

规范文件
XXXX-XXXX



中国船级社

集装箱船结构规范

2026 修改通报

2026 年 7 月 1 日生效

北京

简要编写说明

篇章节号	标题/主题	概要说明/注释
第 1 章第 1 节 2.23	定义	补充规范常用的定义。
第 1 章第 1 节 3.2.1	其他附加标志	删除开口大于 0.89B 强制整船直接计算要求，并明确附加标志为对应技术要求强制或可选。
第 1 章第 3 节 2.2.2	图纸和资料的提交	采用总厚度百分比换新时，图纸可不标注换新厚度。
第 3 章第 2 节 1.3.1	厚度圆整	精简圆整要求描述。
第 3 章第 3 节 表 1.2.1	构件单侧腐蚀增量	编辑性修改。
第 3 章第 3 节 1.2.4	总腐蚀增量	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果修改。
第 3 章第 5 节 9.3.2	强力甲板开口	针对舱口角隅与强力甲板为同样厚度的设计调整要求描述。
第 4 章第 1 节 1.1.1	应用范围	调整描述方式，使表述清晰。
第 4 章第 1 节 1.1.5	强度评估载荷	调整描述方式，使表述清晰。
第 4 章第 2 节 2.2.1	强度评估的载荷组合系数	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果修改动载荷工况组合系数。
第 4 章第 2 节 3.2.1	疲劳评估的载荷组合系数	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果修改动载荷工况组合系数。
第 4 章第 3 节 2.1.1	横摇运动	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第 4 章第 3 节 2.1.2	纵摇运动	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第 4 章第 3 节 2.2.1	纵荡加速度	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第 4 章第 3 节 2.2.2	横荡加速度	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第 4 章第 3 节 2.2.3	垂荡加速度	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第 4 章第 3 节 2.2.4	横摇加速度	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第 4 章第 3 节 2.2.5	纵摇加速度	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。

第4章第4节 3.2.1	垂向波浪弯矩	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第4章第4节 3.3.1	垂向波浪剪力	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第4章第4节 3.4.1	水平波浪弯矩	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第4章第4节 3.5.1	波浪扭矩	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第4章第4节 4	双力矩载荷	基于 CCS 社立项目“大开口船扭转及弯扭极限强度评估方法研究”成果纳入。
第4章第5节 1.3.6	BSP 载荷工况的水动压力	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整。
第4章第5节 1.4.5	BSP 载荷工况的水动压力	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整。
第4章第5节 1.4.6	OST 载荷工况的水动压力	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果调整系数。
第4章第5节 3	首部区域的外部冲击压力	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果修改，并对部分内容进行编辑性修改。
第4章第8节 5.1.1	集装箱船疲劳评估的设计载荷工况	根据调研情况，疲劳评估设计工况不考虑压载工况。
第5章第2节 1.1.2	最小剖面净模数	根据 URS7 协调增加。
第6章第1节 2.1.2	翘曲应力的计算	增加双力矩公式后对要求进行协调，便于初期设计阶段快速计算翘曲应力。
第6章第2节 1.1.1	板的最小净厚度	整体纳入 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果修改。
第6章第2节 3.1.1	主要支撑构件最小净厚度	整体纳入 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果修改。
第6章第3节 1.1.1	板的屈服校核	编辑性修改。
第6章第3节 2.3	舷侧板	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果对本条进行删除。
第6章第3节 2.4	舷顶列板	序号调整。
第6章第5节 2.2	双层底纵桁	考虑到集装箱船双层底纵桁有最小厚度要求与直接计算等规定，删除此处对货舱区纵骨架式双层底的中桁材的板厚要求。
第6章第6节 3.3.2	螺旋桨柱	编辑性修改。
第6章第6节 3.3.3	尾框底骨	根据反馈意见补充尾部框架结构要求。
第6章第7节	船首区域冲击载	根据 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”成果与

3	荷下结构强度	相关船型验证进行相应修改。
第7章第2节 3.4.3	局部载荷产生的船体梁剪力和弯矩	编辑性修改。
第7章第2节 表3.4.7(3)	用于垂向剪力调整的垂向载荷计算公式	编辑性修改。
第7章第2节 3.4.9	调整船中货舱区域垂向和水平弯矩的程序	编辑性修改。
第8章第1节 1.1.2	GFE 附加标志	删除强力甲板舱口宽度大于 0.89B 强制整船直接计算的要求。
第9章第2节 2.1.1	板格的净厚度	基于 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”实船验证结果进行相应修改。
第9章第2节 表3.1.1	骨材长细比系数	编辑性修改。
第9章第2节 3.1.3	加强筋的弯曲刚度	基于 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”实船验证结果进行相应修改。
第9章第2节 4.1.1	腹板和翼板的尺度比	基于 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”实船验证结果进行相应修改。
第9章第2节 表4.2.2	主要支撑构件腹板加强筋刚度衡量	基于 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”实船验证结果进行相应修改。
第9章第2节 5.1.1	翼板的无支撑长度	基于 CCS 社立项目“目标型海船船体规范研制”实船验证结果进行相应修改。
第9章第2节 5.3.1	肘板边缘加强	编辑性修改。
第10章第1节 1.1.5	整船疲劳强度评估	删除强力甲板舱口宽度大于 0.89B 强制整船直接计算的要求。
第10章第1节 6.1.2	集装箱船装载工况时间比	删除集装箱船疲劳评估标准装载工况对压载工况的要求。
第10章第2节 2.1.3	按标准设计无需评估的结构细节	编辑性修改。
第10章第3节 符号	符号	编辑性修改。
第10章第3节 3.1.3	母材自由边	编辑性修改。
第12章第6节 1.2.1	附加标志	根据反馈意见进行修改。
第12章第6节 1.2.5	绑扎桥	明确绑扎桥有限元分析使用建造厚度。
第12章第7节	绑扎计算程序	根据 UR C6 协调修改。

第 12 章第 9 节	集装箱系固系统的批准和认可	根据 UR C7 协调增加。
第 13 章第 3 节 2.4.4	全熔透或部分熔透焊接范围	修改全熔透或部分熔透焊接范围的总体表述。
第 13 章第 3 节 2.4.5	要求全熔透焊接的位置	根据审图实践结果、船舶实际营运经验, 结合反馈意见, 调研相关图纸, 进行相应修改。
第 13 章第 3 节 2.4.6	要求部分熔透焊接的位置	根据审图实践结果、船舶实际营运经验, 结合反馈意见, 调研相关图纸, 进行相应修改。
第 13 章第 3 节 2.5.2	焊缝尺寸衡准	根据反馈意见及相关调研, 调整表述及要求。
第 14 章第 1 节 1.1.2	换新衡准适用	补充总厚度换新衡准的替代要求。
第 14 章第 1 节 1.3.1	图纸	补充总厚度换新衡准的图纸说明。

目录

第1章 总 则.....	1
第1节 一般规定.....	1
2 定义.....	1
3 附加标志.....	1
第3节 符合验证.....	2
2 应提交的文件.....	2
第3章 结构设计原则.....	4
第2节 净尺寸方法.....	4
1 一般要求.....	4
第3节 腐蚀增量.....	4
1 一般要求.....	4
第5节 结构细节原则.....	5
9 甲板及舱口围结构.....	5
第4章 载 荷.....	6
第1节 一般规定.....	6
1 一般要求.....	6
第2节 动载荷工况.....	6
2 强度评估的动载荷工况.....	6
3 疲劳评估的动载荷工况.....	10
第3节 船舶运动和加速度.....	15
2 船舶运动和加速度.....	15
第4节 船体梁载荷.....	18
3 船体梁动载荷.....	18
4 双力矩载荷.....	19
第5节 外部载荷.....	22
1 海水压力.....	22
3 首部区域的外部冲击压力.....	28
第8节 装载工况.....	35
5 疲劳评估的设计装载工况.....	35
第5章 船体梁强度.....	36
第2节 船体梁屈服强度.....	36
1 剖面模数.....	36
第6章 船体局部构件尺寸要求.....	37
第1节 一般规定.....	37
2 载荷组合.....	37
第2节 最小厚度.....	38
1 板.....	38
3 主要支撑构件.....	39
第3节 板.....	40
1 承受侧向压力的板.....	40
第5节 主要支撑构件和支柱.....	41

2 货舱区域的主要支撑构件	41
第 6 节 首部、机器处所、尾部	41
3 尾部	41
第 7 节 其他特殊要求	43
3 船首区域砰冲击载荷下结构强度	43
第 7 章 舱段直接强度分析	48
第 2 节 舱段结构强度分析	48
3 载荷施加	48
第 8 章 整船有限元强度评估	51
第 1 节 一般规定	51
1 一般要求	51
第 9 章 屈 曲	52
第 2 节 长细比要求	52
2 板	52
3 加强筋	52
4 主要支撑构件	53
5 肘板	54
第 10 章 疲 劳	56
第 1 节 一般规定	56
1 一般要求	56
6 装载工况	56
第 2 节 评估的结构细节	56
2 有限元应力分析	56
第 3 节 疲劳评估	57
3 疲劳评估参考应力	57
第 12 章 集装箱系固	58
第 1 节 一般规定	58
1 一般要求	58
第 6 节 集装箱系固结构的强度评估	58
1 强度评估	58
第 7 节 绑扎计算程序	58
1 一般要求	61
2 绑扎计算程序认可	61
第 9 节 集装箱系固系统的批准和认可	63
1 一般要求	63
2 批准与认可要求	63
第 13 章 建 造	65
第 3 节 焊接接头设计	65
2 T 型或十字接头	65
第 14 章 营运船舶换新衡准	69
第 1 节 原则和检验要求	69
1 原则	69

第1章 总则

第1节 一般规定

2 定义

2.23 大开口

符合下述任一条件的甲板开口为大开口：

- (1) $\frac{b}{B_1} \geq 0.7$ ；
- (2) $\frac{l_H}{l_{BH}} \geq 0.89$ ；
- (3) $\frac{b}{B_1} > 0.6$ 且 $\frac{l_H}{l_{BH}} > 0.7$ 。

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

见图 2.23；

B_1 ——在开口长度中点处包括开口在内的甲板宽度，m；

l_H ——开口长度，m；

l_{BH} ——每一舱口两端横向甲板条中心线之间的距离，m，见图 2.23。如舱口前或后再无其他舱口时，则 l_{BH} 算到舱壁为止。

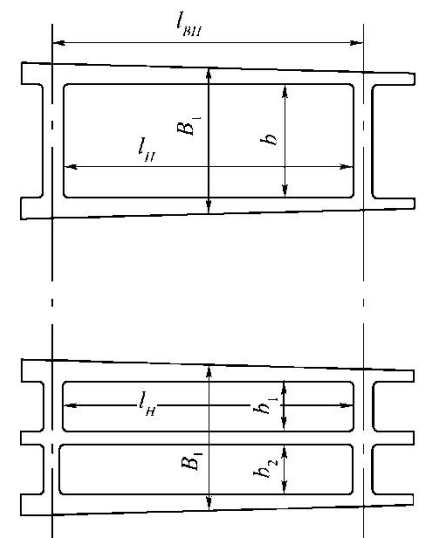


图 2.23 大开口示意图

3 附加标志

3.2 其他附加标志

3.2.1 本规范规定的集装箱船其他附加标志见表 3.2.1。

其他附加标志

表 3.2.1

序号	附加标志	说明和应用		技术要求
1	GFE	整船有限元强度评估	(1) 符合下列条件之一的集装箱船，该附加标志技术要求为强制：	本规范第 8 章

序号	附加标志	说明和应用		技术要求
			1) 船长 L 大于 250m; 2) 强力甲板舱口宽度大于 $0.89B$; 3) 结构布置非常规形式。 (2) 除上述以外的其他集装箱船, 该附加标志 技术要求 为可选。	
2	FL	最小疲劳设计寿命	船长 L 为 150m 及以上的集装箱船, 该附加标志 技术要求 为强制, 并加注 (XX,YY) 后缀标志, 说明如下: XX—船舶运营波浪环境条件, 如基于全球波浪谱的环境条件取为 WW, 如基于北大西洋波浪谱的环境条件取为 NA; YY—疲劳设计寿命 (年), 最小疲劳设计寿命至少为 25 年, 可以从 25 年开始计以 5 年为间隔; 例如, FL (NA, 25) 表示在北大西洋波浪环境下的设计寿命为 25 年。	本规范第 10 章
3	SFA	基于谱分析的疲劳强度评估	该附加标志 技术要求 为可选, 后缀标志的说明同序号 2。	本规范第 10 章附录 1
4	CLC	集装箱绑扎计算程序	该附加标志 技术要求 为可选, 并可加注后缀标志 V、W, 说明如下: V—特定航线。如申请特定航线系固的船舶, 可授予附加标志 CLC (V)。 W—特定季节。在附加标志 CLC (V) 的基础上, 如申请特定季节集装箱系固的船舶, 可授予 CLC (V, W)。	本规范第 12 章
5	SAF	线性波激振动下疲劳强度评估	对于满足本规范附录 A 中 1.1.3 相关要求的集装箱船, 在疲劳强度评估时计及线性波激振动的影响, 该附加标志 技术要求 为强制。	本规范附录 A
6	SWAF	砰击颤振和波激振动下疲劳强度评估	对于满足本规范附录 A 中 1.1.3 相关要求的集装箱船, 在疲劳强度评估时计及波激振动和砰击颤振的影响, 该附加标志 技术要求 为强制。	本规范附录 A
7	WAU	砰击颤振下船体梁极限强度评估	对于满足本规范附录 A 中 1.1.3 相关要求的集装箱船, 在船体梁极限强度评估时计及砰击颤振的影响, 该附加标志 技术要求 WAU 为强制。	本规范附录 A

第 3 节 符合验证

2 应提交的文件

2.2 图纸和资料的提交

2.2.1 应按《钢质海船入级规范》第 2 篇的要求提交图纸和资料。

2.2.2 在结构图纸上应标明如下信息:

- (1) 构件的尺寸；
- (2) 结构连接细节；
- (3) 设计材料的说明，一般包括钢级、制造工艺、焊接工艺和热处理等；
- (4) 第 14 章规定的与换新厚度相关的信息 (如适用时)。

第3章 结构设计原则

第2节 净尺寸方法

1 一般要求

1.3 尺度符合

1.3.1 所要求的净厚度 t_{req} 由按照本规范计算的净厚度圆整到最近的半毫米得到。例如:

(1) 当 $10.75 \leq t_{eate-net} < 11.25$ mm 时, 则本规范要求的净厚度为 11.0 mm。

(2) 当 $11.25 \leq t_{eate-net} < 11.75$ mm 时, 则本规范要求的净厚度为 11.5 mm。

第3节 腐蚀增量

1 一般要求

1.2 腐蚀增量的确定

1.2.1 结构构件两侧的每一侧的腐蚀增量, t_{c1} 或 t_{c2} , 见表 1.2.1。

(1) 构件两侧的总腐蚀增量 t_c , mm, 用下式求得:

$$t_c = Roundup_{0.5}(t_{c1} + t_{c2}) + t_{res}$$

(2) 对设定舱室内部构件, 总腐蚀增量 t_c 用下式求得:

$$t_c = Roundup_{0.5}(2t_{c1}) + t_{res}$$

式中: t_{c1} 指表 1.2.1 中暴露于该舱室的一侧的规定值;

$Roundup_{0.5}(t)$ 指 t 按向上圆整半毫米取值。

(3) 不锈钢或铝制舱室边界和内部构件的腐蚀增量 t_c , mm, 取为:

$$t_c = t_{res} = 0.5$$

(4) 对于不锈钢复合钢板, 碳钢一侧的腐蚀增量 t_{c1} 和不锈钢一侧的腐蚀增量 t_{c2} 分别取为:

- t_{c1} 取表 1.2.1 中相应舱室的给定值
- $t_{c2}=0$

1.2.2 扶强材的腐蚀增量由其与带板连接处的位置决定。

1.2.3 当局部支撑构件/板由多个腐蚀增量影响, 则对整块板列都采用最大的值。

1.2.4 总腐蚀增量 t_c 一般不必大于 $0.2t_{gr.off}$ 。

构件单侧的腐蚀增量

表 1.2.1

舱室类型	腐蚀增量 (mm)
暴露于海水 ⁽¹⁾	1.0
暴露于大气	1.0
压载水舱、污水舱、污油舱、锚链舱 ⁽²⁾	1.0
空舱和干舱	0.5
淡水舱、燃油舱和滑油舱	0.5

居住处所	0.0
货舱 ⁽³⁾	1.0
除上述外的其他舱室	0.5

注：（1）确定外板的腐蚀增量时，管隧处应视为压载水舱考虑。

（2）锚链舱底向上 3m 范围内的板表面应增加 1.0mm。

（3）对于横舱壁结构，单侧腐蚀增量为 0.5mm。

第 5 节 结构细节原则

9 甲板及舱口围结构

9.3 强力甲板开口

9.3.2 强力甲板上货舱舱口角隅处一般应设置加强嵌入板，其延伸范围应符合图 9.3.2 的规定。加强嵌入板的厚度和材料应不低于相邻强力甲板。当嵌入板延伸范围不能满足上述要求时，应采用第 8 章整船有限元屈服强度评估和局部细化分析或其他等效方法进行验证。

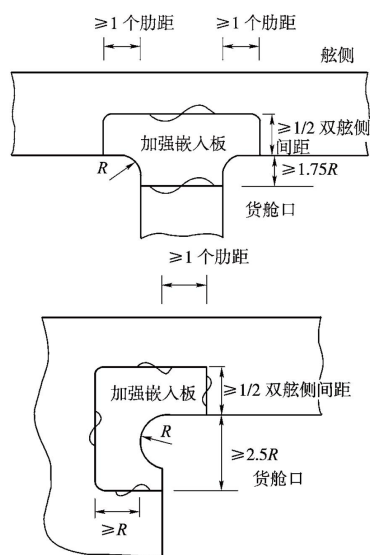


图 9.3.2

第4章 载 荷

第1节 一般规定

1 一般要求

1.1 应用

1.1.1 应用范围

本章给出了用于强度评估与疲劳评估的设计载荷。

对于本章第7节规定的设计载荷场景，给出了载荷组合。[本节采用设计载荷场景概念规定了与集装箱船适当营运模式一致的设计载荷组。本节采用设计载荷场景概念去确定一致的设计载荷组，这些载荷组覆盖了集装箱船的适当的营运模式。](#)

1.1.5 强度评估载荷

强度评估应[涵盖所有适用对所有](#)的设计载荷场景进行，最终的评估应基于最严格的强度要求。

强度评估的每一个设计载荷场景由一个静载荷工况（S）或者一个静+动载荷工况（S+D）组成，静载荷和动载荷取决于所考虑的装载工况。

静载荷在以下章节中定义：

- （1）船体梁静水载荷在本章第4节定义。
- （2）外部载荷在本章第5节定义。
- （3）内部载荷在本章第6节定义。

强度评估的等效设计波以及总体载荷的动载荷组合系数在本章第2节2中列出。

动载荷分量在以下章节中定义：

- （1）船体梁动载荷分量在本章第4节定义。
- （2）外部载荷在本章第5节定义。
- （3）内部载荷在本章第6节定义。

1.1.6 疲劳评估载荷

[每一个](#)疲劳评估的[每一个](#)设计载荷场景由一个静+动（S+D）载荷工况组成，静载荷和动载荷取决于所考虑的装载工况。

第2节 动载荷工况

2 强度评估的动载荷工况

2.2 载荷组合系数

2.2.1 用于强度评估总体载荷及惯性载荷分量的载荷组合系数 LCF 的定义见：

表 2.2.1（1）：HVM、HVS 和 FVM 载荷工况的载荷组合系数。

表 2.2.1（2）：BSR 和 BSP 载荷工况的载荷组合系数。

表 2.2.1（3）：OST、OHM、OHS 和 OVA 载荷工况的载荷组合系数。

强度评估中用于HVM、HVS和FVM载荷工况的载荷组合系数 表2.2.1 (1)

