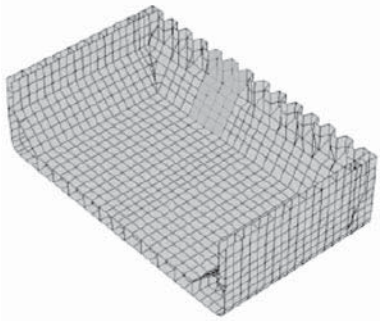
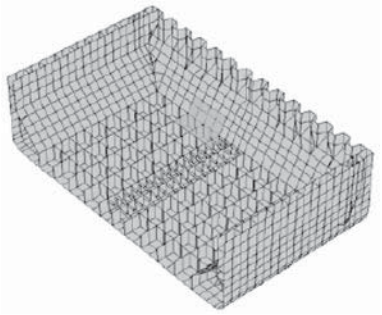
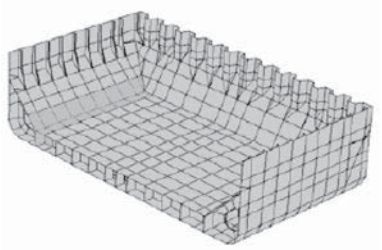
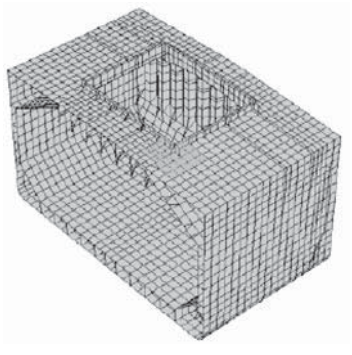
2.1　应细化的区域

2.1.1　用符合第 2 节［2.2.4］建模准则的模型进行第 2 节要求的整体舱段分析时，若表 1 中所列区域计算应力超过第 2 节［3.2.3］规定的许用应力的 95%，则应予以细化。

应细化的典型细部　　**表 1**

构　件	关注区域	补充说明	描　述
主要支撑构件	双舷侧散货船应力最大的横向主要支撑构件	应力最大的横向主要支撑构件的细化，在以下部位： • 双层底 • 底边舱 • 双舷侧 • 顶边舱	

续上表

构　　件	关 注 区 域	补 充 说 明	描　　述
主要支撑构件	单舷侧散货船应力最大的横向主要支撑构件	应力最大的横向主要支撑构件的细化，在以下部位： • 双层底 • 底边舱 • 顶边舱 • 有端肘板并与底边舱和顶边舱相连的舷侧肋骨	
横舱壁及相关底凳	槽条与底凳的连接部应力最大处	高应力单元（包括底凳隔板）应建模	
	底凳与内底的连接部应力最大处	高应力单元应建模	
内底和底边舱斜板及相关支撑构件	内底与底边舱斜板的连接部应力最大处	下列构件应力最大处的细化 • 内底 • 底边舱斜板 • 肋板 • 纵桁	
甲板	应力最大的舱口角隅处的甲板	高应力单元应建模	

2.1.2　用符合第 2 节［2.2.5］建模准则的模型进行第 2 节要求的整体舱段分析时，下列所有高应力区域均应予以细化：

- 计算应力超过第 2 节［3.2.3］规定许用应力的 85% 的区域。
- 表 1 所示主要支撑构件的典型细部。
- 表 1 所示所考虑货舱的横舱壁的典型细部。

2.2　细化方法

2.2.1　高应力区域的细化可使用两种方法：

- 细化区域可直接包含在整体舱段分析（第 7 章第 2 节）的有限元模型中（见图 1）。
- 细化区域的详细应力可用单独的子模型分析。

2.3　建模

2.3.1　单元类型

每个构件应按照第 2 节［2.2.3］的建模准则用与结构相匹配的单元类型建模，正交异性单元不得用于细化区域。

2.3.2　网格

细化区域的单元尺寸应为相应区域普通扶强材间距的四分之一左右，例如：对普通扶强材间距为 800 mm 的结构，单元尺寸为 200 ×200mm。

另外，主要支撑构件腹板和单舷侧散货船舷侧肋骨腹板的高度方向至少应划分 3 个单元。单元的长宽比不超过 3，四边形单元的角应尽可能为 90°，或应在 45° 和 135° 之间。

2.3.3　子模型范围

子模型的最小范围是：子模型的边界应对应于相邻支撑构件所在的位置（见图 2）。

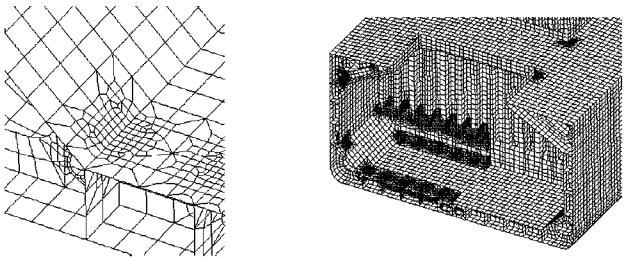


图 1　细化网格的“直接”建模

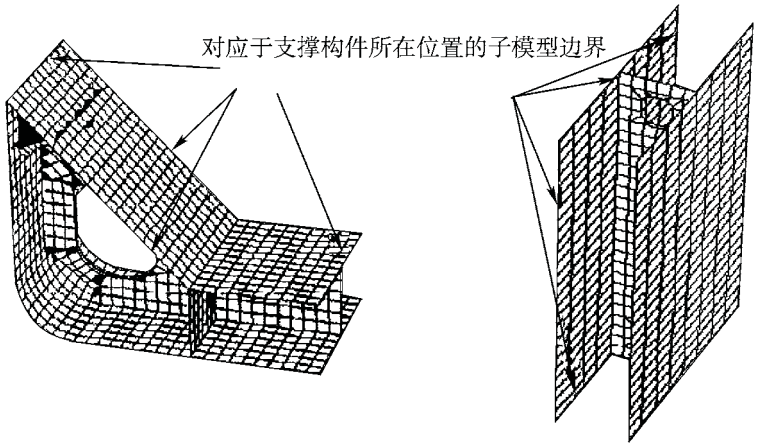


图 2　子模型的边界

2.4　装载工况

2.4.1　详细应力评估中应考虑的装载工况为：作用于按照第 2 节建立的整体舱段分析三维有限元模型上，且在所考虑位置处引起超出［2.1］规定衡准应力的装载工况。

2.5　边界条件

2.5.1　第 2 节［2.3.1］规定的边界条件应施加到包含细化网格的整体舱段有限元模型上。

2.5.2　将第 2 节整体舱段分析得到的节点力或节点位移施加到子模型上。如给出节点力，位于子模型边界上的支撑构件应包含在子模型中。如给出节点位移并且子模型中有附加节点，附加节点的节点位移用合适的内插法求得。

3　分析衡准

3.1　许用应力

3.1.1　细化区域内的板单元的 Von Mises 相当应力和线单元的轴向应力应不超过 $280/k$ N/mm^2，k 为材料系数，定义见第 3 章第 1 节。

如所用单元明显小于［2.3.2］规定尺寸，本衡准适用于与［2.3.2］规定尺寸的单个单元相当的区域中所包含的所有单元的平均应力。

第 4 节　疲劳强度评估的热点应力分析

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节给出了用有限元方法计算热点应力的步骤，用于第 8 章第 1 节表 1 规定的各位置的疲劳强度评估。

1.1.2　热点应力分析时应考虑［2.2］规定的装载工况和载荷工况。

2　分析模型

2.1　建模

2.1.1　疲劳评估的热点应力应由整体舱段模型得到，其中疲劳评估区域用精细网格建模，如图 1 所示。

另外，热点应力也可以从子模型中得到，采用第 3 节［2］的相似步骤。

2.1.2　从热点位置向外所有方向至少四分之一肋距范围内应使用精细网格建模，精细网格区域的单元尺寸应近似等于评估区域的净厚度，单元的长宽比应接近 1。

2.1.3　网格尺寸应从精细网格逐渐过渡到细化网格，过渡区域如图 2 所示。过渡区域内所有构件，包含肘板、扶强材、纵骨、横框架面板等，应使用具有弯曲和膜特性的壳单元建模。焊接的几何形状不必建模。

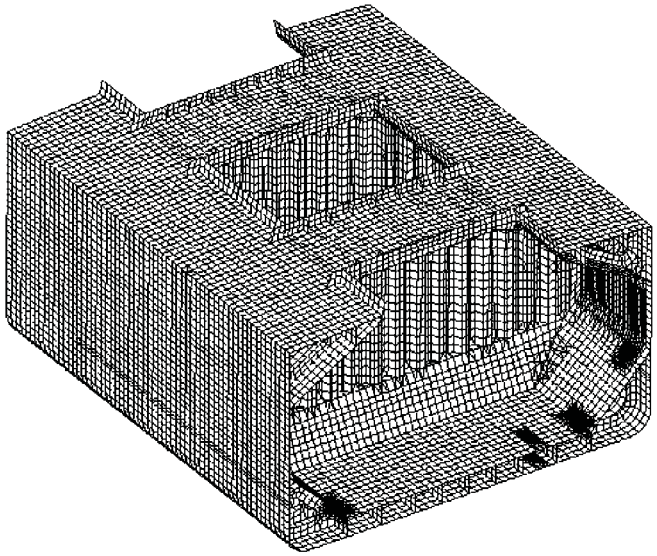
2.2　装载工况

2.2.1　应考虑的装载工况见第 8 章第 1 节表 2 规定和第 4 章附录 3 说明。

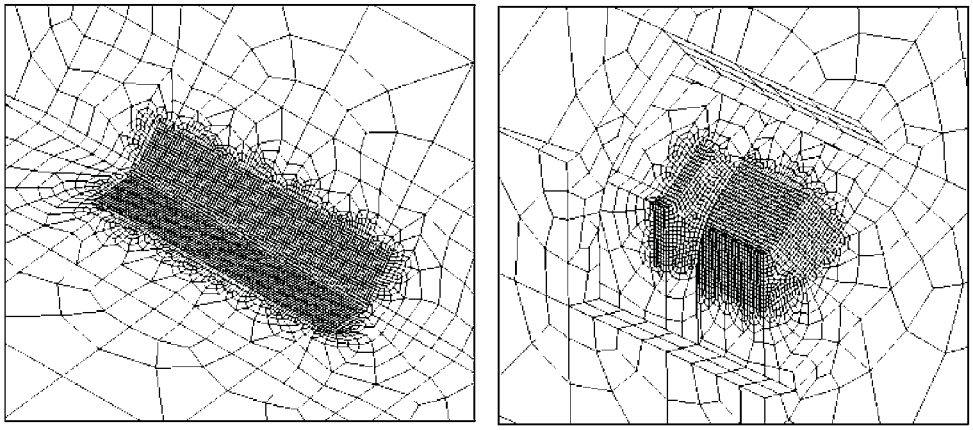
2.2.2　应按 10^{-4} 概率水平计算设计载荷。

2.3　边界条件

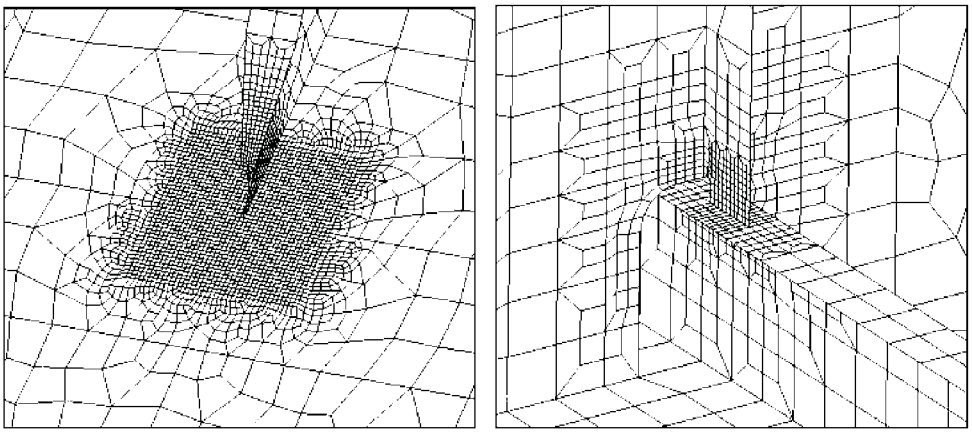
2.3.1　第 2 节［2.3.1］规定的边界条件应施加到包含局部精细网格的整体舱段有限元模型或采用子模型法的母模型上。用子模型时，由母模型获得的节点力或节点位移应施加到子模型上。



(a)



(b)



(c)　　(d)

图 1　精细网格模型示例

（a）有精细网格的整体舱段模型的部分；（b）底边舱折角部分；（c）货舱肋骨的端部；（d）纵骨

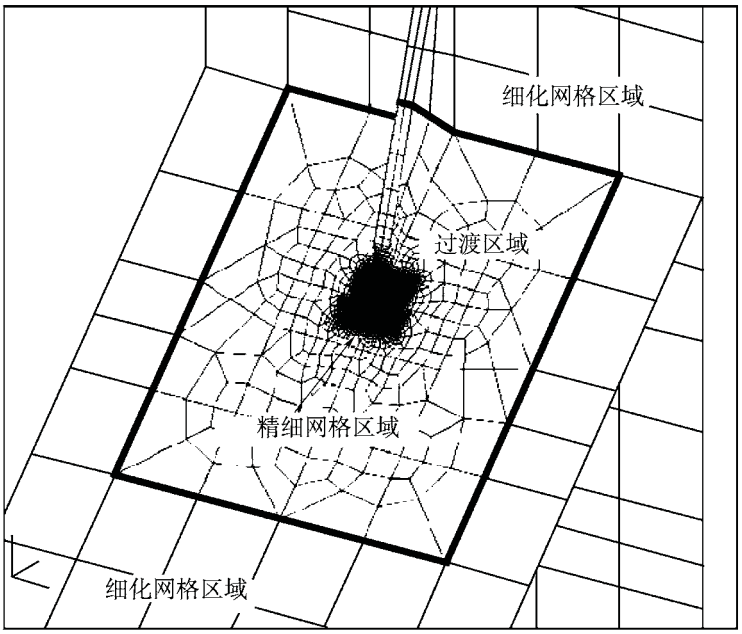


图 2　精细网格区域、过渡区域和细化网格区域

3　热点应力

3.1　定义

3.1.1　热点表面的结构几何应力称为热点应力。

3.1.2　用叠加法得到的热点应力应按照第 8 章第 2 节 [2.2] 和 [3.2] 进行修改。

3.2　热点应力评估

3.2.1　精细网格的热点应力应用线性外插法求得。应由位于 0.5 倍和 1.5 倍净厚度处的表面应力线性外插到热点位置，见图 3 和图 4。

热点处与假定疲劳裂纹夹角大于 45° 的主应力应视为热点应力。

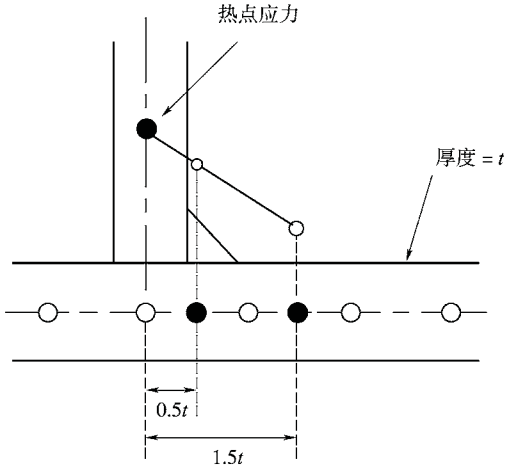


图 3　两板相交处热点应力的定义

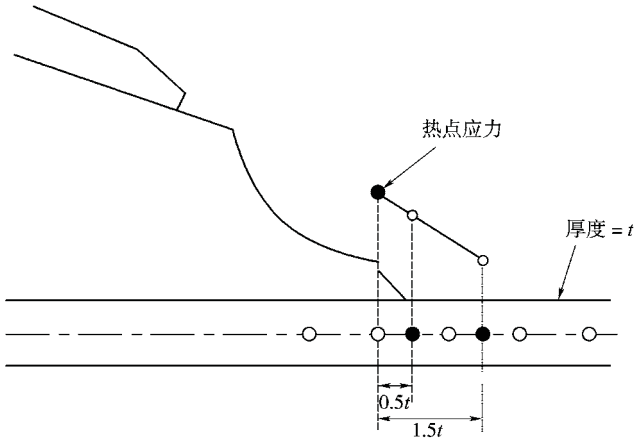


图 4　板和肘板相交处热点应力的定义

3.2.2　考虑实际热点位置和假定热点位置的差异以及应力梯度随两板之间的夹角 θ（0~90°）不同而有所差异，按 [3.2.1] 得到的两板相交处的热点应力应乘上如下定义的修正因子 λ。

- 平板间焊接交线：

$$\lambda=\begin{cases}0.8 & \theta \leqslant 75\\ 0.8-\dfrac{0.2}{15}(\theta-75) & 75<\theta\end{cases}$$

弯曲板和平板间焊接交线：

$\lambda=0.7$　（如：弯曲形的舭部折角部分）

3.2.3　非焊接区域或者自由边上的热点应力应由相邻两个单元的主应力外插得到，如图 5 所示。

3.3　底边舱折角部分的简化方法

3.3.1　在底边舱折角部分，热点应力 $\sigma_{hotspot}$ 可用名义应力 $\sigma_{nominal}$ 乘上［3.3.3］规定的应力集中因子 K_{gl} 得到：

$$\sigma_{hotspot}=K_{gl}\cdot\sigma_{nominal}$$

3.3.2　热点位置的名义应力应按距热点位置1.5倍和2.5倍肋距处的膜应力外插确定，如图6所示。

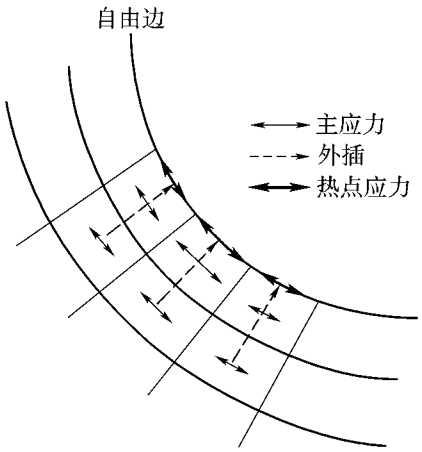


图 5　自由边的热点应力定义

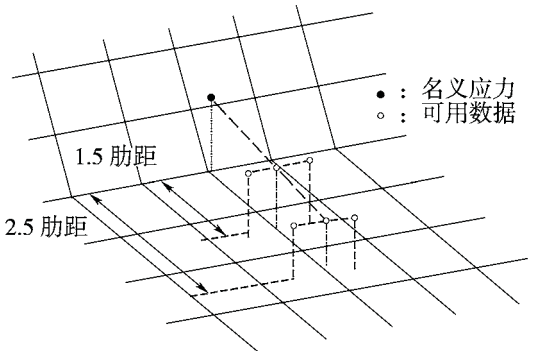


图 6　底边舱折角部分的名义应力定义

3.3.3　底边舱折角部分的几何应力集中因子 K_{gl} 按下式计算：

$$K_{gl}=K_0K_1K_2K_3K_4$$

式中：K_0——取决于所考虑结构尺寸的应力集中因子，定义见表 1；

K_1——取决于折角连接类型的修正系数，定义见表 2；

K_2——取决于横框架厚度增量的修正系数，定义见表 2，如无厚度增量则取为 1.0；

K_3——取决于插入水平封槽板或纵向肋骨（见图 7）的修正系数，定义见表 2，如无水平封槽板或纵向肋骨则取为 1.0；

K_4——取决于插入横向肋骨的修正系数，定义见表 2（见图 8），如无横向肋骨则取为 1.0。

应力集中因子 K_0　　表 1

FE模型中的净板厚t（mm）	底边舱斜板与水平面夹角θ（°）			
	40	45	50	90
16	3.0	3.2	3.4	4.2
18	2.9	3.1	3.3	4.0
20	2.8	3.0	3.2	3.8
22	2.7	2.9	3.1	3.6
24	2.6	2.8	3.0	3.5
26	2.6	2.7	2.9	3.4

续上表

FE模型中的净板厚t（mm）	底边舱斜板与水平面夹角θ（°）			
	40	45	50	90
28	2.5	2.7	2.8	3.3
30	2.4	2.6	2.7	3.2

注：作为选择，K_0 也可以用下式确定：

$$K_0 = \frac{0.14\theta \cdot (1.15 - 0.0033\theta)}{(0.5t)^{(0.2+0.0028\theta)}}$$

修 正 系 数　　表 2

折角类型	K_1	K_2	K_3	K_4
焊缝类型	1.7	0.9	0.9	0.9
弯曲类型	1.75 ；$R/t<4$ 2.80 ；$R/t>8$		0.85 ；$R/t<4$ 0.55 ；$R/t>8$	

注：（1）当 $4 \leqslant R/t \leqslant 8$ 时，线性内插，R——弯曲部分半径；t——板厚。

（2）在应用修正系数 K_2 时，构件的布置应使圆弧部分的弯曲变形得到有效抑制。

（3）腹板厚度的增加量根据内底板的板厚取值。

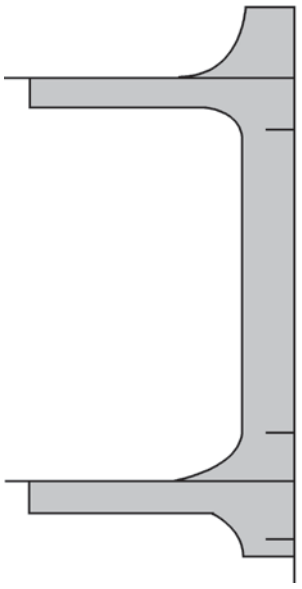


图 7　水平角撑板或纵向肋骨插入示例

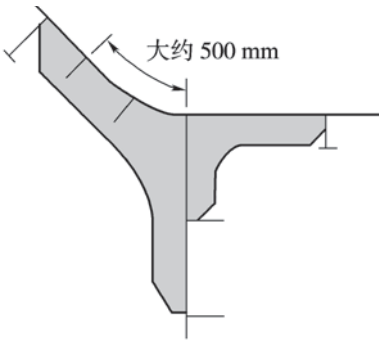


图 8　横向肋骨插入示例

附录 1　有限元模型的纵向范围

1　纵向范围（图 1）

分析时建议采用三个货舱长度的有限元模型，其中中间货舱为评估目标。

三舱段有限元模型将边界条件对被评估中部货舱的不利影响降至最低。有限元模型的示例见附图 2。

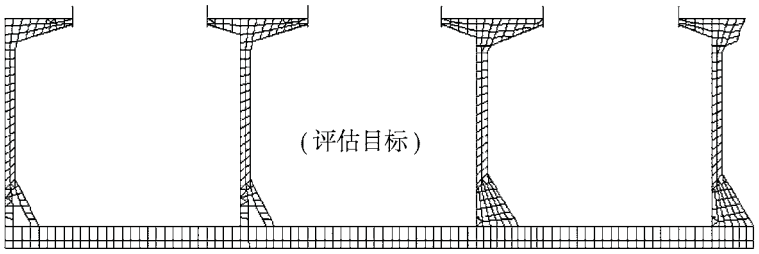


图 1　有限元模型的纵向范围

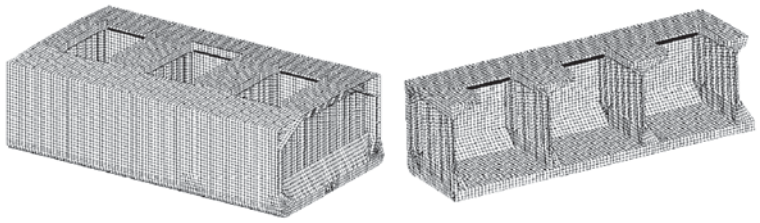


图 2　有限元模型的示例

2　典型网格（图 3）

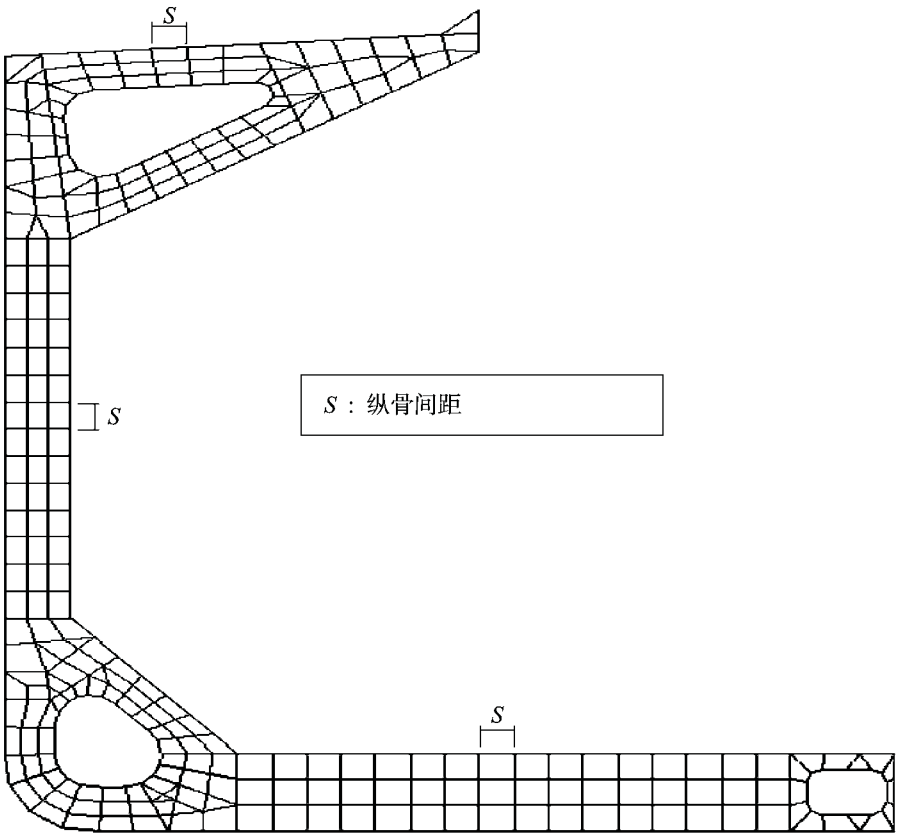


图 3　一个强框架的典型网格

附录 2　有限元分析中基于位移的屈曲评估

符号

本节未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

a：板格长边的长度。

b：板格短边的长度。

x：平行于 a 的方向，取为纵向。

y：平行于 b 的方向，取为横向。

C：系数，取为：

对于 4 节点屈曲板格　　$C=\dfrac{E}{2(1-\nu^2)}$

对于 8 节点屈曲板格　　$C=\dfrac{E}{4(1-\nu^2)}$

v：泊松比。

m：系数，取为：

$$m=1-v$$

1　引言

1.1

1.1.1　本附录给出了从有限元计算得到基本板格（EPP）的屈曲应力和边缘应力比的方法。该方法称为“位移法”。

2　位移法

2.1　一般要求

2.1.1　由于有限元网格一般不与屈曲板格相对应，基本板格的节点可以映射到有限元网格对应，这些节点的位移可从有限元计算中得到。

当对位移进行任何操作时，应采用位移的全数值精度。

2.1.2　4 节点和 8 节点板格

如果 EPP 的长宽比小于 3 且沿 EPP 纵向的纵向应力差别较小时，可以使用 4 节点板格。否则应使用 8 节点板格。

2.1.3　节点位移计算

可能有以下三种不同的节点位置：

- 当屈曲板格的节点位于有限元节点上时，位移可以直接转换。
- 当屈曲板格的节点位于平面应力单元的边界上时，位移可在边界上的有限元节点之间采用线性内插得到。
- 当屈曲板格的节点位于单元内时，位移可以在单元所有节点之间采用双向线性内插得到。

2.1.4　局部系统的转换

将节点位移从总体有限元系统转换至屈曲板格局部系统应按下式进行：

$$(u)=[\lambda]\cdot(u_g)$$

式中：(u)——局部位移矢量；

(u_g)——总体位移矢量；

[λ]——转换矩阵（2 × 3），由两组坐标轴所形成夹角的方向余弦组成。

2.2　屈曲应力和边缘应力比的计算

2.2.1　在基本板格的角上获得的位移应视为获得特定点应力值的输入。对于 4 节点屈曲板格，这些点相同；而对于 8 节点屈曲板格，这些点不同。位置和编号规律可按图 1 和图 2 取。

按照第 6 章第 3 节，EPP 角节点处得到的应力可以直接用于屈曲评估的输入。第 7 章规定的有限元屈曲评估应考虑的屈曲载荷工况为第 6 章第 3 节表 2 的屈曲载荷工况 1、2 和 5 和第 6 章第 3 节表 3 的屈曲载荷工况 1a、1b、2 和 4。在特殊情况下，屈曲评估可以用其他的屈曲载荷工况进行手工计算。

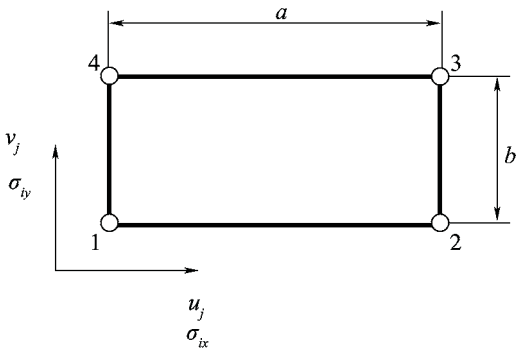


图 1　4 节点屈曲板格

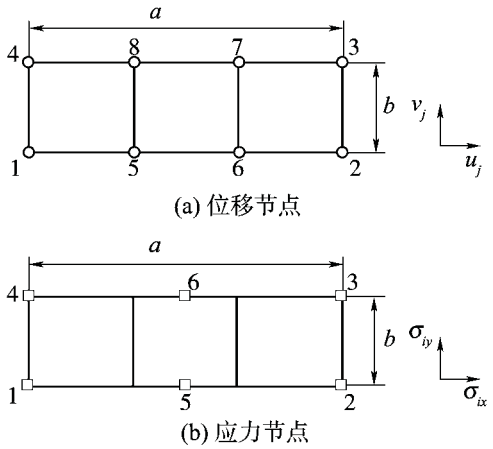


图 2　8 节点屈曲板格

2.2.2　4 节点屈曲板格

4 节点屈曲板格的应力位移关系（压应力为正）

通过下式可由 EPP 角节点的位移得到这些节点的应力：

$$\begin{pmatrix} \sigma^*_{1x} \\ \sigma^*_{1y} \\ \tau_1 \\ \sigma^*_{2x} \\ \sigma^*_{2y} \\ \tau_2 \\ \sigma^*_{3x} \\ \sigma^*_{3y} \\ \tau^*_3 \\ \sigma^*_{4x} \\ \sigma^*_{4y} \\ \tau_4 \end{pmatrix} = -C \cdot \begin{pmatrix} -2/a & -2\nu/a & 2/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 2\nu/b \\ -2\nu/a & -2/b & 2\nu/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 2/b \\ -m/b & -m/a & 0 & m/a & 0 & 0 & m/b & 0 \\ -2/a & 0 & 2/a & -2\nu/b & 0 & 2\nu/b & 0 & 0 \\ -2\nu/a & 0 & 2\nu/a & -2/b & 0 & 2/b & 0 & 0 \\ 0 & -m/a & -m/b & m/a & m/b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2\nu/b & 2/a & 2\nu/b & -2/a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2/b & 2\nu/a & 2/b & -2\nu/a & 0 \\ 0 & 0 & -m/b & 0 & m/b & m/a & 0 & -m/a \\ 0 & -2\nu/b & 0 & 0 & 2/a & 0 & -2/a & 2\nu/b \\ 0 & -2/b & 0 & 0 & 2\nu/a & 0 & -2\nu/a & 2/b \\ -m/b & 0 & 0 & 0 & 0 & m/a & m/b & -m/a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{pmatrix}$$

式中：$(\sigma_{1x}^*,\sigma_{1y}^*,\tau_1,\cdots\sigma_{4x}^*,\sigma_{4y}^*,\tau_4)^T=(\sigma^*)$，单元的应力矢量；

$(u_1,v_1,\cdots u_4,v_4)^T=(u)$，局部节点的位移矢量。

当 σ_x^* 和 σ_y^* 均为压应力时，σ_x 和 σ_y 应按照下式得出：

$$\sigma_x=(\sigma_x^*-0.3\sigma_y^*)/0.91$$

$$\sigma_y=(\sigma_y^*-0.3\sigma_x^*)/0.91$$

如压应力满足条件 $\sigma_y^* < 0.3\sigma_x^*$，则 $\sigma_y=0$，$\sigma_x=\sigma_x^*$

如压应力满足条件 $\sigma_x^* < 0.3\sigma_y^*$，则 $\sigma_x=0$，$\sigma_y=\sigma_y^*$

这样可以导出以下应力矢量：

$$(\sigma)=(\sigma_{1x},\sigma_{1y},\tau_1,\cdots\sigma_{4x},\sigma_{4y},\tau_4)^T$$

最后，相关屈曲应力和边缘应力比按下式得出：

- LC1：纵向受压

$$\sigma_l=\max\left(\frac{\sigma_{1x}+\sigma_{4x}}{2},\frac{\sigma_{2x}+\sigma_{3x}}{2}\right)$$

$$\Delta\sigma_l=\frac{1}{2}(-\sigma_{1x}+\sigma_{4x}-\sigma_{2x}+\sigma_{3x})$$

$$\sigma_x=\sigma_l+0.5|\Delta\sigma_l|$$

$$\psi_x=1-|\Delta\sigma_l|/\sigma_x$$

- LC2：横向受压

$$\sigma_t=0.25\sum_{i=1}^{4}\sigma_{iy}$$

$$\Delta\sigma_t=\frac{1}{2}(-\sigma_{1y}-\sigma_{4y}+\sigma_{2y}+\sigma_{3y})$$

$$\sigma_y=\sigma_t+0.5|\Delta\sigma_t|$$

$$\psi_y=1-|\Delta\sigma_t|/\sigma_y$$

- LC5：剪切

$$\tau=\left|\frac{\tau_1+\tau_2+\tau_3+\tau_4}{4}\right|$$

2.2.3　8 节点屈曲板格

8 节点屈曲板格的应力位移关系（压应力为正）。

通过下式可由 EPP 角节点的位移获得这些节点和中间位置处的应力：

$$\begin{pmatrix}\sigma_{1x}^*\\ \sigma_{1y}^*\\ \tau_1\\ \sigma_{2x}^*\\ \sigma_{2y}^*\\ \tau_2\\ \sigma_{3x}^*\\ \sigma_{3y}^*\\ \tau_3\\ \sigma_{4x}^*\\ \sigma_{4y}^*\\ \tau_4\\ \sigma_{5x}^*\\ \sigma_{5y}^*\\ \tau_5\\ \sigma_{6x}^*\\ \sigma_{6y}^*\\ \tau_6\end{pmatrix}=-C\cdot\begin{pmatrix}-12/a & -4\nu/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4\nu/b & 12/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ -12\nu/a & -4/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4/b & 12\nu/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ -2m/b & -6m/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 2m/b & 0 & 0 & 6m/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 12/a & -4\nu/b & 0 & 4\nu/b & 0 & 0 & 0 & 0 & -12/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 12\nu/a & -4/b & 0 & 4/b & 0 & 0 & 0 & 0 & -12\nu/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 12m/b & 6m/a & 2m/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6m/a & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -4\nu/b & 12/a & 4\nu/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -12/a & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -4/b & 12\nu/a & 4/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -12\nu/a & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & -2m/b & 0 & 2m/b & 6m/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6m/a & 0 & 0\\ 0 & -4\nu/b & 0 & 0 & 0 & 0 & -12/a & 4\nu/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 12/a & 0\\ 0 & -4/b & 0 & 0 & 0 & 0 & -12\nu/a & 4/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 12\nu/a & 0\\ -2m/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2m/b & -6m/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6m/a\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -12/a & -2\nu/b & 12/a & -2\nu/b & 0 & 2\nu/b & 0 & 2\nu/b\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -12\nu/a & -2/b & 12\nu/a & -2/b & 0 & 2/b & 0 & 2/b\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -m/b & -6m/a & -m/b & 6m/a & m/b & 0 & m/b & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2\nu/b & 0 & -2\nu/b & 12/a & 2\nu/b & -12/a & 2\nu/b\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2/b & 0 & -2/b & 12\nu/a & 2/b & -12\nu/a & 2/b\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -m/b & 0 & -m/b & 0 & m/b & 6m/a & m/b & -6m/a\end{pmatrix}\begin{pmatrix}u_1\\ v_1\\ u_2\\ v_2\\ u_3\\ v_3\\ u_4\\ v_4\\ u_5\\ v_5\\ u_6\\ v_6\\ u_7\\ v_7\\ u_8\\ v_8\end{pmatrix}$$

式中：$(\sigma^*)=(\sigma_{1x}^*,\sigma_1y^*,\tau_1,\cdots\sigma_{6x}^*,\sigma_{6y}^*,\tau_6)^T$

$(u)=(u_{1x},v_{1y},\cdots u_{8x},v_{8y})^T$

当 σ_x^* 和 σ_y^* 均为压应力时，σ_x 和 σ_y 应按照下式得出：

$$\sigma_x=(\sigma_x^*-0.3\sigma_y^*)/0.91$$

$$\sigma_y=(\sigma_y^*-0.3\sigma_x^*)/0.91$$

如压应力满足条件 $\sigma_y^* < 0.3\sigma_x^*$，则 $\sigma_y=0$，$\sigma_x=\sigma_x^*$

如压应力满足条件 $\sigma_x^* < 0.3\sigma_y^*$，则 $\sigma_x=0$，$\sigma_y=\sigma_y^*$

这样可以导出以下应力矢量：

$(\sigma)=(\sigma_{1x},\sigma_{1y},\tau_1,\cdots\sigma_{6x},\sigma_{6y},\tau_6)^T$

相关屈曲应力按下式得出：

- LC1：纵向受压

$$\sigma_l=\max\left(\frac{\sigma_{1x}+\sigma_{4x}}{2},\frac{\sigma_{6x}+\sigma_{5x}}{2},\frac{\sigma_{2x}+\sigma_{3x}}{2}\right)$$

$$\Delta\sigma_l=\frac{1}{3}(\sigma_{4x}-\sigma_{1x}-\sigma_{5x}+\sigma_{6x}+\sigma_{3x}-\sigma_{2x})$$

$$\sigma_x=\sigma_l+0.5|\Delta\sigma_l|$$

$$\psi_x=1-|\Delta\sigma_l|/\sigma_x$$

- LC2：横向受压

$$\sigma_t=\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6}\sigma_{iy}$$

$$\Delta\sigma_t=\frac{1}{2}(-\sigma_{1y}-\sigma_{4y}+\sigma_{2y}+\sigma_{3y})$$

$$\sigma_y=\sigma_t+0.5|\Delta\sigma_t|$$

$$\psi_y=1-|\Delta\sigma_t|/\sigma_y$$

- LC5：剪切

$$\tau=\mathrm{Max}\left\{\left|\frac{\tau_1+\tau_4+\tau_5+\tau_6}{4}\right|,\left|\frac{\tau_2+\tau_3+\tau_5+\tau_6}{4}\right|\right\}$$

第8章 结构细部疲劳校核

第1节 总 体 考 虑

1 一般要求

1.1 适用范围

1.1.1 本章的要求适用于船长150 m及以上、在北大西洋营运寿命为25年的船舶。

1.1.2 本章的要求适用于波浪载荷引起的周期性疲劳。振动、低周载荷或砰击之类冲击载荷引起的疲劳不在本章范围之内。

1.1.3 本章的要求适用于最小屈服应力小于400 N/mm^2的钢材。

1.2 净尺寸

1.2.1 本章中涉及的所有尺寸和应力均是根据第3章第2节所得的净尺寸。

1.3 目标构件

1.3.1 在货舱区域内，应对表1所述的构件在所考虑位置处进行疲劳强度评估。

应进行疲劳强度评估的构件和位置 **表1**

构 件	详 述
内底板	与底凳的斜板和/或垂向板相交处
	与底边舱斜板相交处
内壳板	与底边舱斜板相交处
横舱壁	与底凳斜板相交处
	与顶凳斜板相交处
单舷侧散货船的货舱肋骨	与顶边舱和底边舱连接处
双舷侧处所内的普通扶强材	纵向扶强材与强框架和横舱壁相交处
	横向扶强材与纵桁或相似构件相交处
顶边舱和底边舱内的普通扶强材	纵向扶强材与强框架和横舱壁相交处
双层底中的普通扶强材	纵向扶强材与肘板和底凳或横舱壁处的肋板相交处
舱口角	舱口角的自由边

2 定义

2.1 热点

2.1.1 热点系指可能产生疲劳裂纹的部位。

2.2 名义应力

2.2.1 名义应力系指构件中的应力，它考虑宏观几何影响但不考虑由于结构不连续性和焊缝存在引起的应力集中。

名义应力应采用第7章第3节规定的粗网格有限元分析方法求得，或采用第4节规定的简化方法求得。

2.3 热点应力

2.3.1 热点应力系指在热点处的局部应力。热点应力考虑连接处几何形状引起的结构不连续的影响，但不考虑焊缝的影响。

热点应力应采用第 7 章第 4 节规定的细化网格有限元分析，或采用第 4 节定义的名义应力乘以应力集中系数求得。

2.4　切口应力

2.4.1　切口应力系指焊趾处的峰值应力，它考虑结构几何形状和焊缝的存在引起的应力集中。

切口应力应采用将热点应力乘以第 2 节［2.3.1］表 1 定义的疲劳切口因子求得。

3　装载

3.1　装载工况

3.1.1　取决于船舶类型而应考虑的装载工况按表 2 定义。应考虑第 4 章附录 3 中列出的标准装载工况。

装　载　工　况　　表2

船舶类型	满载工况		压载工况	
	均匀	隔舱	正常压载	重压载
BC-A	√	√	√	√
BC-B	√	—	√	√
BC-C	√	—	√	√

3.2　载荷工况

3.2.1　载荷工况

对于每种装载工况，应予考虑的载荷工况（定义见第 4 章第 4 节［2］）为：

（a）与 EDW“H”对应的“H1”和“H2”（迎浪）；

（b）与 EDW“F”对应的“F1”和“F2”（随浪）；

（c）与 EDW“R”对应的“R1”和“R2”（横浪）；

（d）与 EDW“P”对应的“P1”和“P2”（横浪）。

3.2.2　对舱口角的疲劳评估，仅需计及斜浪，并考虑第 4 章第 3 节［3.4］定义的波浪扭矩。

3.2.3　主导载荷工况

从上述载荷工况和对于每一装载工况，达到组合应力范围最大的载荷工况，为主导载荷工况。

第 2 节　疲劳强度评估

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

i：下标，表示第 4 章第 4 节规定的载荷工况：“H”、“F”、“R”或“P”。

“i1”表示载荷工况“H1”、“F1”、“R1”或“P1”，“i2”表示载荷工况“H2”、“F2”、“R2”或“P2”。

(k)：下标，表示装载工况：“均匀装载工况”、“隔舱装载工况”、“正常压载工况”或“重压载工况”，定义见第 1 节表 2。

$\Delta\sigma_{W,i(k)}$：装载工况“(k)”下载荷工况“i”中的热点应力范围，N/mm^2。

$\sigma_{mean,i(k)}$：装载工况“(k)”下载荷工况“i”中的结构热点平均应力，N/mm^2。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节给出了本章疲劳强度评估所用的线性累积损伤方法。

1.1.2　疲劳强度评估基于等效切口应力范围，等效切口应力范围由热点应力范围乘以疲劳切口因

子得到。

1.1.3　主要构件、纵向扶强材连接处和舱口角的热点应力范围和热点平均应力应分别按第 3 节、第 4 节和第 5 节计算。

1.1.4　主要构件和纵向扶强材连接处

主导载荷工况和工况 1 应分别根据 [2.1] 和 [2.2] 的规定得到。第 3 节和第 4 节中对应每个装载工况的主导载荷工况下求得的热点应力范围将用于 [2.3.2] 中计算等效热点应力范围。

1.1.5　舱口角

第 5 节求得的热点应力范围将用于 [2.3.2] 中计算等效热点应力范围。

2　等效切口应力范围

2.1　主导载荷工况

2.1.1　疲劳评估中各装载工况的主导载荷工况“I”系指：所考虑构件在第 1 节 [3.2.1] 规定的载荷工况“H”、“F”、“R”和“P”中合成应力范围达到最大的载荷工况。

$$\Delta\sigma_{W,I(k)} = \max_i\{\Delta\sigma_{w,i(k)}\}$$

式中：$\Delta\sigma_{W,i(k)}$——合成热点应力范围，N/mm^2，定义见第 3 节 [2.1.1]，[2.2.1] 或第 4 节 [2.3.1]；

I——下标，表示在装载工况“(k)”下被选定的主导载荷工况。

2.2　装载“工况 1”

2.2.1　“工况 1”系指：所考虑构件在第 1 节表 2 规定的“均匀”、“隔舱”、“正常压载”和“重压载”工况中，按下式计算得到最大应力在受拉一侧的工况。

$$\sigma_{max,I} = \max_k\left(\sigma_{mean,I(k)} + \frac{\Delta\sigma_{W,I(k)}}{2}\right)$$

式中：$\sigma_{mean,I(k)}$——[2.1.1] 定义的装载工况“(k)”的主导载荷工况中的结构热点平均应力，N/mm^2；

$\Delta\sigma_{W,I(k)}$——[2.1.1] 定义的装载工况“(k)”的主导载荷工况中的热点应力范围，N/mm^2。

2.2.2　根据 [2.2.1] 确定“工况 1”，对应装载工况的下标 j 应等于 1。

2.3　等效切口应力范围

2.3.1　等效切口应力范围

每一装载工况的等效切口应力范围，N/mm^2，应按下式计算：

$$\Delta\sigma_{eq,j} = K_f \bullet \Delta\sigma_{equiv,j}$$

式中：$\Delta\sigma_{equiv,j}$——按 [2.3.2] 求得的装载工况“j”下的等效热点应力范围，N/mm^2；

K_f——表 1 中定义的疲劳切口因子。

疲劳切口因子 K_f　　表 1

名　　称	焊缝不打磨	焊缝打磨 （不适用于普通扶强材和包角焊 *1）
对接焊接头	1.25	1.10
填角焊接头	1.30	1.15*2
非焊接部分	1.00	—

注：*1 包角焊是作为主要焊缝的延伸，围绕构件端部的填角焊。

*2 仅适用于深熔焊或全焊透。

当对焊缝进行打磨时，打磨标准的详细情况，包括：范围、光洁度、最终焊缝形状、打磨工艺和质量验收标准，应提交船级社审核。

推荐使用旋转锉对焊缝进行打磨。为彻底消除焊趾缺陷，打磨应延伸至钢板表面以下，并且打磨区域应进行充分的腐蚀保护。

这些工艺应在焊趾处产生光滑的凹形轮廓。钢板表面打磨应至任何可见的咬边底部以下至少 0. 5mm。
产生的沟槽深度应尽可能的小，一般，最大不超过 1mm。
在任何情况下，打磨深度都不能超过 2mm 或钢板毛厚度的 7%，取其较小者。
打磨范围应向热点两侧各延伸 0.5 倍纵骨间距或 0.5 倍肋位。

2. 3. 2　等效热点应力范围

每一装载工况的等效热点应力范围，N/mm^2，应按下式计算：

$$\Delta\sigma_{equic,j}=f_{mean,j}\cdot\Delta\sigma_{W,j}$$

式中：$f_{mean,j}$——平均应力修正因子：

- 舱口角：

$$f_{mean,j}=0.77$$

- 对于主要构件和纵向扶强材的连接，工况“j”下的$f_{mean,j}$取为：

$$f_{mean,j}=\max\left[0.4,\left\{\max\left(0,\ \frac{1}{2}+\frac{-\ln(10^{-4})}{4}\frac{\sigma_{m,j}}{\Delta\sigma_{w,j}}\right)\right\}^{0.25}\right]$$

$\sigma_{m,1}$——工况“1”的局部热点平均应力，N/mm^2，由下式计算：

- 如果 0. 6 $\Delta\sigma_{W,1}\geqslant 2.5R_{eH}$:

$$\sigma_{m,1}=-0.18\Delta\sigma_{W,1}$$

- 如果 :0. 6 $\Delta\sigma_{W,1}<2.5R_{eH}$:

$$\sigma_{m,1}=R_{eH}-0.6\Delta\sigma_{W,1}\quad\text{对于 } 0.6\Delta\sigma_{W,1}>R_{eH}-\sigma_{res}-\sigma_{mean,1}$$

$$\sigma_{m,1}=\sigma_{mean,1}+\sigma_{res}\quad\text{对于 } 0.6\Delta\sigma_{W,1}\leqslant R_{eH}-\sigma_{res}-\sigma_{mean,1}$$

$\sigma_{m,j}$——工况“j”的局部热点平均应力，N/mm^2，由下式计算：

- 如果 0. 24 $\Delta\sigma_{W,j}\geqslant R_{eH}$:

$$\sigma_{m,j\ (j\neq 1)}=-0.18\Delta\sigma_{W,j}$$

- 如果 0. 24 $\Delta\sigma_{W,j}<R_{eH}$:

$$\sigma_{m,j\ (j\neq 1)}=-R_{eH}+0.24\Delta\sigma_{W,j}\quad\text{对于 } 0.24\Delta\sigma_{W,j}>R_{eH}+\sigma_{m,1}-\sigma_{mean,1}+\sigma_{mean,j}$$

$$\sigma_{m,j\ (j\neq 1)}=\sigma_{m,1}-\sigma_{mean,1}+\sigma_{mean,1}\quad\text{对于 } 0.24\Delta\sigma_{W,j}\leqslant R_{eH}+\sigma_{m,1}-\sigma_{mean,1}+\sigma_{mean,j}$$

$\sigma_{mean,j}$——工况“j”的结构热点平均应力，N/mm^2；

σ_{res}——残余应力，N/mm^2，取：

$\sigma_{res}=0.25R_{eH}$　　对扶强材端部连接

$\sigma_{res}=0$　　对非焊接部分和主要构件（十字形连接或对接焊）

3　疲劳损伤计算

3.1　等效切口应力范围修正

3. 1. 1　等效切口应力范围应按下式进行修正：

$$\Delta\sigma_{E,j}=f_{coat}\cdot f_{material}\cdot f_{thick}\cdot\Delta\sigma_{eq,j}$$

式中：f_{coat}——腐蚀环境修正因子，取为：

$f_{coat}=1.05$　　对压载舱和燃油舱

$f_{coat}=1.03$　　对干散货舱和空舱

$f_{material}$——材料修正因子，取为：

$$f_{material}=\frac{1200}{965+R_{eH}}$$

f_{thick}——板厚修正因子，对舱口角、扁钢或球扁钢取为 1.0，其他情况下取为：

$$f_{thick}=\left(\frac{t}{22}\right)^{0.25} \qquad \text{对于 } t \geqslant 22\text{mm}$$

$$f_{thick}=1.0 \qquad \text{对于 } t < 22\text{mm}$$

t——所考虑构件的净厚度，mm，扶强材取翼板的净厚度；

$\Delta\sigma_{eq,j}$——等效切口应力范围，N/mm^2，定义见［2.3.1］。

3.2 应力范围的长期分布

3.2.1 合成切口应力范围长期分布的累积概率密度函数应取为双参数 Weibull 分布：

$$F(x)=1-\exp\left[-\left(\frac{x}{\Delta\sigma_{E,j}}\right)^{\xi}(\ln N_R)\right]$$

