

中　国　船　级　社

钢质海船入级规范

2012

第 6 分册

第 9 篇　双壳油船结构 (CSR)

人民交通出版社
北　京

书　　名：钢质海船入级规范 2012（第 6 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://www.chinasybook.com
销售电话：(010)64981400，59757915
总 经 销 ：北京中交盛世书刊有限公司
经　　销：人民交通出版社交实书店
印　　刷：北京鑫正大印刷有限公司
开　　本：880×1230　1 / 16
印　　张：28.25
字　　数：644 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・1719
本册定价：160.00 元
（有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换）

总目录 *Zong Mulu*

第1分册

第 1 篇　入级规则……1-1

第 2 分册

第 2 篇　船体……2-1

第 3 分册

第 3 篇　轮机……3-1

第 5 篇　货物冷藏……5-1

第 4 分册

第 4 篇　电气装置……4-1

第 7 篇　自动化系统……7-1

第 5 分册

第 6 篇　消防……6-1

第 8 篇　其他补充规定……8-1

第 6 分册

第 9 篇　双壳油船结构 (CSR) ……9-1

第 7 分册

第 10 篇　散货船结构 (CSR) …… 10-1

中　国　船　级　社

钢质海船入级规范

2012

第 9 篇　双壳油船结构 (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 节 引言 ····· 9-1
1 油船共同结构规范引言 ····· 9-1

第 2 节 规范原理 ····· 9-4
1 前言 ····· 9-4
2 总体假定 ····· 9-4
3 设计依据 ····· 9-5
4 设计原理 ····· 9-8
5 原理应用 ····· 9-14

第 3 节 规范应用 ····· 9-20
1 标志 ····· 9-20
2 文件、图纸和数据要求 ····· 9-20
3 批准范围 ····· 9-22
4 等效程序 ····· 9-23
5 尺度要求的计算和评估 ····· 9-23

第 4 节 基本信息 ····· 9-30
1 定义 ····· 9-30
2 结构的理想化 ····· 9-39
3 结构设计细节 ····· 9-62

第 5 节 结构布置 ····· 9-76
1 通则 ····· 9-76
2 水密分舱 ····· 9-76
3 双壳布置 ····· 9-77
4 处所的分隔 ····· 9-77
5 通道布置 ····· 9-78

第 6 节 材料与焊接 ····· 9-79
1 钢材等级 ····· 9-79
2 包括涂层在内的防腐保护 ····· 9-81
3 腐蚀增量 ····· 9-82
4 建造 ····· 9-87
5 焊缝设计与尺寸 ····· 9-89

第 7 节 载荷 ····· 9-105
1 引言 ····· 9-105
2 静载荷分量 ····· 9-106
3 动载荷分量 ····· 9-112
4 晃荡和冲击载荷 ····· 9-127

5 意外载荷 …… 9-135
6 载荷组合 …… 9-135

第8节 尺度要求 …… 9-152
1 总纵强度 …… 9-152
2 货油舱区域 …… 9-169
3 第一货油舱之前的结构 …… 9-201
4 机器处所 …… 9-212
5 尾部 …… 9-220
6 关于晃荡和冲击载荷的结构评估 …… 9-225
7 其他结构尺度要求 …… 9-239

第9节 设计验证 …… 9-246
1 船体梁极限强度 …… 9-246
2 强度评估(FEM) …… 9-246
3 疲劳强度 …… 9-254

第10节 屈曲和极限强度 …… 9-256
1 通则 …… 9-256
2 刚度和尺度比 …… 9-256
3 屈曲的规定要求 …… 9-261
4 高级屈曲分析 …… 9-274

第11节 一般要求 …… 9-275
1 船体开口和关闭设施 …… 9-275
2 船员保护 …… 9-291
3 支撑结构和结构附体 …… 9-294
4 舾装 …… 9-305
5 试验程序 …… 9-315

第12节 营运船舶换新衡准 …… 9-319
1 船体结构的许用厚度折减 …… 9-319

附录A 船体梁极限强度 …… 9-325
1 通则 …… 9-325
2 船体梁极限能力计算 …… 9-326
3 其他方法 …… 9-334

附录B 结构强度评估 …… 9-336
1 通则 …… 9-336
2 舱段结构强度分析 …… 9-338
3 局部细化网格结构强度分析 …… 9-366
4 疲劳分析的热点应力评估 …… 9-385

附录C 疲劳强度评估……9-392
1 名义应力方法……9-392
2 热点应力(基于有限元)方法……9-420

附录D 屈曲强度评估……9-428
1 高级屈曲分析……9-428
2 高级屈曲分析方法……9-429
3 适用范围和结构建模原则……9-430
4 评估衡准……9-431
5 强度评估(FEM)—屈曲程序……9-432
6 船体梁极限强度评估……9-439

第1节　引　　言

1　油船共同结构规范引言

1.1　一般要求

1.1.1　适用范围

1.1.1.1　本篇适用于2006年4月1日及以后签订建造合同的，且船长 L 为150m及以上的入级双壳油船。规范船长 L 的定义见第4节1.1.1.1。

1.1.1.2　一般地，对于船长 L 小于150m的双壳油船，应用各船级社相应的规范。

CCS1.1.1.2　一般地，对于船长 L 小于 150m 的双壳油船，按照 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇的内容。

1.1.1.3　在本篇生效前签订建造合同的船舶应符合各船级社规范的要求。

CCS1.1.1.3　在本篇生效前签订建造合同的船舶将按照 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇的规定。

注：（1）“建造合同”日期是指预期的船东和船厂间签订船舶建造合同的日期。进一步细节可参见IACS的PR No. 29。

（2）“船级社”：除本篇特别说明外，本篇涉及技术条款中出现的“船级社”应理解为“中国船级社”。

1.2　各入级规范的适用范围

1.2.1　本篇不适用的船舶结构区域

1.2.1.1　对于本篇不涵盖的船舶结构部位，按各船级社相应规范的条款规定。

CCS1.2.1.1　对于本篇不适用的船舶结构部位，按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇的相应规定。

1.3　本篇构架指南

1.3.1　框架

1.3.1.1　为了满足规范目标本篇按节的形式编排给出了规范具体应用和要求的指导。本规范所要求的结构分析过程内容在附录部分给出。

1.3.2　编号和交叉索引

1.3.2.1　各节和各小节的编号方式见表1.1.1。

节 的 编 号　　**表1.1.1**

序　号	等　　级	示　　例
1	节的标题（见页眉）	第1节　引言
2	小节	1　共同结构规范引言
3	第2小节	1.1　一般要求
4	第3小节	1.1.1　规范的制定
5	段落号	1.1.1.1　入级过程的一个重要部分是

1.3.2.2　表和图的编号方式见表1.1.2。

表 和 图 的 编 号　　**表1.1.2**

表在文中的位置	编号方式示例
第5节，第1小节，该节第2张表	表5.1.2
第1节，第12小节，该节第5张表	表1.12.5
第10节，第4小节，该节第3张表	表10.4.3

续上表

表在文中的位置	编号方式示例
图在文中的位置	
第5节，第1小节，该节第2张图	图5. 1. 2
第1节，第12小节，该节第5张图	图1. 12. 5
第10节，第4小节，该节第3张图	图10. 4. 3

1. 3. 2. 3　交叉索引全部用斜体字表示。

1. 3. 2. 4　节内（局部）交叉索引采用小节号或段落号表示，例如 4. 2 或 4. 2. 1. 1。见表 1. 1. 3。

1. 3. 2. 5　节外（整体）交叉索引采用节号 / 小节号或段号表示，例如第 4 节 /2. 1. 1. 3。见表 1. 1. 3。

交叉索引应用方式　　表 1. 1. 3

交叉索引的位置	交叉索引示例
局部（节内）	
第4. 2小节内文字	见4. 2或在4. 2内
第6. 2. 2小节内文字	见6. 2. 2或在6. 2. 2内
第5. 1. 2. 1段内文字	见5. 1. 2. 1或在5. 1. 2. 1内
整体（节外）	
第6节第4. 2小节内文字	第6节/4. 2
第6节第6. 2. 2小节内文字	第6节/6. 2. 2
第6节第5. 1. 2. 1段内文字	第6节/5. 1. 2. 1

1. 3. 3　本篇的总体编排

1. 3. 3. 1　本篇的总体编排见图 1. 1. 1。

标　题	节
引言	1
规范原理	2
规范应用	3
基本信息	4
结构布置	5
材料与焊接	6
载荷	7

尾端与机舱　　货物区域　　首端

标　题	节
机舱总体结构	8/4.1
机舱底部结构	8/4.2
机舱舷侧结构	8/4.3
机舱甲板结构	8/4.4
机舱内部结构	8/4.5~4.8
尾端总体结构	8/5.1
尾端底部结构	8/5.2
尾端舷侧结构	8/5.3
尾端甲板结构	8/5.4
后端内部结构	8/5.5~5.9

标　题	节
船体梁强度	8/1
船体外板	8/2.2
船体外板骨架	8/2.3
内底	8/2.4
舱壁	8/2.5
主要支撑构件	8/2.6
晃荡	8/6.2
船体梁极限速度	9/1
强度评估 (FEM)	9/2
疲劳强度	9/3

标　题	节
总体结构	8/3.1
船底结构	8/3.2
舷侧结构	8/3.3
甲板结构	8/3.4
内部结构	8/3.5~3.10
船底砰击	8/6.3
船首冲击	8/6.4

标　题	节
船体开口和关闭设施	11/1
船员保护	11/2
支撑结构和结构附体	11/3
舾装	11/4
试验程序	11/5
营运船舶换新衡准	12

图 1. 1. 1　规范布局示意图

第2节 规 范 原 理

1 前言

1.1 本篇原理

1.1.1 本篇目标

1.1.1.1 本篇的目标是为了确保生命、环境和财产的安全和保证船体结构设计寿命的延续而建立起规范要求以减小结构失效的风险。

1.1.2 一般要求

1.1.2.1 小节包括：

（a）一般假定：关于船舶设计、建造和营运，且给出与船级社、船厂和船东责任有关的信息；

（b）设计基础：规定了用船舶营运的假定和设计参数来表示的规范设计原理所基于的前提；

（c）设计原理：定义用于在规范中与载荷、结构能力和评估准则有关的结构要求的基本原理；

（d）设计原理的应用：描述如何应用设计原理和方法，以及使用哪个准则来验证结构满足要求。

2 总体假定

2.1 一般要求

2.1.1 国际和国家规则

2.1.1.1 船舶的设计、建造和营运符合一个国际性规定的规则框架，该框架由国际海事组织规定并由船旗国主管机关实施。

2.1.1.2 本篇基于船舶符合所有适用法定要求的假定。

2.1.1.3 本篇纳入的IACS统一要求（UR）在表2.2.1中列出。

油船适用的IACS统一要求 **表2.2.1**

编号	标 题
A1	设 备
A2	常规船舶上与拖带和系泊相关的船用配件与船体支撑结构
S1	装载工况、装载手册和装载仪要求
S2	船舶长度L和方形系数C_b定义
S3	上层建筑和甲板室端部舱壁强度
S4	屈服点315N/mm^{2}和355N/mm^{2}高强度钢使用衡准（对于纵向强度）
S5	常规船舶构件尺寸船中剖面模数计算
S6	90m及以上船舶各船体构件钢材等级的使用
S7	最小纵向强度标准
S11	纵向强度标准
S13	油船前部船底强度
S14	水密舱室试验程序
S26	在前露天甲板上的小舱口盖强度和保护
S27	前甲板设备与布置的强度要求

2.1.2 船级社

2.1.2.1 船级社为船体结构和基本的工程系统制定和颁布标准。当获得主管机关授权时，船级社在船舶设计、建造和营运期间检验其是否符合入级要求和使用国际规则。

2.1.3 船级社、制造商和船东的责任

2.1.3.1 本篇涉及船舶船体结构方面的入级内容，且不包括在建造和营运期间与验证船舶符合规范相关的要求。这种规范符合性的验证是所有各方的责任，要求与执行规范有关的所有各方予以适当的关注和并有适当的举措。这些责任包括：

（a）总体方面

- 设计、建造和营运的相关信息和文件资料在所有各方之间作明确有效的沟通。建造者负责按本篇规定的要求提供设计文件资料。关于信息和文件资料的其他要求由各船级社的要求和验证过程规定；
- 质量体系应用于设计、建造、营运和维护保养活动，以协助符合本篇的要求。

（b）设计方面

- 船东有责任规定船舶的预定用途，制造商有责任确保所设计船舶的营运能力满足船东要求以及本篇规定的结构要求；
- 制造商应识别并用文件表明船舶的营运限制，使船舶能在这些限制以内安全有效地营运；
- 由制造商执行设计验证，以核实除要符合国家和国际规则外还符合本篇的规定；
- 由具备相应资格的适任和有经验的人员进行设计；
- 船级社有责任对船舶设计图纸和相关文件作技术评估，验证是否符合适用的入级规范。

（c）建造方面

- 制造商有责任确保在建造期间进行充分的监督和质量控制；
- 由合格的有经验人员进行建造；
- 包括校正和误差在内的制作工艺符合可以接受的造船标准；
- 船级社有责任进行检验以验证建造和质量控制与图纸和工艺规程一致。

（d）营运方面

- 船东应确保营运人员认知并遵守安全营运限制；
- 船东应为营运人员提供足够的培训以保证妥善处理船舶状况，确保将载荷及由此作用于结构上导致的应力减至最低限度；
- 船东应保证保持船舶状况良好，且与船级社检验要求、国际和主管机关的规则和要求一致；
- 船级社有责任进行检验以验证船舶按船级社检验要求保持入级状况。

3 设计依据

3.1 一般要求

3.1.1 设计基础

3.1.1.1 本小节规定了作为规范设计原理基础的关于船舶营运的设计参数和假定。

3.1.1.2 规范适用于符合规定设计基础要求的船舶。偏离该设计基础的情况将作特殊考虑。

3.1.1.3 用作每条船舶设计的设计基础将形成文档并作为评审和批准的内容提交到船级社。所有偏离设计基础的设计应正式告知船级社。

3.1.2 布置和布局

3.1.2.1 本篇涵盖船长 150m 及以上并具有以下布置的典型双壳油船：

（a）机舱和甲板室位于货舱区域之后，和

（b）除内壳外，两道油密纵舱壁，没有中纵舱壁，或

（c）除内壳外，一道油密中纵舱壁。

3.1.2.2 船舶结构假定为：

（a）焊接钢结构构成；

（b）由加筋板格组成；

（c）具有完整横舱壁和中间强框架的纵向骨架。

3.1.2.3 本篇涵盖的典型布置如图 2.3.1 所示，假定结构布置包括：

（a）宽度 / 深度符合法定要求的狭窄双舷侧结构和双层底结构；

（b）单甲板船；

（c）平面、槽形或双壳结构的舷侧纵舱壁，中纵舱壁或横舱壁；

（d）舱壁数量和位置的布置满足法定要求。

如图 2.3.1 所示的横剖面仅是典型示例，也涵盖了横向撑材和强框架布置的其他形式。

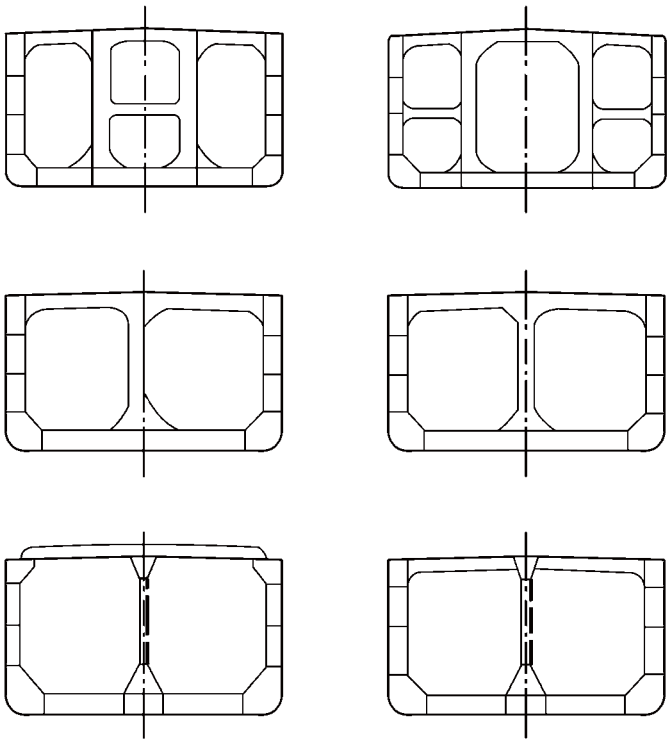


图 2.3.1 双壳油船的典型布置

3.1.2.4 在环境载荷方面对船形有如下假定：

（a）方形系数（C_b）大于 0.7 的肥大型船；

（b）船舶长宽比（L/B）大于 5；

（c）船舶宽深比（B/D）小于 2.5；

（d）初稳性高度（GM）在均匀满载时不大于 0.12B，压载时不大于 0.33B。

3.1.3 设计使用寿命

3.1.3.1 以名义设计使用寿命为 25 年的假定来选取合适的船舶设计参数。规定的设计寿命是假定船舶在营运工况下的名义时间。而船舶实际的营运寿命长或短可能依赖于船舶在整个生命期间实际的营运工况和维护。

3.1.4 设计航速

3.1.4.1 设计最大营运航速应由设计者确定。规范假定船舶能够在该航速下持续航行，但对于船东和营运人员仍有责任在恶劣的天气情况下正确操纵船舶并减少航速，或改变航向。见 2.1.3.1（d）。

3.1.5 营运工况

3.1.5.1 船舶应能载运预定货物，在营运中具备必要的机动性，能实现为其设计的作用。对本篇所要求的货物装载工况以及船东另外要求的任何货物装载工况作出规定是设计者的责任。

3.1.5.2 本篇假定如下：

（a）校核规范所定义的一套最低限度的规定装载工况，包括海上航行工况和港内工况；

（b）除了规定的最低要求的装载工况外，其他涉及船舶预定用途的、导致静水剪力、静水弯矩或局部静载荷增加的相关设计装载工况应送审；

（c）《纵倾和稳性手册》、《装载手册》和《装载仪系统》规定船舶的营运限制，并符合相应的法定和入级要求；

（d）所有货舱应从包括如 3.1.8 所规定的货物密度的无限装载水平下晃荡设计的结构强度观点出发。导致如规范和装载手册规定的满舱或相邻空舱的装载方式限制适用于主要支撑构件和船体梁切力和弯矩。

3.1.6 营运吃水

3.1.6.1 设计营运吃水由设计者规定且用于结构尺度计算。装载手册中的所有营运装载工况根据规定的设计营运吃水。至少应考虑以下营运设计吃水：

（a）最大和最小平均营运吃水；

（b）用于结构评估的最大结构吃水；

（c）在压载和非压载条件下计算船底砰击的最小船首吃水；

（d）所有货舱并排空舱工况下的最大平均吃水；

（e）一个中间货舱或边货舱空舱工况下的最大平均吃水。

3.1.7 外部环境

3.1.7.1 为涵盖世界各地的贸易营运，同时也为应对船舶未来贸易模式和将会遇到的相应海况的不确定性，在设计评估中使用恶劣波浪环境。规范的要求基于船舶在其整个设计使用寿命期间航行于北大西洋波浪环境。

3.1.7.2 风和潮流对结构的影响视为可以忽略不计，因而没有包括在内。

3.1.7.3 本篇不包括结冰的影响。

3.1.7.4 本篇假定对船体强力构件的结构评估在以下设计温度下有效。

（a）最低日均空气温度为 -10℃；

（b）最低日均海水温度为 0℃。

对于长期在较低的日平均气温下营运的船舶可满足各船级社的附加要求。

CCS3.1.7.4 对于长期在较低的日平均气温下营运的船舶应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章。

3.1.8 内部环境（货油舱和压载水舱）

3.1.8.1 货油舱结构强度的评估应使用相对密度（SG）为 1.025 的货油或设计者规定的更高值。

3.1.8.2 对于货油舱结构的疲劳强度评估使用船舶生命周期中具有代表性的平均货油密度，代表性的平均货油密度一般取为 0.9t/m^3 或在满载设计吃水 T_{full} 下的均匀满载工况的货油密度，两者取大值。

3.1.8.3 压载水的相对密度取为 1.025。

3.1.8.4 本篇基于以下货油设计温度：

（a）货油最高温度为 80℃；

（b）货油最低温度为 0℃。

3.1.8.5 本篇采用以下关于腐蚀增量的设计情况和假定：

（a）腐蚀增量是基于经验和腐蚀测量历史数值统计评估的综合，同时也考虑了腐蚀特性等级不同的原油和其他石油制品混合载运的因素；

（b）腐蚀增量基于设计使用寿命，见 3.1.3.1；

（c）压载水舱有涂层。本篇不包括涂层涂敷和保养的要求。

3.1.8.6 腐蚀增量和允许损耗的数值分别在第 6 节 /3 和第 12 节规定。

3.1.9 结构建造和检查

3.1.9.1 本篇内结构要求的制定是基于船舶建造和修理将遵循可以接受的船舶建造和修理的标准和公差的假定。规范还要求对结构关键区域的建造和修理要格外注意。

3.1.9.2 液舱强度和密性试验应作为验证计划的一部分予以执行。

3.1.9.3 本篇规定了各结构项目的换新衡准。在制定本篇的结构要求时，假定结构将按照各船级社的规范接受定期检验。所有构件均应布置有检查通道，见第 5 节 /5。假定对关键区域将定期进行近观检查。

3.1.10 船东的额外要求

3.1.10.1 船东在一般入级或法定要求以外所规定的要求会对结构设计产生影响。船东的额外要求可能有：

（a）振动分析；

（b）使用高强度钢的最大百分比；

（c）高于本篇要求的附加构件尺度；

（d）对本篇规定载荷的附加设计余量，等等；

（e）提高抗疲劳性，如增加设计疲劳寿命或相当要求；

（f）超出规范规定工况的吃水和货物装载形式组合；

（g）对定期在部分装载工况中装载高密度货的船舶进行高密度货的疲劳强度评估。

本篇不涉及船东的额外要求。有可能影响到结构设计的船东额外要求，应在设计文件资料中予以明确规定。

4 设计原理

4.1 通用原理

4.1.1 介绍

4.1.1.1 本小节定义本篇在载荷、结构性能模型和评估准则以及建造和营运方面的基本设计原理。

4.1.2 一般要求

4.1.2.1 本篇基于以下通用原理：

（a）当船舶受到营运和环境载荷 / 条件时，能利用可能的结构失效模式证实结构的安全；

（b）设计符合设计依据，见第 3 小节；

（c）结构要求基于代表典型最恶劣可能装载情况的一组协调的载荷；

（d）载荷、能力模型和评估衡准方面的结构要求以模块形式提出，使要求的各个部分均可明确识别。

4.1.2.2 船舶结构设计为：

（a）具有内在冗余。船舶结构以分级方式工作，因而在该等级体系中处于较低级别的构件失效，不会立即导致该等级体系中较高级别构件失效。

（b）将永久变形减至最低限度。可以接受局部板格或个别扶强板材的永久变形，但这不得影响到结构完整性、围护完整性或结构系统，或其他系统的性能。

（c）将营运中发生破裂的事故减至最低限度，尤其在影响到结构完整性或围护完整性，影响到结构系统或其他系统的性能，或难以检查和修理的部位。

（d）具有足够的结构冗余，以在结构意外受损（例如轻微碰撞导致任一舱室进水）时幸存。

4.2 载荷

4.2.1 载荷环境

4.2.1.1 结构评估所用的载荷涵盖船舶在海上和港内运行时所遇到的情况。

4.2.2 设计载荷组合

4.2.2.1 设计载荷组合结合局部和整体载荷以表征确定的载荷情况。设计载荷组合应充分考虑船舶正常运营期间可能出现的所有情况，应充分考虑最严重的装载情况和装载变化。

4.2.2.2 为了对所有载荷组合保持一致的安全水准，船体和构件的设计载荷组合计及各种载荷影响的最不利组合。

4.2.2.3 设计载荷组合基于静态和动态载荷的以下组合之一，并取决于所计及的载荷类型和载荷情况：

（a）静态设计载荷组合（*S*）

涵盖所有相应静态载荷的应用，特别涵盖了港口、舱室试验及类似营运下的载荷情况；

（b）静加动载荷组合（*S*+*D*）

涵盖了所有相应静态载荷加上同时发生的动载荷事项的实际组合的应用，特别涵盖航行工况下的载荷情况；

（c）冲击载荷组合

涵盖所有在船舶航行中遇到的如船底砰击和船首冲击等冲击载荷的应用。通常情况下，完全可以忽略与冲击载荷事项相关的其他静载荷和动载荷组合。

（d）晃荡设计载荷组合

涵盖所有在船舶航行中遇到晃荡载荷的应用。

（e）疲劳设计载荷

涵盖所有相应动载荷的应用。

（f）意外设计载荷组合（A）

涵盖所有在正常航行过程中出现而不被考虑的意外载荷的应用。

4.2.3 载荷分类

4.2.3.1 设计载荷组合由许多不同类型的载荷组成，其分类如表 2.4.1 所示。

载 荷 分 类 **表 2.4.1**

营运载荷	空船重量	钢材重量和舾装 机器和永久性的设备
	浮力载荷	船舶浮力
	可变载荷	货物 压载水 备品和消耗品 人员 临时设备
	其他载荷	拖船和停泊载荷 拖带载荷 锚泊和系泊载荷 起重设备载荷
环境载荷	波浪作用产生的循环载荷包括惯性载荷	波浪动压力
		船舶运动加速度引起的动载荷和液舱动压力
	冲击载荷或瞬时载荷	浪击 船底砰击 液舱内液体晃荡 上浪载荷
意外载荷		舱室进水
变形载荷		热载荷 因建造产生的变形

4.2.3.2 营运载荷一般是静态载荷，分为空船重量、浮力载荷、可变载荷和其他载荷。营运载荷系因船舶的运行和操纵而产生。

4.2.3.3 环境载荷是由于外部影响而产生的动态载荷。规范所涉及的环境载荷是由波浪引起的。

4.2.3.4 意外载荷包括因船舶意外事故或操纵失误的后果而产生的载荷。规范所涉及的意外载荷是由于舱室进水而导致增加的舱室压力。

4.2.3.5 变形载荷由热载荷和残余应力造成。本篇不包括变形载荷的影响。

4.2.4 特征载荷值

4.2.4.1 规范中应用的载荷组合特征值主要取决于所考虑的设计载荷组合。特征载荷是典型值，并由下列给出：

（a）对于营运中载荷，特征载荷是预见的或规定的值；

（b）对于环境载荷，特征载荷是低出现概率的典型载荷值，如极值。

4.2.5 营运载荷

4.2.5.1 由于浮力导致的作用于船体上静海水压力的特征值基于所计及装载工况下的吃水。

4.2.5.2 液舱内部液体静压力特征值基于液货舱 / 压载舱的液面高度和密度，并包括空气管高度、压力释放阀设定和泵的排量可能造成的过压的允差。

4.2.5.3 人员、备品和消耗品、临时设备和永久性设备的特征值基于规定值。

4.2.5.4 拖船、靠泊、拖带和锚泊载荷特征值基于规定值。

4.2.6 环境载荷

4.2.6.1 在第 7 节 /3 给出的波浪载荷规范公式是基于由 4.2.6.2 节计算并从航运经验和船模试验反馈校准所得到的包络线值。

4.2.6.2 波浪载荷值导出所用的一般原理如下：

（a）对于所有相似载荷情况，载荷值的应用保持一致；

（b）特征载荷值的选取是符合载荷及所选结构评估方法的应用目的，例如对于强度评估是应用所预期生命周期中最大载荷，对于疲劳评估是应用代表生命周期中所预期载荷的平均值；

（c）使用三维线性流体动力计算法进行载荷计算，计及航速影响；

（d）特征波浪载荷的导出是基于长期统计法，该方法包括波浪环境的表示（北大西洋散布图），以 IACS Rec. 34 为基础的船舶 / 波浪首向概率和载荷值超越概率。所有的结果都是包络线值；

（e）考虑所预期生命周期中最大载荷的非线性影响。

4.2.6.3 动载荷组合考虑所有同时发生的动载荷分量。在导出同时发生的载荷时，一个特定的载荷分量是最大化或最小化，并且所有同时发生的载荷分量的相当量级由基于载荷包络值得动载荷组合系数（DLCF）来规定。这些动载荷组合系数是基于应用等效设计波法且已经列表给出。

4.2.6.4 船底砰击、船首冲击载荷和上浪载荷公式考虑了以下因素：

（a）船舶吃水；

（b）船体线型；

（c）航向；

（d）前进航速；

（e）甲板室 / 上层建筑位置；

（f）构件几何形状。

4.2.6.5 砰击的冲击载荷在结构内产生瞬时动态响应。该载荷通过作用于船体相关暴露表面的等效静态载荷来表示。

4.2.6.6 计及上浪对沿船长方向甲板结构的影响。作用于船舶前部和平行舯体的上浪载荷根据船模试验、船舶运动分析和营运经验来决定。船舶后部的上浪载荷与前部和中部的上浪载荷一致。

4.2.7 意外载荷

4.2.7.1 根据 IMO 规则所作假定，意外载荷情况涉及因进水而作用于局部结构的载荷。这关系到对水密分舱界限的评估。

4.2.7.2 仅计及相应于进水状况吃水的静态载荷。

4.2.8 变形载荷

在设计依据所规定的限度以内的热载荷可忽略不计。假定已注意考虑并允许所预期的热膨胀。

4.3 结构能力评估

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 结构设计的基本原理是应用所定义的设计载荷，识别可能的失效模式并使用适宜的能力模型来决定所要求的结构尺度。

4.3.2 强度能力模型

4.3.2.1 结构强度评估方法能够按所要求的计算精度分析失效模式。甚至对于相同的失效模式可以采用几个评估方法。

4.3.2.2 以下是强度能力模型选择的基础：

（a）构件是否也在分级体系中的较高级别并 / 或在较迟阶段以更为精确的方法或更为精确的响应计算予以评估；

（b）忽略某些应力分量的简化能力模型常得出保守的结果；

（c）评估失效模式的合适方法；

（d）载荷的概率水平；

（e）表示结构在所定载荷水准以内的物理特性的响应计算能力；

（f）结构的复杂性；

（g）载荷的复杂性；

（h）构件的重要性。这主要会对评估衡准产生影响，但需结合合适的结构评估方法的选用予以考虑。

4.3.2.3 结构能力评估方法是按指定格式进行或要求采用更高要求的计算，如有限元分析方法。

4.3.2.4 用作确定应力、变形和能力的公式与所选用的强度评估法和设计载荷的大小和形式相关。

4.3.3 疲劳能力模型

4.3.3.1 疲劳评估法提出了规范要求，以防结构细节产生疲劳失效。

4.3.3.2 疲劳能力模型基于线性累积损伤度（Palmgren−Miner 准则），并结合 *S*–*N* 曲线、特征应力范围和假定的应力长期分布曲线。

4.3.3.3 疲劳能力评估模型是按指定格式进行或要求采用更高要求的计算，如有限元分析方法。这些方法考虑了对整体和局部动态载荷的组合影响。

4.3.4 净厚度方法

4.3.4.1 净厚度方法的原理是：

（a）将新造船阶段的强度计算所用厚度与营运阶段可接受的最小厚度直接联系起来；

（b）使结构的腐蚀状态在船舶整个使用寿命期间能够被明确。

4.3.4.2 在局部和整体采用不同的净厚度模型。局部腐蚀定义为局部结构单元如单块板和加强筋的均匀腐蚀。整体腐蚀定义为较大面积，如主要支持构件和船体梁的总平均腐蚀。对于局部和整体腐蚀都是新建船舶评审和营运船评估的基础。

4.3.4.3 局部腐蚀的净厚度方法如图 2.4.1a）所示，对于新造船的厚度，有：

（a）局部强度要求基于圆整后的净厚度（$t_{net\text{-}treq}$）；

（b）所要求的总厚度（$t_{grs\text{-}req}$）由所要求圆整后的净厚度（$t_{net\text{-}req}$）加上腐蚀增量（t_{corr}）得到；

（c）总厚度（t_{grs}）是设计者根据（$t_{grs\text{-}req}$）选取的实际厚度，它大于或等于所要求的总厚度（$t_{grs\text{-}req}$）；

（d）建造厚度等于总厚度（t_{grs}）加上船东额外要求余量（t_{own}）；

（e）船东作为额外要求（t_{own}）提出的任何增加厚度不包含在对所要求总厚度（$t_{grs-req}$）评估中。

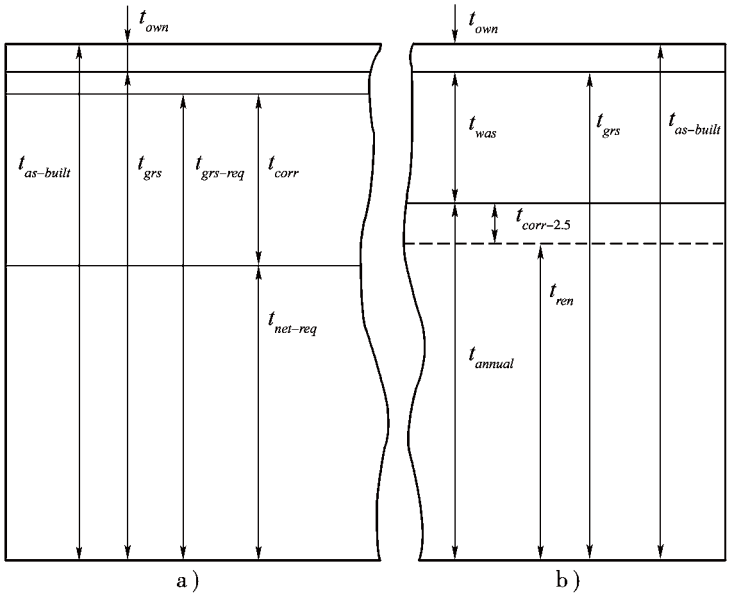


图 2.4.1　局部损耗的净厚度方法

a）尺度要求应用；b）劳动要求的应用

4.3.4.4　如图 2.4.1b）所示，在船舶营运过程中决定局部换新厚度的净厚度方法如下：

（a）在年检中所要求的厚度 t_{annual} 由建造厚度 $t_{as-builtl}$ 减去船东额外余量 t_{own} 和总损耗允差 t_{was} 而得；

（b）要求予以换新的厚度值 t_{ren} 由所要求的建造厚度 $t_{as-built}$ 减去总损耗允差 t_{was}、船东额外余量 t_{own} 和厚度 $t_{corr-2.5}$ 而得。其中 $t_{corr-2.5}$ 为在中间检验和特检之间 2.5 年的储备腐蚀损耗允差；

（c）总损耗允差由规范规定损耗允差 t_{was} 加上损耗允差储备 $t_{corr-2.5}$ 加上船东额外增加余量 t_{own}；

（d）规范规定损耗允差 t_{was} 在达到年检要求厚度前有效，由腐蚀增量 t_{corr} 减去厚度 $t_{corr-2.5}$ 得到。

当测量厚度大于所要求的年检厚度 t_{annual} 时，净厚度方法要求对应于一般的 2.5 年检验间隔；当测量厚度小于所要求的年检厚度 t_{annual} 时，净厚度方法要求对应于 1 年检验间隔。

4.3.4.5　船体梁横剖面和主要支撑构件的总平均腐蚀是相应横剖面中所有构件局部腐蚀增量的一半（$0.5t_{corr}$）。

4.3.4.6　局部结构尺度的评估基于船体梁净特性的船体应力（如基于船体梁整体总平均腐蚀）和基于所考虑的局部构件净厚度（如基于全部的局部腐蚀的局部应力）。它假定构件可以局部腐蚀到最大限度，且船体梁可以最大腐蚀到船体梁总腐蚀。

4.3.4.7　整体（船体梁和主要支持构件）尺度的评估是基于总腐蚀，如对所有构件，如同时对所有构件采用一半的全局部腐蚀。这假定全局部腐蚀不会同时出现，因此假定一个较小的平均腐蚀是合适的。单个构件可以腐蚀到最大的腐蚀增量，这在屈曲评估中考虑。

4.3.4.8　因为疲劳是累积度的评估，且用于评估的尺度和应力采用生命期中所代表的平均值。生命周期中的平均腐蚀取所假定结构强度评估腐蚀的一半。局部应力计算是基于一半的全局部腐蚀增量，而船体梁应力计算基于一半的总体腐蚀增量。一半的总体腐蚀增量是全局部腐蚀增量的四分之一。

4.3.4.9　营运中损耗允差的实际值为：

（a）局部：在检验期间全部腐蚀增量减去一典型损耗量；

（b）整体：在检验期间总体全部腐蚀增量减去一典型损耗量，在营运中总体损耗的检测是通过评估船舶目前的总体特性。

4.3.5　完整结构

4.3.5.1　所有强度计算均基于结构是完整的这一假定。船舶在结构损坏工况下的残余强度不予评估。

4.3.5.2 在评估结构能力时，涂层或类似防腐系统的使用均不予考虑。

4.4 材料与焊接

4.4.1 材料

4.4.1.1 与结构构件材料选取有关的规范要求基于构件位置，设计温度（见 3.1.7.4 和 3.1.8.4），薄膜，厚度方向力和构件的重要程度。这些要求符合 IACS UR S6。

4.4.1.2 规范要求是基于材料根据 IACS URW13 规定的厚度压轧允许公差制造的假定。

4.4.2 焊接

4.4.2.1 规范对焊接类型、尺寸和材料的要求是基于以下考虑：

（a）接头类型；

（b）接头的重要性；

（c）接头处应力的大小、类型和方向；

（d）母材和焊材的材料特性；

（e）焊缝间隙尺寸。

4.5 评估 / 验收衡准

4.5.1 设计方法

4.5.1.1 构件尺度的评估准则是基于以下的设计方法之一：

（a）工作应力设计（WSD）法，也称作许用或允许应力法；

（b）分项安全因子（PF）法，也称作载荷和承载能力因子设计（LRFD）。

4.5.1.2 对于 WSD 和 PF，给出两个设计评估条件和相应验收衡准。这些条件 A 和 B 与组合载荷的概率水平相联系：

（a）条件 A 适用于基于预期的特征载荷值，主要由静设计载荷组合所涵盖的设计载荷组合。

（b）条件 B 适用于基于极限特征载荷值，主要由静 + 动载荷组合所涵盖的设计载荷组合。

4.5.1.3 WSD 法规定如下：

$$\text{条件 A} \qquad W_{stat} \leqslant \eta_1 R$$

$$\text{条件 B} \qquad W_{stat}+W_{dyn} \leqslant \eta_2 R$$

式中：W_{stat}——同时出现的静态载荷（或以应力表示的载荷影响）；

W_{dyn}——同时出现的动态载荷，动态载荷通常是局部和整体载荷组分的组合；

R——特征结构能力（例如屈服或屈曲能力）；

η_i——许用的利用因子（承载能力因子），利用因子包括计及载荷，结构能力和失效后果的不确定性。

4.5.1.4 PF 法规定如下：

$$\text{条件 A} \qquad \gamma_{stat\text{-}1} W_{stat}+\gamma_{dyn\text{-}1} W_{dyn} \leqslant \frac{R}{\gamma_R}$$

$$\text{条件 B} \qquad \gamma_{stat\text{-}2} W_{stat}+\gamma_{dyn\text{-}2} W_{dyn} \leqslant \frac{R}{\gamma_R}$$

式中：$\gamma_{stat\text{-}i}$——考虑到与静态载荷相关的不确定性的分项安全因子；

W_{stat}——同时出现的静态载荷（或以应力表示的载荷影响）；

$\gamma_{dyn\text{-}i}$——考虑到与动态载荷相关的不确定性的分项安全因子；

W_{dyn}——同时出现的动态载荷，动态载荷通常是局部和整体载荷组分的组合；

R——特征结构能力（例如屈服应力，船体梁极限应力）；

γ_R——考虑到与结构能力相关的不确定性的分项安全因子。

4.5.1.5 WSD 法和 PF 法的验收衡准按不同的规范要求予以调整，为静态和动态载荷影响的所有各种组合达到协调一致和可以接受的安全水准。

4.6 安全等效原理

4.6.1 一般要求

4.6.1.1 偏离设计依据或规范所覆盖的结构布置的新颖设计将特殊考虑。等效原理适用于新颖设计，因此对于新颖设计的结构安全度至少应与规范要求相等。

4.6.1.2 等效原理也可应用于替代性的计算方法。

4.6.1.3 在本篇的制订过程中采用了系统评审。它对本篇所涉及的油船结构和布置在营运过程和环境影响下的危险后果进行了评估和识别。对于新颖设计视其偏离的性质，可能有必要进行独立的系统评审用文件证明与规范等效。

5 原理应用

5.1 原理应用概况

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 本小节表明在第 4 小节描述的设计原理如何应用到规范要求的发展中。

5.2 结构设计过程

5.2.1 结构设计过程的概述

5.2.1.1 本篇采用的结构设计过程的概况见图 2.5.1。

5.2.1.2 通过应用以下的规范要求验证船体和结构单元的强度和可接受安全度：

（a）指定结构尺度要求

- 最小要求；
- 基于承载能力的要求。

（b）基于承载能力方法的设计验证要求

- 船体梁极限强度；
- 用有限元分析进行强度评估；
- 疲劳评估。

5.3 最小要求

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 最小要求通常以下列形式之一表达：

（a）最小厚度，独立于屈服应力，主要是基于营运经验且常用以下公式表达：

$$t = A + BL$$

式中：A、B——常数；

L——规范船长，如第 4 节 /1.1.1.1 所定义。

（b）最小刚度和尺度比，基于指定的屈曲要求。

5.4 基于承载能力的要求

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 一般地，除了采用分项安全因子（PF）法的船体梁极限强度衡准以外，在其他要求中应用工作应力设计（WSD）法。分项安全因子公式应用到这种危险的失效模式中能够更好的计及与静态载荷、动态载荷和能力公式相关的不确定性。

5.4.1.2 所识别的载荷概况在规范的设计载荷、设计形式和验收衡准，如表 2.5.3 中所述等方面进行叙述。该表仅是示意性地作全面回顾。

5.4.1.3 规范规定的载荷概况涵盖如航行状态、装卸状态、舱室试验状态、压载水交换状态、港口特别营运状态（如漂浮下的螺旋桨检验）和事故进水状态等营运工况。

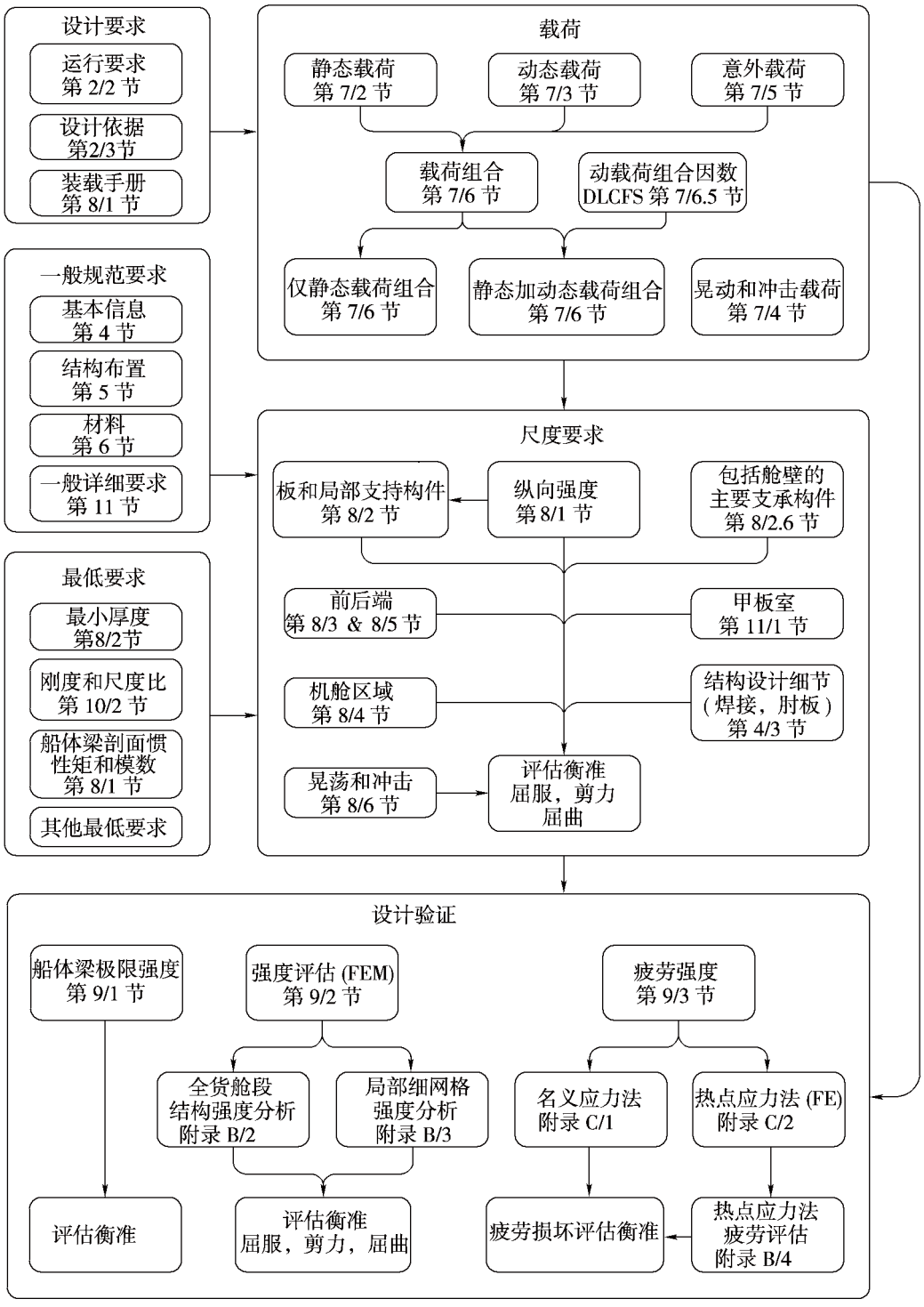


图 2.5.1 结构设计过程概况

5.4.1.4 设计载荷组合表示第 7/6 节中给出的载荷概况，该载荷概况由 *S*（静载荷），*S*+*D*（静 + 动载荷），和 *A*（事故载荷）表示。另外，规范表述了第 7/4 小节中给出的冲击和晃荡载荷和第 7/3 节中给出的疲劳载荷。

5.4.1.5 对于强度要求，所考虑的载荷涵盖了最严重的营运载荷，因此基于尺度要求的舱段有限元分析和承载能力是基于规范装载条件，以模拟在船舶营运限制中最恶劣的装载工况。

5.4.1.6 对于疲劳强度要求所考虑的载荷涵盖所期望的载荷经历和典型载荷工况。

5.4.1.7 验收衡准分成三类，这些在表 2.5.2 和 2.5.3 中解释。在 WSD 规范要求中的规定验收

衡准依赖于特征组合载荷的概率水平。

5.4.1.8 验收衡准组合 AC1 应用于频繁出现的特征载荷组合，典型的是静设计载荷组合，也应用于晃荡设计载荷。这意味着载荷以一定频率或基本规律出现。考虑下述因素的频率载荷许用应力小于极限载荷许用应力：

（a）重复屈服；

（b）对一些动载荷的允许值；

（c）营运失误的余量。

5.4.1.9 验收衡准组合 AC2 应用于当组合特征载荷处于极限值时，如典型的静 + 动设计载荷工况。因为所考虑的载荷是低出现概率的极限载荷，所以结构能力（在表 2.5.1 中的 R_i）的高利用系数（在表 2.5.1 中的 η_i）是可以允许的。

载荷概况和相应规范要求 **表 2.5.1**

载荷概况		规范要求			
营运	载荷（船舶承受）	设计载荷组织（如第7/6规范）		设计形式（如第8和9节规定）见注	验收衡准（如第8和9节规定）
		编号	标志		
航行状态					
短暂	恶劣天气的静和动载荷	1	$S+D$	1. $S_G+S_L+D_G+D_L \leqslant \eta_2 R_1$	AC2
				2. $\gamma_S S_G+\gamma_D D_G \leqslant R_2/\gamma_{R2}$	AC2
	恶劣天气的冲击载荷	2	冲击	$S_L+D_{imp} \leqslant \eta_3 R_p$	AC3
	内部晃荡载荷	3	晃荡	$S_G+D_{slh} \leqslant \eta_1 R_1$	AC1
	循环波浪载荷	4	疲劳	$DM \leqslant \sum \eta_i/N_i$	–
BWE径流法或顺序法	恶劣天气的静和动载荷	5	$S+D$	$S_G+S_L+D_G+D_L \leqslant \eta_2 R_1$	AC2
港口和遮蔽海域					
装载，卸载和压载	在装载，卸载和压载过程中的典型最大载荷	6	S	$S_G+S_L \leqslant \eta_1 R_1$	AC1
舱室试验	在舱室试验过程中的典型最大载荷	7	S	$S_G+S_L \leqslant \eta_1 R_1$	AC1
在港口的特殊工况	在港口特殊工况的典型最大载荷，如漂浮中的螺旋桨检验和干坞装载工况	8	S	$S_G+S_L \leqslant \eta_1 R_1$	AC1
事故工况					
事故进水	由于事故进水导致的内部水密分舱结构所受的典型最大载荷	9	A	对水密边界 1. $S_L \leqslant \eta_2 R_1$	AC2
				对防撞舱壁 2. $S_L \leqslant \eta_1 R_1$	AC1

注：在该列中的符号如5.4节所定义：

D_G表示动整体载荷;

D_L表示动局部载荷;

DM表示累积疲劳操作率;

S_G表示静整体载荷;

S_L表示静局部载荷;

R_i表示结构能力。

5.4.1.10 验收衡准组合 AC3 主要适用于基于如在规定船底砰击和船首冲击载荷中应用的塑性坍塌模型的能力公式。

5.4.2 强度评估（FEM）和结构尺度要求的设计载荷

5.4.2.1 舱室边界的结构评估，如舱壁，是基于最恶劣的装载，因此工况按一边满舱和另一边空舱来评估，相反的情况也被考虑。类似地，外壳是按内部空舱的最大吃水和内部装满的最小吃水的工况评估。

5.4.2.2 有限元强度评估中的标准装载形式分别在附录 B 的关于两道油密舱壁的表 B.2.3 和关于一道油密舱壁的 B.2.4 中给出。相应的结构尺寸要求信息在第 8 节中给出。

5.4.2.3 为了确保方法的一致性，标准化的规范参数如 GM、R_{roll}、T_{sc} 和 C_b 适用于规范载荷值的计算。

5.4.2.4 整体和局部的动载荷（表 2.5.1 中的 D_G、D_L 和 D_{imp}）的概率水平是 10^{-8}，采用如 4.2.6.2 所述的长期统计方法导出。

5.4.2.5 晃荡载荷（表 2.5.1 中的 D_{slh}）的概率水平采用载荷频繁出现的 10^{-4}。

5.4.2.6 相应于标识载荷概况的设计载荷组合产生适用于结构能力设计和验证的实际设计载荷。设计载荷利用所有可利用的同时作用的局部静、动载荷分量（在表 2.5.1 中的 S_L 和 D_L，常常是压力）和为一个或一组结构设计的静、动总体载荷分量（在表 2.5.1 中的 S_G 和 D_G，通常是船体梁弯矩）。与结构尺度要求相关的设计载荷组见第 8 节 /2 到第 8 节 /5，相应的有限元分析设计载荷组是指载荷工况，在附录 B 中给出。

5.4.2.7 应用如第 7 节 /3 给出的动载荷包络线的动载荷组合因子规定同时出现的动载荷。定义用于结构强度评估（FE）的动载荷计算工况的动载荷组合因子见第 7 节 /6.4，用于尺度要求的则见第 7 节 /6.5。

5.4.2.8 采用等效设计波的方法导出动载荷组合因子，以提供适用于结构评估的实际同时发生动载荷分量。

5.4.2.9 确定船体梁极限强度设计载荷的要求在第 9 节 /1 中给出，且营运载荷（如船舶装载工况）和环境载荷（如船体梁波浪弯矩）对于航行状态的中垂工况是最大化的。船体梁静水中垂弯矩 M_{sw} 的特征值是基于如第 8 节 /1 规定的航行工况的最大值。船体波浪中垂弯矩 M_{wv} 的特征值见第 7 节 /3。

5.4.3 疲劳要求的设计载荷

5.4.3.1 疲劳要求见第 9 节 /3 和附录 C，载荷评估基于预期的载荷历程和平均方法。设计寿命的预期载荷历程是采用 10^{-4} 概率水平的动载荷值，每个构件的载荷历程用相应应力的 Weibull 概率分布表示。

5.4.3.2 所考虑的波浪诱导载荷包括：

（a）船体梁载荷（如垂直和水平弯矩）；

（b）波浪动压力；

（c）液舱动压力。

5.4.3.3 采用船舶预期营运中的两个典型装载工况作为疲劳分析，这两个工况是：

（a）设计吃水时的均匀满载工况；

（b）正常压载工况。

在船舶航行寿命中满载和压载工况的时间比例各为 50%。假定在港口 / 遮蔽水域时间为船舶寿命的 15%。因而假定船舶以满载工况和压载工况在开敞水域航行的时间各占其寿命的 42.5%。

5.4.3.4 载荷值基于对应于载荷工况的实际参数，如 GM，C_b 等，计算采用船中吃水。实际值取自装载手册中考虑的装载工况。

5.4.3.5 同时出现的动载荷考虑由于不同载荷成分的应力组合，应力组合过程见附录 C。

5.4.3.6 实际装载工况中的静水载荷、静海水压力和液舱压力用于决定平均应力效应。

5.4.4 结构响应分析

5.4.4.1 一般地，下列方法适用于决定应用设计组合作用时的结构响应：

（a）梁理论

• 用于规定要求。

（b）有限元分析

• 粗网格用于舱段有限元分析；

• 细网格用于局部模型；

• 精细网格用于疲劳评估。

5.4.5 结构能力评估

5.4.5.1 规范中所考虑的疲劳模型是屈服（塑性变形）、屈曲、脆性断裂和疲劳。由于屈服和屈曲引起的结构失效主要由强度要求控制，脆性断裂主要由所选取的材料和焊接的要求所控制，疲劳失效主要由高频的疲劳要求所控制。

5.4.5.2 一般地，用于指定规范的能力模型，在第8节中的尺度要求，是基于简单梁理论和包括弹性屈服和塑性能力模型，采用简化屈曲能力模型或更理论化的非线性分析过程来评估屈曲能力。

5.4.5.3 设计验证要求基于线弹性有限元分析，详细规定的疲劳评估过程和简化极限强度评估过程。其中也包括基于有限元的针对一些结构构件如底边舱斜板折角疲劳评估过程。

5.4.5.4 评估结构能力的净厚度方法应用在第6节/3.3中规定。

5.4.6 验收准则

5.4.6.1 应用于工作应力设计要求的验收衡准如表2.5.2和2.5.3所示。依靠所考虑的局部和总体载荷、静载荷和动载荷的相对分布和结构构件，每个载荷组有轻微变化。规定的验收衡准在第8节和第9节/2的规范细节要求中给出。

5.4.6.2 应用不同组的目的是为静和动载荷组合取得一致的和可接受的验收安全水平，并且考虑不同能力模型。

主要验收衡准—规范要求 表2.5.2

	板单元和LSM		PSM		船体梁结构	
验收衡准组合	屈服	屈曲	屈服	屈曲	屈服	屈曲
AC1	70%~80%屈服应力	刚度控制和尺度比典型使用因子0.8	70%~75%屈服应力	刚度控制和尺度比支柱屈曲	75%屈服应力	NA
AC2	90%~100%屈服应力	刚度控制和尺度比典型使用因子1.0	85%屈服应力	刚度控制和尺度比支柱屈曲	90%~100%屈服应力	典型使用因子0.9
AC3	塑性准则	刚度控制和尺度比	塑性准则	刚度控制和尺度比	NA	NA

主要验收衡准—设计验证—FE分析 表2.5.3

	总体货舱分析		局部细网格分析
验收衡准组合	屈服	屈曲	屈服
AC1	60%~80%屈服应力	刚度控制和尺度比 典型使用因子0.8	136%局部网格屈服应力 整体分析的平均应力
AC2	80%~100%屈服应力	刚度控制和尺度比 典型使用因子1.0	170%局部网格屈服应力 整体分析的平均应力

5.5 材料

5.5.1 一般要求

5.5.1.1 为了减少易碎裂痕扩展的风险，对于遭受高载荷的高危险结构单元选用更高的材料特性。

5.6 规范要求的应用

5.6.1 最小要求

5.6.1.1 这些规定的最小尺寸要求与所有其他的要求无关，因此小于这些最小值的厚度是不允许的。

5.6.2 基于指定要求的载荷

5.6.2.1 为所有板、所有局部支撑构件、大多数主要支撑构件和船体梁提供尺度要求，并涵盖包括甲板室、甲板设备基座等在内的所有结构单元。

5.6.2.2 一般地，这些要求隐性控制一种主要的失效模式，因此几种要求可用于评估一种结构。

5.6.3 设计验证－船体梁极限强度

5.6.3.1 船体梁极限强度的要求是基于分项安全因子（PF）法，见第 4 节 /5，安全因子被赋予每个基本变量，静水弯矩，波浪弯矩和极限能力。用结构可靠性方法决定安全因子，且采用适用于确定极限波浪弯矩的船舶运动分析技术导出波浪弯矩的长期载荷分布历程。

5.6.3.2 船体梁极限强度验证的目的是证明双壳油船最危险失效模式之一得到控制。

5.6.4 设计验证－整体有限元分析

5.6.4.1 整体有限元分析用于验证由基于载荷能力规定要求给出的尺度。由于规定要求没有考虑船舶结构构件，复杂的局部结构几何尺度，在与复杂的有充分精度载荷模式一致的厚度和构件剖面特性方面的变化间的复杂的相互作用，因此要求作有限元分析。所以整体有限元分析是必须去验证所建议的结构尺度。

5.6.4.2 货油舱区域的线弹性三维有限元分析（要求三舱段的有限元模型）用于评估和验证所建议的船体梁和主要支撑构件的结构响应，且有助于规定主要支撑构件的结构尺度要求。有限元分析的目的是验证主要支撑构件的应力和屈曲能力在所应用设计载荷的可接受限制范围内。

5.6.5 设计验证－疲劳评估

5.6.5.1 疲劳评估要求去验证危险结构细节的疲劳寿命是足够的。一种基于几何特性如 F，F2 级等采用 *S-N* 曲线的规定疲劳评估方法应用于如纵骨的端部连接处的结构细节。采用有限元分析方法的热点疲劳评估法用于如底边舱斜板折点的位置。在以上两种情况，疲劳评估方法都是基于 PM 线性损伤模型。

5.6.6 规定尺寸要求和强度评估（FEM）间的联系

5.6.6.1 规定的最小要求定义了最小可接受尺寸。这些要求是不可以用任何替换计算如载荷能力的指定要求或强度分析如 FEM 来减小。

5.6.6.2 假如减小的结构尺寸能够满足强度评估（FEM），则主要支撑构件的剖面模数和 / 或剪切面积和 / 或主要支撑构件撑材的截面积可以减小到规定性要求的 85%。

5.6.6.3 原理是粗略的方法应该比细节的方法更加保守。因此，规定性要求通常比基于有限元强度评估的相关要求更加保守。

第3节 规 范 应 用

1 标志

1.1 标志

1.1.1 一般要求

1.1.1.1 完全符合本篇要求和入级船级社关于建造、检验和设备的具体要求的船舶，将被授予入级船级社的相关船级符号和船型标志。

1.1.1.2 除1.1.1.1的规定外，完全符合本篇要求的船舶还将被授予附加标志CSR。

2 文件、图纸和数据要求

2.1 文件资料和数据要求

2.1.1 装载信息

2.1.1.1 船上应备有装载指导资料，其内容应足以使船舶保持在规定的营运限度以内。装载指导资料应包括经批准且分别符合第8节/1.1.2和第8节/1.1.3要求的《装载手册》和《装载仪系统》。

2.1.2 计算数据和结果的提交

2.1.2.1 如果按照本篇附录中的程序进行了计算，应按适用情况提交以下支持资料：

（a）所有计算程序和技术程序索引；

（b）结构模型描述；

（c）包括特性和界限条件在内的分析参数概要；

（d）装载工况详情和载荷施加方式；

（e）计算结果汇总；

（f）适用的样本计算。

2.1.2.2 一般而言，不要求提交与程序相关的大量输入和输出数据，如有限元分析。

2.1.2.3 确保程序数据输入和说明书移交没有差错以及随后数据输出正确无误，如有差错责任由设计者承担。

2.1.3 用于规范计算的计算机软件的使用

2.1.3.1 一般的，任何被船级社认可的规范计算程序可以根据如5.1中应用的规范用于确定尺度计算。

2.1.3.2 已经验证能产生可靠结果能满足船级社要求的计算程序被认为是已认可程序。应用程序如没被船级社认可，则应提交计算机程序的全部要素，包括算例输出结果。建议在进行任何分析工作以前设计者和船级社就计算机程序进行磋商。

2.2 图纸和支持计算书的提交

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 一般而言，所要求资料的主要类别和清单见2.2.2。对各个项目的适用附加要求在以下各节给出规定。

2.2.1.2 图纸一般应一式三份提交，但支持性资料和计算书仅需送一份。附加的副本可以根据不同船级社要求进行提交。

2.2.1.3 图纸应包括所定义全部结构的所有必要信息，包括相应的构造细节、材料、焊接和适用的设备和系统引起的作用于结构上的载荷。

2.2.1.4 图纸应该包括第12节所要求的换新板厚信息。

2.2.2 图纸和支持计算书

2.2.2.1 一般而言，应提交涉及以下项目的图纸：

（a）主要结构尺寸图

- 显示纵向和横向结构构件的船中剖面；
- 显示沿船长所有纵向主要结构的基本结构图，包括甲板、内底、舱壁、双壳平台和双层底桁材；
- 外板展开图；
- 包括主要支撑构件的主要油密和水密横舱壁。

（b）装载指导信息

- 初始《装载手册》；
- 完工《装载手册》；
- 设计基础的细节，见 8/1.1.2；
- 装载仪的试验工况。

（c）详细结构图

- 能够显示双层底肋板、双壳强框架和其他横向主要支撑构件结构细节布置和尺寸的货舱结构图；
- 前端；
- 后端；
- 包括主机和推进轴定位的机舱结构；
- 上层建筑和甲板室。

（d）除了包括在（a）和（c）所列图以外的详细设计图

- 尾框架；
- 船体贯穿图；
- 焊接图；
- 舭龙骨；
- 标准结构设计细节图册；
- 锚泊和系泊设备图；
- 甲板的支柱和桁材支撑布置；
- 在货舱区域中通过双层底和双壳的通道布置；
- 检验用通道的开口和船体结构附件的细节和布置。

（e）除了（a）到（d）所列图以外的详细支撑结构图

- 锚机和掣链器；
- 系固绞车；
- 桅杆、起重柱或起重机；
- 应急拖带设备；
- 其他甲板设备或装置。

2.2.2.2 应提交以下支持性文件：

（a）总布置图；

（b）舱容图；

（c）型线图或等效文件；

（d）进坞图，若有；

（e）干舷图或等效文件，显示干舷和与勘定条件有关的项目。

2.2.2.3 应提交以下支持性计算书：

（a）舾装数计算书。

2.2.2.4 根据各船级社需要，应提交本篇所不涵盖的各项图纸。

2.2.3 随船的图纸

2.2.3.1 以下是表明每个结构项的新建和换新厚度的图纸的一份副本：

（a）如 2.2.2.1（a）所给出的主要结构尺寸图；

（b）最终批准的《装载手册》副本，见 2.1.1；

（c）最终的装载仪试验工况副本，见第 8 节 /1.1.3；

（d）如 2.2.2.1（c）所给出的详细结构图；

（e）焊接；

（f）高强度钢使用范围和位置的图纸，包括钢材规格和机械特性详情，以及关于这些钢材焊接、加工和处理的一切建议；

（g）用于船体结构中的特殊材料如铝合金的细节和有关资料；

（h）拖带与系泊布置图，见第 11 节 /3.1.6.16。

3 批准范围

3.1 一般要求

3.1.1 规范应用

3.1.1.1 包含在第 1 节 /1.1.2 和第 1 节 /1.2.1 中的进一步信息，规范涵盖了所有船长等于或大于 150m 以上新造双壳油船的入级结构尺度要求。

3.1.1.2 在入级要求以外或在更大程度上，船东、设计者和建造商还应直接关注国际、国家、运河及其他主管当局所处理的可能影响到结构方面的规则。

3.1.1.3 本篇没有涉及的结构设计的其他方面，适用于各船级社的规范。

CCS3.1.1.3 本篇没有涉及的其他方面，适用 CCS《钢质海船入级规范》其他篇的规定。

3.2 入级

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 应提交第 2 小节规定的文件资料、图纸和数据。各船级社须审核这些文件资料，验证其符合要求。

3.2.1.2 根据各船级社的程序，使用适当的术语来表示图纸、报告或文件经审核符合本篇的要求。

3.3 国际和国家规则的要求

3.3.1 责任

3.3.1.1 确保设计符合当前国家和国际的适用规则是设计人员的责任。

3.3.1.2 作为船级社的一般审图过程，船级社不负责评估国际和国家规则的适用性。然而，船级社可以在明确指导下制定协议，对船舶设计进行审核和批准使其符合规定规则。根据 SOLAS 规则 XI/1 条船旗国主管机关授权船级社代表船旗国进行验证是可以接受的。

3.3.2 评审程序

3.3.2.1 当其符合性通过船旗国评审，船旗国将给船舶颁发证书表明满足船旗国所要求的国内和国际规则。对于船舶布置和设备要求满足下列要求和适用的修正案，若这些证书不是由船旗主管机关颁发，所适用公约证书将由授权的船级社或 IACS 成员颁发：

（a）国际载重线公约，1966；

（b）国际海上人命安全公约 1974 及其 1978 议定书；

（c）国际防止船舶造成污染公约，1973 和经 1978 年相应议定书修订。

对于双重船级船舶，若船舶被入级船级社的正式双重船级协议认可且两个船级社均被船旗国主管机关授权，则公约证书可由任一入级船级社颁发。

4 等效程序

4.1 一般要求

4.1.1 规范应用

4.1.1.1 本篇一般适用于具有正常线型、尺度比、航速和结构布置的双壳油船。定义假定的相关设计参数在本篇第 2 节 /3 中给出。

4.1.1.2 本篇适用于焊接结构的钢质船舶。用于船体构造的其他材料将作特殊考虑。

4.1.1.3 采用第 2 节 /3 设计基础以外其他设计参数结合本篇应用时，将作特殊考虑，例如：

（a）增加疲劳寿命；

（b）增加腐蚀增量；

（c）增加货物密度。

4.1.2 新颖设计

4.1.2.1 设计新颖的船舶，即那些具有本篇第 2 节 /3.1.2 所规定以外的非常规线型、尺度比例、航速和结构布置的船舶，将根据本节内容作特殊考虑。

4.1.2.2 相关资料将被提交到船级社以验证新颖设计的结构安全至少与本篇的目标等效。

4.1.2.3 在这种情况下，应在设计阶段早期接触船级社以确定适用的规范和所要求提交的附加资料。

4.1.2.4 取决于设计偏离的性质，可以要求对以文件形式提交的与规范的等效性作系统评审。

4.1.3 替换计算方法

4.1.3.1 在规范的规定节中有表明，若替换的计算方法能被验证结构尺度和布置能至少等价于使用规范计算方法得到的强度，则在规范中所示那些方法的替换计算方法是可以接受的。

5 尺度要求的计算和评估

5.1 板材尺度要求的确定

5.1.1 板列尺度的确定 - 板格的理想化

5.1.1.1 板列尺度应自基于建造结构理想化的系列单元板格（EPP）导出。

5.1.1.2 EPP 是加强筋间非加筋的板部分。EPP 的长为 l_{epp}，宽为 s_{epp}，分别对应于板的最长边和最短边，如图 3.5.1 所示。

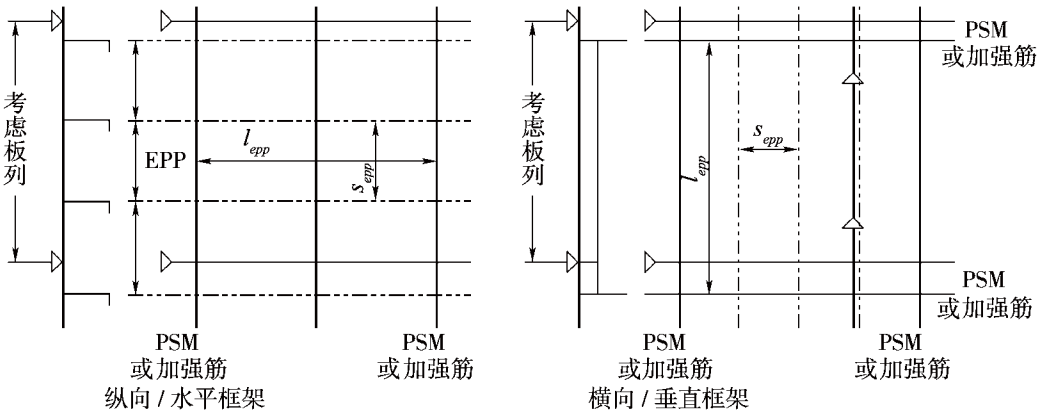


图 3.5.1 单元板格定义

5.1.1.3 对于强度评估，EPP 的理想化处理可以是不同的，并应计及有限元模型的网格布置。

5.1.1.4 列板的要求尺度按下式计算给出板列之中每个板格的最大要求值：

（a）EPP 完全位于列板边界内，如图 3.5.2 中的 EPP2。

（b）沿 EPP 长边方向有板列边界焊缝，如图 3.5.2 中的 EPP1、3、4 和 6。

（c）沿 EPP 短边方向在距 EPP 边界超过一半 EPP 宽度 s_{epp} 的范围内有板列边界焊缝，如图 3.5.3a）

中的 EPP1 和 EPP2。

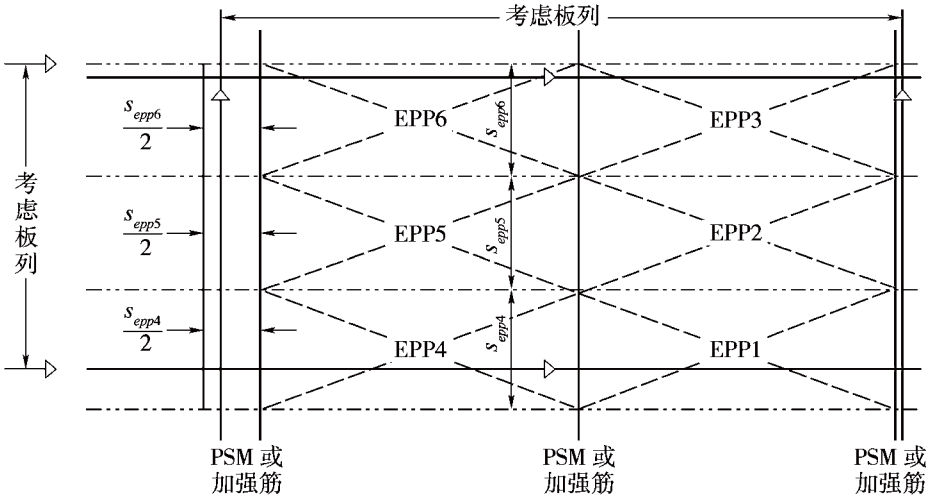


图 3.5.2 板列的单元板格确定

5.1.2 用于尺度要求的单元板格尺度的确定

5.1.2.1 每个单元板格所要求的尺度计算是基于如下定义的载荷计算点（LCP）：

（a）对于纵骨架式，在 EPP 下边缘沿 x 轴方向的长度中点。对于水平板的载荷计算点是取 EPP 外舷的 y 值，见图 3.5.3a）。

（b）对于横骨架式，在列板的下边缘沿 x 轴方向的 EPP 的长度中点。对于水平板的载荷计算点是取 EPP 外舷的 y 值，见图 3.5.3b）。

（c）对于垂直横向结构上的水平框架，在 EPP 外舷 y 值点处的 EPP 的下边缘，见图 3.5.3c）。

（d）对于垂直横向结构上的垂直框架，在 EPP 下边缘的最大 y 值或在板列的下边缘，见图 3.5.3d）。

5.1.2.2 用于局部尺度要求计算的局部压力和船体梁应力取在载荷计算点（LCP）。

5.1.3 用于船体梁强度要求的单元板格尺度的确定

5.1.3.1 单元板格尺度要求应满足第 8/1 节的船体梁弯曲和剪切要求。

5.1.3.2 与屈曲有关的每个单元板格所要求厚度应基于取自沿全船 x 轴向 EPP 的长度中点处的应力计算。

5.1.3.3 屈曲计算是采用沿板格宽度方向的分布应力，所定义的参考应力取自最大应力的边界，其他边界通过如表 10.3.1 所定义的分布系数 ψ 来得到减小的应力。

5.1.3.4 板列的要求尺寸是取在板列内所有 EPP 的最大要求值：

（a）如图 3.5.2 中的 EPP2，一个完全在板列边界内的 EPP。

（b）如图 3.5.2 中的 EPP1、3、4 和 6，一个沿长边方向有板列边界焊缝线的 EPP。

（c）如图 3.5.3a）中的 EPP1 和 2，一个沿短边方向在距 EPP 边界焊接，且沿长边方向有超过 1/2EPP 宽度（s_{epp}）的 EPP 位于该计算板列内。

5.1.4 用于有限元强度评估的单元板格尺度的确定

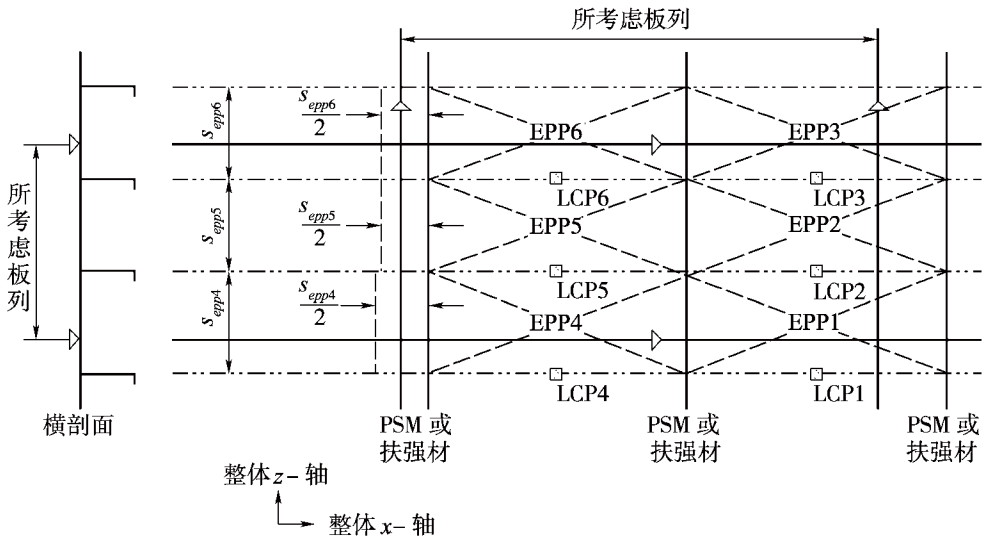
5.1.4.1 单元板格所要求的尺度应从利用率最大的板网格单元得到，见第 9 节 /2。

5.2 加强筋尺度的确定

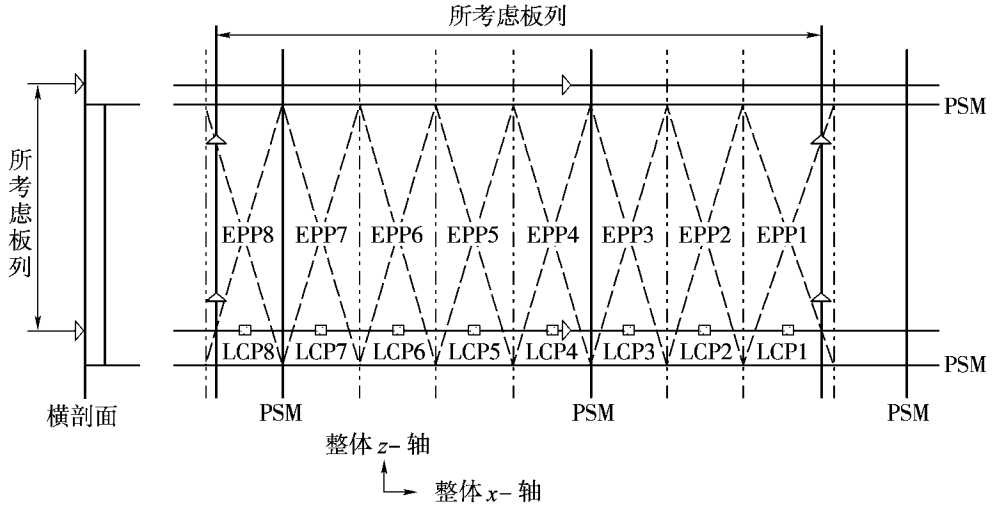
5.2.1 加强筋尺度的确定 - 加强筋的理想化

5.2.1.1 单个加强筋的尺度应基于作为建造结构理想化的系列加筋板格导出。

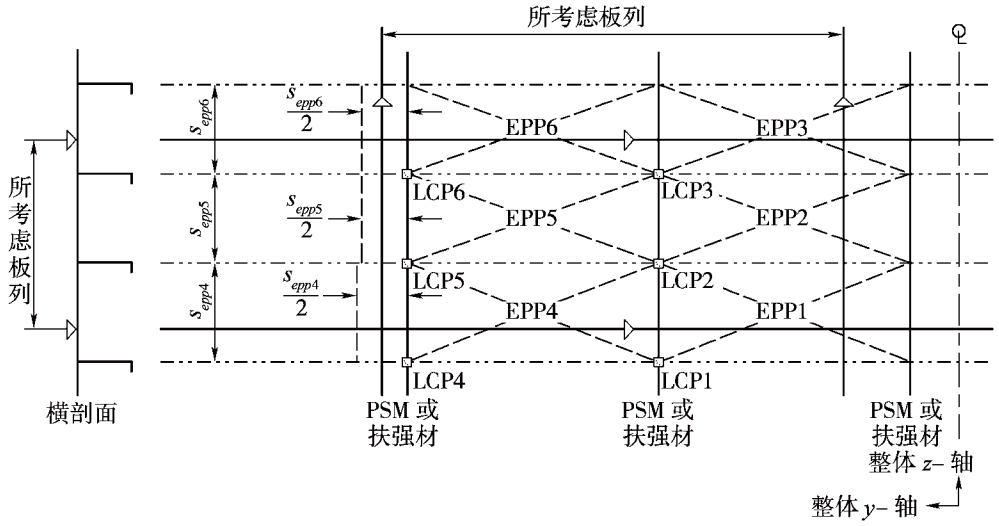
5.2.1.2 一加强筋板格由单个理想加强筋型材和支撑一个或多个单元板格边界的有效翼板组成。加筋板的布置是基于根据 5.1.1 定义单元板格的结构的理想化。


所考虑板列
s_{epp6}
$\frac{s_{epp6}}{2}$
EPP6
EPP3
LCP6
LCP3
s_{epp5}
$\frac{s_{epp5}}{2}$
EPP5
EPP2
LCP5
LCP2
s_{epp4}
$\frac{s_{epp4}}{2}$
EPP4
EPP1
LCP4
LCP1
所考虑板列
横剖面
PSM 或
扶强材
PSM 或
扶强材
PSM 或
扶强材
整体 z- 轴
整体 x- 轴

a)

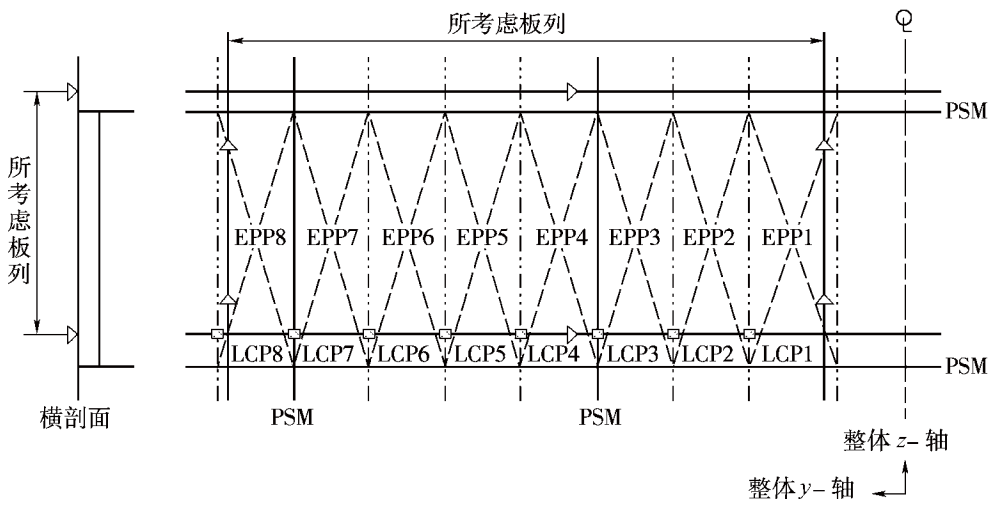

所考虑板列
PSM
EPP8
EPP7
EPP6
EPP5
EPP4
EPP3
EPP2
EPP1
LCP8
LCP7
LCP6
LCP5
LCP4
LCP3
LCP2
LCP1
PSM
所考虑板列
横剖面
PSM
PSM
PSM
整体 z- 轴
整体 x- 轴

b)


所考虑板列
s_{epp6}
$\frac{s_{epp6}}{2}$
EPP6
EPP3
LCP6
LCP3
s_{epp5}
$\frac{s_{epp5}}{2}$
EPP5
EPP2
LCP5
LCP2
s_{epp4}
$\frac{s_{epp4}}{2}$
EPP4
EPP1
LCP4
LCP1
所考虑板列
横剖面
PSM 或
扶强材
PSM 或
扶强材
PSM 或
扶强材
整体 z- 轴
整体 y- 轴

c)

图 3.5.3



d)

图 3.5.3　典型结构的载荷计算点示例

a）纵骨架式；b）横骨架式；c）横的水平结构框架；d）横向结构上的垂直结构框架

5.2.1.3　基于第 8 节要求的加强筋尺度可基于连续设置相等尺度的加强筋设计组概念来决定。组的尺度应取以下值的较大值：

（a）组里所有加强筋所要求尺度的平均值；

（b）在组里任一加强筋所要求最大尺度的 90%。

组的概念不能应用到如第 9 节、3 和附录 C 所给出的疲劳强度要求。

5.2.2　用于尺度要求和疲劳强度的加筋板格尺度的确定

5.2.2.1　加筋板格尺度要求所基于的压力载荷计算点定义如下：

（a）主要支撑构件间加强筋的总跨距 l_{full} 的中点，见图 3.5.4；

（b）在加强筋和板的连接处。

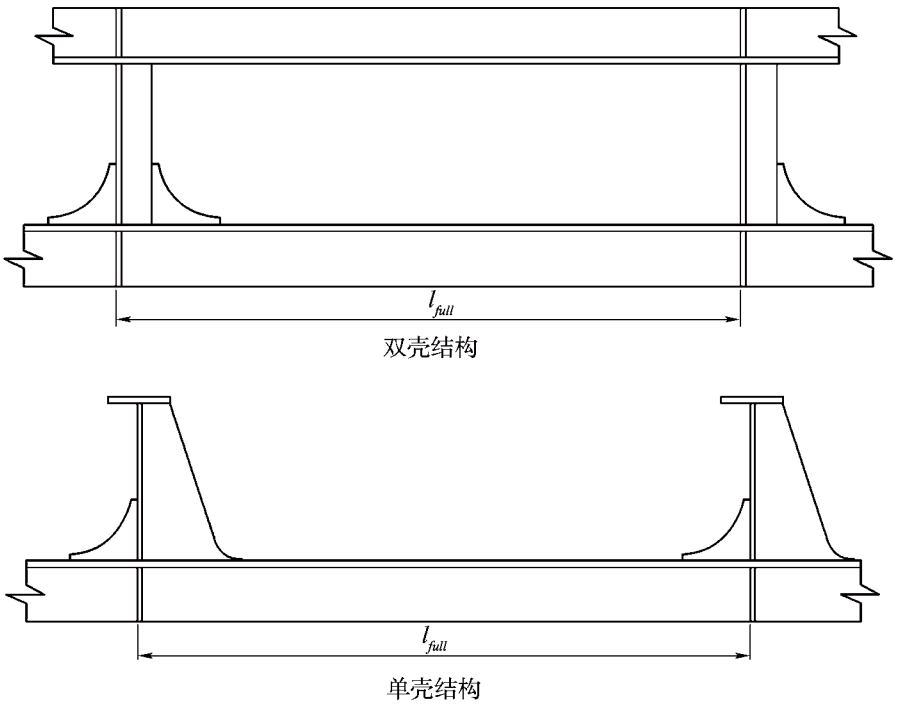


图 3.5.4　加强筋全跨的定义 l_{full}

5.2.2.2 纵向和水平骨架的设计压力应取总跨距中点的压力。

5.2.2.3 对于横向和垂直骨架的设计压力应取以下的较大值：

$$P_{ms} \quad 或 \quad \frac{(P_{end\text{-}1}+P_{end\text{-}2})}{2} \qquad \mathrm{kN/m^2}$$

式中：P_{ms}——总跨距 l_{full} 中点的计算压力，$\mathrm{kN/m^2}$；

$P_{end\text{-}1}$——总跨距的第一端部计算压力，$\mathrm{kN/m^2}$；

$P_{end\text{-}2}$——总跨距的第二端部计算压力，$\mathrm{kN/m^2}$；

l_{full}——总跨距，m，见图 3.5.4。

5.2.2.4 本篇的剖面模数要求与给出最小剖面模数的参考点相关。一般地，该点在面板的外表面。用于典型型材剖面模数计算的参考点见图 3.5.5。

5.2.2.5 用作加强筋局部尺度要求计算的船体梁应力应取如图 3.5.5 所示的参考点。

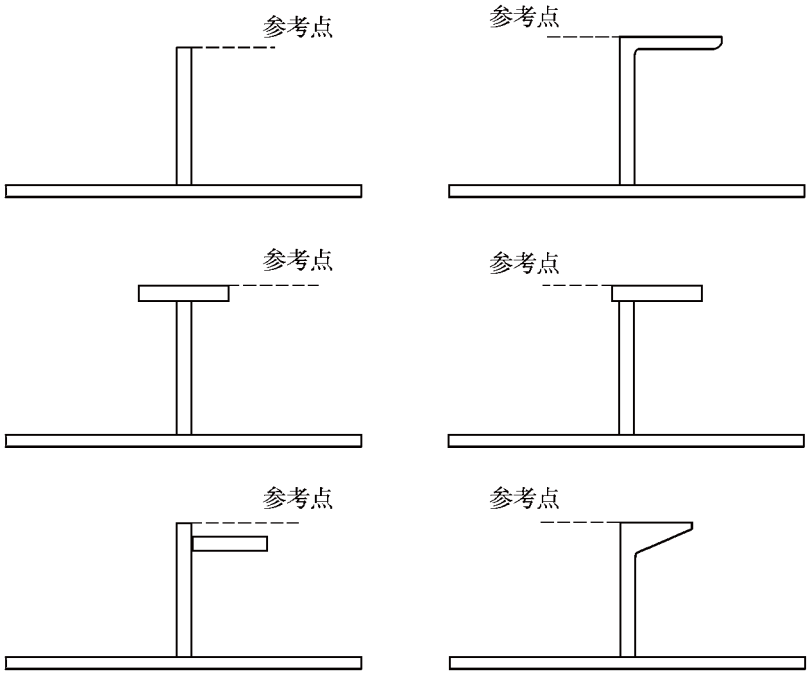


图 3.5.5 剖面模数和局部构件尺度评估时的船体梁应力计算的参考点

5.2.3 用于船体梁屈曲强度的加筋板格尺度的确定

5.2.3.1 与屈曲有关的加筋板格所要求尺度应基于在加强筋和板的联接点和沿全船 x 轴方向量起加强筋长度的中点处计算的轴向应力。

5.2.3.2 如 5.2.3.1 中给出的所要求尺度适用于距离支撑结构处一个 s 距离以外的加强筋，s 为加强筋间距。

5.2.4 用于有限元强度评估的加筋板格尺度的确定

5.2.4.1 加筋板格所要求尺度是基于根据第 9 节 /2 中应用应力的导出。

5.2.5 加强筋剪切面积要求

5.2.5.1 加强筋剪切面积和 / 或加强筋腹板厚度要求见第 8 节。

5.2.5.2 第 8 节中的要求的计算应基于 5.2.2 所定义的载荷点和第 4 节 /2.1.2 所给出的有效跨距。

5.2.5.3 第 8 节中的要求应基于第 4 节 /2.4.2 中给出的加强筋有效剪切高度和加强筋的规定最小屈服力，对照加强筋实际剪切面积进行评估。

5.2.5.4 肘板的影响可纳入有效跨距的计算，但不可纳入实际剪切面积的计算。

5.2.6 加强筋的弯曲要求

5.2.6.1 加强筋剖面模数和惯性矩要求见第 8 节。

5.2.6.2 第 8 节要求的计算应基于 5.2.1 所定义的载荷点和第 4 节 /2.1.1 给出的有效跨距。

5.2.6.3 该要求应对照加强筋实际剖面模数 / 惯性矩进行估算。加强筋腹板和翼板应纳入实际剖面特性的计算。

5.2.6.4 肘板的作用可纳入有效跨距的计算，但不可纳入剖面模数 / 惯性矩的计算。

5.2.6.5 当加强筋使用比带板更高强度材料时，用于如第 8 节中剖面模数计算的屈服应力一般不大于带板最小规定屈服应力的 1.35 倍。假如加强筋的屈服应力超过此限制，则必须满足下列准则：

$$\sigma_{yd\text{-}stf} \leqslant (\sigma_{yd-plt} - |\sigma_{hg}|)\frac{Z_{net\ -\ plt}}{Z_{net}} + |\sigma_{hg}| \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$\sigma_{yd\text{-}stf}$——规定的加强筋材料的最小屈服应力，N/mm^2；

$\sigma_{yd\text{-}plt}$——规定的带板材料的最小屈服应力，N/mm^2；

σ_{hg}——中垂和中拱（S+D）时最大的船体梁应力，N/mm^2，在货舱和机舱区域加强筋分别如表 8.2.5 和表 8.4.3 所定义，不小于 $0.4\sigma_{yd\text{-}plt}$；

Z_{net}——加强筋面板 / 自由边处的净剖面模数，cm^3；

$Z_{net\text{-}plt}$——加强筋带板处的净剖面模数，cm^3。

5.2.7 倾斜加强筋的评估

5.2.7.1 局部支撑构件的剪切面积和剖面模数要求对平行于板材翼板的轴线有效。如果加强筋腹板和带板之间的角度 φ_w 小于 75°，应按第 4 节 /2.4.2 和 2.4.3 节调整实际剪切面积和剖面模数。加强筋腹板和带板之间的角度 φ_w 不应小于 50°。

5.3 用于主要支撑构件尺度要求的计算和评估

5.3.1 主要支撑构件载荷施加点

5.3.1.1 主要支撑构件的设计压力一般取自载荷面积的中点。各主要支撑构件设计压力的定义在第 8 节中给出。

5.3.2 主要支撑构件的剪切要求

5.3.2.1 对主要支撑构件剪切面积和 / 或腹板厚度要求在第 8 节中给出。

5.3.2.2 该要求应基于 5.3.1 所定义的载荷点和第 4 节 /2.1.5 所给出的有效跨距进行计算。

5.3.2.3 该要求应按照主要支撑构件腹板的实际剪切面积和规定最小屈服力进行评估。主要支撑构件实际剪切面积的定义见第 4 节 2.5.1。肘板的作用可纳入有效跨距的计算，但不可纳入实际剪切面积的计算。

5.3.3 主要支撑构件的弯曲要求

5.3.3.1 主要支撑构件剖面模数和惯性矩要求分别在第 8 节和第 10 节中给出。

5.3.3.2 该要求应基于 5.3.1 所定义的载荷点和第 4 节 /2.1.4 给出的有效跨距计算。

5.3.3.3 该要求应按照主要支撑构件实际剖面模数 / 惯性矩进行评估。腹板和翼板应纳入实际剖面特性的计算。肘板的影响可纳入有效跨距的计算，但不可纳入剖面模数 / 惯性矩的计算。

5.3.3.4 对于实际不能设置具有要求的腹板高度的主要支撑构件的位置，规范允许设置腹板高度较小的构件，该构件的惯性矩或倾角要与所要求的构件相当。要求的等效惯性矩是基于一个等效剖面，该剖面由跨距中点处所要求有效宽度和厚度的带板，所要求高度和厚度的腹板，足够的宽度和厚度的面板组成，以满足所要求的普通钢剖面模数。规范的其他所有要求，如最小厚度要求，细长比，剖面模数和剪切面积要求等，减小腹板高度的构件也必须满足。等效惯性矩也可以通过与所要求构件具有相同变形的等效构件来实现。

5.4 计算厚度的圆整

5.4.1 所要求的总厚度

5.4.1.1 在新造船阶段设置的任何构件的最小总厚度，不包括船东的额外要求，取为由圆整后的要求净厚度加上合适的腐蚀增量。

5.4.1.2 所要求的净厚度由计算的净厚度圆整到最近的半毫米得到。例如：

（a）对于 10.75 ≤ $t_{calc-net}$<11.25mm，则规范要求的净厚度为 11mm。

（b）对于 11.25 ≤ $t_{calc-net}$<11.75mm，则规范要求的净厚度为 11.5mm。

第 4 节 基 本 信 息

1 定义

1.1 主要参数

1.1.1 规范船长 L

1.1.1.1 规范船长 L，是结构吃水处自首柱前缘至舵杆中心线的水线距离（m）。L 不得小于夏季载重水线总长的 96%，且不必大于 97%。首尾布置异常的船舶，对其 L 将作特殊考虑。

1.1.2 载重线船长 L_L

1.1.2.1 载重线船长 L_L 按《国际载重线公约》的定义。

1.1.3 型宽

1.1.3.1 型宽 B 系指量自船中肋骨型线的最大宽度（m）。

1.1.4 型深

1.1.4.1 型深 D 是在船中从舷侧自型基线量至最上层连续甲板的型甲板边线的垂直距离（m）。有圆弧形舷缘的船舶，D 应量至型甲板线的延长部分。

1.1.5 吃水

1.1.5.1 吃水 T，指船营运时夏季载重线吃水（m），量自船中型基线。注意：这可能小于最大许用夏季载重吃水。

1.1.5.2 T_{bal} 是符合结构强度要求的最小设计压载吃水（m）。对于包括出港和到港状态的装载手册中的任何压载工况，最小设计压载吃水不必大于包括压载水交换操作的压载工况的最小吃水，且从船中型基线量起。

1.1.5.3 $T_{bal\text{-}n}$ 是正常压载吃水（m），装载手册中的正常压载工况下从船中型基线量起的出港吃水，见第 8 节 /1.1.2.3。正常压载工况是符合第 8 节 /1.1.2.2（a）所规定的压载工况。

1.1.5.4 T_{full} 是满载设计吃水（m），装载手册中的均匀满载工况下从船中型基线量起的出港吃水，见第 8 节 /1.1.2.3。

1.1.5.5 T_{sc} 是满足关于船舶尺度的强度要求下的最大设计吃水（m）。

1.1.6 船中

1.1.6.1 船中取为规范船长 L 中间。

1.1.7 型排水量

1.1.7.1 Δ，型排水量（t），相应于海水密度 1.025t/m^3 时，吃水 T_{sc} 时水下船体体积。

1.1.8 最大营运航速

1.1.8.1 最大营运前进航速 V（kn）系指船舶按其设计在营运中以最深航行吃水、螺旋桨最大转速（RPM）和发动机的相应最大持续功率（MCR）所保持的最大航速。

1.1.9 方形系数

1.1.9.1 在结构吃水处的方形系数 C_b 的定义为：

$$C_b = \nabla / LB_{WL}T_{sc}$$

式中：∇——在结构吃水处的型排水体积，m^3；

L——按 1.1.1.1 所定义的规范船长；

B_{WL}——在船中量取的结构吃水水线处的型宽，m；

T_{sc}——如 1.1.5.5 所定义的结构吃水。

1.1.9.2 所考虑装载工况的方形系数 $C_{b\text{-}LC}$ 的定义为：

$$C_{b-LC} = \nabla_{LC} / LB_{WL}T_{LC}$$

式中：∇_{LC}——T_{LC} 处的型排水体积，m^3；

L——按 1.1.1.1 所定义的规范船长；

B_{WL}——在船中量取的 T_{LC} 吃水水线处的型宽，m；

T_{LC}——所考虑装载工况下，在船中处的吃水，m。

1.1.10 垂线间长

1.1.10.1 垂线间长 L_{pp}（m）是自首柱前缘至舵柱后缘，或如果没有舵柱则是至舵杆中心的沿结构吃水水线距离。

1.1.11 首垂线

1.1.11.1 首垂线（FP）是结构吃水水线与首柱前缘相交处的垂线。FP 是规范船长 L 的前端。

1.1.12 尾垂线

1.1.12.1 尾垂线（AP）是从 FP 量起规范船长 L 后端处的垂线。

1.1.13 载重线方形系数

1.1.13.1 载重线方形系数 C_{bL} 在《国际载重线公约》中的定义如下：

$$C_{bL}=\nabla_L/L_LBT_L$$

式中：∇_L——在型吃水 T_L 下的型排水体积，m^3；

L_L——1.1.2.1 所定义的载重线长度，m；

B——1.1.3.1 所定义的型宽，m；

T_L——量至最小型深 85% 处水线，m。

1.1.14 载重量

1.1.14.1 载重量（DWT）是船舶漂浮在密度为 1.025t/m^3 的水中且在夏季载重线吃水时的载重量（t）。

1.2 位置 1 和位置 2

1.2.1 位置 1

1.2.1.1 位置 1 定义为露天的干舷和后升高甲板上，以及前部 0.25L_L 内露天上层建筑甲板上的任何部位。

1.2.2 位置 2

1.2.2.1 位置 2 定义为前部 0.25L_L 之后的露天上层建筑甲板上的任何部位。

1.3 “A”和“B”型干舷船舶

1.3.1 ICLL 定义

1.3.1.1 “A”和“B”型干舷船舶按《国际载重线公约》的定义。

1.4 坐标系统

1.4.1 原点和方向

1.4.1.1 本篇所用坐标系统见图 4.1.1。向前、向上和左舷方向的单一水平的运动和位移视为正值。围绕 x、y 或 z 轴沿顺时针方向的角运动视为正值。

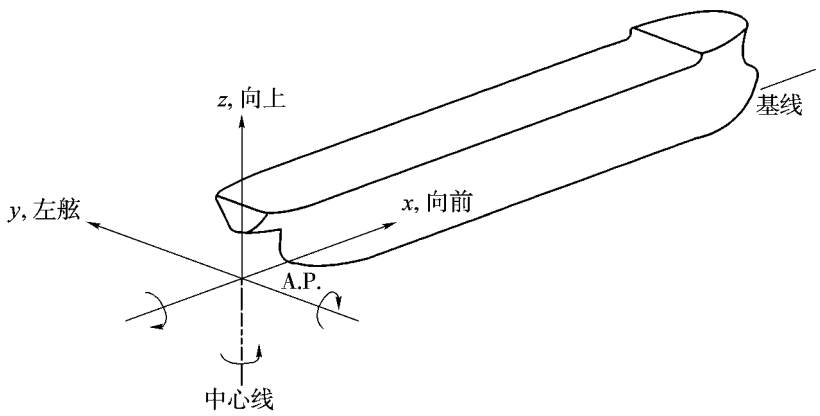


图 4.1.1 坐标系统

1.5 命名约定

1.5.1 舱壁术语

1.5.1.1 图 4.1.2、4.1.3 和 4.1.4 所示为本篇使用的一般结构术语。

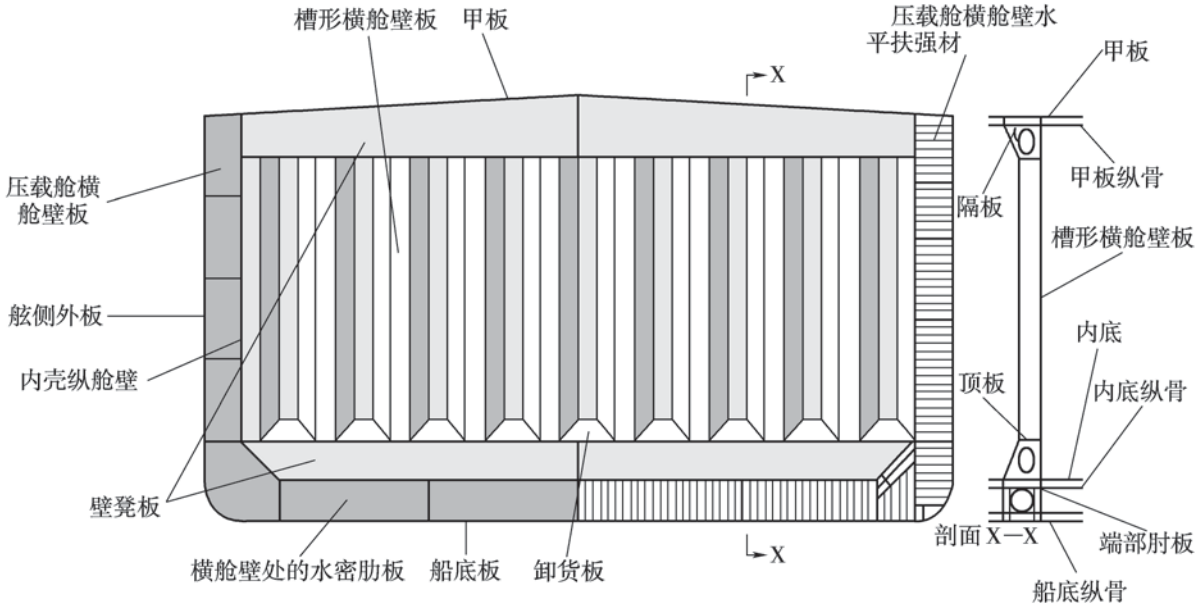


图 4.1.2 槽形横舱壁名称

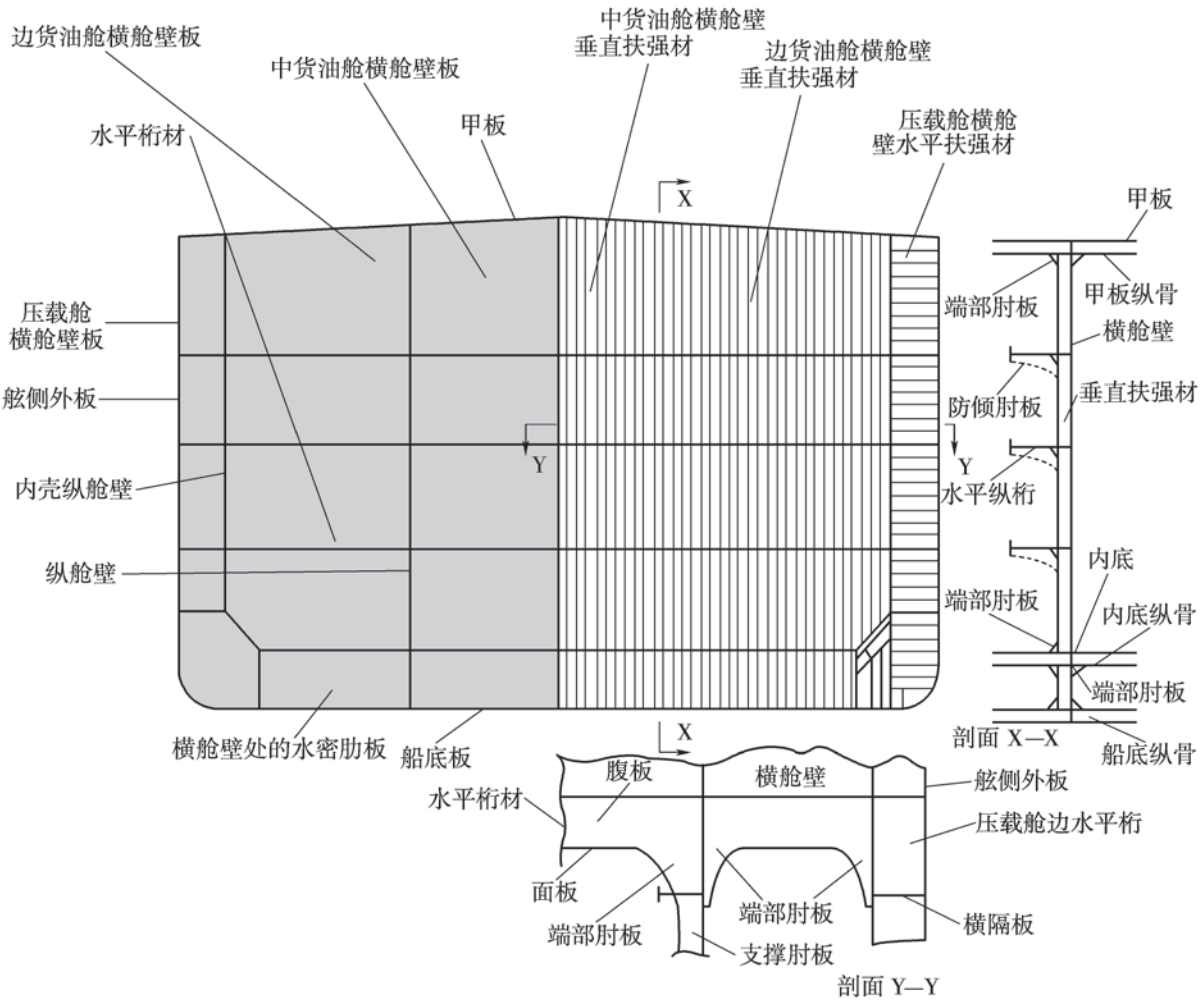


图 4.1.3 平面横舱壁名称

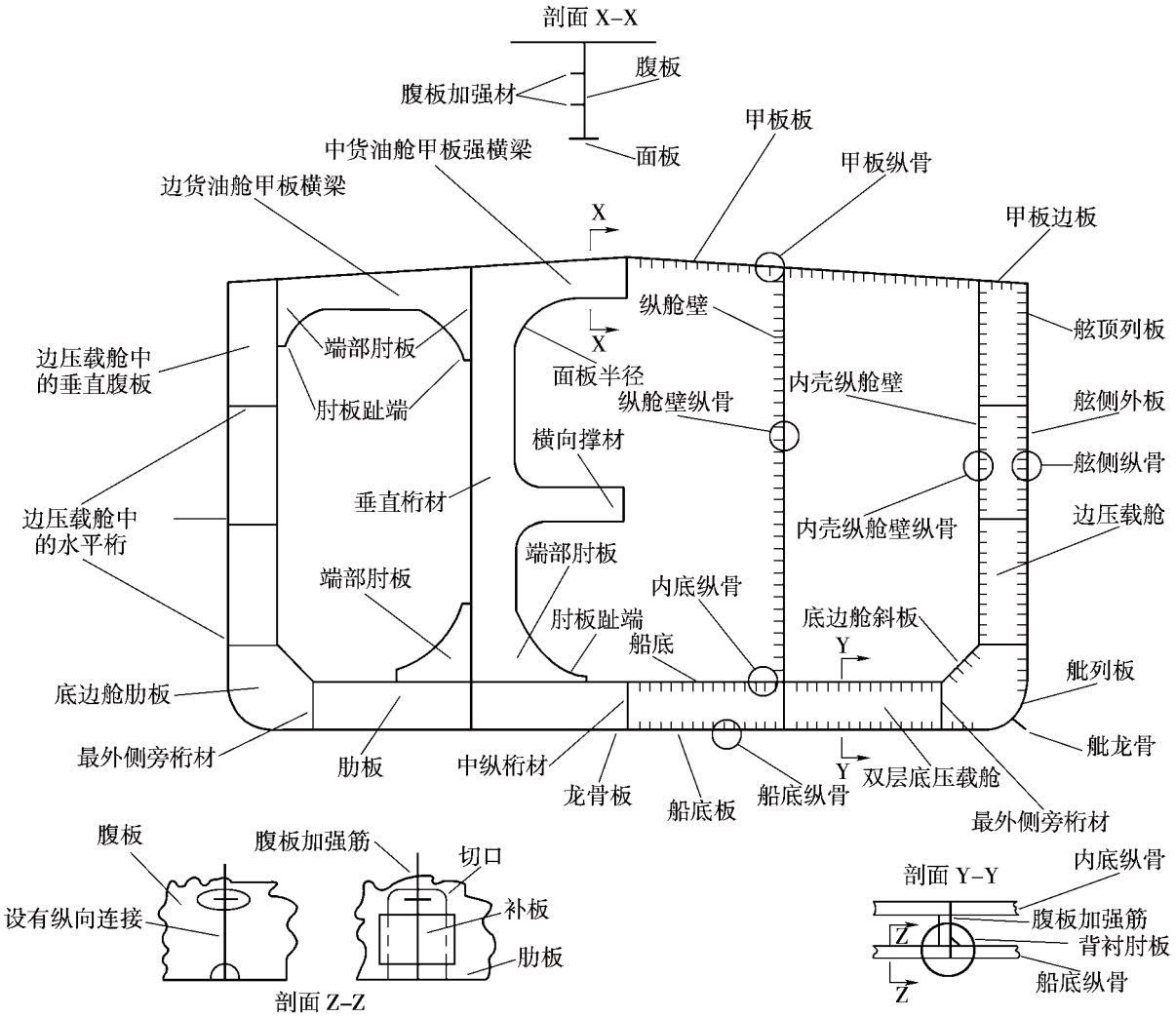


图 4.1.4 中货舱横剖面

1.6 符号

1.6.1 一般要求

1.6.1.1 本篇所用的符号和下标都在各节定义。如 1.1 所定义的主要参数在各节未有定义的可以本节查阅。

1.7 单位

1.7.1 一般要求

1.7.1.1 本篇使用以下单位。等式所使用的单位在各等式处给出。

（a）一般要求：

- 尺寸 / 距离 m
- 主要构件间距 m
- 次要构件间距 mm
- 面积 m^2
- 体积 m^3
- 质量 t
- 速度 m/s
- 加速度 m/s^2

（b）船体梁特性：

- 尺寸 m
- 面积 m^2
- 剖面模数 m^3
- 惯性矩 m^4
- 面积矩 m^3

（c）扶强材特性：

- 尺寸 mm
- 面积 cm^2
- 剖面模数 cm^3
- 惯性 cm^4
- 长度 / 有效长度 m
- 跨距 m

（d）板材尺寸：

- 宽度 mm
- 长度 m
- 厚度 mm

（e）载荷：

- 压力 kN/m^2
- 载荷 kN
- 弯矩 kN·m
- 剪力 kN

（f）其他：

- 屈服强度 N/mm^2
- 应力 N/mm^2
- 变形 mm
- 弹性模量 N/mm^2
- 密度 t/m^3
- 排水量 t
- 角度 °
- 计算所得角度 rad
- 周期 s
- 频率 Hz
- 航速 kn

1.8 术语汇总

1.8.1 术语定义

1.8.1.1 在本篇内，用表 4.1.1 中的术语所表示的项目均有各自定义。

术 语 定 义 **表 4.1.1**

术　语	定　义
起居甲板	主要用于船员起居舱室的甲板
舷梯	舷侧的一具便携式梯子，供人员从小艇或码头登船用
尾尖区域	尾尖舱舱壁之后的区域

续上表

术　　语	定　　义
尾尖舱壁	船尾向前第一道主水密横舱壁
尾尖舱	尾尖舱舱壁之后的船尾狭窄部分的舱室
锚	一端与锚链相连，放入海床使船舶定位的装置；设计成当船舶在风和水流影响下要飘移而拉动它时，能咬住海底；通常由铸件或重型铸件制成
压载水舱	用于存储压载水的舱室
跨	相邻横框架或横舱壁之间的区域
舭龙骨	一块沿舭部垂直设置在船壳上以减少横摇运动的板
舭部板	在船底外壳和舷侧外壳间的曲线型板的区域。如下所取：从船底处舭部圆弧下缘的开始处到舷侧外壳的舭部圆弧上缘终端处或基线/局部中心线升高以上0. 2D处两者的较小位置
舭列板	在舭部板的较低的列板
桨毂	螺旋桨毂是桨叶所附的中心部分，桨轴端在此穿过
船底外板	主要组成船体外壳平底的外壳板材，包括平板龙骨
船首	船舶首端的结构布置和外形
首锚	安置在船首的锚
肘板	用以增加两个构件结合部强度的外加构件
肘板趾端	锥形肘板的窄端
挡浪板	露天甲板上的倾斜加强板结构，用以挡开涌上船首的水流
船首肘板	在首柱处连接左右舷构件的三角形平板肘板
桥楼	升高的上层建筑，在前方和两侧有清楚视野，在此驾驶船舶
球扁钢	不是利用独立折边，而是利用腹板外端增加钢材质量的扶强材
舱壁	将船舶内部分为各个舱室的结构分隔壁
舱壁甲板	连接到水密横舱壁和船壳板的最上层连续甲板
壁凳	槽形舱壁的上座或下座
舱壁结构	有扶强材和桁材的横舱壁或纵舱壁
舷墙	露天甲板四周紧接船舷上缘的垂直板材
燃油舱	存储船舶机器所用燃油的舱室
锚缆	与锚相连的索或链
梁拱	露天甲板从两舷向船舶中线升高
货油舱舱壁	分隔货油舱的限界舱壁
货油舱区域	船舶这一部位包括货油舱和货油/污油水舱以及相邻区域包括压载水舱、燃油舱、隔离舱、空舱，并且还包括上述处所之上的船舶部位全长和全宽范围内的甲板区域。它包括防撞舱壁和货油区域后端的横舱壁
短梁	用于补足规则加强结构布置的加强构件
舱棚	任何处所的防护盖或舱壁

续上表

术　　语	定　　义
分隔结构	用两个间距紧密的界限和利用内部隔板构成数个小舱室的结构布置
中纵桁材	位于船舶中纵线处的纵向构件
锚链	由金属圆环或链环构成，用以拉住锚或拴紧木材货等
锚链舱	通常在船舶首端，用以存放锚链的舱室
锚链管	供锚链穿入和穿出锚链舱的一段管子
掣链器	在下锚时以及在将锚固定于锚链筒内遮蔽位置时拉住链缆的装置，可减轻锚机负荷
舱口围板	舱口或天窗的垂直限界结构
隔离空舱	两道舱壁或甲板之间的处所，主要设计为防止油从一个舱室渗漏至另一舱室
补板	用以部分或完全闭合纵向加强筋穿过横向腹板所开洞口的补板
防撞舱壁	最前部主要水密横舱壁
升降口	船舶甲板通往下面处所的风雨密入口
舱室	由舱壁或板材限界的内部处所
限制处所	由以下特征之一确定的处所： 进出开口受限，自然通风不良或设计为非连续工作场所
槽形舱壁	以槽形式样布置的板材构成的舱壁
撑材	连接到纵向舱壁且用以抵抗静水力载荷和水动力载荷的大的横向结构构件
甲板	限定舱室上部或下部界限的水平构件
甲板室	位于干舷甲板或以上的，除上层建筑以外的甲板上的舱室结构
甲板结构	有加强筋、桁材和支撑支柱的甲板板材
深舱	在两层甲板间或外板/内底和以上或更高甲板间延伸的任何液舱
排放管	通过船舶两舷的任何管路，用以输送舱底水、循环水、排放水等
坞墩肘板	在双层底内为进坞而局部加强船底结构的肘板
双层底结构	在内底顶之下的有加强筋外板和以下其他构件且包括内底板
复板	一小板块用以附连到一大块要求在确定位置进行加强的板，同常在加强筋的连接处
双壳构件	双壳构件定义所指的构件，系由理想化的梁组成腹板，其顶折边和底折边由附板构成
箱形龙骨	箱形板材制成的龙骨，延伸至货油舱的长度。用已容纳通向船首的压载水管路和其他管路，如无此龙骨，这些管路即须穿越货油舱
封闭上层建筑	前和/或后舱壁设有风雨密门和关闭装置的上层建筑
机舱舱壁	直接位于机舱前部或后部的横舱壁
面板	一段加强构件经由腹板附于板材的部分，通常与板材表面平行
翼板	一段加强构件，一般连接到腹板，但有时由腹板弯曲形成，通常与板材表面平行
扁钢	仅由一个腹板构成的加强筋
肋板	船底横向构件
首楼	船首的短上层建筑

续上表

术　　语	定　　义
首尖区域	防撞舱壁向前的船舶区域
首尖甲板	一段短的升高甲板，从船首向后延伸
干舷甲板	一般指最上层的暴露到风雨和海水的完整甲板，有关闭所有露天开口的永久性设施
排水舷口	舷墙上的开口，可让从舷侧进入甲板的水自由流向舷外
步桥	上层建筑之间，例如首楼和桥楼之间或桥楼和尾楼之间的升高走道
桁材	主要支撑结构构件的通用术语
舵钮	中间有一孔容纳舵销的垫块，位于尾柱上，对舵起支撑作用并使其可摆动
舷缘	船舷上缘
角板/封槽板	通常用以在两个构件的强度接合部对力起分布作用的板
舱口	船舶甲板上的开口，一般为矩形，作为向下通入舱室的出入口
锚链筒	锚索或锚缆通过的钢管，在船首位于首柱任一侧，也称为锚链管
缆索	拖带或系泊用的粗大钢索或纤维绳
底边舱斜板	内底和内壳纵舱壁垂直部分之间舱室的斜面全长板材
HP	荷兰型材
独立液舱	独自支撑的液舱
内壳	构成船舶壳体第二层的最内部板材
间断纵向构件	船舶肋板或肋骨之间的纵向非连续构件
JIS	日本工业型材标准
龙骨	船舶主要构件或主骨架，沿船底中线纵向延伸。通常为在其壳内中纵线处由垂直板加强的平板
折边	构件的不连续处
减轻孔	构件上用以减轻其重量的开孔
流水孔	肋骨或板材上的小排水孔，用以防止水或油积聚
局部支撑构件	局部支撑构件定义为局部加强构件，仅对单一板格的结构（例如甲板梁）完整性有影响
中纵舱壁	位于船舶中心线的纵舱壁
纵向船体梁结构构件	参与船体梁总纵强度的构件，包括：甲板、舷侧板、船底板、内底板、内壳纵舱壁（包括顶边舱斜板，如设置）、底边舱斜板、舭部板、纵舱壁、双层底纵桁和边压载舱水平桁
纵向船体梁剪切结构构件	承受船体梁垂向剪切载荷的结构构件，包括：舷侧板，内壳纵向舱壁，底边舱斜板，舭部板，纵舱壁，双层底桁材
人孔	甲板、液舱等的圆形或椭圆形开孔，用作通道
内底边板	内底外侧列板。内底边板（或桁材）在向下翻倒舭部时，构成双层底的外部界限
切口	焊接造成的构件不连续处
燃油舱	用于存储燃油的液舱

续上表

术　　语	定　　义
支柱	置于不由船壳或舱壁支撑甲板之间的垂直支撑结构
舵销	舵前缘的竖销，使舵可悬挂于尾柱并可在安入舵枢时摇摆
管隧	在内底和外板之间沿船中首尾线延伸的空舱，构成对舱底水管路、压载水管路和机舱至液舱的其他管路的保护处所
尾楼	船舶最后端封闭上层建筑之下的处所
尾楼甲板	船舶后端遮蔽甲板之上第一层甲板
主要支撑构件	确保船壳和液舱界限例如双层底肋板和桁材，舷侧横向结构，甲板横梁以及舱壁水平桁和纵舱壁垂直桁材等的总体结构完整性的梁，桁材和水平桁类型的构件
舵	用以驾驶船舶的装置。普通型舵有垂直尾鳍，能从左舷35度移至右舷35度；舵的特征由面积、长宽比和形状表示。
扇形孔	加强构件上的开孔，用以连续焊接板缝
嵌接肘板	用在两个偏置结构项目之间的肘板
尺度	结构的物理尺寸
泄水孔	将甲板上的水直接或通过管路流出的任何开孔
小开口	甲板或别处通入某一舱室的小开口，通常设有盖或罩或门
挡货板	用以提高槽形舱壁和骨架构件结构稳性的斜板
舷顶列板	船侧外板的顶列板
顶板	舱壁凳顶的水平板材
外壳板	构成有效船体梁的外板
舷侧外板	舭部板以上组成船体外壳板舷侧部分的船体外壳板
单壳构件	单壳构件所指的构件系由理想化的梁组成腹板，其顶折边由附板构成，底折边由面板构成
天窗	设有或不设有窗玻璃的甲板开口，供机舱、住舱等通风用
污油水舱	油船用以从洗舱之后的货油舱收集油水混合物的液舱
处所	包括液舱在内的单独舱室
撑板	舷墙和舱口围板肘板
首柱	在船舶首端外板外侧处的一块型材或板材
尾框架	单螺旋桨或三螺旋桨船的强力构件，它与承舵柱合为一体
尾轴管	轴穿过该管达到螺旋桨，用作轴系的后轴承，可用水或油润滑
加强筋	次要支撑构件的通用术语
壁凳	支撑液舱舱壁的结构
板列	一排或一列外板、甲板板、舱壁板或其他板材
强力甲板	最上层连续甲板
水平纵桁	连接垂直强框架的水平桁材

术　　语	定　　义
甲板边板	甲板板的外列板
上层建筑	位于干舷甲板上的舱室结构，由一舷延伸至另一舷或其侧壁板距船壳板内侧不超过 0.04B
舱顶	构成货油舱底的水平板材
拖缆	用于有效拖带船舶的一根长绳
尾封板	船舶尾端的结构布置和形状
横向环肋	在双层底肋板、竖桁和甲板横向桁材处，船体横截面内所有横向材料
横向强框架	连接纵向构件的主要横向桁材
防倾肘板	用以加强承受压缩力构件的肘板，以抵抗扭力
中间甲板	其在此处所用英语“tweendeck”是“between deck”的缩写，位于上甲板和货油舱的舱顶之间
舱空量	液舱空余空间所表示的数量
空舱	船舶的封闭空处所
制荡舱壁	液舱的穿孔舱壁或局部舱壁
水密	水密系指能在周围结构的设计水头下，防止水通过结构
露天甲板	暴露于自然环境的甲板或一段甲板，其所有舱口和开口均有风雨密关闭措施
风雨密	表示在任何海况下水不能渗透到船中
腹板	与板面垂直相接的加强构件的一部分
干湿交变列板	船舶舷侧外板在压载水线和最深载重水线之间的列板
锚机	收放锚链用的机器
边舱	以内壳纵舱壁和舷侧外板为界的处所

2　结构的理想化

2.1　跨距定义

2.1.1　局部支撑构件的有效弯曲跨距

2.1.1.1　加强筋有效弯曲跨距 l_{bdg} 在 2.1.1.3 至 2.1.1.7 按典型布置作出定义。当布置不同于图 4.2.1~ 图 4.2.8 所示时，跨距定义可特殊考虑。

2.1.1.2　可接受由于肘板而减少弯曲跨距，但肘板须由相邻结构有效支撑，否则有效弯曲跨距长度应取为主要构件支撑之间加强筋的全长。

2.1.1.3　若腹板加强筋在一端削斜或不连接到所考虑的加强筋，除非设置背衬肘板，否则有效弯曲跨距取两个主要支撑构件间的全长，见图 4.2.2。

2.1.1.4　当肘板设置在加强筋的翼板或自由边时，则有效弯曲跨距可以减少；若肘板设置在与加强筋相反的带板一边，则在计算有效弯曲跨距时不作减少。

2.1.1.5　构成双壳布置一部分的加强筋，其有效弯曲跨距 l_{bdg} 的取值如图 4.2.1 所示。

2.1.1.6　构成单壳布置一部分的加强筋，其有效弯曲跨距 l_{bdg} 的取值如图 4.2.2 所示。

2.1.1.7　由主要支撑构件一侧的肘板支撑的加强筋，其有效弯曲跨距取值如图 4.2.2a）所示主要支撑构件之间的总距离。如果主要支撑构件两侧均有肘板，其有效长度的取值如图 4.2.2b）、4.2.2c）和 4.2.2d）所示。

2.1.1.8 如果沿肘板曲缘的加强筋面板是连续的，弯曲跨距点应取在肘板高度等于加强筋高度四分之一处，见图4.2.3。

2.1.1.9 跨距点的计算，肘板长度不得取为大于舱壁或基座臂长的1.5倍。

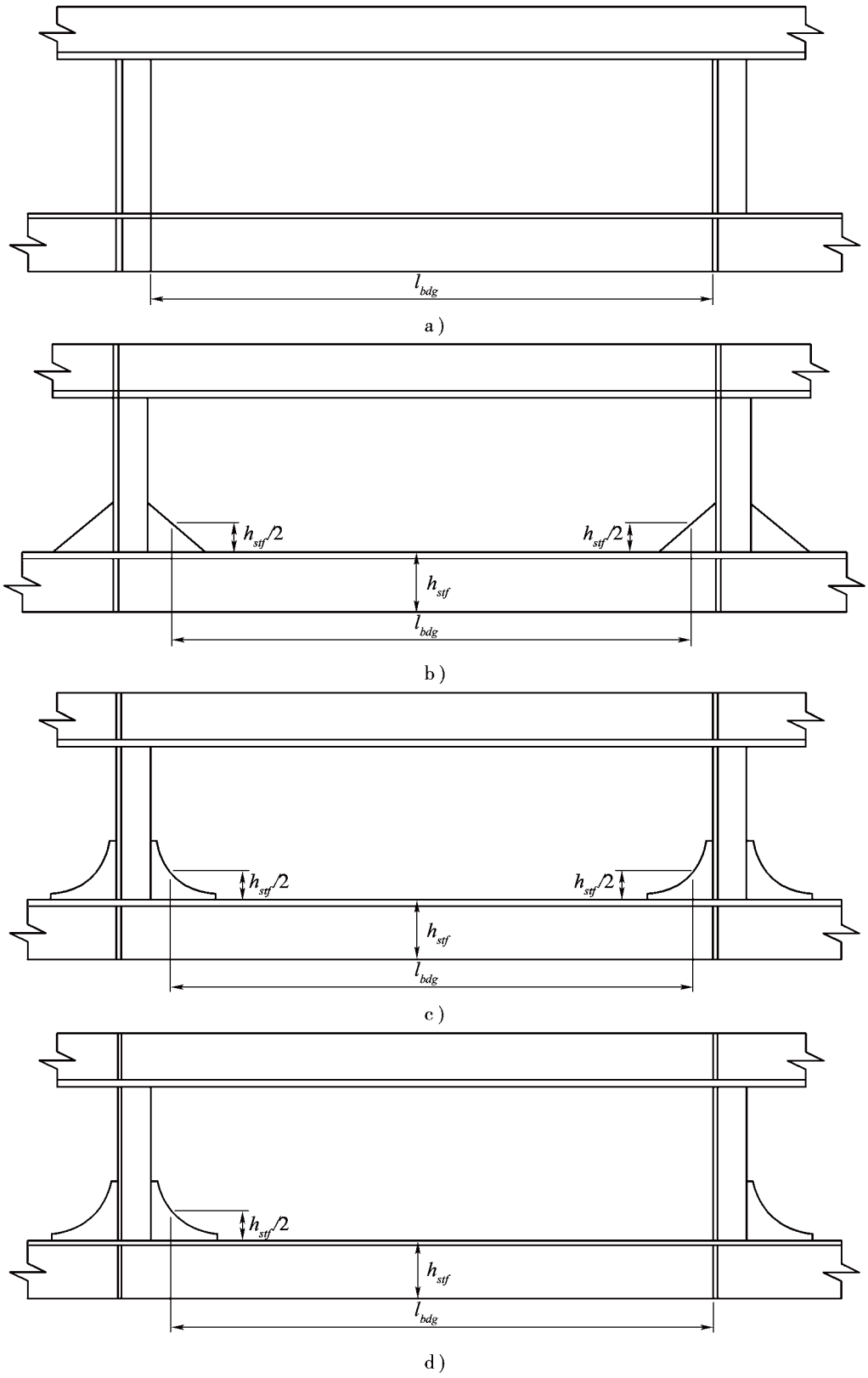
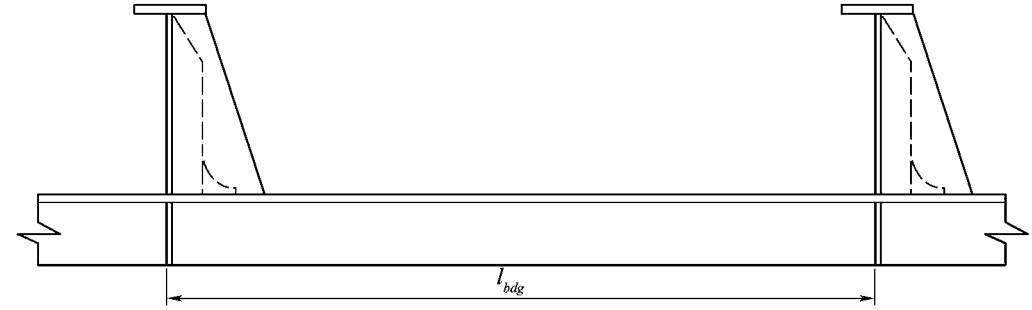
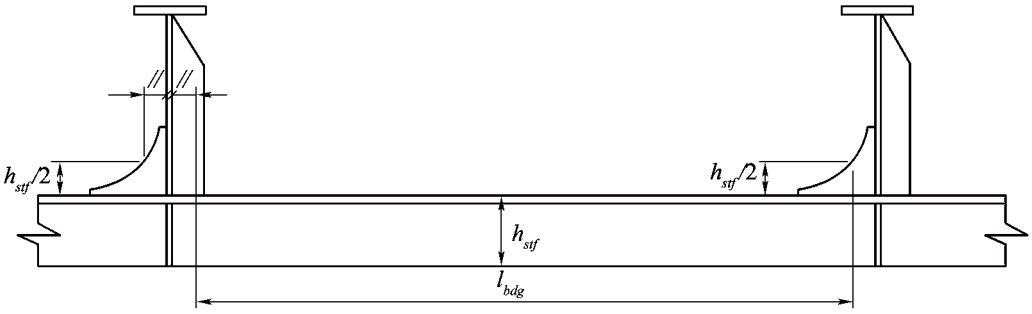


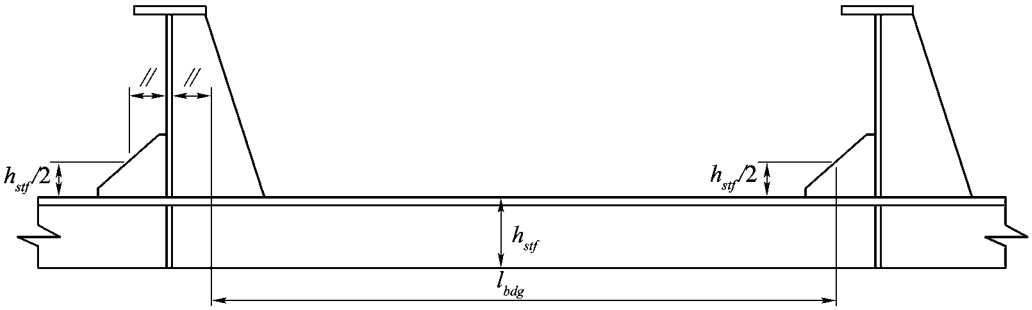
图4.2.1 由腹板加强筋支撑的有效弯曲跨距（双壳结构）



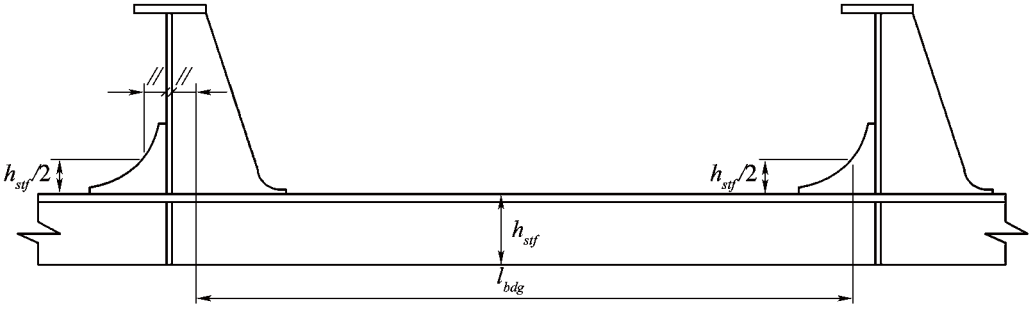
a)



b)



c)



d)

图 4.2.2 由腹板加强筋支撑的有效弯曲跨距（单壳结构）

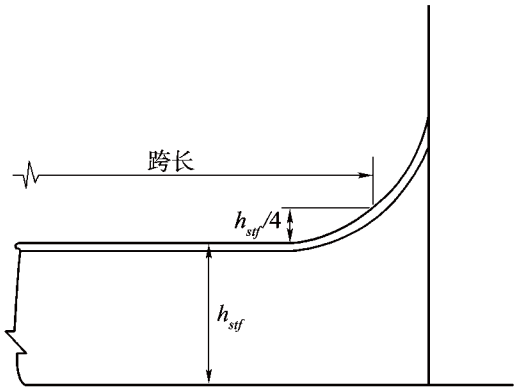


图 4.2.3 由带沿肘板边的连续面板的局部支撑构件的有效弯曲跨距

2.1.2 局部支撑构件的有效剪切跨距

2.1.2.1 加强筋有效剪切跨距 l_{shr} 在 2.1.2.5 至 2.1.2.7 按典型布置作出定义，其他布置的有效弯曲跨距将特殊考虑。

2.1.2.2 若设置的肘板由相邻结构有效支撑，则有效剪切跨距可以减少。否则，有效剪切跨距取如 2.1.2.4 给出的全长。

2.1.2.3 由于加强筋自由边或翼板上设置肘板，或加强筋背面带板上设置肘板，则有效剪切跨距可以减小。若在加强筋翼板或自由边和加强筋背面带板上都设置肘板，则可以采用较长的有效肘板臂来计算有效剪切跨距。

2.1.2.4 不论支撑细节，有效剪切跨距在构件每端最小可折减 s/4000m，为此有效剪切跨距 l_{shr} 不必大于：

$$l_{shr} \leqslant l - \frac{s}{2000} \qquad \text{m}$$

式中：l——主要支撑构件之间加强筋全长，m；

s——加强筋间距，mm，如 2.2.1 定义。

2.1.2.5 构成双壳布置部分的加强筋的有效剪切跨距 l_{shr} 的取值如图 4.2.4 所示。

2.1.2.6 构成单壳布置部分的加强筋的有效剪切跨距 l_{shr} 的取值如图 4.2.5 所示。

2.1.2.7 如果加强筋面板沿肘板曲缘是连续的，则有效剪切跨距的取值如图 4.2.6 所示。

2.1.2.8 对于曲线型和 / 或长肘板（长 / 高比率较大），有效肘板长度的取值如图 4.2.4c）和图 4.2.5c）所示的最大比率为 1∶1.5 的肘板。

2.1.3 船体线型对局部支撑构件跨距的影响

2.1.3.1 主要支撑构件之间加强筋全长 l 对有翼板的加强筋沿翼板量取，对扁钢加强筋则沿自由边量取。曲线形加强筋的跨距定义为跨距点之间的弦长。有效跨距的计算应符合 2.1.1 给出的要求。

2.1.4 主要支撑构件的有效弯曲跨距

2.1.4.1 若设置合适的端部肘板，则主要支撑构件有效弯曲跨距 l_{bdg} 可取小于支撑间构件的全长。

2.1.4.2 对于主要支撑构件的面板沿着肘板边不连续的布置，如肘板焊接在主要支撑构件上，有效弯曲跨距量取用的构件各端的跨距点，应取在量自离构件面的端肘板深度等于构件高度一半之处，如图 4.2.7b）所示。通常定义跨距点的有效肘板如 2.1.4.4 所给出。

2.1.4.3 如果主要支撑构件面板沿肘板面板是连续的，如肘板是主要支撑构件的完整部分，该肘板跨距点应取为构件高度的 0.25 倍，见图 4.2.7a）、c）和 d）。通常定义跨距点的有效肘板如 2.1.4.4 所给出。

2.1.4.4 对于正好设置在内侧的三角形肘板，有效肘板定义为长高比为 1.5 的最大尺寸，对于曲

线肘板，三角点通常定义为设置处，如图 4.2.7 所示。

2.1.4.5 对于长高比大于 1.5 的直线肘板，跨距点取到有效肘板；对于直立型肘板，跨距点取到所设置的肘板。

2.1.4.6 对于曲线形肘板，跨距点取到在设置肘板和有效肘板间切点以上跨距位置处所设置的肘板。对于切点以下的跨距位置，跨距点从有效肘板量起。

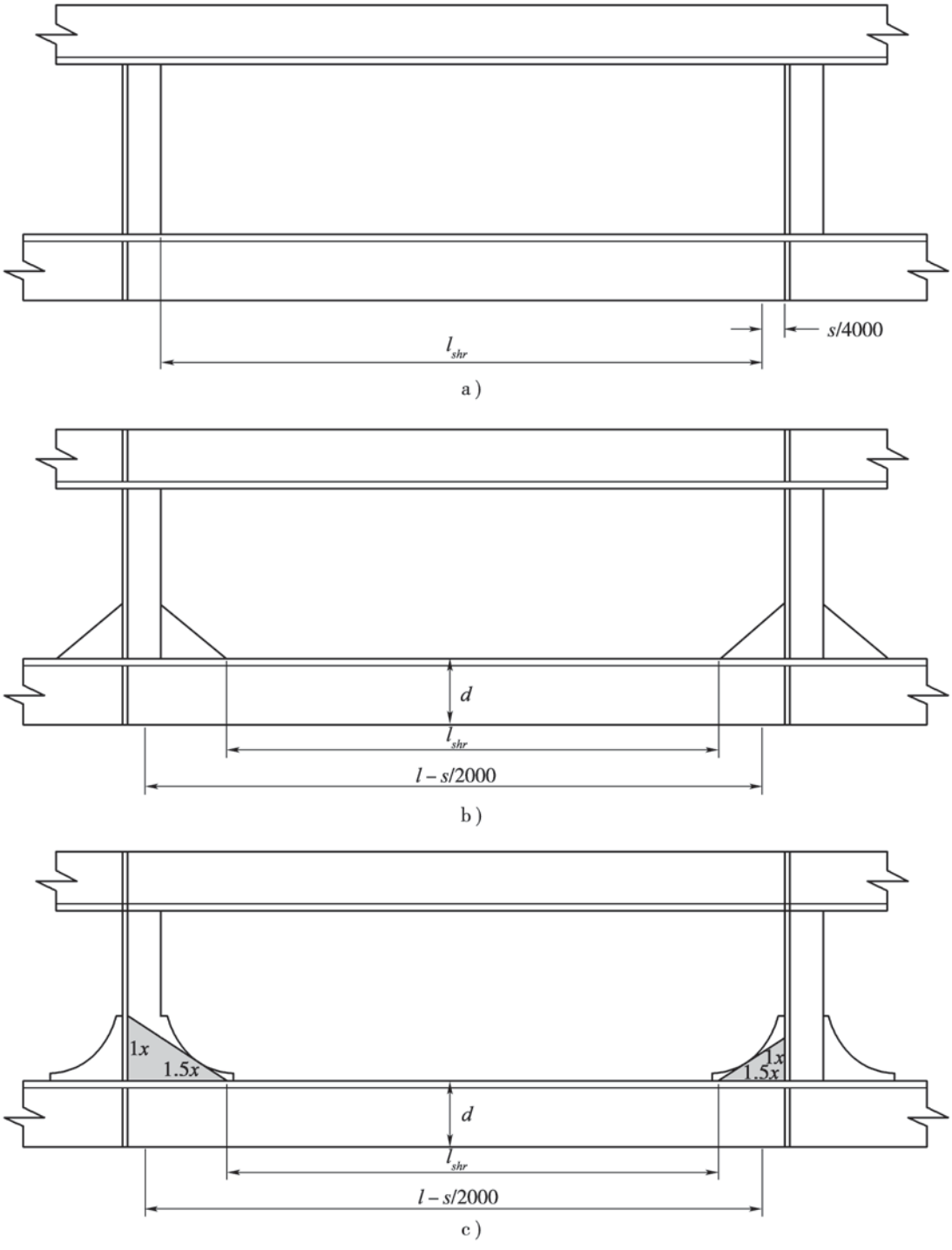


图 4.2.4 由腹板加强筋支撑的加强筋有效剪切跨距（双壳结构）

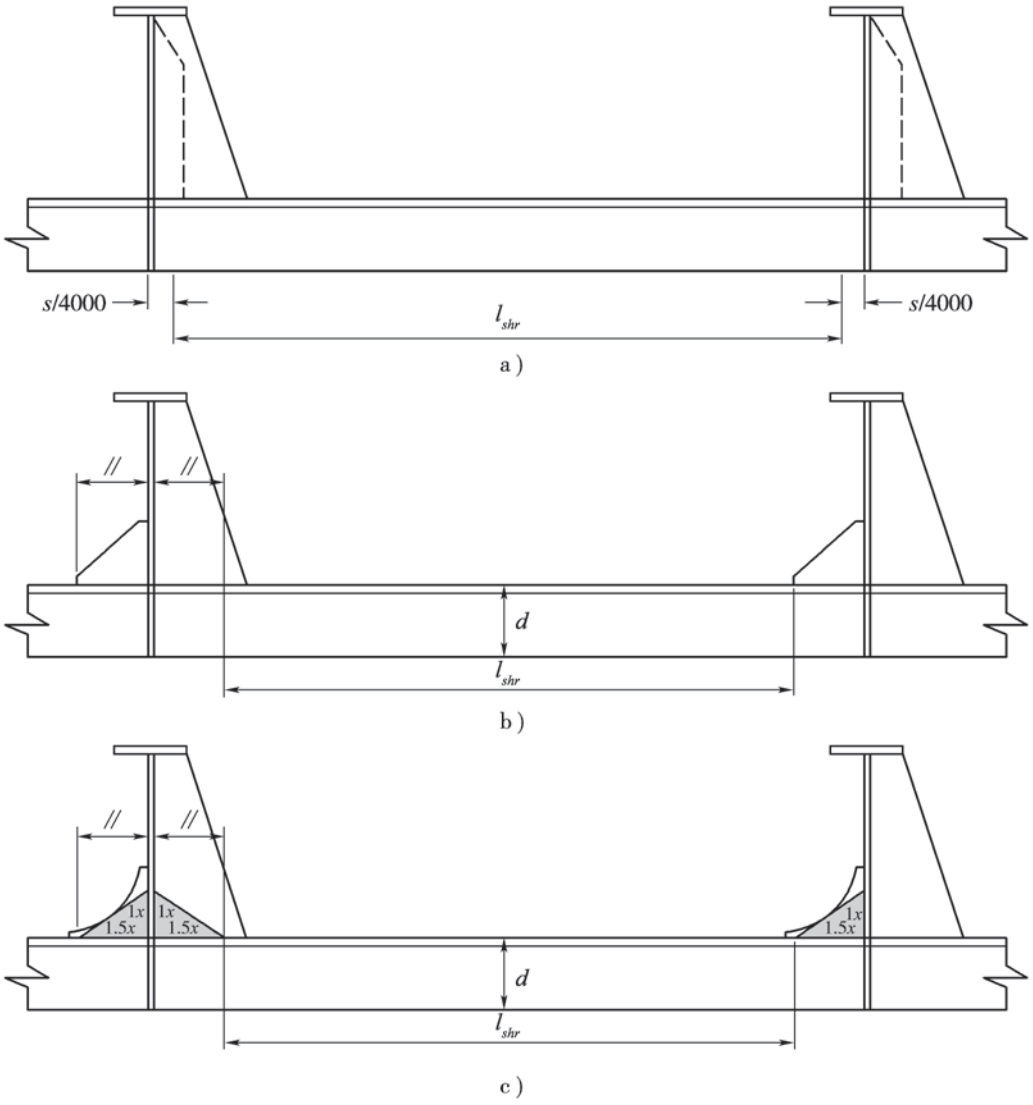


图 4.2.5　由腹板加强筋支撑的加强筋有效剪力跨距（单壳结构）

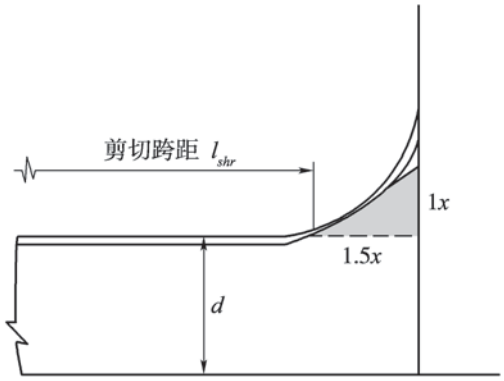


图 4.2.6　带沿肘板边连续面板的局部支撑构件的有效剪切跨跨距

2.1.4.7　对于主要支撑构件面板设置有肘板和背衬肘板的布置，跨距点的位置不必取到大于两倍

主要支撑构件高度的总高度位置。设有小和大背衬肘板的布置如图 4. 2. 7e）和 f）所示。

2. 1. 4. 8　对于主要支撑构件高度保持一致和面板宽度沿支持点增大的布置，有效弯曲跨距可取到面板宽度达到正常宽度两倍的位置。

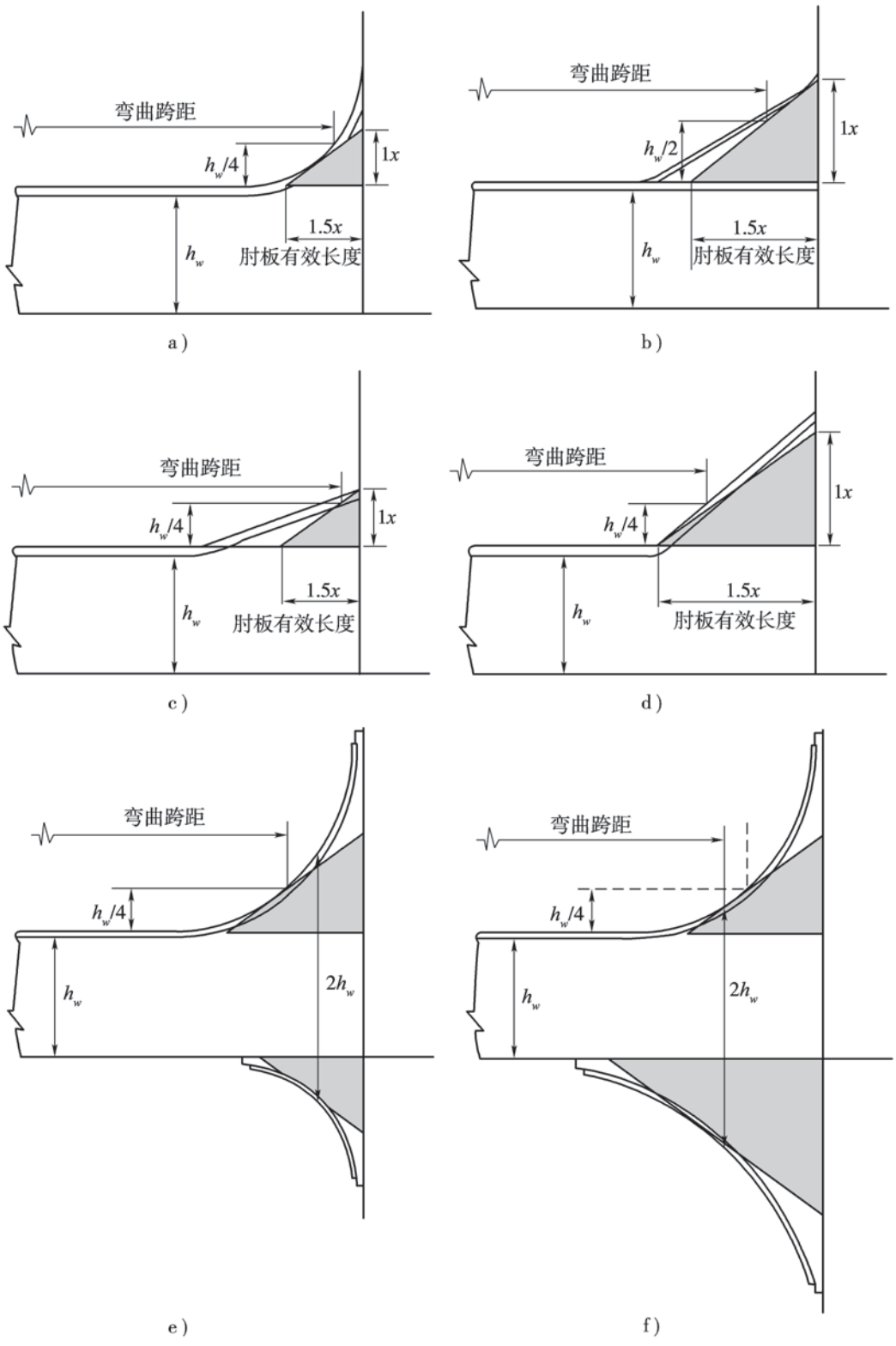


图 4. 2. 7　用于弯曲评估的主要支撑构件有效跨距

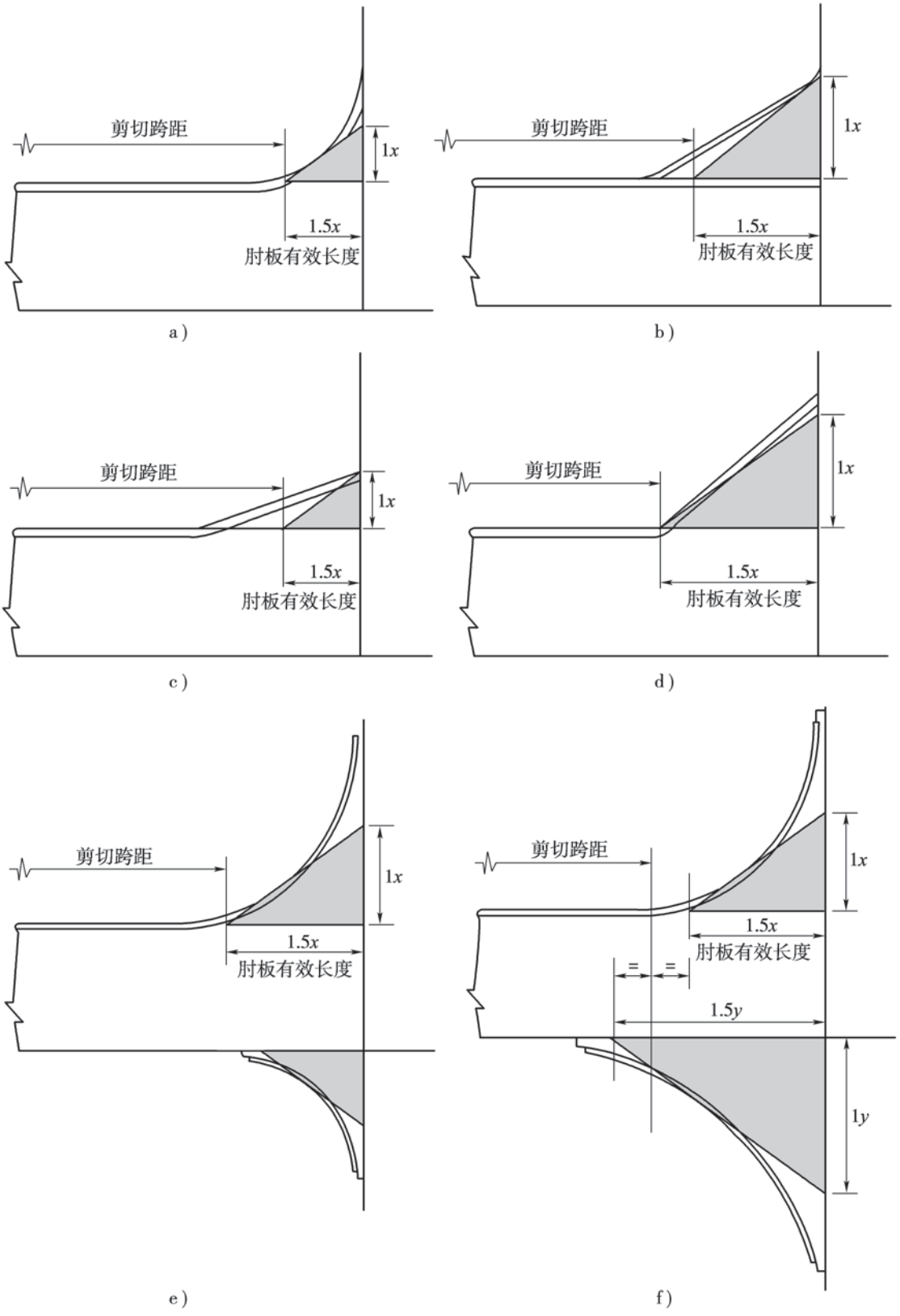


图 4.2.8　用于剪切评估的主要支撑构件有效跨距

2.1.5　主要支撑构件的有效剪切跨距

2.1.5.1　量取剪切跨距所用的主要支撑构件每端的跨距点，应取在对构件起支撑作用的有效肘板

的趾处。有效肘板的趾如图 4. 2. 8 所示。用作定义趾点的有效肘板如 2. 1. 4. 4 给出。

2. 1. 5. 2 对于有效背衬肘板大于面板处的有效肘板的布置，剪切跨距取如图 4. 2. 8f）所示的有效肘板趾端间的平均距离。

2. 2 间距和支撑宽度定义

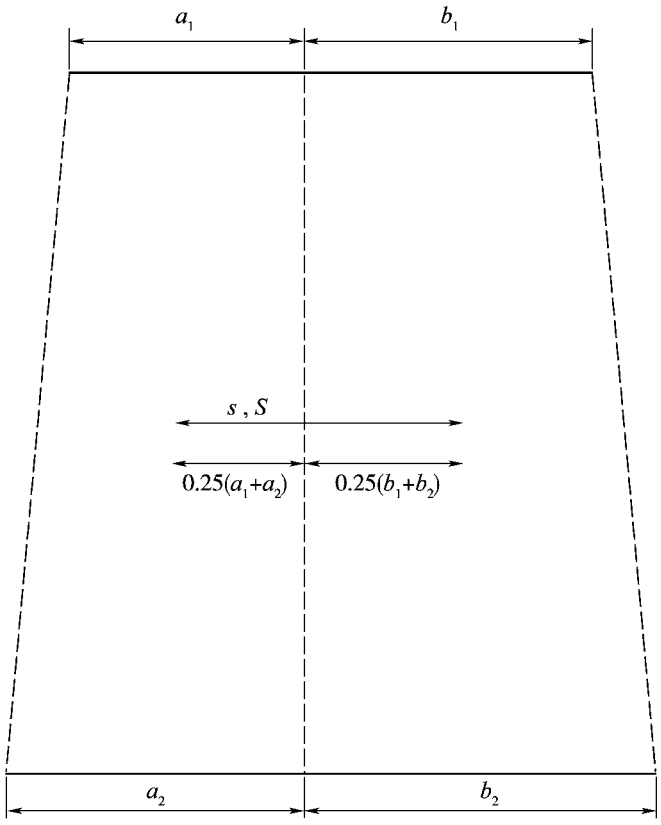
2. 2. 1 局部支撑构件的承载宽度

2. 2. 1. 1 加强筋每侧相邻间距的平均值 s 用于计算加强筋承载宽度和加强筋有效翼板，见图 4. 2. 9。

2. 2. 2 主要支撑构件的间距和承载宽度

2. 2. 2. 1 用于计算主要支撑构件有效翼板的主要支撑构件间距 S 应取为相邻主要支撑构件的平均间距，如图 4. 2. 9 所示。

2. 2. 2. 2 除本篇另有具体定义外，桁材的承载宽度定义为每端主要支撑构件间距总和的一半。见图 4. 2. 9。



注：平均宽度取为$0.25（a_1+a_2+b_1+b_2）$

其中：a_1，a_2，b_1，b_2是局部和主要支撑构件端部间的间距

图 4. 2. 9 局部和主要支撑构件的带板宽度和承载宽度

2. 2. 3 曲板的有效间距

2. 2. 3. 1 对曲形板，加强筋间距 s 或主要支撑构件间距 S 应于构件之间的平均弦处量取。

2. 3 板的有效宽度

2. 3. 1 用于强度评估的局部支撑构件带板的有效宽度

2. 3. 1. 1 2. 3. 1. 2 定义的有效宽度适用于如第 8 节所示的加强筋尺度要求。

2.3.1.2 用于计算加强筋和带板组合剖面模数的带板有效宽度 b_{eff} 取为 2.2.1 所给出的加强筋平均间距 s。但带板净厚度小于 8mm，有效宽度不得大于 600mm。

2.3.2 用于强度评估的主要支撑构件带板和翼板的有效宽度

2.3.2.1 2.3.2.2 到 2.3.2.4 定义的有效宽度适用于第 8 节的主要支撑构件的尺度要求。

2.3.2.2 在不设有效端部肘板的跨距端部，用于计算主要支撑构件剖面模数和 / 或惯性矩的带板有效宽度 b_{eff} 由下式得出：

$$\text{如果}\left(1-\frac{1}{\sqrt{3}}\right)\left(\frac{l_{bdg}}{2S}\right)\leqslant 3\text{，则 } b_{eff}=0.67S\sin\left[\frac{\mathrm{p}}{6}\left(\frac{l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2S}\right)\right] \quad \text{m}$$

$$\text{如果}\left(1-\frac{1}{\sqrt{3}}\right)\left(\frac{l_{bdg}}{2S}\right)>3\text{，则 } b_{eff}=0.67S \quad \text{m}$$

式中：S——2.2.2 定义的在所考虑位置主要支撑构件平均间距，m；

l_{bdg}——2.1.4 定义的有效弯曲跨距，m。

注：sin（ ）是以弧度计算。

2.3.2.3 在跨距中点，用于计算主要支撑构件剖面模数和 / 或惯性矩的带板有效宽度 b_{eff} 由下式得出：

$$\text{如果}\frac{l_{bdg}}{S\sqrt{3}}\leqslant 9\text{，则 } b_{eff}=S\sin\left[\frac{\mathrm{p}}{18}\left(\frac{l_{bdg}}{S\sqrt{3}}\right)\right]$$

$$\text{如果}\frac{l_{bdg}}{S\sqrt{3}}>9\text{，则 } b_{eff}=1.0S$$

式中：S——2.2.2 所定义的在所考虑位置主要支撑构件平均间距，m；

l_{bdg}——2.1.4 所定义的有效弯曲跨距，m。

注：sin（ ）是以弧度计算。

2.3.2.4 在设置有效端部肘板的跨距端部，用于计算主要支撑构件剖面模数的带板有效宽度 b_{eff} 取作由 2.3.2.2 和 2.3.2.3 计算的平均值。当如图 4.2.7 定义的长度大于或等于 $0.1l_{bdg}$ 时，肘板被认为有效的。

2.3.2.5 当防倾肘板如 10/2.3.3 要求设置，单壳结构主要支撑构件自由翼板一般可视为完全有效。曲形面板见 2.3.4。

2.3.3 用于疲劳强度评估的局部支撑构件带板的有效宽度

2.3.3.1 如 2.3.3.2 和 2.3.3.3 所定义的有效宽度适用于第 9/3 节和附录 C 中的局部支撑构件的疲劳强度评估。

2.3.3.2 在跨距端部和端部肘板及支撑，用于计算加强筋和其带板组合剖面模数的带板有效宽度 b_{eff} 由下式得出：

$$\text{如果}\left(\frac{1000l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2s}\right)\leqslant 3\text{，则 } b_{eff}=0.67s\sin\left[\frac{\mathrm{p}}{6}\left(\frac{1000l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2s}\right)\right] \quad \text{mm}$$

$$\text{如果}\left(\frac{1000l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2s}\right)>3\text{，则 } b_{eff}=0.67s \qquad \text{mm}$$

式中：s——2. 2. 1 所定义的加强筋间距，mm；

l_{bdg}——2. 1. 1 所定义的有效弯曲跨距，m。

注：sin（ ）是以弧度计算。

2. 3. 3. 3 在跨距中点，用于计算加强筋和其带板组合剖面模数的带板有效宽度 b_{eff} 由下式得出：

$$\text{如果}\frac{1000l_{bdg}}{s\sqrt{3}}\leqslant 9\text{，则 } b_{eff}=s\sin\left[\frac{\pi}{18}\left(\frac{1000l_{bdg}}{s\sqrt{3}}\right)\right] \qquad \text{mm}$$

$$\text{如果}\frac{1000l_{bdg}}{s\sqrt{3}}>9\text{，则 } b_{eff}=1.0s \qquad \text{mm}$$

式中：s——2. 2. 1 所定义的加强筋间距，mm；

l_{bdg}——2. 1. 1 所定义的有效弯曲跨距，m。

注：sin（ ）是以弧度计算。

2. 3. 4 主要支撑构件带板或曲形面板的有效面积

2. 3. 4. 1 2. 3. 4. 2 和 2. 3. 4. 3 所定义的有效面积适用于如下的主要支撑构件：

（a）导出为第 8 节尺度要求中计算主要支撑构件剖面模数用的曲形面板和曲形带板的有效净面积。

（b）导出在第 9/2 节和附录 B 强度评估（FEM）用的曲形面板和建模的梁单元的有效净面积。

2. 3. 4. 2 主要支撑构件的曲形翼板或带板的有效净面积 $A_{eff\text{-}net50}$ 应取作：

$$A_{eff\text{-}net50}=C_f t_{f\text{-}net50} b_f \qquad \text{mm}^2$$

式中：C_f——翼板有效系数，见图 4. 2. 10：

$C_f=C_{f1}\dfrac{\sqrt{r_f t_{f-net50}}}{b_1}$，但不得取为大于 1. 0；

C_{f1}——对称和不对称面板，见图 4. 2. 10 的曲线 1：

$$C_{f1}=\frac{0.643(\sinh\beta\cosh\beta+\sin\beta\cos\beta)}{\sinh^2\beta+\sin^2\beta}$$

有两个腹板的箱形桁材的带板，见图 4. 2. 10 的曲线 2：

$$C_{f1}=\frac{0.78(\sinh\beta+\sin\beta)(\cosh\beta-\cos\beta)}{\sinh^2\beta+\sin^2\beta}$$

有多个腹板的箱形桁材的带板，见图 4. 2. 10 的曲线 3：

$$C_{f1}=\frac{1.56(\cosh\beta-\cos\beta)}{\sinh^2\beta+\sin^2\beta}$$

$$\beta=\frac{1.285b_1}{\sqrt{r_f t_{f\text{-}net50}}} \quad \text{rad}$$

b_1——对称面板：$b_1=0.5(b_f-t_{w\text{-}net50})$

不对称面板：$b_1=b_f$

箱形桁材带板：$b_1=s_w-t_{w\text{-}net50}$

s_w——箱形桁材的支撑腹板间距，mm；

$t_{f\text{-}net50}$——翼板净厚，mm：

$$t_{f\text{-}net50}=t_{f\text{-}grs}-0.5t_{corr} \quad \text{mm}$$

对于不对称面板的 C_f 和 β 的计算，$t_{f\text{-}net50}$ 不得取为大于 t_w；

$t_{f\text{-}grs}$——翼板总厚度，mm；

$t_{w\text{-}net50}$——腹板净厚，mm：

$$t_{w\text{-}net50}=t_{w\text{-}grs}-0.5t_{corr}$$

$t_{w\text{-}grs}$——腹板总厚，mm；

t_{corr}——第 6/3 节所定义的腐蚀增量，mm；

r_f——曲形面板或带板的半径，mm；

b_f——面板或带板宽度，mm。

2. 3. 4. 3　由径向肘板支撑的曲形面板或由圆柱加强筋支撑带板的有效净面积 $A_{eff\text{-}net50}$ 由下式得出：

$$A_{eff-net50}=\frac{3r_f t_{f-net50}+C_f s_r^2}{3r_f t_{f-net50}+s_r^2}t_{f-net50}b_f \quad \text{mm}^2$$

式中：C_f——同 2. 3. 4. 2 定义；

$t_{f\text{-}net50}$——翼板净厚度，同 2. 3. 4. 2 定义；

s_r——防倾肘板或腹板加强筋或垂直于腹板加强筋的间距，见图 4. 2. 11，mm；

b_f——面板或带板宽度，mm，见图 4. 2. 11；

r_f——曲形面板或带板的半径，mm，见图 4. 2. 11。

2. 3. 4. 4　2. 3. 4. 2 和 2. 3. 4. 3 给出的有效面积仅适用于主要支撑构件的面板和带板，但不适用于平行于面板的腹板加强筋的面积。

2.4　局部支撑构件的几何特性

2.4.1　局部支撑构件的净剖面特性值计算

2. 4. 1. 1　应采用带板、腹板和面板的净厚度计算局部支撑构件的净剖面模数、惯性矩和剪切面积特性。

2. 4. 1. 2　典型型材的净尺寸描述在图 4. 2. 12 给出。

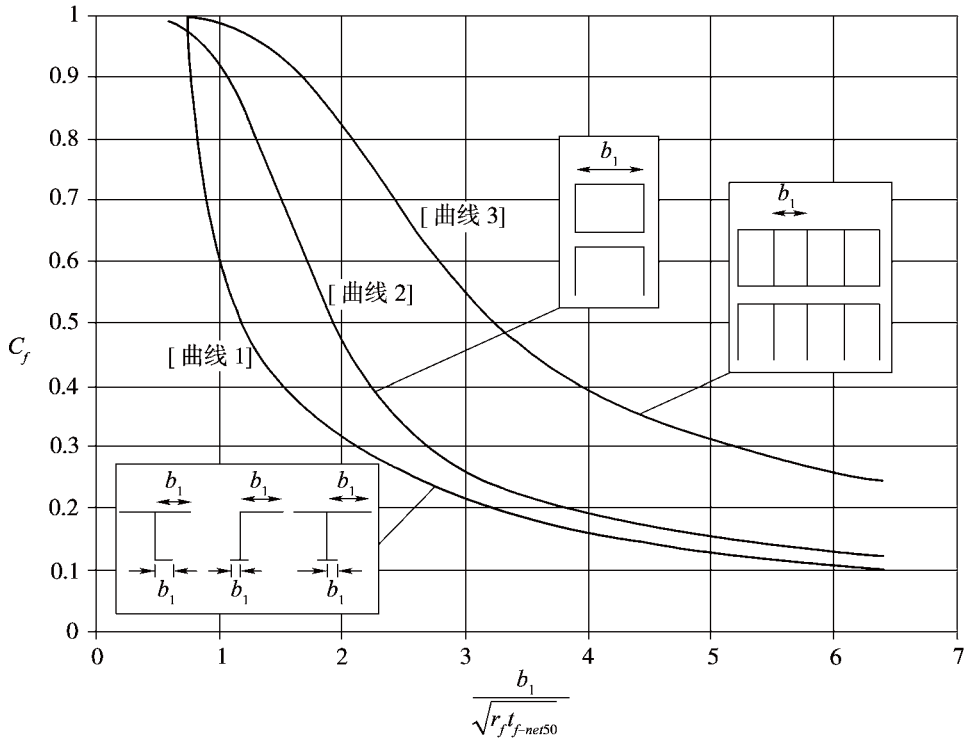


图 4.2.10 可替换结构型式的曲形面板的有效宽度

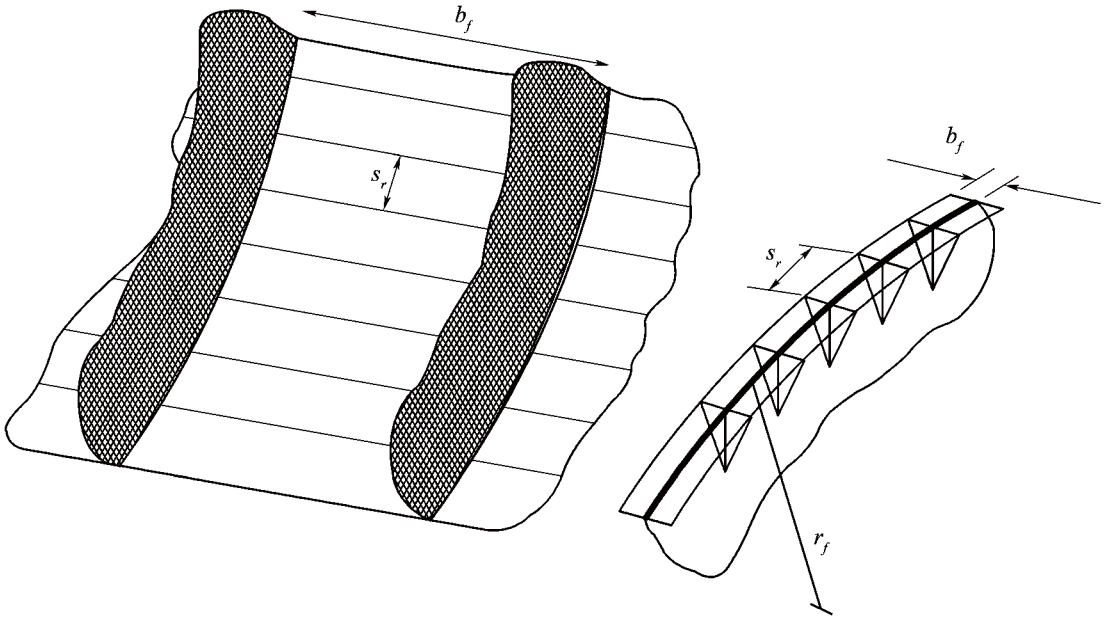


图 4.2.11 曲形外板板格和面板

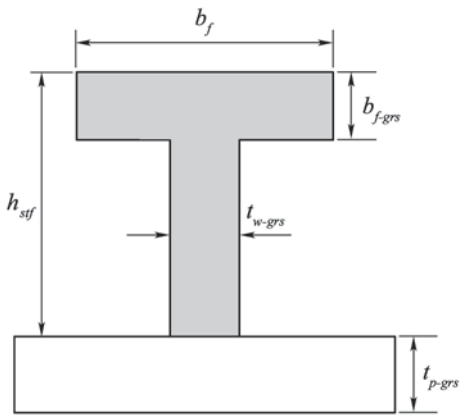
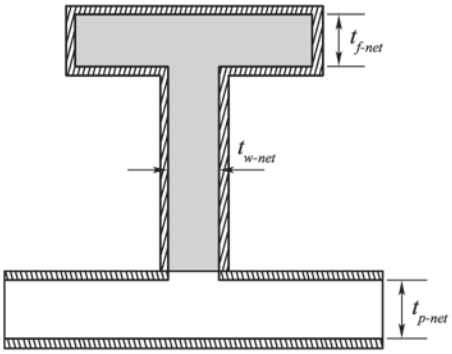
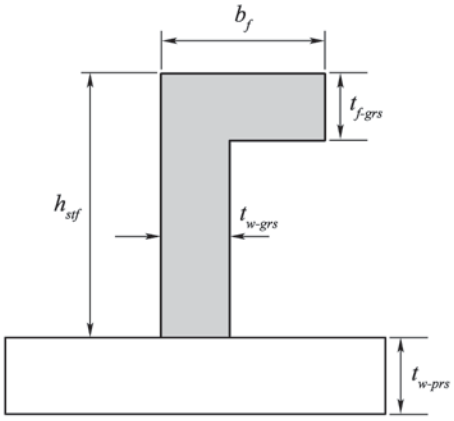
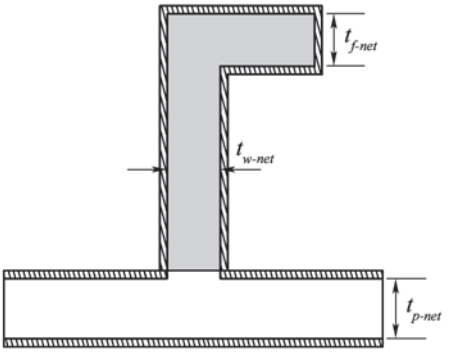
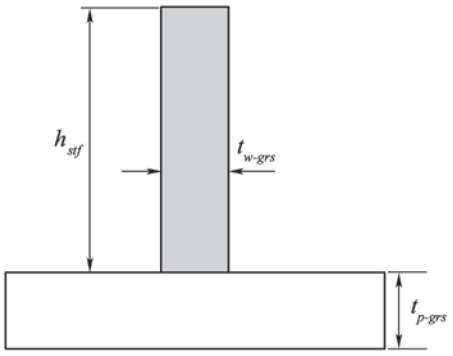
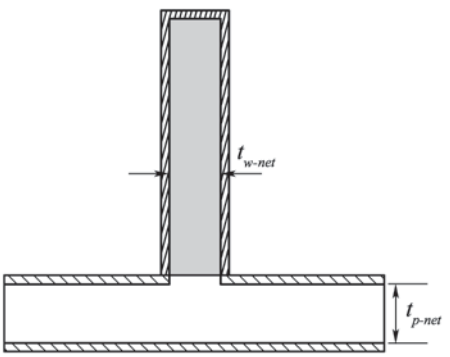
型　材	折减方法 局部支撑构件
 T– 型材	
 L– 型材	
 扁钢 – 型材	

图　4.2.12

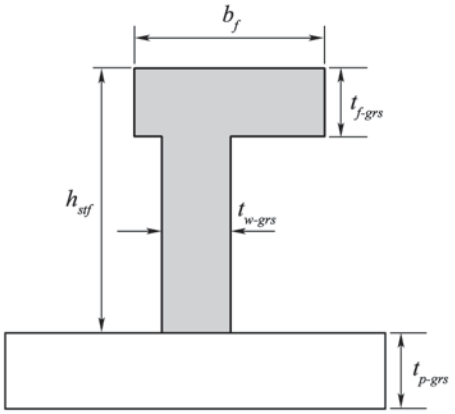
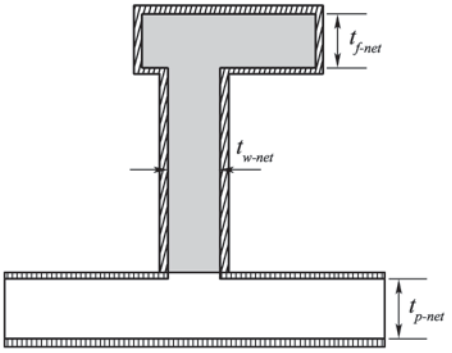
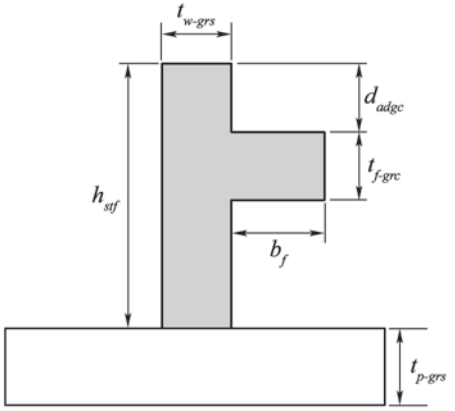
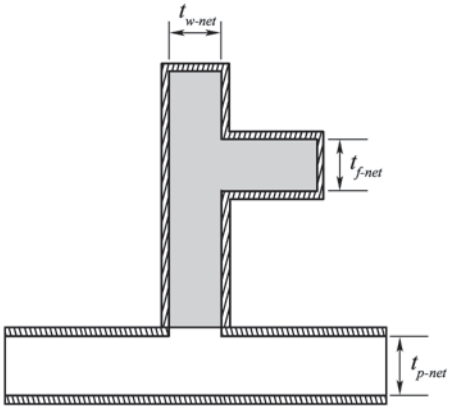
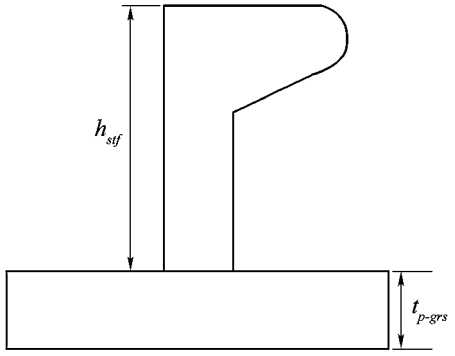
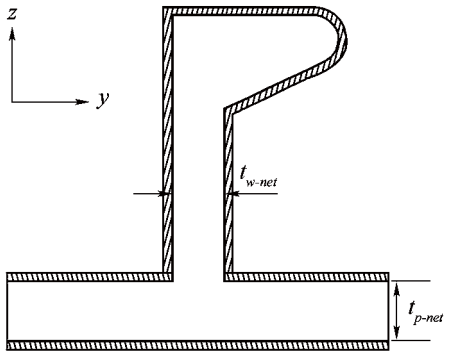
型 材	折减方法 局部支撑构件
 L2– 型材	
 L3– 型材	
 球扁钢 – 简化型材	 该型材的横截面净面积、y–轴惯性矩和相关中和轴位置的确定，应假定从型材横截面减去腐蚀量$0.5t_{corr}$