载荷分量		LCF	HVM-1	HVM-2	HVS-1	HVS-2	FVM-1	FVM-2
船体梁 载荷	M_{wy}	C_{wy}	-1	1	-1	1	-1	1
	Q_{wy}	C_{QW}	f_{ip}	f_{ip}	f_{ip}	f_{ip}	f_{ip}	f_{ip}
	M_{wh}	C_{WH}	0	0	0	0	0	0
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{WT}	0	0	0	0	0	0
纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	$0.71-8.88f_{TL}$	$8.88f_{TL}-0.71$	$0.76-8.8f_{TL}$	$8.8f_{TL}-0.76$	$-0.07-4.29f_{TL}$	$4.29f_{TL}+0.07$
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	-0.6	0.6	-0.66	0.66	0.1	-0.1
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0.56	-0.56	0.6	-0.6	-0.15	0.15
横向加 速度	a_{sway}	C_{YS}	0	0	0	0	0	0
	a_{roll-y}	C_{YR}	0	0	0	0	0	0
	$g\sin\theta$	C_{YG}	0	0	0	0	0	0
垂向加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	$7.9f_{TL}-0.09$	$0.09-7.9f_{TL}$	$8.5f_{TL}-0.1$	$0.1-8.5f_{TL}$	0.14	-0.14
	a_{roll-z}	C_{ZR}	0	0	0	0	0	0
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	-0.6	0.6	-0.66	0.66	0.1	-0.1

载荷分量		LCF	HVM-1	HVM-2	HVS-1	HVS-2	FVM-1	FVM-2
船体梁 载荷	M_{wy}	C_{wy}	-1	1	-1	1	-1	1
	Q_{wy}	C_{QW}	f_{ip}	f_{ip}	f_{ip}	f_{ip}	f_{ip}	f_{ip}
	M_{wh}	C_{WH}	0	0	0	0	0	0
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{WT}	0	0	0	0	0	0
纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	$1.05-1.14C_{b-LC}$	$1.14C_{b-LC}-1.05$	$0.76-8.8f_{TL}$	$8.8f_{TL}-0.76$	$-0.07-4.29f_{TL}$	$4.29f_{TL}+0.07$
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	$0.0011L-0.81$	$0.81-0.0011L$	-0.66	0.66	0.1	-0.1
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0.56	-0.56	0.6	-0.6	-0.15	0.15
横向加	a_{sway}	C_{YS}	0	0	0	0	0	0

速度	a_{roll-y}	C_{YR}	0	0	0	0	0	0
	$g_{sin\theta}$	C_{YG}	0	0	0	0	0	0
垂向加速度	a_{heave}	C_{ZH}	9.2 f_{TL} -0.17	0.17-9.2 f_{TL}	8.5 f_{TL} -0.1	0.1-8.5 f_{TL}	0.14	-0.14
	a_{roll-z}	C_{ZR}	0	0	0	0	0	0
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0.0011L-0.81	0.81-0.0011L	-0.66	0.66	0.1	-0.1

强度评估中用于BSR和BSP载荷工况的载荷组合系数 表2.2.1 (2)

载荷分量		LCF	BSR-1P	BSR-2P	BSR-1S	BSR-2S
船体梁 载荷	M_{wy}	C_{WV}	0	0	0	0
	Q_{wy}	C_{QW}	0	0	0	0
	M_{wh}	C_{WH}	1.29-23 f_{TL}	23 f_{TL} -1.29	23 f_{TL} -1.29	1.29-23 f_{TL}
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{WT}	0	0	0	0
纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	0	0	0	0
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	0	0	0	0
	$g_{sin\phi}$	C_{XG}	0	0	0	0
横向加 速度	a_{sway}	C_{YS}	0.74-1.72 ω_R	1.72 ω_R -0.74	1.72 ω_R -0.74	0.74-1.72 ω_R
	a_{roll-y}	C_{YR}	±	±	±	±
	$g_{sin\theta}$	C_{YG}	±	±	±	±
垂向加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	1.02-0.17 T_R	0.17 T_R -1.02	1.02-0.17 T_R	0.17 T_R -1.02
	a_{roll-z}	C_{ZR}	±	±	±	±
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0	0	0	0

载荷分量		LCF	BSR-1P	BSR-2P	BSR-1S	BSR-2S
船体梁 载荷	M_{wy}	C_{WV}	0	0	0	0
	Q_{wy}	C_{QW}	0	0	0	0
	M_{wh}	C_{WH}	1.05-14.5 f_{TL}	14.5 f_{TL} -1.05	14.5 f_{TL} -1.05	1.05-14.5 f_{TL}
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{WT}	0	0	0	0

纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	0	0	0	0
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	0	0	0	0
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0	0	0	0
横向加 速度	a_{sway}	C_{YS}	$0.67C_{b-LC}-0.29$	$0.29-0.67C_{b-LC}$	$0.29-0.67C_{b-LC}$	$0.67C_{b-LC}-0.29$
	a_{roll-y}	C_{YR}	1	-1	-1	1
	$g\sin\theta$	C_{YG}	-1	1	1	-1
垂向加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	$0.62-4.6f_{TL}$	$4.6f_{TL}-0.62$	$0.62-4.6f_{TL}$	$4.6f_{TL}-0.62$
	a_{roll-z}	C_{ZR}	1	-1	-1	1
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0	0	0	0

续上表

载荷分量		LCF	BSP-1P	BSP-2P	BSP-1S	BSP-2S
船体梁 载荷	M_{sw}	C_{WV}	-0.22	0.22	-0.22	0.22
	Q_{sw}	C_{QW}	$-0.22f_{ip}$	$0.22f_{ip}$	$-0.22f_{ip}$	$0.22f_{ip}$
	M_{wh}	C_{WH}	$0.91-14.5f_{TL}$	$14.5f_{TL}-0.91$	$14.5f_{TL}-0.91$	$0.91-14.5f_{TL}$
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{WT}	0	0	0	0
纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	0	0	0	0
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	0	0	0	0
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0	0	0	0
横向加 速度	a_{sway}	C_{YS}	$0.82\theta_R-0.91$	$0.91-0.82\theta_R$	$0.91-0.82\theta_R$	$0.82\theta_R-0.91$
	a_{roll-y}	C_{YR}	$0.95-0.15T_R$	$0.15T_R-0.95$	$0.15T_R-0.95$	$0.95-0.15T_R$
	$g\sin\theta$	C_{YG}	-0.3	0.3	0.3	-0.3
垂向加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	1	-1	1	-1
	a_{roll-z}	C_{ZR}	$0.95-0.15T_R$	$0.15T_R-0.95$	$0.15T_R-0.95$	$0.95-0.15T_R$
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0	0	0	0

载荷分量		LCF	BSP-1P	BSP-2P	BSP-1S	BSP-2S
船体梁	M_{sw}	C_{WV}	$0.13-7.14f_{TL}$	$7.14f_{TL}-0.13$	$0.13-7.14f_{TL}$	$7.14f_{TL}-0.13$

载荷	Q_{wv}	C_{wv}	$\frac{-(0.13-7.14f_{TL}) f_p}{}$	$\frac{-(7.14f_{TL}-0.13) f_p}{}$	$\frac{-(0.13-7.14f_{TL}) f_p}{}$	$\frac{-(7.14f_{TL}-0.13) f_p}{}$
	M_{wh}	C_{wh}	$0.62-9.17f_{TL}$	$9.17f_{TL}-0.62$	$9.17f_{TL}-0.62$	$0.62-9.17f_{TL}$
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{wt}	0	0	0	0
纵向加速度	a_{surge}	C_{XS}	0	0	0	0
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	0	0	0	0
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0	0	0	0
横向加速度	a_{sway}	C_{YS}	$-0.57-2.9f_{TL}$	$0.57+2.9f_{TL}$	$0.57+2.9f_{TL}$	$-0.57-2.9f_{TL}$
	a_{roll-y}	C_{YR}	$0.51-3f_{TL}$	$3f_{TL}-0.51$	$3f_{TL}-0.51$	$0.51-3f_{TL}$
	$g\sin\theta$	C_{YG}	-0.22	0.22	0.22	-0.22
垂向加速度	a_{heave}	C_{ZH}	1	-1	1	-1
	a_{roll-z}	C_{ZR}	$0.51-3f_{TL}$	$3f_{TL}-0.51$	$3f_{TL}-0.51$	$0.51-3f_{TL}$
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0	0	0	0

3 疲劳评估的动载荷工况

3.2 动载荷组合系数

3.2.1 用于疲劳评估的总体载荷及惯性载荷分量的载荷组合系数 LCF 的定义见：

表 3.2.1 (1)：HVM 和 HVS 载荷工况的载荷组合系数。

表 3.2.1 (2)：BSR 和 BSP 载荷工况的载荷组合系数。

表 3.2.1 (3)：OST、OHM 和 OHS 载荷工况的载荷组合系数。

疲劳评估中用于 HVM 和 HVS 载荷工况的载荷组合系数

表 3.2.1 (1)

载荷分量		LCF	HVM-1	HVM-2	HVS-1	HVS-2
船体梁 载荷	M_{wy}	C_{WV}	\pm	\pm	\pm	\pm
	Q_{wy}	C_{QW}	f_{fp}	f_{fp}	f_{fp}	f_{fp}
	M_{wh}	C_{WH}	0	0	0	0
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{WT}	0	0	0	0
纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	$0.74-8.1f_{TL}$	$8.1f_{TL}-0.74$	$0.76-8.58f_{TL}$	$8.58f_{TL}-0.76$
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	$-0.55-7.6f_{TL}$	$0.55+7.6f_{TL}$	$-0.62-6.36f_{TL}$	$0.62+6.36f_{TL}$
	$g\sin\phi$	C_{XG}	$0.5+4.45f_{TL}$	$-0.5-4.45f_{TL}$	$0.43+7.5f_{TL}$	$-0.43-7.5f_{TL}$
横向加 速度	a_{sway}	C_{YS}	0	0	0	0
	a_{roll-y}	C_{YR}	0	0	0	0
	$g\sin\theta$	C_{YG}	0	0	0	0
垂向加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	$0.16+6.49f_{TL}$	$-0.16-6.49f_{TL}$	$0.1+9.6f_{TL}$	$-0.1-9.6f_{TL}$
	a_{roll-z}	C_{ZR}	0	0	0	0
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	$-0.55-7.6f_{TL}$	$0.55+7.6f_{TL}$	$-0.62-6.36f_{TL}$	$0.62+6.36f_{TL}$

载荷分量		LCF	HVM-1	HVM-2	HVS-1	HVS-2
船体梁 载荷	M_{wy}	C_{WV}	\pm	\pm	\pm	\pm
	Q_{wy}	C_{QW}	f_{fp}	f_{fp}	f_{fp}	f_{fp}
	M_{wh}	C_{WH}	0	0	0	0
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{WT}	0	0	0	0
纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	$0.68-8.13f_{TL}$	$8.13f_{TL}-0.68$	$0.76-8.58f_{TL}$	$8.58f_{TL}-0.76$
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	$-0.6-6f_{TL}$	$0.6+6f_{TL}$	$-0.62-6.36f_{TL}$	$0.62+6.36f_{TL}$
	$g\sin\phi$	C_{XG}	$0.5+4.45f_{TL}$	$-0.5-4.45f_{TL}$	$0.43+7.5f_{TL}$	$-0.43-7.5f_{TL}$

横向加 速度	a_{sway}	C_{YS}	0	0	0	0
	a_{roll-y}	C_{YR}	0	0	0	0
	$g\sin\theta$	C_{YG}	0	0	0	0
垂向加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	$0.15+7.7f_{TL}$	$-0.15-7.7f_{TL}$	$0.1+9.6f_{TL}$	$-0.1-9.6f_{TL}$
	a_{roll-z}	C_{ZR}	0	0	0	0
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	$-0.6-6f_{TL}$	$0.6+6f_{TL}$	$-0.62-6.36f_{TL}$	$0.62+6.36f_{TL}$

疲劳评估中用于BSR和BSP载荷工况的载荷组合系数 表3.2.1 (2)

载荷分量	LCF	BSR-1P	BSR-2P	BSR-1S	BSR-2S	
船体梁 载荷	M_{wy}	C_{wy}	0	0	0	0
	Q_{wy}	C_{qw}	0	0	0	0
	M_{wh}	C_{wh}	$1.3-16f_{TL}$	$16f_{TL}-1.3$	$16f_{TL}-1.3$	$1.3-16f_{TL}$
	Q_{wh}	C_{qh}	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{wt}	0	0	0	0
纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	0	0	0	0
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	0	0	0	0
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0	0	0	0
横向加 速度	a_{sway}	C_{YS}	$0.74-1.72\phi_R$	$1.72\phi_R-0.74$	$1.72\phi_R-0.74$	$0.74-1.72\phi_R$
	a_{roll-y}	C_{YR}	+	-	-	+
	$g\sin\theta$	C_{YG}	-	+	+	-
垂向加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	$0.8-11.8f_{TL}$	$11.8f_{TL}-0.8$	$0.8-11.8f_{TL}$	$11.8f_{TL}-0.8$
	a_{roll-z}	C_{ZR}	+	-	-	+
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0	0	0	0

载荷分量	LCF	BSR-1P	BSR-2P	BSR-1S	BSR-2S	
船体梁 载荷	M_{wy}	C_{wy}	0	0	0	0
	Q_{wy}	C_{qw}	0	0	0	0
	M_{wh}	C_{wh}	$3.1-3.05C_{w/LC}$	$3.05C_{w/LC}-3.1$	$3.05C_{w/LC}-3.1$	$3.1-3.05C_{w/LC}$
	Q_{wh}	C_{qh}	0	0	0	0

	M_{WY}	C_{WT}	0	0	0	0
纵向加速度	a_{surge}	C_{XS}	0	0	0	0
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	0	0	0	0
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0	0	0	0
横向加速度	a_{sway}	C_{YS}	$0.67C_{b/LC}-0.29$	$0.29-0.67C_{b/LC}$	$0.29-0.67C_{b/LC}$	$0.67C_{b/LC}-0.29$
	a_{roll-y}	C_{YR}	1	-1	-1	1
	$g\sin\theta$	C_{YG}	-1	1	1	-1
垂向加速度	a_{heave}	C_{ZH}	$0.8-11.8f_{TL}$	$11.8f_{TL}-0.8$	$0.8-11.8f_{TL}$	$11.8f_{TL}-0.8$
	a_{roll-z}	C_{ZR}	1	-1	-1	1
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0	0	0	0

续上表

载荷分量		LCF	BSP-1P	BSP-2P	BSP-1S	BSP-2S
船体梁载荷	M_{WV}	C_{WV}	-0.22	0.22	-0.22	0.22
	Q_{WV}	C_{QW}	$-0.22f_{ip}$	$0.22f_{ip}$	$-0.22f_{ip}$	$0.22f_{ip}$
	M_{WH}	C_{WH}	$0.88-11.8f_{TL}$	$11.8f_{TL}-0.88$	$11.8f_{TL}-0.88$	$0.88-11.8f_{TL}$
	Q_{WH}	C_{QH}	0	0	0	0
	M_{WT}	C_{WT}	0	0	0	0
纵向加速度	a_{surge}	C_{XS}	0	0	0	0
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	0	0	0	0
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0	0	0	0
横向加速度	a_{sway}	C_{YS}	$-0.56-6.2f_{TL}$	$0.56+6.2f_{TL}$	$0.56+6.2f_{TL}$	$-0.56-6.2f_{TL}$
	a_{roll-y}	C_{YR}	$0.95-0.15T_R$	$0.15T_R-0.95$	$0.15T_R-0.95$	$0.95-0.15T_R$
	$g\sin\theta$	C_{YG}	-0.3	0.3	0.3	-0.3
垂向加速度	a_{heave}	C_{ZH}	+	-	+	-
	a_{roll-z}	C_{ZR}	$0.95-0.15T_R$	$0.15T_R-0.95$	$0.15T_R-0.95$	$0.95-0.15T_R$
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0	0	0	0

载荷分量		LCF	BSP-1P	BSP-2P	BSP-1S	BSP-2S
船体梁	M_{WV}	C_{WV}	$0.09-7.82f_{TL}$	$7.82f_{TL}-0.09$	$0.09-7.82f_{TL}$	$7.82f_{TL}-0.09$
	Q_{WV}	C_{QW}	$(0.09-7.82f_{TL})f_{ip}$	$(7.82f_{TL}-0.09)f_{ip}$	$(0.09-7.82f_{TL})f_{ip}$	$(7.82f_{TL}-0.09)f_{ip}$

载荷	M_{wh}	C_{WH}	$0.77-10.9f_{TL}$	$10.9f_{TL}-0.77$	$10.9f_{TL}-0.77$	$0.77-10.9f_{TL}$
	Q_{wh}	C_{QH}	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{WT}	0	0	0	0
纵向 加 速度	a_{surge}	C_{XS}	0	0	0	0
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	0	0	0	0
	$g\sin\phi$	C_{XG}	0	0	0	0
横向 加 速度	a_{sway}	C_{YS}	$-0.62-4.5f_{TL}$	$0.62+4.5f_{TL}$	$0.62+4.5f_{TL}$	$-0.62-4.5f_{TL}$
	a_{roll-y}	C_{YR}	0.4	-0.4	-0.4	0.4
	$g\sin\theta$	C_{YG}	$4.5f_{TL}-0.5$	$0.5-4.5f_{TL}$	$0.5-4.5f_{TL}$	$4.5f_{TL}-0.5$
垂向 加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	1	-1	1	-1
	a_{roll-z}	C_{ZR}	0.4	-0.4	-0.4	0.4
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	0	0	0	0

疲劳评估中用于 OST、OHM 和 OHS 载荷工况的载荷组合系数

表 3.2.1 (3)

续上表

载荷分量		LCF	OHS-1P	OHS-2P	OHS-1S	OHS-2S
船体梁 载荷	M_{wv}	C_{WV}	$0.2C_{W-LC}-0.52$	$0.52-0.2C_{W-LC}$	$0.2C_{W-LC}-0.52$	$0.52-0.2C_{W-LC}$
	Q_{wv}	C_{QW}	$(0.2C_{W-LC}-0.52)f_{lp}$	$(0.52-0.2C_{W-LC})f_{lp}$	$(0.2C_{W-LC}-0.52)f_{lp}$	$(0.52-0.2C_{W-LC})f_{lp}$
	M_{wh}	C_{WH}	-1	1	1	-1
	Q_{wh}	C_{QH}	f_{lp}	$-f_{lp}$	$-f_{lp}$	f_{lp}
	M_{wt}	C_{WT}	$-f_{lp}$	f_{lp}	f_{lp}	$-f_{lp}$
纵向加 速度	a_{surge}	C_{XS}	-0.17	0.17	-0.17	0.17
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	$0.73-10.8f_{TL}$	$10.8f_{TL}-0.73$	$0.73-10.8f_{TL}$	$10.8f_{TL}-0.73$
	$g\sin\phi$	C_{XG}	-0.31	0.31	-0.31	0.31
横向加 速度	a_{sway}	C_{YS}	0.2	-0.2	-0.2	0.2
	a_{roll-y}	C_{YR}	$11.7f_{TL}-0.72$	$0.72-11.7f_{TL}$	$0.72-11.7f_{TL}$	$11.7f_{TL}-0.72$
	$g\sin\theta$	C_{YG}	$0.65-10.2f_{TL}$	$10.2f_{TL}-0.65$	$10.2f_{TL}-0.65$	$0.65-10.2f_{TL}$
垂向加 速度	a_{heave}	C_{ZH}	0.2	-0.2	0.2	-0.2
	a_{roll-z}	C_{ZR}	$11.7f_{TL}-0.72$	$0.72-11.7f_{TL}$	$0.72-11.7f_{TL}$	$11.7f_{TL}-0.72$
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	$0.73-10.8f_{TL}$	$10.8f_{TL}-0.73$	$0.73-10.8f_{TL}$	$10.8f_{TL}-0.73$

第3节 船舶运动和加速度

2 船舶运动和加速度

2.1 船舶运动

2.1.1 横摇运动

横摇周期 T_θ , s, 取为:

$$T_\theta = \frac{2.3\pi k_r}{\sqrt{gGM}}$$

横摇角 θ , ($^\circ$), 取为:

$$\theta = \frac{900(1.25 - 0.025T_\theta)f_p f_{BK}}{(B+75)\pi}$$

式中:

f_p ——系数, 取为:

$f_p = f_{ps}$, 对于强度评估

~~$f_p = f_{fa}(0.24 - 5.56f_r B \times 10^{-4})$~~ $f_p = f_{fa}(0.208 - 0.77f_r B \times 10^{-4})$, 对于疲劳评估

2.1.2 纵摇运动

纵摇周期 T_φ , s, 取为:

$$T_\varphi = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_\varphi}{g}}$$

式中—— $\lambda_\varphi = 0.6(1 + f_r)L$

纵摇角 φ , ($^\circ$), 取为:

$$\varphi = 1350 f_{nl} f_p f_\varphi L^{-0.94} \left\{ 1.0 + \left(\frac{2.57}{\sqrt{gL}} \right)^{1.2} \right\}$$