式中：ξ——Weibull 形状参数，取为 1.0；

N_R——循环次数，取为 10^4。

3.3 基本疲劳损伤

3.3.1 每一装载工况的基本疲劳损伤应按下式计算：

$$D_j=\frac{\alpha_j N_L \Delta\sigma_{E,j}^{\ 4}}{K(\ln N_R)^{4/\xi}}\left\{\Gamma\left(\frac{4}{\xi}+1,v\right)+v^{-3/\xi}\gamma\left(\frac{7}{\xi}+1,v\right)\right\}$$

式中：K——S-N 曲线参数，取 1.014×10^{15}；

α_j——系数，对舱口角评估取 1.0，对主要构件和纵向扶强材连接，取决于表 2 规定的装载工况；

N_L——船舶设计寿命中的总循环次数，取为：

$$N_L=\frac{0.85T_L}{4\log L}$$

T_L——设计寿命，s，对应于 25 年船舶寿命，取为 7.884×10^8；

$$v=\left(\frac{100.3}{\Delta\sigma_{E,j}}\right)^{\xi}\ln N_R;$$

Γ——2 型不完整 Gamma 函数；

γ——1 型不完整 Gamma 函数。

取决于装载工况的系数 α_j **表 2**

	装载工况	BC-A	BC-B、BC-C
$L<200$m	均匀装载	0.6	0.7
	隔舱装载	0.1	—
	正常压载	0.15	0.15
	重压载	0.15	0.15

续上表

	装载工况	BC-A	BC-B、BC-C
L≥200m	均匀装载	0.25	0.5
	隔舱装载	0.25	—
	正常压载	0.2	0.2
	重压载	0.3	0.3

4　疲劳强度衡准

4.1　累积疲劳损伤

4.1.1　用合成等效应力计算的累积疲劳损伤 D 应符合下列衡准：

$$D=\sum_j D_j \leqslant 1.0$$

式中：D_j——各装载工况“j”的基本疲劳损伤。

第 3 节　主要构件应力评估

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

i：下标，表示第 4 章第 4 节规定的载荷工况：“H”、“F”、“R”或“P”。

“i1”表示载荷工况:“H1”、“F1”、“R1”或“P1”,“i2”表示载荷工况:“H2”、“F2”、“R2”或“P2”。

(k):下标，表示装载工况:“均匀装载工况”、“隔舱装载工况”、“正常压载工况”或“重压载工况”，见第 1 节表 2 定义。

$\Delta\sigma_{W,i(k)}$：装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的热点应力范围，N/mm^2。

$\sigma_{mean,i(k)}$：装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的结构热点平均应力，N/mm^2。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　主要构件的热点应力范围和结构热点平均应力应按本节和第 7 章第 4 节的要求进行评估。

2　热点应力范围

2.1　按直接方法确定的应力范围

2.1.1　装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的热点应力范围，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{W,i(k)}=|\sigma_{W,i1(k)}-\sigma_{W,i2(k)}|$$

式中：$\sigma_{W,i1(k)}$，$\sigma_{W,i2(k)}$——装载工况“(k)”中载荷工况“i1”和“i2”下的热点应力，N/mm^2，采用第 7 章第 4 节规定的细化网格模型通过有限元直接分析求得。

2.2　按叠加法确定的应力范围

2.2.1　热点应力范围

装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的热点应力范围，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{W,i(k)}=|(\sigma_{GW,i1(k)}+\sigma_{LW,i1(k)})-(\sigma_{GW,i2(k)}+\sigma_{LW,i2(k)})|$$

式中：$\sigma_{LW,i1(k)}$，$\sigma_{LW,i2(k)}$——装载工况“(k)”中载荷工况“i1”和“i2”下的局部载荷引起的热点应力，N/mm^2，采用第 7 章第 4 节规定的细网格有限元模型通过直接分析求得；

$\sigma_{GW,i1(k)}$,$\sigma_{GW,i2(k)}$——装载工况“(k)”中载荷工况“i1”和“i2”下的船体梁弯矩引起的热点应力，N/mm^2，按照 [2.2.2] 求得。

2.2.2　船体梁弯矩引起的应力

装载工况“(k)”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的船体梁热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{GW,ij(k)} = C_{WV,ij}\sigma_{WV,ij} + C_{WH,ij}\sigma_{WH,(k)} \qquad (j=1,2)$$

式中：$C_{WV,i1}$，$C_{WV,i2}$，$C_{WH,i1}$，$C_{WH,i2}$——各载荷工况的载荷组合因子，定义见第 4 章第 4 节［2.2］；

$\sigma_{WV,i1}$——中垂工况下的垂向波浪弯矩引起的船体梁名义应力，N/mm^2：

$$\sigma_{WV,i1} = \frac{M_{WV,S}\cdot(z-N)}{I_Y}\cdot 10^{-3}$$

$\sigma_{WV,i2}$——中拱工况下的垂向波浪弯矩引起的船体梁名义应力，N/mm^2：

$$\sigma_{WV,i2} = \frac{M_{WV,H}\cdot(z-N)}{I_Y}\cdot 10^{-3}$$

$M_{WV,H}$，$M_{WV,S}$——第 4 章第 3 节［3.1.1］定义的中拱和中垂工况下的垂向波浪弯矩，kN·m，$f_p = 0.5$；

N——中和轴的 Z 坐标，m，定义见第 5 章第 1 节；

z——所考虑校核点的 Z 坐标，m；

$\sigma_{WH,(k)}$——水平波浪弯矩引起的船体梁名义应力，N/mm^2:

$$\sigma_{WH,(k)} = \frac{M_{WH,(k)}\cdot y}{I_Z}\cdot 10^{-3}$$

$M_{WH,(k)}$——第 4 章第 3 节［3.3.1］定义的装载工况“(k)”下的水平波浪弯矩，kN·m，$f_p = 0.5$；

y——所考虑校核点的 y 坐标，m，右舷为正，左舷为负；

I_Y，I_Z——船体横剖面分别对横向和垂向中和轴的净惯性矩，m^4，定义见第 5 章第 1 节。

3　热点平均应力

3.1　按直接法确定的平均应力

3.1.1 装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的结构热点平均应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{mean,i(k)} = \frac{\sigma_{W,i1(k)} + \sigma_{W,i2(k)}}{2}$$

3.2　按叠加法确定的平均应力

3.2.1　热点平均应力

装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的结构热点平均应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{mean,i(k)} = \sigma_{GS,(k)} + \frac{\sigma_{LW,i1(k)} + \sigma_{LW,i2(k)}}{2}$$

式中：　$\sigma_{GS,(k)}$——装载工况“(k)”下的船体梁静水弯矩引起的热点平均应力，N/mm^2，按照［3.2.2］得到；

$\sigma_{LW,i1(k)} + \sigma_{LW,i2(k)}$——定义见 2.2.1。

3.2.2　船体梁静水弯矩引起的应力

装载工况“(k)”下的静水弯矩引起的热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{GS,(k)} = \frac{M_{S,(k)}\cdot(z-z_0)}{I_Y}\cdot 10^{-3}$$

式中：$M_{S,(k)}$——垂向静水弯矩，kN·m，取决于第 4 章第 3 节［2.2］定义的装载工况，如在设计初期设计静水弯矩未定，各装载工况的静水弯矩可由以下公式求得：

均匀装载工况　　$M_{S,(1)} = -0.5F_{MS}M_{SW,S}$

隔舱装载工况　　$M_{S,(2)} = F_{MS} M_{SW,H}$

正常压载工况　　$M_{S,(3)} = F_{MS} M_{SW,H}$

重压载工况

$$M_{S,(4)} = \begin{cases} 2.66 \dfrac{x}{L} M_{SW,H} & 0 < x \leqslant 0.15L \\ 2.66 \left(0.3 - \dfrac{x}{L}\right) M_{SW,H} & 0.15L < x \leqslant 0.3L \\ -3.5 \left(\dfrac{x}{L} - 0.3\right) M_{SW,S} & 0.3L < x \leqslant 0.5L \\ -3.5 \left(0.7 - \dfrac{x}{L}\right) M_{SW,S} & 0.5L < x \leqslant 0.7L \\ 2.66 \left(\dfrac{x}{L} - 0.7\right) M_{SW,H} & 0.7L < x \leqslant 0.85L \\ 2.66 \left(1 - \dfrac{x}{L}\right) M_{SW,H} & 0.85L < x \leqslant L \end{cases}$$

$M_{SW,H}$，$M_{SW,S}$——中拱和中垂工况下的许用静水弯矩，kN·m；

F_{MS}——第 4 章第 3 节图 2 定义的分布因子。

第 4 节　扶强材应力评估

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

i：下标，表示第 4 章第 4 节规定的载荷工况“H”、“F”、“R”或“P”。

“i1”表示载荷工况“H1”、“F1”、“R1”或“P1”，“i2”表示载荷工况“H2”、“F2”、“R2”或“P2”。

（k）：下标，表示装载工况“均匀装载工况”、“隔舱装载工况”、“正常压载工况”或“重压载工况”，定义见第 1 节表 2。

$\Delta\sigma_{W,i(k)}$：装载工况“（k）”中载荷工况“i”下的热点应力范围，N/mm^2。

$\sigma_{mean,i(k)}$：装载工况“（k）”中载荷工况“i”下的结构热点平均应力，N/mm^2。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　纵向扶强材的热点应力范围和结构热点平均应力应按本节的要求进行评估。

1.1.2　应根据纵骨端部连接形式和如下位置，对纵骨面板的热点应力范围和结构热点平均应力进行评估。

（1）位于货舱横舱壁或凳以外的横框架或肋板，由相对位移引起的附加热点应力可以不予考虑。表 1 定义了这些纵向端部连接。当横框架和肋板是水密时，应采用表 2 定义的系数 K_{gl} 和 K_{gh}，而不采用表 1 定义的系数。

（2）位于货舱横舱壁或凳处的横框架或肋板，由相对位移引起的附加热点应力应予考虑。表 2 定义了这些纵向端部连接。当位于货舱横舱壁或凳处的横框架或肋板是非水密时，应采用表 1 定义的系数 K_{gl} 和 K_{gh}，而不采用表 2 定义的系数。

2　热点应力范围

2.1　按直接法确定的应力范围

2.1.1　各装载工况中每一载荷工况下“H”、“F”、“R”和“P”按直接法确定的热点应力范围，

N/mm^2，应按第 3 节［2.1］的要求得出。

2.2　按叠加法确定的应力范围

2.2.1　各装载工况中每一载荷工况下“H”、“F”、“R”和“P”按叠加法确定的热点应力范围，N/mm^2，应按第 3 节［2.2］的要求得出。

2.3　按简化方法确定的应力范围

2.3.1　热点应力范围

装载工况“(k)”中载荷工况“i”下，由动态载荷引起的热点应力范围，N/mm^2，应按下式求得：

$$\Delta\sigma_{W,i(k)}=\left|(\sigma_{GW,i1(k)}+\sigma_{W1,i1(k)}-\sigma_{W2,i1(k)}+\sigma_{d,i1(k)})-(\sigma_{GW,i2(k)}+\sigma_{W1,i2(k)}-\sigma_{W2,i2(k)}+\sigma_{d,i2(k)})\right|$$

式中：$\sigma_{GW,i1(k)}$，$\sigma_{GW,i2(k)}$——船体梁弯矩引起的应力，定义见［2.3.2］；

$\sigma_{W1,i1(k)}$，$\sigma_{W1,i2(k)}$——取决于所考虑的工况，当压力施加在与普通扶强材相同一侧时，由水动压力或内部压力引起的应力；

$\sigma_{W2,i1(k)}$，$\sigma_{W2,i2(k)}$——取决于所考虑的工况，当压力施加在与普通扶强材相反一侧时，由水动压力和内部压力引成的应力；

$\sigma_{LW,i1(k)}$，$\sigma_{LW,i2(k)}$——波浪压力引起的应力，定义见［2.3.3］；

$\sigma_{LBW,i1(k)}$，$\sigma_{LBW,i2(k)}$——液体压力引起的应力，定义见［2.3.4］；

$\sigma_{LCW,i1(k)}$，$\sigma_{LCW,i2(k)}$——干散货压力引起的应力，定义见［2.3.5］；

$\sigma_{d,i1(k)}$，$\sigma_{d,i2(k)}$——横舱壁相对位移引起的应力，定义见［2.3.6］。

2.3.2　船体梁弯矩引起的应力

装载工况“(k)”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的船体梁热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{GW,ij(k)}=K_{gh}\cdot(C_{WV,ij}\cdot\sigma_{WV,ij}+C_{WH,ij}\cdot\sigma_{WH,(k)})\qquad(j=1,2)$$

式中：K_{gh}——用于船体梁名义应力的几何应力集中系数，根据［1.1.2］（1）和［1.1.2］（2）所述的纵向端部连接形式，分别由表 1 和表 2 确定；

应力集中系数可由有限元分析直接得到；

$C_{WV,i1}$，$C_{WV,i2}$，$C_{WH,i1}$，$C_{WH,i2}$——第 4 章第 4 节［2.2］定义的各载荷工况的载荷组合因子；

$\sigma_{WV,i1}$，$\sigma_{WV,i2}$，$\sigma_{WH,(k)}$——船体梁名义应力，N/mm^2，定义见第 3 节［2.2.2］。

2.3.3　波浪压力引起的应力

装载工况“(k)”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的波浪压力引起的热点应力，N/mm^2，应按下式中求得：

$$\sigma_{LW,ij(k)}=\frac{K_{gl}K_s p_{CW,ij(k)}sl^2\left(1-\dfrac{6x_f}{l}+\dfrac{6x_f^2}{l^2}\right)}{12w}\times10^3\qquad(j=1,2)$$

$$p_{CW,i1(k)}=\begin{cases}2C_{NE,i1(k)}p_{W,j1(k)} & C_{NE,i1(k)}<0.5\\ p_{W,i1(k)} & C_{NE,i1(k)}\geqslant0.5\end{cases}$$

$$p_{CW,i2(k)}=\begin{cases}0 & C_{NE,i2(k)}<0.5\\ (2C_{NE,i2(k)}-1)p_{W,i2(k)} & C_{NE,i2(k)}\geqslant0.5\end{cases}$$

式中：$p_{W,ij(k)}$——装载工况“(k)”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的水动压力，kN/m^2，见第 4 章第 5 节［1.3］、［1.4］和［1.5］，$f_p=0.5$。当所考虑构件的位置高于水线时，水动压力应取为水线处压力；

K_{gl}——由于侧向压力引起应力的几何应力集中因子，K_{gl} 根据［1.1.2］（1）和［1.1.2］（2）所述的纵向端部连接形式，分别由表 1 和表 2 确定；

应力集中因子可直接通过有限元分析评估应力集中；

K_s——扶强材几何形状引起的几何应力集中系数：

$$K_s=1+\left[\frac{t_f\left(a^2b^2\right)}{2w_b}\right]\left[1-\frac{b}{b_f}\left(1+\frac{w_b}{w_a}\right)\right]\cdot 10^{-3}$$

a，b——面板偏心，mm，定义见图 1。对角钢，“b”取为腹板建造厚度的一半；

t_f，b_f——面板厚度和宽度，定义见图 1；

w_a，w_b——扶强材不考虑带板时，A、B 端分别对 z 轴的净剖面模数（见图 1），cm^3；

$C_{NE,\,ij\,(k)}$——装载工况“k”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下由于波浪压力范围非线性的修正因子：

$$C_{NE,ij(k)}=\begin{cases}\exp\left[-\left(\dfrac{z-T_{LC(k)}+\dfrac{\left|p_{W,ij(k),WL}\right|}{\rho g}}{\dfrac{\left|p_{W,ij(k),WL}\right|}{\rho g}(-\ln 0.5)^{-1}/2.5}\right)^{2.5}\right] & \text{对于} z>T_{LC(k)}-\dfrac{\left|p_{W,ij(k),WL}\right|}{\rho g}\\ 1.0 & \text{对于} z\leqslant T_{LC(k)}-\dfrac{\left|p_{W,ij(k),WL}\right|}{\rho g}\end{cases}$$

$T_{LC\,(k)}$——所考虑装载工况“k”的吃水，m；

$p_{W,\,ij\,(k),\,WL}$——装载工况“(k)”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的水线处水动压力，kN/m^2；

z——所考虑点的 z 坐标，m；

s——扶强材间距，m；

l——跨距，m，按图 2 所示量取。跨距点应取在沿端部肘板高度方向上，从扶强材面板量起至等于扶强材一半高度的点；

x_f——从跨距 l 的最近端至热点的距离，m，见图 2；

W——所考虑扶强材的净剖面模数，cm^3。计算剖面模数 w 时应考虑带板有效宽度 s_e，m，有效宽度 s_e 按下式计算：

$$s_e=\begin{cases}0.67s\cdot\sin\left\{\dfrac{\pi}{6}\left[\dfrac{l\ (1-1/\sqrt{3})}{2s}\right]\right\} & \text{对于}\dfrac{l}{s}\leqslant\dfrac{6}{1-1/\sqrt{3}}\\ 0.67s & \text{对于}\dfrac{l}{s}>\dfrac{6}{1-1/\sqrt{3}}\end{cases}$$

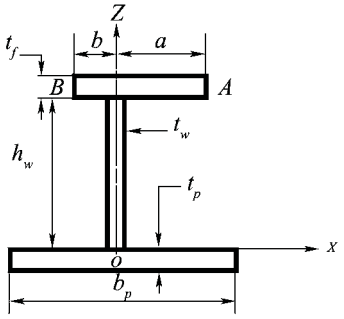


图 1　扶强材剖面参数

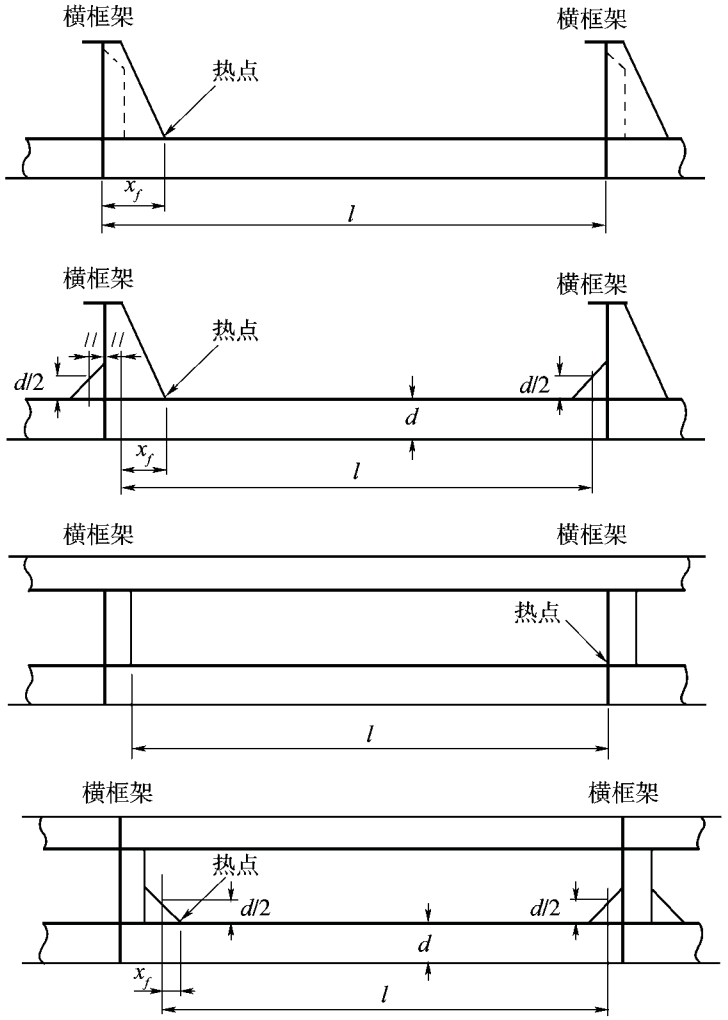


图 2　纵向扶强材的跨距和热点

2.3.4　液体压力引起的应力

装载工况“(k)”中载荷工况“i1”和“i2”下的液体压力引起的热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{LBW,ij\,(k)} = \frac{K_{gl}K_sC_{NI,ij\,(k)}P_{BW,ij\,(k)}sl^2\left(1-\frac{6x_f}{l}+\frac{6x_f^2}{l^2}\right)}{12w}\cdot 10^3 \quad (j=1,2)$$

式中：$p_{BW,\,ij\,(k)}$——装载工况“k”中载荷工况“i1”和“i2”下液体引起的惯性压力，kN/m^2，见第 4 章第 6 节 [2.2]，$f_p = 0.5$。所考虑位置位于燃油舱、其他油舱或淡水舱内，对舱顶纵向扶强材不考虑惯性力，当在静止正浮工况所考虑构件位于液面之上时，惯性力取在液面处的惯性力；

$C_{NI,\,ij\,(k)}$——装载工况“k”中载荷工况“i1”和“i2”下由于液体引起的惯性压力范围的非线性的修正因子：

$$C_{NI,ij\,(k)} = \begin{cases} \exp\left\{-\left(\dfrac{z-z_{SF}+\dfrac{\left|p_{BW,ij\,(k),SF}\right|}{\rho g}}{\dfrac{\left|p_{BW,ij\,(k),SF}\right|}{\rho g}\left(-1\mathrm{n}0.5\right)^{-1/2.5}}\right)^{2.5}\right\} & \text{对于} z > z_{SF}-\dfrac{\left|P_{BW,ij\,(k),SF}\right|}{\rho g} \\ 1.0 & \text{对于} z \leqslant z_{SF}-\dfrac{\left|P_{BW,ij\,(k),SF}\right|}{\rho g} \end{cases}$$

Z_{SF}——液面的 z 坐标，m，一般情况下等于第 4 章第 6 节定义的“z_{top}”，如果所考虑位置位于燃油舱、其他油舱或淡水舱内，可取为至舱室一半高度处的距离；

z——所考虑点的 z 坐标，m；

$p_{BW,ij\,(k),SF}$——装载工况“k”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下液体引起的惯性压力，kN/m^2，取在液面。在根据第 4 章第 6 节［2. 2. 1］计算惯性压力时，参考点的 x 和 y 坐标取在液面而非舱顶；

K_{gl}, K_s——［2. 3. 3］中定义的应力集中因子。

2. 3. 5　干散货压力引起的应力

装载工况“k”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的干散货压力引起的热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{LCW,ij\,(k)} = \frac{K_{gl}K_s p_{CW,ij\,(k)}\, sl^2\left(1-\frac{6x_f}{l}+\frac{6x^2{}_f}{l^2}\right)}{12w}\times 10^3 \qquad (j=1,2)$$

式中：$P_{CW,\,ij\,(k)}$——装载工况“k”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的干散货引起的惯性压力，kN/m^2，见第 4 章第 6 节［1.3］，$f_p = 0.5$。

2. 3. 6　位于横舱壁或凳处横舱壁或肋板的相对位移引起的应力

对［1.1.2］（2）中所述纵骨端部连接，在装载工况“k”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下，由位于横舱壁或凳处肋板与相邻横框架或肋板之间的、垂直于带板方向的相对位移引起的附加热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{d,ij\,(k)} = \begin{cases} K_{dF-a}\sigma_{dF-a,ij\,(k)} + K_{dA-a}\sigma_{dA-a,ij\,(k)} & \text{对于“}a\text{”点} \\ K_{dF-f}\sigma_{dF-f,ij\,(k)} + K_{dA-f}\sigma_{dA-f,ij\,(k)} & \text{对于“}f\text{”点} \end{cases} \qquad (j=1,2)$$

式中：a，f——下标，表示按照表 1 所示，所考虑的位置；

A,F——下标，表示按照表 1 所示发生相对位移处横框架或肋板的前（“F”）和后（“A”）方向（见图 3）

$\sigma_{dF-a,ij\,(k)}$,$\sigma_{dA-a,ij\,(k)}$,$\sigma_{dF-f,ij\,(k)}$,$\sigma_{dA-f,ij\,(k)}$——装载工况“k”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的“a”和“f”点处分别由横舱壁或位于凳处肋板与前（“F”）和后（“A”）横框架或肋板之间的相对位移引起的附加应力，N/mm^2：

$$\sigma_{dF-a,ij\,(k)} = \frac{3.9\delta_{F,ij\,(k)}EI_AI_F}{w_Al_F\,(l_AI_F+l_FI_A)}\left(1-1.15\frac{|x_{fA}|}{l_A}\right)\times 10^{-5}$$

$$\sigma_{dA-a,ij\,(k)} = \left\{\frac{3.9\delta_{A,ij\,(k)}EI_AI_F}{w_Al_A\,(l_AI_F+l_FI_A)}\left(1-1.15\frac{|x_{fA}|}{l_A}\right)-\frac{0.9\delta_{A,ij\,(k)}EI_A|x_{fA}|}{w_Al_A^3}\right\}\times 10^{-5}$$

$$\sigma_{dF-f,ij\,(k)} = \left\{\frac{3.9\delta_{F,ij\,(k)}EI_AI_F}{w_Fl_F\,(l_AI_F+l_FI_A)}\left(1-1.15\frac{|x_{fF}|}{l_F}\right)-\frac{0.9\delta_{F,ij\,(k)}EI_F|x_{fF}|}{w_Fl_F^3}\right\}\times 10^{-5}$$

$$\sigma_{dA-f,ij\,(k)} = \frac{3.9\delta_{A,ij\,(k)}EI_AI_F}{w_Fl_A\,(l_AI_F+l_FI_A)}\left(1-1.15\frac{|x_{fF}|}{l_F}\right)\times 10^{-5}$$

$\delta_{F,\,ij\,(k)}$，$\delta_{A,\,ij\,(k)}$——装载工况：“k”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的横舱壁或位于凳处肋板与前（“F”）和后（“A”）横框架或肋板之间的横向相对位移，mm，见图 3；

（a）对位于穿过凳处肋板的纵向扶强材

相对位移定义为在底凳前或后第一个肋板处量取的纵骨相对于穿过凳底部扶强材端部连接的直线的位移。

（b）对除了（a）以外的纵向扶强材

相对位移定义为在横舱壁前或后第一个横框架处量取的纵骨相对于其原始位置的位移在纵骨面板评估点处，当由相对位移引起的应力为受拉时，相对位移的符号为正。

I_F，I_A——前（“F”）和后（“A”）纵骨的净惯性矩，cm^4；

K_{dF-a}, K_{dA-a}, K_{dF-f}, K_{dA-f}——扶强材端部连接“a”和“f”点的应力集中因子，按照横舱壁分别与前（“F”）和后（“A”）横框架或位于凳处肋板之间的相对位移确定，定义见表 2。当所考虑的端部连接细节未包括在表 2 中时，可直接通过有限元分析评估应力集中；

l_F，l_A——前（“F”）和后（“A”）纵骨跨距，m，按图 2 所示量取；

x_{fF}，x_{fA}——分别从 l_F 和 l_A 的最近端至热点的距离，m（见图 2）。

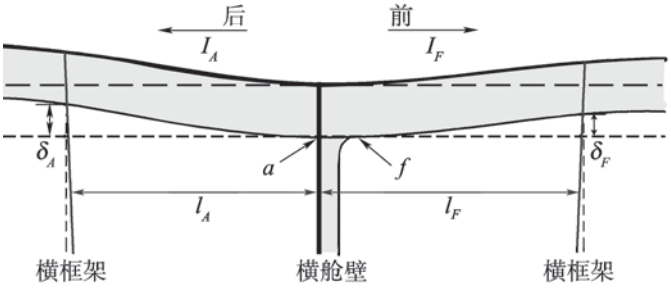
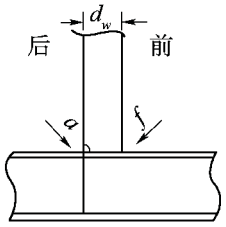
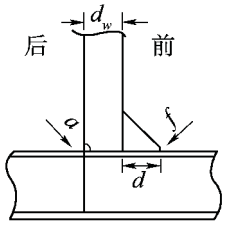
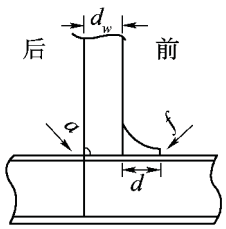
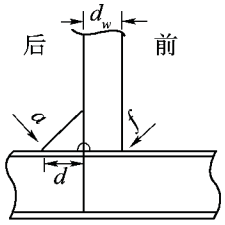
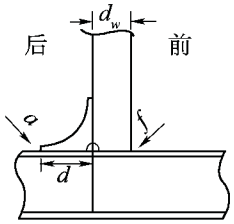
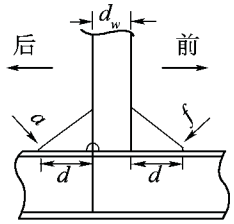
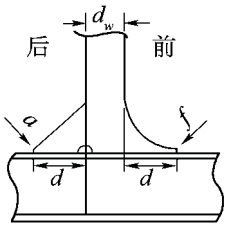
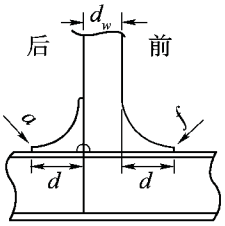
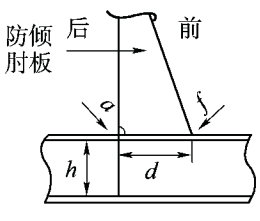


图 3　相对位移的定义（以舷侧纵骨为例）

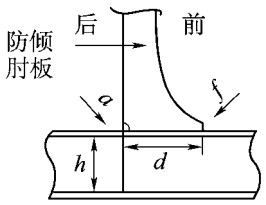
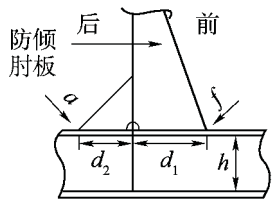
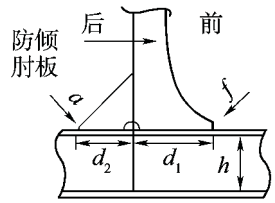
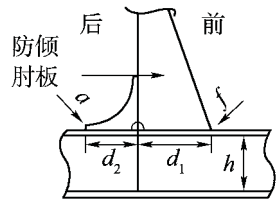
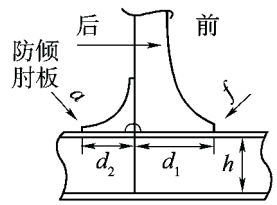
位于横舱壁或凳处肋板之外的横框架或肋板非水密纵骨端部连接应力集中因子　　**表 1**

肘板类型	评估点	肘板尺寸	应力集中因子	
			K_{gl}	K_{gh}
1 	a	—	1.65	1.1
2 	a	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.55	1.1
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.5	1.05
3 	a	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.5	1.1
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.45	1.05

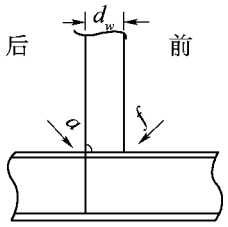
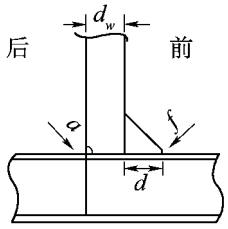
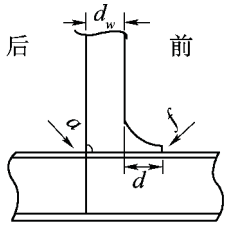
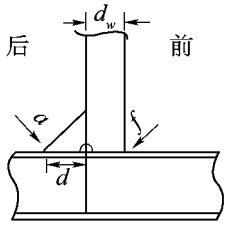
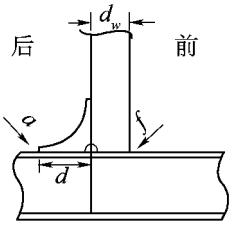
续上表

肘板类型	评估点	肘板尺寸	应力集中因子	
			K_{gl}	K_{gh}
4 	*f*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.4	1.1
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.4	1.05
5 	*f*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.35	1.1
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.35	1.05
6 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.15	1.05
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.1	1.05
7 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.15	1.05
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.1	1.05
8 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.1	1.1
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05
9 	*a*	$d \leqslant 2h$	1.45	1.1

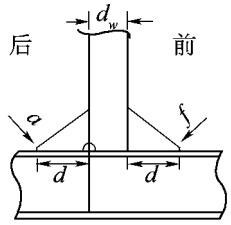
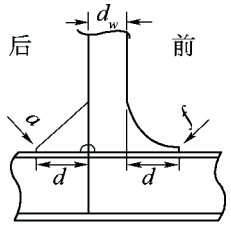
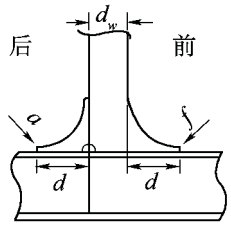
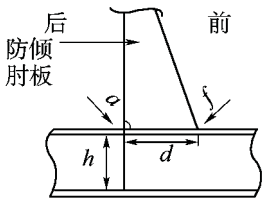
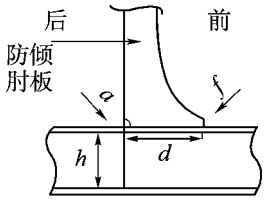
续上表

肘板类型	评估点	肘板尺寸	应力集中因子	
			K_{gl}	K_{gh}
10 	a	$d \leqslant 2.5h$	1.35	1.1
11 	a	$d_1 \leqslant 2h$ 且 $h \leqslant d_2$	1.15	1.1
	f		1.85	1.1
12 	a	$d \leqslant 2.5h$ 且 $h \leqslant d_2$	1.15	1.1
	f		1.35	1.1
13 	a	$d_1 \leqslant 2h$ 且 $h \leqslant d_2$	1.1	1.1
	f		2.05	1.1
14 	a	$d \leqslant 2.5h$ 且 $h \leqslant d_2$	1.1	1.1
	f		1.8	1.1

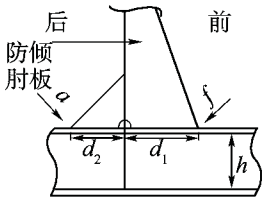
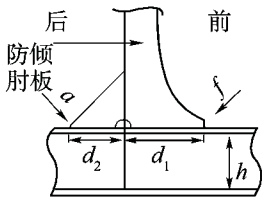
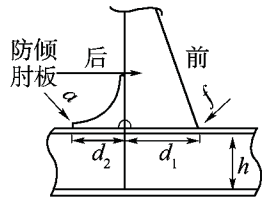
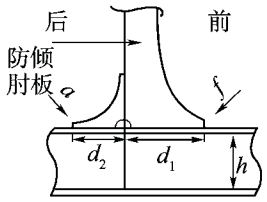
位于横舱壁或凳肋板处纵骨端部连接应力集中因子　　**表 2**

肘板类型	评估点	肘板尺寸	应力集中因子			
			K_{gl}	K_{gh}	K_{dF}	K_{dA}
1 	*a*	—	1.5	1.1	1.15	1.5
	f	—	1.1	1.05	1.55	1.05
2 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.45	1.1	1.15	1.4
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.4	1.05	1.15	1.35
	f	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.1	1.05	1.15	1.1
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.1	1.05
3 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.4	1.1	1.1	1.35
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.35	1.05	1.05	1.3
	f	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.05	1.05	1.1	1.05
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.05
4 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.1	1.05	1.05	1.25
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.2
	f	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.3	1.1	1.35	1.05
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.3	1.05	1.3	1.05
5 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.1	1.05	1.05	1.2
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.15
	f	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.3	1.1	1.55	1.1
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.3	1.05	1.5	1.05

续上表

肘板类型	评估点	肘板尺寸	应力集中因子			
			K_{gl}	K_{gh}	K_{dF}	K_{dA}
6 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.1	1.05	1.05	1.1
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.05
	f	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.05	1.05	1.1	1.05
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.05
7 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.1	1.05	1.05	1.2
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.15
	f	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.05	1.05	1.05	1.05
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.05
8 	*a*	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.1	1.1	1.05	1.15
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.1
	f	$d_w \leqslant d < 1.5d_w$	1.05	1.05	1.1	1.05
		$1.5\,d_w \leqslant d$	1.05	1.05	1.05	1.05
9 	*a*	$d \leqslant 2h$	1.4	1.05	1.05	1.75
	f		1.6	1.05	1.7	1.05
10 	*a*	$d \leqslant 2.5h$	1.3	1.05	1.05	1.75
	f		1.55	1.05	1.3	1.05

续上表

肘板类型	评估点	肘板尺寸	应力集中因子			
			K_{gl}	K_{gh}	K_{dF}	K_{dA}
11 	a	$d_1 \leqslant 2h$ 且 $h \leqslant d_2$	1.1	1.05	1.05	1.2
	f		1.75	1.05	1.4	1.05
12 	a	$d_1 \leqslant 2.5h$ 且 $h \leqslant d_2$	1.1	1.05	1.05	1.2
	f		1.3	1.05	1.05	1.05
13 	a	$d_1 \leqslant 2h$ 且 $h \leqslant d_2$	1.05	1.05	1.05	1.15
	f		1.95	1.05	1.55	1.05
14 	a	$d_1 \leqslant 2.5h$ 且 $h \leqslant d_2$	1.05	1.05	1.05	1.15
	f		1.7	1.05	1.15	1.05

3　热点平均应力

3.1　按直接法确定的平均应力

3.1.1　各装载工况下按直接法确定的结构热点平均应力，N/mm^2，应按第 3 节［3.1］的要求得出。

3.2　按叠加法确定的平均应力

3.2.1　各装载工况下按叠加法确定的结构热点平均应力，N/mm^2，应按第 3 节［3.2］的要求得出。

3.3　按简化方法确定的平均应力

3.3.1　热点平均应力

装载工况“(k)”（任何载荷工况“i”）下的结构热点平均应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{mean,(k)} = \sigma_{GS,(k)} + \sigma_{S1,(k)} - \sigma_{S2,(k)} + \sigma_{dS,(k)}$$

式中：$\sigma_{GS,(k)}$——船体梁静水弯矩引起的应力，定义见［3.3.2］；

$\sigma_{S1,(k)}$——静压力引起的应力，取决于所考虑工况，计算时压力施加在与普通扶强材相同一侧；

$\sigma_{S2,(k)}$——静压力引起的应力，取决于所考虑工况，计算时压力施加在与普通扶强材相反一侧；

$\sigma_{dS,(k)}$——静水中由于横舱壁相对位移引起的应力，定义见［3.3.6］。

3.3.2 船体梁静水弯矩引起的应力

装载工况“（k）”下的静水弯矩引起的热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{GS,(k)} = K_{gh}\frac{M_{S,(k)}(z-N)}{I_Y}\times 10^{-3}$$

式中：$M_{S,(k)}$——垂向静水弯矩，kN·m，定义见第 3 节［3.2.2］。

3.3.3 静水压力和水动压力引起的应力

装载工况“（k）”下的静水压力和水动压力引起的热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{LS,(k)} = \frac{K_{gl}K_s\left\{p_{S,(k)} + \frac{p_{CW,i1(k)}+p_{CW,i2(k)}}{2}\right\}sl^2\left(1-\frac{6x_f}{l}+\frac{6x^2_f}{l^2}\right)}{12w}\times 10^3$$

式中：$p_{S,(k)}$——装载工况“k”下的静水压力，kN/m^2，见第 4 章第 5 节［1.2］定义；

$p_{CW,ij(k),(k)}$——装载工况“k”中载荷工况“$i1$”和“$i2$”下的修正水动压力，kN/m^2，见［2.3.3］，$f_p=0.5$；

i——下标，表示第 2 节［2.1.1］中定义的载荷工况。当计算平均应力时，应采用“I”。

3.3.4 静水中液体压力引起的应力

装载工况“（k）”下静水中液体压力引起的结构热点平均应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{CS,(k)} = \frac{K_{gl}K_sP_{CS,(k)}sl^2\left(1-\frac{6x_f}{l}+\frac{6x^2_f}{l^2}\right)}{12w}\times 10^3$$

式中：$p_{CS,(k)}$——装载工况“k”下静水中的液体压力，kN/m^2，见第 4 章第 6 节［2.1］定义。

若所考虑位置位于燃油舱、其他油舱或淡水舱内，第 4 章第 6 节中定义的 d_{AP} 和 P_{PV} 取为 0，第 4 章第 6 节［2.1］中的 z_{TOP} 取为［2.3.4］中定义的 z_{SF}。

3.3.5 静水中干散货引起的应力

装载工况“k”下，静水中干散货引起的结构热点平均应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{LCS,(k)} = \frac{K_{gl}K_sP_{CS,(k)}sl^2\left(1-\frac{6x_f}{l}+\frac{6x^2_f}{l^2}\right)}{12w}\times 10^3$$

式中：$p_{CS,(k)}$——装载工况“k”下的静水中的干散货压力，kN/m^2，见第 4 章第 6 节［1.2］定义。

3.3.6 静水中横舱壁相对位移引起的应力

在装载工况“k”中，横舱壁与相邻横框架或肋板之间的横向相对位移引起的附加热点应力，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma_{dS,(k)} = \begin{cases} K_{dF-a}\sigma_{dSF-a,(k)} + K_{dA-a}\sigma_{dSA-a,(k)} & \text{对于“}a\text{”点} \\ K_{dF-f}\sigma_{dSF-f,(k)} + K_{dA-f}\sigma_{dSA-f,(k)} & \text{对于“}f\text{”点} \end{cases}$$

式中：$\sigma_{dSF-a,(k)}$，$\sigma_{dSA-a,(k)}$，$\sigma_{dSF-f,(k)}$，$\sigma_{dSA-f,(k)}$——装载工况“k”下的“a”和“f”点处的附加应力，kN/m^2，由横舱壁与前（“F”）和后（“A”）横框架或肋板之间的相对位移引起；

$$\sigma_{dSF-a,\ (k)}=\frac{3.9\delta_{SF,\ (k)}EI_AI_F}{w_Al_F\ (l_AI_F+l_FI_A)}\left(1-1.15\frac{|x_{fA}|}{l_A}\right)\times10^{-5}$$

$$\sigma_{dSA-a,\ (k)}=\left\{\frac{3.9\delta_{SA,\ (k)}EI_AI_F}{w_Al_A\ (l_AI_F+l_FI_A)}\left(1-1.15\frac{|x_{fA}|}{l_A}\right)-\frac{0.9\delta_{SA,\ (k)}EI_A|x_{fA}|}{w_Al_A^3}\right\}\times10^{-5}$$

$$\sigma_{dSF-f,\ (k)}=\left\{\frac{3.9\delta_{SF,\ (k)}EI_AI_F}{w_Fl_F\ (l_AI_F+l_FI_A)}\left(1-1.15\frac{|x_{fF}|}{l_F}\right)-\frac{0.9\delta_{SF,\ (k)}EI_F|x_{fF}|}{w_Fl_F^3}\right\}\times10^{-5}$$

$$\sigma_{dSA-f,\ (k)}=\frac{3.9\delta_{SA,\ (k)}EI_AI_F}{w_Fl_A\ (l_AI_F+l_FI_A)}\left(1-1.15\frac{|x_{fF}|}{l_F}\right)\times10^{-5}$$

$\delta_{SF,\ (k)}$，$\delta_{SA,\ (k)}$——在装载工况“k”下，静水中横舱壁与前（“F”）和后（“A”）横框架或肋板之间的横向相对位移，mm。

第 5 节　舱口角的应力评估

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　基于简化法的舱口角热点应力范围和结构热点平均应力应按本节要求进行评估。

2　名义应力范围

2.1　波浪扭矩引起的名义应力范围

2.1.1　波浪扭矩导致横向甲板弯曲而引起的名义应力范围应按下式求得，N/mm^2：

$$\Delta\sigma_{WT}=\frac{2}{1000}F_SF_L\frac{QB_H}{W_Q}$$

式中：$Q=1000u\Big/\sqrt{\dfrac{(B_u+b_s)^3}{12EI_Q}+\dfrac{2.6B_H}{EA_Q}}$；

u——舱口角纵向位移，m，取为：

$$u=\frac{31.2}{1000}\frac{M_{WT}\omega}{I_TEDOC}$$

DOC——甲板开口系数，取为：

$$DOC=\frac{L_CB}{\sum_{i=1}^{n}L_{H,i}B_{H,i}}$$

M_{WT}——最大波浪扭矩，kN·m，见第 4 章第 3 节［3.4.1］定义，f_p=0.5;

F_S——应力修正因子，取：F_S=5;

F_L——舱口角纵向位置修正因子，取：

$F_L=1.75\dfrac{x}{L}$　　若 0.57 ≤ x/L ≤ 0.85

$F_L=1.0$　　若 x/L < 0.57 或 x/L > 0.85

B_H——舱口的宽度，m；

W_Q——舱口角附近的横向甲板条对 Z 轴的剖面模数，m^3，包括顶凳（图 2）；

I_Q——舱口角附近的横向甲板条对 Z 轴的惯性矩，m^4，包括顶凳（图 2）；

A_Q——舱口角附近的横向甲板条整个剖面的有效剪切面积，m^2，包括顶凳（图 2）。可忽略扶强材，只考虑板单元确定有效剪切面积；

b_S——甲板开口外的剩余甲板一边的宽度，m；

I_T——船舶横剖面的扭转惯性矩，m^4，在横向甲板区域内计算，不考虑横舱壁上下凳的影响（见图 1），可以按照附录 1 计算；

ω——扇形坐标，m^2，在与 I_T 相同的横剖面上舱口角处 Y 和 Z 坐标处计算（图 1），可以按照附录 1 计算；

L_C——货舱区域的长度，m，为机舱舱壁和防撞舱壁之间的距离；

$B_{H,i}$——第 i 货舱口的宽度，m；

$L_{H,i}$——第 i 货舱口的长度，m；

n——舱口数。

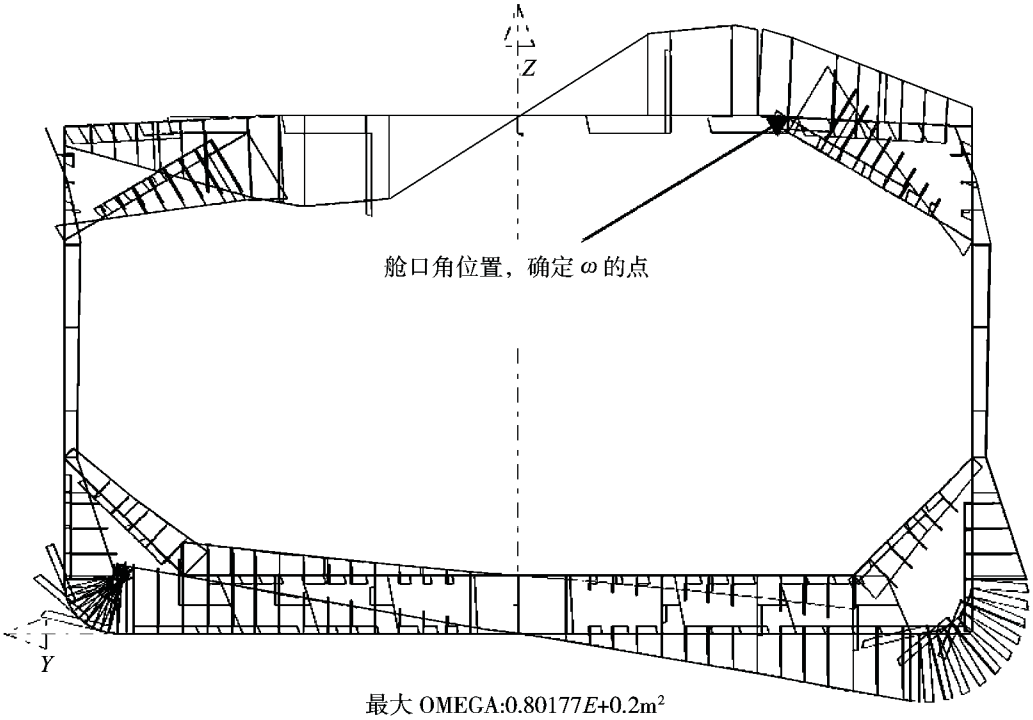


图 1 确定 I_t 和 ω 的横剖面

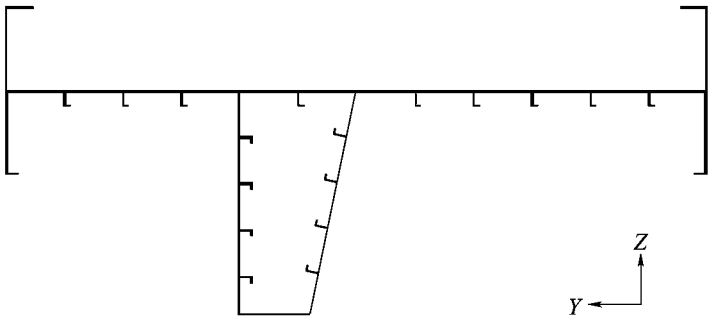


图 2 确定 A_Q、W_Q、I_Q 需考虑的构件

2.2　名义平均应力

2.2.1　横向甲板范围内静水弯矩引起的平均应力设定为 0

3　热点应力

3.1　热点应力范围

3.1.1　热点应力范围，N/mm^2，应按下式求得：

$$\Delta\sigma_W = K_{gh} \cdot \Delta\sigma_{WT}$$

式中：k_{gh}——舱口角的应力集中因子，按下式求得，但不小于 1：

$$K_{gh} = \frac{r_a + 2r_b}{3r_a} \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{2b}{1.23l_{CD} + 1.6b} \frac{0.22l_{CD}}{r_a} \right)^{0.65} \right\}$$

r_a——长轴半径，m；

r_b——短轴半径（如果角的形状为圆弧，则 r_b 等于 r_a）,m；

l_{CD}——横向甲板沿船舶纵向的长度，m；

b——舱口开口边缘至船侧的距离，m。

附录 1 横剖面扭转特性

1 计算公式

1.1 扭转函数 Φ

对于闭室的任意部分区域，应计算以下几何参数和尺寸比：

$$A_y=\frac{1}{2}(z_i+z_k)(y_k-y_i)$$

$$l=\sqrt{(y_k-y_i)^2+(z_k-z_i)^2}$$

$$\frac{s}{t}=\frac{l}{t}$$

根据横剖面的类型，可采用的三种算法形式如下：

形式 A：非对称开口横剖面，见图 2；

形式 B：含特殊闭室（无公共边的闭室）的对称横剖面，见图 3，此时，每个室的扭转函数可以单独计算，如下：

$$\Phi_0=\frac{2\sum_{Cell0}A_y}{\sum_{Cell0}\frac{s}{t}};\quad \Phi_2=\frac{2\sum_{Cell2}A_y}{\sum_{Cell2}\frac{s}{t}}$$

形式 C：多个闭室（有公共边的闭室）的对称横剖面，见图 4，此时，每室 i 的扭转函数可以通过求解考虑了公共边的线性方程组求得：

$$\Phi_0\sum_{Cell0}\frac{s}{t}+\Phi_1\left(\frac{s}{t}\right)_{CommonWall}=2A_{Cell0}$$

$$\Phi_1\sum_{Cell1}\frac{s}{t}+\Phi_0\left(\frac{s}{t}\right)_{CommonWall}=2A_{Cell1}$$

从上述方程组，可以求出扭转函数 Φ_0 和 Φ_1。

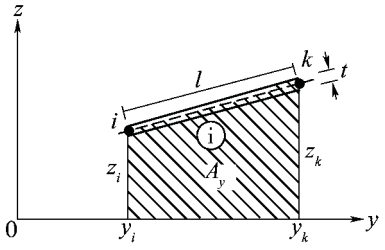


图 1

1.2 坐标系，运行坐标 s

1.2.1 应采用二维直角坐标系。参考点 O（坐标系的原点）可任意选定；但对称横剖面，坐标原点定义在横剖面的对称线上是有好处的。运行坐标系 s 起始于对称横剖面内几何对称线与横剖面几何的交线，如：在船体横剖面上，起始于中心线与船底外壳或双层底的交线，如图 2~ 图 4 所示的 O 点。闭室中 s 的方位和积分的方向应根据代数符号和扭转函数方程组来考虑。