图 4.2.12 局部支撑构件剖面净特性值

2.4.2 局部支撑构件的有效弹性剖面特性

2.4.2.1 局部支撑构件的净弹性剪切面积 $A_{shr\text{-}el\text{-}net}$ 取作：

$$A_{shr\text{-}el\text{-}net} = \frac{(h_{stf} + t_{p-net})(t_{w-net})\sin\varphi_w}{100} \quad \text{cm}^2$$

式中：h_{stf}——包括面板在内的加强筋高度，mm，另见 2. 4. 1. 2；

t_{p-net}——带板净厚度，mm；

t_{w-net}——腹板净厚度，mm；

φ_w——加强筋腹板和带板之间角度，deg，见图 4. 2. 14，若该角度大于或等于 75°，则取 90°。

2. 4. 2. 2　加强筋的有效剪切高度 d_{shr} 取作：

$$d_{shr}=（h_{stf}+t_{p-net}）\sin\varphi_w \qquad \text{cm}^2$$

式中：h_{stf}——包括面板在内的加强筋高度，mm；

t_{p-net}——带板净厚度，mm；

φ_w——加强筋腹板和带板之间角度，deg，见图 4. 2. 14，若该角度大于或等于 75°，则取 90°。

2. 4. 2. 3　局部支撑构件的剖面弹性净模数 $Z_{el-\varphi-net}$ 取作：

$$Z_{el-\varphi-net}=Z_{stf-net}\sin\varphi_w \qquad \text{cm}^3$$

式中：$Z_{stf-net}$——相应直立加强筋的净剖面模数，cm^3，即当 φ_w 等于 90°；

φ_w——加强筋腹板和带板之间角度，deg，见图 4. 2. 14，若该角度大于或等于 75°，则取 90°。

2. 4. 3　加强筋的有效塑性剖面模数和剪切面积

2. 4. 3. 1　局部支撑构件的塑性剪切净面积 $A_{shr-pl-net}$ 取作：

$$A_{shr-pl-net}=\frac{(h_{stf}+t_{p-net})(t_{w-net})\sin\varphi_w}{100} \qquad \text{cm}^2$$

式中：h_{stf}——包括面板在内的加强筋高度，mm，见 2. 4. 1. 2；

t_{p-net}——带板净厚度，mm；

t_{w-net}——加强筋腹板净厚度，mm；

φ_w——加强筋腹板和带板之间角度，deg，见图 4. 2. 14，若该角度大于或等于 75°，则取 90°。

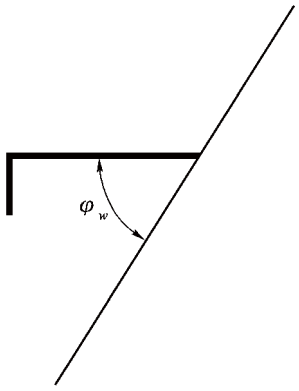


图 4. 2. 13　加强筋腹板和面板间的角度

2. 4. 3. 2　局部支撑构件有效净塑性剖面模数 Z_{pl-net} 取作：

$$Z_{pl-net}=\frac{f_w d_w^2 t_{w-net}\sin\varphi_w}{2000}+\frac{(2\gamma-1)A_{f-net}(h_{f-ctr}\sin\varphi_w-b_{f-ctr}\cos\varphi_w)}{1000} \qquad \text{cm}^3$$

式中：f_w——腹板剪应力因子：

f_w=0. 75，当 n=1 或 2 的折边型材横截面时；

f_w=1. 0，当 n=0 的折边型材横截面和扁钢加强筋时；

n——每个构件弯矩有效端部支撑的数量，取 0、1 或 2。可在下列位置考虑一个弯矩有效端部支撑：

（a）加强筋在支撑处连续；

（b）加强筋通过支撑板，且当加强筋在它终端处用短梁（或相当）与相邻加强筋连接；

（c）加强筋连至相邻的抗弯加强筋或肘板。当肘板与另一根加强筋（不是屈曲加强筋）相连时，可认为其有效抗弯；

d_w——加强筋腹板高度，mm；

$d_w=h_{stf}-t_{f-net}$，对于 T、L（轧制和组合）和 L2 型材

$d_w=h_{stf}$，对于扁钢和 L3 型材

对于球扁钢应按表 4.2.1 和表 4.2.2 取；

h_{stf}——加强筋高度，mm，见图 4.2.12；

$\gamma=0.25\ (1+\sqrt{3+12\beta})$

$\beta=0.5$，除了对于跨距中点不设防倾肘板的 L 型材外的所有情况

$\beta=\dfrac{10^6(t_{w-net})^2 f_b l_f^2}{80 b_f^2 (t_{f-net}) h_{f-ctr}}+\dfrac{t_{w-net}}{2b_f}$，不得取大于 0.5，对于跨距中点不设防倾肘板的 L（轧制和建造）型材；

A_{f-net}——翼板横截面净面积，mm^2：

$A_{f-net}=b_f t_{f-net}$，一般情况

$A_{f-net}=0$， 对于扁钢加强筋

b_f——翼板宽度，mm，见图 4.2.12。对于球扁钢见表 4.2.1 和表 4.2.2；

b_{f-ctr}——加强筋腹板一半厚度处至翼板面积中心的距离：

$b_{f-ctr}=0.5(b_f-t_{w-grs})$，对于轧制角钢

$b_{f-ctr}=0$，对于 T 型材

球扁钢由表 4.2.1 和表 4.2.2 给出；

h_{f-ctr}——量至翼板厚度中点的加强筋高度：

$h_{f-ctr}=h_{stf}-0.5t_{f-net}$，对于 L3 型材除外，有矩形折边的型材

$h_{f-ctr}=h_{stf}-d_{edge}-0.5t_{f-net}$，对于 L3 型材

球扁钢由表 4.2.1 和表 4.2.2 给出；

d_{edge}——腹板上边缘至翼板顶部距离，mm，L3 型材见图 4.2.12；

f_b——一般为 1.0；

有端部肘板的连续翼板为 0.8，连续翼板定义为连续穿过主要支撑构件连续不剪断的翼板；有端部肘板的非连续翼板为 0.7，非连续翼板定义为翼板在主要支撑构件处削斜或在支持的另一边中断且不设置对齐构件；

l_f——支撑腹板之间加强筋翼板长度，m，但设有端部肘板的加强筋要减去端部肘板的力臂长度；

t_{f-net}——翼板净厚度，mm：

$t_{f-net}=0$，对于扁钢加强筋；

球扁钢由表 4.2.1 和表 4.2.2 给出；

t_{w-net}——加强筋腹板净厚度，mm；

φ_w——加强筋腹板和带板之间角度，deg，见图 4.2.14，若该角度大于或等于 75°，则取 90°。

HP 球扁钢特征翼板数据（见图 4.2.14） **表 4.2.1**

h_{stf}（mm）	d_w（mm）	b_{f-grs}*（mm）	t^*_{f-grs}（mm）	b_{f-ctr}（mm）	h_{f-ctr}（mm）
200	171	40	14.4	10.9	188
220	188	44	16.2	12.1	206
240	205	49	17.7	13.3	225
260	221	53	19.5	14.5	244

续上表

h_{stf}（mm）	d_w（mm）	$b_{f\text{-}grs}$*（mm）	$t^*_{f\text{-}grs}$（mm）	$b_{f\text{-}ctr}$（mm）	$h_{f\text{-}ctr}$（mm）
280	238	57	21.3	15.8	263
300	255	62	22.8	16.9	281
320	271	65	25.0	18.1	300
340	288	70	26.4	19.3	318
370	313	77	28.8	21.1	346
400	338	83	31.5	22.9	374
430	363	90	33.9	24.7	402

注：翼板特征数据转化为净尺寸为

$b_f \approx b_{f\text{-}grs}$*$+2t_{w\text{-}net}$

$b_{f\text{-}net}=t_{f\text{-}grs}$*$-t_{corr}$

$t_{w\text{-}net}=t_{w\text{-}grs}-t_{corr}$

JIS 球扁钢的典型翼板数据（见图 4.2.14） 表 4.2.2

h_{stf}（mm）	d_w（mm）	$b_{f\text{-}grs}$*（mm）	$t_{f\text{-}grs}$*（mm）	$b_{f\text{-}ctr}$（mm）	$h_{f\text{-}ctr}$（mm）
180	156	34	11.9	9.0	170
200	172	39	13.7	10.4	188
230	198	45	15.2	11.7	217
250	215	49	17.1	12.9	235

注：翼板特征数据转化为净尺寸为

$b_f \approx b_{f\text{-}grs}$*$+2t_{w\text{-}net}$

$b_{f\text{-}net}=t_{f\text{-}grs}$*$-t_{corr}$

$t_{w\text{-}net}=t_{w\text{-}grs}-t_{corr}$

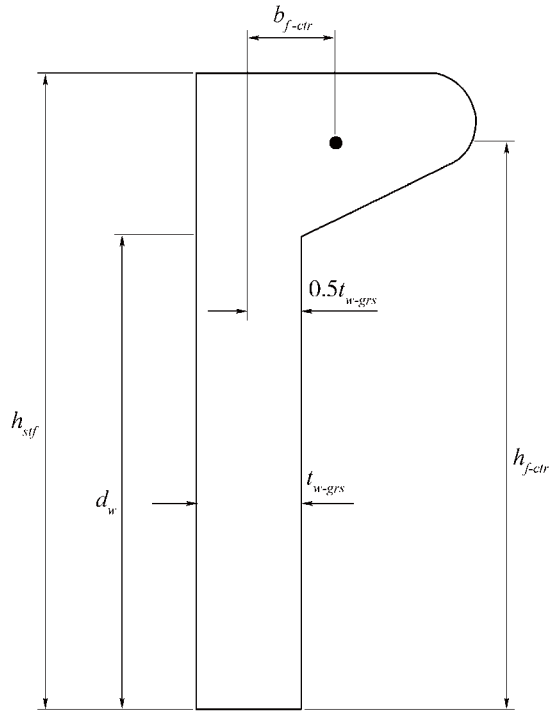


图 4.2.14 球扁钢特征数据

2.5 主要支撑构件的几何特性

2.5.1 主要支撑构件的有效剪切面积

2.5.1.1 用于主要支撑构件剪切面积计算的腹板高度 h_w 是取主要支撑构件的型高。

2.5.1.2 对于单壳和双壳的主要支撑构件，有效净剪切面积 $A_{shr-net50}$ 取作：

$$A_{shr-net50}=0.01h_n\,t_{w-net50}\sin\varphi_w \qquad \text{cm}^2$$

式中：h_n——对于单壳的主要支撑构件，见图 4.2.16，有效腹板高度（mm），取为以下值中的较小值：

（a）h_w

（b）$h_{n3}+h_{n4}$

（c）$h_{n1}+h_{n2}+h_{n4}$

对于双壳的主要支撑构件，有效腹板高度采取相同的原则确定；

h_w——主要支撑构件的腹板高度，mm；

h_{n1}，h_{n2}，h_{n3}，h_{n4} 其代表的长度如图 4.2.16 所示；

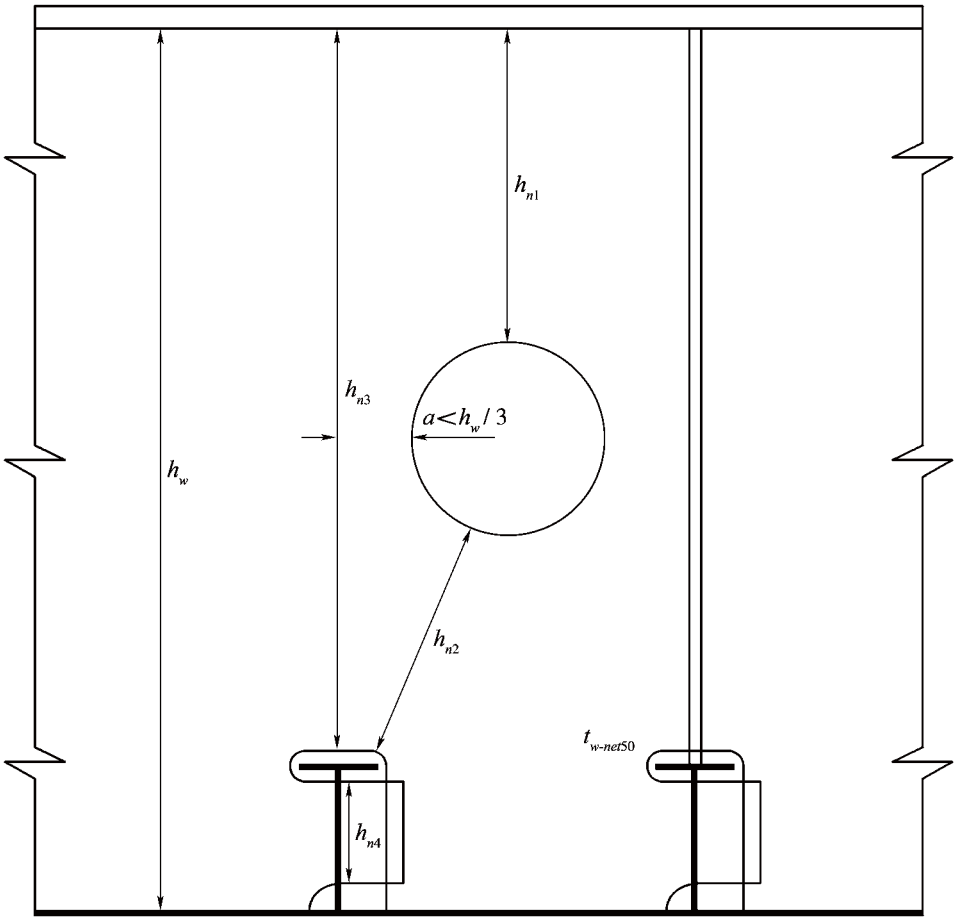
$t_{w-net50}$——腹板净厚，mm：

$$t_{w-net50}=t_{w-grs}-0.5t_{corr}$$

t_{w-grs}——腹板总厚，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，在第 6 节 /3.2 中给出，mm；

φ_w——腹板和带板之间角度，（°），见图 4.2.14，若该角度大于或等于 75°，则取 90°。



注：图示的是单壳油船的主要支持构件的有效腹板高度，对于双壳油船的主要支持构件的有效腹板高度遵循相同原理。

图 4.2.15 开口处的有效剪切面积

2. 5. 1. 3　如果开口在距所计及横截面小于 h_w/3 处，则 h_n 应取为通过开口的净高和净距离两者中的较小值。见图 4. 2. 15。

2. 5. 1. 4　如果单壳主要支撑构件的桁材翼板不与带板轴线平行，有效净剪切面积 $A_{shr-net50}$ 取作：

$$A_{shr-net50}=0.01h_n t_{w-net50}+1.3A_{f-net50}\sin 2\theta\sin\theta \qquad \text{cm}^2$$

式中：$A_{f-net50}$——翼板 / 面板净面积，cm^2：

$$A_{f-net50}=0.01b_f t_{f-net50}$$

b_f——翼板或面板宽度，mm；

$t_{f-net50}$——翼板净厚，mm：

$$t_{f-net50}=t_{f-grs}-0.5t_{corr}$$

t_{f-grs}——翼板总厚，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，在第 6 节 /3. 2 中给出，mm；

θ——连续翼板的倾斜角，见图 4. 2. 17；

$t_{w-net50}$——腹板净厚度，定义同 2. 5. 1. 2，mm；

h_n——腹板有效高度，如图 4. 2. 16 定义。

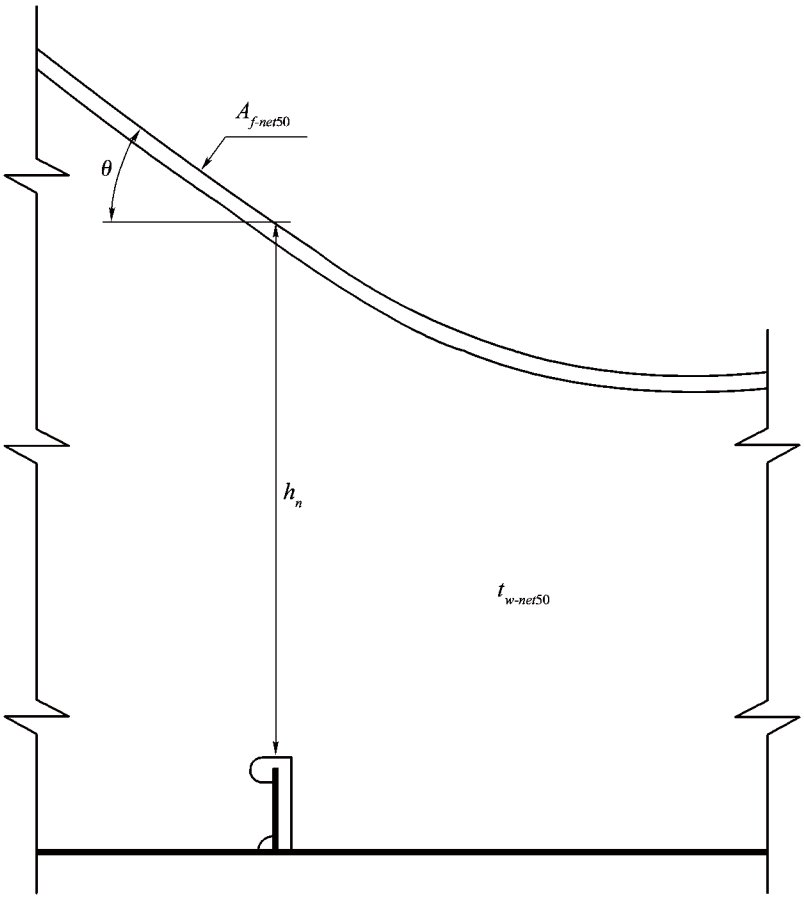


图 4. 2. 16　肘板处的有效剪切面积

2. 5. 2　主要支撑构件的有效剖面模数

2. 5. 2. 1　采用带板，腹板和面板（或双壳桁材的顶部带板）净厚度计算主要支撑构件的净剖面模数，其中的净厚度应取为：

$t_{w-net50}=t_{w-grs}-0.5t_{corr}$　　对于腹板净厚，mm

$t_{p-net50}=t_{p-grs}-0.5t_{corr}$　　对于下带板净厚，mm

$t_{f\text{-}net50}=t_{f\text{-}grs}-0.5t_{corr}$ 对于上带板或面板净厚，mm

式中：$t_{w\text{-}grs}$——腹板总厚，mm；

$t_{p\text{-}grs}$——下带板总厚，mm；

$t_{f\text{-}grs}$——上带板或面板总厚，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，在第 6/3.2 节中给出，mm。

注意：主要支撑构件的曲形面板见 2.3.4。

当主要支撑构件腹板与翼板夹角小于 75° 时，剖面模数应直接计算。

2.6 船体梁横剖面的几何特性

2.6.1 船体梁垂向剖面模数

2.6.1.1 在基线以上任何垂向位置 z 的船体梁有效垂向剖面模数 Z_v 定义为：

$$Z_v=\frac{I_v}{|z-z_{NA}|} \quad m^3$$

式中：I_v——在 2.6.3 给出的开口折减后，所考虑横剖面中所有纵向连续构件内的船体梁垂向惯性矩，m^4；

z——从所考虑结构构件到基线的距离，m；

z_{NA}——从船体梁剖面水平中和轴到基线的距离，m。

2.6.1.2 为了计算第 8 节要求的用于强度评估的船体梁垂向净剖面模数 $Z_{v\text{-}net50}$，船体梁垂向净剖面惯性矩和水平中和轴位置是基于对于所有包括在船体梁剖面中的有效构件的总厚减去腐蚀增量 $0.5t_{corr}$ 计算，t_{corr} 在第 6/3.2 中定义。

2.6.1.3 为了计算第 9 节要求的疲劳强度评估的船体梁垂向净剖面模数 $Z_{v\text{-}net75}$，船体梁垂向净剖面惯性矩和水平中和轴位置是基于对于所有含在船体梁剖面的有效构件的总厚减去腐蚀增量 $0.25t_{corr}$ 计算。t_{corr} 在第 6/3.2 中定义。

2.6.2 船体梁水平剖面模数

2.6.2.1 在任何横向坐标 y 的有效水平船体梁剖面模数 Z_h 定义为：

$$Z_h=\frac{I_h}{|y-y_{NA}|} \quad m^3$$

式中：I_h——如 2.6.3 中的开口折减后所考虑横剖面中所有纵向连续构件内的船体梁水平惯性矩，m^4；

y——横向坐标，m；

y_{NA}——船体梁横剖面垂直中和轴到中心线的距离，m。

2.6.2.2 为了计算第 8 节要求的强度评估的船体梁水平净剖面模数 $Z_{h\text{-}net50}$，船体梁水平净剖面惯性矩和垂向中和轴位置是基于对于所有含在船体梁剖面的有效构件的总厚减去腐蚀增量 $0.5t_{corr}$ 计算。t_{corr} 在第 6/3.2 中定义。

2.6.2.3 为了计算第 9 节要求的疲劳强度评估的船体梁水平净剖面模数 $Z_{h\text{-}net75}$，船体梁水平净剖面惯性矩和垂直中和轴位置是基于对于所有含在船体梁剖面的有效构件的总厚减去腐蚀增量 $0.25t_{corr}$ 计算。t_{corr} 在第 6/3.2 中定义。

2.6.3 计算船体梁惯性矩和剖面模数用的有效面积

2.6.3.1 船体梁有效剖面积包括所有开口折减后的纵向连续构件。2.6.3.2 中所给出的构件不应包括在船体梁有效剖面积中。折减开口和自由开口折减的定义由 2.6.3.4~2.6.3.9 给出。非连续舱壁和甲板的有效面积定义在 2.6.3.10 中给出。

2.6.3.2 由于结构的非连续性，下列构件不能有效计入船体梁横剖面面积，因此在计算中应排除在外：

（a）不构成强力甲板的上层建筑；

（b）甲板室；

（c）垂直槽形舱壁；

（d）舷墙和槽板；

（e）舭龙骨；

（f）削斜或不连续的纵向加强筋，若所考虑的横剖面离开加强筋端部接近加强筋高度的两倍。

2. 6. 3. 3　应用如下的开口定义：

（a）大开口指长度超过 2. 5m 和 / 或宽度超过 1. 2m 的开口，其中长度从如图 4. 1. 1 定义的船舶全船 x- 轴方向量起。

（b）小开口指不是大的开口，如人孔、减轻孔等。

（c）独立开口指在船的横向 / 垂向开口间隔不小于 1m 的开口。

2. 6. 3. 4　在计算剖面模数时，非独立的大小开口应从计算剖面面积中扣除。

2. 6. 3. 5　在纵向扶强材或桁材上的独立小开口，如果其高度超过腹板高度的 25%，则也应扣除。

2. 6. 3. 6　如果上述的几个开口位于或靠近同一个剖面，则应扣除组合开口的总等效宽度 Σb_{ded}，见 2. 6. 3. 7 至 2. 6. 3. 8 和图 4. 2. 17。

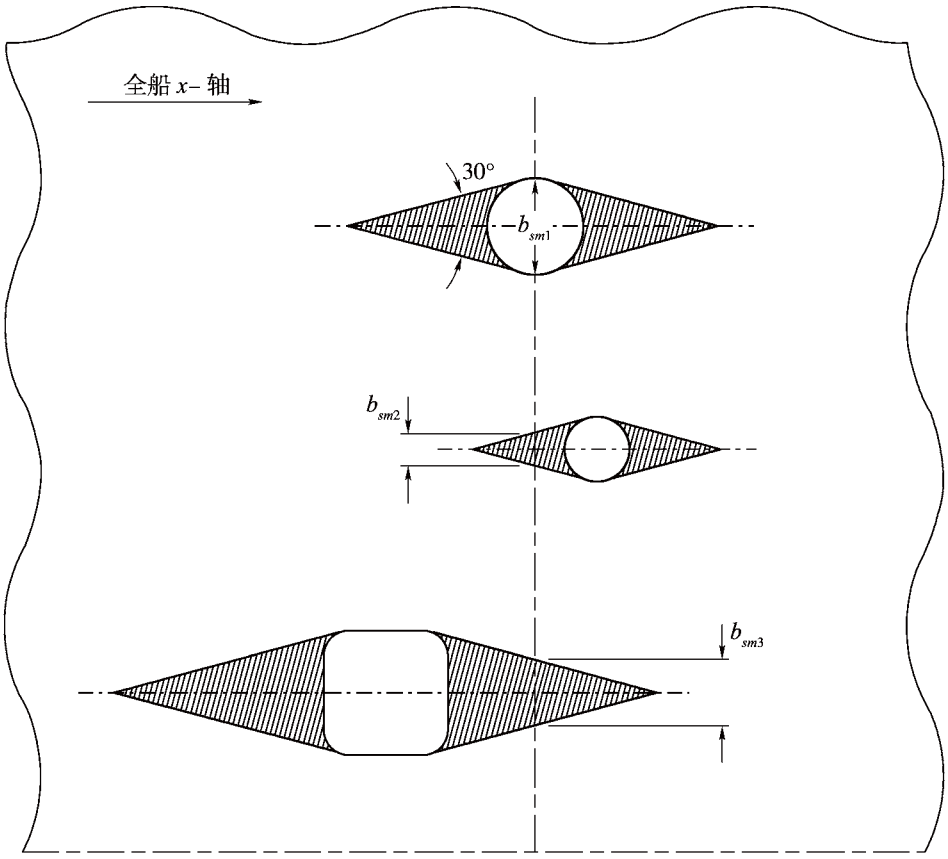


图 4. 2. 17　等效宽度计算

2. 6. 3. 7　独立的多个小开口只要其在同一横剖面上的宽度或投影面积宽度总和，不降低甲板或基线上的船体梁剖面模数超过 3%，就可以不扣除。作为替换的，独立的多个小开口只要其总等效宽度小于以下公式，则可以不扣除：

$$\Sigma b_{sm}=0.06（B_{sect}-\Sigma b_{ded}）$$

式中：Σb_{sm}——小开孔的总等效宽度，见图 4. 2. 17：

$$\Sigma b_{sm}=b_{sm1}+b_{sm2}+b_{sm3}$$

B_{sect}——所考虑剖面处船舶的宽度；

Σb_{ded}——2. 6. 3. 7 中规定的组合开口的总等效宽度，m。

应考虑扣除开口投影面积的影响。

2. 6. 3. 8 在计算小开口的总等效宽度 Σb_{sm} 时，每一开口应假定有一纵向阴影面积，见图 4. 2. 17，该面积通过画两条与船舶纵轴成 15° 角的切线确定。

2. 6. 3. 9 对开口的全部或部分强度补偿可通过提供增加板材剖面面积、纵向扶强材或桁材或其他适宜的结构来实现。补偿区域应完全覆盖开口前后端。任何开口的局部边界加强不得计入船体梁剖面模数计算的有效面积内。根据 2. 6. 3. 7 对不作折减的开口没必要作补偿。

2. 6. 3. 10 当计算大开口和非连续甲板和纵舱壁的非有效面积时，所取有效面积如图 4. 2. 18 所示。表示非有效面积阴影区域是通过画两条与船纵轴成 15° 的切线得到。

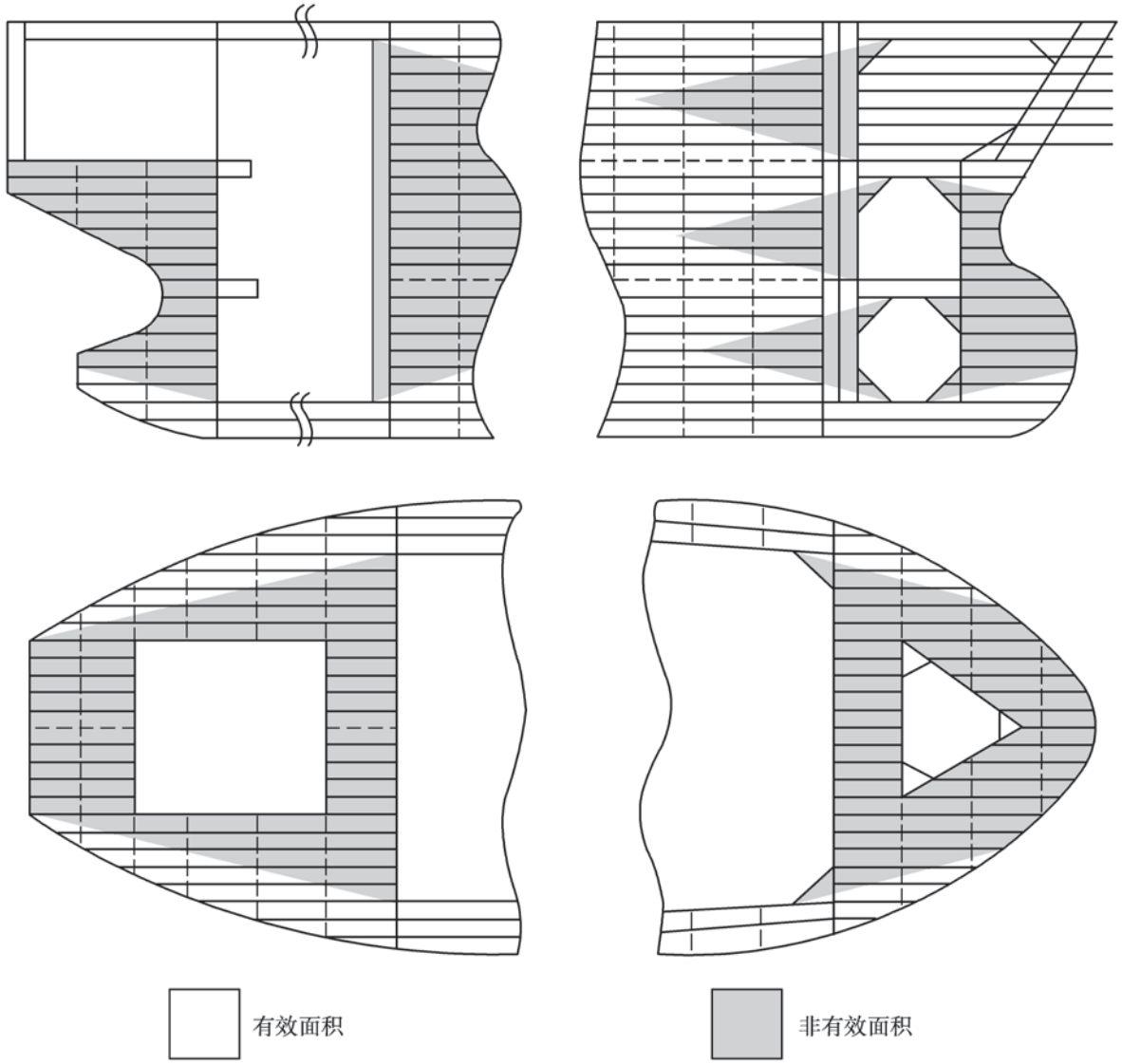


图 4. 2. 18 非连续甲板和舱壁处的有效面积

2. 6. 4 船体梁垂向有效剪切面积

2. 6. 4. 1 船体梁垂向有效净剪切面积包括包括舭部的舷侧外板，包括底边舱斜板和舷外侧以下桁

材的内壳和包括在线上的双层底桁材的纵舱壁的板材净面积。

2. 6. 4. 2　对于船体梁垂向净剪切面积的计算，板的净面积计算是基于净厚度，t_{net50} 由在 2. 6. 4. 1 中给出的所有有效构件的总厚减去 0. 5t_{corr} 的腐蚀增量得到。t_{corr} 在第 6/3. 2 节定义。

2. 6. 4. 3　对于组成船体梁强框架的与垂向斜交的纵向强力构件，剪力计算中的构件面积基于垂直面的投影面积，见图 4. 2. 19。

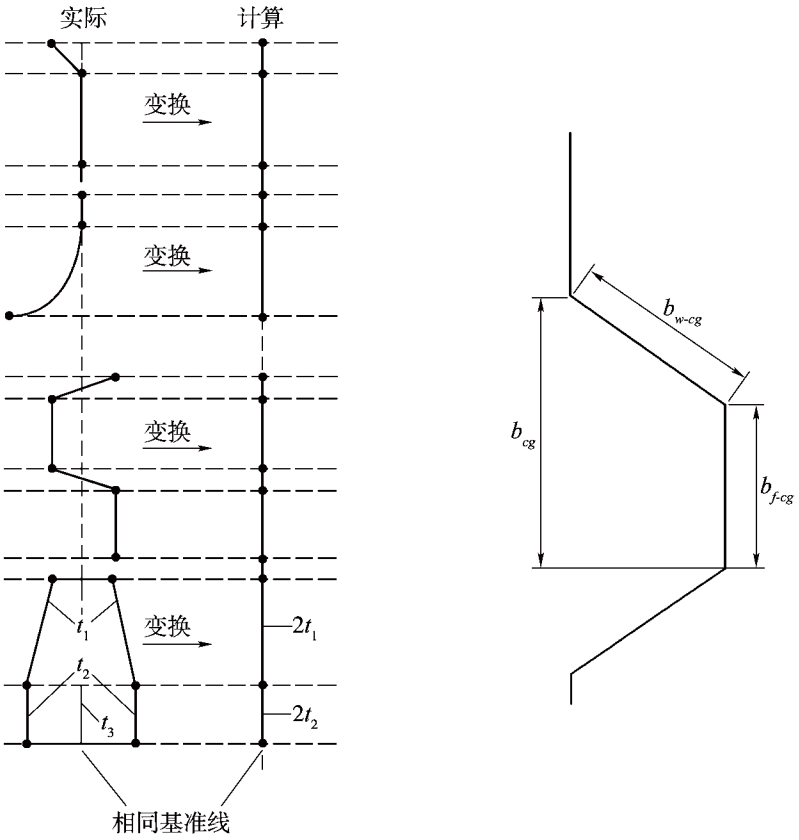


图 4. 2. 19　有效剪切面积

2. 6. 4. 4　垂向和水平槽形舱壁的有效剪切净面积计算基于有效等价净厚度，$t_{cg\text{-}net50}$，由下式决定

$$t_{cg\text{-}net50}=[0.5（t_{w\text{-}grs}+t_{f\text{-}grs}）\frac{b_{cg}}{b_{w\text{-}cg}+b_{f-cg}}]-0.5t_{corr}\qquad \text{mm}$$

式中：$t_{w\text{-}grs}$——槽形腹板总厚度，mm；

$t_{f\text{-}grs}$——槽形翼板总厚度，mm；

b_{cg}——如图 4. 2. 19 中定义的一个槽形投影长度；

$b_{w\text{-}cg}$——如图 4. 2. 19 中定义的一个槽形腹板投影宽度；

$b_{f\text{-}cg}$——如图 4. 2. 19 中定义的一个槽形翼板投影宽度；

t_{corr}——腐蚀增量，如第 6 节 /3. 2 定义，mm。

2. 6. 4. 5　等效槽形净厚度，$t_{cg\text{-}net50}$ 仅用于有效面积 $A_{eff\text{-}net50}$ 和剪力分布因子 f_i 的计算，f_i 按第 8 节 /1. 3. 2. 2 定义。

3　结构设计细节

3. 1　标准建造细节

3. 1. 1　应提交的细节

3. 1. 1. 1　应为审查提交一本标准构造细节手册，包括：

（a）拼装构件的比例以验证符合用于结构稳性的已定标准，见第 10 节；

（b）减小应力集中、切口和材料疲劳等有害影响的结构细节设计，如：

- 构件和相连肘板相交处的端部细节；
- 通气孔、泄水孔和 / 或减轻孔的形状和位置；
- 内部构件的槽或切口的形状和加强；
- 消除或封闭对接面的焊缝凹坑，“软化”肘板趾部，减少截面的骤然变化或结构不连续处；
- 构件的比例和厚度，以减少发动机、螺旋桨或波浪引起的周期性应力造成的疲劳响应。

3.2 局部支撑构件的终端

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 一般而言，结构部件应与相邻结构有效连接，避免硬点、切口和应力集中。

3.2.1.2 在结构部件的终点，结构的连续性由设在肋骨端部连接的或端部连接应有效延伸到附加结构和与相邻的梁、加强筋等合为一体上的合适的辅助结构来保持。

3.2.1.3 所有各种加强筋（纵骨、梁、肋骨、舱壁加强筋）应在其端部连接。但在特殊情况下，可允许切斜式端部。不同类型连接（肘板式、无肘板式或切斜端式）的要求在 3.2.3 到 3.2.5 中给出。

3.2.2 纵向构件

3.2.2.1 在船中货油舱区域 0.4L 范围内，所有纵骨均应保持连续。在特殊情况下，纵骨的终点可在大的开口、基座和部分桁材之处，但端部连接和焊接应作特殊考虑。

3.2.2.2 在通过肘板达到纵向构件强度的连续性处，应确保在主要支撑构件的每侧正确校准肘板，且肘板尺寸应使其组合加强筋 / 肘板的剖面模数和有效横截面面积不小于构件的剖面模数和有效横截面面积。

3.2.3 肘板连接

3.2.3.1 在用肘板连接的端部，在加强筋与肘板连接之处和肘板与支撑构件连接之处应保持强度连续性。肘板应有足够尺寸补偿非连续性的加强筋翼板或非连续性的加强筋。

3.2.3.2 加强筋和肘板的连接布置应使连接处无一点的剖面模数会小于加强筋所要求的值。

3.2.3.3 肘板最小净厚度 $t_{bkt-net}$ 取作下式计算的值，但不得小于 6mm 或不必大于 13.5mm。

$$t_{bkt-net} = (2 + f_{bkt}\sqrt{Z_{rl-net}})\left(\sqrt{\frac{\sigma_{yd-stf}}{\sigma_{yd-bkt}}}\right) \quad \text{mm}$$

式中：f_{bkt}=0.2，对于带翼板或边的加强筋的肘板；

f_{bkt}=0.3，对于无翼板或边的加强筋的肘板；

Z_{rl-net}——加强筋净规范剖面模数，cm^3（若两个加强筋相连，不必取作比相连加强筋中的最小者大）；

σ_{yd-stf}——加强筋材料规定的最小屈服应力，N/mm^2；

σ_{yd-bkt}——肘板材料规定的最小屈服应力，N/mm^2。

3.2.3.4 当臂长不等时，从带板到肘板趾端所量取的臂长应为：臂长之和大于 $2l_{bkt}$，每个臂长不小于 $0.8l_{bkt}$，其中 l_{bkt} 如 3.2.3.4 定义。

3.2.3.5 除去其他 3.2.4 所许用的要求，保证端部转角固定的肘板应设置在非连续局部支撑构件的端部。端肘板的力臂长度 l_{bkt} 不小于下式计算之值，但不得小于相连加强筋腹板深度的 1.8 倍，该加强筋的腹板端部得到支持且肘板与加强筋腹板焊接在一条线上或者具有必要的偏移以便焊接，见图 4.3.1c）。对于其他情况取 2 倍，见图 4.3.1a）、b）和 d）。

$$l_{bkt} = C_{bkt}\sqrt{\frac{Z_{rl-net}}{t_{bkt-net}}} \quad \text{mm}$$

式中：C_{bkt}=65，对于带翼板或边的加强筋的肘板；

C_{bkt}=70，对于无翼板或边的加强筋的肘板；

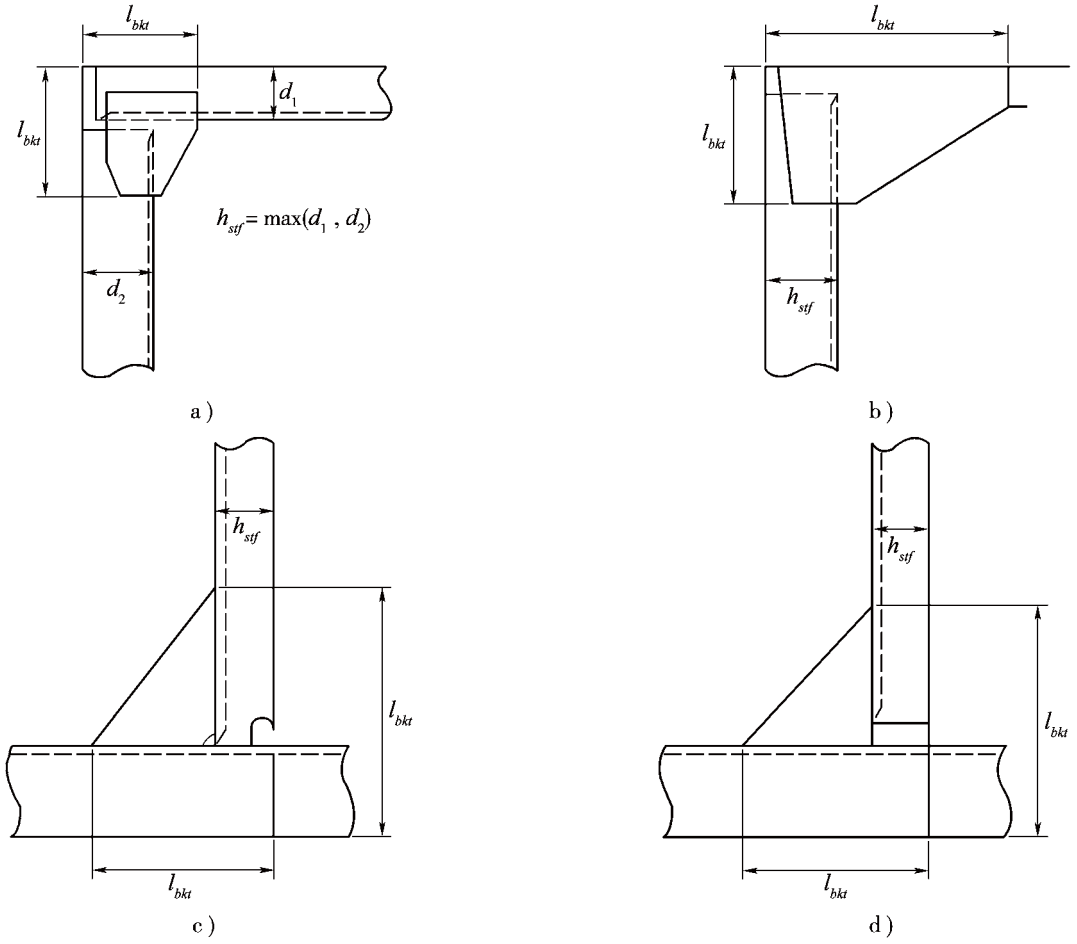
Z_{rl-net}——加强筋的规范净剖面模数，cm^3。若两加强筋连接，则不必大于最小的连接加强筋；

$t_{bkt-net}$——肘板最小净厚度，同 3.2.3.3 定义。

3.2.3.6 肘板的比例和边缘加强是根据第 10/2.4 节要求。若要求边缘加强筋，则加强筋腹板型深 d_w 不小于下式计算之值，但不得小于 50mm。

$$d_w = 45\left(1+\frac{Z_{rl-net}}{2000}\right) \quad \text{mm}$$

式中：Z_{rl-net}——加强筋的规范净剖面模数，cm^3，如两个加强筋连接，则不必大于最小的相连加强筋。



注：—对于扶强材采用非搭接的结构b），肘板臂长l_{bkt}不小于扶强材高度h_{stf}。

—对于连接到主要支撑构件或舱壁的小扶强材（标有h_{stf}）的布置c）和d），肘板高度不小于所连接的扶强材高度，h_{stf}。

图 4.3.1 肘板臂长

3.2.4 无肘板连接

3.2.4.1 局部支撑构件，例如构成船体结构一部分的纵骨、梁、肋骨、舱壁加强筋，按照 3.2.2 和 3.2.3 的要求一般应在其端部连接。

3.2.4.2 如果要采用其他连接方式，对所建议的布置将作特殊考虑。

3.2.4.3 端部连接及其支撑结构的设计，应使接合处足以阻止旋转和移动。

3.2.5 切斜式端部

3.2.5.1 在动态载荷很小以及振动认为较小的情况下，可使用有切斜式端部的加强筋，如不在尾部的结构和不在主机或发电机附近的结构，加强筋所支撑的板材净厚度 t_p 不小于：

$$t_{p-net} = c_1\sqrt{\left(1000l - \frac{s}{2}\right)\frac{spk}{10^6}} \qquad \text{mm}$$

式中：l——加强筋跨距，m；

s——加强筋间距，mm，如 2.2 定义；

p——所考虑的设计载荷组中的加强筋设计压力，kN/m^2。设计载荷组和导出设计压力的方法是根据以下所定义的验收衡准组合的准则：

货舱区域中的表 8.2.5；

在前货舱前部区域和尾端的第 8 节 /3.9.2.2；

在机舱区域的第 8 节 /4.8.1.2；

k——高强度钢系数，在第 6/1.1.4.1 节定义；

c_1——所考虑的设计载荷组系数，取为：

c_1=1.2　对 AC1 的验收衡准

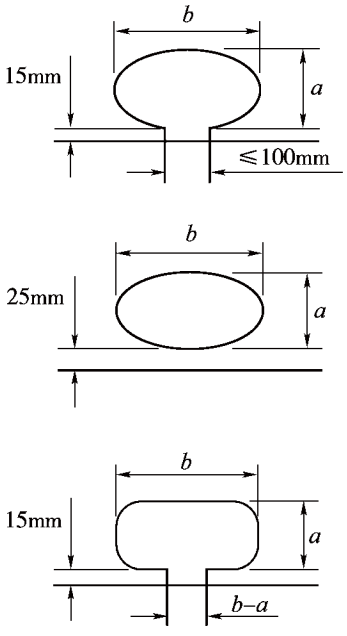
c_1=1.1　对 AC2 的验收衡准

3.2.5.2　肘板趾和构件的切斜端部一般应保持在相邻构件 25mm 范围内。最大距离不超过 40mm，除非肘板或构件由板材相反面的另一构件支撑。应特别注意锥形端部，端部切斜不可超过 30°。趾或切斜端部的深度一般不得超过肘板趾端或切斜端部构件厚度，但不必小于 15mm。

3.2.5.3　非承载构件的端部附件可有切斜端部。端部切斜不可超过 30° 且一般应保持在相邻构件 50mm 范围内，除非肘板或构件由板材相反面的另一构件支撑。趾的高度一般不得超过 15mm。

3.2.6　通气孔和泄水孔和扇形孔

3.2.6.1　通气孔、泄水孔、扇形孔和分段连接处应与端肘板趾、端部连接处和沿加强筋长度朝跨中方向和沿相反方向 50mm 处的应力高度集中的其他区域保持至少 200mm 距离，见图 4.3.2b）。在这些剪应力小于 60% 的许用值区域，则可采用替换的布置。开口应有良好倒圆。图 4.3.2a）显示通气孔和泄水孔及扇形孔的一些示例。一般地，如图 4.3.2a）所定义的 a/b 比例在 0.5 和 1.0 间。在疲劳敏感区域，关于开口和扇形孔的布置和结构细节的要求需进一步考虑。



注：本图所示的细节仅是指导和示例。

图 4.3.2a）　通气孔和泄水孔及扇形孔示例

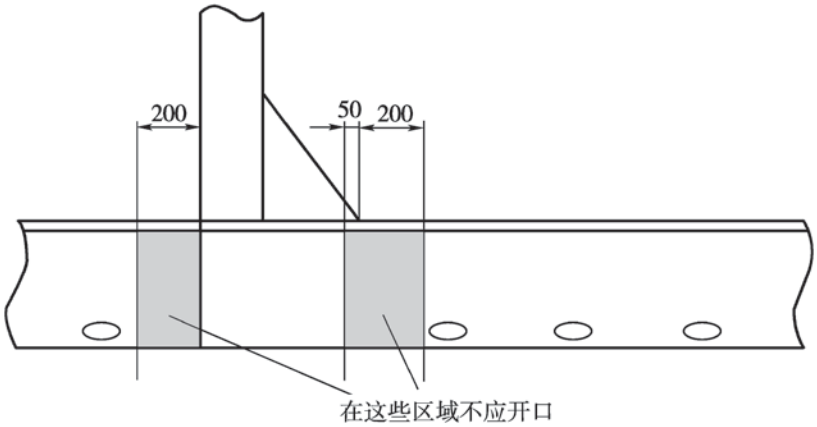


图 4.3.2b） 通气孔和泄水孔的位置

3.2.7 特殊要求

3.2.7.1 在纵向强力构件或离加强筋端部 20% 跨距的区域不允许有间距紧密的扇形孔或泄水孔，如间距小于如图 4.3.2a）所示宽度 b 的两倍。允许有间距大的通气孔或泄水孔，若这些孔是椭圆形或等效形状以最大限度减少应力集中，且一般应在焊接处刮净。

3.3 主要支撑构件的终端

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 主要支撑构件的布置应确保强度的有效连续性，应避免高度或剖面的骤然改变。液舱内的主要支撑构件应构成一线连续的支撑，如有可能应构成完整的环形框架系统。

3.3.1.2 构件应有足够的侧向稳性和腹板加强，结构的布置应使硬点和其他应力集中源减少到最小。开口应有良好的倒圆，其位置应考虑到板格的应力分布和屈曲强度。

3.3.2 端部连接

3.3.2.1 应以肘板或等效结构使主要支撑构件的端部有足够固定。端部连接及其支撑结构的设计，应使接合处足以阻止旋转和位移以及来自构件载荷的有效分布。

3.3.2.2 肘板端部一般应有软趾。肘板自由边应予加强。尺度和细节在 3.3.3 中给出。

3.3.2.3 在主要支撑构件承受集中载荷处，可要求作进一步加强，特别当这些载荷与构件腹板不在一条线上时。

3.3.2.4 一般地，主要支撑构件端部或构成环形框架系统的主要支撑构件间的连接应设有肘板。若只要邻接面板间有足够支撑，可采用无肘板连接。

3.3.3 肘板

3.3.3.1 一般地，连接主要支撑构件的肘板臂长不得小于构件腹板深度，也不必取为大于腹板深度的 1.5 倍。肘板厚度一般不得小于桁材腹板厚度。

3.3.3.2 如果在环形框架系统中，端肘板与构件腹板合为一体，且面板沿构件和肘板边缘连续，则在近肘板中点处应保持最大面板的全部面积并向较小面板逐渐过渡。面板的对接应在肘板趾部保持干净。

3.3.3.3 如果宽的面板邻接窄的面板，过渡一般不得大于 1∶4。在厚的面板邻接薄的面板且厚度相差大于 4mm，则厚度过渡不得大于 1∶3。

3.3.3.4 肘板上的面板（类似与图 4.2.7b）所表明的典型肘板），其净横截面面积 $A_{f\text{-}net}$ 不得小于：

$$A_{f\text{-}net} = l_{bkt\text{-}edge}\, t_{bkt\text{-}net} \qquad \text{cm}^2$$

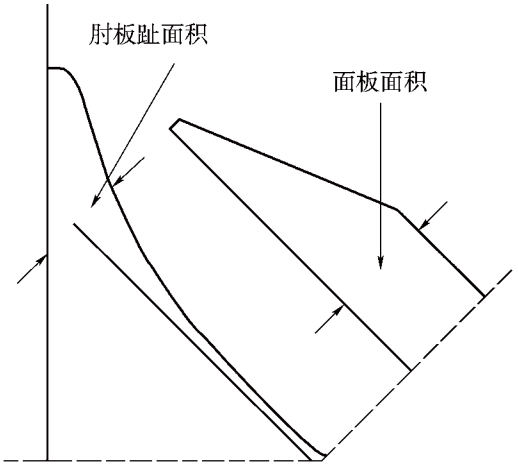
式中：$l_{bkt\text{-}edge}$——肘板自由边长度，m，对于曲线形的肘板，其自由边肘板长度取自由边中点切线长度；如果 $l_{bkt\text{-}edge}$ 大于 1.5m，则 40% 的面板面积应在平行于自由边且距该边最大 0.15m 处设置的加强筋内；

t_{bkt}——最小肘板净厚度，如 3.2.3.3 定义。

3.3.4 肘板趾部

3.3.4.1 肘板趾部不得设置在未予加强的板材上。通过趾部制成凹形或其他圆锥形可以减小在肘板趾部的切口效应。一般的，趾高不应大于肘板趾部厚度，但也不必小于 15mm。大的主要支撑构件的肘板端部应为软趾。在任何肘板端部有面板处，该面板应有角度不大于 30° 的切斜和锥形化。

3.3.4.2 在主要支撑构件用高强度钢制成处，应特别注意肘板端的趾部设计，把应力集中减少到最小。焊在主要支撑构件肘板边缘上的切斜式面板，弧形肘板趾部应有良好围绕并应有不大于 1：3 的过渡。在切斜式面板焊接相邻主要支撑构件肘板边缘处，在通过切斜端部的肘板趾应有足够的横截面面积。一般的，垂直于面板量取的这一面积不得小于面板全部横截面的 60%，见图 4.3.3。



注：本图所显示的细节仅用作文中的举例，不表示设计指导和建议

图 4.3.3 肘板趾构造

3.4 连续局部支撑构件和主要支撑构件相交

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 供加强筋穿过主要支撑构件腹板的切口和相关补板的布置应设计成使开口四周以及在所附腹板加强筋上的应力集中减少到最小。

3.4.1.2 在壁凳下或高应力区域肋板和横向撑材端部的切口应设置全补板，见图 4.3.4。

3.4.1.3 在应用 3.4.3 要求的切口和应力集中显著区域要设置补板，如主要支撑构件趾端，图 4.3.5 为典型补板布置。

3.4.1.4 当在以下的位置，根据 3.4.3.5 要求主要支撑构件腹板的加强筋直接计算应力 σ_w 超过许用值的 80% 时，在主要支撑构件腹板加强筋跟部设置软跟：

（a）结构吃水 T_{sc} 以下与外板纵骨的连接；

（b）与内底纵骨的连接。

在水密舱壁的设置背衬肘板或主要支撑构件腹板焊接到加强筋面板的交界处不设软跟。软跟有锁眼，类似与如图 4.3.6c）所示。

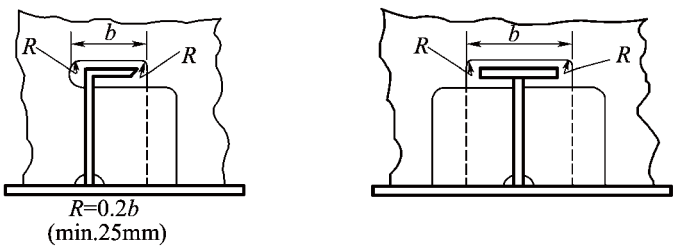
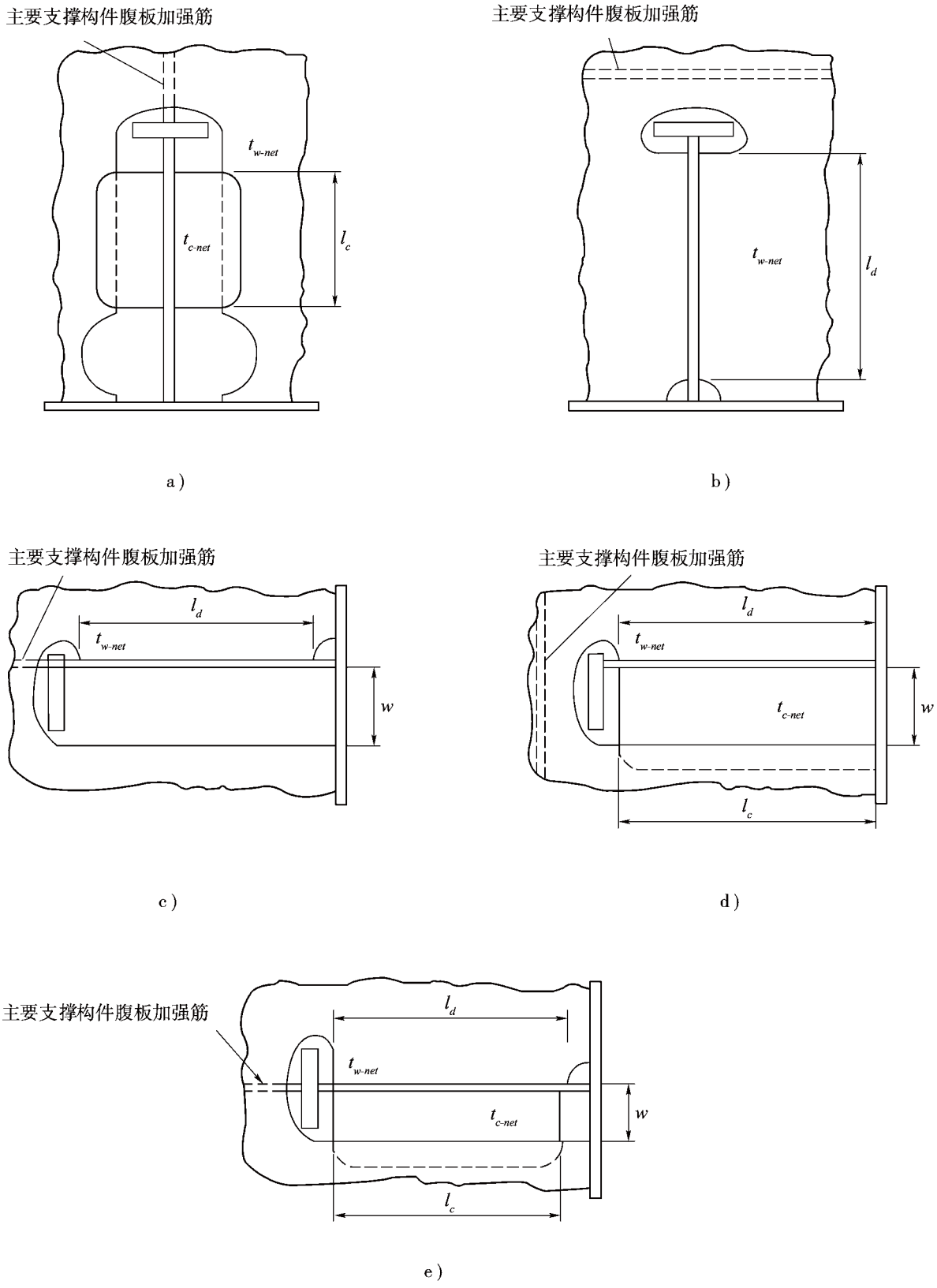


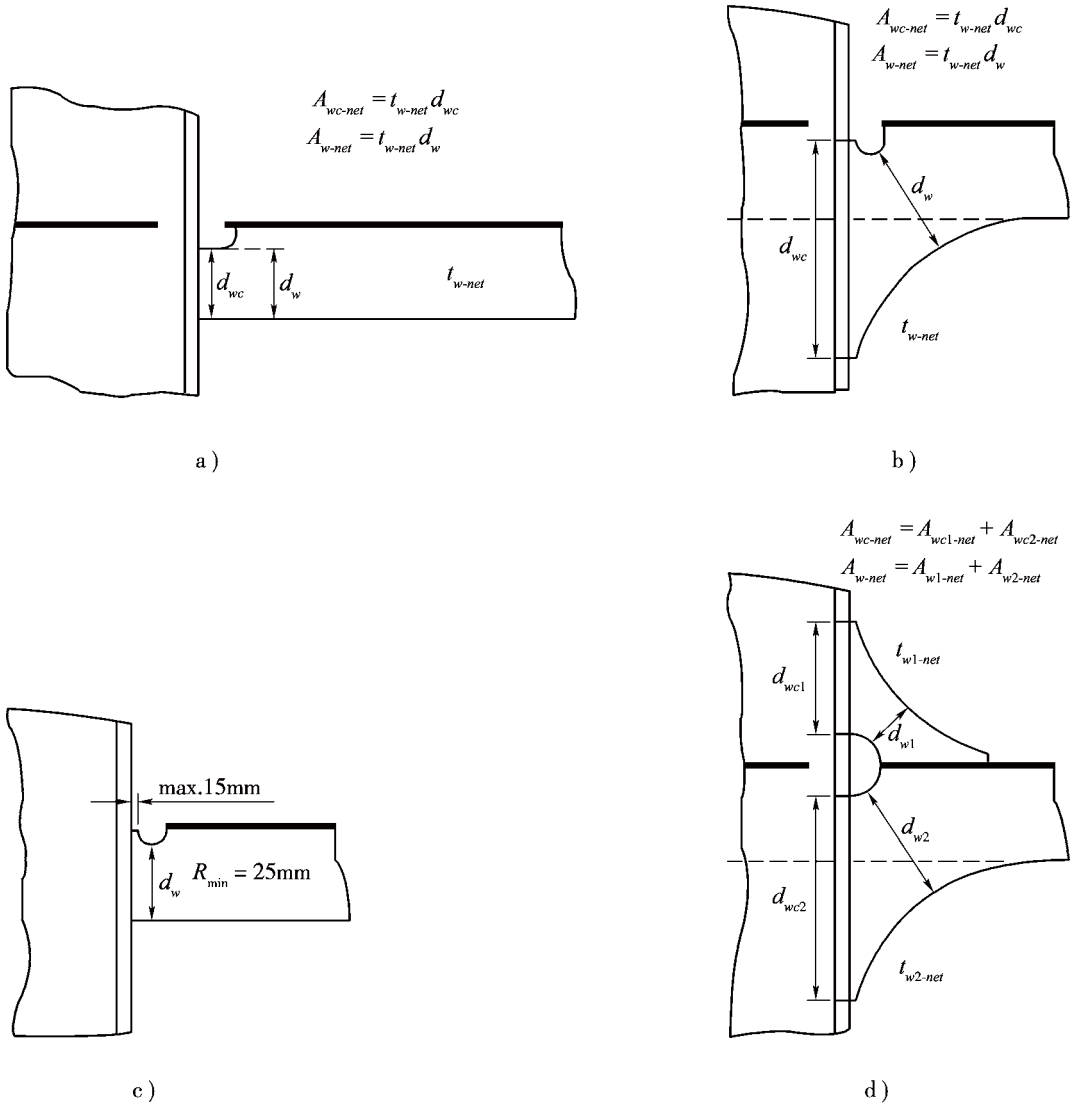
图 4.3.4 在高应力的切口补板



注：显示在这些图中的细节仅用于示例符号和定义，不涉及具体的设计指导和建议。

图 4.3.5 对称和不对称切口

a）双补板或领板；b）切型槽连接；c）没有补板或领板的直接连接；d）补板或领板和直接连接；e）补板或领板和直接连接



$t_{w\text{-}net}$，$t_{w1\text{-}net}$和$t_{w2\text{-}net}$为主要支撑构件腹板加强筋/背衬肘板的净厚度，mm；

d_w，d_{w1}和d_{w2}为主要支撑构件腹板加强筋/背衬肘板的最小高度，mm；

d_{wc}，d_{wc1}和d_{wc2}主要支撑构件腹板加强筋/背衬肘板和局部支持加强筋间的连接长度，mm。

注：除了见3. 4. 1. 4软趾钥匙孔的细节的规定尺寸外，本图所显示的细节仅作符号举例和定义，不作设计指导和建议。

图 4. 3. 6 主要支撑构件的腹板加强筋细节

a）无肘的直接跟；b）软趾和软跟；c）软跟部的钥匙孔；d）肘板的对称软趾

3. 4. 2 切口细节

3. 4. 2. 1 一般来说，切口应有圆角，圆角半径 R 应尽实际可能大些，至少为切口宽度 b 的 20%或 25mm，取大者，但不必大于 50mm，见图 4. 3. 4。对于其他形式，基于等效的强度和最小应力集中进行考虑。

3. 4. 3 主要支撑构件与相交加强筋（局部支撑构件）的连接

3. 4. 3. 1 连接处的横截面面积取决于通过每一与其合适的许用应力有关构件传递的载荷比例。

3. 4. 3. 2 通过连接处传至主要支撑构件的总载荷 W 由下式得出：

$$W = p_S\left(S - \frac{s}{2000}\right)10^{-3} \qquad \text{kN}$$

式中：p——对于所考虑设计载荷组的加强筋的设计压力，kN/m^2，设计载荷组，导出设计压力的方法

和应用的验收衡准根据以下定义可用验收衡准组的准则确定：

表 8. 2. 5 在货油舱区域

第 8/3. 9. 2. 2 在前货舱的前区域

第 8/3. 9. 2. 2 在尾部

第 8/4. 8. 1. 2 在机舱区域

第 8/6. 2. 4. 1 若受到晃荡压力

第 8/6. 3. 5. 1 若受到船底砰击

第 8/6. 4. 5. 1 若受到船首冲击载荷

S——主要支撑构件间距，m，在第 4 节 /2. 2 定义；

s——加强筋间距，mm，在第 4 节 /2. 2 定义。

对于有不同的主要支撑构件间距 S 和 / 或在主要支撑构件每侧有不同 P 的加强筋，应对两侧施加平均载荷，例如横舱壁的垂直加强筋。

3. 4. 3. 3　通过剪切连接传递的载荷 W_1 取作：

如果腹板加强筋与相交加强筋相连：

$$W_1 = W\left(\mathrm{a}_a + \frac{A_{1-net}}{4 f_c A_{w-net} + A_{1-net}}\right) \qquad \text{kN}$$

如果腹板加强筋未与相交加强筋相连：

$$W_1 = W$$

式中：W——总载荷，定义同 3. 4. 3. 2；

α_a——板格形状比，不得取为大于 0. 25；

$$\alpha_a = \frac{s}{1000S}$$

S——主要支撑构件间距，m；

s——加强筋间距，mm；

A_{1-net}——连接的有效净剪切面积，取为各连接构件之和：

$A_{1d-net} + A_{1c-net}$　　cm^2

开裂型槽口连接面积的情况，A_{1-net} 由下式得出：

$A_{1-net} = 2 l_d t_{w-net} 10^{-2}$　　cm^2

典型的双补板连接面积的情况，A_{1-net} 由下式得出：

$A_{1-net} = 2 f_1 l_c t_{c-net} 10^{-2}$　　cm^2

A_{1d-net}——图 4. 3. 5 所示不包括补板的净剪切连接面积由下式和图 4. 3. 5 得出：

$A_{1d-net} = l_d t_{w-net} 10^{-2}$　　cm^2

l_d——加强筋和主要支撑构件腹板间的直接连接长度，mm；

t_{w-net}——主要支撑构件腹板净厚度，mm；

A_{1c-net}——有补板的净剪切连接面积由下式和图 4. 3. 5 得出：

$A_{1c-net} = f_1 l_c t_{c-net} 10^{-2}$　　cm^2

l_c——补板和主要支撑构件间的连接长度，mm；

t_{c-net}——补板净厚度，不得取为大于相邻主要支撑构件腹板净厚度，mm；

f_1——剪切刚度系数：

$f_1 = 1.0$，对于对称剖面的加强筋

$f_1 = 140/w$，对于不对称剖面的加强筋

不得取为大于 1. 0；

w——不对称加强筋的切口宽度，如图 4. 3. 5 所示从加强筋腹板的切口边量起，mm；

A_{w-net}——以包括设置的背衬肘板在内连接的主要支撑构件腹板加强筋有效净横截面面积，如图 4. 3. 6 所示，cm^2，如果主要支撑构件腹板加强筋具有软性跟部或软跟和软趾端部，则 A_{w-net} 应在连接的喉部处量取，如图 4. 3. 6 所示；

f_c——补板载荷因子定义如下：

对于对称横截面的相交加强筋：

f_c=1. 85　　对于 $A_{w-net} \leqslant 14$

f_c=1. 85−0. 0441（A_{w-net}−14）　　对于 $14<A_{w-net} \leqslant 31$

f_c=1. 1−0. 013（A_{w-net}−31）　　对于 $31<A_{w-net} \leqslant 58$

f_c=0. 75　　对于 $A_{w-net}>58$

对于不对称横截面的相交加强筋：

$$f_c = 0.68 + 0.0172\frac{l_s}{A_{w-net}}$$

$L_s=l_c$，对于到主要支撑构件的单面补板连接

$L_s=l_d$，对于到主要支撑构件的单边直接连接

L_s= 双边的平均连接长度，如补板加一个直接连接，l_s=0. 5（l_c+l_d）

3. 4. 3. 4　通过主要支撑构件腹板加强筋传递的载荷 W_2 取作：

如果腹板加强筋与相交加强筋相连：

$$W_2 = W\left(1 - a_a - \frac{A_{1-net}}{4f_c A_{w-net} + A_{1-net}}\right) \quad \text{kN}$$

如果腹板加强筋未与相交加强筋相连：

$$W_2=0$$

式中：W——总载荷，定义同 3. 4. 3. 2；

α_a——板格形状比；

$$a_a = \frac{s}{1000S}$$

S——主要支撑构件间距，m；

s——加强筋间距，mm；

A_{1-net}——连接的有效净剪切面积，定义同 3. 4. 3. 3；

f_c——补板载荷因子，定义同 3. 4. 3. 3；

A_{w-net}——主要支撑构件腹板加强筋的有效净横剖面面积，在 3. 4. 3. 3 定义。

3. 4. 3. 5　A_{w-net}，A_{wc-net} 和 A_{1-net} 值满足下列计算应力衡准：

对于离开焊接处，主要构件腹板加强筋的连接：

$$\sigma_w \leqslant \sigma_{perm}$$

对于焊接处，主要构件腹板加强筋的连接：

$$\sigma_{wc} \leqslant \sigma_{perm}$$

对于主要支撑构件腹板的剪切连接：

$$\tau_w \leqslant \tau_{perm}$$

式中：σ_w——在离焊接连接处最小肘板面积处的主要支撑构件腹板加强筋的直接应力；

$$\sigma_w = \frac{10W_2}{A_{w-net}} \quad \text{N/mm}^2$$

σ_{wc}——在焊接连接处主要支撑构件腹板加强筋的直接应力；

$$\sigma_w = \frac{10 W_2}{A_{wc-net}} \quad \text{N/mm}^2$$

τ_w——在主要支撑构件的剪切连接处剪应力；

$$\tau_w = \frac{10 W_1}{A_{1-net}} \quad \text{N/mm}^2$$

A_{w-net}——主要支撑构件腹板加强筋有效净横剖面面积，如 3. 4. 3. 3 定义；

A_{wc-net}——如图 4. 3. 6 中焊接处腹板加强筋的有效净面积，cm^2；

A_{1-net}——连接的有效净剪切面积，如 3. 4. 3. 3 定义；

W_1——通过剪切连接传递的载荷，如 3. 4. 3. 3 定义；

W_2——通过腹板加强筋传递的载荷如 3. 4. 3. 4 定义；

σ_{perm}——在验收衡准应用表 4. 3. 1 中给出的许用直接应力，见 3. 4. 3. 2，N/mm^2；

τ_{perm}——在验收衡准应用表 4. 3. 1 中给出的许用剪应力，见 3. 4. 3. 2，N/mm^2。

3. 4. 3. 5　bis1 当总载荷 W 是船底砰击或船首冲击载荷时，使用下列衡准来代替 3. 4. 3. 3-3. 4. 3. 5：

$$0.9W \leqslant \frac{(A_{1-net}\,\tau_{perm} + A_{w-net}\,\sigma_{perm})}{10} \quad \text{kN}$$

式中：A_{1-net}——连接处的有效剪切面积，cm^2，如 3. 4. 3. 3 所定义；

A_{w-net}——连接处主要支撑构件腹板加强有效净横截面积，cm^2，包括背衬肘板，如 3. 4. 3. 3 所定义；

σ_{perm}——对 AC3 的许用直接应力，N/mm^2，见表 4. 3. 1。

τ_{perm}——对 AC3 的许用剪切应力，N/mm^2，见表 4. 3. 1。

加强筋和主要支撑构件间连接许用应力　　**表 4. 3. 1**

项　　目	正应力σ_{perm}，N/mm^2			剪切应力τ_{perm}，N/mm^2		
	验收衡准组 见3. 4. 3. 2			验收衡准组 见3. 4. 3. 2		
	AC1	AC2	AC3	AC1	AC2	AC3
主要支撑构件腹板加强筋	$0.83\sigma_{yd}$ (3)	σ_{yd}	σ_{yd}			
焊缝处主要支撑构件加强筋至相交加强筋：						
双道连续角焊	$0.58\sigma_{yd}$ (3)	$0.7\sigma_{yd}$ (3)	σ_{yd}			
部分焊透焊缝	$0.83\sigma_{yd}$ (2)(3)	σ_{yd} (2)	σ_{yd}			
搭接焊缝处主要支撑构件加强筋至相交加强筋	$0.50\sigma_{yd}$	$0.60\sigma_{yd}$	σ_{yd}			
包括补板的剪切连接：						
单面连接				$0.71\tau_{yd}$	$0.85\tau_{yd}$	τ_{yd}
双面连接				$0.83\tau_{yd}$	τ_{yd}	τ_{yd}

其中：τ_{perm}——许用剪切应力，N/mm^2；

σ_{perm}——许用直接应力，N/mm^2；

σ_{yd}——规定材料最小屈服应力，N/mm^2：

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \text{N/mm}^2$$

注：（1）板型构件的应力计算应根据净厚度进行，总值用于焊缝强度评估，见3. 4. 3. 11。

（2）根面不得大于主要支撑构件加强筋总厚度的三分之一。

（3）对主要支撑构件腹板加强筋跟部的软跟，允许应力可增加5%。

3.4.3.6 在除了主要支撑构件腹板加强筋外增设一个背衬肘板，则该肘板应布置在腹板加强筋的相反面并与其校准。肘板力臂长度不得小于腹板加强筋深度，在如图 4.3.6 所示计算 A_{w-net} 时应计入其穿过肘板喉部的净横截面面积。

3.4.3.7 在货油舱区域，不允许主要支撑构件加强筋或局部支撑构件防倾肘板的重叠连接。

3.4.3.8 建议不要将面板焊在腹板一边而使腹板边缘暴露的制造加强筋用于舷侧外板和纵舱壁纵骨。在这种与主要支撑构件腹板加强筋相连的剖面，应包括与横向构件相连接的对称布置。具体做法可以是在横向强框架或横舱壁的反面设背衬肘板。在货油舱区域，主要支撑构件腹板加强筋与背衬肘板应对接焊到与加强筋腹板相交。

3.4.3.9 在主要支撑构件的腹板加强筋与相交加强筋腹板平行，但未相连，则偏置的主要支撑构件腹板加强筋可如图 4.3.7 所示定位。偏置的主要支撑构件腹板加强筋位置约接近于槽边，见图 4.3.7。偏置腹板加强筋的端部应适当呈锥形和软化。

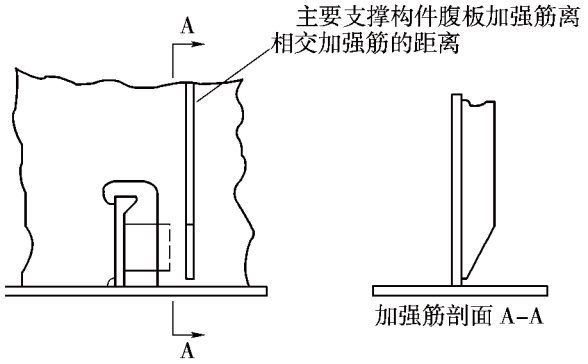


图 4.3.7 主要支撑构件加强筋的偏移

3.4.3.10 其他布置将根据其以同等效率传递载荷的能力予以特殊考虑。应提交细节计算和 / 或试验过程和结果。

3.4.3.11 填角焊的尺寸应按照第 6 节 /5 基于表 4.3.2 给出的焊接因数进行计算。对剪切连接处的焊缝，尺寸不得小于所考虑位置的主要支撑腹板的要求尺寸。

加强筋和主要支撑构件间连接的焊接因数 **表 4.3.2**

项 目	焊 缝 因 数
主要支撑构件加强筋至相交加强筋	$0.6\sigma_{wc}/\sigma_{perm}$ 不得小于0.38
包括补板在内的剪切连接	0.38
包括补板在内的剪切连接，且主要支撑构件腹板加强筋未与相交加强筋相连	$0.6\tau_w/\tau_{perm}$ 不得小于0.44

其中：τ_w——如3.4.3.5定义；

σ_{wc}——如3.4.3.5定义；

τ_{perm}——许用剪切应力，N/mm^2，见表4.3.1；

σ_{perm}——许用直接应力，N/mm^2，见表4.3.1。

3.5 开口

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 开口应有良好圆角。

3.5.1.2 人孔、减轻孔和其他类似开口应避免开在载荷集中处和高剪力区域。人孔和类似开口特

别要避免开在高应力区域，除非板材应力和板格屈曲特征经计算认为满意。高应力区域的例子包括：

（a）狭窄隔离舱 / 离两端六分之一舱壁长度范围内双板舱壁的垂直或水平隔板；

（b）肋板或紧靠其跨距端部的双层底桁材；

（c）支柱的顶部以上及跟部以下。

如果所开的开口大于 3. 5. 2 或 3. 5. 3 的规定，则对其布置和补偿将作特殊考虑。

3. 5. 2 不需加强单壳剖面中的人孔和减轻孔

3. 5. 2. 1 腹板开孔高度不超过腹板高度的 25%，且其边缘与面板的距离不小于腹板高度的 40%，则一般不需加强。开口长度不得大于腹板高度或局部支撑构件间距的 60%，取大者。开口边缘应与局部支撑构件切口各角有相等距离。

3. 5. 3 不需加强的双壳剖面中的人孔和减轻孔

3. 5. 3. 1 若开口高度不超过腹板高度的 50% 和其边缘远离供局部支撑构件通过的切口，则开在腹板且避开高应力区域的开口，不要求加强。

3. 5. 4 需要加强的人孔和减轻孔

3. 5. 4. 1 按 3. 5. 4. 2 和 3. 5. 4. 3 要求对人孔和减轻孔进行加强。当根据第 9 节 /2 所述的分析方法能够验证替代方法可满足应力和稳定性的要求时，则 3. 5. 4. 2 和 3. 5. 4. 3 要求的加强可以更改。

3. 5. 4. 2 当第 8 节或第 9/2 节所要求的平均剪应力大于验收衡准组 AC1 所规定的 50N/mm^2 或大于验收衡准组 AC2 所规定的 60N/mm^2 时，则开口处腹板需要加强。加筋布置要确保在第 8 节或第 9 节 /2 的装载要求下，满足第 10 节的屈曲强度要求。

3. 5. 4. 3 在计入纵向强度的构件上，其加强筋应沿开口自由边且平行于开口垂直和水平轴线装设。如果最短轴线短于 400mm，可在一个方向不设加强筋，而如果两条轴线长度均小于 300mm，则两个方向均可不设加强筋。边缘加强可用来取代加强筋。见图 4. 3. 8。

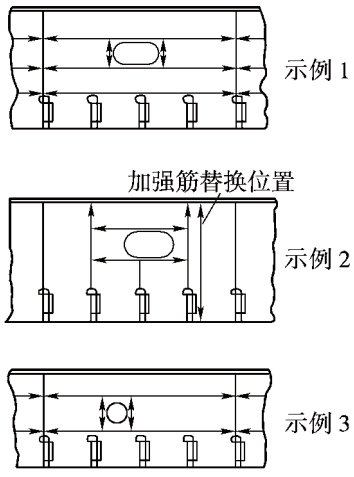


图 4. 3. 8 有大开孔的腹板

3. 6 局部加强

3. 6. 1 折角处加强

3. 6. 1. 1 无论何时在主要构件（外板、纵舱壁等）设置折角，应在折角处设有足够的加强以传递横向载荷。这种加强形式为腹板、肘板或型材，并且应与传输载荷（剪力）的横向构件相连。见图 4. 3. 9。

3. 6. 1. 2 一般地，对于纵向浅折角，可在折角上下的纵向构件之间，跨越折角装设间距紧密的短梁。因为不受到高的侧向载荷或通过折角的面内载荷作用，则短梁或其他的加强形式则不必安装在浅折角区域，如甲板梁拱折角。

3. 6. 1. 3 一般地，在折角和如 3. 6. 1. 1 所述的支撑加强间的距离不得大于 50mm。

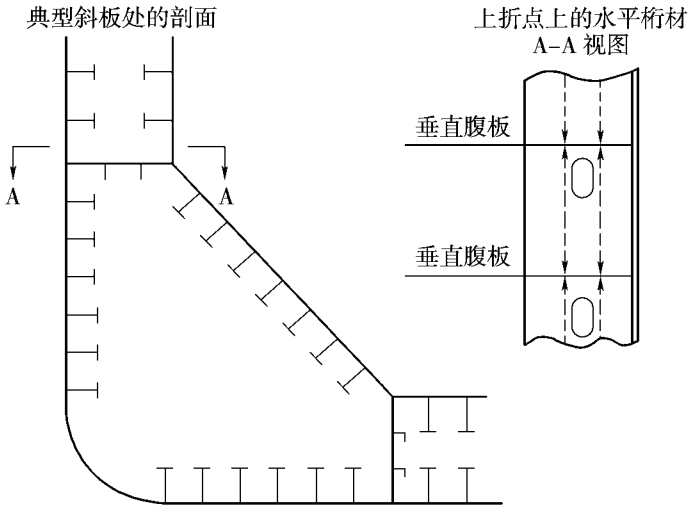


图 4.3.9 折角加强示例

3.6.2 与检验通道相连接的开孔和附件的加强

3.6.2.1 检验通道局部加强时应考虑正确的位置和用于检验通道的船体结构上的附件强度。

3.7 疲劳强度

3.7.1 一般要求

3.7.1.1 结构细节设计应符合第 9 节 /3 规定的疲劳强度要求。

第5节 结 构 布 置

1 通则

1.1 前言

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本节概述船舶的一般结构布置要求，这些要求基于或引自国家和国际规则。见第2节/2.1.1和第3节/3.3。

2 水密分舱

2.1 水密舱壁布置

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 所有船舶均应设有水密舱壁，按照以下要求将船体分成各个水密舱室。

2.1.2 水密舱壁的最低数量和配置

2.1.2.1 所有船舶均应设置以下水密舱壁：

（a）一道防撞舱壁，见2.2.1.1；

（b）一道尾尖舱舱壁；

（c）机器处所每端一道舱壁。

2.1.2.2 货油舱区域的舱壁应尽量保持均匀间距。

2.1.2.3 舱壁的适用数量和配置的设计应适合分舱、可浸性和破损稳性的要求，并应符合国家规则的要求。

2.1.2.4 水密舱壁上的开口数量应保持最少。如果由于通道、管系、通风和电缆等的缘故而有必要在水密舱壁和内部甲板上安设贯穿件，应做好保持水密完整性的布置。第8节/3.6.2的附加要求适用于防撞舱壁。

2.2 防撞舱壁位置

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 所有船舶均应设有一道防撞舱壁，且应延伸至干舷甲板。它应位于参考点之后$0.05L_L$或10m（取小者）和$0.08L_L$之间，载重线长度L_L的定义见第4节1.1.2.1，参考点的定义见2.2.1.2。对于将防撞舱壁设在$0.08L_L$之后的建议，将作特殊考虑。

2.2.1.2 对无球鼻首船舶，参考点应取为：量取L_L的水线上L_L的前端，该前端与首轮廓的前缘重合。对有球鼻首船舶，参考点应自L_L的前端向前距离x量取，x应取为以下值中之小者：

（a）距L_L前端和球鼻延伸部分最前端距离的一半；

（b）$0.015L_L$；

（c）3.0m。

2.2.1.3 通常，防撞舱壁应在一个平面上，但如果符合2.2.1.1和2.2.1.2的限定，则该舱壁可以设有台阶或凹槽。

2.3 尾尖舱舱壁位置

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 应设有将尾轴管和舵杆筒围蔽在水密舱室内的尾尖舱舱壁。如果轴系布置使尾轴管无法围蔽在水密舱室内，则应对替代布置作特殊考虑。如驱动和/或操纵船舶的装置不要求设置尾轴管和/或舵杆筒，则其尾尖舱舱壁的位置也须作特殊考虑。

2.3.1.2 尾尖舱舱壁可在夏季载重水线以上的第一层甲板上终止，但这层甲板须对船尾或水密尾端肋板保持水密。

3 双壳布置

3.1 一般要求

3.1.1 货油舱的保护

3.1.1.1 每艘油船均应按照 3.2 和 3.3 的规定设有双层底舱处所和双舷侧边舱处所。双层底和双舷侧边舱处所用于保护货油舱或处所，且不应用于装载油类货物。

3.1.2 压载水舱的容量

3.1.2.1 专用压载舱容量的确定，应使该船在不依靠利用货油舱装载压载水的情况下可以安全地进行压载航行。专用压载舱的容量应至少能使船舶的吃水和纵倾在航行的任何部分，不论处于何类压载情况，包括只是空载加专用压载水的情况在内，均应符合 3.1.2.2 至 3.1.2.4 的各项要求。

3.1.2.2 不包括任何中拱或中垂修正的船中型吃水 T_{mid} 应不小于：

$$T_{mid}=2.0+0.02L \qquad \text{m}$$

式中：L——规范船长，同第 4 节 1.1.1.1 中定义，m。

3.1.2.3 F.P. 和 A.P. 处吃水相应于由给出在 3.1.2.2 的船中吃水确定，与之相联系的尾纵倾不大于 $0.015L$（m）。

3.1.2.4 A.P. 处吃水应不小于螺旋桨达到完全浸没所要求的吃水。

3.1.3 货油舱尺寸和布置的限制

3.1.3.1 油船货油舱的尺寸和布置应使船长范围内任何一处舷侧破损和船底破损造成的假设漏油是有限的。

3.2 双层底

3.2.1 双层底深度

3.2.1.1 双层底最小深度 d_{db} 应取为以下两值中的较小者：

$$d_{db}=\frac{B}{15} \qquad \text{m，但不小于 1.0m}$$

$$d_{db}=2.0 \qquad \text{m}$$

式中：B——型宽，同第 4 节 1.1.3.1 中定义，m。

3.3 双舷侧

3.3.1 双舷侧宽度

3.3.1.1 双舷侧最小宽度 w_{ds} 应取为以下两值中的较小者：

$$w_{ds}=0.5+\frac{DWT}{20000} \qquad \text{m，但不小于 1.0m}$$

$$w_{ds}=2.0 \qquad \text{m}$$

式中：DWT——船舶的载重量，同第 4 节 1.1.14.1 中定义，t。

4 处所的分隔

4.1 货油舱的分隔

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 货油泵舱、货油舱、污油水舱和隔离空舱应位于机器处所之前。主货物控制站、控制站、住舱和服务处所应位于货油舱、污油水舱和将货油舱或污油水舱与机器处所相隔离的处所之后，但不必在燃油舱和压载水舱之后。

4.2 隔离处所

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 隔离处所应保持气密。如适用，作内部检查的通道，应符合 5.1 的要求。

5 通道布置

5.1 进入货油舱区域的通道、货油舱区域处所内的通道和前往货油舱区域的通道

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 进入货油舱区域的通道、货油舱区域处所内的通道和前往货油舱区域的通道，应满足经修订的 1974 年国际海上人命安全公约第 II-1 章 A-1 部分第 3-6 条，作为船旗国主管机关对开口布置和附加于船体结构的要求。该部分要求应从对结构的要求相联系进行审查。此外，还应符合 5.1.1.2 至 5.1.1.5 的要求。

5.1.1.2 如果设有箱形龙骨或管隧，应备有至少两个通往开敞甲板且尽量布置相互远离的出口。箱形龙骨或管隧不得通入机器处所。尾部通道可从泵舱通至箱形龙骨。如果设有从泵舱通至箱形龙骨的尾部通道，从泵舱进入箱形龙骨的通道开口应设有油密盖板或水密门。应设有机械通风设备，在进入这种处所之前应使其充分通风。管隧的每个入口处应设有告示牌，说明在要进入之前，风机须已运行了一段足够的时间。此外，应使用气体监测器对管隧内的空气作抽样检测，货油舱内如设有惰性气体系统，还应备有氧气监测器。

5.1.1.3 从泵舱进入箱形龙骨的通道如设有水密门，该水密门的结构尺寸应符合各船级社的要求和以下附加要求：

（a）除可在驾驶室操作外，水密门应能从主泵舱室入口外面手动关闭。应在就地和驾驶室设有门开启或关闭状态的指示装置。

（b）应在每个操作位置设有告示，说明除有必要进入管隧外，水密门应在船舶正常营运期间保持关闭。

CCS5.1.1.3 从泵舱进入箱形龙骨的通道如设有水密门，则该水密门的结构应达到与周围结构同等的强度。

5.1.1.4 垂直压载水边舱的每一水平桁材和露天甲板应设有至少一个净尺寸为 600mm×800mm 的水平出入开口，以协助救援。如果由于结构布置的缘故而不允许 600mm×800mm 的开口，可接受 600mm×600mm 的净开口。

5.1.1.5 对在货油舱舱壁上装设附有油密盖板的永久性修理 / 保养出入开口的任何建议，将作特殊考虑。应注意关于载重线和这种布置的溢油问题的国家规则。

第 6 节 材料与焊接

1 钢材等级

1.1 船体结构钢

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 船舶建造中所用的材料应符合各船级社材料规范的要求。对其他材料的使用和相应尺度将作特殊考虑。

CCS1.1.1.1 船舶建造中所用的材料应符合从 CCS《材料与焊接规范》的要求。对其他材料和相应尺度的使用将作特殊考虑。

1.1.2 强度

1.1.2.1 规定最小屈服强度为 235N/mm^2 的钢材视为普通强度船体结构钢。规定最小屈服强度较高的钢材视为高强度船体结构钢。

1.1.3 材料等级

1.1.3.1 船体结构钢的材料等级表示方式如下：

（a）A、B、D 和 E 表示普通强度钢材等级；

（b）AH、DH 和 EH 表示高强度钢材等级。

1.1.4 高强度钢系数

1.1.4.1 表 6.1.1 的高强度钢系数 k，用于在使用高强度船体结构钢情况下确定船体梁剖面模数。

***k* 值** **表 6.1.1**

规定最小屈服强度（N/mm^2）	k
235	1.00
265	0.93
315	0.78
340	0.74
355	0.72
390	0.68

注：中间值应以线性插值法计算。

1.1.5 厚度方向特性

1.1.5.1 如果 T 字形或十字形接头采用部分熔透或全熔透焊缝，且板材承受垂直于轧制面方向很大拉伸应变时，则应按照各船级社的材料规范要求，考虑使用具有规定厚度方向性能的特殊材料。在经批准的图纸上这些钢应以所要求的钢材强度等级后加缀字母 *Z* 来标明（例如 EH36Z）。

CCS1.1.5.1 如果 T 字形或十字形接头采用部分熔透或全熔透焊缝，且板材承受垂直于轧制面方向很大拉伸应变时，则应考虑使用具有规定厚度方向特性的特殊材料。在经批准的图纸上这些钢应以所要求的钢材强度等级后加缀字母 Z 来标明（例如 EH36Z）。

1.1.6 铸钢件和锻件

1.1.6.1 尾框架、舵框、舵杆、螺旋桨轴架和其他重要结构构件所用的铸钢件或锻件应符合各船级社材料规范的要求。

CCS1.1.6.1 尾框架、舵框、舵杆、螺旋桨轴架和其他重要结构构件所用的钢铸件或锻件应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 5 章和第 6 章的相应要求。

1.2 钢材的应用

1.2.1 材料等级的选择

1.2.1.1 特定位置的钢材应不低于针对表6.1.3给出的材料级别，由表6.1.2确定的钢材等级。

材 料 等 级 **表6.1.2**

厚度t（mm）	材料级别		
	I	II	III
$t \leqslant 15$	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
$40 < t \leqslant 51$	D，DH	E，EH	E，EH

1.2.2 适用厚度

1.2.2.1 使用表6.1.2和表6.1.3时，应按建造厚度确定钢材等级。

1.2.3 低气温区域营运

1.2.3.1 预定长期营运于最低日平均气温低于-10℃的区域的船舶（即在冬季经常航行至北极或南极水域），其露天结构的材料将作特殊考虑。

1.2.4 修理指导

1.2.4.1 如果建造中所用材料不符合船级社材料规范的要求，则除了通常应留在船上的图纸外，还应在船上存放一套表明每种材料以下资料的图纸：

CCS1.2.4.1 如果建造中所用材料不符合CCS《材料与焊接规范》的要求，则除了通常应留在船上的图纸外，还应在船上存放一套表明每种材料以下资料的图纸：

（a）材料规格和应用厚度；

（b）焊接程序；

（c）应用位置和范围。

1.3 铝合金

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 在上层建筑、甲板室、舱口盖、直升机平台或其他局部构件中使用铝合金将作特殊考虑。拟用合金的规格/技术条件及其制造方法应提交批准。

1.3.1.2 拟用的铝和钢结构的连接方法应提交批准。

1.3.1.3 材料要求和尺度应符合各船级社材料规范要求。

CCS1.3.1.3 材料要求和尺度应符合CCS《材料与焊接规范》第1篇第8章和本规范第2篇的要求。

1.3.2 与钢碰撞产生易燃火花

1.3.2.1 铝在某些环境条件下与氧化了的钢碰撞时会引起易燃火花。如果铝质构件与没有涂层的钢结构刮擦或摩擦而在其表面形成一层薄的铝迹则特别危险，随后如有生锈部件与该层铝迹发生高能碰撞即可能产生足以引燃周围任何易燃气体的易燃火花。因此，下列要求应予以满足：

（a）应避免在装运油的液舱和隔离舱以及泵舱内设有铝质附件；

（b）如在装运油的液舱和隔离舱以及泵舱内设有铝质附件、组件和支架，应满足2.1.2对铝阳极的要求；

（c）舷梯之类重的移动式铝结构底面应以硬质塑料或木质覆盖物或其他经认可的方式予以保护，以避免形成铝迹。该保护装置应与该铝质结构永久性牢固相连。

构件的材料级别或等级 表 6.1.3

构 件 类 别	材料级别或等级	
	船中0.4*L*以内	0.4*L*以外
次要构件 主要类别以外的纵舱壁列板 主要或特殊类别以外的露天甲板板 舷侧外板	I级	A[8]/AH级
主要构件 船底板（包括龙骨板） 强力甲板板（特殊类别者除外）[10][11] 强力甲板以上连续纵向构件（不包括纵向舱口围板）[11] 纵舱壁最上层列板[10] 顶边舱垂直列板（舱口边纵桁）和顶边舱上端倾斜列板	II级	A[8]/AH级
特殊构件 强力甲板处的舷顶列板[1][2][3][10][11] 强力甲板边板[1][2][3][10][11] 纵舱壁处甲板板[2][4][10][11] 货舱口舷侧角隅处强力甲板板[11] 舭列板[2][6] 连续纵向舱口围板[11]	III级	II级 （船中0.6*L*以外为I级）
其他类别 尾框架、挂舵臂和尾轴架用（相连）板材 单层强力甲板船的强力甲板纵向强力构件[11] 以上类别未计入的强力构件[9]	- B/AH级 A[8]/AH级	II级 - A[8]/AH级

注：（1） 船长*L*超过250m的船舶，在船中0.4*L*范围内应不低于E/EH级。

（2） 在船中0.4*L*范围内，凡要求材料为III级或E/EH级的单列板宽度应不小于800+5*L*mm，但不必大于1800mm。

（3） 圆弧舷缘板（向舷内和垂直方向延伸600mm）的要求可视同为甲板边板和舷顶列板的要求。

（4） 船宽*B*超过70m的油船，中心线列板和左右舷纵舱壁处列板应为III级。

（5）（空）。

（6） 船长*L*超过250m的船，船中0.6*L*以内应不低于D/DH。

（7）（空）。

（8） 厚度40mm以上的板材应使用B/AH级。但是，船中0.6*L*以外的机底座加厚板可为A/AH级。

（9） 用作加强的材料级别及如溢油挡板和舭龙骨之类焊接附件所用材料的质量（亦即普通强度钢或高强度钢）应与该处船体外板相当。如弧形舷缘设有附件，将对所要求的钢材等级作特殊考虑，并顾及该处的结构布置和附件细节。

（10）船中0.4*L*以内甲板板、舷顶列板和纵舱壁上部列板的材料级别也应适用于上层建筑结构中断处，不论其位置如何。

（11）单层强力甲板船船中0.4*L*之内不可低于B/AH。

2 包括涂层在内的防腐保护

2.1 船体保护

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 所有海水压载舱均应有 SOLAS 第Ⅱ-1/3-2 条要求的有效防腐系统，见第 2 节 /2.1.1。

2.1.1.2 对于建造合同签订日期在 IMO 批准 SOLAS 公约第Ⅱ-1/3-2 的修正案（该修正案使 IMO“压载舱和空舱保护涂层性能标准”作为强制要求）之日或以后建造的船舶，其内部涂层应按经

修订的 SOLAS 公约满足 IMO 的性能标准的要求。

2. 1. 1. 3　与 IMO 公约 A. 798（19）和 IACS UI SC122 相应，涂层系统（包括涂料的选择、技术条件、检查计划）的选择应在建造开始前，船厂、涂料供应商和船东之间，并与船级社磋商后，取得一致意见。这些处所的涂料系统的技术条件应形成书面文件，这些书面文件应经船级社验证并完全满足涂层性能标准。

2. 1. 1. 4　船厂应证明所选择的涂层系统以及相关的表面处理和涂装方法与制造工艺和方法相适应。

2. 1. 1. 5　船厂应证明涂装检查人员是按 IMO 标准要求考核合格的人员。

2. 1. 1. 6　船级社现场验船师并不验证涂料的应用，但将审核涂装检查人员的报告，以验证涂层是按船厂规定的涂装程序进行的。

2. 1. 1. 7　如压载水舱内设有阳极，压载水舱阳极分布图应提交批准。这些图纸应包括与船体连接的细节，例如焊接细节。

2. 1. 2　内部阴极保护系统

2. 1. 2. 1　当装运闪点低于 60℃液货的液舱内部钢结构设有阴极保护系统时，装设布置图应提交批准。该布置应考虑防火和防爆安全。批准的范围应涵盖相邻的液舱。

2. 1. 2. 2　液舱内的永久性阳极不应为镁或镁合金阳极，但不邻近货舱的仅用于装压载水的液舱除外。外加电流保护系统由于产生能引起爆炸的氯和氢，不得用于液货舱。但在装运闪点低于 60℃液货的液舱和相邻压载水舱内，可以接受铝阳极。铝阳极的位置应使其在一旦松动或掉落时，所产生的动能不大于 275J。

2. 1. 2. 3　铝阳极的安装位置应对跌落物体提供防护。除非有相邻结构保护外，它们不应位于液舱口或巴氏洗舱开口之下。

2. 1. 2. 4　所有阳极与结构的连接方式应确保其在使用初期和过程中均保持紧固。可接受以下方法：

（a）钢芯通过足够横截面的连续填角焊缝与结构相连；

（b）用适当旋紧的贯穿螺栓或其他牢靠的紧固装置连接。使用带固定螺钉定位的夹具应以经认可的方式连接。

2. 1. 2. 5　弯曲并直接焊到钢结构上的阳极钢芯应符合各船级社材料规范中 A 级钢的要求。

CCS2. 1. 2. 5　弯曲并直接焊到钢结构上的阳极钢芯应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 2 节中 A 级钢的要求。

2. 1. 2. 6　阳极应安装在扶强材上或平面舱壁板上与扶强材对齐的位置，但不得连接到船壳上。两端不得接到能作相对移动的分离的构件上。

2. 1. 2. 7　钢芯或支架如果焊到局部支撑或主要支撑结构上，应与端部支撑、肘板趾部和类似的应力集中点保持距离。如将其焊到不对称构件上时，焊缝应距腹板边缘至少 25mm。如果扶强材或桁材有对称面板，则可与腹板相连或与面板中线相连，但应远离自由边。一般而言，阳极不得装到高强度钢的面板上。

2. 1. 2. 8　装有阳极的液舱应有足够的开孔使空气流通，防止气体在该处积聚。

2. 1. 3　含铝油漆

2. 1. 3. 1　在货物蒸气可能积聚之处不得使用含铝油漆，除非已通过相应试验证明所用油漆不会增加易燃火花的危险。对铝含量以重量计低于 10% 的涂层，不必做试验。

3　腐蚀增量

3. 1　总则

3. 1. 1　引言

3. 1. 1. 1　钢结构要求的净厚度应加上本小节规定的腐蚀增量。

3.1.1.2 本小节规定的腐蚀增量适用于碳锰钢，参见 1.1。其他材料的腐蚀增量，如不锈钢，应符合各船级社的规定。

CCS3.1.1.2 本小节规定的腐蚀余量适用于碳钢，参见 1.1。其他材料需特殊考虑。

3.1.1.3 腐蚀增量在规范计算中的应用见 3.3。

3.2 局部腐蚀增量

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 构件局部腐蚀增量 t_{corr} 应取为：

$$t_{corr}=t_{was}+0.5 \quad \text{mm}$$

式中：t_{was}——构件总蚀耗允许量，mm，见 12 节 1.4.2.2。

3.2.1.2 货油舱区域各典型构件局部腐蚀增量 t_{corr} 见表 6.3.1 和图 6.3.1。

货油舱区域典型结构构件腐蚀增量 t_{corr} **表 6.3.1**

类 别			腐蚀增量t_{corr}（mm）
同类介质之间的板及其内部构件			
压载舱间和压载舱内	主要构件面板	舱顶以下3.0m范围内 (1)	4.5
		其他位置	3.5
	其他构件	舱顶以下3.0m范围内 (1)	4.0
		其他位置	3.0
	加热货油舱边界上的加强筋	舱顶以下3.0m范围内 (1)	4.5
		其他位置	3.5
货油舱间和货油舱内	主要构件面板	舱顶以下3.0m范围内 (1)	4.0
		其他位置	3.5
	其他构件	舱顶以下3.0m范围内 (1)	4.0
		其他位置	2.5
双面暴露在空气中	甲板上的支持构件		2.5
空舱间和空舱内	非正常可达到的舱室，如仅通过人孔、管隧等才可到达		2.0
干舱间和干舱内	甲板室、机舱、泵舱、储藏室、舵机舱等舱室的内部		1.5
不同类介质之间的板			

续上表

类　　别			腐蚀增量t_{corr}（mm）
压载舱和货油舱间	未加热的货油	舱顶以下3.0m范围内 (1)	4.0
		内底	4.0
		其他位置	3.0
	加热的货油	舱顶以下3.0m范围内 (1)	4.5
		内底	4.5
		其他位置	3.5
压载舱和空气（或海水）间	露天甲板		4.0
	其他构件 (2)	舱顶以下3.0m范围内 (1)	3.5
		其他位置	3.0
压载舱和空舱（或干舱）间	舱顶以下3.0m范围内 (1)		3.0
	其他位置		2.5
货舱和空气间	露天甲板		4.0
货舱和空舱间	舱顶以下3.0m范围内 (1)		3.0
	其他位置		2.5
货舱和干舱间	舱顶以下3.0m范围内 (1)		3.0
	其他位置		2.0

注：（1）仅适用于露天甲板为舱顶的货油舱和压载舱。

（2）对第8节图8.2.2所定义的与码头接触区域的舷侧板，应增加0.5mm。

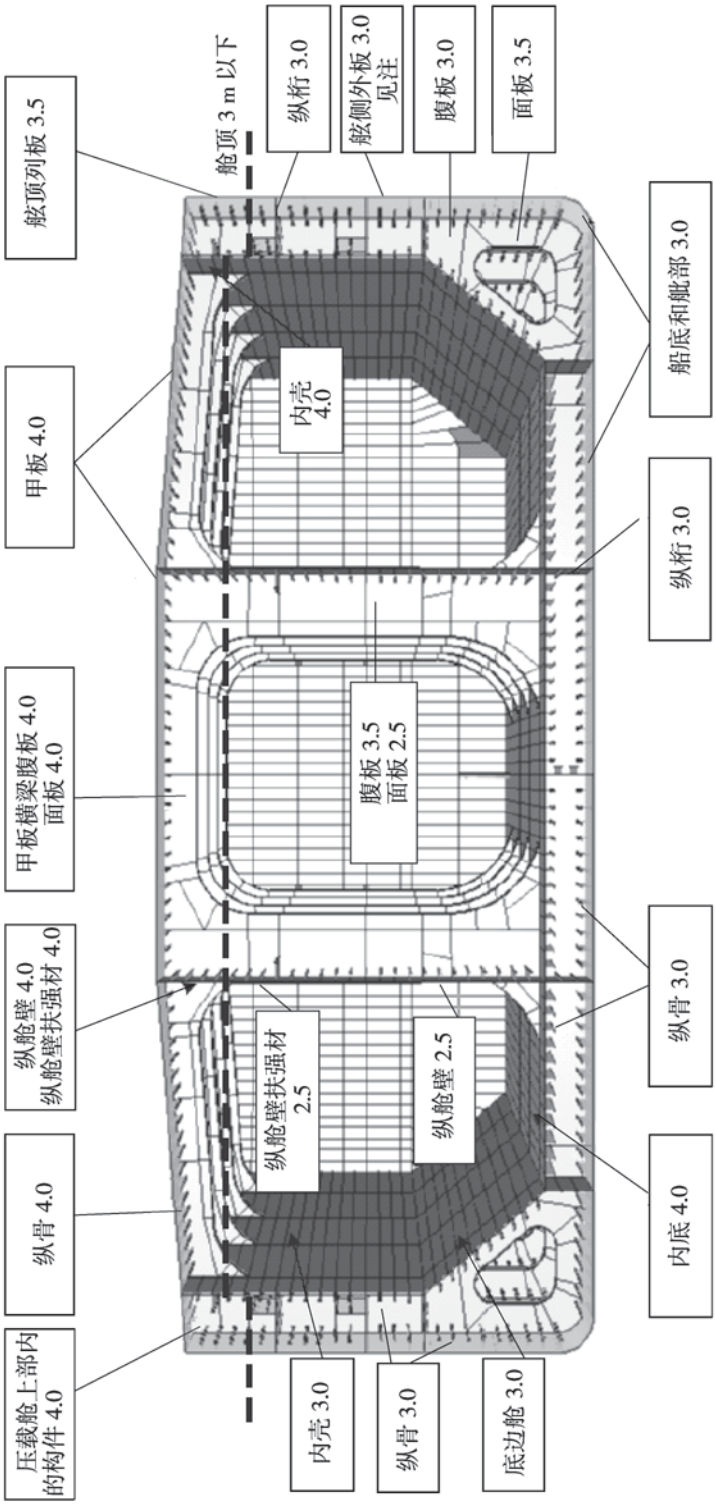
（3）加热货油舱定义为布置有任何形式加热能力的货舱。

3.3　腐蚀增量的应用

3.3.1　一般要求

3.3.1.1　除规范具体要求另有规定外，腐蚀增量的应用应符合3.3.2至3.3.7的规定。

3.3.1.2　可按以下方式之一符合规范：



注：1. 本图给出标准状况下（非加热货）的腐蚀增量；

2. 对第8节图8.2.2所定义的与码头接触区域的舷侧板，应增加0.5mm。

图 6.3.1 货油舱区域典型结构构件腐蚀增量，t_{corr}

（a）拟用总尺度与要求总尺度相比较，在此情况下将适用腐蚀增量加到规范要求的净值上；

（b）拟用净尺度与要求净尺度相比较，在此情况下将适用腐蚀增量从规范要求的总尺度减去。

方法（a）和（b）适于厚度计算。方法（b）最适于如剖面模数、面积和惯性矩等的剖面参数计算。

3.3.1.3 用于导出净尺度的3.3.2至3.3.7的总尺度不应包括船东的任何额外厚度，见第2节/4.3.4.3。

3.3.2 用于船体梁纵向强度计算

3.3.2.1 第8节/1规定的纵向强度评估所作船体梁应力计算，应基于船体梁净剖面特性。即从构成船体梁横截面的所有构件总尺度减去腐蚀增量的一半，即$-0.5t_{corr}$。

3.3.2.2 承受船体梁应力的板材和扶强材局部屈曲能力应按第8节/1.4.2给出的净尺度进行计算。此净尺度为总尺度减去全部腐蚀增量，即$-1.0t_{corr}$。

3.3.3 用于板材和局部支撑构件的尺度评估

3.3.3.1 板材和局部支撑构件要求总尺度的计算方式为，把全部腐蚀增量，即$+1.0t_{corr}$加到符合第4节3.4和第8节/2至第8节/7尺寸要求的净尺度上。

3.3.3.2 局部支撑构件净剖面参数的计算方式为，从第4节/2.4.1所述腹板、翼板和带板板的总厚度减去全部腐蚀增量，即$-1.0t_{corr}$。局部支撑构件的剖面模数、惯性矩和剪切面积应符合第4节3.4和第8节/2至7的要求。

3.3.3.3 在对承受局部和全船组合载荷的构件作强度评估时，船体梁应力计算应基于由组成船体梁横截面的所有结构件的总厚度减去一半腐蚀增量，即$-0.5t_{corr}$，所得的船体梁净剖面参数进行计算。

3.3.3.4 板材和局部支撑构件要求的最小总厚度的计算方式为，将全部腐蚀增量，即$+1.0t_{corr}$加到第8节/2.1.5要求的最小净厚度上。

3.3.4 对于主要支撑构件尺度强度评估的腐蚀增量的应用

3.3.4.1 主要支撑构件要求的总厚度的计算方式为，将腐蚀增量的一半，即$+0.5t_{corr}$加到符合第8节/2.6和第8节/3至7强度要求的净厚度上。

3.3.4.2 主要支撑构件净剖面参数应根据从腹板和翼板的总厚度减去腐蚀增量的一半，即$-0.5t_{corr}$之后的尺寸计算。局部支撑构件剖面模数、惯性矩和面积应符合第8节/2.6和第8节/3至7的要求。

3.3.4.3 主要支撑构件要求的最小总厚度的计算方式为加全腐蚀增量，即$+1.0t_{corr}$加到第8节/2.1.6.1、3.1.4.1、4.1.5.1、5.1.4.1、6.3.7.5、6.4.5.4和第10节/2.3要求的最小净厚度上。

3.3.5 对于船体梁极限强度分析的腐蚀增量的应用

3.3.5.1 船体梁极限能力M_u的计算，见第9/1节，应基于由组成船体梁横截面的所有结构件的总厚度减去一半腐蚀增量，即$-0.5t_{corr}$，所得的船体梁净剖面参数进行计算。

3.3.5.2 用于导出船体梁极限强度的构件屈曲能力应是根据从板材和扶强材腹板和面板的总厚度减去腐蚀增量的一半，即$-0.5t_{corr}$之后的尺寸进行计算。

3.3.6 对于有限元分析的腐蚀增量的应用

3.3.6.1 对于货油舱结构强度分析，见第9/2.2和附录B/2节，其有限元模型制作时所用的厚度应是对所有构件均从总厚度减去腐蚀增量的一半，即$-0.5t_{corr}$。

3.3.6.2 板材和扶强材局部屈曲能力应是根据从总厚度减去全部腐蚀增量，即$-1.0t_{corr}$之后的尺寸计算。

3.3.6.3 对局部细网格结构强度分析模型，见第9/2.3和附录B/3节，其建模时所用的厚度应是从总厚度减去腐蚀增量的一半，即$-0.5t_{corr}$。规定的细网格区域应是从总厚度减去全部腐蚀增量，即$-1.0t_{corr}$之后的尺寸进行建模。

3.3.7 对于疲劳强度评估的腐蚀增量的应用

3.3.7.1 在作第 9/3 节和附录 C/1 规定的疲劳强度评估时，用于疲劳强度评估的船体梁应力计算应基于船体梁疲劳净剖面特性，从构成船体梁横剖面的所有构件总尺度减去腐蚀增量的四分之一，即 $-0.25t_{corr}$ 后计进行计算。

3.3.7.2 在作疲劳评估时，承受侧向载荷的局部支撑构件应力计算，见第 9/3 和附录 C/1 节，应基于从扶强材腹板、翼板和带板减去腐蚀增量的一半，即 $-0.5t_{corr}$。

3.3.7.3 对热点应力方法（基于有限元方法），见第 9/3 和附录 C/2 节，底边舱有限元建模所用的厚度应是从总尺度减去腐蚀增量的四分之一，即 $-0.25t_{corr}$。精细网格部位建模所用的厚度应是从总尺度减去腐蚀增量的一半，即 $-0.5t_{corr}$。

3.3.7.4 作为 3.3.7.3 的替代措施，底边舱疲劳有限元模型可按 3.3.6.1 所述的有限元强度模型要求要求建立，即整个区域内均 $-0.5t_{corr}$。但随后计算应力范围应用 f_{model} 系数修正，见附录 C/2.4.2.7。

4 建造

4.1 一般要求

4.1.1 工艺

4.1.1.1 所有工艺均应达到商船质量，并为验船师接受。焊接应符合第 5 小节的要求。任何缺陷均应在材料被覆上油漆、水泥或任何其他合成物之前予以纠正并使验船师满意。

4.1.2 建造标准

4.1.2.1 结构建造应符合《IACS 建议 47，新造船建造和修理质量标准》，或施工 / 建造开始之前经船级社认可的制造标准。

4.1.2.2 在制造 / 建造开始前，制造 / 建造过程中所用的制造标准应提供给船级社现场验船师。

4.1.2.3 制造标准应包括确立以下规定项目的范围和公差限制的内容：

（a）切边

- 切边斜度和切边粗糙度；

（b）折边纵骨和肘板以及组合型材

- 翼板宽度和腹板高度、翼板和腹板之间的角度，以及翼板平面或面板顶部的平直度；

（c）支柱

- 各层甲板之间平直度和圆柱结构直径；

（d）肘板和加强筋

- 防倾肘板和加强筋自由边缘线的线型；

（e）骨材组件

- 次要面板和骨材的端部细节；

（f）板材组件

- 对平面和曲面分段的尺寸（长和宽）、分段扭曲度和方正度，以及内部构件与板材间的偏差；

（g）立体分段装配

- 对平面和曲面立体分段，除板材组件衡准以外的上下板材之间扭曲偏差；

（h）特殊装配

- 上下舵钮间距，螺旋桨毂后缘和尾尖舱舱壁间距，尾框架组件扭曲，舵与舵轴中心线偏差，舵板扭曲，主机座顶板平面度、宽度和长度。螺旋桨毂的镗孔和尾框架、尾鳍或舵托、以及舵、舵销和承舵轴的装配和对中，应在船舶尾部的主要部分焊接完成之后进行。最终装配之前，应检查舵栓、舵杆和舵轴之间的圆锥接触面；

（i）板材对接

- 板材对接对齐；

（j）十字形接头

• 在十字形接头的中线和底线测量对齐情况；

（k）内部构件对齐

• T形纵骨翼板的对齐，板格扶强材的对齐，T形接头和搭接接头的间隙，以及分段组装和合拢接头处连续骨材上切口与扇形孔的间距；

（l）龙骨和船底观察

• 船舶全长以及相邻两舱壁间距的偏差，船舶前体和后体翘起以及船中肋板升高；

（m）尺寸

• 垂线间长、船中型宽和型深以及螺旋桨毂后缘和主机之间的距离；

（n）骨材间板的光顺性

•外板肋骨、液舱顶、舱壁、上甲板、上层建筑甲板、甲板室甲板和舷墙板的骨材之间的平整度；

（o）骨材处板的光顺性

• 在肋骨处量取的外板、液舱顶、舱壁、强力甲板板和其他结构的平整度。

4.2 冷成形

4.2.1 特殊构件

4.2.1.1 船体梁的高应力构件的缺口韧性尤其引起关注（例如表6.1.3要求III级材料的项目，诸如圆弧舷缘和舭部列板）。对于碳锰钢（见1.1，船体结构钢），冷成形板材的内缘弯曲半径应不小于10倍的总板厚。若符合4.2.3中的附加规定，许用内缘弯曲半径可减小到10倍的总板厚之下。

4.2.2 其他构件

4.2.2.1 对于主要构件，如槽形舱壁和斜边舱的折角，其冷成型板材的内缘弯曲半径，对碳锰钢（见1.1，船体结构钢），应不小于总板厚的4.5倍。若符合4.2.3中的附加规定，许用内缘弯曲半径可减小到4.5倍的总板厚之下。

4.2.3 附加要求

4.2.3.1 对于特殊构件和其他构件，当钢材在650℃以下成形且半径小于总板厚的10或4.5倍时，应分别提供支持数据，且应满足下列最低的附加要求：

（a）应采用D/DH级或以上的钢材；

（b）材料在应变时效条件下进行冲击试验并满足本款所述的要求。变形量应等于生产过程中的最大变形量（由公式计算为 $t_{grs}/(2r_{bdg}+t_{grs})$，式中 t_{grs} 为板材的总厚度，r_{bdg} 为弯曲半径）。一个试件应被塑性变形至计算的变形量或5%，取大者；接着在250℃人工时效1小时后进行夏比V形缺口冲击试验。应变时效后平均冲击功应符合所用钢材等级的规定冲击要求；

（c）应对变形区域进行100%目视检查。此外，应通过磁粉试验进行随机抽查。

弯曲半径无论如何应不小于总板厚的两倍。

4.3 热成形

4.3.1 温度要求

4.3.1.1 钢材不应在上下临界温度之间成形。如果热轧、控轧、温度－形变控制轧制或正火的钢材的成型温度超过650℃，或没有比调质钢回火温度低至少28℃，即应进行力学性能试验，以保证这些温度未对钢材的拉伸性能和冲击性能产生不利影响。若按照4.3.2.1的要求用线加热或点加热方式进行曲线成形或光顺处理，则不要求进行这些力学性能试验。

4.3.1.2 当考虑在成形和消除应力中不按4.3.1.1的方式对温度－形变控制轧制（TMCP）钢材作进一步加热时，为证明在进一步加热后的力学性能，要求用代表性材料通过程序试验进行确认。

4.3.2 线加热或点加热

4.3.2.1 用线加热或点加热方式进行曲线成形或光顺处理，应使用经批准的程序，以确保材料性能不会受到不利的影响。表面加热温度应予控制，不能超过适用于板材等级的最大允许极限。

4.4 焊接

4.4.1 一般要求

4.4.1.1 所有焊接应由经认可的焊工，使用经认可并满足各船级社材料规范要求的焊接材料，按照经认可的焊接程序进行。

CCS4.4.1.1 所有焊接应由经认可的焊工按照经认可的焊接程序进行，使用经认可的焊接耗材并满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 2 章的有关规定。

4.4.2 焊接顺序

4.4.2.1 应考虑装配顺序以及所用焊接方式对板格、组件等整体收缩的影响。焊接应系统地进行，按正确顺序完成每一焊接接头，无不当中断。

4.4.2.2 在实际可行情况下，焊接应在接头中心开始向外进行，或在组件中心开始向四周展开，使每一部分均可朝一个或多个方向自由移动。

4.4.2.3 一般而言，以自动焊方法将扶强材构件（包括横梁、肋骨、桁材等）焊到板格上时，应使扶强材的角变形降到最小。

4.4.3 相交焊缝的布置

4.4.3.1 当扶强材跨过对接焊缝以连续角焊连接时，其跨越处的焊缝应修平。同样，在角接前扶强材腹板上的对接焊缝也应焊完并修平。整修部位应平顺,无缺口或形状突变。当上述条件无法满足时，可在扶强材腹板上开一通焊孔。通焊孔的尺寸和位置应满足通焊要求。

4.4.4 止漏处理

4.4.4.1 当结构穿过液舱壁，渗漏到邻近处所可能产生危险或不良影响，则在舱壁两侧构件至少 150mm 长度内采用全焊透焊缝。作为替代措施，邻近处所内的构件靠近舱壁处开一适当形状的小扇形孔，并完全焊实。

5 焊缝设计与尺寸

5.1 一般要求

5.1.1 适用范围

5.1.1.1 焊缝尺寸通常基于规范的总厚度值。

5.1.1.2 焊接顺序、焊工资格、焊接程序和焊接材料的要求见 4.4。

5.1.2 图纸和技术规格

5.1.2.1 每一新造船项目，均应送审表明焊缝尺寸和焊接细节的图纸和 / 或技术规格。

5.1.2.2 如建议采用减小的焊缝尺寸，5.9 的要求应予满足，且在焊接工艺规程中应包括以下细节：

（a）建议的焊缝间隙；

（b）建议的焊接材料。

5.1.3 公差要求

5.1.3.1 被连接构件接合面的装配间隙应保持最小或符合认可的规格。

5.1.3.2 填角焊缝连接的构件装配间隙如超过 2mm，应按 5.7.1.6 增加焊缝尺寸。

5.1.4 特殊预防措施

5.1.4.1 如在厚板或分段上采用小填角焊缝时，焊接应基于经认可的焊接程序的规定。可接受如预热、低氢焊条或低氢焊接方式等预防措施。

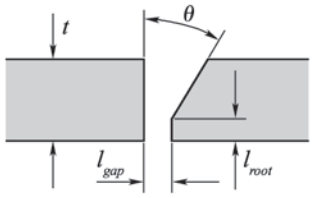
5.1.4.2 当厚构件与相对较薄板材连接时，焊缝尺寸和焊接顺序可能需要修改。

5.2 对接接头

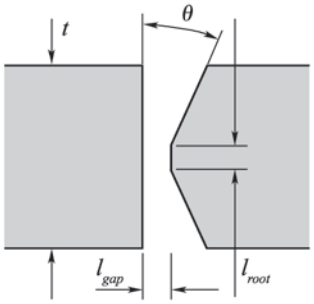
5.2.1 一般要求

5.2.1.1 加筋板结构中的板件接头一般应以对接焊缝连接。典型的对接焊缝和相应的坡口形式见图 6.5.1。

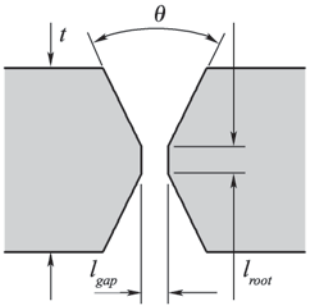
各种类型对接焊缝均应双面焊。在背面焊接之前，应以适当方法将有缺陷焊缝金属从根部除去。仅对特定的应用场合才允许采用以认可的焊接工艺进行单面对接焊。



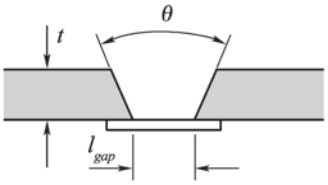
单面斜坡口对接



K形坡口对接



X形坡口对接，对称坡口



V形坡口对接,有(临时或永久)衬垫的单面焊

注：上图所示仅为指导性的，实际细节和尺寸应符合认可的制造标准。见4. 1. 2. 1。

图 6. 5. 1　典型对接焊缝

5. 2. 2　对接焊缝中的厚度差

5. 2. 2. 1　在不同厚度板材对接焊时，应避免剖面骤然变化。

5. 2. 2. 2　如果所连接的板材厚度相差大于 4mm，应有适当的削斜过渡。该过渡的方式可为将较厚构件削斜，或规定一种具有所需过渡的焊接接头设计。

5. 2. 2. 3　对纵向强力构件的横向对接接头，削斜过渡的长度应不小于厚度差的 3 倍。

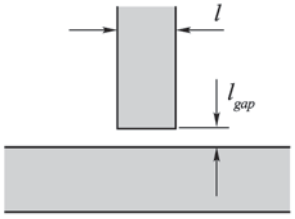
5. 2. 2. 4　对特定的应用场合，可接受厚度差大于 4mm 且无削斜过渡的对接接头。

5. 3　T 形或十字接头

5. 3. 1　一般要求

5. 3. 1. 1　主要支撑构件和扶强材腹板的连接 / 以板材立到另一板格上而形成的端部连接和接头一般应采用角焊缝，尺寸按照 5. 7 和图 6. 5. 2。其他典型 T 形或十字接头的焊缝布置的例子见图 6. 5. 3。

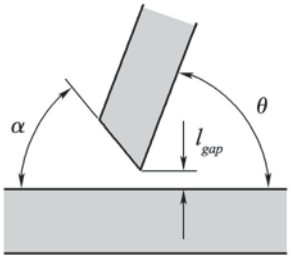
5. 3. 1. 2　如果连接处有高应力或被认为很关键，应在立板上开坡口得到部分熔透或全熔透焊缝。见 5. 3. 4 和图 6. 5. 3。



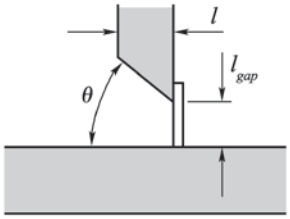
T形角焊缝

注：上图所示仅为指导性的，实际细节和尺寸应符合认可的制造标准。见4. 1. 2. 1。

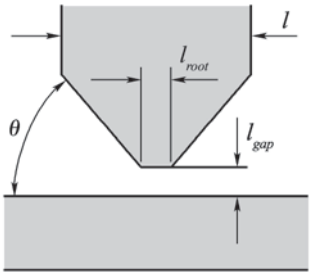
图 6. 5. 2　典型 T 形或十字接头角焊缝



小角度填角焊缝



带永久性衬垫的单面斜坡口T字接头



对称坡口的T形接头

注：上图所示仅为指导性的，实际细节和尺寸应符合认可的制造标准。见4. 1. 2. 1。

图 6. 5. 3　其他典型 T 形和十字接头角焊缝

5. 3. 2　连续焊

5. 3. 2. 1　下列部位应采用连续焊 ：

（a）使用高强度钢处的所有角焊缝；

（b）风雨密甲板与其上结构的边界（包括舱口围板、升降口和其他开口）；

（c）液舱和水密舱室边界；

（d）压载水舱和淡水舱内所有结构和压载水舱和淡水舱壁扶强材；

（e）尾尖舱内所有结构和尾尖舱舱壁扶强材；

（f）首尖舱 / 空舱内的所有结构；

（g）预定装运原油、石油产品、化学品、可食用液货或淡水的液舱内侧所有焊缝；

（h）所有端部连接处（包括端肘板、补板、扇形孔）和与其他构件正交相连处的焊缝；

（i）主船体上的所有搭接焊缝；

（j）船首 0. 3*L* 区域内主要支撑构件和扶强构件与船底外板连接处；

（k）扁钢纵骨与板材相连；

（l）小附加装置（件）连接到高强度钢板上，以及其他连接或附件。

5. 3. 3　间断焊

5. 3. 3. 1　如不要求连续焊，可采用间断焊。

5. 3. 3. 2　如果梁、扶强材、肋骨等为间断焊并穿过开口纵桁、承梁材或水平桁，应在每一交点的每侧有两道匹配的断续焊缝。此外，梁、扶强材和肋骨应有效接到纵桁、承梁材和水平桁上。

5. 3. 4　全熔透或部分熔透角接或 T 形接头

5. 3. 4. 1　通过中间板作用的高拉应力（见图 6. 5. 4）处，应按 5. 8 的要求采用熔透焊缝或增大角焊缝尺寸。这种结构的例子有：

（a）底边舱斜板与内壳相连；

（b）纵 / 横舱壁主要支撑构件端部与双层底相连；

（c）槽形舱壁底凳侧板与隔板和内底板 / 底边舱的连接；

（d）封槽板与槽形舱壁的连接；

（e）双层底实肋板，底边舱强框架腹板和槽形舱壁翼板下的双层底桁材以及无底凳槽形舱壁的封槽板的连接；

（f）舱壁主要支撑构件和凳板以下的双层底构件。

5. 3. 4. 2　在底边舱斜板与内底板相连处应采用最大钝边 $l_{root}=t_{p\text{-}grs}/3$（式中 l_{root} 为钝边宽度，$t_{p\text{-}grs}$ 为总板厚）的全熔透或部分熔透焊缝，见图 6. 5. 4。

5. 3. 4. 3　以下连接部位应采用全熔透焊缝：

（a）垂直槽形舱壁下端连接；

（b）槽形舱壁上设置的封槽板的下端；

（c）挂舵臂和尾轴架与船壳结构相连；

（d）舵侧板与舵杆连接部位；

（e）当开口横向尺寸超过 300mm 时，船中 0. 6*L* 以内的强力甲板、舷顶列板和船底板上的开口边缘补强部位，见图 6. 5. 5。当在管道贯穿处设置领板时，领板应以连续角焊缝焊接；

（f）总板厚 $t_{p\text{-}grs}$ 小于或等于 12mm 的立板板格（见图 6. 5. 4），在结构吃水 T_{sc} 以下的外板上形成开口边界（包括但不限于海水阀箱、舵杆套筒和尾封板）的部位。总厚度 $t_{p\text{-}grs}$ 如大于 12mm，可接受最大钝边宽度 $l_{root}=t_{p\text{-}grs}/3$ 的部分熔透焊；

（g）起重机座和支撑肘板以及支撑结构，按第 11 节 /3. 1. 4. 14 要求。

5. 4　搭接接头

5. 4. 1　一般要求

5. 4. 1. 1　连接处不承受高拉伸或压缩载荷的端部连接，可采用搭接连接。

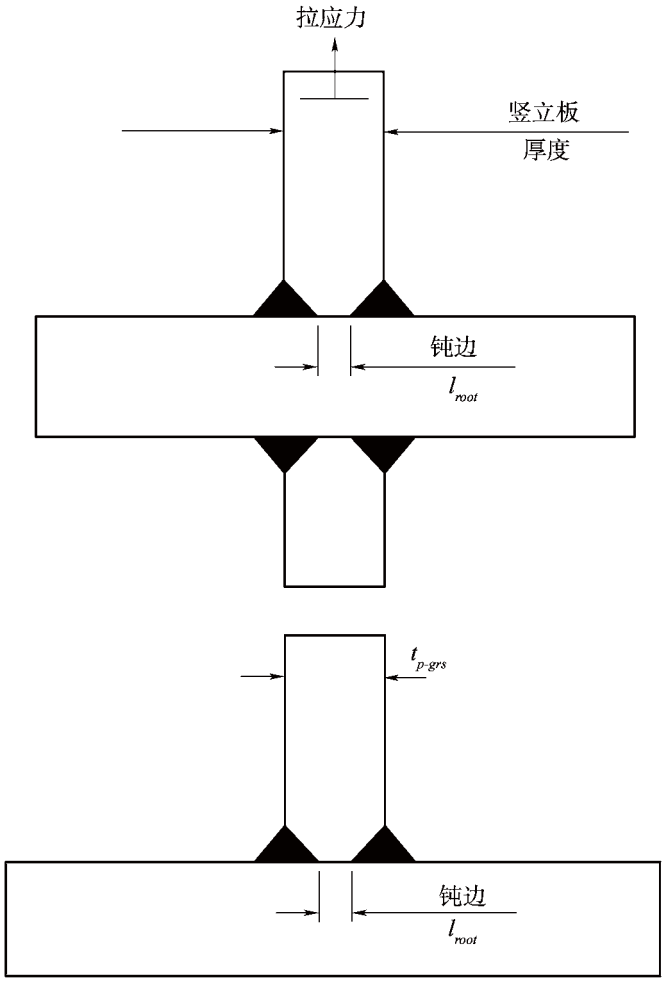


图 6.5.4 立板板格

5.4.1.2 如果采用搭接，搭接宽度 w_{lap} 应不小于较薄接板总厚度的 3 倍，但不大于 4 倍。见图 6.5.6。如果较薄接板总厚度大于等于 25mm，搭接接头将予以特殊考虑。

5.4.1.3 对于骨材穿过腹板和舱壁板开口处的补板和领板的搭接，不得小于补板总厚度的 3 倍，但不必大于 50mm。接头应布置在便于焊接的位置，以利于得到良好的焊缝。

5.4.1.4 搭接的接合表面应紧密贴合，搭接的两个边缘均应有连续填角焊缝。

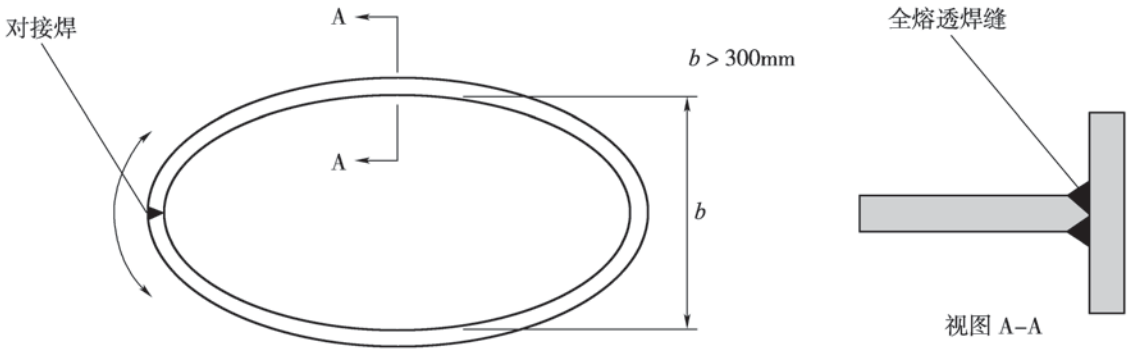
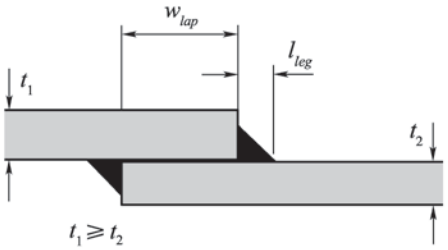


图 6.5.5 边缘适当加强示例

5.4.2 端部搭接

5.4.2.1 端部搭接，若为本规范所接受者，均应在每一个边缘有连续填角焊缝，焊脚高度为 l_{leg}，如图 6.5.6 所示，两个焊脚高度之和应不小于较薄接板总厚度的 1.5 倍。



搭接接头的填角焊缝

图 6.5.6 搭接接头

5.4.3 搭接拼缝

5.4.3.1 搭接拼缝的两个边缘均应有连续焊缝，尺寸按表 6.5.1 对液舱或水密舱壁限界的要求。液舱范围以外总厚度 12.5mm 或以下板材拼缝，可按表 6.5.1 对水密舱壁限界的要求，在一个边缘可为间断焊。

5.5 塞焊缝

5.5.1 一般要求

5.5.1.1 对某些特定用途可允许采用塞焊。典型应用见 5.5.2 和 5.5.3，典型布置见图 6.5.7。

5.5.1.2 塞焊孔应形状良好，最小塞焊长度 l_{slot} 为 75mm，宽度 w_{slot} 为两倍总板厚。如用于复板上或类似位置时，塞焊缝的间距 s_{slot} 一般应为 $2l_{slot}$ 至 $3l_{slot}$，但不大于 250mm。

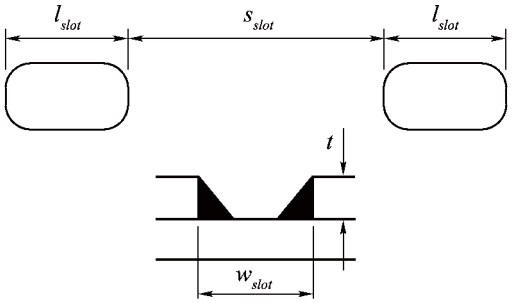


图 6.5.7 塞焊缝

5.5.2 封板

5.5.2.1 将板材与内部腹板相连时如无法留出焊接通道，可用开孔塞焊将封板连接到腹板的面板上。

5.5.2.2 塞焊孔应有良好的圆度，最小长度 l_{slot} 为 90mm，最小宽度 w_{slot} 为两倍总板厚。板上的塞孔应有平整、清洁和边缘方正，间距 s_{slot} 一般应不大于 140mm。塞焊孔不应以焊肉填满。

5.6 螺柱焊缝

5.6.1 一般要求

5.6.1.1 如要在高应力区域的主要构件上焊接永久性或临时性螺柱，螺柱的拟定位置应提交批准。

5.7 焊缝尺寸的确定

5.7.1 一般要求

5.7.1.1 下列焊缝尺寸应圆整至最接近的半毫米。

5. 7. 1. 2 与 5. 7. 2 至 5. 7. 5 的要求相关的连续、搭接或间断角焊缝的焊脚高度 l_{leg}（见图 6. 5. 8），应不小于：

（a）$l_{leg}=f_1\,t_{p-grs}$

（b）$l_{leg}=f_{yd}f_{weld}f_2\,t_{p-grs}+t_{gap}$

（c）表 6. 5. 2 要求的 l_{leg}

式中：f_1=0. 30，对双面连续焊；

f_1=0. 38，对间断焊；

t_{p-grs}——总板厚，mm。一般取竖立构件（所接构件）的厚度。见 5. 7. 1. 5；

f_{yd}——考虑焊缝熔敷金属屈服强度的修正因数：

$$f_{yd}=\left(\frac{1}{k}\right)^{0.5}\left(\frac{235}{\mathrm{s}_{\ weld}}\right)^{0.75}$$，但取值应不小于 0. 707

σ_{weld}——焊缝熔敷最小屈服强度，且应不小于：

σ_{weld}=305N/mm^2，对普通强度钢焊缝

σ_{weld}=375N/mm^2，对屈服应力为 265~355N/mm^2 的高强度钢焊缝

σ_{weld}=400N/mm^2，对屈服应力为 390N/mm^2 的高强度钢焊缝

当焊缝的尺寸是基于超过熔敷金属屈服强度的最小规定值时，应采用 5. 9. 4 的附加要求；

k——高强度钢系数，定义见 1. 1. 4。k 应根据立板的材料确定；

f_{weld}——焊缝修正因数，取决于构件类型，见 5. 7. 2、5. 7. 3 和 5. 7. 5；

f_2——焊缝类型修正因数：

f_2=1. 0，双面连续填角焊

$$f_2=\frac{s_{ctr}}{l_{weld}}$$，间断焊或链式焊

l_{weld}——角焊缝的实际长度，不计弧坑，mm；

s_{ctr}——两连续角焊焊段从中心到中心的间距，mm；

t_{gap}——焊缝间隙允差（可接受更小的间隙，见 5. 9. 2）：

t_{gap}=2.0mm，对 $t_{p-grs}>6.5$mm

$$t_{gap}=2.0\left(1.25-\frac{1}{f_2}\right)$$ mm，对 $t_{p-grs}\leqslant 6.5$mm

5. 7. 1. 3 焊喉尺寸应不小于 $l_{leg}/\sqrt{2}$，式中焊脚高度 l_{leg} 见图 6. 5. 8。

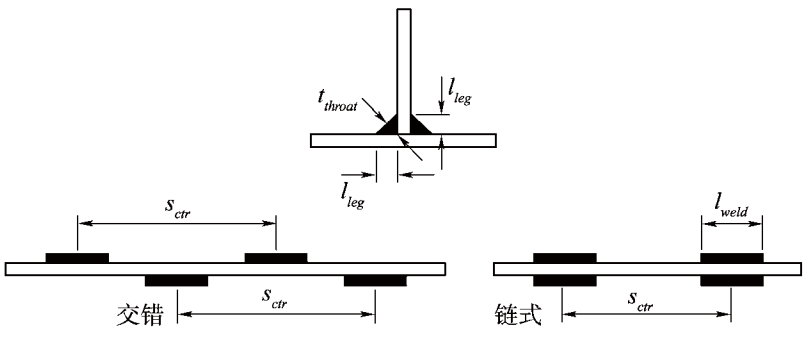


图 6. 5. 8 焊缝定义

5.7.1.4 间断焊缝相交处两侧的匹配填角焊缝的焊脚尺寸应不大于 $0.62t_{p-grs}$ 或 6.5mm，取小者。

5.7.1.5 竖立的纵向扶强材如腹板厚度大于 15mm 且超过平构件（例如板材）厚度，焊缝应为双面连续焊，焊脚长度应不小于以下三者中的最大值：

（a）平构件总厚度的 0.3 倍。计算平构件厚度不必大于 30mm；

（b）竖立构件厚度的 0.27 倍加 1.0mm。焊脚尺寸不必大于 8.0mm；

（c）按表 6.5.2 对扶强材与板的要求。

5.7.1.6 当连接构件之间的间隙超过 2mm 且不大于 5mm，则应按超过 2mm 的值增加焊脚尺寸。如构件之间的间隙大于 5mm，应按照经批准的焊接工艺规程采取纠正措施。

5.7.2 主要构件角接接头的焊缝

5.7.2.1 船体构件连接的一般焊接系数数见表 6.5.1。

5.7.2.2 船体构件如系双壳主要支撑构件的一部分，5.7.4 的要求也应适用。

5.7.2.3 如果通过中间板作用了高拉应力（见图 6.5.4），应按 5.8 的要求增加角焊缝尺寸或采用熔透焊缝。

5.7.3 主要支撑构件的焊接

5.7.3.1 主要支撑构件腹板连接的焊接系数见表 6.5.4。

5.7.3.2 如果根据 5.7.1.2（b）确定最小焊缝尺寸，在与船体外板、甲板或舱壁相连的接头处应计入因扶强材穿过构件而切口的材料损失。在扶强材和切口宽度超过扶强材间距的 15% 时，焊脚高度应乘以：

$$\frac{0.85s}{l_w}$$

式中：s——扶强材间距，mm；

l_w——切口之间腹板的长度，mm，见图 6.5.9。

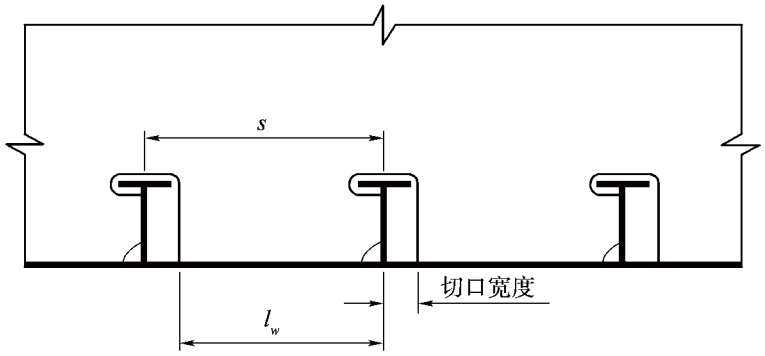


图 6.5.9 扶强材腹板切口处的材料损失

5.7.4 主要支撑构件端部的焊接

5.7.4.1 主要支撑构件（例如横向肋骨和桁材）端部的焊接，其焊缝面积 A_{weld} 应等于该构件规范规定的总横截面积。焊脚高度 l_{leg} 应由下式得出：

$$l_{leg}=1.41 f_{yd}\frac{h_w t_{p-grs}}{l_{dep}} \qquad \text{mm}$$

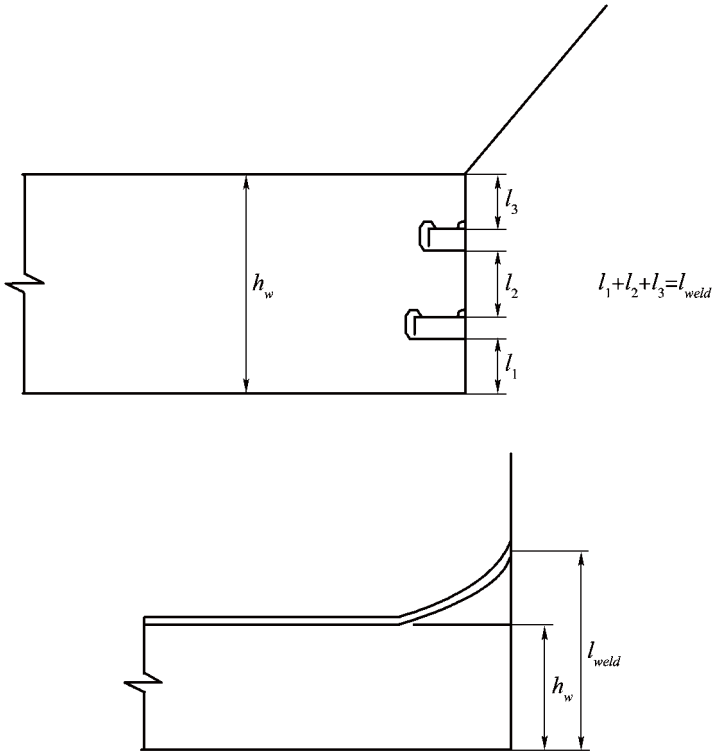
式中：h_w——主要支撑构件腹板高度，mm，见图 6.5.10；

t_{p-grs}——主要支撑构件规范规定总厚度，mm；

l_{dep}——焊缝熔敷金属总长度，mm。通常对双面连续角焊缝可取图 6.5.10 所示 l_{weld} 的两倍；

f_{yd}——考虑焊缝熔敷金属屈服强度的修正因子，定义同 5. 7. 1. 2。

无论如何，焊缝尺寸应不小于按 5. 7. 1. 2 计算所得值，所用最小焊接系数 f_{weld} 在液舱为 0. 48，其他部位为 0. 38。



注：l_{weld}为焊接连接长度。对于双面连续焊缝，焊缝熔敷金属总长度l_{dep}为两倍的焊接连接长度l_{weld}。

图 6. 5. 10 主要支撑构件的端部连接

5. 7. 5 扶强材端部的焊接

5. 7. 5. 1 纵骨与板材的焊接，在纵骨端部应为双面连续焊缝。在横向构件处，双面连续焊缝的长度应等于纵骨的高度或端肘板的高度，取较大者。

5. 7. 5. 2 对甲板纵骨，在纵骨与横向构件相交处要求有一对相匹配的焊缝。

5. 7. 5. 3 扶强材（即纵骨、梁和舱壁扶强材）端部连接焊缝应不小于表 6. 5. 5 要求的值。如有两个要求值，应取较大者。表 6. 5. 5 所示焊缝面积 A_{weld} 适用于每一肘板臂或搭接接头。

5. 7. 5. 4 如果纵向强力构件在主要支撑构件处切断，且强度的连续性由肘板实现，则焊缝面积（基于有效焊喉乘以焊缝长度）应不小于该构件的总横截面积。如果纵向强力构件是高强度钢，焊缝面积 A_{weld} 还应乘以系数 f_{yd}，考虑焊缝熔敷金属屈服强度的修正因子，见 5. 7. 1. 2 定义。

5. 7. 5. 5 扶强构件如穿过主要支撑构件的腹板并由其支撑，则其焊接接头应符合第 4 节 /3. 4. 3. 11 的要求。

5. 7. 5. 6 如果允许间断焊，船壳、水密和油密舱壁以及舱室正面的无肘板扶强材，应在其各个端部十分之一长度内采用双面连续焊。非密性结构舱壁、甲板室侧面和尾端的无肘板扶强材应在每端有一对相匹配的间断焊。

5. 8 承受高拉应力结构的焊接

5. 8. 1 最小焊脚尺寸

5. 8. 1. 1 如果通过中间板作用了高拉应力，见图 6. 5. 11，双面连续焊的最小焊脚尺寸 l_{leg} 应由下式得出：

$$l_{leg}=1.92\left(\frac{235}{\sigma_{weld}}\right)^{0.75}\left[0.2+\left(\frac{\sigma}{270}-0.25\right)\frac{l_{root}}{t_{p-grs}}\right]t_{p-grs}+2.0 \qquad \text{mm}$$

式中：σ——板的最大拉应力，N/mm^2；

l_{root}——宽度，mm；

t_{p-grs}——接板的总厚度，mm；

σ_{weld}——定义见 5. 7. 1. 2，其中 σ_{weld} 不应超过考虑了焊缝熔敷金属屈服强度的修正因子 f_{yd} 后所允许的最大值。f_{yd} 的定义见 5. 7. 1. 2。

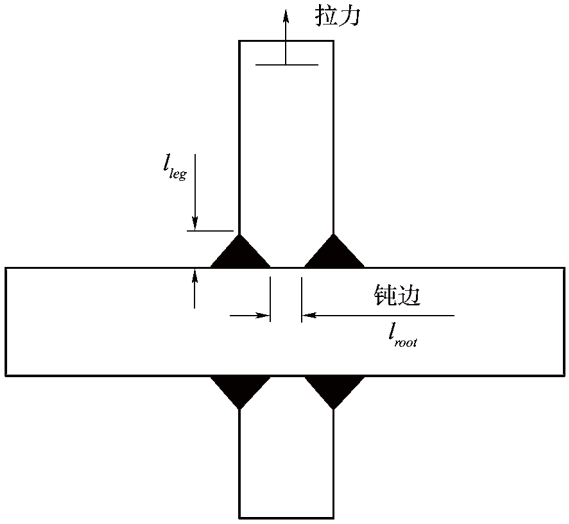


图 6. 5. 11　承受高拉应力的焊缝

5. 9　减小焊缝尺寸

5. 9. 1　一般要求

5. 9. 1. 1　5. 7 所要求的角焊缝尺寸的减小，可按照 5. 9. 2、5. 9. 3 或 5. 9. 4 作特殊批准。

5. 9. 1. 2　采用任何方法减小焊缝尺寸，均应在图纸上标明给出减小理由的具体要求。图纸应针对减小的焊脚高度和 5. 7 所要求的不含许用折减值的焊脚高度，说明焊缝设计和尺寸要求。还应在图纸上加注，以描述两焊脚高度的差别及其应用要求。

5. 9. 2　装配间隙控制

5. 9. 2. 1　如果质量控制使构件间隙保持在 1mm 或以下，可允许角焊缝焊脚尺寸减小 0. 5mm。

5. 9. 3　深熔焊

5. 9. 3. 1　当使用经批准的自动深熔焊工艺且质量控制使构件装配间隙保持在 1mm 或以下，表 6. 5. 1、6. 5. 2（c）和（d）、6. 5. 4 和 6. 5. 5 所规定的焊接系数可减小 15%。若船厂能始终满足以下要求，焊接系数最多可减小 20%，但不大于 1. 5mm 角焊缝焊脚尺寸：

（a）选择经包含对最小和最大焊缝根部装配间隙因素的焊接工艺试验确认的合适的方法进行焊接；

（b）所连接构件根部熔深至少为焊脚尺寸的折减量；

（c）证明已建立合适的质量控制体系。

5. 9. 4　受控的焊接材料

5. 9. 4. 1　如果质量控制体系可确保使用的焊接材料等级高于所焊接钢材强度等级的最低要求，所用的焊接材料熔敷金属屈服强度可高于 5. 7. 1. 2 中规定的最小值并且焊缝的尺寸可根据较高等级焊接材料的屈服强度确定。

5.10 支柱和撑材的端部连接

5.10.1 有效焊缝面积

5.10.1.1 支柱和撑材端部连接的有效焊缝面积（焊喉乘以焊缝长度）不小于：

$$A_{weld} = f_3\left(\frac{235}{\sigma_{weld}}\right)^{0.75} A_{grs}P \qquad \text{cm}^2$$

式中：A_{grs}——支柱和撑材的总横剖面面积，m^2；

P——结构的设计压力载荷，kN/m^2；

σ_{weld}——焊缝熔敷金属的最小屈服强度，见 5.7.1.2 定义。应不超过 5.7.1.2 中对 f_{yd} 限制所允许的最大值：

f_3=0.05，当支柱或撑材仅受压时

f_3=0.14，当支柱或撑材受拉时

5.11 替代

5.11.1 一般要求

5.11.1.1 以上视为船体建造中电弧焊接的最低要求，但其他方法、布置和细节将作特别审批。

5.11.1.2 在任何情况下均应满足表 6.5.2 规定的焊脚高度极限值。

焊 接 系 数 **表 6.5.1**

项 目	焊接系数 f_{weld}	备 注
（1）一般结构		除（2）~（11）项有要求者外
水密周界	0.43	
非密性板材边界	0.18	
强力甲板板连至外板	见表6.5.3	
其他甲板连至外板和舱壁（构成液舱边界者除外）	0.30	一般为连续焊
扶强材连至板材（端部连接范围以外）	0.13	干舱内
	0.18	液舱内
扶强材连至板材（端部的0.1跨距范围）	0.21	或较大的端部肘板范围
板格加强筋	0.13	
一般搭接焊缝	0.36	
腹板总厚度大于15mm的纵骨连至板材	见5.7.1.5	$t_{p\text{-}grs}$见5.7.1.5定义
（2）货油舱区域船底结构		(1)
非密性中桁材：连至平板龙骨	0.30	
连至内底板	0.28	无扇形孔
非密性肋板和桁材边界	0.15	中部二分之一跨距长度
	0.24	端部的四分之一跨距长度
肋板和桁材连至以下构件的内底板处：		
垂向主要支撑构件	0.43	(1)
肋板和桁材之间的连接	0.36	(1)

续上表

项　　目	焊接系数 f_{weld}	备　　注
肋板和桁材端部连接	0.43	(1)
坞墩肘板	0.30	
（3）货油舱区域舷侧结构		包括舭部底边舱(1)
内壳舱壁垂向桁材与下列构件：		
甲板强横梁/肘板处	0.43	
撑材处，如适用	0.36	
其他	0.24	
垂向桁材连至外板	0.24	
垂向桁材端部连接	0.43	(1)
（4）货油舱舱壁结构		包括泵舱和隔离空舱(1)
纵向和横向油密舱壁边界：		
连至甲板、内底板和船底板	0.51	
舷侧	0.43	
垂直槽形舱壁		
上端	0.51	
下端	见5.3.4	
非密性舱壁边界	0.24	
主要支撑构件	见表6.5.4	
主要支撑构件之间的连接	0.49	
（5） 机器处所结构		
中桁材连至平板龙骨和内底板	0.36	
肋板连至以下部位处中桁材：		
机器	0.36	
推进器座和锅炉座	0.36	
肋板连至主机座桁材	0.36	
肋板 / 桁材连至外板和内底板	0.24	
主机座桁材连至顶板和主船体结构	部分熔透	最大钝边0.33$t_{p\text{-}grs}$的开坡口深熔焊
机座：		
辅助柴油机（>350kW）	0.40	
锅炉和其他辅机	0.35	
机座支撑肘板	0.21	
（6） 首部0.25L内结构		
平底处：		
肋板连至外板和内底板	0.18	

续上表

项　　目	焊接系数 f_{weld}	备　　注
桁材连至外板和内底板	0. 28	
船底纵骨连至外板：		
首部船底平面	0. 30	
其他	0. 18	
舷侧水平桁连至外板	0. 24	
首尖舱结构：		
内部结构	0. 18	
（7） 尾尖舱结构		
内部结构：		
水线以下	0. 30	
水线以上	0. 18	
（8） 上层建筑和甲板室		
外壁连至甲板		
第一和第二层垂直结构	0. 28	
其他	0. 15	
内部舱壁	0. 12	
（9） 关闭布置		
舱口围板连至甲板	0. 43	
压紧器和配件	0. 60	最小焊接系数。如果$t_{p\text{-}grs}$ > 11.5mm，l_{leg}不必超过0.62$t_{p\text{-}grs}$。根据设计可要求深熔焊
舱口盖：		
油密接头	0. 46	
水密接头：		
外部	0. 46	
内部	0. 18	
舱口盖：		
扶强材端部（无肘板）	0. 38	(2)
扶强材端部（有肘板）	0. 38	
其他	0. 12	
（10） 甲板设备		(3)
桅、起重柱、起重机机座等连至甲板	0. 43	
甲板机械机座连至甲板	0. 20	
系泊设备机座	0. 43	

续上表

项　　目	焊接系数 f_{weld}	备　　注
（11）其他装置和设备		
出入孔盖板围板连至船舶	0.43	
外板肋骨和风雨密门	0.43	
外板扶强材和风雨密门	0.24	
通风筒、空气管等的围板连至甲板	0.43	
通风筒等，装置	0.24	
泄水孔和排水管连至甲板	0.55	
舷墙支柱连至甲板	0.24	
舷墙附件连至甲板	0.43	
栏杆、立柱等连至甲板	0.43	
舭龙骨座板连至船壳	见表11.3.1	
舭龙骨连至座板	见表11.3.1	
组装锚	全熔透	

注：（1）高拉伸应力区域的焊缝尺寸应予增加，见5.8。

（2）舱口盖的无肘板扶强材和腹板与板材之间应采用连续焊，与面板之间应在与腹板端部高度相等的长度内连续焊。

（3）焊接系数为最小值。

焊　脚　尺　寸　　表6.5.2

项　　目	最小焊脚尺寸(1)，mm
（a）总板厚 $t_{p-grs} \leqslant 6.5$mm (5)	
手工焊或自动焊	4.0
自动深熔焊	4.0
（b）总板厚 $t_{p-grs} > 6.5$mm (5)	
手工焊或自动焊	4.5
自动深熔焊	4.0
（c）压载水舱和货油舱舱顶以下3m范围内的焊缝 (2) (4)	6.5
（d）货油舱区域内所有焊缝，（c）所述之处除外 (4)	6.0

注：（1）在所有情况下，极限值应取为以上适用值中最大者。

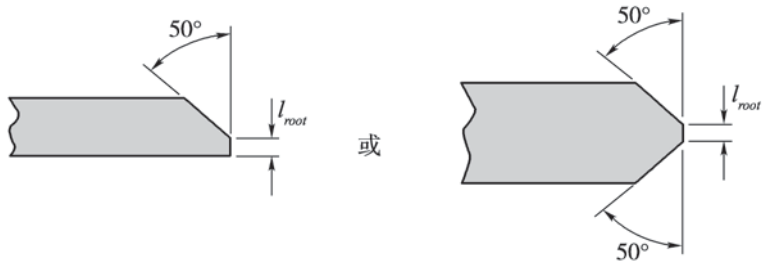
（2）仅适用于具有露天甲板作为舱顶的压载水舱和货油舱。

（3）关于最小焊脚尺寸折减的有关要求，见5.9。

（4）对于如短纵梁、防屈曲扶强材和防倾肘板等次要构件，焊脚尺寸可减至5.5mm，且无需额外的间隙控制。

（5）对于上层建筑和甲板室，最小焊脚长度可取为3.5mm。

强力甲板板与舷顶列板的连接焊缝 **表 6.5.3**

甲板边板总板厚，mm	焊 缝 类 型
$t_{p\text{-}grs} \leqslant 15$	焊脚尺寸为0.60 $t_{p\text{-}grs}$ + 2.0mm的双面连续角焊缝
$15 < t_{p\text{-}grs} \leqslant 20$	V形坡口，夹角50°，钝边宽$l_{root} < t_{p\text{-}grs}/3$，且焊接系数为0.35的连续角焊缝 或 X形坡口，夹角50°，钝边长$l_{root} < t_{p\text{-}grs}/3$
$T_{p\text{-}grs} > 20$	X形坡口，夹角50°，钝边长$l_{root} < t_{p\text{-}grs}/3$，但不大于10mm
其中$t_{p\text{-}grs}$ =甲板边板总板厚，mm  V形坡口　　X形坡口	

注：（1）各造船厂应制订焊接程序（包括坡口制备）并经批准。

（2）如果构件穿过液舱限界，应按照4.4.4的要求布置一个止漏处理。

（3）其他连接方式将作特殊考虑。

主要支撑构件的连接 **表 6.5.4**

主要支撑构件面板总面积，cm^2		位置(1)	焊接系数，f_{weld}			
			液舱内		干舱内	
大于	不大于		连至面板	连至板材	连至面板	连至板材
	30.0	端部	0.20	0.26	0.20	0.20
		其余	0.12	0.20	0.12	0.15
30.0	65.0	端部	0.20	0.38	0.20	0.20
		其余	0.12	0.26	0.12	0.15
65.0	95.0	端部	0.42	0.59(3)	0.20	0.30
		其余	0.30(2)	0.42	0.15	0.20
95.0	130.0	端部	0.42	0.59(3)	0.30	0.42
		其余	0.30(2)	0.42	0.20	0.30
130.0		端部	0.59(3)	0.59(3)	0.42	0.59(3)
		其余	0.42	0.42	0.30	0.42

注：（1）“端部”焊接系数适用于构件每端0.2倍总长范围内，但至少超出构件端肘板趾部。对垂直桁材腹板的上端可不必增加焊接长度，但在下端加大焊接系数的长度应至少延伸至总长的0.3倍。

（2）液货舱的焊接系数取为0.38。

（3）如为满足剪切应力要求而局部增加腹板厚度，焊缝尺寸可基于增加区域以外的腹板总厚度，但不应小于基于增加总厚度的焊接系数0.42。

（4）高应力部位见5.3.4、5.7.4和5.8。

扶强材端部连接焊缝 **表 6.5.5**

连　接	焊缝面积A_{weld}，cm^2	焊接系数f_{weld}（1）
（1）扶强材直接焊至板材	0.25 $A_{stf-grs}$或6.5 cm^2，取大者	0.38
（2）扶强材无肘板连接，扶强材搭接至肘板或肘板搭接至扶强材：		
（a）干处所内	$1.2\sqrt{Z_{grs}}$	0.26
（b）液舱内	$1.4\sqrt{Z_{grs}}$	0.38
（c）首部0.15L内主肋骨连至舷侧液舱肘板	同（a）或（b）	0.38
（3）肘板焊至扶强材面板及肘板连至板材	–	0.38

其中：$A_{stf-grs}$——扶强材总横截面积，cm^2；

A_{weld}——焊缝面积（cm^2），按焊缝总长（cm）乘以焊喉厚度（cm）计算（当间隙超过2mm时，应增加焊缝尺寸，参见5.7.1.6）；

Z_{grs}——计算肘板尺度基于的扶强材总剖面模数（cm^3）。

注：（1）角焊缝最小尺寸见表6.5.2。

第 7 节 载 荷

1 引言

1.1 一般要求

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本节详细提供了用于尺度计算的载荷与载荷的组合。载荷涵盖了港内和海上航行时的载荷实际状况，见第 2 节 /5.4，且划分为静载荷分量、动载荷分量、晃荡载荷和冲击载荷。

1.2 定义

1.2.1 坐标系统

1.2.1.1 使用的坐标系统（x，y，z）按第 4 节 /1.4.1.1 定义。

1.2.1.2 波浪方向根据 x 轴和波浪行进方向之间的夹角 β 确定，且由图 7.1.1 所示。举例如下：

（a）迎浪系指负 x 方向行进的波浪；

（b）横浪系指正或负 y 方向行进的波浪；

（c）斜浪系指介于迎浪与横浪（或随浪与横浪）之间行进的波浪；且

（d）随浪系指正 x 方向行进的波浪。

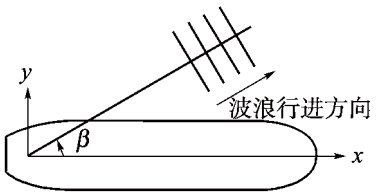


图 7.1.1 波浪方向的定义

1.2.2 符号约定

1.2.2.1 运动的正方向如图 7.1.2 所示，且定义如下：

（a）正纵荡（surge）为沿 x 轴正向的直线运动（向前）；

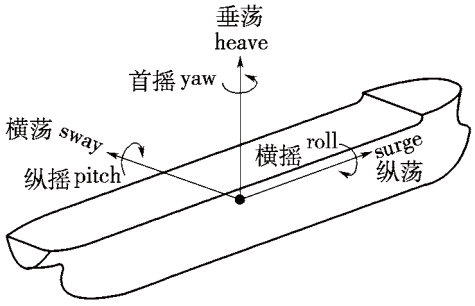
（b）正横荡（sway）为沿 y 轴正向的直线运动（朝左舷）；

（c）正垂荡（heave）为沿 z 轴正向的直线运动（向上）；

（d）正横摇（roll）为右舷下降，左舷上升；

（e）正纵摇（pitch）为船首下降，船尾上升；

（f）正首摇（yaw）为船首朝船舶左舷旋转，船尾朝右舷旋转。



注：本图所示为旋转轴而非坐标系统。

图 7.1.2 运动的正向定义

1.2.2.2 正加速度定义如下：

（a）纵向正加速度为沿 x 轴正向的加速度（向前）；

（b）横向正加速度为沿 y 轴正向的加速度（朝左舷）；

（c）垂向正加速度为沿 z 轴正向的加速度（向上）。

1.2.2.3 船体梁正垂向剪力的符号约定如图 7.1.3 所示。

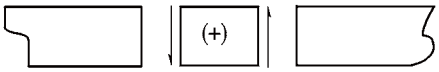


图 7.1.3 正垂向剪力

1.2.2.4 船体梁正弯矩的符号约定如图 7.1.4 和图 7.1.5 所示，且定义如下：

（a）正垂向弯矩为中拱弯矩，负垂向弯矩为中垂弯矩。

（b）正水平弯矩为右舷受拉、左舷受压。

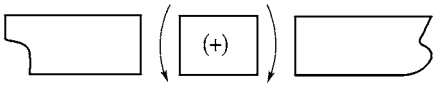


图 7.1.4 正垂向弯矩

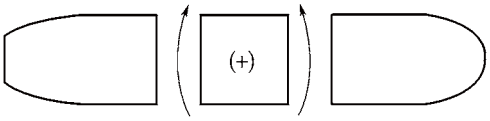


图 7.1.5 正水平弯矩

2 静载荷分量

2.1 船体梁静载荷

2.1.1 船体梁许用静水弯矩

2.1.1.1 设计者应提供船体梁许用中拱和中垂静水弯矩限值，对应航行工况是 $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ 和对应港内 / 遮蔽工况是 $M_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$。

2.1.1.2 在货舱区域的各个横舱壁、货油舱中部、防撞舱壁、机舱前壁以及机舱前后舱壁之间的中点位置处，应给出船体梁许用中拱和中垂静水弯矩限值。

2.1.1.3 船体梁许用中拱和中垂静水弯矩包络值应通过对纵向位置之间的数值进行线性插值得到，且纵向位置由 2.1.1.2 给出。

2.1.1.4 船体梁许用中拱和中垂静水弯矩包络线应按第 8 节 /1.1.2 的要求包括在装载手册中。

2.1.1.5 对于航行工况，船体梁许用中拱和中垂静水弯矩 $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ 包络线，应包络住 2.1.2.1 和 2.1.2.2 给出的船体梁最小中拱和中垂静水弯矩以及装载手册中给出的任一航行工况下所计算的最严重中拱和中垂静水弯矩。装载工况的要求由第 8 节 /1.1.2 给出。

2.1.1.6 对于港内 / 遮蔽工况，船体梁许用中拱和中垂静水弯矩 $M_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$ 包络线，应包络住 2.1.2.3 给出的船体梁最小中拱和中垂静水弯矩以及装载手册中给出的任一港内 / 遮蔽工况下所计算的最严重中拱和中垂静水弯矩，且不得小于航行工况下的许用静水弯矩 $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ 包络线。

指导性注释：

对于初步设计，建议船体梁许用中拱和中垂静水弯矩包络线应至少比装载手册中对应工况下的船体梁弯矩包络值高出5%，以考虑船舶设计和建造阶段的设计增量。

2.1.2 船体梁最小静水弯矩

2.1.2.1 航行工况下，船中处的船体梁最小中拱和中垂静水弯矩，$M_{sw\text{-}\min\text{-}sea\text{-}mid}$，按下式计算：

对中拱：

$$M_{sw\text{-}\min\text{-}sea\text{-}mid}=f_{sea}(Z_{v\text{-}\min}\sigma_{perm\text{-}sea}10^3-M_{wv\text{-}hog}) \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

且等同于：

$$M_{sw\text{-}\min\text{-}sea\text{-}mid}=0.01C_{wv}L^2B(11.97-1.9C_b) \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

对中垂：

$$M_{sw\text{-}\min\text{-}sea\text{-}mid}=f_{sea}(Z_{v\text{-}\min}\sigma_{perm\text{-}sea}10^3+M_{wv\text{-}sag}) \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

且等同于：

$$M_{sw\text{-}\min\text{-}sea\text{-}mid}=-0.05185C_{wv}L^2B(C_b+0.7) \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

式中：f_{sea}=−0.85，对中垂；

f_{sea}= 1.0，对中拱；

$Z_{v\text{-}\min}$——船体梁的规范最小剖面模数，m^3，由第 8 节 /1.2.2.2 给出；

$\sigma_{perm\text{-}sea}$——航行工况下船中处船体梁许用弯曲应力，N/mm^2，按第 8 节 /1.2.3.2 定义；

$M_{wv\text{-}hog}$——船中处中拱垂向波浪弯矩包络值，kN·m，按 3.4.1.1 定义；

$M_{wv\text{-}sag}$——船中处中垂垂向波浪弯矩包络值，kN·m，按 3.4.1.1 定义；

C_{wv}——波浪系数，按 3.4.1.1 定义；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义；

B——型宽，m，按第 4 节 /1.1.3.1 定义；

C_b——方形系数，按第 4 节 /1.1.9.1 定义。

2.1.2.2 航行工况下，纵向任一位置处的船体梁最小中拱和中垂静水弯矩，$M_{sw\text{-}\min\text{-}sea}$，按下式计算：

$$M_{sw\text{-}\min\text{-}sea}=f_{sw}\,M_{sw\text{-}\min\text{-}sea\text{-}mid} \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

式中：f_{sw}=1.0，船中 0.4L 内；

f_{sw}= 0.15，距首垂线或尾垂线 0.1L 处；

f_{sw}= 0，在首垂线和尾垂线处。

位于其间的 f_{sw} 值通过线性插值得到，见图 7.2.1。

2.1.2.3 港内 / 遮蔽工况下，纵向任一位置处的船体梁最小中拱和中垂静水弯矩，$M_{sw\text{-}\min\text{-}harb}$，按下式计算：

$$M_{sw\text{-}\min\text{-}harb}=1.25\,M_{sw\text{-}\min\text{-}sea} \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

式中：$M_{sw\text{-}\min\text{-}sea}$——航行工况下，所考虑剖面处对应的船体梁最小中拱和中垂静水弯矩，见 2.1.2.1 和 2.1.2.2。

2.1.3 静水剪力

2.1.3.1 设计者应提供船体梁许用正、负静水剪力极限值，对应航行工况是 $Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ 和对应港内 / 遮蔽工况是 $Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$。

2.1.3.2 在货舱区域的各个横舱壁、货油舱中部、防撞舱壁、机舱前壁的位置处，应给出船体梁许用正、负静水剪力限值。

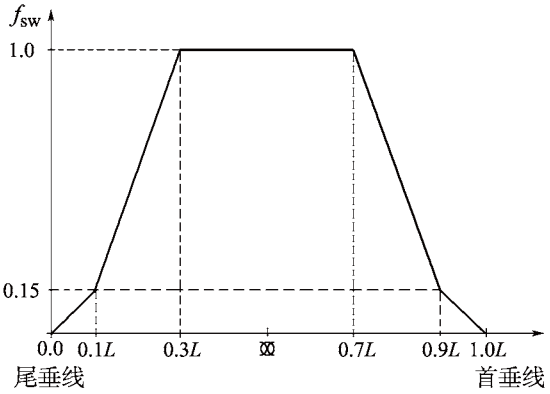


图 7.2.1 静水弯矩分布

2.1.3.3 船体梁许用正、负静水剪力包络值应通过对纵向位置之间的数值进行线性插值得到，且纵向位置由 2.1.3.2 给出。

2.1.3.4 船体梁许用正、负静水剪力包络线应按第 8 节 /1.1.2 的要求包括在装载手册中。

2.1.3.5 对于航行工况，船体梁许用正、负静水剪力 $Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ 包络线，应包络住 2.1.4.1 和 2.1.4.2 给出的船体梁最小正、负静水剪力以及装载手册中给出的任一航行工况下最严重的船体梁正、负静水剪力。装载工况的要求由第 8 节 /1.1.2 给出。

2.1.3.6 对于港内 / 遮蔽工况，船体梁许用正、负静水剪力 $Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$ 包络线，应包络住 2.1.4.3 和 2.1.4.4 给出的船体梁最小正、负静水剪力以及装载手册中给出的任一港内 / 遮蔽工况下最严重的船体梁正、负静水剪力，且不得小于航行工况的许用静水剪力 $Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ 包络线。

指导性注释：

对于初步设计，建议船体梁许用静水剪力包络线应至少比装载手册中对应工况下的船体梁剪力包络值高出10%，以考虑船舶设计和建造阶段的设计增量。

2.1.4 船体梁最小静水剪力

2.1.4.1 对于设有两道纵舱壁的船舶，航行工况下，中间货油舱之间横舱壁位置处的船体梁最小正、负静水剪力，$Q_{sw\text{-}\min\text{-}sea}$，按下式计算：

$$Q_{sw\text{-}\min\text{-}sea} = \pm \max \begin{cases} 0.225\rho g B_{local} l_{tk} T_{sc} \\ 0.5\rho g[0.98(V_{CT} + 2V_{ST}) - 0.7 B_{local} l_{tk} T_{sc}] \end{cases} \quad \text{kN}$$

且对于货舱 / 压载舱的前、后横舱壁处，取 $Q_{sw\text{-}\min\text{-}sea}$ 计算的最大值。

式中：ρ——液货 / 海水密度，取值不小于 1.025t/m^3；

g——重力加速度，9.81m/s^2；

B_{local}——所考虑货舱中部吃水 T_{sc} 位置处的局部船宽，m；

l_{tk}——所考虑的货舱长度，m，取所考虑的前后两个横舱壁之间的长度；

T_{sc}——结构吃水，m，按第 4 节 /1.1.5.5 定义；

V_{CT}——中货油舱的舱容，m^3，取所考虑的货油舱前后两个横舱壁之间的容积；

V_{ST}——边货油舱的舱容，m^3，取所考虑的边货油舱前后两个横舱壁之间的容积。

2.1.4.2 对于仅设中纵舱壁的油船，航行工况下，货油舱之间横舱壁位置处的船体梁最小正、负静水剪力，$Q_{sw\text{-}\min\text{-}sea}$，按下式计算：

$$Q_{sw\text{-}\min\text{-}sea} = \pm 0.4\rho g B_{local} l_{tk} T_{sc} \quad \text{kN}$$

且对于货舱 / 压载舱的前、后横舱壁处，取 $Q_{sw\text{-}\min\text{-}sea}$ 计算的最大值：

式中：ρ——液货 / 海水密度，取值不小于 1. 025t/m^3；

g——重力加速度，9. 81m/s^2；

B_{local}——所考虑货舱中部吃水 T_{sc} 位置处的局部船宽，m；

l_{tk}——所考虑的货油舱长度，m，取所考虑的前后两个横舱壁之间的长度；

T_{sc}——结构吃水，m，按第 4 节 /1. 1. 5. 5 定义。

2. 1. 4. 3 对于设有两道纵舱壁的船舶，港内 / 遮蔽工况下，中间货油舱之间横舱壁位置处的船体梁最小正、负静水剪力，$Q_{sw-\min-harb}$，按下式计算：

$$Q_{sw-\min-harb}=\pm\max\begin{cases}0.275\rho g B_{local}l_{tk}T_{sc}\\0.5\rho g\left[0.98(V_{CT}+2V_{ST})-0.6B_{local}l_{tk}T_{sc}\right]\end{cases}\quad \text{kN}$$

且对于货舱 / 压载舱前、后横舱壁处，取 $Q_{sw-\min-harb}$ 计算的最大值。

式中：ρ——液货 / 海水密度，取值不小于 1. 025t/m^3；

g——重力加速度，9. 81m/s^2；

B_{local}——所考虑货舱中部吃水 T_{sc} 位置处的局部船宽，m；

l_{tk}——所考虑的货油舱长度，m，取所考虑的前后两个横舱壁之间的长度；

T_{sc}——结构吃水，m，按第 4 节 /1. 1. 5. 5 定义；

V_{CT}——中货油舱的舱容，m^3，取所考虑的货油舱前后两个横舱壁之间的容积；

V_{ST}——边货油舱的舱容，m^3，取所考虑的边货油舱前后两个横舱壁之间的容积。

2. 1. 4. 4 对于仅设中纵舱壁的船舶，港内 / 遮蔽工况下，货油舱之间横舱壁位置处的船体梁最小正、负静水剪力，$Q_{sw-\min-harb}$，按下式计算：

$$Q_{sw-\min-harb}=\pm 0.45\rho g B_{local}l_{tk}T_{sc}\quad \text{kN}$$

且对于货舱 / 压载舱前、后横舱壁处，取 $Q_{sw-\min-harb}$ 计算的最大值。

式中：ρ——液货 / 海水密度，取值不小于 1. 025t/m^3；

g——重力加速度，9. 81m/s^2；

B_{local}——所考虑货舱中部吃水 T_{sc} 位置处的局部船宽，m；

l_{tk}——所考虑的货油舱长度，m，取所考虑的前后两个横舱壁之间的长度；

T_{sc}——结构吃水，m，按第 4 节 /1. 1. 5. 5 定义。

2. 2 局部静载荷

2. 2. 1 一般要求

2. 2. 1. 1 下列静载荷应予考虑：

（a）舷外海水静压力；

（b）液舱静压力；

（c）液舱过载压力；

（d）甲板静载荷。

2. 2. 2 舷外海水静压力

2. 2. 2. 1 舷外海水静压力，P_{hys}，按下式计算：

$$P_{hys}=\rho_{sw}g(T_{LC}-z)\quad \text{kN/m}^2$$

式中：z——载荷点的垂向坐标，m，且应不大于 T_{LC}，见图 7. 2. 2；

ρ_{sw}——海水密度，1. 025t/m^3；

T_{LC}——所考虑装载工况下的吃水，m；

g——重力加速度，9.81m/s^2。

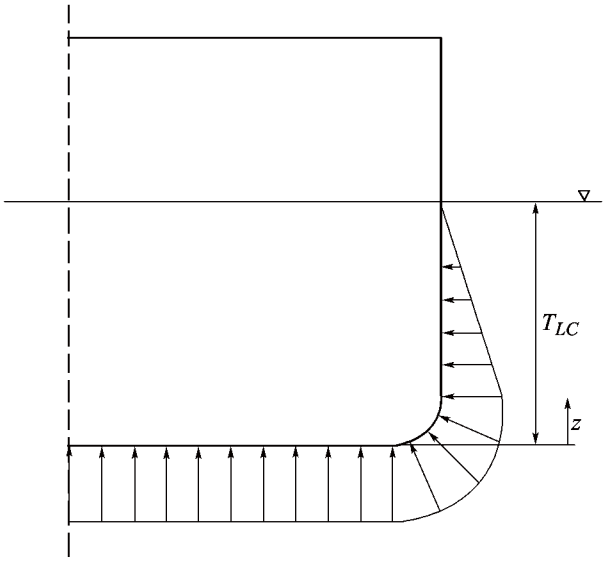


图 7.2.2 舷外海水静压力

2.2.3 液舱静压力

2.2.3.1 液舱静压力，P_{in-tk}，按下式计算：

$$P_{in-tk}=\rho g z_{tk} \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：z_{tk}——液舱最高点（不包括小舱口）到载荷点的垂向距离，m，见图 7.2.3；

