



中国船级社

# 钢质海船入级规范

## RULES FOR CLASSIFICATION OF SEA-GOING STEEL SHIPS

修改通报

AMENDMENTS

2018



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.



中 国 船 级 社

# 钢质海船入级规范

## RULES FOR CLASSIFICATION OF SEA-GOING STEEL SHIPS

修 改 通 报

AMENDMENTS

2018

2018年7月1日生效  
Effective from July 1, 2018

北 京  
Beijing



中国船级社

# 钢质海船入级规范

2018 年修改通报

第 1 篇 入级规则

## 目 录

第2章 入级范围与条件 .....	3
第2节 入级规范 .....	3
第3节 入级符号与附加标志 .....	3
第5节 图纸提交与审图 .....	3
第8节 供应方认可 .....	3
第13节 责任、分歧与仲裁 .....	4
附录1 海船附加标志一览表 .....	4
第3章 产品检验 .....	10
附录2A 船舶入级产品部件持证要求一览表 .....	10
附录2B 船舶法定产品部件持证要求一览表 .....	11
第4章 建造中检验 .....	11
第3节 水密舱室试验程序 .....	11
第4节 文件资料 .....	12
附录1 新建船舶的船体检验 .....	12
附录2 船舶建造与修理质量标准 .....	14
第5章 建造后检验 .....	26
第1节 一般规定 .....	26
第4节 船体与设备检验 .....	26
第5节 普通干货船船体与设备检验补充要求 .....	26
第8节 化学品船的船体与设备检验补充要求 .....	27
第9节 机械检验 .....	27
第12节 螺旋桨轴与尾管轴检验 .....	27
第13节 锅炉检验 .....	28
第14节 不在CCS检验下建造船舶的初次入级检验 .....	28
第16节 液化气体船的船体与设备检验补充要求 .....	29
第17节 滚装船检验补充要求 .....	29
第18节 牲畜运输船检验补充要求 .....	29
附录2 油船船体梁总纵强度衡准 .....	30
附录8 服务供应商认可程序要求 .....	30
附录16 船舶机械计划保养系统(PMS)指南 .....	31



## 第 2 章 入级范围与条件

### 第 2 节 入级规范

#### 2.2.2 规范制订

2.2.2.2 CCS 规范或其修改通报的初稿，发送到有关船舶及产品的主管机关、~~设计、制造、检验、船东、科研、高等院校~~ CCS、航运、造船、设计、高等院校、科研、相关工业产品制造业等单位征求意见。

### 第 3 节 入级符号与附加标志

#### 2.3.1 入级符号

2.3.1.3 凡船舶的船体(包括设备)与轮机(包括电气设备)经 CCS 批准入级，将根据不同情况授予下列入级符号：

★ CSA

★ CSM

或

★ CSA

★ CSM

或

★ CSA

★ CSM

入级符号含义如下：

★ CSA——表示船舶的结构与设备由 CCS 审图和建造中检验，并符合 CCS 规范的规定。特殊情况下，船舶在临近交船前，其结构和设备经 CCS 入级检验，认为其等效符合 CCS 规范的规定，则★用★替代。

★ CSA——表示船舶的结构与设备不由 CCS 审图和建造中检验，其后经 CCS 进行入级检验，认为其符合 CCS 规范的规定。

★ CSM——表示船舶推进机械和重要用途的辅助机械由 CCS 进行产品检验，而且船舶轮机和电气设备由 CCS 审图和建造中检验，并符合 CCS 规范的规定。特殊情况下，船舶在临近交船前，其机电设备经 CCS 入级检验，认为其等效符合 CCS 规范的规定，则★用★替代。

★ CSM——表示船舶推进机械和重要用途的辅助机械不由 CCS 进行产品检验，但船舶轮机和电气设备由 CCS 审图和建造中检验，并符合 CCS 规范的规定。

★ CSM——表示船舶轮机和电气设备不是由 CCS 审图和建造中检验，其后经 CCS 进行入级检验，认为其符合 CCS 规范的规定。

### 第 5 节 图纸提交与审图

#### 2.5.2 图纸资料审查

2.5.2.6 “备查”指图纸资料未经审核，仅用作须批准图纸审核过程中的支持性资料和信息。

### 第 8 节 供应方认可

#### 2.8.3 认可供方名录

2.8.3.1 CCS 发布并维护经 CCS 认可供方名录<sup>①</sup>。

<sup>①</sup> CCS 认可供方名录可在 CCS 网站 <http://www.ccs.org.cn> 上获得。

### 第 13 节 责任、分歧与仲裁

#### 2.13.1 各方责任

2.13.1.11 CCS 不承诺海上人命和财产的安全以及船舶适航性, 因为 CCS 在历次检验之间并不是操作和维护船舶的主体。

## 附录 1 海船附加标志一览表

船舶类型附加标志		表 A	
附加标志	说明		技术要求 <sup>①</sup>
LNG Carrier	LNG 运输船	专门载运液化天然气的液化气体船。按 Liquefied Gas Carrier 附加标志的“说明”栏所述, 加注“Type1G/2G/2PG/3G 或 Type1G/IIIG/IIIPG/IIIG”的防漏保护措施标志。 当 LNG 运输船兼作浮式液化天然气储存装置(FSU)时, 在 LNG Carrier 附加标志后应加注“LNG-FSU”标志(Liquefied Nature Gas-Floating Storage Unit)并用“,”与其分隔, 如 LNG Carrier, LNG-FSU。	《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》和/或《液化天然气运输船兼作浮式储存装置实施指南》(2016)
LNG-FSU	LNG 运输船兼作 FSU		
Floating Dock with $F_L(\times\times\times t)$	浮船坞(举力 xxx 吨)	供修造船用的能半潜和起浮的水上建筑物。是一种两端开敞、横断面呈槽形的特殊船体。坞体由坞墙和坞底组成。坞墙和坞底都是由若干纵横构件和面板构成的浮箱, 沿纵横向分隔成若干个水密舱, 舱内充泄水, 以增加(减少)船坞中压载水的水量, 使其下沉或上浮而把船放下水或托出水面。	《浮船坞入级规范》(2009)
Floating Crane	起重船	甲板上有起重设备, 专供水上作业起吊重物的船舶, 并应加注 Lifting appliance 标志 对在有限航区内作业的起重船, 授予下列作业航区附加标志: (1) 在 1 类航区内作业: Lifting Within R1; (2) 在 2 类航区内作业: Lifting Within R2; (3) 在 3 类航区内作业: Lifting Within R3; (4) 仅在港口水域作业: Lifting Within Harbor。	本规范第 2 篇第 13 章、第 10 篇第 2 章, 《船舶与海上设施起重设备规范》

### 航区或航线限制附加标志

表 B

附加标志	说明		应满足技术要求
R 1	1 类航区	距岸不超过 200 海里(夏季/热带*)或 100 海里(冬季*)航行的船舶	本规范第 2 篇第 14 章第 10 篇第 2 章
R 2	2 类航区	距岸不超过 20 海里(夏季/热带*)或 10 海里(冬季*)航行的船舶	
R 3	3 类航区	遮蔽水域**航行的船舶	
Dredging Within R3	在 3 类航区内作业	挖泥船作业限定海域	本规范第 2 篇第 14 章第 10 篇第 2 章
Dredging Within R2	在 2 类航	挖泥船作业限定海域	本规范第 2 篇第

<sup>①</sup> 表中所列出的技术要求是授予该附加标志需满足的基本要求, 如涉及船型其它的特殊情况, CCS 将结合船舶具体情况予以特殊考虑。

附加标志	说 明		应满足技术要求
	区内作业		14 章第 10 篇第 2 章
Dredging Within R1	在 1 类航区内作业	挖泥船作业限定海域	本规范第 2 篇第 14 章第 10 篇第 2 章

货物与装载特性附加标志

表 D

附加标志	说 明		技术要求
Max.Cargo Density ×××t/m <sup>3</sup>	最大货物密度 ×××t/m <sup>3</sup>	对于液化气体船，其液货舱结构件尺寸根据拟设计载货特性，按最大设计压力、最大货物密度和最低货物温度确定。 如设有再液化或制冷设备，则可加注“LG”标志	《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》
Max.Vapour Pressure ×××MPa	最大蒸气压力 ×××MPa		
Minimum Cargo Temperature ×××℃	最低货物温度 ×××℃		
LG	气体再液化		

特殊性能附加标志

表 E

附加标志	说 明		技术要求
i-Ship (Nx,Hx,Mx,Ex,Cx,I)	智能船舶	<p>授予在航行、船体、机舱、能效、货物控制、集成平台的一个或多个方面实现智能化的船舶，其中括号内的大写字母和 x 可根据实际情况组合，表示智能化的程度，具体如下：</p> <p>N—智能航行基本功能： 航路设计和优化 No—自主航行 Nn—高级自主航行 H—智能船体基本功能： 船体全生命周期管理 Hm—船体监测及辅助决策 M—智能机舱基本功能： 对主推进发动机、辅助发电用发动机、轴系的运行状态进行监测，对机械设备的运行状态和健康状况进行分析和评估及辅助决策 Mm—主推进发动机及其部件实施基于状态监测的视情维护 Ma—辅助发电用发动机及其部件实施基于状态监测的视情维护 Mp—推进轴系实施基于状态监测的视情维护 E—智能能效管理基本功能： 船舶航行状态、能效及耗能状况、气象环境参数的在线监测及获得，并进行评估、报告、报警及辅助决策 Es—航速优化 Et—基于纵倾优化的最佳配载 C—货舱、货物和货物保护系统的监测报警和辅助系统以及货物配载系统 Cl—自动装卸货 I—智能集成平台</p> <p>“i-Ship”智能船舶船级附加标志适合授予具有智能航行，智能船体，智能机舱，智能能效管理，智能货物管理，智能集成平台功能的船舶。每一功能均有一功能标志与其对应，具体如下：</p> <p>N—智能航行功能标志； H—智能船体功能标志； M—智能机舱功能标志； E—智能能效管理功能标志； C—智能货物管理功能标志；</p>	<p>《智能船舶规范》、 《船舶智能能效管理检验指南》、 《船舶智能机舱检验指南》、 《船舶智能集成平台检验指南》</p>

附加标志	说 明		技术要求
		<p><u>I——智能集成平台功能标志。</u>  <u>x——可选功能补充标志，一个小写字母表示一个功能补充标志，一个功能标志可有多个功能补充标志，具体详见《智能船舶规范》第 2 章至第 7 章要求</u></p> <p>注 1: 对申请授予 i-Ship(E)、i-Ship(Es)和 i-Ship(Et)附加标志的船舶，还应满足《船舶智能能效管理检验指南》相关要求                      注 2: 对申请授予 i-Ship(Mx)附加标志的船舶，还应满足《船舶智能机舱检验指南》相关要求                      注 3: 对申请授予 i-Ship(I)附加标志的船舶，还应满足《船舶智能集成平台检验指南》相关要求</p>	
<u>Cyber Security</u>	<u>船舶网络安全</u>	对船舶网络安全进行评估，结果合格的船舶，可授予“Cyber Security”船舶附加标志	《船舶网络系统要求及安全评估指南》
<u>CBM(X)</u>	<u>船舶设备视情维护</u>	根据某个船舶机械设备或系统运行状态和健康状况的分析和评估结果，制定船舶机械设备或系统视情维护方案的船舶，可授予该附加标志，并后缀一个或多个标志，用于标识实施视情维护的设备，例如 CBM(Cargo Pumps)，为货泵视情维护标志	《船舶智能机舱检验指南》

特殊检验附加标志

表 H

附加标志	说 明		技术要求
<p><del>ANDT ( T )</del>  <del>TOFD(20%/40%/70%)</del></p>	<p>衍射时差技术 (TOFD) 检测</p>	<p><del>在 CCS 验船师监督下，按照指南要求对相关结构进行过 TOFD 检测的船舶，如所有检测位置检验合格，经船东申请，可授予该附加标志。</del>                      对如下检测范围使用衍射时差 (TOFD) 检测的比例满足下述要求，经船东申请，可授予相应附加标志。  <u>TOFD(20%)：使用 TOFD 检测焊缝比例超过 20%。</u>  <u>TOFD(40%)：使用 TOFD 检测焊缝比例超过 40%。</u>  <u>TOFD(70%)：使用 TOFD 检测焊缝比例超过 70%。</u>  <u>集装箱船检测范围：货舱区域所有上部纵向构件（厚度≥35mm）的分段合拢对接焊缝，包括内壳/舱壁最顶部列板、舷侧顶列板、主甲板、围板板、围板顶板及所有附连的纵向扶强材。</u>  <u>矿砂船检测范围：货物区域主甲板（厚度≥35mm）对接缝。</u>  <u>LNG 和 LPG 船舶检测范围：整体液货舱或独立液货舱的全焊透焊缝（不包括薄膜舱和角焊缝）。</u></p>	<p>《衍射时差法 (TOFD) 和相控阵超声检测 (PAUT) 技术应用指南》</p>
<p><del>ANDT ( P )</del>  <del>PAUT(20%/40%/70%)</del></p>	<p>相控阵超声 (PAUT) 检测</p>	<p><del>在 CCS 验船师监督下，按照指南要求对相关结构进行过 PAUT 检测的船舶，如所有检测位置检验合格，经船东申请，可授予该附加标志。</del>                      对如下检测范围使用相控阵超声 (PAUT) 检测的比例满足下述要求，经船东申请，可授予相应附加标志。</p>	<p>《衍射时差法 (TOFD) 和相控阵超声检测 (PAUT) 技</p>

附加标志	说 明		技术要求
		<p><u>PAUT (20%): 使用 PAUT 检测焊缝比例超过 20%。</u>  <u>PAUT (40%): 使用 PAUT 检测焊缝比例超过 40%。</u>  <u>PAUT (70%): 使用 PAUT 检测焊缝比例超过 70%。</u>  <u>集装箱船检测范围: 货舱区域所有上部纵向构件 (厚度 ≥ 35mm) 的分段合拢对接焊缝, 包括内壳/舱壁最顶部列板、舷侧顶列板、主甲板、围板板、围板顶板及所有附连的纵向扶强材。</u>  <u>矿砂船检测范围: 货物区域主甲板 (厚度 ≥ 35mm) 对接缝; 纵舱壁与内底板间的全焊透焊缝; 底墩与内底板间的全焊透连接焊缝; 底墩顶板与底墩斜板间的全焊透连接焊缝; 底墩顶板与横舱壁间的全焊透连接焊缝。</u>  <u>LNG 和 LPG 船舶检测范围: 整体液货舱或独立液货舱的全焊透焊缝 (不包括薄膜舱)。</u></p>	术应用指南》
<p><del>ANDT ( TP )</del>  <u>TOFD/PAUT(20%/40%/70%)</u></p>	<p>衍射时差技术 (TOFD) 及相控阵超声 (PAUT) 联合检测</p>	<p><del>对厚板对接焊缝进行过衍射时差检测 (TOFD) 及相控阵超声检测 (PAUT) 联合检测的船舶, 如所有检测位置检验合格, 经船东申请, 可授予该附加标志</del>  <u>对如下检测范围使用衍射时差技术 (TOFD) 及相控阵超声 (PAUT) 联合检测的比例满足下述要求, 经船东申请, 可授予相应附加标志。</u>  <u>TOFD/PAUT (20%): 使用 TOFD/PAUT 联合检测焊缝比例分别超过 20%。</u>  <u>TOFD/PAUT (40%): 使用 TOFD/PAUT 联合检测焊缝比例分别超过 40%。</u>  <u>TOFD/PAUT (70%): 使用 TOFD/PAUT 联合检测焊缝比例分别超过 70%。</u>  <u>集装箱船检测范围: 货舱区域所有上部纵向构件 (厚度 ≥ 35mm) 的分段合拢对接焊缝, 包括内壳/舱壁最顶部列板、舷侧顶列板、主甲板、围板板、围板顶板及所有附连的纵向扶强材。</u>  <u>矿砂船检测范围: 货物区域主甲板 (厚度 ≥ 35mm) 对接缝; LNG 和 LPG 船舶检测范围: 整体液货舱或独立液货舱的全焊透焊缝 (不包括薄膜舱和角焊缝)。</u></p>	《船用厚板焊接接头衍射时差技术 (TOFD) 及相控阵超声 (PAUT) 联合检测技术指南》
PMS	机械计划保养系统	采用 CCS 批准的机械计划保养系统, 以替代轮机和电气设备的特别检验和循环检验(如采用)的船舶, 可授予该标志	本规范第 1 篇第 5 章附录 16《船舶机械计划保养系统检验指南》 <sup>①</sup>

注: ①当新造船检验授予 PMS 附加标志时, 应参照本规范第 1 篇第 5 章附录 16 的检验要求执行。

特殊设备和系统附加标志

表 G

附加标志	说 明		技术要求
HMS		在船舶的船体监测系统内, 仅安装监测船中总体纵向应力传感器的, 可授予该附加标志	
HMS(x)	船体监测系统	<p>在船舶的船体监测系统内, 不仅安装有监测船中总体纵向应力传感器, 还选用监测其他参数传感器/组件的, 可授予该附加标志。括号中为选用的传感器/组件的代表字母, 多个字母之间以逗号“,”分隔。船体监测系统可选用的传感器/组件如下:</p> <p><b>G<sub>n</sub></b>: 监测船体总体变形的传感器  <b>D<sub>n</sub></b>: 监测船体局部变形的传感器  <b>O<sub>n</sub></b>: 监测推进轴输出的传感器  <b>A<sub>n</sub></b>: 监测轴向加速度的传感器</p>	本规范第 8 篇第 21 章

附加标志	说明		技术要求
		<p><b>M<sub>n</sub></b>: 监测船体刚体运动(6个自由度)的装置</p> <p><b>P<sub>n</sub></b>: 监测海水瞬时作用在船体压力(砰击)的传感器</p> <p><b>S<sub>n</sub></b>: 监测液舱内液体流动压力(晃荡)的传感器</p> <p><b>T<sub>n</sub></b>: 监测温度的传感器</p> <p><b>B<sub>n</sub></b>: 监测海面波浪的装置</p> <p><b>W<sub>n</sub></b>: 风力传感器</p> <p><b>N<sub>n</sub></b>: 外部导航信息传感器</p> <p><b>C<sub>n</sub></b>: 与装载仪在线连接, 该装载仪应不断修正应力状况</p> <p>注: n 为传感器或装置数目</p>	
HMS-HSC		在高速船上安装的船体监测系统, 可授予该附加标志	
FC-FULL	燃料电池供电	除燃料电池发电系统外, 船舶未配置其他动力源, 燃料电池发电系统向全船设备(推进、操舵和其他重要设备、应急设备以及其他设备等)供电, 并符合本指南规定时	《燃料电池系统应用指南》
FC-POWER-1		船舶配置了柴油发电机组和燃料电池发电系统, 燃料电池发电系统向船舶的重要设备供电并符合本指南规定时	
FC-POWER-2		船舶配置了柴油发电机组和燃料电池发电系统, 燃料电池发电系统向非重要设备和非应急设备供电并符合本指南规定时	
<u>Methyl/Ethyl Alcohol Fuel</u>	<u>甲醇/乙醇为燃料</u>	<u>以甲醇/乙醇为燃料的动力船舶, 可加注该标志</u>	<u>《船舶应用替代燃料指南》第 1 篇</u>
FC-FULL	燃料电池发电系统	<u>仅配备燃料电池发电系统为动力源, 且燃料电池发电系统向全船设备(推进、操舵和其他重要设备、应急设备以及其他设备等)供电的船舶, 可加注该标志</u>	《船舶应用替代燃料指南》第 2 篇
FC-POWER 1		<u>配备柴油发电机组和燃料电池发电系统, 且燃料电池发电系统向船舶重要设备供电的船舶, 可加注该标志</u>	
FC-POWER 2		<u>配备柴油发电机组和燃料电池发电系统, 且燃料电池发电系统向非重要设备和非应急设备供电的船舶, 可加注该标志</u>	
<u>Biodiesel Fuel</u>	<u>生物柴油或生物柴油与常规燃油混合物为燃料</u>	<u>以生物柴油或生物柴油与常规燃油混合物为燃料的动力船舶, 可加注该标志</u>	<u>《船舶应用替代燃料指南》第 3 篇</u>

环境保护附加标志

表 I

附加标志	说明		技术要求
Clean	洁净	除满足防污染法定要求外, 还满足 CCS 规范对船舶防污染结构、设备和操作程序相应要求的船舶, 可授予该标志	本规范第 8 篇第 8 章第 2 节
FTP (+)	燃油舱保护	对所有燃油舱设有双壳保护的船舶, 可授予该标志	本规范第 8 篇第 8 章第 3 节
FTP	燃油舱保护	对燃油舱设有双壳保护或者等效保护措施的船舶, 可授予该标志	
GWC	灰水控制	船上所设的洗衣房、浴室、厨房、住舱房的排出废水按规定得以控制, 并且设置了符合规定容积灰水集污舱、高液位报警器并符合规定的能力的污水处理系统的船舶, 可授予该标志。	本规范第 8 篇第 8 章第 3 节
RSC	冷藏系统控制	制冷剂的臭氧消耗趋势(ODP)应为 0, 全球变暖趋势(GWP)应小于 2000 的船舶可授予该标志	本规范第 8 篇第 8 章第 3 节
SEC(I)	SO <sub>x</sub> 排放控制	船上所用的所有燃料的硫含量不超过 1.0%(m/m)或采用	本规范第 8 篇第 8

附加标志	说 明		技术要求
		等效措施	章第 3 节
SEC(II)		船上所用的所有燃料的硫含量不超过 0.5%(m/m)或采用等效措施	
SEC(III)		船上所用的所有燃料的硫含量不超过 0.1%(m/m)或采用等效措施	
AFS	防污底系统	船舶防污底系统不含任何生物杀灭剂的船舶, 可授予该标志	本规范第 8 篇第 8 章第 3 节
BWMP	压载水管理计划	授予实施批准的船舶压载水管理计划的船舶	《船舶压载水管理计划编制指南》
COMF (NOISE N)	舒适性(噪声 N)	船舶相关处所内噪声满足规范有关船员和乘客舒适性要求, 可授予该标志; N=1 或 2 或 3, 表示噪声舒适性等级, 1 表示最舒适	CCS《钢质海船入级规范》第 8 篇第 16 章
COMF (VIB N)	舒适性(振动 N)	船舶相关处所振动参数满足规范有关船员和乘客舒适性要求, 可授予该标志; N=1 或 2 或 3, 表示振动舒适性等级, 1 表示最舒适	CCS《钢质海船入级规范》第 8 篇第 16 章
HAB (VIB)	居住性(振动)	船舶相关处所振动参数满足 ISO 6954 有关船员和乘客居住性的要求, 可授予该标志	CCS《船上振动控制指南》第 14 章和第 15 章
VIB (S)	结构振动	船舶相关结构满足 CCS《船上振动控制指南》有关结构振动的要求, 不会产生结构疲劳破坏, 可授予该标志	CCS《船上振动控制指南》第 14 章和第 15 章
VIB(M)	机械振动	船舶相关机械满足 CCS《船上振动控制指南》有关机械振动的要求, 不会产生机械疲劳损坏或运动部件加速磨损, 可授予该标志	CCS《船上振动控制指南》第 14 章与第 15 章
VIB	振动	船舶同时满足结构振动 VIB (S) 和机械振动 VIB(M)要求, 可授予该标志	CCS《船上振动控制指南》第 14 章和第 15 章
Green Ship I	绿色船舶	船舶在环境保护、能效(包括设计能效和营运能效)、工作环境三个方面的绿色要素满足绿色船舶 I 级所有适用要求	《绿色船舶规范》
Green Ship II		船舶在环境保护、能效(包括设计能效和营运能效)、工作环境三个方面的绿色要素满足绿色船舶 II 级所有适用要求	
Green Ship III		船舶在环境保护、能效(包括设计能效和营运能效)、工作环境三个方面的绿色要素满足绿色船舶 III 级所有适用要求	
EEDI(I)	船舶设计能效	船舶的 Attained EEDI 值相当于 MARPOL 附则 VI EEDI Phase 0 阶段要求	《绿色船舶规范》第 2 章
EEDI(II)		船舶的 Attained EEDI 值相当于 MARPOL 附则 VI EEDI Phase 1 阶段要求	
EEDI(II+)		船舶的 Attained EEDI 值相当于 MARPOL 附则 VI EEDI Phase 2 阶段要求	
EEDI(III)		船舶的 Attained EEDI 值相当于 MARPOL 附则 VI EEDI Phase 3 阶段要求	
NEC(II)	NO <sub>x</sub> 排放控制	符合 MARPOL 附则 VI 第 13 条第 II 级标准	本规范第 8 篇第 8 章第 3 节
NEC(III)		符合 MARPOL 附则 VI 第 13 条第 III 级标准	
GPR	绿色护照	船舶应持有经 CCS 验证的符合《2009 年香港国际安全和环境无害化拆船公约》要求的有害物质清单	本规范第 8 篇第 8 章第 3 节
GPR(EU)		船舶应持有经 CCS 验证的符合欧盟 1257/2013 号(EU)法规要求的有害物质清单	



附加标志	说 明		技术要求
BWMS	压载水管理系统	船舶压载水处理系统必须经过认可，符合本规范相关安装和布置要求	<u>本规范第 8 篇第 8 章第 3 节</u>
SEEMP(I)	船舶运营能效	船舶应持有一份按照 IMO 相关导则制定的船舶能效管理计划(SEEMP)	《绿色船舶规范》第 2 章
SEEMP(II)		对具有 SEEMP(I)附加标志的船舶，若船舶所在航运公司或船舶经营者建立船舶运营能效管理体系，并获得 CCS 能效管理体系认证证书，可授予该标志。	
SEEMP(III)		对具有 SEEMP(II)附加标志的船舶，若船舶具有诸如航线优化、船体生物污垢监测等实时监测的软件，以随时监控影响船舶能效的相关参数和/或调整能效措施，可授予该标志。	
Crew Accommodation (MLC)	海员起居舱室	除满足海员起居舱室法定要求外，还满足 CCS 指南对于海船海员起居舱室审图和建造要求的船舶，可授予该标志。	《海事劳工条件检查实施指南》
AMPS	高压岸电	船舶配置了额定电压交流 1kV 以上、15kV 及以下的高压岸电系统，在靠港期间向船舶供电，并能保证在关停船舶发电机时，预期使用设备能够正常工作，可授予该标志	本规范第 8 篇第 19 章
IBTS	综合舱底水处理系统	船舶机舱舱底水的管理和排放布置符合 MEPC.1/Circ.642 通函（经 MEPC.1/Circ.676 和 MEPC.1/Circ.760 修订）的综合舱底水处理系统（IBTS）时，可授予该附加标志	本规范第 8 篇第 8 章
EAL	环保润滑油	船舶的油/水界面处使用的润滑油符合 CCS 《美国环保署环保润滑油要求实施检验指南》关于环保润滑油的相关规定，可授予该附加标志	<u>本规范第 8 篇第 8 章</u>
Biofouling-C	生物污垢控制	持有一份按照 IMO 以 MEPC.207(62)决议批准的《2011 年为最大程度减少入侵水生物种转移的船舶生物污垢控制和管理指南》编写并经 CCS 批准的生物污垢管理计划的船舶，可授予该附加标志	<u>本规范第 8 篇第 8 章</u>
SEC (EGCS)	SO <sub>x</sub> 排放控制（废气清洗系统）	为减少 SO <sub>x</sub> 排放而安装 EGC 系统的船舶，可授予该附加标志	《船舶废气清洗系统设计及安装指南》
NEC (SCRS)	NO <sub>x</sub> 排放控制（选择性催化还原系统）	为减少 NO <sub>x</sub> 排放而安装 SCR 系统的船舶，可授予该附加标志	《选择性催化还原 (SCR) 系统船上应用指南》
<u>Underwater Noise N</u>	<u>船舶水下辐射噪声</u>	经测量，船舶水下辐射噪声满足要求，可授予该附加标志； <u>N=1 或 2 或 3，N 表示水下噪声等级，1 表示最高。</u>	<u>《船舶水下辐射噪声指南》</u>

其他附加标志

表 K

附加标志	说 明		技术要求
Cyber Security	船舶网络安全	对船舶网络安全进行评估，结果合格的船舶，可授予“Cyber Security”船舶附加标志	《船舶网络系统要求及安全评估指南》
CBM(X)	船舶设备视情维护	根据某个船舶机械设备或系统运行状态和健康状况的分析和评估结果，制定船舶机械设备或系统视情维护方案的船舶，可授予该附加标志，并后缀一个或多个标志，用于标识实施视情维护的设备，例如 CBM(Cargo Pumps)，为货泵视情维护标志	《船舶智能机舱检验指南》

### 第 3 章 产品检验

#### 附录 2A 船舶入级产品部件持证要求一览表



序号	产品名称	证件类型		认可模式				审图	备注
		C/E	W	DA	TA-B	TA-A	WA		
<b>船体</b>									
7	锚泊及系泊设备								
7.5	锚机								
.11	传动齿轮	X	—	—	X	O	X	X <sup>1</sup>	适用于额定功率 100kW 及以上

## 附录 2B 船舶法定产品部件持证要求一览表

序号	产品名称	证件类型		认可模式				审图	备注
		C/E	W	DA	TA-B	TA-A	WA		
2.9	使用其他等效方法减少船上 NO <sub>x</sub> 排放的设备								
2.10	使用其他技术限制 SO <sub>x</sub> 排放的设备								
2.10.1	选择性催化还原 (SCR) 系统	X	—	—	X	O	—	X	采用尿素溶液做还原剂的系统
.1	SCR 反应装置	X	—	—	—	—	—	X <sup>1</sup>	
.2	电控系统	X	—	—	X	—	—	X	
.3	阀门	X	—	—	X	O	—	X	口径 300mm 及以上的阀门
.4	电动机(50kW 及以上)	X	—	—	X	O	—	X	
.5	电动机(50kW 以下)	—	X	—	X	O	—	X	
.6	挠性软管组件：用于 I、II 级管系或口径大于 50mm	X	—	—	X	O	—	X	
.7	挠性软管组件：除上条以外	—	X	—	X	—	—	X	
.8	塑料管	—	X	—	—	—	X	—	适用于本规范第 3 篇第 2 章附录 1 所述管材
2.10	使用其他技术限制 SO <sub>x</sub> 排放的设备								

序号 4.21、4.22、4.23 分别调整为 4.23、4.21、4.22。

## 第 4 章 建造中检验

### 第 3 节 水密舱室试验程序

表 1 的第 11.1 项，“见 4.4.3 至 4.4.6,如适用”修改为“见 4.4.3 至 4.4.6,如适用”。

## 第4节 文件资料

### 4.4.1 报告

4.4.1.3 船厂应向验船师提交本节 4.4.2.21 所述的船舶完工图纸，以确认其符合 4.4.2.1 的规定。

### 4.4.2 资料

~~4.4.2.1 船舶有关图纸、图表、说明书、计算书等完工资料应与船舶实际情况相符。~~

4.4.2.21 至少一套下列船舶建造完工图纸，应在船上和岸基管理部门予以保存：

#### (1) 主要图纸

- ①总布置图；
- ②舱容图；
- ③静水力曲线图；
- ④装载手册(如要求)。

#### (2) 船舶结构图

- ①舫剖面图；
- ②构件尺寸图；
- ③甲板结构图；
- ④外板展开图；
- ⑤横舱壁图；
- ⑥舵和舵杆图；
- ⑦货舱盖图，如适用。

#### (3) 舱底压载和货物管系图。

4.4.2.32 下列船舶完工资料 and 文件，应在船上和船东和/或岸基管理部门保存：

#### (1) 船舶技术资料

- ~~①船舶说明书、计算书和有关图表；~~
- ~~②船舶操作手册、设备使用说明书等其他指导性文件；~~
- ~~③稳性资料。~~

#### ① 稳性资料、计算书和有关图表；

#### ② 船舶说明书、船舶操作手册、设备使用说明书等其他指导性文件。

#### (2) 船舶及其设备包括装置和系统证书、船舶入级证书、检验报告和记录及其他特定证书。

4.4.2.43 通常，以建造检验完成日期作为船舶建造完成日期。船舶的其他重要日期，诸如船舶建造合同签订日期、建造开工日期、安放龙骨日期、下水日期和交船日期等，也应作记录。

4.4.2.54 某些特定用途船舶，根据船东申请，还应具有行业组织要求的证书、资料、报告和其他技术文件。

4.4.2.65 有关各方，如船舶、船东或船舶管理者等，应将上述 4.4.2.21、4.4.2.32、4.4.2.43 (如有时) 所述的文件资料、以及其后产生有关文件资料在船舶寿命周期内长期保存。

4.4.2.76 CCS 至少应在船舶保持 CCS 船级期间，保存 ~~4.4.2.1、4.4.2.21、4.4.2.32~~ (1) ①、4.4.2.2 (2) 和 4.4.2.54 所述船舶入级管理有关的船舶图纸和文件资料。

## 附录1 新建船舶的船体检验

### 2 定义<sup>①</sup>

2.1 就本附录而言，有关术语的定义如下：

- (1) 船体结构：系指包括下列部分和/或构件：

<sup>①</sup> 船体和船体检验的专门术语可参见 IACS REC.82。

①船壳，包括所有的外部 and 内部结构的；

5 船体结构的检验

5.1 表 1 列出覆盖本附录要求船体结构和涂层检验项目，包括：

(7) 与船舶建造流程有关的具体行活动清单。该清单不必详尽，能进行修改，以体现建造设施或具体船型的特点。

9 检验一致性的证据

9.1 新造船的检验记录、检验表、检查和试验记录等应予以保存，以确保为证明 CCS 验船师遵照新造船检验策划要求，并参加船厂检查和试验计划所列的有关活动提供证据。

CCS 应能提供证据（例如通过记录，检查清单，检查和试验记录等），证明其验船师已按照新造船检验计划的要求并按时参加了船厂检查和试验计划中所列的相关活动。

10 船舶建造文档

10.2 船舶建造文档应至少包括下列方面的文件船上保存的船舶建造文档除表 1 所列外还应包括但不限于如下方面的文件，以便于船舶检查(检验)、修理和维护：

船体检验项目表

表 1

序号	造船流程	船级检验要求	船级检验方式	规范和 IACS2 <sup>®</sup> 要求	法定要求与有关文件	建造中需向验船师提供的文件	船舶建造档案文件	具体活动	项目建议
	造船质量控制流程								
2	钢材预处理和装配								
2.5	关键区域（如明确）的定位/装配或焊接结构的符合性	按批准的图纸，检查定位/装配/间隙	巡检验场见证和审查	IACS Rec.47		适用的船厂标准和公认标准，以及规范、批准图纸或标准、船厂的记录	关键区域的批准布置（如适用）	验证在工作场所能获得与最新有效的批准图纸有关的资料	
								在各工作场所，验证加工程序得到遵循，以确保满意的装配和定位	
								验证装配过程中被切割的焊接接边得到重新加工	
								验证修补程序得到实施，以纠正过大装配间隙	

① 本表所列的 IACS REC.不作为强制要求，IACS UI 见《法定要求实施指南(国际航行)》。

序号	造船流程	船级检验要求	船级检验方式	规范和 IACS2 <sup>®</sup> 要求	法定要求与有关文件	建造中需向验船师提供的文件	船舶建造档案文件	具体活动	项目建议
								和定位偏差	

附件 2 满足 SOLAS 第 II-1/3-10 条(散货船和油船目标型船舶建造标准)  
要求的散货船和油船的附加要求

### 3. 船舶建造文档 (SCF)

3.2 在新船建造时应根据 3.1.1 和 3.1.2 的要求审查<sup>③</sup>SCF, 且应对其通常储存处所予以区分:

3.2.1 对船上存放的 SCF, 在船舶建造完工后, 验船师应核实相关资料已放置在船。

3.2.2 对岸上档案存放的 SCF, 在船舶建造完工后, 验船师应通过检查包含在岸上档案中的信息清单来核实这些信息已存储在岸上档案中。

③ “审查”意味着验船师在整个建造过程中对 SCF 进行了检查, 目的是证实本附件第 3 条要求的图纸资料以及船厂根据 SCF 图纸资料清单提供的可能的附加图纸资料以副本形式存储在船上和岸上档案中。

“审查”不应作为对图纸资料是否满足其适用规范/规则的评估。

## 附录 2 船舶建造与修理质量标准

### 1 新船建造及修补质量标准

#### 1.1 适用范围

1.1.3 本标准包含了典型的建造方法并对这些建造方法最重要部分的质量标准提供指导。除本标准中另有明确规定外, 以下所指工艺水平原则上将适用于常规设计的主要结构和非主要结构。然而, 对于船体的关键区域和高应力区域可提出更为严格的标准, 并均应经 CCS 同意。在评定船体结构及构件的关键性时, 可参照本节所附参考文献 1.1、1.2 和 1.3、1.11、1.15、1.16 和 1.17。

#### 1.2 新造船一般要求

1.2.3 船体结构的焊接应由有资格的焊工, 按经认可和批准的焊接工艺进行, 并使用由 CCS 认可的焊接材料, 见本节 1.3。焊接作业应在造船厂适当的监督下进行。焊接工作条件应由 CCS 按本章附录 1URZ23 (本节所附参考文献 1.12) 进行监控。

#### 1.3 焊接工艺及人员资格

##### 1.3.2 焊接工艺评定

1.3.2.1 焊接工艺应符合 UR W28 (本节所附参考文献 1.10) 或其他 CCS 接受的公认标准。

#### 1.4 材料

##### 1.4.1 结构用材料

1.4.1.1 用于结构构件的所有材料, 包括焊接材料, 应由 CCS 按批准的建造图纸认可并符合国际船级社协会(IACS)的统一要求 (见本节所附参考文献 1.4、1.5、1.6、1.7、1.8 和 1.9)。附加建议包含在以下各条文中。

##### 1.4.2 表面状态

##### 1.4.2.3 缺陷的修补

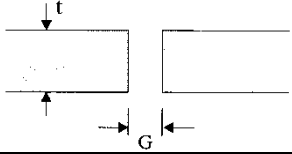
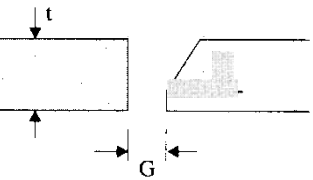
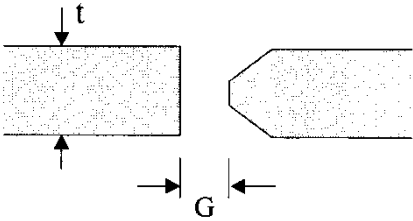
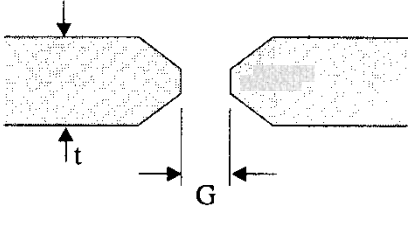
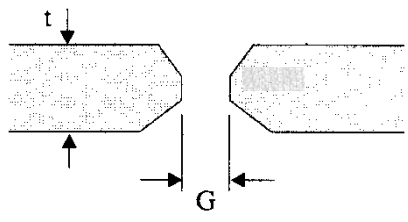
(1) 对于缺陷应根据 IACS Rec.12 (本节所附参考文献 1.13) 采用打磨和/或焊接的方法进行修补。

1.8 焊接接头细节

坡口加工应按UR W28 (本节所附参考文献1.10) 或其他经CCS接受的公认的标准进行。

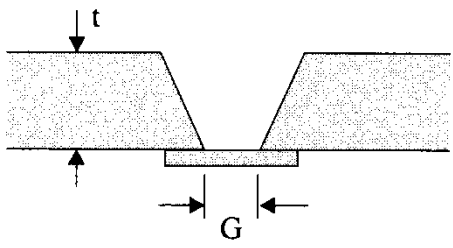
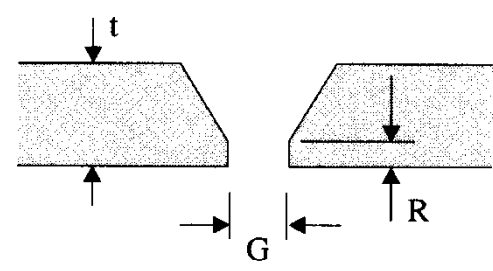
典型对接焊坡口加工(手工焊和半自动焊), 供参考

表 1.8.1

详图	标准	限定值	备注
<p>平板对接 <math>t \leq 5 \text{ mm}</math></p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
<p>单边坡口对接 <math>t &gt; 5 \text{ mm}</math></p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
<p>双边坡口对接 <math>t &gt; 19 \text{ mm}</math></p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
<p>双面 V 型坡口(对接)</p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
<p>双面 V 型坡口(不对称)</p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
<p><b>注 1:</b>                      CCS 可按 UR W28 (本节所附参考文献1.10) 或其他经 CCS 接受的公认的标准采用或认可不同的坡口型式。                      除手工焊外的焊接工艺, 见 1.3.2 焊接工艺评定。</p>			

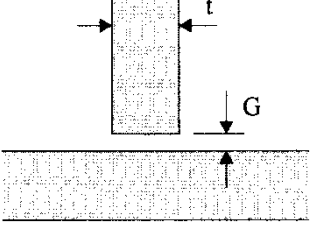
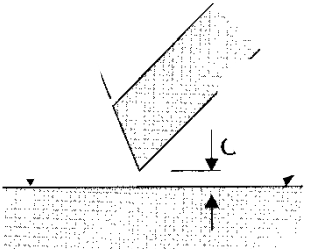
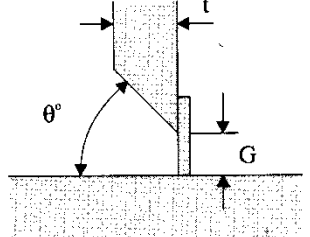
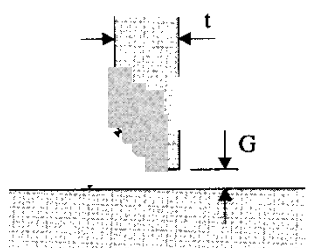
典型对接焊坡口加工(手工焊和半自动焊), 供参考

表 1.8.2

详图	标准	限定值	备注
<p>单面V型坡口, 一边焊有垫板(临时或固定)</p> 	<p><math>G = 3 \text{ 至 } 9 \text{ mm}</math></p>	<p><math>G = 16 \text{ mm}</math></p>	<p>见注 1</p>
<p>单面V型坡口</p> 	<p><math>G \leq 3 \text{ mm}</math></p>	<p><math>G = 5 \text{ mm}</math></p>	<p>见注 1</p>
<p>注 1: CCS 可按 UR W28 (本节所附参考文献 1.10) 或其他经 CCS 接受的公认的标准采用或认可不同的坡口型式。 除手工焊外的焊接工艺, 见 1.3.2 焊接工艺评定。</p>			

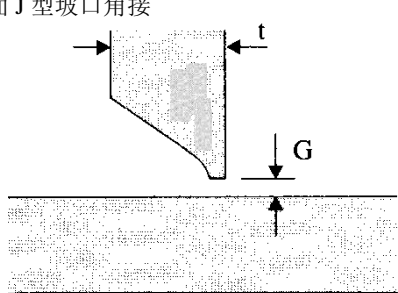
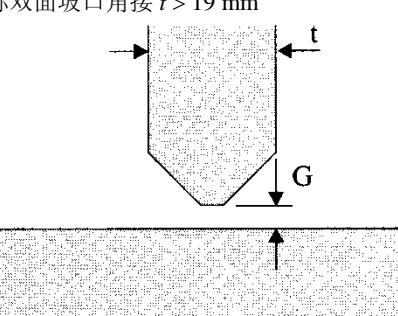
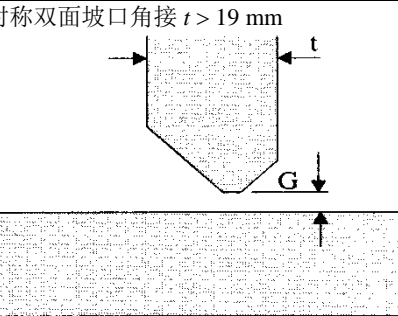
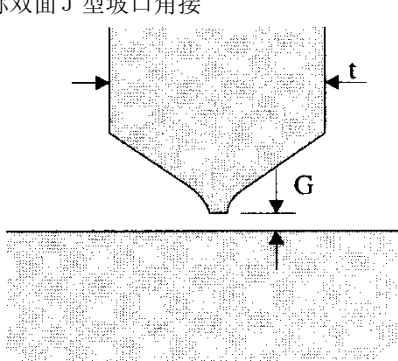
典型角接焊坡口加工(手工焊和半自动焊), 供参考

表 1.8.3

详图	标准	限定值	备注
<p>T 型角接</p> 	$G \leq 2 \text{ mm}$	$G = 3 \text{ mm}$	见注 1
<p>倾斜角接</p> 	$G \leq 2 \text{ mm}$	$G = 3 \text{ mm}$	见注 1
<p>有永久垫板的单面坡口角接</p> 	$G \leq 4 \text{ to } 6 \text{ mm}$ $\theta = 30^\circ \text{ 至 } 45^\circ$	$G = 16 \text{ mm}$	不常用于强力构件 同见注 1
<p>单边坡口 T 型角接</p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$		见注 1
<p>注 1:                      CCS 可按 UR W28 (本节所附参考文献 1.10) 或其他经 CCS 接受的公认的标准采用或认可不同的坡口型式。                      除手工焊外的焊接工艺, 见 1.3.2 焊接工艺评定。</p>			

典型角接焊坡口加工(手工焊和半自动焊), 供参考

表1.8.4

详图	标准	限定值	备注
<p>单面 J 型坡口角接</p> 	$G = 2.5 \text{ 至 } 4 \text{ mm}$		见注 1
<p>对称双面坡口角接 <math>t &gt; 19 \text{ mm}</math></p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$		见注 1
<p>不对称双面坡口角接 <math>t &gt; 19 \text{ mm}</math></p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$		见注 1
<p>对称双面 J 型坡口角接</p> 	$G = 2.5 \text{ to } 4 \text{ mm}$		见注 1
<p><b>注 1</b> CCS 可按 UR W28 (本节所附参考文献 1.10) 或其他经 CCS 接受的公认的标准采用或认可不同的坡口型式。 除手工焊外的焊接工艺, 见 1.3.2 焊接工艺评定。</p>			

典型对接焊坡口加工(自动焊), 供参考

表 1.8.6

详图	标准	限定值	备注
埋弧焊(SAW)	$0 \leq G \leq 0.8 \text{ mm}$	$G = 2 \text{ mm}$	见注 1



<p><b>注 1</b>                  CCS 可按 UR W28 (本节所附参考文献 1.10) 或其他经 CCS 接受的公认的标准采用或认可不同的坡口型式。                  除手工焊外的焊接工艺, 见 1.3.2 焊接工艺评定。</p>			

参考文献:

- 1.1 IACS Rec.No.76 “散货船船体结构检验、评估和修理指南”
- 1.2 TSCF “双壳油船结构检查和维护指南”
- 1.3 TSCF “油船结构检查和状况评估指导手册”
- 1.4 IACS UR W7 “船体和机械用锻钢件”
- 1.5 IACS UR W8 “船体和机械用铸钢件”
- 1.6 IACS UR W11 “普通强度和高强度船体结构钢”
- 1.7 IACS UR W13 “钢板与扁钢的厚度负偏差”
- 1.8 IACS UR W14 “具有改进全厚度性能的钢板和宽扁钢(“Z”向钢)”
- 1.9 IACS UR W17 “普通强度和高强度船体结构钢焊接材料的认可”
- 1.10 IACS UR W28 “船体结构和海洋结构用钢材焊接工艺认可试验”
- 1.11 IACS UR Z10.1 “油船船体检验”、和 Z10.2 “散货船船体检验”、Z10.3 “化学品船船体检验”、Z10.4 “双壳油船船体检验” 以及 Z10.5 “双壳散货船船体检验” 的附件 I

- 1.12 IACS UR Z23 “新造船舶的船体检验”
- 1.13 IACS Rec. No.12 “热轧制钢板和宽扁钢表面光洁度指南”
- 1.14 IACS Rec. No. 20 “船舶船体钢焊缝无损检测”
- 1.15 IACS Rec.No.96 “双壳油船船体结构检验、评估和修理指南”
- 1.16 IACS Rec.No.55 “普通干货船船体结构检验、评估和修理指南”
- 1.17 IACS Rec.No.84 “集装箱船船体结构检验、评估和修理指南”

## 2 现有船舶修理质量标准

### 2.1 适用范围

2.1.2 本标准包含了典型的修理方法并对这些修理方法中最重要部分的质量标准提供指导。除本标准中另有明确规定外，以下所指工艺水平原则上将适用于常规设计的主要结构和非主要结构。然而，对于船体的关键和高应力区域可提出更为严格的标准，并均应经 CCS 同意。在评定船体结构及构件的关键性时，可参照本节所附参考文献 2.1、2.2 和 2.3、2.6、2.10、2.11 和 2.12。

2.1.3 对因强度不足或具体设计不当引起的损坏而进行使结构达到原标准的整修，不可能是永久性修理。这种状况下可能需要超出原始设计的加强或改进。本标准中并不包括这样的改进，但可参照本节所附参考文献 2.1、2.2 和 2.3、2.6、2.10、2.11 和 2.12。

### 2.2 修理和修理人员的一般要求

2.2.5 如在航行中要进行影响或有可能影响船级的船体修理，应在修理前合理的时间内将整套修理程序，包括修理范围和修理顺序，提交 CCS 验船师审核同意。见本节所附参考文献 2.7。

### 2.4 材料

#### 2.4.1 材料的一般要求

2.4.1.1 对修理所使用材料的要求一般与 CCS 规范中对新造船的材料规定相同(见本节所附参考文献 2.4)。

表 2.4.2 替换如下:

**与 CCS 规范普通和高强度船体结构钢等级相比较的钢材等级指南 表 2.4.2**

CCS 规范规定的钢材等级 (见本节所附参考文献 2.4)				可比较的钢材等级 (1)						
等级	最低屈服强度 $R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉强度 $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $A_5$ min. (%)	夏比冲击 (对 t ≤ 50mm)		EN 10025:1990 (2) ISO 4950-2:1995	EN 10025 系列:2004	A131	G3106	
				试验温度 (°C)	冲击值 (J,min.)					
										纵 L
A B D E	235	400-520	22	+20 0 -20 -40	- 27 27 27	- 20 20 20	Fe 360B Fe 360C Fe 360D -	S235JR S235J0 S235J2 S275NL,S275ML	A B D E	SM400B SM400B,SM400C -
A2 7 D2 7 E27	265	400-530	22	0 -20 -40	27	20	Fe 430C Fe 430D -	S275J0 S275J2,S275N,S275M S275NL,S275ML	- - -	- - -
A3 2 D3 2 E32	315	440-570	22	0 -20 -40	31	22	- - -	- - -	AH32 DH32 EH32	SM490B,SM490C -

A3 6 D3 6 E36	355	490-630	21	0 -20 -40	34	24	Fe 510C Fe 510D,E355DD E355E	S355 J0 S355J2,S355N,S355 M S355NLS355ML	AH36 DH36 EH36	SM520B,SM520C -
A4 0 D4 0 E40	390	510-660	20	0 -20 -40	39	26	E390CC E390DD E390E	S420N,S420M S420N,S420M S420NL,S420 ML	AH40 DH40 EH40	SM570 - -

注:

(1) 按本表选择可比较钢材时, 应注意表 2.4.1 的要求和 CCS 规范有关产品尺寸的要求。按国家或国际标准, 某些钢材等级由不同厚度的屈服强度和抗拉强度特性来限定。对于规定抗拉性能低于 CCS 规范规定值的厚度, 应在设计要求方面逐案考虑。

(2) EN 10025:1990 由 EN10025 系列取代。

## 2.5 焊接的一般要求

### 2.5.1 焊接材料与船体结构钢的相关性

2.5.1.1 不同等级的船体结构钢应按 IACS UR W17(见本节所附参考文献 62.5) 选择焊接材料。

## 2.6 修理质量标准

### 2.6.1 焊接一般要求

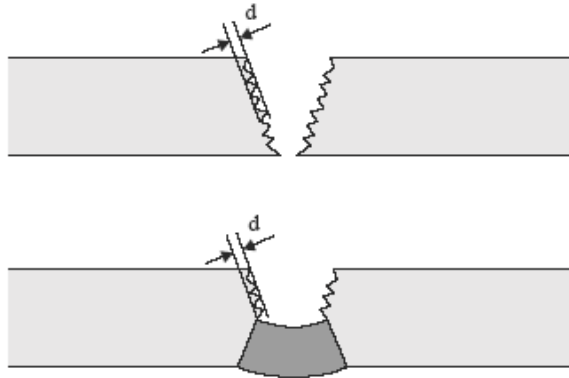


图 2.6.1 坡口粗糙度

项目	标准	限定值	备注
材料等级	等于或高于原钢板等级		见 2.4
焊接材料	IACS UR W17(本节所附参考文献 62.5)	根据等效的国际标准认可	
坡口/粗糙度	见注解和图 2.6.1	$d < 1.5 \text{ mm}$	打磨光滑
预热	见表 2.5.1	钢材温度不低于 5°C	
船体外部湿法焊接	见 2.5.3	可接受用于普通和高强钢	- 用喷灯去除水分
校直	同新造船		
焊接表面	IACS 建议案 20 (本节所附参考文献 492.9)		
无损检测	IACS 建议案 20 (本节所附参考文献 492.9)	在现场验船师同意的范围内 随机抽查	

注: 应清除铁渣、油脂、加工氧化皮、铁锈和油漆(底漆除外)。

### 2.6.2 钢板换新

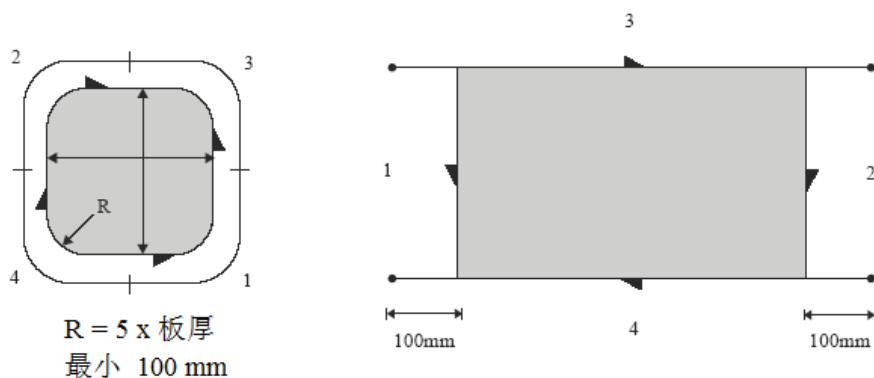


图 2.6.2 嵌入钢板的焊接顺序

项目	标准	限定值	备注
嵌入板尺寸	最小 300 × 300 mm R = 5 倍板厚 嵌入圆板 $D_{min} = 200 \text{ mm}$	最小 200 × 200 mm  最小 R = 100 mm	
材料等级	等于或高于原钢板等级		见 2.4
坡口加工	同新造船		不符合新造船要求，则增加 NDE 数量
焊接顺序	见图 2.6.2，焊接顺序为 1 → 2 → 3 → 4		主要构件焊接顺序 1 和 2 与主应力方向
组装精度	同新造船		
焊接表面	IACS 建议书 20 (参考文献 102.9)		
无损检测	IACS 建议书 20 (参考文献 102.9)		

### 2.6.3 板上加复板

局部加复板一般只允许在临时修理时采用，在主要船体结构范围内作为原有构件的开口除外。

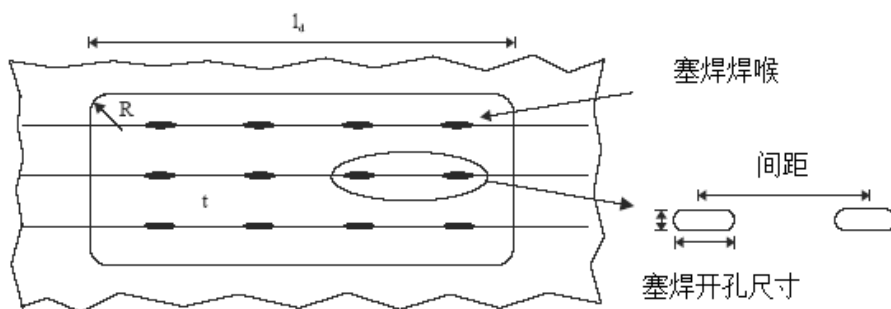


图 2.6.3 钢板上加复板

项目	标准	限定值	备注
原有船壳板		一般要求: $t \geq 5 \text{ mm}$	原板 t 小于 5 mm 的区域, 应用嵌入板方式进行永久性修理
范围/尺寸	成圆角	最小 300 × 300 mm $R \geq 50 \text{ mm}$	
复板的厚度( $t_d$ )	$t_d \leq t_p$	$t_d > t_p/3$	

项目	标准	限定值	备注
	( $t_p$ =现有板的原始厚度)		
材料等级	与原钢板等级相同		见 2.4
坡口加工	同新造船		焊在强力构件上的复板: ( $L_e$ : 焊脚长度) 当 $t > L_e + 5 \text{ mm}$ 时, 应按 1:4 坡度加工坡口
焊接	同新造船		焊接顺序与嵌入板相似
焊接尺寸(焊喉厚度)	周围孔内: $0.6 \times t_d$		
塞焊	一般开槽尺寸: (80-100) $\times$ 2 $t_d$ 复板边缘和开孔间距离: $d \leq 15 t_d$	槽孔间最大中心距 200mm $d_{\max} = 500 \text{ mm}$	跨多个支撑构件的复板, 见图 2.6.3
无损检测	IACS 建议书 20 (本节所附参考文献 402.9)		

2.6.4 内部构件/扶强材的换新

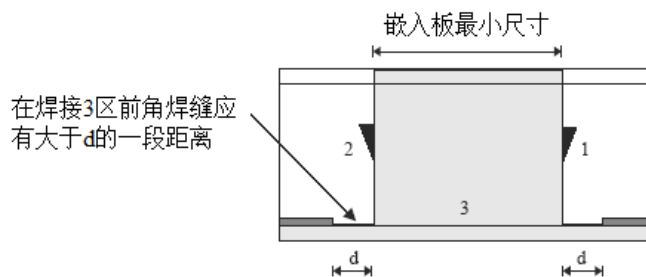


图 2.6.4 扶强材嵌入板的焊接顺序

项目	标准	限定值	备注
嵌入板尺寸	最小 300 mm	最小 200 mm	
材料等级	等于或高于原钢板等级		见 2.4
坡口加工	同新造船 扶强材角焊腹板 / 板间应脱开至少 $d = 150 \text{ mm}$		
焊接顺序	见图 2.6.4 焊接顺序为 1→2→3		
校直	同新造船		
焊接表面	IACS 建议书 20(本节所附参考文献 402.9)		
无损检测	IACS 建议书 20(本节所附参考文献 402.9)		

2.6.7 点腐蚀的焊接

注: 浅的坑点可用涂层或填料填充。深度小于原板厚 1/3 的坑点可定义为浅坑点。

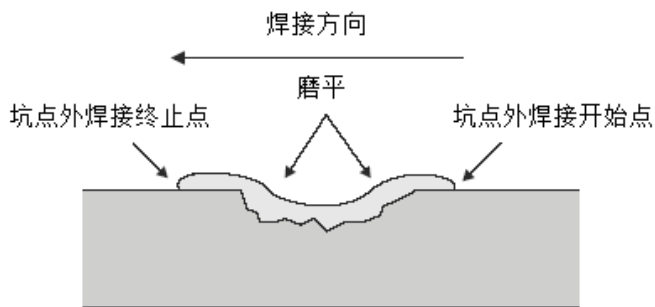


图 2.6.7 坑点的焊接

项目	标准	限定值	备注
范围/深度	坑点/沟槽应焊至与原表面齐平。	如深坑点或沟槽为密集型或所剩余厚度小于 6 mm, 衬板应换新	见 IACS 建议书 12(本节所附参考文献 92.8)
清除	清除严重腐蚀		
预热	见表 2.5.1	当环境温度低于 5℃时要求预热	始终用喷灯或类似方式烤干水分
焊接顺序	焊完每道焊缝后转换方向		见 IACS 建议书 12(本节所附参考文献 92.8)
焊接表面	IACS 建议书 20 (本节所附参考文献 402.9)		
无损检测	见 IACS 建议书 20 (本节所附参考文献 402.9)	至少 10% 范围	最好采用 MPI(磁粉检验)

参见 TSCF 指南，本节所附参考文献 2.2 和 2.3。

### 2.6.8 裂纹的焊接修理

当裂纹被认为是可以用焊接进行临时或永久修理的情况下，为尽可能保证焊接质量，应采用下列技术措施。在有自由边的情况下应采用引弧板和熄弧板。

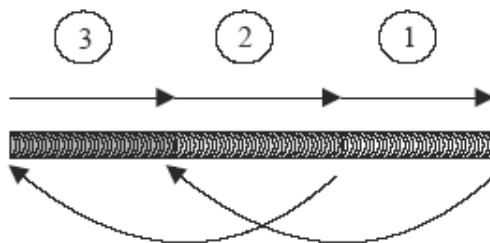


图 2.6.8. a 分段倒焊法

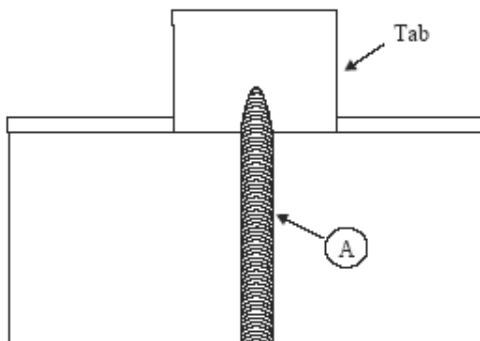


图 2.6.8. b 端部裂纹

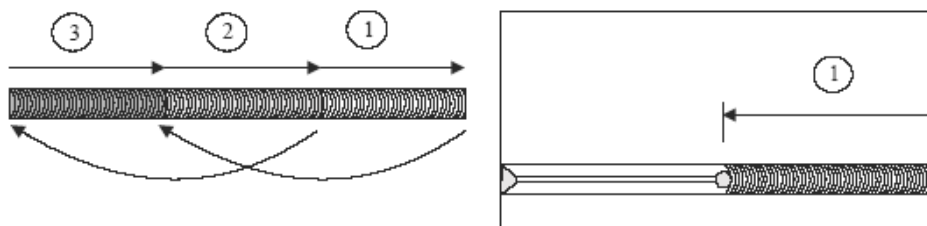


图 2.6.8.c 裂纹长度小于 300 mm 的焊接顺序

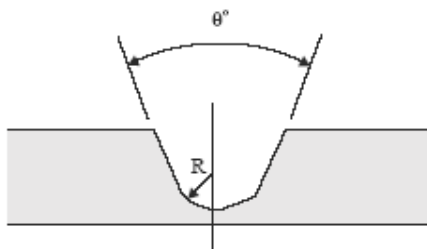


图 2.6.8.d 坡口加工 (左边为 U 型坡口, 右边为 V 型坡口)

项目	标准	限定值	备注
坡口加工	$\theta = 45\sim 60^\circ$ $r = 5\text{ mm}$		对于贯穿板厚的裂纹, 同新造船要求, 其他见图 2.6.8.d
端部	端部坡度为 1:3		裂纹末梢在坡口处时, 焊接应在引弧板处终止。见图 2.6.8.b
范围	板上裂纹最大长度为 400 mm。裂纹末端分成“V”形, 超过裂纹 50mm	板上的裂纹最大 500 mm。没有分叉的线状裂纹	
焊接顺序	见图 2.6.8.c 所示顺序和方向	对长度超过 300 mm 的裂纹应采用分段倒焊法, 见图 2.6.8.a	全部采用低氢焊接材料
焊接表面	IACS 建议案 20 (本节所附参考文献 402.9)		
无损检测	IACS 建议案 20 (本节所附参考文献 402.9)	坡口 100%MP 或 PE	对接焊 100%表面裂纹探测 +UE 或 RE

参考文献:

- 2.1 IACS Rec.No.76 “散货船-船体结构检验、评估和修理指南”
- 2.2 TSCF“双壳油船结构检查和维护保养指南”
- 2.3 TSCF“油船结构检查和状态评估指导手册”
- 2.4 IACS UR W11“普通强度和高强度船体结构钢”
- 5 IACS UR W13 “钢板与扁钢的厚度负偏差”
- 2.56 IACS UR W17“普通强度和高强度船体结构钢焊接材料的认可”
- 2.67 “油船船体检验”、和 Z10.2 “散货船船体检验”表 IV、Z10.3 “化学品船船体检验”、Z10.4 “双壳油船船体检验”以及 Z10.5 “双壳散货船船体检验”的附件 I
- 2.78 IACS UR Z13“航次维修”
- 2.89 IACS Rec. No.12 “热轧制钢板和宽扁钢表面光洁度指南”
- 2.940 IACS Rec. No.20 “船舶船体钢焊缝无损检测”
- 2.10 IACS Rec.No.96 “双壳油船船体结构检验、评估和修理指南”
- 2.11 IACS Rec.No.55 “普通干货船船体结构检验、评估和修理指南”
- 2.12 IACS Rec.No.84 “集装箱船船体结构检验、评估和修理指南”

## 第 5 章 建造后检验

### 第 1 节 一般规定

#### 5.1.6 检验前的准备

##### 5.1.6.2 接近结构的措施

(4) 对 100,000DWT 及以上散货船的货舱内的船舷侧肋骨进行近观检验时:

③尽管(4)①规定不接受使用便携式梯子,但在进行下列情况检验时,可以接受装有能够固定梯子上端的机械装置的便携式梯子:

c.在最高工作高度不超过 17m 的情况下,现场验船师可接受液压升降车或升降机(“高空车”)对舷侧肋骨上部或其他结构进行近观检验。

#### 5.1.7 船上文件管理

##### 5.1.7.4 船上文件的评审

(2) 对 GBS 船舶,在检验完成时,验船师应核实一旦船舶建造档案(SCF)中的文档发生变更,则 SCF 已更新。

①对船上保存的 SCF,验船师应检查船上信息。一旦发生包括但不限于重大修理和重大改装,或船体结构的任何修理的重大事件,验船师还应核实更新后的信息保存在船。如果船上保存的 SCF 的更新在检验时未能完成,验船师应予以记录并要求在下次定期的检验时予以核实。

②对岸上档案保存的 SCF,验船师应检查包含在岸上档案中的信息清单。一旦发生包括但不限于重大修理和重大改装,或船体结构的任何修理的重大事件,验船师还应通过检查包含在岸上档案中或保存在船的信息清单核实更新后的信息保存在岸上档案中。此外,验船师应确认与档案中心的服务合同仍然有效。如果岸上保存的 SCF 的更新在检验时未能完成,验船师应予以记录并要求在下次定期的检验时予以核实。

#### 5.1.17 验收衡准

##### (1) 通则

②对于非 CSR 船舶,验收衡准按照本章相关规定根据船龄及有关结构件按照本章附录 1 的相关规定,例如,如适用,2.4 对槽形水密横舱壁,2.7 对第 1、2 货舱之间的槽形水密横舱壁,2.5 对位置 1(按《国际载重线公约》定义)的露天甲板上所有货舱舱口盖及舱口围板、2.8 对舷侧肋骨。

### 第 4 节 船体与设备检验

#### 5.4.4 特别检验

##### 5.4.4.2 所有船舶的检验项目

(18) 对除客船外的所有船舶,具有自动关闭装置的气管头部应按表 5.4.4.2(18)的要求作全面检验(包括外部和内部)。对于设计成不能从外部对其内部进行适当检查者,则应将其头部从气管上卸下。应特别注意镀锌钢质气管头部的锌涂层的状态。

### 第 5 节 普通干货船船体与设备检验补充要求

#### 5.5.1 一般要求

##### 5.5.1.1 适用范围

(2) 对于混合货舱布置的普通干货船,例如某些货舱为单舷侧而其他的为双舷侧,则本节规定仅适用于单舷侧货舱区域的结构。

(3) 本节规定适用于货物长度区域内的货舱、隔离舱、管隧、空舱和燃油舱以及所有压载舱的船体结构和管系统检验。本节规定也可作为适用于船舶其他部分的入级要求的补充。参见本章第 4 节。



(3) (4) 本节规定包括检查、测厚和液舱试验的最小范围。当发现显著腐蚀和/或结构缺陷时，应扩大检验范围，如需要应包括附加近观检验。

### 5.5.1.2 测厚验收衡准

(1) 测厚验收衡准根据船龄及有关结构件按照本章附录 1 的相关规定，例如 2.4<sup>①</sup>对槽形横舱壁，2.6<sup>②</sup>对露天甲板上所有货舱舱口盖及舱口围板。

## 第 8 节 化学品船的船体与设备检验补充要求

### 5.8.1 一般要求

5.8.1.1 本节规定适用于所有整体液舱的机动化学品船，也就是具有 IMO 装运散装危险化学品适装证书的船舶。如化学品船采用整体和独立两种液舱建造，则本节要求仅适用于包含整体液舱的货物长度部分。船体内具有独立液舱的气体/化学品兼用运输船，应按气体运输船进行检验。

### 5.8.2 年度检验

#### 5.8.2.5 压载舱检查

(1) 当特别检验(见 5.8.4)和中间检验(5.8.3.2)结果有要求时，压载舱应予检查。验船师认为必要，或存在普遍腐蚀时应予测厚。如测厚结果显示显著腐蚀，则按表 5.8.4.5(1)及表 5.6.4.5(2)①b~d 表 5.8.4.4(2)的规定扩大测厚范围。扩大的测厚应在检验完成前进行。以前检验确定的可疑区域应进行检查。以前检验确定的显著腐蚀区域应进行测厚。

### 5.8.4 特别检验

#### 5.8.4.3 全面检验和近观检验的范围

(4) 对于检查发现液舱内硬保护层处于“良好”状态，则表 5.8.4.4(1) 5.8.4.3(2)规定的近观检验要求可予以特别考虑。

## 第 9 节 机械检验

### 5.9.4 特别检验

5.9.4.10 如CCS认为5.9.4.9所述的重大修理影响到推进系统的响应特性时，则海上试验范围还应包括倒车响应特性的试验大纲，该大纲应基于设备或系统安装在新船上时的要求。参见本规范第3篇第1章1.2.4的倒车试验要求。

试验应证实至少在推进装置正车与倒车操作范围内的实际服务工况下，设备或系统的运行令人满意。

根据实际的维修程度，CCS可接受试验大纲的缩减。

## 第 12 节 螺旋桨轴与尾管轴检验

### 5.12.1 一般规定

5.12.1.2 本节适用术语定义如下，见图 5.12.1.2:

(17) 有键连接：系指一种轴和螺旋桨之间采用键和键槽，通过螺旋桨毂在轴锥形端上的过盈配合，达到强迫耦合方法；

(18) 法兰连接：系指一种耦合方法，即：通过螺栓连接螺旋桨毂与位于轴后端的法兰，以连接轴与螺旋桨的方法在轴和螺旋桨之间，通过用螺栓固定在轴后端桨毂上的法兰实现；

### 5.12.2 油润滑轴或闭式循环系统淡水润滑轴（闭式系统）

<sup>①</sup> 如适用，本规范 2006 版或之后的版本或勘误。

<sup>②</sup> 对 2016 年 7 月 1 日或之后签订建造合同的船舶，参见本规范 2016 修改通报第 2 篇第 2 章第 20 节 2.20.2.10 的规定。

5.12.2.4 闭式循环系统淡水润滑轴

(2) 检验展期

根据方法 1 所进行的两次检验之间的最长间隔应不超过 15 年。除非再允许一次不超过 3 个月的展期。

5.12.3 水润滑轴（开式系统）

5.12.3.2 轴展期检验—检验类型

(1) 展期至 1 年

④ 验证内外轴封的有效性。

5.12.3.4 检验间隔表（开式系统）

检验间隔（开式系统）			
- 只在淡水中工作的单轴。 - 设有适当防腐装置的单轴，耐腐蚀单轴。 - 所有种类的多轴布置。		其他轴布置	
所有类型的螺旋桨连接 <sup>d</sup>		所有类型的螺旋桨连接 <sup>d</sup>	
每 5 年 <sup>a</sup>	方法 4	每 3 年 <sup>a</sup>	方法 4
展期 1 年	是 <sup>b</sup>	展期 1 年	是 <sup>b</sup>
展期 3 个月	是 <sup>c</sup>	展期 3 个月	是 <sup>c</sup>
<p><b>通用注释：</b> 对于轴检验到期日前 3 个月<b>内</b>完成的检验（方法 4），下个周期将从轴检验到期日开始。展期检验应通常在轴检验到期日 1 个月内进行，并且展期从轴检验到期日开始计算。如果展期检验在轴检验到期日前超过 1 个月进行，展期从展期检验完成日开始计算。</p> <p><b>注释：</b> a: 除非在此期间申请展期类型（展期 1 年、展期 3 个月）。 b: 最多允许一次展期。不允许其他类型的进一步展期。 c: 最多允许一次展期。如请求额外展期，应实行一年展期的要求，并且上次展期之前的轴检验到期日延长最多 1 年。 d: 对于螺旋桨采用无键连接，两次连续抽轴和通过无损检测（NDE）的方式验证轴锥之间的最长间隔应不超过 15 年。</p>			

### 第 13 节 锅炉检验

5.13.1 一般要求

5.13.1.1 本节适用于船舶主锅炉、重要用途辅助锅炉、过热器、蒸汽加热蒸汽发生器、经济器、热油和热水加热器和工作压力超过 0.35MPa 且受热面积超过 4.5m<sup>2</sup> 的非重要用途锅炉，以及蒸汽管的检验。

5.13.2 检验间隔期

5.13.2.2 重要用途辅助锅炉、过热器、热油加热器，以及工作压力超过 0.35MPa 且受热面积超过 4.5m<sup>2</sup> 的非重要用途锅炉，应在每 5 年船舶的特别检验期内至少进行 2 次内部检查。两次检验间隔期最大不超过 36 个月。

### 第 14 节 不在 CCS 检验下建造船舶的初次入级检验

5.14.2 建造中的船舶初次入级检验

5.14.2.3 有关双船级或双重船级船舶的要求：

(1) 如作为双船级，检验范围参照 5.14.2.1 或 5.14.2.2 的要求。

(2) 如作为双重船级，检验范围应按照两家船级社的书面协议进行。但如船舶在下水前申请双重船级，则检验范围应参照 5.14.2.1 或 5.14.2.2 的要求。

### 5.14.3 建造后船舶初次入级检验

#### 5.14.3.1 CCS 接受的船级社检验的船舶初次入级检验：

① 申请船舶初次入级检验时，船东应至少将下列图纸资料、计算书和其他技术文件至少 1 份送 CCS 核查，作为 CCS 签发长期入级证书的先决条件。

c. 轮机部分图

(g) 电缆布置图电力系统图；

## 第 16 节 液化气体船的船体与设备检验补充要求

### 5.16.3 中间检验

#### 5.16.3.2 压载舱检验应：

(6) 中间检验近观检验的最低要求见表 5.16.3.2(6)。

液化气体船中间检验近观检验的最低要求

表 5.16.3.2(6)

10 年<船龄≤15 年	船龄>15 年
所有强肋骨和 1 个代表性压载舱的前后横舱壁(1)和(2) 1 个代表性压载舱内的所有强肋骨和前后横舱壁(1)和(2)	所有强肋骨和 2 个代表性压载舱的前后横舱壁(1)和(2) 2 个代表性压载舱内的所有强肋骨和前后横舱壁(1)和(2)
另 1 个代表性压载舱的 1 个强肋骨上部	
另 1 个代表性压载舱的 1 个横舱壁(2)	
(1) 完整的横向强肋骨，包括邻近构件； (2) 完整横舱壁，包括桁材系统和邻近构件，和邻近的纵舱壁结构； 注 1：压载舱包括顶边舱、双壳边舱、双层底舱、底边舱，或其组合舱室、和尖舱(如设有)； 2：对于舱内保护涂层处于“良好”状态的区域，近观检验范围可以予以特别考虑； 3：对具有 C 型独立液货舱，具有与普通干货船类似的中剖面结构的船舶，近观检验范围可以予以特别考虑； 4：验船师考虑被检验的舱的维护、防腐蚀保护系统状况，以及如下情况，认为必要近观检验范围可以予以扩大： ① 特别时，根据有关资料，与曾经存在缺陷的舱，或船舶具有类似的结构布置的舱； ② 具有批准的减少构件尺寸的结构舱。	

## 第 17 节 滚装船检验补充要求

### 5.17.4 特别检验

5.17.4.2 门的检查应辅以厚度测量和试验以确定其结构及水密风雨密完整性保持有效并满足相关要求。检查的目的应能足以发现可能显现的腐蚀、较大变形、裂纹、损坏或其他结构上的缺陷。

## 第 18 节 牲畜运输船检验补充要求

### 5.18.1 一般要求

5.18.1.1 除 5.4.2.2 适用的检验项目外，牲畜运输船还应满足本节相关规定。

### 5.18.2 年度检验

5.18.2.1 确认牲畜运输船的船体结构、牲畜围栏和通道以及对牲畜的布置和保护自上次检验以来，未进行未经批准的更改；确认围栏区逃生路线上的通道与出口畅通无障碍；确认每个牲畜处所内的两条逃生通道之间未被围栏或其它障碍物隔开；

5.18.2.2 核查批准的稳性资料中包括牲畜运输船稳性特殊要求；

5.18.2.3 确认牲畜处所通风管路完好，风机运行包括其不同位置的风机起动器、故障指示和报警器正常。如仅设1台风机，应确认备件的完整性；

5.18.2.4 确认牲畜处所的饲料和饮水供给、淡水供应系统、水清洗系统以及污水的泄放和排放系统均处于良好状态。对饲料舱以及至少两个牲畜处所淡水舱进行内部检查；

5.18.2.5 确认布置在围栏区的所有消防栓及消防水带接头直径相同；

5.18.2.6 核查主、次电源转换说明，确认主、次电源的转换功能；

5.18.2.7 目视检查牲畜处所灯具的防护格栅。

### 5.18.3 特别检验

5.18.3.1 特别检验除按 5.18.2 的年度检验要求以外，还应包括足够范围的检查、试验和核查，以确定船体、设备及有关管系处于良好状态。

5.18.3.2 所有淡水泵、污水泵及其系统部件应打开进行检查。

5.18.3.3 饲料系统、淡水供应系统、水清洗系统以及污水的泄放和排放系统的效用试验。

5.18.3.4 牲畜处所风机的电动机连同它的控制和操作机构应进行检验，必要时，在工作状态下进行运转试验。

5.18.3.5 牲畜处所风机启动器连锁装置应进行试验。

## 附录 2 油船船体梁总纵强度衡准

### 2 总纵强度的评估

#### 2.2 船体梁横剖面模数的要求

2.2.1 船体梁横剖面的实际剖面模数，应根据上述 2.1.2(2)进行计算，以满足下列任一规定(如适用时)：

(1) 对于 2002 年 7 月 1 日或之后建造的船舶，根据上述 2.1.2(2)计算的船体梁横剖面的实际剖面模数( $Z_{act}$ )不得小于 CCS<sup>①</sup>确定的最小极限值；

## 附录 8 服务供应商认可程序要求

### 附件 1 不同类别的服务供应商的特别要求

5 从事气胀式救生筏、充气式救生衣、静水压力释放装置、充气式救生艇和海上撤离系统服务的公司

5.5 参考文件—服务供应商应能获取下述文件：

—~~IMO A.716(18)决议~~—~~IMO A.761(18)决议~~—关于气胀式救生筏检修站认可条件的建议案—(1993 年 11 月 4 日通过)经 MSC.55(66)决议的修订；

#### 15. 从事营运中具有薄膜货物围护系统的气体运输船的主次屏壁密性测试的公司

##### 15.4 对于从事热成像试验的公司的要求

15.4.3 监督员—负责监督的人员应经公认的国家或国际行业标准(如 II 级，经修订的 ISO-9712 或经修订的 SNT-TC-1A)及附加的红外线/热测试方面的认证。供方认证不被许可，且必须通过独立认证机构的认证。~~SNT-TC-1A 认证人员应提供证据证明 II 级或以上的培训系由经 ASNT 集中认证的独立培训机构或类似的国家认可的认证机构予以管理。~~

15.4.4 操作员—负责成像操作的人员应经公认的国家或国际行业标准(如 II 级，经修订的 ISO-9712

<sup>①</sup> 根据本附录 2.2.1(1)计算的油船船体梁的实际横剖面模数不应小于 IACS 统一要求 S7(本计算中采用  $C = 1.0 c_n$ )或 S11 中规定新船剖面模数的 90%，取较大者。(按照 CCS 钢规第 2 篇第 2 章第 2 节 2.2.5.1 款计算船中最小剖面模数  $W_e$ —以及按第 2.2.5.5 款计算船体梁剖面模数  $W_e$ ，取大者，即为该船建造时剖面模数的要求值。)

或经修订的 SNT-TC-1A) 及附加的红外线/热测试方面的认证, 并具有适当的船舶结构的专业知识以能确定每一识别图像的位置, 以及围护系统的专业知识以能了解试验的基础。~~供方认证不被许可, 且必须通过独立认证机构的认证。~~SNT-TC-1A 认证人员应提供证据证明 I 级或以上的培训已由 ASNT 集中认证的独立培训机构或类似的国家认可的认证机构予以管理。

15.4.6 热成像的评估—必须由监督员或经公认的国家或国际行业标准(如 II 级, 经修订的 ISO-9712 或经修订的 SNT-TC-1A) 的及附加的红外线/热测试方面的认证。~~供方认证不被许可, 且必须通过独立认证机构的认证。~~SNT-TC-1A 认证人员应提供证据证明 II 级或以上的培训已由 ASNT 集中认证的独立培训机构或类似的国家认可的认证机构予以管理。

## 附录 16 船舶机械计划保养系统(PMS)指南

### 1 一般规定

#### 1.4 定义

1.4.2 计划保养系统(Planned maintenance ~~system~~ scheme, 简称 PMS): 系指船舶机械(包括电气设备), 根据规范的有关要求和设备制造厂说明书的规定, 由船东或船舶管理公司制订一套详细的周期维修保养计划, 通过该计划在船上的贯彻和实施, 使船舶机械始终保持在良好的技术状态。对这种船舶机械采用周期性维修保养的计划管理, 称为计划保养系统。



中国船级社

# 钢质海船入级规范

2018 年修改通报

第 2 篇 船体

# 目 录

第 1 章 通 则.....	1
第 3 节 材 料.....	1
第 4 节 船体结构的焊缝设计.....	1
第 5 节 结构强度直接计算.....	2
第 7 节 船首甲板装置.....	3
第 8 节 (空缺).....	3
第 2 章 船 体 结 构.....	4
第 2 节 总纵强度.....	4
第 3 节 外板.....	5
第 5 节 单层底.....	5
第 6 节 双 层 底.....	6
第 15 节 船端加强.....	6
第 17 节 上层建筑和甲板室.....	7
第 25 节 承载有木质支撑钢卷的内底.....	7
附录 2 IACS UR L5 用于船上稳性计算的船上计算机软件.....	11
第 3 章 舾 装.....	18
第 1 节 舵.....	18
第 2 节 锚泊及系泊设备.....	22
第 6 节 常规船舶上与拖带和系泊相关的船用配件与船体支撑结构.....	27
第 7 节 甲板设备支撑结构.....	32
第 5 章 双 壳 油 船.....	35
第 4 节 双层底结构.....	35
第 7 章 集 装 箱 船.....	36
第 1 节 一般规定.....	36
第 2 节 总纵强度.....	36
第 4 节 外板.....	36
第 8 节 船首舷侧结构加强.....	36
第 9 节 大型集装箱船船长大于 250m 的集装箱船的补充要求.....	37
第 10 节 大开口船舶弯扭组合的总纵强度.....	37
附录 2 集装箱船结构强度直接计算.....	39
第 8 章 散 货 船.....	65
第 5 节 底 边 舱.....	65
第 9 章 滚装船、客船、客滚船与渡船.....	66
第 1 节 一 般 规 定.....	66
第 4 节 首门和内门.....	66
第 7 节 直 接 计 算.....	67
第 10 章 拖 船.....	69
第 1 节 一 般 规 定.....	69
第 1 节 一 般 规 定.....	70
第 4 节 船体骨架.....	70
第 12 章 驳 船.....	71
第 1 节 一 般 规 定.....	71

附录 箱形驳船横向强度校核方法.....	71
第 13 章 起重船.....	72
第 1 节 一般规定.....	72
第 8 节 强力甲板骨架.....	72
第 1 节 一般规定.....	73
第 8 节 泥    舱.....	73
第 15 章 半潜船.....	74
第 2 节 结构强度.....	74
第 18 章 双体船.....	75
第 1 节 一般规定.....	75
第 2 节 结构强度.....	75
第 3 节 总 载 荷.....	75
附录 1 双体船结构强度直接计算.....	78
第 19 章 沙船.....	82
第 2 节 泥沙舱区域结构的特殊要求.....	82
第 20 章 薄膜型液化天然气运输船.....	83
第 1 节 一般规定.....	83
第 2 节 船体梁总纵强度和极限强度.....	86
第 3 节 外板.....	87
第 4 节 甲板.....	89
第 5 节 甲板结构.....	90
第 6 节 双壳结构.....	94
第 7 节 双层底结构.....	96
第 8 节 平面横舱壁结构.....	97
第 9 节 结构细节.....	99
附录 1 液货舱段区域船体结构直接计算.....	101
附录 2 晃动载荷作用下的船体及泵塔结构强度评估.....	120
附录 3 温度场及热应力计算.....	153
附录 4 整船结构强度直接计算.....	160



# 第 1 章 通 则

## 第 3 节 材 料

1.3.1.7 船体结构钢的材料系数  $K$  见表 1.3.1.7。

材料系数  $K$

表 1.3.1.7

屈服强度 $R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	材料系数 $K$	屈服强度 $R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	材料系数 $K$
235	1.0	390	0.68 (0.66 <sup>[1]</sup> )
315	0.78	460	0.62 <sup>[1][2]</sup>
355	0.72		

注[1]: 仅适用于集装箱船的上甲板板、舱口围板及其顶板且厚度  $t$  在 50mm <  $t$  < 100mm 范围内的钢板。

注:

[1]仅适用于满足本篇第 7 章第 1 节 7.1.1.4 要求的集装箱船的强力甲板和舱口围板;

[2]仅适用于集装箱船的上甲板板、舱口围板及其顶板且厚度  $t$  在 50mm <  $t$  < 100mm 范围内的钢板。

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

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

## 第 4 节 船体结构的焊缝设计

焊接系数

表 1.4.4.2

14 舾装设备及其他附件		
(1) 人孔盖围槛对甲板、内底板和舱壁板	0.34	
(2) 外板或风雨密围壁上的门框结构	0.34	
(3) 水密门上的加强筋	0.21	
(4) 通风筒、空气管等的围板对甲板	0.34	《1966年国际载重线公约》载重线勘划规定的位置 1 和位置 2
对其他部位处	0.21	
(5) 通风筒等附件	0.21	
(6) 流水孔及排水口对甲板	0.44	
(7) 桅、起重柱和起重机基座等对甲板	0.44	见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇 5.2.7
(8) 甲板机械的基座对甲板	0.21	特殊设备由设计决定
(9) 带缆桩等系泊设备底座对甲板	0.21	可要求加强焊或完全焊透
(10) 舷墙支撑肘板对甲板	0.21	
(11) 舷墙和栏杆的支柱等对甲板	0.34	
(12) 舭龙骨座板垫板对外板	0.34	
(13) 舭龙骨对座板垫板	0.21	

### 1.4.4.13 部分熔透或全熔透焊接

部分熔透或全熔透焊接运用于高应力区域或认为危险的区域(如:易产生疲劳裂纹的区域)。

全熔透焊接时, 无钝边要求。

部分熔透焊接时, 其钝边要求参照《材料与焊接规范》第 3 篇第 5 章 5.2.5.1 要求。

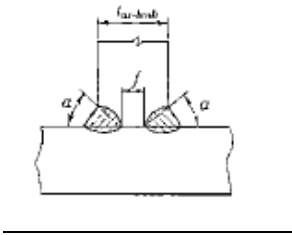
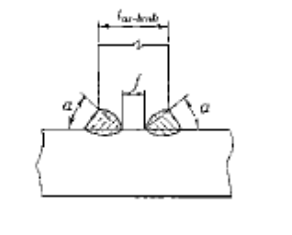
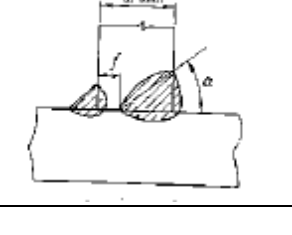
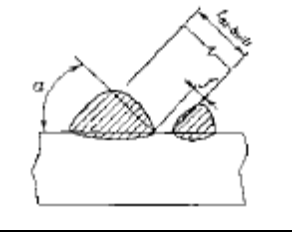
确保焊道渗透至坡口根部的坡口角度  $\alpha$ , 通常在 40° 到 60° 之间。

全熔透/部分熔透的焊道应覆盖坡口根部。

焊喉有效长度应为坡口两端的焊喉高度之和。

部分熔透或全熔透焊接

表 1.4.4.13

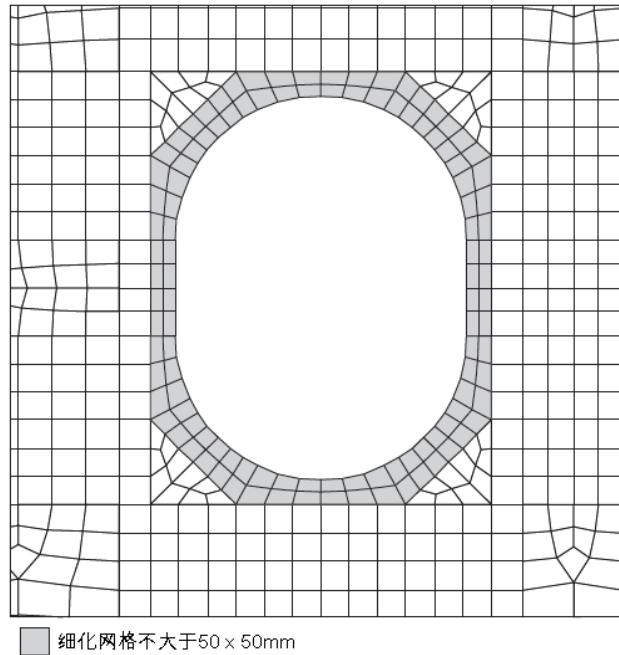
序号	焊缝名称	型式	备注
1	全熔透焊		为双面连续角焊缝的一种，用于高拉应力区域或认为危险的区域 $t_{as-built}$ ——焊件的建造厚度 $f$ ——钝边宽度为 0 $\alpha$ ——坡口角度
2	双面对称坡口部分熔透焊		为双面连续角焊缝的一种，用于高拉应力区域或认为危险的区域 $t_{as-built}$ ——焊件的建造厚度 $f$ ——钝边宽度 $\alpha$ ——坡口角度
3	双面非对称坡口部分熔透焊		为双面连续角焊缝的一种，用于高拉应力区域或认为危险的区域 $t_{as-built}$ ——焊件的建造厚度 $f$ ——钝边宽度 $\alpha$ ——坡口角度
4	双面非对称坡口部分熔透焊		为双面连续角焊缝的一种，用于高拉应力区域或认为危险的区域 $t_{as-built}$ ——焊件的建造厚度 $f$ ——钝边宽度 $\alpha$ ——坡口角度

### 第 5 节 结构强度直接计算

1.5.1.7 航区系数  $f_r=1$ 。应按下述要求确定：—

- $f_r=1.0$ ，无限航区；—
- $f_r=0.9$ ，1 类航区；—
- $f_r=0.85$ ，2 类航区；—
- $f_r=0.8$ ，3 类航区。—

图 1.5.6.6 (3) 替换为：



## 第 7 节 船首甲板装置

### 1.7.2 船首露天甲板小舱口的强度与锁紧

#### 1.7.2.9 主锁紧装置的要求应满足如下要求：

(1) 舱口盖上应配置具有弹性的填料。金属对金属接触点应根据图 1.7.2.4 对准每一个锁紧装置，并具有足够的承载能力。应设计成在设计压紧工况下允许金属与金属接触，以防止上浪载荷对填料造成过度压缩，并可能进一步导致锁紧装置松开或脱开。

(2) 主锁紧装置应在设计压力下能被一个人在不使用任何工具时打开。

(3) 主锁紧装置使用翼型螺母时，压板的设计应加强。压板自由端表面应向上翘曲或采用自由端表面升高及类似方法。压板的厚度应不小于 16mm，如图 1.7.2.9(3)所示。

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

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

第 8 节整节替换如下：

## 第 8 节 (空缺)

## 第2章 船体结构

### 第2节 总纵强度

~~2.2.8.10 对在2类航区和3类航区航行的船舶,可不配备装载仪。~~

2.2.8.10~~11~~ 装载手册的批准条件:

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

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

(3) 装载手册应采用使用者能够理解的语言编制,如这种语言不是英文,则手册中应备有英文译本。

2.2.8.11~~12~~ 装载仪的批准条件:

(1) 装载仪应包括以下内容并经认可:

①型式认可的确认,如有时;

②确认船舶的完工数据已被采用;

③确认读出点的数目和位置;

④确认所有读出点的有关许用值;

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

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

(3) 操作手册和装载仪的输出结果应采用使用者能够理解的语言编制,如这种语言不是英文,则应备有英文译本;

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

2.2.9.1 波浪载荷直接计算应基于以下假定:

(1) 计算软件应基于三维线性或非线性波浪理论,并得到船级社的认可;

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

(3) 所取的波浪频率数、浪向角和计算航速要求见本篇第1章第5节 1.14.7.2;

(4) 计算采用的波浪谱及能量扩散函数,见本篇第1章第5节 1.14.7.3;

(5) 取  $10^{-8}$  概率水平的长期预报结果作为计算结果。

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

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

$$M_w (+) = M f_{nl-h} M_{w,cal} \quad \text{kN m}$$

$$M_w (-) = -M f_{nl-s} M_{w,cal} \quad \text{kN m}$$

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

$M$ ——弯矩沿船长的分布系数,见本篇第2章图 2.2.3.1;

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

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

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

$C_b$ ——方形系数,但计算取值不应小于 0.6。

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

$$F_w (+) = F_{nl,1} F_{wv,max} \quad \text{kN}$$

$$F_w (-) = -F_{nl,2} F_{wv,max} \quad \text{kN}$$

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

$F_{wv,max}$  应按下式计算:

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

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

### 第 3 节 外板

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

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

式中： $L$  ——船长，m，计算时取值不必大于 300m；  
 $s$  ——肋骨或纵骨间距，m，计算时取值应不小于  $s_b$  0.7；  
 ~~$s_b$  ——肋骨或纵骨的标准间距，m；~~  
 $K$  ——材料系数。

### 第 5 节 单层底

图 2.5.2.3 修改为：

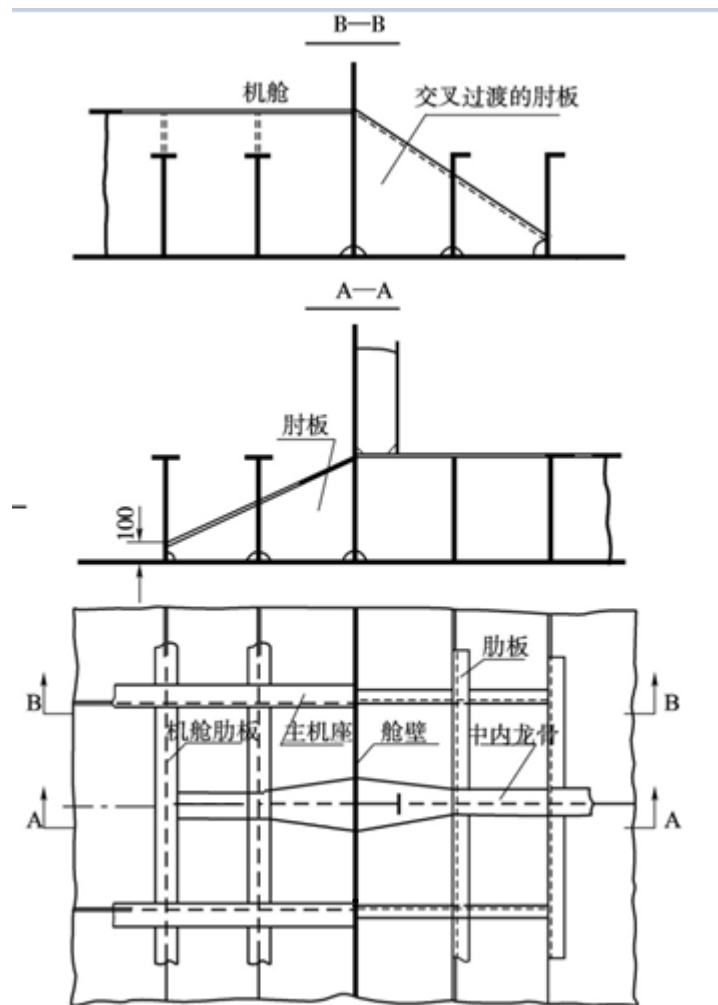


图 2.5.2.3

## 第6节 双层底

2.6.10.2 对船宽大于 12m 但不大于 20m 的船舶,中桁材两侧至少应各设 1 道旁桁材。对船宽大于 20m 的船舶,中桁材两侧至少应各设 2 道旁桁材,桁材之间的间距一般不大于 5m。距首垂线 0.2L 以前区域,旁桁材间距应不大于 4 个纵骨间距。旁桁材应尽可能均匀设置。

旁桁材和水密旁桁材的厚度应符合本节 2.6.4.1 的要求。如双层底与边液舱或深隔离舱内部相通时,水密旁桁材厚度还应符合深舱要求。

旁桁材和水密旁桁材一般均应设置垂直加强筋。旁桁材垂直加强筋间距不大于 1.5m,厚度与旁桁材腹板厚度相同,一般宽度一般为旁桁材腹板高度的 1/10。水密旁桁材的垂直加强筋间距不大于 0.9m,厚度与水密旁桁材腹板厚度相同,一般宽度一般为水密旁桁材腹板高度的 1/10,剖面模数  $W$  应符合 2.6.6.2 的要求。

当旁桁材和水密旁桁材设置水平加筋时,加筋厚度一般与桁材腹板厚度相同,宽度一般为旁桁材腹板高度的 1/10;水密旁桁材上的水平加筋,其剖面模数  $W$  还应符合 2.6.6.2 的要求。

## 第15节 船端加强

### 2.15.1 首尖舱内的加强

2.15.1.16 对纵骨架式船底结构,应特殊考虑。

### 2.15.3 船首底部的加强

2.15.3.3 在加强范围内,对纵骨架式双层底骨架应作下列加强:

- (1) 应在每隔 1 档肋位处设置实肋板,且间距一般不超过 2.5m。
- (2) 船底纵骨剖面模数应比按本章 2.6.12.2 的计算值大 10%,且代入公式中的  $l$  值应不小于 1.85m。
- (3) 一般应设置间距不大于 3 倍纵骨间距的旁桁材,并应将其尽量向船首延伸。

## 第 17 节 上层建筑和甲板室

2.17.4.1 上层建筑舷侧骨架应符合下列要求:

- (1) 上层建筑舷侧为横骨架式时,应符合本章第 7 节的有关要求。
- (2) 上层建筑舷侧为纵骨架式且位于尾垂线向船首 0.3L 区域内,纵骨剖面模数应不小于:

$$W = 6.5sl^2(0.6 + 0.167D_1)K \quad \text{cm}^3$$

式中:  $s$ ——纵骨间距, m;

$l$ ——纵骨跨距, m, 取不小于 1.5m;

$D_1 = d + H_b$  且不大于 20m, 其中,

$H_b$ ——根据《1966 年国际载重线公约》附则 I 第 39 条定义的最小船首高度, m;

$H_b$ ——勘划载重线所要求的最小船首高度, m;

$d$ ——吃水, m;

$K$ ——材料系数。

支持舷侧纵骨的强肋骨剖面模数应不小于:

$$W = 8.8Sl^2(0.6 + 0.167D_1)K \quad \text{cm}^3$$

式中:  $D_1$ 、 $K$  同上式;

$S$ ——强肋骨间距, m;

$l$ ——强肋骨跨距, m。

- (3) 上层建筑舷侧为纵骨架式且位于尾垂线向船首 0.3L 区域外,纵骨剖面模数应不小于:

$$W = 7.5sl^2(0.6 + 0.167D_2)K \quad \text{cm}^3$$

式中:  $s$ ——纵骨间距, m;

$l$ ——纵骨跨距, m, 取不小于 1.5m;

$D_2 = d + H_b$ , m。其中,

$H_b$ ——根据《1966 年国际载重线公约》附则 I 第 39 条定义的最小船首高度, m;

$H_b$ ——勘划载重线所要求的最小船首高度, m;

$d$ ——吃水, m;

$K$ ——材料系数。

支持舷侧纵骨的强肋骨剖面模数应不小于:

$$W = 10Sl^2(0.6 + 0.167D_2)K \quad \text{cm}^3$$

式中:  $D_2$ 、 $K$  同上式;

$S$ ——强肋骨间距, m;

$l$ ——强肋骨跨距, m。

如果该上层建筑位于船中 0.4L 区域内并参与总纵强度时,还需要满足本章第 2 节 2.2.7 的相关要求。

## 第 25 节 承载有木质支撑钢卷的内底

2.25.3.1 纵骨架式内底板的板材厚度应不小于按下式求得的大值:

$$t = K_1 \sqrt{\frac{(g + 0.5a_v) F_{sc}}{\lambda_p R_{eH}}} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：  $K_1$  ——系数，取为：

$$K_1 = \sqrt{\frac{1.7slK_2 - 0.73s^2K_2^2 - (l-l')^2}{2l(2s + 2lK_2)}}$$

$a_v$  ——垂向加速度，  $m/s^2$ ，应根据本篇第1章第5节 1.5.2 定义的公式计算；

$g$  ——重力加速度，  $g = 9.81 m/s^2$ ；

$F_{sc}$  ——力， kg，取为：

$$F_{sc} = K_s \frac{W_{sc} n_1 n_2}{n_3}, \quad \text{对于 } n_2 \leq 10 \text{ 且 } n_3 \leq 5$$

$$F_{sc} = K_s n_1 W_{sc} \frac{l}{l_s}, \quad \text{对于 } n_2 > 10 \text{ 或 } n_3 > 5$$

$\lambda_p$  ——系数，一般取 0.8，当计算构件对船体梁强度不起作用时取 0.9；

$l$  ——沿弦长量取的基本板格的长边长度， m；

$s$  ——沿  $l$  跨距中点处弦长量取的基本板格的短边长度， m；

$K_s$  ——系数，取为：

$K_s = 1.4$ ，当钢卷排成一层，以一个钢卷锁紧时

$K_s = 1.0$ ，在其他情况下

$W_{sc}$  ——单个钢卷的质量， kg；

$R_{eH}$  ——材料屈服强度，  $N/mm^2$ ；

$n_1$  ——钢卷的层数；

$n_2$  ——内底每一基本板格的载荷点数量（见图 2.25.3.1(1)和图 2.25.3.2(2)）。当  $n_3 \leq 5$  时，  $n_2$  可根据  $n_3$  和  $l/l_s$  值的从表 2.25.3.2 获得

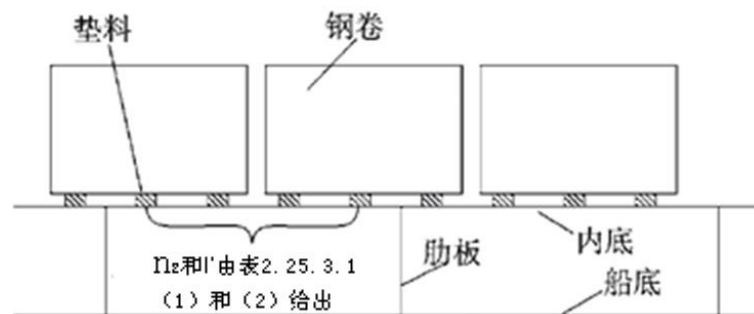


图 2.25.3.1(1) 钢卷装载工况



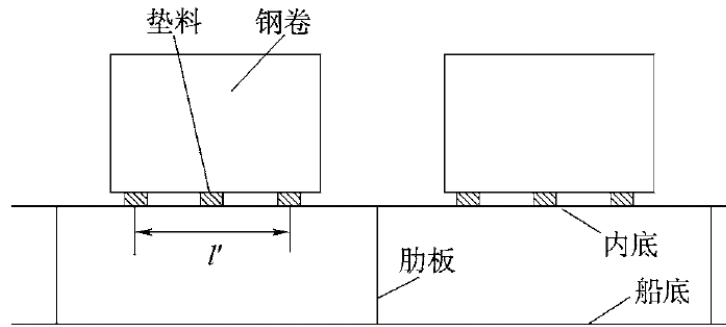


图 2.25.3.21(2) 钢卷装载工况

$n_3$ ——单个钢卷的支承垫料数量;

$l_s$ ——钢卷的长度, m;

$K_2$ ——系数, 取为:

$$K_2 = -\frac{s}{l} + \sqrt{\left(\frac{s}{l}\right)^2 + 1.37\left(\frac{s}{l}\right)^2\left(1 - \frac{l'}{l}\right)^2 + 2.33}$$

$l'$ ——沿船长方向, 内底板每一基本板格的载荷点之间的距离 (见图 2.25.3.1(1)和图 2.25.3.21(2))。

当  $n_2 \leq 10$  且  $n_3 \leq 5$  时,  $l'$  取  $l$ ,  $l_s$ ,  $n_2$  和  $n_3$  之值从表 2.25.3.3 获得。当对于  $n_2 > 10$  且或  $n_3 > 5$  时,  $l'$  取  $l$ 。

## 2.25.4 底边舱斜板和内壳板

2.25.4.1 底边舱斜板和内壳板纵骨架式底边舱斜板和内壳的板材厚度应不小于按下式求得的值:

$$t = K_1 \sqrt{\frac{a_{\text{hopper}} F'_{SC}}{\lambda_p R_{eH}}} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中:  $K_1$ ——系数, 定义见 2.25.3

$R_{eH}$ ——材料屈服强度,  $\text{N/mm}^2$ ;

$\theta_h$ ——内底板与底边舱斜板或内壳板之间的夹角, 度;

$a_{\text{hopper}}$ ——系数, 取为:

$$a_{\text{hopper}} = -a_R \sin\left(\tan^{-1}\left|\frac{y_{G-SC}}{R}\right| - \theta_h\right) + g \cos(\theta_h - \varphi_m)$$

$a_R$ ——切向加速度, 定义见 2.25.2;

$g$ ——重力加速度,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ;

$y_{G-SC}$ ——横向重心位置, 定义见 2.25.2;

$R$ ——系数, 定义见 2.25.2;

$F'_{SC}$ ——力, kg, 取为:

$$F'_{SC} = \frac{W_{SC} n_2 C_k}{n_3}, \quad \text{对于 } n_2 \leq 10 \text{ 且 } n_3 \leq 5$$

$$F'_{SC} = C_k W_{SC} \frac{l}{l_s}, \quad \text{对于 } n_2 > 10 \text{ 或 } n_3 > 5$$

$\lambda_p$ ——系数, 见 2.25.3;

$C_k$  ——系数，取为：

$C_k = 2.2$ ，用于钢卷排为两层或两层以上的情况，或钢卷排为一层且锁紧钢卷位于底边舱斜板或内壳板起第二个或第三个的情况；

$C_k = 1.2$ ，在其他情况下。

### 2.25.5 内底板上的普通扶强材

2.25.5.1 内底板上的单跨普通扶强材的剖面模数  $W$ ,  $\text{cm}^3$  和剪切面积  $A$ ,  $\text{cm}^2$  应不小于按下列公式求得之值：

$$W = K_3 \frac{(g + 0.5a_v) F_{SC}}{12R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$
$$A = \frac{4(g + 0.5a_v) F_{SC}}{\tau_a \sin \phi} \times 10^{-3} \quad \text{cm}^2$$

式中： $K_3$  ——系数，定义见表 2.25.5.1，当  $n_2$  大于 10 时， $K_3$  取  $2l/3$ ；

$l$  ——沿弦长量取的基本板格的长边长度，m；

$a_v$  ——垂向加速度， $\text{m/s}^2$ ，应根据本篇第 1 章第 5 节 1.5.2 定义的公式计算；

$g$  ——重力加速度， $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ；

$F_{SC}$  ——力，kg，定义见 2.25.3；

$R_{eH}$  ——材料屈服强度， $\text{N/mm}^2$ ；

$\tau_a$  ——剪切强度， $\text{N/mm}^2$ ，取为：

$$\tau_a = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$$

$\phi$  ——扶强材腹板与外板的夹角，度，在扶强材跨距中点量取。

## 附录 2 IACS UR L5 用于船上稳性计算的船上计算机软件

(第 32 次修改版的修正 12017 年 6 月第 3 次修订 2006 年 11 月)

### 应用

本统一要求适用于应符合 1966 年载重线公约或者载重线公约 1988 年议定书及其修正案、国际海事组织的海上移动式钻井平台构造和设备规则 (MODU Code) 和/或 2008 国际完整稳性规则 (2008 IS Code) 的船上或者平台上安装的对实际装载工况进行稳性计算的软件。

使用船上计算机进行稳性计算不是入级要求。

但是，船上安装的稳性软件应包含所有适用于该船的强制性的入级和法定的完整和破损稳性要求。本 UR，仅要求对安装于船用计算机上能进行稳性计算的软件进行认可，适用于配备能进行船舶稳性计算的软件的船上计算机。

第 2 款中规定了主动和被动系统。本 UR 仅包含被动系统和离线操作模式的主动系统。

本统一要求适用于在合同建造日期<sup>①</sup>为 2005 年 7 月 1 日及以后<sup>②③</sup>的船舶上安装的稳性软件。

### 1 总则

- 稳性计算机软件的范围应与船旗国主管机关批准的稳性资料相一致，并应至少包括确保满足适用稳性要求必需的所有资料和完成所有的计算或校核。
- 认可的稳性软件并不替代批准的稳性资料，而是作为经批准的稳性资料的补充，以便于稳性计算。
- 输入/输出资料应易于和批准的稳性资料作比较，以避免操作者对批准的稳性资料产生疑惑和可能的误述。
- 船上计算机稳性软件应备有操作手册。
- 稳性资料显示和打印以及操作手册使用的语言应与船上批准的稳性资料使用的语言相同。船级社可要求将其翻译成恰当的语言。
- 用于稳性计算的船上计算机软件是船舶专用的，其计算结果仅适用于认可所针对的船舶。
- 如果涉及到船舶主要数据或内部布置变动的改建时，则任何原稳性计算软件的单船认可不再有效。该软件应作相应修订并重新认可。

### 2 计算系统

被动系统要求手工输入数据；

主动系统采用传感器读取以及输入液舱内的货物容量等数据取代手工输入；

第三类系统，即集成系统，基于传感器提供的输入来控制或触发动作，不包含在本 UR 范围内。

### 3 稳性软件类型

根据船舶稳性要求，稳性软件可进行三四种类型的计算：

类型 1

软件仅计算完整稳性(适用不要求符合破损稳性衡准的船舶)。

类型 2

软件基于极限曲线(例如适用于 SOLAS B-1 部分破损稳性计算等的船舶)或者先前批准的装载工况计算完整稳性并校核破损稳性，或者基于极限曲线校核所有稳性要求(含完整和破损稳性)。

类型 3

软件通过直接应用为各装载工况预编的破损情况(适用某一些油船等)计算完整稳性和破损稳性，其中

<sup>①</sup> “合同建造日期”是指在预期的船东与船舶建造者之间签订建造船舶合同的日期。有关“合同建造”日期的详细规定可参考 IACS 程序要求(PR)No.29。