1.3 横剖面各部分几种特性的计算

1.3.1

ω_i，分叉前部分区域或者前分叉点处的 ω_k（计算的开始点定为零）

$\omega_k=\omega_i+y_i z_k-y_k z_i-\Phi\dfrac{i}{t_i}$	闭室内$\Phi\dfrac{l_i}{t_i}$
$l=\sqrt{(y_k-y_i)^2+(z_k-z_i)^2}$	
	总和
$A=t$	ΣA
$S_y=\dfrac{A}{2}(z_i+z_k)$	ΣS_y
$S_z=\dfrac{A}{2}(y_i+y_k)$	ΣS_z
$S_\omega=\dfrac{A}{2}(\omega_i+\omega_k)$	ΣS_ω
$I_y=\dfrac{A}{3}(z_i^2+z_i z_k+z_k^2)$	ΣI_y
$I_z=\dfrac{A}{3}(y_i^2+y_i y_k+y_k^2)$	ΣI_y
$I_{yz}=\dfrac{A}{6}[(2y_k+y_i)z_k+(2y_i+y_k)z_i]$	ΣI_{yz}
$I_\omega=\dfrac{A}{3}(\omega_i^2+\omega_i\omega_k+\omega_k^2)$	ΣI_ω
$I_{\omega y}=\dfrac{A}{6}[(2y_k+y_i)\omega_k+(2y_i+y_k)\omega_i]$	$\Sigma I_{\omega y}$
$I_{\omega z}=\dfrac{A}{6}[(2z_k+z_i)\omega_k+(2z_i+z_k)\omega_i]$	$\Sigma I_{\omega z}$
$st^3=t^3$	$\Sigma s\cdot t^3$

1.4　整个横剖面的剖面特性计算

不对称横剖面	对称横剖面（仅模型的一半建模）
$A=\Sigma A$	$A=2\Sigma A$
$y_s=\dfrac{\Sigma s_Z}{\Sigma A}$	$y_s=\dfrac{\Sigma s_z}{\Sigma A}$
$z_s=\dfrac{\Sigma s_y}{\Sigma A}$	$z_s=\dfrac{\Sigma s_y}{\Sigma A}$
$I_y=\Sigma I_y-\Sigma Az_s^2$	$I_y=2(\Sigma I_y-\Sigma Az_s^2)$
$I_z=\Sigma I_z-\Sigma Ay_s^2$	$I_z=2(\Sigma I_z-\Sigma Ay_s^2)$
$I_{yz}=\Sigma I_{yz}-\Sigma Ay_s z_s$	

不对称横剖面	对称横剖面（仅模型的一半建模）
$I_T = \sum \frac{st^3}{3} + \sum_{Celli} (2A_{yi}\Phi_i)$	$I_T = 2\left[\sum \frac{st^3}{3} + \sum_{Celli} (2A_{yi}\Phi_i) \right]$
$\omega_0 = \frac{\sum S_\omega}{\sum A}$	
$I_{\omega y} = \sum I_{\omega y} - \sum A y_s \omega_0$	$I_{\omega y} = 2\sum I_{\omega y}$
$I_{\omega z} = \sum I_{\omega z} - \sum A z_s \omega_0$	
$y_M = \frac{I_{\omega z} I_z - I_{\omega y} I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2}$	
$z_M = \frac{I_{\omega z} I_{yz} - I_{\omega y} I_y}{I_y I_z - I_{yz}^2}$	$z_M = -\frac{I_{\omega y}}{I_z}$
$I_\omega = \sum I_\omega - \sum A\omega_0^2 + z_M I_{\omega y} - y_M I_{\omega z}$	$I_\omega = 2\sum I_\omega + z_M I_{\omega y}$

I_y, I_z, I_{yz}，应相对于重心进行计算；

$S_x, S_y, S_\omega, I_\omega, I_{\omega y}$ 和 $I_{\omega z}$ 应相对于剪切中心 M 进行计算；

扇形坐标 ω 必须根据剪切中心 M 的位置进行转换。对于 A 型横剖面（图 2），[1.3] 定义的每项 ω_i 和 ω_k 中应加上 ω_0；

对于 B 型（附图 3）和 C 型横剖面（附图 4），$\Delta\omega_i$ 可以按照下式进行计算：

$$\Delta\omega_i = z_M y_i$$

式中：ω_0——对坐标系中心 O 的扇形坐标，按照 [1.3] 给出的 ω_k 公式计算；

ω——经转换的关于剪切中心 M 的扇形坐标；

y_M，z_M——剪切中心 M 和坐标系 B 中心之间的距离；

经转换后的扇形坐标 ω 值可以按照 [1.3] 公式计算出的 ω_0 值加上 $\Delta\omega$ 求得；

横剖面与对称线（船体剖面中心线）交点处的转换值 ω 应等于零。

通过对线段的类型在横剖面的特定部分上的编号的指定，给出了计算特定部分的顺序，进而给出运行坐标 s 的方向。

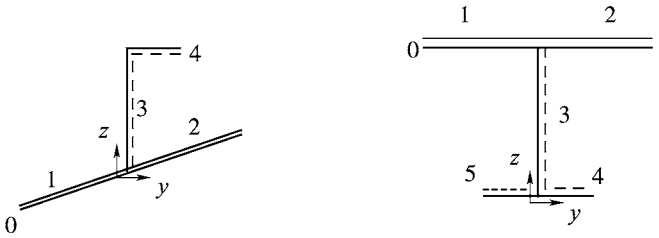


图 2 A 型横剖面

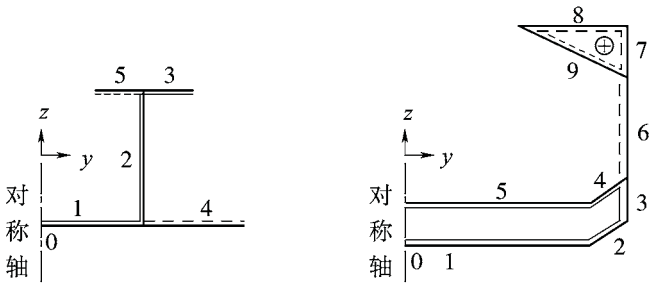


图 3　B 型横剖面

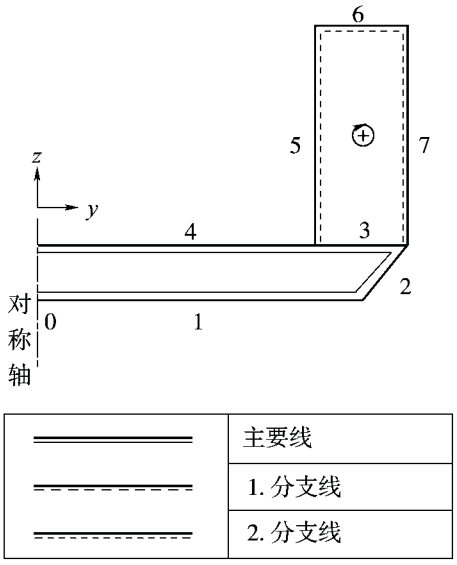


图 4　C 型横剖面

2　单舷侧横剖面的算例

2.1　横剖面数据

2.1.1　横剖面见图 5，图 5 中由黑圈标记的节点的坐标见表 1，横剖面的板厚和线段（图 5 中由圆圈标记），见表 2。

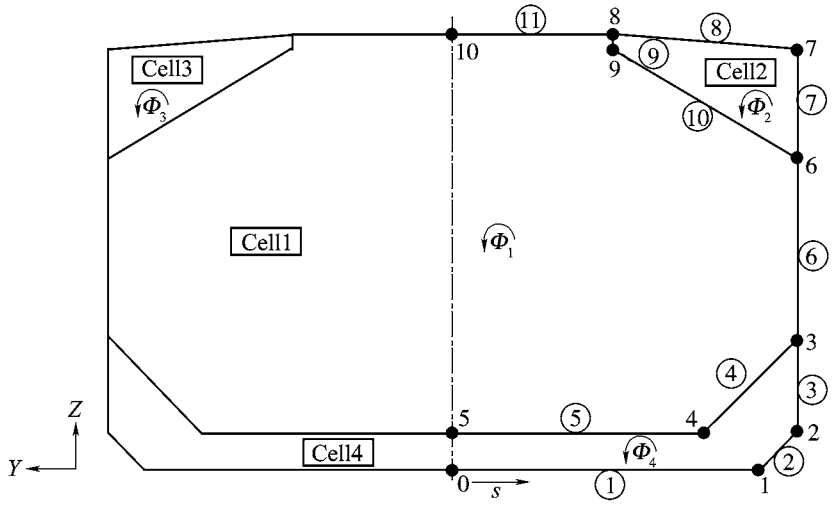


图 5　单舷侧船横剖面

横剖面的节点坐标　　表 1

节点号	Y 坐标	Z 坐标	节点号	Y 坐标	Z 坐标
0	0.00	0.00	6	16.13	14.15
1	14.42	0.00	7	16.13	19.6
2	16.13	1.72	8	7.5	20.25
3	16.13	6.11	9	7.50	19.63
4	11.70	1.68	10	0.00	20.25
5	0.00	1.68			

横剖面线段的节点和尺寸　　表 2

线段号	节点i	节点k	y_i	z_i	y_k	z_k	长度	宽度
1	0	1	0.00	0.00	14.42	0.00	14.42	0.017
2	1	2	14.42	0.00	16.13	1.72	2.43	0.017
3	2	3	16.13	1.72	16.13	6.11	4.39	0.018
4	3	4	16.13	6.11	11.7	1.68	6.26	0.019
5	4	5	11.70	1.68	0.00	1.68	11.70	0.021
6	3	6	16.13	6.11	16.13	14.15	8.04	0.018
7	6	7	16.13	14.15	16.13	19.6	5.45	0.021
8	7	8	16.13	19.60	7.50	20.25	8.65	0.024
9	8	9	7.50	20.25	7.50	19.63	0.62	0.024
10	9	6	7.50	19.63	16.13	14.15	10.22	0.015
11	8	10	7.50	20.25	0.00	20.25	7.50	0.012

2.2　扭转函数 Φ 定义

2.2.1　第一步，建立一个线性方程组来确定每个闭室的扭转函数 Φ，横剖面和室见图 5。

考虑横剖面的 4 个室（图 5 中用长方形框标记），可以建立下列方程系确定扭转函数 Φ，应该注意的是，应考虑旋转方向（扭转函数 Φ_i 的旋转方向与建立方程系时所有 Φ_i 的方向应该一致）。

$$\sum_{1}\frac{s}{t}\Phi_1 \quad -\sum_{1-2}\frac{s}{t}\Phi_2 \quad -\sum_{1-3}\frac{s}{t}\Phi_3 \quad -\sum_{1-4}\frac{s}{t}\Phi_4 \quad = 2\sum_{1}A$$

$$-\sum_{1-2}\frac{s}{t}\Phi_1 \quad +\sum_{2}\frac{s}{t}\Phi_2 \quad = 2\sum_{2}A$$

$$-\sum_{1-3}\frac{s}{t}\Phi_1 \quad +\sum_{3}\frac{s}{t}\Phi_3 \quad = 2\sum_{3}A$$

$$-\sum_{1-4}\frac{s}{t}\Phi_1 \quad +\sum_{4}\frac{s}{t}\Phi_4 \quad = 2\sum_{4}A$$

矩阵的系数可以根据下式求得：

$$\sum_1 \frac{s}{t} = \frac{2.11700}{21} + \frac{2.6265}{19} + \frac{2.8040}{18} + \frac{2.10223}{15} + \frac{2.620}{24} + \frac{2.7500}{12} = 5331.81$$

$$\sum_2 \frac{s}{t} = \frac{10223}{15} + \frac{5450}{21} + \frac{620}{24} + \frac{8654}{24} = 1327.48$$

$$\sum_3 \frac{s}{t} = 1327.48$$

$$\sum_4 \frac{s}{t} = \frac{2.14420}{17} + \frac{2.11700}{21} + \frac{2.6265}{19} + \frac{2.2425}{17} + \frac{2.4390}{18} = 4243.34$$

$$\sum_{1-2} \frac{s}{t} = \frac{10223}{15} + \frac{620}{24} = 707.36$$

$$\sum_{1-3} \frac{s}{t} = 707.36$$

$$\sum_{1-4} \frac{s}{t} = \frac{2.11700}{21} + \frac{2.6265}{19} = 1773.76$$

各室面积可以由下式求得：

$$2\sum_1 A = 2 \cdot 2 \cdot 260.72 = 1042.90\text{m}^2$$

$$2\sum_2 A = 2 \cdot 26.19 = 52.38\text{m}^2$$

$$2\sum_3 A = 52.38\text{m}^2$$

$$2\sum_4 A = 2 \cdot 2 \cdot 35.44 = 141.76\text{m}^2$$

利用这些结果，系数矩阵变为：

$$\begin{aligned}
&5331.81\Phi_1 - 707.360\Phi_2 - 707.36\Phi_3 - 1773.76\Phi_4 = 1042.90\\
&-707.36\Phi_1 + 1327.48\Phi_2 = 52.38\\
&-707.36\Phi_1 + 1327.48\Phi_3 = 52.38\\
&-1773.76\Phi_1 + 4243.34\Phi_4 = 141.76
\end{aligned}$$

本方程组的解如下：

$$\Phi_1 = 0.3018$$

$$\Phi_2 = 0.2003$$

$$\Phi_3 = 0.2003$$

$$\Phi_4 = 0.1596$$

2.3　特性的确定

2.3.1　下一步是根据［1.3］公式确定 ω_k。“*s*”开始于点 0（图 5）且 ω_i=0，随后沿从 0 至 1，2，3，4 到达点 5 的路径。应该注意的是，Φ（l_i/t_i）项在线段 1 至 3（点 0 与 3 之间）为 Φ_4（$l_{1,3}/t_{1,3}$），而在线段 4 与 5 之间因为线段 4 与 5 是 4 室和 1 室的公共边，变为（$\Phi_4 - \Phi_1$）（$l_{4,5}/t_{4,5}$）。此项中，扭转函数的旋转方向和积分方向（路径方向，计算时遵循的方向）一起确定了算术符号。

线段 6 的 ω_i 值应设成点 3 处的值，且 Φ（l_i/t_i）= Φ_1（l_6/t_6），“*s*”沿 6 至 7，8，9 最后返回至 6 的路径。包含扭转函数 Φ 的项中应考虑室 2 和室 1 的公共边。对于点 8 与点 10 间的线段 11，ω_i 值设成点 8 处的值。

线段的其他特性可以按［1.3］中的公式计算。

2.4 横剖面特性的确定

2.4.1 对线段特性进行求和以后，横剖面特性可以按［1.4］计算。

扇形坐标必须按［1.4］转换至剪切中心，表 3 给出了扇形坐标的计算结果：

图 5 中横剖面的扇形坐标 表 3

点 i	$\omega_{O,i}$	$\Delta\omega_{O,i}$	ω_i
0	0.00	0.00	0.00
1	−135.97	84.99	−50.98
2	−134.04	95.07	−38.97
3	−102.32	95.07	−7.25
4	−99.49	68.96	−30.53
5	−0.06	0.00	−0.06
6	−108.20	95.07	−13.13
7	−72.30	95.07	22.77
8	35.07	44.21	79.27
9	33.08	44.21	77.28
10	−2.75	0.00	−2.75

2.5 注释

2.5.1 对单舷侧散货船，船体横剖面通常可以简化成含 4 个方盒的剖面（室 1 为货舱，室 2 和室 3 为顶边舱，室 4 为底边舱和双层底，如算例所示），但是双舷侧散货船横剖面可以简化成仅含 2 个闭室的横剖面（室 1 为货舱，室 2 为双壳结构）。变厚度的线单元的板厚可以用下式求出等效板厚：

$$t_{eq}=\frac{t_1l_1+t_2l_2+\cdots+t_il_i+\cdots+t_kl_k}{\sum_{i=1}^{k} i}$$

由于简化，横剖面与中心线的交点处的扇形坐标值 ω 可能不为 0，简化横剖面的扇形坐标 ω 值与扭转惯性矩 I_T 值，与原始横剖面相比的差异一般应小于 3%。

第 9 章　其 他 结 构

第 1 节　首　　部

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

L_2：规范船长 L，但取值不大于 300 m。

T_B：正常压载工况下的最小设计压载吃水，m。

k：材料系数，定义见第 3 章第 1 节［2. 2］。

m：系数，取为：

- $m = 10$　对于垂直扶强材
- $m = 12$　对于其他扶强材

τ_a：许用剪切应力，N/mm^2，取为：

$$\tau_a = \frac{R_Y}{\sqrt{3}}$$

s：普通扶强材间距，m，沿弦长在跨距中点处量取。

l：普通扶强材跨距，m，沿弦长在支撑构件之间量取，见第 3 章第 6 节，[4. 2]。

c_a：板格的长宽比，等于：

$$c_a = 1.21\sqrt{1+0.33\left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69\frac{s}{l}$$　　取不大于 1. 0

c_r：板格的曲率系数，等于：

$$c_r = 1 - 0.5\frac{s}{r}$$　　取不小于 0. 4

r：曲率半径，m。

1　一般要求

1. 1　适用范围

1. 1. 1　本节要求适用于：

- 位于防撞舱壁前方的结构，即：
  - 首尖舱结构
  - 首柱
- 首外飘区域的加强结构，见［4.1］
- 首部平底区域的加强结构，见［5.1］

1. 2　净厚度

1. 2. 1　按照第 3 章，第 2 节要求，本节中的所有厚度为净厚度，即厚度不包括任何腐蚀增量。总厚度按第 3 章第 2 节［3］要求获得。

2　布置

2. 1　结构布置原则

2. 1. 1　一般要求

外板、上甲板和内底（如适用）的尺寸应该向首端过渡。为避免剖面突变，主要纵向构件的结构连续性应该特别考虑。

首尖舱内的结构，如平台、甲板、水平强框架或舷侧桁材应该与后面的货舱结构嵌接。

如船体内壳结构终止于防撞舱壁处，则应在防撞舱壁之前采用适当的削斜肘板结构，以确保结构连续性。

甲板、船底和舷侧板的纵向扶强材应尽可能向前延伸。

所有外板肋骨和液舱边界扶强材应连续，或在端部有肘板连接。

从首端至首垂线后 0.15L，当使用肘板保持结构连续性时，应使用具有翼板的肘板。

2.1.2　液舱内部结构

如果尖舱用作液舱，水平桁材应设有翼板或在其内缘应设置面板。水平桁应有效地设在防撞舱壁上，以致力得以被良好地传递。

2.2　防倾肘板

2.2.1　对于防撞舱壁之前横骨架式的尖舱或液舱，在主要构件、甲板和 / 或平台之间应按照图 1 来设防倾肘板，其垂直间距不超过 2.6 m。

防倾肘板建造厚度应不小于与其相连的舷侧肋骨腹板的建造厚度。

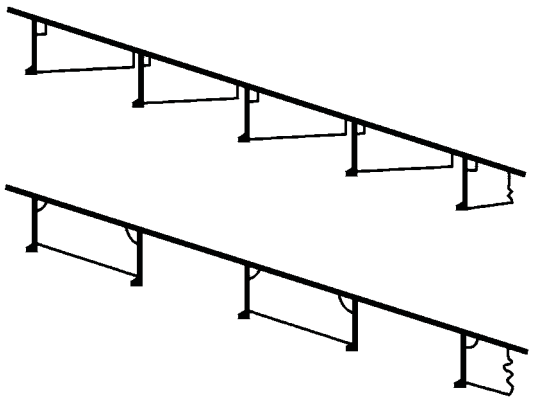


图 1　防倾肘板

2.3　肋板和船底桁材

2.3.1　没有中纵舱壁时，应设置底部中桁材。

通常，在中线处的肋板和中桁材的最小高度应不小于最前货舱双层底要求的高度。

2.3.2　实肋板

对于横骨架式结构，应每档肋位设置实肋板。

对于纵骨架式结构，实肋板的间距应不大于 3.5m 或 4 个肋骨间距，取小者。

2.3.3　船底纵桁

对于横骨架式结构，船底纵桁间距不超过 2.5m。

对于纵骨架式结构，船底纵桁间距不超过 3.5m。

3　载荷模型

3.1　载荷点

3.1.1　除另有规定外，载荷点处侧向压力应按以下章节计算：

- 第 6 章第 1 节 [1.5]，对于板材
- 第 6 章第 2 节 [1.4]，对于扶强材

3.2　船首区域压力

3.2.1　完整工况下的侧向压力

船首区域压力，kN/m^2，应取为（$p_S + p_W$）。

式中：p_S，p_W——第 4 章第 5 节中的静水压力和水动压力，或第 4 章第 6 节［2］所述载荷工况 H、F、R 和 P 中的内部静水压力和惯性压力。

3.2.2　试验工况下的侧向压力

试验工况下的侧向压力 p_T 等于：

- 对于船底外板和舷侧外板 $p_T = p_{ST} - p_S$
- 其他，$p_T = p_{ST}$

式中：p_{ST}——第 4 章第 6 节［4］定义的试验压力；

p_S——压力，其值等于：

- 如果试验在船舶处于浮态时进行：第 4 章第 5 节［1］定义的静水压力，其吃水 T_1 为设计者定义的试验吃水。如果未定义 T_1，则视为试验未在船舶处于浮态时进行；
- 如果试验不在船舶处于浮态时进行：$p_S = 0$。

3.2.3　外壳构件

静水和波浪侧向压力的计算应分别考虑：

- 外部海水的静水压力和波浪压力；
- 与外板邻接舱室在装载情况下的内部静水和波浪压力。如与外板邻接舱室拟装液体，该内部静水和波浪压力应从相应的外部海水静水和波浪压力中减去。

3.2.4　非外壳构件

对于分隔两个相邻舱室的构件，作用于该构件的侧向静水和波浪压力是分别考虑这两个舱室分别被装载时的压力。

3.3　船首外飘区域压力

3.3.1　船首压力 P_{FB}，kN/m^2，应按第 4 章第 5 节［4.1］获得。

3.4　船底砰击压力

3.4.1 船首平底区域的底部砰击压力 P_{SL}，KN/m^2，按第 4 章第 5 节［4.2］要求计算。

4　尺寸

4.1　船首外飘加强

4.1.1　根据［4.2］至［4.4］的适用要求，应加强的船首外飘区域是从距尾端 0.9L 之前，正常压载水线之上的区域。

4.2　板

4.2.1　板材净厚度应不小于按表 1 和表 2 的公式求得之值。

板材最小净厚度　　**表 1**

最 小 净 厚 （mm）	
船底	$5.5 + 0.03L$
舷侧	$0.85L^{1/2}$
内底	$5.5 + 0.03L$
强力甲板	$5.2 + 0.02L$
平台和制荡舱壁	6.5

板 材 净 厚 度　　**表 2**

净　厚（mm）	
完整工况	$t=15.8c_a\,c_r\,s\sqrt{\dfrac{p_S+p_W}{0.9R_Y}}$
船首外飘区域	$t=15.8c_a\,c_r\,s\sqrt{\dfrac{p_{FB}}{0.9R_Y}}$
试验工况	$t=15.8c_a\,c_r\,s\sqrt{\dfrac{p_T}{1.05R_Y}}$

4.3　普通扶强材

4.3.1　一般要求

本项要求适用于视为两端固定的普通扶强材。对其他边界条件，屈服强度校核应根据具体情况考虑。

4.3.2　普通扶强材的净尺寸应符合第 6 章第 2 节［2.3］的要求。

4.3.3　普通扶强材腹板的净厚度，mm，应不小于以下值的较大者：

- $t=3.0+0.015L_2$；
- 根据［4.2］和［5.2］确定的带板净要求厚度的 40%。

普通扶强材的净尺寸应满足第 6 章第 2 节［2.2.3］和［2.3］的要求。

4.3.4　单跨普通扶强材的净尺寸应不小于按表 3 的公式求得之值。

单跨普通扶强材的净尺寸　　**表 3**

扶 强 材 类 型	净剖面模数w（cm^3）	净剖面剪切面积A_{sh}（cm^2）
承受侧向压力的单跨普通扶强材	$w=\dfrac{(p_S+p_W)sl^2}{0.9mR_Y}\times10^3$	$A_{sh}=\dfrac{5(p_S+p_W)sl}{\tau_a\sin\phi}$
位于船首外飘区域的单跨普通扶强材	$w=\dfrac{p_{FB}\,sl^2}{0.9mR_Y}\times10^3$	$A_{sh}=\dfrac{5p_{FB}sl}{\tau_a\sin\phi}$
承受试验压力的单跨普通扶强材	$w=\dfrac{p_T\,sl^2}{1.05mR_Y}\times10^3$	$A_{sh}=\dfrac{5p_T\,sl}{1.05\tau_a\sin\phi}$

式中：ϕ——扶强材腹板与外板的夹角，（°），在扶强材跨距中点处量取；当 ϕ 小于 75° 时应予修正。

4.3.5　多跨普通扶强材的最大正应力 σ 和剪应力 τ 应符合表 4 的公式。

多跨普通扶强材的最大正应力 σ 和剪应力 τ 应通过直接计算确定并计及：

- 静水和波浪压力以及力的分布，如有；
- 中间支撑的数量和位置（甲板、桁材等）；
- 扶强材端部和中间支撑的固定状况；
- 扶强材跨距中间处的几何特征。

多跨普通扶强材的校核衡准　　**表 4**

工况	完整	试验
正应力	$\sigma\leqslant0.9R_Y$	$\sigma\leqslant1.05R_Y$
剪应力	$\tau\leqslant\tau_a$	$\tau\leqslant1.05\tau_a$

4.4　主要支撑构件

4.4.1　最小厚度

主要支撑构件腹板的净厚度，mm，应不小于按下式求得的值：

$$t = 0.7\sqrt{L_2}$$

4.4.2　强肋骨

强肋骨净剖面模数 w，cm^3，和净剪切剖面面积 A_{sh}，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$w = \frac{(p_S + p_W)sl^2}{0.9mR_Y}10^3$$

$$A_{sh} = \frac{5(p_S + p_W)sl}{\tau_a \sin\phi}$$

此外，位于船首外飘区域的强肋骨净剖面模数 w，cm^3，和净剪切剖面面积 A_{sh}，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$w = \frac{p_{FB}sl^2}{0.9mR_Y}10^3$$

$$A_{sh} = \frac{5p_{FB}sl}{\tau_a \sin\phi}$$

4.4.3　舷侧纵桁

舷侧纵桁净剖面模数 w，cm^3，和净剪切剖面面积 A_{sh}，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$w = \frac{(p_S + p_W)sl^2}{0.9mR_Y}10^3$$

$$A_{sh} = \frac{5(p_S + p_W)sl}{\tau_a \sin\phi}$$

此外，位于船首外飘区域的舷侧纵桁净剖面模数 w，cm^3，和净剪切剖面面积 A_{sh}，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$w = \frac{p_{FB}sl^2}{0.9mR_Y}10^3$$

$$A_{sh} = \frac{5p_{FB}sl}{\tau_a \sin\phi}$$

4.4.4　甲板主要支撑构件

甲板主要支撑构件的尺寸应符合第 6 章第 4 节，并计及 [3.2] 和 [3.3] 的载荷。

5　首部平底区域的加强

5.1　适用范围

5.1.1　应作加强的首部平底区域是距首垂线 0.2 $V(L)^{0.5}$ 之前船底的平坦部分，高度至基线上 0.05T_B 或者 0.3m，取小者。

5.2　船底板

5.2.1　首部平底区域的净厚度，mm，应不小于：

$$t = 15.8C_aC_rs\sqrt{\frac{C_sp_{SL}}{R_{eH}}}$$

式中：C_s——关于冲击压力载荷面的系数，取为：

$C_s = 1.0$ 若普通扶强材之间不设中间纵骨

$C_s = 1.3$ 若普通扶强材之间设有中间纵骨

5.2.2 对于肋板升高的船舶，加强板材必须至少延伸至舭部弯曲处。

5.3 普通扶强材

5.3.1 船首平底区域的横向或纵向普通扶强材的净剖面模数，cm^3，应不小于：

$$w = \frac{C_s p_{SL} s l^2}{16 R_{eH}} 10^3$$

式中：C_s——系数，定义见[5.2.1]。

5.3.2 船首平底区域的横向或纵向普通扶强材的净剪切面积，cm^2，应不小于：

$$A = \frac{5\sqrt{3} p_{SL} s (l - 0.5s)}{R_{eH} \sin\phi}$$

焊接的面积应至少为此值的2倍。

5.4 主要支撑构件

5.4.1 桁材

首部双层底区域桁材的净厚度，mm，应不小于按以下各自位置从下列各式计算所得的 t_1 至 t_3 值的最大者：

$$t_1 = \frac{c_A p_{SL} s l}{2(d_0 - d_1)\tau_a}$$

$$t_2 = 1.75\sqrt[3]{\frac{H^2 a^2 \tau_a}{C_1'}} t_1$$

$$t_3 = \frac{C_1'' a}{\sqrt{k}}$$

式中：c_A——系数，取：

$c_A = 3/A$，且 $0.3 \leqslant c_A \leqslant 1.0$

A——所考虑的结构支撑之间的承载面积，m^2；由下式获得：$A=sl$；

p_{SL}——定义见[3.4]；

s——所考虑的中桁材或旁桁材的间距，m；

l——所考虑位置处肋板之间中纵桁或旁纵桁的跨距，m；

d_0——所考虑的中桁材或旁桁材的高度，m；

d_1——所考虑的点处的开口（如有）深度，m；

H——按下式求得的值：

（a）若桁材有未加强的开口：

$$H = 1 + 0.5\frac{\phi}{\alpha}$$

（b）其他情况：

$$H = 1.0$$

ϕ——开口的长轴长度，m；

α——a 或 S_1 的大者，m；

a——所考虑的点处的桁材高度，m。但若水平扶强材设在桁材上，a 是所考虑的水平扶强材至船底外板或内底板的距离或所考虑的水平扶强材之间的距离；

S_1——垂直普通扶强材或肋板的间距，m；

C'_1——根据 S_1/a 按表 5 得出的系数。对于 S_1/a 的中间值，C'_1 通过线性内插法确定；

C''_1——根据 S_1/a 按表 6 得出的系数。对于 S_1/a 的中间值，C''_1 通过线性内插法确定。

系　数　C'_1　　**表 5**

S_1/a	0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4及以上
C'_1	64	38	25	19	15	12	10	9	8	7

系　数　C''_1　　**表 6**

S_1/a		0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6及以上
C''_1	中桁材	4.4	5.4	6.3	7.1	7.7	8.2	8.6	8.9	9.3	9.6	9.7
	边桁材	3.6	4.4	5.1	5.8	6.3	6.7	7.0	7.3	7.6	7.9	8.0

5.4.2　肋板

首部双层底区域肋板的净厚度，mm，应不小于按以下各自位置从下列各式计算所得的 t_1 至 t_3 值的最大者：

$$t_1 = \frac{c_A p_{SL} s l}{2(d_0 - d_1)\tau_a}$$

$$t_2 = 1.75\sqrt[3]{\frac{H^2 a^2 \tau_a}{C'_2}} t_1$$

$$t_3 = \frac{8.5 S_2}{\sqrt{k}}$$

式中：c_A——系数，$c_A = 3/A$ 且 $0.3 \leqslant c_A \leqslant 1.0$；

A——所考虑的结构支撑点之间的承载面积，m^2；由下式获得：

$$A = sl$$

p_{SL}——定义见［3.4］；

s——所考虑的实肋板的间距，m；

l——所考虑位置处中纵桁或旁纵桁之间肋板的跨距，m；

d_0——所考虑的点处的实肋板高度，m；

d_1——所考虑的点处的开口（如有）深度，m；

H——按下式求得的值：

（a）　若实肋板有加强的开口或无开口：

1）若有未加强的开口：

$$H = \sqrt{4.0\frac{d_2}{S_1} - 1.0}$$　　不取为小于 1.0

2）若有加强的开口：

$$H = 1.0$$

（b）　若实肋板有未加强的开口：

1）若有未加强的开口：

$$H = \left(1 + 0.5\frac{\phi}{d_0}\right)\sqrt{4.0\frac{d_2}{S_1} - 1.0}$$　　不取为小于 $1+0.5\dfrac{\phi}{d_0}$

2）若有加强的开口：

$$H = 1 + 0.5\frac{\phi}{d_0}$$

d_2——实肋板上部和下部的未加强开口的深度，m，取大者；

S_1——垂直普通扶强材或桁材的间距，m；

ϕ——开口的长轴长度，m；

a——所考虑点处的实肋板高度，m。但若实肋板上设有水平扶强材，a 是所考虑的水平扶强材至船底外板或内底板的距离，或所考虑的水平扶强材之间的距离；

S_2——S_1 或 a 的小者，m；

C'_2——根据 S_1/d_0 按表 7 得出的系数。对于 S_1/d_0 的中间值，C'_2 通过线性内插法确定。

系　数　C'_2　　表 7

S_1/d_0	0.3及以下	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4及以上
C'_2	64	38	25	19	15	12	10	9	8	7

6　首柱

6.1　实心首柱

6.1.1　载重水线下的实心首柱的总横剖面积，cm^2，应不小于：

$$A_b = 1.25L$$

6.1.2　实心首柱的横剖面积从载重水线开始可朝上端逐渐减至 0.75 A_b。

6.2　平板首柱和球鼻型船首

6.2.1　总厚度，mm，应不小于按以下求得的值：

$$t = (0.6 + 0.4s_B)(0.08L + 6)\sqrt{k} \qquad \text{不大于 } 22\sqrt{k}$$

式中：s_B——水平纵桁（部分或全部）、强胸框架或等效水平加强构件的间距，m。

板的总厚应不小于按［4.2］节求得的净厚度加上第 3 章第 3 节定义的腐蚀增量 t_C。

普通扶强材的尺寸应按第［4.3］节确定。

6.2.2　从载重水线以上 0.6 m 至 $T + C$，总厚度可逐渐减至 0.8 t，t 为［6.2.1］定义的总厚度。

6.2.3　平板首柱和球鼻形船首必须由强胸框架和 / 或骨架加强。

7　首楼

7.1　一般要求

7.1.1　干舷甲板上应设有封闭的首楼

封闭首楼的后舱壁应设在最前货舱的前舱壁处或在其后方，如图 2 所示。但是，如果该要求防碍了舱口盖的操作，则只要首楼长度不低于首柱前边以后的按第 1 章第 4 节 3.2 所规定的干舷船长的 7%，首楼的后舱壁可设在最前货舱的前舱壁的前方。

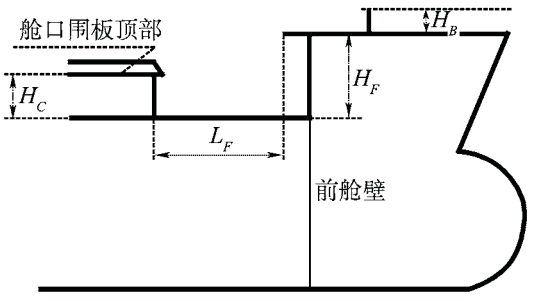


图 2　首楼

7.1.2　首楼在主甲板以上的高度 H_F 应不小于以下值的较大者：

- 第 1 章第 4 节［3.18］规定的上层建筑标准高度
- $H_C + 0.5$ m，H_C 是最前货舱，即第 1 货舱的前部横向舱口围板的高度。

7.1.3　首楼甲板后缘的所有点的位置与舱口围板的距离应小于或等于 l_F：

$$l_F = 5 \times \sqrt{H_F - H_C}$$

在应用第 9 章第 5 节［6.2.2］和第 9 章第 5 节［7.3.8］时，可以减少第 1 货舱的前部横向舱口围板和舱口盖的载荷。

7.1.4　不得为保护舱口围板或舱口盖而在首楼甲板装设挡浪板。如为其他目的而在首楼甲板装设挡浪板，挡浪板的位置应使其中线处的上缘在首楼甲板后缘的前方不小于 $H_B/\tan 20°$ 处，H_B 是挡浪板在首楼以上的高度（见图 2）。

第 2 节　尾　　部

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

L_1：规范长度 L，但取值不大于 200 m。

L_2：规范长度 L，但取值不大于 300 m。

k：第 3 章第 1 节［2.2］定义的材料系数。

z_{TOP}：液舱顶的 Z 坐标，m。

m：系数，取为：

- $m = 10$　对于垂直扶强材；
- $m = 12$　对于其他扶强材。

τ_a：许用剪应力，N/mm^2，取为：

$$\tau_a = \frac{R_Y}{\sqrt{3}}$$

s：普通扶强材间距，m，在跨距中点沿弦长量取。

l：普通扶强材跨距，m，在支撑构件之间沿弦长量取，见第 3 章第 6 节［4.2］。

c_a：板格长宽比，等于：

$$c_a = 1.21\sqrt{1 + 0.33\left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69\frac{s}{l} \qquad \text{取不大于 } 1.0$$

c_r：板格曲率系数，等于：

$$c_r = 1 - 0.5\frac{s}{r} \qquad \text{取不小于 } 0.4$$

r：曲率半径，m。

1　一般要求

1.1　引言

1.1.1　本节的要求适用于位于尾尖舱舱壁后方的结构尺寸和尾部平底区域的加强。

1.1.2　构成不拟载运液体的处所边界并且不属于外壳的尾尖舱结构，应在进水工况下承受侧向压力。其尺寸应按第 6 章中的相关衡准确定。

1.2　尾部与位于尾尖舱舱壁前方结构的连接

1.2.1　过渡

应确保尾部和尾尖舱舱壁前方的结构尺寸之间有适当的过渡。这种过渡应满足这两个区域的尺寸要求。

1.3　净尺寸

1.3.1　按第 3 章第 2 节规定，本节中所指的所有厚度均为净尺寸，即它们不包括任何腐蚀增量。总厚度按第 3 章第 2 节［3］的规定获得。

2　载荷模型

2.1　载荷点

2.1.1　除非另有规定，应按以下章节所述载荷点处计算侧向压力：

- 第 6 章第 1 节［1.5］，对于板材；
- 第 6 章第 2 节［1.4］，对于扶强材。

2.2　侧向压力

2.2.1　完整工况下的侧向压力

完整工况下的尾部侧向压力，kN/m^2，应取为（p_s+p_w）。

式中：p_s，p_w——第 4 章第 5 节中的静水压力和水动压力，或第 4 章第 6 节［2］所述载荷工况 H、F、R 和 P 中的内部静水压力和惯性压力。

2.2.2　试验工况下的侧向压力

试验工况下的侧向压力 p_T 等于：

- 对于船底外板和舷侧外板　　$p_T=p_{ST}-p_S$
- 其他　　$p_T=p_{ST}$

式中：p_{ST}——第 4 章第 6 节［4］定义的试验压力；

p_S——压力，其值等于：

- 如果试验在船舶处于浮态时进行：第 4 章第 5 节［1］定义的静水压力，其吃水 T_1 为设计者定义的试验吃水。如果未定义 T_1，则视为试验未在船舶处于浮态时进行；
- 如果试验不在船舶处于浮态时进行：$p_S=0$。

2.2.3　外板壳件

静水和波浪侧向压力的计算应分别考虑：

- 外部海水的静水压力和波浪压力；
- 与外板邻接舱室在装载情况下的内部静水和波浪压力，如与外板邻接舱室拟装液体，该内部静水和波浪压力应从相应的外部海水静水和波浪压力中减去。

2.2.4　非外壳构件

对于分隔两个相邻舱室的构件，作用于该构件的侧向静水和波浪压力是分别考虑这两个舱室分别被装载时的压力。

3　尾尖舱

3.1　布置

3.1.1　一般要求

尾尖舱一般为横向骨架结构。

3.1.2　肋板

在每档肋位处，应设置实肋板。

肋板高度应与船体形状相协调。如设有尾轴管，肋板高度应至少延伸至尾轴管以上。如果船体型线不允许这种延伸，应在尾轴管以上安装上下边缘加强且紧固在肋骨上的适当高度的板。

在承舵柱，螺旋桨柱和挂舵臂处和附近，肋板应延伸至尖舱顶并增加厚度；厚度的增加应由船级

社根据所提出的布置逐例考虑。

肋板应设有间距不大于 800 mm 的加强筋。

3. 1. 3　舷侧肋骨

舷侧肋骨应延伸至位于满载水线之上的甲板。

舷侧肋骨应以下列结构类型之一来支撑：

- 非密性平台，设有总面积不小于平台面积 10% 的开口；
- 由与强横梁连接的舷侧主要支撑构件支撑的舷侧纵桁。

3. 1. 4　平台和舷侧纵桁

尖舱内的平台和舷侧纵桁的布置应与前方紧邻区域内的平台和舷侧纵桁对齐。

如果由于船体形状和通道需要而使这种布置不可能，则应采用宽过渡肘板确保尖舱和前方紧邻区域结构之间的结构连续性。

如果尾尖舱邻接舷侧纵骨架式的机器处所，尾尖舱中的舷侧纵桁应设有过渡肘板。

3. 1. 5　纵舱壁

非密性纵舱壁应设在船舶中线上，一般在尖舱的上部并在每档肋位处予以加强。

如果船尾外伸部分很大或由水密和制荡舱壁分隔的处所的最大宽度大于 20 m，可要求附加纵向制荡舱壁。

4　尺寸

4.1　板

4. 1. 1　板材的净尺寸应不小于按表 1 和表 2 的公式求得的值。

板材最小净厚度　　**表 1**

最小净厚（mm）		最小净厚（mm）	
船底	$5.5 + 0.03L$	强力甲板	$4.5+ 0.02L$
舷侧和尾板	$0.85L^{1/2}$	平台和制荡舱壁	6.5
内底	$5.5 + 0.03L$		

板 材 净 厚 度　　**表 2**

净　厚　（mm）		净　厚　（mm）	
完整工况	$t = 15.8c_a c_r s\sqrt{\dfrac{p_S + p_W}{0.9R_Y}}$	试验工况	$t = 15.8c_a c_r s\sqrt{\dfrac{p_T}{1.05R_Y}}$

4.2　普通扶强材

4. 2. 1　一般要求

本项要求适用于视为两端固定的普通扶强材。对其他边界条件，屈服强度校核应根据具体情况考虑。

4. 2. 2　普通扶强材的净尺寸应符合第 6 章第 2 节［2. 3］的要求。

4. 2. 3　普通扶强材腹板的净厚度，mm，应不小于以下值的大者：

- $t = 3. 0 + 0. 015L_2$；
- 根据［4. 1］确定的带板净要求厚度的 40%。

普通扶强材的净尺寸应满足第 6 章第 2 节［2.2.3］和［2.3］的要求。

4. 2. 4　单跨普通扶强材的净尺寸应不小于按表 3 的公式求得的值。

单跨普通扶强材的净尺寸　　表 3

扶 强 材 类 型	净剖面模数w（cm^3）	净剖面剪切面积A_{sh}（cm^2）
承受侧向压力的单跨普通扶强材	$w=\dfrac{(p_S+p_W)sl^2}{0.9mR_Y}10^3$	$A_{sh}=\dfrac{5(p_S+p_W)sl}{\tau_a\ \sin\phi}$
承受试验压力的单跨普通扶强材	$w=\dfrac{p_T sl^2}{1.05mR_Y}10^3$	$A_{sh}=\dfrac{5p_T sl}{1.05\tau_a\sin\phi}$

式中：ϕ——扶强材腹板与外板的夹角，（°），在扶强材跨距中点处量取；当 ϕ 小于 75° 时应予修正。

4.2.5　多跨普通扶强材的最大正应力 σ 和剪应力 τ 应符合表 4 的公式。

多跨普通扶强材的校核衡准　　表 4

工　　况	完　　整	试　　验
正应力	$\sigma\leqslant 0.9R_Y$	$\sigma\leqslant 1.05R_Y$
剪应力	$\tau\leqslant\tau_a$	$\tau\leqslant 1.05\tau_a$

多跨普通扶强材的最大正应力 σ 和剪应力 τ 应通过直接计算确定并计及：

- 静水和波浪压力及力的分布，如有；
- 中间支撑的数量和位置（甲板、桁材等）；
- 扶强材端部和中间支撑的固定状况；
- 扶强材跨距中间处的几何特征。

4.3　主要支撑构件

4.3.1　肋板

肋板的净厚度应不小于按下式求得的值，mm：

$$t=0.7\sqrt{L_2}$$

4.3.2　强肋骨

强肋骨的净剖面模数 w，cm^3，和净剪切剖面面积 A_{Sh}，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$w=\frac{(p_S+p_W)sl^2}{0.9mR_Y}10^3$$

$$A_{sh}=\frac{5(p_S+p_W)sl}{\tau_a\sin\ \phi}$$

4.3.3　舷侧纵桁

舷侧纵桁的净剖面模数 w，cm^3，和净剪切剖面面积 A_{sh}，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$w=\frac{(p_S+p_W)sl^2}{0.9mR_Y}10^3$$

$$A_{sh}=\frac{5(p_S+p_W)sl}{\tau_a\ \sin\phi}$$

4.3.4　甲板主要支撑构件

甲板主要支撑构件的尺寸应按照第 6 章第 4 节并计及 [2.2] 中的载荷。

5　船体结构和挂舵臂的连接

5.1　尾尖舱结构和挂舵臂的连接

5.1.1　一般要求

本项要求适用于尖舱结构和挂舵臂的连接，尾框架是开启式的，且与挂舵臂安装在一起。

5.1.2　挂舵臂

挂舵臂设计应使焊接和检验具有足够的通道。

符合第 10 章第 1 节 [9.2] 要求的挂舵臂的尺寸可在船体内逐渐过渡。

不接受塞焊连接方式。

5.1.3　船体结构

在挂舵臂与外壳交叉点和尖舱顶部之间，支撑挂舵臂的船体结构的垂直延伸应满足第 10 章第 1 节 [9.2.6] 和 [9.2.7] 的要求。

邻接挂舵臂的结构，例如外板、肋板、平台和舷侧纵桁、中纵舱壁和其他结构，其厚度应按相应挂舵臂尺寸适当增加。

5.2　尾尖舱以上的结构布置

5.2.1　强肋骨

如设有挂舵臂，与甲板横梁连接的强肋骨应布置在构成尖舱顶部平台和露天甲板之间。

强肋骨间距应不大于：

- 挂舵臂处 2 个肋骨间距；
- 挂舵臂前后 4 个肋骨间距；
- 尾尖舱舱壁附近区域 6 个肋骨间距。

强肋骨应设端肘板且位于尾楼内。如无尾楼，则对于从 [4.3.2] 中的公式获得的值而言，露天甲板下的强肋骨的尺寸应适当增加。

5.2.2　舷侧纵桁

如果从尖舱顶部至露天甲板的高度大于 2.6 m 且舷侧为横骨架式，应设有一个或一个以上舷侧纵桁，最好与前方的相似结构对齐。

6　尾框架

6.1　一般要求

6.1.1　尾框架可由具有空心剖面铸件或锻钢制成，或由板装配而成。

6.1.2　铸钢和组合的尾框架应由适当间隔的水平板加强。铸造时应避免剖面的突然变化；所有剖面应有适当的过渡半径。

6.2　连接

6.2.1　与船体结构连接

尾框架应与船尾结构有效连接，尾框架的下部应向螺旋桨柱前方延伸不小于 $1500 + 6L$ mm 的长度，以与龙骨有效连接。然而，尾框架不必延伸至尾尖舱舱壁以外。

与尾框架连接的外板的净厚度应不小于按下式求得的值，mm:

$$t = 8.5 + 0.045L$$

6.2.2　与龙骨的连接

尾框架下部的厚度应逐渐过渡至实心龙骨或龙骨板的厚度。

如设有龙骨板，尾框架下部的设计应确保与龙骨的有效连接。

6.2.3　与尾肋板的连接

承舵柱和螺旋桨柱应与尾肋板连接，所连接的尾肋板的高度应不小于双层底的高度，厚度不小于按下式求得的值，mm：

$$t = 9 + 0.023L_1$$

6.2.4　与中内龙骨的连接

如果尾框架由铸铁制成，尾框架的下部应尽实际可能设置一纵向腹板以与中内龙骨连接。

6.3　螺旋桨柱

6.3.1　总尺寸

参照第 3 章第 2 节，涉及［6.3.2］至［6.3.4］的所有尺寸和尺寸均为总值，即这些值包括了腐蚀增量。

6.3.2　螺旋桨柱的总尺寸

螺旋桨柱的总尺寸应不小于按表 5（对于单螺旋桨船）和表 6（对于双螺旋桨船）中公式求得的值。

若螺旋桨柱剖面对其纵轴的剖面模数不小于用表 5 或表 6（按适用情况）中的螺旋桨柱尺寸计算的值，与上述不同的螺旋桨柱的尺寸和比例可考虑接受。

6.3.3　轴毂下的剖面模数

如螺旋桨柱无尾框底骨，螺旋桨柱的剖面模数可在轴毂下逐渐减小至按表 1 或表 2（按适用情况）获得的尺寸计算值的 85%。

在任何情况下，螺旋桨柱的厚度应不小于按表中公式求得的值。

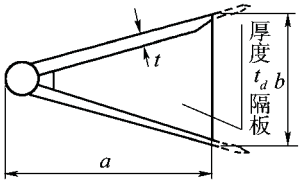
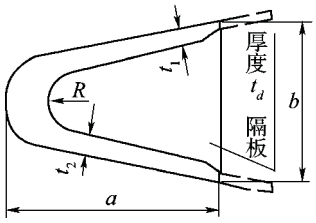
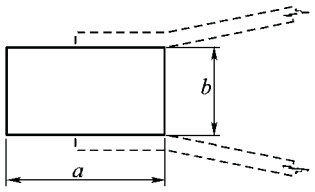
6.3.4　组合的螺旋桨柱与轴毂的焊接

组合的螺旋桨柱与轴毂的焊接应按第 11 章第 2 节。

6.4　轴毂

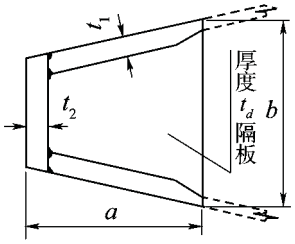
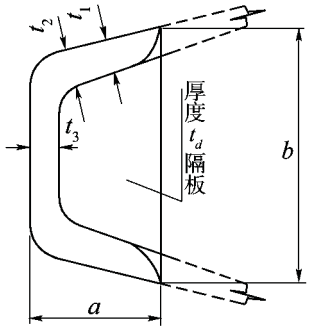
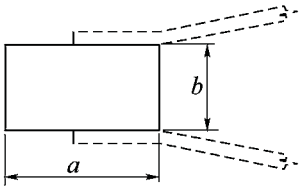
6.4.1　对单螺旋桨船，螺旋桨柱所包含的轴毂，其厚度应不小于［6.3.2］要求的具有矩形剖面螺旋桨柱尺寸“b”的 60%。

单螺旋桨船——螺旋桨柱的总尺寸　　表 5

螺旋桨柱的总尺寸（mm）	组合的螺旋桨柱	铸造的螺旋桨柱	方形螺旋桨柱，铸造或锻造，且具有矩形剖面
			
a	$50\,L^{1/2}$	$33\,L^{1/2}$	$10\sqrt{7.2L-256}$
b	$35\,L^{1/2}$	$23\,L^{1/2}$	$10\sqrt{4.6L-164}$
t_1 (1)	$2.5\,L^{1/2}$	$3.2\,L^{1/2}$ 不小于19 mm	
t_2 (1)		$4.4\,L^{1/2}$ 不小于19 mm	
t_D	$1.3\,L^{1/2}$	$2.0\,L^{1/2}$	
R		$50\,L^{1/2}$	