式中:

f_p ——系数, 取为:

$f_p = f_{ps}$, 对于强度评估

~~$f_p = f_{fa}[(0.34 - 0.05f_r) - (3.7 - 2.59f_r)L \times 10^{-4}]$~~ $f_p = f_{fa}[(0.27 - 0.02f_r) - (13 - 5f_r)L \times 10^{-5}]$, 对于疲劳

评估

f_φ ——系数, 取为:

~~$f_\varphi = 1.69 - 0.67C_{W-LC}$~~ 对于强度评估

~~$f_\varphi = 2.27 - 1.38C_{W-LC}$~~ 对于疲劳评估

~~$f_\varphi = 1.94 - 0.69L^{0.1}C_{b-LC}$~~ 对于强度评估

~~$f_\varphi = 1.96 - 0.68L^{0.1}C_{b-LC}$~~ 对于疲劳评估

2.2 船舶重心处加速度

2.2.1 纵荡加速度

由纵荡产生的纵向加速度， m/s^2 ，取为：

$$a_{surge} = 0.2f_p f_{s1} f_{nl} a_0 g$$

式中：

f_p ——系数，取为：

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_p = f_{fa} [0.26 - 1.11 f_T L \times 10^{-4}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = f_{fa} [0.26 - (15 + 4 f_T) L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

f_{s1} ——系数，取为：

$$f_{s1} = 20.59 f_{TL} + 0.44, \quad \text{对于强度评估的满载工况和满载减吃水工况}$$

$$f_{s1} = 25.88 f_{TL} + 1.07, \quad \text{对于强度评估的压载工况}$$

$$f_{s1} = 22.3 f_{TL} + 0.3, \quad \text{对于疲劳评估的满载工况和满载减吃水工况}$$

$$f_{s1} = 35.2 f_{TL} + 0.81, \quad \text{对于疲劳评估的压载工况}$$

$$f_{s1} = 2.64 - 0.093 L^{0.5} C_{b-LC}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_{s1} = 2.83 - 0.1 L^{0.5} C_{b-LC}, \quad \text{对于疲劳评估}$$

2.2.2 横荡加速度

由横荡产生的横向加速度， m/s^2 ，取为：

$$a_{sway} = 0.3f_p f_{s2} f_{nl} a_0 g$$

式中，

f_p ——系数，取为：

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_p = f_{fa} [(0.28 - 0.02 f_T) (9.6 - 5.1 f_T) B \times 10^{-4}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = f_{fa} [0.24 - (5 - 2 f_T) B \times 10^{-4}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

f_{s2} ——系数，取为：

$$f_{s2} = 2.23 - 6.92 f_{TL}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_{s2} = 2.16 - 5.98 f_{TL}, \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_{s2} = 1.87, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_{s2} = 2.36 - 0.42 f_{TL} L^{0.5} C_{W-LC}^{-2}, \quad \text{对于疲劳评估}$$

2.2.3 垂荡加速度

由垂荡产生的垂向加速度， m/s^2 ，取为：

$$a_{heave} = f_p f_{s3} f_{nl} a_0 g$$

式中：

f_p ——系数，取为：

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_p = f_{fa} [(0.34 + 0.09 f_T) (1.86 + 2.59 f_T) L \times 10^{-4}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = f_{fa} [(0.17 + 0.2 C_{W-LC}) - 28 f_T L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

f_{s3} ——系数，取为：

$$f_{s3} = 1.45 - 2.89 f_{BL}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_{s3} = 1.25 - 1.62f_{BL}, \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_{s3} = 4.85 - 4.65f_{BL}^{0.1}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_{s3} = 0.28 + 0.35f_{BL}^{-0.5}C_{b-LC}^{0.5}, \quad \text{对于疲劳评估}$$

2.2.4 横摇加速度

横摇加速度, a_{roll} , rad/s^2 , 取为:

$$a_{roll} = f_p f_{s4} \theta \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\theta} \right)^2$$

式中:

θ ——采用 f_p 等于 1.0 计算的横摇角

f_p ——系数, 取为:

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_{fp} = f_{fa} (0.24 - 6.67f_T B \times 10^{-4}), \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = f_{fa} (0.224 - 2.79f_T B \times 10^{-4}), \quad \text{对于疲劳评估}$$

2.2.5 纵摇加速度

纵摇加速度, a_{pitch} , rad/s^2 , 取为:

$$a_{pitch} = f_p f_{s5} f_{nl} \left(\frac{3.1}{\sqrt{gL}} + 1.0 \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2$$

式中:

φ ——采用 f_p 等于 1.0, f_φ 等于 $1.94 - 0.69L^{0.1}C_{b-LC}$ 计算的纵摇角

f_p ——系数, 取为:

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_{fp} = f_{fa} [(0.42 - 0.05f_T) - (9 + 2f_T)L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = f_{fa} [(0.3 + 0.06f_T) - 23.61f_T L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

f_{s5} ——系数, 取为:

$$f_{s5} = 2.19 - 5.81f_{TL}^{0.6}C_{W-LC}^{0.9}, \quad \text{对于强度评估的满载工况和满载减吃水工况}$$

$$f_{s5} = 1.56 - 3.37f_{BL}^{0.9}C_{W-LC}^{1.6}, \quad \text{对于强度评估的压载工况}$$

$$f_{s5} = 5.75 - 6.87f_{BL}^{0.2}C_{b-LC}^{0.2}, \quad \text{对于疲劳评估的满载工况和满载减吃水工况}$$

$$f_{s5} = 3.72 - 4.75f_{BL}^{0.2}C_{b-LC}^{0.5}, \quad \text{对于疲劳评估的压载工况}$$

$$f_{s5} = 2.1 - 2.41f_{BL}^{0.5}C_{W-LC}^{0.2}, \quad \text{对于强度评估的压载工况}$$

$$f_{s5} = 0.91 + 0.013L^{0.6}, \quad \text{对于强度评估的其他工况}$$

$$f_{s5} = 3.72 - 4.75f_{BL}^{0.2}C_{b-LC}^{0.5}, \quad \text{对于疲劳评估的压载工况, 当 } C_{b-LC} < 0.67 \text{ 时}$$

$$f_{s5} = 0.91 + 1.96L \times 10^{-3}, \quad \text{对于疲劳评估的压载工况, 当 } 0.67 \leq C_{b-LC} \leq 0.77$$

时

$$f_{s5} = 0.9 + 6.34f_{TL}, \quad \text{对于疲劳评估的压载工况, 当 } 0.77 < C_{b-LC} \text{ 时}$$

$$f_{s5} = 0.77 + 0.133B^{0.3}C_{b-LC}^{-1}, \quad \text{对于疲劳评估的其他工况}$$

第 4 节 船体梁载荷

3 船体梁动载荷

3.2 垂向波浪弯矩

3.2.1 垂向波浪弯矩 M_{wv} ，kN·m，沿船长分布如图 3.2.1 (2)，其中：

$$M_{wv-h} = +1.5 f_R f_p L^3 C_d C_W \left(\frac{B}{L} \right)^{0.8} f_{NL-Hog}$$

$$M_{wv-s} = -1.5 f_R f_p L^3 C_d C_W \left(\frac{B}{L} \right)^{0.8} f_{NL-Sag}$$

式中： f_R ——折减因子，取：

$$f_R = 0.85$$

f_p ——系数，取为：

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_p = 0.9 [0.29 - (19.5 - 14f_T) L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = 0.9 [0.28 - (14.85f_T - 0.5) L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

3.3 垂向波浪剪力

3.3.1 垂向波浪剪力 Q_{wv} ，kN，沿船长分布如图 3.3.1 所示，其中：

$$Q_{wvHog}^{Aft} = +5.2 f_R f_p L^2 C_d C_W \left(\frac{B}{L} \right)^{0.8} (0.3 + 0.7 f_{NL-Hog})$$

$$Q_{wvHog}^{Fore} = -5.7 f_R f_p L^2 C_d C_W \left(\frac{B}{L} \right)^{0.8} f_{NL-Hog}$$

$$Q_{wvSag}^{Aft} = -5.2 f_R f_p L^2 C_d C_W \left(\frac{B}{L} \right)^{0.8} (0.3 + 0.7 f_{NL-Sag})$$

$$Q_{wvSag}^{Fore} = +5.7 f_R f_p L^2 C_d C_W \left(\frac{B}{L} \right)^{0.8} (0.25 + 0.75 f_{NL-Sag})$$

$$Q_{wv}^{Mid} = +4.0 f_R f_p L^2 C_d C_W \left(\frac{B}{L} \right)^{0.8}$$

式中： f_p ——系数，取为：

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_p = 0.9 [0.29 - (27.2 - 25f_T) L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = 0.9 [0.262 - (6.58f_T - 0.07) L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

3.4 水平波浪弯矩

3.4.1 任一纵向位置的水平波浪弯矩 M_{wh} ，kNm，取为：

$$M_{wh} = 2.6 \cdot f_{mz} f_R f_P C_d L^3 C_b^{0.3} \left(\frac{T_{LC}}{L}\right)^{0.8}$$

式中:

f_p ——系数, 取为:

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_p = 0.9[0.25 + (5 - 2.8f_T)L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = 0.9(0.23 + 2.24f_T L \times 10^{-5}), \quad \text{对于疲劳评估}$$

3.5 波浪扭矩

3.5.1 任一纵向位置的波浪扭矩 M_{wt} , kNm, 取为:

$$M_{wt} = f_P (M_{x0} + M_T)$$

式中:

M_{x0} ——与扭心垂向位置无关的扭矩, kNm;

M_T ——与扭心垂向位置相关的扭矩, kNm;

$$M_{x0} = 2.66 \cdot f_R \cdot f_{t1} \cdot C_d \cdot \sqrt{\frac{L}{T_{LC}}} \cdot B^2 \cdot D \cdot C_b$$

$$M_T = f_{t2} \cdot F_y \cdot |f_Z D - Z_{SC}|$$

f_p : 系数, 取为:

$$f_p = f_{ps}, \quad \text{对于强度评估}$$

$$f_p = 0.9[0.25 + (7.8 - 5.6f_T)L \times 10^{-5}], \quad \text{对于疲劳评估}$$

$$f_p = 0.9(0.237 - 0.44f_T B \times 10^{-4}), \quad \text{对于疲劳评估}$$

4 双力矩载荷

4.1 一般要求

4.1.1 作为一个指导值, 如未开展基于薄壁梁模型的船体梁翘曲应力计算或整船直接计算, 可采用 4.2 的双力矩计算船体梁翘曲应力。

4.1.2 本双力矩载荷适用于尾岛型、双岛型集装箱船, 对于其他形式的集装箱船, 船体梁翘曲应力应采用基于薄壁梁模型计算或整船直接计算。

4.2 双力矩

4.2.1 任一纵向位置的双力矩 B_i , kNm², 取为:

$$B_i = \frac{M_{t_LC}}{k} f(x)$$

式中: M_{t_LC} ——应用于本章第 2 节定义的斜浪动载荷工况的船中处总扭矩, kNm, 见 4.2.2。

k ——船中处横剖面弯曲扭转特性系数, 见 4.2.3。

$f(x)$ ——分布系数, 见 4.2.4、4.2.5。

4.2.2 斜浪动载荷工况的船中处总扭矩 M_{t_LC} , kNm, 取为:

$$M_{t_LC} = M_{st} + M_{wt_LC}$$

式中： M_{st} ——船中处的静水扭矩，kNm，按本章[2.4.1]计算，其符号与 $M_{wt LC}$ 相同。

$M_{wt LC}$ ——船中处的静水扭矩，kNm，按本章[3.7.5]计算，其中 f_p 取为1.0。

4.2.3 船中处横剖面弯曲扭转特性系数 k ，取为：

$$k = \sqrt{\frac{GI_{t-n50}}{EI_{\omega-n50}}}$$

式中： G ——剪切模量，MPa，取为 8×10^4 。

I_{t-n50} ——船中处横剖面净扭转惯性矩， m^4 。

E ——弹性模量，MPa，取为 2.06×10^5 。

$I_{\omega-n50}$ ——船中横剖面净扇性惯性矩， m^6 。

4.2.4 对于尾岛型集装箱船，分布系数 $f(x)$ 取为：

$$f(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 0.1 \\ \frac{0.29}{x_A - 0.1}x - \frac{0.029}{x_A - 0.1} & 0.1 < x \leq x_A \\ 0.29 & x_A < x \leq x_A + a \\ \frac{-0.5}{0.77 - 2a - x_A}(x - x_A - a) + 0.29 & x_A + a < x \leq 0.77 - a \\ -0.21 & 0.77 - a < x \leq 0.77 \\ 0.91x - 0.91 & 0.77 < x \leq 1 \end{cases}$$

式中： x ——取为 $\frac{X}{L}$ 。其中， X 为距船长 L 尾端的距离，m。

x_A ——取为 $\frac{X_A}{L}$ 。其中， X_A 为机舱前端壁距船长 L 尾端的距离，m，见图4.2.5。

a ——取为 $\frac{12.6}{L}$ 。

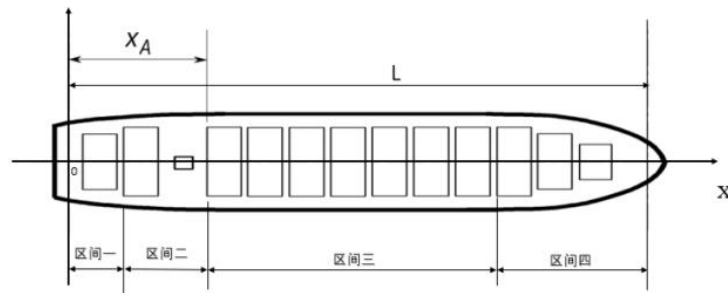


图 4.2.4 X_A 取值

4.2.5 对于双岛型集装箱船，分布系数 $f(x)$ 取为：

$$f(x) = \begin{cases} 0 & 0 < x \leq 0.1 \\ \frac{0.21}{x_{A3} - 0.1}x - \frac{0.021}{x_{A3} - 0.1} & 0.1 < x \leq x_{A3} \\ 0.21 & x_{A3} < x \leq x_{A3} + a \\ \frac{0.43(x_{A3} + a - x)}{x_{A4} - x_{A3} - a} + 0.21 & x_{A3} + a < x \leq x_{A4} \\ -0.22 & x_{A4} < x \leq x_{A5} \\ \frac{0.22}{1 - x_{A5}}x - \frac{0.22}{1 - x_{A5}} & x_{A5} < x \leq 1 \end{cases}$$

式中： x ——取为 $\frac{X}{L}$ 。其中， X 为距船长 L 尾端的距离，m。

x_{A3} 、 x_{A4} 、 x_{A5} ——分别取为 $\frac{X_{A3}}{L}$ 、 $\frac{X_{A4}}{L}$ 、 $\frac{X_{A5}}{L}$ 。其中， X_{A3} 、 X_{A4} 、 X_{A5} 分别为机舱前端壁、前岛后舱壁和前岛前舱壁距船长 L 尾端的距离，m，见图 4.2.5。

a ——取为 $\frac{12.6}{L}$ 。

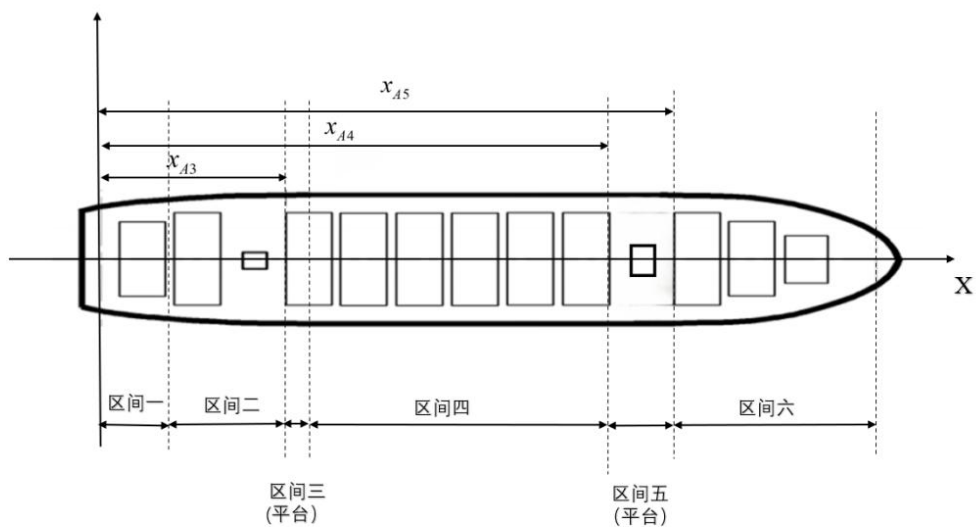


图 4.2.5 X_{A3} 、 X_{A4} 、 X_{A5} 取值

第 5 节 外部载荷

1 海水压力

1.3 用于强度评估的外部动压力

1.3.6 BSP 载荷工况的水动压力

用于 BSP-1 和 BSP-2 载荷工况的任一点的水动压力 P_W , kN/m^2 , 应从表 1.3.6 (1) 中得到, 参见图 1.3.6 (1) 和图 1.3.6 (2)。

用于 BSP 载荷工况的水动压力 **表 1.3.6 (1)**

载荷工况	水动压力, kN/m^2		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
BSP-1P	$P_W = \max(P_{BSP}, \rho g(z - T_{LC}))$	$P_W = P_{W, WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0$
BSP-2P	$P_W = \max(-P_{BSP}, \rho g(z - T_{LC}))$		
BSP-1S	$P_W = \max(P_{BSP}, \rho g(z - T_{LC}))$		
BSP-2S	$P_W = \max(-P_{BSP}, \rho g(z - T_{LC}))$		

其中:

$$-P_{BSP} = 0.8 f_{\beta} f_{ps} f_{nl} f_{yz} C_s \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

$$P_{BSP} = 4.5 f_{BSP} f_{\beta} f_{ps} f_{nl} f_{yz} C_s \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

λ —— 动载荷工况的波长, m , 取为:

$$\lambda = 0.2(1 + 2f_T)L$$

f_{yz} —— 周长分布系数, 由表 1.3.6 (2) 得到。

用于 BSP 载荷工况的周长分布系数 f_{yz} **表 1.3.6 (2)**

横向位置	BSP-1P, BSP-2P	BSP-1S, BSP-2S
$y \geq 0$	$9 \frac{z}{T_{LC}} + 11 f_{yB1} + 2$	$3 \frac{z}{T_{LC}} + 2 f_{yB1} + 2$
$y < 0$	$3 \frac{z}{T_{LC}} + 2 f_{yB1} + 2$	$9 \frac{z}{T_{LC}} + 11 f_{yB1} + 2$

横向位置	BSP-1P, BSP-2P	BSP-1S, BSP-2S
$y \geq 0$	$f_{yz} = 2 \frac{z}{T_{LC}} + 2.5 f_{yB1} + 0.5$	$f_{yz} = \frac{2}{3} \frac{z}{T_{LC}} + \frac{1}{2} f_{yB1} + 0.5$
$y < 0$	$f_{yz} = \frac{2}{3} \frac{z}{T_{LC}} + \frac{1}{2} f_{yB1} + 0.5$	$f_{yz} = 2 \frac{z}{T_{LC}} + 2.5 f_{yB1} + 0.5$

1.4 用于疲劳评估的外部动压力

1.4.5 用于 BSP 载荷工况的水动压力

用于 BSP-1 和 BSP-2 载荷工况的任一载荷点的水动压力 P_W , kN/m^2 , 应从表 1.4.5 (1) 中得到。

用于 BSP 载荷工况的水动压力 表 1.4.5 (1)

载荷工况	水动压力, kN/m^2		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq 2h_W + T_{LC}$	$z > 2h_W + T_{LC}$
BSP-1P	$P_W = \max(P_{BSP}, \rho g(z - T_{LC}))$	$P_W = P_{W,WL} - \frac{1}{2} \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0$
BSP-2P	$P_W = \max(-P_{BSP}, \rho g(z - T_{LC}))$		
BSP-1S	$P_W = \max(P_{BSP}, \rho g(z - T_{LC}))$		
BSP-2S	$P_W = \max(-P_{BSP}, \rho g(z - T_{LC}))$		

其中:

$$P_{BSP} = 0.8 f_p f_{yz} C_s \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

$$P_{BSP} = 4.5 f_p f_{yz} C_s \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