<sup>②</sup> 对建造合同日期为 2007 年 1 月 1 日及以后的船舶，IACS 所有成员应统一应用本 UR 第 2 次修改版引进的修改。

<sup>③</sup> 对建造合同日期为 2018 年 7 月 1 日及以后的船舶，IACS 所有成员应统一应用本 UR 第 3 次修改版引进的修改。

破损稳性为基于相应的公约或者规则预编的破损工况。

#### 类型 4

软件直接应用用户定义的破损，计算某个实际装载工况和实际进水情况下的破损稳性，从而为安全返港（SRP）提供操作信息。

类型 3 和类型 4 稳性软件的破损稳性，应基于船体型线模型，即直接根据完整的三维几何模型进行计算。

### 4 功能要求

#### 4.1 对各类稳性软件的一般要求

4.1.1 计算程序应显示各种装载工况下的相关参数，以协助船长判断船舶装载是否在批准的极限范围之内。每一确定的装载工况下应显示以下参数：

- 载重量数据；
- 空船数据；
- 纵倾；
- 吃水标志和首尾垂线处的吃水；
- 装载工况下的排水量、VCG、LCG 和 TCG(如适用)的概要；
- 进水角和相应的进水开口（不适用于采用极限曲线对所有稳性要求进行校核的类型 2 软件。但是，如果除极限曲线外还给出了完整稳性衡准，应显示进水角和相应的进水开口）；

—— 稳性衡准的满足情况：所有计算稳性衡准的列表、极限值、计算值和结论(满足或未满足衡准)（不适用于采用极限曲线对所有稳性要求进行校核的类型 2 软件。但是，如果除极限曲线外还给出了完整稳性衡准，应显示极限值、计算值和结论）。

4.2 如直接进行破损稳性计算，按适用规则的有关破损情况应事先确定，以自动校核确定的装载工况。

4.3.1.2 如没有符合任何装载限制，则应分别在屏幕上显示和纸面上打印清晰的警报。

装载限制应包括但不限于下列内容：

- 纵倾、吃水、液体密度、液舱充装高度、初始横倾；
- 对类型 2，结合上述参数考虑极限 KG/GM 曲线的使用；
- 勘划木材载重线时，木材的堆装高度限制。

4.1.3 类型 3 软件应包括按适用规则预定义的破损工况，以对给定的装载工况进行自动校核。

4.4 屏幕显示和纸面打印的数据应清楚无误。

4.1.45 保存计算的日期和时间应为屏幕显示和纸面打印的一部分。

4.1.56 各纸面打印应含有计算程序，包括版本号的识别。

4.1.67 计量单位应能被清楚识别，并在装载计算使用中保持一致。

4.1.7 对于类型 3 和类型 4 软件，系统应视适用情况并根据稳性软件类型预装整个船体的详细计算机模型，包括附体、所有舱室、破损稳性计算中考虑的液舱和上层建筑相关部分、受风面积、进水点、横贯浸水装置、内部舱室连接和逃生路线等。

4.1.8 对于类型 1 和类型 2 软件，如稳性计算时使用完整的三维模型，对计算机模型的要求应视适用情况并根据稳性软件的类型满足上述 4.1.7 的规定。

#### 4.2 对类型 4 稳性软件的进一步要求

4.2.1 常规（类型 1、2 和 3）和安全返港（类型 4）软件无需完全分开。如果常规软件和安全返港软件没有完全分开，则：

- 应提供常规软件和类型 4 软件之间的切换功能；
- 针对两种功能（常规操作和安全返港）的实际完整装载工况应相同；
- 安全返港模块只需在发生事故时激活；

类型 4（安全返港）软件的认可仅仅是对稳性的认可。

4.2.2 对于满足安全返港的客船，如同时有船用稳性计算机和岸基支持，其软件不必完全相同。

4.2.3 除在批准的稳性资料中已给出更精确的渗透率外，应按下表给出每一内部处所的渗透率。

处所	渗透率			
	默认值	满载	部分装载	空舱
集装箱处所	0.95	0.70	0.80	0.95
干货处所	0.95	0.70	0.80	0.95
滚装处所	0.95	0.90	0.90	0.95
液货	0.95	0.70	0.80	0.95
拟装载消耗液体	0.95	0.95	0.95	0.95
储物处所	0.95	0.60	(0.60)	0.95
机器处所	0.85			
空舱	0.95			
起居处所	0.95			

4.2.4 系统应能够计入适用的力矩，例如风、救生艇降落、货物移动和乘客移动。

4.2.5 系统一般应按照 SOLAS 第 II-1/7-2.4.1.2 条计入风的影响，但是若事故地点的风压明显不同（与  $P=120N/m^2$  比较，相当于蒲氏 6 级风，风速约为 13.8m/s 或 27kn），应允许人工输入风速/风压。

4.2.6 系统应能评估开启主要水密门对稳性的影响（例如，对于应校核的破损工况，应考虑破损舱室范围内的任一水密门，并进行附加的破损稳性计算和显示）。

4.2.7 系统应采用最新批准的空船重量和重心资料。

4.2.8 软件的输出内容应能在任一实际破损时向船长提供足够清楚的信息，以确保快速准确地评估船舶稳性、进水对逃生通道的影响、为管理和/或控制船舶稳性而对设备进行的必要控制。

在安全返港软件中输入实际装载工况后，应提供下列输出内容（完整稳性）：

—— 载重量数据；

—— 空船数据；

—— 纵倾；

—— 横倾；

—— 吃水标志和首尾垂线处的吃水；

—— 装载工况下的排水量、VCG、LCG 和 TCG（如适用）的概要；

—— 进水角和相应的进水开口；

—— 自由液面；

—— GM 值；

—— 相应于  $0^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $50^\circ$  和  $60^\circ$  等在不小于  $60^\circ$  的横倾范围内的 GZ 值；

—— 相应完整稳性衡准（即 2008 完整稳性规则）的符合情况：所有计算的完整稳性衡准的列表、极限值、计算值以及评估（满足或未满足衡准）；

—— 按 SOLAS 第 II-1 章第 5-1 条规定的极限 GM/KG 曲线；

当发生事故时，相应于实际装载工况的实际破损情况，应提供下列输出内容（破损稳性）：

—— 纵倾；

—— 横倾；

—— 吃水标志和首尾垂线处的吃水；

—— 累进进水角和相应的累进进水开口；

—— GM 值；

—— 相应于  $0^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $50^\circ$  和  $60^\circ$  等在不小于  $60^\circ$  的横倾范围内的 GZ 值；

—— 相应稳性衡准的符合情况：所有计算的稳性衡准的列表、极限值、计算值以及结论（满足或未满足衡准）；

—— 类型 4 软件（安全返港）的残存衡准由主管机关确定；

—— 相关的进水点（非保护和风雨密）及从破损水线至各点的距离；

—— 所有浸水舱室及所考虑的渗透率的列表；

—— 每个浸水舱室的进水量；

—— 逃生路线浸水角；

—— 标明进水后的水线面和破损舱室的船舶侧视图、甲板图以及横剖面图。

4.2.9 对于客滚船，软件中应提供估计甲板积水（WOD）影响的算法（例如：1.除根据批准的稳性资料预先确定的有义波高外，应在系统中提供可供船员人工输入的航行区域的有义波高；2.除根据批准的稳性资料预先确定的有义波高外，还应提供另外两个有义波高的计算，以校核软件中估算甲板积水算法的正确性）\*。

\* 本条适用于符合斯德哥尔摩协议（IMO Circular Letter No. 1891）的客滚船。

## 5 可接受的误差

根据程序类型和范围，可接受的误差应按 5.1 或 5.2 分别确定。除非船级社认为对偏差有满意的解释，且认为其对于船舶安全没有不利影响，不应接受偏离这些误差。

预编输入数据的示例包括以下内容：

静水力数据： 相应于吃水的排水量、LCB、LCF、VCB、 $KM_t$  和 MCT。

稳性数据： 相应于排水量、稳性极限在合适的横/纵倾角的 KN 或 MS 值。

舱室数据： 舱容、LCG、VCG、TCG 和 FSM/相应于舱内谷物水平面的谷物倾侧力矩。

输出数据的示例包括以下内容：

静水力数据： 相应于吃水以及实际吃水、纵倾的排水量、LCB、LCF、VCB、 $KM_t$  和 MCT。

稳性数据： FSC(自由液面修正)、GZ 值、KG、GM、KG/GM 值，许用谷物倾侧力矩，导出的稳性衡准，如 GZ 曲线下的面积，气象衡准。

舱室数据： 计算的舱容、LCG、VCG、TCG 和 FSM/相应于舱内谷物水平面的谷物倾侧力矩。

按照相同的输入数据采用计算程序与采用独立的程序或批准的稳性资料，其计算结果的计算精度应在 5.1 或 5.2 规定的可接受误差之内。

5.1 仅采用批准的稳性资料作为稳性计算基础的预编数据的程序应在打印输入数据时无误差。

输出数据误差应接近零，但可以接受涉及计算小数圆整或缩减输入数据位数的微小误差。

基于和批准的稳性资料中不同的纵倾使用静水力和稳性数据造成的额外误差可由各船级社审查予以接受。

5.2 采用船体形状模型作为稳性计算基础的程序，应允许输出的基本计算数据与批准的稳性资料数据，或与采用船旗国主管机关认可的模型求得的数据之间存在误差，可接受的误差应符合表 1。

表 1

<b>船体形状相关量</b>	
排水量	±/-2%
浮心纵向位置，从 AP 量起	±/-1%/50cm 取大者
浮心垂向位置	±/-1%/5cm 取大者
<b>船体形状相关量</b>	
浮心横向位置	±/-0.5%B/5cm 取大者
飘心纵向位置，从 AP 量起	±/-1%/50cm 取大者
每 cm 纵倾力矩	±/-2%
横稳心高度	±/-1%/5cm 取大者
纵稳心高度	±/-1%/50cm 取大者
稳性交叉曲线	±/-50mm
<b>舱室相关量</b>	
舱容或载重量	±/-2%
重心纵向位置，从 AP 量起	±/-1%/50cm 取大者
重心垂向位置	±/-1%/5cm 取大者
重心横向位置	±/-0.5%B/5cm 取大者
自由液面力矩	±/-2%

移动力矩	±/-5%
舱内物水平面	±/-2%
<b>纵倾和稳性</b>	
吃水(首吃水、尾吃水、平均吃水)	±/-1%/5cm 取大者
$GM_L$ (自由液面修正前后)	±/-1%/5cm 取大者
$GZ$ 值	±/-5%/5cm 取大者
$FS$ 修正	2%
进水角	±/-2°
平衡角	±/-1°
从 WL 到未受保护的开口和风雨密开口或其他相关的点或到限界线的距离(如适用)	+/-5%/5cm 取大者
稳性力臂曲线下的面积	±/-5%或/0.0012m rad

注:

1. 偏差 (%) = [(基本值 - 申请值) / 基本值] × 100

式中,“基本值”可取自批准的稳性资料或船级社的计算机模型。

2. 当表 1 中的误差有两个值时,可接受的误差取其中较大者。

3. 如果对比中使用的各程序的计算方法存在差异,若进行了足够详细的软件检查并表明此类差异在技术上是合理的,则可接受偏差大于表 1 所列的值。

4. 除非船级社认为对差异有满意的解释,且船级社的稳性计算明确证明偏差不影响船舶符合要求的稳性衡准,否则不应接受偏离这些误差。

## 6 认可程序

用于稳性计算的船上软件的认可条件

用于稳性计算的船上软件应得到认可,包括:

- 验证形式认可(如有时);
- 验证使用数据符合船舶的当前状况(参见 6.2);
- 验证和批准测试工况;
- 验证软件适合于要求的船舶类型与稳性计算;
- 验证 4.1.2 中的功能要求。

用于稳性计算的船上计算机软件的满意运行情况应通过安装测试予以验证(参见 8)。船上应具备批准的测试工况和计算机/软件操作手册的复印件。

### 6.1 总体批准(可选):

收到计算程序的总体批准申请时,船级社可向申请者提供由两组或更多的设计数据构成的测试数据,各组均应包括船舶的船体形状数据、舱室数据、空船特性和载重量数据,数据应尽可能详细,以精确定义船舶及其装载工况。根据递交认可的软件采用的数据形式,可接受的船体形状和舱室数据可以采用曲面坐标的形式为船体形状和舱室限界建模,如:型值表,或者采用预计算列表数据形式,如静水力表、舱容表等。此外,也可基于船级社和申请者同意的至少两艘测试船舶进行总体认可。

一般,应对申请认可的两种船型以及各船型的至少一组设计数据进行测试。当仅要求认可一种船型时,应对该船舶类型至少两组不同船体形状的数据进行测试。对基于输入船体形状数据的计算软件,应提供对认可软件适用的三种船舶类型的设计数据组,或者如仅要求认可一种船型,应提供不同船体形状的至少三组数据。由于船体形状、典型布置和货物性质而要求不同的设计数据组的代表船型包括:油船、散货船、集装箱船以及其他干货船和客船。申请者应使用测试数据组对测试船舶运行计算程序。获得的结果(以及程序求得的静水力数据和交叉曲线数据(如合适))应提交给船级社,以评估程序的计算精度。船级社应采用相同的数据组进行类似的计算,并与申请者提交的程序计算结果作比较。

### 6.2 单船认可:

- 船级社应验证安装在特定船舶上的计算程序的计算结果以及计算程序使用的实际船舶数据的精确性。

- 在接受数据验证的申请后，船级社和申请者应同意从船舶批准的稳性资料中选用至少4种装载工况，作为测试工况。对于装运散装液体货物的船舶，至少有一种工况应包括部分装载的液舱。对于装运散装谷物的船舶，至少有一种谷物装载工况应包括部分装载的谷物舱室。在测试工况下，各舱室应至少装载一次。测试工况通常应涵盖从最深可预见到的装载工况到轻压载工况的装载吃水范围，并且应包括至少一种出港工况和一种到港工况。  
对用于安全返港（SRtP）的类型4稳性软件，船级社应至少检查三个破损工况，每一破损工况对应至少三个批准的稳性资料中的装载工况。软件的输出应与批准的破损稳性手册或者其他独立软件中的相应的装载/破损工况的结果进行对比。
  - 按照船级社目前备案的图纸和文件，以及船上进一步可能的确认，船级社应验证，申请人提交的下列数据符合船舶的布置和最近批准的空船特性。
  - 识别计算程序，包括版本号。
  - 主尺度，静水力特性和船舶外形(如适用)。
  - 首垂线和尾垂线的位置以及(如合适)导出船舶吃水标志实际位置处的船首和船尾吃水的计算方法。
  - 从最近批准的倾斜试验或空船重量检验得到的船舶空船重量与重心位置。
  - 型线图、型值表或船级社对船舶建模必需的其他船体形状数据的合适描述。
  - 舱室定义，包括肋骨间距和舱容中心以及舱容表(测深/液位表)和自由液面修正(如合适)。
  - 各装载工况的货物和消耗品分布。
- 船级社的验证不应免除申请者和船东在确保输入船上计算机软件的资料应符合船舶当前情况的责任。

## 7 操作手册

应提供简单易懂的操作手册，且包含至少以下方面的介绍和说明(如合适)：

- 装置
- 功能键
- 菜单显示
- 输入和输出数据
- 操作软件所需的最低硬件配置
- 测试装载工况的使用
- 计算机引导的对话步骤
- 警示清单

## 8 安装测试

为确保最终软件或更新的软件安装后计算机的正确工作，船长应负责在船级社验船师在场的情况下，按照以下方式进行测试计算：

在批准的测试工况下，应计算至少一种装载情况(空船状态除外)。注：实际装载工况结果不适用于检验计算机的正确工作。

通常，测试工况永久储存在计算机内。

操作步骤：

- 复原到测试装载情况并开始计算；将稳性结果与文件中数据作比较。
- 改变载重量的某些项目(液货重量和货物重量)至足以改变至少10%的吃水或排水量。应审核结果，以确保与认可的测试工况的偏差在合理范围内。
- 修改上述改动的装载工况，以恢复最初的测试工况，并比较结果。确保应复制批准的测试工况的有关输入和输出数据已复制。
- 此外，也可选择一种或多种测试工况，并且象预定装载一样，将各种选择的测试工况下所有载重量数据输入程序以进行测试计算。应验证，结果与批准的测试工况的复印件中的结果完全一致。

## 9 定期测试

船长应负责在每次年度检验中通过采用至少一种批准的测试工况来检验船上计算机进行稳性计算的精度。如计算机检验时船级社验船师不在场，则计算机检验得到的测试工况结果的复印件应作为测试合格的文件保留在船上，供验船师验证。

在每次特别检验中，检验所有批准的测试装载工况时应有验船师在场。



测试程序应按照第 8 款开展。

#### 10 其他要求

应提供防止非故意或非授权修改程序和数据保护。

该程序应监视程序的运行，当程序被不正确或不正常地使用时应发出警告。

该程序和系统储存的任何数据应予以保护，防止因断电而受损。

应包含有关超越使用限制的错误信息，如舱室溢装或者超过勘划的载重线等。

## 第3章 舾装

### 第1节 舵

#### 3.1.1.2 设计考虑

(3)通海的舵筒套杆舵杆围阱,应在最深的装载水线之上安装有密封装置或填料函,以防止海水进入舵机舱,导致舵承处的润滑剂被冲走。若舵筒套杆舵杆围阱的顶部低于最深的装载水线,应设有两个分开的填料函。

#### 3.1.1.4 焊接和设计细节

(4)对于舵筒套杆舵杆围阱的焊接以及设计细节的要求见本节 3.1.9.33.1.9.2。

(6)对于挂舵臂的焊接以及设计细节的要求见本节 3.1.9.2(3)3.1.9.1 (3)。

#### 3.1.5.3 舵叶结构与实心锻件或铸钢件的连接

(3)与舵杆承座连接结构的最小剖面模数。

与舵杆承座实心部分连接的舵叶结构由垂直隔板和舵板组成,其剖面模数  $W_S$  应不小于按下式计算所得之值:

$$W_S = c_s d_c^3 \left( \frac{H_E - H_X}{H_E} \right) \frac{K}{K_s} 10^{-4} \text{ cm}^3$$

式中:  $c_s$ ——系数,应取:

$c_s = 1.0$ , 如舵板无开口或该开口由全熔透焊板封闭;

$c_s = 1.5$ , 如所考虑的舵横剖面有一开口;

$d_c$ ——按本节 3.1.4 计算的下舵承处舵杆直径, mm;

$H_E$ ——舵叶下缘和实心部件上缘之间垂直距离, m;

$H_X$ ——所考虑横剖面 and 实心部件上缘之间垂直距离, m;

$K$ ——舵叶材料系数, 见本节 3.1.1.3(2);

$K_s$ ——舵杆材料系数, 见本节 3.1.1.3(5)。

舵叶剖面的实际剖面模数应按舵叶对称轴计算。其计及剖面模数的有效舵叶宽度  $b$  应不大于按下式计算所得之值:

$$b = s_v + 2H_x / 3 \text{ m}$$

$$b = s_v + 2H_x / 3 \text{ m}$$

式中:  $s_v$ ——两垂直隔板的间距, m, 见图 3.1.5.3。

舵杆螺母的通道开口如未用全熔焊接板封闭, 则开口应相应扣除。

(5)与舵杆承座焊接的垂直隔板和舵杆承座以下的舵旁板的厚度, mm, 应不小于表 3.1.5.3 中的值。

舵旁板和垂直隔板的板厚表 3.1.5.3

舵的型式	垂直隔板厚度(mm)		舵板厚度(mm)	
	无开口舵叶	有开口舵叶	无开口舵叶	有开口舵叶
由尾框底骨支承的舵	1.2 t	1.6 t	1.2 t	1.4 t
半悬挂舵和悬挂舵	1.4 t	2.0 t	1.3 t	1.6 t

表中: t 为舵板厚度, mm, 定义见本节 3.1.5.2。

加厚水平垂直隔板及舵板应延伸至实体之下至少一个水平隔板。

#### 3.1.6.3 有键锥形连接

(1)锥度和连接长度

没有液压装置不使用液压拆/装的锥形连接在直径方向上的锥度  $c$  应在 1:8-1:12 之间。

其中  $c = (d_0 - d_u) / l$ , 见图 3.1.6.3。

锥形连接应由螺母紧固。螺母应紧固, 例如使用图 3.1.6.3 所示紧固板。

锥形应精确适配。连接长度  $l$  一般应不小于  $1.5d_0$ 。

### 3.1.6.4 具有特殊拆装专用装置的锥形连接

#### (2) 推入压力

推入压力应不小于以下两式计算所得之值的大者：

$$p_{req1} = \frac{2Q_F \times 10^3}{d_m^2 l \pi \mu_0} \quad \text{N/mm}^2$$

$$p_{req2} = \frac{6M_b \times 10^3}{l^2 d_m} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： $Q_F$ ——按本节 3.6.3.2 确定的舵杆设计屈服扭矩，Nm；

$d_m$ ——锥体平均直径，mm；见图 3.6.3.4 3.1.6.3；

$l$ ——锥体长度，mm；

$\mu_0$ ——摩擦系数，等于 0.15；

$M_b$ ——锥形连接弯矩(例如悬挂舵)，Nm。

应证明推入压力不超过锥体的许用表面压力。许用表面压力  $p_{perm}$ ，应按下式计算确定：

$$p_{perm} = \frac{0.8R_{eH}(1 - \alpha^2)}{\sqrt{3 + \alpha^4}} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： $R_{eH}$ ——舵枢材料最小屈服应力，N/mm<sup>2</sup>；

$$\alpha = \frac{d_m}{d_a} ;$$

$d_m$ ——直径，mm，定义见图 3.1.6.3；

$d_a$ ——舵枢外径见图 3.1.6.3，mm，应不小于  $1.5d_m$ 。见图 3.1.6.3。

### 3.1.7.2 连接

#### (2) 舵销轴承舵销销座的推入压力

所要求的舵销轴承舵销销座推入压力  $p_{req}$  应按下式计算：

$$p_{req} = 0.4 \frac{B_1 d_0}{d_m^2 l} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： $B_1$ ——舵销轴承舵销销座的支撑力，N；

$d_0$ ——舵销直径，mm，见图 3.1.6.3。

推入长度应按本节 3.1.6.4(3) 的类似方法计算，采用要求的舵销轴承推入压力和舵销轴承的属性。

### 3.1.8.2 最小轴承表面积

应提供足够的润滑。

轴承表面支承面积  $A_b$  (定义为投影面积：轴承高度 × 衬套外径支承面长度 × 轴套的外径)，应不小于：

$$A_b = \frac{P}{q_a} \quad \text{mm}^2$$

式中： $P$ ——轴承轴支持力，N，定义见本节 3.1.3.2；

$q_a$ ——按表 3.1.8.2 确定的许用表面压力。

各种不同材料最大表面压力  $q_a$  应按下表确定。如有许用表面压力大于表 3.1.8.2 数值，且已经由试验验证过，可按供应商说明书选取。

许用表面压力表  $q_a$  表 3.1.8.2

舵承轴承材料	$q_a$ (N/mm <sup>2</sup> )
铁梨木	2.5
白合金, 油润滑	4.5
邵氏硬度 D 级 60~70 的合成材料 <sup>①</sup>	5.5 <sup>②</sup>
钢材 <sup>③</sup> 、青铜和热压青铜-石墨材料	7.0

注:

- ①压痕硬度试验应在 23℃ 及具有 50% 湿度情况下, 应按公认的标准进行。合成材料应是认可型的。
- ②根据轴承供应商说明书与试验, 表面压力超过 5.5N/mm<sup>2</sup> 可能接受, 但无论如何不超过 10 N/mm<sup>2</sup>。
- ③不锈钢和耐磨钢, 并以认可方式同舵杆衬套组合。

### 3.1.8.3 舵承轴承尺寸

舵承轴承长度与直径的比值应不大于 1.2。

舵承轴承长度  $L_P$  应满足下式:  $D_P \leq L_P \leq 1.2 D_P$

式中:  $D_P$  = 在衬套轴套外面量取的舵销、舵杆实际直径。

### 3.1.8.4 舵承轴承间隙

金属材料舵承轴承的直径方向间隙应不小于  $d_b/1000 + 1.0\text{mm}$  ( $d/1000 + 1.0\text{mm}$ ) (式中  $d$  为舵杆或舵销轴套外径)。如采用非金属轴承, 轴承的径向间隙应考虑材料的膨胀和热膨胀特性予以专门确定, 除非生产商推荐并提供更小间隙的成功使用经验的报告, 否则该间隙应不小于 1.5mm。

### 3.1.9.2 舵杆围阱

#### (2) 结构尺寸

如果舵杆在舵杆围阱内, 且舵的运动作用力使舵杆围阱产生应力, 舵杆围阱的尺寸应使弯曲和剪切的合成应力不超过  $0.35R_{eH}$ 。

焊接的舵杆围阱弯曲应力  $\sigma$  应满足下式:

$$\sigma \leq 80 / \text{KN/mm}^2$$

式中:  $\sigma$  ——舵杆围阱的弯曲应力, 3.1.9.3(1)3.1.9.2 (1) 中定义;

$K$  ——材料系数, 分别见本节 3.1.1.3(2)或 3.1.1.3(5), 应不小于 0.7;

$R_{eH}$  ——所用材料的屈服应力, N/mm<sup>2</sup>。

在计算弯曲应力时, 所计跨距是下舵杆轴承高度中点与舵杆围阱在船壳或导流尾鳍底部的夹入点之间的距离。

### 3.1.10 其它

#### 3.1.10.1 舵扇与舵柄

(3)若舵柄(舵扇)毂由两个半块对合组成, 应至少安装一个键, 且在每一端至少配置 2 个螺栓进行栓固。螺栓应进行预紧, 每个螺栓的预紧力应对应螺栓材料许用应力的 70%, 如使用双键, 预紧力可适当降低。全部螺栓的总剖面积  $A_b$  应不小于下式计算所得之值:

$$A_b = 0.2 \times \frac{D_t^3}{b} \quad \text{mm}^2$$

式中:  $D_t$  ——舵柄处的舵杆直径, 按本节 3.1.4.1 计算, mm;

$b$  ——螺栓中心线至舵杆两端螺栓中心线距离, mm。

(4)舵柄(舵扇)与舵柄之间的连杆剖面积  $A_l$  和剖面惯性矩  $I_l$  应不小于按下式计算所得之值:

$$A_r = 0.12 \times \frac{D_t^3}{R} \quad \text{mm}^2$$

$$I_r = 6.6 \frac{D_t^3 l^2}{R} \quad \text{mm}^4$$

$$I_r = 6.6 \frac{D_t^3 l^2}{R} \times 10^{-6} \quad \text{mm}^4$$

式中：\$D\_t\$——被动舵舵柄处的舵杆直径，按本节 3.1.4.1 计算，mm；

\$l\$——连杆长度，mm；

\$R\$——被动舵的舵柄长度，mm。

### 3.1.10.2 舵柄与舵杆的连接

(1) 舵柄与舵杆的连接应保证在任何操作情况下可将机械力由转舵机构传递到舵杆。舵柄与舵杆的连接传递的扭矩 \$T\_d\$ 应不小于 2 倍的舵机设计扭矩，但不必大于按本节 3.1.6.3(2) 计算的舵杆设计屈服扭矩  $Q_F T_F$   $Q_F$ 。舵机设计扭矩为与本规范第 3 篇第 13 章 13.1.6.5 中设计压力对应的舵机扭矩。

(2) 如通过摩擦传递扭矩，舵柄与舵杆连接的平均表面压力 \$p\_r\$ 应不小于下式计算所得之值：

$$p_r \geq \frac{2T_{fr}}{\pi D_m^2 l f} \times 10^3 \quad \text{N/mm}^2$$

式中：\$T\_{fr}\$——摩擦传递的扭矩，N m；

= \$T\_d\$，无键连接；

= 0.5 \$T\_d\$，有键连接；

\$T\_d\$——舵柄与舵杆连接传递的扭矩，N m，按本节 ~~3.10.2.4~~ 3.1.10.2 (1) 确定；

\$D\_m\$——舵杆直径或锥体的平均直径，mm；

\$l\$——与舵杆有效连接部分长度，mm；

\$f\$——摩擦系数，对于液压连接取 0.15，对于干式连接取 0.18。

(6) 如为有键连接，键的剪切面积 \$A\_s\$ 应不小于按下式计算所得之值：

$$A_s = \frac{70(T_d - k_{key} T_{fr})}{D_k R_{eH}} \quad \text{cm}^2$$

式中：\$T\_d\$——舵柄与舵杆连接传递的扭矩，N m，按本节 3.1.10.2 计算；

$k_{key}$ ——系数，按下列情况确定：

=0.7，舵柄毂由两块对合，并由螺栓进行夹紧；

=0.9，舵杆与舵柄进行液压装配；

=1.0，其他情况。

$T_{fr}$ ——摩擦传递的扭矩，N m，按以下公式计算：

$$T_{fr} = \frac{\pi p_r D_m^2 l f}{2} \times 10^{-3}$$

其中： $p_r$ ——舵柄与舵杆连接的平均表面压力，N/mm<sup>2</sup>，按本节 ~~3.1.10.2(1)~~ 3.1.10.2 (2) 确定。当采用液压装配或冷缩配合的锥形连接时，应取为推入平均表面压力；

$D_m$ ， $l$ ， $f$  定义同本节 3.1.10.2(2)；

$D_k$ ——舵杆装键处的平均直径，mm；

$R_{eH}$ ——键材料的屈服应力，N/mm<sup>2</sup>。

(3)如为锥形连接，应使用螺母进行紧固防止发生轴向的位移。螺母的尺寸应能保证在不考虑舵柄与舵杆之间摩擦力的情况下，承受舵及舵杆的重量，可参照满足本节 3.1.6.3(3)的要求。

(7)如为有键连接，键的受挤压面积  $A_k$  (不计圆边部分)应不小于按下式计算所得之值：

$$A_k = \frac{22(T_d - k_{key} T_{fr})}{D_k R_{eH}} \quad \text{cm}^2$$

式中： $T_d$ ， $k_{key}$ ， $T_{fr}$ ， $D_k$ ——同本节 ~~3.1.10.2(7)~~ 3.1.10.2 (6)；

$R_{eH}$ ——键材料的屈服应力，N/mm<sup>2</sup>。

## 第 2 节 锚泊及系泊设备

3.2.1.1 海船的锚泊及系泊设备应根据船舶种类及其航行水域并根据本节 3.2.1.2 所求得的舾装数  $N$ ，按表 3.2.1.1(1)和表 3.2.1.1(2)的要求配备。表 3.2.1.1(2)中所列第 3 只首锚、拖索和系船索不作为船舶入级的条件，仅为指导性要求。

对工作特殊，船东要求加大锚重，且借助于其他设施进行锚泊作业的非自航船舶，其锚链的配备可仅按规范要求的锚重选取。

本节关于锚泊设备的要求系针对因等待靠泊、潮水等而暂时系泊于港口或遮蔽区的船舶。

因此，符合本节要求的设备并非用于在风暴天气下使船舶与毫无遮蔽的海岸保持距离，或使移动或漂动中的船舶停下。在上述条件下，作用在锚泊设备上的载荷将由于形成高能量载荷而增大，并导致其部件的损坏或丢失，特别是较大尺度的船舶。

符合本节规定的锚泊设备能使船舶在良好的锚地底质上系留，以防止出现走锚情况。在不良的锚地底质上，锚的抓力将明显降低。

本节所要求锚泊设备的舾装数(EN)公式基于假定的最大水流速度为 2.5m/s、最大风速为 25m/s、最小出链长度在 6~10 之间。出链长度系指抛出锚链的长度与水深之比。对于船长大于 135m 的船舶，本节所要求的锚泊设备可认为适用于最大水流速度为 1.54m/s、最大风速为 11m/s、最大有义波高为 2m。

假定在正常情况下，一艘船舶只使用一只锚。

锚及锚链的制造应满足 CCS《材料与焊接规范》的相关要求。

首锚应与其锚链连接，布置于船上，并随时可用。

3.2.1.2 舾装数  $N$  按下式计算：

$$N = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2Bh + \frac{A}{10}$$

式中： $\Delta$ ——夏季载重线下的型排水量，t；

$B$ ——船宽，m；

$h$ ——从夏季载重水线到最上层舱室顶部的有效高度，m；对最下层的层高  $h_i$  从上甲板中心线量起，或具有不连续上甲板时，从上甲板最低线及其平行于升高部分甲板的延伸线量起，见图 3.2.1.1(1)，即：

$$h = a + \sum h_i$$

其中： $a$ ——从船中夏季载重水线至上甲板的距离，m；

$h_i$ ——各层宽度大于  $B/4$  的舱室，在其中心线处量计的高度，m；

$A$ ——船长  $L$  范围内夏季载重水线以上的船体部分和上层建筑以及各层宽度大于  $B/4$  的甲板室的侧投影面积的总和， $m^2$ 。

拖船的舾装数，按下式计算：

$$N = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2(aB + \sum b_i h_i) + \frac{A}{10}$$

式中： $a$ 、 $B$  和  $h_i$  同上所述；

$b_i$ ——上层建筑宽度或各层宽度超过  $B/4$  甲板室的宽度，m。

计算  $h$  和  $A$  时，不必计及舷弧和纵倾。

凡是超过 1.5m 高度的挡风板和舷墙，均应视为上层建筑或甲板室的一部分。

宽度大于  $B/4$  的甲板室如在宽度为  $B/4$  或以下的甲板室之上，应计入上面的甲板室而忽略下面的甲板室。

在确定  $h$  和  $A$  时，可不考虑舱口围板高度和集装箱之类任何甲板货的高度。在确定  $A$  时，高于 1.5m 的舷墙，图 3.2.1.2(2) 所示的面积  $A_2$  应计入  $A$ 。表 3.2.1.1(2) 中的有档首锚链的总长度应在两只首锚之间分为大致相等的部分。

新增图 3.2.1.2 (1)：

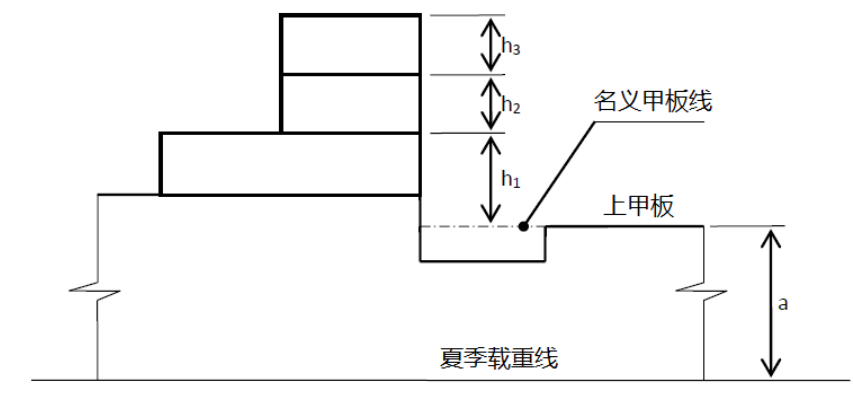


图 3.2.1.2 (1)

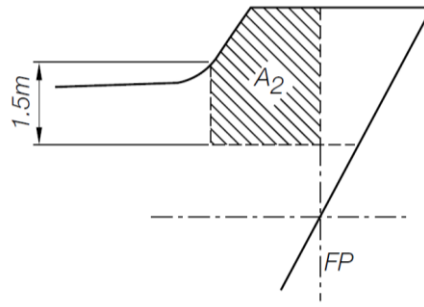


图 3.2.1.2 (2)

3.2.2.4 当采用大抓力锚作为首锚时，每只锚的质量可以为本节表 3.2.1.1(2)规定的普通无杆首锚质量的 75%，大抓力锚的抓力应至少为同等重量普通无杆锚抓力的两倍，其具体要求详见 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 10 章第 1 节的规定。

锚泊和系泊拖带设备

表 3.2.1.1(2)

序号	舾装数 $N$		首锚		有档首锚链			拖索		系船索			
	超过	不超过	数量	每只质量(kg)	总长度(m)	直径			长度(m)	破断负荷(kN)	数量	每根长度(m)	破断负荷(kN)
						CCS AM1	CCS AM2	CCS AM3					
1	50	70	2	180	220	14	12.5		180	98.198	3	80	34
2	70	90	2	240	220	16	14		180	98.198	3	100	37
3	90	110	2	300	247.5	17.5	16		180	98.198	3	110	39
4	110	130	2	360	247.5	19	17.5		180	98.198	3	110	44
5	130	150	2	420	275	20.5	17.5		180	98.198	3	120	49
6	150	175	2	480	275	22	19		180	98.198	3	120	54
7	175	205	2	570	302.5	24	20.5		180	111.8 112	3	120	59
8	205	240	3 <sub>2</sub>	660	302.5	26	22	20.5	180	129.4 129	4	120	64
9	240	280	3 <sub>2</sub>	780	330	28	24	22	180	150	4	120	69
10	280	320	3 <sub>2</sub>	900	357.5	30	26	24	180	173.6 174	4	140	74
11	320	360	3 <sub>2</sub>	1020	357.5	32	28	24	180	206.9 207	4	140	78
12	360	400	3 <sub>2</sub>	1140	385	34	30	26	180	223.6 224	4	140	88
13	400	450	3 <sub>2</sub>	1290	385	36	32	28	180	250.1 250	4	140	98
14	450	500	3 <sub>2</sub>	1440	412.5	38	34	30	180	276.5 277	4	140	108
15	500	550	3 <sub>2</sub>	1590	412.5	40	34	30	190	306.0 306	4	160	123
16	550	600	3 <sub>2</sub>	1740	440	42	36	32	190	338.3 338	4	160	132
17	600	660	3 <sub>2</sub>	1920	440	44	38	34	190	370.7 370	4	160	147
18	660	720	3 <sub>2</sub>	2100	440	46	40	36	190	406.0 406	4	160	157



序号	舾装数 $N$		首锚		有档首锚链				拖索		系船索		
	超过	不超过	数量	每只质量(kg)	总长度(m)	直径			长度(m)	破断负荷(kN)	数量	每根长度(m)	破断负荷(kN)
						CCS AM1	CCS AM2	CCS AM3					
19	720	780	32	2280	467.5	48	42	36	190	441.3 441	4	170	172
20	780	840	32	2460	467.5	50	44	38	190	480.0 479	4	170	186
21	840	910	32	2640	467.5	52	46	40	190	517.8 518	4	170	202
22	910	980	32	2850	495	54	48	42	190	559.0 559	4	170	216
23	980	1060	32	3060	495	56	50	44	200	603.1 603	4	180	230
24	1060	1140	32	3300	495	58	50	46	200	647.2 647	4	180	250
25	1140	1220	32	3540	522.5	60	52	46	200	691.4 691	4	180	270
26	1220	1300	32	3780	522.5	62	54	48	200	738.4 738	4	180	284
27	1300	1390	32	4050	522.5	64	56	50	200	785.5 786	4	180	309
28	1390	1480	32	4320	550	66	58	50	200	835.5 836	4	180	324
29	1480	1570	32	4590	550	68	60	52	220	888.5 888	5	190	324
30	1570	1670	32	4890	550	70	62	54	220	941.4 941	5	190	333
31	1670	1790	32	5250	577.5	73	64	56	220	1024	5	190	353
32	1790	1930	32	5610	577.5	76	66	58	220	1109	5	190	378
33	1930	2080	32	6000	577.5	78	68	60	220	1168	5	190	402
34	2080	2230	32	6450	605	81	70	62	240	1259	5	200	422
35	2230	2380	32	6900	605	84	73	64	240	1356	5	200	451
36	2380	2530	32	7350	605	87	76	66	240	1453	5	200	480
37	2530	2700	32	7800	632.5	90	78	68	260	1471	6	200	480
38	2700	2870	32	8300	632.5	92	81	70	260	1471	6	200	490
39	2870	3040	32	8700	632.5	95	84	73	260	1471	6	200	500
40	3040	3210	32	9300	660	97	84	76	280	1471	6	200	520
41	3210	3400	32	9900	660	100	87	78	280	1471	6	200	554
42	3400	3600	32	10500	660	102	90	78	280	1471	6	200	588
43	3600	3800	32	11100	687.5	105	92	81	300	1471	6	200	618
44	3800	4000	32	11700	687.5	107	95	84	300	1471	6	200	647
45	4000	4200	32	12300	687.5	111	97	87	300	1471	7	200	647
46	4200	4400	32	12900	715	114	100	87	300	1471	7	200	657
47	4400	4600	32	13500	715	117	102	90	300	1471	7	200	667
48	4600	4800	32	14100	715	120	105	92	300	1471	7	200	677

序号	舾装数 $N$		首锚		有档首锚链			拖索		系船索			
	超过	不超过	数量	每只质量(kg)	总长度(m)	直径			长度(m)	破断负荷(kN)	数量	每根长度(m)	破断负荷(kN)
						CCS AM1	CCS AM2	CCS AM3					
49	4800	5000	32	14700	742.5	122	107	95	300	1471	7	200	686
50	5000	5200	32	15400	742.5	124	111	97	300	1471	8	200	686
51	5200	5500	32	16100	742.5	127	111	97	300	1471	8	200	696
52	5500	5800	32	16900	742.5	130	114	100	300	1471	8	200	706
53	5800	6100	32	17800	742.5	132	117	102	300	1471	9	200	706
54	6100	6500	32	18800	742.5		120	107			9	200	716
55	6500	6900	32	20000	770		124	111			9	200	725
56	6900	7400	32	21500	770		127	114			10	200	725
57	7400	7900	32	23000	770		132	117			11	200	725
58	7900	8400	32	24500	770		137	122			11	200	736
59	8400	8900	32	26000	770		142	127			12	200	736
60	8900	9400	32	27500	770		147	132			13	200	736
61	9400	10000	32	29000	770		152	132			14	200	736
62	10000	10700	32	31000	770			137			15	200	736
63	10700	11500	32	33000	770			142			16	200	736
64	11500	12400	32	35500	770			147			17	200	736
65	12400	13400	32	38500	770			152			18	200	736
66	13400	14600	32	42000	770			157			19	200	736
67	14600	16000	32	46000	770			162			21	200	736

3.2.3.1 对  $N$  小于 90 的船舶, 可用试验载荷相等的无档锚链代替。

作为有档或短环锚链的替代, 钢丝绳可在以下情况中使用:

- (1) 在船长小于 30 m 的船上用于两个锚;
- (2) 在船长在 30 m 和 40 m 之间的船上用于两个锚中的一个。

3.2.3.2 对船长小于 40m 的船舶, 可使用钢丝绳替代锚链, 且应满足下述要求:

(1) 上述钢丝绳的总长应为表 3.2.1.1(2)中的有档锚链相应要求长度的 1.5 倍, 最小破断强度应为与相应 CCS AM1 级有档锚链破断强度相同。

(2) 在钢丝绳和锚之间应设一段短的锚链, 其长度为 12.5 m 或锚存放位置至锚机的距离, 取小者。

(3) 所有与钢丝绳(包括钢丝绳的中间部分)接触的表面都需要进行倒圆, 倒圆半径不小于 10 倍的钢丝绳直径。

3.2.3.23 锚链于连接锚的一端应装设 1 个转环。

3.2.3.34 锚链的内端应系固在船体结构上, 并能在锚链舱外易于到达的地方, 迅速解脱。

3.2.3.45 拉伸应力小于  $400\text{N/mm}^2$  的 CCS AM1 级链不能用于大抓力锚。CCS AM3 级链仅适用于链径为 20.5mm 或以上的锚链。

3.2.4.1 如船舶的  $A/N$  大于 0.9 时, 本节表 3.2.1.1(2)中系船索的数量建议按下列要求增加:

$A/N$  的比值系船索增加数量

- $0.9 < A/N \leq 1.1$  ————— 1
- $1.1 < A/N \leq 1.2$  ————— 2
- $1.2 < A/N$  ————— 3

~~A 和 N 的定义见本节 3.2.1.2。~~

3.2.4.1 系船索的数量、长度及破断负荷可根据船舶的类型及尺寸由设计者自行确定，选定的系船索的数量、长度及破断负荷应标注在船舶的系泊布置图上。表 3.2.1.1 (2) 所列的拖索为船舶上配有的用于拖船或其他船舶拖带本船所使用的，为选取拖索而计算舾装数时，应计入甲板货（装载手册中给出）的侧投影面积。

3.2.4.2 本节表 3.2.1.1(2)所列的拖索和系船索是钢丝抗拉强度不小于  $1.37\text{kN/mm}^2$  的柔韧镀锌钢丝绳。钢丝绳的结构形式见 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 10 章第 4 节的规定。

如表列缆索的破断负荷大于 490kN，船上个别缆索的破断负荷和缆索数量可以与表列的不同，只要船上缆索破断负荷的总和不少于表列破断负荷与缆索数的乘积。

## 第 6 节 常规船舶上与拖带和系泊相关的船用配件与船体支撑结构

### 3.6.1 一般要求

3.6.1.1 本节要求适用于拖带和系泊操作作用的船用配件及支撑结构的设计与构造。~~对应急拖带布置，SOLAS 规则 II-1/3.4 要求的船舶应符合 MSC.35(63)决议及其修正案的规定。~~

3.6.1.3 本节要求适用于 2007 年 1 月 1 日及以后铺设龙骨 2018 年 7 月 1 日及以后签订合同的船舶。

3.6.1.4 本节要求不适用于伴航拖带、运河拖带及液货船的应急拖带。

### 3.6.2 定义

3.6.2.1 常规船舶：系指 500GT 及以上除高速船、特殊用途船舶、海洋平台以外的所有新造排水型船舶。~~特殊用途船舶系指机械自航船舶，根据其功能，载有 12 名以上特殊人员。~~

3.6.2.2 船用配件：系指下列正常系泊船舶用的系缆桩与缆柱、系缆器、立式滚轮、导缆孔以及用于正常拖带或其他拖带的船舶的类似部件。其他部件如绞盘、绞车等不包含在本节中。任何船用配件与支撑结构的焊接、螺栓或其他等效设施是船用配件的部分，如根据工业标准选用，应满足该船用配件所适用的工业标准。

3.6.2.3 船体支撑结构：系指上部或内部安装船用配件并直接承受作用在船用配件上的力的部分船体结构。用于上述正常拖带或其他拖带、系泊操作的绞盘、绞车等的船体支撑结构也应符合本节的规定。

3.6.2.4 工业标准系指国际标准（ISO 等）或船舶建造的国家认可的国家协会（~~如 DIN 或 JMSA 等~~）颁布的标准。

3.6.2.5 正常拖带：系指与船舶正常操作所配合的，为在港口和遮蔽水域操纵船舶所需要的拖带作业。

3.6.2.6 其他拖带：系指除本章第 5 节的应急拖带以外，船舶安装有拖带设备，用于被其他船舶或拖船拖带（如在紧急情况下被帮助）。

3.6.2.7 伴航拖带：系指特定河口所要求的拖带，特别是油船或 LNG 运输船。主要目的是在船舶推进装置或操舵装置损坏后控制船舶。

3.6.2.8 运河拖带：系指用于船舶通过运河时的拖带。

3.6.2.9 液货船应急拖带：系指帮助应急状况下的液货船的拖带，参见本章第 5 节。

### 3.6.3 拖带

3.6.3.1 在船首、舷侧和船尾用于正常拖带和其他拖带操作的船用配件及其船体支撑结构的强度应满足本节 3.6.3.2 至 3.6.3.6 要求。

3.6.3.2 拖带用的船用配件应位于部分甲板结构（纵梁、横梁强力构件和/或桁材）上，以有效分布拖带负荷。其他如用于预定用途、确定强度足够的布置（如巴拿马舷墙导缆孔等）可以被接受。

#### 3.6.3.3 考虑载荷

除非船用配件由申请者规定了更大的安全工作负荷(SWL)，使用的船用配件的船体支撑结构的最小设计负荷应为下列(1)或(2)适用的任一数值。：

(1) 用于正常拖带操作（如港区/调遣）的，设计负荷应为拖带与系泊布置图中标明计划指示的预期的最大拖带负荷（如系柱静拖力）的 1.25 倍。

(2) 对于其他拖带服务（如伴航），应为表 3.2.1.1(2)中舾装数  $N$  对应的拖索的破断负荷。

注：在选择拖索时应计入包括甲板货（装载手册中给出）最大堆层的侧投影面积，并使用该拖索的破断负荷作为设计载荷。为了本节的应用，IACS REC10 规定的拖索破断负荷被强制用于决定施加在船舶配件和船体支撑结构上的设计

负荷。IACS REC10 其余的要求是指导性的。

(3) 对同时用于正常拖带和其他拖带的船用设备, 设计载荷应取为 (1) 和 (2) 中的大者。

(3) 设计载荷应通过系索施加, 系索应按照拖带与系泊布置计划进行布置。

(4) 根据申请者的要求规定了施加在船用配件的 SWL 时, 设计负荷若大于上述最小值, 配件的强度应使用规定的设计负荷设计。当设计者所选定配件的拖带安全工作负荷大于 3.6.3.6 规定的拖带安全工作负荷时, 设计载荷应根据拖带安全工作负荷与设计载荷之间的换算关系进行增加。

(5) 设计载荷应根据拖带与系泊布置图中的布置, 各种可能出现的方向施加于配件。当拖索在配件处转向, 作用在配件上的设计载荷应为拖索设计载荷的合力确定配件与船体支撑结构设计负荷时应计算所有负荷, 但不需超过 2 倍的拖索设计负荷。如不超过 1 根缆索 1 圈, 见图 3.6.3.3(5)。

3.6.3.4 由船厂可根据 CCS 接受的工业标准(如 ISO13795《船用系泊及拖带设备—海船用钢质焊接带缆桩》)选择船用配件, 并至少基于以下载荷:

(1) 正常拖带, 拖带与系泊布置图上所标明的预期的最大拖带负荷(如系柱静拖力);

(2) 其他拖带, 表 3.2.1.1(2)中舾装数  $N$  对应的拖索的破断负荷, 并参见 3.6.3.3 (2) 的注。

(3) 对同时用于正常拖带和其他拖带的船用设备, 设计载荷应取为 (1) 和 (2) 中的大者。

如果工业标准中给出了双柱带缆桩的不同受力型式, 如 8 字缠绕两根缆桩和 1 个绳圈缠绕单个缆桩的型式, 双柱带缆桩应根据 1 个绳圈缠绕于单个缆桩的型式选取。

如船用配件没有按接受的工业标准选择时, 评估该配件的强度及配件与船舶的连接时的设计负荷应符合 3.6.3.3 和 3.6.3.5 的要求。双柱带缆桩应根据 1 个绳圈缠绕于单个缆桩的型式。使用梁理论或有限元进行强度分析时, 应使用净尺寸的方法。腐蚀增量的要求详见本节 3.6.6, 磨损增量的要求详见本节 3.6.7。经同意, 可通过载荷试验的方式替代强度分析。

### 3.6.3.5 船体支撑结构

#### (1) 布置

船用配件下加强部件(纵梁)应对通过连接的船用配件布置作用在船用配件上的拖带载荷(不小于本节 3.6.3.3 规定的设计负荷)的任何方向(水平方向和垂直方向)的变化作有效布置, 例如图 3.6.3.5 (1) 所示。配件与船体支撑结构应保证合适的对齐。

新增图 3.6.3.5 (1):

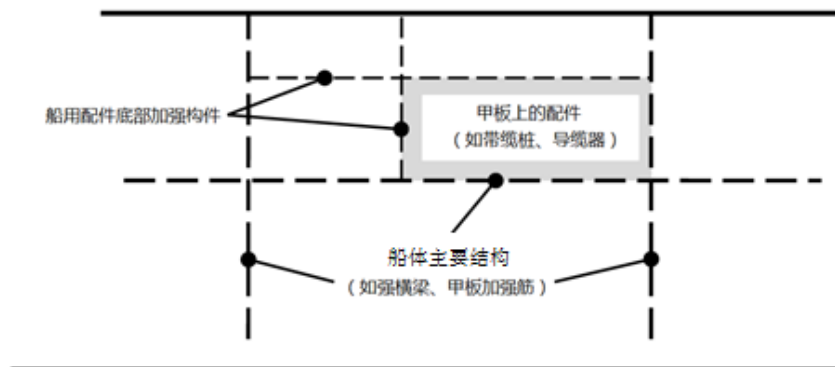


图 3.6.3.5 (1)

#### (2) 拖带载荷的作用点

船用配件上拖带载荷的作用点应是拖索的附着点或拖索方向变化处。对于带缆桩, 拖索的连接点应位于基座以上 4/5 的筒体高度, 如图 3.6.3.5 (2) 所示。

新增图 3.6.3.5 (2):

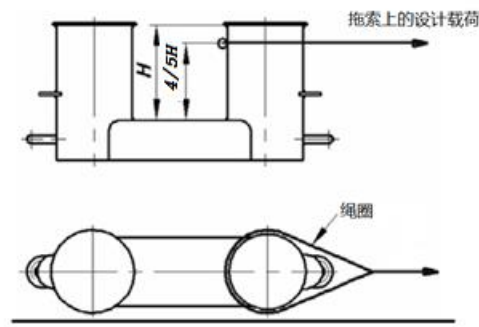


图 3.6.3.5 (2)

### (3) 许用应力

本节 3.6.3.3 规定的设计负荷下的许用应力如下：

#### 1) 使用梁理论或板架分析：

正应力：100%规定的材料的最小屈服点；

剪切应力：60%规定的材料的最小屈服点；

不考虑应力集中因素。

正应力指弯曲应力和轴向应力的和，相应的剪切应力作用方向垂直于正应力。不考虑应力集中因素。

#### 2) 有限元分析

合成应力：100%规定的材料的最小屈服点；

使用有限元分析进行强度计算时，模型应尽可能与实际结构一致。单元的长度与宽度比应不超过 3。

强桁材应使用板单元或平面应力单元模拟。对称桁材面板可使用梁或桁架单元模拟。桁材腹板单元的高度不可超过腹板高度的 1/3。对于桁材腹板上的小型开孔，腹板厚度应减薄到整个腹板高度的平均厚度。大型开孔应直接模拟。加强筋可通过板单元，平面应力单元或梁单元进行模拟。应读取每个单元中部的应力结果。对于板单元，应评估单元中间平面的应力。

### 3.6.3.6 拖带安全工作负荷(SWL<sub>TOW</sub>)

(1) 拖带安全工作负荷 (TOW) 是拖带用途的极限作业载荷；

(2) 用于正常拖带操作的 TOW 应不超过本节 3.6.3.3(1)给定设计负荷的 80%；

(3) 用于其他拖带操作的 TOW 应不超过本节 3.6.3.3(2)给定的设计负荷；

(4) 同时用于正常拖带和其他拖带的 TOW 应为(2)和(3)中的大者；

(5) 同时用于拖带和系泊的配件，还应满足 3.6.4 的要求；

(6) 每一船用配件的 TOW (单位为 t) 应标记(焊点或等效方法)在用于拖带的甲板配件上。对同时用于拖带和系泊的配件，除 TOW 外，根据 3.6.4.6 要求的 SWL (单位为 t) 也应进行标记。

(7) 上述要求的 TOW 仅适用于不超过一个拖索的使用。如无根据其他方式选择，对于双式带缆桩，TOW 为 1 根缆索用 1 个绳圈缠绕于单个缆桩型式的载荷极限；

(8) 本节 3.6.5 描述的拖带与系泊布置图应注明拖索的使用方法。

(1) 用于正常拖带操作(港区/调遣)的 SWL 应不超过本节 3.6.3.3(1)给定设计负荷的 80%，用于其他拖带操作(如伴航)的 SWL 应不超过本节 3.6.3.3(2)给定的设计负荷。对港区与伴航拖带都使用的配件，应取本节 3.6.3.3(1)和 3.6.3.3(2)设计负荷的较大者。

(2) 每一船用配件的 SWL 应标记(焊点或等效方法)在用于拖带的甲板配件上。

(3) 上述要求的 SWL 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) 本节 3.6.5 描述的拖带与系泊布置图应规定拖索的使用方法。

### 3.6.4 系泊

3.6.4.1 用于系泊操作的船用配件及其船体支撑结构的强度，以及绞车和绞盘的船体支撑结构的强度应满足本节 3.6.4.2 至 3.6.4.6 要求。

3.6.4.2 系泊用船用配件、绞车和绞盘应位于部分甲板结构(纵梁、横梁强力构件和/或桁材)上，以有效分布系泊负荷。其他如用于预定用途、确定强度足够的布置(如巴拿马舷墙导缆孔等)可以被接受。

#### 3.6.4.3 考虑载荷

(1) 除非船用配件由申请者规定了更大的安全工作负荷(SWL), 作用于船舶配件及的船体支撑结构的最小设计负荷应为表 3.2.1.1(2)中舾装数  $N$  对应设计者选定的系索破断强度的 1.25 倍。

注: 在评估横向风载荷、拖轮布置和系索选择时应计入包括甲板货最大堆层的侧投影面积。

为了本节的应用, IACS REC10 规定的系索破断负荷被强制用于决定施加在船舶配件和船体支撑结构上的设计负荷。

符合 IACS REC10 表 5 的脚注, 单根系索的破断强度超过 490kN 时, 如船上所有系索破断负荷的总和并不小于规定的总负荷, 增加相应的系索数量可以减小系索的破断强度。系索的数量应不少于 6 根而且单根系索的强度不小于 490kN。(也见本节 3.6.5, 系泊布置计划)

IACS REC10 其余的要求是指导性的。

(2) 绞车的等船体支撑结构的最小设计负荷应为预计的最大刹车支持负荷的 1.25 倍, 最大刹车支持负荷应不小于 80%的设计者选定的系索破断强度。对绞盘, 最小设计载荷应为 1.25 倍的最大拖卷入力。

(3) 设计负荷应通过按照拖带与系泊布置计划显示布置的系索施加。

(4) 应用配件与船体支撑结构设计负荷时应计算所有负荷, 但不需超过上述(1)规定设计负荷的 2 倍。如不超过 1 根缆索 1 圈。

(5) 根据申请者的要求规定了施加在船用配件的 SWL 时, 设计负荷将大于上述最小值, 配件的强度应使用规定的设计负荷设计。

(3) 当设计者所选定配件的安全工作负荷大于 3.6.4.6 规定的安全工作负荷时, 设计载荷应根据安全工作负荷与设计载荷之间的换算关系进行增加。

(4) 设计载荷应根据拖带与系泊布置图中的布置, 各种可能出现的方向施加于配件。当系泊索在配件处转向, 作用在配件上的设计载荷应为系泊索设计载荷的合力, 但不需超过 2 倍的系泊索设计负荷。参见图 3.6.3.3 (5)。

3.6.4.4 由船厂可根据 CCS 接受的工业标准(如 ISO13795《船用系泊及拖带设备—海船用钢质焊接带缆桩》)选择船用配件, 应至少基于设计者选定的系索破断强度。

如果工业标准中给出了双柱带缆桩的不同受力型式, 如 8 字缠绕两根缆桩和 1 个绳圈缠绕单个缆桩的型式, 双柱带缆桩应根据 8 字缠绕两根缆桩的型式选取。

如船用配件没有按接受的工业标准选择时, 评估该配件的强度及配件与船舶的连接时的船体支撑结构应符合本节 3.6.4.3 和 3.6.4.5 的要求。双柱带缆桩应根据 8 字缠绕两根缆桩的型式, 应注意在此种型式下, 每根缆桩能承受 2 倍的作用在系泊索上的载荷, 如果采用了其他型式而忽略了这种效果, 配件使用中将出现过载的情况。使用梁理论或有限元进行强度分析时, 应使用净尺寸的方法。腐蚀增量的要求详见本节 3.6.6, 磨损增量的要求详见本节 3.6.7。经同意, 可通过载荷试验的方式替代强度分析。

#### 3.6.4.5 船体支撑结构

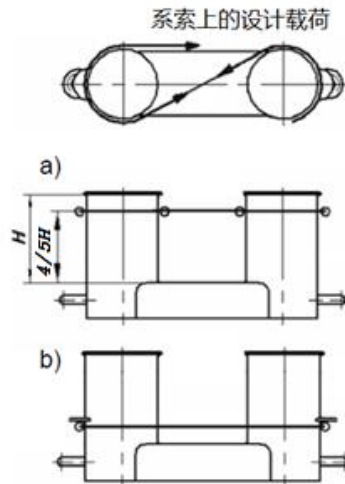
##### (1) 布置

船用配件下加强部件(纵梁)应对通过与船用配件间连接的布置作用在船用配件上的系泊载荷(不小于本节 3.6.4.3 规定的设计负荷)的任何方向(水平方向和垂直方向)的变化作有效布置, 参见图 3.6.3.5 (1) 所示。配件与船体支撑结构应保证合适的对齐。

##### (2) 系泊载荷的作用点

船用配件上系索载荷的作用点应是系索的附着点或系索方向变化处。对于带缆桩, 系泊索的连接点应位于基座以上至少 4/5 的筒体高度, 如图 3.6.4.5 (2) 中 a) 所示。如果筒体上安装了挡板以保证系泊索尽可能低, 则系泊索的作用点可取为挡板的高度, 如图 3.6.4.5 (2) 中 b) 所示。

新增图 3.6.4.5 (2):



### 3.6.4.5 (2)

#### (3) 许用应力

本节 3.6.4.3 规定的设计负荷下的许用应力如下：

##### 1) 使用梁理论或板架分析：

正应力：100%规定的材料的最小屈服点；

剪切应力：60%规定的材料的最小屈服点；

~~不考虑应力集中因素。~~

正应力指弯曲应力和轴向应力的和，相应的剪切应力作用方向垂直于正应力。不考虑应力集中因素。

##### 2) 有限元分析

合成应力：100%规定的材料的最小屈服点；

使用有限元分析进行强度计算时，模型应尽可能与实际结构一致。单元的长度与宽度比应不超过 3。

强桁材应使用板单元或平面应力单元模拟。对称桁材面板可使用梁或桁架单元模拟。桁材腹板单元的高度不可超过腹板高度的 1/3。对于桁材腹板上的小型开孔，腹板厚度应减薄到整个腹板高度的平均厚度。大型开孔应直接模拟。加强筋可通过板单元，平面应力单元或梁单元进行模拟。应读取每个单元中部的应力结果。对于板单元，应评估单元中间平面的应力。

#### 3.6.4.6 安全工作负荷(SWL)

(1) 安全工作负荷 (SWL) 是系泊用途的极限作业载荷；

(2) 除根据 3.6.4.3 (3)，设计者选用更大安全工作负荷 (SWL) 的配件，安全工作负荷应不超过按设计者选定的系索破断强度。

(3) 每一船用配件的 SWL (单位为 t) 应标记(焊点或等效方法)在用于系泊的甲板配件上。对同时用于拖带和系泊的配件，除 SWL 外，根据 3.6.3.6 要求的 TOW (单位为 t) 也应进行标记。

(4) 上述要求的 SWL 仅适用于不超过一个系泊索的使用。

(5) 本节 3.6.5 描述的拖带与系泊布置图应注明系泊索的使用方法。

~~(1) SWL 应不超过本节 3.6.4.3 给定设计负荷的 80%。~~

~~(2) 每一船用配件的 SWL 应标记(焊点或等效方法)在用于系泊的甲板配件上。~~

~~(3) 上述要求的 SWL 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) 本节 3.6.5 描述的拖带与系泊布置图应规定系索的使用方法。~~

#### 3.6.5 拖带与系泊布置图

(1) 每个船用配件预定用途的 SWL 和 TOW 应在拖带与系泊布置图上注明，该布置图应配备在船上指导船长。应注意拖带安全工作负荷 (TOW) 是拖带用途的极限作业载荷而安全工作负荷 (SWL) 为系泊用途，如无根据其他方式选择，对于拖带用双式带缆桩，TOW 为 1 根缆索用 1 个绳圈缠绕于单个缆桩型式的载荷极限；

(2) 提供的布置图应包括的每个船用配件的信息，涉及：

1) 船上位置；

2) 配件型号；



### 3) SWL/TOW;

4) 用途(系泊/港区拖带/伴航其他拖带); 及

5) 施加拖带或系泊载荷的方法, 包括角度变化的限制。

配件的 SWL 及 TOW 的确定应考虑其用途及施加载荷的方法, 并提交批准。

布置图中还应包括:

1) 系泊索的布置图(显示系泊索的数量);

2) 每根系泊索的最小破断负荷(MBL);

(3) 上述(2)中的信息应具体反映在引航员卡中, 为引航员提供港区/伴航其他拖带操作的正确信息。

~~(3) 在基于本节 3.6.4.3(1)中注释允许的系泊布置设计的船舶配件及其支撑结构的布置和细节中, 应在布置图中清楚地显示下列信息:~~

~~显示系索数量的系索布置, 以及每根系索的破断负荷。~~

### 3.6.6 腐蚀增量

船体支撑结构两侧的总腐蚀增量  $t_c$ , mm, 应不小于下列值:

~~CSR 规定的散货船和双壳油船, 总腐蚀增量定义见第 9 篇第 1 部分第 3 章第 3 节。~~

~~其他船舶: 2.0。~~

(1) 船体支撑结构, 2mm。

(2) 甲板上的基座或底座(基座和底座不是根据所接受工业标准制造的船用配件的一部分), 2mm;

(3) 船用配件(不是根据所接受工业标准制造的), 2mm。

### 3.6.7 磨损增量

在 3.6.6 的腐蚀增量基础上, 对于不是根据所接受的工业标准制造的船用配件, 其经常与绳索接触的表面, 应考虑不小于 1mm 的磨损增量。

### 3.6.78 建造后检验

任何甲板配件及其基座或底座, 与配件相邻的船体结构应按 ~~CCS~~ 的本规范检查。~~CCS~~ 规范规定允许的损耗应不超过本节 3.6.6 规定的腐蚀增量。

## 第 7 节 甲板设备支撑结构

### 3.7.1 一般要求

3.7.1.1 属于甲板设备和属具(如本节 3.7.1.2(1)至~~(7)~~(5)所列)的支撑结构的资料应提交批准, 支撑结构系指上部或内部安装甲板设备和属具并直接承受作用在甲板设备和属具上的力的部分船体结构。

3.7.1.2 本节内容包括对下列设备和配件的支撑结构和基座的尺度要求:

(1) 锚机;

(2) 掣链器;

~~(3) 系泊绞车;~~

~~(4)~~(3)甲板起重机, 吊杆和起重柱;

~~(5)~~(4) 应急拖带布置;

~~(6) 系缆桩和缆柱, 导缆器, 立式滚轮, 导缆孔和绞盘;~~

~~(7)~~(5)其他需特别认可的甲板设备和配件。

### 3.7.2 锚机和掣链器的支撑结构

3.7.2.3 校核下列载荷工况下锚机和掣链器支撑结构的强度:

(1) 锚机(带掣链器): 破断负荷的 45%

(2) 锚机(不带掣链器): 破断负荷的 80%

(3) 掣链器: 破断负荷的 80%

破断负荷系指根据本章表 3.2.1.1 (2) 确定的锚链的最小破断负荷。载荷应在锚链的方向施加。

### 3.7.3 系泊绞车的支撑结构

~~3.7.3.1 对于本章第 6 节定义的常规船舶, 其系泊绞车的支撑结构应按本条要求校核, 以下图纸和资料应提交批准:~~



- (1) 系泊绞车支撑结构详图；  
 (2) 系泊绞车基座设计详图，包括底脚螺栓和基座与甲板连接的材料明细表；  
 3.7.3.2 同时还应提交以下图纸和资料：  
 (1) 系泊设备的一般布置图；  
 3.7.3.3 系泊绞车的支撑结构应满足本章第 6 节的要求。

### 3.7.43 起重机、吊杆和起重柱的支撑结构

3.7.43.1 安全工作负荷大于 30kN，或作用于支撑结构的最大倾覆力矩超过 100kN·m 的起重机、吊杆和起重柱的支撑结构，应符合以下要求。

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 CCS 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。

船上被认定为船舶基本特征的起重设备，如起重船的起重设备及潜水补给船的潜水器吊放系统，其支撑结构应符合 CCS《船舶与海上设施起重设备规范》的要求。

对其他的起重设备，包括安全工作负荷大于 30kN，或作用于支撑结构的最大倾覆力矩超过 100kN·m 的起重机、吊杆和起重柱的支撑结构，应符合本节要求。

3.7.43.2 这些要求不包括以下项目：

- (1) 工作人员或乘客使用的起重设备的支撑结构，见本节 3.7.75.2；
- (2) 甲板连接区域以上起重设备基座或桅杆的结构；
- (3) 被视为起重设备一部分的底角螺栓及其布置。

3.7.43.3 起重设备系指起重机、吊杆和起重柱。

3.7.43.4 安全工作负荷系指在任何规定的变幅长度范围内、起重设备可起升的最大载荷。

3.7.43.5 自重系指计算起重设备的总重量，包括任何起重零部件的重量。

3.7.43.6 倾覆力矩系指起重设备在安全工作负荷下作业，起重设备与船舶结构连接处所计算得出的最大弯矩，应考虑变幅长度和自重的影响。

3.7.43.7 以下图纸和资料应提交批准：

- (1) 起重设备支撑结构，包括与甲板连接的详图；
- (2) 安全工作负荷、自重、垂直反作用力以及起重设备支撑结构上的最大倾覆力矩的详图；
- (3) 近海作业时，使用起重设备时的最差海况。

3.7.43.8 同时应提交起重机/吊杆/起重柱的布置图。

3.7.43.9 对限于港内使用的起重设备，工况校核的载荷应包括起重设备自重及 130% 安全工作负荷。

3.7.43.10 对可以用于近海(系指开敞水域，该水域的海况会使船舶产生显著运动，海上风力通常大于蒲氏 2 级)作业的起重设备，以下各项应提交批准：

- (1) 使用起重设备时的最差海况；
- (2) 最恶劣工况下的垂直及水平加速度；
- (3) 规定设计海况和风环境下的最恶劣风载荷；
- (4) 所校核的载荷方案应能说明这些环境载荷。作为最低标准，附加于起重设备自重的 150% 安全工作负荷也应进行校核。

3.7.43.11 计算分析要求、模型化方法参见本节 3.7.2.5 和 3.7.2.6。

3.7.43.12 各种工况下，起重设备支撑结构和基座的计算应力应不大于表 3.7.43.12 中的许用值。

许用应力

表 3.7.43.12

单元类型	许用应力
交叉梁系	正应力： $[\sigma] = 0.67R_{eH}$ 剪应力： $[\tau] = 0.39R_{eH}$
板元	相当应力： $[\sigma_e] = 0.80R_{eH}$

注：  $R_{eH}$ —材料屈服应力，N/mm<sup>2</sup>。

3.7.43.13 除本节 3.7.43.12 要求外，同时还应按本篇第 1 章第 5 节 1.5.9 规定来校核支撑结构抗屈曲失效的能力。屈曲强度评估中，构件的标准减薄厚度取 1.0mm，最小屈曲安全因子取 1.0。

### 3.7.54 应急拖带装置的支撑结构

3.7.54.1 载重量大于或等于不小于 20000t 的用于散装运输易燃液体货品的船舶（包括油船、化学品液货船和液化气体船）应在其首尾两端安装应急拖带装置。

3.7.54.2 ~~IMO-MS-C35(63)~~号决议中关于应急拖带装置的安全工作载荷规定如下：

- (1) 载重量大于或等于 20000t，但小于 50000t 的船舶，取 1000kN；
- (2) 载重量大于或等于 50000t 的船舶，取 2000kN。

3.7.54.3 以下图纸应提交批准：

应急拖带装置支撑结构图，包括与甲板连接的详图。

3.7.54.4 同时还应提交以下支持性资料：

能明确表示载荷作用位置及方向的详细描述的应急拖带装置详图。

3.7.54.5 船上强力端和导缆孔处的甲板最小总厚度应为 15mm。

3.7.54.6 强力端和属具与甲板相连部分及其支撑结构的设计载荷应为安全工作载荷的两倍。结构计算应考虑采用设计载荷的实际作用线实际的力作用方向，另外还应考虑所提议的特殊布置。~~见IMO-MS-C35(63)号决议。~~

3.7.54.7 计算分析要求、模型化方法参见本节 3.7.2.5 和 3.7.2.6。

3.7.54.8 本节 3.7.54.6 中规定的设计载荷作用于强力受力点和导缆孔所在支撑结构和焊接点上的计算应力，应不大于本节 3.7.2.7 规定的许用值。

3.7.54.9 同时还应确保支撑结构具备抗屈曲失效的能力。

### 3.7.6 系缆桩和缆柱，导缆器，立式滚轮，导缆孔和绞盘的支撑结构

~~3.7.6.1 对于本章第 6 节定义的常规船舶，其系缆桩和缆柱，导缆器，立式滚轮，导缆孔和绞盘的支撑结构应满足本章第 6 节的要求。~~

### 3.7.75 其他需要提交特别认可的甲板设备或配件的支撑结构

3.7.75.1 以下要求是关于本节 3.7.2 至 3.7.64 中未涉及的甲板设备的其他项目。以下细节应提交批准。它们可以分别说明或包括在主要结构图纸中：

- (1) 标明甲板设备/舾装件的支撑结构的图纸；
  - (2) 甲板设备/舾装件施加于结构上的载荷受力情况。
- 3.7.75.2 供工作人员使用的起重设备应提供如下支撑：

- (1) 一般，救生装置(救生艇，救生筏和救助艇)应安装在特制的支架、基座或专用机械上。施加于船舶结构上的设计载荷应由救生装置的供应商进行确定；
- (2) 支撑结构应充分满足设计载荷要求。应局部加强和局部增加板厚度。还可要求设置主要支撑构件。如适用时，应符合附加的国家和国际规则的要求；
- (3) 在升降运行设备的固定点所在位置应设置船员升降机的支撑结构；
- (4) 在舷梯的固定点所在位置应设置登乘梯(舷梯)的支撑结构。

3.7.75.3 对安装在桅杆上助航设备的支撑结构规定如下：

- (1) 桅杆应以舱壁、高腹板横梁或纵桁的形式布置足够的主要支撑构件。这类构件应布置在桅杆结构以下或附近；
- (2) 为把载荷从桅杆结构传递至主要支撑构件，在桅杆与甲板形成连接的桅杆结构以下位置应布置甲板下加强构件；
- (3) 可要求增加甲板的厚度以保证焊接连接处的厚度足够。

3.7.75.4 挡浪板支撑结构应设计为其所能承受的设计载荷，应和挡浪板自身所能承受的设计载荷相等。恰当的设计是能将载荷从挡浪板传递至船舶的主要支撑构件。与甲板形成连接的挡浪板结构所在甲板下应设置有效加强结构。

3.7.75.5 拖船拖曳设备支撑结构应满足本篇第 10 章第 5 节 10.5.3 拖曳设备与支承结构的要求。

## 第 5 章 双壳油船

### 第 4 节 双层底结构

5.4.2.11 对于船长 90m 及以上的油船，中桁材、箱形中桁材、旁桁材应按直接计算方法进行校核，直接计算应符合本章附录 1 的要求。对于如船长小于 150m 时以下的油船，也可采用其他经认可的等效的直接计算方法，但应经 CCS 批准。

5.4.3.4 对于船长 90m 及以上的油船，肋板厚度应按直接计算方法进行校核，直接计算应符合本章附录 1 的要求。对于如船长小于 150m 时以下的油船，也可采用其他经认可的等效的直接计算方法，但应经 CCS 批准。肋板在桁材处切断时应注意对中，确保它的横向连续性。

## 第7章 集装箱船

### 第1节 一般规定

7.1.1.4 对集装箱船强力甲板和舱口围板使用屈服强度  $390 \text{ N/mm}^2$  的高强度钢时, 按本篇第1章第3节 1.3.1 要求, 用于总纵强度计算的材料系数  $K$  可取为 0.66, 但应满足以下条件:

(1) 板厚大于 50mm;

(2) 对上述  $390 \text{ N/mm}^2$  高强度钢区域, 应采用疲劳谱分析方法进行评估, 评估位置除本章附录 2 中 4.1.5 要求外, 还应增加舱口围板与支撑构件连接处, 以及其他受船体梁弯扭响应较大的关键位置;

(3) 应按 CCS《船体结构建造监控指南》的要求对甲板和舱口围的关键位置进行建造监控。

### 第2节 总纵强度

#### 7.2.3.3 屈服强度评估

(1) 一般接受的衡准

应校核 7.2.2.4 中定义的“中拱”和“中垂”载荷工况的屈服强度, 船体梁等效应力  $\sigma_{eq}$ ,  $\text{N/mm}^2$ , 应小于许用应力  $\sigma_{perm}$ ,  $\text{N/mm}^2$ , 如下:

$$\sigma_{eq} < \sigma_{perm}$$

式中:  $\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau^2}$

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{eH}}{\gamma_1 \gamma_2}$$

$\gamma_1$ ——材料分项安全因子, 取  $\gamma_1 = \frac{R_{eH}}{235} \gamma_1 = K \frac{R_{eH}}{235}$

$\gamma_2$ ——载荷组合和许用应力分项安全因子, 取:

- $\gamma_2 = 1.24$ , 当按 7.2.3.3 (2) 评估弯曲强度时
- $\gamma_2 = 1.13$ , 当按 7.2.3.3 (3) 评估剪切强度时

### 第4节 外板

7.4.2.2 舷顶列板与以下的一列舷侧外板的厚度差应不大于 ~~25mm~~ 舷顶列板板厚的 1/2。

### 第8节 船首舷侧结构加强

7.8.1.1 船首部舷侧结构(包括首楼舷侧结构)应予以加强。加强范围自首垂线起向后  $0.1L$  之间与夏季载重线以上区域。如距首垂线  $0.15L$  处的最大外飘角  $\alpha$  (见图 7.8.1.3(1)) 大于  $40^\circ$ , 则加强的纵向范围应延伸至距首垂线  $0.15L$  处。在该加强区域内舷侧构件的尺寸应符合本节的要求。

7.8.1.3 船首砰击计算压头  $h_s$  按下式计算:

$$h_s = C_s (0.22 + 0.15 \tan \alpha) (0.4V \sin \beta + 0.6\sqrt{L})^2 \quad \text{m}$$

式中:  $C_s = 0.144(C - 0.5h_1)$ , 且不大于 0.8;

$C$ ——波浪系数, 见本篇第 2.2.3.1 节;

$\alpha$ ——计算点处的外飘角, 定义为在该处横剖面上, 垂线与外板切线之间的夹角, ( $^\circ$ ), 见图 7.8.1.3(1);

$\beta$ ——计算点处的首尖角, 定义为在该处水平面上, 中心线与外板切线之间的夹角, ( $^\circ$ ), 见图 7.8.1.3(2);

$V$ ——满载时的最大设计航速, kn;

$L$ ——船长, m, 但计算时取值不必大于 250 m。

其中:  $h_1$ ——夏季载重线与计算点之间的垂直距离, m, 见图 7.8.1.3(1)。对于外板, 计算点取板格中心; 对于横向构件, 计算点取跨距中点。

## 第 9 节 大型集装箱船船长大于 250m 的集装箱船的补充要求

7.9.3.4 强力甲板开口线外、内的厚度差较大时, 应在开口线内一侧至少应设置两块中间过渡板, 相邻板之间的厚度差应向开口线内侧逐步递减, 且厚度差一般应不超过 ~~25mm~~, 最大应不超过 ~~30mm~~ 厚板板厚的 1/2。通常厚板在连接处将按照不大于 1: 4 的比例对高出的边缘予以削斜。

7.9.4.4 在强力甲板平面内, 箱形横向甲板结构的甲板最小厚度应按下列式计算:

$$t = (10 + 0.01L)\sqrt{K} \quad \text{mm, 但应不小于 12mm}$$

式中:  $L$  ——船长, m, 计算时取值不必大于 300m;

$K$  ——材料系数。

7.9.7.3 舷顶列板与相邻舷侧外板的厚度差一般应不大于 ~~25mm~~, 最大应不超过 ~~35mm~~ 厚板板厚的 1/2。通常厚板在连接处将按照不大于 1:4 的比例对高出的边缘予以削斜。

7.9.10.12 船首底部的加强应满足本篇第 2 章第 15 节 2.15.3 的有关要求。在加强范围内, 对纵骨架式双层底骨架进行加强时, 本篇第 2 章第 15 节 2.15.3.3(1) 可不适用, 但实肋板间距应不大于 3.2m 或四倍纵骨间距 (取大者)。

## 第 10 节 大开口船舶弯扭组合的总纵强度

7.10.3.1 沿船长任一剖面处的水动力扭矩  $M_T(x)$  应按下列式计算:

$$M_{T(x)} = 9.81e^{-0.00295L} \frac{LB^3 C_T}{20000} \left(1.75 + 1.5 \frac{\varepsilon}{D}\right) \left(1 - \cos \frac{2\pi}{L} x\right) \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_T(x) = 9.81e^{-0.00295L} \frac{LB^3 C_T}{20000} \left(1.75 + 1.5 \frac{\varepsilon}{D}\right) \left(1 - \cos \frac{2\pi}{L} x\right) \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中:  $e$ ——自然对数底;

$L$ ——船长, m;

$B$ ——船宽, m;

$D$ ——型深, m;

$$C_T = 13.2 - 43.4 C_W + 78.9 C_W^2;$$

其中  $C_W$  ——水线面系数, 不必大于  $0.165 + 0.95 C_b$ ;

$\varepsilon$  ——从船基线以下的剪切中心至船基线的距离, m;

$x$  ——从任一剖面至尾垂线的距离, m;

$C_b$  ——方形系数, 同本节 7.10.2.1。

7.10.4.2 船舶处于迎浪状态时的垂向合成弯曲应力  $\sigma_c$  应按下式计算:

$$\sigma_c = \frac{M_s + M_V}{W_V} \times 10^3 \quad \text{N/mm}^2$$

式中:  $M_s$ 、 $W_V$  ——同本节 7.10.4.1;

$M_V$  ——垂向波浪弯矩, kN·m, 见本节 7.10.2.1。

在强力甲板处的许用垂向合成弯曲应力  $[\sigma_c]$  为  $157/K$ ,  $\text{N/mm}^2$ ; 在龙骨处的许用垂向

合成弯曲应力  $[\sigma_c]$  为  $150/K$ ,  $\text{N/mm}^2$ , 其中  $K$  见 7.10.4.1。

## 附录2 集装箱船结构强度直接计算

本附录第2节整节修改如下：

### 2 货舱区域主要结构强度直接计算

#### 2.1 一般要求

2.1.1 货舱段直接计算适用于货舱区域主要构件在典型装载工况下的强度评估。主要构件包括：

- (1) 双层底结构（船底板、内底板、纵桁和实肋板）；
- (2) 双舷侧结构（舷侧板、内壳板、纵向平台和横向强框架）；
- (3) 横舱壁结构（横舱壁板、舱壁桁材）；
- (4) 甲板结构（甲板、抗扭箱）。

2.1.2 如在中部货舱之间布置燃油舱时，还应按本附录2.8对燃油舱区域结构进行强度评估。

#### 2.2 结构模型化

2.2.1 除本附录另有规定外，结构模型化要求见本篇第1章第5节。

2.2.2 货舱段模型纵向范围一般应至少覆盖船中货舱区域的“1/2个货舱+1个货舱+1/2个货舱”范围，即“1个40英尺箱位+2个40英尺箱位+1个40英尺箱位”的长度；垂向应取至舱口围范围；横向应取全宽范围。

2.2.3 模型中一般应包括横向水密舱壁和横向支撑舱壁，横向支撑舱壁位于模型的中间和前、后端，典型有限元模型见图2.2.3(1)~(3)。

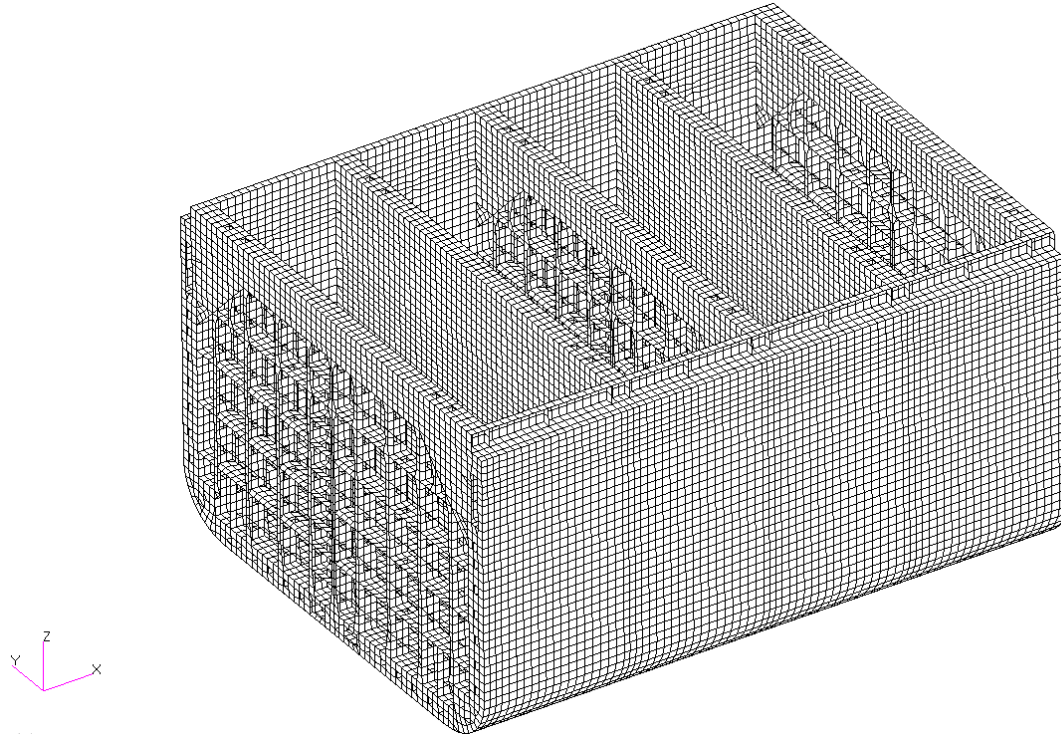


图 2.2.3(1) 典型有限元模型

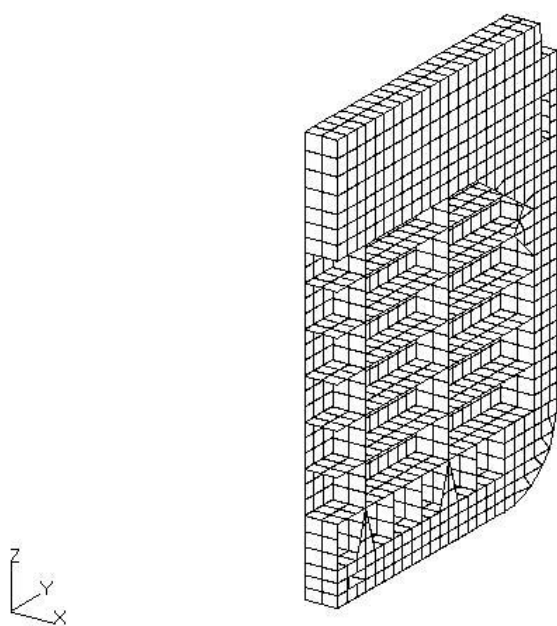


图 2.2.3(2) 典型的水密横舱壁有限元模型（半宽）

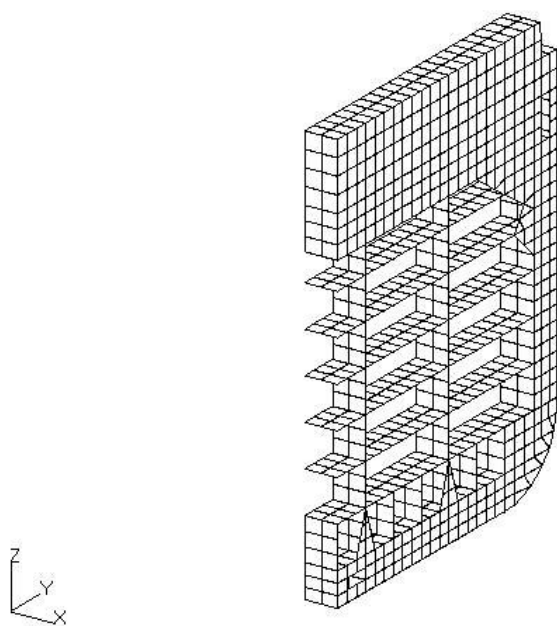


图 2.2.3(3) 典型的横向支撑舱壁有限元模型（半宽）

## 2.3 设计载荷

2.3.1 除本附录另有规定外，设计载荷见本篇第1章第5节。

2.3.2 总体载荷包括静水弯矩和波浪弯矩。静水弯矩  $M_s$  取设计方提供的许用中拱静水弯矩  $\overline{M}_{s-Hog}$  和许用中垂静水弯矩  $\overline{M}_{s-Sag}$ 。垂向波浪弯矩  $M_w$  包括中拱波浪弯矩  $M_{w-Hog}$  和中垂



波浪弯矩  $M_{w-sag}$ ，按本章第2节7.2.2.3计算。

2.3.3 局部载荷包括如下：

- (1) 海水静压力；
- (2) 海水动压力；
- (3) 船体结构和集装箱自重；
- (4) 由船舶运动加速度引起的船体结构和集装箱动载荷，船舶运动加速度见2.3.5；

2.3.4 舷外海水动压力是由局部波浪载荷引起的附加压力，分为波峰动压力和波谷动压力。

波峰动压力  $p_{hd}$  见本篇第1章1.5.3.3(4)和(5)。波谷动压力  $p_{hd1}$  按下式计算，分布示意图见图2.3.4。

$$p_{hd1} = \max(-p_{hd}, \rho_w g(z - d_1)) \quad \text{KN/m}^2$$

式中： $p_{hd}$  ——按本篇第1章1.5.3.3(4)；

$\rho_w$  ——海水密度，取  $1.025\text{t/m}^3$ ；

$g$  ——重力加速度，取  $9.81\text{m/s}^2$ ；

$z$  ——计算点至基线的垂直距离，m；

$d_1$  ——计算工况下的吃水，m。

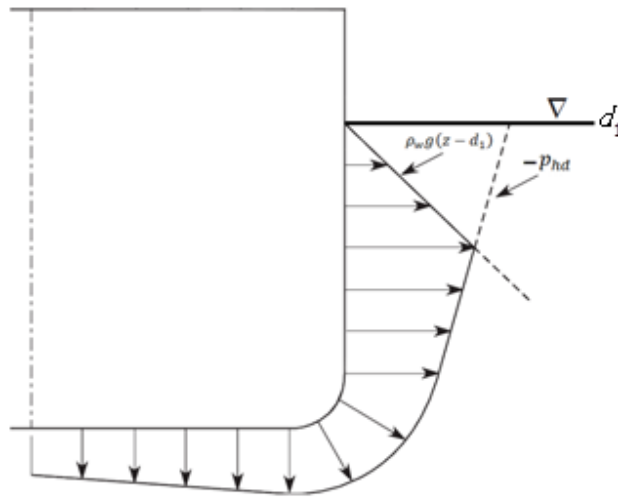


图 2.3.4 波谷动压力在船体横剖面上的分布示意图

2.3.5 由船舶运动引起的垂向加速度  $a_v$  按下式计算，以向上为正：

$$a_v = f_{LC}(C_{ZH}a_z - C_{ZP}a_p(x - 0.45L)) \quad \text{m/s}^2$$

式中：

$f_{LC}$  ——系数，应按下列各式取值：

$f_{LC} = -1.0$ ，计算工况为中垂时

$f_{LC} = 1.0$ ，计算工况为中拱时

$C_{ZH}$  ——垂荡加速度项载荷组合因子， $C_{ZH} = 0.15 - 0.5 f_T$ ， $f_T = d_1/d$ ， $d$  ——吃水，m；

$a_z$  ——按本篇第1章1.5.2.1(3)计算；

$C_{ZP}$  ——纵摇加速度项载荷组合因子，取 0.7；

$a_p$ ——按本篇第1章1.5.2.1(5)计算。

$x$ ——计算点的  $x$  坐标, m;

$L$ ——船长, m。

由船舶运动引起的纵向加速度  $a_l$  按本篇第1章第5节1.5.2.2(7)计算, 计算时航速取为最大服务航速的一半。

## 2.4 计算工况

2.4.1 应按照表2.4.1的计算工况进行校核。如装载手册中存在表2.4.1以外更为严重的装载工况, 也应对这些装载工况进行结构强度直接计算。图2.4.1为各计算工况的示意图。

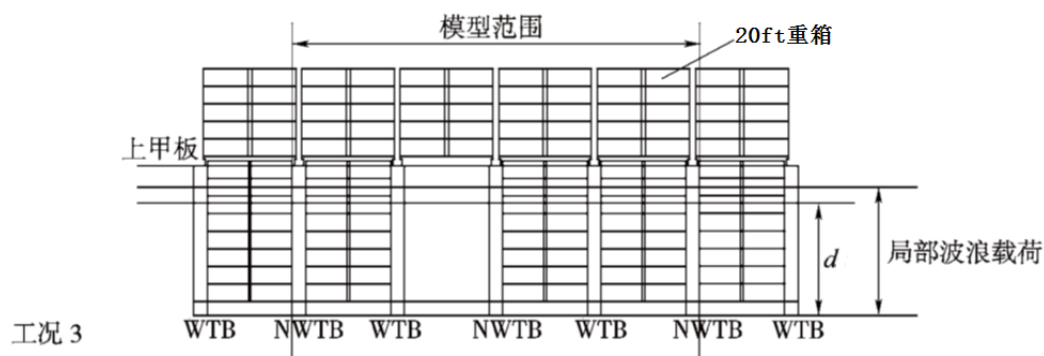
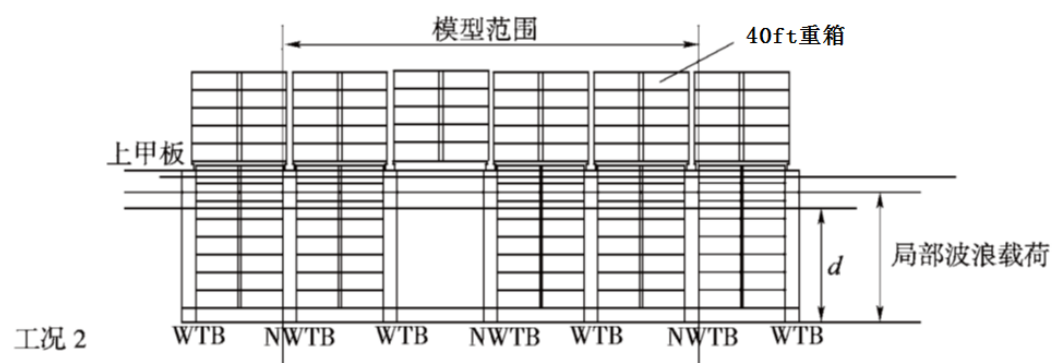
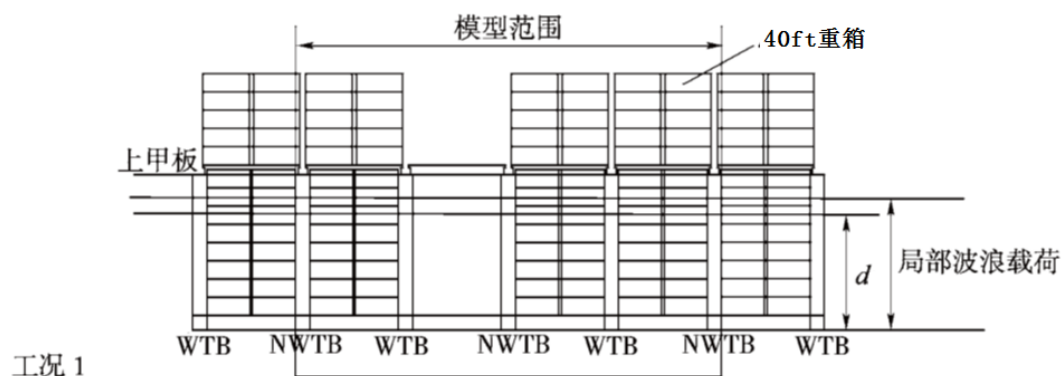
计算工况

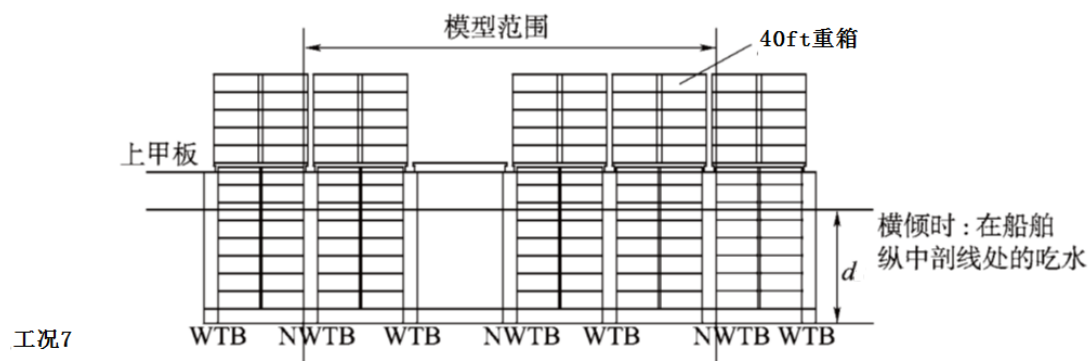
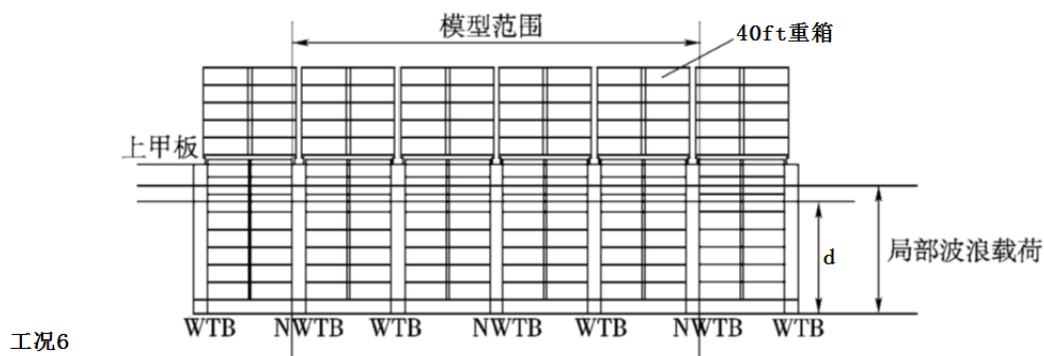
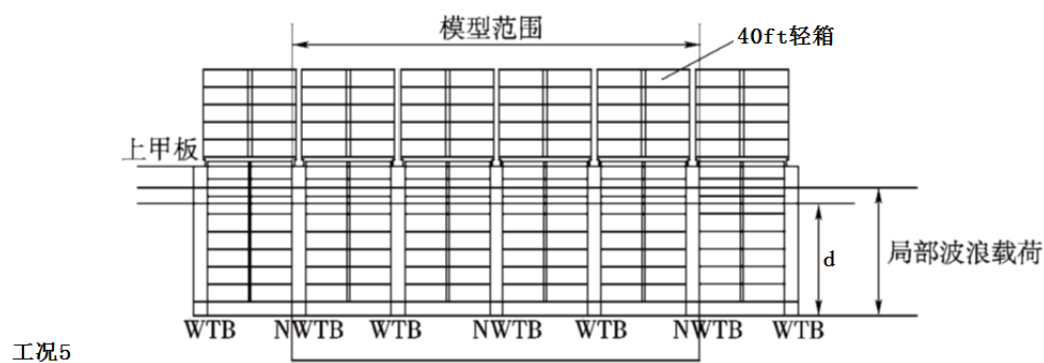
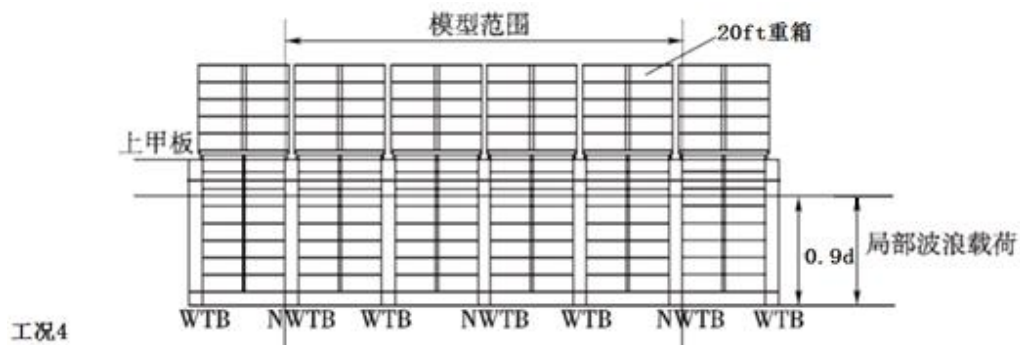
表 2.4.1

工况	工况描述	静水弯矩	波浪弯矩	吃水	海水动压力	箱重	船体结构和集装箱动载荷加速度
1	一个40英尺箱位的舱内和舱盖上为空; 其余舱内和舱盖上装满	$\bar{M}_{s-Hog}$	$M_{w-Hog}$	$d$	$p_{hd}$	40ft重箱	$a_v$
2	一个40英尺箱位的舱内为空, 舱盖上装满; 其余舱内和舱盖上装满	$\bar{M}_{s-Hog}$	$M_{w-Hog}$	$d$	$p_{hd}$	40ft重箱	$a_v$
3	一个40英尺箱位的舱内为空, 舱盖上装满; 其余舱内和舱盖上装满	$\bar{M}_{s-Hog}$	$M_{w-Hog}$	$d$	$p_{hd}$	20ft重箱	$a_v$
4	所有舱的舱内和舱盖上装满	$\bar{M}_{s-Sag}$	$M_{w-Sag}$	$0.9d$	$p_{hd1}$	20ft重箱	$a_v$
5	所有舱的舱内和舱盖上装满	$\bar{M}_{s-Hog}$	$M_{w-Hog}$	$d$	$p_{hd}$	40ft轻箱	$a_v$
6	所有舱的舱内和舱盖上装满	$\bar{M}_{s-Hog}$	$M_{w-Hog}$	$d$	$p_{hd}$	40ft重箱	$a_v$
7	一个40英尺箱位的舱内和舱盖上为空; 其余舱内和舱盖上装满(船舶横倾)	—	—	$d$	—	40ft重箱	—
8	所有舱的舱内和舱盖上装满(船舶横倾)	—	—	$d$	—	20ft重箱	—
9	所有舱的舱内和舱盖上装满(船舶纵向运动)	—	—	—	—	40ft重箱	$a_l$
10	破损(船舶横倾)	—	—	$d_{dam}$	—	40ft重箱(除中间破损舱外)	—

注: (1)  $d$ ——吃水, m;

- (2) 重箱——单个箱重取许用堆重除以最大装箱层数得到；
- (3) 轻箱——单个箱重应按不大于下列各式取值：  
 货舱内： 55%的重箱重量；  
 舱口盖上： 90%的舱盖许用堆重除以最大装箱层数或17吨，取小者；
- (4) 工况7、8中，横倾角按本篇第1章第5节计算；如有波浪载荷直接计算预报时，可接受直接计算预报的横倾角；
- (5) 工况9中，舱内及舱口盖上的载荷值的确定，见2.4.3与2.4.4；
- (6) 如出现一个货舱包含2个及以上40英尺箱位，则每个箱位必须按空舱进行计算；
- (7)  $d_{\text{dam}}$ ——定义见本附录2.4.5。





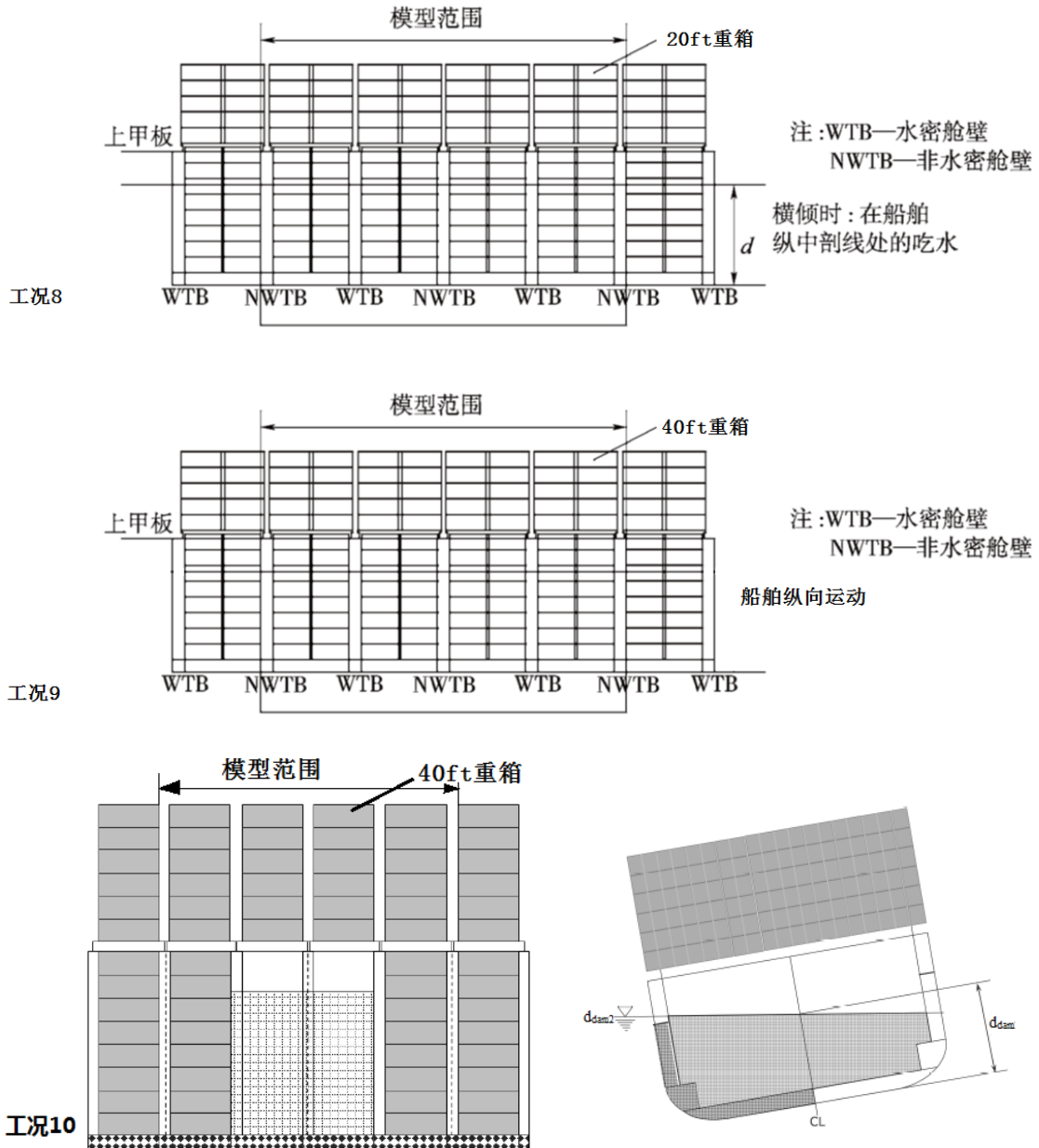


图 2.4.1 计算工况示意图

2.4.2 横倾工况(工况7、工况8)中,假定船舶静横倾至最大横摇角计算各载荷分量。货舱内集装箱的横向载荷分量,按其在横舱壁对应的箱角分布位置为作用点,以一组集中力形式,作用在横舱壁上。甲板上集装箱的横向载荷分量,以一组沿横向分布的剪力形式,作用在横向舱口围板顶端的单元节点上。

2.4.3 如集装箱船设有箱型甲板纵桁、且甲板横向抗扭箱的跨距不超过13.0m时,可不必计算工况9。

2.4.4 纵荡工况(工况9)中,货舱内每一集装箱由于纵向运动加速度产生的纵向力应按各集装箱的物理位置,由集装箱对应箱角位置传递到横舱壁(或横向支撑舱壁)的主要构件上。舱口盖上集装箱载荷应按下述要求计算:

(1) 每个舱口盖上集装箱的纵向力应按舱口盖上堆高中点处纵向加速度确定,不计入由纵向力在每堆的基座处产生的力矩。

(2) 集装箱的堆重和层数按装载手册或货物操作手册中允许的最大堆重和层数取值。

(3) 甲板上位于舷侧至纵向舱口围板间的集装箱载荷不计。

(4) 舱口盖上纵向力总量的15%，应以分布力形式作用在纵向和横向舱口围板顶部的节点上，以模拟舱口围板处支承块由于纵向运动受到的摩擦力。

(5) 舱口盖上纵向力总量的其余85%，应作用在舱口盖一端纵向止滑块对应（横向舱口围板顶端）的节点上。如止滑块位置未知，则假定为舱口盖后端宽度的1/2处，如舱口盖数未知，假定每一舱口由3块舱口盖覆盖。

2.4.5 破损工况（工况10）中，假定船舶任一货舱进水达到最深平衡水线。有限元模型中且仅考虑中间货舱和同侧压载舱同时破损情况。集装箱载荷加载同2.4.2。破损点的最大高度  $d_{dam2}$  和中纵剖面处的  $d_{dam}$  由最深平衡水线确定。

## 2.5 边界条件

### 2.5.1 局部载荷工况边界条件

2.5.1.1 载荷对称的计算工况（工况1、2、3、4、5、6、9、10），边界条件见表2.5.1.1(1)；载荷非对称的计算工况（工况7、8），边界条件见表2.5.1.1(2)；表中节点、交线、端面示意图见图2.5.1.1。

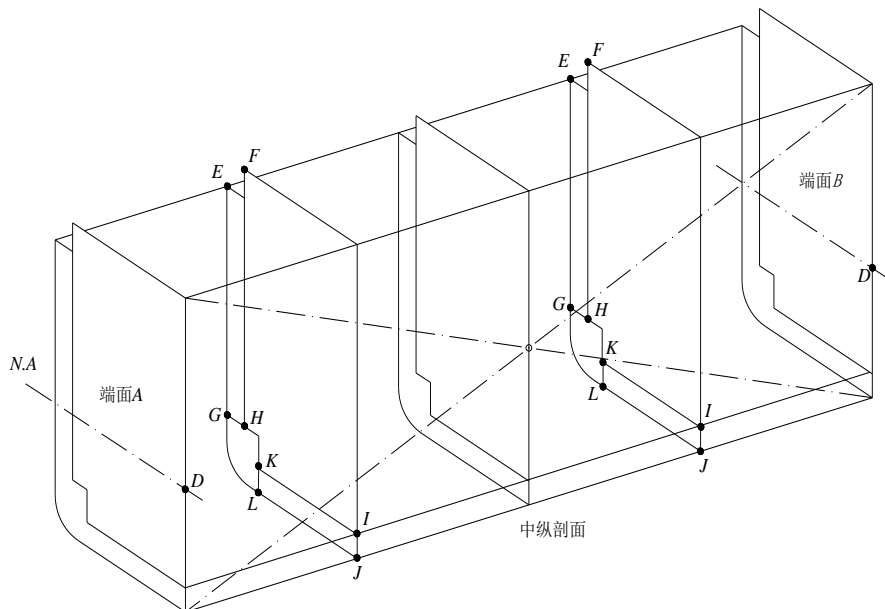


图 2.5.1.1 边界条件

2.5.1.2 对于载荷对称的计算工况，舷侧外板、内壳板与前后横舱壁交线上节点应设置垂向弹簧单元，对于载荷非对称的计算工况，除舷侧外板、内壳板与前后横舱壁交线上节点应设置垂向弹簧单元外，船底板、内底板与前后横舱壁交线上节点还应设置水平弹簧单元。弹簧单元弹性系数均匀分布，按下式计算：

$$K = \frac{5GA}{6l_H n} \quad \text{N/mm}$$

式中： $G$ ——材料的剪切弹性模量，对于钢材， $G=0.792 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；