注：(1) 在任何情况下，螺旋桨柱的厚度 t_1 和 t_2 应不小于（$0.05L + 9.5$）mm。

双螺旋桨船——螺旋桨柱的总尺寸　　**表 6**

螺旋桨柱的总尺寸（mm）	组合的螺旋桨柱	铸造的螺旋桨柱	方形螺旋桨柱，铸造或锻造，且具有矩形剖面
			
a	$25\ L^{1/2}$	$12.5\ L^{1/2}$	$2.4L+6$
b	$25\ L^{1/2}$	$25\ L^{1/2}$	$0.8L+2$
t_1 (1)	$2.5\ L^{1/2}$	$2.5\ L^{1/2}$	—
t_2 (1)	$3.2\ L^{1/2}$	$3.2\ L^{1/2}$	—
t_3	—	$4.4\ L^{1/2}$	—
t_D	$1.3\ L^{1/2}$	$2.0L^{1/2}$	—

注：(1) 在任何情况下，螺旋桨柱的厚度 t_1，t_2 和 t_3 应不小于（$0.05L+9.5$）mm。

6.5　尾轴管

6.5.1　尾轴管

尾轴管的厚度由船级社视具体情况考虑，但任何情况下应不小于邻近尾框架的边板厚度。

如果尾轴管的材料和邻近尾框架的板材材料不同，尾轴管的厚度应至少等于该板材的厚度。

第 3 节　机 器 处 所

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

k：第 3 章第 1 节 [2.2] 定义的材料系数。

P：发动机的最大持续功率，kW。

n_r：功率等于 P 时发动机轴的每分钟转数。

L_E：发动机与基座通过螺栓连接所需发动机底座板的有效长度，m，按发动机制造商的规定。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节的要求适用于与总体强度有关的机器处所结构布置和尺寸。这并非取代须由船厂注意处理的机器制造商的要求。

1.2　尺寸

1.2.1　净尺寸

按第 3 章第 2 节规定，本节中所指的所有尺寸均为净尺寸，即它们不包括任何腐蚀增量。

总尺寸按第 3 章第 2 节 3.1 条的规定获得。

1.2.2　一般要求

除本节中另有规定外，机器处所内的板材、普通扶强材和主要支撑构件的尺寸应按第 6 章中的相关衡准确定。

另外还适用本节中规定的最小厚度要求。

1.2.3　主要支撑构件

设计者可基于应提交给船级社逐例审查的直接计算，提出替代本节要求的布置和尺寸的建议。

船级社如认为必要，也可要求进行这种直接计算。

1.3　机器处所与其前后结构的连接

1.3.1　过渡

应确保机器处所内的尺寸和其前后尺寸之间有适当过渡。过渡应使所有区域满足尺寸要求。

1.3.2　机舱和货舱之间的过渡区

在机舱和最后货舱之间的过渡区内，应充分注意机舱内的主要纵向构件适当过渡，例如平板、甲板、水平环形框架或舷侧纵桁适当过渡到货舱，以及纵舱壁（内壳、上下翼舱）适当过渡到机舱。

若这类结构与该货舱舱壁后方或前方的纵向构件对齐，则应通过在翼舱或机舱内设置大的过渡肘板来实现充分的过渡。

1.3.3　甲板不连续性

在机器处所中断的甲板应通过水平肘板在船舷过渡。

2　双层底

2.1　布置

2.1.1　一般要求

如果机器处所直接在尾尖舱前方，双层底应为横骨架式。在所有其他情况下，双层底可为横骨架式或纵骨架式。

2.1.2　双层底高度

不论机器处所的位置，中线处的双层底高度应不小于第 3 章第 6 节 [6.1] 定义的值。根据主机基座的类型和高度，双层底高度可能需要大幅度增加。

若机器处所很大，且轻压载和满载工况之间的吃水变化较大，上述高度应由船厂增加。

如果机器处所内的双层底高度与邻近处所的双层底高度不同，纵向构件的结构连续性应通过在适当的纵向范围倾斜内底来予以确保。倾斜的内底中的折角应位于肋板处。

2.1.3　船底中桁材

一般来说，船底中桁材不可开孔。在任何情况下，仅在双层底通道和维护保养所绝对需要的情况下才允许中桁上有用作人孔的开口，且在开口处应布置局部加强。

2.1.4　船底旁桁材

机器处所内，就相邻区域而言，船底旁桁材的数量应足够地增加以确保结构的足够刚度。船底旁桁材应是邻近机器处所的区域内任何船底纵骨的连续，其间距一般不大于纵骨间距的 3 倍且应不大于 3 m。

2.1.5　机器基座处的船底旁桁材

机器基座处应设有附加船底旁桁材。

主机基座处布置的底旁桁材应延伸至机器处所的整个长度。

船底桁材应按船底形状，尽实际可能向后延伸，且应在端部由肋板和舷侧主要支撑构件支撑。

在机器处所前舱壁的前方，船底桁材应过渡至少 3 个肋骨间距，并应与船体结构有效连接。

2.1.6　纵骨架式双层底中的肋板

如双层底为纵骨架式，肋板间距应不大于：

- 在主机和推力轴承处，1 个肋骨间距；
- 在机器处所其他区域内，2 个肋骨间距。

在其他重要机器处应设置附加肋板。

2.1.7　横骨架式双层底中的肋板

如机器处所内的双层底为横骨架式，在每档肋骨处均应布置肋板。而且，在锅炉底座或其他重要机器处应设置附加肋板。

2.1.8　肋板加强筋

除第 3 章第 6 节的要求外，肋板还应设有端部削斜且间距不超过 1 m 的腹板加强筋。

腹板加强筋的剖面模数应不小于第 6 章第 2 节［4.1.2］中要求的 1.2 倍。

2.1.9　人孔和阱

基座和相邻区域的肋板上的人孔数量和尺寸应保持在双层底通道和维护保养所必需的最小值。

人孔的高度一般不大于肋板局部高度的 40%，并应不大于 750 mm，人孔的宽度约等于 400 mm。

一般来说，人孔边缘应采用翼板加强；若此要求不能满足，肋板应采用扁钢在人孔边缘适当加强。

带有穿孔活动板的人孔应设在靠近机舱后舱壁阱附近的内底。

位于管弄后端的阱应布置管弄的排水系统。

2.2　最小厚度

2.2.1　内底、肋板和桁材的腹板的净厚度应不小于表 1 中给出的值。

双层底－内底、肋板和桁材腹板的最小净厚度　　**表 1**

构　　件	最小净厚度（mm）
内底	$6.6 + 0.024L$ 船级社可按具体情况，要求增加机器基座处和主推力块上内底的厚度。
内底边板	$0.9L^{1/2} + 1$
中桁材	$1.55L^{1/3} + 3.5$
肋板和旁桁材	$1.7L^{1/3} + 1$
箱型龙骨边界桁材	$0.8L^{1/2} + 2.5$，应不小于对中桁材的要求

3　舷侧

3.1　布置

3.1.1　一般要求

机器处所内舷侧骨架的类型一般与邻近区域采用的类型一致。

3.1.2　机器处所内船体纵向结构的延伸

在机器处所位于船尾且舷侧为纵骨架式的船中，纵向结构最好延伸至机器处所的整个长度。

在任何情况下，纵向结构应从前舱壁向后至少保持机器处所长度的 0.3 倍，应避免纵骨架式和横骨架式结构之间有突然的结构不连续。

3.1.3　强肋骨

强肋骨应与肋板对齐。机舱棚的前端和后端处，最好各设一个强肋骨。

对于纵骨架式舷侧，强肋骨间距应不大于 4 个肋骨间距。

对于横骨架式的舷侧，强肋骨间距应不大于 5 个肋骨间距。腹板高度应不小于邻近肋骨高度的 2 倍，剖面模数应不小于邻近肋骨剖面模数的 4 倍。

按船级社视具体情况而确定的要求，若增加普通扶强材的尺寸，可接受大于上述间距的强肋骨间距。

4　平台

4.1　布置

4.1.1　一般要求

机器处所内平台的位置和延伸应布置成使舷侧纵骨结构以及位于邻接船体区域内的平台和舷侧纵桁连续。

4.1.2　平台强横梁

一般来说，平台强横梁应布置在舷侧或纵舱壁的横向强框架处。

对于纵骨架式平台，平台强横梁的间距应不大于 4 个肋骨间距。

4.2　最小厚度

4.2.1　平台的净厚度应不小于 6.5mm。

5　支柱的设置

5.1　布置

5.1.1　一般要求

机器处所内支柱的布置应考虑机器和上层建筑传递的集中载荷以及主机和辅机的位置。

5.1.2　支柱

支柱一般应布置在下列位置：

- 机舱棚角和平台的大开口角处；作为替代，可在中线上设两个支柱（开口的每一端各一个）；
- 平台强横梁和桁材的相交处；
- 上层建筑的横舱壁和纵舱壁处。

一般来说，支柱端部应设有肘板。

5.1.3　支柱舱壁

一般来说，设在上甲板之下的甲板间的支柱舱壁应位于上层建筑中的承载舱壁处。

纵向支柱舱壁应为机器处所前后邻近处所中的主要纵向船体结构的连续沿伸。

支柱舱壁尺寸应不小于［6.3］中对机舱棚舱壁的要求。

6　机舱棚

6.1　布置

6.1.1　普通扶强材间距

普通扶强材应位于：

- 纵舱壁内的每个肋位处；
- 横舱壁内，间距约为 750 mm。

机舱棚特别暴露于波浪作用的部分的普通扶强材间距由船级社视具体情况考虑。

6.2　开口

6.2.1　一般要求

符合第 6 节［6］要求的所有机器处所开口，应封闭在通至最高层开敞甲板的钢质舱棚中。机舱棚

在端部应通过与支柱相连的甲板横梁和桁材予以加强。

对于大开口，可要求布置横撑材，作为甲板横梁的连续。

设有采光和通气开口的天窗应具有高度不小于下列值的围板：

- 900 mm，如果在位置 1；
- 760 mm，如果在位置 2。

6.2.2　出入门

机舱棚的出入门应符合第 6 节 [6.2] 的要求。

6.3　尺寸

6.3.1　板材和普通扶强材

板材和普通扶强材的净尺寸应不小于按第 9 章第 4 节的适用要求获得的值。

6.3.2　最小厚度

舱壁的净厚度应不小于：

- 5.5 mm，对于货舱处的舱壁；
- 4 mm，对于起居处所处的舱壁。

7　主机基座

7.1　布置

7.1.1　一般要求

主机基座和推力轴承的尺寸应与发动机的重量和功率及推进装置传递的静力和动力相称。

7.1.2　基座支撑结构

支撑基座的横向和纵向构件应分别与肋板和双层底或单层底桁材成一直线布置。

这些支撑构件的布置应避免不连续性并确保焊接及检验和维护保养有足够的可达性。

7.1.3　在双层底结构内的基座

如设有高功率内燃机或涡轮机，基座应与双层底结构成一个整体。支撑基座处座板的桁材应与双层底桁材成一直线并向后延伸以形成推力块的桁材。

基座处的桁材应从座板连续至船底外板。

7.1.4　双层底板材之上的基座

如果基座位于双层底板材之上，基座处的桁材应设有折边肘板，一般位于每档肋骨处并向船舶中心和船舶两舷延伸。

在确保有足够空间供安装座板螺栓的同时，应尽实际可能限制基座在双层底板材之上的延伸。螺栓孔的位置应不干扰基座结构。

7.1.5　单层底结构中的基座

对于在机器处所内具有单层底结构的船舶，基座应位于肋板之上，且应与其下的肋板和桁材充分连接。

7.1.6　机器基座处桁材的数量

主机基座处应至少设有两道桁材。

只有符合下列 3 个公式，方可设一道桁材：

$$L < 150\text{m}$$

$$P < 7100\text{kW}$$

$$P < 2.3 n_r L_E$$

7.2　最小尺寸

7.2.1　内燃机基座处的结构构件的净尺寸应按表 2 中的公式求得。但是，只要关于许用基础刚度的信息考虑了内燃机性能和机舱布置等，基座每个座板的净横剖面面积可以由内燃机厂商确定。

机器基座处结构构件的最小尺寸　　**表 2**

尺寸最小值	尺寸最小值
基座每个座板的净横剖面面积，cm^2	$40+70\dfrac{P}{n_r L_E}$
座板净厚度，mm	座板由两道或两道以上桁材支撑： $\sqrt{240+175\dfrac{P}{n_r L_E}}$ 座板由一道桁材支撑： $5+\sqrt{240+175\dfrac{P}{n_r L_E}}$
机器基座处桁材的总腹板净厚度，mm	座板由两道或两道以上桁材支撑： $\sqrt{320+215\dfrac{P}{n_r L_E}}$ 座板由一道桁材支撑： $\sqrt{95+65\dfrac{P}{n_r L_E}}$
机器基座处肋板的腹板净厚度，mm	$\sqrt{55+40\dfrac{P}{n_r L_E}}$

第 4 节　上层建筑和甲板室

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

L_2：规范船长 L，但取值不大于 300 m。

p_D：甲板侧向压力，kN/m^2，定义见［3. 2. 1］。

p_{SI}：上层建筑两侧的侧向压力，kN/m^2，定义见［3. 2. 3］。

k：材料系数，定义见第 3 章第 1 节［2. 2］。

s：普通扶强材间距，m，在跨距中点沿弦长量取。

l：普通扶强材跨距，m，在支撑构件之间量取，见第 3 章第 6 节［4. 2］。

c：系数，取为：

$c=0.75$　　对于在一端或两端简支的横梁、桁材和强横梁；

$c=0.55$　　其他情况。

m_a：系数，取为：

$$m_a=0.204\frac{s}{l}\left[4-\left(\frac{s}{l}\right)^2\right],\ \text{当}\frac{s}{l}\leqslant 1$$

1　一般要求

1.1　定义

1. 1. 1　上层建筑

见第 1 章第 4 节［3. 12. 1］。

1. 1. 2　甲板室

见第 1 章第 4 节 [3. 15. 1]。

1. 1. 3　长甲板室

长甲板室为船中 0. 4L 区域内长度超过 0. 2L 的甲板室。长甲板室的强度应特别考虑。

1. 1. 4　短甲板室

短甲板室为 [1. 1. 3] 中的定义未包括的甲板室。

1. 1. 5　非有效上层建筑

就本节而言，位于船中 0. 4L 区域以外或长度小于 0. 15L 的所有上层建筑视为非有效上层建筑。

1. 1. 6　隔热烟囱

隔热烟囱的构件尺寸应按甲板室确定。

1. 1. 7　有效上层建筑

未包含在 1. 1. 5 条定义中的上层建筑视为有效上层建筑。

1. 2　总尺寸

1. 2. 1　参照第 3 章第 2 节，涉及 [4] 和 [5] 的所有尺寸和尺寸均为总值，即这些值包括了腐蚀增量。

2　布置

2. 1　上层建筑端部的加强

2. 1. 1　位于船中 0. 4L 区域之内的上层建筑端部舱壁处，强力甲板从外壳起 0. 1B 宽度内的厚度、舷顶列板的厚度和上层建筑船侧外板的厚度应按表 1 规定的加强百分比予以增加。加强范围应从端部舱壁向后 4 个肋骨间距至端部舱壁向前 4 个肋骨间距。

加 强 的 百 分 比　　表 1

上层建筑类型	强力甲板和舷顶列板	上层建筑的船侧外板
有效	30%	20%
非有效	20%	10%

2. 1. 2　船中 0. 6L 区域处的强力甲板下，桁材应与纵向围壁对齐，且应在纵向围壁的端点外延伸至少 3 个肋骨间距。桁材应与纵向围壁重叠至少两个肋骨间距。

2. 2　加强构件的连接

2. 2. 1　甲板横梁的连接

横向甲板横梁应按第 3 章第 6 节，通过肘板与肋骨连接。

穿过纵向围壁和桁材的甲板横梁可通过无肘板焊接，分别与纵向围壁的扶强材和桁材腹板连接。

2. 2. 2　甲板纵桁和强横梁的连接

舱壁处桁材的端部连接的尺寸应使弯矩和剪力得以传递。桁材下的舱壁扶强材应有足够的尺寸来支撑桁材。

面板应按第 3 章第 6 节由防倾肘板加强。在剖面对称的桁材处，防倾肘板应交替布置在腹板的两边。

2. 2. 3　上层建筑肋骨的端部连接

上层建筑肋骨应与下面的主肋骨连接，或与甲板连接。可按图 1 进行端部连接。

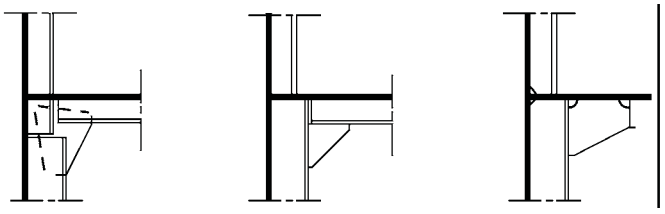


图 1　上层建筑肋骨的端部连接

2.3　上层建筑和甲板室的横向结构

2.3.1　上层建筑和甲板室的横向结构应通过合理布置端部舱壁、强肋骨、客舱钢质围壁和机舱棚或其他措施以获得足够的尺寸。

2.4　封闭式上层建筑的开口

2.4.1　参照经修正的国际载重线公约（MSC. 143（77）决议第 12（1）条）

封闭式上层建筑端壁上的所有出入开口均应装设与舱壁永久地固定、设有门框的风雨密门，且加强和装设的方式应使整个结构与未经贯穿的舱壁具有同等强度。这些门的布置方式应使其在舱壁两边都能进行操作。

2.4.2　参照经修正的国际载重线公约（MSC. 143（77）决议第 12（3）条）

封闭式上层建筑端壁上的出入开口的门槛高度，应高出甲板至少 380 mm。

2.4.3　直接位干舷甲板之上的上层建筑甲板或甲板室甲板（围蔽升降口的甲板室）上的任何开口应由有效的风雨密关闭保护。

3　载荷模型

3.1　载荷计算点

3.1.1　除另有规定外，应在以下章节定义的载荷计算点计算侧向压力：

- 第 6 章第 1 节［1.5］　对板材；
- 第 6 章第 2 节［1.4］　对普通扶强材和主要支撑构件。

3.2　载荷

3.2.1　甲板的侧向压力

上层建筑和甲板室甲板的侧向压力，kN/m^2，应取：

- 第 4 章第 5 节［2.1］定义的外部压力 p_D，对露天甲板；
- 5 kN/m^2，对非露天甲板。

3.2.2　露天驾驶室顶部的侧向压力

露天驾驶室顶部的侧向压力 p，kN/m^2，按第 4 章第 5 节［3.2］获得。

3.2.3　上层建筑两侧的侧向压力

上层建筑两侧的侧向压力 p_{SI}，kN/m^2，按第 4 章第 5 节［3.3］获得。

4　尺寸

4.1　非有效上层建筑的侧板

4.1.1　非有效上层建筑的侧板总厚度，mm，应不小于下列值的较大者：

$$t = 1.21s\sqrt{kp_{SI}} + 1.5$$

$$t = 0.8\sqrt{kL}$$

4.2　非有效上层建筑的甲板板

4.2.1　非有效上层建筑的甲板总厚度，mm，应不小于下列值的较大者：

$$t = 1.21s\sqrt{kp_D} + 1.5$$

$$t = (5.5 + 0.02L)\sqrt{k}$$

式中：L 取值不大于 200 m。

4.2.2　如果附加上层建筑布置在干舷甲板上的非有效上层建筑上，可按［4.2.1］要求的总厚度可减少 10%。

4.2.3　如甲板由敷层保护，可按［4.2.1］和［4.2.2］的甲板总厚度减少 1.5mm。但是，这种甲板

板的厚度应不小于 5 mm。

如使用木材以外的敷层，应注意敷层不影响钢板。铺板应有效地安装在甲板上。

4.3　甲板横梁和支撑甲板结构

4.3.1　横向甲板梁和甲板纵向普通扶强材

横向甲板梁和甲板纵向普通扶强材的剖面模数 w，cm^3，和剪切面积 A_{sh}，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$w = ckp_D sl^2$$

$$A_{sh} = 0.05(1 - 0.817m_a)kp_D sl$$

4.3.2　甲板纵桁和强横梁

甲板纵桁和强横梁的剖面模数 w，cm^3 和剪切面积 A_{sh}，cm^2 应不小于按下式求得的值：

$$w = ckp_D el^2$$

$$A_{sh} = 0.55kp_D el$$

式中：e——无支撑的相邻板域承载面积的宽度，m，从一个板域的中间量至对面板域的中间。

纵桁高度应不小于 $l/25$。为使甲板横梁连续穿过而开有扇形口的纵桁，其腹板高度应至少为甲板横梁高度的 1.5 倍。

如纵桁在全部纵桁区域内不是相同的剖面模数，其在支撑件处应保持较大的尺寸并逐渐减小至较小的尺寸。

4.4　上层建筑肋骨

4.4.1　剖面模数和剪切面积

上层建筑肋骨的剖面模数 w，cm^3 和剪切面积 A_{sh}，cm^2 应不小于按下式求得的值：

$$w = 0.55kp_{SI} sl^2$$

$$A_{sh} = 0.05（1 - 0.817m_a）kp_{SI} sl$$

4.4.2　若肋骨由纵骨架式甲板支撑，设在强肋骨之间的肋骨应通过肘板与相邻的纵向普通扶强材连接。肘板的尺寸应根据肋骨的剖面模数，按照第 3 章第 6 节来确定。

4.4.3　若在上层建筑上还布置上层建筑或甲板室，可要求加强下面处所的肋骨。

4.5　短甲板室甲板

4.5.1　板材

短甲板室露天甲板的厚度，mm，应不小于：

$$t = 8s\sqrt{k} + 1.5$$

对于有敷层保护的短甲板室露天甲板和甲板室内的甲板，总厚度可减少 1.5mm。但是，这种甲板板的厚度应不小于 5 mm。

4.5.2　甲板横梁

甲板横梁和支撑甲板结构的尺寸应按［4.3］确定。

5　上层建筑和甲板室端部舱壁

5.1　适用范围

5.1.1　［5.2］和［5.3］的要求适用于经修正的国际载重线公约要求的，形成对开口和起居舱室唯一保护的上层建筑和甲板室端部舱壁。

5.2　载荷

5.2.1　用以确定尺寸的设计载荷 p_A，kN/m^2，应根据第 4 章第 5 节［3.4］获得。

5.3　尺寸

5.3.1　扶强材

扶强材的剖面模数 w，cm^3, 应不小于按下式求得的值：

$$w = 0.35kp_A sl^2$$

这些要求假定最低层扶强材的腹板与甲板有效焊接。可特别考虑其他类型端部连接的尺寸。

甲板室侧壁扶强材的剖面模数不必大于正对其下甲板上的肋骨剖面模数；计及间距 s 和跨距 l。

5.3.2　板厚度

板材厚度，mm，应不小于按下列各式求得值的较大者：

$$t = 0.9s\sqrt{kp_A} + 1.5$$

$$t_{\min} = \left(5.0 + \frac{L_2}{100}\right)\sqrt{k}$$　　对于最低层

$$t_{\min} = \left(4.0 + \frac{L_2}{100}\right)\sqrt{k}$$　　对于上面各层，但不小于 5.0 mm。

第 5 节　舱　口　盖

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

p_S：[4.1] 中定义的静水压力，kN/m^2。

p_W：[4.1] 中定义的波浪压力，kN/m^2。

p_C：[6.2] 中定义的作用于舱口围板上的压力，kN/m^2。

F_S, F_W：系数，取为：

F_S=0 和 F_W=0.9　　对于压载货舱的舱口盖上承受压载水载荷

F_S=1.0 和 F_W=1.0　　其他

s：基本板格的短边长度，m。

l：基本板格的长边长度，m。

b_p：[3] 中定义的普通扶强材或主要支撑构件的带板的有效宽度，m。

w：普通扶强材或主要支撑构件的净剖面模数，cm^3，带板宽度为 b_p。

A_{sh}：普通扶强材或主要支撑构件的净剪切剖面面积，cm^2。

m：普通扶强材和主要支撑构件的边界系数，等于：

$m = 8$，对于普通扶强材和主要支撑构件两端简支或一端支持另一端固定的情况；

$m = 12$，对于普通扶强材和主要支撑构件两端固定的情况。

t_C：[1.4] 中定义的总腐蚀增量，mm。

σ_a, τ_a：[1.5] 中定义的许用应力，N/mm^2。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　[1] 至 [8] 的要求适用于露天甲板上位置 1 和 2（定义见第 1 章第 4 节 [3.20]）中的钢质舱口盖。

[9] 中的要求适用于船首 0.25L 内的露天前甲板上的钢质小舱口盖。

1.2　材料

1.2.1　钢

[5] 中给出的尺寸公式适用于钢质舱口盖。

建造钢质舱口盖所用的材料应符合船级社的适用要求。

CCS1. 2. 1　钢

[5] 中给出的尺度公式适用于钢质舱口盖。

建造钢质舱口盖所用的材料应符合 CCS《材料和焊接规范》的有关要求。

1. 2. 2　其他材料

对于非钢材料的使用，船级社将逐例考虑，并审核所采用的构件尺寸衡准是否能够保证在强度和刚度上等同于钢质舱口盖。

1. 3　净尺寸

1. 3. 1　除另有规定外，本节中所有尺寸为净尺寸，即它们不包括任何腐蚀增量。

计算 [5. 3] 和 [5. 4] 中的应力 σ 和 τ 时，应使用净尺寸。

总尺寸按第 3 章第 2 节的规定获得。

腐蚀增量见 [1. 4]。

1. 4　腐蚀增量

1. 4. 1　对于舱口盖的板材和内部构件，两面的总腐蚀增量等于表 1 中规定的值。

对于舱口围板和围板支撑的腐蚀增量按第 3 章第 3 节的定义。

舱口盖的腐蚀增量 t_C　　表 1

两面的腐蚀增量t_C（mm）	
单层舱口盖的板材和扶强材	2.0
双层舱口盖顶板和底板	2.0
双层舱口盖的内部结构	1.5

1. 5　许用应力

1. 5. 1　参照经修正的载重线公约（MSC. 143（77）决议第 15（6）和 16（5）条）

许用应力 σ_a 和 τ_a，N/mm^2，应从表 2 获得。

许 用 应 力（N/mm^2）　　表 2

构　　件	承 受 载 荷	σ_a（N/mm^2）	τ_a（N/mm^2）
风雨密舱口盖	外部压力，定义见第4章第5节[5.2.1]	0.80 R_{eH}	0.46 R_{eH}
箱形舱口盖		0.68 R_{eH}	0.39 R_{eH}
风雨密舱口盖和箱形舱口盖	其他载荷，定义见第4章第5节[5.1.1]和第4章第6节[2]	0.90 R_{eH}	0.51 R_{eH}

2　布置

2. 1　舱口围板高度

2. 1. 1　参照经修正的载重线公约（MSC. 143（77）决议第 14（1, 1）条）（译者注:应为 14-1（1（a））条）

舱口围板在甲板之上的高度应不小于：

- 600 mm 在位置 1
- 450 mm 在位置 2

2. 1. 2　参照经修正的载重线公约（MSC.143（77）决议第 14（1, 2）条）（译者注:应为 14-1（1（b））条）

关于上述值，若主管机关确信船舶安全在任何海况下不受影响，则由带有衬垫和紧固装置的钢质

舱口盖关闭的在位置 1 和 2 的舱口围板的高度可减小，或围板可完全取消。

在这种情况下，舱口盖的尺寸、衬垫、紧固装置和甲板凹处的排水由船级社逐例考虑。

2.1.3　不论所采用何种类型的关闭装置，在封闭式上层建筑内的开口处可减小围板高度或取消围板。

2.2　舱口盖

2.2.1　露天甲板上的舱口盖应为风雨密。

封闭式上层建筑内的舱口盖不必风雨密。

然而，压载水舱、燃油舱或其他液舱的舱口盖应为水密。

2.2.2　舱口盖的普通扶强材和主要支撑构件应尽实际可能在舱口盖的宽度和长度范围内连续。如不可行，则不得使用削斜的端部连接，而应采用适当的结构布置以确保足够的承载能力。

2.2.3　与普通扶强材方向平行的主要支撑构件的间距应不大于主要支撑构件跨距的 1/3。

2.2.4　若无横向支撑的跨距大于 3 m，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。

面板外伸应不超过面板总厚度的 15 倍。

2.2.5　应设有有效的限位装置，以防止舱口盖在其上货物（如有时）施加的纵向和横向力的作用下平移。这些限位装置应位于舱口围板边肘板处。

2.2.6　舱口盖各支承面的宽度应至少为 65 mm。

2.3　舱口围板

2.3.1　围板、扶强材和肘板应能经受紧固和移动舱口盖所需的夹紧装置和操作设备处的局部力以及舱口盖上将堆放的货物造成的局部力。

2.3.2　应特别注意前部舱口的前横向围板的强度以及该围板上的舱口盖关闭装置的尺寸。

2.3.3　纵向围板应至少延伸至甲板横梁的下边缘；

- 如果它们不是连续甲板纵桁的一部分，纵向围板的下缘应在开口端部向外延伸至少 2 个肋骨间距。
- 如果纵向围板是甲板纵桁的一部分，其尺寸应符合第 6 章第 4 节的要求。

2.3.4　在甲板之下应设强横梁或相似结构，与舱口横向围板对齐。横向围板应在甲板之下延伸并与强横梁连接。

2.4　小舱口

2.4.1　如果位于位置 1，小舱口围板的高度应不小于 600 mm，如果位于位置 2，小舱口围板的高度应不小于 450 mm。

如果关闭装置是由衬垫和摆动式紧固螺栓作风雨密紧固的铰链钢盖，围板的高度可减小或围板可整个取消。

2.4.2　小舱口盖的强度应相当于主舱口所要求的强度且小舱口盖应为钢质风雨密，一般设有铰链。

紧固装置和舱口盖边缘的加强应使得在任何海况下均能保持风雨密。

每边应至少设有一个紧固装置。圆孔铰链视为等同于紧固装置。

2.4.3　露天甲板上的货舱出入口应设有风雨密金属舱口盖，除非这些出入口受到封闭式上层建筑的保护。本要求同样适用于首楼甲板上通过围阱直接通往干货舱的出入口。

2.4.4　通往隔离舱和压载舱的出入口应为人孔，应设有水密人孔盖并用间距足够紧密的螺栓固定。

2.4.5　特殊设计的舱口由船级社逐例考虑。

3　带板的宽度

3.1　普通扶强材

3.1.1　校核普通扶强材时所考虑的带板宽度，m，应按下式求得：

- 如果带板在扶强材两边侧伸：

$$b_p = s$$

- 如果带板在扶强材一边侧伸：

$$b_p = 0.5s$$

3.2　主要支撑构件

3.2.1　对于采用单独梁或板架模型分析的主要支撑构件，其屈服和屈曲校核所计及的带板有效宽度，m，应按下式求得：

- 如带板在主要支撑构件的两侧延伸：

$$b_p = b_{p,1} + b_{p,2}$$

- 如带板在主要支撑构件的一侧延伸：

$$b_p = b_{p,1}$$

式中：$b_{p,1}$ = 最小（$0.165l_p$，$S_{p,1}$）；

$b_{p,2}$ = 最小（$0.165l_p$，$S_{p,2}$）；

l_p——所计及的主要支撑构件的跨距，m；

$S_{p,1}$，$S_{p,2}$——所计及的主要支撑构件和相邻主要支撑构件之间的一半距离，m，$S_{p,1}$ 用于一侧，$S_{p,2}$ 用于另一侧。

使用单独梁或板架分析时，普通扶强材的面积应不包括在主要构件的带板中。

4　载荷模型

4.1　侧向压力和力

4.1.1　一般要求

作用于舱口盖上的侧向压力和力在［4.1.2］至［4.1.6］中指出。如两个或多个板块通过铰链连接时，则应分别考虑各单独的板块。

在任何情况下，位于露天甲板上的舱口盖应考虑［4.1.2］中定义的海水压力。另外，当舱口盖拟承载均匀货物、特殊货物或集装箱时，［4.1.3］至［4.1.6］中定义的压力和力应与海水压力分开考虑。

4.1.2　海水压力

静水和波浪侧向压力应予以考虑并应等于：

- 静水压力：$p_S = 0$
- 第 4 章第 5 节［5.2］中定义的波浪压力 p_W

4.1.3　压载水引起的内部压力

如适用，静态和动态侧向压力应予以考虑，定义见第 4 章第 6 节［2］。

4.1.4　均匀货物引起的压力

如适用，静压力和动压力应予以考虑，定义见第 4 章第 5 节［2.4.1］。

4.1.5　特殊货物引起的压力或力

在舱口盖上载运特殊货物（例如管道等）可能在航行中临时蓄水，其所承受的侧向压力或力应由船级社逐例考虑。

4.1.6　集装箱引起的力

当舱口盖上载运集装箱时，集装箱角下的集中力应按船级社的适用要求确定。

CCS4.1.6　集装箱引起的力

在舱口盖上载运集装箱时，集装箱角下的单元货物载荷应按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 20 节的适用要求确定。

4.2　载荷点

4. 2. 1　露天甲板上舱口盖的波浪侧压

作用于各舱口盖的波浪侧向压力应在下列位置计算：

- 纵向，在舱口盖长度中点
- 横向，在船舶纵向对称平面上
- 垂向，在舱口盖的顶端

4. 2. 2　波浪压力以外的侧向压力

侧向压力应在下列位置计算：

- 对于板材，在板格的几何重心处
- 对于普通扶强材和主要支撑构件，在跨距中点

5　强度校核

5. 1　一般要求

5. 1. 1　适用范围

强度校核适用于承受均匀压力的矩形舱口盖，其设计将主要支撑构件布置在一个方向或设计为具有纵向和横向主要支撑构件的板架结构。

在后一种情况下，主要支撑构件的应力应通过板架或有限元分析来确定。

应校核集中载荷引起的应力是否符合［5.4.4］中的衡准。

5. 1. 2　支承集装箱的舱口盖

支承集装箱的舱口盖的尺寸应符合船级社的适用规定。

CCS5. 1. 2　支承集装箱的舱口盖

支承集装箱的舱口盖的尺度应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 20 节的有关要求。

5. 1. 3　承载特殊货物的舱口盖

对于支撑特殊货物的舱口盖，普通扶强材和主要支撑构件一般应通过直接计算来校核，且应考虑到扶强材布置及其相对惯性矩，应按［5.4.4］中的衡准校核特殊货物引起的应力。

5. 1. 4　小舱口盖

盖板的总厚度应不小于 8 mm。若舱盖的最大水平尺寸超过 0. 60 m，该厚度应予以增加，或作有效加强，并使船级社满意。

5. 2　板材

5. 2. 1　净厚度

钢质舱口盖顶部板材的净厚度，mm，应不小于按下式求得的值：

$$t = 15.8F_pS\sqrt{\frac{F_S p_S + F_W p_W}{0.95R_{eH}}}$$

式中：F_p——组合膜和弯曲响应的因子，等于：

$F_p = 1.50$　　一般情况

$F_p = 1.9\sigma/\sigma_a$　　对于主要支撑构件的带板 $\sigma \geqslant 0.8\sigma_a$ 时

σ——主要支撑构件带板的正应力，N/mm^2，根据情况按［5. 4. 3］计算或者通过板架分析或有限元分析确定。

5. 2. 2　最小净厚度

参照经修正的载重线公约（MSC. 143（77）决议第 16（5）（c）条）

除［5. 2. 1］外，舱口盖顶部板材的净厚度，mm，还应不小于下列两个值中的较大者：

$$t = 10s$$

$$t = 6$$

5. 2. 3　临界屈曲应力校核

主要支撑构件弯曲引起的，且与普通扶强材方向平行的舱口盖板压应力 σ，应符合以下公式的要求：

$$\sigma \leqslant \frac{0.88}{S}\ \sigma_{C1}$$

式中：S——第 6 章第 3 节中定义的安全因子；

σ_{C1}——临界屈曲应力，N/mm^2，取为：

$$\sigma_{C1} = \sigma_{E1} \qquad \text{对于} \quad \sigma_{E1} \leqslant \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_{C1} = \sigma_{eH}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_{E1}}\right) \qquad \text{对于} \quad \sigma_{E1} > \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_{E1} = 3.6E\left(\frac{t}{1000s}\right)^2$$

t——板格净厚度，mm。

主要支撑构件弯曲引起的，且垂直于普通扶强材方向的舱口盖板压应力 σ，应符合以下公式的要求：

$$\sigma \leqslant \frac{0.88}{S}\ \sigma_{C2}$$

式中：S——第 6 章第 3 节中定义的安全因子；

σ_{C2}——临界屈曲应力，N/mm^2，取为：

$$\sigma_{C2} = \sigma_{E2} \qquad \text{对于} \quad \sigma_{E2} \leqslant \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_{C2} = R_{eH}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_{E2}}\right) \qquad \text{对于} \quad \sigma_{E2} > \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_{E2} = 0.9mE\left(\frac{t}{1000s_s}\right)^2$$

m——系数，取为：

$$m = c\left[1 + \left(\frac{s_s}{l_s}\right)^2\right]^2 \frac{2.1}{\psi + 1.1}$$

t——板格净厚度，mm；

s_s——板格短边长度，m；

l_s——板格长边长度，m；

Ψ——最小和最大压应力之比；

c——系数，取为：

c = 1. 30　当板材以主要支撑构件加强时；

c = 1. 21　当板材以角钢或 T 型普通扶强材加强时；

c = 1. 10　当板材以球扁钢普通扶强材加强时；

c = 1. 05　当板材以扁钢加强时。

c = 1. 30　当板材以普通 U 型材加强时；如果板材经屈曲校核修正，且使用非线性有限元方法和船级社认为合适的方法，则更高的 C 值也可考虑，但不应大于 2.0。

另外，舱口盖板材的双轴压应力在通过有限元分析计算时，应符合第 6 章第 3 节的要求。

5.3　普通扶强材

5.3.1　对于扁钢普通扶强材，h_w/t_w 比值应符合以下公式要求：

$$\frac{h_w}{t_w} \leqslant 15\sqrt{\frac{23}{R_{eH}}}$$

5.3.2　腹板最小净厚度

普通扶强材腹板净厚度，mm，应不小于 4mm。

5.3.3　净剖面模数和净剪切剖面面积

承受侧向压力的普通扶强材的净剖面模数 w，cm^3，和净剪切剖面面积 A_{sh}，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$w = \frac{(F_S p_S + F_W p_W)\ sl_s^2}{m\sigma_a} \times 10^3$$

$$A_{sh} = \frac{5\ (F_S p_S + F_W p_W) sl_s}{\tau_a}$$

式中：l_s——普通扶强材跨距，m，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（按适用情况）。当在所有普通扶强材跨距的两端设有肘板时，普通扶强材跨距可减小肘板最小臂长的 2/3，但不大于总跨距的 10%。

5.3.4　临界屈曲应力校核

主要支撑构件弯曲引起的，且与普通扶强材方向平行的普通扶强材面板中的压应力 σ，应符合以下公式的要求：

$$\sigma \leqslant \frac{0.88\sigma_{CS}}{S}$$

式中：S——第 6 章第 3 节中定义的安全因子；

σ_{CS}——临界屈曲应力，N/mm^2，取为：

$$\sigma_{CS} = \sigma_{ES} \qquad \text{对于} \quad \sigma_{ES} \leqslant \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_{CS} = R_{eH}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_{ES}}\right) \qquad \text{对于} \quad \sigma_{ES} > \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_{ES} = \min（\sigma_{E3}，\sigma_{E4}）$$

$$\sigma_{E3} = 0.001\frac{EI_a}{Al^2}$$

I_a——普通扶强材的惯性矩，cm^4，包括一块宽度等于普通扶强材间距的带板；

A——普通扶强材的横剖面面积，cm^2，包括一块宽度等于普通扶强材间距的带板；

l——普通扶强材跨距，m；

$$\sigma_{E4} = \frac{\pi^2 EI_w}{10^4 I_p l^2}\left(m^2 + \frac{K}{m^2}\right) + 0.385E\frac{I_t}{I_p}$$

$$K = \frac{Cl^4}{\pi^4 EI_w} 10^6$$

m——半波数，由表 3 给出。

I_w——普通扶强材对其与板材连接的扇性惯性矩，cm^6，取为：

$$I_w = \frac{h_w^3 t_w^3}{36} 10^{-6}$$　　对扁钢普通扶强材

$$I_w = \frac{t_f t_f^3 h_w^2}{12} 10^{-6}$$　　对 T 型普通扶强材

$$I_w = \frac{b_f^3 h_w^2}{12(b_f + h_w)^2} \left[t_f (b_f^2 + 2 b_f h_w + 4 h_w^2) + 3 t_w b_f h_w \right] 10^{-6}$$　　对角形和球扁钢普通扶强材

I_p——普通扶强材对其与板材连接的极惯性矩，cm^4，取为：

$$I_p = \frac{h_w^3 t_w}{3} 10^{-4}$$　　对扁钢普通扶强材

$$I_p = \left(\frac{h_w^3 t_w}{3} + h_w^2 b_f t_f \right) 10^{-4}$$　　对折边普通扶强材

I_t——无面板的普通扶强材的 St Venant 惯性矩，cm^4，取为：

$$I_t = \frac{h_w t_w^3}{3} 10^{-4}$$　　对扁钢普通扶强材

$$I_t = \frac{1}{3} \left[h_w t_w^3 + b_f t_f^3 \left(1 - 0.63 \frac{t_f}{b_f} \right) \right] 10^{-4}$$　　对折边普通扶强材

C——舱口盖顶板施加的弹性刚度，取为：

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

$k_p = 1 - \eta_p$，取不小于零；对折边普通扶强材，k_p 不必取小于 0.1

$$\eta_P = \frac{\sigma}{\sigma_{E1}}$$

σ_{E1}——定义见［5.2.3］；

t_p——舱口盖板格的净厚度，mm。

半　波　数　　表 3

	$0<K<4$	$4<K<36$	$36<K<144$	$(m-1)^2 m^2 < K \leqslant m^2 (m+1)$
m	1	2	3	m

5.4　主要支撑构件

5.4.1　适用范围

［5.4.3］至［5.4.5］的要求适用于可通过独立梁模型分析的主要支撑构件。

板架形式布置且不可通过独立梁模型分析的主要支撑构件，应使用［5.4.4］中的校核衡准通过直接计算校核。

5.4.2　腹板最小净厚度

主要支撑构件的腹板净厚度，mm，应不小于 6mm。

5. 4. 3　独立梁的正应力和剪应力

如不根据［5. 1. 1］中的要求进行板架分析或有限元分析，则主要支撑构件的最大正应力 σ 和剪应力 τ，N/mm^2，应按下式求得：

$$\sigma = \frac{s(F_S p_S + F_W p_W) l_m^2}{mW} \times 10^3$$

$$\tau = \frac{5s(F_S p_S + F_W p_W) l_m}{A_{sh}}$$

式中：l_m——主要支撑构件的跨距。

5. 4. 4　校核衡准

视具体情况按［5. 4. 3］计算或者通过板架分析或有限元分析确定的正应力 σ 和剪应力 τ，应符合下列公式：

$$\sigma \leqslant \sigma_a$$

$$\tau \leqslant \tau_a$$

5. 4. 5　挠度限制

参照经修正的载重线公约（MSC. 143（77）决议第 15（6）和 16（5）（b）条）

主要支撑构件在承载海水压力时，其净惯性矩应使挠度不超过 $\mu l_{\max}$，

式中：μ——系数，等于：

- μ= 0. 0056　　对于风雨密舱口盖；
- μ= 0. 0044　　对于箱形舱口盖；

$l_{\max}$——主要支撑构件的最大跨距，m。

5. 4. 6　主要支撑构件腹板板格的临界屈曲应力校核

视具体情况按［5. 4. 3］计算或者通过板架分析或有限元分析确定的主要支撑构件的腹板板格剪应力 τ，应符合下列公式：

$$\tau \leqslant \frac{0.88\tau_C}{S}$$

式中：S——第 6 章第 3 节定义的安全因子；

τ_C——临界剪切屈曲应力，N/mm^2，取为：

$$\tau_C = \tau_E \qquad \text{对于 } \tau_E \leqslant \frac{R_{eH}}{2\sqrt{3}}$$

$$\tau_C = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sqrt{3}\tau_E}\right) \qquad \text{对于} \tau_E > \frac{R_{eH}}{2\sqrt{3}}$$

$$\tau_E = 0.9k_t E\left(\frac{t_{pr,n}}{1000\,d}\right)^2$$

$$k_t = 5.35 + 4.0\left(\frac{a}{d}\right)^2$$

$t_{pr,n}$——主要支撑构件腹板的净厚度，mm；

a——主要支撑构件腹板板格的较大尺寸，m；

d——主要支撑构件腹板板格的较小尺寸，m。

对于与普通扶强材方向平行的主要支撑构件，τ_C 应通过考虑板格的实际尺寸来计算。

对于与普通扶强材方向垂直的主要支撑构件或无普通扶强材的舱口盖，应取尺寸为 d 的假定方板格来确定应力 τ_C, d 是主要支撑构件腹板板格的较小尺寸，m。在这种情况下，应考虑该板格末端处计算值的平均剪应力 τ。

5.4.7　对于主要支撑构件腹板上的抗屈曲扶强材，h_w/t_w 比值应符合下列公式：

$$\frac{h_w}{t_w} \leqslant 15\sqrt{\frac{235}{R_{eH}}}$$

5.5　具有变化横剖面的普通扶强材和主要支撑构件

5.5.1　具有变化横剖面的普通扶强材和主要支撑构件的净剖面模数应不小于按下列公式求得值的较大者，cm^3：

$$w = w_{CS}$$

$$w = \left(1 + \frac{3.2\alpha - \Psi - 0.8}{7\Psi + 0.4}\right) w_{CS}$$

式中：w_{CS}——等截面的净剖面模数，cm^3，符合［5.4.4］中的校核衡准

α——系数，等于：

$$\alpha = \frac{l_1}{l_0}$$

Ψ——系数，等于：

$$\psi = \frac{w_1}{w_0}$$

l_1——变化剖面部分的长度，m（见图 1）；

l_0——端部支撑之间的跨距，m（见图 1）；

w_1——末端的净剖面模数，cm^3（见图 1）；

w_0——跨距中点处的净剖面模数，cm^3（见图 1）。

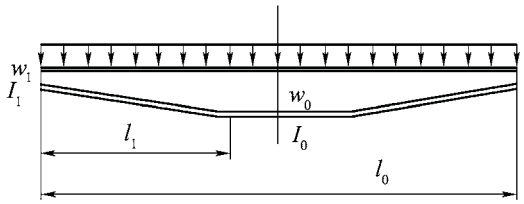


图 1　变化横剖面的扶强材

此外，具有变化横剖面的普通扶强材和主要支撑构件的净惯性矩应不小于按下列公式求得值的较大者，cm^4：

$$I = I_{CS}$$

$$I = \left[1 + 8\alpha^3\left(\frac{1-}{0.2+3\sqrt{\varphi}}\right)\right] I_{CS}$$

式中：I_{CS}——等截面的净惯性矩，cm^4，符合［5.4.5］

φ——系数，等于：

$$\varphi = \frac{I_1}{I_0}$$

I_1——末端的净惯性矩，cm^4（见图 1）；

I_0——跨距中点处的净惯性矩，cm^4（见图 1）。

这些公式的使用局限于确定沿长度不会发生剖面突变的普通扶强材和主要支撑构件的强度。

6　舱口围板

6.1　加强

6.1.1　舱口围板普通扶强材应在舱口围板的宽度和长度范围内连续。

6.1.2　围板应用一个形状适合舱口盖关闭装置的扶强材在其上边缘加强。

此外，当舱口盖设有防水油布时，长度超过 3 m 或高度超过 600 mm 的围板周围应设置角钢或球扁钢；此扶强材应设置在上边缘以下约 250 mm 处。角钢水平折边的宽度应不小于 180mm。

6.1.3　若舱口盖设有防水油布，围板应通过间距不大于 3 m 的肘板或撑柱加强。

如果围板的高度超过 900 mm，可要求附加的加强。

但是，保护区域中的横向围板可减少。

6.1.4　当两个舱口互相靠近时，应设有甲板下扶强材来连接纵向围板以保持强度的连续性。

对长度超过 9 个肋骨间距的舱口，末端处 2 个肋骨间距范围内应设有类似的加强。

在一些情况下，船级社可要求在甲板以上保持围板的连续性。

6.1.5　如设有水密金属舱口盖，可采用等效强度的其他布置。

6.2　载荷模型

6.2.1　作用于舱口围板上的侧向压力 p_c 在［6.2.2］和［6.2.3］中定义。

6.2.2　船首第 1 货舱前横向舱口围板上的波浪侧向压力 p_c，kN/m^2，应等于：

- $p_c = 220$，若按照第 1 节［7.1］设有首楼
- $p_c = 290$，其他情况下

6.2.3　除船首第 1 货舱前横向舱口围板以外的其他舱口围板上的波浪侧向压力 p_c，kN/m^2，应等于：

- $p_c = 220$

6.2.4　对拟载运液货的货舱，施加于舱口围板的液体内部压力也应按第 4 章第 6 节确定。

6.3　尺寸

6.3.1　板材

舱口围板的净厚度应不小于按下列公式求得值的较大者，mm：

$$t = 15.98s\sqrt{\frac{p_c}{0.95R_{eH}}}$$

$$t = 9.5$$

6.3.2　普通扶强材

舱口围板纵向或横向普通扶强材的净剖面模数应不小于按下式求得的值，cm^3：

$$W = 1.21\frac{p_c s l^2 10^3}{m c_p R_{eH}}$$

式中：m——系数，取为：

$m = 16$　　一般情况

$m = 12$　　对于在围板角隅处，扶强材端部削斜的跨距

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，mm，等于 $40t$，t 为带板的净厚度。

$c_p = 1.16$　如无更精确的估算时取此值

6.3.3　舱口围板撑柱

以梁作为围板撑柱，其设计成有面板与甲板连接或削斜和设有肘板（见图 2 和图 3 的示例），围板撑柱净剖面模数 w，cm^3，和净厚度 t_w，mm，在与甲板的连接处应不小于按下列公式求得的值：

$$w = \frac{s_C p_c H_C^2 10^3}{1.9 R_{eH}}$$

$$t_w = \frac{s_C p_c H_C 10^3}{0.5 h R_{eH}}$$

式中：H_C——撑柱高度，m；

s_C——撑柱间距，m；

h——与甲板连接处的撑柱深度，m。

只有当面板与甲板板全焊透连接，且设有适当的甲板下结构以支撑其传递的应力时，计算围板撑柱的剖面模数才可计入面板面积。

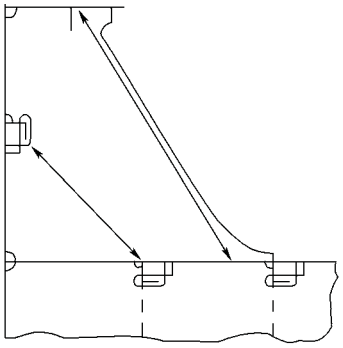


图 2　围板撑柱：例 1

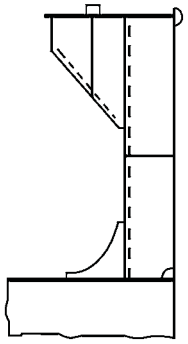


图 3　围板撑柱：例 2

对于围板撑柱的其他设计，例如图 4 和图 5 中所示者，视具体情况通过板架分析或有限元分析确定其应力水平，并在应力最大的位置进行校核。应力水平应符合下列公式：

$$\sigma \leqslant 0.95 R_{eH}$$

$$\tau \leqslant 0.5 R_{eH}$$

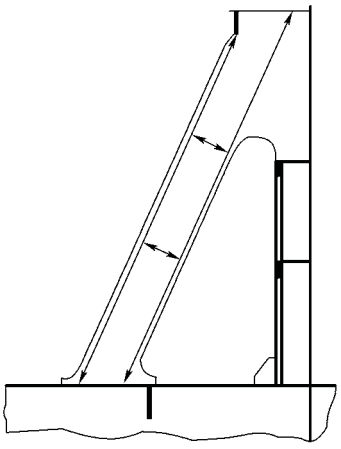


图 4　围板撑柱：例 3

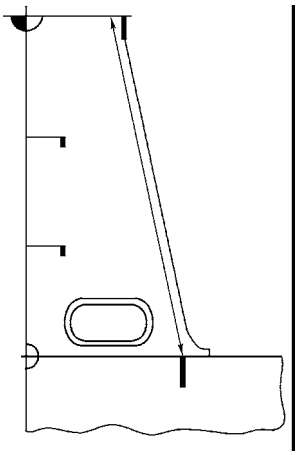


图 5　围板撑柱：例 4

6.3.4　局部细节

为了将舱口盖上的压力传递至舱口围板并通过围板传递至下面的甲板结构，局部细节的设计应符

合本节的要求。

舱口围板和支撑结构应充分加强，以便承受纵向、横向和垂向的舱口盖载荷。

由撑柱传递的载荷在甲板下结构中引起的正应力 σ 和剪应力 τ，N/mm^2，应符合下列公式：

$$\sigma \leqslant 0.95R_{eH}$$

$$\tau \leqslant 0.5R_{eH}$$

除另有说明外，应按船级社的要求确定焊接连接尺寸和选择材料。

撑柱腹板与甲板板的连接应采用双面连续角焊，焊喉厚度应不小于 $0.44t_w$，t_w 为撑柱腹板的总厚度。

撑柱腹板趾端与甲板板的连接应采用 K 形深熔焊缝，延伸距离不小于撑柱宽度的 15%。

CCS6.3.4　局部细节

局部细节的设计应符合本节的要求，以将舱口盖上的压力传递至舱口围板并通过围板传递至下面的甲板结构。

舱口围板和支撑结构应适当加强，以便承受纵向、横向和垂向的舱口盖载荷。

由撑柱传递的载荷在甲板下结构中引起的正应力 σ 和剪应力 τ，N/mm^2，应符合下列公式：

$$\sigma \leqslant 0.95R_{eH}$$

$$\tau \leqslant 0.5R_{eH}$$

除另有说明外，焊接尺寸和材料选用应符合本篇第 1 章第 3 节和第 4 节的有关要求。支撑构件的腹板与甲板的焊接应采用双面连续焊，焊喉应不小于 $0.44t_w$，其中 t_w 为围板支撑构件的腹板实际厚度。