λ —— 动载荷工况的波长, m , 取为:

$$\lambda = 0.2(1 + 2f_T)L$$

f_p —— 系数, 取为:

$$f_p = f_{fa} [0.2 + (8 + 16f_T) \times 10^{-3}]$$

f_{yz} —— 周长分布系数, 由表 1.4.5 (2) 得到。

用于 BSP 载荷工况的周长分布系数 f_{yz}

表 1.4.5 (2)

横向位置	BSP-1P, BSP-2P	BSP-1S, BSP-2S
$y \geq 0$	$9 \frac{z}{T_{LC}} + 11 f_{yB1} + 2$	$3 \frac{z}{T_{LC}} + 2 f_{yB1} + 2$
$y < 0$	$3 \frac{z}{T_{LC}} + 2 f_{yB1} + 2$	$9 \frac{z}{T_{LC}} + 11 f_{yB1} + 2$

横向位置	BSP-1P, BSP-2P	BSP-1S, BSP-2S
$y \geq 0$	$f_{yz} = 2 \frac{z}{T_{LC}} + 2.5 f_{yB1} + 0.5$	$f_{yz} = \frac{2}{3} \frac{z}{T_{LC}} + \frac{1}{2} f_{yB1} + 0.5$
$y < 0$	$f_{yz} = \frac{2}{3} \frac{z}{T_{LC}} + \frac{1}{2} f_{yB1} + 0.5$	$f_{yz} = 2 \frac{z}{T_{LC}} + 2.5 f_{yB1} + 0.5$

1.4.6 用于 OST 载荷工况的水动压力

用于 OST-1 和 OST-2 载荷工况的任一载荷点的水动压力 P_W , kN/m^2 , 应从表 1.4.6 (1) 中得到。

用于 OST 载荷工况的水动压力

表 1.4.6 (1)

载荷工况	水动压力, kN/m^2		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq 2h_W + T_{LC}$	$z > 2h_W + T_{LC}$
OST-1P	$P_W = \max(-P_{OST}, \rho g(z - T_{LC}))$	$P_W = P_{W,WL} - \frac{1}{2} \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0$
OST-2P	$P_W = \max(P_{OST}, \rho g(z - T_{LC}))$		
OST-1S	$P_W = \max(-P_{OST}, \rho g(z - T_{LC}))$		
OST-2S	$P_W = \max(P_{OST}, \rho g(z - T_{LC}))$		

其中:

$$P_{OST} = 0.18 f_{ja} k_a k_p f_{yz} C_s \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

f_{yz} —— 周长分布系数, 由表 1.4.6 (2) 得到。

用于 OST 载荷工况的周长分布系数 f_{yz}

表 1.4.6 (2)

横向位置	OST-1P, OST-2P	OST-1S, OST-2S
$y \geq 0$	$(46.16 - 8.16 f_T) \frac{z}{T_{LC}} + (17.15 - 15.15 f_T) f_{yB} + 4$	$(25.8 - 23.3 f_T) \frac{z}{T_{LC}} + (14.32 - 9.32 f_T) f_{yB} + 4$
$y < 0$	$(25.8 - 23.3 f_T) \frac{z}{T_{LC}} + (14.32 - 9.32 f_T) f_{yB} + 4$	$(46.16 - 8.16 f_T) \frac{z}{T_{LC}} + (17.15 - 15.15 f_T) f_{yB} + 4$

横向位置	OST-1P, OST-2P	OST-1S, OST-2S
$y \geq 0$	$\frac{(12.16 - 4.16f_T)z}{T_{LC}} + (9.15 - 7.15f_T)f_{yB} + 4$	$\frac{(13.8 - 11.3f_T)z}{T_{LC}} + (10.32 - 5.32f_T)f_{yB} + 4$
$y < 0$	$\frac{(13.8 - 11.3f_T)z}{T_{LC}} + (10.32 - 5.32f_T)f_{yB} + 4$	$\frac{(12.16 - 4.16f_T)z}{T_{LC}} + (9.15 - 7.15f_T)f_{yB} + 4$

λ —— 动载荷工况的波长, m , 取为:

$$\lambda = 0.45L$$

k_a —— 由表 1.4.6 (3) 得到的幅值系数, 位于其间的值通过线性内插得到。

用于 OST 载荷工况的 k_a 值 表 1.4.6 (3)

横向位置	纵向位置 f_{xL}	OST-1P, OST-2P	OST-1S, OST-2S
$y \geq 0$	0	$4.03 - 2.7f_{yB} - 0.93f_T + A(2 - 2.4f_{yB})$	$4.03 - 2.9f_{yB} - 0.93f_T + 2A(1 - f_{yB})$
	0.1	$0.84 - 0.9f_{yB} + 1.16f_T + A(1 - 0.8f_{yB})$	$0.84 - 1.3f_{yB} + 1.16f_T + A(1 - f_{yB})$
	0.2	$0.7f_T - 0.2Af_{yB}$	$0.7f_T$
	0.3	$0.87 - 0.47f_T - 0.3f_{yB} - 0.8Af_{yB}$	$0.87 - 0.47f_T$
	$0.41 + 0.23f_T$	$0.87 + 0.23f_T + 0.2f_{yB} + 0.4Af_{yB}$	$0.87 + 0.23f_T$
	0.8	$0.73 - 0.6f_{yB} + 0.47f_T + A(0.5 - 0.9f_{yB})$	$0.73 - 0.8f_{yB} + 0.47f_T + 0.5A(1 - f_{yB})$
	1.0	$3.17 - 4f_{yB} + 2.33f_T + A(1 - 1.2f_{yB})$	$3.17 - 3.9f_{yB} + 2.33f_T + A(1 - f_{yB})$
$y < 0$	0	$4.03 - 2.9f_{yB} - 0.93f_T + 2A(1 - f_{yB})$	$4.03 - 2.7f_{yB} - 0.93f_T + A(2 - 2.4f_{yB})$
	0.1	$0.84 - 1.3f_{yB} + 1.16f_T + A(1 - f_{yB})$	$0.84 - 0.9f_{yB} + 1.16f_T + A(1 - 0.8f_{yB})$
	0.2	$0.7f_T$	$0.7f_T - 0.2Af_{yB}$
	0.3	$0.87 - 0.47f_T$	$0.87 - 0.47f_T - 0.3f_{yB} - 0.8Af_{yB}$
	$0.41 + 0.23f_T$	$0.87 + 0.23f_T$	$0.87 + 0.23f_T + 0.2f_{yB} + 0.4Af_{yB}$
	0.8	$0.73 - 0.8f_{yB} + 0.47f_T + 0.5A(1 - f_{yB})$	$0.73 - 0.6f_{yB} + 0.47f_T + A(0.5 - 0.9f_{yB})$
	1.0	$3.17 - 3.9f_{yB} + 2.33f_T + A(1 - f_{yB})$	$3.17 - 4f_{yB} + 2.33f_T + A(1 - 1.2f_{yB})$

其中: $A = -2.33f_T + 1.33$

横向位置	纵向位置 f_{xL}	OST-1P, OST-2P	OST-1S, OST-2S
$y \geq 0$	0	$4.03 - 2.7f_{yB} - 0.93f_T + A(2 - 2.4f_{yB})$	$4.03 - 2.9f_{yB} - 0.93f_T + 2A(1 - f_{yB})$
	0.1	$0.84 - 0.9f_{yB} + 1.16f_T + A(1 - 0.8f_{yB})$	$0.84 - 1.3f_{yB} + 1.16f_T + A(1 - f_{yB})$
	0.2	$0.7f_T - 0.2Af_{yB}$	$0.7f_T$
	0.3	$0.87 - (0.47 - 0.3f_{yB})f_T - 0.1f_{yB} - 0.3Af_{yB}$	$0.87 - 0.47f_T$
	$0.41 + 0.23f_T$	$0.27 + (0.47 + 0.16f_{yB})f_T + 0.2f_{yB} + 0.2Af_{yB}$	$0.27 + (0.47 + 0.36f_{yB})f_T$
	0.8	$0.73 - 0.6f_{yB} + 0.47f_T + A(0.5 - 0.9f_{yB})$	$0.73 - 0.8f_{yB} + 0.47f_T + 0.5A(1 - f_{yB})$
	1.0	$3.67 - 4f_{yB} + 2.33f_T + A(1 - 1.2f_{yB})$	$3.67 - 3.4f_{yB} + 2.33f_T + A(1 - f_{yB})$
$y < 0$	0	$4.03 - 2.9f_{yB} - 0.93f_T + 2A(1 - f_{yB})$	$4.03 - 2.7f_{yB} - 0.93f_T + A(2 - 2.4f_{yB})$
	0.1	$0.84 - 1.3f_{yB} + 1.16f_T + A(1 - f_{yB})$	$0.84 - 0.9f_{yB} + 1.16f_T + A(1 - 0.8f_{yB})$
	0.2	$0.7f_T$	$0.7f_T - 0.2Af_{yB}$

横向位置	纵向位置 f_{xL}	OST-1P, OST-2P	OST-1S, OST-2S
	<u>0.3</u>	<u>$0.87 - 0.47f_T$</u>	<u>$0.87 - (0.47 - 0.3f_{yB})f_T - 0.1f_{yB} - 0.3Af_{yB}$</u>
	<u>$0.41 + 0.23f_T$</u>	<u>$0.27 + (0.47 + 0.36f_{yB})f_T$</u>	<u>$0.27 + (0.47 + 0.16f_{yB})f_T + 0.2f_{yB} + 0.2Af_{yB}$</u>
	<u>0.8</u>	<u>$0.73 - 0.8f_{yB} + 0.47f_T + 0.5A(1 - f_{yB})$</u>	<u>$0.73 - 0.6f_{yB} + 0.47f_T + A(0.5 - 0.9f_{yB})$</u>
	<u>1.0</u>	<u>$3.67 - 3.4f_{yB} + 2.33f_T + A(1 - f_{yB})$</u>	<u>$3.67 - 4f_{yB} + 2.33f_T + A(1 - 1.2f_{yB})$</u>
其中: <u>$A = -2.33f_T + 1.33$</u>			

用于 OST 荷载工况的 k_p 值

表 1.4.6 (4)

横向位置	f_{yL}	OST-1P; OST-2P	OST-1S; OST-2S
$y \geq 0$	0.0	$-0.6 - 0.1f_{yB} - A(0.3 + 0.2f_{yB})$	$-0.6 - 0.1f_{yB} - 0.3A(1 - f_{yB})$
	0.1	$0.6 - A(0.5f_{yB} + 0.2)$	$0.6 - 1.6f_{yB} + A(1.9f_{yB} - 0.2)$
	0.2	$0.6 + 0.2f_{yB} - A(1.1f_{yB} + 0.4)$	$-0.6 - 1.1f_{yB} + A(1.9f_{yB} - 0.4)$
	0.35	$-0.8 + 1.1f_{yB} = 1.3Af_{yB}$	$-0.8 - 0.2f_{yB}$
	0.65	$1 - 0.1f_{yB} + 0.2Af_{yB}$	$1 - 1.5f_{yB} + 0.8Af_{yB}$
	0.8	$-0.4 + 0.4f_{yB} = 0.2A$	$-0.4 - 0.2f_{yB} + A(1.5f_{yB} - 0.2)$
	0.9	$-0.8 + 0.6f_{yB} = 0.7Af_{yB}$	$-0.8 + 0.1Af_{yB}$
	1.0	$-1 + 0.6f_{yB} + A(0.1 - 0.4f_{yB})$	$-1 + 0.1A$
$y < 0$	0.0	$-0.6 - 0.1f_{yB} - 0.3A(1 - f_{yB})$	$-0.6 - 0.1f_{yB} - A(0.3 + 0.2f_{yB})$
	0.1	$0.6 - 1.6f_{yB} + A(1.9f_{yB} - 0.2)$	$-0.6 - A(0.5f_{yB} + 0.2)$
	0.2	$-0.6 - 1.1f_{yB} + A(1.9f_{yB} - 0.4)$	$0.6 + 0.2f_{yB} - A(1.1f_{yB} + 0.4)$
	0.35	$-0.8 - 0.2f_{yB}$	$-0.8 + 1.1f_{yB} = 1.3Af_{yB}$
	0.65	$1 - 1.5f_{yB} + 0.8Af_{yB}$	$1 - 0.1f_{yB} + 0.2Af_{yB}$
	0.8	$-0.4 - 0.2f_{yB} + A(1.5f_{yB} - 0.2)$	$-0.4 + 0.4f_{yB} = 0.2A$
	0.9	$-0.8 + 0.1Af_{yB}$	$-0.8 + 0.6f_{yB} = 0.7Af_{yB}$
	1.0	$-1 + 0.1A$	$-1 + 0.6f_{yB} + A(0.1 - 0.4f_{yB})$
其中: $A = -2.33f_T + 1.33$			

横向位置	f_{yL}	OST-1P; OST-2P	OST-1S; OST-2S
<u>$y \geq 0$</u>	<u>0.0</u>	<u>$0.3 - 0.2f_{yB} - A(0.2f_{yB} - 0.1)$</u>	<u>$0.3 + 0.2f_{yB} - A(0.2 - 0.1f_{yB})$</u>

横向位置	f_{yL}	OST-1P; OST-2P	OST-1S; OST-2S
	<u>0.1</u>	<u>$0.1 - 0.7f_{yB} + A(0.5f_{yB} - 0.4)$</u>	<u>$0.1 + 0.5f_{yB} + A(5f_{yB} - 0.4)$</u>
	<u>0.2</u>	<u>$-0.1 - 0.5f_{yB} - A(1.1f_{yB} - 1)$</u>	<u>$-0.1 + f_{yB} - A(1.1f_{yB} - 1)$</u>
	<u>0.3+0.2ft</u>	<u>$1.2 - 0.1f_{yB} - A(1.1f_{yB} - 1)$</u>	<u>$1.2 - 2.1f_{yB}$</u>
	<u>0.65</u>	<u>$1.1 - 0.1f_{yB} + 0.1Af_{yB}$</u>	<u>$1.1 - 0.9f_{yB} + 0.1Af_{yB}$</u>
	<u>0.8</u>	<u>$-0.5 + 0.4f_{yB} - 0.1A$</u>	<u>$-0.5 + 0.1f_{yB} - 0.1A$</u>
	<u>0.9</u>	<u>$-1.4 + 0.6f_{yB} - 0.1Af_{yB}$</u>	<u>$-1.4 + 0.7f_{yB}$</u>
	<u>1.0</u>	<u>$-1 + 0.6f_{yB} + A(0.1 - 0.4f_{yB})$</u>	<u>$-1 + 0.1A$</u>
<u>$y < 0$</u>	<u>0.0</u>	<u>$0.3 + 0.2f_{yB} - A(0.2 - 0.1f_{yB})$</u>	<u>$0.3 - 0.2f_{yB} - A(0.2f_{yB} - 0.1)$</u>
	<u>0.1</u>	<u>$0.1 + 0.5f_{yB} + A(5f_{yB} - 0.4)$</u>	<u>$0.1 - 0.7f_{yB} + A(0.5f_{yB} - 0.4)$</u>
	<u>0.2</u>	<u>$-0.1 + f_{yB} - A(1.1f_{yB} - 1)$</u>	<u>$-0.1 - 0.5f_{yB} - A(1.1f_{yB} - 1)$</u>
	<u>0.3+0.2ft</u>	<u>$1.2 - 2.1f_{yB}$</u>	<u>$1.2 - 0.1f_{yB} - A(1.1f_{yB} - 1)$</u>
	<u>0.65</u>	<u>$1.1 - 0.9f_{yB} + 0.1Af_{yB}$</u>	<u>$1.1 - 0.1f_{yB} + 0.1Af_{yB}$</u>
	<u>0.8</u>	<u>$-0.5 + 0.1f_{yB} - 0.1A$</u>	<u>$-0.5 + 0.4f_{yB} - 0.1A$</u>
	<u>0.9</u>	<u>$-1.4 + 0.7f_{yB}$</u>	<u>$-1.4 + 0.6f_{yB} - 0.1Af_{yB}$</u>
	<u>1.0</u>	<u>$-1 + 0.1A$</u>	<u>$-1 + 0.6f_{yB} + A(0.1 - 0.4f_{yB})$</u>
其中: <u>$A = -2.33f_T + 1.33$</u>			

3 首部区域的外部冲击压力

3.2 船首底部砰击压力

3.2.1 砰击压力极值

选取距尾垂线 $0.85L_{PP}$ 剖面作为计算横剖面，底部砰击压力极值 P_{SE} ， kN/m^2 ，按下式计算：

$$-P_{SE}(\alpha) = \frac{1}{2} \rho k_1 C_{ps} \left\{ V_0^2 - 2E_v \ln \left[1 - (1 - \alpha)^{1/n} \right] \right\}$$

式中： ρ ——海水密度， t/m^3 ，取为 1.025；

k_1 ——砰击系数，按表 3.2.1 选取，中间值可采用线性插值法求得；

——砰击系数 k_1 ——表 3.2.1

b_1/d_1	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0
k_1	4.0	9.5	20.0	26.0	29.5	32.0	33.0	34.2	35.3	36.2

注： d_1 —— $T_{SC}/10$ 吃水，m；

—— b_1 —— d_1 吃水下的计算横剖面水线半宽，m；

—— C_{ps} ——系数，取为 0.44；

V_0 ——临界砰击速度，m/s，按下式计算：

$$V_0 = 0.0925\sqrt{L}$$

α ——保证率，取为 0.01；

n ——砰击次数，取为 t_n 小时内平均砰击次数 N ，按下式计算：

$$N = 3600 \frac{t_n}{2\pi} \frac{\sqrt{E_v}}{\sqrt{E_r}} \exp \left\{ - \left(\frac{T_f^2}{2E_r} + \frac{V_0^2}{2E_v} \right) \right\}$$

其中：

t_n ——计算航行时间，h，按下式选取：

$t_n = 41$ ——对于 $L \leq 77m$ ；

$t_n = 35$ ——对于 $L \geq 160m$ ；

t_n 中间值可采用线性插值法求得。

T_f ——最小首吃水航行工况下计算横剖面的吃水，m；

E_r 、 E_v ——计算横剖面的垂向船波相对运动方差和相对速度方差，分别按下式计算：

$$E_r = 0.25(C_{pc}M_r)^2/f_r$$

$$E_v = 0.25(\omega_e C_{pc}M_r)^2/f_v$$

其中： C_{pc} ——垂向相对运动概率修正系数，取为 1.2；

ω_e ——遭遇频率，rad/s，按下式计算：

$$\omega_e = \omega \left(1 + \frac{0.4\omega V_c}{g} \right)$$

ω ——基于 80% 船长 L 的有效波频，rad/s，按下式计算：

$$\omega = \frac{\sqrt{2\pi g}}{\sqrt{0.8L}}$$

V_c ——计算航速，m/s，按下式计算：

$$V_c = 0.5144V$$

其中： M_r ——计算剖面垂向船波相对运动，m，按下式计算：

$$M_r = H_{\min} \left[1 + \frac{4.5}{C_b + 0.2} \left(\frac{x_a}{L} - \frac{x_m}{L} \right)^2 \right]$$

H_{\min} ——最小计算波高，m，按下式计算：

$$H_{\min} = \frac{0.0545}{k_m} L (C_b + 0.2)^{0.3} \exp(-0.0044L)$$

x_a ——计算剖面距尾垂线纵向位置, m;

x_m ——系数, 按下式计算, 取不小于 0.2:

$$x_m = 0.45 - \frac{0.309V}{\sqrt{gL}}$$

k_m ——系数, 按下式计算:

$$k_m = 1 + \frac{4.5(0.5 - x_m)^2}{C_b + 0.2}$$

f_r 、 f_v ——系数, 按下式确定:

$$f_r = -0.00411L + 4.1$$

$$f_v = -0.011L + 5.1$$

3.2.2 剖面砰击压力

各剖面砰击压力 P_{SL} 按下式计算:

$$P_{SL} = eP_{SE}$$

式中: e ——砰击压力纵向修正系数, 见表 3.2.2;

P_{SE} ——底部砰击压力极值, kPa, 见本节[3.2.1];

修正系数 e

表 3.2.2

位置	e
从距首垂线($X-0.125L$)至距首垂线 X 之间	$\frac{2f-1}{0.05-C_b}$
从首垂线至距首垂线($X-0.2L$)之间	$0.5 + \frac{f}{0.9-C_b}$
其余位置	1

注: C_b ——方形系数, 当 $C_b < 0.7$ 时, $C_b = 0.7$, 当 $C_b > 0.8$ 时 $C_b = 0.8$;

f ——剖面位置至首垂线的距离与船长 L 之比;