$A$ ——前后舱壁处舷侧外板、内壳板、船底板、内底板的剪切面积， $\text{mm}^2$ ；

$l_H$ ——中部货舱长度， $\text{mm}$ ；

$n$ ——舷侧外板、内壳板上垂向交线节点数量或船底板、内底板上水平交线节点数量。

对称载荷边界条件 表

2.5.1.1(1)

位置	线位移约束			角位移约束		
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
节点 $J$	—	固定	—	—	—	—
端面 $A、B$	固定	—	—	—	固定	固定
交线 $EG、FH$	—	—	弹簧	—	—	—

非对称载荷边界条件 表

2.5.1.1(2)

位置	线位移约束			角位移约束		
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
端面 $A、B$	固定	—	—	—	固定	固定
交线 $EG、FH$	—	—	弹簧	—	—	—
交线 $IK、JL$	—	弹簧	—	—	—	—

2.5.2 总体载荷工况边界条件

2.5.2.1 总体载荷工况边界条件见表 2.5.2.1，仅适用于表 2.4.1 中船体梁的弯曲应力的计算。

2.5.2.2 在端面  $A$  与  $B$  内中和轴与纵中剖面相交处建一个独立点  $D$  (见图 2.5.1.1)，在独立点上施加总纵弯矩，端面各纵向构件节点自由度  $\delta_x$ 、 $\delta_y$ 、 $\delta_z$  独立点相关。

2.5.2.3 端面  $A$  与  $B$  内独立点  $D$  的横向线位移、垂向线位移、绕纵向轴的角位移约束，即：

$\delta_y = \delta_z = \theta_x = 0$ ；端面  $A$  内独立点  $D$  纵向线位移约束，即  $\delta_x = 0$ 。

总体载荷边界条件 表 2.5.2.1

位置	线位移约束			角位移约束		
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
节点 $J$	—	固定	—	—	—	—
端面 $A、B$	相关	相关	相关	—	—	—
独立点 $D$ (端面 $A$ )	固定	固定	固定	固定	弯矩	—
独立点 $D$ (端面 $B$ )	—	固定	固定	固定	弯矩	—

2.6 强度评估

2.6.1 评估区域

2.6.1.1 应对中间货舱和向前后延伸一个横框架范围内的主要构件进行评估。

2.6.2 屈服强度评估

2.6.2.1 应将局部载荷工况与总体载荷工况产生的应力合成后进行强度校核。板单元应力取为单元中点处的相当应力。

2.6.2.2 各工况下，主要构件的许用应力见表 2.6.2.2。

许用应力

表 2.6.2.2

构件名称	计算工况	许用应力(N/mm <sup>2</sup> )	
		[ $\sigma_e$ ]	[ $\tau$ ]
甲板板	LC1、2、3、4、5、6	225/ <i>K</i>	—
船底外板、内底板	LC1、2、3、4、5、6	225/ <i>K</i>	—
舷侧板、纵舱壁	LC1、2、3、4、5、6	225/ <i>K</i>	115/ <i>K</i>
船底纵桁	LC1、2、3、4、5、6	235/ <i>K</i>	115/ <i>K</i>
双层底肋板	LC1、2、3、4、5、6、 7、8	175/ <i>K</i>	90/ <i>K</i>
横向强框架	LC1、2、3、4、5、6、 7、8	195/ <i>K</i>	95/ <i>K</i>
边舱纵向平台	LC1、2、3、4、5、6	225/ <i>K</i>	—
	LC 7、8	175/ <i>K</i>	90/ <i>K</i>
横舱壁板	LC1、2、3、4、5、6	180/ <i>K</i>	100/ <i>K</i>
	LC10	235/ <i>K</i>	—
横舱壁桁材	LC1、2、3、4、5、6、 7、8	175/ <i>K</i>	—
	LC9	85/ <i>K</i>	—
	LC10	235/ <i>K</i>	—
双层底及舷侧平台与水密横 舱壁结构连接处	LC10	235/ <i>K</i>	—
甲板横向抗扭箱	LC 7、8	175/ <i>K</i>	90/ <i>K</i>
	LC9	85/ <i>K</i>	—
	LC10	235/ <i>K</i>	—
肘板趾端部局部应力集中	LC1、2、3、4、5、6、 7、8、9、10	220/ <i>K</i>	—

注：(1) *K*——材料系数。

(2) 在计算工况 9 中，位于舱口围板顶端舱盖支承块处节点的单元，由于其直接承受来自舱盖载荷，相当应力的许用值为 [ $\sigma_e$ ]=95/*K* N/mm<sup>2</sup>

2.6.3 屈曲强度评估

2.6.3.1 应对集装箱船的船体结构的外板、内底板、甲板、舱壁板和主要及局部支撑构件腹



板结构及支柱和支撑舱壁水平/垂直桁等构件进行有限元屈曲评估。

2.6.3.2 评估区域见 2.6.1。

2.6.3.3 除 2.6.3.4~2.6.3.8 规定外，屈曲评估应按照本规范 9 篇第 1 部分第 8 章中的有限元屈曲要求进行。

2.6.3.4 屈曲评估中，所有板格和加强筋等构件的屈曲能力计算均应基于扣除标准减薄厚度  $t_r$  后的尺寸，标准减薄厚度  $t_r$  见表 2.6.3.4。

标准减薄厚度

表 2.6.3.4

位置	标准减薄厚度 $t_r$ , mm
甲板、边舱甲板（如第二层甲板等）	1.0
纵舱壁板（内壳板）	1.0
外板（包括船底板）、内底板	1.0
双层底及边舱内结构（桁材、肋板）	1.0
横舱壁结构（水密、非水密）	0.0
甲板横向抗扭箱	0.0

注：如屈曲评估采用其他厚度折减方式（如基于腐蚀余量），许用屈曲利用因子应另行考虑。

2.6.3.5 对于有限元模型计算局部载荷工况与总体载荷工况合并得到的应力（包括正应力、剪应力的各个分量），若应力成分为局部应力或包含局部应力成分，则计算应力应按如下要求进行应力修正：

$$\sigma_A = \frac{\sigma t}{t - t_r} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： $\sigma_A$ ——经修正后的屈曲工作应力（包括轴向应力和剪应力的各个分量）， $\text{N/mm}^2$ ；

$\sigma$ ——有限元计算得到的应力（包括轴向应力和剪应力的各个分量）， $\text{N/mm}^2$ ；

$t$ ——有限元计算所使用的板厚，mm；

$t_r$ ——标准减薄厚度，mm，见表 2.6.3.4。

2.6.3.6 屈曲评估的许用屈曲利用因子  $\eta_{all}$ ，见表 2.6.3.6。

许用屈曲利用因子  $\eta_{all}$

表 2.6.3.6

结构部件	许用屈曲利用因子 $\eta_{all}$
— 板（包括开口处腹板） — 加强筋 — 加筋板格	1.00

— 支杆、支柱 — 按杆件屈曲模式校核的支撑舱壁水平/垂直桁	0.75
— 防撞舱壁（如需要）	0.90

2.6.3.7 集装箱船的船体板格的加筋/非加筋板格的评估方法定义见表 2.6.3.7 和图 2.6.3.7 (1)~2.6.3.7 (6)。

板格类型及对应的评估方法

表 2.6.3.7

结构单元	评估方法	常规板格定义
纵向结构, 见图 2.6.3.7 (1)、(4)、(6)		
外壳板 (船底外板、舷侧外板) 内底板 内壳/纵舱壁板 底边舱水平纵向平台和垂直边板	SP-A	长度: 强框架之间 宽度: 主要构件之间
舱口围侧板	SP-A 或 UP-A	长度: 强框架之间 宽度: 主要构件之间
上甲板	SP-B <sup>[5]</sup>	长度: 强框架之间 宽度: 主要构件之间
双层底纵桁	SP-B <sup>[5]</sup>	长度: 强框架之间 宽度: 整个腹板高度
横向结构, 见图 2.6.3.8 (2)		
甲板横框架/横向抗扭箱腹板, 包括规则网格形状的肘板	SP-A <sup>[6]</sup>	局部加强筋 / 面板 / 主要构件之间
甲板横骨架/横向抗扭箱腹板腹板, 包括不规则网格形状的肘板	SP-B <sup>[5]</sup>	局部加强筋 / 面板 / 主要构件之间
双壳边舱横隔板	SP-B <sup>[5]</sup>	长度: 整个腹板高度 宽度: 主要构件之间
双壳边舱横隔板 (单独布置)	SP-B	长度: 整个腹板高度 宽度: 主要构件之间
不规则的加筋板格, 如底边舱和艏部处的腹板板格 (连续排列布置)	UP-A	局部加强筋 / 面板 / 主要构件之间
不规则的加筋板格, 如底边舱和艏部处的腹板板格 (非连续排列布置)	UP-B <sup>[5]</sup>	局部加强筋 / 面板 / 主要构件之间
双层底肋板	SP-A <sup>[6]</sup>	长度: 整个腹板高度 宽度: 主要构件之间
水密横舱壁和横向支撑舱壁, 见图 2.6.3.8 (3)、(4)、(5)		
所有规则的舱壁加筋板格, 包括与常规加强筋垂直的次要屈曲加强筋 (如短梁)	SP-A	长度: 主要构件之间 宽度: 主要构件之间
所有不规则的舱壁加筋板格, 如底边舱和艏部处的腹板板格	UP-A	局部加强筋 / 面板之间
舱壁水平桁腹板, 包括规则网格形状的肘板 (板格三排列及以上)	SP-B <sup>[5]</sup>	局部加强筋 / 面板之间

舱壁水平桁腹板, 包括规则网格形状的肘板 (板格两排列及以下)	SP-B <sup>[5]</sup>	局部加强筋 / 面板之间
舱壁水平桁腹板, 包括不规则网格形状的肘板	UP-B	局部加强筋 / 面板之间
舱壁垂直桁腹板, 包括规则网格形状的肘板	SP-B <sup>[5]</sup>	局部加强筋 / 面板之间
舱壁垂直桁腹板, 包括不规则网格形状的肘板	UP-B	局部加强筋 / 面板之间
舱口间甲板, 见图 2.6.3.8 (6)		
舱口间纵向甲板条	SP-B <sup>[5]</sup>	局部加强筋 / 主要构件之间
舱口间横向甲板条	SP-B	局部加强筋 / 主要构件之间
<p>注: ① SP 表示加筋板格</p> <p>② UP 表示非加筋板格;</p> <p>③ A 表示方法 A;</p> <p>④ B 表示方法 B;</p> <p>⑤ 对于主要构件腹板板格的某一长边, 如沿着面板, 或沿着不具有“边缘支持”特性的附连带板, 如: “向内受拉”的特性, 应选择方法 B (SP-B 或 UP-B)。对于其他情况, 则应选择方法 A (SP-A 或 UP-A);</p> <p>⑥ 对于板的短边缘与铺板 (带板翼缘) 相连的典型情况, 应选择方法 A (SP-A 或 UP-A), 但如果板格某一长边不具有“边缘支持”特性, 且能够被“向内受拉”, 应选择方法 B (SP-B 或 UP-B);</p> <p>⑦ “边缘支持”——系指板格的某一边缘 (一直) 受到邻接板格和/或边缘加强筋的结构支持或约束;</p> <p>⑧ “向内受拉”——系指板格的某一边缘能够被自由地拉着朝向板中心。</p> <p>本表中, “边缘支持”和“向内受拉”所表征的力学特性互为相反。</p>		

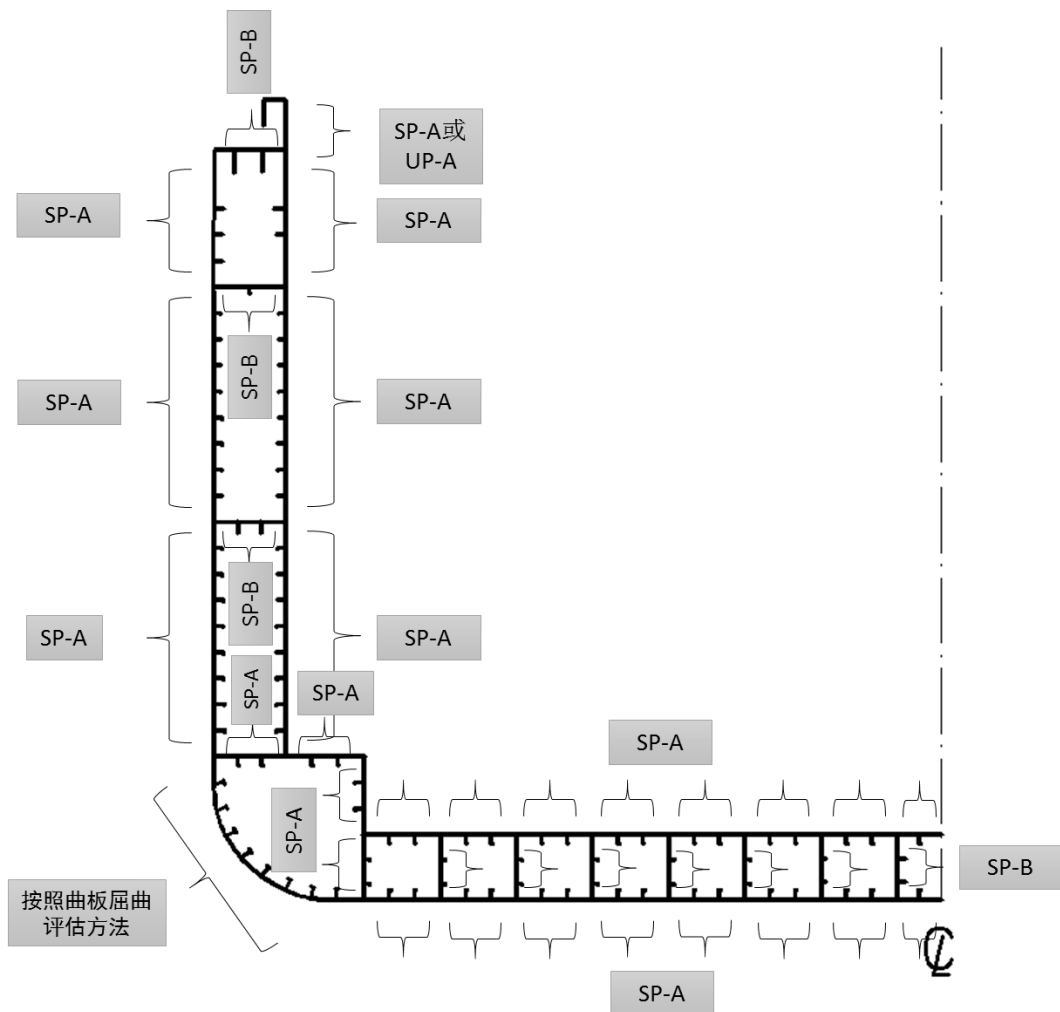


图 2.6.3.7(1) 典型集装箱船的纵向板格

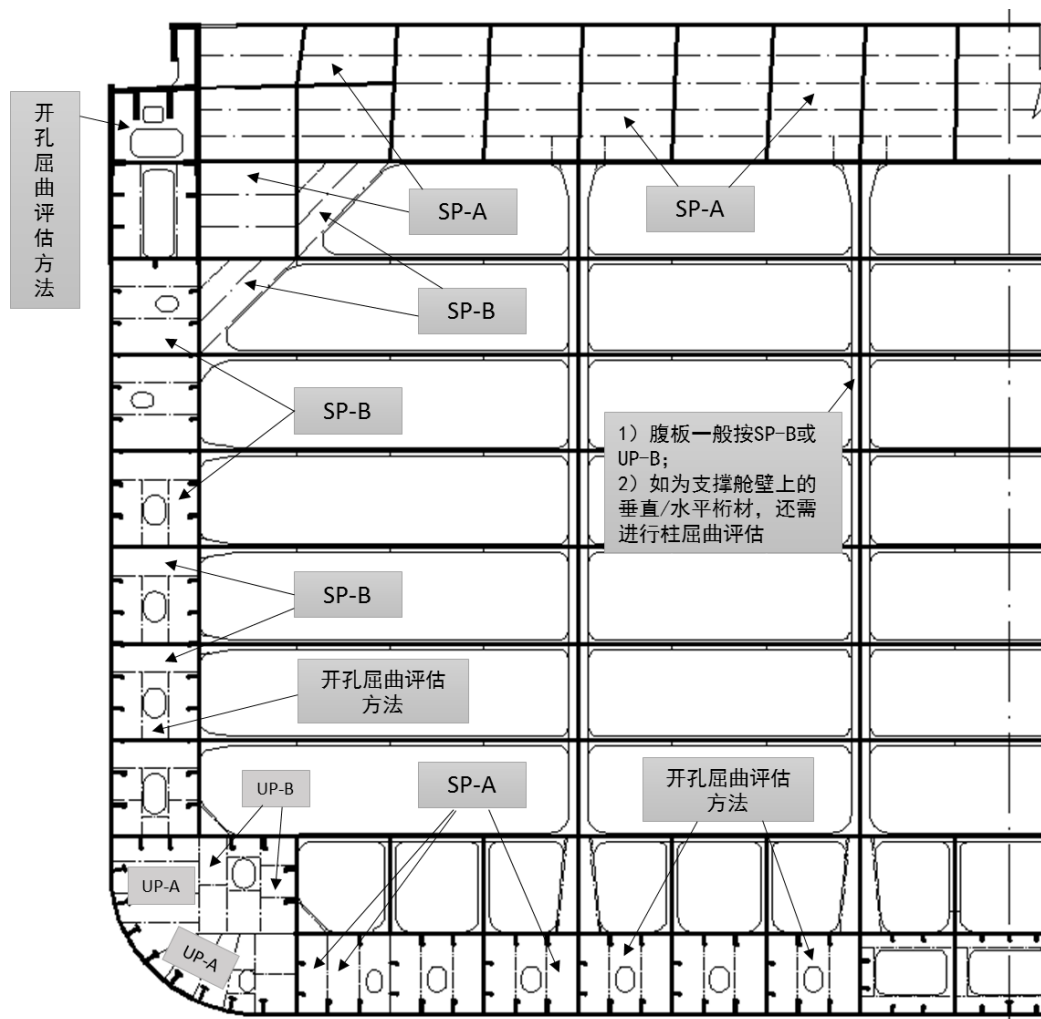


图 2.6.3.7(2) 典型集装箱船（支撑）舱壁位置处的横向构件

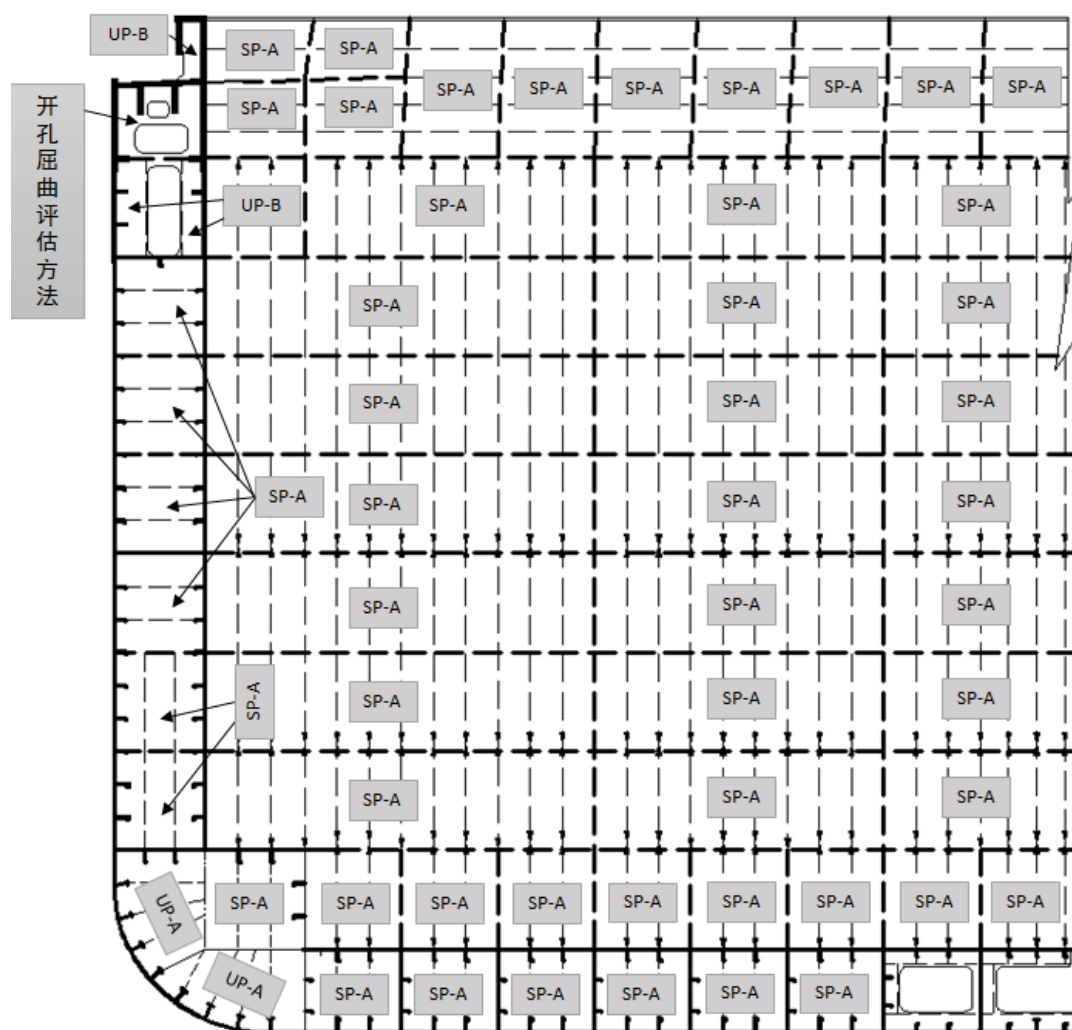


图 2.6.3.7(3) 典型集装箱船的水密横舱壁

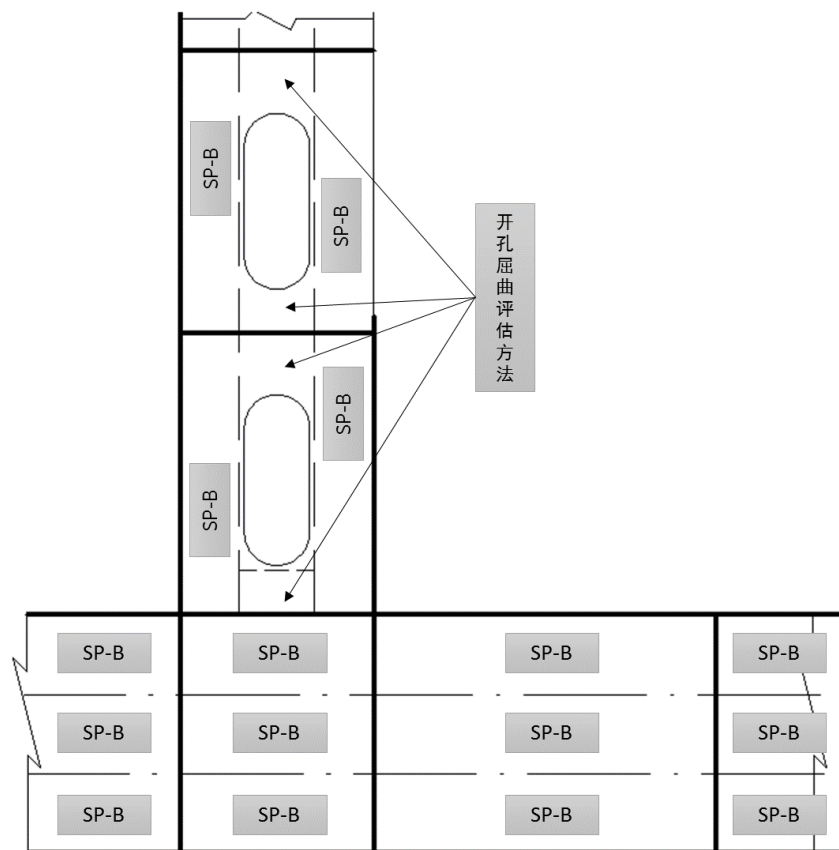


图 2.6.3.7(4) 横舱壁垂直桁与双层底纵桁

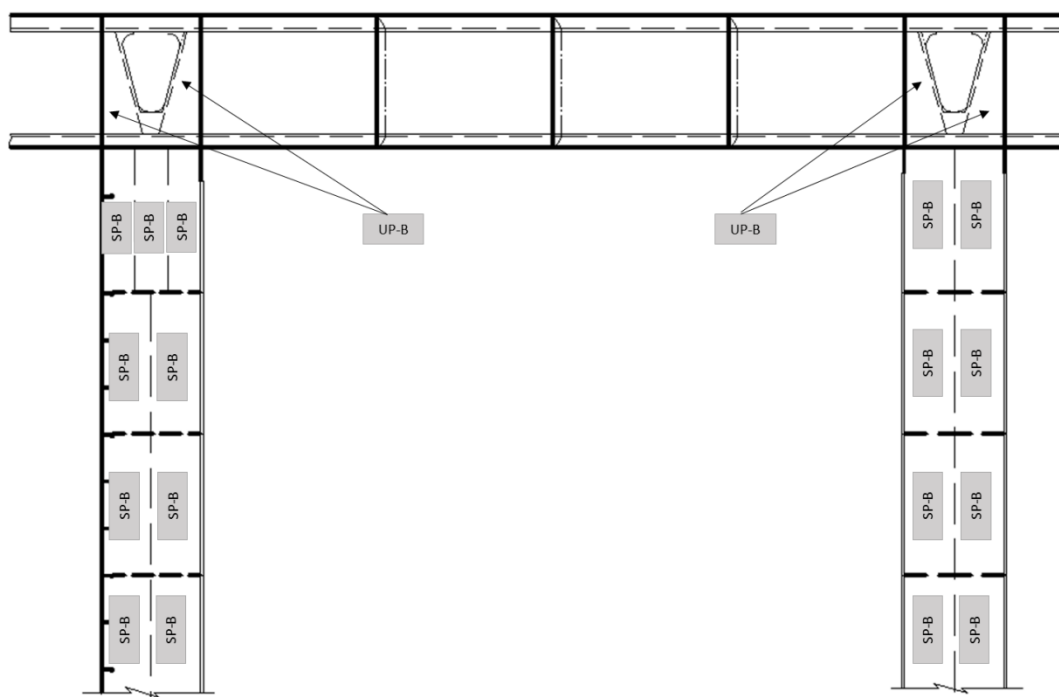


图 2.6.3.7(5) 横舱壁水平桁

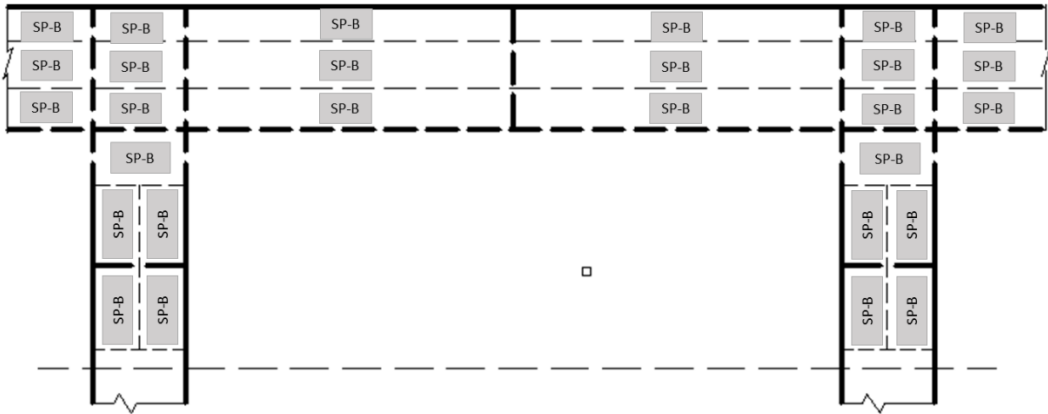


图 2.6.3.7(6) 舱口间甲板条

2.6.3.8 对于支撑舱壁上的垂直桁和水平桁，见图 2.6.3.8，其构件屈曲的利用因子应取腹板板格（加筋/非加筋板格）的最大屈曲利用因子和桁材的柱子最大屈曲利用因子的大者。

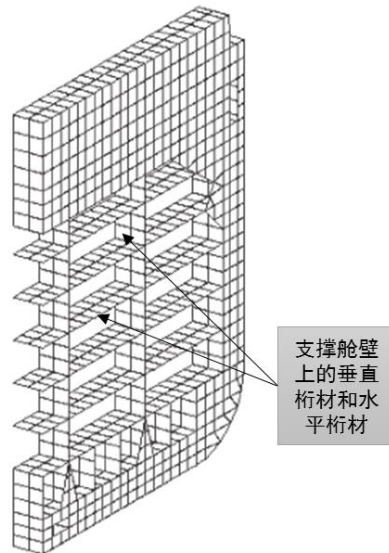


图 2.6.3.8 支撑舱壁上的垂直桁和水平桁

## 2.7 细化网格分析

2.7.1 为了更加准确细致地评估局部结构应力集中处的应力水平及分布情况，至少应对 2.6.1 要求的评估区域内的以下关键部位作细化模型分析和强度评估：

(1) 支撑舱壁与水密横舱壁之间最中间位置的横向强框架（对于有两道支撑横舱壁的货舱，该位置为两道支撑横舱壁中间位置）台阶处，见图 2.7.1 (1)。

(2) 水密横舱壁区域的船底纵桁与内底板、船底外板结构连接处，见图 2.7.1 (2)。

(3) 支撑舱壁位于台阶附近的大肘板趾端，见图 2.7.1 (3)。

如果其他危险部位屈服应力超出许用衡准，也应进行细化网格分析。

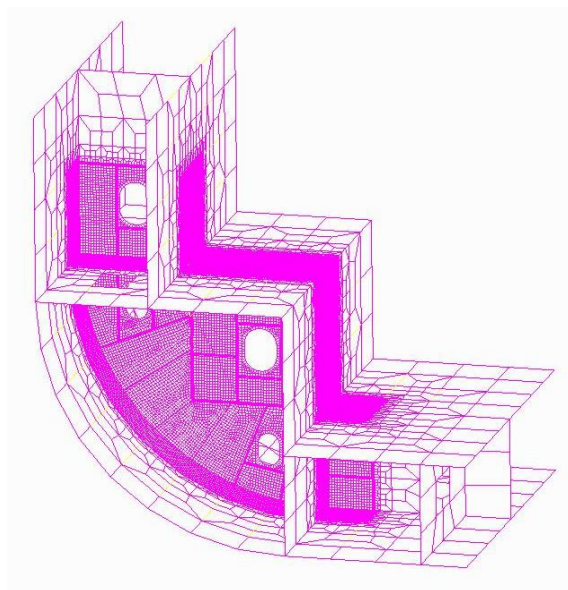


图 2.7.1 (1) 横向强框架细化示意图

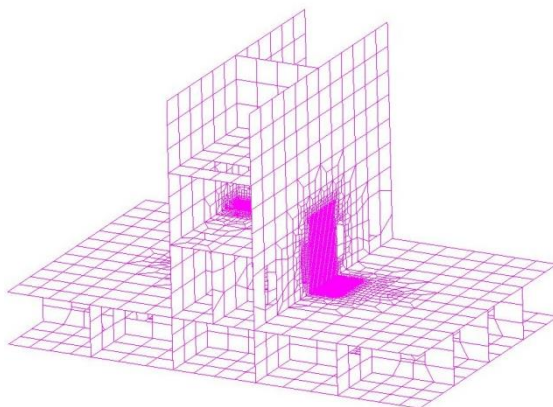


图 2.7.1 (2) 纵桁与内底板、船底外板结构连接处细化示意图

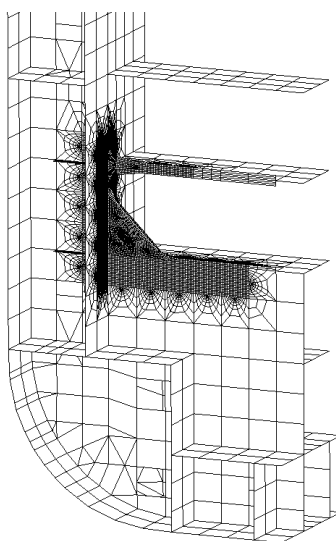


图 2.7.1 (3) 支撑舱壁大肘板趾端细化示意图



2.7.2 细化网格分析可采用子模型法和嵌入法。子模型法采用细化网格区域的单独局部有限元模型，其边界条件和载荷从货舱段有限元模型得到。嵌入法为将细化网格模型嵌入货舱段有限元模型中进行分析。

2.7.3 如果使用局部有限元模型，其范围应使关键部位的应力不会受到边界条件和施加载荷的显著影响。细化网格模型的边界应与货舱段有限元模型中的主要构件（比如桁材和肋板）相一致。

2.7.4 细化网格区域的网格尺寸应不大于 50mm×50mm。一般情况下，细化网格区域的范围在关键部位的所有方向上应不少于 10 个单元。

2.7.5 细化网格区域内的所有板材和加强筋应使用板单元模拟。网格密度的过渡应保持平稳。细化网格区域内单元的长宽比应尽可能保持接近 1，避免网格密度的变化和使用三角形单元，避免使用角度小于 60° 或大于 120° 的畸变单元。任何情况下，单元的长宽比应不超过 3。细化网格区外的加强筋可使用梁单元模拟。

2.7.6 对于横向强框架，如采用有限元子模型法，模型纵向范围应至少为“1+1”个强框架间距，即被校核横向强框架向前后各延伸一个强框架间距，前后端的强框架可不必建模。除此之外，该模型应包括船舶整个型宽和型深。

2.7.7 细化网格分析应按照本附录规定的计算工况进行。

2.7.8 细化网格分析如使用子模型法时，从货舱段有限元模型计算得到的节点位移应作为给定位移施加到单独局部有限元模型的对应边界节点上。

2.7.9 细化网格分析的应力衡准及校核方法见表 2.7.9。

细化网格分析的最大许用膜应力

表 2.7.9

单元应力	屈服利用因子 (适用于所有工况)
非邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leq 1.7$
邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leq 1.5$

其中：(1)  $\lambda_y$ ——屈服利用因子

$$= \frac{K\sigma_e}{235}, \text{ 板单元;}$$

(2) 舱段有限元模型中，如果位于应进行细化网格校核区域的单元的 Von Mises 应力超出表 2.7.9 规定的许用值，则由细化网格分析得到的，面积相当于舱段有限元模

型网格大小的细化网格 Von Mises 应力计算结果的平均值应不超过表 2.7.9 规定的许用值；

(3) 最大许用应力基于 50mm×50mm 的网格尺寸。如使用更小的网格尺寸，可使用等效于要求的网格尺寸的范围内使用面积加权 Von Mises 应力方法计算所得的应力与许用应力作比较。计算平均应力时，仅当单元的所有边界都在上述网格尺寸区域内才计入。

平均 Von Mises 应力应基于单元面积进行加权计算：

$$\sigma_{e-av} = \frac{\sum_1^n A_i \sigma_{e-i}}{\sum_1^n A_i}$$

式中： $\sigma_{e-av}$ ——Von Mises 平均应力；

$\sigma_{e-i}$ ——考虑区域的第  $i$  个板单元的 Von Mises 应力；

$A_i$ ——考虑区域内的第  $i$  个板单元的面积；

$n$ ——考虑区域内的单元的个数。

注 1：平均应力的计算基于单元形心处应力，不使用内插法和/或外推法得到应力值；

注 2：对结构不连续处和竖板结构处不得采用应力平均方法进行评估。

## 2.8 燃油舱区域舱段结构强度评估

2.8.1 当集装箱船货舱区域设置燃油舱时，燃油舱区域的以下主要构件应进行结构强度评估：

- (1) 燃油舱周界结构；
- (2) 燃油舱区域连续甲板和舱口间甲板结构；
- (3) 燃油舱内部板架结构，如桁材和强框架结构；
- (4) 燃油舱下部双层底结构（外底板、内底板、纵桁、肋板）；
- (5) 燃油舱处舷侧结构（舷侧外板、内壳板、舷侧平台板、舷侧强框架）。

### 2.8.2 结构模型化

2.8.2.1 燃油舱舱段模型纵向范围一般应至少覆盖完整的燃油舱区域结构，并向前后各延伸一个 40 英尺箱位货舱结构，即“1 个 40 英尺箱位+燃油舱+1 个 40 英尺箱位”，典型的有限元模型见图 2.8.2.1。

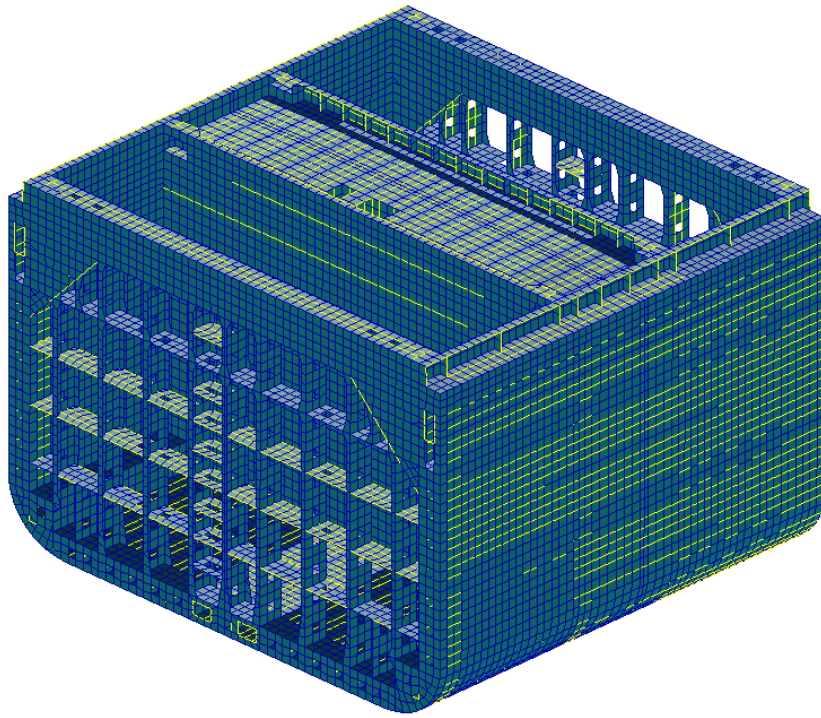


图 2.8.2.1 燃油舱有限元模型

2.8.2.2 除上述建模要求外，其他结构模型化要求见本附录 2.2。

### 2.8.3 设计载荷

2.8.3.1 除液舱内液体压力外，其他载荷见本附录 2.3。

#### 2.8.3.2 液舱内液体压力

液舱内液体压力分为动载工况压力和静载工况压力。

(1) 压载舱内动载工况压力  $p_{blast1}$  和燃油舱内动载工况压力  $p_{HD1}$  分别按下列各式计算：

$$p_{blast1} = \rho_w (a_v + g) h_1 + 10p_v \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_{HD1} = \rho_f (a_v + g) h_1 + 10p_v \quad \text{kN/m}^2$$

式中： $h_1$ ——载荷作用点到舱顶的距离，m；

$\rho_w$ ——海水密度，取  $1.025\text{t/m}^3$ ；

$\rho_f$ ——燃油密度，取  $1.0\text{t/m}^3$ ；

$p_v$ ——动载系数，应按下式计算，但取值应不小于 0：

$p_v = \Delta z - 1.5$  其中： $\Delta z$ ——舱顶距溢流管顶的距离，m。

(2) 压载舱内静载工况压力  $p_{blast}$  和燃油舱内静载工况压力  $p_{HO}$  分别按下列各式计算：

$$p_{blast} = \rho_w g h_2 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_{HO} = \rho_f g h_2 \quad \text{kN/m}^2$$

式中： $h_2$ ——载荷作用点到溢流管顶的距离，m；

$\rho_w$ 、 $\rho_f$ ——同 2.8.3.2 (1)。

#### 2.8.4 计算工况

2.8.4.1 为全面评估燃油舱结构，计算工况需根据燃油舱的布置形式确定，基本原则为：分别按燃油舱满载、隔舱装载和空载等情况对燃油舱区域结构进行强度分析。图 2.8.4.1 为几种典型燃油舱布置形式，表 2.8.4.1 (1) ~ 表 2.8.4.1 (3) 为典型燃油舱布置形式时的计算工况。

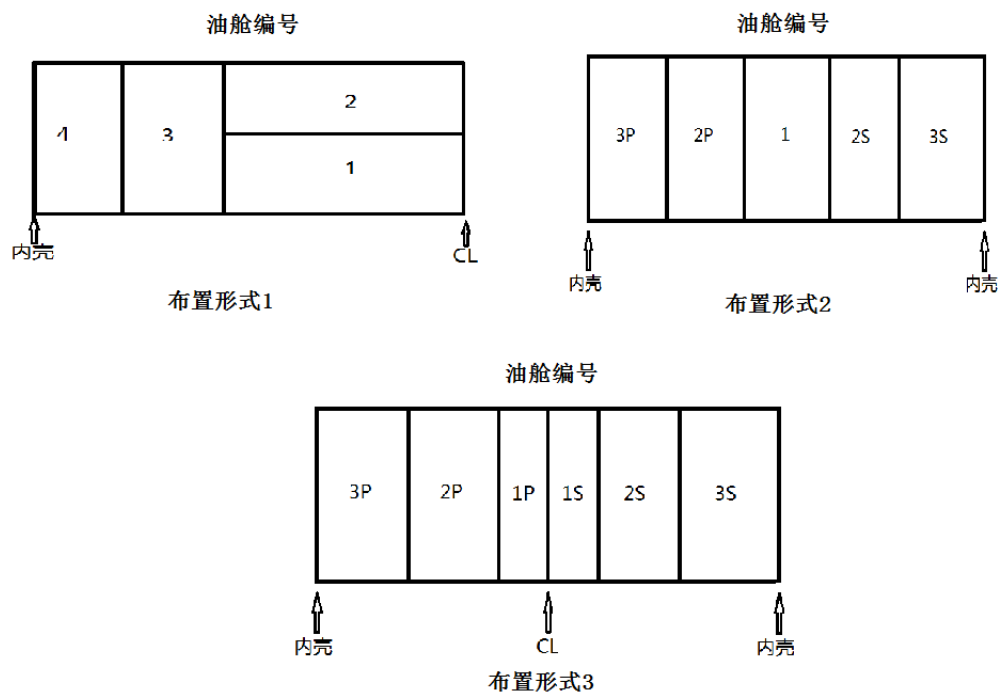


图 2.8.4.1 典型燃油舱布置形式简明示意图（俯视）

典型燃油舱布置形式1时的计算工况

表 2.8.4.1 (1)

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
波浪	中拱	中拱	中拱	中拱	中垂	中垂	中垂	中垂	中拱	中拱	中拱	中拱	静水	静水
吃水	d	d	d	d	0.9d	0.9d	0.9d	0.9d	d	d	d	d	d	d
箱重 (teu)	轻箱	轻箱	轻箱	轻箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱
边压载 舱	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载手 册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	空	空
底压载 舱	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载手 册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	按装载 手册	空	空
油舱	空	全满	1, 3, 4 满	2, 3, 4 满	3 满	1, 2, 4 满	1, 3 满	2, 4 满	空	全满	1, 3, 4 满	2, 3, 4 满	1, 3 满	2 满
备注									一个箱 位空	一个箱 位空	一个箱 位空	一个箱 位空		

注 1: “按装载手册”处, 如装载手册中无对应工况时, 取为空。

2: “一个箱位空”系指一个 40 英尺箱位的舱内和舱盖上为空。

典型燃油舱布置形式 2 时的计算工况

表 2.8.4.1 (2)

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
波浪	中拱	中拱	中拱	中拱	中垂	中垂	中垂	中垂	中拱	中拱	中拱	中拱	静水	静水
吃水	d	d	d	d	0.9d	0.9d	0.9d	0.9d	d	d	d	d	d	d
箱重 (teu)	轻箱	轻箱	轻箱	轻箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱
边压载舱	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	空	空
底压载舱	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	按装载手册	空	空
油舱	空	全满	1, 3 满	2 满	空	全满	1, 3 满	2 满	空	全满	1, 3 满	2 满	1, 3 满	2 满
备注									一个箱位空	一个箱位空	一个箱位空	一个箱位空		

注 1: “按装载手册”处, 如装载手册中无对应工况时, 取为空。

2: “一个箱位空”系指一个 40 英尺箱位的舱内和舱盖上为空。

典型燃油舱布置形式3时的计算工况

表 2.8.4.1 (3)

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
波浪	中拱	中拱	中拱	中拱	中垂	中垂	中垂	中垂	中拱	中拱	中拱	中拱	中拱	中拱	中拱	中拱	静水	静水
吃水	d	d	d	d	0.9d	0.9d	0.9d	0.9d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
箱重 (teu)	轻箱	轻箱	轻箱	轻箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱	重箱
边压载舱	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	空	空
底压载舱	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	按装 载手 册	空	空
油舱	空	全满	3P、 1P、2S 满	2P、 1S、3S 满	空	全满	3P、 1P、2S 满	2P、 1S、3S 满	空	全满	3P、 1P、2S 满	2P、 1S、3S 满	空	全满	3P、 1P、2S 满	2P、 1S、3S 满	全满	3P、 1P、2S 满
备注													一个 箱位 空	一个 箱位 空	一个 箱位 空	一个 箱位 空		

注 1: “按装载手册”处, 如装载手册中无对应工况时, 取为空。

2: “一个箱位空”系指一个 40 英尺箱位的舱内和舱盖上为空。

## 2.8.5 边界条件

2.8.5.1 边界条件应按照本附录 2.5 的相关规定。

## 2.8.6 强度评估

### 2.8.6.1 评估区域

2.8.6.1.1 应对中间舱和向前后延伸一个横框架范围内的主要构件进行评估

### 2.8.6.2 屈服强度评估

(1) 应将局部载荷工况与总体载荷工况产生的应力合成后进行强度校核。板单元应力取为单元中点处的相当应力。

(2) 各主要构件的许用应力见表 2.8.6.2。

许用应力

表 2.8.6.2

构件名称	许用应力 (N/mm <sup>2</sup> )	
	[σ <sub>e</sub> ]	[τ]
船底板、内底板	225/K	—
舷侧外板、内壳纵舱壁	225/K	115/K
船底纵桁	235/K	115/K
燃油舱周界与船底纵桁交界处	235/K	115/K
双层底肋板	175/K	90/K
横向强框架	195/K	95/K
燃油舱舱壁 (不包括内壳纵舱壁)	180/K	100/K
燃油舱内桁材和舱壁间桁材腹板	195/K	100/K

注: K——材料系数。

### 2.8.6.3 屈曲强度评估

(1) 屈曲强度评估方法见本附录 2.6 的相关规定。

### 2.8.6.4 细化网格分析

(1) 对于燃油舱周界与船底纵桁连接处、燃油舱内平台角隅处等危险区域, 如果屈服应力超出许用衡准, 可进行细化网格分析。细化网格分析的方法、单元要求及评估衡准见本附录 2.7。

## 3 整船结构强度直接计算

### 3.5 整船结构有限元屈曲强度评估

3.5.1 整船结构有限元屈曲强度校核应符合本附录 2.7.2.6.3 的规定。

## 4 甲板舱口角隅疲劳强度评估

### 4.4 疲劳强度评估

4.4.1 船体结构应力范围的长期分布假设为二参数 Weibull 分布, Weibull 分布的形状参数  $\xi$  应按下式计算:

$$\xi = 1.45 - 0.036f\sqrt{L}$$

式中:  $L$ ——船长, m;

$$f = 1 - 0.08z/d_1 \quad \text{当 } z \leq d_1 \text{ 时};$$

$$f = 0.9 + 2 + 0.08(z - d_1)/(D - d_1) \quad \text{当 } z > d_1 \text{ 时};$$

当计算点在横舱壁上时,  $f = 0.92$ ;

$D$ ——型深, m;

$d_1$ ——计算工况下的吃水, m;

$z$ ——计算点距基线的高度, m。



## 第 8 章 散 货 船

### 第 5 节 底 边 舱

#### 8.5.4 横向支持构件

8.5.4.6 当货舱舷侧为横骨架式时，在底边舱舱顶的每一肋位处应设置肘板。肘板厚度与底边舱内强肋骨框架处腹板厚度相同。肘板沿斜板和舷侧方向的长度应不小于货舱主肋骨下端肘板的自由边长度，并应与相邻近的纵骨焊接。肘板上应设置垂直于斜板的加强筋，肘板上应设置防屈曲的加强筋，其方向见本章图 8.3.4.5，其剖面尺寸与肋板加强筋相同。

## 第9章 滚装船、客船、客滚船与渡船

### 第1节 一般规定

#### 9.1.1 适用范围

9.1.1.2 滚装处所系指非正常分隔的并延伸至船舶大部分长度或整个长度的处所,该处所能以水平方向正常装卸油箱内备有自用燃油的机动车或者货物(包装或散装、用于公路或铁路装载的有车厢和无车厢车辆,包括公路或铁路油槽车、拖车、集装箱、货盘、可拆箱柜、类似装载装置或其他容器)通常不予分隔并通常延伸至船舶的大部分长度或整个长度的处所,能以水平方向正常装卸油箱内备有自用燃油的机动车辆和/或货物(在铁路或公路车辆、运载车辆(包括公路或铁路槽罐车)、拖车、集装箱、货盘、可拆槽罐之内或之上,或在类似装载单元或气他容器之内或之上的包装或散装货物)。

9.1.1.3 特种处所系指在舱壁甲板以上或以下能让车辆驾驶进出,并有乘客可以进入通道的围蔽处所。如车辆的总净空高度不超过10m,特种处所可设置一层及以上的甲板在舱壁甲板以上或以下围蔽的车辆处所,车辆能够驶进驶出,并有乘客进出通道。若用于停放车辆的全部总净高度不超过10m,特种处所占用的甲板可多于一层。

### 第4节 首门和内门

#### 9.4.3.1 首门

(1) 确定首门的主要构件、紧固装置和支持装置的尺寸时的设计外压力  $P_e$ , 应不小于按下式计算所得之值:

$$P_e = 2.75\lambda C_H (0.22 + 0.15 \tan \alpha)(0.4V \sin \beta + 0.6\sqrt{L})^2 \quad \text{kN/m}^2$$

式中:  $V$ ——合同航速, kn;

$L$ ——船长, m, 其取值不必大于 200m;

$\lambda$ ——系数, 根据船舶预定航行区域确定:

$\lambda = 1$ , 无限航区和1类航区的船舶;

~~$\lambda = 0.8$ , 2类航区的船舶;~~

~~$\lambda = 0.5$ , 3类航区的船舶。~~

$C_H$ ——系数, 按以下确定:

$$C_H = 0.0125L \quad (L < 80 \text{ m})$$

$$C_H = 1 \quad (L \geq 80 \text{ m})$$

$\alpha$ ——计算点的外飘角, 定义为在垂直于门外板水平切线的垂直平面内测得的垂线与舷侧外板切线间的夹角, 计算点则位于在门底以上  $h/2$  高度的水平面与首柱的交点往后  $l/2$  处, 见图 9.4.3.1(1);

$l$ ——门底以上  $h/2$  高度处门的长度, m, 见图 9.4.3.1(1);

$\beta$ ——计算点的入射角, 定义为平行于中心线的纵向直线与在水平面内的外板切线间的夹角, 计算点与  $\alpha$  角相同, 见图 9.4.3.1(1)。

$h$ ——门的高度, m, 从门底平面到上甲板或门顶的距离, 取较小者。

9.5.3.1 确定舷门和尾门的主要构件、紧固和支持装置的尺寸时, 设计力应不小于按下列各式计算所得之值:

(1) 对内开式门的紧固或支持装置的设计力:

$$\text{外力: } F_e = A P_e + I_i \quad \text{kN}$$

$$\text{内力: } F_i = F_0 + 10W \quad \text{kN}$$

(2) 对外开式门的紧固或支持装置的设计力:

$$\text{外力: } F_e = A P_e \quad \text{kN}$$

$$\text{内力: } F_i = F_0 + 10W + F_p \quad \text{kN}$$

(3) 主要构件的设计力:

$$\text{外力: } F_e = A P_e \quad \text{kN}$$

$$\text{内力: } F_i = F_0 + 10W \quad \text{kN}$$

式中:  $A$ ——门孔的面积,  $\text{m}^2$ ;

$W$ ——门的质量,  $\text{t}$ ;

$F_p$ ——总的密封力,  $\text{kN}$ ; 密封线压力一般应不小于  $5\text{N/mm}$ ;

$F_0$ ——取  $F_c$  与  $5A$  中之大者,  $\text{kN}$ ;

$F_c$ ——由于货物松动等引起的意外力,  $\text{kN}$ ; 在整个面积  $A$  上的均匀分布, 且应取不小于  $300\text{kN}$ , 对燃料舱门和引水员门类似的小门,  $F_c$  值可以适当减少。如设有诸如内部跳板等附加结构能使门免受货物松动等引起的意外力的作用, 则  $F_c$  值可取为零;

$P_e$ ——外部设计压力,  $\text{kN/m}^2$ ; 在门孔的重心确定, 且应不小于:

$$P_e = 10(T - Z_G) + 25 \quad \text{kN/m}^2, \text{ 对 } Z_G < d$$

$$P_e = 25 \quad \text{kN/m}^2, \text{ 对 } Z_G \geq d$$

另外, 对装有首门船舶的尾门,  $P_e$  应不小于按下式计算所得之值:

$$P_e = 0.6\lambda C_H (0.8 + 0.6\sqrt{L})^2 \quad \text{kN/m}^2$$

式中:  $d$ ——最深分舱载重线处的吃水,  $\text{m}$ ;

$Z_G$ ——门的面积中心在基线以上的高度,  $\text{m}$ ;

$\lambda$ ——系数, 按船舶拟航行的区域而定:

$\lambda = 1$ , 无限航区和 1 类航区的船舶;

$\lambda = 0.8$ , 2 类航区的船舶;

$\lambda = 0.5$ , 3 类航区的船舶。

$C_H = 0.0125L$ , 对  $L < 80\text{m}$ ;

$C_H = 1$ , 对  $L \geq 80\text{m}$ ;

$L$ ——船长,  $\text{m}$ , 取不大于  $200\text{m}$ 。

## 第7节 直接计算

9.7.2.3 横向强度直接计算时, 假定船舶横倾至最大横摇角 (如船体结构对于中纵剖面不对称, 应分别考虑向左舷横摇和向右舷横摇), 各层甲板设计载荷按下列各式计算:

(1) 车辆甲板载荷为垂向载荷  $P_V$  和横向载荷  $P_H$ , 应分别按下式计算:

$$P_V = (g \cos \varphi_m + 0.5a_v)M \quad \text{kN}$$

$$P_t = (g \sin \varphi_m + 0.5a_t)M \quad \text{kN}$$

式中： $g$ ——重力加速度， $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ；

$\varphi_m$ ——最大横摇角，见本节 9.7.2.1，计算时取值不应小于 0.35；

$a_v$ ——垂向合成加速度， $\text{m/s}^2$ ，见本节 9.7.2.1；

$a_t$ ——横向合成加速度， $\text{m/s}^2$ ，见本节 9.7.2.1；

$M$ ——计入的车辆质量， $\text{t}$ 。

(2) 上层建筑和甲板室的甲板载荷为垂向载荷  $P_V$  和横向载荷  $P_t$ ，应分别按下式计算：

$$P_V = m_0(g \cos \varphi_m + 0.5a_v) \quad \text{kN}$$

$$P_t = m_0(g \sin \varphi_m + 0.5a_t) \quad \text{kN}$$

式中： $m_0$ ——设计载荷， $\text{t/m}^2$ ，应包含甲板自重，且应不小于  $0.25\text{t/m}^2$ 。应考虑甲板自身质量取值，且应不小于以下数值：

~~$m_0 = 0.25\text{t/m}^2$ ，包括甲板自身质量；~~

~~$m_0 = 0.15\text{t/m}^2$ ，不包括甲板自身质量；~~

$g$ ——重力加速度， $g = 9.81\text{m/s}^2$ ；

$\varphi_m$ ——最大横摇角，见本节 9.7.2.1，计算时取值应不小于 0.35；

$a_v$ ——垂向合成加速度， $\text{m/s}^2$ ，见本节 9.7.2.1；

$a_t$ ——横向合成加速度， $\text{m/s}^2$ ，见本节 9.7.2.1。

(3) 舷外水压力为海水静压力，按第 1 章第 5 节 1.5.3.2 计算。

## 第10章 拖 船

### 第1节 一般规定

10.1.3.1 除本篇第2章第1节规定的图纸资料外，还应将下列图纸提交批准：

- (1) 拖曳设备的支承结构图(其相应的强度计算书提交备查)；
- (2) 拖曳布置图。

~~10.1.3.2 应将下列图纸提交备查：~~

- ~~(1) 拖曳布置图。~~

## 第11章 近海供应船

### 第1节 一般规定

11.1.3.1 除本篇第2章第1节规定的图纸资料外, 还应将下列图纸提交批准:

- (1) 独立的货物舱(柜)及其固定和支承结构图;
- (2) 表示负荷、作用点以及绑扎布置的甲板图;
- (3) 拖曳布置图;
- (4) 拖缆机、尾缆桩以及锚作供应船的尾滚筒的基座及其支承结构图(其相应的强度计算书提交备查);
- (5) 活动甲板及其可拆部件的存放设施;
- (6) 排水布置图;
- (7) 护舷材布置(结构)图。

### 第4节 船体骨架

11.4.2.1 水线以上的舷侧部分应设置护舷材, 其厚度可取舷侧外板的厚度。护舷材内应设置加强筋。如不设置护舷材, 甲板以下至少 600mm 以内的外板厚度应增加 5mm。

## 第12章 驳 船

### 第1节 一般规定

12.1.1.2 对于本章无规定者，货舱内装载散装货油的驳船应根据其结构形式符合本篇第5章或第6章的有关要求，其他驳船应符合本篇第2章的有关要求。

### 附录 箱形驳船横向强度校核方法

~~2.1.4 对于仅航行于有限航区的箱形驳船，按2.1.2计算时所用的C值可按以下规定予以折减：—~~

- ~~(1) 对1类航区：0.90；—~~
- ~~(2) 对2类航区：0.85；—~~
- ~~(3) 对3类航区：0.80。—~~

## 第13章 起重船

### 第1节 一般规定

13.1.2.1 对符合本章要求的起重船, 授予附加标志: Floating Crane。

~~13.1.2.2 对在有限航区内作业的起重船, 授予下列作业航区附加标志:~~

- ~~(1) 在1类航区内作业: Lifting Within R1;~~
- ~~(2) 在2类航区内作业: Lifting Within R2;~~
- ~~(3) 在3类航区内作业: Lifting Within R3;~~
- ~~(4) 仅在港口水域作业: Lifting Within Harbor。~~

### 第8节 强力甲板骨架

#### 13.8.4 甲板纵骨

13.8.4.1 甲板纵骨的剖面模数  $W$  应不小于按下式计算所得之值:

$$\cancel{W = 8.5shl^2} \text{--- cm}^3$$

$$W = 8.5shl^2 K \text{ cm}^3$$

式中:  $s$ ——纵骨间距, m;

$K$ ——材料系数;

$h$ ——甲板计算压头, m, 见本节 13.8.1;

$l$ ——纵骨跨距, m。



## 第14章 挖泥船

### 第1节 一般规定

~~14.1.2.2 对在有限航区内作业的挖泥船，授予下列作业航区附加标志：~~

- ~~(1) 在3类航区内作业：Dredging Within R3；~~
- ~~(2) 在2类航区内作业：Dredging Within R2；~~
- ~~(3) 在1类航区内作业：Dredging Within R1。~~

14.1.2.2~~3~~船底结构已按照本章第7节坐底作业加强要求作了专门加强的挖泥船，授予下列特殊性能附加标志：

坐底作业船底加强：Bottom Strengthened for Operating Aground。

14.1.3.1 除本篇第2章第1节规定的图纸资料外，适用时还应将下列图纸资料提交批准：

- (1) 泥舱、泵舱、挖泥机械舱和开槽的剖面图；
- (2) 泥舱舱壁和开槽舱壁(包括斜底部分结构)及其连接区域；
- (3) 泥舱舱壁和开槽舱壁(包括斜底部分结构)的过渡布置图；
- (4) 拆除和再装配挖泥设备用专门布置图(如在航行期间将挖泥设备收藏起来时)；
- (5) 凡其强度和完整性对船体主结构有直接影响的挖泥设备的结构图，例如绞刀架、门字架、定位桩、泥门及其他类似设备。与上述挖泥结构连接的支撑结构，以及泥泵、挖泥机械等的底座。挖泥设备(对主船体结构有直接影响者)的支撑/基座结构图；

(6) 对开式泥驳和对开式挖泥船：

- ① 液压装置连接件的结构图；
- ② 甲板铰链图、甲板室铰链图(其相应的强度计算书提交备查)；
- ③ 铰链与船体结构的连接图；
- ④ 液压装置连接件与船体结构的连接图；
- ⑤ 船底平面和甲板平面的纵向承压板图；
- ⑥ 甲板室纵向承压板及其与船体结构的连接图；
- ⑦ 横向承压板图。

14.1.3.2 应将下列图纸资料提交备查(如适用)：

- (1) 挖泥设备布置图(含挖泥设备的设计载荷)。

### 第8节 泥 舱

14.8.4.7 泥舱舱壁桁材腹板高度应不小于舱壁扶强材穿过处开口高度的2.5倍，腹板的厚度应不小于桁材平面处舱壁板的厚度。桁材面板宽度应不大于腹板高度和面板厚度35倍中的较小值。

## 第 15 章 半潜船

### 第 2 节 结构强度

#### 15.2.2 总纵向强度

15.2.2.1 总纵强度计算应满足本篇第 2 章的要求。

15.2.2.1 总纵强度应满足如下要求：

- (1) 航行工况时，总纵强度应满足本篇第 2 章的要求；
- (2) 半潜船典型作业工况，总纵波浪载荷可取为本篇第 2 章 2.2.3 要求的 50%；
- (3) 半潜船在港口系泊状态下装卸货工况，总纵波浪载荷可取为本篇第 2 章第 2.2.3 要求的 20%；
- (4) 还应考虑可能的或假定的最危险作业工况。

15.2.2.2 总纵强度计算的工况还应包括半潜船典型的作业工况，其中应含有假定期望的最危险作业工况。半潜船船中至少 0.25L 区域内的甲板处和龙骨处的最小剖面模数  $W_0$  应满足本篇第 2 章 2.2.5.1 的要求。

15.2.2.4 对设计用于在 3 类航区或港内作业的非自航的半潜驳，其作业状态下的总纵强度中的载荷和计算工况可按照 CCS《浮船坞入级规范》中的相关要求计算。

表 15.2.4.2 替换为：

表 15.2.4.2

构件位置	压头 $h(m)$
1. 一侧承受外部静水压力，另一侧承受舱内静水压力的周界壁板，如边舱的船体外板等。	$h_1$ :从沉浮曲线上得到的该处最大水位差。
2. 压载水舱的周界。	$h_2$ :两侧之间可能出现的最大压差，且不小于 3.5m。
3. 空舱水密周界	以下压头中的大者： $h_1$ :从沉浮曲线上得到的该处最大水位差。(如适用) $h_2$ :两侧之间可能出现的最大压差，且不小于 3.5m。(如适用) $h_3$ :计算点到最大沉深水面的垂直距离，且不小于 3.5m。 $h_4$ :沉浮曲线上最大沉深时刻处的水位差。
4. 采用压缩空气排压载水的压载舱(如适用)	以下压头中的大者： $h_1$ :从沉浮曲线上得到的该处最大水位差。(如适用) $h_2$ :两侧之间可能出现的最大压差，且不小于 3.5m。(如适用) $h_3$ :计算点到最大沉深水面的垂直距离，且不小于 3.5m。 $h_4$ :沉浮曲线上最大沉深时刻处的水位差。 $h_5$ :与压缩空气相当的水压头，且不小于 3.5m。

## 第 18 章 双 体 船

### 第 1 节 一 般 规 定

#### 18.1.2 定义

18.1.2.3 型深  $D(m)$ : 在船长  $L$  中点处, 沿片体外舷舷侧自平板龙骨上表面至于舷甲板下表面之间的垂直距离。

18.1.2.4 片体宽度  $b(m)$ : 在船长  $L$  中点处, 片体内外侧壁外表面之间的最大水平距离。

18.1.2.5 连接桥宽度  $b_1(m)$ : 在船长  $L$  中点处, 沿湿甲板两片体内侧壁外表面之间的水平距离。

~~18.1.2.3~~18.1.2.6 连接桥结构: 连接左右两片体的甲板及其他附属的强力(箱体)结构。

~~18.1.2.4~~18.1.2.7 湿甲板: 连接桥结构的最下暴露表面结构。

~~18.1.2.5~~18.1.2.8 左、右片体: 分别位于连接桥结构之下两舷处的纵向单船体结构。

### 第 2 节 结 构 强 度

#### 18.2.1 一般要求

18.2.1.4 连接桥结构纵剖面应按本章 18.3.2.4 规定的剪力计算校核其剪切强度, 剪应力需满足下式要求 ( $K$  为材料系数):

$$\tau \leq 90/K \quad \text{N/mm}^2$$

### 第 3 节 总 载 荷

#### 18.3.1 一般要求

18.3.1.1 对具有以下特征的双体客船、公务船, 可按本节 18.3.2 确定船舶的总载荷, 也可按本节 18.3.1.2 和 18.3.1.3(如适用)进行载荷直接计算:

$$L \leq 60\text{m}$$

$$L/D \leq 15$$

$$B/D \leq 3.5$$

$$b_1/B \leq 0.4$$

18.3.1.2 对超出 18.3.1.1 范围的双体船总载荷应采用直接计算方法确定。波浪载荷的直接计算方法按本篇第 2 章第 2 节 2.2.9 要求进行。如用切片理论, 则分析方法须计及双船体之间的水动力相互作用。

18.3.1.3 如波浪载荷直接通过船模试验得到, 则有关计算原理/计算程序或试验大纲(适用时)应事先征得认可。

#### 18.3.2 计算载荷

18.3.2.1 双体船总纵弯矩  $M_{by}$  为静水弯矩  $M_{bys}$  与波浪弯矩  $M_{byw}$  的叠加值。波浪弯矩  $M_{byw}$  取片体波浪弯矩的2倍，片体波浪弯矩按本篇第2章第2节2.2.3的要求确定；静水弯矩  $M_{bys}$  按本篇第2章第2节2.2.2的要求确定。静水弯矩取各装载工况下船中  $0.4L$  范围内最大值，波浪弯矩按船中  $0.4L$  范围取值。

18.3.2.2 双体船连接桥总横弯矩  $M_{bx}$  可按下式计算：

$$M_{bx} = 9.81C_1C_2C_3\Delta (b+b_1) \quad kN \cdot m$$

$$C_1 = 0.150\left(\frac{b}{D}\right)^2 - 0.778\frac{b}{D} + 0.866$$

$$C_2 = -2.386\frac{b_1}{B} + 1.937$$

式中：

$b$  —— 片体宽度， $m$ ；

$b_1$  —— 连接桥宽度， $m$ 。

$D$  —— 船舶型深， $m$ ；

$B$  —— 船宽， $m$ ；

$C_3$  —— 航区系数，取为 1.0；

$\Delta$  —— 双体船排水量， $t$ 。

18.3.2.3 双体船连接桥的总横扭矩  $M_{ty}$  可按下式计算：

$$M_{ty} = 1.226C_3\Delta L \quad kN \cdot m$$

$C_3$  —— 航区系数，取为 1.0；

$\Delta$  —— 双体船排水量， $t$ ；

$L$  —— 船长， $m$ 。

18.3.2.4 双体船连接桥的垂向剪力  $Q_t$  可按下式计算：

$$Q_t = 9.81C_1C_2C_3\Delta \quad kN$$

$$C_1 = 0.164\left(\frac{b}{D}\right)^2 - 0.874\frac{b}{D} + 0.974$$

$$C_2 = -1.958 \frac{b_1}{B} + 1.783$$

式中:

$b$ ——片体宽度,  $m$ ;

$b_1$ ——连接桥宽度,  $m$ 。

$D$ ——船舶型深,  $m$ ;

$B$ ——船宽,  $m$ ;

$C_3$ ——航区系数, 取为 1.0;

$\Delta$ ——双体船排水量,  $t$ 。

## 附录1 双体船结构强度直接计算

### 2 波浪载荷

#### 2.1 一般要求

2.1.1 对于整船分析,一般应按照本附录2.1.2和2.1.3(如适用)进行波浪载荷计算。

2.1.1 直接计算评估时载荷可按2.2.1~2.2.3规定的等效载荷形式施加,也可按2.2.4规定的等效设计波方法进行。

2.1.2 波浪载荷以及诱导载荷(如惯性加速度等)要求按本篇第1章第5节1.5.7。如用切片理论,则分析方法须计及双船体之间的水动力相互作用。

2.1.2 按等效载荷的形式施加时,双体船总纵弯矩  $M_{by}$ 、总横弯矩  $M_{bx}$ 、总横扭矩  $M_{ty}$  按本章第3节计算,该载荷包括静水载荷及波浪载荷。

2.1.3 如波浪载荷直接通过船模试验得到,则有关计算原理/计算程序或试验大纲(适用时)应事先征得认可。

#### 2.2 载荷施加

2.2.1 双体船的总纵弯矩  $M_{by}$ ,可通过在计算模型上施加沿船长分布的等效垂向分布力  $q(x)$ 或与之等效的一系列集中力的方式进行。载荷应施加于片体纵向主要构件上,如舷侧、纵舱壁、船底中纵桁或其他纵桁上。在单片体同一横剖面上的力可以分成几份,并左右对称于单片体中纵剖面,同时两片体施加的载荷应对称于双体船中纵剖面。当使用系列集中力时,每个集中力应等于分布力乘以该集中力加载区间的长度。 $q(x)$ 按下式计算:

$$q(x) = q_0 \left( \sin \frac{\pi x}{L} - 0.637 \right) \quad \text{kN/m}$$

式中:  $q_0 = \frac{46}{L^2} M_{by}$  kN/m, 其中:  $M_{by}$  按本章18.3.2.1计算。

2.2.2 连接桥的总横弯矩  $M_{bx}$ ,可通过沿片体内侧舭部的系列节点上施加横向对开力等效,如图2.2.2所示。横向对开力  $f_y$  按下式计算:

$$f_y = \frac{M_{bx}}{nz} \quad \text{kN}$$

式中:  $M_{bx}$ ——连接桥总横弯矩, kN m, 按本章计算;

$z$ ——横向对开力施加点至连接桥中纵剖面中和轴的垂向距离, m;

$n$ ——单个片体施加横向对开力的节点总数。

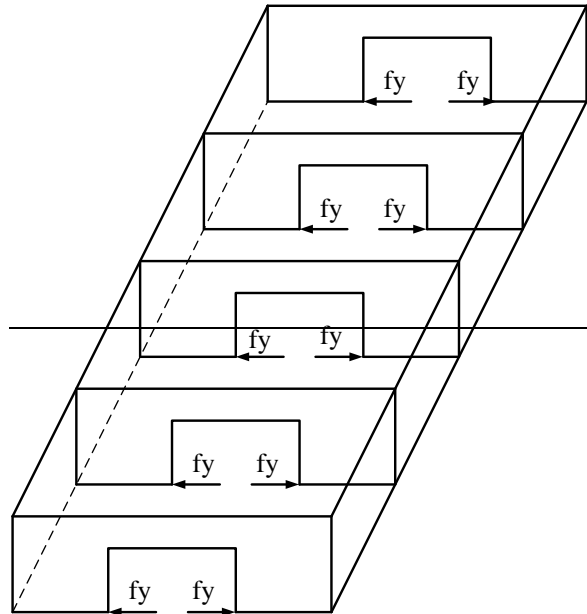


图 2.2.2 总横弯矩通过施加横向对开力的示例

2.2.3 双体船总横扭矩  $M_{ty}$ ，可通过反对称分布在片体中纵剖面内的垂向均布力等效施加。反对称分布是指垂向均布等效力，即关于双体船中纵剖面反对称和关于中横剖面反对称，如图 2.2.3 所示。等效的垂向分布载荷  $p_x$ ，由下式计算：

$$p_x = \frac{4M_{ty}}{L^2} \text{ kN/m}$$

式中： $L$ ——双体船船长，m；  
 $M_{ty}$ ——连接桥扭矩，kN m，按本章计算。

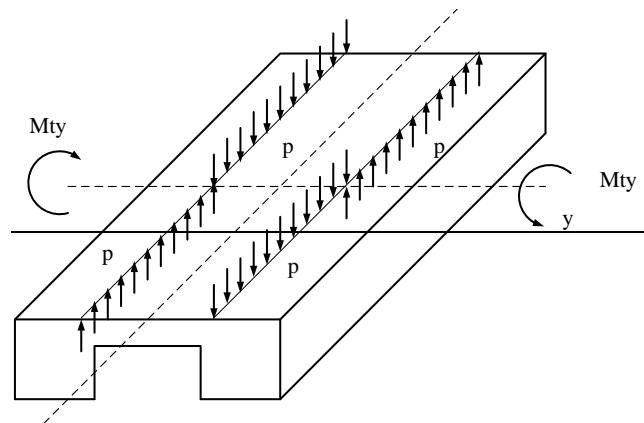


图 2.2.3 总横扭矩通过施加反对称垂向分布力的示例

2.2.4 载荷的施加也可采用本篇第1章第5节 1.5.7 进行。此时应根据本附录 3.1.1 的载荷组合工况寻找相应的等效设计波。

### 3 计算工况

#### 3.1 一般要求

3.1.1 计算工况应至少包括两个片体之间的纵、横扭(产生水平扭矩、纵横扭矩)和浪向角为90°的横弯工况(产生横向弯矩或等效横向对开力)等结构最不利载荷工况。

3.1.1 双体船结构强度直接计算分析中,应按下述(1)~(6)载荷组合工况进行计算,船长大于50m的船舶,还应按下述(7)~(12)载荷组合工况进行补充计算:

- (1)  $M_{bx}$  (向内);
- (2)  $M_{bx}$  (向外);
- (3)  $0.8 M_{bx}$  (向内) +  $0.6 M_{by}$ ;
- (4)  $0.8 M_{bx}$  (向外) +  $0.6 M_{by}$ ;
- (5)  $0.6 M_{bx}$  (向内) +  $0.8 M_{by}$ ;
- (6)  $0.6 M_{bx}$  (向外) +  $0.8 M_{by}$ ;
- (7)  $M_{by}$  (中拱);
- (8)  $M_{by}$  (中垂);
- (9)  $0.8 M_{by}$  (中拱) +  $0.6 M_{jy}$ ;
- (10)  $0.8 M_{by}$  (中垂) +  $0.6 M_{jy}$ ;
- (11)  $0.6 M_{by}$  (中拱) +  $0.8 M_{jy}$ ;
- (12)  $0.6 M_{by}$  (中垂) +  $0.8 M_{jy}$ 。

## 4 结构模型化

### 4.1 一般要求

4.1.3 一般情况下,下列部位应考虑进行细化网格分析:

- (1) 双体船连接桥前端壁(或强横梁)与片体连接的内角处;
- (2) 双体船连接桥后端壁(或强横梁)与片体连接的内角处;
- (3) 实际结构形状在粗网格模型中无法真实表达的位置;
- (4) 其他全船粗网格模型计算应力超过95%许用应力的部位。

4.1.4 细化网格分析时,细化区域单元网格大小应不大于50mm×50mm,网格划分应保证从细化区域向粗网格区域的平稳过渡。

### 4.2 边界条件

4.1.34.2.1 对于处于平衡状态的整船有限元模型,可采用表4.1.34.2.1及图4.1.34.2.1设置边界支点及约束条件。

边界条件整船有限元模型边界条件

表 4.1.3 表 4.2.1

位置	线位移约束			角位移约束		
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
支点 A	固定	固定	固定	—	—	—
支点 B	—	固定	固定	—	—	—
支点 C (C')	—	— (固定)	固定 (—)	—	—	—



			—			
--	--	--	---	--	--	--

注：①A、B、C' 组合也可用于扭转工况，其中，点 C' 的 Z 向位置位于连接桥纵中剖面的湿甲板上；

②纵向弯曲工况时，若 Z 向力系不平衡，则可引起支点 A、B 处的附加支反力，此时应忽略 A、B 处的结果(该工况仅用于考察船中区域)。

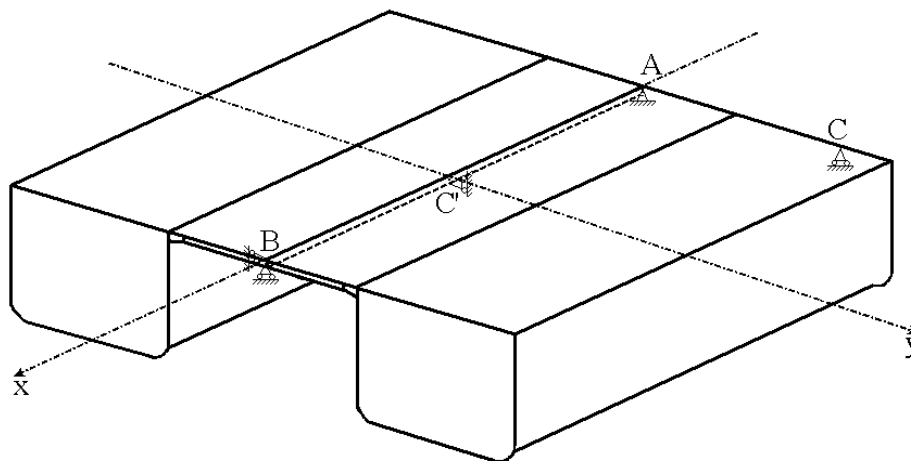


图 4.1.34.2.1

## 5 屈服强度评估

5.1.2 若使用了比本篇第 1 章第 5 节规定的更细密的网格时，计算应力应取在规定网格尺寸范围内所有细网格单元应力的平均值。

5.1.3 载荷按本附录 2.2.1~2.2.3 施加时，细化网格区域构件板单元相当应力应不大于  $1.2 \times 235/K$  ( $K$  为材料系数)。载荷按本附录 2.2.4 等效设计波的方法进行施加时，细化网格区域构件板单元相当应力应不大于  $1.5 \times 235/K$  ( $K$  为材料系数)。

## 第 19 章 沙船

### 第 2 节 泥沙舱区域结构的特殊要求

19.2.1.1 对于设有大斜板的货舱，应在左、右斜板下面各设置 1 道垂直纵壁，且应满足水密舱壁的要求。货舱大斜板结构应满足本篇第 14 章对泥舱舱壁的适用要求，且应符合本篇第 8 章对底边舱的有关要求。

新增第20章：

## 第20章 薄膜型液化天然气运输船

### 第1节 一般规定

#### 20.1.1 适用范围

20.1.1.1 本章适用于具有双舷侧、双层底、双层甲板和双层横舱壁，且机舱位于尾部、最大蒸气压力小于0.07 MPa、采用薄膜型整体液货舱载运散装液化天然气的船舶。

20.1.1.2 本章未规定者应满足本篇第1章、第2章和第5章，以及CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的相关适用要求。

#### 20.1.2 附加标志

20.1.2.1 对符合本章要求的薄膜型液化天然气运输船舶，可授予附加标志：

LNG Carrier, Type 2G (Membrane Tanks); Max. Vapour Pressure  $\times\times\times$  Mpa; Min. Cargo Temperature  $\times\times\times$  °C; Max. Cargo Density  $\times\times\times$  t/m<sup>3</sup>; FL( $\times\times$ )。

20.1.2.2 本章规定的最小疲劳设计寿命至少为20年。但对于选取最小疲劳设计寿命在25年及以上的薄膜型液化天然气运输船，可以从25年开始计以5年为间隔授予附加标志：FL(最小疲劳设计寿命)，如FL(25)、FL(30)等。对于按照CCS《基于谱分析的船体结构疲劳强度评估指南》要求进行基于谱分析的疲劳评估，其附加标志中可加注拟航行的航区/航线，如：SFA (25, North Atlantic)。

#### 20.1.3 图纸资料

20.1.3.1 除本篇第2章第1节规定的图纸资料外，还应满足CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的相关适用要求。

20.1.3.2 对于泵塔结构强度评估，还应提交如下图纸资料：

- (1) 货物围护系统基本结构图；
- (2) 泵塔布置图；
- (3) 泵塔基本结构图（含底座、顶部结构）；
- (4) 泵基座的外形尺寸数据；
- (5) 特定海域海况资料（如有时）。

20.1.3.3 对于船体结构直接计算，还应提交舱段有限元计算报告和整船有限元计算报告（如适用）。

20.1.3.4 如适用，对于温度场及热应力计算，还应提交如下图纸和计算资料：

- (1) 绝热箱构造图；
- (2) 绝热层布置图及连接详图；
- (3) 船东或货物围护系统设计者指定的热工系数（如有时）；
- (4) 热分析和温度场预报计算报告；
- (5) 热应力计算报告，包括热应力与船舶相应海况及装载工况组合下的合成应力校核。

20.1.3.5 对特殊结构和布置，如CCS认为必要，可要求增加送审图纸资料的范围。

#### 20.1.4 布置及结构形式

20.1.4.1 液货舱构造布置形式应为具有双舷侧、双层底、双层甲板和双层横舱壁结构的完整双壳结构。内壳与内甲板/内底板的两面角一般设为135°，以有效减少液货晃荡效应。

20.1.4.3 第1货舱区域的前部、最尾货舱的后部,以及各货舱之间均应设有隔离空舱,且对于每一个液货舱,应采用包括双层底、双舷侧、双层甲板和双层横舱壁(即隔离空舱)的隔离空间采用整体双壳进行分隔。

20.1.4.4 有关分舱、双舷侧间距、双层底高度应满足《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第2章的有关要求。

#### 20.1.4.5 液货舱结构形式

(1) 薄膜型液化天然气运输船典型中横剖面和构件名称如图20.1.4.5所示,其中:

**凸形甲板**——在船体的货舱区域内且高于上甲板的连续露天甲板;

**内甲板**——在船体的货舱区域内、上甲板以上的构成船舶内部第二层壳体的甲板;

(2) 液货舱区域的各甲板骨架、船底骨架和内底骨架一般应为纵骨架式,舷侧和内壳也应为纵骨架式。货舱区域以外的船体结构可为横骨架式或纵骨架式。纵骨架式与横骨架式之间应有良好的过渡;

(3) 双层甲板箱式骨架应由内甲板、上甲板、凸形甲板以及内部相互连接的纵向桁材和横向肋板构成;

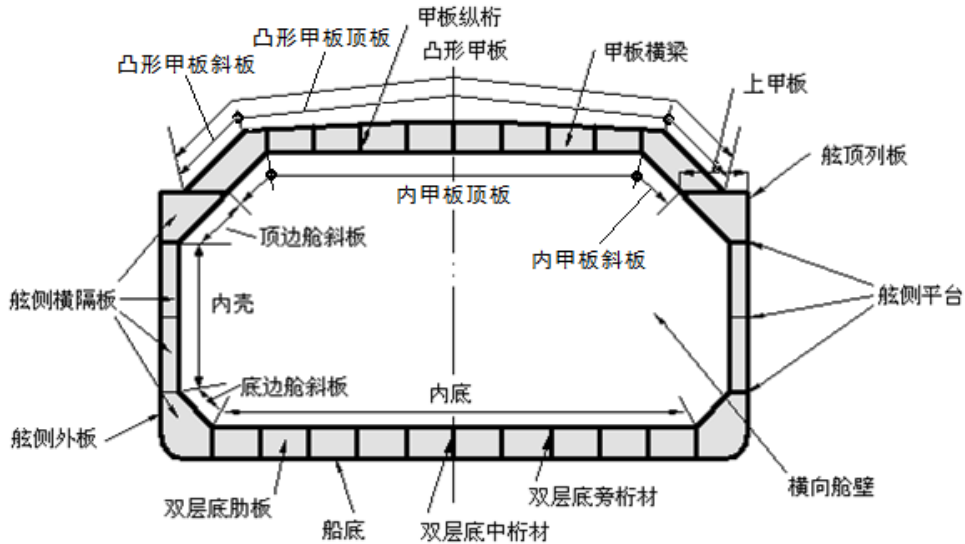


图 20.1.4.5 典型中横剖面和构件名称

(4) 液货舱由双层底、双壳、隔离空舱和双层箱式凸形甲板围成。与液货舱绝热箱直接相邻的双层底内、双壳内、隔离空舱内和双层箱式凸形甲板内不允许装载燃油。

#### 20.1.5 最小厚度

20.1.5.1 液货舱及其他区域的板材最小厚度应满足本篇第5章5.1.6的要求。

#### 20.1.6 船体结构强度直接计算

20.1.6.1 应按以下要求,进行薄膜型液化天然气运输船舶的有关结构强度直接计算:

(1) 对于船长150m及以上的薄膜型液化天然气运输船舶,按本章附录1对液货舱段区域船体结构进行直接计算强度评估;

(2) 对于具有4个及以上液货舱或船长大于200m的薄膜型液化天然气运输船舶,按本章附录4进行整船直接计算强度评估。对于船长200m及以下的其他薄膜型液化天然气运输船舶的整船直接计算强度评估,也可参照本章附录4的适用部分进行。

#### 20.1.7 晃荡载荷作用下的结构强度

20.1.7.1 应按照本章附录2的要求,对晃荡载荷作用下的货舱区域船体结构、泵塔结构及其顶部和底部基座结构的强度予以校核,对泵塔结构进行振动评估分析。

### 20.1.8 温度场及热应力分析

20.1.8.1 本章附录 3 适用于薄膜型液化天然气运输船液货舱段区域船体结构和泵塔泵塔结构在液货低温作用下的温度场进行预报分析及热应力计算。

20.1.8.2 对于薄膜型液化天然气运输船，温度场及热应力分析不是入级要求。但当船东/设计者/船级社根据具体情况，要求实施本节 20.1.8.1 所述内容的温度场及热应力分析时，可按本章附录 3 进行。

### 20.1.9 船体结构疲劳评估

20.1.9.1 对于船长 150m 及以上的薄膜型液化天然气运输船，应按照 CCS《船体结构疲劳强度指南》，对船体和泵塔结构进行疲劳强度评估。对于拟取得基于谱分析的疲劳评估附加标志的船舶，应按照 CCS《基于谱分析的船体结构疲劳强度评估指南》要求进行。

20.1.9.2 在进行上述 20.1.9.1 要求时，对于船体结构的至少下列部位，应采用精细网格有限元方法进行疲劳强度校核。

(1) 横向强框架位置处的底边舱斜板的下折角和上折角与内底板和内壳纵壁连接处，如图 20.1.9.2 (1) 所示；

(2) 双层底纵桁位置处的内底板与横舱壁连接处，如图 20.1.9.2 (2) 所示；

(3) 双壳间水平纵桁与横舱壁的连接处，如图 20.1.9.2 (3) 所示；

(4) 液/气室开口和围板与凸形甲板的连接处，如图 20.1.9.2 (4) 所示。

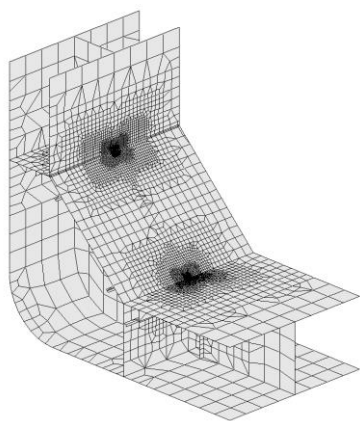


图 20.1.9.2 (1) 底边舱斜板的下折角和上折角与内底板和内壳纵壁连接处

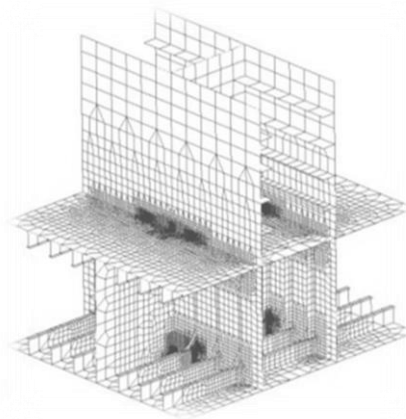


图 20.1.9.2 (2) 内底板与横舱壁连接处

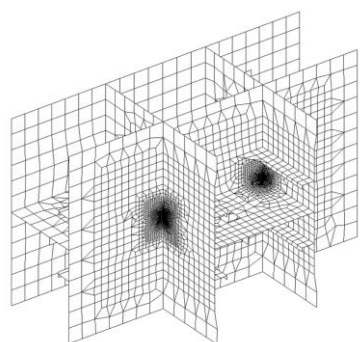


图 20.1.9.2 (3) 双壳间水平纵桁与横舱壁的连接处

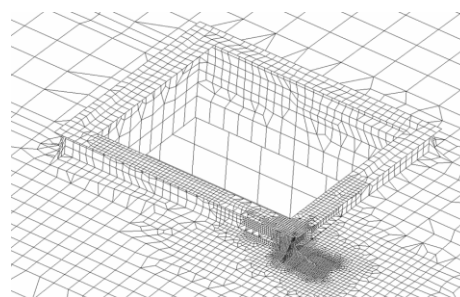


图 20.1.9.2 (4) 液/气室开口和围板与凸形甲板的连接处

## 第2节 船体梁总纵强度和极限强度

### 20.2.1 船体梁总纵强度

20.2.1.1 薄膜型液化天然气运输船应满足本篇第2章第2节规定的总纵强度要求。

### 20.2.2 船体梁极限强度

20.2.2.1 应对船长 150m 及以上薄膜型液化天然气运输船航行过程中、完整船体结构的船中 0.4L 区域内船体梁极限弯曲能力进行评估。对于船长 150 m 以下的薄膜型液化天然气运输船的船体梁极限弯曲能力评估，也可参照本节要求进行。

20.2.2.2 船体梁垂向极限弯曲能力应满足以下衡准：

$$\gamma_s \bar{M}_s + \gamma_w M_w \leq \frac{M_U}{\gamma_R}$$

式中： $\bar{M}_s$ ——许用静水弯矩，kN·m；

$M_w$ ——波浪弯矩，kN·m；

$M_U$ ——船体梁垂向极限弯矩，kN·m；

$\gamma_s$ 、 $\gamma_w$ 、 $\gamma_R$ ——分项安全系数，对薄膜型液化天然气运输船，取为：

$$\gamma_s = 1.0,$$

$$\gamma_w = 1.35,$$

$$\gamma_R = \gamma_M \cdot \gamma_{DB}$$

其中： $\gamma_M$ ——对薄膜型液化天然气运输船，取为 1.234；

$\gamma_{DB}$ ——按以下取值：

- 中拱工况： $\gamma_{DB} = 1.25$
- 中垂工况： $\gamma_{DB} = 1.00$

### 20.2.2.3 $M$ - $\chi$ 曲线

在中垂和中拱工况下，船体梁横剖面的极限弯矩能力，定义为所考虑的横剖面弯矩能力  $M$  与曲率  $\chi$  曲线的最大值，见图 20.2.2.3。

曲率  $\chi$  对中拱工况为正值，对中垂工况为负值。

$M$ - $\chi$  曲线按本规范第9篇第1部分第5章附录2的规定，通过增量—叠代程序得出。

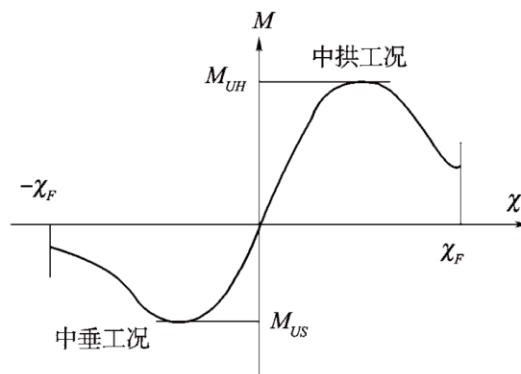


图 20.2.2.3 弯矩能力  $M$  与曲率  $\chi$  的对应曲线

20.2.2.4 船体梁横剖面由对船体梁纵向强度起作用的结构单元构成，计算时应扣除表 20.2.2.4 所规定的标准减薄厚度。

标准减薄厚度

表 20.2.2.4

结 构	标准减薄厚度 (mm)
干舷甲板以上的舷侧外板, 凸形甲板	1
干舷甲板以下的舷侧外板	1.5
舳列板、船底板及平板龙骨	1.25
上甲板	1.25
非液舱处的内壳纵舱壁板(包括货舱内台阶)	0.75
液舱处的内壳纵舱壁板(包括货舱内台阶)	1
内底板	1
双舷侧压载舱中的甲板或平台	1.5
双舷侧燃油舱中的甲板或平台	1
双舷侧空舱中的甲板或平台	0.5
双层底内的纵桁	1.5
双层底管弄侧壁	1.25
液舱中的构件	1.5
干舱中的构件	0.5
其他	0.5

### 第 3 节 外板

#### 20.3.1 一般要求

20.3.1.1 薄膜型液化天然气运输船的船底板、平板龙骨、舷侧外板、舷顶列板等一般应为纵骨架式结构。

20.3.1.2 本节中的公式适用于船中部 0.4L 区域内纵骨架式船底板、平板龙骨、舳列板、舷侧外板和舷顶列板厚度的确定。

#### 20.3.2 船底板

20.3.2.1 船中部 0.4L 区域内的船底板厚度  $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值:

$$t_1 = 0.052s_1(L+170)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 3.95s\sqrt{K\rho_w h_1} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中:  $s_1$  ——纵骨间距, m, 但应不小于纵骨标准间距;

$s$  ——纵骨间距, m;

$L$  ——船长, m, 计算时取值不必大于 190 m;

$K$  ——材料系数;

$\rho_w$  ——海水密度, 1.025 t/m<sup>3</sup>;

$F_b$  ——折减系数, 见本篇第 2 章第 2 节;

$h_1$ ——按下列规定取值, m:

$$h_1 = h_0 - 0.35d, \quad \text{当 } Z = 0;$$

$$h_1 = h_0, \quad \text{当 } Z \geq d;$$

其余之值由线性内插得到。

$h_0$ ——由计算的板下缘量至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

$Z$ ——基线至计算点的垂直距离, m;

$Z_n$ ——船体横剖面中和轴的高度, 从基线量起, m;

$d$ ——吃水, m。

20.3.2.2 平板龙骨的要求见本篇第5章5.2.3, 但计算时,  $t_0$ 为按本节20.3.2.1确定的船底板厚度。

### 20.3.3 舳列板

20.3.3.1 舳列板的要求见本篇第5章5.2.4。

### 20.3.4 舷侧外板

20.3.4.1 船中部0.4L区域内舷侧外板厚度 $t$ 应符合下述规定:

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

$$t_1 = 0.058s_1(L+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 3.95s\sqrt{\rho_w Kh_1} + 2.5 \quad \text{mm};$$

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

$$t_1 = 0.06s_1(L+110)\sqrt{\frac{F_b}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 3.95s\sqrt{\rho_w Kh_1} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中:  $s$  ——纵骨间距, m,

$s_1$  ——纵骨间距, m, 但应不小于纵骨标准间距;

$L$ ——船长, m, 计算时取值不必大于190m;

$K$ ——材料系数;

$\rho_w$ ——海水密度, 1.025 t/m<sup>3</sup>;

$F_b$ 、 $F_d$ ——折减系数, 见本篇第2章第2节;

$h_1$ ——见本节20.2.3.1。

(3) 距基线 $\frac{1}{4}D$ 以上与距基线 $\frac{3}{4}D$ 以下区域的舷侧外板厚度要求 $t$ , 计算公式见本篇第5章5.2.5.1(3), 但其中用于计算的板厚取值基于本节20.3.4.1(1)和(2)的结果。

### 20.3.5 舷顶列板

20.3.5.1 舷顶列板宽度应不小于0.1D ( $D$ 为型深, m)。

20.3.5.2 在船中部0.4L区域内的舷顶板厚度 $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值, 且应不小于相邻舷侧外板的厚度和上甲板边板的厚度:

$$t_1 = 0.06s_1(L_1+110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$



$$t_2 = 0.9s_1 F_{c\_deck} \sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

式中:  $s_1$ ——纵骨间距, m, 但应不小于纵骨标准间距;

$L$ ——船长, m;

$L_1 = L$ , 其中  $L$  为船长, m, 但计算时取值不必大于 190 m;

$$F_{c\_deck} = 0.922 \left[ L / (L + 80) \right]^{1/2};$$

$F_d$ ——折减系数, 见本篇第2章第2节;

$K$ ——材料系数;

$t_c$ ——腐蚀余量, 对压载舱, 取 2.5 mm; 对空舱, 取 1.0 mm。

## 第4节 甲板

### 20.4.1 一般要求

20.4.1.1 本节公式适用于液货舱区域内凸形甲板板和上甲板板厚度的确定。

### 20.4.2 凸形甲板板

#### 20.4.2.1 凸形甲板板的顶板厚度

(1) 船中部  $0.4L$  区域内凸形甲板的顶板厚度  $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值:

$$t_1 = 0.06s_1(L_1 + 110) \sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1 F_{c\_deck} \sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

(2) 船中部  $0.4L$  以外货舱区域内凸形甲板的顶板厚度  $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值, 且由中部向货舱两端过渡:

$$t_1 = 0.06s_1(L_1 + 105) \sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1 F_{c\_deck} \sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

式中:  $s_1$ ——纵骨间距, m; 但应不小于纵骨标准间距;

$L$ ——船长, m;

$L_1 = L$ , 其中  $L$  为船长, m; 但计算时取值不必大于 190 m;

$K$ ——材料系数;

$F_d$ ——折减系数, 见本篇第2章第2节。

$$F_{c\_deck} = 0.922 \left[ L / (L + 80) \right]^{1/2}$$

$t_c$ ——腐蚀余量, 对压载舱, 取 2.5 mm; 对空舱, 取 1.0 mm。

#### 20.4.2.2 凸形甲板板的斜板厚度

(1) 船中部  $0.4L$  区域内凸形甲板的斜板厚度  $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值:

$$t_1 = 0.051s_1(L_1 + 115) \sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1 F_{c\_deck} \sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

(2) 船中部  $0.4L$  以外货舱区域内凸形甲板的斜板厚度  $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值, 且由中部向货舱两端过渡:

$$t_1 = 0.051s_1(L_1 + 110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1F_{c\_deck}\sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

式中符号——见本节 20.4.2.1。

### 20.4.3 上甲板板

20.4.3.1 船中部  $0.4L$  区域内上甲板厚度  $t$ , 应不小于按下列各式计算所得之值:

$$t_1 = 0.06s_1(L_1 + 110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1F_{c\_deck}\sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

$$t_3 = 3.95s\sqrt{K\rho_w h_0} + 2.5 \quad \text{mm, 且不小于 7.5 mm}$$

式中:  $s$  ——纵骨间距, m

$s_1$  ——纵骨间距, m; 但应不小于纵骨标准间距;

$L$  ——船长, m;

$L_1 = L$ , 其中  $L$  为船长 m; 但计算时取值不必大于 190 m;

$K$  ——材料系数;

$\rho_w$  ——海水密度,  $1.025 \text{ t/m}^3$ ;

$F_d$  ——折减系数, 见本篇第 2 章第 2 节。

$$F_{c\_deck} = 0.922\left[L/(L+80)\right]^{1/2};$$

$h_0$  ——由计算的板下缘量至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

$t_c$  ——腐蚀余量, 对压载舱, 取 2.5 mm; 对空舱, 取 1.0 mm。

20.4.3.2 船中部  $0.4L$  以外货舱区域内上甲板厚度  $t$ , 应不小于按下列各式计算所得之值, 且由中部向货舱两端过渡:

$$t_1 = 0.06s_1(L_1 + 105)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1F_{c\_deck}\sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

$$t_3 = 3.95s\sqrt{K\rho_w h_0} + 2.5 \quad \text{mm, 且不小于 7.5 mm}$$

式中符号——见本节 20.4.3.1。

20.4.3.3 在船中部  $0.4L$  区域内的上甲板边板宽度, 应不小于  $(6.8L+500)$  mm, 也不必大于 1800 mm。上甲板边板在端部的宽度应不小于船中部宽度的 65%。上甲板边板厚度应不小于上甲板厚度。

## 第 5 节 甲板结构

### 20.5.1 一般要求

20.5.1.1 本节公式适用于货舱区域内双层箱形凸形甲板结构布置方式和尺寸的确定。

## 20.5.2 结构布置

20.5.2.1 薄膜型液化天然气运输船的凸形甲板、内甲板、甲板横梁、甲板纵桁及其甲板纵骨构成纵骨架式的双层箱形凸形甲板结构。

20.5.2.2 双层箱形凸形甲板内与双层底肋板同一平面内应设置甲板横梁，与双壳内的横框架或横隔板和双层底的肋板构成横向强框架结构。

20.5.2.3 甲板纵桁的设置应尽量与双层底桁材的设置位于同一纵向垂直平面内，且应在内甲板上折角位置处设置甲板纵桁。

## 20.5.3 甲板纵桁

20.5.3.1 双层箱形凸形甲板内，在中纵剖面处应设置甲板中纵桁，在两侧还应设置甲板旁纵桁。在甲板中纵桁两侧至少各设包括折角线处甲板纵桁在内的两道甲板旁纵桁，桁材之间的间距一般不大于 4 m。甲板旁纵桁应尽可能均匀设置。

20.5.3.2 甲板中纵桁和甲板旁纵桁的腹板高度  $h$ ，应不小于按下式计算所得之值：

$$h = 35B + 100 \quad \text{mm, 且不小于 } 1000 \text{ mm.}$$

式中： $B$ ——船宽，m。

20.5.3.3 甲板中纵桁的腹板最小厚度  $t$ ，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = (0.006h + 1.0)\sqrt{K} \quad \text{mm, 但不必大于 } 16 \text{ mm.}$$

式中： $h$ ——甲板中纵桁的腹板高度，mm；

$K$ ——材料系数。

20.5.3.4 甲板旁纵桁的腹板最小厚度  $t$ ，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = (0.006h + 0.5)\sqrt{K} \quad \text{mm, 但不必大于 } 16 \text{ mm.}$$

式中： $h$ ——甲板旁纵桁的腹板高度，mm；

$K$ ——材料系数。

## 20.5.4 甲板横梁

20.5.4.1 甲板横梁腹板的厚度  $t$ ，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = (0.006h + 0.5)\sqrt{K}, \quad \text{但不必大于 } 16 \text{ mm.}$$

式中： $h$ ——甲板横梁腹板的高度，mm；

$K$ ——材料系数。

20.5.4.2 甲板横梁腹板在甲板纵桁处切断时应注意对中，以确保其横向连续性。

20.5.4.3 甲板横梁腹板上的凸形甲板纵骨与内甲板纵骨之间应设置垂直扶强材。

## 20.5.5 凸形甲板纵骨

20.5.5.1 凸形甲板纵骨的剖面模数  $W$ ，应不小于按下式计算所得之值：

$$W = C_1 K s h l^2 \xi \quad \text{cm}^3$$

式中： $l$ ——纵骨跨距，m，但取值不小于 2.5 m；

$s$ ——纵骨间距，m；

$h$ ——见本篇第 2 章 2.8.5.1；

$K$ ——材料系数；

$C_1$ ——系数，取为 45；

$\xi$ ——系数，按下式计算：

$$\xi = 0.47 - 1.065F_d + 0.839F_d^2$$

$F_d$ ——折减系数，见本篇第2章第2节。

20.5.5.2 凸形甲板纵骨连同它所附连的甲板一起，在船中部 0.4L 区域以外，可以逐渐向货舱区域端部过渡，在货舱区域首、尾端处，凸形甲板纵骨剖面模数应不小于按本节 20.5.5.1 计算所得之值的 90%。

20.5.5.2 凸形甲板纵骨与水密横舱壁的连接应具有足够的刚性，并应保证凸形甲板纵骨连续穿过甲板横梁腹板。凸形甲板纵骨应与甲板横梁腹板焊接，当与甲板横梁加强筋相遇时，应与加强筋焊接。

### 20.5.6 上甲板纵骨

20.5.6.1 上甲板纵骨的剖面模数  $W$ ，应不小于按下列两式计算所得之值：

$$W_1 = 8\rho_w Ksh_0 l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_2 = C_1 Kshl^2 \xi \quad \text{cm}^3$$

式中：  $s$ ——纵骨间距，m；

$l$ ——纵骨跨距，m，但取值不小于 2.5 m；

$\rho_w$ ——海水密度，1.025 t/m<sup>3</sup>；

$h$ ——见本篇第2章 2.8.5.1；

$h_0$ ——由计算的骨材跨距中点量至中纵剖面处舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

$K$ ——材料系数；

$C_1$ ——系数，取为 45；

$\xi$ ——系数，按下式计算：

$$\xi = 0.47 - 1.065F_d + 0.839F_d^2$$

$F_d$ ——折减系数，见本篇第2章第2节。

20.5.6.2 上甲板纵骨连同它所附连的甲板一起，在船中部 0.4L 区域以外，可以逐渐向端部过渡，在离首、尾端 0.075L 处，上甲板纵骨剖面模数应不小于按本节 20.5.6.1 计算所得之值的 80%，同时也应不小于本篇第2章 2.8.5.1 所规定的端部甲板纵骨的要求。

20.5.6.3 上甲板纵骨与水密横隔板的连接应具有足够的刚性，并应保证上甲板纵骨连续穿过水密横隔板。

### 20.5.7 内甲板板

20.5.7.1 内甲板的顶板厚度

(1) 船中部 0.4L 区域内的内甲板顶板厚度  $t$ ，应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t_1 = 0.06s_1(L_1 + 110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1 F_{c\_deck} \sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

$$t_3 = 40s\sqrt{KP_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

(2) 船中部 0.4L 以外液货舱区域内的内甲板顶板厚度  $t$ ，应不小于按下列各式计算所得之值，且由中部向液货舱两端过渡：

$$t_1 = 0.06s_1(L_1 + 105)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1 F_{c\_deck} \sqrt{(L+80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

$$t_3 = 40s\sqrt{KP_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

式中:  $s$  ——纵骨间距, m;

$s_1$  ——纵骨间距, m; 但应不小于纵骨标准间距;

$L$  ——船长, m;

$L_1 = L$ , 其中  $L$  为船长, m; 但计算时取值不必大于 190 m;

$K$  ——材料系数;

$F_d$  ——折减系数, 见本篇第2章第2节。

$$F_{c\_deck} = 0.922 \left[ L / (L + 80) \right]^{1/2};$$

$P_{eq}$  ——液货舱内部压力, MPa, 见《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第4章4.13.2.4;

$t_c$  ——腐蚀余量, 对压载舱, 取 2.5 mm; 对空舱, 取 1.0 mm。

### 20.5.7.2 内甲板斜板厚度

(1) 船中部  $0.4L$  区域内的内甲板斜板厚度  $t$ , 应不小于按下列各式计算所得之值:

$$t_1 = 0.06s_1(L_1 + 110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1F_{c\_deck}\sqrt{(L + 80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

$$t_3 = 40s\sqrt{KP_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

(2) 船中部  $0.4L$  以外液货舱区域内的内甲板斜板厚度  $t$ , 应不小于按下列各式计算所得之值, 且由中部向液货舱两端过渡:

$$t_1 = 0.05s_1(L_1 + 110)\sqrt{\frac{F_d}{K}} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.9s_1F_{c\_deck}\sqrt{(L + 80)K} + t_c \quad \text{mm}$$

$$t_3 = 40s\sqrt{KP_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

式中符号——见本节 20.5.7.1。

### 20.5.7.3 内甲板纵骨

(1) 内甲板纵骨的剖面模数  $W$ , 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = 644KsP_{eq}l^2 \quad \text{cm}^3$$

式中:  $s$  ——纵骨间距, m;

$l$  ——纵骨跨距, m, 但取值不小于 2.5 m;

$K$  ——材料系数;

$P_{eq}$  ——液货舱内部压力, MPa, 见《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第4章4.13.2.4。

(2) 内甲板纵骨连同它所附连的甲板一起, 在船中部  $0.4L$  区域以外, 可以逐渐向货舱区域端部过渡, 在货舱区域首、尾端处, 内甲板纵骨剖面模数应不小于按本条 (1) 计算所得之值的 90%。

(3) 内甲板纵骨与甲板横梁腹板的连接应具有足够的刚性, 并应保证内甲板纵骨连续穿过甲板横梁腹板。内甲板纵骨应与甲板横梁腹板焊接, 当与甲板横梁加强筋相遇时, 应与

加强筋焊接。

## 第6节 双壳结构

### 20.6.1 一般要求

20.6.1.1 本节适用于液货舱区域双壳内骨架布置方式和尺寸要求。

20.6.1.2 本节未及部分，应满足本篇第5章第5节的规定。

### 20.6.2 舷侧纵骨

20.6.2.1 舷侧纵骨的剖面模数  $W$ ，应不小于按以下两式计算所得之值：

$$W_1 = \frac{8.5}{f} K s h l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_2 = 8K \rho_w s h_1 l^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： $s$ ——纵骨间距，m；

$l$ ——纵骨跨距，m；

$K$ ——材料系数；

$f$ ——系数，按以下公式计算，且取值不大于 1.077：

$$f = \begin{cases} 1.73 - F_d \frac{Z - Z_n}{D - Z_n} & \text{当 } Z \geq Z_n \text{ 时;} \\ 1.73 - F_d \frac{Z_n - Z}{Z_n} & \text{当 } Z < Z_n \text{ 时;} \end{cases}$$

$h$ ——计算压头，m，按下式计算：

$$h = 0.26C + d - \frac{Z}{D}(0.06C + d)$$

$C$ ——见本篇第2章第2节；

$D$ ——型深，m；

$h_1$ ——按下列规定取值，m：

$$h_1 = h_0 - 0.35d, \quad \text{当 } Z = 0;$$

$$h_1 = h_0, \quad \text{当 } Z \geq d$$

其余之值由线性内插得到。

$h_0$ ——由计算的骨材跨距中点量至中纵剖面处舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

$Z$ ——基线至计算点的垂直距离，m；

$Z_n$ ——船体横剖面中和轴的高度，从基线量起，m；

$d$ ——吃水，m；

$\rho_w$ ——海水密度，取  $1.025 \text{ t/m}^3$ ；

### 20.6.3 顶边舱斜板及其纵骨

20.6.3.1 顶边舱斜板的厚度  $t$ ，应不小于按下列两式计算所得之值，且不得小于相邻内甲板的厚度：

$$t_1 = 40s \sqrt{K P_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 3.95s \sqrt{K \rho_w h_0} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中:  $s$  ——纵骨间距, m;

$K$ ——材料系数;

$\rho_w$ ——海水密度, 取  $1.025 \text{ t/m}^3$ ;

$h_0$ ——由计算的板下缘至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

$P_{eq}$ ——液货舱内部压力, MPa, 见《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第4章4.13.2.4。

20.6.3.2 顶边舱斜板纵骨的剖面模数  $W$ , 应不小于按下列两式计算所得之值, 且应不小于相邻内壳板纵骨的剖面模数:

$$W_1 = 560KsP_{eq}l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_2 = 8K\rho_wsh_0l^2 \quad \text{cm}^3$$

式中:  $l$ ——纵骨跨距, m;

$h_0$ ——由计算的骨材跨距中点至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

其余符号——见本节20.6.3.1。

#### 20.6.4 内壳板及其纵骨

20.6.4.1 内壳板的厚度  $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值:

$$t_1 = 40s\sqrt{KP_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 3.95s\sqrt{K\rho_w h_0} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中:  $s$  ——纵骨间距, m;

$K$ ——材料系数;

$\rho_w$ ——海水密度, 取  $1.025 \text{ t/m}^3$ ;

$h_0$ ——由计算的板下缘至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

$P_{eq}$ ——液货舱内部压力, MPa, 见《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第4章4.13.2.4。