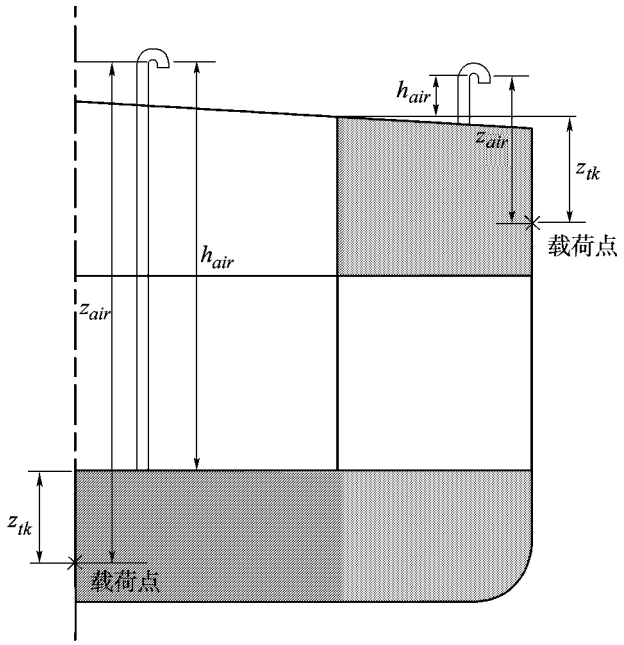


图 7.2.3 用于计算舱内静压力的压头和距离

ρ——舱内液体密度，t/m^3，对液舱疲劳强度，取值应不小于 0.9，其他情况，取 1.025，见第 2 节 /3.1.8；

g——重力加速度，9.81m/s^2。

2.2.3.2 在用径流法交换压载水期间，溢流或进流情况下的液舱静压力，P_{in-air}，按下式计算：

$$P_{in-air}=\rho_{sw}gz_{air} \quad \text{kN/m}^2$$

式中：z_{air}——从空气管或溢流管的顶端到载荷点的垂向距离，m，取小者，见图 7.2.3，$z_{air}=z_{tk}+h_{air}$；

ρ_{sw}——海水密度，1.025t/m^3；

g——重力加速度，9.81m/s^2；

h_{air}——空气管或溢流管的高度，m，且取值应不小于液舱最高点（不包括小舱口）以上 0.76m。如果液舱顶部低于露天甲板，除非船旗国主管机关允许降低高度，否则空气管或溢流管高度应取不小于甲板边线以上 0.76m。另见图 7.2.3。

2.2.3.3 在用径流法交换压载水期间，由于持续不变的液流通过空气管或溢流管而造成的附加过载压力，P_{drop}，取为 25kN/m^2。当管路的布置可能会导致一个更高的压力损失，例如长管或诸如弯头和阀件的布置时，可要求进行附加计算。

2.2.3.4 进水或破舱状态下，舱室和液舱中的压力，$P_{in-flood}$，按下式计算：

$$P_{in-flood}=\rho_{sw}gz_{flood} \quad \text{kN/m}^2$$

式中：z_{flood}——破舱状态下，从载荷点到最深平衡水线的垂向距离，m。该水线通过恰当的破舱稳性计算得到。如未给出该破舱水线，则取到干舷甲板位置处；

ρ_{sw}—— 海水密度，1.025t/m^3；

g——重力加速度，9.81m/s^2。

2.2.3.5 液舱试验压力，$P_{in-test}$，取以下之中大者，另见表 11.5.1 中的试验要求：

$$P_{in-test}=\rho_{sw}gz_{test} \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_{in-test}=\rho_{sw}gz_{tk}+P_{valve} \quad \text{kN/m}^2$$

式中：z_{test}——到载荷点的垂向距离，m，取以下值中大者：

（a）溢流管顶部；

（b）液舱顶部以上 2.4m；

z_{tk}——液舱最高点（不包括小舱口）到载荷点的垂向距离，m，见图 7.2.3；

ρ_{sw}——海水密度，1.025t/m^3；

g——重力加速度，9.81m/s^2；

P_{valve}——压力释放阀的设置压力，如装设，取值应不小于 25kN/m^2。

2.2.4 来自分布负荷的甲板静压力

2.2.4.1 甲板和内底上的压力，P_{stat}，按下式计算：

$$P_{stat}=P_{deck} \quad \text{kN/m}^2$$

式中：P_{deck}——下甲板及上层建筑内甲板，包括主机舱内以及装设重型机械组件的其他处所的平台甲板上的均布压力，kN/m^2。P_{deck} 取值应不小于 16kN/m^2。甲板室的甲板设计压力由第 11 节 /1.4 确定。

2.2.5 来自重物的甲板静载荷

2.2.5.1 当重货和设备的物件质量达到 20t 及以上时，其位置处的结构尺度应考虑重力的作用。作用在重货、设备或结构构件的支承结构和系固系统上的作用力，F_{stat}，按下式计算：

$$F_{stat} = m_{un} g$$

式中：m_{un}——物件质量，t；

g——重力加速度，9.81m/s^2。

3 动载荷分量

3.1 一般要求

3.1.1 基本分量

3.1.1.1 本小节给出了船舶运动和加速度的定义。

3.1.1.2 动载荷基本分量包络值的定义也在本小节给出。基本分量为：

（a）垂向波浪弯矩和剪力；

（b）水平波浪弯矩；

（c）波浪动压力；

（d）液舱动压力。

3.1.2 载荷包络值

3.1.2.1 对于尺度要求和强度评估，载荷包络值以10^{-8}概率水平给出，而对于疲劳强度，载荷包络值则以10^{-4}概率水平给出。

3.1.2.2 对于尺度要求和强度评估，给出了计入非线性影响和恶劣气候下对船舶营运考虑的修正因子。

3.1.2.3 对于疲劳强度，用某一因子将包络载荷从10^{-8}概率水平调整至10^{-4}概率水平。如适用，可采用速度修正因子。

3.1.2.4 包络值为给定概率水平下的长期值，且考虑所有浪向的影响。

3.1.3 初稳性高度和横摇回转半径

3.1.3.1 初稳性高度，GM，和横摇回转半径，$r_{roll-gyr}$，与规范装载工况或表7.3.1中定义的吃水有关。

GM 和 $r_{roll-gyr}$ **表7.3.1**

	T_{LC}	GM	$r_{roll-gyr}$
深吃水下的装载	0.9T_{SC}和T_{SC}之间	0.12 B	0.35 B
减少吃水下的装载	0.6T_{SC}	0.24 B	0.40 B
压载	T_{bal}，T_{bal-n}	0.33 B	0.45 B

表中：B——型宽，m，按第4节/1.1.3.1定义；

T_{LC}——所考虑装载工况下的吃水，m；

T_{SC}——结构吃水，m，按第4节/1.1.5.5定义；

T_{bal}——最小设计压载吃水，m，按第4节/1.1.5.2定义；

T_{bal-n}——正常压载吃水，m，按第4节/1.1.5.3定义。

3.1.3.2 对于可选的装载工况，GM应取装载手册中给出的修正初稳性高度。当对可选的装载工况或大风/紧急压载工况的GM未作规定时，对于平均吃水大于或等于0.9T_{SC}的情况，GM应取0.12B，且对于平均吃水小于或等于0.6T_{SC}的情况，GM应取0.24B。对于其他未作定义的平均吃水可选装载工况，GM之值应基于0.6T_{SC}和0.9T_{SC}的数值通过线性插值得到。

3.1.3.3 对于可选的装载工况或大风/紧急压载工况，除非根据装载手册提供的数值，否则平均吃水大于或等于0.9T_{SC}时，$r_{roll-gyr}$应取0.35B，平均吃水小于或等于0.6T_{SC}时，$r_{roll-gyr}$应取0.4B。对于平均吃水未作定义的可选装载工况，$r_{roll-gyr}$之值应基于0.6T_{SC}和0.9T_{SC}的数值通过线性插值得到。

3.1.3.4 对用于疲劳强度的装载工况，GM应取装载手册中给出的修正的初稳性高度。如不行，

则 GM 应按照表 7. 3. 1 中对压载工况的规定和 3. 1. 3. 2 中所描述的对满载工况的工作程序取用。除非基于装载工况，否则 $r_{roll\text{-}gyr}$ 应按照表 7. 3. 1 中对压载工况的规定和 3. 1. 3. 3 中所描述的对满载工况的工作程序选取。

3.2 运动

3.2.1 一般要求

3. 2. 1. 1 船舶运动的包络值以 10^{-8} 概率水平给出。

3.2.2 横摇运动

3. 2. 2. 1 横摇固有周期，U_{roll}，按下式计算：

$$U_{roll}=\frac{2.30r_{roll\text{-}gyr}}{\sqrt{GM}} \quad \text{s}$$

式中：GM——初稳性高度，m，按 3. 1. 3 定义；

$r_{roll\text{-}gyr}$——横摇回转半径，m，按 3. 1. 3 定义。

3. 2. 2. 2 横摇角，θ，按下式计算：

$$\theta=\frac{50}{B+75}(1.25-0.025U_{roll})f_{bk} \quad \text{rad}$$

式中：f_{bk}=1. 2，对于未设舭龙骨的船舶；

f_{bk}=1. 0，对于设有舭龙骨的船舶；

B——型宽，m，按第 4 节 /1. 1. 3. 1 定义；

U_{roll}——横摇周期，s，按 3. 2. 2. 1 定义。

3.2.3 纵摇运动

3. 2. 3. 1 纵摇固有周期，U_{pitch}，按下式计算：

$$U_{pitch}=f_V\sqrt{0.6\frac{2\pi}{g}(1+f_T)L} \quad \text{s}$$

式中：$f_V=1.0+\frac{V_0}{V}(\frac{L}{525}-0.67)$

$$f_T=\frac{T_{LC}}{T_{SC}}$$

V_0——船舶速度，kn，按以下取用：

V_0=0，用于尺度要求和强度评估；

V_0=0. 75 V，用于疲劳强度；

V——最大服务航速，kn，按第 4 节 /1. 1. 8. 1 定义；

T_{SC}——结构吃水，m，按第 4 节 /1. 1. 5. 5 定义；

T_{LC}——所考虑装载工况下的吃水，m；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义。

3. 2. 3. 2 纵摇角，φ，按下式计算：

$$\varphi=960\,(\frac{V_1}{C_b})^{0.25}\frac{1}{L}\frac{\pi}{180} \quad \text{rad}$$

式中：V_1——航速，kn，取 V 值，但取值应不小于 10；

V——最大服务航速，kn，按第 4 节 /1. 1. 8. 1 定义；

C_b——方形系数，按第 4 节 /1. 1. 9. 1 定义；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义。

3.3 船舶加速度

3.3.1 一般规定

3. 3. 1. 1 由 6 个自由度方向上的运动产生的合成线加速度包络值在本小节给出。横向和纵向加速度分量包含了横摇和纵摇运动引起的重力分量。

3.3.2 公用加速度参数

3. 3. 2. 1 公用加速度参数 a_0，按下式计算：

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

式中：C_b——方形系数，按第 4 节 /1. 1. 9. 1 定义；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义。

3.3.3 垂向加速度

3. 3. 3. 1 任一位置处的垂向加速度包络值 a_v，按下式计算：

$$a_v=f_{prob}\sqrt{a_{heave}^2+a_{pitch\text{-}z}^2+a_{roll\text{-}z}^2} \qquad \text{m/s}^2$$

式中：a_{heave}——由于垂荡产生的垂向加速度：

$$a_{heave}=f_V a_0 g \qquad \text{m/s}^2$$

$a_{pitch\text{-}z}$——由于纵摇产生的垂向加速度：

$$a_{pitch\text{-}z}=(0.3+\frac{L}{325})\varphi(\frac{2\pi}{U_{pitch}})^2\left|x-0.45L\right| \qquad \text{m/s}^2$$

$a_{roll\text{-}z}$——由于横摇产生的垂向加速度：

$$a_{roll\text{-}z}=1.2\theta\left(\frac{2\pi}{U_{roll}}\right)^2\left|y\right| \qquad \text{m/s}^2$$

a_0——公用加速度参数，按 3. 3. 2. 1 定义；

g——重力加速度，9. 81m/s^2；

φ——纵摇角，rad，按 3. 2. 3. 2 定义；

U_{pitch}——纵摇周期，s，按 3. 2. 3. 1 定义；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义；

θ——横摇角，rad，按 3. 2. 2. 2 定义；

U_{roll}——横摇周期，s，按 3. 2. 2. 1 定义；

x——纵坐标，m；

y——横坐标，m；

f_{prob}——按 3. 3. 3. 2 和 3. 3. 3. 3（适用时）定义；

f_V——按 3. 3. 3. 2 和 3. 3. 3. 3（适用时）定义。

3. 3. 3. 2 对于尺度要求和强度评估：

f_{prob} 取 1. 0；

f_V 取 1. 0。

3. 3. 3. 3 对于疲劳强度：

f_{prob} 取 0. 45。

$$f_V=(\frac{C_{b\text{-}LC}}{C_b})^2(1.2-\frac{L}{1000})$$

式中：$C_{b\text{-}LC}$——所考虑装载工况的方形系数，按第 4 节 /1. 1. 9. 2 定义；

C_b——方形系数，按第 4 节 /1. 1. 9. 1 定义；

L——规范船长，按第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义。

3. 3. 4 横向加速度

3. 3. 4. 1 任一位置处的横向加速度包络值，a_t，按下式计算：

$$a_t=f_{prob}\sqrt{a_{sway}^2+(g\sin\theta+a_{roll\text{-}y})^2} \quad \text{m/s}^2$$

式中：a_{sway}——由于横荡和首摇产生的横向加速度：

$$a_{sway}=0.3ga_0 \quad \text{m/s}^2$$

$a_{roll\text{-}y}$——由于横摇产生的横向加速度：

$$a_{roll\text{-}y}=\theta(\frac{2\pi}{U_{roll}})^2R_{roll} \quad \text{m/s}^2$$

θ——横摇角，rad，按 3. 2. 2. 2 定义；

U_{roll}——横摇周期，s，按 3. 2. 2. 1 定义；

$R_{roll}=z-(\frac{D}{4}+\frac{T_{LC}}{2})$ 或 $z-(\frac{D}{2})$，m，取其大者；

g——重力加速度，9. 81m/s^2；

a_0——公用加速度参数，按 3. 3. 2. 1 定义；

T_{LC}——所考虑装载工况下的吃水，m；

D——型深，m，按第 4 节 /1. 1. 4. 1 定义；

z——垂向坐标，m；

f_{prob}——按 3. 3. 4. 2 或 3. 3. 4. 3（适用时）定义。

3. 3. 4. 2 对于尺度要求和强度评估：

f_{prob} 取 1. 0。

3. 3. 4. 3 对于疲劳强度：

f_{prob} 取 0. 5。

3. 3. 5 纵向加速度

3. 3. 5. 1 任一位置处的纵向加速度包络值 a_{lng}，按下式计算：

$$a_{lng}=0.7f_{prob}\sqrt{a_{surge}^2+[\frac{L}{325}(g\sin\varphi+a_{pitch\text{-}x})]^2}$$

式中：a_{surge}——由于纵荡产生的纵向加速度：

$$a_{surge}=0.2ga_0 \quad \text{m/s}^2$$

$a_{pitch\text{-}x}$——由于纵摇产生的纵向加速度，取为：

$$a_{pitch\text{-}x}=f_V\varphi(2\pi/U_{pitch})^2R_{pitch} \quad \text{m/s}^2$$

φ——纵摇角，rad，按 3. 2. 3. 2 定义；

U_{pitch}——纵摇周期，s，按 3. 2. 3. 1 定义；

R_{pitch}——纵摇半径，m，且取 $z-(\frac{D}{4}+\frac{T_{LC}}{2})$ 和 $z-(\frac{D}{2})$ 的大者；

g——重力加速度，9.81m/s^2；

a_0——公用加速度参数，按 3.3.2.1 定义；

T_{LC}——所考虑装载工况下的吃水，m；

D——型深，按第 4 节 /1.1.4.1 定义；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义；

z——垂向坐标，m；

f_{prob}——按 3.3.5.2 定义和 3.3.5.3（适用时）定义；

f_V——按 3.3.5.2 定义和 3.3.5.3（适用时）定义。

3.3.5.2 对于尺度要求和强度评估：

f_{prob} 取 1.0；

f_V 取 1.0。

3.3.5.3 对于疲劳强度：

f_{prob} 取 0.5；

f_V 取 1.7。

3.4 船体梁动载荷

3.4.1 垂向波浪弯矩

3.4.1.1 中拱和中垂的垂向波浪弯矩包络值，M_{wv-hog} 和 M_{wv-sag}，按下式计算：

$$M_{wv-hog}=f_{prob}0.19f_{wv-v}C_{wv}L^2BC_b \quad \text{kN·m}$$

$$M_{wv-sag}=-f_{prob}0.11f_{wv-v}C_{wv}L^2B(C_b+0.7) \quad \text{kN·m}$$

式中：f_{wv-v}——垂向波浪弯矩沿船长的分布因子，见 3.4.1.2 或 3.4.1.3（适用时）；

C_{wv}——波浪系数，按下式计算：

$$C_{wv}=10.75-(\frac{300-L}{100})^{\frac{3}{2}}，\text{当 } 150\leqslant L\leqslant 300 \text{ 时}$$

$$C_{wv}=10.75，\quad \text{当 } 300\leqslant L\leqslant 350 \text{ 时}$$

$$C_{wv}=10.75-(\frac{L-350}{150})^{\frac{3}{2}}，\text{当 } 350<L\leqslant 500 \text{ 时}$$

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义；

B——型宽，m，按第 4 节 /1.1.3.1 定义；

C_b——方形系数，按第 4 节 /1.1.9.1 定义。

3.4.1.2 对于尺度要求和强度评估：

f_{wv-v}——垂向波浪弯矩沿船长方向的分布因子，按如下取用：

f_{wv-v}=0.0，在尾垂线处

f_{wv-v}=1.0，距尾垂线 0.4L 至 0.65L 之间

f_{wv-v}=0.0，在首垂线处

位于其间之值通过线性插值得到，见图 7.3.1；

f_{prob}——取 1.0；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义。

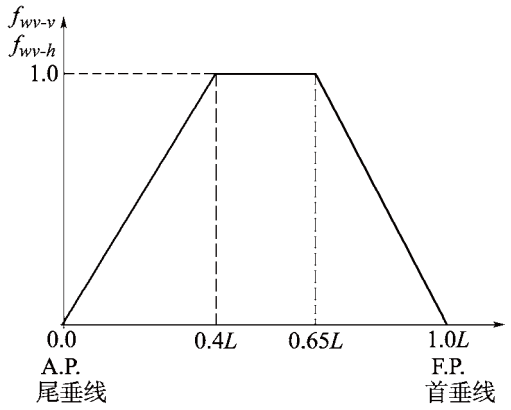


图 7.3.1 尺度要求和强度评估的垂向和水平波浪弯矩分布

3.4.1.3 对于疲劳强度：

$f_{wv\text{-}v}$——垂向波浪弯矩沿船长方向的分布因子：

$f_{wv\text{-}v}$=0.0 在尾垂线处

$f_{wv\text{-}v}$=0.1 距尾垂线 0.1L 处

$f_{wv\text{-}v}$=1.0 距尾垂线 0.4L 到 0.65L 之间

$f_{wv\text{-}v}$=0.1 距尾垂线 0.9L 处

$f_{wv\text{-}v}$=0.0 在首垂线处

位于其间之值通过线性插值得到，见图 7.3.2；

f_{prob}——取 0.5；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义。

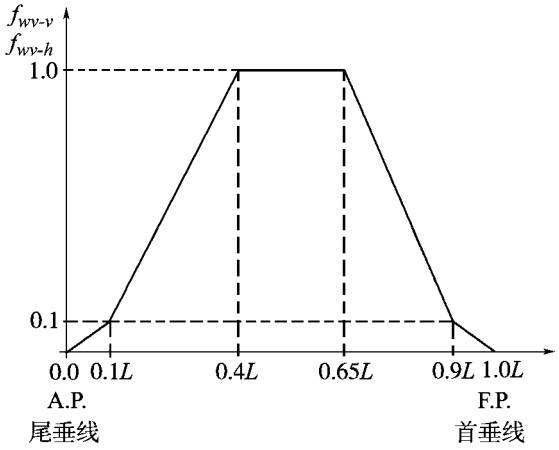


图 7.3.2 疲劳强度的垂向和水平波浪弯矩分布

3.4.2 水平波浪弯矩

3.4.2.1 水平波浪弯矩的包络值，$M_{wv\text{-}h}$，按下式计算：

$$M_{wv\text{-}h}=f_{prob}\ (0.3+\frac{L}{2000})f_{wv\text{-}h}C_{wv}L^2T_{LC}C_b \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

式中：$f_{wv\text{-}h}$——水平波浪弯矩沿船长方向的分布因子，见 3.4.2.2 或 3.4.2.3（适用时）；

C_{wv}——波浪系数，按 3.4.1.1 定义；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义；

T_{LC}——所考虑装载工况下的吃水，m；

C_b——方形系数，按第4节/1.1.9.1定义。

3.4.2.2 对于尺度要求和强度评估：

f_{wv-h}——水平波浪弯矩沿船长方向的分布因子，按如下取用：

f_{wv-h}=0.0，在尾垂线处

f_{wv-h}=1.0，距尾垂线0.4L到0.65L之间

f_{wv-h}=0.0，在首垂线处

位于其间之值通过线性插值得到，见图7.3.1；

f_{prob}——取1.0；

L——规范船长，m，见第4节/1.1.1.1。

3.4.2.3 对于疲劳强度：

f_{wv-h}——沿船长方向的水平波浪弯矩的分布因子：

f_{wv-h}=0.0 在尾垂线处

f_{wv-h}=0.1 距尾垂线0.1L处

f_{wv-h}=1.0 距尾垂线0.4L到0.65L之间

f_{wv-h}=0.1 距尾垂线0.9L处

f_{wv-h}=0.0 在首垂线处

位于其间之值通过线性插值得到，见图7.3.2；

L——规范船长，m，按第4节/1.1.1.1定义；

f_{prob}——取0.5。

3.4.3 垂向波浪剪力

3.4.3.1 正、负垂向波浪剪力包络值，Q_{wv-pos}和Q_{wv-neg}，按下式计算：

$$Q_{wv-pos}=0.3f_{qwv-pos}C_{wv}LB(C_b+0.7) \quad \text{kN}$$

$$Q_{wv-neg}=-0.3f_{qwv-neg}C_{wv}LB(C_b+0.7) \quad \text{kN}$$

式中：$f_{qwv-pos}$——正垂向波浪剪力沿船长方向的分布因子：

$f_{qwv-pos}$=0.0，在尾垂线处

$f_{qwv-pos}=1.59\dfrac{C_b}{(C_b+0.7)}$，距尾垂线0.2$L$到0.3$L$之间

$f_{qwv-pos}$=0.7，距尾垂线0.4L到0.6L之间

$f_{qwv-pos}$=1.0，距尾垂线0.7L到0.85L之间

$f_{qwv-pos}$=0.0，在首垂线处

$f_{qwv-neg}$——负垂向波浪剪力沿船长方向的分布因子：

$f_{qwv-neg}$=0.0，在尾垂线处

$f_{qwv-neg}$=0.92，距尾垂线0.2L到0.3L之间

$f_{qwv-neg}$=0.7，距尾垂线0.4L到0.6L之间

$f_{qwv-neg}=1.37\dfrac{C_b}{(C_b+0.7)}$，距尾垂线0.7$L$到0.85$L$之间

$f_{qwv-neg}$=0.0，在首垂线处

位于其间的$f_{qwv-pos}$和$f_{qwv-neg}$值通过线性插值得到，分别见图7.3.3和图7.3.4；

C_{wv}——波浪系数，按 3.4.1.1 定义；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义；

B——型宽，m，按第 4 节 /1.1.3.1 定义；

C_b——方形系数，按第 4 节 /1.1.9.1 定义。

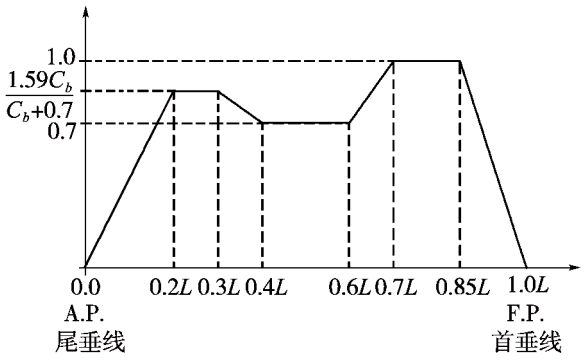


图 7.3.3 正垂向波浪剪力分布

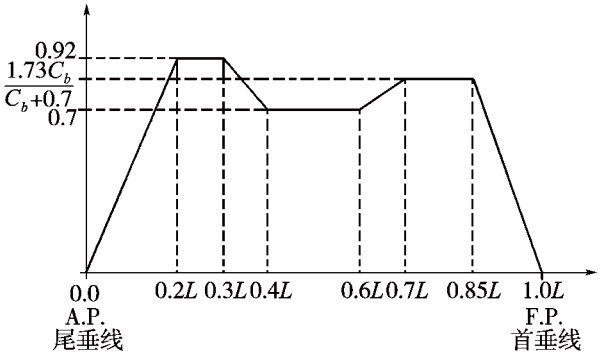


图 7.3.4 负垂向波浪剪力分布

3.5 局部动载荷

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 本节给出了波浪动压力，液舱动压力，上浪载荷和甲板动载荷的包络值。

3.5.1.2 波浪动压力的包络值由 3.5.2 给出。

3.5.1.3 3.5.3 中给出的上浪载荷包络值仅适用于尺度要求和强度评估。用于疲劳强度的上浪载荷应取为 0。

3.5.1.4 液舱动压力的包络值为由垂向、横向和纵向加速度产生的惯性分量的组合。液舱动压力分量的包络值由 3.5.4 给出。

3.5.1.5 甲板动载荷的包络值由 3.5.5 和 3.5.6 给出。

3.5.2 波浪动压力

3.5.2.1 波浪动压力的包络值 $P_{ex\text{-}dyn}$，应取以下之中的大者：

$$P_1 = 2f_{prob}f_{n1\text{-}P1}\left[\left(P_{11}+\frac{135B_{local}}{4(B+75)}-1.2(T_{LC}-z)\right)f_1+\frac{135B_{local}}{4(B+75)}f_2\right] \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_2=26f_{prob}f_{n1-P2}\left[\begin{array}{l}\left(\dfrac{B_{local}}{8}\theta+f_TC_b\dfrac{0.25B_{local}+0.8C_{wv}}{14}(0.7+\dfrac{2z}{T_{LC}})\right)f_1+\\ \left(\dfrac{B_{local}}{8}\theta+f_TC_b\dfrac{0.25B_{local}}{14}(0.7+\dfrac{2z}{T_{LC}})\right)f_2\end{array}\right] \quad \text{kN/m}^2$$

式中：B_{local}——所考虑吃水的水线位置处的局部船宽，m，且取值应不小于 0. 5B；

θ——横摇角，按 3. 2. 2. 2 定义；

$P_{11}=(3f_s+0.8)C_{wv}$

C_{wv}——波浪系数，按 3. 4. 1. 1 定义；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义；

B——型宽，m，按第 4 节 /1. 1. 3. 1 定义；

T_{LC}——所考虑装载工况下的吃水，m；

T_{SC}——结构吃水，m，按第 4 节 /1. 1. 5. 5 定义；

C_b——方形系数，按第 4 节 /1. 1. 9. 1 定义。

$f_1=f_{lng}-\dfrac{f_{lng}}{f_V}f_2+f_2$

$f_2=0.25f_V(\dfrac{4|y|}{B_{local}}-1)$，当 $|y|<0.25B_{local}$ 时

$f_2=f_V(\dfrac{4|y|}{B_{local}}-1)$，当 $|y|\geqslant 0.25B_{local}$ 时

$f_T=\dfrac{T_{LC}}{T_{SC}}$

$f_S=C_b+\dfrac{1.33}{\sqrt{C_b}}$，在尾垂线及之后处

$f_S=C_b$，距尾垂线 0. 2L 到 0. 7L 之间

$f_S=C_b+\dfrac{1.33}{\sqrt{C_b}}$，在首垂线及之前处

位于其间之值通过线性插值得到；

f_{lng}= 1. 0，在尾垂线及之后处

f_{lng}= 0. 7，距尾垂线 0. 2L 至 0. 7L 之间

f_{lng}= 1. 0，在首垂线及之前处

位于其间之值通过线性插值得到；

y——横坐标，m；

z——垂向坐标，m。

对于尺度要求和强度评估的应用，f_{n1-P1}、f_{n1-P2}、f_{prob} 和 f_V 之值由 3. 5. 2. 2 给出，且对于疲劳强度，在 3. 5. 2. 3 中给出。

3. 5. 2. 2　对于尺度要求和强度评估，最大波浪动压力包络值 $P_{ex-\max}$（图 7. 3. 5），和最小波浪动压力包络值 $P_{ex-\min}$（图 7. 3. 6），按下式计算：

$P_{ex-\max}=P_{ex-dyn}$　kN/m^2，在静水线以下

$P_{ex-\max}=P_{WL}-10(z-T_{LC})$　kN/m^2，当 $T_{LC}<z\leqslant T_{LC}+\dfrac{P_{WL}}{10}$ 时

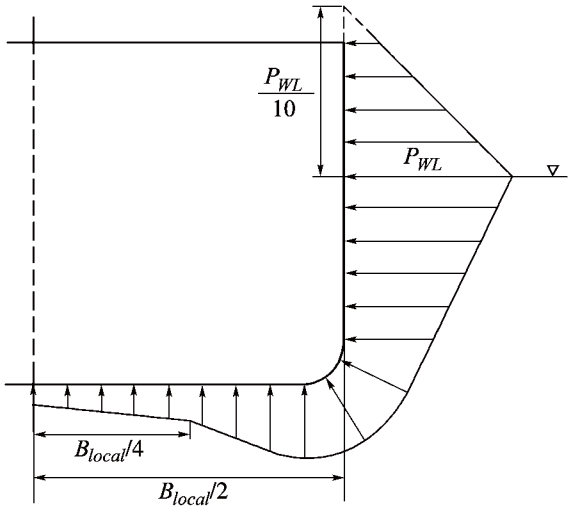


图 7.3.5 用于尺度要求和强度评估的最大波浪动压力横向分布

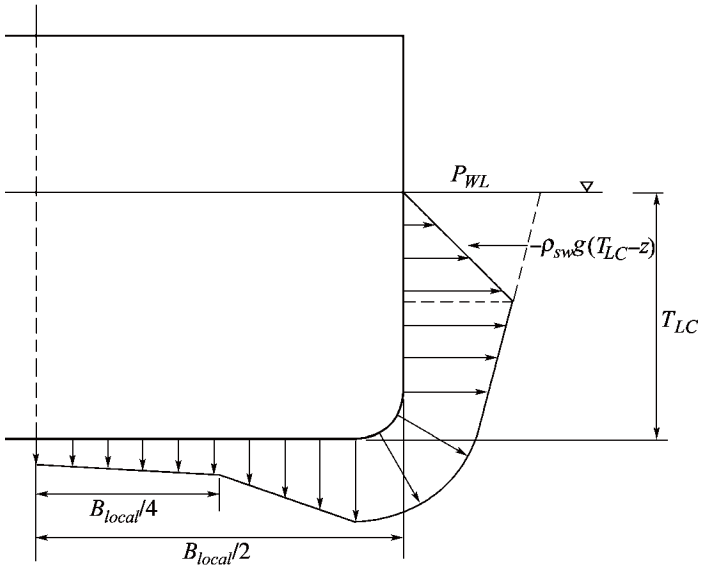


图 7.3.6 用于尺度要求和强度评估的最小波浪动压力横向分布

$P_{ex-\max} = 0$ kN/m^2，当 $z > T_{LC} + \frac{P_{WL}}{10}$ 时

$P_{ex-\min} = -P_{ex-dyn}$ kN/m^2，在静水线以下

$P_{ex-\min} = 0$ kN/m^2，在静水线以上

$P_{ex-\min}$ 取值应不小于 $-\rho_{sw}g(T_{LC}-z)$

式中：P_{ex-dyn}——波浪动压力包络值，kN/m^2，按 3.5.2.1 定义，且：

$f_{prob} = 1.0$

$f_{n1-P1} = 0.9$

$f_{n1-P2} = 0.65$

$f_V = 1.0$

P_{WL}——水线处的压力，kN/m^2，取静水线处 P_{ex-dyn} 之值；

T_{LC}——所考虑装载工况下的吃水，m；

ρ_{sw}——海水密度，1.025t/m^3；

z ——垂向坐标，m。

3.5.2.3　对于疲劳强度，波浪动压力的伪幅值（半个幅值范围）P_{ex-amp}（图 7.3.7），按下式计算：

$P_{ex-amp}=0$　kN/m^2，当 $z \geqslant T_{LC}+h_{WL}$ 或 D 之间的小者

$P_{ex-amp}=0.5P_{WL}$　kN/m^2，在静水线处

$P_{ex-amp}=P_{ex-dyn}$　kN/m^2，当 $z \leqslant T_{LC}-h_{WL}$ 或 0 之间的大者

位于静水线和 $z=T_{LC}-h_{WL}$ 的其间之值由线性插值得到。

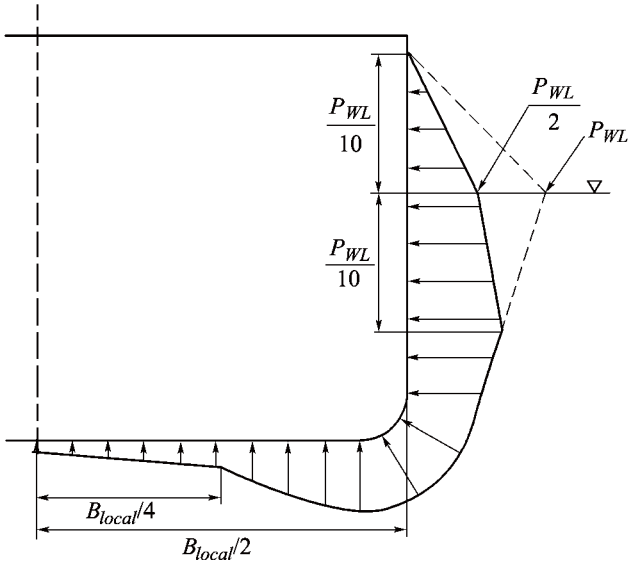


图 7.3.7　用于疲劳强度的波浪动压力幅值横向分布

式中：h_{WL}——静水线处的波浪动压头，取为：

$h_{WL}=P_{WL}/10$　m

P_{WL}——水线处的压力，kN/m^2，取静水线处 $P_{ex-\max}$ 之值；

$P_{ex-\max}$——最大波浪动压力包络值，kN/m^2，取 P_1 和 P_2 的大者；

T_{LC}——所考虑装载工况的吃水，m；

D——型深，m，按第 4 节 /1.1.4.1 定义；

P_1——按 3.5.2.1 定义，kN/m^2，且：

$f_{prob}=0.5$

$f_{n1-P1}=1.0$

$f_V=1.0$，在 0.7L 及向后处

$f_V=1.5$，在首垂线及向前处

位于其间的 f_V 值通过线性插值得到；

P_2——按 3.5.2.1 定义，kN/m^2，且：

$f_{prob}=0.5$

$f_{n1-P2}=1.0$

$f_V=1.0$

z——垂向坐标，m。

3.5.3　上浪载荷

3.5.3.1　露天甲板的上浪载荷包络值 P_{wdk}，应取下列之中的大者：

$$P_{wdk}=f_{1-dk}(f_{op}P_{1-WL}-10z_{dk-T}) \qquad \text{kN/m}^2$$

$$P_{wdk}=0.8f_{2-dk}(P_{2-WL}-10z_{dk-T}) \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_{wdk}=34.3 \quad \text{kN/m}^2$$

式中：$f_{1-dk}=0.8+\dfrac{L}{750}$

$$f_{2-dk}=0.5+\frac{|y|}{B_{wdk}}$$

f_{op}=1.0，距尾垂线 0.2L 及向前处；

f_{op}=0.8，在尾垂线及向后处；

位于其间之值通过线性插值得到；

P_{1-WL}——所考虑吃水的静水线处的 P_1 压力，KN/m^2，见 3.5.2.1；

P_{2-WL}——所考虑吃水的静水线处的 P_2 压力，KN/m^2，见 3.5.2.1；

z_{dk-T}——在所考虑的装载工况下，从甲板到可适用吃水的静水线的距离，m；

B_{wdk}——露天甲板处的局部船宽，m；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义；

y——载荷点的横坐标，m。

3.5.4 液舱动压力

3.5.4.1 由于液舱垂向加速度引起的液舱动压力包络值 P_{in-v}，按下式计算：

$P_{in-v}=\rho a_v(z_0-z)$ kN/m^2，用于强度评估和尺度要求

$P_{in-v}=\rho a_v|z_0-z|$ kN/m^2，用于疲劳强度

式中：ρ——舱内液体密度，t/m^3，且对于货油舱的疲劳强度，取值不小于 0.9；其他情况，取为 1.025，见第 2 节 /3.1.8；

a_v——垂向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.3.1 定义，且应取在液舱重心位置处；

z——载荷点的垂向坐标，m；

z_0——参考点的垂向坐标，m，对尺度要求和强度评估，见 6.3.7；对疲劳强度，见 3.5.4.5。

3.5.4.2 由于横向加速度引起的液舱动压力包络值 P_{in-t}，按下式计算：

$P_{in-t}=f_{ull-t}\rho a_t(y_0-y)$ kN/m^2，用于强度评估和尺度要求

$P_{in-t}=\rho a_t|y_0-y|$ kN/m^2，用于疲劳强度

式中：ρ——舱内液体密度，t/m^3，且对于货油舱的疲劳强度，取值不小于 0.9；其他情况，取为 1.025，见第 2 节 /3.1.8；

f_{ull-t}——计及货油舱充装不足的因子：

f_{ull-t}=0.67，用于货油舱，且包括设计用于可装压载水的货油舱

f_{ull-t}=1.0，用于压载舱和其他舱

a_t——横向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.4.1 定义，且应取在液舱重心位置处；

y——载荷点的横坐标，m；

y_0——参考点的横坐标，m，对尺度要求和强度评估，见 6.3.7；对疲劳强度，见 3.5.4.5。

3.5.4.3 由于纵向加速度引起的液舱动压力包络值 P_{in-lng}，按下式计算：

$P_{in-lng}=f_{ull-lng}\rho a_{lng}(x_0-x)$ kN/m^2，用于尺度要求和强度评估

$P_{in-lng}=\rho a_{lng}|x_0-x|$ kN/m^2，用于疲劳强度

式中：ρ——舱内液体密度，t/m^3，且对于货油舱的疲劳强度，取值不小于 0.9；其他情况，取为 1.025，见第 2 节 /3.1.8；

$f_{ull-lng}$——计及货油舱充装不足的因子：

$f_{ull-lng}$=0.62，用于货油舱，且包括设计用于可装压载水的货油舱

$f_{ull-lng}$=1.0，用于压载舱和其他舱

a_{lng}——纵向加速度包络值，m/s^2，按3.3.5.1定义，且应取在液舱重心位置处；

x——载荷点的纵坐标，m；

x_0——参考点的纵坐标，m，对尺度要求和强度评估，见6.3.7；对疲劳强度，见3.5.4.5。

3.5.4.4 对于尺度要求和强度评估，同时作用的液舱动压力P_{in-dyn}，应取所考虑的动载荷工况下分量的总和，见6.3.7。

3.5.4.5 对于疲劳强度，作用在液舱边界且邻近舱室为空舱的液舱动压力幅值P_{in-amp}，按下式计算：

$$P_{in-amp}=f_vP_{in-v}+f_{ull-t}f_tP_{in-t}+f_{ull-lng}f_{lng}P_{in-lng} \quad \text{kN/m}^2$$

式中：P_{in-v}——垂向加速度引起的液舱动压力包络值，kN/m^2，按3.5.4.1定义；

P_{in-t}——横向加速度引起的液舱动压力包络值，kN/m^2，按3.5.4.2定义；

P_{in-lng}——纵向加速度引起的液舱动压力包络值，kN/m^2，按3.5.4.3定义；

f_{ull-t}——计及货油舱充装不足的因子，且取值不小于0.0，也不大于1.0；

$$f_{ull-t}=\frac{|z_0-z|+h_{roll}}{2h_{roll}}，\quad \text{对货油舱}$$

f_{ull-t}=1.0，　　对压载舱

$f_{ull-lng}$——计及货油舱充装不足的因子，且取值不小于0.0，也不大于1.0：

$$f_{ull-lng}=\frac{|z_0-z|+h_{pitch}}{2h_{pitch}}，\text{对货油舱}$$

$f_{ull-lng}$=1.0，　　对压载舱

h_{roll}——横摇高度，$h_{roll}=\frac{b_{fs}f_{prob}\theta}{2}$；

h_{pitch}——纵摇高度，$h_{pitch}=\frac{l_{fs}f_{prob}\varphi}{2}$；

f_{prob}——取0.5；

θ——横摇角，rad，按3.2.2.2定义；

φ——纵摇角，rad，按3.2.3.2定义；

b_{fs}——舱室顶部的货舱宽度，m，见图7.3.8；

l_{fs}——舱室顶部的货舱长度，m；

x_0——参考点的纵坐标，m，应取在液舱顶部长度方向的中点；

y_0——参考点的横坐标，m，应取在液舱顶部宽度方向的中点，见图7.3.8；

z_0——参考点的垂向坐标，m，应取在液舱的最高点（不包括小舱口），见图7.3.8；

f_v——压力组合因子，由表7.3.2给出；

f_t——压力组合因子，由表7.3.2给出；

f_{lng}——压力组合因子，由表7.3.2给出。

3.5.4.6 对于疲劳强度，作用在液舱纵向边界且邻近舱室为满舱的液舱动压力幅值P_{in-amp}，按下式计算：

$$P_{in-amp}=f_v|P_{in-v-tk1}-P_{in-v-tk2}|+f_t|f_{ull-t-tk1}P_{in-t-tk1}+f_{ull-t-tk2}P_{in-t-tk2}|+ f_{lng}|f_{ull-lng-tk1}P_{in-lng-tk1}-f_{ull-lng-tk2}P_{in-lng-tk2}| \quad \text{kN/m}^2$$

式中：$P_{in-v-tk1}$——由于舱室 1 的垂向加速度引起的液舱动压力，kN/m^2；

$P_{in-v-tk2}$——由于舱室 2 的垂向加速度引起的液舱动压力，kN/m^2；

$P_{in-t-tk1}$——由于舱室 1 的横向加速度引起的液舱动压力，kN/m^2；

$P_{in-t-tk2}$——由于舱室 2 的横向加速度引起的液舱动压力，kN/m^2；

$P_{in-lng-tk1}$——由于舱室 1 的纵向加速度引起的液舱动压力，kN/m^2；

$P_{in-lng-tk2}$——由于舱室 2 的纵向加速度引起的液舱动压力，kN/m^2；

$f_{ull-t-tk1}$——计及舱室 1 充装不足的因子，按 3.5.4.5 定义；

$f_{ull-t-tk2}$——计及舱室 2 充装不足的因子，按 3.5.4.5 定义；

$f_{ull-lng-tk1}$——计及舱室 1 充装不足的因子，按 3.5.4.5 定义；

$f_{ull-lng-tk2}$——计及舱室 1 充装不足的因子，按 3.5.4.5 定义；

f_v——压力组合因子，由表 7.3.2 给出；

f_t——压力组合因子，由表 7.3.2 给出；

f_{lng}——压力组合因子，由表 7.3.2 给出。

舱室 1 和 2 为具有同一纵向边界的相邻两个舱室。

疲劳评估的压力组合因子 **表 7.3.2**

	货油舱	压载舱
f_v	0.9	0.9
f_t	0.9	0.6
f_{lng}	0.4	0.4

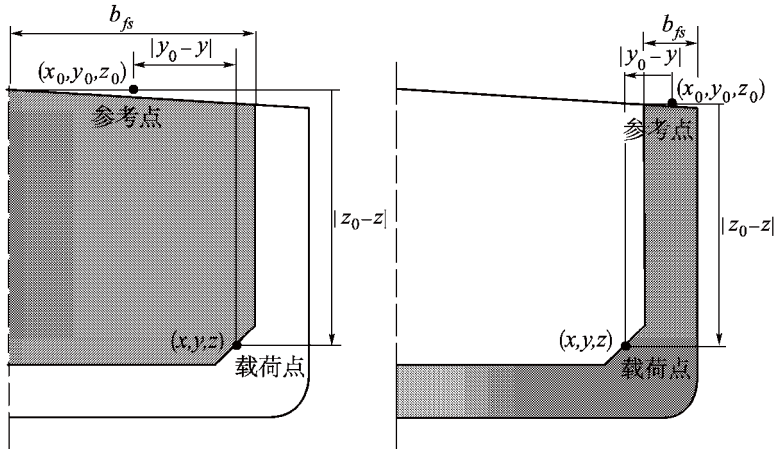


图 7.3.8 用于疲劳强度的液舱动压力载荷及参考点

3.5.4.7 对于用热点应力法（有限元）的疲劳强度，由垂向、横向和纵向加速度引起的液舱动压力幅值由图 7.3.9 进行图示说明，且按下式计算：

$$P_{in-v}=\rho a_v\ (z_0-z) \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_{in-t}=f_{ull-t}\,\rho a_t\ (y_0-y) \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_{in-lng}=f_{ull-lng}\,\rho a_{lng}\ (x_0-x) \quad \text{kN/m}^2$$

式中：ρ——舱内液体密度，t/m^3，且取值不小于：

$\rho=0.9$，对货油舱

ρ=1.025，其他情况

见第 2 节 /3.1.8

f_{ull-t}——计及货油舱充装不足的因子，按 3.5.4.5 定义；

$f_{ull-lng}$——计及货油舱充装不足的因子，按 3.5.4.5 定义；

x——载荷点的纵坐标，m；

y——载荷点的横坐标，m；

z——载荷点的垂向坐标，m；

x_0——参考点的纵坐标，m，应取在液舱顶部长度方向的中点；

y_0——参考点的横坐标，m，应取在液舱顶部宽度方向的中点；

z_0——参考点的垂向坐标，m，应取在液舱的最高点；

a_v——液舱重心位置处的垂向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.3.1 定义；

a_t——液舱重心位置处的横向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.4.1 定义；

a_{lng}——液舱重心位置处的纵向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.5.1 定义。

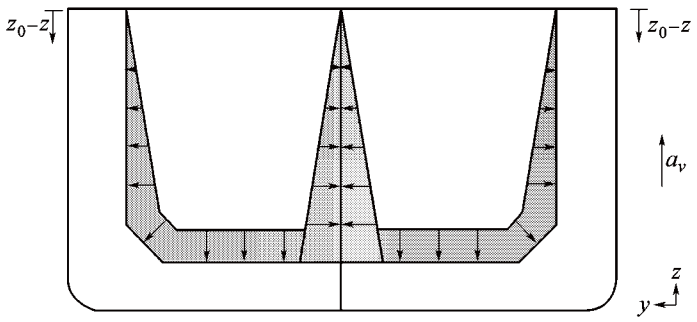


图 7.3.9a） 用于疲劳强度的垂向加速度引起的舱内动压力

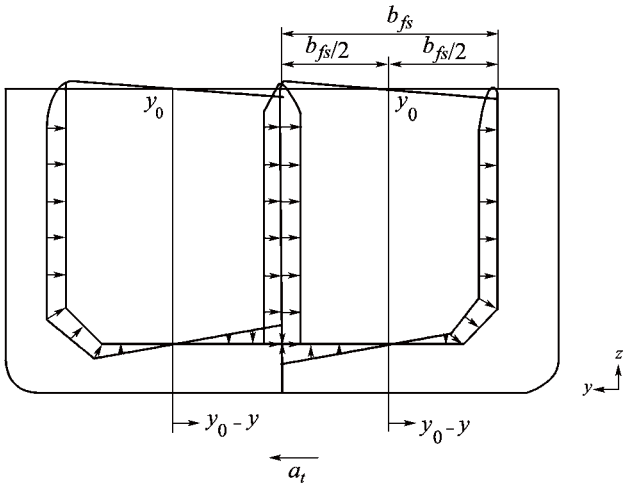


图 7.3.9b） 用于疲劳强度的横向加速度引起的舱内动压力

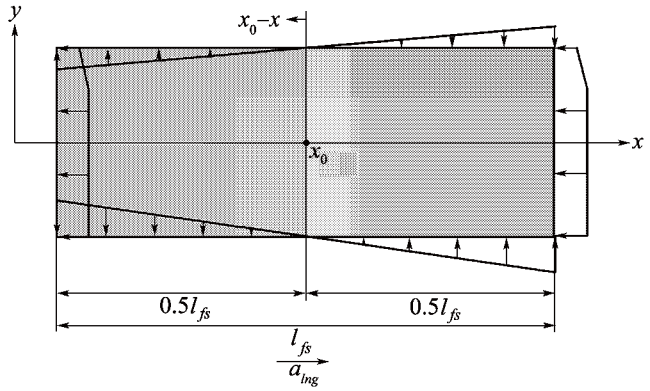


图 7.3.9c） 用于货油舱疲劳强度的纵向加速度引起的液舱动压力图示说明

3.5.5 来自分布负荷的甲板动压力

3.5.5.1 甲板、内底板和舱口盖上的甲板动压力包络值 $P_{deck\text{-}dyn}$，按下式计算：

$$P_{deck\text{-}dyn}=P_{deck}\frac{a_v}{g} \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：a_v——垂向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.3.1 定义；

P_{deck}——下甲板及上层建筑内甲板上的均布压力，按 2.2.4.1 定义；

g——重力加速度，9.81m/s^2。

3.5.6 来自重物的动载荷

3.5.6.1 作用在重货、设备或结构构件的支承结构和系固系统上的垂向、横向和纵向的甲板动载荷包络值，F_v、F_t 和 F_{lng}，按下式计算：

$$F_v=m_{un}a_v \qquad \text{kN}$$

$$F_t=m_{un}a_t \qquad \text{kN}$$

$$F_{lng}=m_{un}a_{lng} \qquad \text{kN}$$

式中：m_{un}——物件质量，t；

a_v——所考虑物件重心位置处的垂向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.3.1 定义；

a_t——所考虑物件重心位置处的横向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.4.1 定义；

a_{lng}——所考虑物件重心位置处的纵向加速度包络值，m/s^2，按 3.3.5.1 定义。

4 晃荡和冲击载荷

4.1 一般要求

4.1.1 载荷分量

4.1.1.1 本节给出液舱内的晃荡压力、船首冲击和船底砰击载荷。

4.2 液舱晃荡压力

4.2.1 适用范围及限制

4.2.1.1 4.2.2 至 4.2.4 中给出的晃荡压力系指由于船舶运动导致舱内液体自由运动而产生的压力。

4.2.1.2 给出的压力不包括由于高速冲击液舱边界或内部结构所引起的冲击压力的影响。对于在 $0.05h_{\max}$ 至 $0.95h_{\max}$ 的任一液面高度，最大有效晃荡宽度 b_{slh} 大于 $0.56B$ 或最大有效晃荡长度 l_{slh} 大于 $0.13L$ 的液舱，必须根据各个船级社的程序进行附加的冲击评估。有效晃荡长度 l_{slh} 和宽度 b_{slh} 分别用 4.2.2.1 和 4.2.3.1 的公式计算。

CCS4.2.1.2　根据 CCS《油船结构强度直接计算指南》第 3 章的要求进行附加冲击计算。

4.2.2　液体纵向运动产生的晃荡压力

4.2.2.1　在特定的充装高度下，由于液体纵向运动产生的在横向密性舱壁和制荡舱壁处的晃荡压力，$P_{slh-lng}$，按下式计算：

$$P_{slh-lng}=\rho g l_{slh} f_{slh}\left[0.4-(0.39-\frac{1.7l_{slh}}{L})\frac{L}{350}\right] \quad \text{kN/m}^2$$

式中：ρ——舱内液体密度，t/m^3，且取值不小于 1.025；

l_{slh}——在所考虑的充装高度下，按 4.2.2.3 和 4.2.2.4 分别给出的横向密性舱壁和横向制荡舱壁的有效晃荡长度，m：

$$f_{slh}=1-2(0.7-\frac{h_{fill}}{h_{\max}})^2$$

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义；

h_{fill}——充装高度，m，从内底板量起，见图 7.4.1；

$h_{\max}$——舱室最大高度（不包括小舱口），m，从内底板量起，见图 7.4.1；

g——重力加速度，$9.81 m/s^2$。

4.2.2.2　由于纵向液体运动引起的晃荡压力 $P_{slh-lng}$，应在液舱总深度范围内取常量值，且该值应取充装高度从 $0.05h_{\max}$ 至 $0.95h_{\max}$ 之间，以 $0.05h_{\max}$ 步长递增计算所得晃荡压力的大者。

4.2.2.3　对于横向密性舱壁处晃荡压力的计算，有效晃荡长度，l_{slh}，按下式计算：

$$l_{slh}=\frac{(1+n_{wash-t}\alpha_{wash-t})(1+f_{wf}\alpha_{wf})l_{tk-h}}{(1+n_{wash-t})(1+f_{wf})} \quad \text{m}$$

式中：n_{wash-t}——液舱内横向制荡舱壁的数目；

α_{wash-t}——横向制荡舱壁系数（图 7.4.1）：

$$\alpha_{wash-t}=\frac{A_{opn-wash-t}}{A_{tk-t-h}}$$

α_{wf}——横向强框架系数（图 7.4.2）：

$$\alpha_{wf}=\frac{A_{opn-wf-h}}{A_{tk-t-h}}$$

当液舱形状沿长度变化和 / 或设有不同形状的横向强框架时，横向强框架系数 α_{wf}，可取液舱内所有强框架位置上的加权平均值，即为：

$$\alpha_{wf}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{A_{opn-wf-h-i}}{A_{tk-t-h-i}}}{n_{wf}}$$

$A_{opn-wash-t}$——制荡舱壁处横剖面开口在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

A_{tk-t-h}——液舱横剖面在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

$A_{opn-wf-h}$——强框架处横剖面开口在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

f_{wf}——液舱内计入横向强框架和横向制荡舱壁数目的因子：

$f_{wf}=n_{wf}/（1+n_{wash-t}）$

n_{wf}——液舱内横向强框架的数目，不包括制荡舱壁；

l_{tk-h}——所考虑充装高度处的液舱长度，m。

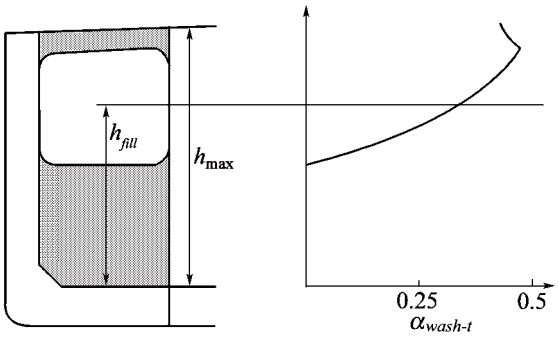


图 7.4.1 横向制荡舱壁系数

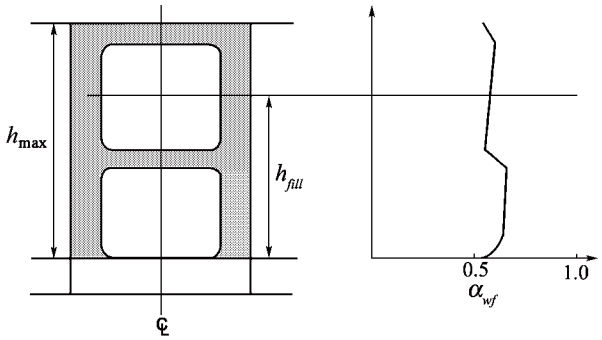


图 7.4.2 横向强框架系数

4.2.2.4 对于横向制荡舱壁处的晃荡载荷计算，有效晃荡长度，l_{slh}，按下式计算：

$$l_{slh}=\frac{\left[1+(n_{wash-t}-1)\alpha_{wash-t}\right](1+f_{wf}\alpha_{wf})l_{tk-h}}{(1+n_{wash-t})(1+f_{wf})} \quad \text{m}$$

式中：n_{wash-t}——液舱内横向制荡舱壁的数目；

α_{wash-t}——横向制荡舱壁系数（图 7.4.1）：

$$\alpha_{wash-t}=\frac{A_{opn-wash-t}}{A_{tk-t-h}}$$

α_{wf}——横向强框架系数（图 7.4.2）：

$$\alpha_{wf}=\frac{A_{opn-wf-h}}{A_{tk-t-h}}$$

当液舱形状沿长度变化和/或设有不同形状的横向强框架时，横向强框架系数 α_{wf}，可取液舱内所有强框架位置上的加权平均值，即为：

$$\alpha_{wf}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{A_{opn-wf-h-i}}{A_{tk-t-h-i}}}{n_{wf}}$$

$A_{opn-wash-t}$——制荡舱壁处横剖面开口在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

A_{tk-t-h}——液舱横剖面在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

$A_{opn-wf-h}$——强框架处横剖面开口在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

f_{wf}——液舱内计及横向强框架和横向制荡舱壁数目的因子：

$$f_{wf}=n_{wf}/(1+n_{wash-t})$$

n_{wf}——液舱内横向强框架的数目，不包括制荡舱壁；

l_{tk-h}——所考虑充装高度处的液舱长度，m。

4.2.2.5 对于设有内部强框架的液舱，作用在与密性横舱壁或制荡舱壁邻近的强框架上的晃荡压力P_{slh-wf}，只要其位置距舱壁 $0.25l_{slh}$ 之内，则按下式计算：

$$P_{slh-wf}=P_{slh-lng}\left(1-\frac{s_{wf}}{l_{slh}}\right)^2 \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：$P_{slh-lng}$——由于液体纵向运动引起的作用在舱壁上的晃荡压力，按 4.2.2.1 定义；

s_{wf}——从舱壁到所考虑的强框架距离，m；

l_{slh}——在所考虑的充装高度下，分别按 4.2.2.3 和 4.2.2.4 定义的密性横舱壁和制荡舱壁的有效晃荡长度，m。

整个强框架的压力分布由图 7.4.3 给出。

4.2.2.6 对于设有内部舱壁水平桁和 / 或强框架的液舱，晃荡压力 P_{slh}，越过上述构件时的分布见图 7.4.3。

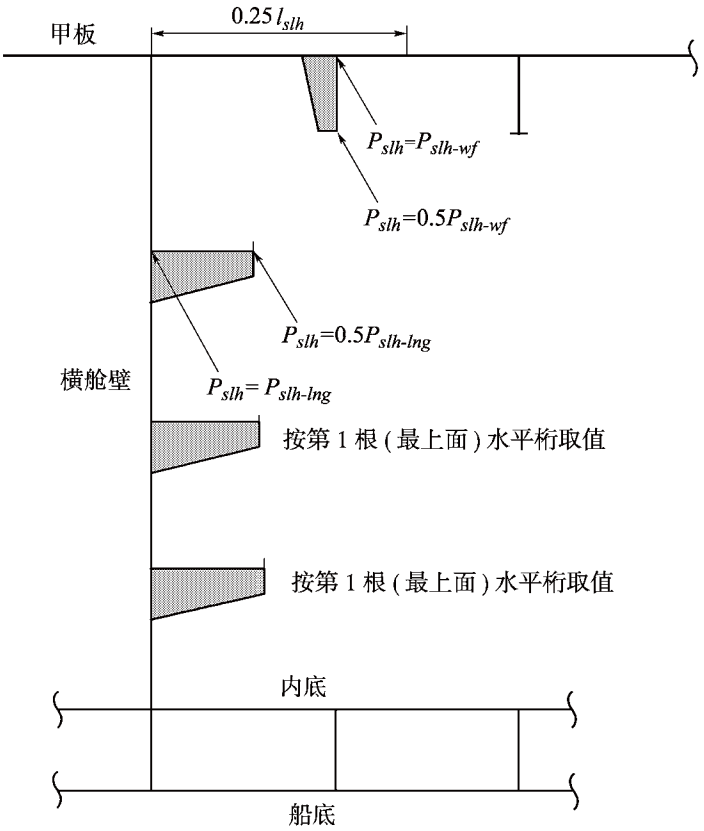


图 7.4.3 桁材和强框架上的晃荡载荷分布

4.2.3 液体横向运动产生的晃荡压力

4.2.3.1 在特定的充装高度下，由于液体横向运动产生的在纵向密性舱壁和制荡舱壁处的晃荡压力 P_{slh-t}，按下式计算：

$$P_{slh-t}=7\rho g f_{slh}\left(\frac{b_{slh}}{B}-0.3\right)GM^{0.75} \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：ρ——舱内液体密度，取值不小于 1.025t/m^3；

b_{slh}——有效晃荡宽度，m，对于纵向密性舱壁和纵向制荡舱壁，分别见 4.2.3.3 和 4.2.3.4，且取值不小于 0.3B；

GM——初稳性高度，对压载水舱中的晃荡压力计算，取 0.33B；对货油舱中的晃荡压力计算，取 0.24B：

$$f_{slh}=1-2\left(0.7-\frac{h_{fill}}{h_{\max}}\right)^2$$

B——型宽，m，按第 4 节 /1.1.3.1 定义；

h_{fill}——充装高度，m，从内底量起，见图 7.4.1；

$h_{\max}$——舱室最大高度（不包括小舱口），m，从内底量起，见图 7.4.1；

g——重力加速度，9.81m/s^2。

4.2.3.2 由于横向液体运动引起的晃荡压力 P_{slh-t}，应在液舱总深度范围内取常量值，且该值应取充装高度从 0.05$h_{\max}$ 至 0.95$h_{\max}$ 之间，以 0.05$h_{\max}$ 步长递增计算所得晃荡压力的大者。

4.2.3.3 对于纵向密性舱壁处的晃荡载荷计算，有效晃荡宽度 b_{slh}，按下式计算：

$$b_{slh}=\frac{(1+n_{wash-lng}\,\alpha_{wash-lng})(1+f_{grd}\,\alpha_{grd})b_{tk-h}}{(1+n_{wash-lng})(1+f_{grd})} \qquad \text{m}$$

式中：$n_{wash-lng}$——液舱内纵向制荡舱壁的数目；

$\alpha_{wash-lng}$——纵向制荡舱壁系数：

$$\alpha_{wash-lng}=\frac{A_{opn-wash-lng}}{A_{tk-lng-h}}$$

α_{grd}——桁材系数：

$$\alpha_{grd}=\frac{A_{opn-grd-h}}{A_{tk-lng-h}}$$

$A_{opn-wash-lng}$——制荡舱壁处纵剖面开口在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

$A_{tk-lng-h}$——液舱纵剖面在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

$A_{opn-grd-h}$——纵剖面开口在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

f_{grd}——液舱内计入纵桁和纵向制荡舱壁的因子：

$f_{grd}=n_{grd}/(1+n_{wash-lng})$

n_{grd}——液舱内的纵桁数目，不包括纵向制荡舱壁；

b_{tk-h}——所考虑充装高度处的液舱宽度，m。

4.2.3.4 对于纵向制荡舱壁处的晃荡压力计算，有效晃荡宽度 b_{slh}，按下式计算：

$$b_{slh}=\frac{[1+(n_{wash-lng}-1)\,\alpha_{wash-lng}](1+f_{grd}\,\alpha_{grd})b_{tk-h}}{(1+n_{wash-lng})(1+f_{grd})} \qquad \text{m}$$

式中：$n_{wash-lng}$——液舱内纵向制荡舱壁的数目；

$\alpha_{wash-lng}$——纵向制荡舱壁系数：

$$\alpha_{wash-lng}=\frac{A_{opn-wash-lng}}{A_{tk-lng-h}}$$

α_{grd}——桁材系数：

$$\alpha_{grd}=\frac{A_{opn-grd-h}}{A_{tk-lng-h}}$$

$A_{opn-wash-lng}$——制荡舱壁处纵剖面开口在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

$A_{tk-lng-h}$——液舱纵剖面在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

$A_{opn-grd-h}$——纵剖面开口在所考虑的充装高度以下的总面积，m^2；

f_{grd}——液舱内计入纵桁和纵向制荡舱壁的因子：

$f_{grd}=n_{grd}/(1+n_{wash-lng})$

n_{grd}——液舱内纵桁的数目，不包括纵向制荡舱壁；

b_{tk-h}——所考虑充装高度处的液舱宽度，m。

4.2.3.5　对于设有内部纵桁或强框架的液舱，作用在与纵向制荡舱壁邻近的桁材 / 强框架上的晃荡载荷 $P_{slh-grd}$，只要其位置距舱壁 $0.25b_{slh}$ 之内，则为：

$$P_{slh-grd}=P_{slh-t}\left(1-\frac{s_{grd}}{b_{slh}}\right)^2 \qquad kN/m^2$$

式中：P_{slh-t}——由于液体横向运动而引起的作用在舱壁上的晃荡压力，按 4.2.3.1 定义：

s_{grd}——从纵向舱壁到所考虑纵桁的距离，m；

b_{slh}——分别按 4.2.3.3 和 4.2.3.4 定义的纵向密性舱壁和纵向制荡舱壁的有效晃荡宽度，m。

4.2.3.6　对于设有内部纵向水平桁材和或纵桁 / 强框架的液舱，晃荡压力越过上述构件时的分布由图 7.4.4 所示。

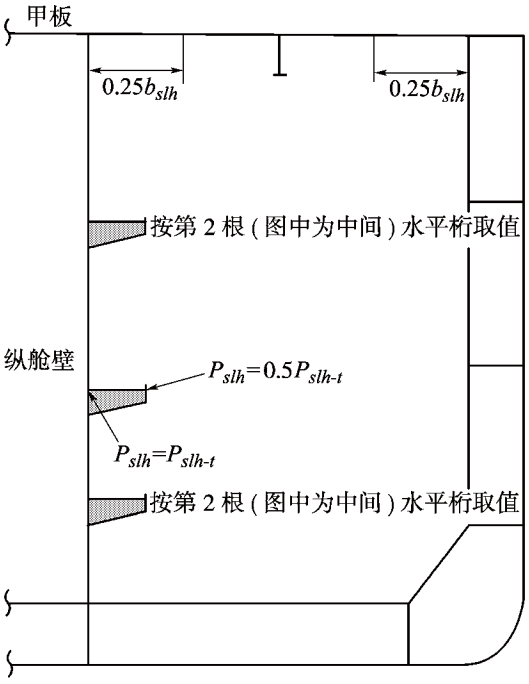


图 7.4.4　水平桁和纵桁的压力分布

4.2.4 最小晃荡压力

4.2.4.1 除格形构造的液舱外，货油舱和压载舱的最小晃荡载荷 $P_{slh-\min}$，应取为 20 kN/m^2。

4.2.4.2 格形构造的压载水舱中的最小晃荡载荷 $P_{slh-\min}$，应取为 12 kN/m^2。

4.3 船底砰击载荷

4.3.1 适用范围和限制

4.3.1.1 本节中的砰击载荷适用于 $C_b \geqslant 0.7$ 及船底砰击吃水不小于 $0.01L$ 且不大于 $0.045L$ 的船舶。

4.3.2 砰击压力

4.3.2.1 船底砰击压力 P_{slm}，取以下之中大者：

$$P_{slm-mt} = f_{slm} 130 g c_{slm-mt} e^{c_1} \quad \text{kN/m}^2\text{，当压载舱为空舱时}$$

$$P_{slm-full} = f_{slm} 130 g c_{slm-full} e^{c_1} - c_{av} \rho g z_{ball} \quad \text{kN/m}^2\text{，当压载舱为满载时}$$

式中：g——重力加速度，9.81m/s^2；

f_{slm}——纵向砰击分布因子，见图 7.4.5，且按如下取值：

f_{slm}=0，在 $0.5L$ 处

f_{slm}=1，距首垂线$[0.175-0.5(C_{bl}-0.7)]L$处

f_{slm}=1，距首垂线$[0.1-0.5(C_{bl}-0.7)]L$处

f_{slm}=0.5，在首垂线及之前处

位于其间之值通过线性插值得到；

C_{bl}——方形系数，为第 4 节 /1.1.9.1 定义的 C_b，但取值应不小于 0.7 或大于 0.8；

c_{slm-mt}——压载舱为空舱的砰击系数：

$$c_{slm-mt} = 5.95 - 10.5\left(\frac{T_{FP-mt}}{L}\right)^{0.2}$$

$c_{slm-full}$——压载舱为满载的砰击系数：

$$c_{slm-full} = 5.95 - 10.5\left(\frac{T_{FP-full}}{L}\right)^{0.2}$$

c_1——取为：

$c_1 = 0$，当 $L \leqslant 180$m 时

$c_1 = -0.0125(L-180)^{0.705}$，当 $L > 180$m 时

T_{FP-mt}——船底砰击区域内的压载舱为空舱时的首垂线处的设计砰击压载吃水，m，按 4.3.2.3 定义；

$T_{FP-fill}$——船底砰击区域内的压载舱为满舱时的首垂线处的设计砰击压载吃水，m，按 4.3.2.4 定义；

c_{av}——动载荷系数，取 1.25；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1.1.1.1 定义；

z_{ball}——从舱顶到载荷点的垂向距离，m。

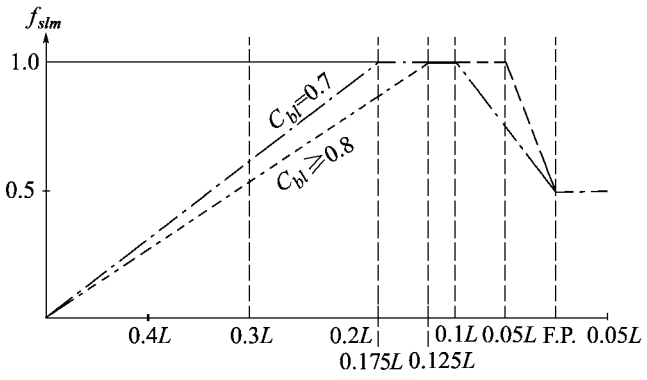


图 7.4.5 砰击压力的纵向分布

4.3.2.2 设计者应提供设计砰击吃水 $T_{FP\text{-}mt}$ 和 $T_{FP\text{-}full}$。

4.3.2.3 首垂线处的设计砰击吃水 $T_{FP\text{-}mt}$，应不大于装载手册中给出的所有航行工况下，船底砰击区域的压载舱为空舱时的首垂线处的最小吃水。包括使用压载水交换“排空注入”方法的船底砰击区域以内舱室的任一装载工况。

4.3.2.4 首垂线处的设计砰击吃水 $T_{FP\text{-}full}$，应不大于装载手册中给出的所有航行工况下，船底砰击区域的压载舱为满载时的首垂线处的最小吃水。其包括使用压载水交换“径流”方法的船底砰击区域以内舱室的任一装载工况。

4.3.2.5 装载指南资料应明确标明设计砰击吃水和每个压载舱所使用的压载水交换方法，见第8节 /1.1。

4.4 船首冲击载荷

4.4.1 适用范围和限制

4.4.1.1 船首冲击压力适用于距首垂线后 0.1L 处之前的区域，且位于吃水 T_{bal} 处水线和甲板最高边缘之间的舷侧结构。

4.4.2 船首冲击压力

4.4.2.1 船首冲击压力 P_{im}，按下式计算：

$$P_{im}=1.025 f_{im} c_{im} V_{im}^2 \sin\gamma_{wl} \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：f_{im}=0.55，在首垂线后 0.1L 处；

f_{im}=0.9，在首垂线后 0.0125L 处；

f_{im}=1.0，在首垂线及之前处；

位于其间之值通过线性插值得到；

V_{im}——冲击速度，m/s：

$$V_{im}=0.514 V_{fwd}\sin\alpha_{wl}+\sqrt{L}$$

V_{fwd}——前进速度，kn：

V_{fwd}=0.75V，但取值应不小于 10；

V——服务航速，kn，按第4节 /1.1.8.1 定义；

α_{wl}——所考虑位置处的局部水线角，但取不小于 35°，见图 7.4.6；

γ_{wl}——船首局部冲击角度，垂直于所考虑位置处的外壳从水平线至切线量取，但取不小于 50°，见图 7.4.6；

c_{im}=1.0，当位置在吃水 T_{bal} 和 T_{sc} 之间时；

$c_{im}=\sqrt{1+\cos^2[90\dfrac{(h_{fb}-2h_0)}{h_{fb}}]}$，当位置在吃水 T_{sc} 以上时；

h_{fb}——吃水 T_{sc} 水线到最高甲板边线处的垂向距离，m，见图 7.4.6；

h_0——吃水 T_{sc} 水线到所考虑位置处的垂向距离，m，见图 7.4.6；

L——规范船长，m，按第4节 /1.1.1.1 定义；

T_{sc}——结构吃水，m，按第4节 /1.1.5.5 定义；

T_{bal}——正常压载工况的最小设计压载吃水，m，按第4节 /1.1.5.2 定义；

WL_j——所考虑位置处的水线，见图 7.4.6。

指导性注释：

当垂直于外壳量取的局部冲击角度，γ_{wl}，得不到时，该角度可取为：

$$\gamma_{wl}=\tan^{-1}\left(\frac{\tan\beta_{pl}}{\cos\alpha_{wl}}\right)$$

式中：β_{pl}——所考虑位置处从水平线至切线的局部型线角度，但取不小于35°。

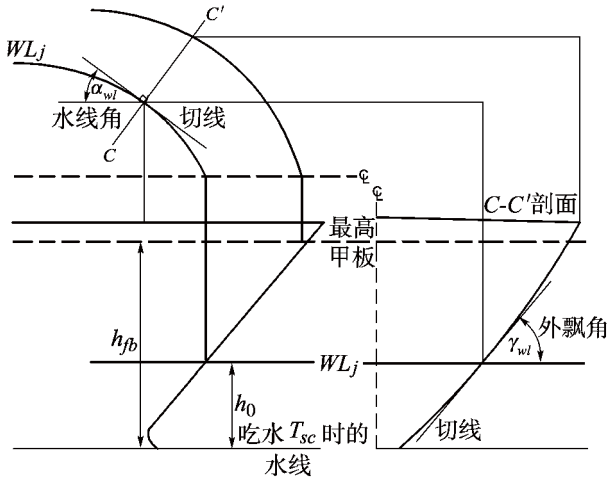


图 7.4.6 船首几何形状的定义

5 意外载荷

5.1 进水状态

5.1.1 局部压力

5.1.1.1 进水状态或破舱状态下，舱室和液舱内的压力取为 $P_{in-flood}$，见 2.2.3.4。

6 载荷组合

6.1 一般要求

6.1.1 适用范围

6.1.1.1 设计载荷的组合 *S*、*S*+*D* 和 *A* 用于尺度要求的尺度计算和强度评估（用有限元方法）。设计载荷组合在第 2 节 /4.2.2 中定义，且相关载荷及载荷组合在 6.2 中给出。

6.1.1.2 动载荷 *D*，由数个动载荷工况组成。对于每一种载荷工况，将第 3 小节中给出的载荷包络值乘以动载荷组合因子，以得到同时作用的动载荷。用于同时作用的动载荷计算流程在 6.3 中给出。用于强度评估（用有限元方法）的动载荷组合因子在 6.4 中给出，用于尺度要求的动载荷组合因子在 6.5 中给出。

6.2 设计载荷组合

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 设计载荷的组合由表 7.6.1 给出。

设 计 载 荷 组 合 表 7.6.1

设计载荷组合 / 载荷分量	*S*	*S*+*D*	*A*
$M_{v-total}$	$M_{sw-harb}$	$M_{sw-sea}+M_{wv}$	–
$M_{h-total}$	–	M_h	–
Q	$Q_{sw-harb}$	$Q_{sw-sea}+Q_{wv}$	–

续上表

载荷分量 \ 设计载荷组合		S	$S+D$	A
P_{ex}	露天甲板	–	$P_{wdk-dyn}$	–
	船体外壳	P_{hys}	$P_{hys}+P_{wv-dyn}$	–
P_{in}	压载舱（用“排空注入法”交换压载水）	取以下大者 a）$P_{in-test}$ b）$P_{in-air}+P_{drop}$	$P_{in-tk}+P_{in-dyn}$	$P_{in-flood}$
	压载舱（用“径流法”交换压载水）	取以下大者 a）$P_{in-test}$ b）$P_{in-air}+P_{drop}$	$P_{in-air}+P_{drop}+P_{in-dyn}$	$P_{in-flood}$
	货油舱（包括设计为可装压载水的货油舱）	取以下大者 a）$P_{in-test}$ b）$P_{in-tk}+P_{valve}$	$P_{in-tk}+P_{in-dyn}$	–
	其他充装液体的舱室	取以下大者 a）$P_{in-test}$ b）P_{in-air}	$P_{in-tk}+P_{in-dyn}$	$P_{in-flood}$
	水密边界	–	–	$P_{in-flood}$
P_{dk}	干燥处所的内甲板	P_{stat}	$P_{stat}+P_{dk-dyn}$	–
	重物甲板	F_{stat}	$F_{stat}+F_{dk-dyn}$	

注：单独的载荷要求可能在强度评估（有限元方法）和尺度要求中予以说明。

表中：$M_{v-total}$——垂向设计弯矩，kN·m

$M_{sw-perm-harb}$——港内/遮蔽工况的船体梁许用中拱和中垂静水弯矩包络值，kN·m　见2.1.1

$M_{sw-perm-sea}$——航行工况的船体梁许用中拱和中垂静水弯矩包络值，kN·m　见2.1.1

M_{wv}——所考虑动载荷工况的垂向波浪弯矩，kN·m　见6.3.2.1

$M_{h-total}$——水平设计弯矩，kN·m

M_h——所考虑动载荷工况的水平波浪弯矩，kN·m　见6.3.3.1

Q——垂向设计剪力，kN

$Q_{sw-perm-harb}$——港内/遮蔽工况的船体梁许用正、负静水剪力限值，kN　见2.1.3

$Q_{sw-perm-sea}$——航行工况的船体梁许用正、负静水剪力限值，kN　见2.1.3

Q_{wv}——所考虑动载荷工况的垂向波浪剪力，kN　见6.3.4.1

P_{ex}——海水设计压力，kN/m^2

P_{hys}——所考虑装载工况下的海水静压力，kN/m^2　见2.2.2.1

P_{wv-dyn}——所考虑动载荷工况的波浪动压力，kN/m^2　见6.3.5

$P_{wdk-dyn}$——所考虑动载荷工况的上浪载荷，kN/m^2　见6.3.6

P_{in}——液舱设计压力，kN/m^2

$P_{in-test}$——液舱试验压力，kN/m^2　见2.2.3.5

P_{in-air}——在用径流法进行压载水交换期间，空气管溢流或进流引起的舱内静压力，kN/m^2　见2.2.3.2

P_{drop}——液流通过空气管或溢流管引起的附加压力，kN/m^2　见2.2.3.3

P_{valve}——释放阀的设置压力，kN/m^2　见2.2.3.5

P_{in-tk}——液舱静压力，kN/m^2　见2.2.3.1

P_{in-dyn}——所考虑动载荷工况的液舱动压力，kN/m^2　见6.3.7

$P_{in-flood}$——进水/破舱状态下舱室和液舱的舱内压力，kN/m^2　见2.2.3.4

P_{stat}——作用在甲板和内底上的静压力，kN/m^2 见2. 2. 4. 1

P_{dk}——甲板设计压力，kN/m^2

$P_{dk\text{-}dyn}$——所考虑动载荷工况的甲板、内底和舱口盖上的动压力， kN/m^2 见6. 3. 8. 1

F_{stat}——作用在重货、设备或结构构件的支承结构和系固系统上的载荷，kN 见2. 2. 5. 1

$F_{dk\text{-}dyn}$——作用在重货、设备或结构构件的支承结构和系固系统上的动载荷，kN 见6. 3. 8. 2

6.3 动载荷应用

6.3.1 浪向修正因子和动载荷组合因子

6. 3. 1. 1 浪向修正因子，f_β，按下式计算：

f_β=0. 8，横浪动载荷工况

f_β=1. 0，其他浪向的动载荷工况

6. 3. 1. 2 用于计算动载荷同时作用的动载荷组合因子取为在 7. 6. 2 中给出对于用有限元方法的强度评估，见 6. 4。对于尺度计算，动载荷因子在表 7. 6. 4 至表 7. 6. 9 中给出，见 6. 5。

6.3.2 所考虑的某一动载荷工况的垂向波浪弯矩

6. 3. 2. 1 同时作用的垂向波浪弯矩，M_{wv}，按下式计算：

$$M_{wv}=f_\beta f_{mv} M_{wv\text{-}hog} \quad \text{kN·m，当} f_{mv}\geqslant 0\text{时}$$

$$M_{wv}=-f_\beta f_{mv} M_{wv\text{-}sag} \quad \text{kN·m，当} f_{mv}<0\text{时}$$

式中：$M_{wv\text{-}hog}$——中拱垂向波浪弯矩，kN·m，按 3. 4. 1. 1 定义；

$M_{wv\text{-}sag}$——中垂垂向波浪弯矩，kN·m，按 3. 4. 1. 1 定义；

f_{mv}——所考虑动载荷工况的垂向波浪弯矩组合因子，见 6. 3. 1. 2；

f_β——浪向修正因子，按 6. 3. 1. 1 定义。

6.3.3 所考虑的某一动载荷工况的水平波浪弯矩

6. 3. 3. 1 同时作用的水平波浪弯矩，M_h，按下式计算：

$$M_h=f_\beta f_{mh} M_{wv\text{-}h} \quad \text{kN·m}$$

式中：$M_{wv\text{-}h}$——水平波浪弯矩，kN·m，按 3. 4. 2 定义；

f_{mh}——所考虑动载荷工况的水平波浪弯矩组合因子，见 6. 3. 1. 2；

f_β——浪向修正因子，按 6. 3. 1. 1 定义。

6.3.4 所考虑的某一动载荷工况的垂向波浪剪力

6. 3. 4. 1 同时作用的垂向波浪剪力，Q_{wv}，按下式计算：

$$Q_{wv}=f_\beta f_{qv} Q_{wv\text{-}pos} \quad \text{kN} \quad \text{当} f_{qv}\geqslant 0\text{时}$$

$$Q_{wv}=-f_\beta f_{qv} Q_{wv\text{-}neg} \quad \text{kN} \quad \text{当} f_{qv}<0\text{时}$$

式中：$Q_{wv\text{-}pos}$——正垂向波浪剪力包络值，kN，按 3. 4. 3 定义；

$Q_{wv\text{-}neg}$——负垂向波浪剪力包络值，kN，按 3. 4. 3 定义；

f_{qv}——所考虑动载荷工况的垂向波浪剪力组合因子，见 6. 3. 1. 2；

f_β——浪向修正因子，按 6. 3. 1. 1 定义。

6.3.5 所考虑的某一动载荷工况的波浪动压力分布

6. 3. 5. 1 对于所考虑的某一动载荷工况，货油舱区域内的左、右舷同时作用的波浪动压力，$P_{wv\text{-}dyn}$，应按下式计算，但对静水线以下的取值应不小于 $-\rho_{sw} g(T_{LC}-z)$，对静水线以上取值应不小于 0。

$$P_{wv\text{-}dyn}=P_{ctr}+\frac{|y|}{0.5B_{local}}(P_{bilge}-P_{ctr}) \quad \text{中心线与舭部起始之间}$$

$$P_{wv\text{-}dyn} = P_{bilge} + \frac{z}{T_{LC}}(P_{WL} - P_{bilge})$$ 舭部终点与静水线之间

$$P_{wv\text{-}dyn} = P_{WL} - 10(z - T_{LC})$$ 静水线以上的舷侧外板

舭部附近的 $P_{wv\text{-}dyn}$ 的中间值通过沿垂向距离线性插值得到

式中：P_{ctr}——船底板中心线位置处的波浪动压力，取为：

$$P_{ctr} = f_{ctr} P_{ex\text{-}\max} \quad \text{kN/m}^2$$

P_{bilge}——$z=0$ 及 $y=B_{local}/2$ 位置处的波浪动压力，取为：

$$P_{bilge} = f_{bilge} P_{ex\text{-}\max} \quad \text{kN/m}^2$$

P_{WL}——水线位置处的波浪动压力，取为：

$$P_{WL} = f_{WL} P_{ex\text{-}\max} \quad \text{kN/m}^2$$

$P_{ex\text{-}\max}$——最大波浪动压力包络值，按 3.5.2.2 定义；

f_{WL}——所考虑的动载荷工况下，静水线位置处波浪动压力的动载荷组合因子，见 6.3.1.2；

f_{bilge}——所考虑的动载荷工况下，舭部位置处波浪动压力的动载荷组合因子，见 6.3.1.2；

f_{ctr}——所考虑的动载荷工况下，中心线位置处波浪动压力的动载荷组合因子，见 6.3.1.2；

B_{local}——所考虑吃水水线位置处的局部船宽，m；

T_{LC}——所考虑装载工况的吃水，m；

y——横坐标，m；

z——垂向坐标，m；

ρ_{sw}——海水密度，1.025 t/m^3；

g——重力加速度，9.81m/s^2。

6.3.5.2 对于所考虑的某一动载荷工况，货油舱区域以外的左、右舷同时作用的波浪动压力 $P_{wv\text{-}dyn}$，应通过 P_{ctr} 和 P_{WL} 之间线性插值得到，但对静水线以下的取值不小于 $-\rho_{sw} g(T_{LC}-z)$，对静水线以上的取值不小于 0。

$$P_{wv\text{-}dyn} = P_{ctr} + \frac{z}{T_{LC}}(P_{WL} - P_{ctr})$$，船底板中线和静水线之间

$$P_{wv\text{-}dyn} = P_{WL} + 10(z - T_{LC})$$，静水线以上

其中：P_{ctr}——船底板中心线位置处的波浪动压力，取为：

$$P_{ctr} = f_{ctr} P_{ex\text{-}\max} \quad \text{kN/m}^2$$

P_{WL}——静水线位置处的波浪动压力，取为：

$$P_{WL} = f_{WL} P_{ex\text{-}\max} \quad \text{kN/m}^2$$

$P_{ex\text{-}\max}$——最大波浪动压力包络值，按 3.5.2.2 定义；

f_{WL}——所考虑的动载荷工况下，静水线位置处波浪动压力的动载荷组合因子，见 6.3.1.2；

f_{ctr}——所考虑的动载荷工况下，中心线位置处波浪动压力的动载荷组合因子，见 6.3.1.2；

T_{LC}——所考虑装载工况的吃水，m；

z——垂向坐标，m；

ρ_{sw}——海水密度，1.025 t/m^3；

g——重力加速度，9.81m/s^2。

6.3.5.3 图 7.6.1 至图 7.6.3 对波浪动压力的同时作用进行了图示说明。

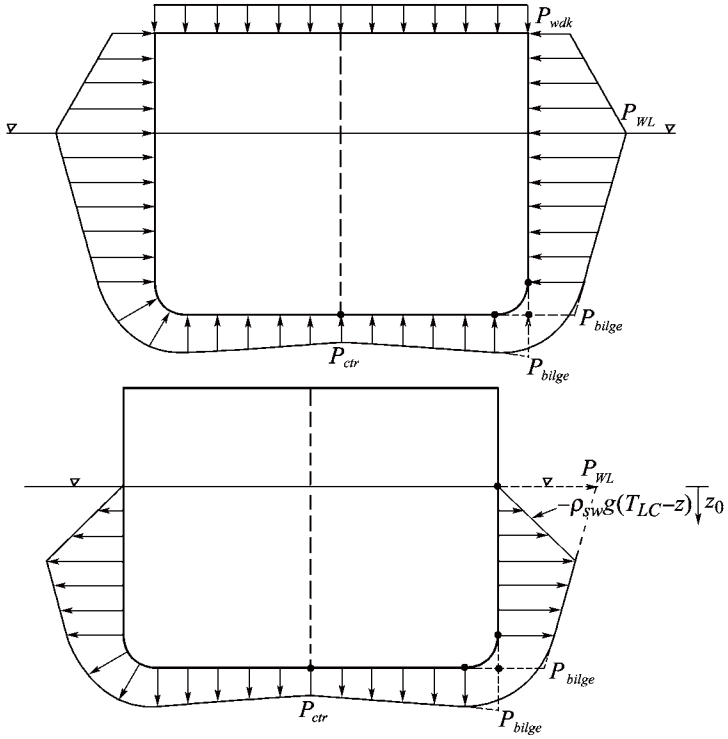


图 7.6.1 迎浪动载荷工况的波浪动压力分布

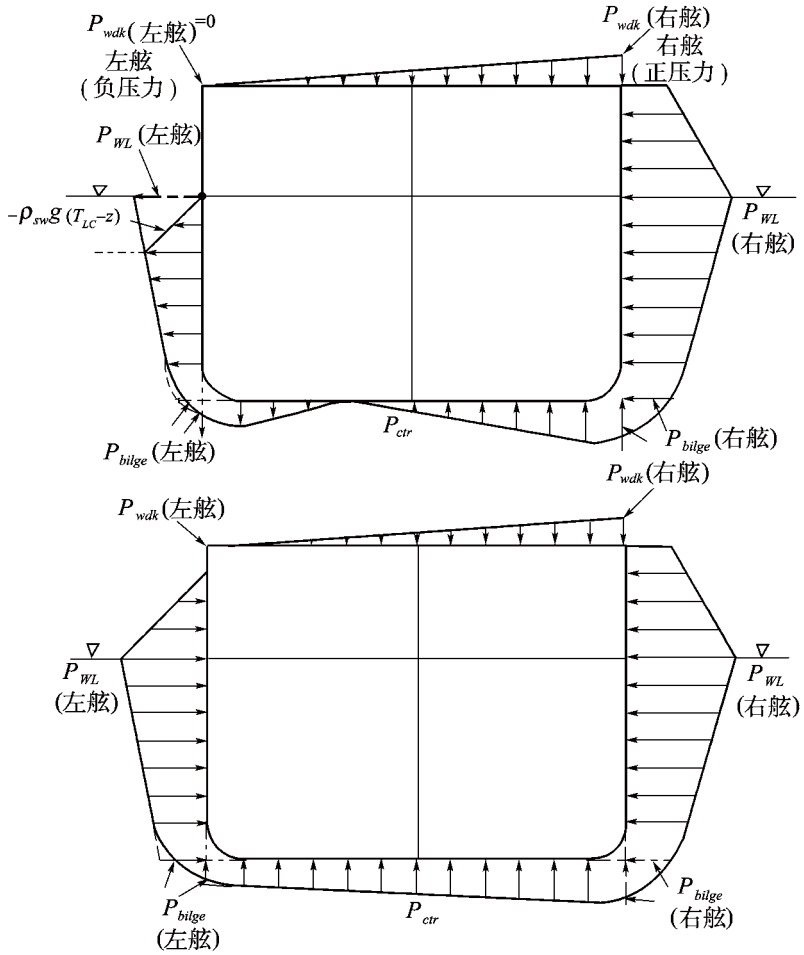


图 7.6.2 横浪和斜浪动载荷工况的波浪动压力分布

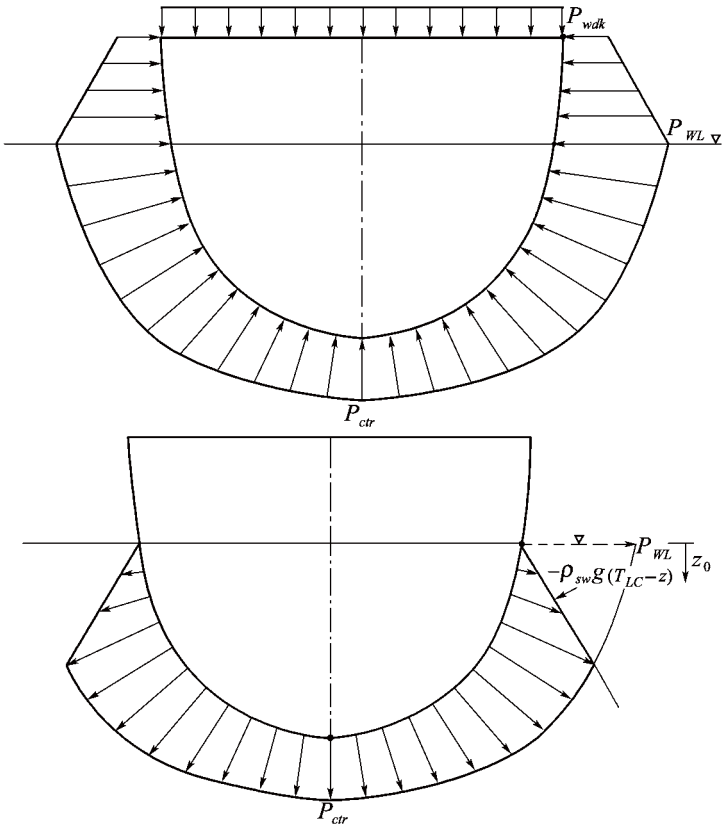


图 7.6.3　首、尾部波峰和波谷的波浪动压力分布

6.3.6　所考虑的某一动载荷工况的上浪载荷

6.3.6.1　用于强度评估的露天甲板上的同时作用上浪载荷 $P_{wdk-dyn}$，应通过 P_{wdk-pt} 和 $P_{wdk-stb}$ 之间的线性插值得到：

左舷处的上浪载荷 P_{wdk-pt}，取以下之中大者：

$$P_{wdk\text{-}pt} = f_{1-dk}(f_{WL}f_{op}P_{1-WL} - 10z_{dk\text{-}T}) \qquad \text{kN/m}^2$$

$$P_{wdk\text{-}pt} = 0.8(f_{WL}P_{2-WL} - 10z_{dk\text{-}T}) \qquad \text{kN/m}^2$$

当 $f_{WL}=1.0$，且当船舶设计工况的吃水大于等于 0.9 T_{sc} 时，$P_{wdk\text{-}pt}$ 取值不小于 34.3 kN/m^2。

右舷处的上浪载荷 $P_{wdk\text{-}stb}$，取以下之中大者：

$$P_{wdk\text{-}stb} = f_{1-dk}(f_{WL}f_{op}P_{1-WL} - 10z_{dk\text{-}T}) \qquad \text{kN/m}^2$$

$$P_{wdk\text{-}stb} = 0.8(f_{WL}P_{2-WL} - 10z_{dk\text{-}T}) \qquad \text{kN/m}^2$$

当 $f_{WL}=1.0$，且当船舶设计工况的吃水大于等于 0.9 T_{sc} 时，$P_{wdk\text{-}stb}$ 取值不小于 34.3 kN/m^2。

$P_{wdk\text{-}pt}$ 和 $P_{wdk\text{-}stb}$ 取值均不小于 0。

式中：$f_{1-dk}=0.8+\dfrac{L}{750}$；

$f_{op}=1.0$，距尾垂线 0.2L 及向前处；

$f_{op}=0.8$，尾垂线及之后处；

P_{1-WL}——所考虑吃水的静水线处的 P_1 压力，kN/m^2，见 3.5.2.1；

P_{2-WL}——所考虑吃水的静水线处的 P_2 压力，kN/m^2，见 3.5.2.1；

f_{WL}——所考虑的动载荷工况下，静水线处波浪动压力的动载荷组合因子，见 6.3.1.2；

$z_{dk\text{-}T}$——所考虑的装载工况下，从甲板到适用吃水的静水线距离，m；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1. 1. 1. 1。

6. 3. 6. 2 用于尺度要求的露天甲板上的同时作用上浪载荷 $P_{wdk\text{-}dyn}$，应取下列之中大者：

$$P_{wdk\text{-}dyn}=f_{1\text{-}dk}(f_{WL}f_{op}P_{1\text{-}WL}-10z_{dk\text{-}T}) \quad \text{kN/m}^2$$

但当 f_{WL}=1.0，且当船舶设计工况的吃水大于等于 0. 9T_{sc} 时，其取值不小于 34. 3 kN/m^2。

$$P_{wdk\text{-}dyn}=0.8f_{2\text{-}dk}(f_{WL}P_{2\text{-}WL}-10z_{dk\text{-}T}) \quad \text{kN/m}^2$$

但当 f_{WL}=1.0 及 $f_{2\text{-}dk}$=1. 0，且当船舶设计工况的吃水大于等于 0. 9T_{sc} 时，其取值不小于 34. 3 kN/m^2。

$$P_{wdk\text{-}dyn}=0$$

式中：$f_{1\text{-}dk}=0.8+\dfrac{L}{750}$

$$f_{2\text{-}dk}=0.5+\frac{|y|}{B_{wdk}}$$

f_{op}=1. 0，距尾垂线 0. 2L 及向前处

f_{op}=0. 8，尾垂线及之后处

中间之值通过线性插值求得；

$P_{1\text{-}WL}$——所考虑吃水的静水线处的 P_1 压力，kN/m^2；

$P_{2\text{-}WL}$——所考虑吃水的静水线处的 P_2 压力，kN/m^2；

f_{WL}——所考虑的动载荷工况下，静水线处波浪动压力的动载荷组合因子，见 6. 3. 1. 2；

y——横坐标，m；

$z_{dk\text{-}T}$——所考虑的装载工况下，从甲板边线到相应吃水的静水线距离，m；

B_{wdk}——露天甲板处的局部船宽，m；

L——规范船长，m，按第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义。

6. 3. 7 所考虑的某一动载荷工况的液舱动压力

6. 3. 7. 1 货油舱区域内同时作用的液舱内部动压力 $P_{in\text{-}dyn}$，按下式计算：

$$P_{in\text{-}dyn}=f_{\beta}(f_vP_{in\text{-}v}+f_tP_{in\text{-}t}+f_{\ln g}P_{in\text{-}\ln g}) \quad \text{kN/m}^2$$

式中：$P_{in\text{-}v}$——由垂向加速度引起的，由 3. 5. 4. 1 给出的液舱动压力包络值，kN/m^2，且参考点 z_0 取为（图 7. 6. 4）：

（a）舱顶；

（b）对设计为用径流法进行压载水交换的压载舱空气管 / 溢流管顶部；

$P_{in\text{-}t}$——由横向加速度引起的，由 3. 5. 4. 2 给出的液舱动压力包络值，kN/m^2，且参考点 y_0 取为（图 7. 6. 5）：

（a）左舷舱顶 对 $f_t>0$；

（b）右舷舱顶 对 $f_t<0$；

$P_{in\text{-}\ln g}$——由纵向加速度引起的，由 3. 5. 4. 3 给出的液舱动压力包络值，kN/m^2，且参考点 x_0 取为（图 7. 6. 6）：

（a）液舱前端舱壁 对 $f_{\ln g}>0$；

（b）液舱后端舱壁 对 $f_{\ln g}<0$；

f_v——所考虑的动载荷工况下，垂向加速度的动载荷组合因子。f_v 应取舱室适当的位置处，见 6. 3. 1. 2；

f_t——所考虑的动载荷工况下，横向加速度的动载荷组合因子，见 6. 3. 1. 2；

$f_{\ln g}$——所考虑的动载荷工况下，纵向加速度的动载荷组合因子。$f_{\ln g}$ 应根据舱室情况，取其最适

当位置处，见 6. 3. 1. 2；

f_β——浪向修正因子，按 6. 3. 1. 1 定义；

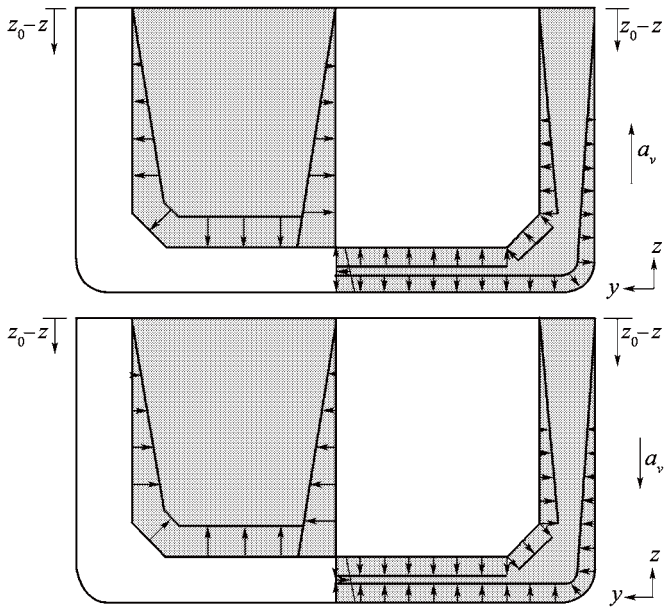
x_0——参考点纵坐标，m；

y_0——参考点横坐标，m；

z_0——参考点垂向坐标，m。

注：1. 对于非平行液舱，y_0应选择前或后端舱壁上与参考点x_0相对应的位置。如果纵向载荷组合因子$f_{\text{lng}}=0$，则y_0应从较大船宽位置处的舱壁上选取。

2. 垂向，横向和纵向加速度应取在所考虑舱室的重心位置上。



注：如压载舱设计为用径流法作为压载水交换的方法，则参考点z_0应取在舱室空气管/溢流管的顶点位置处。

图 7. 6. 4　由液舱正、负垂向加速度产生的货油舱（左边）和压载舱（右边）的液舱内部动压力

6. 3. 7. 2　货油舱区域以外同时作用的液舱内部动压力，P_{in-dyn}，按下式计算：

$$P_{in-dyn}=f_\beta\left(f_{v-mid}P_{in-v}+|f_tP_{in-t}|+|f_{\text{lng}}P_{in-\text{lng}}|\right)\qquad \text{kN/m}^2$$

式中：P_{in-v}——由垂向加速度引起的，由 3. 5. 4. 1 给出的液舱动压力包络值，kN/m^2，且参考点 z_0 取为（图 7. 6. 5）：

（a）舱顶；

（b）对设计为用径流法进行压载水交换的压载舱空气管顶部；

P_{in-t}——由横向加速度引起的，由 3. 5. 4. 2 给出的液舱动压力包络值，kN/m^2，且用 y_0–y 作为舱室的极端宽度；

$P_{in-\text{lng}}$——由纵向加速度引起的，由 3. 5. 4. 3 给出的液舱动压力包络值，kN/m^2，且用 x_0–x 作为舱室的极端长度；

f_{v-mid}——所考虑的动载荷工况下，垂向加速度的动载荷组合因子，见 6. 3. 1. 2；

f_t——所考虑的动载荷工况下，横向加速度的动载荷组合因子，见 6. 3. 1. 2；

f_{lng}——所考虑的动载荷工况下，纵向加速度的动载荷组合因子，见 6. 3. 1. 2；

f_β——浪向修正因子，按 6. 3. 1. 1 定义；

x_0——参考点纵坐标，m；

y_0——参考点横坐标，m；

z_0——参考点垂向坐标，m。

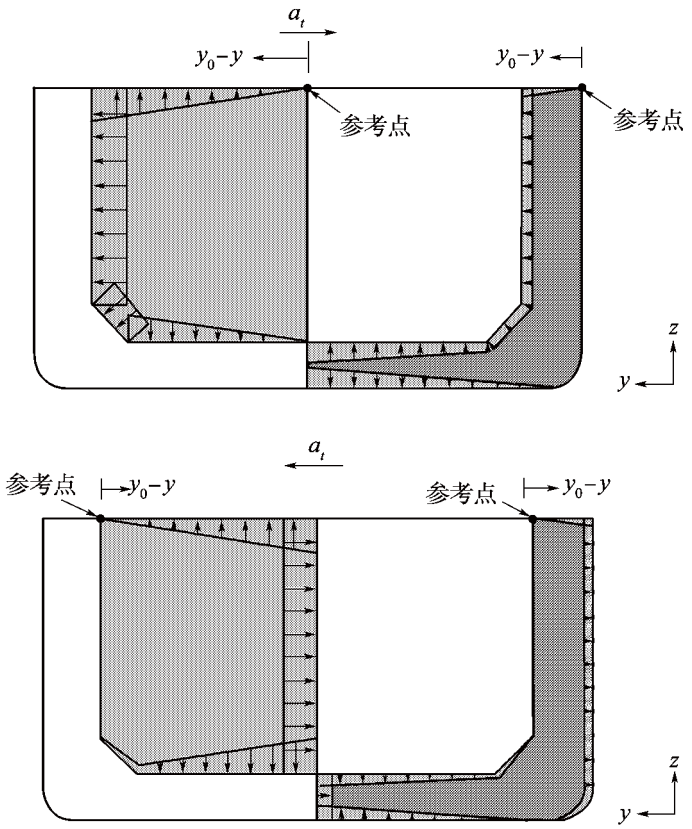


图 7.6.5 由液舱负、正横向加速度产生的货油舱（左边）和压载舱（右边）的液舱内部动压力

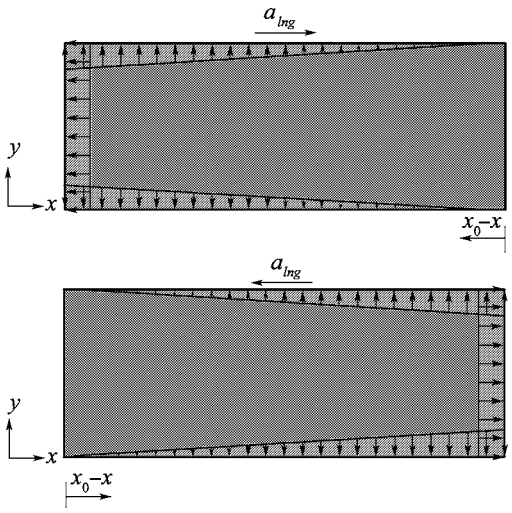


图 7.6.6 由液舱正、负纵向加速度产生的货油舱的液舱内部动压力

6.3.8 所考虑的某一动载荷工况的甲板动载荷

6.3.8.1 对于设有首楼或尾楼的封闭上甲板及其他下甲板，同时作用的均布甲板动载荷 P_{dk-dyn}，按下式计算：

$$P_{dk-dyn} = f_\beta f_{v-mid} P_{deck-dyn} \quad \text{kN/m}^2$$

式中：$P_{deck-dyn}$——作用在甲板、内底和舱口盖上的甲板动压力包络值，kN/m^2，按 3.5.5.1 定义；

f_{v-mid}——所考虑动载荷工况的垂向加速度动载荷组合因子，见 6.3.1.2；

f_β——浪向修正因数，按 6.3.1.1 定义。

强度评估（有限元方法）的动载荷工况 **表 7.6.2**

波浪方向			迎　浪				横　浪		斜　浪	
最大响应			M_{wv} （中垂）	M_{wv} （中拱）	Q_{wv} （中垂）	Q_{wv} （中拱）	a_v		M_{wv-h} （中拱）	
动载荷工况			1	2	3	4	5a	5b	6a	6b
总体载荷	M_{wv} Q_{wv} M_{wv-h}	f_{mv} f_{qv} f_{mh}	−1.0 1.0 0.0	1.0 −1.0 0.0	−1.0 1.0 0.0	1.0 −1.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.4 0.0 1.0	0.4 0.0 −1.0
加速度	a_v a_t a_{lng}	f_v f_t f_{lng}	0.5 0.0 −0.6	−0.5 0.0 0.6	0.3 0.0 −0.6	−0.3 0.0 0.6	1.0 −0.6 −0.5	1.0 0.6 −0.5	−0.1 0.0 0.5	−0.1 0.0 0.5
左舷波浪动压力	P_{WL} P_{bilge} P_{ctr}	f_{WL} f_{bilge} f_{ctr}	−0.3 −0.3 −0.7	0.3 0.3 0.7	0.1 0.1 0.3	−0.1 −0.1 −0.3	1.0 1.0 0.9	0.4 0.4 0.9	0.6 0.4 0.5	0.0 0.0 0.5
右舷波浪动压力	P_{WL} P_{bilge} P_{ctr}	f_{WL} f_{bilge} f_{ctr}	−0.3 −0.3 −0.7	0.3 0.3 0.7	0.1 0.1 0.3	−0.1 −0.1 −0.3	0.4 0.4 0.9	1.0 1.0 0.9	0.0 0.0 0.5	0.6 0.4 0.5

表中：符号按3.3、6.3.5.1、表7.6.1及以下定义：

f_{v-mid}——与中货油舱和压载舱垂向加速度有关的动载荷组合因子；

f_{v-pt}——与左舷货油舱和舷侧压载舱垂向加速度有关的动载荷组合因子；

f_{v-stb}——与右舷货油舱和舷侧压载舱垂向加速度有关的动载荷组合因子。

注：用于计算的载荷参数和位置由附录B/2.4.1予以说明。

6.3.8.2 作用在重货、设备或结构构件的支承结构和系固系统上的同时作用的重物垂向动力，$F_{dk\text{-}dyn}$，按下式计算：

$$F_{dk\text{-}dyn}=f_{\beta}\,f_{v\text{-}mid}\,F_{v} \qquad \text{kN}$$

式中：F_v——重物的垂向动载荷包络值，kN，按 3.5.6 定义；

$f_{v\text{-}mid}$——所考虑动载荷工况下，垂向加速度的动载荷组合因子，见表 7.6.2 和表 7.6.4 至表 7.6.9；

f_{β}——浪向修正因子，按 6.3.1.1 定义。

6.4 强度评估的动载荷工况及动载荷组合

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 对于强度评估（有限元方法），表 7.6.2 中给出的动载荷工况应适用于按照附录 B 中的设计载荷组合 $S+D$ 的要求。同时作用的动载荷工况应采用表 7.6.2 中给出的动载荷组合因子求得。

6.5 尺度要求的载荷工况和载荷组合

6.5.1 一般要求

6.5.1.1 对尺度要求，动载荷工况应适用于按照表 8.2.7 至表 8.2.9 中给出的针对设计载荷组合 $S+D$ 的一套设计载荷。同时作用的动载荷工况应采用表 7.6.4 至表 7.6.9 中给出的动载荷组合因子求得。

6.5.1.2 动载荷组合因子（DLCF）表的使用应根据所考虑的纵向位置，且在图 7.6.7 和表 7.6.3 中予以说明。

6.5.1.3 DLCF 表中的各个动载荷工况为将一个或多个动载荷分量进行最大化的组合。动载荷分量的最小化组合则应将动载荷工况的所有动载荷组合因子乘以 -1 得到。尺度要求的评估均应针对所有最大和最小化的动载荷工况。

6.5.1.4 用于计算的载荷参数由表 8.2.8 和表 8.2.9 予以说明。

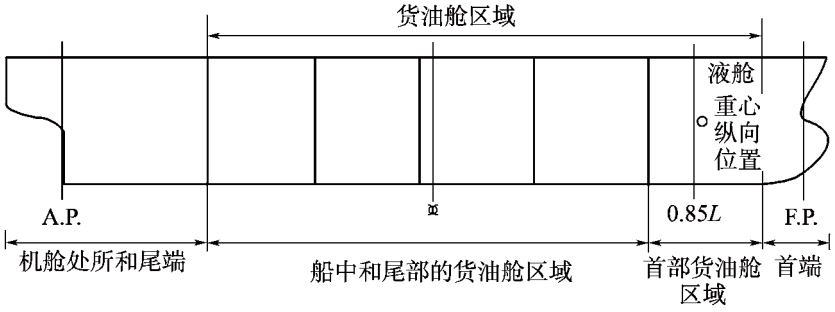


图 7.6.7 结构区域图示

用于结构区域和装载工况的动载荷组合因子表 表 7.6.3

结构区域	机舱处所和尾端	船中和尾部货油舱区域	首部货油舱区域	首 端
适用的舱室和处所	最后的货油舱之后	液舱重心纵向位置位于0.85*L*之后	液舱重心纵向位置位于0.85*L*及之前处	最前端舱壁之前
装载的DLCF	表7.6.8	表7.6.4	表7.6.6	表7.6.8
压载的DLCF	表7.6.9	表7.6.5	表7.6.7	表7.6.9

装载工况下船中和尾部货油舱区域的动载荷工况　　表 7.6.4

波浪方向			迎　浪			斜　浪		横　浪					
最大响应			M_{wv}	a_v	a_{lng}	M_{Nv-h}		a_t		P_{ctr}		P_{WL}	
动载荷工况			1	2	3	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b
总体载荷	M_{wv}	f_{mv}	1.0	−1.0	0.5	−0.2	−0.2	−0.1	−0.1	−0.2	−0.2	−0.3	−0.3
	M_{wv-h}	f_{mh}	0.0	0.0	0.0	1.0	−1.0	−0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
加速度	a_{v-mid}	f_{v-mid}	−0.2	0.5	−0.4	−0.1	−0.1	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0
	a_{v-pt}	f_{v-pt}	−0.2	0.5	−0.4	−0.1	−0.1	0.2	0.6	0.8	1.0	0.8	1.0
	a_{v-stb}	f_{v-stb}	−0.2	0.5	−0.4	−0.1	−0.1	0.6	0.2	1.0	0.8	1.0	0.8
	a_t	f_t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	−1.0	0.5	−0.5	0.6	−0.6
	$a_{lng-mid}$	$f_{lng-mid}$	0.3	−0.6	1.0	−0.3	−0.3	−0.1	−0.1	−0.5	−0.5	−0.6	−0.6
	a_{lng-pt}	f_{lng-pt}	0.3	−0.6	1.0	−0.4	−0.2	−0.1	−0.1	−0.5	−0.5	−0.6	−0.6
	$a_{lng-stb}$	$f_{lng-stb}$	0.3	−0.6	1.0	−0.2	−0.4	−0.1	−0.1	−0.5	−0.5	−0.6	−0.6
	$a_{lng-ctr}$	$f_{lng-ctr}$	0.3	−0.6	1.0	−0.3	−0.3	−0.1	−0.1	−0.5	−0.5	−0.6	−0.6
右舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	0.7	−0.6	0.2	−0.3	−0.3	0.5	0.5	1.0	1.0	0.9	0.9
	P_{bilge}	f_{bilge}	0.3	−0.2	0.1	−0.4	−0.1	0.8	−0.3	0.9	0.4	1.0	0.4
	P_{WL}	f_{WL}	0.3	−0.3	0.1	−0.6	−0.1	0.5	−0.2	0.8	0.4	1.0	0.4
左舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	0.7	−0.6	0.2	−0.3	−0.3	0.5	0.5	1.0	1.0	0.9	0.9
	P_{bilge}	f_{bilge}	0.3	−0.2	0.1	−0.1	−0.4	−0.3	0.8	0.4	0.9	0.4	1.0
	P_{WL}	f_{WL}	0.3	−0.3	0.1	−0.1	−0.6	−0.2	0.5	0.4	0.8	0.4	1.0

表中：符号按3.3、3.4.2、6.3.5.1、表7.6.1、表7.6.2及以下定义：

a_{v-pt}——左舷货油舱的垂向加速度，m/s^2；

a_{v-stb}——右舷货油舱的垂向加速度，m/s^2；

$a_{lng-mid}$——中货油舱的纵向加速度，m/s^2；

a_{lng-pt}——左舷货油舱的纵向加速度，m/s^2；

$a_{lng-stb}$——右舷货油舱的纵向加速度，m/s^2；

$a_{lng-ctr}$——双层底压载舱的纵向加速度，m/s^2；

f_{lng-pt}——与左舷货油舱或压载舱的纵向加速度有关的动载荷组合因子；

$f_{lng-stb}$——与右舷货油舱或压载舱的纵向加速度有关的动载荷组合因子；

$f_{lng-ctr}$——与双层底中部压载舱的纵向加速度有关的动载荷组合因子；

$f_{lng-mid}$——与中货油舱的纵向加速度有关的动载荷组合因子。

压载工况下船中和尾部货油舱区域的动载荷工况　　表 7.6.5

波浪方向			迎　浪			斜　浪		横　浪					
最大响应			M_{wv}	a_v	a_{lng}	M_{wv-h}		a_t		P_{ctr}		P_{WL}	
动载荷工况			1	2	3	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b
总体载荷	M_{wv}	f_{mv}	1.0	−1.0	0.4	−0.4	−0.4	−0.1	−0.1	−0.2	−0.2	−0.2	−0.2
	M_{wv-h}	f_{mh}	0.0	0.0	0.0	1.0	−1.0	0.1	−0.1	−0.1	0.1	−0.2	0.2
加速度	a_{v-mid}	f_{v-mid}	−0.1	0.4	−0.2	0.1	0.1	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0
	a_{v-pt}	f_{v-pt}	−0.1	0.4	−0.2	0.1	0.1	0.1	0.8	0.7	1.0	0.6	1.0
	a_{v-stb}	f_{v-stb}	−0.1	0.4	−0.2	0.1	0.1	0.8	0.1	1.0	0.7	1.0	0.6
	a_t	f_t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	−1.0	0.8	−0.8	0.6	−0.6
	$a_{lng-mid}$	$f_{lng-mid}$	0.2	−0.1	1.0	−0.6	−0.6	0.0	0.0	−0.2	−0.2	−0.1	−0.1
	a_{lng-pt}	f_{lng-pt}	0.2	−0.1	1.0	−0.6	−0.4	0.0	0.0	−0.2	−0.2	−0.1	−0.1
	$a_{lng-stb}$	$f_{lng-stb}$	0.2	−0.1	1.0	−0.4	−0.6	0.0	0.0	−0.2	−0.2	−0.1	−0.1
	$a_{lng-ctr}$	$f_{lng-ctr}$	0.2	−0.1	1.0	−0.4	−0.4	0.0	0.0	−0.2	−0.2	−0.1	−0.1
右舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	−0.8	0.3	−0.5	−0.5	0.3	0.3	0.8	0.8	0.4	0.4
	P_{bilge}	f_{bilge}	0.3	−0.2	1.0	−0.4	0.0	0.9	−0.4	0.9	0.3	0.9	0.2
	P_{WL}	f_{WL}	0.3	−0.2	1.0	−0.6	0.0	0.7	−0.4	0.9	0.2	1.0	0.2
左舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	−0.8	0.3	−0.5	−0.5	0.3	0.3	0.8	0.8	0.4	0.4
	P_{bilge}	f_{bilge}	0.3	−0.2	1.0	0.0	−0.4	−0.4	0.9	0.3	0.9	0.2	0.9
	P_{WL}	f_{WL}	0.3	−0.2	1.0	0.0	−0.6	−0.4	0.7	0.2	0.9	0.2	1.0

表中：符号按3.3、3.4.2、6.3.5.1、表7.6.1、表7.6.2和表7.6.4定义。

装载工况下首部货油舱的动载荷工况　　表 7.6.6

波浪方向			迎　浪		斜　浪								横　浪			
最大响应			a_v	a_{lng}	a_{lng}		P_{ctr}		P_{bilge}		P_{WL}		a_v		a_t	
动载荷工况			1	2	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b
总体载荷	M_{wv}	f_{mv}	−0.7	0.9	0.3	0.3	−0.6	−0.6	−0.3	−0.3	−0.4	−0.4	−0.4	−0.4	−0.1	−0.1
	M_{wv-h}	f_{mh}	0.0	0.0	0.2	−0.2	0.2	0.2	−0.1	0.1	0.2	−0.2	−0.1	0.1	−0.5	0.5
加速度	a_{v-mid}	f_{v-mid}	0.7	−0.6	−0.6	−0.6	0.7	0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	1.0	1.0	0.4	0.4
	a_{v-pt}	f_{v-pt}	0.7	−0.6	−0.6	−0.6	0.7	0.7	0.9	1.0	0.7	0.7	0.9	1.0	0.3	0.6
	a_{v-stb}	f_{v-stb}	0.7	−0.6	−0.6	−0.6	0.7	0.7	1.0	0.9	0.7	0.7	1.0	0.9	0.6	0.3
	a_t	f_t	0.0	0.0	0.4	−0.4	1.0	−1.0	0.7	−0.7	0.5	−0.5	0.6	−0.6	1.0	−1.0
	$a_{lng-mid}$	$f_{lng-mid}$	−0.8	1.0	0.8	0.8	−1.0	−1.0	−0.5	−0.5	−1.0	−1.0	−0.5	−0.5	−0.1	−0.1
	a_{lng-pt}	f_{lng-pt}	−0.8	1.0	1.0	0.6	−1.0	−0.9	−0.5	−0.5	−1.0	−0.7	−0.5	−0.5	−0.1	−0.1
	$a_{lng-stb}$	$f_{lng-stb}$	−0.8	1.0	0.6	1.0	−0.9	−1.0	−0.5	−0.5	−0.7	−1.0	−0.5	−0.5	−0.1	−0.1
	$a_{lng-ctr}$	$f_{lng-ctr}$	−0.8	1.0	0.8	0.8	−1.0	−1.0	−0.5	−0.5	−1.0	−1.0	−0.5	−0.5	−0.1	−0.1
右舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	−0.9	−0.4	−0.4	1.0	1.0	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.4	0.4
	P_{bilge}	f_{bilge}	0.6	−0.7	−0.6	−0.2	0.9	0.6	1.0	0.5	0.7	0.3	1.0	0.5	0.8	−0.1
	P_{WL}	f_{WL}	0.3	−0.5	−0.9	−0.2	0.8	0.4	0.9	0.4	1.0	0.2	0.9	0.4	0.6	−0.2
左舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	−0.9	−0.4	−0.4	1.0	1.0	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.4	0.4
	P_{bilge}	f_{bilge}	0.6	−0.7	−0.2	−0.6	0.6	0.9	0.5	1.0	0.3	0.7	0.5	1.0	−0.1	0.8
	P_{WL}	f_{WL}	0.3	−0.5	−0.2	−0.9	0.4	0.8	0.4	0.9	0.2	1.0	0.4	0.9	−0.2	0.6

表中：符号按3.3、3.4.2、6.3.5.1以及表7.6.1、表7.6.2和表7.6.4定义。

压载工况下首部货油舱的动载荷工况　　表 7.6.7

波浪方向			迎　浪		斜　浪								横　浪			
最大响应			a_v	a_{lng}	a_{lng}		P_{ctr}		P_{bilge}		P_{WL}		a_v		a_t	
动载荷工况			1	2	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b
总体载荷	M_{wv}	f_{mv}	−0.8	0.9	0.7	0.7	−1.0	−1.0	−0.2	−0.2	−0.3	−0.3	−1.0	−1.0	−1.0	−1.0
	M_{wv-h}	f_{mh}	0.0	0.0	0.4	−0.4	0.0	0.0	−0.5	0.5	0.3	−0.3	−0.4	0.4	−0.4	0.4
加速度	a_{v-mid}	f_{v-mid}	0.7	−0.6	−0.7	−0.7	0.4	0.4	0.6	0.6	0.9	0.9	1.0	1.0	0.4	0.4
	a_{v-pt}	f_{v-pt}	0.7	−0.6	−0.7	−0.7	0.4	0.4	0.3	0.8	0.7	0.7	0.5	1.0	0.0	0.7
	a_{v-stb}	f_{v-stb}	0.7	−0.6	−0.7	−0.7	0.4	0.4	0.8	0.3	0.7	0.7	1.0	0.5	0.7	0.0
	a_t	f_t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	−0.9	0.2	−0.2	0.7	−0.7	1.0	−1.0
	$a_{lng-mid}$	$f_{lng-mid}$	−0.9	1.0	1.0	1.0	−0.6	−0.6	−0.3	−0.3	−0.9	−0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	a_{lng-pt}	f_{lng-pt}	−0.9	1.0	1.0	1.0	−0.6	−0.6	−0.5	0.2	−0.9	−0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	$a_{lng-stb}$	$f_{lng-stb}$	−0.9	1.0	1.0	1.0	−0.6	−0.6	0.2	−0.5	−0.6	−0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	$a_{lng-ctr}$	$f_{lng-ctr}$	−0.9	1.0	1.0	1.0	−0.6	−0.6	−0.3	−0.3	−0.9	−0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
右舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	−0.7	−0.9	−0.9	1.0	1.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.2	0.2
	P_{bilge}	f_{bilge}	0.5	−0.4	−0.7	−0.3	0.6	0.6	1.0	−0.3	0.9	0.2	0.8	0.2	0.7	−0.3
	P_{WL}	f_{WL}	0.3	−0.2	−0.6	−0.1	0.4	0.4	0.9	−0.3	1.0	0.1	0.8	0.2	0.7	−0.4
左舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	−0.7	−0.9	−0.9	1.0	1.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.2	0.2
	P_{bilge}	f_{bilge}	0.5	−0.4	−0.3	−0.7	0.6	0.6	−0.3	1.0	0.2	0.9	0.2	0.8	−0.3	0.7
	P_{WL}	f_{WL}	0.3	−0.2	−0.1	−0.6	0.4	0.4	−0.3	0.9	0.1	1.0	0.2	0.8	−0.4	0.7

表中：符号按3.3、3.4.2、6.3.5.1以及表7.6.1、表7.6.2和表7.6.4定义。

装载工况下货油舱区域以外处所的动载荷工况　　表 7.6.8

船舶位置			机舱处所和尾部							首　部			
波浪方向			随浪	斜浪		横　浪				横　浪			
最大响应			P_{ctr}	P_{WL}		a_v		a_t		a_v		a_t	
动载荷工况			1	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b
总体载荷	M_{wv}	f_{mv}	−1.0	−0.7	−0.7	−0.4	−0.4	−0.1	−0.1	−	−	−	−
加速度	a_{v-mid}	f_{v-mid}	0.6	0.9	0.9	1.0	1.0	0.3	0.3	1.0	1.0	0.3	0.3
	a_{v-pt}	f_{v-pt}	0.6	−	0.9	−	1.0	−	0.4	−	1.0	−	0.3
	a_{v-stb}	f_{v-stb}	0.6	0.9	−	1.0	−	0.4	−	1.0	−	0.3	−
	a_t	f_t	0.0	0.2	−0.2	0.5	−0.5	1.0	−1.0	0.7	−0.7	1.0	−1.0
	a_{lng}	f_{lng}	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	−0.1	−0.1	−0.7	−0.7	−1.0	−1.0
右舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	0.2	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2
	P_{WL}	f_{WL}	0.5	1.0	0.2	0.8	0.3	0.3	−0.3	1.0	0.8	0.2	0.0
左舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	0.2	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2
	P_{WL}	f_{WL}	0.5	0.2	1.0	0.3	0.8	−0.3	0.5	0.8	1.0	0.0	0.2

表中：符号按3.3、6.3.5.1、表7.6.1、表7.6.2和表7.6.4定义。

压载工况下货油舱区域以外处所的动载荷工况

表 7.6.9

船舶位置			机舱和尾部							首　　部			
波浪方向			随浪	斜浪		横浪				横浪			
最大响应			P_{ctr}	P_{WL}		a_v		a_t		a_v		a_t	
动载荷工况			1	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b
总体载荷	M_{wv}	f_{mv}	−1.0	−0.3	−0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	−	−	−	−
加速度	$a_{v\text{-}mid}$	$f_{v\text{-}mid}$	0.6	0.9	0.9	1.0	1.0	0.3	0.3	1.0	1.0	0.3	0.3
	$a_{v\text{-}pt}$	$f_{v\text{-}pt}$	0.6	−	0.9	−	1.0	−	0.5	−	1.0	−	0.5
	$a_{v\text{-}stb}$	$f_{v\text{-}stb}$	0.6	0.9	−	1.0	−	0.5	−	1.0	−	0.5	−
	a_t	f_t	0.0	0.1	−0.1	0.6	−0.6	1.0	−1.0	0.7	−0.7	1.0	−1.0
	a_{lng}	f_{lng}	0.7	0.8	0.8	0.2	0.2	0.0	0.0	−0.3	−0.3	0.0	0.0
右舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	0.7	0.7	0.5	0.5	0.1	0.1	0.6	0.6	0.1	0.1
	P_{WL}	f_{WL}	0.8	1.0	0.3	0.6	0.1	0.4	−0.3	0.7	0.3	0.3	−0.1
左舷波浪动压力	P_{ctr}	f_{ctr}	1.0	0.7	0.7	0.5	0.5	0.1	0.1	0.6	0.6	0.1	0.1
	P_{WL}	f_{WL}	0.8	0.3	1.0	0.1	0.6	−0.3	0.4	0.3	0.7	−0.1	0.3

表中：符号按3.3、6.3.5.1以及表7.6.1、表7.6.2和表7.6.4定义。

第8节 尺 度 要 求

1 总纵强度

1.1 装载指南

1.1.1 一般要求

1.1.1.1 所有船舶应备有足够信息的装载指南资料，确保船长能够使船舶处于规定的操作限度之内。装载指南资料应包括批准后的分别符合第1.1.2节和第1.1.3节要求的装载手册和装载仪。

1.1.1.2 装载指南资料应基于船舶的最终数据。

1.1.1.3 如果修改引起船舶主要数据的变化（空船重量、浮力分布、液舱容积或使用率等），则要求对装载手册进行更新和重新批准，随后装载仪系统也应进行更新和重新批准。但是，如果变化后的船舶吃水、静水弯矩和剪力与原先批准的数据相差不超过2%，则不必重新提交新的装载指南。

1.1.1.4 装载指南应采用使用者能理解的语言编写。如果该语言不是英文，则应包括英译本。如果可行，还应提供装载仪系统的输入和输出数据的英译文件。

1.1.1.5 装载指南资料应包括以下声明，以确保船员知道最小首吃水的操作限制。

首垂线处最小首吃水时的结构尺度被批准，在航行工况下，该处很可能出现砰击，所以首吃水应不小于以下值：

（a）No. __ 双层底压载舱装满时为 ____m；或者

（b）No. __ 双层底压载舱空舱时为 ____m。

1.1.2 装载手册

1.1.2.1 装载手册是：

（a）描述基于航行和港内/遮蔽水域营运进行船舶设计和批准的装载工况。

（b）描述静水弯矩和剪力的计算结果，以及如适用时，由于扭转与侧向载荷的限制。

（c）描述如1.1.2.7给出的相关操作限制。

1.1.2.2 至少以下用于批准船体构件尺度的装载工况和设计装载和压载工况，应包括在装载手册中：

（a）包括出港和到港工况的航行工况：

- 均匀装载工况，包括结构吃水时的工况（均匀装载工况不应包括干舱和清洁压载舱的装载）；
- 正常压载工况：
  - ■ 压载舱可以装满，部分装载或者空舱。一旦部分装载，应符合1.1.2.5中的条件；
  - ■ 所有的货油舱应空舱，包括在海上可用于装载压载水的货油舱；
  - ■ 螺旋桨应完全浸没水下，和；
  - ■ 纵倾以尾倾表示，且不超过0.015L，L见第4节/1.1.1定义。
- 重压载工况：
  - ■ 首垂线处的吃水不得小于正常压载工况下的吃水；
  - ■ 货油舱区域内或货油舱区域后的压载水舱可装满，部分装载或空舱。一旦部分装载，应符合1.1.2.5中的条件；
  - ■ 首尖压载水舱装满。如设有上、下首尖压载水舱，要求下首尖舱装满。上首尖舱可装满，部分装载或空舱；

    如设置上、下首尖舱，且其中仅一个指定为压载水舱，则另一个可以为空舱；
  - ■ 所有的货油舱应空舱，包括在海上可用于装载压载水的货油舱；
  - ■ 螺旋桨应完全浸没；

■ 纵倾应为尾倾且不超过 0.015L，L 定义见第 4 节 1.1.1。

- 任何指定的非均匀分布的装载；
- 装载高密度货油的工况，其中如适用时，包括最大的设计货油密度；
- 明显不同于压载工况的与清舱或其他操作有关的在途中航行工况；
- 涉及压载水交换过程的工况以及各压载舱装压载水和排放压载水开始和结束时刻的中间工况的计算。

（b）港内 / 遮蔽水域工况：

- 代表典型完全装卸工况；
- 坞内起浮工况；
- 螺旋桨检查起浮工况，螺旋桨轴中心线至少高于螺旋桨处水线 $D_{prop}/4$，这里 D_{prop} 为螺旋桨直径。

（c）附加设计工况：

- 设计压载工况，货油舱区域的所有独立压载水舱装满且包括燃油舱和淡水舱的其他所有舱室空舱。

指南注释：

如果装载手册中相应的工况仅包括压载货油舱区域的专用压载水舱的压载，则（c）中的设计工况用于评定船体强度，不拟用于船舶营运。该工况也将包括在IMO 73/78 SBT工况之中，但装载手册中相应的工况应仅包括货油舱区域的专用压载水舱的压载。

1.1.2.3 基于适用的装载稳性规则进行满载出港计算，注意燃油舱不得少于 95% 的装载量，其他消耗品取 100% 的装载量。到港计算是基于燃油、淡水和备品为最大装载量的 10%。

1.1.2.4 若航行中任何时候船舶消耗品在一定数量和配置下的工况比 1.1.2.3 中所列工况更严重，则应将该中途工况的计算提交批准。

1.1.2.5 在任何出港、到港或中途航行工况中，涉及尖舱和 / 或者其他压载水舱的部分装载的压载工况不允许作为设计装载工况，除非在空舱和满舱间的任意装载水平下计算得出的应力水平处于屈服和屈曲衡准要求的范围内。若在任何出港、到港或中间工况时的满舱、空舱和指定的部分压载水平的应力水平处于屈服和屈曲衡准要求的范围内，则满足符合设计目的的衡准。相应的满舱、空舱和部分压载工况可以作为计算静水弯矩和静水剪力的设计工况，但不必满足 1.1.2.2（a）中规定的对于螺旋桨浸深和纵倾的要求。若多个压载水舱拟部分压载，则这些压载舱的满舱、空舱和指定的部分压载水平的所有组合都必须校核。这些要求不适用于采用顺序法的压载水交换。

1.1.2.6 在载货工况中，1.1.2.5 中规定的部分压载舱的要求仅适用于尖舱压载水舱。

1.1.2.7 装载手册应包括设计基础和基于批准船体构件尺度的营运限制，表 8.1.1 所列的内容应包括在装载手册中。

设 计 参 数 **表 8.1.1**

参数
许用静水弯矩限制（航行和港内/遮蔽水域）
许用静水剪力限制（航行和港内/遮蔽水域）
结构吃水，T_{sc}
船中处的设计最小压载吃水，T_{bal}
首部双层底压载舱装满时的设计砰击吃水，$T_{FP-full}$
首部双层底压载舱空舱时的设计砰击吃水，T_{FP-mt}
允许的最大货物密度
装载手册中任何装载工况下的最大货物密度
包括任何限制的压载水交换操作说明
设计航速

1.1.2.8 船体构件尺度的批准基于规范定义的装载模式和装载手册中给出的装载工况。

1.1.2.9 若船舶被特别批准并将在下面所列工况下营运，装载手册应包括这些增加的装载工况：

（a）航行压载工况，此工况下一个或多个货油舱装有压载水被用于MARPOL规则13条所允许的紧急情况（被批准的船舶装载模式为表B.2.3中的A8或表B.2.4中的B7）；

（b）航行工况，此工况下双层底上净的向上静载荷大于一个空货油舱和平均吃水为$0.9T_{sc}$的组合工况下的相应的载荷值；

（c）航行工况，此工况下货油舱小于25%的装载量且平均吃水大于$0.9T_{sc}$；

（d）航行工况，此工况下双层底上净的向下静载荷大于一个货油密度取1.025t/m^{3}下货油舱满舱和平均吃水为$0.6T_{sc}$的组合工况下的相应的载荷值；

（e）航行工况，适用于中间货油舱设有横向撑材的船舶，此工况为非对称的装载模式，即相应的左、右舷边货油舱的装载高度差超过边货油舱装载高度的25%（被批准的船舶装载模式为表B.2.3中的A7）。

1.1.2.10 本小节并不试图阻止装载手册中包括的任何其他装载工况，也并不试图以任何方式取代所要求的装载手册/装载仪。

1.1.2.11 若不超过装载手册和船上装载仪中规定的总强度和局部强度的限制，以及不超过适用的稳性要求，油船在实际操作中可以以不同于装载手册中规定的设计装载工况进行装载。

1.1.3 装载仪系统

1.1.3.1 除非另有注明，装载仪系统是一种数字的且能够简单快速地辨别任何装载工况是否超出操作限制的系统。

1.1.3.2 装载仪系统应由各船级社根据自己的规范进行批准。

CCS1.1.3.2 装载仪应满足CCS《钢质海船入级规范》第2篇第2章的要求。

1.1.3.3 装载仪系统应能计算任何指定的装载工况，核实是否符合1.1.2.2中给出的操作限制，并提供包括输入输出数据的图表。

1.1.3.4 如果有任何一项操作限制未经检查，用户在使用装载仪系统时应得到适当的提示，并且借助图表可以通过其他途径核实每一个项目。装载仪系统至少应核实满足下列项目：

（a）吃水限制；

（b）在指定位置/读数点报告静水弯矩和剪力。

1.1.3.5 装载仪最终试验工况基于最后的装载手册给出的工况。试验工况应经批准，由装载仪系统计算出的各读数点处的剪力和弯矩应分别在装载手册中给出的$0.02Q_{sw\text{-}perm}$和$0.02M_{sw\text{-}perm}$范围之内，这里$Q_{sw\text{-}perm}$和$M_{sw\text{-}perm}$分别为指定的每个读数点处的许用剪力和许用弯矩。

1.1.3.6 在接受装载仪系统之前，应向验船师演示说明计算机的各有关方面，包括但不仅限于以下：

（a）确认使用船舶的最终数据；

（b）确认所有读数点的相关限制是正确的；

（c）在系统安装在船上后，其操作符合批准的试验工况；

（d）船上具备批准的试验工况；

（e）船上具备操作手册。

1.2 船体梁弯曲强度

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 船体梁垂向净剖面模数$Z_{v\text{-}net50}$应等于或大于1.2.2.2和1.2.3.2中的要求值。在第4节/2.6.1.1中定义的船体梁垂向净剖面惯性矩$I_{v\text{-}net50}$，应等于或大于1.2.2.1给出的要求值。

1.2.1.2 基于1.2.2.1和1.2.2.2中的惯性矩和剖面模数要求的船体梁的所有连续纵向构件尺度应在$0.4L$船中区域内保持不变。

1.2.1.3 第 1.2.3 节中的船体梁剖面模数要求适应于从尾垂线到首垂线的船体梁全长范围。

1.2.1.4 计入船体梁剖面模数的构件应满足第 1.4 节给出的屈曲衡准。

1.2.2 最小要求

1.2.2.1 在船中横剖面内，对于水平中和轴的船体梁净垂向惯性矩 $I_{v\text{-}net50}$，应不小于规范最小船体梁垂向惯性矩 $I_{v\text{-}min}$，其定义如下：

$$I_{v\text{-}min} = 2.7C_{wv}L^3B(C_b + 0.7)\cdot 10^{-8} \qquad \text{m}^4$$

式中：C_{wv}——波浪系数，如表 8.1.2 定义；

L——规范船长，m，如第 4 节 /1.1.1.1 定义；

B——型宽，m，如第 4 节 /1.1.3.1 定义；

C_b——方形系数，如第 4 节 /1.1.9.1 定义，但应不小于 0.7。

波 浪 系 数 C_{wv} **表 8.1.2**

规 范 船 长	C_{wv}
$150 \leqslant L \leqslant 300$	$10.75-[(300-L)/100]^{3/2}$
$300 < L < 350$	10.75
$350 \leqslant L \leqslant 500$	$10.75-[(L-350)/150]^{3/2}$

1.2.2.2 船中横剖面在甲板和龙骨处的船体梁垂向净剖面模数应不小于规范最小船体梁剖面模数 $Z_{v\text{-}min}$，其定义如下：

$$Z_{v\text{-}min} = 0.9kC_{wv}L^2B(C_b+0.7)\cdot 10^{-6} \qquad \text{m}^3$$

式中：k——高强度钢系数，如第 6 节 /1.1.4 定义；

C_{wv}——波浪系数，如表 8.1.2 定义；

L——规范船长，m，如第 4 节 /1.1.1.1 定义；

B——型宽，m，如第 4 节 /1.1.3.1 定义；

C_b——方形系数，如第 4 节 /1.1.11.1 定义，但应不小于 0.7。

1.2.2.3 按照第 4 节 /2.6.1.2 要求，取龙骨处的坐标 z 来计算龙骨处船体梁净剖面模数 $Z_{v\text{-}net50\text{-}kl}$。

1.2.2.4 按照第 4 节 /2.6.1.2 要求，取有效甲板高度处的坐标 z，见第 1.2.2.5 节，来计算甲板处船体梁净剖面模数 $Z_{v\text{-}net50\text{-}dk}$。

1.2.2.5 用于计算船体梁剖面模数的从水平中和轴量起的有效甲板高度 $z_{dk\text{-}eff}$，取作：

$$z_{dk\text{-}eff} = z_{dk\text{-}side} - z_{NA\text{-}net50} \qquad \text{m}$$

当在高于连接型甲板边线处和沿船中线向上偏离中和轴 $(z_{dk-side} - z_{NA-net50})/0.9$ 处两点的连线位置无任何有效纵向强度构件。

$$z_{dk-efff} = (z_y - z_{NA-net50})\left(0.9 + 0.2\frac{y_{cl}}{B}\right) \qquad \text{m}$$

当在高于连接型甲板边线处和沿船中线向上偏离中和轴 $(z_{dk\text{-}side} - z_{NA\text{-}net50})/0.9$ 处两点的连线位置有任何效纵向强度构件。

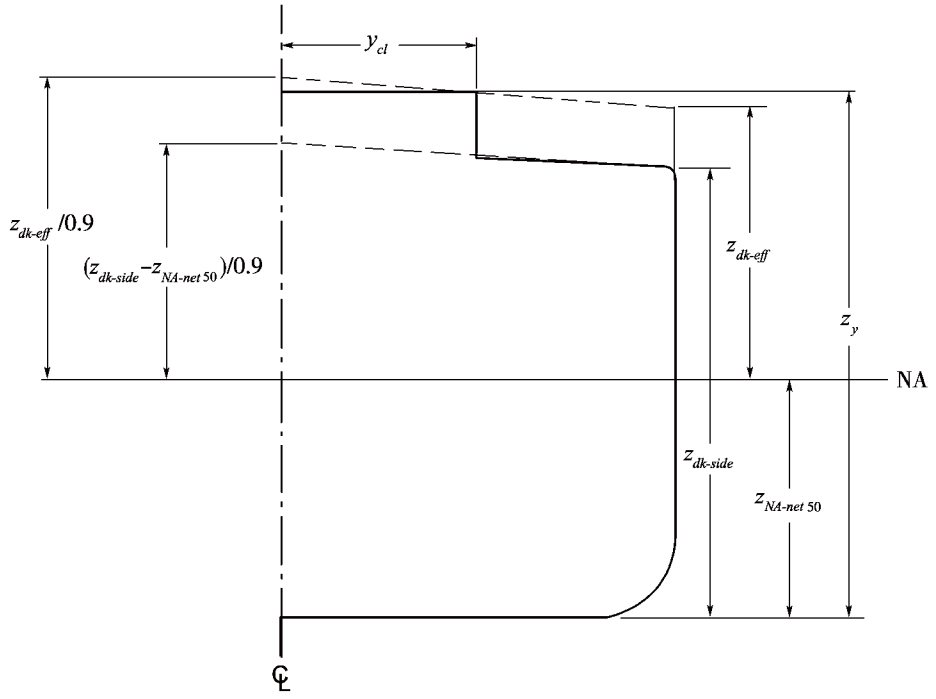
式中：z_y——从基线到偏离船中线 y 处的连续强力构件顶端的距离，m，以取得 $z_{dk\text{-}eff}$ 最大值为准，见图 8.1.1；

$Z_{NA-net50}$——从基线到水平中和轴的距离，m，见图 8. 1. 1；

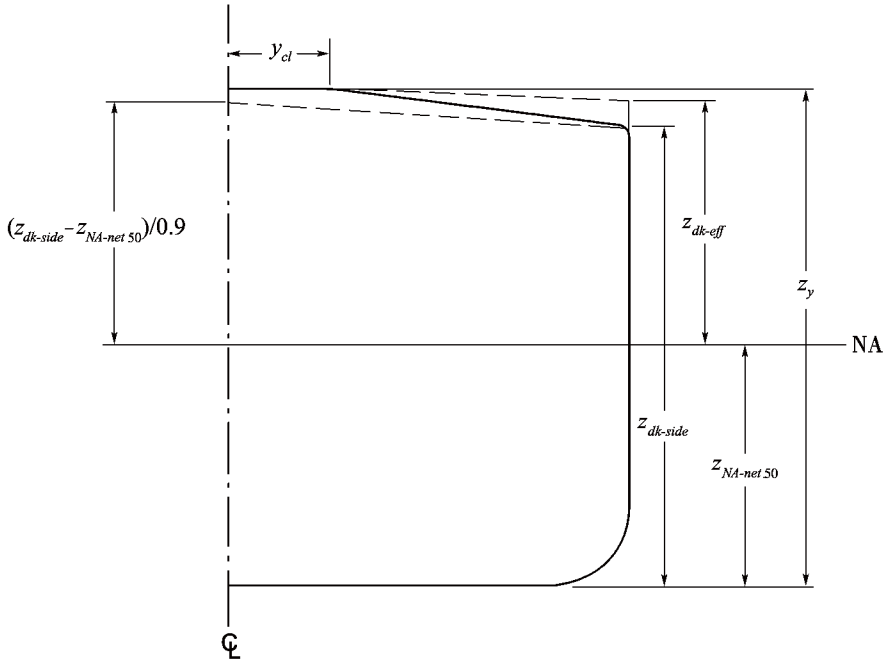
y_{cl}——从连续强力构件顶端到船中线的距离，m，以取得 z_{dk-eff} 最大值为准，见图 8. 1. 1；

B——型宽，m，如第 4 节 /1. 1. 3. 1 定义；

$z_{dk-side}$——从基线到型甲板边线的距离，m，见图 8. 1. 1。



a)



b)

图 8. 1. 1　甲板处剖面模数计算位置

a）膨胀甲板或连续的舱口围板；b）大梁拱船舶

1.2.3 针对总设计弯矩的船体梁要求

1.2.3.1 如 1.2.3.2 定义的船体梁垂向净剖面模数要求对中拱和中垂两种状态进行评估。

1.2.3.2 关于水平中轴的船体梁净剖面模数 $Z_{v-net50}$ 应不小于规范要求的基于许用静水弯矩和设计波浪弯矩的船体梁剖面模数 Z_{v-req}，其定义为：

$$Z_{v-req}=\frac{\left|M_{sw-perm}+M_{wv-v}\right|}{\sigma_{perm}}10^{-3} \qquad \mathrm{m}^3$$

式中：$M_{sw-perm}$——船体梁许用中拱或中垂静水弯矩，kN·m，在表 8.1.3 中给出；

M_{wv-v}——中拱或中垂的垂向波浪弯矩，kN·m，在表 8.1.3 中给出；

σ_{perm}——船体梁许用弯曲应力，$\mathrm{N/mm^2}$，在表 8.1.3 中给出。

用于船体梁弯曲评估的载荷和相应的验收衡准 **表 8.1.3**

设计载荷组合	静水弯矩 $M_{sw-perm}$	波浪弯矩 M_{wv-v}	船体梁许用弯曲应力 σ_{perm} (1)	
（S）	$M_{sw-perm-harb}$	0	143/k	0.4L船中区域
			105/k	0.9L到首垂线区域和尾垂线到0.1L区域
（S+D）	$M_{sw-perm-sea}$	M_{wv-v}	190/k	0.4L船中区域
			140/k	0.9L到首垂线区域和尾垂线到0.1L区域
式中：$M_{sw-perm-harb}$——港内/遮蔽水域工况下中拱和中垂状态时的船体梁许用静水弯矩，kN•m如第7节/2.1.1定义； $M_{sw-perm-sea}$——航行工况下中拱和中垂状态时的船体梁许用静水弯矩，kN•m，如第7节/2.1.1定义； M_{wv-v}——中拱和中垂状态下的垂向波浪弯矩，kN•m，如第7节/3.4.1定义，取作： M_{wv-hog}：用于中拱垂向波浪弯矩评估； M_{wv-sag}：用于中垂垂向波浪弯矩评估； k——高强度钢系数，如第6节/1.1.4定义。				
注：σ_{perm}中间值由所给数值线性插值获得。				

1.3 船体梁剪切强度

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 船体梁剪切强度要求适用于从尾垂线到首垂线的船体梁全长范围。

1.3.2 船体梁剪切强度评估

1.3.2.1 如 1.3.2.2 定义的船体梁净强度剪切能力 $Q_{v-net50}$，应不小于如下所表明的要求垂向剪力 Q_{v-req}：

$$Q_{v-req}=Q_{sw-perm}+Q_{wv} \qquad \mathrm{kN}$$

式中：$Q_{sw-perm}$——船体梁许用静水正剪力或负剪力，kN，在第 7 节 /2.1.3 中给出；

Q_{wv}——垂向波浪正剪力或负剪力，kN，如第 7 节 /3.4.3 定义。

1.3.2.2 航行和港内/遮蔽水域工况下的船体梁许用静水正剪力和负剪力，$Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ 和 $Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$ 应满足：

$Q_{sw\text{-}perm} \leqslant Q_{v\text{-}net50} - Q_{wv\text{-}pos}$ kN，用于最大的许用正剪力。

$Q_{sw\text{-}perm} \geqslant -Q_{v\text{-}net50} - Q_{wv\text{-}neg}$ kN，用于最小的许用负剪力。

式中：$Q_{sw\text{-}perm}$——船体梁许用静水剪力，kN，在表8.1.4中给出；

$Q_{v\text{-}net50}$——船体梁垂向净剪切强度，取作对船体梁剪切能力有贡献的所有板单元中的最小值：

$$Q_{v\text{-}net50} = \frac{\tau_{ij\text{-}perm} t_{ij\text{-}net50}}{1000 q_v} \quad \text{kN}$$

$\tau_{ij\text{-}perm}$——用于板 ij 的船体梁许用剪切应力 τ_{perm}，N/mm^2，在表8.1.4中给出；

$Q_{wv\text{-}pos}$——正的垂向波浪剪力，kN，在表8.1.4中给出；

$Q_{wv\text{-}neg}$——负的垂向波浪剪力，kN，在表8.1.4中给出；

$t_{ij\text{-}net50}$——板 ij 的等效净厚度 t_{net50}，mm。对于货油舱间的纵舱壁，t_{net50} 视情况取作 $t_{sfc\text{-}net50}$ 和 $t_{str\text{-}k}$，见1.3.3.1和1.3.4.1；

t_{net50}——板的净厚度，mm；

$t_{net50} = t_{grs} - 0.5 t_{corr}$；

t_{grs}——板的总厚度，mm，对于槽形舱壁板的总厚度取作 $t_{w\text{-}grs}$ 和 $t_{f\text{-}grs}$ 的最小者；

$t_{w\text{-}grs}$——槽形腹板的总厚度，mm；

$t_{f\text{-}grs}$——槽形翼板的总厚度，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，如第6节/3.2定义；

q_v——基于净尺度的所考虑板的每毫米的单位剪流。当单位剪流不能直接计算时，可取：

$$q_v = f_i \left(\frac{q_{1\text{-}net50}}{I_{v\text{-}net50}} \right) \cdot 10^{-9} \quad \text{mm}^{-1}$$

f_i——所考虑的主要纵向船体梁剪切承载构件的剪力分布因子，标准结构形式 f_i 如图8.1.2定义；

$q_{1\text{-}net50}$——所考虑剖面处在剪应力计算点与垂向顶部间的有效纵向构件的关于水平中和轴的静矩，cm^3，静矩基于净厚度 t_{net50} 进行计算；

$I_{v\text{-}net50}$——船体梁垂向净惯性矩，m^4，如第4节/2.6.1.1定义。

用于船体梁剪切强度评估的载荷和相应的验收衡准 **表8.1.4**

设计载荷组合	静水剪力$Q_{sw\text{-}perm}$	垂向波浪弯矩Q_{wv}	船体梁许用剪应力，$\tau_{ij\text{-}perm}$
港内/遮蔽水域（S）	$Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$	0	对于板ij，105/k
航行（S+D）	$Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$	Q_{wv}	对于板ij，120/k

式中：$Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$——港内工况下船体梁许用静水正剪力或负剪力，kN，如第7节/2.1.3定义；

$Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$——航行工况下船体梁许用静水正剪力或负剪力，kN，如第7节/2.1.3定义；

Q_{wv}——垂向波浪正剪力或负剪力，kN，如第7节/3.4.3定义，取作：

$Q_{wv\text{-}pos}$用于最大正的许用静水剪力的评估；

$Q_{wv\text{-}neg}$用于最小负的许用静水剪力的评估；

板ij——对于板j，下标i代表组成板j的子构件；

k——高强度钢系数，如第6节/1.1.4定义。

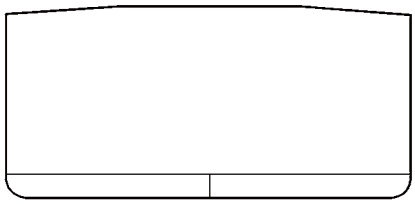
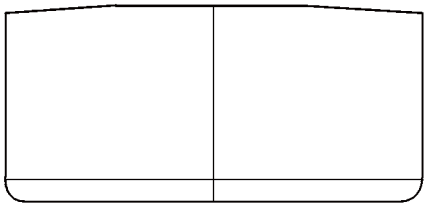
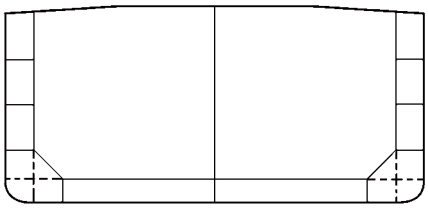
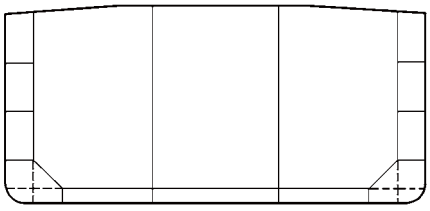
船体结构形式	f_i因子
非货油舱区域（无纵舱壁） 	舷侧外板 $f_1=0.5$
非货油舱区域（设中间纵舱壁） 	舷侧外板 $f_1 = 0.231 + 0.076\frac{A_{1-net50}}{A_{3-net50}}$ 纵舱壁 $f_3 = 0.538 - 0.152\frac{A_{1-net50}}{A_{3-net50}}$
设一道中纵舱壁 	舷侧外板 $f_1 = 0.055 + 0.097\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}} + 0.020\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$ 内壳 $f_2 = 0.193 - 0.059\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}} + 0.058\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$ 纵舱壁 $f_3 = 0.504 - 0.076\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}} - 0.156\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$
设两道纵舱壁 	舷侧外板 $f_1 = 0.028 + 0.087\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}} + 0.023\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$ 内壳 $f_2 = 0.119 - 0.038\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}} + 0.072\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$ 纵舱壁 $f_3 = 0.353 - 0.049\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}} - 0.095\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$
式中：i——下标不同取值代表构件如下： （1）舷侧外板；（2）内壳；（3）纵舱壁； $A_{i-net50}$——结构构件i扣除0.5t_{corr}后的净面积，见第4节/2.6.4。计算时仅考虑剖面一舷相应构件的面积，中纵舱壁面积$A_{3-net50}$为实际的净面积，不必考虑其中线的对称性而进行折减。	

图 8.1.2 剪力分布因子

1.3.3 货油舱间纵舱壁的剪力修正

1.3.3.1 用于计算船体梁剪切强度 $Q_{v-net50}$ 的货油舱间纵舱壁在内底板以上的板 *ij* 的有效净板厚 $t_{sfc-net50}$ 应对于局部剪力分布进行修正，按下式计算：

$$t_{sfc-net50}=t_{grs}-0.5t_{corr}-t_{\triangle} \quad \text{mm}$$

式中：t_{grs}——板总厚度，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，mm，如第 6 节 /3.2 定义；

$t_{\triangle}$——板 *ij* 的折减厚度，mm，如 1.3.3.2 定义。

1.3.3.2 假定剪力修正的厚度折减垂向分布呈三角形，如图 8.1.3 所表明，计及剪力修正的折减厚度 $t_{\triangle}$ 取作：

$$t_{\triangle}=\frac{\delta Q_3}{h_{blk}\tau_{ij-perm}}\left(1-\frac{x_{blk}}{0.5l_{tk}}\right)\left(2-\frac{2(z_p-h_{db})}{h_{blk}}\right) \quad \text{mm}$$

式中：δQ_3——纵舱壁的剪力修正，kN，对于一道和两道纵舱壁的船舶分别如 1.3.3.3 和 1.3.3.5 定义；

l_{tk}——货油舱长度，m；

h_{blk}——纵舱壁高度，m，定义为内底到舱壁顶部甲板的距离，如图 8.1.3 所示；

x_{blk}——计算剖面到最近的货油舱横舱壁的最小纵向距离，m，取正值且不得超过 0.5 l_{tk}；

z_p——从板 *ij* 下缘到基线的垂直距离，m。不得小于 h_{db}；

h_{db}——双层底高度，m，如图 8.1.3 所示；

$\tau_{ij-perm}$——板 *ij* 的船体梁许用剪切应力，τ_{perm}，N/mm^2：$\tau_{ij-perm}=120/k_{ij}$；

k_{ij}——板 *ij* 的高强度钢系数，*k*，如第 6 节 /1.1.4 定义。

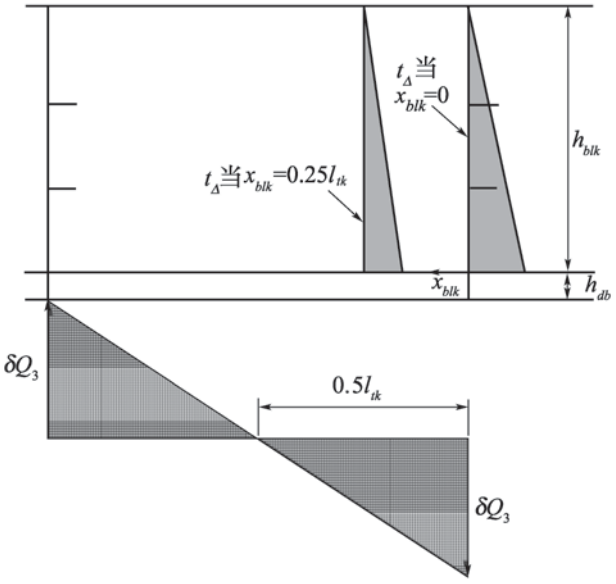


图 8.1.3 纵舱壁的剪力修正

1.3.3.3 货油舱间设一道中纵舱壁的船舶，横舱壁处的剪力修正 δQ_3 取作：

$$\delta Q_3=0.5K_3F_{db} \quad \text{kN}$$

式中：K_3——修正因子，如 1.3.3.4 定义；

F_{db}——货油舱双层底上的最大作用力，kN，如 1. 3. 3. 7 定义。

1. 3. 3. 4 货油舱间设一道中纵舱壁的船舶，横舱壁处的剪力修正因子 K_3，取作：

$$K_3 = \left[0.40\left(1-\frac{1}{1+n}\right)-f_3\right]$$

式中：n——横舱壁间的肋板数量；

f_3——剪力分布因子，见图 8. 1. 2。

1. 3. 3. 5 货油舱间设两道纵舱壁的船舶，剪力修正 δQ_3，按下式计算：

$$\delta Q_3 = 0.5K_3F_{db} \qquad \text{kN}$$

式中：K_3——修正因子，见 1. 3. 3. 6；

F_{db}——货油舱双层底上的最大作用力，kN，见 1. 3. 3. 7。

1. 3. 3. 6 货油舱间设两道纵舱壁的船舶，横舱壁处的剪力修正因子 K_3，取作：

$$K_3 = \left[0.5\left(1-\frac{1}{1+n}\right)\left(\frac{1}{r+1}\right)-f_3\right]$$

式中：n——横舱壁间的肋板数量；

r——纵舱壁与双壳之间的制荡舱壁和肋板承载部分载荷的比例，按下式计算：

$$r = \frac{1}{\dfrac{A_{3-net50}}{A_{1-net50}+A_{2-net50}}+\dfrac{2\times10^4 b_{80}\left(n_s+1\right)A_{3-net50}}{l_{tk}\left(n_s A_{T\text{-}net50}+R\right)}}$$

注：初步计算时，r 可取 0. 5。

l_{tk}——边货油舱长度，在边油舱横舱壁间，m；

b_{80}——在货油舱长度中点处纵舱壁到内壳纵舱壁距离的 80%，m；

$A_{T-net50}$——边货油舱内横向制荡舱壁的净剪切面积，包括其下面对应的双层底肋板在内，cm^2，取垂向剖面的最小面积，$A_{T-net50}$ 基于净厚度 $t_{grs}-0.5t_{coor}$ 进行计算；

$A_{1-net50}$——净面积，m^2，如图 8. 1. 2 所示；

$A_{2-net50}$——净面积，m^2，如图 8. 1. 2 所示；

$A_{3-net50}$——净面积，m^2，如图 8. 1. 2 所示；

f_3——剪力分布因子，如图 8. 1. 2 所示；

n_s——边货油舱内制荡舱壁的数目；

R——边货油舱内横向主要支撑构件的总有效性，按下式计算：

$$R = \left(\frac{n-n_s}{2}-1\right)\frac{A_{Q\text{-}net50}}{\gamma} \qquad \text{cm}^2$$

$$\gamma = 1+\frac{300\,b_{80}{}^2 A_{Q-net50}}{I_{psm-net50}} \qquad \text{cm}^2$$

$A_{Q-net50}$——边货油舱内横向主要支撑构件的净剪切面积，cm^2，取肋板、横撑和甲板强横梁三者剪切面积之和。$A_{Q-net50}$ 计算基于净厚度 $t_{grs}-0.5t_{corr}$。取构件的跨距中点位置计算净剪切面积；

$I_{psm-net50}$——边货油舱内横向主要支撑构件的净剖面惯性矩，cm^4，取肋板、横撑和甲板强横梁三者惯性矩之和。基于净厚度 $t_{grs}-0.5t_{corr}$ 计算。取包括宽度等于主要支撑构件间距的带板在内构件的跨距中点位置计算净剖面惯性矩；

t_{grs}——总厚度，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，mm，如第6节/3.2定义。

1.3.3.7 液舱内双层底上的最大作用力 F_{db}，取作：

$$F_{db} = g\left|W_{CT} + W_{CWBT} - \rho_{sw} b_2 l_{tk} T_{mean}\right| \quad \text{kN}$$

式中：W_{CT}——货油重量，t，如表8.1.5定义；

W_{CWBT}——压载水重量，t，如表8.1.5定义；

b_2——宽度，m，如表8.1.5定义；

l_{tk}——货油舱长度，在边货油舱的横舱壁间，m；

T_{mean}——所考虑装载工况下货油舱长度中点处的吃水，m；

g——重力加速度，9.81m/s^2；

ρ_{sw}——海水密度，1.025 t/m^3。

双层底的设计工况 表8.1.5

结构形式	W_{CT}	W_{CWBT}	b_2
设一道纵舱壁的船舶	货油舱的货物重量，t，最小密度取1.025t/m^3	左右舷内壳之间的压载水重量，t	货油舱中部位置的左右舷内壳之间的最大宽度，m，见图8.1.4
设两道纵舱壁的船舶	中间货油舱的货物重量，t，最小密度取1.025t/m^3	中间货油舱下面的压载水重量，t	中间货油舱中部位置的最大宽度，m，见图8.1.4

1.3.3.8 液舱双层底上的最大作用力 F_{db}，任何情况下 F_{db} 不得小于表8.1.6给出的规范最小工况要求。

双层底的规范最小工况 表8.1.6

结 构 形 式	正/负力，F_{db}	最 小 工 况
设一道纵舱壁的船舶	最大的正的净垂向力，F_{db}^{+}	0.9T_{sc}，货油舱和压载舱均空舱
	最大的负的净垂向力，F_{db}^{-}	0.6T_{sc}，货油舱装满和压载舱空舱
设两道纵舱壁的船舶	最大的正的净垂向力，F_{db}^{+}	0.9T_{sc}，货油舱和压载舱均空舱
	最大的负的净垂向力，F_{db}^{-}	0.6T_{sc}，中间货油舱装满和压载舱空舱

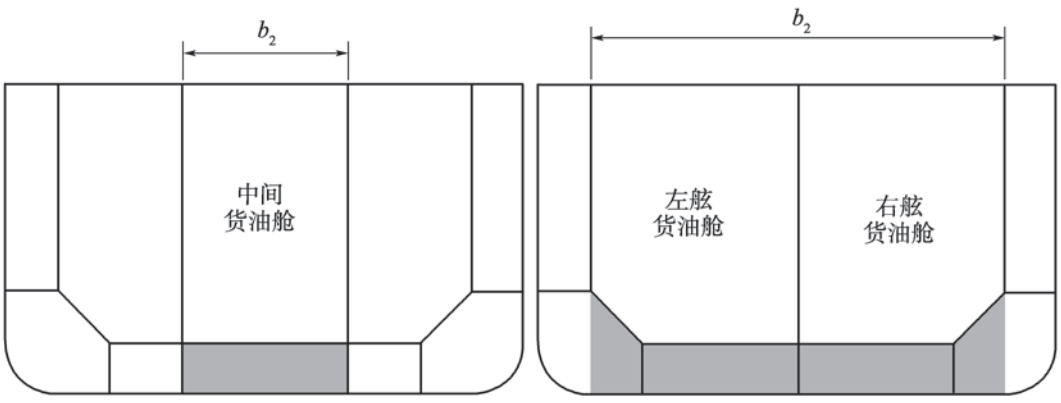


图8.1.4 不同形式油船所包括的货油舱宽度

1.3.4 由横舱壁水平桁载荷引起的剪力修正

1.3.4.1 在横舱壁水平桁连接处，如图 8.1.6 所指定的区域内，用于船体梁剪切强度计算的板的等效净厚度 t_{str-k} 应不得大于下列计算值，其中下标 k 是水平桁的标识号。

$$t_{str\text{-}k} = t_{sfc\text{-}net50}\left(1-\frac{\tau_{str}}{\tau_{ij\text{-}perm}}\right) \quad \text{mm}$$

式中：$t_{sfc-net50}$——有效净板厚，mm，如 1.3.3.1 定义，计算位置取相应的水平桁高度位置的横舱壁处；

$\tau_{ij-perm}$——板 ij 的船体梁许用剪切应力，τ_{perm}

$\tau_{ij-perm} = 120/k_{ij}$，$\text{N/mm}^2$；

k_{ij}——板 ij 的高强度钢系数，k，如第 6 节 /1.1.4 定义；

$$\tau_{str} = \frac{Q_{str\text{-}k}}{l_{str}t_{sfc-net50}} \quad \text{N/mm}^2 \text{；}$$

l_{str}——水平桁连接长度，m，见图 8.1.5；

Q_{str-k}——货油舱平排满载工况下由水平桁传递到纵舱壁上的剪力，

$$Q_{str-k} = 0.8F_{str\text{-}k}\left(1-\frac{z_{str}-h_{db}}{h_{blk}}\right) \quad \text{kN}$$

F_{str-k}——水平桁总支撑力，kN，如 1.3.4.2 定义；

h_{db}——双层底高度，m，见图 8.1.6；

h_{blk}——舱壁高度，m，定义为从内底到舱壁顶部甲板的距离，见图 8.1.6；

z_{str}——从基线到所考虑水平桁的垂直距离，m。

1.3.4.2 纵舱壁的水平桁总支撑力 F_{str-k}，取作：

$$F_{str\text{-}k} = \frac{P_{str}b_{str}(h_k + h_{k-1})}{2} \quad \text{kN}$$

式中：P_{str}——水平桁上的压力，kN/m^2，取作 $10h_{tt}$；

h_{tt}——从舱顶到水平桁以下 $h_k/2$ 到水平桁以上 $h_{k-1}/2$ 之间载荷区域中心的高度，m；

h_k——从所考虑水平桁到其以下一道水平桁之间的垂直距离。对于最底下的水平桁，该距离取水平桁到内底平均垂直距离的 80%，m；

h_{k-1}——从所考虑水平桁到其以上一道水平桁之间的垂直距离。对于最顶上的水平桁，该距离取水平桁至上甲板平均垂直距离的 80%，m；

b_{str}——作用于水平桁上的载荷宽度，m，见图 8.1.7 和图 8.1.8。

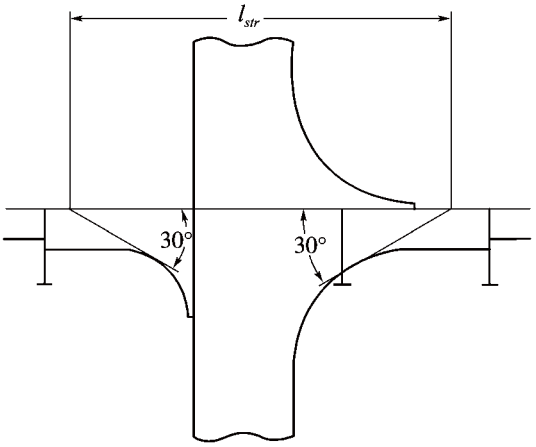


图 8.1.5 水平桁的有效连接长度

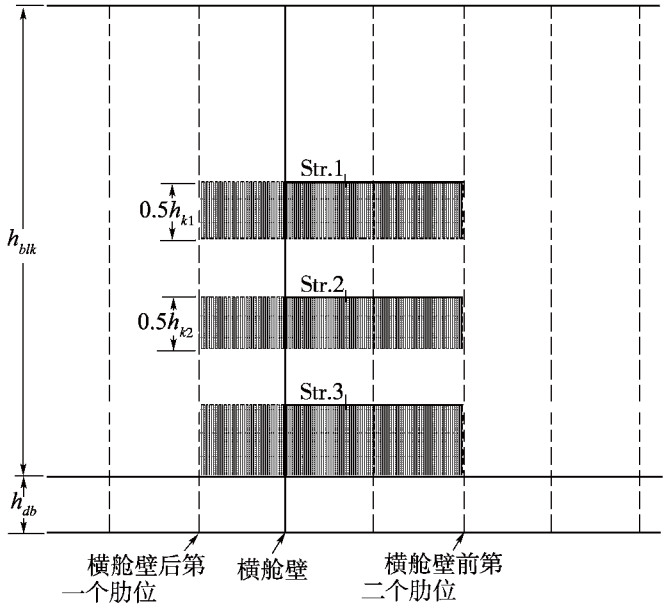


图 8.1.6 设三根水平桁油船的水平桁修正区域

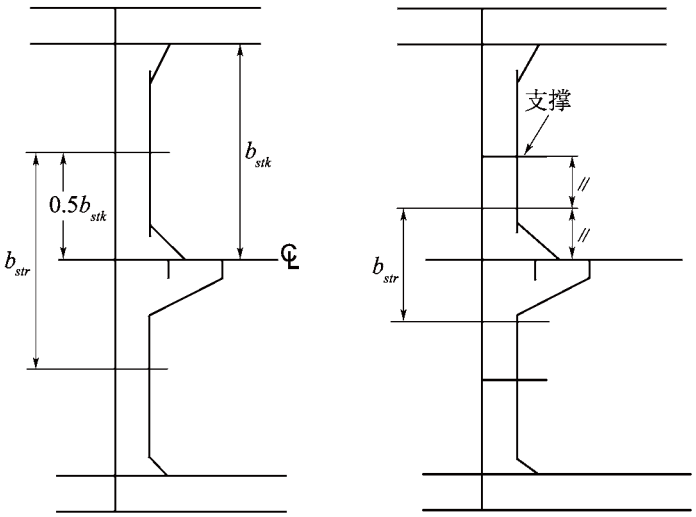


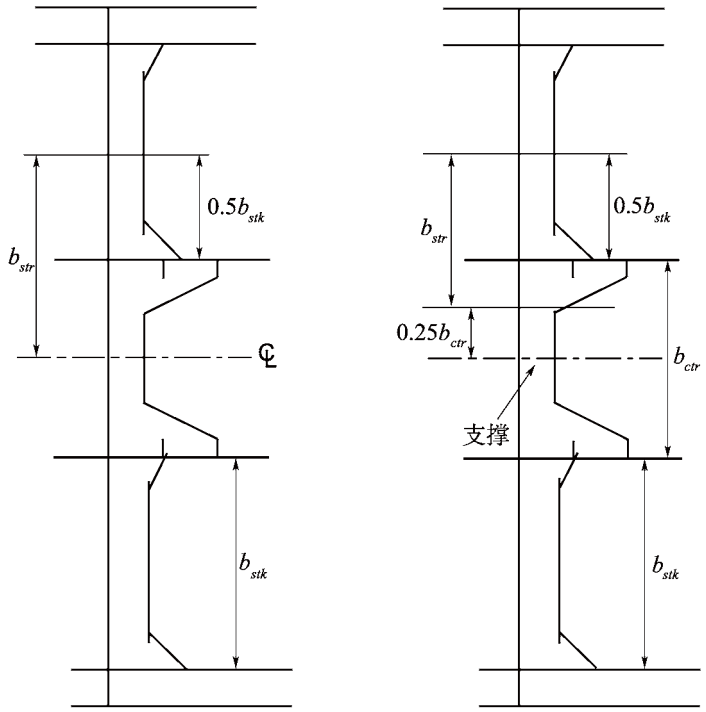
图 8.1.7 设一道中纵舱壁的船舶的水平桁载荷宽度

1.3.4.3 为达到上述要求要进行加强，基于 t_{str-k} 的加强面积应纵向伸展到整个水平桁连接长度且至少覆盖舱壁前后各一个肋位。垂直加强范围应从水平桁位置向上和向下各延伸 0.5h_k 的距离，h_k 为所考虑水平桁到其下面水平桁的垂向距离，如 1.3.4.2 定义。对于最下面的水平桁，板厚要求 t_{str-k} 应向下延伸至内底，见图 8.1.6。

1.4 船体梁屈曲强度

1.4.1 一般要求

1.4.1.1 本要求适用于承受船体梁压应力和剪应力的板格和纵骨。其应力应基于第 7 节 /2.1 给出的许用静水弯矩及剪力和第 7 节 /3.4 给出的波浪弯矩及剪力。



注：1. b_{stk}为边货油舱的宽度，m；

2. b_{ctk}为中间货油舱的宽度，m。

图 8.1.8 设两道内纵舱壁的船舶的水平桁载荷宽度

1.4.1.2 船体梁屈曲强度要求适用于沿船舶从首柱至尾柱之间的整个长度范围。

1.4.1.3 出于本小节中评估船体梁屈曲强度目的，应对以下作分开考虑：

（a）船体梁轴向压应力，满足 1.4.2.6 和 1.4.2.8 要求；

（b）船体梁剪切应力，满足 1.4.2.7 要求。

1.4.2 屈曲评估

1.4.2.1 板格和纵骨的屈曲评估应按基于船体梁净剖面特性计算船体梁应力的第 10 节 /3.1 确定。

1.4.2.2 对于屈曲评估的屈曲强度应采用局部净尺度，t_{net}，由下式求得：

$$t_{net} = t_{grs} - t_{corr} \qquad \text{mm}$$

式中：t_{grs}——板材总厚度，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，mm，按第 6 节 /3.2 定义。