X ——船首底部砰击加强范围, 见第 6 章第 7 节[3.1.1]。

3.2.1 剖面砰击压力

各剖面砰击压力 P_{SL} , kN/m², 按下式计算:

$$P_{SL} = eP_{SE}$$

式中: P_{SE} ——底部砰击压力极值, kN/m², 见[3.2.2];

e ——砰击压力纵向修正系数, 见表 3.2.1 和图 3.2.1;

修正系数 e

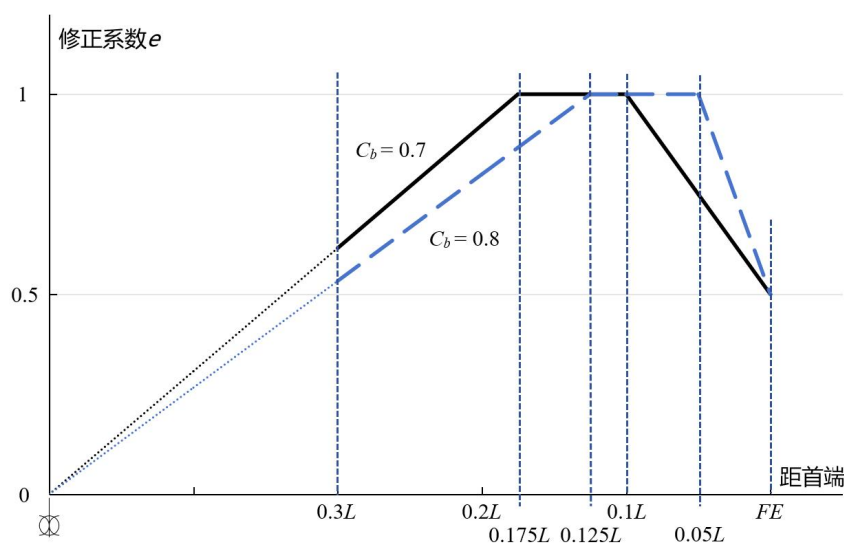
表 3.2.1

位置	e
从距首端($X-0.125L$)至距首端 X 之间	$\frac{2f-1}{0.05-C_b}$
从首端至距首端($X-0.2L$)之间	$0.5 + \frac{f}{0.9-C_b}$
其余位置	1

注: C_b —— 方形系数, 当 $C_b < 0.7$ 时, $C_b = 0.7$, 当 $C_b > 0.8$ 时 $C_b = 0.8$;

f —— 剖面位置至首端的距离与船长 L 之比;

X —— 船首底部砰击加强范围, 见第 6 章第 7 节[3.1.1]。

图 3.2.1 修正系数 e

3.2.2 底部砰击压力极值

底部砰击压力极值 P_{SE} , kN/m^2 , 在 $e=1$ 的相应位置对各肋骨横剖面计算并取最大值,

按下式计算:

$$P_{SE}(\alpha) = \frac{1}{2} \rho k_1 C_{ps} \left\{ V_0^2 - 2E_v \ln \left[1 - (1-\alpha)^{1/n} \right] \right\}$$

式中: ρ —— 海水密度, t/m^3 , 取为 1.025;

k_1 —— 砰击系数, 按表 3.2.2(1)选取, 中间值可采用线性插值法求得;

砰击系数 k_1

表 3.2.2(1)

b_1/d_1	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0
$C_b \leq 0.73$	4.0	9.5	20.0	26.0	29.5	32.0	33.0	34.2	35.3	36.2
$C_b > 0.73$	4.0	9.5	20.0	26.0	28.5	29.6	30.0	29.6	28.8	28.0

注: d_1 —— $T_{SC}/10$ 吃水, m ;

$\underline{b_1}$ —— $\underline{d_1}$ 吃水下的计算横剖面水线半宽, m;

$\underline{C_{ps}}$ —— 系数, 取为 0.44;

$\underline{V_0}$ —— 临界砰击速度, m/s, 按下式计算:

$$\underline{V_0} = \begin{cases} 0.0925\sqrt{gL}, & C_b \leq 0.73 \\ 0.07\sqrt{gL}, & C_b > 0.73 \end{cases}$$

$\underline{\alpha}$ —— 保证率, 取为 0.01;

\underline{n} —— 砰击次数, 取为 $\underline{t_n}$ 小时内平均砰击次数 N , 按下式计算:

$$\underline{N} = 3600 \frac{\underline{t_n}}{2\pi} \sqrt{\frac{E_v}{E_r}} \exp \left\{ - \left(\frac{T_f^2}{2E_r} + \frac{V_0^2}{2E_v} \right) \right\}$$

其中:

$\underline{t_n}$ —— 计算航行时间, h, 按下式选取:

$$\underline{t_n} = 41 \quad \text{对于 } L \leq 77m ;$$

$$\underline{t_n} = 35 \quad \text{对于 } L \geq 160m ;$$

$\underline{t_n}$ 中间值可采用线性插值法求得。

$\underline{T_f}$ —— 最小首吃水航行工况下计算横剖面的吃水, m;

$\underline{E_r}$ 、 $\underline{E_v}$ —— 计算横剖面垂向船波相对运动方差和相对速度方差, 分别按下式计算:

$$\underline{E_r} = 0.25 (C_{pc} M_r)^2 / f_r$$

$$\underline{E_v} = 0.25 (\omega_e C_{pc} M_r)^2 / f_v$$

其中: $\underline{C_{pc}}$ —— 垂向相对运动概率修正系数, 取为 1.2;

$\underline{\omega_e}$ —— 遭遇频率, rad/s, 按下式计算:

$$\underline{\omega_e} = \omega \left(1 + \frac{0.4\omega V_c}{g} \right)$$

$\underline{\omega}$ —— 基于 80% 船长 L 的有效波频, rad/s, 按下式计算:

$$\underline{\omega} = \sqrt{\frac{2\pi g}{0.8L}}$$

$\underline{V_c}$ —— 计算航速, m/s, 按下式计算:

$$\underline{V_c} = 0.5144V$$

其中: $\underline{M_r}$ —— 计算剖面垂向船波相对运动, m, 按下式计算:

$$\underline{M_r} = H_{\min} \left[1 + \frac{4.5}{C_b + 0.2} \left(\frac{x_a}{L} - x_m \right)^2 \right]$$

$\underline{H_{\min}}$ —— 最小计算波高, m, 按下式计算:

$$H_{\min} = \frac{0.0545}{k_m} L (C_b + 0.2)^{0.3} \exp(-0.0044L)$$

x_a —— 计算剖面距尾端纵向位置, m;

x_m —— 系数, 按下式计算, 取不小于 0.2:

$$x_m = 0.45 - \frac{0.309V}{\sqrt{gL}}$$

k_m —— 系数, 按下式计算:

$$k_m = 1 + \frac{4.5(0.5 - x_m)^2}{C_b + 0.2}$$

f_r 、 f_v —— 沿船长分布的系数, 按下式确定:

$$f_r、f_v = \begin{cases} \text{按表 3.2.2(2) 选取,} & \text{当 } L \leq 200\text{m 时} \\ \text{根据船长线性插值,} & \text{当 } 200\text{m} < L < 300\text{m 时} \\ \text{按表 3.2.2(3) 选取,} & \text{当 } L \geq 300\text{m 时} \end{cases}$$

系数 f_r 、 f_v 表 3.2.2(2)

x_a / L	0.80	0.85	0.90	0.95
f_r	7.30	5.03	3.86	3.21
f_v	4.08	3.39	3.01	2.70

系数 f_r 、 f_v 表 3.2.2(3)

x_a / L	0.80	0.85	0.90	0.95
f_r	3.15	2.52	2.21	2.08
f_v	1.00	1.00	1.00	1.00

3.2.3 首部相对运动直接计算

剖面砰击压力计算时, 计算横剖面的垂向船波相对运动方差 E_r 和相对速度方差 E_v 也可按本条规定进行直接计算确定, 即等于按谱分析方法分别给出的运动响应 0 阶矩。此时, 各计算剖面的 E_r 和 E_v 按直接计算方法分别给出, 砰击压力 P_{SL} 以取为该剖面砰击压力极值的 P_{SE} 实际计算值替代。

直接计算应采用根据装载手册确定的具有航行状态下最小首吃水的装载工况。

(1) 海浪的功率谱密度函数 $S(\omega)$ 采用双参数 P-M 谱, 按下式计算:

$$S(\omega) = \frac{124H_s^2}{T_z^4} \omega^{-5} \exp\left(-\frac{496}{T_z^4} \omega^{-4}\right) f_0(\theta)$$

式中： H_s ——有义波高，m；

T_z ——平均跨零周期，s；

ω ——波浪圆频率，rad/s；

$f_0(\theta)$ ——波浪扩散函数，按下式计算：

$$f_0(\theta) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \cos^2(\theta - \theta_m), & |\theta - \theta_m| < 90 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

式中： θ ——扩展浪向，deg(°)；

θ_m ——主浪向，deg(°)。

(2) 砰击压力计算采用短期海况极值预报，有义波高 H_s 按下式计算：

$$H_s = 8 - 0.6 \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} \quad \text{m, 对于 } L < 300\text{m}$$

$$H_s = 8 + 0.6 \left(\frac{L - 300}{100} \right)^{1.5} \quad \text{m, 对于 } L \geq 300\text{m}$$

平均跨零周期 T_z 及计算航行时间 t_n 按表 3.2.3 选取，中间值可采用线性插值法求得。

海浪条件选取

表 3.2.3

有义波高 H_s (m)	6.0	7.0	8.0	9.0
平均跨零周期 T_z (s)	8.703	9.400	9.990	10.503
计算航行时间 t_n (h)	41	35	35	35

(3) 计算航速采用 $0.75V$ 。

(4) 计算航向角取顶浪和顶斜浪工况，浪向角间隔不大于 30 度。

(5) 计算波浪频率范围取为 0.2 到 1.8rad/s，步长取 0.05rad/s。

(6) 线性横摇阻尼可采用试验或经验公式确定，如无适用，可取为横摇临界阻尼值的 5%。

(7) 当相对运动采用直接计算时，本节[3.1+2.2]中的砰击系数 k_1 ，按下式计算：

$$k_1 = \exp(1.377 + 2.419a_1 - 0.873a_3 + 9.624a_5)$$

式中： a_1, a_3, a_5 —— d_1 吃水下的计算横剖面按下式三参数保角变换方程映射到单位圆的系数：

$$Z_0 = U(\zeta + a_1\zeta^{-1} + a_3\zeta^{-3} + a_5\zeta^{-5})$$

Z_0 ——剖面坐标；

ζ ——圆的坐标；

$$U \text{——尺度比, } U = \frac{d_1}{1 - a_1 + a_3 - a_5}。$$

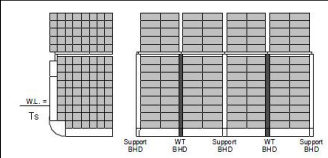
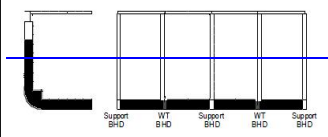
第 8 节 装载工况

5 疲劳评估的设计装载工况

5.1 集装箱船疲劳评估的设计载荷工况

5.1.1 按照第 10 章第 1 节[6.2]中的要求, 集装箱船舱段有限元疲劳强度评估的设计载荷工况见本节表 5.1.1。

适用于除最首和最尾货舱以外的集装箱船疲劳评估的设计工况 表 5.1.1

编号	描述	装载模式	静载荷		动载荷工况
			吃水	C_{BM-LC} : %许用静水弯矩百分数	
1	满载		T_{SC}	90% (中拱)	HVM、HVS、BSR、 BSP、OST、OHM、 OHS
2	正常压载		T_{BAL}	80% (中拱)	HVM、HVS、BSR、 BSP、OST、OHM、 OHS

注：满载装载时，应取装载手册中产生最大静水弯矩时的满载工况。

第 5 章 船体梁强度

第 2 节 船体梁屈服强度

1 剖面模数

1.1 最小剖面净模数

1.1.2 纵向连续构件尺寸可向船中 $0.4L$ 区域的两端逐渐减小。若船舶甲板或底部区域有部分纵向强力构件作为压载水舱的边界，且这些液舱具有有效的防腐蚀系统，则允许这些边界的尺寸有一些折减，但任何情况下最小船体梁剖面模数的折减都不能超过 5%。

2.3 翘曲正应力和剪切应力计算方法

2.3.2 作为替代方法，翘曲正应力 σ_w 和剪切应力 τ_w 可采用整船有限元模型计算或其他等效方法，且应取得CCS的同意。

第 6 章 船体局部构件尺寸要求

第 1 节 一般规定

2 载荷组合

2.1 船体梁应力

2.1.2 翘曲应力的计算

通常, 应按照第 5 章第 2 节[2.3]的要求计算船体梁翘曲应力。如未开展基于薄壁梁模型的船体梁翘曲应力计算或整船直接计算, 船体梁翘曲应力, N/mm^2 , 可按下列式计算:

$$\sigma_w = \frac{B_i \omega_{n50}}{I_{\omega-n50}} 10^{-3}$$

式中: B_i ——双力矩, kNm^2 , 见第 4 章第 4 节[4]。

ω_{n50} ——所考虑横剖面构件的净扇性坐标, m^2 。

$I_{\omega-n50}$ ——所考虑横剖面净扇性惯性矩, m^6 。

第 2 节 最小厚度

1 板

1.1 最小厚度要求

1.1.1 板的净厚度，mm，应符合表 1.1.1 中给出的适当的最小厚度要求。

板的最小净厚度

表 1.1.1

构件	位置	区域	净厚度
外板	平板龙骨	-	$6.5+0.035 L_2$
	船底板 舦列板	首部 机器处所 艏部	$6.5+0.03 L_2$
		其他处所	$4.5+0.03 L_2$
	舷侧外板	艏部	$5.0+0.03 L_2^{(1)}$
		机器处所 艏部	$4.5+0.03 L_2$
		其他处所	$4.0+0.03 L_2$
甲板	露天甲板，强力甲板	-	$4.5+0.02 L_2$
	平台甲板，边舱平台板	机器处所	$5.0+0.015 L_2$
其他处所		$4.5+0.01 L_2$	
内底板 ⁽²⁾	-	机器处所	$6.5+0.025 L_2$
	-	其他处所	$5.0+0.015 L_2$
舱壁	内部液舱边界，水密横/纵舱壁	-	$4.0+0.015 L_2$
	非密性舱壁，制荡舱壁，干舱间舱壁	-	$4.0+0.01 L_2$
	首、尾尖舱的支柱舱壁	-	7.5
其他构件	机舱棚（位于货舱区域）	货舱区域	5.5
	机舱棚（位于居住舱室处）	居住舱室	4.0
	其他普通板	-	$4.0+0.01 L_2$
(1) 建造厚度不必大于 16mm；			
(2) 同时适用于密性构件或非密性构件。			

构件	位置	区域	净厚度
外板	平板龙骨	-	$6.5+0.03 L_2$
	船底板 舦列板	首部	$5.0+0.03 L_2$
		机器处所、尾部	$4.5+0.03 L_2$
		其他处所	$4.5+0.03 L_2$
舷侧外板	首部	$5.0+0.03 L_2$	

构件	位置	区域	净厚度
		机器处所、尾部	$4.5+0.03 L_2$
		$T_{Sc}+2.0m$ 以下的其他处所	$4.0+0.025 L_2$
		$T_{Sc}+2.0m$ 以上的其他处所	$4.5+0.015 L_2$
甲板	露天甲板 ^③ ，强力甲板 ^②	=	$4.5+0.02 L_2$
	平台甲板，货物甲板，内部液舱边界	机器处所 ^④	$4.5+0.015 L_2$
		其他处所	$4.5+0.01 L_2$
内底板 ^①	=	机器处所、货舱区域 ^⑤	$5.5+0.025 L_2$
		其他处所	$5.0+0.015 L_2$
舱壁	内部液舱边界，水密横/纵舱壁，尾尖舱舱壁	=	$4.0+0.015 L_2$
	非密性舱壁，制荡舱壁，干舱间舱壁	=	$4.0+0.01 L_2$
	首、尾尖舱的支柱舱壁	=	$4.0+0.01 L_2$
其他构件	机舱棚（位于货舱区域）	货舱区域	5.5
	机舱棚（位于居住舱室处）	居住舱室	4.0
	其他普通板	=	$4.0+0.01 L_2$

注：① 适用于密性或非密性构件；
② 对于船舶设置两层连续甲板，可取为 $4.5+0.015 L_2$ ；对船舶设置两层以上连续甲板，可取为 $4.5+0.01 L_2$ ；
③ 对于未参与总纵强度甲板，可取为 $4.5+0.01 L_2$ ；
④ 对于非承重的非水密平台甲板，可取为 $4.5+0.01 L_2$ ；
⑤ 集装箱船货舱按其他处所内底板最小净厚度要求。

3 主要支撑构件

3.1 最小厚度要求

3.1.1 主要支撑构件腹板和翼板的净厚度，mm，应符合表 3.1.1 中的最小净厚度。

主要支撑构件最小净厚度 表 3.1.1

构件	位置	净厚度
双层底中纵桁	机器处所	$9.5+0.015L_2$
	其他处所	$5.5+0.025L_2$
其它船底纵桁	机器处所	$8.0+0.015L_2$
	其他处所	$5.0+0.015L_2$
船底肋板	机器处所	$8.0+0.015L_2$
	船部	$6.0+0.02L_2$
	其他处所	$5.0+0.015L_2$
尾尖舱肋板	-	$7.0+0.015L_2$
舷侧横向强框架	-	$4.5+0.01 L_2$
其他主要支撑构件	-	$4.0+0.01 L_2$

构件	位置		净厚度
双层底中纵桁 ^① 、中内龙骨	机器处所		$6.0+0.025L_2$
	其他处所		$5.5+0.025L_2$
其他船底纵桁、旁内龙骨	机器处所		$6.0+0.015L_2$
	首部		$6.0+0.015L_2$
	其他处所		$5.0+0.015L_2$
船底肋板	机器处所		$6.0+0.015L_2$
	首部		$5.5+0.015L_2$
	其他处所		$5.0+0.015L_2$
尾尖舱肋板 ^②	=		$5.0+0.025L_2$
其他主要支撑构件	尾部/首部		$4.0+0.015L_2$
	其他处所	水密边界, 干货舱边界, 强力甲板 ^③ 和干舷甲板以下的外板	$4.5+0.015L_2$
		其他情况	$4.0+0.01L_2$

注: ① 箱型中桁材(管隧)按其他船底纵桁最小净厚度要求。
② 最小净厚度不必大于 10mm。
③ 对设置两层以上连续甲板的船舶, 其连续甲板结构以上区域的 PSM 最小净厚度可取为 $4.5+0.01L_2$, 且不必大于 6.5mm。

第 3 节 板

1 承受侧向压力的板

1.1 屈服校核

1.1.1 承受侧向压力的板净厚度 t , mm, 应不小于本章第 21 节[2.4.3]中所有设计载荷组相应计算所得结果的最大值:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{\chi C_a R_{eH}}}$$

式中:

C_a ——板的许用弯曲应力系数, 取:

$$C_a = \beta - \alpha \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}, \text{ 取不大于 } C_{a-max};$$

β ——表 1.1.1 中定义的系数;

α ——表 1.1.1 中定义的系数;

C_{a-max} ——表 1.1.1 中定义的最大许用弯曲应力系数。

2.3 舷侧板

2.3.1 护舷材接触区域

位于[2.3.2]规定的护舷材接触区域内的舷侧板净厚度 t , mm, 应不小于:

$$t = 26 \left(\frac{b}{1000} + 0.7 \right) \left(\frac{BT_{SC}}{R_{eH}^2} \right)^{0.25}$$

2.3.2 护舷材接触区域要求的适用范围

本要求适用于货舱区域，从压载吃水 T_{BALL} 到吃水 T_{SC} 以上 $0.25T_{SC}$ (最小 2.2m)。

2.4 舷顶列板

2.3 舷顶列板

2.4.12.3.1 焊接的舷顶列板的净厚度应不小于相邻的 2 m 宽舷侧板的净提供厚度。

2.4.22.3.2 圆弧舷顶列板的净厚度应不小于以下要求的较大者：

- (1) 相邻 2m 宽甲板板的净提供厚度，或者
- (2) 相邻 2m 宽舷侧板的净提供厚度。

第 5 节 主要支撑构件和支柱

2 货舱区域的主要支撑构件

2.2 双层底纵桁

2.2.1 对于货舱区纵骨架式双层底的中桁材的厚度 t 应不小于：

$$t = f_{ab} (0.0077h_0 + 2.5) \sqrt{K} \text{ mm}$$

旁桁材的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = f_{ab} (0.0077h_0 - 2) \sqrt{K} \text{ mm}$$