20.6.4.2 内壳板的纵骨间距与舷侧纵骨间距相同, 且剖面模数  $W$ , 应不小于按下列两式计算所得之值:

$$W_1 = 560KsP_{eq}l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_2 = 8K\rho_wsh_0l^2 \quad \text{cm}^3$$

式中:  $l$ ——纵骨跨距, m;

$h_0$ ——由计算的骨材跨距中点至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

其余符号——见本节20.6.4.1。

#### 20.6.5 底边舱斜板及其纵骨

20.6.5.1 底边舱斜板的厚度  $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值, 且还应不小于相邻的内壳板要求的厚度:

$$t_1 = 40s\sqrt{KP_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 3.95s\sqrt{K\rho_w h_0} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中:  $s$  ——纵骨间距, m;

$K$ ——材料系数;

$\rho_w$ ——海水密度, 取  $1.025 \text{ t/m}^3$ ;

$h_0$ ——由计算的板下缘量至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

$P_{eq}$ ——液货舱内部压力, MPa, 见《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第4章 4.13.2.4。

20.6.5.2 底边舱斜板纵骨的剖面模数  $W$ , 应不小于按下列两式计算所得之值, 且应不小于相邻内壳板纵骨的剖面模数:

$$W_1 = 560KsP_{eq}l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_2 = 8K\rho_w sh_0l^2 \quad \text{cm}^3$$

式中:  $l$ ——纵骨跨距, m;

$h_0$ ——由计算的骨材跨距中点量至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

其余符号——见本节 20.6.5.1。

#### 20.6.6 双壳平台

20.6.6.1 双壳平台的有关结构要求应满足本篇第5章 5.5.6 的规定。

#### 20.6.7 双壳横隔板

20.6.7.1 双壳横隔板的有关结构要求应满足本篇第5章 5.5.7 的规定。

## 第7节 双层底结构

### 20.7.1 一般要求

20.7.1.1 除本节另有规定外, 液货舱区域双层底结构的尺寸和布置应符合本篇第5章第4节的要求。

### 20.7.2 船底纵桁

20.7.2.1 双层底内在船中纵剖面处的中桁材两侧至少各设两道旁桁材, 桁材之间的间距一般不大于 4m。旁桁材应尽可能均匀设置。

20.7.2.2 底边舱斜板下应设置旁桁材。在平面横舱壁垂直纵隔板下的双层底内还应根据要求设置局部桁材, 其厚度一般应不小于平面横舱壁垂直纵隔板最下列板的厚度, 并应满足本篇第5章 5.4.2 的规定。

### 20.7.3 船底肋板

20.7.3.1 实肋板间距一般应不大于  $0.006L+3.2 \text{ m}$  或  $4.2 \text{ m}$  (取小者), 其中  $L$  为船长。

### 20.7.4 舳肘板

20.7.4.1 舳肘板的有关结构要求见本篇第5章 5.4.4。

### 20.7.5 船底纵骨

20.7.5.1 船底纵骨的剖面模数  $W$ , 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = 8K\rho_w sh_1l^2 \quad \text{cm}^3$$



式中:  $s$  ——骨材间距, m;

$l$  ——骨材跨距, m;

$K$  ——材料系数;

$\rho_w$  ——海水密度, 取  $1.025 \text{ t/m}^3$ ;

$h_1$  ——见本节 20.6.2.1。

### 20.7.6 内底板及其纵骨

20.7.6.1 内底板的厚度  $t$ , 应不小于按下列两式计算所得之值:

$$t_1 = 40s\sqrt{KP_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 3.95s\sqrt{K\rho_w h_0} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中:  $s$  ——纵骨间距, m;

$K$  ——材料系数;

$\rho_w$  ——海水密度, 取  $1.025 \text{ t/m}^3$ ;

$h_0$  ——由计算的板下缘量至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

$P_{eq}$  ——液货舱内部压力, MPa, 见《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第 4 章 4.13.2.4。

20.7.6.2 内底纵骨的剖面模数  $W$ , 应不小于按下列两式计算所得之值:

$$W_1 = 560KsP_{eq}l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_2 = 8K\rho_w sh_0l^2 \quad \text{cm}^3$$

式中:  $l$  ——骨材跨距, m;

$h_0$  ——由计算的骨材跨距中点量至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

其余符号——同本节 20.7.6.1。

## 第 8 节 平面横舱壁结构

### 20.8.1 一般要求

20.8.1.1 薄膜型液化天然气运输船的液货舱之间设置双层平面横舱壁结构, 由舱壁间舱壁平台、垂直纵隔板和舱壁水平扶强材或垂直扶强材组成。垂直纵隔板和舱壁平台应开人孔, 开孔要求见本章第 9 节。双层平面横舱壁间应设置成隔离空舱。

20.8.1.2 双层平面横舱壁下的双层底内应设置实肋板。双层平面横舱壁的垂直纵隔板应与双层底和双层箱形凸形甲板内的纵桁或局部桁材对齐。

20.8.1.3 双层平面横舱壁的舱壁平台应与双壳内的平台在同一平面内。双层平面横舱壁上的垂直扶强材应与内甲板纵骨和内底纵骨在同一纵向剖面上。双层平面横舱壁上的水平扶强材应与内壳纵骨、内甲板斜板纵骨、顶边舱斜板纵骨和底边舱斜板纵骨在同一水平剖面上。

### 20.8.2 舱壁板厚度

20.8.2.1 舱壁板厚度  $t$ , 应不小于按下列各式计算所得之值:

$$t_1 = 40s\sqrt{KP_{eq}} + 1.0 \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 3.95s\sqrt{K\rho_{LNG}h_0} + 2.5 \quad \text{mm}$$

$$t_3 = 4.0s\sqrt{K\rho_w h_2} \quad \text{mm}$$

$$t_4 = 0.021\alpha_p b \sqrt{\frac{P_{collision}}{C_a R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

式中:  $s$ ——纵骨间距, m;

$K$ ——材料系数;

$\rho_w$ ——海水密度, 取  $1.025 \text{ t/m}^3$ ;

$\rho_{LNG}$ ——液化天然气密度, 取  $0.50 \text{ t/m}^3$ ;

$h_0$ ——由计算的舱壁板下缘量至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

$h_2$ ——由舱壁板下缘量至舱壁甲板的垂直距离, m;

$P_{eq}$ ——液货舱内部压力, MPa, 见《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第4章 4.13.2.4;

$\alpha_p$ ——按下式计算:

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}, \quad \text{其中, } a \text{ 为板格的长度, mm; } b \text{ 为板格的宽度, mm;}$$

$C_a$  ——取为 0.8;

$R_{eH}$ ——材料屈服应力,  $\text{N/mm}^2$ ;

$P_{collision}$ ——模拟船舶碰撞时, 以整个货舱的 1/2 货物重量作用在前方横舱壁上的压力,  $\text{KN/m}^2$ , 按下式计算:

$$P_{collision} = 0.5\rho_{LNG}gl_{tank}, \quad \text{其中:}$$

$l_{tank}$ ——液货舱长度, m;

$g$ ——重力加速度,  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ;

20.8.2.2 舱壁板厚度还应满足本篇第5章 5.7.2.2 的要求(如适用)。

### 20.8.3 舱壁平台和垂直纵隔板

20.8.3.1 舱壁平台和垂直纵隔板的厚度应满足本章 20.1.5 的要求。

20.8.3.2 舱壁平台加强筋和垂直纵隔板加强筋的尺寸应满足本章第9节的要求。

### 20.8.4 垂直扶强材

20.8.4.1 垂直扶强材的剖面模数  $W$ , 应不小于按下列各式计算所得之值:

$$W_1 = 560KsP_{eq}l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_2 = 8K\rho_{LNG}sh_0l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_3 = CKsh_2l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_4 = \frac{1000|P_{collision}|s^2}{f_{end}C_sR_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

式中:  $s$ ——纵骨间距, m;

$l$ ——骨材跨距, m;

$K$ ——材料系数;

$\rho_{LNG}$ ——液化天然气密度, 取  $0.50 \text{ t/m}^3$ ;

$P_{eq}$ ——液货舱内部压力, MPa, 见《散装运输液化气体船舶构造与设备规则》第4章 4.13.2.4;

$h_0$ ——由计算的骨材跨距中点量至中纵剖面处舱顶的垂直距离, 或量至溢流管顶垂直距离的一半, 取大者, m;

$h_2$ ——由计算的骨材跨距中点量至舱壁甲板的垂直距离, m;

$P_{collision}$ ——见本节 20.8.2.1;

$R_{eH}$ ——材料屈服应力,  $\text{N/mm}^2$ ;

$C$ ——系数, 按如下选取:

$C=6$ , 扶强材端部不连接或与未设扶强材的板直接相连;

$C=3$ , 扶强材端部用肘板连接或直接同纵向构件搭接。

$f_{end}$ ——对于垂直扶强材的下端, 取为 10; 对于垂直扶强材的上端, 取为 12;

$C_s$ ——取为 0.9。

### 20.8.5 水平扶强材

20.8.5.1 水平扶强材的剖面模数  $W$ , 应不小于按下列各式计算所得之值:

$$W_1 = 560KsP_{eq}l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_2 = 8K\rho_{LNG}sh_0l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_3 = CKsh_2l^2 \quad \text{cm}^3$$

$$W_4 = \frac{1000|P_{collision}|sl^2}{f_{end}C_sR_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

式中:  $h_2$ ——扶强材至型深处的垂直距离, m, 但取值不小于  $0.25D$ , 其中:  $D$  为型深, m;

$l$ ——扶强材跨距, m;

$f_{end}$ ——对于水平筋, 取为 12;

其余符号——见本节 20.8.4.1。

20.8.5.2 水平扶强材应采用肘板与内壳纵骨、内甲板斜板纵骨、顶边舱斜板纵骨和底边舱斜板纵骨连接, 肘板应符合本篇第 1 章的相关规定。水平扶强材穿过垂直纵隔板时, 应与垂直纵隔板及其加强筋焊接。

## 第 9 节 结构细节

### 20.9.1 一般要求

20.9.1.1 对于本节未及部分（晃荡评估除外），应满足本篇第5章第12节的规定（如适用）。

20.9.1.2 无论何时在主要构件（外板、纵舱壁等）设置折角，应在折角处有足够的加强以传递横向载荷。该加强形式为腹板、肘板或型材，并且应与传输载荷（剪力）的横向构件相连。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，且该短梁或其他的加强形式不必安装在浅折角区域，如甲板梁拱折角。

20.9.1.3 在横向强框架剖面变化的开口处增加防倾肘板。并保持底边舱、顶边舱的折角线上斜板、垂向板和水平板的板厚中心线交汇在同一直线上。

20.9.1.4 底边舱、顶边舱折角线上的斜板、垂向板和水平板采用全焊透焊接。平面双横舱壁的下列板、双层底实肋板与内底板也采用全焊透焊接。

## 20.9.2 开口

20.9.2.1 开口的结构细节应符合本篇第1章1.2.5.5的要求，且人孔、减轻孔和其他类似开口应避免载荷集中处和高剪应力区域，如：

- (1) 狭窄隔离舱/离两端1/6舱壁长度范围内双层舱壁的垂直或水平隔板；
- (2) 肋板或紧靠其跨距端部的双层底桁材腹板；
- (3) 支柱的顶部以上及根部以下。

如开口不能避免，则开口处的强度应满足板格屈服和屈曲评估的相关要求。

大于本节20.9.2.2或20.9.2.3的规定的开口，则需对其布置和补偿作特殊考虑。

20.9.2.2 对于不需加强单壳剖面中的人孔和减轻孔，应满足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%。对于满足上述要求者，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。

20.9.2.3 对于不需加强的双壳剖面中的人孔和减轻孔，应满足开口高度不超过腹板高度的50%和通过的切口边缘远离其局部支撑构件的规定。对于满足上述要求者，其腹板上避开高应力区域的开口则不必要求加强。

20.9.2.4 对于需要加强的人孔和减轻孔，可按图20.9.2.4的方法进行加强，即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400 mm，可在一个方向不设加强筋，而如果两条轴线长度均小于300 mm，则两个方向均可不设加强筋。边缘加强可用来取代加强筋。

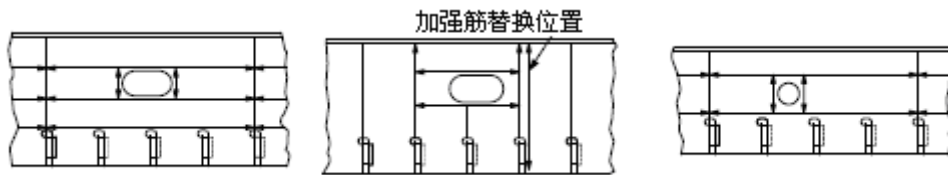


图 20.9.2.4 人孔和减轻孔的加强示例

## 20.9.3 加强筋或肘板

20.9.3.1 加强筋或肘板的有关要求应满足本篇第5章第12节的规定。

## 附录 1 液货舱段区域船体结构直接计算

### 1 一般要求

#### 1.1 适用范围

1.1.1 本附录适用于本章要求的薄膜型液化天然气运输船的液货舱段区域船体结构直接分析与评估。

#### 1.2 定义

##### 1.2.1 符号规定

除非特别说明，下列符号在本节中的规定如下：

$\rho_w$ ——海水密度，取  $1.025 \text{ t/m}^3$ ；

$\rho_{LNG}$ ——液化天然气密度，取  $0.50 \text{ t/m}^3$ ；

$\rho$ ——液体密度，为适用时的  $\rho_w$  或  $\rho_{LNG}$ ；

$\sigma_e$ ——板单元相当应力， $\text{N/mm}^2$ 。该值基于单元形心处的膜应力；

$R_{eH}$ ——材料屈服应力， $\text{N/mm}^2$ ；

$K$ ——材料系数，按本篇第 1 章第 3 节规定；

$E$ ——材料弹性模量，对钢材， $E=2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$  或  $E=2.06 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ；

$\nu$ ——材料泊松比，对钢材， $\nu=0.3$ 。

### 2 载荷

#### 2.1 一般要求

2.1.1 在进行强度评估时，应考虑对船体梁弯矩、舱内外液体压力和其他局部作用压力、船舶运动惯性、结构自重和货物围护系统绝热层自重等载荷作用。

2.1.2 如总纵弯矩、水动压力（外部）和惯性力以及附加压头（内部）采用直接计算方法得出，则应使用公认的计算原理和应用程序。

#### 2.2 静载荷

2.2.1 船体梁静水弯矩  $M_{sw}$  见本篇第 2 章 2.2.2。除另有规定外，装载模式按本附录表 2.4.1 考虑。

#### 2.3 波浪载荷

##### 2.3.1 总纵垂向波浪弯矩

垂向波浪弯矩： $M_{w\_sagging}$ （中垂）和  $M_{w\_hogging}$ （中拱）

$$M_{w\_sagging} = k_w M_w(-) \quad \text{k N} \cdot \text{m}$$

$$M_{w\_hogging} = k_w M_w(+) \quad \text{k N} \cdot \text{m}$$

式中： $k_w$ ——系数，一般取 1.0。

$M_w(+)$ 、 $M_w(-)$ ——见本篇第 2 章 2.2.3。

### 2.3.2 水平波浪弯矩

水平波浪弯矩： $M_H$

$$M_H = \pm 84k_w CL^2 D(C_b + 0.7) \times 10^{-3} \quad \text{k N} \cdot \text{m} \quad (\text{左舷受拉为正})$$

式中： $k_w$ ——见 2.3.1；

$C$ ——见本篇第 2 章 2.2.3。

### 2.3.3 舷外水压

(1) 舷外水压  $p_{sea\_side}$ ，由静水压头和水动压力两部分迭加组成，且按下式计算：

$$p_{sea\_side} = p_{sea\_static} + p_{sea\_dynamic} \quad \text{N/mm}^2 \quad (\text{朝舱内方向作用为正})$$

若  $p_{sea\_side}$  的计算值小于 0 时，取为 0。

式中： $p_{sea\_static}$ ——静水压力， $p_{sea\_static} = 0.001\rho_w g h_s \quad \text{N/mm}^2$ ；

$h_s$ ——静水压头，m，取计算工况下的吃水  $d$ ；

$p_{sea\_dynamic}$ ——水动压力， $p_{sea\_dynamic} = 0.001\rho_w g k_c h_{di} \quad \text{N/mm}^2$ ；

$k_c$ ——组合工况下的修正系数，见本附录表 2.4.1；

$h_{di}$ ——横剖面上不同位置  $i$  处的水动压头，m， $h_{di} = 1.36\lambda_i C_f C_w$ ，横剖面上的分布见图 2.3.3(1)，其

中： $\lambda_i$ ——横剖面上外壳  $i$  处的水动压头分布系数，按表 2.3.3(1) 取用，其他各位置处可按线性插值取用；

$C_f$ ——水动压头沿船长的分布系数，取  $C_f = k_{f0}$ ；

$k_{f0}$ ——系数，按表 2.4.1 取用；

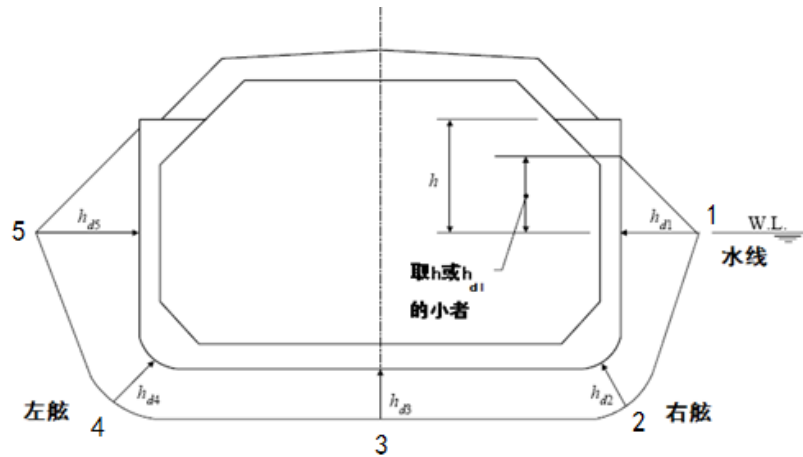
$\theta$ ——浪向角，对于迎浪， $\theta = 0^\circ$ ；对于从右舷而来的横浪， $\theta = 90^\circ$ ；

$C_w$ ——波浪系数，见本篇第 2 章 2.2.3.1 的系数  $C$ 。

水动压头分布系数  $\lambda_i$

表 2.3.3(1)

浪向角 $\theta^\circ$	$i=1$ 右舷水线处	$i=2$ 右舷舭部处	$i=3$ 船底纵中线处	$i=4$ 左舷舭部处	$i=5$ 左舷水线处
$0^\circ$ (迎浪)	0.750	0.300	0.300	0.300	0.750
$60^\circ$ (斜浪)	0.875	0.350	0.127	-0.096	-0.333
$90^\circ$ (横浪)	1.000	0.400	0.100	-0.200	-0.500
任意角度	$1.00 - \frac{\cos\theta}{4}$	$\frac{2}{5} - \frac{\cos\theta}{10}$	$\frac{3}{10} - \frac{\sin\theta}{5}$	$\frac{2 - 4\sin\theta + \cos\theta}{10}$	$\frac{3}{4} - \frac{5}{4}\sin\theta$

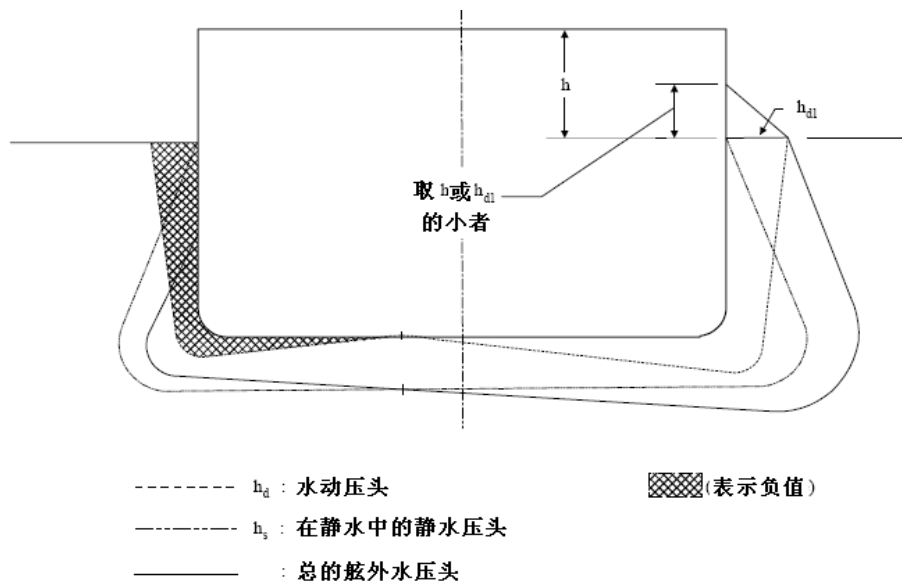


$h$  ——液舱的顶边舱顶甲板（凸形甲板下端部）至水线的距离，m。

注意：在右舷水线处，压头  $h_{d1}$  的取值应为  $h$  和上述  $h_{di}|_{i=1}$  公式计算值的小者。

图 2.3.3(1) 舷外水动压力分布

(2)  $p_{sea\_side}$  的分布，见图 2.3.3(2)。



$h$  ——见图 2.3.3(1)。

图 2.3.3(2) 舷外水合成压力分布

### 2.3.4 液舱内部压力（不包括晃荡及冲击载荷）

#### (1) 船舶运动参数

在缺乏船舶耐波性分析或模型试验的有关数据情况下，可按以下规定计算船舶的运动参数：

①纵摇角：（首抬为正）

$$\psi = \frac{1030}{L} \left( \frac{V}{C_b} \right)^{0.25} \quad (^\circ), \text{ 但取值不必大于 } 10^\circ$$

②纵摇周期:

$$T_p = 3.5\sqrt{C_b d_i} \quad \text{s}$$

式中:  $d_i$ ——相应工况 (见表 2.4.1) 下的船中部吃水, m。

③横摇角: (右舷向下为正)

$$\phi = \phi_0 \lambda_T \quad (^\circ), \text{ 但取值不必大于 } 30^\circ$$

式中:  $\phi_0$ ——基本横摇角,  $\phi_0 = (1.3 - 0.025V)\{35 - 5 \times 10^{-6} \times 10.05 \times [1.06(\frac{d_i}{d}) - 0.06]LBdC_b\}$

$$\lambda_T = \begin{cases} 0.8625 + 0.027T_r & T_r \leq 12.5 \quad \text{s} \\ 1.5375 - 0.027T_r & 12.5 \leq T_r \leq 20 \quad \text{s} \\ 1 & T_r > 20 \quad \text{s} \end{cases}$$

④横摇周期:

$$T_r = \frac{2.0r_{roll\_gyr}}{\sqrt{GM}} \quad \text{s}$$

式中:  $r_{roll\_gyr}$ ——横摇回转半径, m, 取值见表 2.3.4(1);

$GM$ ——初稳性高度, m, 取值见表 2.3.4(1);

$d_i$ ——见上述 b。

初稳性高度  $GM$  和横摇回转半径  $r_{roll\_gyr}$  取值 表 2.3.4(1)

装载及吃水	$GM$	$r_{roll\_gyr}$
满载	0.12B	0.35B
0.75d	0.18B	0.38B

注: 晃荡工况下的上述参数另见本章第 5 节

⑤船舶运动加速度:

垂向加速度:  $a_v = f_v k_v a_0 g \quad \text{m/s}^2$ , 从上往下为正;

纵向加速度:  $a_{longi} = f_l k_l a_0 g \quad \text{m/s}^2$ , 从尾部指向首部为正;

横向加速度:  $a_t = f_t k_t a_0 g \quad \text{m/s}^2$ , 从左舷指向右舷为正;

式中:  $a_0$ ——公用加速度参数,  $a_0 = (1.09 + 0.029V - 0.47C_b)(\frac{2.4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} - \frac{600}{L^2})$

$f_v$ ——系数,  $f_v = \cos \theta + \frac{(1 + 2.4 \frac{y}{B}) \sin \theta}{k_v}$ ;

$k_v$ ——系数,  $k_v = \sqrt{1 + 0.65(5.3 - \frac{45}{L})^2 (\frac{x}{L} - 0.45)^2}$ ;



$f_l$ ——系数,  $f_l = 0.35 - 5.0(L - 200) \times 10^{-4}$ ;

$k_l$ ——系数,  $k_l = 0.5 + \frac{8z}{L}$ ;

$f_t$ ——系数,  $f_t = 1.27 \sqrt{1 + 1.52(\frac{x}{L} - 0.45)^2}$ ;

$k_t$ ——系数,  $k_t = 0.35 + \frac{z}{B}$ ;

$x$ ——从尾垂线量至计算站位的纵向距离, m;

$y$ ——从纵中剖面量至计算点的横向距离, m, 从左舷指向右舷为正;

$z$ ——从水线量至计算点的垂向距离, m, 向上为正;

上述计算点取各舱室的形心位置。

## (2)液舱内部压力

①内部压力分布  $p_i$ , 由液化气体的蒸气压力、液体压力和波浪诱导的水动惯性力及附加压力迭加组成。对于完全充装的液舱, 按下式计算:

$$p_i = 0.001 N g (z_{local\_tank} + \Delta z_{local\_tank} + h_{wave\_induced}) \quad \text{N/mm}^2$$

(从液舱几何形心朝液舱周界方向作用为正)

式中:  $p_0$ ——蒸气压力, 按下式计算:

$$p_0 = \begin{cases} p_{vp} - p_n & \text{对于液货舱, 当计算值小于0时, 取为0,} \\ 0 & \text{对于压载舱} \end{cases}$$

$p_{vp}$ ——真空释放阀的最大调定值, MPa, 取值不大于 0.07MPa;

$p_n$ ——标准设计蒸气压力值, 取为 0.025 MPa;

$z_{local\_tank}$ ——液舱周界压力作用点的局部垂向坐标, m, 从液舱顶部量至液舱周界计算点, 如图

### 2.3.4(2);

$\Delta z_{local\_tank}$ ——取值如下:

(a) 对于舱室顶部延伸至上甲板或凸形甲板的液货舱或压载舱, 取为 0;

(b) 对于舱室顶部未延伸至上甲板的较低设置的液舱, 取为相当于舱顶至溢流管顶距离的 2/3。  
(暴露在空气中的高度最小值应取为干舷甲板以上 760 mm 或上层建筑甲板以上 450 mm。)

$h_{wave\_induced}$ ——波浪诱导的舱内液货压头, m, 其值由惯性力和附加压头组成, 按下式计算:

$$h_{wave\_induced} = k_c (z_{tank\_local} \frac{a_i}{g} + \Delta h_i)$$

$k_c$ ——见 2.3.3;

$a_i$ ——计算点处的有效合成加速度, 可由下式计算:

$$a_i = 0.71C_{dp} [w_v a_v + w_{longi} (\frac{l}{h}) a_{longi} + w_t (\frac{b}{h}) a_t] \quad \text{m/s}^2;$$

$C_{dp}$ ——见表 2.3.4(2);

$a_v$ 、 $a_{longi}$ 、 $a_t$ ——见 2.3.4(1);

$w_v$ 、 $w_{longi}$ 、 $w_t$ ——重力作用系数, 见表 2.4.1;

$l$ ——液舱长度, m;

$b$ ——液舱宽度, m;

$h$ ——液舱高度, m;

$\Delta h_i$ ——由于纵摇和横摇运动产生的附加压头, m, 按下述规定计算:

(a) 对于首沉和右舷向下 ( $\psi_e < 0$ ,  $\phi_e > 0$ ):

$$\Delta h_i = x_{\tan k\_local} \sin(-\psi_e) + C_{ru} (y_{\tan k\_local\_e} \sin \phi_e \cos \psi_e + z_{\tan k\_local\_e} \cos \psi_e \cos \phi_e - z_{\tan k\_local})$$

式中:  $x_{\tan k\_local}$ ——计算点在图 2.3.4(2)中所示局部坐标轴相关的长度坐标, m;

$y_{\tan k\_local}$ ——图 2.3.4(2)中所示局部坐标轴相关的宽度坐标, m;

$z_{\tan k\_local}$ ——计算点在图 2.3.4(2)中所示局部坐标轴相关的高度坐标, m;

$y_{\tan k\_local\_e}$ ——取为:  $b - y_{\tan k\_local}$

$z_{\tan k\_local\_e}$ ——取为:  $z_{\tan k\_local}$

(b) 对于首抬和右舷向上 ( $\psi_e > 0$ ,  $\phi_e < 0$ ):

$$\Delta h_i = (l - x_{\tan k\_local}) \sin \psi_e + C_{ru} [y_{\tan k\_local\_e} \sin(-\phi_e) \cos \psi_e + z_{\tan k\_local\_e} \cos \psi_e \cos \phi_e - z_{\tan k\_local}]$$

式中:  $y_{\tan k\_local\_e}$ ——取为:  $y_{\tan k\_local} - \delta_b$

$z_{\tan k\_local\_e}$ ——取为:  $z_{\tan k\_local} - \delta_h$

$\delta_b$ 、 $\delta_h$ ——计算点在图 2.3.4(2)中所示局部坐标轴相关的坐标调整值, m;

$C_{ru}$ ——见表图 2.3.4(2);

$C_\psi$ 、 $C_\phi$ ——重力作用系数, 见表 2.4.1;

$\psi_e$ ——取为:  $0.71C_\psi \psi$ ;

$\phi_e$ ——取为:  $0.71C_\phi \phi$ ;

$\psi$ 、 $\phi$ ——船舶运动的纵摇和横摇角，见 2.3.4(1)。

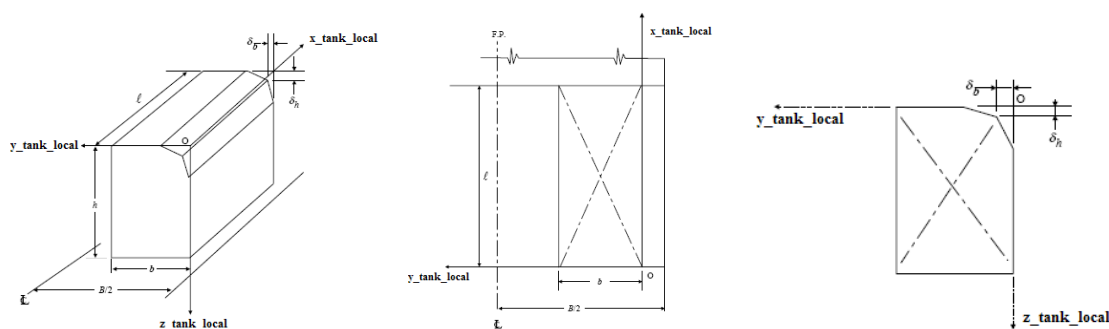


图 2.3.4(2) 液舱局部坐标及几何标定

②液舱晃荡运动水平（水平一至水平三）对应的晃荡载荷计算方法见本章附录 2。

③同时作用的液舱内部压力；

舱段分析中所采用的液舱内部压力应针对船体中段的液舱，按照上述①、②和③方法进行计算。

④液舱形状和相关系数的定义——见表 2.3.4(2)。

液舱形状和相关系数

表 2.3.4(2)

适用条件	液舱几何形状	$C_{dp}$	$C_{ru}$
$\frac{b}{b_1} \leq 3.0$ 或 $\frac{h}{h_1} \leq 3.0$	矩形液舱	1.0	1.0
$\frac{b}{b_1} \geq 5.0$ 且 $\frac{h}{h_1} \geq 5.0$	J 形液舱	0.7	1.0
$3.0 < \min\left\{\frac{b}{b_1}, \frac{h}{h_1}\right\} < 5.0$	其他液舱	$1.0 - 0.15 \left\{ \min\left\{\frac{b_1}{b}, \frac{h}{h_1}\right\} - 3.0 \right\}$	1.0

表中： $b$  —— 计算液舱的最大宽度，m；  
 $b_1$  —— 所计算液舱的顶边舱部分的最小宽度，m；  
 $h$  —— 所计算液舱的最大高度，m；  
 $h_1$  —— 所计算液舱的双层底部分的最小高度，m；  
 上述符号参见右图。

## 2.4 载荷工况组合

2.4.1 适用于本章直接计算强度评估的设计载荷工况由常规设计工况和特殊工况（见表 2.4.1），以及晃荡工况（见本章附录 2）构成。若上述工况之中尚未包括可能发生的更为危险的工况，则应增加对该工况作用的分析。

2.4.2 按照载荷及强度准则的原则要求，应全面考虑船体在静载荷（S）和动+静载荷（S+D）的两大载荷分类作用下的受力响应。对于货物围护系统绝热层的自重也应考虑。此外，按照 CCS《散装运输液化

气体船舶构造与设备规范》的有关要求，将船舶“承受作用在液货舱上的碰撞力，此力相当于液货舱和货物的二分之一重量的向前冲力”作为特殊工况考虑，列入表 2.4.1 中。

2.4.3 对于船体梁的总纵垂向弯矩，按下述方式计入合成弯矩值：

$$M_V(+)=M_{sw}(+)+k_{cV}M_{w\_sagging} \quad \text{k N} \cdot \text{n} \quad \text{中拱}$$

$$M_V(-)=M_{sw}(-)+k_{cV}M_{w\_hogging} \quad \text{k N} \cdot \text{n} \quad \text{中垂}$$

式中： $M_{sw}$ ——见 2.2；

$M_{w\_sagging}$ 、 $M_{w\_hogging}$ ——见 2.3；

$k_{cV}$ ——施加在模型两端的船体梁垂向波浪弯矩系数，见表 2.4.1。

2.4.4 对于表 2.4.1 中的其他载荷，在工况的载荷组合时，其值应乘以相应的载荷系数。

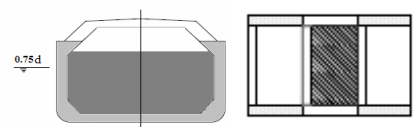
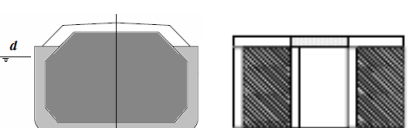
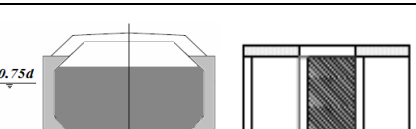
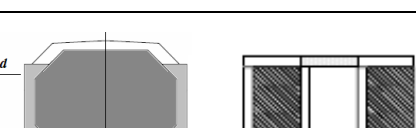
2.4.5 表 2.4.1 中图示的装载模式所考虑的模型长度为完整的 3 个液货舱段。

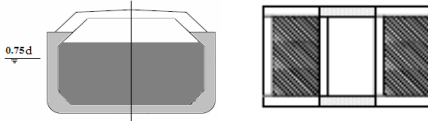
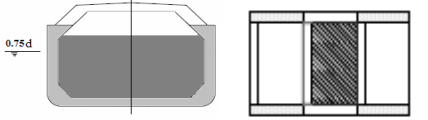
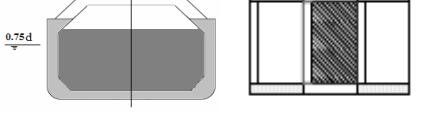

2.4.6 船体梁同一横剖面上各个位置处的合成的舷外压头分布，见图 2.3.3(2)。

2.4.7 有限元模型端面弯矩修正可按照简单梁理论，通过对模型端部的弯矩值进行调整，使三舱段模型中的中间舱段中部产生的垂向及水平弯矩值等于目标值。

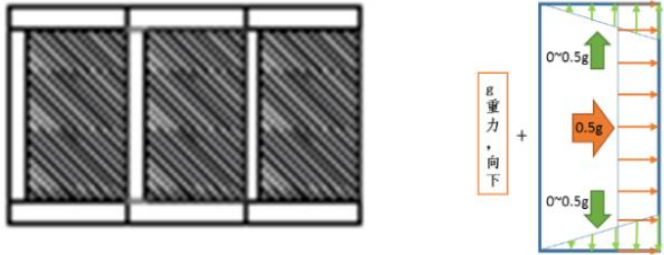
薄膜型液化气体运输船液货舱段有限元分析载荷工况表

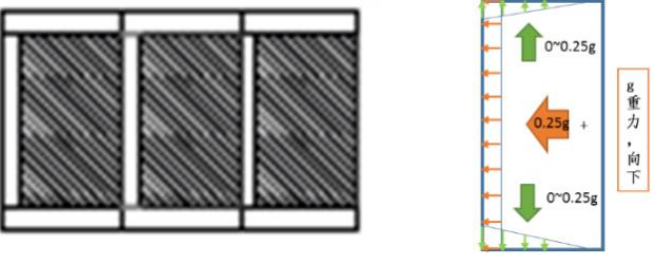
表 2.4.1

工况 编号	装载模式	施加在模 型两端的 船体梁垂 向波浪弯 矩系数 $k_{cV}$	施加在模 型两端的 船体梁水 平波浪弯 矩系数 $k_{cH}$	舷外水压 系数		舱内水压系数						浪向及船舶运动					
				$k_c$	$k_{\theta}$	$k_c$	$w_v$	$w_l$	$w_r$	$C_{\psi}$ , 纵摇	$C_{\phi}$ , 横摇	浪向 角	垂荡	纵摇	横摇		
<b>极端设计工况（静载荷 + 动载荷）载荷组合（S + D）</b>																	
LC1		中垂, 1.0	N/A	0.5	-1.0	0.4	0.75	前端舱 壁 0.25	后端舱 壁-0.25	N/A	N/A	-1.0	N/A	0	下沉	首沉	N/A
LC2		中拱, 1.0	N/A	0.5	1.0	0.4	-0.75	前端舱 壁-0.25	后端舱 壁 0.25	N/A	N/A	1.0	N/A	0	上升	首抬	N/A
LC3		中垂, 0.7	N/A	0.5	-1.0	1.0	0.75	前端舱 壁 0.25	后端舱 壁-0.25	N/A	N/A	-1.0	N/A	0	下沉	首沉	N/A
LC4		中拱, 0.7	N/A	1.0	1.0	0.5	-0.75	前端舱 壁-0.25	后端舱 壁 0.25	N/A	N/A	1.0	N/A	0	上升	首抬	N/A

LC5		中垂, 0.3	右舷受拉, 0.3	0.5	-1.0	1.0	0.25	N/A	N/A	左舷舱壁-0.75	右舷舱壁 0.75	N/A	1.0	90	下沉	N/A	右舷下沉
LC6		中拱, 0.3	左舷受拉, 0.3	1.0	1.0	0.5	-0.25	N/A	N/A	左舷舱壁 0.75	右舷舱壁-0.75	N/A	-1.0	90	上升	N/A	右舷上升
LC7		中垂, 0.4	右舷受拉, 1.0	0.5	-1.0	1.0	0.4	前端舱壁 0.20	后端舱壁-0.20	左舷舱壁-0.4	右舷舱壁 0.4	-0.7	0.7	60	下沉	首沉	右舷下沉
LC8		中拱, 0.4	左舷受拉, 1.0	1.0	1.0	0.5	-0.4	前端舱壁-0.20	后端舱壁 0.20	左舷舱壁 0.4	右舷舱壁-0.4	0.7	-0.7	60	上升	首抬	右舷上升

意外设计工况 静载荷 (S + D)

LC9		<p>基于满载工况下的货物围护系统确定碰撞载荷，向前惯性力为 <math>0.5g</math>，其中 <math>g</math> 为重力加速度。此外，还应计及垂向重力作用。</p>
-----	---	--

LC10		<p>基于满载工况下的货物围护系统确定碰撞载荷，向后惯性力为 <math>0.25g</math>，其中 <math>g</math> 为重力加速度。此外，还应计及垂向重力作用。</p>
------	---	---

注：

 —— 装载 LNG；
  —— 装载压载水；
 N/A —— 不适用。

### 3 结构模型

#### 3.1 一般要求

3.1.1 除屈曲评估外，本章中涉及的有限元模型构件尺寸（厚度、长度等）均取图纸标定值（即建造尺寸）计入。若采用净尺寸，则许用应力另作考虑。

#### 3.2 结构模型化

3.2.1 模型的纵向范围应覆盖船中液货舱区域中的 3 个液货舱（No.2、No.3 和 No.4 和/或 No.3、No.4 和 No.5）长度，且当中舱段的长度应取为 3 个舱长的最大者，如图 3.2.1 所示；横向取整个船宽范围；垂向取整个型深范围；且不计舷侧在纵向上的型线变化。

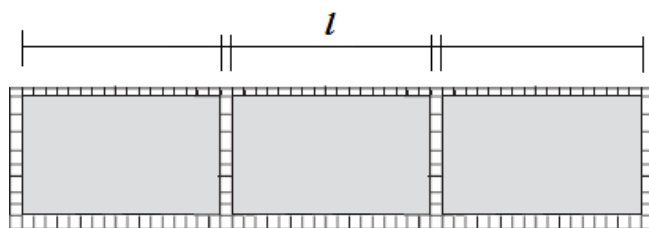


图 3.2.1 液货舱段有限元建模范围

3.2.2 模型中应包括船体结构的所有纵向和横向主要构件，包括船底板、舷侧外板、甲板板（包括凸形甲板）、内甲板、内底板、内壳板、底边舱及顶边舱斜板、双层底纵桁、甲板纵桁、双壳边舱内平台板(连续和部分区段布置)和上述板列上连续布置的纵骨以及横向强框架、甲板横梁、双层底肋板、隔离空舱的横舱壁等横向主要支撑构件。此外，构件上所有的板材和骨材、包括腹板加强筋均应计入在模型之中。

3.2.3 所有的主要板材用板单元模拟。板材上的骨材用梁单元模拟，且其弯曲剖面特性应计入附连带板的影响（在程序中采用偏心设置）。

3.2.4 板单元网格的划分应尽可能表征骨材实际排列规律，正确地表示骨材之间的板格实际几何特征。划分原则如下：

- (1)沿船体横向和垂向以该位置处的纵骨间距为 1 个单元。
- (2)沿船体纵向以该位置处的肋位间距为 1 个单元，且单元长度应不大于 2 个纵骨间距；
- (3)主要构件（包括横向强框架、双层底纵桁和肋板、舱壁的垂向、横向桁材等）腹板：每两相邻腹板加强筋之间为 1 个单元，且沿这些构件的腹板高度方向上至少划分为 3 个单元。

3.2.5 一般地，对于双壳间强框架腹板、甲板横梁，以及双层底肋板上的较小开孔可以用删除对应位置的单元来表征。对于强框架（腹板）在顶边舱、底边舱、甲板横梁等处的大开口，其边缘和周围的网格设置和划分应较为细致，以尽可能地描述开孔边缘的曲率变化程度。

3.2.6 一般情况下，板单元采用四边形的单元类型模拟而尽量减少对三角形板单元的使用。四边形单元的长宽比通常应控制在 3 以内。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。

#### 3.3 边界条件

3.3.1 舱段有限元模型端部施加的边界条件如下，且见表 3.3.1：

- (1)模型后端面处保持平端面假设，在该剖面中和轴处建立一个独立点，端面上其他节点与独立点相关，在独立点上施加弯矩；



(2)模型前端面处保持平端面假设,在该剖面中和轴处建立一个独立点,端面上其他节点与独立点相关,在独立点上施加弯矩。

模型端部的边界约束

表 3.3.1

位置	平移			转动		
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
<b>后端面</b>						
后端(所有纵向单元)	相关	—	—	—	相关	相关
后端独立点, 见图3.3.2	约束	—	—	—	$M_{v-end}$	$M_{h-end}$
所有甲板, 内底板和外板	—	弹簧	—	—	—	—
舷侧, 内壳	—	—	弹簧	—	—	—
<b>前端面</b>						
前端(所有纵向单元)	相关	—	—	—	相关	相关
前端独立点, 见图3.3.2	—	—	—	—	$M_{v-end}$	$M_{h-end}$
所有甲板, 内底板和外板	—	弹簧	—	—	—	—
舷侧, 内壳	—	—	弹簧	—	—	—
其中: — ——不施加约束(自由);, $M_{h-end}$ ——施加在模型端部的总体垂向弯矩; $M_{v-end}$ ——施加在模型端部的总体水平弯矩; $\delta_x$ ——沿船纵向轴的线位移约束; $\delta_y$ ——沿船横向轴的线位移约束; $\delta_z$ ——沿船垂向轴的线位移约束; $\theta_x$ ——绕船纵向轴的角度位移约束; $\theta_y$ ——绕船横向轴的角度位移约束; $\theta_z$ ——绕船垂向轴的角度位移约束。						

3.3.2 在模型的前后两个端面上,除施加端部弯矩和自由度的约束关系外,还应在垂直和水平方向上设置若干个弹簧单元,以较为精确地表征与舱段模型邻接的前后船体结构对舱段模型两端提供的刚度支持情况。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)应沿内、外甲板、内底板和外底板节点上施加,总体坐标系 z 自由度上有刚度的弹簧单元应沿舷侧板、内壳板的垂直部分处节点上施加,如图 3.3.2 所示。

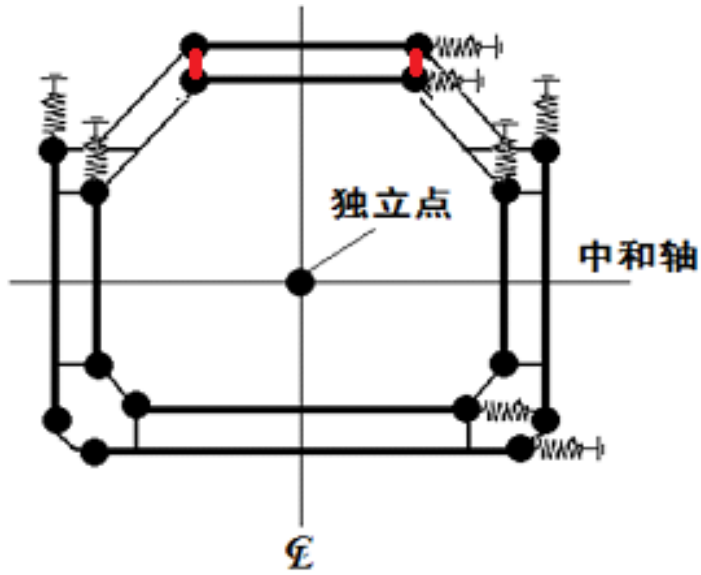


图 3.3.2 有限元建模边界条件示意图

3.3.3 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：

$$c = \left( \frac{E}{1+\nu} \right) \frac{A_s}{l_{ik}n} = 0.77 \frac{AE}{l_{ik}n} \quad \text{N/mm}$$

式中： $A_s$ ——单一构件的剪切面积， $\text{mm}^2$ ，即甲板、凸形甲板、内底板、外底板、舷侧板、内壳纵舱壁等，详见表3.3.3（1）和（2）；

$l_{ik}$ ——舱段有限元模型中部舱的横舱壁之间的长度， $\text{mm}$ ；

$n$ ——构件上施加弹簧单元的节点数目。

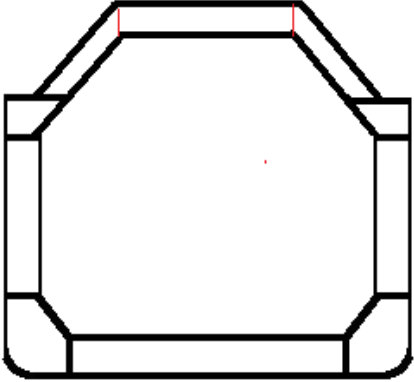
计算弹簧刚度时应考虑的剪切面积

表3.3.3（1）

垂 向	弹 簧
	<p>舷侧板： 舷侧板板材面积，包括舭列板</p> <p>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</p> <p>凸形甲板： 凸形甲板板和内甲板板的倾斜板材部分面积</p> <p>注： 斜板按其垂直方向的投影面积计入。</p>

计算弹簧刚度时应考虑的剪切面积

表 3.3.3 (2)

水	平	弹	簧
		<p>凸形甲板: 凸形甲板板和内甲板板的倾斜板材部分面积, 包括与其相连的水平桁材和上甲板</p> <p>内底板: 内底板板材面积, 包括底边舱斜板和相连水平桁材</p> <p>外底板: 外底板板材面积, 包括舭列板</p> <p>注: 斜板按其水平方向的投影面积计入。</p>	

## 4 结果评估

### 4.1 一般要求

4.1.1 评估区域基于 3 个舱段中的中部舱段, 包括从中部舱段的前舱壁的前端和后舱壁的后端各自向另一相邻舱段延伸 1~2 个肋位, 见图 4.1.1。

4.1.2 应对评估区域的所有纵向构件、主要支撑构件和横舱壁构件的应力水平和板格的屈曲能力进行验证。尤其对于横舱壁处承受船体梁剪切载荷的舷侧板、底边舱与内壳相交处、双舷侧之中的各层平台, 以及双层底纵桁和肋板的尺寸和强度的评估予以重点关注。

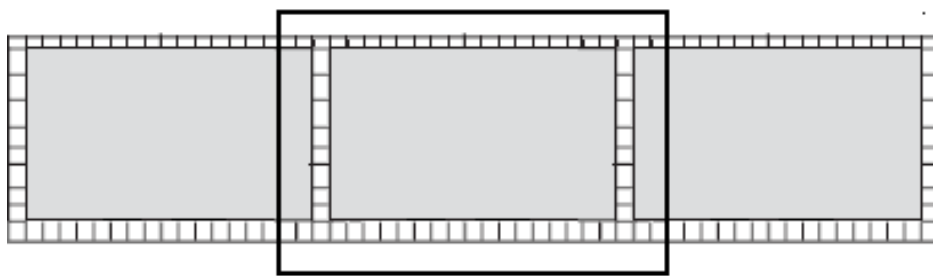


图 4.1.1 强度评估区域

4.1.3 一般情况下, 同一构件的强度判定准则在静载荷工况和静载荷与动载荷组合工况下有所不同。另外, 在考虑货物围护系统的绝热层不致受到过大的应力应变作用下, 对于某些构件还附加了特殊的许用应力限制条件。对于“液货舱和货物的二分之一重量的向前冲力”的工况, 本节给出了不同于前述的校核规定。在强度评估中, 应对上述要点加以注意。

### 4.2 屈服评估

4.2.1 结构构件在任一校核工况下的屈服评估衡准见表 4.2.1。

屈服强度评估衡准

表 4.2.1

构件	屈服利用系数和许用应力限制

船体梁纵向板材构件及舱壁板	
舷侧外板、舳部板、船底外板、凸形甲板斜板和顶板、上甲板、隔离空舱舱壁板、顶边舱舱壁板、底边舱舱壁板、甲板纵桁、双层底纵桁、舷边双壳间平台等	1) 极限设计条件工况： $\lambda_y \leq 0.90$ ，对于船底外板、舷侧外板、双层底纵桁，其值可适当增大至1.0。 2) 意外设计条件工况： $\lambda_y \leq 1.00$
与次屏壁直接接触的内甲板斜板和顶板、舷侧内壳板、内底板、顶边舱斜板、底边舱斜板	对于任一工况，满足以下衡准： 1) 对于内底板、底边舱斜板、内甲板斜板和顶板： $\lambda_y \leq 0.90$ 2) 对于舷侧内壳板、顶边舱斜板： $\lambda_y \leq 0.75$
主要支撑构件板材	
主要横向支撑结构，如横向强框架、凸形甲板间横梁、隔离空舱的舱壁之间的垂直与水平桁材、双层底肋板，以及船体外壳和内壳之间的加强隔板、肘板等。	$\lambda_y \leq 0.75$
注：(1) 屈服利用系数： $\lambda_y = \frac{\sigma_e}{R_{eH}}$ ，对板单元； (2) 对于应力集中处， $R_{eH}$ 应取不大于 $315 \text{ N/mm}^2$ （应力集中处是指：开孔角隅处、折角连接处、大型构件交汇连接处，以及主要支撑构件和骨材的趾部和根部）； (3) 对于承受水平三晃荡冲击载荷作用的构件，许用应力可取为该材料的屈服应力 $R_{eH}$ 。	

4.2.2 屈服变形控制为与绝缘周界的所有船体板格（包括内底板、底边舱斜板、舷侧内壳板、顶边舱斜板、内甲板斜板和内甲板顶板，以及横舱壁板）的加强筋之间/非加筋板格的板材最大相对变形值一般不超过 4.0 mm。

### 4.3 屈曲评估

4.3.1 结构板材及桁材腹板的板格在任一校核工况下的屈曲评估衡准见表 4.3.1。除此之外，对于与货物围护系统的绝热层（次屏壁系统）直接接触的板材，如内底板、舷侧内壳板、边舱斜板、内甲板和横舱壁板，应确保板格的变形在弹性屈曲范围内，以确保货物围护系统绝热层的功能不致受到损害。

4.3.2 屈曲评估基于基本板格，即除周界以外，域中无任何骨材和加强构件的那一部分板材 ( $a \times b$ )，见图 4.3.2。

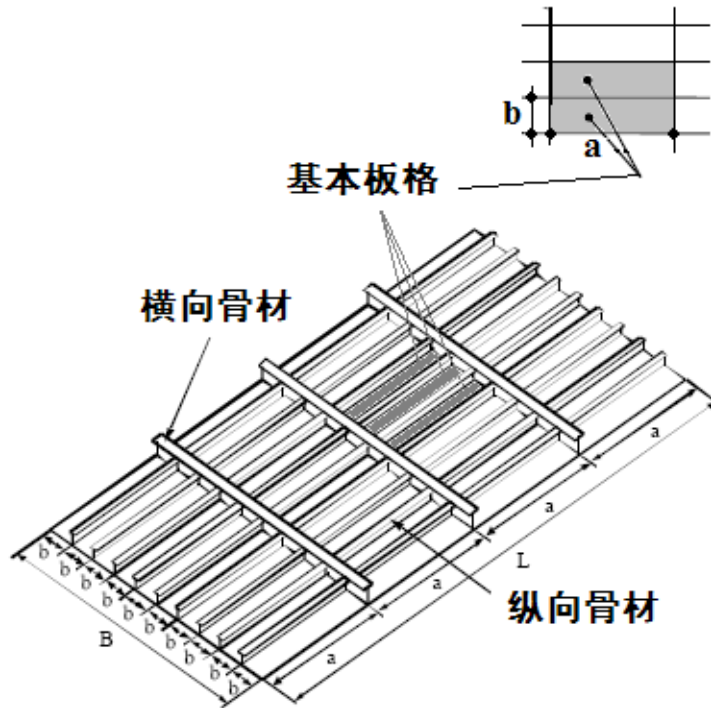


图 4.3.2 屈曲评估中的基本板格

4.3.3 本章板格屈曲计算方法及衡准基于弹性屈曲范围。若采用其他理论、程序计算方法和评判准则，应经 CCS 同意。

屈曲评估衡准

表 4.3.1

构件	屈曲利用系数
<b>双层船壳板及舱壁板</b>	
作为承受侧向载荷的加筋板格板材和采用板单元或杆单元建模的主要支撑构件面板。包括凸形甲板顶板和斜板、内甲板顶板和斜板、上甲板、舷侧板、舷侧内壳板、内底板、顶边舱斜板、底边舱斜板、舳部板、外底板、隔离空舱舱壁板等。	$\eta \leq 1.00$
<b>主要构件板材</b>	
主要支撑结构，如横向强框架、双层甲板间横梁和甲板纵桁、双舷侧之间的各层平台、隔离空舱的舱壁之间的垂直与水平桁材、双层底纵桁和肋板，以及船体外壳和内壳之间的加强隔板、肘板等。	$\eta \leq 0.90$
其中：屈曲利用系数： $\eta = \frac{1}{\lambda}$ $\lambda$ ——所表征的物理意义为“相关临界屈曲应力”与实际计算的“相关压应力”的比值，按本篇第 1 章第 5 节计算。	

4.3.4 板格的屈曲能力应基于“净厚度方法”。在计算临界屈曲应力时，板厚应取建造厚度减去按表 4.3.4 的“标准减薄厚度”所得的“计算净厚度”。

标准减薄厚度

表 4.3.4

位 置	标准减薄厚度 $t_c$ (mm)
以下水密要求构件和其他构件： ① 水平布置的主要构件的板材，如上甲板（水密部分）； ② 双层底压载舱中的肋板和纵桁、双壳舷侧中的平台（水密部分）； ③ 两个横舱壁作为压载舱中的水平桁等。	<b>1.5</b>
其余部分	<b>1.0</b>

4.3.5 单向、双向压缩应力、剪应力等的各向组合及其相关性应包括在屈曲计算中。

4.3.6 有关板格屈曲计算方法可参见本篇第 1 章第 5 节相关内容。

4.3.7 对于计入晃荡载荷作用的工况，可不考虑校核屈曲强度。

#### 4.4 细化模型及评估

4.4.1 为了较为准确细致地观察局部结构应力集中处的应力水平及分布情况，应进一步对以下关键部位，见图 4.4.1 (1)、(2)，以及横舱壁处纵向垂直桁和双层底纵桁以及甲板纵桁相交处等作细化模型分析和强度评估工作。需进行细化分析节点所在的典型横向强框架应至少包括舱段当中和前后舱壁的位置处。其他纵向位置处的选择可视舱段有限元计算结果（最大应力处）而定。细化网格区域应能表征局部高应力区域。

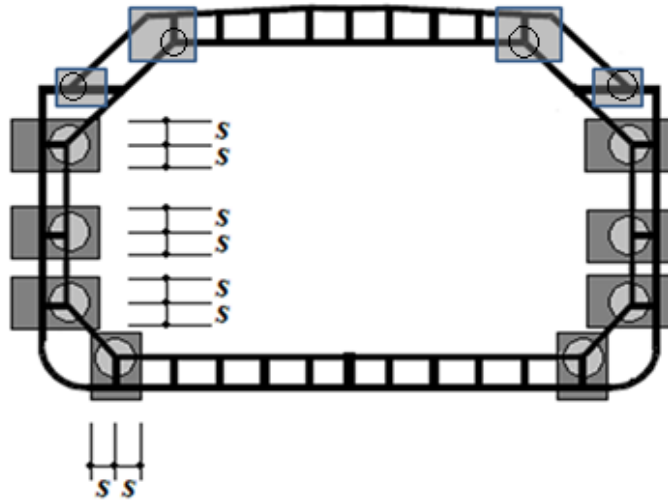


图 4.4.1 (1) 典型横向强框架中的细化区域

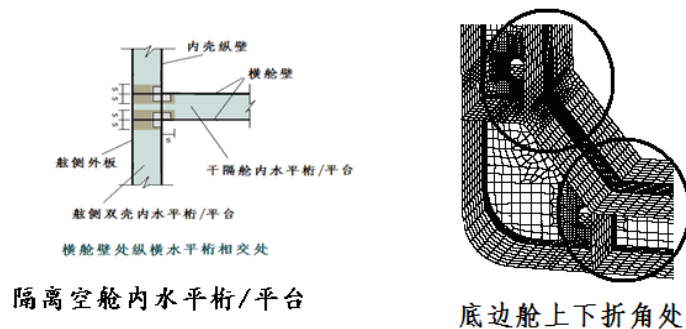


图 4.4.1 (2) 一些细化区域

4.4.2 细化网格分析可采用包括细化网格区域的单独局部有限元模型，其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。

4.4.3 局部有限元模型的范围应使关注区域（即考察的应力集中处）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构件（比如桁材和肋板）相一致。

4.4.4 细化网格区域的网格尺寸应不大于 50 mm×50 mm。一般情况下，细化网格区域的范围在校核区域的所有方向上应不少于 10 个单元。

4.4.5 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。细化网格区域内的加强筋应使用板单元模拟。细化网格区外的加强筋可使用梁单元模拟。

4.4.6 对于横向强框架，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，被校核强框架前端的强框架可不必建模。除此之外，该模型应包括船舶的整个型深和型宽。

4.4.7 对于横舱壁水平桁，由于横舱壁、水平桁、强框架、甲板和底部的结构的相互作用影响，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，且应包括船舶的整个型深和型宽。

4.4.8 细化网格详细应力分析应按照本节规定的设计工况进行。

4.4.9 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。

4.4.10 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。

4.4.11 所有局部载荷，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。

4.4.12 细化网格分析的应力衡准校核及具体方法见表 4.4.12 及其说明。

细化网格分析的最大许用膜应力

表 4.4.12

单元应力	屈服利用系数 (适用于所有工况)
非邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leq 1.7$
邻近焊缝的单元	$\lambda_y \leq 1.5$
<p>表中：(1) <math>\lambda_y</math>——屈服利用系数</p> $= \frac{K\sigma_e}{235}, \text{板单元};$ <p>(2) 舱段有限元模型中，如果位于应进行细化网格校核区域的单元的 Von Mises 应力超出表 4.2.1 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 4.4.12 规定的许用值；</p> <p>(3) 最大许用应力基于 4.4.4 规定的 50 mm×50 mm 的网格尺寸。如使用更小的网格尺寸，可采用应力平均法进行评估，见本篇第 7 章附录 2 的 2.7.9 相关要求。</p>	

## 附录 2 晃荡载荷作用下的船体及泵塔结构强度评估

### 1 一般规定

#### 1.1 适用范围

1.1.1 本附录规定了薄膜型液化天然气运输船晃荡载荷计算、货舱区域船体和泵塔结构在晃荡载荷作用下的评估要求及泵塔结构振动评估要求。

1.1.2 除本附录另有规定外，晃荡载荷的计算方法应满足 CCS《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》有关要求。

#### 1.2 目标舱及其结构形式

1.2.1 晃荡载荷计算及泵塔结构强度评估应取货舱区靠船首的第二货舱作为目标舱。如船东提出对其他货舱进行评估，经 CCS 认可后作为附加目标舱进行评估。

1.2.2 液货舱舱室的主要结构形式名称如图 1.2.2 所示。

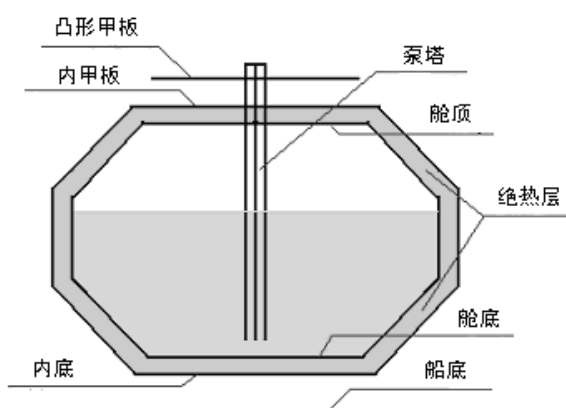


图 1.2.2 液货舱舱室结构名称

1.2.3 舱室的几何形状如图 1.2.3 所示，基本参数的定义见表 1.2.3。

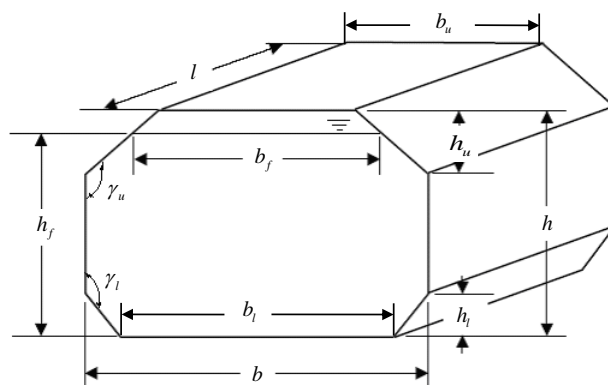


图 1.2.3 舱室各主要几何参数



舱室各几何参数定义

表 1.2.3

序号	变量	定义	单位
1	$l$	舱长	m
2	$b$	舱宽	m
3	$b_u$	舱顶宽	m
4	$b_l$	舱底宽	m
5	$h$	舱高	m
6	$h_f$	装载高度	m
7	$b_f$	对应装载高度下的液面宽度	m
8	$h_u$	上斜面高度	m
9	$\gamma_u$	上斜面角度	deg
10	$h_l$	下斜面高度	m
11	$\gamma_l$	下斜面角度	deg

### 1.3 参数定义

1.3.1 除本附录规定以外，本章的其他参数和符号按照本章第 1 节和附录 1 的相关定义。

1.3.2 船舶六自由度运动的方向和名称定义见表 1.3.2。

船舶六自由度运动方向和定义

表 1.3.2

方向	符号	说明	位移		速度		加速度	
			表达	单位	表达	单位	表达	单位
X 轴方向	$\xi_1$	纵荡	$\xi_1$	m	$\dot{\xi}_1$	m/s	$\ddot{\xi}_1$	m/s <sup>2</sup>
	$\theta_1$	横摇	$\theta_1$	rad	$\dot{\theta}_1$	rad/s	$\ddot{\theta}_1$	rad/s <sup>2</sup>
Y 轴方向	$\xi_2$	横荡	$\xi_2$	m	$\dot{\xi}_2$	m/s	$\ddot{\xi}_2$	m/s <sup>2</sup>
	$\theta_2$	纵摇	$\theta_2$	rad	$\dot{\theta}_2$	rad/s	$\ddot{\theta}_2$	rad/s <sup>2</sup>
Z 轴方向	$\xi_3$	垂荡	$\xi_3$	m	$\dot{\xi}_3$	m/s	$\ddot{\xi}_3$	m/s <sup>2</sup>
	$\theta_3$	首摇	$\theta_3$	rad	$\dot{\theta}_3$	rad/s	$\ddot{\theta}_3$	rad/s <sup>2</sup>

## 2 晃荡载荷计算

### 2.1 一般规定

2.1.1 本节给出了由于船舶运动导致液舱内液体自由运动而产生的载荷，包括准静态载荷、动态载荷和冲击载荷的计算方法。

2.1.2 经 CCS 认可，晃荡模型试验的结果可作为晃荡设计载荷。

### 2.2 晃荡运动水平

2.2.1 晃荡运动水平定义如下：

(1) 水平一晃动为静态或准静态过程，该水平下晃动运动引起的载荷以静载荷为主，动态运动载荷可忽略。

(2) 水平二晃动为晃动运动的动态不放大过程，该水平下晃动运动引起的载荷包括静载荷和动载荷，但动载荷还未达到冲击载荷形式。

(3) 水平三晃动为晃动运动的动态放大过程，该水平下晃动运动引起的载荷包括静载荷和动载荷，其中动载荷是主要载荷，达到冲击载荷的作用形式。

### 2.2.2 晃动运动水平判断准则如下：

(1) 液舱尺寸在  $l < 0.13L$ ,  $b_f < 0.56B$  范围，且液舱运动固有周期与船体运动固有周期相差  $\pm 20\%$  以上，考虑水平一的晃动运动；

(2) 液舱尺寸在  $l < 0.13L$ ,  $b_f < 0.56B$  范围，且液舱运动固有周期与船体运动固有周期相差  $\pm 20\%$  以内，或液舱尺寸在  $l \geq 0.13L$ ,  $b_f \geq 0.56B$  范围，且液舱运动固有周期与船体运动固有周期相差  $\pm 20\%$  以上，考虑水平二的晃动运动；

(3) 液舱尺寸在  $l \geq 0.13L$ ,  $b_f \geq 0.56B$  范围，且液舱频率与船体固有频率相差  $\pm 20\%$  以内，考虑水平三的晃动运动。

## 2.3 装载工况

2.3.1 货舱区船体构件的尺度评估、舱段直接计算和泵塔结构强度评估涉及到的装载工况见表 2.3.1。

2.3.2 货舱区船体构件在晃动载荷作用下的尺度要求计算及泵塔结构强度评估应选取表 2.3.1 规定的满载工况和压载工况。

2.3.3 货舱区船体构件在晃动载荷作用下的舱段有限元直接计算应选取表 2.3.1 中的晃动工况。

装载工况表

表 2.3.1

序号	工况	吃水	$k$	$GM$
1	满载工况	$d$	$k=0.35B$	$GM=0.12B$
2	压载工况	压载到港吃水	$k=0.45B$	$GM=0.33B$
3	晃动工况	$2/3d$	$k=0.39B$	$GM=0.24B$

表中： $k$ ——横摇半径，m；

$GM$ ——初横稳性高度，考虑自由液面修正，m。

## 2.4 船体和液舱运动固有周期

2.4.1 根据表 2.3.1，按本章附录 1 的 2.3.4 规定分别计算船体纵摇周期  $T_p$  和船体横摇周期  $T_r$ 。

2.4.2 液舱纵向运动周期  $T_x$ ，按下式计算：

$$T_x = \sqrt{\frac{4\pi l}{g \tanh\left(\frac{\pi h_f}{l}\right)}} \text{ s}$$

2.4.3 液舱横向运动周期  $T_y$ ，按下式计算：

$$T_y = \sqrt{\frac{4\pi b_f}{g \tanh\left(\frac{\pi h_f}{b_f}\right)}} \text{ s}$$

## 2.5 装载计算高度

2.5.1 装载手册中所有装载高度应作为晃荡载荷分析的装载计算高度。

2.5.2 如船东有额外附加装载要求，应提供详细数据，作为晃荡载荷分析的附加装载计算高度。

2.5.3 除以上装载计算高度要求外，泵塔结构强度计算时还应考虑  $5\%h$ 、 $10\%h$ 、 $70\%h$  和  $95\%h$  四个标准计算高度。

## 2.6 水平一晃荡载荷

2.6.1 由液货静水压力和液面线性变化引起的作用于液舱边界上的水平一晃荡压力按 CCS《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》第 2 节相关规定计算。

## 2.7 水平二晃荡载荷

2.7.1 由液货静水压力和晃荡运动引起的作用于液舱边界上的水平二晃荡压力  $P_2$  按 CCS《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》第 2 节相关规定计算。

## 2.8 水平三晃荡冲击载荷

2.8.1 本条给出了水平三晃荡冲击载荷的规范计算方法。

### 2.8.2 顶边舱斜板冲击压力

$$\text{横向运动: } P_3 = \frac{168\rho g}{B} \left(\frac{b_f}{B} - 0.3\right) GM^{1.5} \sin^2 \gamma_u C_{t\_imp1} \text{ kN/m}^2$$

式中： $\gamma_u$ ——所计及板与垂直面的夹角；

$$C_{t\_imp1} = C_t, \text{ 计算 } C_t \text{ 时, } h_f \text{ 取 } 0.7(h - h_u);$$

$$C_t = 0.9y_{01} / [1 + 9(1 - y_0)^2], \text{ 取值不小于 } 0.25;$$

$$y_0 = T_y / T_r;$$

$$y_{01} = \begin{cases} y_0 & y_0 \leq 1 \\ 1/y_0 & y_0 > 1 \end{cases}$$

### 2.8.3 舱顶冲击压力

$$\text{纵向运动: } P_3 = 1.24\rho g \left( \frac{220l}{L} - 7.5 \right) C_{l\_imp2} \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{横向运动: } P_3 = \frac{164\rho g}{B} \left( \frac{b_f}{B} - 0.3 \right) GM^{1.5} \sin^2 \gamma_u C_{t\_imp1} \quad \text{kN/m}^2$$

式中:  $C_{l\_imp2} = C_l$ , 计算  $C_l$  时,  $h_f$  取  $0.7h$ ;

$$C_l = 0.9x_{01} / [1 + 9(1 - x_0)^2], \quad \text{取值不小于 } 0.25;$$

$$x_0 = T_x / T_p;$$

$$x_{01} = \begin{cases} x_0 & x_0 \leq 1 \\ 1/x_0 & x_0 > 1 \end{cases};$$

$\gamma_u$  ——所计及板与垂直面的夹角。

2.8.4 舱顶冲击压力作用区域如图 2.8.4 所示。

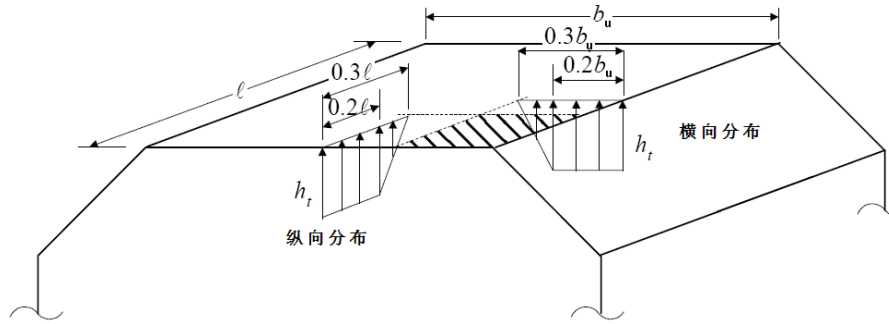


图 2.8.4 舱顶冲击压力作用区域示意图

### 2.8.5 液舱下部冲击压力

(1) 内底板向上  $0.2b_f$  或  $0.2l$  高度区域内, 舱室底部区域所受的冲击载荷为

$$\text{纵向运动: } P_3 = 1.42\rho gkl \sin^2 \delta \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{横向运动: } P_3 = 1.5\rho gb_f \sin^2 \delta \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{式中: } k = \begin{cases} 1 & L < 200 \\ 1.4 - 0.002L & L \geq 200 \end{cases}$$

$\delta$  ——所计及板格与水平方向夹角, 度。

(2) 下部冲击载荷在内底板向上  $0.2b_f$  或  $0.2l$  高度区域内均匀分布, 在此高度向上延伸 1m 范围内线性减小为 0。

2.8.6 液舱纵向与横向结构拐角位置, 在  $0.15b_f$  或  $0.15l$  范围内, 冲击载荷由下式决定:

$$P_3 = \max \begin{cases} P_3(\text{纵向}) + 0.4P_3(\text{横向}) \\ P_3(\text{横向}) \end{cases}$$

## 2.9 晃荡载荷直接计算

2.9.1 本条给出了晃荡载荷直接计算方法和程序，经 CCS 认可，可采用其他程序计算晃荡载荷。

### 2.9.2 基本假定

采用流体体积法对液货舱的晃荡载荷进行直接计算，假定如下：

- (1) 流体是不可压缩的粘性流体；
- (2) 流体运动存在自由表面，且舱内流体在运动过程中不损失；
- (3) 不考虑温度的变化。

### 2.9.3 基本原理

由于基于二维  $(x, y)$  空间坐标系，如图 2.9.3 所示。其中  $O_0Y_0Z_0$  是固定于地面的固定坐标系， $oyz$  是固定于液货舱边界的运动坐标系； $(y_o(t), z_o(t))$ 、 $\theta(t)$ 、 $\dot{\theta}(t)$  和  $(\ddot{y}_o(t), \ddot{z}_o(t))$  是分别运动坐标系相对于固定坐标系的位置、角度、角速度和线加速度。根据不可压缩流体动力学基本原理建立方程，采用有限差分法离散方程。

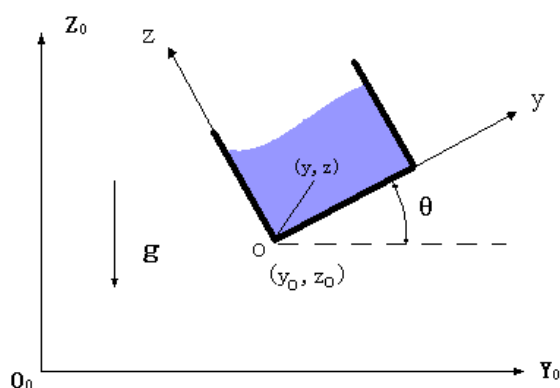


图 2.9.3 二维空间的坐标系

### 2.9.4 晃荡计算程序

采用 CCS 晃荡直接计算软件对晃荡载荷及运动进行计算时，计算模型以及网格分布见图 2.9.4。网格大小建议取 0.5~1 倍的纵骨间距，网格划分时应尽量使边长比接近 1，混合因子一般取 0.8。

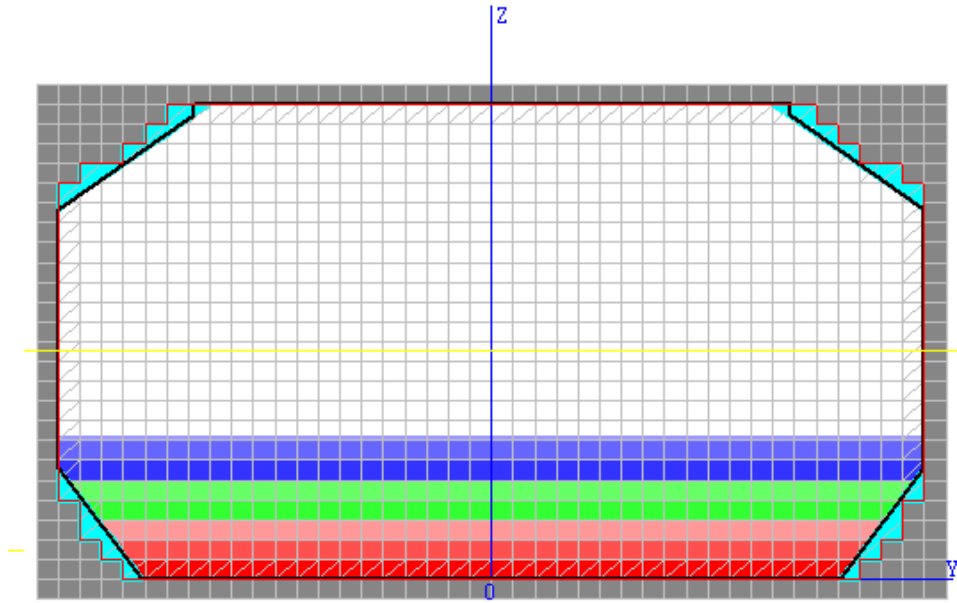


图 2.9.4 晃荡计算网格示意图

### 3 晃荡载荷下液舱结构的尺度要求评估

#### 3.1 一般要求

3.1.1 本节规定了晃荡载荷在货舱区船体构件的适用范围和尺度要求。

3.1.2 本节所采用的晃荡压力是基于本附录 2.5 选取的装载计算高度计算的晃荡载荷最大值，其中水平三晃荡载荷应基于晃荡载荷直接计算。

3.1.3 应对承受由于液体纵向运动产生的晃荡压力的下列构件进行评估：

- (1) 密性横舱壁；
- (2) 密性内甲板；
- (3) 主要构件；
- (4) 横舱壁、内甲板扶强材。

3.1.4 应对承受由于液体横向运动产生的晃荡压力的下列构件进行评估：

- (1) 密性纵舱壁；
- (2) 底边舱斜板；
- (3) 顶边舱斜板；
- (4) 密性内甲板；
- (5) 主要构件；
- (6) 上述构件的扶强材。

### 3.2 水平一、水平二晃荡载荷下液舱结构评估

#### 3.2.1 构成液舱边界的板

承受晃荡压力的液舱边界板的厚度  $t$  应不小于按下式计算所得之值:

$$t = 0.0174\alpha_p s \sqrt{\frac{P}{C_a R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

式中:  $\alpha_p = 1.2 - \frac{s}{2100l_p}$ ;

$s$ ——扶强材间距, mm;

$l_p$ ——板格长度, 应取主要构件的间距, 除非设有短梁, m;

$P$ ——晃荡载荷, 取  $P_1$ 、 $P_2$  两者的大值,  $\text{kN/m}^2$ ;

$C_a$ ——板的许用弯曲应力系数, 见表 3.2.1;

$R_{eH}$ ——材料屈服应力,  $\text{N/mm}^2$ 。

用于板的晃荡评估的许用弯曲应力系数  $C_a$

表 3.2.1

许用弯曲应力系数按下式计算:				
$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{ \sigma_{hg} }{R_{eH}}, \text{ 但不大于 } C_{a-\max}$				
式中: $\beta_a$ , $\alpha_a$ , $C_{a-\max}$ ——许用弯曲系数, 取值如下:				
结构构件		$\beta_a$	$\alpha_a$	$C_{a-\max}$
货舱区纵向强力构件, 包括但不限于: —内甲板; —内壳板; —纵桁及水平桁	纵向骨材板	0.9	0.5	0.8
	横向或垂向骨材板	0.9	1.0	0.8
其他强力构件, 包括 —平面横舱壁; —横向水平桁和强框架;		0.8	0	0.8
$\sigma_{hg}$ ——载荷计算点处的船体梁弯曲应力, 按下式计算:				
$\sigma_{hg} = \left( \frac{(z - z_{NA}) M_{sw}}{I_v} \right) \times 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$				
$z$ ——所考虑构件的载荷计算点处的垂向坐标, m;				

$z_{NA}$ ——从基线到水平中和轴的距离，m；
$M_{sw}$ ——航行工况下船体梁中拱和中垂的许用静水弯矩，取两者的最大绝对值，kN m；
$I_v$ ——计算纵向位置处的船体梁剖面垂向惯性矩，m <sup>4</sup> ；
$R_{eH}$ ——材料屈服应力，N/mm <sup>2</sup> 。

### 3.2.2 液舱边界板上的扶强材

承受晃荡压力的液舱边界板上的扶强材的剖面模数  $W$  应不小于按下式计算所得之值：

$$W = \frac{1.1Ps l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

式中： $l_{bdg}$ ——扶强材的有效弯曲跨距，m；

$C_s$ ——许用弯曲应力系数，见表 3.2.2；

$P$ ——晃荡载荷，取  $P_1$ 、 $P_2$  两者的大值，kN/m<sup>2</sup>；

$s$ ——扶强材间距，mm；

$R_{eH}$ ——材料的最小屈服应力，N/mm<sup>2</sup>；

$f_{bdg}$ ——弯矩系数，按下式要求：

$f_{bdg} = 12$ ，两端转动固定约束的扶强材，通常适用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，通常适用于不连续的扶强材。

用于扶强材的晃荡评估的许用弯曲应力系数  $C_s$  表 3.2.2

许用弯曲应力系数按下式计算：				
$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{ \sigma_{hg} }{R_{eH}}, \text{ 但不大于 } C_{s-\max}$				
式中： $\beta_s$ ， $\alpha_s$ ， $C_{s-\max}$ 许用弯曲系数，取值如下：				
结构构件		$\beta_s$	$\alpha_s$	$C_{s-\max}$
货舱区纵向强力构件，包括但不限于：	纵向骨材	0.85	1.0	0.75
	横向或垂向骨材	0.7	0	0.7



—内甲板纵骨； —内壳板扶强材；				
其他强力构件，包括 —横舱壁扶强材；		0.75	0	0.75
$\sigma_{hg}$ ——载荷计算点处的船体梁弯曲应力，按下式计算： $\sigma_{hg} = \left( \frac{(z - z_{NA}) M_{sw}}{I_v} \right) \times 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$ $z$ ——所考虑构件的载荷计算点处的垂向坐标，m； $z_{NA}$ ——从基线到水平中和轴的距离，m； $M_{sw}$ ——航行工况下船体梁中拱和中垂的许用静水弯矩，取两者的最大绝对值，kN m； $I_v$ ——计算纵向位置处的船体梁剖面垂向惯性矩，m <sup>4</sup> ； $R_{eH}$ ——材料屈服应力，N/mm <sup>2</sup> 。				

### 3.3 水平三晃荡载荷下液舱结构评估

#### 3.3.1 液舱边界的板

承受水平三晃荡压力的液舱边界板的厚度  $t$  应不小于按下式计算所得之值：

$$t = \frac{0.0174\alpha_p s}{C_d} \sqrt{\frac{P}{C_a R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

式中：  $P$ ——晃荡冲击载荷  $P_3$ ，kN/m<sup>2</sup>，按 2.9 计算；

$C_d = 1.3$ ，板能力修正系数；

其他参数——同 3.2.1。

#### 3.3.2 液舱边界板上的扶强材

承受晃荡冲击压力的液舱边界板上的扶强材的塑性剖面模数  $W_{pl}$  应不小于按下式计算所得之值：

$$W_{pl} = \frac{1.1 P s l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

式中：  $P$ ——晃荡冲击载荷  $P_3$ ，kN/m<sup>2</sup>，按 2.9 计算；

$C_s = 0.9$ ；

$f_{bdg}$  ——弯矩系数，按下式计算：

$$f_{bdg} = 8(1 + n_s / 2)$$

$n_s = 2.0$ ，用于连续扶强材或者两端设有肘板的扶强材。

其他参数——同 3.2.2。

3.3.3 对于扶强材端部未非连续穿透形式，采用其他替代形式的，扶强材塑性剖面模数  $W_{pl-alt}$  应不小于按下式计算所得之值：

$$W_{pl-alt} = \frac{16W_{pl}}{f_{bdg}} \quad \text{cm}^3$$

式中： $f_{bdg}$  ——弯矩系数，按下式计算：

$$f_{bdg} = 8(1 + n_s / 2)$$

其中， $n_s = 0$ ，为两端简单固定（简支）； $n_s = 1$ ，为一端固定，另一端简支。

主要构件在其跨距范围内的任何位置处的腹板剪切面积  $A_{shr}$  应不小于按下式计算所得之值：

$$A_{shr} = 10 \frac{Q_{imp}}{C_i \tau_{yd}} \quad \text{cm}^2$$

式中： $Q_{imp}$  ——所考虑位置处由于冲击引起的最大剪力，kN，按式 3.3.5 确定；

$C_i = 0.9$ ，许用剪切应力系数；

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

$R_{eH}$  ——材料屈服应力，N/mm<sup>2</sup>。

3.3.5 对于主要构件，剪力  $Q_{imp}$  按下式计算：

$$Q_{imp} = f_{pt} f_{dist} F_{imp}$$

式中： $f_{pt}$  ——作用于单个主要构件上的块载荷的比例修正系数，按下式计算：

$$f_{pt} = 0.5(f_{imp}^3 - 2f_{imp}^2 + 2)$$

$f_{imp}$  ——块载荷变换系数，按下式计算：

$$f_{imp} = 0.5 \frac{b_{imp}}{S}， \text{但不大于 } 1.0$$

$f_{dist}$ ——最大剪力沿跨距方向的分布系数，见图 3.3.5；

$s$ ——扶强材间距，m；

$l_{shr}$ ——有效剪切跨距，m。

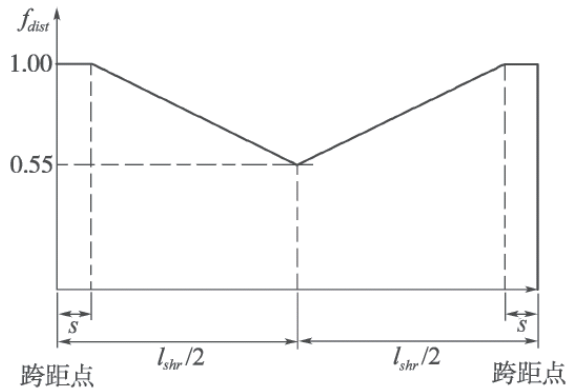


图 3.3.5 分布系数  $f_{dist}$  沿跨距分布

$$F_{imp} = P_3 l_{imp} b_{imp}$$

其中： $P_3$ ——晃荡冲击压力， $\text{kN/mm}^2$ ，按 2.9 计算；

$l_{iml}$ ——沿跨距方向的冲击载荷区域长度，m，应不大于  $l_{shr}$ ；

$b_{iml}$ ——主要构件的冲击区域宽度，m，应不大于  $s$ ；

$s$ ——主要构件的间距，m。

## 4 晃荡载荷作用下的船体结构强度直接计算

### 4.1 一般要求

4.1.1 本章适用于液货舱船体结构在晃荡载荷作用下的舱段有限元直接计算。

4.1.2 评估对象包括液货舱区域主要构件和横舱壁结构及货物围护系统的支撑构件。

### 4.2 结构有限元模型

4.2.1 用于舱段区域强度直接计算分析的货舱有限元模型应满足本章附录1的要求。

### 4.3 载荷

4.3.1 应考虑对船体梁弯矩、舱内外液体压力和其他局部作用压力、船舶运动惯性力等载荷作用。

4.3.2 船体梁弯矩、舱内外液体压力和其他局部作用压力、船舶运动惯性力等载荷按照本章附录1第2节的要求。晃荡工况下的船体梁静水弯矩取70%最大设计静水弯矩值。

4.3.3液货舱内液体晃荡压力按照本附录第2节2.6~2.8要求。

#### 4.4 计算工况

4.4.1 晃荡载荷作用下的货舱区域舱段有限元计算工况按表4.4.1要求。

4.4.2 液舱内液货装载计算高度按本附录第2节2.5要求确定。

晃荡载荷工况表

表4.4.1

工况	装载模式	吃水	船体梁垂向波浪弯矩系数 $k_{cv}$	船体梁水平波浪弯矩系数 $k_{ch}$	舷外水压系数		浪向及船舶运动			
					$k_c$	$k_{f0}$	浪向角	垂荡	纵摇	横摇
LCA_L		$2/3d$	中垂 1.0	-	0.5	-1.0	0	下沉	首沉	-
LCA_T		$2/3d$	中垂 0.3	左舷受拉 0.3	0.5	-1.0	90	下沉	-	右舷上升
LCB_L		$2/3d$	中拱 1.0	-	0.5	1.0	0	上升	首抬	-
LCB_T		$2/3d$	中拱 0.3	左舷受拉 0.3	0.5	1.0	90	上升	-	右舷上升

#### 4.5 结果评估

4.5.1 晃荡载荷作用下的液货舱舱段有限元分析结果评估按照本章附录 1 第 4 节要求进行。

### 5 晃荡载荷作用下的泵塔结构强度直接计算

#### 5.1 一般规定

5.1.1 本节适用于晃荡载荷作用下的泵塔结构强度评估，同时考虑温度效应和船体惯性运动的影响。

5.1.2 泵塔结构计算模型中应包括以下主要构件：

- (1) 左/右卸货管；
- (2) 应急管；
- (3) 充液管；
- (4) 横撑杆；

- (5) 充液管与应急管间的连接杆;
- (6) 底座;
- (7) 所有的泵;

主要构件位置分布如图 5.1.2 所示。

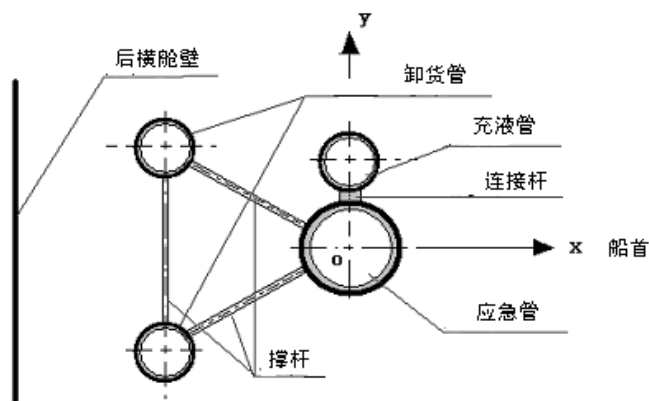


图 5.1.2 泵塔结构主要构件位置分布

### 5.1.3 材料特性

泵塔结构一般是由 300-系列不锈钢制成。常用的 304L 不锈钢的物理特性见表 5.1.3，或参照《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 8 节的有关规定。

304L 不锈钢特性 表 5.1.3

1	屈服强度	170 N/mm <sup>2</sup> 室温时 200 N/mm <sup>2</sup> -30℃时 277 N/mm <sup>2</sup> -160℃时
2	抗拉强度	485 N/mm <sup>2</sup> 室温时
3	弹性模量	1.93×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
4	泊松比	0.3
5	热膨胀系数	16.8×10 <sup>-6</sup> /℃
6	参考温度	20℃

## 5.2 工况及主要载荷参数选取

### 5.2.1 计算工况

(1) 可直接采用规范输入条件作为液舱晃荡计算工况，包括液舱运动固有周期及船体运动的最大横摇角和纵摇角，其中液舱运动固有周期按本附录 2.4 进行计算，最大横摇角和纵摇角按本章附录 1 的 2.3.4

(1) 进行。

(2) 第二种方法是通过基于等效设计波法的全船耐波性分析, 计算得到各主要载荷参数的响应放大系数 (RAO), 筛选出危险的晃荡计算工况; 同时, 计算得到波浪遭遇周期以及主要载荷参数长期极值, 用于计算晃荡载荷和结构分析。

对于方法二, 按本附录 2.2.3 有关规定, 设定满载和压载工况作为用于耐波性分析的计算工况, 并根据本附录 2.5 选取的装载计算高度计算的晃荡载荷施加于泵塔有限元模型。对于满载工况, 选取大于或等于  $50\%h$  的装载高度; 对于压载工况, 选取小于  $50\%h$  的装载高度。

### 5.2.2 与晃荡运动相关的主要载荷参数

本节进行耐波性分析时, 主要载荷参数选取如下:

#### (1) 横向运动

- 横摇运动, 即  $\theta_1$ ;
- 横向加速度, 即:  $\xi''_2 + g\theta_1 - (Z_{CT} - Z_G)\theta''_1$

#### (2) 纵向运动

- 纵摇运动, 即  $\theta_2$ ;
- 纵向加速度, 即:  $\xi''_1 - g\theta_2 + (Z_{CT} - Z_G)\theta''_2$

上述各式中,  $Z_{CT}$  和  $Z_G$  分别表示目标舱中心和船舶重心距基线的高度, m。

### 5.3 环境条件

5.3.1 除非特殊考虑, 一般应基于北大西洋海况的环境条件, 其中, 采用的北大西洋波浪数据是基于 IACS Rec.No34 的波浪散布图。

5.3.2 采用推荐的双参数的如下 Bretschneider 谱函数  $S(\omega)$  如下:

$$S(\omega) = \frac{1.25\omega_p^4 H_s^2 e^{-1.25\left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^4}}{4\omega^5}$$

式中:  $S(\omega)$ ——波能密度,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$\omega$ ——角频率,  $\text{rad/s}$ ;

$\omega_p$ ——波峰频率,  $\text{rad/s}$ ,  $\omega_p = 2\pi/T_p$ ,  $T_p$  定义见 2.4.1。

#### 5.3.3 特定海况

对于有部分装载要求的 LNG 船, 一般应进行特定航行区域下海况的分析。一般采用该海域的特定波

浪散布图，波浪谱采用 JONSWAP 谱函数  $S(\omega)$ ，即：

$$S(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^4\right] r \exp\left[-\frac{1}{\sigma^2}\left(\frac{\omega-\omega_p}{\omega_p}\right)^2\right]$$

式中： $r$ ——波峰升高系数；

$\sigma$ ——波峰形状系数；

$\alpha$ ——无因次常数；

其他参数定义——见 5.3.2。

## 5.4 晃荡运动中的等效波方法

### 5.4.1 分析方法

(1) 一般应采用长期预报极值的方法确定该船舶营运期间所受到波浪载荷的最大值，对应于 25 年一遇的最大波浪载荷。应根据现有海浪统计资料，由短期预报组合成长期预报，计算波浪载荷的长期分布规律，从中截取  $10^{-8}$  超越概率水平的极值。

(2) 对于特定海况的分析，可采用短期预报极值的方法，即在给定的概率水平下，取得相对应该概率水平的波高最高的海况，根据该海况来求得短期预报极值。

### 5.4.2 危险晃荡工况的确定

根据耐波性的计算得到关于各个主要载荷参数的响应放大系数 (RAO) 的结果，并在浪向角  $\beta$  和频率  $\omega$  的平面内确定危险晃荡工况。

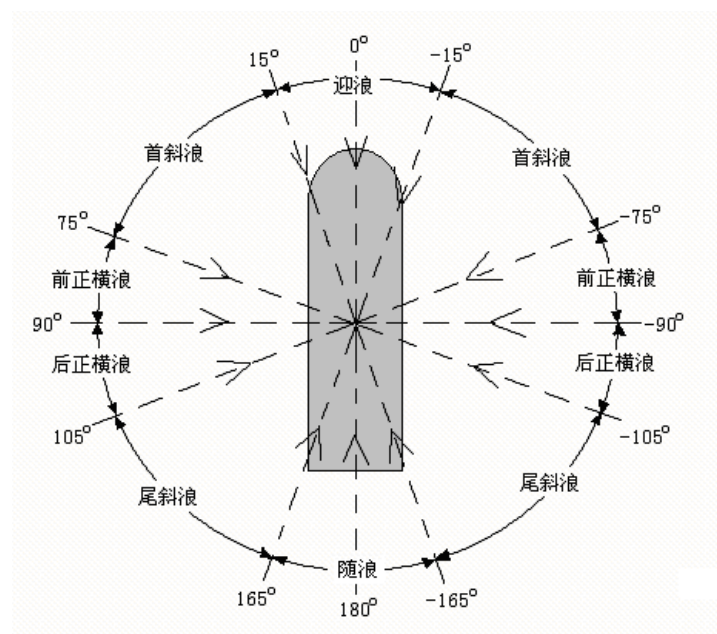


图 5.4.2 浪向角沿船舶周向的分布

如图 5.4.2 所示的是浪向角沿船舶周向的分布。确定危险晃荡工况时，应满足三个原则：

- 保证响应放大系数为最大；
- 晃荡运动周期和波浪遭遇周期一致；
- 浪向角处于影响最大的范围。

根据以上原则，危险晃荡工况需要满足的条件见表 5.4.2。

确定危险晃荡工况的条件

表 5.4.2

序号	运动	条件表达式	说明
1	横向运动	$ T_y - T_e  < 0.3T_y$	式中： $T_y$ 和 $T_e$ 分别是晃荡横向运动周期和波浪遭遇周期。
		$RAO(\beta, \omega) > 0.7Max[RAO(\beta, \omega)]$	式中的响应放大系数是与主载荷参数相对应的。
		$60^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$	考虑前正横浪。
2	纵向运动	$ T_x - T_e  < 0.3T_x$	式中： $T_x$ 和 $T_e$ 分别是晃荡纵向运动周期和波浪遭遇周期。
		$RAO(\beta, \omega) > 0.7Max[RAO(\beta, \omega)]$	式中的响应放大系数是与主载荷参数相对应的。
		$0^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$	考虑迎浪。

## 5.5 泵塔结构分析

### 5.5.1 基本模型

可采用整体模型或简化模型方法对泵塔主体结构进行分析。整体模型方法是将泵塔主体结构、泵塔顶部和底部基座作为一个整体模型统一建模；简化模型方法则将泵塔顶部和底部基座先进行简化处理，或在顶部与底部基座与泵塔主体结构的连接相交处设置为边界条件。有关泵塔顶部和底部基座结构模型应满足本附录第 6 节的要求。

#### (1) 坐标系

泵塔有限元模型的坐标系如图 5.5.1 (1) 所示。该坐标系为原点在应急管中心、x 轴指向船首、y 轴指向左舷和 z 轴是垂直向上的右手直角坐标系 xyz-o。单元的局部坐标系采用右手直角坐标系法则，原点在节点上，x 轴沿单元轴向并指向另一节点，y 轴方向与单元所在平面垂直并向外。



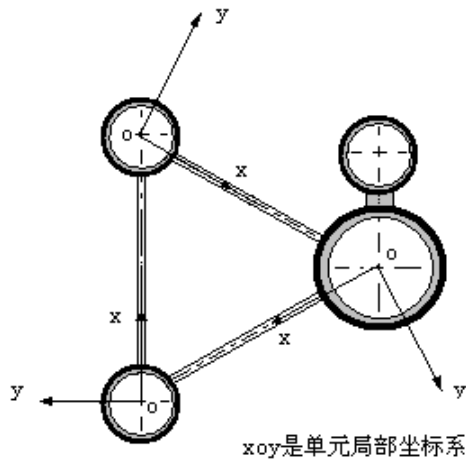


图 5.5.1(1) 单元的局部坐标系

(2) 有限元单元

按表 5.5.1 对泵塔各个构件设定有限元单元类型。

有限元单元类型

表 5.5.1

序号	结构名称	特征	单元类型
1	左/右卸货管、应急管、充液管、横撑杆	圆管状结构	梁单元
2	充液管与应急管的连接杆	刚性连接件	刚性杆单元
3	底座	泵塔基座板和连接肘板	板单元、梁单元
4	所有的泵	圆柱状结构	梁单元

(3) 建模原则

泵塔主体结构有限元模型化的一般原则如下：

- (a) 左/右卸货管、应急管、充液管和横撑杆等圆管状结构以结构连接节点作为有限元单元节点；
- (b) 采用简化模型法评估泵塔主体结构时，泵塔底座结构可用“工”字梁模拟，其中，该“工”字梁的面板和腹板由泵塔基座板和连接肘板尺寸确定；也可采用板或梁单元模拟基座板和连接肘板，并使用 MPC（多点约束）连接圆管结构，MPC 连接方式与表 5.5.2 中节点 12 的约束条件相同。
- (c) 泵塔中一般设有两个泵，可用直径、高度和重量与其相同的圆柱壳单元来等效，如图 5.5.1(2)所示。

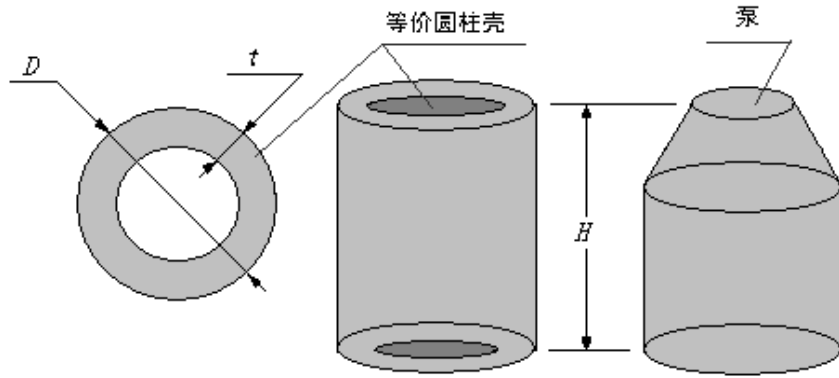


图 5.5.1(2) 泵和等价圆柱壳

等效圆柱壳厚度可计算如下：

$$t = \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{\pi\rho HD^2 - 4W}{4\pi\rho H}}$$

式中： $t$ ——等价圆柱壳厚度，mm；

$D$ ——泵直径，mm；

$H$ ——泵高度，mm；

$W$ ——泵重量，kg；

$\rho$ ——泵的材料密度， $\text{kg/mm}^3$ 。

(d) 仅评估泵塔主体结构时，泵塔顶部结构可仅考虑本附录 5.5.2 的边界条件；当评估泵塔顶部结构时，应采用板单元或梁单元模拟内壳甲板和凸形甲板。应使用 MPC（多点约束）连接泵塔的主要圆管结构，MPC 连接方式与表 5.5.2 中相应节点约束条件相同。

### 5.5.2 边界条件

#### (1) 顶部

顶部凸形甲板上和内壳甲板上的节点（即 1、2、3、4、5、6、7 和 8）（图 5.5.2(1)所示）的边界条件，应按表 5.5.2 给定。

#### (2) 底部

泵塔有限元模型底部节点 12（如图 5.5.2(1)所示）的位移边界条件，见表 5.5.2。

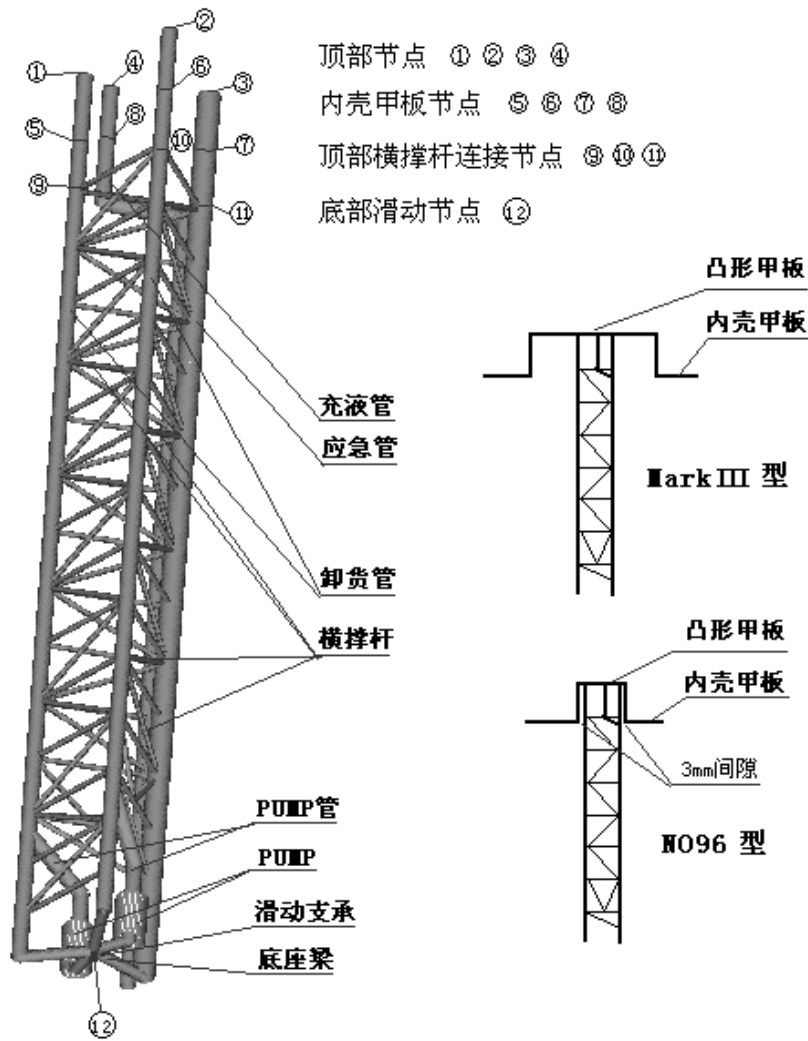


图 5.5.2(1) 泵塔结构模型与节点

泵塔位移边界条件

表 5.5.2

序号	位移方向		Mark III 型 (节点)			NO96 型 (节点)		
			1、2、3、4	5、6、7、8	12	1、2、3、4	5、6、7、8	12
1	X	位移	固定	—	固定	固定	固定	固定
2		转动	—	—	固定	—	—	固定
3	Y	位移	固定	—	固定	固定	固定	固定
4		转动	—	—	固定	—	—	固定
5	Z	位移	固定	—	—	固定	—	—
6		转动	固定	—	固定	固定	—	固定

注：表中“—”——节点自由运动。

(3) 单元之间的节点约束关系

对于泵塔有限元模型单元之间的一般连接,可模拟为梁元节点的一般连接形式(即 6 自由度约束连接)。对于如图 5.5.2(2)所示的泵塔顶部处横向连接杆节点,它的位移条件是轴向运动自由、径向运动限制。对于这种端点连接形式,可采用如图 5.5.2(3)所示的滑动连接端部设置 MPC (多点约束)的特殊处理。

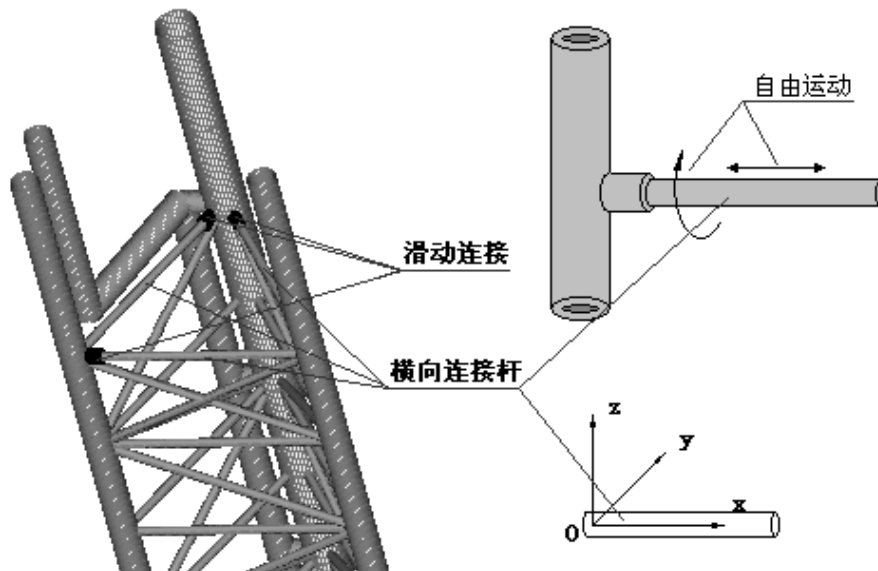


图 5.5.2(2) 泵塔顶部处横向连接

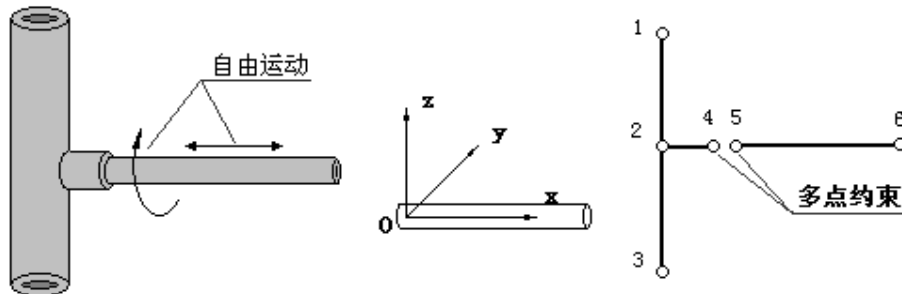


图 5.5.2(3) 滑动连接端部的 MPC 处理

### 5.5.3 载荷

#### (1) 晃荡载荷

泵塔中心处随垂直方向变化的流体运动速度和加速度通过晃荡运动直接计算得到。流体晃荡运动作用

在泵塔上的载荷,即莫里森力  $\vec{F}_M$  计算如下:

$$\vec{F}_M = \frac{1}{2} \rho C_d \vec{U}(z) \left| \vec{U}(z) \right| D + \frac{\pi}{4} \rho C_m \vec{a}(z) D^2 \quad \text{N/m}$$

式中:  $\rho$ ——流体密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$U(z)$ ——垂向高度有关的在泵塔管中心线上的法向流体速度,  $\text{m/s}$ ;

$a(z)$ ——与垂向高度有关的在泵塔管中心线上的流体加速度， $\text{m/s}^2$ ；

$D$ ——泵塔构件横向剖面直径， $\text{m}$ ；

$C_m$ ——莫里森惯性系数，一般取为 2.0；

$C_d$ ——莫里森拖曳力系数，取 1.2。

由于莫里森力是沿构件长度方向分布、与垂向变化的流体速度和加速度有关的单位长度作用力，因此在加载时，应考虑到莫里森力沿构件长度方向和垂直方向的变化，即作用在泵塔某一长度为  $l$  的结构构件上莫里森合力  $F_l$  计算如下：

$$\vec{F}_l = \int_0^l \left[ \frac{1}{2} \rho C_d \vec{U}(z) \left| \vec{U}(z) \right| D + \frac{\pi}{4} \rho C_m \vec{a}(z) D^2 \right] dl \quad \text{N}$$

## (2) 温度载荷

在有限元模型中应考虑温度变化引起的热应力结果。泵塔温度场的计算和加载应按本章附录 3 的规定。

## (3) 惯性力

在有限元模型中应考虑船舶运动和重力作用的惯性加速度。泵塔中心三个方向的惯性加速度可基于本节给出的耐波性分析计算得出，也可按本章附录 1 的 2.3.4 (1) 进行计算。