围板支撑构件腹板趾部与甲板的焊接应采用双面开坡口深熔焊，且延伸的距离应不小于围板支撑宽度的 15%。

6.3.5　小舱口的围板

围板板的总厚度应不小于下列值中的小者：

- 开口线内甲板的总厚度，计算时假定该位置的扶强材间距为围板高度值和扶强材之间距离值（如有）的小者，或
- 10 mm

若围板高度超过 0.80 m 或最大水平尺寸超过 1.20 m 时，围板应适当加强，除非其形状可确保足够的刚度。

7　风雨密、关闭装置、紧固装置和制动器

7.1　风雨密

7.1.1　参照经修正的载重线公约（MSC.143（77）决议第 16（1）条）

如果舱口是露天的，应通过数量和质量足够的衬垫和夹紧装置来确保风雨密。

也可通过防水油布来确保风雨密。

7.1.2　一般而言，舱口盖每侧应设有至少两个紧固装置或等效装置。

7.2　衬垫

7.2.1　舱口盖和堆放在舱口盖上的货物的重量以及船舶运动产生的惯性力，应通过钢对钢的接触传递到船舶结构。

这可通过舱口盖裙板与船舶结构的连续的钢对钢接触或采用规定的承载垫来实现。

7.2.2　密封应采用较为柔软的弹性材料制成的连续衬垫，将其挤压以达到必要的风雨密。

如设有扁钢或角钢用于挤压，在其与衬垫接触处应将棱角倒圆并应由防腐蚀材料制成。

7.2.3　当舱口盖和船体结构之间或各块舱口盖之间存在大的相对运动时，衬垫和紧固装置应保持有效性。

如需要，应设有适当的装置以限制这种运动。

7.2.4　衬垫材料的质量应适合船舶可能遇到的所有环境条件，并应与运输的货物相容。

所选的衬垫的材料和外形应与舱口盖类型、紧固装置以及舱口盖和船舶结构之间的预计相对运动一起考虑。

衬垫应有效固定在舱口盖上。

7.2.5　围板和与衬垫接触的舱口盖的钢质部分应无尖锐的边缘。

7.2.6　舱口盖和船体结构之间的接地连接要求金属接触。如需要，应通过特殊连接来达到目的。

7.3　关闭装置，紧固装置和制动器

7.3.1　一般要求

板格舱口盖应通过沿围板和在各块舱口盖之间，以适当间隔设置的合适装置（螺栓、楔或类似物）被紧固。

应使用不易移除的适当方式来安装锁紧和制动装置。

除以上要求外，所有舱口盖，特别是承载甲板货物的舱口盖，还应有效紧固以防止船舶运动导致的水平力引起的水平位移。

船舶两端方向，垂向加速度力可能超过重力。按［7.3.5］至［7.3.7］确定紧固装置尺寸时，应考虑产生的升力。还应考虑船舶横摇时系固在舱口盖上的货物的升力。

舱口围板和支撑结构应适当加强以承受来自舱口盖的载荷。

对于设有特殊密封装置的舱口盖、隔热的舱口盖、齐平的舱口盖和围板高度减少的舱口盖（见［2.1］），应由船级社逐例考虑。

如舱口盖承载集装箱，关闭装置的尺寸应计及集装箱可能传递的向上垂直力。

7.3.2　布置

紧固和制动装置的布置应确保舱口盖和围板之间以及相邻舱口盖之间的衬垫充分压紧。

应根据舱口盖的类型和尺寸以及紧固装置之间舱口盖边缘的刚度，确定布置和间距并充分注意风雨密的有效性。

在多块舱口盖的交迭接头处，应设有（阴 / 阳）垂直导轨来防止承载 / 未承载盖板之间产生过度的相对垂向变形。

制动器的位置应与舱口盖和船舶结构之间的相对运动相容，以防止对它们造成损害。制动器的数量应尽可能少。

7.3.3　间距

紧固装置的间距一般不超过 6 m。

7.3.4　结构

可接受尺寸减小的紧固装置，但须能证明海水到达甲板的可能性可忽略不计。

紧固装置应有可靠结构且与舱口围板、甲板或舱口盖牢固连接。

每块舱口盖上的各紧固装置应有大约相同的刚度特性。

7.3.5　紧固装置面积

每个紧固装置的净横剖面面积，cm^2，应不小于按下式求得的值：

$$A = 1.4 S_S \left(\frac{235}{R_{eH}} \right)^{\alpha}$$

式中：S_S——紧固装置的间距，m；

α——系数，等于

- $\alpha = 0.75$ 对于　　$R_{eH} > 235 N/mm^2$
- $\alpha = 1.0$ 对于　　$R_{Eh} \leqslant 235 N/mm^2$

在上述计算中，R_{eH} 可不大于 $0.7R_m$。

在舱口盖和围板之间及交迭接头处，足以达到风雨密的垫料线压力应通过紧固装置来保持。对于

超过 5 N/mm 的垫料线压力，净横剖面面积 A 应以正比例增加。应对垫料线压力作出详细说明。

若紧固装置由于舱口的不寻常宽度而存在过大应力时，上述紧固装置的净横剖面面积 A 应通过直接计算确定。

7.3.6　边缘构件的惯性矩

舱口盖边缘刚度应足以保持紧固装置之间适当的密封压力。边缘构件的惯性矩，cm^4，应不小于按下式求得的值：

$$I = 6p_L S_S^4$$

式中：p_L——垫料线压力，N/mm，不小于 5 N/mm；

S_S——紧固装置的间距，m。

7.3.7　杆或螺栓的直径

对于面积超过 5 m^2 的舱口，杆或螺栓的总直径应不小于 19 mm。

7.3.8　制动器

舱口盖应通过制动器有效锁紧，以可承受 175 kN/m^2 压力产生的横向力。

除第 1 舱舱口盖外，舱口盖应通过制动器有效锁紧，以可承受 175 kN/m^2 压力产生的作用于首端的纵向力。

第 1 舱舱口盖应通过制动器有效锁紧，以可承受 230 kN/m^2 压力产生的作用于首端的纵向力。如按第 1 节［7.1］设置首楼，该压力可减小到 175 kN/m^2。

制动器、支撑结构和制动器焊缝的焊喉计及的等效应力应等于或小于许用值 $0.8R_{eH}$。

7.4　防水油布

7.4.1　参照经修正的载重线公约（MSC.143（77）决议第 15（11）条）

如果舱口盖的风雨密通过防水油布来确保，应设有至少二层防水油布。

防水油布应无黄麻，防水，有足够的强度并能抵御大气干扰和高温低温。

在防水处理前，植物纤维制成的防水油布每单位表面的质量应不小于：

- 0.65 kg/m^2　　对于通过涂焦油来防水
- 0.60 kg/m^2　　对于通过化学涂装来防水
- 0.55 kg/m^2　　对于通过黑油涂装来防水

除了植物纤维制成的防水油布，船级社也可接受合成纤维织物或层压塑料制成的防水油布，但其强度、防水性和耐高温低温性方面的质量须与植物纤维制成的防水油布等同。

7.5　夹扣

7.5.1　如设有杆式夹扣，应结合使用弹性垫圈或弹性垫。

7.5.2　如采用液压夹紧，应有牢靠的方法来确保其在液压系统发生故障时，在关闭位置能保持机械锁定。

7.6　楔

7.6.1　楔

参照经修正的载重线公约（MSC.143（77）决议第 15（10）条）

楔应由硬木制成，一般长度不超过 200 mm，宽度不超过 50 mm。

它们通常应以不大于 1/6 的比例削斜，厚度应不小于 13 mm。

8　泄水系统

8.1　布置

8.1.1　泄水通道应通过槽形型材或舱口边和端部围板的垂向延伸，布置在衬垫线以内。

8.1.2　泄水口应布置在泄水道的末端且应设有有效的设备（例如止回阀或等效物）以防止水从外部进入。

8.1.3　多盖板舱口盖的交迭接头应布置成能从衬垫之上的空间和衬垫之下的泄水道泄水。

8.1.4　如果在舱口盖和船舶结构之间布置成连续的外部钢接触，也应可从钢接触和垫圈之间的空间泄水。

9　露天前甲板上的小舱口

9.1　适用范围

9.1.1　本条中的要求适用于船首 0.25*L* 内的露天前甲板上的钢质小舱口盖，且舱口处的露天甲板在夏季载重水线以上的高度小于 0.1*L* 或 22 m，取其小者。

小舱口是指设计成进入甲板之下处所的舱口，并能风雨密或水密（按适用情况）关闭。小舱口的开口通常等于或小于 2.5m^2。

9.1.2　设计成用于应急逃生的小舱口应符合本条中的要求，但 [9.4.1]a）和 b）、[9.4.3] 和 [9.5.1] 中的要求除外。

9.2　强度

9.2.1　对于矩形钢质小舱口盖，板的总厚度、扶强材布置和尺寸应不小于从表 4 和图 6 中获得的值（mm）。

按 [9.3.1] 中（参见图 6）要求，普通扶强材（如设有）应与金属对金属接触点对齐。

主要扶强材应是连续的。

所有扶强材应与边缘内侧扶强材焊接（见图 7）。

在前甲板上的钢质小舱口盖的总尺度　　**表 4**

名义尺寸（mm × mm）	盖板厚度（mm）	主要扶强材	普通扶强材
		扁钢（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
1330×1330	8	150×12；1	100×10；2

9.2.2　舱口围板的上边缘应通过一个水平型材适当加强，一般距围板的上边缘不超过 170 至 190 mm。

9.2.3　对于圆形或类似形状的小舱口盖，盖板的厚度和加强应符合 [5.2]。

9.2.4　对于非钢质材料制成的小舱口盖，所要求的尺寸应能提供同等的强度。

9.3　风雨密

9.3.1　舱口盖应设有弹性材料制成的衬垫。应设计成在设计压紧工况下允许金属对金属接触，以防止上浪力对衬垫造成过度压缩，并可能进一步导致紧固装置松开或脱开。金属对金属接触应按图 6 布置于靠近每个紧固装置，且足以承受支承力。

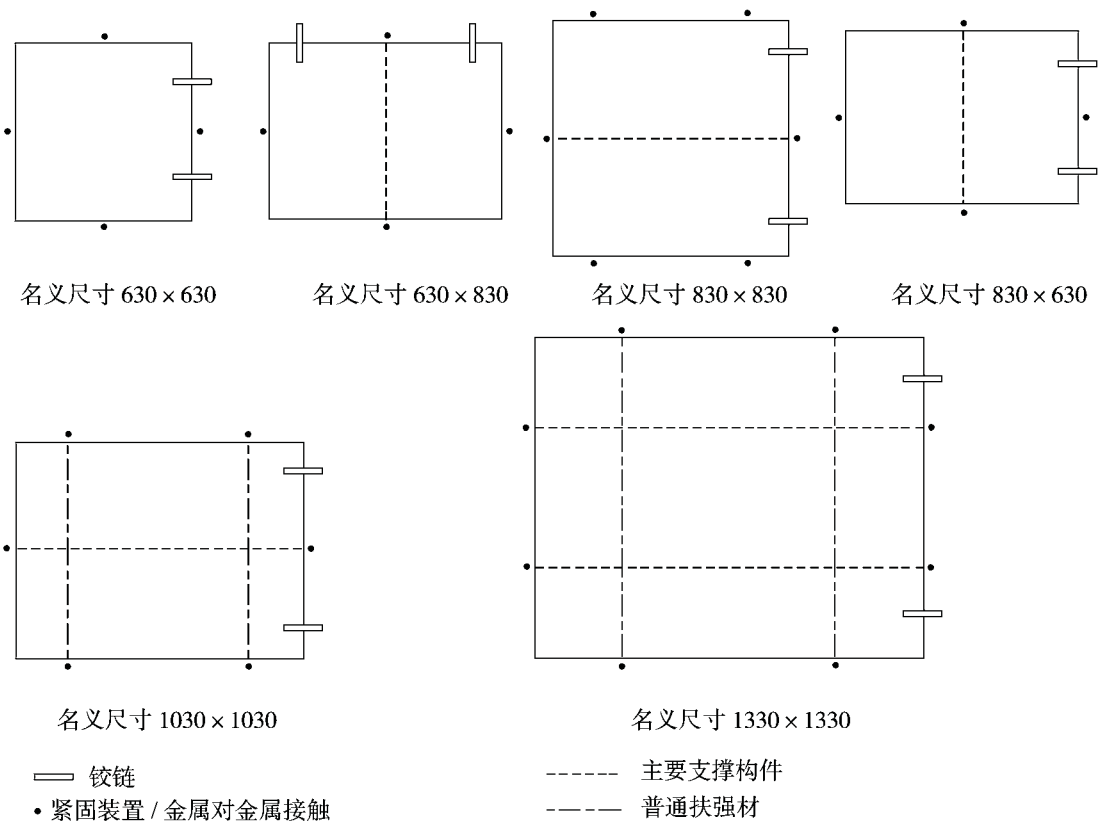


图 6　扶强材布置

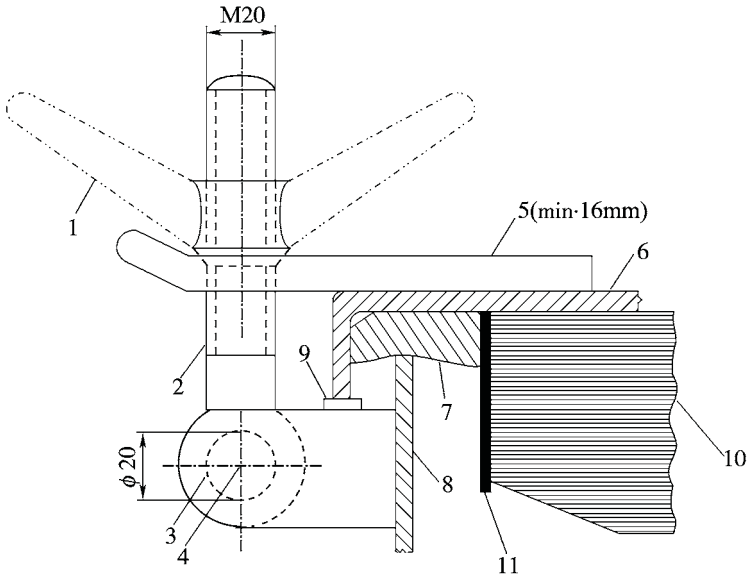


图 7　主锁紧方法示例

1- 蝶形螺母 ;2- 螺栓 ;3- 销钉 ;4- 销钉中心 ;5- 叉（夹钳）板 ;6- 舱口盖 ;7- 衬垫 ;8- 舱口围板 ;9- 焊接在锁紧螺栓肘板上用作金属对金属接触的承压板 ;10- 扶强材 ;11- 边缘内侧扶强材

9.4　主锁紧装置

9.4.1　露天前甲板上的小舱口应设有主锁紧装置，使舱口盖能锁紧就位，并通过采用下列方法之一的机构达到风雨密 ：

a) 收紧至叉板（夹钳）上的蝶形螺母；

b) 快速作用夹扣；

c) 中心锁紧装置。

不可使用带有楔块的把手（旋转锁紧把手）。

9.4.2　主锁紧方法的设计和布置应使设计压缩压力可通过一个人不需任何工具即可达到。

9.4.3　对于使用蝶形螺母的主锁紧方法，叉板（夹钳）应设计牢固，其设计应把蝶形螺母使用时脱开的风险降至最小，方法是叉板向上弯曲，在自由端升高或类似方法。未加强钢叉板的板厚应不小于 16 mm。示范布置见图 7。

9.4.4　对位于最前货舱口前方的露天甲板上的小舱口盖，铰链的安装应使上浪的主要方向会导致舱口盖关闭，这意味着铰链通常应位于前边缘。

9.4.5　位于主舱口之间的小舱口，如第 1 货舱和第 2 货舱之间，铰链应位于前缘或舷侧边缘，采用其中可以有效防止横浪和首斜浪的甲板上浪。

9.5　次锁紧装置

9.5.1　前甲板上的小舱口应设有独立的次锁紧装置，例如一个滑动螺栓，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。它应设在舱口盖铰链对面的一边。

第 6 节　船体和上层建筑开口布置

符号

本节未定义的符号见第 1 章第 4 节。

p：玻璃的侧向压力，kN/m^2，见 3.3.2。

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节的要求适用于船体和上层建筑开口的布置，但不包括第 9 章第 5 节适用的舱口。

1.2　定义

1.2.1　上层建筑的标准高度

上层建筑的标准高度定义见第 1 章第 4 节。

1.2.2　标准舷弧

标准舷弧的定义按经修订的 1966 年国际载重线公约。

1.2.3　暴露区

暴露区是指与船舷距离等于或小于 0.04B 处设置的上层建筑或甲板室的边界。

1.2.4　非暴露区

非暴露区是指与船舷距离大于 0.04B 处设置的甲板室的边界。

2　外部开口

2.1　一般要求

2.1.1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 25-10.1 条

所有通向在破损分析中假定为完整的且位于最终破损水线以下的舱室的外部开口，应要求水密。

2.1.2　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 25-10.2 条

根据［2.1.1］要求水密的外部开口应有足够的强度，除货舱盖外，在驾驶室应设有指示器。

2.1.3　诸如边门、窗或舷门之类的永久开口或临时开口，不允许在海上撤离系统登乘站和最轻载

航海工况水线之间的舷侧外板上开设。如符合船级社对防火完整性的适用衡准，允许设有非开启型的窗和舷窗。

CCS2. 1. 3　不管是永久开口或临时开口（例如边门，窗或舷门），不允许在海上撤离系统登乘站和最轻载航海工况水线之间的舷侧外板上设有开口。如符合本规范第 6 篇对结构防火完整性的适用衡准，允许设有非开启型的窗和舷窗。

2. 1. 4　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 25-10. 5 条

为确保内部开口的水密完整性而在航行中保持永久关闭的其他关闭装置，应有一个通告牌贴于其上，说明必须保持关闭。用螺栓紧固盖子的人孔不必设此通告牌。

2. 2　舷门、装货门和装煤门

2. 2. 1　参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17. 10. 1 和 10. 2 条和经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 21（2）条）

设于干舷甲板以下的舷门、装货门及装煤门，均应具有足够的强度。此类门在船舶出港前应切实水密地关闭和紧固，并应在航行中保持关闭状态。

此类舷门的最低点均应不低于最深分舱载重线。

除经船级社另行同意外，开口的下边缘应不低于船侧干舷甲板的平行线，该线最低点在最高载重线上边缘以上至少 230 mm。

3　舷窗、窗和天窗

3. 1　一般要求

3. 1. 1　适用范围

[3. 1] 至 [3. 4] 中的要求适用于处在暴露于海浪和 / 或恶劣天气作用之下的位置的用于采光和通气舷窗及矩形窗。

3. 1. 2　舷窗定义

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 23（2）条）

舷窗是指面积不超过 0. 16 m^2 的圆形或椭圆形开口。面积超过 0. 16 m^2 的圆形或椭圆形开口应作为窗处理。

3. 1. 3　窗定义

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 23（3）条）

窗一般是矩形开口，在其每个角隅按照公认的国家或国际标准具有一个与窗的尺寸相适应的圆弧过渡，也包括面积超过 0. 16m^2 的圆形或椭圆形开口。

3. 1. 4　外板上的开口数量

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17. 1 条

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。

3. 1. 5　材料和构件尺寸

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 23（1）条）

舷窗和窗连同其玻璃、窗盖和风暴盖（如设有）应为认可的设计并具有坚固的结构，且应符合或等效于公认的国家或国际标准。

不应采用非金属框架。干舷甲板之下的舷窗禁止使用普通铸铁。

3. 1. 6　关闭和开启设备

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17. 2 条

关闭外板上的任何开口的设备的布置及效用应与其预定的用途相适应，其装设位置一般应使船级社满意。

3. 1. 7　舷窗开口

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17. 3. 2 条

所有舷窗，凡窗槛低于干舷甲板者，其构造应能有效防止任何人未经船长同意而开启。

3.2　开口布置

3. 2. 1　一般要求

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 23（5）条）

舷窗的装设位置不得使其窗槛低于船侧处的干舷甲板平行线，且该线的最低点在夏季载重水线（或夏季木材载重水线，如已核定）以上 0. 025*B* 或 0. 5 m（取大者）处。

3. 2. 2　水面以上（1. 4 + 0. 025 *B*）m 以下的舷窗

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17.3.3.1 和 17.3.3.3 条

对于甲板间的舷窗，如果其窗槛低于舷侧处的干舷甲板平行线，且该线最低点当船舶离开任何港口时在水面以上 1.4 + 0.025 *B*，m，则此甲板间的所有舷窗在船舶出港前应水密关闭并锁紧，且在船舶到达下一港口前不可开启。在应用此项要求时，如适用，可计入适当的淡水宽限。

当船舶浮于其最深分舱载重线，而有一个或一个以上舷窗的位置适用上述要求时，船级社可指明其平均限制吃水，在此吃水时这些舷窗窗槛应高出舷侧处的干舷甲板平行线，且该线最低点在此平均限制吃水的相应水线以上 1.4 + 0.025 *B*，此时可准许该船出港而不必事先把这些舷窗关闭和加锁，而在开往下一港口的航程中，由船长负责可准许在海上开启这些舷窗。在现行《国际载重线公约》定义的热带地区内，该限制吃水可增加 0.3 m。

3. 2. 3　货物处所

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17. 6. 1 至 17. 6. 3 条

凡专供载货或装煤的处所不可装设舷窗。

但是，供交替载货或载客的处所可装设舷窗，但其构造应能有效地防止任何人未经船长许可而开启舷窗或舷窗盖。

若在此类处所装货，舷窗及其窗盖应在装货前水密关闭并加锁。船级社可自行规定把关闭和锁住的时间记录在航海日志上。

CCS3. 2. 3　货物处所

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17. 6. 1 至 . 6. 3 条

凡专供载货或装煤的处所不可装设舷窗。

但是，供交替载货或载客的处所可装设舷窗，但其构造应能有效地防止任何人未经船长许可而开启舷窗或舷窗盖。

若在此类处所装货，舷窗及其窗盖应在装货前关闭成水密并加锁。对此，船长应把关闭和锁住的时间记录在航海日志上。

3. 2. 4　非开启式舷窗

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 23（6）条）

在所有破损稳性规则规定的破损情况下，若舷窗在浸水的任何中间阶段或最终平衡水线会被淹没，则舷窗应为非开启型。

3. 2. 5　人孔和甲板窗

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 18（1）条）

在位置 1 或位置 2，或在非封闭式上层建筑内的人孔或甲板窗 / 平的小舱口，应用能达到水密的坚固罩盖关闭。如未使用间隔紧密的螺栓紧固，则罩盖应永久性附装于开口处。

3. 2. 6　自动通风舷窗

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17. 7 条

设在干舷甲板以下的外板上的自动通风舷窗由船级社逐例考虑。

3. 2. 7　窗的布置

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 23（7）条）

窗不应设在干舷甲板以下，封闭式上层建筑第一层端部舱壁或侧壁，以及在稳性计算中计入浮力或保护通往下层的开口的第一层甲板室。

3. 2. 8　天窗

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 23（12）条）

如同对舷窗和窗的要求一样，固定式或开启式天窗的玻璃厚度应与其尺寸和位置相适应。任何位置上的天窗玻璃都应予以防护以免机械损坏，如果在位置 1 或位置 2，则应装有永久性附连的窗盖或风暴盖。

3. 3　玻璃

3. 3. 1　一般要求

一般来说，具有特殊型式框架的钢化玻璃的使用应符合公认的国家或国际标准或与之等效。整块玻璃板的使用由船级社逐例考虑。

3. 3. 2　设计载荷

设计载荷应按第 9 章第 4 节的适用要求确定。

3. 3. 3　材料

钢化玻璃应符合 ISO 1095（对舷窗）和 ISO 3254（对窗）的要求。

3. 3. 4　舷窗钢化玻璃的厚度

舷窗钢化玻璃的厚度不得小于按下式求得的值，mm：

$$t = \frac{d}{358}\sqrt{p}$$

式中：d——舷窗直径，mm。

3. 3. 5　矩形窗钢化玻璃的厚度

矩形窗钢化玻璃的厚度应不小于按下式求得的值，mm：

$$t = \frac{b}{200}\sqrt{\beta \times p}$$

式中：β——表 1 中定义的系数。对于 a/b 的中间值，β 可通过线性内插法求得。

a——窗长边的长度，mm；

b——窗短边的长度，mm。

船级社可要求对矩形窗尺寸和在明显暴露于恶劣海况的前舱壁使用厚度增加的玻璃作出限制。

系　数　β　　表 1

a/b	β	a/b	β
1.0	0.284	3.0	0.716
1.5	0.475	3.5	0.734
2.0	0.608	≥4.0	0.750
2. 5	0. 684		

3. 4　舷窗盖布置

3. 4. 1　一般要求

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 23（4）条）

下列处所的舷窗应装设铰链式内部窗盖：

- 干舷甲板以下的处所；

- 第一层封闭式上层建筑内的处所；
- 在干舷甲板上保护通往下层的开口或稳性计算中计入浮力的第一层甲板室。

窗盖如设在干舷甲板以下，应能水密关闭和紧固，如设在干舷甲板以上，应能风雨密关闭和紧固。

3.4.2　第二层船侧外板的开口

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 23（8）条）

保护通往下层开口的直达通道或在稳性计算中计入浮力的第二层上层建筑侧壁上的舷窗和窗，应装设能够风雨密关闭和紧固的有效的铰链式内侧窗盖。

3.4.3　舷侧以内第二层的开口

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 23（9）和 23（10）条）

安装于自舷侧外板凹入的第二层甲板室侧壁上，保护向下通往（3.4.1）中所列处所的直达通道的舷窗和窗，应装设铰链式内侧窗盖，或如果该窗易于到达，应装设经过设计认可且构造牢固，能够风雨密关闭和紧固的永久性附装的外部风暴盖。

第二层及以上居住舱舱壁和门，如果将舷窗和窗自直接通往下层的通道或稳性计算中计入浮力的第二层甲板室分隔开，则可同意其取代装设在舷窗和窗上的窗盖或风暴盖。

注 1：若能接近，符合公认标准的舷窗盖安装在窗和舷窗内，与舷窗盖尺寸相似的风暴盖安装在窗外，盖可为铰链式或活动式。

3.4.4　小于标准高度的上层建筑上的甲板室

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 23（11）条）

位于后升高甲板上或小于标准高度的上层建筑甲板上的甲板室，如果后升高甲板或上层建筑的高度等于或大于后甲板标准高度，则对于窗盖的要求而言，可视为第二层。

3.4.5　甲板室保护的开口

若上层建筑甲板上的开口，或在干舷甲板上通往干舷甲板以下处所或封闭式上层建筑内处所的上甲板室顶部开口，由甲板室保护时，则认为只有那些安装在直接通往开敞梯道的处所中的舷窗不必设有舷窗盖。

4　排水孔

4.1　排水孔布置

4.1.1　进水孔和排水孔

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17.9.1 条。

外板上的所有进水孔和排水孔均应装设防止海水意外进入船内的有效并可到达的装置。

4.1.2　出灰管，垃圾管等的船内开口

参照 SOLAS 公约第 II-1 章第 17-1 条和第 II-1 章第 17.11.1 和 17.11.2 条。

每一出灰管、垃圾管等的舷内开口均应设有有效盖子。

如舷内开口位于干舷甲板以下，此盖应为水密；此外，在最深分舱载重线以上易于到达处的排出管上，应设有一个自动止回阀。当此管不使用时，其盖及阀均应保持在关闭并扣紧的状态。

4.2　垃圾滑道的布置

4.2.1　水线以上的船内端

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 22-1（1, b）条）

船内端应位于船舶在相应于核定夏季干舷的吃水处向左舷或右舷横倾 8.5°所形成的水线以上，但应在夏季水线以上不小于 1000 mm。

如果垃圾通道的船内端在夏季水线以上超过 0.01 L，则只要船内的闸阀在营运工况下始终易于接近，该阀可不要求从干舷甲板上控制。

4.2.2　水线以下的船内端

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 22-1（4）条）。

对船长 100 m 以上的船舶，如垃圾滑道的船内端在破损后最深吃水的相应水线以下，则：

- 船内端铰链式盖 / 阀应为水密；
- 阀应为装设在最深载重线以上易于接近位置的螺旋止回阀；
- 螺旋止回阀应从干舷甲板以上位置控制并有开启 / 关闭指示。阀的控制处应清楚地标明“不使用时，保持关闭”。

4. 2. 3　闸阀

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 22-1（1）（a）条）

对于垃圾滑道，可允许使用两个从通道的工作甲板上控制的闸阀代替在干舷甲板以上位置能够直接关闭的止回阀。此外，较低一端的闸阀应从干舷甲板以上位置控制。两个阀之间应装设一个连锁系统。

两个闸阀之间的距离应足以使联锁系统平稳运行。

4. 2. 4　铰链式盖和排出口盖板

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 22-1（1）（c）条）

可以在滑道的船内端设置一个铰链式风雨密盖及一个排放盖板代替 [4. 2. 3] 所要求的上下闸阀。

风雨密盖与盖板应装设一个连锁装置，以使盖板在风雨密盖关闭前不能启用。

4. 2. 5　阀和铰链式盖的标志

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 22-1（3）条）

闸阀的控制处和 / 或铰链式盖上应清楚地标明“不使用时，保持关闭”。

4. 3　垃圾滑道的构件尺寸

4. 3. 1　材料

滑道应由钢制成。其他等效材料由船级社逐例考虑。

4. 3. 2　壁厚

上至并包括盖的滑道壁厚不应小于从表 2 中查得值，mm。

垃圾滑道的壁厚　　**表 2**

外　径 d（mm）	厚　度（mm）
$d \leqslant 80$	7.0
$80 < d < 180$	7.0+0.03（d – 80）
$180 \leqslant d \leqslant 220$	10.0 + 0.063（d −180）
$d > 220$	12.5

5　排水舷口

5. 1　一般规定

5. 1. 1　一般要求

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 24（1）（a）条和第 3（15）条）

如果在干舷甲板或上层建筑甲板的露天部分的舷墙形成阱，则应采取足够的措施以迅速排泄甲板积水。

阱是甲板上可能积水的任何露天部位。阱被视为由甲板结构四面围成的甲板区域。然而，根据其形状，由甲板结构在三条甚至两条边上围起的甲板区域也可视为阱。

5. 1. 2　排水舷口面积

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 24 条）

表 3 对干舷甲板舷墙上的排水舷口面积规定了最低要求。

干舷甲板上舷墙的排水舷口面积　　表 3

船舶类型或船舶详情	排水舷口面积A（m^2）	适 用 要 求
B – 100型	0.33 $l_B h_B$	[5.5.2]
B – 60型	0.25 $l_B h_B$	[5.5.1]
设有干舷计算中包括的和/或宽度≥0.6B的凸形甲板的船舶	0.33 $l_B h_B$	[5.3.1]
设有干舷计算中未包括的凸形甲板和/或连续或基本连续的舱口围板的船舶	A_2	[5.3.1]
设有非连续凸形甲板和/或舱口围板的船舶	A_3	[5.3.2]
设有开敞式上层建筑的船舶	A_s对上层建筑	[5.4.2]
	A_w对阱	[5.4.3]
其他船舶	A_1	[5.2.1]

其中：l_B——船舶一侧阱中舷墙的长度，m；

h_B——长度 l_B 的阱中舷墙的平均高度，m。

5.1.3　排水舷口布置

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 24（5）条）

如设有舷弧，排水舷口面积的 2/3 应分布在阱内较为接近舷弧曲线最低点的二分之一范围内。

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。

然而，舷墙不可在上层建筑端面附近设有明显的开口或通道，除非它们有效地与上层建筑两侧分离。

5.1.4　排水舷口定位

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 24（5）和 24（6）条）

排水舷口的下边缘应尽可能靠近甲板。

舷墙上所有开口，应用间距约为 230 mm 的栏杆或铁条保护。

5.1.5　排水舷口关闭装置

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 24（6）条）

如果排水舷口设有闸板或关闭装置，则应有足够空隙以防堵塞。铰链应有非腐蚀材料制成的销钉或轴承。如果闸板设有锁紧装置，则这些装置的构造应认可。

5.2　不邻近凸形甲板或舱口的阱中的排水舷口面积

5.2.1　排水舷口面积

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 24（1）（b）和（c）条）

如阱处的舷弧大于或等于标准舷弧，船每边上的排水舷口面积应不小于从表 4 中获得的值，m^2。

在无舷弧的船中，上述面积应增加 50%。如果舷弧小于标准舷弧，增加的百分数应通过线性内插法算得。

不邻近凸形甲板或舱口的阱中的排水舷口面积　　表 4

位　　置	排水舷口面积A_C（m^2）	
	$l_B \leqslant 20$	$l_B > 20$
干舷甲板和后升高甲板	$0.7+0.035l_B+A_C$	$0.07l_B+A_C$
上层建筑甲板	$0.35+0.0175l_B+0.5A_C$	$0.35l_B+0.5A_C$

式中：l_B——阱中舷墙的长度，m，但在任何情况下不必大于 0.7 L_{LL}；

A_C——面积，连同其符号等于：

$$A_C=\frac{l_B}{25}(h_B-1.2) \qquad \text{对 } h_B>1.2$$

$$A_C=0 \qquad \text{对 } 0.9\leqslant h_B\leqslant 1.2$$

$$A_C=\frac{l_B}{25}(h_B-0.9) \qquad \text{对 } h_B<0.9$$

h_B——长度 l_B 的阱中舷墙的平均高度，m。

5.2.2　宽度不小于 0.8B 的甲板室的最小排水舷口面积

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 24（1）（d）条）

如平甲板船在船中设有宽度不小于 0.8B，沿船边的走廊宽度小于 1.5 m 的甲板室，排水舷口面积应计及两个分离的阱。对于每一个阱，排水舷口面积应从表 4 查得，l_B 应等于所考虑的阱的实际长度。

5.2.3　屏板舱壁的最小排水舷口面积

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 24（1）（e）条）

当在船中甲板室前端的船舶整个宽度设有屏板舱壁时，不管甲板室有多宽，露天甲板将作为分开的两个阱考虑，排水舷口面积应按 [5.1.2] 获得。

5.3　与凸形甲板或舱口相接的阱中的排水舷口面积

5.3.1　连续凸形甲板或连续舱口围板的排水面积

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 24（2）条）

如船舶设有不包括在干舷计算中的连续凸形甲板，或者连续或基本连续的舱口边围板设在分开的上层建筑之间时，排水舷口面积应不小于从表 5 中查得的值，m^2。

与连续凸形甲板或舱口相接的阱中的排水舷口面积　　**表 5**

舱口或凸形甲板宽度B_H（m）	排水舷口面积A_2（m^2）
$B_H\leqslant 0.4B$	$0.2l_Bh_B$
$0.4B<B_H<0.75B$	$\left[0.2-0.286\left(\frac{B_H}{B}-0.4\right)\right]l_Bh_B$
$B_H\geqslant 0.75B$	$0.1l_Bh_B$

式中：l_B——船舶一侧阱中舷墙的长度，m；

h_B——长度 l_B 的阱中舷墙的平均高度，m。

如船舶设有宽度不小于 0.6B 且包括在干舷计算中的连续凸形甲板，如果凸形甲板处未设置干舷甲板露天部分的开敞栏杆（至少一半露天部分长度），则与凸形甲板相接的阱中的排水舷口面积应不小于舷墙总面积的 33%。

5.3.2　非连续凸形甲板或舱口围板的排水舷口面积

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 24（3）条）

如果船舶甲板上面水的自由流动由于非连续凸形甲板、舱口围板或阱整个长度的甲板室的存在而受阻，阱的舷墙的排水舷口面积应不小于从表 6 中查得的值，m^2。

与非连续凸形甲板或舱口相接的阱中的排水舷口面积　　**表 6**

自由流动面积f_p（m^2）	排水舷口面积A_3（m^2）
$f_p\leqslant A_1$	A_2
$A_1<f_p<A_2$	$A_1+A_2-f_p$
$f_p\geqslant A_2$	A_1

式中：f_p——甲板上自由流动面积，等于舱口之间、舱口和上层建筑之间以及上至舷墙的实际高度的甲板室之间空隙的净面积；

A_1——排水舷口的面积，m^2，从表 4 查得；

A_2——排水舷口的面积，m^2，从表 5 查得。

5.4　上层建筑内露天处所中的排水舷口面积

5.4.1　一般要求

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 24（4）条）

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。

5.4.2　开敞上层建筑的排水舷口面积

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 24（4）条）

作为开敞上层建筑的船舶每一边上的排水舷口面积应不小于由下列公式算得的值，m^2：

$$A_S = A_1 C_{SH}\left[1-\left(\frac{l_W}{l_T}\right)^2\right]\left(\frac{b_0 h_S}{2 l_T h_W}\right)$$

式中：l_T——总的阱长度，m，等于：

$$l_T = l_W + l_S$$

l_W——舷墙封闭的开敞甲板的长度，m；

l_S——开敞上层建筑内普通场所的长度，m；

A_1——根据表 4，长度为 l_T 的露天阱要求的排水舷口面积，m^2，A_C 应等于 0；

C_{SH}——舷弧相关的系数，如适用，等于：

- C_{SH} = 1. 0 当舷弧大于或等于标准舷弧
- C_{SH} = 1. 5 当无舷弧

b_0——封闭式上层建筑端壁上开口的宽度，m；

h_S——[1. 2. 1] 中定义的标准上层建筑高度，m；

h_W——干舷甲板至阱甲板的高度，m。

5.4.3　露天阱的排水舷口面积

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 24（4）条）

作为露天阱的船舶每一边上的排水舷口面积应不小于从下列公式中获得的值，m^2：

$$A_W = A_1 C_{SH}\left(\frac{h_S}{2h_W}\right)$$

式中：　　A_1——按表 4 长度为 l_W 的露天阱所要求的排水舷口面积，m^2；

C_{SH}，h_S，h_W，l_W——定义见 [5. 4. 2]。

开敞上层建筑排水舷口面积 A_S 和露天阱的排水舷口面积 A_W 应分别沿开敞上层建筑覆盖的露天场所每一边和露天阱的每一边相应提供。

5.5　B-100 和 B-60 型船舶干舷甲板上舷墙的排水舷口面积

5.5.1　B-60 型船舶的排水布置

对于 B-60 型船舶，干舷甲板上舷墙的下部的排水舷口面积应不小于阱中舷墙总面积的 25%。

舷顶列板的上边缘应尽可能低。

5.5.2　有凸形甲板的 B-100 型船舶的排水布置

对于 B-100 型船舶，应在凸形甲板处的干舷甲板的露天部分上设有开敞栏杆（其长度至少是这些露天部分长度的一半）。

作为替代，如设有连续舷墙，干舷甲板上舷墙下部的排水舷口面积应不小于阱的舷墙总面积的33%。

6　机舱开口

6.1　机舱天窗

6.1.1　位置 1 或 2 的机舱天窗应具有适当的框架，与甲板牢固连接且通过适当强度的钢壳有效封闭。如外壳不受其他结构保护，它们的强度应由船级社逐例考虑。

6.2　关闭装置

6.2.1　机舱棚

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 17（1）和 12（1）条）

位置 1 或 2 的机舱棚中的开口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，并应有框架和加强筋加强，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。门应能从两边操作并向外打开以防止波浪冲击。

在上述舱棚中的其他开口应设有同等的罩盖，永久附装在其适当位置上。

6.2.2　门槛高度

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 17（1）和（2）条）

门槛高度应不小于：

- 如果在位置 1，甲板之上 600 mm；
- 如果在位置 2，甲板之上 380 mm；
- 其他情况时 230 mm。

6.2.3　双道门

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 17（1）和（2）条）

对核定的干舷小于经修正的 1966 年国际载重线公约第 28 条表 B 计得的干舷的船舶，如果机舱棚没有其他结构保护，则要求装设双道门（即内门和外门），且内门门槛高度应为 230 mm，外门门槛高度应为 600 mm。

6.2.4　机炉舱顶棚开口

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 17（5）条）

机炉舱顶棚开口应装设钢质的或其他相当材料的坚固罩盖，永久附装在适当位置上，并能保证风雨密。

6.3　围板

6.3.1　参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 17（3）条）

干舷甲板或上层建筑甲板上露天部分的任何机炉舱顶棚、烟囱或机舱通风筒的围板，应合理地和切实可行地高出甲板。

一般来说，连续为机舱通风并在需要时为应急发电机舱通风的通风筒应有高度符合[8.1.3]的围板，但不必设有风雨密关闭装置。

6.3.2　参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 17（4）条）

如因船舶尺度和布置而无法这样做，当有其他适当的布置可确保不间断地为这些处所提供适当的通风，船级社可以同意机舱和应急发电机舱通风筒围板取较小的高度，但应按照第[8.1.2]条装设风雨密关闭装置。

7　升降口

7.1　一般要求

7.1.1　干舷甲板的开口

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 18（2）条）

在干舷甲板上，除货舱口、机舱开口、人孔和平的小舱口以外的开口，应有封闭的上层建筑，或甲板室，或强度相当和风雨密的升降口来保护。

7. 1. 2　上层建筑的开口

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 18（2）条）

在露天的上层建筑甲板上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开口，应用有效的甲板室或升降口来保护。

7. 1. 3　高度小于标准高度的上层建筑的开口

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 18（3）条）

在高度小于标准高度的后升高甲板或上层建筑上，如甲板室高度等于或大于标准后升高甲板高度，则甲板室顶部的开口应设有可接受的关闭装置。但是，如果该甲板室的高度至少为一个标准上层建筑高度，则该开口不必用本条规定的坚固的甲板室或升降口来保护。在高度小于标准上层建筑高度的甲板室上，甲板室顶部的开口可以用类似方式处理。

7. 2　结构尺寸

7. 2. 1　露天甲板上保护通往封闭处所的开口的升降口扶梯应是钢质，与甲板牢固连接，并有足够的尺寸。

7. 3　关闭装置

7. 3. 1　门

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 18（2）条）

通往或进入干舷甲板之下的处所或封闭的上层建筑的甲板室或升降口的门道应设有水密门。门有由钢制成，能从两边操作并通常朝外开以给予附加保护抵御波浪冲击。

作为替代措施，如果甲板室内的梯道被封闭在设有风雨密门的结构坚固的升降口内，则外门不必风雨密。

如果上层建筑和甲板室中的通道开口的关闭装置不是风雨密的，内甲板开口应看作露天的，即位于开敞甲板上。

7. 3. 2　门槛高度

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 18（4）至（6）条）

升降口门口的门槛，在甲板以上的高度应不小于：

- 600 mm 在位置 1
- 380 mm 在位置 2

如果在上层甲板上设有补充出入口代替干舷甲板上的出入口，则进入桥楼或尾楼的门槛高度应为 380 mm。干舷甲板上的甲板室也应按此处理。

如果未在上层甲板设有出入口，则干舷甲板上的甲板室门口的门槛高度应为 600 mm。

8　通风筒

8. 1　关闭装置

8. 1. 1　一般要求

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 19（4）条）

通风筒开口应设有钢或其他等效材料制成的有效的风雨密关闭装置。

8. 1. 2　关闭装置的免除

参照经修订的 ILLC（MSC. 143（77）决议第 19（3）条）

除船级社有特定要求外，如果通风筒围板的延伸超出下列范围，则不必设有关闭装置：

- 在位置 1 甲板之上 4. 5 m

- 在位置 2 甲板之上 2.3 m

8.1.3　船长不大于 100 m 的船舶的关闭装置

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 19（4）条）

船长不大于 100 m 的船舶，关闭装置应与通风筒围板固定连接。

8.1.4　船长大于 100 m 的船舶的关闭装置

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 19（4）条）

如船长大于 100 m 的船舶的关闭装置未固定安装，它们应在通风筒附近方便地存放。

8.1.5　机舱和应急发电机舱的通风

为了令人满意地确保在所有的气象情况下：

- 机舱的连续通风；
- 如必需，应急发电机舱的即刻通风。

服务于这些处所的通风筒应符合 [8.1.2]，即它们的开口应设在可不要求关闭装置的位置。

8.1.6　机舱和应急发电机舱的通风筒围板的减小高度

如果由于船舶尺度和布置，[8.1.5] 中的要求不可行，按 [8.1.1]、[8.1.3] 和 [8.1.4] 设有风雨密关闭装置连同其他适当布置（例如设有排水管的分离器）的机舱和应急发电机舱通风筒围板可接受较小高度，以确保这些处所连续和充足的通风。

8.1.7　通向舷外或通过封闭的上层建筑的通风筒的关闭装置

通向舷外或通过封闭的上层建筑的通风筒的关闭装置由船级社逐例考虑。如果这些通风筒在干舷甲板之上 4.5 m 通向舷外，则可免设关闭装置，但应设有令人满意的挡板和排水装置。

8.2　围板

8.2.1　一般要求

参照经修订的 ILLC（MSC.143（77）决议第 19（1）和（2）条）

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处所的通风筒，应有钢质的或其他相当材料的围板，其结构应坚固，并且与甲板牢固地连接。

通过非封闭的上层建筑的通风筒，应在干舷甲板上设有结构坚固的钢质的或其他相当材料的围板。

8.2.2　结构尺寸

露天的通风筒围板的尺寸应不小于从表 7 中查得的值。在露天位置或为了符合浮力计算，可要求增加围板的高度以使船级社满意。

通风筒围板的尺寸　　**表 7**

特　　征	尺　　寸
甲板之上围板的高度（mm）	在位置1时$h = 900$ 在位置2时$h = 760$
围板厚度（mm）(1)	$t = 5.5 + 0.01\,d_v$ $7.5 \leqslant t \leqslant 10.0$
支架	如果h >900 mm，围板应适当加强或由支柱支撑

式中：d_v——通风筒的外径，mm。

注：(1) 如果通风筒的高度超过高度 h，围板的厚度在该高度之上可逐渐减小，但不应小于 6.5 mm。

9　液舱清洗口

9.1　一般要求

9.1.1　液面测量孔塞、观察窗和液舱清洗口不可布置在封闭处所内。

第 10 章　船 体 舾 装

第 1 节　舵和操纵装置

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

C_R：舵力，N。

Q_R：舵杆扭矩，N·m。

A：舵杆可移动总面积，m^2，在舵杆中面量取。

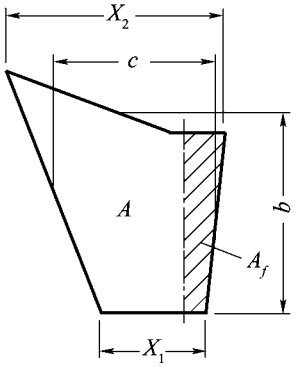
导流管舵的 A 应不小于导流管投影面积的 1.35 倍。

A_t：面积等于 A + 挂舵臂（如设有）面积，m^2。

A_f：舵杆中心线前方的舵叶面积，m^2。

b：舵叶面积平均高度，m。

c：舵叶面积平均宽度，m，见图 1。



$$c=\frac{X_1+X_2}{2} \qquad b=\frac{A}{c}$$

图 1　舵的尺寸

Λ：舵叶面积 A_t 的展舷比，等于：

$$\Lambda=\frac{b^2}{A_t}$$

V_0：最大前进航速，kn，定义同第 1 章第 4 节如航速小于 10 节，V_0 取为：

$$V_{\min}=\frac{(V_0+20)}{3}$$

V_a：最大倒车航速，kn，取为不小于 0.5·V_0。对较大倒车航速，可要求对作为舵角函数的舵力和舵杆扭矩作专门评估。如规定的倒车工况下舵角无限制，因子 k_2 应取不小于表 1 中倒车工况规定的值。

1　一般要求

1.1　操纵装置

1.1.1　操纵装置包括从舵和舵机至操舵位置等所有船舶驾驶所必需的部分。

1.1.2　本节对舵杆、舵的连接方式、舵承和舵体作出规定。舵机应符合船级社的相应规范。

1.1.3　舵机舱应易于进入，并尽实际可能与机器处所分开。

注：关于在驾驶室的磁罗经处使用非磁性材料，应符合有关国家主管机关的规定。

1.2　结构细则

1.2.1　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。

1.2.2　应有合适的装置，以防止舵被抬升。

1.2.3　舵叶结构与用于舵杆承座的锻钢或铸钢件的实心部位的连接应适当地设计，以避免在此区域产生过度的应力集中。

1.2.4　舵杆应封闭在水密的围阱中穿过船体，或应在最深载重水线以上设有密封装置，以防止海水进入舵机舱，导致舵承处的润滑剂被污损。若舵杆套筒的顶部低于最大载重水线，应设有两个单独的填料函。

1.3　（空）

1.4　材料

1.4.1　关于舵杆、舵销、连接螺栓等的材料，应符合船级社的材料规范。

1.4.2　一般而言，R_{eH} 小于 200 N/mm^2 且 R_m 小于 400 N/mm^2 或 R_m 大于 900 N/mm^2 的材料，不得用于舵杆、舵销、键和螺栓。本节的要求基于材料 R_{eH} 为 235 N/mm^2。所用材料的 R_{eH} 如不同于 235 N/mm^2，材料系数按下式确定：

$$k_r = \left(\frac{235}{R_{eH}}\right)^{0.75} \quad \text{当 } R_{eH} > 235\ [\text{N/mm}^2] \text{ 时}$$

$$k_r = \frac{235}{R_{eH}} \quad \text{当 } R_{eH} \leqslant 235\ [\text{N/mm}^2] \text{ 时}$$