1.4.2.3 对于屈曲评估，由于弯曲引起的船体梁压应力 $\sigma_{hg-net50}$，应采用船体梁净剖面特性计算，并取下列值中的较大者：

$$\sigma_{hg-net50} = \left| \frac{(z - z_{NA-net50})(M_{sw-perm-sea} + M_{wv-v})}{I_{v\text{-}net50}} \right| 10^3 \qquad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{hg-net50} = \frac{30}{k} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$M_{sw-perm-sea}$——航行工况下的许用静水弯矩，KN·m，按第 7 节 /2.1.1 定义，正负号按 1.4.2.4 给出；

M_{wv-v}——中拱和中垂的垂向波浪弯矩，KN·m，按第 7 节 /3.4.1 定义，正负号按 1.4.2.4 给出；

M_{wv-v} 取作：

$M_{wv\text{-}hog}$ 用于中拱静水弯矩下的评估；

$M_{wv\text{-}sag}$ 用于中垂静水弯矩下的评估；

z——从所考虑的构件至基线距离，m；

$z_{NA\text{-}net50}$——从基线至水平中和轴的距离，m，见图 8.1.1；

$I_{v\text{-}net50}$——船体梁垂向净剖面惯性矩，m^4，按第 4 节 /2.6.1.1 定义；

k——高强度钢系数，按第 6 节 /1.1.4.1 定义。

1.4.2.4 对中和轴以上的构件，应取 $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ 和 $M_{wv\text{-}v}$ 的中垂弯矩值。对中和轴以下的构件，应取中拱弯矩值。

1.4.2.5 应基于船体梁净剖面特性对用于屈曲评估的船体梁设计剪切应力 $\tau_{hg\text{-}net50}$ 进行计算，取作：

$$\tau_{hg\text{-}net50} = \left| (Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea} + Q_{wv})(\frac{1000 q_v}{t_{ij\text{-}net50}}) \right| \quad \text{N/mm}^2$$

式中：$Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$——航行工况下的正、负许用静水剪力，kN，按第 7 节 /2.1.3 定义；

Q_{wv}——正、负垂向波浪剪力，kN，按第 7 节 /3.4.3 定义，Q_{wv} 为：

$Q_{wv\text{-}pos}$ 用于许用正静水剪力下的评估；

$Q_{wv\text{-}neg}$ 用于对许用负静水剪力下的评估；

$t_{ij\text{-}net50}$——板 ij 的净厚度，mm：

$t_{ij\text{-}net50} = t_{ij\text{-}grs} - 0.5 t_{corr}$

$t_{ij\text{-}grs}$——板 ij 的总厚度，mm，对于槽形舱壁板的总厚度取作 $t_{w\text{-}grs}$ 和 $t_{f\text{-}grs}$ 的最小者；

$t_{w\text{-}grs}$——槽形腹板的总厚度，mm；

$t_{f\text{-}grs}$——槽形翼板的总厚度，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，如第 6 节 /3.2 定义；

q_v——所考虑板的单位剪流，按 1.3.2.2 定义。

注：1. 对于设计剪切应力计算，应基于正剪力（静水+波浪）和负剪力（静水+波浪）的最大值。

2. 对船体梁剪切能力有贡献作用的所有板单元ij应予评估。另见表8.1.4和图8.1.2。

3. 计算总规范要求厚度应考虑剪力修正。

4. 对于货舱间的纵舱壁，$t_{ij\text{-}net50}$应根据情况取为$t_{sfc\text{-}net50}$和$t_{str\text{-}k}$。

1.4.2.6 板格的受压屈曲强度，应满足下列衡准：

$$\eta \leqslant \eta_{allow}$$

式中：η——屈曲利用因子：

$$\eta = \frac{\sigma_{hg\text{-}net50}}{\sigma_{cr}}$$

$\sigma_{hg\text{-}net50}$——基于船体梁净剖面特性的船体梁压应力，按 1.4.2.3 定义；

σ_{cr}——临界受压屈曲应力，N/mm^2，为适用的 σ_{xcr} 或 σ_{ycr}，按第 10 节 /3.2.1.3 规定。临界受压屈曲应力应仅用于对船体梁压应力效果的计算。其他膜应力和横向压力的效果应予忽略。第 6 节 /3.3.2.2 所述净厚度为 t_{grs}–t_{corr}，应将其用于计算 σ_{cr}；

η_{allow}——许用屈曲利用因子：

η_{allow}=1.0，对 0.5D 处或 0.5D 以上的板格；

η_{allow}=0.90，对 0.5D 以下的板格；

t_{grs}——板材总厚，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，mm，定义见第 6 节 /3.2；

1.4.2.7 板格的剪切屈曲强度，应满足下列衡准：

$$\eta \leqslant \eta_{allow}$$

式中：η——屈曲利用因子：

$$\eta = \frac{\tau_{hg-net50}}{\tau_{cr}}$$

$\tau_{hg-net50}$——船体梁设计剪切应力，N/mm^2，按 1. 4. 2. 5 定义；

τ_{cr}——临界剪切屈曲应力，N/mm^2，按第 10 节 /3. 2. 1. 3 规定。临界剪切屈曲应力应仅用于对船体梁剪切应力效果的计算。其他膜应力和横向压力的效果应予忽略。第 6 节 /3. 3. 2. 2 所述净厚度为 t_{grs}–t_{corr}，应将其用于计算 τ_{cr}；

η_{allow}——许用屈曲利用因子：

η_{allow}=0. 95

t_{grs}——板材总厚，mm；

t_{corr}——腐蚀增量，mm，定义见第 6 节 /3. 2。

1. 4. 2. 8 纵向加强筋的受压屈曲强度，应满足下列衡准：

$$\eta \leqslant \eta_{allow}$$

式中：η——第 10 节 /3. 3. 2. 1 和第 10 节 /3. 3. 3. 1 中给出的屈曲利用因子的大者。屈曲利用因子应仅用于对船体梁压应力效果的计算。其他膜应力和横向压力的效果应忽略；

η_{allow}——许用屈曲利用因子：

η_{allow}=1. 0，对 0. 5D 处或 0. 5D 以上的加强筋；

η_{allow}=0. 90，对 0. 5D 以下的加强筋。

1. 5 船体梁疲劳强度

1. 5. 1 一般要求

1. 5. 1. 1 以下给出了承受船体梁动应力的纵向甲板结构的简化疲劳控制方法。

1. 5. 1. 2 1. 5. 1. 3 的要求不是强制性的，但是为了给出按照第 9 节 /3 和附录 C 规定的强制性疲劳要求下的船体梁剖面模数的指示，推荐在船舶设计的初期阶段进行使用。

1. 5. 1. 3 如果如第 4 节 /2. 6. 1. 1 定义的型甲板边线处的船体梁垂向净剖面模数值 $Z_{v-net50}$，不小于下列公式定义的所要求船体梁剖面模数值 Z_{v-fat}，则通常认为满足第 9 节 /3 和附录 C 所要求的甲板结构疲劳寿命：

$$Z_{v\text{-}fat} = \frac{M_{wv\text{-}log} - M_{wv\text{-}sag}}{1000R_{al}} \quad \text{m}^3$$

式中：M_{wv-log}——用于疲劳分析的垂向中拱波浪弯矩，kN·m，如第 7 节 /3. 4. 1 定义；

M_{wv-sag}——用于疲劳分析的垂向中垂波浪弯矩，kN·m，如第 7 节 /3. 4. 1 定义；

R_{al}——许用应力范围，N/mm^2：

R_{al}=0. 17L + 86 对于 F- 节点的等级；

R_{al}=0. 15L + 76 对于 F2- 节点的等级；

L——规范船长，m，如第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义。

1. 6 纵向船体梁构件的过渡和结构连续性

1. 6. 1 基于最小船体梁剖面特性要求的过渡

1. 6. 1. 1 基于 1. 2. 2 给出的剖面模数和惯性矩要求的船体梁所有连续纵向构件尺度应在船中 0. 4L 区域内保持不变。

1. 6. 1. 2 如果符合 1. 2. 3 和 1. 4 给出的沿全船范围船体梁弯曲和屈曲要求，如 1. 2. 2 给出的规范最小剖面惯性矩和剖面模数所要求的船中 0. 4L 区域以外的构件尺度可以逐渐递减到在端部的局部要求。对于高强度钢的过渡见 1. 6. 2 和 1. 6. 3。

1. 6. 2 高强度钢的纵向范围

1. 6. 2. 1 若使用高强度钢，则高强度钢的使用范围在船长范围内应保持连续直至纵向应力水平在

低碳钢许用范围之内，见图 8.1.9。

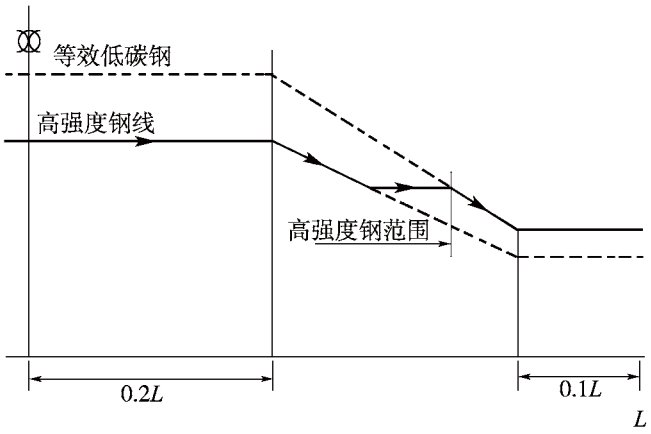


图 8.1.9　高强度钢的纵向范围

1.6.3　高强度钢的垂向范围

1.6.3.1　用于甲板或船底的高强度钢的垂向范围，z_{hts}，从型甲板边线或龙骨量起应不得小于下式计算值，见图 8.1.10。

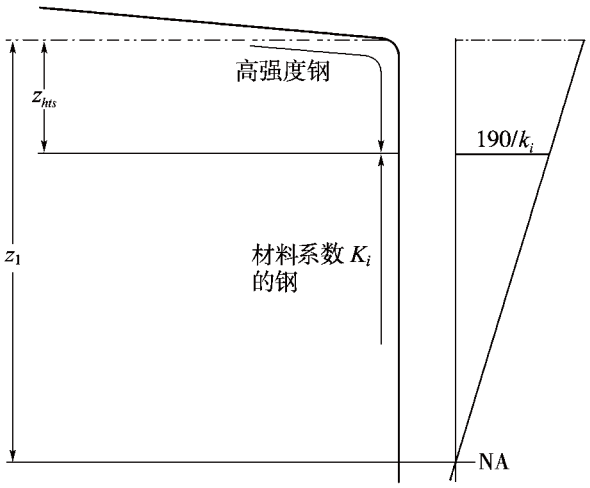


图 8.1.10　高强度钢的垂向范围

$$z_{hts} = z_1\left(1-\frac{190}{\sigma_1 k_i}\right) \quad \text{m}$$

式中：z_1——从水平中和轴分别到型甲板边线或龙骨的距离，m；

σ_1——对于船体梁甲板和龙骨分别取作 σ_{dk} 和 σ_{kl}，N/mm^2；

σ_{dk}——型甲板边线处的船体梁弯曲应力取作：

$$\sigma_{dk} = \frac{\left|M_{sw-perm-sea} + M_{wv-v}\right|}{I_{v-net50}}(z_{dk-side} - z_{NA-net50}) \cdot 10^{-3}, \ N/mm^2$$

龙骨处的船体梁弯曲应力由下式给出：

$$\sigma_{kl} = \frac{\left|M_{sw-perm-sea} + M_{wv-v}\right|}{I_{v-net50}}(z_{NA-net50} - z_{kl}) \cdot 10^{-3}, \ N/mm^2$$

$M_{sw-perm-sea}$——航行工况下船体梁许用静水弯矩，kN·m，如第 7 节 /2.1.1 定义；

M_{wv-v}——中拱和中垂垂向波浪弯矩，kN·m，如第 7 节 /3.4.1 定义，为：

$M_{wv\text{-}hag}$ 用于中拱垂向波浪弯矩下的评估；

$M_{wv\text{-}sag}$ 用于中垂垂向波浪弯矩下的评估；

$I_{v\text{-}net50}$——船体梁垂向净惯性矩，m^4，如第 4 节 /2.6.1.1 定义；

$z_{dk\text{-}side}$——从基线到型甲板边线的距离，m；

z_{kl}——从基线到龙骨的垂直距离，m；

$z_{NA\text{-}net50}$——从基线到水平中和轴的距离，m；

k_i——如图 8.1.10 定义的对于面积 i 的高强度钢系数，k 如第 6 节 /1.1.4 定义。

1.6.4 基于船体梁剪切要求的板厚过渡

1.6.4.1 若在任何纵向位置均符合 1.3.2 给出的要求，则剪切加强的纵向过渡是允许的。在中间位置处的剪切强度控制是根据舱壁处和液舱中间处的许用剪切限制的线性插值获得。

1.6.5 纵舱壁的结构连续

1.6.5.1 应用适当的斜向布置来确保强度的连续性并避免结构突变。特别的，纵舱壁应在有效横舱壁处中断且大的过渡肘板应安装在与纵舱壁对齐位置。

1.6.6 纵向加强筋的结构连续

1.6.6.1 在纵向加强筋中断和在由横骨架式替代处，应采取合适的布置以避免结构突变。

1.6.6.2 在甲板纵骨在开口处切断处，应采取补偿措施以确保该区域的结构连续性，补偿范围应延伸超过开口的前后端且不小于纵骨的切断范围。应考虑加强筋中断处的应力集中和相关的板和板架的屈曲强度。

2 货油舱区域

2.1 一般要求

2.1.1 适用范围

2.1.1.1 本小节要求适用于船舶货油舱区域的船体结构，包括船壳、甲板、内底和舱壁板、加强筋以及主要支撑构件。

2.1.2 尺度基础

2.1.2.1 本小节中所叙的净尺度与总尺度的关系如下：

（a）对于 2.1.5 与 2.1.6 中规定的最小厚度要求的应用，从适用要求通过加上第 6 节 /3 规定的全部腐蚀余量获得总厚度。

（b）对于板与局部支撑构件，从适用要求通过加上第 6 节 /3 规定的全部腐蚀余量获得总厚度与总剖面特性。

（c）对于主要支撑构件，从适用要求通过加上第 6 节 /3 规定的一半腐蚀余量获得总剪切面积、总剖面模数以及其他总横剖面特性。

（d）对于第 10 节 /3 的屈曲要求的应用，从适用要求通过加上第 6 节 /3 规定的全部腐蚀余量获得总厚度与总剖面特性。

2.1.3 尺度评估

2.1.3.1 下述尺度要求基于如下假设，即所有结构的连接节点和焊接细节的设计和制造能够承受所考虑位置的预期工作应力。在高应力区域设计中，应考虑结构的连接节点和细节的装载模式、应力集中和潜在失效模式。结构设计细节应符合第 4 节 /3 所给出的要求。

2.1.3.2 如适用时，其尺度应进行评估确保在所有纵向位置满足强度衡准。

2.1.3.3 局部尺度的增加应涵盖局部变化，例如间距增大、加强筋跨距增大、上浪压力载荷。局部尺度增加也应要求涵盖首部加强要求，见第 8 节 /3。

2.1.4 一般尺度要求

2.1.4.1 船体结构应符合的适用要求

（a）船体梁总纵强度，见第8节/1；

（b）承受晃荡与冲击的强度，见第8节/6；

（c）船体梁极限强度，见第9节；

（d）强度评估（有限元法），见第9节；

（e）疲劳强度，见第9节/3；

（f）屈曲与极限强度，见第10节。

2.1.4.2 局部支撑构件与主要支撑构件的净剖面模数、剪切面积与其他净剖面特性应按第4节/2确定。

2.1.4.3 局部支撑构件与主要支撑构件的剖面模数、剪切面积与其他剖面特性应用于不计端部肘板的区域。

2.1.4.4 局部支撑构件与主要支撑构件的跨距在第4节/2.1中定义。

2.1.4.5 主要支撑构件的惯性矩应按跨距中点确定并计入有效带板，如第4节/2.3.2.3规定。

2.1.4.6 结构所有部位应根据要求设置排水孔和空气孔，保证管道的液流畅通，通风情况良好。见第4节/3。

2.1.4.7 所有壳的骨架、舱边界加强筋通常都应保持连续，或者在端部设置肘板，除非按第4/3.2.4节与第4节/3.2.5批准。

2.1.4.8 用于永久通道的加大加强筋（带有或不带腹板加强筋）须满足以下要求：

（a）主要支撑构件的屈曲强度包括尺度比例（细长比）要求如下：

- 对加强筋腹板，见10/2.3.1.1（a），10/3.2
- 对加强筋翼板，见10/2.3.1.1（b），10/2.3.3.1
- 对腹板加强筋，见10/2.3.2.1，10/2.3.2.2，10/3.3

注：表10.2.1注释1不适用。

（b）可以采用局部支撑构件的衡准保证没有腹板加强筋的纵向永久通道平台的屈曲强度，见10/2.2和10/3.3节，以及表10.2.1的注释1。腹板的剪切屈曲强度按照10/3.2节的要求来验证。

（c）局部支撑构件的所有其他要求如下：

- 腐蚀增量：局部支撑构件的要求
- 最小厚度：局部支撑构件的要求
- 疲劳：局部支撑构件的要求

注：对于用作永久通道平台的主要支撑构件（或其一部分），适用主要支撑构件的要求。

2.1.5 板与局部支撑构件的最小厚度

2.1.5.1 货油舱区域板与加强筋厚度要求应符合表8.2.1给出适用的最小厚度要求。

货油舱区域板与局部支撑构件的最小净厚度 **表8.2.1**

构件位置			净厚度（mm）
板	外壳	平板龙骨	$6.5+0.03L_2$
		船底板/舭列板/舷侧外板	$4.5+0.03L_2$
	上甲板		$4.5+0.02L_2$
	其他结构	船体内部液舱边界	$4.5+0.02L_2$
		非密性舱壁、干舱间舱壁、其他普通板	$4.5+0.01L_2$
局部支撑构件	密性边界上的局部支撑构件		$3.5+0.015L_2$
	其他结构上的局部支撑构件		$2.5+0.015L_2$
防倾肘板			$5.0+0.015L_2$
表中：L_2——规范船长L，如第4节/1.1.1.1定义，但不必大于300m。			

2.1.6 主要支撑构件的最小厚度

2.1.6.1 货油舱区域主要支撑构件腹板与面板的厚度应符合表 8.2.2 给出适用的最小厚度要求。

货油舱区域主要支撑构件最小净厚度 **表 8.2.2**

构 件 位 置	净厚度（mm）
双层底中纵桁	$5.5+0.025L_2$
其他双层底桁材	$5.5+0.02L_2$
双层底肋板、舷侧横框架腹板、双壳内水平桁	$5.0+0.015L_2$
纵舱壁垂直强框架腹板与面板、横舱壁水平桁腹板与面板、甲板强横梁腹板与面板（在上甲板以上与以下）、横向撑材腹板与面板	$5.5+0.015L_2$
表中：L_2——规范船长 L，如第4/1.1.1.1节定义，但不必取大于300m	

2.2 船体外板

2.2.1 平板龙骨

2.2.1.1 平板龙骨应在船舶整个船长底部平直部分延伸，宽度 b_{kl} 应不小于：

$$b_{kl}=800+5L_2$$

式中：L_2——规范船长 L，如第 4 节 /1.1.1.1 定义，但不必大于 300m。

2.2.1.2 平板龙骨厚度应符合 2.2.2 的要求。

2.2.2 船底外板

2.2.2.1 船底外板厚度应符合表 8.2.4 中的要求。

2.2.3 舭列板

2.2.3.1 舭列板厚度应不小于按 2.2.2.1 要求的相邻船底板厚度或按 2.2.4.1 要求的相邻舷侧外板厚度，取大值。

2.2.3.2 未设置纵向加强时，舭列板净厚度 t_{net} 应不小于：

$$t_{net}=\frac{\sqrt[3]{r^2 S_t P_{ex}}}{100} \quad \text{mm}$$

式中：P_{ex}——设计载荷组合 1 在舭部圆弧下缘计算所得的设计海水压力，kN/m^2；

r——有效舭部半径，mm：

$$r=r_0+0.5(a+b)$$

r_0——曲率半径，mm，见图 8.2.1；

S_t——向扶强材、腹板或舭部肘板间距离，m；

a——舭部圆弧下缘与最外侧船底纵骨间的距离，mm，见图 8.2.1 与 2.3.1.2，当最外侧船底纵骨在舭部圆弧内时，此距离取为零；

b——舭部圆弧上缘与舷侧最下端纵骨间的距离，mm，见图 8.2.1 与 2.3.1.2，当舷侧最下端纵骨在舭部圆弧内时，此距离取为零。

当板缝线位于舷侧最下端纵骨下方的平板上时，若板缝线距舷侧最下端纵骨的距离不大于 $s_b/4$，则对于舭列板的任何要求增加的厚度不必延伸至舭列板之上相邻的板。同样的对于相邻的船底板平面部分，若板缝线距最外侧船底纵骨的距离不大于 $s_a/4$，则舭列板的任何增加的厚度不必适用。规则的纵向

加强的舭列板作为加筋板评估。本要求中舭龙骨不应作为纵向加强考虑。

2.2.3.3 当舭部不设纵骨时，船中 0.4L 之外的舭列板厚度应考虑到与船体结构形式与内部扶强材布置有关的支持。一般来说，船中 0.4L 之外的舭列板尺度与布置应符合相同区域的舷侧外板或船底板的一般要求。在船舶前部区域应考虑增加的载荷。

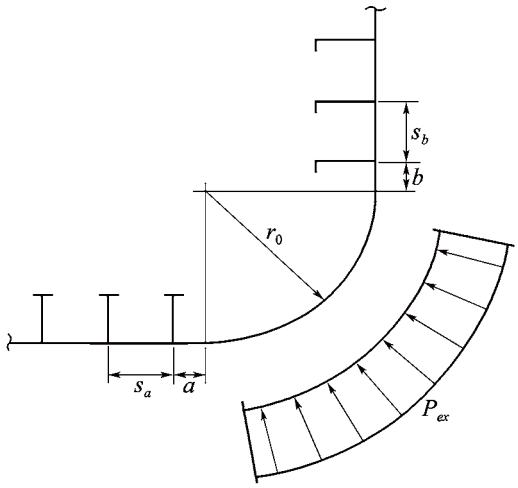


图 8.2.1 未加强的舭列板

2.2.4 舷侧外板

2.2.4.1 舷侧外板厚度应符合表 8.2.4 的要求。

2.2.4.2 2.2.4.3 所规定范围的舷侧外板净厚度 t_{net} 应不小于：

$$t_{net} = 26\left(\frac{s}{1000} + 0.7\right)\left(\frac{BT_{sc}}{\sigma_{yd}^2}\right)^{0.25} \quad \text{mm}$$

式中：s——加强筋间距，mm，如第 4 节 /2.2 定义；

B——型宽，m，如第 4 节 /1.1.3.1 定义；

T_{sc}——结构吃水，m，如第 4 节 /1.1.5.5 定义；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2.2.4.3 2.2.4.2 中的厚度要求适用于下列范围内的舷侧外板，见图 8.2.2：

（a）纵向范围

船中之后水线处船宽大于 0.9B 的剖面与船中之前水线处船宽大于 0.6B 的剖面之间。

（b）垂向范围

船中最低设计压载水线 T_{bal} 以下 300mm 处与吃水 T_{sc} 以上 0.25T_{sc} 或 2.2m（取大者）处之间。

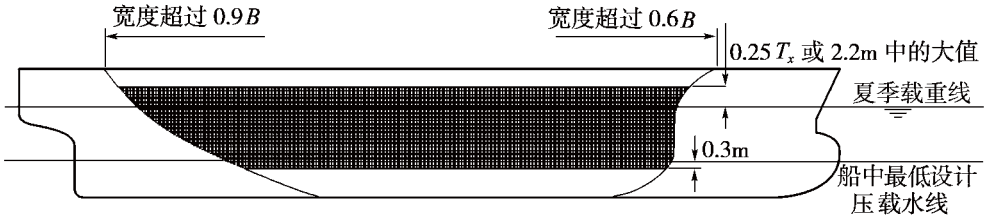


图 8.2.2 舷侧外板延伸范围

2.2.5 舷顶列板

2.2.5.1 舷顶列板应符合 2.2.4 的要求。

2.2.5.2 圆弧形舷顶列板的甲板舾装应避免焊接在船中 0.6L 区域之内。

2.2.5.3 当舷顶列板超出甲板边板时，舷顶列板的顶端应远离切口或独立的焊接舾装，并当切割面不光滑时应对此进行打磨至光滑圆弧形边。在纵向可以允许有平滑过渡的排水孔。

2.2.6 甲板板

2.2.6.1 甲板板厚度应符合表 8.2.4 的要求。

2.3 船体外壳骨架

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 货油舱区域船底、内底和甲板应为纵骨架式结构。舷侧、内壳舱壁与纵舱壁通常应为纵骨架式。当舷侧外板为纵骨架式时，内壳舱壁应采用类似结构。其他合适的考虑抗屈曲的骨架形式应特殊考虑。

2.3.1.2 当舭部不设纵骨时，应在船底和舷侧靠近舭部圆弧起始的位置设置纵骨。舭部圆弧下缘与船底最外侧纵骨间的距离 a，一般不应大于船底最外侧两根纵骨间距 s_a 的 1/3；同样，舭部圆弧上缘与舷侧最下端纵骨间的距离 b，一般不应大于舷侧最下端两根纵骨间距 s_b 的 1/3。见图 8.2.1。

2.3.1.3 纵骨应符合第 4 节 /3.2 给出的连续性要求。

2.3.2 尺度衡准

2.3.2.1 船体外壳骨架的剖面模数和厚度应符合表 8.2.5 和 8.2.6 给出的要求。

2.3.2.2 当舷侧纵骨或垂直扶强材与纵向轴或垂向轴斜交时，根据第 4 节 /2.1.3 选取跨距。

2.3.2.3 对于曲线形扶强材，根据第 4 节 /2.1.3 选取跨距。

2.4 内底

2.4.1 内底板

2.4.1.1 内底板厚度应符合表 8.2.4 给出的要求。

2.4.1.2 在焊接的底边舱折角处，内底板应嵌接以确保载荷向周围结构的传递，减小应力集中。

2.4.1.3 设置槽形舱壁凳时，在舱壁凳与内底板连接处，应特别注意贯穿厚度特性和保证强度连续性的结构布置。对于有规定贯穿厚度特性的板的要求，见第 6 节 /1.1.5。

2.4.2 内底纵骨

2.4.2.1 内底纵骨的剖面模数和腹板厚度应符合表 8.2.5 和 8.2.6 给出的要求。

2.5 舱壁

2.5.1 一般要求

2.5.1.1 内壳和纵舱壁一般应为平面纵骨架式。槽形舱壁应符合 2.5.6 给出的要求。

2.5.1.2 货油或压载管系穿过舱壁时，相关结构布置应足能承受因管道中液体压力造成的舱壁载荷。

2.5.2 纵向的液舱边界舱壁板

2.5.2.1 纵向的液舱边界舱壁板厚度应符合表 8.2.4 给出的要求。

2.5.2.2 内壳和纵舱壁应尽可能地向船首和船尾延伸，并应有效地嵌接到连接结构。

2.5.3 底边舱结构

2.5.3.1 底边舱折角处板应有旁桁材和平台，或高腹板纵骨支撑。

2.5.4 横向液舱边界舱壁板

2.5.4.1 横向液舱边界舱壁板厚度应符合表 8.2.4 给出的要求。

2.5.5 液舱边界舱壁扶强材

2.5.5.1 纵向或横向液舱边界舱壁上的扶强材的剖面模数和腹板厚度应符合表 8.2.5 和 8.2.6 给出的要求。

2.5.6 槽形舱壁

2.5.6.1 2.5.6 和 2.5.7 中定义的槽形舱壁尺度要求为净要求。总尺度要求应由适用要求的计算值加上第 6 节 /3 规定的全部腐蚀增量获得。

2.5.6.2 通常，槽形舱壁应设计有槽形角度 ϕ，在 55° 至 90° 之间，见图 8.2.3。

2.5.6.3 槽形舱壁、底凳和顶凳，如设置，以及毗连周围结构的附件的整体强度应通过船中区域舱段有限元（FEM）模型进行验证，见第 9 节 /2。船中区域以外槽形舱壁的整体强度计算应基于舱段有限元模型和使用所考虑舱壁的合适压力的结果。如果船中区域前后的货油舱舱壁与中部货油舱区域舱壁在舱壁几何、结构细节与支撑布置方面相差较大，则应对船中区域前后的货油舱舱壁进行另外的有限元分析。

2.5.6.4 槽形舱壁的腹板和面板净厚度 t_{net} 应取表 8.2.7 给出的所有适用设计载荷组合计算所得结果的最大值，且有：

$$t_{net} = 0.0158\, b_p \sqrt{\frac{|P|}{C_a\, \sigma_{yd}}} \qquad \text{mm}$$

式中：P——第 3 节 /5.1 定义的载荷点计算出来的在所考虑设计载荷组合下的设计压力，kN/m^2；

b_p——板的宽度：

$b_p = b_f$ 对于面板，mm。见图 8.2.3

$b_p = b_w$ 对于腹板，mm。见图 8.2.3

C_a——许用弯曲应力系数：

C_a = 0.75 对于验收衡准组 AC1

C_a = 0.90 对于验收衡准组 AC2

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2.5.6.5 当槽形舱壁的腹板与面板厚度不同时，两者净厚度大者 t_{m-net}，应取为表 8.2.7 给出所有适用设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$t_{m-net} = \sqrt{\frac{0.0005\, b_p^2 |P|}{C_a\, \sigma_{yd}} - t_{n-net}^2} \qquad \text{mm}$$

式中：t_{n-net}——腹板或面板的厚度较小的净厚度，mm；

b_p——腹板或面板的厚度较大者的宽度，mm；

P——第 3 节 /5.1 所定义载荷点计算出来的在所考虑设计载荷组合下的设计压力，kN/m^2；

C_a——许用弯曲应力系数：

C_a= 0.75 对于验收衡准组 AC1

C_a= 0.90 对于验收衡准组 AC2

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2.5.7 垂直槽形舱壁

2.5.7.1 除 2.5.6 的要求，垂直槽形舱壁还应满足 2.5.7 的要求。

2.5.7.2 2.5.7.5 和 2.5.7.6 要求的净板厚应在从底端起 2/3 槽形长度 l_{cg} 内保持不变。槽形长度 l_{cg} 在 2.5.7.3 中定义。其上区域的净板厚可减小 20%。

2.5.7.3 槽形下端 15% 区域腹板净厚度 t_{w-net} 应取为表 8.2.7 给出的所有适用设计载荷组合下计算所得结果的最大值。此要求不适用于无底凳的槽形舱壁，见 2.5.7.9。

$$t_{w\text{-}net}=\frac{1000\left|Q_{cg}\right|}{d_{cg}C_{t\text{-}cg}\tau_{yd}} \qquad \text{mm}$$

式中：Q_{cg}——施加在槽形底端腹板上的设计剪力：

$$Q_{cg}=\frac{s_{cg}l_{cg}\left|3P_l+P_u\right|}{8000} \qquad \text{kN}$$

P_l——在槽形底端计算出的在所考虑设计载荷组合下的设计压力，kN/m^2；

P_u——在槽形顶端计算出的在所考虑设计载荷组合下的设计压力，kN/m^2；

s_{cg}——槽形间距，mm，见图 8. 2. 3；

l_{cg}——槽形长度，m，定义为由底凳到顶凳的距离，当无顶凳时，为到顶端的距离，见图 8. 2. 3；

d_{cg}——槽形深度，mm，见 2. 5. 7. 4 和图 8. 2. 3；

$C_{t\text{-}cg}$——用剪切应力系数：

$C_{t\text{-}cg}$= 0. 75　对于验收衡准组 AC1

$C_{t\text{-}cg}$= 0. 90　对于验收衡准组 AC2

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \qquad \text{N/mm}^2$$

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2. 5. 7. 4　槽形深度 d_{cg} 应不小于

$$d_{cg}=\frac{1000l_{cg}}{15} \qquad \text{mm}$$

式中：l_{cg}——槽形长度，m，定义为由底凳或当无底凳时的内底板到顶凳或当无顶凳时的顶端的距离，见图 8. 2. 3。

2. 5. 7. 5　槽形舱壁面板净厚度 $t_{f\text{-}net}$ 从底端起 2/3 槽形长度内应取为表 8. 2. 7 中给出的所有适用设计载荷组合下计算所得结果的最大值，由下式给出。此要求不适用于无底凳的槽形舱壁，见 2. 5. 7. 9。

$$t_{f\text{-}net}=\frac{0.00657b_f\sqrt{\sigma_{bdg\text{-}max}}}{C_f} \qquad \text{mm}$$

式中：$\sigma_{bdg\text{-}max}$——面板的最大垂向弯曲应力；弯曲应力在槽形底端和槽形长度跨距中点计算：

$$\sigma_{bdg\text{-}max}=\frac{1000M_{cg}}{Z_{cg\text{-}act\text{-}net}} \qquad \text{N/mm}^2$$

M_{cg}——如 2. 5. 7. 6 定义；

$Z_{cg\text{-}act\text{-}net}$——在槽形底端和槽形长度中点处的实际净剖面模数，cm^3；

b_f——面板宽度，见图 8. 2. 3；

b_w——腹板宽度，见图 8. 2. 3；

C_f——系数：

$$C_f=7.65-0.26\left(\frac{b_w}{b_f}\right)^2$$

2. 5. 7. 6　在单元槽条的槽形底端、顶端和槽形长度中点（l_{cg}/2）的净剖面模数 Z_{cg-net} 应取为表 8. 2. 7 中给出的所有适用设计载荷组合下计算所得结果的最大值，由下列给出。

$$Z_{cg-net}=\frac{1000M_{cg}}{C_{s-cg}\,\sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3$$

式中：$M_{cg}=\dfrac{C_i|P|s_{cg}l_o^2}{12000}$　　kN·m

$$P=\frac{P_u+P_l}{2} \qquad \text{kN/m}^2$$

P_l，P_u——分别为槽形底端和顶端在所考虑设计载荷组合下的设计压力，kN/m^2：

（a）对于横向槽形舱壁，计算距每一液舱纵舱壁 b_{tk} / 2 处剖面的压力；

（b）对于纵向槽形舱壁，计算液舱端部的压力；例如前或后横舱壁与纵舱壁相交处；

b_{tk}——所考虑液舱在舱壁处最大宽度，m；

s_{cg}——槽形间距，mm，见图 8. 2. 3；

l_o——槽形有效弯曲跨距，从底凳深度中点量至顶凳深度中点或者顶端（无顶凳时），m，见图 8. 2. 3；

l_{cg}——槽形长度，m，定义为底凳到顶凳的距离，或若无顶凳，则到顶端的距离，见图 8. 2. 3；

C_i——表 8. 2. 3 给出的相关弯矩系数；

C_{s-cg}——许用弯曲应力系数：

在槽形长度 l_{cg} 中点：

$C_{s-cg}=c_e$，对验收衡准组 AC1，不应取大于 0. 75

$C_{s-cg}=c_e$，对验收衡准组 AC2，不应取大于 0. 90

在槽形长度 l_{cg} 的底端或顶端：

C_{s-cg}=0. 75　对验收衡准组 AC1

C_{s-cg}=0. 90　对验收衡准组 AC2

$$c_e=\frac{2.25}{\beta}-\frac{1.25}{\beta^2} \quad \text{对 } \beta \geqslant 1.25$$

c_e=1. 0　对 β ＜ 1. 25

$$\beta=\frac{b_f}{t_{f-net}}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{E}}$$

b_f——面板宽度，mm，见图 8. 2. 3；

t_{f-net}——槽形面板净厚度，mm；

E——弹性模量，N/mm^2；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

C_i 值 **表 8.2.3**

舱壁	l_{cg}底端	l_{cg}中点	l_{cg}顶端
横舱壁	C_1	C_{m1}	$0.8C_{m1}$
纵舱壁	C_3	C_{m3}	$0.65C_{m3}$

式中：$C_1 = a_1 + b_1\sqrt{\frac{A_{dt}}{b_{dk}}}$， 不小于0.60

$= a_1 - b_1\sqrt{\frac{A_{dt}}{b_{dk}}}$， 对于横舱壁无底凳的情况，但取值不小于0.55

$a_1 = 0.95 - \frac{0.41}{R_{bt}}$

$= 0.6$， 对于横舱壁无底凳的情况

$b_1 = -0.20 + \frac{0.078}{R_{bt}}$

$= 0.13$， 对于横舱壁无底凳的情况

$C_{m1} = a_{m1} + b_{m1}\sqrt{\frac{A_{dt}}{b_{dk}}}$， 不小于0.55

$= a_{m1} - b_{m1}\sqrt{\frac{A_{dt}}{b_{dk}}}$， 对于横舱壁无底凳的情况，但取值不小于0.60

$a_{m1} = 0.63 + \frac{0.25}{R_{bt}}$

$= 0.96$， 对于横舱壁无底凳的情况

$b_{m1} = -0.25 - \frac{0.11}{R_{bt}}$

$= 0.34$， 对于横舱壁无底凳的情况

$C_3 = a_3 + b_3\sqrt{\frac{A_{dl}}{l_{dk}}}$， 不小于0.60

$= a_3 - b_3\sqrt{\frac{A_{dl}}{l_{dk}}}$， 对于纵舱壁无底凳的情况，但取值不小于0.55

$a_3 = 0.86 - \frac{0.35}{R_{bl}}$

$= 0.6$， 对于纵舱壁无底凳的情况

$b_3 = -0.17 + \frac{0.10}{R_{bl}}$

$= 0.13$， 对于纵舱壁无底凳的情况

$C_{m3} = a_{m3} + b_{m3}\sqrt{\frac{A_{dl}}{l_{dk}}}$， 不小于0.55

$= a_{m3} - b_{m3}\sqrt{\frac{A_{dl}}{l_{dk}}}$， 对于纵舱壁无底凳的情况，但取值不小于0.60

$a_{m3} = 0.32 + \frac{0.24}{R_{bl}}$

$= 0.9$， 对于纵舱壁无底凳的情况

续上表

$b_{m3} = -0.12 - \frac{0.10}{R_{bl}}$	
$= 0.19$，	对于纵舱壁无底凳的情况
$R_{bt} = \frac{A_{bt}}{b_{ib}}\left(1+\frac{l_{ib}}{b_{ib}}\right)\left(1+\frac{b_{av\text{-}t}}{h_{st}}\right)$，	对横舱壁
$R_{Bl} = \frac{A_{bl}}{l_{ib}}\left(1+\frac{l_{ib}}{b_{ib}}\right)\left(1+\frac{b_{av\text{-}l}}{h_{sl}}\right)$，	对纵舱壁

A_{dt}——横舱壁顶凳型线包围的横截面面积，m^2：
=0，假如未设置顶凳；
A_{dl}——纵舱壁顶凳型线包围的横截面面积，m^2：
=0，假如未设置顶凳；
A_{bt}——横舱壁底凳型线包围的横截面面积，m^2：
=0，假如未设置底凳；
A_{bl}——纵舱壁底凳型线包围的横截面面积，m^2：
=0，假如未设置底凳；
b_{av-t}——横舱壁底凳平均宽度，m，见图8.2.3；
b_{av-l}——纵舱壁底凳平均宽度，m，见图8.2.3；
h_{st}——横舱壁底凳高度，m，见图8.2.3；
h_{sl}——纵舱壁底凳高度，m，见图8.2.3；
b_{ib}——底边舱之间或底边舱与底凳中心线之间，在内底平面的货油舱宽度，m，见图8.2.3；
b_{dk}——顶边舱之间或顶边舱与中心甲板箱之间，当未设置顶凳时，为槽形翼板间，在甲板平面的货油舱宽度，m，见图8.2.3；
l_{ib}——横向底凳之间在内底平面的货油舱长度，m，见图8.2.3；
l_{dk}——横向顶凳之间，当未设置顶凳时，为槽形舱壁面板之间，在甲板平面的长度，m，见图8.2.3。

2.5.7.7　对于液舱的有效晃荡宽度b_{slh}大于0.56B或有效晃荡长度l_{slh}大于0.13L，应根据各自船级社的要求进行附加晃荡分析以评估单位槽条的剖面模数。

CCS2.5.7.7　具体根据CCS《油船结构强度直接计算指南》第3章的要求。

2.5.7.8　对于型深大于或等于16m的船舶，见4/1.1.4，应设置符合下列要求的底凳：

（a）一般要求：

- 底凳高度和深度应不小于槽形深度。
- 底凳的设置应和双层底肋板或桁材对齐。
- 底凳结构内的边板扶强材和垂直腹板（隔板）应尽可能与其下结构对齐，保证将合适的载荷传递到双层底内结构。

（b）底凳顶板：

- 底凳顶板的净厚度应不小于相连槽形舱壁的厚度要求且至少具有与相连槽形相同的材料屈服强度。
- 至槽形之外顶板的延伸范围不小于槽形面板的建造厚度。

（c）底凳边板和内部结构：

- 从底凳顶板起一个槽形高度的范围内，底凳边板净厚度不小于2.5.7.2对在底端处槽形舱壁的面板厚度要求的90%，并且至少应有相同的材料屈服强度。
- 底凳边板净厚度与底凳边板扶强材净剖面模数不小于2.5.2、2.5.4和2.5.5对横向或纵向舱壁板和扶强材的有关要求。
- 底凳边板垂直扶强材的端部应连接到底凳上下两端的肘板。
- 槽形腹板与底凳内支持肘板应尽可能保持连续。肘板净厚度应不小于槽形舱壁腹板要求厚

度的 80%，并且至少应具有相同的材料屈服强度。

• 禁止在底凳边板与内底板和底凳顶板的连接横隔板上开扇形孔。

2. 5. 7. 9 对于型深小于 16m 的船舶，见第 4 节 /1. 1. 4，如符合下列要求以及 2. 5. 7. 6 的要求时，可以不设置顶凳：

（a）一般要求：

• 双层底肋板或桁材应分别与横舱壁或纵舱壁的槽形面板对齐。

• 内底与底边舱下设置肘板 / 短梁与槽形腹板对齐。若不合适，则设置有泄货板的封槽板，见（C）条下内容和图 8. 2. 3。

• 槽形舱壁及其支撑结构应按第 9 节 /2 进行有限元分析。此外，应符合 2. 5. 6. 4 与 2. 5. 6. 5 的局部尺度要求与 2. 5. 7. 4 的最小槽形深度要求。

（b）内底与底边舱斜板

• 槽型舱壁处的内底和底边舱斜板至少有与相连槽形相同的材料屈服强度。

（c）支撑结构

• 内底板下一个槽形深度范围内，双层底支撑肋板或纵桁的净厚度应不小于槽形舱壁底端面板的净厚度，并且至少应具有相同的材料屈服强度。

• 双层底支撑肋板或纵桁上的垂直扶强材上端应用肘板与相邻结构相连。

• 与槽形腹板对齐布置的肘板 / 短纵梁的深度应不小于 0.5 倍槽形深度并且净厚度不小于槽形舱壁腹板净厚度的 80%，并且至少应具有相同的材料屈服强度。

• 槽形面板对齐的沿双层底支撑肋板或纵桁的扶强材切口应安装全补板。

• 在由有封槽板的卸货板支撑处，图 8. 2. 3 中的封槽板高度 h_g 至少等于槽形深度，并且应在每一槽形安装有卸货板的封槽板。封槽板应安装在槽形面板间并与其对齐。封槽板与卸货板的净厚度应分别不小于 100% 和 80% 的槽形面板厚度，并且至少应具有相同的材料屈服强度。参见 2. 5. 7. 11。

• 在与内底和与槽形舱壁腹板和面板连接处，禁止在肘板、封槽板与泄货板开扇形孔。

2. 5. 7. 10 通常应设置符合下列要求的顶凳：

（a）一般要求：

• 当未设置顶凳时，应进行有限元分析来验证与上甲板结构的舱壁支撑结构细节和布置是足够的。

• 顶凳结构内的边板扶强材和垂直腹板（横隔板）应与其相邻结构对齐，保证适当的载荷传递。

• 顶凳和甲板结构间应设置肘板。

（b）顶凳底板：

• 顶凳底板的净厚度不小于相连槽形舱壁的厚度要求，且至少有与相连槽形相同的材料屈服强度。

• 延伸至槽形舱壁之外的顶凳底板厚度不少于槽形舱壁面板的建造厚度。

（c）顶凳边板和内部结构：

• 顶凳底板之上一个槽形舱壁深度区域内，顶凳边板净厚度不小于 2. 5. 7. 2 对槽形舱壁顶端面板厚度要求的 80%，并且至少应具有相同的材料屈服强度。若采用不同屈服强度的材料，则所要求的厚度通过两个材料因子（k）的比率来调整。k 如第 6 节 /1. 1. 4. 1 定义。

• 顶凳边板净厚度与顶凳边板扶强材的净剖面模数不小于 2. 5. 2、2. 5. 4 和 2. 5. 5 对横向或纵向舱壁的板和扶强材的有关要求。

• 顶凳边板垂直扶强材的端部应连接在顶凳上下两端的肘板上。

• 禁止在顶凳边板与甲板和顶凳底板的连接横隔板上开扇形孔。

2. 5. 7. 11 在与内底或底凳的槽形端部连接处安装有泄货板或泄货板（斜板）的封槽板，应采取合适的措施尽可能防止这些板产生气囊。

2. 5. 7. 12 所有连接和节点的焊接应符合第 6 节 /5 的要求。

2.5.8 非密性舱壁

2.5.8.1 非密性舱壁（制荡舱壁），如安装时，应与横向腹板、舱壁或类似结构对齐。该结构是水平或垂向加筋的平面结构，应符合 6.2 中的晃荡要求。通常，非密性舱壁上的开口应具有较大半径，并且开口面积总和不小于舱壁面积的 10%。

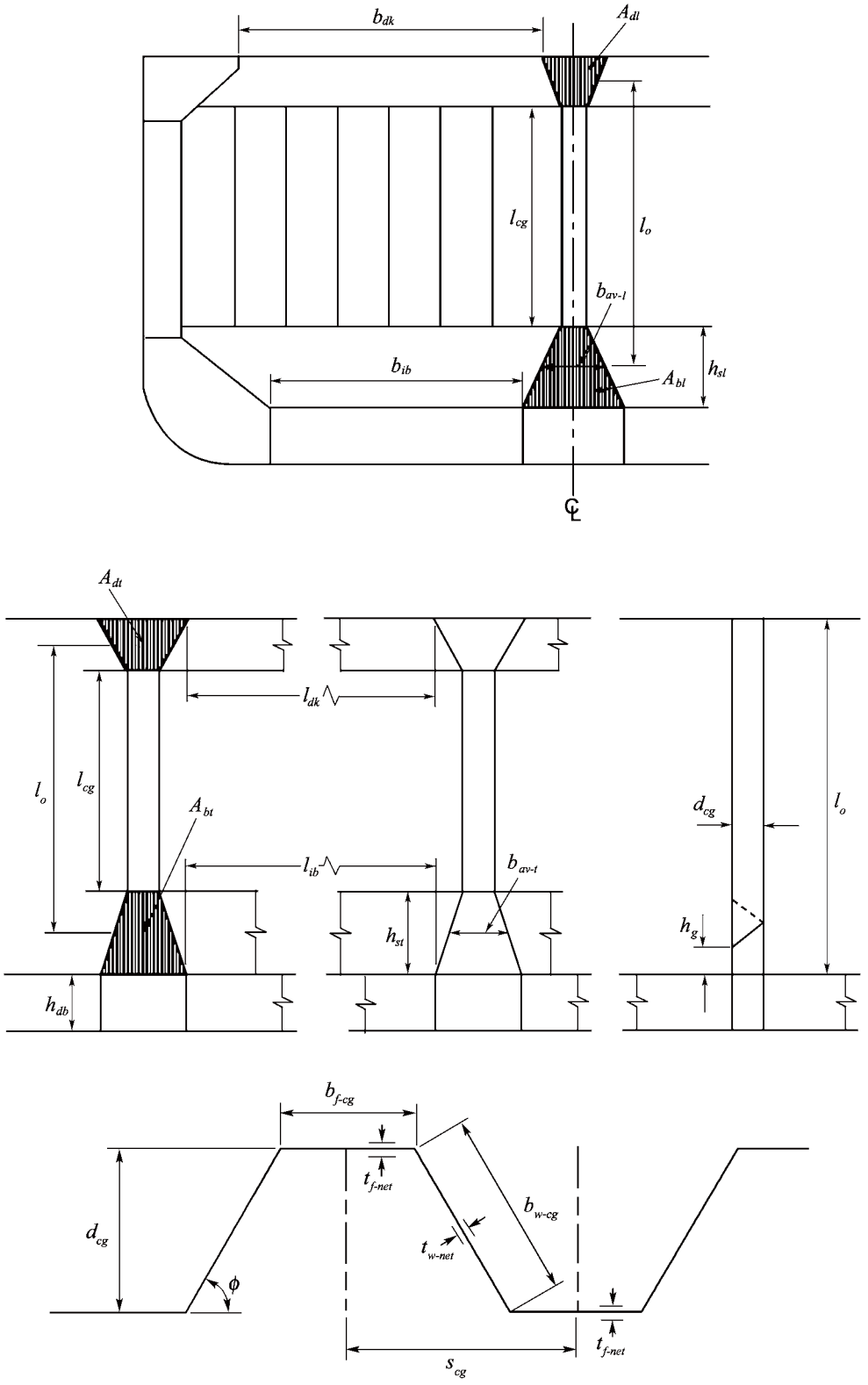


图 8.2.3 槽形舱壁的参数定义（具有中纵舱壁的油船）

板 的 厚 度 要 求 **表 8.2.4**

最小净厚度 t_{net} 应为表8.2.7中所有设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$t_{net} = 0.0158\,\alpha_p s\sqrt{\frac{|P|}{C_a\,\sigma_{yd}}} \qquad \text{mm}$$

式中：P——第3节/5.1中载荷计算点所考虑设计载荷组合下的设计压力，kN/m^2；

α_p——板格形状率的修正因子：

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{s}{2100 l_p}$$，不大于 1.0

s——见第4节/2.2定义，mm；

l_p——板格长度，除设置短梁外，取为主要支撑构件间距S，m；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2；

C_a——所考虑设计载荷组合下许用弯曲应力系数：

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{\sigma_{yd}}$$，不大于 $C_{a-\max}$

验收衡准	结 构 构 件		β_a	α_a	$C_{a-\max}$
AC1	纵向强力构件	纵向加筋板	0.9	0.5	0.8
		横向或垂直加筋板	0.9	1.0	0.8
	其他构件		0.8	0	0.8
AC2	纵向强力构件	纵向加筋板	1.05	0.5	0.95
		横向或垂直加筋板	1.05	1.0	0.95
	其他构件，包括水密边界板		1.0	0	1.0

σ_{hg}——在第3节/5.1.2所定义的计算点计算和所考虑设计载荷组合下的船体梁弯曲应力；

$$\sigma_{hg} = \left(\frac{(z - z_{NA-net50})M_{v-total}}{I_{v-net50}} - \frac{yM_{h-total}}{I_{h-net50}}\right)10^{-3} \qquad \text{N/mm}^2$$

$M_{v-total}$——所考虑设计载荷组合下纵向位置处设计垂向弯矩，kN·m。静水弯矩$M_{sw-perm}$应与表7.6.1中同时作用的波浪弯矩M_{wv}同号；

$M_{h-total}$——所考虑设计载荷组合下纵向位置处设计水平弯矩，kN·m；

$I_{v-net50}$——所考虑纵向位置处垂向船体梁净惯性矩，m^4，见第4节/2.6.1定义；

$I_{h-net50}$——所考虑纵向位置处水平船体梁净惯性矩，m^4，见第4节/2.6.2定义；

y——所考虑载荷计算点的横向坐标，m；

z——所考虑载荷计算点的垂向坐标，m；

$z_{NA-net50}$——从基线到水平中和轴的距离，m，见第4节/2.6.1定义。

加强筋的剖面模数要求 **表8.2.5**

最小净剖面模数Z_{net}应为表8.2.7中所有适用设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$Z_{net}=\frac{|P|sl_{bdg}^2}{f_{bdg}C_s\sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3$$

式中：P——在第3节/5.2定义的载荷计算点计算和在所考虑设计载荷组合下的设计压力，kN/m^2；

f_{bdg}——弯矩因子：

对连续扶强材，当端部连接处的设置与理想化的扶强材有相同的固定端：

f_{bdg}=12，对水平扶强材

f_{bdg}=10，对垂向扶强材

对减弱端部约束的加强筋，见第7小节；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，m，见第4节/2.1.1定义；

s——见第4节/2.2定义，mm；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2，见第3节/5.2.6.5；

C_s——所考虑设计载荷组合下许用弯曲应力系数，取为：

船体梁弯曲应力σ_{hg}符号	侧面压力作用在	验 收 衡 准
拉(+ve)	加强筋一侧	$C_s=\beta_s-\alpha_s\frac{\lvert\sigma_{hg}\rvert}{\sigma_{yd}}$，不大于$C_{s-\max}$
压(−ve)	板一侧	
拉(+ve)	板一侧	$C_s=C_{s-\max}$
压(−ve)	加强筋一侧	

验收衡准	结构构件	β_s	α_s	$C_{s-\max}$
AC1	纵向构件	0.85	1.0	0.75
	横向或垂向构件	0.75	0	0.75
AC2	纵向构件	1.0	1.0	0.9
	横向或垂向构件	0.9	0	0.9
	水密边界加强筋	0.9	0	0.9

σ_{hg}——在第3节/5.2.2.5定义的参考点处计算和所考虑设计载荷组合下的船体梁弯曲应力：

$$\sigma_{hg}=\left(\frac{(z-z_{NA-net50})M_{v-total}}{I_{v-net50}}-\frac{yM_{h-total}}{I_{h-net50}}\right)10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$$

$M_{v-total}$——所考虑设计载荷组合下，纵向位置处设计垂向弯矩，kN·m。$M_{v-total}$应根据表7.6.1计算，并且取如下的许用中拱或中垂静水弯矩$M_{sw-perm}$：

续上表

扶强材位置	$M_{sw-perm}$	
	作用在板一侧压力	作用在扶强材一侧压力
中和轴之上	中垂静水弯矩	中拱静水弯矩
中和轴之下	中拱静水弯矩	中垂静水弯矩

$M_{h-total}$——所考虑设计载荷组合下，纵向位置处设计水平弯矩，kN·m，见表7.6.1；

$I_{v-net50}$——所考虑纵向位置处，垂向船体梁净惯性矩，m^4，见第4节/2.6.1定义；

$I_{h-net50}$——所考虑纵向位置处，水平船体梁净惯性矩，m^4，见第4节/2.6.2定义；

y——在第3节/5.2.2.5定义的参考点的横向坐标，m；

z——在第3节/5.2.2.5定义的参考点的垂向坐标，m；

$z_{NA-net50}$——从基线到水平中和轴的距离，m，见第4节/2.6.1中定义。

加强筋的腹板厚度要求 表 8.2.6

最小净腹板厚度 t_{w-net} 应取为表8.2.7中所有适用设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$t_{w-net}=\frac{f_{shr}|P|sl_{shr}}{d_{shr}C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm}$$

式中：P——在第3节/5.1中定义的载荷计算点计算和所考虑设计载荷组合下的设计压力，kN/m^2；

f_{shr}——剪力分布因子：

对连续扶强材，当端部连接处的设置与理想化扶强材的固定端相一致：

f_{shr}=0.5，对水平扶强材

f_{shr}=0.7，对垂向扶强材

对减弱端部约束的加强筋，见第7小节；

d_{shr}——见第4节/2.4.2.2定义，mm；

C_t——考虑设计载荷组合下许用剪应力系数，取为：

C_t=0.75，对验收衡准AC1

C_t=0.9，对验收衡准AC2

s——见第4节/2.2定义，mm；

l_{shr}——有效剪切跨距，m，见第4节/2.1.2；

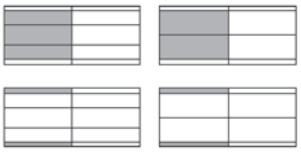
$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \text{N/mm}^2$$

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

板和局部支撑构件的设计载荷组合 **表 8.2.7**

结构构件		设计载荷组合(1, 2, 3)	载荷分量	吃水	说明	图示
平板龙骨、船底板、舭列板、舷侧外板、舷顶列板		1	P_{ex}	T_{SC}	仅海水压力	
		2	P_{ex}	T_{SC}		
		7	P_{in}-P_{ex}	T_{bal}	压载水压力和海水压力之间的净压力差	
		8	P_{in}-P_{ex}	$0.25T_{SC}$		
甲板	货油舱区	1	P_{ex}	T_{SC}	仅上浪压力或其他甲板载荷	
		3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅货油压力	
		4	P_{in}	–		
		11	$P_{in\text{-}flood}$	–		
	其他液舱	1	P_{ex}	T_{SC}	仅上浪压力或其他甲板载荷	
		5	P_{in}	T_{bal}	仅压载水或其他液体压力	
		6	P_{in}	$0.25T_{SC}$		
		11	$P_{in\text{-}flood}$	–		
	其他位置	9	P_{dk}	T_{bal}	仅分布载荷或集中载荷，同时发生的上浪载荷可以忽略	
		10	P_{dk}	–		
内底板、内壳板、边舱斜板		3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅货油压力	
		4	P_{in}	–		
		5	P_{in}	T_{bal}	仅压载水或其他液体压力	
		6	P_{in}	$0.25T_{SC}$		
		11	$P_{in\text{-}flood}$	–		
纵舱壁板、中纵舱壁		3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅一侧压力。货油舱满舱，相邻货油舱空舱。两种情况必须评估：(1) 内侧舱空，外侧舱满；(2) 内侧舱满，外侧舱空	
		4	P_{in}	–		
		11	$P_{in\text{-}flood}$	–		

续上表

结构构件		设计载荷组合(1, 2, 3)	载荷分量	吃水	说明	图示
横舱壁	货油舱区横舱壁	3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅一侧压力。货油舱满舱，相邻前部或后部货油舱空舱。 需评估两种情况：（1）前部舱空，后部舱满；（2）前部舱满，后部舱空	
		4	P_{in}	–		
		11	$P_{in\text{-}flood}$	–		
	其他舱室区横舱壁	5	P_{in}	T_{bal}		
		6	P_{in}	$0.25T_{SC}$		
		11	$P_{in\text{-}flood}$	–		
其他舱室边界，例如纵桁、肋板、水平桁		5	P_{in}	T_{bal}	仅一侧压力，液舱满舱，相邻液舱空舱。需评估两种情况： （1）前部舱空，后部舱满；（2）前部舱满，后部舱空	
		6	P_{in}	$0.25T_{SC}$		
		11	$P_{in\text{-}flood}$	–		

表中：T_{SC} ——结构吃水，m，见第4节/1. 1. 5. 5定义；

T_{bal} ——最小设计压载吃水，m，见第4节/1. 1. 5. 2定义。

注：1. 每一设计载荷系里的设计载荷组合、载荷分量、验收衡准和其他载荷参数规定在表8. 2. 8中给出。

2. 当船舶结构型式不能如上描述时，则用来确定结构边界尺度要求的适用载荷组合应选择为一侧的连接舱满舱或空舱。边界应按照两侧载荷进行评估。应基于液舱或处所内容来选择设计载荷组合使得边界压力达到最大，根据本表的设计载荷组合取所用的吃水。设计载荷组合S与S＋D均应选择。见注4和表8. 2. 8。

3. 不构成船体外壳部分的空舱或干舱边界应按照设计载荷组合11进行评估，见注2。

4. 以上不涵盖部分构件的设计载荷组合（DLS）：

对于与货油舱相连的凳压载水舱的边界：

• DLS 5，6和11适用于来自压载水舱一侧的压力；

• DLS 3，4和11适用于来自货油舱一侧的压力。

对于分隔两个压载水舱或压载水舱与燃油舱的双层底桁材：

• DLS 5，6和11适用于分别来自两侧的压力。

对于去货油舱的空舱凳的边界：

• DLS 3，4和11适用于来自货油舱一侧的压力；

• DLS 11适用于来自空舱一侧的压力。

每个设计载荷组的设计载荷组合、验收衡准和其他载荷参数规定　　表8.2.8

设计载荷组	载荷分量(1)	设计载荷组合(2)	验收衡准	计算载荷分量的参数		
				DLCF(3)	初稳性高度	横摇半径
船体外壳（PSM和LSM）						
1	海水压力P_{ex}	*S*+*D*	AC2	装载DLCF	0.12*B*	0.35*B*
2		*S*	AC1			
货油舱边界（PSM和LSM）						
3	货油压力P_{in}	*S*+*D*	AC2	装载DLCF	0.24*B*	0.40*B*
4		*S*	AC1			
压载舱和其他舱室边界（PSM和LSM）						
5	压载水或其他液舱压力P_{in}	*S*+*D*	AC2	压载DLCF	0.33*B*	0.45*B*
6		*S*	AC1			
7	净压载水压力减去海水压力$P_{in}-P_{ex}$	*S*+*D*	AC2	压载DLCF	0.33*B*	0.45*B*
8		*S*	AC1			
甲板（PSM和LSM）						
9	甲板分布载荷或集中载荷P_{dk}	*S*+*D*	AC2	压载DLCF	0.33*B*	0.45*B*
10		*S*	AC1			
水密边界（PSM和LSM）						
11	意外进水$P_{in-flood}$	A	AC2			
船体外壳（PSM）						
12	净货油压力减去海水压力$P_{in}-P_{ex}$	*S*+*D*	AC2	装载DLCF	0.24*B*	0.40*B*
13		*S*	AC1			
14	货油压力和海水压力的平均$(P_{in}+P_{ex})/2$	*S*+*D*	AC2	装载DLCF	0.12*B*	0.35*B*
15		*S*+*D*	AC2	装载DLCF	0.24*B*	0.40*B*
16		*S*	AC1			

表中：　PSM——主要支撑构件；

LSM——局部支撑构件；

DLCF——动态载荷组合因子；

P_{in}、P_{ex}、P_{dk}、$P_{in-flood}$——在表7.6.1中给出，并且如表8.2.7和8.2.9所示；

B——型宽，m，见第4节/1.1.3.1定义。

注：（1）用所有适用的设计载荷组合设计结构构件。本表给出了设计载荷组合的压力载荷分量。对局部支撑构件，船体梁弯矩在表8.2.4和表8.2.5中给出。

（2）此列说明表7.6.1中每个载荷组合适用的设计载荷组合。*S*代表静设计载荷组合，*S*+*D*表示静设计载荷和动设计载荷组合，A代表意外设计载荷组合表。

（3）此列说明表7.6.1中计算压力分量和整体载荷分量所适用的动态载荷组合因子表。

2.6 主要支撑构件

2.6.1 一般要求

2.6.1.1 图 8.2.4 中所示的货油舱区主要支撑构件尺度应符合 2.6.1.2 到 2.6.1.7 的要求。

2.6.1.2 2.6 中主要支撑构件的剖面模数和剪切面积衡准适用于图 2.3.1 中的结构布置以及下述结构构件。

（a）双层底内的肋板和桁材；

（b）设置在上甲板下的甲板横梁；

（c）双舷侧内的舷侧横框架；

（d）设或不设横向撑材的纵舱壁垂直强框架；

（e）横舱壁水平桁，那些安装撑柱或其他中间支撑的水平桁除外；

（f）边货油舱和中间货油舱的撑材。

2.6.1.3 主要支撑构件的尺度应通过第 9 节 /2 定义的货油舱结构有限元（FE）分析校核。

2.6.1.4 主要支撑构件的剖面模数和 / 或剪切面积，和 / 或者主要支撑构件横撑材的横剖面面积可以折减到指定要求的 85%，只要折减后的尺度满足货油舱结构有限元分析和 2.1.6。

2.6.1.5 通常，主要支撑构件应布置在同一平面内，以形成连续的横向框架，构成强框架主要支撑构件之间连接的肘板应根据第 4 节 /3.3.3 设计。

2.6.1.6 主要支撑构件腹板应根据第 10 节 /2.3 设置加强筋。

2.6.1.7 主要支撑构件腹板高度应不小于 2.6.4.1、2.6.6.1、2.6.7.1 给出的适用尺度要求。当验证是等效强度时，较小的腹板高度可以接受，见第 3 节 /5.3.3.4。主要支撑构件上有扶强材开口时，其深度应不小于 2.5 倍的开口深度。

2.6.1.8 横舱壁旁第一个主要支撑构件的尺度应符合第 8 节 /7、2.6.1.3、2.6.1.4、2.6.1.5、2.6.1.6、2.6.4.3 和 2.6.4.4 的要求。在应用 2.6.4.3 和 2.6.4.4 时，仅考虑设计上浪海水压力。

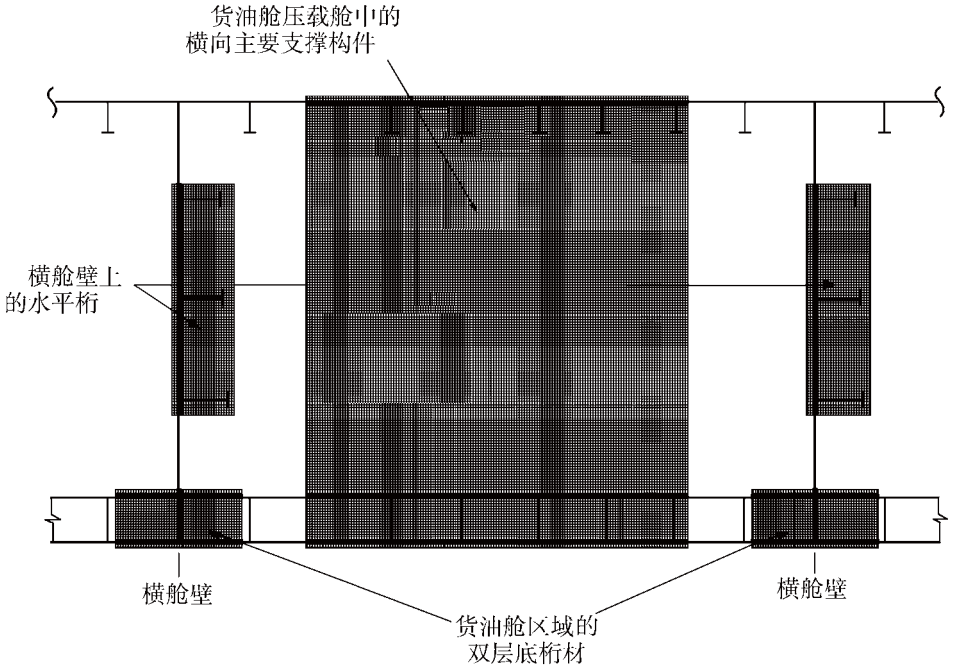


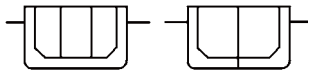
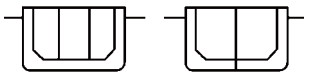
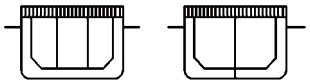
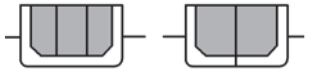
图 8.2.4 适用范围说明

2.6.2 用于主要支撑构件的设计载荷组合和许用应力系数

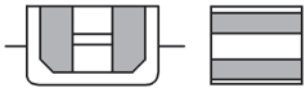
2.6.2.1 评估主要支撑构件的设计载荷组合在表 8.2.9 给出。

2.6.2.2 评估主要支撑构件的许用弯曲和剪切应力系数在表 8.2.10 给出。

用于主要支撑构件的设计载荷组合 表 8.2.9

构　件	设计载荷组合(1, 5, 6)	载荷分量	吃水	说　明	图　　示
双层底肋板和纵桁(3)	1	P_{ex}	$0.9T_{SC}$ (2)	仅海水压力	
	2	P_{ex}	T_{SC}		
	12	P_{in}-P_{ex}	$0.6T_{SC}$	压载水压力和海水压力之净压力差	
	13	P_{in}-P_{ex}	（4）		
舷侧横框架(3)	1	P_{ex}	$0.9T_{SC}$	仅海水压力	
	2	P_{ex}	T_{SC}		
	3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅货油压力	
	4	P_{in}	–		
甲板强横梁	1	P_{ex}	T_{SC}	仅上浪压力或其他甲板载荷	
	3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅货油压力	
	4	P_{in}	–		
纵舱壁垂直桁材	3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅一侧压力。货油舱满舱，相邻货油舱空舱。	
	4	P_{in}	–		
	3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅一侧压力。货油舱满舱，相邻货油舱空舱。	
	4	P_{in}	–		

续上表

构　件	设计载荷组合（1，5，6）	载荷分量	吃水	说　明	图　　示
横舱壁水平桁	3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅一侧压力，货油舱满舱，相邻前部或后部货油舱空舱。 两种情况必须评估：（1）前部舱空，后部舱满；（2）前部舱满，后部舱空	
	4	P_{in}	–		
	11	$P_{in\text{-}flood}$	–		
横撑材在中心货油舱	3	$\frac{P_{in\text{-}pt}+P_{in\text{-}stb}}{2}$	$0.6T_{SC}$	边货油舱满舱，中心货油舱空舱	
	4	P_{in}	–		
横撑材在边货油舱	14	$\frac{P_{in}+P_{ex}}{2}$	T_{SC}	中心货油舱满舱，边货油舱空舱	
	15	$\frac{P_{in}+P_{ex}}{2}$	$0.6T_{SC}$		
	16	$\frac{P_{in}+P_{ex}}{2}$	T_{SC}		

表中：$P_{in\text{-}pt}$——左舷边货油舱设计压力，kN/m^2；

$P_{in\text{-}stb}$——右舷边货油舱设计压力，kN/m^2；

T_{SC}——结构吃水，见第4节/1. 1. 5. 5定义；

T_{bal}——最小设计压载吃水，见第4节/1. 1. 5. 2定义。

注：（1）每种设计载荷组合的设计载荷组、载荷分量、验收衡准和其他载荷参数的规定在表8. 2. 8中给出。

（2）见1. 1. 2. 9（b）。

（3）底部肋板、纵桁和舷侧横框架的指定吃水应基于1. 1. 2中规定的操作限制。当可选的装载工况超过规范最低要求装载工况时，吃水就应特殊考虑。

（4）对于具有两道油密纵舱壁的油船，吃水取为$0.25T_{SC}$；对于具有一道油密纵舱壁的油船，吃水取为$0.33T_{SC}$。

（5）当船舶结构型式不是如上描述的结构构件或型式时，用来确定主要支撑构件尺度要求的适用设计载荷组合应选择下述所适用的载荷工况：

- 构件一侧舱室满舱，相邻舱室或处所为空；
- 构件一侧舱室满舱，外部压力最小；
- 外部压力最大，相邻舱室或处所为空。

边界应按照两侧加载进行评估。应基于液舱或处所货物来选择设计载荷组合使得边界压力达到最大，根据本表和设计载荷组合来取所用的吃水。设计载荷组合S与$S+D$均应选择。也应根据特别的结构形式需应用设计载荷组合11。见表8. 2. 7注4和表8. 2. 8。

（6）对于空舱或干舱，空舱压力分量可以忽略，除非设计载荷组合11需应用。

用于主要支撑构件的许用应力系数 $C_{s\text{-}pr}$ 和 $C_{t\text{-}pr}$　　表 8. 2. 10

验收衡准组	许用弯曲应力系数 $C_{s\text{-}pr}$	许用剪切应力系数 $C_{t\text{-}pr}$
AC1	0. 70	0. 70
AC2	0. 85	0. 85

2.6.3 双层底肋板和纵桁

2.6.3.1 应在中线或箱型龙骨、边舱处、纵舱壁以及舱壁凳处设置连续双层底桁材。应在横舱壁以及舱壁凳等处设置肋板。

2.6.3.2 肋板任意位置上的净剪切面积 $A_{shr\text{-}net50}$ 不小于：

$$A_{shr\text{-}net50}=\frac{10Q}{C_{t\text{-}pr}\tau_{yd}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：Q——设计剪力；

$$Q=f_{shr}PSl_{shr} \qquad \text{kN}$$

f_{shr}——剪力分布因子；

$$f_{shr}=f_{shr\text{-}i}\left(1-\frac{2y_i}{l_{shr}}\right)$$，但不小于 0.2

$f_{shr\text{-}i}$——l_{shr} 跨距端部的剪力分布因子在表 8.2.11 给出；

l_{shr}——双层底肋板有效剪切跨距，m，如图 8.2.6 所示。在肘板端部，有效剪切跨距应量至有效端部肘板的趾端，如第 4 节 /2.1.5 定义。对端部位于底边舱纵桁或凳结构处的肋板，有效剪切跨距应量至从纵桁到相邻船底和内底纵骨距离的一半处，如图 8.2.6 所示；

y_i——从肋板所考虑横截面至有效剪切跨距 l_{shr} 最近的端部距离，m；

S——主要支撑构件间距，如第 4 节 /2.2.2 定义，m；

P——所考虑设计载荷组合下的设计压力，它在横舱壁之间或横舱壁与横向制荡舱壁之间中部肋板的有效剪切跨距 l_{shr} 中点处计算，kN/m^2；

$C_{t\text{-}pr}$——主要支撑构件许用剪切应力系数，在表 8.2.10 中给出；

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \qquad \text{N/mm}^2$$

τ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

肋板的剪力分布因子 **表 8.2.11**

结构型式	中心液舱（图8.2.5中 f_{shr3}）	边舱	
		内端（图8.2.5中 f_{shr2}）	底边舱折角处（图8.2.5中 f_{shr1}）
具有中纵舱壁船舶	-	0.4	0.6
具有两道纵舱壁船舶	0.5	0.50	0.65

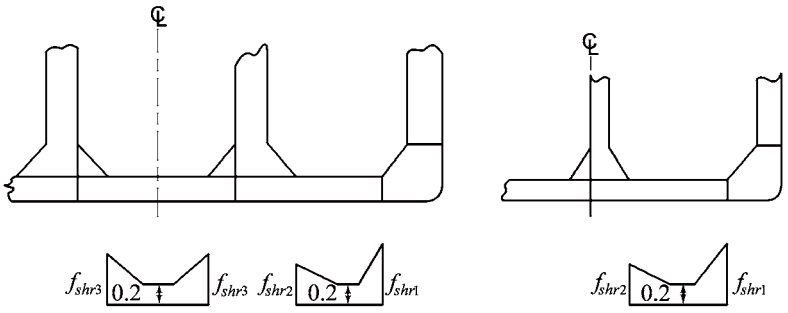


图 8.2.5 肋板的肋板剪力分布因子

2.6.3.3 对于双层底中纵桁，如果其上没有设置纵舱壁，从每个横向油密舱壁和制荡舱壁起第一

隔档处的双层底中纵桁净剪切面积$A_{shr\text{-}net50}$，如设置时，则不小于：

$$A_{shr\text{-}net50}=\frac{10Q}{C_{t\text{-}pr}\,\tau_{yd}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：Q——设计剪力：

$$Q=0.21n_1n_2Pl_{shr}^2 \qquad \text{kN}$$

l_{shr}——双层底肋板的有效剪切跨距，m，如图 8.2.6 所示。在肘板端部，有效剪切跨距应量至有效端部肘板的趾端，如第 4 节 /2.1.5 定义。对端部位于底边舱纵桁或凳结构处的肋板，有效剪切跨距应量至从纵桁到相邻船底和内底纵骨的距离的一半处，如图 8.2.6 所示；

P——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，在横舱壁之间或横舱壁与横向制荡舱壁之间中部肋板的有效剪切跨距l_{shr}中点处计算，如设置时，kN/m^2：

$$n_1=0.00935\left(\frac{l_{shr}}{S}\right)^2-0.163\left(\frac{l_{shr}}{S}\right)+1.289$$

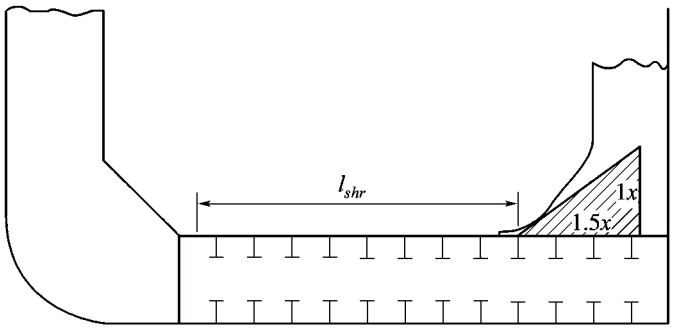
$$n_2=1.3-\left(\frac{S}{12}\right)$$

S——双层底肋板间距，如第 4 节 /2.2.2 定义，m；

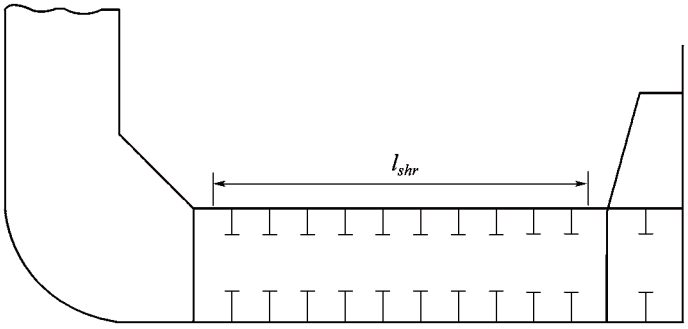
$C_{t\text{-}pr}$——主要支撑构件许用剪切应力系数，在表 8.2.10 中给出；

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \qquad \text{N/mm}^2$$

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。



底边舱和端肘板的典型布置



底边舱和凳的典型布置

图 8.2.6 肋板的有效剪切跨距

2. 6. 3. 4　对于双层底旁桁材，如果其上没有设置纵舱壁，从每个横向油密舱壁和制荡舱壁起第一隔档处的双层底纵桁净剪切面积$A_{shr\text{-}net50}$（如设置时），不小于：

$$A_{shr\text{-}net50}=\frac{10Q}{C_{t\text{-}pr}\,\tau_{yd}}\qquad \text{cm}^2$$

式中：Q——设计剪力：

$$Q=0.14n_3n_4Pl_{shr}^2\qquad \text{kN}$$

$$n_3=1.072-0.0357\left(\frac{l_{shr}}{S}\right)$$

$$n_4=1.2-\left(\frac{S}{18}\right)$$

l_{shr}——双层底肋板有效剪切跨距，m，如图 8. 2. 6 所示。在肘板端部，有效剪切跨距应量至有效端部肘板的趾端，如第 4 节 /2. 1. 5 定义。对端部位于底边舱纵桁或凳结构处的肋板，有效剪切跨距应量至从纵桁到相邻船底和内底纵骨的距离的一半处，如图 8. 2. 6 所示；

S——双层底肋板间距，如第 4 节 /2. 2. 2 定义，m；

P——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，其在横舱壁之间或横舱壁与横向制荡舱壁之间中部肋板的有效剪切跨距 l_{shr} 中点处计算（如设置时），kN/m^2；

$C_{t\text{-}pr}$——主要支撑构件的许用剪切应力系数，在表 8. 2. 10 给出；

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}\qquad \text{N/mm}^2$$

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2. 6. 4　甲板强横梁

2. 6. 4. 1　甲板强横梁的腹板高度不小于：

（a）0. 20$l_{bdg\text{-}dt}$，具有两道纵舱壁船舶的边货油舱的甲板强横梁；

（b）0. 13$l_{bdg\text{-}dt}$，具有两道纵舱壁船舶的中心货油舱的甲板强横梁，中心货油舱甲板强横梁腹板高度应不小于边货油舱甲板强横梁腹板高度的 90%；

（c）0. 10$l_{bdg\text{-}dt}$，具有一道中纵舱壁的船舶的甲板强横梁；

（d）见 2. 6. 1. 7。

式中：$l_{bdg\text{-}dt}$——甲板强横梁有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2. 1. 4 和图 8. 2. 7，但应取不小于所考虑位置处液舱宽度的 60%。

2. 6. 4. 2　计及甲板板的甲板强横梁的惯性矩应符合第 10 节 /2. 3. 2. 3 要求，以控制甲板结构的整体变形。

2. 6. 4. 3　甲板强横梁的净剖面模数不小于下面给出的 $Z_{in\text{-}net50}$ 和 $Z_{ex\text{-}net50}$。边货油舱甲板强横梁的净剖面模数不小于中心货油舱甲板强横梁的要求。

$$Z_{in\text{-}net50}=\frac{1000M_{in}}{C_{s-pr}\,\sigma_{yd}}\qquad \text{cm}^3$$

$$Z_{ex\text{-}net50}=\frac{1000M_{ex}}{C_{s-pr}\,\sigma_{yd}}\qquad \text{cm}^3$$

式中：M_{in}——货物压力引起的设计弯矩，kN·m，取为：

（a）对具备两道纵舱壁船舶的边货油舱的甲板强横梁以及具备一道中纵舱壁船舶的货油舱的甲板强横梁：

$M_{in}=0.042\varphi_t P_{in-dt}Sl_{bdg-dt}^2+M_{st}$，但不小于 M_o

（b）对具备两道纵舱壁船舶的中货油舱的甲板强横梁

$M_{in}=0.042\varphi_t P_{in-dt}Sl_{bdg-dt}^2+M_{vw}$，但不小于 M_o

M_{st}——从舷侧横框架传递来的弯矩：

$M_{st}=c_{st}\beta_{st}P_{in-st}Sl_{bdg-st}{}^2$ kN·m

当在边货油舱设置横撑材，并且 $l_{bdg-st-ct}$ 大于 $0.7l_{bdg-st}$ 时，上式中 l_{bdg-st} 可以取为 $l_{bdg-st-ct}$；

M_{vw}——从纵舱壁垂直强框架传递来的弯矩：

$M_{vw}=c_{vw}\beta_{vw}P_{in-vw}Sl_{bdg-vw}^2$ kN·m

当 $l_{bdg-vw-ct}$ 大于 $0.7l_{bdg-vw}$，上式中 l_{bdg-vw} 可以取为 $l_{bdg-vw-ct}$。

对于垂直槽形舱壁，在甲板强横梁间一个间距的范围内，M_{vw} 可以取为等于槽形上端的弯矩；

M_o——最小弯矩：

$M_o=0.083P_{in-dt}Sl_{bdg-dt}^2$ kN·m

M_{ex}——上浪压力引起设计弯矩：

$M_{ex}=0.067P_{ex-dt}Sl_{bdg-dt}^2$ kN·m

P_{in-dt}——在所考虑设计载荷组合中的设计货油压力，其在货油舱中部甲板强横梁有效弯曲跨距 l_{bdg-dt} 中点处计算，kN/m^2；

P_{in-st}——在所考虑设计载荷组合中的边货油舱相应设计货油压力，其在货油舱中部舷侧横框架有效弯曲跨距 l_{bdg-st} 中点处计算，kN/m^2；

P_{in-vw}——在所考虑设计载荷组合中下具备两道纵舱壁的船舶的中货油舱的相应设计货油压力，其在舱室中部纵舱壁垂直桁有效弯曲跨距 l_{bdg-vw} 中点处计算，kN/m^2；

P_{ex-dt}——在所考虑设计载荷组合中的设计上浪压力，其在舱室中部甲板强横梁有效弯曲跨距 l_{bdg-dt} 中点处计算，kN/m^2；

$\varphi_t=1-5\left(\dfrac{y_{toe}}{l_{bdg-dt}}\right)$，但不小于 0.6

y_{toe}——从有效弯曲跨距 l_{bdg-dt} 的端部到甲板强横梁端部肘板趾端的距离，m；

$\beta_{st}=0.9\left(\dfrac{l_{bdg-st}}{l_{bdg-dt}}\right)\left(\dfrac{I_{dt}}{I_{st}}\right)$，但不小于 0.10，或不大于 0.65

$\beta_{vw}=0.9\left(\dfrac{l_{bdg-vw}}{l_{bdg-dt}}\right)\left(\dfrac{I_{dt}}{I_{vw}}\right)$，但不小于 0.10，或不大于 0.50

S——主要支撑构件的间距，在第 4 节 /2.2.2 定义，m；

l_{bdg-dt}——甲板强横梁有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2.1.4 和图 8.2.7，但取不小于所考虑位置处液舱宽度的 60%；

l_{bdg-st}——甲板强横梁与舭部边舱之间的舷侧横框架的有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2.1.4 和图 8.2.7；

$l_{bdg-st-ct}$——甲板强横梁与设置在边货油舱内的横撑材高度中点之间的舷侧横框架的有效抗弯跨距，m，见第 4 节 /2.1.4；

l_{bdg-vw}——甲板强横梁与底部结构之间纵舱壁垂直强框架的有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2.1.4 和图 8.2.7；

$l_{bdg-vw-ct}$——甲板强横梁与横撑材高度中点之间纵舱壁垂直强框架的有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2.1.4；

I_{dt}——计及有效宽度带板的甲板强横梁净惯性矩，见第 4 节 /2.3.2.3，cm^4；

I_{st}——计及有效宽度带板的舷侧横框架净惯性矩，见第 4 节 /2.3.2.3，cm^4；

I_{vw}——计及有效宽度带板的纵舱壁垂直强框架净惯性矩，见第4节/2.3.2.3，cm^4；

c_{st}——如表8.2.12定义；

c_{vw}——如表8.2.12定义；

C_{s-pr}——主要支撑构件的许用弯曲应力系数，在表8.2.10给出；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

甲板强横梁的 c_{st} 和 c_{vw} 值 **表8.2.12**

结构布置			c_{st}	c_{vw}
具有中纵舱壁船舶			0.056	-
具有两道纵舱壁船舶	横撑材位于中心货油舱	M_{vw}基于$l_{bdg-vw-ct}$	-	0.044
		M_{st}基于l_{bdg-st}或M_{vw}基于l_{bdg-vw}	0.044	0.016
	横撑材位于边货油舱	M_{st}基于$l_{bdg-st-ct}$或M_{vw}基于$l_{bdg-vw-ct}$	0.044	0.044
		M_{st}基于l_{bdg-st}或M_{vw}基于l_{bdg-vw}	0.041	0.015

2.6.4.4 甲板强横梁净剪切面积应不小于$A_{shr-in-net50}$和$A_{shr-ex-net50}$：

$$A_{shr-in-net50}=\frac{10Q_{in}}{C_{t-pr}\,\tau_{yd}} \qquad cm^2$$

$$A_{shr-ex-net50}=\frac{10Q_{ex}}{C_{t-pr}\,\tau_{yd}} \qquad cm^2$$

式中：Q_{in}——货油压力引起的设计剪力：

$$Q_{in}=0.65P_{in-dt}Sl_{shr}+c_1Db_{ctr}S\rho g \qquad kN$$

Q_{ex}——上浪海水压力引起的设计剪力：

$$Q_{ex}=0.65P_{ex-dt}Sl_{shr} \qquad kN$$

P_{in-dt}——在所考虑设计载荷组合中的设计货油压力，其在货油舱中部甲板强横梁有效弯曲跨距l_{bdg-dt}中点处计算，kN/m^2；

P_{ex-dt}——在所考虑设计载荷组合中的设计上浪压力，其在液舱中部甲板强横梁有效弯曲跨距l_{bdg-dt}中点处计算，kN/m^2；

S——主要支撑构件间距，如第4节/2.2.2定义，m；

l_{shr}——甲板强横梁的有效剪切跨距，见第4节/2.1.5，m；

l_{bdg-dt}——甲板强横梁的有效弯曲跨距，m，见第4节/2.1.4和图8.2.7，但取不小于所考虑位置处液舱宽度的60%：

c_1 =0.04 具有两道纵舱壁船舶的边货油舱

c_1 =0.00 具有两道纵舱壁船舶的中货油舱

c_1 =0.00 具有一道中纵舱壁船舶

D——型深，如第4节/1.1.4定义；

b_{ctr}——中心液舱的宽度，m；

ρ——液舱中的液体密度，但不小于1.025，见第2节/3.1.8，t/m^3；

g——重力加速度，$9.81m/s^2$；

C_{t-pr}——主要支撑构件许用剪切应力系数，在表8.2.10给出；

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \qquad N/mm^2$$

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

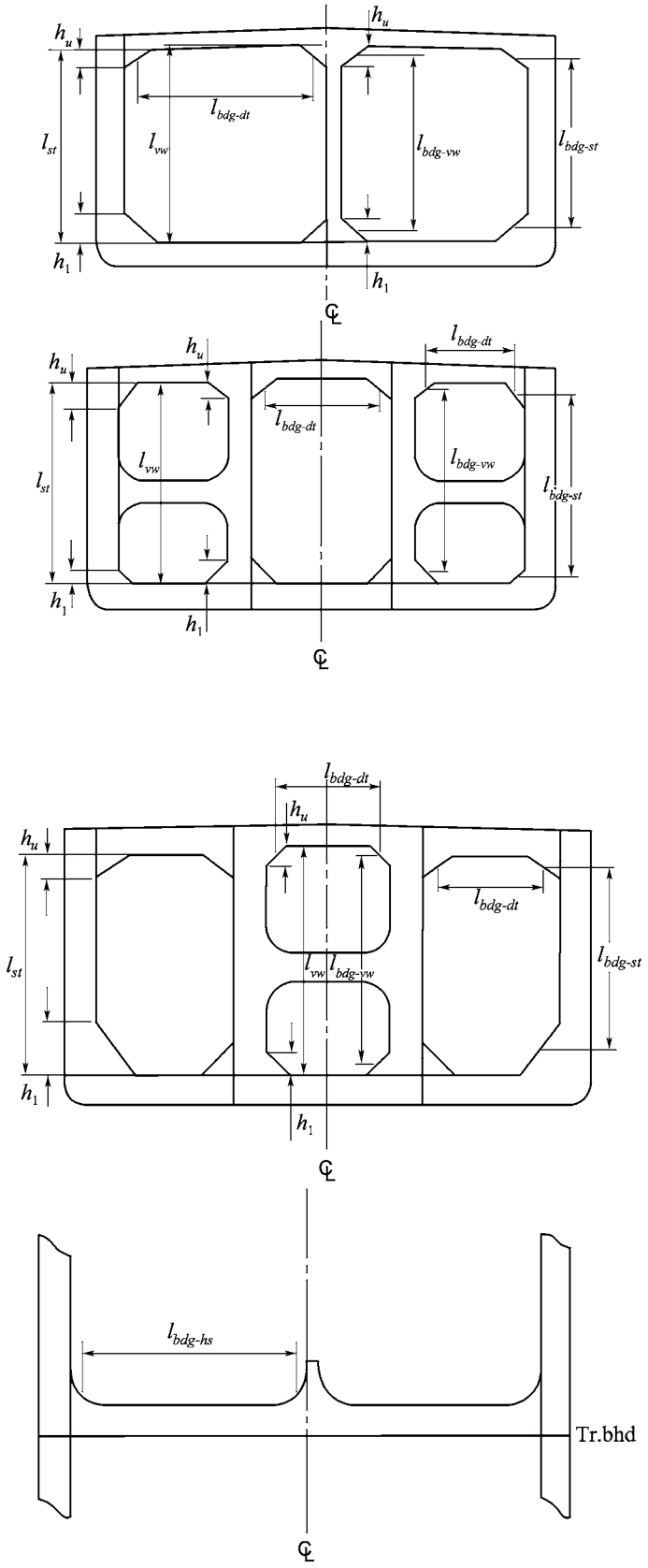


图 8.2.7 甲板强横梁、舷侧横框架、纵舱壁垂直桁、横舱壁水平桁的跨距定义

2.6.5 舷侧横框架

2.6.5.1 舷侧横框架的净剪切面积 $A_{shr-net50}$ 不小于：

$$A_{shr-net50}=\frac{10Q}{C_{t-pr}\tau_{yd}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：Q——如下设计剪力，kN：

$Q=Q_u$ 对舷侧横框架上部

$Q=Q_l$ 对舷侧横框架下部

$Q_u=S[c_u l_{st}(P_u+P_l)-h_u P_u]$

当边货油舱安装横撑材，并且 l_{st-ct} 大于 $0.7l_{st}$ 时，上式中 l_{st} 应取为 l_{st-ct}；

Q_l——取为下列数值的较大值：

（a）$S[c_l l_{\text{st}}(P_u+P_l)-h_l P_l]$

（b）$0.35c_l S l_{st}(P_u+P_l)$

（c）$1.2Q_u$

当边货油舱安装横撑材，并且 l_{st-ct} 大于 $0.7l_{st}$ 时，上式中 l_{st} 应取为 l_{st-ct}；

P_u——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，其在舱室中部计算，kN/m^2：

（a）对甲板下方的甲板强横梁，P_u 应在舷侧横框架上肘板的高度 h_u 中点计算；

（b）对甲板上方的甲板强横梁，P_u 应在舷侧甲板升高处计算，除非条款（c）适用；

（c）对甲板上方的甲板强横梁，并且内壳纵舱壁设置如下的顶边结构时：

- 边结构的顶部宽度大于1.5倍双舷侧宽度；并且
- 沿着斜板根部与内壳纵舱壁相交点与顶边结构与甲板交点的直线与垂直线的夹角为30°及以上 P_u 应在顶边结构的深度中点处计算；

P_l——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，其在液舱中部舷侧横框架舭部边舱的高度 h_l 中点处计算，kN/m^2；

l_{st}——舷侧横框架长度，m，取法如下：

（a）对甲板下方的甲板强横梁，l_{st} 为甲板强横梁面板与内底板之间的距离，见图8.2.7；

（b）对甲板上方的甲板强横梁，l_{st} 为舷侧甲板升高与内底板之间的距离；

l_{st-ct}——舷侧横框架长度，m，取法如下：

（a）对甲板下方的甲板强横梁，l_{st-ct} 为甲板强横梁面板与边货油舱横撑材高度中点之间的距离；

（b）对甲板上方的甲板强横梁，l_{st-ct} 为舷侧甲板升高与边货油舱横撑材高度中点之间的距离；

S——主要支撑构件间距，如第4节/2.2.2定义，m；

h_u——舷侧横框架上部肘板有效长度，m，取法如下：

（a）对甲板下方的甲板强横梁，h_u 如图8.2.7所示，并如第4节/2.1.5所述；

（b）对甲板上方的甲板强横梁，h_u 取为0，除非条款（c）适用；

（c）对甲板上方的甲板强横梁，并且内壳纵舱壁设置如下的顶边结构时：

- 边结构的顶部宽度大于1.5倍双舷侧宽度；并且
- 沿着斜板根部与内壳纵舱壁相交点与顶边结构与甲板交点的直线与垂直线的夹角为30°及以上；

h_u 应为甲板边线与顶边结构斜板底部的距离；

h_l——舭部底边舱的高度，m，如图8.2.7所示；

c_u 和 c_l——如表8.2.13定义；

$C_{t\text{-}pr}$——主要支撑构件许用剪切应力系数，在表8.2.10给出；

$\tau_{yd}=\dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$ N/mm^2

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

舷侧横框架的 *cu* 和 *cl* 值 **表 8.2.13**

结构布置			c_u		c_l	
舷侧水平桁数目			<3	≥3	<3	≥3
具有中纵舱壁的船舶			0.12	0.09	0.29	0.21
具有两道纵舱壁的船舶	横撑材在中心货油舱					
	横撑材在边货油舱	Q_u 或 Q_l 基于 $l_{st\text{-}ct}$				
		Q_u 或 Q_l 基于 l_{st}	0.08		0.20	

2.6.5.2 舷侧横框架长度范围内的剪切面积应符合下列要求：

（a）上端要求的剪切面积应在上方 $0.2l_{shr}$ 范围内保持不变；

（b）下端要求的剪切面积应在下方 $0.2l_{shr}$ 范围内保持不变；

（c）当基于 $l_{st\text{-}ct}$ 确定 Q_u 与 Q_l 时，下端的要求剪切面积应在横撑材下方范围内保持不变；

（d）对于边货油边舱内不安装横撑材的船舶，在上端与下端所要求的剪切面积应线性减少到跨距中点处底部所要求剪切面积的 50%；

（e）对于边货油边舱内安装横撑材的船舶，沿着跨距所要求剪切面积应在上端与下端范围内线性变化。

注：当采用不同屈服应力的材料时，应根据不同的材料屈服应力作适当的调整。

其中：l_{shr}——舷侧横框架有效剪切跨距，m：

$l_{shr}=l_{st}-h_u-h_l$ 其中基于 l_{st} 确定 Q_u 和 Q_l

$l_{shr}=l_{st\text{-}ct}-h_u$ 其中基于 $l_{st\text{-}ct}$ 确定 Q_u 和 Q_l

l_{st}、$l_{st\text{-}ct}$、h_u、h_l、Q_u 与 Q_l 如 2.6.5.1 定义。

2.6.6 纵舱壁垂直强框架

2.6.6.1 纵舱壁垂直强框架腹板高度不小于：

（a）$0.14l_{bdg\text{-}vw}$，具有一道中纵舱壁的船舶；

（b）$0.09l_{bdg\text{-}vw}$，具有两道纵舱壁的船舶；

（c）见 2.6.1.7。

式中：$l_{bdg\text{-}vw}$——纵舱壁垂直强框架有效弯曲跨距，m，见 2.6.6.2 和图 8.2.7。

2.6.6.2 垂直强框架净剖面模数 Z_{net50} 应不小于：

$$Z_{net50}=\frac{1000M}{C_{s-pr}\,\sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3$$

式中：M——设计弯矩，kN·m：

$M=c_uPSl_{bdg\text{-}vw}^2$，对强框架上端

$M=c_lPSl_{bdg\text{-}vw}^2$，对强框架下端

当设置横撑材，并且 $l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$ 大于 $0.7l_{bdg\text{-}vw}$ 时，则上式中 $l_{bdg\text{-}vw}$ 应取为 $l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$；

P——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，其在液舱中部纵舱壁垂直桁有效弯曲跨距 $l_{bdg\text{-}vw}$ 中点处计算，kN/m²；

$l_{bdg\text{-}vw}$——甲板强横梁和底部结构之间纵舱壁垂直强框架的有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2.1.4 和图 8.2.7；

$l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$——对于两道纵舱壁船舶，甲板强横梁与横撑材高度中点之间纵舱壁垂直强框架的有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2.1.4；

S——主要支撑构件间距，如第 4 节 /2.2.2 定义，m；

$C_{s\text{-}pr}$——许用弯曲应力系数，在表 8.2.10 给出；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2；

c_u 与 c_l——如表 8. 2. 14 定义。

纵舱壁垂直强框架的 c_u 与 c_l 值 **表 8. 2. 14**

结 构 布 置			c_u	c_l
具有中纵舱壁的船舶			0. 057	0. 071
具有两道纵舱壁的船舶	横撑材在中心货油舱	M基于 $l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$	0. 057	0. 071
		M基于 $l_{bdg\text{-}vw}$	0. 012	0. 028
	横撑材在边货油舱	M基于 $l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$	0. 057	0. 071
		M基于 $l_{bdg\text{-}vw}$	0. 016	0. 032

2. 6. 6. 3　纵舱壁垂直强框架长度范围内的剖面模数应符合下列要求：

（a）上端要求的剖面模数应在上方 0. 2$l_{bdg\text{-}vw}$ 或 0. 2$l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$ 范围内保持不变；

（b）下端要求的剖面模数应在下方 0. 2$l_{bdg\text{-}vw}$ 或 0. 2$l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$ 范围内保持不变；

（c）当要求剖面模数的确定基于 $l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$，下端要求的剖面模数应在横撑材下方范围内保持不变；

（d）上端与下端之间的要求剖面模数可以线性折减到的中部跨距下端的要求剖面模数的 70%。

注：当采用不同屈服应力的材料时，应根据不同的材料屈服应力作适当的调整。

式中：$l_{bdg\text{-}vw}$、$l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$——如 2. 6. 6. 2 定义。

2. 6. 6. 4　垂直强框架的净剪切面积 $A_{shr\text{-}net50}$ 应不小于：

$$A_{shr\text{-}net50} = \frac{10Q}{C_{t\text{-}pr}\tau_{yd}} \quad \text{cm}^2$$

式中：Q——设计剪力，kN：

$Q = Q_u$，对垂直强框架上部

$Q = Q_l$，对垂直强框架下部

$Q_u = S[c_u l_w(P_u + P_l) - h_u P_u]$

当边货油舱或中货油舱安装横撑材，并且 $l_{vw\text{-}ct}$ 大于 0. 7l_{vw} 时，上式中 l_{vw} 应取为 $l_{vw\text{-}ct}$；

Q_l——取为下列数值的较大值：

（a）$S[c_l l_{vw}(P_u + P_l) - h_l P_l]$

（b）$c_w S c_l l_{vw}(P_u + P_l)$

（c）1. 2Q_u

当边货油舱或中货油舱安装横撑材，并且 $l_{vw\text{-}ct}$ 大于 0. 7l_{vw} 时，上式中 l_{vw} 应取为 $l_{vw\text{-}ct}$；

P_u——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，其在液舱中部垂直桁上方肘板高度 h_u 中点处计算，kN/m^2；

P_l——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，其在液舱中部垂直桁下方肘板高度 h_l 中点处计算，kN/m^2；

l_{vw}——甲板强横梁面板和内底板之间垂直强框架长度，m，见图 8. 2. 7；

$l_{vw\text{-}ct}$——当安装横撑材时，甲板强横梁面板和横撑材高度中点之间垂直强框架长度，m；

S——主要支撑构件间距，如第 4 节 /2. 2. 2 定义，m；

h_u——垂直强框架上方肘板有效长度，m，如图 8. 2. 7，如第 4 节 /2. 1. 5 所述；

h_l——垂直强框架下方肘板有效长度，m，如图 8. 2. 7，如第 4 节 /2. 1. 5 所述；

c_u 和 c_l——如表 8. 2. 15 定义；

c_w=0. 57，具有一道中纵舱壁的船舶

c_w=0. 50，具有两道纵舱壁的船舶

$C_{t\text{-}pr}$——主要支撑构件许用剪切应力系数，在表 8. 2. 10 给出；

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \text{N/mm}^2$$

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

纵舱壁垂直强框架的 c_u 和 c_l 值 **表 8. 2. 15**

结 构 布 置		c_u	c_l
具有一道中纵舱壁的船舶		0. 17	0. 28
具有两道纵舱壁的船舶	Q_u或Q_l基于$l_{vw\text{-}ct}$		
	Q_u或Q_l基于l_{vw}	0. 075	0. 18

2. 6. 6. 5 纵舱壁垂直强框架长度范围内的剪切面积应符合下列要求：

（a）上端要求剪切面积应在上方 0. 2l_{shr} 范围内保持不变；

（b）下端要求剪切面积应在下方 0. 2l_{shr} 范围内保持不变；

（c）当基于 $l_{vw\text{-}ct}$ 确定 Q_u 与 Q_l 时，下端要求剪切面积应在横撑材下方范围内保持不变；

（d）对于在边货油舱或中心货油舱不设横撑材的船舶，上端与下端之间的要求剪切面积可以线性折减到中部跨距下端的要求剖面模数的 50%；

（e）对于在边货油舱或中心货油舱安装横撑材的船舶，要求剪切面积可以沿着上端与下端之间的跨距线性变化。

注：当采用不同屈服应力的材料时，应根据不同的材料屈服应力作适当的调整。

其中：l_{shr}——舷侧横框架有效剪切跨距，m：

$l_{shr}=l_{vw}-h_u-h_l$，基于 l_{vw} 确定 Q_u 和 Q_l

$l_{shr}=l_{vw\text{-}ct}-h_u$，其中基于 $l_{vw\text{-}ct}$ 确定 Q_u 和 Q_l

l_{vw}、$l_{vw\text{-}ct}$、h_u、h_l、Q_u 与 Q_l 如 2. 6. 6. 4 定义。

2. 6. 7 横舱壁水平桁

2. 6. 7. 1 横舱壁水平桁腹板高度不小于：

（a）0. 28$l_{bdg\text{-}hs}$，具有两道纵舱壁船舶的边货油舱内水平桁；

（b）0. 20$l_{bdg\text{-}hs}$，具有两道纵舱壁船舶的中货油舱内水平桁，但中货油舱水平桁腹板高度应不小于边货油舱水平桁腹板高度；

（c）0. 20$l_{bdg\text{-}hs}$，具有一道中纵纵舱壁船舶的水平桁；

（d）见 2. 6. 1. 7。

式中：$l_{bdg\text{-}hs}$——水平桁有效弯曲跨距，m，但不小于所考虑位置处货油舱宽度的 50%，见第 4 节 /2. 1. 4 和图 8. 2. 7。

2. 6. 7. 2 水平桁端部 0. 2$l_{bdg\text{-}hs}$ 范围内净剖面模数 Z_{net50} 应不小于：

$$Z_{net50}=\frac{1000M}{C_{s-pr}\sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3$$

式中：M——设计弯矩：

$$M=cPSl_{bdg\text{-}hs}^2 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

P——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，其在横舱壁水平桁有效弯曲跨距 $l_{bdg\text{-}hs}$ 中点和间距 S 中点处计算，kN/m^2；

S——所考虑水平桁每侧的一半间距（水平桁之间距离）之和，m；

$l_{bdg\text{-}hs}$——水平桁有效弯曲跨距，但不小于所考虑位置处货油舱宽度的 50%，m，见第 4 节 /2. 1. 4

和图 8.2.7：

c=0.073　具有一道中纵舱壁船舶的货油舱水平桁

c=0.083　具有两道纵舱壁船舶的边货油舱水平桁

c=0.063　具有两道纵舱壁船舶的中货油舱水平桁

C_{s-pr}——许用弯曲应力系数，在表 8.2.10 中给出；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2.6.7.3　有效弯曲跨距中部要求剖面模数取为端部要求的 70%，中间值由线性插值得到。当采用不同屈服应力的材料时，应根据不同的材料屈服应力作适当的调整。

2.6.7.4　端部 0.2l_{bdg-hs} 范围内水平桁的净剪切面积 $A_{shr-net50}$ 应不小于：

$$A_{shr-net50}=\frac{10Q}{C_{t-pr}\tau_{yd}} \quad \text{cm}^2$$

式中：Q——设计剪力：

$$Q=0.5PSl_{shr} \quad \text{kN}$$

P——在所考虑设计载荷组合下的设计压力，其在横舱壁水平桁有效弯曲跨距 l_{bdg-hs} 中点和间距 S 中点处计算，kN/m^2；

S——所考虑水平桁每侧一半间距（水平桁之间距离）之和，m；

l_{shr}——平桁有效跨距，m，见第 4 节 /2.1.5；

C_{t-pr}——许用剪切应力系数，在表 8.2.10 给出；

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \text{N/mm}^2$$

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2.6.7.5　有效弯曲跨距中部要求剪切面积取为端部要求的 50%，中间值由线性插值得到。当采用不同屈服应力的材料时，应根据不同的材料屈服应力作适当的调整。

2.6.8　横撑材

2.6.8.1　横撑材所承受的最大设计轴向载荷 W_{ct} 应小于或等于下列公式给出的许用载荷 $W_{ct-perm}$：

$$W_{ct}\leqslant W_{ct-perm}$$

式中：W_{ct}——承受的轴向载荷：

$$W_{ct}=Pb_{ct}S \quad \text{kN}$$

$W_{ct-perm}$——许用载荷：

$$W_{ct-perm}=0.1A_{ct-net50}\eta_{ct}\sigma_{cr} \quad \text{kN}$$

P——所考虑的所有适用载荷组合下的最大设计压力，其在货油舱中部横撑材所支撑面积的中心处计算，kN/m^2；

b_{ct}——当横撑材安装在中货油舱；

b_{ct}=0.5l_{bdg-vw}

当横撑材安装在边货油舱：

b_{ct}=0.5l_{bdg-vw}　对从中货油舱来的设计货物压力

b_{ct}=0.5l_{bdg-st}　设计海水压力

l_{bdg-vw}——纵舱壁垂直强框架有效弯曲跨距，见第 4 节 /2.1.4 和图 8.2.7，m；

l_{bdg-st}——舷侧横框架有效弯曲跨距，见第 4 节 /2.1.4 和图 8.2.7，m；

S——主要支撑构件间距，如第 4 节 /2.2.2 定义，m；

η_{ct}——利用因子，取作：

= 0.65 对 AC1 的验收衡准

= 0.75 对 AC2 的验收衡准

σ_{cr}——根据第 10 节 /3. 5. 1 的净剖面特性计算的横撑材压缩临界屈曲应力，N/mm^2，其中横撑材的有效长度，m，为：

（a）对于中货油舱室的横撑材：

在连接横撑材水平加强筋的右舷和左舷纵舱壁的纵向加强筋面板间距离；

（b）对于边舱的撑材：

在连接横撑材水平加强筋的纵舱壁的纵向加强筋面板至内壳板之间的距离；

$A_{ct-net50}$——横撑材的净横剖面面积，cm^2。

2. 6. 8. 2 应重视焊接连接保证足够强度以受力传输，并且要重视加强布置，以保证压力有效地向腹板传递。对横撑材肘板端部的趾部焊接应特别注意。

2. 6. 8. 3 水平加强筋应与横撑材端部的纵骨对齐并连接。

2. 6. 9 船中 0. 4*L* 以外的主要支撑构件

2. 6. 9. 1 如果船中 0. 4*L* 区域以外的货油舱没有进行有限元分析，可以用 2. 6. 9. 2 和 2. 6. 9. 3 给出的要求获得 0. 4*L* 区域以外主要支撑构件的尺度。船中 0. 4*L* 内尺度要求如第 8 节 /2 和第 9 节 /2，见 2. 6. 1. 3 和 2. 6. 1. 4。

2. 6. 9. 2 船中 0. 4*L* 以外的主要支撑构件的净剖面模数 $Z_{end-net50}$ 不小于：

$$Z_{end-net50}=\frac{Z_{mid-net50}\,\sigma_{yd-mid}M_{end}}{\sigma_{yd-end}M_{mid}} \quad \text{cm}^3$$

式中：M_{end}——所考虑船中 0. 4*L* 以外构件的弯矩，其根据 2. 6. 3 至 2. 6. 8 相应要求采用指定位置的设计压力计算得到，kN·m；

M_{mid}——船中剖面位置、相应构件的弯矩，根据 2. 6. 2 至 2. 6. 8 相应要求计算，kN·m；

$Z_{mid-net50}$——船中剖面位置、相应构件的面板处的净剖面模数，cm^3；

σ_{yd-end}——船中 0. 4*L* 以外所考虑构件面板的材料的规定最小屈服应力，N/mm^2；

σ_{yd-mid}——船中位置所考虑构件面板的材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

2. 6. 9. 3 船中 0. 4*L* 以外的主要支撑构件的净剪切面积 $A_{shr-end-net50}$ 不小于：

$$A_{shr-end-net50}=\frac{A_{shr-mid-net50}\,\tau_{yd-mid}Q_{end}}{\tau_{yd-end}Q_{mid}} \quad \text{cm}^2$$

式中：Q_{end}——船中 0. 4*L* 以外所考虑构件的剪力，其根据 2. 6. 3 至 2. 6. 8 相应要求采用指定位置的设计压力计算，kN；

Q_{mid}——船中剖面位置以及相应构件的剪力，根据 2. 6. 2 至 2. 6. 8 相应要求计算，kN；

$A_{shr-mid-net50}$——船中剖面位置以及相应构件的面板处的净剪切面积，cm^2；

$$\tau_{yd-end}=\frac{\sigma_{yd-end}}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{yd-mid}=\frac{\sigma_{yd-mid}}{\sqrt{3}}$$

σ_{yd-end}——船中 0. 4*L* 以外所考虑构件面板的材料的规定最小屈服应力，N/mm^2；

σ_{yd-mid}——船中位置所考虑构件面板的材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

3 第一货油舱之前的结构

3. 1 一般要求

3. 1. 1 适用范围

3. 1. 1. 1 本小节的要求适用于最前端货油舱之前的首部结构。当最前面货油舱的前端位于自 F. P. 起向后 0. 1*L* 之后的船体长度时，应特别考虑第 8 节 /2 要求和这些要求以及的适用性。

3.1.1.2 本小节中描述的净尺度与下列总尺度有关：

（a）对于 3.1.4 的最小厚度要求应用，总厚度由适用要求计算值加上第 6 节 /3 中规定的全部腐蚀增量获得。

（b）对于板和局部支撑构件，其总厚度和总横剖面特性由适用要求计算值加上第 6 节 /3 规定的全部腐蚀增量得到。

（c）对于主要支撑构件，其总剪切面积、总剖面模数和其他总横剖面特性由适用要求计算值加上 0.5 倍的第 6 节 /3 规定的相关全部腐蚀增量获的。

（d）对于第 10 节 /2 的屈曲要求的应用，总厚度和总横剖面特性由适用要求计算值加上第 6 节 /3 的全部腐蚀增量获取。

3.1.2 一般尺度要求

3.1.2.1 船体结构应符合下列适用要求：

（a）船体梁纵向强度，见第 8 节 /1；

（b）承受晃荡和冲击载荷的强度，见第 8 节 /6；

（c）屈曲 / 极限强度，见第 10 节。

3.1.2.2 锚机和其他甲板机械以及起重机、桅杆和起重柱等位置的甲板板材厚度以及支撑结构应进行妥善加强。见第 11 节 /3。

3.1.2.3 局部和主要支撑构件的净剖面模数、剪切面积和其他剖面特性根据第 4 节 /2 来确定。

3.1.2.4 局部支撑构件的剖面模数和腹板厚度适用于不含端部肘板的区域。主要支撑构件的剖面模数和横剖面剪切面积按照表 8.3.5 说明中的要求来应用。

3.1.2.5 尺度衡准所基于的假定条件是：所有结构连接点和焊接细节的设计和制造使其能够承受所考虑位置的预期工作应力水平。在高应力区域设计时，应考虑到装载模式、应力集中以及潜在的结构连接和细节的失效模式。结构设计细节应符合第 4 节 /3 要求。

3.1.2.6 所有结构部分应根据需要保留开口和流水孔、空气孔，以确保泵吸管的液流通畅且和空气良好逸出。应做好深舱以上处所的排水布置。另见第 4 节 /3。

3.1.2.7 应在舷侧和底部外板各纵骨处的主要支撑构件上设置腹板加强筋。如果加强筋端部连接充分、连接腹板和舱壁板材的强度足够，也可采用其他替代布置。

3.1.3 结构连续性

3.1.3.1 外板、上甲板和内底的尺度应向前端过渡。见 1.6。

3.1.3.2 在首尖舱后部到最前货油舱的过渡区域内，应对主要纵向构件的布置进行适当考虑以避免剖面处的突然变化。首尖舱内的结构，如平台、甲板、水平环形框架或舷侧水平桁等，应有效地向后过渡到货油舱结构。当这些结构与最前货油舱舱壁之后的纵向构件对齐时，可以采用安装逐渐变小的过渡肘板进行过渡。

3.1.3.3 当内壳或者纵舱壁结构在最前货油舱的前舱壁中断时，应设置足够的背撑构件以及逐渐变小的肘板以保证强度的连续性。

3.1.3.4 强力甲板的纵骨架式应尽可能地向船首延伸。

3.1.3.5 所有外板骨架以及液舱边界扶强材应保持连续，或者在其端部设置肘板，除非满足第 4 节 /3.2.4 和第 4 节 /3.2.5 中的要求。

3.1.4 最小厚度

3.1.4.1 除本小节给出的厚度、剖面模数和扶强材腹板剪切面积要求外，首部区域的板材和扶强材厚度还应符合表 8.3.1 给出的适用的最小厚度要求。

3.2 船底结构

3.2.1 平板龙骨

3.2.1.1 平板龙骨应尽可能地向前延伸，并满足 2.2.1 给出的尺度要求。

3.2.2 船底外板

3.2.2.1 船底外板的厚度应符合 3.9.2.1 的要求。

3.2.3 船底纵骨

3.2.3.1 船底纵骨应尽可能地向前延伸。此外，应设置适当加强的框架。

3.2.3.2 船底纵骨的剖面模数和厚度应符合 3.9.2.2 和 3.9.2.3 的要求。

最前货油舱之前的结构的最小净厚度 **表 8.3.1**

尺度位置			厚度（mm）
板材	外壳	平板龙骨	见2.1.5.1
		船底外板/舭部板/舷侧外板	见2.1.5.1
	上甲板		见2.1.5.1
	其他结构	船体内部液舱边界	见2.1.5.1
		非水密舱壁，干舱之间舱壁和其他普通板	见2.1.5.1
		支柱舱壁	7.5
		强胸横梁	6.5
肋板与底部桁材			5.5+0.02 L_2
主要支撑结构的腹板板			6.5+0.015 L_2
局部支撑构件			见2.1.5.1
防倾肘板			见2.1.5.1

表中：L_2——规范船长，L，单位m，定义见第4节/1.1.1.1，但不大于300m。

3.2.4 船底肋板

3.2.4.1 船底肋板应该安装在每一个强框架的位置。纵向中心线处肋板最小高度不得小于货油舱区域双层底的要求高度。见第 5 节 /3.2.1.1。

3.2.5 船底桁材

3.2.5.1 应通过将中纵桁材延伸至船首或提供高腹板桁材或中纵舱壁在中心线处提供支撑结构。

3.2.5.2 如果设置中纵桁材，则其最小高度和厚度不得小于货油舱区域双层底的要求高度，上端边界应加强。如果具备中纵制荡舱壁，最低部列板的厚度不得小于中纵桁的要求。

3.2.5.3 在纵向制荡舱壁支撑底部横梁时，舱壁上开孔的细节和布置要构造成避免在制荡舱壁与底部横梁连接的位置出现高应力区。

3.2.6 钢板首柱

3.2.6.1 钢板首柱应由水平桁材和平台以及与船首不超过 1500mm 间距的中间强胸横梁支撑。当首柱半径较大时，应安装中心线支撑结构。

3.2.6.2 在首柱的最小设计压载吃水 T_{bal} 和结构吃水 T_{sc} 之间，钢板首柱的净厚度 $t_{stem-net}$ 不应小于：

$$t_{stem-net}=\frac{L_2\sqrt{\frac{235}{\sigma_{yd}}}}{12}\quad \text{mm，但不大于 21mm}$$

式中：L_2——规范船长 L，m，定义见第 4/1.1.1.1 节，但不大于 300m；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

在结构吃水以上的钢板首柱的厚度可逐渐过渡到上甲板处船体外板的要求厚度。

在最小设计压载吃水以下的平板首柱的厚度可逐渐过渡到平板龙骨的要求厚度。

3.2.7 防撞舱壁之后处所内的肋板和桁材

3.2.7.1 防撞舱壁之后、最前货油舱之前的肋板和桁材应符合3.2.4和3.2.5的要求，并符合3.9.3.3的剪切面积要求。

3.3 舷侧结构

3.3.1 舷侧外板

3.3.1.1 舷侧外板的厚度应符合3.9.2.1的要求。如适用时，舷侧外板的厚度应符合2.2.4.2的要求。

3.3.1.2 如果设置首楼，舷侧外板的要求也适用于伸展到首楼甲板升高处的板材。

3.3.2 舷侧外壳局部支撑构件

3.3.2.1 舷侧外壳纵向骨架应尽可能向船首延伸。

3.3.2.2 船体外壳骨架的剖面模数和厚度应符合3.9.2.2和3.9.2.3的要求。

3.3.2.3 在横舱壁处的纵骨端部连接应具备足够的刚度以及侧向支撑，并且在非连续区域应安装软鼻肘板。肘板不得与纵骨搭接。

3.3.3 舷侧外壳主要支撑结构

3.3.3.1 一般的，按第4节/2.2.2定义的强框架间距S，取：

S=2.6+0.005L_2，mm，但S不得大于3.5m。

式中：L_2——规范船长L，如第4节/1.1.1.1定义，但不大于300m。

3.3.3.2 一般地，位于防撞舱壁水平桁材之前的横向骨架的间距应近似取为3.5m。水平桁材的有效跨距不得超过10m，并且应得到强框架结构的充分支撑。防撞舱壁之后如果用横骨架式结构，水平桁材的间距可增大。

3.3.3.3 应设置开孔平台以限制强框架有效跨距不超过10m。

3.3.3.4 船首区域支撑纵骨架的强肋骨以及支撑横骨架的水平桁材和/或强肋骨的尺度应根据3.9.3以及下列附加要求进行确定：

（a）不设置横撑材：

- 要求的强肋骨剖面模数应在从底端起有效弯曲跨距的60%内保持不变。用于计算剩余强肋骨剖面模数的弯矩值可以适当折减，但不得超过20%。
- 要求的强肋骨下端剪切面积应在从底端测起的剪切跨距的60%内保持不变。

（b）设置一个横撑材

- 强肋骨或水平桁材的有效弯曲和剪切跨距可以忽略不计横撑材。剪力和弯矩可以折减到忽略横撑材值的50%。对于强肋骨，强肋骨的下端所要求的剖面模数和剪切面积应向上到横撑材保持不变，而强肋骨上端所要求的剖面模数和剪切面积应在横撑材以上剖面保持不变。
- 横撑材应满足应用表8.3.8中的设计载荷的2.6.8节的要求。

（c）多根横撑材的结构应根据3.3.3.4（d）特别考虑。

（d）如果船舶具备复合框架结构，这些主要支撑结构尺度的适用性应采用更高级的计算方法确定。

3.3.3.5 主要支撑构件的腹板高度应不小于弯曲跨距的14%，且在加强筋开孔不封闭的情况下，腹板高度至少应为开口高度的2.5倍。

3.4 甲板结构

3.4.1 甲板板

3.4.1.1 甲板板的厚度应符合3.9.2.1与侧向压力、甲板上浪和甲板载荷有关的要求。

3.4.2 甲板扶强材

3.4.2.1 甲板扶强材的剖面模数和厚度应符合 3.9.2.2 和 3.9.2.3 与侧向压力、甲板上浪和甲板载荷有关的要求。

3.4.3 甲板主要支撑结构

3.4.3.1 主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 3.9.3 的要求。

3.4.3.2 在货舱和干舱内，主要支撑构件腹板高度分别不小于 10% 和 7% 的无支撑弯曲跨距，并且，若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2.5 倍的开孔高度。无支撑的弯曲跨距是 4/2.1.4 中定义的弯曲跨距或板架结构中与其他主要支撑构件连接处的距离。

3.4.3.3 如果受到重型设备的集中载荷，甲板结构的尺度应根据实际载荷进行确定。见第 11/3 节。

3.4.4 支柱

3.4.4.1 支柱应尽可能安装在同一垂直线上，并且应采取有效布置使载荷分散在所有支柱的上下端。如果支柱受到偏心载荷，则应针对施加的额外弯矩进行加强。

3.4.4.2 管状和空心的方支柱应在其上下端通过有效肘板 / 者复板或内嵌板（如设置）进行连接，以有效传送载荷。支柱应通过连续焊接连接在上下端。在采用轧制型式支柱的上下端，应通过肘板和其他等效方法分布载荷。

3.4.4.3 液舱内支柱的剖面应为实心。当静水压力有可能导致支柱受到拉应力时，支柱及其端部受到的拉应力不得超过材料的规定最小屈服应力的 45%。

3.4.4.4 支柱的尺度应符合 3.9.5 要求。

3.4.4.5 当重型设备的载荷超过 3.9.5 的设计载荷时，支柱尺度应根据实际装载情况确定。

3.5 液舱舱壁

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 液舱可设有隔舱或深制荡板，以最大限度地降低结构的动态应力。

3.5.2 结构

3.5.2.1 在任何情况下，液舱边界舱壁的尺度应不小于水密舱壁的要求。

3.5.3 液舱边界舱壁的尺度

3.5.3.1 液舱边界板材的厚度应符合 3.9.2.1 的要求。

3.5.3.2 扶强材的剖面模数和厚度应符合 3.9.2.2 和 3.9.2.3 的要求。

3.5.3.3 主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 3.9.3 的要求。

3.5.3.4 主要支撑构件的腹板板材高度不得小于无支撑弯曲跨距的 14%。且若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2.5 倍的开孔高度。

3.5.3.5 槽形舱壁的尺度应符合 3.9.4 的要求。

3.6 水密边界

3.6.1 一般要求

3.6.1.1 水密边界应根据第 5 节 /2 安装。

3.6.2 防撞舱壁

3.6.2.1 防撞舱壁结构构件的尺度应符合 3.6.3 的要求。此外，防撞舱壁还应符合 3.6.2.2 至 3.6.2.4 的要求。

3.6.2.2 防撞舱壁的位置应符合第 5 节 /2.2 的要求。

3.6.2.3 在干舷甲板以下的防撞舱壁上，不得开舱门、人孔、永久通道开口或通风管等。当防撞舱壁延伸到干舷甲板以上时，其延伸部分开孔应与船舶设计和操作状况相吻合并控制到最少。开孔应设置水密关闭装置。有必要处理舱壁前液舱货油时，在这些管道的阀门安装在干舷甲板以上的条件下，则管道可以穿过防撞舱壁。这些阀门通常安装在首尖舱内的防撞舱壁上而不是在货油舱内。

3.6.2.4 防撞舱壁前的舱室内不得用于运输易燃液体。

3.6.3 水密边界的尺度

3. 6. 3. 1　边界板材的厚度应符合 3. 9. 2. 1 的要求。

3. 6. 3. 2　扶强材的剖面模数和厚度应符合 3. 9. 2. 2 和 3. 9. 2. 3 的要求。

3. 6. 3. 3　主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 3. 9. 3 的要求。

3. 6. 3. 4　主要支撑构件的腹板板材高度不得小于未支撑弯曲跨距的 10%。且若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2. 5 倍的开孔高度。

3. 6. 3. 5　槽形舱壁的尺度应符合 3. 9. 4 的要求。

3. 7　上层建筑

3. 7. 1　首楼结构

3. 7. 1. 1　首楼结构应受到与高腹板的横梁和强框架相连的桁材的支撑，通常要布置成完整的横向环带结构，并且由延伸至结构下端的支柱支撑。如设有高腹板横梁和桁材时，应把高腹板横梁、强框架、和 / 或桁材的间距限制在大约 3. 5m。支柱应符合 3. 4. 4 的要求。主要结构相交处应仔细安装，尤其注意支柱上下端处的连接，并避免应力集中。

3. 7. 2　首楼端舱壁

3. 7. 2. 1　首楼端舱壁的细节和尺度应符合第 11 节 /1. 4 的要求。

3. 8　其他结构

3. 8. 1　支柱舱壁

3. 8. 1. 1　支持桁材或支柱的舱壁和替代桁材的纵向舱壁应得到加强，以提供不小于支柱所要求强度的有效支撑。支柱剖面的作用载荷与所要求的净横剖面面积采用 3. 4. 4 的要求确定。扶强材净惯性力矩的计算采用板材宽度为 40 t_{net}。t_{net} 为板净厚度，单位 mm。

3. 8. 1. 2　支柱舱壁应符合下列要求：

（a）舱壁扶强材之间的距离不得超过 1500mm。

（b）如果为槽形，槽形的高度不应小于 100mm。

3. 8. 2　球鼻首

3. 8. 2. 1　如果设置球鼻首，则结构布置应确保球鼻得到足够支撑且与首尖舱结构相连接。

3. 8. 2. 2　在球鼻的前端，结构通常通过与中心线高腹板相连的间距大约为 1m 的水平隔板进行支撑。

3. 8. 2. 3　通常，垂直横向隔板应安装为从尖舱框架到球鼻骨架过渡区域。

3. 8. 2. 4　如果船舶具备宽球鼻，通常应安装中线制荡舱壁进行额外加强。

3. 8. 2. 5　如果船舶具备长球鼻，应安装横向制荡舱壁或结实的强框架进行额外加强。

3. 8. 2. 6　在球鼻前端以及其他在收放锚链时易受锚和锚链接触的区域应增加外板的厚度。增加后的厚度应与 3. 2. 6 中钢板首柱的要求相同。

3. 8. 3　锚链舱

3. 8. 3. 1　锚链舱应符合第 11 节 /4. 2. 9 的要求。

3. 8. 4　首侧推管隧

3. 8. 4. 1　管隧板的净厚度 $t_{tun-net}$ 不得小于首侧推器周围外板的厚度。此外，$t_{tun-net}$ 不得小于：

$$t_{turn-net} = 0.008 d_{tun} + 1.8 \qquad \text{mm}$$

式中：d_{tun}——管隧的内直径，mm，但不得小于 970mm。

3. 8. 4. 2　当管隧舷外侧端有撑杆或格栅时，撑杆或格栅应作有效固定。

3. 9　尺度要求

3. 9. 1　一般要求

3. 9. 1. 1　表 8. 3. 8 给出了计算局部支撑构件和主要支撑构件结构要求的设计载荷组。静和动载荷分量的组合要根据表 7. 6. 1 和第 7 节 /6. 3 给出的过程。

3. 9. 2　板和局部支撑构件

3. 9. 2. 1　对于受侧向压力的板材，其净厚度 t_{net} 是按照表 8. 3. 8 中给出的所有适用设计载荷组合

计算得到的结果的最大值，按下式计算：

$$t_{net} = 0.0158\,\alpha_p s\sqrt{\frac{|P|}{C_a\,\sigma_{yd}}} \qquad \text{mm}$$

式中：α_p——板材长宽比的修正因子：

$\alpha_p = 1.2 - \dfrac{s}{2100 l_p}$，但不大于 1.0

P——所考虑设计载荷组的设计压力，在第 3 节 /5.1.2 中定义的载荷作用点处计算，kN/m^2；

s——扶强材间距，单位 mm，如第 4 节 /2.2 定义；

l_p——板格长度，取主要支撑构件间距，除非设置短梁，m；

C_a——所考虑验收衡准组下的许用弯曲应力系数，在表 8.3.2 给出；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

板材的许用弯曲应力系数 **表 8.3.2**

验收衡准组合	结构构件	C_a
AC1	全部板材	0.80
AC2	船体外板	0.95
	内部边界板	1.00

说明：防撞舱壁板应用验收衡准AC1对设计载荷组合11（意外进水）进行评估。

3.9.2.2 对于受侧向压力的局部支撑构件，其净剖面模数要求 Z_{net} 是按照表 8.3.8 中给出的所有适用设计载荷组合计算得到的结果的最大值，按下式计算：

$$Z_{net} = \frac{|P| s l_{bdg}{}^2}{f_{bdg} C_s\,\sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3$$

式中：P——所考虑设计载荷组的设计压力，在 3/5.2.2 节中定义的载荷作用点处计算，kN/m^2；

s——加强筋间距，如第 4 节 /2.2 定义；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，如第 4 节 /2.1.1 定义；

f_{bdg}——弯矩因子；

对于连续扶强材，以及在设有与理想化扶强材一致固定端部的端部连接：

f_{bdg} =12，对于水平扶强材

f_{bdg} =10，对于垂直扶强材

其他结构的弯矩因子可取如表 8.3.5 的值；

C_s——所考虑验收衡准组下得许用弯曲应力系数，在表 8.3.3 给出；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

扶强材的许用弯曲应力系数 **表 8.3.3**

验收衡准组合	结构构件	C_s
AC1	所有扶强材	0.75
AC2	所有扶强材 (1)	0.90

说明：防撞舱壁扶强材应用验收衡准组AC1对设计载荷组合11（意外进水）进行评估。

3.9.2.3 对于受侧向压力的扶强材，基于剪切要求的腹板净厚度 t_{w-net} 是按照表 8.3.8 中给出的所有适用设计载荷组合下计算得到的结果的最大值，按下式计算：

$$t_{w-net}=\frac{f_{shr}|P|sl_{shr}}{d_{shr}C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm}$$

式中：P——所考虑设计载荷组的设计压力，在第 3 节 /5.2.2 中定义的载荷作用点处计算，kN/m^2；

f_{shr}——剪力因子：

对于连续扶强材，以及在设有与理想化扶强材一致固定端部的端部连接：

f_{shr} =0.5 对于水平扶强材

f_{shr} =0.7 对于垂直扶强材

其他结构的剪力因子见表 8.3.5；

s——扶强材间距，如第 4 节 /2.2 定义，mm；

l_{shr}——有效剪切跨距，如第 4 节 /2.1.2 定义，m；

d_{shr}——扶强材有效腹板高度，如第 4 节 /2.4.2.2 定义，mm；

C_t——所考虑验收衡准下的许用剪切应力系数，在表 8.3.4 给出；

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \text{N/mm}^2$$

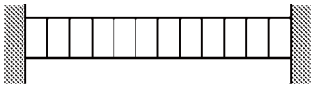
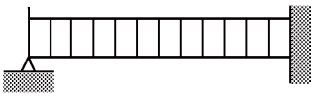
σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

扶强材许用剪切应力系数 **表 8.3.4**

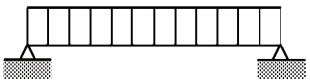
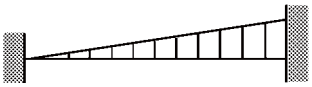
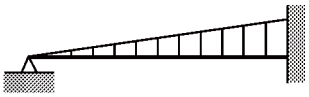
验收衡准组合	结构构件	C_s
AC1	所有扶强材	0.75
AC2	所有扶强材 (1)	0.90

说明：防撞舱壁扶强材应用验收衡准AC1对设计载荷组合11（意外进水）进行评估。

弯矩因子和剪力因子 f_{bdg} 和 f_{shr} **表 8.3.5**

载荷和边界条件				弯矩和剪力因子（当载荷变化时，基于跨距中点的载荷）		
位置				1	2	3
载荷形式	1 支撑	2 力场	3 支撑	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} –	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 –	12.0 0.50
B				– 0.38	14.2 –	8.0 0.63

续上表

载荷和边界条件				弯矩和剪力因子（当载荷变化时，基于跨距中点的载荷）		
位置				1	2	3
载荷形式	1 支撑	2 力场	3 支撑	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} –	f_{bdg3} f_{shr3}
C				– 0. 50	8. 0 –	– 0. 50
D				15. 0 0. 30	23. 3 –	10. 0 0. 70
E				– 0. 20	16. 8 –	7. 5 0. 80

说明：1. 对于局部和主要支撑构件，结构支撑点的弯矩因子f_{bdg}适用于距有效弯曲跨距端0. 2l_{bdg}距离内。

2. 对于局部和主要支撑构件，结构支撑点的剪力因子f_{shr}适用于距有效剪切跨距端0. 2l_{shr}距离内。

3. 局部支撑构件的f_{bdg}和f_{shr}的应用：

（a）局部支撑构件的剖面模数要求由f_{bdg1}，f_{bdg2}，f_{bdg3}的最小值来确定；

（b）局部支撑构件的剪切面积要求由f_{shr1}，f_{shr3}的最大值来确定。

4. 主要支撑构件的f_{bdg}和f_{shr}的应用：

（a）距有效跨端部0. 2l_{bdg}区域内的剖面模数要求一般用f_{bdg1}和f_{bdg3}来确定，但f_{bdg}不大于12；

（b）中间跨距区域的剖面模数的确定采用f_{bdg}=24，或者表中f_{bdg2}，取较小者；

（c）距有效跨端部0. 2l_{shr}区域内的端部连接剪切面积的确定采用f_{shr}=0. 5或者适用的f_{shr1}、f_{shr3}，取较大者；

（d）从模式A到模式E，f_{shr}的值在0. 2l_{shr}外逐渐向跨距中点处的0. 5f_{shr}减小，其中f_{shr}取f_{shr1}和f_{shr3}的较大值。

5. 其他载荷模型见表8. 7. 1。

3. 9. 3 主要支撑构件

3. 9. 3. 1 对于与曲线型船体剖面连接或处于曲线型船体剖面的主要支撑构件，端部肘板的有效性应包括船体曲率的冗余。对于舷侧横向框架，由于横撑材的设置，要求可以降低，见 3. 3. 3. 4。

3. 9. 3. 2 对于受侧向压力的主要支撑构件，其净剖面模数要求 Z_{net50} 是按照表 8. 3. 8 中给出的所有适用设计载荷组合下计算得到的结果的最大值，按下式计算：

$$Z_{net50} = 1000\frac{|P|Sl_{bdg}^{\ 2}}{f_{bdg}C_s\sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3$$

式中：P——所考虑设计载荷组的设计压力，在第 3 节 /5. 3. 3 中定义的载荷作用点处计算，kN/m^2；

S——主要支撑构件间距，如第4节/2.2.2定义，m；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，如第4/2.1.4定义，m；

f_{bdg}——弯矩因子，在表8.3.5中给出；

C_s——所考虑验收衡准组下的许用弯曲应力系数，在表8.3.6中给出；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

主要支撑构件许用弯曲应力系数 **表8.3.6**

验收衡准组合	与主要支撑构件连接的结构	C_s
AC1	所有边界，包括甲板和平台	0.70
AC2	所有边界，包括甲板和平台(1)	0.85

说明：（1）防撞舱壁扶强材应用验收衡准AC1对设计载荷组合11（意外进水）进行评估。

3.9.3.3 对于受到侧向压力的主要支撑构件，其有效净剪切面积$A_{shr-net50}$，是按照表8.3.8中给出的所有适用设计载荷组合下计算得到的结果的最大值，按下式计算：

$$A_{shr-net50} = 10\frac{f_{shr}|P|Sl_{shr}}{C_t\,\tau_{yd}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：P——所考虑设计载荷组的设计压力，在第3节/5.3.2中定义的载荷作用点处计算，kN/m^2；

S——主要支撑构件间距，m，如第4节/2.2.2定义；

l_{shr}——有效剪切跨距，如第4节/2.1.5定义；

f_{shr}——剪力因子，在表8.3.5种给出；

C_t——所考虑验收衡准组下的许用剪切应力系数，在表8.3.7中给出；

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$$

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

主要支撑构件的许用剪切应力系数 **表8.3.7**

验收衡准组合	与主要支撑构件连接的结构	C_t
AC1	所有边界，包括甲板和平台	0.70
AC2	所有边界，包括甲板和平台(1)	0.85

说明：（1）防撞舱壁扶强材应用验收衡准组AC1对设计载荷组合11（意外进水）进行评估。

3.9.3.4 主要支撑构件的分析通常采用描述特定结构类型的计算方法。如有必要也可采用更高级的计算方法去确保主要支撑构件的名义应力水平低于许用应力或者所受适用设计载荷组合下的3.9.3.2和3.9.3.3中的应力系数。

3.9.4 槽形舱壁

3.9.4.1 如设置槽形舱壁时，其批准应特别考虑。

指导性注释：

货油舱区域槽形舱壁尺度要求可作为基础，见2.5.6和2.5.7

3.9.5 支柱

3.9.5.1 支柱所承受的最大载荷取自表8.3.8中的所有适用设计载荷组合中计算得到的最大值，并且小于或等于下式所给出的许用支柱载荷，其中$W_{pill-perm}$是基于支柱的净特性。

$$W_{pill} \leqslant W_{pill\text{-}perm}$$

式中：W_{pill}——应用的支柱轴向载荷，$W_{pill}=Pb_{a\text{-}sup}l_{a\text{-}sup}+W_{pill\text{-}upr}$，kN；

$W_{pill\text{-}perm}$——支柱的许用载荷，$W_{pill\text{-}perm}=0.1A_{pill\text{-}net50}\eta_{pill}\sigma_{crb}$，kN；

P——所考虑设计载荷组合的设计压力，在所考虑支柱所支撑的甲板区域的中心点计算，kN/m^2；

$b_{a\text{-}sup}$——支撑区域的平均宽度，m；

$l_{a\text{-}sup}$——支撑区域的平均长度，m；

$W_{pill\text{-}upr}$——支柱或支柱以上承受的轴向载荷，kN；

$A_{pill\text{-}net50}$——支柱的净横剖面面积，cm^2；

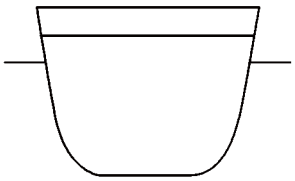
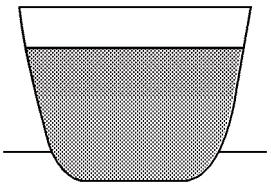
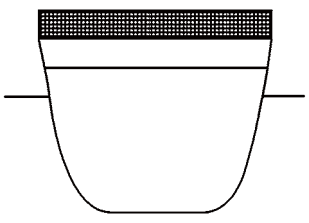
η_{pill}——所考虑设计载荷组合的利用因子：

$\eta_{pill}=0.5$，对于验收衡准 AC1

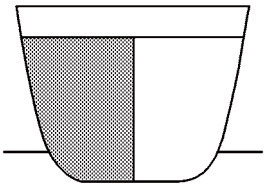
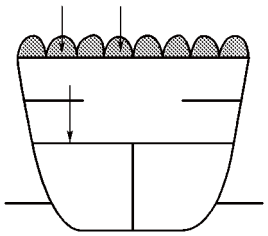
$\eta_{pill}=0.6$，对于验收衡准 AC2

σ_{crb}——支柱的临界压缩屈曲应力，基于根据第 10 节 /3.5.1 计算的净剖面特性。

用于板、主要支撑构件和局部支撑构件的设计载荷组合 **表 8.3.8**

局部或主要支撑构件类型	设计载荷组合	载荷分量	外部吃水	内 容	图 示
外壳	1	P_{ex}	T_{sc}	仅海水压力	
	2	P_{ex}	T_{sc}		
	5	P_{in}	T_{bal}	仅舱内压力，海水压力被忽略	
	6	P_{in}	$0.25T_{sc}$		
外甲板	1	P_{ex}	T_{sc}	仅上浪压力	

续上表

局部或主要支撑构件类型	设计载荷组合	载荷分量	外部吃水	内　容	图　示
舱边界和/或水密边界	5	P_{in}	T_{bal}	仅一侧压力，液舱满舱，相邻液舱空舱	
	6	P_{in}	$0.25T_{sc}$		
	11	$P_{in\text{-}flood}$	–		
内部或外部的甲板或平台	9	P_{dk}	T_{bal}	仅分布或集中载荷，相邻舱空舱，上浪海水压力可忽略	
	10	P_{dk}	T_{bal}		

表中：T_{sc}——结构吃水，见第4节/1.1.5.5中的定义；

T_{bal}——最小设计压载吃水，m。见第4节/1.1.5.2定义。

说明：（1）设计载荷组合规定和其他设计载荷组合的载荷参数在表8.2.8中给出。

（2）当船舶结构型式不能如上述描述时，确定结构边界尺度要求的适用设计载荷组合的选择应为一舱满舱，另一舱空舱。边界应按照两侧载荷进行评估。应基于液舱或处所内货物来选择设计载荷组合使得边界压力达到最大，吃水应与设计载荷组合以及本表一致。涵盖S与$S+D$的设计载荷组合均应选择。见表8.2.7的注4和表8.2.8。

（3）没有形成船体外壳的空舱或干燥处所的边界应用设计载荷组11来评估，见说明2。

4　机器处所

4.1　一般要求

4.1.1　适用范围

4.1.1.1　本小节要求适用于船尾区域中的最后货油舱舱壁之后、尾尖舱舱壁之前并包括尾尖舱舱壁的机器处所。

4.1.1.2　本小节规定的净尺度与下列总尺度有关：

（a）在应用4.1.5的最小厚度要求时，总厚度由适用要求的计算值加上第6节/3中定义的全部腐蚀增量得到。

（b）对于局部支撑构件和板，其总厚度和总横剖面特性由适用要求的计算值加上第6节/3的全部腐蚀增量得到。

（c）对于主要支撑构件，其总剪切面积、总剖面模数和其他总横剖面特性由适用要求的计算值加上第6节/3的相关全部腐蚀增量的0.5倍获得。

（d）在应用第10节/2的屈曲要求时，总厚度和总横剖面特性通过加上第6节/3的全部腐蚀增量

的适用要求来获取。

4.1.2 总尺度要求

4.1.2.1 船体结构应符合下列有关要求：

（a）船体梁纵向强度，见第 8 节 /1；

（b）承受晃荡和冲击载荷的强度，见第 8 节 /6；

（c）屈曲 / 极限强度，见第 10 节。

4.1.2.2 局部和主要支撑构件的净剖面模数，剪切面积和其他剖面特性由第 4 节 /2 决定。

4.1.2.3 局部支撑构件的剖面模数和腹板厚度适用于离开端部肘板的区域。主要支撑构件的剖面模数和横剖面剪切面积应用表 8.3.5 说明的要求。

4.1.2.4 尺度衡准基于的假定是：所有结构连接点和焊接细节的设计和制造成能够承受所考虑位置的预期工作应力水平。在高应力区域设计时，应考虑到装载模式、应力集中以及潜在的结构节点和细节的失效模式。结构设计细节应符合第 4 节 /3 要求。

4.1.2.5 所有结构部分应设置排污孔和排水孔、及通风孔，以确保泵吸管的液流通畅且通风情况良好。应做好液舱以上处所的排水布置。也可见第 4 节 /3。

4.1.3 结构连续性

4.1.3.1 外壳、上甲板和内底的尺度应向船尾适当过渡。见 1.6。

4.1.3.2 应做好妥善布置，以确保强度的连续性并避免因机器处所内支撑船舶主要纵向强度的结构中断造成强度连续性的突然变化。

4.1.3.3 当内壳或纵向舱壁结构在机舱前舱壁中断时，应设置足够的背撑结构连同削斜肘板以保证强度的连续性。

4.1.3.4 所有外壳框架以及舱边界扶强材应具备整体连续性，或者在端部装有肘板，除非在第 4 节 /3.2.4 和第 4 节 /3.2.5 中允许的构件。

4.1.3.5 机舱内的纵向主要支撑构件、下层甲板以及舱壁应尽可能与货油舱区域的类似结构相对中。如果无法直接对中，那么应提供合适的嵌接布置如过渡肘板。

4.1.4 布置

4.1.4.1 当机器处所的甲板 / 舱壁上有开孔时，结构布置应确保甲板、舷侧和底部结构的足够支撑。

4.1.4.2 所有机器和轴等部件应有足够支撑，将所受载荷分散到船舶结构上去，附近的结构也应适当加强。

4.1.4.3 主要支撑构件的位置应充分考虑扶强材贯穿以及支柱支撑的同轴性，以形成有效的结构设计。

4.1.4.4 这些要求的制定是基于传统的单螺旋桨、单机推进的布置。在双桨或多主机船舶或者大功率船舶上，可以对结构尺度以及联结区域作额外加强，加强的幅度应和机器的重量、功率和机器的大小相匹配，尤其是主机的位置与基座宽度的比例相对较大。

4.1.4.5 主推进装置、减速齿轮箱、轴和推力轴承的基座以及支撑这些基座的结构，应在所有预期载荷条件下保持对中性和刚度。应考虑提交下列图纸给机器制造商以供审核：

（a）主推进装置的基座；

（b）减速齿轮箱的基座；

（c）推力轴承的基座；

（d）支撑（a）、（b）和（c）项的结构。

4.1.4.6 在货油区域和机器处所之间应提供隔离处所。泵舱、压载舱或燃油舱都可作为该类隔离处所。

4.1.5 最小厚度

4.1.5.1 除 4.2 至 4.8 节给出的厚度、剖面模数和剪切面积要求外，机器处所板和加强筋的厚度

还应符合表 8.4.1 给出的适用最小厚度要求。

机器处所结构的最小净厚度 **表 8.4.1**

尺 度 位 置			净厚度（mm）
板材	外壳	平板龙骨	见2.1.5.1
		底部外板/舭部板/舷侧外板	
	上甲板		
	其他结构	船体内部液舱边界板	见2.1.5.1
		非水密舱壁，干舱间的舱壁以及其他一般板	见2.1.5.1
		下层甲板和平台	$3.3+0.0067s$
		内底	$6.5+0.02L_2$
船底中纵桁			见2.1.6.1
肋板和船底旁纵桁			$5.5+0.02L_2$
主要支撑构件的腹板			$5.5+0.015L_2$
局部支撑构件			见2.1.5.1
防倾肘板			见2.1.5.1

表中：L_2——规范船长L，见第4节/1.1.1.1定义，但不超过300m。

s——扶强材间距，见第4节/2.2定义，mm。

4.2 船底结构

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 通常机器处所内应设置双层底。双层底的高度至少应等于货油区域的双层底高度，见第5节/3.2.1。当机器处所内的双层底高度与相邻舱室不同时，在合适纵向范围内通过倾斜的内底保持纵向材料的连续性。若双层底结构总强度不削弱，则局部区域的双层底高度可以适当减小。

4.2.2 船底外板

4.2.2.1 龙骨板的宽度应符合第8节/2.2.1.1要求。

4.2.2.2 船底外板（包括龙骨板）的厚度应符合4.8.1.1要求。

4.2.3 船底外板的扶强材

4.2.3.1 船底外板扶强材的剖面模数和厚度应符合4.8.1.2和4.8.1.3的要求。

4.2.4 桁材和肋板

4.2.4.1 双层底应安装中纵桁。

4.2.4.2 在主机位置应安装全深的船底桁材以有效分散其重量，并确保结构的足够刚度。桁材应尽可能向前后延伸，并在两端进行合适支撑，以分布机器产生的载荷。桁材应在其要求的范围以外进行过渡。

4.2.4.3 如设置旁桁材，其应与相邻舱室上的船底旁桁材对齐。

4.2.4.4 如果双层底为横骨架式，应在所有肋位上设置肋板。

4.2.4.5 如果双层底为纵骨架式，应在所有主机和推力轴承的肋位上设置肋板。主机和轴承基座以外的位置，可隔档设置肋板。

4.2.4.6 如果重型设备直接安置在内底，则应相应增加肋板和桁材的厚度。

4.2.5 内底板

4.2.5.1 当主机或推力轴承直接通过螺拴固定在内底时，内底板的净厚度应至少为 19mm。地脚螺栓的布置应尽可能靠近肋板和纵向桁材。板厚和地脚螺栓的布置也要考虑制造商的建议。

4.2.6 海底阀箱

4.2.6.1 如果内底或双层底结构组成海底阀箱的一部分，则板材的厚度不得小于相同位置的外板厚度，并应考虑无支撑板材的最大宽度。

4.3 舷侧结构

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 舷侧外板和纵骨的尺度应从船中区域到尾端进行适当过渡。

4.3.1.2 在纵骨架式中断并由横骨架式取代处，应对纵骨架式作恰当的嵌接布置。

4.3.1.3 在扶强材和主要支撑构件的末端应设置支撑。

4.3.2 舷侧外板

4.3.2.1 舷侧外板的厚度应符合 4.8.1.1 的要求。如果适用，舷侧外板的厚度应符合 2.2.4.2 的要求。

4.3.3 舷侧外壳局部支撑构件

4.3.3.1 舷侧纵骨和垂直扶强材的剖面模数和厚度应符合 4.8.1.2 和 4.8.1.3 的要求。

4.3.3.2 纵骨在横舱壁处的端部连接应具备足够的刚度以及侧向支撑，当其不连续时要安装软趾肘板。不得设置与纵骨重叠的肘板。

4.3.4 舷侧外壳的主要支撑构件

4.3.4.1 强框架上下两端应与足够刚度的构件相连，并得到甲板横梁的支撑。

4.3.4.2 横骨架式机器处所的强框架间距通常不得超过横向骨架间距的 5 倍。

4.3.4.3 主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 4.8.2 的要求。

4.3.4.4 如果切口不闭合，腹板高度不得小于临近肋骨腹板高度的 2.5 倍。

4.3.4.5 主要支撑构件的腹板高度不得小于无支撑弯曲跨距的 14%。

4.4 甲板结构

4.4.1 一般要求

4.4.1.1 所有开孔应设置骨架。应注意结构的连续性，避免形状、剖面或板材厚度的突然变化。

4.4.1.2 机器处所开孔边缘应有合适的形状和设计以使应力集中降低到最小。

4.4.1.3 在机器开孔处，甲板或平台的强度应足以有效支撑舷侧横向肋骨或强框架。

4.4.1.4 如果采用横骨架式，则应采用与支柱或支柱舱壁相连的纵向桁材的合适布置对甲板扶强材进行支撑，若设置甲板横梁，则其布置应与强框架对齐，以提供端部的刚度以及强度的横向连续性。

4.4.1.5 如果采用纵骨架式，则应采用与支柱或支柱舱壁相连的甲板横梁对甲板纵骨进行支撑。

4.4.1.6 机舱棚应通过与支柱或支柱舱壁相连的甲板横梁及纵向桁材的合适布置进行支撑。如果机舱棚的开孔很大，则可要求使用横撑材。这些布置都应与甲板横梁对齐。

4.4.1.7 如果甲板构成液舱边界的一部分，那么结构尺度不得小于液舱边界的要求。

4.4.1.8 如果甲板构成水密处所的一部分，那么结构尺度不得小于水密舱壁的要求。

4.4.2 甲板尺度

4.4.2.1 甲板板材的厚度应符合 4.8.1.1 的要求。

4.4.2.2 甲板扶强材的剖面模数和厚度应符合 4.8.1.2 和 4.8.1.3 的要求。

4.4.2.3 甲板扶强材的腹板高度不得小于 60mm。

4.4.2.4　主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 4.8.2 的要求。

4.4.2.5　在货舱和干舱内，主要支撑构件腹板高度分别不小于 10% 和 7% 的无支撑弯曲跨距，并且，若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2.5 倍的开孔高度。无支撑的弯曲跨距是 4/2.1.4 中定义的弯曲跨距或板架结构中与其他主要支撑构件连接处的距离。

4.4.2.6　重型设备导致集中载荷处，甲板结构的尺度应根据实际装载情况进行确定。

4.4.3　支柱

4.4.3.1　支柱应尽可能安装在同一根垂直线上，并且应合理布置使载荷在所有支柱的首尾进行有效分布。当支柱承受偏心载荷时，应针对所承受的额外弯矩进行加强。

4.4.3.2　如适用，管状和空心的方支柱应在其首端和底端以有效肘板或复板 / 内嵌板连接，以有效传送载荷。支柱在上下端的连接应采用连续焊接。在轧制型材支柱的上下端，载荷可以通过肘板或其他方式进行分布。

4.4.3.3　在支柱间距较大的双层底上，肋板与桁材的连接以及肋板、桁材与内底的连接应进行加强。当支柱不直接位于肋板和桁材连接处上方时，应安装局部肋板和间断纵向构件对支柱进行必要的支撑。人孔不得布置在支柱底部以下的肋板和桁材上。

4.4.3.4　液舱内支柱的应为实心剖面。当静水压力有可能导致支柱受到拉应力时，支柱及其端部的拉应力不得高于材料的规定最小屈服应力的 45%。

4.4.3.5　支柱的尺度应符合 4.8.4 的要求。

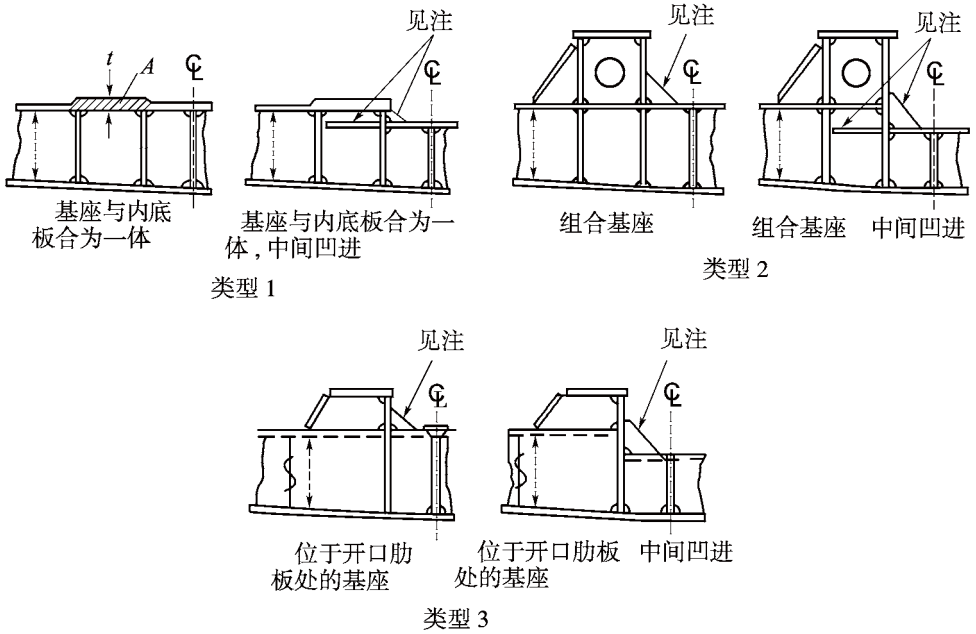
4.4.3.6　当重型设备导致的支柱载荷超过 4.8.4 中所要求的设计载荷时，支柱尺度应根据实际装载情况确定。

4.5　机器基座

4.5.1　一般要求

4.5.1.1　主机和推力轴承应通过基座有效固定在船体结构上，基座应具备足够强度承受变化的重力、推力、扭力、动力以及振动力。

4.5.1.2　如果是大功率内燃机或涡轮机装置，其基座通常为双层底结构的一部分。主机基座板或涡轮机齿轮箱以及推力轴承处的内底板材厚度应得到实质性加强，见图 8.4.1，类型 1。



注：肘板应尽可能的大。根据机器制造商的建议，肘板可以免设以避免与机器基座桁材的冲突。

图8.4.1　机器基座

4.5.1.3 如果主机是由图 8.4.1 中的类型 2 基座进行支撑，从主机传递到相连结构的力尽可能均匀地分布。支撑基座的纵向构件应与双层底的桁材相连，且横向加强应与肋板对齐，见图 8.4.1，类型 2。

4.5.1.4 对于在机器处所内有开口肋板的船舶，则基座通常布置在肋板顶板以上位置并通过肘板进行固定，见图 8.4.1，类型 3。

4.5.2 内燃机和推力轴承的基座

4.5.2.1 在确定内燃机和推力轴承的基座尺度时，应考虑主机整体刚度以及其平衡力以外的设计特征。

4.5.2.2 通常在内燃机和推进轴承的基座上应安装两根桁材。

指导性注释：

通常当对应的推进器的最大连续输出功率是3500kW或更大时，基座顶板的总厚度不得小于45mm。

4.5.3 辅机基座

4.5.3.1 辅机应固定在基座上，基座应有合适的大小和布置以将机器的载荷均匀分布到支撑结构中。

4.6 液舱舱壁

4.6.1 一般要求

4.6.1.1 液舱应隔舱或具备深制荡板，以使结构上的动应力减至最小。

4.6.2 构造

4.6.2.1 在任何情况下，液舱边界舱壁的尺度不应小于水密舱壁的要求。

4.6.3 液舱边界舱壁的尺度

4.6.3.1 液舱边界板材的厚度应符合 4.8.1.1 的要求。

4.6.3.2 扶强材的剖面模数和厚度应符合 4.8.1.2 和 4.8.1.3 的要求。

4.6.3.3 主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 4.8.2 的要求。

4.6.3.4 主要支撑构件的腹板板材高度不得低于未支撑弯曲跨距的 14%。且若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2.5 倍的开孔高度。

4.7 水密边界

4.7.1 一般要求

4.7.1.1 机器处所内的水密舱壁应符合第 5 节 /2 要求。

4.7.2 水密边界的尺度

4.7.2.1 水密边界板材的厚度应符合 4.8.1.1 的要求。

4.7.2.2 扶强材的剖面模数和厚度应符合 4.8.1.2 和 4.8.1.3 的要求。

4.7.2.3 主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 4.8.2 的要求。

4.7.2.4 主要支撑构件的腹板板材高度不应小于无支撑弯曲跨距的 10%。且若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2.5 倍的开孔高度。

4.8 尺度要求

4.8.1 板和局部支撑构件

4.8.1.1 对于受侧向压力的板材的净厚度应符合 3.9.2.1 中的要求，但要采用表 8.4.2 中定义的许用弯曲应力系数 C_a。

4.8.1.2 对于受侧向压力的局部支撑构件，其净剖面模数要求应符合 3.9.2.2 节的要求，但要采用表 8.4.3 中定义的许用弯曲应力系数 C_s。

4.8.1.3 对于受侧向压力的局部支撑构件，其基于剪切面积要求的净腹板厚度应符合 3.9.2.3 要求。

板材的许用弯曲应力系数 **表 8.4.2**

对于所考虑的设计载荷组合，许用弯曲应力系数取作：

$C_a = \beta_a - \alpha_a \dfrac{|\sigma_{hg}|}{\sigma_{yd}}$，但是不应大于$C_{a\text{-}max}$

式中：β_a，α_a，$C_{a\text{-}\max}$

验收衡准组合	结 构 构 件		β_a	α_a	$C_{a\text{-}max}$
AC1	纵向强度构件	纵向加筋板	0.85	0.5	0.80
		横向、垂向加筋板	0.85	1.0	0.80
	其他构件		0.75	0	0.80
AC2	纵向强度构件	纵向加筋板	1.05	0.5	0.95
		横向、垂向加筋板	1.05	1.0	0.95
	其他构件，包括水密边界		1.0	0	1.00

σ_{hg}——对应所考虑的设计载荷组合在3/5.1.2定义的载荷计算点计算的船体梁弯曲应力：

$$\sigma_{hg} = \frac{(z - z_{NA\text{-}net50}) M_{v\text{-}total}}{I_{v\text{-}net50}} 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$$

$M_{v\text{-}total}$——所考虑的纵向位置处在设计载荷组合的垂向设计弯矩，kN·m。静水弯矩$M_{sw\text{-}perm}$与同时作用的波浪弯矩符号相同，见表7.6.1；

$I_{v\text{-}net50}$——所考虑纵向位置处的船体梁垂向净惯性矩，见4/2.6.1中定义；

z——所考虑计算点的垂向坐标，m；

$z_{NA\text{-}net50}$——从基线到水平中和轴的距离，见4/2.6.1中定义，m；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

扶强材的许用弯曲应力系数 **表 8.4.3**

许用弯曲应力系数取作：

船体梁弯曲应力 σ_{hg}符号	压力作用的侧	验收衡准
拉(+)	扶强材一侧	$C_s = \beta_s - \alpha_s \dfrac{\lvert\sigma_{hg}\rvert}{\sigma_{yd}}$，但不大于$C_{s\text{-}max}$
压(−)	板一侧	
拉(+)	板一侧	$C_s = C_{s\text{-}max}$
压(−)	扶强材一侧	

续上表

式中：β_s，α_a，C_{s-max}：许用弯曲应力因子，应取为：

验收衡准组合	结构构件	β_s	α_s	C_{s-max}
AC1	纵向有效扶强材	0.85	1.0	0.75
	其他扶强材	0.75	0	0.75
AC2	纵向有效扶强材	1.0	1.0	0.9
	其他扶强材	0.9	0	0.9
	水密边界扶强材	0.9	0	0.9

σ_{hg}——对应所考虑的设计载荷组和在3/5.2.2.5定义的参考点计算的船体梁弯曲应力：

$$\sigma_{hg}=\frac{(z-z_{NA-net50})M_{v-total}}{I_{v-net50}}10^{-3} \quad \text{N/mm}^2;$$

$M_{v-total}$——在设计载荷组合下所考虑的纵向位置处的垂直设计弯矩，kN·m。$M_{v-total}$根据表7.6.1采用中垂或中拱静水弯矩来计算。

扶强材位置	许用静水弯矩	
	压力作用在板一侧	压力作用在扶强材一侧
中和轴以上	中垂静水弯矩	中拱静水弯矩
中和轴以下	中拱静水弯矩	中垂静水弯矩

$I_{v-net50}$——所考虑纵向位置处的船体梁垂向净惯性矩，见4/2.6.1中定义；

z——如3/5.2.2.5定义参考点的垂向坐标，m；

$Z_{NA-net50}$——从基线到水平中和轴的距离，见4/2.6.1中定义，m；

σ_{yd}——材料的规定最小屈服应力，N/mm^2。

4.8.2 主要支撑构件

4.8.2.1 对于与曲线型船体剖面相交或处于曲线型船体剖面上的主要支撑构件，端部肘板的有效性应包括船体曲率的冗余。

4.8.2.2 对于受侧向压力的主要支撑构件，其净剖面模数应符合 3.9.3.2 节的要求。

4.8.2.3 对于受侧向压力中的主要支撑构件，其腹板的净横剖面面积应符合 3.9.3.3 节的要求。

4.8.2.4 对于特殊结构类型通常采用所述的特定方法来分析主要支撑构件。可采用更高级的计算方法以确保主要支撑构件的名义应力水平低于许用应力或者所受适用的设计载荷下 3.9.3.2 和 3.9.3.3 中给出的应力系数。

4.8.3 槽形舱壁

4.8.3.1 如设置槽形舱壁，应特别考虑其批准。

指导性注释：

货油舱区域槽形舱壁尺度要求可作为基础，见2.5.6和2.5.7。

4.8.4 支柱

4.8.4.1 支柱最大载荷应小于 3.9.5 节中给出的许用支柱载荷。

5 尾部

5.1 一般要求

5.1.1 适用范围

5.1.1.1 本小节要求适用于尾尖舱舱壁和船舶尾端之间的结构。

5.1.1.2 本小节要求不适用下列结构：

（a）挂舵臂；

（b）不与船体连接的结构如舵、导流管、螺旋桨；

（c）其他船体永久附件。

若设置这些项目，则应符合各船级社的相关要求。

5.1.1.3 5.1 至 5.7 所述的净尺度与总尺度的关系如下：

（a）在应用 5.1.4 的最小厚度要求时，总厚度由适用要求的计算值加上 6/3 节中定义的全部腐蚀增量来得到。

（b）对于局部支撑构件和板，其总厚度和总横剖面属性由适用要求的计算值加上第 6 节 /3 的全部腐蚀增量得到。

（c）对于主要支撑构件，其总剪切面积、总剖面模数和其他总横剖面特性由适用要求的计算值加上第 6 节 /3 的相关全部腐蚀增量的 0.5 倍获取。

（d）在适用第 10 节 /2 的屈曲要求时，总厚度和总横剖面特性由适用要求的计算值并加上第 6 节 /3 的全部腐蚀增量获取。

5.1.2 一般尺度要求

5.1.2.1 船体结构应符合有关要求：

（a）船体梁纵向强度，见第 8 节 /1；

（b）承受晃荡和冲击载荷的强度，见第 8 节 /6；

（c）屈曲 / 极限强度，见第 10 节。

5.1.2.2 在舵机、锚机和其他甲板机器处的甲板板材厚度及其支撑结构应适当加强。见第 11 节 /3。

5.1.2.3 局部支撑构件和主要支撑构件的净剖面模数，剪切面积和其他剖面特性根据第 4 节 /2 来确定。

5.1.2.4 局部支撑构件的剖面模数和腹板厚度的要求适用于没有端部肘板的区域。主要支撑构件的剖面模数和横剖面剪切面积的要求见表 8.3.5 中的说明。

5.1.2.5 尺度衡准基于的假定条件是：所有结构连接点和焊接细节的设计和制造使其能够承受所考虑位置的预期工作应力水平。在高应力区域设计时，应考虑到装载模式、应力集中以及潜在的结构接点和细节失效的模式。结构设计细节应符合第 4 节 /3 要求。

5.1.2.6 结构所有部分应根据需要保留开口和通风孔，以确保吸管的液流通畅且通风情况良好。应做好深舱以上处所的排水布置。也可见第 4 节 /3。

5.1.3 结构连续性

5.1.3.1 外板、上甲板和内底的尺度应向尾端过渡。见 1.6。

5.1.3.2 在尾尖舱向前过渡到机器处所的区域内，应考虑到主要支撑构件的过渡。

5.1.3.3 强力甲板的纵骨架式应向船尾延伸。

5.1.3.4 除了第 4 节 /3.2.4 和第 4 节 /3.2.5 中要求外，所有外壳骨架以及液舱边界扶强材通常应保持连续，或者在端部设置连接肘板。

5.1.4 最小厚度

5.1.4.1 除 5.2 至 5.7 的厚度、剖面模数和扶强材腹板剪切面积要求外，尾部区域的板材和扶强材厚度还应符合表 8.5.1 给出的适用的最小厚度要求。

尾尖舱舱壁之后的结构的最小净厚度 表 8.5.1

尺 度 位 置			净厚度（mm）
板材	外壳	平板龙骨	见2.1.5.1
		底板/舭部板/舷侧外板	见2.1.5.1
	上甲板		见2.1.5.1
	其他结构	船体内部液舱边界	见2.1.5.1
		非水密舱壁，干舱间舱壁和其他一般板	见2.1.5.1
		支柱舱壁	7.5
底部纵桁和尾尖舱肋板			$5.5+0.02L_2$
主要支撑构件的腹板板			$6.5+0.015L_2$
局部支撑构件			见2.1.5.1
防倾肘板			见2.1.5.1
式中：L_2——规范船长L，见第4节/1.1.1.1定义，但不超过300m。			

5.2 船底结构

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 肋板应设置在尾尖舱每一肋位上并至少达到尾轴管之上的高度。如果肋板没有延伸至平台或甲板，其上端应用翼板进行加强。

5.2.1.2 船底中纵桁材应尽可能地向船尾延伸，并连接到尾框架上。

5.2.2 尾尖舱肋板和桁材

5.2.2.1 肋板和桁材的扶强材的高度 h_{stf} 不得小于：

$h_{stf}=80.0l_{stf}$，mm，对于扁钢扶强材

$h_{stf}=70.0l_{stf}$，mm，对于球扁钢和翼板扶强材

式中：l_{stf}——图 8.5.1 中所示的扶强材长度。

5.2.2.2 根据 5.2.2.1 的要求，扶强材还应设置以下要求的端部肘板：

（a）l_{stf-t} 超过 4m 时，上下两端应设置端部肘板；

（b）l_{stf-t} 超过 2.5m 时，下端应设置端部肘板。

式中：l_{stf-t}——为如图 8.5.1 所示的扶强材总长度，m；

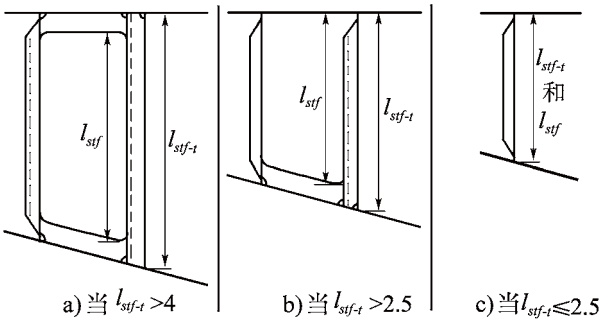


图 8.5.1 尾尖舱内肋板和桁材的加强

5. 2. 2. 3　重型肋板板材应安装在挂舵臂的后面并与挂舵臂的腹板对齐。有可能延伸到第一甲板或平台。在这个区域内，应尽量把切口、扇形孔或其他开孔减至最少。

5. 2. 3　尾框架

5. 2. 3. 1　尾框架可以用组合钢板或铸钢制成。适用材料的规格和钢材级别见表 6. 1. 3。其他材料或构造的尾框架要特殊考虑。

5. 2. 3. 2　单螺旋桨船舶在尾框架的螺旋桨桨毂以下的尺度应符合 5. 2. 3. 3、5. 2. 3. 4 的适用要求。

5. 2. 3. 3　组合尾框架应满足下列衡准：

（a）$t_{grs} \geqslant 2.25\sqrt{L}$　　mm

（b）$w_{stn} \geqslant 450$　　mm

（c）$$t_{grs} \geqslant \frac{C_f L^{1.5}}{w_{stn}^{\ 2}\sqrt{1+\left(\frac{2l_{stn}}{w_{stn}}\right)^2}}$$　　mm

式中：t_{grs}——舷侧板的总厚度，mm；

w_{stn}——尾框架的宽度，mm，见图 8. 5. 2（a）；

l_{stn}——尾框架的长度，mm，见图 8. 5. 2（a）；

L——规范船长，见第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义；

C_f = 9600。

5. 2. 3. 4　铸钢尾框架应满足下列衡准：

（a）$t_{grs} \geqslant 3.0\sqrt{L}$，mm，但应不小于 25mm；

（b）$t_{2-grs} \geqslant 1.25t_{1-grs}$，mm；

（c）$$\frac{(t_{1-grs}+t_{2-grs})}{2} \geqslant \frac{C_f L^{1.5}}{w_{stn}^{\ 2}\sqrt{1+\left(\frac{2l_{stn}}{w_{stn}}\right)^2}}$$

式中：t_{1-grs}——铸件端部的总厚度，mm，见图 8. 5. 2（b）；

t_{2-grs}——铸件长度中点的总厚度，mm，见图 8. 5. 2（b）；

w_{stn}——尾框架的宽度，mm，见图 8. 5. 2（b）；

l_{stn}——尾框架的长度，mm，见图 8. 5. 2（b）；

L——规范船长，见第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义；

C_f= 8400。

与外板板材对接焊的厚度可过渡到 t_1 以下，过渡长度至少为厚度减小量的 3 倍。铸钢应空心以避免厚度材料大质量集中而导致出现偏离，并应保持整个的剖面相对均匀。在剖面变化处应有合适的半径。

5. 2. 3. 5　在螺旋桨桨毂以上，尺度应符合 5. 2. 3. 2 至 5. 2. 3. 4 的要求，除非在螺旋桨框架的上部处，船形丰满并有中心支撑，厚度可以折减到第 5. 2. 3. 2 至 5. 2. 3. 4 要求厚度的 80%。

5. 2. 3. 6　在尾框架尾端采用圆钢时，圆钢的尺度和连接细节应便于焊接。

5. 2. 3. 7　应以一定间隔设置厚度不超过 0. 8t_{grs} 或 0. 8t_{1-grs} 的肋骨或水平肘板，其中 t_{grs} 和 t_{1-grs} 的定义见 5. 2. 3. 3 和 5. 2. 3. 4。当 t_{grs} 或 t_{1-grs} 根据 5. 2. 3. 5 折减时，肋骨或水平肘板的厚度也应按比例折减。

5. 2. 3. 8　舵钮应是尾框架的一部分，并且应满足各船级社的相关要求。

CCS5.2.3.8　舵钮应是尾柱框架的一部分，并且应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 10 篇的相关要求。

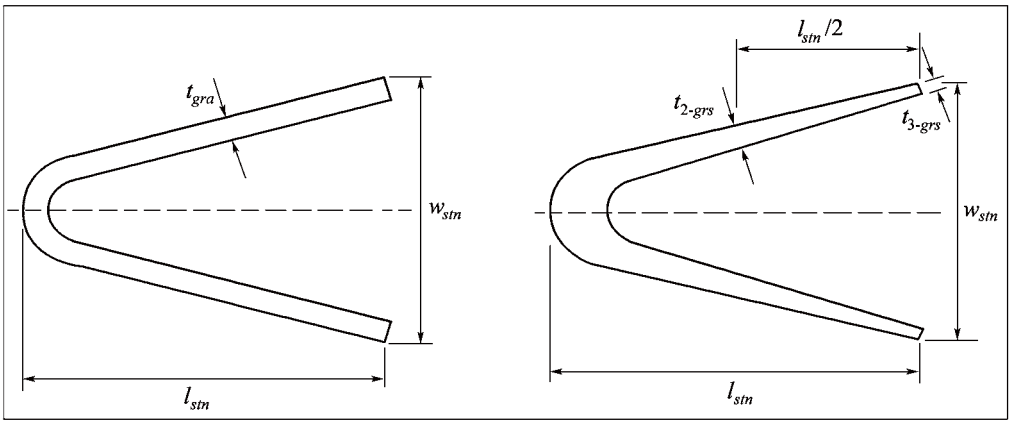


图 8.5.2 尾框架

a）组合；b）铸造

5.3 船壳结构

5.3.1 外板

5.3.1.1 舷侧外板和尾封板的净厚度 t_{net} 应符合 3.9.2.1 的要求，且不得小于下式的值：

$$t_{net} = 0.035(L_2 - 42) + 0.009s \quad \text{mm}$$

式中：L_2——规范船长，L 的定义见第 4 节 /1.1.1.1，但不大于 300m；

s——扶强材间距，见第 4 节 /2.2 定义。

5.3.1.2 与尾柱连接的外板厚度净 t_{net} 应符合 3.9.2.1 的要求，且不得小于下列公式的值：

$$t_{net} = 0.094(L_2 - 43) + 0.009s \quad \text{mm}$$

式中：L_2——规范船长，L 的定义见第 4 节 /1.1.1.1，但不大于 300m；

s——扶强材间距，见第 4 节 /2.2 定义。

5.3.1.3 在螺旋桨桨毂和踵板上，外板净厚度 t_{net} 不得小于：

$$t_{net} = 0.105(L_2 - 47) + 0.011s \quad \text{mm}$$

式中：L_2——规范船长，L 的定义见第 4 节 /1.1.1.1，但不大于 300m；

s——扶强材间距，见第 4 节 /2.2 定义。

5.3.1.4 在 2.2.4.3 节中，舷侧外板的厚度应符合 2.2.4.2 的要求。

5.3.1.5 按 5.2.2.3 要求的在重型肋板局部位置应设置加厚外板。在重型肋板舷外侧，加厚外板可以视情况逐渐折减厚度。在挂舵臂板以圆弧半径接入外板处，则外板连接处半径 r 不得小于：

$$r = 150 + 0.8L_2 \quad \text{mm}$$

式中：L_2——规范船长，L 的定义见第 4 节 /1.1.1.1，但不大于 300m。

5.3.2 外壳局部支撑构件

5.3.2.1 船体外壳骨架的剖面模数和厚度应符合 3.9.2.2 和 3.9.2.3 的要求。

5.3.3 外壳主要支撑构件

5.3.3.1 5.3.3 的要求适用于由垂直腹板和 / 或水平桁材或平台系统支撑的单壳构造。

5.3.3.2 如果采用纵骨架式，则应通过从肋板延伸至上甲板的垂直主要支撑构件对纵骨进行支撑。甲板强横梁应与强框架对齐。

5.3.3.3 如果采用横骨架式，应通过横跨垂直主要支撑构件间的水平主要支撑构件对肋骨进行支撑。

5.3.3.4 强框架支撑、纵向框架、水平桁和横框架的尺度由 3.9.3 节确定。

5.3.3.5 主要支撑构件的腹板高度不得小于弯曲跨距的 14%。当过梁孔不封闭时，腹板高度至少

应为扶强材开口高度的 2.5 倍。

5.4 甲板结构

5.4.1 甲板板

5.4.1.1 甲板板的厚度应符合 3.9.2.1 的要求。

5.4.2 甲板扶强材

5.4.2.1 甲板扶强材的剖面模数和厚度应符合 3.9.2.2 和 3.9.2.3 的要求。

5.4.3 甲板主要支撑构件

5.4.3.1 主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 3.9.3 节的要求。

5.4.3.2 在货舱和干舱内，主要支撑构件腹板高度分别不小于 10% 和 7% 的无支撑弯曲跨距，并且，若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2.5 倍的开孔高度。无支撑的弯曲跨距是 4/2.1.4 中定义的弯曲跨距或板架结构中与其他主要支撑构件连接处的距离。

5.4.3.3 如果受到重型设备的集中载荷，甲板结构的尺度应根据实际载荷进行确定。另见第 11 节 /3。

5.4.4 支柱

5.4.4.1 支柱应尽可能安装在同一垂直线上，并且应采取有效布置使得载荷在所有支柱上下端分散。如果支柱受到偏心载荷，则应针对额外弯矩对支柱进行加强。

5.4.4.2 如设有，管状和空心的方支柱的上下端应连接在有效肘板或复板 / 嵌板，以有效传递载荷。支柱上下端连接采用连续焊接。在轧制型材支柱的上下端，可以通过肘板和其他等效措施分散载荷。

5.4.4.3 液舱内的支柱应为实心剖面。当静水压力有可能导致支柱受到拉应力时，支柱及其端部连接的拉应力不得高于材料的规定最小屈服应力的 45%。

5.4.4.4 支柱的尺度应符合 3.9.5 节要求。

5.4.4.5 当重型设备载荷超过 3.9.5 中的设计载荷时，支柱尺度应根据实际装载情况确定。

5.5 液舱舱壁

5.5.1 一般要求

5.5.1.1 液舱应设有隔舱或深制荡结构，以把作用于结构上的动态应力降低至最小 i。

5.5.2 构造

5.5.2.1 在任何情况下，液舱边界舱壁的尺度不得小于对水密舱壁的要求。

5.5.3 液舱边界舱壁的尺度

5.5.3.1 液舱边界板材的厚度应符合 3.9.2.1 的要求。

5.5.3.2 扶强材的剖面模数和厚度应符合 3.9.2.2 和 3.9.2.3 的要求。

5.5.3.3 主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 3.9.3 节的要求。

5.5.3.4 主要支撑构件的腹板高度不得低于无支撑弯曲跨距的 14%。且若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2.5 倍的开孔高度。

5.6 水密边界

5.6.1 一般要求

5.6.1.1 应根据第 5 节 /2 设置水密边界。

5.6.1.2 水密舱壁上开孔的数目在符合船舶设计和工作状况下保持最小数量。当有必要为通道、管系、通风、电缆等布置穿过水密舱壁和内甲板时，应保持舱壁的水密完整性。

5.6.2 尾尖舱舱壁

5.6.2.1 应提供符合第 5 节 /2.3 的尾尖舱舱壁。

5.6.2.2 尾尖舱舱壁结构构件的尺度应符合 5.5 和 5.6.3 的适用要求。

5.6.3 水密边界的尺度

5.6.3.1 边界板材的厚度应符合 3.9.2.1 的要求。

5.6.3.2 扶强材的剖面模数和厚度应符合 3.9.2.2 和 3.9.2.3 的要求。

5.6.3.3 主要支撑构件的剖面模数和剪切面积应符合 3.9.3 的要求。

5.6.3.4 主要支撑构件的腹板高度不得小于无支撑弯曲跨距的 10%。且若腹板开孔未封闭，则腹板高度不小于 2.5 倍的开孔高度。

5.7 其他结构

5.7.1 支柱舱壁

5.7.1.1 支持桁材、支柱的舱壁和代替桁材的纵向舱壁应加强，以提供不小于支柱所需的有效支撑能力。支柱剖面的作用载荷与所要求横剖面面积的根据 5.4.4 的要求计算。扶强材净惯性矩的计算中，板材宽度为 $40t_{net}$，t_{net} 为板材净厚度，mm。

5.7.1.2 支柱舱壁应符合下列要求：

（a）舱壁扶强材之间的距离不得超过 1500mm。

（b）如果为槽形舱壁，槽形的深度不得小于 100mm。

5.7.2 舵杆套筒

5.7.2.1 舵杆套筒的尺度应符合 5.3.1 和 5.3.2 对外板和框架的要求。如果舵杆套筒通往海水，则应在最深的载重线上安装封盖或封套，以防止海水进入舵机舱。

5.7.3 尾侧推管隧

5.7.3.1 管隧板材的净厚度 $t_{tun-net}$ 应不小于尾侧推器周围外板的厚度。此外，$t_{tun-net}$ 不得小于：

$$t_{tun-net} = 0.008d_{tun} + 1.8 \qquad \text{mm}$$

式中：d_{tun}——管隧的内直径，mm，但不得小于 970mm。

5.7.3.2 当管隧舷侧外端设有杆或格栅时，应对杆或格栅进行有效加固。

6 关于晃荡和冲击载荷的结构评估

6.1 一般要求

6.1.1 适用范围

6.1.1.1 本小节要求包括可能发生于液舱的局部晃荡和可能发生于首部结构的局部冲击的加强要求。在第 6.2 节至第 6.4 节中所应用的晃荡和冲击载荷见第 7 节 /4。

6.1.1.2 本小节所述的净尺度与总尺度关系如下：

（a）对于板和局部支撑构件，在适用的要求上增加第 6 节 /3 规定的全部的腐蚀增量得到总厚度和总横剖面特性；

（b）对于主要支撑构件，在适用要求上增加 0.5 倍的第 6 节 /3 规定的腐蚀增量得到总剖面面积、总剖面模数和其他总横剖面特性。

6.1.2 一般尺度要求

6.1.2.1 除第 8 节的适用要求外，还应满足第 6.2 节到第 6.4 节的要求。

6.1.2.2 由于冲击或晃荡载荷引起的局部尺度的增加，应考虑给出细节且要避免硬点，切口和其他有害的应力集中。

6.2 液舱内的晃荡

6.2.1 范围与限制

6.2.1.1 第 6.2 节要求规定了承受晃荡载荷的液舱的边界和内部结构的尺度要求。液舱内液体自由运动产生晃荡载荷在第 7 节 /4.2 中给出。

6.2.1.2 货油舱、污油水舱、压载舱以及大深舱如燃油舱和主要淡水舱的结构应进行晃荡评估。小液舱则不必进行晃荡压力评估。

6.2.1.3 所有货油舱和压载舱的构件尺度适用于无限制装载高度。

6.2.1.4 应评估下列结构构件：

（a）构成液舱边界的板和扶强材；

（b）制荡舱壁板和扶强材；

（c）液舱内主要支撑构件的腹板与腹板上的加强筋；

（d）液舱内支持主要支撑构件的防倾肘板。

6.2.1.5　对于有效晃荡宽度 b_{slh} 超过 0.56B 或者有效晃荡长度 l_{slh} 超过 0.13L 的液舱，应根据各船级社程序进行附加晃荡冲击评估。有效晃荡长度 l_{slh} 和宽度 b_{slh} 分别在第 7/4.2.2 节和第 7/4.2.3 节中定义。

CCS6.2.1.5　具体根据 CCS《油船结构强度直接计算指南》第 3 章的要求。

6.2.2　晃荡压力的应用

6.2.2.1　根据第 6.2.2.2 节至第 6.2.2.5 节应对下列液舱进行设计晃荡压力 $P_{slh\text{-}lng}$ 和 $P_{slh\text{-}t}$ 的评估：

（a）货油舱和污油舱；

（b）首尖压载舱和尾尖压载舱；

（c）其他允许液体自由运动的的液舱，以下情况除外：

- 有效晃荡长度小于 0.03L 时，不必进行关于 $P_{slh\text{-}lng}$ 的晃荡计算；
- 有效晃荡宽度小于 0.32B 时，不必进行关于 $P_{slh\text{-}t}$ 的晃荡计算。

第 6.2.1.2 节中提到的其他液舱的设计晃荡压力取如第 7 节 /4.2.4 定义的最小晃荡压力 $P_{slh\text{-}min}$。

6.2.2.2　由于液体纵向运动产生的如第 7 节 /4.2.2.1 定义的设计晃荡压力 $P_{slh\text{-}lng}$ 适用于如图 8.6.1 所示的下列构件：

（a）密性横舱壁；

（b）横向制荡舱壁；

（c）横向密性舱壁和横向制荡舱壁上的水平桁；

（d）横舱壁与邻近横舱壁的第一个强框架之间的范围或距离横舱壁 0.25l_{slh} 的范围，取较小范围内的纵舱壁、甲板和内壳的板以及扶强材。

6.2.2.3　除第 6.2.2.2 节外，如果邻近密性横舱壁或横向制荡舱壁的第一个强框架位于距离横舱壁 0.25l_{slh} 的范围之内，见图 8.6.1，应对其进行反射晃荡压力 $P_{slh\text{-}wf}$ 的评估，$P_{slh\text{-}wf}$ 如第 7 节 /4.2.2.5 定义。

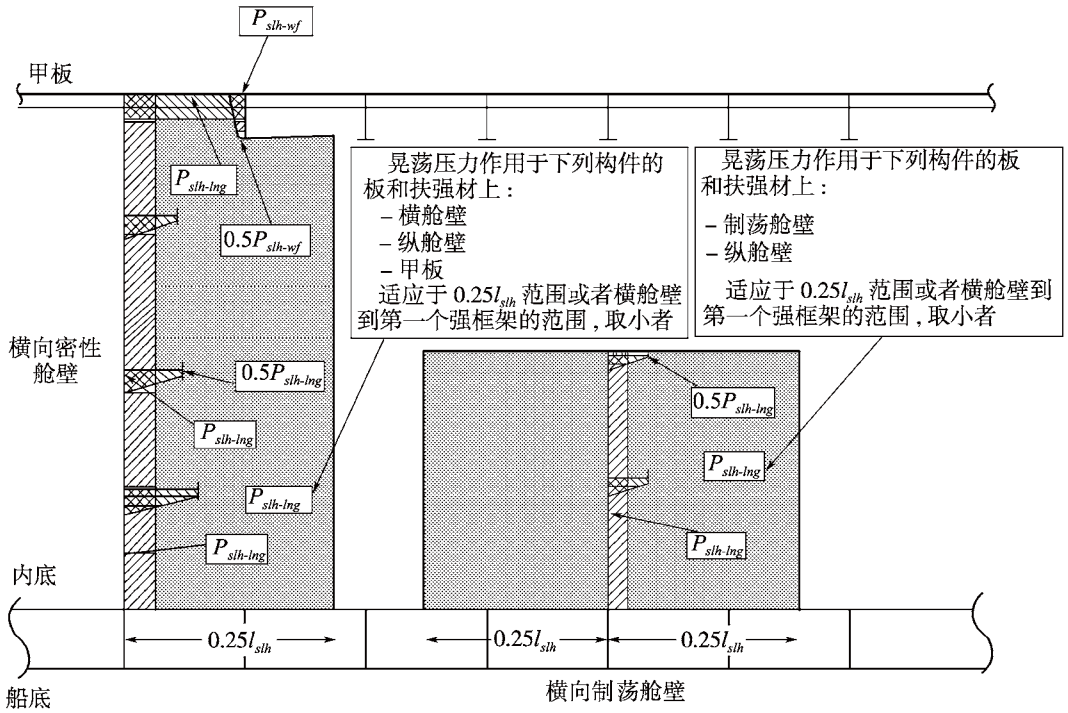


图 8.6.1　液体纵向运动导致的晃荡载荷的适用范围

6.2.2.4 第 7 节 /4.2.4 定义的最小晃荡压力 $P_{slh-min}$ 适用于所有其他构件。

6.2.2.5 由于液体横向运动产生的设计晃荡压力 P_{slh-t}，如第 7 节 /4.2.3.1 定义，适用于下列构件（见图 8.6.2）：

（a）密性纵舱壁；

（b）纵向制荡舱壁；

（c）密性纵舱壁和制荡舱壁上的水平桁；

（d）纵舱壁与邻近纵舱壁的第一道桁材之间的区域和距离纵舱壁 $0.25b_{slh}$ 的区域，取较小区域，其内的密性横舱壁包括水平桁和甲板的板以及扶强材。

6.2.2.6 除 6.2.2.5 外，如果邻近密性纵舱壁或制荡舱壁的第一道桁材位于距离纵舱壁 $0.25b_{slh}$ 的范围之内，见图 8.6.2，应对其进行反射晃荡压力 $P_{slh-grd}$ 的评估，$P_{slh-grd}$ 见第 7 节 /4.2.3.5 定义。

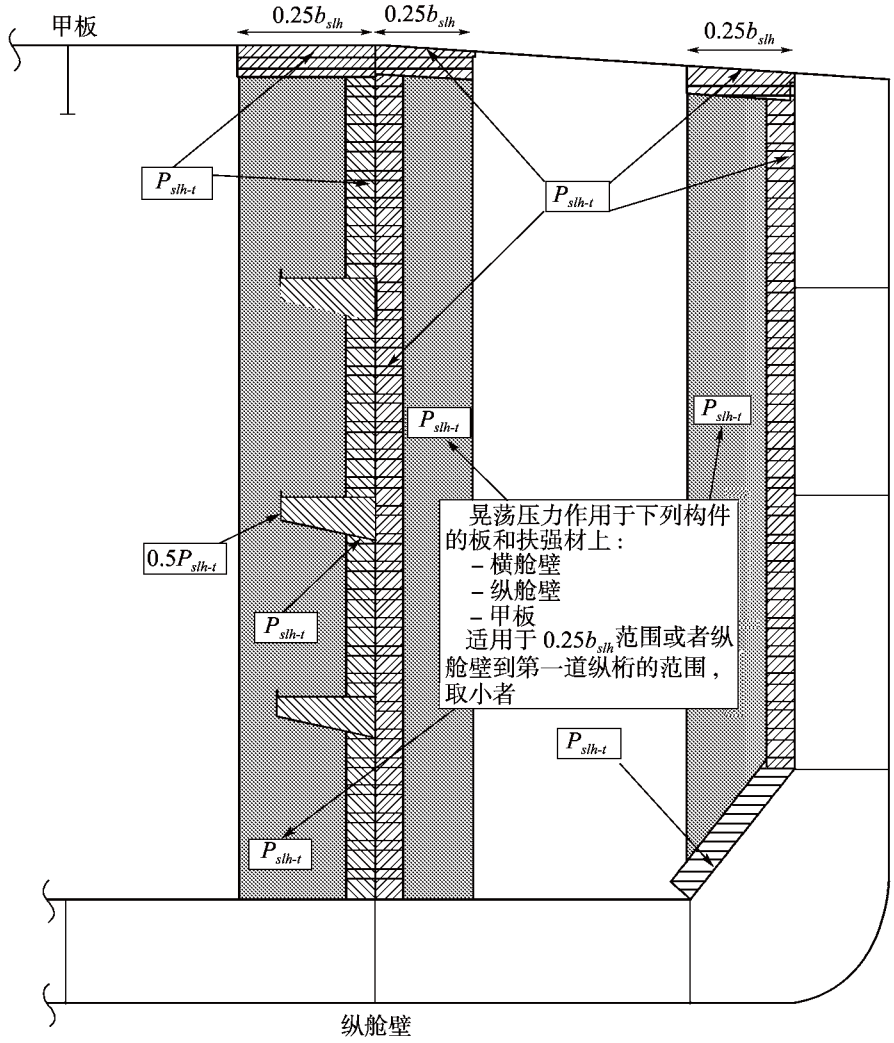


图 8.6.2 液体横向运动导致的晃荡载荷的适用范围

6.2.2.7 如第 7 节 /4.2.4 定义的最小晃荡压力 $P_{slh-min}$ 应适用于其他所有构件。

6.2.2.8 由液体横向和纵向运动导致的晃荡压力假定为独立作用，因此结构构件应基于液体横向和纵向运动导致的最大晃荡压力进行评估。

6.2.3 构成液舱边界和制荡舱壁的板的晃荡评估

6.2.3.1 承受晃荡压力的液舱边界和制荡舱壁板的净厚度 t_{net} 应不小于：

$$t_{net} = 0.0158\alpha_p s\sqrt{\frac{P_{slh}}{C_a\sigma_{yd}}} \qquad \text{mm}$$

式中：α_p——板格长宽比的修正因子：

$\alpha_p = 1.2 - \frac{s}{2100 l_p}$，但应不大于1.0；

s——扶强材间距，mm，如第4/2.2节定义；

l_p——板格长，应取主要支撑构件的间距S，除非设有短梁，m；

P_{slh}——取 $P_{slh\text{-}lng}$、$P_{slh\text{-}t}$ 或 $P_{slh\text{-}min}$ 的最大值，见第6.2.2节；

C_a——表8.6.1给出的板的许用弯曲应力系数；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.2.4 液舱边界板和制荡舱壁上的扶强材的晃荡评估

6.2.4.1 承受晃荡压力的液舱边界板和制荡舱壁上的扶强材的净剖面模数 Z_{net} 应不小于：

$$Z_{net} = \frac{P_{slh} s l_{bdg}^{\ 2}}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3$$

式中：l_{bdg}——扶强材的有效弯曲跨距，m，见第4节/2.1定义；

C_s——许用弯曲应力系数，在表8.6.2中给出；

P_{slh}——取 $P_{slh\text{-}lng}$、$P_{slh\text{-}t}$ 或 $P_{slh\text{-}min}$ 的最大值，见6.2.2；

s——扶强材间距，mm，见第4节/2.2；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2；

f_{bdg}——弯矩因子：

f_{bdg}=12，两端旋转固定的扶强材，通常适应于所有连续的扶强材

f_{bdg}=8，一端或者两端可以自由转动的水平扶强材，通常适应于不连续的扶强材

对于其他形式的弯矩因子取值见表8.3.5。

6.2.5 主要支撑构件的晃荡评估

6.2.5.1 货油舱和压载舱内的水平桁、桁材和强框架的腹板、腹板加强筋和防倾肘板应基于第6.2.2节给出的晃荡压力进行评估。

6.2.5.2 主要支撑构件的腹板净厚度 t_{net} 应不小于：

$$t_{net} = 0.0158\alpha_p s\sqrt{\frac{P_{slh}}{C_a\sigma_{yd}}} \qquad \text{mm}$$

式中：α_p——板格长宽比的修正因子，

$\alpha_p = 1.2 - \frac{s}{2100 l_p}$，但应不大于1.0；

s——扶强材间距，mm，见第4节/2.2；

l_p——板格长，板格长边上的局部支撑构件间的平均间距，一般取作防倾肘板的间距，m；

P_{slh}——取 $P_{slh\text{-}lng}$、$P_{slh\text{-}t}$、$P_{slh\text{-}wf}$、$P_{slh\text{-}grd}$ 或 $P_{slh\text{-}min}$ 中的最大值，如第6.2.2节规定。应取载荷计算点处的压力，见第3节/5.1.2，且考虑压力沿构件高度方向的分布，见图8.6.1；

C_a——板的许用弯曲应力系数，在表8.6.1中给出；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

用于板的晃荡评估的许用弯曲应力系数 C_a **表 8.6.1**

用于设计载荷组的许用弯曲应力系数按下式计算：

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{\sigma_{yd}}，但不大于\ C_{a-max}$$

式中：α_a，β_a，C_{a-max}——许用弯曲应力因子，取值如下表：

验收衡准组合	结构构件		β_a	α_a	C_{a-max}
AC1	货油舱区域的纵向强力构件，包括但不限于： —甲板 —平面纵舱壁 —水平槽形纵舱壁 —货油舱区域的纵桁和水平桁	纵向加强筋板	0.9	0.5	0.8
		横向或垂向加强筋板	0.9	1.0	0.8
	其他强力构件，包括： —垂直槽形纵舱壁 —平面横舱壁 —槽形横舱壁 —横向水平桁和强框架 —货油舱区域以外的液舱边界板和主要支撑构件的板		0.8	0	0.8

σ_{hg}——用于设计载荷组合的载荷计算点处的船体梁弯曲应力，载荷计算点定义见第3节/5.1.2，按下式计算：

$$\sigma_{hg} = \left(\frac{(z - z_{NA-net50}) M_{sw-perm-sea}}{I_{v-net50}} \right) \times 10^{-3} \qquad \text{N/mm}^2$$

z——所考虑构件的载荷计算点处的垂向坐标，m；

$z_{NA-net50}$——从基线到水平中和轴的距离，m，见第4节/2.6.1定义；

$M_{sw-perm-sea}$——航行工况下计算位置处的船体梁中拱和中垂许用静水弯矩，kN·m，取中拱和中垂弯矩的最大值，见第7节/2.1；

$I_{v-net50}$——计算纵向位置处的船体梁净剖面垂向惯性矩，m^4，见第4节/2.6.1定义；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.2.5.3 承受晃荡压力的主要支撑构件的腹板上的每个加强筋的净剖面模数 Z_{net} 应不小于：

$$Z_{net} = \frac{P_{slh} s l_{bdg}^{\ 2}}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3$$

式中：P_{slh}——取 $P_{slh-lng}$、P_{slh-t}、P_{slh-wf}、$P_{slh-grd}$ 或 $P_{slh-min}$ 的中最大值，见第 6.2.2 节。应取考虑压力沿构件高度方向分布载的荷计算点处的压力，见图 8.6.1 和图 8.6.2；

s——扶强材间距，mm，如第 4 节 /2.2 定义；

l_{bdg}——如第 4 节 /2.1 定义的腹板加强筋的有效弯曲跨距，m；

C_s——许用弯曲应力系数，在表 8.6.2 给出；

f_{bdg}——弯矩因子：

f_{bdg}=12，两端转动位移固定的加强筋，通常适用于所有连续的加强筋

f_{bdg}=8，一端或者两端可以自由转动的加强筋，通常适用于不连续的加强筋

对于其他形式的弯矩因子取值见表 8.3.5；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.2.5.4 货油舱和压载舱内的主要支撑构件的防倾肘板在根部的净剖面模数 Z_{net} 应不小于：

$$Z_{net}=\frac{1000P_{slh}s_{trip}l^2_{trip}}{2C_s\,\sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3$$

式中：P_{slh}——取 $P_{slh-lng}$、P_{slh-t}、P_{slh-wf}、$P_{slh-grd}$ 或 $P_{slh-min}$ 的最大值，如 6.2.2 定义。平均压力取防倾肘板中点处的压力，且考虑如图 8.6.1 和图 8.6.2 所示的分布；

s_{trip}——防倾肘板或其他主要支撑构件或舱壁之间的平均间距，m；

l_{trip}——防倾肘板的长度，m，见图 8.6.3；

C_s——防倾肘板的许用弯曲应力系数：

$$C_s=0.75$$

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.2.5.4 bis 用于计算支撑主要支撑构件的防倾肘板剖面模数的有效带板宽度取为 8/6.2.5.4 所给出的防倾肘板长度 l_{trip} 的 1/3。

6.2.5.5 货油舱和压载舱内的主要支撑构件的防倾肘板扣除开孔和切口后的净剪切面积 $A_{shr-net}$ 应不小于：

$$A_{shr-net}=10\frac{P_{slh}s_{trip}l_{trip}}{C_t\,\tau_{yd}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：P_{slh} ——取 $P_{slh-lng}$、P_{slh-t}、P_{slh-wf}、$P_{slh-grd}$ 或 $P_{slh-min}$ 的最大值，如 6.2.2 定义。平均压力取防倾肘板中点处的压力，且考虑如图 8.6.1 和图 8.6.2 所示的压力分布；

s_{trip}——防倾肘板或其他主要支撑构件或舱壁之间的平均间距，m；

l_{trip}——防倾肘板的长度，m，见图 8.6.3；

C_t——许用剪切应力系数，见表 8.6.3；

$\tau_{yd}=\dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$，N/mm^2；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

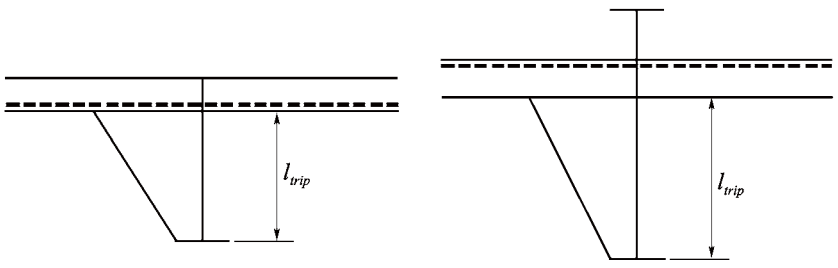


图 8.6.3 防倾肘板的有效长度

用于加强筋的晃荡评估的许用弯曲应力系数，C_s **表 8.6.2**

用于设计载荷组合的许用弯曲应力系数按下式计算：

$$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{\sigma_{yd}}，但不大于\ C_{s-max}$$

式中：α_s，β_s，C_{s-max}——许用弯曲应力因子，取值如下表：

验收衡准组合	结　构		β_s	α_s	C_{s-max}
AC1	货油舱区域的纵向强力构件，包括但不限于：	纵向加强筋	0.85	1.0	0.75
	—甲板纵骨 —纵舱壁扶强材 —货油舱区域的纵桁和水平桁上的加强筋	横向或垂向加强筋	0.7	0	0.7
	其他强力构件，包括： —横舱壁扶强材 —横向水平桁和强框架上的加强筋 —货油舱区域以外的液舱边界板上的扶强材和主要支撑构件上的加强筋		0.75	0	0.75

σ_{hg}——用于设计载荷组合的载荷计算点处的船体梁弯曲应力，载荷计算点定义见第3节/5.1.2，按下式计算：

$$\sigma_{hg} = \left(\frac{(z - z_{NA-net50}) M_{sw-perm-sea}}{I_{v-net50}} \right) 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$$

z——所考虑构件的载荷参考点的垂向坐标，m；

$z_{NA-net50}$——从基线到水平中和轴的距离，m，见第4节/2.6.1；

$M_{sw-perm-sea}$——航行工况下计算位置处的船体梁中拱和中垂许用静水弯矩，kN·m：

扶强材位置	$M_{sw-perm-sea}$	
	靠板侧的压力	靠扶强材侧的压力
中和轴以上	中垂静水弯矩	中拱静水弯矩
中和轴以下	中拱静水弯矩	中垂静水弯矩

$I_{v-net50}$——计算纵向位置处的船体梁净剖面垂向惯性矩，m^4，见第4节/2.6.1；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

许用剪切应力系数 **表 8.6.3**

验收衡准组合	结构构件	C_t
AC1	防倾肘板	0.75

6.3 船底砰击

6.3.1 适用范围

6.3.1.1 第 7/4.3.2.1 规定的最小首吃水 T_{FP-mt} 或 $T_{FP-full}$ 小于 $0.045L$ 时，船底前端应进行附加加强以抵抗船底砰击压力。

6.3.1.2 船底加强所对应的吃水值应在外板展开图和装载指南资料中注明，见 1.1。

6.3.1.3 6.3 中所描述的尺度是净尺度，与之相关的总尺度见 6.1.1.2。主要支撑构件的剪切面积和剖面模数根据第 4 节 /2.5 进行确定。

6.3.1.4 局部支撑构件的剖面模数和腹板厚度适用于远离端部肘板的区域，主要支撑构件的横剖面剪切面积根据 6.3.7.3 和 6.3.7.4 要求进行计算。

6.3.2 加强范围

6.3.2.1 首垂线向后 0.3*L* 的船底平坦区域及从基线起 500mm 高度范围内相连接的板和扶强材，见图 8.6.4。

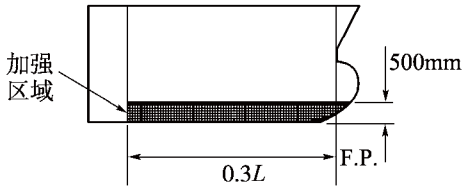


图 8.6.4 抵抗船底砰击的加强范围

6.3.2.2 船底砰击加强区域以外的结构尺度应逐渐过渡以保持纵向和 / 或横向强度的连续性。

6.3.3 抵抗船底砰击载荷的设计

6.3.3.1 船底砰击区域的加强筋的端部连接设计应确保其端部的固定性，可通过使加强筋连续穿过支撑构件或者根据第 4 节 /3.2.3 采用端部肘板的方法来实现。如果无法符合上述要求，可采用替代的端部布置形式，但加强筋的净塑性剖面模数应不小于：

$$Z_{pl-alt-net}=\frac{16Z_{pl-net}}{f_{bdg}} \qquad \text{cm}^3$$

式中：Z_{pl-net}——净塑性剖面模数，cm^3，见 6.3.5.1 要求；

f_{bdg}——弯矩因子：

$$f_{bdg}=8\left(1+\frac{n_s}{2}\right)$$

n_s=0 两端简单固定（简支）；

n_s=1 一端刚固，另一端简支。

6.3.3.2 主要支撑构件包括舱壁的结构尺度和布置应符合 6.3.7 的要求。

6.3.4 船体外板

6.3.4.1 船体外板的净厚度 t_{net} 应不小于：

$$t_{net}=\frac{0.0158a_p s}{C_d}\sqrt{\frac{P_{slm}}{C_a\sigma_{yd}}} \qquad \text{mm}$$

式中：α_p——板格长宽比的修正因子：

$$\alpha_p=1.2-\frac{s}{2100l_p}$$，但应不大于 1.0

s——扶强材间距，mm，见第 4 节 /2.2 定义；

l_p——板格长，取作主要支撑构件（见第 4 节 /2.2.2）或板格间断构件的间距，m；

P_{slm}——第 7 节 /4.3 给出的、在第 3 节 /5.1.2 定义的载荷计算点处的船底砰击压力，kN/m^2；

C_d——板能力修正系数：

C_d=1.3；

C_a——许用弯曲应力系数：

C_a=1.0，用于验收衡准组合 AC3；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.3.5 船体外板扶强材

6.3.5.1 每个独立扶强材的塑性净剖面模数 Z_{pl-net} 应不小于：

$$Z_{pl-net}=\frac{P_{slm}sl_{bdg}{}^2}{f_{bdg}C_s\sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3$$

式中：P_{slm}——在第 7 节 /4.3 中给出的载荷计算点处船底砰击压力，kN/m^2，载荷计算点定义见第 3 节 /5.2.2；

s——扶强材间距，mm，见第 4 节 /2.2 定义；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2.1.1；

f_{bdg}——弯矩因子：

$$f_{bdg}=8\left(1+\frac{n_s}{2}\right)$$

η_s=2.0，用于连续的扶强材或两端设有肘板的扶强材，对于替代布置见 6.3.3.1；

C_s——许用弯曲应力系数：

C_s =0.9，用于验收衡准组合 AC3；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.3.5.2 每根纵骨腹板的净厚度 t_{w-net} 应不小于：

$$t_{w-net}=\frac{P_{slm}sl_{shr}}{2d_{shr}C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm}$$

式中：l_{shr}——有效剪切跨距，m，见第 4 节 /2.1.2 定义；

s——扶强材间距，mm，见第 4 节 /2.2 定义；

P_{slm}——如第 7 节 /4.3 定义的载荷计算点处船底砰击压力，kN/m^2，载荷计算点定义见第 3 节 /5.2.2；

d_{shr}——扶强材腹板的有效高度，mm，见第 4 节 /2.4.2.2 定义；

C_t——许用剪切应力系数：

C_t=1.0，用于验收衡准组合 AC3

$\tau_{yd}=\dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$，N/mm^2

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.3.5.3 每根纵骨的细长比应符合第 10 节 /2 的要求。

6.3.6 主要支撑构件的理想船底砰击载荷区域的定义

6.3.6.1 6.3.7 规定的构件尺度是基于第 7 节 /4.3 定义的砰击压力在船体外板理想区域的应用，砰击载荷区域 A_{slm} 为：

$$A_{slm}=\frac{1.1LBC_b}{1000} \quad \text{m}^2$$

式中：L——规范船长，m，见第 4 节 /1.1.1.1 定义；

B——型宽，m，见第 4 节 /1.1.3.1 定义；

C_b——方形系数，见第 4 节 /1.1.9.1 定义。

6.3.7 主要支撑构件

6.3.7.1 考虑到6.3.7.2的剪切面积要求，应尽可能减少在肋板和纵桁的腹板上开口的数目和尺寸。

6.3.7.2 每个主要支撑构件在其跨距范围内的任何位置处的腹板净剪切面积 $A_{shr-net50}$ 应不小于：

$$A_{shr-net50} = 10\frac{Q_{slm}}{C_t\,\tau_{yd}} \qquad \text{cm}^2$$

式中：Q_{slm}——考虑位置处的由于砰击引起的最大剪力，kN，基于块载荷 F_{slm} 作用在最严重位置，如6.3.7.3确定；

C_t——许用剪切应力系数：

C_t=0.9，用于验收衡准组合AC3；

$\tau_{yd}=\dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$ N/mm^2；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.3.7.3 对于主要支撑构件的简单布置，可忽略板架的影响，剪力 Q_{slm} 按下式计算：

$$Q_{slm} = f_{pt}\,f_{dist}\,F_{slm} \qquad \text{kN}$$

式中：f_{pt}——作用于单个主要支撑构件上的块载荷的比例修正因子：

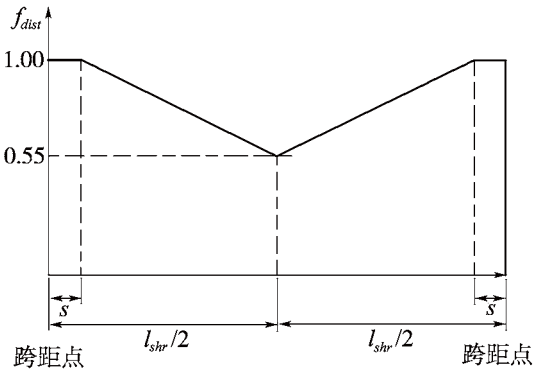
$$f_{pt} = 0.5(f_{slm}{}^3 - 2f_{slm}{}^2 + 2)$$

f_{slm}——块载荷变换因子：

$f_{slm} = 0.5\dfrac{b_{slm}}{S}$，但不大于1.0；

f_{dist}——最大剪力沿跨距方向的分布因子，见图8.6.5：

$F_{slm}=P_{slm}l_{slm}b_{slm}$



注：s——加强筋间距；

l_{shr}——有效剪切跨距，m，见第4节/2.1.5定义。

图8.6.5 f_{dist} 沿简单主要支撑构件跨距方向的分布

P_{slm}——在第7节/4.3给出的载荷计算点处船底砰击压力，载荷计算点定义见第3节/5.3.2定义，kN/m^2；

l_{slm}——沿跨距方向砰击载荷区域的长度：

$l_{slm}=\sqrt{A_{slm}}$，m，但应不大于 l_{shr}；

l_{shr}——有效剪切跨距，m，见第 4 节 /2. 1. 5 定义；

b_{slm}——主要支撑构件支撑的砰击区域的宽度：

$b_{slm}=\sqrt{A_{slm}}$，m，但应不大于 S；

A_{slm}——见 6. 3. 6. 1 定义；

S——主要支撑构件间距，m，见第 4 节 /2. 2. 2 定义。

6. 3. 7. 4 对于主要支撑构件的复杂布置，沿每个主要支撑构件跨距方向任何位置处的最大剪力 Q_{slm} 应根据表 8. 6. 4 由直接计算得到。

求 Q_{slm} 的直接计算方法 **表 8. 6. 4**

分析类型	梁理论	双层底板架
模型范围	有效弯曲支撑间构件的全跨距	纵向范围为一个货油舱的长度，横向范围是从底边舱在内底的折角处到船中线之间
假定肋板端部固定	端部固定	模型边界处的肋板和纵桁刚固

注：在主要支撑构件跨距范围内多处位置应施加载荷块来获得沿每个主要支撑构件的最大剪力的包络线，见 6. 3. 7. 2。

6. 3. 7. 5 外板附近的主要支撑构件腹板的净厚度 t_{w-net} 应不小于：

$$t_{w-net}=\frac{s_w}{70}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}} \quad \text{mm}$$

式中：s_w——板宽度，mm，取腹板加强筋间距；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6. 3. 8 纵骨与主要支撑构件的连接

6. 3. 8. 1 纵骨一般应是连续的，若无法实现应根据第 4 节 /3. 2. 3 设端部肘板。

6. 3. 8. 2 纵骨端部连接处的构件尺度应符合第 4 节 /3. 4 的要求。

6. 4 船首冲击

6. 4. 1 适用范围

6. 4. 1. 1 从 F. P. 开始 0. 1L 区域内的舷侧结构应进行加强，以抵御船首冲击力。

6. 4. 1. 2 6. 4 所指的尺度为净尺度，与总尺度的关系见 6. 1. 1. 2。

6. 4. 1. 3 局部支撑构件的剖面模数和腹板厚度要求适用于远离端部肘板的区域。主要支撑构件的剖面模数适用于沿弯曲跨距远离端部肘板的区域，且主要支撑构件的横剖面面积应用于端部 / 支撑并且可以逐渐沿跨距减小，以及远离端部 / 支撑如图 8. 6. 5 中所示的 f_{dist} 分布的区域。

6. 4. 2 加强范围

6. 4. 2. 1 加强部分应从 F. P. 开始 0. 1L 区域内以及在最小设计压载吃水 T_{bal}（定义见第 4 节 1. 1. 5. 2）以上的垂直部分。见图 8. 6. 6。

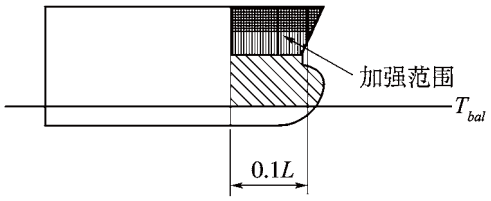


图 8. 6. 6 抵抗船首冲击的加强范围

6.4.2.2 在 6.4.2.1 给出的加强区域外的尺度应进行过渡，以保持纵向和 / 或横向强度的连续性。

6.4.3 抵御船首冲击载荷的设计

6.4.3.1 在船首冲击区域，纵骨架式应尽可能地向前延伸。

6.4.3.2 船首冲击区域的扶强材的端部连接设计应确保端部固定，可通过扶强材连续穿过支撑或提供符合第 4 节 /3.2.3 要求的端部肘板来实现。如果无法符合上述要求，则替换端部固定的布置的净塑性剖面模数 $Z_{pl-alt-net}$，不得小于：

$$Z_{pl-alt-net} = \frac{16 Z_{pl-net}}{f_{bdg}}$$

式中：Z_{pl-net}——有效净塑性剖面模数，如 6.4.5 要求，cm^3；

f_{bdg}——弯矩因子：

$$f_{bdg} = 8\left(1 + \frac{n_s}{2}\right)$$

n_s=0，两端简单固定（简支）

n_s=1，一端为刚固，另一端为简支

6.4.3.3 主要支撑结构包括甲板和舱壁的尺度和布置应符合 6.4.7。在承受最大船底冲击载荷的区域，通常应布置与船体外板相垂直的腹板加强筋，并提供双侧补板连接。

6.4.3.4 为防止屈曲，支撑外板骨架的甲板和舱壁的主要扶强方向应布置成平行于受支撑外板骨架的跨距方向。

6.4.4 舷侧外板

6.4.4.1 舷侧外板的净厚度 t_{net} 不应小于：

$$t_{net} = 0.0158 \alpha_p s \sqrt{\frac{P_{im}}{C_a \sigma_{yd}}} \quad \text{mm}$$

式中：α_p——板格长宽比修正因子：

$\alpha_p = 1.2 - \dfrac{s}{2100 l_p}$，但不得超过 1.0

s——加强筋间距，mm，如第 4 节 /2.2 定义；

l_p——板格长度，取主要支撑构件的间距，见第 4 节 /2.2.2，或间断件间距，m；

P_{im}——在第 3 节 /5.1.2 所定义的局部计算点计算的设计船首冲击压力，kN/m^2，见第 7 节 /4.4；

C_a——许用弯曲应力系数，=1.0 对于验收衡准组 AC3；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.4.5 舷侧外板扶强材

6.4.5.1 每一个扶强材连同有效带板的有效净塑性剖面模数 Z_{pt-net} 不得小于：

$$Z_{pt-net} = \frac{P_{im} s l_{bdg}^{\ 2}}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3$$

式中：P_{im}——在第 3 节 /5.2.2 所定义的载荷计算点计算的设计船首冲击压力，kN/m^2，见第 7 节 /4.4；

s——扶强材间距，见第 4 节 /2.2 中的定义；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，见第 4 节 /2.1.1；

f_{bdg}——弯矩因子：

$f_{bdg}=8（1+n_s/2）$

$n_s=2$，为连续扶强材或两端都有肘板的扶强材；

C_s——许用弯曲应力系数，0.9，对于验收衡准组 AC3；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.4.5.2 每一个扶强材的净腹板厚度 t_{w-net} 不得小于：

$$t_{w-net}=\frac{P_{im}sl_{shr}}{2d_{shr}C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm}$$

式中：l_{shr}——有效剪切跨距，见第 4 节 /2.1.2 中定义，m；

s——扶强材间距，见第 4 节 /2.2，mm；

P_{im}——在第 3 节 /5.2.2 所定义的局部计算点计算的设计船首冲击压力，kN/m^2，见第 7 节 /4.4 节；

d_{shr}——强材有效腹板高度，见第 4 节 /2.4.2.2 中定义；

C_t——许用剪切应力因子，$C_t=1.0$，对于验收衡准组合 AC3；

τ_{yd}——材料的规定的最小剪切应力，N/mm^2：

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$$

σ_{yd}——材料的规定的屈服应力，N/mm^2。

6.4.5.3 各纵骨的细长比应符合第 10 节 /2。

6.4.5.4 首柱肘板 / 隔板的最小净厚度不得小于：

$$t_{w-net}=\frac{s}{70}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}} \quad \text{mm}$$

式中：s——腹板加强筋的间距，mm。见第 4 节 /2.2。如果没有安装扶强材，s 取腹板的高度值；

σ_{yd}——材料的规定的屈服应力，N/mm^2。

6.4.6 主要支撑构件的理想冲击载荷区域的定义

6.4.6.1 6.4.7 的尺度是基于将第 7 节 /4.4 规定的船首冲击压力应用于船体外板的理想区域。船首冲击载荷区域 A_{slm} 为：

$$A_{slm}=\frac{1.1LBC_b}{1000} \quad \text{m}^2$$

式中：L——规范船长，见第 4 节 /1.1.1.1；

B——型宽，见第 4 节 /1.1.3.1；

C_b——方型系数，见第 4 节 /1.1.9.1。

6.4.7 主要支撑构件

6.4.7.1 船首冲击区域的主要支撑构件应确保有效的强度连接和防止出现硬点。

6.4.7.2 为限制极端船首冲击载荷下的变形并确保板格的边界约束力，沿支撑纵向框架的强框架或支撑横向框架的水平桁的外板尺度间距 S 不得大于：

$$S=3+0.008L_2 \quad \text{m}$$

式中：L_2——规范船长，见第 4 节 /1.1.1.1，但不得大于 300m。

6. 4. 7. 3　主要支撑构件端肘板的边缘应进行适当加强。肘板趾部的设计是为了将横剖面急剧变化的可能性降低到最小程度。

6. 4. 7. 4　防倾布置应符合第 10 节 /2. 3. 3。此外，防倾肘板应安装在端部肘板的趾部以及主要支撑构件翼板折角或曲线处。

6. 4. 7. 5　每一个主要支撑构件的净剖面模数 Z_{net50} 不得小于：

$$Z_{net50} = 1000 \frac{f_{bdg-pt} P_{im} b_{slm} f_{slm} l_{bdg}^{\ 2}}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3$$

式中：f_{bdg-pt}——所考虑局部载荷下、端部的弯矩修正因子：

$f_{bdg-pt} = 3f_{slm}^{\ 3} - 8f_{slm}^{\ 2} + 6f_{slm}$

f_{slm}——局部载荷修正因子：

$$f_{slm} = \frac{l_{slm}}{l_{bdg}}$$

l_{slm}——沿跨距的船首冲击载荷区域的范围，m：

$l_{slm} = \sqrt{A_{slm}}$，但不得超过 l_{bdg}

A_{slm}——船首冲击载荷区域，m^2，见 6. 4. 6. 1；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，m，见第 4 节 /2. 1. 4；

P_{im}——在第 3/5. 3. 3 所定义的载荷计算点计算的船首冲击压力，kN/m^2，见第 7 节 /4. 4；

b_{slm}——主要支撑构件支撑的冲击载荷区域的宽度，取主要支撑构件的间距，见第 4 节 /2. 2. 2，但不得超过 l_{slm}，m；

f_{bdg}——弯曲应力因子；

f_{bdg}=12，带末端固定连续面板、扶强材或根据第 4 节 /3. 3 通过肘板固定两端的主要支撑构件；

C_s——许用弯曲应力系数，C_s=0. 8；

σ_{yd}——材料的屈服应力，N/mm^2。

6. 4. 7. 6　在支撑 / 肘板趾端处每个主要支撑构件的腹板净剪切面积 $A_{shr-net50}$ 不得小于：

$$A_{shr-net50} = \frac{5 f_{pt} P_{im} b_{slm} l_{shr}}{C_t \tau_{yd}}$$

式中：f_{pt}——局部载荷修正因子：

$$f_{pt} = \frac{l_{slm}}{l_{shr}}$$

l_{slm}——沿跨距的船首冲击载荷面积的范围，m；

$l_{slm} = \sqrt{A_{slm}}$，但不得超过 l_{shr}

l_{shr}——有效剪切跨距，见第 4 节 /2. 1. 5，m；

P_{im}——在第 3 节 /5. 3. 2 所定义的载荷计算点计算的船首冲击压力，kN/m^2，见第 7 节 /4. 4；

b_{slm}——主要支撑构件支撑的冲击载荷区域的宽度，取主要支撑构件的间距，见第 4 节 /2.2.2，但不得超过 l_{slm}，m；

C_t——许用剪切应力系数：

C_t=0. 75 对于 AC3

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \qquad N/mm^2$$

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

6.4.7.7 各主要支撑构件的腹板的净厚度t_{w-net}，包括舷侧外板上的甲板 / 舱壁在内，不得小于：

$$t_{w-net}=\frac{P_{im}b_{slm}}{\sin\varphi_w\sigma_{crb}} \quad \text{mm}$$

式中：P_{im}——载荷计算点处的船首冲击压力，kN/m^2，见第 7 节 /4.4，载荷计算点见第 3 节 /5.3.2 或在舷侧板与甲板 / 舱壁相交处；

b_{slm}——主要支撑构件支撑的船首冲击载荷区域的宽度，取主要支撑构件的间距，见第 4 节 /2.2.2，但不得超过 l_{slm}，m；

φ_w——主要支撑构件的腹板和舷侧外板的夹角，(°)，见图 8.6.7；

σ_{crb}——在受力下主要支撑构件或甲板 / 舱壁的腹板的临界屈曲应力，见第 10 节 /3.2.1。

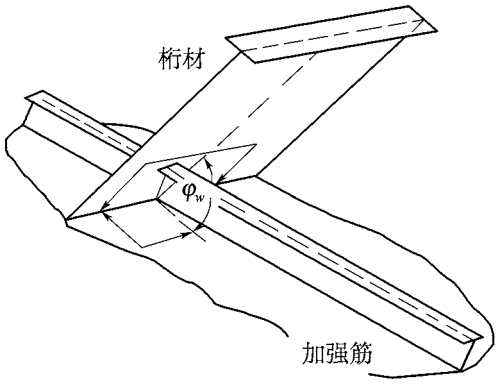


图 8.6.7 外板主要构件与外板之间的夹角

6.4.8 扶强材与主要支撑构件之间的连接

6.4.8.1 扶强材通常应该是连续的，如果不适用时，应提供按第 4 节 /3.2.3 中要求的端部肘板。

6.4.8.2 各扶强材的端部连接尺度应符合第 4 节 /3.4。

7 其他结构尺度要求

7.1 一般要求

7.1.1 适用范围

7.1.1.1 当第 8/2 节至第 8/5 节假设的基本结构布置或强度模型不适用时，本小节要求适用于板以及局部和主要支撑构件。这些要求是包含各种载荷假设和端部支持条件的一般的强度要求。当第 8/2 节至第 8/5 节适用时，这些要求不得同时适用。

7.1.1.2 7.2 中净尺度与总尺度关系如下：

(a) 对于板和局部支撑构件，总厚度和总剖面特性通过 7.2.2 的要求加上第 6 节 /3 规定的全部腐蚀增量获得。

(b) 对于主要支撑构件，总剪切面积、总剖面模数和其他总剖面特性通过 7.2.3 的要求加上第 6 节 /3 规定的一半腐蚀增量获得。

7.1.1.3 对于特殊的结构构件，这些要求的使用应结合第 8 节、第 9 节、第 10 节的其他近似要求，包括总纵强度、最小厚度、比例和结构稳定性、强度评估（有限元方法）、疲劳和船体梁极限强度。

7.1.1.4 以下主要和局部支撑构件的要求应特别考虑：

(a) 交叉梁系结构的一部分；

（b）端部支持间承受较大相对变形；

（c）表 8. 7. 1 中没有出现的载荷模型或端部支持条件。

7. 1. 1. 5　可替换方法或更多高级方法的应用应特别考虑。

7. 2　尺度要求

7. 2. 1　一般要求

7. 2. 1. 1　局部与主要支撑构件适用的设计载荷组合如表 8. 7. 2 所示，用于所考虑的特殊结构。静载荷与动载荷分量组合按照表 7. 6. 1 以及第 7 节 /6. 3 的要求。

7. 2. 2　板和局部支撑构件

7. 2. 2. 1　承受侧向压力的板要求净厚度 t_{net} 应为表 8. 7. 2 中所有设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$t_{net} = 0.0158\,\alpha_p s\sqrt{\frac{|P|}{C_a\,\sigma_{yd}}} \qquad \text{mm}$$

式中：α_p——板格长度比修正因子：

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{s}{2100 l_p}$$

P——所考虑设计载荷组合下，第 3 节 /5. 1. 2 所示计算点计算所得设计压力，kN/m^2；

s——扶强材间距，mm，见第 4 节 /2. 2 定义；

l_p——板格长度，除安装短梁外，取为主要支撑构件间距 S，m；

C_a——所考虑设计载荷组合下许用弯曲应力系数，用于所考虑单个构件，见表 8. 2. 4、表 8. 3. 2 或表 8. 4. 2；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2。

7. 2. 2. 2　对于承受侧向压力、点载荷、或其载荷组合的加强筋，要求净剖面模数 Z_{net} 应为表 8. 7. 2 中所有设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$Z_{net} = \frac{|P| s l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s\,\sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3, \qquad \text{对侧向压力载荷}$$

$$Z_{net} = \frac{1000|F| l_{bdg}}{f_{bdg} C_s\,\sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3, \qquad \text{对点载荷}$$

$$Z_{net} = \frac{\left|\sum \frac{P_i s l_{bdg}^2}{f_{bdg-i}} + \sum \frac{1000 F_j l_{bdg}}{f_{bdg-j}}\right|}{C_s\,\sigma_{yd}} \qquad \text{cm}^3，\text{对组合载荷}$$

式中：P——所考虑设计载荷组合下，第 3 节 /5. 2. 2 所示计算点计算所得设计压力，kN/m^2；

s——扶强材间距，mm，见第 4 节 /2. 2 定义；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，见第 4 节 /2. 1. 1；

f_{bdg}——弯矩因子；

对连续扶强材，当端部连接处的固定和具有固定端的扶强材理想化相一致：

f_{bdg} =12，对水平扶强材

f_{bdg} =10，对垂向扶强材

对其他形式的弯矩系数可见表 8. 7. 1；

C_s——所考虑设计载荷组合下许用弯曲应力系数，用于所考虑单个构件，见表 8. 2. 5、表 8. 3. 3 或表 8. 4. 3；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2；

F——所考虑设计载荷组合的点载荷，kN；

i——载荷组合 i 的序号；

j——载荷组合 j 的序号。

7. 2. 2. 3 对于承受侧向压力、点载荷、或其载荷组合的加强筋，基于剪切要求的净腹板厚度 t_{w-net} 应为表 8. 7. 2 中所有设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$t_{w-net}=\frac{f_{shr}|P|sl_{shr}}{d_{shr}C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm，} \quad \text{对侧向压力载荷}$$

$$t_{w-net}=\frac{1000f_{shr}|F|}{d_{shr}C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm，} \quad \text{对点载荷}$$

$$t_{w-net}=\frac{\left|\sum f_{shr-i}P_isl_{shr}+\sum 1000f_{shr-j}F_j\right|}{d_{shr}C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm，对组合载荷}$$

式中：P——所考虑设计载荷组合下第 3 节 /5. 2. 2 所示计算点计算所得设计压力，kN/m^2；

f_{shr}——剪力系数；

对连续扶强材，当端部连接处的固定和具有固定端的扶强材理想化相一致时：

f_{shr}=0. 5，对水平扶强材

f_{shr}=0. 7，对垂向扶强材

对其他形式的弯矩系数可见表 8. 7. 1；

s——扶强材间距，mm，见第 4 节 /2. 2 节定义；

l_{shr}——有效剪切跨距，见第 4 节 /2. 1. 2；

d_{shr}——见第 4 节 /2. 4. 2. 2；

C_t——所考虑设计载荷组合下许用剪切应力系数，用于所考虑单个构件，见表 8. 2. 6 或表 8. 3. 4；

$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$ N/mm^2

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2；

F——所考虑设计载荷组合的点载荷，kN；

i——载荷组合 i 的序号；

j——载荷组合 j 的序号。

7. 2. 3 主要支撑构件

7. 2. 3. 1 7. 2. 3 的要求适用于可以理想化为单跨梁的主要支撑构件。当承受适用的设计载荷组合时，更多高级计算方法应用来确保所有主要支撑构件的名义应力小于 7. 2. 3. 4 与 7. 2. 3. 5 所给的许用应力和应力系数。也可见 7. 1. 1. 4。

7. 2. 3. 2 局部支撑构件所要求的净剖面模数和腹板厚度适用于远离端部肘板的区域。主要支撑构件所要求的剖面模数和剪切面积要求如表 8. 7. 1 注。

7. 2. 3. 3 对于与曲线型船体剖面连接或处于曲线型船体剖面的主要支撑构件，端部肘板应足够以提供船体的曲率。

7. 2. 3. 4 对于主要支撑构件，要求净剖面模数 Z_{net50} 应为表 8. 7. 2 中所有设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$Z_{net50}=\frac{1000|P|Sl_{bdg}^2}{f_{bdg}C_s\sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3, \quad \text{对侧向压力载荷}$$

$$Z_{net50}=\frac{1000|F|l_{bdg}}{f_{bdg}C_s\sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3, \quad \text{对点载荷}$$

$$Z_{net50}=\frac{\left|\sum\frac{1000P_iSl_{bdg}^2}{f_{bdg-i}}+\sum\frac{1000F_jl_{bdg}}{f_{bdg-j}}\right|}{C_s\sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3, \quad \text{对组合载荷}$$

式中：P——所考虑设计载荷组合下，第 3 节 /5. 3. 3 所示计算点计算所得设计压力，kN/m^2；

S——主要支撑构件间距，mm，见第 4 节 /2. 2. 2 定义；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，见第 4 节 /2. 1. 4；

f_{bdg}——弯矩因子，见表 8. 7. 1；

C_s——所考虑设计载荷组合下许用弯曲应力系数，适用于所考虑单个构件，见表 8. 2. 10 或表 8. 3. 6；

σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2；

F——所考虑设计载荷组合的点载荷，kN；

i——载荷组合 i 的序号；

j——载荷组合 j 的序号；

7. 2. 3. 5　对于主要支撑构件，要求腹板净剪切面积 $A_{shr-net50}$ 应为表 8. 7. 2 中所有设计载荷组合计算所得结果的最大值：

$$A_{shr-net50}=\frac{10f_{shr}|P|Sl_{shr}}{C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm}, \quad \text{对侧向压力载荷}$$

$$A_{shr-net50}=\frac{10f_{shr}|F|}{C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm}, \quad \text{对点载荷}$$

$$A_{shr-net50}=\frac{\left|\sum 10\ f_{shr-i}P_il_{shr}+\sum 10f_{shr-j}F_j\right|}{C_t\tau_{yd}} \quad \text{mm}, \quad \text{对组合载荷}$$

式中：P——所考虑设计载荷组合下，第 3 节 /5. 3. 2 所示计算点的设计压力，kN/m^2；

S——主要支撑构件间距，见第 4 节 /2. 2. 2 定义；

l_{shr}——有效剪切跨距见第 4 节 /2. 1. 5；

f_{shr}——剪力因子，见表 8. 7. 1；

C_t——所考虑设计载荷组合下，许用剪切应力系数，适用于所考虑单个构件，见表 8. 2. 10 或表 8. 3. 7；

$$\tau_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \text{N/mm}^2$$

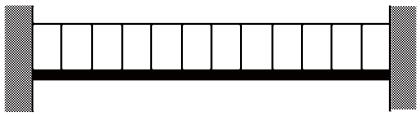
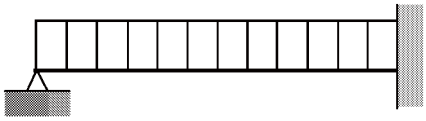
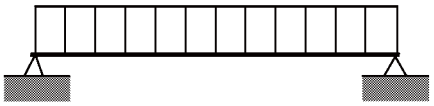
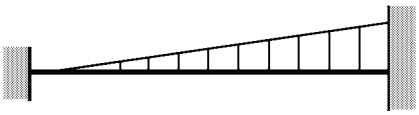
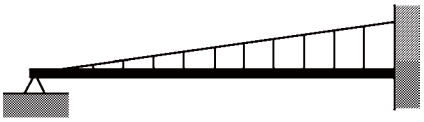
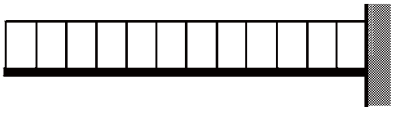
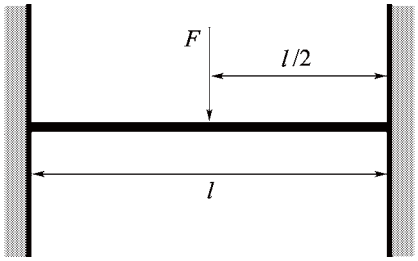
σ_{yd}——材料的规定的最小屈服应力，N/mm^2；

F——所考虑设计载荷组合的点载荷，kN；

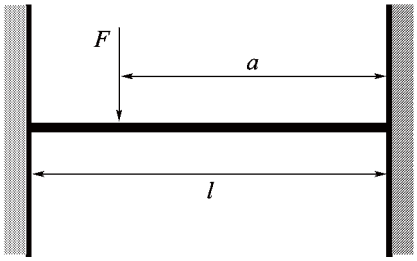
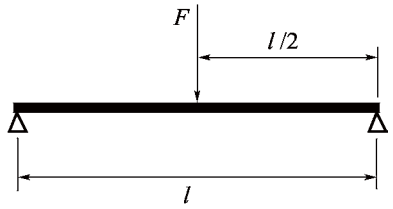
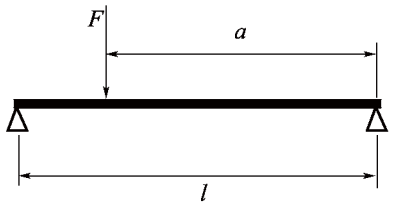
i——载荷组合 i 的序号；

j——载荷组合 j 的序号。

f_{bdg} 和 f_{shr} 值 **表 8.7.1**

载荷和边界条件				弯矩和剪力因子（基于跨中的载荷变化）			适用范围
载荷模型	位置[1]			1	2	3	
	1 支持	2 力场	3 支持	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} —	f_{bdg3} f_{shr3}	
A				12.0 0.50	24.0 —	12.0 0.50	两端固定 均布压力
B				— 0.38	14.2 —	8.0 0.63	一端固定 一端简支 均布压力
C				— 0.50	8.0 —	— 0.50	两端简支（两端可自由旋转） 均布压力
D				15.0 0.30	23.3 —	10.0 0.70	两端固定 线性变化压力分布
E				— 0.20	16.8 —	7.5 0.80	一端固定 一端简支 线性变化压力分布
F				— —	— —	2.0 1.0	悬臂梁 均布压力
G				8.0 0.5	8.0 —	8.0 0.5	两端固定 跨距中点单点载荷

续上表

载荷模型	载荷和边界条件			弯矩和剪力因子（基于跨中的载荷变化）			适用范围
	位置[1]			1	2	3	
	1 支持	2 力场	3 支持	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} —	f_{bdg3} f_{shr3}	
H				$\frac{l^3}{a^2(l-a)}$ $\frac{a^2(3l-2a)}{l^3}$	$\frac{l^4}{2a^2(l-a)^2}$ –	$\frac{l^3}{a(l-a)^2}$ $\frac{(l-a)^2(l+2a)}{l^3}$	两端固定 跨距任意点单点载荷
I				— 0.50	4 —	— 0.50	两端简支 跨距中点单点载荷
J				— $\frac{a}{l}$	$\frac{l^2}{a(l-a)}$ —	— $\frac{l-a}{l}$	两端简支 跨距任意点单点载荷

注：1. 对于局部与主要支撑构件，支持位置的弯矩系数f_{bdg}适用于有效弯曲跨距端部开始0.2l_{bdg}的距离。

2. 对于局部与主要支撑构件，支持位置的剪力系数f_{shr}适用于有效剪切跨距端部开始0.2l_{shr}的距离。.

3. 局部支撑构件f_{bdg}和f_{shr}的应用：

（a）局部支撑构件的剖面模数要求的确定，应采用f_{bdg1}、f_{bdg2}和f_{bdg3}的最小值；

（b）局部支撑构件的剪切面积要求的确定，应采用f_{shr1}和f_{shr3}的最大值。

4. 主要支撑构件的f_{bdg}和f_{shr}的应用：

（a）从有效跨距端部开始0.2l_{bdg}区域内剖面模数要求的确定，通常采用f_{bdg1}和f_{bdg3}，但f_{bdg}不大于12；

（b）跨中的剖面模数的确定，通常采用f_{bdg}=24或表中的f_{bdg2}（取较小值）；

（c）从有效跨距端部开始的0.2l_{shr}区域内端部连接的要求剪切面积，应采用f_{shr}=0.5或f_{shr1}和f_{shr3}的较大值；

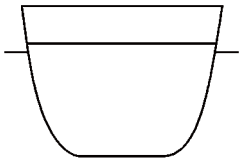
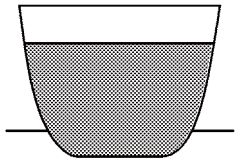
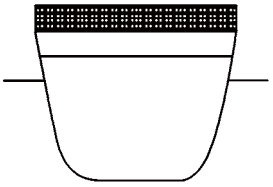
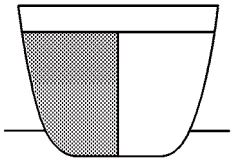
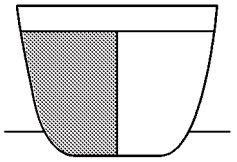
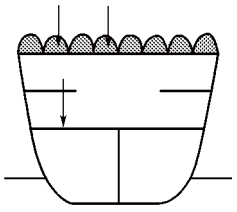
（d）对于从A到F的载荷模型，如果f_{shr}为f_{shr1}和f_{shr3}的较大值，在跨距中间0.2l_{shr}到0.5l_{shr}的区域内，f_{shr}可逐渐减小。

式中：l——有效跨距，l_{bdg}与l_{shr}；

l_{bdg}——对局部支撑构件，见第4节/2.1.1定义；对主要支撑构件，见第4节/2.1.4定义；

l_{shr}——对局部支撑构件，见第4节/2.1.2定义；对主要支撑构件，见第4节/2.1.5定义。

板、局部支撑构件、主要支撑构件的设计载荷组合 **表 8.7.2**

局部支撑构件与主要支撑构件类型	设计载荷组合	载荷分量	外部吃水	说明	示意图
船体外壳	1	P_{ex}	T_{SC}	仅海水压力	
	2	P_{ex}	T_{SC}		
	5	P_{in}	T_{bal}	仅有舱室压力 忽略海水压力	
	6	P_{in}	$0.25T_{SC}$		
外部甲板	1	P_{ex}	T_{SC}	仅上浪压力	
货油舱边界	3	P_{in}	$0.6T_{SC}$	仅一侧压力液舱满舱，相邻舱空舱	
	4	P_{in}			
	11	$P_{in}=f_{lood}$	—		
其他舱室边界或水密边界	5	P_{in}	T_{bal}	仅一侧压力液舱满舱，相邻舱空舱	
	6	P_{in}	$0.25T_{SC}$		
	11	$P_{in}=f_{lood}$	—		
内部与外部甲板或平台	9	P_{dk}	T_{bal}	仅分布载荷或集中载荷，相邻舱室空舱，可忽略上浪载荷	
	10	P_{dk}	T_{bal}		

表中：T_{SC}——结构吃水，见第4节/1.1.5.5；

T_{bal}——最小设计压载吃水，见第4节/1.1.5.2。

注：1. 每一设计载荷系列的设计载荷组合和其他载荷参数定义见表8.2.8。

2. 当船舶结构型式不能如上描述时，用来确定结构边界尺度要求的适用载荷组合的选择应为一侧满舱，另一侧空舱。边界应按照两侧加载进行评估。应基于舱室内容来选择设计载荷组合使得边界压力达到最大，吃水应与设计载荷组合以及本表一致。静与静加动载荷工况均应选择。见注4、表8.2.7和表8.2.8。

3. 不构成船体壳板部分的空舱或干舱边界应按照设计载荷组合11进行评估，见注2。

第9节 设 计 验 证

1 船体梁极限强度

1.1 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 应对中垂状态下的船体梁极限弯曲能力予以评估和校核，以确保其符合以下衡准。此衡准适用于在极端海况下的完整船舶结构，并不包括中拱、港内或破损情况。

1.1.1.2 本小节中的尺度要求适用于船中0.4L区域内，此外还满足本篇的所有其他要求。

1.1.1.3 船中0.4L区域之外的板和加强筋尺度可逐渐过渡减少到首尾两端对局部的要求。

1.2 规范衡准

1.2.1 船体梁垂向极限弯曲能力

1.2.1.1 船体梁垂向极限弯曲能力应满足以下衡准：

$$\gamma_S + M_{sw} + \gamma_w M_{wv-sag} \leqslant \frac{M_U}{\gamma_R}$$

式中：M_{sw}——中垂静水弯矩，kN·m。应按表9.1.1确定；

M_{wv-sag}——垂向中垂波浪弯矩，kN·m。应取第7/3.4.1.1节中定义的船中部中垂值；

M_U——垂向极限弯曲能力，kN·m。按附录A/1.1.1定义。

γ_S、γ_w、γ_R——设计载荷组合的分项安全因子，按1.4定义。

1.3 船体梁弯矩能力

1.3.1 能力计算

1.3.1.1 中垂状态下，船体梁的极端弯曲能力，M_U，应根据附录A/1.1.1计算。

1.3.1.2 对于船体梁极限强度能力的评估，其有效面积应按第8节/1.2.1规定。

1.3.1.3 该能力应基于腐蚀增量为0.5t_{corr}的净尺度，见第6节/3.2。

1.4 分项安全因子

1.4.1 一般要求

1.4.1.1 表9.1.1中给出的分项安全因子适用于M_U按附录A/2.1中的一步法或A/2.2中的增量方法计算。对于两种不同的设计载荷组合，给出了分项安全因子，且均应要求予以满足。注意对于每种组合，M_{sw}的定义不同。

分 项 安 全 因 子　　表9.1.1

设计工况组合	静水弯矩M_{sw}的定义	γ_S	γ_w	γ_R
a）	许用中垂静水弯矩，$M_{SW-perm-sea}$，kN·m，见第7节/2.1.1	1.0	1.2	1.1
b）	海上营运均匀满载时的最大中垂静水弯矩，$M_{SW-full}$ kN•m，见注	1.0	1.3	1.1

表中：γ_S——中垂静水弯矩的分项安全因子；

γ_w——涵盖环境和波浪载荷预报不确定性的中垂垂向波浪弯矩分项安全因子；

γ_R——涵盖材料、几何及强度预报不确定性的中垂垂向船体梁弯曲能力的分项安全因子。

注：最大中垂静水弯矩取自船舶均匀装载至最大吃水的离港工况和相应的到港工况及任何航行途中工况。

2 强度评估（FEM）

2.1 一般要求

2.1.1 适用范围

2.1.1.1 用有限元分析对船体结构进行强度评估是必须的。

2. 1. 1. 2 有限元分析包括两部分：

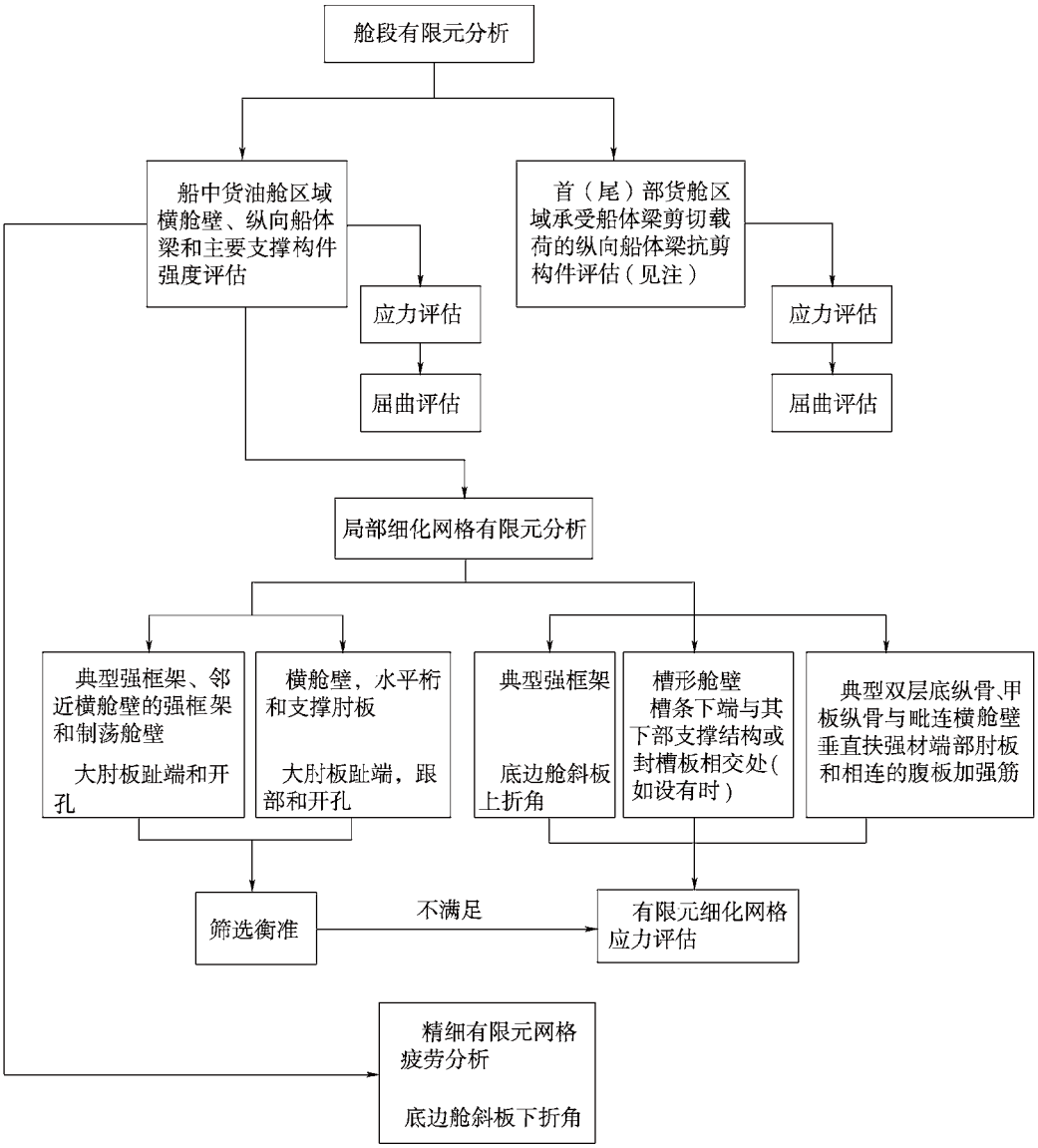
（a）舱段分析：评估纵向船体梁构件、主要支撑构件和横舱壁的强度。

（b）细化网格分析：评估局部结构细节的详解的应力水平。

2. 1. 1. 3 有限元分析最低要求的流程见图 9. 2. 1。

2. 1. 1. 4 强度评估应按照附录 B 的要求进行。强度评估应验证船体结构满足 2. 2. 5 和 2. 3. 5 规定的验收衡准。

2. 1. 1. 5 经过强度评估验证的货油舱区域的结构尺度应按照 2. 4 的要求应用于船体构件。



注：横舱壁处承受船体梁垂向剪切载荷的纵向船体梁抗剪构件（定义见2. 2. 1. 1和第4节/表4. 1. 1）的强度评估可基于中部货油舱有限元模型进行，且对板和骨材特性进行适当修改，见附录B/1. 1. 1和附录B/2. 2. 1。

图 9. 2. 1 有限元分析的规范最低要求

2. 1. 2 结果提交

2. 1. 2. 1 应提交结构分析的详细报告，以表明船体结构满足规定的结构设计衡准。该报告应包括以下资料：

（a）图纸清单，包括日期和版本；

（b）建模详细说明，包括所有建模假定，以及模型与图纸在几何形状和结构布置方面的差别；

（c）表明建模正确和赋予特性正确的图；

（d）模型中所用材料特性、板厚度以及梁特性的详情；

（e）边界条件的详情；

（f）所有已校核工况的详情，包括船体梁切力和弯矩分布；

（g）施加载荷的详情，并确认单个载荷和总载荷正确；

（h）表明结构模型在施加载荷作用下，响应正确的图和结果；

（i）整体、局部变形的汇总和图；

（j）表明所有构件中均不超过设计衡准的应力汇总和足够的图；

（k）板和加筋板格的屈曲分析和结果；

（l）表明结构满足设计衡准的表列结果；

（m）必要时建议的结构修改方案，包括修改后的应力评估、屈曲和疲劳特性，以表明满足设计衡准。

2.1.3 计算机程序

2.1.3.1 通常，如能充分考虑了弯曲、剪切、轴向和扭转变形的组合作用，则所有经船级社认可的有限元计算程序均可用于计算船体结构的应力和变形。

2.1.3.2 根据第 10 节 /4 的要求，用于计算板格屈曲能力的计算机程序，应能考虑到双轴向压应力、剪切应力和侧向载荷的组合相互作用。

2.1.3.3 能提供令船级社满意的可靠结果的计算机程序可视为认可的程序。如所使用的计算机程序非船级社提供或未经船级社认可，则关于计算机程序的完整详细说明，包括计算输出结果应提交批准。建议设计人员在任何结构分析开始前，应向船级社咨询拟使用计算机程序的适用性。

2.2 舱段结构强度分析

2.2.1 目的和范围

2.2.1.1 分析应至少包括以下构件的评估：

（a）船中货油舱区域的纵向船体梁构件、主要支撑构件和横舱壁；

（b）货油舱区域横舱壁处承受船体梁垂向剪切载荷的纵向船体梁抗剪构件。这些构件包括第 4 节表 /4.1.1 定义的：舷侧板、内壳（含顶边舱斜板，如设有时）、底边舱斜板、纵舱壁和双层底纵桁。对于船首、船中、船尾货油舱区域的横舱壁处船体梁纵向构件，由于船体梁剪切载荷而要求的加强可基于该区域的船体梁最大切力。也可采用替换评估方法对单个横舱壁处的结构加强进行评估。详细说明见附录 B/1.1.1。

2.2.1.2 对于船首、船中、船尾货油舱区域的横舱壁处船体梁纵向构件，由于船体梁剪切载荷而要求的加强可基于该区域的船体梁最大切力。对单独横舱壁处的结构加强也可单独进行评估。详细说明见附录 B/1.1.1。

2.2.1.3 分析应验证以下各项在所施加的静载荷和动载荷作用下，均满足验收衡准：

（a）纵向船体梁构件、主要支撑构件和横舱壁的板的应力水平，以板单元或杆单元建模的主要支撑构件面板的应力水平；

（b）板和加筋板格的屈曲能力。

2.2.2 结构建模

2.2.2.1 舱段有限元模型的建模尺度应基于第 6 节 /3.3.6.1 和附录 B/2.2.1.5 所述的净尺度。

2.2.2.2 舱段有限元模型的纵向范围应覆盖三个货舱长度。当船中部货油舱区域的货舱长度不同时，有限元模型的中部舱的长度应取最长货舱的长度。所有主要纵向和横向构件应建模，包括：内壳和外板、双层底肋板和桁材、横向强框架和垂直桁材、水平桁材、横舱壁和纵舱壁结构。结构上所有的板材和骨材，包括腹板加强筋，都应建模。

2.2.2.3 有限元模型的网格应尽可能遵从结构的实际骨材排列方式，以代表骨材之间的实际板格。

2. 2. 2. 4 建模应符合附录 B/2. 2 的要求。

2. 2. 3 载荷和工况

2. 2. 3. 1 在结构分析中，应对所有可能在船体结构上导致最恶劣载荷状态的静载荷和动载荷组合进行校核。

2. 2. 3. 2 结构分析的标准工况见附录 B/2. 3. 1，工况包括航行工况（设计载荷组合 *S*+*D*）和港内 / 舱室试验工况（设计载荷组合 *S*）。

2. 2. 3. 3 如设计者特别指定的装载工况并未包括在标准工况中，则也应对这些补充工况进行校核，见附录 B/2. 3. 1。

2. 2. 4 载荷施加和边界条件

2. 2. 4. 1 所有同时作用的船体梁载荷和局部载荷均应施加在模型上。有限元模型上的船体梁载荷和局部载荷的施加应符合附录 B/2. 4 和附录 B/2. 5 的要求。

2. 2. 4. 2 施加在模型上的边界条件见附录 B/2. 6。

2. 2. 5 验收衡准

2. 2. 5. 1 按照验收衡准对应力结果进行验证，应按照附录 B/2. 7 进行。

2. 2. 5. 2 按照验收衡准对应力结果进行验证，应包括：三舱段有限元模型的中部舱纵向范围内的所有构件和中部舱前后横舱壁水平桁材和支撑肘板的延伸部分。横舱壁处承受船体梁剪切载荷区域的剪切强度评估，应为对内壳（含顶边舱斜板，如设有时）、舷侧板、纵舱壁、底边舱斜板和双层底纵桁的应力水平和屈曲能力按照验收衡准进行验证，见附录 B/2. 7. 1。

2. 2. 5. 3 结构分析应表明板和加筋板格的结果未超出表 9. 2. 1 规定的许用 Von Mises 应力衡准，和未超出表 9. 2. 2 规定的许用屈曲利用因子。

最 大 许 用 应 力 **表 9. 2. 1**

构　　件	屈服利用因子
舱室内部结构	
所有非密性构件的板，包括横向强框架、制荡舱壁、内部隔板、水平桁材、肋板及纵桁。采用板单元或杆单元建模的主要支撑构件面板。	$\lambda_y \leqslant 1.0$ （载荷组合*S*+*D*） $\lambda_y \leqslant 0.8$ （载荷组合*S*）
舱室边界结构	
甲板板、舷侧板、内壳板、底边舱斜板、舭部板、货油舱平面纵舱壁板和槽形纵舱壁板。密性肋板、纵桁和隔板	$\lambda_y \leqslant 0.9$ （载荷组合*S*+*D*） $\lambda_y \leqslant 0.72$ （载荷组合*S*）
内底板、外底板、平面横舱壁板和槽形横舱壁板	$\lambda_y \leqslant 0.8$ （载荷组合*S*+*D*） $\lambda_y \leqslant 0.64$ （载荷组合*S*）

表中：λ_y——屈服利用因子：

$\lambda_y = \dfrac{\sigma_{vm}}{\sigma_{yd}}$，通常对板单元；

$\lambda_y = \dfrac{\sigma_{rod}}{\sigma_{yd}}$，通常对杆单元；

σ_{vm}——基于单元形中心处的膜应力得到的von Mises应力，N/mm^2；

σ_{rod}——杆单元的轴向应力，N/mm^2；

σ_{yd}——规定的材料屈服应力，N/mm^2。对于应力集中处，在载荷组合*S*+*D*工况下应取不大于$315N/mm^2$ (2)。

注：1. 本表中给出的结构项仅供指导。有限元模型中根据本节2. 2. 5. 2规定的所有构件的应力均应按照许用应力衡准进行验证，参见附录B/2. 7. 1。

2. 应力集中处为：开孔角隅处、折角连接处、主要支撑构件和骨材的趾部和跟部。

3. 如槽形横/纵舱壁不设置底凳时，按照2. 2. 5. 5要求，最大许用应力应减少10%。

4. 当货油舱间的平面和槽型纵舱壁两侧舱室均为空或均为满时，其屈服利用因子可取为FE载荷工况下非水密构件的值。纵舱壁下的水密底纵桁必须按水密构件处理。

2.2.5.4 板和加筋板格的局部屈曲能力模型，应基于板和骨材厚度减去全部腐蚀余量后的尺度，参见第6节/3.3.6.2和附录B/2.7.3。

2.2.5.5 如槽形横/纵舱壁不设置底凳时，对于下列区域的槽条和其下部支撑结构的计算结果，应按照表9.2.1的最大许用应力衡准和表9.2.2的许用屈曲利用因子分别减少10%进行验证：

（a）整个槽形高度；

（b）槽形横舱壁的支撑结构—沿纵向，横舱壁前/后各半个强框架间距的区域内；

（c）槽形纵舱壁的支撑结构—沿横向，纵舱壁左/右各三个纵骨间距的区域内。

最大许用屈曲利用因子 **表9.2.2**

构　件	屈曲利用因子
板和加筋板格(3)	$\eta \leqslant 1.0$ （载荷组合$S+D$） $\eta \leqslant 0.8$ （载荷组合S）
开孔处腹板	$\eta \leqslant 1.0$ （载荷组合$S+D$） $\eta \leqslant 0.8$ （载荷组合S）
撑材结构的支柱屈曲能力	$\eta \leqslant 0.75$ （载荷组合$S+D$） $\eta \leqslant 0.65$ （载荷组合S）
槽形舱壁 —面板屈曲 —柱式屈曲	$\eta \leqslant 0.9$ （载荷组合$S+D$） $\eta \leqslant 0.72$ （载荷组合S）

其中：η——屈曲利用因子，根据附录D/5和附录B/2.7.3计算。对于开孔处腹板，另见第10节/3.4.1；对于撑材结构，另见第10节/3.5.1。

注：1. 对于曲面板格（如舭部板）、主要支撑构件的面板和防倾肘板的屈曲能力，不基于有限元计算结果进行评估。

2. 如槽形横/纵舱壁不设置底凳时，按照本节2.2.5.5，最大许用屈曲利用因子应减小10%。

3. 本表的许用屈曲因子适用于附录D/1.1.2的参考高级屈曲方法。如使用其他的屈曲校核方法，则应对许用屈曲利用因子进行评估，且如要求时，应调整到符合与附录D/1.1.2规定等效的验收衡准。

2.3 局部细化网格结构强度分析

2.3.1 目的和范围

2.3.1.1 对于常规结构布置的油船，作为最低要求，应对中部货油舱区域的下述部位进行校核：

（a）位于中间舱的典型强框架关键部位的大肘板趾部和开孔、底边舱上折角。当设置制荡舱壁时，其横框架和垂直桁材关键部位的大肘板趾部和开孔。

（b）邻近横舱壁的典型强框架位于水平桁附近的关键部位的大肘板趾部及开孔。

（c）水平桁材关键部位的大肘板趾部、跟部及开口。横舱壁与双层底桁材相交处、典型横舱壁的支撑肘板。

（d）横向和纵向槽形舱壁与底凳相交处，如不设底凳时，横向和纵向槽形舱壁与内底和双层底支撑结构相交处。如设置封槽板，则槽形与封槽板上部连接处应进行评估。

（e）双层底和甲板的典型纵骨和相连的横舱壁垂直扶强材的端部肘板和相连的腹板加强筋。

2.3.1.2 2.3.1.1所述进行细化网格计算的构件关键部位的选择应按照附录B/3.1要求。

2.3.1.3 除2.3.1.1所述以外的其他部位，如果结构的应力集中部位的应力水平超出舱段分析验收衡准，应进行细化网格分析，以表明构件尺度满足要求。

2.3.1.4 如果舱段有限元模型不足以反映几何形状，可用细化网格分析表明构件尺度满足要求。在这种情况下，与货油舱分析所规定面积（通常为s乘以s）相等的面积内的应力应符合表9.2.1的要求。参见表9.2.3的注1。

2.3.2 结构建模

2.3.2.1 细化网格结构模型应按照附录 B/3.2 要求。

2.3.2.2 细化网格分析可通过一个包括细化网格区域的独立的局部有限元模型进行，边界条件从舱段有限元模型得到；也可通过把细化网格区域并入舱段有限元模型中进行。

2.3.2.3 局部有限元模型的范围应使关注区域的应力不会受到边界条件和施加载荷的显著影响。局部有限元模型范围的详细要求见附录 B/3.2。

2.3.2.4 细化网格区域应能代表局部高应力区域。细化网格区域内的有限元网格尺度应不大于50mm×50mm。细化网格区域的范围应按照附录 B/3.2。

2.3.2.5 细化网格模型应基于第 6 节 /3.3.6.3 和附录 B/3.2 规定的净尺度。

2.3.3 载荷及装载工况

2.3.3.1 按照 2.2.3 要求，细化网格详细的应力分析应按照标准载荷工况以及任何其他特别规定的载荷工况进行。

2.3.4 载荷施加和边界条件

2.3.4.1 有限元模型的载荷施加和边界条件应按照附录 B/3.4 的要求。

2.3.5 验收衡准

2.3.5.1 按照验收衡准对应力结果进行验证，应按照附录 B/3.5 进行。

2.3.5.2 结构评估应表明：由细化网格有限元分析得到的 von Mise 应力结果不超过表 9.2.3 规定的最大许用应力衡准。

细化网格分析的最大许用膜应力 **表 9.2.3**

单 元 应 力	屈服利用因子
不邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leqslant 1.7$ （载荷组合$S+D$） $\lambda_y \leqslant 1.36$ （载荷组合S）
邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leqslant 1.5$ （载荷组合$S+D$） $\lambda_y \leqslant 1.2$ （载荷组合S）

表中：λ_y——屈服利用因子：

$\lambda_y = \dfrac{k\sigma_{vm}}{235}$，板单元

$\lambda_y = \dfrac{k\sigma_{rod}}{235}$，杆单元或梁单元

σ_{vm}——基于单元形中心处的膜应力得到的von Mises应力，N/mm^2；

σ_{rod}——杆单元的轴向应力，N/mm^2；

k——高强度钢系数，N/mm^2，见第6节/1.1.4规定，但载荷组合$S+D$时应取不小于0.78。

注：1. 舱段有限元模型中，如果位于应进行细化网格校核区域的单元的Von mise应力超出表9.2.1规定的许用值，则由细化网格分析得到的，面积相当于舱段有限元模型网格大小的细化网格von Mises应力计算结果的平均值应不超过表9.2.1规定的许用值。

2. 最大许用应力基于50mm × 50mm的网格大小。如使用更小网格尺度，则应根据附录B/3.5.1，用与上述网格尺度面积相当的单元平均von Mises应力与许用应力作比较。

3. Von Mises平均应力应基于单元面积进行加权计算：

$$\sigma_{vm\text{-}av} = \frac{\sum_1^n A_i \sigma_{vm\text{-}i}}{\sum_1^n A_i}$$

式中：$\sigma_{vm\text{-}av}$——Von Mises平均应力；

$\sigma_{vm\text{-}i}$——考虑区域的第i个板单元的Von Mises应力；

A_i——考虑区域内的第i个板单元的面积；

n——考虑区域内的单元的个数。

4. 应力平均不得在结构不连续处和竖向结构处进行。

5. 如槽形横/纵舱壁不设置底凳时，其细化网格校核区域的最大许用应力应减少10%。

2.4 货油舱区域的尺度应用

2.4.1 一般规定

2.4.1.1 将满足有限元强度评估要求的结构尺度应用于货油舱区域，应按照本小节的要求。

2.4.1.2 本小节的要求基于下述假定：同一部位沿货油舱区域的材料屈服特性相同。当材料特性不同时，对相应材料特性的结构尺度应重新评估。

2.4.1.3 本小节尺度换算基于：满足第9节/2和附录B的结构尺度。

2.4.1.4 本小节所述板材和局部支撑构件的净板厚和净剖面特性应基于总厚度扣除第6节/表6.3.2规定的全部腐蚀余量厚度。板材、局部支撑构件的腹板和面板的总厚度应由净厚度加上全部腐蚀余量厚度得到。

2.4.2 甲板的尺度应用

2.4.2.1 甲板板和甲板纵骨的尺度应在船中0.4L纵向范围内保持一致。船中0.4L范围内给定的横向位置的甲板板和甲板纵骨尺度，应不小于附录B/1.1.1.5要求的舱段有限元模型中部舱长度范围内在相应横向位置的最大要求值。

2.4.2.2 在船中0.4L以外区域，甲板板和甲板纵骨的尺度可以逐渐向第8节货油舱端部区域的要求尺度缩减。

2.4.3 内底的尺度应用

2.4.3.1 内底板厚度可以沿舱长和舱宽变化。

2.4.3.2 船中货油舱区域的内底板和内底纵骨尺度，应不小于附录B/1.1.1.5要求的舱段有限元模型中部舱在相应位置的要求值。该尺度在货油舱区域的所有货舱应保持一致，但最前面一个货舱和最后面一个货舱除外。

2.4.3.3 对于最前面一个货舱和最后面一个货舱，如果主要支撑构件间距不小于船中货油舱区域，则内底纵骨尺度应不小于船中货油舱区域的要求值。内底板的最小净厚度t_{ib-net}按下式计算：

$$t_{ib-net} = t_{ib-net-mid}\left(\frac{l_{bdg}}{l_{bdg-mid}}\right)^{0.25}\frac{s_{ib}}{s_{ib-mid}} \quad \text{mm}$$

式中：$t_{ib-net-mid}$——船中部舱室相应位置的内底板要求净厚度，mm；

l_{bdg}——校核部位的双层底肋板有效弯曲跨距，m，见图4.2.7；

$l_{bdg-mid}$——船中舱室相应位置的双层底肋板有效弯曲跨距，m，见图4.2.7；

s_{ib}——校核部位的内底纵骨间距，mm；

s_{ib-mid}——船中舱室相应位置的内底纵骨间距，mm。

2.4.4 外底的尺度应用

2.4.4.1 外底纵骨应在船中0.4L区域的纵向范围保持一致。船中0.4L范围内某一横向位置的外底纵骨尺度，应不小于附录B/1.1.1.5要求的舱段有限元模型在中部舱的长度范围内在相应横向位置的最大要求值。

2.4.4.2 在船中0.4L以外区域，外底纵骨的尺度可以逐渐向第8节货油舱端部区域的要求尺度缩减。

2.4.4.3 外底板厚度可以沿舱长和舱宽变化。船中区域外底板厚度应不小于附录B/1.1.1.5要求的舱段有限元模型中部舱在相应位置的要求值。该厚度在货油舱区域的所有货舱应保持一致，但最前面一个货舱和最后面一个货舱除外。

2. 4. 4. 4 对于最前面一个货舱和最后面一个货舱，外底板的最小净厚度 $t_{btm-net}$ 应按下式求得：

$$t_{btm-net} = t_{btm-net-mid}\left(\frac{l_{bdg}}{l_{bdg-mid}}\right)^{0.25}\frac{s_{btm}}{s_{btm-mid}} \quad \text{mm}$$

式中：$t_{btm-net-mid}$——船中舱室相应位置的外底板要求净厚度，mm；

l_{bdg}——校核部位的双层底肋板有效弯曲跨距，m，见图 4. 2. 7；

$l_{bdg-mid}$——船中舱室相应位置的双层底肋板有效弯曲跨距，m，见图 4. 2. 7；

s_{btm}——校核部位的外底纵骨间距，mm；

$s_{btm-mid}$——船中舱室相应位置的外底纵骨间距，mm。

2. 4. 5 舷侧、纵舱壁和内壳纵舱壁的尺度应用

2. 4. 5. 1 舷侧、纵舱壁、内壳纵舱壁位于甲板以下 0. 15D 范围内的板和纵骨尺度应在船中 0. 4L 区域的纵向范围保持一致。某一高度位置的板和纵骨的尺度应不小于附录 B/1. 1. 1. 5 要求的舱段有限元模型在中部舱长度范围内相应高度位置的最大要求值。船中 0. 4L 以外区域，甲板以下 0. 15D 范围内板和纵骨尺度可以逐渐向第 8 节货油舱端部区域的要求尺度缩减。

2. 4. 5. 2 甲板以下 0. 15D 以外的舷侧板、纵舱壁板和内壳纵舱壁板（包括底边舱斜板）厚度可以沿舱长和高度变化。远离横舱壁的板厚应不小于附录 B/1. 1. 1. 5 要求的舱段有限元模型中部舱在相应位置的要求值。该厚度在货油舱区域的所有货舱应保持一致，但最前面一个货舱和最后面一个货舱除外。对于最前面一个货舱和最后面一个货舱区域，舷侧板、纵舱壁板和内壳纵舱壁板（包括底边舱斜板）位于甲板以下 0. 15D 范围外的的最小净厚度按下式计算：

$$t_{net} = t_{net-mid}\frac{S}{S_{mid}} \quad \text{mm}$$

式中：$t_{net-mid}$——船中舱室相应位置的要求净厚度，mm；

S——校核部位的纵骨间距，mm；

S_{mid}——船中舱室相应位置的纵骨间距，mm。

2. 4. 5. 3 横舱壁附近的舷侧板、纵舱壁板和内壳纵舱壁板（包括底边舱斜板）由于承受船体梁剪切载荷而要求加强的板厚应不小于附录 B/1. 1. 1. 6、B/1. 1. 1. 7、B/1. 1. 1. 8 的要求值。在甲板以下 0. 15D 范围内横舱壁附近的板厚应不小于本节 2. 4. 5. 1 的要求，甲板以下 0. 15D 范围外的横舱壁附近的板厚应不小于本节 2. 4. 5. 2 要求。

2. 4. 5. 4 舷侧、纵舱壁、内壳纵舱壁（包括底边舱）位于甲板以下 0. 15D 范围外的某一高度位置的纵骨尺度应不小于附录 B/1. 1. 1. 5 要求的舱段有限元模型中部舱在相应高度位置的要求值。该尺度在货油舱区域的所有货舱应保持一致。

2. 4. 6 横舱壁的尺度应用

2. 4. 6. 1 横舱壁板、扶强材和水平桁尺度可以沿横舱壁的高度和宽度变化。某一特定位置的结构尺度应不小于附录 B/1. 1. 1. 5 要求的舱段有限元模型中部舱前后舱壁相应位置的最大要求值。

2. 4. 7 主要支撑构件的尺度应用

2. 4. 7. 1 主要支撑构件的腹板厚度可以沿舱室的长度、宽度和高度变化，但应不小于附录 B/1. 1. 1. 5 要求的舱段有限元模型中部舱相应位置的要求值。该尺度在货油舱区域的所有货舱应保持一致，但最前面一个货舱和最后面一个货舱除外。

2. 4. 7. 2 最前面一个货舱和最后面一个货舱的主要支撑构件尺度应按照第 8 节 /2. 6. 9 由船中舱室相应构件的尺度比例计算得到。

2. 4. 8 结构细节和开孔

2. 4. 8. 1 满足附录 B/3 要求的主要支撑构件的结构细节、开孔的尺度和布置应适用于货舱区域所有舱室。

3 疲劳强度

3.1 疲劳评估

3.1.1 一般要求

3.1.1.1 本小节和附录C给出了针对结构细节的抗疲劳失效设计的最低规范要求。其他部位的结构细节如认为关键，可要求采用与本篇要求一致的流程进行评估。

3.1.1.2 利用数值法进行疲劳强度评估应采用适用于广泛的结构细节和布置的疲劳衡准。

3.1.1.3 疲劳分析应按照3.4，根据结构细节采用“名义应力法”或“热点应力法”进行，流程见图9.3.1。

3.1.1.4 在名义应力法中，基于构件承受载荷和结构特性，采用分析方法（如梁模型）或数值方法（如粗网格单元）计算构件应力。

3.1.1.5 在热点应力法中，采用数值方法（如细化网格有限元分析）对有可能发生初始疲劳裂纹的关键部位（热点）的局部应力进行评估。分析应考虑由于构件连接而引起结构不连续性的影响，但不考虑焊缝的影响。

3.2 疲劳衡准

3.2.1 腐蚀模型

3.2.1.1 疲劳分析中采用的净厚度应按照第6节/3.3.7要求。

3.2.2 载荷

3.2.2.1 在第7/3节规定的基于北大西洋波浪环境的载荷用于疲劳分析。其他次要循环载荷，如砰击、低周载荷或振动引起的疲劳，这些因素可能在船舶可预见生命周期中导致应力范围的较高水平，因此虽然不在规范规定之内，也应特殊考虑。

3.2.2.2 本篇假定载荷施加和疲劳强度的超越概率水平是10^{-4}。

3.2.3 验收衡准

3.2.3.1 本小节和附录C规定的衡准是通过比较结构的疲劳强度（能力）和导致疲劳的载荷，且以疲劳损伤度DM（见附录C/1.4.1.1）来表示。疲劳损伤度DM在船舶的设计寿命（取不小于25年）中应小于等于1。

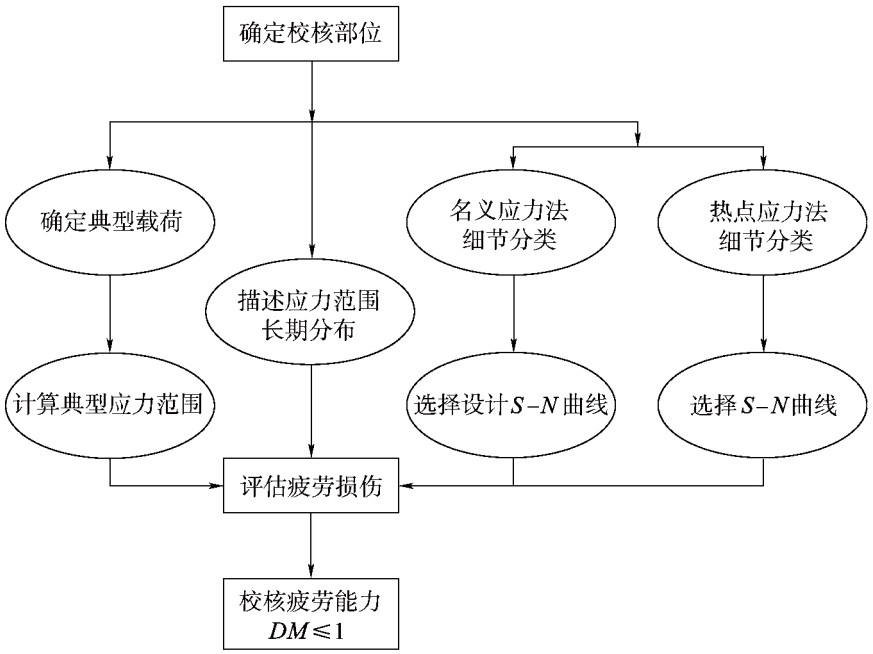


图9.3.1 疲劳计算流程示意图（针对各个部位或结构细节）

3.3 适用部位

3.3.1 纵向结构

3.3.1.1 应对在货油舱区域的船底板、内底板、舷侧外板、内壳纵舱壁、纵舱壁和强力甲板的纵骨与横舱壁包括制荡舱壁和强框架相交的端部连接，进行疲劳强度评估和提交认可。

3.3.1.2 应对在货舱区域的强力甲板位于分段接头部位的扇形孔进行疲劳强度评估。

3.3.2 横向结构

3.3.2.1 应对接近于船中的至少一道横框架处的内底与底边舱斜板折角进行疲劳强度评估并提交认可。用于疲劳评估的总应力范围应采用细化网格的有限元分析。

3.4 疲劳评估方法

3.4.1 名义应力法

3.4.1.1 名义应力法应用于以下各项的疲劳评估，见附录 C/1：

（a）外底、内底、舷侧外板、内壳纵舱壁、纵舱壁和强力甲板的纵骨与横舱壁包括制荡舱壁和强框架相交的端部连接。

（b）强力甲板位于分段接头部位的扇形孔，见附录 C/1.6。

3.4.2 热点应力法

3.4.2.1 热点应力法应用于以下各项的疲劳评估，见附录 C/2：

（a）内底与底边舱斜板折角

3.4.3 其他的直接计算方法

3.4.3.1 若认为有必要，使用其他直接计算方法进行疲劳评估，而不采用第 7 节 /3 所述的载荷时，应按照船级社认可的程序进行。但无论如何，不应低于 3.4.1 和 3.4.2 的尺度要求。

CCS3.4.3.1 当认为有必要用其他直接计算方法进行疲劳评估，不施加第 7 节 /3 所述载荷时，应基于 CCS《船体结构疲劳强度指南》提供的方法。

第 10 节　屈曲和极限强度

1　通则

1.1　强度衡准

1.1.1　适用范围

1.1.1.1　本节包含对局部支撑构件、主要支撑构件及其他结构如支柱、槽形舱壁和肘板的屈曲和极限强度的强度衡准。这些衡准适用于第 8 节关于对确定结构初始尺度和第 9 节中关于设计验证的规定。

1.1.1.2　所有结构部件均应符合第 2 小节中规定的刚度和尺度比要求。

1.1.1.3　对于各结构部件，特征屈曲强度应对应于最不利 / 临界的屈曲模式。

1.1.1.4　强度衡准应基于下列在设计中对屈曲和极限强度进行控制的假定和限制：

（a）加强筋的屈曲强度应大于其支持板格的屈曲强度；

（b）支持加强筋的主要支撑构件均应具有足够大的惯性矩，以防止主要构件发生偏离平面的屈曲，见 2.3.2.3；

（c）连同其有效带板的所有加强筋均应具有能提供足够的侧向稳定性的惯性矩，见 2.2.2；

（d）局部支撑构件和主要支撑构件的尺度比应能防止局部失稳；

（e）应采用防倾肘板或等效结构，以防止主要支撑构件侧倾（如扭转失稳），见 2.3.3；

（f）主要支撑构件的腹板应能防止腹板加强筋之间的板发生弹性屈曲；

（g）对于开口的板，在其开口或切口周围以及任何边缘加强应有足够的屈曲强度，见 3.4.2 和 2.4.3。

2　刚度和尺度比

2.1　结构部件

2.1.1　一般要求

2.1.1.1　所有结构部件均应符合 2.2 至 2.3 中适用的长细比或尺度比要求。

2.1.1.2　下述要求基于净尺度，参见第 6 节 /3。

2.1.1.3　关于结构的理想化及其定义，见第 4 节 /2。

2.2　板和局部支撑构件

2.2.1　板格和局部支撑构件的尺度比

2.2.1.1　板格和加强筋的净厚度应满足以下衡准：

（a）板格

$$t_{net} \geqslant \frac{s}{C}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}}$$

（b）加强筋腹板

$$t_{w\text{-}net} \geqslant \frac{d_w}{C_w}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}}$$

（c）翼板 / 面板

$$t_{f\text{-}net} \geqslant \frac{b_{f-out}}{C_f}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}}$$

式中：　s——板宽度，mm，取加强筋间距，按第 4 节 /2.2.1 定义；

t_{net}——板的净厚度，mm；

d_w——加强筋的腹板高度，mm，由表 10.2.1 给出；

$t_{w\text{-}net}$——腹板净厚度，mm；

$b_{f\text{-}out}$——翼板外伸宽度，mm，由表 10.2.1 给出；

$t_{f\text{-}net}$——翼板净厚度，mm；

C、C_w、C_f——长细比系数，由表 10.2.1 给出；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

长 细 比 系 数 **表 10.2.1**

项 目		系 数
板格，C	船壳外轮廓和液舱边界	100
	其他结构	125
加强筋腹板，C_w	角钢和T型材	75
	球扁钢	41
	扁钢	22
翼板/面板 (1)，C_f	角钢和T型材	12

注：1. 角钢和T型材的总翼板宽度，b_f，应不小于：$b_f = 0.25\,d_w$；

2. 宽度和高度的量取应基于总尺度。

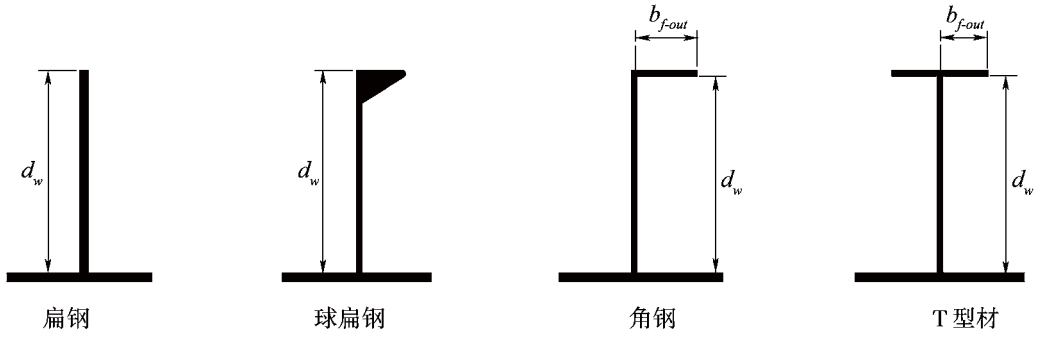
其中：t_{net}——板的净厚度，mm；

d_w——腹板高度，mm；

$t_{w\text{-}net}$——腹板净厚度，mm；

$b_{f\text{-}out}$——翼板外伸宽度，mm；

$t_{f\text{-}net}$——翼板净厚度，mm。



扁钢 球扁钢 角钢 T 型材

2.2.2 加强筋刚度

2.2.2.1 每一连同带板加强筋的关于与带板平行的中和轴最小净惯矩，I_{net}，由下式给出，且带板有效宽度等于加强筋间距 s 的 80%：

$$I_{net} = Cl_{stf}^2 A_{net} \frac{\sigma_{yd}}{235} \quad \text{cm}^4$$

式中：l_{stf}——有效支持构件之间的加强筋长度，m；

A_{net}——连同带板加强筋的净剖面积，带板的有效宽度假定为 80% 加强筋间距 s，cm^2；

s——加强筋间距，mm，按第 4 节 /2.2.1 定义；

σ_{yd}——带板材料的规定最小屈服应力，N/mm^2；

C——长细比系数：

C=1.43，对承受船体梁应力的纵骨；

C=0.72，对其他加强筋。

2.3 主要支撑构件

2.3.1 腹板和翼板 / 面板的尺度比

2.3.1.1 主要支撑构件的腹板和面板的净厚度应满足以下衡准：

（a）腹板

$$t_{w-net} \geqslant \frac{s_w}{C_w}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}}$$

（b）翼板 / 面板

$$t_{f-net} \geqslant \frac{b_{f-out}}{C_f}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}}$$

式中：s_w——板宽度，mm，取腹板加强筋的间距。如腹板加强筋与带板平行，可按附录 D 的图 5.6 校正间距；

t_{w-net}——腹板净厚度，mm；

b_{f-out}——翼板外伸宽度，mm；

t_{f-net}——翼板净厚度，mm；

C_w——腹板长细比系数：

C_w=100

C_f——翼板 / 面板长细比系数：

C_f=12

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

2.3.2 刚度要求

2.3.2.1 腹板加强筋的腹板和翼板的净厚度应不小于 2.2.1 中的规定要求。

2.3.2.2 每一腹板的连同带板的加强筋的净惯性矩，I_{net}，其带板的有效宽度等于 80% 加强筋间距 s，应不小于表 10.2.2 的定义。

2.3.2.3 对承受轴向压应力的加强筋起支持作用的主要支撑构件，其连同跨距中部有效带板宽度的净惯性矩，$I_{psm-net50}$，应不小于：

$$I_{psm-net50} = 300\frac{l_{bdg}^4}{S^3 s} I_{net} \quad \text{cm}^4$$

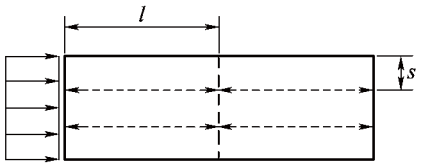
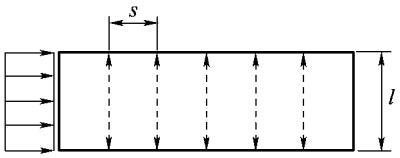
式中：l_{bdg}——主要支撑构件的弯曲跨距，m；

S——主要支撑构件间的距离，m；

s——加强筋的间距，mm，按第 4 节 /2. 2. 1 定义；

I_{net}——加强筋跨距中部半跨内的最大要求惯性矩；cm^4，见 2. 2. 2. 1。

腹板加强的刚度衡准 **表 10. 2. 2**

模　　式	惯性矩要求（cm^4）
（a）腹板加强筋平行于主要支撑构件翼板  	$I_{net} = Cl^2 A_{net} \frac{\sigma_{yd}}{235}$
（b）腹板加强筋垂直于主要支撑构件翼板  	$I_{net} = 1.14\times10^{-5} l \quad s^2 t_{w-net}\left(2.5\frac{1000l}{s} - 2\frac{s}{1000l}\right)\frac{\sigma_{yd}}{235}$

式中：C=1. 43 对货舱区域的纵向加强筋；

C=0. 72 对其他加强筋；

l——腹板加强筋的长度，m；

对焊接在局部支撑构件（LSM）上的腹板加强筋，长度在局部支撑构件翼板之间量取；

对削斜的腹板加强筋，长度在侧向支持之间量取，例如主要支撑构件翼板之间的总距离，如模式（b）所示；

A_{net}——腹板加强筋的净剖面积，包括有效宽度假定为80%加强筋间距s的带板，cm^2；

s——加强筋间距，mm，按第4节/2. 2. 1定义；

t_{w-net}——主要支撑构件的腹板净厚度，mm；

σ_{yd}——主要支撑构件腹板规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

2. 3. 3　翼板支撑件或防倾肘板间距

2. 3. 3. 1　主要支撑构件的扭转屈曲模式应由翼板支撑件或防倾肘板控制。主要支撑构件翼板的无支撑长度，即防倾肘板之间的距离，s_{bkt}，应不大于：

$$s_{bkt} = b_f C \sqrt{\frac{A_{f-net50}}{\left(A_{f-net50} + \frac{A_{w-net50}}{3}\right)\left(\frac{235}{s_{yd}}\right)}} \quad \text{m，但不必小于 } s_{bkt-min}$$

式中：b_f——翼板宽度，mm；

C——长细比系数；

C = 0. 022，对称翼板；

C = 0. 033，单边翼板；

$A_{f-net50}$——翼板净横剖面积，cm^2；

$A_{w-net50}$——腹板净横剖面积，cm^2；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2；

$s_{bkt-min}$ = 3. 0m，货油舱区域、液舱边界或船体外廓包括外部甲板上的主要支撑构件；

$s_{bkt-min}$ = 4. 0m，其他区域中的主要支撑构件。

2.4 其他结构

2.4.1 支柱尺度比

2.4.1.1 对于 I 型剖面，其腹板和翼板厚度应符合 2.2.1.1 要求。

2.4.1.2 薄壁箱型剖面的壁厚应符合 2.2.1.1（b）的要求。圆管剖面的半径应小于支柱净厚度的 50 倍。

2.4.2 肘板尺度比

2.4.2.1 除 2.4.2.2 说明外，端肘板净厚度，$t_{bkt-net}$，应不小于：

$$t_{bkt-net}=\frac{d_{bkt}}{C}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}} \qquad \text{mm}$$

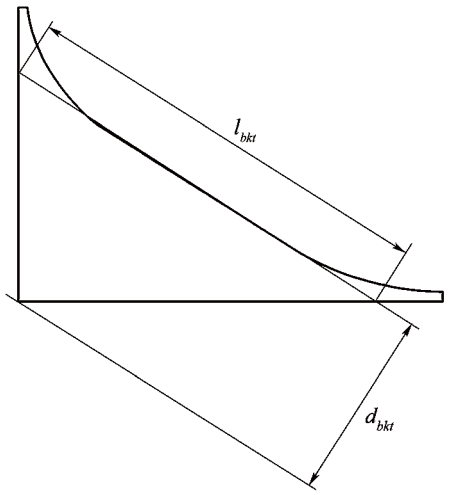
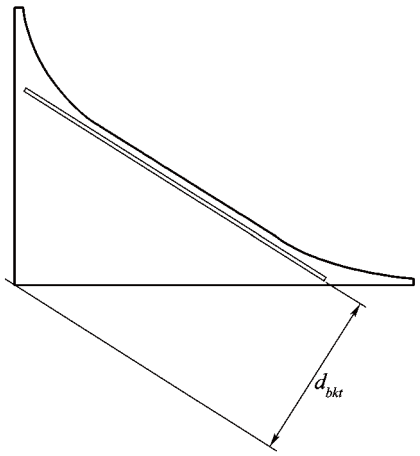
式中：d_{bkt}——肘板高度，mm，见表 10.2.3；

C——长细比系数，按表 10.2.3 定义；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

2.4.2.2 如果能表明肘板仅承受拉应力，如由空舱包围的液舱内部肘板，则该肘板不必满足 2.4.2.1 的要求。

用于肘板尺度比的屈曲系数，C **表 10.2.3**

模　式	C
（a）边缘未设加强筋的肘板  	$C=20\left(\frac{d_b}{l_{bkt}}\right)+16$ 式中： $0.25\leqslant\frac{d_b}{l_{bkt}}\leqslant 1.0$
（b）边缘设置加强筋的肘板  	$C=70$
式中：l_{bkt}——肘板边缘的有效长度，mm。	

2.4.2.3 如果主要支撑构件上的防倾肘板的有效边缘长度，l_{bkt}，大于以下之值时，应设翼板或边缘加强筋进行加强：

$$l_{bkt} = 75t_{bkt\text{-}net} \quad \text{mm}$$

式中：$t_{bkt\text{-}net}$——肘板厚度，mm

2.4.3 开口和肘板边缘处的加强要求

2.4.3.1 开口和肘板边缘处的边缘加强筋的腹板高度，d_w，应不小于：

$$d_w = Cl\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}} \quad \text{mm，或 50mm，取大者}$$

式中：l——边缘加强筋长度，m；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2；

C——长细比系数：

C=75，端肘板

C=50，防倾肘板

C=50，开口处的边缘加强

2.4.3.2 边缘加强筋的腹板和翼板的净厚度应不小于 2.2.1 中的要求。

3 屈曲的规定要求

3.1 一般要求

3.1.1 范围

3.1.1.1 本小节包含关于屈曲能力的确定方法、屈曲利用因子的定义以及对板格、加强筋和主要支撑构件进行屈曲控制的其他必要方法。

3.1.1.2 屈曲利用因子，η，应满足以下衡准：

$$\eta \leqslant \eta_{allow}$$

式中：η_{allow}——许用屈曲利用因子，按第 8 节和第 9 节定义；

η——屈曲利用因子，按 3.2.1.1、3.3.2.2、3.3.3.1、3.4.1.1 和 3.5.1.1 定义。

3.1.1.3 关于结构的理想化及定义，参见第 4 节 /2。板和加强筋的厚度及剖面特性应按适用的规范要求进行取用。

3.2 板材屈曲

3.2.1 板的单轴向屈曲

3.2.1.1 考虑单轴向应力的屈曲利用因子，η，应为：

$$\eta = \frac{\sigma_x}{\sigma_{xcr}}，\text{对 } x \text{ 方向压应力}$$

$$\eta = \frac{\sigma_y}{\sigma_{ycr}}，\text{对 } y \text{ 方向压应力}$$

$$\eta = \frac{\tau}{\tau_{cr}}，\text{对剪应力}$$

式中：σ_x、σ_y——实际压应力，N/mm^2；

τ——实际剪应力，N/mm^2；

σ_{xcr}、σ_{ycr}——临界压应力，N/mm^2，按 3. 2. 1. 3 定义；

τ_{cr}——临界剪应力，N/mm^2，按 3. 2. 1. 3 定义。

3. 2. 1. 2　参考细长度，应为：

$$\lambda = \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{K\sigma_E}}$$

式中：K——屈曲因子，见表 10. 3. 1；

σ_E——参考应力，N/mm^2；

$$\sigma_E = 0.9E\left(\frac{t_{net}}{l_a}\right)^2$$

E——弹性模量，206 000 N/mm^2；

t_{net}——板格净厚度，mm；

l_a——板格边长，mm，按表 10. 3. 1 定义；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

3. 2. 1. 3　受压或受剪板格的临界应力，σ_{xcr}、σ_{ycr} 或 τ_{cr}，应分别取为：

$$\sigma_{xcr}=C_x\sigma_{yd}$$

$$\sigma_{ycr}=C_y\sigma_{yd}$$

$$\tau_{cr} = C_\tau\frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$$

式中：C_x，C_y，C_τ——折减因子，由表 10. 3. 1 给出。

3. 3　加强筋的屈曲

3. 3. 1　临界压应力

3. 3. 1. 1　加强筋的屈曲利用因子应取为按 3. 3. 2 和 3. 3. 3 给出的对应于柱屈曲模式和扭转屈曲模式的最大值。

3. 3. 2　柱屈曲模式

3. 3. 2. 1　加强筋应按 3. 3. 2. 2 验证柱屈曲模式，许用屈曲利用因子，η_{allow}，见 3. 1. 1. 2。不承受侧向压力的加强筋，如具有符合 3. 3. 2. 4 的净惯性矩，I_{net}，则其柱屈曲强度可被接受，且不必按 3. 3. 2. 2 进行验证。

3. 3. 2. 2　加强筋柱屈曲的屈曲利用因子应为：

$$\eta=\frac{\sigma_x+\sigma_b}{\sigma_{yd}}$$

式中：σ_x——加强筋在跨距中点处的轴向压应力，N/mm^2。见第 3 节 5. 2. 3. 1；

σ_b——加强筋在跨距中点的弯曲应力，N/mm^2，按 3. 3. 2. 3；

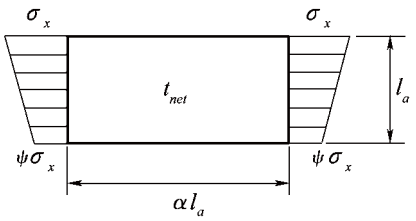
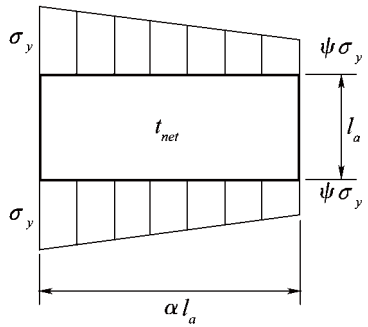
σ_{yd}——加强筋规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

3. 3. 2. 3　加强筋中的弯曲应力，σ_b，N/mm^2，等于：

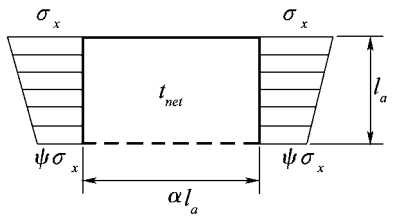
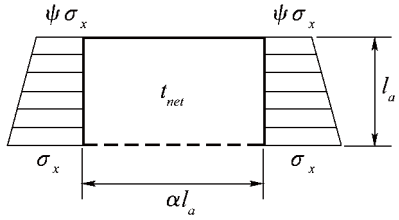
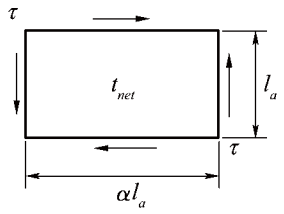
$$\sigma_b = \frac{M_o + M_1}{1000Z_{net}}$$

平面板格的屈曲因子和折减因子

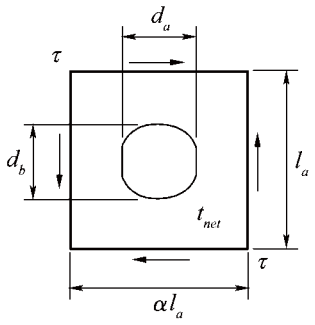
表 10.3.1

工　况	应力比 ψ	长宽比 α	屈曲因子 K	折减因子 C
1  	$1\geqslant\psi\geqslant 0$	$\alpha>1$	$K=\dfrac{8.4}{\psi+1.1}$	$C_x=1$，对$\lambda\leqslant\lambda_c$ $C_x=c\left(\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{0.22}{\lambda^2}\right)$，对$\lambda>\lambda_c$ 其中：c=（1.25−0.12ψ）≤1.25 $\lambda_c=\dfrac{c}{2}\left(1+\sqrt{1-\dfrac{0.88}{c}}\right)$
	$0>\psi>-1$		K=7.63−ψ（6.26−10ψ）	
	$\psi\leqslant -1$		K=5.975(1−ψ)^2	
2  	$1\geqslant\psi\geqslant 0$	$\alpha\geqslant 1$	$K=\left(1+\dfrac{1}{\alpha^2}\right)^2\dfrac{2.1}{(\psi+1.1)}$	$C_y=c\left(\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{R+F^2(H-R)}{\lambda^2}\right)$ 其中： c=（1.25−0.12ψ）≤1.25 $R=\lambda(1-\lambda/c)$，对$\lambda>\lambda_c$ R=0.22，对$\lambda\geqslant\lambda_c$ $\lambda_c=0.5c(1+\sqrt{1-0.88/c})$ $F=\left(1-\left(\dfrac{K}{0.91}-1\right)\Big/\lambda_p^2\right)c_1\geqslant 0$ $\lambda_p^2=\lambda^2-0.5$且$1\leqslant\lambda_p^2\leqslant 3$ c_1=1对直接载荷[3]引起的σ_y $c_1=(1-1/\alpha)\geqslant 0$　对通常由于弯曲[2]引起的σ_y c_1=0对极端载荷条件下弯曲（如水密舱壁）引起的σ_y $H=\lambda-\dfrac{2\lambda}{c(T+\sqrt{T^2-4})}\geqslant$R $T=\lambda+\dfrac{14}{15\lambda}+\dfrac{1}{3}$
	$0>\psi>-1$	$1\leqslant\alpha\leqslant 1.5$	$K=\left[1+\dfrac{1}{\alpha^2}\right]^2\dfrac{2.1(1+\psi)}{1.1}-\dfrac{\psi}{\alpha^2}(13.9-10\psi)$	
		$\alpha>1.5$	$K=\left[1+\dfrac{1}{\alpha^2}\right]^2\dfrac{2.1(1+\psi)}{1.1}-\dfrac{\psi}{\alpha^2}(5.87+1.87\alpha^2+\dfrac{8.6}{\alpha^2}-10\psi)$	
	$\psi\leqslant -1$	$1\leqslant\alpha\leqslant\dfrac{3(1-\psi)}{4}$	$K=\left(\dfrac{1-\psi}{\alpha}\right)^2 5.975$	
		$\alpha>\dfrac{3(1-\psi)}{4}$	$K=\left(\dfrac{1-\psi}{\alpha}\right)^2 3.9675+0.5375\left(\dfrac{1-\psi}{\alpha}\right)^4+1.87$	

续上表

工　况	应力比 ψ	长宽比 α	屈曲因子 K	折减因子 C
3 	$1 \geqslant \psi \geqslant 0$	$\alpha > 0$	$K = \dfrac{4(0.425 + 1/\alpha^2)}{3\psi + 1}$	$C_x = 1$，对$\lambda \leqslant 0.7$ $C_x = \dfrac{1}{\lambda^2 + 0.51}$，对$\lambda > 0.7$
	$0 > \psi > -1$		$K = 4(0.425 + 1/\alpha^2)(1+\psi) - 5\psi(1 - 3.42\psi)$	
4 	$1 \geqslant \psi \geqslant -1$	$\alpha > 0$	$K = \left(0.425 + \dfrac{1}{\alpha^2}\right)\dfrac{3-\psi}{2}$	
5 	–		$K = K_\tau\sqrt{3}$	$C_\tau = 1$，对$\lambda \leqslant 0.84$ $C_\tau = \dfrac{0.84}{\lambda}$，对$\lambda > 0.84$
		$\alpha > 1$	$K_\tau = \left[5.34 + \dfrac{4}{\alpha^2}\right]$	
		$0 < \alpha < 1$	$K_\tau = \left[4 + \dfrac{5.34}{\alpha^2}\right]$	

续上表

工　　况	应力比 ψ	长宽比α	屈曲因子K	折减因子C
6  	–		$K = K' r$ K'= K 按工况5 r= 开口折减因子 $r = \left(1 - \frac{d_a}{\alpha l_a}\right)\left(1 - \frac{d_b}{l_b}\right)$ $\frac{d_a}{\alpha l_a} \leqslant 0.7$ 且 $\frac{d_b}{l_a} \leqslant 0.7$	

式中：Ψ——最小压应力与最大压应力的比值，如工况1-4所示；

l_a——长度，mm，对于工况1和2，为板格的短边长度；

l_b——长度，mm，对于工况3、4、5和6，为其所定义的板格边长；

α——板格长宽比。

边缘的边界条件：

- - - - - - - - 板边缘自由

————————板边缘简支

注：（1）所列工况为一般工况。每一应力分量（σ_x，σ_y）应理解为局部坐标之值。

（2）对于球扁钢翼板的特征数据在附录C的表C. 1. 2中给出。

（3）c_1用于直接载荷作用所对应的板格，其边缘不受可能导致非直线边缘的拉收约束。

式中：Z_{net}——加强筋的净剖面模数，cm^3，包括按 3. 3. 4. 1 确定的有效带板宽度；

a）如果侧向压力施于加强筋上：

侧向压力作用在加强筋一侧时，Z_{net} 为翼板处计算的剖面模数；

侧向压力作用在加强筋背面时，Z_{net} 为带板处计算的剖面模数；

b）如果未有侧向压力施于加强筋上：

Z_{net} 为翼板和带板处计算的最小剖面模数；

M_1——由侧向载荷 P 引起的弯矩，N·mm；

$$M_1 = \frac{Psl_{stf}^{2}}{24}10^3$$

P——侧向载荷，kN/m^2；

s——加强筋间距，mm，按第 4 节 /2. 2. 1 定义；

l_{stf}——加强筋跨距，m，等于主要支撑构件间距；

M_o——由于加强筋侧向变形 w 引起的弯矩，N·mm：

$$M_o = F_E\left(\frac{P_z w}{c_f - P_z}\right)\text{其中：}\ (c_f - P_z) > 0$$

F_E——加强筋的理想弹性屈曲力，N：

$$F_E = \left(\frac{\pi^2}{l_{stf}^2}\right)EI_{net}10^{-2}$$

E——弹性模量，206 000 N/mm^2；

I_{net}——加强筋的惯性矩，cm^4，包括按 3. 3. 4. 1 确定的有效带板宽度。I_{net} 应符合以下要求：

$$I_{net} \geqslant \frac{st_{net}^{3}}{12}10^{-4}$$

t_{net}——翼板的净厚度，mm，取带板两边板格的平均厚度；

P_z——由于加强筋跨距中点处带板中的膜应力 σ_x、σ_y、τ_1 作用于加强筋上的名义侧向载荷，N/mm^2：

$$P_z = \frac{t_{net}}{s}\left(\sigma_{x1}\left(\frac{\pi\ s}{1000l_{stf}}\right)^2 + 2c_y\sigma_y + \sqrt{2}\tau_1\right)$$

$$\sigma_{x1} = \sigma_x\left(1 + \frac{A_{net}}{st_{net}}\right)\qquad N/mm^2$$

$$\tau_1 = \left[\tau - t_{net}\sqrt{\sigma_{yd}E\left(\frac{m_1}{(1000l_{stf})^2} + \frac{m_2}{s^2}\right)}\right] \geqslant 0$$

且 m_1 和 m_2 取等于

$m_1 = 1.47$，$m_2 = 0.49$ 对 $\dfrac{1000l_{stf}}{s} \geqslant 2.0$

$m_1 = 1.96$，$m_2 = 0.37$ 对 $\dfrac{1000l_{stf}}{s} < 2.0$

σ_x——加强筋在跨距中点处的轴向压应力，N/mm^2。见第 3 节 5. 2. 3. 1；

A_{net}——不包括带板的加强筋净剖面积，mm^2；

c_y——因子，考虑带板中垂直于加强筋轴向的膜应力作用：

c_y=0.5(1+ψ)，对 0 ≤ ψ ≤ 1；

$c_y=\dfrac{0.5}{1-\psi}$，对 ψ < 0；

ψ——对应于表 10.3.1 工况 2 的板格边缘应力比；

σ_y——带板中于加强筋轴向垂直作用的膜应力，N/mm^2；

τ——带板中的剪切膜应力，N/mm^2；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2；

w——加强筋的变形，mm；

$w=w_0+w_1$

w_0——假定的缺陷，mm；

$$w_0=\min\left[\frac{1000l_{stf}}{250},\ \frac{s}{250},\ 10\right]$$

对于两端削斜的加强筋，w_0 应取不小于从带板中点至加强筋中和轴位置的距离。中和轴计算应包括按 3.3.4.1 规定的有效带板宽度；

w_1——由侧向载荷 P 引起的位于跨距中点处的加强筋变形，mm，在均布载荷的条件下，w_1 应为：

$$w_1=\frac{Psl_{stf}^4}{384EI_{net}}10^5$$

c_f——由加强筋提供的弹性支持，N/mm^2：

$$c_f=F_E\frac{\pi^2}{l_{stf}^2}(1+c_p)10^{-6}$$

$$c_p=\frac{1}{1+\dfrac{0.91}{c_a}\left(\dfrac{12I_{net}10^4}{st_{net}^3}-1\right)}$$

$$c_a=\left[\frac{1000l_{stf}}{2s}+\frac{2s}{1000l_{stf}}\right]^2，\ 对\ l_{stf}\geqslant\frac{2s}{1000}$$

$$c_a=\left[1+\left(\frac{1000l_{stf}}{2s}\right)^2\right]^2，\quad 对\ l_{stf}<\frac{2s}{1000}$$

3.3.2.4 不承受侧向压力的加强筋，如果其惯性矩，（cm^4），满足以下要求，则视为符合 3.3.2.2 的要求：

$$I_{net}\geqslant 100\frac{P_z l_{stf}^2}{\pi^2}\left[\frac{w_o(e_f-0.5t_{f-net})}{\eta_{allow}\sigma_{yd}-\sigma_x}+\frac{l_{stf}^2}{E\pi^2}10^6\right]\quad \text{cm}^4$$

式中：e_f——从板的连接处（点 C 由图 10.3.1 所示）至翼板中心的距离，mm：

$e_f=(d_w-0.5t_{f-net})$，对球扁钢

$e_f=(d_w+0.5t_{f-net})$，对角钢和 T 型材

d_w——腹板高度，mm，由图 10.3.1 所示；

t_{f-net}——翼板净厚度，mm；

η_{allow}——许用屈曲利用因子，按第 8 节和第 9 节定义。

注：其余参数在3.3.2.3中定义。

3.3.3 扭转屈曲模式

3.3.3.1 针对许用屈曲利用因子，η_{allow}，见 3.1.1.2 应进行扭转屈曲模式验证。加强筋的扭转屈曲利用因子应为：

$$\eta=\frac{\sigma_x}{C_T\sigma_{yd}}$$

式中：σ_x——加强筋在跨距中点处的轴向压应力，N/mm^2。见第 3 节 5.2.3.1；

C_T——扭转屈曲系数：

C_T=1.0，对 $\lambda_T\leqslant 0.2$

$$C_T=\frac{1}{\Phi+\sqrt{\Phi^2-\lambda_T^2}}$$，对 $\lambda_T>0.2$

$$\Phi=0.5(1+0.21(\lambda_T-0.2)+\lambda_T^2)$$

λ_T——扭转屈曲的参考细长度：

$$\lambda_T=\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{\sigma_{ET}}}$$

σ_{ET}——扭转屈曲的参考应力，N/mm^2：

$$\sigma_{ET}=\frac{E}{I_{p\text{-}net}}\left(\frac{\pi^2 I_{\omega\text{-}net}10^{-4}}{l_t^2}\varepsilon+0.385I_{T\text{-}net}\right)$$

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2；

E——弹性模量，206 000N/mm^2；

I_{p-net}——加强筋关于点 C 的净极惯性矩，cm^4，点 C 见图 10.3.1 和图 10.3.2 所示；

I_{T-net}——加强筋的净圣维南惯性矩，cm^4，如表 10.3.2 所示；

$I_{\omega-net}$——加强筋关于点 C 的净剖面扇形惯性矩，cm^6，点 C 见图 10.3.1 和表 10.3.2 所示；

ε——固定度：

$$\varepsilon=1+1000\sqrt{\frac{l_t^4}{I_{w-net}\left(\frac{s}{t_{net}^3}+\frac{4(e_f-0.5t_{f-net})}{3t_{w-net}^3}\right)}}$$

l_t——扭转屈曲长度，m，应取等于防倾支持构件之间的距离；

d_w——腹板高度，mm；

t_{w-net}——腹板净厚度，mm；

b_f——翼板宽度，mm；

t_{f-net}——翼板净厚度，mm；

e_f——从板的连接处（图 10.3.1 中的点 C）至翼板中心的距离，m：

$e_f=(d_w-0.5t_{f-net})$，对球扁钢

$e_f=(d_w+0.5t_{f-net})$，对角钢和 T 型材

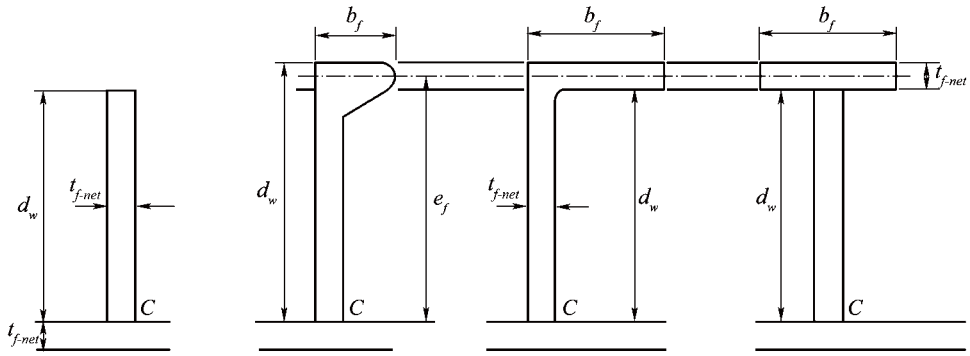
A_{w-net}——腹板净面积，mm^2：

$$A_{w-net} = (e_f - 0.5t_{f-net})t_{w-net}$$

A_{f-net}——翼板净面积，mm^2：

$$A_{f-net} = b_f t_{f-net}$$

s——加强筋间距，mm，按第 4 节 /2. 2. 1 定义。



注：1. 宽度和高度应基于第4节/2. 4. 1. 2中描述的总尺度量取；

2. 对于球扁钢翼板的特征数据在附录C的表C. 1. 2中给出。

图 10. 3. 1 加强筋横剖面

惯 性 矩 **表 10. 3. 2**

剖面特性	扁 钢	球扁钢、角钢和T型材
I_{p-net}	$\frac{d_w^3 t_{w-net}}{3\times10^4}$	$\left(\frac{A_{w-net}(e_f-0.5t_{f-net})^2}{3}+A_{f-net}e_f^2\right)10^{-4}$
I_{T-net}	$\frac{d_w^3 t_{w-net}}{3\times10^4}(1-0.63\frac{t_{w-net}}{d_w})$	$\frac{(e_f-0.5t_{f-net})t_{w-net}^3}{3\times10^4}\left(1-0.63\frac{t_{w-net}}{e_f-0.5t_{f-net}}\right)$ + $\frac{b_f t_{f-net}^3}{3\times10^4}\left(1-0.63\frac{t_{f-net}}{b_f}\right)$
$I_{\omega-net}$	$\frac{d_w^3 t_{w-net}^3}{36\times10^6}$	对球扁钢和角钢：$\frac{A_{f-net}e_f^2 b_f^2}{12\times10^6}\left(\frac{A_{f-net}+2.6A_{w-net}}{A_{f-net}+A_{w-net}}\right)$ 对T型材：$\frac{b_f^3 t_{f-net}e_f^2}{12\times10^6}$

3. 3. 4 带板的有效宽度

3. 3. 4. 1 普通加强筋带板的有效宽度应取为：

$$b_{eff} = \min(C_x s,\ \chi_s s)$$

式中：$\chi_s = 0.0035\left(\frac{1000l_{eff}}{s}\right)^3 - 0.0673\left(\frac{1000l_{eff}}{s}\right)^2 + 0.4422\left(\frac{1000l_{eff}}{s}\right) - 0.0056 \leqslant 1.0$

s——加强筋间距，mm，按第 4 节 /2. 2. 1 定义；

C_x——位于加强筋两边的两带板板格的平均折减因子，按表 10. 3. 1 中的工况 1；

l_{eff}——加强筋有效跨距，m：

$l_{eff} = l_{stf}$，两端简支；

$l_{eff} = 0.6\, l_{stf}$，两端刚固。

l_{stf}——加强筋跨距，m，等于主要支撑构件的间距。

3.4 主要支撑构件

3.4.1 开口处主要支撑构件的腹板屈曲

3. 4. 1. 1 开口处主要支撑构件腹板的屈曲评估应基于轴向压应力和剪切应力的联合作用。与开口两边邻接的腹板应视为单独的非加筋板格，如表 10. 3. 3 所示。屈曲利用因子，η，应取为：

$$\eta = \left(\frac{|\sigma_{av}|}{C\sigma_{yd}}\right)^e + \left(\frac{|\tau_{av}|\sqrt{3}}{C_\tau \sigma_{yd}}\right)^{e_\tau}$$

式中：σ_{av}——按表 10. 3. 1 中的工况：1，2 或 3，所考虑腹板区域内的平均压应力，N/mm^2；

τ_{av}——按表 10. 3. 1 中的工况：5 或 6，所考虑腹板区域内的平均剪切应力，N/mm^2；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2；

e——压应力幂指数，$e = 1 + C^4$；

e_r——剪应力幂指数，$e_\tau = 1 + CC_\tau^2$；

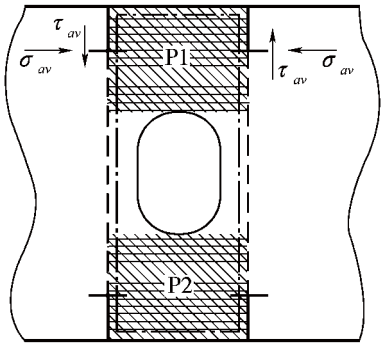
$C = C_x$，对应于表 10. 3. 1 工况 1 或 3 的折减因子

$C = C_y$，对应于按表 10. 3. 1 工况 2 的折减因子

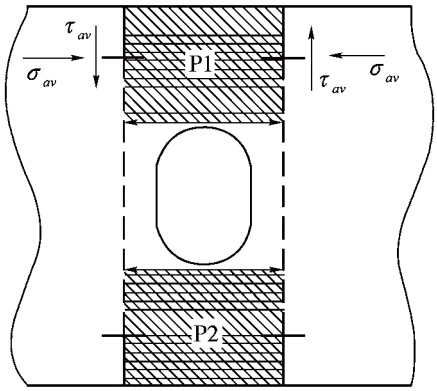
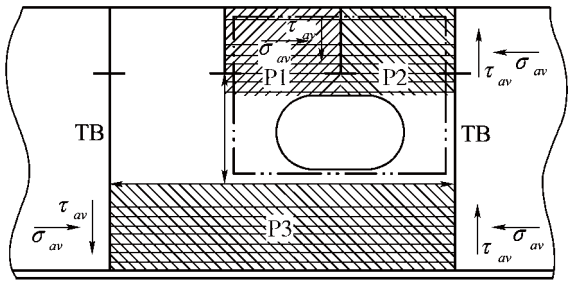
C_τ——对应于按表 10. 3. 1 工况 5 或 6 的折减因子。

3. 4. 1. 2 与开口两边邻接的腹板板格的与 C_τ 组合的折减因子 C_x 或 C_y，应按表 10. 3. 3 所示选取。

折 减 因 子 **表 10. 3. 3**

模　　式	C_x，C_y	C_t
（a）边缘未加强 	对于P1和P2区域，应采用各自的折减因子，按表10. 3. 1的工况3选取，且板边应力比取ψ=1. 0	对于标注为的区域，P1和P2区域应采用共同的折减因子，且按表10. 3. 1的工况6选取

续上表

模　　式	C_x，C_y	C_t
（b）边缘有加强  	对于P1和P2区域，应采用独自的折减因子，按表10.3.1的工况3选取，且为： C_x，按工况1； 或C_y，按工况2。 见表10.3.1，且板边应力比取ψ=1.0	对于P1和P2区域，应采用独自的折减因子，按表10.3.1的工况5选取
（c）腹板上开口示例  	板格P1和P2应按照（a）评估。 板格P3应按照（b）评估	

注：1. 腹板开口处屈曲评估应考虑的板格如图中阴影所示，编号为P1、P2等。

3.5 其他结构

3.5.1 支杆、支柱和横撑材

3.5.1.1 对于轴向受压的支杆、支柱和横撑材，其临界屈曲应力应取为柱屈曲和扭转屈曲临界应力的小者。屈曲利用因子，η，应取为：

$$\eta = \frac{\sigma_{av}}{\sigma_{cr}}$$

式中：σ_{av}——构件中的平均压应力，N/mm^2；

σ_{cr}——按 3.5.1.2 所得最小临界屈曲应力，N/mm^2。

3.5.1.2 各个模式的受压临界屈曲应力 σ_{crb}，应取为：

$$\sigma_{crb} = \sigma_E, \qquad \text{对 } \sigma_E \leqslant 0.5\sigma_{yd}$$

$$\sigma_{crb} = \left(1 - \frac{\sigma_{yd}}{4\sigma_E}\right)\sigma_{yd}, \quad \text{对 } \sigma_E > 0.5\sigma_{yd}$$

式中：σ_E——弹性受压屈曲应力，N/mm^2，对各个屈曲模式分别给出，见 3.5.1.3 至 3.5.1.5；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

3.5.1.3 轴向受压支柱的弹性压缩柱屈曲应力 σ_E，应取为：

$$\sigma_E = 0.001Ef_{end}\frac{I_{net50}}{A_{pill-net50}l_{pill}^2} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：I_{net50}——关于横剖面最小轴的净惯性矩，cm^4；

$A_{pill-net50}$——支柱的净横剖面积，cm^2；

f_{end}——端部约束因子：

f_{end}=1. 0，两端铰支

f_{end}=2. 0，一端铰支，另一端固定

f_{end}=4. 0，两端固定

如支柱的端部装设有效的肘板，则可视为固定。该肘板应由比支柱弯曲刚度大的构件支持。横撑材柱屈曲能力计算时应选用 f_{end} 等于 2. 0，跨距由 8/2. 6. 8. 1 定义；

E——弹性模量，206 000 N/mm^2；

L_{pill}——支柱无支撑的长度，m。

3. 5. 1. 4 关于轴向受压支柱的弹性扭转屈曲应力，σ_{ET}，应为：

$$\sigma_{ET}=\frac{GI_{sv-net50}}{I_{pol-net50}}+\frac{0.001f_{end}Ec_{warp}}{I_{pol-net50}l_{pill}^2} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：G——剪切模量：

$$G=\frac{E}{2(1+\nu)}$$

E——弹性模量，206 000 N/mm^2；

ν——泊松比，0. 3；

$I_{sv-net50}$——净圣维南惯性矩，cm^4，见表 10. 3. 4；

$I_{pol-net50}$——关于横剖面剪切中心的净极惯性矩，cm^4：

$$I_{pol-net50}=I_{y-net50}+I_{z-net50}+A_{net50}(y_0^2+z_0^2)$$

f_{end}——端部约束因子：

f_{end}=1. 0，两端铰支

f_{end}=2. 0，一端铰支，另一端固定

f_{end}=4. 0，两端固定

横撑材扭转屈曲能力计算时应选用 f_{end} 等于 2. 0，跨距由 8/2. 6. 8. 1 定义；

c_{warp}——翘曲常数，cm^6，见表 10. 3. 4；

l_{pill}——支柱的无支撑长度，m；

y_0——相对于横剖面形心的剪切中心位置，cm，见表 10. 3. 4；

z_0——相对于横剖面形心的剪切中心位置，cm，见表 10. 3. 4；

A_{net50}——净横剖面积，cm^2；

$I_{y-net50}$——关于 y 轴的净惯性矩，cm^4；

$I_{z-net50}$——关于 z 轴的净惯性矩，cm^4。

3. 5. 1. 5 对于形心和剪切中心不重合的横剖面，应校核扭转和柱屈曲模式之间的相互作用。对应于轴向受压的弹性扭转 / 柱屈曲应力，σ_{ETF}，应取为：

$$\sigma_{ETF}=\frac{1}{2\varsigma}\left[(\sigma_E+\sigma_{ET})-\sqrt{(\sigma_E+\sigma_{ET})^2-4\varsigma\sigma_E\sigma_{ET}}\right]$$

式中：$\zeta=1-\dfrac{(y_0^2+z_0^2)A_{net50}}{I_{pol-net50}}$

y_0——相对于横剖面形心的剪切中心位置，cm，见表 10. 3. 4；

Z_0——相对于横剖面形心的剪切中心位置，cm，见表 10. 3. 4；

A_{net50}——净横剖面积，cm^2；

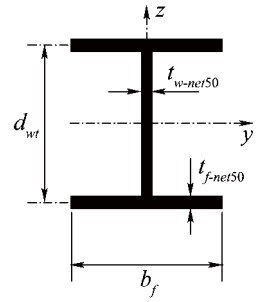
$I_{pol-net50}$——关于横剖面剪切中心的净极惯性矩，按 3. 5. 1. 4 定义；

σ_{ET}——弹性扭转屈曲应力，按 3. 5. 1. 4 定义；

σ_E——柱式弹性受压屈曲应力，按 3.5.1.3 定义。

横 剖 面 特 性 **表 10.3.4**

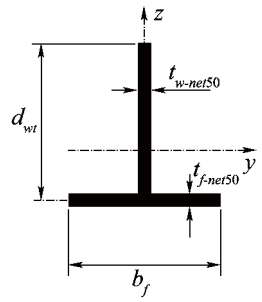
双轴对称剖面



$$I_{sv-net50}=\frac{1}{3}(2b_f t_{f-net50}^3+d_{wt}t_{w-net50}^3)10^{-4} \quad \text{cm}^4$$

$$c_{warp}=\frac{d_{wt}^2 b_f^3 t_{f-net50}}{24}10^{-6} \quad \text{cm}^6$$

单轴对称剖面

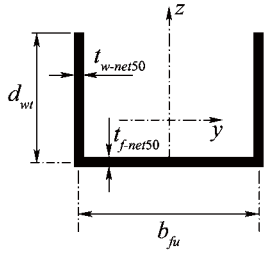


$$I_{sv-net50}=\frac{1}{3}(b_f t_{f-net50}^3+d_{wt}t_{w-net50}^3)10^{-4} \quad \text{cm}^4$$

$$y_0=0 \quad \text{cm}$$

$$z_0=-\frac{0.5d_{wt}^2 t_{w-net50}}{d_{wt}t_{w-net50}+b_f t_{f-net50}}10^{-1} \quad \text{cm}$$

$$c_{warp}=\frac{b_f^3 t_{f-net50}^3+4d_{wt}^3 t_{w-net50}^3}{144}10^{-6} \quad \text{cm}^6$$

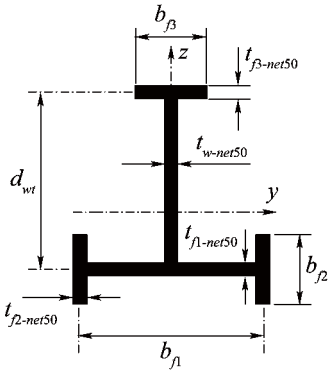


$$I_{sv-net50}=\frac{1}{3}(b_{fu}t_{f-net50}^3+2d_{wt}t_{w-net50}^3)10^{-4} \quad \text{cm}^4$$

$$y_0=0 \quad \text{cm}$$

$$z_0=-\frac{d_{wt}^2 t_{w-net50}10^{-1}}{2d_{wt}t_{w-net50}+b_f t_{f-net50}}-\frac{0.5d_{wt}^2 t_{w-net50}10^{-1}}{d_{wt}t_{w-net50}+b_{fu}t_{f-net50}/6} \quad \text{cm}$$

$$c_{warp}=\frac{b_{fu}^2 d_{wt}^3 t_{w-net50}(3d_{wt}t_{w-net50}+2b_{fu}t_{f-net50})}{12(6d_{wt}t_{w-net50}+b_{fu}t_{f-net50})}10^{-6} \quad \text{cm}^6$$



$$I_{sv-net50}=\frac{1}{3}(b_{f1}t_{f1-net50}^3+2b_{f2}t_{f2-net50}^3+b_{f3}t_{f3-net50}^3+d_{wt}t_{w-net50}^3)10^{-4} \quad \text{cm4}$$

$$y_0=0 \quad \text{cm}$$

$$z_0=z_s-\frac{(b_{f3}d_{wt}t_{f3-net50}+0.5d_{wt}^2 t_{w-net50})10^{-1}}{d_{wt}t_{w-net50}+b_{f1}t_{f1-net50}+2b_{f2}t_{f2-net50}+b_{f3}t_{f3-net50}} \quad \text{cm}$$

$$c_{warp}=I_{f1}z_s^2+\frac{I_{f2}b_{f1}^2}{200}+I_{f3}(\frac{d_{wt}}{10}-z_s)^2 \quad \text{cm}^6$$

$$I_{f1}=(\frac{(b_{f1}-t_{f2-net50})^3 t_{f1-net50}}{12}+\frac{b_{f2}t_{f2-net50}b_{f1}^2}{2})10^{-4} \quad \text{cm}^4$$

$$I_{f2}=\frac{b_{f2}^3 t_{f2-net50}}{12}10^{-4} \quad \text{cm}^4$$

$$I_{f3}=\frac{b_{f3}^3 t_{f3-net50}}{12}10^{-4} \quad \text{cm}^4$$

$$z_s=\frac{I_{f3}d_{wt}}{I_{f1}+I_{f3}}10^{-1} \quad \text{cm}$$

注：1. 所有厚度、宽度和深度尺度单位均为毫米（mm）；

2. 本表未包括的横截面属性由直接计算获得。

3.5.2 槽形舱壁

3.5.2.1 槽形舱壁中的槽形面板单元的局部屈曲应按 3.2.1.1 予以控制，使用表 10.3.1 中所示的工况 1，应力比 ψ=1.0。

3.5.2.2 受轴向压力作用的槽形舱壁的整体屈曲失效模式应按 3.5.1 的柱屈曲模式进行校核（如水平槽形纵舱壁、受局部垂向力作用的垂直槽形舱壁）。除了在宽度超过 2 倍槽形高度的凳部采用固定端部支持外，其他应采用与铰支端对应的端部约束因子。

4 高级屈曲分析

4.1 一般要求

4.1.1 计算

4.1.1.1 对于承受组合应力的板和加筋板格的屈曲评估，应遵循高级屈曲评估方法。

4.1.1.2 高级屈曲评估方法在计算屈曲能力时，应计及以下方面的影响：

（a）几何非线性特性；

（b）材料非弹性特性；

（c）初始缺陷（板和加强筋的几何不平度）；

（d）焊接残余应力；

（e）结构部件之间的相互作用；如板、加强筋、桁材等；

（f）同步载荷作用：双轴向受压 / 受拉、剪切和侧向压力；

（g）边界条件。

4.1.1.3 所有的影响均应包括在分析模型中考虑，以反映结构强度的最低限值。在模型中几何缺陷的形状和幅度应使其能引发最危险的失效模式。

4.1.1.4 应按附录 D 中描述的方法求出屈曲强度。

4.1.1.5 其他可选的高级屈曲分析工具，只要其结果在测试指标方面与附录 D 中描述的高级屈曲方法所得之值相当。

4.1.1.6 对于所选的其他高级屈曲分析方法，其理论背景、假定、模型、验证及校准等应予以提交审核和认可。

第 11 节 一 般 要 求

1 船体开口和关闭设施

1.1 外板和甲板开口

1.1.1 一般要求

1.1.1.1 关于上层建筑和甲板室的侧壁及端部开口的关闭设施，见 1.4。关于溢流管和通气管，以及排水孔和进水孔的规定，见 1.5。

1.1.1.2 试验要求见第 5 小节。

1.1.2 货油舱舱口盖——材料

1.1.2.1 通道舱口、液舱清洗及货油舱和相邻处所的其他开口的舱口盖应由以下材料制成：

（a）符合第 6/1 节规定的标准强度的钢质材料；

（b）可以考虑使用有色金属材料，如青铜或黄铜；但是，铝合金不能用于制造货油舱及其相邻处所的舱口盖；

（c）如果合成材料的耐火性能及其物理和化学特性与拟订的作业条件相适应，也可以考虑使用。合成材料的具体特性、舱口盖的设计以及制造方法均应提交批准。

1.1.2.2 舱口盖密封材料应与拟运载的货油相适应，并且应有效地固定。

1.1.3 货油舱通道围板

1.1.3.1 干舷甲板上表面以上的舱口围板高度不应低于 600mm。船旗国主管机关可允许高度低于该值。设置于液舱上的舱口围板顶部也不应低于其液舱最高点，且应满足破损稳性所需要的足够高度。

1.1.3.2 围板的总厚度不应小于 10mm。如果所安装的围板高度超过 600mm，则要求增加围板厚度，或安装边缘加固构件。倘若液舱通道的围闭面积为 1.2m^2 或以上，和 / 或其剖面形状不是圆形，则对其围板的板厚尺度可另提附加要求。

1.1.4 货油舱通道舱口盖

1.1.4.1 面积小于 1.2m^2 的未设加筋的盖板的总厚度不应小于 12.5mm。对于较大面积的舱口盖，需增加总厚度，或对舱口盖进行加固。

1.1.4.2 圆形舱口上未加固的平舱口盖应用紧固件固定，紧固件的间距应不大于 600mm。

1.1.4.3 矩形舱口上紧固件的间距通常不大于 450mm，并且舱口角隅间和相邻紧固件之间的距离应不大于 230mm。

1.1.4.4 上述 1.1.4.1 至 1.1.4.3 的要求不适用于碟形舱口盖或经其他特别认可设计的舱口盖。

1.1.4.5 如为铰链式舱口盖，则应对铰链处的舱口围板和舱口盖进行适当加强。通常认为，铰链不是舱口盖的系固装置，且其设计应使密封圈不被过分压紧。

1.1.5 机舱通道开口——保护

1.1.5.1 机舱棚通常应由封闭的尾楼或桥楼保护，或由符合 1.4 强度要求的甲板室结构保护。

1.1.5.2 如船舶拟在国际载重线公约允许的 A 型船舶的干舷进行营运，则该结构的高度不应低于 2.3m。这些结构前端部舱壁的尺度应至少相当于对桥楼前端壁的尺度要求，见 1.4.9 和 1.4.13。

1.1.6 船首露天甲板上的小舱口

1.1.6.1 1.1.6.2 定义的通向前端处所的开口应符合以下 1.1.6.3 至 1.1.6.14 的要求。

1.1.6.2 这些要求适用于距艏楼（艏垂线）0.25*L* 区域内的露天甲板上，以及距该舱口位置上的夏季载重水线以上高度小于 0.1*L* 或 22m（取其小者）的高度以下位置的小舱口（开口面积通常为 2.5m^2 或以下）。

1.1.6.3 设计用于紧急脱险的舱口不必满足 1.1.6.9（a），1.1.6.9（b），1.1.6.13 和 1.1.6.14

的要求。

1.1.6.4 矩形钢质小舱口盖的板厚、扶强材布置和尺度应符合表 11.1.1 和图 11.1.1 的规定。

1.1.6.5 扶强材（如设置时）应与 1.1.6.10 和 1.1.6.11 要求的舱盖与舱口围板的金属压紧对接点对齐，如图 11.1.1 所示。主扶强材应连续。所有扶强材应焊至内缘扶强材，见图 11.1.2。

1.1.6.6 舱口围板的上缘应设置水平构件予以适当加强，该构件离围板上缘距离通常不超过 190mm。

1.1.6.7 对圆形或类似形状的小舱口盖，舱口盖板的厚度及其加强应达到与矩形小舱口相当的强度和刚度。

1.1.6.8 对用非普通强度钢制成的小舱口盖，其要求的尺度应能提供相当的强度和刚度。

1.1.6.9 主系固装置应能将舱口盖固定在其相应位置上，并采用以下任一方式的关闭装置，使舱口盖达到风雨密：

（a）蝶型螺母压紧在压板上（夹具）；

（b）快速作用夹扣；或

（c）中心锁紧装置。

不接受使用带楔块的把手（旋转锁紧把手）。

1.1.6.10 舱口盖上应装有弹性填料。其设计应使舱盖与舱口围板的金属压紧对接点处于设计压力范围内，并且防止上浪力造成填料过分压紧而可能引起的系固装置松脱或移位。

1.1.6.11 如图 11.1.1 所示，舱盖与舱口围板的金属压紧对接点应布置在靠近各系固装置的位置上，且足以承受支撑力。

1.1.6.12 主系固装置的设计和制造应由一个人无需任何工具就能使其达到设计压紧力。

1.1.6.13 对于使用蝶型螺母的主系固装置，其压板（夹具）的设计应足够坚固。应采用将压板向上弯曲，并将自由端的上表面抬高或其他类似方法，以使蝶型螺母在使用中滑脱的风险减至最低。未加强的钢质压板的总厚度应不小于 16mm。图 11.1.2 为该布置的示例。

1.1.6.14 船首露天甲板上的小舱口应配备独立的次系固装置，例如，使用滑动螺栓，在缓碰装置上加装锁搭或垫板。这样，即使主系固装置出现松脱或移位的情况，也能保证舱口盖始终固定在其正确的位置上。次系固装置应安装在舱口盖铰链的相对一侧。

1.1.6.15 对于从首柱向后 0.25L 处向前范围内的露天甲板上设置的小舱口盖，应在上浪载荷导致舱口盖关闭的主要方向上设置铰链，即铰链通常位于前端。

船首甲板钢质小舱口盖的尺度 **表 11.1.1**

名义尺寸（mm × mm）	盖板总厚度（mm）	主扶强材	次扶强材
		板材总尺度（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；2	100 × 10；2

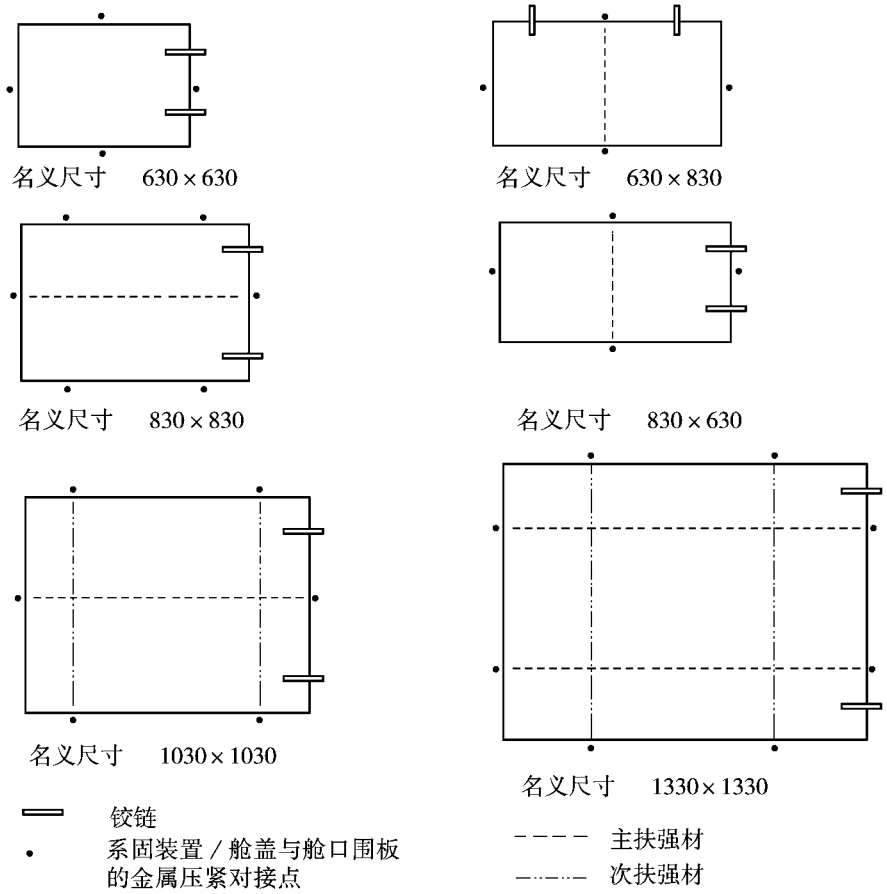


图 11.1.1 扶强材布置图（尺寸单位：mm）

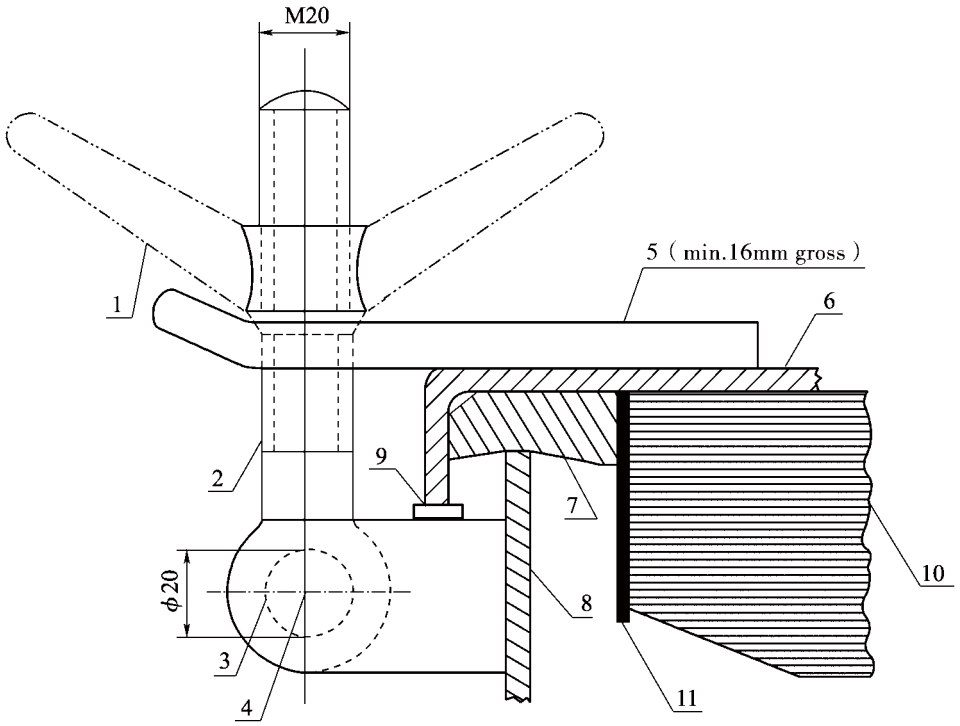


图 11.1.2 主系固装置示意图（尺寸单位：mm）

1-蝶型螺母；2-螺栓；3-销轴；4-销轴中心；5-压板；6-舱口盖；7-填料；8-舱口围板；9-焊接在压紧螺栓支架上的金属承压板，用于舱盖与舱口围板的金属压紧对接点；10-扶强材；11-内缘扶强材

1.1.7 人孔和平甲板小开口

1.1.7.1 位于干舷甲板上位置 1 或 2 处（参见第 4/1.2 节）的人孔和小开口或在上层建筑（封闭的上层建筑除外）的人孔和小开口应使用水密的坚固舱口盖加以关闭。

1.1.7.2 水密人孔的强度应与其所在的甲板强度相当。

1.1.7.3 舱口盖应永久固定，除非采用紧密排列的螺栓紧固。

1.1.8 其他开口

1.1.8.1 除舱口、机器处所开口、人孔和平的小舱口以外，干舷甲板上的其他开口应由封闭上层建筑，或具备相当强度及风雨密性的甲板室或升降口保护。在露天的上层建筑甲板或在干舷甲板上的甲板室顶部，通往干舷甲板以下的处所或封闭的上层建筑以内的处所的任何此种开口，应用坚固的甲板室或升降口来保护。（如 1.4 所述）。

1.1.9 脱险开口

1.1.9.1 脱险开口的关闭装置应易于从两侧进行操控。

1.1.10 缆绳舱口

1.1.10.1 当缆绳舱口被良好紧固，且只有船长才能决定可否将其打开时，可接受降低缆绳舱口围板的高度，但一般不应低于 380mm。围板的总厚度不应小于规范中对同样位置船体外廓板最小厚度的规定，或 11mm，取其小者。

1.1.11 可拆板

1.1.11.1 由于搬卸机器或其他类似原因，要求在舱棚或甲板安装可拆板的，只有当可拆板的强度相当于未开孔的舱壁或甲板时才可接受。另外，可拆板可以配备平盖，这些平盖应有密封圈并用间距不大于 5 个螺栓直径，紧密排列的螺栓加以紧固。

1.1.11.2 航行时保持永久关闭的通道开口的门槛高度和甲板开口的围板高度将被特殊考虑。

1.1.12 液舱清洗和液位测量孔

1.1.12.1 液舱清洗和液位测量孔应安装水密盖或等效装置。平盖也可以采用，只要这些平盖符合 1.1.11 的适用要求。

1.2 通风筒

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 通风筒应满足 1.2.2 至 1.2.6 的要求，另外还要符合各船级社对于机器设备的相关要求。

CCS1.2.1.1 通风筒应满足 1.2.2 至 1.2.6 的要求，另外还要符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 3 章第 11 节对于机器设备的相关要求。

1.2.2 通风筒的细节、布置和尺度

1.2.2.1 对标准高度 900mm，采用头部关闭且不超过表列投影面积的通风筒，最小管道壁厚和肘板垂向臂长的规定见表 11.1.2。

高 900mm 通风筒的壁厚和肘板标准 **表 11.1.2**

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

1. 2. 2. 2 对于高度超过 900mm 的通风筒，应提供肘板或替代的支撑措施。如安装了肘板，则肘板应根据通风筒高度采用适当的厚度和长度。

1. 2. 2. 3 通风筒的围板应由钢材或其他相当材料制成，同时应符合表 11. 1. 3 中的要求。

1. 2. 2. 4 所有部件和通风筒的连接件应能承受 1. 2. 3 中规定的载荷。

1. 2. 2. 5 在 1. 2. 3. 1 中所定义的区域中，不适合使用旋转蘑菇头型通风筒头。

1. 2. 2. 6 穿过上层建筑（封闭的上层建筑除外）的通风筒在干舷甲板处有足够坚固的钢质或其他等效材料的围板。穿过中间甲板的深舱或通道的通风筒应水密且其尺度足以承受预期的压力。

通 风 筒 围 板 **表 11. 1. 3**

特 征	要 求
高度 (4)	h_{coam} = 900，位置1 h_{coam} = 760，位置2 (1)
厚度 (2) (3)	$d_{coam} \leqslant 130$ $t_{coam\text{-}grs}$ = 7. 5 $165 < d_{coam} < 320$ $t_{coam\text{-}grs}$ = 8. 5 $d_{coam} \geqslant 470$ $t_{coam\text{-}grs}$ = 10. 0 中间值应通过线性内插法求得
支撑 (3)	如 h_{coam} 超过 900，应对围板特别支撑

表中：h_{coam}——围板高度，mm；

d_{coam}——围板外径，mm；

$t_{coam\text{-}grs}$——围板总厚度，mm。

注：1. 围板的高度可能需要增加，以满足适用分舱和破损稳性的要求。

2. 当通风筒的高度超过给定高度值时，以上所给出超过部分的总厚度值可能要逐步递减至最小总厚度6. 5mm。

3. 关于船舶首部的通风筒，参见1. 2. 3和1. 2. 4。

4. 如安装了铺板，测量高度应从铺板以上起算。

1. 2. 3 通风筒的作用载荷

1. 2. 3. 1 船首 0. 25L 区域内露天甲板上的通风筒，以及高度自夏季载重水线起小于 0. 1L 或 22m 的（取其小者）露天甲板上的通风筒，应满足 1. 2. 3. 2，1. 2. 3. 3 和 1. 2. 4. 1 的要求。

1. 2. 3. 2 作用于通风筒及其关闭装置上的压力（P_{vent}，）可由以下公式求得：

$$P_{vent}=0.5\rho_{sw}v_{sea}^{2}C_1C_2C_3 \qquad kN/m^2$$

式中：ρ_{sw}——海水密度，取 1. 025 t/m^3;

v_{sea}——海水越过船首甲板的速度，取 13. 5m/s;

C_1——形状系数：

管道取 0. 5;

管道或通风管头一般取 1. 3;

管道或轴线竖直的圆柱形通风管头取 0. 8;

C_2——砰击系数，取 3. 2;

C_3——保护系数：

紧靠挡浪板或首楼背后的管道和通风管头取 0. 7;

其他位置包括紧靠舷墙背后取 1. 0。

1. 2. 3. 3 作用于通风筒及其关闭装置上水平方向的力，可以按上述压力值用每一部件的最大投影面积计算。

1. 2. 4 通风筒及其关闭装置的强度要求

1. 2. 4. 1 应计算通风筒关键位置的弯矩和弯曲应力：

（a）贯穿部位；

（b）焊接或法兰连接部位；

（c）支撑肘板趾端。

净剖面的弯曲应力应不超过 0.8σ_{yd}。σ_{yd} 是规定的最小屈服应力或室温下钢的 0.2% 弹性极限应力。不论腐蚀防护如何，对净剖面应用 2mm 的腐蚀增量。

1.2.5 关闭装置

1.2.5.1 除本条中另有规定外，通风筒开口应配备有效、永久连接的关闭装置。在位置 1，围板延伸至甲板 4.5m 以上，及位置 2，围板延伸至甲板 2.3m 以上的通风筒，不必设置关闭装置，除非认为必要采用非常规设计。位置 1 和位置 2 的定义见第 4/1.2 节。

1.2.6 挡火闸

1.2.6.1 如通风筒围板内设置有挡火闸，则在围板内应设有直径不小于 150mm 的检测孔或开口，以便能在不拆解围板或通风筒的情况下就可以实施对挡火闸的检查。检测孔或开口的关闭应能保持围板的风雨密完整性及耐火完整性，适用时。

1.3 空气管

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 空气管应符合 1.3.2 至 1.3.6 的相关规定，另外还应符合各船级社对于机器设备的任何相关要求。

CCS1.3.1.1 空气管应符合 1.3.2 至 1.3.6 的相关规定，另外还应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 3 章第 10 节对于机器设备的任何相关要求。

1.3.2 高度

1.3.2.1 甲板上暴露在外的空气管高度最小值如下：

（a）干舷甲板上的空气管高度为 760mm；以及

（b）上层建筑甲板上的空气管高度为 450mm。

高度应自铺板顶面（如安装时）量至水可能从管口进入下面的那一点。

1.3.2.2 如上述高度可能影响船舶的操作，可以允许适当降低高度，条件是在管口安装有认可的关闭装置。

1.3.2.3 上述高度可能需要增加，以满足适用的分舱及破损稳性的要求。

1.3.2.4 如空气管穿过上层建筑的侧壁，其开口高度应不低于夏季载重水线以上 2.3m。应配备认可型的自闭透气管头。

1.3.3 空气管的细节、布置及尺度

1.3.3.1 暴露在外的空气管壁厚应不小于表 11.1.4 中所规定的值：

空气管最小壁厚 **表 11.1.4**

外径（mm）	最小总壁厚（mm）
d_{air}≤80	6.0
d_{air}≥165	8.5

表中：d_{air}——管子外径，mm。

注：1. 中间值应通过线性内插法求得。

2. 关于船舶首部通风筒的要求，见1.3.4和1.3.5。

1.3.3.2 对用头部关闭的不超过表列投影面积的 760mm 高的标准空气管，管道最小壁厚和肘板垂向臂长的规定见表 11.1.5。如需要肘板时，应安装 3 个以上径向肘板。另外，1.3.4 中的相关要求也同样适用。

1.3.3.3 肘板总壁厚应为 8mm 或以上，最小水平臂长 100mm，垂向臂长应符合表 11.1.5 的规

定但不必超过空气管头连接法兰。甲板上肘板趾端应适当加强。另外，载荷应按照 1. 3. 4 的要求。如装有肘板时，应根据肘板垂向臂长确定适当的壁厚和水平臂长。

1. 3. 3. 4 管道总壁厚应符合各船级社对于机器设备的相关要求。

CCS1.3.3.4 管道总壁厚应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 3 章第 10 节对于机器设备的相关要求。

1. 3. 4 空气管上的作用载荷

1. 3. 4. 1 船首 0. 25*L* 区域内露天甲板上的空气管，如空气管处的露天甲板高度自夏季载重水线起小于 0. 1*L* 或 22m 的（取较小值），应符合 1. 3. 4. 2，1. 3. 4. 3 和 1. 3. 5. 1 的规定。

高 760mm 空气管壁厚和肘板标准 **表 11. 1. 5**

管道名义尺寸	最小总壁厚（mm）	空气管头最大投影面积（cm^2）	肘板垂向臂长 (1)（mm）
65A	6. 0	–	480
80A	6. 3	–	460
100A	7. 0	–	380
125A	7. 8	–	300
150A	8. 5	–	300
175A	8. 5	–	300
200A	8. 5 (2)	1900	300 (2)
250A	8. 5 (2)	2500	300 (2)
300A	8. 5 (2)	3200	300 (2)
350A	8. 5 (2)	3800	300 (2)
400A	8. 5 (2)	4500	300 (2)

注：1. 肘板（见1. 3. 3. 2）不必超出空气管头连接法兰。

2. 如空气管总壁厚小于10. 5mm，或超出列表中所示投影面积，即要求使用肘板。

1. 3. 4. 2 作用于空气，及其关闭装置上的压力值 P_{pipe} 可由以下公式求得：

$$P_{pipe}=0.5\rho_{sw}v_{sea}^2C_1C_2C_3 \quad kN/m^2$$

式中：ρ_{sw}——海水密度，取 1. 025 t/m^3；

v_{sea}——海水越过船首甲板的速度，取 13. 5m/s；

C_1——形状系数：

管道取 0. 5；

管道或空气管头一般取 1. 3；

管道或与其轴线竖直的圆柱形空气管头取 0. 8；

C_2——砰击系数，取 3. 2；

C_3——保护系数：

紧靠挡浪板或首楼背后的管道和空气管头取 0. 7；

其他位置包括紧靠舷墙背后取 1. 0。

1. 3. 4. 3 作用于管道及其关闭装置上水平方向的力，可以从上述压力值及用每一部件的最大投影面积计算。

1. 3. 5 空气管及其关闭装置的强度要求

1. 3. 5. 1 空气管应计算关键位置的弯矩和弯曲应力：

（a）贯穿部位；

（b）焊接或法兰连接部位；

（c）支撑肘板趾端。

净剖面上的弯曲应力应不超过 0.8σ_{yd}。σ_{yd}是规定的最小屈服应力或室温下钢 0.2%的弹性极限应力。不论腐蚀防护如何，对净剖面应用 2mm 的腐蚀增量。

1.3.6 空气管的关闭装置

1.3.6.1 所有末端在露天甲板上的空气管应装有 U 形弯头（鹅颈管）或类似装置，以防止水流入船内。

1.3.6.2 出口应安装风雨密的永久关闭装置。该关闭装置应是自动的，即一旦在以下任一情况下发生浸没时，装置能立即自动关闭（如通过小球浮起或类似方法）：

（a）出口被浸没，且船舶在夏季载重线位置横倾 40°，或进水角（如小于 40°时）；

（b）为满足破损稳性要求。

1.3.6.3 空气管不应安装有可能削弱其透气功能的阀门。

1.4 甲板室和升降口

1.4.1 适用范围

1.4.1.1 本节规定适用于 1.4.3.1 和 1.4.3.2 定义的钢质甲板室和升降口。

1.4.1.2 尺度要求取决于构件相对于水线的垂直位置。该位置以“层”进行划分。

1.4.2 材料

1.4.2.1 根据第 6/1 节的要求，本节 1.4 中的尺度适用于由船用钢建造的结构。铝合金甲板室的尺度应由各船级社决定，并提交所采用合金材料的说明。

CCS1.4.2.1 铝合金甲板室的尺度应按照 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 3 节的规定，满足第 2 篇第 2 章第 17 节的适用要求，并提交所采用合金材料的说明。

1.4.3 定义

1.4.3.1 甲板室系指强力甲板以上、其侧壁板离船壳板向内大于 4%型宽 B 的设有甲板的结构。

1.4.3.2 升降口系指风雨密性的甲板结构，保护通向干舷甲板以下处所的通道开口或进入封闭上层建筑处所的通道开口。

1.4.3.3 层系指甲板室范围的量度。一个甲板室层包括甲板和外部侧壁。通常，第一层系指位于干舷甲板上的层。

1.4.4 结构的连续性

1.4.4.1 位于尾部的甲板室，其前端壁应与其下部的船体横舱壁对准，或应以局部横舱壁、桁材和支柱组成的结构共同支撑。

1.4.4.2 后端壁应受到有效支撑。

1.4.4.3 强力甲板上甲板室转角处，应注意甲板室与甲板的连接，并合理安排结构将载荷传递至甲板下支撑结构。

1.4.4.4 如可行，露天侧壁和纵向端壁和横向端壁应位于船体结构舱壁和 / 或高腹板桁架上，且在各层的起居舱室上对齐。如上述结构布置无法实现时，则应采取其他有效的支撑方式。

1.4.4.5 结构布置应能将垂直不连续性影响降至最低。在侧壁开设的所有开口应设有扶强补偿并有适当弧度的转角。在门或类似开口的上下方应设置连续的围板或纵桁。

1.4.5 甲板板

1.4.5.1 板的总厚度 τ_{dk-grs}，应不小于：

$$\tau_{dk-grs} = 7.5\sqrt{\frac{ks}{s_{std}}} \quad \text{mm，第一层甲板室}$$

$$\tau_{dk-grs}=7.0\sqrt{\frac{ks}{s_{std}}} \quad \text{mm，第二层甲板室}$$

$$\tau_{dk-grs}=6.5\sqrt{\frac{ks}{s_{std}}} \quad \text{mm，第三层及以上甲板室}$$

式中：s——骨材间距，m；

k——高强度钢系数，见第 6/1. 1. 4 节；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2；

s_{std}——纵骨或横梁的标准参考间距，m；

$s_{std}=0.470+0.00167L_1$

L_1——规范船长，见第 4/1. 1. 1. 1 节定义，但应不大于 250m。

1. 4. 5. 2 甲板室内的板的厚度可减少 10%，但减少后的总厚度 τ_{dh-grs}，应不小于：

$$\tau_{dh-grs}=(5.8s+1)\sqrt{k} \quad \text{mm，但应不小于 5. 5mm}$$

式中：s——骨材间距，m；

K——高强度钢系数，见第 6/1. 1. 4 节；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

1. 4. 6 甲板纵骨和横梁

1. 4. 6. 1 纵骨和横梁，计及带板的总剖面模数 $Z_{lng-grs}$，应不小于：

$$Z_{lng-grs}=4.563sl_{bag}^2h_{tier}k \quad cm^3$$

式中：s——骨材间距，m；

l_{bag}——骨材弯曲有效跨距，m，见第 4/2. 1. 1 节；

B——见第 4/1. 1. 3. 1 节；

h_{tier}——压头，m，与甲板室层数有关；

h_{tier}=1. 68，尾楼和干舷甲板以上第一层甲板室

h_{tier}=1. 30，干舷甲板以上第二层甲板室

h_{tier}=0. 91，干舷甲板以上第三层及以上甲板室

对于甲板上第二层及以上甲板室，如通常仅用于遮蔽风雨，h_{tier} 数值可减少，但在任何情况下都应不小于 0. 46；

k——高强度钢系数，见第 6/1. 1. 4 节；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

1. 4. 7 甲板纵桁和强横梁

1. 4. 7. 1 应设置甲板纵桁和强横梁支撑横梁或甲板纵骨。当甲板纵桁和强横梁以交叉梁系结构承载时，可采用其他分析方法考虑交叉梁系的作用并证明尺寸满足本节 1. 4. 7. 2 和 1. 4. 7. 3 要求。分析应使用构件总尺度，基本几何参数见本节 1. 4. 7. 2，载荷取本节 1. 4. 7. 2 的压头和 0. 715t/m^3 的单位密度，许用弯曲应力取 0. 67σ_{yd}。当校核满足本节 1. 4. 7. 3 尺寸要求时，应基于纵桁与强横梁交点处和跨中的位移，许用位移取尺寸满足本节 1. 4. 7. 2 要求、腹板 d_{grd} 满足本节 1. 4. 7. 3 要求的简单梁模型计算所得位移。

1. 4. 7. 2 每个甲板纵桁和横框架的总剖面模数 Z_{t-grs} 都应不小于：

$$Z_{t-grs}=4.74b_{dk}l_{bag}^2h_{tier}k$$

式中：b_{dk}——受支撑的甲板区域平均宽度，m；

l_{bdg}——有效弯曲跨距，应取为支撑支柱中心点之间的距离，或支撑支柱、横向构件、纵桁和 / 或支撑上述构件舱壁之间的距离，m。如舱壁上设置有效肘板，则可减小 l_{bdg}，见第 4/2. 1. 4 节；

h_{tier}——压头，m，与甲板室层数有关：

h_{tier} = 1. 68，尾楼和干舷甲板以上第一层甲板室；

h_{tier} = 1. 30，干舷甲板以上第二层甲板室；

h_{tier} = 0. 91，干舷甲板以上第三层及以上甲板室；

对于甲板上第二层及以上甲板室，如通常仅用于遮蔽风雨，h_{tier} 数值可减少，但在任何情况下都应不小于 0. 46；

k——高强度钢系数，见第 6/1. 1. 4 节；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

1. 4. 7. 3　纵桁和强横梁的腹板高度 d_{grd} 应不小于：

$$d_{grd} = 0.0583 l_{bdg}$$

式中：l_{bdg}——有效弯曲跨距，应取为支撑支柱中心点之间的距离，或支撑支柱、横向构件、纵桁和 / 或支撑上述构件舱壁之间的距离，m。如舱壁上设置有效肘板，则可减小 l_{bdg}，见第 4/2. 1. 4 节。

当纵桁与强框架相交时，如果短构件对长构件全部支撑，可考虑接受长构件较小的腹板高度。

1. 4. 7. 4　纵桁或横框架的腹板总厚度应不小于 1% 腹板高度 +4mm。如果腹板的剪切强度和屈曲性能满足要求，可以采用较薄的板。进行剪切强度分析时，应使用构件总尺度，基本几何参数见本节 1. 4. 7. 2，载荷取本节 1. 4. 7. 2 的压头和 0. 715t/m^3 的单位密度，许用剪切应力取 0. 39σ_{yd}。当腹板高度与腹板总厚度的比值小于 75 时，认为屈曲性能满足要求。

1. 4. 8　支柱

1. 4. 8. 1　支柱的总尺度应符合如下规定：根据本节 1. 4. 8. 2 所确定的许用载荷应大于本节 1. 4. 8. 3 所确定的设计载荷，同时应考虑到本节 1. 4. 8. 4 中的要求。

1. 4. 8. 2　支柱的许用载荷 W_{perm}，如下：

$$W_{perm} = (f_{s1} - h_{pill} f_{s2} / r_{gyr-grs}) A_{pill-grs} \qquad \text{kN}$$

式中：f_{s1}——钢材系数；

f_{s1} = 12. 09，普通钢

f_{s1} = 13. 59，HT27 强度钢

f_{s1} = 16. 11，HT32 强度钢

f_{s1} = 17. 12，HT34 强度钢

f_{s1} = 18. 12，HT36 强度钢

f_{s1} = 20. 14，HT40 强度钢

h_{pill}——从支柱支撑甲板或其他结构的顶部到被支撑横梁或纵桁下表面的距离，m；

f_{s2}——钢材系数；

f_{s2} = 4. 44，普通钢

f_{s2} = 5. 57，HT27 强度钢

f_{s2} = 7. 47，HT32 强度钢

f_{s2} = 8. 24，HT34 强度钢

f_{s2} = 9. 00，HT36 强度钢

f_{s2} = 10.52，HT40 强度钢

$r_{gyr-grs}$——支柱总剖面的旋转半径，cm；

$A_{pill-grs}$——支柱剖面的总面积，cm^2。

1.4.8.3 支柱的设计载荷 W_{des}，可由以下公式求得：

$$W_{des}=7.04 b_{dk} h_{tier} l_{dk} \quad \text{kN}$$

式中：b_{dk}——受支撑的甲板区域平均宽度，m；

h_{tier}——压头，m，与甲板室层数有关：

h_{tier} = 1.68，尾楼和干舷甲板以上第一层甲板室

h_{tier} = 1.30，干舷甲板以上第二层甲板室

h_{tier} = 0.91，干舷甲板以上第三层及以上甲板室

对于甲板上第二层及以上甲板室，如通常仅用于遮蔽风雨，h_{tier} 数值可减少，但在任何情况下都应不小于 0.46；

l_{dk}——受支撑的甲板区域平均长度，m。

1.4.8.4 如支柱为垂直设置，每一层支柱的设计载荷应将其正上方甲板的设计载荷与其上方每一支柱的一半设计载荷相加得到。

1.4.9 露天端壁

1.4.9.1 甲板室和升降口的露天端壁尺度应符合本节 1.4.10 至 1.4.13 的规定。对于支撑甲板设备、装置等引起载荷的结构，可要求增大尺寸。

1.4.9.2 对于不保护干舷甲板开口、上层建筑甲板或最低层甲板室顶部开口的甲板室端壁，其尺寸可特别考虑。对于不保护机舱棚（如果不包括起居舱室）或不保护船舶作业中必需设备的甲板室端壁尺寸，可特别考虑。

1.4.9.3 长甲板室可能需要额外支撑以防扭转变形，见本节 1.4.13。

1.4.10 露天端壁板

1.4.10.1 端壁板总厚度 $t_{blk-grs}$ 应如下，且应不小于本节 1.4.10.2 计算值：

$$b_{blk-grs}=3s\sqrt{kh_{des}} \quad \text{mm}$$

式中：s——骨材间距，m；

k——高强度钢系数，见第 6/1.1.4 节；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2；

h_{des}——设计压头，m；

$C_4[(C_5 f)-z]c$

但在以下特定位置应不小于给定值：

2.5+L_1/100，最低层上无保护的前端壁；

1.25+L_2/200，其他位置；

L_1——规范船长，L，见第 4/1.1.1.1 节定义，但应不大于 250m；

L_2——规范船长，L，见第 4/1.1.1.1 节定义，但应不大于 300m；

C_4——系数，见表 11.1.6；

C_5——系数；

$$C_5=1.0+\left[\frac{(x/L)-0.45}{C_{b1}+0.2}\right]^2，\text{当 } x/L \leqslant 0.45$$

$$C_5 = 1.0 + 1.5\left[\frac{(x/L) - 0.45}{C_{b1} + 0.2}\right]^2$$，当 $x/L > 0.45$

C_{b1}——方型系数，见第 4/1.1.9.1 节定义，但应不小于 0.60 且应不大于 0.80。对于船中前的后端壁，C_{b1} 可取 0.80；

x——端壁至 A.P. 的距离，m。甲板室侧壁应分隔为长度不超过 0.15L 的等长分段。各分段的 x 值应为 A.P. 到分段中心的距离；

L——规范船长，见第 4/1.1.1.1 节；

f——见表 11.1.7；

z——板中点到夏季载重线的垂直距离，m；

$c = 0.3 + 0.7b_{dh}/B_1$；

但对于露天机舱室端壁而言，该值应不小于 1.0。且任何情况下 b_{dh}/B_1 都应不小于 0.25

b_{dh}——考虑位置甲板室的宽度，m；

B_1——考虑位置船舶干舷甲板处的实际宽度，m。

C_4 值 **表 11.1.6**

端壁位置	C_4值
无保护的前端壁，最低层	2.0 + L_2/120
无保护的前端壁，第二层	1.0 + L_2/120
无保护的前端壁，第三层	0.5 + L_2/150
有保护的前端壁，所有层	0.5 + L_2/150
侧壁，所有层	0.5 + L_2/150
船舶中后部的后端壁，所有层	0.7 +（L_2/1000）－0.8x/L
船舶中前部的后端壁，所有层	0.5 +（L_2/1000）－0.4x/L

f 值 **表 11.1.7**

L（m）	f（m）
90	6.00
100	6.61
120	7.68
140	8.65
160	9.39
180	9.88
200	10.27
220	10.57
240	10.78
260	10.93
280	11.01
≥300	11.03

注：1. 本表基于表11.1.8中的公式。

f 值的计算公式 **表 11.1.8**

L（m）	f（m）
$L \leqslant 150$	（L/10）（$e^{-L/300}$）－[1－（L/150）^{2}]
$150 < L < 300$	（L/10）（$e^{-L/300}$）
$L \geqslant 300$	11.03

1.4.10.2 最低层甲板室端壁的总厚度 $t_{blk-tier-grs}$ 应不小于：

$$t_{blk-tier-grs} = 5.0 + L_1/100 \quad \text{mm}$$

其他层甲板室端壁的总厚度应不小于：

$$t_{blk-tier-grs} = 4.0 + L_1/100 \quad \text{mm，或 5.0mm，取大者}$$

式中：L_1——规范船长，见第 4/1.1.1.1 节定义，但应不大于 250m。

1.4.11 露天端壁骨材

1.4.11.1 骨材计及带板后的总剖面模数 $Z_{blk-grs}$ 应不小于：

$$Z_{blk-grs} = 3.5sh_{tween}{}^2 h_{des} k \quad \text{cm}^3$$

式中：s——骨材间距，m；

h_{tween}——二层甲板间的高度，m；

h_{des}——设计压头，见本节 1.4.10.1，z 取骨材跨距中点至夏季载重线的垂直距离，m；

k——高强度钢系数，见第 6 节/1.1.4 定义；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，N/mm^2。

1.4.12 露天端壁骨材端部连接

1.4.12.1 最低层甲板室的端壁骨材腹板两端应有效地连接。采用其他端部连接形式的骨材尺度应特别考虑。

1.4.13 露天端壁强力构件布置

1.4.13.1 在多层的长甲板室中，第一层内应设置强肋骨或局部舱壁，间距最大约 9m。应尽量与下方水密舱壁对准。

1.4.13.2 大开口、吊艇架和其他承受较大载荷的部位都应设置强力构件。

1.4.14 甲板室和升降口开口的关闭布置

1.4.14.1 直接通向封闭上层建筑或干舷以下处所的甲板室及升降口的所有端壁上的开口应能有效关闭，以保证在任何海况下，船舶都不会发生进水。

1.4.14.2 此类开口的门应为钢质或其他等效材料，并应永久牢固地固定在端壁上。门上应带有和端壁或门自身相连接的填料和压板装置或其他等效设施，如此布置使得门可从端壁的任意一边操作。通常可以接受符合被认可的国家或国际标准的门。

1.4.14.3 通道开口应设扶强结构，使整个结构在开口关闭时相当于无开口的端壁强度。

1.4.14.4 除本节 1.4.14.5 允许的以外，通向起居处所、控制站和机器处所的通道门、进气孔和开口都不应面向货油舱区域，而应开设从面向货油舱区域的甲板室端部起不小于 0.04L，且不小于 3m 的甲板室端壁或侧壁上。该距离不必超过 5m。

1.4.14.5 可准许在面向货油区域的边界舱壁，或在本节 1.4.14.4 规定的 5 m 限制范围内设置通向货油主控制站和诸如食品间、储藏室及物料间这类服务处所的出入门，但是这些出入门不得直接或间接通往包括有或用作起居处所、控制站的任何其他处所，或诸如厨房、配膳室或工作间的服务处所，或含有油气着火源的类似处所。这种处所的限界面应隔热至“A-60”级标准，但面向货油区域的限界面除外。

1.4.15 通道开口门槛

1.4.15.1 直接通向封闭上层建筑或干舷甲板以下处所的甲板室和升降口端壁的通道开口门槛最低高度，对位置 1 为 600mm，对位置 2 为 380mm，见第 4/1.2 节规定。

1.4.16 A 型干舷油船机舱棚的通道开口

1.4.16.1 通常不设置从干舷甲板直接通向露天机舱棚机器处所的开口。

1.4.16.2 在露天机舱棚可以开设符合本节 1.4.14.1 至本节 1.4.14.3 要求的门，条件是该门通向如机舱棚一样构筑坚固的某个处所或过道，并被符合本节 1.4.14.1 至 1.4.14.3 要求的另一道门将其与机舱分开。外门门槛的高度不应低于 600mm，第二道门的门槛高度则不应低于 230mm。

1.4.17 窗和舷窗

1.4.17.1 在甲板室外壁和风雨密门上的舷窗应采用坚固结构，符合认可的国家或国际标准。

1.4.17.2 位于甲板室边界上防止直接进入上层建筑或干舷甲板以下处所的窗和舷窗，应在舷窗盖内侧配备有效的铰链。

1.4.17.3 面向货油舱区域的窗和舷窗，以及在本节 1.4.14.4 和 1.4.14.5 规定范围内上层建筑或甲板室侧壁上的窗和舷窗应为永久封闭（无开口）。此类窗和舷窗（除驾驶室窗以外）的构造都应符合“A-60”等级标准。

1.5 泄水孔、进水孔和排水孔

1.5.1 排泄孔—封闭处所

1.5.1.1 干舷甲板以下或完整上层建筑内或干舷甲板上甲板室内的排水处所（安装有符合《国际载重线公约》第 12 条规定的门）的排泄孔，如为排水孔则引向污水舱，如为卫生排泄孔则向合适的卫生液舱。或者也可将泄水孔和排水孔引到舷外，条件是：

（a）当船舶横倾 5 度时，干舷甲板边缘不浸水；且

（b）各排泄孔应配备防止船内进水的装置，满足 1.5.3 的要求。

1.5.2 排泄孔—露天处所

1.5.2.1 未安装符合《国际载重线公约》第 12 条要求的门的上层建筑或甲板室的排泄孔应通向舷外。

1.5.3 防止船内进水

1.5.3.1 自干舷甲板以下处所或干舷甲板上甲板室和上层建筑内引出、允许通向舷外的排泄孔（见 1.5.1.1（a））应按照 1.5.3.2 至 1.5.3.7 的要求，应配备防止船内进水的有效而易操作的装置。

1.5.3.2 船舶正常航行中保持开启状态的排泄孔，如卫生排水孔，应按照孔的位置安装防止船内进水的装置。h_{disc}，表示自夏季载重线到排水孔舷内端部的高度，m。

（a）$h_{disc} \leqslant 0.01L_L$：

- 一个自动止回阀，且带有能从干舷甲板以上位置将其关闭的有效装置。
- 或者，也可装配一个自动止回阀和在干舷甲板以上位置进行控制的截止阀。

（b）$0.01L_L < h_{disc} \leqslant 0.02L_L$：

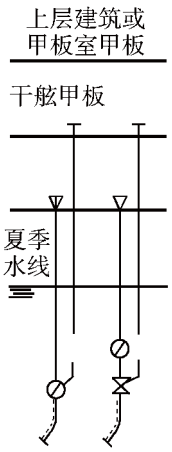
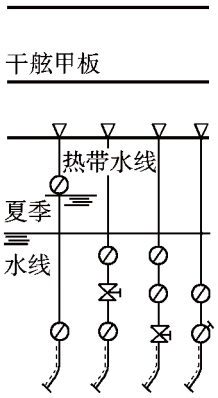
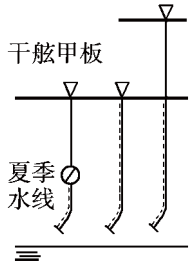
- 两个自动止回阀，不带截止阀，条件是在船舶营运状态下，可随时检查舷内阀门。
- 舷内阀门的位置应设在最深海水载重线之上。
- 如不可行，则舷外可另设能就地控制的截止阀，或者可就地控制关闭的舷外止回阀，在此情况下，舷内阀门不必设置在最深海水载重线以上。

（c）$h_{disc} > 0.02L_L$：

- 一个自动止回阀，不带截止阀。

1.5.3.3 对于机器处所的舷外排水孔，可采用在外板上装一个带舷内截止止回阀的，且可就地控制的直接关闭阀来代替 1.5.3.2 中要求的装置。

1.5.3.4 排水孔和泄水孔可采用的布置，见图 11.1.3。

<table>
<tr><td colspan="3">干舷甲板以下封闭处所或干舷甲板上的排水</td><td colspan="2">其他处所的排水</td></tr>
<tr><td rowspan="2">对于舷内端在SWL以上<0.01<i>L</i>的一般要求</td><td rowspan="2">通过机舱的排水口</td><td colspan="2">替代方案，如舷内端</td><td rowspan="2">舷外端>450mmFB甲板以下；或<600mmSWL以上</td><td rowspan="2">其他</td></tr>
<tr><td>位于SWL以上>0.01L</td><td>>0.02L，高于SWL</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td><td>
</td><td>
</td><td>

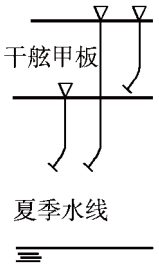
阀门控制应在许可位置上</td><td>
</td></tr>
<tr><td colspan="5">符号：▽管子的舷内端
管子的舷外端
终止于露天甲板上的管子
不带直接关闭装置的止回阀
带有就地控制的直接关闭装置的截止止回阀
就地控制的阀门
遥控
正常厚度
加厚厚度</td></tr>
</table>

图 11.1.3 排水孔和泄水孔系统布置图

1.5.3.5 在航行中关闭的排泄孔，如从顶边舱压载舱引出的重力式排泄孔，可安装一个能在甲板对其采用螺旋式进行操作的截止阀。

1.5.3.6 操作直接关闭阀门的装置应便于接近，并且配备可显示阀门开关状态的指示器。

1.5.3.7 起始于任何层面且穿过外板，不论在干舷甲板以下大于 450mm 或在夏季载重线以上小于 600mm 的排泄管应在该处外板上安装止回阀。如果根据 1.5.7.3 的要求，该管子具有足够厚度，则可不安装该阀，除非 1.5.3.2 至 1.5.3.4 另有规定。

1.5.4 海水进水孔

1.5.4.1 在有人的机器处所，与机器运作相关的主、辅海水进水孔及排水孔可以采取就地控制。该控制装置应便于接近，并配有显示阀门开关状态的指示器。

1.5.5 外板阀门和配件

1.5.5.1 安装：外板阀门应安装在外板上（或海底阀箱上）。但是，如此方法不可行，则可安装按照 1.5.7.3 的要求具有足够壁厚的短管。外板排水口的位置应注意避免有任何排放物流入降放的救

生艇筏中。

1.5.5.2 材料：所有要求的外板阀门和配件应采用钢质、青铜或其他经认可的具有延伸性的材料。不应使用普通铸铁或类似材料制成的阀门。

1.5.5.3 倘若由于火灾的原因而导致的材料失效可能增加船体进水的危险，则受热易于失效的材料不应用作与船外板连接的阀门。

1.5.6 无人值班的机器处所

1.5.6.1 无人值班的机器处所：海水进水孔、水线以下排水孔或舱底喷射系统的阀门控制装置的安装位置，应满足当船舶在满载的情况下该处所进水时，仍能有充足的时间到达该控制装置并进行操作。

1.5.6.2 在对无人值班的机器处所应用 1.5.6.1 时，如经计算表明，自舱底最高一层报警器鸣响起 10 分钟后，破损水线不超过双层底的液舱顶板，则阀门可在该液舱舱顶板处控制。

注：各船旗国主管机关对此要求都有解释。如果某船所挂船旗的主管机关对此要求有解释，则应优先取用该解释，或者按1.5.6.2的解释。

1.5.7 管路

1.5.7.1 从外板到第一个阀门的所有管路都应是钢质材料或其他等效材料构成。

1.5.7.2 舷内钢管的壁厚不应小于表 11.1.9 给定的数值（要求加厚的除外）。

常 规 钢 管 壁 厚 **表 11.1.9**

外径（mm）	总壁厚（mm）
≤ 155	4.5
≥ 230	6.0

注：1. 中间值应通过线性内插法求得。

1.5.7.3 要求加厚的钢管总壁厚（见 1.5.3.7 和 1.5.5.1），不应小于表 11.1.10 给定的数值。

加 厚 钢 管 壁 厚 **表 11.1.10**

外径（mm）	总壁厚（mm）
≤ 80	7.0
180	10.0
≥ 220	12.5

注：1. 中间值应通过线性内插法求得。

1.5.8 垃圾滑槽、下水管及类似排放管

1.5.8.1 垃圾滑槽、下水管及类似排放管应采用低碳钢管子或与外板厚度相同的板制造。使用其他材料应经特别考虑。

1.5.8.2 开口应避开舷顶列板和应力高度集中的区域。

1.5.8.3 垃圾管的舷内端应安装一个带有互锁装置的铰链式风雨密盖，以避免排放翻盖和管盖同时打开。

1.5.8.4 不使用时，垃圾管盖应确保紧闭，并且在控制位置上显示相应的提示。

1.5.8.5 如垃圾管舷内端高度小于 $0.01L_L$，则除了管盖和翻盖外，还应配置一个直接关闭阀门。该阀门应安装在最深海水载重线以上容易到达的位置上。

1.5.8.6 阀门的控制应在靠近垃圾管端部的地方，且应配有显示打开 / 关闭状态的指示器。该阀门不使用时应确保关闭，并且在阀门控制位置上显示提示。

2 船员保护

2.1 舷墙和栏杆

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 在露天干舷和上层建筑甲板边界处，以及第一层甲板室边界处和上层建筑端部均应设有舷墙和护栏。

2.1.1.2 从铺板以上起测量的舷墙或护栏最小高度应为 1.0m，且应按照 2.1.2 的规定建造。如该高度妨碍船舶的正常作业，则允许降低高度。如要求获得降低高度的许可，应提交调整高度的相关资料。

2.1.1.3 在船舶舯部 0.6L 以内，舷墙的布置应确保其不受船体梁应力的影响。

2.1.1.4 船上应提供护栏、救生索、步桥、甲板下通道或类似能令人满意的设施，为船员从起居处所、机器处所到船上所有其他必需配备船员的地方时提供保护，见 2.3.1.1。

2.1.2 舷墙构造

2.1.2.1 露天干舷和上层建筑甲板边界处的舷墙板的厚度不应小于表 11.2.1 给定的数值。

舷 墙 板 厚 度 表 11.2.1

舷墙高度	总厚度
1.8m或以上	与同一位置上层建筑的要求相同
1.0m	6.5mm
中间高度	由线性内插法求得

2.1.2.2 舷墙板应采用顶部栏杆加强。干舷甲板和首楼甲板上的舷墙板应用撑板支撑，撑板的间距一般不大于 2.0m。

2.1.2.3 撑板的自由边应加强。

2.1.2.4 撑板的剖面模数 $Z_{stay-grs}$ 不应小于以下给出的值。计算其剖面模数时，只能计入与甲板相连接的材料。如撑板上的球缘或折边与甲板相连，也可以计算入内。如船尾的舷墙板与舷顶列板相连，则还可包括宽度不超过 600mm 的附连翼板。

$$Z_{stay-grs} = 77 h_{blwk}^{\ 2} s_{stay} \qquad \text{cm}^3$$

式中：h_{blwk}——甲板板上表面至顶部栏杆顶端的舷墙高度，m；

s_{stay}——撑板的间距，m。

2.1.2.5 如系泊属具作用于舷墙的力较大，则应适当提高撑板的强度等级。

2.1.2.6 舷墙撑板应由适当的甲板下扶强材支撑，或与之排列成一直线。连接到舷墙上作为加强的撑板应采用双面连续角焊。

2.1.2.7 如要在舷墙上开设舷门或其他开口，则应在开口端部设置增强的撑板。

2.1.2.8 导缆孔处的舷墙应适当加强和加厚。

2.1.2.9 在舷墙上开设舷门或其他开口，应远离上层建筑间断处。

2.1.2.10 如设有舷墙，应配置 2.1.5 要求的排水舷口。这些排水舷口应符合各个船级社的要求。

CCS2.1.2.10 如设有舷墙，应配置 2.1.5 要求的排水舷口。这些排水舷口应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章的要求。

2.1.3 护栏构造

2.1.3.1 2.1.1.1 要求的栏杆柱应符合以下要求：

（a）固定、可移动或铰链式栏杆柱安装的间距应大约为 1.5m；

（b）至少每间隔三根栏杆柱应有一肘板或支撑进行支撑；

（c）可移动或铰链式栏杆柱应当能够被锁定于直立位置；

（d）带圆弧形舷缘的船舶，其栏杆柱应置于甲板的平直面上；

（e）带舷顶列板的船舶，其栏杆柱不应与舷顶列板、连续的排水沟角钢相连。

2.1.3.2　护栏最低横档和甲板间的开口尺寸最大为 230mm。其他各档之间的间隙不应超过 380mm。

2.1.3.3　只有在特殊情况下，才可以使用钢索代替护栏，且应限定钢丝绳的长度。如采用钢丝绳，则应用松紧螺丝扣将其拉紧。

2.1.3.4　只有在固定栏杆立柱和 / 或舷墙之间才可以使用索链代替护栏。

2.1.4　关于防溢油的舷墙和护栏的附加要求

2.1.4.1　通常露天护栏应安装于上甲板。可采用带有开口高度为 230mm 连续开口（在舷墙下方）的舷墙，以便在甲板上对溢油进行处理，并尽可能地减少易挥发气体的聚集。

2.1.4.2　应防止甲板溢油扩散至起居舱室和服务区。还应环绕货油甲板设置一圈最低高度为 100mm 的永久连续围板，防止溢油排放入海。货油甲板尾端两侧的围板高度应不小于 200mm，且从每个转角向前延伸至少 4.5m。货油甲板尾端处的围板高度应不小于 300mm，且必须从一舷延伸至另一舷。

2.1.4.3　如果设置连续的溢油挡板，则该挡板应用与相连的甲板板的强度和韧性相同的材料建造。

2.1.4.4　应使用机械排水孔塞。应配备排泄或去除围板内油类或油水的装置。

2.1.5　较严重载荷下的附加要求

2.1.5.1　A 型船舶或 B-100 型船舶应安装长度至少为露天甲板暴露在外部分一半的露天栏杆。或者，如安装连续舷墙，最小排水舷口不应少于舷墙总面积的 33%。排水舷口应设置在舷墙靠下的位置上。

2.1.5.2　如上层建筑由凸形甲板连接，则干舷甲板的整个露天区段应安装露天栏杆。

2.1.5.3　B-60 型的船舶最小排水舷口不应少于舷墙总面积的 25%。排水舷口应设置在舷墙靠下的位置上。

2.2　液舱通道

2.2.1　货油舱区域内的液舱通道

2.2.1.1　进入货油舱区域内的液舱通道应符合第 5/5 节的规定。

2.3　船首通道

2.3.1　一般要求

2.3.1.1　船舶应配备在恶劣天气条件下也能让船员安全进入船首的通道，见表 11.2.2。

可接受的通道布置　　**表 11.2.2**

通道位置	勘划的夏季干舷	根据勘划的 (6) (7) (8) 干舷类型采用的布置			
		A型	B-100型	B-60型	B和B+型
船首的通道 尾楼与船首之间，或者 设有起居舱室或/和航行设备的甲板室与船首之间，或者 如平甲板船，则指船员起居舱室与船首之间	≤（$h_{FB}+h_{ss}$）	a e f (1) f (5)			
	＞（$h_{FB}+h_{ss}$）	a e f (1) f (2)			

续上表

通道位置	勘划的夏季干舷	根据勘划的 (6) (7) (8) 干舷类型采用的布置			
		A型	B-100型	B-60型	B和B+型
通向船尾的通道 如平甲板船，则指船员起居舱室与船尾之间	≤ 3000mm	a b c (1) e f (1)	a b c (1) c (2) e f (1) f (2)	a b c (1) c (2) e f (1) f (2)	a b c (1) c (2) c (4) d (1) d (2) d (3) e f (1) f (2) f (4)
	> 3000mm	a b c (1) d (1) e f (1)	a b c (1) c (2) d (1) d (2) e f (1) f (2)	a b c (1) c (2) c (4) d (1) d (2) d (3) e f (1) f (2) f (4)	

表中：h_{ss}——参见ICLL第33条所定义的上层建筑标准高度；

h_{FB}——以A型船计算（不考虑实际勘划的干舷类型），从船中夏季载重水线处量取的干舷；

a——照明通风良好的甲板下通道，该通道净透光尺寸最小宽度为0. 8m、最低高度为2. 0m，并在尽可能靠近干舷甲板的相应位置提供通道；

b——安装在上层建筑甲板平面以上，且位于船舶中心线或中心线附近上的永久性步桥。应有防滑表面、宽度不小于0. 6m，步桥的两边应有脚档和栏杆。栏杆应符合2. 1. 3的要求，但最大间隔为1. 5m的栏杆柱除外；

c——设置在干舷甲板平面上最小宽度为0. 6m的固定走道的两排护栏的栏杆柱的最大间距应为3m。护栏拦档数及其间距在2. 1. 3中已给出规定。B型干舷船的舱口围板高度如等于或大于0. 6m，并在舱口之间设有两排护栏，则可以认为走道的这边已受保护；

d——最小直径为10mm，由间隔约10m的栏杆柱支撑的安全索。或指与舱口围板相连，连续充分支撑于舱口之间的单个扶手或钢丝绳；

e——安装在上层建筑平面或以上、且位于船舶中心线或中心线附近的永久性步桥：

- 设置的位置不妨碍方便进入甲板工作区；
- 提供一个最小宽度为1. 0m的连续平台；
- 由防火和防滑材料制成；
- 在其整个长度的每一边设置护栏。护栏应符合2. 1. 3的要求，但栏杆柱设置最大间隔为1. 5m的除外；
- 每一边都设置有脚档；
- 在合适的位置设有开口及通至甲板的楼梯。开口的最大间距为40m；
- 如穿越露天甲板长度大于70m，步桥上设置的坚固遮蔽设施间隔应不超过45m。每个类似的遮蔽设施应至少能够容纳一人，并且其构造应足以经得起来自船首和两舷的风浪作用；

f——安装在干舷甲板平面或以上，或尽可能靠近中心线位置的永久性走道，该走道具有上述e条永久性步桥相同的技术规格，脚档除外。在B型干舷船上，如舱口围板和舱口盖（关闭时）的总高度不小于1m，且舱口之间设有两排护栏，则可以认为走道的一边由舱口围板栏构成。

注：（1）位于或靠近船舶中心线，或安装在船舶中心线上或中心线附近的舱口上。

（2）安装在船舶每一侧。

（3）安装在船舶一侧，但不论哪一侧都应符合规定。

（4）只能安装在船舶一侧。

（5）安装在舱口任意一侧，尽可能靠近中心线。

（6）在所有设置了钢丝绳的情况下，应提供能保持绳索张紧度的适当装置。

（7）提供可越过障碍物（诸如管道或其他永久性的装置）的通道设施。

（8）通常，步桥或走道的宽度不应超过1. 5m。

如相关船旗国主管机关有具体协议，以上规定的部分或全部允许出现偏差。

3 支撑结构和结构附体

3.1 甲板设备支撑结构

3.1.1 一般要求

3. 1. 1. 1 属于甲板设备和属具的支撑结构（如 3. 1. 2 至 3. 1. 7 所列）的资料应提交批准。

3. 1. 1. 2 本小节内容包括对下列设备和配件的支撑结构和基座的尺度要求：

（a）锚机；

（b）掣链器；

（c）系泊绞车；

（d）甲板起重机，吊杆和起重柱；

（e）应急拖带布置；

（f）系缆桩和缆柱，导缆器，立式滚轮，导缆孔和绞盘；

（g）其他需特别认可的甲板设备和配件；

（h）各种不需特别认可的甲板配件。

3. 1. 1. 3 如甲板设备可能遇到多种载荷工况，如作业载荷和上浪载荷，评估基座和支撑结构的强度时应独立施加作业载荷和上浪载荷。

3.1.2 锚机和掣链器的支撑结构

3. 1. 2. 1 锚机应有效地放置并固定在甲板上。锚机和掣链器所在甲板的厚度应与甲板附件的设计相适应。

3. 1. 2. 2 除了应符合 3. 1. 2. 6 的要求外，造船厂和锚机制造商应确保基座适合于锚机设备的安全作业和维修。

3. 1. 2. 3 破断强度系指锚链的最小破断强度。

3. 1. 2. 4 以下图纸和资料应提交批准：

（a）锚机支撑结构详图；

（b）锚机基座设计详图，包括底角螺栓和基座与甲板连接的材料明细表；

（c）掣链器基座设计的详细说明，包括材料明细表以及基座与甲板的连接详图。

3. 1. 2. 5 同时还应提交以下支持性材料：

（a）锚泊设备的一般布置图；

（b）3. 1. 2. 8 和 3. 1. 2. 9 中定义的设计载荷和相关的作用在基座和支撑结构上的反力。

3. 1. 2. 6 应正确设定支撑结构的尺度，以确保 3. 1. 2. 8 和 3. 1. 2. 9 中规定的每项工况中，支撑结构上所计算出的应力均应不超过 3. 1. 2. 15 至 3. 1. 2. 18 中的许用应力水平。

3. 1. 2. 7 基于使用总尺度的弹性梁理论、二维板架或有限元分析计算法，采用简化的工程分析方法评定这些要求。

3. 1. 2. 8 如合适，校核下列载荷工况下的锚泊作业情况：

（a）锚机（带掣链器）：破断强度的 45%；

（b）锚机（不带掣链器）：破断强度的 80%；

（c）掣链器：破断强度的 80%。

破断强度的定义见 3. 1. 2. 3。

3. 1. 2. 9 校核船首 0.25L 处因上浪而产生设计载荷的工况中，应单独施加以下各项作用力，见图 11.3.1：

P_x=200A_x kN，作用于垂直于轴线方向

P_y=150A_{yf} kN，作用于平行于轴线方向（分别核查舷内侧或舷外侧两个方向）

式中：A_x——投影正面面积，m^2；

A_y——投影侧面面积，m^2：

f= 1+ B_w/H，但应不大于 2. 5

B_w——测得平行于轴线的锚机宽度，m。见图 11. 3. 1；

H——锚机最大高度，m。见图 11. 3. 1。

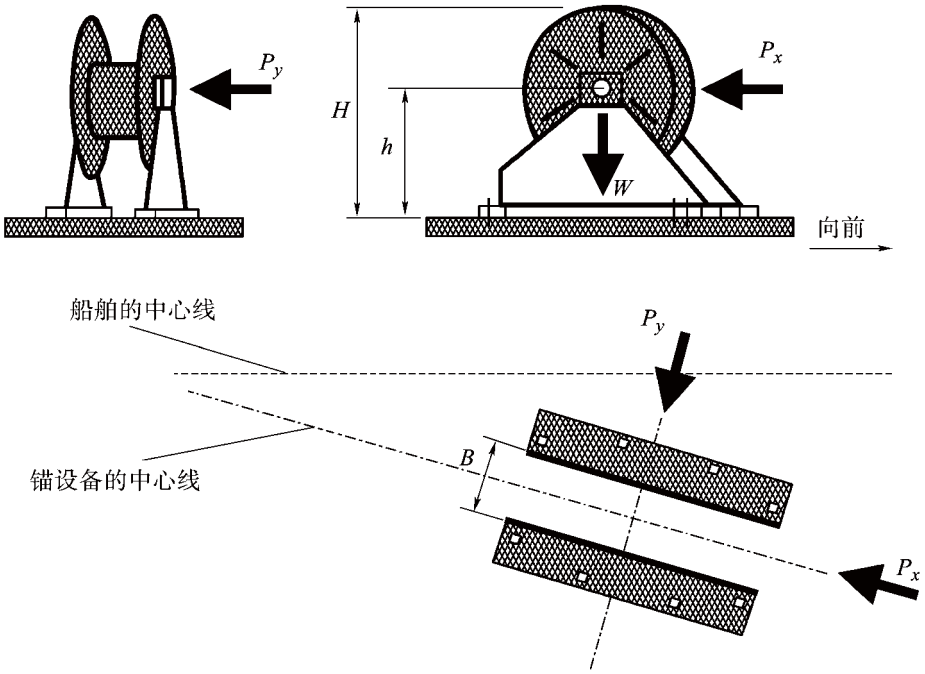


图 11. 3. 1 外力和重力的作用方向

3. 1. 2. 10 应计算上浪设计载荷作用于将锚机固定在甲板上的螺栓、楔块及限位块上的作用力。锚机由 N 个螺栓组固定，每个螺栓组又包含一个或多个螺栓。见图 11. 3. 2。

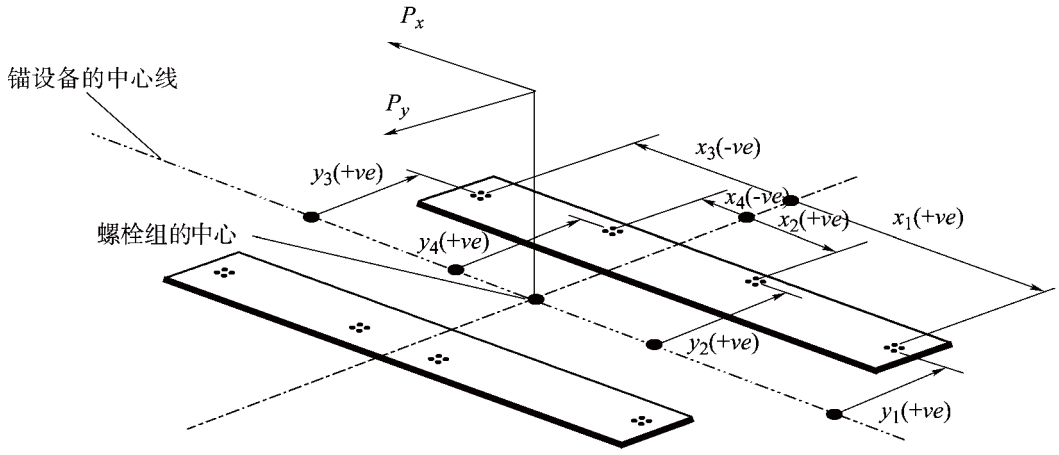


图 11. 3. 2 螺栓布置和符号约定

3.1.2.11 螺栓组（或螺栓）的轴向力 R_{xi} 和 R_{yi}，正值为拉力，可按下式计算：

$$R_{xi}=P_x h_{xi} A_i / I_x$$

$$R_{yi}=P_y h_{yi} A_i / I_y$$

$$R_i=R_{xi}+R_{yi}-R_{si}$$

式中：P_x——垂直于轴线的作用力，kN；

P_y——平行于轴线的作用力，舷内侧或舷外侧，取较大者，kN；

h——锚机中心轴线离安装平面的高度，cm，见图 11.3.1；

x_i，y_i——第 i 个螺栓组到所有 N 个螺栓组的中心的 x 和 y 方向的坐标，cm，作用力的相反方向为正值；

A_i——螺栓组 i 所有螺栓横剖面面积之和，cm^2；

$I_x=\Sigma A_i x_i^2$ 对 N 个螺栓组，cm^4；

$I_y=\Sigma A_i y_i^2$ 对 N 个螺栓组，cm^4；

R_{si}——由锚机重量作用在第 i 个螺栓组上的静反力，kN。

3.1.2.12 作用在第 i 个螺栓组上的剪切力 F_{xi} 和 F_{yi}，以及合成力 F_i，可按下式计算：

$$F_{xi}=（P_x-C_1 gm）/\mathrm{N}$$

$$F_{yi}=（P-C_1 gm）/\mathrm{N}$$

$$F_i=\sqrt{F_{xi}^2+F_{yi}^2}$$

式中：C_1——摩擦系数，$C_1=0.5$；

m——锚机质量，t；

g——重力加速度，$9.81 m/s^2$；

N——螺栓组数量。

3.1.2.13 由 3.1.2.8 和 3.1.2.9 中规定的作用载荷产生的合力应在支撑结构的设计中加以考虑。

3.1.2.14 如锚机刹车有独立的基座，在 3.1.2.8 中定义的载荷工况（a）和（b）中均使用了制动刹车的假设下进行合力分布计算。

3.1.2.15 作用于支撑结构上、来自锚泊作业设计载荷的应力，根据总厚度计算，应不大于以下许用数值：

正应力 $1.00\sigma_{yd}$

剪切应力 $0.58\sigma_{yd}$

式中：σ_{yd}——规定的最小的材料屈服应力，N/mm^2。

正应力是弯曲应力和轴向应力之和，相应的剪应力与正应力垂直。

3.1.2.16 各个螺栓组中单个螺栓的由上浪设计载荷而产生的轴向拉伸应力不应大于上述作用力下螺栓验证强度的 50%。载荷应作用在锚链的方向。如紧配螺栓设计成可以承受一个方向或双向剪切力，则 von Mises 等效应力应不大于螺栓验证强度的 50%。

3.1.2.17 由上浪设计载荷 F_{xi} 和 F_{yi} 引起的水平作用力可能会受到剪切楔块的反作用力。底角布置中如采用了浇注环氧树脂，则计算时应适当考虑。

3.1.2.18 作用于支撑结构上、来自上浪设计载荷的应力，根据总厚度计算，应不大于以下许用数值：

正应力 $1.00\sigma_{yd}$

剪切应力 $0.58\sigma_{yd}$

式中：σ_{yd}——规定的最小的材料屈服应力，N/mm^2。

正应力是弯曲应力和轴向应力之和，相应的剪应力与正应力垂直。

3.1.3 系泊绞车的支撑结构

3.1.3.1 系泊绞车应有效地放置并固定在甲板上。系泊绞车所在甲板的厚度应与甲板附件的设计相适应。

3.1.3.2 除了应符合 3.1.3.6 的要求外，造船厂和系泊绞车制造商应确保基座适合于系泊绞车设备的安全作业和维修。

3.1.3.3 额定拉力系指系泊绞车在正常作业中所能施加的最大载荷，应在系泊绞车基座 / 支座图上载明。

3.1.3.4 支持载荷系指系泊绞车设计的在正常作业中能承受的最大载荷，可被视作设计制动力或等效载荷，应在系泊绞车基座 / 支座图上载明。

3.1.3.5 以下图纸和资料应提交批准：

（a）系泊绞车支撑结构详图。

（b）系泊绞车基座设计详图，包括底角螺栓和基座与甲板连接的材料明细表；

（c）3.1.3.8 和 3.1.3.9 中定义的设计载荷和相关的作用在基座和支撑结构上的反力。

3.1.3.6 支撑结构的尺度应确保 3.1.3.8 和 3.1.3.9 中规定的每种载荷工况中，支撑结构上所计算出的应力分别不超过 3.1.3.13 至 3.1.3.14 中允许的应力水平。

3.1.3.7 基于使用净尺度的弹性梁理论、二维板架或有限元分析方法，采用简化的工程分析方法评定这些要求。

3.1.3.8 校核以下各项载荷工况中因系泊作业而产生的设计载荷：

（a）系泊绞车最大拉力：100% 的额定拉力；

（b）带有效制动的系泊绞车：100% 的支持载荷；

（c）缆索强度：表 11.4.2 要求的对应于船舶舾装数的系索（缆索）破断强度的 125%。

额定拉力和支持载荷的定义见 3.1.3.3 和 3.1.3.4。设计载荷应按系泊布置图所示布置通过系索施加。

3.1.3.9 位于船首 0.25L 以内的系泊绞车，同样适用 3.1.2.9 中所述的上浪载荷工况。

3.1.3.10 位于船首 0.25L 以内的系泊绞车，螺栓上由于上浪设计载荷而产生的合力应根据 3.1.2.10 至 3.1.2.12 的要求进行计算。

3.1.3.11 3.1.3.8 和 3.1.3.9 中规定的作用载荷产生的合力应在支撑结构的设计中加以考虑。

3.1.3.12 如系泊绞车的刹车有独立的基座，计算合力的分布应考虑不同的载荷路径。且认为制动闸只和考虑 3.1.3.8，载荷工况（b）中相关的作用力。

3.1.3.13 作用在支撑结构上、由系泊作业设计载荷产生的应力，不应大于 3.1.2.15 中给定的数值。

3.1.3.14 位于船首 0.25L 以内的系泊绞车，作用在螺栓和支撑结构上，由上浪设计载荷产生的应力，应不大于 3.1.2.16 至 3.1.2.18 中给定的数值。

3.1.4 起重机、吊杆和起重柱的支撑结构

3.1.4.1 安全工作载荷大于 30kN，或作用于支撑结构的最大倾覆力矩超过 100kN·m 的起重机、吊杆和起重柱的支撑结构，应符合以下要求。

3.1.4.2 这些要求适用于甲板和起重机、吊杆和起重柱支撑结构的连接。如起重机、吊杆和起重柱已经船级社检验发证的，则还应符合各船级社的附加要求。

CCS3.1.4.2 这些要求适用于甲板和起重机、吊杆和起重柱支撑结构的连接。如起重机、吊杆和起重柱已经船级社检验发证的，则还应符合 CCS《船舶与海上设施起重设备规范》的附加要求。

3.1.4.3 这些要求不包括以下项目：

（a）工作人员或乘客使用的起重设备的支撑结构，见 3. 1. 7. 5；

（b）甲板连接区域以上起重设备基座或桅杆的结构；

（c）被视为起重设备一部分的底角螺栓及其布置。

3. 1. 4. 4　起重设备系指起重机、吊杆和起重柱。

3. 1. 4. 5　安全工作载荷系指在任何规定的变幅长度范围内、起重设备可起升的最大载荷。

3. 1. 4. 6　自重系指计算起重设备的总重量，包括任何起重零部件的重量。

3. 1. 4. 7　倾覆力矩系指起重设备在安全载荷下作业，起重设备与船舶结构连接处所计算得出的最大弯矩，应考虑变幅长度和自重的影响。

3. 1. 4. 8　起重机基座和吊杆桅杆的定义见图 11. 3. 3。

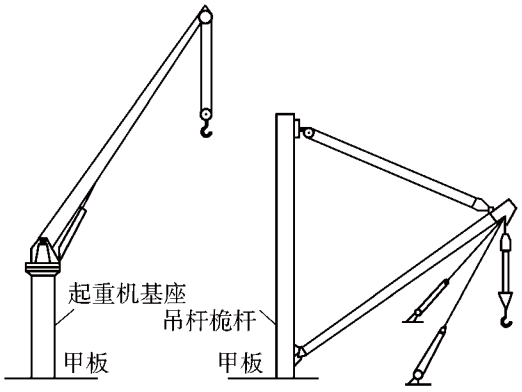


图 11. 3. 3　起重机基座和吊杆桅杆

3. 1. 4. 9　以下图纸和资料应提交批准：

（a）起重设备支撑结构，包括与甲板连接的详图；

（b）安全工作载荷、自重、垂直反作用力以及起重设备支撑结构上的最大倾覆力矩的详图；

（c）近海作业时，使用起重设备时的最差海况。

3. 1. 4. 10　同时还应提交以下支持性材料：

（a）起重机 / 吊杆 / 起重柱的一般布置图。

3. 1. 4. 11　甲板板和甲板下结构应为吊杆桅杆提供足以承受计算的垂直载荷及最大倾覆力矩的充分支撑。在甲板穿透处，甲板板应适当加强。

3. 1. 4. 12　甲板板和甲板下结构应为起重机基座提供足以承受垂直载荷及最大倾覆力矩的充分支撑。

3. 1. 4. 13　通常应保持甲板结构的结构连续性，并且设置大的甲板下构件以支撑起重机基座。

3. 1. 4. 14　根据起重机基座处甲板连接的布置，还应满足以下附加要求：

（a）如基座直接与甲板连接（没有甲板上肘板），则应配备与起重机桅杆对位的适当甲板下结构。如起重机基座与甲板间不设肘板或基座不是连续贯穿甲板，起重机基座及其甲板下支持结构与甲板的焊接应采用适当的全焊透焊接。这可包括采用一种最大钝边为 3 mm 的深熔焊工艺，但该工艺须达到全焊透并因而能在焊接完成后进行超声波分层检测。根据 3. 1. 4. 21，焊接设计应能充分适应焊接部位的计算应力。

（b）如基座直接采用肘板与甲板连接，则应设置甲板下支撑结构，以确保充分的载荷传递，并避免产生结构硬点。上甲板肘板可以安装在基座内部或外部，并与甲板纵桁和横梁对齐。其设计应避免因剖面突变而引起的应力集中。肘板和其他直接承受载荷的结构，以及甲板下支持结构应采用适当的全焊透焊接方法与甲板焊接。这可包括采用一种最大钝边为 3 mm 的深熔焊工艺，但该工艺须达到全焊透并因而能在焊接完成后进行超声波分层检测。此种连接的设计应足以承受 3. 1. 4. 21

规定的应力。

3. 1. 4. 15 甲板板的厚度及材料强度应与起重机基座相适应。必要时可设置加厚的插入板。任何情况下，不应在结构受到拉伸的部位使用复板。

3. 1. 4. 16 支撑结构的尺度，应确保在 3. 1. 4. 18 和 3. 1. 4. 19 中规定的每种载荷工况下，支撑结构的计算应力均不超过 3. 1. 4. 21 中的许用应力水平。

3. 1. 4. 17 基于使用总尺度的弹性梁理论、二维板架或有限元分析方法，采用简化的工程分析方法评定这些要求。

3. 1. 4. 18 对限于港内使用的起重设备，应校核以下载荷方案：

（a）130% 安全工作载荷加起重设备自重。

3. 1. 4. 19 对可以用于近海作业的起重设备，以下各项应提交批准：

（a）使用起重设备时的最差海况；

（b）最恶劣工况下的垂直及水平加速度；

（c）规定设计海况和风环境下的最恶劣风载荷。

所校核的载荷方案应能说明这些环境载荷。作为最低标准，以下载荷方案也应进行校核：

（a）附加于起重设备自重的 150% 安全工作载荷

当起重机驾驶室安装在回转支撑环上时，载荷工况应特殊考虑。

3. 1. 4. 20 应计算对应于 3. 1. 4. 18 和 3. 1. 4. 19 中规定的设计载荷的垂直反作用力和最大倾覆力矩，并将其用于结构评估。

3. 1. 4. 21 基于结构总厚度，支撑结构的作用应力应不大于以下许用值：

$$\text{正应力} \quad 0.67\sigma_{yd}$$

$$\text{剪切应力} \quad 0.39\sigma_{yd}$$

式中：σ_{yd}——规定的最小材料屈服应力，N/mm^2。

正应力是弯曲应力和轴向应力之和，相应的剪应力与正应力垂直。

3. 1. 4. 22 同时还应确保支撑结构具备抗屈曲失效的能力。

3. 1. 5 应急拖带装置的支撑结构

3. 1. 5. 1 根据海上安全委员会 MSC35（63）号决议，载重量大于或等于 20000t 的油船应在其两端安装应急拖带装置。

3. 1. 5. 2 IMO MSC35（63）号决议中关于应急拖带装置的安全工作载荷规定如下：

（a）载重量大于或等于 20000t，但小于 50000t 的船舶，取 1000kN；

（b）载重量大于或等于 50000t 的船舶，取 2000kN。

3. 1. 5. 3 以下图纸应提交批准：

（a）应急拖带装置支撑结构图，包括与甲板连接的详图。

3. 1. 5. 4 同时还应提交以下支持性资料：

（a）能明确表示载荷作用位置及方向的详细说明的应急拖带装置详图。

3. 1. 5. 5 船上强力端和导缆孔处的甲板最小总厚度应为 15mm。

3. 1. 5. 6 结构布置应保持强度连续性。

3. 1. 5. 7 应急拖带装置所在的船舶结构的结构布置应避免形状和剖面的突变，以便最大限度地减少应力集中。应尽量避免尖锐的转角或切口，尤其是在应力较大区域。

3. 1. 5. 8 支撑结构的尺度应确保在 3. 1. 5. 10 和 3. 1. 5. 11 中规定的载荷工况下，支撑结构的计算应力均不超过 3. 1. 5. 12 中允许的应力水平。

3. 1. 5. 9 基于使用总尺度的弹性梁理论、二维板架或有限元分析方法，采用简化的工程分析方法评定这些要求。

3. 1. 5. 10 强力端和属具与甲板相连部分及其支撑结构的设计载荷应为安全工作载荷的两倍。

3. 1. 5. 11　结构计算应考虑采用设计载荷的实际作用线，另外还应考虑所提议的特殊布置。见 IMO MSC35（63）号决议。

3. 1. 5. 12　3. 1. 5. 10 和 3. 1. 5. 11 中规定的设计载荷作用于强力受力点和导缆孔所在支撑结构和焊接点上按总厚度计算的应力，应不大于以下许用值：

正应力　$1.00\sigma_{yd}$

剪切应力　$0.58\sigma_{yd}$

式中：σ_{yd}——规定的最小材料屈服应力，N/mm^2。

正应力是弯曲应力和轴向应力之和，相应的剪应力与正应力垂直。

3. 1. 5. 13　同时还应确保支撑结构具备抗屈曲失效的能力。

3. 1. 6　系缆桩和缆柱，导缆器，立式滚轮，导缆孔和绞盘的支撑结构

3. 1. 6. 1　通常，用于系泊与拖带（3. 1. 5 规定的以外）船舶的船用舾装件（系缆桩和缆柱，导缆器，立式滚轮，导缆孔和绞盘）应使用特殊设计的基座或附件安装在甲板或舷墙结构上。

3. 1. 6. 2　应避免船用舾装件附着在舷顶列板或舷顶列板伸出部位，要求见 第 8/2. 2. 5. 2 节和第 8/2. 2. 5. 3 节。

3. 1. 6. 3　如导缆孔安装在舷墙上并且承受高的系索或拖索载荷时，需要增加舷墙的板厚。参见 2. 1. 2。

3. 1. 6. 4　以下图纸应提交批准：

（a）船用舾装件和绞盘布置的支撑结构详图，包括船用配件与甲板基座的连接。

3. 1. 6. 5　还应提交以下支持资料：

（a）船用舾装件和绞盘的详图，包括安全工作负荷与足以使载荷作用位置与方向明确的布置。

3. 1. 6. 6　结构布置应保持强度的连续性。

3. 1. 6. 7　船用舾装件及其基座所在的船舶结构的结构布置应避免形状和剖面的突变，以便最大限度地减少应力集中。应尽量避免尖锐的转角或切口，尤其是在应力较大区域。

3. 1. 6. 8　应正确设定支撑结构的尺度，以确保在 3. 1. 6. 10，3. 1. 6. 11 和 3. 1. 6. 12 规定的载荷下，支撑结构的计算应力均不超过 3. 1. 6. 13 允许的应力水平。

3. 1. 6. 9　应采用基于使用净尺度的弹性梁理论、二维板架或有限元分析方法的简化工程分析方法来评估这些要求。所要求的总厚度通过要求的净厚度加上第 6 节 /3 规定的全部腐蚀增量获得。

3. 1. 6. 10　船用舾装件及其基座与甲板及其支撑结构相连部分的设计载荷应基于适用特定舾装件及其预定用途的下列线载荷要求的较大值：

（a）用于在港内或调遣的正常拖带操作，应为拖带与系泊布置图上标明的最大拖索负荷的 125%，或

（b）对于在港内或调遣以外的其他拖带服务，如伴航服务，应为基于舾装数的表 11. 4. 2 要求的拖索的公称破断强度，或

（c）对于系泊操作，应为对应于船舶舾装数表 11. 4. 2 要求的系索（缆索）或拖索的公称破断强度的 125%。

3. 1. 6. 11　对绞盘支撑结构的设计负荷应基于：

（a）125% 最大拖拉载荷。

3. 1. 6. 12　结构计算应考虑采用设计载荷的实际作用线，另外还应考虑所提议的特殊布置，但 3. 1. 6. 10 描述的拖带与系泊情况时施加的所有负荷，不需超过系索或拖索设计负荷的 2 倍。在船用舾装件载荷作用点应为系索或拖索的附着点或方向改变处。

3. 1. 6. 13　在 3. 1. 6. 10，3. 1. 6. 11 和 3. 1. 6. 12 规定的设计载荷作用下，支撑结构和焊接点上的应力，按净厚度计算，应不大于以下许用值。所要求的总厚度通过要求的净厚度加上第 6 节 /3 规定的全部腐蚀增量获得。

正应力 $1.00\sigma_{yd}$

剪切应力 $0.60\sigma_{yd}$

式中：σ_{yd}——规定的最小材料屈服应力，N/mm^2。

正应力是弯曲应力和轴向应力之和，相应的剪应力与正应力垂直。

3.1.6.14 同时还应确保支撑结构具备抗屈曲失效的能力。

3.1.6.15 以下关于安全工作负荷的要求适用于 1 根缆索用 1 个绳圈缠绕于单个缆桩的基本型式。

（a）用于正常拖带操作（如在港内或调遣）的安全工作负荷应不超过 3.1.6.10（a）中设计载荷的 80%，而用于其他拖带操作（如伴航）的安全工作负荷应不超过 3.1.6.10（b）中的设计载荷。对用于正常拖带或其他拖带操作的甲板配件，应取 3.1.6.10（a）和 3.1.6.10（b）中设计载荷的较大值。

（b）对于系泊操作的安全工作负荷应不超过 3.1.6.10（c）中设计载荷的 80%。

（c）每一甲板配件的安全工作负荷应标记（焊点或等效方法）在用于拖带或系泊的甲板配件上。

（d）3.1.6.16 描述的拖带与系泊布置图应定义拖索和 / 或系索的使用方法。

3.1.6.16 每个甲板配件预定用途的安全工作负荷应在拖带与系泊布置图上注明，该布置图应配备在船上指导船长。提供的布置图应包括的每个甲板配件的信息：

（a）船上位置；

（b）配件型号；

（c）SWL；

（d）用途（系泊 / 港区拖带 / 伴航拖带）；及

（e）施加拖带或系泊载荷的方法，包括角度变化的限制。

信息应具体反映在引航员卡中，为引航员提供港区 / 伴航操作的正确信息。

3.1.7 其他需要提交特别认可的甲板设备或配件的支撑结构

3.1.7.1 以下要求是关于 3.1.2 至 3.1.6 中未涉及的甲板设备的其他项目。他们应提交批准并且通常被安装在油船的甲板上。此类设备支撑结构的尺度和布置应符合以下要求及各船级社的附加要求。

3.1.7.2 本小节中未提及的支撑结构将由各船级社自行校核。

3.1.7.3 以下细节应提交批准。它们可以分别说明或包括在主要结构图纸中：

（a）标明甲板设备 / 舾装件的支撑结构的图纸；

（b）甲板设备 / 舾装件施加于结构上的载荷受力情况。

3.1.7.4 应布置支撑结构用以抵御作用于甲板结构上平面内和平面外载荷。

3.1.7.5 供工作人员使用的起重设备应提供如下支撑：

（a）一般，救生装置（救生艇，救生筏和救助艇）应安装在特制的支架、基座或专用机械上。施加于船舶结构上的设计载荷应由救生装置的供应商进行确定。

（b）支撑结构应充分满足设计载荷要求。应局部加强和局部增加板厚度。还可要求配备深支撑构件。如适用时，应符合附加的国家和国际规则的要求。

（c）在升降运行设备的锚泊点所在位置应设置船员升降机的支撑结构。

（d）在舷梯的锚泊点所在位置应设置登乘梯（舷梯）的支撑结构。

3.1.7.6 对安装在桅杆上助航设备的支撑结构规定如下：

（a）桅杆应以舱壁、高腹板横梁或纵桁的形式布置足够的主支撑构件。这类构件应布置在桅杆结构以下或附近。

（b）为把载荷从桅杆结构传递至主支撑构件，在桅杆与甲板形成连接的桅杆结构以下位置应布置甲板下加强构件。

（c）可要求增加甲板的厚度以保证焊接连接处的厚度足够。

3.1.7.7 挡浪板支撑结构应设计为其所能承受的设计载荷应和挡浪板自身所能承受的设计载荷相等。恰当的设计是能将载荷从挡浪板传递至船舶的主支撑构件。与甲板形成连接的挡浪板结构所在甲

板下应设置有效加强结构。

3.1.8 其他不需提交认可的各类甲板舾装件的支撑和连接

3.1.8.1 在设计船舶其他舾装件的支撑结构和连接时应考虑以下一般要求。这些其他装置作用于船舶结构上的载荷相对较小，且他们不必经过特别批准。此类设备的具体布置图纸不必提交船级社批准。

3.1.8.2 支撑结构的位置布置，应使其与船舶结构的连接不受甲板开口和应力集中（如端部肘板的趾端）的影响。支撑结构的设计应该尽可能减少与甲板连接产生的硬点。

3.1.8.3 货油总管支撑件系指一配套的、预装的组件，设计用于支撑船舶装载和卸载时使用的主管道系统。货油总管支撑结构的设计应该具有在船舶装载和卸载货油时，分散作用于管道系统上载荷的作用。为此，货油总管支撑结构与甲板的连接通常布置在与主船体结构加强构件并排的位置上。如此布置方式不可行，应安装附加加强构件以避免出现硬点。另外，还要注意形成甲板连接的结构的具体设计，以尽可能减少剖面变化带来的影响。

3.2 进坞

3.2.1 进坞布置

3.2.1.1 本篇明确不涵盖关于干船坞自身的布置。

3.2.1.2 底部纵桁的结构应充分加固，以便承受进干船坞时所受的作用力。

3.2.1.3 对于船型较特殊的船舶，或者船东对进坞强度有特殊要求的，造船厂可能需要进行附加计算。此类计算不在入级范围内，但一旦提出需求，也可进行审核。

3.2.2 进坞平面图

3.2.2.1 建议提供船舶的进坞平面图。进坞平面图应说明所有设计过程中作出的任何或全部假定，包括（但不仅限于）坞墩的布置、进坞时允许的最大装载量以及每个坞墩上相应的载荷。

3.2.2.2 进坞平面图不作为入级条件，并不需经船级社批准。

注：建议船底塞不要安装在龙骨板上。

3.3 舭龙骨

3.3.1 建造和材料

3.3.1.1 舭龙骨材料的拉伸性应和与其连接的舭列板的材料一致。

3.3.1.2 与如图 11.3.4 所示不同设计的舭龙骨，应特别考虑。

3.3.1.3 应提交所有舭龙骨的平面图，以批准舭龙骨的材料强度和等级、焊接连接和设计细节。

3.3.1.4 单腹板舭龙骨的设计应保证在船体复板失效前舭龙骨腹板先失效。通常，保证舭龙骨腹板厚度不超过复板厚度，就可满足该要求。

3.3.2 复板

3.3.2.1 如安装了舭龙骨，则应使用复板或双层板将其固定在外板上，见图 11.3.4 和图 11.3.5。通常复板应连续。

3.3.2.2 复板的总厚度应不小于舭列板的总厚度，或 14mm，取小者。

3.3.2.3 复板的材料强度应和与之相连的舭列板相同，且钢级应和第 6/1.2 节、表 6.1.2 及表 6.1.3 给出的舭列板钢级相同。

3.3.3 端部细节

3.3.3.1 舭龙骨的端部应适当削斜并终止于内部支撑构件处。符合本小节要求的典型布置如图 11.3.5 所示。其他端部布置如与之等效，则认为可以接受。

3.3.3.2 复板和舭龙骨的端部应当削斜或打磨。如端部削斜，则斜度应渐进，最小比例为 3 ： 1，如图 11.3.5（a），11.3.5（b），11.3.5（d）和 11.3.5（e）。如端部打磨，细节如图 11.3.5（c）中所示。“A”区以内舭龙骨腹板不允许开口，“A”区如图 11.3.5（b）和 11.3.5（e）所示。

3.3.3.3 舭龙骨腹板端部距离复板端部应不小于 50mm，但不大于 100mm。见图 11.3.5（a）和

11.3.5（d）。

3.3.3.4 在舭龙骨腹板端部和舭龙骨腹板端部与复板端部中点之间应设置一个内部横向支撑构件。见图 11.3.5（a），11.3.5（b），11.3.5（c）。

3.3.3.5 如内部设置一根与舭龙骨腹板对准的纵向扶强材，则扶强材应向前后至少延伸至“A”区中最近的横向构件，见图 11.3.5（b）和 11.3.5（e）。在这种情况下，3.3.3.4 对内部横向支撑构件的要求不适用。

3.3.4 焊接

3.3.4.1 根据表 11.3.1，复板与外板的连接应采取连续角焊，舭龙骨与复板的连接采取轻连续角焊。

3.3.4.2 舭龙骨和复板的对接焊缝应彼此远离，与外板的对接缝也应错开。通常，复板位置的外板对接缝应磨平，舭龙骨位置的复板对接缝也应磨平。应避免复板对接焊缝与外板的对接焊缝直接连接和舭龙骨对接焊缝与复板的对接焊缝直接连接。

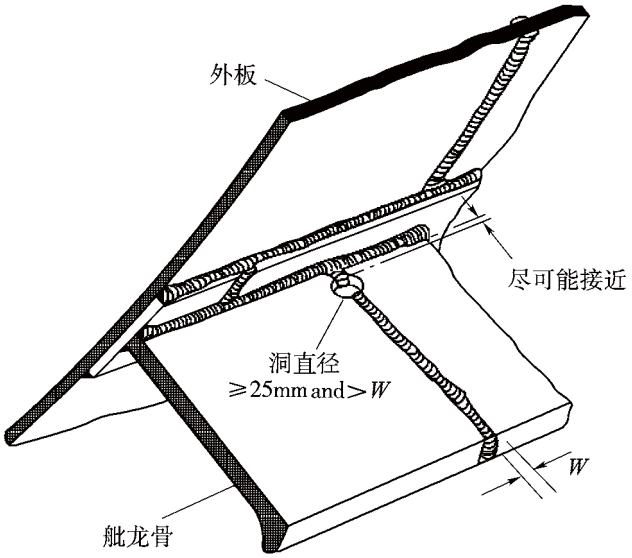


图 11.3.4 舭龙骨构造

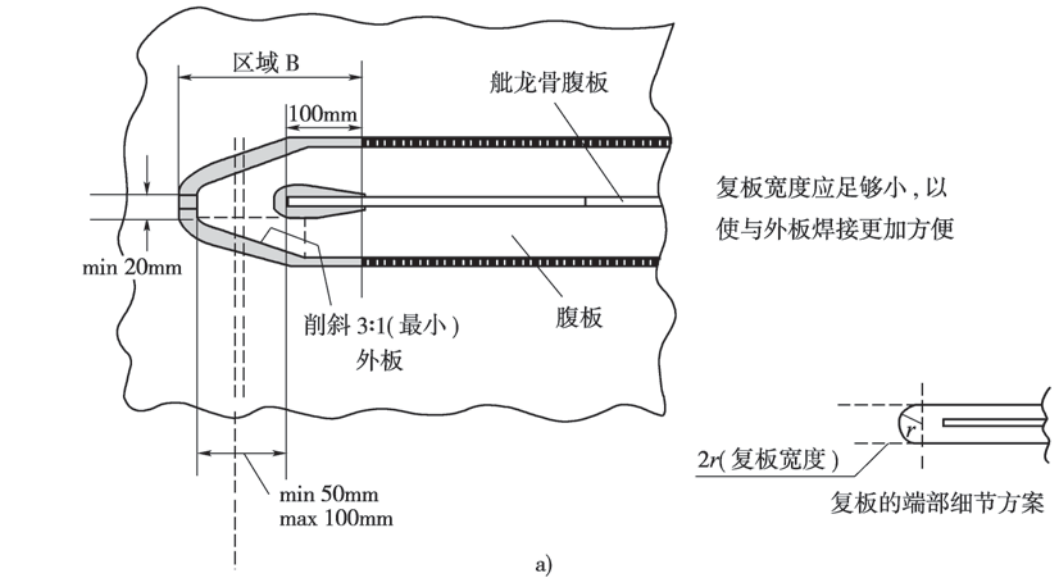
3.3.4.3 舭龙骨对接焊缝通常不采用扇形孔和切口。在舭龙骨对接焊缝上的止裂孔应尽可能靠近复板，洞孔应大于对接焊缝的宽度，且直径最小为 25mm，如图 11.3.4 所示。如对接焊缝已采用无损检测，则不必开止裂孔。

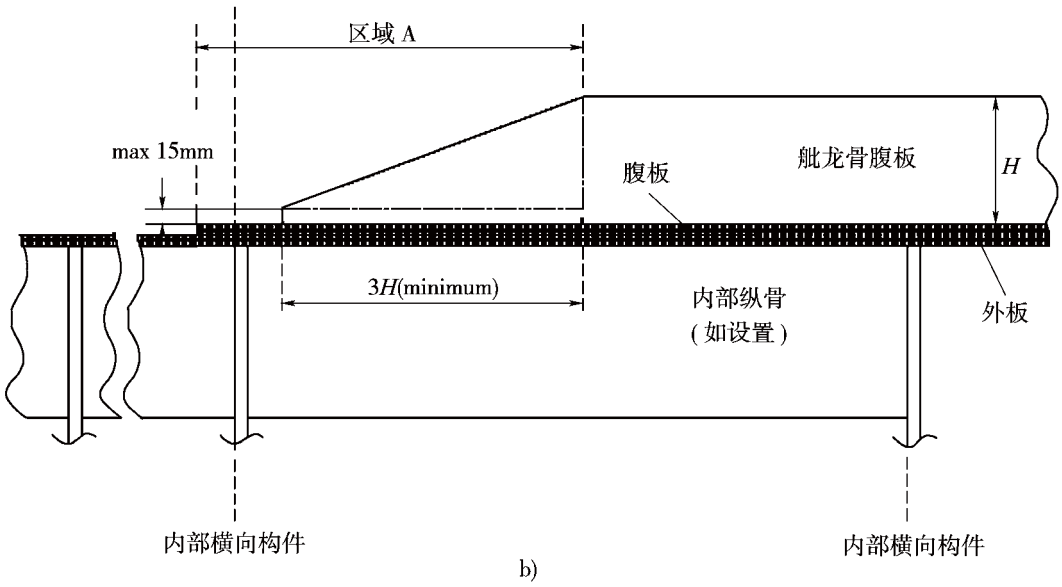
3.3.4.4 “B”区，见图 11.3.5（a）和 11.3.5（d），位于复板和外板的焊缝端部以及舭龙骨腹板和复板连接处端部的焊喉应符合表 11.3.1 给定的“端部”值。焊趾应打磨，以使其与母材平整连接。

舭龙骨端部的焊接要求 **表 11.3.1**

连接的结构构件	焊喉高度，mm	
	端 部	其 他 部 位
复板与外壳连接	0.44 t_{grs}	0.34t_{grs}
舭龙骨与复板连接	0.34t_{grs}	0.21t_{grs}

表中：t_{grs}——连接构件的总厚度，mm。





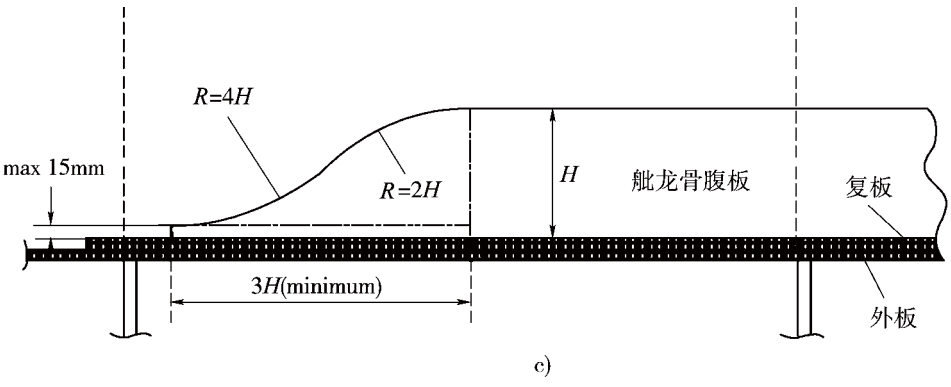
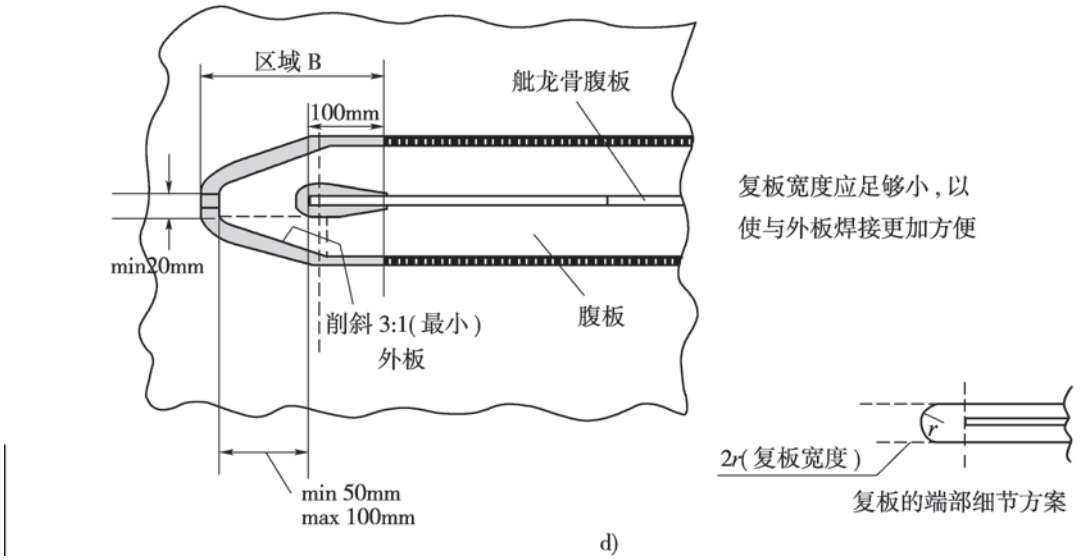


图 11.3.5 a）～c）舭龙骨端部设计



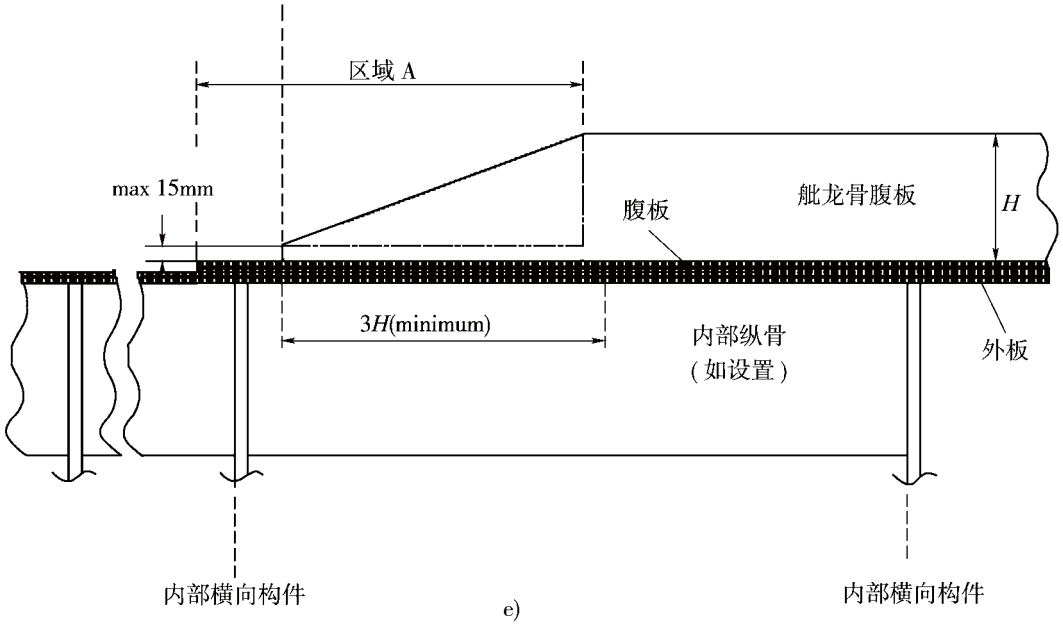


图 11.3.5 d）～e）舭龙骨端部设计

4 舾装

4.1 舾装数计算

4.1.1 要求

4.1.1.1 锚和锚链应符合表 11.4.1 的规定，并且其数量、质量和尺寸应取决于舾装数（*EN*），由下求得：

$$EN=\Delta^{2/3}+2Bh_{dk}+0.1A$$

式中：

Δ——型排水量，t，定义见第 4/1.1.7.1 节；

B——型宽，m，定义见第 4/1.1.3.1 节；

h_{dk}——如图 11.4.1 中所示 $h_{FB}+h_1+h_2+h_3$，在 h 的计算中，舷弧、梁拱和纵倾忽略不计；

h_{FB}——船舶中部夏季载重水线的干舷，m；

h_1，h_2，$h_3\cdots h_n$——宽度大于 $B/4$ 的甲板室每一层中心线上的高度，m；

A——夏季载重水线以上（长度 L 以内）的船体、上层建筑和甲板室的侧面面积，m^2。不包括在任意点上宽度等于或小于 $B/4$ 的上层建筑或甲板室。关于 A 的确定，如挡风板或舷墙的高度超过 1.5m，A 包含图 11.4.2 中所示的 A_2 面积；

L——规范船长，定义见第 4/1.1.1.1 节。

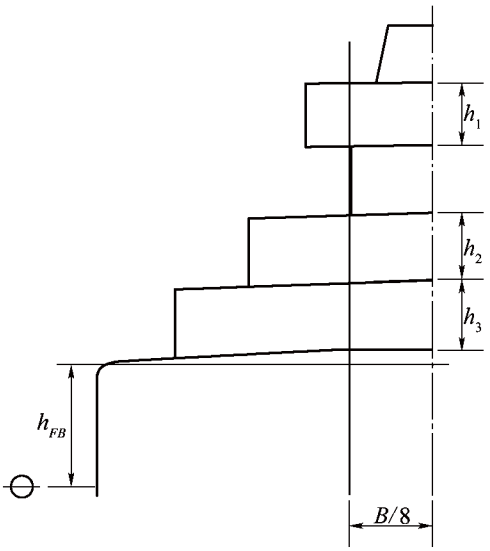


图 11.4.1　甲板室的有效高度

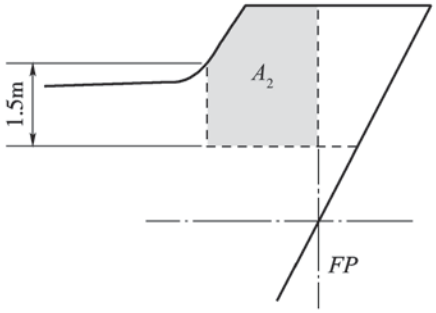


图 11.4.2　挡风板和舷墙侧面面积

4.2　锚和系泊设备

4.2.1　一般要求

4.2.1.1　以下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内或遮蔽水域的船舶。

4.2.2　限制

4.2.2.1　规定的设备不是设计成供船舶在恶劣天气下处于完全开敞的远离海岸的水域中，或在行进或漂移中系住船舶之用。在此情况下，锚泊设备上载荷的增加将可能导致部件受损或失落。

4.2.2.2　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。

4.2.3　假定

4.2.3.1　所要求锚泊设备的舾装数（EN）公式基于水流速度为 2.5m/s、风速为 25m/s、锚链的范围在 6~10 之间的假定。锚链的范围系指抛出锚链的长度与水深之比。

4.2.3.2　假定在正常情况下，一艘船舶一次只使用一个首锚和一条锚链。

4.2.4 文件

4.2.4.1 以下图纸和详细数据应提交批准：

（a）舾装数计算；

（b）设备清单，包括锚的类型、锚链等级、钢丝绳及纤维绳的型号与破断负荷；

（c）如锚不同于标准类型或之前已获批准的锚类型，则应提交锚的设计图纸，包括材料明细表；

（d）锚机设计图纸，包括锚链升降机、轴、离合器以及制动器的材料明细表；

（e）掣链器的设计与材料明细表；

（f）应急拖带、拖带与系泊布置与适用的安全工作负荷数据以及其他配备在船上供指导船长的应急拖带与系泊布置相关的资料。

4.2.5 锚

4.2.5.1 两个首锚应与锚链连接，并存放在便于随时取用的位置。

4.2.5.2 建议配备一个备用首锚，仅作为指导性要求，不作为入级的条件。

4.2.5.3 锚的设计应经过批准。锚头的设计应最大限度地减少应力集中。特别是铸造锚头上所有部件的半径应尽可能大，尤其是有较大变化的剖面。

4.2.5.4 表 11.4.1 中给出的首锚的单个锚质量针对的是同等质量的锚。单个锚的质量差可以在表列数值的正负 7% 以内，所有锚的质量总和不小于要求的锚质量的总和。

4.2.6 普通锚

4.2.6.1 这类锚属于无杆锚。无杆锚的锚头质量，包括梢子和转轴在内，应不小于整个锚质量的 60%。

4.2.7 大抓力锚

4.2.7.1 经船东同意，可以考虑使用特殊型号的锚。经试验证明锚的抓力增加，则可以适当减少基本要求中对于锚质量的要求，最多可在表 11.4.1 所规定的质量基础上减少 25%。

4.2.7.2 要求批准为大抓力锚（HHP）的锚应在海上进行测试，以证明其抓力为已核准的同质量标准无杆锚的两倍。

4.2.7.3 如要求获得尺寸范围批准的，应至少测试两个锚。其中较小的锚质量不应少于较大锚的 1/10。而所测试的两锚中较大锚的质量不应少于欲提交批准的最大锚的 1/10。

4.2.7.4 每项测试都应包含一组至少两锚之间的比较，即一个普通无杆首锚和一个 HHP 锚。锚的质量应大致相同。

4.2.7.5 测试应在至少 3 种不同类型的海底状况下进行，它们可能是柔软泥地或淤泥，沙地或沙砾，以及硬土或类似的较紧实质地的底质。

4.2.7.6 测试通常采用拖船进行。测试拉力应采用测力机，或最新验证的以推进器每分钟转速为函数的拖船系缆桩拉力数据决定。

4.2.7.7 与锚相连的锚链，其直径应符合对于相关舾装数的要求。测试过程中，每个锚上的锚链应有充分的长度以便能使作用于锚上的拉力大致水平。通常，锚与拖船之间水平距离相当于水深的 10 倍时，则此水平距离应属充分。

4.2.7.8 对于抓力达到 4.2.7.2 中要求的（忽略锚自常规型号的锚链筒抛下时最初沉降到海床上时的角度和位置），大抓力锚的设计应能确保锚有效地抓住海床而不造成不当延误，且保持平稳。

4.2.7.9 对于大抓力锚设计的批准可作为一般认可 / 型式认可，并由船级社列入出版文件中。

CCS4.2.7.9 对于大抓力锚设计的批准可作为一般 / 型式认可，并由 CCS 列入《产品录》中。

4.2.8 锚链

4.2.8.1 要求配备的锚链总长（如表 11.4.1 所示）在两船首锚之间的划分应大致相等。

4.2.8.2 如船东要求设备能在大于 82.5m 的深度抛锚，船东有责任明确指定必要的锚链总长。在此情况下，可以考虑将锚链分为长度不等的两段。

设备—船首锚和锚链 **表 11.4.1**

舾装数		无杆首锚		有档首锚链直径			
多于或等于	少于	锚数量	单个锚质量（kg）	长度（m）	低碳钢（等级1）（mm）	高强度钢（等级2）（mm）	超高强度钢（等级3）（mm）
150	175	2	480	275	22	19	
175	205	2	570	302.5	24	20.5	
205	240	2	660	302.5	26	22	20.5
240	280	2	780	330	28	24	22
280	320	2	900	357.5	30	26	24
320	360	2	1020	357.5	32	28	24
360	400	2	1140	385	34	30	26
400	450	2	1290	385	36	32	28
450	500	2	1440	412.5	38	34	30
500	550	2	1590	412.5	40	34	30
550	600	2	1740	440	42	36	32
600	660	2	1920	440	44	38	34
660	720	2	2100	440	46	40	36
720	780	2	2280	467.5	48	42	36
780	840	2	2460	467.5	50	44	38
840	910	2	2640	467.5	52	46	40
910	980	2	2850	495	54	48	42
980	1060	2	3060	495	56	50	44
1060	1140	2	3300	495	58	50	46
1140	1220	2	3540	522.5	60	52	46
1220	1300	2	3780	522.5	62	54	48
1300	1390	2	4050	522.5	64	56	50
1390	1480	2	4320	550	66	58	50
1480	1570	2	4590	550	68	60	52
1570	1670	2	4890	550	70	62	54
1670	1790	2	5250	577.5	73	64	56
1790	1930	2	5610	577.5	76	66	58

续上表

舾装数		无杆船首锚		有档首锚链直径			
多于或等于	少于	锚数量	单个锚质量（kg）	长度（m）	低碳钢（等级1）（mm）	高强度钢（等级2）（mm）	超高强度钢（等级3）（mm）
1930	2080	2	6000	577.5	78	68	60
2080	2230	2	6450	605	81	70	62
2230	2380	2	6900	605	84	73	64
2380	2530	2	7350	605	87	76	66
2530	2700	2	7800	632.5	90	78	68
2700	2870	2	8300	632.5	92	81	70
2870	3040	2	8700	632.5	95	84	73
3040	3210	2	9300	660	97	84	76
3210	3400	2	9900	660	100	87	78
3400	3600	2	10500	660	102	90	78
3600	3800	2	11100	687.5	105	92	81
3800	4000	2	11700	687.5	107	95	84
4000	4200	2	12300	687.5	111	97	87
4200	4400	2	12900	715	114	100	87
4400	4600	2	13500	715	117	102	90
4600	4800	2	14100	715	120	105	92
4800	5000	2	14700	742.5	122	107	95
5000	5200	2	15400	742.5	124	111	
5200	5500	2	16100	742.5	127	111	97
5500	5800	2	16900	742.5	130	114	100
5800	6100	2	17800	742.5	132	117	102
6100	6500	2	18800	742.5	*	120	107
6500	6900	2	20000	770	*	124	111
6900	7400	2	21500	770	*	127	114
7400	7900	2	23000	770	*	132	117
7900	8400	2	24500	770	*	137	122
8400	8900	2	26000	770	*	142	127

续上表

舾装数		无杆船首锚		有档首锚链直径			
		锚数量	单个锚质量	长度	低碳钢（等级1）	高强度钢（等级2）	超高强度钢（等级3）
多于或等于	少于		（kg）	（m）	（mm）	（mm）	（mm）
8900	9400	2	27500	770	*	147	132
9400	10000	2	29000	770	*	152	132
10000	10700	2	31000	770	*	*	137
10700	11500	2	33000	770	*	*	142
11500	12400	2	33500	770	*	*	147
12400	13400	2	38500	770	*	*	152
13400	14600	2	42000	770	*	*	157
14600	16000	2	46000	770	*	*	162

注：（1）备用锚不包括在所要求锚的数量中。

（2）*表示不适用于该直径锚链等级。

舾装—拖索和缆索　　表 11.4.2

舾装数		拖索钢丝绳或缆绳		系　船　索		
		长度（m）	破断强度（kN）	数量	单个长度（m）	破断强度（kN）
多于或等于	少于					
150	175	180	98.0	3	120	54.0
175	205	180	112.0	3	120	59.0
205	240	180	129.0	4	120	64.0
240	280	180	150.0	4	120	69.0
280	320	180	174.0	4	140	74.0
320	360	180	207.0	4	140	78.0
360	400	180	224.0	4	140	88.0
400	450	180	250.0	4	140	98.0
450	500	180	277.0	4	140	108.0
500	550	190	306.0	4	160	123.0
550	600	190	338.0	4	160	132.0
600	660	190	371.0	4	160	147.0
660	720	190	406.0	4	160	157.0
720	780	190	441.0	4	170	172.0
780	840	190	480.0	4	170	186.0
840	910	190	518.0	4	170	201.0

续上表

舾装数		拖索钢丝绳或缆绳		系 船 索		
多于或等于	少于	长度（m）	破断强度（kN）	数量	单个长度（m）	破断强度（kN）
910	980	190	559.0	4	170	216.0
980	1060	200	603.0	4	180	230.0
1060	1140	200	647.0	4	180	250.0
1140	1220	200	691.0	4	180	270.0
1220	1300	200	738.0	4	180	284.0
1300	1390	200	786.0	4	180	309.0
1390	1480	200	836.0	4	180	324.0
1480	1570	220	888.0	5	190	324.0
1570	1670	220	941.0	5	190	333.0
1670	1790	220	1024.0	5	190	353.0
1790	1930	220	1109.0	5	190	378.0
1930	2080	220	1168.0	5	190	402.0
2080	2230	240	1259.0	5	200	422.0
2230	2380	240	1356.0	5	200	451.0
2380	2530	240	1453.0	5	200	480.0
2530	2700	260	1471.0	6	200	480.0
2700	2870	260	1471.0	6	200	490.0
2870	3040	260	1471.0	6	200	500.0
3040	3210	280	1471.0	6	200	520.0
3210	3400	280	1471.0	6	200	554.0
3400	3600	280	1471.0	6	200	588.0
3600	3800	300	1471.0	6	200	618.0
3800	4000	300	1471.0	6	200	647.0
4000	4200	300	1471.0	7	200	647.0
4200	4400	300	1471.0	7	200	657.0
4400	4600	300	1471.0	7	200	667.0
4600	4800	300	1471.0	7	200	677.0
4800	5000	300	1471.0	7	200	686.0
5000	5200	300	1471.0	8	200	686.0
5200	5500	300	1471.0	8	200	696.0
5500	5800	300	1471.0	8	200	706.0
5800	6100	300	1471.0	8	200	706.0
6100	6500	300	1471.0	9	200	716.0
6500	6900	300	1471.0	9	200	726.0

续上表

舾装数		拖索钢丝绳或缆绳		系 船 索		
多于或等于	少于	长度（m）	破断强度（kN）	数量	单个长度（m）	破断强度（kN）
6900	7400	300	1471.0	10	200	726.0
7400	7900	300	1471.0	11	200	726.0
7900	8400	300	1471.0	11	200	735.0
8400	8900	300	1471.0	12	200	735.0
8900	9400	300	1471.0	13	200	735.0
9400	10000	300	1471.0	14	200	735.0
10000	10700	-	-	15	200	735.0
10700	11500	-	-	16	200	735.0
11500	12400	-	-	17	200	735.0
12400	13400	-	-	18	200	735.0
13400	14600	-	-	19	200	735.0
14600	16000	-	-	21	200	735.0

4.2.8.3 组成设备一部分的锚链，在船舶下水时不应作为校核锚链使用。

4.2.9 锚链舱

4.2.9.1 锚链舱应有足够的容量能为锚链提供正确的积载。当锚链完全收回时，能使其方便地直接牵引入锚链筒中。左舷和右舷锚链应有独立的锚链舱。

4.2.9.2 锚链舱限界和通道开口应水密。另外，应采取预防措施尽量减少在恶劣气候下水浸入锚链舱内的可能性。同时应提供合适的锚链舱排水设备。

4.2.9.3 锚链或锚链筒的尺寸应适当，并提供防磨唇口。

4.2.9.4 安装在防撞舱壁后端的锚链舱应水密，并且能有效排水。

4.2.10 锚链系固和紧急弃链

4.2.10.1 应采取足够的设施用于将锚链末端系固在结构上。这种系固应能承受不小于所安装锚链最小破断强度 15% 或大于 30% 的力。并且与之连接的结构也应能承受该载荷。

4.2.10.2 将锚链系固在船上的布置应该符合这样的要求，即在紧急情况下，当必须放弃锚和锚链时，锚链应该能方便地从锚链舱外部操作位置脱开。拟采用的滑脱锚链布置应尽可能水密。

4.2.11 掣链器

4.2.11.1 每根锚链抛出后都应采取一定措施加以系固。通常可采用掣链器达到系固效果。

4.2.11.2 掣链器的系固布置应能承受相当于 4.2.8 要求的锚链破断负荷 80% 的载荷，而不发生永久变形。

4.2.12 试验

4.2.12.1 所有锚和锚链的试验都应在相关机构，并在由船级社认可的机器上进行。试验根据各船级社对于材料的相关要求，在验船师或船级社其他代表的监督下进行。

CCS4.2.12.1 所有锚和锚链的试验都应在相关机构，并在由 CCS 认可的机器上进行。试验根据 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 10 章对于材料的相关要求，在验船师或 CCS 其他代表的监督下进行。

4.2.12.2 应持有记载有锚重、或尺寸，以及锚链重量和采用的测试载荷等详细资料的有效测试证书。当锚和锚链安装上船舶时，验船师应检查这些证书。

4. 2. 12. 3 钢丝绳和纤维绳应根据各船级社对于材料的相关要求进行试验。

CCS4.2.12.3 钢丝绳和纤维绳应根据 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 10 章第 4 节和第 2 篇第 7 章对于材料的相关要求进行试验。

4. 2. 13 系船索和拖索

4. 2. 13. 1 除 4. 3 中的说明以外，系船索和拖索不作为入级的一个条件。表 11. 4. 2 中列出的缆索和拖索作为指导之用。表列破断强度大于 490kN 时，如单个缆索的数量和破断强度的乘积不小于表中缆索数量和破断强度的乘积，则表中所规定的单个缆索的数量和破断强度可作相应修改。

4. 2. 14 系船索数量或强度的增加

4. 2. 14. 1 对于经常采用露天靠泊的船舶，建议其系船索强度应为 4. 2. 13. 1 所述总强度的两倍。

4. 2. 14. 2 另外，还应注意石油公司的国际海事论坛文件《系泊设备指南》，并将其作为油船在露天系泊的指导。

4. 2. 15 其他系泊布置

4. 2. 15. 1 为了便于操作，纤维绳的直径不应小于 20mm。

4. 2. 15. 2 所有破断强度大于 736kN，并用于常规系泊作业的绳索应由设计合适的绞车操作并收藏于绞车上。其他保存方式应充分考虑在人工操作破断强度超过 490kN 的缆索时可能会遇到的困难。在这种情况下，表 11. 4. 2 中所规定的单个缆索的数量和破断强度可作相应修改，但它们的乘积应不小于列表中缆索数量和破断强度的乘积。另外，系船索的数量应不少于 6 根，且每根的破断强度应不小于 490kN。

4. 2. 16 系船索系固

4. 2. 16. 1 应采取一定措施使系船索能充分系固在船上。建议正确配置在船舶任意一侧的系缆桩总数，和 / 或系泊绞车的总制动力所能承受的破断强度应不小于系船索最大破断强度总和的 1. 5 倍。

4. 2. 17 系缆桩与缆柱、系缆器、立式滚轮和导缆孔

4. 2. 17. 1 首部、舷侧和尾部用于正常和 / 或应急操作的船用舾装件的强度应满足 4. 2. 17. 2 和 4. 2. 17. 3 的要求。

这些船用舾装件支撑结构的要求见 3. 1. 6。

4. 2. 17. 2 船用舾装件应按认可的标准(如 ISO3913 造船焊接钢质系缆桩)设计与建造。应按 3. 1. 6 的设计载荷评估船用舾装件及其船体附件。

4. 2. 17. 3 用于系泊和 / 或应急拖带的船用舾装件的安全工作负荷（SWL）的要求如下：

（a）SWL 应不超过 3. 1. 6. 10（a）和 3. 1. 6. 10（c）规定的设计载荷的 80%，或 3. 1. 6. 10（b）规定的设计载荷的 100%。

（b）应用堆焊或等效方法将 SWL 标记在每一船舶舾装件上。

（c）每一船舶舾装件预定用途（如系泊、拖带或应急拖带操作或两者皆有）的 SWL 应在应急拖带和系泊布置图，船长在船上可获得的指南上注明。提供的布置图应包括每个船舶舾装件的信息涉及船上位置表，配件型号，SWL，用途，及施加载荷的方法与角度限制范围，布置图或资料应明确禁止超出预定功能和 / 或不同特性的系索和 / 或拖索的使用。

（d）上述要求适用于 1 根缆索用 1 个绳圈缠绕于单个缆桩的基本型式。

4. 2. 18 系泊绞车

4. 2. 18. 1 系泊绞车的设计和能力不作为船级社的入级条件提供批准。应提交系泊绞车图纸和资料以批准绞车与绞车基座及基座与甲板的连接的支撑结构，见 3. 1. 3 的要求。

注：系泊绞车应安装有鼓式制动器。制动器的强度应足以防止当绳索张力相当于系泊布置图规定的安装在绞车卷筒第一层上绳索最大破断强度的80%或表11. 4. 2中船舶舾装数对应的破断强度的较大值时系船索回卷。

4. 2. 19 锚机

4. 2. 19. 1 根据船级社的规定，应在船舶上安装功率足够且适合锚链尺寸的锚机。 如船东对设备

的要求远远超过了规则中规定的要求，则船东有责任明确指定增加的锚机功率。

4.2.19.2 锚机应能卷起两根锚链中的任何一根。

4.2.19.3 锚机的设计应能充分接触锚链筒，以便为锚链筒加装强度充分的盖子或密封装置。可特别考虑接受能够大大降低在恶劣天气中锚链舱或首楼浸水可能性的等效布置。

4.2.20 锚机试验

4.2.20.1 每台锚机在船上安装完成后都要在工作状态下进行试验，以表明其运作良好。以下各项都应单独进行试验：

（a）制动；

（b）离合器功能；

（c）锚链和锚的放下和收起；

（d）锚链在链轮上的正确排列；

（e）锚链正确穿过锚链孔筒和锚链筒；

（f）实施锚链和锚的正确堆放。

4.2.20.2 在船上进行试验时，锚机应：

（a）对于所有规定设计的锚泊深度，将锚以 9m/min 的匀速从 82.5m 深处提升到 27.5m 深处。

（b）对于规定设计的锚泊深度大于 82.5m，除了完成规定（a），还要以 3m/min 的匀速将锚从规定的设计锚泊深度提升到 82.5m 深处。

如试验区的水深不充分，则可以考虑采用适当的等效模拟环境代替。

4.2.21 锚的存放和配置布置

4.2.21.1 锚的布置应确保简单的部署、回收及存放。这类布置通常包括一个锚链筒和锚的存放空间（可能为组装式锚箱或锚穴）。

4.2.21.2 如未安装锚链筒，可以考虑采用其他布置。

4.2.22 锚链筒和锚穴的尺寸和尺度

4.2.22.1 锚链筒应具备适当的尺寸和构造，以确保间隙充分，并且能较简易地从掣链器引出锚链到船舶舷侧。

4.2.22.2 锚链筒应有足够强度。

4.2.22.3 锚穴应有充分的厚度和适当的尺寸，并且其形状应能有效地容纳锚，尽可能避免因波浪作用而产生的锚链松动或锚移位。

4.2.22.4 锚链筒和锚穴应采用完整的圆形凸沿或防擦圆钢，以便最大限度防止锚链扭结，并且将链环受到高弯曲应力的可能性降到最低。其曲率半径应符合：在抛锚和卷锚，或船舶锚泊时，锚链在锚链筒上下两端的支持部位至少有三个链环同时与其弧形部分接触。

4.2.23 船体加强

4.2.23.1 锚链筒应采用连续焊接，牢固地与厚板、复板或嵌入板连接。

4.2.23.2 对锚链筒或锚穴上的骨架有必要进行加强，以确保其牢固地固定于船体上。

4.2.23.3 在球鼻首型船舶上操作锚的过程中，如无法保证锚和外板之间留有适当间距，则应采取增加外壳板厚度的方式为球鼻首提供局部加强。

4.2.24 试验

4.2.24.1 应将锚收进船内再从船上放下，以向验船师证明不会发生锚被卡在锚链筒中的危险状况。

4.2.24.2 在海上进行锚机试验时，应向验船师证明，一旦释放制动器，锚将立即凭借自身重量开始下落。

4.2.24.3 当锚链筒和锚穴安置到位后，就应使用水龙带（水龙带内的水压力根据第 5 小节中的规定），对其水密性进行全面的测试。

4.3 应急拖带

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 根据《1974 年国际海上人命安全公约及修正案》第 II-1/3-4 条的规定，载重量大于等于 20000t 的油船都应在船首和船尾安装应急拖带装置。

4.3.1.2 根据 IMO MSC.35（63）《液货船应急拖带装置指南》的相关规定，拖带装置的设计和构造应获得船旗国主管机关的批准。另见 3.1.5 中关于应急拖带设备支撑结构的要求。

5 试验程序

5.1 液舱试验

5.1.1 适用范围

5.1.1.1 下列液舱和边界应按 5.1.3 至 5.1.9 的要求进行试验，以确定：

（a）重力液舱（不包括舱容小于 $5m^3$ 的独立液舱）的结构完整性和密性；

（b）除液舱边界外的水密边界的水密性；

（c）风雨密边界的风雨密性。

5.1.2 定义

5.1.2.1 **水密**：系指在邻近结构的设计水压头下能够防止水透过结构的能力。

5.1.2.2 **风雨密**：系指在任何海况下水都不会渗透进入船内。

5.1.2.3 **结构试验**：系指为证明结构设计的合适性而进行的静水压试验。当受到实际条件限制不能进行静水压试验时，可采用静水压气动试验予以代替。

5.1.2.4 **渗漏试验**：系指一种采用空气或其他介质的试验，旨在证实结构的密性。

5.1.2.5 **冲水试验**：系指通过水喷射进行的试验，以证实那些不宜进行水压试验或渗漏试验的结构项目和用于船体水密完整性的其他舱室所进行的密性试验。

5.1.2.6 **静水压气动试验**：系指通过在液舱内充水并施加附加空气压力而进行的一种水压与气压的组合试验。该试验是静水压试验的一种替代试验，用以证明液舱的密性和结构设计的合适性。

5.1.2.7 **静水压试验**：通过注入表 11.5.1 中规定水位产生的水压以验证液舱结构的密性和结构设计的合适性的一种试验。水压试验是用于结构试验的一种常规方式，但如受到实际限制而不应进行或允许采用气密试验的情况除外。

5.1.2.8 **车间底漆**：系指在制造过程中，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。

5.1.2.9 **保护涂层**：系指除车间底漆外的防止结构遭受腐蚀的涂层系统。

5.1.3 试验程序

5.1.3.1 所有试验应在验船师现场监督下进行并经验船师满意。被试验的结构中，所有可能影响结构强度和密性的附件、舾装或贯穿件应安装完成，处于充分接近完工阶段，以便避免任何后续作业削弱被试验结构的强度和密性，并在试验前所有连接处应安装铺板或天花板和敷设水泥。

5.1.3.2 表 11.5.1 中给出了具体的试验要求。

5.1.3.3 与试验有关的涂层的应用时间见 5.1.8。

5.1.4 结构试验

5.1.4.1 表 11.5.1 规定的结构试验，除实际条件受到限制或表 11.5.1 注允许进行渗漏试验外，将接受静水压试验的方法。经同意，可采用静水压气动试验代替静水压试验。

5.1.4.2 静水压试验的水压头应按表 11.5.1 的规定。

5.1.4.3 如同意，静水压气动试验所采用的水位和空气压力的组合应尽实际可能模拟实际装载载荷。

5.1.4.4 如果在干坞内或在建造的泊位上用水试验不可行，结构试验可以在船舶的漂浮状态下进

行。当结构试验在船舶浮态下进行时，应通过每个液舱和隔离空舱单独地注入表 11. 5. 1 给出的试验压头的水。

5. 1. 4. 5　在大约一半数量的液舱处于满舱状态时，应在空液舱中检查被试验舱的底部和下部舷侧板，并且余下的液舱下部舷侧板在剩余液舱注满水后进行检查。

5. 1. 4. 6　液舱边界应至少从其一侧予以试验。进行结构适当性试验的液舱应予以选择，以便所有代表性的结构构件经受其预期拉伸和压缩试验。

5. 1. 5　渗漏试验

5. 1. 5. 1　所有边界角焊缝、装配接缝、和深熔焊缝包括管子的连接和应按批准的程序并在至少 0. 15bar 的压力下采用渗漏显示液（如肥皂水溶液）进行检查。试验压力不必大于 0. 20bar。

5. 1. 5. 2　建议将被试验的液舱内的空气压力增加到 0. 20bar，并保持约 1 个小时达到稳定状态。在空气压力降至试验压力之前，在被试验的液舱邻近的人员数应减至最少。

5. 1. 5. 3　应装设一根与试验压力相适应高度的充水 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。

5. 1. 5. 4　如果提交了所有详细资料，可以考虑采用其他有效的试验方法，包括填角焊缝充气试验或真空试验。

5. 1. 6　冲水试验

5. 1. 6. 1　按表 11. 5. 1 规定，冲水试验适用于不需要进行结构或空气试验但要求水密或风雨密的结构。

5. 1. 6. 2　冲水试验进行时，喷嘴处的压力至少 2. 0bar，喷嘴的最小内径应为 12mm，并且应正对着被试验接头，距离不超过 1. 5m。

5. 1. 6. 3　可以接受渗漏试验或结构试验代替冲水试验。

5. 1. 7　其他试验方法

5. 1. 7. 1　如果提交了详细的资料，可以考虑其他试验方法。

5. 1. 8　涂层使用—保护涂层

5. 1. 8. 1　如果在最终涂层涂刷前进行了渗漏试验，在静水压试验前，可以涂刷最终涂层。

5. 1. 8. 2　任何涂层的变色或受污的原因应予以查明，且任何缺陷应予以修理。

5. 1. 8. 3　对所有手工或半自动装配接缝、和液舱边界连接的所有填角焊缝，包括深熔焊缝，应在进行渗漏试验之后涂刷最终涂层。对于其他焊缝，如果在涂刷涂层之前，由验船师进行了仔细检查，可以在渗漏试验之前涂刷最终涂层。考虑船厂的质量控制程序，验船师可以要求在自动装配接缝和手工或自动预装配焊缝的最终涂层之前进行渗漏试验。

5. 1. 8. 4　最终涂层应在所有要求的冲水试验完成后涂刷。

5. 1. 9　临时涂层

5. 1. 9. 1　可能隐藏缺陷或渗漏的临时涂层的涂刷按保护涂层的规定，见 5. 1. 8。此要求不适用于制造前应用的车间底漆。

5. 1. 9. 2　以硅酸盐为原料的车间底漆可以在渗漏试验前涂刷于焊缝，其涂层的最大厚度应为 50μm，其他化学成分不确定的底漆最大厚度应为 30μm。

液舱和边界的试验要求 **表 11.5.1**

	应试验的结构	试验类型	静水压试验压头或压力	备　　注
1	双层底液舱	结构试验 (1)	取下列之大者： • 至溢流管顶，或 • 至舱壁甲板	至少从液舱边界一侧进行试验
2	双舷侧液舱	结构试验 (1)	取下列之大者： • 至溢流管顶，或 • 至液舱顶部 (2) 以上2.4m	至少从一边对液舱边界进行试验
3	货油舱	结构试验 (1)	取下列之大者： • 至溢流管顶，或 • 至液舱顶部 (2) 以上2.4m，或 • 至液舱顶部 (2) 加任何压力释放阀的设定压力	至少从一边对液舱边界进行试验
	燃油舱	结构试验		
4	隔离舱	结构试验 (1) (3)	取下列之大者： • 至溢流管顶，或 • 至隔离舱顶部以上2.4m	
5a	尖舱	结构试验	取下列之大者： • 至溢流管顶，或 • 至液舱顶部 (2) 以上2.4m	尾尖舱试验应在尾轴管安装后进行
5b	不用作液舱的首尖舱	见SOLAS第II-1/14条		
5c	不用作液舱尾尖舱	渗漏试验		
6	非液舱处所的水密舱壁	冲水试验 (4)		包括阶梯和凹入部分
7	干舷或舱壁甲板以下的水密门	冲水试验 (4)		安装前试验 (5)
8	（空）			

	应试验的结构	试验类型	静水压试验压头或压力	备　　注
9	兼用船上液舱的水密舱口盖	结构试验 (1)	取下列之大者： • 舱口盖顶部以上2. 4m，或 • 压力释放阀设定压力	应至少每隔1个舱口盖进行试验
10	风雨密舱口盖、门和其他关闭装置	冲水试验 (4)		
11	泵舱处所的舷侧外板	目视检查		在船舶漂浮时仔细进行
12	锚链舱（如设在防撞舱壁以后）	结构试验	至锚链舱锚链筒顶部	
13	独立液舱	结构试验	取下列之大者： • 至溢流管顶，或 • 至液舱顶以上0，9m	
14	压载管道	结构试验	压载泵最大压力，或压载管道任何压力释放阀的设定压力，如较小时	
15	锚链筒	冲水试验		

注：1. 如果根据批准的设计至少选择了每种类型的一个液舱进行了结构试验，则可以接受在按5. 1. 5规定条件下进行的渗漏或静水压气动试验。一般情况下，对后续新造的相同系列的船舶不必重复进行结构试验，除非验船师认为有必要。后续新造的相同系列的船舶上的装载分隔的货油或污染物的液舱和货油处所的边界的结构试验应满足各船级社的要求。

在征得船旗国主管机关的同意的前提下，CCS如果根据批准的设计至少选择了每种类型的一个液舱进行了结构试验，则可以接受在按5. 1. 5规定条件下进行的渗漏试验或静水压气动试验。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，除非验船师认为有必要。后续新造的相同系列的船舶上的装载分隔货物或污染物的液舱和货物处所的边界的结构试验应满足CCS《钢质海船入级规范》第1篇第4章第3节的要求。如结构试验发现渗漏试验未能探测出的结构薄弱点或严重缺陷，则所有液舱应作结构试验。

2. 液舱顶部系指形成液舱顶部但不包括舱口的甲板。

3. 可接受在5. 1. 5规定的条件下进行渗漏试验，但采用静水压气动试验时，应考虑所采用的建造技术和焊接工艺。

4. 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，经船级社同意，可采用对所有接头和焊缝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。

5. 在安装前（通常在制造厂），对水密门从其最易渗漏的一侧进行水压试验。试验压头高取至舱壁甲板中线处高度。验收衡准为：

（a）采用衬垫密封的门或舱口：不允许有渗漏；

（b）采用金属密封的门或舱口：最大漏水量为每分钟1升。

6. 如进行渗漏或静水压气动试验，应采取措施以确保所使用的压力不超过0. 30bar。

第 12 节 营运船舶换新衡准

1 船体结构的许用厚度折减

1.1 一般要求

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本节的目的是提供营运船舶船体结构的许用厚度折减衡准。

1.1.1.2 本节仅适用于按照本篇设计和建造的船舶。

1.1.1.3 本节要求使用船体结构的测厚值作为评估船体结构的换新衡准。

1.1.2 许用厚度折减概念

1.1.2.1 许用厚度折减包括局部厚度折减和船体梁整体折减。其中，局部厚度折减将在1.4中说明，船体梁整体折减在1.5中说明。

1.1.2.2 在船舶营运阶段，对局部和整体船体梁折减均要求进行评估。

1.1.2.3 若测厚结果超出了局部或整体船体梁折减衡准，则要求采取换新措施。

1.1.2.4 对已包括相关腐蚀余量的新建船舶，（见第6/3节），已考虑了船舶的所有相关载荷及失效模式（如屈服、屈曲、疲劳）。若船体结构的厚度大于本节要求的换新厚度，则不需再对上述失效模式进行评估。

1.1.3 图纸要求

1.1.3.1 船上所备的图纸，见第3/2.2.3节，须包括第1.4.2节所定义的建造厚度和换新厚度。所有的船东额外的增加厚度也要明确标示在图纸上。

1.1.3.2 船上所备的船中剖面图上，须列表注明每个货舱区域的最小许用船体梁剖面特性，见第1.5。

1.2 测厚值的评估

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 维持双壳油船船级的最低检验要求见IACS统一要求Z10.4。

1.2.1.2 厚度测量应符合各船级社及IACS统一要求Z10.4的规定。

CCS1.2.1.2 厚度测量应符合CCS《钢质海船入级规范》第1篇的要求和IACS统一要求Z10.4的规定。

1.2.2 局部腐蚀的评估

1.2.2.1 测厚厚度分别不小于1.4.2和1.6中定义的平均腐蚀换新厚度、局部麻点/边缘腐蚀的换新厚度。可参见1.3。

1.2.2.2 当检验确定构件换新是必须的，或验船师认为构件的缺陷削弱了船舶继续营运的需求，则必须在船舶营运前采取补救措施。

1.2.2.3 在年度检验和中间检验中，当测厚厚度 t_{tm} 小于许用的年度检验换新厚度 t_{annual}，则需要对结构构件重新检验和附加测厚，其中 t_{annual} 按下式计算：

$$t_{annual} = t_{as-built} - t_{own} - t_{was} \quad \text{mm}$$

式中：$t_{as-built}$——构件建造厚度，mm；

t_{was}——腐蚀余量定义见1.4.2.2节；

t_{own}——为船东或船厂额外增加的腐蚀余量，如有时，mm。

1.2.2.4 当依据1.2.2.3规定需要结构构件重新检验和附加测厚时，应根据表12.1.1确定的构件腐蚀范围进行附加检查。

1.2.2.5 每次特检，验船师认为必须检测的临界区域需要进行测厚。这些临界区域包括不符合

1.2.2.3 要求和 / 或表现出快速腐蚀的区域。

$t_m < t_{anual}$ 时，结构构件的附加测厚　　表 12.1.1

结构构件	测厚范围	测厚模式
板	可疑区域和相邻板	$1m^2$范围内5点
扶强材	可疑区域	在腹板同一横截线上3个测量点 在翼板同一横截线上3个测量点

1.2.3 船体梁总体腐蚀的评估

1.2.3.1 船体梁剖面的选取符合 IACS 统一要求 Z10.4 的规定。船体梁剖面特性计算基于测厚值，剖面特性计算结果不小于 1.5.2 中定义的最小许用船体梁剖面特性。基于测厚厚度计算和符合 IACS 统一要求 Z10.4 的船体梁实际剖面特性应提交船级社。

1.3 腐蚀类型

1.3.1 平均腐蚀

1.3.1.1 平均腐蚀是指一定面积范围内材料的厚度均匀的减少。

1.3.1.2 平均腐蚀的换新衡准见 1.4。

1.3.2 麻点腐蚀

1.3.2.1 麻点腐蚀是指局部范围内材料的厚度点状 / 或小面积的减少，且厚度减少量大于其周围材料的平均腐蚀厚度。

1.3.2.2 麻点腐蚀密度的定义见图 12.1.1。

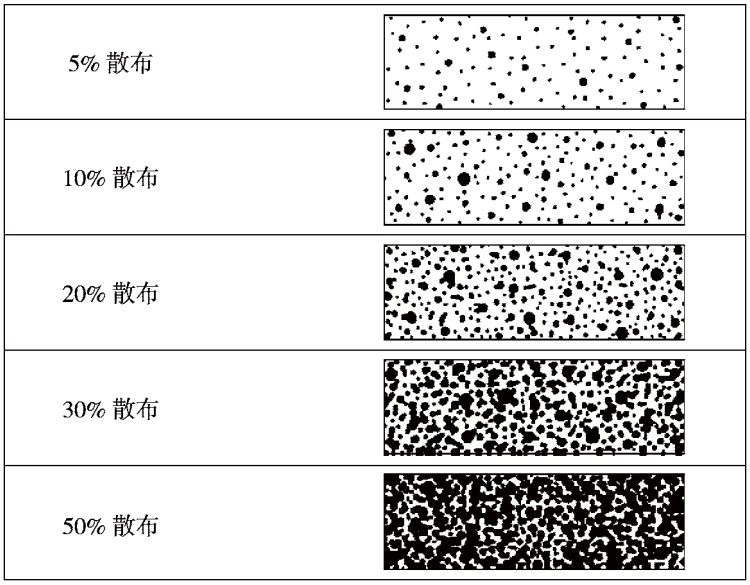


图 12.1.1 麻点密度图

1.3.2.3 麻点腐蚀的换新衡准见 1.6.2 节。

1.3.3 边缘腐蚀

1.3.3.1 边缘腐蚀是板材、扶强材、主要支撑构件和开孔的自由边缘的局部厚度减少。边缘腐蚀示意图见图 12.1.2。

1.3.3.2 边缘腐蚀的换新衡准见 1.6.3 节。

1.3.4 沟槽腐蚀

1.3.4.1 沟槽腐蚀是扶强材与扶强材、扶强材与板材的焊缝连接处典型的局部厚度减少。沟槽腐蚀示意图见图 12.1.3。

1.3.4.2 沟槽腐蚀的换新衡准见 1.6.4 节。

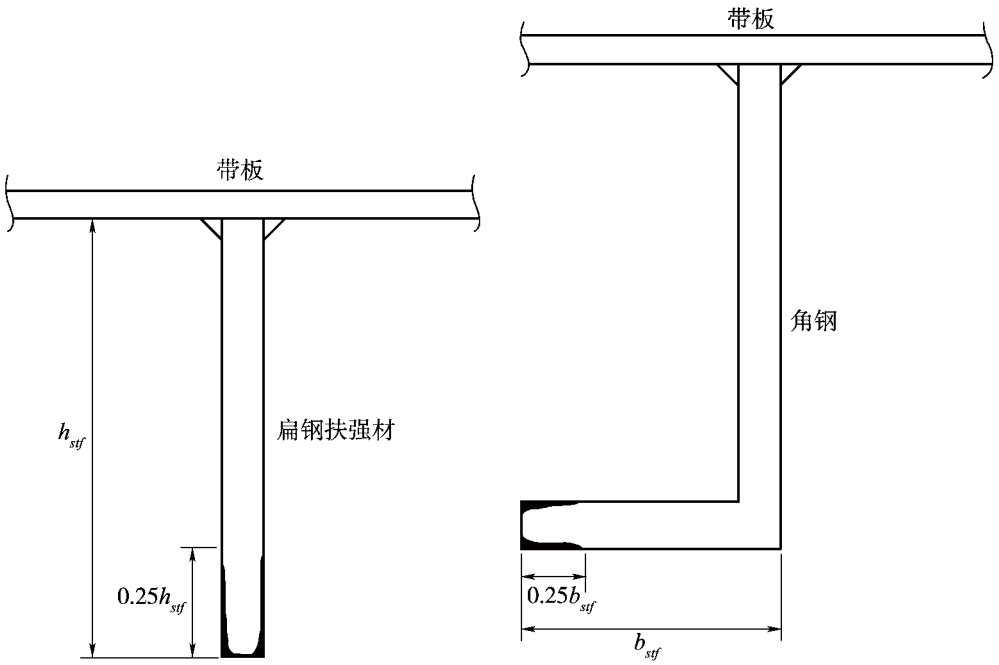


图 12.1.2 边缘腐蚀

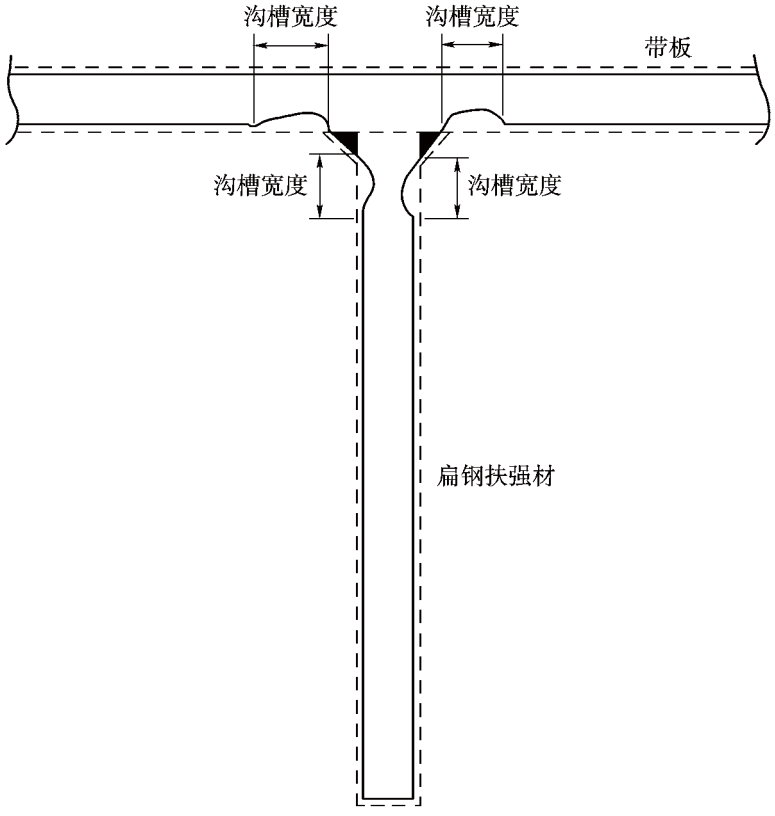


图 12.1.3 沟槽腐蚀

1.4 局部构件平均腐蚀的换新衡准

1.4.1 适用范围

1.4.1.1 在 1.4.2 节中的换新衡准仅适用于平均腐蚀类型的船体构件。

1.4.2 换新衡准

1.4.2.1 如果测厚厚度 t_{tm} 小于换新厚度 t_{ren}，则需要结构构件换新，即：

$$t_{ren} = t_{as-built} - t_{was} - t_{own} - t_{corr-2.5} \quad \text{mm}$$

式中：$t_{as-built}$——构件建造厚度，mm；

t_{was}——定义见 1.4.2.2；

t_{own}——船东或船厂额外增加的腐蚀余量，如有时，mm；

$t_{corr-2.5}$——0.5mm，为中间检验和特别检验 2.5 年间隔的腐蚀余量储备。

1.4.2.2 腐蚀余量 t_{was} 按下式给出，并按 0.5mm 圆整：

$$t_{was} = t_{was-1} + t_{was-2} \quad \text{mm}$$

式中：t_{was}——构件总腐蚀余量，mm；

t_{was-1}——考虑构件单面所处舱室环境下的腐蚀余量，由表 12.1.2 给出；

t_{was-2}——考虑构件另一面所处舱室环境下的腐蚀余量，由表 12.1.2 给出。

1.4.2.3 除干舱和泵舱内的构件特殊考虑外，腐蚀余量 t_{was} 不小于 1.5mm。干舱和泵舱内的构件腐蚀余量 t_{was} 不小于 1.0mm。

结构构件单面的局部腐蚀余量 **表 12.1.2**

舱室类型	结构构件		营运中船舶的腐蚀余量组成，t_{wast-1}或t_{wast-2}（mm）
压载水舱和锚链舱	主要构件面板	舱顶下3.0m以内 (1)	2.0
		其他位置	1.5
	其他构件 (3)	舱顶下3.0m以内 (1)	1.7
		其他位置	1.2
货油舱	主要构件面板	舱顶下3.0m以内 (1)	1.7
		其他位置	1.4
	内底板和舱底		2.1
	其他构件	舱顶下3.0m以内 (1)	1.7
		其他位置	1.0
暴露在空气中	露天甲板		1.7
	其他构件		1.0
暴露在海水中	外板 (2)		1.0
燃油舱和滑油舱 (4)	舱顶及其附连的内部扶强材		1.0
	其他位置		0.7
淡水舱	舱顶及其附连的内部扶强材		1.0
	其他位置		0.7
空舱	非正常可达到的舱室，如仅通过人孔、管隧等才可到达的舱室		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

注：（1）仅适用于露天甲板为舱顶的货油舱和压载舱。

（2）对第8节图8.2.2所定义的与码头接触区域的舷侧板，再增加0.5mm。

（3）对压载水舱和加热的货油舱之间的板材边界，暴露于压载水的板材面应增加0.5mm。在压载水舱内与压载水舱和加热的货油舱之间的边界相连的腹板的每一表面及扶强材的面板应增加0.3mm。加热的货油舱的定义为布置有任何形式的加油能力（最常用的型式为加热盘管）。

（4）压载水舱和加热的燃油舱之间的板材边界应增加0.7mm。

1.4.2.4 表 12.1.2 中未列的构件的腐蚀余量，须作特殊考虑。

1.4.2.5 基于 1.4.2.1 的换新衡准需要更换的区域，其构件的换新应相同于或大于原构件建造时的等级和强度，并且厚度不小于 t_{repair}，即：

$$t_{repair}=t_{as-built}-t_{own} \quad \text{mm}$$

式中：$t_{as-built}$ 和 t_{own} 定义同 1.4.2.1。

1.5 均匀腐蚀下船体梁剖面特性折减的换新衡准

1.5.1 一般要求

1.5.1.1 在船舶营运期间，要求对以下船体梁剖面特性进行验证，参见 1.5.2-3：

（a）关于水平中和轴的船体梁的垂向惯性矩，I_v；

（b）关于水平中和轴的甲板处船体梁剖面模数，Z_{v-dk}；

（c）关于水平中和轴的船底处船体梁剖面模数，Z_{v-kl}；

（d）关于垂向轴的舷侧处船体梁剖面模数，Z_{h-side}；

（e）船体梁垂向剪切面积，A_{v-shr}。

1.5.2 换新衡准

1.5.2.1 应根据测厚值计算船体梁剖面特性 I_{v-tm}，$Z_{v-tm-dk}$，$Z_{v-tm-kl}$，$Z_{h-tm-side}$，$A_{v-tm-shr}$，如果计算得到的船体梁剖面特性不大于 1.5.3 中给出的最小船体梁剖面特性许用值，则需要结构构件换新。

1.5.2.2 在 1.5.2.1 中列出的实际船体梁剖面特性应根据第 4 节 2.6 的规定，使用测厚厚度进行计算。

1.5.2.3 由于船体梁剖面特性减少而导致构件换新时，只要求局部的换新已腐蚀的船体构件。船体构件局部的换新后，应使换新后的船体梁剖面特性计算值符合 1.5.2.1。局部换新的构件应符合 1.4.2.3 的要求。

1.5.3 最小船体梁剖面特性许用值的计算

1.5.3.1 在 1.5.1.1 中所列的最小船体梁剖面特性许用值应依据 4/2.6 的要求计算，并采用 1.5.3.2 所定义的厚度值。

1.5.3.2 结合新建船舶和营运船舶的衡准，对已腐蚀的船体梁最小许用剖面特性按新建船舶的相同腐蚀厚度减少量取值，则最小船体梁剖面特性许用值的计算基于厚度，t，即：

$$t=t_{as-built}-0.5t_{corr}-t_{own} \quad \text{mm}$$

式中：$t_{as-built}$——构件建造厚度，mm；

t_{corr}——腐蚀余量的定义见 6/3.2；

t_{own}——船东或船厂额外增加的腐蚀余量，如有时，mm。

1.6 麻点腐蚀、沟槽腐蚀和边缘腐蚀的许用厚度折减

1.6.1 一般要求

1.6.1.1 如果测厚厚度分别小于 1.6.2，1.6.3 和 1.6.4 节所定义的换新衡准时，应进行麻点腐蚀、沟槽腐蚀和边缘腐蚀的构件换新。

1.6.2 麻点腐蚀

1.6.2.1 对麻点腐蚀密度小于 20% 的板，见图 12.1.1，所有构件的测厚厚度，t_{tm}，应符合下式中的较小者：

$$t_{tm} \geqslant 0.7(t_{as-built}-t_{own}) \quad \text{mm}$$

$$t_{tm} \geqslant t_{ren}-1 \quad \text{mm}$$

式中：$t_{as-built}$——构件建造厚度，mm；

t_{own}——船东或船厂额外增加的腐蚀余量，如有时，mm；

t_{ren}——按 1.4.2.1 定义的均匀腐蚀换新厚度。

1.6.2.2 板的任何横截面的平均厚度不小于 1.4.2.1 节所定义的平均腐蚀的换新衡准。

1.6.3 边缘腐蚀

1.6.3.1 如果扶强材翼板或腹板边缘腐蚀的宽度（或高度）小于扶强材面板宽度（或腹板高度）的 25%，见图 12.1.2，构件的测厚厚度，t_{tm}，应符合下式中的较小者：

$$t_{tm} \geqslant 0.7（t_{as-built}-t_{own}） \quad \text{mm}$$

$$t_{tm} \geqslant t_{ren}-1 \quad \text{mm}$$

式中：$t_{as-built}$——构件建造厚度，mm；

t_{own}——船东或船厂额外增加的腐蚀余量，如有时，mm；

t_{ren}——按 1.4.2.1 定义的均匀腐蚀换新厚度。

1.6.3.2 扶强材的面板或腹板的平均测厚厚度不小于 1.4.2 节所定义的平均腐蚀的换新衡准。

1.6.3.3 在以下（a）或（b）两种情况下，位于人孔和减轻孔等开孔的板材的边缘允许小于 1.4.2 节所定义的最小换新厚度：

（a）厚度减小量低于 1.4.2 节要求的开孔边缘的最大范围不大于开孔的最小尺寸的 20%，且不大于 100mm；

（b）对开孔边缘的锈蚀区域切割修整后，开孔尺寸的最大增加不大于 10%。

1.6.4 沟槽腐蚀

1.6.4.1 如果沟槽宽度大于腹板高度的 15%，且不大于 30mm，见图 12.1.3，构件的测厚厚度，t_{tm}，应符合下式的小者：

$$t_{tm} \geqslant 0.75（t_{as-built}-t_{own}） \quad \text{mm}$$

$$t_{tm} \geqslant t_{ren}-0.5 \quad \text{mm}$$

但不小于 $t_{tm}=6$

式中：$t_{as-built}$——构件建造厚度，mm；

t_{own}——船东或船厂额外增加的腐蚀余量，mm；

t_{ren}——按 1.4.2.1 定义的均匀腐蚀换新厚度。

1.6.4.2 对沟槽腐蚀范围大于 1.6.4.1 节要求的构件，则按照 1.4.2 节所定义的平均腐蚀的换新衡准来评估。

附录 A 船体梁极限强度

1 通则

1.1 定义

1.1.1 船体梁弯曲能力

1.1.1.1 船体梁极限弯矩，M_U，定义为船体梁的最大弯曲能力，超过此弯矩船体梁将发生崩溃。船体梁的失效由纵向构件的屈曲、极限强度和屈服控制。

1.1.1.2 中垂状态下，船体梁剖面的船体梁极限能力定义为静态非线性弯矩－曲率曲线 M-k 上的最大值，见图 A.1.1。该曲线表示船体梁在垂向弯曲时渐进破坏特性。

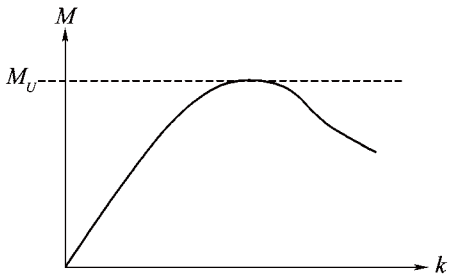


图 A.1.1 弯矩－曲率曲线 M-k

1.1.1.3 两个关键横框架剖面之间的曲率，k，定义如下：

$$k=\frac{\theta}{l}$$

式中：θ——两相邻横剖面处的相对转角；

l——横框架间距，即纵骨跨距。

1.2 应用

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 中垂状态下，船体梁的极限弯曲能力应按 2.1 中所述的一步法或 2.2 中的增量－叠代方法进行计算。此法仅适用于在中垂弯曲状态下的纵骨架式双壳油船。

1.2.1.2 对于 2.1 中的一步法，第 9 节 /1.4 中的分项安全因子数值已作校准，这些分项安全因子也适用于 2.2 中的增量－叠代方法。

1.3 假定

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 船体梁极限能力的计算方法应能确定所有主要纵向构件的失效模式。对油船，在中垂状态下，临界模式通常为横框架之间的甲板结构屈曲，如图 A.1.2 所示。

1.3.1.2 如果结构受压超出了其屈曲限度，其承载能力将降低。为确定横框架之间的最弱失效模式，需考虑各个构件的所有相关失效模式，如：板材屈曲、加强筋扭转屈曲、加强筋腹板屈曲、加强筋侧向或总体屈曲以及它们的相互作用。

1.3.1.3 对中垂状态下的油船，仅考虑垂向弯曲。对切力、扭转载荷、水平弯矩侧向压力的影响，均忽略不计。

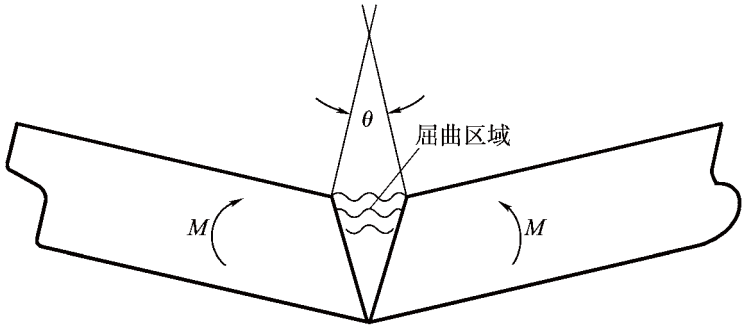


图 A.1.2 船舶在极端中垂下的框架之间的屈曲失效

1.4 其他方法

1.4.1 一般要求

1.4.1.1 对于船体梁极限弯曲能力计算的其他方法的原则，如不同于 2.2 中的增量－叠代法和非线性有限元计算法，则在第 3 小节中给出。

1.4.1.2 对于其他方法的使用，应在开始前征得船级社同意。应将其分析方法原理和计算的详细结果与船级社的计算流程及所得结果的比较编制文件，并提交船级社审查和认可。这些方法的使用可能要求重新校准第 9/1.4 节的分项安全系数。

2 船体梁极限能力计算

2.1 计算极限能力的一步法

2.1.1 计算流程

2.1.1.1 一步法为计算中垂状态下船体梁极限弯曲能力的一种简化方法，且基于船体梁弯曲刚降低的甲板屈曲计算，见图 A.2.1。船体梁极限弯矩，M_U，由下式求得：

$$M_U = Z_{red}\sigma_{yd} \cdot 10^3 \qquad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中：Z_{red}——甲板折减剖面模数（至甲板平均高度）

$$Z_{red} = \frac{I_{red}}{z_{dk-mean} - z_{NA-red}} \qquad \text{m}^3$$

I_{red}——船体梁折减惯性矩，m^4。惯性矩按照第 4 节 /2.6.1.1 计算，且采用：

- 对于所有的纵向有效构件，船体梁净厚度，t_{net50}；
- 甲板每个加筋板屈曲后的有效净面积，A_{eff}；

A_{eff}——每个甲板加筋板格屈曲后的有效净面积。该有效面积是加筋板中能够有效达到屈服的部分：

$$A_{eff} = \frac{\sigma_U}{\sigma_{yd}} A_{net50} \qquad \text{m}^2$$

注：甲板纵桁的有效面积为其净厚度 t_{net50} 下的净面积。

A_{net50}——甲板加筋板格板的净面积，m^2；

σ_U——甲板加筋板格的屈曲强度，N/mm^2。对各加筋板分别计算，使用：

- 高级屈曲分析方法，见 10/4 及附录 D；
- 净厚度 t_{net50}；

σ_{yd}——规定的材料最小屈服应力，用于确定船体梁剖面模数，N/mm^2。当加强筋和板的最小屈服应力 σ_{yd} 不同时，取二者之间的小值；

$z_{dk-mean}$——从基线处量至甲板平均高度的垂向距离，m，平均高度可按由基线至甲板边线、及基线至甲板中心线的值来确定；

z_{NA-red}——从基线处量至折减剖面中和轴的垂向距离，m。

2.1.1.2 可以表明，在外底板处，极限弯矩 M_U 给出的应力不超过屈服应力 σ_{yd}。因此极限弯矩，M_U，应不大于：

$$M_U = \sigma_{yd} \frac{I_{red}}{z_{NA-red}} \times 10^3 \qquad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中：σ_{yd}——材料最小屈服应力，N/mm^2；

I_{red}——折减的剖面惯性矩，见 2.1.1.1；

z_{NA-red}——从基线处量至折减剖面中和轴的垂向距离，m。

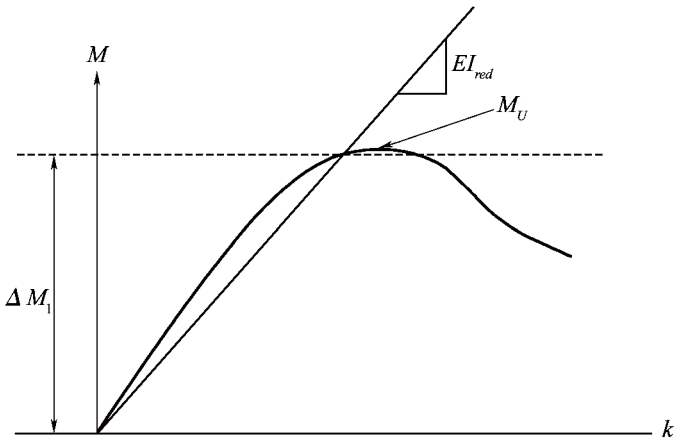


图 A.2.1 船体梁一步法计算流程的弯矩－曲率曲线

2.1.2 假定

2.1.2.1 本计算流程假定油船的极限中垂能力在甲板加筋板格达到极限能力时达到。如果该假定对某结构形状无效，则应使用其他极限能力的计算方法计算其极限强度。

2.2 基于增量－叠代方法的简化方法

2.2.1 计算流程

2.2.1.1 在本方法中，船体梁的极限弯矩定义为弯矩－曲率曲线 M–k 的极值，如图 A.1.1 所示。

2.2.1.2 弯矩－曲率曲线通过增量－叠代方法得到；本方法的计算步骤由 2.2.1.7 给出，流程图见图 A.2.2。

2.2.1.3 对每一增量步，计算由曲率 k_i 引起的船体梁上的弯矩 M_i。作用在船体梁上的曲率对应船体梁横剖面绕其中和轴的转角，引起剖面上纵向构件的轴向应变 ε。在中垂状态下，中和轴以下的构件受拉，而中和轴以上的构件受压。

2.2.1.4 对各个构件，由 ε 引起的应力 σ 从单元的应力－应变曲线 σ–ε 得到，该曲线考虑了构件在弹－塑性阶段的非线性因素。

2.2.1.5 各单元上的力由其截面积乘以其应力得到，这些力相加得到整个船体梁剖面上的总轴向力。应注意单元面积为其总净面积。由于构件的非线性引起中和轴的移动，船体梁横剖面上的总轴向力可能不为零。因此需要调整中和轴的位置，重新计算单元的应变、应力以及剖面上的总轴向力，并反复叠代至总轴向力为零。

2.2.1.6 一旦确定新中和轴的位置，修正后的结构单元的应力分布就可以得到。将各单元对弯矩的贡献相加即得到由曲率 k_i 引起的对新的中和轴的弯矩 M_i。

2.2.1.7 增量－叠代方法的主要步骤如下（参见图 A.2.2）：

步骤1　将船体梁横剖面离散成结构单元，即纵向加筋板格（每个单元一根纵骨），硬角单元及横向加筋板格，见2.2.2.2。

步骤2　导出所有单元的应力－应变曲线（又称载荷－端缩曲线），见2.3。

步骤3　导出期望的最大要求曲率k_F，见2.2.1.8。每一计算步的增量Δk为$k_F/300$。初始步的曲率增量，k_1，取为Δk。根据船体梁横剖面的弹性剖面模数，$z_{v-net50}$，得到第一步计算的中和轴位置z_{NA-1}，见4/2.6.1。

步骤4　对各单元（序数j），计算其对于曲率k_i的应变$\varepsilon_{ij}=k_i(z_j-z_{NA-i})$、对应的应力$\sigma_j$，见2.2.1.9，及单元上的力$\sigma_j A_j$。

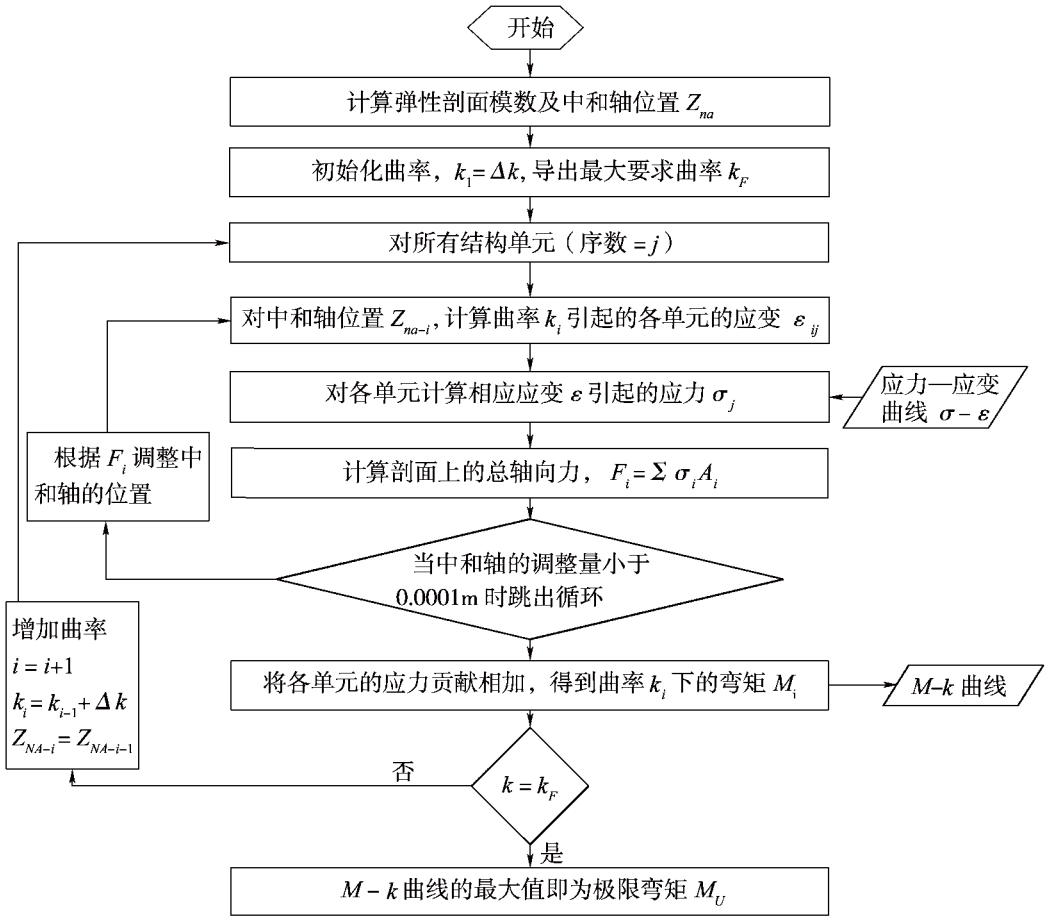
步骤5　通过检查剖面上的总轴向力来确定新中和轴的位置z_{NA-i}。调整z_{NA-i}的位置直到$F_i=0.1\Sigma A_i\sigma_i=0$为止。

注意单元受压时σ_j为正而单元受拉时为负。重复步骤4和5直至达到平衡。当中和轴的变化小于0.0001m时即认为已达到平衡。

步骤6　将各单元力的贡献相加，得到相应的弯矩：

$$M_i = 0.1\Sigma\left|\sigma_j A_j (z_j - z_{NA-i})\right| \qquad \text{kN}\cdot\text{m}$$

步骤7　按Δk增加曲率，用当前中和轴位置作为下一步计算的初始值并重复步骤4到6，直至达到最大要求曲率k_F。极限强度为M-k曲线的极值。如该曲线的极值没有出现则增加最终曲率k_F至极值出现为止。



图A.2.2　　计算M-k曲线的流程图

2. 2. 1. 8 中垂状态下的最大要求曲率 k_F，m^{-1}，取为：

$$k_F = 3\frac{M_{yd}}{EI_{v-net\,50}}10^{-3} \qquad m^{-1}$$

式中：M_{yd}——甲板或龙骨处线弹性弯曲应力达到屈服应力时对应的垂向弯矩，取下两式中的大者：

$Z_{v-net50-dk}\sigma_{yd}\times10^3$ kN·m

$Z_{v-net50-kl}\sigma_{yd}\times10^3$ kN·m

$Z_{v-net50-dk}$、$Z_{v-net50-kl}$——甲板及龙骨处的剖面模数，m^3，见 8/1. 2. 2. 3 及 1. 2. 2. 4；

E——弹性模量，2.06×10^5 N/mm^2；

σ_{yd}——相应的最小屈服应力，N/mm^2；

$I_{v-net50}$——船体梁的惯性矩，m^4，见 8/1. 2. 1. 1。

2. 2. 1. 9 对各单元，对应其应变 ε_{ij} 的应力 σ_j 应取所有适用于该单元的应力－应变曲线中的最小值。

2. 2. 2 船体梁剖面的假定及建模

2. 2. 2. 1 在应用 2. 2. 1 中的方法时，做如下假定：

（a）计算针对两个相邻横框架之间的剖面进行；

（b）船体梁剖面在各曲率下保持平面；

（c）钢材的材料特性认为是弹性—理想塑性；

（d）船体梁剖面可以被划分为一系列单元，这些单元之间无相互作用。

2. 2. 2. 2 组成船体梁横剖面的构件包括：

（a）纵骨及其带板，其力学性能见 2. 3. 1；

（b）横向加筋的板，其力学性能见 2. 3. 1；

（c）硬角单元，如 2. 2. 2. 3 所定义，其性能见 2. 3. 2。

2. 2. 2. 3 下列结构定义为硬角单元：

（a）两板相交区域的板；

（b）折角区域的板，折角应不小于 30º；

（c）组成圆弧形舷缘的板。

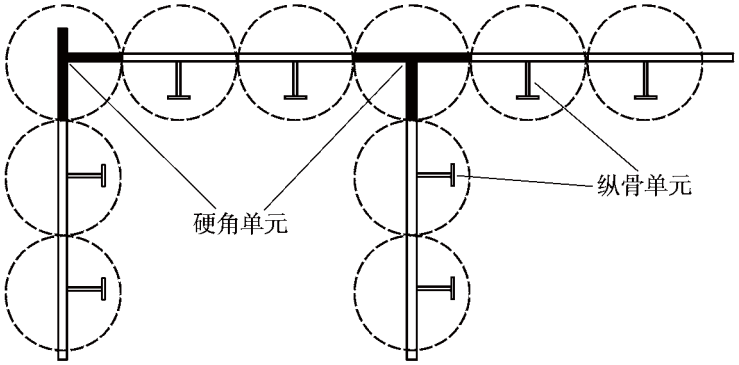
图 A. 2. 3 给出了纵壁水平桁上硬角单元的定义，硬角单元尺寸的定义见 2. 2. 2. 4。

2. 2. 2. 4 硬角单元的建模及尺寸应遵循以下原则：

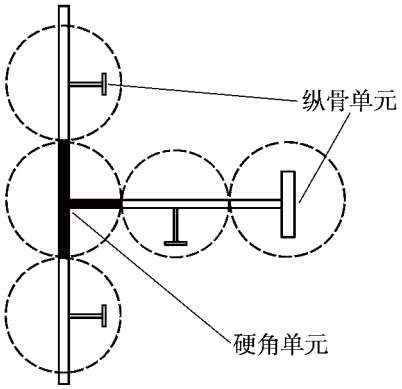
（a）对于纵向加筋的板格，硬角单元自板连接处向外延伸 $s/2$ 的距离，其中 s 为纵骨间距。

（b）对于横向加筋板格，硬角单元自板连接处向外延伸 $20t_{grs}$ 的距离，其中 t_{grs} 为总厚度。

注：对于横向加筋板，其应力－应变曲线载荷缩短部分所对应的有效宽度应取为板的全宽，即到其他板的连接处，如有硬角端部，则不是自硬角端部量起。2. 3. 8. 1 中定义的 σ_{CR5} 值所应用的面积应取硬角之间的宽度，如有硬角端部，则不包括硬角端部。



a)



b)

图 A.2.3　　结构单元定义示例

a）舷侧、内壳及甲板的例子；b）纵舱壁上水平桁的例子

2.3　应力－应变曲线 σ–ε（或称载荷—端缩曲线）

2.3.1　板及纵骨

2.3.1.1　板及纵骨的失效按表 A.2.1 中列出的其中之一模式，相应的应力－应变曲线亦见表 A.2.1。

2.3.2　硬角

2.3.2.1　硬角是一些刚度很大的单元，他们的失效模式为弹性—理想塑性。其应力－应变曲线根据 2.3.3 得到。

板及加强筋的失效模式　　**表 A.2.1**

单　　元	失　效　模　式	σ—ε曲线定义见
受拉的横骨架板格或普通扶强材	弹性—塑性损坏	2.3.3
受压的普通扶强材	梁柱屈曲 扭转屈曲 折边型材腹板局部屈曲 扁材腹板局部屈曲	2.3.4 2.3.5 2.3.6 2.3.7
受压的横骨架板格	板材屈曲	2.3.8

2.3.3 结构单元的弹性—塑性失效

2.3.3.1 对于组成船体梁横剖面的结构单元，描述其弹性 – 塑性损坏的应力 - 应变曲线 σ–ε 的等式由下式得出，且对硬角单元的正（受压）应变和所有单元的负（受拉）应变均有效（见图 A.2.4）：

$$\sigma=\Phi\sigma_{yd}$$

式中：Φ——边缘函数：

$\Phi=-1$，对于 $\varepsilon<-1$

$\Phi=\varepsilon$，对于 $-1<\varepsilon<1$

$\Phi=1$，对于 $\varepsilon>1$

ε——相对应变；

$$\varepsilon=\frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_{yd}}$$

ε_E——单元应变；

ε_{yd}——对应于单元屈服应力的应变：

$$\varepsilon_{yd}=\frac{\sigma_{yd}}{E}$$

σ_{yd}——材料的最小屈服应力，N/mm^2。

注：本附录中应力及应变符号的定义与本篇中其他章节中的定义相反。

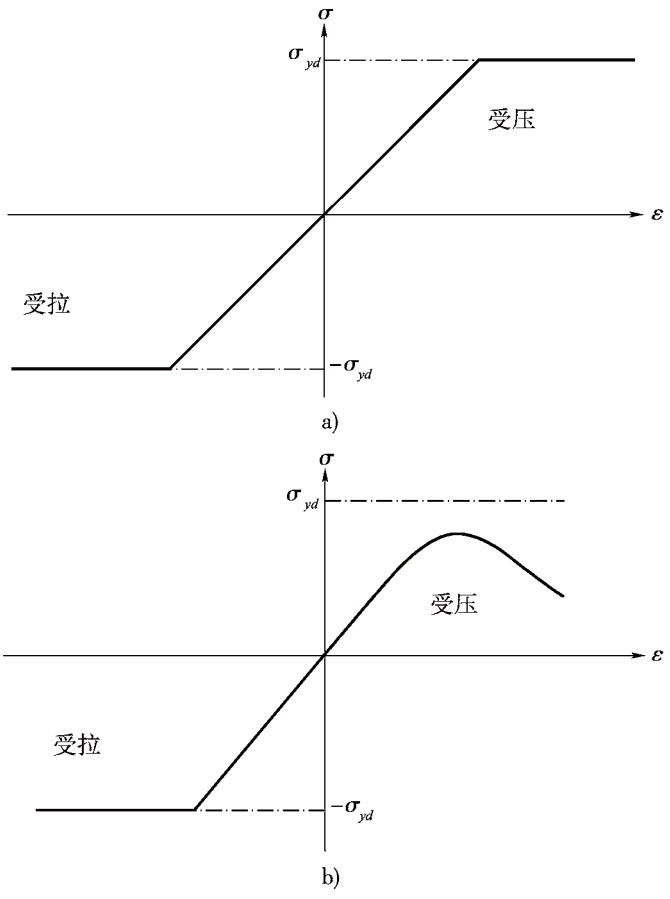


图 A.2.4 应力—应变曲线的例子

a）弹性—理想塑性失效硬角单元的应力—应变曲线；b）弹—塑性失效纵骨的典型应力—应变曲线

2.3.4 梁柱屈曲

2.3.4.1 对于扶强材的梁柱屈曲，描述其载荷端缩应力应变曲线 $\sigma_{CR1}-\varepsilon$ 的等式由下式得出：

$$\sigma_{CR1}=\Phi\sigma_{C1}\left(\frac{A_{s\text{-}net50}+10^{-2}b_{eff\text{-}p}t_{net50}}{A_{s\text{-}net50}+10^{-2}st_{net50}}\right) \quad \text{N/mm}^2$$

式中：Φ——2.3.3.1 所定义的边缘函数；

$A_{s-net50}$——纵骨的净剖面积，cm^2，不包括带板；

σ_{C1}——临界应力，N/mm^2：

$$\sigma_{C1}=\frac{\sigma_{E1}}{\varepsilon}, \quad \text{对于 } \sigma_{E1}\leqslant\frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon$$

$$\sigma_{C1}=\sigma_{yd}\left(1-\frac{\sigma_{yd}\varepsilon}{4\sigma_{E1}}\right), \quad \text{对于 } \sigma_{E1}>\frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon$$

ε——2.3.3.1 所定义的相对应变；

σ_{E1}——欧拉梁柱屈曲应力，N/mm^2：

$$\sigma_{E1}=\pi^2E\frac{I_{E-net50}}{A_{E-net50}l_{stf}{}^2}10^{-4}$$

E——弹性模量，$2.06\times10^5\ \text{N/mm}^2$；

$I_{E-net50}$——普通扶强材净惯性矩，cm^4，带板宽为 b_{eff-s}；

b_{eff-s}——有效带板宽度，mm：

$$b_{eff\text{-}s}=\frac{s}{\beta_p}, \quad \text{对于 } \beta_p>1.0$$

$$b_{eff\text{-}s}=s, \quad \text{对于 } \beta_p\leqslant1.0$$

$$\beta_p=\frac{s}{t_{net50}}\sqrt{\frac{\varepsilon\sigma_{yd}}{E}}$$

s——带板宽度，取为纵骨间距，定义见 4.2.2.1；

t_{net50}——带板的净厚度，mm；

$A_{E-net50}$——带板宽为 b_E 的普通扶强材剖面净面积，cm^2；

l_{stf}——纵骨跨距，即主要构件间距；

b_{eff-p}——有效带板宽度，mm：

$$b_{eff\text{-}p}=\left(\frac{2.25}{\beta_p}-\frac{1.25}{\beta_p^2}\right)s, \quad \text{对于 } \beta_p>1.25$$

$$b_{eff\text{-}p}=s, \quad \text{对于 } \beta_p\leqslant1.25$$

2.3.5 扭转屈曲

2.3.5.1 对于扶强材的侧向屈曲，描述其载荷端缩应力应变曲线 σ_{CR2}–ε 的等式由下式得出（见图 4）：

$$\sigma_{CR2}=\Phi\frac{A_{s-net}\sigma_{C2}+10^{-2}st_{net50}\sigma_{CP}}{A_{s-net50}+10^{-2}st_{net50}} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：Φ——2. 3. 3. 1 所定义的边缘函数；

$A_{s-net50}$——不包括带板的加强筋的净面积，cm^2；

σ_{C2}——临界应力，N/mm^2：

$$\sigma_{C2}=\frac{\sigma_{E2}}{\varepsilon}，\text{对于 } \sigma_{E2}\leqslant\frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon$$

$$\sigma_{C2}=\sigma_{yd}\left(1-\frac{\sigma_{yd}\varepsilon}{4\sigma_{E2}}\right)，\text{对于}\sigma_{E2}\geqslant\frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon$$

σ_{E2}——欧拉扭转屈曲应力，N/mm^2：

$\sigma_{E2}=\sigma_{ET}$

σ_{ET}——扭转屈曲的参考应力，定义见 10/3. 3. 3. 1，计算时采用总厚度减去一半腐蚀增量（$0.5t_{corr}$）；

ε——2. 3. 3. 1 所定义的相对应变；

s——带板宽度，取为纵骨间距，定义见 4 节 /2. 2. 1；

t_{net50}——带板的净厚度，mm；

σ_{CP}——扶强材带板的极限强度，N/mm^2：

$$\sigma_{CP}=\left(\frac{2.25}{\beta_p}-\frac{1.25}{\beta_p^2}\right)\sigma_{yd}，\text{对于 } \beta_p>1.25$$

$\sigma_{CP}=\sigma_{yd}$，对于 $\beta_p\leqslant 1.25$

β_p——2. 3. 4 所定义的系数。

2. 3. 6 折边型材制成的扶强材腹板局部屈曲

2. 3. 6. 1 对于折边扶强材的腹板局部屈曲，描述其端缩应力应变曲线 σ_{CR3}–ε 的等式由下式得出：

$$\sigma_{CR3}=\Phi\sigma_{yd}\left(\frac{b_{eff-p}t_{net50}+d_{w-eff}t_{w-net50}+b_f t_{f-net50}}{st_{net50}+d_w t_{w-net50}+b_f t_{f-net50}}\right)\quad N/mm^2$$

式中：Φ——2. 3. 3. 1 所定义的边缘函数；

b_{eff-p}——2. 3. 4 所定义的板有效宽度，mm；

t_{net50}——板的净厚度，mm；

d_w——腹板高度，mm；

$t_{w-net50}$——腹板净厚度，mm；

b_f——面板宽度，mm；

$t_{f-net50}$——面板净厚度，mm；

s——带板宽度，取为纵骨间距，定义见 4 节 /2. 2. 1；

d_{w-eff}——腹板有效高度，mm：

$$d_{w-eff}=\left(\frac{2.25}{\beta_w}-\frac{1.25}{\beta_w^2}\right)d_w，\text{对于 } \beta_w>1.25$$

$d_{w-eff}=d_w$，　　对于 $\beta_w\leqslant 1.25$

$$\beta_W=\frac{d_w}{t_{w-net50}}\sqrt{\frac{\varepsilon\sigma_{yd}}{E}}$$

ε——2. 3. 3. 1 所定义的相对应变；

E——弹性模量，$2.06\times10^5\ N/mm^2$。

2.3.7 扁材制成的扶强材腹板局部屈曲

2.3.7.1 对于扁材扶强材的腹板局部屈曲，描述其端缩应力应变曲线 σ_{CR4}–ε 的等式由下式得出：

$$\sigma_{CR4} = \Phi\left(\frac{st_{net50}\sigma_{CP} + 10^{-2}A_{s\text{-}net50}\sigma_{C4}}{st_{net50} + 10^{-2}A_{s\text{-}net50}}\right)$$

式中：Φ——2.3.3.1 所定义的边缘函数；

σ_{CP}——2.3.5 所定义的带板的极限强度，N/mm^2；

σ_{C4}——临界应力，N/mm^2：

$$\sigma_{C4} = \frac{\sigma_{E4}}{\varepsilon}, \qquad \text{对于 } \sigma_{E4} \leqslant \frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon$$

$$\sigma_{C4} = \sigma_{yd}\left(1 - \frac{\sigma_{yd}\varepsilon}{4\sigma_{E4}}\right), \quad \text{对于 } \sigma_{E4} > \frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon$$

σ_{E4}——欧拉屈曲应力，N/mm^2：

$$\sigma_{E4} = 160000\left(\frac{t_{w-net50}}{d_w}\right)^2$$

ε——2.3.3.1 所定义的相对应变；

$A_{s-net50}$——纵骨的净剖面积，cm^2，见 2.3.5.1；

$t_{w-net50}$——腹板的净厚度，mm；

d_w——腹板高度，mm；

s——带板宽度，取为纵骨间距，定义见第 4 节 /2.2.1；

t_{net50}——带板的净厚度，mm。

2.3.8 横向加筋板格的屈曲

2.3.8.1 对于横向加筋板格的屈曲，描述其端缩应力应变曲线 σ_{CR5}–ε 的等式由下式得出：

$$\sigma_{CR5} = \min\left\{\begin{array}{l}\Phi\sigma_{yd}\left[\dfrac{s}{1000l_{stf}}\left(\dfrac{2.25}{\beta_p} - \dfrac{1.25}{\beta_p^2}\right) + 0.1\left(1 - \dfrac{s}{1000l_{stf}}\right)\left(1 + \dfrac{1}{\beta_p^2}\right)^2\right] \\ \sigma_{yd}\Phi\end{array}\right. \quad \text{N/mm}^2$$

式中：β_p——2.3.4.1 所定义的系数；

Φ——2.3.3.1 所定义的边缘函数；

s——带板宽度，取为纵骨间距，定义见 4/2.2.1；

l_{stf}——加强筋跨距，等于主要构件的间距，m；

σ_{yd}——材料的最小屈服应力，N/mm^2。

3 其他方法

3.1 一般要求

3.1.1 关于其他模型的考虑

3.1.1.1 弯矩曲率关系 M–k 可由其他方法建立。该模型应考虑对非线性响应具有重要影响的所有相关效应，包括：

（a）几何非线性特性；

（b）材料非弹性特性；

（c）几何缺陷和残余应力（板材和加强筋的几何不平度）；

（d）同步作用载荷：

• 双向受压；

• 双向受拉；

• 剪切和侧向压力；

（e）边界条件；

（f）屈曲模式之间的相互作用；

（g）结构部件（如板材、加强筋、桁材等）之间的相互作用；

（h）后屈曲能力。

3.2 方法

3.2.1 增量－叠代法

3.2.1.1 评估船体梁极限弯曲能力一般最常用的方法是对两个相邻横剖面之间的船体梁剖面逐步增加曲率 k，以求得非线性的弯矩－曲率关系 M–k，然后沿此曲线将最大弯矩确定为极限弯曲能力 M_U。

3.2.1.2 M–k 曲线基于横剖面上每个独立结构部件的轴向非线性 P–ε（载荷 / 应变）载荷－端缩曲线。P–ε 曲线应考虑 3.1.1.1 列出的所有相关的结构效应。

3.2.2 非线性有限元分析

3.2.2.1 高级非线性有限元计算模型可用于船体梁极限能力的评估。模型应考虑对非线性响应具有重要影响在 3.1.1.1 中列出的相关因素。

3.2.2.2 对于几何缺陷的形状和尺度，在建模时应特别予以注意。应保证几何缺陷的形状和尺度能引发最小的临界失效模式。

附录 B 结构强度评估

1 通则

1.1 适用范围

1.1.1 一般要求

1.1.1.1 按照第 9 节 /2.1，应采用有限元评估验证船体结构的强度。

1.1.1.2 结构评估应按照本附录的要求进行，并验证结构强度满足验收衡准。

1.1.1.3 本附录要求适用于中部货油舱区域纵向船体梁构件、主要支撑构件和横舱壁的强度评估，也适用于首尾货油舱区域横舱壁处承受船体梁垂向剪切载荷的纵向船体梁抗剪构件（见第 9 节 /2.2.1.1 和第 4 节 / 表 4.1.1）的强度评估，但本附录规定的纵向船体梁抗剪构件的强度评估不适用于船首防撞舱壁、机舱横舱壁和污油舱横舱壁处。

1.1.1.4 进行有限元结构评估的货油舱区域定义见图 B.1.1。

1.1.1.5 对于中部货油舱区域的船体梁纵向构件、主要支撑构件和横舱壁的尺寸评估，应按照附录 B/2 进行舱段结构强度分析。评估应基于包括最后一个货舱的前舱壁在内至距 *A.P.* 0.65*L* 范围的最大许用静水剪力（载荷组合 *S*）、最大许用静水剪力和波浪剪力之和（载荷组合 *S*+*D*），但不包括机舱横舱壁和污油舱横舱壁，见图 B.1.1a）。

1.1.1.6 首部货油舱区域的纵向船体梁抗剪构件必须进行强度评估，应按照附录 B/2 进行计算。首部货油舱区域横舱壁处这些构件的加强评估应基于距 A.P. 0.65*L* 向前的最大许用静水剪力（载荷组合 *S*）、最大许用静水剪力和波浪剪力之和（载荷组合 *S*+*D*），但不包括船首防撞舱壁，见图 B.1.1b）。

1.1.1.7 中部货油舱区域和尾部货油舱区域位于横舱壁处的纵向船体梁抗剪构件尺寸加强的评估，按照附录 B/2 进行，可基于中部舱段分析（见本附录 1.1.1.5）得到的尺度结果。

1.1.1.8 另外，可对某一特定横舱壁处的纵向船体梁抗剪构件进行评估以确定结构加强需要，评估应基于该横舱壁处的许用静水剪力（载荷组合 *S*）、许用静水剪力和波浪剪力之和（载荷组合 *S*+*D* 时）进行，见图 B.1.1b）。

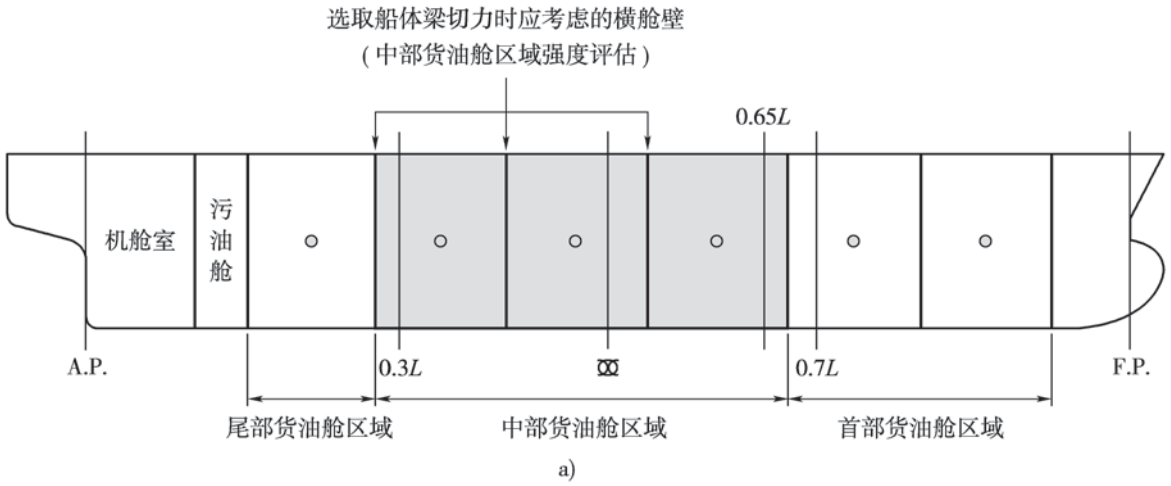
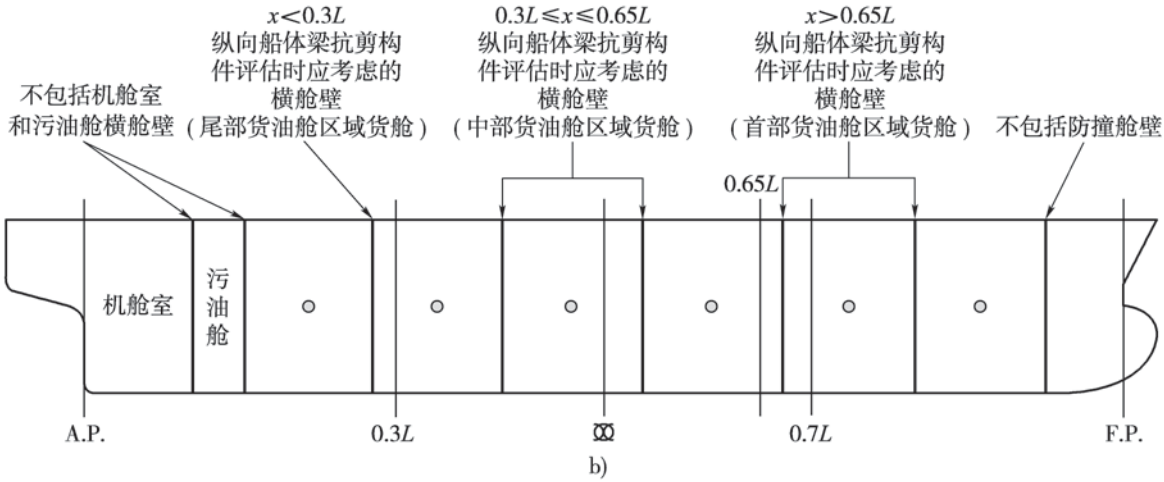


图 B.1.1



注：1. 首部货油舱区域的舱室是指其重心纵向位置位于距*A. P.* 0. 7*L*处向前的舱室。

2. 中部货油舱区域的舱室是指其重心纵向位置位于距*A. P.* 0. 3*L*处至距*A. P.* 0. 7*L*处之间（包括距*A. P.* 0. 3*L*和距*A. P.* 0. 7*L*处）的舱室。

3. 尾部货油舱区域的舱室是指其重心纵向位置位于距*A. P.* 0. 3*L*处向后的舱室。

图 B. 1. 1 有限元结构评估的货油舱区域定义

a）中部货油舱区域强度评估；b）纵向船体梁抗剪构件评估

1. 1. 1. 9 中部货油舱区域的有限元细化网格分析是必须的，应按照附录 B/3 进行计算。中部货油舱区域的底边舱下折角的有限元疲劳分析是必须的，应按照附录 B/4 进行的。

1.2 符号、单位和定义

1.2.1 一般要求

1. 2. 1. 1 本附录适用的符号和定义，如第 4 节 /1、第 7 节和下列所示：

a_v——舱室重心处的垂向加速度；

a_t——舱室重心处的横向加速度；

a_{lng}——舱室重心处的纵向加速度；

E——钢的弹性模量，E=2. 06×10^5 N/mm^2；

M_{wv}——动载荷工况下的垂向波浪弯矩；

M_{sw}——有限元载荷模式的垂向静水弯矩；

M_h——动载荷工况下的水平波浪弯矩；

Q_{wv}——动载荷工况下的垂向波浪剪力；

Q_{sw}——有限元载荷模式的垂向静水剪力；

T_{LC}——有限元载荷模式的吃水；

T_{sc}——结构吃水，见第 4 节 /1. 1. 1. 5；

T_{bal-cm}——船舶紧急压载工况的吃水；

t_{grs}——建造总厚度，但不包括船东的额外要求厚度，见第 2 节 /6. 3. 4；

t_{corr}——腐蚀增量，见第 6 节 /3. 2；

σ_{yd}——材料最小屈服应力，N/mm^2；

σ_{vm}——von Mises 应力：

$$\sigma_{vm}=\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x\sigma_y+3\tau_{xy}^2}$$；

σ_x——单元 x 方向的正应力；

σ_y——单元 y 方向的正应力；

τ_{xy}——单元 x-y 平面的剪切应力；

δ_x——x 方向的位移，按照第 4 节 /1.4 定义坐标系；

δ_y——y 方向的位移，按照第 4 节 /1.4 定义坐标系；

δ_z——z 方向的位移，按照第 4 节 /1.4 定义坐标系；

θ_x——绕 x 轴的转角，按照第 4 节 /1.4 定义坐标系；

θ_y——绕 y 轴的转角，按照第 4 节 /1.4 定义坐标系；

θ_z——绕 z 轴的转角，按照第 4 节 /1.4 定义坐标系。

1.2.1.2 构件的名称见第 4 节 /1.5。

1.2.1.3 结构分析中应使用统一的坐标系和单位制。当然，规范公式计算中，应使用规定的坐标系和单位制。当规范公式计算结果的单位和 / 或坐标系与结构分析所使用的不同时，应将规范公式计算结果转换为结构分析中所使用的单位和坐标系。

1.2.2 单元类型

1.2.2.1 结构评估应基于三维结构模型的有限元线性分析。有限元分析所使用的单元类型通常如表 B.1.1 所示。

单 元 类 型　　表 B.1.1

杆（或桁架）单元	线单元，仅具有轴向刚度，且沿单元长度其横剖面积不变
梁单元	线单元，具有轴向、扭转和双向剪切和弯曲刚度，且沿单元长度其特性不变
膜（或平面应力）板单元	板单元，具有双向和面内刚度，且厚度不变
壳（或弯曲板）单元	板单元，具有面内刚度和面外弯曲刚度，且厚度不变

1.2.2.2 用两节点的线单元和三或四节点的板 / 壳单元描述船体结构已足够。本附录网格要求基于有限元模型中使用这些单元。当然，也可使用更高阶的单元。

1.2.2.3 按照附录 B/2 和附录 B/3 进行的舱段和细化网格强度分析，评估应基于板单元的膜（或面内）应力与应力验收衡准进行比较。按照附录 B/4 进行的疲劳评估，确定疲劳寿命的动应力范围计算应基于板单元的表面应力。

2 舱段结构强度分析

2.1 评估

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 对于常规布置的油船，对船体梁和主要支撑构件的有限元强度评估应按照本附录要求进行。

2.2 结构建模

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 中部舱段有限元（FE）模型的纵向范围应覆盖船中三个货舱长度。当中部货油舱区域的舱室长度不同时，有限元模型的中间货舱的长度应取最长货油舱的长度。有限元模型可以是棱柱形。模型两端应包括横舱壁。当货舱设置槽形横舱壁时，模型前后端应包括槽形横舱壁的完整壁凳结构，前后端超出端部横舱壁的模型长度应相等，模型端部的强框架应一并建模。不同结构布置型式油船的中部货舱区域典型有限元模型见图 B.2.1。

2.2.1.2 首、尾部货油舱区域横舱壁处，承受船体梁垂向载荷的纵向船体梁抗剪构件（见第 9 节 /2.2.1.1 和第 4 节 / 表 4.1.1）的评估可在中部舱段有限元模型的基础上进行，评估时应对板和骨材特性进行适当修改。如果剪切强度评估使用另外的舱段有限元模型，模型长度应覆盖三个货舱区域。

2. 2. 1. 3 建立的有限元模型应包括船体的左舷和右舷及整个型深。

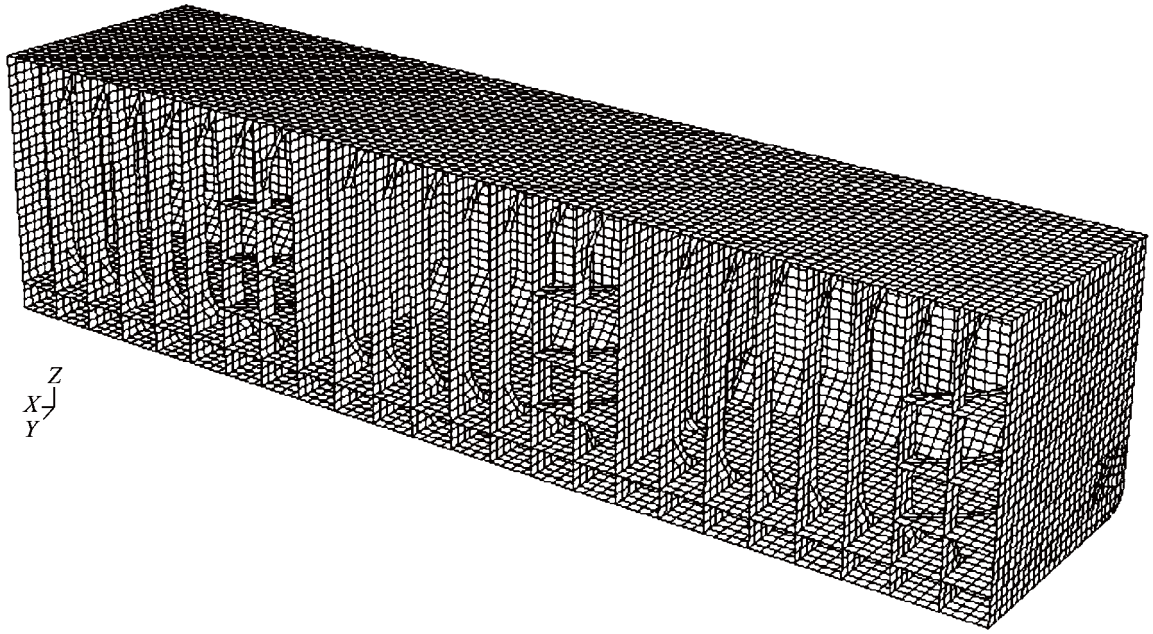
2. 2. 1. 4 建模中应包括所有纵向和横向主要构件，这些构件包括：内壳和外板结构、双层底肋板和纵桁系统、横向强框架和垂直桁材、水平桁材、横舱壁和纵舱壁。构件上所有的板材和骨材、包括腹板加强筋，都应模型化，见本附录 2. 2. 1. 11。

2. 2. 1. 5 舱段有限元模型中所有板材、骨材的腹板和面板应使用缩减尺寸，如下计算：

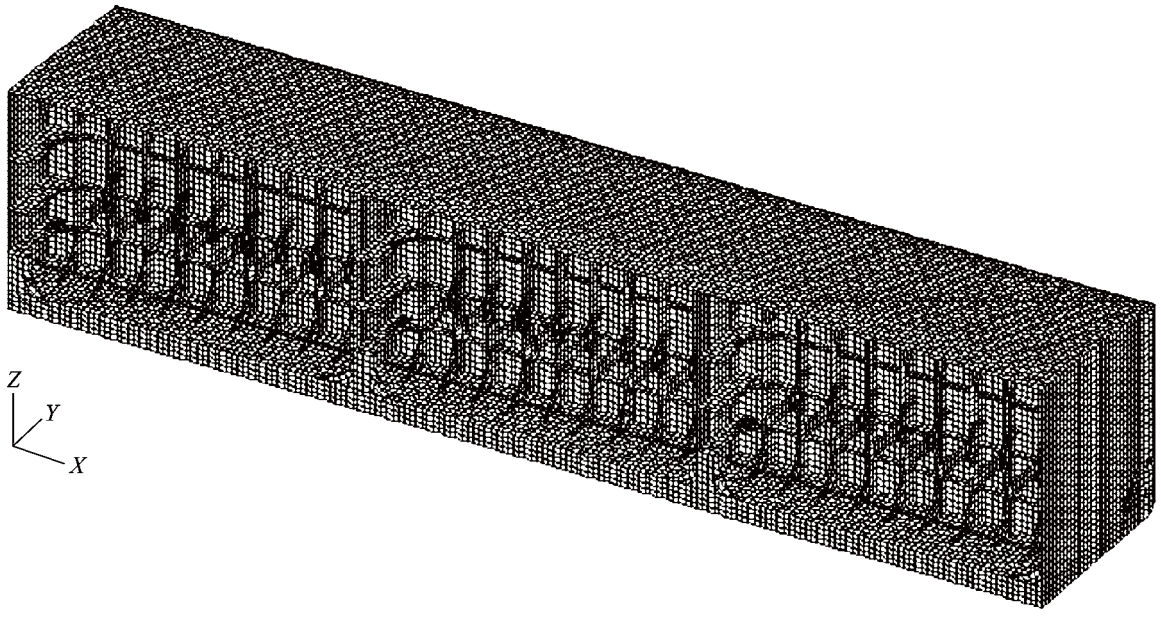
$$t_{FEM\text{-}net50}=t_{grs}-0.5t_{corr}$$

式中：t_{grs}——总厚度，见本附录 1. 2 规定；

t_{corr}——腐蚀增量，见第 6 节 /3. 2。

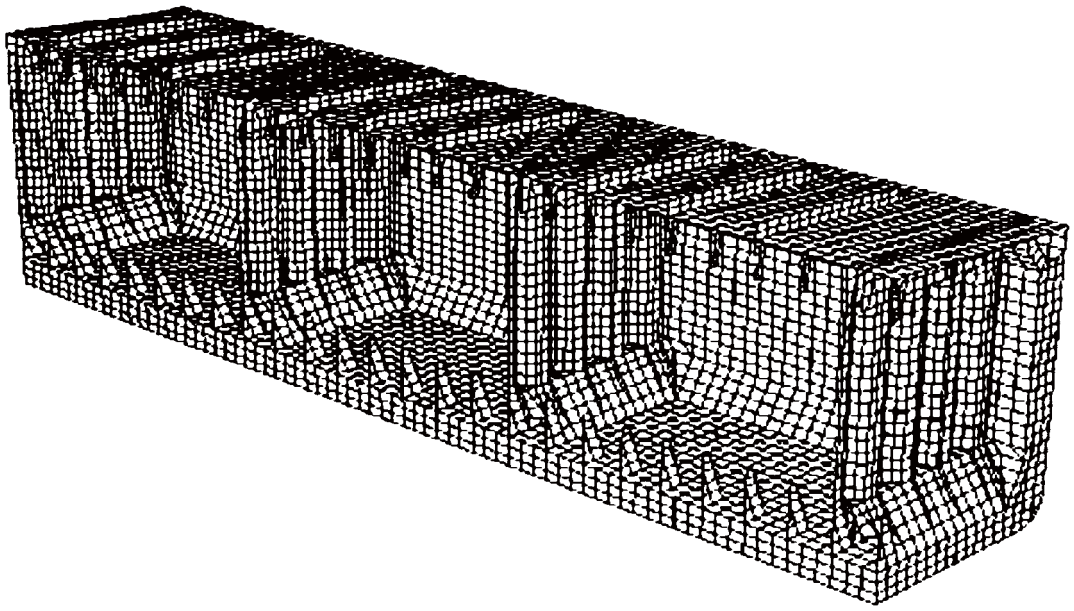


阿法拉型油船的典型舱段模型（仅显示全宽模型的右舷）



VLCC的典型舱段模型（仅显示全宽模型的左舷）

图 B. 2. 1



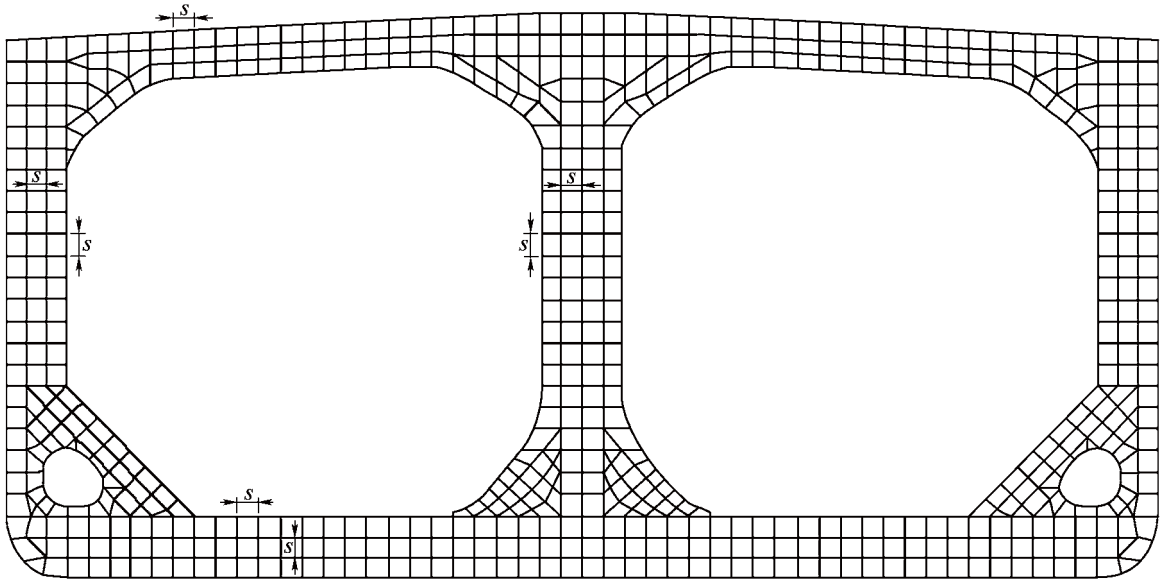
成品油船的典型舱段模型（仅显示全宽模型的左舷）

图 B. 2. 1　油船中部货舱区域的典型三舱有限元模型

2. 2. 1. 6　板单元网格应尽可能遵从骨材实际排列规律，以表示骨材之间的实际板格。通常，板单元网格应满足以下要求：

（a）每两相邻纵骨之间为一个单元，见图 B. 2. 2。

沿纵向，单元长度应不大于 2 个纵骨间距。

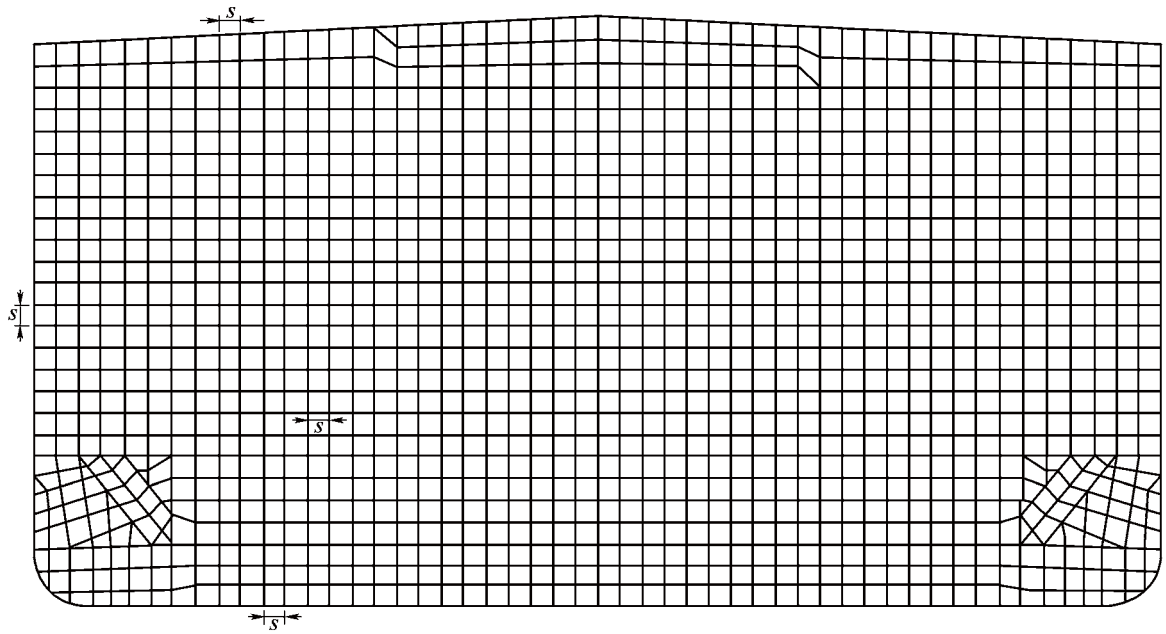


s＝骨材间距

图 B. 2. 2　强框架的典型有限元网格

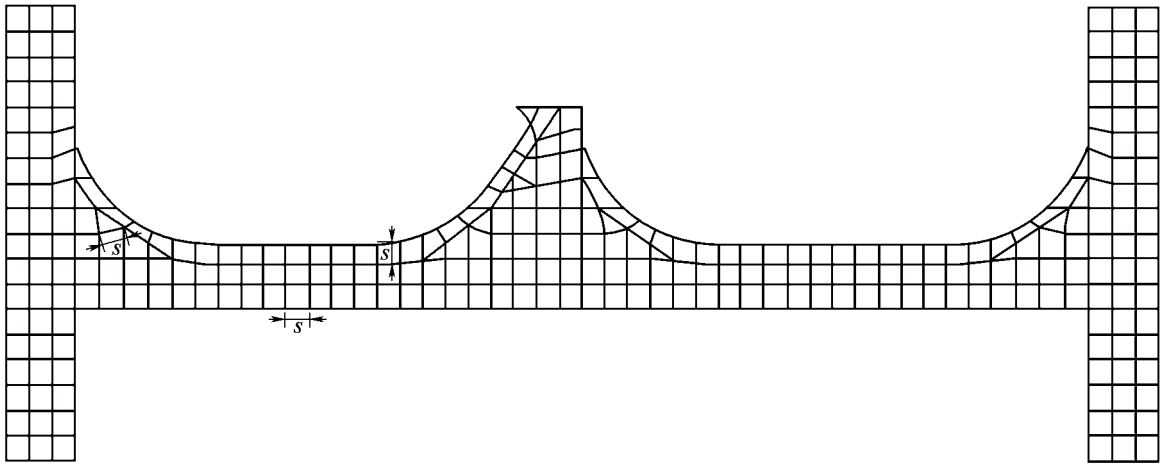
（b）横舱壁，每两相邻垂直扶强材之间为一个单元，见图 B. 2. 3。

（c）横框架、垂直桁材、撑材和水平桁材上，每两相邻腹板加强筋之间为一个单元，见图 B. 2. 2 和图 B. 2. 4。



s＝骨材间距

图 B. 2. 3 横舱壁的典型有限元网格



s＝骨材间距

图 B. 2. 4 横舱壁上水平桁的典型有限元网格

（d）双层底纵桁和肋板、横框架、垂直桁材、横舱壁上水平桁材，沿腹板高度至少划分为三个单元。撑材、甲板强横梁、制荡舱壁和纵舱壁上水平桁材，如腹板高度较小，则沿腹板高度可以用两个单元表示，但在腹板每两相邻加强筋之间应至少为一个单元。与其相邻结构的网格尺寸可适当调整。

（e）底边舱强框架的网格应足够精细，以描述强框架上开孔的实际形状，见图 B. 2. 2。

（f）对主要支撑构件的大肘板自由边的曲率应准确描述，以避免由于几何不连续导致不真实的高应力。一般情况下，网格大小取骨材间距。如模型中肘板臂长不超过肘板的实际臂长，则肘板趾部可在最近的模型节点处中断。肘板面板不应与列板连接，见图 B. 2. 5。面板削斜部分的建模应按照本附录 2. 2. 1. 14。可接受的网格单元见图 B. 2. 5。肘板趾部的详细应力分析应使用更细网格，见附录 B/3。

2. 2. 1. 7 槽形舱壁和壁凳应用壳单元建模，见图 B. 2. 6，模型应包括壁凳隔板和壁凳板上的内部纵向、垂向加强筋。建模按照以下要求进行：

（a）槽条面板、腹板的壳单元网格通常应遵循壁凳的骨材间距。

（b）当槽条网格与壁凳网格直接匹配有困难时，为使槽形舱壁保持其原有几何形状，可适当调整与槽条相连处的壁凳网格，使之匹配。但是，如果为简化建模而调整了槽条形状，在评估应力时应按照本附录 2.7.2.6 要求考虑由此产生的影响。

（c）对于无顶凳和/或底凳的槽形舱壁，可能必须调整几何形状以简化建模，但是调整时应保持槽条和主要支撑构件的形状和位置。因此，如必要时，调整是针对骨材和板缝线而进行的。

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

2.2.1.9　货油舱结构的典型网格布置见图 B.2.7。

2.2.1.10　承受侧向压力的加筋板格，应用壳单元连同梁单元表示。承受侧向压力的非加筋板格，应用壳单元表示。对于不承受压力载荷的非密性结构，可用膜单元和杆单元表示。

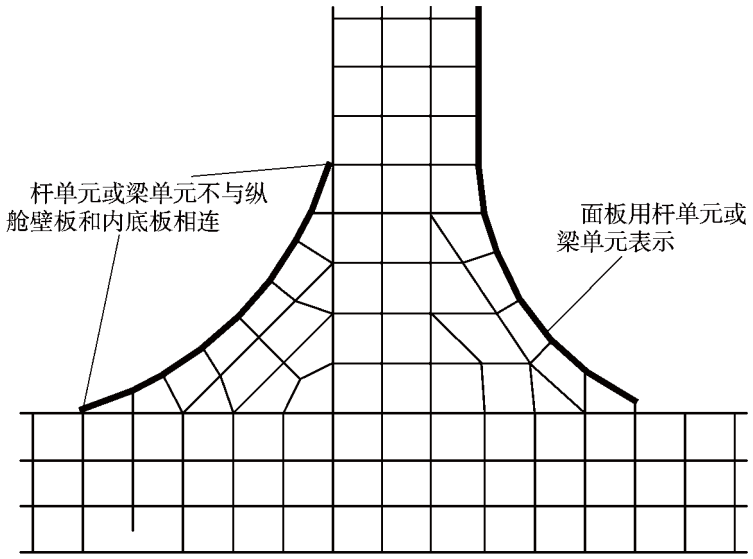


图 B.2.5　横框架大肘板的典型有限元网格

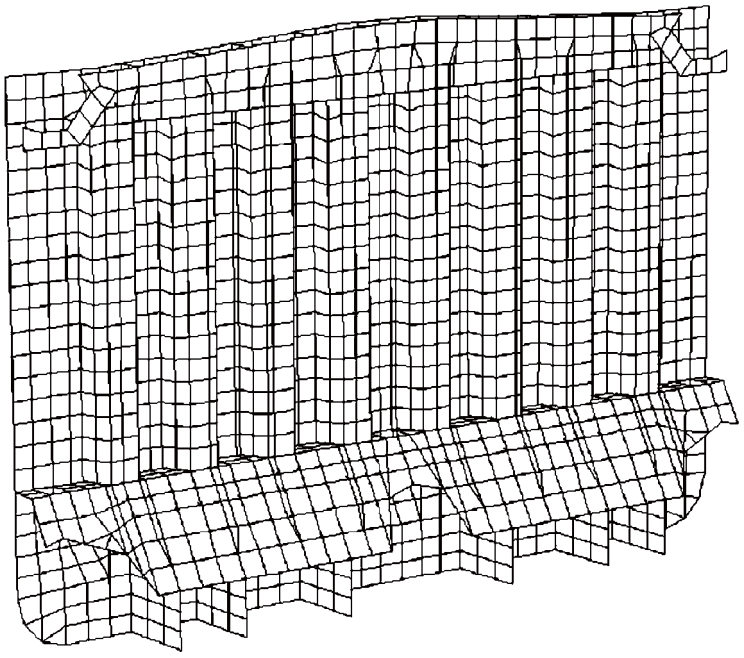
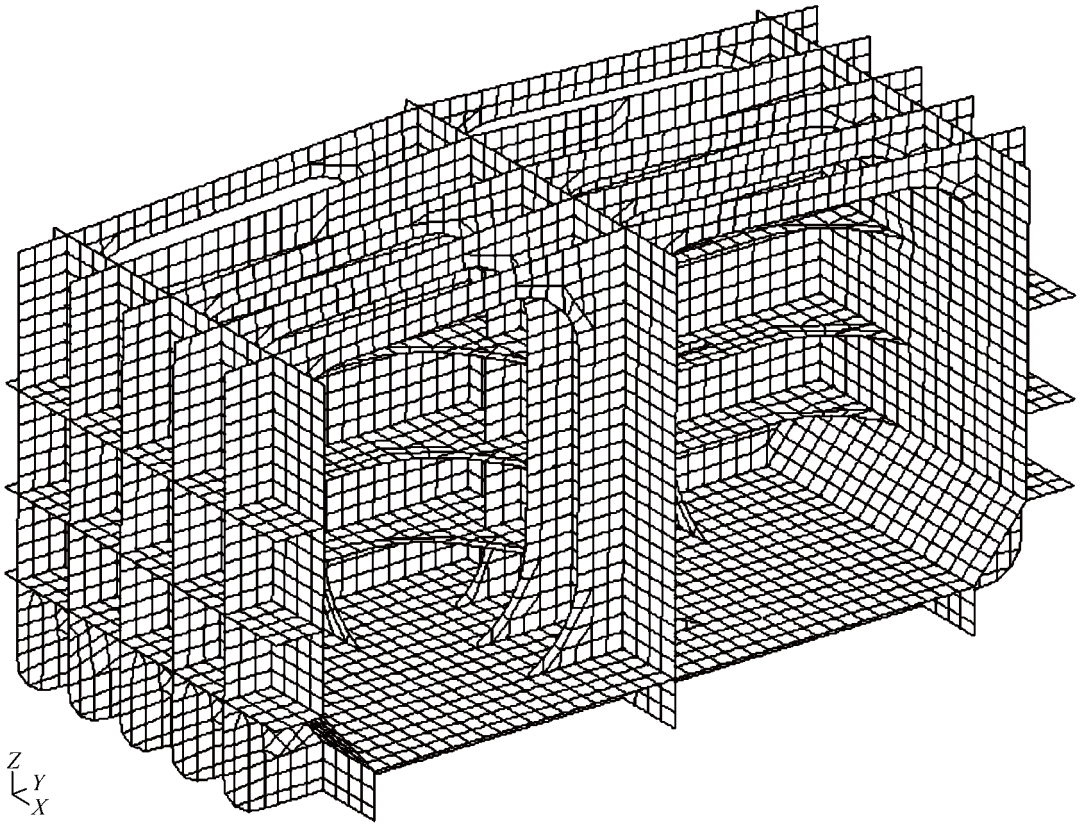
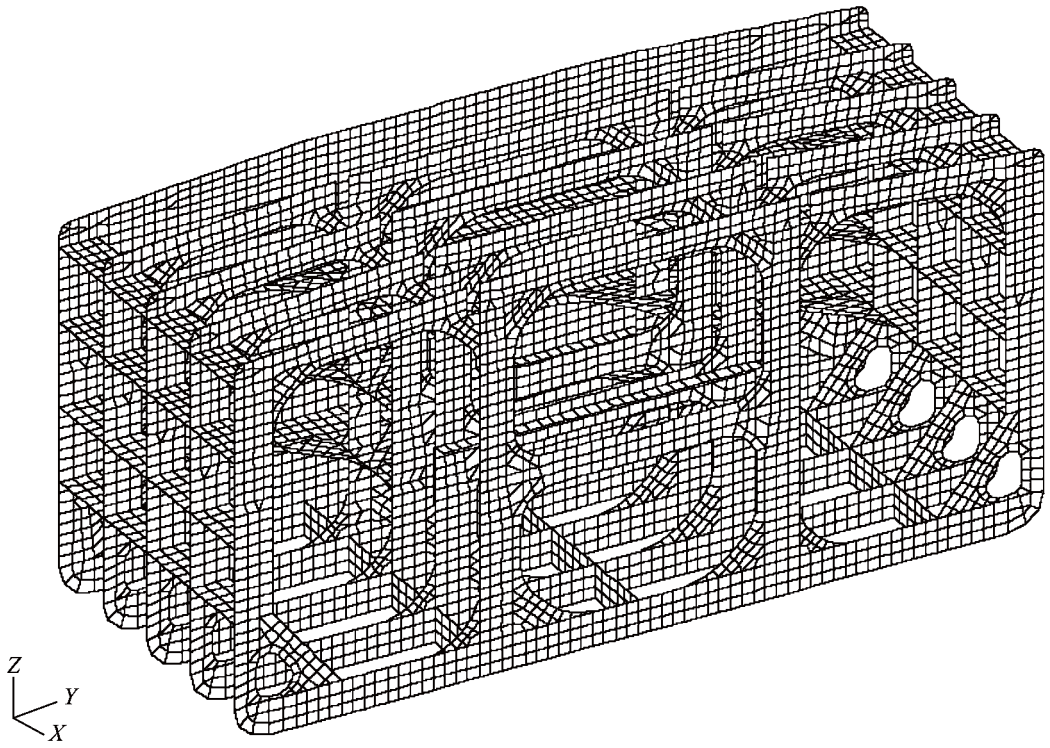


图 B.2.6　槽形横舱壁结构的典型有限元网格

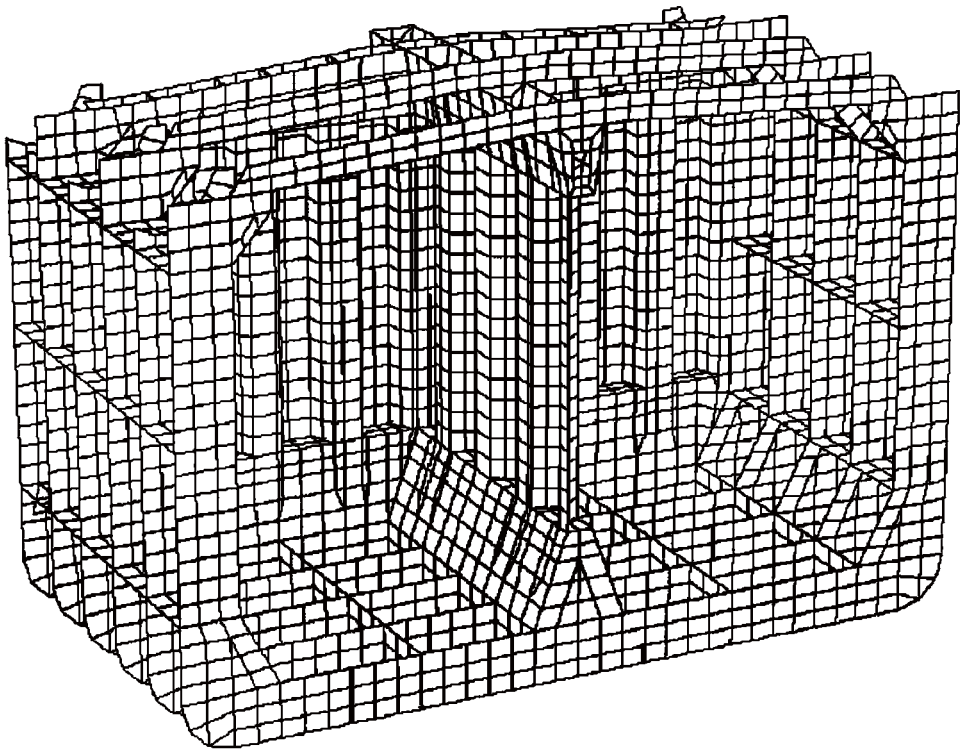


阿法拉型油船



VLCC

图 B. 2. 7



成品油船

图 B. 2. 7 货舱结构的典型有限元网格分布

2. 2. 1. 11 所有的局部骨材都应模型化。这些骨材可用位于板面内的线单元来建模。承受侧向载荷的区域应使用梁单元，而不承受侧向载荷的内部构件上的骨材可使用杆（桁架）单元。线单元应具有以下特性：

（a）对于梁单元，面外弯曲特性应能表示板和骨材组合后的惯性矩，骨材每边的带板应取 1/2+1/2 的骨材间距。此时中和轴的偏心不要求建模表示。

（b）对于梁单元和杆单元，其他剖面特性应基于表示扶强材的横剖面面积，但不包括带板面积。

2. 2. 1. 12 不连续骨材的有效横剖面面积应按照表 B. 2. 1 计算。

骨材线单元的有效横剖面面积 **表 B. 2. 1**

线单元表示的结构	有效面积A_e	
距削斜（不连续）端$2d_w$以内的骨材	所有剖面	A_e=25%$A_{n-net50}$
距削斜（不连续）端$2d_w$以外的骨材	所有剖面	A_e=100%$A_{n-net50}$
表中：$A_{n-net50}$——线单元沿单元长度方向的平均横剖面面积； d_w——骨材腹板高度，不包括带板。		

2. 2. 1. 13 主要支撑构件的腹板加强筋应模型化。当这些加强筋与有限元主要网格不一致时，如果调整距离不超过骨材间距的 0. 2 倍，可沿最邻近的节点设置线单元，计算所得到的应力和屈曲因子可不必修正。大肘板、甲板强横梁、水平桁上平行于面板的防倾骨材应模型化，这些加强筋可用杆单元建模。

2. 2. 1. 14 主要支撑构件和肘板的面板可用杆单元建模。面板弯曲部分的有效剖面积按照第 4 节 /2. 3. 4 进行计算。代表面板削斜部分的杆单元的横剖面面积应基于杆单元长度范围内的面板平均横剖面面积。

2. 2. 1. 15 主要支撑构件腹板上开孔的描述应按照表 B. 2. 2 进行。局部骨材的开孔、扇形孔、污水孔和空气孔可不描述。

桁材上腹板开孔的表达 **表 B. 2. 2**

$h_o / h < 0.35$ 且 $g_o < 1.2$	开孔无需建模
$0.5 > h_o / h \geqslant 0.35$ 且 $g_o < 1.2$	板建模厚度为 $t_{1-net50}$
$h_o / h < 0.5$ 且 $2 > g_o \geqslant 1.2$	板建模厚度为 $t_{2-net50}$
$h_o / h \geqslant 0.5$ 或 $g_o \geqslant 2$	开孔的几何形状应建模

表中：$g_o = 1 + \dfrac{l_o^2}{2.6(h-h_o)^2}$；

$t_{1-net50} = \dfrac{h-h_o}{h} t_{w-net50}$；

$t_{2-net50} = \dfrac{h-h_o}{hg_o} t_{w-net50}$；

$t_{w-net50}$——腹板缩减厚度；

l_o——垂直于主要支撑构件腹板高度方向的开孔长度，见图B.2.8；

h_o——平行于腹板高度方向的开孔高度，见图B.2.8；

h——开孔处的主要支撑构件腹板高度，见图B.2.8；

t_{corr}——腐蚀增量，见第6节/3.2。

注：1. 如连续开孔之间的距离d_o小于0. 25h，长度l_o应取跨越连续开孔的长度值，如图B. 2. 9所示。

2. l_o、h_o、h的单位应一致。

2.3 装载工况

2.3.1 有限元载荷工况

2. 3. 1. 1 两道油密纵舱壁的油船和一道油密纵舱壁的油船进行结构分析的标准设计载荷组合见表 B. 2. 3 和 B. 2. 4。

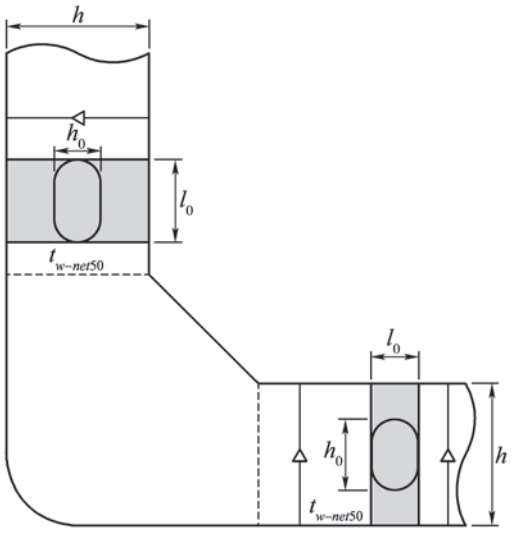


图 B. 2. 8　腹板开孔

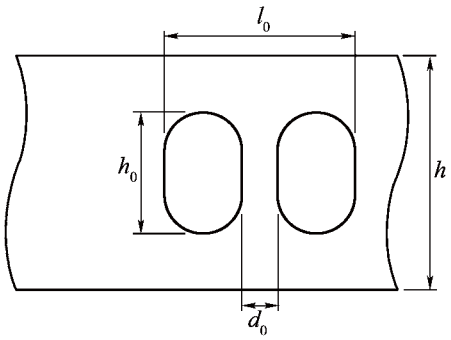


图 B. 2. 9　连续开孔之间的距离 $d_0 < \frac{h}{4}$ 时的 l_o 长度

2. 3. 1. 2　对于 *S*+*D* 设计载荷组合（航行工况），每种装载模式应采用表 B. 2. 3 和表 B. 2. 4 规定的多种动载荷工况进行校核。每一个 *S*+*D* 设计载荷组合包括两部分：

（a）静载荷：由装载模式确定的吃水、船体梁静水弯矩和静水剪力。

（b）动载荷：由动载荷工况确定，见第 7 节表 7. 6. 2。

2. 3. 1. 3　对于具有两道油密纵舱壁且中央货油舱有横向撑材布置的油船，应按照表 B. 2. 3 中的装载模式 A7 和 A12 进行校核，以检查由于横向边货舱的装载率不等而引起的更恶劣应力响应的可能性。装载模式 A7 仅当装载手册中有这种非对称航行装载工况时要求分析。对于中央货舱无横向撑材布置的油船，装载模式 A7 和 A12 无需校核。

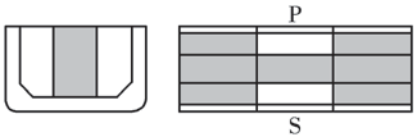
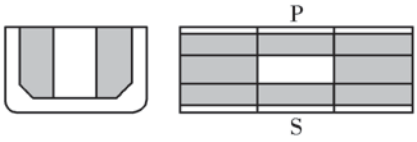
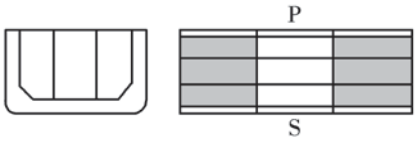
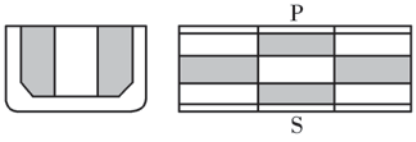
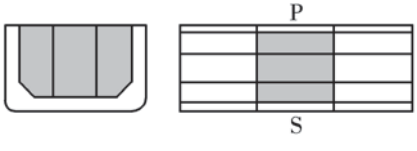
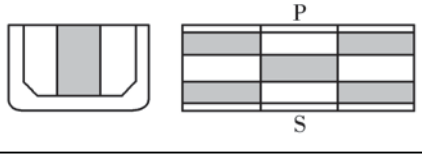
2. 3. 1. 4　对于两道油密纵舱壁的油船，应分析航行装载模式 A3 和港内装载模式 A13，这两种装载模式的所有中部货舱为空舱，分析时吃水应分别取 0. 55T_{sc} 和 0. 65T_{sc}。如果装载手册中有装载模式 A3 或 A13，且吃水更大，则分析时应取装载手册中该装载模式的最大吃水。

2. 3. 1. 5　对于两道油密纵舱壁的油船，应分析航行装载模式 A5 和港内装载模式 A11，这两种装载模式的所有中部货舱为满舱，分析时吃水应分别取 0. 8T_{sc} 和 0. 7T_{sc}。如果装载手册中有装载模式 A5 或 A11，且吃水更小，则分析时应取装载手册中该装载模式的最小吃水。

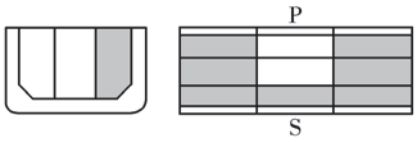
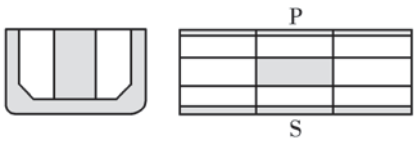
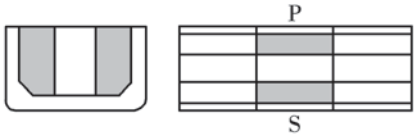
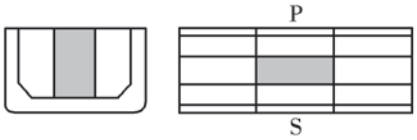
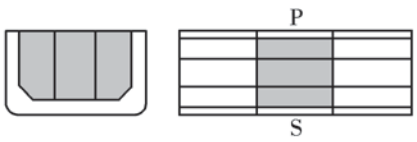
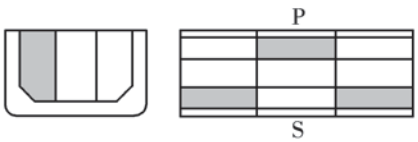
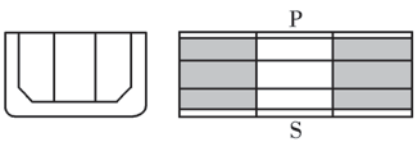
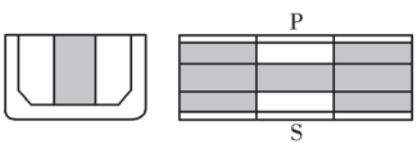
2. 3. 1. 6　装载模式 A1、A2、B1、B2 和 B3 的货舱为空舱，分析时吃水应取 0. 9T_{sc}。如果装载手册中有货舱空舱的装载模式，并且吃水更大，则评估时应取装载手册中实际工况的最大吃水。

2. 3. 1. 7 当装载手册中有一个或多个货舱装满压载水的工况时，应按表 B. 2. 3 和 B. 2. 4 的装载模式 A8 和 B7 进行校核。若装载情况为非对称，则应根据各家船级社的要求进行附加强度评估。

两道油密纵舱壁油船的有限元载荷工况 **表 B. 2. 3**

装载模式	图	静水载荷			动载荷工况		
		吃水	%许用静水弯矩 (2)	%许用静水剪力 (2)	强度评估 (1a)	承受船体梁剪切载荷的强度评估 (1b)	
					船中区域	首部区域	船中和尾部区域
设计载荷组合*S*+*D*（航行工况）							
A1		$0.9T_{sc}$	100%（中垂）	注3	1	\	\
			100%（中拱）	100%（负/前舱壁）注4	2， 5a	\	\
A2		$0.9T_{sc}$	100%（中垂）	注3	1	\	\
			100%（中拱）	100%（负/前舱壁）注4	2，5a	\	\
A3		$0.55T_{sc}$ 注6	100%（中拱）	100%（负/前舱壁）注5	2	4	2
				100%（负/前舱壁）注4	5a	\	\
A4		$0.6T_{sc}$	100%（中垂）	100%（正/前舱壁）注4	1， 5a	\	\
A5		$0.8T_{sc}$ 注7	100%（中垂）	100%（正/前舱壁）注5	1	3	1
				100%（正/前舱壁）注4	5a	\	\
A6		$0.6T_{sc}$	100%（中拱）	100%（负/前舱壁）注4	5a	\	\

续上表

装载模式	图	静水载荷			动载荷工况		
		吃水	%许用静水弯矩(2)	%许用静水剪力(2)	强度评估(1a)	承受船体梁剪切载荷的强度评估(1b)	
					船中区域	首部区域	船中和尾部区域
A7(8)		T_{LC} 注8	100% （中垂）	100% （负/前舱壁） 注4	5a	\	\
A8(9)		$T_{bal\text{-}em}$ 注9	100% （中垂）	100% （正/前舱壁） 注4	1	\	\
设计载荷组合*S*（港内和舱室试验工况）							
A9(13)		$1/4T_{sc}$	100% （中垂）	100% （正/前舱壁） 注4	仅适用于船中区域强度评估（见注1（a））		
A10(13)		$1/4T_{sc}$	100% （中垂）	100% （正/前舱壁） 注4	仅适用于船中区域强度评估（见注1（a））		
A11(12,13)		$0.7T_{sc}$ 注12	100% （中垂）	100% （正/前舱壁） 注5	适用于船中区域强度评估（见注1（a））和承受船体梁剪切载荷的强度评估（见注1（b））		
A12(10,13)		$1/3T_{sc}$	注10	注10	仅适用于船中区域强度评估（见注1（a））		
A13(11,13)		$0.65T_{sc}$ 注11	100% （中拱）	100% （负/前舱壁） 注5	适用于船中区域强度评估（见注1（a））和承受船体梁剪切载荷的强度评估（见注1（b））		
A14(13)		T_{sc}	100% （中拱）	100% （负/前舱壁） 注4	仅适用于船中区域强度评估（见注1（a））		

续上表

注：1. 应进行如下评估：

（a） 用于评估船中货油舱区域的纵向船体梁构件、主要支撑构件和横舱壁构件尺度，见本附录1.1.1.5。

（b） 用于评估横舱壁处承受船体梁垂向剪切载荷的纵向船体梁抗剪构件的加强，见本附录1.1.1.6、1.1.1.7和1.1.1.8。

2. 对船舶不同货油舱区域评估时，许用静水弯矩和静水剪力应按照表B.2.6选取进行，模型上施加许用静水弯矩和静水剪力的百分比应按照本表进行。

3. 有限元模型中应使用由于施加局部静、动载荷而产生的实际剪力。

4. 有限元模型中应使用由于施加局部静、动载荷而产生的实际剪力。当该剪力超出本表中规定的静水剪力目标值（载荷组合*S*）或根据本附录2.4.5.2计算得到的波浪剪力与静水剪力之和的目标值设计（载荷组合*S*+*D*）时，模型上应施加修正垂向力使剪力调整至要求值。

5. 模型上应施加修正垂向力使剪力调整至规定要求值。

6. 装载模式A3是所有中部货舱空舱的航行工况，分析时吃水应取0.55T_{sc}。如果装载手册中有该工况，并且吃水大于0.55T_{sc}，则有限元分析时应取装载手册中该工况的最大吃水。

7. 装载模式A5是所有中部货舱满舱的航行工况，分析时吃水应取0.8T_{sc}。如果装载手册中有该工况，并且吃水小于0.8T_{sc}，则有限元分析时应取装载手册中该工况的最小吃水。

8. 装载模式A7仅当油船的中央舱有横向撑材布置，且装载手册中有仅一个边货舱装货的非对称装载工况时要求分析。分析时吃水应取自装载手册实际值，见表B.2.5。

9. 压载装载模式A8仅当装载手册中有一个或多个货舱装压载水的工况（即风暴压载/紧急压载工况等）时要求分析。分析时装载模式和吃水均应取自装载手册，见表B.2.5。

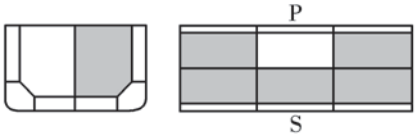
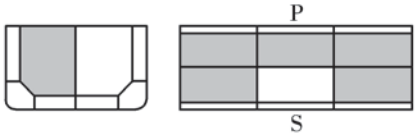
10. 装载模式A12仅当油船的中央舱有横向撑材布置时要求分析。有限元模型中应使用由于施加局部载荷而产生的实际剪力，不进行剪力修正和弯矩修正。

11. 装载模式A13是所有中部货舱空舱的港内工况，分析时吃水应取0.65T_{sc}。如果装载手册中有该装载工况，并且吃水大于0.65T_{sc}，则有限元分析时应取装载手册中该工况的最大吃水。

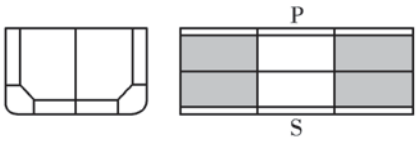
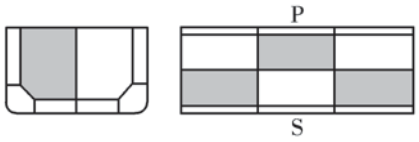
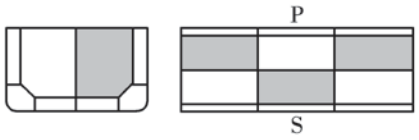
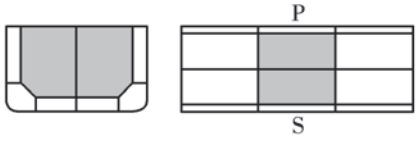
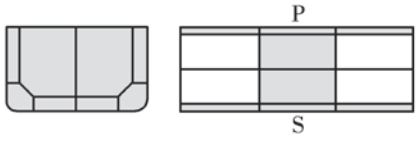
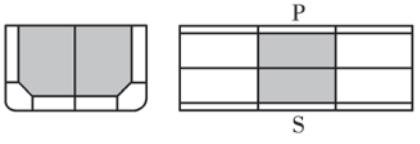
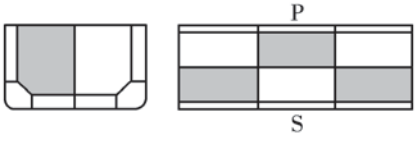
12. 装载模式A11是所有中部货舱满舱的港内工况，分析时吃水应取0.7T_{sc}。如果装载手册中有该装载工况，并且吃水小于0.7T_{sc}，则有限元分析时应取装载手册中该工况的最小吃水。

13. 设计载荷组合*S*（港内和舱室试验工况）下，不施加动载荷。

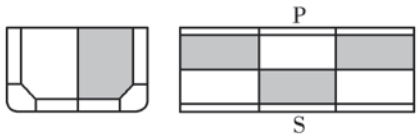
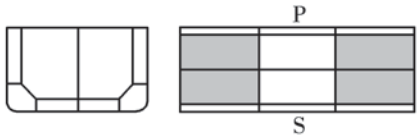
一道油密纵舱壁油船的有限元载荷工况 **表 B. 2. 4**

装载模式	图	静水载荷			动载荷工况		
		吃水	%许用静水弯矩(2)	%许用静水剪力(2)	强度评估(1a)	承受船体梁剪切载荷的强度评估(1b)	
					船中区域	首部区域	船中和尾部区域
设计载荷组合*S*+*D*（航行工况）							
B1		0.9T_{sc}	100%（中垂）	注3	1	\	\
			100%（中拱）	100%（负/前舱壁）注4	2，5a	\	\
B2(6)		0.9T_{sc}	100%（中垂）	注3	1	\	\
			100%（中拱）	100%（负/前舱壁）注4	2，5b	\	\

续上表

装载模式	图	静水载荷			动载荷工况		
		吃水	%许用静水弯矩(2)	%许用静水剪力(2)	强度评估(1a)	承受船体梁剪切载荷的强度评估(1b)	
					船中区域	首部区域	船中和尾部区域
B3		$0.9T_{sc}$	100%（中拱）	100%（负/前舱壁）注5	2	4	2
				100%（负/前舱壁）注4	5a，5b 6a，6b	\	\
B4		$0.6T_{sc}$	100%（中垂）	75%（正/前舱壁）注4	1，5a	\	\
B5(6)		$0.6T_{sc}$	100%（中垂）	75%（正/前舱壁）注4	1，5b	\	\
B6		$0.6T_{sc}$	100%（中垂）	100%（正/前舱壁）注5	1	3	1
				100%（正/前舱壁）注4	5a，5b	\	\
B7(7)		$T_{bal\text{-}em}$	100%（中垂）	100%（正/前舱壁）注4	1	\	\
设计载荷组合$S+D$（航行工况）							
B8(8)		$1/3T_{sc}$	100%（中垂）	100%（正/前舱壁）注5	适用于船中区域强度评估（见注1（a））和承受船体梁剪切载荷的强度评估（见注1（b））		
B9(8)		$1/3T_{sc}$	100%（中垂）	75%（正/前舱壁）注4	仅适用于船中区域强度评估（见注1（a））		

续上表

装载模式	图	静水载荷			动载荷工况		
		吃水	%许用静水弯矩(2)	%许用静水剪力(2)	强度评估(1a)	承受船体梁剪切载荷的强度评估(1b)	
					船中区域	首部区域	船中和尾部区域
设计载荷组合*S*（港内和舱室试验工况）							
B10(6,8)		$1/3T_{sc}$	100%（中垂）	75%（正/前舱壁）注4	仅适用于船中区域强度评估（见注1（a））		
B11(8)		T_{sc}	100%（中拱）	100%（负/前舱壁）注5	适用于中部区域强度评估（见注1（a））和承受船体梁剪切载荷的强度评估（见注1（b））		

注：1. 应进行如下评估：

（a）用于评估船中货油舱区域的纵向船体梁构件、主要支撑构件和横舱壁构件尺度，见本附录1.1.1.5。

（b）用于评估横舱壁处承受船体梁垂向剪切载荷的纵向船体梁抗剪构件尺度的加强，见本附录1.1.1.6、1.1.1.7和1.1.1.8。

2. 对船舶不同货油舱区域评估时，选取许用静水弯矩和静水剪力应按照表B.2.6进行，模型上施加许用静水弯矩和静水剪力的百分比应按照本表。

3. 有限元模型中应采用由于施加局部静、动载荷而产生的实际剪力。

4. 有限元模型中应采用由于施加局部静、动载荷而产生的实际剪力。当该剪力超出本表中规定的静水剪力目标值（载荷组合*S*）或根据本附录2.4.5.2计算得到的波浪剪力与静水剪力之和的目标值（载荷组合*S*+*D*）时，模型上应施加修正垂向力使剪力调整至要求值。

5. 模型上应施加修正垂向力使剪力调整至要求值。

6. 装载模式B2、B5、B10仅当船体结构关于中心线不对称时要求分析。

7.压载装载模式B7仅当装载手册中有一个或多个货舱装压载水的工况（即风暴压载/紧急压载工况等）时要求分析，分析时装载模式和吃水均应取自装载手册，见表B.2.5。如实际装载情况与B7工况不同，则：

（a）装载手册中应对分析过的工况增加营运限制。

（b）当分析货舱用于压载的装载形式时，应使用100%的许用静水弯矩。

8. 设计载荷组合*S*（港内和舱室试验工况）下，不施加动载荷。

2.3.2 动载荷工况

2.3.2.1 有限元分析中的动载荷工况规定见第 7 节 /6.4。

2.4 载荷施加

2.4.1 一般要求

2.4.1.1 有限元模型的载荷施加应按照第 7 节 /6 和附录 B/2.4 的要求。

2.4.1.2 计算施加载荷、加速度的参数和位置应按照表 B.2.5 和 B.2.6 进行。

2.4.1.3 加载时，根据单元中心计算求得压力，用压力载荷常数施加于板单元。也可采用单元节点之间的线性压力分布加载。

确定载荷和加速度的参数 **表B. 2. 5**

参数	标准工况			非强制工况	
	吃水 T_{sc}	吃水 $0.9T_{sc}$	吃水 $0.6T_{sc}$	载货工况 A3（吃水>$0.6T_{sc}$）和A7	风暴压载/紧急压载工况：A8和B7
L	规范船长			规范船长	
C_b	方型系数，见第4节/1.1.1.1定义			方型系数，见第4节/1.1.1.1定义	
航速	0.0			0.0	
横摇响应					
GM	$0.12B$	$0.12B$	$0.24B$	装载手册中该载货或风暴/紧急压载模式下经修正后的GM，注1	
$r_{roll\text{-}gyr}$	$0.35B$	$0.35B$	$0.40B$	注2	
纵摇响应、纵向和横向加速度、水平波浪弯矩和海水压力					
吃水	T_{sc}	$0.9T_{sc}$	$0.6T_{sc}$	装载手册中该装载模式下的最大平均吃水	装载手册中该装载模式下的最小平均吃水

注：1. 如果装载手册中没有提供非强制载货工况和风暴/紧急压载工况的GM，则GM应根据第7节/3.1.3.2确定。

2. 如果装载手册中没有提供非强制载货工况和风暴/紧急压载工况的$r_{roll\text{-}gyr}$，则$r_{roll\text{-}gyr}$应根据第7节/3.1.3.3确定。

3. 风暴/紧急压载工况是有一个或多个货舱装压载水的压载工况。

确定载荷和加速度的位置 **表B. 2. 6**

	强度评估[1a]	船体梁剪切强度[1b]		
	船中货油舱区域	首部货油舱区域	船中货油舱区域	尾部货油舱区域
设计载荷组合$S+D$（航行工况）				
波浪动载荷和甲板上浪	距AP $0.5L$ 横剖面处	距AP $0.75L$ 横剖面处	距AP $0.5L$ 横剖面处	距AP $0.25L$ 横剖面处
加速度 a_v，a_t，a_{lng}	船中货舱的形心位置（即：距AP $0.5L$处所在舱室）	前部舱的形心位置（即：距AP $0.75L$处所在舱室）	船中货舱的形心位置（即：距AP $0.5L$处所在舱室）	后部舱的形心位置（即：距AP $0.25L$处所在舱室）
垂向波浪弯矩和静水弯矩（静水弯矩应基于航行许用值，见第7节/2.1.1和第7节/2.1.2的定义）	距AP $0.5L$处	距AP $0.75L$处	距AP $0.75L$处	距AP $0.25L$处
水平波浪弯矩	距AP $0.5L$处	\	\	\

续上表

	强度评估（1a）	船体梁剪切强度（1b）		
	船中货油舱区域	首部货油舱区域	船中货油舱区域	尾部货油舱区域
垂向波浪剪力和静水剪力（静水剪力应基于航行许用值，见第7节/2.1.3和第7节/2.1.4的定义）	区域内航行许用静水剪力和垂向波浪剪力之和达到最大值的横舱壁处，见本附录1.1.1.5	区域内航行许用静水剪力和垂向波浪剪力之和达到最大值的横舱壁处（见本附录1.1.1.6）或者特定的横舱壁处（见本附录1.1.1.8）	基于船中货舱强度评估结果（见本附录1.1.1.7）或者特定横舱壁处的航行许用静水剪力和垂向波浪剪力之和（见本附录1.1.1.8）	
设计载荷组合*S*（港内和舱室试验工况）				
静水弯矩（静水弯矩应基于港内许用值，见第7节/2.1.1和第7节/2.1.2的定义）	距AP 0.5*L*处	距AP 0.75*L*处	距AP 0.5*L*处	距AP 0.25*L*处
静水剪力（静水剪力应基于港内许用值，见第7节/2.1.3和第7节/2.1.4的定义）	区域内港内许用静水剪力最大值	区域内港内许用静水剪力最大值（见本附录1.1.1.6），或者特定的横舱壁处（见本附录1.1.1.8）	基于船中货舱强度评估结果（见本附录1.1.1.7）或者特定横舱壁处的港内许用静水剪力（见本附录1.1.1.8）	

注：1. 应进行如下评估：

（a）用于评估船中货油舱区域的纵向船体梁构件、主要支撑构件和横舱壁构件尺度，见本附录1.1.1.5。

（b）用于评估横舱壁处承受船体梁垂向剪切载荷的纵向船体梁抗剪构件尺度的加强，见本附录1.1.1.6、1.1.1.7和1.1.1.8。

2. 对于每一个有限元载荷工况，加速度应按照本表在压载舱和/或货油舱的重心位置处进行计算，所得加速度之值应施加在有限元模型沿长度方向的三个对应舱室。

3. 计算载荷时的纵向距离是指距A.P.的距离，见第4节/1.1.12。

4. 按规定横剖面处计算所得的波浪动载荷应施加在有限元模型的整个长度范围内。

5. 设计载荷组合*S*+*D*（航行工况）计算动载荷时使用的动载荷组合因子，见第7节/6.4。

6. 静水弯矩和静水剪力应按照表B.2.3和B.2.4施加。

2.4.2 结构重量，货油和压载水的密度

2.4.2.1 设计货物密度应取 1.025t/m^3，见本附录 2.4.7.2。

2.4.2.2 海水密度应取 1.025t/m^3。

2.4.2.3 有限元分析中应考虑船舶结构重量。船用钢密度应取 7.85t/m^3。

2.4.3 海水静压力

2.4.3.1 由于吃水浸深而施加在板单元上的海水静压力应按照第 7 节 /2.2.2 计算。

2.4.3.2 每个有限元载荷工况的静吃水应按照表 B.2.3 和 B.2.4 规定。舱段有限元模型的整个长度范围内，吃水应保持不变。

2.4.3.3 所有有限元载荷工况下，应施加船舶正浮状态时由吃水引起的海水静压力。船舶横摇引起的海水静压力变化已在波浪动压力公式中考虑。

2.4.4 波浪动压力

2.4.4.1 波浪动压力分布，应按照表 B.2.6 的定义确定船体横剖面的纵向位置，根据第 7 节 /6.3.5 计算得到，并且施加于整个舱段有限元模型长度范围。

2.4.4.2 由于上浪引起的露天甲板压力分布应按照表 B.2.6 的定义确定纵向位置，根据第 7 节 /6.3.6 计算得到，并且施加于整个舱段有限元模型长度范围内的露天甲板上。

2.4.5 船体梁垂向弯矩和垂向剪力

2.4.5.1 三舱段有限元模型中沿中部舱舱长范围内的某一剖面处，船体梁垂向弯矩应能达到下列要求值 M_{v-targ}：

$$M_{v-targ}=M_{sw}+M_{wv}$$

式中：M_{sw}——施加于有限元载荷工况的垂向静水弯矩，见表 B.2.3 和表 B.2.4；

M_{wv}——动载荷工况下的垂向波浪弯矩，按照第 7 节 /6.3.2 计算。

2.4.5.2 三舱段有限元模型中部舱的前舱壁处，船体梁垂向剪力应能达到下列要求值 Q_{targ}：

$$Q_{targ}=Q_{sw}+Q_{wv}$$

式中：Q_{sw}——施加于有限元载荷工况的垂向静水剪力，见表 B.2.3 和表 B.2.4；

Q_{wv}——动载荷工况下的垂向波浪剪力，按照第 7 节 /6.3.4 计算。

2.4.5.3 每一个工况下，船体梁垂向弯矩和垂向剪力应达到表 B.2.3 和表 B.2.4 的要求值。施加要求的剪力和弯矩分布的步骤见本附录 2.5 规定。

2.4.6 船体梁水平波浪弯矩

2.4.6.1 三舱段有限元模型中沿中部舱舱长范围内的某一剖面处，船体梁水平波浪弯矩应能达到相应动载荷工况下的要求值，要求值按照第 7 节 /6.3.3 计算。

2.4.6.2 调整水平波浪弯矩要求值的步骤见本附录 2.5 规定。

2.4.7 货油舱和压载舱的压力

2.4.7.1 有限元分析中，施加在货油舱或压载舱边界的总压力 P_{in}，应包括静压力和动压力部分，见第 7 节 / 表 7.6.1 和表 B.2.6。

2.4.7.2 航行工况（设计载荷组合 *S*+*D*）下，货油舱压力应按照下式计算：

$$P_{in}=f_{density}(P_{in-tk}+P_{in-dyn}) \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：$f_{density}$——在船舶 25 年设计寿命中，货物密度和最恶劣海况的联合概率系数，

$=\rho_{\max-LM}/\rho_{allowable}$；

$\rho_{\max-LM}$——装载手册中任一工况下满舱的最大货物密度。对于装载手册中的载货工况 $\rho_{\max-LM}$ 应取不小于 0.9t/m^3，对于紧急压载工况，$\rho_{\max-LM}$ 应取不小于 1.025t/m^3（即表 B.2.3 的 A8 工况和表 B.2.4 的 B7 工况）；

$\rho_{allowable}$——满舱的设计货物密度，应取为 1.025t/m^3，除非建造商有更高的货物密度要求，见第 2 节 /3.1.8.1；

P_{in-tk}——舱室静载荷，见第 7 节 /2.2.3.1，kN/m^2，计算时舱室液体密度取设计货物密度 $\rho_{allowable}$；

P_{in-dyn}——瞬时动压力，见第 7 节 /6.3.7.1，kN/m^2，按照本附录 2.4.7.3 简化计算，计算时舱室液体密度取设计货物密度 $\rho_{allowable}$。

2.4.7.3 计算舱室重心处的垂向加速度 a_v，应按照第 7 节 /3.3.3 计算，并遵循如下简化：

（a）迎浪海况下，a_{roll-z} 取 0；

（b）横浪海况下，$a_{pitch-z}$ 取 0。

2.4.7.4 垂向、横向和纵向加速度，应按照表 B.2.6 规定的舱室重心处的纵向位置计算，所得加速度之值应施加在三舱段有限元模型沿长度方向对应的舱室。

2.4.7.5 舱室动压力应按照第 7 节 /6.3.7.1 计算，并见表 B.2.6。

2.4.7.6 对于采用径流法交换压载水的压载舱，航行工况（设计载荷组合 *S*+*D*）下按照第 7 节 / 表 7.6.1 计算舱室压力时应注意：

• 计算垂向加速度引起的舱室动压力时（见第 7 节 /6.3.7.1），货舱区域压载舱的空气管或溢流管的垂直高度，即 h_{air}（见第 7 节 /2.2.3.2 和图 7.2.3）应取最大值。

• 计算舱室静压力时，货舱区域所有压载舱的 h_{air} 和 P_{drop}（见第 7 节 /2.2.3.3）应取最大值。

2.4.7.7 有限元计算港内和舱室试验工况（设计载荷组合 *S*）下按照第 7 节表 7.6.1 计算货油舱室静压力时应注意：

• 计算 $P_{in-test}$（见第 7 节 /2.2.3.5）时，应取货舱区域所有货油舱的最大压力释放设定值 P_{valve}（见第 7 节 /2.2.3.5），和如适用时取 h_{air}（见第 7 节 /2.2.3.2 和图 7.2.3）的最大值。

2.4.7.8 如果有限元模型的长度向端部横舱壁的前 / 后延伸（见 2.2.1.1），则舱室内部压力仅施加在模型长度范围内的完整舱室上。

2.5 调整船体梁剪力和弯矩的步骤

2.5.1 一般规定

2.5.1.1 本附录所述步骤适用于调整三舱段有限元模型的船体梁水平弯矩、垂向剪力和垂向弯矩分布，以达到要求值。

2.5.1.2 垂向分布载荷施加于每一档强框架上，与模型端部的垂向弯矩一起作用，使模型的中部舱前舱壁处达到垂向剪力要求值、中部舱舱长范围内的某一剖面处达到垂向弯矩要求值。要求值见本附录 2.4.5 规定。

2.5.1.3 模型端部应施加水平弯矩，使有限元模型的中部舱舱长范围内的某一剖面处达到水平弯矩要求值。要求值见本附录 2.4.6 规定。

2.5.2 局部载荷引起的剪力和弯矩

2.5.2.1 有限元模型中应对中部舱横舱壁处计算由于局部载荷产生的垂向剪力，应对三舱段有限元模型的中部舱沿长度方向计算由于局部载荷产生的垂向弯矩分布。计算时可用有限元模型来计算剪力和弯矩值，也可用一个代表三舱段有限元模型长度的简支梁模型来计算剪力和弯矩值。

2.5.2.2 横浪和斜浪海况下，有限元模型中应对中部舱沿长度方向计算由于波浪动压力和舱室动压力引起的水平弯矩分布。

2.5.2.3 在计算船体梁剪力和弯矩时，应考虑以下局部载荷：

（a）三舱段有限元模型沿长度方向的结构重量分布（静载荷）。当使用简单梁模型时，每个舱的结构重量可沿该舱长平均分布。结构重量应基于建立有限元模型时，减去 $0.5t_{corr}$ 后的缩减厚度（见本附录 2.2.1.5）计算。

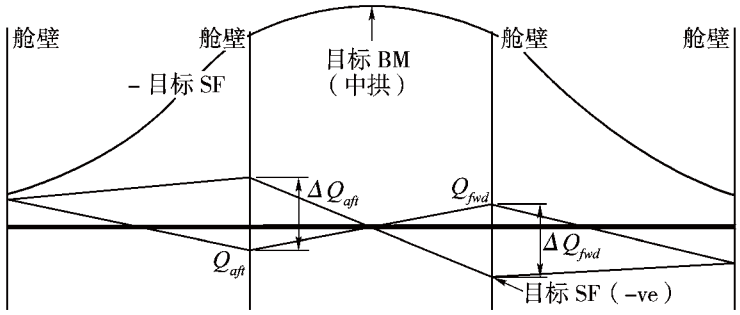
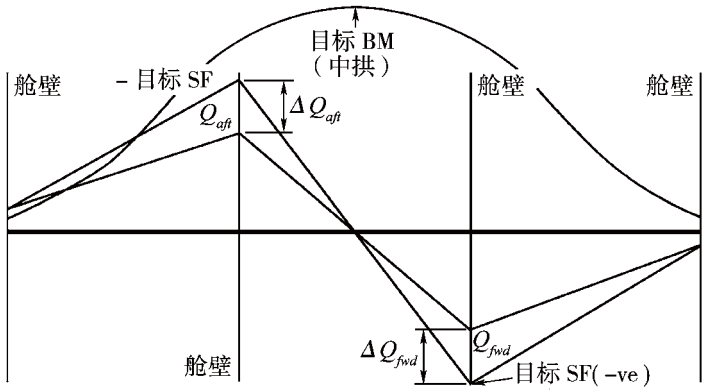
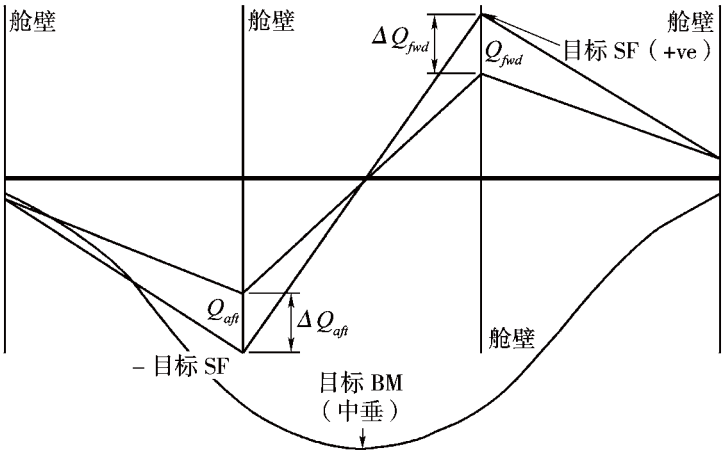
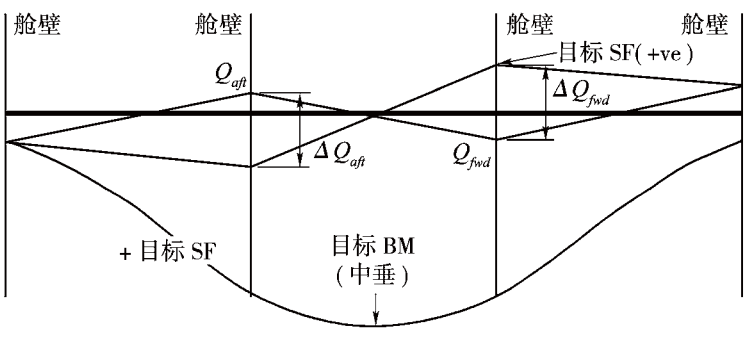
（b）货油和压载水重量（静载荷）。

（c）海水静压力、波浪动压力和甲板上浪载荷（如适用时）。设计载荷组合 *S*（港内和舱室试验工况）下，仅需施加海水静压力。

（d）设计载荷组合 *S*+*D*（航行工况）下，舱室动压力载荷。

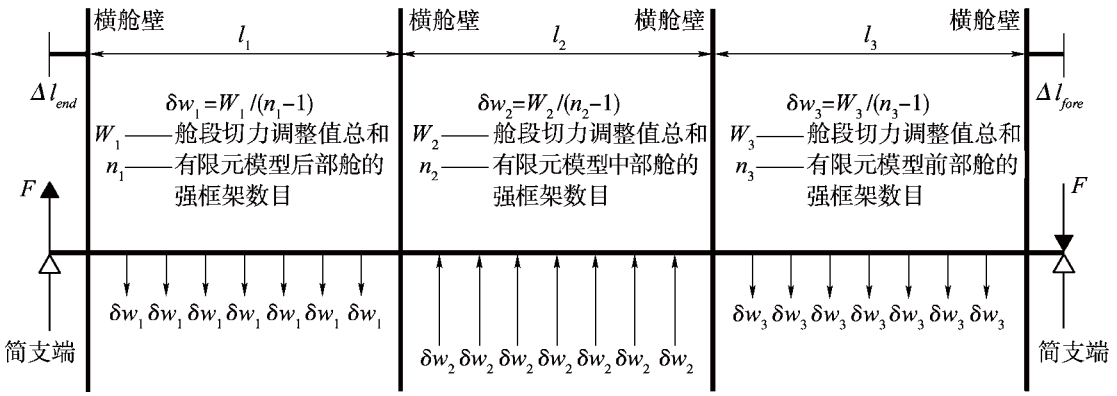
2.5.3 调整垂向剪力分布的步骤

2.5.3.1 横舱壁处要求调整的剪力（如图 B.2.10 所示的 ΔQ_{aft} 和 ΔQ_{fwd}），可通过在强框架处施加垂向载荷得到，如图 B.2.11 所示。应注意：垂向修正载荷不可施加在任何密性横舱壁处、任何前部舱前舱壁之前的强框架处、任何后部舱后舱壁之后的强框架处，且施加在模型上的垂向修正载荷总和应等于 0。

工况	目标值			后横舱壁		前横舱壁	
	弯矩	剪力	横舱壁位置	剪力	ΔQ_{aft}	剪力	ΔQ_{fwd}
	中拱	负	前	$-Q_{targ}$	$-Q_{targ}-Q_{aft}$	$-Q_{targ}$ （负）	$Q_{targ}-Q_{fwd}$
	中拱	负	前	$-Q_{targ}$	$-Q_{targ}-Q_{aft}$	$-Q_{targ}$ （负）	$Q_{targ}-Q_{fwd}$
	中垂	正	前	$-Q_{targ}$	$-Q_{targ}-Q_{aft}$	Q_{targ} （正）	$Q_{targ}-Q_{fwd}$
	中垂	正	前	$-Q_{targ}$	$-Q_{targ}-Q_{aft}$	Q_{targ} （正）	$Q_{targ}-Q_{fwd}$

注：符号定义，见本附录2.5.3.2。

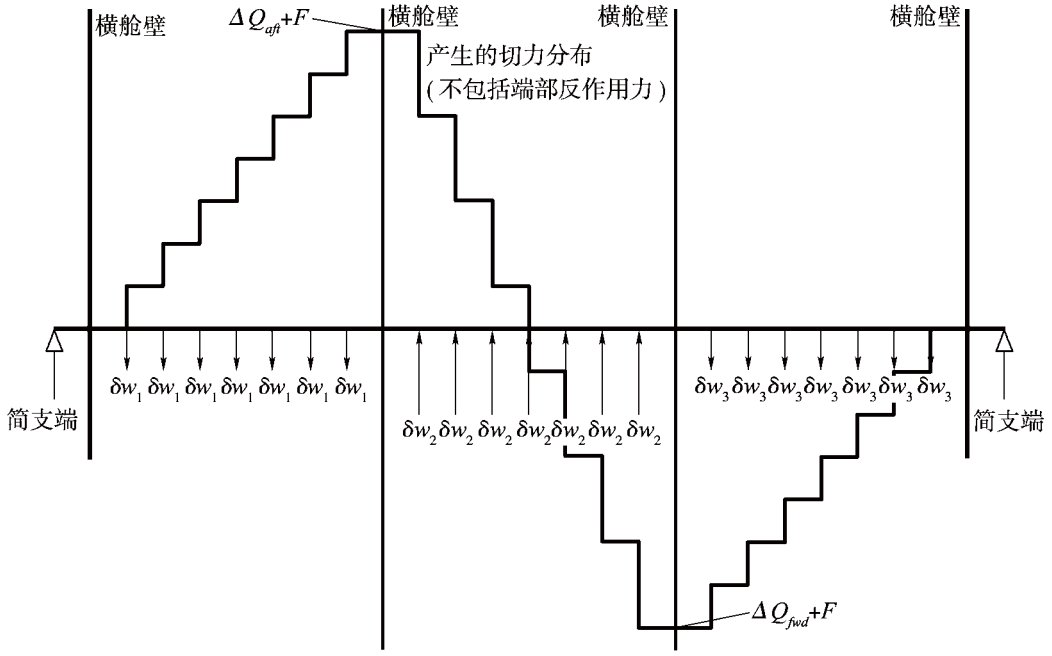
图 B. 2. 10　剪力目标值位置和横舱壁处要求调整的剪力



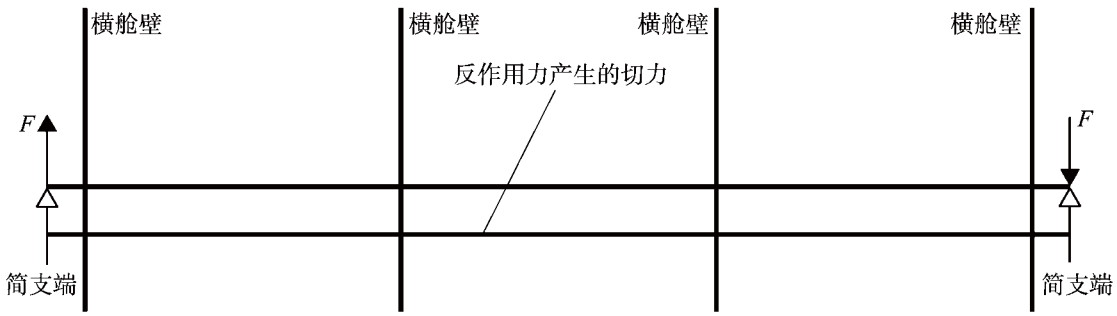
注：横舱壁处不施加垂向力；

前部舱前端舱壁之前的强框架和后部舱后端舱壁之后的强框架不施加垂向力；

F＝支承端产生的支反力。



由于强框架调整垂向力引起的剪力分布



注：如l_1=l_3和Δl_{fore}=Δl_{end}，且载荷关于模型长度中点对称，则F= 0，

注：符号定义，见表B.2.7。

图 B. 2. 11　强框架处垂向力调整的分布以及所产生的剪力分布

2. 5. 3. 2 为了产生横舱壁处的剪力要求值，有限元模型的中部舱前、后横舱壁处剪力的调整值由下式求得：

$$\Delta Q_{aft}=-Q_{targ}-Q_{aft}$$

$$\Delta Q_{fwd}=Q_{targ}-Q_{fwd}$$

式中：ΔQ_{aft}——中部舱后舱壁处要求的剪力调整值；

ΔQ_{fwd}——中部舱前舱壁处要求的剪力调整值；

Q_{targ}——中部舱前舱壁处要求达到的剪力值，见本附录 2. 4. 5；

Q_{aft}——中部舱后舱壁处由于局部载荷引起的剪力，见本附录 2. 5. 2；

Q_{fwd}——中部舱前舱壁处由于局部载荷引起的剪力，见本附录 2. 5. 2。

2. 5. 3. 3 为调整横舱壁处剪力而施加到每个强框架上的垂向载荷可以用简单梁模型计算得到。如果每个舱内强框架间距一致，施加到每个强框架的垂向力可按照表 B. 2. 7 计算。个别舱的舱长和强框架间距可不同。

调整垂向剪力的垂向载荷计算公式 **表 B. 2. 7**

$$\delta w_1=\frac{\Delta Q_{aft}(2l-l_2-l_3)+\Delta Q_{fwd}(l_2+l_3)}{(n_1-1)(2l-l_1-2l_2-l_3)}$$

$$\delta w_2=\frac{(W_1+W_3)}{(n_2-1)}=\frac{(\Delta Q_{aft}-\Delta Q_{fwd})}{(n_2-1)}$$

$$\delta w_3=\frac{-\Delta Q_{fwd}(2l-l_2-l_3)-\Delta Q_{aft}(l_1+l_2)}{(n_3-1)(2l-l_1-2l_2-l_3)}$$

$$F=0.5\left(\frac{W_1(l_2+l_1)-W_3(l_2+l_3)}{l}\right)$$

式中：l_1——模型后部舱的长度；

l_2——模型中部舱的长度；

l_3——模型前部舱的长度；

ΔQ_{aft}——中部舱的后横舱壁处剪力的调整值，见图B.2.10；

ΔQ_{fwd}——中部舱的前横舱壁处剪力的调整值，见图B.2.10；

F——由于强框架处垂向载荷而在支承端产生的反作用力，见本附录2.5.3；

W_1——模型后部舱施加的均匀分布垂向力总和，（n_1-1）δw_1；

W_2——模型中部舱施加的均匀分布垂向力总和，（n_2-1）δw_2；

W_3——模型前部舱施加的均匀分布垂向力总和，（n_3-1）δw_3；

n_1——模型后部舱的强框架间距数；

n_2——模型中部舱的强框架间距数；

n_3——模型前部舱的强框架间距数；

δ_{w1}——模型后部舱强框架处的分布载荷；

δ_{w2}——模型中部舱强框架处的分布载荷；

δ_{w3}——模型前部舱强框架处的分布载荷；

Δl_{end}——从模型后部舱的后舱壁到模型后端的距离；

Δl_{fore}——从模型前部舱的前舱壁到模型前端的距离；

l——有限元模型（梁）的总长度，包括超出端部横舱壁以外的部分：

$$l=l_1+l_2+l_3+\Delta l_{end}+\Delta l_{fore}$$

注：1. 公式中载荷、剪力和剪力调整值的正向应按照图B.2.10和图B.2.11所示。

2. $W_1+W_3=W_2$

3. 注意：仅当每个舱内强框架间距一致时，上述公式才适用，见本附录2.5.3.3。个别舱的舱长和强框架间距可不同。

2. 5. 3. 4 施加到每个横向强框架剖面的修正载荷 δw_i 应分布在如图 B. 2. 12 所示的结构的有限元节点上。当模型中使用 4 节点或 3 节点有限元时，施加到板单元每一个节点的力由下式给出：

$$F_{i-grid}=\frac{\sum_{1}^{n}0.5A_{i-elem-net50}}{A_{s-net50}}F_s$$

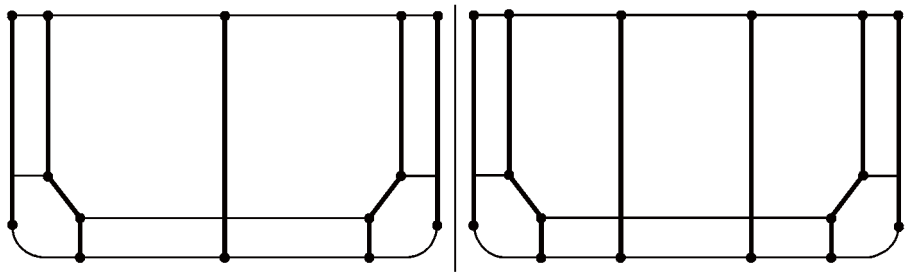
式中：F_{i-grid}——施加到单独结构构件（如舷侧板、纵舱壁、双层底纵桁、内壳、底边舱斜板、顶边舱斜板和最外侧旁桁材）上第 i 个有限元节点上的载荷，见图 B. 2. 12；

$A_{i-elem-net50}$——单独结构中与第 i 个有限元节点相连的每一个板单元的剖面积（见图 B. 2. 12）；

n——与第 i 个有限元节点相连的板单元数目；

F_s——施加到单独结构的总载荷，见图 B. 2. 12；

$A_{s-net50}$——单独结构即舷侧板、纵舱壁、双层底纵桁、内壳、底边舱斜板、顶边舱斜板和最外侧旁桁材等板材剖面积（见图 B. 2. 12）。



构件	施加载荷F_s
舷侧板	$f\cdot\delta w_i$
纵舱壁（包括其下的船底纵桁）	$f\cdot\delta w_i$
内壳（垂直部分）	$f\cdot\delta w_i\cdot\frac{A_{Ih-net50}}{A_{2-net50}}$
底边舱斜板	$f\cdot\delta w_i\cdot\frac{A_{Hp-net50}}{A_{2-net50}}$
顶边舱斜板	$f\cdot\delta w_i\cdot\frac{A_{Usp-net50}}{A_{2-net50}}$
最外侧旁桁材	$f\cdot\delta w_i\cdot\frac{A_{Og-net50}}{A_{2-net50}}$

其中：δw_i——施加于每一个强框架的垂向载荷，见本附录2.5.3.3和表B.2.7；

f——按照表B.2.8计算得到的舱中部处结构的剪力分布因子；

$A_{Ih-net50}$——单独内壳的板材剖面积；

$A_{HP-net50}$——单独底边舱斜板的板材剖面积；

$A_{Usp-net50}$——单独顶边舱斜板的板材剖面积；

$A_{Og-net50}$——单独最外侧旁桁材的板材剖面积；

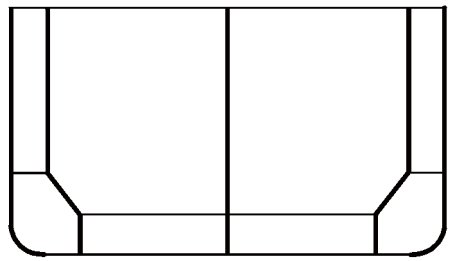
$A_{2-net50}$——按照表B.2.8计算的板材剖面面积。

注：1. 修正载荷应施加于沿内壳底边舱斜板和顶边舱斜板平面内；

2. 各修正载荷值应施加到相应单独结构构件上。

图 B. 2. 12 横剖面上的修正载荷分布

剪 力 分 布 因 子　　表B. 2. 8

	舷侧板　$f=0.055+0.097\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}}+0.020\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$ 内壳　$f=0.193-0.059\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}}+0.058\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$ 中纵舱壁　$f=0.504-0.076\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}}-0.156\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$
	舷侧板　$f=0.028+0.087\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}}+0.023\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$ 内壳　$f=0.119-0.038\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}}+0.072\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$ 纵舱壁　$f=0.353-0.049\frac{A_{1-net50}}{A_{2-net50}}-0.095\frac{A_{2-net50}}{A_{3-net50}}$

式中：$A_{1-net50}$——单边舷侧板的板材剖面积（一侧），包括舭部；

$A_{2-net50}$——单独内壳纵舱壁的板材剖面积（一侧），包括底边舱斜板和其下部双层底旁纵桁，顶边舱斜板（如设有时）；

$A_{3-net50}$——单独纵舱壁的板材剖面积，包括其下部双层底纵桁。

注：1. 如部分结构不是垂直的，则其面积应用垂直方向投影面积计算。

2. 所有板材面积应基于舱段有限元模型的建模厚度进行计算。

3. 对于槽形纵舱壁，用于计算剪力分布因子f的槽条厚度，应按照第4节/2.6.4修正。

2.5.4　调整垂向和水平弯矩的步骤

2.5.4.1　舱段有限元模型两端应施加附加垂向弯矩，使模型中部舱内产生垂向弯矩要求值。端部附加垂向弯矩可按下式计算：

$$M_{v-end}=M_{v-targ}-M_{v-peak}$$

式中：M_{v-end}——有限元模型两端施加的附加垂向弯矩；

M_{v-targ}——垂向中拱（正）弯矩或中垂（负）弯矩的要求值，见本附录2.4.5；

M_{v-peak}——有限元模型中部舱内，由于本附录2.5.2.3规定的局部载荷和本附录2.5.3规定的为产生要求的剪力而施加的附加垂向载荷引起的最大或最小弯矩。如果M_{v-targ}为中拱（正），则M_{v-peak}应取最大弯矩值，如果M_{v-targ}为中垂（负），则M_{v-peak}应取最小弯矩值。M_{v-peak}可由有限元分析得到，也可基于简支梁模型按下式计算：

$$M_{v-peak}=Max\{M_o+xF+M_{lineload}\}$$

M_o——x位置处，由于本附录2.5.2.3规定的局部载荷引起的垂向弯矩；

$M_{lineload}$——x位置处，由于本附录2.5.3规定的为产生剪力要求值而在强框架处施加的垂向载荷所引起的垂向弯矩；

F——由于强框架处垂向修正载荷而引起的支承端反作用力；

x——从有限元模型端部计起，中部舱强框架的纵向位置，见本附录2.5.4.2。

2.5.4.2　在横浪和斜浪工况中，舱段有限元模型两端应施加附加水平弯矩，使模型中部舱某一剖

面处产生水平弯矩要求值。端部附加水平弯矩可按下式计算：

$$M_{h\text{-}end}=M_{h\text{-}targ}-M_{h\text{-}peak}$$

式中：$M_{h\text{-}end}$——有限元模型端部施加的附加水平弯矩；

$M_{h\text{-}targ}$——水平弯矩的要求值，见本附录 2. 4. 6；

$M_{h\text{-}peak}$——有限元模型中部舱内，由于本附录 2. 5. 2. 3 规定的局部载荷引起的最大水平弯矩。如果 $M_{h\text{-}targ}$ 为正（右舷受拉），则 $M_{h\text{-}peak}$ 应取最大弯矩值，如果 $M_{h\text{-}targ}$ 为负（左舷受拉），则 $M_{h\text{-}peak}$ 应取最小弯矩值。

2. 5. 4. 3 垂向弯矩和水平弯矩的最大值应沿有限元模型中部舱舱长范围计算得到，以确认每个最大 / 最小弯矩按本附录 2. 5. 4. 1 和本附录 2. 5. 4. 2 的位置和数值。

2. 5. 4. 4 舱段模型两端应施加附加垂向弯矩 $M_{v\text{-}end}$ 和附加水平弯矩 $M_{h\text{-}end}$，施加弯矩的两种方法可按照本附录 2. 5. 4. 5 或本附录 2. 5. 4. 6 进行。

2. 5. 4. 5 垂向和水平弯矩的施加可按照简单梁理论，通过在模型端部所有纵向构件节点上施加轴向力得到，轴向力计算如下式：

$$(F_x)_i=\frac{M_{v\text{-}end}}{I_{y\text{-}net50}}\frac{A_{i\text{-}net50}}{n_i}z_i \qquad \text{对于垂向弯矩}$$

$$(F_x)_i==\frac{M_{h\text{-}end}}{I_{z\text{-}net50}}\frac{A_{i\text{-}net50}}{n_i}y_i \qquad \text{对于水平弯矩}$$

式中：$M_{v\text{-}end}$——模型端部施加的垂向弯矩；

$M_{h\text{-}end}$——模型端部施加的水平弯矩；

$(F_x)_i$——第 i 个单元一个节点施加的轴向力；

$I_{y\text{-}net50}$——端部剖面关于水平中和轴的船体梁垂向惯性矩；

$I_{z\text{-}net50}$——端部剖面关于垂直中和轴（通常为中心线）的船体梁水平惯性矩；

z_i——中和轴到第 i 个单元横剖面中心的垂直距离；

y_i——中和轴到第 i 个单元横剖面中心的水平距离；

$A_{i\text{-}net50}$——第 i 个单元的横剖面面积；

n_i——第 i 个单元横剖面上的节点数，对于 4 节点板单元，n_i=2。

2. 5. 4. 6 垂向和水平弯矩也可施加在垂直中和轴（通常为中心线）和水平中和轴相交的独立点处，见图 B. 2. 13。端部剖面所有纵向单元节点应与独立点刚性连接并在 θ_y（垂向弯曲），θ_z（水平弯曲）和 δ_x 三个自由度相关。独立点除刚性连接外，应不与模型相连。刚性连接应保证模型端面在施加端面弯矩作用下仍保持平断面，相当于根据简单梁理论在节点上施加了强迫位移。

2. 6 边界条件

2. 6. 1 一般要求

2. 6. 1. 1 本附录规定的所有边界条件均按照第 4 节 /1. 4 规定的总体坐标系描述。舱段有限元模型端部施加的边界条件应见表 B. 2. 9。分析中可将所有载荷作为一个完整工况施加到模型中得到应力响应，也可通过叠加多个子工况的应力结果得到应力响应。

2. 6. 1. 2 总体坐标系 y 自由度上有刚度的弹簧单元(即单元一端的所有 6 个自由度约束)应沿甲板、内底板和外底板节点上施加，如图 B. 2. 13 所示。

2. 6. 1. 3 总体坐标系 z 自由度上有刚度的弹簧单元应沿舷侧板、内壳板和油密纵舱壁的垂直部分处节点上施加，如图 B. 2. 13 所示。

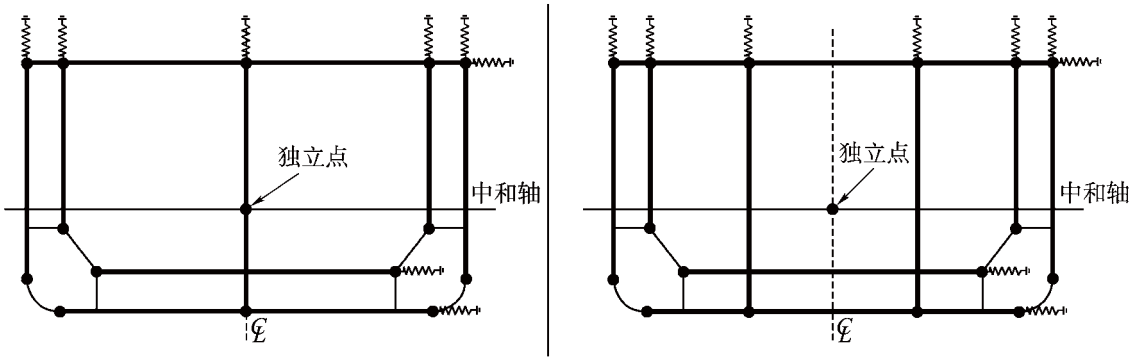


图 B. 2. 13　模型端部的弹簧约束

模型端部的边界约束　　表 B. 2. 9

位　置	平移			转动		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
后端						
后端 （所有纵向单元）	相关	—	—	—	相关	相关
后端独立点， 见图B.2.13	约束	—	—	—	M_{v-end}	M_{h-end}
甲板，内底板和外板	—	弹簧	—	—	—	—
舷侧，内壳和纵舱壁	—	—	弹簧	—	—	—
前端						
前端 （所有纵向单元）	相关	—	—	—	相关	相关
前端独立点， 见图B.2.13	—	—	—	—	M_{v-end}	M_{h-end}
甲板，内底板和外板	—	弹簧	—	—	—	—
舷侧，内壳和纵舱壁	—	—	弹簧	—	—	—
其中：—：不施加约束（自由）； 相关：所有纵向单元节点与中心线中和轴处的独立点刚性连接。						
注：1. 所有平移和转动位移均采用第4节/1.4规定的总体坐标系。 2. 如果前后端面不施加M_{h-end}，则独立点在θ_z是自由的。 3. 如果前后端面不施加M_{v-end}，则独立点在θ_y是自由的。 4. 如果前后端面不施加弯矩，则独立点在θ_z和θ_y是自由的。 5. 如果前后端面弯矩是以节点力的方式施加在模型上，则独立点的相应转动自由度（θ_z和/或θ_y）是自由的。						

2.6.2　弹簧刚度的计算

2.6.2.1　施加于舱段模型两端每个构件的独立弹簧单元的刚度 c，由下式求得：

$$c=\left(\frac{E}{1+v}\right)\frac{A_{s-net50}}{l_{tk}n}=0.77\frac{A_{s-net50}E}{l_{tk}n}\qquad \text{N/mm}$$

式中：$A_{s-net50}$——单独构件的剪切面积，即甲板、内底板、外底板、舷侧板、内壳纵舱壁或者油密纵舱壁。

$A_{s-net50}$ 应基于舱段有限元模型的建模厚度对表 B. 2. 10 所示构件部位进行计算，mm^2；

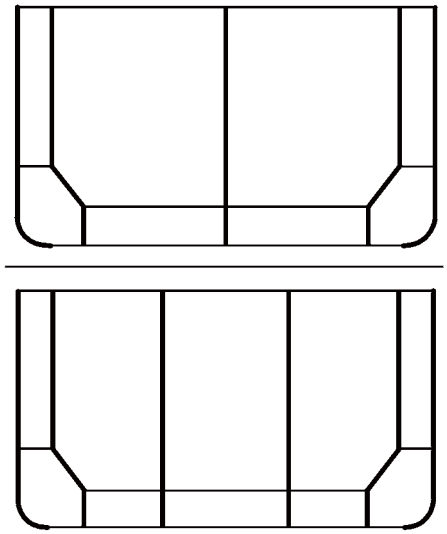
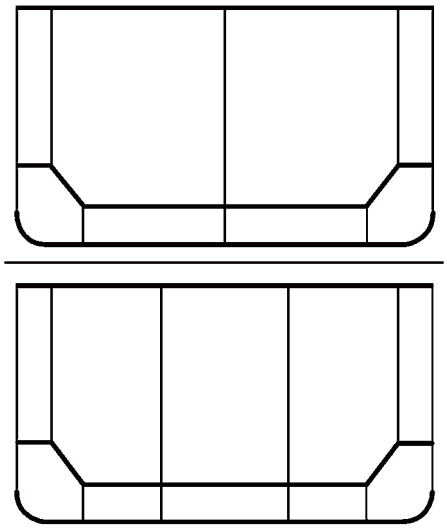
v——材料泊松比；

l_{tk}——舱段有限元模型中部舱的横舱壁之间的长度，mm；

E——材料弹性模量，N/mm^2；

n——构件上施加弹簧单元的节点数目。

计算弹簧刚度时应考虑的剪切面积 **表 B. 2. 10**

垂 向 弹 簧	
	舷侧板：舷侧板板材面积，包括舭部 内壳纵壁板：内壳板材面积，包括底边舱斜板和其下部的双层底旁纵桁 纵舱壁：纵舱壁板材面积，包括其下部双层底纵桁 注：如果构件的部分区域不垂直，则应用垂直方向投影面积进行计算。
水 平 弹 簧	
	甲板：甲板板材面积 内底：内底板板材面积，包括底边舱斜板和相连水平桁材 外底板：外底板板材面积，包括舭部 注：如果构件的部分区域不水平，则应用水平方向投影面积进行计算。

2. 6. 2. 2 对于垂直槽形纵舱壁，用于确定弹簧刚度 c 的槽条厚度应按照第 4 节 /2. 6. 4 计算。

2.6.2.3 也可用杆单元代替弹簧单元。杆单元的等效横剖面面积为 $(c \cdot l)/E$，其中 l 为杆单元的长度。杆单元的一端所有 6 个自由度均约束。

2.7 结果评估

2.7.1 一般要求

2.7.1.1 应对如图 B.2.14 所示纵向区域内，包括三舱段有限元模型中部舱和中部舱横舱壁水平桁材向前后的延伸区域的所有结构进行验证，表明结果满足验收衡准。对于中部货油舱区域的强度评估，应对所有纵向船体梁构件、主要支撑构件和横舱壁构件的应力水平和屈曲能力进行验证。对于横舱壁处承受船体梁剪切载荷的舷侧板、内壳（顶边舱，如设有时）、底边舱、纵舱壁和双层底纵桁的尺寸加强评估，其应力水平和屈曲能力应进行验证。

2.7.1.2 结果评估应按本附录 2.3.1 规定的标准工况和第 9 节 /2.2.3 要求的其他需特别考虑的工况进行。

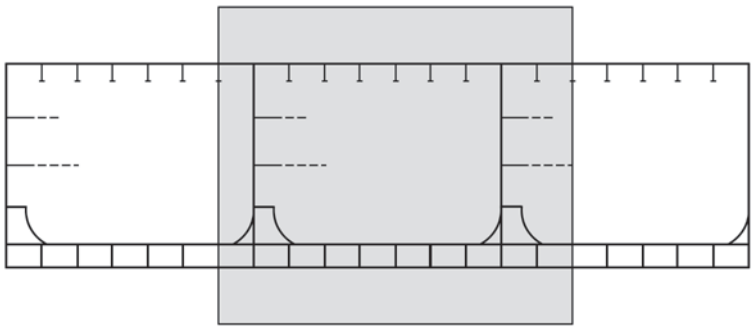


图 B.2.14 有限元模型中按照验收衡准进行验证的范围

2.7.2 应力评估

2.7.2.1 应力不超过第 9 节 /2.2.5 规定的许用值。

2.7.2.2 最大许用应力的规定基于本附录 2.2 描述的网格尺寸和单元类型。

2.7.2.3 von Mises 应力 σ_{vm} 应根据板单元的膜应力和剪应力来计算。当建模使用壳单元时，应取壳单元的中面应力进行评估，使用板单元时，应取单元中心处应力进行评估。

2.7.2.4 除本附录 2.7.2.5 外，腹板开孔处单元的剪切应力，应对剪切面积的损失进行修正，修正应按照下式进行。按照验收衡准进行校核时，单元的 von Mises 应力时应采用经过修正后的单元剪切应力进行计算。

$$\tau_{cor} = \frac{ht_{mod-net50}}{A_{s-net50}} \tau_{elem}$$

式中：τ_{cor}——修正后的单元剪切应力；

h——开孔处的腹板高度，见图 B.2.8。如果开孔的几何形状已经建模，h 应取减去模型开孔高度的净高度；

$t_{mod-net50}$——开孔处的腹板建模厚度，见表 B.2.2；

$A_{s-net50}$——腹板的实际有效剪切面积，应考虑由于开孔导致扶强材面积的损失，按照第 4 节 /2.5 计算。腹板厚度应基于总厚度减去 $0.5t_{corr}$ 后的缩减厚度；

τ_{elem}——修正前的单元剪切应力。

2.7.2.5 以下情况下，无需修正剪切应力。

（a）局部扶强材上的槽口，已设置补板或领板；

（b）模型中的剪切面积与实际有效剪切面积（见第 4 节 /2.5.1）之间差别，小于 20%的模型剪切面积；

（c）屈服利用因子小于许用利用因子 80%（见第 9 节表 9. 2. 1）。

2. 7. 2. 6 如果槽条未按照实际几何形状建模，则槽条面板的轴向应力应进行修正。修正后轴向应力 σ_{fl-act} 应取下列两式之大值：

$$\sigma_{fl-act}=\sigma_{fl-FEM}\frac{Z_{corr-FEM-net50}}{Z_{corr-act-net50}}\times\frac{l_{corr-act}}{l_{corr-FEM}}$$

$$\sigma_{fl-act}=\sigma_{fl-FEM}$$

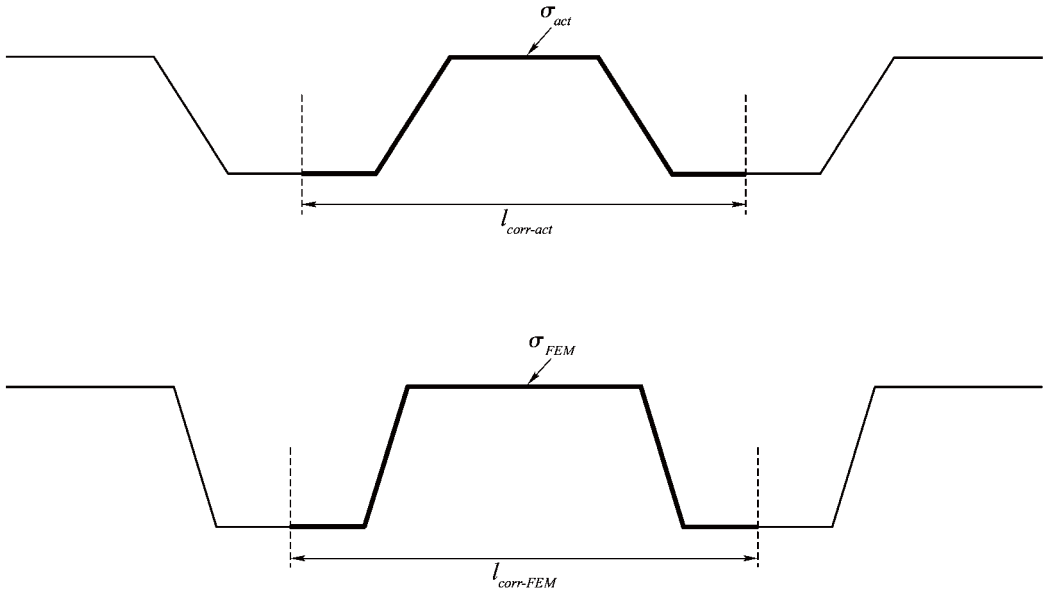
式中：σ_{fl-FEM}——有限元分析得到的轴向应力，如图 B. 2. 15 所示；

$Z_{corr-FEM-net50}$——有限元模型中槽条剖面模数，如图 B. 2. 15 所示；

$Z_{corr-act-net50}$——槽条实际剖面模数，如图 B. 2. 15 所示；

$l_{corr-act}$——槽形剖面长度，如图 B. 2. 15 所示；

$l_{corr-FEM}$——槽形剖面长度，如图 B. 2. 15 所示。



注：$l_{corr-act}$——用于计算$Z_{corr-act-net50}$的槽形剖面的长度；

$l_{corr-FEM}$——用于计算$Z_{corr-FEM-net50}$的槽形剖面的长度。

图 B. 2. 15 槽条面板的轴向弯曲应力

2. 7. 3 屈曲评估

2. 7. 3. 1 对所有纵向船体梁构件、主要支撑构件、横舱壁（包括甲板、双壳、舷侧、外底、双层底、底边舱、横向强框架和垂直桁材、水平桁材、横舱壁）和纵舱壁结构的板和加筋板格应进行屈曲能力评估。对弯曲板格（比如舭部）、主要支撑部件和防倾肘板的面板，不可根据有限元分析得到的应力结果进行屈曲能力评估。

2. 7. 3. 2 所有板和加筋板格的屈曲利用因子应不超过第 9 节 /2. 2. 5 规定的许用值。板和加筋板格的屈曲评估方法见附录 D/5 规定。

2. 7. 3. 3 屈曲评估应基于有限元分析得到的应力结果，并结合屈曲能力模型进行。屈曲能力模型的厚度应为总厚度减去全部腐蚀增量 t_{corr} 和所有船东附加厚度后得到的净厚度。该厚度适用于屈曲评估中的所有板、加筋腹板和面板。

2. 7. 3. 4 屈曲评估应基于板单元中心处的膜应力进行。如使用壳单元，则屈曲评估应基于单元中

面应力进行。

2. 7. 3. 5　屈曲计算时，应考虑双向压应力、剪应力和侧向载荷的共同作用。如有限元应力需按照本附录 2. 7. 2 要求进行应力修正，则屈曲评估应基于修正后应力结果进行。

2. 7. 3. 6　有横向撑材布置的油船，撑材结构的支柱屈曲能力应基于第 10 节 /3. 5. 1 的屈曲公式进行评估。屈曲评估中，应使用沿船舶横向，由撑材横剖面承受的撑材跨中点处平均轴向压应力进行计算。

2. 7. 3. 7　附录 D/5 中没有规定适用于模型舱壁槽条的高级屈曲方法，但单个槽条面板的局部屈曲应按照第 10 节 /3. 5. 2 方法和第 9 节 /2. 2. 5 衡准进行评估。评估时仅基于平行于槽形折角的单轴向应力（板单元中心处的膜应力），不得使用单元间的平均应力。对于从底凳顶部向上 s/2 之间（s 为面板宽度）的槽条面板部分，用于屈曲评估的应力可不必大于距底凳顶部以上 s/2 处的应力值。如 s/2 处的应力值不能直接从板单元获得，可用线性内插法获得。

2. 7. 3. 8　附录 D/5 中没有规定适用于模型开孔处板格模型的高级屈曲方法，但主要支撑部件开孔处的腹板局部屈曲应按照第 10 节 /3. 4 方法和第 9 节 /2. 2. 5 衡准进行评估。评估时基于板单元中心处的膜应力。屈曲评估时，评估腹板区域时应力应取区域内板单元平均应力。舱段计算结果或者局部细网格计算结果都可以用于屈曲评估。当舱段计算中没有计入开孔的影响时，由有限元分析得到的应力结果应按照本附录 2. 7. 2. 4 和 2. 7. 2. 5 进行修正。

3　局部细化网格结构强度分析

3. 1　一般要求

3. 1. 1　适用范围

3. 1. 1. 1　对于常规布置的油船，结构细节的有限元细化网格分析应符合本附录要求。

3. 1. 1. 2　细化网格分析还应符合第 9 节 /2. 3. 1. 3 和第 9 节 /2. 3. 1. 4 的补充要求。

3. 1. 2　横向强框架和制荡舱壁

3. 1. 2. 1　舱段有限元模型中部舱的典型横向强框架（如图 B. 3. 1 所示）与底边舱上折角连接处应进行细化网格评估。如图 B. 3. 1 所示的大肘板趾部、开孔如不满足本附录 3. 1. 6 规定的筛选衡准，应进行细化网格评估。

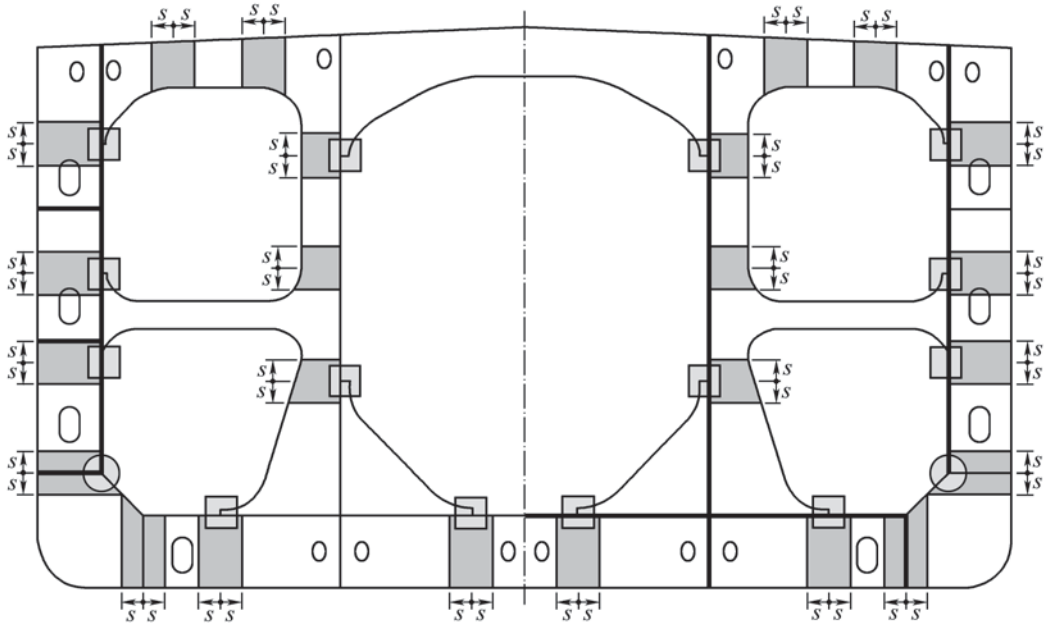


图　B. 3. 1

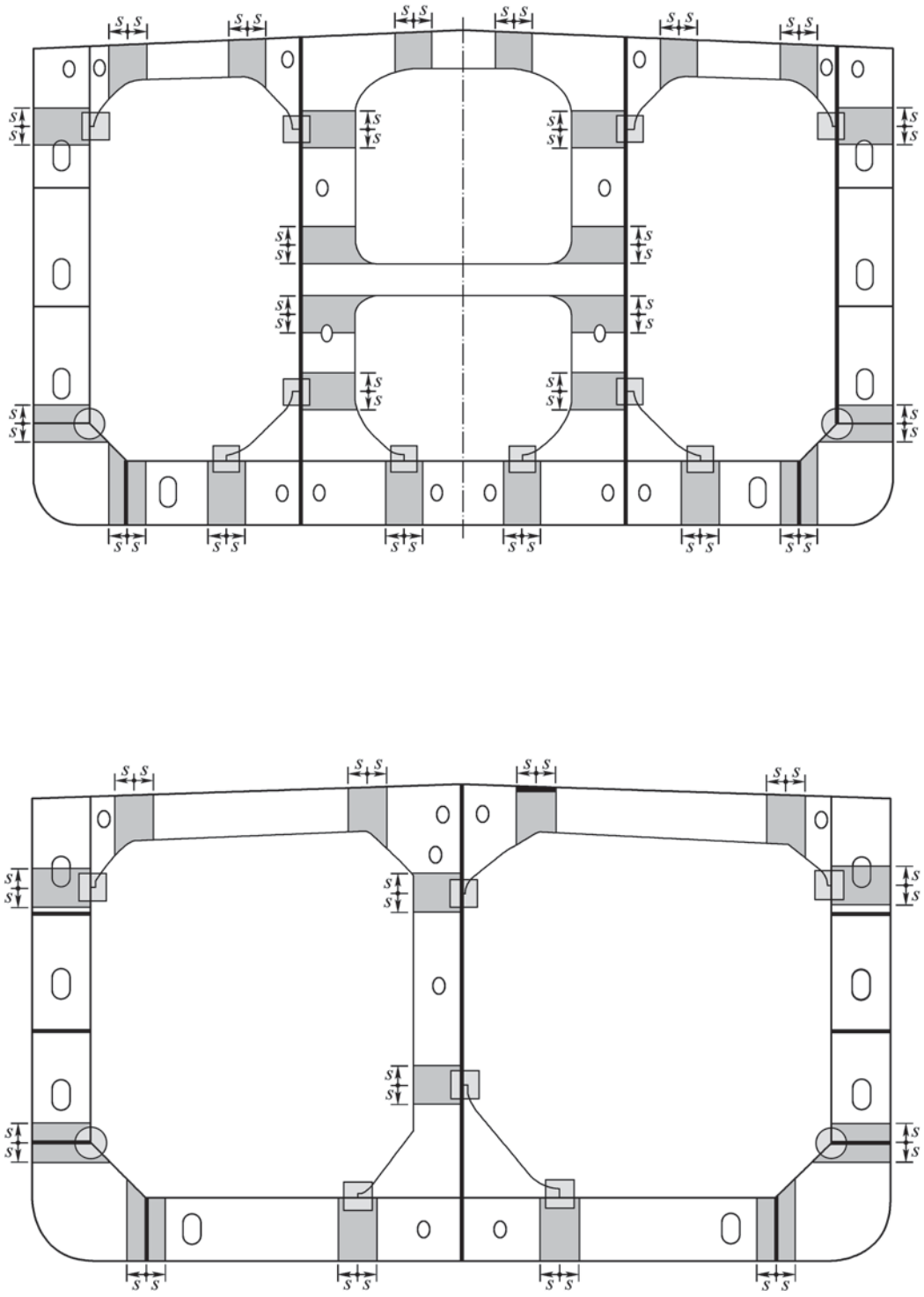
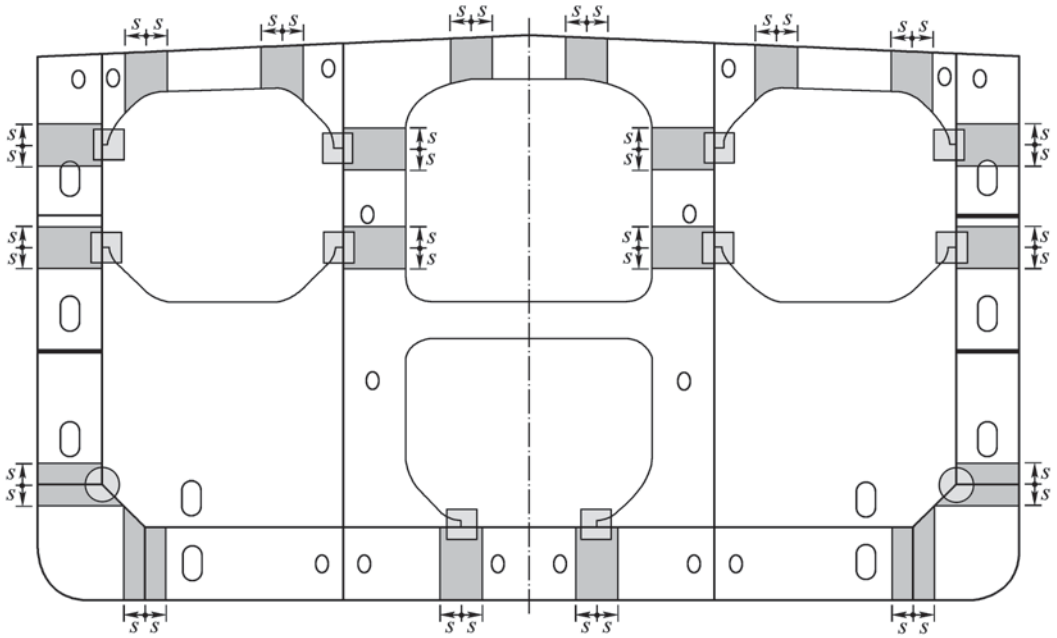


图 B. 3. 1



上折角

肘板趾部

开孔（阴影区域）

开孔（非阴影区域）

货舱典型横框架的底边舱上折角要求进行细化网格分析，见本附录3.1.2。邻近横舱壁的横框架的底边舱上折角不要求进行细化网格分析。

对于不满足本附录3.1.6筛选衡准的结构细节区域，应进行细化网格分析。

对于所有阴影区域的开孔，凡不满足本附录3.1.6筛选衡准的，应进行细化网格分析。

对于所有非阴影区域的开孔，如满足以下条件，则无需基于本附录3. 1. 6筛选衡准进行细化网格分析：

- $h_o/h<0.35$且$g_o<1.2$，并且
- 开孔每端形成一个半圆弧（即开孔半径等于$b/2$）。

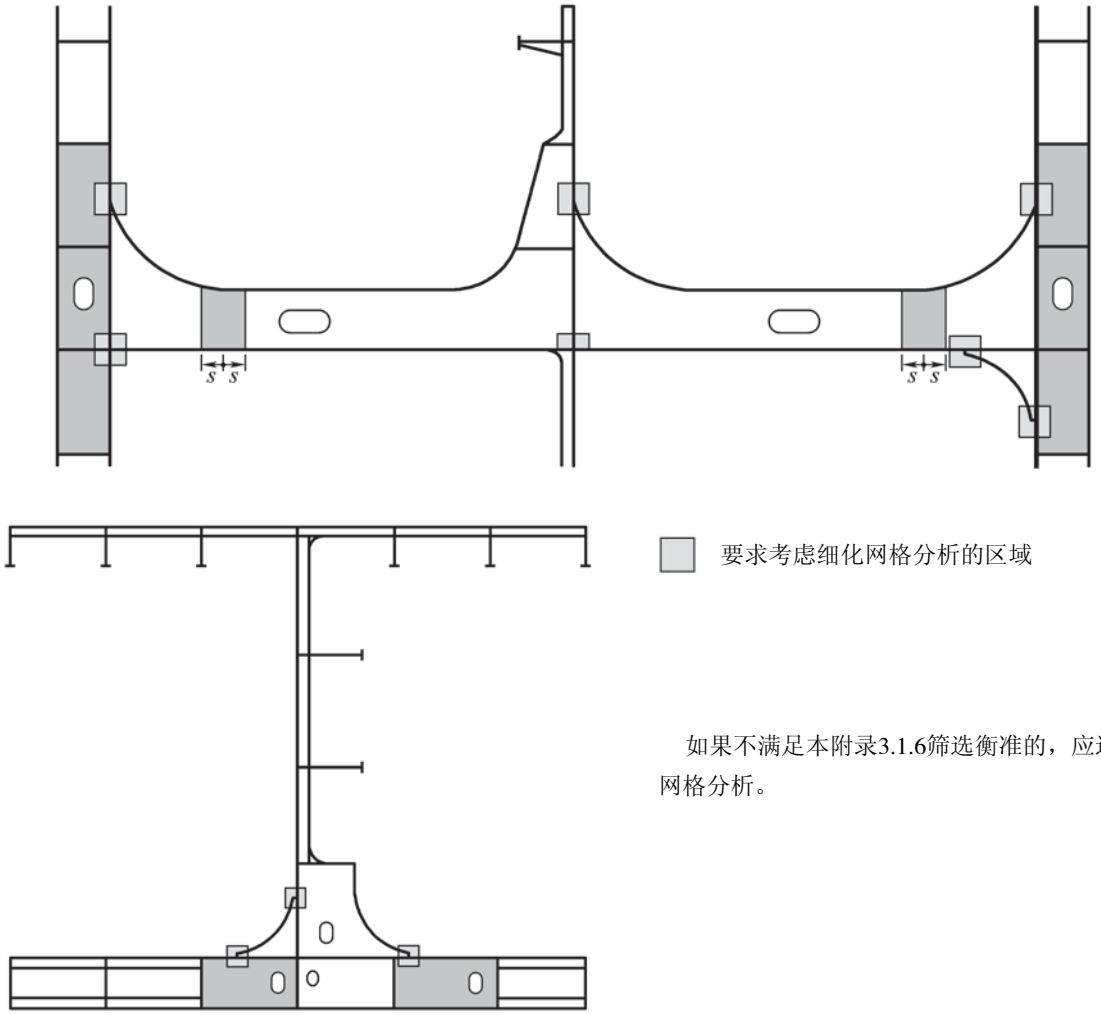
其中h_o，h和g_o定义见表B. 2. 2，b为开孔的长度、宽度的最小值。

其他非阴影区域的开孔，如果不满足本附录3. 1. 6筛选衡准的，应进行细化网格分析。

图 B. 3. 1　典型横框架、制荡舱壁和邻近横舱壁的横框架上要求考虑细化网格分析的区域

3. 1. 2. 2　当油船设置制荡舱壁时，如图 B. 3. 1 所示的制荡舱壁处横向强框架和垂直桁材上的大肘板的趾部、开孔如不满足本附录 3. 1. 6 规定的筛选衡准，应进行细化网格评估。

3. 1. 2. 3　应选取舱段模型中每个结构细节处 von Mises 应力最大的横框架进行细化网格分析。



肘板趾部和跟部 开孔（阴影区域） 开孔（非阴影区域）	对于不满足本附录3. 1. 6筛选衡准的结构细节区域，应进行细化网格分析。 对于所有阴影区域的开孔，凡不满足本附录3. 1. 6筛选衡准的，应进行细化网格分析。 对于所有非阴影区域的开孔，如满足以下条件，则无需基于本附录3. 1. 6筛选衡准进行细化网格分析： • h_o/h＜0.35且g_o＜1.2，并且 • 开孔每端形成一个半圆弧（即开孔半径等于b/2）。 其中h_o，h和g_o定义见表B. 2. 2，b为开孔的长度宽度的最小值。 其他非阴影区域的开孔，如果不满足本附录3. 1. 6筛选衡准的，应进行细化网格分析。

图 B. 3. 2 水平桁，横舱壁和双层底连接处要求考虑细化网格分析的区域

3. 1. 3 横舱壁的桁材、支撑肘板和邻近强框架

3. 1. 3. 1 下列位置如不满足本附录 3. 1. 6 筛选衡准的，应进行细化网格分析：

（a）图 B. 3. 2 所示大肘板的趾部、跟部和横舱壁水平桁上的开孔。应选取舱段有限元模型的中部舱前后舱壁水平桁的每个结构细节处 von Mises 应力最大的节点进行细化网格分析。

（b）图 B. 3. 2 所示横舱壁与双层底相交的大肘板或者支撑肘板的趾部和开孔。应选取舱段有限元模型的中部舱前后舱壁与双层底相交结构的每个结构细节处 von Mises 应力最大的节点进行细化网格分析。

（c）图 B. 3. 1 所示邻近横舱壁的强框架的大肘板趾部和开孔。舱段有限元模型中部舱与前后横舱壁水平桁相接的强框架均应考虑。应选取舱段有限元分析中强框架结构细节处 von Mises 应力最大的节点进行细化网格分析。

3. 1. 3. 2　如果横舱壁水平桁与舷侧平台相交跟部处的应力水平超出了许用衡准，建议设置附录 C/2. 5 规定的支撑肘板，以降低应力。

3. 1. 4　甲板纵骨、双层底纵骨和毗连的横舱壁垂直扶强材

3. 1. 4. 1　下列结构的端部连接和腹板加强筋应进行评估：

（a）至少一对内底纵骨、外底纵骨和毗连的横舱壁垂直扶强材；

（b）至少一根甲板纵骨和毗连的横舱壁垂直扶强材。

3. 1. 4. 2　选取需进行细化网格分析的纵骨和垂直扶强材应基于主要支撑间的最大相对位移，如：肋板和横舱壁之间。如果骨材之间的端部连接布置和尺寸有很大不同，则可另外选取其他骨材进行分析。甲板纵骨、内底纵骨、外底纵骨和横舱壁垂直扶强材要求细化网格分析的区域见图 B. 3. 3。

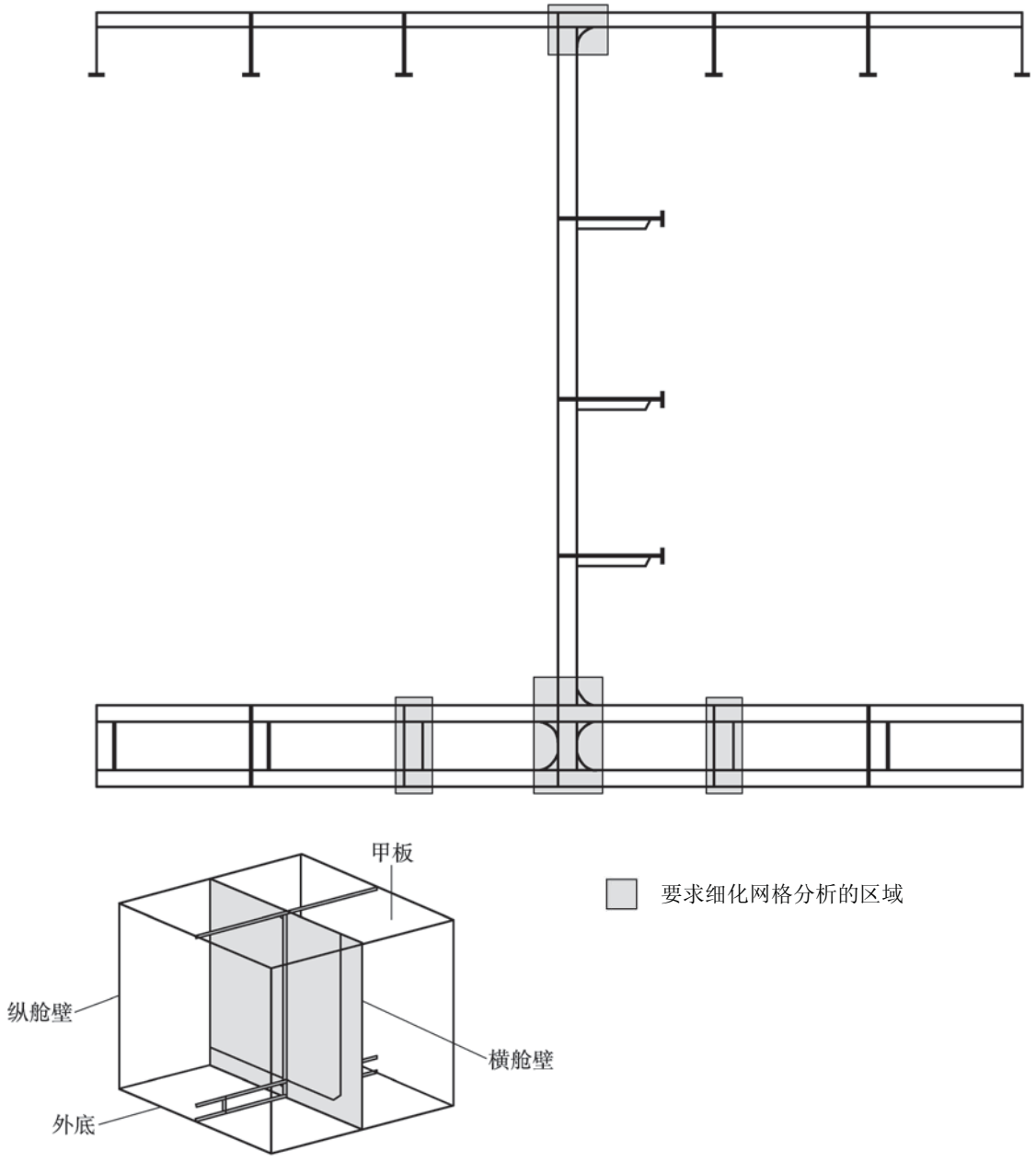
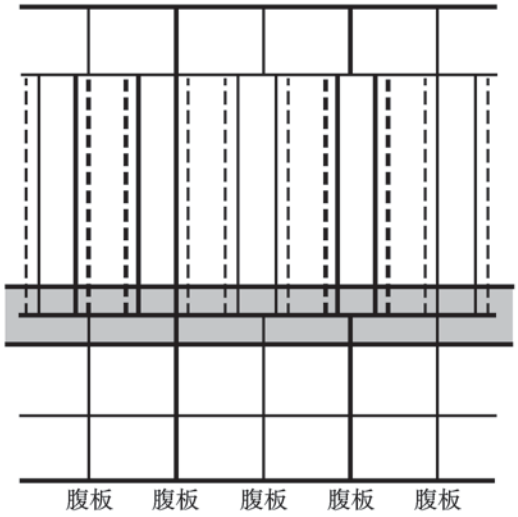


图 B. 3. 3　甲板纵骨、内底纵骨和外底纵骨要求细化网格分析的区域

3.1.5 槽形舱壁

3.1.5.1 如果槽形横 / 纵舱壁不设置卸货板或卸货板不设置角板，如图 B.3.4 所示，槽条和其下支撑结构与底凳边板连接处应进行细化网格分析。如果不设置底凳，槽条和其下支撑结构与内底板连接处应进行细化网格分析。



注：选取需进行细化网格分析校核的槽条部位应基于舱段分析应力结果。

图 B. 3. 4 槽形舱壁和底凳连接部位要求细化网格分析的区域

3.1.5.2 如果槽形横 / 纵舱壁设置有封槽板的卸货板，槽条与封槽板上端的连接应进行细化网格分析。

3.1.5.3 选取需进行细化网格分析的槽条部位应基于舱段分析应力结果，槽条连接部位 von Mises 应力最大处应进行细化网格分析。

3.1.5.4 如槽型横舱壁和纵舱壁的布置和结构尺寸不同，两种舱壁都应进行细化网格分析。

3.1.5.5 如槽条与底凳的连接处的应力水平超出许用衡准，建议设置附录 C/2.5 规定的卸货板和角板，以降低应力。无底凳槽形舱壁的支撑结构布置要求见第 8 节 /2.5.7.9。

3.1.6 细化网格分析的筛选衡准

3.1.6.1 本附录给出了用于确定要求进行细化网格分析校核区域的衡准。衡准适用于下列结构上的开孔、肘板的趾部和跟部：即横框架、制荡舱壁的横向和垂直桁材腹板、横舱壁水平桁和毗连的舷侧平台、支撑肘板和船底纵桁等。

3.1.6.2 结构细节满足本附录给出的筛选衡准时，可不作细化网格分析，但本附录 3.1.6.3 的情况除外。应对有限元模型的所有工况验证满足筛选衡准。

3.1.6.3 舱段有限元模型中大开孔如按表 B.2.2 要求建模时，应进行细化网格分析。

主要支撑构件上开孔的细化网格分析筛选衡准 表 B. 3. 1

以下情况应进行细化网格分析： $\lambda_y > 1.7$，（载荷组合 $S+D$） $\lambda_y > 1.36$，（载荷组合 S）
式中：λ_y——屈服利用因子： $\lambda_y = 0.85 C_h \left(\left\| \sigma_x + \sigma_y \right\| + (2 + (\frac{l_o}{2r})^{0.74} + (\frac{h_o}{2r})^{0.74}) \left\| \tau_{xy} \right\| \right) \frac{k}{235}$ $C_h = 1.0 - 0.23(\frac{h_o}{h}) + 2.12(\frac{h_o}{h})^2$，对边压载舱中横隔板、水平桁和双层底肋板、纵桁以及横舱壁水平桁上的开孔

续上表

C_h＝1.0，对大肘板或支撑肘板腹板上的开孔（见下图）；

r——开孔半径，mm；

h_o——平行于腹板高度方向的开孔高度，mm；

l_o——垂直于腹板高度方向的开孔长度，mm；

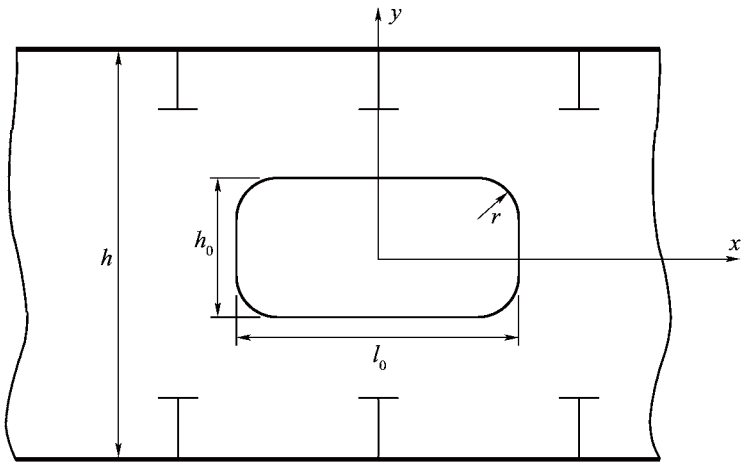
h——开孔处腹板高度，mm；

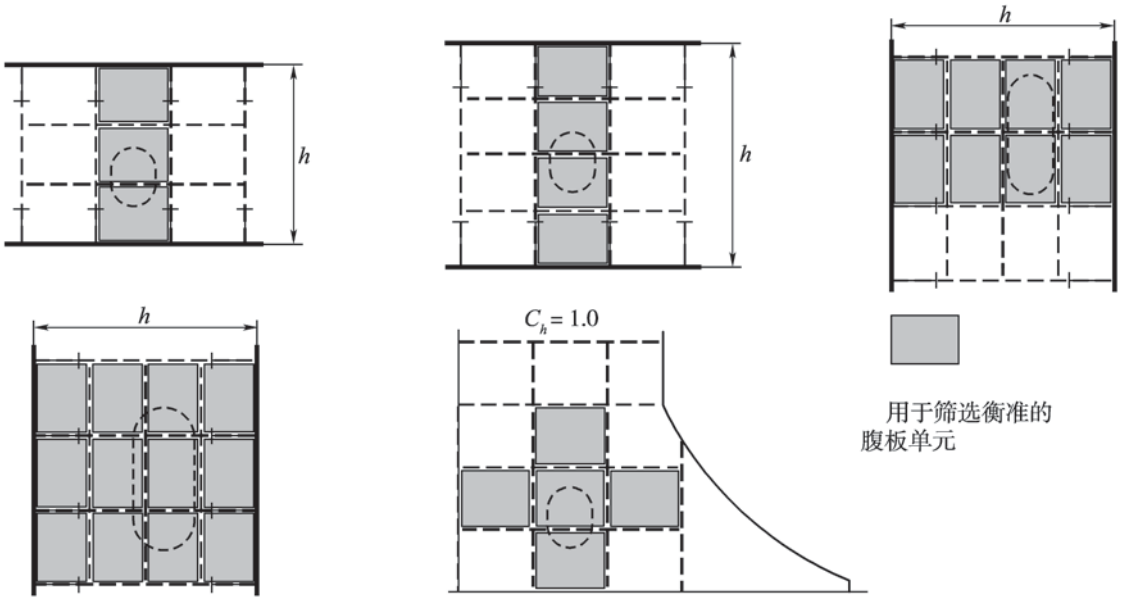
σ_x——下图图示坐标系，舱段有限元分析得到的单元在x方向的轴向应力，N/mm^2；

σ_y——下图图示坐标系，舱段有限元分析得到的单元在y方向的轴向应力，N/mm^2；

τ_{xy}——下图图示坐标系，舱段有限元分析得到的单元的剪切应力，N/mm^2；(2)

k——高强度钢系数，见第6节/1.1.4定义，但对于载荷组合$S+D$，应取不小于0.78。





注：1. 当开口处的模型剪切面积不同于实际净剪切面积时，在计算屈服利用因子前，单元剪应力应根据B. 2. 7. 2. 4的公式进行调整，以便利用筛选衡准进行验证。

2. 当根据表B. 2. 2的要求开口形状必须建模时，需进行细网格有限元分析，以确定应力水平。本表中给出的筛选衡准不再适用。

3. 仅当货舱有限元分析和单元应力计算符合本附录B. 2规定时，筛选衡准才适用。

主要支撑构件肘板趾部的细化网格分析的筛选衡准 **表 B. 3. 2**

以下情况应进行细化网格分析：

λ_y＞1.5， 载荷组合$S+D$

λ_y＞1.2， 载荷组合S

式中：λ_y——屈服利用因子

$$\lambda_y = C_a\left(0.75\left(\frac{b_2}{b_1}\right)^{0.5}\left|\sigma_{vm}\right| + 0.55\left(\frac{A_{bar-net50}}{b_1 t_{net50}}\right)^{0.5}\left|\sigma_{bar}\right|\right)\frac{k}{235};$$

$$C_a = 1.0 - 0.2\left(\frac{R_a}{1400}\right)^2;$$

b_1，b_2——舱段有限元模型中肘板趾部处板单元的高度，mm；

$A_{bar-net50}$——舱段有限元模型中，代表肘板面板的杆单元剖面积，mm^2；

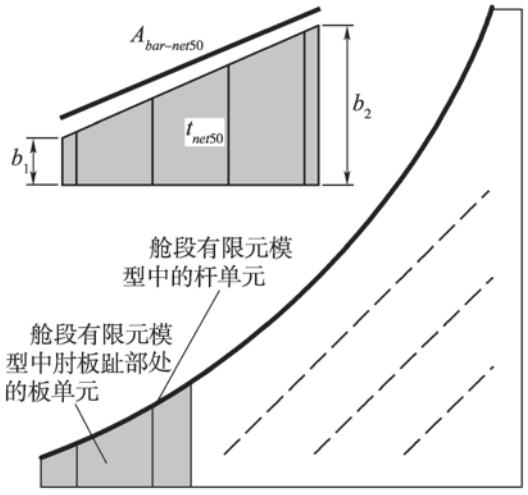
σ_{bar}——舱段有限元分析得到的杆单元轴向应力，N/mm^2；

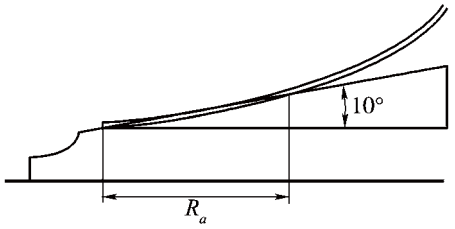
σ_{vm}——舱段有限元分析得到的肘板趾部处板单元的Von Mises应力，N/mm^2；

t_{net50}——肘板趾部处板单元的厚度，mm；

R_a——腿长，应取不大于1400mm；

k——高强度钢系数，见第6节/1.1.4定义，但对载荷组合$S+D$，应取不小于0.78。





注：1. 仅当货舱有限元分析和单元应力计算符合本附录B. 2规定时，筛选衡准才适用。

横舱壁水平桁跟部的细化网格分析的筛选衡准 **表 B. 3. 3**

以下情况应进行细化网格分析：

λ_y＞1.5， 载荷组合$S+D$

λ_y＞1.2， 载荷组合S

式中：λ_y——屈服利用因子

$\lambda_y = 3.0\left|\sigma_{vm}\right|\frac{k}{235}$，舷侧纵桁和横舱壁水平桁的跟部，如图中位置1、2、3；

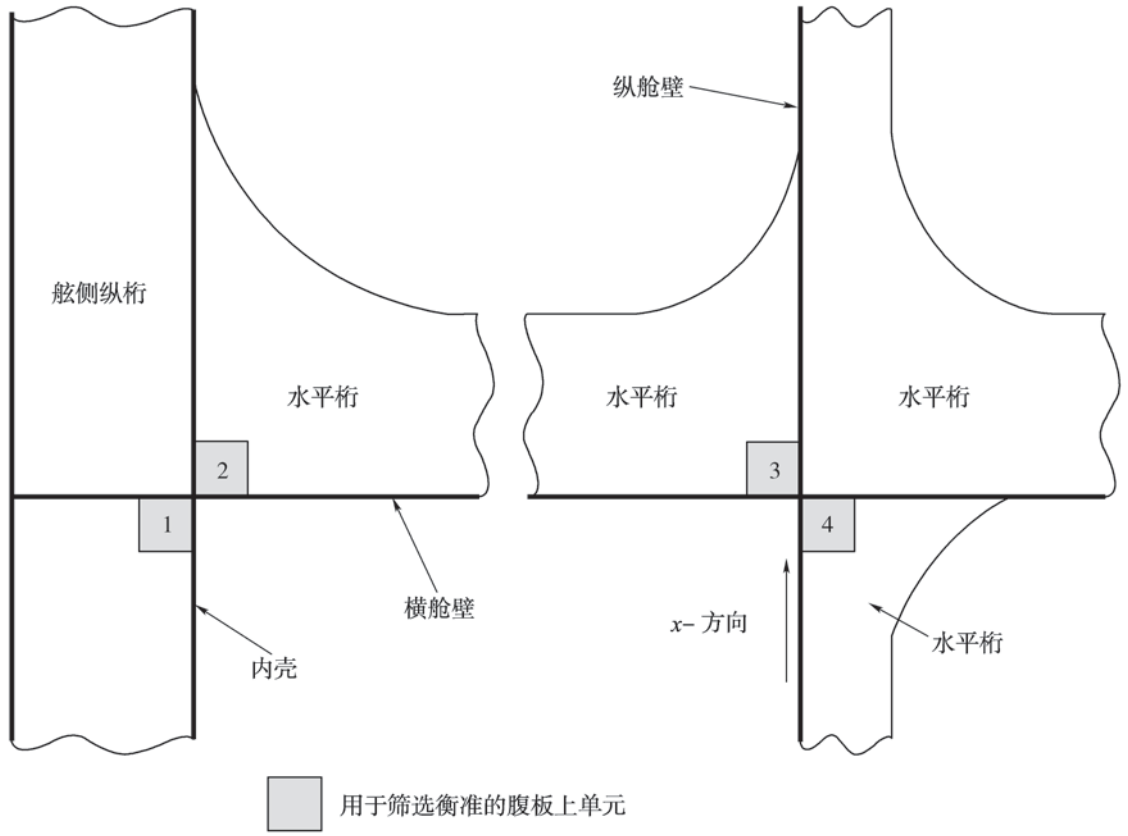
$\lambda_y = 5.2\left|\sigma_{vm}\right|\frac{k}{235}$，纵舱壁水平桁的跟部，如图中位置4；

σ_x——下图图示坐标系，舱段有限元分析得到的单元在x方向的轴向应力，N/mm^2；

续上表

σ_{vm}——舱段有限元分析得到的肘板跟部处板单元的Von Mises应力，N/mm^2；

k——高强度钢系数，见第6节/1.1.4定义，但对载荷组合$S+D$，应取不小于0.78。



注：仅当货舱有限元分析和单元应力计算符合本附录B. 2规定时，筛选衡准才适用。

3.2 结构建模

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 高应力区的详细应力评估应使用细化有限元网格。细化网格分析可采用包括细化网格区域的独立局部有限元模型，边界条件从舱段有限元模型得到，也可采用把细化网格模型嵌入舱段有限元模型中进行分析。

3.2.1.2 局部有限元模型的范围应使关注区域的应力不会受到边界条件和施加载荷的显著影响。细化网格模型的边界应与舱段有限元模型中的主要支撑构件（比如桁材和肋板）相一致。

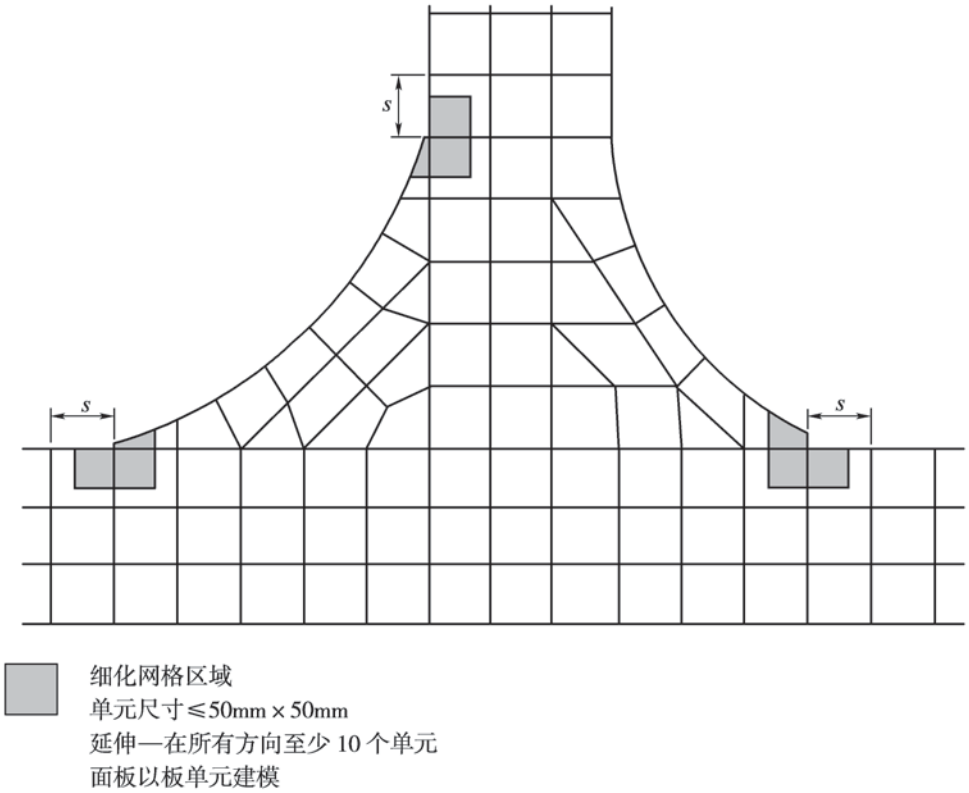
3.2.1.3 细化网格区域的网格尺寸应不大于 50mm × 50mm。一般情况下，细化网格区域的范围在校核区域的所有方向应不少于 10 个单元。

3.2.1.4 细化网格区域内的所有板材应以壳单元表示。网格密度的过渡应保持平稳。细化网格区域内单元的长宽比应尽可能保持接近 1，应避免网格密度的变化和三角形单元的使用。任何情况下，单元的长宽比应不超过 3。避免使用角度小于 60°或大于 120°的畸变单元。细化网格区域内的扶强材应使用板单元建模。细化网格区外的扶强材可使用梁单元建模。

3.2.1.5 细化网格区域内单元的建模厚度应基于净厚度，即总厚度减去全部腐蚀增量厚度 t_{corr}。细化网格区域外单元的建模厚度应基于舱段有限元分析中使用的总厚度减去一半腐蚀增量 0.5t_{corr} 的缩

减厚度（见本附录 2. 2. 1. 5）。

3. 2. 1. 6　如大肘板端部连接处要求进行细化网格分析，细化网格区域的范围在所有方向上应不少于 10 个单元，见图 B. 3. 5。细化网格区的建模尺寸应按照本附录 3. 2. 1. 5 规定。



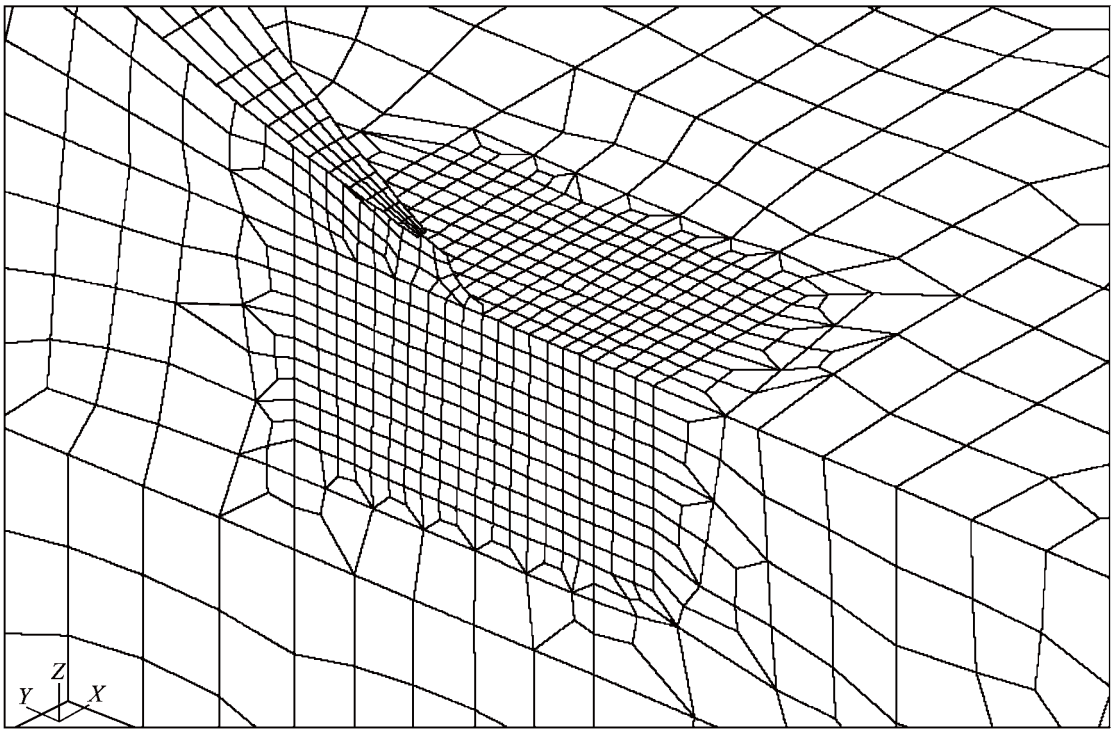


图 B. 3. 5　肘板趾部周围的细化网格区域

3. 2. 1. 7　如开孔处要求进行细化网格分析，开孔的内两层单元应以不大于 50mm × 50mm 的网格尺寸建模，厚度基于减去全部腐蚀增量 t_{corr} 的净厚度。这两层单元之外的单元基于总厚度减去一半腐蚀增量 0. 5t_{corr} 的缩减厚度，见本附录 3. 2. 1. 5。从细化网格到较粗网格的过渡应保持平稳。与开孔边缘焊接的加强筋应使用板单元建模，离开开孔边缘至少 50mm 的腹板加强筋可使用杆单元或梁单元建模。开孔周围的典型细化网格区域见图 B. 3. 6。

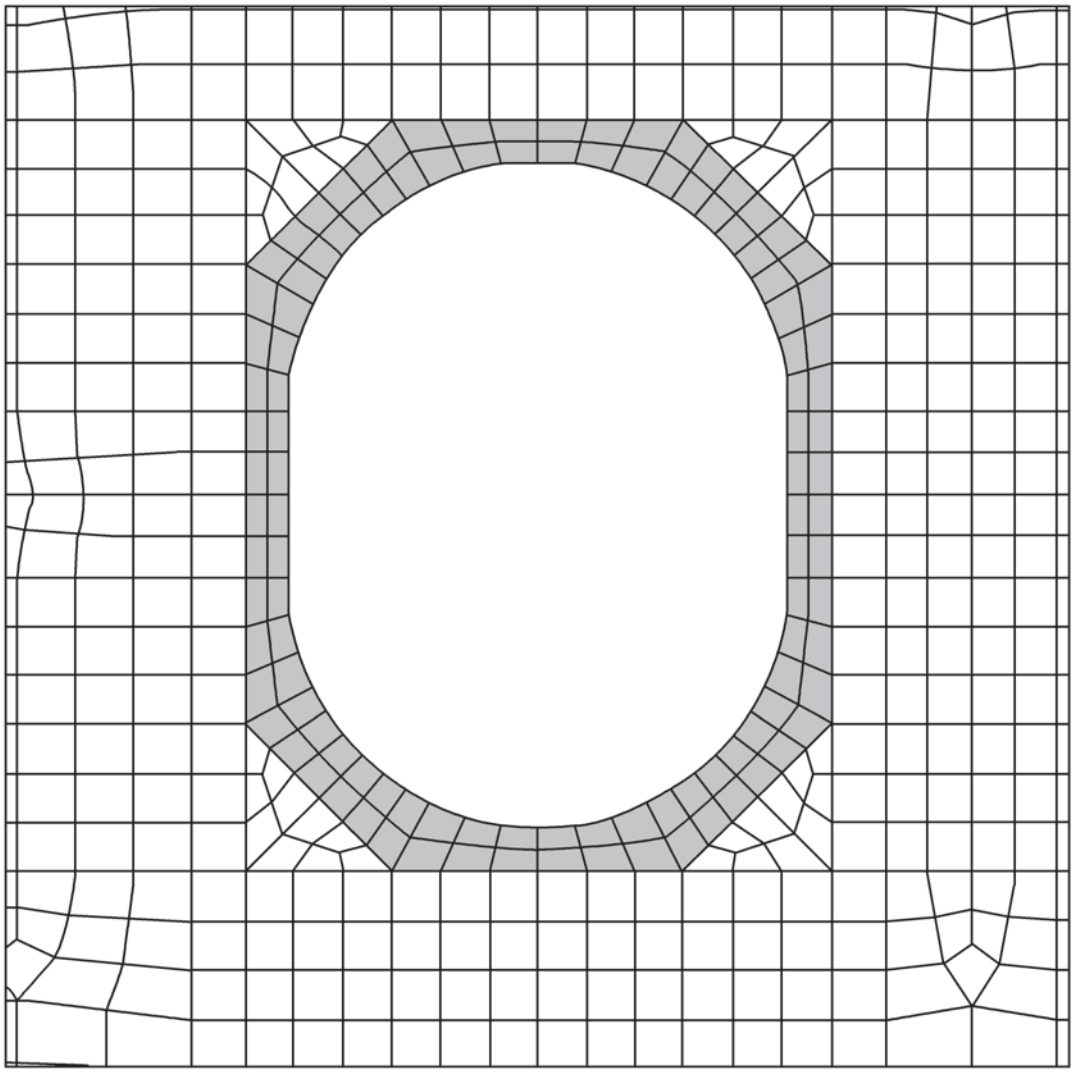


图 B. 3. 6　开孔周围的细化网格区域

3. 2. 1. 8　建模时，开孔处、主要支撑构件及相关肘板的面板沿宽度方向应至少 3 个单元。

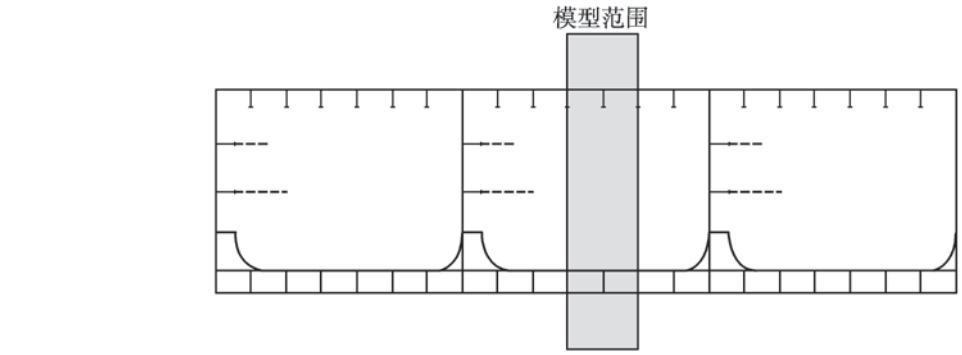
3. 2. 2　横向强框架

3. 2. 2. 1　除本附录 3. 2. 1 的要求外，本小节的建模要求适用于典型横向强框架的细化网格分析。

3. 2. 2. 2　如采用有限元子模型，则模型范围应至少有 1 ＋ 1 个强框架间距，即被校核横向强框架向前后各延伸一个强框架间距，被校核强框架前后端的强框架可不必建模。

3. 2. 2. 3　模型应包括船舶的整个型深和型宽，见图 B. 3. 7。

3. 2. 2. 4　垂直桁材和支撑肘板底部有限元网格的近观图见图 B. 3. 8。



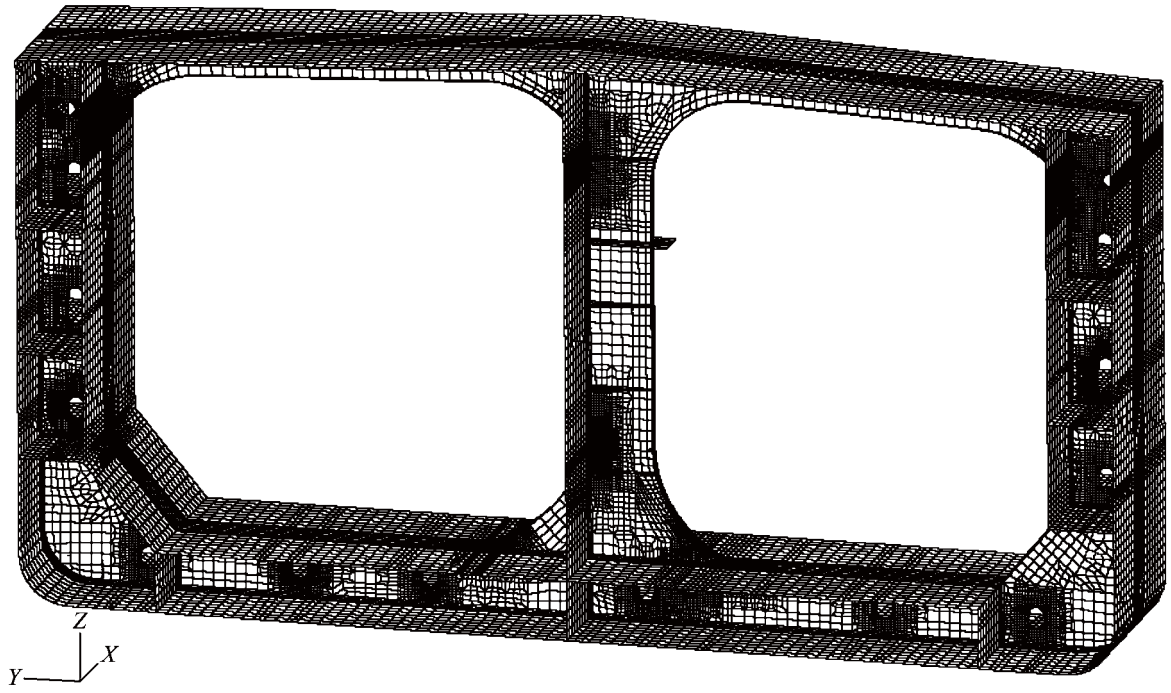


图 B. 3. 7　横框架肘板连接和开孔的细化网格分析的子模型范围

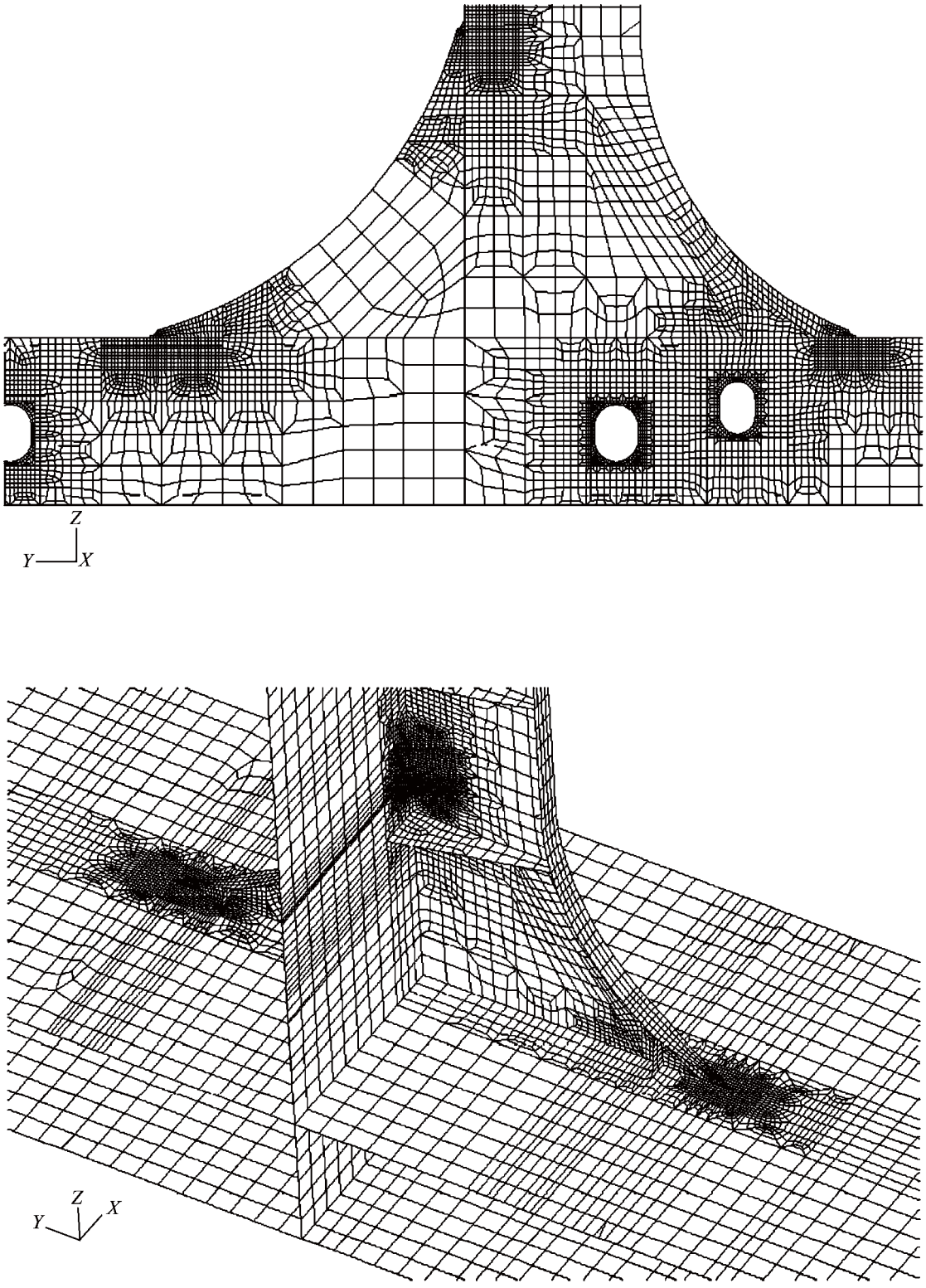


图 B. 3. 8　垂直桁材和支撑肘板底部的有限元网格的近观图

3.2.3 横舱壁水平桁，支撑肘板和邻近强框架

3.2.3.1 除本附录 3.2.1 外，本小节的建模要求适用于本附录 3.1.3 所述横舱壁和邻近强框架的细化网格分析。

3.2.3.2 由于横舱壁、水平桁、强框架、甲板和底部的结构相互作用，建议有限元子模型应包括整个剖面。沿纵向，模型端部应至少向被校核区域的前后各延伸一个强框架间距，见图 B.3.9，子模型应包括船舶的整个型深和型宽。

3.2.3.3 另外，也可采用一系列如图 B.3.10 所示的子模型，分析结构的不同部分。分析横舱壁水平桁时，子模型应包括船舶的整个型宽。分析支撑肘板结构时，子模型宽度应至少包括 4 ＋ 4 个纵骨间距，即从支撑肘板向两边各延伸 4 个纵骨间距。

3.2.3.4 横舱壁水平桁的细化网格有限元模型见图 B.3.11。支撑肘板与横舱壁、双层底结构的连接和开孔的细化网格有限元模型见图 B.3.12。

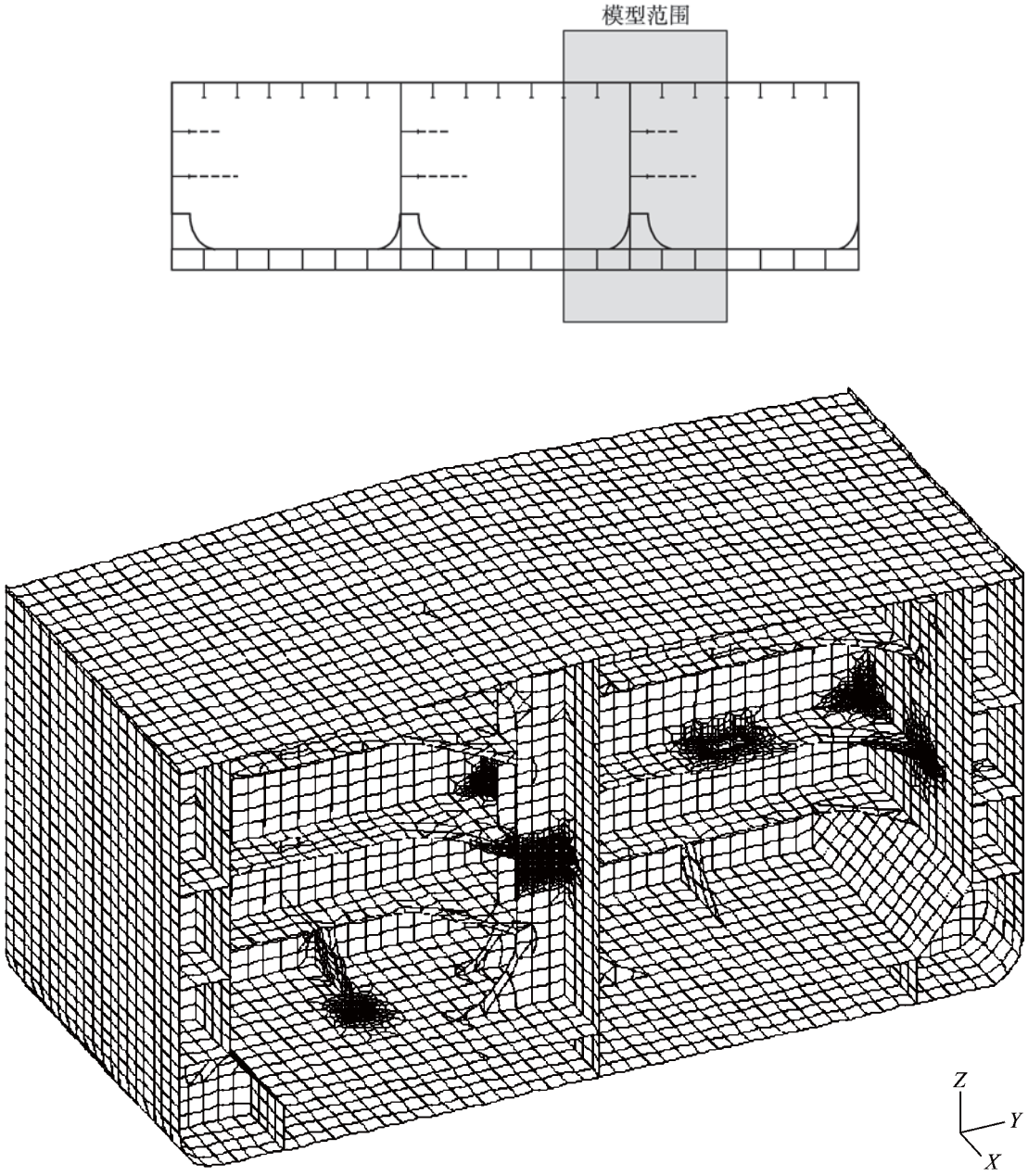


图 B.3.9 横舱壁和相邻结构的细化网格分析的子模型范围

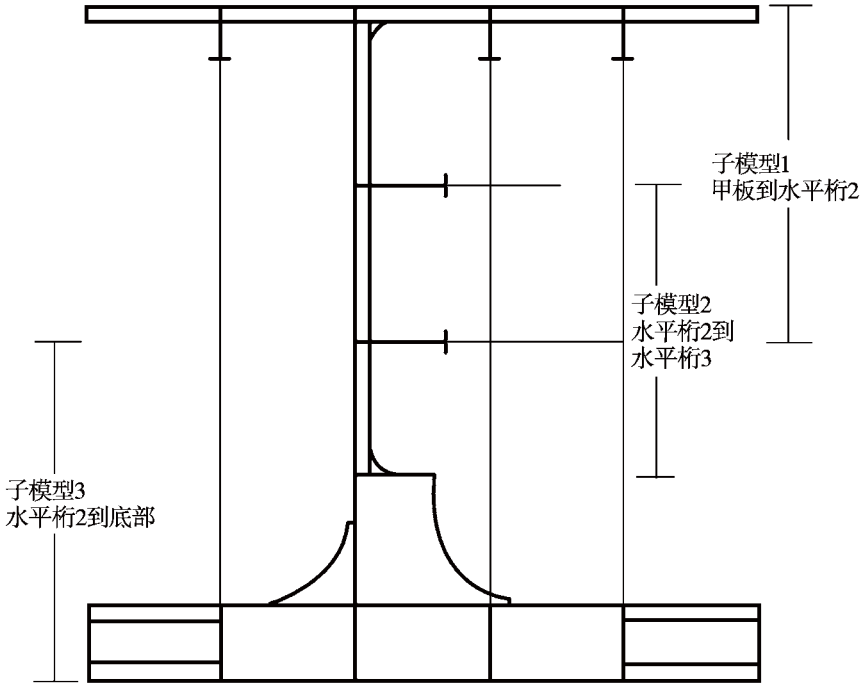


图 B. 3. 10　横舱壁结构使用子模型方法分析

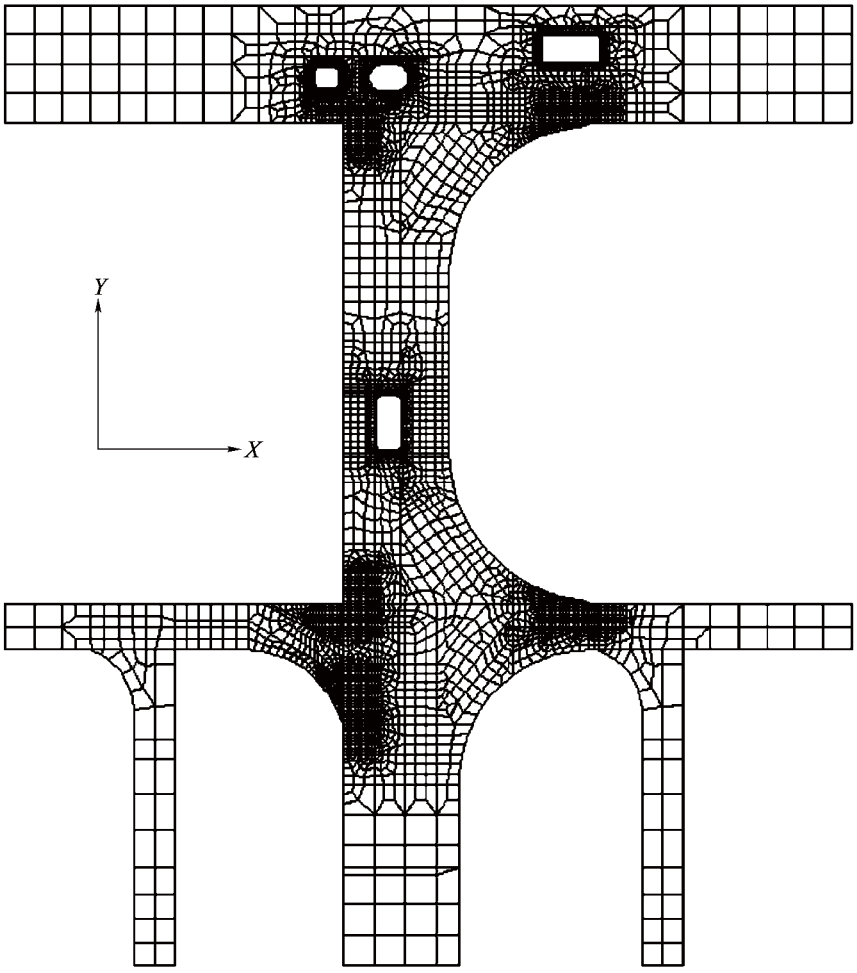


图 B. 3. 11　横舱壁水平桁的有限元细化网格（本图显示模型的左舷）

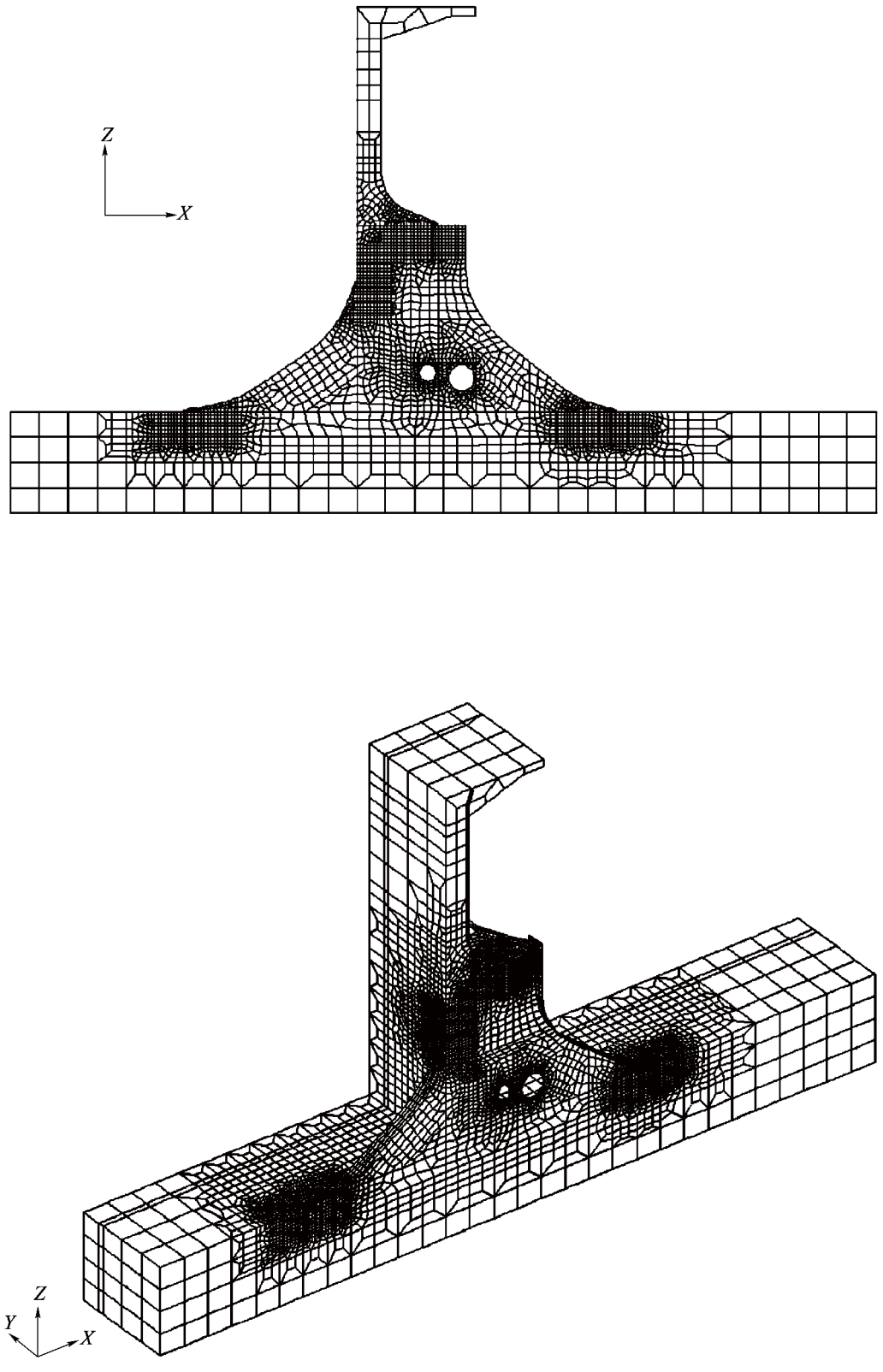


图 B. 3. 12 支撑肘板与舱壁和双层底连接的子模型细化网格分析（本图显示了模型的左半舷）

3.2.4 甲板纵骨、双层底纵骨和毗连的横舱壁垂直扶强材

3.2.4.1 本小节的建模要求是针对用于本附录 3.1.4 所述纵骨与垂直扶强材的端部连接以及腹板加强筋的细化网格分析。

3.2.4.2 如使用局部有限元模型，模型端部沿纵向应从被校核区域向前后至少各延伸两个强框架间距；模型宽度应至少为 2 + 2 个纵骨间距。甲板纵骨、双层底纵骨与毗连横舱壁垂直扶强材连接的子模型的纵向范围见图 B.3.13。

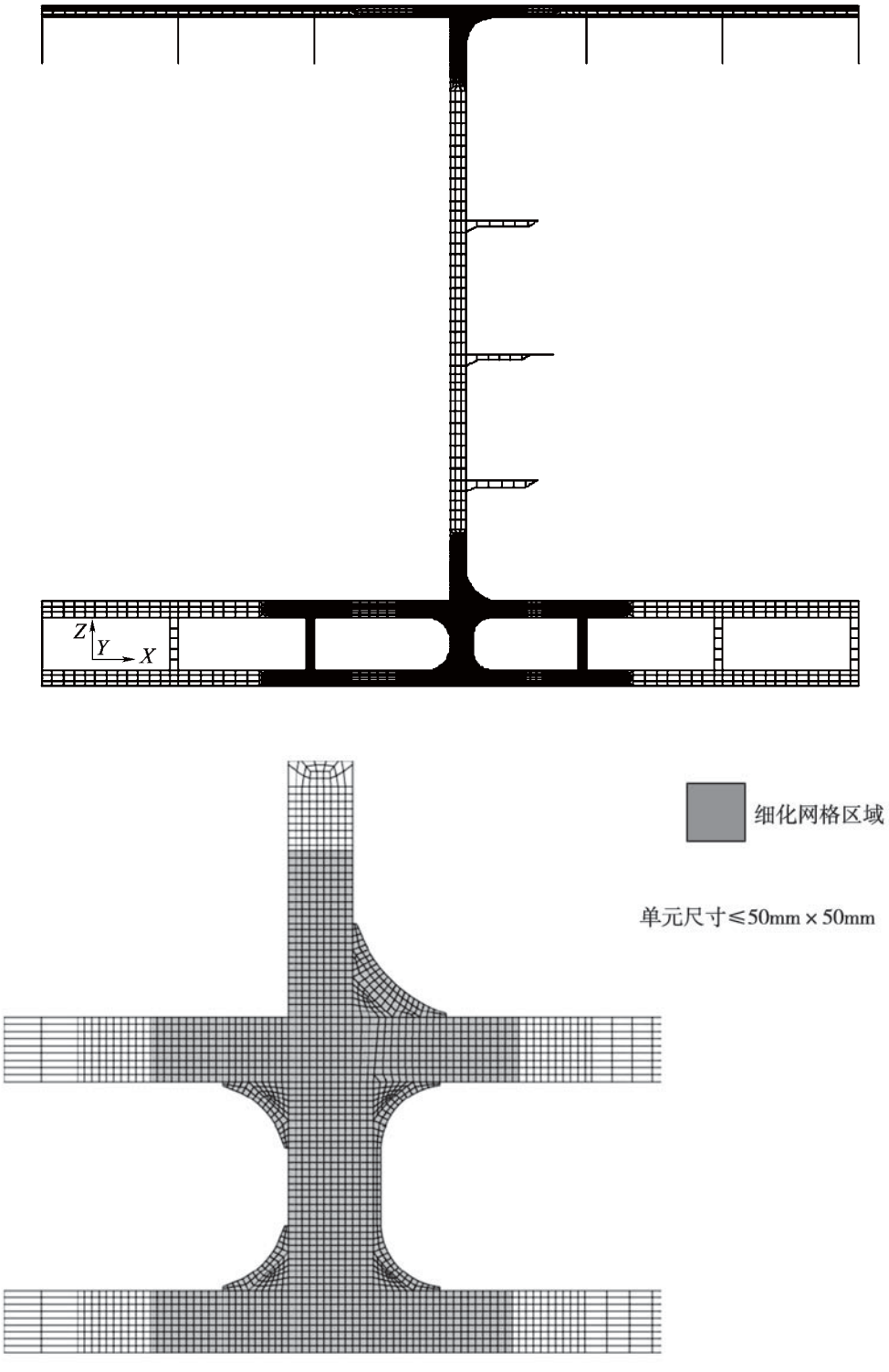


图 B.3.13

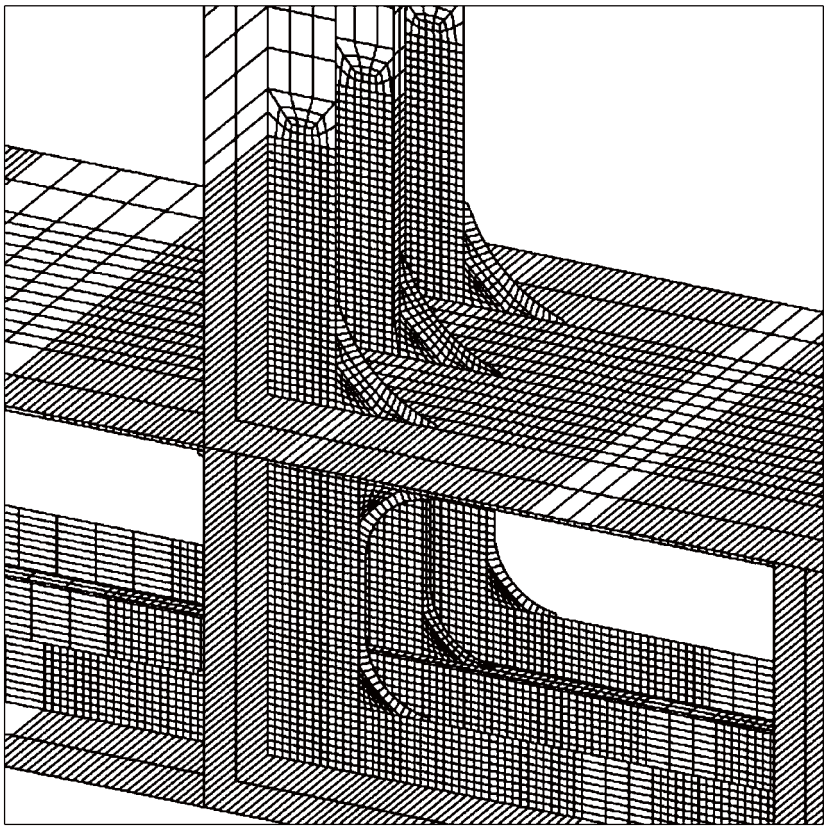


图 B. 3. 13 甲板纵骨、双层底纵骨的端部连接和腹板的细化网格分析子模型

3. 2. 4. 3 舱段有限元模型中计算得到的位移或力，应施加到与舱段模型对应的所有细化网格边界节点上。

3. 2. 4. 4 对被校核的纵骨和垂直扶强材，包括腹板、面板、带板（1/2 ＋ 1/2 个纵骨间距）和相关肘板均应建模。建模时应基于总厚度减去全部腐蚀增量 t_{corr}，其他区域应基于总厚度减去一半腐蚀增量，即 0. 5t_{corr}。

3. 2. 4. 5 纵骨腹板沿高度应至少用 3 个壳单元表示，船底板和内底板的网格尺寸应相同。纵骨、肘板的面板沿宽度应至少 3 个单元。

3. 2. 4. 6 细化网格区域的范围和网格尺寸应按照本附录 3. 2. 1. 3 规定，见图 B. 3. 13。

3. 2. 5 槽形舱壁

3. 2. 5. 1 除本附录 3. 2. 1 之外，本子节的建模要求适用于本附录 3. 1. 5 所述槽形舱壁与舱壁底凳的连接的细化网格分析。

3. 2. 5. 2 子模型的最小范围如下，见图 B. 3. 1. 4：

（a）沿垂向，从底凳的底部到槽条与底凳相交处向上至少 2m。子模型的上边界应与舱段有限元模型的水平网格线一致。

（b）对于槽型横舱壁，子模型沿横向应从细化网格区域向每侧至少延伸至最近的底凳隔板处（即子模型覆盖两个横舱壁底凳隔板间距）。端部隔板可不必建模。

（c）对于槽型纵舱壁，子模型沿纵向应从细化网格区域向每侧至少延伸至最近的强框架处（即子模型覆盖两个强框架间距）。端部强框架可不必建模。

（d）如被校核区域靠近槽型横舱壁和槽型纵舱壁相交处，子模型应覆盖相邻隔板（横向）、相邻强框架（纵向）之间结构。并且，子模型还应从相交处向外至少延伸一个隔板 / 强框架间距。

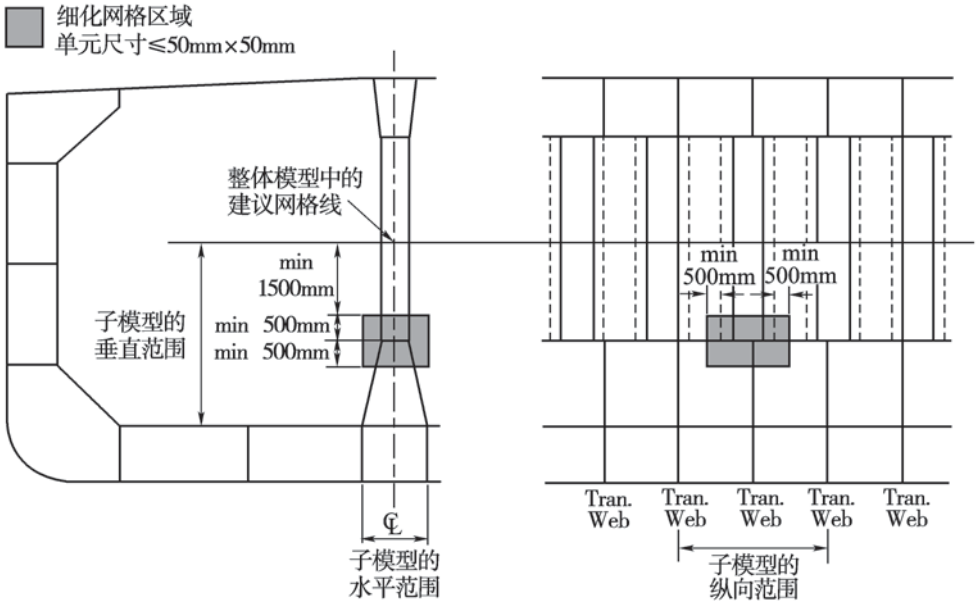
3. 2. 5. 3 细化网格区域沿垂直方向，从槽条连接处应向上延伸至少 500mm（10 个单元），见图

B. 3. 1. 4。沿水平方向，细化网格区应至少覆盖被校核槽条的面板和相邻槽条腹板，然后从槽条腹板每端再向外延伸 500mm（即细化网格区覆盖四个槽条折角），见图 B. 3. 1. 4。细化网格区内的网格尺寸应不大于 50mm×50mm。

3. 2. 5. 4　子模型范围内，底凳内的隔板、肘板和底凳边板上的垂向加强筋均应在其实际位置处建模。隔板、肘板和垂向加强筋的腹板均应使用壳单元建模。加强筋和肘板的面板可用梁单元建模。

3. 2. 5. 5　底凳边板上的水平扶强材应使用梁单元表示。

3. 2. 5. 6　纵舱壁与底凳连接处的细化网格有限元子模型见图 B. 3. 15。



注：上图所示，槽型纵舱壁与底凳连接的子模型范围和细化网格区域。相同范围适用于槽型横舱壁。

图 B. 3. 14　分析槽形舱壁与底凳连接的子模型和细化网格区范围

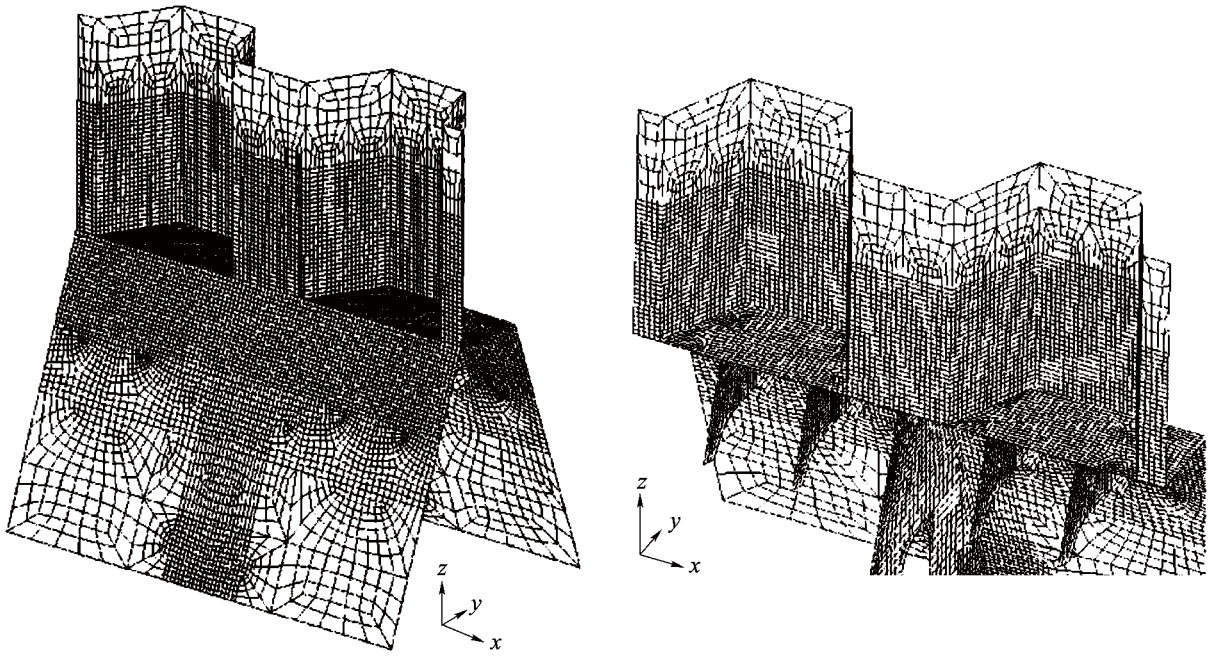


图 B. 3. 15　分析槽型纵舱壁与底凳连接的子模型

3.3 装载工况

3.3.1 应力分析

3.3.1.1 细化网格详细应力分析应按照本附录 2.3.1 规定的标准工况进行，以及包括第 9 节 /2.2.3 规定的所有其他需特别考虑的工况。

3.4 载荷和边界条件的施加

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 细化网格详细应力分析中，如使用独立局部有限元模型，则从舱段有限元模型计算得到的节点位移应作为给定位移施加到局部模型的对应边界节点上。或者，也可采用从舱段模型计算得到的等效节点力施加到边界点的方法。

3.4.1.2 如局部模型边界上有节点与整体模型节点不重合，可在这些节点上使用多点约束施加给定位移。使用线性多点约束方程式连接两相邻重合节点即可。

3.4.1.3 所有局部载荷，包括所有船体梁剪力修正垂向载荷，如果位于独立局部有限元模型所代表的整体模型范围内时，应施加到局部有限元模型上。

3.5 结果评估和验收衡准

3.5.1 应力评估

3.5.1.1 细化网格分析的应力评估应按本附录 3.3.1 规定的工况进行。

3.5.1.2 计算 von Misesσ_{vm} 时，应基于板单元形心处的膜应力和剪应力。如使用壳单元，应基于单元的中面应力。

3.5.1.3 von Mises 应力结果应不超过第 9 节 /2.3.5 规定的许用膜应力。

3.5.1.4 最大许用应力基于本附录 3.2.1 规定的 50mm×50mm 的网格尺寸。如使用更小的网格尺寸，可使用与上述网格尺寸相当面积上的单元平均 von Mises 应力与许用应力作比较。计算平均应力时，仅当单元的所有边界都在上述网格尺寸区域内才计入。平均应力的计算基于单元形心处应力，不使用内插法和 / 或外推法得到应力值。对结构不连续处和竖板结构处不得采用应力平均。

4 疲劳分析的热点应力评估

4.1 适用范围

4.1.1 一般规定

4.1.1.1 本附录规定了采用精细网格有限元分析进行几何热点应力评估的步骤，用于按照附录 C/2 确定疲劳损伤度。

4.1.1.2 基于有限元分析的疲劳评估的位置见第 9 节 /3.3 规定。

4.2 结构建模

4.2.1 一般规定

4.2.1.1 疲劳评估的热点应力计算，要求在高应力集中处使用精细有限元网格。这种精细网格分析可采用精细网格区域的独立局部有限元模型，边界条件从舱段有限元模型得到；也可采用把精细网格模型嵌入舱段有限元模型中进行。

4.2.1.2 疲劳热点位置向外所有方向至少 500mm 范围内的所有结构，应以净厚度建模，净厚度由总厚度减去一半腐蚀增量（即 0.5t_{corr}）后得到。

4.2.1.3 用于疲劳评估的舱段有限元模型应按照本附录 2.2 建模，但建模厚度应基于从总厚度中减去四分之一腐蚀增量（即 0.25t_{corr}）后得到。如果使用强度评估的舱段有限元模型（建模厚度基于总厚度减少 0.5t_{corr} 的厚度），则计算应力值应根据附录 C/2.4.2.7 给出的模型缩减因子 f_{model} 进行修正。

4.2.1.4 如使用独立的局部有限元模型，局部模型的范围应使计算应力不会受到边界条件和施加载荷的显著影响。细化网格模型的边界应与舱段有限元模型中的主要支撑构件（比如桁材和肋板）相

一致。底边舱折角的局部有限元模型范围见本附录 4. 2. 2 规定。

4. 2. 1. 5　热点应力评估应基于网格尺寸 $t_{net50}\times t_{net50}$ 的壳单元，其中 t_{net50} 为可能出现初始疲劳裂纹的板材的净厚度。精细网格区内的网格均应保持这个尺寸，并在疲劳热点位置向外所有方向至少延伸 10 个单元。精细网格区内应使用均匀的方形网格，精细网格区向外的网格密度变化应平稳过渡。

4. 2. 1. 6　精细网格区内应使用具有弯曲和膜元特性的四节点壳单元。壳单元应表示板材的中面和板弯曲特性。焊接和结构不对中的几何形状建模中不考虑。

4. 2. 1. 7　如果在自由边或者角焊缝处（如强框架骨材连接的开孔、板材边缘和舱口角的对接焊缝）进行应力评估时，应使用具有极小横剖面积（如 $1mm^2$）的杆单元以得到所需的应力值。

4. 2. 1. 8　邻近精细网格区的所有结构应使用壳单元精确模型化，应尽可能避免使用三角形单元，并避免使用特大长宽比系数（如单元长宽比系数大于 3）和畸变单元（如单元角度小于 60°或者大于 120º）。

4. 2. 2　底边舱折角连接处

4. 2. 2. 1　除本附录 4. 2. 1 的一般要求外，本小节的建模要求适用于焊接式底边舱折角连接处的建模。

4. 2. 2. 2　船中货舱区域，应对至少一个横框架处的内底板和底边舱斜板之间折角连接处进行疲劳评估，见第 9 节 /3. 3. 3。只须对船体一侧的结构细节进行疲劳评估。

4. 2. 2. 3　通常，应对两相邻横舱壁间中部位置的底边舱折角连接处进行评估。如有制荡舱壁时，通常应对制荡舱壁和端部舱壁间中部位置的底边舱折角连接处进行评估。评估时，应根据本附录 2. 2 所述舱段有限元分析结果进行判断，找出内底板上靠近底边舱斜板折角线的最大横向面内应力，以确定需进行疲劳评估的一舷和肋位。

4. 2. 2. 4　如使用独立的局部有限元模型，局部模型的最小范围如下：

（a）沿纵向，模型应覆盖两个强框架间距（即被校核横框架向前后各延伸一个强框架间距）。位于局部模型端部位置的强框架可不必建模。

（b）沿垂向，模型应从基线至双壳压载舱的最下一根水平桁。如果上折角连接处也进行疲劳分析时，模型应由双壳压载舱的最下一根水平桁再向上延伸 4 个纵骨间距高度。

（c）沿横向，模型应从舷侧至双层底最外侧纵桁向内 4 个纵骨间距。

4. 2. 2. 5　折角连接处的网格尺寸应为 $t_{net50}\times t_{net50}$，其中 t_{net50} 为连接处内底板的净厚度，净厚度按照本附录 4. 2. 1. 2 计算，由总厚度减去一半腐蚀增量厚度 $0.5t_{corr}$。$t_{net50}\times t_{net50}$ 网格的最小范围应为（见图 B. 4. 1）：

（a）内底板－从折角起沿横向有 10 个单元，自肋板起沿纵向前后各有 10 个单元；

（b）嵌接肘板 / 内底延伸部 － 自折角起沿横向有 10 个单元，自肋板起沿纵向前后各有 10 个单元；

（c）底边舱斜板－从折角起沿横向有 10 个单元，从底边舱强框架起沿纵向向前后各有 10 个单元；

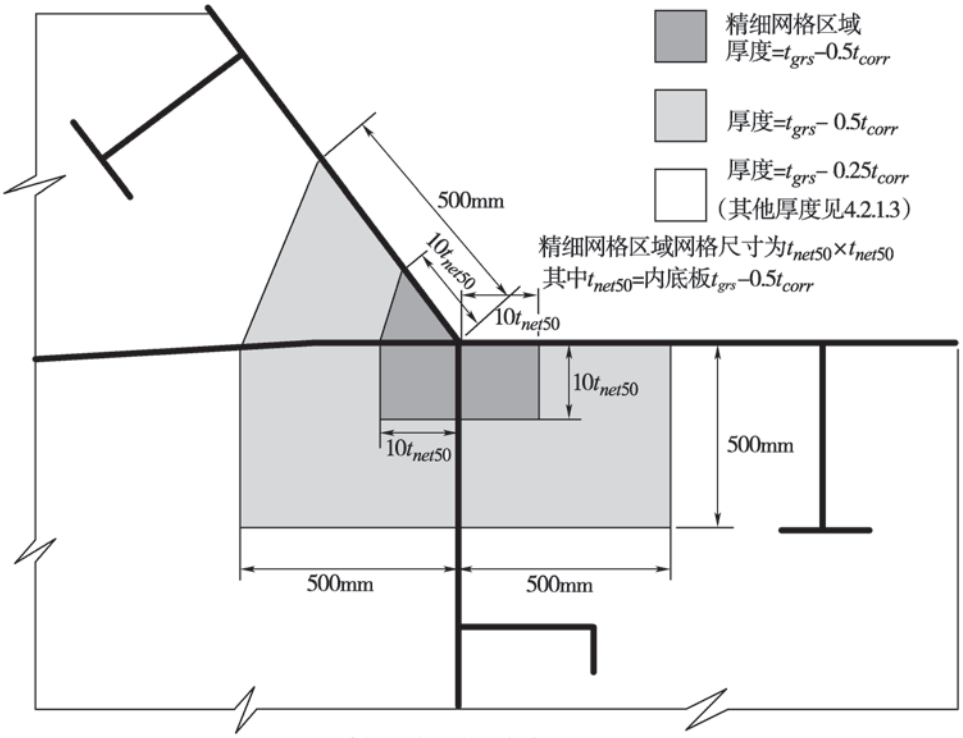
（d）纵桁－自折角起沿垂向有 10 个单元，自肋板 / 底边舱强框架起沿纵向前后各有 10 个单元；

（e）肋板 / 底边舱强框架－从底边舱折角起沿横向和垂向分别有 10 个单元。

4. 2. 2. 6　任何强框架上毗连内底板的嵌接肘板、从折角起第一根纵骨、邻近横框架的第一个短梁和肘板，都应使用壳单元精确建模。远离折角的纵骨可使用梁单元建模。纵桁外侧的内底板突出部应使用壳单元建模至嵌接肘板。嵌接肘板以外的内底板延伸部可使用等效面积的线单元建模。距离折角一个骨材间距区域内的任何开孔，比如电缆、管路和通道开孔，都应精确建模。

4. 2. 2. 7　$t_{net50}\times t_{net50}$ 网格区域和局部厚度折减的延伸范围见图 B. 4. 1。

4. 2. 2. 8　底边舱折角接头的典型局部有限元模型和 $t_{net50}\times t_{net50}$ 网格区的近观图见图 B. 4. 2 － 图 B. 4. 4。



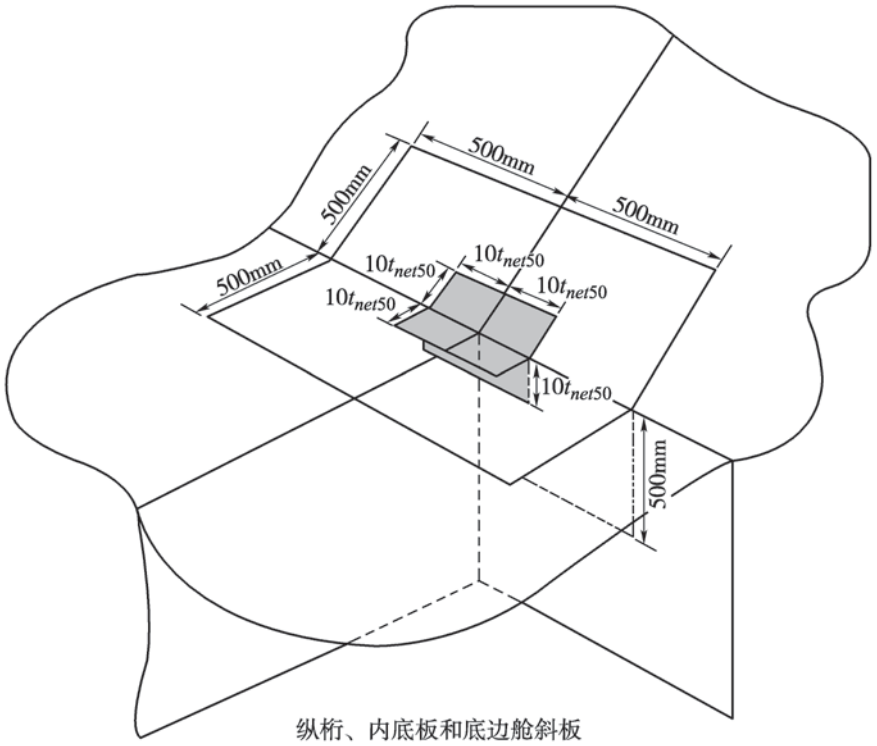


图 B. 4. 1 底边舱下折角 t_{net50}×t_{net50} 网格和局部厚度折减区域的最小范围

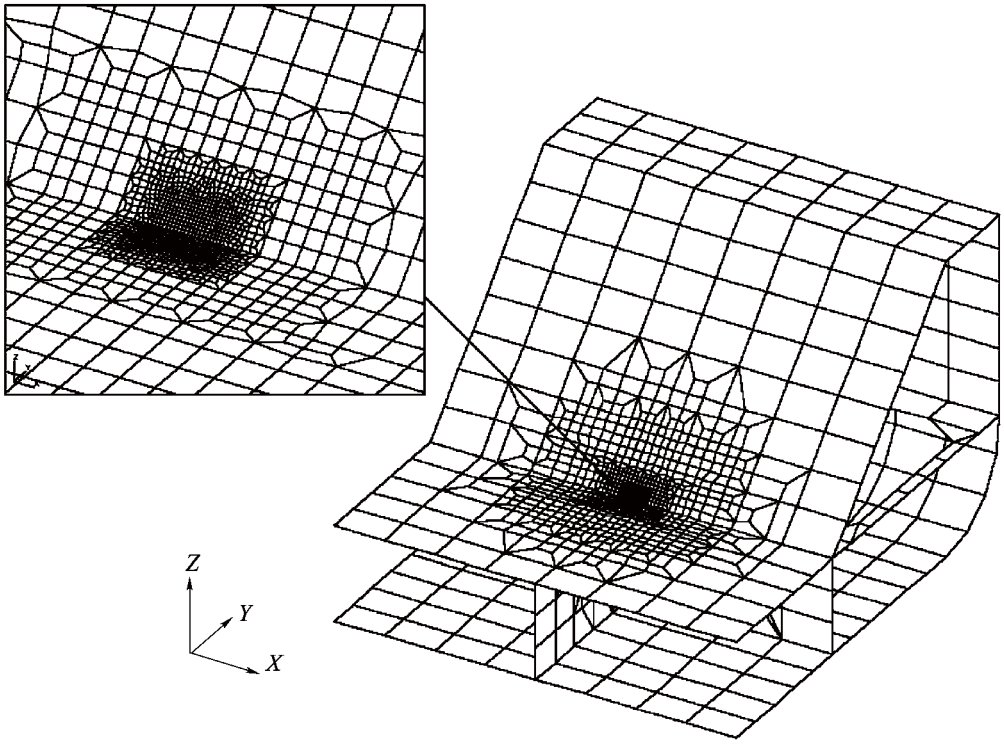


图 B. 4. 2　底边舱折角连接处的典型局部有限元模型内底板和底边舱板的 $t_{net50}\times t_{net50}$ 网格

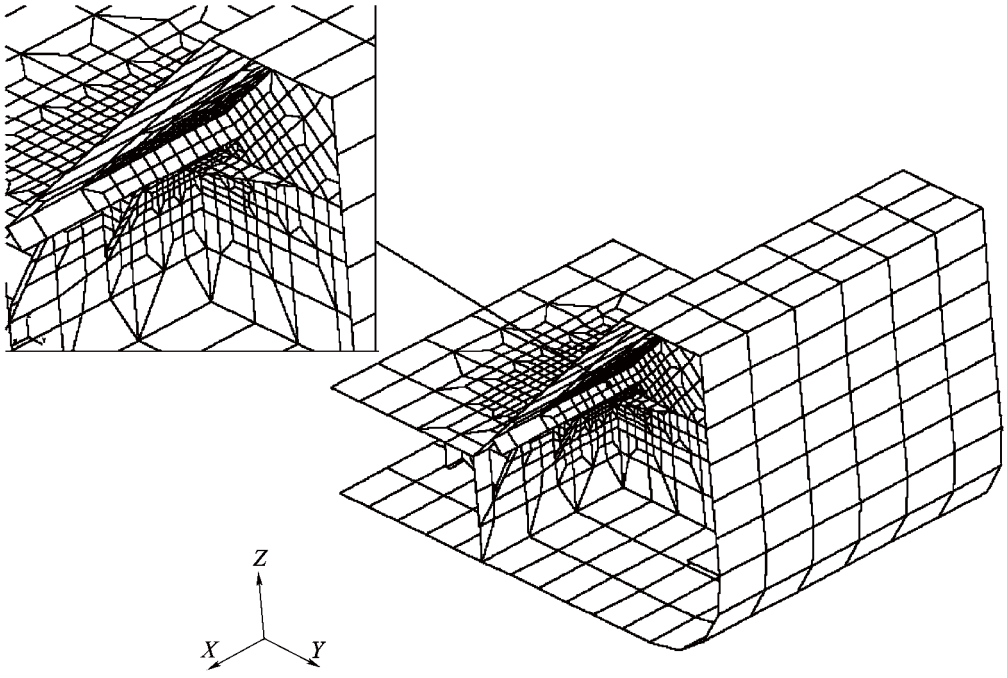


图 B. 4. 3　底边舱折角连接处的典型局部有限元模型底边舱板、强框架、纵桁和肘板的 $t_{net50}\times t_{net50}$ 网格

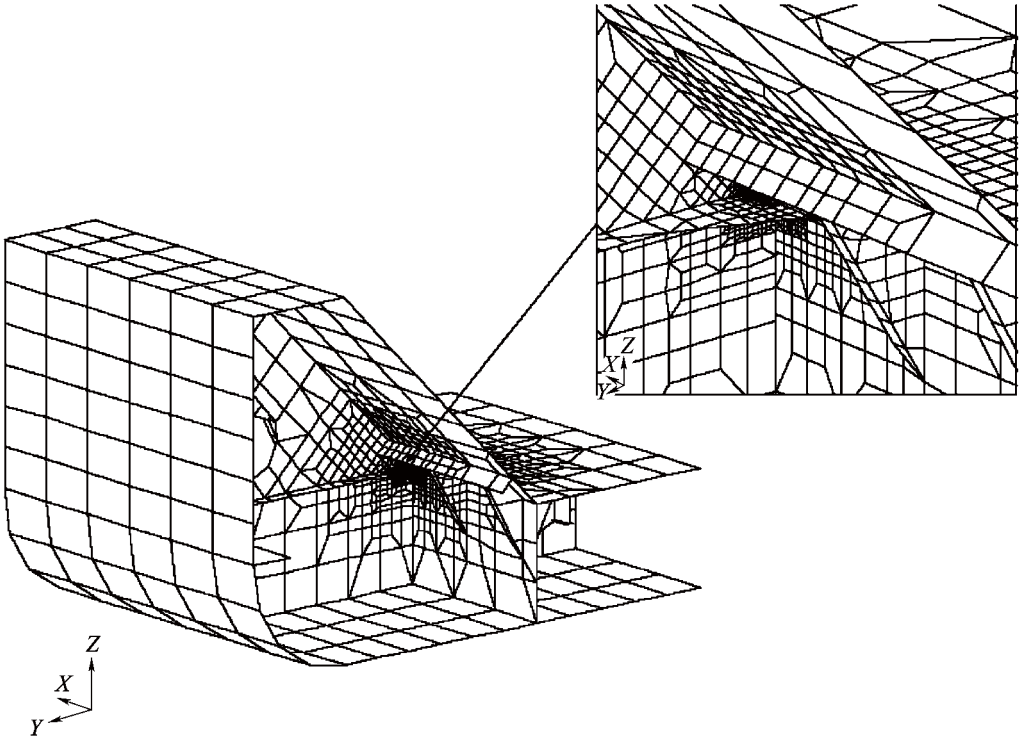


图 B. 4. 4 底边舱折角连接处的典型局部有限元模型底边舱板、强框架、纵桁和肘板的 $t_{net50}\times t_{net50}$ 网格

4.3 装载工况

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 疲劳评估计算动应力范围的船舶装载工况，应按附录 C/1.3.2 规定。

4.3.1.2 用于疲劳评估的货物密度取为：

（a）对于纵骨端部连接处——取均匀装载到结构吃水时的货物密度与 0.9t/m^3 的大者；

（b）内底与底边舱斜板连接处——取 0.9t/m^3

4.3.2 底边舱折角连接处的有限元载荷工况

4.3.2.1 本小节的要求适用于底边舱折角连接处的热点应力范围计算。

4.3.2.2 计算疲劳应力范围时，仅考虑动载荷，因此有限元分析中不必计入静载荷。

4.3.2.3 用于确定合成应力范围（见附录 C/2.4.2.7）的各应力范围分量计算工况见表 B.4.1。

底边舱折角连接处的应力分量计算的载荷工况 表 B. 4. 1

载荷工况	应力分量	施加载荷	载荷计算参数
满载工况			
L_1	S_{e1}	波浪动压力（总范围）仅施加于被校核底边舱折角的船体一舷	船舶吃水＝船舶装载手册中均匀满载离港工况的船中吃水，见附录C/1.3.2。 *GM*：见第7节/3.1.3.4 $r_{roll-gyr}$：见第7节/3.1.3.4 货物密度＝0.9t/m^3（最小，见本附录4.3.1.2）
L_2	S_{e2}	波浪动压力（总范围）仅施加于未被校核底边舱折角的船体一舷	
L_3	S_{ix}	纵向加速度引起的舱室内部动压力（总范围）	
L_4	S_{iy}	横向加速度引起的舱室内部动压力（总范围）	
L_5	S_{iz}	垂向加速度引起的舱室内部动压力（总范围）	

续上表

载荷工况	应力分量	施加载荷	载荷计算参数
压 载 工 况			
L_6	S_{e1}	波浪动压力（总范围）仅施加于被校核底边舱折角的船体一舷	船舶吃水＝船舶装载手册中正常压载离港工况的船中吃水，如果装载手册中没有正常压载工况，则取轻压载工况的吃水，见附录C/1.3.2。
L_7	S_{e2}	波浪动压力（总范围）仅施加于未被校核底边舱折角的船体一舷	
弯矩修正的载荷工况			
C_1	S_{VBM}	单位垂向弯矩施加于舱段模型端部	不施加其他载荷
C_2	S_{HBM}	单位水平弯矩施加于舱段模型端部	
其中：S_{e1}，S_{e2}，S_{ix}，S_{iy}，S_{iz}——弯矩[5]修正前的应力分量（使用恰当的惯用符号）； S_{VBM}——舱段模型端部施加单位垂向弯矩引起的应力响应； S_{HBM}——舱段模型端部施加单位水平弯矩引起的应力响应。			

注：1. 对于波浪动压力工况，应取船中处来计算压力分布，并施加于舱段有限元模型全长。

2. 对于舱室内部动压力工况，应取船中舱室的重心位置计算垂向、横向和纵向加速度，并施加于沿舱段有限元模型长度的所有对应舱室。

3. 舱室重心位置处的纵向、横向和垂向加速度应按照第7节/3.3进行计算。加速度引起的舱室内部动压力幅值应按第7节/3.4.5.7计算。舱室动压力（总范围）是舱室内部动压力幅值的两倍，分布如图7.3.9所示。注意：这些压力分布不同于强度分析中使用的压力分布。

4. 波浪动压力幅值应按照第7节/3.5.2.3计算，波浪动压力（总范围）是波浪动压力幅值的两倍。注意：波浪压力和分布不同于强度分析中使用的压力和分布。

5. 工况L_1至L_7计算得到的应力分量（使用恰当的惯用符号）还应进行修正，以消除垂向、水平弯矩效应，见本附录4.5.2.2。

4.3.2.4 疲劳评估时，应力范围应不包括垂向、水平船体梁弯矩引起的应力。由船体梁弯曲效应引起的应力按照本附录4.5.2所述步骤，从疲劳应力范围结果中推导出。

4.4 边界条件

4.4.1 舱段模型

4.4.1.1 舱段模型端部的边界条件应按照本附录2.6规定。模型端部施加单位垂向、水平弯矩应按照本附录2.5.4.5或者本附录2.5.4.6规定。

4.4.2 局部有限元模型

4.4.2.1 如果使用独立的局部有限元模型计算热点应力范围，舱段模型的节点位移或者等效节点力应施加到局部模型上的对应边界节点。

4.4.2.2 如果局部模型的边界上有与舱段模型节点不重合的节点，可在这些节点上用多点约束施加给定位移。使用线性多点约束方程式连接两相邻重合节点即可。

4.4.2.3 所有局部载荷，如果位于独立局部有限元模型范围内时，应施加到局部有限元模型上。

4.5 结果评估

4.5.1 一般规定

4.5.1.1 应根据靠近潜在裂纹位置、并与潜在裂纹方向垂直方向的热点应力范围进行疲劳损伤计算。

4.5.1.2 对焊接结构节点，热点应力范围应由距离焊趾位置$0.5t_{net50}$处，与焊接方向垂直的表面应力计算得到。其中t_{net50}是可能产生初始疲劳裂纹的板材的净厚度，见附录C/2.4.2.6。

4. 5. 1. 3 对于自由边处疲劳评估，可用自由边处杆单元应力来得到。应力范围基于杆单元的轴向应力。

4. 5. 1. 4 底边舱折角接头的疲劳损伤计算，见本附录 4. 5. 2。

4. 5. 2 底边舱折角连接处

4. 5. 2. 1 对焊接式底边舱折角接头进行疲劳评估时，热点应力范围应基于沿垂直于内底板和底边舱板交线方向的单元应力。应力范围应在距离交线 $0.5_{tnet50}+x_{wt}$ 处的底边舱板和内底板的上表面计算，其中 t_{net50} 是内底板的净厚度，x_{wt} 是焊趾距离，见图 C. 2. 1。要求位置处的应力可基于在距交线处底边舱板、内底板第 1 个单元和第 2 个单元的形心处的表面应力，由线性内插法得到。

4. 5. 2. 2 应力分量范围按下式求得，从根据表 B. 4. 1 的 L1 至 L7 载荷工况确定的应力分量中去除船体梁垂向、水平弯矩引起的应力：

$$S_{c_i} = |s_{c_i} - M_{V_i}\, s_{VBM} - M_{H_i}\, s_{HBM}|$$

式中：S_{c_i}——S_{e1}，S_{e2}，S_{ix}，S_{iy}，S_{iz} 经过弯矩效应修正后的应力范围分量；

s_{c_i}——S_{e1}，S_{e2}，S_{ix}，S_{iy}，S_{iz}，L1 至 L7 工况下得到的，包括垂向、水平弯矩效应的应力分量（使用恰当的惯用符号），见表 B. 4. 1；

M_{V_i}——在 L1、L2、L3、L4、L5、L6 或 L7 工况下，由于施加到舱段有限元模型的载荷引起的垂向船体梁弯矩，应在评估单元的形心纵向位置处进行计算；

M_{H_i}——在 L1、L2、L3、L4、L5、L6 或 L7 工况下，由于施加到舱段有限元模型的载荷引起的水平船体梁弯矩，应在评估单元的形心纵向位置处进行计算；

s_{VBM}——C1 工况下由单位垂向弯矩引起的应力，见表 B. 4. 1；

s_{HBM}——C2 工况下由单位水平弯矩引起的应力，见表 B. 4. 1。

4. 5. 2. 3 如被评估底边舱折角处单元的形心到所评估的底边舱折角所处的强框架肋位的纵向距离小于 500mm，本附录 4. 5. 2. 2 所述的船体梁垂向和水平弯矩可取此肋位处的应力进行计算。

4. 5. 2. 4 满载工况下，由于纵向、横向和垂向加速引起舱室内部动压力而产生的应力范围分量，由下式给出：

$$S_i = 0.4|S_{ix}| + 0.9|S_{iy}| + 0.9|S_{iz}|$$

4. 5. 2. 5 疲劳损伤计算的合成热点应力范围应按照附录 C/2. 4. 2. 7 计算。

4. 5. 2. 6 疲劳损伤和疲劳寿命计算应按照附录 C/1. 4. 1 进行。

附录 C 疲劳强度评估

1 名义应力方法

1.1 一般要求

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本小节规定了用于评估船舶结构细节疲劳强度的简化疲劳评估方法。疲劳评估使用基于梁理论的名义应力方法。

1.1.1.2 疲劳评估适用于最小屈服强度小于 400N/mm^2 的钢质焊接连接。

1.1.2 假定

1.1.2.1 疲劳评估使用下列假定：

（a）线性累积损伤模型，即 Palmgren-Miner 规则，和 1.4.5 中的 *S-N* 曲线数据。

（b）对纵骨端部连接，名义应力由经验公式（见 1.4.2 至 1.4.4）基于规范规定的载荷（见 1.3）得到，形成了名义应力疲劳计算的基础。

（c）结构细节的长期应力范围可使用 1.4.1.5 和 1.4.1.6 给出的修正的 Weibull 概率分布参数 ξ 表征。

（d）结构细节在 1.5 中进行了理想化和分级。

1.1.2.2 1.5 中结构细节的分级是基于受简单载荷作用下按其典型几何形式确定的，当结构细节不同于 1.5 的规定时，应运用合适的有限元分析来表明结构细节足够的疲劳强度，见 2.1.1.3。

1.1.2.3 如果载荷或几何形状采用简单的分级而过于复杂的话，则应对该细节进行有限元分析以确定结构细节的疲劳应力。第 2 小节规定了横向主要支撑构件和底边舱折角焊接连接处基于有限元分析计算的方法，确定焊趾处的热点应力计算。对冷弯型折角连接，2.1.1.2 给出了建议。

1.2 腐蚀模型

1.2.1 净厚度

1.2.1.1 结构能力模型描述时的净厚度和腐蚀余量，应按第 6 节 /3 的规定。

1.3 载荷

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 船体结构承受各类的载荷，包括：

（a）静载荷，包括货物和空船重量；

（b）波浪诱导载荷；

（c）冲击载荷，如底部砰击、首外飘冲击和部分装载液舱内的晃荡载荷；

（d）主机和螺旋桨引起的激振力导致的周期性载荷；

（e）瞬态载荷，如热载荷；

（f）残余应力。

1.3.1.2 疲劳强度分析时的应力长期分布计算，考虑下列波浪诱导载荷：

（a）船体梁载荷（即垂向和水平波浪弯矩）；

（b）外部波动压力；

（c）由船舶运动引起的舱内动压力。

1.3.2 装载工况的选取

1.3.2.1 应根据目标船舶营运中有代表性的装载工况进行疲劳分析。下列两种装载工况必须进行校核：

（a）设计吃水 T_{full} 的满载出港工况，见第 4 节 /1.1.5.4；

（b）正常压载吃水 T_{ball-n} 的压载出港工况，见第 4 节 /1.1.5.3。若装载手册中没有定义正常压载

工况，则使用最小压载吃水，T_{ball}，见第 4 节 /1. 1. 5. 2。

1. 3. 2. 2 确定疲劳载荷时，取对应工况下的船中吃水。

1. 3. 3 载荷的确定

1. 3. 3. 1 施加到结构上的载荷必须计算，以确定相关载荷工况下的应力范围。

1. 3. 3. 2 整体和局部载荷作用下的合成应力计算应按 1. 4. 4 规定，概率水平取 10^{-4}。

1. 3. 4 垂向波浪弯矩

1. 3. 4. 1 垂向波浪弯矩按第 7 节 /3. 4. 1 的规定计算。满载和压载工况下垂向波浪弯矩准幅值（半范围值）$M_{wv\text{-}v\text{-}amp}$ 由下式得出：

$$M_{wv\text{-}v\text{-}amp}=0.5(M_{wv\text{-}hog}-M_{wv\text{-}sag}) \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

式中：$M_{wv\text{-}hog}$——中拱垂向波浪弯矩，kN·m；

$M_{wv\text{-}sag}$——中垂垂向波浪弯矩，kN·m。

1. 3. 5 水平波浪弯矩

1. 3. 5. 1 水平波浪弯矩按第 7 节 /3. 4. 2 的规定计算。满载和压载工况下水平波浪弯矩准幅值（半范围值）$M_{wv\text{-}h}$ 由下式得出：

$$M_{wv\text{-}h\text{-}amp}=0.5(M_{wv\text{-}h\text{-}pos}-M_{wv\text{-}h\text{-}neg}) \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

式中：$M_{wv\text{-}h\text{-}pos}$——正的水平波浪弯矩，kN·m，$M_{wv\text{-}h\text{-}pos}=M_{wv\text{-}h}$；

$M_{wv\text{-}h\text{-}neg}$——负的水平波浪弯矩，kN·m，$M_{wv\text{-}h\text{-}neg}=-M_{wv\text{-}h}$。

1. 3. 6 波动压力

1. 3. 6. 1 波动压力应按第 7 节 /3. 5. 2 规定计算。

1. 3. 6. 2 由于船体表面干湿区域的间断，认为可将外部压力延伸，外部压力的准幅值（半压力范围值），$P_{ex\text{-}amp}$，详细定义见第 7 节 /3. 5. 2. 3，如图 C. 1. 1 中所示。

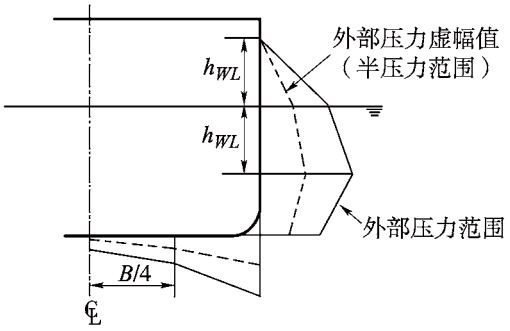


图 C. 1. 1 外部动压力

1. 3. 7 舱室动压力

1. 3. 7. 1 舱室动压力幅值，$P_{in\text{-}amp}$ 按第 7 节 /3. 5. 4. 5 节和第 7 节 /3. 5. 4. 6 计算，甲板结构不考虑内部动压力。

1. 4 疲劳损伤计算

1. 4. 1 疲劳强度确定

1. 4. 1. 1 结构的疲劳评估基于下面给出的 $P\text{-}M$ 累积损伤方法。累积损伤度 DM 大于 1 时，结构的抗疲劳能力将不予接受。DM 由下式求得：

$$DM=\sum_{i=1}^{i=n_{tot}}\frac{n_i}{N_i}$$

式中：n_i——应力范围 S_i 的循环次数；

N_i——应力范围 S_i 对应的失效循环次数；

n_{tot}——应力范围段的总数。

1. 4. 1. 2　焊接结构构件的疲劳强度评估包括下列三个阶段：

（a）应力范围的计算；

（b）设计 *S*-*N* 曲线的选取；

（c）累积损伤的计算。

1. 4. 1. 3　对应船舶的设计寿命期，累积损伤度 *DM* 值应小于 1。设计寿命不少于 25 年。除非另有规定，累积损伤计算由下式求得：

$$DM=\sum_{i=1}^{2} DM_i$$

式中：DM_i——适用装载工况下的疲劳累积损伤度；

i = 1，满载工况

i = 2，正常压载工况

1. 4. 1. 4　假定应力长期分布符合双参数 Weibull 概率分布，各相关工况的疲劳累积损伤度 DM_i 由下式求得：

$$DM_i=\frac{a_i N_L}{K_2}\frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}}\mu_i\Gamma\left(1+\frac{m}{\zeta}\right)$$

式中：N_L——预期设计寿命下的循环次数。除另有规定外，N_L 取为 $N_L=\dfrac{f_0U}{4\log L}$，以 25 年的设计寿命计，此值通常在 0.6×10^8 至 0.8×10^8 循环次数之间；

f_0——0. 85，考虑非航行时间的因子，如装载和卸载、修理等作业；

U——设计寿命，以秒计：

U=0. 788×10^9 秒，对于 25 年的设计寿命；

L——规范船长，见第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义；

m——*S*-*N* 曲线参数，见 1. 4. 5. 5 规定；

K_2——*S*-*N* 曲线参数，见 1. 4. 5. 5 规定；

α_i——船舶寿命的比例系数：

a_1=0. 5，满载工况

a_2=0. 5，压载工况

S_{Ri}——对应 10^{-4} 概率水平下的应力范围值，N/mm^2；

N_R——10000；与 10^{-4} 概率水平对应的循环次数；

ξ——Weibull 概率分布参数，按 1. 4. 1. 6 定义；

Γ——Gamma 函数；

μ_i——计入 *S*-*N* 曲线斜率变化的系数：

$$\mu_i=1-\frac{\left\{\gamma\left(1+\dfrac{m}{\zeta},v_i\right)-v_i^{-\Delta m/\zeta}\gamma\left(1+\dfrac{m+\Delta m}{\zeta},v_i\right)\right\}}{\Gamma\left(1+\dfrac{m}{\zeta}\right)}$$

$$v_i=\left(\frac{S_q}{S_{Ri}}\right)^{\zeta}\ln N_R$$

S_q——S-N 曲线两段交点处的应力范围值，见表 C. 1. 6，N/mm^2；

Δm——S-N 曲线上下段的斜率变化：

$$\Delta m=2$$

γ（a，x）——Legendre 形式的不完全 Gamma 函数。

1. 4. 1. 5 应力范围长期分布的概率密度函数（船体梁＋局部弯曲）由双参数 Weibull 分布表示。当确定了 Weibull 分布的两个参数时，这种假定使疲劳寿命能用一闭式方程式来计算

$$f(S)=\frac{\zeta}{f_1}\left(\frac{S}{f_1}\right)^{\zeta-1}exp\left[-\left(\frac{S}{f_1}\right)^{\zeta}\right]$$

式中：S——应力范围，N/mm^2；

ζ——weibull 概率分布参数，见 1. 4. 1. 6 定义；

f_1——比例参数：

$$f_1=\frac{S_R}{(\ln N_R)^{1/\zeta}}$$

N_R——与 $1/N_R$ 超越概率水平对应的循环次数；

S_R——超越概率水平 $1/N_R$ 对应的应力范围值，N/mm^2。

1. 4. 1. 6 对于每个关注结构细节，选择 Weibull 概率分布参数时，应适当考虑引起周期性应力的载荷类型。Weibull 概率分布参数 ζ 取值为：

$$\zeta=f_{Weibull}\,(1.1-0.35\frac{L-100}{300})$$

式中：L——规范船长，按第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义；

$f_{Weibull}$——与区域相关的修正因子，见表 C. 1. 1 和图 C. 1. 2；

D——型深，按第 4 节 /1. 1. 1. 4 定义。

$f_{Weibull}$ 分 布 因 子 **表 C. 1. 1**

板区域	$f_{Weibull}$（见注）
底板	0. 9中间线处，舷侧处0. 95
舷侧和舭部	1. 1吃水T_{LC}处，甲板处1. 0
甲板	1. 0
内底	1. 0
内壳纵舱壁	1. 1向上至D/2处，甲板处1. 0
内纵舱壁	1. 1向上至D/2处，甲板处1. 0
中纵舱壁	1. 1向上至D/2处，甲板处1. 0
注：中间值线性内插	

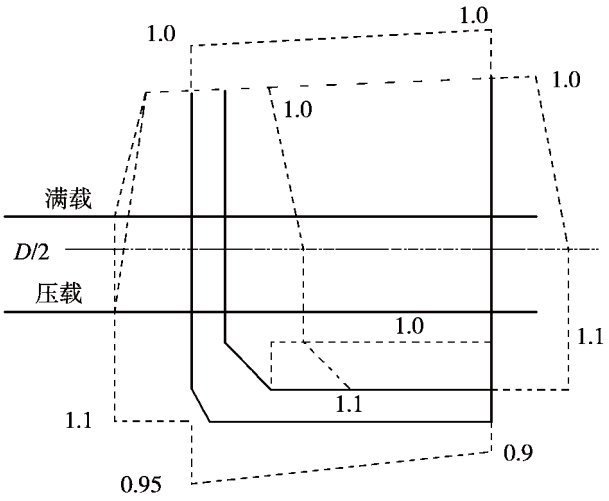


图 C.1.2 $f_{weibull}$ 分布因子

1.4.1.7 疲劳累积损伤度 DM 可以使用如下关系转换为疲劳寿命的计算。在这个公式中，计算的疲劳寿命（年）应等于或大于船舶的设计年限。

$$\text{疲劳寿命} = \text{设计寿命} / DM$$

1.4.2 使用的应力

1.4.2.1 确定名义应力时应考虑结构细节的整体几何变化。不考虑结构不连续性、构件搭接和焊缝形状引起的应力集中的效应。

1.4.3 名义应力的计算

1.4.3.1 本小节给出了用于确定船舶应力响应的总体和局部应力分量合成的简化方法。

1.4.3.2 应力响应计算考虑不同的应力水平。简化过程采用下列方法：

（a）将船体按简单梁处理，以得到纵向船体梁单元名义应力水平的合理近似值。该方法用来计算关键结构细节处的船体梁应力水平。

（b）纵骨和横向肋骨等带有效带板的结构部件，确定外部波动压力和舱内动压力引起的名义应力响应时，应考虑构件端部约束和弯矩。

1.4.4 应力分量定义

1.4.4.1 动态应力变量指应力范围 S 或者应力幅度 σ。

1.4.4.2 疲劳分析中考虑的总体动态应力分量（主要应力）是指船体梁垂向波浪弯曲应力 σ_v 和船体梁水平波浪弯曲应力 σ_h。

1.4.4.3 考虑的局部动应力幅度定义为：外部波动压力或舱内动压力引起的总局部应力幅值 σ_{e-i}。

1.4.4.4 局部应力分量定义为：由桁架系弯曲引起的二阶应力幅值 σ_2，由桁材支撑构件之间骨材弯曲引起的应力幅值 σ_{2A}，由纵骨和横向肋骨之间非加筋板单元弯曲引起的三阶应力幅值 σ_3，见图 C1.3。

1.4.4.5 外部波动压力或者舱内动压力引起的局部总应力 σ_{e-i}，由下式求得：

$$\sigma_{e-i}=\sigma_2+\sigma_{2A}+\sigma_3 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：σ_2——局部应力分量，N/mm^2，见 1.4.4.4 的定义；

σ_{2A}——局部应力分量，N/mm^2，见 1.4.4.4 的定义；

σ_3——局部应力分量，N/mm^2，见 1.4.4.4 的定义。

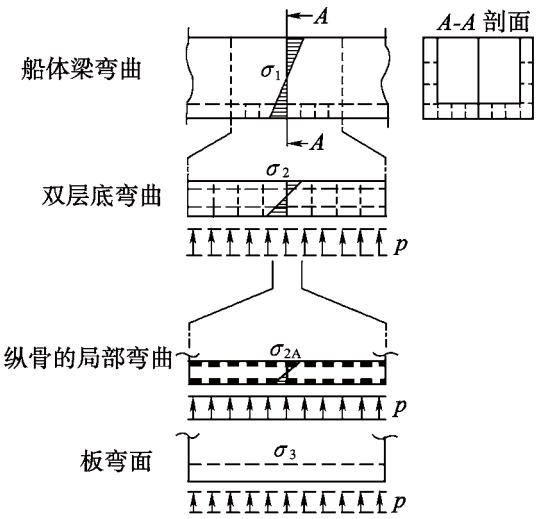


图 C.1.3 局部应力分量定义

1.4.4.6 计算应力分量时，垂向波浪引起的船体梁应力 σ_v 由下式求得：

$$\sigma_v = \frac{M_{wv-v-amp}}{Z_{v-net75}} 10^{-3} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$M_{wv-v-amp}$——准幅值（半范围值），KN·m，见 1.3.4 定义；

$$Z_{v-net75} = \frac{I_{v-net75}}{|z - z_{NA-net75}|} \qquad \text{m}^3$$，见 4/2.6.1 节；

$I_{v-net75}$——船体横剖面对横向中和轴的船体梁垂向净惯性矩，m^4。$I_{v-net75}$ 的计算基于所有有效构件的总厚度，减去 $0.25t_{corr}$ 的腐蚀余量，见第 4 节 /2.6.1；

z——从基线到相关构件关键位置（如纵向加强筋翼板顶部）的距离，m；

$z_{NA-net75}$——从基线到和 $I_{v-net75}$ 对应的水平中和轴的距离，m。

1.4.4.7 垂向波浪弯矩引起的相应应力范围 S_v，由下式求得：

$$S_v = 2\sigma_v \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：σ_v——垂向波浪船体梁应力，N/mm^2，见 1.4.4.6 定义。

1.4.4.8 水平波浪船体梁应力 σ_h，由下式求得：

$$\sigma_h = \frac{M_{wv-h-amp}}{Z_{h-net75}} 10^{-3} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：$M_{wv-h-amp}$——见 1.3.5 定义，kN·m；

$$Z_{h-net75} = \frac{I_{h-net75}}{|y|} \qquad \text{m}^3$$，见第 4 节 /2.6.2 定义；

y——从船体横剖面垂向中和轴到相关构件关键位置（即纵向加强筋面板顶部）的距离，m；

$I_{h-net75}$——船体剖面对垂向中和轴的水平船体梁净惯性矩（开口已减去），m^4；

$I_{h-net75}$——船体剖面对垂向中和轴的水平船体梁净惯性矩，m^4。$I_{h-net75}$ 应基于所有有效结构单元的总厚度减去 $0.25t_{corr}$ 来计算，见第 4 节 /2.6.2。

1.4.4.9 水平波浪弯矩引起的相应应力范围 S_h 由下式求得：

$$S_h = 2\sigma_h \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：σ_h——水平波浪船体梁应力，N/mm^2，按 1.4.4.8 定义。

1. 4. 4. 10　对双壳油船来说，1. 4. 4. 4 定义的二阶应力 σ_2 影响通常较小，所以不必考虑。

1. 4. 4. 11　桁材支撑结构（比如框架、舱壁）间加强筋弯曲应力幅值 σ_{2A}，由下式计算：

$$\sigma_{2A}= K_n K_d \frac{M}{Z_{net50}} 10^3 \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：K_n——非对称剖面形状的应力因子，见 1. 4. 4. 15 定义；

K_d——支撑结构之间相对变形引起的纵骨弯曲应力的应力因子，可以根据舱段有限元分析的实际相对变形确定，取：

K_d = 1. 0 框架连接处

K_d = 1. 15 横舱壁（包括制荡舱壁）连接处的所有纵骨，下列情况除外：

（a）满载工况

K_d=1. 3，对位于甲板边线与最下层平台中点的舷侧和舭部纵骨

K_d=1. 15，对位于甲板边线和最下层平台处的舷侧和舭部纵骨

上面两点间值用线性内插得到；

K_d = 1. 5，对位于纵舱壁、船底纵桁或者支撑肘板中点处的船底纵骨

K_d = 1. 15，对位于纵舱壁、船底纵桁或者支撑肘板处的船底纵骨

上面两点间值用线性内插得到，见图 C. 1. 4。

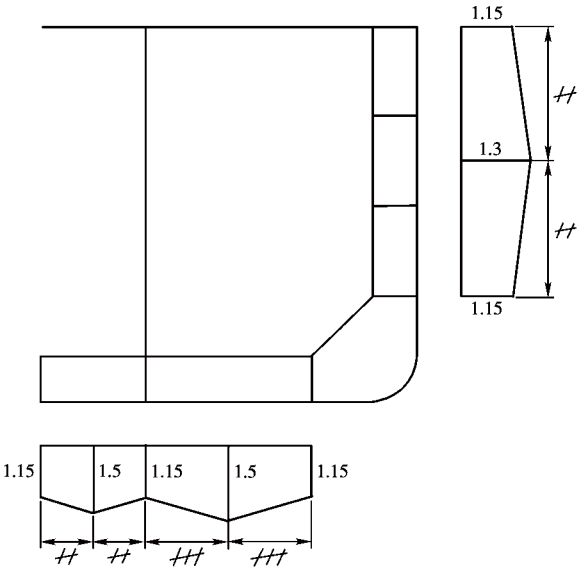


图 C. 1. 4　两道纵舱壁油船满载工况下的舱壁因子 K_d 的变化

（b）压载工况

K_d=1. 5，对纵舱壁、船底纵桁和支撑肘板中间的船底纵骨

K_d=1. 15，对纵舱壁、船底纵桁和支撑肘板处的船底纵骨

上面两点间值用线性内插得到；

M——调整到加强筋的焊趾位置的加强筋支承弯矩（比如肘板趾部），kN·m：

$$M= \frac{Psl_{bdg}^2 10^{-3}}{12} r_p$$

s——加强筋间距，mm；

l_{bdg}——纵向加强筋有效弯曲跨距，如图 C. 1. 5 所示，m，对软趾肘板，也可参见第 4 节图 4. 2. 1 和图 4. 2. 2，带软趾的顶部加强筋和带软趾的扁钢处理方式相同，跨距点取为从构件面板量起，至端部肘板上高度等于构件高度一半的点；

Z_{net50}——连同有效带板 b_{eff}的纵向加强筋的剖面模数，cm^3，计算基于总厚度减 0.5t_{corr}；

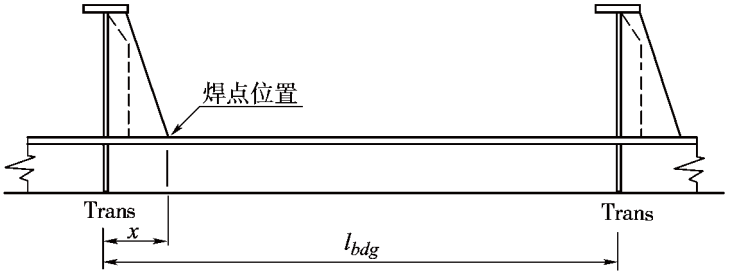
b_{eff}——定义见第 4/2.3.3 节；

r_p——弯矩内插因子，沿加强筋长度内插到焊趾位置：

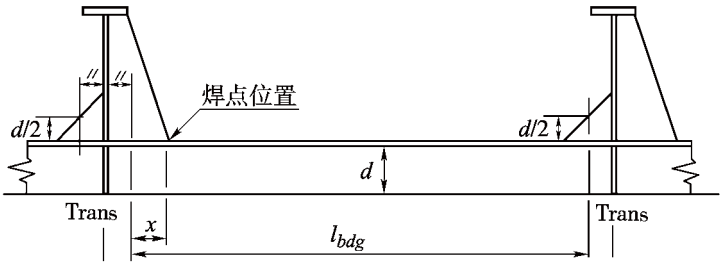
$$r_p = \left| 6\left(\frac{x}{l_{bdg}}\right)^2 - 6\left(\frac{x}{l_{bdg}}\right) + 1.0 \right|，且\ 0 \leqslant x \leqslant l_{bdg}$$

其中 x 为到热点的距离，m，见图 C.1.5；

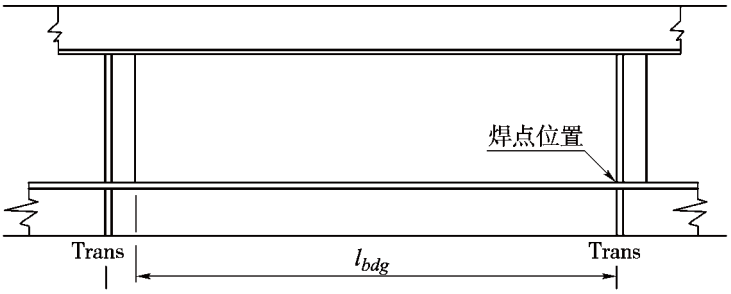
P——所考虑横框架和相邻横框架构成的跨距中点的侧向动压力幅值，kN/m^2。取值为：P_{in-amp}，内部动压力，见 1.3.7 定义，P_{ex-amp}，外部波动压力，见 1.3.6 定义。



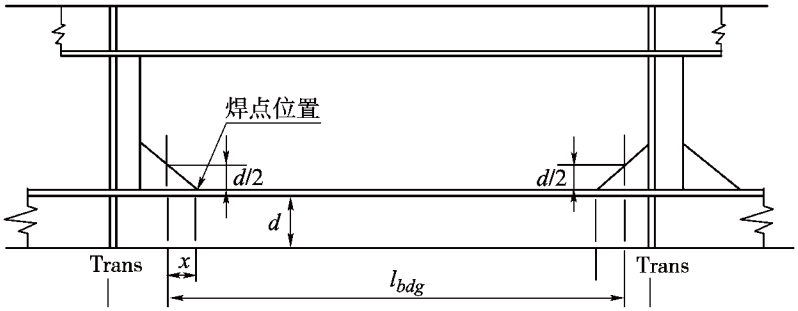
由自由翼板横向结构支承（1）



由自由翼板横向结构支承（2）



由双层结构 / 横舱壁支承（1）



由双层结构 / 横舱壁支承（2）

图 C.1.5 有效跨距长度定义

1.4.4.12 外部波浪或舱内动压力引起的应力范围由下式确定：

$$S_e=2\sigma_{2Ae} \quad \text{N/mm}^2$$

$$S_i=2\sigma_{2Ai} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：σ_{2Ae}——应力幅值，N/mm^2，如使用 P_{ex-amp} 时，见 1.4.4.11 定义；

σ_{2Ai}——应力幅值，N/mm^2，当使用 P_{in-amp} 时，见 1.4.4.11 定义。

1.4.4.13 板、横框架或舱壁交接处焊接的纵向局部三阶板弯曲应力幅度 σ_3，与考虑的关键位置无关，忽略不计。

1.4.4.14 受均布侧向载荷端部弯曲的加强筋（纵骨）翼板，其弯曲（剪切滞后效应引起）的有效宽度的取值按照第 4 节 /2.3.3 规定。

1.4.4.15 侧向受载板格上非对称加强筋翼板的应力集中因子 K_{n1} 和 K_{n2}（如图 C.1.6 规定），由下式求得：

$$K_{n1}=\frac{1+\lambda\beta}{1+\lambda\beta^2\psi_z}，\text{在翼板边缘}$$

$$K_{n2}=\frac{1+\lambda\beta^2}{1+\lambda\beta^2\psi_z}，\text{在腹板处}$$

K_{n2} 用于典型的纵骨端部连接的疲劳分析。

式中：$\beta=1-\frac{2b_g}{b_f}$，对于组合型材；

$\beta=1-\frac{t_{w-net50}}{b_f}$，对于轧制型材；

b_g——从腹板中心线起翼板的宽度，见图 C.1.7，mm；

$t_{w-net50}$——腹板净厚度，mm；

d_w——加强筋腹板高度，见图 C.1.7，mm；

λ——因子，见 1.4.4.17 定义；

ψ_z——带有翼板扶强材腹板剖面模数（翼板处值），与完整板格加强筋的剖面模数之比。可用 $\frac{d_w^2 t_{w-net50}}{4Z_{net50}10^3}$ 作为近似值；

Z_{net50}——包含全部带板宽度 s 的加强筋对垂直于加强筋腹板中和轴的剖面模数，cm^3，计算基于总厚度扣除 $0.5t_{corr}$ 的腐蚀余量。

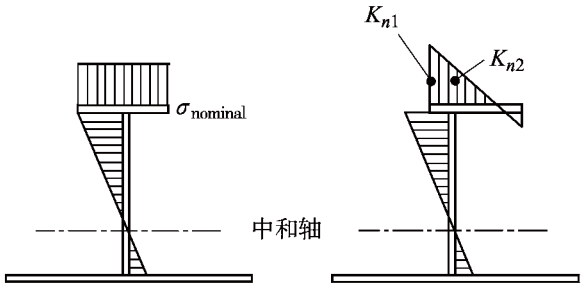


图 C.1.6 具有相同腹板和翼板的对称和非对称板格加强筋的弯曲应力

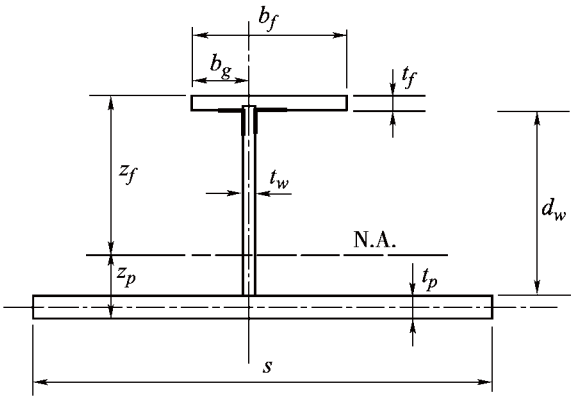


图 C.1.7 加强筋几何形状

1.4.4.16 这些公式不能直接用于球扁钢。对于球扁钢，应考虑用等效组合剖面形状，见图 C.1.8。假定的组合翼板对于垂向轴和中和轴位置的横剖面积和惯性矩特性与原球扁钢相同。对于 HP 球扁钢，应确定等效的组合剖面尺寸。表 C.1.2 列出了几个例子。

1.4.4.17 对连续的加强筋（端部固定），支承件的 λ 因子由下式求得：

$$\lambda=\frac{3\left(1+\frac{\eta}{280}\right)}{1+\frac{\eta}{40}}$$

式中：$\eta=\dfrac{l_{bdg}^4\times10^{12}}{b_f^3 t_{f\text{-}net50} h_{stf}^2\left(\dfrac{4h}{t_{w\text{-}net50}^3}+\dfrac{s}{t_{p\text{-}net50}^3}\right)}$；

l_{bdg}——纵向加强筋的有效弯曲跨距，m；

b_f——翼板宽度，mm；

$t_{f\text{-}net}$——面板净厚度，mm；

h_{stf}——加强筋高度（含面板），mm；

$t_{w\text{-}net50}$——净腹板厚度，mm；

$t_{p\text{-}net50}$——净板厚度，mm；

s——加强筋间板的宽度，mm。

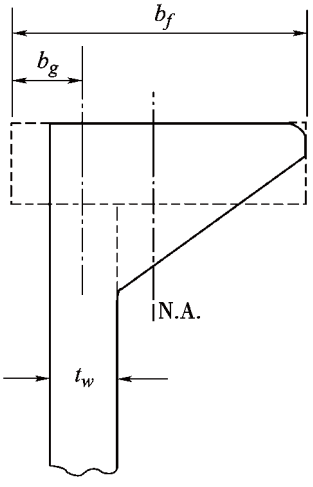


图 C.1.8 球扁钢剖面和等效组合翼板

HP等效组合剖面尺寸　　表C.1.2

HP球扁钢		等效组合翼板		
高度 （mm）	腹板厚度t_w （mm）	b_f （mm）	t_f （mm）	b_g （mm）
200	9-13	t_w+24.5	22.9	（t_w+0.9）/2
220	9-13	t_w+27.6	25.4	（t_w+1.0）/2
240	10-14	t_w+30.3	28.0	（t_w+1.1）/2
260	10-14	t_w+33.0	30.6	（t_w+1.3）/2
280	10-14	t_w+35.4	33.3	（t_w+1.4）/2
300	11-16	t_w+38.4	35.9	（t_w+1.5）/2
320	11-16	t_w+41.0	38.5	（t_w+1.6）/2
340	12-17	t_w+43.3	41.3	（t_w+1.7）/2
370	13-19	t_w+47.5	45.2	（t_w+1.9）/2
400	14-19	t_w+51.7	49.1	（t_w+2.1）/2
430	15-21	t_w+55.8	53.1	（t_w+2.3）/2

1.4.4.18　对于每种装载工况，舱内动压和外部波动压力载荷同时引起的局部应力分量合成后，应与船体梁波浪弯曲引起的总体应力分量合成。

1.4.4.19　总合成应力范围S由下式求得：

$$S=f_{SN}|f_1S_v+f_2S_h+f_3S_e+f_4S_i| \quad \text{N/mm}^2$$

式中：f_1，f_2，f_3和f_4——应力范围合成因子，表示总应力范围和各应力范围分量之间的相位相关，在1.0和-1.0之间，如表C.1.3到C1.5规定。如果因子大于1.0，取1.0。如果因子小于-1.0，则取-1.0；

f_{SN}——考虑接头保护和非保护环境因素的因子，f_{SN}=1.06；

S_v——由垂向弯矩引起的应力范围，N/mm^2，如1.4.4.7定义；

S_h——由水平弯矩引起的应力范围，N/mm^2，如1.4.4.9定义；

S_e——外部或内部动压力引起的应力范围，N/mm^2，见1.4.4.12定义；

S_i——外部或内部动压力引起的应力范围，N/mm^2，见1.4.4.12定义。

1.4.4.20　表C1.3到C1.5给出了应力范围组合因子f_1，f_2，f_3和f_4适用的区域如下：

（a）区域M：船中区域，货舱中心位于距尾垂线AP 0.35L到0.8L范围之间的货舱长度区域；

（b）区域A：尾部区域，尾部货舱的中心到M的范围，包含所有尾部的舱室；

（c）区域F：首部区域，最前部液货舱的中心到M的范围，包含所有首部的货舱；

（d）区域AT：区域A和区域M之间的过渡；使用区域A和区域M的应力范围组合因数的线性内插法；

（e）区域FT：区域F和区域M之间的过渡；使用区域F和区域M的应力范围组合因数的线性内插法。

注：压载舱处，中间和边货舱没有相同的长度，比如有边舱室，中点位置取长舱当中。

区域M的应力范围组合因子　　表C.1.3

	加强筋位置		f_1	f_2	f_3	f_4	fi
压载	船底外板	a_i	-0.49	0.49	-1.04	-0.13	a_i（$\lvert y\rvert/B$）+b_i
		b_i	0.97	0.17	0.87	0.56	
	舷侧外板和舭部（D/2以下）	a_i	-1.48	0.50	-0.64	0.72	a_i（z/D）+b_i
		b_i	0.94	0.40	0.72	0.04	
	舷侧外板（D/2以上）	a_i	1.70	-1.00	-1.10	-0.60	a_i（z/D）+b_i
		b_i	-0.65	1.15	0.95	0.70	
	内底和底凳	a_i	-0.18	0.34	0.00	-0.30	a_i（$\lvert y\rvert/B$）+b_i
		b_i	0.90	0.22	0.00	0.74	

续上表

	加强筋位置		f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
压载	内壳板（D/2以下）（包括边舱板）	a_i	-1.70	-0.90	0.00	1.40	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.15	0.70	0.00	0.45	
	内壳板（D/2以上）	a_i	1.40	0.50	0.00	-1.94	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.40	-0.00	0.00	1.94	
	甲板和顶凳	a_i	-0.15	1.05	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1.02	-0.27	0.00	0.00	
	中心线纵舱壁（D/2以下）	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	中心线纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	纵舱壁（D/2以下）	a_i	-0.20	1.30	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.10	0.00	0.00	
	纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.20	-1.30	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.80	1.40	0.00	0.00	
装载	船底外板	a_i	-0.43	0.78	-0.77	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0.98	0.13	0.75	0.00	
	舷侧外板和舭部（D/2以下）	a_i	-0.29	-0.47	0.14	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.19	0.78	0.92	0.00	
	舷侧外板（D/2以上）	a_i	1.77	-0.05	-1.20	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.84	0.57	1.59	0.00	
	内底和底凳	a_i	-0.71	1.13	0.00	0.55	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1.03	0.18	0.00	-0.18	
	内壳板（D/2以下）（包括边舱板）	a_i	-0.80	-1.70	0.00	2.60	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.55	1.20	0.00	-0.35	
	内壳板（D/2以上）	a_i	1.90	0.30	0.00	-1.70	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.80	0.20	0.00	1.80	
	甲板和顶凳	a_i	-0.26	1.40	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1.02	-0.16	0.00	0.00	
	中心线纵舱壁（D/2以下）	a_i	-1.40	0.00	0.00	1.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.75	0.00	0.00	0.60	
	中心线纵舱壁（D/2以上）	a_i	1.70	0.00	0.00	-1.20	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.80	0.00	0.00	1.70	
	纵舱壁（D/2以下）	a_i	-0.60	0.40	0.00	1.10	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.40	0.00	0.05	
	纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.60	-1.84	0.00	-0.84	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.40	1.20	0.00	1.02	

区域A的应力范围组合因子 表C.1.4

	加强筋位置		f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
压载	船底外板	a_i	-0.20	-0.80	1.20	1.50	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0.00	0.50	-0.25	1.70	
	舷侧外板和舭部（D/2以下）	a_i	-1.00	1.20	-0.80	2.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.20	0.00	0.60	-0.40	
	舷侧外板（D/2以上）	a_i	3.40	-1.20	-2.80	0.80	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-2.00	1.20	1.60	0.20	
	内底和底凳	a_i	-0.50	-1.90	0.00	0.30	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	-0.05	0.60	0.00	0.85	
	内壳板（D/2以下）	a_i	8.20	-2.80	0.00	0.20	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-3.50	1.00	0.00	0.90	
	内壳板（D/2以上）	a_i	0.60	2.80	0.00	-0.50	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.30	-1.80	0.00	1.25	
	甲板和顶凳	a_i	0.00	0.70	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	内部纵舱壁（D/2以下）	a_i	-1.20	2.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	内部纵舱壁（D/2以上）	a_i	1.50	-2.70	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.25	2.35	0.00	0.00	
	中纵舱壁（D/2以下）	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
	中纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
装载	船底外板	a_i	-2.20	1.50	2.60	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	-1.20	-0.05	-0.30	0.00	
	舷侧外板和舭部（D/2以下）	a_i	-1.20	-1.20	0.60	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.30	0.80	0.70	0.00	
	舷侧外板（D/2以上）	a_i	3.00	-0.30	-0.50	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-1.80	0.35	1.25	0.00	
	内底和底凳	a_i	-1.00	2.30	0.00	-0.20	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1.00	-0.10	0.00	0.00	
	内壳板（D/2以下）	a_i	-0.80	1.00	0.00	1.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.20	0.00	0.00	0.50	
	内壳板（D/2以上）	a_i	3.20	-1.00	0.00	-0.80	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-1.80	1.00	0.00	1.40	
	甲板和顶凳	a_i	-0.10	1.50	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	-0.15	0.00	0.00	
	内部纵舱壁（D/2以下）	a_i	-0.80	0.30	0.00	1.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.50	0.00	0.30	
	内部纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.20	-0.90	0.00	-0.08	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.50	1.10	0.00	0.84	
	中纵舱壁（D/2以下）	a_i	-1.10	0.00	0.00	0.44	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.60	0.00	0.00	0.80	$a_i(z/D)+b_i$
	中纵舱壁（D/2以上）	a_i	1.30	0.00	0.00	-0.56	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.60	0.00	0.00	1.30	$a_i(z/D)+b_i$

区域 F 的应力范围组合因数　　表 C.1.5

	加强筋位置		f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
压载	船底外板	a_i	−0.90	1.00	2.40	−1.20	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0.85	−0.10	−1.00	1.10	
	舷侧外板和舭部板（D/2以下）	a_i	−0.60	−0.40	1.00	−1.80	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.00	0.50	−0.15	0.90	
	舷侧外板（D/2以上）	a_i	0.60	−0.90	−2.70	3.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	−0.60	0.75	1.70	−1.50	
	内底和底凳	a_i	−0.30	−1.00	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0.90	0.25	0.00	1.00	
	内壳板（D/2以下）	a_i	−12.00	−2.40	0.00	1.20	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	5.00	1.00	0.00	0.50	
	内壳板（D/2以上）	a_i	3.00	1.40	0.00	−0.90	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	−2.50	−0.90	0.00	1.55	
	甲板和上凳	a_i	0.00	1.00	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1.00	−0.10	0.00	0.00	
	内纵舱壁（D/2以下）	a_i	−1.80	1.90	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.30	0.00	0.00	0.00	
	内纵舱壁（D/2以上）	a_i	1.80	−2.50	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	−0.50	2.20	0.00	0.00	
	中纵舱壁（D/2以下）	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
	中纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
装载	船底外板	a_i	−0.60	−0.15	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	−0.45	0.05	1.00	0.00	
	舷侧外板（D/2以下）	a_i	−1.20	0.18	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.00	−0.03	1.00	0.00	
	舷侧外板（D/2以上）	a_i	4.00	0.02	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	−2.60	0.05	1.00	0.00	
	内底和底凳	a_i	2.80	2.20	0.00	−1.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	−0.80	−0.30	0.00	1.10	
	内壳板（D/2以下）	a_i	10.20	1.60	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	−4.50	−0.60	0.00	1.00	
	内壳板（D/2以上）	a_i	−0.80	−0.90	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.65	0.00	1.00	
	甲板和上凳	a_i	0.24	1.80	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	内纵舱壁（D/2以下）	a_i	−2.10	−1.00	0.00	1.50	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.15	0.60	0.00	0.35	
	内纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.40	−0.30	0.00	−0.40	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	−0.10	0.25	0.00	1.30	
	中纵舱壁（D/2以下）	a_i	−0.60	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.25	0.00	0.00	1.00	$a_i(z/D)+b_i$
	中纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.20	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	−0.15	0.00	0.00	1.00	$a_i(z/D)+b_i$

续上表

	加强筋位置		f_1	f_2	f_3	f_4	fi
压载	船底外板	a_i	-0.90	1.00	2.40	-1.20	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0.85	-0.10	-1.00	1.10	
	舷侧外板和舭部（D/2以下）	a_i	-0.60	-0.40	1.00	-1.80	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.00	0.50	-0.15	0.90	
	舷侧外板（D/2以上）	a_i	0.60	-0.90	-2.70	3.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.60	0.75	1.70	-1.50	
	内底和底凳	a_i	-0.30	-1.00	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0.90	0.25	0.00	1.00	
	内壳板（D/2以下）	a_i	-12.00	-2.40	0.00	1.20	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	5.00	1.00	0.00	0.50	
	内壳板（D/2以上）	a_i	3.00	1.40	0.00	-0.90	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-2.50	-0.90	0.00	1.55	
	甲板和上凳	a_i	0.00	1.00	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1.00	-0.10	0.00	0.00	
	内部纵舱壁（D/2以下）	a_i	-1.80	1.90	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.30	0.00	0.00	0.00	
	内部纵舱壁（D/2以上）	a_i	1.80	-2.50	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.50	2.20	0.00	0.00	
	中纵舱壁（D/2以下）	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
	中纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
装载	船底外板	a_i	-0.60	-0.15	0.00	0.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	-0.45	0.05	1.00	0.00	
	舷侧外板（D/2以下）	a_i	-1.20	0.18	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.00	-0.03	1.00	0.00	
	舷侧外板（D/2以上）	a_i	4.00	0.02	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-2.60	0.05	1.00	0.00	
	内底和底凳	a_i	2.80	2.20	0.00	-1.00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	-0.80	-0.30	0.00	1.10	
	内壳板（D/2以下）	a_i	10.20	1.60	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-4.50	-0.60	0.00	1.00	
	内壳板（D/2以上）	a_i	-0.80	-0.90	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.65	0.00	1.00	
	甲板和顶凳	a_i	0.24	1.80	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.00	0.00	0.00	0.00	
	内部纵舱壁（D/2以下）	a_i	-2.10	-1.00	0.00	1.50	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1.15	0.60	0.00	0.35	
	内部纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.40	-0.30	0.00	-0.40	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.10	0.25	0.00	1.30	
	中纵舱壁（D/2以下）	a_i	-0.60	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0.25	0.00	0.00	1.00	$a_i(z/D)+b_i$
	中纵舱壁（D/2以上）	a_i	0.20	0.00	0.00	0.00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	-0.15	0.00	0.00	1.00	$a_i(z/D)+b_i$

1.4.5 *S*-*N* 曲线的选择

1.4.5.1 钢质焊接接头的疲劳强度的能力，是以 *S*-*N* 曲线来表征的，曲线给出了施加到所给结构细节的应力范围和恒定幅值载荷下失效循环数之间的关系。

1.4.5.2 对于船舶结构细节，*S*-*N* 曲线表示如下：

$$S^m N = K_2$$

式中：*S*——应力范围，N/mm^2，如 1.4.4.19 定义；

N——应力范围 *S* 下的失效循环次数；

m——常数，取决于材料和焊接类型、加载类型、几何图形和环境条件（空气或海水），见 1.4.5.5 定义；

K——常数，取决于材料和焊接类型、加载类型、几何图形和环境条件（空气或海水），见 1.4.5.5 定义。

1.4.5.3 试验 *S*-*N* 曲线由它们的平均疲劳寿命和标准偏差定义。平均 *S*-*N* 曲线表示在应力水平 *S* 下，经过 *N* 个加载循环后，结构细节的失效概率为 50%。现行规范中考虑的 *S*-*N* 曲线基于合适试验数据的统计分析，表达的平均线以下的两个标准差。

1.4.5.4 除非有直接试验测量数据，计算结构细节的疲劳强度时使用 1.4.5.5 到 1.4.5.16 中描述的 S-N 曲线。

1.4.5.5 如图 C.1.9 所示，基本设计曲线由 log(*S*)和 log(*N*)之间的线性关系组成，可以表示如下。在 $N = 10^7$ 次循环时，*S*-*N* 曲线从 m 到 m+2 有一个反斜率（与应力范围 S_q 相对应）

$$\log（N）= \log（K_2）- m\log（S）$$

式中：$\mathrm{Log}（K_2）$——$\log（K_1）- 2\delta$；

N——应力范围 *S* 下预计的失效循环次数；

K_1——与平均 *S*-*N* 曲线有关的常数，由表 C.1.6 给出；

δ——log（*N*）的标准偏差；

m——*S*-*N* 曲线的反斜率，由表 C.1.6 给出；

S_q——与 *S*-*N* 曲线 10^7 循环对应的应力范围值，N/mm^2，见表 C.1.6。

基本 *S*-*N* 曲线数据，空气中 **表 C.1.6**

等级	K_1			*m*	标准差		K_2	S_q（N/mm^2）
		log10	log*e*		log10	log*e*		
B	2.343E15	15.3697	35.3900	4.0	0.1821	0.4194	1.0E15	100.2
C	1.082E14	14.0342	32.3153	3.5	0.2041	0.4700	4.23E13	78.2
D	3.988E12	12.6007	29.0144	3.0	0.2095	0.4824	1.52E12	53.4
E	3.289E12	12.5169	28.8216	3.0	0.25.9	0.5777	1.04E12	47.0
F	1.726E12	12.2370	28.1770	3.0	0.2183	0.5027	0.63E12	39.8
F_2	1.231E12	12.0900	27.8387	3.0	0.2279	0.5248	0.43E12	35.0
G	0.566E12	11.7525	27.0614	3.0	0.1793	0.4129	0.25E12	29.2
W	0.368E12	11.5662	26.6324	3.0	0.1846	0.4251	0.16E12	25.2

1.4.5.6 确定累积疲劳损伤 *DM* 时选用的 *S*-*N* 曲线的等级，应与使用的疲劳评估方法以及被分析的结构细节类型一致。

1.4.5.7 试验 *S-N* 曲线给出了“名义”应力范围和失效循环次数之间的关系。因此，使用这些 *S-N* 曲线时，计算的应力应与产生这些曲线所使用的名义应力相应。

1.4.5.8 本附录中纵向加强筋端部连接疲劳计算评估时使用的 *S-N* 曲线如 1.4.5.5 所示，*S-N* 曲线参数如表 C.1.6 所示。

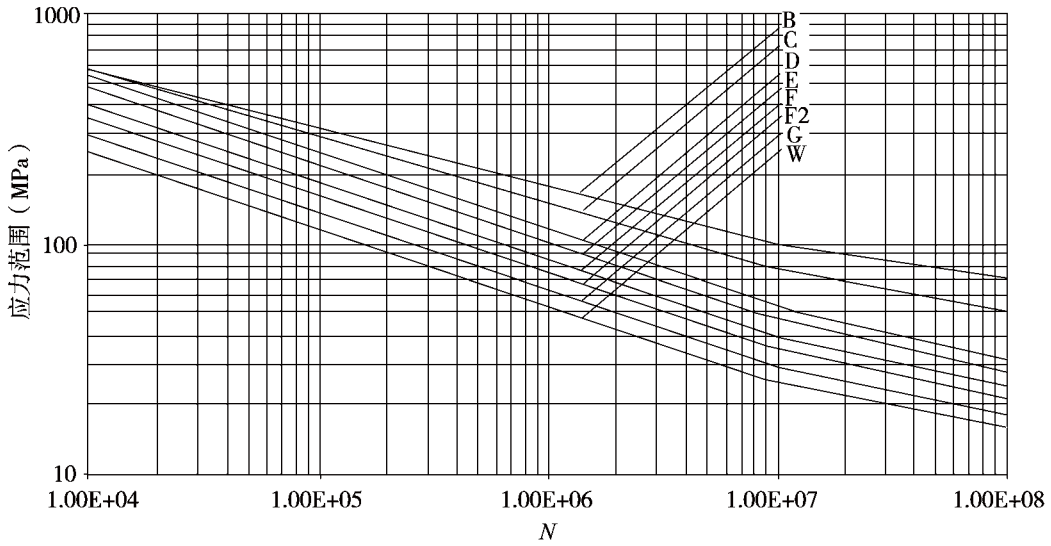


图 C.1.9 基本设计 *S-N* 曲线，空气中

1.4.5.9 一般而言，在疲劳设计中，*S-N* 曲线的修正，应考虑以下方面因素：

（a）平均应力影响；

（b）板厚度影响；

（c）焊接矫正；

（d）环境影响。

1.4.5.10 应力范围可以依据平均循环应力是拉伸还是挤压的状态，进行缩减。如果能够证明存在压缩应力并且能被量化，则可以通过假定应力范围等于拉伸分量加上 60% 的压缩分量，来考虑平均应力的影响。确定平均应力水平时，应使用实际静水弯矩（SWBM）及满载工况或者合适的压载工况下的内外静水压力。

1.4.5.11 总应力范围中的平均应力修正由下式给出：

$S_{Ri}=\sigma_{tensile}-0.6\sigma_{compressive}$，如果 $\sigma_{compressive}<0$ 和 $\sigma_{tensile}>0$

$S_{Ri}=S$，如果 $\sigma_{compressive}\geq 0$；

$S_{Ri}=0.6S$，如果 $\sigma_{tensile}\leq 0$

式中：$\sigma_{tensile}$——平均应力 + 应力范围一半，N/mm^2，$\sigma_{tensile}=\sigma_{mean}+S/2$；

$\sigma_{compressive}$——平均应力 - 应力范围一半，N/mm^2，$\sigma_{compressive}=\sigma_{mean}-S/2$；

σ_{mean}——由满载工况或合适的压载工况下静载荷引起的平均应力，N/mm^2，见 1.3.2；

对于名义应力方法，S 和 σ_{mean} 可以计算如下：

S——总体合成应力范围，N/mm^2，见 1.4.4.19 定义：

$=\sigma_{tensile}-\sigma_{compressive}$

σ_{hg}——船体梁弯曲平均应力，满载工况和合适的压载工况下实际的静水弯矩替代 1.4.4.6 中的弯矩值 $M_{wv-v-amp}$ 而得到的应力 σ_v，见 1.3.2；

σ_{ex}——由静水压力引起的平均局部弯曲应力，用 1.3.2 中的满载工况或合适的压载工况下的实际吃水算出压力 P，用 1.4.4.11 中计算 σ_{2A} 的公式来计算 σ_{ex}，其中 $P=P_{hys}$，见

7/2. 2. 2. 1；

σ_{in}——由静水压力引起的平均局部弯曲应力，用 1. 3. 2 中的满载工况和合适的压载工况下的实际吃水算出压力 P，用 1. 4. 4. 11 中计算 σ_{2A} 的公式来计算 σ_{in}，其中 $P=P_{in-tk}$，见 7/2. 2. 3. 1。

注：1. 当压力作用在板的一侧时，P为负值，当压力作用在加强筋一侧时，P为正值，这给出了一个带负数符号的压缩应力值。

2. 如加强筋位于两舱边界处，平均应力取为作用在加强筋上的净应力。

3. 假定压载水和货舱100%满载，液体的密度根据7/2. 2. 3. 1的规定选取，即货物密度不小于0. 9t/m^3。

对于小节2中的热点应力方法，平均应力用满载或者合适的压载工况下的静载荷作用在有限元模型上求得。

1. 4. 5. 12 结构细节的疲劳性能与构件厚度有关。对于同一应力范围，随着构件厚度增加，接头的抗疲劳强度可能会降低。这种效应（也称“尺度效应”）的产生是因为与邻近板厚度有关的焊趾的局部几何形状及厚度上的应力梯度变化。基本设计 S-N 曲线适用于不超过基准厚度 22mm 的厚度。对厚度大于 22mm 的构件，构件接头（用 t_{net50} 的净厚度）的 S-N 曲线应根据下列方程式对厚度进行修正：

$$\log(N)=\log(K_2)-m\log\left(\frac{S_{Ri}}{(22/t_{grs})^{0.25}}\right)$$

式中：$\log(K_2)=\log(K_1)-2\delta$；

N——应力范围 S 下预计的失效循环次数；

K_1——和平均 S-N 曲线有关的常数；

δ——$\log(N)$ 的标准差；

m——S-N 曲线的反斜率，由表 C. 1. 6 给出；

S_{Ri}——应力范围，如 1. 4. 5. 11 定义，N/mm^2；

1. 4. 5. 13 如果纵向加强筋是扁钢或者球扁钢，1. 4. 5. 12 所述的厚度影响不适用。

1. 4. 5. 14 设计阶段，不考虑焊趾打磨的好处。但是如果在不考虑打磨效应的情况下，计算得到的疲劳寿命大于设计疲劳寿命的一半或最少 17 年，这两者中的大者，则对底边舱斜板和内底板折角处可以考虑采用此方法。采用打磨方式时，结构细节的打磨标准应该包含打磨范围、光洁度、最终的焊缝形状、打磨工艺和采用的质量标准等，并应清楚的标明在适用的图纸上，且和支持的计算资料一起提交备查，资料中标明所建议的疲劳寿命因子。打磨最好采用旋转式砂轮，将打磨范围扩展到板面以下，以便消除焊趾缺陷的影响，并对打磨区域进行有效的腐蚀防护。这种处理方法是在焊趾处形成一个光顺的凹面，并将任何可见的切口打磨至其底部以下至少 0. 5mm。通常，产生的凹面的深度应尽可能小，其深度最大为 1mm，无论如何，打磨的深度不能超过 2mm 或者总板厚的 7%，取小者。打磨的范围应延伸至高应力区域以外。如能遵循上面给出的打磨建议，则可认可其疲劳寿命提高至设计疲劳寿命。

1. 4. 5. 15 图 C1. 9 所示的基本设计 S—N 曲线对空气和海水中有保护（如通过有效涂层能够充分防止腐蚀）的接头是有效的。对于海水中没有保护的接头，基本 S—N 曲线在疲劳寿命上需减少 2 个因子。

1. 4. 5. 16 本附录使用如图 C. 1. 9 所示的设计 S—N 曲线。考虑到接头部分时间处于受保护环境，部分时间处于不受保护环境，总体名义应力范围计算中引入了一个因数 f_{SN}。

1. 5 结构细节分级

1. 5. 1 一般要求

1. 5. 1. 1 结构细节的接头分级采用表 C. 1. 1，其软趾和背肘板设计采用如图 C. 1. 10 所示。当采用其他形式的结构细节设计时，需用 2. 1. 1. 3 中的有限元方法证明其有足够的疲劳强度。

1. 5. 1. 2 当船底、舷侧和内壳处主要支撑构件腹板不设加强筋或加强筋没有连接到纵骨时，见表 C. 1. 7 的注 6。

结 构 细 节 分 级 **表C.1.7**

注：1. 附件长度小于或等于150mm，*S-N*曲线可比表中规定曲线提高一级。例如，表中所示的F2升级成F。附件长度定义为焊接于纵向骨材面板上的不扣除扇形孔的长度。

2. 如果纵向骨材是扁钢且有一加强筋/肘板焊接到面上，*S-N*曲线按表中的规定下降一级。例如，表中所示的F级下降到F2；如果表中所示级别是F2，则下降到G。这在加强筋的翼板边缘与连接构件面间隙小于10mm的情况下同样适用于不对称形状，比如达不到上述间隙的球扁钢和角钢。

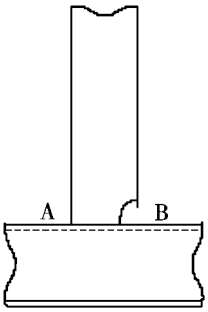
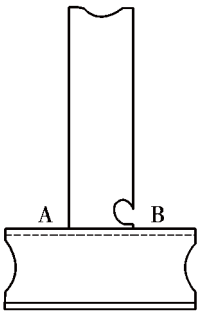
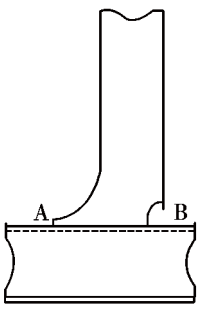
3. 对于装有软跟的接头，如果是承受轴向载荷为主的，可以使用F曲线。安装在甲板上的骨材及甲板以下0.1*D*范围内舷侧的骨材，认为是满足这个条件。

4. 面板周围装有补板（如连接类型25～30）或全补板（如连接类型31）的接头，如果承受轴向载荷，可以使用F级。安装在甲板上的骨材及甲板边缘以下0.1*D*范围内的骨材，认为是满足这个条件。

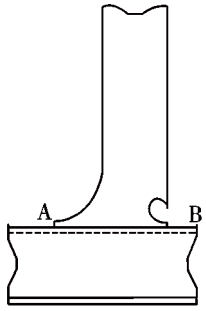
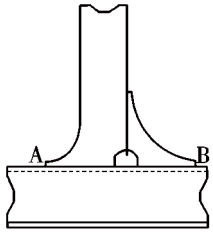
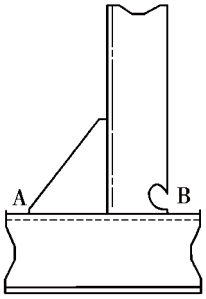
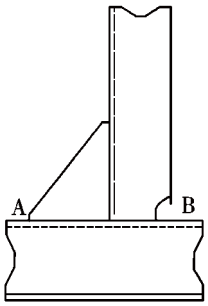
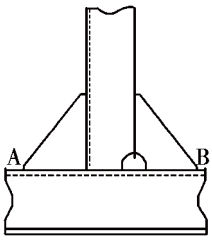
5. 连接类型31和32为腹板加强筋可忽略或者不与纵骨面板连接的节点情况。在下列位置，要求设置全补板（如连接类型31）或如图C.1.11所示的替换节点或等效的设计：
   - 甲板边线以下0.1*D*或波浪湿表区域最高点（取较低者）以下的舷侧区域
   - 船底
   - 距甲板边线0.1*D*以下的内壳纵舱壁
   - 底边舱
   - 内底板

   波浪湿表区域最高点定义为如图C.1.1所示的满载吃水加上h_{WL}。通过采用相当的基于FEM的补板和主要支撑构件开口处的热点应力满足疲劳强度评估要求来证明与图C.1.11的等效。

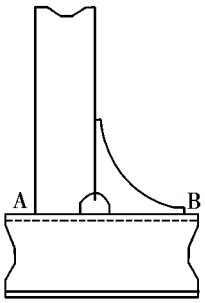
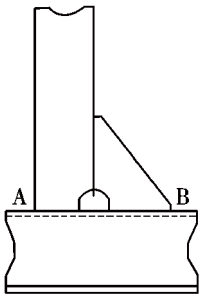
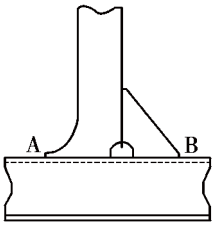
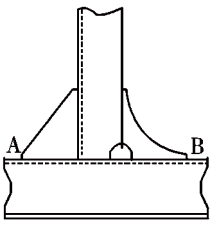
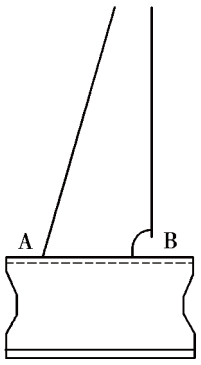
6. 对于无补板焊接到面板的连接类型32，无论开孔形式如何，强力甲板纵骨应用F级，其他区域可用E级。

标识号	连 接 类 型	关键位置（1），（2），（3）	
		A	B
1		F2	F2
2		F2	F2（4）
3		F	F2

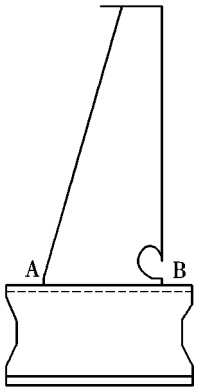
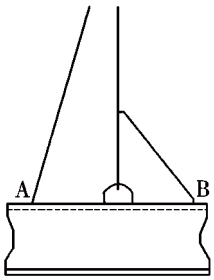
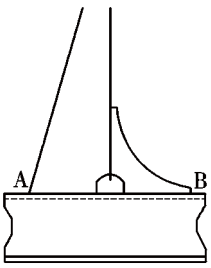
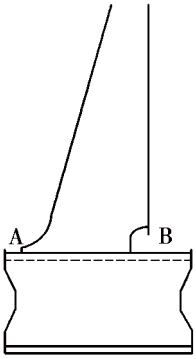
续上表

标识号	连 接 类 型	关键位置（1），（2），（3）	
		A	B
4		F	F2（4）
5		F	F
6		F2	F2（4）
7		F2	F2
8		F2	F2

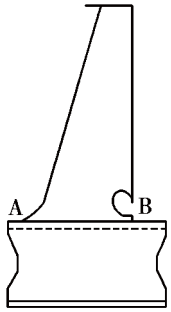
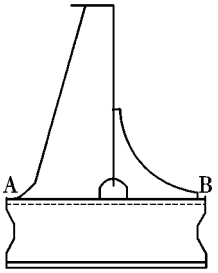
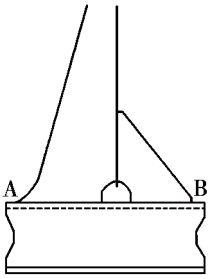
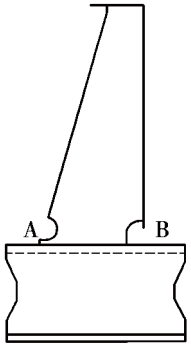
续上表

标识号	连 接 类 型	关键位置（1），（2），（3）	
		A	B
9		F2	F
10		F2	F2
11		F	F2
12		F2	F
13		F2	F2

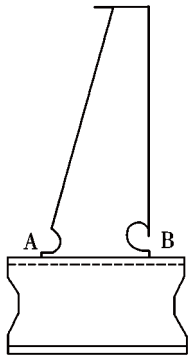
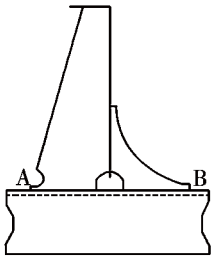
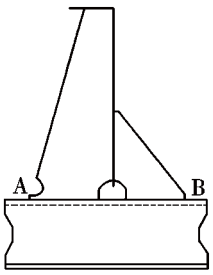
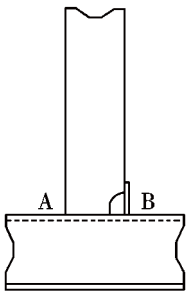
续上表

标识号	连 接 类 型	关键位置（1），（2），（3）	
		A	B
14		F2	F2（4）
15		F2	F2
16		F2	F
17		F	F2

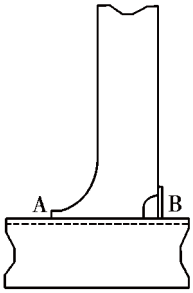
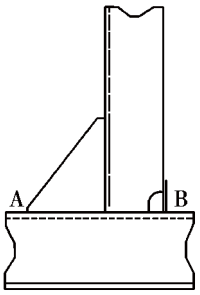
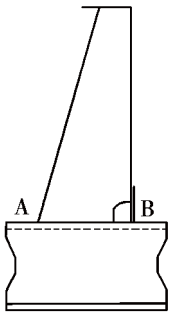
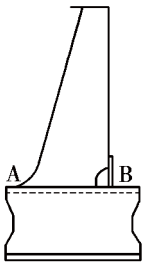
续上表

标识号	连 接 类 型	关键位置（1），（2），（3）	
		A	B
18		F	F2（4）
19		F	F
20		F	F2
21		F	F2

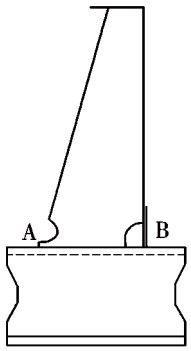
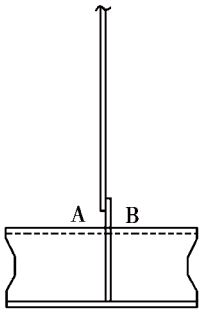
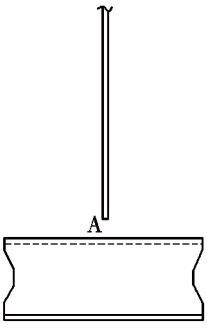
续上表

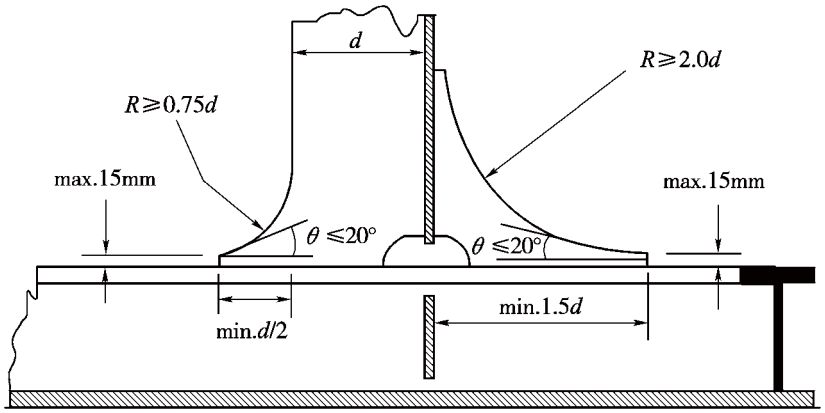
标识号	连 接 类 型	关键位置（1），（2），（3）	
		A	B
22		F	F2（4）
23		F	F
24		F	F2
25		F2	F2（仅适用5）

续上表

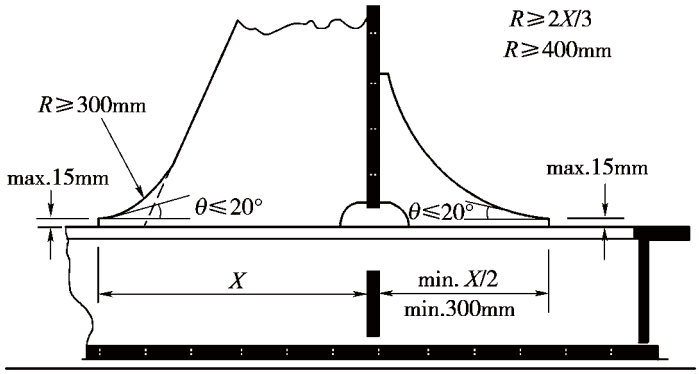
标识号	连 接 类 型	关键位置（1），（2），（3）	
		A	B
26		F	F2（仅适用5）
27		F2	F2（仅适用5）
28		F2	F2（仅适用5）
29		F	F2（仅适用5）

续上表

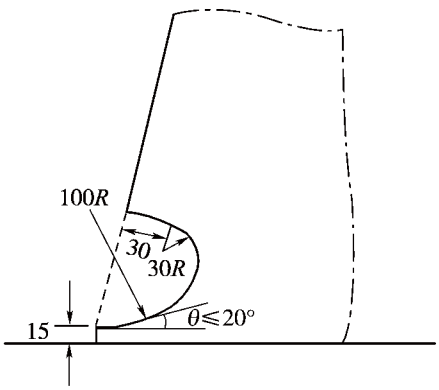
标识号	连 接 类 型	关键位置（1），（2），（3）	
		A	B
30		F	F2（仅适用5）
31		F2（仅适用5、6）	F2（仅适用5、6）
32		F（仅适用6、7）	不适用



支柱加强筋软趾和背肘板的设计建议

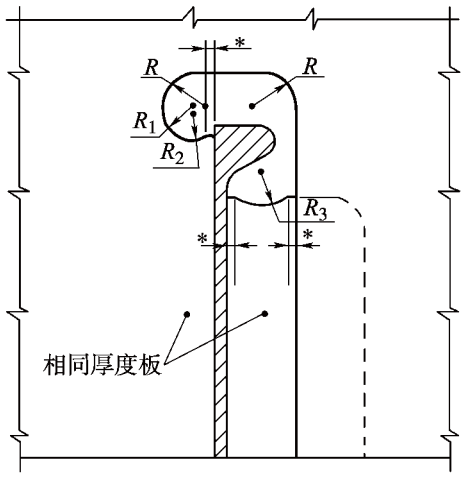
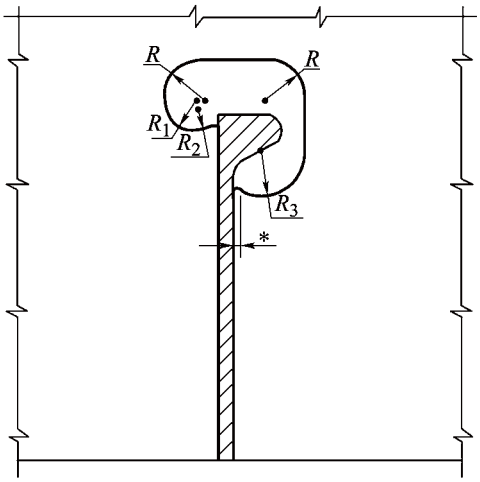
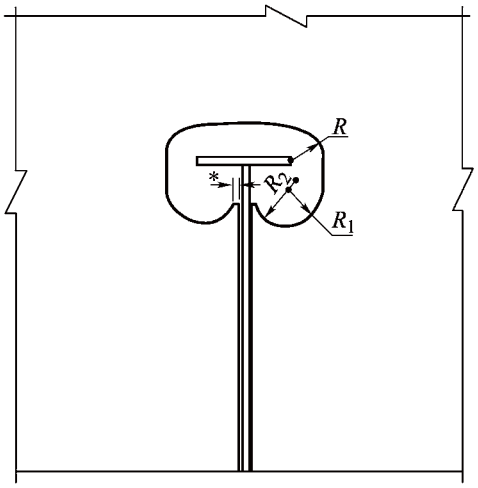
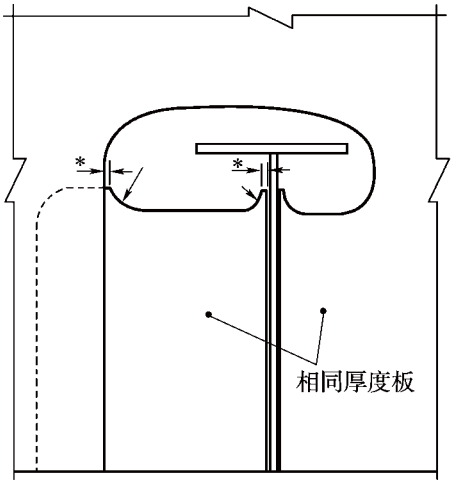


防倾肘板的软趾和背肘板的设计建议



其他的防倾肘板的软趾和背肘板的设计建议

图 C.1.10　软趾和背肘板的结构细节设计

1	2
	
3	4
	

注：1. 标“*”的软趾表示焊脚长度应合适，以保证能够从焊缝到圆弧部分可以光顺过渡，最大取15mm。

2. 图1和图4的形状表明可以接受的重叠补板连接，也可采用外形相似的对接的补板。

3. 可以接受与以上各图所示不同的设计，但须经疲劳评估合格，评估方法为评估相应的有限元模型热点应力。

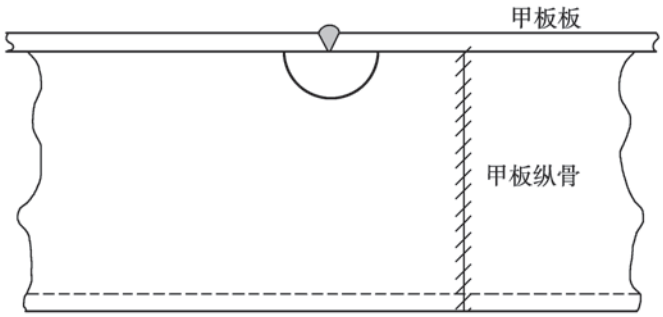
图 C.1.11 在忽略腹板加强筋情况下切口的设计

1.6 其他结构细节

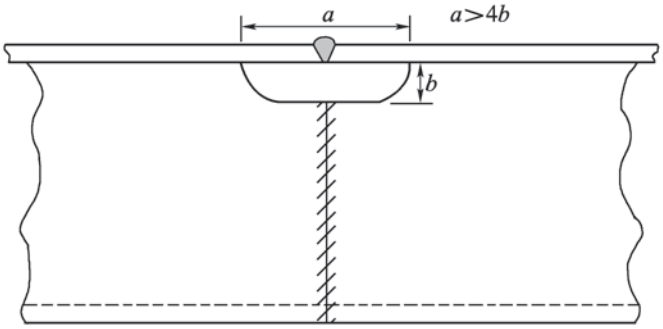
1.6.1 分段接头处的扇型孔

1.6.1.1 货舱区域内，强力甲板或者甲板边线下 0.1*D* 范围内分段接头处的扇型孔，应根据图 C.1.12 来设计，除非满足第 8/1.5.1.3 F2 等级的规定。

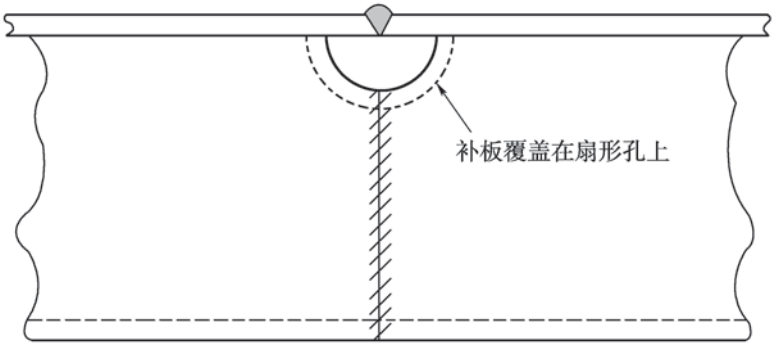
（I）扶强材上偏离的接头



（II）扶强材上长形的扇形孔



（III）用补板的封闭扇形孔



注：替代扇型孔的几何形状可以参见选项II，但必须按船体梁载荷并考虑应力集中因子的细化网格有限元方法，验证其满足疲劳寿命，*S*—*N*曲线取*D*曲线。

图 C.1.12　分段接头处甲板纵骨的焊接

2　热点应力（基于有限元）方法

2.1　一般要求

2.1.1　适用范围

2.1.1.1　本节的方法基于有限元热点应力法，适用于内底和底边舱板之间焊接折角处的疲劳分析。除以下另有规定以外，采用与第 1 分节所描述的相同的名义应力计算方法。

2.1.1.2　对弯曲板形式的底边舱斜板和内底板的底边舱折角，若遵循 2.5.1.2 给出的结构细节设计标准，则无需进行热点应力疲劳强度评估，当采用其他形式的设计时，应用有限元的方法证明结构

细节有足够的疲劳强度。

2. 1. 1. 3 当必须用热点应力方法代替名义应力法验证纵骨端部连接的疲劳强度时，除 S_v，S_h，S_i，和 S_e 外可以用小节 1 描述的方法通过有限元计算，并用线性外插至焊接件中面线，来求得垂直于焊缝方向表面的热点应力，S-N 曲线根据 2. 4. 3 选取。

2. 1. 2 假定

2. 1. 2. 1 假定如 1. 1. 2 所述。

2. 2 腐蚀模型

2. 2. 1 净厚度

2. 2. 1. 1 有限元结构能力模型中，用第 6 节 /3 规定的腐蚀余量，模型的描述见附录 B/4。

2. 3 载荷

2. 3. 1 一般要求

2. 3. 1. 1 基于有限元的内底和底边舱板之间折角的疲劳计算中，应考虑外部动压力和内部动压力，见 1. 3. 6 和 1. 3. 7。

2. 4 疲劳损伤计算

2. 4. 1 疲劳强度确定

2. 4. 1. 1 步骤概述见 1. 4 要求

2. 4. 1. 2 适用于内底和底边舱板之间焊接折角的 Weibull 概率分布参数 ζ，由下式求得：

$$\zeta = 1.1 - 0.35\,\frac{L-100}{300}$$

式中：L——规范船长，m，见第 4 节 /1. 1. 1. 1 定义。

2. 4. 2 使用的应力

2. 4. 2. 1 确定热点应力时，采用局部 2D 或者 3D 精细网格进行应力计算，并结合 3D 粗网格分析。在高度应力区，尤其是结构不连续处附近，由于高应力梯度，应力水平依赖于单元尺寸。如果应力场比单向应力场复杂，应取邻近潜在裂纹位置处的应力，过渡区域应采用均匀网格并平稳过渡，避免网格的突变。

2. 4. 2. 2 一般的局部结构建模规定如下：

（a）热点应力计算使用没有偏差的理想焊接接头。靠近热点处有限元网格应足够精细，以使应力和应力梯度的确定有足够的精度。

（b）主要和次要构件的板、腹板和面板用 4 节点壳单元。在应力梯度陡峭处，建议使用 8 节点壳单元。

（c）使用壳单元时，结构模型在板的中面，实际操作时，假定不同板厚连接处的中面对齐，即：厚度变化处没有错位。

（d）热点附近单元的长宽比不大于 3。

（e）位于热点附近单元的尺寸应等同于构件的净厚度。

（f）应力用板表面应力计算，并考虑板的弯曲效应。

2. 4. 2. 3 采用有限元模型计算热点应力的详细描述见附录 B/4。

2. 4. 2. 4 一般地，单元应力取自高斯积分点。在确定相关热点位置实际应力时，可能需要进行几次外插，这要视单元类型而定。

2. 4. 2. 5 对于关键结构细节，热点应力值通常高度依赖于模拟结构的有限元模型。除以下给出的方法外，热点应力的求得，可通过参照类似结构细节的疲劳试验来确认。

2. 4. 2. 6 热点应力定义为：从距焊趾位置起 0. 5t 处的表面应力。如图 C. 2. 1 所示。此热点应力可采用结构交接点的第一个和第二个单元的应力，通过沿船宽方向线性内插法得到。

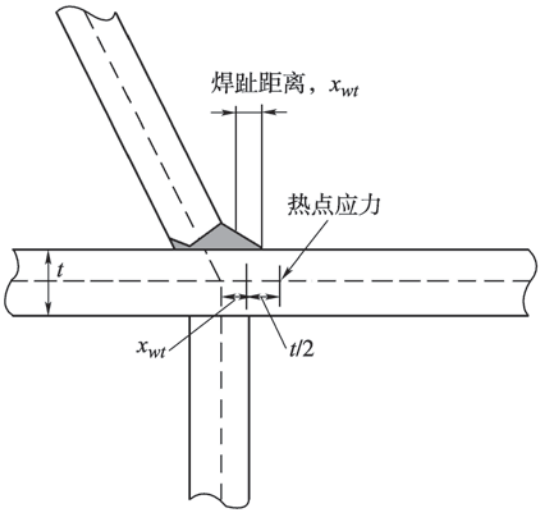


图 C. 2. 1　热点应力

2. 4. 2. 7　由 2. 3 规定的载荷引起的垂直于焊接方向的应力范围分量，可根据附录 B/4 进行计算。总合成应力范围 S 取为：

$$S=f_{model}|0.85(S_{e1}+0.25S_{e2})-0.3S_i|，\text{对于满载工况}$$

$$S=f_{model}|0.85(S_{e1}-0.2S_{e2})|，\text{对于压载工况}$$

式中：S_{e1}——作用在校核的边舱折角的有限元模型同侧的外部动压力引起的应力范围，N/mm^2，见表 B. 4. 1；

S_{e2}——作用在校核的边舱折角的有限元模型对侧的外部动压力引起的应力范围，N/mm^2，见表 B. 4. 1；

S_i——作用在有限元模型上的内部动压力引起的应力范围，N/mm^2，见附录 B/4. 5. 2. 4 及表 B. 4. 1；

f_{model}——如果模型根据净厚度构建，取 1. 0，即除关键位置处外（就折角而言，各方向 500mm 的范围内）的限元模型使用腐蚀增量 0. 25t_{corr}，关键位置使用腐蚀增量 0. 5t_{corr}。

如果采用强度计算的有限元模型，取 0. 95。用于强度计算的有限元模型对整个模型（包括关键位置处的结构）使用腐蚀余量 0. 5t_{corr}。

2. 4. 2. 8　为了考虑平均应力影响，有限元模型施加静载荷时，总应力范围如下：

$$S_{Ri}=1.0S \quad \text{满载工况}$$

$$S_{Ri}=0.6S \quad \text{压载工况}$$

式中：S——总体合成应力范围，N/mm^2，见 2. 4. 2. 7 定义。

2. 4. 3　*S*-*N* 曲线的选择

2. 4. 3. 1　如果热点应力按照 2. 4. 2. 8 进行计算，对焊接结构细节应用 *D* 级 *S*-*N* 曲线进行疲劳计算，并根据 1. 4. 5. 12 的规定进行厚度修正。

2. 5　结构细节设计标准

2. 5. 1　底边舱折角

2. 5. 1. 1　图 C. 2. 2 显示了底边舱斜板和内底板折角连接处的焊接应遵循的结构细节设计。

注：可以使用图C. 2. 3作为提高底边舱连接处的疲劳强度的替代方法。

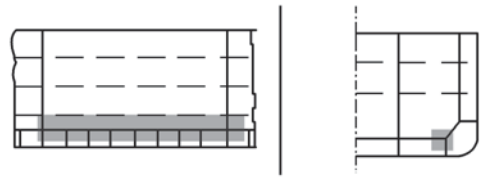
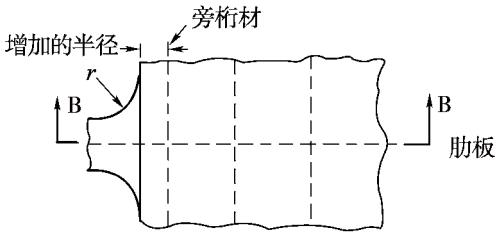
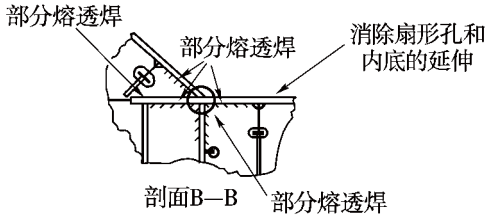
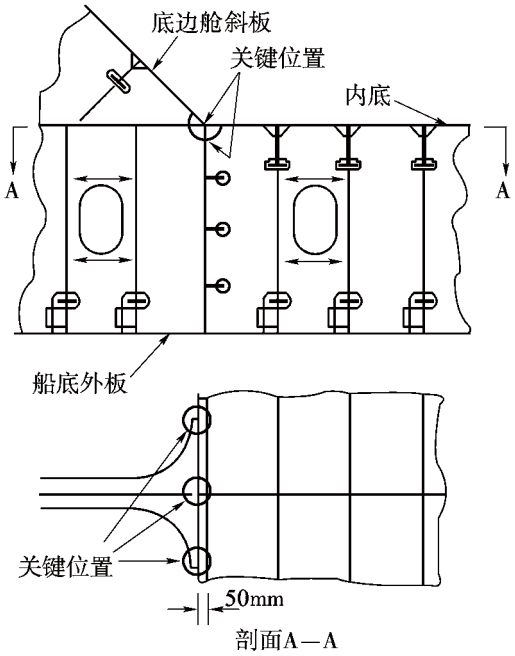
2. 5. 1. 2　弯曲形式的底边舱折角的结构细节设计可参照图 C. 2. 4 进行。

2. 5. 2　横舱壁水平桁的根部

2. 5. 2. 1　建议用图 C2. 5 给出的结构细节设计来降低横向水密舱壁、制荡舱壁和内部纵舱壁上水

平桁根部位置应力水平和提高疲劳强度。这种建议应和附录 B/3. 1. 3 要求的细化网格有限元分析配套使用。

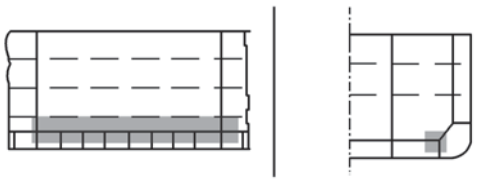
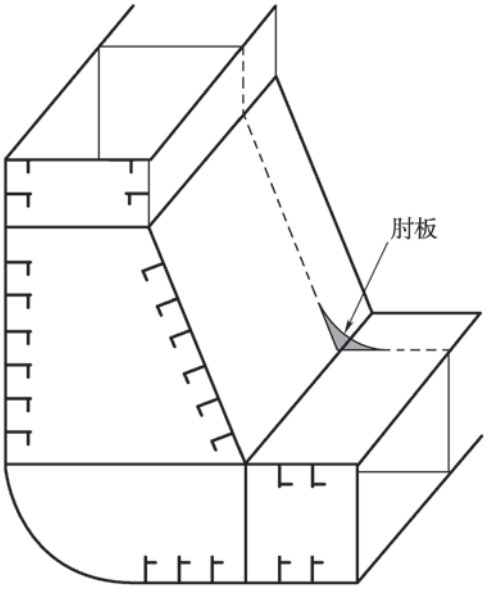
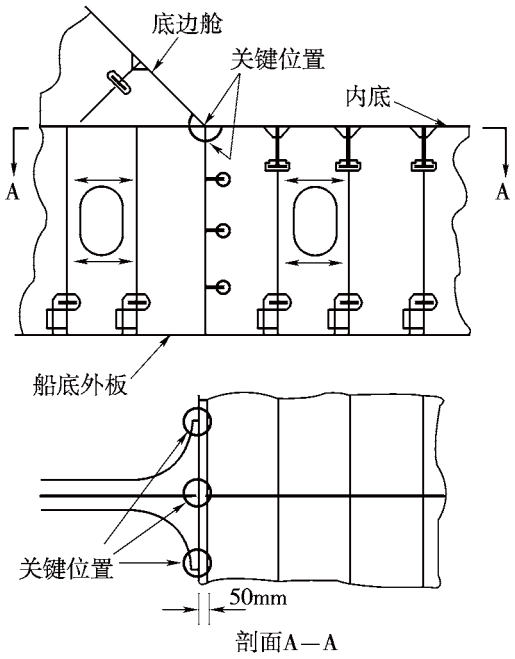
双层底舱肋板与底边舱的连接
内底和底边舱斜板折角采用的焊接连接

关 键 区 域	结构细节设计标准A
	
关 键 位 置	
	底边舱斜板和内底板间的焊接应延伸并打磨光顺并消除可见凹陷 焊缝延伸和打磨应用在实肋板两侧各 200mm 范围内 注： 1. 对于部分熔透焊接，钝边宽度最大可为1/3对接竖板板厚，见第6/5. 3. 4。 2. 对1号舱，由于形状引起肋板跨度缩减，故不必打磨。 3. 横舱壁位置的折角点或邻近横舱壁的肋板处的折角点，不必打磨。

最低要求	作为最低要求，应满足结构细节设计标准A或B。如果边舱角度超过50°，需做进一步考虑。如果液货舱的底边舱折角区没有涂层，底面应由成份合适的带状涂层保护。
关键位置	边舱斜板、内底板和船底肋板的连接处。船底肋板连接到内底板和边纵桁的边舱折角处。
结构细节设计标准	通过消除边舱折角处的扇形孔，延伸内底板来减少周期性的外部波浪压力、货物惯性压力和船体梁载荷引起的合成应力水平。嵌接肘板厚度应与折角处内底板厚度大致相等。
建造公差	底边舱斜板的中线应与桁材的中线对齐，容许公差为t/3 或 5 mm（取小者），其中t为内底厚度。容许公差应平行于内底量取。
焊接要求	部分熔透焊接（底边舱斜板与内底板）。部分熔透焊接（连接肋板、内底板和边纵桁，连接底边舱横隔板与斜板、内底板、折角处的边纵桁）。

图 C. 2. 2 底边舱折角连接结构细节（无肘板）

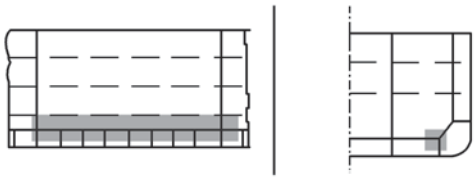
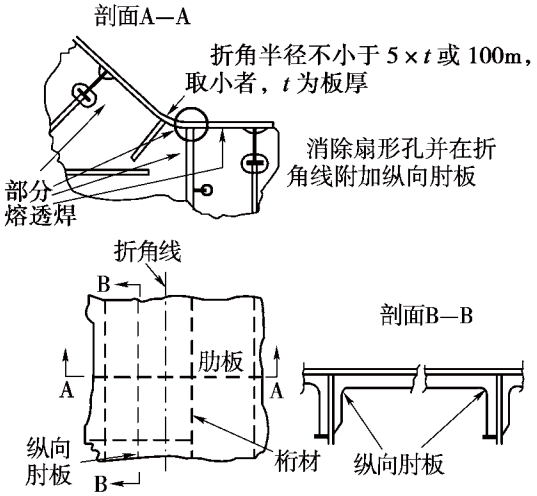
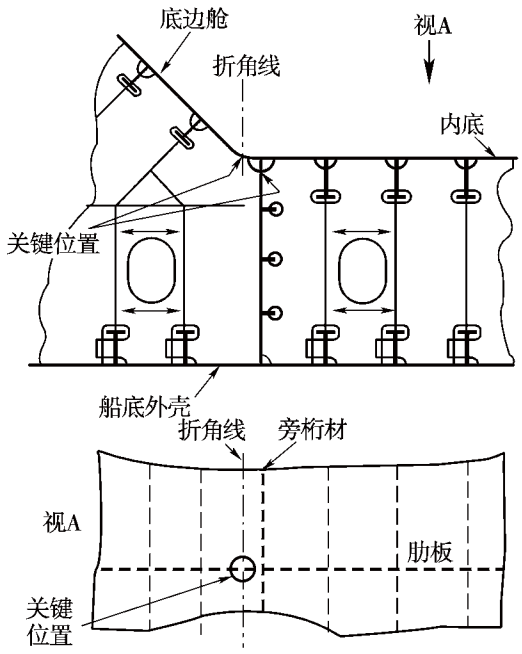
双层底舱的肋板与底边舱的连接处
内底和底边舱斜板的折角处采用的焊接连接

关 键 区 域	结构细节设计标准B
	
关 键 位 置	注：1.液货舱内部安装肘板； 2.肘板范围大约延伸到第一根纵骨； 3.肘板趾部设计成软鼻； 4.肘板趾部全熔透焊接； 5.肘板材料与内底板材料相同； 6.肘板屈曲校核标准： $\frac{d}{t_{bkt}} < 21\sqrt{235/\sigma_{yd}}$ 式中：d——肘板最大深度，见表10. 2. 3定义； t_{bkt}——肘板厚度； σ_{yd}——给定材料的最小屈服应力。
	

最低要求	作为最低要求，结构细节设计应满足标准A或B。如果边舱角度超过50º，需做进一步考虑。
关键位置	底边舱斜板、船底肋板和内底板的连接处。船底肋板、内底板、与底边舱折角处边纵桁的连接处。
结构细节设计标准	通过消除底边舱折角处的扇形孔，延伸内底板来减少循环的外部波浪压力、货物惯性压力和船体梁载荷引起的合成应力水平。嵌接肘板厚度应与接近折角处内底板的厚度大致相等。
建造公差	底边舱斜板的中心线应与桁材的中心线对齐，容许公差为t/3 或 5 mm（取小者），其中t为内底厚度。
焊接要求	部分熔透焊接（底边舱斜板与内底板）。部分熔透焊接（肋板、内底板和边纵桁连接处，底边舱横框架与底边舱斜板、内底板与底边舱折角处边纵桁的连接处）。

图 C.2.3　供选择：底边舱折角连接结构细节（有肘板）

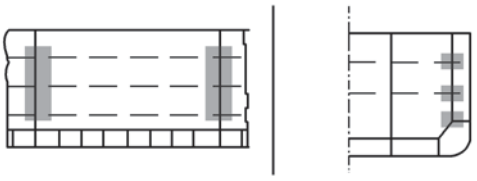
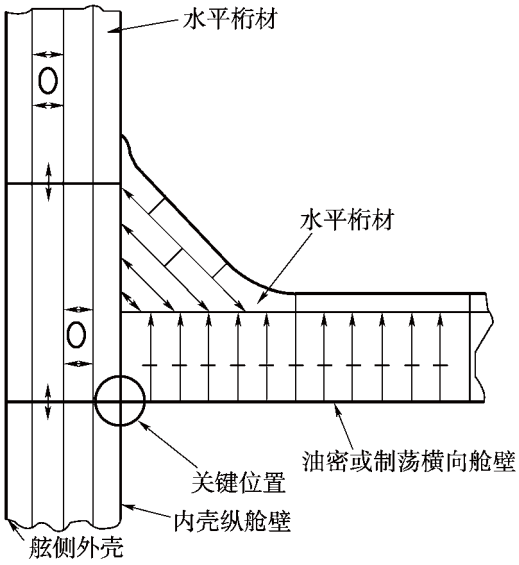
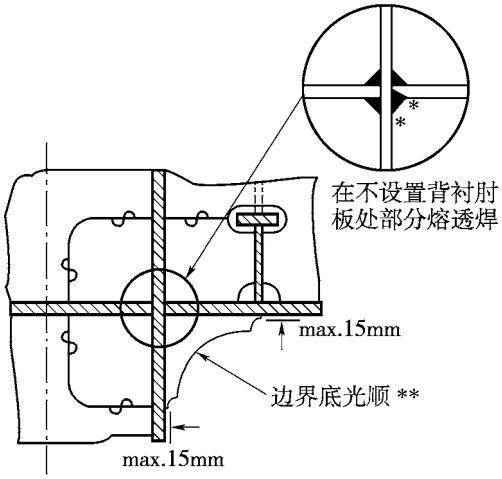
双层底舱的肋板与底边舱的连接处
内底板和底边舱斜板采用弯曲型折角的底边舱折角连接处

关 键 区 域	结构细节设计标准C
	
关 键 位 置	注：如果可以证明纵桁可以在折角线提供足够的支撑，纵向肘板可以免设。
	

最低要求	作为最低要求，应满足结构细节设计标准C。
关键位置	舷侧纵桁、船底肋板和内底板的连接处。船底肋板、底边舱横隔板、内底板与底边舱角处边纵桁的连接处。
结构细节设计标准	消除底边舱折角处的扇形孔，增设纵向肘板来减少循环的外部波浪压力、货物惯性压力和船体梁载荷引起的合成应力的峰值和范围值。
建造公差	提高板材的对齐标准，对接板中心线的平均偏差不超过1/3构件板厚（如肋板、底边舱横隔板和附加的支撑肘板）。
焊接要求	部分熔透焊接，钝边宽度最小为对接板厚的1/3（舷侧纵桁和内底板的连接处，肋板到内底板和边纵桁的连接处，底边舱横框架与底边舱斜板、内底板、折角处边纵桁的连接处）。

图 C.2.4 底边舱折角连接结构细节（弯曲型）

横舱壁和双舷侧的连接处
平面油密横舱壁或者制荡舱壁水平桁和纵向舱壁的连接处

危险区域	细节设计改进
 关键位置 	 注：*焊趾打磨光顺，未装设肘板处的切口应该移除。 **必须安装面板的地方，建议使用一些设计方式降低面板端部的应力集中（如：削斜和软鼻）。

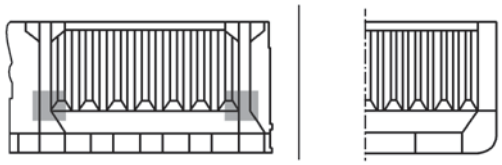
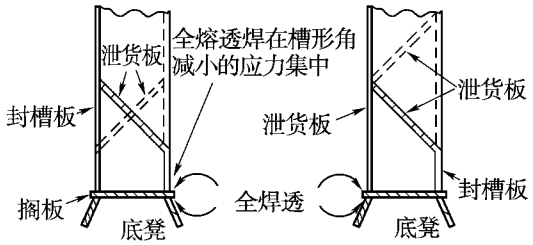
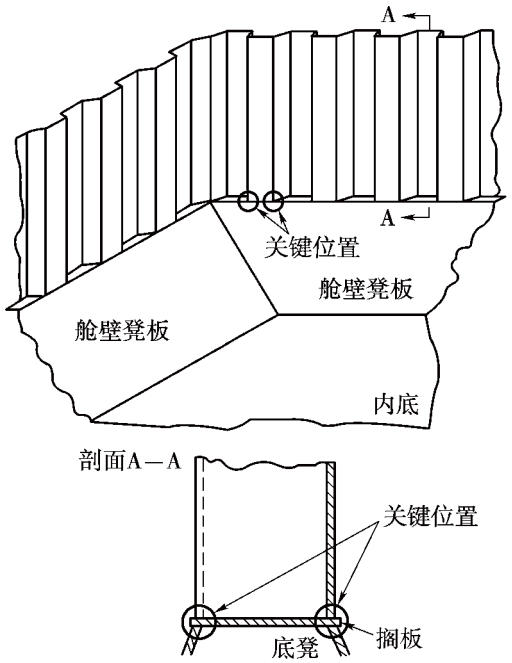
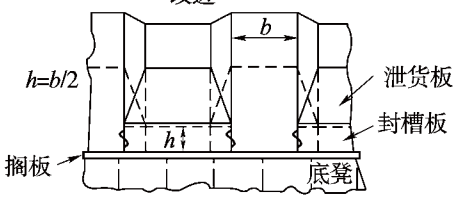
关键位置	横舱壁水平桁与双舷侧间水平平台构成方角的连接处
细节设计改进	消除十字接头的扇形孔，增设局部D级钢插入板，根据规范最小的要求厚度为7mm，降低船体梁总体载荷和周期性惯性货物载荷引起的合成应力的峰值和范围值。另外，安装带合适尺寸软趾的背肘板，建议采用下列尺寸的肘板： • VLCC：800×800×30R600的软趾，见图； • Suemax和Aframax油船：800×600×25R550的软趾，见图，长臂的方向应该在内壳上。 实际肘板的设计还应该根据附录B/3.1.3的规定用细化网格有限元分析的方法予以验证。
建造公差	提高板材的对齐标准，对接板中心线的平均偏差不超过1/3构件板厚。
焊接要求	安装背肘板处，填角焊的最小焊接系数为0.44，不安装背肘板处，部分熔透焊接，部分熔透焊接的范围，必须超过骨材间距，完成舱壁连续焊接以后，靠近焊缝的合适形状的小扇形孔，应该予以消除。

图 C.2.5　供选择：横舱壁水平桁的跟部

2.5.3 横向和纵向槽形舱壁和底凳的连接

2.5.3.1 图 C.2.6 给出的结构细节设计改进建议用来降低横向和纵向槽形舱壁与底凳连接处的应力水平，本建议应和附录 B/3.1.5 要求的细化网格有限元分析配套使用。

双壳间水平平台和横舱壁的连接处
高拉伸的水平平台和平面油密或者制荡舱壁上的水平桁的连接

关 键 区 域	细节设计改进
	
关 键 位 置	剖面A—A 改进
 剖面A—A 	 注：*槽型舱壁板和凳板与底凳顶板的连接处应采用全焊透。 **泄货板交叉处，应该在交叉点处设置支撑加强筋。

关键位置	1. 槽形舱壁和底凳以及底凳顶板的连接处。 2. 槽形舱壁和未装封槽板的泄货板的连接处。
结构细节设计改进	1. 泄货板在槽条面板对齐处应装设封槽板，以降低槽条角部的应力集中，封槽板的最小高度应取为槽条腹板高度的一半。 2. 为了降低泄货板交叉处的应力集中，泄货板可以用图示的另外一种布置形式。另外，也可以在泄货板交叉处泄货板的下部增设支撑加强筋。
建造公差	尽可能确保底凳斜板和槽条面板的对齐，两对接构件厚度中心线的平均距离应不超过表中构件厚度的1/3。
焊接要求	槽型舱壁板、封槽板和底凳斜板与底凳顶板（建议用Z向钢）的连接处应采用全焊透。焊缝的起始和结束处应尽一切实际可能远离槽条顶角。

图 C.2.6 横向和纵向槽形舱壁和底凳的连接

附录 D 屈曲强度评估

1 高级屈曲分析

1.1 一般要求

1.1.1 范围

1.1.1.1 本附录描述了高级屈曲分析方法和规范要求的适用。高级屈曲分析方法基于非线性分析技术或等效方法，可预报加筋板格和非加筋板格的复杂特性。

1.1.2 其他程序

1.1.2.1 尽管本附录描述了总体目标或所使用的直接计算技术，但也可以使用其他高级屈曲和极限强度的分析程序，只要这些计算程序的结果与采用《附录 D—技术背景》中给出的参考高级屈曲程序所得到的结果具有可比性和一致性。该技术背景为第 9 节 / 表 9.2.2 的许用屈曲利用因子的基础，另见 1.1.2.3。

1.1.2.2 如果使用其他高级计算程序，则应对其他高级屈曲分析的方法原理和采用《附录 D—技术背景》的参考高级屈曲程序及软件工具所得结果的详细比较一起以文件形式提交审查和认可。

1.1.2.3 只有替代程序业经附录 D 技术背景规定的测试工况的考核时，才可以接受采用屈曲程序作为参考的高级屈曲程序，且对于该替代程序，其屈曲利用因子 $\eta_{all-alt}$，应符合：

$$\eta_{all-alt} \leqslant \eta_{all} \cdot \left(\frac{\eta_{alt-i}}{\eta_{ref-i}} \right)_{\min}$$

式中：η_{all}——板和加筋板格的许用屈曲利用因子，按第 9 节 / 表 9.2.2 说明；

η_{ref-i}——参考高级屈曲程序在附录 D 背景中规定的测试工况 i 下的利用因子；

η_{alt-i}——其他高级屈曲程序在附录 D 背景中规定的测试工况 i 下的利用因子。

1.1.3 定义

1.1.3.1 “屈曲”为一专用术语，通常用以描述面内受压和 / 或受剪情况下的结构强度。屈曲强度或能力可视情况考虑内力重新分布的影响。

1.1.3.2 容纳局部弹性板材屈曲及载荷重新分布的屈曲能力称为方法 1。该屈曲能力系指导致加筋板格中的任一处开始出现膜屈服应力的载荷。基于这一原理的屈曲能力规定了极限能力的下限估计值，或板格在不致产生重大永久变形情况下所能承受的最大载荷。方法 1 的屈曲能力评估将主动弹性后屈曲效应用于板材，并说明载荷在构件之间，例如在板材和扶强材之间的重新分布。对细长结构，用该方法计算的屈曲能力典型情况下比理想弹性屈曲应力（最小特征值）要高。允许细长加筋板格内构件的弹性屈曲，即表示在屈曲使用程度较高的情况下会有大的弹性变形且平面内刚度会降低。

1.1.3.3 方法 2 的屈曲能力不允许载荷在构件之间的重新分布，指理想弹性屈曲应力和方法 1 屈曲能力的最小值。方法 2 的屈曲能力通常相当于方法 1 用于粗短板格的同一强度，而对细长板格则为理想弹性屈曲应力（最小特征值截止）。通过对理想弹性屈曲应力进行限制，可在屈曲使用程度较高的情况下防止大的弹性变形及平面内刚度降低。

1.1.3.4 “屈曲失效模式”系指屈曲失效的一种特定模式。具有开敞形状的加筋板格的典型失效模式如下：

（a）板屈曲；

（b）加强筋扭转屈曲；

（c）加强筋腹板屈曲；

（d）加强筋侧向屈曲。

2 高级屈曲分析方法

2.1 一般要求

2.1.1 考虑的影响

2.1.1.1 高级屈曲评估方法应能考虑以下影响：

（a）几何非线性特性；

（b）材料非弹性特性；

（c）初始挠度－几何缺陷 / 不平度；

（d）焊接残余应力；

（e）屈曲模式和结构件之间的相互作用；板，加强筋，桁材等；

（f）同步作用载荷；双向受压 / 受拉，剪切和侧向压力；

（g）边界条件。

2.1.1.2 2.1.1.1 所列项目的详细要求如 2.1.2 至 2.1.8 所示。适用于非线性有限元模型的附加要求如 2.1.9 和 2.1.10 所示。

2.1.2 几何非线性特性

2.1.2.1 屈曲方法应基于板的非线性大挠度理论或相似的理论体系。应计入几何非线性引起的二阶膜应变。

2.1.2.2 可接受按照 von Karman 和 Marguerre 的非线性板理论来进行超出理想弹性屈曲水平的强度评估。

2.1.3 材料性能及特性

2.1.3.1 应考虑材料的非弹性特性。如果屈曲方法不能够处理非线性材料和塑性扩展，则非线性几何特性和几何缺陷引起的应力场重新分布应限定在 von Mises 屈服衡准以下。

2.1.3.2 作为替代，如果屈曲方法能够处理非线性材料，则应使用双向线性材料模型，且模型应在塑性范围中具有保守的应变硬化系数。

2.1.3.3 材料特性的假定应针对屈服强度和杨氏模量的特征值。如适用，应使用不包括应变率效应的双向线性同向弹塑性材料模型或正切模量作为一保守值。对于低碳钢和高强度钢，可接受 1000MPa 的塑性正切模量。

2.1.4 初始挠度－几何缺陷 / 不平度

2.1.4.1 初始挠度应包括在屈曲评估中。

2.1.4.2 对于确定性的强度评估，几何缺陷应转换成常规的模式。

2.1.4.3 缺陷可以分为加强筋的局部缺陷（板材不平直度和加强筋沿长度方向不平直度）和整体缺陷（加强筋侧向 / 垂向不平度）。

2.1.4.4 初始挠度的形状应能通过分析来表征和引发最危险的失效模式。一般情况下，最低屈曲特征模式的组合是恰当的。对于极细长的板和同步作用载荷的情况，应考虑其临界失效模式可能不同于最低的特征模式。

2.1.4.5 缺陷的最大默认值应与《IACS 船舶建造和质量修理标准》一致。但是，常规的模型缺陷幅度通常可取小于规定的最大误差值。常规的模型缺陷通常可以视情况而定（视载荷比而定），且应包括焊接引起的缺陷。模型缺陷的实际水平应取决于分析方法、模型范围等，并应经各自船级社批准。

2.1.5 焊接引起的残余应力

2.1.5.1 残余应力不要求明确包括在屈曲评估中，见 2.1.4.5。

2.1.6 屈曲模式和结构件之间的相互作用

2.1.6.1 高级屈曲分析方法应能准确地模拟不同构件之间的相互作用，从而模拟不同的屈曲模式。

2.1.6.2 所有的临界初始缺陷形状都应予以包括，见2.1.4。

2.1.7 同步作用载荷

2.1.7.1 采用的方法应能模拟面内双向受压和剪切载荷以及和侧向压力的任一组合。

2.1.7.2 为产生变形，首先施加任一侧向压力，然后侧向压力应保持为常量。

2.1.7.3 应包括除面内载荷之外的不同模式下侧向压力引起强迫变形的效应，以形成最危险的屈曲模式。

2.1.8 边界条件

2.1.8.1 边界条件应表征板或加筋板格的实际响应。面内和面外的边界条件应予以考虑。

2.1.8.2 如果板格是大面积连续加筋板整体的一个部分，如底部或者舷侧板格，则其边缘可在面内自由移动，但应保持为直线。如果板格在面内没有邻近结构，如水平桁材腹板或双层底纵桁腹板，则应认为其边缘为完全自由。

2.1.8.3 加强筋对板的转动约束应通过对板和加强筋相互作用的直接分析予以计入。通常情况下，不接受指定的边界条件。

2.1.8.4 板格可在主要支撑构件处受到侧向/垂向支持。加强筋可在主要支撑构件的相交处受到水平支持（防止在相交处侧倾）。主要支撑构件对板的几何转动约束应予以忽略。

2.1.9 模型范围

2.1.9.1 屈曲评估中使用的模型范围应足以反映所考虑板格周围的结构，并减少由边界条件引起的不确定性。

2.1.9.2 一般情况下，模型在加强筋方向上应包含一个以上的加强筋跨距，在加强筋法线方向上应包含两个主要支撑构件之间的部分。

2.1.10 用于非线性有限元模型的单元尺寸

2.1.10.1 单元尺寸应足够小到能准确描述其屈曲挠度。

2.1.10.2 网格尺寸应取决于几何图形的复杂性、载荷和使用的单元类型。但一个半屈曲波长内通常要求至少跨越5个单元。

3 适用范围和结构建模原则

3.1 一般要求

3.1.1 范围

3.1.1.1 以下内容规定了用于高级屈曲方法的标准假定。如果高级屈曲方法能够更加准确地表征结构时，这些假定可作进一步细化。

3.1.2 边界条件

3.1.2.1 边界条件应准确反映邻近结构（如加强筋、主要支撑构件和邻近板材）施加的面内和转动约束。应采用3.1.2.3至3.1.2.4中定义的假定。

3.1.2.2 边界条件分为两大类，分别用“自由边缘板”和“连续板”表征。后者表示大的加筋板格，如甲板板、船底板、舷侧外板等，前者则表示纵桁、肋板、水平桁材等。

3.1.2.3 连续板条件反映单元受到周围结构对其面内的支持情况。加筋板格的边界条件应取为：

（a）垂直于加强筋的板格边缘应视为简支。

（b）平行于加强筋的板格边缘应视为具有等同于板格之中加强筋提供的转动支持。

（c）加强筋端部应视为连续板格的一部分，且侧面由主要支撑构件支持。

（d）板格的所有边缘应予约束以保持直线，但可作自由内向位移。

3.1.2.4 自由边缘板条件为表征单元受到沿一个或多个边缘的弱面内的支持，例如垂向加强的双

层底肋板。加筋板格的边界条件应为：

（a）垂直于加强筋的板格边缘应视为简支。

（b）平行于加强筋的板格边缘应视为具有等同于板格之中加强筋提供的转动支持。

（c）如果加强筋直接连接到邻近结构，则应视为其端部受到侧向支持，否则假定为简支。

（d）板格所有的自由边缘应可作自由内向位移。可以考虑在自由边缘上的加强边缘处设置转动约束。

3.1.2.5 非加筋板格的边界条件应为：

（a）板格边缘应视为简支，除非另有规定。

（b）如可能，板格的自由边缘应可作自由内向位移。连续边缘应予以约束，以保持直线。

3.1.3 结构理想化

3.1.3.1 适用于自由边缘板的结构建模和屈曲评估方法应为：

（a）平行于加强筋方向：对于应力梯度显著的结构，通常取一档框架已足够。对于自由边缘平行于加强筋方向的均匀受压单元，如纵桁，应考虑取多跨框架档间距的模型。

（b）垂直于加强筋方向：取主要支撑构件之间，但不超过 6 个加强筋间距。

（c）评估方法：方法 2——不允许载荷重新分布的屈曲能力，除非另有规定。

3.1.3.2 适用于连续板的结构建模和屈曲评估方法应为：

（a）平行于加强筋方向：为模拟邻近板格之间的缺陷，应至少取两档框架间距。

（b）垂直于加强筋方向：取主要支撑构件之间，但不超过 6 个加强筋间距。

（c）评估方法：方法 1——允许载荷重新分布的屈曲能力，除非另有规定。

4 评估衡准

4.1 一般要求

4.1.1 屈曲强度评估方法

4.1.1.1 屈曲能力值应基于下列评估方法之一：

（a）允许载荷重新分布的屈曲能力。

（b）不允许载荷重新分布的屈曲能力。

关于采用何种方法由 3.1.3 给出。

4.1.2 方法 1：允许载荷重新分布的屈曲能力

4.1.2.1 屈曲能力值取为导致加筋板格中的任一位置开始出现膜屈服应力的载荷。包括 1.1.3.2 中所表示的载荷重新分布。尤其应对 von Mises 应力达到相当屈服应力的下列位置进行校核：

（a）板边缘。

（b）沿板和加强筋的相交线，尤其在加强筋端部和加强筋跨距中点处。

（c）沿加强筋翼板，尤其在加强筋端部和加强筋中点处。

4.1.3 方法 2：不允许载荷重新分布的屈曲能力

4.1.3.1 屈曲能力值或导致加筋板格中的任一处开始发生膜屈服应力的载荷，见 1.1.3.3。

4.2 利用因子

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 利用因子 η，用来衡量屈曲强度失效的安全裕量。利用因子定义为施加载荷与对应的极限能力或屈曲强度的比值。

4.2.1.2 如果满足以下衡准，则认为结构具有可接受的屈曲强度：

$$\eta_{act} \leqslant \eta_{allow}$$

式中：η_{allow}——许用屈曲利用因子，按 9/2.2.5 节定义；

η_{act}——基于所使用设计载荷的实际屈曲利用因子。

4.2.1.3 对于组合载荷，利用因子，η，为等效作用载荷与对应的屈曲能力之比值，见图 D.4.1，且应为：

$$\eta = \frac{W_{act}}{W_u}$$

式中：W_{act}——由组合膜载荷引起的等效作用载荷：

$$W_{act} = \sqrt{\sigma_{dx}^2 + \sigma_{dy}^2 + \tau_d^2}$$

W_u——由组合载荷引起的在屈曲能力点上的等效载荷，见图 D.4.1：

$$W_u = \sqrt{\sigma_{cx}^2 + \sigma_{cy}^2 + \tau_{cr}^2}$$

其中，组合载荷均按同一系数比，且施加的压力载荷应保持常量；

σ_{dx}——x 方向上施加的轴向应力，N/mm^2；

σ_{dy}——y 方向上施加的轴向应力，N/mm^2；

τ_d——施加的剪切应力，N/mm^2；

σ_{cx}——x 方向受压引起的屈曲强度，N/mm^2；

σ_{cy}——y 方向受压引起的屈曲强度，N/mm^2；

τ_{cr}——剪切引起的屈曲强度，N/mm^2。

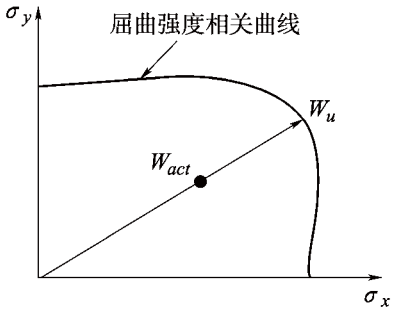


图 D.4.1 双向载荷模式利用因子定义的示例

5 强度评估（FEM）—屈曲程序

5.1 一般要求

5.1.1 范围

5.1.1.1 作为设计验证程序的一部分，以下计算程序应用于强度评估（FEM）的屈曲要求。见第 9 节 /2。

5.1.1.2 有限元分析中的所有结构单元均应进行单独评估。每根加强筋连同带板和非加筋板格都应进行评估。

5.1.1.3 如果满足以下衡准，则各个构件的屈曲性能视为可接受：

$$\eta_{act} \leqslant \eta_{allow}$$

式中：η_{allow}——许用屈曲利用因子，按第 9 节 /2.2.5 定义；

η_{act}——基于所使用设计载荷的实际屈曲利用因子，见 4. 2. 1。

5.2 结构建模和能力评估方法

5.2.1 一般要求

5. 2. 1. 1 船体梁纵向有效结构应按照表 D. 5. 1 和图 D. 5. 1 中规定的加筋板格或非加筋板格进行建模。其中提供了屈曲能力评估方法使用的标准假定。

5. 2. 1. 2 结构模型应基于从建造厚度中减去全部腐蚀增量的净厚度，即 $-1.0t_{corr}$ 和船东附加厚度求得。该厚度的缩减方法适用于板、加强筋腹板和面板。

5.2.2 加筋板格

5. 2. 2. 1 每根加强筋连同带板应表征为表 D. 5. 1 规定范围的加筋板格，并假定为较大结构实体的一部分，以正确地模拟整体屈曲特性。

5. 2. 2. 2 一般情况下，评估方法应模拟板厚、加强筋尺寸和间距的变化。但是，如果高级屈曲方法不能正确模拟这些变化时，应分别单独对每根加强筋及加强筋之间的板进行计算。在所考虑的位置上，板厚、加强筋特性和加强筋间距的假定适用于整个板格。如果板厚、加强筋特性和加强筋间距在加筋板格内有变化，则应对板格的所有布置进行计算。若加强筋之间的板格由厚度不同的数块板构成，则在评估相应的加强筋 / 板材组合时所用的板厚可为加权平均厚度。加权平均值的计算应符合 5. 2. 3. 3 的规定。见图 D. 5. 6。

5.2.3 非加筋板格

5. 2. 3. 1 评估方法应模拟板厚和板格几何形状。

5. 2. 3. 2 在强框架、水平桁材和肘板处，板格的几何形状（即由腹板加强筋 / 面板围成的边界）有可能为非矩形形状。如果高级屈曲方法不能正确模拟板格的几何形状，则应定义如图 D. 5. 5 所示的等效矩形板格。当腹板加强筋没有连接到相交加强筋时，可以定义如图 D. 5. 6 所示的板格。有限元的分析应表征实际结构，用以求出适用于等效矩形板格的合理应力值。5. 3. 2. 1 中的应力平均值应考虑形心在等效板格内的所有单元的应力。

5. 2. 3. 3 如果高级屈曲方法不能正确模拟板格跨间范围内的净板厚变化，且板格由数个有限元模型的板单元组成，则平均厚度应为：

$$t_{avr}=\frac{\sum A_j t_j}{\sum A_j}$$

式中：A_j——组成板格的第 j 个板单元的面积；

t_j——组成板格的第 j 个板单元的厚度。

强度评估（FEM）的结构单元 **表 D. 5. 1**

结构单元	理想化	评估方法 (1)	常规板格定义 (2)
纵向结构，见图D. 5. 1			
纵向加筋板格 外板 甲板 内壳 底边舱斜板 纵舱壁 中纵舱壁	加筋板格	方法1	长度：强框架之间 宽度：主要支撑构件之间（PSM）(2)

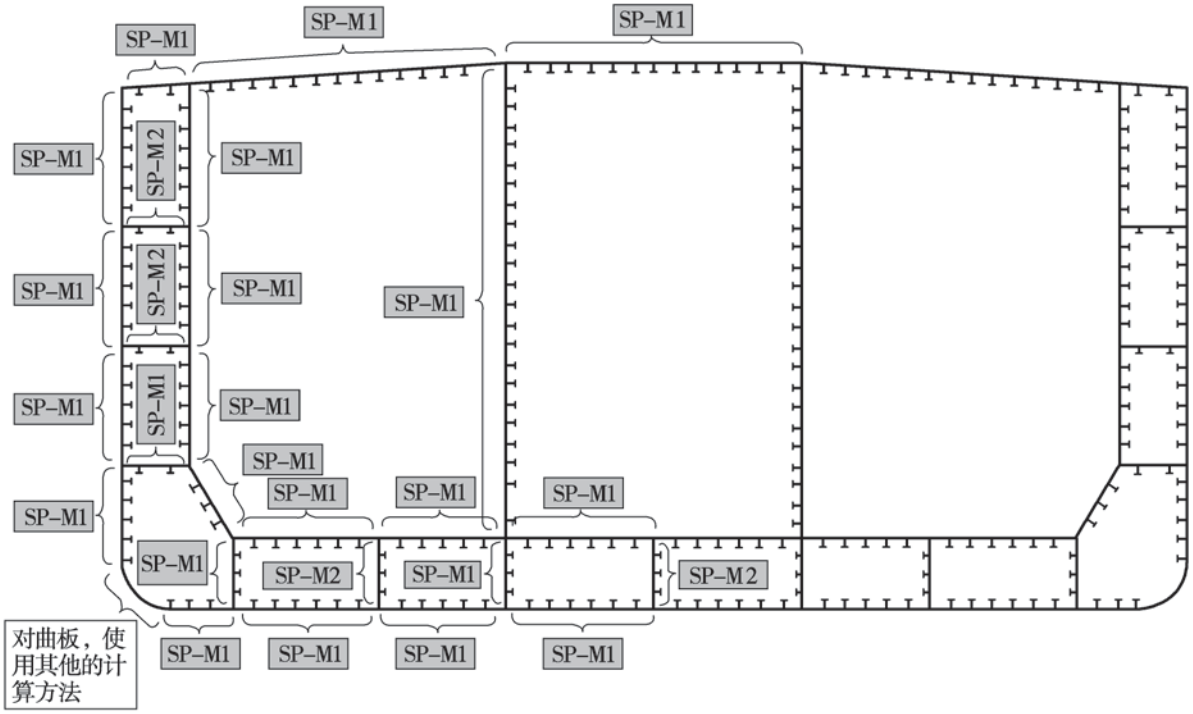
与纵舱壁对齐或与底边舱斜板相连的双层底纵桁	加筋板格	方法1	长度：强框架之间 宽度：整个腹板高度
双壳边舱内，与底边舱斜板相连的平台板	加筋板格	方法1	长度：强框架之间 宽度：整个腹板高度
不与纵舱壁对齐或与底边舱斜板相连的双层底纵桁腹板	加筋板格	方法2	长度：强框架之间 宽度：整个腹板高度
双壳边舱内，不与底边舱斜板相连的平台板	加筋板格	方法2	长度：强框架之间 宽度：整个腹板高度
单壳纵桁腹板	非加筋板格	方法2	局部加强筋/面板/PSM之间
横向结构，见图D. 5. 2			
甲板横向桁材腹板，包括肘板	非加筋板格	方法2	局部加强筋/面板/PSM之间
双壳边舱横隔板	加筋板格	方法2	长度：整个腹板高度 宽度：主要支撑构件之间
所有不规则的加筋板格，如底边舱和舭部处的腹板板格	非加筋板格	方法2	局部加强筋/面板/PSM之间
双层底肋板	加筋板格	方法2	长度：整个腹板高度 宽度：主要支撑构件之间
垂直桁材，包括肘板	非加筋板格	方法2	垂直桁材加强筋/面板/PSM之间
撑材腹板	非加筋板格	方法2	垂直桁材加强筋/面板/PSM之间
横向油密和水密舱壁，见图D. 5. 3以及横向制荡舱壁，见图D. 5. 4			
所有规则的舱壁加筋板格	加筋板格	方法1	长度：主要支撑构件之间 宽度：主要支撑构件之间
所有不规则的舱壁加筋板格，如底边舱和舭部处的腹板板格	非加筋板格	方法2	局部加强筋/面板之间
舱壁水平桁腹板，包括肘板	非加筋板格	方法2	腹板加强筋/面板之间
槽形横舱壁			
顶/底凳，包括加强筋	加筋板格	方法1	长度：隔板之间 宽度：凳的边长
凳的隔板	非加筋板格	方法2	局部加强筋/面板/PSM之间

注：1. 评估方法规定了采用何种屈曲强度评估方法，见4. 1。

2. 见结构理想化， 3. 1. 3。

3. 次要加强筋可以采用“端部削斜”或“端部连续”建模。除非端部具有转动支撑，否则加强筋应作为“端部削斜”考虑。

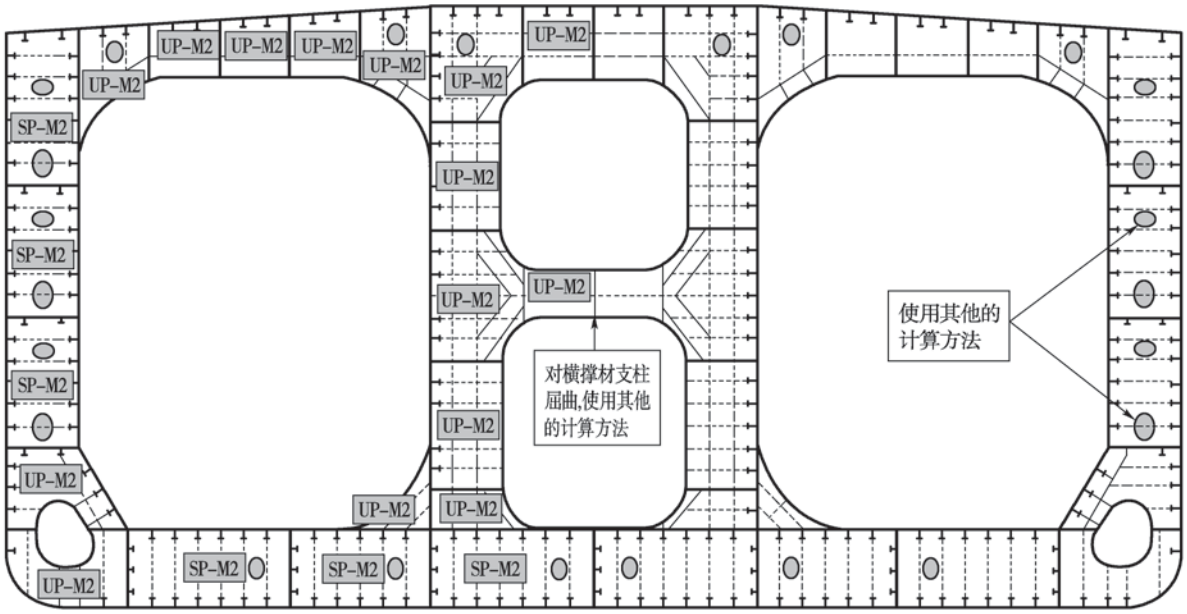
仅当板格中的每块板都当做非加筋板格并使用方法2处理时，才需要评估不规则加筋板格。



注：1. SP-M1加筋板格，且屈曲强度评估采用方法1。

2. SP-M2代表加筋板格，且屈曲强度评估采用方法2。

图 D.5.1 总纵强度的高级屈曲评估

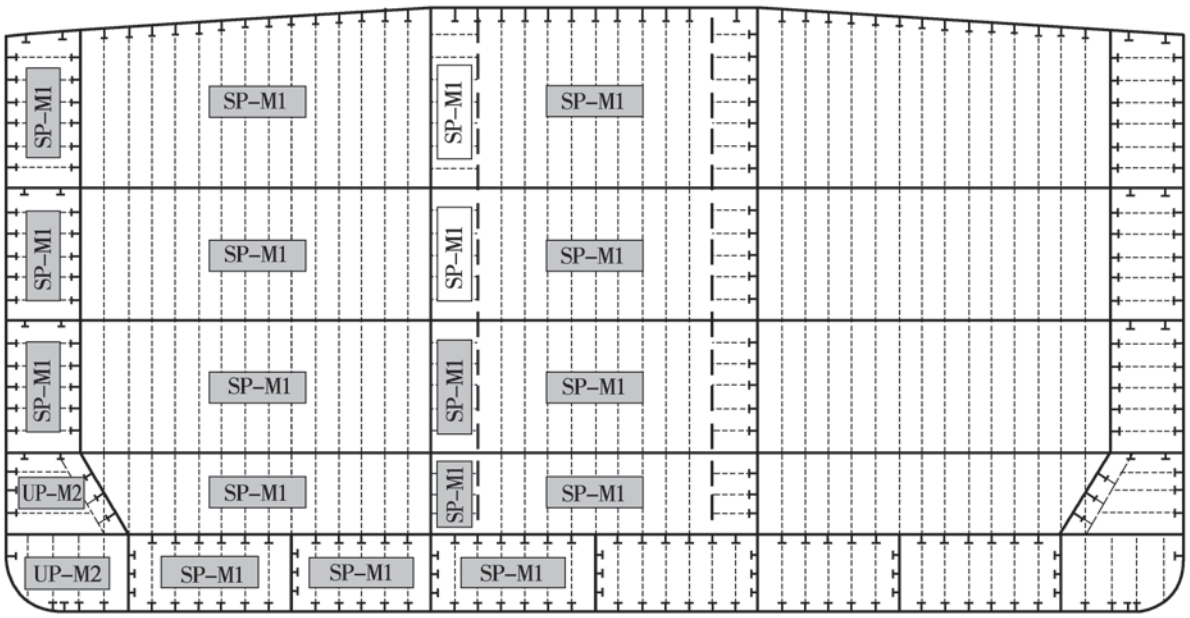


注：1. SP-M1代表加筋板格，且屈曲强度评估采用方法1。

2. UP-M2代表非加筋板格，且屈曲强度评估采用方法2。

3. SP-M2代表加筋板格，且屈曲强度评估采用方法2。

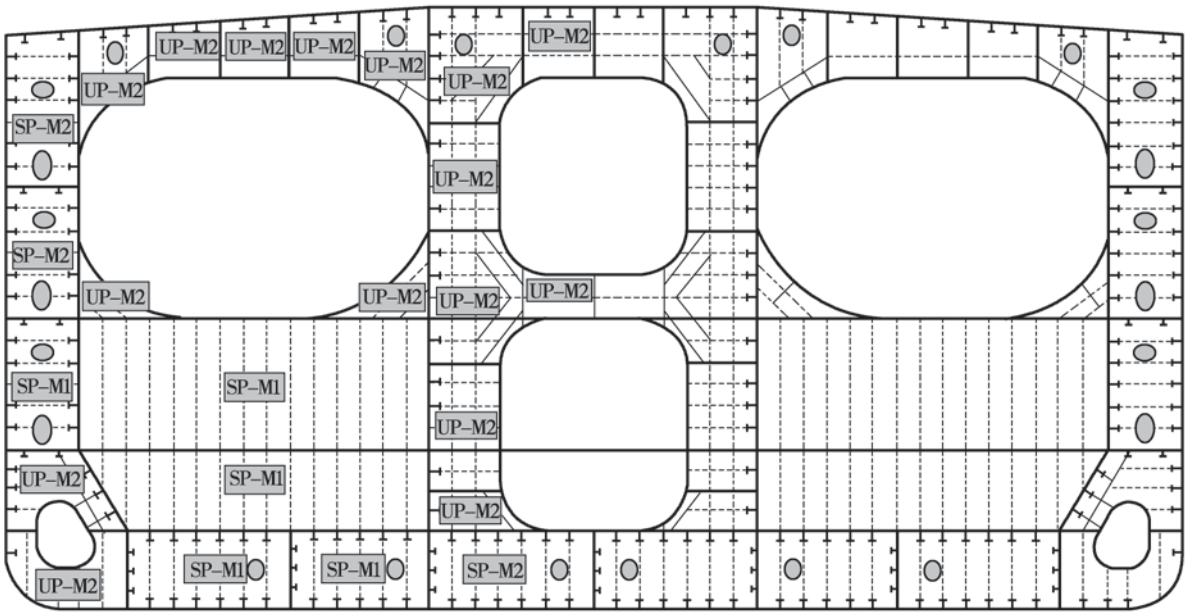
图 D.5.2 横向强框架



注：1. SP-M1代表加筋板格，且屈曲强度评估采用方法1。

2. UP-M2代表非加筋板格，且屈曲强度评估采用方法2。

图 D.5.3　横舱壁



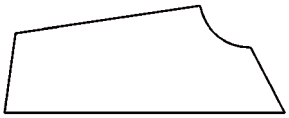
注：1. SP-M1代表加筋板格，且屈曲强度评估采用方法1。

2. UP-M2代表非加筋板格，且屈曲强度评估采用方法2。

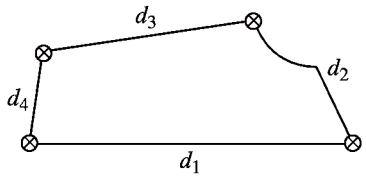
3. SP-M2代表加筋板格，且屈曲强度评估采用方法2。

图 D.5.4　横撑材

（a）确定板格多边形边界上的最接近直角（90度）的四个角

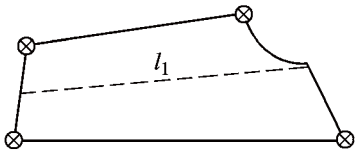


（b）计算角与角之间沿板格多边形边界的距离，即端点之间所有直线线段的总和



（c）确定总长度最小的对边，即d_1+d_3和d_2+d_4的最小值

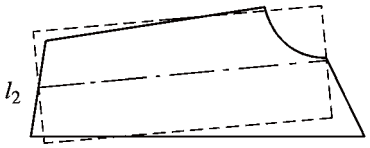
（d）在选定的对边的中点作连线（中点定义为距一端点为一半距离的点）。该线定义了能力模型的纵向x_1。其长度定义为该能力模型的长度l_1或从一端点量起的d_2。



（e）模型宽度l_2应取为：

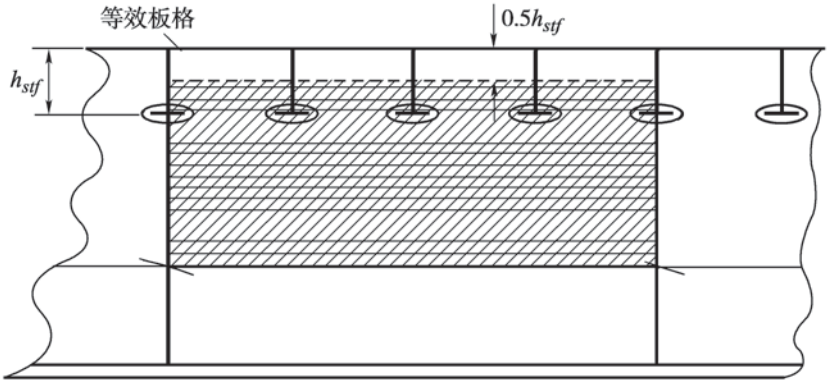
$$l_2=A_{pl}/l_1$$

式中：A_{pl}——板面积。



（f）有限元分析得到的应力应转化到等效矩形板格的局部坐标系统中。这些应力应用于屈曲评估。

图 D.5.5　不规则几何形状的非加筋板格的建模



注：板格宽度的校正也适用于其他开孔形式，但腹板或领板至少应与经过的扶强材的一侧连接。

图 D.5.6　腹板的能力模型

5.3 载荷施加

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 对于作用在结构板格上双轴向和剪切膜应力组合下的效应，应评估其极限能力或屈曲强度。

5.3.1.2 轴向压应力和剪切应力分布应从有限元分析得到并施加于屈曲模型。有限元分析得出的应力不以屈曲所要求的厚度变化而作调整，即有限元分析中使用 $-0.5t_{corr}$，屈曲评估中使用 $1.0t_{corr}$。

5.3.1.3 有限元分析中加载的侧向压力也应施加在屈曲评估之中。

5.3.1.4 应力施加可通过从有限元分析得到的强迫位移或载荷施加到板格边缘。

5.3.1.5 如果高级屈曲方法不能正确模拟沿板格轴向或者剪应力的变化，则应力和压力可按照5.3.2和5.3.3的规定予以平均。

5.3.2 平均膜应力

5.3.2.1 如果板格由数个板单元组成，则平均膜应力应使用如下加权平均法计算：

$$\sigma_{xm}=\frac{\sum_{1}^{n}A_i\sigma_{x-i}}{\sum_{1}^{n}A_i}\quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ym}=\frac{\sum_{1}^{n}A_i\sigma_{y-i}}{\sum_{1}^{n}A_i}\quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{xym}=\frac{\sum_{1}^{n}A_i\tau_{xymi}}{\sum_{1}^{n}A_i}\quad \text{N/mm}^2$$

式中：σ_{xmi}——板格中第 i 个板单元的形心处 x 方向的膜应力，N/mm^2；

σ_{ymi}——板格中第 i 个板单元的形心处 y 方向的膜应力，N/mm^2；

τ_{xymi}——板格中第 i 个板单元的形心处的膜剪应力，N/mm^2；

A_i——组成板格的第 i 个板单元的面积，mm^2；

n——板格中的单元数。

如果 σ_{xmi} 或 σ_{ymi} 受拉，则相应值应取为零。

5.3.3 平均侧向应力

5.3.3.1 如果板格由数个板单元组成，则其平均压力，P_{arv}，应使用如下加权平均法计算：

$$P_{arv}=\frac{\sum_{1}^{n}A_i p_i}{\sum_{1}^{n}A_i}\quad \text{kN/m}^2$$

式中：p_i——作用在组成板格的第 i 个板单元上的压力，N/mm^2；

A_i——组成板格的第 i 个板单元的面积，mm^2；

n——板格中的单元数。

5.4 高级屈曲评估方法的局限

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 由于没有合适的高级屈曲方法，以下结构单元可以按表D.5.2进行评估。

对高级屈曲评估未涵盖的结构单元的要求 表 D.5.2

结 构 单 元	屈 曲 模 式	参考规范章节
舭部板	横向弹性屈曲	第8节/2.2.3
主要支撑构件	整体（总体）屈曲和扭转屈曲	第10节/2.3
开口处主要支撑构件腹板	腹板屈曲	第10节/3.4
撑材	整体（总体）屈曲	第10节/3.5
槽型舱壁	翼板板格屈曲 整体（总体）屈曲	第10节/3.2 第10节/3.5

6 船体梁极限强度评估

6.1 一般要求

6.1.1 范围

6.1.1.1 本计算程序为船体梁极限强度评估的要求，且作为设计验证程序的一部分，见第 9 节 /1。

6.1.1.2 对强力甲板的所有结构单元均应单独进行评估。

6.2 载荷施加

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 对于甲板纵向加筋板格的极限能力的评估，使用的单轴向压应力应取加强筋 / 板相交点处的计算值。

6.2.1.2 船体梁应力应基于从建造厚度中减去一半腐蚀增量（即 $-0.5t_{corr}$）和船东附加厚度计算得到的剖面模数特性。

6.2.1.3 在船体梁极限强度的屈曲评估中不应考虑侧向压力。

6.3 结构建模和屈曲评估

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 强力甲板的纵向有效结构应模拟成加筋板格，且采用方法 1 评估极限能力。

6.3.1.2 每根连同带板的甲板加强筋应表征为加筋板格。其横向范围为两个相邻主要支撑构件之间。

6.3.1.3 屈曲能力模型基于从建造厚度中减去一半的腐蚀增量（即 $-0.5t_{corr}$）和船东附加厚度的净厚度求得。该厚度的缩减适用于板、加强筋腹板和面板。

6.3.1.4 一般情况下，评估方法应正确模拟板厚度、加强筋尺寸和间距的变化。但是，如果高级屈曲方法不能正确模拟这些变化时，应分别单独对每根加强筋及加强筋之间的板进行计算。在所考虑的位置上，板厚、加强筋特性和加强筋间距的假定适用于整个板格。如果板厚、加强筋特性和加强筋间距在加筋板格内有变化，则应对板格的所有布置进行计算。