## 5.6 强度衡准

### 5.6.1 一般规定

#### (1) 应力

在指南中需校核各类管结构的管单元屈服强度、屈曲强度和管接头的抗冲剪力强度。主要应用管单元以下 4 种应力：

(a) 轴向压缩应力  $\sigma_a$

(b) 轴向拉伸应力  $\sigma_t$

(c) 面内弯曲应力  $\sigma_i$

(d) 面外弯曲应力  $\sigma_o$

#### (2) 基本参数

如图 5.6.1 所示为一典型管接头的示意图。图中粗管为主管或弦杆，细管为撑杆（包括水平撑杆和斜撑杆），其他各参数说明如表 5.6.1。

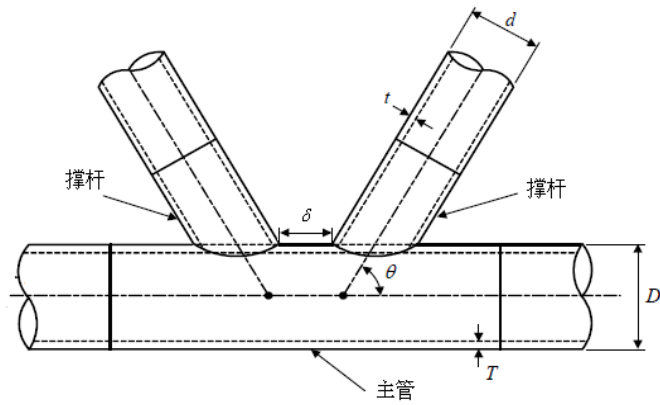


图 5.6.1 典型管接头示意图

表 5.6.1 参数说明

序号	几何参数	说明	单位	备注
1	$l$	无支撑长度	mm	
2	$r$	回转半径	mm	
3	$\theta$	主管与撑杆夹角	( $^{\circ}$ )	
4	$t$	撑杆壁厚度	mm	
5	$T$	主管壁厚度	mm	
6	$\delta$	缝隙间距	mm	只有 1 根撑杆时, $\delta = 0$ ; 有 3 根或 3 根以上撑杆时, 当校核最远两根撑杆时, $\delta$ 取相距最远的两根撑杆的隙缝间距。
7	$d$	撑杆直径	mm	
8	$D$	主管直径	mm	
9	$\tau_a$	计算法向剪应力	$\text{N/mm}^2$	
10	$\tau_l$	计算面内剪应力	$\text{N/mm}^2$	
11	$\tau_o$	计算面外剪应力	$\text{N/mm}^2$	
12	$[\sigma]_a$	许用轴向压缩应力	$\text{N/mm}^2$	
13	$[\sigma]_T$	许用轴向拉伸应力	$\text{N/mm}^2$	
14	$[\sigma]_b$	许用弯曲应力	$\text{N/mm}^2$	
15	$[\tau]_a$	许用轴向冲剪应力	$\text{N/mm}^2$	
16	$[\tau]_l$	许用面内冲剪应力	$\text{N/mm}^2$	
17	$[\tau]_o$	许用面外冲剪应力	$\text{N/mm}^2$	

18	$[\sigma]_e$	许用欧拉应力	$\text{N/mm}^2$	$[\sigma]_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_2^2}$
19	$f_{ca}$	主管的轴向名义应力	$\text{N/mm}^2$	即 $\sigma_a$ 或 $\sigma_r$
20	$f_{ci}$	主管的面内弯曲应力	$\text{N/mm}^2$	即 $\sigma_i$
21	$f_{co}$	主管的面外弯曲应力	$\text{N/mm}^2$	即 $\sigma_o$
22	$f_{ba}$	撑杆的轴向名义应力	$\text{N/mm}^2$	即 $\sigma_a$ 或 $\sigma_r$
23	$f_{bi}$	撑杆的面内弯曲应力	$\text{N/mm}^2$	即 $\sigma_i$
24	$f_{bo}$	撑杆的面外弯曲应力	$\text{N/mm}^2$	即 $\sigma_o$
25	$\lambda_1$	管单元外径与厚度之比		即 $d/t$ 或 $D/T$
26	$K$	有效长度系数		主管为 1.0, 撑杆为 0.8
27	$k_s$	$k_s = R_{eH} / 235$		
28	$\eta$	$\eta = t/T$		
29	$\mu$	$\mu = d/D$		
30	$\gamma$	$\gamma = D/(2T)$		
31	$\lambda_2$	$\lambda_2 = Kl/r$		

注:  $R_{eH}$  为材料的屈服强度,  $\text{N/mm}^2$ 。

## 5.6.2 屈服强度和屈曲强度

### (1) 管单元许用应力

① 许用轴向压缩应力  $[\sigma]_a$  按下列各式确定:

(a) 当  $\lambda_1 \leq 60$  时,

$$[\sigma]_a = \begin{cases} \frac{k_s \left[ 1 - 0.5 \left( \frac{\lambda_2}{C} \right)^2 \right] \times 10^4}{70.922 + 15.957 \frac{\lambda_2}{C} - 5.319 \left( \frac{\lambda_2}{C} \right)^3}, & \lambda_2 < C \\ \frac{5.147E}{\lambda_2^2}, & \lambda_2 \geq C \end{cases} \quad \text{N/mm}^2$$

式中:  $C = 0.29 \sqrt{\frac{E}{k_s}}$

(b) 当  $\lambda_1 > 60$  且  $\frac{k_s \lambda_1}{E} (642.34 - 90.08 \lambda_1^{1/4}) \leq 1$  时,

$$[\sigma]_a = \begin{cases} \frac{k_s (1 - 0.14024 \lambda_1^{1/4}) \left[ 1 - 0.5 \left( \frac{\lambda_2}{C} \right)^2 \right] \times 10^4}{43.245 + 9.73 \frac{\lambda_2}{C} - 3.243 \left( \frac{\lambda_2}{C} \right)^3}, & \lambda_2 < C \\ \frac{5.147E}{\lambda_2^2}, & \lambda_2 \geq C \end{cases} \quad \text{N/mm}^2$$

式中:  $C = \sqrt{\frac{E}{k_s (19.53 - 2.739 \lambda_1^{1/4})}}$

(c) 当  $\lambda_1 > 60$  且  $\frac{k_s \lambda_1}{E} (642.34 - 90.08 \lambda_1^{1/4}) > 1$  时,

$$[\sigma]_a = \begin{cases} \frac{\frac{E}{\lambda_1} \left[ 1 - 0.5 \left( \frac{\lambda_2}{C} \right)^2 \right] \times 10}{27.78 + 6.25 \frac{\lambda_2}{C} - 2.083 \left( \frac{\lambda_2}{C} \right)^3}, & \lambda_2 < C \\ \frac{5.147E}{\lambda_2^2}, & \lambda_2 \geq C \end{cases} \quad \text{N/mm}^2$$

式中:  $C = 3.236 \sqrt{\lambda_1}$

② 许用轴向拉伸应力按下式确定:

$$[\sigma]_T = 141 k_s \quad \text{N/mm}^2$$

③ 许用轴向弯曲应力按下式确定:

$$[\sigma]_b = \begin{cases} 176.25 k_s, & \lambda_1 \leq \frac{44}{k_s} \\ \left( 197.4 - \frac{408.9 k_s \lambda_1}{E} \right) k_s, & \frac{44}{k_s} \leq \lambda_1 \leq \frac{88}{k_s} \\ \left( 169.2 - \frac{136.3 k_s \lambda_1}{E} \right) k_s, & \frac{88}{k_s} \leq \lambda_1 \leq 300 \end{cases} \quad \text{N/mm}^2$$

(2) 管单元强度衡准

① 轴向压缩和弯曲的强度应满足下列各式规定:

(a) 当  $\frac{\sigma_a}{[\sigma]_a} > 0.15$  时:



$$\frac{\sigma_a}{[\sigma]_a} + \frac{([\sigma]_e - 0.4\sigma_a) \cdot \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_o^2}}{([\sigma]_e - \sigma_a) [\sigma]_b} \leq 1.0$$

$$\frac{\sigma_a}{0.6[\sigma]_a} + \frac{\sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_o^2}}{[\sigma]_b} \leq 1.0$$

(b) 当  $\frac{\sigma_a}{[\sigma]_a} \leq 0.15$  时:

$$\frac{\sigma_a}{[\sigma]_a} + \frac{\sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_o^2}}{[\sigma]_b} \leq 1.0$$

② 轴向拉伸和弯曲的强度衡准应满足下式规定:

$$\frac{\sigma_T}{0.6[\sigma]_T} + \frac{\sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_o^2}}{[\sigma]_b} \leq 1.0$$

### 5.5.6.3 抗冲剪力强度

(1) 管接头许用冲剪应力

① 许用轴向冲剪应力:

$$[\tau]_a = 522C_Q \cdot \left( 1.0 - \frac{\gamma(f_{ca}^2 + f_{cl}^2 + f_{co}^2)}{1178133k_s^2} \right) \cdot \frac{k_s}{\gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

② 许用面内冲剪应力:

$$[\tau]_l = 522C_Q \cdot \left( 1.0 - \frac{\gamma(f_{ca}^2 + f_{cl}^2 + f_{co}^2)}{785422k_s^2} \right) \cdot \frac{k_s}{\gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

③ 许用面外冲剪应力:

$$[\tau]_o = 522C_Q \cdot \left( 1.0 - \frac{\gamma(f_{ca}^2 + f_{cl}^2 + f_{co}^2)}{1683047k_s^2} \right) \cdot \frac{k_s}{\gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

上述公式中的  $C_Q$  按表 5.5.6.3 取值, 但在计算许用轴向冲剪应力时, 系数  $C_Q$  的取值应不小于  $(1.1+0.2/\mu)$ 。关于泵塔管接头形式及类型判断详见本章附录 2A。

系数  $C_Q$

表 5.5.6.3

管接头类型	K		T&Y
轴向拉伸/压缩	$\gamma \leq 20$	$\gamma > 20$	$(1.1+0.2/\mu)$
	$(1.1+0.2/\mu) \cdot (1.8-0.1\delta/T)$	$(1.1+0.2/\mu) \cdot (1.8-4\delta/D)$	

弯曲	面内		$(3.72+0.67/\mu)$
	面外	$\mu > 0.6$	$\frac{0.3}{\mu(1-0.833\mu)} \cdot \left(1.37 + \frac{0.67}{\mu}\right)$
		$\mu \leq 0.6$	$\left(1.37 + \frac{0.67}{\mu}\right)$

(2) 管接头计算冲剪应力

① 计算轴向冲剪应力:

$$\tau_a = \eta f_{ba} \sin \theta, \text{ N/mm}^2$$

② 计算面内冲剪应力:

$$\tau_l = \eta f_{bl} \sin \theta, \text{ N/mm}^2$$

③ 计算面外冲剪应力:

$$\tau_o = \eta f_{bo} \sin \theta, \text{ N/mm}^2$$

(3) 冲剪强度衡准

管接头冲剪强度应满足下列各式规定:

$$\left(\frac{\tau_l}{[\tau]_l}\right)^2 + \left(\frac{\tau_o}{[\tau]_o}\right)^2 \leq 1.0$$

$$\left|\frac{\tau_a}{[\tau]_a}\right| + \frac{2}{\pi} \arcsin \left( \sqrt{\left(\frac{\tau_l}{[\tau]_l}\right)^2 + \left(\frac{\tau_o}{[\tau]_o}\right)^2} \right) \leq 1.0$$

## 6 泵塔顶部和底部基座结构强度直接计算

### 6.1 一般要求

6.1.1 本节要求适用于泵塔顶部和底部基座的结构强度直接计算评估。

6.1.2 泵塔顶部结构分析主要针对伸入内甲板之中的泵塔管系结构,包括卸货管、充液管和应急管等;泵塔底座分析主要针对泵塔底部基座板及支撑结构等。

6.1.3 可采用整体模型法将泵塔主体结构、泵塔顶部和底部基座作为一个整体模型进行建模和分析,也可对泵塔顶部和底部基座部分进行单独建模分析。

### 6.2 结构建模

6.2.1 整体模型中的坐标系、单元类型、建模原则见本附录第 5 节有关要求。

6.2.2 泵塔底部基座模型应至少包括泵塔底板和泵塔基座两部分的结构模型，如图 6.2.2(1)所示。泵塔顶部结构模型范围以泵塔中心为原点，船宽方向上应延伸至纵桁或纵舱壁，船长方向上应延伸至强横梁或横舱壁，如图 6.2.2(2)所示。

6.2.3 模型中的板单元网格尺寸应合理分布，对于结构复杂的位置采用网格一般应不大于 50 mm×50 mm，并整体保持良好的过度。

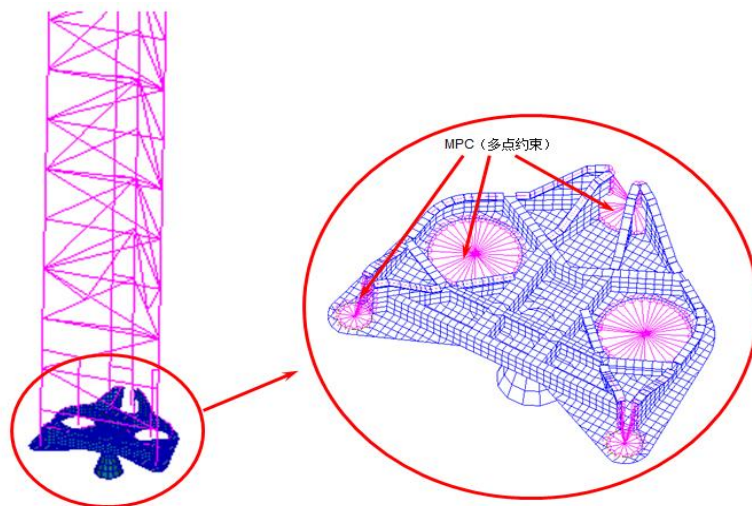


图 6.2.2(1) 泵塔底座结构有限元模型

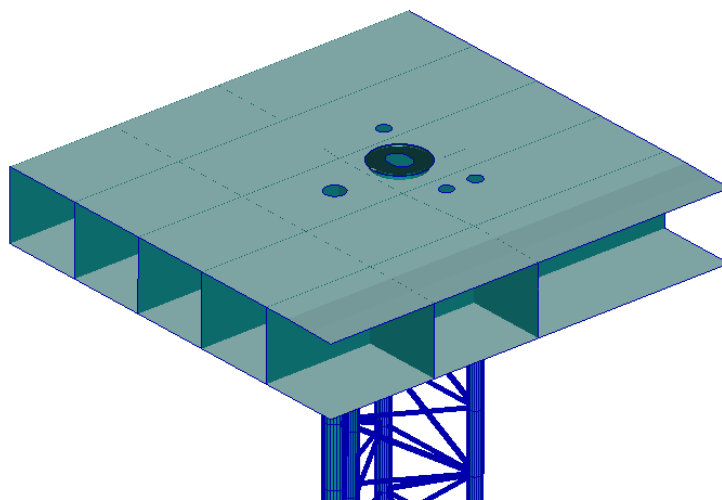


图 6.2.2(2) 泵塔顶部结构有限元模型

### 6.3 边界条件

6.3.1 当采用整体模型法时，泵塔顶部模型延伸至相应强框架位置处的连接点设为自由支持或固支，泵塔底部与支撑结构连接点、底部基座板与圆管结构的连接点的边界条件见本附录 5.5.2。

6.3.2 当对泵塔顶部和底部基座进行单独建模分析时，还应按本附录第 5 节对泵塔主体结构强度直接计

算的结果设置边界条件。

## 6.4 载荷

6.4.1 泵塔施加的载荷见本附录 5.5.3。

6.4.2 采用整体模型方法时，应将晃荡载荷施加到泵塔管系结构，将温度载荷和惯性加速度统一施加到整体模型中。

6.4.3 当对泵塔顶部进行单独建模分析时，应先按照本附录第 5 节要求进行泵塔结构强度直接计算，在计算结果中提取顶部连接处的节点位移、力和弯矩等作为输入数据，施加到顶部结构模型的对应节点上。

6.4.4 当对底部基座进行单独建模分析时，应先按照本附录第 5 节要求进行泵塔结构强度直接计算，在计算结果中提取底部处的支反力，然后根据底座处接触板的面积换算为等效均布压力，将其作为输入数据施加于模型中的相应位置上。

## 6.5 应力衡准

6.5.1 当评估泵塔顶部和底部基座结构的板单元和梁单元屈服强度时，许用应力如表 6.5.1 所示：

许用应力

表 6.5.1

结构	单元类型	相当应力（Von Mises 应力）
泵塔顶部和底部基座结构	板单元和梁单元	$0.85R_{eH}$

注：1、 $R_{eH}$ ——材料屈服应力， $N/mm^2$ ，且对于不锈钢，采用 0.2% 的试验应力。适用时，应计入温度对材料屈服应力的影响；2、板单元应力应采用膜应力，即板单元的中面应力。

6.5.2 当位于细化区域的单元相当应力超出许用值时，则由细化网格分析得到的、面积相当于标准网格大小的应力平均值应不超过表 6.5.1 规定的许用值。

## 7 泵塔结构振动评估

### 7.1 一般要求

7.1.1 本节规定了泵塔结构振动特性的评估方法和要求。

7.1.2 本节对泵塔结构的形式应符合本附录 5.1.2 的要求。

### 7.2 结构建模

7.2.1 用于振动特性分析的泵塔结构模型应符合本附录 5.5.1 的要求。

7.2.2 泵塔管系中液体的质量应按以下方式考虑：

---

$$\text{管系内部液体质量: } m = \rho\pi \frac{D^2}{4}$$

$$\text{管系外附连液体质量: } m = \rho C_m \pi \frac{D^2}{4}$$

式中,  $\rho$ ——流体密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$D$ ——管系直径,  $\text{m}$ ;

$C_m$ ——系数, 取 1。

### 7.3 装载高度

7.3.1 泵塔结构振动分析应考虑空载和装载两种装载工况

7.3.2 空载时装载高度为 0, 该装载工况下的固有频率为泵塔结构的上限值。

7.3.2 各工况的装载高度应按本附录 2.5 的要求, 其中 95% 装载高度下的固有频率作为泵塔结构的下限值, 其它装载高度下的固有频率应不超出上述的限值。

### 7.4 激励频率

7.4.1 除蒸汽轮机推进形式外, 应考虑主机的振动激励频率。

7.4.2 螺旋桨的激励频率应基于螺旋桨转速, 上限值取主机最大功率下的转速, 下限值取 75% 主机最大功率下的转速。

### 7.5 避免共振限制

7.5.1 泵塔各个装载高度下的固有频率应与激励频率达到  $\pm 20\%$  的差值。

## 附录 2A 管接头形式及类型判断

### 1 一般规定

1.1 本附录适用于泵塔管接头连接形式定义及连接类型判断。

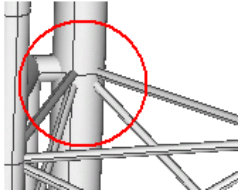
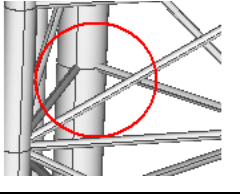
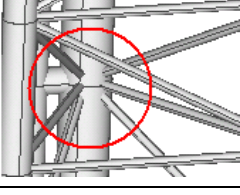
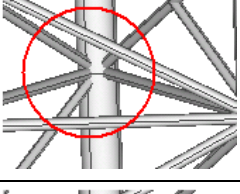
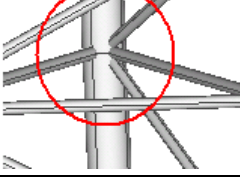
1.2 对于本附录中未涉及到的泵塔管接头连接形式，在进行类型判断及强度校核时，需经 CCS 认可。

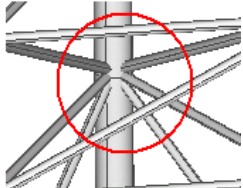
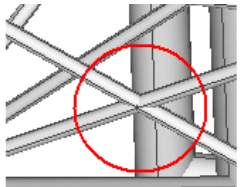
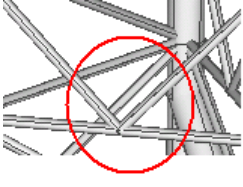
### 2 管接头连接形式

#### 2.1 管接头典型连接形式

泵塔中典型的管接头连接形式如附表 2.1 所示。

泵塔中典型的管接头形式 附表 2.1

序号	典型图	说明
1		(1) 应急管与横向撑杆间； (2) 管接头类型是 K, T&Y； (3) 校核压缩弯曲、拉伸弯曲和抗冲剪强度。
2		
3		
4		(1) 卸货管与横向撑杆间； (2) 管接头类型是 K, T&Y； (3) 校核压缩弯曲、拉伸弯曲和抗冲剪强度。
5		

6		
7		(1) 横向撑杆间; (2) 校核压缩弯曲、拉伸弯曲强度。
8		

2.2 在计算时, 首先应根据结构形式确定分析对象, 即主管和撑杆的关系, 如几何尺寸、相对位置等; 然后根据管接头各端的载荷大小和方向进行管接头连接类型的判断。

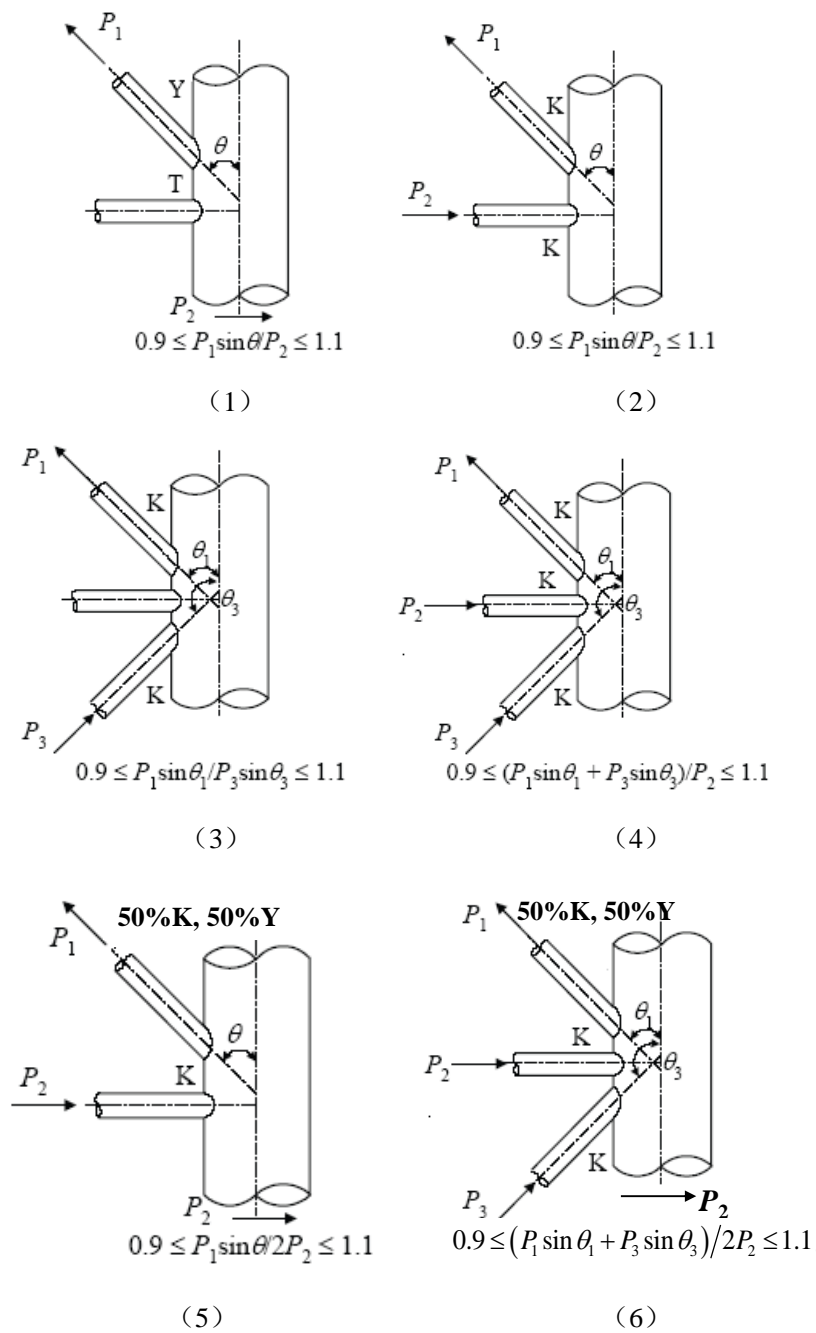
### 第 3 节 管接头类型判断

#### 3.1 管接头类型判断

每一根主管和撑杆的连接都构成一个管接头, 类型可以分为 K 型、T 型、Y 型三种。在一个计算平面内, 主管与一根或多根撑杆构成一个或多个管接头, 需根据各撑杆的轴向载荷大小和形式来判断管接头的类型, 其中 K 型接头表征的是各撑杆轴向载荷的平衡关系, T 型或 Y 型接头表征的是撑杆轴向载荷与主管剪切力的平衡关系。

#### 3.2 具体判断的标准如下:

- (1) 对于一侧只有一根撑杆的管接头, 由于撑杆的轴向载荷只与主管的剪力平衡, 故此管接头必为 T 型或 Y 型。
- (2) 对于一侧只有两根撑杆的管接头, 若其中一根轴向载荷为 0, 则管接头必为 T 型或 Y 型 (如附图 3.2(1)所示)。
- (3) 若各撑杆的轴向载荷能相互直接平衡, 则所有管接头为 K 型 (如附图 3.2(2) (3) (4) 所示)。
- (4) 若各撑杆的载荷只有部分相互平衡, 则需按照载荷的大小通过插值得到管接头类型的比例, 并通过加权平均来计算许用应力。(如附图 3.2(5) (6)所示)。



附图 3.2 泵塔中典型的管接头类型定义



---

## 附录3 温度场及热应力计算

### 1 一般规定

#### 1.1 一般要求

1.1.1 本节对薄膜型液化天然气运输船货舱区域和泵塔的三维空间温度场预报及其热应力分析方法作出规定。如采用其他计算方法，应经 CCS 同意。

1.1.2 温度场及热应力计算应使用公认的有限元热分析程序和有限元结构分析程序。

#### 1.2 定义

1.2.1 除非特别说明，下列符号在本附录中的规定如下：

$k_e$ ——等效导热系数，W/(mK)；

$h$ ——对流换热系数，W/(m<sup>2</sup>K)；

$T$ ——温度，°C；

$\alpha$ ——线膨胀系数，(1/K)；

$\sigma_e$ ——结构单元的相当计算应力，N/mm<sup>2</sup>，见本章附录 1 的定义；

$R_{eH}$ ——不同温度条件下的材料屈服强度，N/mm<sup>2</sup>，见本章附录 2 表 5.1.3，且其间之值由线性内插得到。

### 2 结构模型

#### 2.1 温度场分析模型

2.1.1 温度场计算的有限元模型应包括所分析对象范围内（如首、中、尾部区域的各个液货舱）的船体结构和主、次绝热层。

2.1.2 分析模型应包含前、后隔离空舱、液货舱。当结构和边界条件为左右对称时，可取为 1/2 计算模型；当结构和边界条件为前后、左右对称时，可取为 1/4 计算模型。典型的 1/4 温度场分析有限元计算模型如图 2.1.2 所示。

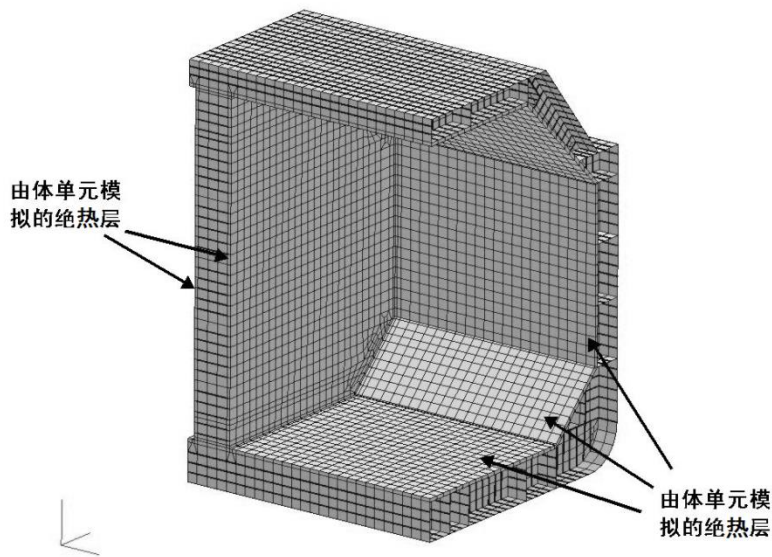


图 2.1.2 温度场计算有限元模型

2.1.3 模型中船体结构有限元模型的单元类型和网格尺度应满足本章附录 1 的 3.2 相关要求。

2.1.4 模型中液货舱主、次绝热层应采用体单元模拟，且应一般采用 6 面体单元。

2.1.4 当采用体单元模拟多层不同材料构成的绝热层时，单元导热系数应采用等效导热系数。对于由  $N$  层材料组成的绝热层，其等效导热系数按下式计算：

$$k_e = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i}{\sum_{i=1}^N \frac{\delta_i}{k_i}}$$

式中： $\delta_i$ ——第  $i$  层材料厚度，m；

$k_i$ ——第  $i$  层材料导热系数，W/(mK)。

## 2.2 热应力分析模型

2.2.1 热应力分析中的船体结构有限元模型应满足本章附录 1 的 3.2 相关要求，且模型范围与船体结构直接计算的舱段有限元模型的要求一致。

## 2.3 泵塔模型

2.3.1 泵塔热应力计算模型要求参考本章附录 2 的 5.5.1，材料系数的取值依据本章附录 2 的 5.1.3。

# 3 船体温度场及热应力计算

## 3.1 一般规定

3.1.1 本节的温度场计算结果可作为船体钢级确定、结构热应力分析、货物围护系统热蒸发率计算的参考。

3.1.2 本节规定中，温度场及低温热应力计算包含两个分析流程：第 1 步，对于给定的环境温度和液货温度条件，通过热分析求出结构的温度场分布；第 2 步，将温度场作为输入温度载荷，进行低温热应力分析，求出温度场中任一结构由于温差引起的热膨胀应力。

3.1.3 本附录的计算基于：

(1) 三维空间定常稳态传热，且材料参数和边界条件不随温度变化的线性热传导分析方法；

(2) 仅考虑温度场变化对结构机械场产生的影响，而忽略后者变化对前者的影响；

(3) 船体结构内部及各个构件之间以热传导的方式进行热传递，空气、海水仅以对流方式和船体构件进行热交换。

### 3.2 传热方式

3.2.1 船体温度场计算中假定如下传热方式：

- (1) 船体板与舱内空气之间的对流传热；
- (2) 船体板与外界空气之间的对流传热，当有风速时应考虑强迫对流换热；
- (3) 船体板与海水之间的对流传热；
- (4) 船体板与外界之间的辐射传热（如需要时）；
- (5) 船体内外板之间的辐射传热（如需要时）。

### 3.3 计算工况

3.3.1 对于不同计算目的，计算船体温度场的外界条件如下：

(1) 主绝热层完全失效，低温液货直接作用在次绝热层内表面上，用于计算船体结构最低温度分布、确定钢级和计算最大低温热应力。

(2) 考虑赤道工况，见表 3.3.2，且主、次绝热层完整，低温液货直接作用在主绝热层内表面上，用于评估薄膜型液化天然气运输船围护系统效率，计算名义热蒸发率，详细计算方法见本章附录 3B。

(3) CCS 或船东认为需要考虑的其他计算目的。

3.3.2 外界环境温度工况至少应包括 IGC 工况、USCG 工况和赤道环境工况，见表 3.3.2。

各种环境工况 表 3.3.2

	IGC	USCG	USCG (阿拉斯加海域)	赤道
空气温度 (°C)	5	-18	-29	45
海水温度 (°C)	0	0	-2	32
风速 (kn)	0	5	5	0
液货 (°C)	-163			

### 3.4 边界条件

3.4.1 船体板与空气、船体板与海水之间采用对流换热边界条件，对流换热系数应按实际选取，当缺乏具体数值时可采用公认的热力学经验公式计算确定。

3.4.2 在计算船体板与空气之间的对流换热系数时，需考虑船体骨材对其附着船体板的影响，一般将船体骨材作为散热肋片考虑。

3.4.3 绝热层内表面和液货直接接触，可定义温度边界条件或对流换热边界条件，一般液货温度取-163℃。

3.4.4 船体各封闭舱室的空气温度应按实际值取用，也可参考本章附录 3A 的推荐方法进行迭代直接计算获得。

3.4.5 如船体中存在热源时（如隔离空舱中设置的加热系统），应将该热源作为适当的边界条件施加到船体上。

### 3.5 钢级的选取

3.5.1 应将载货状态下最小吃水的船体温度场作为确定结构钢级的装载工况。

3.5.2 船体结构钢级确定应以低温环境、主绝热层失效情况下的温度场预报计算结果为依据。船体结构钢级标准见 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 6 章 6.2 的相关规定。

### 3.6 船体结构热应力计算

3.6.1 碳钢的线膨胀系数  $\alpha$  计算参考取值为  $1.1 \times 10^{-5}$  (1/K)。

3.6.2 按本节上述温度场计算得到的三维空间温度场分布作为温度载荷，施加到本章附录 1 对应的各个对应计算工况的船体模型中，虑及常规载荷和温度载荷的共同作用，进行船体结构强度计算。

### 3.7 强度衡准

3.7.1 对于按照本附录 3.6.2 工况组合计算的船体结构有限元模型，许用应力按本章附录 1 第 4 节评估标准进行。

## 4 泵塔结构温度场及热应力计算

### 4.1 计算工况

4.1.1 货舱内货物装载高度工况的确定见本章附录 2 的 2.5 的相应规定。

4.1.2 泵塔热应力的计算工况可分为温度工况和组合工况。

4.1.3 温度工况下仅考虑不同装载工况下稳态温度载荷对泵塔结构的作用。

4.1.4 组合工况下的泵塔强度计算时，应包括如下计算载荷：

- (1)不同装载工况下稳态温度载荷；
- (2)对应装载工况下的晃荡载荷，见本章附录 2 的 5.5.3（1）中的规定；
- (3)惯性力，见本章附录 2 的 5.5.3（3）中的规定；
- (4)构件自重。

### 4.2 边界条件

4.2.1 泵塔节点的约束形式见本章附录 2 的 5.5.2 有关规定。

4.2.2 在泵塔的温度场分析中,应考虑液舱内顶部与底部之间存在的一定温差,因此液舱内温度分布通常假定为:液货自由液面以下-163℃,舱顶温度  $T_{top}$  高于-163℃,且与环境温度和货物装载量有关。如无具体数值时,可假定为  $T_{top}=-30℃$ ,两者之间温度按线性内插分布。沿泵塔中心线高度的温度分布如图 4.2.2 所示。

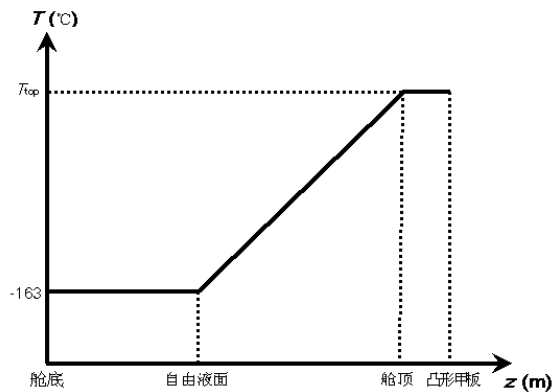


图 4.2.2 泵塔中心线沿高度的温度分布假定

4.2.3 基于 4.2.2, 泵塔温度按下式计算:

$$T = \begin{cases} -163 & z \leq \varphi h \\ -163 + 133 \times \frac{(z - \varphi h)}{(1 - \varphi)h} & \varphi h < z \leq h \\ -30 & z > h \end{cases}$$

式中:  $z$ ——计算点高度, m;

$\varphi$ ——货物装载高度系数, (取值范围为 0.0 ~ 1.0, 其中: 0.0 为空载, 1.0 为满载);

$h$ ——货舱高度, m;

### 4.3 热应力计算衡准

4.3.1 当仅考虑温度载荷工况时, 泵塔结构热应力校核衡准为:

$$\eta \leq 0.1$$

式中:  $\eta$ ——利用系数,  $\eta = \sigma_e / R_{eH}$

4.3.2 对于局部热应力集中部位, 如撑杆与管系的连接处和泵塔顶部等, 其强度衡准可给予特殊考虑。

4.3.3 组合工况下的泵塔强度计算的强度衡准按照本章附录 2 的 5.6 相关规定执行。

## 附录 3A 船体舱室内空气温度的迭代计算方法

### 1 一般规定

1.1.1 本附录为计算船体舱室内空气温度提供了一种基于有限元数值分析的推荐方法。

### 2 迭代计算过程

1.2.1 某一舱室内的空气温度按下式计算：

$$T_c = \frac{\sum h_i A_i T_{si}}{\sum h_i A_i}$$

式中： $T_c$ ——舱室空气温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$h_i$ ——对流系数， $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ；

$A_i$ ——与此舱室内空气接触的第  $i$  块板的面积（在计算  $A$  时，不需要考虑船体骨材所增加的表面积）， $\text{m}^2$ ；

$T_{si}$ ——与此舱室内空气接触的第  $i$  块板的温度， $^{\circ}\text{C}$ ，可取均布于板中间若干节点的平均温度。

1.2.2 船体舱室内空气温度的迭代计算流程如图 1.2.2 所示。

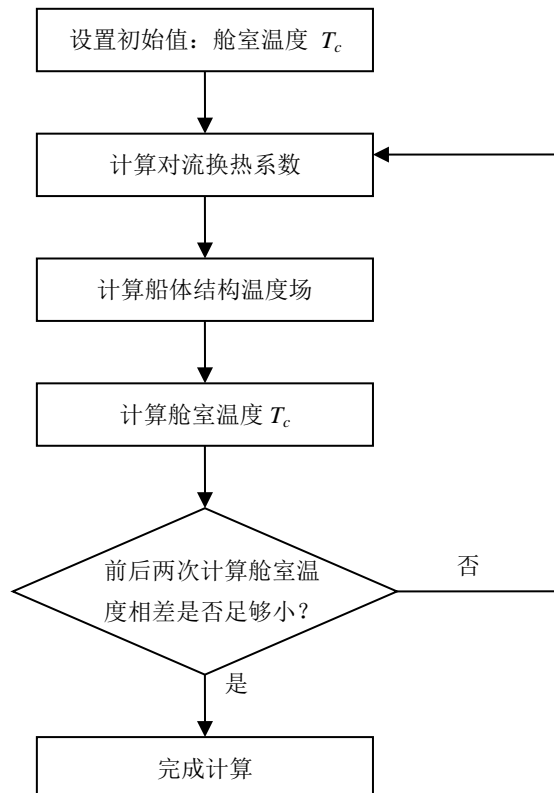


图 1.2.2 舱室内空气温度的计算流程

## 附录 3B 计算名义日蒸发率

### 1 一般规定

1.1.1 液货舱内液化天然气名义日蒸发率的计算及校核应基于船体温度场计算结果。

### 2 计算工况

2.1.1 在计算名义日蒸发率时,船体温度场计算的传热形式应参考本附录 3 的 3.2.1 的要求,并需充分考虑各种传热方式,如本附录 3 的 3.2.1 (4) 和 3.2.1 (5) 的规定要求。

2.1.2 计算工况应参考本附录 3 的 3.3.1 (2) 的规定。

### 3 计算方法

3.1.1 名义日蒸发率  $BOR$  按下式计算:

$$BOR = \frac{86400Q}{\gamma\rho V} \times 100\%$$

其中:  $Q$ ——稳态条件下 LNG 船液货舱内液化天然气与外界热交换的总热流量, W。

$\gamma$ ——液化天然气的蒸发潜热, J/Kg, 如缺少具体数值, 可取为  $5.1 \times 10^5$  J/Kg;

$\rho$ ——液化天然气的密度, Kg/m<sup>3</sup>;

$V$ ——液货舱实际的最大装载舱容, m<sup>3</sup>。

3.1.2 热流量  $Q$  可通过下述数值计算方法得到:

(1) 对一个与液化天然气接触的体单元面, 读取其相关联的各节点热流密度, 取其平均值  $q_i$ , 与此体单元面面积  $A_i$  的乘积即为此单元上的热流量  $Q_i$ , 即  $Q_i = q_i A_i$ , 如图 3.1.2 所示。

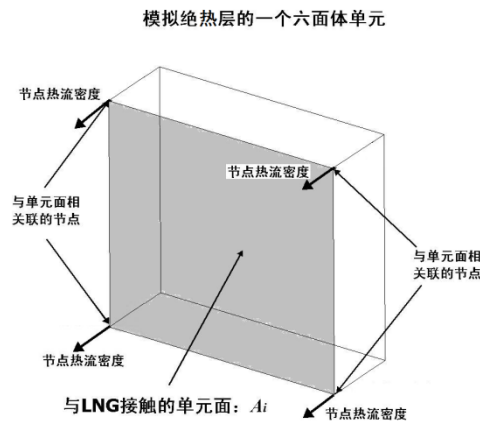


图 3.1.2 热流量的计算

(2) 将所有与液化天然气接触的体单元面的  $Q_i$  累加, 即可得到:  $Q = \sum_i Q_i$ 。

### 4 计算结果衡准

4.1.1 一般情况下,各温度工况下名义日蒸发率值的合理范围应在 0.10%至 0.15%之间。对于大型化薄膜型液化天然气运输船,  $BOR$  之值靠近其下限, 较小者则反之。

4.1.2 最大名义日蒸发率限制值由货物围护系统设计者提供并保证。

## 附录4 整船结构强度直接计算

### 1 一般规定

#### 1.1 一般要求

1.1.1 具有4个及以上液货舱或船长大于200m的薄膜型液化天然气运输船舶，应按本附录进行整船直接计算强度评估。

1.1.2 本附录中的整船分析基于动态载荷方法，整船分析的波浪载荷根据设计装载工况，通过水动力直接计算得到，以尽可能地真实反映船舶在海上航行时遭遇到的各种极端海况，结构分析采用整船有限元模型进行。

#### 1.2 整船直接计算强度评估分析流程

1.2.1 整船直接计算强度的分析流程见图1.2.1，主要包括如下步骤：

- (1) 从装载手册中选取实际装载工况，静载荷由选取的装载工况确定；
- (2) 针对每一选取的装载工况，进行相应的水动力分析，得到各控制载荷参数（见3.3.2）的传递函数；
- (3) 根据海况资料进行长期预报，得到控制载荷参数的极值；
- (4) 根据控制载荷参数极值确定等效设计波；
- (5) 根据设计波进行水动力计算，得到波浪载荷；
- (6) 对静载荷和动载荷进行合成，并进行波面修正，得到用于有限元计算的载荷值；
- (7) 进行整船有限元模型建模，并调整模型质量特性，使其反映实船质量分布；
- (8) 进行细化模型建模，可采用嵌入方法或子模型方法；
- (9) 进行结构分析及结果检查，包括整体及局部变形、支反力等；
- (10) 进行屈服强度评估；
- (11) 进行屈曲强度评估；
- (12) 针对设计修改的再分析（如需要）。

其中(1)~(6)为载荷计算部分，对该部分内容的详细描述见本附录3和4；(7)~(12)为结构分析部分，该部分内容的详细描述见本附录2和5。



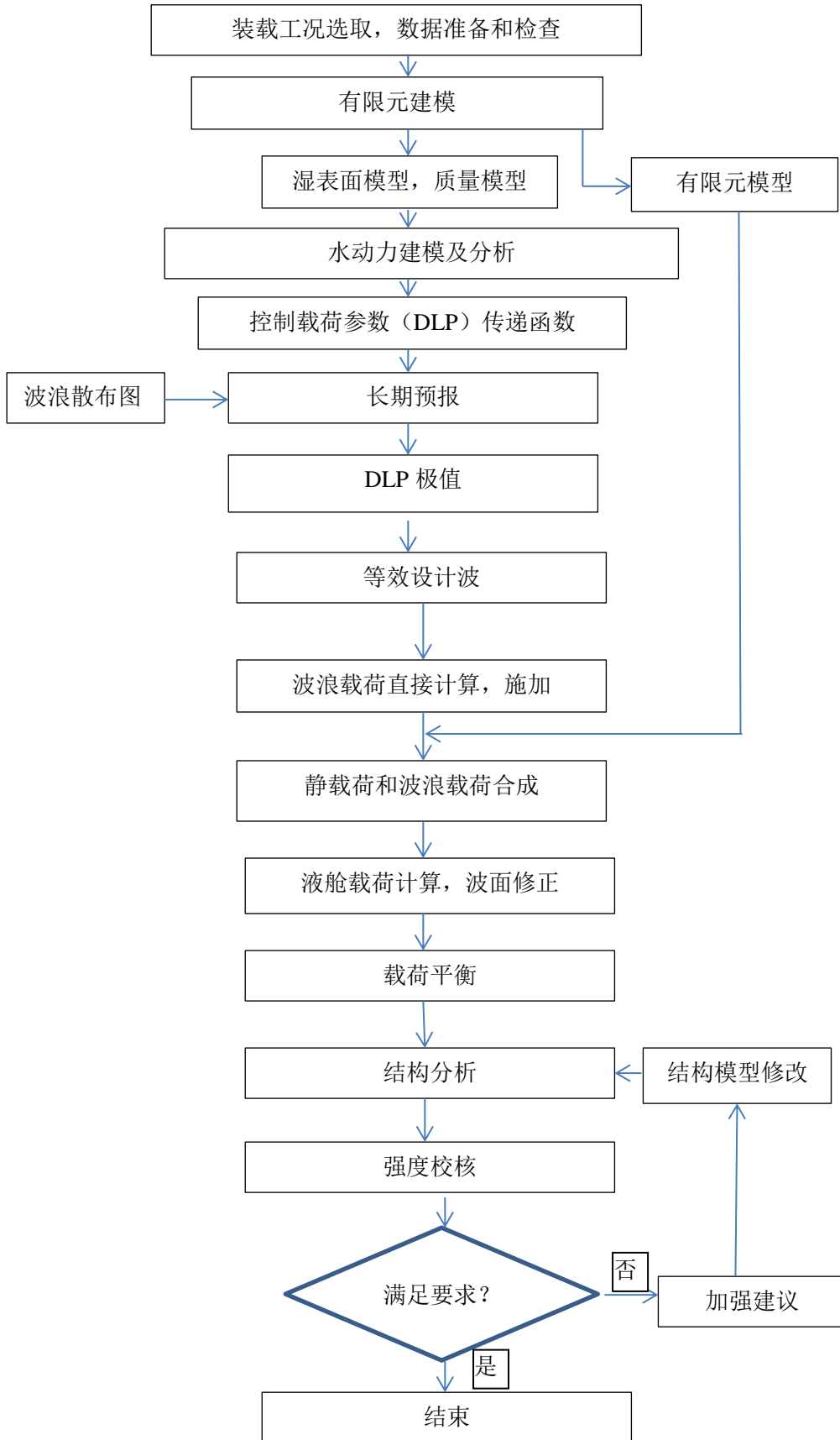


图 1.2.1 整船分析流程图

## 2 有限元模型

### 2.1 整船模型

2.1.1 整船模型应包括所有主船体结构、凸形甲板及甲板室结构。

2.1.2 船体的内外壳板、平面舱壁和强框架、纵桁、及其桁材腹板用板单元模拟，有限元网格按纵骨/扶强材间距进行划分。纵骨、扶强材及主要构件的面板用梁单元模拟，并考虑偏心的影响。主要构件腹板在高度上应至少划分为3个单元。

2.1.3 有限元模型尺度基于船体结构的建造尺寸。

2.1.4 为正确施加惯性力，有限元模型应能反映船体结构及设备的实际质量特性，包括质量、质心及质量分布。设备或小液舱内液体可以用质量单元模拟，但这些质量单元应与船体结构有效连接，且不应改变船体结构的刚度。

### 2.2 细化模型

2.2.1 对于高应力的关键区域，应进行局部细化网格分析，分析可采用子模型方法或嵌入方法。

2.2.2 根据总体分析的结果选择关键区域开展局部细化网格分析。关键区域包括以下部位（见图 2.2.2（1）和图 2.2.2（2））：

- (1) 横框架折角处；
- (2) 双层底纵桁与横舱壁相交处；
- (3) 舷侧纵桁与横舱壁相交处；
- (4) 凸形甲板前后端过渡肘板趾端；
- (5) 甲板室与凸形甲板连接处附近的纵壁上的开孔；
- (6) 第1货舱内壳纵舱壁的端部过渡区域；
- (7) 凸形甲板气室开口及纵向围板趾端（如有时）。

对于上述区域，粗网格的应力超过许用应力的85%时，应进行细化分析。对于其他区域，粗网格的应力超过许用应力的95%时应进行细化分析。

2.2.3 细化区域网格的尺寸应不大于  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ ，对细化网路的具体要求可参见本章附录1的4.4。

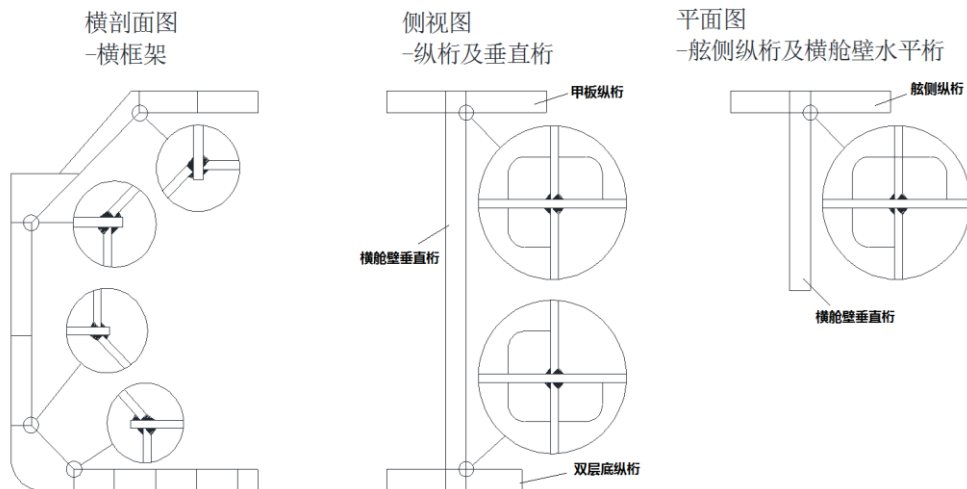


图 2.2.2 (1) 货舱结构细化区域

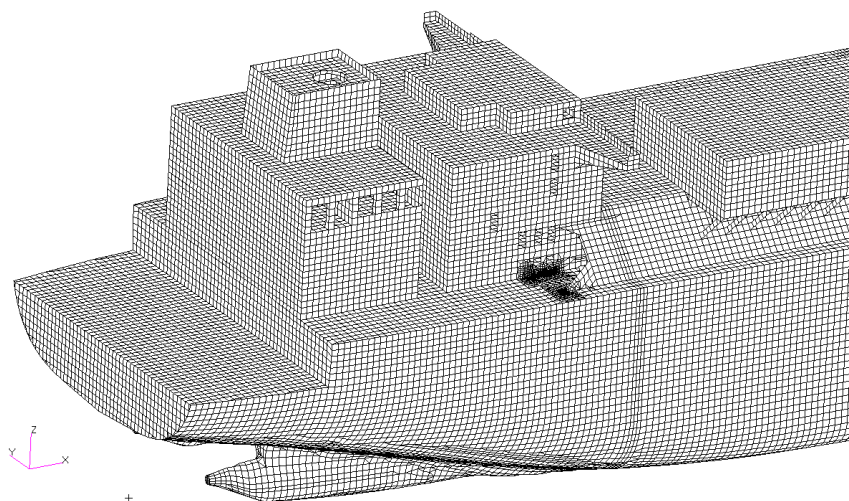


图 2.2.2 (2) 凸形甲板后端及甲板室开口

### 3 计算工况

#### 3.1 计算工况

3.1.1 每一计算工况由装载工况和波浪工况组成。

#### 3.2 装载工况

3.2.1 装载工况从装载手册选取，一般应包括：

- (1) 满载（最大设计货物密度）；（F）
- (2) 正常压载；（B）
- (3) 一舱为空（如有时）；（V1、V2...）
- (4) 相邻两舱空（如有时）。（V12、V23...）

同时还应考虑装载手册中出现的其他更不利的装载工况。

#### 3.3 波浪工况

3.3.1 船舶在海上航行时将受到各种波浪载荷（海水动压力、惯性力、液舱压力等）的作用，这些载荷一起形成一个动态的空间力系。用载荷参数来描述这些载荷作为一个整体的某一特性，如船中弯矩、 $1/4L$ 处剪力、船首加速度、横摇角等。

3.3.2 当某一载荷参数达到极值时，船舶将受到极端波浪载荷作用，该工况可能为危险工况。应根据不同的船型，选取特定的载荷参数来确定所计算的波浪工况，其中，达到极值的载荷参数作为控制载荷参数。

3.3.3 波浪载荷通过其控制载荷参数确定的等效设计波生成。因此，等效设计波使控制载荷参数达到极值，同时也确定了作用在船体上的所有其他波浪载荷。

3.3.4 在薄膜型液化天然气运输船的整船分析中，波浪工况应分别考虑以下波浪控制载荷参数：

- (1) 垂向波浪弯矩（中拱、中垂），简称 BM；

- (2) 垂向波浪剪力 (+/-)，考虑沿船长  $0.25L$  和  $0.75L$  两个位置，简称 SFA、SFF；
- (3) 船首垂向加速度 (向上/向下)，计算点取 1 货舱前舱壁与中纵线面的交线顶端，简称 VA；
- (4) 船首横向加速度 (向左/向右)，计算点同 (3)，简称 TA。

### 3.4 工况组合

3.4.1 计算工况由装载工况和波浪工况组成，根据本附录 3.2 和 3.3 所确定的装载工况和波浪工况，计算工况组合见表 3.4.1。

计算工况 表 3.4.1

载荷控制参数 装载工况	船中弯矩	1/4L 处剪力	3/4L 处剪力	船首垂向加速度	船首横向加速度
满载	F_BM	F_SFA	F_SFF	F_VA	F_TA
压载	B_BM	B_SFA	B_SFF	B_VA	B_TA
一舱为空	V1_BM	V1_SFA	V1_SFF	V1_VA	V1_TA
	V2_BM	V2_SFA	V2_SFF	V2_VA	V2_TA
	...	...	...	...	...
相邻两舱为空	V12_BM	V12_SFA	V12_SFF	V12_VA	V12_TA
	V23_BM	V23_SFA	V23_SFF	V23_VA	V23_TA
	...	...	...	...	...

注：工况名称中的符号定义见 3.2.1 和 3.3.4。

## 4 计算载荷及边界条件

### 4.1 载荷成分

4.1.1 载荷分为静载荷和波浪载荷。

4.1.2 静载荷由选取的装载工况确定，包括船体和备品的重力、舷外静水压力、液舱静压力。

4.1.3 波浪载荷根据等效设计波通过直接计算得到，包括船体和备品的惯性力、海水动压力、液舱动压力。

### 4.2 水动力分析及传递函数

4.2.1 应采用三维势流程序进行水动力分析，以计算船体在波浪上的响应。计算中应考虑自由液面对初稳性高度的修正。计算中应考虑横摇运动的粘性阻尼，其值可通过试验或半经验公式得到。当无相关资料时，可取 5%~10% 的临界阻尼。

4.2.2 水动力分析的各质量模型应能反映相应装载工况的实船质量特性；水动力网格应反映实际的船体外壳形状及船舶的浮态（吃水、纵倾、横倾）。

4.2.3 为了准确地将重力及惯性力施加在有限元模型上，应调整有限元模型的质量特性，使其能反映实船的质量分布。水动力分析中的质量模型应采用上述经过质量调整的全船有限元模型。设计初期也可采用能准确模拟实船质量特性的简化模型。

4.2.4 水动力分析中应计算 3.3.4 所述的控制载荷参数的传递函数。为进行波浪长期预报分析以确定控制载荷参数极值，水动力分析时应计算船体可能历经波浪的浪向角和频率下的传递函数。输入波浪参数为：

(1) 波浪频率：范围 0.2~1.5rad/s，步长 0.05rad/s；

(2) 浪向角：范围 0°~180°，步长 15°。

4.2.5 若采用时域方法的水动力分析时，应通过适当方法将时间历程转换成传递函数，其中，应选取达到稳定状态后的时间历程进行转换。

4.2.6 从各控制载荷参数的传递函数中，选取出现最大值的频率-浪向角组合来确定设计波。一般来说，垂向弯矩和垂向剪力的传递函数最大值出现在迎浪状态下，横摇角、最大垂向加速度和最大横向加速度的最大值出现在横浪或斜浪的情况下。

### 4.3 海况资料及载荷预报

4.3.1 海况资料采用 IACS REC.34 给出的散布图及波浪谱。

4.3.2 控制载荷参数极值根据其传递函数通过长期预报得到。进行控制载荷参数长期预报时，一般取  $10^{-8}$  超越概率。

4.3.3 进行长期预报时，采用短峰波，能量扩散函数取余弦的平方。

4.3.4 考虑到极限海况下的营运实践经验，对于水平及垂向加速度、横摇角进行预报时，可取超越概率  $10^{-6.5}$ 。

### 4.4 等效设计波

4.4.1 每一波浪工况都有其相对应的等效设计波。4.2.6 确定的等效设计波将使控制载荷参数达到其极值，并同时确定该工况下的其他波浪载荷。等效设计波通过浪向角、波长、相位及波幅来定义。

4.4.2 等效设计波的浪向角和波长取使控制载荷参数的传递函数达到最大值的组合，等效设计波的相位取该传递函数达到极值的相位。

4.4.3 满载状态下，直接计算确定的垂向波浪中拱弯矩的设计波波幅可基于本篇第 2 章 2.2.3.1 的波浪中拱弯矩进行调整，使其弯矩值相当。据此得到的设计波波幅可以作为其他装载状态下中拱设计波的波幅，以及各装载状态下中垂设计波的波幅。

4.4.4 除 4.4.3 所述外，设计波波幅通过控制载荷参数极值除以其传递函数最大值得到。

4.4.5 用于结构分析的各波浪载荷（海水动压力、惯性力等）根据设计波来确定。

4.4.6 对于波浪动载荷和惯性力，在有限元模型上直接施加通过上述方法得到的相应载荷值。波浪动压力通过正法向压力的形式施加到外壳上，惯性力通过加速度场和质量分布方法施加到有限元模型上。

### 4.5 液舱内部压力

4.5.1 计算液舱内部压力时应考虑蒸汽压力、重力、运动及加速度的影响。当采用线性水动力分析时，船舶的姿态（横摇角、纵摇角）引起的重力水平分量在加速度中未予考虑。此时需要在计算液舱压力时计入该加速度分量的影响。

4.5.2 计算液舱压力时，首先应根据加速度以及船的姿态（横摇角、纵摇角）计算出加速度矢量，并据此得到液舱压力计算参考点的位置。根据矢量和参考点，可计算任一点的压力。平面示意图见图 4.5.2，实际计算中考虑三个方向矢量的合成。

4.5.3 加速度根据水动力计算结果在舱室中心点位置计算得到。对于两边均为液舱的舱壁，则分别根据其舱室情况进行加载。

4.5.4 考虑静载荷及波浪载荷，合成后的液舱压力根据下式计算：

$$p = p_0 + \rho h \left[ (g + a_v)^2 + (g_T + a_T)^2 + (g_L + a_L)^2 \right]^{1/2} \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

式中：  $p_0$  ——设计蒸气压力，MPa；

$\rho$  ——液体密度， $t/m^3$ ；

$h$  ——压力计算点距离液舱压力计算参考点的距离，m；

$a_v$  ——所计算舱室中心的垂向加速度， $m/s^2$ ；

$a_T$  ——所计算舱室中心的横向加速度， $m/s^2$ ；

$a_L$  ——所计算舱室中心的纵向加速度， $m/s^2$ ；

$g_T$  ——由于船舶的横摇引起的重力加速度在船坐标系下的横向分量， $m/s^2$ ；

$g_L$  ——由于船舶的纵摇引起的重力加速度在船坐标系下的纵向分量， $m/s^2$ 。

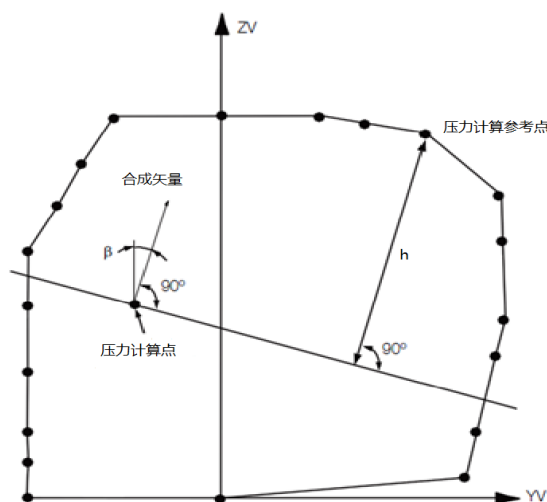


图 4.5.2 液舱压力计算方法

#### 4.6 载荷的平衡调整

4.6.1 在上述各载荷的作用下，整船有限元模型应处于总力系的动态平衡状态。

4.6.2 在结构计算前，应计算模型中各方向上的不平衡力和力矩，并通过适当方法进行平衡调整，比如，一般可通过浮态调整的方法消除上述不平衡力和力矩。

#### 4.7 边界条件

4.7.1 由于模型处于平衡状态，结构分析时仅需设置约束其六个自由度刚体位移的边界条件即可，如图 4.7.1 所示：

- (1) 尾端节点 1，约束横向线位移；
- (2) 首端节点 2，约束三个方向线位移；
- (3) 尾封板左右两侧节点 3 和 4，约束垂向线位移。

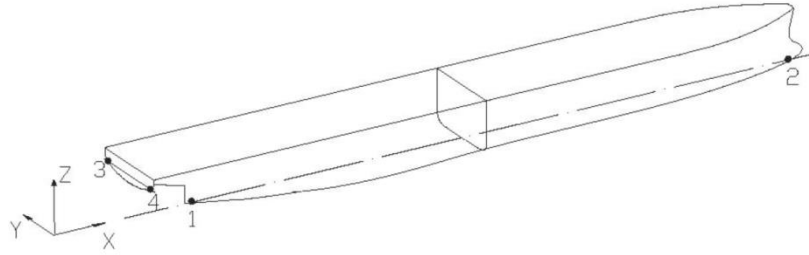


图 4.7.1 边界条件示意图

## 5 强度评估衡准

### 5.1 屈服强度

5.1.1 屈服强度衡准如下：

$$\sigma \leq [\sigma]$$

式中： $\sigma$ ——工作应力，对板单元，取单元中心的 Von Mises 相当应力；对梁单元，取轴向应力， $\text{N/mm}^2$ ；

$[\sigma]$ ——许用应力， $\text{N/mm}^2$ ，按下式计算：

$$[\sigma] = \lambda_y \times \frac{223}{K}, \text{ 对粗网格}; \quad [\sigma] = \lambda_y \times \frac{357}{K}, \text{ 对细化区域};$$

式中： $K$ ——材料系数；

$\lambda_y$ ——见表 5.1.1。

$\lambda_y$

表 5.1.1

构件	$\lambda_y$
船底板、内底板、横舱壁板	0.8
甲板板、舷侧及内壳板、底边舱斜板板、艏部板、水密肋板及桁材	0.9
所有非水密构件的板、主要构件的面板	1
上述构件之外的其他构件	1

### 5.2 屈曲强度

5.2.1 屈曲强度校核参照本章附录 1 对船体结构的屈曲强度校核的规定。



中国船级社

# 钢质海船入级规范

2018年修改通报

第3篇 轮机



## 目 录

第1章 通 则.....	
第2节 一般规定.....	2
第3节 布 置.....	2
第2章 泵与管系.....	
第1节 一般规定.....	2
第3章 船舶管系与舱室通风系统.....	
第10节 空气、溢流与测量管.....	3
第4章 动力管系.....	
第2节 燃油管系.....	3
第8节 热油系统.....	3
第5章 油船管系.....	
第6节 货油舱透气装置.....	4
第6章 锅炉与压力容器.....	
第2节 设计与制造.....	4
第5节 热油加热器.....	4
第9章 柴 油 机.....	
第2节 柴油机部件检验、试验及发证.....	6
第7节 附 件.....	6
第9节 应急柴油机的报警与安全保护.....	6
附录2 电控柴油机指南.....	6
附录3 柴油机曲轴强度评定.....	7
附录5 柴油机认可与发证.....	29
附录8 曲轴箱油雾探测及报警装置型式试验程序.....	29
第10章 齿轮传动装置.....	
第1节 一般规定.....	30
第3节 设计与构造.....	30
附录1 齿轮强度评定.....	30
1 一般规定.....	30
第11章 轴系与螺旋桨.....	
第3节 轴系传动装置.....	31
第13章 操舵装置与锚机装置.....	
第2节 锚机装置.....	31
第16章 小船与有限航区船舶轮机补充规定.....	
第1节 一般规定.....	34
第2节 轮机装置补充规定.....	34

# 第1章 通则

## 第2节 一般规定

### 1.2.1 环境条件

1.2.1.1 主、辅机和轴系传动装置，以及与船舶入级有关的机械设备，其设计、选型和布置均应符合表 1.2.1.1 中船舶倾斜角的规定，以保证其能正常运转。考虑到船舶的类型、尺寸和营运情况，可采用较小的倾斜角。

船舶倾斜角

表 1.2.1.1

装置和设备	倾斜角 <sup>①</sup> (°)			
	横向		纵向	
	横倾	横摇	纵倾	纵摇
主机和辅机	15	22.5	5 <sup>②</sup>	7.5
安全设备： 如应急发电机装置、应急消防泵及其驱动装置	22.5 <sup>③</sup>	22.5 <sup>③</sup>	10	10

注：①横向和纵向倾斜可能同时发生。

②当船舶长度大于 100m 时，纵倾倾斜角可取  $500/L$ ，式中  $L$  为船舶总长度，m。

③装运液化气体、化学品的船舶，其应急电源还应在船舶进水以致于最终横倾达 30°的极限状态下能保持供电。

### 1.2.4.4 主推进系统应经试验验证倒车响应特性。

试验至少覆盖推进系统整个操纵范围并从所有控制位置上实施。船厂应提供试验大纲，该试验大纲应经验船师同意。试验大纲还应包括制造商的特殊操作特性规定（如有）<sup>①</sup>。

### 1.2.4.5 推进装置的倒车特性，包括可调桨的桨叶螺距控制系统，应在试航中验证与记录<sup>②</sup>。

## 第3节 布置

1.3.2.1 当在机器处所二层及以上平台甲板上设有锅炉，而且锅炉间未用水密舱壁与机器处所隔开时，锅炉所在的平台甲板应设置 200mm 高的围板以防可能泄漏的油污水蔓延滴落至下层。该区域的油污水可以泄放到舱底。泄放柜不可构成溢流系统的组成部分。

# 第2章 泵与管系

## 第1节 一般规定

### 2.1.4 设计温度

2.1.4.1 设计温度应取管内流体的最高温度，但不低于 50℃。

<sup>①</sup> 本条内容适用于：

(1) 2018 年 7 月 1 日及以后签订建造合同的船舶。

(2) 2018 年 7 月 1 日及以后，上述 (1) 之外船舶的倒车试验应符合本规范第 1 篇第 5 章 5.9.4.10 的相关要求。

<sup>②</sup> 同上述 <sup>①</sup>。

管系等级

表 2.1.5.1

管系	I 级		II 级		III 级	
	设计压力 >P <sub>2</sub> (MPa)	设计温度 >T <sub>2</sub> (°C)	设计压力 ≥ ≤P <sub>2</sub> (MPa)	设计温度 ≥ ≤T <sub>2</sub> (°C)	设计压力 ≥P <sub>2</sub> ≤P <sub>1</sub> (MPa)	设计温度 ≥T <sub>2</sub> ≤T <sub>1</sub> (°C)
蒸汽	>1.6	或>300	≤1.6	和≤300	≤0.7	和≤170
热油	>1.6	或>300	≤1.6	和≤300	≤0.7	和≤150
燃油、滑油、可燃液压力油	>1.6	或>150	≤1.6	和≤150	≤0.7	和≤60
其他介质	>4.0	或>300	≤4.0	和≤300	≤1.6	和≤200

### 第 3 章 船舶管系与舱室通风系统

#### 第 10 节 空气、溢流与测量管

##### 3.10.2 空气管的布置

3.10.2.2 顶板的长度或宽度不小于 7m 的舱柜，应设 2 根或多根空气管，其间距应当适当；如特殊情况无法布置，则在确保有效透气的情况下可以接受 1 根空气管。如舱柜顶部形状特殊或不规则时，则空气管的数目和位置应根据实际情况来决定。

### 第 4 章 动力管系

#### 第 2 节 燃油管系

##### 4.2.5 燃油布置及燃油舱柜

4.2.5.5 燃油舱柜尽可能成为船体结构的一部分，并尽可能位于 A 类机器处所之外。除双层底舱柜外，其他燃油舱柜如必需与 A 类机器处所相邻或位于 A 类机器处所之内时，至少他们的垂直侧面之一应连续于该机器处所限界面，并最好与双层底柜具有共同的限界面并且与机器处所共同的限界面的面积保持最小。

当上述舱柜位于 A 类机器处所之内时，不应用它们盛装闪点(闭杯试验)低于 60°C 的燃油。

一般情况下，应避免使用孤立架设的燃油柜，但如在客船上使用这种油柜时，则不应位于 A 类机器处所之内。如准许使用时，则该油柜下应设置足够大小的油密溢油盘，此盘应有能导至适当尺寸的溢油柜的适当排泄管。

#### 第 8 节 热油系统

##### 4.8.4 布置

4.8.4.6 热油管路和泵吸系统应符合本章第 2 节的有关规定。为热油膨胀柜补充热油的泵，可仅设一台。

## 第5章 油船管系

### 第6节 货油舱透气装置

#### 5.6.1 一般要求

5.6.1.1 每个货油舱均应设有透气装置，以限制货油舱内的压力或真空度。货油舱的透气管不应与其他舱柜的空气管相连接。透气装置应具有如下的功能：

- (1) 在货油装卸和驱除油气的过程中，使大量的气体通过本装置进出货油舱；
- (2) 在正常航行中，由于温度变化，使少量的油气排出货油舱或少量的空气进入货油舱；
- (3) 应设有一套允许蒸气、空气或惰性气体混合物充分释放的辅助设施以替代本条(1)装置失效时之用。如果本节 5.6.2.2 条要求的隔断装置发生损坏或误关闭时，辅助设施应能防止超压或欠压。作为替代，可按本节 5.6.1.1(1)要求布置进行保护的每一液货舱中设置压力传感器。传感器的监测系统应布置在货物控制室或通常进行货物操作位置处。监测设备还应备有通过对液货舱内过压或真空状况进行探测报警的报警装置。

#### 5.6.2 透气系统及压力真空系统

5.6.2.2 透气管及压力真空阀的竖管应自货油舱的最高部位引出。当自每一货油舱(或几个货油舱)引出的管子集中于1根总管时，则应在各舱与总管之间的连接管上装设隔断装置。如货油舱未装有单独的压力真空阀时，则应有当支管被隔断时仍能维持舱内呼吸的设施。如与公共透气装置隔离的货油舱或货油舱组在装货和压载或卸载，这些货油舱或货油舱组应装有本节 5.6.1.1(3)要求的1套过压或低压保护装置。隔断装置应能在装载和压载或卸载过程中，使大量蒸汽、空气或惰性气体混合物能够继续通过。

#### 5.6.4 透气管出口的高度和位置

5.6.4.2 本节 5.6.1.1(2)规定的压力释放开口应按照本节 5.6.4.1 的要求布置。为：—

—(1) 其位置应高于货油舱甲板尽可能大的高度，以获得可燃蒸气的最大扩散，但应不高于货油舱甲板之上 2m；—

(2) 应布置在距含有着火源的围蔽处所的最近进气口和开口，以及可能构成着火危险的甲板机械和设备尽可能远的地方，其距离均应不小于 5m。压力释放开口应按照本节 5.6.4.1 (1) 和 (2) 布置。—

## 第6章 锅炉与压力容器

### 第2节 设计与制造

#### 6.2.13 防止烟灰积聚

6.2.13.1 如废气锅炉或经济器的设计（例如采用扩展换热表面的锅炉管）可能产生烟灰积聚，导致发生火灾或流阻过大的风险，则应采取有效的措施予以控制，如安装有效的烟灰清洗系统、废气旁通等。

6.2.13.2 除船旗国有特殊要求外，烟灰清洗系统工作时产生的洗涤水应泄放至合适的舱柜中，并采取必要的措施防止水流入柴油机内。

### 第5节 热油加热器

6.5.4.6 热油加热器应按如下要求装设泄漏监测装置：

(1) 燃油式热油加热器筒体内应设有泄漏探测器，当探测到热油泄漏时，停止燃烧器工作，并限制燃烧器起动。如热油加热器处于准备起动状态，当探测到热油泄漏时，应限制燃烧器起动；

---

(2) 废气式热油加热器筒体内应设有泄漏探测器，当探测到热油泄漏时触发报警。

6.5.4.6.7 废气式热油加热器加热表面应设有固定式灭火装置和冷却降温系统。如为此装设压力水雾系统，则应符合下列规定：

- (1) 水雾系统喷水量应为每平方米加热面积每分钟不小于 3.55.0L。并应有至少可喷洒 20min 的水源；
- (2) 喷嘴的布置应将所要求的水量喷洒到整个加热表面上；
- (3) 加热器下面的废气管道应设有适当的积水和泄水装置，以防水流入柴油机内；
- (4) 操作水雾系统所需的所有阀和泵起动装置应安装在一个易于接近的位置，该位置应距废气加热器有一定的安全距离，以便在加热器起火时工作人员可操纵该系统；
- (5) 在该系统的操纵位置应永久性地展示简明的操作说明。

# 第9章 柴油 机

## 第2节 柴油机部件检验、试验及发证

表 9.2.2.1

部件	材料性能 <sup>1) 5)</sup>	无损检测 <sup>2) 5)</sup>	液压试验 <sup>5)</sup>	尺寸检查(含表面状况)	目视检查	适用发动机
----	-----------------------	-----------------------	--------------------	-------------	------	-------

注:

- 1) 材料性能包括化学成分、机械性能, 以及表面硬化(硬度、深度和范围)、锤击、滚压(范围和压力)等表面处理。
- 2) 无损检测包括超声波检测、磁粉和着色渗透裂缝检测。
- 3) 空气冷却器仅需水侧进行试验。
- 4) 对于充装冷却水和具有容纳气缸或气缸套冷却水功能的部件, 也需要进行液压试验。
- 5) ~~零部件的材料机械性能试验、磁粉和着色渗透检测、液压试验需验船师见证。~~

## 第7节 附 件

9.7.2.1 气缸直径大于 230mm 的柴油机, 每个气缸盖上应装有安全阀或等效的防止气缸超压的措施, 安全阀应在不超过 1.4 倍最大燃烧压力时开启。安全阀排气口的位置应使排出的气体不致造成危害。对于没有安装气缸安全阀的辅机, 应装设可靠的气缸超压报警装置。

## 第9节 应急柴油机的报警与安全保护

9.9.2.2 不管柴油机的输出功率大小, 船舶航行过程中当柴油机处于自动或遥控方式时, 除表 9.9.2.5 规定的超速保护停车以外, 其他的停车保护安全设置(如设有)都应自动被越控。

## 附录 2 电控柴油机指南

### 2 设计与安装

2.1.3 拟用于单主机推进系统的电控柴油机, 其燃油和液压油系统应分别设有至少 2 台燃油压力泵和 2 台液压油压力泵, 当所有泵同时工作时应能保证主推进柴油机输出最大持续功率, 当其中任 1 台燃油压力泵和/或 1 台液压油压力泵失效时, 其余的泵仍能保证主推进柴油机能输出保持船舶正常航行所需要的功率(不小于 70%最大持续功率), 所有泵应连接妥当随时可用。对于拟用于多主机推进系统的电控柴油机, 每台柴油机应至少设有 1 台燃油压力泵和 1 台液压油压力泵, 保证柴油机能输出最大持续功率; 并设有 1 台能供立即使用的共用备用泵或备有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵。

---

## 附录3 柴油机曲轴强度评定

### 2 曲轴疲劳强度校核 (IACS)

#### 2.4 应力集中系数的计算

##### 2.4.1 一般要求

(6) 如有可靠的测量和/或计算方法,可以直接评估应力集中系数 (SCF),相关文件和分析方法应提交 CCS,以证明所采用的 SCF 计算方法等效于现有规范要求。当曲轴的结构尺寸超出了 2.4.1(8)、(9)、(10) 规定的适用范围,可采用 2.4.5 和本附录附件 III 规定的方法计算应力集中系数。

##### 2.4.5 有限元方法计算应力集中系数

###### (1) 一般要求

本附录 2.4.2、2.4.3 和 2.4.4 所规定的曲轴圆角 SCF 计算公式,是基于对各种结构尺寸的曲柄进行试验测量而得到的经验公式,因而这些公式的应用范围受曲轴结构尺寸的限制。如曲轴的结构尺寸超出了本附录 2.4.1(8)、(9)规定的适用范围,可采用有限元方法(FEM)计算主轴颈、曲柄销圆角处的应力,并与该处的名义应力相比得到相应的应力集中系数。当结合本附录原有的方法或其他方法一起使用时,应计算等效应力(弯曲工况)和主应力(扭转工况)。

本节规定的程序及评估方法适用于整体曲轴和半组合曲轴(主轴颈圆角除外),~~油孔出口应力集中系数的计算暂不考虑。~~

2.7.2 如果曲轴采取表面处理,表面处理过程应经 CCS 认可。表面处理的圆角和油孔出口疲劳强度可按本附录附件 II 规定的方法进行计算。

2.7.3 作为替代方法,曲轴疲劳强度可以通过对全尺度曲柄(或曲轴)或对从全尺度曲柄抽出的样本进行试验测得,疲劳试验的结果应按本附录附件 I 的规定进行评估。任何情况下,~~抽取样本和曲轴疲劳强度评估的试验程序应提交 CCS 批准,提交内容应包含试验方法、样本类型、样本(或曲柄)编号、试验编号、试验取用值等。~~

---

## 附件 I 曲轴疲劳试验评估指南

### 目录

#### 1 引言

##### 1.1 小样试验

##### 1.2 全尺寸曲柄试验

#### 2 试验结果评估

##### 2.1 原理

##### 2.2 升降法

##### 2.3 修正升降法

##### 2.4 样本均值和标准偏差计算

##### 2.5 平均疲劳限值置信区间

##### 2.6 标准偏差置信区间

#### 3 小试样试验

##### 3.1 弯曲疲劳强度

##### 3.2 扭转疲劳强度

##### 3.3 其他试验位置

##### 3.4 试验结果修正

#### 4 全尺寸试验

##### 4.1 液压脉动

##### 4.2 激振试验机

##### 4.3 试验结果和曲轴可接受性

#### 5 现有结果用于相似曲轴



## 1 引言

疲劳试验主要分为两类：小试样试验和全尺寸曲柄试验。试验可以采取升降法或改进升降法，其他的统计评估方法也可以应用。

### 1.1 小样试验

对于圆角表面没有进行处理的曲轴，疲劳强度可以采用全尺寸曲柄提取的小样进行试验确定。如圆角附近的其他区域进行了表面处理，导致圆角产生残余应力时，则不能采用小样试验方法。

小样试验方法的优点是可以加工更多的样本数量，另外一个优点是：可以设计不同应力比（R-ratios）、不同载荷形式（如弯曲、扭转、轴向）、有/无缺口等各种试验。这对于临界平面准则所用的材料数据评估是必要的。

### 1.2 全尺寸曲柄试验

对于表面处理的曲轴，疲劳强度只能通过全尺寸曲柄疲劳试验确定。考虑到成本原因，全尺寸曲柄疲劳试验的样本数量一般不多，载荷（3点或4点弯曲布置）可通过液压执行器施加，或者通过共振试验台的激励器加载。后者虽然存在应力比限制（通常 $R=1$ ），但实际工作中经常使用。

## 2 试验结果评估

### 2.1 基本原理

疲劳试验前，曲轴应按质量控制程序的要求进行试验，包括化学成分、机械特性、表面硬度、硬化深度和扩展、圆角表面抛光等。

所准备的试验样本应能代表强化参数可接受范围的下限，比如对于感应淬火曲轴，取可接受硬化深度的较小值、通过圆角的扩展距离最短等。否则试验结果的平均值需要按一个置信区间进行修正，通常90%置信区间可用于样本均值和标准偏差的评估。

试验结果用于曲轴疲劳强度校核时，需要按考虑或不考虑90%置信区间两种情况对试验结果进行评估，用来代表平均疲劳强度。标准偏差应考虑90%置信区间，则可用的疲劳强度就是平均疲劳强度减去一个标准偏差之后得到的差值。

如评估是为了寻找机械特性和疲劳强度之间的关系，则评估应基于实测的机械特性而不是基于规定的特性最小值。

本附件中2.4提供了升降法疲劳试验的计算方法，考虑到没有专门用于改进升降法的类似算法，故改进升降法也可以使用该方法。

### 2.2 升降法

第一个试样将承受预期平均疲劳强度所对应的应力，经 $10^7$ 循环后如该试样仍然存活，则舍弃该试样，下一个试样承受的应力水平增加一级（较前一试样）继续试验。如果下一个试样承受应力水平增加一级后（较前一试样）总能存活下来，则应选择该应力增量对应标准偏差的预期水平。

如试样没有完成 $10^7$ 循环就发生了失效，则记下该试样完成的循环数，下一个试样承受应力水平降低一级（较前一试样）后进行试验。采用这种方法，失效次数和通过次数的和等于试样总数。

原始的升降法仅适用于可获得试样数比较多的情况，通过模拟发现：升降法试验时大约使用25个试样，试验结果才足够精确。

### 2.3 改进升降法

如可获得的试样数量有限时，建议应用改进升降法：第一个试样通常承受远低于平均疲劳强度的应力进行试验，当完成 $10^7$ 循环后如该试样存活下来，则承受应力增加一级，继续使用该试样进行试验。应选择该应力增量对应标准偏差的预期水平。

采用同一试样进行试验，直到该试样失效，然后记录该试样所完成的循环数，下一个试样承受应力水平至少降低两级（较前一失效试样）进行试验。

采用该方法，失效数通常等于试样数，通过数（完成 $10^7$ 循环）也等于试样数。

改进升降法得到的结果使用时需要注意，一些得到的试验结果表明：通过试样提高负载后继续试验，尤其是平均应力比较高时，可能会提高材料的疲劳限值。但对于高强度钢（如抗拉强度 $>800$  MPa）来说，这种“训练效果”并不显著。

如果需要或者有要进行置信计算，则试验试样数至少3个。

### 2.4 样本均值和标准偏差计算

以下以5个曲柄试验为例介绍样本均值和标准偏差的计算。当采用改进升降法和Dixon-Mood评估方

法时，样本数是 10，意味着 5 个样本通过 5 个样本失效，即：

样本数  $n=10$

另外，这种方法还存在以下两种情况：

(1) 样本失效次数少时， $C=1$ ；

(2) 样本通过次数少时， $C=2$ 。

该方法仅采用发生次数少的试验结果，比如，如果失效的次数多于通过的，则采用通过试样的试验结果，反之同样。

改进升降法中，通过次数和失效次数通常是相等的。但试验也可能会不成功，比如 1 个试样失效后，下一个试样应力水平降两级后进行试验时直接失效了，这种情况下通过次数可能小于失效次数。另一方面，如果试样已经进行了相当高的加载循环后发生了这种未预料的失效，也可以将下一级定义为通过。

试验样本比较少的情况下，可能会应用 Dixon-Mood 评估方法，该方法提供了几个简单的近似方程用于升降法试验结果的样本均值和标准偏差计算。

样本均值计算如下：

$$C=1 \text{ 时, } \bar{S}_a = S_{a_0} + d \cdot \left( \frac{A}{F} - \frac{1}{2} \right)$$

$$C=2 \text{ 时, } \bar{S}_a = S_{a_0} + d \cdot \left( \frac{A}{F} + \frac{1}{2} \right)$$

标准偏差计算如下：

$$s = 1.62 \cdot d \cdot \left( \frac{F \cdot B - A^2}{F^2} + 0.029 \right)$$

式中：

$S_{a_0}$  - 发生次数少的最低应力水平；

$d$  - 应力增量；

$$F = \sum f_i ;$$

$$A = \sum i \cdot f_i ;$$

$$B = \sum i^2 \cdot f_i ;$$

$i$  - 应力水平级数；

$f_i$  -  $i$  级应力的样本数。

标准偏差的公式是一个近似值，满足以下条件时可以使用：

$$(1) \frac{B \cdot F - A^2}{F^2} > 0.3 ;$$

$$(2) 0.5 \cdot s < d < 1.5 \cdot s .$$

如上述两个条件都不满足，需要考虑重新进行升降法试验，或者从安全角度考虑，取一个相对大的标准偏差。

如应力增量  $d$  比标准偏差  $s$  大很多，评估程序会导致一个更低的标准偏差和略微高一些的样本均值，两者都是与增量  $d$  和标准偏差  $s$  差值较小时的计算值相比。相应的，如果应力增量  $d$  远远小于标准偏差  $s$ ，评估程序会导致一个更高的标准偏差和略微低一些的样本均值。

## 2.5 平均疲劳限值的置信区间

如重复进行升降法疲劳试验，样本均值和标准偏差很可能与前面的试验有所不同。因此，样本均值采用置信区间，以确保重复试验的结果在给定置信度下会高于所选定的疲劳限值。

样本均值置信区间与未知方差之间呈  $t$  分布关系（也称学生  $t$ -分布），即在均值周围呈对称分布。

样本均值通常采用 90%置信度，表示 90%的重复试验样本均值将会高于按所选择置信度计算得到的值。图 I-2.1 是样本均值置信度  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  时的 t 值。

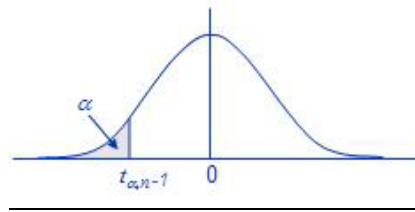


图 I-2.1 学生 t 分布

如果  $S_a$  是一个经验平均值，s 是 n 个样本得到的经验标准偏差，变量值呈正态分布，样本均值  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  置信区间按下式计算：

$$P\left(S_a - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} < S_{aX\%}\right) = 1 - \alpha$$

所得到的置信区间是样本经验均值周围的对称分布，下限值按下式计算：

$$S_{aX\%} = S_a - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

该值是平均疲劳限值（总体值），用来得到降低的疲劳限值（考虑了失效的概率）。

## 2.6 标准偏差置信区间

随机变量方差的置信区间呈卡方分布（chi-square distribution），具有 n-1 维自由度。

标准偏差置信度用于确保重复试验结果的标准偏差低于按置信度计算的疲劳试验标准偏差的上限值。图 I-2.2 是方差  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  置信度的卡方分布（chi-square distribution）。

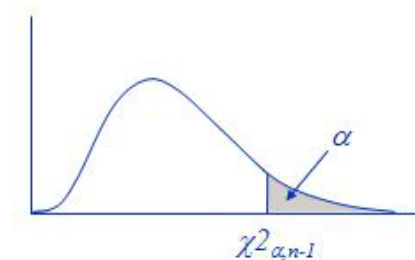


图 I-2.2 卡方分布（chi-square distribution）

假定 n 个样本的疲劳试验值是一个随机变量，方差为  $\sigma^2$ ，经验方差为  $s^2$ ，则方差的  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$  置信区间可按下式计算：

$$P\left(\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} < \chi^2_{\alpha, n-1}\right) = 1 - \alpha$$

$(1 - \alpha) \cdot 100\%$  置信区间的标准偏差计算如下：

$$S_{sX\%} = \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{\alpha, n-1}}} \cdot s$$

标准偏差（总体值）用于获得疲劳限值，该疲劳限值考虑了失效概率。

## 3 小样试验

小样是从曲柄上制取的一个样本。为了能代表圆角的疲劳强度，试样应从圆角附近提取，见图 I-3.1。

应确定小样试验时的主应力方向与全尺寸曲柄一致，建议采用有限元方法进行验证。  
曲柄材料的机械特性（静态）应按质量控制程序的规定测量。

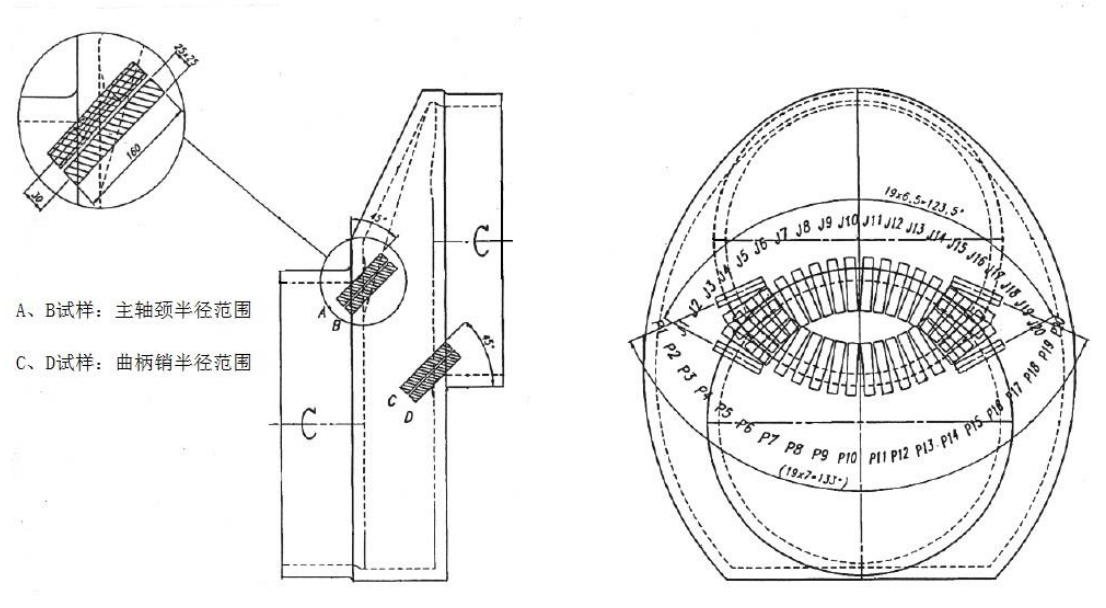


图 I-3.1 曲柄上的取样位置

### 3.1 弯曲疲劳强度

为了避免应力梯度造成的不确定性影响，建议采用未开缺口的试样进行试验。最好采用拉压试验方法（应力比  $R=-1$ ），但用于临界平面准则时，可以加入其它的应力比和方法。

为了确保拉压试验时小样的主应力方向能代表全尺寸曲柄主应力方向，在没有更多信息的情况下，试样应在  $45^\circ$  角位置制取，见图 I-3.1。

- （1）如试验是为了确定高洁净度的影响，可用周向大约  $120^\circ$  位置制取的试样，见图 I-3.1。
- （2）如试验是为了确定锻造连续晶粒流（cgf）的影响，则试样应在曲柄平面附近选取。

### 3.2 扭转疲劳强度

（1）如试样将进行扭转试验，应按上述弯曲疲劳强度的原则选取样本，评估时应考虑应力梯度影响。

（2）如试样进行推-拉试验，且没有更多信息的情况下，试样应在与曲柄平面成  $45^\circ$  角的位置选取，以确保试样和全尺寸曲柄主应力方向的共线性。当沿曲柄销/主轴颈圆角在偏离曲柄中平面一定距离的位置选取试样时，将曲柄中平面绕曲柄销/主轴颈中心点旋转一个角度，就可以在扭转导致的裂纹方向再次取样（试验结果应转换为扭矩相关值）。

### 3.3 其他试验位置

如试验的目的是确定疲劳特性，曲轴以可能形成连续晶粒流（cgf）的方式进行锻造，试样也可以从一个加长棒材纵向取样，和通常的机械特性试验取样棒材一样。该加长棒材应作为曲轴的一部分进行热处理，其尺寸应能保证淬火率与曲柄相似。

采用加长棒材制取的试样进行试验，试验结果应用时应考虑棒材内晶粒流对曲柄圆角的代表性。

### 3.4 试验结果修正

试样试验得到的疲劳强度应采用合适的方法修正到全尺寸曲轴对应的疲劳强度（尺寸影响）。

弯曲试验得到的弯曲疲劳特性结果使用时应注意：与非连续晶粒流锻造方式相比，连续晶粒流锻造会提高弯曲疲劳强度值，但对扭转疲劳强度的改善程度一般会不同。

这种情况，建议也进行扭转疲劳试验，或者对扭转疲劳强度进行保守评估（比如忽略连续晶粒流的作用）。使用 Gough Pollard 准则时该方法适用。但当采用 von Mises 准则或多轴准则（如 Findley）时，该方法不适用。

如发现弯曲和扭转疲劳强度比明显不同于  $\sqrt{3}$ ，则应考虑采用 Gough Pollard 准则代替 von Mises 准则。

如采用了临界平面准则，应切记：连续晶粒流会导致材料疲劳强度不均匀性，也就是说平面方向不同，材料特性是不同的。

应注意其他附加的影响因素，例如如果纯净钢添加了一定量的其它元素，可能就不必完全按连续晶粒流的  $K$  系数进行疲劳强度计算，可以直接通过连续晶粒流锻造曲柄的试样进行试验获得。

## 4 全尺寸试验

### 4.1 液压脉动

曲轴 3 点或 4 点弯曲和扭转试验可以在液压试验台上完成。液压试验台可以设计各种应力比  $R$  的疲劳试验。

试验开始前，施加载荷应通过光轴截面的应变测量进行验证，但载荷控制的试验期间不必验证。圆角应力也应通过应变仪进行检查。

试验台的布置应能满足本附录 2.4.5 (3) ①~③规定的边界条件。

材料的机械特性（静态）应按质量控制程序的规定进行试验确定。

### 4.2 激振试验机

激振试验台的弯曲疲劳试验应力比通常为  $-1$ ，由于接近共振状态，试验所消耗的能量适中。而且频率相对来说较高，几天就可以完成  $10^7$  个循环。图 I-4.1 给出了试验装置的布置图。

试验开始前，施加载荷应通过光轴截面的应变测量进行验证，圆角应力也应通过应变仪进行检查。

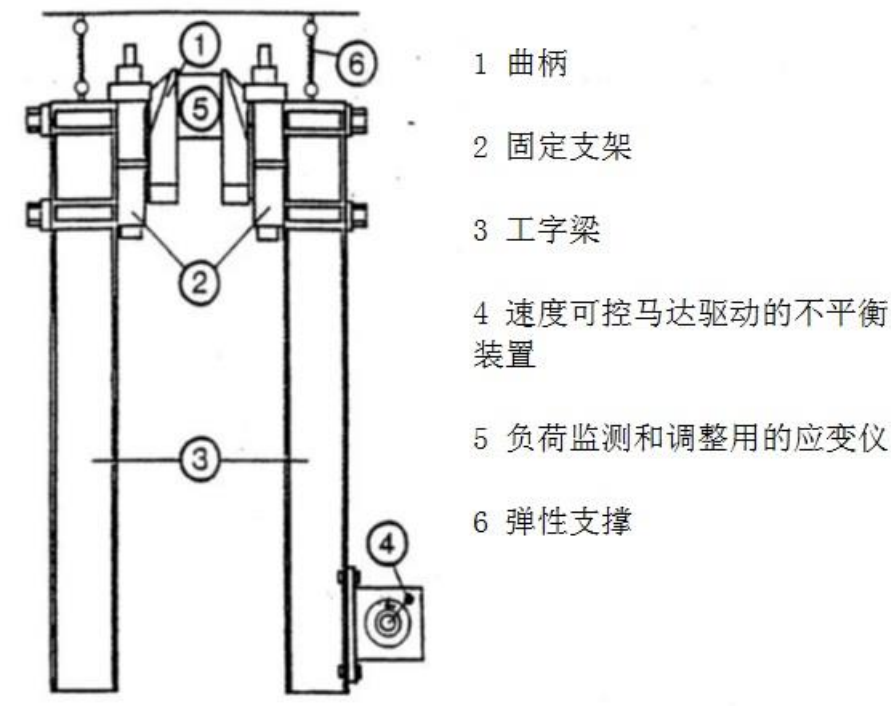


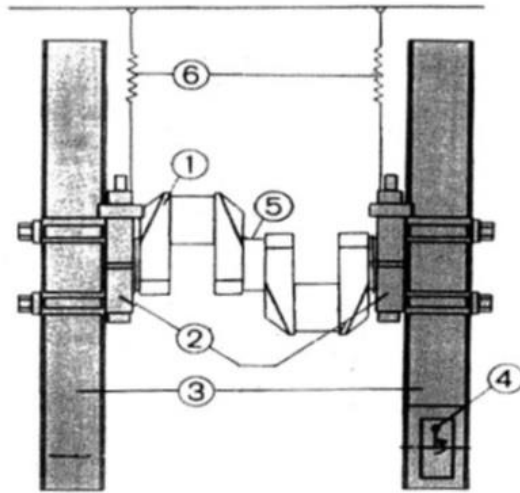
图 I-4.1 弯曲载荷激振机试验装置

使用夹具固定主轴颈时，应注意避免划伤，导致主轴颈在夹具边缘处发生破坏。主轴颈圆角和夹具之间留有一定距离，载荷满足 4 点弯曲并可代表了主轴颈圆角。

发动机曲柄销圆角的应力比  $R$  一般略高于  $-1$ ，而主轴颈圆角略低于  $-1$ 。如必要，可通过预加载弹簧施加平均载荷（使偏离  $R=-1$ ）。

扭转疲劳试验装置也可以按图 I-4.2 进行设计布置，当曲柄承受扭转负荷时，曲柄销的扭曲会使主轴颈向侧面移动。如在激振试验台上进行扭转疲劳试验的是单个曲柄，主轴颈连同夹具重量会侧向剧烈振动。

如果试验试样有两个曲柄，则会降低夹具重量的侧向移动（尤其是当两个曲柄方向差不多一致时）。但中间主轴颈的移动会更多。



- |       |            |
|-------|------------|
| 1 曲柄  | 4 马达驱动的偏心块 |
| 2 夹具  | 5 应变仪      |
| 3 工字梁 | 6 弹性拉撑     |

图 1-4.2 双曲柄扭转负荷激振试验机布置图

侧向移动会产生一些弯曲应力，为此，曲柄销平直部分也需要安装应变仪，测量任何可能影响试验结果的弯曲应力。

弯曲试验时，应采用应变仪测量光轴截面验证施加载荷，圆角应力也应通过应变仪进行检查。

#### 4.3 可接受衡准评估

按本附录 2.7 的规定，为了计算曲轴的接受衡准，弯曲和扭转疲劳强度试验结果需要整合。采用 Gough-Pollard 方法计算如下：

曲柄销直径：

$$Q = \left( \sqrt{\left( \frac{\sigma_{BH}}{\sigma_{DWCT}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{BH}}{\tau_{DWCT}} \right)^2} \right)^{-1}$$

式中：

$\sigma_{DWCT}$  — 弯曲试验确定的疲劳强度；

$\tau_{DWCT}$  — 扭转试验确定的疲劳强度。

曲柄销油孔：

$$Q = \left( \sqrt{\left( \frac{\sigma_{BO}}{\sigma_{DWOT}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{TO}}{\tau_{DWOT}} \right)^2} \right)^{-1}$$

式中：

$\sigma_{DWOT}$  — 弯曲试验确定的疲劳强度；

$\tau_{DWOT}$  — 扭转试验确定的疲劳强度。

主轴颈直径：

$$Q = \left( \sqrt{\left( \frac{\sigma_{BG}}{\sigma_{DWJT}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_G}{\tau_{DWJT}} \right)^2} \right)^{-1}$$

式中:

$\sigma_{DWJT}$ — 弯曲试验确定的疲劳强度;

$\tau_{DWJT}$ — 扭转试验确定的疲劳强度。

采用表面处理提高疲劳强度时, 也可按上述情况类似考虑。未考虑表面处理情况下, 根据计算仅对最危险的位置进行试验就足够了。

### 5 现有疲劳试验结果的应用

对于没有表面处理的圆角或油孔, 满足如下条件时, 通过试验得到的疲劳特性可用于其他类似曲轴的设计:

#### (1) 材料

- 材料类型相似;
- 洁净度相同或更高;
- 可假定相同的机械特性 (尺寸 v.s 硬度)。

#### (2) 几何尺寸

- 尺寸对应力梯度的影响不大或者已考虑;
- 主应力方向等效, 见本附件第 3 部分内容。

#### (3) 加工制造

- 加工过程类似。

感应淬火或气体氮化的曲轴, 疲劳一般发生在表面或者强化过渡区。对于与疲劳试验曲轴设计相同或类似的曲轴, 如疲劳都是从表面开始, 则全尺寸曲柄的疲劳试验获得的表面疲劳强度可以用于该曲轴。相似是指: 使用的材料类型和表面硬度相似、圆角半径和硬化深度在试验曲轴的 $\pm 30\%$ 以内。

过渡区域内的疲劳可能在表面以下 (比如硬化层下面) 或者在硬化终端的表面。如果疲劳发生在硬化层下面的过渡区域内, 其疲劳强度可以通过上述疲劳试验确定。仅对母材进行试验, 由于没有考虑过渡区的拉伸残余应力的影响, 因此不具代表性。

最近的一些研究表明: 随着循环次数的增加, 材料中的氢会通过扩散聚集在内部缺陷的周围, 在表层以下形成裂纹发生的初始点, 会降低疲劳限值。这种情况, 循环次数每超出  $10^7$  一个 10 年, 疲劳限值应降低一个百分比。根据 Yukitaka Murakami 发表的文章“金属疲劳: 小缺陷和非金属元素的影响”: 当氢元素含量较高时, 循环次数每超过一个 10 年, 疲劳限值需降低 5%。

---

## 附件 II 表面处理圆角和油孔出口疲劳强度计算指南

### 目录

#### 1 引言

#### 2 表面处理定义

##### 2.1 表面处理方法

#### 3 基本计算原则

##### 3.1 局部圆角应力评估

##### 3.2 油孔应力评估

##### 3.3 可接受衡准

#### 4 感应淬火硬化

##### 4.1 局部疲劳强度

#### 5 渗氮

##### 5.1 局部疲劳强度

#### 6 冷轧

##### 6.1 喷丸

##### 6.1 冷轧

---



## 1 概述

本附件规定了表面处理圆角和油孔出口疲劳强度的经验计算方法。考虑到计算结果应用的安全，这些经验公式都采用了保守处理。

曲轴设计时应尽可能地使用试验测量数据或更专业的知识（如可获得）。如参数过于离散（比如残余应力），考虑到计算结果的安全，应从数据范围的端部选取数据。

## 2 表面处理

表面处理系指通过热处理、化学处理或机械操作处理等方法，使材料表面到内部的材料特性产生不均匀性，比如硬度、化学或残余应力等。

### 2.1 表面处理方法

表 2.1 列出了各种表面处理方法，以及各种处理方法对材料特性及疲劳强度产生的影响。

表 2.1 表面处理方法和特性影响

处理方法	对材料特性的影响
感应硬化	硬度和残余应力
渗氮	化学、硬度和残余应力
表层硬化	化学、硬度和残余应力
压模淬火（非回火）	硬度和残余应力
冷轧	残余应力
锤击	残余应力
喷丸	残余应力
激光喷丸	残余应力
钢球压印	残余应力

本附件仅考虑了与船用柴油机相关的表面处理工艺，包括感应硬化、渗氮、冷轧和锤击，没有考虑其他处理工艺或者两个或两个以上工艺组合应用的情况。另外，压模淬火方法可以参考感应硬化工艺的处理方式。

## 3 计算原理

基本原理：交变工作应力应低于局部疲劳强度（已考虑了表面处理工艺的影响），局部可能会产生一些非扩展裂纹，详见本附件 6.1。然后再除以一个安全因子。该原则适用于整个圆角或油孔表面等高线、以及表面以下受处理工艺影响的区域（比如从表面到核心材料的整个深度方向）。

局部疲劳强度应考虑局部硬度、残余应力和平均工作应力的影响。“超高周”效应、表面以下发生裂纹等情况的影响，应通过选取合适的裕量予以考虑。

应充分考虑应力集中区域硬化/喷丸等表面处理的扩展影响，硬化/喷丸处理终点位置处的过渡区域可能会产生相当大的拉伸残余应力，从而形成了一些“薄弱点”，如“薄弱点”刚好与高应力区域重叠则会产生更大的危害。

疲劳强度评估时，需要掌握整个应力集中区域、沿表面处理约 1.2 倍深度方向的交变应力和平均工作应力。图 II-3.1 以感应硬化为例展示了疲劳强度评估的基本原理。基准轴取表面处理深度方向（垂直表面）或者沿圆角等高线。

从处理表面到部件内部，以及从最大应力集中点（沿圆角表面等高线）到曲柄臂，应采取分段方式应用可接受的疲劳强度衡准。

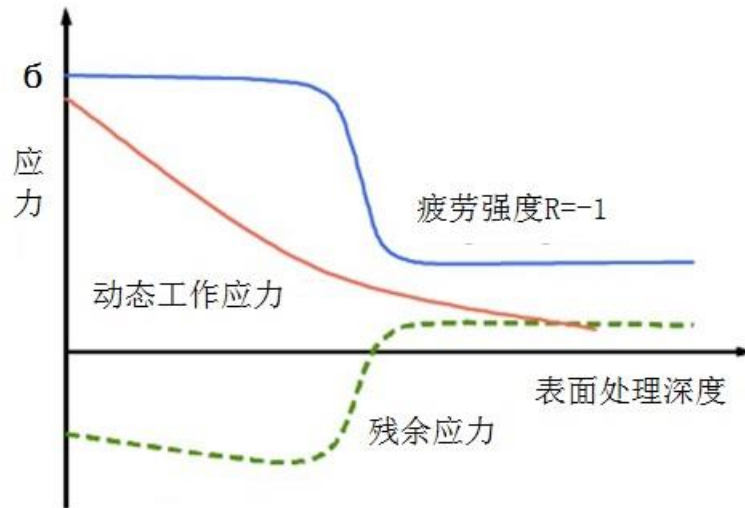


图 II-3.1 基本原理：应力与深度之间的关系

### 3.1 圆角局部应力评估

圆角局部应力评估时，需要掌握圆角沿等高线方向以及硬化层以下深度方向的应力分布，一般可以通过附件 III 规定的 FEA 方法获得。FE 建模时，表面以下区域的单元尺寸应与表面的单元尺寸一致。对于曲柄销硬化，仅沿表面到硬化层区域需要细化单元尺寸。

如果没有 FEA 数据，可以采用一个简化方法，该方法基于本附录中 2.4 规定的应力集中系数（SCF）经验计算方法（相对尺寸在适用范围之内），相对应力梯度与圆角半径呈反比。

弯曲应力和扭转应力应分别考虑，计算可接受衡准时再综合考虑。

最小硬化深度范围内，表层以下过渡区域的应力可以通过沿垂直圆角表面轴线上的局部应力集中系数确定。因应力梯度不同，局部应力集中系数 $\alpha_{B-local}$ 和 $\alpha_{T-local}$ 的表现形式也不一样。

应力集中系数 $\alpha_B$ 、 $\alpha_T$ 对圆角表面有效，局部应力集中系数 $\alpha_{B-local}$ 和 $\alpha_{T-local}$ 随着深度的增加而减小。表面相对应力梯度取决于应力集中因素的类型，对于曲柄销圆角，弯曲和扭转相对应力梯度可分别简化为 $2/R_H$ 和 $1/R_H$ 。对于主轴颈圆角，可以采用 $R_G$ 和 $D_G$ 做类似处理，弯曲情况下，假定从表面到曲臂中心点（曲柄销圆角和主轴颈圆角之间的曲臂）名义应力呈线性，而扭转情况下，假定从表面到曲柄销或主轴颈中心点的名义应力呈线性。

曲柄销局部弯曲 SCF、扭转 SCF 和深度  $t$  之间的关系见图 II-3.2、II-3.3，相应的，用  $R_G$  代替  $R_H$ ， $D_G$  代替  $D$  可以确定主轴颈圆角的弯曲 SCF、扭转和深度之间的函数关系。

曲柄销局部弯曲 SCF 和扭转 SCF 可分别按公式 3.1、3.2 计算。

$$\alpha_{B-local} = (\alpha_B - 1) \cdot e^{\frac{-2t}{R_H}} + 1 - \left( \frac{2 \cdot t}{\sqrt{W^2 + S^2}} \right)^{\frac{0.6}{\alpha_B}} \quad \text{(式 3.1)}$$

$$\alpha_{T-local} = (\alpha_T - 1) \cdot e^{\frac{-t}{R_H}} + 1 - \left( \frac{2 \cdot t}{D} \right)^{\frac{1}{\alpha_T}} \quad \text{(式 3.2)}$$

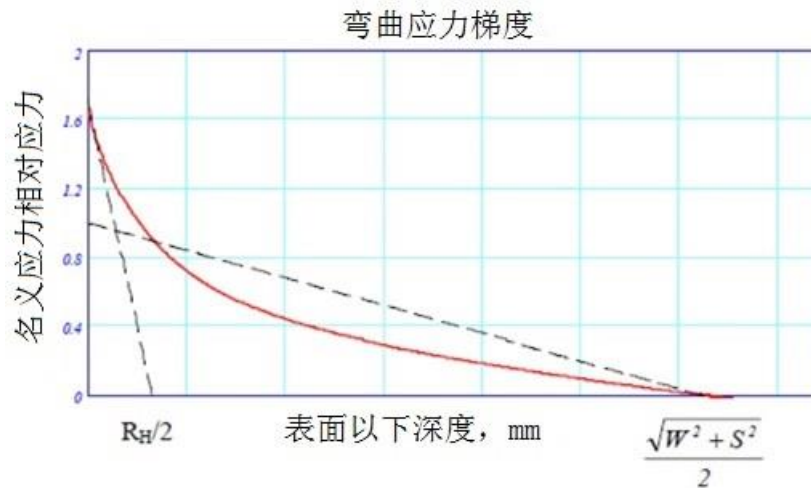


图 II-3.2 曲柄销圆角弯曲 SCF 与硬化深度之间的函数关系

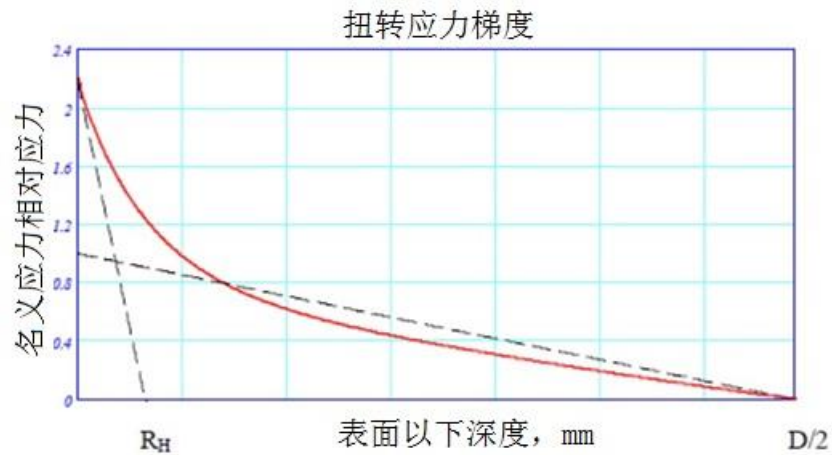


图 II-3.3 曲柄销圆角扭转 SCF 与硬化深度之间的函数关系

如果仅销的平直段进行了硬化，硬化区域端线靠近圆角的距离超过最大硬化深度 3 倍，则需要采用 FEA 方法确定过渡区域的实际应力。

### 3.2 油孔应力评估

油孔应力也可以通过 FEA 方法确定，网格单元尺寸应小于油孔直径  $D_0$  的  $1/8$ ，网格单元质量衡准满足本附录附件 III 的规定。与硬化深度对应的径向深度以内的网格单元都应进行细化。

FEA 方法中施加的载荷包括扭矩、弯矩（4 点弯曲），见本附录附件 III 的 3.1、3.2。

如果没有 FEA 数据，可以采用一个简化方法，按本附录 2.4 规定的应力集中系数（SCF）经验计算方法（适用范围之内），在峰值应力点合成弯曲和扭转应力（本附录 2.6）。

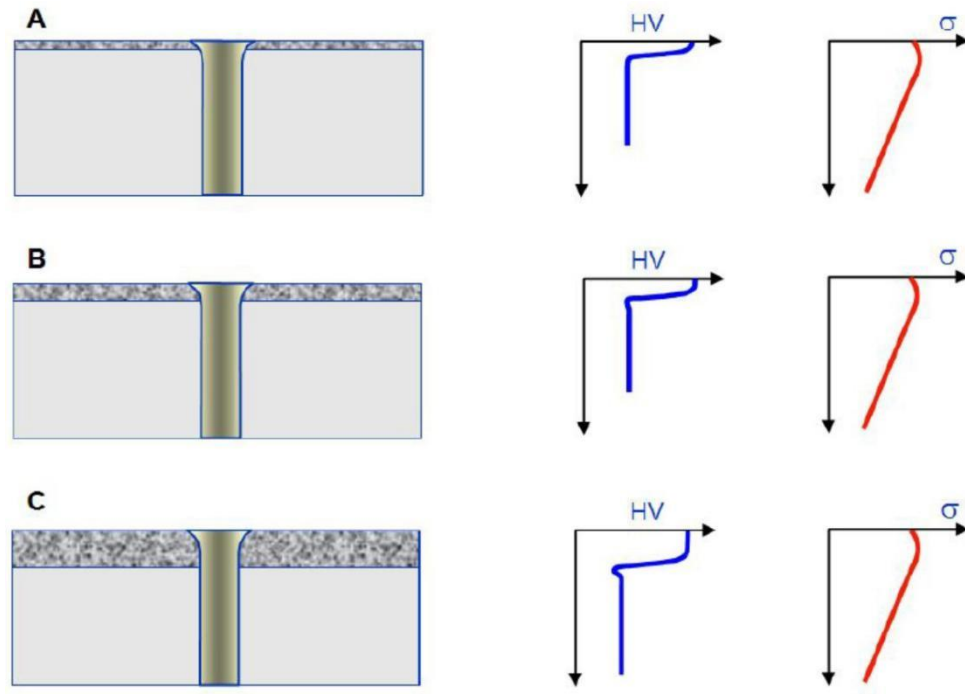


图 II-3.4 感应硬化油孔的应力和硬度

图 II-3.4 表明：软、硬材料之间过渡区域发生局部硬度下降，是否发生这种局部硬度下降取决于 QT 过程中淬火后的回火温度。

峰值应力发生在油孔倒角末端，在该区域内，应力几乎呈线性下降，直到曲柄销的中心。从图 II-3.4 可以看到，浅度硬化 (A)、中等硬化 (B) 两种情况，过渡点实际上与最大应力点重合，对于深度硬化 (C)，过渡点来到了峰值应力点的外面，局部应力可以取峰值应力的  $1-2tH/D$ ， $tH$  是硬化深度。

表层以下的过渡区域应力（取最小的硬化深度），可以通过油孔表面垂直轴线上的局部应力集中系数确定。由于应力梯度不同，局部 SCF  $\gamma_{B-local}$  和  $\gamma_{T-local}$  函数的表现形式也不一样。

应力集中系数  $\gamma_B$  and  $\gamma_T$  对油孔表面有效，局部 SCF  $\gamma_{B-local}$  and  $\gamma_{T-local}$  随深度的增加而下降。表面的相对应力梯度取决于应力集中因素的种类，对于曲柄销油孔，相对弯曲应力梯度可以简化为  $4/D_0$ ，相对扭转应力分量可以简化为  $2/D_0$ ，局部 SCF 与深度  $t$  之间的函数关系如下：

$$\gamma_{B-local} = (\gamma_B - 1) \cdot e^{\frac{-4 \cdot t}{D_0}} + 1 \quad \text{(式 3.3)}$$

$$\gamma_{T-local} = (\gamma_T - 1) \cdot e^{\frac{-2 \cdot t}{D_0}} + 1 \quad \text{(式 3.4)}$$

### 3.3 接受准则

基于疲劳因素考虑，将等效交变应力和疲劳强度相比，并留有一定的安全裕量，作为曲轴的接受准则。油孔出口、曲柄销圆角和主轴颈圆角的接受衡准  $Q \geq 1.15$ 。该衡准也可扩展应用于表面处理的区域，包括表面或者过渡区域。

### 4 感应硬化

硬化参数技术规格应明确表面硬化的范围，比如最小/最大值、在圆角最大/最小扩展区域、沿圆角等高线的最大/最小深度。参照维氏硬度 HV0.5-HV5。

感应硬化深度定义为：硬度等于最小表面硬度 80% 的位置深度。

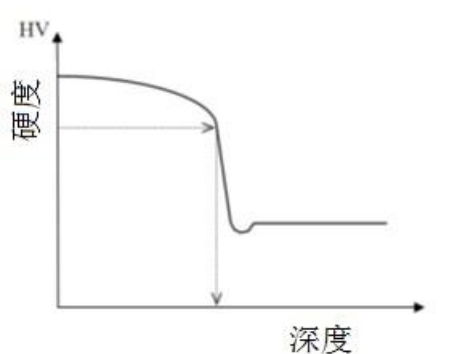


图 II-4.1 硬度-深度之间的典型函数关系

箭头代表上述定义的硬化深度。如图 II-4.1 所示：在核心材料交界位置的硬度显著下降，这可能会成为“薄弱点”，局部强度降低，并产生拉伸残余应力。

如仅曲柄销或主轴颈进行了硬化，则硬化终点与圆角的最小距离也要规定，如图 II-4.2 所示，热影响区域会产生拉伸应力。

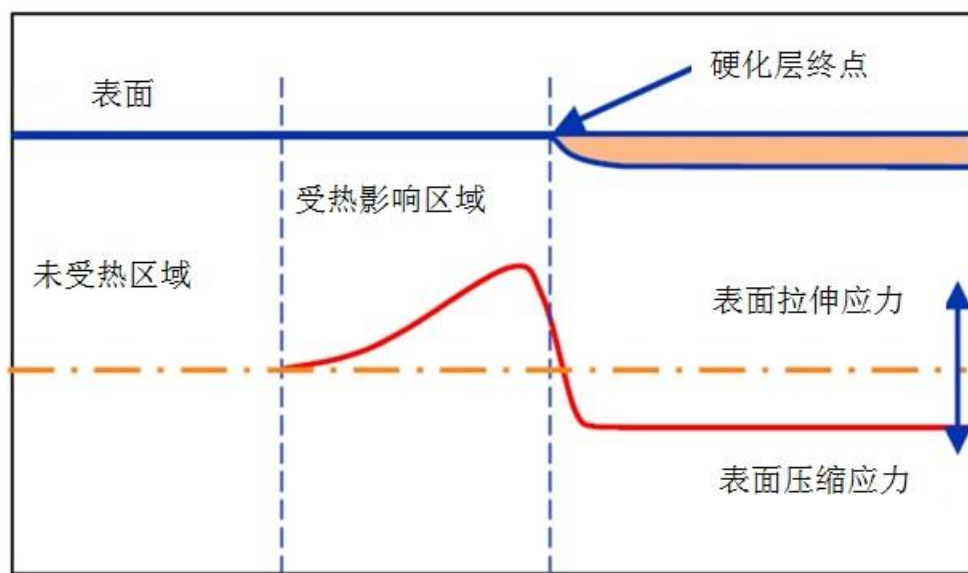


图 II-4.2 沿曲柄销/主轴颈表面及圆角表面的残余应力

如硬度和深度的关系曲线、残余应力未知或者没有明确规定，则一般可进行如下假设：

(1) 硬度曲线分为两层（见图 II-4.1）；

- 从表面到过渡区域，硬度恒定；
- 从过渡区到核心材料，硬度恒定。

(2) 硬化区域的残余应力设定为 200MPa（压缩）；

(3) 过渡区域硬度取核心材料硬度的 90%（除非局部硬度降低能够避免）；

(4) 过渡区域最大残余应力（von Mises）300MPa（拉伸）。

如曲柄销或主轴颈硬化终端靠近圆角，则需要考虑过渡区域内拉伸残余应力的影响，如硬化终端与圆角始点之间的最小距离超过最大硬化深度的 3 倍，则可以忽略该影响。

#### 4.1 局部疲劳强度

感应硬化的曲轴，疲劳一般发生在表面或者过渡区域。表面和过渡区域的疲劳强度都可以通过全尺寸曲柄疲劳试验确定，见本附录附件 I。对于过渡区域，疲劳可能发生在表层以下（如硬化层以下）或者硬化终端处的表面位置。

仅仅对母材进行试验，由于没有考虑过渡区域拉伸残余应力的影响，因此并不具有代表性。

表面疲劳强度也可以通过以下给出的经验方法确定，其中 HV 是指表面维氏硬度。为了考虑残余应力

的影响，按式 4.1 计算得到的疲劳强度值偏于保守。式 4.1 适用于应力比  $R=-1$  的情况。

$$\sigma_{F_{surface}} = 400 + 0.5 \cdot (HV - 400) \quad \text{MPa} \quad \text{式 (4.1)}$$

应注意：平均应力对感应硬化钢的影响可能要比对调质钢的影响显著。

如不考虑任何可能的局部硬度下降，过渡区疲劳强度可按本附录 2.7 规定的计算公式确定。

主轴颈和曲柄销圆角适用的公式：

$$\sigma_{Transition, cpin} = \pm K \cdot (0.42R_m + 39.3) \cdot \left[ 0.264 + 1.073Y^{-0.2} + \frac{785 - R_m}{4900} + \frac{196}{R_m} \cdot \sqrt{\frac{1}{X}} \right] \quad \text{(式 4.2)}$$

其中：

主轴颈圆角计算时， $Y = D_G$ ， $X = R_G$ ；

曲柄销圆角计算时， $Y = D_p$ ， $X = R_H$ ；

曲柄销油孔出口计算时， $Y = D_p$ ， $X = \frac{D_0}{2}$ 。

公式 4.2 没有考虑残余应力的影响。

为了考虑表层以下（硬化层下面）拉伸残余应力的影响，按式 4.2 计算得到的疲劳强度值应乘以一个强度系数 0.8。强度系数 0.8 考虑了平均应力对调质合金钢的影响，假定表面强化后，表层以下区域会产生 300MPa 的拉伸残余应力。如能确定残余应力小于 300MPa，可以考虑提高强度系数。对于低强度钢，需要考虑选择更小的强度系数。

硬化区域终端附近的表面，由于拉伸残余应力的存在，也会对表面的疲劳强度产生影响，与硬化区域终端的距离不同，拉伸残余应力水平也不一样，如图 II-4.2 所示的热影响区域。表 4.1 根据不同区域的拉伸残余应力水平给出了相应的强度系数。

表 4.1 距离硬化区末端给定距离处的拉伸残余应力影响

区域	范围划分	强度系数	热影响区域划分及强度系数示意图
I	0-tH	0.8	
II	tH-2tH	0.88	
III	tH-2tH	0.94	
IV	3tH 以上	1	

## 5 渗氮

渗氮硬化的技术指标应明确：表面硬化范围（最大最小）和最大最小深度。仅考虑气体渗氮，基准维氏硬度 HV0.5。

不同的标准和文献给出的硬化深度定义也不同。本附件定义渗氮硬化深度 tN：硬度高于母材 50HV 处的深度。

沿硬化表面到母材方向的硬度变化曲线应明确，如未知，可通过以下经验公式确定：

$$HV(t) = HV_{core} + (HV_{surface} - HV_{core}) \cdot \left( \frac{50}{HV_{surface} - HV_{core}} \right)^{\left( \frac{t}{tN} \right)^2} \quad \text{(式 5.1)}$$

其中：

t：局部深度；

HV(t)：深度 t 处的硬度；

HV<sub>core</sub>：母材硬度（最小）；

HV<sub>surface</sub>：表面硬度（最小）；

tN：渗氮深度（按以上定义）（最小）。

### 5.1 局部疲劳强度



采用渗氮硬化处理的曲轴，疲劳一般发生在表面或者过渡区内，疲劳强度可以通过本附录附件 I 规定的疲劳试验予以确定。

如缺少相关试验结果，表面疲劳强度(主应力)也可以通过以下经验公式确定，该公式对表面硬度 600HV 或更高的情况下适用。

$$\sigma_{F_{surface}} = 450 \text{ MPa} \quad (\text{式 5.2})$$

该疲劳强度假定考虑了表面残余应力的影响，在工作应力比  $R = -1$  的情况下适用。

过渡区的疲劳强度可以通过本附录 2.7 规定的公式进行计算。

曲柄销和主轴颈：

$$\sigma_{Transition, cpin} = \pm K \cdot (0.42R_m + 39.3) \cdot \left[ 0.264 + 1.073 \cdot Y^{-0.2} + \frac{785 - R_m}{4900} + \frac{196}{R_m} \cdot \sqrt{\frac{1}{X}} \right] \quad (\text{式 5.3})$$

式中：

主轴颈圆角计算时， $Y = D_G$ ， $X = R_G$ ；

曲柄销圆角计算时， $Y = D_p$ ， $X = R_H$ ；

曲柄销油孔出口计算时， $Y = D_p$ ， $X = \frac{D_0}{2}$ 。

注意：式 (5.3) 计算的局部疲劳强度没有考虑残余应力的影响。

与感应硬化不同，渗氮部件从硬化表面到母材的硬度变化连续，如图 II-5.1 所示。虽然表面的压缩残余应力很高，但由于硬化深度浅，核心处的平衡拉伸应力并不明显。考虑到硬化表面到母材的硬度变化曲线连续平滑，表层下的疲劳分析时可以忽略过渡区域和过渡区域以下拉伸残余应力的影响。

原则上，疲劳强度应沿硬化表面到母材整个硬度变化曲线进行计算，为了简化计算，可在硬度高于母材 20HV 的深度位置人为设一过渡点，见图 II-5.1，计算时仅检查表面到假定过渡点之间的区域。而从假定过渡点到母材区域采用母材的材料属性，该过渡区域的应力可以用本附件 3 规定的局部 SCF 公式获得，局部 SCF 计算时取  $t=1.2tN$ 。

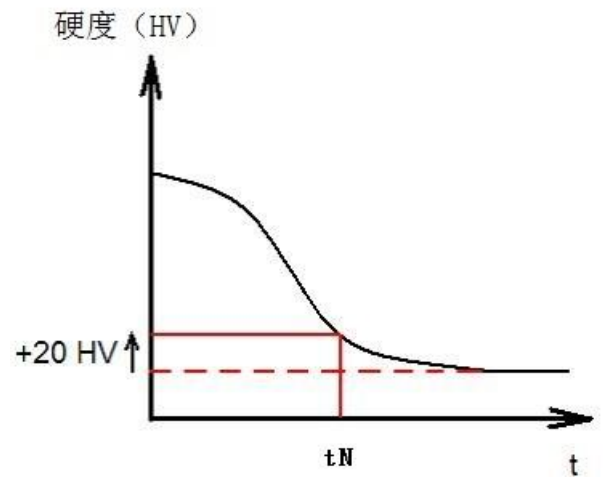


图 II-5.1. 深度方向假定过渡点的示意图

## 6 冷轧

曲轴圆角采用锤击或冷轧表面处理的好处是在高负荷区产生压缩残余应力。表面及表层以下区域的残余应力可以分别通过 X 射线、中子衍射技术得到，但由于很难得到合适、可靠的修正公式，使得应用这种技术评估局部疲劳强度比较困难。

因此，疲劳强度还是需要通过疲劳试验确定，见本附录附件 I。疲劳试验通常以 4 点弯曲进行，工作应力比  $R=-1$ 。从疲劳试验的结果，可以确定表面或表层以下产生各种疲劳破坏的弯曲疲劳强度，代表了圆角承受弯曲载荷时的疲劳强度。

与弯曲疲劳不同，圆角扭转疲劳强度可能不遵循比率 $\sqrt{3}$ （von Mises 准则采用）。强化工艺影响的深度足以防止表层以下发生弯曲疲劳，但仍然可能发生扭转疲劳。高应力区扩展的影响可能是导致这种弯曲和扭转工况差异的另一个原因。

对于基础材料（合金调质钢）类型相似，且强化工艺在表面和整个深度方向产生的压缩应力水平相似，则全尺寸曲柄试验获得的结果可以应用于其他尺寸的曲柄设计。这意味着冷轧的深度和扩展应与圆角半径成正比。

### 6.1 球敲击

疲劳强度可以通过全尺寸曲柄试验结果评估获得，或者从应用安全方面出发，采用经验方法计算得到。

如果弯曲疲劳强度和扭转疲劳强度都进行了研究，且不遵循比率 $\sqrt{3}$ 关系，则不能应用 von Mises 准则。

如仅研究了弯曲疲劳强度，扭转疲劳强度评估时应保守处理，比如弯曲疲劳强度经强化后提高 x%，则扭转疲劳强度应假定提高不超过 x% 的 2/3。

表面实施敲击强化工艺后，表层以下区域产生的压缩残余应力最大。随着疲劳试验载荷和应力梯度变化，表面的工作应力与表面局部疲劳强度相比可能会更高，如图 II-6.1 所示。疲劳试验时可能出现一些小的裂纹，但由于表层以下区域存在较高的压缩残余应力，继续循环试验和/或者试验载荷提高后继续试验也不会促使这些小裂纹扩展。简单地说，就是表面以下的高压缩残余应力限制了这些小裂纹的进一步扩展。

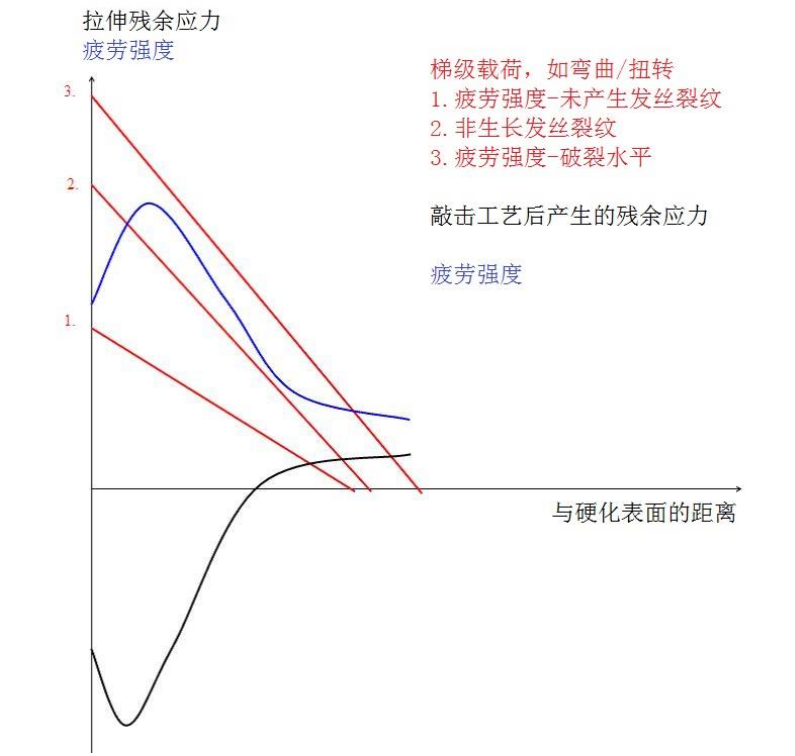


图 II-6.1. 敲击表面下的工作应力和残余应力

全尺寸曲轴疲劳试验时，这些细如发丝的小裂纹不应视为裂纹破坏，只有那种导致曲柄发生破坏需要关闭试验装置的裂纹才视为疲劳裂纹，疲劳裂纹用来确定疲劳破坏的载荷水平。如感应硬化圆角进行敲击时也适用。

为了提高感应硬化圆角的疲劳强度，曲轴圆角经感应硬化并经回火，达到规定的表面硬度后，可以再应用敲击工艺。如果实施敲击工艺，敲击力应与表层的硬度相适应，而不是与母材的抗拉强度对应。圆角经感应硬化和敲击工艺后对疲劳强度的影响应通过全尺寸曲轴试验确定。

#### 6.1.1 疲劳试验研究结果的应用

通过曲轴疲劳试验研究得到的结果，其他相似的曲轴如能满足如下衡准，也可以应用：

- (1) 与疲劳试验曲轴相比，敲击球的相对尺寸（相对于圆角半径）控制在 $\pm 10\%$ 以内；



---

(2) 敲击后周向扩展至少相同；

(3) 与疲劳试验曲轴相比，圆角等高线的相对扩展角（相对于圆角半径）控制在±15%以内，并已覆盖发动机工作时的应力集中；

(4) 母材相似，比如都是合金调质钢；

(5) 按相同半径比例送球；

(6) 球敲击力与母材硬度成正比（如母材硬度不同）；

(7) 球敲击力与半径的平方成正比。

## 6.2 冷轧

疲劳强度可以通过全尺寸曲柄试验或者采用经验方法计算获得。如弯曲和扭转疲劳强度都已进行了试验研究，且不遵循 $\sqrt{3}$ 比率，则不能应用 von Mises 准则。

如仅研究了弯曲疲劳强度，则扭转疲劳强度应进行保守评估。比如通过试验确定弯曲疲劳强度提高了x%，则扭转疲劳强度应假定提高不超过 x%的 2/3。

### 6.2.1 疲劳试验结果的应用

其他类似曲轴如能满足如下准则，相关疲劳试验研究得到的结论也可以应用：

(1) 冷轧的周向扩展至少相同；

(2) 与进行试验的曲轴相比，圆角等高线的相对扩展角（相对于圆角半径）控制在在±15%以内，并已覆盖发动机工作时的应力集中；

(3) 母材相似，比如同为合金调质钢材；

(4) 对冷轧力进行计算，以获得至少相同的强化处理相对深度（相对于圆角半径）。

---

## 附件 III 曲轴油孔出口应力集中系数有限元计算指南

### 目录

#### 1 一般要求

#### 2 模型要求

##### 2.1 网格单元要求

##### 2.2 材料

##### 2.3 网格单元质量衡准

#### 3 载荷工况和应力评估

##### 3.1 扭转载荷

##### 3.2 弯转载荷

## 1 一般要求

本附录 2.4.4 所规定的曲柄销油孔出口应力集中系数(SCF)计算公式,是基于对各种圆钢棒进行试验测量而得到的经验公式,如超出了规定的适用范围,采用这些经验公式可能会导致错误的结果。这种情况下,推荐采用有限元方法(FEM)计算曲柄销油孔出口处的应力,并与该处的名义应力相比得到相应的应力集中系数。有限元法与本附录原有的方法结合应用时,应计算主应力。

有限元分析按线弹性原则进行,所有工况都应施加合适的单位载荷。

有限元分析前,建议首先对有限元(FE)求解器的单元精确度进行校核,比如通过对简单几何形状模型进行有限元分析,并将 FEM 计算出的应力与分析方法计算值进行比较。

也可以使用边界层方法(BEM)代替有限元方法。

## 2 模型要求

本附件 2.1 规定了 FE 模型建模的基本要求和假设,最终的 FE 模型应满足本附件 2.3 规定的其中一个衡准。

### 2.1 网格单元要求

为满足网格质量衡准,FE 模型建模时一般应满足如下要求:

- (1) FE 模型包括一个完整的曲柄(从主轴承中心线至相邻主轴承中心线)。
- (2) 圆角附近使用的网格单元类型包括:10 节点四面体单元、8 节点六面体单元、20 节点六面体单元。
- (3) 油孔出口的网格单元应满足如下要求:
  - 整个油孔圆角及油孔方向的最大网格单元尺寸  $a=r/4$ ,如采用 8 节点六面体单元,为满足网格质量衡准可能需要更小的单元尺寸。
  - 圆角深度方向的网格单元尺寸:第一层厚度等于单元尺寸  $a$ ;第二层厚度等于单元尺寸  $2a$ ;第三层厚度等于单元尺寸  $3a$ 。
- (4) 曲柄其他区域内的网格一般应适合于求解器的计算稳定。
- (5) 为减轻重量而进行的钻孔和洞应进行建模。
- (6) 可使用子模型(满足软件要求)。

### 2.2 材料

FE 分析时,需要用到材料杨氏模量(E)、泊松比( $\nu$ )等材料特性。有限元方法主要是计算应变,再利用材料的杨氏模量和泊松比进一步计算应力,因此使用的材料参数必须可靠(引用文献推荐值或对代表性材料样本测量获得)。

对钢质材料,杨氏模量 E 和泊松比  $\nu$  推荐采用如下值:

$$E = 2.05 \times 10^5 \text{ MPa}$$
$$\nu = 0.3$$

### 2.3 网格单元质量衡准

如用于 SCF 计算的区域内网格单元经检查不能满足以下任一衡准,则应细化网格后再次进行计算。

(1) 主应力衡准:通过检查垂直于油孔出口半径表面的应力分量来确保网格质量。主应力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ ,应满足  $\min(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|) < 0.03 \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)$ 。

(2) 平均/非平均应力衡准:基于观察圆角处单元应力结果的不连续性来检查网格单元质量。应满足:和第  $i$  节点相连的每个单元计算得到的非平均节点应力,与该节点检查位置处 100%平均节点应力的差别应不超过 5%。

## 3 载荷工况和应力评估

FE 计算应考虑扭转和弯曲载荷工况。

### 3.1 扭转

施加纯扭转载荷,模型端面的表面翘曲受到约束。扭矩施加在曲轴轴线的中心节点上,作为主节点,该节点具有 6 自由度,并与端面的所有节点刚性连接(见图 III-3.1)。

图 III-3.1 所示的边界和载荷条件对直列式和 V 型发动机均有效。

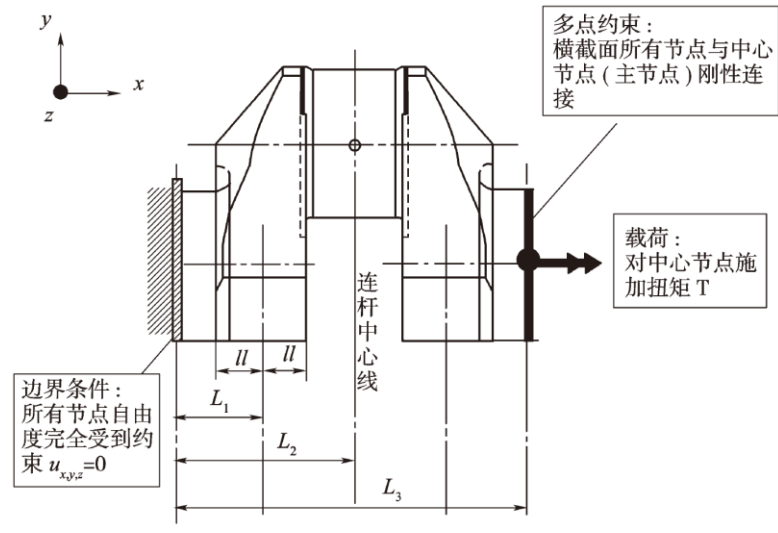


图 III-3.1 扭转负荷工况下的边界和载荷条件

提取油孔出口处所有节点的主应力，最大值用于后续的 SCF 计算：

$$\gamma_T = \frac{\max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)}{\tau_N}$$

式中：

$\tau_N$ ——名义扭转应力，按本附录 2.3.3 的规定计算，MPa；

扭矩为 T，则  $\tau_N = \frac{T}{W_P}$ 。

### 3.2 纯弯曲

施加纯弯曲载荷，模型端面的表面翘曲受到约束。弯矩施加在曲轴轴线的中心节点上。作为主节点，该节点具有 6 自由度，并与端面的所有节点刚性连接(图 III-3.2)。

图 III-3.2 所示的边界和载荷条件对直列式和 V 型发动机均有效。

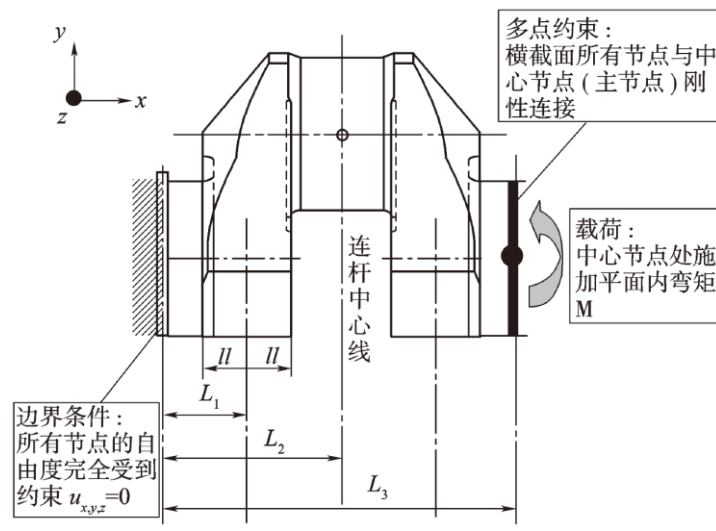


图 III-3.2 纯弯曲载荷工况的边界和载荷条件

从油孔出口所有节点可以获得主应力，选取最大值用于 SCF 计算：

---

$$\gamma_B = \frac{\max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)}{\sigma_{BN}}$$

式中： $\sigma_{BN}$ ——名义交变弯曲应力，按本附录 2.3.1(1)的规定进行计算，MPa；

弯矩为 M，则  $\sigma_{BN} = \frac{M}{W_{eq}}$ 。

## 附录 5 柴油机认可与发证

### 3 型式认可和发证程序

3.2.5 CCS 对制造厂生产一致性的生产能力和质量控制能力进行一致性评估，包括制造设备及过程、加工工具、质量保证、试验设备等生产设备方面的规范要求，评估满意后签发批准文件。

## 附录 8 曲轴箱油雾探测及报警装置型式试验程序<sup>3</sup>

### 6 功能试验

6.6 可测量并输出油雾浓度 (mg/l) 的油雾浓度探测器的性能 (mg/l) 应进行验证，至少包括如下性能：

---

<sup>3</sup> 本附录中 6.7、6.8 的要求将在 2008 年 1 月 1 日开始实施。

# 第 10 章 齿轮传动装置

## 第 1 节 一般规定

### 10.1.4 图纸资料

10.1.4.1 应将下列图纸资料提交批准：

(17) 液压系统图（如适用）；

(18) CCS 认为必要的其他图纸资料。

## 第 3 节 设计与构造

### 10.3.1 设计

10.3.1.1 齿轮强度评定应符合本章附录 1《齿轮强度评定》的规定。对于传递最大持续功率小于 220+100kW的主推进机械和发电机用110kW 重要辅机的封闭式减速齿轮传动装置，齿轮承载能力计算可不满足本章要求。

### 10.3.10 润滑和冷却

10.3.10.6 压力滑油系统中应设有滤器，并应符合本篇 4.6.2.2 的相关规定能在不中断供应过滤油的情况下清洗滤器。

### 10.3.12 应急装置

10.3.12.1 液压控制的单桨船舶齿轮传动装置，应有应急的机械联接机构，以便在液压系统出现故障时仍能保证船舶具有一定的航行能力。

## 附录 1 齿轮强度评定

### 1 一般规定

1.5.1.3  $K_A$  应由测量或由系统分析来确定。如不能提供用上述方法确定的  $K_A$  值，可由表 1.5.1.3 查取。

应用系数  $K_A$  值

表 1.5.1.3

装置型式		$K_A$
主推进柴油机	输入轴上装有液力联轴器或等效部件	1.00
	输入轴上装有高弹性联轴器(一般扭转角大于 6°)	1.30
	输入轴上装有弹性联轴器(一般扭转角 2°~6°)	1.40
	其他联轴器	1.50
主推进电动机	电力驱动	1.00
辅机齿轮	电力驱动和柴油机驱动，输入轴上装有液力联轴器或等效部件	1.00
	柴油机驱动，输入轴上装有高弹性联轴器(一般扭转角大于 6°)	1.20
	柴油机驱动，输入轴上装有弹性联轴器(一般扭转角 2°~6°)	1.30
	柴油机驱动，装有其他联轴器	1.40

## 1.5.2 负荷分配系数 $K_\gamma$

1.5.2.3  $K_\gamma$  值应由测量或系统分析确定。若用这种方法无法确定,则对于行星排列齿轮可考虑下列各值:

对 3 个或少于 3 个行星齿轮:  $K_\gamma=1.00$

对 4 个行星齿轮:  $K_\gamma=1.20$

对 5 个行星齿轮:  $K_\gamma=1.30$

对大于等于 6 个行星齿轮:  $K_\gamma=1.40$

对其他齿轮传动装置:  $K_\gamma=1.00$

对于锥齿轮:  $K_\gamma=1.00$

对于  $\varepsilon_\gamma \leq 2$ :  $K_\gamma=1.00$

对于  $2 < \varepsilon_\gamma < 3.5$ :  $K_\gamma=1+0.2\sqrt{(\varepsilon_\gamma-2) \times (5-\varepsilon_\gamma)}$

对于  $\varepsilon_\gamma \geq 3.5$ :  $K_\gamma=1.30$

# 第 11 章 轴系与螺旋桨

## 第 3 节 轴系传动装置

### 11.3.7 Z 型推进装置

11.3.7.1 Z 型推进装置应能设有从驾驶室、机械控制站(如设有)和就地控制。在上述控制地点应设有舵角推力方向指示器。

# 第 13 章 操舵装置与锚机装置

## 第 2 节 锚机装置

### 13.2.1 一般要求

13.2.1.1 本节的规定适用于船舶的锚机装置。

13.2.1.2 锚机装置的持证要求及产品检验应符合本规范第 1 篇第 3 章的相关规定。

13.2.1.3 锚机的设计、制造和试验应符合 CCS 接受的行业标准或准则,该标准或准则应能对应力、性能和试验的评定标准予以规定。下列为公认标准的示例:

<u>SNAME T &amp; R Bulletin 3-15</u>	商船锚机设计和试验指南
<u>ISO 7825</u>	甲板机械通用要求
<u>ISO 4568</u>	造船—海船—锚机和起锚绞盘
<u>JIS F6714</u>	锚机
<u>BS MA35</u>	船舶甲板机械锚机规范

### 13.2.2 定义

13.2.2.1 本节中所涉及的名词术语定义如下。

(1) 工作负载:系指在锚链轮出链处测得的拉力。并按本节 13.2.5.2(1)计算得出。

(2) 过载拉力:系指起锚机必需的短时过载能力。

(3) 平均速度:系指开始时有 3 节锚链入水且在自由悬挂的状态下,回收 2 节锚链时的速度。

(4) 支持负载:系指锚链轮制动器应能承受的锚链上最大静负载。

### 13.2.3 图纸资料

13.2.3.1 应将体现设计规格、应用标准、工程分析、建造细节的下列图纸资料(如适用)提交批准:

(1) 起锚机结构详图（含重要零部件强度计算及所选材料等资料）；

(2) 锚机装置动力系统图。

(1) 锚机布置图，包括锚泊系统的所有组件，如原动机、传动轴、锚链轮、锚和锚链、系泊绞车以及缆绳和导缆器（适用锚绞组合机）、制动器、控制系统等；

(2) 锚机和绞车（适用时），包括制动器、止链器（如设有）和基座，其所有扭矩传递部件（轴、齿轮、离合器、联轴器及其螺栓等）和承载部件（轴承、锚链轮、滑轮、卷筒、支架等）的尺寸、材料和焊接详图（如适用）；

(3) 液压系统图，包括有系统设计压力说明的管系图、安全阀布置与设定、管子和阀门附件的材料规格、典型的管接头（如设有）以及液压马达的技术参数和详细资料；

(4) 电力系统单线图，包括电缆型号和截面积、控制箱、保护电器的额定值和整定值（如适用）；

(5) 控制、监测和仪表布置图；

(6) 扭矩传递和承载部件的工程分析以证明其符合公认的标准或准则，齿轮分析应根据公认的标准；

(7) 包括相关传动装置在内的额定功率在 50kW 及以上的锚机电动机的图纸资料；

(8) 如整套锚机装置的负荷试验（包括过载能力）不能在制造厂进行（见 13.2.6.1），应有证明锚机原动机能够达到起升速度、要求的持续负载和过载能力的计算书。

13.2.3.2 应将下列图纸资料提交备查：

(1) 锚机设计说明书，包括锚和锚链的详细说明、抛锚深度、性能指标、应用标准等；

(2) 锚机的操作和维护程序，该程序应纳入船舶的操作手册。

### 13.2.4 材料与焊接

13.2.4.1 在锚链轮脱开时受到锚链拉应力部件（如：主轴，传动齿轮、锚链轮、链滑轮和制动杆等等）的材料一般应由钢制成。如锚链通过止链器，则止链器应采用塑性材料制成。材料的试验应符合 CCS《材料与焊接规范》的规定。

13.2.4.2 用于制造锚机装置扭矩传递和承载部件的材料及其试验应满足 CCS《材料与焊接规范》的相关要求，施工图纸应对拟定的材料予以说明并随设计一并获得批准。上述材料应持有制造商证书。

13.2.4.3 锚机制造图纸中的焊接应予以充分说明并获得批准。焊接工艺和焊工资格应满足 CCS《材料与焊接规范》的要求。焊接材料应获得 CCS 型式认可。对焊缝的无损检测和焊后热处理（如有时）的程度，应予以详细说明并提交 CCS 考虑。

### 13.2.5 设计和要求

#### 13.2.5.1 驱动型式

起锚机一般应由独立于其他甲板机械的原动机或电动机驱动。对于液压起锚机，其液压管路如与其他甲板机械管路相连接时，应保证起锚机的正常工作不受影响。

锚重量不超过 250kg 的船舶，如手动起锚机能适合其使用时，可以配置手动起锚机，手动起锚机应有防止手柄打伤人的措施。

#### 13.2.5.2 驱动功率

起锚机应具有足够的功率，且应能连续工作。其工作负载和过载拉力应满足下列要求：

(1) 在满足本节 13.2.6.3 规定的平均速度时，起锚机应有连续工作 30min 的能力，其工作负载为一般在下列工作负载条件下，每个扭矩传递部件的应力应不超过材料屈服强度（或 0.2% 规定非比例延伸强度）的 40%：

① 设计抛锚深度小于或等于 82.5m 时

A1 级有档链  $37.5d^2$ ，N

A2 级有档链  $42.5d^2$ ，N

A3 级有档链  $47.5d^2$ ，N

② 设计抛锚深度大于 82.5m 时

A1 级有档链  $37.5d^2 + (D - 82.5) \times 0.27d^2$ ，N

A2 级有档链  $42.5d^2 + (D - 82.5) \times 0.27d^2$ ，N

A3 级有档链  $47.5d^2 + (D - 82.5) \times 0.27d^2$ ，N

式中： $d$  ——锚链直径，mm；



$D$  ——抛锚深度, m。

(2) 起锚机应能在过载拉力作用下(不要求速度)至少连续工作 2min, 以便于起锚时破土。过载拉力应不小于工作负载的 1.5 倍。

### 13.2.5.3 其他设计载荷

#### (1) 支持载荷

应进行计算证明, 在负载工况下(单锚, 制动器刹紧, 离合器脱开)承受相当于规定的锚链最小破断载荷 80% 的负载时, 各承载部件的最大应力应不超过材料的屈服强度(或 0.2% 规定非比例延伸强度)。如设有止链器, 计算时则可采用相当于规定的锚链最小破断载荷 45% 的负载。

#### (2) 惯性载荷

驱动机构的设计, 包括原动机、减速齿轮、轴承、离合器、轴、锚链轮、传动销等, 应考虑原动机或锚链突然停止和起动的动力效应, 以限制惯性负载。

#### 13.2.5.34 倒转装置

所有动力操纵的起锚机均应能倒转。

#### 13.2.5.45 离合器

起锚机的链轮与驱动轴之间应装有离合器, 离合器应有可靠的锁紧装置。液压或电动离合器应能手动脱开。

#### 13.2.5.56 制动器

起锚机的链轮或卷筒应装有可靠的制动器, 以便抛锚后足以刹住锚和锚链。制动器刹紧后, 应在分别承受如下负荷的情况下, 其受力零件不应有永久变形, 其制动装置也不应有打滑现象。

(1) 对装有止链器的锚机装置, 应能承受锚链或钢索破断载荷 45% 的静拉力, 或能承受锚链上的最大静负荷;

(2) 对无止链器的锚机装置, 应能承受锚链或钢索破断载荷 80% 的静拉力。

#### 13.2.5.67 止链器

锚机装置一般应装有有效的如设有止链器, 止链器及其附属件应能承受相当于锚链破断载荷 80% 的静拉力, 且其应力应不大于其材料屈服点 90% 不应有永久变形。

#### 13.2.5.78 过载保护

原动机和传动装置应设有防止超力矩和冲击的保护。

#### 13.2.5.9 机械部件的保护

为了保护包括部件外壳在内的机械部件, 应安装合适的保护系统, 以限制原动机的速度和扭矩。应考虑采用某种方法, 一旦锚链不受控的抛出, 可能需要承接因超速导致原动机严重损坏而产生的碎片, 以防其飞溅伤人, 特别是当轴向活塞式液压马达用作原动机时。

#### 13.2.5.810 液压系统

锚机装置的液压系统还应符合本篇第 2 章第 7 节及第 4 章第 7 节的有关规定。

#### 13.2.5.11 标记

锚机装置上应永久标记如下信息:

(1) 锚链的公称尺寸(例如: 100/3/45 表示锚链直径/等级/破断载荷)

(2) 最大抛锚深度, 单位 m。

13.2.5.912 对锚、锚链、锚机固定的强度要求等, 详见本规范第 2 篇第 3 章第 2 节的相关要求。

#### 13.2.5.13 电气系统

(1) 电动机应满足《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 2 节的要求, 额定功率 50kW 及以上的电动机应持有产品证书。安装在露天的电动机应具有适合其安装位置的外壳防护型式, 详见《钢质海船入级规范》第 4 篇表 1.3.2.2。若配置了传动齿轮, 应满足 ISO6336-6 或其他可接受标准的要求, 额定功率 100kW 及以上的传动齿轮应持有产品证书。

(2) 电动机的保护应满足《钢质海船入级规范》第 4 篇第 2.5.10 的要求。电动机供电电缆的截面积应根据《钢质海船入级规范》第 4 篇第 12 节的要求确定。安装在露天甲板的电缆应有有效的机械防护。

## 13.2.6 试验

### 13.2.6.1 制造厂试验

(1) 管系中泵、管路、阀及其附件的试验, 应按本篇第 2 章的相关要求进行。

(2) 锚机装置液压动力单元的柴油机, 见本篇第 9 章。

(3) 液压锚机装置动力单元的电动机, 见本规范第 4 篇第 3 章。

(4) 对各个部件进行试验和总装完毕后,对锚机装置进行最后检验和功能试验,以确认其满足上述 13.2.5 的设计要求。锚机装置应在验船师到场后至少做如下试验:

①空载试验

锚机应在额定转速下无负载正反转运行试验共 30min;如设有减速齿轮,应在各转向的每一级转速下额外运行 5min。

②负载试验

锚机应通过试验来验证 13.2.5.2 规定的持续负载能力和短时过载能力。对于大型锚机,如制造厂无足够的设施,则上述功能负载试验可在船上进行,在此情况下,在制造厂内的功能试验可在空载条件下进行。

③刹车能力试验

制动器的支持能力应通过试验加以验证,作为替代亦可通过计算加以确认。

13.2.6.2 船上试验

安装上船以后,锚机装置液压系统应经 1.25 倍设计压力进行液压密性试验。

锚机装置装船后应在工作条件下进行试验以证明其运行正常。每台装置应单独进行制动器、离合器功能试验以及锚链和锚的起降试验、锚链和锚链轮的磨合试验、锚链在锚链筒和锚链管中的运行试验、锚链和锚的存放试验。应对锚的存放到位和止链器(如设有)功效加以确认。其中,制动器功能试验应在间歇性的抛锚过程中运用制动器来控制锚链。

13.2.6.3 航行试验

(1) 在航行试验时,起锚机应有能力以平均速度不小于 9m/min,将一只锚从水深 82.5m 处拉起至深度 27.5m 处(相当于拉起 2 节锚链)。对在许可航行试验海域内的水深不能达到上述要求时,则在航行试验时,应选择许可航行试验海域内水深最深的海域进行试验。

(2) 当设计抛锚深度大于 82.5m 时,起锚机还应有能力以平均速度不小于 3m/min,将一只锚从设计抛锚深度处拉至 82.5m 处。抛锚试验的水深达不到设计抛锚深度时,可考虑接受等效的模拟试验。

## 第 16 章 小船与有限航区船舶轮机补充规定

### 第 1 节 一般规定

#### 16.1.1 适用范围

16.1.1.1 本章规定适用于小船下列船舶的轮机装置,这些规定可以代替本篇前述的有关规定。

- (1) ~~具有“1 类航区”、“2 类航区”或与之相当附加标志的货船;~~
- (2) ~~具有“3 类航区”或与之相当附加标志的船舶;~~
- (3) ~~小于 500 总吨的船舶。~~

### 第 2 节 轮机装置补充规定

#### 16.2.1 瘫船起动

16.2.1.1 本篇 1.2.6 条对下列船舶小于 500 总吨的货船不要求。

- (1) ~~2 类航区及其之下航区货船和 3 类航区客船(国际航行船舶除外);~~
- (2) ~~小于 500 总吨的货船。~~

#### 16.2.2 锅炉布置

16.2.2.1 小于 500 总吨的货船,如采取有效隔热措施,本篇 1.3.2.2 规定的锅炉与燃油舱之间的距离可适当减小。

#### 16.2.3 机器处所内舱底水吸口布置

16.2.3.1 ~~对于 2 类航区及其之下航区货船或小于 500 总吨的船舶，本篇表 3.3.2.1 中直通舱底水吸口的数量均可改为 1 个，支吸口的数量均可改为 2 个。~~

~~对 500 总吨以下的船舶，本篇表 3.3.2.1 中支吸口的数量均可改为 2 个。~~

~~小于 100 总吨的船舶，本篇表 3.3.2.1 中支吸口的数量均可改为 1 个。~~

16.2.3.2 小于 500 总吨的货船、小于 100 总吨的非国际航行客船或小于 500 总吨的 3 类航区客船船舶（国际航行客船除外），可不设本篇 3.3.3.1 所要求的舱底水应急吸口。

#### 16.2.4 舱底水泵和舱底水管系

16.2.4.1 本篇表 3.4.1.1 所规定的每艘船舶的动力舱底泵数量和驱动方式，对下列船舶可按如下要求：

（1）小于 100 总吨且载客不超过 100 人的非国际航行客船，如航行时间不超过 4 小时，可设 2 台独立动力舱底泵；

（2）小于 100 总吨的货船，舱底泵可设 1 台机带泵和 1 台手动泵。

16.2.4.2 船长小于或等于 25m 的船舶，本篇 3.4.3.4 所要求的舱底水支管的内径，可减小至 40mm。

16.2.4.3 船长小于或等于 60m 的船舶，本篇 3.4.3.6 所要求的轴隧舱底水支管内径，可减小至 50mm。

16.2.4.4 小于 500 总吨的船舶，本篇 3.4.8.1 规定的机、炉舱和货舱污水井容积，可适当减小，但应不小于 0.10m<sup>3</sup>。

16.2.4.5 小于 100 总吨的船舶，本篇 3.4.8.2 规定的机、炉舱的舱底水吸入管，可在管端装设滤网箱以替代泥箱。

#### 16.2.5 燃油日用柜

~~16.2.5.1 对非国际航行的有限航区，本篇 4.2.1.8 所要求的每一燃油日用柜的容量，可根据不同情况予以减少，但不少于 4h；~~

16.2.5.1 小于 500 总吨的货船，本篇 4.2.1.8 条规定对下列船舶不要求。

~~（1）本章 16.1.1.1(2)的船舶（国际航行船舶除外）；~~

~~（2）小于 500 总吨的货船。~~

#### 16.2.6 锅炉燃烧装置

16.2.6.1 ~~对本章 16.1.1.1(1)和(2)的船舶小于 500 总吨的货船，本篇 4.2.2.2 所指的重要用途辅锅炉或供重油加热用蒸汽的辅助锅炉，如备有 1 台便于安装和连接的完整的燃油泵，可仅设 1 套燃油供给装置。~~

~~对于 500 总吨以下的货船，可仅设 1 套燃油供给装置。~~

#### 16.2.7 燃油供给泵

16.2.7.1 ~~对本章 16.1.1.1(1)和(2)的船舶，本篇 4.2.3.1 要求燃油供给泵，如备有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵，或有合适的泵接入该系统时，则可不设备用泵。小于 500 总吨的货船，可不设本篇 4.2.3.1 要求的备用泵或备品泵。~~

#### 16.2.8 锅炉给水泵

16.2.8.1 ~~对本章 16.1.1.1(1)和(2)的船舶小于 500 总吨的货船，本篇 4.4.1.1 所指的重要用途辅锅炉或供重油加热用蒸汽辅锅炉，如备有 1 台便于安装和连接的给水泵，可仅设 1 台给水泵。~~

~~对于 500 总吨以下的货船，上述辅助锅炉可仅设 1 台给水泵。~~

#### 16.2.9 锅炉给水管系

16.2.9.1 符合本章 16.2.8 规定可仅设 1 台给水泵的辅锅炉，本篇 4.4.2.1 中关于设置 2 套独立给水管系的要求可以不适用。

#### 16.2.10 冷凝水泵

16.2.10.1 ~~对本章 16.1.1.1(1)和(2)的船舶小于 500 总吨的货船，如为非蒸气推进，则本篇 4.4.4.1 所指的冷凝水泵，可设 1 台冷凝水泵和 1 台便于安装和连接的备品泵。500 总吨以下货船可不要求设备用泵或备品泵。~~

#### 16.2.11 冷却水泵

---

16.2.11.1 对于本章 16.1.1.1(1)和(2)的船舶，本篇 4.5.1.1 要求的备用冷却水泵，可用其他具有足够排量的泵或备有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵代替。小于 500 总吨的货船，可不要求设本篇 4.5.1.1 要求的备用泵或备品泵。

#### ~~16.2.12 滑油泵~~

~~16.2.12.1 对有限航区的船舶，如主机单机功率不大于 440kW 时，可以不设本篇 4.6.1.1 要求的备用泵。~~

#### ~~16.2.1243 油舱舱底水管系~~

~~16.2.1243-1 小于 150 总吨的油船，本篇 5.3.2.1 规定的货油泵舱的舱底水可用吸入管内径为 50mm 的手动泵进行排水。~~

#### ~~16.2.14 操舵装置~~

##### ~~16.2.14.1 操舵装置替代动力源~~

~~对本章 16.1.1.1(2)的船舶，本篇 13.1.8.6 要求可以不适用。~~

#### ~~16.2.1345 油舱柜空气管~~

~~16.2.1345.1 小于 500 总吨的货船，本篇 3.10.2.5 条规定对下列船舶不要求。~~

~~(1) 2 类航区及其之下航区船舶（国际航行船舶除外）；~~

~~(2) 小于 500 总吨货船。~~

#### ~~16.2.1416 油舱柜短测量管~~

~~16.2.1416.1 对于非国际航行的船舶，如双层底舱以上的燃油舱柜设有高液位报警装置，则当其测量管终止于机器处所时，仅需满足本篇 3.10.10.1(2)和(3)的要求。~~

~~16.2.1416.2 对位于双层底舱的燃油舱柜，当其测量管终止于机器处所时，对小于 500 总吨的货船下列船舶仅需满足本篇 3.10.10.1(2)和(3)的要求。~~

~~(1) 2 类航区及其之下航区船舶（国际航行船舶除外）；~~

~~(2) 小于 500 总吨货船。~~



中国船级社

# 钢质海船入级规范

2018年修改通报

第4篇 电气装置

# 目 录

第 2 章 船上电气装置.....	4
第 2 节 应 急 电 源.....	4
第 3 节 外 来 电 源.....	4
第 9 节 船 舶 与 乘 员 安 全 系 统.....	4
第 12 节 电 缆.....	5
第 3 章 电气设备的制造与试验.....	7
第 2 节 旋 转 电 机.....	7
第 3 节 配 电 板 与 配 电 电 器.....	7
第 4 章 小船与有限航区船舶小于 500 总吨货船的补充规定.....	8
第 1 节 <del>一 般 规 定</del> .....	8
第 2 节 <del>1 类航区航行船舶</del> .....	8
第 3 节 <del>2 类、3 类航区航行船舶</del> .....	8
第 4 节 小 于 500 总 吨 货 船.....	9

## 第2章 船上电气装置

### 第2节 应急电源

~~2.2.2.1(7) 对具有“2类航区”附加标志,且定期从事离岸不超过20n mile短程航行的船舶,如经CCS认为能达到同样的安全程度,则可采用较本条(1)至(4)所规定36h为短的供电时间,但应不少于12h。~~

~~2.2.3.1(7) 对具有“2类航区”附加标志,且定期从事离岸不超过20n mile短程航行的船舶,如经CCS认为能达到同样的安全程度,则可同意比本条(2)至(5)款所规定18h为短的供电时间,但应不少于12h。~~

### 第3节 外来电源

#### 2.3.1 额定电压1kV及以下的接岸电连接

2.3.1.1 如船上的设备需由岸电或其他外来电源供电,则应在船上便于连接来自外部电源软电缆的适当地方设置一符合本篇3.3.2.112规定的岸电箱。在岸电箱与主配电板或应急配电板间应以固定敷设并具有足够定额的电缆相连。

2.3.1.2 当岸电或/和船电系统为中性点接地的交流三相系统时,则应设有将船体与岸地相连接的设施。当船电系统为以船体作回路的直流系统时,应将岸电的负极接于船体。

2.3.1.3 在主配电板或应急配电板上应设有岸电指示器,以指示岸电电缆已经通电。

2.3.1.4 如采用自动控制设备连接和断开岸电,自动控制设备应满足本规范第7篇第2章的适用要求。

2.3.1.5 除2.3.1.6所述之外,应设有所有主发电机和应急发电机与岸电之间的联锁装置,以避免同时供电。

2.3.1.6 如系统具备岸电与船舶电站短时并联转移负载的功能,应满足第8篇第19章第19.2.5.3、19.2.5.4和19.2.6的要求。

#### 2.3.2 额定电压1kV以上的岸电连接

2.3.2.1 仅采用断电方式在岸电和船舶电站之间转移负载的岸电连接系统,至少应满足本规范第8篇第19章第19.2.1.2、19.2.2、19.2.3、19.2.4、19.2.5.2和19.2.6的要求。

2.3.2.2 具备岸电和船舶电站之间短时并联转移负载功能的岸电连接系统,至少应满足本规范第8篇第19章第19.2.1.2、19.2.2、19.2.3、19.2.4、19.2.5.3、19.2.5.4和19.2.6的要求。

2.3.2.3 船上安装的岸电设备应满足本规范第8篇第19章第3节的要求。

### 第9节 船舶与乘员安全系统

2.9.3.4 用于保护机器处所的固定式气体灭火系统的施放前报警和释放不应导致自动切断机舱风机和油泵。

## 第 12 节 电 缆

### 绝缘材料及其最高工作温度

### 表 2.12.2.2

绝 缘 材 料	缩 写	导体最高工作温度 (°C)		
		正常工作	短路	
热塑性复合物 <sup>①</sup>	聚氯乙烯 氯乙烯与醋酸乙烯的共聚体	PVC	70	150
弹性或热固性复合物	乙丙橡胶	EPR	90	250
	高模量或硬质乙丙橡胶	HEPR	90	250
	交联聚乙烯	XLPE	90	250
	硅橡胶 <sup>②</sup>	S95	95 <sup>②</sup>	350 <sup>③①</sup>
	无卤乙丙橡胶	HF-EPR	90	250
	高模量或硬质无卤乙丙橡胶	HF-HEPR	90	250
	无卤交联聚乙烯	HF-XLPE	90	250
	无卤硅橡胶	HF-S95	95	350 <sup>②</sup>
用于无卤电缆的交联聚烯烃	HF90	90	250	
其他材料	矿物 <sup>③</sup>	—	95	—

注：①—不适用于电力电缆。

②—不适用于镀锡铜导体，仅适用于电力电缆。

③—硅橡胶和矿物绝缘，当它们在船员不易接触的地方时，可允许较高的工作温度(如硅橡胶为 150°C；矿物绝缘则不作限制)，但应经 CCS 同意。

④—硅橡胶允许导体最高工作温度 180°C，但实际最高工作温度受护套材料的限制。

### 电缆连续工作时的电流定额(基准环境温度 45°C)(A) 表 2.12.5.1

绝缘	热塑性复合物			热固性复合物			硅橡胶和矿物绝缘		
	70°C			90°C			95°C		
导体最高工作温度									
mm <sup>2</sup>	单芯	双芯	三芯或四芯	单芯	双芯	三芯或四芯	单芯	双芯	三芯或四芯
1	12	10	8	16	14	11	20	17	14
1.5	15	13	11	23	20	16	26	22	18
2.5	21	18	15	<del>30</del> 40	26	21	32	27	22
4	29	25	20	<del>40</del> 51	34	28	43	37	30
6	37	31	26	52	44	36	55	47	39
10	51	43	36	72	61	50	76	65	53



绝缘	热塑性复合物			热固性复合物			硅橡胶和矿物绝缘		
导体最高工作温度	70℃			90℃			95℃		
mm <sup>2</sup>	单芯	双芯	三芯或四芯	单芯	双芯	三芯或四芯	单芯	双芯	三芯或四芯
16	68	58	48	96	82	67	102	87	71
25	90	77	63	127	108	89	135	115	95
35	111	94	78	157	133	110	166	141	116
50	138	117	97	196	167	137	208	177	146
70	171	145	120	242	206	169	256	218	179
95	207	176	145	293	249	205	310	264	217
120	239	203	167	339	288	237	359	305	251
150	275	234	193	389	331	272	412	350	288
185	313	266	219	444	377	311	470	400	329
240	369	314	258	522	444	365	553	470	387
300	424	360	297	601	511	421	636	541	445

2.12.9.7 当主汇流排按照本章 2.1.1.1 (5) 的规定分成两个或两个以上独立分段时,不同主发电机至主配电板的电缆应至少分成两路敷设,并尽可能远离,例如从左右两舷或从不同甲板平台分开敷设。

2.12.9.87 对要求两路供电的重要设备,例如对航行灯控制箱供电的两路电缆,应尽最大可能在水平及垂直方向远离敷设。

2.12.9.98 对具有双套设备的重要设备或互为备用完成同一重要功能(例如操舵装置的双套动力设备等)的双套系统,其各自的供电及其控制用电缆应尽可能在水平及垂直方向远离敷设。

2.12.9.109 在客船上,配电系统的布置应使本规范第 6 篇所规定的任何主竖区内发生的火灾,不致妨碍任何其他主竖区内安全所必需的设备的供电。如主馈电线和应急馈电线通过任何主竖区时,在垂直和水平方向上均尽可能远离敷设,则可认为满足这一要求。

2.12.9.110 用于重要设备或应急动力设备、应急照明、以及应急状态下使用的船内通信或信号设备的电缆应尽量远离厨房、洗衣间、机器处所及其舱棚、以及其他较大失火危险处所,但对这些处所中的设备供电的电缆可例外。

如可能,所有这些电缆的敷设方式应能防止由于邻近处所失火时可能造成的舱壁高温而使其失效。

2.12.9.124 主干电缆和重要设备的供电和控制用电缆应远离具有较大失火危险的机械、机械部件<sup>①</sup>敷设。除非是:

- (1) 这些设备本身的电缆;
- (2) 以钢质舱壁或甲板与这些设备隔开的电缆;

<sup>①</sup> 包含易燃物的机械、机械部件或设备被认为是具有较大失火危险的机械、机械部件或设备。

(3) 采用耐火电缆。

2.12.9.132 干线电缆暗式敷设的路径上的封闭板应便于开启。

2.12.9.143 电缆不应直接埋在用可燃材料制成的隔热或隔声绝缘层内。采用不燃材料包覆后，将绝缘层分开时，则可敷设在绝缘层内，但这些电缆应该相应降低负荷。

2.12.9.154 耐火电缆的布置和走线应符合下列要求：

(1) 应布置成由于在本节 2.12.3.4 规定的处所或区域之一的局部火灾所引起的有关设备的功能减损为最小；

(2) 电缆应尽可能平直走线。

2.12.9.165 本质安全电路的电缆应与非本质安全电路的电缆分开敷设(例如：不应束聚在一起，不应放在同一罩壳或管道内，也不应用同一夹线板固定)。本质安全电路电缆的外护套应为蓝色或具有蓝色条纹标识。蓝色条纹应清晰可见。

“ia”和“ib”等级的本质安全电路不应共用同一根电缆，应具有各自的专用电缆。

## 第 3 章 电气设备的制造与试验

### 第 2 节 旋转电机

3.2.3.2 当电机的运行环境空气温度高于 45℃时，则其温升限值应较表 3.2.3.1 规定值减去实际环境空气温度与 45℃之差值。

如电机的运行环境空气温度低于 45℃，则其温升限值可较表 3.2.3.1 规定值增加实际环境空气温度与 45℃之差值，但此增加值不应大于 15K。

安装有水冷式热交换器的电机，热交换器进口冷却水温度可视作电机的运行环境空气温度。

### 第 3 节 配电板与配电电器

3.3.2.11 除非满足第 8 篇第 19.2.5.3、19.2.5.4 和 19.2.6 的要求，否则应设有所有主发电机和应急发电机与岸电之间的联锁装置，以避免同时供电。

~~3.3.2.12~~ 用作连接岸电或其他外来电源的岸电箱应具有下列设施：

- (1) 用于连接软电缆的合适的接线柱；
- (2) 用于将船体与岸地相连的接地接线柱；
- (3) 符合本篇 2.5.9.5 规定的开关和保护；
- (4) 指示端电压的指示灯或电压表；
- (5) 检查外来电源与船电系统的极性(直流)或相序(三相交流)是否相符的设施；
- (6) 防止接线端承受过大机械外力的设施；
- (7) 标明船电系统的配电系统的形式、额定电压和频率(对于交流)的铭牌。

3.3.2.123 应急电源或临时应急电源充放电板的充电设备应符合本篇 2.11.3 的要求。

3.3.2.134 在应急电源或临时应急电源充放电板上，应设有充电电源隔离开关和充电电源指示灯。

## 第 6 节 电力与照明变压器

3.6.6.2 温升试验：变压器应在额定负载下或按照接受的标准<sup>①</sup>进行温升试验，温升限值应不超过表 3.6.4.1 的规定。

# 第 4 章 小船与有限航区船舶小于 500 总吨货船的补充规定

## 第 1 节 一般规定

### 4.1.1 一般要求

4.1.1.1 本章规定适用于下列船舶的电气装置，这些规定可以代替本篇前述的有关规定：

- (1) 具有“1 类航区”附加标志或在与之相当航区中航行的船舶；
- (2) 具有“2 类航区”附加标志或在与之相当航区中航行的船舶
- (3) 具有“3 类航区”附加标志或在与之相当航区中航行的船舶；
- (4) 小于 500 总吨的货船。

4.1.1.2 本章中对非国际航行船舶的相关规定，还应满足船旗国主管机关的相关要求。当其  
与本章规定不一致时，可接受船旗国主管机关的规定，不必满足本章要求。

## 第 2 节 1 类航区航行船舶

### 4.2.1 接地指示器

4.2.1.1 除载运危险液货的液货船等载运危险货物的船舶外，小于 1600 总吨的船舶可以用  
接地指示器代替本篇 2.4.2.2 规定的对地绝缘电阻监测报警器。

## 第 3 节 2 类、3 类航区航行船舶

### 4.3.1 一般规定

4.3.1.1 本章 4.2.1.1 的要求适用。

### 4.3.2 主电源

4.3.2.1 非国际 3 类航区航行货船至少设 1 台发电机组。

4.3.2.2 非国际 3 类航区航行客船，如果为主机服务的各种辅机、舵机油泵、消防泵和舱底  
泵由主机驱动，则应至少设 1 台发电机组。

### 4.3.3 应急电源

4.3.3.1 非国际 2 类和 3 类航区航行船舶，本篇 2.2.2.1 和 2.2.3.1(2)至(5)要求的应急电源供  
电时间可缩短为：

- (1) 2 类航区：客船——6h，——货船——3h；

<sup>①</sup>参见 IEC 60076 系列出版物或其等效的标准。

~~(2) 3类航区：客船——3h，——货船——3h。~~

~~4.3.3.2 非国际3类航区航行船舶，可以不设本篇第2章第2节要求的应急电源，但应设一独立的并符合下列要求的备用电源：—~~

~~(1) 备用电源应为符合下列要求的蓄电池组：—~~

~~① 不应与主电源在同一处所内，并应尽可能安装在最高一层连续甲板以上；—~~

~~② 符合本篇2.2.1.4(1)、(2)和1.2.1.1(2)的要求；—~~

~~③ 能立即对本节4.3.3.3(2)规定的各项设备供电。—~~

~~(2) 备用电源的容量应足以对下列设备供电至少3h。—~~

~~① 登乘救生艇、筏的集合地点、登乘地点及舷外、所有走廊、梯道和出口、超过16人的居住舱室、主配电板、备用电源所在处所以及控制站的照明；—~~

~~② 航行灯和《国际海上避碰规则》要求的其他号灯；—~~

~~③ 在紧急情况下需要使用的船内通信设备；—~~

~~④ 探火和失火报警系统(如设有时)；—~~

~~⑤ 断续使用的白昼信号灯、船舶号笛、手动失火报警按钮(如设有时)和所有在紧急状态下需要使用的船内信号设备(例如通用紧急报警系统等)；~~

~~⑥ 船上配备的无线电通信设备~~

#### ~~4.3.4 变压器~~

~~4.3.4.1 非国际3类航区航行的货船可不必满足本篇2.1.3.1(1)和(2)的要求。—~~

#### ~~4.3.5 无线电设备的供电~~

~~4.3.5.1 非国际航行2类和3类航区航行的船舶，无线电设备供电应满足船旗国主管机关的要求，可不必满足本篇2.4.8.5的要求。—~~

## 第4节 小于500总吨货船

### 4.14.1 一般要求

4.14.1.1 本章规定适用于小于500总吨的货船的电气装置，这些规定可以代替本篇前述的有关规定。

~~本章4.2.1.1和4.3.3的要求适用。—~~

~~4.1.1.2 除载运危险液货的液货船和载运其他危险货物的船舶外，可以用接地指示器代替本篇2.4.2.2规定的对地绝缘电阻监测报警器。—~~

~~4.1.1.3 本规范第10篇第4章第4.3.3的要求适用。—~~

### 4.14.2 配电系统

4.14.2.1 除本篇2.4.1.1所列配电系统之外，还可采用交流三相四线绝缘系统。

### 4.14.3 主电源

4.14.3.1 本篇2.1.1.1(2)要求的最低舒适居住条件可不作要求。

4.14.3.2 本篇2.1.1.1(4)和(5)的要求可不必满足。

4.14.3.3 配电板的位置可不必满足本篇2.1.4.1的要求。

### 4.14.4 备用电源

4.14.4.1 可以不设本篇第 2 章第 2 节要求的应急电源，但应设一独立的并符合下列要求的备用电源：

(1) 备用电源应为符合下列要求的蓄电池组：

- ① 不应与主电源在同一处所内，并应尽可能安装在最高一层连续甲板以上；
- ② 符合本篇 2.2.1.4(1)、(2)和 1.2.1.1(2)的要求；
- ③ 能立即对本节 4.24.4.1(2)规定的各项设备供电。

(2) 备用电源的容量应足以对下列设备供电至少 3h：

- ① 登乘救生艇、筏的集合地点、登乘地点及舷外、所有走廊、梯道和出口、超过 16 人的居住舱室、主配电板、备用电源所在处所以及控制站的照明；
- ② 航行灯和《国际海上避碰规则》要求的其他号灯；
- ③ 在紧急情况下需要使用的船内通信设备；
- ④ 探火和失火报警系统(如设有时)；
- ⑤ 断续使用的白昼信号灯、船舶号笛、手动失火报警按钮(如设有时)和所有在紧急状态下需要使用的船内信号设备(例如通用紧急报警系统等)；
- ⑥ 船上配备的无线电通信设备。

#### 4. 14. 5 航行灯控制箱的供电

4.24.5.1 航行灯控制箱可由主配电板和备用电源供电。



中 国 船 级 社

钢质海船入级规范

2018 年修改通报

第 6 篇 消 防

## 目 录

2018年修改通报.....	1
第1章 通 则.....	3
第1节 一般规定.....	3
第2章 灭 火 系 统.....	3
第1节 水灭火系统.....	3
第2节 固定式气体灭火系统.....	3
第3章 防 火 安 全 措 施.....	4
第4节 其 他.....	4

# 第1章 通 则

## 第1节 一般规定

### 1.1.1 一般要求

1.1.1.1 国际航行的客船和 500 总吨及以上的货船,其探火、防火与灭火(以下简称“消防”)应符合《1974 年国际海上人命安全公约》(以下简称“SOLAS 公约”)及其修正案的有关规定,并注意到船旗国主管机关的要求(如有时),但不包括船上人员资质、管理、操作和维护保养要求。小于 500 总吨船舶应满足本社《非公约船舶检验指南》的有关消防要求。

1.1.1.2 相关系统和设备的性能标准和试验方法应符合《国际消防安全系统规则》(以下简称“FSS 规则”)和《国际耐火试验程序应用规则》(以下简称“FTP 规则”)的有关规定。

1.1.1.3 除上述要求外,国际航行船舶的消防还应满足本篇的要求。

1.1.1.4 国际航行船舶消防还应满足本规范第 1 篇的适用要求。

~~1.1.1.5 非国际航行船舶的消防,应满足船旗国主管机关的相关要求或其接受的标准。~~

1.1.1.6 如必要时,船舶经营人/所有人还应注意到其他行业和组织涉及船舶消防的有关标准,但这些要求并不作为 CCS 入级的条件。

### 1.1.2 图纸资料

1.1.2.1 应将下列图纸资料提交批准:

(5) 水灭火系统布置图和计算书;

# 第2章 灭 火 系 统

## 第1节 水灭火系统

### 2.1.2 消防泵的数量和布置

2.1.2.1 货船应按下列规定设置消防泵:

(1) ~~1000 总吨以下、500 总吨及以上~~ 500 总吨及以上但小于 1000 总吨的货船应至少 2 台,其中 1 台为独立驱动的消防泵;

(2) 500 总吨以下的货船应至少设 1 台独立驱动的消防泵。

### 2.1.3 消防总管的直径和压力

2.1.3.1 ~~消防总管和消防水管的直径应足够有效地从 2 台同时工作的消防泵输送所需的最大出水量,但对货船,其直径仅需满足排送 140m<sup>3</sup>/h 的水量。~~

一般消防总管的直径  $d$  应不小于下式的要求:

$$d = \frac{L}{1.2} + 25 \quad \text{mm}$$

式中:  $d$  ——消防总管的直径, mm, 对于货船 不必超过 125mm (但设计在露天甲板上或其上方,且载运五层及以上集装箱的船舶除外可超过该尺寸), 对于客船不超过 180mm, 但任何情况下应不小于 50mm;

$L$  ——船舶首、尾垂线间长, m。

## 第2节 固定式气体灭火系统

### 2.2.1 一般要求

2.2.1.4 用于保护机器处所的固定式气体灭火系统的释放和报警,包括因试验目的而需要打开释放箱的门,均不应与切断机器处所风机和油泵的系统自动联动。



## 2.2.2 高压二氧化碳灭火系统

### 2.2.2.7 二氧化碳管路应满足下列要求:

- (1) 每个二氧化碳瓶的瓶头阀至集合管的连接管上, 应装有止回阀。
- (2) 集合管至分配阀箱的总管上应装有压力表, 其最大量程应为 1.5 倍的工作压力。
- (3) 通往 A 类机器处所和货泵舱的二氧化碳管径应有足够的尺寸和喷嘴数量, 以使上述处所所需二氧化碳量的 85% 能在 2min 内喷入被保护处所, 其中约 10% 的二氧化碳总量应排放到机舱底层花钢板以下的保护处所。除特种处所以外的车辆处所和滚装处所应确保至少三分之二相关处所所需的气体在 10 min 内被注入。对于集装箱和普通货物处所 (主要拟载运多种独立系固或包装的货物), 固定管系应可使至少三分之二的气体在 10 min 内被注入该处所。对于固体散装货物处所, 固定管系应可使至少三分之二的气体在 20 min 内被注入该处所。系统控制装置应布置成根据货舱的装载状况允许释放气体总量的三分之一、三分之二和全部。
- (4) 通往上述 2.2.2.7(3) 所述处所的二氧化碳管的直径, 应根据预计输送的二氧化碳数量按照公认的标准<sup>①</sup>通过计算决定; 对于 A 类机器处所和货泵舱的二氧化碳管的直径也可通过表 2.2.2.7(4) 确定, 所能通过最大二氧化碳数量相应管径的尺寸示于表 2.2.2.7(4) 中。

# 第 3 章 防火安全措施

## 第 4 节 其他

### 3.4.5 穿过危险区域的管系

3.4.5.3 除了 MARPOL 公约附则 1 第 1(4718) 条的统一解释中所要求的紧急排放外, 上述货油管系和压载管系之间不允许相互连接。

但对专用压载舱作紧急排放时, 可以通过可拆短管接头接通至货油泵。在此情况下, 应在专用压载水接管上设止回阀, 防止货油进入压载舱。可拆短管应放置在货泵舱内明显的位置, 并将限制其使用的警告牌张挂在临近的显著位置处。

<sup>①</sup> 如《二氧化碳灭火系统设计规范》(GB50193-2010), 或《消防设备-二氧化碳灭火系统的使用: 设计和安装》(ISO 6183-2009) 等

## 《钢质海船入级规范》2018 修改通报第 7 篇（报批稿）修改说明

鉴于 UI SC283 已从 IACS 蓝皮书和网站中移除，并在后续的 IACS Machinery Panel 讨论过程中尚未达成最终定稿的一致性意见，所以《钢质海船入级规范》2018 修改通报第 7 篇（中文版报批稿）纳入 UISC283 的修改内容撤销。

而本篇只有该修改内容，因此导致《钢质海船入级规范》2018 修改通报第 7 篇全部撤销。

日期：2017 年 12 月 6 日



中国船级社

钢质海船入级规范

2018年修改通报

第8篇 其他补充规定

## 目 录

第 2 章 牲畜运输船补充规定.....	2
第 4 节 牲畜处所的服务设施.....	2
第 6 节 电气设备.....	2
第 3 章 浮油回收船补充规定.....	3
第 6 节 回收闪点高于 60℃浮油的浮油回收船.....	3
第 6 章 敞口集装箱船补充规定.....	4
第 2 节 有限航区敞口集装箱船.....	4
第 7 章 顶推船—驳船组合体补充规定.....	5
第 1 节 一般规定.....	5
第 10 章 石油沥青船补充规定.....	6
第 1 节 一般规定.....	6
第 11 章 动力定位系统.....	8
第 6 节 环境条件.....	8
第 21 章 船体监测系统.....	9
第 1 节 一般规定.....	9
第 24 章 守护船补充规定.....	10
第 1 节 一般规定.....	10
第 25 章 潜水系统支持船补充规定.....	11
第 3 节 潜水系统的布置.....	11

## 第2章 牲畜运输船补充规定

### 第4节 牲畜处所的服务设施

2.4.6.2 排污布置应使来自一个围栏的污水尽可能避开其他围栏、相关的工作和通道处所。

如必要，泄排水沟和泄排水管路的上开口端应设有带滤孔的覆盖板。另外，泄放管路的布置应使船舶在首、尾倾状态下，泄放系统仍能可用。

### 第6节 电气设备

#### 2.6.2 牲畜船的电源

2.6.2.2 次电源应满足下列要求：

(2) 当主电源供电失效时，次电源的原动机应能确保30分钟内向系统供电。其供电启动电源可为布置有效的独立电源或满足SOLAS II-1章第43条第1.1、1.4、2.1.1、1.4及第2款要求的应急电源可用于上述启动。

(4) 次电源系统的电缆布置应尽量远离主电源系统的电缆布置，且通常不穿过同一处所。

## 第 3 章 浮油回收船补充规定

### 第 6 节 回收闪点高于 60°C 浮油的浮油回收船

#### 3.6.2.2

(3) 应按本章 ~~3.2.3.33.2.3.4~~ 要求设置溢油围板及排污管；

## 第 6 章 敞口集装箱船补充规定

### 第 2 节 有限航区敞口集装箱船

删除本节。

## 第 7 章 顶推船—驳船组合体补充规定

### 第 1 节 一般规定

#### 7.1.1 适用范围

7.1.1.1 ~~顶推船—驳船组合体的补充规定另见本规范第 10 篇第 7 章第 2 节。本章规定仅适用于有限航区的顶推船—驳船组合体。~~

删除整章其余内容。



## 第 10 章 石油沥青船补充规定

### 第 1 节 一般规定

10.1.1.1 本规定适用于申请 10.1.2 附加标志、专门从事运输熔化的散装石油沥青的无限航区船舶，~~有限航区船舶可参照使用。~~

#### 10.1.4 图纸资料

10.1.4.1 所有石油沥青船应将下列图纸资料提交审批：

- (1) 液货舱结构图；
- (2) 液货舱布置图；
- (3) 液货舱绝热材料布置图；
- (4) 检查通道布置图；
- (5) 热油加热系统图；
- (6) 液货监测报警系统图和布置图；
- (7) 热油炉舱布置图；
- (8) 热油系统遥控阀控制系统图；
- (9) 热油炉燃油系统图。

除此之外，下列资料应予提交：

(1) 货物信息(包括允许载运货物的种类及其特性，例如货物比重、闪点、载运温度等，应写明在“船体说明书”中)；

- (2) 液货舱支承装置受力计算书；
- (3) 液货舱绝热性能计算书。

- ~~(1) 货物操作手册(包括允许载运货物的种类及其特性，例如货物比重、闪点、载运温度等)；~~
- ~~(2) 液货舱结构图；~~
- ~~(3) 液货舱布置图及支承装置受力计算书；~~
- ~~(4) 液货舱绝热材料布置图及绝热性能计算书；~~
- ~~(5) 检查通道布置图；~~
- ~~(6) 热油加热系统图；~~
- ~~(7) 液货监测报警系统图和布置图；~~
- ~~(8) 热油炉舱布置图；~~
- ~~(9) 热油系统遥控阀控制系统图；~~
- ~~(10) 热油炉燃油系统图。~~

10.1.4.2 整体液货舱的石油沥青船尚应提交将下列资料提交审批：

- (1) 装载货物温度超过 80℃，船体结构热应力分析(满载和半载状态下) 计算书。

10.1.4.3 独立液货舱的石油沥青船尚应将下列资料提交审批：

- (1) 液货舱及其支承装置布置图；
- (2) 液货舱纵、横向限制装置布置图；
- (3) 液货舱防浮装置结构图；
- (4) 货舱污水阱的高液位报警系统图和布置图。

除此之外，下列资料应予提交：

(1) 液货舱支承装置受力计算书；  
(2) 载运货物温度超过  $180^{\circ}\text{C}$ ，液货舱支撑结构热应力分析(满载状态下)计算书和液货舱结构热应力分析计算书（见本章附录 1 的 1.1.3）。

~~(1) 液货舱及其支承装置布置图；~~  
~~(2) 液货舱支承装置受力计算书；~~  
~~(3) 液货舱纵、横向限制装置布置图；~~  
~~(4) 液货舱防浮装置结构图；~~  
~~(5) 货舱污水阱的高液位报警系统图和布置图；~~  
~~(6) 载运货物温度超过  $180^{\circ}\text{C}$ ，液货舱支撑结构热应力分析(满载状态下)计算书和液货舱结构热应力分析计算书（见本章附录 1 的 1.1.3）。~~

## 第 11 章 动力定位系统

### 第 6 节 环境条件

#### 11.6.1 一般要求

~~11.6.1.2~~ 对于在有限航区航行的船舶，选择环境条件时，应考虑船舶作业海域的主要环境状态的长期分布。

11.6.1.32 在确定动力定位系统的实现能力时，应计算下述 3 种情况下的能力：

- (1) 所有推进器工作；
- (2) 出现单个故障；
- (3) 出现最严重的单个故障。

11.6.1.43 环境力(风、浪、流)和推力应通过风洞和水池试验或其他公认的方法评估。

## 第 21 章 船体监测系统

### 第 1 节 一般规定

#### 21.1.2 附加标志

21.1.2.1 根据系统组成的传感器/组件的不同，经船东申请，船体监测系统可授予下列附加标志：

- (1) HMS：在船舶的船体监测系统内，仅安装监测船中总体纵向应力的传感器。
- (2) HMS(x)：在船舶的船体监测系统内，不仅安装有监测船中总体纵向应力的传感器，还选用监测其他参数的传感器/组件。括号中为选用的传感器/组件的代表字母，多个字母之间以逗号“，”分隔<sup>①</sup>。

船体监测系统可选用下列传感器/组件：

选用的传感器/组件代表字母

表21.1.2.1

字母	说明
G <sub>n</sub>	监测船体总体变形的传感器
D <sub>n</sub>	监测船体局部变形的传感器
O <sub>n</sub>	监测推进轴输出的传感器
A <sub>n</sub>	监测轴向加速度的传感器
M <sub>n</sub>	监测船体刚体运动(6个自由度)的装置
P <sub>n</sub>	监测海水瞬时作用在船体压力(砰击)的传感器
S <sub>n</sub>	监测液舱内液体流动压力(晃荡)的传感器
T <sub>n</sub>	监测温度的传感器
B <sub>n</sub>	监测海面波浪的装置
W <sub>n</sub>	风力传感器
N <sub>n</sub>	外部导航信息传感器
C <sub>n</sub>	与装载仪在线连接，该装载仪应不断修正应力状况

注：n为传感器或装置数目

- (3) HMS-HSC：适用于高速船，其船体监测系统内所安装的传感器/组件应满足表 21.4.3.3。

<sup>①</sup> 例如：某散货船已安装监测船中总体纵向应力的传感器，但同时也安装轴向加速度监测传感器和监测船体局部变形的传感器，则该船经申请后可授予 HMS(D<sub>n</sub>, A<sub>n</sub>)附加标志。

## 第 24 章 守护船补充规定

### 第 1 节 一般规定

24.1.1.2 除本章规定外，适用时，守护船还应符合本规范其他篇章、CCS《材料与焊接规范》的相关要求和船旗国主管机关的有关规定（如有时）。

## 第 25 章 潜水系统支持船补充规定

### 第 3 节 潜水系统的布置

~~25.3.2.3 呼吸气瓶存放区域应提供合适的排水设施~~存放呼吸气瓶的围蔽处所与其它围蔽处所之间的限界面应气密；围蔽处所的门应朝外开启。

25.3.2.4 存放呼吸气瓶的围蔽处所与其它围蔽处所之间的限界面应气密，围蔽处所的门应朝外开启，且围蔽处所内应设有合适的排水设施。~~呼吸气瓶存放区域或处所应提供合适的排水设施。~~

~~25.3.2.7 通风系统应独立于其它处所的通风系统。~~

25.3.2.87 通风系统的空气应来自安全区域。

25.3.2.98 通风系统的风机应为无火花型结构。

25.3.2.109 如呼吸气瓶的混合气体含氧量体积浓度大于25%，应按纯氧处理或操作。

25.3.2.110 纯氧呼吸气瓶应存放在露天甲板上，即不应存放在甲板下处所或区域。

25.3.2.111 含氧量体积浓度小于25%混合气体空气瓶存放在围蔽处所，应符合下列规定：

(1) 至少设置2个具有声光报警的氧气分析仪，其中1个用于监控围蔽处所的上方，另1个用于监控围蔽处所的下方；

(2) 存放呼吸气瓶的围蔽处所，应保持干净，即没有油污或其它杂物。

25.3.2.1312 如潜水系统支持船还用于消防（灭火）目的，则应对氧气瓶提供保护措施，避免其在灭火期间受到热辐射。



中国船级社

# 钢质海船入级规范

2018年修改通报

第9篇 散货船和油船结构（CSR）

## 目 录

第1部分.....	3
第1章 规范总则.....	3
第1节 适用范围.....	3
第2节 规范原则.....	3
第4节 符号和定义.....	5
第5节 装载手册和装载仪.....	6
第2章 总布置设计.....	6
第2节 分舱布置.....	6
第4节 通道布置.....	6
第3章 结构设计原则.....	7
第1节 材料.....	7
第2节 净尺寸方法.....	8
第6节 结构细节原则.....	9
第7节 结构理想化.....	10
第4章 载荷.....	13
第4节 船体梁载荷.....	13
第5节 外部载荷.....	13
第6节 内部载荷.....	14
第8节 装载工况.....	16
第5章 船体梁强度.....	21
第1节 船体梁屈服强度.....	21
附录1 剪流的直接计算.....	21
附录2 船体梁极限能力.....	22
第6章 船体局部尺度.....	22
第2节 载荷应用.....	22
第4节 板.....	23
第5节 普通骨材.....	23
第6节 主要支撑构件和支柱.....	24
第7章 直接强度分析.....	24
第2节 舱段结构强度分析.....	24
第3节 局部结构强度分析.....	26
第8章 屈曲.....	27
第2节 长细比要求.....	27
第5节 屈曲能力.....	27
第9章 疲劳强度.....	30
第1节 总体考虑.....	30
第2节 评估的结构细节.....	31
第3节 疲劳评估.....	34
第4节 简化应力分析.....	35
第6节 结构细节设计标准.....	39
第10章 其他结构.....	42



第1节 首部.....	42
第2节 机器处所.....	42
第3节 尾部.....	43
第4节 受晃荡液舱.....	44
<b>第11章 上层建筑、甲板室和船体舾装</b> .....	<b>45</b>
第1节 上层建筑、甲板室和升降口.....	45
第3节 设备.....	45
第4节 甲板设备和装置的支撑结构.....	49
第5节 小舱口.....	55
<b>第12章 建造</b> .....	<b>55</b>
第3节 焊接接头设计.....	55
<b>第13章 营运船舶换新衡准</b> .....	<b>59</b>
第1节 原则和检验要求.....	59
CCS 附录A 基于等效设计波法的波浪载荷直接计算方法.....	59
CCS 附录B 直接计算载荷工况补充要求.....	61
CCS 附录C 船体梁极限强度评估的非线性有限元方法.....	62
<b>第1章 散货船</b> .....	<b>63</b>
第2节 结构设计原则.....	63
第3节 船体局部尺度.....	63
第4节 船长L小于150m的散货船的船体局部尺寸.....	64
第5节 舱口盖.....	65
<b>第2章 油船</b> .....	<b>66</b>
第3节 船体局部尺度.....	66
第4节 船体舾装.....	67

## 第1部分

### 第1章 规范总则

#### 第1节 适用范围

##### 1.1 通则

###### 1.1.1

本规范适用于下列船舶:

- a) 散货船和双壳油船, 并且;
- b) 无限航区的自航船舶, 并且;
- c) 2015年4月1日及以后签订建造合同。

#### 第2节 规范原则

##### 3.2 船型限制

###### 3.2.1

本规范在环境载荷方面对船型有如下假定:

- $L < 500\text{m}$
- $C_B > 0.6$
- $L/B > 5$
- $B/D < 2.5$

对于船长大于350m的船舶, 其波浪载荷应由船级社特殊考虑。

~~CCS 3.2.1a 对于不满足[3.2.1]条件的船舶, 船体梁动载荷、船体运动、船体加速度、海水动压力除按本篇第4章的要求进行计算外, 还应按[CCS 3.2.1b]至[CCS 3.2.1e]进行计算。~~

~~CCS 3.2.1b 如船长 $L > 350\text{m}$ , 船体梁的垂向波浪弯矩、垂向波浪剪力、水平波浪弯矩和扭矩应按本篇 CCS 附录A 进行核算, 如其包络线最大值大于本篇第4章第4节的计算值(计算时 $C_b$ 取不小~~

~~于0.6), 则采用本篇 CCS 附录A 直接计算结果进行结构强度校核。~~

~~CCS 3.2.1c 如船长 $L \leq 350\text{m}$ , 船体梁的水平波浪弯矩和扭矩应按本篇 CCS 附录A 进行核算。如其包络线最大值大于本篇第4章第4节的计算值(计算时 $C_b$ 取不小于0.6), 则采用本篇 CCS~~

~~附录A 直接计算结果进行结构强度校核。~~

~~如船长 $L \leq 350\text{m}$ , 船体梁的垂向波浪弯矩、垂向波浪剪力取本篇第4章第4节的计算值(计算时 $C_b$ 取不小于0.6)。~~

~~CCS 3.2.1d 各动载荷工况下的船体运动和加速度, 应按本篇 CCS 附录A 进行直接计算。海水动压力应按本篇附录A 进行直接计算。~~

~~CCS 3.2.1e 对于不满足本节[3.2.1]条件的船舶, 除采用本篇第4章规定的船体运动、加速度、海水动压力进行结构强度评估外, 还需按[CCS 3.2.1d]的计算结果进行相应的结构强度评估。~~

CCS 3.2.1a 对于不满足[3.2.1]条件的船舶, 船体梁动载荷、船体运动、船体加速度、海水动压力等应按如下要求进行计算。

1) 如船长 $L > 350\text{m}$ ,

a) 船体梁的垂向波浪弯矩、垂向波浪剪力、水平波浪弯矩和扭矩应分别按如下章节要求计算, 取大者用于强度评估和疲劳评估。

- 本篇第1部分 CCS 附录A
- 本篇第1部分第4章第4节(计算时 $C_b$ 取不小于0.6)

b) 船体运动、加速度、海水动压力应分别按如下章节要求计算, 并分别用于强度评估和疲劳评估。

- 本篇第1部分 CCS 附录A

- 本篇第1部分第4章
- 2) 如船长  $L \leq 350m$ , 对于不满足本节[3.2.1]的其它船型限制条件的船舶,
  - a) 船体梁的垂向波浪弯矩、垂向波浪剪力应按本篇第1部分第4章第4节(计算时  $C_B$  取不小于0.6)计算, 用于强度评估和疲劳评估。
  - b) 船体梁的水平波浪弯矩和扭矩应分别按如下章节要求计算, 取大者用于强度评估和疲劳评估。
- 本篇第1部分 CCS 附录A
- 本篇第1部分第4章第4节(计算时  $C_B$  取不小于0.6)
- c) 船体运动、加速度、海水动压力应分别按如下章节要求计算, 并分别用于强度评估和疲劳评估。
- 本篇第1部分 CCS 附录A
- 本篇第1部分第4章

5.3.2 SLS、ULS 和 ALS 设计载荷

舱室边界的结构评估, 如舱壁, 是基于与船型和营运相关的装载工况。

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  $C_b$  被应用于规范载荷值的计算。整体和局部的动载荷以及冲击载荷(见表 1)的概率水平是  $10^{-8}$ , 采用长期统计方法导出。

晃动载荷(见表 1)的概率水平采用  $10^{-4}$ 。

载荷环境和对应的规范要求

表 1

营运	载荷类型	设计载荷环境 (参见第4章第7节)	验收衡准 (第6章和第7章规定)
航行状态			
短暂	恶劣天气的静态和动态载荷	S + D	AC-SD AC-SD
	恶劣天气的冲击载荷	冲击 (I)	AC-I
	内部晃动载荷	晃动 (SL)	AC-S
	循环波浪载荷	疲劳 (F)	-
径流法或顺序法 压载水置换	恶劣天气的静态和动态载荷	S + D	AC-SD
在港和遮蔽海域			
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	S	AC-S
舱室试验	在舱室试验过程中的典型最大载 荷	S	AC-S
港内特殊工况	在港口特殊工况中的典型最大载 荷, 如漂浮中的螺旋桨检验和干坞 装载工况	S	AC-S
事故工况			
进水工况	由于事故进水工况导致的内部水 密分舱结构所承受的典型最大载 荷	A	AC-SD AC-S

应对用于结构验证的设计载荷环境施加同时作用的、适用的局部和总体载荷分量。相关的设计载荷环境见第4章第7节。

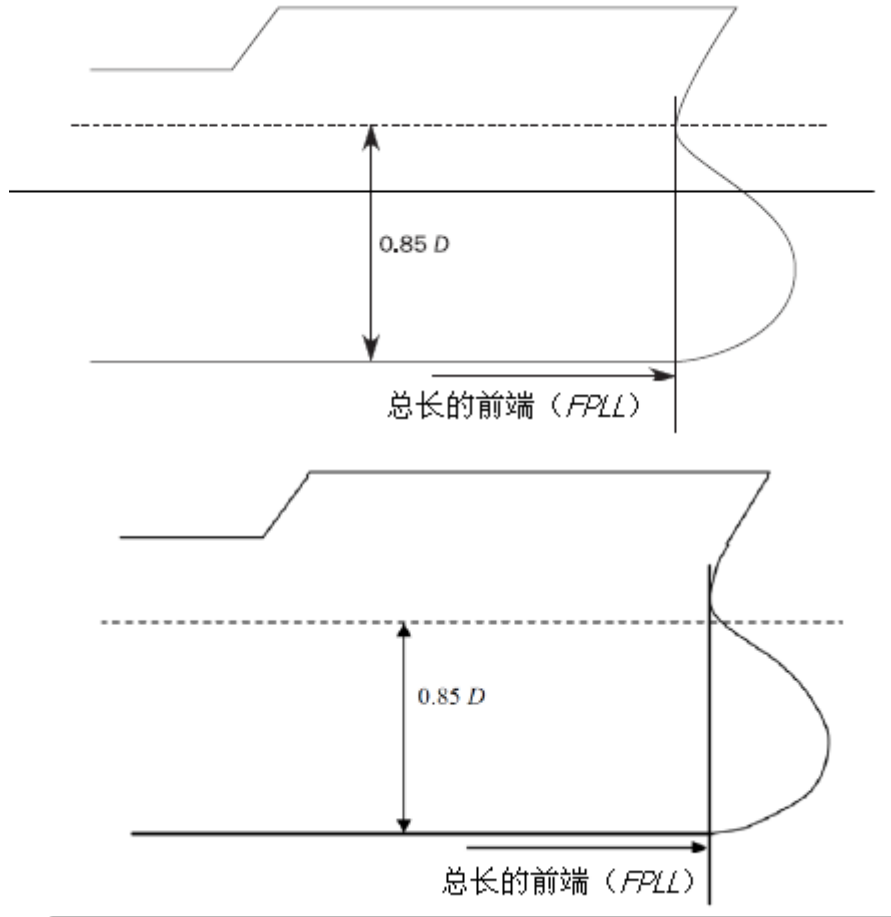
通过第4章给出的动载荷值上乘以动载荷组合因子来规定同时出现的动载荷。定义动载荷工况的动载荷组合因子见第4章第2节。

船体梁极限强度的设计载荷工况见第5章第2节。

### 第4节 符号和定义

#### 3.1 主尺度

##### 3.1.2 $L_{LL}$ , 干舷船长



##### 3.1.5 吃水

$T_{BAL}$  是符合结构强度要求的船中<sup>最小</sup>设计正常压载吃水(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，这个正常压载吃水是包括压载水置换操作(如有)的压载工况的<sup>最小</sup>吃水。

##### 3.1.8 方形系数

在结构吃水处的方形系数  $C_B$  的定义为：

$$C_B = \frac{\Delta}{1.025 L T B_{SC}}$$

$$C_B = \frac{\Delta}{1.025 L B T_{SC}}$$

##### 3.8.1 术语定义

术语定义

表 7

术语	定义
.....	.....
箱形龙骨	箱形板材制成的龙骨， <u>延伸至液货舱的长度</u> 。用已容纳通向船首的压载水管路和其他管路，如无此龙骨，这些管路即须穿越液货舱和/或压载舱。
.....	.....
螺旋桨柱	<u>尾框架的前柱，用于支撑螺旋桨轴。</u>
.....	.....

舵柱	尾框架的后柱，用于悬挂舵（也称为尾柱）
船尾	船舶尾端
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连接在船体尾端，组成船尾的强力构件。包括舵柱、螺旋桨柱和螺旋桨孔
.....	.....

(仅列出部分表格)

## 第5节 装载手册和装载仪

### 2.3 散货船特殊要求

#### 2.3.2

##### 装载手册应描述

- 按照第4章第4节货舱进水工况下静水弯矩和静水剪力包络值和许用值；
- 满载吃水时可能空舱的货舱或货舱组合。如满载吃水时不允许任何货舱空舱，应在装载手册中明确声明；
  - 每个货舱载货和其双层底内物品的最大允许载货量和最小要求载货量与货舱中部吃水的函数关系，见第4章第8节[4.3]；
  - 每两个相邻货舱载货和其双层底内物品的最大允许载货量和最小要求载货量与货舱平均吃水的函数关系。该平均吃水可取两个货舱中部吃水的平均值，见第4章第8节[4.3]；
  - 双层底最大允许载货量以及除散货以外的货物的性质的说明书；
  - 甲板和舱口盖的最大许用载荷。如船舶未获批准在甲板和舱口盖载货，则应在装载手册中予以明确声明；
  - 压载水最大变化率，以及以能达到的压载变化率为基础的装载计划，应取得港口方面同意的建议。

## 第2章 总布置设计

### 第2节 分舱布置

#### 1.1 水密舱壁的数量和位置

##### 1.1.1

所有船至少需具有以下水密横舱壁：

- a) 一道防撞舱壁；
- b) 一道尾尖舱舱壁；
- c) ~~机器处所每一端一道舱壁。一道机器处所前端舱壁，和一道机器处所后端舱壁（可能是尾尖舱舱壁）。~~

### 第4节 通道布置

#### 2.1 通则

##### 2.1.1 船舶结构通道手册

船舶应设置通道以进行船体结构的总体和近观检验以及测厚。通道应在《船舶结构通道手册》中予以说明。参考 SOLAS 公约第 II-1/3-6 章。

每个处所应按 SOLAS 公约第 II-1/3-6 章的规定设置通道。本要求适用于：

- 油船。
- 船长 150m 及以上的散货船，与总吨位无关。

## 第3章 结构设计原则

### 第1节 材料

#### 2.3 钢材等级

##### 2.3.2

对于表3至表76中未列出的强度构件，在征得船级社同意的情况下可采用A/AH级钢。

CCS 2.3.2a 表[3]至表[7][6]中没有列入的强力构件一般使用A/AH级钢。

#### 2.6 不锈钢

##### 2.6.1

在计算不锈钢的材料系数 $k$ 和杨氏模量 $E$ 时，应考虑由于温度上升而导致的强度折减。

不锈钢应由船级社根据具体情况予以考虑。

~~CCS 2.6.1a 总纵强度计算时，对于双相不锈钢材料， $k$ 值应不小于0.72；对于奥氏体不锈钢， $k$ 的取值为：~~

$$k = \frac{235}{R_{eH}}$$

~~式中： $R_{eH}$ ——不锈钢的屈服应力， $N/mm^2$ 。~~

~~CCS 2.6.1b 局部强度计算时，对于不锈钢， $k$ 值应不小于 $235/R_{eH}$ ，且还应满足下列规定：~~

~~(1) 对于双相不锈钢材料， $k$ 值应不小于按下式计算所得之值：~~

$$k = \frac{235}{-65\ln(T) + 200 + R_{eH}}$$

~~(2) 对于不含氮奥氏体不锈钢材料， $k$ 值应不小于按下式计算所得之值：~~

$$k = \frac{235}{-40\ln(T) + 127 + R_{eH}}$$

~~(3) 对于含氮奥氏体不锈钢材料， $k$ 值应不小于按下式计算所得之值：~~

$$k = \frac{235}{-48\ln(T) + 142 + R_{eH}}$$

~~上述式中： $T$ ——液货温度， $^{\circ}C$ 。~~

CCS 2.6.1a 不锈钢的杨氏模量 $E$ 、材料系数 $k$ 和最小屈服应力 $R_{eH}$ 应分别满足 CCS《钢质海船入级规范》第2篇第1章第3节[1.3.6.2]和[1.3.6.3]的要求。

#### 4.4 材料系数 $k$

##### 4.4.1

铝合金的材料系数 $k$ 应根据下列公式计算得到：

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

式中： $R'_{lim}$ ——焊接状态下母材最小可保证屈服应力 $R'_{p0.2}$ ， $N/mm^2$ ，但应取为不大于焊接状态下母材的最小可保证抗拉强度 $R'_m$  ( $N/mm^2$ )的70%；

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

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

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

$R'_m$ ——焊接状态下材料的最小可保证抗拉强度， $N/mm^2$ ；

$$R'_m = \eta_2 R_m$$

$R_{p0.2}$ ——交货状态下母材最小可保证屈服应力， $N/mm^2$ ；

$R_m$ ——交货状态下母材最小可保证抗拉强度， $N/mm^2$ ；

$\eta_1$ ， $\eta_2$ ——在表8中给出。

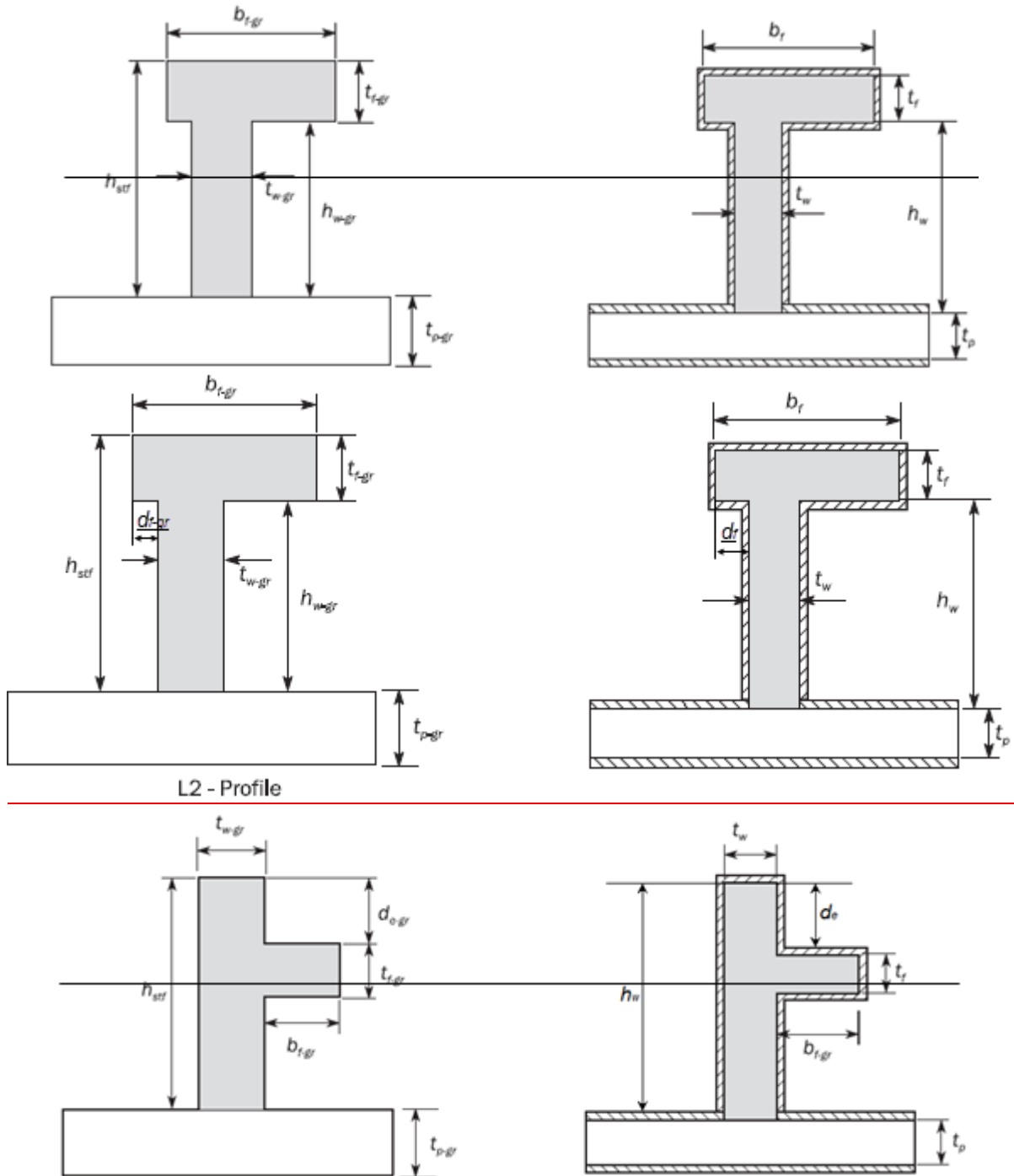
## 第2节 净尺寸方法

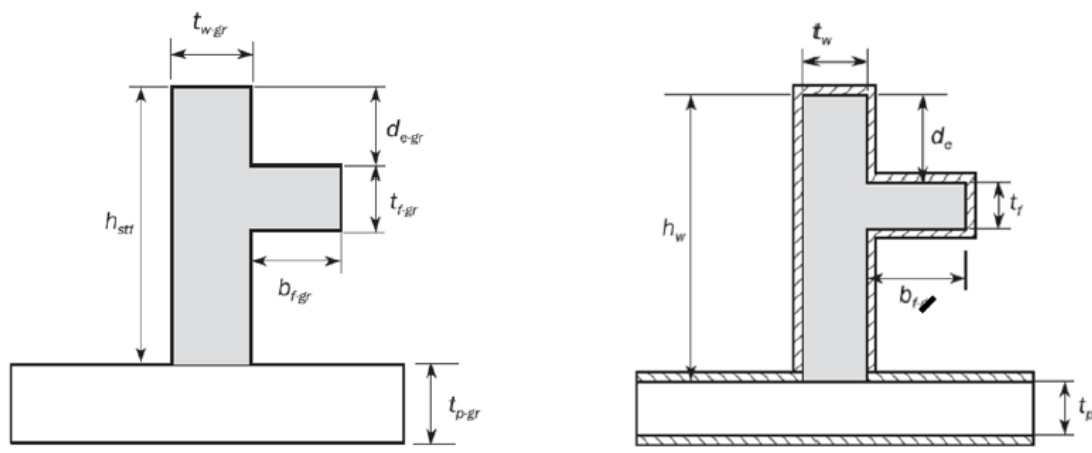
### 符号

$d_f$ ——L2 型材翼板的延伸距离, mm, 见图 3

### 1.3 尺度符合

#### 1.3.2





第 6 节 结构细节原则

10.4 槽型舱壁

10.4.2 构造

槽型舱壁的主尺度  $a$ ,  $b_{fcg}$ ,  $R$ ,  $e$ ,  $b_{w-cg}$ ,  $d$ ,  $d_{cg}$ ,  $t_f$ ,  $t_w$ ,  $\phi$  和  $s_{cg}$  见图 21 的定义。

槽型角  $\phi$  不得小于  $55^\circ$ 。

如焊缝在平行于弯曲轴线方向的弯曲区域内，其焊接工艺应提交船级社认可。

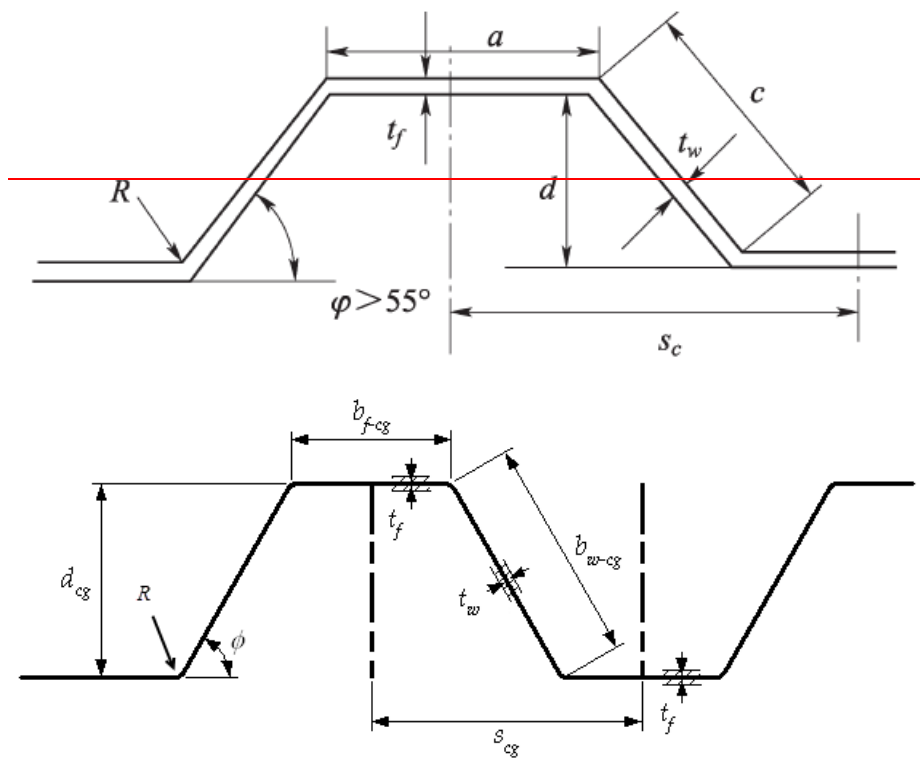


图 21 槽型舱壁尺度

10.4.3 槽型深度

槽型深度  $d_{cg}$ , mm, 应不小于

$$d = \frac{1000l_c}{C}$$



$$d_{cg} = \frac{1000l_c}{C}$$

式中： $l_c$ ——所考虑槽型的平均长度，m，见[10.4.5]定义。

$C$ ——系数，取为：

$C=15$  对于液舱和压载货舱舱壁。

$C=18$  对于干货舱舱壁。

#### 10.4.4 槽条的实际剖面模数

槽条净剖面模数， $\text{cm}^3$ ，可按下列式获得：

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

$$Z = \left[ \frac{d_{cg}(3b_{f-cg}t_f + b_{w-cg}t_w)}{6} \right] 10^{-3}$$

式中： $t_f, t_w$ ——槽条板的净厚度，mm，如图 21 所示；

$a, d_{cg}, b_{f-cg}, c, b_{w-cg}$ ——槽条尺寸，mm，如图 21 所示。

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

$$Z = 0.5at_f d 10^{-3}$$

$$Z = 0.5b_{f-cg}t_f d_{cg} 10^{-3}$$

#### 10.4.10 顶凳

如设顶凳，其高度应为：

- 不小于槽型深度的 2—3 倍，对于散货船
- 最少一倍槽型深度，对于油船

矩形顶凳的高度在舱口边纵桁处或内壳处（如适用）由甲板平面向下量取，一般应是槽型深度的 2 倍。应设置肘板或高腹板将顶凳与甲板强横梁或舱口端横梁连接。

在相邻舱口端横梁之间，横舱壁顶凳应由甲板纵桁或高腹板肘板适当支撑。顶凳底板宽度通常应与底凳顶板相同。散货船非矩形顶凳的顶部的宽度应不小于槽型深度的 2 倍。当设置在垂直平面时，顶凳侧板普通骨材端部应用肘板与顶凳上下端相连。

顶凳内应设置隔板。隔板应与延伸到舱口围板桁材或甲板横向主要支撑构件的甲板纵桁安装在同一条直线上且有效连接。在与顶凳底板连接处，肘板和隔板上应避免扇形孔。

### 11.2 连接

#### 11.2.1

必要时，支柱的顶端和底端应用厚垫板和肘板加以固定。若垫板替代布置是等效的，并得到船级社的认可，则可以接受替代布置。如支柱很可能承受拉伸载荷，则支柱的顶端和底端应予以有效地固定，以使其能承受拉伸载荷，并用嵌入板代替垫板。

若设置垫板，则垫板的净厚度应不小于支柱的净厚度的 1.5 倍。支柱的顶端和底端的连接应使用连续焊。

CCS 11.2.1a 若支柱顶端或底端采用替代垫板的布置加以固定，应保证支柱端部的作用力能够有效传递，且避免传递的力出现突变。

## 第 7 节 结构理想化

### 符号

$t_w$ ——腹板净厚度，mm。对于球扁钢，见[1.4.1]。

$b_f$ ——翼板宽度，mm，见第 3 章第 2 节图 2。对于球扁钢，见[1.4.1]表 1 和表 2

#### 1.4.3 骨材的有效剪切高度

骨材的有效剪切高度  $d_{shr}$ ，mm，取为：

$$d_{shr} = (h_{stf} + t_p) \sin \phi_w$$

$$d_{shr} = (h_{stf} - 0.5t_{c-stf} + t_p + 0.5t_{c-pl}) \sin\varphi_w$$

- 式中： $h_{stf}$ ——骨材高度，mm，见第 3 章第 2 节图 2 定义  
 $t_p$ ——骨材带板净厚度，mm，见第 3 章第 2 节图 2 定义  
 $t_{c-stf}$ ——所考虑骨材的腐蚀增量，mm，见第 3 章第 3 节  
 $t_{c-pl}$ ——所考虑骨材带板的腐蚀增量，mm，见第 3 章第 3 节  
 $\varphi_w$ ——角度，°；见图 14 定义。当角度大于等于 75° 时， $\varphi_w$  取为 90°。

1.4.4 骨材的弹性净剖面模数和净惯性矩

骨材的弹性净剖面模数  $Z$ ， $\text{cm}^3$  和净惯性矩  $I$ ， $\text{cm}^4$  取为：

$$Z = Z_{stf} \sin \varphi_w$$

$$I = I_{stf} \sin^2 \varphi_w$$

- 式中： $Z_{stf}$ ——假设骨材垂直于带板时的净剖面模数， $\text{cm}^3$ ，即  $\varphi_w=90^\circ$   
 $I_{stf}$ ——假设骨材垂直于带板时的净惯性矩， $\text{cm}^4$ ，即  $\varphi_w=90^\circ$   
 $\varphi_w$ ——角度，°；见图 14 定义。当角度大于等于 75° 时， $\varphi_w$  取为 90°。

1.4.6 骨材的有效净塑性剖面模数

$h_w$ ——骨材腹板高度，mm，取为：

- 对于 T、L（轧制和组合）型材和扁钢，如第 3 章第 2 节图 2 定义
- 对于 L2 和 L3 型材，如第 3 章第 2 节图 3 定义
- 对于球扁钢，按第 3 章第 2 节图 3[1.4.1]的定义取值

$b_{f-ctr}$ ——骨材腹板厚度中点处至翼板面积中心的距离：

- $b_{f-ctr} = 0.5(b_f - t_{w-gr})$  对于轧制角钢和球扁钢
- $b_{f-ctr} = 0$  对于 T 型材
- 球扁钢取表 1 和表 2 给出的值

$h_{f-ctr}$ ——量至翼板厚度中点处的骨材高度：

- $h_{f-ctr} = h_{stf-w} \pm 0.5t_f$  对于具有矩形翼板的型材，L3 型材除外和球扁钢
- $h_{f-ctr} = h_{stf-w} - d_e - 0.5t_f$  对于第 3 章第 2 节图 23 定义的 L3 型材
- 球扁钢取表 1 和表 2 给出的值

$d_e$ ——腹板上边缘至翼板顶部的距离，mm。对 L3 型材，见图 4.2.12 第 3 章第 2 节图 3

$t_f$ ——翼板净厚度，mm。

- $t_f = 0$  对于扁钢骨材
- 球扁钢取表 1 和表 2 给出的值  $t_f$  见[1.4.1]

表 1: HP 球扁钢特征翼板数据，见图 15

$h_{stf}(\text{mm})$	$d_w(\text{mm})$	$b_{f-gr}(\text{mm})$	$t_{f-gr}(\text{mm})$	$b_{f-ctr}(\text{mm})$	$h_{f-ctr}(\text{mm})$
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
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 1: 翼板特征数据修订为净尺寸为：  
 $b_f \sim b_{f-gr} + 2t_w$   
 $t_f \sim t_{f-gr} - t_c$   
 $t_w \sim t_{w-gr} - t_c$

表 2: JIS 球扁钢特征翼板数据，见图 15

$h_{stf}(\text{mm})$	$d_w(\text{mm})$	$b_{f-gr}(\text{mm})$	$t_{f-gr}(\text{mm})$	$b_{f-ctr}(\text{mm})$	$h_{f-ctr}(\text{mm})$
180	156	34	11.9	9.0	170
200	172	39	13.7	10.4	188

230	498	45	15.2	11.7	217
250	215	49	17.1	12.9	235

注1: 翼板特征数据修订为净尺寸为:  
 $b_f \approx b_{f-gr} + 2t_w$   
 $t_f \approx t_{f-gr} - t_e$   
 $t_w \approx t_{w-gr} - t_e$

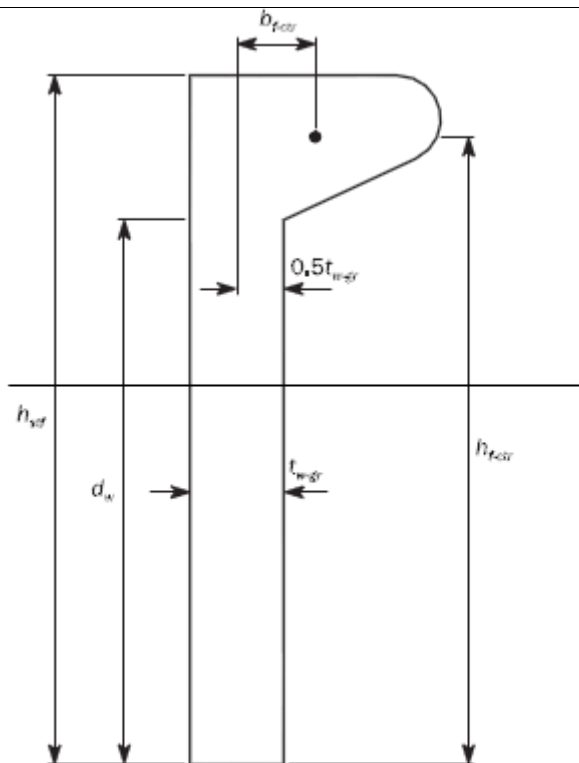


图15 球扁钢的特征数据

2.2.1 屈服

屈服的 LCP 坐标

表 4

LCP 坐标	一般 <sup>(1)</sup>		水平板		垂直横向结构和横向凳板	
	骨材架式 (图 19)	横骨架式 (图 20)	骨材架式	横骨架式	水平框架 (图 21)	垂直框架 (图 22)
x 坐标	EPP 长度中点		EPP 长度中点		与 y 和 z 值对应	
y 坐标	与 x 和 z 值对应		EPP 靠舷侧的 y 值		在 z 值平面上, EPP 靠舷侧的 y 值 <sup>(2)</sup>	
z 坐标	EPP 下沿	EPP 下沿或板列下沿的较大值	与 x 和 y 值对应		EPP 下沿	EPP 下沿或板列下沿的较大值

<sup>(1)</sup>除水平板或垂直横向结构外的其他所有结构。

<sup>(2)</sup>对尾封板, 在计算外部海水动压力时, 载荷计算点的 y 坐标取舷侧外板在 z 值平面处的 y 值。

3.2.1 压力的 LCP

压力计算的载荷计算点位于:

- 所考虑骨材的完整长度  $l$  的中点
- 骨材与带板的交点

对骨材, 在计算外部海水动压力时, 载荷计算点的 y 坐标取舷侧外板在 z 值平面处的 y 值。

4.1.1

载荷计算点位于完整长度  $sl$  中点处, 主要支撑构件与带板的连接点。然而, 散货船和油船货舱区域内主要支撑构件应分别满足第 2 部分第 1 章第 4 节[4], 如适用, 和第 2 部分第 2 章第 3 节[1]的要求。

对主要支撑构件，在计算外部海水动压力时，载荷计算点的  $y$  坐标取舷侧外板在  $z$  值平面处的  $y$  值。

## 第4章 载荷

### 第4节 船体梁载荷

#### 2.2 垂向静水弯矩

##### 2.2.4 航行进水工况许用垂向静水弯矩

任一纵向位置在航行进水工况下的许用垂向静水弯矩  $M_{sw-f}$  应包络以下值：

• 用于第4章第8节定义的完整和进水航行载荷条件的中拱和中垂状态下分别计算的最严重的静水弯矩。对进水工况不必考虑压载水交换工况

- 装载手册中定义的完整和进水航行载荷条件下得到的最严重的静水弯矩。
- [2.2.2]定义的许用静水弯矩增加10%。

#### 2.3 垂向静水剪力

##### 2.3.5 航行进水工况许用进水剪力

油船和散货船任一纵向位置航行进水工况的许用垂向静水剪力， $Q_{sw-f}$  应包络以下值：

• 对于散货船，用于第4章第8节定义的航行进水工况的最严重的静水正剪力或负剪力进行剪力修正后的值。对进水工况不必考虑压载水交换工况

- 对于散货船，装载手册中定义的航行进水工况的最严重的静水剪力进行剪力修正后的值。
- 对于油船，[2.3.3]定义的最小静水剪力。

### 第5节 外部载荷

#### 符号

$P_{w,wL}$ : 所考虑动载荷工况水线处的水动压力， $\text{kN/m}^2$ 。

$$P_{w,wL} = P_w, \quad y = B_x / 2 \text{ 和 } z = T_{LC} \text{ 时。}$$

...