式中：R_{eH}——所用材料的最小屈服应力，N/mm^2。R_{eH} 取值应不大于 0.7R_m 或 450 N/mm^2，取其小者。

1.4.3　当使用 R_{eH} 超过 235 N/mm^2 的钢材而导致舵杆直径明显减小时，船级社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。

1.4.4　[5.1] 规定的许用应力适用于普通强度钢。当使用较高强度钢时，在个案的基础上，可采用较高的应力值为许用应力。

2　舵力和舵杆扭矩

2.1　普通舵的舵力和舵杆扭矩

2.1.1　舵力，N，按下式确定：

$$C_R = 132\,AV^2\,\kappa_1\kappa_2\kappa_3\kappa_t$$

式中：V——为 V_0，正车工况；为 V_a，倒车工况；

κ_1——系数，视展舷比 λ 而定；

$\kappa_1 = (\lambda + 2)/3$，式中 λ 的取值不必大于 2

κ_2——系数，视表 1 的舵型和舵形状而定；

κ_3——系数，视舵的位置而定：

$\kappa_3 = 0.80$　当舵位于螺旋桨尾流之外时

$\kappa_3 = 1.00$　当舵处于其他位置，也包括舵在螺旋桨尾流之内时

$\kappa_3 = 1.15$　当舵在螺旋桨导流管后面时

κ_t——当舵位于螺旋桨之后时系数取 1。推进系数 CT_h>1.0 时，船级社可逐例考虑 κ_t 不等于 1.0 的情况。

系　数　κ_2　　表 1

舵型/舵形	κ_2	
	前　进	倒　车
NACA-00系列哥汀根翼型	1.10	0.80
平边翼型	1.10	0.90
混合翼型(如HSVA)	1.21	0.90
中空翼型	1.35	0.90
高升力舵	1.70	作专门考虑；如不可知：1.30
鱼尾	1.40	0.80
单板	1.00	1.00

2.1.2　舵杆扭矩，N·m，由下式确定：

$$Q_R = C_R r$$

式中：r——C_R 的力臂，m，等于：

$$r = c\ (\alpha - k_{bc})$$　　正车工况不小于 $0.1c$

α——系数等于：

$\alpha = 0.33$　　正车工况

$\alpha = 0.66$　　倒车工况（一般）

$\alpha = 0.75$　　倒车工况（中空形）

舵在挂舵臂之类固定结构之后的部分

$\alpha = 0.25$　　正车工况

$\alpha = 0.55$　　倒车工况

对高升力舵，α 应作特殊考虑。如不可知，$\alpha = 0.40$ 可用于正车工况。

k_{bc}——平衡因子，其值如下：

$$k_{bc} = \frac{A_f}{A}$$

$k_{bc} = 0.08$　对于不平衡舵

2.1.3　应注意所选用的舵型和舵的翼型对舵机的选择和操作的影响。

2.2　有缺口舵叶的舵力和舵杆扭矩（半悬挂舵）

2.2.1　总的舵力 C_R 应按 [2.1.1] 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，其计算方式如下：

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，见图 2。

各部分的合力，N，可取为：

$$C_{R1} = C_R \frac{A_1}{A}$$

$$C_{R2} = C_R \frac{A_2}{A}$$

2.2.2　各部分的合成扭矩，N·m，可取为：

$$QR_1 = CR_1 \cdot r_1$$

$$QR_2 = CR_2 \cdot r_2$$

式中：$r_1 = c_1\ (\alpha - k_{b1})$，m；

$r_2 = c_2\ (\alpha - k_{b2})$，m；

$k_{b1}=\dfrac{A_{1f}}{A_1}$ ；

$k_{b2}=\dfrac{A_{2f}}{A_2}$ ；

A_{1f}, A_{2f} 定义见图 2；

$c_1=\dfrac{A_1}{b_1}$ ；

$c_2=\dfrac{A_2}{b_2}$ ；

b_1, b_2 为舵叶部分面积 A_1 和 A_2 的平均高度，见图 2。

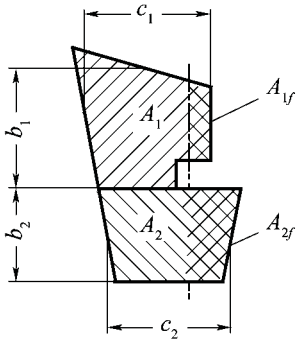


图 2　面积 A_1 和 A_2

2.2.3　舵杆的总扭矩，N·m，应按下式计算：

$$Q_R = Q_{R1} + Q_{R2}，但不小于 Q_{R\min} = C_R \cdot r_{1,2\min}$$

式中：$r_{1,2\min}=\dfrac{0.1}{A}(c_1\cdot A_1+c_2\cdot A_2)$，m。

3　舵杆尺寸

3.1　舵杆直径

3.1.1　传递舵杆扭矩的舵杆直径，mm，应不小于：

$$D_t = 4.2\sqrt[3]{Q_R k_r}$$

式中：Q_R——定义见 [2.1.2]、[2.2.2] 和 [2.2.3]。

相应扭转应力，N/mm^2，为：

$$\tau_t = \frac{68}{k_r}$$

式中：k_r——定义见 [1.4.2] 和 [1.4.3]。

3.1.2　按 [3.1.1] 确定的舵杆直径对舵机、制动器和锁紧装置起决定作用。

3.1.3　对机械舵机，舵杆上部如仅用于传递辅助舵机的扭矩，直径可为 0.9 D_t。辅助舵柄四边形的边长应不小于 0.77 D_t，其高度应不小于 0.8 D_t。

3.1.4　舵杆应加以固定，不得有轴向滑移。许用轴向间隙由舵机结构和轴承决定。

3.2　舵杆强度

3.2.1　舵的布置如使舵杆产生附加的弯曲应力，舵杆直径应适当增大。增加后的舵杆直径（如适用）对连接部位的尺寸起决定作用。

舵杆直径增加后，等效弯曲和扭转应力，N/mm^2，应不超过下列值：

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \leqslant \frac{118}{k_r}$$

式中：σ_b——弯曲应力，N/mm^2，等于：

$$\sigma_b = \frac{10.2 M_b}{D_1^3}$$

M_b——颈轴承弯曲应力，N·m；

τ——扭转应力，N/mm^2，等于：

$$\tau = \frac{5.1 Q_R}{D_1^3}$$

D_1——增大的舵杆直径，cm，等于：

$$D_1 = 0.1 D_t \sqrt[6]{1 + \frac{4}{3}\left(\frac{M_b}{Q_R}\right)^2}$$

Q_R——定义见 [2.1.2]、[2.2.2] 和 [2.2.3]；

D_t——定义见 [3.1.1]。

注：如设有双柱塞式舵机，附加弯矩可能从舵机传至舵杆。这些附加弯矩应在确定舵杆直径时计入。

3.3　分析

3.3.1　一般要求

对图 3~ 图 7 所示的一些基本舵型，舵 – 舵杆系统的弯矩、剪力和支撑力应按 [3.3.2] 和 [3.3.3] 进行估算。

3.3.2　分析所用数据

$l_{10} \sim l_{50}$——该系统各构件长度，m；

$I_{10} \sim I_{50}$——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。

舵叶的载荷，kN/m，（通常）：

$$p_R = \frac{C_R}{l_{10} \times 10^3}$$

半悬挂舵的载荷，kN/m：

$$p_{R10} = \frac{C_{R2}}{l_{10} \times 10^3}$$

$$p_{R20} = \frac{C_{R1}}{l_{20} \times 10^3}$$

式中：C_R, C_{R1}, C_{R2}——定义见 2.1 和 2.2；

Z——尾框底骨或挂舵臂的支撑弹簧常数，kN/m：

对尾框底骨的支承（图 3）：

$$Z = \frac{6.18 I_{50}}{l_{50}^3}$$

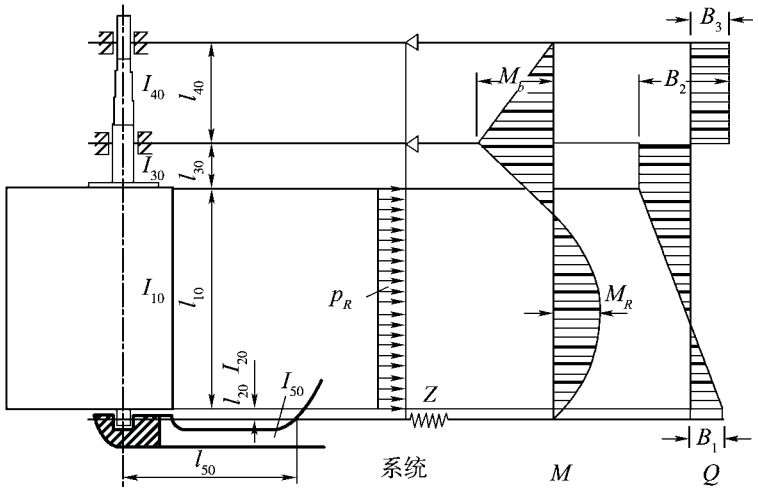


图 3　普通双支点舵

对挂舵臂的支承（图 4）：

$$Z = \frac{1}{f_b + f_t}$$

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：

$$f_b = \frac{1.3d^3 10^8}{3EI_n}$$

$$f_b = 0.21\frac{d^3}{I_n}$$（钢材的指导值）

I_n——在 $d/2$ 处挂舵臂对 x 轴的惯性矩，cm^4（见图 4）；

f_t——因扭矩产生的单位位移，m/kN；

$$f_t = \frac{de^2}{GJ_t}$$

$$f_t = \frac{de^2 \sum u_i / t_i}{3.14\sum 10^8 F_T^2}$$，对钢材

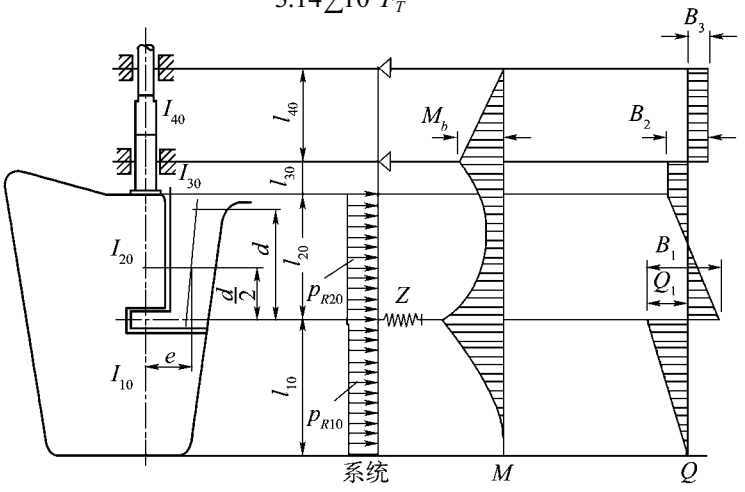


图 4　半悬挂舵（单舵钮）

G——刚性模数，kN/m^2：

$G = 7.92 \times 10^7$　　对钢材

J_t——扭转惯性矩，m^4；

F_T——挂舵臂的平均截面积，m^2；

u_i——形成挂舵臂平均截面积的各块板的宽度，mm；

t_i——各块板 u_i 宽度内的板厚，mm；

e, d——间距，m，按图 4 确定；

K_{11}, K_{22}, K_{12}——挂舵臂顺服常数，按有二个共轭弹性支点的挂舵臂计算（图 5）。

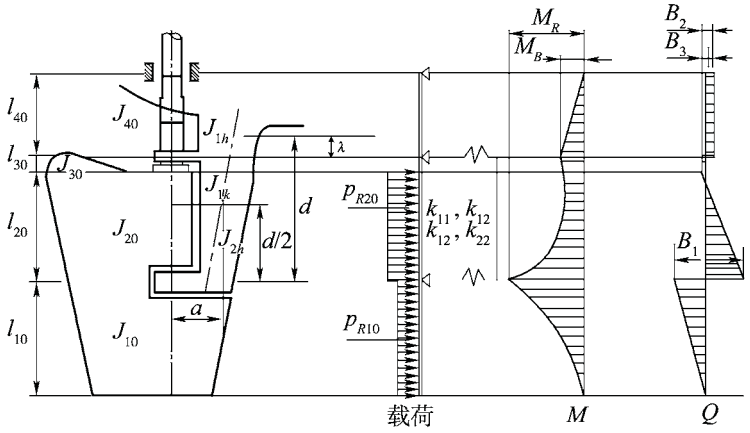


图 5　半悬挂舵（双舵钮）

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，由下式得出：

$$K_{11} = 1.3 \times \frac{\lambda^3}{3EJ_{1h}} + \frac{e^2\lambda}{GJ_{th}}$$

$$K_{12} = 1.3 \times \left[\frac{\lambda^3}{3EJ_{1h}} + \frac{\lambda^2(d-\lambda)}{2EJ_{1h}}\right] + \frac{e^2\lambda}{GJ_{th}}$$

$$K_{22} = 1.3 \times \left[\frac{\lambda^3}{3EJ_{1h}} + \frac{\lambda^2(d-\lambda)}{2EJ_{1h}} + \frac{\lambda(d-\lambda)^2}{EJ_{1h}} + \frac{(d-\lambda)^3}{3EJ_{2h}}\right] + \frac{e^2 d}{GJ_{th}}$$

d——挂舵臂高度，m，定义见图 5。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 5。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 5（在 $z = d/2$ 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 5）；

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 d–λ 内的平均值（见图 5）；

J_{th}——挂舵臂抗扭刚度因子，m^4，对任何薄壁封闭段：

$$J_{th}=\frac{4F_T^2}{\sum_i \frac{u_i}{t_i}}$$

F_T——挂舵臂薄壁封闭段内外限界所封闭面积的平均值，m^2；

u_i——构成挂舵臂平均截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。

3.3.3　估算的弯矩和力

a）舵叶弯矩 M_R 和剪力 Q_1，颈轴承弯矩 M_b 以及支撑力 B_1、B_2、B_3 应作估算。所估算的弯矩和力用于 [3.2]、[5]、[9.1] 和 [9.2] 所要求的应力分析。

b）对悬挂舵（见图 6），弯矩，N·m，和力，N，可由下式确定：

$$M_b=C_R\left(l_{20}+\frac{l_{10}(2x_1+x_2)}{3(2x_1+x_2)}\right)\qquad \text{N·m}$$

$$B_3=\frac{M_b}{l_{30}}\qquad \text{N}$$

$$B_2=C_R+B_3\qquad \text{N}$$

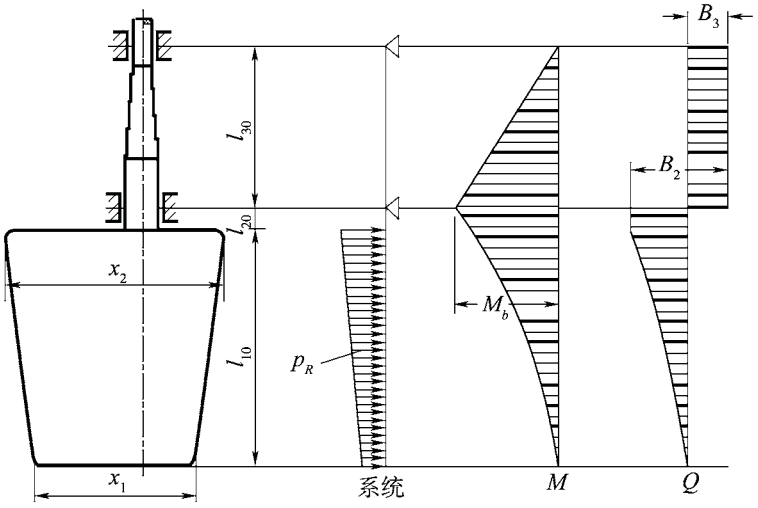


图 6　悬挂舵

c）对有舵杆围阱的悬挂舵（见图 7），弯矩，N·m，和力，N，可由下式确定：

M_R 是以下所得最大值：

$$M_R = C_{R2}(l_{10}-CG_{2Z})$$

$$M_R = C_{R1}(CG_{1Z}-l_{10})$$

式中：C_{R1}——舵叶面积 A_1 内的舵力；

C_{R2}——舵叶面积 A_2 内的舵力；

CG_{1Z}——舵叶面积 A_1 重心的垂直位置；

CG_{2Z}——舵叶面积 A_2 重心的垂直位置。

$$M_B = C_{R2}(l_{10}-CG_{2Z})$$

$$B_3 = (M_B + M_{CR1})/(l_{20} + l_{30})$$

$$B_2 = C_R + B_3$$

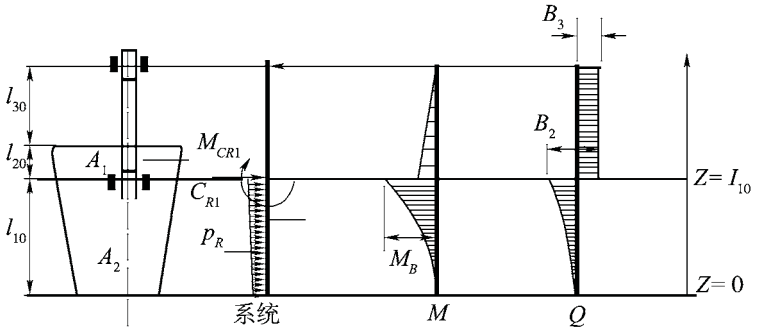


图 7　有舵杆围阱的悬挂舵

3.4　舵杆围阱

3.4.1　如果舵杆在舵杆围阱内，且舵的运动作用力使舵杆围阱产生应力，舵杆围阱的尺寸应使弯矩和剪力造成的等效应力不超过所用材料的 0.35R_{eH}。

3.4.2　如果为舵杆所设舵杆围阱的焊接方式使舵杆围阱承受在舵叶上产生的压力，如 [2.1.1] 所述，则舵杆围阱的弯曲应力，N/mm^2，应满足下式：

$$\sigma \leqslant 80 / k$$

式中：k—— 舵杆围阱材料系数，应不小于 0.7。

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。

3.4.3　舵杆围阱所用钢材应保证可焊性，熔炼分析的碳含量不超过 0.23%，碳当量 CEQ 不超过 0.41。

3.4.4　舵杆围阱与船壳或导流尾鳍底部的连接焊缝应为全焊透。

凸肩圆角半径 r，mm，应尽可能大并满足下式：

r =60　　当 $\sigma \geqslant 40k$　　N/mm^2 时

r =0.1D_1, 且不小于 30mm　　当 $\sigma < 40k$　　N/mm^2 时

式中：D_1——定义见 [3.2.1]。

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。至少应核查四个剖面。应向验船师提交报告。

3.4.5　开始焊接之前，应将涉及焊前准备、焊接位置、焊接参数、焊接耗材、预热方式、焊后热处理和检查程序的详细焊接工艺说明提交船级社。该焊接工艺应由认可试验予以支持，试验应按规范对材料和焊接章节的适用要求进行。

与焊缝有关的焊接、后续热处理和检查，制造商应保持相关纪录。这些纪录应提交验船师。

3.4.6　无损探伤至少应在焊接完工 24 小时之后进行。焊缝应作 100% 磁粉探伤和 100% 超声波探伤。焊缝应无裂痕、熔融不足和未焊透。无损探伤报告应交验船师。

3.4.7　非钢质材料舵杆围阱由船级社作特殊考虑。

3.4.8　外板或船底板的厚度应与舵杆围阱厚度适应。

4　舵的连接

4.1　一般要求

4.1.1　连接的设计应使其能完全传递舵杆的扭矩。

4.1.2　螺栓中心与法兰边缘的间距应不小于螺栓直径的 1.2 倍。对于水平连接，在舵杆轴线之前应至少布置 2 个螺栓。

4. 1. 3　连接螺栓应为紧配螺栓。螺栓和螺母应有效紧固，以防松动。

4. 1. 4　对悬挂舵，[4. 2] 所述水平法兰连接仅在连接法兰的厚度 t_f 小于 50 mm 时才允许使用，否则应按适用情况采用 [4. 4] 和 [4. 5] 所述锥形连接。对高升力型悬挂舵，仅允许按适用情况采用 [4. 4] 和 [4. 5] 所述锥形连接。

4. 2　水平法兰连接

4. 2. 1　连接螺栓直径应不小于：

$$d_b = 0.62\sqrt{\frac{D^3 k_b}{k_r n e}}$$

式中：D——按 [6] 确定的舵杆直径，mm；

n——螺栓总数，应不小于 6；

e——螺栓中心与螺栓系统中心平均间距，mm；

k_r——舵杆材料系数，同 [1. 4. 2] 规定；

k_b——螺栓材料系数，按 [1. 4. 2] 计算得到。

4. 2. 2　连接法兰的厚度，mm，应不小于由下式所确定的值：

$$t_f = 0.62\sqrt{\frac{D^3 k_f}{k_r n e}}，且不小于\ 0.9\ d_b$$

式中：k_f——连接法兰材料系数，按 [1. 4. 2] 确定。

连接法兰在螺栓孔以外的厚度应不小于 $0.65t_f$。

螺栓孔以外的材料宽度应不小于 $0.67d_b$。

4. 2. 3　连接法兰上应装有符合 DIN 6885 或等效标准要求的紧配键，以减轻螺栓的载荷。

如螺栓直径增加 10%，则可不装紧配键。

4. 2. 4　水平连接法兰应与舵杆锻造为一体，或按 [10. 1. 3] 所述焊接到舵杆上。

4. 2. 5　法兰与舵叶本体连接的要求，见 [10]。

4. 3　垂向法兰连接

4. 3. 1　连接螺栓直径，mm，应不小于：

$$d_b = \frac{0.81D}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{k_b}{k_r}}$$

式中：D、k_b、k_r、n——定义见 [4. 2. 1]，其中 n 应不小于 8。

4. 3. 2　螺栓对法兰中心的面积一阶矩，cm^3，应不小于：

$$S = 0.00043D^3$$

4. 3. 3　连接法兰的厚度，mm，应不小于：

$$t_f = d_b$$

螺栓孔以外的材料宽度应不小于 $0.67 \cdot d_b$。

4. 4　有键锥形连接

4. 4. 1　锥形连接在直径方向上的锥度 c 应在 1:8~1:12 之间。$c = (d_0 - d_u) / l$，见图 8。

锥形应精确适配。螺母应仔细紧固，例如使用图 8 所示紧固板紧固。

4. 4. 2　连接长度 l 一般应不小于 $1.5d_0$。

4. 4. 3　舵杆和舵之间的连接应设有一个键，其剪切面积，cm^2，应不小于：

$$a_s = \frac{17.55Q_F}{d_k R_{eH1}}$$

式中：Q_F——舵杆的设计屈服扭矩，N·m，见 [6]；

d_k——舵杆锥体装键处的直径，mm；

R_{eH1}——键材料最小屈服应力，N/mm^2。

4.4.4　在键与舵杆或承座之间的（不及圆边）键有效表面积，cm^2，应不小于：

$$a_k = \frac{5Q_F}{d_k R_{eH2}}$$

式中：R_{eH2}——键、舵杆或承座材料最小屈服应力 N/mm^2，取小者。

4.4.5　止动螺母的尺寸如下，见图 8：

- 高度：$h_n = 0.6d_g$
- 外径（取较大值）：$d_n = 1.2d_u$ or $d_n = 1.5d_g$
- 螺纹外直径：$d_g = 0.65d_0$

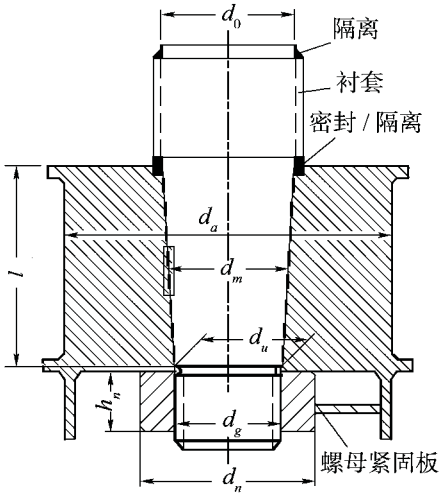


图 8　有键锥形连接

4.4.6　应证明 50% 设计屈服扭矩通过锥形连接摩擦传递。可按 [4.5.3] 计算当扭矩 $Q'_F = 0.5Q_F$ 时所要求的推入压力和推入长度。

4.5　具有特殊拆装专用装置的锥形连接

4.5.1　舵杆直径如超过 200 mm，建议通过液压连接进行压入配合。在此情况下，锥部应较为细长，锥度在 $c \approx 1{:}12$ 至 $\approx 1{:}20$ 之间。

4.5.2　如用液压方式连接，螺母应有效紧固于舵杆或舵销。不得用紧固板将螺母紧固于舵体，见图 9。

$$A_s = \frac{P_s\sqrt{3}}{R_{eH}}$$

式中：P_s——剪力，N，按如下规定：

$$P_s = \frac{P_e}{2}\mu_1\left(\frac{d_1}{d_g} - 0.6\right)$$

P_e——推入力，按 [4.5.3]，N；

μ_1——螺母和舵叶摩擦系数，通常 $\mu_1 = 0.3$；

d_1——螺母和舵叶摩擦面积的平均直径；

d_g——螺母的螺纹直径；

R_{eH}——紧固扁钢的最小屈服应力，N/mm^2。

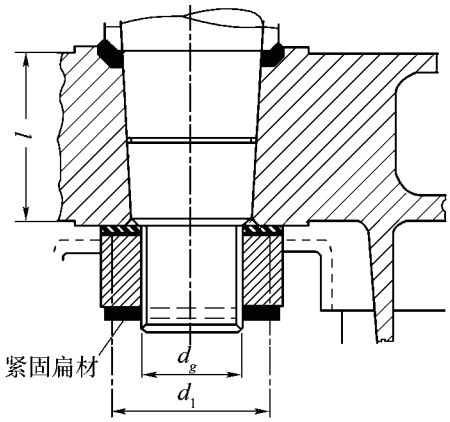


图 9 无键锥形连接

注：紧固扁钢剪切面积，mm^2，不小于下式所得值时，可视为螺母的有效紧固装置。

4. 5. 3 推入压力和推入长度

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 [4. 5. 4] 和 [4. 5. 5] 确定。

4. 5. 4 推入压力

推入压力应不小于以下两值的大者：

$$p_{req1}=\frac{2Q_F\times 10}{d_m^2 l\pi\mu_0}$$

$$p_{req2}=\frac{6M_b\times 10^3}{l^2 d_m}$$

式中：Q_F——按 [6] 确定的舵杆设计屈服扭矩，N·m；

d_m——锥体平均直径，mm；

l——锥体长度，mm；

μ_0——摩擦系数，约等于 0. 15；

M_b——锥形连接弯矩（例如悬挂舵），N·m。

应证明推入压力不超过锥体的许用表面压力。许用表面压力由下式确定：

$$p_{perm}=\frac{0.8R_{eH}\left(1-\alpha^2\right)}{\sqrt{3+\alpha^4}}$$

式中：R_{eH}——舵枢材料最小屈服应力，N/mm^2；

$\alpha=\dfrac{d_m}{d_a}$；

d_m——直径，mm，定义见图 8；

d_a——舵枢外径（见图 8），mm，不小于 1. 5 d_m。

4. 5. 5 推入长度

推入长度，mm，应不小于：

$$\Delta l_1=\frac{p_{req}d_m}{E\left(\dfrac{1-\alpha^2}{2}\right)c}+\frac{0.8R_{tm}}{c}$$

式中：R_{tm}——平均粗糙度，mm，约等于 0. 01；

c——直径锥度，按 [4. 5. 1]。

推入长度，mm，但应不大于：

$$\Delta l_2 = \frac{1.6R_{eH}d_m}{\sqrt{3+\alpha^4}Ec} + \frac{0.8R_{tm}}{c}$$

注：如用液压方式连接，所要求的锥体推入力 P_e，N，可按下式确定：

$$P_e = p_{req}d_m\pi l\left(\frac{c}{2}+0.02\right)$$

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，并应经船级社批准。

4. 5. 6　舵销轴承的推入压力

所要求的舵销轴承推入压力，N/mm^2，由下式确定：

$$p_{req} = 0.4\frac{B_1 d_0}{d_m^2 l}$$

式中：B_1——舵销轴承的支撑力，N，见图 4；

d_m, l——见 [4. 5. 3]；

d_0——舵销直径，mm，按图 8 确定。

5　舵叶、舵承

5.1　舵叶强度

5. 1. 1　舵叶应以水平和垂直隔板加强，使舵叶达到梁的效能。舵的后缘应另作加强。

5. 1. 2　舵叶强度应按 [3. 3] 通过直接计算证明。

5. 1. 3　对无缺口的舵叶，其许用应力应不超过：

M_R 产生的弯曲应力，N/mm^2，M_R 定义见 3. 3. 3：

$$\sigma_b = 110$$

Q_1 产生的剪切应力，N/mm^2，Q_1 定义见 3. 3. 3：

$$\tau = 50$$

弯曲和剪切产生的等效应力：

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2+3\tau^2} = 120$$

在舵板上如有通向锥形连接或舵销螺母的开口，采用 [5. 1. 4] 的许用应力。如圆角半径如小于 0. 15h_0。

式中：h_0——开口高度，可要求较小的许用应力值。

5. 1. 4　对有缺口的舵叶（半悬挂舵），应力应不超过下列值：

M_R 产生的弯曲应力，N/mm^2　　$\sigma_b = 90$

Q_1 产生的剪切应力，N/mm^2　　$\tau = 50$

M_t 产生的扭转应力，N/mm^2　　$\tau_t = 50$

弯曲和剪切产生的等效应力以及弯曲和扭转产生的等效应力，N/mm^2：

$$\sigma_{v1} = \sqrt{\sigma_b^2+3\tau^2} = 120$$

$$\sigma_{v2} = \sqrt{\sigma_b^2+3\tau_t^2} = 100$$

式中：$M_R = C_{R2}f_1 + B_1\frac{f_2}{2}$，N·m；

$Q_1 = C_{R2}$，N；

f_1, f_2——定义见图 10；

τ_t——扭转应力，N/mm^2，等于：

$$\tau_t = \frac{M_t}{2lht}$$

$M_t = C_{R2}e$，N·m；

C_{R2}——所考虑横截面以下部分舵面积 A_2 的部分舵力，N；

e——扭矩力臂，m（面积 A_2 压力中心与所考虑的有效横截面积 $a-a$ 中心线之间水平距离，见图 10。假定压力中心在面积 A_2 前缘之后 0.33c_2 处，式中 c_2 为面积 A_2 平均宽度）；

h, l, t——尺寸，cm，定义见图 10。

垂直隔板之间的距离 l 不得超过 1.2 h。

舵板圆弧半径应不小于板厚的 4～5 倍，但无论如何应不小于 50 mm。

注：建议将全浸没舵和局部构件的固有频率保持为超过螺旋桨激振频率 (转速 × 桨叶数量) 至少 10%, 或有相关的更高要求。

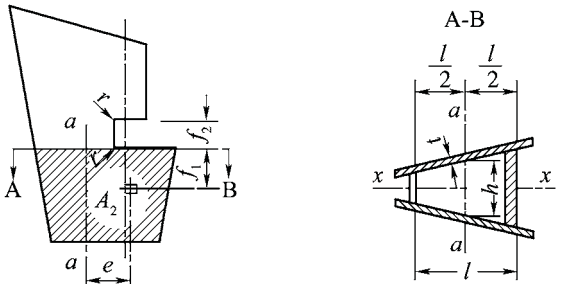


图 10　舵的几何

5.2　舵板

5.2.1　舵板厚度，mm，按下式确定：

$$t_P = 1.74a\beta\sqrt{p_R k} + 2.5$$

式中：$p_R = 10T + \frac{C_R}{10^3 A}$，kN/m^2；

a——板格中较小的无支撑宽度，m；

$\beta = \sqrt{1.1 - 0.5\left(\frac{a}{b}\right)^2}$，最大值取 1.00，若 $\frac{b}{a} \geqslant 2.5$；

b——板格最大的无支撑宽度，m。

但是，厚度应不小于第 9 章第 2 节所述后部外板厚度。

应注意相关尺寸和焊接，应满足 [10.1.1]。

5.2.2　舵的旁板与隔板的连接，不得使用榫孔焊接。如无法采用填角焊接，应以开孔塞焊将旁板与焊在隔板上的扁钢连接。

5.2.3　隔板厚度应不小于 [5.2.1] 确定的舵板厚度的 70%，同时应不小于：

$$t_{\min} = 8\sqrt{k}$$

暴露于海水的隔板尺寸应按 [5.2.1] 的规定。

5.3　舵板结构与实心锻钢件或铸钢件的连接

5.3.1　一般要求

舵杆或舵销的实心锻钢或铸钢承座，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。

5. 3. 2　舵杆承座连接处的最小剖面模数

与舵杆承座实心部分连接的舵叶结构由垂直隔板和舵板制成，其剖面模数，cm^3，应不小于由下式所得值：

$$W_S = c_S D_1^3 \left(\frac{H_E - H_X}{H_E} \right)^2 \frac{k}{k_1} \times 10^{-4}$$

式中：c_S——系数，取：

- $c_S = 1.0$，如果舵板无开口或该开口由全熔透焊接板封闭
- $c_S = 1.5$，如果所考虑的舵横剖面有一开口

D_1——舵杆直径，mm，定义见 [3. 2. 1]；

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, k_1——分别为舵叶板和舵杆的材料系数。

5. 3. 3　舵杆承座连接处实际剖面模数的计算

与舵杆承座实心部件连接的舵叶结构横剖面的实际剖面模数，应按舵的对称轴线计算。在计算此实际剖面模数时，所计及的舵板宽度，m，应不大于由下式所得值：

$$b = s_V + 2\frac{H_X}{m}$$

式中：s_V——两垂直隔板的间距，m（见图 11）；

H_X——距离，定义见 [5. 3. 2]；

m——系数，一般取为 3。

舵杆螺母的开口如未用全熔焊接板封闭，则开口应相应扣除（见图 11）。

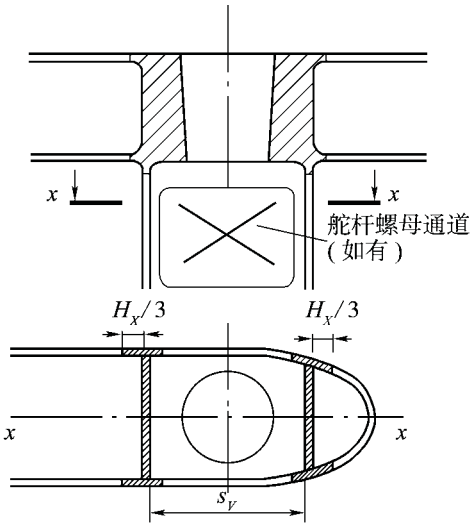


图 11　舵叶结构和舵杆承座连接横剖面

5. 3. 4　水平隔板厚度

承座附近的水平隔板厚度以及这些隔板之间的舵叶厚度，mm，应不小于由下式所得值的大者：

$$t_H = 1.2 t_P$$

$$t_H = 0.045 \frac{d_S^2}{s_H}$$

式中：t_P——定义见 [5. 2. 1]；

d_S——直径，mm，等于：

$d_S = D_1$　　承座与舵杆相连时

$d_S = d_a$　　承座与舵销相连时

D_1——舵杆直径，mm，定义见 [3. 2. 1]；

d_a——舵销直径，mm，定义见 [5. 5. 1]；

s_H——两个水平隔板间的距离，mm。

经船级社对提供的直接计算审查同意，可以接受不同的厚度。

5. 3. 5　焊接到实心部件上的舵旁板垂直隔板的厚度

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 2 所得的值。

舵旁板和垂直隔板的板厚　　**表 2**

舵　的　型　式	垂直隔板厚度(mm)		舵板厚度(mm)	
	无开口舵叶	在开口周界处	无开口舵叶	有开口
由尾框底骨支承的舵(图3)	1. 2 t_P	1. 6 t_P	1. 2 t_P	1. 4 t_P
半悬挂舵和悬挂舵(图4~图7)	1. 4 t_P	2. 0t_P	1. 3t_P	1. 6 t_P

注：t_P——定义见 [5. 2. 1]。

5. 3. 6　承座的凸缘

承座应设置凸缘。舵的垂直和水平隔板应与该凸缘对接焊接。

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承座的垂直隔板；
- 20 mm，对其他隔板。

5. 3. 7　扭矩如由延伸进舵内的加长轴传递，后者在相交长度上部 10% 处的直径须为 D_t 或 D_1，取大者。如有足够的支撑，该直径可向下过渡至 0. 6 D_t，悬挂舵可过渡至加强直径的 0. 4 倍。

5. 4　舵承

5. 4. 1　轴承应有衬垫和衬套，其最小厚度为：

$t_{min} = 8$ mm　　金属材料和合成材料

$t_{min} = 22$ mm　　木材

小船的舵承如无衬套，舵杆在舵承处的直径应适当增大，便于以后能对舵杆重新进行机械加工。

5. 4. 2　应提供足够的润滑。

5. 4. 3　舵承力按 [3. 3] 所述直接计算得出。确定舵承力的第一个近似值时，可不计入弹性支撑，方法如下：

- 有二个支撑的普通舵：

  舵力按支撑与舵叶面积重心的垂直距离分布于支承上

- 半悬挂舵：
  - 挂舵臂的支持力，N

$$B_1 = C_R \frac{b}{c}$$

  - 颈轴承的支持力，N

$$B_2 = C_R - B_1$$

b 和 c 见图 14。

5. 4. 4　舵承投影表面 A_b（舵承高度 × 衬套外径），mm^2，应不小于：

$$A_b = \frac{B}{q}$$

式中：B——支持力，N；

q——按表 3 确定的许用表面压力。

舵承材料的表面压力　　表 3

舵 承 材 料	q (N/mm^2)	舵 承 材 料	q (N/mm^2)
铁梨木	2. 5	合成材料[1]	5. 5
白合金，油润滑	4. 5	钢材[2]、青铜和热压青铜-石墨材料	7. 0

注：1. 合成材料应为经认可的型式。

可按舵承制造商的规格和试验接受表面压力超过 5. 5 N/mm^2，但无论如何应不大于 10 N/mm^2。

2. 不锈和耐磨钢材与舵杆衬管的组合经过认可。如通过试验予以验证，可接受表面压力高于 7 N/mm^2。

5. 4. 5　不锈和耐磨钢材、青铜和热压青铜－石墨材料与非合金钢之间有很大的电位差。应采取相应的防护措施。

5. 4. 6　舵承高度应等于舵承直径，但应不超过舵承直径的 1. 2 倍。舵承深度如小于舵承直径，可允许有较高的表面压力。

尾框底骨和挂舵臂内的舵销轴承的壁厚应约为舵销直径的 1/4。

5. 5　舵销

5. 5. 1　舵销尺寸应符合 [4. 4] 和 [4. 6] 规定的条件。舵销直径，mm，应不小于：

$$d_a = 0.35\sqrt{B_1 k_r}$$

式中：B_1——支撑力，N；

k_r——材料系数，定义见 [1. 4. 2]。

5. 5. 2　任何衬套或衬垫的厚度，mm，应不小于：

$$t = 0.01\sqrt{B_1}$$

及 [5. 4. 1] 定义的最小厚度。

5. 5. 3　舵销如为锥形，直径方向锥度应符合以下规定：

1:8 至 1:12，如果由止动螺母锁定

1:12 至 1:20，如果以油压和液压螺母装配

5. 5. 4　舵销的布置应能防止意外的松动和脱落。

螺母和螺纹适用 [4. 4. 5] 和 [4. 5. 2] 的相应要求。

5. 6　舵承间隙的衡准

5. 6. 1　金属材料舵承的间隙，mm，应不小于：

$$\frac{d_b}{1000} + 1.0$$

式中：d_b——衬套内径，mm。

5. 6. 2　如采用非金属舵承材料，舵承间隙要考虑材料的膨胀和热胀特性而专门确定。

5. 6. 3　直径方向间隙应不小于 1. 5 mm。对自润滑衬套，可根据制造商的规格商定低于此值。

6　舵杆设计屈服扭矩

6. 1　一般要求

6. 1. 1　舵杆设计屈服扭矩由下式确定：

$$Q_F = 0.02664\frac{D_t^3}{k_r} \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

式中：D_t——舵杆直径，mm，按 [3. 1] 确定。

如实际直径 D_{ta} 大于计算直径 D_t，则应使用直径 D_{ta}。但适用上式的 D_{ta} 不必取大于 1. 145D_t。

7　舵角限位器、锁紧装置

7. 1　限位器

7. 1. 1　舵扇或舵柄在任何一舷的运动应由限位器予以限制。限位器及其与船壳相连的底座结构应牢固，以在舵杆设计屈服扭矩下不超过所用材料的屈服点。

7. 2　锁紧装置

7. 2. 1　每一舵机应设有锁紧装置，以将舵固定在任一位置。该装置以及与船壳相连的底座应有牢固结构，以在 [6] 所规定的舵杆设计屈服扭矩下不超过所用材料的屈服点。船舶航速如超过 12 节，则仅需针对基于航速 $v_0 = 12$ 节的舵杆直径来计算设计屈服力矩。

7. 3

7. 3. 1 关于限位器和锁紧装置，同时应参见船级社轮机设备规范的适用要求。

8　螺旋桨导流管

8. 1　一般要求

8. 1. 1　以下要求适用于内径在 5 m 以内的螺旋桨导流管。对直径更大的导流管将作特殊考虑。

8. 1. 2　应特别注意将导流管固定在船体结构上的支架。

8. 2　设计压力

8. 2. 1　螺旋桨导流管设计压力，kN/m^2，由下式确定：

$$p_d = cp_{d0}$$

式中：$p_{d0} = \varepsilon\frac{N}{A_p}$；

N——最大轴功率，kW；

A_p——螺旋桨盘面积，m^2，等于：

$$A_p = D^2\frac{\pi}{4}$$

D——螺旋桨直径，m；

ε——按下式所得因子：

$$\varepsilon = 0.21 - 2\times10^{-4}\frac{N}{A_p}，\text{且不小于 } 0.1$$

c——系数等于（见图 12）：

$c = 1.0$　　在 2 区（螺旋桨区）

$c = 0.5$　　在 1 和 3 区

$c = 0.35$　　在 4 区

8. 3　板厚

8. 3. 1　导流管壳板厚度，mm，应不小于：

$$t = t_0 + t_k，\text{且不小于 } 7.5$$

式中：t_0——板厚，mm，按下式取：

$$t_0 = 5a\sqrt{p_d}$$

a——加强环间距，m；

t_k——腐蚀余量，mm，等于：

t_k=1. 5　　当 $t_0 \leqslant 10$ 时

$$t_k = \min\left[0.1\left(\frac{t_0}{\sqrt{k}} + 0.5\right)3.0\right] \qquad \text{当 } t_0 > 10 \text{ 时}$$

8. 3. 2　内部加强环腹板厚度应不小于 3 区的导流管板厚，但无论如何应不小于 7. 5 mm。

8. 4　剖面模数

8. 4. 1　图 12 所示横剖面中和轴的剖面模数，cm^3，应不小于：

$$W = nd^2bv_0^2$$

式中：d——导流管内径，m；

b——导流管长度，m；

n——系数，取：

n = 1. 0　对于导流管舵

n = 0. 7　固定导流管

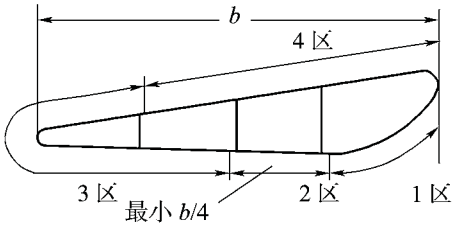


图12　螺旋桨导流管区

8. 5　焊接

8. 5. 1　导流管内外壳板应尽实际可能以双面连续焊缝焊到内部加强环上。塞焊仅允许用于导流管外板。

9　挂舵臂和尾框底骨尺寸

9. 1　尾框底骨

9. 1. 1　尾框底骨对 z 轴的剖面模数，cm^3，应不小于：

$$W_z = \frac{B_1 xk}{80}$$

式中：B_1——定义见 [3. 3]，有二个支点的舵，如忽略不计尾框底骨的弹性，其支撑力约为 $B_1 = C_R/2$；

x——相应横剖面至舵轴的距离，m：

x_{min}=0. 5l_{50}

x_{max}=l_{50}

l_{50}——定义见图 13 和 [3. 3. 2]。

9. 1. 2　对 y 轴的剖面模数应不小于：

- 如未装舵柱或舵轴

$$W_y = \frac{W_z}{2}$$

- 如装有舵柱或舵轴

$$W_y = \frac{W_z}{3}$$

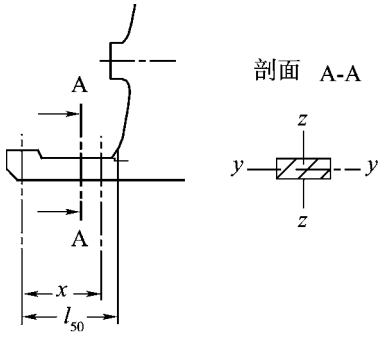


图 13 尾框底骨

9.1.3 $x = l_{50}$ 位置的剖面面积，mm^2，应不小于：

$$A_s = \frac{B_1}{48}k$$

9.1.4 长度 l_{50} 以内任何位置弯曲和剪切应力的等效应力，N/mm^2，应不超过：

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} = \frac{115}{k}$$

式中：$\sigma_b = \frac{B_1 x}{W_z}$；

$\tau = \frac{B_1}{A_s}$。

9.2 半悬挂舵的挂舵臂（一个弹性支点情况）

9.2.1 弯矩，N·m，剪力，N，和扭矩，N·m，分布应按下式确定：

- 弯矩 $M_b = B_1 z$

  $M_{bmax} = B_1 d$
- 剪力 $Q = B_1$
- 扭矩 $M_t = B_1 e_{(z)}$

初步确定构件尺寸时，可忽略不计挂舵臂的柔性，支撑力 B_1，N，可按下式计算：

$$B_1 = C_R = \frac{b}{c}$$

式中：b、c、d、$e_{(z)}$ 和 z——定义见图 14 和图 15；

b——距舵叶面积重心的距离。

9.2.2 挂舵臂在任何位置 z 上，对于水平 x 轴的横剖面模数，cm^3，应不小于：

$$W_x = \frac{M_b k}{67}$$

9.2.3 在挂舵臂任何横剖面，剪力 Q 产生的剪切应力，N/mm^2，均应不超过由下式所得值：

$$\tau = \frac{48}{k}$$

剪切应力应由下式确定：

$$\tau = \frac{B_1}{A_h}$$

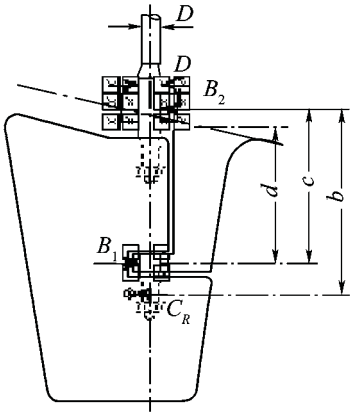


图 14　挂舵臂尺寸

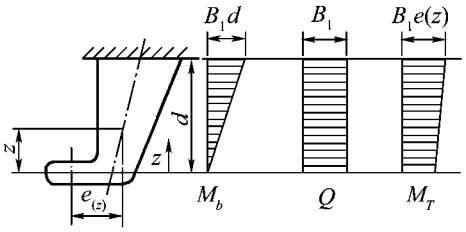


图 15　挂舵臂载荷

式中：A_h——挂舵臂在 y 方向的有效剪切面积，mm^2。

9. 2. 4　挂舵臂任何 (z) 位置的等效应力，N/mm^2，应不超过由下式所得值：

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3(\tau^2 + \tau_T^2)} = \frac{120}{K}$$

式中：$\sigma_b = \dfrac{M_b}{W_z}$；

$$\tau_T = \frac{M_T 10^3}{2A_T t_h}$$；

A_T——校核位置处由挂舵臂围闭的剖面面积，mm^2；

t_h——挂舵臂的板厚，mm。

9. 2. 5　在确定挂舵臂的板厚时，应符合 [5. 2] 至 [5. 4] 的规定。但板厚应不小于 $2.4\sqrt{LK}$ mm。

9. 2. 6　挂舵臂应有效地连接至船尾结构，例如板材与纵桁连接，以实现力的合理传递，见图 16。

9. 2. 7　应有数量充足且厚度足够的挂舵臂横隔板向上装入船体，直至达到最近一层甲板。

9. 2. 8　应与横隔板一起安设加强肋板，以实现与船体充分连接。这些肋板的厚度应比按第 6 章第 1 节或第 9 章第 2 节确定的船底厚度增加 50%。

9. 2. 9　尾尖舱的中纵舱壁（制荡舱壁）应与挂舵臂相连。

9. 2. 10　如挂舵臂与外板之间圆弧过渡，所要求的挂舵臂总剖面模数约 50% 应由过渡区中心的 A-A 剖面内腹板构成，即过渡区开端以上 0. 7 r。见图 17。

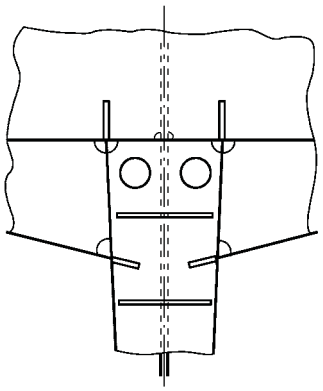


图 16　挂舵臂与船尾结构的连接

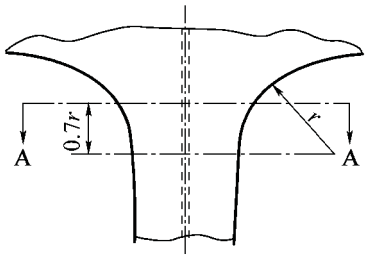


图 17　挂舵臂与外板之间过渡

9. 3　半悬挂舵的挂舵臂（两个耦合弹性支点情况）

9.3.1　弯矩

作用于挂舵臂一般剖面的弯矩，N·m，由下式得出：

在挂舵臂上下支点之间：

$$M_H = F_{A1} z$$

在挂舵臂上支点以上：

$$M_H = F_{A1} z + F_{A2}(z - d_{1u})$$

式中：F_{A1}——在挂舵臂下支点的支撑力，N，按图 5 得出，取值等于 B_1；

F_{A2}——在挂舵臂上支点的支撑力，N，按图 5 得出，取值等于 B_2；

z——图 19 所定义的距离，m，取为小于同一图中所定义的距离 d，m；

d_{1u}——挂舵臂上下轴承间距，m（按图 18，$d_{1u} = d - \lambda$）。

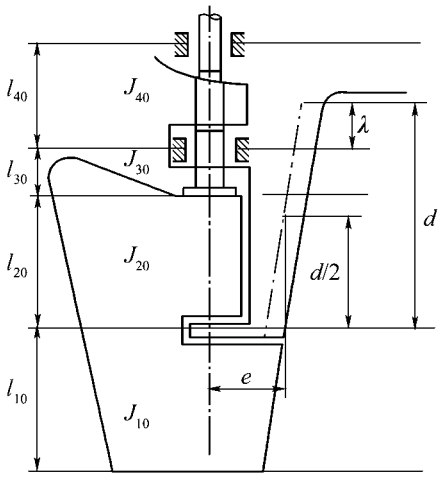


图 18　挂舵臂弯矩计算几何参数

9.3.2　剪力

作用于挂舵臂一般剖面的剪力 Q_H，N，由下式得出：

在挂舵臂上下轴承之间：

$$Q_H = F_{A1}$$

在挂舵臂上轴承以上：

$$Q_H = F_{A1} + F_{A2}$$

式中：F_{A1}, F_{A2}——支撑力，N。

9.3.3　扭矩

作用于挂舵臂一般剖面的扭矩，N·m，由下式得出：

在挂舵臂上下轴承之间：

$$M_T = F_{A1} e_{(z)}$$

在挂舵臂上轴承以上：

$$M_T = F_{A1} e_{(z)} + F_{A2} e_{(z)}$$

式中：F_{A1}, F_{A2}——支撑力，N；

$e_{(z)}$——扭矩力臂，m，定义见图 19。

9.3.4　剪切应力计算

a）　对挂舵臂在其上下轴承之间的一般剖面，应计算以下应力：

τ_S——剪切应力，N/mm^2，由下式得出：

$$\tau_s = \frac{F_{A1}}{A_H}$$

τ_T——扭转应力，N/mm^2，对中空挂舵臂由下式得出：

$$\tau_T = \frac{M_T 10^3}{2F_T t_H}$$

对实心挂舵臂，τ_T 由船级社按具体情况考虑。

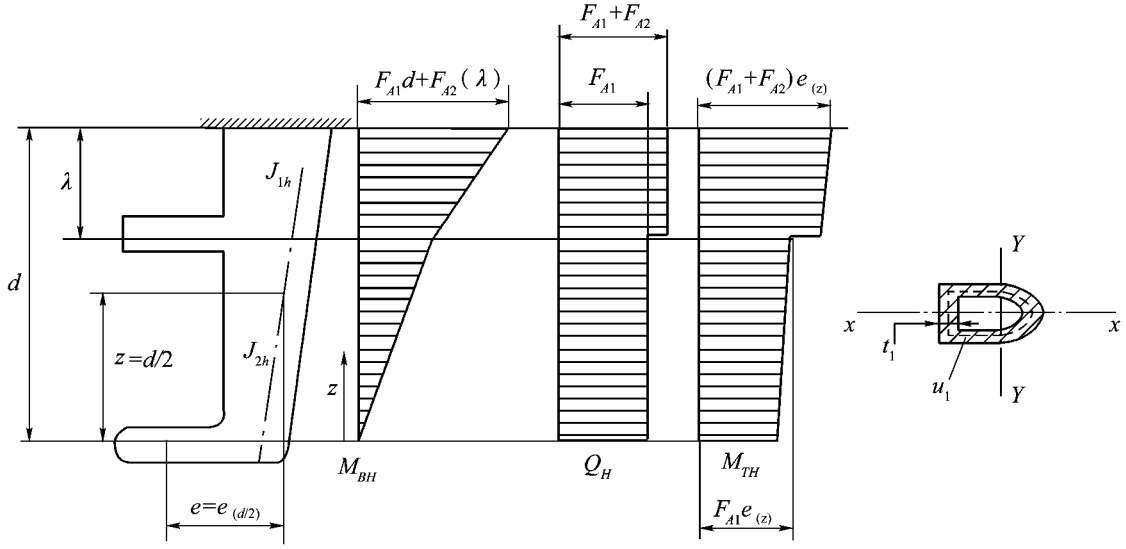


图 19　挂舵臂几何形状

b）对挂舵臂在其上轴承以上部位的一般剖面，应计算以下应力：

τ_S——剪切应力，N/mm^2，由下式得出：

$$\tau_S = \frac{F_{A1}+F_{A2}}{A_H}$$

τ_T——扭转应力，N/mm^2，对空心挂舵臂由下式得出：

$$\tau_T = \frac{M_T 10^3}{2F_T t_H}$$

对实心挂舵臂，τ_T 由船级社按具体情况考虑。

式中：F_{A1}, F_{A2}——支撑力，N；

A_H——挂舵臂 y 方向有效剪切剖面，mm^2；

M_T——扭矩，N·m；

F_T——挂舵臂薄壁剖面内外限界围蔽面积平均值，m^2；

t_H——挂舵臂板厚，mm。对挂舵臂的特定横剖面，τ_T 最大值按 t_H 最小值得出。

9.3.5　弯曲应力计算

对挂舵臂在图 14 所定义长度 d 以内的一般剖面，应计算以下应力：

σ_B——弯曲应力，N/mm^2，由下式得出：

$$\sigma_B = \frac{M_H}{W_X}$$

式中：M_H——所计算剖面的弯矩，N·m；

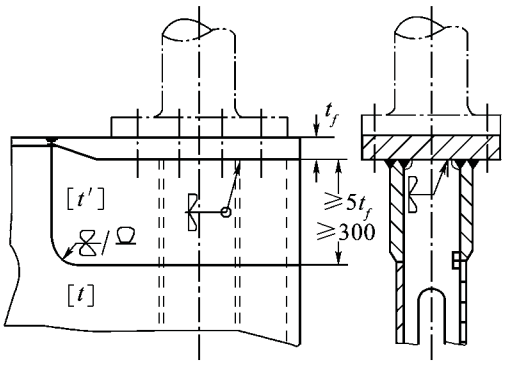
W_X——对水平轴线 X 的剖面模数，cm^3（见图 19）。

9. 3. 6　备注

[9. 2. 5] 至 [9. 2. 10] 要求也适用于有 2 个耦合弹性支点的挂舵臂。

10　舵连接法兰

10. 1. 1　除使用锻钢或铸钢法兰以及焊为一体的锻钢或铸钢法兰以外，应按第 11 章第 1 节规定，用厚度不等的板材通过单或双斜角全熔焊缝将舵的水平连接法兰与舵体接合（见图 20）。



t = 舵板厚度（mm），t_f = 法兰实际厚度（mm）

$t' = \frac{t_f}{3} + 5$ [mm]，式中：$t_f < 50$mm

$t' = 3\sqrt{t_f}$ [mm]，式中：$t_f \geqslant 50$mm

图 20　舵的水平连接法兰

10. 1. 2　连接法兰厚度在强度减弱上应有余量。如有疑问，应出示焊接连接足够的证明。

10. 1. 3　舵杆（有加厚封圈，见第 11 章第 2 节）和法兰之间的焊接接头应符合图 21 要求。

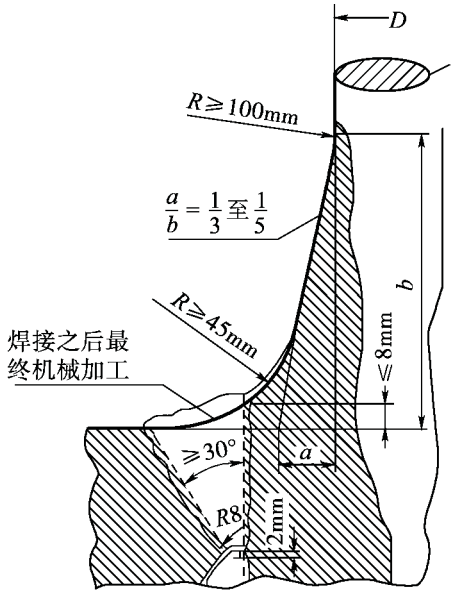


图 21　舵杆和连接法兰之间的焊接接头

11　方位推进系统

11. 1　一般要求

11. 1. 1　布置

方位推进系统由以下子系统构成（见图 22）：

- 操纵装置；
- 轴承；
- 船体支架；
- 系统中的舵部件；
- 吊舱，当为吊舱推进系统时吊舱中装有电机。

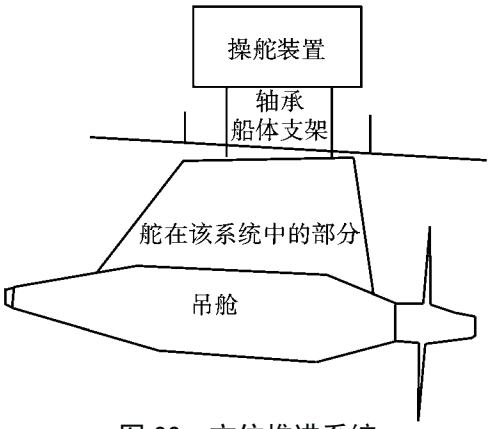


图 22　方位推进系统

11.1.2　适用范围

本条要求适用于船体支架、舵部分和吊舱结构的尺寸。

操纵装置和轴承应符合船级社规范的相关要求。

11.1.3　操作条件

当船舶以最大航速航行时，方位推进系统在每舷的最大定向角度应由设计者规定。该最大角度在每舷一般应小于 35°。

一般而言，船级社可考虑方位推进系统在操纵时的定向大于该最大角度，但定向值以及相关航速值须提交船级社审批。

11.2　布置

11.2.1　应送审的图纸

除吊舱和该系统中舵的结构布置图以外，方位推进系统支架布置图也应提交船级社审批。支架尺寸和作用于支架的最大载荷应在图中明确标示。

11.2.2　锁紧装置

方位推进系统应可用机械方式锁紧在固定位置，以免该系统在受损时转动和朝非预期方向推进。

11.3　设计载荷

11.3.1　确定方位推进系统板材和普通扶强材的尺寸时所要求的侧向压力，应按该系统的下述定向来确定，该定向等于当船舶以最大航速航行时，该系统在每舷能达到的最大定向角度。

- 作用于方位推进系统的合力通过求得该系统外表面侧向压力的总和而得出；
- 侧向压力和合力的计算书应提交船级社备查。

11.4　板材

11.4.1　方位推进系统舵部件的板材

方位推进系统舵部件的板材厚度，mm，应不小于由 [5.2.1] 的公式得出的值，式中 C_R/A 由按 [11.3] 计算的侧向压力取代。

11.4.2　吊舱板材

吊舱的板材厚度，mm，应不小于由第 6 章第 1 节或第 9 章第 2 节的公式得出的值，侧向压力按 [11.3] 计算。

11.4.3　隔板

方位推进系统舵部分的隔板厚度，mm，按 [5.2.3] 确定，侧向压力按 [11.3] 计算。

11.5　普通扶强材

11.5.1　吊舱的普通扶强材

吊舱的普通扶强材尺寸应不小于由第 6 章第 2 节或第 9 章第 2 节的公式得出的值，侧向压力按 [11.3] 计算。

11.6　主要支撑构件

11.6.1　分析衡准

方位推进系统主要支撑构件的尺寸应由设计者通过直接计算得出，并按以下要求执行：

- 结构模型应包括吊舱、方位推进系统舵部分、轴承和船体支架；
- 边界条件应代表方位推进系统与船体结构的连接；
- 所施加载荷为 [11.6.2] 所定义的载荷；
- 设计者所作直接计算分析（结构模型、载荷和应力计算、强度校核）应提交船级社备查。

11.6.2　载荷

设计者在对方位推进系统主要支撑构件作直接计算时，应考虑以下载荷：

- 重力；
- 浮力；
- 按该系统的下述定向所计算的最大载荷，该定向应等于当船舶以最大航速航行时，该系统在每舷的最大定向角度；
- 按该系统定向大于相关航速最大的可能定向角所计算的最大载荷（见 [11.1.3]）；
- 按螺旋桨倒转而紧急停船所计算的最大载荷；
- 按吊舱旋转 180º 而紧急停船所计算的最大载荷。

11.6.3　强度校核

应校核按 [11.6.2] 所定义的载荷实例计算的主要支撑构件 von Mises 等效应力 σ_E，N/mm^2，满足下式：

$$\sigma_E \leqslant \sigma_{ALL}$$

式中：σ_{ALL}——许用应力，N/mm^2，等于下式中的小者：

$$\sigma_{ALL}=0.275R_m$$

$$\sigma_{ALL}=0.55R_{eH}$$

11.7　方位推进系统的船体支架

11.7.1　分析衡准

方位推进系统的船体支架尺寸应由设计者通过直接计算得出，并按 [11.6.1] 要求执行：

11.7.2　载荷

在方位推进系统的船体支架直接计算中计及的载荷是 [11.6.2] 所规定的载荷。

11.7.3　强度校核

应校核按 [11.6.2] 所定义的载荷实例计算的船体支架 von Mises 等效应力 σ_E，N/mm^2，是否与下式相符：

$$\sigma_E \leqslant \sigma_{ALL}$$

式中：σ_{ALL}——许用应力，N/mm^2，$\sigma_{ALL}=65/k_r$；

k_r——材料系数，定义见 [1.4.2]。

船级社视具体情况并根据 σ_E 的范围和直接计算分析的类型，可考虑接受 σ_E 值大于 σ_{ALL}。

第 2 节　舷墙和栏杆

1　一般要求

1.1　引言

1.1.1　本节要求适用于设在干舷甲板、上层建筑甲板和干舷甲板上第一层甲板室顶部周界处的舷

墙和栏杆的布置。

1.2　一般要求

1.2.1　在干舷甲板和直接位于干舷甲板上的上层建筑甲板的所有露天部分以及设在干舷甲板上第一层甲板室和上层建筑端部的周界处，应装设有效的舷墙或栏杆。

1.2.2　舷墙或栏杆的高度应至少为甲板以上 1m。但其高度如会妨碍船舶的正常作业，则可接受较低高度，但仍须有足够的防护并符合任何适用法定要求。

1.2.3　如上层建筑与凸形甲板连接，则在干舷甲板露天部分的全长内装设栏杆。

1.2.4　在 B – 100 型船舶上，至少应在干舷甲板露天部分一半长度装设栏杆。

作为替代，应装设符合第 9 章第 6 节 [5.5.2] 要求的排水舷口。

1.2.5　在带有舷墙和宽度不小于 0.6 B 的凸形甲板，且纳入干舷计算的船上，在凸形甲板处的干舷甲板露天部分至少应在该露天部分一半长度装设栏杆。

作为替代，应装设符合第 9 章第 6 节 [5.3.1] 要求的排水舷口。

1.2.6　上层建筑在任一端敞开或在两端均敞开的船舶，应提供在这类上层建筑内充分排水的设施。

1.2.7　舷墙下部排水舷口的面积应符合第 9 章第 6 节 [5] 的适用要求。

2　舷墙

2.1　一般要求

2.1.1　通常情况下，平板舷墙上缘应用一合适的型材加强，并用间隔不大于 2.0m 的支撑肘板或平板肘板支撑。

支撑肘板或平板肘板的自由边应予以加强。

舷墙的支撑和肘板应与其下的梁对齐，或通过局部横向扶强材与之相连。

作为替代，支撑肘板下端可用纵向扶强材支撑。

2.1.2　在 B – 60 型和 B – 100 型船舶上，距前端 0.07 L 之前的肘板和支撑肘板间隔应不大于 1.2 m。

2.1.3　如舷墙被完整地切断，则支撑肘板或肘板尺寸应较 [2.2] 所规定的尺寸增加。

2.1.4　通常情况下，舷墙不与舷顶列板上缘或甲板边板相连。

若非如此，连接的细节应由船级社审查。

2.2　尺寸

2.2.1　干舷甲板上高度不超过 1m 的舷墙总厚度应不小于 6.5mm。

舷墙高度如等于或大于 1.8 m，其厚度应等于按与舷墙在同一位置的上层建筑侧壁计算所得厚度。

高度在 1m 和 1.8 m 之间的舷墙，其厚度应用线性内插法计算。

2.2.2　在货物装卸装置作业所用支索或其他索具的眼板处，以及在锚泊或拖带所用锚链孔或导缆孔处，舷墙板材和支撑肘板应予充分加强。

2.2.3　在局部上层建筑端部以及在其侧板削斜进入舷墙的过渡长度内，舷墙厚度应与侧板相同；如舷墙在这些位置有开口，应通过增加板厚或其他合适方式予以充分补偿。

2.2.4　舷墙下部支撑肘板的总剖面模数，cm^3，应不小于下式所得值：

$$W = 77sh_B^2$$

式中：s——支撑肘板间隔，m；

h_B——舷墙高度，m，在其上缘和甲板板上表面之间量取。

在计算以上剖面模数时，应计入支撑肘板和甲板结构的实际连接剖面。

为此，支撑肘板球头或面板仅在与甲板焊接的情况下才可计入；在此情况下，其下的梁应采用双面连续焊缝连接。

对加强件不与甲板相连的支撑肘板，所要求的最小剖面模数的计算由船级社按具体情况考虑。

在舷墙与舷顶列板相连的船舶两端，宽度不超过 600 mm 的带板也可计入支撑肘板实际总剖面模数的计算。

2. 2. 5　舷墙开口的布置应使对船员的保护至少等效于 [3. 1. 2] 的水平横档所提供的保护。

为此，可接受由间隔约 230 mm 的竖档或竖栏取代横档或横栏。

2. 2. 6　用于载运木材甲板货的船舶，应符合干舷规则的具体规定。

3　栏杆

3. 1　一般要求

3. 1. 1　如设有栏杆，舷顶列板的上缘应尽可能低。

3. 1. 2　最低横档以下的开口应不大于 230 mm。其他横档的间隔应不大于 380 mm。

3. 1. 3　船舶如设有圆弧形舷缘或舷顶列板，支柱应设在甲板的平坦部分。

3. 1. 4　固定、移动或铰链支柱应间隔约 1. 5 m。至少每第 3 根支柱应用肘板或支撑肘板支撑。移动或铰链支柱应能锁定在直立位置。

3. 1. 5　钢丝绳仅在特殊情况下才可准予取代栏杆，并须限制其长度。钢丝绳应用松紧螺丝绷紧。

3. 1. 6　只有短的链索才可准予取代栏杆，并须设在两个固定支柱和 / 或舷墙之间。

第 3 节　设　备

符号

本节未作定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

EN：舾装数，定义见 [2. 1]

1　一般要求

1. 1　一般要求

1. 1. 1　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。

1. 1. 2　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。

1. 1. 3　下文所要求锚泊设备的舾装数（*EN*）公式基于假定水流速度为 2. 5m/s、风速为 25m/s、锚链的范围在 6~10 之间。锚链的范围系指抛出锚链的长度与水深之比。

1. 1. 4　假定在正常情况下，一艘船舶只使用一个锚。

2　舾装数

2. 1　舾装数

2. 1. 1　一般要求

所有船舶均应按其舾装数 *EN*，根据表 1 备有锚和锚链（或 [3. 3. 5] 所述锚缆）设备。

一般应采用无杆锚。

EN 大于 16000 的船舶，其设备的确定由船级社按具体情况考虑。

2. 1. 2　舾装数

舾装数 *EN* 由下式得出：

$$EN = \Delta^{2/3} + 2hB + 0.1A$$

设　　备　　**表 1**

舾装数 EN $A < EN \leqslant B$		无　杆　锚		有 档 锚 链			
		$N^{(1)}$	每锚质量	总长	直径（mm）		
A	B		kg	m	1 级	2 级	3 级
50	70	2	180	220. 0	14. 0	12. 5	
70	90	2	240	220. 0	16. 0	14. 0	
90	110	2	300	247. 5	17. 5	16. 0	
110	130	2	360	247. 0	19. 0	17. 5	
130	150	2	420	275. 5	20. 5	17. 5	
150	175	2	480	275. 0	22. 0	19. 0	
175	205	2	570	302. 5	24. 0	20. 5	
205	240	3	660	302. 5	26. 0	22. 0	20. 5
240	280	3	780	330. 0	28. 0	24. 0	22. 0
280	320	2	900	357. 5	30. 0	26. 0	24. 0
320	360	3	1020	357. 5	32. 0	28. 0	24. 0
360	400	3	1140	385. 0	34. 0	30. 0	26. 0
400	450	3	1290	385. 0	36. 0	32. 0	28. 0
450	500	3	1440	412. 5	38. 0	34. 0	30. 0
500	550	3	1590	412. 5	40. 0	34. 0	30. 0
550	600	3	1740	440. 0	42. 0	36. 0	32. 0
600	660	3	1920	440. 0	44. 0	38. 0	34. 0
660	720	3	2100	440. 0	46. 0	40. 0	36. 0
720	780	3	2280	467. 5	48. 0	42. 0	36. 0
780	840	3	2460	467. 5	50. 0	44. 0	38. 0
840	910	3	2640	467. 5	52. 0	46. 0	40. 0
910	980	3	2850	495. 0	54. 0	48. 0	42. 0
980	1060	3	3060	495. 0	56. 0	50. 0	44. 0
1060	1140	3	3300	495. 0	58. 0	55. 0	46. 0
1140	1220	3	3540	522. 5	60. 0	52. 0	46. 0
1220	1300	3	3780	522. 5	62. 0	54. 0	48. 0
1300	1390	3	4050	522. 5	64. 0	56. 0	50. 0
1390	1480	3	4320	550. 0	66. 0	58. 0	50. 0
1480	1570	3	4590	550. 0	68. 0	60. 0	52. 0
1570	1670	3	4890	550. 0	70. 0	62. 0	54. 0
1670	1790	3	5250	577. 5	73. 0	64. 0	56. 0
1790	1930	3	5610	577. 5	76. 0	66. 0	58. 0
1930	2080	3	6000	577. 5	78. 0	68. 0	60. 0
2080	2230	3	6450	605. 0	81. 0	70. 0	62. 0
2230	2380	3	6900	605. 0	84. 0	73. 0	64. 0

续上表

舾装数 EN $A < EN \leqslant B$		无杆锚		有档锚链			
		N (1)	每锚质量 kg	总长 m	直径，mm		
A	B				1 级	2 级	3 级
2380	2530	3	7350	605. 0	87.0	76.0	66.0
2530	2700	3	7800	632. 5	90. 0	78. 0	68. 0
2700	2870	3	8300	632. 5	92. 0	81. 0	70. 0
2870	3040	3	8700	632. 5	95. 0	84. 0	73. 0
3040	3210	3	9300	660. 0	97. 0	84. 0	76. 0
3210	3400	3	9900	660. 0	100. 0	87. 0	78. 0
3400	3600	3	10500	660. 0	102. 0	90. 0	78. 0
3600	3800	3	11100	687. 5	105. 0	92. 0	81. 0
3800	4000	3	11700	687. 5	107. 0	95. 0	84. 0
4000	4200	3	12300	687. 5	111. 0	97. 0	87. 0
42000	4400	3	12900	715. 0	114. 0	100. 0	87. 0
4400	4600	3	13500	715. 0	117. 0	102. 0	90. 0
4600	4800	3	14100	715. 0	120. 0	105. 0	92. 0
4800	5000	3	14700	742. 5	122. 0	107. 0	95. 0
5000	5200	3	15400	742. 5	124. 0	111. 0	97. 0
5200	5500	3	16100	742. 5	127. 0	111. 0	97. 0
5500	5800	3	16900	742. 5	130. 0	114. 0	100. 0
5800	6100	3	17800	742. 5	132. 0	117. 0	102. 0
6100	6500	3	18800	742. 5		120. 0	107. 0
6500	6900	3	20000	770. 0		124. 0	111. 0
6900	7400	3	21500	770. 0		127. 0	114. 0
7400	7900	3	23000	770. 0		132. 0	117. 0
7900	8400	3	24500	770. 0		137. 0	122. 0
8400	8900	3	26000	770. 0		142. 0	127. 0
8900	9400	3	27500	770. 0		147. 0	132. 0
9400	10000	3	29000	770. 0		152. 0	132. 0
10000	10700	3	31000	770. 0			137. 0
10700	11500	3	33000	770. 0			142. 0
11500	12400	3	35500	770. 0			147. 0
12400	13400	3	38500	770. 0			152. 0
13400	14600	3	42000	770. 0			157. 0
14600	16000	3	46000	770. 0			162. 0

注：(1) 见 [3. 2. 4]。

式中：Δ——船舶夏季载重线的船舶型排水量，t；

h——夏季载重线至最高层甲板室顶部的有效高度，m，按下式得出：

$$h = a + \sum h_n$$

在计算 h 时，不考虑舷弧和纵倾；

a——船中干舷，从夏季载重水线至上层甲板，m；

h_n——宽度大于 $B/4$ 的“n”层上层建筑或甲板室中线处高度，m。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；

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 $B/4$ 的甲板室的侧投影面积之和，m^2。

在确定 h 和 A 时，高 1.5 m 及以上的固定挡风板或舷墙应视为甲板室的一部分。图 1 所示舱口部位也应包括在内。

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。

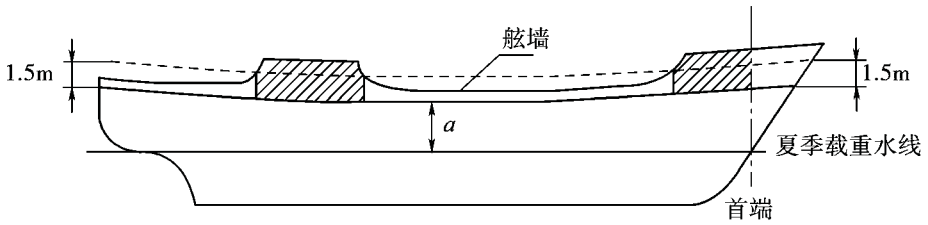


图 1　舾装数所包括的舷墙或挡风板有效面积

3　设备

3.1　一般要求

3.1.1　所有锚泊设备、拖索桩、带缆桩、导缆楔耳和环眼螺栓的构造及其与船体连接方式，应使其在按设计载荷极限使用时，不会损坏船舶的完整性。

3.1.2　锚泊布置应防止锚链损坏和缠住。应作适当布置，在所有操作工况下把锚锁定。

3.2　锚

3.2.1　一般要求

锚的尺寸应符合以下要求。

锚应按经批准的图纸建造和试验。

3.2.2　普通锚

每只锚要求的质量按表 1 得出。

首锚的单独质量可与各锚的要求质量相差 ±7%，但各锚的总质量应不小于表 1 的要求锚质量的总和。

普通无杆锚的锚头质量，包括销子和转轴在内，应不小于整个锚质量的 60%。

如配备了有杆锚，该锚质量（不计锚杆）应不小于表 1 的无杆锚要求质量的 80%。锚杆质量应不小于锚质量（不计锚杆，但计入连接卸扣）的 25%。

3.2.3　大抓力锚和超大抓力锚

大抓力锚（HHP）和超大抓力锚（VHHP），亦即按船级社材料规范适用要求证明为抓力高于普通锚抓力的锚，不需在海底作预调整或在海底作特殊布置。

HHP 锚或 VHHP 锚如用作船首锚，每只锚质量应不小于表 1 的相应普通无杆锚质量的 75% 或 50%。

VHHP 锚的质量一般应小于或等于 1500 kg。

3.2.4　第三个锚

如备有三个锚，其中两个应与其锚链相连并应放在船上可随时启用位置。

第三个锚用作备件，不作为入级的要求。

3. 2. 5　大抓力锚认可试验

认可和 / 或接受为 HHP 锚时，应在不同类型海底进行比较试验。

这种试验应证明 HHP 锚的抓力至少为质量相同的普通无杆锚抓力的两倍。

一个 HHP 锚系列的认可和 / 或接受时，试验所采用的锚尺寸应尽可能代表这一系列所建议的锚质量。这样，至少应试验两个不同尺寸的锚。所认可的最大尺寸锚的质量应不大于所试验的最大尺寸锚的质量的 10 倍。最小尺寸锚的质量应不小于所试验的最小尺寸锚的质量的 0. 1 倍。

3. 2. 6　超大抓力锚认可试验

认可和 / 或接受为 VHHP 锚时，应至少在三种类型海底进行比较试验：柔软泥地或淤泥，沙地或沙砾，以及硬土或类似的较紧实质地的底质。这种试验应证明 VHHP 锚的抓力至少为质量相同的普通无杆锚抓力的四倍，或至少为此前已认可且质量相同的 HHP 锚抓力的两倍。抓力试验载荷应小于或等于船级社材料规范适用要求所规定的锚的验证载荷。

一个 VHPP 锚系列的认可和 / 或接受时，试验所采用的锚尺寸应尽可能代表这一系列所建议的锚质量。这样，至少应按该质量范围的上下限和中等水准试验三个不同尺寸的锚。

3. 2. 7　大抓力锚和超大抓力锚试验的技术条件

试验一般应在拖船上进行。船级社可按具体情况接受岸基试验。

作为替代，船级社可按具体情况接受海上试验，与此前认可的同一类型（HHP 或 VHHP）锚作比较。

对各系列尺寸，选出作试验的两个锚（普通无杆和 HHP 锚用以试验 HHP 锚，普通无杆和 VHHP 锚，或在没有普通无杆锚时，HHP 和 VHHP 锚用以试验 VHHP 锚）应质量相同。

与各锚相连的锚链长度，其直径与其质量相称，应使对锚杆的拉力实际保持水平方向。为此，认为锚链放出长度与水深的比值等于 10 是正常的。船级社可按具体情况接受较小比值。

应对每一只锚和每一种类型海底进行三次试验。

应通过测力计测量拖力；但可接受用基于拖船 RPM/ 带缆桩拖力曲线的测量来取代测力计读数。

如有可能，应注意锚的稳定性以及起锚是否容易。

3. 3　锚链和锚

3. 3. 1　材料

锚链按所用钢材型号和制造分为 1 级、2 级或 3 级。对于每一制造商所采用钢材的特性和制造方法，应由船级社认可。制造锚链所用材料和制成的锚链应按船级社材料规范适用要求进行试验。

1 级锚链不可用于大抓力锚和超大抓力锚。

3. 3. 2　有档锚链尺寸

有档锚链（包括链环）的质量和几何尺寸，应符合船级社材料规范适用要求。

有档锚链直径应不小于表 1 的值。

3. 3. 3　无档锚链

对 *EN* 小于 90 的船舶，如果通过船级社材料规范所定义的载荷，证明强度相同，并且无档链环的钢材等级与所替代的有档链环的钢材等级（如 [3. 3. 1] 的定义）相当，则船级社可接受无档短环锚链替代有档锚链。

3. 3. 4　锚链布置

每节锚链的长度应为 27. 5 m，用 D 形或无凸缘卸扣连接。

表 1 所要求的锚链总长应在两个准备启用的锚之间分为大致相等的部分。

如作不同布置，由船级社按具体情况考虑。

船舶如可能在流速大于 2. 5 m/s 的区域抛锚，船级社可要求在锚和其余锚链之间设一段较重的锚链，以增强锚固定能力。

3. 3. 5　钢丝绳

作为上述有档或短环锚链的替代，钢丝绳可在以下情况中使用：

- 在船长小于 30 m 的船上用于两个锚；
- 在船长在 30 m 和 40 m 之间的船上用于两个锚中的一个。

上述钢丝绳的总长应为表 1 中的有档锚链相应要求长度的 1. 5 倍，最小破断负荷应为相应有档锚链的规定值（见 [3. 3. 2]）。

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。

3. 4　连接件

3. 4. 1　一般要求

各段锚链如用普通 D 形卸扣连接，锚可用 D 形末端卸扣直接与第一段锚链的末端链环相连。

可用两部分铆接而成的可卸式无档链环取代普通 D 形末端卸扣；在此情况下，[3. 4. 2] 所定义的加大直径的末端链环可取消。

当各段长度不等的锚链如用无凸缘卸扣连接而因此没有特别的末端链加大直径链环时，锚可用专用梨形无凸缘末端卸扣或通过设置连接件与第一段锚链相连。

3. 4. 2　尺寸

连接件的直径，mm，应不小于表 2 中的值。

加大直径有档链环和无档末端链环之间的连接件可包括以下项目：

- 转环，直径 = 1. 2 d；
- 加大有档链环，直径 = 1. 1 d。

如有不同构成，船级社将按具体情况考虑。

连 接 件 直 径　　**表 2**

连　接　件	直　径（mm）
末端卸扣	1. 4 d
无档末端链环	1. 2 d
加大有档链环	1. 1 d
普通有档链环	d
无凸缘卸扣	d

注：d——普通链环直径，mm。

3. 4. 3　材料

连接件、连接卸扣及末端卸扣的材料和设计应使其强度相当于所连接的锚链强度，并应按船级社材料规范的适用要求做试验。

3. 4. 4　备用连接件

应有一个备用梨形无凸缘末端卸扣或一个备用连接件供备用锚启用时使用。

3. 5　拖索和系船索

3. 5. 1　一般要求

具有表 3 所定义特性的拖索供拖船或其他船舶所拖带的船舶使用。

3. 5. 2　材料

拖索和系船索可用钢丝绳、天然或合成纤维制成，或用钢丝绳和纤维混合制成。

表 3 所定义的破断负荷适用于钢丝绳或天然纤维绳。

钢丝绳和纤维绳应按船级社材料规范的适用要求做试验。

3. 5. 3　钢丝绳

钢丝绳应用柔性镀锌钢丝制成，且为表 4 所规定的类型。

钢丝绳如绕在绞车卷筒上，则用于系泊绞车的钢丝绳的绳芯可用单独的金属芯取代纤维芯。一般情况下，这种钢丝绳除金属芯以外的钢丝数量应不少于 186 根。

拖 索 和 系 船 索　　**表 3**

舾装数*EN* *A*< *EN* ≤ *B*		拖　索　(1)		系　船　索		
A	*B*	最小长度（m）	破断负荷（kN）	N (2)	各缆长度（m）	破断负荷（kN）
50	70	180	98. 1	3	80	34
70	90	180	98. 1	3	100	37
90	110	180	98. 1	3	110	39
110	130	180	98. 1	3	110	44
130	150	180	98. 1	3	120	49
150	175	180	98. 1	3	120	54
175	205	180	112	3	120	59
205	240	180	129	4	120	64
240	280	180	150	4	120	69
280	320	180	174	4	140	74
320	360	180	207	4	140	78
360	400	180	224	4	140	88
400	450	180	250	4	140	98
450	500	180	277	4	140	108
500	550	190	306	4	160	123
550	600	190	338	4	160	132
600	660	190	371	4	160	147
660	720	190	406	4	160	157
720	780	190	441	4	170	172
780	840	190	480	4	170	186
840	910	190	518	4	170	201
910	980	190	550	4	170	216
980	1060	200	603	4	180	230
1060	1140	200	647	4	180	250
1140	1220	200	692	4	180	270
1220	1300	200	739	4	180	284
1300	1390	200	786	4	180	309
1390	1480	200	836	4	180	324
1480	1570	220	889	5	190	324
1570	1670	220	942	5	190	333
1670	1790	220	1024	5	190	353
1790	1930	220	1109	5	190	378
1930	2080	220	1168	5	190	402
2080	2230	240	1259	5	200	422
2230	2380	240	1356	5	200	451
2380	2530	240	1453	5	200	481

续上表

舾装数EN $A < EN \leqslant B$		拖　索　(1)		系　船　索		
A	B	最小长度（m）	破断负荷（kN）	$N^{(2)}$	各缆长度（m）	破断负荷（kN）
2530	2700	260	1471	6	200	481
2700	2870	260	1471	6	200	490
2870	3040	260	1471	6	200	500
3040	3210	280	1471	6	200	520
3210	3400	280	1471	6	200	554
3400	3600	280	1471	6	200	588
3600	3800	300	1471	6	200	612
3800	4000	300	1471	6	200	647
4000	4200	300	1471	7	200	647
4200	4400	300	1471	7	200	657
4400	4600	300	1471	7	200	667
4600	4800	300	1471	7	200	677
4800	5000	300	1471	7	200	686
5000	5200	300	1471	8	200	686
5200	5500	300	1471	8	200	696
5500	5800	300	1471	8	200	706
5800	6100	300	1471	9	200	706
6100	6500			9	200	716
6500	6900			9	200	726
6900	7400			10	200	726
7400	7900			11	200	726
7900	8400			11	200	735
8400	8900			12	200	735
8900	9400			13	200	735
9400	10000			14	200	735
10000	10700			15	200	735
10700	11500			16	200	735
11500	12400			17	200	735
12400	13400			18	200	735
13400	14600			19	200	735
14600	16000			21	200	735

注：(1) 拖索不是强制性要求。建议长度小于 180m 的船舶使用；

(2) 见 [3. 5. 4]。

钢 丝 绳 构 成　　表 4

破断负荷 B_L(kN)	钢 丝 绳 成 分		
	钢丝数量	钢丝极限抗拉强度（N/mm^2）	钢丝绳构成
$B_L < 216$	72	1420 ～ 1570	6 股与 7 纤维芯
$216 < B_L < 490$	144	1570 ～ 1770	6 股与 7 纤维芯
$B_L > 490$	216 或 222	1770 ～ 1960	6 股与 1 纤维芯

3.5.4　系船索数量

当单根系船索的破断负荷大于 490 kN 时，可使用多于表 3 要求数量的较低强度的系船索或少于表 3 要求数量的较高强度系船索，但船上所有系船索的总破断负荷应大于表 3 规定的值。

在任何情况下，系船索数量应不少于 6 根，各系船索的破断负荷应大于 490 kN。

3.5.5　系船索长度

单根系船索长度最多可按表 3 规定长度减少 7%，但各系船索的合计总长应大于表 3 所规定的各缆长度总和。

3.5.6　合成和天然纤维绳破断负荷的等效

一般，纤维绳应为聚酰胺材料或其他等效合成纤维。

合成纤维绳破断负荷 B_{LS} 和天然纤维绳破断负荷 B_{LN} 的等效，kN，由下式得出：

$$B_{LS} = 7.4\delta(B_{LN})^{8/9}$$

式中：δ——合成纤维绳破断时的伸长率，应假定不小于 30%。

3.6　锚链筒

3.6.1　锚链筒应按合理的航海惯例建造。

锚链筒位置和斜度的布置应使锚链易于通过并可有效存放收回锚，并在此过程中避免损坏船体。

为此，应在船体外板和甲板上设有形状合适的防擦锚唇，锚唇要有足够敷层且弧度要适合锚链尺寸。锚链筒处的外板应作必要加强。

3.6.2　为使锚链易于通过，锚链筒可装上滚轮。这些滚轮如有完整轮轨，其名义直径应不小于锚链尺寸的 10 倍，如仅有部分轮轨，其名义直径应不小于锚链尺寸的 12 倍。

3.6.3　所有系泊装置和附件，例如锚链掣和扳机掣等，应牢靠固定使验船师满意。

3.7　锚机

3.7.1　一般要求

锚机一般为单机，应由动力驱动，并和锚链尺寸和锚的质量相适应。

锚机应设在合适位置，以确保锚链易于进出锚链筒。锚机处的甲板应作适当加强。

3.7.2　持续工作拉力计算所作假定

锚机原动机所能提供的持续工作拉力 P_C 的计算依据以下假定：

- 普通无杆锚；
- 风力为蒲福氏 6 级；
- 水流速度 3 节；
- 锚地水深 100 m；
- P_C 包括浮力和锚链筒工作效率的影响；后者假定为 70%；
- 锚的质量假定为船级社材料规范适用要求所规定的值，不计公差；
- 假定一次仅提升一个锚。

由于浮力的作用，所假定的锚链质量小于船级社材料规范适用要求所规定的值，每单位长度锚链质量，kg/m，由下式得出：

$$m_L = 0.0218d^2$$

式中：d——锚链直径，mm。

3. 7. 3　持续工作拉力的计算

按 [3. 7. 2] 的假定，锚机原动机应能至少在 30 分钟内提供表 5 中的持续工作拉力。

持 续 工 作 拉 力　　**表 5**

锚　链　材　料	持续工作拉力（kN）
低碳钢	$P_C = 0.0375d^2$
高强度钢	$P_C = 0.0425d^2$
极高强度钢	$P_C = 0.0475d^2$

其中：d——锚链直径，mm。

3. 7. 4　临时超载能力

锚机原动机在起锚时应有必要的临时超载能力。

临时超载能力，或短时拉力，应不小于持续工作拉力 P_C 的 1. 5 倍，并应持续至少两分钟。

在此超载期间的速度可低于 [3. 7. 5] 规定的名义速度。

3. 7. 5　名义起吊速度

在起吊锚和链时，锚链名义速度假定为平均速度，应不低于 0. 15 m/s。

该速度在全程按二节锚链测量；试验开始时，3 节锚链（82. 5 m）完全浸没。

3. 7. 6　锚机刹车

锚机应有刹车，在放锚时如遇原动机供电故障，刹车应足以使锚和锚链安全地停住。不是由蒸汽驱动的锚机也应设有止回装置。

启用刹车且脱开锚链轮的锚机应能承受锚链破断负荷 45% 的拉力，受力部件或刹车片应无永久变形。

3. 7. 7　掣链器

如设有掣链器，掣链器应能承受锚链破断负荷 80% 的拉力。

如不设掣链器，锚机应能承受锚链破断负荷 80% 的拉力，受力部件或刹车片应无永久变形。

3. 7. 8　上浪载荷

如位于露天甲板高度小于 0. 1L 或夏季载重水线以上 22 m（取小者）时，船首 1/4 船长以内的锚机的固定设施应能抵抗上浪的力。

上浪压力和相关面积应取为（见图 2）：

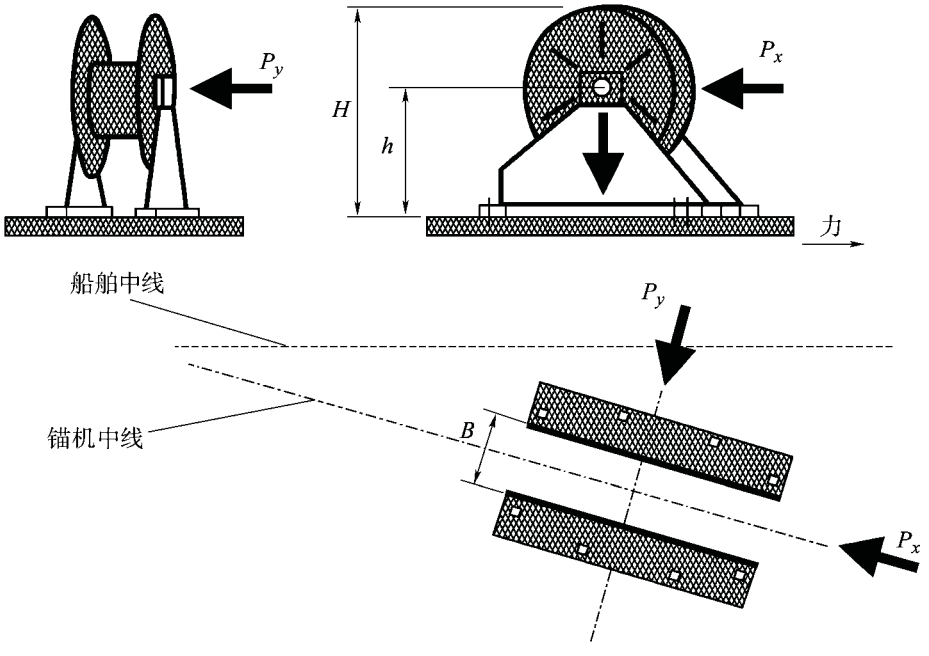


图 2　力和重力方向

注：P_y 应按舷内和舷外两个方向分别校核——见 [3. 7. 8]。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。

- 200 kN/m^2，垂直于轴线，由船首向后方向，乘以该方向的投影面积；
- 150 kN/m^2，平行于轴线，并分别作用于舷内和舷外侧，乘以 f 倍数该方向的投影面积。

式中：f——系数等于：

$$f = 1 + B/H，但不大于\ 2.5$$

B——平行于轴线的锚机计算宽度；

H——锚机最大高度。

当系泊绞车和锚机为整体式时，系泊绞车被认为锚机的一部分。

3.7.9　上浪载荷在锚机固定设施中产生的力

将锚机固定于甲板上的螺栓、楔垫和止动块的力，在计算时应计及 [3.7.8] 所规定的上浪载荷。

锚机由 N 个螺栓组支撑，每组包含有一个或多个螺栓（见图 3）。

螺栓组（或螺栓）i 的轴向力 R_i，在受拉时为正值，kN，由下式得出：

$$R_{xi} = P_x\, hx_i\, A_i / I_x$$

$$R_{yi} = P_y\, hy_i A_i / I_y$$

$$R_i = R_{xi} + R_{yi} - R_{si}$$

式中：P_x——垂直于轴线的作用力，kN；

P_y——平行于轴线的舷内或舷外作用力，kN，取在螺栓组 i 内产生较大力者；

h——锚机轴线离安装平面的高度，cm；

x_i, y_i——在 N 个螺栓组整体形心处的螺栓组 i 的 x 和 y 坐标，cm，在与所施加力相反方向为正值；

A_i——第 i 组的所有螺栓的横剖面面积之和，cm^2；

$I_x = \Sigma A_i x_i^2$ 对 N 个螺栓组；

$I_y = \Sigma A_i y_i^2$ 对 N 个螺栓组；

R_{si}——锚机重量作用在第 i 个螺栓组上的静反力，kN。

向螺栓组 i 施加的剪力 F_{xi}、F_{yi} 和由此产生的合力 F_i，kN，由下式得出：

$$F_{xi} = (P_x - \alpha g M) / N$$

$$F_{yi} = (P_y - \alpha g M) / N$$

$$F_i = (F_{xi}^2 - F_{yi}^2)^{0.5}$$

式中：α——摩擦系数，取为 0.5；

M——锚机质量，t；

N——螺栓组数量。

按这些要求计算的轴向拉力和压力以及横向力，也在支撑结构的设计中考虑。

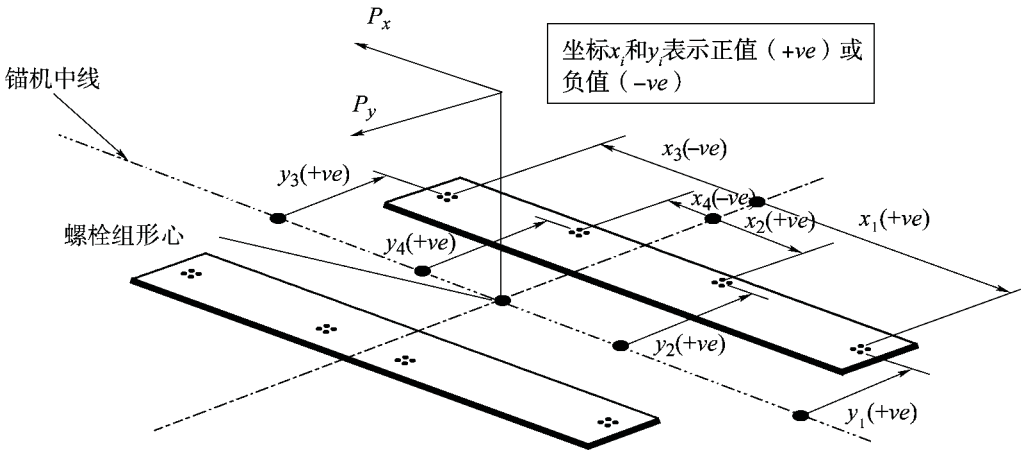


图 3　符号定义

3. 7. 10　承受锚和锚链载荷的锚机强度衡准

锚机部件、框架和制动器的应力应小于所用材料的屈服应力。

为计算上述应力，应特别注意：

- 销座和其他产生高应力部件的应力集中；
- 原动机或锚链由于突然启闭产生的动态影响；
- 计算方法和近似值。

3. 7. 11　锚机固定设施强度衡准

螺栓组 i 内各螺栓的轴向拉应力应按［3. 7. 9］的要求计算。按［3. 7. 9］的要求计算的水平力 F_{xi} 和 F_{yi}，其反作用力通常由剪力楔垫产生。

紧配螺栓如果按其设计是要在单向或双向承受这些剪力，各螺栓的等效 von Mises 应力，N/mm^2，应符合下式要求：

$$\sigma \leqslant 0.5\sigma_{BPL}$$

式中：σ_{BPL}——承受验证载荷时螺栓的应力。

在压紧布置中如用了环氧树脂，应在计算时予以考虑。

3. 7. 12　与甲板连接

锚机及其框架和制动器应有效安置在甲板上。

3. 8　掣链器

3. 8. 1　掣链器一般应设在锚机和锚链筒之间，当船舶锚泊时，这可减轻锚链对锚机的拉力。掣链器应能承受锚链破断负荷 80% 的拉力。掣链器所在甲板应予适当加强。

为此，有一段锚链可用一个松紧螺钉支撑锚链筒内的锚的重量或绷链器的重量。这种布置不应视为掣链器。

3. 8. 2　锚机如与锚链筒相隔一段距离且未设掣链器，应有合适布置将锚链引至锚机。

3. 9　锚链舱

3. 9. 1　锚链舱应有足够容量存放所有锚链设备并使锚链易于直接通往锚机。

3. 9. 2　如使用两根锚链，锚链舱应分为两个链舱，每舱均能完整存放一根锚链。

3. 9. 3　锚链的舷内链端应以末端卸扣系固于该结构中适当加强的附件上。

一般而言，这种附件应能承受不小于锚链破断负荷 15% 的力。

在紧急情况下，附件应可易于从锚链舱外部解脱。

3. 9. 4　锚链舱如布置在防撞舱壁之后，其限界舱壁应为水密，并应设有排水系统。

3. 10　导缆孔和带缆桩

3. 10. 1　应设有尺寸和设计合适的导缆孔和带缆桩，用于拖带、系泊和牵引作业。

第 11 章　建造和试验

第 1 节　建　造

1　结构细部

1.1　切口、板的边缘

1.1.1　切口、舱口角隅等的自由边（切割面）应作适当预处理，不应有凹口。通常，切割波纹等缺陷不应用焊接来消除，而应打磨平顺。所有边缘均应有棱角，或在高应力部位应予倒圆。

火焰或机器切割的板材或面板的自由边不得有锐角，并应按上述规定光顺。这也适用于切割波纹等，尤其是舷顶列板的上缘及类似焊接接头，剖面面积的变化或类似不连续的部位。

1.1.2　舱口角隅应以机械切割加工。

1.2　冷成形

1.2.1　对槽形舱壁板作冷成形（弯曲、折边、卷边）时，内侧弯曲半径应不小于 $2t$（t 为板的建造厚度）。

为防止产生裂缝，火焰切割毛刺或剪切毛刺应在冷成形前除去。在冷成形后，应对所有构件，尤其是弯曲端部（板边）进行裂缝检查。除可忽略不计的边缘裂缝外，所有有裂缝的构件均不得使用。不允许进行补焊。

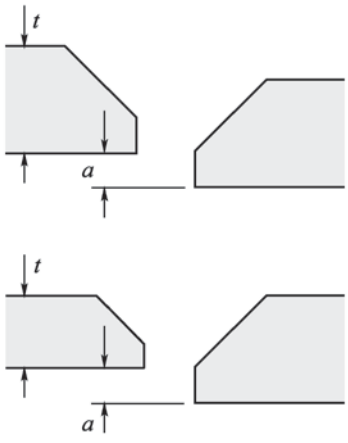
1.3　装配、对中

1.3.1　在单个构件装配或分段组装时，应避免过大的力。单个构件的过大变形应尽量在下一步组装前校正。

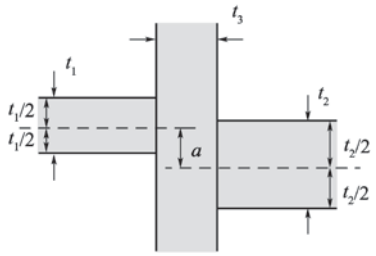
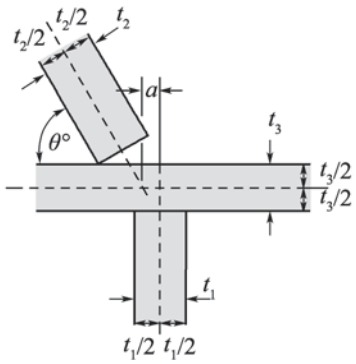
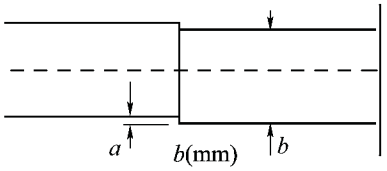
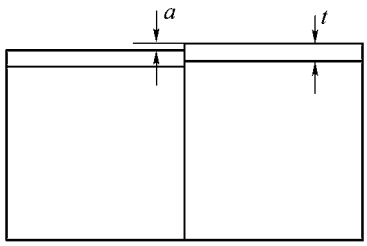
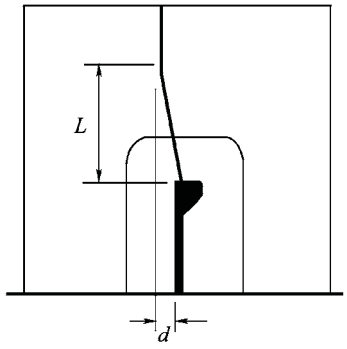
构件应按表 1 列出的 IACS 第 47 号建议的规定或船级社接受的公认的制造标准的要求进行对中。对重要构件，必要情况下所钻的控制孔，在完工后应予焊满。

焊接完工后，应采用对材料性能不产生明显影响的方法进行校直和对中。如有疑问，船级社可要求进行焊接工艺试验或工作试验。

对中（t、t_1 和 t_2 为建造厚度）　　**表 1**

细　部	标　准	极　限	备　注
对接焊缝对中 		$a \leqslant 0.15t$ 强力构件 $a \leqslant 0.2t$ 其他 但最大取4.0mm	t是较小的板厚

续上表

细　部	标　准	极　限	备　注
填角焊缝对中 		强力构件和高应力构件： $a \leqslant t_1/3$ 其他： $a \leqslant t_1/2$	做为选择，可以用底线来检查对中。 若t_3小于t_1，则t_3应取代t_1
填角焊缝对中 		强力构件和高应力构件： $a \leqslant t_1/3$ 其他： $a \leqslant t_1/2$	做为选择，可以用底线来检查对中。 若t_3小于t_1，则t_3应取代t_1
T型纵骨面板对中 	$a \leqslant 0.04b$　强力构件	$a = 8.0$ mm	
T型材、L型角钢或球扁钢对中 	$a \leqslant 0.15t$　强力构件 $a \leqslant 0.2t$　其他	$a = 3.0$ mm	
板格扶强材校中 	$a \leqslant L/50$		

注：“强构件”系指下列构件：强力甲板、内底、外底、底凳、横舱壁底部、底边舱和单舷侧散货船舷侧肋骨。

第 2 节　焊　接

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　本节要求适用于船体结构焊接的焊前准备、施焊和检查。

1.1.2　船体焊接只应由经认可的焊工进行。

1.1.3　应使用经对连接形式和母材认可的焊接工艺和焊接材料。

1.1.4　接头的焊接应按照经认可的图纸进行。

1.1.5　船厂所采用的质量标准应提交船级社，并且除根据具体情况另有规定外，应适用于所有的焊接接头。

1.1.6　已完工的焊缝应使现场验船师满意。

1.1.7　焊缝无损检测（NDE）应在检测计划中所指明的位置处进行，以确保焊缝没有裂纹、有害的内部缺欠及缺陷。

1.2　焊接材料和工艺

1.2.1　应采用经船级社认可的焊接材料。焊接材料的认可要求在船级社焊接规范或指南中规定。

CCS1.2.1　应采用经 CCS 认可焊接材料。焊接材料的认可要求在 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 2 章中规定。

1.2.2　应采用经船级社认可的焊接工艺。焊接工艺的认可要求在船级社焊接规范或指南中规定。

CCS1.2.2　应采用经 CCS 认可的焊接工艺。焊接工艺的认可要求在 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 5 章中规定。

1.2.3　焊接材料应根据材料的种类与级别选用。焊接材料的选用要求在船级社焊接规范或指南中规定。

CCS1.2.3　焊接材料应根据材料的种类与级别选用。焊接材料的选用要求在 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 4 节中规定。

1.3　焊工与无损检测人员

1.3.1　焊工

手工焊和半自动焊应由船级社按照船级社焊接规范或指南规定考核合格的焊工进行。

CCS1.3.1　焊工

手工焊和半自动焊应由 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章第 1 和 2 节规定考核合格的焊工进行。

1.3.2　自动焊焊工

操纵自动焊机和设备的人员具备相应能力，经过充分培训并经船级社按照船级社焊接规范或指南规定考核合格。

1.3.3　无损检测人员

无损检测应由船级社或认可机构根据适用标准考核合格的人员进行。

1.4　应提交的文件

1.4.1　送审的焊接应用计划应包括有关结构焊接制造、所采用的焊接工艺种类、焊接位置等必需资料。

1.4.2　送审的无损检测计划应包括有关检测的位置与数量、所采用的焊接工艺、所使用的无损检测方法等必需资料。

2　焊接的连接种类

2.1　一般要求

2.1.1　焊接接头类型和坡口形式应与所采用的焊接工艺相适应。

2.2　对接焊

2.2.1　一般要求

除非采用船级社认可的特殊焊接工艺，板材的对接焊应为双面施焊的全焊透焊缝。

2.2.2　不同厚度的板材的焊接

当建造厚度差等于或大于 4 mm 的板材进行焊接时，较厚的板材通常要削斜。削斜的长度应不小于建造厚度差的 3 倍。

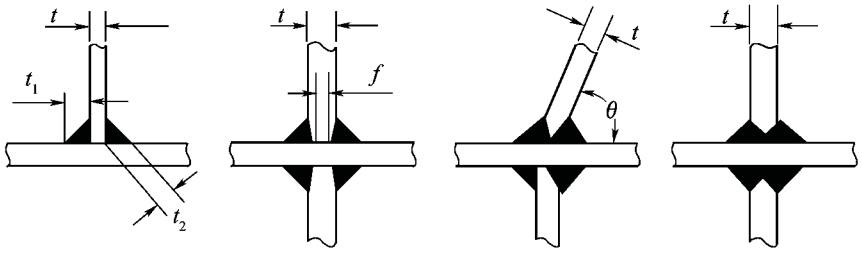
2.2.3　坡口制备、焊根间隙

坡口制备与焊根间隙应符合所采用的焊接工艺和有关坡口加工的要求。

2.3　T 形接头或十字接头

2.3.1　一般要求

主要支撑构件和扶强材腹板与板材以及在另一板材上立装竖板的连接，通常应采用如图 1 中所示的角接焊或深熔焊。



注：t——立板的建造厚度，mm；

f——未焊透钝边宽度，mm。取 $f \leqslant t/3$；

t_1——角焊缝的焊脚尺寸，mm；

t_2——焊喉厚度，mm。

图 1　T 形接头或十字接头

2.4　全焊透焊缝

2.4.1　适用范围

下列连接应使用全焊透焊缝：

- 挂舵臂和尾轴架对船体结构；
- 舵封板对舵杆的连接区域；
- 垂直槽形舱壁对位于货舱区域中不设横向底凳的内底板；
- 垂直槽形舱壁对横向底凳顶板；
- 支柱对板构件，当作用于支柱上的应力是拉应力时（即机舱、首尖舱和甲板室）；
- 当开口尺寸超过 300 mm 且位于船中 0.6L 范围内，强力甲板、舷顶列板和船底板的边缘加强或管件贯穿；
- 在夏季载重水线以下形成的舷外海水周界的相邻板格。

2.4.2　当卸货板设在槽形舱壁的下端时，则卸货板应采用单面熔透焊或等效方法与槽形板和底凳顶板焊接。

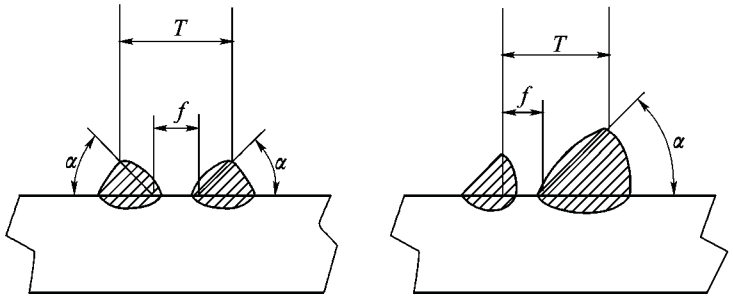
2.4.3　底凳边板通过全焊透焊缝与底凳顶板和内底板相连接。可接受深熔焊缝。

2.4.4　支撑肋板应通过全焊透焊缝与内底板相连接。可接受深熔焊缝。

2.4.5　一般情况下，应采用适当的 40° 与 60° 之间的坡口角度和根部间隙，并如有必要，要求在双面焊时进行清根。

2.5　深熔焊缝

2.5.1　深熔焊缝的定义见图 2。



注：钝边宽度（f）：3mm 至 T/3mm

坡口角度（α）：40° 至 60°

图 2　深熔焊缝定义

2.6　填角焊缝

2.6.1　填角焊缝的种类与尺寸及其适用范围

立板建造厚度 50 mm 以下的角焊缝的种类和尺寸分为如表 1 中所给出的 5 种，其在船体建造中的应用应按表 2 中的要求。

此外，对于第 3 章第 6 节图 19 中所示舷侧肋骨中的“a”和“b”区，焊喉厚度应分别为 0.44t 和 0.4t，其中 t 为两相连构件中较薄者的建造厚度。

填角焊缝的类别　　**表 1**

类　别	填角焊缝的种类	立板建造厚度t[(1)]（mm）	填角焊缝的焊脚高度[(2)]，（mm）	填角焊缝长度（mm）	间距（mm）
F0	双面连续角焊缝	T	0.7t	—	—
F1	双面连续角焊缝	$t \leqslant 10$	0.5t + 1.0	—	—
		$10 \leqslant t < 20$	0.4t + 2.0	—	—
		$20 \leqslant t$	0.3t + 4.0	—	—
F2	双面连续角焊缝	$t \leqslant 10$	0.4t + 1.0	—	—
		$10 \leqslant t < 20$	0.3t + 2.0	—	—
		$20 \leqslant t$	0.2t + 4.0	—	—
F3	双面连续角焊缝	$t \leqslant 10$	0.3t + 1.0	—	—
		$10 \leqslant t < 20$	0.2t + 2.0		
		$20 \leqslant t$	0.1t + 4.0		
F4	间断角焊缝	$t \leqslant 10$	0.5t + 1.0	75	300
		$10 \leqslant t < 20$	0.4t + 2.0		
		$20 \leqslant t$	0.3t + 4.0		

注：（1）t 是立板的建造厚度，mm。当遇到如图 1 定义的十字接头时，t 是连续构件和立板的较小厚度，对每个立板单独考虑。

（2）角焊缝的焊脚高度应按照第 3 章第 3 节中的表 1 所规定的相应的腐蚀增量 t_C 进行如下微调：

+1.0 mm，对于 $t_C > 5$

+0.5 mm，对于 $5 \geqslant t_C > 4$

+0.0 mm，对于 $4 \geqslant t_C > 3$

−0.5 mm，对于 $t_C \leqslant 3$

（3）焊脚高度按 0.5mm 就近圆整。

填角焊缝的适用范围　　**表 2**

船体区域	连接				填角焊缝类别
	由		对		
除表中另有规定外的一般区域(1)	水密板		限界板		F1
	构件端部肘板				F1
	普通扶强材和领板		深舱舱壁		F3
			主要支撑构件的腹板和领板		F2
	普通扶强材腹板		板材(除深舱舱壁外)		F4
			组合扶强材面板	端部(15%跨距)	F2
				其他部位	F4
	无肘板的主要支撑构件和普通扶强材端部		甲板板、外板、内底板、舱壁板		F0
	有肘板的主要支撑构件和普通扶强材端部		甲板板、外板、内底板、舱壁板		F1
船底和双层底	普通扶强材		船底板和内底板		F3
	中桁材		首部船底加强处的外板		F1
			内底板和除上述以外的外板		F2
	旁桁材 包括间断板		船底板和内底板		F3
	肋板		外板和内底板	对端部两个肋距长度	F2
			位于底边舱的中桁材和旁桁材		F2
			其他部位		F3
	中桁材上的肘板		中桁材、内底板和外板		F2
	腹板扶强材		肋板和桁材		F3
双舷侧结构中的舷侧和内舷侧	主要支撑构件的腹板		舷侧外板、内舷侧板和主要支撑构件的腹板		F2
单舷侧结构的舷侧肋骨	肋板和端肘板		舷侧外板		见第3章第6节图19
	防倾肘板		舷侧外板和肋骨		F1
甲板	强力甲板	$t \geqslant 13$	船中0.6*L*区域内的舷侧外板		深熔焊
			其他部位		F1
		$t < 13$	舷侧外板		F1
	其他甲板		舷侧外板		F2
			普通扶强材		F4
	普通扶强材和间断桁材		甲板板		F3
	舱口围板		甲板板	15%舱口长度的舱口角隅处	F1
				其他部位	F2
	腹板扶强材		围板腹板		F4
舱壁	非水密舱壁结构		限界面	制荡舱壁	F3
	普通扶强材		舱壁板	端部处(25%跨距)，如不设端肘板	F1
主要支撑构件(1)	腹板		外板、甲板板、内底板、舱壁	端部处(15%跨距)	F1
				其他部位	F2
			面板	在液舱内，位于从首尖舱起0.125*L*范围内	F2
				面板面积大于65 cm^2	F2
				其他部位	F3

续上表

船体区域	连接			填角焊缝类别
	由	对		
尾尖舱	内部构件	限界面及限界面之间		F2
基座	桁材和肘板	底座板	位于主机、推力轴承、锅炉座和主发电柴油机处	F1
		桁材板	位于主机、推力轴承处	F1
		内底板和外板	位于主机、推力轴承处	F2
上层建筑和甲板室	外围壁	甲板		F1
	普通扶强材	边墙和甲板板	端部 (15% 跨距)	F3
			其他部位	F4(2)
	普通扶强材和主要支撑构件的端部剖面	无肘板	边墙和主要支撑构件腹板	F1
		有肘板		F2
支柱	支柱	底部和顶部		F1
通风筒	围壁	甲板		F1
舵	舵骨架	构成主舵叶的垂向骨架		F1
		舵板		F3
		除上述之外的舵骨架		F2

注：(1) 对于舱口盖，焊缝尺寸 F1，F2，F3 分别取代 F0，F1，F2 被应用。

(2) 应用单面连续焊的地方，采用焊缝尺寸 F3。

(3) 内部舱壁没有被包括在这个类别当中，内舱壁的焊接应经船级社同意。

2. 6. 2　间断焊缝

当采用双面连续角接焊缝替代间断焊缝时，角接焊缝的焊脚高度应为 F3 类。

2. 6. 3　小角度立板角接焊缝的尺寸

如立板与被连接的板材之间的角度如图 3 中所示的不是 90º 时，则较大角度一侧的角接焊缝的尺寸应按照下列公式增加：

$$t_l' = t_l \frac{1}{\sqrt{2}\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}$$

式中：t_l——按 2. 3. 1 定义的角焊缝焊脚尺寸，mm。

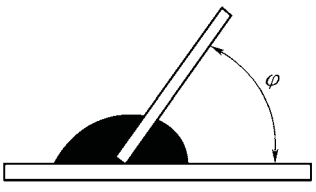


图 3　连接角度

2. 6. 4　深熔焊缝

经焊接工艺试验确定，深熔焊缝所需的角接焊缝焊脚高度可减少表 1 中所规定值的 15%。

2. 7　搭接焊缝

2. 7. 1　一般要求

搭接焊缝仅在船级社认可的非常特定情况下方可采用。在下列情况下可采用搭接焊缝：

- 复板边缘连接

- 承受极低应力的内部构件

2.7.2　填角焊缝

搭接焊缝应有与 F1 类填角焊缝相同的尺寸。

2.8　长孔塞焊焊缝

2.8.1　一般要求

长孔塞焊仅在船级社认可的非常特定情况下方可采用。但是，在船中 0.6*L* 区域范围内不准许对船体外板和强力甲板上的复板采用长孔塞焊焊缝。

2.8.2　角接焊缝的尺寸

长孔塞焊焊缝应有适当的形状，以使整个开孔底边的充分熔接。角接焊缝的尺寸应为 F1 类，塞焊孔的间距应由船级社根据具体情况确定。

CCS2.8.2　角接焊缝的尺寸

*角接焊缝的尺寸应为 F1 类。长孔塞焊焊缝应有良好的形状，以使整个开孔底边充分熔接。塞焊孔长度一般不小于 75*mm*。塞焊孔宽度为两倍总板厚。塞焊孔的间距为 2~3 倍孔长度，但不大于 250*mm*。*

3　连接细部

3.1　舭龙骨的连接

3.1.1　舭龙骨通过外板复板与船体外板的连接应按第 3 章第 6 节 [6.5.2] 的规定，将复板连接到舭部外板和舭龙骨上。

3.1.2　复板和舭龙骨的对接焊缝应为全焊透焊缝并与外板的对接缝错开。

舭龙骨板的对接焊缝和复板的对接焊缝在与复板和舭龙骨相交时，应分别将相交处的对接焊缝磨平。

3.1.3　沿复板纵边应采用连续角接焊缝，焊喉厚度“*a*”为复板厚度的 0.3 倍。复板两端端面处的焊喉厚度“*a*”应为其厚度的 0.5 倍，但应小于舭龙骨板的厚度，见图 4。复板端面至船体板材的焊缝过渡应与板材形成 45° 或更小的角度。

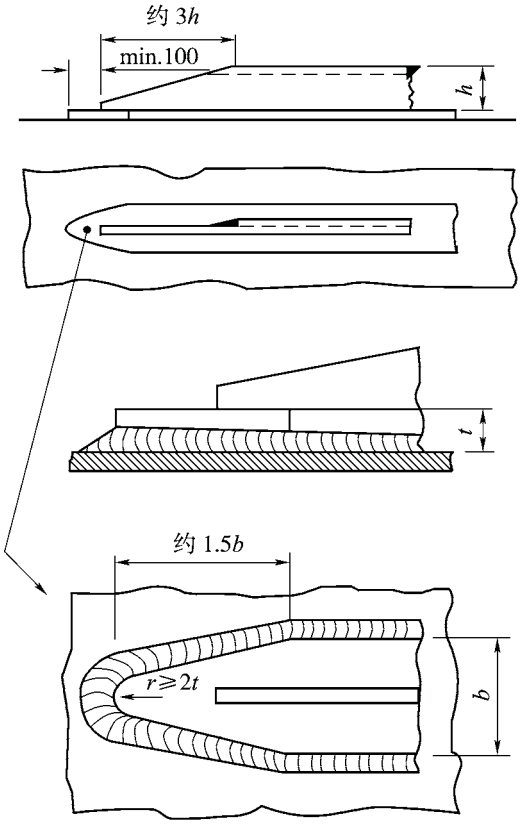


图 4　舭龙骨焊接布置

第 3 节　舱 室 试 验

1　一般要求

1.1　定义

1.1.1　车间底漆

车间底漆是在制造过程中，构件表面处理后和装配之前使用的一种薄的防腐保护涂层。

1.1.2　保护涂层

保护涂层是防止结构免受腐蚀的最后一道涂层。

1.1.3　结构试验

结构试验是为证明液舱的密性和结构设计的合适性而进行的水压试验。当实际条件受到限制不能进行水压试验（例如，实际上液舱顶部难以施加要求的压力）时，可采用水压气动试验予以代替。在进行水压气动试验时，其试验条件应尽可能地模拟该液舱的实际载荷。

1.1.4　水压气动试验

水压气动试验是一种水压与气压的组合试验，在液舱内充水至其顶并施加附加空气压力。附加空气压力值由船级社自行决定，但应不小于 [2.2] 的规定。

1.1.5　渗漏试验

渗漏试验是一种采用空气或其他介质进行的试验，旨在验证结构的密性。

1.1.6　冲水试验

冲水试验是针对不宜进行水压试验和渗漏试验的结构部位和保证船体水密完整性的其他舱室所进行的密性试验。

1.2　适用范围

1.2.1　本节要求旨在为如下舱室和结构确定试验条件：

- 液舱，包括独立液舱
- 水密或风雨密结构

1.2.2　本节要求的各种试验旨在检查船舶在建造和重大修理时结构件的密性和 / 或强度。

1.2.3　所有试验应在被试验的项目充分接近完工阶段时，并在验船师现场监督下进行，以便避免任何后续作业削弱被试验结构的强度和密性。

2　试验方法

2.1　结构试验

2.1.1　结构试验可以在车间底漆喷刷完成后进行。

2.1.2　如果满足下列两个条件之一，则结构试验可以在保护涂层喷刷后进行：

- 所有焊接都已完工并在保护涂层喷刷之前，经验船师仔细目视检查认为满意。
- 在保护涂层喷刷之前进行了渗漏试验。

2.1.3　如未作渗漏试验，保护涂层的喷刷应在下列部位的结构试验完成后进行：

- 所有手工和自动施焊的分段合拢焊缝；
- 所有液舱边界手工施焊的角接焊，以及手工施焊的熔透焊缝。

2.2　渗漏试验

2.2.1　当渗漏试验按表 1 进行时，试验期间所施加的空气压力应为 0.015MPa。

2.2.2　在检查之前，建议将被试验的液舱内的空气压力增加到 0.020MPa，并保持约 1 个小时达到稳定状态，在此期间，在被试验的液舱邻近的人员应减至试验工作所需的最少数量，然后，将空气压力降至试验压力。

2.2.3　如果采取适当的措施能确保与该试验有关人员的安全，船级社可以接受在压力已达到 0.020MPa 稳定状态，不调低到试验压力下进行检查。

2.2.4　所有焊缝上应涂上一层有效的渗漏显示液。

2.2.5　应装设一根与试验压力相当高度的充水 U 型管，以避免被试验舱室超压并能验证试验压力。该 U 型管的横截面积应大于供气管的横截面积。另外，试验压力还应用一只标准压力表或船级社接受的其他等效方法予以验证。

2.2.6　在液舱边界上的所有角焊缝、除自动焊之外的熔透焊缝和装配焊缝应在保护涂层涂装之前进行渗漏试验。在考虑到在船厂运作的质量控制程序，验船师可要求对自动装配焊缝和预装配手工焊或自动焊缝的选择位置进行类似的试验。对其他焊缝，如果验船师对其进行仔细目视检查并认为满意，渗漏试验可以在完成保护涂层涂装后进行。

2.2.7　经验船师同意，可以接受任何其他公认的方法。

2.3　冲水试验

2.3.1　当需要验证结构的密性而进行冲水试验时，按表 1 的规定，水带内的最小压力应至少为 0.20×10^5 Pa，最大冲水距离为 1.5 m。喷嘴的直径应不小于 12 mm。

2.4　水压气动试验

2.4.1　当进行水压气动试验时，应采取与渗漏试验同样的安全预防措施。

2.5　其他试验方法

2.5.1　船级社可基于等效考虑，自行决定接受其他试验方法。

3　试验要求

3.1　一般要求

3.1.1　一般试验要求见表 1 中所列。

一 般 试 验 要 求　　**表 1**

序号	应试验的结构	试 验 形 式	结构试验压力	备　注
1	双层底液舱	结构试验[1]	取下列之大者： • 至溢流管顶水压头 • 至舱壁甲板水压头	至少从一边对液舱限界面进行试验
2	双舷侧液舱	结构试验[1]	取下列之大者： • 至溢流管顶水压头 • 至液舱最高点以上2.4 m水压头	至少从一边对液舱限界面进行试验
3	液舱舱壁，深舱	结构试验[1]	取下列之大者(2)： • 至溢流管顶水压头 • 至液舱最高点以上2.4 m水压头 • 安全释放阀的设定压力，如有关	至少从一边对液舱限界面进行试验
	燃油舱	结构试验		
4	用作压载舱的货舱	结构试验[1]	取下列之大者： • 至溢流管顶水压头 • 至舱口顶部以上0.90 m水压头	
5	用作液舱的首尖舱和尾尖舱	结构试验	取下列之大者： • 至溢流管顶水压头 • 至液舱最高点以上2.4m水压头	尾尖舱试验应在尾轴管安装后进行
	不用作液舱的首尖舱	见SOLAS 第II-1/14条		
	不用作液舱的尾尖舱	渗漏试验		

续上表

序号	应试验的结构	试 验 形 式	结构试验压力	备　注
6	隔离空舱	结构试验(1)(3)	取下列之大者： • 至溢流管顶水压头 • 至液舱最高点以上2. 4 m水压头	
7	水密舱壁	见SOLAS 第II-1/14. 3条(4)		
8	干舷或舱壁甲板以下的水密门	见SOLAS第II-1/18条		
9	双板舵	渗漏试验		
10	深舱区域以外的轴隧	冲水试验		
11	舷门	冲水试验		
12	液舱的水密舱盖	冲水试验		
13	水密舱口盖及其关闭装置	冲水试验		
14	锚链舱（如设在防撞舱壁以后）	结构试验	至顶部水压头	
15	独立液舱	结构试验	至溢流管顶水压头，但不小于0. 9 m	
16	压载管道	结构试验	压载泵最大压力	

注：（1）在征得船旗国主管机关的同意的前提下，如果根据批准设计选择了每一个类型的一个液舱进行了结构试验并合格，可以接受在按 2.2 规定条件下进行的渗漏或水压气动试验。一般情况下，对同一船厂后续新造的相同系列的船舶不必重复进行结构试验。此种放宽不适用于液货船和混装船的货舱限界面及装载分隔货物或污染性货品的液舱。如果结构试验发现了通过渗漏试验不能发现的薄弱点或严重缺陷，则所有液舱均应作结构试验。

（2）如适用时，液舱最高点应量至甲板，不包括舱口。对设有大舱口盖的用于装载液体货物或压载水的货舱，其液舱最高点应取自舱口的顶部。

（3）可接受在 (2.2) 规定的条件下进行渗漏或水压气动试验，但在船级社判定下，后者被认为对所采用的建造工艺和焊接程序也是重要的。

（4）在船级社判定下，如冲水试验可能会损坏已安装的舾装件（机器、电缆、配电板、绝缘材料等）时，可采用对所有十字接头和焊接接头进行仔细目视检查来代替冲水试验，必要时，可要求着色渗透试验或超声波检测。

第 12 章　附加入级标志

第 1 节　抓斗附加入级标志

符号

本节中未定义的符号，参见第 1 章第 4 节。

M_{GR}：空抓斗的质量，t。

s：普通扶强材间距，m，在跨距中点量取。

1　基本概念

1.1　适用范围

1.1.1　按照第 1 章第 1 节 [3.2] 授予附加入级标志 GRAB [X] 的船舶，其货舱设计为用抓斗装货 / 卸货，抓斗的最大重量为 [X] 吨，应符合本节的要求。

1.1.2　应注意，此附加入级标志并不否定使用更重的抓斗，但应使船东和船舶经营者认识到，如果经常或偶尔使用更重的抓斗卸货，内底板局部破损的风险会增大并可能要提早更换。

2　结构尺寸

2.1　板材

2.1.1　内底板、底边舱斜板、横舱壁底凳、横舱壁板和内壳，不包括污水井，距内底最低点向上 3.0m 范围内的净厚度应取下列数值的大者：

- t，按第 6 章和第 7 章的要求得出；
- t_{GR}，定义见 [2.1.2] 和 [2.1.3]。

2.1.2　内底板的净厚度 t_{GR}，mm，按下式求得：

$$t_{GR} = 0.28(M_{GR} + 50)\sqrt{sk}$$

2.1.3　底边舱斜板、横舱壁底凳、横舱壁板和内壳，不包括污水井，距内底最低点向上 3.0m 范围内的净厚度 t_{GR}，mm，按下式求得：

$$t_{GR} = 0.28(M_{GR} + 42)\sqrt{sk}$$

第 13 章　营运船舶换新衡准

第 1 节　船级的保持

1　一般要求

1.1　适用范围

1.1.1　散货船保持船级的检验要求见 UR Z 10.2（对单舷侧散货船）和 UR Z 10.5（对双舷侧散货船）。

测厚是保持船级检验的一个重大部分，对测厚结果的分析是确定船舶结构修理和换新及其范围的重要依据。

1.1.2　本章旨在为船东、测厚公司和船级社的验船师提供一种统一的程序，以求落实规范对测厚的要求。具体来说，该程序将能使上述各方为厚度测量进行：

- 计划和准备
- 范围和位置的确定
- 结果分析。

1.1.3　本章也考虑了单舷侧散货船和双舷侧散货船加强检验程序（ESP）范围内与近观检验相关的特定测厚要求。

1.2　定义

1.2.1　局部腐蚀

局部腐蚀是点腐蚀、沟槽形腐蚀、边缘腐蚀、颈缩效应或其他局限性很大的腐蚀。

1.2.2　显著腐蚀

显著腐蚀系指通过腐蚀状况评估表明测量厚度在 $t_{renewal}$ 和 $t_{renewal}+t_{reserve}$ 之间的腐蚀程度。

第 2 节　测厚和接受衡准

符号

对于本节中未定义的符号，见第 1 章第 4 节。

$t_{renewal}$：换新厚度，即最小许用厚度，以 mm 计，低于此值则应对结构构件换新。

$$t_{renewal}= t_{as-built}-t_c-t_{voluntary-addition}$$

$t_{reserve}$：预留厚度，即预计在一个 2.5 年的检验间隔期内可能发生的厚度减薄，以 mm 计；（$t_{reserve}$ = 0.5mm）。

t_C：第 3 章第 3 节所定义的腐蚀增量，以 mm 计。

$t_{as-built}$：建造厚度，以 mm 计，包括 $t_{voluntary-addition}$（如有）。

$t_{voluntary-addition}$：自愿增加厚度，即在 t_C 基础上，船东自愿增加的额外腐蚀余量，以 mm 计。

t_{gauged}：一个项目的测量厚度，即在船舶定期的营运检验过程中，在同一项目上所进行不同测量值的项目平均厚度，以 mm 计。

1　适用范围

1.1　一般要求

1.1.1　本节提供下列信息：

- 各种检验过程中的测厚范围的规范要求和附加信息（见 [2.1] 和 [2.2]）；

- 船舶主要部分的测量位置（见 [2. 3]）；
- 接受衡准的应用方法（见 [3]）。

本节所列的各表格也给出了上述项目的详细说明，并采用草图对各要求作出图解说明。

2　测量范围和确定测量位置的规范要求

2.1　一般要求

2. 1. 1　为保持船级，要求在中间检验和换证检验中测厚，并可要求在年度检验中测厚。

表 1 给出了各种检验的相关测厚的最低要求。

有关厚度测量的规范要求　　**表 1**

换证检验	中间检验	年度检验
在货物长度区域范围外： UR Z7： • 系统的测量和可疑区域； • 如发现显著腐蚀，可增加测量范围并使验船师满意。	在货物长度区域范围外： UR Z7： • 如验船师认为必要，进行厚度测量。 • 如发现显著腐蚀，可增加测量范围并使验船师满意。	在货物长度区域范围外： UR Z7 • 上一次换证检验或中间检验时确定的显著腐蚀区域； • 如发现显著腐蚀，可增加测量范围并使验船师满意。
在货物长度区域范围内： a) 单舷侧散货船 UR Z10.2： • 计划和一般要求； • 接受近观检验构件的测量； • 系统的厚度测量的范围； • 若发现显著腐蚀，按不同位置。	在货物长度区域范围内： a) 单舷侧散货船 UR Z10.2 *船龄10年或以下的船舶：* • 货舱； • 海水压载舱； • 若发现显著腐蚀，按不同位置。 *船龄超过10年的船舶：* • 见换证检验； • 若发现显著腐蚀，按不同位置。	在货物长度区域范围内： a) 单舷侧散货船： UR Z 10.2： • 货舱和当验船师认为必要时； • 海水压载舱和当验船师认为必要时； • 若发现显著腐蚀，按不同位置。
b) 双舷侧散货船 UR Z 10.5： • 计划和一般要求； • 接受近观检验构件的测量； • 系统的厚度测量的范围； • 若发现显著腐蚀，按不同位置。	b) 双舷侧散货船 UR Z10.5 *船龄10年或以下的船舶：* • 货舱； • 海水压载舱； • 若发现显著腐蚀，按不同位置。 *船龄超过10年的船舶：* • 见换证检验； • 若发现显著腐蚀，按不同位置。	b) 双舷侧散货船： UR Z 10.5 • 货舱和当验船师认为必要时； • 海水压载舱和当验船师认为必要时； • 若发现显著腐蚀，按不同位置。

2.2　换证检验

2. 2. 1　本规范要求的测厚包括下列内容：

- 系统的测厚，以评定船舶的总体和局部强度；
- 在近观检验计划中指明的测厚；
- 对视为可疑区域的构件的测量；
- 对确定为受显著腐蚀影响区域的附加测量。

2.2.2　对近观检验和相关测厚以及可疑区域的确定，应参照下列 IACS 统一要求的相关各节：

- 对于在货物长度区域范围内的货舱、隔离舱、管隧、空舱、燃油舱以及所有压载舱内的船体结构和管系：
  - UR Z10.2（单舷侧散货船的船体检验）或
  - UR Z10.5（双舷侧散货船的船体检验）
- 对于在货物长度区域范围外的船舶其他部分：
  - UR Z7。

2.3　测量的数量和位置

2.3.1　测量的数量

基于本规范要求以及 [2.1] 和 [2.2] 指出的测厚范围，对最重要的构件规定了各测量点的位置。

2.3.2　测量位置

本规范对船体梁总强度计算的相关系统性测厚和有关近观检验的具体测厚提出了要求，表 2 对这些要求的适用范围作了说明和 / 或解释。

为便于理解表 2 中给出的说明和 / 或解释，用图 1 到图 5 显示单舷侧散货船和双舷侧散货船的典型布置。

测量点位置和数量的规范要求之解释　　**表 2**

项　　目	解　　释	参 照 图
在甲板、液舱顶部、船底、双层底和舷侧干湿交变列板上选定的板	“选定”系指在均匀腐蚀的代表性区域，至少每3块板中的1块板上选1个单点	
所有甲板，液舱顶部和船底板及舷侧干湿交变列板	在板的各端1/4处或均匀腐蚀的代表性区域，每块板至少取两点	
横剖面	单舷侧散货船：横剖面包括所有纵向构件，诸如甲板、舷侧和船底的板材、纵骨和纵桁；内底板和底边舱斜边板、纵舱壁和顶边舱中的底板。 双舷侧散货船：横剖面包括所有纵向构件，诸如甲板、舷侧、船底、内底、底边舱斜边、内侧和顶边舱内侧的板材、纵骨和纵桁	单舷侧和双舷侧散货船见图1
货舱舱口盖和舱口围板		图2
选定的内部结构，诸如肋板和纵骨，横肋骨，强肋骨，甲板梁，纵桁	在接受内部检验的每个处所中，内部结构测量项目至少应有10%位于货物长度区域以外	
货舱开口线外的甲板板横剖面	在相关横剖面中的船侧与舱口围板之间(在板的各端1/4处或均匀腐蚀的代表性区域)，每一块甲板板上取两个单点	
货舱开口线内的所有甲板板的选定区域	“选定”系指在均匀腐蚀的代表性区域，至少每3块板中的1块板上选1个单点。 “所有甲板板”系指在板的各端1/4处或均匀腐蚀的代表性区域，每块板至少取两点	区域范围： 单舷侧散货船见UR Z10.2 双舷侧散货船见UR Z 10.5
单舷侧散货船货舱内选定的舷侧肋骨	肋骨的25%：在每侧整个货舱长度内，最好每四根肋骨中选择一根。 “选定的肋骨”系指在货舱的每一侧肋骨中，至少选择3根肋骨	单舷侧散货船的区域范围见UR Z10.2 单舷侧散货船的测量点位置见图3

续上表

项　目	解　　释	参 照 图
双舷侧液舱内的横肋骨		图1
货舱内的横舱壁	包括舱壁板材、扶强材和桁材，并包括顶凳和底凳的内部结构(如设有)。 两个选定的舱壁：一个应是最前的两个货舱之间的舱壁，第二个可在其他位置选择	测量区域： 单舷侧散货船见URZ10. 2 双舷侧散货船见URZ10. 5 测量点位置见图4
每个货舱内一道横舱壁	这是指在舱壁一侧进行近观检验及相关的厚度测量；被测量一侧的选择应基于两侧的总体检验结果作出。如有怀疑，验船师可以要求在另一侧进行(可能是部分的)近观检验	测量区域： 单舷侧散货船见URZ10. 2 双舷侧散货船见URZ10. 5 测量点位置见图4
在一个顶边舱/边压载舱内的横舱壁	压载舱的选择应在易产生最恶劣工况的压载舱中基于压载历史作出	测量点的位置见图5
压载舱内的强框架	在船舶的前部，每种类型的代表性液舱(即顶边舱或底边舱或边舱)任选一个	区域范围： 单舷侧散货船见URZ10. 2 双舷侧散货船见URZ10. 5 测量点位置见图3

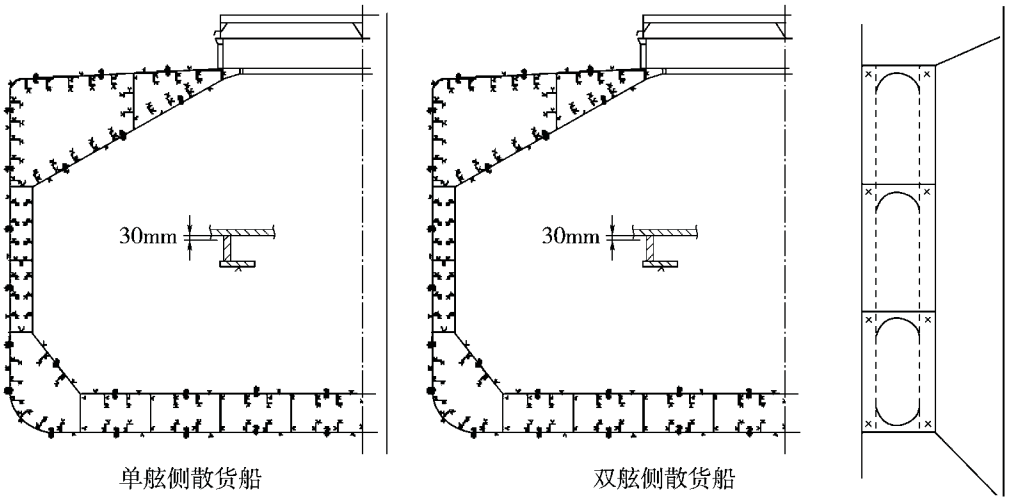
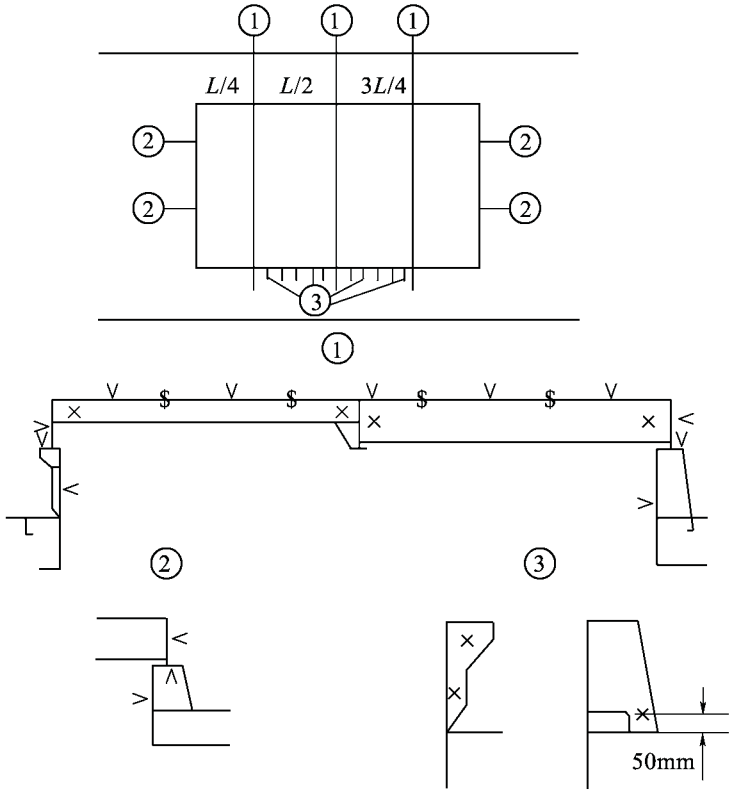


图 1　散货船的横剖面

注：选定横剖面的左、右舷均应进行测量。

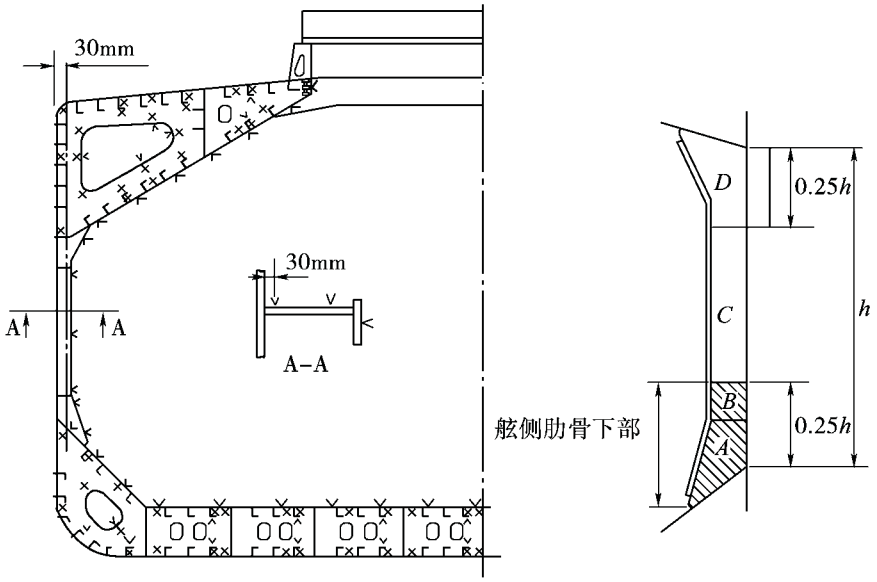


注：1. 舱口盖长度的 $L/4$，$L/2$，$3L/4$ 处的三个剖面，包括：

- 每块舱口盖板和裙板上测量 1 个点；
- 测量相邻梁和加强筋；
- 每侧的舱口围板和舱口围缘板（顶板）上测量 1 个点。

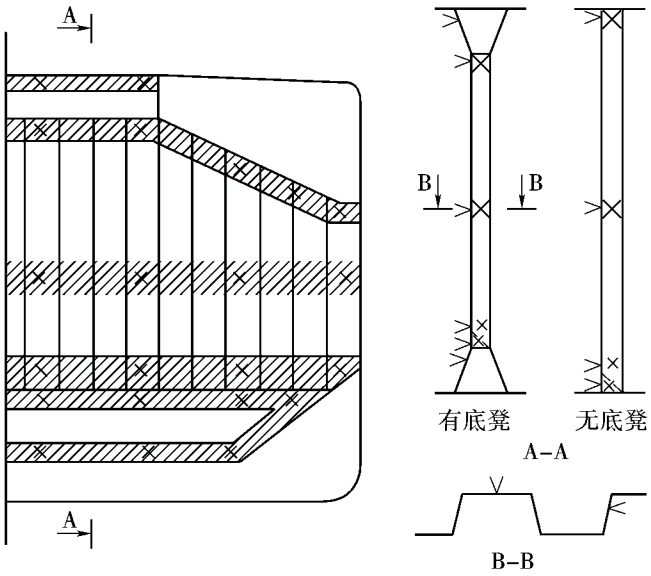
2. 测量舱口盖两端的裙板、舱口两端的围板和缘板（顶板）。
3. 舱口的两侧和两端的舱口围板上的肘板和加强筋，每 3 个测量一个点。

图 2　舱口盖和舱口围板的测量位置



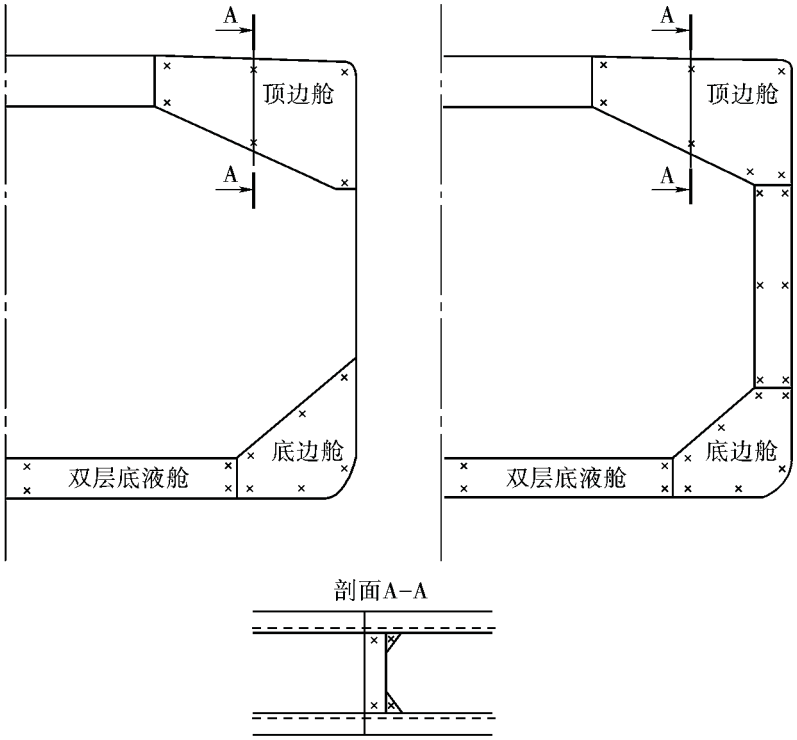
注：腹板上 A、C 和 D 区的测量形式采用三点形，B 区采用二点形（见图）。测量报告应反映平均读数。该平均读数应与许用厚度比较。如果腹板已普遍腐蚀，则测量形式应扩展为 5 点形。

图 3　单舷侧散货船货舱和压载舱中构件上的测量位置



注：应在各阴影区域按 A–A 和 B–B 视图进行测量。

图 4　货舱横舱壁上的测量位置



注：应在每个垂直剖面按图例 A–A 进行测量。

图 5　散货船的顶边舱、底边舱、双层壳体和双层底液舱横舱壁上的测量位置

3　接受衡准

3.1　定义

3.1.1　甲板区域

甲板区域包括顶边舱水平列板或基线以上 0.9*D*（如无顶边舱）所对应的水平面之上对船体梁强度起作用的所有下列项目：

- 强力甲板板
- 甲板边板
- 舷顶列板
- 舷侧外板
- 顶边舱斜板，包括水平和垂直列板
- 与上述板材连接的纵骨

3.1.2　船底区域

船底区域包括底边舱斜板上端水平线或内底板（如无底边舱）以下对船体梁强度起作用的下列项目：

- 龙骨板
- 船底板
- 舭板
- 船底桁材
- 内底板
- 底边舱斜板
- 舷侧外板
- 与上述板材连接的纵骨

3.1.3　中和轴区域

中和轴区域只包括甲板区域和船底区域之间的板材，如：

- 舷侧外板
- 内壳板（如有）

3.2　局部强度衡准

3.2.1　局部强度衡准项目

应按局部强度衡准计及的项目为 [3.1] 定义的甲板区域、船底区域和中和轴区域的项目，以及下列附加项目：

- 舱口围板
- 舱口围板肘板
- 舱口盖顶板
- 舱口盖裙板
- 舱口盖扶强材
- 横舱壁板
- 横舱壁扶强材腹板
- 横舱壁扶强材折边
- 舷侧肋骨腹板
- 舷侧肋骨折边
- 舷侧肋骨肘板
- 顶边舱和底边舱的强肋骨腹板
- 顶边舱和底边舱的强肋骨折边

- 肋板板材及扶强材
- 首尖舱和尾尖舱的舱壁板
- 首尖舱和尾尖舱的扶强材腹板
- 首尖舱和尾尖舱的扶强材折边
- 纵桁和桁材

3. 2. 2　非局部腐蚀的换新厚度

对于每个项目，当测厚厚度 t_{gauged} 小于换新厚度时，需要构件换新，如下列公式给出：

$$t_{gauged} < t_{renewal}$$

当测厚厚度 t_{gauged} 符合下式要求：

$$t_{renewal} < t_{gauged} < t_{renewal} + t_{reserve}$$

可采用按涂层制造商要求施以涂层或年度测厚覆作为钢材换新的替代。涂层应保持处于良好状况。

3. 2. 3　局部腐蚀的换新厚度

若在要求按第 3 章第 5 节覆有涂层的区域，麻点密度高于 15%（见图 6），则应进行测厚来核查麻点腐蚀的范围。此 15% 仅按板的一面的麻点或沟槽锈蚀得出。

如果麻点密度超过 15%，则应在板上麻点最多处将 300 mm 见方或更大面积内的锈蚀除去使金属裸露，在除去锈蚀的面积内五个最深凹坑处测厚。在这五个凹坑的任何一处测得的最薄厚度，应取为所记录的厚度。

按照第 13 章第 1 节 1. 2. 1 定义的麻点、沟槽或其他局部锈蚀的最小剩余厚度应大于：

- 建造厚度的 75%，对于肋骨、端部肘板腹板和折边中的坑或槽；
- 建造厚度的 70%，对于与每个舷侧肋骨每边的宽度 30 mm 范围内连接的舷侧外板、底边舱和顶边舱板材，但不必大于 $t_{renewal}$。

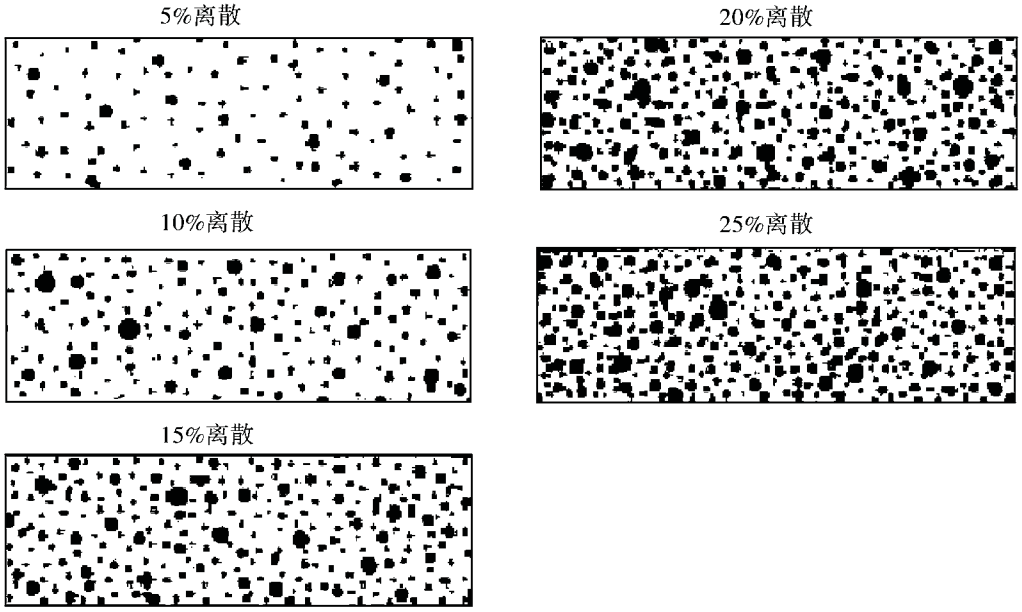


图 6　麻点腐蚀密度图（从 5% 至 25% 密度）

3. 3　总强度衡准

3. 3. 1　总强度衡准的项目

应按总强度衡准计及的项目为 [3. 1] 定义的甲板区域、船底区域和中和轴区域的项目。

3.3.2　换新厚度

总强度衡准由船底区域、甲板区域和中和轴区域的评定来定义，详情如下。

a）船底区域和甲板区域：

用厚度测量确定的现有船体梁剖面模数应不小于按第 5 章用总提供厚度计算的剖面模数的 90%。

作为替代，船底区域和甲板区域的现有剖面面积（所考虑区域的测量项目面积的总和）应不小于用总提供厚度确定的对应区域的剖面面积的 90%。

b）中和轴区域：

中和轴区域的现有剖面面积（此区域的测量板材面积的总和）应不小于中和轴区总提供剖面面积的 85%。

对给出的横剖面，如果对船体梁强度起作用的所有项目的实际损耗小于 10%（对于甲板区域和船底区域）和 15%（对于中和轴区域），则该横剖面的总体强度衡准自动满足且不再要求对其校核。