式中：

f_{db} ——双层底高度修正系数， $f_{db} = h_0/h_a$ ，但取不小于 0.9；若纵桁满足第 8 章整船有限元强度评估要求， $f_{db} = h_0/h_a$ ，但取不小于 0.85；

h_0 ——双层底计算高度，mm， $h_0 = 25B_e + 42T_{se} + 300$ ，且不小于 760mm；

B_e ——舷侧内外壳中点之间的最大距离，如双层底的强度满足第 8 章整船有限元强度评估要求， B_e 的取值应不小于 $0.8B$ ，否则 B_e 应不小于 $0.9B$ ；

h_a ——双层底实际高度，mm。

第 6 节 首部、机器处所、尾部

3 尾部

3.3 尾框架

3.3.2 螺旋桨柱

(1) 螺旋桨柱的总尺寸

单螺旋桨船和双螺旋桨船的螺旋桨柱的总尺度应分别不小于按表 3.3.2(1)和表 3.3.2(2)中公式算得的值。

若螺旋桨柱剖面对其纵轴的剖面模数不小于用表 3.3.2(1)和表 3.3.2(2) (如适用) 中的螺旋桨柱尺寸计算的值, 可考虑接受与表 3.2.2(1)和表 3.2.2(2)不同的螺旋桨柱的尺寸和比例。

3.3.3 尾框底骨

(1) 尾框底骨(如图 3.3.3 所示)任一计算剖面处对垂直中和轴(Z 轴)的剖面模数 Z_z , cm^3 , 应不小于按下式计算所得值:

$$Z_z = \frac{K}{80} Px$$

式中: P ——尾框底骨对舵叶的支持力, N, 应按《钢质海船入级规范》第 2 篇第 3 章第 1 节的有关规定计算;

K ——材料系数。对于钢板组合的尾框底骨, K 为按第 3 章第 1 节表 2.2.1 所取的材料系数; 对于铸钢的尾框底骨, K 为按《钢质海船入级规范》第 2 篇第 3 章第 1 节 3.1.1.3 (5) 所取的材料系数;

x ——计算剖面至舵杆中心线的距离, m, 其取值应不小于 $0.5l_s$, l_s 为最大距离(见图 3.3.3)。

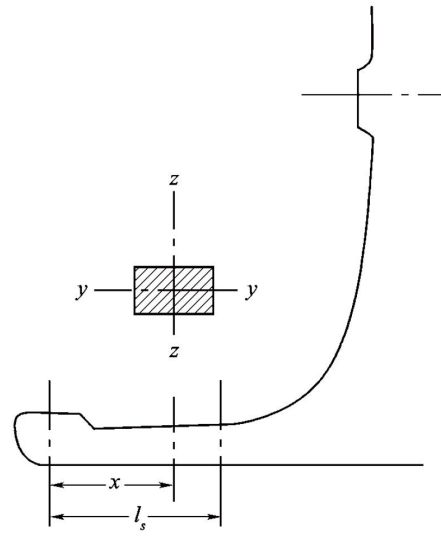


图 3.3.3 尾框底骨

(2) 尾框底骨任一计算剖面处对水平中和轴(y 轴)的剖面模数 Z_y , cm^3 , 应不小于按下式计算所得值:

$$Z_y = 0.5Z_z$$

式中: Z_z ——按本条 (1) 计算的剖面模数, cm^3 。

(3) 尾框底骨任一横剖面的剖面积 A_s , mm^2 , 应不小于按下式计算所得值:

$$A_s = \frac{K}{48} P$$

式中: P 和 K 见本条 (1)。

(4) 在长度 l_s 范围内, 尾框底骨任一横剖面上的相当应力 σ_e , N/mm^2 , 应符合下式要求:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 115/K$$

式中: $\sigma = \frac{Px}{W_z}$, N/mm², 其中 P 和 x 见本条 (1), W_z 为计算剖面对 z 轴的剖面模数, cm³;

$\tau = \frac{P}{A_s}$, N/mm², 其中 P 见本条 (1), A_s 为计算剖面的剖面积, mm²;

K 见本条 (1)。

(5) 在钢板组合的尾框底骨中, 应设置间距不超过 760mm 的横向隔板。如钢板组合的尾框底骨内宽度超过 900mm 时, 还应装设中心线垂直隔板。

(6) 尾框底骨应由推进器柱轴毂前端向船首延伸至少 3 个肋位, 并与平板龙骨牢固连接。该延伸部分的横剖面面积允许逐渐减小到与平板龙骨有效连接所需的面积。

3.3.34 连接

(1) 与船体结构连接

尾框架应与船尾结构有效连接, 尾框架的下部应向螺旋桨柱前方延伸不小于 $1500+6L_2$ mm 的长度, 以与龙骨有效连接。但尾框架不必延伸至艉尖舱舱壁以外。

(2) 与龙骨板连接

尾框架下部的厚度应逐渐过渡至实心龙骨或龙骨板的厚度。

如设有龙骨板, 尾框架下部的设计应确保与龙骨的有效连接。

(3) 与尾肋板连接

承舵柱和螺旋桨柱应与尾肋板连接, 所连接的尾肋板的高度应不小于双层底的高度, 净厚度不小于按下式求得值, mm:

$$t = 9 + 0.023L_1$$

(4) 与中内龙骨连接

如果尾框架由铸铁制成, 尾框架的下部应尽可能设置一纵向腹板以与中内龙骨连接。

第 7 节 其他特殊要求

3 船首区域碎冲击载荷下结构强度

3.1 一般要求

3.1.1 船首底部加强范围

当航行中最小首吃水小于 $0.04L$ 时, 应对其从首垂线向后的底部平坦部分进行加强。横向加强范围的边线高于基线应不小于 $0.014B$ (B 为船宽), 但不必大于 0.28m。纵向加强范围的端线距首垂线的长度 X , m, 应不小于按下式计算所得之值:

$$X = \left(0.65 - \frac{C_b}{2} \right) L$$

式中:

C_b —— 方形系数, 当 $C_b < 0.7$ 时, $C_b = 0.7$, 当 $C_b > 0.8$ 时 $C_b = 0.7$;

3.1.2 船首舷侧加强范围

船首部舷侧结构(包括首楼舷侧结构)应予以加强。加强范围自首垂线起向后 $0.1L$ 之间与

夏季载重线以上区域。如距首垂线 0.15L 处的最大外飘角 α （见第 4 章第 5 节[3.3.1]）大于 40°，则加强的纵向范围应延伸至距首垂线 0.15L 处。在该加强区域内舷侧构件的尺寸应符合本节的要求。

3.2 船首底部砰击加强

3.2.1 外板

在加强范围内，对首部船底板应作下列加强：

- (1) 首部船底板净厚度 t ，mm，应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 5.95 \sqrt{P_{SL} K b^2 \left[3 - \frac{2}{\beta^2} (\sqrt{1 + 3\beta^2} - 1) \right]} \times 10^{-4}$$

式中：

P_{SL} ——剖面砰击压力，kN/m²，见第 4 章第 5 节[3.2.21]或采用该节[3.2.3]直接计算给出；

K ——材料系数；

a ——板长边长度，mm；

b ——板短边长度，mm；

β ——板的边长比， $\beta = a/b$ 。

- (2) 对于与加强范围相邻的船底板和外板，应予以逐渐过渡。

3.2.2 船底纵骨骨材

(1) 在加强范围内，首部船底纵骨外板骨材净塑性剖面模数 Z_{pl} ，cm³，应不小于按下式计算所得之值：

$$Z = 1.86 P_{SL} K s l^2 \times 10^{-10}$$

$$Z_{pl} = 2.79 P_{SL} K s l_{bdg}^2 \times 10^{-4}$$

式中：

P_{SL} ——剖面砰击压力，kN/m²，见第 4 章第 5 节[3.2.21]或采用该节[3.2.3]直接计算给出；

s ——纵骨骨材间距，mm；

l ——纵骨跨距，mm。

l_{bdg} ——骨材有效弯曲跨距，m，见第 3 章第 6 节。

(2) 在加强范围内，首部船底纵骨腹板的净厚度 t_w ，mm，应不小于按下式计算所得之值：

$$t_w = \frac{P_{SL} s l_{shr}}{2 d_{shr} C_t \tau_{eff}}$$

式中：

P_{SL} ——剖面砰击压力，kN/m²，见第 4 章第 5 节[3.2.1]或采用该节[3.2.3]直接计算给出；

l_{shr} ——骨材有效剪切跨距，m，见第 3 章第 6 节；

d_{shr} ——骨材有效剪切高度，mm，见第 3 章第 6 节；

C_t ——许用剪切应力系数，取为：

$C_t = 1.0$ ，对于 AC-I 验收衡准。

3.2.3 底部板架

对首底砰击加强区域板架结构,应进行有限元强度直接计算校核。应对首底砰击加强区域主要支撑结构进行强度校核。采用有限元强度直接计算方法,按以下规定:

(1) 有限元结构模型

- 模型的纵向范围应包括本节[3.1.1]规定的计算范围并至少向前后延伸一个强框架距离向前后延伸至横舱壁位置;横向范围的选取应充分考虑降低边界条件对底部板架结构响应的影响。
- 模型的单元选取和网格划分应符合第 7 章第 2 节的要求。
- 应对首部船底加强范围内的所有主要构件进行强度评估。
- 当主要构件的开孔影响到构件的应力分布或刚度时,应按第 7 章的要求处理。
- 应采用净尺寸模型。

(2) 边界条件

模型边界处的肋板和纵桁刚性固定在实肋板外侧边界处采用刚性固定,在横舱壁处采用刚性固定。

(3) 计算载荷

根据砰击原理,认为砰击压力是作用在中纵桁处的肋板上砰击压力作用在校核横剖面各纵桁处的肋板上,其作用面积为边长 S_1 的正方形, S_1 , m,按下式计算:

$$S_1 = \sqrt{1.1C_B LB \times 10^{-3}}$$

船首各站处的砰击压力的极限值不出现在同一时刻,所以必须对各站处作用极值砰击压力分别进行计算,求得底部板架的最大压力,砰击压力在肋板上的分布按下述三种情况确定:

1) $S_1 < S$:

砰击压力仅作用在一块肋板上,见图 3.2.3(1),单位长度肋板上作用力 Q , kN/m,按下式计算:

$$Q = P_{SL} S_1$$

式中:

S ——肋板间距, m;

P_{SL} ——剖面砰击压力, kN/m²,见第 4 章第 5 节[3.2.21]或采用该节[3.2.3]直接计算给出;

2) $S < S_1 < 2S$:

砰击压力作用在二块肋板上,见图 3.2.3(2),单位长度肋板上作用力 Q , kN/m,按下式计算:

$$Q = 0.5P_{SL} S_1$$

3) $S_1 > 2S$:

砰击压力作用在三块肋板上,中间肋板单位长度肋板上作用力 Q_C , kN/m,按下式计算:

$$Q_C = P_{SL} S$$

边肋板单位长度上的作用力 Q_S , kN/m,按下式计算

$$Q_s = 0.5P_{SL}(S_1 - S)$$

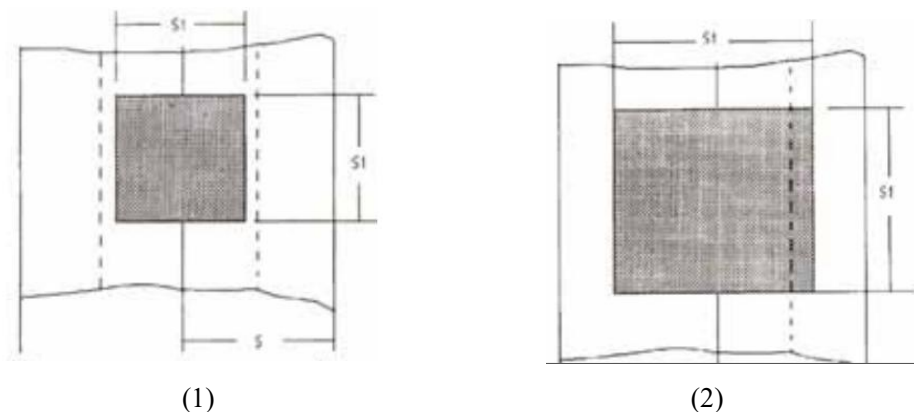


图 3.2.3

(4) 许用应力

各校核横剖面按纵桁位置分别加载计算，搜索出板架在砰击压力作用下的最大响应。板架砰击强度直接计算的许用应力按表 3.2.3 确定。

许用应力

表 3.2.3

构件	内底板处正应力 σ (N/mm ²)	外底板处正应力 σ (N/mm ²)	剪切应力 τ (N/mm ²)	相当应力 σ_e (N/mm ²)
纵桁	136/K	124/K	120/K	200/K
肋板	147/K	147/K	109/K	218/K

3.3 船首舷侧冲击加强

3.3.1 外板

舷侧外板的净厚度 t , mm, 应不小于按下式计算所得之值:

$$t = 3.1b_{r1}s\sqrt{P_{FB}K/10}$$

式中:

s ——次要构件间距, m;

b_{r1} ——系数, 按以下取用, 且不小于 0.72:

$$b_{r1} = 1.0 \quad \frac{s}{l} \leq 0.4 ;$$

$$b_{r1} = 1.187 - 0.467\frac{s}{l} \quad \frac{s}{l} > 0.4 ;$$

l ——次要构件跨距, m;

P_{FB} ——舷侧冲击压力, 见第 4 章第 5 节[3.3.1]。

3.3.2 次要构件

(1) 舷侧纵骨或舷侧肋骨外板骨材等次要构件的净剖面模数 Z , cm³, 和腹板净剖面面积 A , cm², 应不小于按下列各式计算所得之值:

$$Z = 0.243sP_{FB}l^2K$$

$$Z = 0.243sP_{FB}l_{bdg}^2 K$$

$$A = 0.0327b_{r2}l_sP_{FB}K$$

$$A = 0.0327b_{r2}l_{shr}l_sP_{FB}K$$

式中： $b_{r2} = 1 - \frac{s}{2l} b_{r2}$ ——系数， $b_{r2} = 1 - \frac{s}{2l_{shr}}$ ；

s ——次要构件间距，m；

P_{FB} ——舷侧冲击压力，见第4章第5节[3.3.1]；

l_{bdg} ——次要构件有效弯曲跨距，m，见第3章第6节；

l_{shr} ——次要构件有效剪切跨距，m，见第3章第6节。

l ——次要构件跨距，m。

(2) 防倾肘板

当舷侧纵骨或舷侧肋骨等次要构件的腹板与外板的夹角小于70°时，应在构件跨距中点设置防倾肘板，以加强板格的横向稳定。

3.3.3 主要构件

舷侧水平桁材或垂直桁材等主要构件的净剖面模数 Z ， cm^3 ，与腹板净剖面积 A ， cm^2 ，应不小于按下列各式计算所得之值：

$$Z = 0.2SP_{FB}l^2 K$$

$$Z = 0.2SP_{FB}l_{bdg}^2 K$$

$$A = 0.0252SP_{FB}lK$$

$$A = 0.0252SP_{FB}l_{shr}K$$

式中： S ——桁材间距，m；

P_{FB} ——舷侧冲击压力，见第4章第5节[3.3.1]；

l_{bdg} ——桁材有效弯曲跨距，m，见第3章第6节；

l_{shr} ——桁材有效剪切跨距，m，见第3章第6节。

l ——桁材跨距，m。

第 7 章 舱段直接强度分析

第 2 节 舱段结构强度分析

3 载荷施加

3.4.3 局部载荷产生的船体梁剪力和弯矩

假定模型两端简支，通过局部载荷分布得到船体梁载荷的纵向分布。模型两端的支反力和每个纵向站位处由局部载荷产生的船体梁剪力和弯矩沿纵向的分布可由下式确定：

$$R_{V_fore} = -\frac{\sum_i (x_i - x_{aft}) f_{vi}}{x_{fore} - x_{aft}} \quad R_{V_aft} = \sum_i f_{vi} + R_{V_fore}$$

$$R_{H_fore} = \frac{\sum_i (x_i - x_{aft}) f_{hi}}{x_{fore} - x_{aft}} \quad R_{H_aft} = -\sum_i f_{hi} + R_{H_fore}$$

$$F_l = \sum_i f_{li}$$

$$Q_{V_FEM}(x_j) = R_{V_aft} - \sum_i f_{hi} \quad \text{当 } x_i < x_j \text{ 时}$$

$$Q_{V_FEM}(x_j) = R_{V_aft} - \sum_i f_{vi} \quad \text{当 } x_i < x_j \text{ 时}$$

$$Q_{H_FEM}(x_j) = R_{H_aft} + \sum_i f_{hi} \quad \text{当 } x_i < x_j \text{ 时}$$

$$Q_{H_FEM}(x_j) = R_{H_aft} + \sum_i f_{hi} \quad \text{当 } x_i < x_j \text{ 时}$$

$$M_{V_FEM}(x_j) = (x_j - x_{aft})R_{V_aft} - \sum_i (x_j - x_i)f_{vi} \quad \text{当 } x_i < x_j \text{ 时}$$

$$M_{H_FEM}(x_j) = (x_j - x_{aft})R_{H_aft} + \sum_i (x_j - x_i)f_{hi} \quad \text{当 } x_i < x_j \text{ 时}$$

3.4.8 在两个舱壁上进行垂向剪力调整的方法 2

用于垂向剪力调整的垂向载荷计算公式

表 3.4.7(3)

$\delta w_1 = \frac{\Delta Q_{V_aft}(2l - l_2 - l_3) + \Delta Q_{V_fwd}l_2 + l_3}{(n_1 - 1)(2l - l_1 - 2l_2 - l_3)}$ $\delta w_1 = \frac{\Delta Q_{V_aft}(2l - l_2 - l_3) + \Delta Q_{V_fwd}(l_2 + l_3)}{(n_1 - 1)(2l - l_1 - 2l_2 - l_3)}$
$\delta w_2 = \frac{(W1 + W3)}{(n_2 - 1)} = \frac{(\Delta Q_{V_aft} - \Delta Q_{V_fwd})}{(n_2 - 1)}$
$\delta w_3 = \frac{-\Delta Q_{V_fwd}(2l - l_1 - l_2) - \Delta Q_{V_aft}(l_1 + l_2)}{(n_3 - 1)(2l - l_1 - 2l_2 - l_3)}$
$F = F_{aft} = F_{fwd} = 0.5 \left(\frac{W1(l_2 + l_1) - W3(l_2 + l_3)}{l} \right)$
<p>其中：</p> <ul style="list-style-type: none"> l_1 —— 模型后货舱长度。 l_2 —— 模型中货舱长度。 l_3 —— 模型前货舱长度。

ΔQ_{V_aft}	中舱后舱壁处要求的剪力调整值，参见[3.4.7],kN。
ΔQ_{V_fwd}	中舱前舱壁处要求的剪力调整值，参见[3.4.7], kN。
F	由于在框架处施加垂向力而引起的端部反作用力，kN。
$W1$	平均分布于有限元模型后舱的垂向力的和， $(n_1 - 1)\delta w_1$ ，kN。
$W2$	平均分布于有限元模型中舱的垂向力的和， $(n_2 - 1)\delta w_2$ ，kN。
$W3$	平均分布于有限元模型前舱的垂向力的和， $(n_3 - 1)\delta w_3$ ，kN。
n_1	有限元模型后舱框架间距数。
n_2	有限元模型中舱框架间距数。
n_3	有限元模型前舱框架间距数。
δw_1	分布力，作用在有限元模型后舱框架处，kN。
δw_2	分布力，作用在有限元模型中舱框架处，kN。
δw_3	分布力，作用在有限元模型前舱框架处，kN。
Δl_{end}	有限元模型后舱后舱壁距后端的距离。
Δl_{fore}	有限元模型前舱前舱壁距前端的距离。
L	包括超出端部舱壁以外部分在内的有限元模型的总长： $= l_1 + l_2 + l_3 + \Delta l_{end} + \Delta l_{fore}$