$z_{SD}$ : 骨材跨距中点或板区域中点的  $Z$  坐标， $\text{m}$ 。

#### 3.2 底部砰击压力

##### 3.2.1

$T_{F,e}$ : 设计者提供的首垂线设计砰击吃水，不应大于装载手册提供的底部砰击区域内任何压载舱为空舱时的所有航行工况首垂线处的最小吃水。包括底部砰击区域内的压载舱采用顺序法进行压载水置换的所有装载工况，如相关。

$T_{F,f}$ : 设计者提供的首垂线设计砰击吃水，不应大于装载手册提供的底部砰击区域内所有压载舱为满舱时的所有航行工况首垂线处的最小吃水。包括底部砰击区域内的压载舱采用溢流法进行压载水置换的所有装载工况，如相关。

##### 3.2.2 装载手册信息

装载指导信息应清晰的标明设计砰击吃水和每一个压载舱采用的压载水置换方式，如有。

#### 4.3 上层建筑侧壁

##### 4.3.1

上层建筑外部侧壁的设计压力  $P_{SI}$ ， $\text{kN/m}^2$ ，应取为：

$$P_{SI} = 2.1 C_w C_F (C_B + 0.7) \frac{20}{10 + z - T_{LC}}$$

$$P_{SI} = 2.1 C_w C_F (C_B + 0.7) \frac{20}{10 + z_{SD} - T_{SC}}$$

#### 4.4 上层建筑端壁和甲板室围壁

##### 4.4.1

上层建筑和甲板室外部后端部舱壁、前端部舱壁的设计的前后端壁和甲板室围壁上的外部压力

$P_A$ ,  $\text{kN/m}^2$ , 应取为:

$$\frac{P_A}{f_n f_c} = \left[ \frac{f_b f_d}{f_n f_c} - (z - T_{SC}) \right]$$

$P_A = f_n f_c [f_b f_d - (z_{SD} - T_{SC})]$ , 但应不小于  $P_{A-min}$ 。

### 第6节 内部载荷

符号

.....

$P_{PV}$ : 所考虑安全阀的设定设计蒸汽压力, 如设置安全阀, 不应小于  $25 \text{ kN/m}^2$

.....

$\rho_{ST}$ : 钢材密度, 取为 7.87.85

#### 6.3.4 临近横舱壁的内部强框架和横向水平桁上晃荡压力

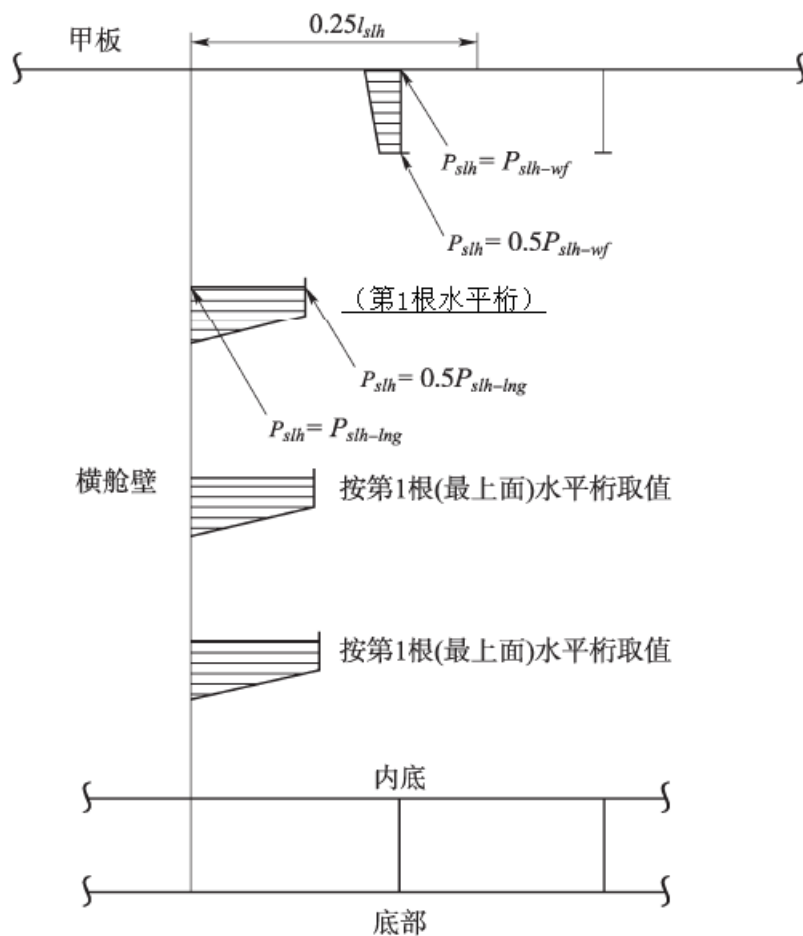


图 13 强框架和横向水平桁的晃荡压力分布

#### 6.4.3 纵舱壁处的晃荡压力

在特定的充装高度下, 由于液体横向运动产生的在纵向舱壁 (包括制荡舱壁) 处的晃荡压力  $P_{slh-t}$ ,  $\text{kN/m}^2$  应取为:

$$P_{slh-t} = 7\rho_{slh} g f_{slh} \left( \frac{b_{slh}}{B} - 0.3 \right) GM^{0.75}$$

式中:  $b_{slh}$ ——有效晃荡宽度, 定义见[6.4.2]。

$GM$ ——初稳性高度, 在第4章第3节[2.1.1]中给出。

计算压载水舱中的晃荡压力时，油船采用“压载工况”，散货船采用“正常压载工况”；计算货油舱中的晃荡压力，采用“部分装载工况”。

$f_{slh}$ ——系数，定义见 [6.3.3]。

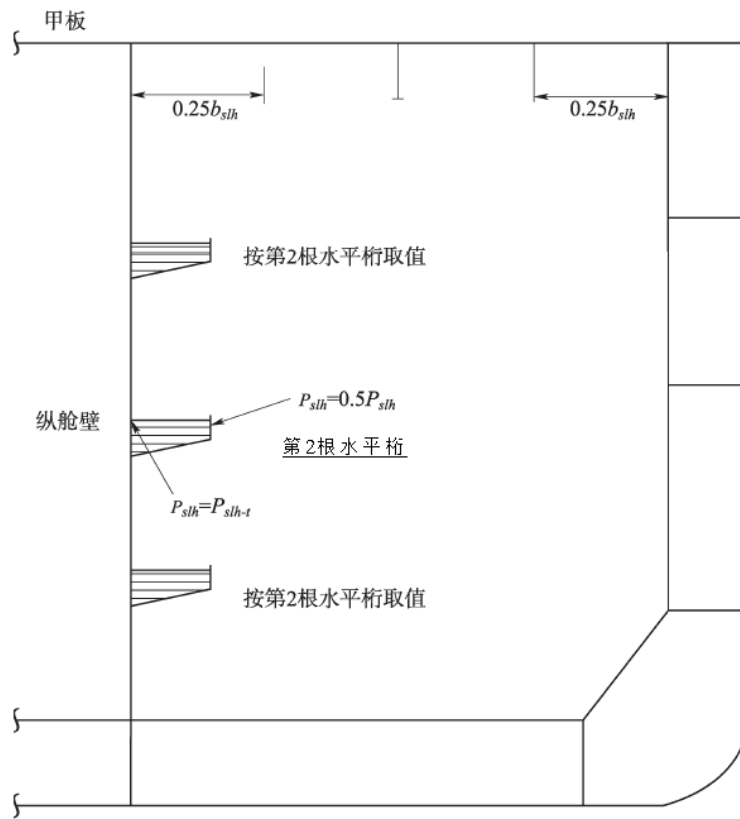


图 14 纵向水平桁和纵桁的晃荡压力分布

7.1 定义

7.1.1

实验载荷高度  $z_{ST}$

表 13

舱室	$z_{ST}$
双层底液舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{top} + h_{air}$ $z_{ST} = z_{bd}$
底边舱 <sup>(1)</sup> 、顶边舱 <sup>(1)</sup> 、双舷侧舱 <sup>(1)</sup> 、用作液舱的首尾尖舱—隔离舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{top} + h_{air}$ $z_{ST} = z_{top} + 2.4$
液舱舱壁，深舱，燃油舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{top} + h_{air}$ $z_{ST} = z_{top} + 2.4$ $z_{ST} = z_{top} + 0.1P_{PV}$
压载货舱	$z_{ST} = z_h + 0.9$
锚链舱（如在防撞舱壁之后）	$z_{ST} = z_{top} z_c$
独立液舱	以下之大者： $z_{ST} = z_{top} + h_{air}$ $z_{ST} = z_{top} + 0.9$
压载管道	试验载荷高度对应于压载水泵最大压力

这里：

$z_{bd}$ ：舱壁甲板 Z 坐标，m。

$z_h$ ：舱口顶端 Z 坐标，m。

$z_c$ ：锚链管顶端 Z 坐标，m。

(1) 对于与底边舱液舱、顶边舱液舱或双舷侧液舱联通的双层底液舱，应采用对应于“底边舱液舱、顶边舱液舱、双舷侧液舱、艏尖舱和艉尖舱用作液舱、隔离舱”的  $z_{ST}$ 。

## 第 8 节 装载工况

### 2.3 航行工况

#### 2.3.1

以下装载手册中的航行工况应作为最小考虑的范围：

a) 结构吃水下的均匀满载工况。离港状态下均匀满载工况压载舱不应压载。

b) 压载舱可为满载、部分装载或空舱时的正常压载工况。压载舱部分压载时应满足[2.2.1]要求。

任一货油舱或货舱包括航行时可装载压载水的货油舱或货舱应为空舱。螺旋桨完全浸没，船舶应尾倾且应不超过  $0.015L$ 。

c) 压载水交换过程工况，如有，包括任一压载水舱的压载或排压载前/后的中间状态计算。

### 2.4 港内和遮蔽水域工况

#### 2.4.1

以下港内和遮蔽水域工况应包括在装载手册内：

a) 代表典型完全装卸工况；

b) 坞内起浮工况；

c) 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  $D_{prop}/4$ ，其中  $D_{prop}$  为螺旋桨直径。

对于具有吊舱式推进系统布置的船舶应由船级社单独考虑。

CCS 2.4.1a 吊舱式推进系统检查的起浮工况应纳入装载手册，可考虑该系统设备供应商的检查要求。

#### 3.1.1 航行工况

以下航行工况应最为最小要求包括在装载手册中：

a) 重压载工况所有压载舱满载、部分装载或空舱。如果压载舱部分装载应符合[2.2.1]中的要求。艏尖压载水舱装满，如有时。如设有上、下艏尖舱，要求下艏尖舱装满，上艏尖舱可以装满、部分装载或空舱。所有货油舱应空舱，包括航行时可用于装载压载水的货油舱。艏垂线处的吃水不得小于正常压载工况下的吃水。螺旋桨完全浸没。船舶应尾倾且应不超过  $0.015LL_{LL}$ ；

### 3.2 直接计算分析的设计载荷组合

#### 3.2.3

一道油密中纵舱壁油船货舱长度小于  $0.15L_{0.11L}$  时，表 3、表 5、表 7 和表 9 中的吃水应由船级社特殊规定。

CCS 3.2.3a 当设有一道油密纵舱壁油船的货舱长度小于  $0.15L_{0.11L}$  时，载荷工况中对应的吃水按本篇第 1 部分 CCS 附录 B 确定。

两道油密纵舱壁油船中货舱区域有限元载荷组合

表 2

编号	装载模式	静水载荷			动载荷工况		
		吃水	$C_{BM-LC}$ ： %许用静水弯矩的百分数	$C_{SF-LC}$ ： %许用静水剪力的百分数	船中区域		
航行工况							
A3		0.65 $T_{SC}$	100% (中拱)	100% <sup>(4)</sup> 最大剪力工况	HSM-2	N/A	N/A
				100% <sup>(5)</sup> 最大剪力工况	HSM-2	N/A	N/A
				100%	N/A	BSP-1 P/S	N/A
			0%	100% <sup>(6)</sup> 最大剪力工况	HSM-1	N/A	N/A

				100%	N/A	BSP-1 P/S	N/A
A4		$0.6T_{sc}$	100% (中垂)	100%	HSM-1	BSR-1 P/S BSP-1 P/S	OSA-2 P/S
A5		$0.65T_{sc}$	100% (中垂)	100% <sup>(4)</sup> 最大剪力 工况	HSM-1	N/A	N/A
				100% <sup>(5)</sup> 最大剪力 工况	HSA-1	N/A	N/A
				100%	N/A	BSP-1 P/S	N/A
				0%	HSM-2	N/A	N/A
				100%	N/A	BSP-1 P/S	N/A
A7 a		$T_{LC}$	100% (中拱)	100%	HSM-2 FSM-2	BSR-1 P/S BSP-1 P/S	OST-2 P/S OSA-1 P/S OSA-2 P/S
A7 b		$T_{LC}$	100% (中拱)	100%	HSM-2 FSM-2	BSR-1 P/S BSP-1 P/S	OST-2 P/S OSA-1 P/S OSA-2 P/S
A8		$T_{BAL-E}$	100% (中垂)	100%	HSM-1	BSR-1 P/S BSP-1 P/S	OSA-2 P/S
港内试验条件							



A11		$0.6T_{sc}$ <i>c</i>	100% (中垂)	100% <sup>(2)</sup> 最大剪力工况	N/A
				100% <sup>(3)</sup> 最大剪力工况	N/A
A12a <sup>(1)</sup>		$0.33T_{sc}$	N/A	N/A	
A12b <sup>(2)</sup>		$0.33T_{sc}$	N/A	N/A	N/A
A13		$0.7T_{sc}$ <i>c</i>	100% (中拱)	100% <sup>(2)</sup> 最大剪力工况	N/A
				100% <sup>(3)</sup> 最大剪力工况	

一道油密纵舱壁油船船中货舱区域有限元载荷组合

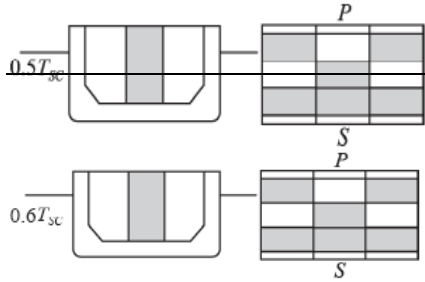
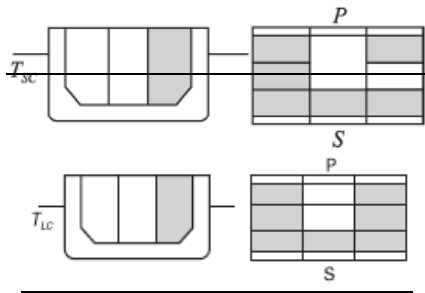
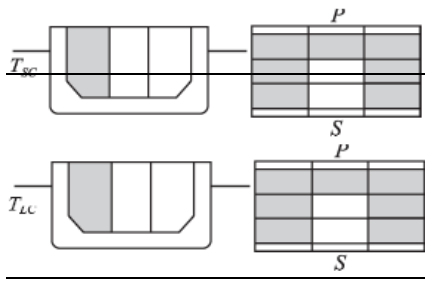
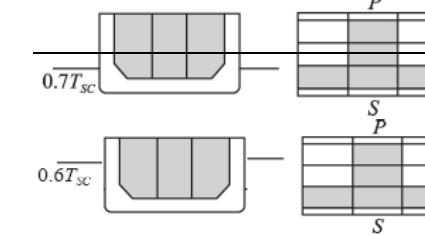
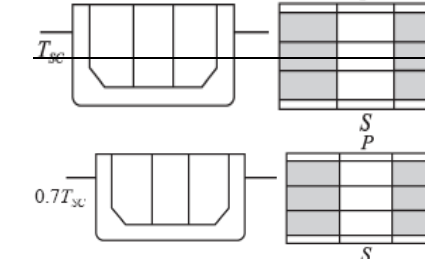
表 3

编号	装载模式	静水载荷		动载荷工况			
		吃水	$C_{BM-LC}$ : %许用静水弯矩的百分数	$C_{SF-LC}$ : %许用静水剪力的百分数	船中区域		
航行工况							
B7		$T_{LC}$ - $T_{BALE}$	100% (中垂)	100%	HSM -1	BSP-1P /S	N/A
港内和试验工况							

B1 0		$0.33T_{sc}$	100% (中垂)	75%	N/A

两道油密纵舱壁油船中货舱以外区域有限元载荷组合 表 4

编号	装载模式	静水载荷		动载荷工况		
		吃水	$C_{BM-LC}$ : %许用静水弯矩百分数	$C_{SF-LC}$ : %许用静水剪力百分数	船首区域	船尾区域
航行工况						
A3		$0.65T_S$ $c$	100% (中拱)	100%最大剪力工况	HSM-2	HSM-2 FSM-2
				100%	BSP-1P/ S	BSP-1P /S OSA-2 P/S
			0%	100%最大剪力工况	HSM-1	HSM-1
				100%	N/A	BSP-1P /S OSA-2 P/S
A4		$0.6T_{sc}$	100% (中垂)	100%	HSM-1	HSM-1
					BSP-1P/ S BSR-1P /S OSA-2 P/S	BSP-1P /S BSR-1P /S OSA-2 P/S
A5		$0.65T_S$ $c$	100% (中拱)	100%最大剪力工况	HSM-1 FSM-1	HSM-1
				100%	BSP-1P/ S	BSP-1P /S OSA-2 P/S
			0%	100%最大剪力工况	HSM-2	HSM-2
				100%	BSP-1P/ S,	BSP-1P /S, OSA-2 P/S

A6		$0.6T_{SC}$	100% (中拱)	100%	HSM-2 BSP-1P/ S BSR-1P /S	HSM-2, BSP-1P /S BSR-1P /S OSA-2 P/S
A7a		$T_{LC}$	100% (中拱)	100%	HSM-2, FSM-2 BSP-1P/ S BSR-1P , BSR-2S OSA-1P /S OSA-2P /S, OST-2P	HSM-2, FSM-2 BSP-1P /S BSR-1P , BSR-2S OSA-2 P/S
A7b		$T_{LC}$	100% (中拱)	100%	HSM-2, FSM-2 BSP-1P/ S BSR-2P , BSR-1S OSA-1P /S OSA-2P /S, OST-2S	HSM-2, FSM-2 BSP-1P /S BSR-2P , BSR-1S OSA-2 P/S
港内和试验工况						
A11		$0.6T_{Sc}$	100% (中垂)	100% <sup>(2)</sup> 最大 剪力 工况	N/A	
A13		$0.7T_{Sc}$	100% (中拱)	100% <sup>(3)</sup> 最大 剪力 工况	N/A	

#### 4.1 特定设计装载工况

##### 4.1.1 航行工况

以下航行工况应最为最小要求包括在装载手册中：

- [4.1.2]至[4.1.4]中规定的货舱装载工况。
- 重压载工况所有压载舱满载、部分装载或空舱。如果压载舱部分装载应符合[2.2.1]中的要求。螺旋桨浸深  $1/D$  应至少为 60%。船舶应尾倾且应不超过  $0.015L_{LL}$ 。船首型吃水应不小于  $0.03L_{LL}$  和 8m 两者中的小值。

## 4.2 直接计算分析的设计载荷组合

### 4.2.1 适用的一般工况

以下装载模式应应用于直接计算分析：

a) 结构吃水时，任一货舱货舱位置燃处油舱（如有）为 100% 满载，双层底处压载舱为空舱时，该货舱应能运载  $M_{Full}$  的货物。

b) 结构吃水时，任一货舱所有双层底舱为空舱时，改货舱应能运载 50%  $M_H$  的货物。

c) 最大压载吃水时，任一货舱双层底处所有舱为空舱时，该货舱应能空舱。当顶边舱和双层底舱永久连接成一个共同液舱时，应考虑如下工况：

- 顶边舱和双层底舱为空
- 顶边舱和双层底舱装满

## 5.1 油船

### 5.1.1

按照第 9 章第 1 节[6.2]中的要求，油船疲劳评估的标准载荷工况见表 22 至表 24。当燃油舱、其他油舱或淡水舱布置在货舱区域，对根据第 7 章和第 9 章第 5 节进行的直接强度分析，这些舱室应装满。对根据第 9 章第 4 节进行的简化应力分析，这些舱室的装至从  $z_{top}$  量至舱室最低点的高度的一半。

## 5.2 散货船

### 5.2.1

按照第 9 章第 1 节[6.2]中的要求，根据散货船附加标志和评估位置的疲劳评估标准载荷工况见表 22 至表 24。当燃油舱、其他油舱或淡水舱布置在货舱区域，对根据第 7 章和第 9 章第 5 节进行的直接强度分析，这些舱室应装满。对根据第 9 章第 4 节进行的简化应力分析，这些舱室的装至从  $z_{top}$  量至舱室最低点的高度的一半。

# 第 5 章 船体梁强度

## 第 1 节 船体梁屈服强度

### 3.4.4 货油舱内设两道纵舱壁的船舶的剪力修正

.....

$A_{1-n50}$ ,  $A_{2-n50}$ ,  $A_{3-n50}$ ——表 57 定义的净面积,  $m^2$ ;

$f_3$ ——表 57 定义的剪力分布因子;

### 3.5.1

在横舱壁水平桁的连接处，如图 78 所指定的区域内，板的等效净厚度  $t_{sti-k-n50}$  应不得大于下列计算值，其中下标  $k$  是水平桁的标识号：

## 附录 1 剪流的直接计算

### 1.2.2

假设剖面由图 1 所示的线段组成，定剪流可以根据下式计算：

$$q_{Dk} = q_D(\ell) = -\frac{t_{n50}\ell}{2 \times 10^6 I_{y-n50}}(z_k + z_i - 2z_n) + q_{Di}$$

式中：  $q_{Dk}$ ,  $q_{Di}$ ——节点  $k$  和节点  $i$  各自的定剪流, N/mm;

$l$ ——线段的长度, m;

$z_k$ ,  $z_i$ ——线单元端点的  $Z$  坐标, m, 如图 1 定义。

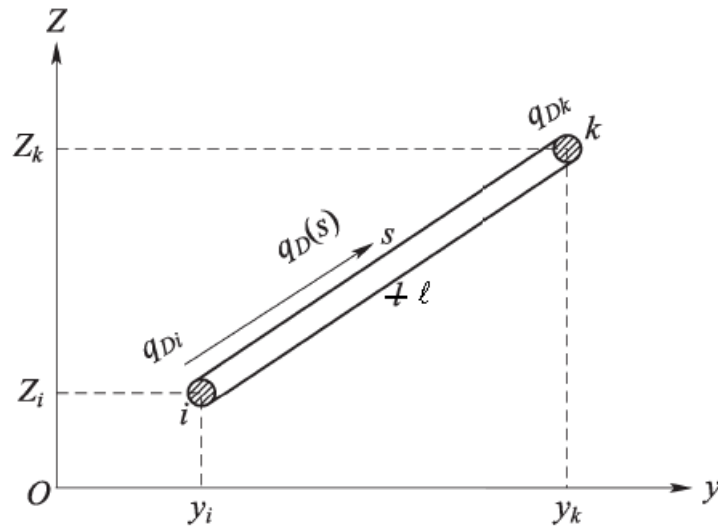


图1 线段的定义

## 附录2 船体梁极限能力

## 符号

本节未定义的符号，参见第1章第4节

$I_{y-n50}$ : 船体横剖面对其水平中和轴的惯性矩,  $m^4$ , 按第5章第1节计算。

$Z_{B-n50}$ ,  $Z_{D-n50}$ : 船底和甲板处的剖面模数,  $m^3$ , 按第5章第1节定义。

$R_{eHS}$ : 所考虑扶强材材料的最小屈服强度,  $N/mm^2$ 。

$R_{eHp}$ : 所考虑板材料的最小屈服强度,  $N/mm^2$ 。

$A_{s-n50}$ : 扶强材的净剖面面积,  $cm^2$ , 不计及带板。

$A_{p-n50}$ : 带板的净剖面面积,  $cm^2$ 。

$z_i$ : 第*i*个单元的重心*z*坐标,  $m$ 。

## 2.3 载荷—端缩曲线

## 2.3.1 加筋板单元和普通扶强材单元

构成船体梁横剖面的加筋板单元和普通扶强材单元可按表1所规定的失效模式之一崩溃破坏。

- 当板由纵向不连续扶强材加强，单元的应力应根据[2.3.3]至[2.3.8]获得，考虑纵向不连续构件

在为校核船体梁极限强度而计算总力时，认为纵向不连续扶强材的面积为零。

- 若加筋板单元上有开孔，则在为校核船体梁极限强度而计算总力时，加筋板单元的面积应减去开孔的面积。开孔的处理方法应根据第5章第1节[1.2.9]至[1.2.13]。
- 对加筋板单元，计算应力—应变曲线的载荷端缩比例时，板的有效宽度应取全板宽，即：到与其它板和纵向扶强材的交点，而不是到硬角单元的端点也不是到普通扶强材单元的带板。在为校核船体梁极限强度而计算总力时，加筋板单元的面积应取硬角单元和普通扶强材单元之间的面积或硬角单元之间的面积。

## 第6章 船体局部尺度

## 第2节 载荷应用

## 2.1 载荷成分的应用

## 2.1.3 板、骨材和主要支撑构件的设计载荷组

板、骨材和主要支撑构件的设计载荷组在表1中给出。

此外,对于船长  $L$  小于 150m 的散货船的货舱区域,其主要支撑构件的设计载荷分别在第 2 部分第 1 章第 4 节[4.2]和第 2 部分第 2 章第 3 节[1.2]中给出。

设计载荷组

表 1

项 目	设计载荷组	载荷成份	吃水	设计载荷	装载工况
不载运液体舱室	FD-1 <sup>(6)</sup>	$P_{in}$	$T_{SC}$	S+D	进水工况
	FD-2 <sup>(6)</sup>	$P_{in}$	-	S	进水工况

注:  
(6) FD-1 和 FD-2 不适用于外壳板和分隔货舱的横向垂直槽型舱壁的槽条和外壳板。横向槽型舱壁的进水要求在第 2 部分第 1 章第 53 节[3]中给出。当适用时,强力甲板应考虑 FD-1 和 FD-2。

(仅列出部分表格)

## 第 4 节 板

### 符号

本节未定义的符号,参见第 1 章第 4 节。

$\alpha_p$ ——板格边长比的修正因子,如下所示,不大于 1.0。

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}$$

$a$ ——第 3 章第 7 节[2.2.2]定义的板格长度, mm。

$b$ ——第 3 章第 7 节[2.2.2]定义的板格宽度, mm。

$P$ ——在第 3 章第 7 节[2.2]定义的载荷计算点处算得的所考虑设计载荷组合下的设计压力,  $\text{kN/m}^2$ 。

$\sigma_{hg}$ ——第 6 章第 2 节[1.1]定义的船体梁弯曲应力,  $\text{N/mm}^2$ , 在第 3 章第 7 节[2.2]定义的载荷计算点处算得。

$\chi$ ——系数,取:

- 完整工况
  - $\chi=0.70$  对于散货船货舱内的内底板和或底边舱斜板,
  - $\chi=1.00$  对于其他情况。
- 进水工况
  - $\chi=1.00$  对于验收衡准组为 AC-S 时的防撞舱壁,
  - $\chi=0.95$  对于验收衡准组为 AC-SD 时的防撞舱壁,
  - $\chi=1.15$  对于其他舱室水密边界。

### 2.6 槽型舱壁处的支撑结构

#### 2.6.3 顶凳

a) 顶凳底板的净厚度不小于相连槽型舱壁的厚度要求,且至少有与相连槽型相同的材料屈服强度。顶板延伸到槽型外的范围应不少于槽型舱壁翼板的建造厚度。

b) 若采用相同的材料,则顶凳边侧板下部净厚度不小于[1.2]和第 2 部分第 1 章第 3 节[3.1],若适用,对槽型舱壁上部厚度要求(取大值)的 80%。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  $k$  (如第 3 章第 1 节[2.2.1]定义)的比率来调整。以下的大值:

- 按[1.1]得到的净厚度
- 以下要求的舱壁上部净厚度的 80%:
  - [1.2]
  - 当采用相同材料时,根据适用情况,第 2 部分第 1 章第 3 节[3.1],或第 2 部分第 2 章第 3 节[2.2.1]

若使用不同屈服强度的材料,要求厚度应根据二者材料系数  $k$  的比值做调整,见第 3 章第 1 节[2.2.1]定义。

## 第 5 节 普通骨材

### 符号

本节未定义的符号，参见第1章第4节

- $d_{shr}$  : 有效剪切高度, mm, 定义见第3章第7节[1.4.3]
- $l_{bdg}$  : 有效弯曲跨距, m, 定义见第3章第7节[1.1.2]
- $l_{shr}$  : 有效剪切跨距, m, 定义见第3章第7节[1.1.3]
- $P$  : 在第3章第7节[3.2]所定义的载荷计算点计算并按第6章第2节所定义的设计载荷组考虑的设计压力,  $\text{kN/m}^2$
- $\chi$  : 系数取为:
- 完整工况下:
    - $\chi=0.90$ , 对于连接在散货船货舱内的内底板和或底边舱斜板上的骨材
    - $\chi=1.00$ , 对于其他情况。
  - 进水工况下: 对进水工况  $\chi$  如第6章第4节的定义

### 1.1 屈服校核

#### 1.1.2 剖面模数

最小净剖面模数  $Z$ ,  $\text{cm}^3$ , 应不小于第6章第2节[2.1.3]所定义的所有适用设计载荷组合计算所得结果的最大值:

$$Z = \frac{|P|s l_{bdg}^2}{f_{bdg} \chi C_s R_{eH}}, \text{ 且 } \chi C_s \text{ 不大于 } 1.0$$

#### 1.1.3 骨材组

骨材的尺度可以根据[1.1.1]和[1.1.2]的要求, 将位于主要支撑构件之间的一块加筋板上相同尺度顺序排列的骨材作为一组来决定。骨材组的尺度取以下的大者:

- 组内所有骨材要求尺度的平均值;
- 组内任一骨材最大要求尺度的90%。

## 第6节 主要支撑构件和支柱

### 符号

本节未定义的符号，参见第1章第4节

- $P$  : 在第3章第7节[3.2]所定义的载荷计算点计算的第6章第2节所定义的考虑设计载荷组合的设计压力,  $\text{kN/m}^2$
- $l_{bdg}$  : 有效弯曲跨距, m, 定义见第3章第7节[1.1.6]
- $l_{shr}$  : 有效剪切跨距, m, 定义见第3章第7节[1.1.7]
- $\chi$  : 系数取为:
- 完整工况下:
    - $\chi=0.90$ , 对于连接在散货船货舱内的内底板和或底边舱斜板上的主要支撑构件
    - $\chi=1.00$ , 对于其他情况
  - 进水工况下: 对进水工况,  $\chi$  如见第6章第4节的定义

### 2.2 散货船

#### 2.2.2 船长 $L$ 为 150m 以下的散货船

货舱区域的主要支撑构件尺度应满足第2部分第1章第4节[4]的要求。作为替代, 这些构件的尺度可通过船级社认为适当的直接强度评估进行校核。

CCS 2.2.2a 作为替代方法, 货舱区域内的主要支撑构件可按第H-2—篇本篇第2部分第1章第4节[CCS4.1.2a]的要求进行直接计算强度评估。

## 第7章 直接强度分析

### 第2节 舱段结构强度分析

#### 4.4 调整船体梁剪力和弯矩的程序

4.4.8 调整船中货舱区域的垂向和水平弯矩的程序

.....  
 $M_{lineload}$  : 由于在框架处按方法 2 施加垂向线载荷而产生的位置处的垂向弯矩, kNm, 按下式计算:

$$M_{lineload} = -(x - x_{aft})F - \sum_i (x - x_i)\delta w_i, \text{ 当 } x < x_i \text{ 时}$$

$F$  : 由于如表 7 所示的在横框架处施加的垂向力产生的模型端部支反力, kN。

$x$  : 中间舱横框架的坐标, m。

$\delta w_i$ : 为产生要求的剪力而在横框架*i*处施加的垂向力。

$\delta w_i = -\delta w_1$ , 当横框架 *i* 在后舱时

$\delta w_i = \delta w_2$ , 当横框架 *i* 在中间舱时

$\delta w_i = -\delta w_3$ , 当横框架 *i* 在前舱时

对于需要达到水平弯矩目标值的情况, 应在舱段有限元模型的两端施加一个附加的水平弯矩, 以便在模型中舱内达到目标值。附加水平弯矩按下式计算:

4.4.9 调整船中货舱区范围外的垂向和水平弯矩的程序

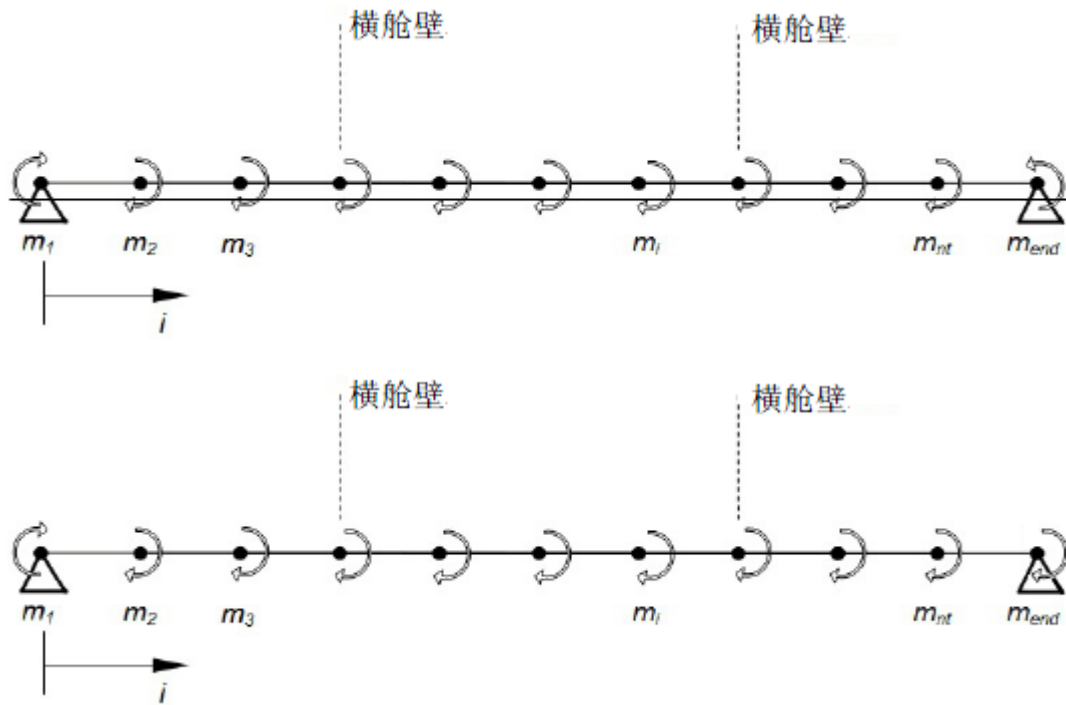
如[4.3.2]所述, 为了在每一个框架和横舱壁位置处达到船体梁垂向目标值, 垂向弯矩调整值 $m_{vi}$ 应如图 19 所示, 施加在有限元模型的强框架和横舱壁位置上。在每个纵向位置 *i* 处的垂向弯矩调整值应按下式计算:

$$f(i) = -M_{v-fore}(i) + M_{v-aft}(i) + M_{lineload}(i) + M_{v-aft} \cdot \left( 2 \frac{X_i - X_{aft}}{X_{fore} - X_{aft}} - 1 \right)$$

$$f(i) = -M_{v-fore}(i) + M_{v-aft}(i) + M_{lineload}(i) - M_{v-fore} \cdot \left( 2 \frac{X_i - X_{aft}}{X_{fore} - X_{aft}} - 1 \right)$$

$$m_{vi} = \frac{f(i) + f(i+1)}{2} \sum_{j=0}^{i-1} m_{vj}$$

$$m_{v-end} = - \sum_{j=0}^{n_t} m_{vj}$$



此图中  $m_{hi}$  可以替换为  $m_{vi}$ ,  $m_i$  是有限元坐标系下的正弯矩。

图 19 船中货舱区外的弯矩调整



### 4.5.2 局部载荷产生的扭矩

由于局部载荷在纵向站位  $i$  处产生的扭矩,  $M_{T-FEMi}$ , kNm, 使用下述公式确定:

$$M_{T-FEMi} = \sum_k [f_{hik}(z_{ik} - z_r)] - \sum_k (f_{vik} y_{ik})$$

式中:  $M_{T-FEMi}$ ——局部载荷在纵向站位  $i$  处产生的累积扭矩, kNm。

$z_r$ ——扭转参考点的垂向坐标, m:

对于散货船,  $z_r = 0$ 。

对于油船,  $z_r = z_{sc}$ , 中舱中点处的剪心。

$f_{hik}$ ——纵向站位  $i$  处节点  $k$  的水平节点力, kN。

$f_{vik}$ ——纵向站位  $i$  处节点  $k$  的垂向节点力, kN。

$y_{ik}$ ——纵向站位  $i$  处节点  $k$  的 Y 坐标, m。

$z_{ik}$ ——纵向站位  $i$  处节点  $k$  的 Z 坐标, m。

$M_{T-FEM0}$ ——局部载荷在有限元模型尾端处 (对于最首货舱是首端) 产生的累积扭矩, kNm, 按下式取值:

$$M_{T-FEM0} = \sum_k [f_{h0k}(z_{0k} - z_r)] - \sum_k (f_{v0k} y_{0k}) + R_{H\_fwd} \cdot (z_{ind} - z_r), \text{ 对于最首货舱模型}$$

$$M_{T-FEM0} = -\sum_k [f_{h0k}(z_{0k} - z_r)] + \sum_k (f_{v0k} y_{0k}) + R_{H\_fwd} \cdot (z_{ind} - z_r), \text{ 对于最首货舱模型}$$

$$M_{T-FEM0} = \sum_k [f_{h0k}(z_{0k} - z_r)] - \sum_k (f_{v0k} y_{0k}) + R_{H\_aft} \cdot (z_{ind} - z_r), \text{ 对于其他货舱模型}$$

$R_{H\_fwd}$ ——前端处的水平反作用力, 定义见[4.4.3]。

$R_{H\_aft}$ ——尾端处的水平反作用力, kN, 定义见[4.4.3]。

$z_{ind}$ ——独立点的垂向坐标, m, 定义见[2.5.3]。

## 5.1 通则

### 5.1.2 结构构件

评估区域中的下述结构构件应按[5.2]和[5.3]中的衡准进行验证:

- 所有船体梁纵向结构构件,
- 所有主要支撑构件和中舱内的舱壁,
- 所有横舱壁的组成结构构件, 如:
  - 油船: 水平桁、舱壁局部支撑肘板结构、凳结构、局部纵桁及与其相连的横向结构。
  - 散货船: 凳结构及与其相连的纵桁和双层底实肋板。
- 所有构成止荡舱壁以及由其防撞舱壁并且由防撞舱壁向前延伸一个横框架间距的结构构件。
- 组成机器处所前端横舱壁的所有结构构件和此横舱壁之后 15% 的不包括油污舱的最尾货舱舱长范围内的所有船体梁纵向结构构件。

## 第3节 局部结构强度分析

### 2.1 强制结构细节列表

#### 2.1.5 甲板与双层底纵骨和邻接的横舱壁结构的连接

甲板与双层底纵骨和平面或槽型横舱壁上的邻接结构间的连接应进行细化网格分析。横舱壁的邻接结构包括舱壁处的结构构件, 局部甲板桁材和局部双层底桁材 (如有)。

例如, 以下结构构件应进行评估, 图3中展示了其中一些构件:

- 至少一对内外底纵骨和横舱壁的邻接结构的连接。
- 至少一对内外底纵骨与邻接的实肋板结构和横舱壁的连接。
- 至少一对甲板纵骨 (安装在甲板上或其下) 和邻接的油密横舱壁的垂直结构的连接。
- 油密横舱壁上部的甲板纵向局部桁材 (如有) 和邻接的油密横舱壁的垂向结构的连接。
- 油密横舱壁处船底纵向局部桁材 (如有) 与邻接的油密横舱壁的垂向结构的连接。

应做分析的纵骨和垂向骨材间的连接的选择应基于支撑间的最大相对位移来确定, 例如实肋板和横舱壁之间或甲板横梁和横舱壁之间。对于在骨材间的端部连接布置或尺寸有显著变化的情况, 本社可以要求对附加的连接进行分析。

在船中货舱区域以外，除非通过细网格分析表明具有等效强度，否则上述要求给出的连接尺寸应不小于船中货舱区域的要求尺寸。

## 第 8 章 屈曲

### 第 2 节 长细比要求

#### 3.1 加强筋的尺度比

##### 3.1.1 所有加强筋类型的净厚度

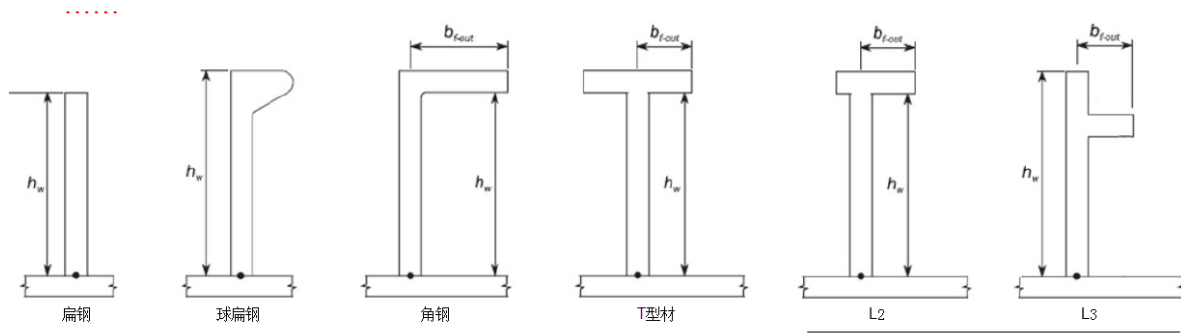


图 1 加强筋的尺度参数  
长细比系数

表 1

加强筋类型	$C_w$	$C_f$
角钢, L2 和 L3 型材	75	12
T 型材	75	12
球扁钢	45	—
扁钢	22	—

#### 5.3.1 肘板边缘加强

肘板边缘处的边缘加强筋的腹板高度,  $h_w$ , mm, 应不小于:

$$h_w = C l_b \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}, \quad h_w = C l_b / 1000 \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}} \text{ 或 } 50\text{mm}, \text{ 取大者}$$

式中:  $C$  ——长细比系数, 取作:

- (1) 对端肘板,  $C = 75$ ;
- (2) 对防倾肘板,  $C = 50$ ;

$R_{eH}$  ——加强筋材料的最小屈服应力,  $\text{N/mm}^2$ 。

### 第 5 节 屈曲能力

#### 符号

.....

$d_e$ : 腹板上边缘至翼板上表面的距离, mm, 见第 3 章第 2 节, 图 3 定义

$e_f$ : 从带板到翼板中心的距离, mm, 如图 1 所示, 取为:

~~(1)  $e_f = h_w$ , 对扁钢:  $e_f = h_w$~~

~~(2)  $e_f = h_w - 0.5t_f$ , 对球扁钢:  $e_f = h_w - 0.5t_f$~~

~~(3)  $e_f = h_w + 0.5t_f$ , 对角钢, L2 型材和 T 型材:  $e_f = h_w + 0.5t_f$~~

$e_f = h_w - d_e - 0.5t_f$ , 对 L3 型材

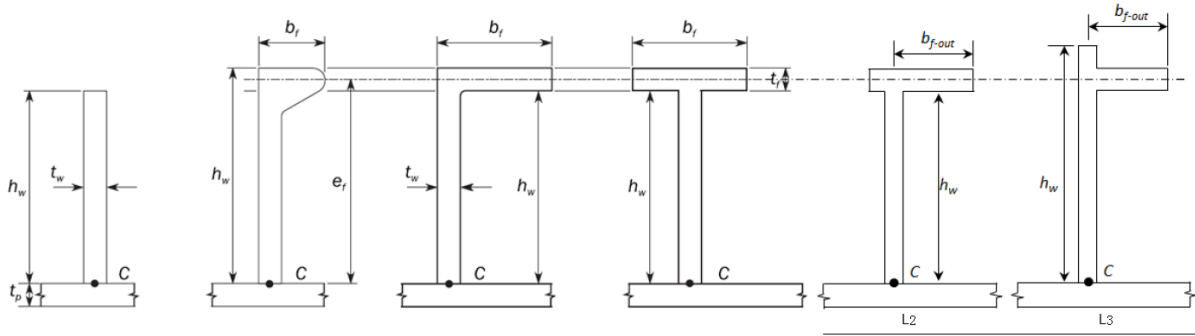


图 1 加强筋横截面

2.2 板的能力

2.2.4 修正因子

.....

修正因子  $F_{long}$

表 2

结构单元类型		$F_{long}$	$c$	
非加筋板		1.0	N/A	
加筋板	两端都不固支的加强筋	1.0	N/A	
	两端固支的加强筋	扁钢 <sup>(1)</sup>	如果 $\frac{t_w}{t_p} > 1$ , 则 $F_{long} = c + 1$ ;	0.1
		球扁钢		0.3
		角钢, L2 和 L3 型材		0.4
		T 型材	如果 $\frac{t_w}{t_p} \leq 1$ , 则 $F_{long} = c \left( \frac{t_w}{t_p} \right)^3 + 1$	0.3
		刚度较大的桁材 (如底肋板)	1.4	N/A
安装在舱口盖上的 U 型材	<ul style="list-style-type: none"> <li>对于安装 U 型材的板:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 如果 <math>b_2 \geq b_1</math>, <math>F_{long} = 1</math>;</li> <li>(2) 如果 <math>b_2 &lt; b_1</math></li> </ul> </li> <li>对于 U 型材的其他板: <math>F_{long} = 1</math></li> </ul> $F_{long} = \left( 1.55 - 0.55 \frac{b_1}{b_2} \right) \left[ 1 + c \left( \frac{t_w}{t_p} \right)^3 \right]$	N/A		

注 (1):  $t_w$  为腹板净厚度, mm, 且不按照 [2.3.2] 中的定义进行修正。  
 注 (2):  $b_1$  和  $b_2$  的定义见第二部分第一章第 5 节图 1。

2.3 加强筋

2.3.4 极限屈曲能力

.....

$M_1$  由于侧向压力 P 引起的弯矩, Nmm,

$$M_1 = C_i \frac{|P|s\ell^2}{24 \times 10^3} \text{---(1), 对于连续加强筋}$$

$$M_1 = C_i \frac{|P|s\ell^2}{24 \cdot 10^3}$$

$$M_1 = C_i \frac{|P|s\ell^2}{8 \times 10^3} \text{---(2), 对于削斜的加强筋}$$

$$M_1 = C_i \frac{|P|s\ell^2}{8 \cdot 10^3}$$

$$M_1 = C_i \frac{|P|s\ell^2}{14.2 \times 10^3}, \text{对于一端削斜另一端连续的加强筋}$$

$\tau$  施加的剪应力, N/mm<sup>2</sup>

- ---(1) 对于有限元分析,  $\tau$  是指根据本章第 8 章第 4 节 [2.4.2] 定义的带板中的参

考剪应力;

- ~~(2)~~对于描述性评估,  $\tau$ 是指根据本章第8章第3节[2.2.1]在带板处计算得到的剪应力, 且计算点如下: 为第3章第7节[2]中定义的加强筋带板的载荷计算点;
  - 在所考虑的加强筋完整跨距  $l$  的中点
  - 在加强筋与其带板的相交点
- ~~(3)~~对于交叉梁系分析, 所连接屈曲板格的剪应力  $\tau=0$ 。

$w_0$  假定的缺陷, mm, 取为:

~~$w_0=l/100$  (1) 一般情况,  $w_0 = l/1000$ ;~~

~~$w_0=w_{na}$  (2) 对一端或两端削斜的加强筋, 考虑加强筋导致的失效 (SI)~~

~~$w_0 = w_{na}$~~

~~$w_0=w_{na}$  (3) 对一端或两端削斜的加强筋, 考虑带板导致的失效 (PI)~~

~~$w_0 = w_{na}$~~

$w_1$  由侧向载荷  $P$  导致的加强筋在其跨距中点处的变形, mm。如为均布载荷,  $w_1$  可取为:

~~$w_1 = C_i \frac{|P| s \ell^4}{384 \cdot 10^7 E I}$  (1), 一般情况,  $w_1 = C_i \frac{|P| s \ell^4}{384 \cdot 10^7 E I}$ ;~~

~~$w_1 = C_i \frac{5|P| s \ell^4}{384 \cdot 10^7 E I}$  (2), 对于两端削斜的加强筋,  $w_1 = C_i \frac{5|P| s \ell^4}{384 \cdot 10^7 E I}$ ;~~

~~$w_1 = C_i \frac{2|P| s \ell^4}{384 \times 10^7 E I}$ , 对于一端削斜另一端连续的加强筋。~~

~~$y_w$~~

从加强筋横截面中心到加强筋翼板自由边缘的距离, mm, 取为:

~~$y_w = \frac{t_w}{2}$ , (1) 对扁钢,  $y_w = \frac{t_w}{2}$ ;~~

~~$y_w = b_f - \frac{h_w t_w^2 + t_f b_f^2}{2A_s}$ , (2) 对角钢和球扁钢,  $y_w = b_f - \frac{h_w t_w^2 + t_f b_f^2}{2A_s}$ ;~~

~~$y_w = b_{f-out} + 0.5t_w - \frac{h_w t_w^2 + t_f (b_f^2 - 2b_f d_f)}{2A_s}$ , 对 L2 型材~~

~~$y_w = b_{f-out} + 0.5t_w - \frac{(h_w - t_f) t_w^2 + t_f (b_f + t_w)^2}{2A_s}$ , 对 L3 型材~~

~~$y_w = \frac{b_f}{2}$ , (3) 对 T 型材,  $y_w = \frac{b_f}{2}$ 。~~

惯性矩

表 5

横截面特性	扁钢 <sup>(1)</sup>	球扁钢、角钢、L2 型材、L3 型材和 T 型材
$I_P$	$\frac{h_w^3 t_w}{3 \cdot 10^4}$	$\left( \frac{A_w (e_f - 0.5t_f)^2}{3} + A_f e_f^2 \right) 10^{-4}$

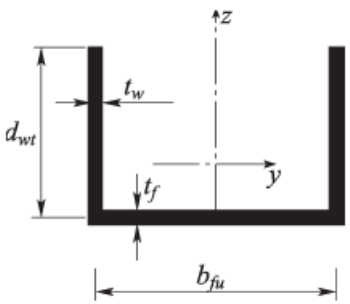
$I_T$	$\frac{h_w t_w^3}{3 \cdot 10^4} \left( 1 - 0.63 \frac{t_w}{h_w} \right)$	$\frac{(e_f - 0.5t_f)t_w^3}{3 \cdot 10^4} \left( 1 - 0.63 \frac{t_w}{e_f - 0.5t_f} \right)$ + $\frac{b_f t_f^3}{3 \cdot 10^4} \left( 1 - 0.63 \frac{t_f}{b_f} \right)$
$I_\omega$	$\frac{h_w^3 t_w^3}{36 \cdot 10^6}$	$\frac{A_f e_f^2 b_f^2}{12 \cdot 10^6} \left( \frac{A_f + 2.6A_w}{A_f + A_w} \right)$ , 对球扁钢、和角钢、L2 型材和 L3 型材  $\frac{A_f e_f^2 b_f^2}{12 \cdot 10^6} \left( \frac{A_f + 2.6A_w}{A_f + A_w} \right)$  $\frac{b_f^3 t_f e_f^2}{12 \cdot 10^6}$ , 对 T 型材  $\frac{b_f^3 t_f e_f^2}{12 \cdot 10^6}$

注 (1)  $t_w$  为腹板净厚度, mm, 本表不用于 [2.3.2] 中定义的  $t_{w, red}$

3.1.3 弹性扭转屈曲应力

横截面属性

表 7

	$I_{sv-net50} = \frac{1}{3} (b_{fu} t_f^3 + 2d_{wt} t_w^3) 10^{-4} \text{ cm}^4$ $I_{sv} = \frac{1}{3} (b_{fu} t_f^3 + 2d_{wt} t_w^3) 10^{-4} \text{ cm}^4$
	$y_0 = 0 \text{ cm}$ $z_0 = -\frac{d_{wt}^2 t_w 10^{-1}}{2d_{wt} t_w + b_{fu} t_f} - \frac{0.5d_{wt}^2 t_w 10^{-1}}{d_{wt} t_w + b_{fu} t_f / 6} \text{ cm}$ $c_{warp} = \frac{b_{fu}^2 d_{wt}^3 t_w (3d_{wt} t_w + 2b_{fu} t_f)}{12(6d_{wt} t_w + b_{fu} t_f)} 10^{-6} \text{ cm}^6$

第9章 疲劳强度

第1节 总体考虑

6.3.1

表 2 和表 3 分别定义了不同类型散货船 (BC-A、BC-B、BC-C) 的装载工况和每种装载工况相应时间比  $\alpha_{(j)}$ 。第 4 章第 8 节 [5.2] 规定了散货船疲劳评估的标准装载工况。

散货船装载工况时间比

表 3

船长	装载工况	$\alpha_{(j)}$	
		BC-A	BC-B、BC-C
L < 200 m	均匀装载	0.60	0.70
	隔舱装载	0.10	-
	正常压载 <sup>(1)</sup>	0.15	0.05
	重压载 <sup>(1)</sup>	0.15	0.25
L ≥ 200 m	均匀装载	0.25	0.50

	隔舱装载	0.25	-
	正常压载	0.20	0.20
	重压载	0.30	0.30
(1) 对于无重压载舱的 BC-B 和 BC-C 船, 正常压载的时间比 $\alpha_{ij}$ 为 <del>30%</del> 0.30, 重压载的时间比为 0%。			

## 第2节 评估的结构细节

### 2.1 评估结构细节

#### 2.1.3 筛选疲劳评估校核的结构细节

表2中的结构细节使用第9章第5节[6]的筛选疲劳方法进行评估或者使用第9章第5节[1]至[4]的精细有限元网格分析进行评估, 结构细节根据第7章第3节屈服要求进行有限元细化网格模型分析。

筛选疲劳评估的结构细节 表2

序号	关键结构细节	适用范围	
		油船	散货船
1	横向强框架肘板趾部	适用 <sup>(1)</sup>	——
2	水平桁材趾部	适用 <sup>(1)</sup>	——
3	不作为压载货舱的 EA 货舱 <sup>(2)</sup> 、FA 货舱 <sup>(2)</sup> 内的底边舱下折角连接处	——	适用 <sup>(1)</sup>
4	不作为压载货舱的 EA 货舱 <sup>(2)</sup> 、FA 货舱 <sup>(2)</sup> 的横舱壁底凳与内底连接	——	适用 <sup>(1)</sup>

注:

(1) 按照第7章第3节[2.1]和[3.3.2][3.2]细网格分析评估的结构细节。

(2) 最靠近船中的货舱。

未按设计标准设计, 需采用精细网格分析评估的结构细节 表3

序号	关键结构细节	结构细节设计标准	适用范围	
			油船	散货船
1	最关键肋位处的弧形底边舱上折角连接(内壳板折角处、舷侧桁材和横向强框架的连接处) <sup>(1)</sup>	第9章第6节[4]	一个货油舱 <sup>(4)</sup>	双舷侧散货船的压载货舱
2	槽型横舱壁与底凳或内底板的连接处 <sup>(2)(3)</sup>	第9章第6节[6]和第9章第6节[7]	一个货油舱 <sup>(4)</sup>	压载货舱
3	槽型横舱壁与顶凳的连接处 <sup>(2)(3)</sup>	第9章第6节[6]	——	压载货舱
4	双舷侧纵桁和横舱壁水平桁材之间十字接头根部的连接处, 位于最靠近货油舱深度中点和最高处的纵桁处	第9章第6节[5]	一个货油舱 <sup>(4)</sup>	——
5	最关键肋位处的舷侧肋骨下和上肘板趾部	第9章第6节[8]	——	FA 货舱 <sup>(4)</sup> 、EA 货舱 <sup>(4)</sup> 和单壳散货船的压载货舱
6	无腹板加强筋连接强框架上纵向骨材的开孔处	第9章第6节[2.1]	一个货油舱 <sup>(4)</sup>	FA 货舱 <sup>(4)</sup> 、EA 货舱 <sup>(4)</sup> 和压载货舱
7	临近船中货舱的强力甲板上分段接头处的扇形孔(甲板角以下 0.1D 范围内)	第9章第6节[3]	一个货油舱 <sup>(4)</sup>	FA 货舱 <sup>(4)</sup> 、EA 货舱 <sup>(4)</sup> 和压载货舱

注:

(1) 最关键肋位处通常, 但并非一定, 位于最靠近货舱中点处。如果设置制荡舱壁, 该位置通常位于最靠近制荡舱壁和油密舱壁之间中点处。

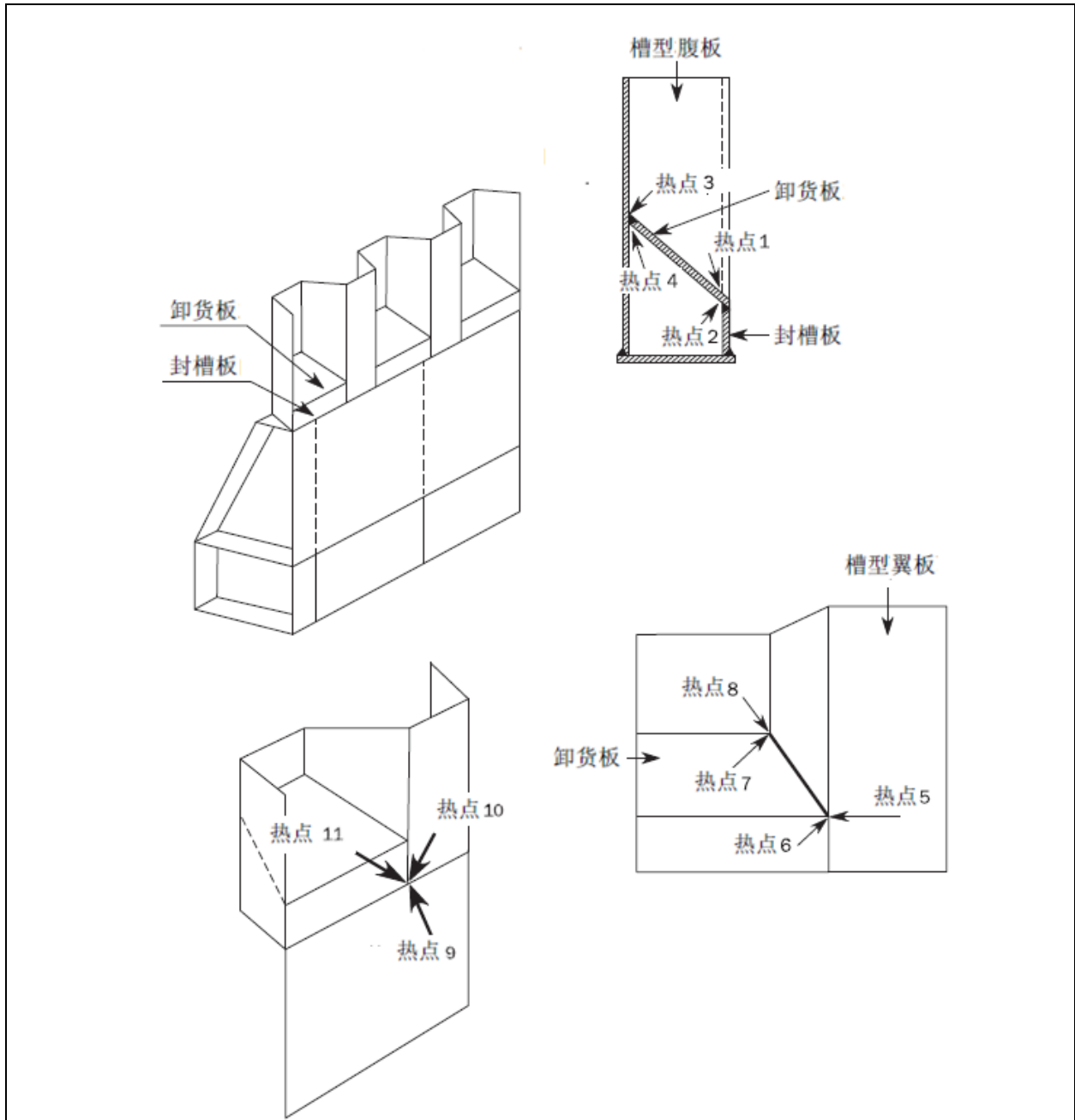
(2) 应校核货舱每一端的壁凳连接, 除非其相对于中间舱对称。

(3) 所考虑横剖面位于最大货舱宽度的中点。所考虑横剖面或纵剖面处的最大货舱的宽度中点或长度中点处。

(4) 最靠近船中的货舱。

槽型横舱壁与底凳连接处热点 表8

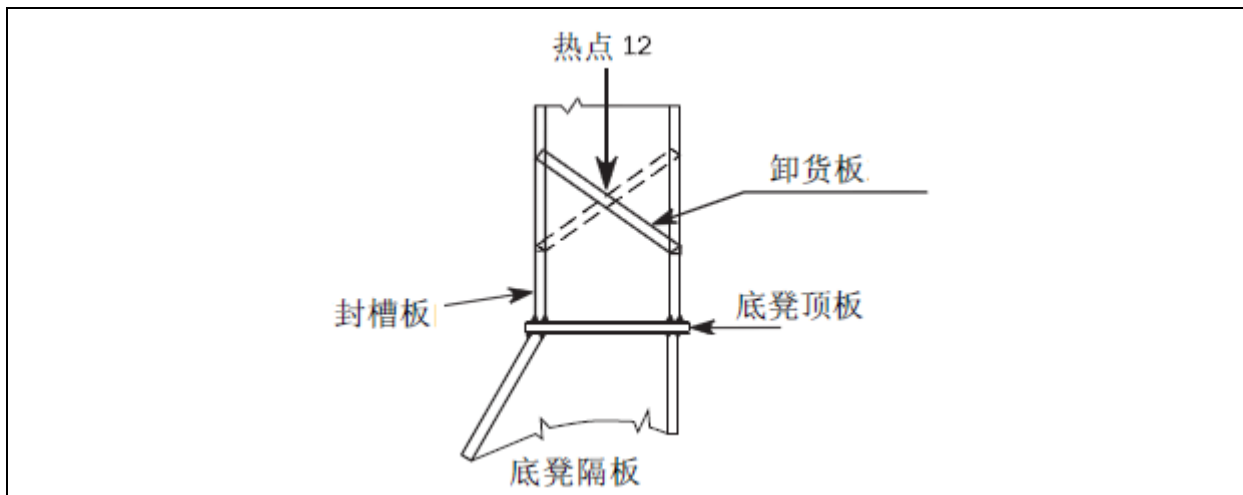
热点位置	热点应力计算程序
热点1和3: 卸货板上表面的槽型腹板 热点4: 卸货板下表面的槽型腹板 热点5、7和8: 槽型翼板 热点6: 封槽板 热点9: 与底凳顶板相连的底凳板 热点10: 与底凳顶板相连的槽型角隅 热点11: 槽型角隅处的封槽板	第9章第5节[3.1], 类型'a'
热点2: 卸货板下表面的槽型腹板	第9章第5节[4.3]



槽型横舱壁与底凳连接—交叉卸货板和单面卸货板处热点

表 9

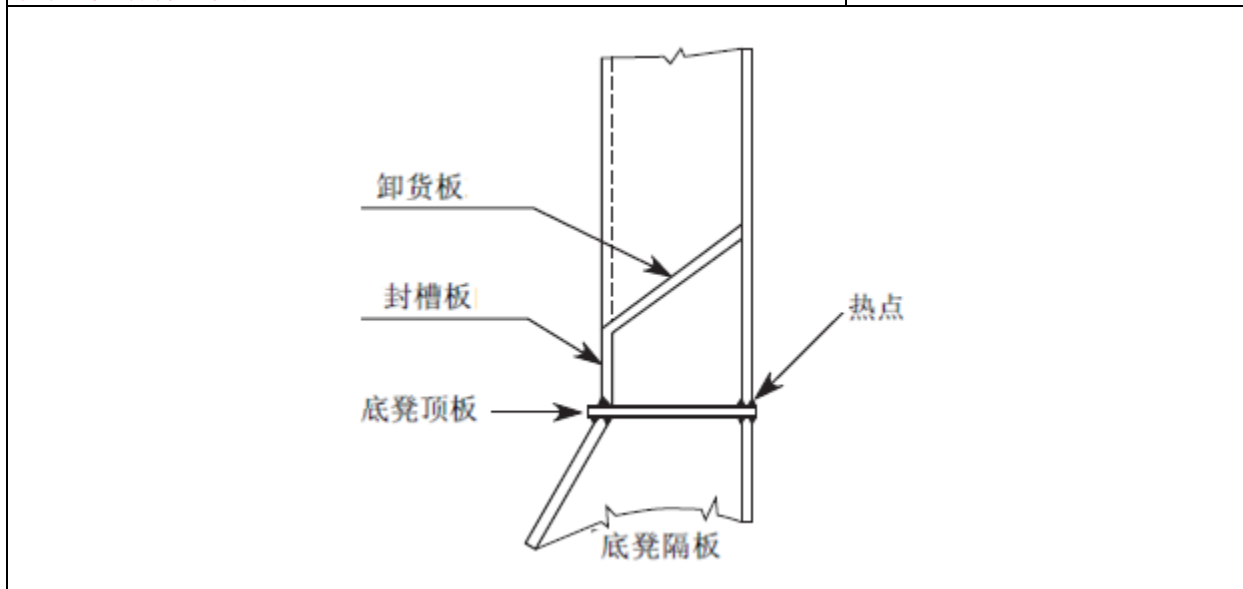
热点位置	热点应力计算程序
交叉卸货板	
热点 12: 交叉卸货板	第 9 章第 5 节[3.1], 类型'a'



单面卸货板

槽型腹板和翼板与底凳顶部的焊接连接  
 热点细节见表 10 的热点 1-3  
 如设置支撑肘板，见表 10 的热点 4

第 9 章第 5 节[3.1]，类型‘a’

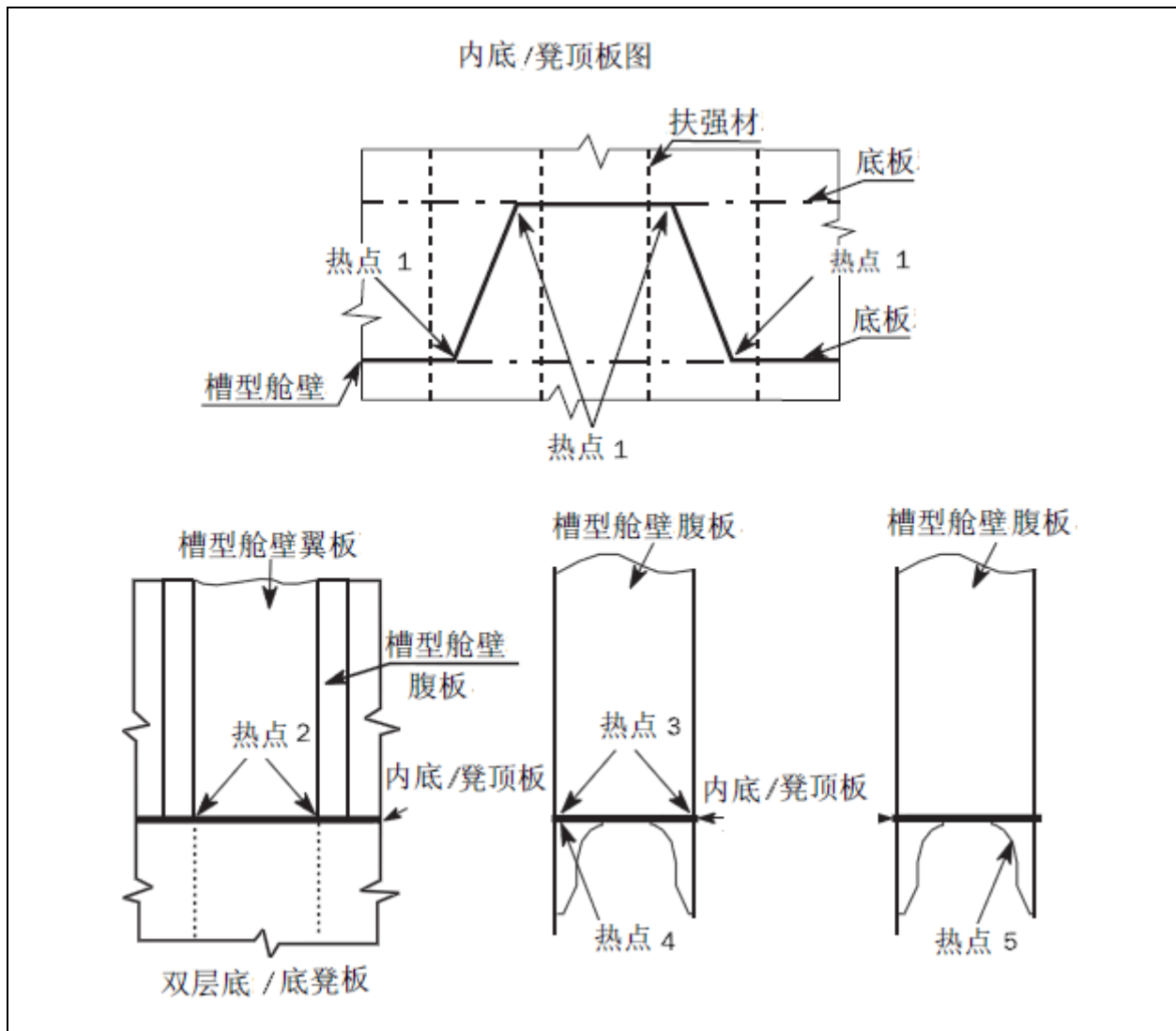


槽型横舱壁与底凳或内底板连接处热点

表 10

热点位置	热点应力计算程序
热点 1: 内底/底凳顶部 热点 2: 位于内底/底凳顶部的槽型翼板角隅 热点 3: 位于内底/底凳顶部的槽型腹板角隅 热点 4: 位于支撑槽型腹板的肘板处的内底/底凳顶部	第 9 章第 5 节[3.1]，类型‘a’
热点 5: 支撑肘板边缘	第 9 章第 5 节[3.2]





### 第3节 疲劳评估

#### 3.2 平均应力效应

##### 3.2.1 平均应力效应修正因子

$\sigma_{mean, i(j)}$  —— 疲劳平均应力,  $N/mm^2$ , 根据[3.2.2]中对母材或焊接接头的规定以及[3.2.3]或[3.2.4] (如适用) 对焊接接头的规定计算。

#### 6.2 焊趾打磨

##### 6.2.1

焊接部位可用机械打磨工具将焊趾打磨出合适的几何形状以降低应力集中和去除焊趾缺陷, 见图5。为消除缺陷, 如杂质, 咬边和冷隔, 应去除焊趾处的材料。打磨深度应比任何可见的咬边低至少 0.5mm。打磨总深度不应大于 2mm 和打磨板局部总厚度 7% 的较小者。应采用批准的方法对任何不满足该要求的咬边进行修理。

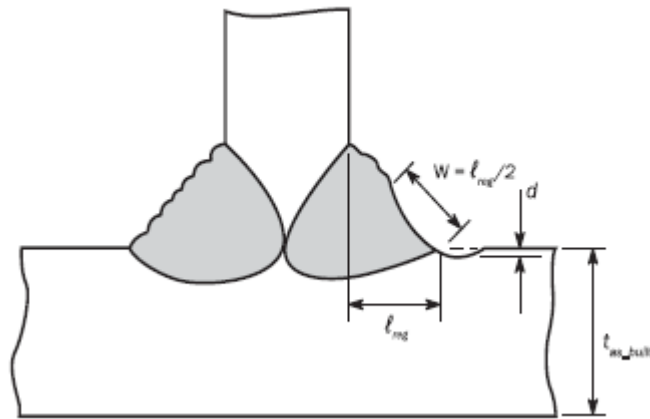


图6 焊接珠状表面的打磨范围

$l_{leg}$ : 焊脚长度  
 $w$ : 凹槽的宽度  
 $d$ : 打磨深度,  $0.5\text{mm} \leq d \leq 1\text{mm}$

### 第4节 简化应力分析

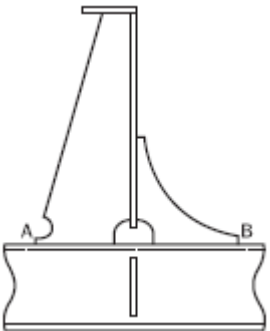
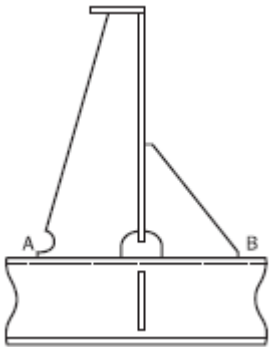
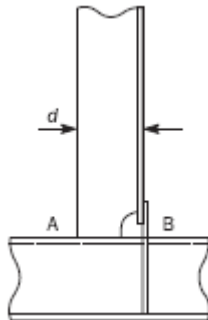
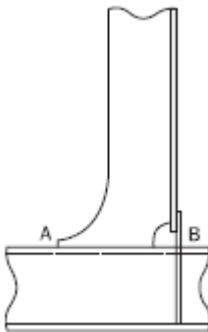
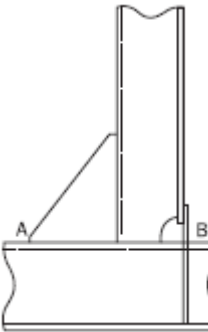
#### 5 应力集中因子

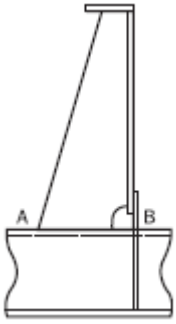
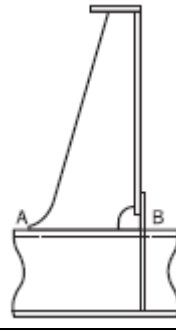
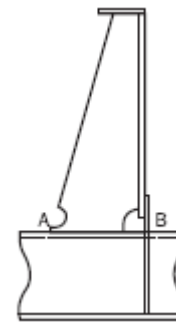
应力集中因子

表4

标识号	连接类型 <sup>(2)(3)</sup>	A 点		B 点	
		$K_a$	$K_b$	$K_a$	$K_b$
16		1.52	1.67	1.28	1.34
17		<del>1.34</del> 1.28	1.34	1.52	1.67

18		1.34 <u>1.34</u> <u>1.28</u>	1.34	1.34	1.34
19		1.34 <u>1.34</u> <u>1.28</u>	1.34	1.28	1.34
20		1.34 <u>1.34</u> <u>1.28</u>	1.34	1.52	1.67
21		1.34 <u>1.34</u> <u>1.28</u>	1.34	1.52	1.67
22		1.34 <u>1.34</u> <u>1.28</u>	1.34	1.34	1.34

23		<del>1.34</del> 1.28	1.34	1.28	1.34
24		<del>1.34</del> 1.28	1.34	1.52	1.67
25 <sup>(1)</sup>		1.28 当 $d \leq 150$ 1.36 当 $150 < d \leq 250$ 1.45 当 $d > 250$	1.40 当 $d \leq 150$ 1.50 当 $150 < d \leq 250$ 1.60 当 $d > 250$	1.14 当 $d \leq 150$ 1.24 当 $150 < d \leq 250$ 1.34 当 $d > 250$	1.25 当 $d \leq 150$ 1.36 当 $150 < d \leq 250$ 1.47 当 $d > 250$
26		1.28	1.34	1.34	1.47
27		1.52	1.67	1.34	1.47

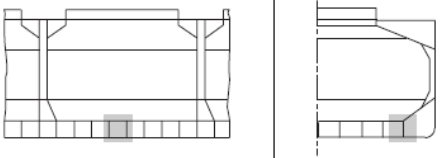
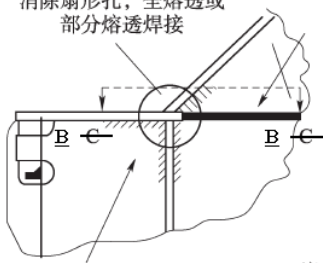
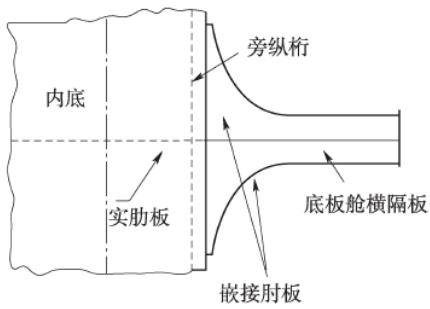
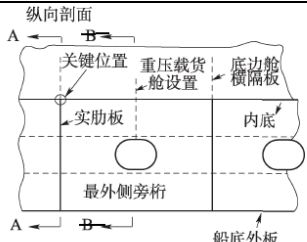

28		1.52	1.67	1.34	1.47
29		<del>1.34</del> 1.28	1.34	1.34	1.47
30		<del>1.34</del> 1.28	1.34	1.34	1.47

### 第 6 节 结构细节设计标准

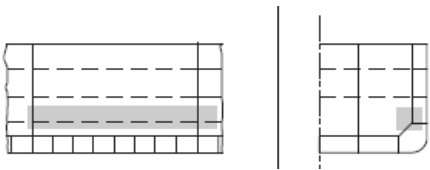
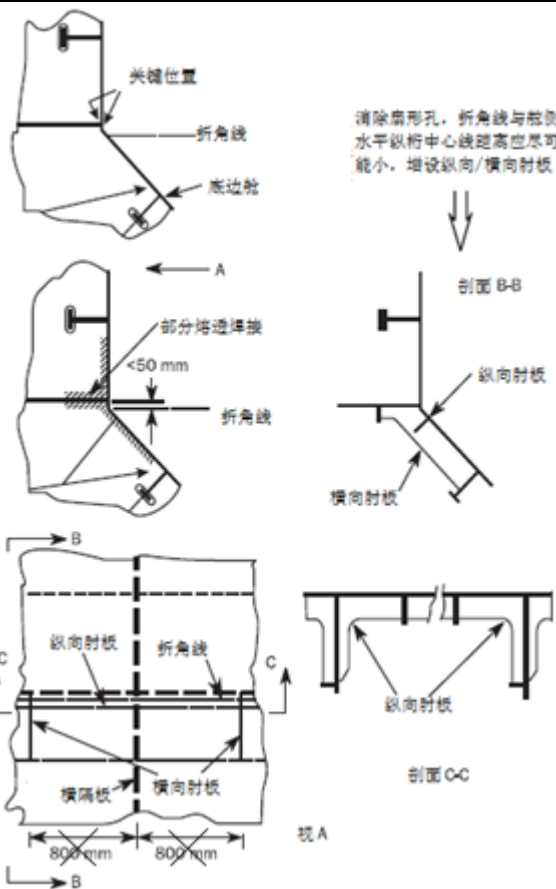
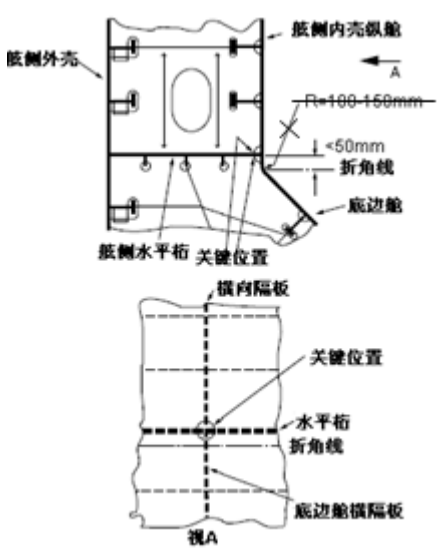
#### 4.1 设计标准 C 至 H

#### 设计标准 E-焊接型底边舱折角，焊接型，散货船

表 5

双层底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	设计标准 E
 <p style="text-align: center;">关键位置</p>	<p>(a)折角处的必进</p> <p>消除扇形孔，全熔透或部分熔透焊接</p> <p>嵌接肘板</p>  <p>部分熔透焊接</p> <p>嵌接肘板布置 (剖面 C-C) B-B</p> 
<p>纵向剖面</p>  <p>关键位置 重压载货舱设置 底边舱横隔板</p> <p>实肋板 内底</p> <p>最外侧旁桁 船底外板</p> <p>横向剖面 A-A 关键位置</p>  <p>内底 旁桁制 实肋板 底边舱横隔板</p>	

设计标准 H-底边舱上折角，压弯型，油船和双壳散货船 表 8

双壳舱室内部横向强框架与底边舱的连接 内壳纵舱壁和底边舱斜板采用的压弯连接	
关键区域	设计标准 H
	
<p><b>关键位置</b></p> 	<p>注 1: 旁桁材至压弯折角的中心线距离应尽可能小，不超过 50mm。                  注 2: 根据第 12 章第 1 节[3]、[4]，折角的半径不小于 <math>4.5t_{as-built}</math> 或 100 mm 的大者，<math>t_{as-built}</math> 为折角处的建造厚度。                  注 3: 在实肋板/底边舱横隔板的前后两侧适当位置增加横向肘板。                  注 4: 底边舱斜板一侧增加纵向肘板。                  注 5: 如果可以证明水平桁材在折角线处可以提供足够的支撑，横向和/或纵向肘板可以免设，例如满足第 9 章第 5 节的疲劳要求和第 7 章第 3 节的局部强度分析要求。</p>
关键位置	舷侧水平桁、内壳纵舱壁和横向强框架的连接处。双舷侧横向强框架和底边舱横向强框架与内壳纵舱壁、舷侧水平桁在折角处的连接。
结构细节设计标准	消除折角处的扇形孔，水平桁与折角线的距离尽可能近。增加纵向/横向肘板来减少周期性的外部波浪压力和货物惯性压力引起的合成应力峰值和范围。
建造公差	对接板中心线的平均偏差不得超过 1/3 水平桁的建造板厚。
焊接要求	部分熔透焊接应用于舷侧水平桁与内壳纵舱壁的连接，双舷侧横向强框架与舷侧内壳、舷侧水平桁的连接，底边舱肋板、纵舱壁斜边与舷侧水平桁在折角处的连接。几何形状合适的小型开孔可在无扇形孔的位置处设置，这些开孔需在完成舷侧水平桁与内壳纵舱壁连续焊之后封闭。全熔透或部分熔透焊接的定义和要求见第 12 章第 3 节。

6.1 设计标准 J, K 和 L

设计标准 K-槽型横舱壁或纵舱壁连接细节，油船 表 11

横舱壁或纵舱壁与底壳的连接，油船	
关键区域	设计标准 K

<p><b>关键位置</b></p>	
<p>关键位置</p>	<p>底凳顶板与槽型横舱壁或纵舱壁的连接。</p>
<p>结构细节设计标准</p>	<p>底凳隔板与底凳顶板的连接避免使用扇形孔。支撑肘板应按照第 6 章第 4 节 [2.6.2] 的要求与槽型舱壁的腹板对齐。支撑肘板避免使用扇形孔。</p>
<p>建造公差</p>	<p>依据 IACS 47 建议案，保证底凳斜板与槽型舱壁面板的对准。</p>
<p>焊接要求</p>	<p>全熔透焊接或部分熔透焊接应用于底凳顶板与底凳斜板的连接。          全熔透焊接应用于底凳顶板和垂直槽型舱壁的连接。          全熔透焊接或部分熔透焊接应用于底凳顶板和支撑肘板的连接。          焊接的起始和终止位置应尽一切实际可能远离槽条顶角。          对于“J”连接，如图所示，支撑肘板与底凳顶板和底凳斜板的连接应在距折角处最小 300mm 范围内使用全熔透或部分熔透焊接。</p>



## 第10章 其他结构

### 第1节 首部

#### 2.1.2 船底纵桁

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。

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高度要求，上端边界应加强。

对于横骨架式结构，船底纵桁间距不超过 2.5m。

对于纵骨架式结构，船底纵桁间距不超过 3.5m。

#### 3.3 船首冲击

##### 3.3.6 主要支撑构件

g)各主要支撑构件的腹板的净厚度  $t_w$ ，mm 包括舷侧外板上的甲板/舱壁在内，不得小于：

$$t_w = \frac{P_{FB} b_{BI}}{\sin \phi_w \sigma_{crb}} \quad t_w = \frac{P_{FB} b_{BI}}{\sin \phi_w \sigma_{cr}}$$

式中：

$\phi_w$ ：主要支撑构件的腹板和舷侧外板的夹角，度，见图 5；

$\sigma_{crb}, \sigma_{cr}$ ：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 8 章第 5 节 [3.1.1][2.2.3],  $N/mm^2$ 。计算中，考虑第 8 章第 5 节 [2.2.3] 的  $\sigma_x$  和  $\sigma_y$ ，并使用 UP-B。

#### 4.1 平板艏柱

##### 4.1.2 强胸横梁和隔板

[3.3.1]定义的船首冲击加强区域处的强胸横梁/隔板的净厚度,  $t_w$ , mm, 不小于：

$$t_w = \frac{s}{70} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

式中：

s：腹板骨材的间距，mm。见第 1 章第 4 节表 5。如果没有安装骨材，s 取腹板的高度值。

### 第2节 机器处所

#### 3.1.2

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 1，类型 1。

基座与内底板合为一体

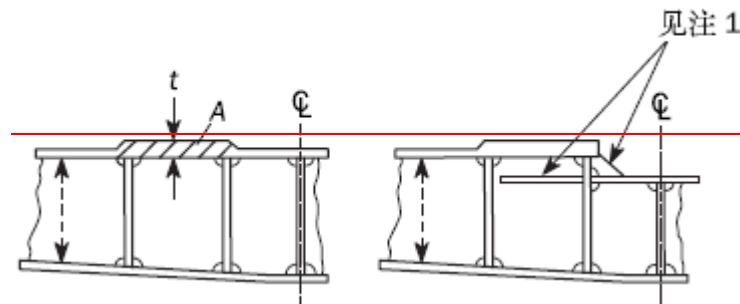


图 1 基座类型 1

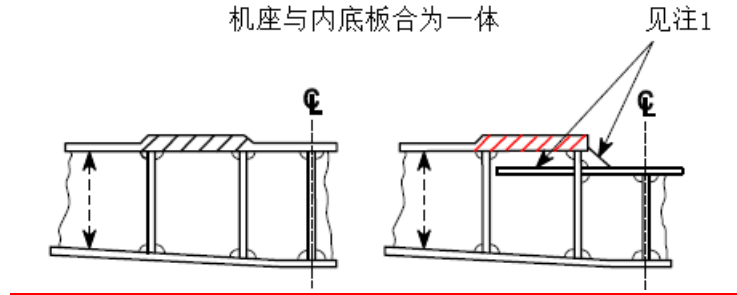


图1 基座类型 1

### 第3节 尾部

#### 2.2 尾尖舱内肋板和桁材的加强

##### 2.2.1

位于螺旋桨以上的艏尖舱压载舱或淡水舱内的肋板和桁材上的骨材应按[2.2.2]和[2.2.3]设计。这也适用于纵向延伸介于舵柱前缘和螺旋桨桨毂后端，横向位于螺旋桨直径以内区域内的骨材。

##### 2.2.12

肋板和桁材的骨材的高度  $h_{stf}$  不得小于：

$$h_{stf}=80l_{stf} \text{ 对于扁钢骨材}$$

$$h_{stf}=70l_{stf} \text{ 对于球扁钢和翼板骨材}$$

式中：

$l_{stf}$ ：图1中所示的骨材长度，m。不大于5m。

##### 2.2.23

艏尖舱压载舱或淡水舱内位于螺旋桨以上的肋板和桁材的骨材应设置端部肘板。这也适用于纵向延伸介于舵柱前缘和螺旋桨桨毂后端，横向在螺旋桨直径以内的区域内的骨材。端部肘板按以下要求设置：

- $l_{stf-t}$  超过 4m 时，上下两端应设置端部肘板；
- $l_{stf-t}$  超过 2.5m 时，下端应设置端部肘板。

式中：

$l_{stf-t}$ ：如图1所示的骨材总长度，m。

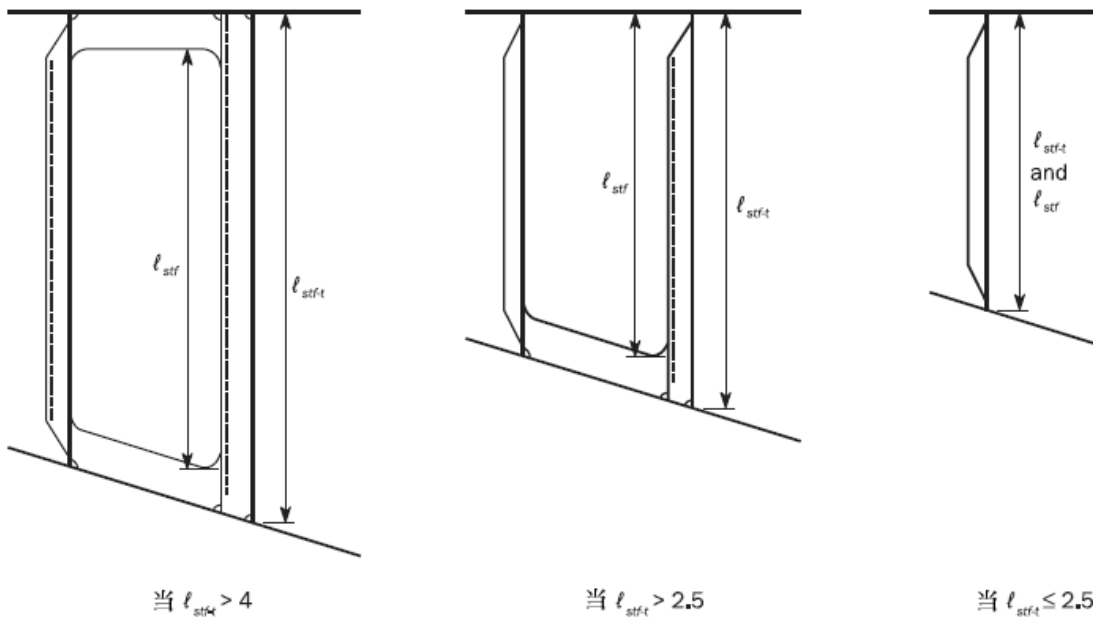


图1 艏尖舱内肋板和桁材的加强

3.1.2

铸钢和组合的尾框架应由适当间隔的总厚度不小于尾框架要求厚度 80%的板加强，该要求厚度  $t_1$  的定义见表 1 或表 2。铸造时应避免剖面的突然变化；所有剖面应有适当的过渡半径。

3.2 螺旋桨柱

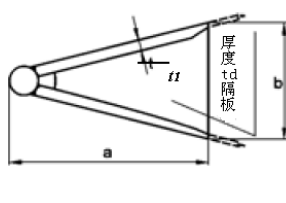
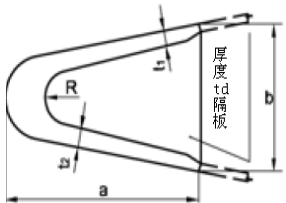
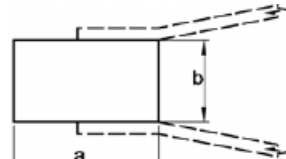
3.2.1 螺旋桨柱的总尺寸

螺旋桨柱的总尺度应不小于按表 1 对于单螺旋桨船和表 2 对于双螺旋桨船中公式求得值。

若螺旋桨柱剖面对其纵轴的剖面模数不小于用表 1 和表 2，如适用，中的螺旋桨柱尺寸计算的值，与上述不同的螺旋桨柱的尺寸和比例可考虑接受。

单螺旋桨船 - 螺旋桨柱的总尺度

表 1

螺旋桨柱的总尺寸 mm	组合的螺旋桨柱 	铸造的螺旋桨柱 	方形螺旋桨柱，铸造或锻造，且具有矩形剖面 
$a$	$50 L^{1/2}$	$33 L^{1/2}$	$10\sqrt{7.2L - 256}$
$b$	$35 L^{1/2}$	$23 L^{1/2}$	$10\sqrt{4.6L - 164}$
$t_1$	$2.5 L^{1/2}$	$3.2 L^{1/2}$	-
$t_2$	-	$4.4 L^{1/2}$	-
$t_D$	$1.3 L^{1/2}$	$2.0 L^{1/2}$	-
$R$	-	50mm	-

3.3 连接

3.3.1 与船体结构连接

尾框架应与船尾结构有效连接，尾框架螺旋桨柱的下部的要求尺寸应向从螺旋桨柱后端螺旋桨轴承中线上延伸不小于  $1500+6L_2$  mm 的长度，以与龙骨有效连接。然而，尾框架不必延伸至艉尖舱舱壁以外。

3.3.4 与中内龙骨纵桁连接

如果尾框架由铸铁制成，尾框架的下部应尽实际可能设置一纵向腹板以与中内龙骨纵桁连接。

4.1 外板

4.1.2 重型肋板

[2.1.1]要求的在重型肋板局部位置应设置重型肋板。重型肋板的净要求厚度不小于[4.1.1]给出的值。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  $r$ , mm，不得小于：

$$r = 150 + 0.8L_2$$

第 4 节 受晃荡液舱

2.2 骨材

2.2.1 净剖面模数

承受晃荡压力的骨材的净剖面模数  $Z$ ,  $\text{cm}^3$ ，应不小于：

$$Z = \frac{P_{slh} s l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}}$$

式中：

$f_{bdg}$ : 弯矩因子

$f_{bdg} = 12$ ，两端旋转固定的骨材，通常适应于所有连续的骨材。

$f_{bdg}=8$ ，一端或者两端可以自由转动的水平骨材，通常适应于不连续的骨材。

$C_s$ ：表2定义的许用弯曲应力系数，取为：—

● 对于承受船体梁应力的构件：取表2定义的系数。

●  $C_s=C_{s-max}$ ，对其他情况。

$P_{slh}$ ——取  $P_{slh-lng}$ 、 $P_{slh-t}$  或  $P_{slh-min}$  的最大值，见[1.3]

$C_{s-max}$ ：表3定义的系数。

## 第11章 上层建筑、甲板室和船体舾装

### 第1节 上层建筑、甲板室和升降口

符号

$P_{\#}P_{SY}$ ：上层建筑两侧壁的侧向压力， $kN/m^2$ ，定义见第4章第5节[2]和[4.2]-[4.3]。

3.2 甲板室

3.2.2 非露天甲板的甲板板

非露天甲板的总板厚  $t_{gr-unexp}$ ，mm，应不小于下式求得的较大值：

$t_{gr-unexp} = 0.9t_{gr-exp}$  在所考虑层，且

$$t_{gr-exp} = \left( 5.8 \frac{s}{1000} + 1 \right) \sqrt{k} \quad t_{gr-unexp} = \left( 5.8 \frac{s}{1000} + 1 \right) \sqrt{k} \quad \text{—但不小于 } 5.5\text{mm}$$

### 第3节 设备

1.1 适用范围

1.1.3

要求的锚泊设备的舾装数（EN）公式是基于假定最大水流速度为 2.5m/s，最大风速为 25m/s，最小锚链的范围在为 6~10 之间。锚链的范围是指抛出的锚链长度与水深的比值。对于船长大于 135m 的船舶，本节所要求的锚泊设备可认为适用于最大水流速度为 1.54m/s、最大风速为 11m/s、最大有义波高为 2m 的波浪。

假定正常情况下，一艘船舶每次只使用一个首锚和锚链。

2.1 要求

2.1.1

锚和锚链应按照表1确定。其数量、质量和尺寸由舾装数（EN）决定，舾装数由下式给出：

$$EN = \Delta^{2/3} + 2Bh + 0.1A$$

式中：

$h$ ：夏季载重线至最高层甲板室顶部的有效距离，m，由下式求得：

$$h = h_{FB} + \sum h_n$$

计算  $h$  时，不考虑舷弧和纵倾。对于最下层， $h$  在中心线处从上甲板量起；或者当上甲板有局部不连续时，从假想的甲板线处量起，如图1所示。

$h_{FB}$ ：船中干舷，从夏季载重水线量至上层甲板，m；

$h_n$ ：宽度大于  $B/4$  的上层建筑或甲板室的第  $n$  层中线处的高度，m。宽度大于  $B/4$  的甲板室如在宽度小于  $B/4$  的甲板室之上，则上边的甲板室应计入而下边的忽略（见图1）。

$A$ ：船长  $L$  范围内，夏季载重线以上的船体部分、上层建筑和宽度大于  $B/4$  的各层甲板室的侧投影面积， $m^2$ 。

在确定  $h$  和  $A$  时，高 1.5m 或以上的固定挡风板和舷墙可认为是甲板室的一部分。特别对于图2所示的舱口面积也应包括在内。

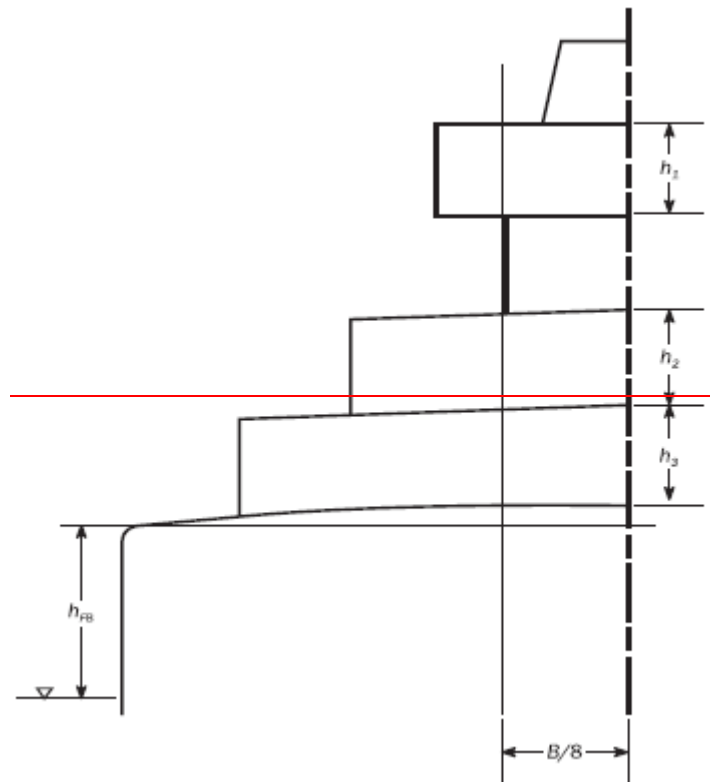


图1 甲板室有效高度

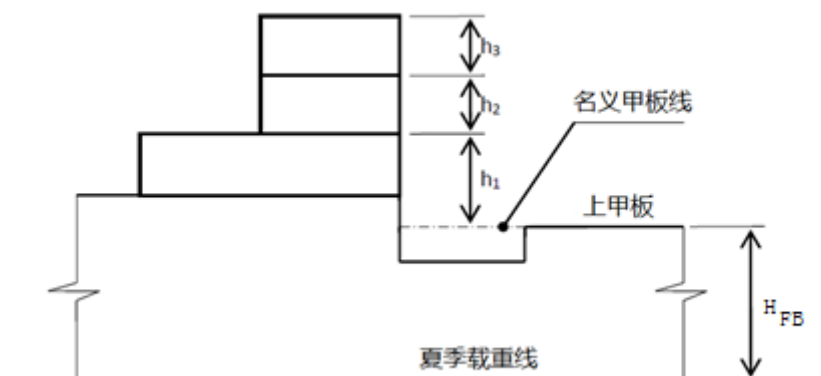


图1 高度测量

### 3 锚泊设备

#### 3.1 一般要求

##### 3.1.1 一般要求

两个首锚应用锚链连接，并安置在备用位置。建议提供第三个锚作为备用首锚，且仅作为指导性要求，不作为入级的条件。

##### 3.1.2 设计

锚应该经过设计认证。锚头的设计应使应力集中最小。特别是铸造锚头的所有部件的半径应尽可能大，尤其是剖面变化很大的位置。

如锚的设计与标准设计或认可的锚种类有区别，应提交锚的图纸，包括材料说明书供批准。

锚应为认可的型式并且满足船级社相应的试验条件。

CCS 3.1.2a 所有锚应在本社验船师的见证下，由本社认可的机构和设备试验，并应满足 CCS 《材料与焊接规范》第 10 章第 1 节的相关要求。

##### 3.1.3 试验

所有锚和锚链都应在相关机构，并在船级社认可的机器上进行试验，并且要在验船师或船级社的其他代表的监督下，根据船级社对材料的相关要求进行。

应持有记载有锚重、或尺寸，以及锚链重量换人采用的测试载荷的详细资料的测试证书。当锚和锚链被安置在船上时，这些证书应经过验船师检查。

~~CCS 3.1.3a 所有锚和锚链应在 CCS 验船师的见证下，由 CCS 认可的机构和设备试验，并应满足 CCS 《材料与焊接规范》第 10 章第 1 节[10.1.2]和第 2 节[10.2.2]的相关要求。~~

### 3.3 大抓力锚和超大抓力锚

#### 3.3.1 一般要求

经船东同意，可以考虑使用特殊型号的锚。大抓力锚（HHP）和超大抓力锚（SHHP），例如，根据船级社材料规范的要求，抓力大于普通锚至少两倍的锚已经得到证明，这种情况不要求在海床预先调整或做特殊布置。

~~CCS 3.3.1a 经申请方同意，可以考虑使用特殊类型的锚。满足 CCS 《材料与焊接规范》第 10 章第 1 节要求的大抓力锚(HHP)和超大抓力锚(SHHP)，不需在海底作预调整或在海底作特殊处理。~~

#### 3.3.2 大抓力锚和超大抓力锚的质量

大抓力锚和超大抓力锚用作首锚，每只锚的质量应分别不小于表 1 要求的普通无杆锚质量的 75% 或 50%。

~~超大抓力锚的质量一般小于或等于 1500kg。~~

#### 3.3.4 试验

~~要求认可为大抓力锚的锚应进行海上试验，以证明其抓力为已批准的相同质量标准无杆锚抓力的两倍。~~

~~如要求尺寸范围认可的，那么至少要测试两个锚。其中较小的锚质量应不小于较大锚质量的 1/10。所测试的两锚中的较大锚，其质量应不小于欲提交认可的最大锚质量的 1/10。~~

~~每项试验都应至少包含两个锚的比较：即一个普通无杆首锚和一个大抓力锚。锚的质量应大致相同。~~

~~试验通常采用拖船进行。用测力机来测量拉力或用最新验正的拖船推进器每分钟转数为函数的系缆桩拉力的数据来确定。~~

~~在试验中，每个锚的锚链有足够的长度，以获得作用于锚的近似水平的拉力。一般，锚和拖船之间的水平距离等于水深的 10 倍，可认为是足够的。~~

~~对于超大抓力锚，应至少在 3 种不同类型海底进行试验，柔软泥地或淤泥，沙地或沙砾，以及硬土或类似的较紧实质地的底质。~~

### 3.5 锚链舱和存放锚

#### 3.5.2 适用范围锚链在舷内的端部系固

#### 3.5.3 存放锚的系固

~~锚的系固应设计为在承受至少两倍的锚重加上 10m 锚链的重量时，不超过系固材料的 40% 的屈服应力。~~

### 3.9 拖索和系泊索

#### 3.9.1 一般要求

~~系泊索和拖索不作为入级条件的要求。表 2 中所列缆索和拖索仅作参考说明。对于表格中断裂强度大于 490kN 的情况，表 2 中给出的断裂强度和各自的缆索数可以调整，不小于表 2 中的断裂强度和缆索数即可。~~

~~设计者应提供以下信息：~~

- ~~● 拖索：
 
  - ~~○ 长度 m~~
  - ~~○ 破断负荷 kN~~~~
- ~~● 系泊索：
 
  - ~~○ 数量~~
  - ~~○ 每根的长度 m~~
  - ~~○ 破断负荷 kN~~~~

~~在选取拖索/系泊索时，应考虑装载手册中给出的甲板货的侧投影面积。~~

**表 2: 拖索和缆索**

舾装数		拖索引线或绳索		缆索		
		长度, m	断裂强度, kN	数量	单个长度, m	断裂强度, kN
大手	小手或等手					
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
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

舾装数		拖索引线或绳索		缆索		
		长度, m	断裂强度, kN	数量	单个长度, m	断裂强度, kN
大手	小手或等手					
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
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

#### 第4节 甲板设备和装置的支撑结构

##### 2.1 一般要求

##### 2.1.4

这些要求应基于总净尺寸进行评估。

##### 2.1.5

如合适, 对于锚泊作业以下载荷工况应进行校核:

- 锚机 (带掣链器但并没有附属于锚机):  $BS$  的 45%;
- 锚机 (不带掣链器或掣链器附属于锚机):  $BS$  的 80%;
- 掣链器:  $BS$  的 80%。



式中:

$BS$ : 锚链的最小断裂强度。

#### 2.1.12

作用在支撑结构上来自锚泊设计载荷的应力, 不大于下边的许用值:

- 正应力,  $1.00R_{eH}$
- 剪切应力,  $0.580.6 R_{eH}$

#### 2.1.15

作用于支撑结构上、来自上浪设计载荷的应力, 不应大于以下许用值:

- 正应力,  $1.00R_{eH}$
- 剪切应力,  $0.58\sigma_{yd}0.6 R_{eH}$

### 3.1 一般要求

#### 3.1.6 腐蚀模型

这些要求应基于总净尺寸进行评估。

#### 3.1.7

应校核以下由于系泊作业而引起的设计载荷:

- (a) 系泊绞车的最大拉力: 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: 根据第 11 章第 3 节表 2 要求的船舶对应舾装数, 设计者提供的系泊索(缆索)断裂强度的 125% (参见第 3 节 3.9)。

额定拉力和支持载荷见[3.1.3]和[3.1.4]定义。设计载荷应按照系泊布置图所示的布置通过系索施加。

### 5.1 一般要求

#### 5.1.1

用于船舶系泊和拖带作业的船舶舾装件(系缆桩和缆柱, 导缆器, 立式滚轮, 导缆孔)和绞盘应安装在甲板或舷墙结构上。

[5]的要求适用于艏部、舷侧和艉部正常拖带和系泊操作的船用设备及其支撑结构的设计和建造, 也适用于绞车和绞盘的支撑结构强度。

正常拖带系指与船舶正常操作所配合的, 为在港口和遮蔽水域操纵船舶所需要的拖带作业。

当船舶安装了用于其他拖带作业的船用设备时, 设备和支撑结构的强度可参照本节要求执行。

#### 5.1.2

安装导缆器的位置, 舷墙厚度需要增加, 见第 11 章第 2 节[2.2]。

[5]的要求不适用于特殊拖带作业的船用设备及其支撑结构, 如:

(a) 伴航拖带: 系指特定河口所要求的拖带, 特别是油船或 LNG 运输船。主要目的是在船舶推进装置或操舵装置损坏后控制船舶。应参照当地的伴航拖带要求以及石油公司海事论坛(OCIMF)的相关指南。

(b) 运河拖带: 系指用于船舶通过运河(例如巴拿马运河)时的拖带。应参照当地的运河拖带要求。

(c) 油船应急拖带: 系指帮助应急状况下的油船的拖带。应急拖带布置应满足 SOLAS II-1 章/3-4 条第一段及 MSC.35(63)及其修正案的要求。

#### 5.1.3

结构布置应保持强度的连续性。

船用舾装件及其基座、绞盘位置船舶结构的布置应避免形状或剖面突变或, 以最大限度减少应力集中。应避免尖锐的转角和切口, 特别在高应力区域。

如舷墙内安装了导缆孔, 舷墙的厚度可能需进行增加。见本章第 2 节[2.2]。

#### 5.1.4

支撑结构尺寸的确定应确保对于~~[5.1.6]至[5.1.8]~~ [5.2.1]和[5.3.1]给出的载荷, 计算得出的应力不超过~~[5.1.9.5]~~给出的许用值。

应确保支撑结构能够抵抗屈曲失效, 参见第 8 章的要求。

*CCS 5.1.4a 根据[5.1.4]的设计载荷, 支撑结构也可按[CCS 2.1.3a]和[CCS 2.1.3b]进行强度评估。*

#### 5.1.5

上述要求应基于总净尺度进行评估。

#### ~~5.1.6~~

~~对于船舶舾装件, 其支撑结构的设计载荷应按照以下要求:~~

- a) 用于在港内或调遣作业的正常拖带，应在拖带和系泊布置图上标明最大拖索负荷的 125%；
- b) 用于港内或调遣作业以外的其它拖带服务，如伴航服务，应为拖索的公称断裂强度；
- e) 用于系泊作业，应按照第 11 章第 3 节表 2 的船舶相应的舾装数要求的系索（缆索）公称断裂强度的 125%。

#### 5.1.7

绞盘支撑结构的设计载荷应取最大拖拉力的 125%。

#### 5.1.8

结构评估应考虑施加设计载荷的实际作用线，还需考虑提议的特殊布置；但[5.1.6]中描述的拖带和系泊情况时所施加的总载荷，不需要大于系缆索或拖索设计载荷的两倍。船用舾装件载荷作用点应视为系缆索或拖索的附着点或方向改变处。

#### 5.1.9

在[5.1.6]至[5.1.8]规定的设计载荷作用下，支撑结构和焊接点上的应力不应大于以下许用值：

- 正应力， $1.00R_{eH}$
- 剪切应力， $0.60R_{eH}$

#### 5.1.10

以下安全工作载荷的要求适用于基于单个缆桩的形式（如至多一根绳索用一个绳圈缠绕）。

- a) 用于正常拖带作业的安全工作载荷，如在港内或调遣，不应超过根据[5.1.6]a 项设计载荷的 80%；对于其它拖带作业的安全工作载荷，如伴航，不应超过根据[5.1.6]b 项的设计载荷；对于正常和其它拖带作业的甲板配件，应取[5.1.6]a 项和[5.1.6]b 项设计载荷的大者；
- b) 系泊作业的安全工作载荷不应超过[5.1.6]c 项的设计载荷的 80%；
- e) 每个甲板配件的安全工作载荷应标记（通过焊点或等效方法）在用于拖带和/或系泊的甲板配件上；
- d) [5.1.11]提及的拖带和系泊布置图应定义拖索和/或系索的使用方法。

#### 5.1.11

每个甲板配件预订用途的安全工作载荷应在拖带和系泊布置图上注明，该布置图应随船配备，用于指导船长。对于每个甲板配件，应包括以下信息：

- a) 船上位置；
- b) 配件型号；
- e) 安全工作载荷；
- d) 用途（系泊/港内拖带/伴航拖带）；
- e) 施加拖带或系索载荷的方法，包括角度变化的限制。

这些信息应纳入引航员卡中，为引航员提供港内/伴航作业的正确信息。

## 5.2 拖带

### 5.2.1 拖带设计载荷

船用配件的支撑结构的最小设计负荷不应小于下列值：

(a) 用于正常拖带操作，设计负荷应为拖带与系泊布置图中标明的预期的最大拖带负荷(如系柱静拖力)的 125%。

(b) 对于其他拖带服务，应为设计者提供的拖索最小破断负荷。（参见第 3 节[3.9]）

(c) 对同时用于正常拖带和其他拖带的船用设备，设计载荷应取为 (a) 和 (b) 中的大者。

当设计者所选定配件的拖带安全工作负荷（TOW）大于[5.2.4]规定的拖带安全工作负荷时，设计载荷应根据[5.2.1]和[5.2.4]给出的拖带 TOW 与设计载荷之间的换算关系进行增加。

设计载荷应根据拖带与系泊布置图中的布置，各种可能出现的方向施加于配件。当拖索在配件处转向，作用在配件上的设计载荷应为拖索设计载荷的合力确定配件与船体支撑结构设计负荷时应计算所有负荷（见图 4），但不需超过 2 倍的拖索设计负荷。

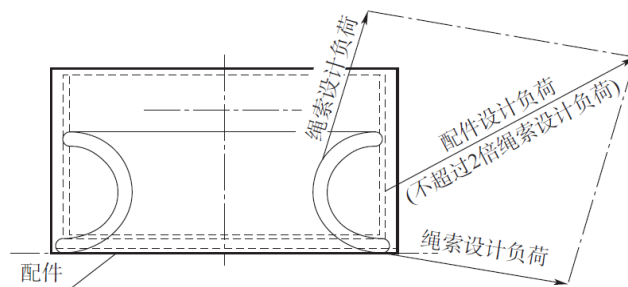


图4 设备上的设计载荷

### 5.2.2 船用设备

可根据船级社接受的工业标准选择船用配件，并至少基于以下载荷：

- (a) 正常拖带，拖带与系泊布置图上所标明的预期的最大拖带负荷(如系柱静拖力)；
- (b) 其他拖带，设计者提供的拖索的最新破断负荷，参见第3节[3.9]；
- (c) 对同时用于正常拖带和其他拖带的船用设备，设计载荷应取为(a)和(b)中的大者。

如果工业标准中给出了双柱带缆桩的不同受力型式，如8字缠绕两根缆桩和1个绳圈缠绕单个缆桩的型式，双柱带缆桩应根据1个绳圈缠绕于单个缆桩的型式选取。

如船用配件没有按接受的工业标准选择时，评估该配件的强度及配件与船舶的连接时的设计负荷应符合本节的要求。

双柱带缆桩应根据1个绳圈缠绕于单个缆桩的型式。

CCS 5.2.2a 选择船用配件的工作标准应经本社接受。

### 5.2.3 拖带载荷作用点

船用配件上拖带载荷的作用点应是拖索的附着点或拖索方向变化处。对于带缆桩，拖索的连接点应位于基座以上4/5的筒体高度，如图5所示。

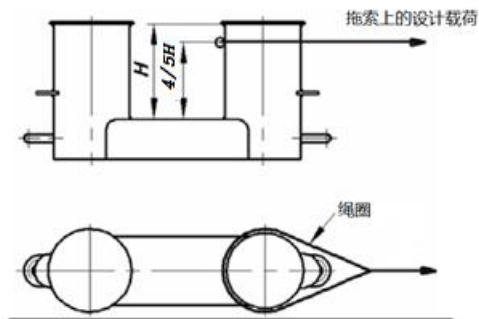


图5 拖索的作用点

### 5.2.4 拖带安全工作负荷 (TOW)

拖带安全工作负荷 (TOW)，单位 t，是拖带用途的极限作业载荷。

下述拖带安全工作负荷 (TOW) 的要求适用于仅使用一根拖缆的情况。如果是其他情况，对双柱带缆桩，TOW 应为一根拖索按照1个绳圈缠绕的型式。

- (a) 用于正常拖带操作的 TOW 应不超过本节[5.2.1](a)给定设计负荷的 80%；
- (b) 用于其他拖带操作的 TOW 应不超过本节[5.2.1](b)给定的设计负荷的 80%；
- (c) 同时用于正常拖带和其他拖带的 TOW 应为(a)和(b)中的大者；
- (d) 同时用于拖带和系泊的配件，还应满足[5.3]的要求；

每一船用配件的 TOW 应标记(焊点或等效方法)在用于拖带的甲板配件上。

对同时用于拖带和系泊的配件，除 TOW 外，根据[5.3.4]要求的 SWL，单位 t，也应进行标记。

## 5.3 系泊

### 5.3.1 系泊设计载荷

船舶设备的支撑结构的最小设计负荷应为设计者选定的系索破断强度(参见第3节[3.9])的 115%。

绞车的船体支撑结构的最小设计负荷应为预计的最大刹车支持负荷的 1.25 倍，最大刹车支持负

荷应不小于 80%的设计者选定的系索破断强度（参见第 3 节[3.9]）。

对绞盘的船体支撑结构，设计载荷应为 1.25 倍的最大卷入力。

当设计者所选定配件的安全工作负荷大于[5.3.4]规定的安全工作负荷时，设计载荷应根据安全工作负荷与设计载荷之间的换算关系进行增加。

设计载荷应根据拖带与系泊布置图中的布置，各种可能出现的方向施加于配件。当系泊索在配件处转向，作用在配件上的设计载荷应为系泊索设计载荷的合力，但不需超过 2 倍的系泊索设计负荷。

参见图 4。

### 5.3.2 船用设备

可根据船级社接受的工业标准选择船用配件，应至少基于设计者选定的系索破断强度（参见第 3 节[3.9]）。

如果工业标准中给出了双柱带缆桩的不同受力型式，如 8 字缠绕两根缆桩和 1 个绳圈缠绕单个缆桩的型式，双柱带缆桩应根据 8 字缠绕两根缆桩的型式选取。

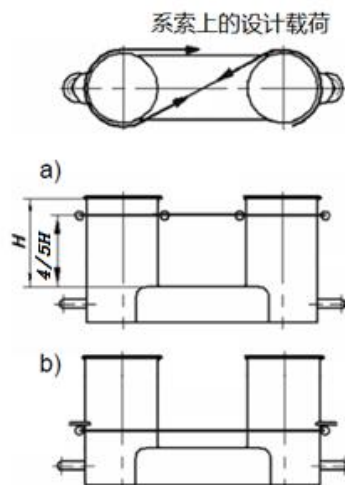
如船用配件没有按接受的工业标准选择时，评估该配件的强度及配件与船舶的连接时的船体支撑结构应符合本节的要求。

双柱带缆桩应能承受系泊索按照 8 字缠绕型式产生的载荷。

CCS 5.3.2a 选择船用配件的工作标准应经本社接受。

### 5.3.3 系泊载荷作用点

船用配件上系索载荷的作用点应是系索的附着点或系索方向变化处。对于带缆桩，系泊索的连接点应位于基座以上  $4/5$  的筒体高度，如图 6 中 a) 所示。如果筒体上安装了挡板以保证系泊索尽可能低，则系泊索的作用点可取为挡板的高度，如图 6 中 b) 所示。



### 5.3.4 安全工作负荷 (SWL)

安全工作负荷 (SWL)，单位 t，是系泊用途的极限作业载荷。

下述安全工作负荷的要求适用于仅使用一根系泊索的情况。

除设计者选用更大安全工作负荷 (SWL) 的配件，安全工作负荷应不超过按设计者选定的系索破断强度（参见第 3 节[3.9]）。

每一船用配件的 SWL 应标记(焊点或等效方法)在用于系泊的甲板配件上。

对同时用于拖带和系泊的配件，除 SWL 外，根据[5.2.4]要求的 TOW，单位 t，也应进行标记。

## 5.4 支撑结构

### 5.4.1

拖带和系泊用的船舶设备、系泊用的绞车和绞盘应位于属于甲板结构的强力构件和/或桁材之上，以便于拖带或系泊载荷的有效传递。可接受其他布置（如舷墙上的导缆孔），但应证明其满足其用途。

### 5.4.2

船用设备下加强部件应对在船用设备上的拖带/系泊载荷的任何方向(水平方向和垂直方向)的变化作有效布置，如图 7 所示。

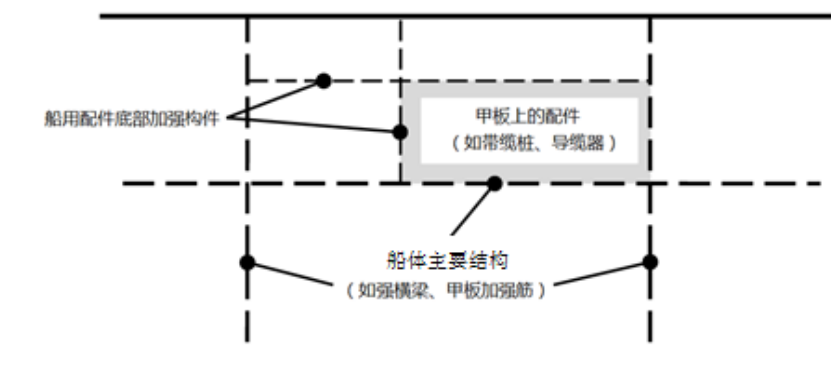


图 7 布置示例

#### 5.4.3

船用设备（带缆桩、导缆器、立式滚轮和导缆孔）和系泊和/或拖带用绞盘应安装在甲板货舷墙结构上。

#### 5.4.4

结构布置应提供强度的连续性。设备与船体支撑结构应保证合适的对齐。

船用设备及其底座及绞盘处的船体结构布置应避免形状或截面的突变以减少应力集中。应避免尖锐的角或槽，特别是高应力区域。

### 5.5 接受衡准

#### 5.5.1

对于[5.2.1]和[5.3.1]所要求的设计载荷，船用设备及其支撑结构和焊接中产生的应力应不超过[5.5.3]和[5.5.4]的适用应力衡准。

#### 5.5.2

船用设备的强度分析可采用梁理论或板架分析或有限元分析。

根据船级社的决定，船用设备的载荷试验可代替上述的强度分析。

CCS 5.5.2a 经 CCS 同意，可采用载荷试验代替强度分析。载荷试验应证明船用设备在承受设计载荷后不产生裂纹和永久性变形。

#### 5.5.3

使用梁理论或板架分析进行强度评估时，许用应力如下：

- 正应力： $1.00R_{eH}$
- 剪切应力： $0.60R_{eH}$

正应力指弯曲应力和轴向应力的和，相应的剪切应力作用方向垂直于正应力。不考虑应力集中因素。

#### 5.5.4

对有限元分析的强度评估，von Mises 等效应力应不超过  $R_{eH}$ 。

使用有限元分析进行强度计算时，模型应尽可能与实际结构一致。单元的长度与宽度比应不超过 3。强桁材应使用板单元或平面应力单元模拟。对称桁材面板可使用梁或桁架单元模拟。桁材腹板单元的高度不可超过腹板高度的 1/3。对于桁材腹板上的小型开孔，腹板厚度应减薄到整个腹板高度的平均厚度。大型开孔应直接模拟。加强筋可通过板单元，平面应力单元或梁单元进行模拟。应读取每个单元中部的应力结果。对于板单元，应评估单元中间平面的应力。

### 5.6 设备的腐蚀增量

#### 5.6.1

设备的腐蚀增量  $t_c$ ，mm，应不小于下列值：

(a) 甲板上的基座或底座（基座和底座不是根据所接受工业标准制造的船用配件的一部分），  
2.0mm；

(b) 船用配件（不是根据所接受工业标准制造的），2.0mm。

#### 5.6.2

在腐蚀增量  $t_v$  基础上，对于不是根据所接受的工业标准制造的船用配件，其经常与绳索接触的表

面，应考虑不小于 1.0mm 的磨损增量。

### 5.7 拖带和系泊布置图

#### 5.7.1

每个船用配件预定用途的 SWL 和 TOW 应在拖带与系泊布置图上注明，该布置图应配备在船上指导船长。

应注意拖带 TOW 是拖带用途的极限作业载荷而 SWL 为系泊用途。

提供的布置图应包括的每个船用配件的信息，涉及：

- a) 船上位置；
- b) 配件型号；
- c) SWL 和/或 TOW；
- d) 用途(系泊/港区拖带/其他拖带)；
- e) 施加拖带或系泊载荷的方法，包括角度变化的限制。

c)、d)和 e)应提交船级社批准。

CCS 5.7.1a [5.7.1]中 c)、d)和 e)应提交本社批准。

#### 5.7.2

布置图中应包括：

f) 系泊索的布置，显示系泊索的数量 (N) ；

g) 每根系泊索的最小破断负荷 (MBL) ；

h) 接受的环境条件：

- 任意方向的 30 秒平均风速
- 首部或尾部 ( $\pm 10^\circ$ ) 的最大流速

上述信息应具体反映在引航员卡中，为引航员提供港区/其他拖带操作的正确信息。

#### 5.7.3

拖带系泊布置图应定义拖索和/或系泊索的使用方法。

## 第 5 节 小舱口

### 1.5 货油舱通道的舱口

#### 1.5.3

干舷甲板上表面以上的舱口围板的高度应不小于 600mm。船旗国主管机关可允许较低的高度。此外，舱口围板顶部不应低于其所处液舱的最高点，且应满足破损稳性要求的足够高度。

舱口围板的总厚度不应小于 10mm。如果所安装的围板高度超过 600mm，则围板的厚度应增加或安装边缘加强构件。若液舱通道围壁面积为  $1.2\text{m}^2$  或以上，和/或其剖面形状不是圆形，则围板的厚度还应满足额外的要求。

CCS 1.5.3a 液舱出入的小舱口围板，如舱口面积为  $1.2\text{m}^2$  及以上和/或舱口围板由非完整圆形构成，则舱口围板上应设置扶强材，舱口围板的厚度和围板扶强材应满足第 11-2 篇本篇第 2 部分第 1 章第 5 节[6.3.1]和[6.3.2]的要求。

## 第 12 章 建造

### 第 3 节 焊接接头设计

#### 2.4 部分熔透和或全熔透焊接

##### 2.4.4 全熔透或部分熔透焊接范围

[2.4.5]和[2.4.6]中列出的每个特定位置处全熔透或部分熔透焊接范围应由船级社批准。然而，除另有规定外，全熔透或部分熔透焊接距参考点(即构件交点、肘板趾端等)的最小范围不应小于 300mm。

##### 2.4.5 需要全熔透焊接的位置

下列位置和规范要求的其他位置处应采用全熔透焊接，见图 3：

- a) 圆弧型底边舱折角处实肋板与底边舱斜板/内底板连接部位；
- b) 角隅处圆弧型舱口围板与甲板连接部位；
- c) 当垂直槽型舱壁未设置底凳时，货舱区域内垂直槽型舱壁与底边舱斜板和内底板连接；

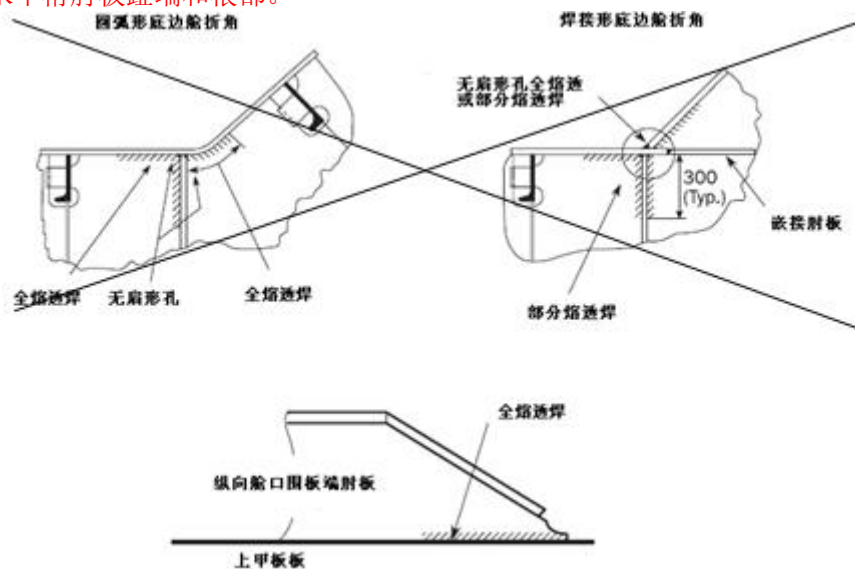


- d) 当垂直槽型舱壁未设置底凳时，双层底上与槽型舱壁翼板对齐的结构构件与内底板的连接；
- e) 当连接不位于底凳时，垂直槽型舱壁与底边舱斜板的连接，以及底边舱斜板区域下与槽型舱壁翼板对齐的结构构件与底边舱斜板的连接；
- f) 垂直槽型舱壁与底凳顶板连接；
- g) 槽型舱壁底凳侧板与底凳顶板；
- h) 槽型舱壁底凳侧板与内底板；
- i) 在航行时用于装载液体的货舱内的双层底结构构件与内底板的连接，底凳侧板相邻 150/300mm 范围内，见图 3；
- je) 当开口尺寸超过 300 mm 时，船中 0.6 L 以内的强力甲板、舷顶列板和船底板上的开口边缘补强部位或管道贯穿处；
- kf) 建造厚度小于或等于 12mm 的立板板格，在结构吃水以下形成外板边界（包括但不限于海水阀箱、舵杆套筒和尾封板）。建造厚度大于 12 mm，可根据[2.4.1]接受部分熔透焊；
- lg) 起重机座和支撑肘板以及支撑结构；
- mh) 对纵向舱口围板端部肘板与甲板板的趾端连接，距边围板端部肘板趾端 0.15 Hc 距离内要求采用全熔透焊，Hc 是舱口围板的高度；
- ni) 挂舵臂和尾轴架与船壳结构连接部位；
- oj) 长的横向强框架厚翼板与舷侧强框架连接部位。长的纵桁厚翼板与舱壁强框架连接部位。

2.4.6 需要全熔透或部分熔透焊接的位置

下列位置应采用[2.4.2]定义的部分熔透焊接（示例见图 3）：~~基于其他衡准，如第 9 章给出的疲劳评估，可能需要其他位置采用部分熔透焊接，见图 3。~~

- a) 底边舱斜板与纵舱壁（内壳）连接部位；
- b) 纵/横舱壁主要支撑构件端部与双层底连接部位；
- c) 槽型舱壁底凳侧板与底凳顶板连接部位；
- d) 槽型舱壁底凳侧板与内底板连接部位；
- ce) 槽型舱壁底凳支撑肋板与内底板连接部位；
- df) 槽型舱壁封槽板和卸货板；
- eg) 垂直槽型舱壁下端 15% 长度区域的组合型槽型
- fh) 舱壁主要支撑构件和凳板以下的双层底构件，[2.4.5] i) 所列除外；
- gi) 底凳下列板与内底板连接部位；
- hj) 舱壁水平桁肘板趾端和根部。



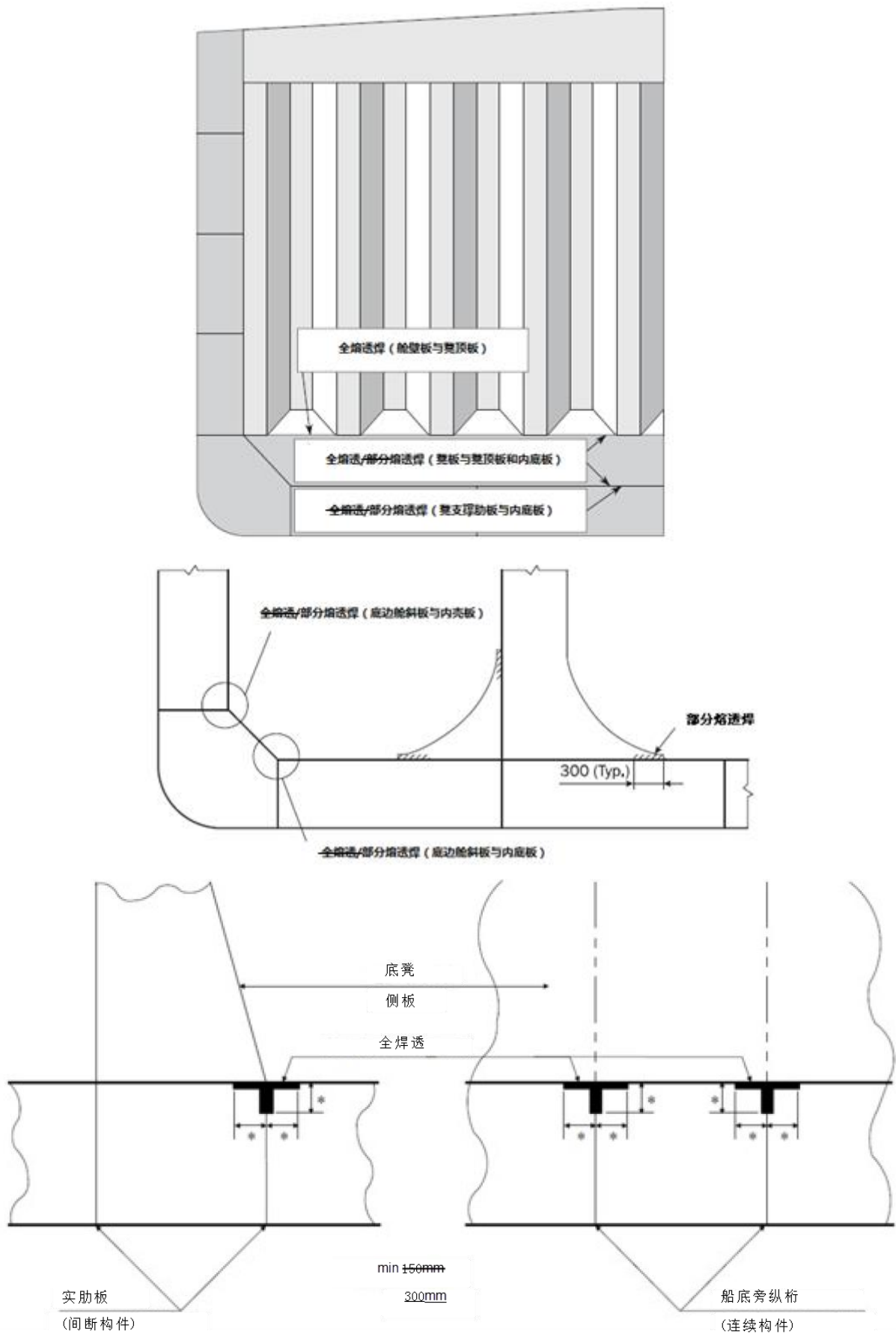


图 3 高应力区域焊接 (示例)



## 2.5 焊缝尺寸衡准

### 2.5.2

连续、搭接或间断角焊缝的焊脚高度  $l_{leg}$  应不小于如下大者：

$$l_{leg} = f_1 f_2 t_{as-built}$$

$$l_{leg} = f_{yd} f_{weld} f_2 f_3 t_{as-built} + t_{gap}$$

$l_{leg}$ ，见表 1

式中：

$f_1$ ：焊接类型系数

$f_1=0.30$ ，对于双面连续焊

$f_1=0.38$ ，对于间断焊

$f_2$ ：坡口加工系数

$f_2=1.0$ ，对于未开坡口的焊缝双面连续焊

$f_2=0.70$ ，对于单面或双面开坡口，且  $f = t_{as-built} / 3$  的焊缝部分熔透焊

$f_{yd}$ ：系数，不小于下者：

$$f_{yd} = \left(\frac{1}{k}\right)^{0.5} \left(\frac{235}{ReH_{weld}}\right)^{0.75}$$

$$f_{yd} = 0.71$$

$ReH_{weld}$ ：焊缝熔敷金属最小屈服强度， $N/mm^2$ ，且应不小于：

$ReH_{weld} = 305$  对于普通强度钢焊缝， $ReH = 235$

$ReH_{weld} = 375$  对于屈服应力  $ReH$  为 265~355 的高强度钢焊缝

$ReH_{weld} = 400$  对于屈服应力  $ReH$  为 390 的高强度钢焊缝

$f_{weld}$ ：焊接系数，取决于构件类型，见表 2，表 3 和 表 4

$k$ ：立板的材料系数

$f_3$ ：焊缝类型修正因数：

$f_3=1.0$  对于双面连续焊

$f_3 = s_{ctr} / l_{weld}$  对于间断焊或并列焊

$s_{ctr}$ ：两连续角焊焊段从中心到中心的间距，mm

主要支撑构件焊接系数

表 4

船体结构	连接			$f_{weld}$
	由	对		
主要支撑构件	腹板	外板、甲板板、内底板、舱壁	端部处 (15% 剪切跨距)	0.48
			剪切跨距端部 15% 处至构件端部范围内	
		其他位置	0.38	
	面板	在液舱/货舱内，位于从首尖舱起 0.125L 范围内		0.38
		面板横截面积大于 65 cm <sup>2</sup>		0.38
		其他位置		0.24
		压载水舱和液货舱边界处		0.48
端部连接		其他位置	0.38	

### 2.5.3

焊喉尺寸  $t_{throat}$ ，mm，见图 4，应不小于：

$$t_{throat} = \frac{l_{leg}}{\sqrt{2}}$$

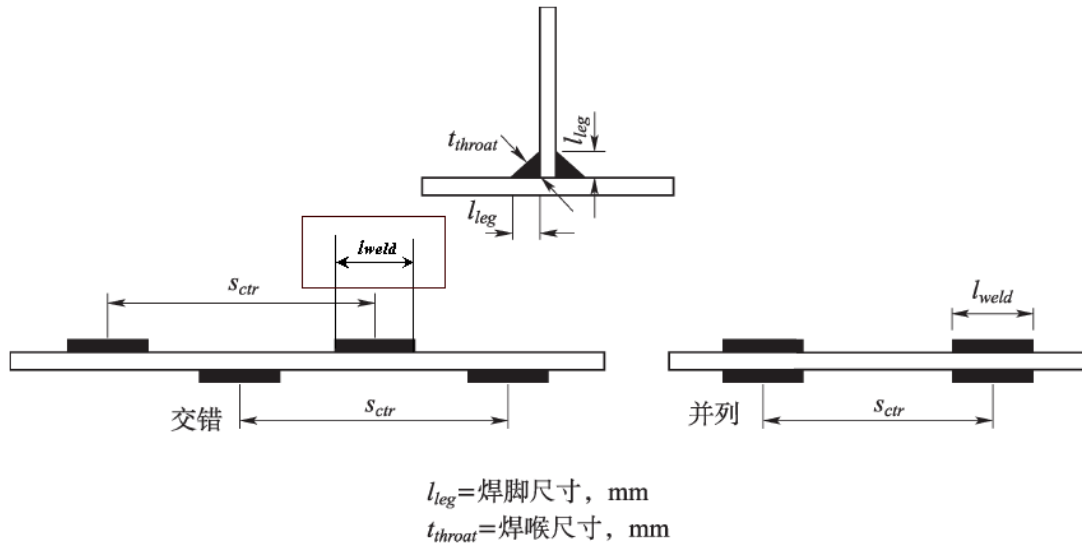


图 4 焊接尺寸定义

5.1 舳龙骨

5.1.1

应根据表 5 中的要求，通过连续角焊缝将复板与外壳、舳龙骨与垫板连接。

舳龙骨焊接要求

表 5

连接构件	焊脚高度, mm	
	端部 <sup>(1)</sup>	其他位置
垫板至外壳	0.62 $t_{1as\_built}$	0.48 $t_{1as\_built}$
舳龙骨腹板至垫板	0.48 $t_{2as\_built}$	0.30 $t_{2as\_built}$

$t_{1as\_built}$  —— 垫板建造厚度, mm  
 $t_{2as\_built}$  —— 舳龙骨腹板建造厚度, mm  
 (1): “端部”定义为第 1 部分第 3 章第 6 节图 19 和图 20 中的区域“b”。

## 第 13 章 营运船舶换新衡准

### 第 1 节 原则和检验要求

1.3 文件要求

1.3.2 船体梁剖面特性

船上所备的船舳剖面图上，应包括第 5 章第 1 节定义的每个货舱有代表性的横剖面的按第 5 章第 1 节定义的船体梁最小要求剖面特性。

## CCS 附录 A 基于等效设计波法的波浪载荷直接计算方法

符号

$f_{ps}$ : 与适用的第 11 篇本篇第 1 部分第 4 章第 7 节定义的设计载荷方案设定所对应的强度评估系数，取为：

$f_{ps} = 1.0$ ，对于极端载荷设计载荷方案设定和疲劳评估；

$f_{ps} = 0.8$ ，对于压载水交换设计载荷方案设定；

$f_{ps} = 0.8$ ，对于航行意外进水设计载荷方案设定；

$f_{ps} = 0.4$ ，对于在港/遮蔽水域设计载荷方案设定。

$f_{\beta}$ : 浪向修正系数，取为：

- 对于强度评估

$f_{\beta}=0.8$  用于极限波浪载荷设计载荷方案设定的 BSR 和 BSP 载荷工况；

$f_{\beta}=1.0$  用于极限波浪载荷设计载荷方案设定的 HSM、HAS、FSM、OST 和 OSA 载荷工况；

$f_{\beta}=1.0$  用于航行压载水交换、在港/遮蔽水域和意外进水设计载荷方案设定。

### 3 基于等效设计波法的波浪载荷计算及应用

#### 3.2 装载工况

##### 3.2.1 一般要求

对于结构强度评估的装载工况见第 11-1 篇本篇第 1 部分第 4 章第 8 节的相关规定。

对于疲劳强度评估的装载工况见第 11-1 篇本篇第 1 部分第 4 章第 8 节的相关规定；除非有更准确的数据，相对应装载工况的时间比例因子见第 11-1 篇本篇第 1 部分第 9 章第 1 节。

#### 3.4 载荷计算

##### 3.4.4 舱内压力

###### 3.4.4.1 舱内液体压力

舱内液体静压力  $P_{ls}$  的计算见第 11-1 篇本篇第 1 部分第 4 章第 6 节[1.2]的相关规定。

液舱内部液体动压力  $P_{ld}$  计算公式见第 11-1 篇本篇第 1 部分第 4 章第 6 节[1.3]，其中的舱室重心加速度  $a_x$ 、 $a_y$  和  $a_z$  取为按本附录 3.4.1 计算的结果。

###### 3.4.4.2 舱内干散货压力

干散货静压力  $P_{bs}$ 、动压力  $P_{bd}$ 、静剪切载荷  $P_{bs-s}$ 、动剪切载荷  $P_{bs-d}$ 、 $P_{bs-dx}$ 、 $P_{bs-dy}$  的计算公式见第 11-1 篇本篇第 1 部分第 4 章第 6 节[2]，其中的舱室重心加速度  $a_x$ 、 $a_y$  和  $a_z$  取为按本附录 3.4.1 计算的结果。

#### 3.5 相关载荷应用

##### 3.5.1 相关载荷与第 11-1 篇本篇第 1 部分的对应

载荷名称	规范中符号	第 11-1 篇本篇第 1 部分定义位置	本附录中符号	本附录中位置
横摇角	$\theta$	第 4 章第 3 节符号,	$\theta$	3.4.1
纵摇角	$\varphi$	第 4 章第 3 节符号	$\varphi$	3.4.1
任一点加速度	$a_x, a_y, a_z$	第 1 章第 4 节表 4	$a_x, a_y, a_z$	3.4.1
垂向波浪弯矩	$M_{wv-LC}$	第 4 章第 4 节 3.5.2	$M_{wv}$	3.4.2.2
垂向波浪剪力	$Q_{wv-LC}$	第 4 章第 4 节 3.5.3	$Q_{wv}$	3.4.2.3
水平波浪弯矩	$M_{wh-LC}$	第 4 章第 4 节 3.5.4	$M_{wh}$	3.4.2.4
波浪扭矩	$M_{wt-LC}$	第 4 章第 4 节 3.5.5	$M_{wt}$	3.4.2.5
舷外水总压力	$P_{ex}$	第 1 章第 4 节表 4	$P_{ex}$	3.4.3.3
舷外水静压力	$P_s$	第 4 章第 5 节 1.2.1	$P_{es}$	3.4.3.1
舷外水动压力	$P_w$	第 4 章第 5 节 1.3 和 1.4	$P_{ed}$	3.4.3.2
舱内总压力	$P_{in}$	第 1 章第 4 节表 4	$P_{in}$	3.4.4.3
内部液体静压力	$P_{ls}$	第 4 章第 6 节 1.2	$P_{ls}$	3.4.4.1
内部液体动压力	$P_{ld}$	第 4 章第 6 节 1.3	$P_{ld}$	3.4.4.1
干散货静压力	$P_{bs}$	第 4 章第 6 节 2.4.2	$P_{bs}$	3.4.4.2
干散货动压力	$P_{bd}$	第 4 章第 6 节 2.4.3	$P_{bd}$	3.4.4.2

### 3.5.2 相关载荷在描述性方法中的应用

#### 3.5.2.2 板和扶强的屈服屈曲强度

板和扶强的屈服屈曲强度评估的设计载荷组见第~~11-1~~篇本篇第1部分第6章第2节表1, 相关载荷见本附录。

#### 3.5.2.3 纵骨疲劳强度

纵骨疲劳强度的评估见第~~11-1~~篇本篇第1部分第9章第2节表1到表3第4节, 相关载荷见本附录。

### 3.5.3 相关载荷在有限元方法中的应用

#### 3.5.3.1 强度评估

有限元强度评估的装载工况和动载荷工况规定见第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章第8节[1]到[4], 相关载荷见本附录。

#### 3.5.3.2 疲劳评估

有限元疲劳评估的装载工况和动载荷工况规定见第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章第8节[5], 相关载荷见本附录。

## CCS 附录 B 直接计算载荷工况补充要求

### 1 一般规定

#### 1.1 一般要求

1.1.1 结构特殊布置形式符合第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章第8节[2.5.1]要求的直接计算载荷工况按本附录要求进行。

1.1.3 本附录涉及的船体结构有限元模型与边界条件, 载荷计算和施加, 载荷调整, 计算衡准等要求按照第~~11-1~~篇本篇第1部分第7章直接计算相关规定。

#### 1.2 适用范围

1.2.1 本附录适用于符合第~~11-1~~篇本篇第1部分规定的双壳或单壳散货船和一道或两道纵舱壁油船。

#### 1.3 符号定义

1.3.1 本附录涉及的参数和符号定义见第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章相关规定。

### 2 基本原则

#### 2.1 一般要求

2.1.1 干散货类型及密度、货油密度、压载水与燃油密度应符合第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章相关要求。

2.1.2 典型的装载模式(出港、到港、港内、部分压载)应符合第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章第8节的相关要求。

2.1.3 装载工况和吃水应符合第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章第8节的相关要求, 并根据装载手册中的实际情况, 选取最恶劣的装载模式作为考核工况。

#### 2.2 装载工况选取原则

2.2.1 油船应符合第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章第8节关于设计装载工况要求, 包括:

- (1) 重压载工况所有压载舱满载、部分装载或空舱, 艏尖舱压载水满载;
- (2) 装载手册中明显不同于压载工况的其他航行工况;
- (3) 任何指定的非均匀分布的装载。

2.2.2 散货船应符合第~~11-1~~篇本篇第1部分第4章第8节关于设计装载工况要求, 包括:

- (1) 轻货均匀满载, 重货均匀满载;
- (2) 隔舱装载工况;
- (3) 多港装载工况, 如有时;
- (4) 连舱隔舱装载工况, 如有时;
- (5) 压载工况, 指定货舱为重压载的重压载工况, 或无重压载舱的普通压载工况, 包括艏尖舱压载。

2.2.3 结构特殊布置装载工况

- (1) 装载模式

货舱区域的货油舱、干散货舱一般符合第11-1篇本篇第1部分规定的典型结构布置形式。当货舱或双壳中舱室（压载舱或燃油舱）的布置与第11-1篇本篇第1部分规定的典型结构形式不一致时，应按第11-1篇本篇第1部分第84章第8节的相关要求以及货舱或双壳中舱室的实际位置定义装载模式。

(2) 吃水

油船装载工况下吃水应符合第11-1篇本篇第1部分第4章第8节的相关规定。当两道油密纵舱壁油船的货舱长度小于0.15L或一道油密中纵舱壁油船货舱长度小于0.11L时，载荷工况吃水应取规范要求吃水或装载手册实际吃水，一般应充分考虑选取的工况吃水对结构强度影响较严重。

散货船装载工况下吃水应符合第11-1篇 本篇第1部分第4章第8节的相关规定。

3 典型附加装载工况

3.1 油船

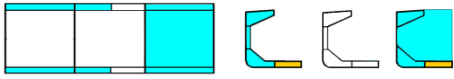
3.1.1 油船中污油舱（SLOP TANK）在货油舱尾部区域的布置一般有多种形式。除第11-1篇本篇第1部分第4章第8节给出的一般布置形式以外，图3.1.1（1）和3.1.1（2）为油船污油舱典型布置。

3.2 散货船

3.2.2 对图3.2.1 所示的特殊布置形式，除第4章第8节要求的载荷工况外，对于深压载工况应按表3.2.2 的要求补充载荷工况。

深压载工况下的补充载荷工况

表 3.2.2

编号	描述	装载模式			吃水	许用静水弯矩百分数	许用静水剪力百分数	动载荷工况
		尾部	中部	首部				
航行工况								
1	深压载 (第11-1篇 本篇第1部分 第4章第8节 [4.2.1])				T <sub>HB</sub>	100% (中拱)	100% <sup>(1)</sup>	FSM-2 BSR-1P,BSR-1S OST-2P,OST-2S
						100% (中垂)	100% <sup>(1)</sup>	BSP-1P,BSP-1S BSR-1P,BSR-1S OST-1P,OST-1S
注：(1) 剪力工况以中间舱双壳压载舱水密横舱壁为目标位置。								

## CCS 附录 C 船体梁极限强度评估的非线性有限元方法

1 一般规定

1.1 适用范围

1.1.2 本附录船体梁有限元模型应考虑CCS《钢质海船入级规范》第11-1篇本篇第1部分第5章附录2-3.1.1附录2, [3.1.1]列出的相关非线性因素。

2 单跨有限元结构模型

2.1 一般规定

2.1.4 有限元模型应采用构件的净尺寸，即建造尺寸扣除一半的腐蚀余量，腐蚀余量的规定见CCS《钢质海船入级规范》第11-1篇本篇第1部分第3章第3节。

2.5 碰撞和搁浅破损

2.5.1 破损范围的假定见CCS《钢质海船入级规范》第11-1篇本篇第1部分第5章第3节2-2[2.2]。

3 舱段有限元结构模型

3.6 碰撞和搁浅破损

3.6.1 破损垂向和横向范围的假定见CCS《钢质海船入级规范》第11-1篇本篇第1部分第5章第3节2-2[2.2]，并特别考虑破损的纵向范围。

## 第2部分

### 第1章 散货船

#### 第2节 结构设计原则

##### 3.3.2 散货船舱口间甲板

在开口线内,若横向甲板采用横骨架式结构,舱口端横梁和横向甲板横梁应用桁材适当支撑,并从舱口边纵桁向甲板方向延伸至第二根纵骨。如不能实现前述的延伸时,则应在舱口边纵桁和第二根纵骨间设置间断骨材,并应根据第1部分第7章的要求或船级社认可的方法进行结构校核。

支撑横向甲板的横向主要构件应通过舷侧或顶边舱主要支撑构件支撑。

应通过采用中间厚度的板保证舷侧处的强力甲板与舱口间的甲板的平顺连接。

CCS 3.3.2a CCS—按照第11-1篇本篇第1部分第7章的要求进行结构强度校核。

##### 3.3.4 强力甲板上开孔-舱口角隅

###### a) 货舱区域内

对于位于货舱区域内的货舱舱口,应在开口呈圆形的角隅处,设置按以下所给的公式所确定厚度的嵌接板。

当连续甲板纵桁设置在舱口围板下面时,圆形角隅的半径应不小于舱口宽度的5%。

如横向布置两个或以上的舱口,则角隅半径由船级社基于具体情况另行考虑。

对于位于货舱区域内的舱口,若开口呈椭圆形或抛物线形,则一般不要求设置嵌接板。椭圆形开孔的半轴或抛物线拱的一半长度应不小于:

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

如需嵌接板,其净厚度,mm,从下列式中得到:

$$t_{INS} = (0.8 + 0.4\ell / b)t_{off}$$

取不小于  $t_{off}$  或大于  $1.6 t_{off}$

式中:

$\ell$ : 两连续舱口间横向甲板条在所考虑的角隅处的宽度, m, 沿纵向量取 (见第1部分第3章第6节图14)

$b$ : 所考虑的舱口宽度, m, 沿横向量取 (见第1部分第3章第6节图14)

$t_{off}$ : 舱口边甲板的净提供厚度, mm。

对端部舱口的末端角隅,需要嵌接板。嵌接板的厚度应大于相邻甲板净提供厚度的60%。当计算表明舱口角隅处的应力小于许用值时,船级社可接受较小的厚度。

如需设置嵌接板,其布置如第1部分第9章第6节表15所示,其中  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  和  $d_4$  应大于普通骨材间距。

对于船长  $L$  为 150m 及以上的船舶,角隅半径、嵌入板的厚度及范围可以通过第1部分第7章的直接计算强度评估,包括分别根据第1部分第8章和第9章的屈曲校核以及舱口角隅疲劳强度评估的结果来确定。对这种类型船舶推荐布置圆形舱口角隅。

#### 第3节 船体局部尺度

##### 1.4 舷侧肋骨的上下连接

###### 1.4.2 肘板净连接面积

由第  $i$  个纵向骨材支撑的肘板的净连接面积  $A_i$ ,  $\text{cm}^2$ , 应不小于: 下端或上端肘板与支撑纵骨之间的净连接面积应满足以下公式:

$$A_i = 0.4 \frac{\sigma_{1.5} k_{BR}}{f_{1.5} k_{BR}} 10^{-3}$$

$$\sum_i A_i d_i R_{BR, BR-i} \geq 0.02 \alpha_T P_S l_{BR}^2 10^{-3}$$

式中:

$Z_i$ : 支撑肋骨的下端或上端连接肘板的舷侧外板或底边舱/顶边舱(按适用情况)的第*i*个纵向骨材的净剖面模数,  $\text{cm}^3$

$l_i$ : 定义见[1.4.1]

$k_{bkt}$ : 肘板的材料系数

$k_{i_g-r}$ : 第*i*个纵向骨材的材料系数

$A_j$ : 与第*j*根纵骨连接的肘板的净提供面积,  $\text{cm}^2$ 。

$d_i, \alpha_T$ : 见[1.4.1]定义。

$R_{eH,bkt-l}$ : 与第*i*根纵骨连接的肘板的最小屈服应力,  $\text{N/mm}^2$ 。

$s$ : 舷侧肋骨间距,  $\text{mm}$ 。

### 3.3 槽条下端的净剖面模数

#### 3.3.3 有效卸货板

有如按图 4 设置有效的卸货板, 则计算槽条下端(图 4 中横剖面 1)槽条的剖面模数时, 槽条翼板净面积可增加如下式所得值的  $I_{SH}$ ,  $\text{cm}^2$ :

$$I_{SH} = 2.5 \cdot 10^{-3} a \sqrt{t_f t_{SH}} \text{ 但不大于 } 2.5 a t_f 10^{-3}$$

式中:  $a$ ——槽型翼板宽度,  $\text{mm}$  (见第 1 部分第 3 章第 6 节图 21);

$t_{SH}$ ——卸货板净厚度,  $\text{mm}$ ;

$t_f$ ——翼板净厚度,  $\text{mm}$ 。

#### 3.3.4 有效封槽板

如设置有效封槽板, 则计算槽条下端(图 5 和图 6 中横剖面 1)槽条的净剖面模数时, 槽条翼板净面积可增加如下式所得值的  $I_G$ ,  $\text{cm}^2$ :

$$I_G = 7 h_G t_f$$

式中:  $h_G$ ——封槽板的高度,  $\text{m}$  (见图 5 和图 6), 应取不大于  $(10/7)S_{GU}$ ;

$S_{GU}$ ——封槽板的宽度,  $\text{m}$ ;

$t_f$ ——槽型翼板净厚度,  $\text{mm}$ 。

## 4.1 双层底能力和货舱许用装载评估

### 4.1.4 许用货舱装载

$\rho_{ST}$ : 钢材密度,  $\text{t/m}^3$ , 取为 7.87.85。

## 第 4 节 船长 L 小于 150m 的散货船的船体局部尺寸

### 4 主要支撑构件

#### 4.1 适用范围

##### 4.1.2

CCS 4.1.2a 作为[4.1.1]的替代方法, 可根据表 CCS4.1.2a 设计装载组合, 对中部货舱区域主要支撑构件按第 11-1 篇本篇第 1 部分第 7 章的相关规定进行直接强度校核。

CCS 4.1.2b 中部货舱区域主要支撑构件还应满足第 11-1 篇本篇第 1 部分第 6 章第 3 节最小厚度和第 8 章第 2 节长细比要求。

#### 4.2.2 载荷工况

对设计载荷组 BC-911 到 BC-4012 中的计算压力  $P_{in}$  需考虑装载手册中最严重的载荷工况或其他设计者特别指出的在和工况。

如果主要支撑构件支撑甲板结构或油舱/水密边界, 第 1 部分第 6 章第 2 节, 表 1 中适用的设计载荷组也需要被考虑。

货舱区域主要支承构件的设计载荷组

表 3

项目	设计载荷组	载荷组合	吃水	设计载荷	装载工况
散货船货舱指定为压载舱	WB-4	Pin-Pex <sup>(1)</sup>	T <sub>BAL-H</sub> <sup>(3)</sup>	S+D	重压载工况
	WB-6	Pin	-	S	港内/试验工况
散货船货舱	BC-911	Pin-Pex <sup>(1)</sup>	T <sub>SC</sub>	S+D	货物载荷工况
	BC-4012	Pin-Pex <sup>(1)</sup>	-	S	港内工况

隔离处所但不装载液体	FD-1 <sup>(2)</sup>	Pin	T <sub>SC</sub>	S+D	进水工况
	FD-2 <sup>(2)</sup>	Pin		S	进水工况

(1)  $P_{ex}$  仅适用于外壳。  
 (2) FD-1 和 FD-2 不适用于外壳。  
 (3) 采用重压载工况中最小吃水。

4.7.2 净剖面模数、净剪切面积和腹板净厚度

承受侧向压力的净剖面模数  $Z$ ,  $\text{cm}^3$ 、净剪切面积  $A_{shr}$ ,  $\text{cm}^2$  和腹板净厚度  $t_w$ ,  $\text{mm}$ , 应不小于由下式计算所得之值:

$$Z = \frac{|P|Sl_{bdg}^2}{f_{bdg}C_{s-pr}R_{eH}} \cdot 10^3$$

$$A_{shr} = \frac{5|P|Sl_{shr}}{C_{t-pr}\tau_{eH}}$$

$$t_w = 1.75 \sqrt[3]{\frac{h_w C_{t-pr} \tau_{eH}}{10^4 C_5} A_{shr}}$$

式中:

$P$ ——设计压力,  $\text{kN/m}^2$ , 按第1部分第6章第2节[2.1.3]定义的设计载荷组, 在位于横舱壁中间的强框架的跨距  $l$  中点处计算。

$S$ ——主要支撑构件间距,  $\text{m}$ 。

$l_{bdg}$ ——主要支撑构件有效弯曲跨距,  $\text{m}$ , 在第1部分第3章第7节[1.1.6]定义的支撑构件之间量取。

$l_{shr}$ ——主要支撑构件有效剪切跨距,  $\text{m}$ , 在第1部分第3章第7节[1.1.7]定义的支撑构件之间量取。

$f_{bdg}$ ——弯矩因子:

- 对于连续骨材主要支撑构件, 当端部连接处的设置与理想化的骨材主要支撑构件有相同的固定端:

$$f_{bdg} = 10$$

- 对于减弱端部约束的骨材主要支撑构件, 屈服校核需考虑逐例分析。

$C_{s-pr}$ ——主要支撑构件的许用弯曲应力系数, 等于:

$$C_{s-pr} = 0.70 \text{ 对于 AC-S}$$

$$C_{s-pr} = 0.85 \text{ 对于 AC-SD}$$

$h_w$ ——腹板高度,  $\text{mm}$ 。

$C_5$ ——表12给出的系数, 取决于  $s_l$  和  $d_0$ 。对于  $s_l/d_0$  中间值, 系数  $C_5$  用线性插值方法确定

$s_l$ ——腹板骨材或防倾肘板间距,  $\text{m}$ 。

$d_0$ ——平行于外板的腹板骨材间距,  $\text{m}$ 。

## 第5节 舱口盖

### 1 通则

#### 1.1 适用范围

##### 1.2.1 钢

CCS 1.2.1a 钢质舱口盖的材料应满足第11-1篇本篇第1部分第3章第1节[2.3]表[8][7]材料级别I的要求。

#### 4.1.6 集装箱引起的力

当舱口盖上载运集装箱时, 集装箱角下的集中力应按船级社的适用要求确定。

CCS 4.1.6a 当舱口盖上装载集装箱时, 集中力  $P$  应按下式计算:

$$P = P_S(1 + a_z) \text{ kN}$$

式中:  $P_S$ ——集装箱堆重载荷,  $\text{kN}$ ;

$a_z$ ——垂向加速度,  $\text{m/s}^2$ , 见第11-1篇本篇第1部分第4章第3节[3.2.4]。



5.1.1 适用范围

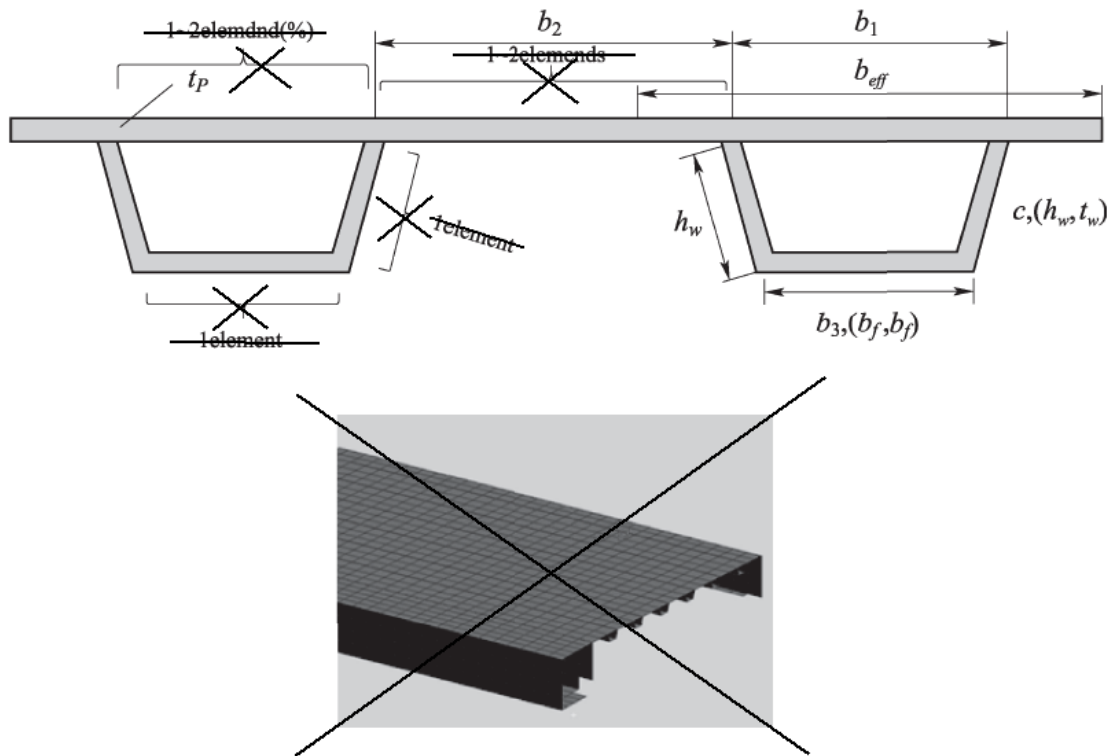


图 1 装有 U 型扶强材的舱口盖

6.3.4 局部细节

为了将舱口盖上的压力传递至舱口围板并通过围板传递至下面的甲板结构，局部细节的设计应符合本节的要求。

舱口围板和支撑结构应充分加强，以便承受纵向、横向和垂向的舱口盖载荷。

由撑柱传递的载荷在甲板下结构中引起的正应力 $\sigma$ 和剪应力 $\tau$ ， $N/mm^2$ ，应符合下列公式：

$$\begin{aligned} \sigma &\leq 0.95R_{eH} \\ \tau &\leq 0.5R_{eH} \end{aligned}$$

除另有说明外，应按船级社的要求确定焊接连接尺寸和选择材料。

撑柱腹板与甲板板的连接应采用双面连续角焊，焊喉厚度应不小于 $0.44t_w$ ， $t_w$ 为撑柱腹板的总厚度。

撑柱腹板趾端与甲板板的连接应采用K形深熔焊缝，延伸距离不小于撑柱宽度的15%。

CCS 6.3.4a 除本节规定外，焊缝尺寸和材料的选用还应分别满足第11—1—篇本篇第1部分第12章第3节表2 [2.5.2] 和第3章第1节的适用要求。

7.2 衬垫

7.2.1

舱口盖和堆放在舱口盖上的货物的重量以及船舶运动产生的惯性力，应通过钢对钢的接触传递到船舶结构。

这可通过舱口盖裙板与船舶结构的连续的钢对钢接触或采用规定的承载垫来实现。

## 第 2 章 油船

### 第 3 节 船体局部尺度

1.4.2 中纵桁的净剪切面积

对于上面没有设置中纵舱壁的双层底中纵桁，从每个横舱壁和制荡舱壁（如设置时）起第一框架处的双层底中纵桁净剪切面积  $A_{shr-n50}$ ， $cm^2$ ，则不小于：

$$A_{shr-n50} = \frac{8.5Q}{C_{t-pr} \tau_{eH}}$$

式中： $Q$ ——设计剪力，kN，取为：

$$Q = 0.21n_1n_2Pl_{shr}^2$$

$l_{shr}$ ——有效剪切跨距，如[1.3.2]定义。

$P$ ——设计压力，kN/m<sup>2</sup>，如[1.3.2]定义。

$n_1$ ——系数，取为：

$$n_1 = 0.00935 \left( \frac{l_{shr}}{S} \right)^2 - 0.163 \left( \frac{l_{shr}}{S} \right) + 1.289$$

$n_2$ ——系数，取为：

$$n_2 = 1.3 - \left( \frac{S}{12} \right)$$

$S$ ——双层底实肋板间距，m，定义见第1部分第3章第7节[1.2.2]。

#### 1.4.3 旁纵桁的净剪切面积

对于上面没有设置纵舱壁的双层底旁纵桁，从每个横舱壁和制荡舱壁（如设置时）起第一框架处的双层底中纵桁净剪切面积  $A_{shr-n50}$ ，cm<sup>2</sup>，则不小于：

$$A_{shr-n50} = \frac{8.5Q}{C_{t-pr} \tau_{eH}}$$

式中： $Q$ ——设计剪力，kN，取为：

$$Q = 0.14n_3n_4Pl_{shr}^2$$

$n_3$ ——系数，取为：

$$n_3 = 1.072 - 0.0357 \left( \frac{l_{shr}}{S} \right)$$

$n_4$ ——系数，取为：

$$n_4 = 1.2 - \left( \frac{S}{18} \right)$$

$S$ ——双层底实肋板间距，m，定义见第1部分第3章第7节[1.2.2]。

### 1.5 甲板强横梁

#### 1.5.2 设置在上甲板之下的甲板强横梁净剖面模数

设置在上甲板之下的甲板强横梁的净剖面模数，cm<sup>3</sup>，不小于下面公式给出的  $Z_{in-n50}$  和  $Z_{ex-n50}$ 。

设置在上甲板之下的边货油舱甲板强横梁的净剖面模数不小于设置在上甲板之下的中货油舱甲板强横梁的要求。

$$A_{in-n50} = \frac{850M_{in}}{C_{s-pr} R_{eH}}$$

$$A_{ex-n50} = \frac{850M_{ex}}{C_{s-pr} R_{eH}}$$

$$Z_{in-n50} = \frac{850M_{in}}{C_{s-pr} R_{eH}}$$

$$Z_{ex-n50} = \frac{850M_{ex}}{C_{s-pr} R_{eH}}$$

## 第4节 船体舾装

### 2 其他甲板附属结构

#### 2.1 货油总管

### 2.1.1 货油总管支撑结构

货油总管支撑结构的设计应使航行或在港装卸货时施加在管道系统上的载荷分布到船体结构上。为此,货油总管支撑结构与甲板的连接应布置在与主船体结构加强构件对齐的位置上,或应安装附加加强构件以避免出现硬点。还要注意甲板连接的结构的设计,以使得剖面变化带来的影响最小化。这些细节的布置和审批由船级社根据具体情况考虑。

*CCS 2.1.1a 对于船舶舾装设备与甲板的连接结构,应满足第11-1篇本篇第1部分第11章第4节 [CCS 6.1.1b]的要求。*



中 国 船 级 社

钢质海船入级规范

2018 年修改通报

第 10 篇 有限航区船舶

## 目录

<b>第1章 通则</b> .....	<b>3</b>
第1节 一般规定 .....	3
<b>第2章 船体</b> .....	<b>4</b>
第1节 通用要求 .....	4
第2节 船型要求 .....	6
<b>第3章 轮机</b> .....	<b>8</b>
第1节 一般规定 .....	8
第2节 轮机装置 .....	8
第3节 齿轮强度评定 .....	11
<b>第4章 电气装置</b> .....	<b>12</b>
第1节 一般规定 .....	12
第2节 1类航区航行船舶 .....	12
第3节 2类、3类航区航行船舶.....	12
<b>第5章 货物冷藏</b> .....	<b>14</b>
第1节 一般规定 .....	14
第2节 制冷装置 .....	14
第3节 舱内载运冷藏集装箱.....	14
<b>第6章 消防</b> .....	<b>15</b>
第1节 一般要求.....	15
<b>第7章 其他补充规定</b> .....	<b>16</b>
第1节 敞口集装箱船补充规定.....	16
第2节 顶推船-驳船组合补充规定 .....	19
第3节 石油沥青船补充规定.....	24
第4节 动力定位系统 .....	24

# 第 1 章 通则

## 第 1 节 一般规定

### 1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本篇规定适用于有限航区航行和/或作业的船舶。

1.1.1.2 本篇无规定者，应符合本规范第 1 篇至第 8 篇的相关规定。

### 1.1.2 定义

1.1.2.1 有限航区：是 1 类航区、2 类航区和 3 类航区的统称。各类有限航区的航行限制详见本规范第 1 篇第 2 章第 1 节表 2.1.3.1。

### 1.1.3 附加标志

1.1.3.1 对符合本篇规定的船舶，授予下列附加标志：

(1) 1 类航区：R1；

(2) 2 类航区：R2；

(3) 3 类航区：R3。

1.1.3.2 其他有限航区或航线限制附加标志，详见本规范第 1 篇第 2 章附录 1 表 B。

### 1.1.4 船体结构换新衡准

1.1.4.1 仅对于 1983 年 1 月 15 日前安放龙骨的按 CCS 规范建造的船舶，船体各板材和构件的换新厚度须按航区折减，折减后的最小换新厚度要求见本规范第 1 篇第 5 章附录 1 船体结构换新衡准 2.1。

## 第 2 章 船体

### 第 1 节 一般规定

#### 2.1.1 一般要求

2.1.1.1 有限航区定义见本篇第 1 章第 1 节。

2.1.1.2 有限航区船舶的强度标准对应的环境条件见表 2.1.1.2。

表 2.1.1.2

航区	有义波高
1 类航区	0.78C
2 类航区	0.74C
3 类航区	0.69C

$C$ ——系数，按下列各式计算：

$$C=0.0412L+4, \quad \text{当 } L < 90\text{m 时};$$

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

$$C=10.75, \quad \text{当 } 300 < L < 350\text{m 时};$$

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

$L$ ——船长 (m)，见本规范第 2 篇第 1 章第 1 节 1.1.2.1。

#### 2.1.2 总纵强度

2.1.2.1 按本规范第 2 篇第 2 章第 2 节的要求校核船舶的总纵强度时，船中最小剖面模数

$W_0$  值可按下述要求减小：

- (1) 在 1 类航区航行的船舶减小 5%；
- (2) 在 2 类航区航行的船舶减小 10%；
- (3) 在 3 类航区航行的船舶减小 15%。

2.1.2.2 按本规范第 2 篇第 2 章第 2 节或第 7 章第 2 节、第 10 节的要求校核船舶的总纵强度时，波浪弯矩和波浪切力可按下述要求减小：

- (1) 在 1 类航区航行的船舶减小 10%；
- (2) 在 2 类航区航行的船舶减小 15%；
- (3) 在 3 类航区航行的船舶减小 20%。

#### 2.1.3 构件规范尺寸的折减

2.1.3.1 在有限航区内航行的船舶，除本节 2.1.3.2 和 2.1.3.3 规定外，按本规范第 2 篇要求计算的船体构件尺寸，仅指规范要求的板的厚度、构件的剖面积和剖面模数的计算值，可按下述要求减小：

- (1) 在 1 类航区内航行的船舶减小 5%；
- (2) 在 2 类航区航行的船舶减小 10%；
- (3) 在 3 类航区内航行的船舶减小 15%。

折减后的构件尺寸应符合本节 2.1.3.4 的要求。

2.1.3.2 船长等于或大于 65m 的船舶，计算其外板和甲板厚度，按第 2 篇第 2 章第 2 节要求取  $F_d$  值和  $F_b$  值小于 1 时，船中 0.4L 范围内船体外板和主甲板不能按 2.1.3.1 的规定减小其厚度值。

2.1.3.3 对下列情况，不能按 2.1.3.1 的规定减小其规范尺寸：最小厚度要求、深舱水密要求、油密要求、冰区加强及船首底部加强要求等所规定的构件尺寸，以及舱壁、承载重货的内底板和内底骨架、载货甲板骨架、车辆甲板、支柱、首尾柱、尾轴架、主机座结构和舵等构件。

2.1.3.4 折减后的最小厚度要求：

- (1) 船长小于 65m 的船舶，其外板最小厚度为 5mm；
- (2) 船长小于 65m 的船舶，强力甲板最小厚度为 5mm，其他甲板的最小厚度为 4mm；
- (3) 船长小于 65m 的船舶，双层底内底板的最小厚度为 5mm；
- (4) 船长小于 65m 的船舶，钢质风雨密舱口盖板的最小厚度为 5mm。

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

2.1.3.6 平板龙骨的厚度应不小于船底板厚度加 1.5mm，且不小于相邻船底板的厚度。

2.1.3.7 对航行于 2 类航区或 3 类航区的船舶，可以不必满足本规范第 2 篇第 1 章第 7 节船首甲板装置的要求。

2.1.3.8 航行于 2 类航区或 3 类航区内的船舶，不必满足本规范第 2 篇第 2 章第 15 节船首底部加强的规定。

2.1.3.9 对非国际航行船舶，由船东自愿选择，可不必满足本规范第 2 篇第 2 章第 23 节抓斗加强的要求。

2.1.3.10 对非国际航行的散货船，可以不必满足本规范第 2 篇第 8 章第 8、9、10、13 和 15 节的要求。

## 2.1.4 锚泊设备

2.1.4.1 按本规范第 2 篇第 3 章第 2 节要求配备的锚设备，可按下述规定减免：

(1) 除本条(2)规定之外，在 2 类航区内航行的船舶，其锚泊设备可按舢装数  $N$  降低 1 档选取。船长小于 30m 的交通艇或专线渡船，首锚可仅配 1 只，锚链可配一半的长度；

(2) 在 2 类航区内航行的起重船、打桩船或其他类似的工程船舶和耙吸式挖泥船，锚泊设备可按舢装数  $N$  降低 2 档选取；

(3) 在 3 类航区内航行的船舶，锚泊设备可按舢装数  $N$  降低 2 档选取。船长小于 30m 的交通艇或专线渡船，首锚可仅配 1 只，锚链可配一半的长度；

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

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



### 2.1.5 稳性、载重线与结构布置

2.1.5.1 对于非国际航行船舶，稳性、载重线与结构布置应符合船旗国主管机关的规定。

### 2.1.6 装载仪

2.1.6.1 对在 2 类航区和 3 类航区航行的船舶，可不配备装载仪。

### 2.1.7 直接计算

2.1.7.1 当有限航区船舶适用本规范第 2 篇第 1 章第 5 节结构强度直接计算要求时，应满足 2.1.7.2 的要求。

2.1.7.2 航区系数  $f_r$  应按下述要求确定：

$$f_r = 0.90, \text{ 1 类航区；}$$

$$f_r = 0.85, \text{ 2 类航区；}$$

$$f_r = 0.80, \text{ 3 类航区。}$$

2.1.7.3 当有限航区船舶适用本规范第 2 篇第 2 章第 2 节 2.2.9 波浪载荷的直接计算要求时，波浪载荷的预报需基于所航行海区的波浪统计资料。如所航行海区的波浪统计资料不限于一种，则选取其中最严重的一种进行计算。

## 第 2 节 船型要求

### 2.2.1 滚装船、客船、客滚船与渡轮

2.2.1.1 当有限航区船舶适用本规范第 2 篇第 9 章第 4 节首门和内门、第 5 节舷门和尾门要求时，应满足 2.2.1.2 的要求。

2.2.1.2 设计载荷系数  $\lambda$  应按下述要求确定：

$$\lambda=1 \quad \text{1 类航区的船舶；}$$

$$\lambda=0.8 \quad \text{2 类航区的船舶；}$$

$$\lambda=0.5 \quad \text{3 类航区的船舶。}$$

### 2.2.2 驳船

2.2.2.1 当有限航区船舶适用本规范第 2 篇第 12 章附录箱形驳船横向强度校核方法时，应满足 2.2.2.2 的要求。

2.2.2.2 对于仅航行于有限航区的箱形驳船，舷外水压力载荷中所用的系数 C 值可按以下规定予以折减：

(1) 对 1 类航区：0.90；

(2) 对 2 类航区：0.85；

(3) 对 3 类航区：0.80。

### 2.2.3 起重船

2.2.3.1 对于在有限航区内作业的起重船，授予下列作业航区附加标志：

- (1) 在 1 类航区内作业:Lifting Within R1;
- (2) 在 2 类航区内作业:Lifting Within R2;
- (3) 在 3 类航区内作业:Lifting Within R3;
- (4) 仅在港内作业:Lifting Within Harbor。

2.2.3.2 按本规范第 2 篇第 13 章校核起重船作业工况时的总纵强度时，波浪弯矩和波浪切力可按下述要求减小：

- (1) 在 1 类航区作业的船舶减小 15%；
- (2) 在 2 类航区作业的船舶减小 30%；
- (3) 在 3 类航区作业的船舶减小 45%；
- (4) 对仅在港内作业的起重船减小 70%。

### 2.2.4 挖泥船

2.2.4.1 对于在有限航区内作业的挖泥船，授予下列作业航区附加标志：

- (1) 在 3 类航区内作业:Dredging Within R3;
- (2) 在 2 类航区内作业:Dredging Within R2;
- (3) 在 1 类航区内作业:Dredging Within R1;
- (4) 仅在港内作业： Dredging Within Harbor。

2.2.4.2 按本规范第 2 篇第 14 章校核挖泥船作业工况时的总纵强度时，波浪弯矩和波浪切力可按下述要求减小：

- (1) 在 1 类航区作业的船舶减小 15%；
- (2) 在 2 类航区作业的船舶减小 30%；
- (3) 在 3 类航区作业的船舶减小 45%。
- (4) 对仅在港内作业的挖泥船减小 70%。

### 2.2.5 半潜驳

2.2.5.1 对于设计用于在 3 类航区或港内作业的非自航半潜驳，其作业状态下的总纵强度中的载荷和计算工况可按照 CCS《浮船坞入级规范》中的相关要求计算。

### 2.2.6 双体船

2.2.6.1 当有限航区船舶适用本规范第 2 篇第 18 章第 3 节双体船总载荷时，应满足 2.2.6.2 的要求。

2.2.6.2 对于仅航行于有限航区的双体船，计算载荷的航区系数  $C_3$  可按以下规定予以折减：

- (1) 对 1 类航区：0.8；
- (2) 对 2 类航区：0.6；
- (3) 对 3 类航区：0.5。

## 第 3 章 轮机

### 第 1 节 一般规定

#### 3.1.1 适用范围

3.1.1.1 本章规定适用于有限航区船舶的轮机装置，这些规定可以代替本规范第 3 篇所述的有关规定。

#### 3.1.2 环境条件

3.1.2.1 对有限航区船舶与船舶入级有关的机械设备，本规范第 3 篇表 1.2.1.2 中所要求的环境温度可按航区实际情况选取。

3.1.2.2 对有限航区的船舶，本规范第 3 篇 1.2.1.3 中所要求的确定主、辅机功率所根据的环境条件，应适应于该航区的情况。

#### 3.1.3 燃料

3.1.3.1 本规范第 3 篇 1.2.9.1 所要求的燃油闪点，对有限航区船舶，如有专门的措施，其燃油的储藏或使用处所的环境温度能限制在低于该燃油闪点 10℃ 以下范围内时，可使用闪点低于 60℃，但不低于 43℃ 的燃油。

### 第 2 节 轮机装置

#### 3.2.1 瘫船起动

3.2.1.1 对非国际航行 2 类航区及其之下航区货船和 3 类航区客船，可不必满足本规范第 3 篇 1.2.6 规定的瘫船起动的要求。

#### 3.2.2 机器处所内舱底水吸口布置

3.2.2.1 对 2 类航区及其之下航区货船，本规范第 3 篇表 3.3.2.1 中直通舱底水吸口的数量均可为 1 个。

3.2.2.2 对小于 100 总吨的非国际航行客船或小于 500 总吨的 3 类航区客船，可不设本规范第 3 篇 3.3.3.1 所要求的舱底水应急吸口。

#### 3.2.3 舱底水泵和舱底水管系

3.2.3.1 本规范第 3 篇表 3.4.1.1 所规定的每艘船舶的动力舱底泵数量和驱动方式，对小于 100 总吨且载客不超过 100 人的非国际航行客船，如航行时间不超过 4 小时，可设 2 台独立动力舱底泵。

### 3.2.4 油舱柜空气管

3.2.4.1 对非国际航行 2 类航区及其之下航区船舶, 可不必满足本规范第 3 篇第 3 章 3.10.2.5 条的要求。

### 3.2.5 油舱柜短测量管

3.2.5.1 对非国际航行船舶, 如燃油舱柜设有高液位报警装置, 则当其测量管终止于机器处所时, 仅需满足本规范第 3 篇第 3 章 3.10.10.1(2)和(3)的要求。

3.2.5.2 对非国际航行 2 类航区及其之下航区船舶, 对位于双层底舱的燃油舱柜, 当其测量管终止于机器处所时, 仅需满足本规范第 3 篇第 3 章 3.10.10.1(2)和(3)的要求。

### 3.2.6 燃油日用柜

3.2.6.1 对非国际航行有限航区船舶, 本规范第 3 篇第 4 章 4.2.1.8 所要求的每一燃油日用柜的容量, 可根据不同情况予以减少, 但不少于 4h;

3.2.6.2 对非国际航行 3 类航区或与之相当附加标志的船舶, 可不必满足本规范第 3 篇 4.2.1.8 条的要求。

### 3.2.7 锅炉燃烧装置

3.2.7.1 对 1 类航区及其之下航区货船和 3 类航区客船, 本规范第 3 篇 4.2.2.2 所指的重要用途辅锅炉或供重油加热用蒸汽的辅助锅炉, 如备有 1 台便于安装和连接的完整的燃油泵, 可仅设 1 套燃油供给装置。

### 3.2.8 燃油供给泵

3.2.8.1 对 1 类航区及其之下航区货船和 3 类航区客船, 本规范第 3 篇 4.2.3.1 要求燃油供给泵, 如备有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵, 或有合适的泵接入该系统时, 则可不设备用泵。

### 3.2.9 锅炉给水泵

3.2.9.1 对 1 类航区及其之下航区货船和 3 类航区客船, 本规范第 3 篇 4.4.1.1 所指的重要用途辅锅炉或供重油加热用蒸汽辅锅炉, 如备有 1 台便于安装和连接的给水泵, 可仅设 1 台给水泵。

### 3.2.10 锅炉给水管系

3.2.10.1 符合本节 3.2.9.1 规定可仅设 1 台给水泵的辅锅炉, 可不必满足本规范第 3 篇 4.4.2.1 中关于设置 2 套独立给水管系的规定的要求。

### 3.2.11 冷凝水泵

3.2.11.1 对 1 类航区及其之下航区货船和 3 类航区客船, 如为非蒸气推进, 则本规范第 3 篇 4.4.4.1 所要求的冷凝水泵中的备用泵, 可为 1 台便于安装和连接的备品泵。

### **3.2.12 冷却水泵**

3.2.12.1 对 1 类航区及其之下航区货船和 3 类航区客船, 本规范第 3 篇 4.5.1.1 要求的备用冷却水泵, 可用其他具有足够排量的泵或备有 1 台便于安装和连接的完整的备品泵代替。

### **3.2.13 滑油管系**

3.2.13.1 对有限航区船舶, 如主机单机功率不大于 440kW 时, 可以不设本规范第 3 篇第 4 章 4.6.1.1 要求的备用泵。

### **3.2.14 操舵装置替代动力源**

3.2.14.1 对 3 类航区船舶, 可不必满足本规范第 3 篇第 13 章 13.1.8.6 条的要求。

### 第 3 节 齿轮强度评定

#### 3.3.1 齿面接触强度

3.3.1.1 对有限航区船用齿轮箱,本规范第 3 篇第 10 章附录 1 中 2.11 规定的寿命系数  $Z_N$  可适当提高。一般可按图 3.3.1.1 选取。

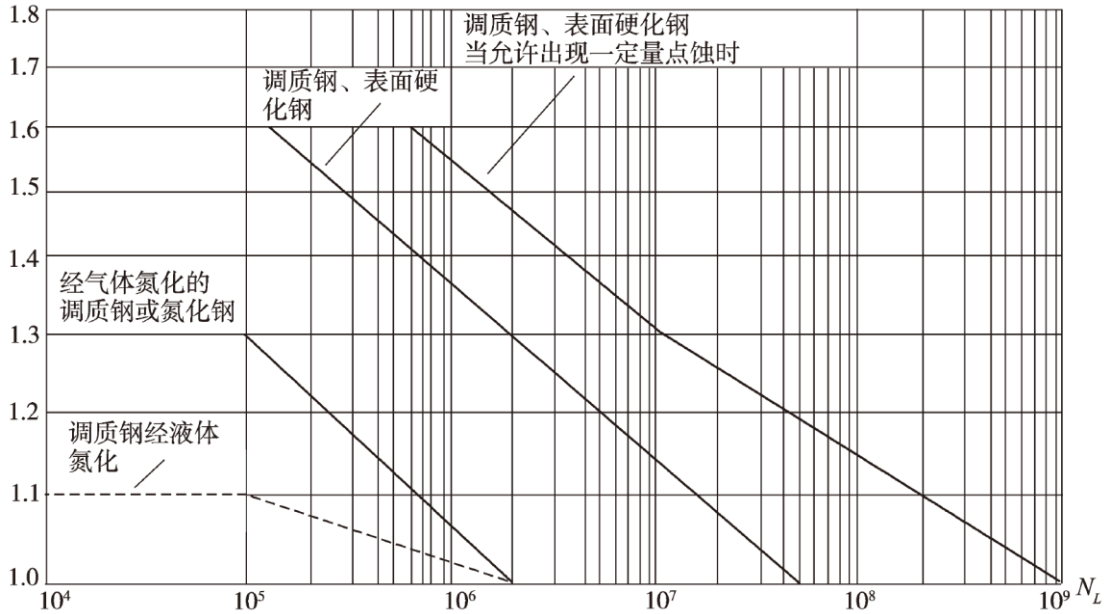


图 3.3.1.1 寿命系数  $Z_N$

#### 3.3.2 齿根弯曲强度

3.3.2.1 对有限航区船用齿轮箱,本规范第 3 篇第 10 章附录 1 中 3.11 规定的寿命系数  $Y_N$  可适当提高。一般可按图 3.3.2.1 选取。

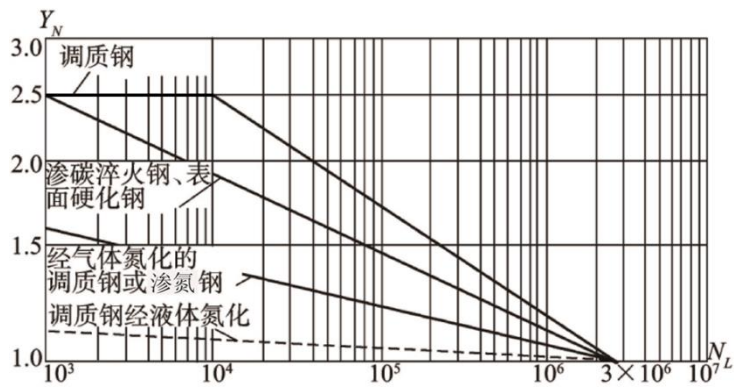


图 3.3.2.1 寿命系数  $Y_N$

## 第4章 电气装置

### 第1节 一般规定

#### 4.1.1 一般要求

4.1.1.1 本章规定适用于下列船舶的电气装置，这些规定可以代替本规范第4篇所述的有关规定：

- (1) 具有“1类航区”附加标志或在与之相当航区中航行的船舶；
- (2) 具有“2类航区”附加标志或在与之相当航区中航行的船舶；
- (3) 具有“3类航区”附加标志或在与之相当航区中航行的船舶。

4.1.1.2 本章中对非国际航行船舶的相关规定，还应满足船旗国主管机关的相关要求。当其与本站规定不一致时，可接受船旗国主管机关的规定，不必满足本章要求。

### 第2节 1类航区航行船舶

#### 4.2.1 接地指示器

4.2.1.1 除载运危险液货的液货船等载运危险货物的船舶外，小于1600总吨的船舶可以用接地指示器代替本规范第4篇第2章2.4.2.2规定的对地绝缘电阻监测报警器。

### 第3节 2类、3类航区航行船舶

#### 4.3.1 接地指示器

4.3.1.1 本章4.2.1.1的要求适用。

#### 4.3.2 主电源

4.3.2.1 非国际3类航区航行货船至少设1台发电机组。

4.3.2.2 非国际3类航区航行客船，如果为主机服务的各种辅机、舵机油泵、消防泵和舱底泵由主机驱动，则应至少设1台发电机组。

#### 4.3.3 应急电源

4.3.3.1 非国际2类和3类航区航行船舶，本规范第4篇第2章2.2.2.1和2.2.3.1(2)至(5)要求的应急电源供电时间可缩短为：

- (1) 2类航区：客船——6h， 货船——3h；
- (2) 3类航区：客船——3h， 货船——3h。

4.3.3.2 非国际3类航区航行船舶，可以不设本规范第4篇第2章第2节要求的应急电源，但应设一独立的并符合下列要求的备用电源：

(1) 备用电源应为符合下列要求的蓄电池组:

- ①不应与主电源在同一处所内, 并应尽可能安装在最高一层连续甲板以上;
- ②符合第 4 篇 2.2.1.4(1)、(2)和 1.2.1.1(2)的要求;
- ③能立即对本节 4.3.3.2(2)规定的各项设备供电。

(2) 备用电源的容量应足以对下列设备供电至少 3h:

- ①登乘救生艇、筏的集合地点、登乘地点及舷外、所有走廊、梯道和出口、超过 16 人的居住舱室、主配电板、备用电源所在处所以及控制站的照明;
- ②航行灯和《国际海上避碰规则》要求的其他号灯;
- ③在紧急情况下需要使用的船内通信设备;
- ④探火和失火报警系统(如设有时);
- ⑤断续使用的白昼信号灯、船舶号笛、手动失火报警按钮(如设有时)和所有在紧急状态下需要使用的船内信号设备(例如通用紧急报警系统等);
- ⑥船上配备的无线电通信设备。

4.3.3.3 对具有“2 类航区”附加标志, 且定期从事离岸不超过 20n mile 短程国际航行的客船, 如经 CCS 认为能达到同样的安全程度, 则可采用较本规范第 4 篇第 2 章 2.2.2.1 条(1)至(4)款所规定 36h 为短的供电时间, 但应不少于 12h。

4.3.3.4 对具有“2 类航区”附加标志, 且定期从事离岸不超过 20n mile 短程国际航行的货船, 如经 CCS 认为能达到同样的安全程度, 则可采用较本规范第 4 篇第 2 章 2.2.3.1 条(2)至(5)款所规定 18h 为短的供电时间, 但应不少于 12h。

#### 4.3.4 变压器

4.3.4.1 非国际 3 类航区航行的货船可不必满足本规范第 4 篇第 2 章 2.1.3.1(1)和(2)的要求。

#### 4.3.5 无线电设备的供电

4.3.5.1 非国际航行 2 类和 3 类航区航行的船舶, 无线电设备供电应满足船旗国主管机关的要求, 可不必满足本规范第 4 篇第 2 章 2.4.8.5 的要求。



## 第 5 章 货物冷藏

### 第 1 节 一般规定

#### 5.1.1 一般要求

5.1.1.1 对于有限航区航行的冷藏运输船舶或小能量的制冷装置或其他特殊情况，如要求对本规范第 5 篇的规定作某些增减，均应征得 CCS 同意。在此情况下，对船舶可能要进行某种运行限制。

5.1.1.2 如使用氨制冷剂，冷藏舱的冷却一般不应采用直接蒸发的排管冷却系统。但对于有限航区航行的冷藏船，如冷藏舱总舱容小于  $500\text{m}^3$  时，可使用氨直接蒸发的排管冷却系统。

### 第 2 节 制冷装置

#### 5.2.1 机组数目

5.2.1.1 冷藏舱总舱容小于  $1500\text{m}^3$  的有限航区航行的船舶，可仅设 1 套制冷机组，但应增设 1 台备用压缩机。

### 第 3 节 舱内载运冷藏集装箱

#### 5.3.1 舱内通风

5.3.1.1 当有限航区船舶适用第 5 篇第 4 章舱内载运冷藏集装箱时，载运冷藏集装箱货舱的通风主要由冷藏集装箱的尺寸、类型、数量，以及拟载运的冷藏货物的种类和船舶服务航区来决定。

## 第 6 章 消防

### 第 1 节 一般要求

6.1.1 非国际有限航区航行船舶的消防, 应满足 CCS《非国际航行海船法定检验指南》的相关要求或船旗国主管机关接受的标准。

## 第 7 章 其他补充规定

### 第 1 节 敞口集装箱船补充规定

#### 7.1.1 一般要求

7.1.1.1 本节规定仅适用于有限航区的敞口集装箱船。

7.1.1.2 有关定义和图纸资料的规定同本规范第 8 篇第 6 章第 1 节。

#### 7.1.2 干舷

7.1.2.1 干舷应按船旗国主管机关的要求。如主管机关无相应规定，有限航区船舶的最小干舷可选择下列两者之一确定：

- (1) 由耐波性特性(模型试验)、完整稳性和结构强度确定；
- (2) 由最小形状干舷、完整稳性和结构强度确定。

但是，如开敞货船的船体或舱口围板上设有排水舷口或排水口，则应按照本条(1)规定确定最小干舷。

7.1.2.2 如按 7.1.2.1(1)确定干舷，则模型试验的有义波高及敞口货舱的允许每小时上浪量(每小时上浪量=舱口开敞面积×每小时进水高度)应按表 7.1.2.2 要求：

表 7.1.2.2

航区	试验有义波高 <sup>①</sup> (m)	每小时进水高度(mm/h)
1 类航区	7.5	300
2 类航区	5.5	200
3 类航区	3.5	150

注：① 经 CCS 同意，试验的有义波高可按航区海域的波浪统计资料确定。

模型试验程序按本规范第 8 篇第 6 章第 1 节 6.1.6 的规定。

7.1.2.3 如按 7.1.2.1(2)确定干舷，则船舶最小干舷应不小于表 7.1.2.3 规定的最小形状干舷：

表 7.1.2.3

航区	最小形状干舷(m)
1 类航区	$0.035 L_L$
2 类航区	$0.030 L_L$
3 类航区	$0.0275 L_L$

注： $L_L$  —— 载重线船长，m。

7.1.2.4 船舶最小船首高度，应不小于假设货舱有舱口盖时国际载重线公约的相应规定。

#### 7.1.3 布置

7.1.3.1 如按 7.1.2.1(2)确定干舷，船体和舱口围板上不应设置排水舷口或排水口。

7.1.3.2 舱口开敞的第 1 货舱前，应设有宽度不小于舱口前端围板宽度的甲板室、首楼或挡浪板。

7.1.3.3 甲板室或首楼后部顶端、挡浪板顶端距夏季水线的高度，应不小于表 7.1.3.3 所列数值：

表 7.1.3.3

首垂线处	首垂线后 0.25L 处
$F_b+2.35$	$F_{min}+1.75$

注:  $F_b$  ——按 7.1.2.4 规定的最小船首高度(m);

$F_{min}$  ——在设置有舱口盖的假设下, 按国际载重线公约附则 I 第 27 至 30 条规定确定的干舷(m);  
顶端位于表所列两位置之间时, 按线性内插法确定。

7.1.3.4 挡浪板的结构按货舱舱口围板的要求。

#### 7.1.4 完整稳性

7.1.4.1 按本规范第 2 篇第 1 章第 9 节对普通货船计算和校核完整稳性。

7.1.4.2 按下列规定计算和校核满载完整进水工况的完整稳性:

(1) 满载完整进水工况, 系指船舶满载工况并同时假设敞口货舱内有表 7.1.4.2 规定的浸水(如货舱设有排水舷口, 则假设浸水至排水舷口下缘):

表 7.1.4.2

航区	敞口货舱进水高度(%舱深*)
1 类航区	85
2 类航区	70
3 类航区	55

注: \* 舱深系指从货舱内底板上表面量至强力甲板上表面的距离。

(2) 对 1 类航区船舶, 上述(1)装载情况下的完整浸水稳性应满足下列衡准:

- ① 稳性范围应不小于 20°, 且非风雨密关闭的开口, 包括通风筒、门、舱口的淹没角应大于此角度;
- ② 上述①范围但不大于 20° 内的最大正复原力臂值应不小于 0.1m。

(3) 对 2 类、3 类航区和相当 3 类航区营运限制船舶, 上述(1)装载情况下的完整浸水稳性应满足下列衡准:

- ① 稳性范围应不小于 15°, 且非风雨密关闭的开口, 包括舱口围板上缘、通风筒、门、舱口的淹没角应大于此角度;
- ② 符合上述①规定的稳性范围内复原力臂 GZ 曲线下面积  $A_{min}$ , 应不小于按下式计算之值:

$$A_{min} = 0.025 + 0.005(20^\circ - \theta_f) \quad \text{m rad}$$

式中:  $\theta_f$  ——船体、上层建筑甲板室中不能作风雨密关闭的开口浸水时的横倾角, 应用此衡准时, 不致于继续进水的小开口不必作为开敞的。

#### 7.1.5 破损稳性

7.1.5.1 破损稳性应按本规范第 8 篇第 6 章第 1 节 6.1.9 或船旗国主管机关对常规集装箱船的有关要求。

#### 7.1.6 强度与构造

7.1.6.1 应按本规范第 2 篇第 2 章和第 7 章校核船体总纵强度和局部强度。

7.1.6.2 总纵强度和局部强度校核工况还应包含 7.1.4.2 所指明的满载完整浸水工况, 其中假定浸水高度应按表 7.1.4.2 确定。

7.1.6.3 校核总纵强度时，在水动力扭矩作用下舱口的变形可不必考虑。

### 7.1.7 舱底排水系统

7.1.7.1 如按 7.1.2.1(1)确定干舷，舱底排水系统的排水能力应按本规范第 8 篇第 6 章第 1 节 6.1.10 的相应要求确定。

7.1.7.2 如按 7.1.2.1(2)确定干舷，舱底排水系统的排水能力应不小于下列最大者：

- (1) 最大货舱内消防所需水量的 4/3；
- (2) 相当于封闭货舱所要求的排量；
- (3) 按表 7.1.7.2 所列敞口货舱的进水高度乘以舱口开敞面积。

表 7.1.7.2

航区	开敞货舱进水高度
1 类航区	第 1 货舱 150mm/h，其他货舱 100mm/h
2 类航区	第 1 货舱 130mm/h，其他货舱 100mm/h
3 类航区	所有货舱 100mm/h

7.1.7.3 船舶应至少设有 3 台舱底泵用于排放敞口货舱舱底水。

7.1.7.4 舱底泵的排量和布置应符合下列要求：

(1) 至少 1 台泵具有不小于 7.1.7.1 或 7.1.7.2 所要求的排量，用于排放货舱舱底水和压载服务，该泵也可兼作应急消防泵。其布置应使当下述(2)规定的泵或主动力源所在处所发生火灾或其他事故时，该泵的运行不会受到影响，并由符合本规范第 4 篇第 2 章第 1 节和第 2 节要求的应急电源或除主电源以外的其他动力源驱动。如兼作应急消防泵，则还应符合对应急消防泵的相应要求；

(2) 至少 2 台泵的组合排量应不小于 7.1.7.1 或 7.1.7.2 所规定的排量，并由符合本规范第 4 篇第 2 章第 1 节要求的主电源或除应急电源以外的其他动力源驱动。

7.1.7.5 舱底排水系统的布置，应使系统在船舶正浮和横倾达 22.5°或首、尾倾达 10°或在这些范围内出现的任何组合的倾斜角度时能有效地工作。敞口货舱内的集水阱应便于疏通和清洁。

7.1.7.6 所有敞口货舱应设置舱底水高位报警装置，应在机舱和有人操作处所(驾驶室或控制站)发出听觉和视觉报警，并独立于舱底泵控制装置。

### 7.1.8 消防

7.1.8.1 敞口货舱应设有喷水或水雾系统保护。该系统可从甲板上方将水/水雾喷入货舱，其设计与布置应考虑到货舱具体情况，使水/水雾覆盖整个敞口货舱舱口。

7.1.8.2 应设置 1 台专用水泵或水雾泵用于 7.1.8.1 要求的保护，其排量应能同时向任一敞口货舱内的所有集装箱箱跨供水，其均匀喷水密度应不小于  $1.1\text{L}/\text{min m}^2$ ，该泵应设在敞口货舱区域以外。此外，喷水或水雾系统还应在露天甲板上连通另一替换水源以作备用，其排量应不小于专用泵的 50%。

7.1.8.3 小于 5000 总吨的敞口集装箱船的敞口货舱，可用甲板消防水系统替代 7.1.8.1 和 7.1.8.2 要求的喷水或水雾系统。

## 第 2 节 顶推船-驳船组合补充规定

### 7.2.1 一般规定

#### 7.2.1.1 本节适用范围如下:

- (1) 本节规定仅适用于有限航区的顶推船—驳船组合体。
- (2) 顶推船—驳船组合体除应符合本节的规定外,还应符合本规范其他篇章对顶推船和驳船单独船的适用规定、CCS《材料与焊接规范》和船旗国主管机关的有关规定(如有时)。

#### 7.2.1.2 本节的定义如下:

(1) 固定式顶推船—驳船组合体:系指由一艘顶推船和一艘驳船组成具有如下特征的船队:顶推船借助于一种除缆绳、链索或其他索具以外的机械联结装置,将其锁紧在驳船尾部的凹槽内,该联结装置使顶推船和驳船之间无任何相对运动。在整个营运航程中,顶推船与驳船始终保持所述联结状态。

(2) 铰接式顶推船—驳船组合体:系指由一艘顶推船和一艘驳船组成具有下列特征的船队:

- ① 顶推船借助于一种除缆绳、链索或其他索具以外的铰接式机械联结装置,将其锁紧在驳船尾部的凹槽内;
- ② 铰接式联结装置允许顶推船和驳船之间有一个纵摇的自由度,即:顶推船/驳船能绕铰接联结装置的轴线(横向轴)转动,并可在组合体情况下,从顶推船上遥控和就地操纵联结装置相连或脱开。在整个营运航程中,顶推船与驳船始终保持所述联结状态;
- ③ 铰接联结装置脱开后,顶推船和驳船可保持独立停泊或各自作业。

(3) 组合体长度( $L_c$ ):系指顶推船—驳船组合体视作单独船的长度。组合长度  $L_c$  应取为如下距离(m):在驳船最小型深的 85% 水线处(如顶推船干舷甲板最低点位于或高于该水线),或在组合体设计水线处(如顶推船干舷甲板最低点低于该水线),从驳船的首柱前缘量至顶推船的舵柱或尾柱的后缘,如无舵柱或尾柱,  $L_c$  应量至顶推船舵杆的中心线。  $L_c$  应取不小于上述组合体水线总长度的 96%, 但也不必大于 97%。

7.2.1.3 除顶推船和驳船作为单独船按本规范规定的图纸资料外,还应将下列图纸资料提交批准:

- (1) 组合体总布置图;
- (2) 组合体联结装置的配备和布置图;
- (3) 联结装置载荷计算书;
- (4) 联结装置机械原理图;
- (5) 联结装置船体加强结构分析及结构图(顶推船和驳船);
- (6) 联结装置操作手册(包括操作说明、试验和保养说明)。

#### 7.2.1.4 附加标志如下:

- (1) 符合本节规定的固定式联结顶推船—驳船组合体,授予下列附加标志:  
对顶推船: Rigid Connection PB Combination—Pusher;  
对驳船: Rigid Connection PB Combination—Barge。

(2) 符合本节规定的铰接式联结顶推船—驳船组合体, 授予下列附加标志:

对顶推船: Articulated Connection PB Combination——Pusher;

对驳船: Articulated Connection PB Combination——Barge。

## 7.2.2 干舷、分舱和稳性、舱底排水系统

7.2.2.1 顶推船—驳船组合体作为单独船, 以及顶推船和驳船分别作为单独船, 其干舷、分舱和稳性、舱底排水系统, 应分别应满足下列要求, 或船旗国主管机关的有关要求(如有时):

(1) 顶推船和普通驳船分别作为单独船, 其干舷、分舱和稳性、舱底系统应符合船旗国主管机关的有关要求。

(2) 如驳船为敞口集装箱驳船, 其干舷、分舱和稳性、舱底系统应符合本章第 1 节对敞口集装箱船的要求。

7.2.2.2 干舷及布置要求如下:

(1) 除 7.2.2.1 (1)规定外, 驳船的干舷和船首高度还应不小于组合体视作单独船(普通货船)所要求的干舷和船首高度。

(2) 驳船尾部和顶推船首部之间应设有在任何情况下船员能安全通行的通道。

7.2.2.3 组合体作为单独船, 其满载工况(顶推船满载+驳船满载)的完整稳性, 应符合对普通货船的要求。

## 7.2.3 船体结构与舾装

7.2.3.1 船体结构要求如下:

(1) 顶推船船体结构

① 顶推船作为单独船, 按照本规范第 2 篇第 10 章拖船要求;

② 计算上层建筑和甲板室结构的波浪载荷时, 将其作为组合体的上层建筑和甲板室结构考虑, 但其甲板及围壁的厚度不必大于顶推船主船体壳板或甲板的厚度。

(2) 驳船船体结构

① 驳船作为单独船, 按照本规范第 2 篇第 12 章要求;

② 防撞舱壁位置应以组合体长度  $L_c$  确定, 即, 位于驳船首端之后  $0.05L_c$  或 10m, 取小者, 但不必大于  $0.08L_c$ ;

③ 如驳船为敞口集装箱驳船, 则其船体总强度和局部强度还应符合本章第 1 节的相应规定。

7.2.3.2 舾装要求如下:

(1) 顶推船舾装

① 顶推船作为单独船, 按照本规范第 2 篇第 3 章对货船要求配备顶推船的锚泊设备;

② 应以组合体视为单独船, 配备舵和操舵装置。

(2) 驳船舾装应以组合体视为单独船, 按本规范第 2 篇第 3 章对货船要求配备锚泊设备。

## 7.2.4 电气装置

7.2.4.1 顶推船和驳船的电气装置除应满足本规范第 4 篇的适用要求外, 还需符合本节的规定。

7.2.4.2 顶推船要求如下:

- (1) 顶推船的电站负荷计算应将驳船的用电量包括在内。
- (2) 应在顶推船的驾驶室内设置能发出下列报警信号的报警设备:
  - ① 驳船货舱的舱底水高位时发出听觉和视觉报警;
  - ② 驳船航行信号灯故障时发出听觉和视觉报警。

7.2.4.3 驳船要求如下:

(1) 驳船可以由与其联结的顶推船电站供电, 在停靠码头期间可以由岸电供电。并按如下要求进行连接:

① 应在顶推船的适当地方设置一接线箱, 以便连接对驳船供电的软电缆;

② 应在驳船的适当地方设置一符合规范有关规定的岸电箱, 以便连接来自外部电源的软电缆。在岸电箱与驳船上的主配电板之间, 应以固定敷设并具有足够定额的电缆相连。

(2) 驳船上应设有蓄电池组作为备用电源, 以便在驳船单独停泊期间无电源的情况下对锚灯等设备供电。其供电时间可按可能出现这种情况的时间估算。

(3) 在驳船舱内载运冷藏集装箱情况下, 冷藏集装箱有关的电站容量计算、配电、监控和插座型式等应符合本规范第 5 篇第 4 章第 4 节的有关规定。

7.2.4.4 其他要求:

(1) 可采用多芯软电缆作顶推船与驳船之间监测和报警等信号的传输之用。传输电缆采用防护等级不低于 IP56 的接插件分别与顶推船和驳船连接。

(2) 应采取联锁或报警措施, 以防止顶推船和驳船之间联结装置脱开时可能损及连接于两船间的软电缆。

## 7.2.5 联结装置与船体支承结构

7.2.5.1 一般要求:

(1) 本条仅规定对铰接联结装置的要求, 对固定式联结装置, 可采用具有等效安全的设计。

(2) 应在驾驶室内和就地操作位置设有联结装置的状态指示装置, 以显示联结装置已脱开或联结, 并能进行联结/脱开操作。

(3) 机械联结装置(以下简称联结装置)是指顶推船用于与驳船快速联结的机械装置, 包括可伸缩的联接臂及其整个动力和控制部分。

(4) 联结装置的操纵除能在就地进行外, 还应能在驾驶室进行, 并能在紧急情况下, 在 5min 内解脱。

(5) 联结装置的操纵既能单舷进行, 也可两舷同时进行。

(6) 应至少设有两套为联结装置提供动力的独立动力机组。

(7) 联结装置应能在失去动力的情况下, 也可进行应急脱开。

(8) 联结装置安装处所与驾驶室之间应设有通信设施。

(9) 联结装置应设有限制联接臂过度伸出或收缩的限位装置。



(10) 液压式联结装置, 其提交的图纸资料、安装布置、材料、结构与设计、安全阀、监测与报警、试验(包括航行试验), 可按本规范第 3 篇第 13 章操舵装置中相应的规定。

(11) 非液压式联结装置应达到液压式的等效标准。

#### 7.2.5.2 联结装置与支承船体结构强度的要求:

##### (1) 联结装置的载荷

① 联结装置的设计应考虑准静态载荷, 包括浮力、推力和海上工况下的动载荷以及操舵载荷。载荷可按②的方法或模型试验得到, 也可按经验方法计算, 计算结果应提交 CCS 核查。

② 顶推船与驳船之间联结系统的设计, 可采用最大使用寿命期的联结载荷。最大使用寿命期的载荷值, 应建立在可接受概率水平上的长期预报极值的基础上。确定最大使用寿命期的联结装置载荷的方法如下:

- a 通过覆盖波浪频率和航向的模型试验, 取得联结装置的载荷响应幅值函数 (RAO), 然后分析、确定最不利的航向并预报此航向的联结装置长期预报极值载荷, 或
- b 通过运动响应分析, 应用能处理多体铰接的适用的耐波性分析程序, 选取营运海域波浪资料进行长期预报极限载荷分析。

③ 联结装置载荷的设计计算应以文件形式提交核查。

(2) 联结装置说明书应与联结装置载荷的设计载荷计算一起提交核查。

##### (3) 联结方式的结构与强度

① 应根据上述 7.2.5.2(1)的载荷进行受力分析, 得到作用在联结装置各构件的载荷, 对联结装置的重要构件应提供强度计算, 强度计算的衡准如下:

$$\sigma \leq \frac{R_{eH}}{n}$$

$$\tau \leq \frac{0.58R_{eH}}{n}$$

式中:  $\sigma$  ——正应力,  $\text{N/mm}^2$ ;

$R_{eH}$  ——构件材料的屈服应力,  $\text{N/mm}^2$ ;

$\tau$  ——剪切应力,  $\text{N/mm}^2$ ;

$n$  ——安全系数, 取  $n=2.5$ ;

(2) 对承受复合应力的构件, 等效应力  $\sigma_e$  应符合下式要求:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1R_{eH} / n$$

式中:  $\sigma_e$  ——等效应力,  $\text{N/mm}^2$ ;

$R_{eH}$ 、 $\sigma$ 、 $\tau$ 、 $n$  ——同上。

##### (4) 主船体支承结构与强度

① 应对顶推船和驳船联结方式的支承结构, 按联结装置所传递的载荷进行应力分析。可采用常规工程实践的计算方法, 并提交核查。所用的联结装置载荷应按照 7.2.5.2(1) 所确定的载荷。对于采用凹槽形式的联结装置, 驳船周围墙体的结构分析应考虑扭转剪切以及一阶、二阶剪应力和弯曲应力。对结构分析的结果应作屈服强度和屈曲强度评估。

② 顶推船船首和驳船尾部的结构, 应在横向和前后方向用腹板、桁材、舱壁等作适当加强, 以承受这些位置上由于联结而产生的力, 并将这些力传递到船舶主体上。连接装置附近的船体结构, 应该作适当的加强, 同时作细化有限元直接计算评估, 细化有限元模型根据下列原则建立:

- a 可以用单独的细化有限元模型，边界条件由粗网格有限元模型分析中得到；也可以用嵌在粗网格有限元模型中的细化有限元模型直接计算；
- b 细化有限元的区域，应保证其应力不被位移边界条件和力的边界条件所影响。细化有限元模型应保证细化边缘有主要构件的支撑，如：货舱区域的纵桁，水平桁和肋板等；
- c 连接装置附近的细化区域网格尺寸取为  $50 \times 50 \text{mm}$ 。采用 4 节点或 8 节点壳元，避免使用三角形单元。不考虑焊缝的几何形状和结构的对中；
- d 结构构件的许用屈服应力按表 7.2.5.2(4)取用；
- e 屈曲评估可按本规范第 2 篇第 1 章第 5 节提供的方法进行。

许用相当屈服应力 $[\sigma_e]$ <sup>①</sup>  $\text{N/mm}^2$ 

表 7.2.5.2(4)

单 元 \ 模 型	局部精细有限元模型(基于 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 网格尺度)
板单元	$1.36R_{eH}$ (单个单元) <sup>②</sup> $1.0 R_{eH}$ (区域平均) <sup>③</sup>

注：① 板单元按相当应力 (Von Mises stress)计，即：

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

，且取板单元形心处的中面应力值(膜应力)计入；

式中：  $\sigma_x$ ——单元  $x$  方向的应力，  $\text{N/mm}^2$  ；

$\sigma_y$ ——单元  $y$  方向的应力，  $\text{N/mm}^2$  ；

$\tau_{xy}$ ——单元  $xy$  平面的剪应力，  $\text{N/mm}^2$ 。

②  $R_{eH}$ ——为材料的屈服应力，  $\text{N/mm}^2$ 。

③ 区域平均值系指细化网格区域中所计算的单元和与其连接结点所属单元 Von Mises 应力的平均值。

### 第 3 节 石油沥青船补充规定

#### 7.3.1 一般规定

7.3.1.1 专门从事运输熔化的散装石油沥青的有限航区船舶，按本规范第 8 篇第 10 章相关要求。

### 第 4 节 动力定位系统

#### 7.4.1 环境条件

7.4.1.1 对于在有限航区航行的船舶，选择环境条件时，应考虑船舶作业海域的主要环境状态的长期分布。