注 1：公式中载荷、载力以及剪力调整的正方向与表 3.4.7(1)和表 3.4.7(2)中的一致。

注 2： $W1 + W3 = W2$ 。

注 3：上述公式仅适用于在各自舱内具有等框架间距的情况。各舱的长度和框架间距可以不相同。

3.4.9 调整船中货舱区域垂向和水平弯矩的程序

对于需要达到垂向弯矩目标值的情况，应在舱段有限元模型的两端施加一个附加的垂向弯矩，以便在模型中间货舱达到此目标值。端部垂向弯矩按下式计算：

$$M_{v_end} = M_{v_targ} - M_{v_peak}$$

其中：

M_{v_end} —— 根据[3.4.8][3.4.10]应施加于有限元模型两端的附加垂向弯矩，kNm。

M_{v_targ} —— 中拱（正）或中垂（负）垂向弯矩，定义见[3.3.2]，kNm。

M_{v_peak} —— [3.4.3]所述局部载荷和[3.4.5]所定义剪力调整在中间货舱范围内产生的最大或最小弯矩，kNm。
如果 M_{v_targ} 中拱（正）弯矩，则 M_{v_peak} 取最大值；如果 M_{v_targ} 为中垂（负）弯矩，则 M_{v_peak} 取最小值。 M_{v_peak} 的计算基于简支梁模型，具体计算如下：

$$M_{v_peak} = \text{Extremum} \left\{ M_{v_FEM}(x) + M_{lineload} + M_{Y_aft} \left(2 \frac{x - x_{aft}}{x_{fore} - x_{aft}} - 1 \right) \right\}$$

$M_{v_FEM}(x)$ —— [3.4.3]所述局部载荷在 x 位置处产生的垂向弯矩，kNm。

M_{Y_aft} —— 端部弯矩，kNm，如下述取值：

使用方法 1：按[3.4.6]取值。

使用方法 2：按[3.4.7]取值。

其它情况： $M_{Y_aft} = 0$

$M_{lineload}$ —— 按方法 2 在框架处施加的垂向线载荷在 x 位置处产生的垂向弯矩，kNm，按下式计算：

$$M_{lineload} = -(x - x_{aft})F - \sum_i (x - x_i)\delta w_i, \text{ 当 } x_i < x \text{ 时}$$

F —— 如表 3.4.7(2)所示的在横框架处施加的垂向载荷在模型端部产生的支反力，kN。

X —— 中间货舱横框架的 x 坐标, m。

δw_i —— 为产生要求的剪力而在横框架 i 处施加的垂向载荷。

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,以便在模型中货舱内达到目标值。附加水平弯矩按下式计算:

$$M_{h-end} = M_{h-targ} - M_{h-peak}$$

M_{h-end} —— 据[3.4.8][3.4.10]应施加于有限元模型两端的附加水平弯矩, kNm。

M_{h-targ} —— 水平弯矩目标值, 见[3.3.4]。

M_{h-peak} —— [3.4.3]所述局部载荷在中间货舱长度范围内产生的最大或最小水平弯矩, kNm。

如果 M_{h-targ} 为正(右舷处于受拉状态), 则 M_{h-peak} 取最大水平弯矩;

如果 M_{h-targ} 为负(左舷处于受拉状态), 则 M_{h-peak} 取最小水平弯矩。

M_{h-peak} 的计算基于简支梁模型, 如下式:

$$M_{h-peak} = \text{Extremum}\{M_{H_FEM}(x)\}$$

$M_{H_FEM}(x)$ —— [3.4.3]所述局部载荷在 x 位置处产生的水平弯矩, kNm。

第 8 章 整船有限元强度评估

第 1 节 一般规定

1 一般要求

1.1 适用范围

1.1.1 本章给出了集装箱船主要支撑构件在弯曲和扭转载荷联合作用下整船有限元强度评估要求，包括屈服和屈曲强度。

1.1.2 对于符合下列条件之一的集装箱船，应按本章要求进行整船有限元强度评估并授予 GFE 附加标志：

- (1) 船长 L 大于 250m；
- ~~(2) 强力甲板舱口宽度大于 $0.89B$ ；~~
- ~~(3) 结构布置非常规形式。~~

第9章 屈 曲

第2节 长细比要求

2 板

2.1 板格的净厚度

2.1.1 板格的净厚度应满足以下衡准：~~—~~

$$t_p \geq \frac{b}{C} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

式中：~~C~~——长细比系数，取为：
~~C=100~~，船壳外板和货/液舱边界；
~~C=125~~，其他结构；

~~R_{eH}~~——板材的最小屈服强度，N/mm²
 如果某列板假设采用较低的屈服应力值能够满足第3节和第4节的要求，则在应用该长细比要求校核时，也可以采用该较低的屈服应力值。~~—~~

2.1.1 板格净厚度 t_p ，mm，应满足以下衡准：—

$$t_p \geq \frac{b}{C}$$

式中：C——长细比系数，取为：—

(1) 船体外板、强力甲板，但上层建筑内的强力甲板除外：

船长 $L \geq 90\text{m}$ ： C=100；

船长 $L < 90\text{m}$ ： C=125；

(2) 甲板室和上层建筑内的结构、具有多层连续甲板船舶的船内结构，但舱室和水密周界除外：

C=175；

(3) 其他结构： C=125。

本要求不适用于船舶柱形区域内舳列板和圆弧舷缘。

3 加强筋

3.1 加强筋的尺度比

长细比系数

表 2.3.1.1

加强筋类型	C_w	C_f
角钢和 L2 型材	75	12 ⁽³⁾
T 型材	75	12 ⁽³⁾
球扁钢	45	—
扁钢	22 ^{(1)、(2)}	—

注：（1）对于不作为参与船体梁总纵强度的扁钢加强筋，则可取 $C_w=26$ ；
 （2）对于双层底压载舱内的水密肋板上的扁钢加强筋，如果该处的双层底纵桁按照不多于3个纵骨间距布置，则可取 $C_w=30$ ；
 （3）对于装设端肘板的非连续性的直线形翼板/面板的角钢和T型材，则可取 $C_f=22$ 。

3.1.3 加强筋的弯曲刚度

含有效带板宽度的加强筋平行于带板的中和轴的净惯性矩， cm^4 ，应不小于：

$$I_{st} \geq C \ell^2 A_{eff} \frac{R_{eH}}{235}$$

式中：

A_{eff} ——包括有效带板 S_{eff} 的加强筋净横截面积， cm^2 ；

R_{eH} ——带板最小屈服强度， N/mm^2 ；

C ——长细比系数，取为：

$C=1.43$ ，对于纵向加强筋，包括斜加强筋参与总纵强度的加强筋；

$C=0.72$ ，其他加强筋。

4 主要支撑构件

4.1 尺度比和刚度

4.1.1 腹板和翼板的尺度比

主要支撑构件腹板和翼板的净厚度应满足以下衡准：

（1）腹板

$$t_w \geq \frac{s_w}{C_w} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

对于腹板，如果该结构采用较低的 R_{eH} 能够满足本章第3节和第4节的要求（如适用），则本条的长细比衡准中，可以使用该较低的 R_{eH} 。

（2）翼板

$$t_f \geq \frac{b_{f-out}}{C_f} \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}}$$

式中： s_w ——板格宽度， mm ，取腹板加强筋的间距；

C_w ——腹板的长细比系数，取为：

$$C_w = 100$$

$C_w=125$ ，对双壳结构，如双壳间平台、垂直隔板等；

$C_w=100$ ，对其他结构；

C_f ——翼板的长细比系数，取为：按表3.1.1取用。

$$C_f = 12$$

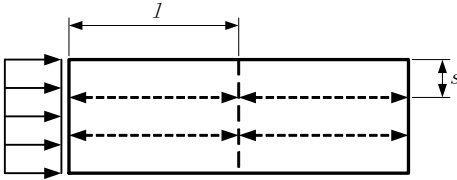
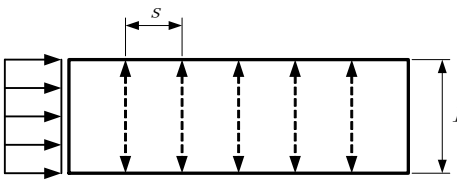
如果本款（2）要求不能满足，用于强度评估（包括计算实际净剖面模数）的翼板自由外伸有效宽度， mm ，应取为：

$$b_{f-out-max} = C_f t_f \sqrt{\frac{235}{R_{eH}}}$$

4.2 主要支撑构件的腹板加强筋

腹板加强筋刚度衡准

表 2.4.2.2

	加强筋布置形式	腹板加强筋的最小惯性矩 (cm ⁴)
A	腹板加强筋沿着 PSM 跨距方向布置 	$I_{st} \geq Cl^2 A_{eff} \frac{R_{eH}}{235}$
B	腹板加强筋垂直于 PSM 跨距方向布置 	$I_{st} \geq 1.14ls^2 t_w \left(2.5 \frac{1000l}{s} - 2 \frac{s}{1000l} \right) \frac{R_{eH}}{235} \times 10^{-5}$
式中： C——长细比系数，取为： C=1.43，对于纵向加强筋，包括剖斜筋参与总纵的连续加强筋； C=0.72，其他加强筋； l——腹板加强筋长度，m (1) 对焊接在局部支撑构件上的腹板加强筋，长度在局部支撑构件翼板之间量取； (2) 对剖斜的腹板加强筋，长度在侧向支撑之间量取，例如主要支撑构件翼板之间的总距离，如加强筋布置 B 所示； A _{eff} ——含有效带板宽度 s _{eff} 的腹板加强筋净横截面积，cm ² ； t _w ——主要支撑构件的腹板净厚度，mm； R _{eH} ——取主要支撑构件腹板的 R _{eH} 之值，N/mm ² 。		

5 肘板

5.1 防倾肘板

5.1.1 翼板的无支撑长度

主要支撑构件翼板的无支撑长度，m，即防倾肘板之间的距离，应不大于可不必小于 3.0m，但最大值 S_{b_max}，m，应取不大于按下式计算之值：

$$S_b = b_f C \sqrt{\frac{A_{f-n50}}{\left(A_{f-n50} + \frac{A_{w-n50}}{3} \right) \left(\frac{235}{R_{eH}} \right)}} \quad \text{但不必小于 } S_{b-min}$$

$$S_{b-max} = b_f C$$

且还应满足：(1) 对甲板和船底：

$$S_{b-max} \leq 6m$$

(2) 对舱壁和舷侧：

$$S_{b_max} \leq 5m$$

式中： b_f _____ 主要支撑构件翼板宽度，mm；

C _____ 长细比系数，取为：

~~(1) 0.022，对于对称翼板；~~

~~(2) 0.033，对于非对称翼板；~~

(1) 0.022，对于甲板和船底区域的对称翼板；

(2) 0.025，对于甲板和船底区域的非对称翼板；

(3) 0.015，对于舱壁和舷侧区域的对称翼板；

(4) 0.020，对于舱壁和舷侧区域的非对称翼板。

~~A_{f-n50} _____ 翼板净横截面积， cm^2 ；~~

~~A_{w-n50} _____ 腹板净横截面积， cm^2 ；~~

~~R_{eH} _____ 主要支撑构件材料的最小屈服强度， N/mm^2 ；~~

~~S_{b-min} _____ 翼板的最小无支撑长度；~~

~~(1) 对货舱区域、液舱/货舱边界或船体外板包括外部甲板上的主要支撑构件， $S_{b-min} = 3.0m$ ；~~

~~(2) 对其他区域， $=4.0m$ 。~~

5.3 边缘加强

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：

$$h_w = C l_b \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}} \quad h_w = C l_b \sqrt{\frac{R_{eH}}{235}} \times 10^3 \quad , \text{ 或 } 50\text{mm}, \text{ 取大者}$$

式中： C _____ 长细比系数，取为：

(1) 对端肘板， $C=75$ ；

(2) 对防倾肘板， $C=50$ ；

l_b _____ 肘板边缘有效长度，mm，见表 5.2.1；

R_{eH} _____ 加强筋材料的最小屈服强度， N/mm^2 。

第 10 章 疲 劳

第 1 节 一般规定

1 一般要求

1.1 适用范围

1.1.5 对于符合下列条件之一的集装箱船，应采用整船有限元应力分析法进行疲劳强度评估：

- (1) 船长 L 大于 250m；
- ~~(2) 强力甲板舱口宽度大于 0.89B；~~
- ~~(3) 结构布置非常规形式。~~

6 装载工况

6.1 疲劳评估标准装载工况

6.1.1 应根据[6.1.2]给出的船舶营运中有代表性的装载工况进行疲劳分析。

6.1.2 表 6.1.2 定义了集装箱船简化应力分析方法和舱段有限元疲劳强度计算时的装载工况和每种装载工况相应时间比 $\alpha_{(j)}$ 。第 4 章第 8 节规定了集装箱船疲劳评估的标准装载工况。

集装箱船装载工况时间比 表 6.1.2

装载工况	$\alpha_{(j)}$
满载工况（均匀）	0.75-1
正常压载工况	0.25

第 2 节 评估的结构细节

2 有限元应力分析

2.1 评估的结构细节

2.1.3 按标准设计无需评估的结构细节

表 2.1.3 (1) 列出的结构细节，应满足本章第 7 节的结构细节设计标准，否则应进行有限元疲劳评估，热点位置及疲劳强度评估见表 2.1.3 (2) 和 (3)。

按标准设计无需评估的结构细节 表 2.1.3 (1)

序号	关键结构位置	结构细节设计标准	适用范围
1	无腹板加强筋纵骨的穿越孔，具体热点见表 2.1.3 (2)	本章第 7 节[2.1]	货舱
2	甲板分段连接处扇形孔，具体热点见表 2.1.3 (3)	本章第 7 节[3]	临近船中货舱（甲板以下 0.1D 范围内）
3	甲板板和纵向舱口围板端部肘板趾部趾端	本章第 7 节[4]	纵向舱口围板的端肘板趾端
3 4	机舱前端强力甲板舱口角隅	本章第 7 节[4]	机舱前端的舱口角隅

注：3 和 4 适用于不符合本章第 1 节 1.1.5 的集装箱船。

第3节 疲劳评估

符号

本节未定义的符号，见第1章第4节。

- (*i*) —— 下标，表示第4章第2节规定的载荷工况 HVM、HVS、BSR-P、BSR-S、BSP-P、BSP-S、OST-P、OST-S、OHM-P、OHM-S、OHS-P、OHS-S。
‘*i1*’代表载荷工况：HVM-1、HVS-1、BSR-1P、BSR-1S、BSP-1P、BSP-1S、OST-1P、OST-1S、OHM-1P、OHM-1S、OHS-1P 或 OHS-1S。
‘*i2*’代表载荷工况：HVM-2、HVS-2、BSR-2P、BSR-2S、BSP-2P、BSP-2S、OST-2P、OST-2S、OHM-2P、OHM-2S、OHS-2P 或 OHS-2S。
- (*j*) —— 下标，表示装载工况：满载或正常压载，见本章第1节[6.1]的定义
- T_C —— 腐蚀环境时间，年，见表 4.1.5.3.1。
- T_D —— 设计寿命，年，取 25 年。
- T_{DF} —— 设计疲劳寿命，年，见本章第1节的定义。
- T_F —— 疲劳寿命，年，根据[5]计算。
- m —— 设计 $S-N$ 曲线的反斜率，空气环境中的值见表 4.1.4，腐蚀环境中的值见表 4.1.5。
对应 $N=10^7$ 循环，空气环境中 $S-N$ 曲线的反斜率从 m 变为 $m+2$ 。
- n_{LC} —— 适用装载工况数，见本章第1节[6.2]。
- f_c —— 修正因子，见本章第1节 [5.1.2][5.2.1]。
- f_{thick} —— 板厚影响修正因子，见[3.3]。
- $f_{mean, i(j)}$ —— 平均应力影响修正因子，见[3.2]。

3 疲劳评估参考应力

3.1.3 母材自由边

母材自由边疲劳应力范围 $\Delta\sigma_{FS, i(j)}$ ， N/mm^2 ，取本章第1节[2.4]定义的自由边局部应力范围 $\Delta\sigma_{BS, i(j)}$ ，并计及修正因子：

$$\Delta\sigma_{FS, i(j)} = f_e \cdot K_{sf} \cdot f_{material} \cdot f_{mean, i(j)} \cdot f_{thick} \cdot \Delta\sigma_{BS, i(j)}$$

$$\Delta\sigma_{FS, i(j)} = f_e \cdot K_{sf} \cdot f_{material} \cdot f_{mean, i(j)} \cdot f_{thick} \cdot f_c \cdot \Delta\sigma_{BS, i(j)}$$

第 12 章 集装箱系固

第 1 节 一般规定

1 一般要求

1.2 附加标志

1.2.1 对于船上配有集装箱绑扎计算程序，[应如](#)申请 CLC 附加标志，应按本规范第 12 章第 1 节～第 5 节的要求进行集装箱系固强度评估，并按第 12 章第 7 节的要求进行认可。

1.2.2 在附加标志 CLC 的基础上，如满足第 12 章第 8 节特定航线的要求，可授予附加标志 CLC (V)。特定航线包括航行范围限于个别航线或区域，如北太平洋航线、地中海区域，也包括航行范围限于某特定区域以外，如在北大西洋以外区域。

1.2.3 在附加标志 CLC (V) 的基础上，如满足第 12 章第 8 节特定航线的季节和天气因素的要求，可授予 CLC (V, W)。

第 6 节 集装箱系固结构的强度评估

1 强度评估

1.2 绑扎桥

1.2.5 为较好地描述各结构构件在各个方向上的受力分布情况，绑扎桥的强度校核应采用三维有限元结构分析方法，[模型结构尺寸采用建造厚度](#)。模型范围、单元及边界条件的取用原则如下：

(1) 有限元模型应包括所有在甲板或舱口盖以上的绑扎桥结构。边界条件可约束与甲板或舱口盖连接处的三个平动自由度。

(2) 有限元模型应包括绑扎桥结构及相邻船体结构，一般应垂向延伸至二甲板，水平方向延伸至前后各一个横框架。边界条件应约束前后边界节点的纵向平动自由度、横向和垂向转动自由度，下端边界节点的横向和垂向平动自由度。

(3) 板单元的网格尺寸一般可采用 100mm×100mm，在高应力区和高应力变化区尽可能避免使用三角形单元。

(4) 为更加准确地评估局部结构应力集中处的应力水平及分布情况，如过渡肘板、立柱与甲板连接处等，网格尺寸可采用 50mm×50mm。

第 7 节 绑扎计算程序

1 一般要求

1.1 一般要求

[1.1.1 绑扎计算程序系指船上计算机安装的软件程序，该程序应能按本附录要求进行集装箱系固强度计算。](#)

1.1.2 对绑扎计算程序的建议包括程序认可及实船安装检验。

2 绑扎计算程序认可

2.1 认可要求

2.1.1 绑扎计算程序的认可为单船认可,即对安装在某一特定船舶上的绑扎计算程序设计方法、计算功能和原理、输入数据、输出数据、操作手册以及测试报告等文件的认可。

2.1.2 绑扎计算程序认可具体包括以下内容:

(1) 程序的设计方法、计算功能和原理与本附录要求相符合,并满足本节 2.1.3 的功能要求;

(2) 程序中的所有输入数据应与实船相符;

(3) 按本节 2.3 所选择的测试工况的计算结果与 CCS 审图软件的计算结果相比,误差应控制在 5% 以内;

(4) 绑扎计算程序操作手册满足本节 2.4 的要求。

2.1.3 绑扎计算程序应具备以下的功能要求:

(1) 应能确保普通用户无法修改已输入的船舶几何特征,许用值等实船数据;

(2) 应能确保用户无法修改已输入的计算程序;

(3) 应尽可能减少明显的或不合逻辑的输入错误;

(4) 应能清楚地判断计算工况是否满足要求,及对某一工况进行计算,当计算结果超出许用值时,应以明显的方式,如突出显示、特殊标志或兼有声光报警等,在屏幕上显示或打印输出提示用户;

(5) 程序界面应对用户充分友好,用户操作失误时能报警提示用户,并尽可能避免因用户操作失误引起的数据丢失或死机现象;

(6) 应设有口令,当输入非法口令时,计算机应拒绝工作,并报警提示用户;

(7) 应能计算任一工况下的集装箱系固强度,并以屏幕显示及打印输出进行计算和保存计算结果的日期和时间。屏幕显示及打印输出中应包括任一工况的以下信息:

初稳性高度;

集装箱堆垛的位置;

堆垛集装箱的实际重量;

堆垛位置的最大许用堆重;

堆垛集装箱的绑扎布置;

各层集装箱的横向加速度;

各层集装箱的扭变力;

各层集装箱间的垂向拉力和压力;

堆垛底部压力;

绑扎力;

横向水平压力和拉力;

警告信息(如任何强度衡准被超出)

2.2 认可实施步骤

2.2.1 申请方应将下列图纸资料提交 CCS 批准:

(1) 绑扎计算程序说明书,其内容应包括程序设计方法、计算功能、数据结构;

(2) 绑扎计算程序操作手册;

(3) 绑扎计算程序测试报告;

2.2.2—申请方应提供特定船舶的相关图纸或数据，如船舶总布置图、集装箱系固手册/布置方案等，以供备查或校核计算使用。

2.2.3—对上述图纸资料审批完毕后，可在绑扎计算程序操作手册及测试报告封面上加盖批准章，并在签发的审图意见书中写明建议授予 CLC 附加标志，或 CLC (V) 及 CLC (V,W) 附加标志。

2.3 测试工况

2.3.1—测试工况应选自该船的集装箱系固手册/布置方案。

2.3.2—测试工况至少应包括：

- (1)—最小及最大初稳性高度对应的集装箱绑扎布置工况；
- (2)—对于授予 CLC (V) 或 CLC (V,W) 附加标志的船舶，还应补充对应的附加工况。

2.3.3—测试工况应尽可能包括程序的所有功能。

2.3.4—经批准的测试工况应作为输入数据保存，确保用户无法修改。船上还应备有 1 份经批准的测试工况复印件。

2.4 操作手册

2.4.1—船上应至少保存一份经 CCS 批准的该船的绑扎计算程序操作手册。

2.4.2—绑扎计算程序操作手册应用船上用户使用的语言编写，并与屏幕显示和打印输出以及船上批准的集装箱系固手册/布置方案使用的语言相同。若该语言不是英文则还应译成英文。

2.4.3—操作手册应用简洁而易懂的方式编写，推荐使用流程框图来解释操作过程。

2.4.4—操作手册应包括下述内容：

- (1)—绑扎计算程序概况及其版本号；
- (2)—运行绑扎计算程序所需的硬件说明以及程序安装的指南；
- (3)—菜单与对话显示的程序运行步骤，运行程序可能遇到的错误和警示以及在此情况下的下一步操作说明；
- (4)—测试工况的说明；
- (5)—通过算例，表明操作程序；
- (6)—输入与输出的数据以及屏幕输出格式表示的计算结果，并以必要的文字加以说明；
- (7)—功能键的说明。

2.5 实船安装检验

2.5.1—船东或委托方应向船舶停靠港的 CCS 检验单位提交申请。

2.5.2—船员可通过学习或培训等方法，掌握本船绑扎计算程序的操作与计算，安装检验应由该船船员来操作。

2.5.3—进行实船安装检验应有 CCS 验船师在场。安装检验一般应包括下列项目：

- (1)—核查船上是否保存由 CCS 批准的操作手册及测试报告；
- (2)—程序安装环境及位置检查：检查程序安装位置、安装方式符合说明书的要求；
- (3)—程序稳定性试验：程序连续运行 1h 应能正常工作；
- (4)—程序保密性试验：输入非合法口令(或人为误操作)，程序应拒绝工作；
- (5)—程序封闭性试验：普通用户应无法改动应用程序及已输入的船舶几何特征、许用值等实船数据；
- (6)—程序功能试验：根据批准的测试报告中的工况，由该船船员操作，其计算结果应

与批准的测试报告相同。

2.5.4 安装检验时由绑扎计算程序打印出的测试报告应由现场验船师确认及签署。安装检验合格后，现场验船师签发报告，CCS 将授予相应的附加标志。

2.5.5 对装有已获其他 IACS 成员船级社认可的绑扎计算程序的船舶，可复核该船级社批准的操作手册及测试报告，并按本节 2.5.3 进行安装检验。

2.5.6 对装有不符合 CCS 有关规定绑扎计算程序的船舶或对装有非 IACS 成员船级社认可的绑扎计算程序的船舶，应重新进行检验。

1 一般要求

1.1 一般要求

1.1.1 所有专用集装箱船均需配备满足本节要求的绑扎计算程序。

1.1.2 绑扎计算程序系指一种船上应用的电子数据处理工具，可根据船舶货物系固手册上绑扎系统的参数，进行集装箱系固强度计算。

1.1.3 经批准的绑扎计算程序不能替代货物系固手册，仅作为货物系固手册的补充。

1.1.4 绑扎计算程序是每艘船舶的特定工具，其计算结果仅适用于其被批准的船舶。

2 绑扎计算程序认可

2.1 操作手册

2.2.1 船上应至少保存一份经 CCS 批准的该船的绑扎计算程序操作手册。

2.2.2 绑扎计算程序操作手册的语言应与船上批准的货物系固手册相同，还应翻译为适合船上用户使用的语言。

2.2.3 操作手册应包含说明及指导，如适用，应包含下述内容：

- (1) 绑扎计算程序概况；
- (2) 程序安装的指南；
- (3) 功能键的说明；
- (4) 菜单显示；
- (5) 输入和输出数据；
- (6) 运行绑扎计算程序所需的硬件说明；
- (7) 测试工况的说明；
- (8) 列明所有术语、定义、用户可能遇到的错误信息和警示的列表
- (9) 运行程序遇到的错误和警示时，应有明确的用户指导在各种情况的下一步操作。

2.3 功能要求

2.3.1 绑扎计算程序应能计算任一工况下每个集装箱堆垛的集装箱和系固设备的载荷。

2.3.2 绑扎计算程序应能指示出各种许用值以便指导船长来判断船舶的装载是否在衡准之内。绑扎计算程序应能展示出以下参数：

- (1) 船舶参数，如国际海事组织编号、船长、船宽等；
- (2) 装载工况，并显示相关输入参数，如吃水和初稳性高度；
- (3) 堆垛和集装箱位置；
- (4) 堆垛集装箱的实际重量和堆垛位置的最大许用重量；
- (5) 系固设备的参数，包括许用载荷；
- (6) 集装箱的加速度及其他外部载荷（如风载荷）；
- (7) 集装箱和系固设备的系固载荷列表，以及评判是否满足相应的衡准。

2.3.3 甲板上和货舱内的集装箱和绑扎布置应有图形展示。

2.3.4 数据应能以清晰明确的方式显示在屏幕和打印输出上。

2.3.5 当有任何计算结果超出许用值时，应在屏幕和打印输出上给出明显的警示。

2.3.6 除打印输出的内容外，打印输出的每一页还应包含船舶标识、绑扎计算程序的名称和版本号、打印输出的日期和时间，以及计算装载工况的标题。打印输出应按顺序分页，并显示打印输出的总页数。

2.3.7 计量单位应明确标识，并在计算中保持一致。

2.3.8 应禁止用户输入不正确的数据，如负的吃水值。应以清晰明确的方式在屏幕上和打印输出中提示错误信息。

2.4 测试工况

2.4.1 绑扎计算程序应包含测试工况，测试工况应选自该船的货物系固手册，包含选定的堆垛及贝位，不同尺寸集装箱的适用系固工况。一般应涵盖船舶的船艏、船中、船尾贝位的集装箱堆垛，至少包含一个货物系固手册中所列工况的绑扎计算。对于授予 CLC (V) 或 CLC (V,W) 附加标志的船舶，还应补充对应的附加工况。

2.4.2 测试工况及结果应永久存储在绑扎计算程序安装的计算机中，并防止无意或未经授权的修改和访问。

2.5 绑扎计算程序的批准

2.5.1 绑扎计算程序的批准包括以下内容：

- (1) 确认型式认可（如有时）；
- (2) 确认程序中使用了最新的船舶数据；
- (3) 确认及批准测试工况及结果；
- (4) 确认满足 2.3 的功能要求；
- (5) 检查船上计算机的程序是否正确安装，并确认其计算结果与测试工况一致；
- (6) 确认船上配有操作手册。

2.5.2 当船舶设计参数或集装箱布置有修改时，绑扎计算程序应进行相应修改，并重新批准。

2.5.3 绑扎计算程序版本变化中如有涉及集装箱系固计算的内容，应告知并重新批准。

2.5.4 绑扎计算程序在安装上船时，应由验船师确认其计算结果与测试工况一致，并确认操作手册在船上随时可用。

2.5.5 对绑扎计算程序的批准不能免除船东的责任来确保绑扎计算程序的输入信息与船舶现有状况和批准的货物系固手册保持一致。

2.6 可接受的误差

2.6.1 绑扎计算程序的计算结果与 CCS 审图软件的计算结果相比，误差应控制在 1% 以内。对超出范围的误差，应根据具体情况给出合理的解释，并且不会对船舶安全带来不利影响。

2.7 年度检验和特别检验

2.7.1 每次年度检验和特别检验时，应确认操作手册在船上随时可用。

2.7.2 年度检验时，绑扎计算程序应确认其准确性，可由船长通过测试工况进行验证。

如验船师无法现场见证，则应保留测试工况的验证结果副本作为验证合格的文件，供验船师在下次计划检验时确认。

2.7.3 每次特别检验时，绑扎计算程序应在验船师现场见证下进行验证。

第9节 集装箱系固系统的批准和认可

1 一般要求

1.1 一般要求

1.1.1 所有海上航行的专用集装箱船都应满足本节要求。

1.1.2 货物被恰当地系固，特别是考虑了支撑结构和系固设备的强度，对于船舶安全以及保护货物和人员非常重要。集装箱系固系统应进行批准和/或的内容应包括：

- (1) 固定式和便携式系固设备；
- (2) 固定式系固设备的布置图；
- (3) 集装箱支撑结构的图纸（集装箱箱柱、舱口盖、绑扎桥、导轨等）；
- (4) 货物安全通道；
- (5) 集装箱积载和系固方案；
- (6) 绑扎计算软件。

2 批准与认可要求

2.1 固定式和便携式集装箱系固设备

2.1.1 固定式系固设备是永久焊接在船体结构上的用来紧固及支撑集装箱的设备。

2.1.2 便携式系固设备是除固定式系固设备外，用来紧固集装箱的设备。

2.1.3 最小破断负荷系指试样在试验时出现第一条裂痕时的最小载荷。

2.1.4 最小验证负荷系指不会出现可视永久变形的试验载荷。

2.1.5 固定式和便携式系固设备的详图应包含其尺寸、材料、设计载荷以及制造商标识。

2.1.6 每个固定式和便携式系固设备应进行原型试验来确定其最小破断负荷，原型试验确定的最小破断负荷应等于或超过其设计最小破断负荷。

2.1.7 固定式和便携式系固设备在交付或安装前应进行产品试验，应抽样进行负荷试验。交付的集装箱系固设备的产品试验批准文件应保存在船上，可放入在批准的货物系固手册中。

2.1.8 固定式系固设备的布置方案应提交批准，布置方案应包含系固设备安装区域的以下内容：

- (1) 固定式系固设备的类型，如底座、眼板等；
- (2) 系固设备的安装位置，如其相对明确描述船体结构位置的位置。

2.2 集装箱支撑结构的图纸

2.2.1 用于集装箱积载和系固的结构，其图纸应提交批准。图纸应包含能够建模进行结构分析的细节。应提供用于集装箱支撑结构及其基座结构强度计算的相关设计载荷。

2.2.2 用于集装箱积载和系固的结构，主要包括舱口盖、箱柱、绑扎桥和导轨。

2.3 货物安全通道

2.3.1 货物安全通道布置应符合 IMO MSC.1/Circ.1353/Rev.2 的相关要求(参见 CCS《货

物系固手册编制指南》)。

2.4 集装箱堆装与系固方案

2.4.1 如主管机关要求集装箱堆装和系固方案满足 IMO MSC.1/Circ.1353/Rev.2 中 4.2.1 和 4.2.2 的要求 (参见 CCS《货物系固手册编制指南》), 该方案应根据 2.4.2 条和 2.4.3 条进行批准。

2.4.2 集装箱堆装方案应至少包含该船设计装载的每个类型集装箱的以下信息:

- (1) 用纵向和横向视图标出甲板上、下的集装箱 (包括冷藏箱, 如适用) 位置;
- (2) 对不同尺寸集装箱的替代方案;
- (3) 最大堆垛重量;
- (4) 经批准的与视线有关的最大堆垛高度;
- (5) 最大名义集装箱容量。

2.4.3 集装箱系固布置方案应包含所有对准备系固计算有用的信息, 至少应包含以下内容:

- (1) 船舶参数, 如国际海事组织编号、船长、船宽等;
- (2) 装载工况, 显示相关输入参数, 如吃水和初稳性高度;
- (3) 甲板上、下集装箱堆装位置的纵向视图, 显示名义容量;
- (4) 最大堆垛重量;
- (5) 系固设备的相关参数, 包括许用载荷;
- (6) 对每种该船可装载的集装箱类型, 对典型装载工况下, 在每个贝位的甲板上和货舱内的集装箱和系固布置的图形化展示;
- (7) 堆垛总重量以及重量分布;
- (8) 所展示典型装载工况下, 能够实现系固集装箱的系固设备的最少数量。

2.5 绑扎计算程序

2.5.1 如船舶配有绑扎计算程序, 应满足本章第 7 节的要求。

第 13 章 建造

第 3 节 焊接接头设计

2 T 型或十字接头

2.4 部分熔透和全熔透焊接

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 CCS 批准。~~

[2.4.5]中列出的位置处一般应全熔透焊接，[2.4.6]中列出的位置处一般应部分熔透焊接。

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 要求全熔透焊接的位置

~~下列位置和规范要求的其他位置处应采用全熔透焊接：—~~

~~(1) 艏部边舱与内壳纵舱壁、内底板连接部位；—~~

~~(2) 角隅处圆弧型舱口围板与甲板连接部位；—~~

~~(3) 水密横舱壁与内壳纵舱壁、内底板连接部位；—~~

~~(4) 横向支撑舱壁横梁与内壳纵舱壁连接部位；—~~

(1) 艏部边舱横向强框架处与内壳纵舱壁、艏部边舱顶板的交点处；

(2) 实肋板处内壳纵舱壁与内底板、双层底旁桁材的交点处；

~~(5)(3)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。~~

~~(6)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。~~

~~(7)(4)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（或不小于 2.4.4 中要求的最小值）要求采用全熔透焊，Hc 是舱口围板的高度。~~

~~(8)(5)挂舵臂和尾轴架与船壳结构连接部位；~~

2.4.6 要求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。基于其他衡准，如第 10 章给出的疲劳评估，其他位置可能需要采用部分熔透焊接：—~~

~~(1)纵/横舱壁主要支撑构件端部与双层底、内壳纵舱壁连接部位；—~~

~~(2)舱壁主要支撑构件；—~~

~~(3)横舱壁板与内底板连接部位；—~~

~~(4)横舱壁垂直桁或水平桁的趾端连接部位；—~~

~~(5)舱口围肘板；—~~

~~(6)对横舱壁板支撑的实肋板；—~~

(1) 上甲板与舷顶列板连接部位；

(2) 舱口端横梁与内壳纵舱壁、二甲板的交点处；

(3) 支撑舱壁垂直桁与内底板连接部位；

(4) 建造厚度大于 12mm 的内底板延伸肘板与台阶垂直板/内壳纵舱壁的连接处；

(5) 水密横舱壁板处艏部边舱内实肋板支撑结构与艏部纵骨的连接部位；

(6) 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）；

(7) 绑扎桥立柱与横舱壁顶板；

(8) 箱柱与甲板。

2.5 焊缝尺寸衡准

最小焊脚尺寸 表 2.5.2 (1)

区域	处所类型		最小焊脚高度 ⁽¹⁾ /mm
货舱区域	货舱		5.0 ⁽¹⁾
	压载水舱	舱顶下 3m 范围内的焊缝 ⁽²⁾	6.5 ⁽¹⁾
		其他位置	6.0 ⁽¹⁾
	干舱和空舱		5.0 ⁽¹⁾
	其他液舱		6.0 ⁽¹⁾
其他区域	压载水舱	舱顶下 3m 范围内的焊缝 ⁽²⁾	6.0 ⁽¹⁾
		其他位置	5.5 ⁽¹⁾
	燃油、淡水和其他液舱		4.5
	干舱和空舱		4.0
	上层建筑及甲板室		3.5

(1) 如果单元的建设厚度小于 12mm，最小焊脚高度可以减小 0.5mm

(2) 仅适用于露天甲板为舱顶的压载舱 3m 距离为自液舱顶并平行于液舱顶垂直量取。

不同构件的焊接系数 表 2.5.2 (2)

船体区域	连接		f_{weld}		
	由	对			
一般区域， 除非本表中 另做规定	水密板	边界板	0.48		
	油密板	边界板	0.51		
	构件端部肘板		0.48		
	骨材	深舱舱壁		0.24	
		主要支撑构件腹板和领板		0.38	
	骨材腹板	板（除深舱舱壁）		0.20	
		组合型骨材 面板	端部（15%跨距）	0.38	
			其他位置	0.20	
船底和双层 底	普通骨材	船底板和内底板		0.24	
	中纵桁	外板		0.38	
		内底板		0.38	
	旁纵桁，包括间断板	船底板和内底板		0.24	
	肋板	外板和内底 板	对端部两个肋距长度		0.38
			位于艏部边舱内加强筋		0.38
其他位置		0.24			

	中桁材上的肘板	中桁材、内底板、肋板和外板	0.38	
	腹板骨材	肋板和桁材	0.20	
双舷侧结构中的舷侧和内壳纵舱壁	主要支撑构件腹板	舷侧外板	0.30	
		开孔加强筋	0.24	
		内壳纵舱壁和主要支撑构件腹板	甲板强横梁和端部连接处	0.43
			横撑材处	0.36
		其他位置	0.30	
	腹板骨材	舷顶列板、内壳纵舱壁上列板	0.38	
舷顶列板、纵舱壁端板	主甲板、抗扭箱纵骨	PPW ⁽⁴⁾		
甲板	强力甲板	$t_{as-built} \geq 13$	船中0.6L以内舷侧外板	PPW ⁽³⁾
			其他位置	0.48
		$t_{as-built} < 13$	舷侧外板	0.48
	内壳纵舱壁上列板	上甲板（在横舱壁及前后部位）	PPW ⁽¹⁾	
		其他位置	0.48	
	其他甲板	舷侧外板	0.38	
		骨材	0.20	
	舱口围侧板	船中0.6L以内甲板板上甲板（在横舱壁及前后部位）	PPW ⁽³⁾⁽¹⁾	
其他位置		0.48		
腹板骨材	围板腹板 上甲板、舱口围侧板/顶板	0.20 ⁽²⁾ 0.38		
横向舱壁	舱壁垂直桁	舱壁水平桁	0.48	
	舱壁桁材腹板骨材	舱壁桁材面板	0.38	
		舱壁板	端部处（25%跨距），如不设端肘板	0.48
		舱壁板	其他	0.24
尾尖舱	内部构件	边界及边界之间：水线以下	0.38	
		水线以上	0.20	
首尖舱	内部构件	边界及边界之间	0.20	
机器处所	中纵桁	平板龙骨和内底板	0.48	
	肋板	中纵桁	0.48	
	基座纵桁	顶板和主要船体结构	PPW ⁽³⁾⁽¹⁾	
	肋板和纵桁	内底板和外壳板	0.38	
上层建筑和甲板室	外围壁（第1和第2层上层建筑）	甲板、外围壁	0.48	
	外围壁和内舱壁	其他位置	0.20	
<p>(1)货舱外舱口围板 $f_{weld}=0.43$</p> <p>(2)连续焊接。</p> <p>(3)(1)PPW：根据[2.4.2]的部分熔透焊。</p>				

~~(4)FPW: 根据[2.4.2]的全熔透焊。~~

第 14 章 营运船舶换新衡准

第 1 节 原则和检验要求

1 原则

1.1 适用范围

1.1.1 本章的目的是提供船舶船体结构的许用厚度折减衡准。

1.1.2 本衡准仅适用于按照本规范入级的营运船舶。[作为替代方案，也可按《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章附录 1 船体结构换新衡准要求。](#)

1.1.3 应使用测量厚度根据规定的换新衡准评估船体结构。

1.3 文件要求

1.3.1 图纸

第 1 章第 3 节所要求的船上应备的图纸，应包括本章第 2 节所定义的每一构件的建造厚度和换新厚度。[如图纸未标识换新厚度，应另行提交构件换新厚度的说明。](#)所有自愿增加的厚度也要明确标示在图纸上。

[按《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章附录 1 进行船体结构换新的船舶除外。](#)

船上所备图纸和信息的列表参见 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇。