

中 国 船 级 社

国内航行海船建造规范

修 改 通 报

2017

2017年7月1日生效



中　国　船　级　社

国内航行海船建造规范

2017 年修改通报

第 2 篇　船　体

目　录

第 1 章　通　　则..... 2
第 5 节　结构强度直接计算..... 2
第 6 节　结构防腐..... 2
第 8 节　结 构 布 置..... 2
第 2 章　船 体 结 构..... 3
第 1 节　一般规定..... 3
第 2 节　总 纵 强 度..... 3
第 6 节　双层底..... 3
第 14 节　首尾柱、球鼻首、尾轴架..... 3
第 15 节　船 端 加 强..... 4
第 18 节　直升机甲板..... 4
第 20 节　舱口和舱口盖..... 4
第 23 节　液货舱结构温度场及其热应力分析.....34
第 24 节 承载有木质支撑钢卷的内底.....35
附录 3　船首底部砰击强度评估方法.....39
第 3 章　舾　　装.....42
第 1 节　舵.....42
第 7 节　甲板设备支撑结构.....42
第 7 章　集 装 箱 船.....44
第 1 节　一般规定.....44
第 5 节 舷侧骨架.....44
第 6 节　双　层　底.....44
第 9 节　大型集装箱船的补充要求.....44
附录 1　集装箱系固.....46
附录 2 集装箱船结构强度直接计算.....58
第 8 章　散 货 船.....60
第 8 节　货舱舱口盖尺寸的确定.....60
第 9 章　滚装船、客船、客滚船与渡船.....68
第 6 节　车 辆 跳 板.....68
第 7 节　直 接 计 算.....68
第 10 章　拖　　船.....69
第 5 节　拖曳设备与承载结构.....69
第 13 章　起　重　船.....70
第 1 节　一 般 规 定.....70
第 15 章　半　潜　船.....71
第 2 节　结构强度.....71
第 16 章矿 砂 船.....72
第 1 节　一 般 规 定.....72
第 3 节　船 体 骨 架.....72
第 4 节　舱　　壁.....73
第 5 节　快速装载要求.....73

第 1 章　通　　则

第 5 节　结构强度直接计算

1.5.7.3（1）船舶在不规则波上的运动和波浪载荷响应及其短期和长期预报计算采用 P-M 波浪谱：

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

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

式中：ω——波浪圆频率，rad/s；

$H_{1/3}$——有义波高，m；

T_2——波浪跨零周期，s；

$\frac{2}{\pi}\cos^2\theta$——能量扩散函数；

θ——组合波与主浪向之间的夹角，rad。

第 6 节　结构防腐

1.6.2 底漆或涂料

1.6.2.1 ~~运载闪点低于 60℃（闭杯试验）的货油船上，含铝的油漆不能用于货油舱、货油舱甲板、泵舱、隔离舱或其他油气可能积聚的部位。~~对于油船和化学品船，液货舱、液货舱甲板、货泵舱、隔离舱或其他任何货物蒸汽积聚的处所，不应使用铝含量超过 10%（以干膜重量计）的铝涂料。

第 8 节　结 构 布 置

1.8.8　双层底(除液货船外)的布置

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

1.8.8.6　客船和 500 总吨及以上的货船按照本节 1.8.8.1、1.8.8.2 或 1.8.8.5 未设双层底的任何部分，应能满足《国内航行海船法定检验技术规则》第 4 篇第 2-1 章所规定的破损要求。

1.8.9 隔离空舱的布置

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

燃油舱、润滑油舱与灭火泡沫液体舱之间应设置隔离空舱。

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

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

第 2 章 船 体 结 构

第 1 节 一般规定

2.1.1 适用范围

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

2.1.3 偶尔装载散货的干货船补充要求

2.1.3.1 偶尔装载散货的干货船，除满足本章要求之外，货舱区域船体结构还应满足以下要求：
(1) 船底骨架强度应符合本篇第 8 章第 2 节的要求；
(2) 水密舱壁强度应符合本篇第 8 章第 4 节的要求；
(3) 装载手册和装载仪应符合本篇第 8 章第 7 节的要求
(4) 如具有双舷侧结构，应符合本篇第 8 章第 14 节的要求。

第 2 节 总 纵 强 度

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

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

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

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

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

式中：M_W——波浪弯矩，见本节 2.2.3.1；

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

$$\overline{M}=F_dW_d[\sigma]\times10^{-3} \quad \text{kN·m}$$

$$\overline{M}=F_bW_b[\sigma]\times10^{-3} \quad \text{kN·m}$$

其中：F_d、F_b——根据 ~~2.2.5.7(1)~~ 2.2.5.6(1)确定；

W_d——甲板处的剖面模数，cm^3；

W_b——龙骨处的剖面模数，cm^3；

船体梁的许用弯曲应力$[\sigma]$按下述要求确定：

$[\sigma]=175/K$ N/mm^2，船中 0.4L 区域

$[\sigma]=125/K$ N/mm^2，船端 0.1L 区域

其余区域用线性内插法求得，其中 K 为材料系数。

第 6 节 双层底

2.6.3.2 箱形中桁材的骨架应符合下列要求：

(3) 箱形中桁材内在船体中心线处，应设置~~间断的~~船底纵向骨材，该骨材在横向骨架处可间断。

第 14 节 首尾柱、球鼻首、尾轴架

2.14.1 首柱

2.14.1.2 钢板焊接首柱在夏季载重线以上 0.5m 处以下区域的板厚 t 应不小于按下式计算所得之值：

~~$t=0.08L+5.5$ mm~~ $t=(0.08L+5.5)\sqrt{K}$ mm

式中：L——船长，m，但计算时取值不必大于 230m~~。~~；

K——材料系数。

夏季载重线以上 0.5m 处以上区域的厚度可逐渐减小，至顶端可等于船端外板的厚度。

首柱应以水平肘板加强，其间距应不大于 1m。肘板厚度应不小于邻接外板的厚度。肘板应向后延伸与肋骨或舷侧纵桁连接，但至少应超过首柱板与外板的对接缝。

对曲率半径较大的首柱，沿其中纵剖面处应设置与水平肘板厚度相同的纵向加强筋。

第 15 节 船 端 加 强

2.15.1 首尖舱内的加强

2.15.1.1 在每个肋位处均应设置实肋板，其腹板高度 h、厚度 t 和面板剖面积 A，应分别不小于按下列各式计算所得之值：

$$h=85D+140 \quad \text{mm，但不必大于 1500mm}$$

$$t=(0.03L+6)\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

$$A=0.85BK \ \text{cm}^2$$

式中：B ——船宽，m；

D——型深，m；

L ——船长，m，计算时取值不必大于 ~~250m~~200m；

K ——材料系数。

2.15.1.5 当舷侧为横骨架式时，应在每隔 1 档肋位处设置垂向间距不大于 2m 的强胸横梁，其垂向设置范围应为从肋板的上缘至最下层甲板，且至少应达到满载水线以上 1m 处。强胸横梁的剖面积 A 和最小剖面惯性矩 I 应分别不小于按下列两式计算所得之值：

$$A=(0.27L+8)K \quad \text{cm}^2$$

$$I=ce\,h_i\,l^2 \quad \text{cm}^4$$

式中：L——船长，m，计算时取值不必大于 250m；

c ——强胸横梁的水平间距，m；

e ——强胸横梁的垂直间距，m；

h_i ——强胸横梁至载重线要求最小船首高度以上 3m 的垂直距离，且不应小于至上甲板的垂直距离，m；

l ——强胸横梁的跨距，m；

K ——材料系数。

第 18 节 直升机甲板

2.18.3 直升机甲板的布置

2.18.3.2 桁架式独立平台结构的直升机甲板的布置参照 ~~IMO 海安会 MSC 63/23/Add 1 附件 20 中附件 3《对海上移动式钻井平台构造和设备规则（1989）中直升机设施条款的修正案》。~~《海上移动式钻井平台构造和设备规则》中有关直升机设施的规定。

第 20 节整节替换为：

第 20 节 舱口和舱口盖

2.20.1 一般要求

2.20.1.1 对于露天的舱口和舱口盖除应满足本节要求外，还应注意满足《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇的有关要求。

2.20.1.2 对于非露天的舱口盖，可根据其结构形式按本节相关要求确定其结构尺寸，但仅需计及许用货物载荷。

2.20.1.3 对深舱内的钢质舱口盖尺寸，可根据其所在的位置，按本节的有关要求予以确定。但不论在何种情况下，其尺寸应不小于本章第 13 节对深舱甲板及其骨架的要求。

2.20.1.4 当在舱口盖上装载车辆或使用车辆装卸货物时，舱口盖的尺寸还应符合本章第 21 节对车辆甲

板的要求。

2.20.1.5 对于兼作直升机甲板的舱口盖，舱口盖的尺寸还应符合本章第 18 节对直升机甲板的要求。

2.20.1.6 除另有规定外，舱口盖扶强材和桁材的带板宽度应按本篇第 1 章第 2 节 1.2.2 确定，但扶强材的面积应不包括在桁材的带板中。

2.20.1.7 对于货舱内下甲板装货舱口盖，其强度校核应按照 2.20.3 的规定。

2.20.1.8 舱口围板的高度：

(1)在位置 1，其高度应不小于 600mm；

(2)在位置 2，其高度应不小于 450mm；

(3)采用钢质风雨密舱口盖的船舶，在不影响船舶安全和采取有效措施的条件下，经主管机关同意，对其舱口围板高度可适当降低；

(4)在非露天干舷甲板或露天上层建筑甲板上的货舱口，可按其所在位置及所需的舱口保护程度，设置适当高度的围板。

2.20.1.9 舱口盖类型

(1)单壳舱口盖

由钢材或等效材料构成的符合《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇第 2 章 2.5 要求的一种风雨密舱口盖。这种舱口盖有连续的顶板和侧板，向下是敞开的，其底部扶强结构是暴露的。舱口盖应为风雨密，除特殊免除外，应设置衬垫材料及扣紧装置。

(2)双壳舱口盖

如同本条(1)所定义的舱口盖，但具有连续的底板，使底部扶强结构和内部构件与外部环境隔离。

(3)箱型舱口盖

一种特殊类型的活动舱口盖，通过防水帆布和压紧装置来保证风雨密，其设计应符合《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇第 2 章 2.4 要求。

2.20.2.1 一般要求

(1)本条适用于除散货船、矿砂船和兼用船以外的船舶，并适用于所有露天甲板上的货舱舱口盖和舱口围板。

(2)强度要求适用于舱口盖和具有加筋板构造的舱口围板及舱口盖的封闭装置。

(3)本条要求适用于钢质舱口盖和舱口围板。舱口盖和舱口围板的材料应满足本篇第 1 章第 3 节的有关要求。舱口盖顶板、底板和主要支撑构件应为材料级别 I。若采用等效材料或新颖结构设计时，应提交认可。

(4)舱口盖的主要支撑构件和扶强材在舱口盖的长度和宽度范围内应尽可能连续，如无法实现时，应采用适当的布置方式以确保舱口盖有足够的承载能力，但不应采用端部削斜的连接方式。

平行于扶强材方向的主要支撑构件的间距应不超过其跨距的 1/3。当强度评估采用平面应变或壳单元的有限元分析时，这项要求可适当放宽。

舱口围板的扶强材在舱口围板的宽度和长度范围内应连续。

(5)除另有规定外，本条规定中板厚 t 均为净板厚。

构件的净厚度要满足本节 2.20.2.3-2.20.2.6 以及 2.20.2.8 规定的最小净尺寸要求。

总厚度等于净厚度 t 加上腐蚀余量 t_s，腐蚀余量见本节 2.20.2.10 的要求。

采用板架分析或有限元方法进行强度计算时应基于净尺寸。

2.20.2.2 舱口盖和舱口围板的载荷模型

舱口盖和舱口围板的结构强度评估采用的载荷应符合下列规定。

定义：

L =船长，m；

L_L =载重线船长，m；

x =结构构件中点至 L 或 L_L 后端的纵向距离；

D_{min}=最小型深，m，见《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇第 1 章的规定；

h_N =标准上层建筑高度，m，按下式计算：

$$h_N = 1.05 + 0.01L_L \text{，且} 1.8 \leqslant h_N \leqslant 2.3 \text{。}$$

(1)垂向露天设计载荷

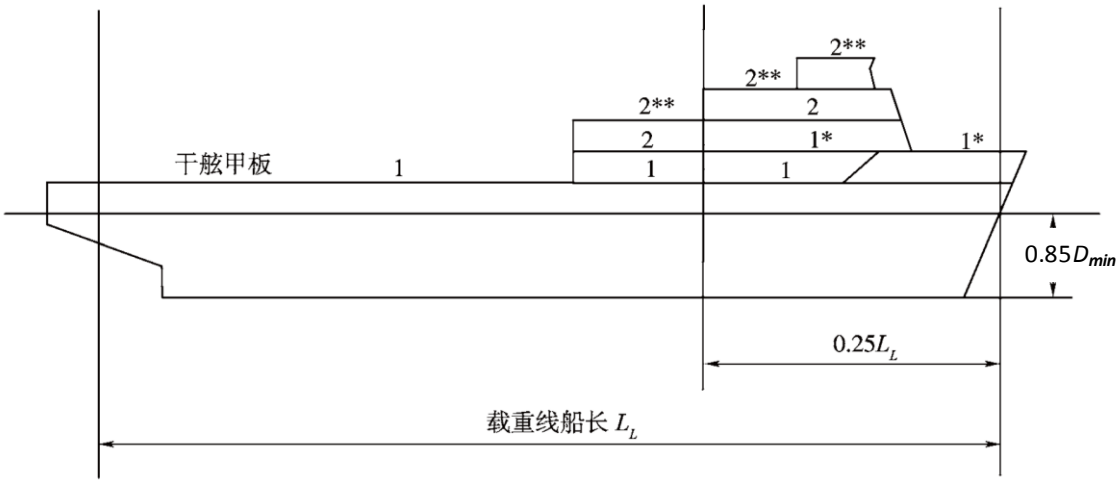
舱口盖的垂向露天设计载荷 p_H 可按表 2.20.2.2(1)进行计算。垂向露天设计载荷不应与本条(3)、(4)中的货物载荷进行组合。

位置 1 和位置 2 见图 2.20.2.2(1)。

对勘划增加干舷船舶，实际干舷甲板上的舱口盖的设计载荷可按上层建筑甲板来进行计算，前提是夏季干舷对应的吃水应不超过基于假定干舷甲板计算的最小干舷而确定的吃水，并且假定干舷甲板应低于实际干舷甲板至少一个标准上层建筑高度 h_N，如图 2.20.2.2(2)所示。

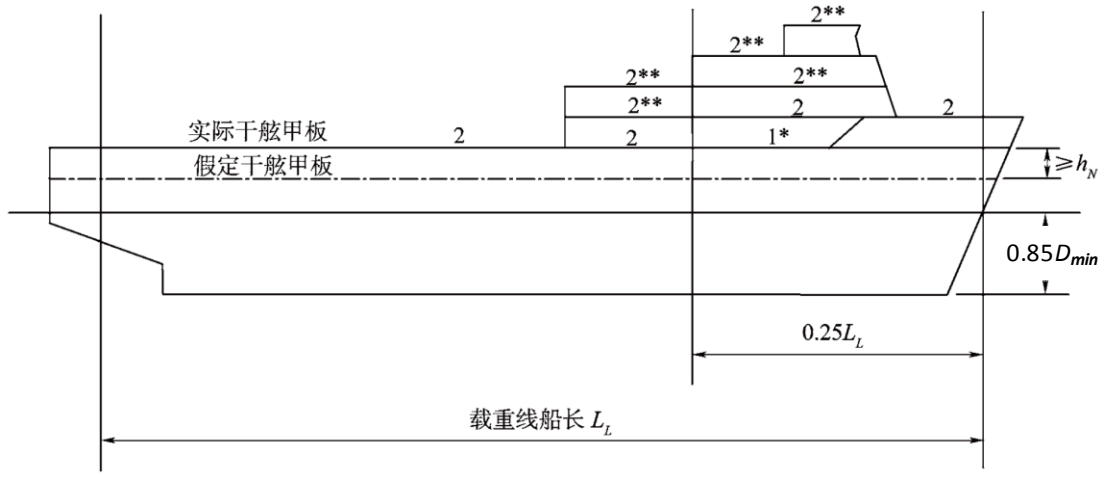
露天甲板舱口盖的垂向露天设计载荷　　表 2.20.2.2(1)

<table>
<tr><td rowspan="2">舱口盖位置</td><td colspan="2">垂向露天设计载荷 p_H，kN/m^2</td></tr>
<tr><td>$\frac{x}{L_L} \leqslant 0.75$</td><td>$0.75 < \frac{x}{L_L} \leqslant 1.0$</td></tr>
<tr><td rowspan="6">1</td><td colspan="2">对于 24m≤L_L≤100m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$\frac{9.81}{76}(1.5L_L+116)$</td><td>干舷甲板上：$\frac{9.81}{76}\left[(4.28L_L+28)\frac{x}{L_L}-1.71L_L+95\right]$</td></tr>
<tr><td>位于干舷甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上：
$\frac{9.81}{76}(1.5L_L+116)$</td></tr>
<tr><td colspan="2">对于 L_L>100m</td></tr>
<tr><td rowspan="3">9.81×3.5</td><td>B 型干舷船舶的干舷甲板上：
$9.81\left[(0.0296L_1+3.04)\frac{x}{L_L}-0.0222L_1+1.22\right]$</td></tr>
<tr><td>干舷小于 B 型干舷船舶的干舷甲板上：
$9.81\left[(0.1452L_1-8.52)\frac{x}{L_L}-0.1089L_1+9.89\right]$
L_1=L_L，且不大于 340m</td></tr>
<tr><td>位于干舷甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上：
9.81×3.5</td></tr>
<tr><td rowspan="5">2</td><td colspan="2">对于 24m≤L_L≤100m</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\frac{9.81}{76}(1.1L_L+87.6)$</td></tr>
<tr><td colspan="2">对于 L_L>100m</td></tr>
<tr><td colspan="2">9.81×2.6</td></tr>
<tr><td colspan="2">位于最低位置 2 甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板：
9.81×2.1</td></tr>
</table>



注：*——折减载荷，位于干舷甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上；
**——折减载荷，对于 L_L>100m，位于最低位置 2 甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上。

图 2.20.2.2(1) 位置 1 和位置 2



注：*——折减载荷，位于干舷甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上；
**——折减载荷，对于 L_L>100m，位于最低位置 2 甲板以上至少一个标准上层建筑高度的露天上层建筑甲板上。

图 2.20.2.2(2)增加干舷的位置 1 和位置 2

(2)水平露天设计载荷

露天舱口盖的外侧裙板和舱口围板的水平露天设计载荷 p_A 应按下式计算：

$$p_A = ac(bfc_L - z)\ \text{kN/m}^2$$

式中：$f = \dfrac{L}{25} + 4.1$， 对于 L<90 m；

$f = 10.75 - \left(\dfrac{300 - L}{100}\right)^{1.5}$， 对于 $90\text{m} \leqslant L < 300\text{m}$；

$f = 10.75$， 对于 $300\text{m} \leqslant L < 350\text{m}$；

$f = 10.75 - \left(\dfrac{L - 350}{150}\right)^{1.5}$， 对于 $350\text{m} \leqslant L \leqslant 500\text{m}$；

$c_L = \sqrt{\dfrac{L}{90}}$， 对于 L<90 m；

$c_L = 1$， 对于 $L \geqslant 90\text{m}$；

$a=20+\frac{L_1}{12}$，对于无保护的前端舱口围板和舱口盖裙板；

$a=10+\frac{L_1}{12}$，对于位于实际干舷甲板到夏季载重线的距离超过《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇第 3 章规定的最小未修正表列干舷至少一个标准上层建筑高度处且无保护的前端舱口围板和舱口盖裙板；

$a=5+\frac{L_1}{15}$， 对于两侧的舱口围板和舱口盖裙板、有保护的前端舱口围板和舱口盖裙板；

$a=7+\frac{L_1}{100}-\frac{8x'}{L}$，对于船中之后的后端舱口围板和舱口盖裙板；

$a=5+\frac{L_1}{100}-\frac{4x'}{L}$，对于船中之前的后端舱口围板和舱口盖裙板；

L_1=L，但不必大于 300m；

$b=1.0+\left(\frac{\frac{x'}{L}-0.45}{C_b+0.2}\right)^2$，当 $\frac{x'}{L}<0.45$ 时；

$b=1.0+1.5\left(\frac{\frac{x'}{L}-0.45}{C_b+0.2}\right)^2$，当 $\frac{x'}{L}\geqslant 0.45$ 时；

C_b——方形系数，$0.6\leqslant C_b\leqslant 0.8$，对于船中之前后端舱口围板和舱口盖裙板，取 C_b 不必小于 0.8；

x' ——所考虑的横向围板或舱口盖前后端裙板至船长 L 后端的距离，m；对于两侧的舱口围板和舱口盖裙板，在船长方向上划分为长度近似相等且不超过 $0.15L$ 的若干部分，x' 取每部分的中点至船长 L 后端的距离；

z ——夏季载重线到扶强材跨距中点或板中点的垂直距离，m；

$c=0.3+0.7\frac{b'}{B'}$，其中 $\frac{b'}{B'}$ 应取不小于 0.25；

b' ——所考虑位置处的舱口围板宽度，m；

B'——船舶的露天甲板在所考虑位置处的最大实际宽度，m。

水平露天设计载荷不得小于表 2.20.2.2(2)规定的最小值。

最小水平露天设计载荷 P_{Amin} **表 2.20.2.2(2)**

L	P_{Amin} kN/m²	
	无保护前端处	其他位置
≤50m	30	15
>50m	$25+\frac{L}{10}$	$12.5+\frac{L}{20}$
<250m		
≥250m	50	25

注：舱口盖直接计算时不必包含水平露天设计载荷，除非用于根据 2.20.2.9（2）③来设计的舱口盖水平支撑底部结构。

(3)货物载荷

①均布载荷

由纵摇和垂荡（例如船舶处于正浮状态）引起的作用于舱口盖上的货物均布载荷 p_L 应按下式计算：

$$p_L=p_C\left(1+a_V\right)\text{kN/m}^2$$

式中： p_C——货物均布载荷，kN/m^2；

a_V——垂向加速度，按下式计算：

$a_V = Fm$；

$F = \dfrac{0.11v_0}{\sqrt{L}}$；

$m = m_0 - 5(m_0 - 1)\dfrac{x}{L}$，当 $0 \leqslant \dfrac{x}{L} \leqslant 0.2$；

$m = 1.0$，当 $0.2 < \dfrac{x}{L} \leqslant 0.7$；

$m = 1 + \dfrac{m_0 + 1}{0.3}\left[\dfrac{x}{L} - 0.7\right]$，当 $0.7 < \dfrac{x}{L} \leqslant 1.0$；

$m_0 = 1.5 + F$；

v_0——夏季载重线吃水时的最大速度，且取值不小于 $\sqrt{L}$，kn。

②集中载荷

由纵摇和垂荡（例如船舶处于正浮状态）引起的作用于舱口盖上的除集装箱载荷以外的货物集中载荷 P 应按下式计算：

$$P = P_s(1 + a_V) \quad \text{kN}$$

式中：Ps——集中力，kN；

(4)

①当集装箱堆装在舱口盖上时，应采用②和④中所定义的载荷。

②由纵摇和垂荡（例如船舶处于正浮状态）引起的作用于舱口盖上集装箱堆垛的箱角处的载荷 P 应按下式计算：

$$P = 9.81\frac{M}{4}(1 + a_V) \quad \text{kN}$$

式中：a_V——（3）①中定义的垂向加速度

M——集装箱堆垛最大设计重量，t

③当集装箱堆装在舱口盖上，如图 2.20.2.2(4)所示，由纵摇、垂荡和横摇运动产生的载荷按下列公式计算：

$$A_z = 9.81\tfrac{M}{2}(1 + a_V)\left(0.45 - 0.42\frac{h_m}{b}\right) \quad \text{kN}$$

$$B_z = 9.81\tfrac{M}{2}(1 + a_V)\left(0.45 + 0.42\frac{h_m}{b}\right) \quad \text{kN}$$

$$B_y = 2.4M \quad \text{kN}$$

式中：a_V——加速度，按本条(3)进行计算；

M ——集装箱堆垛最大设计重量，t；

h_m——在舱口盖顶板以上的集装箱堆垛重心的设计高度，m，可看作集装箱堆垛高度的加权平均值，其中每个集装箱的重心取在集装箱中心位置，

$= \sum(z_i \cdot W_i)/M$；

z_i——集装箱顶板到第 i 个集装箱的中心距离，m

W_i——第 i 个集装箱的重量，t

b ——箱脚中心线间的距离，m；

A_z、B_z——集装箱垂向堆角支反力；

B_y——集装箱横向堆角支反力。

当按 2.20.2.4 的交叉梁分析方法对舱口盖结构进行分析时，h_m 和 z_i 应从舱口盖支撑处算起，且不必考虑载荷B_y。

舱口盖强度评估时 A_z 和 B_z 的值应在舱口盖图纸上标明。

注：建议在计算货物（集装箱）系固时考虑按上述计算的载荷作为集装箱堆垛箱脚的最大值。

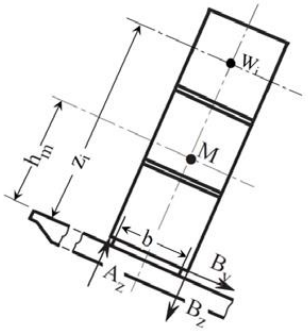


图 2.20.2.2(4)

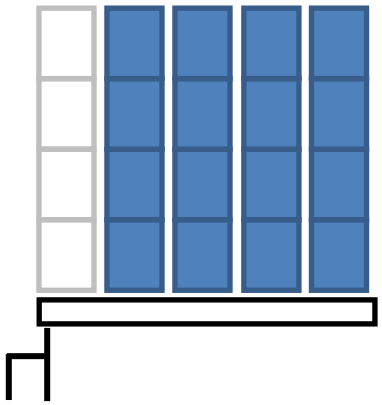
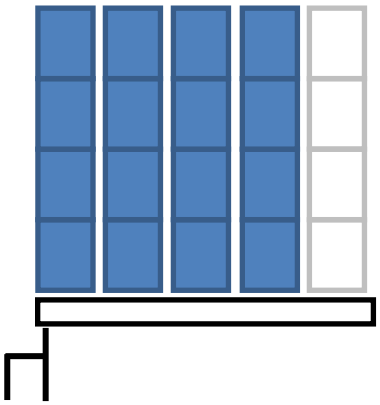
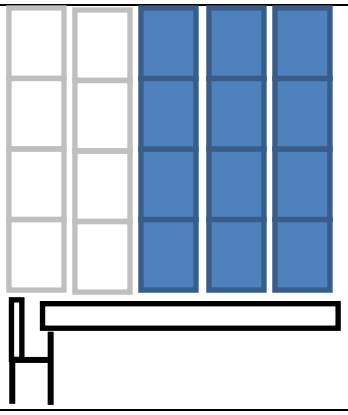
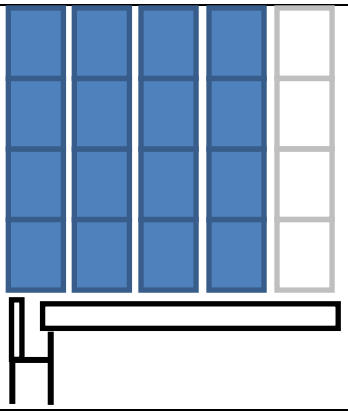
④部分装载工况

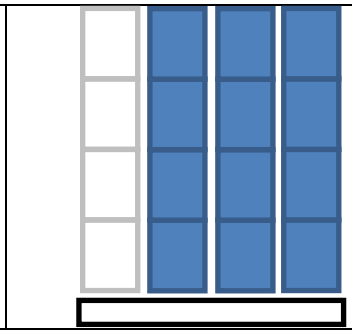
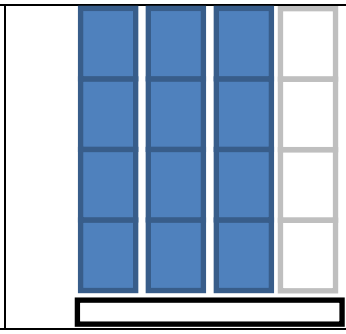
上述②、③规定的载荷还应考虑实际运营中可能出现的非均匀装载状态，例如特定集装箱堆垛位置空载。对于部分装载工况中的每一个舱口盖，应考虑表 2.20.2.2（4）中的横倾方向。集装箱舱口盖部分装载工况可使用简单方法来代替，即最外层没有堆装集装箱且都全部都装载在舱口盖上的部分装载工况。如果集装箱堆垛由舱口盖和集装箱支柱共同支撑的，则这部分集装箱堆垛是可以忽略的，见表 2.20.2.2（4）集装箱舱口盖的部分装载。

另外，为了考虑舱口盖垂向支撑的最大载荷，在集装箱堆垛只由舱口盖和集装箱支柱共同支撑且左面为空置的工况是需要进行分析的

当更多或不同的集装箱堆垛为空置时可能需要考虑校核部分装载工况。因此可能要求校核除表 2.20.2.2(4)以外的其它部分装载工况。

表 2.20.2.2(4) 集装箱舱口盖的部分装载

横倾方向	←	→
舱口盖由纵向舱口围板支撑且所有集装箱堆垛均放置在舱口盖上时		
舱口盖由纵向舱口围板支撑且最外层集装箱堆垛由舱口盖和集装箱支柱共同支撑时		

舱口盖不由纵向舱口围板支撑（沿船宽方向货舱中部舱口盖）		

⑤舱口盖上混装20'和40'集装箱

对于集装箱混装工况（20'和 40'集装箱），舱口盖盖板最外侧箱脚集中力不得大于 40'集装箱的设计堆重；舱口盖盖板中间位置处箱脚集中力不得大于 20'集装箱的设计堆重。

(5)除上述(1)~(4)规定的载荷外，钢质风雨密舱口盖应考虑船体弹性变形引起横向载荷，且加载后的应力总和应不超过 2.20.2.5 中规定的许用应力。

2.20.2.3 钢质风雨密舱口盖结构净尺寸应符合下列规定：

(1)局部净板厚

舱口盖顶板局部净板厚应不小于按下列各式计算所得之值，且不小于 6mm：

$$t = 15.8F_p s\sqrt{\frac{p}{0.95R_{eH}}} \text{ mm}$$

$$t = 10s \text{ mm}$$

式中：F_p ——拉伸和弯曲组合因子，按下列公式计算：

$F_p = 1.5$，一般情况；

$F_p = 1.9\dfrac{\sigma}{\sigma_a}$，对于主要支撑构件带板，当 $\dfrac{\sigma}{\sigma_a} \geqslant 0.8$ 时；

s ——扶强材间距，m；

p —— p_H 和 p_L，按本节 2.20.2.2 进行计算，kN/m^2；

σ ——舱口盖顶板的最大正应力， N/mm^2，根据图 2.20.2.3 选取；

σ_a=0.8R_{eH}，N/mm^2；

R_{eH} ——材料的屈服应力，N/mm^2。

对于受压的翼板还应满足本节 2.20.2.6 对屈曲强度的要求。

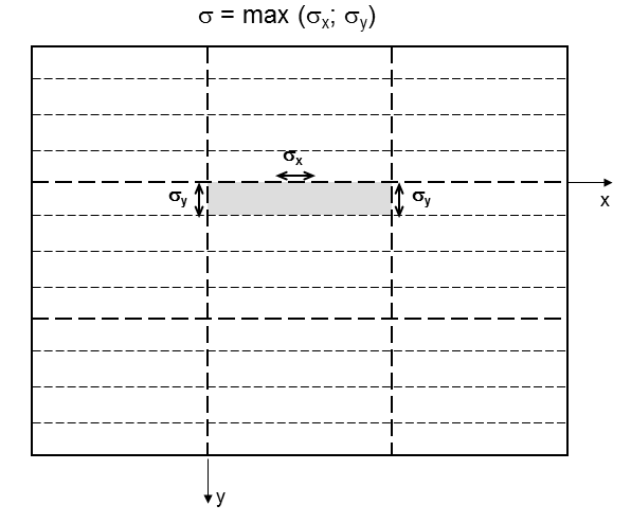


图 2.20.2.3

①当舱口盖承受轮印载荷时，舱口盖顶板的厚度还应满足本章第 21 节的有关要求。

②双壳舱口盖和箱型桁材的底板板厚应通过本节 2.20.2.4 规定的直接计算来确定且应满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求。当底板作为强力构件考虑时，底板的净尺寸应不低于 5mm。当舱口盖上装载大件货时，底板的净厚度不得小于按下式计算的值：

$$t=6.5s \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

当底板不作为强度构件考虑时，该舱口盖的底板总厚度应不小于 5mm。

注：大件货特指绑扎在舱口盖上大型或超大型货物。例如起重机、风力发电站和涡轮机等的货物部件。该载荷可看作均布载荷。木材、管子和钢卷不必看作为大件货物。

(2)舱口盖扶强材应符合下列规定：

在均布载荷作用下，两端固定的扶强材的净剖面模数 W、净剪切剖面面积 A_s 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=\frac{104}{R_{eH}}spl^2 \quad \text{cm}^3 \text{适用于 2.20.2.2(1)规定的设计载荷}$$

$$W=\frac{93}{R_{eH}}spl^2 \quad \text{cm}^3 \text{适用于 2.20.2.2(3)①规定的设计载荷}$$

$$A_s=\frac{10.8}{R_{eH}}spl \quad \text{cm}^3 \text{适用于 2.20.2.2(1)规定的设计载荷}$$

$$A_s=\frac{9.6}{R_{eH}}spl \quad \text{cm}^2 \text{适用于 2.20.2.2(3)①规定的设计载荷}$$

式中：l ——扶强材跨距，m，视适用情况，取主要支撑构件的间距或主要支撑构件与边缘支撑之间的距离；

s ——扶强材间距，m；

p —— p_H 和 p_L，按本节 2.20.2.2 进行计算，kN/m^2；

R_{eH} ——材料的屈服应力，N/mm^2。

对于双壳舱口盖底板的扶强材，由于不存在侧向载荷因此可不考虑上述要求。

扶强材（U 型材/吊架除外）腹板的净厚度，不得小于 4mm。

扶强材净剖面模数的计算基于带板宽度等于扶强材间距的假定。

对于扁钢扶强材和抗屈曲扶强材，h/t_w 不大于 $15k^{0.5}$，其中 h 为扶强材的高度，t_w 为扶强材的净厚度，$k=235/R_{eH}$。

对于平行于主要支撑构件且布置在按本节 2.20.2.4 规定的有效宽度之内的扶强材，在穿过主要支撑构件时应保持连续，同时可计入主要支撑构件剖面特性的计算。应验证扶强材上由主要支撑构件弯曲和侧向压力产生的组合应力不超过本节 2.20.2.5 规定的许用应力。当舱口盖底板不作为强度构件时，其扶强材可不必考虑此条要求。

对于受压的舱口盖扶强材，应按本节 2.20.2.6 的规定校核侧向和扭转屈曲强度。

当舱口盖承受轮印载荷时应满足本章第 21 节的有关要求；当舱口盖承受集中载荷时，舱口盖扶强材尺寸可通过直接计算来确定且应满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求。

(3)主要支撑构件的净尺寸应符合下列规定：

①主要支撑构件尺寸应按本节 2.20.2.4 规定的直接计算来确定且应满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求。

主要支撑构件的所有部分应按本节 2.20.2.6 来验证其具有足够的安全性来抵抗屈曲。应验证本节 2.20.2.6(3)②规定的有效宽度以内的双向受压翼板的屈曲强度。

主要支撑构件腹板的净厚度应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t=6.5s \quad \text{mm}$$

$$t=5 \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

②舱口盖裙板的净尺寸应符合下列规定：

应根据本节 2.20.2.4 对裙板的尺寸进行验证且应满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求。

暴露于海水冲刷的外侧裙板的净厚度应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t = 15.8s\sqrt{\frac{p_A}{0.95R_{eH}}} \text{ mm}$$

$$t = 8.5s \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

p_A——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2 进行计算，kN/m^2；

R_{eH}——材料的屈服应力，N/mm^2。

裙板要有足够的刚度来支撑紧固装置之间的密封线压力，cm^4。裙板的惯性矩应不小于：

$$I = 6qs_{SD}^4$$

式中：q——密封线压力，N/mm，计算时最小取 5N/mm；

s_{SD}——紧固装置的间距，m。

2.20.2.4 强度计算

可采用交叉梁分析或有限元方法来对舱口盖强度进行计算。双壳舱口盖或具有箱型梁的舱口盖应采用本节（2）规定的有限元方法进行计算。

(1)交叉梁分析时的有效横剖面特性

横剖面特性的确定要考虑有效宽度。应计入有效宽度以内的平行于所考虑主要支撑构件的扶强材的横剖面面积，如本节图 2.20.2.6(2)所示。

考虑载荷类型，主要支撑构件的板的有效宽度 e_m 根据表 2.20.2.4(1)进行确定。翼板为单侧设置或非对称形式的，需进行特别计算来确定其有效宽度。

板的有效横剖面不得小于面板的有效横剖面。

对于具有与主要支承构件腹板垂直的扶强材的受压翼板，其有效宽度按本节 2.20.2.6(3)②来确定。

主要支撑构件的板的有效宽度 e_m **表 2.20.2.4(1)**

l/e	0	1	2	3	4	5	6	7	≥ 8
e_{m1}/e	0	0.36	0.64	0.82	0.91	0.96	0.98	1.00	1.00
e_{m2}/e	0	0.20	0.37	0.52	0.65	0.75	0.84	0.89	0.90

e_{m1}——适用于承受均布载荷或承受不少于 6 个等间距的单个载荷的主要支撑构件
e_{m2}——适用于承受 3 个或更少的单个载荷的主要支撑构件
中间值可通过插值计算获得
l——弯矩曲线上零点之间的长度
$l = l_0$ 对简支的主要支承构件
$l = 0.6 \cdot l_0$ 对于两端固支的主要支承构件
其中：l_0 是主要支承构件无支撑的长度
e——受支撑板材的宽度，mm，从其中心量至相邻未受支撑区域的中心。

(2)有限元计算方法的一般要求

舱口盖的有限元强度计算，应尽量按实际情况对舱口盖几何特性进行模拟。单元的大小要能合适地计及有效宽度。在载荷传递节点和开口处，网格划分要尽可能良好。单元的宽度应不大于扶强材的间距，且单元的长宽比应不大于 4。

主要支承构件腹板的单元高度不得超过腹板高度的 1/3，需对抵抗侧向载荷的扶强材和支撑板进行理想化模拟。扶强材可采用壳单元、平面应力单元或梁单元来进行模拟。应力分析时可不必对抗屈曲的扶强材进行模拟。

①坐标系统采用右手坐标系：

x 轴沿纵向，以船首为正方向；

y 轴沿横向，以左舷为正方向；

z 轴沿型深方向，向上为正方向。

②有限元分析时，结构尺寸应基于净厚度。

③有限元模型范围按如下要求确定：

(a)如舱口盖的桁材或载荷只对称于 x 轴或 y 轴一个轴，则可取舱口盖的 1/2 进行校核；

(b)如舱口盖的桁材或载荷不对称于任何一个轴，则应取舱口盖整体进行强度校核，如图 2.20.2.4(1)。

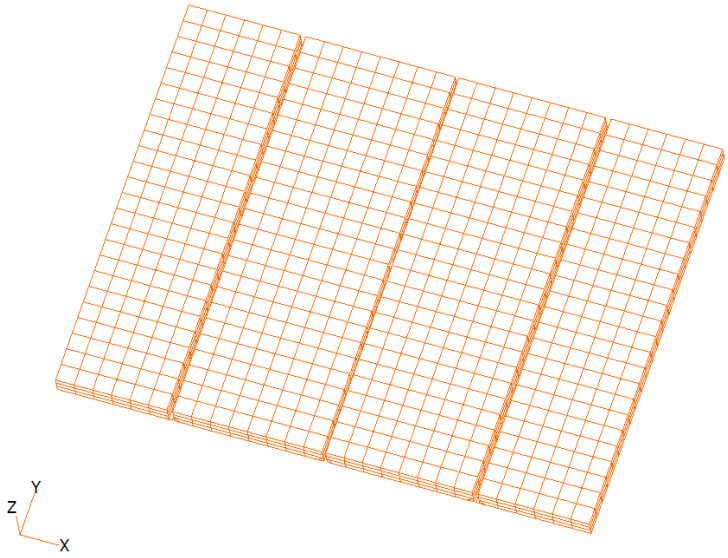


图 2.20.2.4(1) 舱口盖有限元模型

④模型单元应符合以下要求：

(a)舱口盖的所有板材、桁材和扶强材均应包含在有限元模型中。

(b)所有板材，如顶板、底板、肘板、主要支承构件的腹板、面板等用板单元模拟，且尽量避免采用三角形单元；

(c)所有扶强材用梁单元、杆单元或板单元模拟；

⑤单元网格尺寸控制如下：

(a)网格间距不应大于骨材间距；

(b)桁材在垂直方向上应布置不少于 3 个单元；

(c)三角形或四边形单元的角度不应小于 60 度也不应大于 120 度。

⑥边界条件按如下要求确定：

(a)如舱口盖的桁材和载荷对称于 x 轴，则对称面内节点的纵向位移为 0，绕 y、z 两个坐标轴的角位移为 0，即 $\delta_x = \theta_y = \theta_z = 0$(如图 2.20.2.4(2))；

(b)如舱口盖的桁材和载荷对称于 y 轴，则对称面内节点的横向位移为 0，绕 x、z 两个坐标轴的角位移为 0，即 $\delta_y = \theta_x = \theta_z = 0$(如图 2.20.2.4(2))；

(c)支承处的节点应约束 z 向的线位移，即 $\delta_z = 0$；

(d)应按照限位器限制的方向约束其线位移；

(e)如舱口盖是折叠式的，则铰链处应设置为 z 向位移刚性关联。

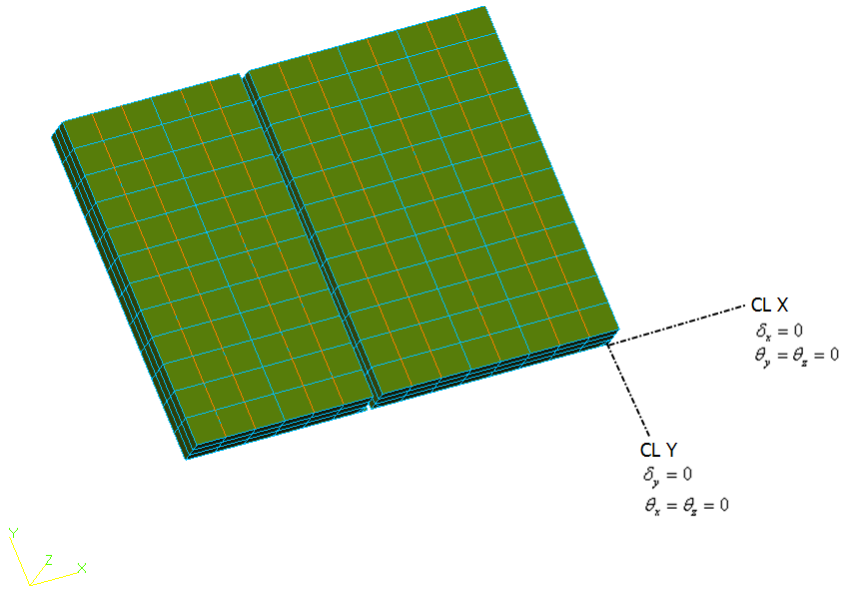


图 2.20.2.4(2) 舱口盖模型的边界条件

2.20.2.5 舱口盖结构强度屈服和变形衡准

(1)许用应力

基于净尺寸的舱口盖结构等效应力应不大于$0.8R_{eH}$，其中R_{eH}为材料的屈服应力，N/mm^2。对于本节2.20.2.2(2)~(6)规定的设计载荷，当采用有限元方法进行分析时，基于净尺寸的舱口盖结构等效应力应不大于$0.9R_{eH}$。

对于屈服应力为390 N/mm^{2}的钢材，计算时R_{eH}取368 N/mm^2。

当采用交叉梁分析时，等效应力可按下式计算：

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \text{ N/mm}^2$$

式中：σ=正应力，N/mm^2

τ=剪切应力，N/mm^2

当采用有限元方法进行计算时，等效应力可按下式计算：

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau^2} \text{ N/mm}^2$$

式中：$_x$= x 向的正应力，N/mm^2

$_y$= y 向的正应力，N/mm^2

= x-y 面内的剪切应力，N/mm^2

当采用有限元方法的平面应变或壳单元进行强度分析时，应力应从单元的中心处进行选取；需要特别关注的是，在非对称桁材的翼板处，应力从单元中心读取可能会导致偏于危险的结果。因此，在这种情况下网格需要足够细化，或从单元四边读取的应力不大于许用应力。当选用壳单元进行分析时，应选取单元中面应力。

结构应力集中的评估，根据实际情况进行控制。

(2)变形

主要支承构件由于本节 2.20.2.2 所规定载荷作用产生的垂向变形应不大于 $0.0056l_g$，其中 l_g 是主要支承构件的最大跨距。

注：舱口盖上安排载运集装箱且允许混合堆装时，即在两个 20′集装箱的上方堆装一个 40′集装箱，应注意舱口盖的挠度。还应考虑由于舱口盖变形与舱内货物发生可能的碰触。

2.20.2.6 舱口盖结构的屈曲要求

应证明舱口盖结构具有足够的屈曲强度。

舱口围板和舱口围顶板应按本条校核屈曲强度。

定义：

a——基本板格长边的长度，mm，(x 向)；

b——基本板格短边的宽度，mm，(y 向)；

α ——基本板格的长宽比，取为：

$$\alpha = \frac{a}{b}$$

n——局部或整个板格内基本板格宽度的数量；

t ——净板厚，mm；

σ_x ——x 方向的膜应力，N/mm^2；

σ_y ——y 方向的膜应力，N/mm^2；

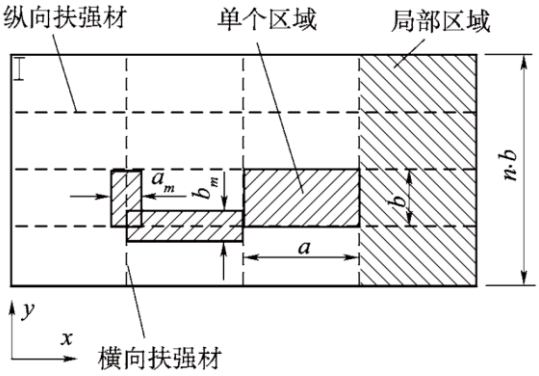
τ ——x-y 平面的剪应力，N/mm^2；

E——材料的弹性模量，N/mm^2，

$= 2.06\times10^5$ N/mm^2

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2。

压应力和剪应力为正，拉应力为负。



纵向：长度 a 方向的扶强材

横向：宽度 b 方向的扶强材

图 2.20.2.6(1) 板格一般布置

注：如果 x、y 向的应力已经包含泊松效应(通过有限元方法计算)，则采用下面的修正后的应力。σ_x^* 和 σ_y^* 两者均为压应力，以应用于按下列公式进行的应力折减：

$$\sigma_x = (\sigma_x^* - 0.3\sigma_y^*)/0.91$$

$$\sigma_y = (\sigma_y^* - 0.3\sigma_x^*)/0.91$$

式中：σ_x^*，σ_y^*——含有泊松效应的应力

若压应力满足条件 $\sigma_y^* < 0.3\sigma_x^*$，则 $\sigma_y = 0$ 和 $\sigma_x = \sigma_x^*$

若压应力满足条件 $\sigma_x^* < 0.3\sigma_y^*$，则 $\sigma_x = 0$ 和 $\sigma_y = \sigma_y^*$

F_1——纵向扶强材处的边界条件修正系数，按表 2.20.2.6(1)进行选取；

修正系数 F_1 表 2.20.2.6(1)

两端削斜的扶强材	1.00	
当两端与邻近结构有效连接的指导值(1)	1.05	扁钢
	1.10	球扁钢
	1.20	角钢和 T 型材
	1.30	U 型材(2) 和高刚性的桁材
对于具有不同边缘扶强材的板格，应采用 F_1 的平均值。		
(1)精确值可通过直接计算来确定。 (2)当采用非线性有限元对局部板格进行屈曲强度验证时可采用大一点的值，应认定合适的值并提交认可，但也不应大于 2.0。		

σ_e——参考应力，按以下确定：

$$\sigma_e = 0.9E\left(\frac{t}{b}\right)^2$$

Ψ——边缘应力比，取为：

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

式中：

σ_1——最大压应力

σ_2——最小压应力或拉应力

S——安全因子(基于净尺寸方法)，取为：

= 1.25　当舱口盖承受 2.20.2.2(1)所规定的垂向破浪载荷时

= 1.10　当舱口盖承受 2.20.2.2(2)-2.20.2.2(6)所规定的载荷时

λ——基准细长比，取为：

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_{eH}}{K\sigma_e}}$$

K——屈曲因子，按 2.20.2.6(3)进行取值。

(1) 舱口盖顶板和底板的验证

每个基本板格均应符合以下条件：

$$\left(\frac{|\sigma_x|S}{\kappa_x R_{eH}}\right)^{e1} + \left(\frac{|\sigma_y|S}{\kappa_y R_{eH}}\right)^{e2} - B\left(\frac{\sigma_x\sigma_y S^2}{R_{eH}^2}\right) + \left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}}\right)^{e3} \leqslant 1.0$$

此外，上述条件前两项和最后一项均应不大于 1.0。

折减因数 κ_x、κ_y 和 κ_τ 由 2.20.2.6(3)给出。

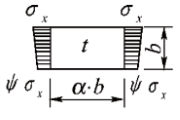
- 当 $\sigma_x \leqslant 0$ (拉应力)，$\kappa_x = 1.0$
- 当 $\sigma_y \leqslant 0$ (拉应力)，$\kappa_y = 1.0$

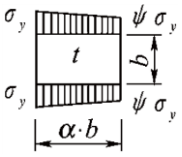
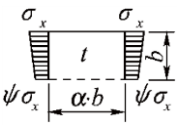
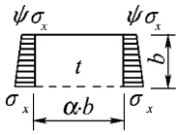
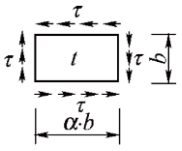
指数 e_1、e_2、e_3 以及系数 B 按表 2.20.2.6(2)中的定义。

系数 e_1、e_2 和 e_3 和系数 B　　**表 2.20.2.6(2)**

指数 e_1-e_3 和系数 B	板格
e_1	$1+\kappa_x^4$
e_2	$1+\kappa_y^4$
e_3	$1+\kappa_x\kappa_y\kappa_\tau^2$
B σ_x 和 σ_y 为正 (压应力)	$(\kappa_x\kappa_y)^5$
B σ_x 或 σ_y 为负 (拉应力)	1

基本板格的屈曲和折减系数　　**表 2.20.2.6(3)**

屈曲载荷工况	板边应力比 ψ	长宽比 $\alpha = a/b$	屈曲系数 K	折减系数 κ
1  	$1 \geqslant \psi \geqslant 0$	$\alpha \geqslant 1$	$K = \dfrac{8.4}{\psi + 1.1}$	$\kappa_x = 1$ 当 $\lambda \leqslant \lambda_c$ $\kappa_x = c\left(\dfrac{1}{\lambda} - \dfrac{0.22}{\lambda^2}\right)$ 当 $\lambda > \lambda_c$ $c = (1.25 - 0.12\psi) \leqslant 1.25$ $\lambda_c = \dfrac{c}{2}\left(1 + \sqrt{1 - \dfrac{0.88}{c}}\right)$
	$0 > \psi > -1$		$K = 7.63 - \psi(6.26 - 10\psi)$	
	$\psi \leqslant -1$		$K = (1-\psi)^2 \times 5.975$	

屈曲载荷工况	板边应力比 ψ	长宽比 $\alpha=a/b$	屈曲系数 K	折减系数 κ
2  	$1\geqslant\psi\geqslant 0$	$\alpha\geqslant 1$	$K=F_1\left(1+\frac{1}{\alpha^2}\right)^2\frac{2.1}{(\psi+1.1)}$	$\kappa_y=c\left(\frac{1}{\lambda}-\frac{R+F^2(H-R)}{\lambda^2}\right)$ $c=(1.25-0.12\psi)\leqslant 1.25$ $R=\lambda\left(1-\frac{\lambda}{c}\right)$ 当 $\lambda<\lambda_c$ $R=0.22$ 当 $\lambda\geqslant\lambda_c$ $\lambda_c=\frac{c}{2}\left(1+\sqrt{1-\frac{0.88}{c}}\right)$ $F=\left(1-\frac{\frac{K}{0.91}-1}{\lambda_p^{\ 2}}\right)c_1\geqslant 0$ $\lambda_p^{\ 2}=\lambda^2-0.5$ 当 $1\leqslant\lambda_p^{\ 2}\leqslant 3$ $c_1=\left(1-\frac{F_1}{\alpha}\right)\geqslant 0$ $H=\lambda-\frac{2\lambda}{c\left(T+\sqrt{T^2-4}\right)}\geqslant R$ $T=\lambda+\frac{14}{15\lambda}+\frac{1}{3}$
	$1\geqslant\psi\geqslant 0$	$1\leqslant\alpha\leqslant\frac{3(1-\psi)}{4}$	$K=F_1\left(\frac{1-\psi}{\alpha}\right)^2\times 5.975$	
	$0>\psi>-1$	$\alpha>1.5$	$K=F_1\left[\left(1+\frac{1}{\alpha^2}\right)^2\frac{2.1(1+\psi)}{1.1}-\frac{\psi}{\alpha^2}(5.87+1.87\alpha^2+\frac{8.6}{\alpha^2}-10\psi)\right]$	
	$1\geqslant\psi\geqslant 0$	$1\leqslant\alpha\leqslant\frac{3(1-\psi)}{4}$	$K=F_1\left(\frac{1-\psi}{\alpha}\right)^2\times 5.975$	
	$\psi\leqslant -1$	$\alpha>\frac{3(1-\psi)}{4}$	$K=F_1\left[\left(\frac{1-\psi}{\alpha}\right)^2\times 3.9675+0.5375\left(\frac{1-\psi}{\alpha}\right)^4+1.87\right]$	
3  	$1\geqslant\psi\geqslant 0$	$\alpha>0$	$K=\frac{4\left(0.425+\frac{1}{\alpha^2}\right)}{3\psi+1}$	$\kappa_x=1$ 当 $\lambda\leqslant 0.7$ $\kappa_x=\frac{1}{\lambda^2+0.51}$ 当 $\lambda>0.7$
	$0>\psi\geqslant -1$		$K=4\left(0.425+\frac{1}{\alpha^2}\right)(1+\psi)-5\psi(1-3.42\psi)$	
4  	$1\geqslant\psi\geqslant -1$	$\alpha>0$	$K=\left(0.425+\frac{1}{\alpha^2}\right)\frac{3-\psi}{2}$	
5  	===		$K=K_\tau\times\sqrt{3}$	$\kappa_\tau=1$ 当 $\lambda\leqslant 0.84$ $\kappa_\tau=\frac{0.84}{\lambda}$ 当 $\lambda>0.84$
		$\alpha\geqslant 1$	$K_\tau=\left[5.34+\frac{4}{\alpha^2}\right]$	
		$0<\alpha<1$	$K_\tau=\left[4+\frac{5.34}{\alpha^2}\right]$	
边界条件说明 ----- 板边自由 ———— 板边简支				

(2)主要支承构件的腹板和翼板

应按照 2.20.2.6(1)验证舱口盖顶板和底板的未经扶强的主要支撑构件的腹板和翼板具有足够的屈曲强度。

(3)局部和整体板格的屈曲验证

① 纵向和横向扶强材

局部和整体板格连续的纵向和横向扶强材应符合 2.20.2.6(3)③和 2.20.2.6(3)④的要求。

对于 U 型材，可不必进行 2.20.2.6(3)④规定的扭转屈曲强度计算。

除 U 型材以外，扶强材不允许单面焊。

②舱口盖顶板和底板的有效宽度

按 2.20.2.6(3)③和 2.20.2.6(3)④进行屈曲强度验证时，板的有效宽度按下式确定，见图 2.20.2.6(2)

$$b_m = \kappa_x b \quad \text{对于纵向扶强材}$$

$$a_m = \kappa_x a \quad \text{对于横向扶强材}$$

板的有效宽度应不大于按 2.20.2.4(1)所得之值。

主要支撑构件加筋翼板的有效宽度 e'_m 可按下述要求确定：

(a)平行于主要支撑构件腹板的加强，见图 2.20.2.6(2)

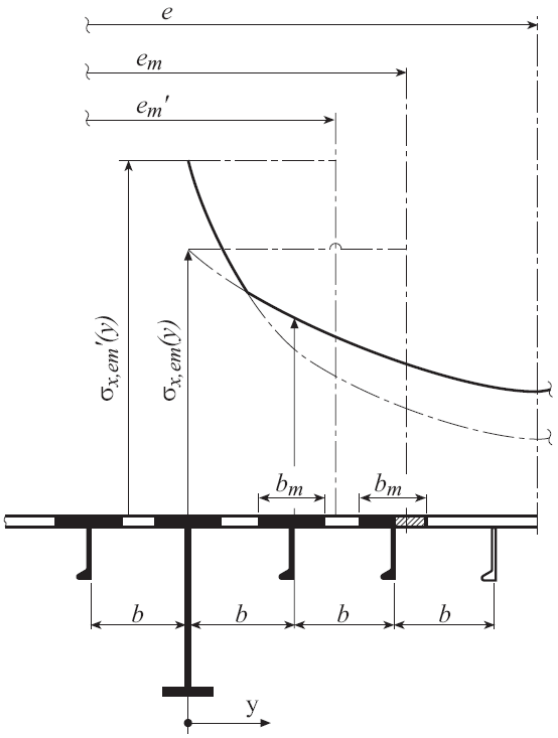


图 2.20.2.6(2) 平行于主要支撑构件腹板的加强

$b<e_m$

$e'_m=nb_m$

n——根据 2.20.2.4(1)规定的有效宽度 e_m 内的扶强材间距 b 的个数，应为：

$$=\text{int}\left(\frac{e_m}{b}\right)$$

(b)垂直于主要支撑构件腹板的加强，见图 2.20.2.6(3)

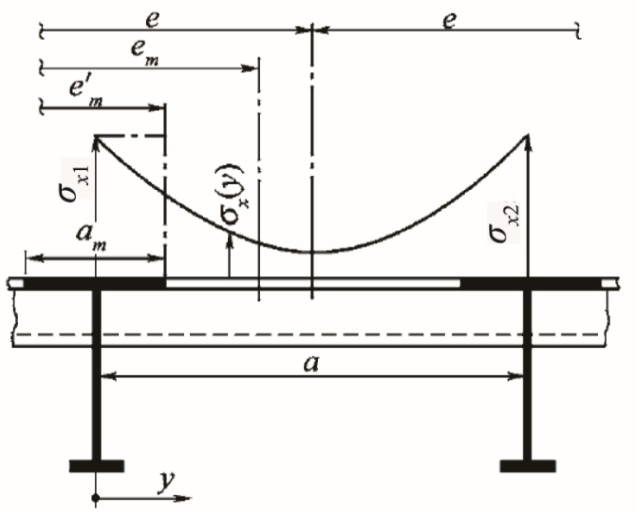


图 2.20.2.6(3) 垂直于主要支撑构件腹板的加强

$a \geq e_m$

$e'_m = na_m < e_m$

$n = 2.7\frac{e_m}{a} \leqslant 1$

e——受支撑板材的宽度，mm，取 2.20.2.4(1)所得之值

对于 $b \geqslant e_m$ 或 $a < e_m$，b 和 a 应分别予以对换。

在确定翼板的 a_m 和 b_m 时，一般取 ψ 为 1.

注：板和扶强材的尺寸一般应分别按主要支撑构件的腹板和扶强材的最大应力 $\sigma_x(y)$来确定。对于平行于主要支撑构件的间距为 b 的受压扶强材，$\sigma_x(y=b)$应取为不小于 $0.25R_{eH}$。

两个相邻的主要支撑构件之间的应力分布通过下式获得：

$$\sigma_x(y) = \sigma_{x1}\left\{1 - \frac{y}{e}\left[3 + c_1 - 4c_2 - 2\frac{y}{e}(1 + c_1 - 2c_2)\right]\right\}$$

式中：$c_1 = \frac{\sigma_{x2}}{\sigma_{x1}}$ $0 \leqslant c_1 \leqslant 1$

$$c_2 = \frac{1.5}{e}(e''_{m1} + e''_{m2}) - 0.5$$

e''_{m1}——视适用情况，主要支撑构件 1 在距离 e 范围内的比例有效宽度 e_{m1} 或比例有效宽度 e'_{m1}，m

e''_{m2}——视适用情况，主要支撑构件 2 在距离 e 范围内的比例有效宽度 e_{m2} 或比例有效宽度 e'_{m2}，m

σ_{x1}——主要支承构件 1 的翼板处的正应力，基于考虑有效宽度 e_{m1} 或有效宽度 e'_{m1} 的剖面特性

σ_{x2}——e 范围内主要支承构件 2 的翼板处的正应力，基于考虑有效宽度 e_{m2} 或有效宽度 e'_{m2} 的剖面特性

y——所考虑结构到主要支承构件 1 的距离，m

e——相邻主要支撑构件的间距，m

翼板上的剪切应力分布可假设为线性。

③扶强材的侧向屈曲

$$\frac{\sigma_a + \sigma_b}{R_{eH}} S \leqslant 1$$

σ_a——扶强材轴向均匀分布的压应力，N/mm^2

$\sigma_a = \sigma_x$ 对于纵向扶强材

$\sigma_a = \sigma_y$ 对于横向扶强材

σ_b——扶强材弯曲应力，N/mm^2

$$\sigma_b = \frac{M_0 + M_1}{W_{st} \times 10^3}$$

M_0——由扶强材变形 w 引起的弯矩，N·mm，应为：

$$M_0 = F_{Ki} \frac{p_z w}{c_f - p_z} \text{ 且}(c_f - p_z) > 0$$

M_1——由侧向载荷 p 引起的弯矩，N·mm，应为：

$$M_1 = \frac{pba^2}{24 \times 10^3} \quad \text{对于纵向扶强材}$$

$$M_1 = \frac{pa(nb)^2}{c_s \times 8 \times 10^3} \text{ 对于横向扶强材}$$

对于横向扶强材，n 取 1

p——侧向载荷，kN/m^2；

F_{ki}——扶强材的理想屈曲力，N，应为：

$$F_{Kix} = \frac{\pi^2}{a^2} EI_x \times 10^4 \qquad \text{对于纵向扶强材}$$

$$F_{Kiy} = \frac{\pi^2}{(nb)^2} EI_y \times 10^4 \qquad \text{对于横向扶强材}$$

I_x，I_y——纵向或横向扶强材的净惯性矩，cm^4，包括按 2.20.2.6(3)②规定的带板的有效宽度。I_x 和 I_y 应符合下列衡准：

$$I_x \geqslant \frac{bt^3}{12 \times 10^4}$$

$$I_y \geqslant \frac{at^3}{12 \times 10^4}$$

p_z——由 σ_x、σ_y 和 τ 引起的扶强材名义侧向载荷，N/mm^2

$$p_{zx} = \frac{t}{b}\left(\sigma_{xl}\left(\frac{\pi b}{a}\right)^2 + 2c_y\sigma_y + \sqrt{2}\tau_1\right) \qquad \text{对于纵向扶强材}$$

$$p_{zy} = \frac{t}{a}\left(2c_x\sigma_{xl} + \sigma_y\left(\frac{\pi a}{nb}\right)^2\left(1 + \frac{A_y}{at}\right) + \sqrt{2}\tau_1\right) \text{对于横向扶强材}$$

$$\sigma_{xl} = \sigma_x\left(1 + \frac{A_x}{bt}\right)$$

c_x，c_y——考虑垂直于扶强材轴线且沿扶强材长度呈变化分布应力的系数，应为：

$$= 0.5(1 + \psi) \text{ 当 } 0 \leqslant \psi \leqslant 1$$

$$= \frac{0.5}{1 - \psi} \text{ 当 } \psi < 0$$

A_x，A_y——不计带板的纵向或横向扶强材的净剖面积，mm^2

$$\tau_1 = \left[\tau - t\sqrt{R_{eH}E\left(\frac{m_1}{a^2} + \frac{m_2}{b^2}\right)}\right] \geqslant 0$$

m_1，m_2——系数，应为：

对于纵向扶强材

$$\frac{a}{b} \geqslant 2.0：\ m_1 = 1.47\ m_2 = 0.49$$

$$\frac{a}{b} < 2.0：\ m_1 = 1.96\ m_2 = 0.37$$

对于横向扶强材

$$\frac{a}{nb} \geqslant 0.5：\ m_1 = 0.37\ m_2 = \frac{1.96}{n^2}$$

$$\frac{a}{nb} < 0.5：\ m_1 = 0.49\ m_2 = \frac{1.47}{n^2}$$

$w=w_0+w_1$

w_0——假定的缺陷，mm，取为：

$$w_{0x} \leqslant \min\left(\frac{a}{250}, \frac{b}{250}, 10\right) \text{对于纵向扶强材}$$

$$w_{0y} \leqslant \min\left(\frac{a}{250}, \frac{nb}{250}, 10\right) \text{对于横向扶强材}$$

注：对两端削斜的扶强材，w_0 应不小于带板中点至计及带板有效宽度的扶强材中和轴的距离。

w_1——由侧向载荷 p 导致的扶强材在其跨距中点处的变形，mm。如为均布载荷，w_1 可用下列之值：

$$w_1 = \frac{pba^4}{384\times10^7 EI_x} \quad \text{对于纵向扶强材}$$

$$w_1 = \frac{5ap(nb)^4}{384\times10^7 EI_y c_s^2} \text{对于横向扶强材}$$

c_f——扶强材提供的弹性支持，N/mm^2，应为：

(a)对纵向扶强材

$$c_{fx} = F_{Kix}\frac{\pi^2}{a^2}\left(1+c_{px}\right)$$

$$c_{px} = \frac{1}{1+\dfrac{0.91\left(\dfrac{12\times10^4 I_x}{t^3 b}-1\right)}{c_{xa}}}$$

$$c_{xa} = \left[\frac{a}{2b}+\frac{2b}{a}\right]^2 \qquad \text{当 } a \geqslant 2b$$

$$c_{xa} = \left[1+\left(\frac{a}{2b}\right)^2\right]^2 \text{当 } a < 2b$$

(b)对横向扶强材

$$c_{fy} = c_s F_{Kiy}\frac{\pi^2}{(nb)^2}\left(1+c_{py}\right)$$

$$c_{py} = \frac{1}{1+\dfrac{0.91\left(\dfrac{12\times10^4 I_y}{t^3 a}-1\right)}{c_{ya}}}$$

$$c_{ya} = \left(\frac{nb}{2a}+\frac{2a}{nb}\right)^2 \qquad \text{当 } nb \geqslant 2a$$

$$c_{ya} = \left[1+\left(\frac{nb}{2a}\right)^2\right]^2 \qquad \text{当 } nb < 2a$$

c_S——计入横向扶强材边界条件的系数

c_S = 1.0 对于简支扶强材

c_S = 2.0 对于受部分约束的扶强材

W_{st}——纵向或横向扶强材的净剖面模数，cm^3，包括按 2.20.2.6(3)②规定的带板的有效宽度。

如果没有侧向压力，应在扶强材跨距中点处计算弯曲应力 $_b$，因为这个位置的纤维能够得出最大应力

值；如果存在侧向压力，那么应该在扶强材剖面的两端纤维计算应力(如有必要对于在板边的双轴向应力区域)。

④扶强材的扭转屈曲

(a)纵向扶强材

纵向扶强材应符合以下衡准：

$$\frac{\sigma_x S}{\kappa_T R_{eH}} \leqslant 1.0$$

式中：κ_T ——系数，应为：

$$\kappa_T = 1.0 \qquad \text{对于 } \lambda_T \leqslant 0.2$$

$$\kappa_T = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_T^2}} \quad \text{对于 } \lambda_T > 0.2$$

$$\Phi = 0.5(1 + 0.21(\lambda_T - 0.2) + \lambda_T^2)$$

λ_T ——基准细长比，应为：

$$\lambda_T = \sqrt{\frac{R_{eH}}{\sigma_{KiT}}}$$

$$\sigma_{KiT} = \frac{E}{I_P}\left(\frac{\pi^2 I_\omega \times 10^2}{a^2}\varepsilon + 0.385 I_T\right) \text{N/mm}^2$$

对于 I_p，I_T，I_ω 见图 2.20.2.6(4)和表 2.20.2.6(4)。

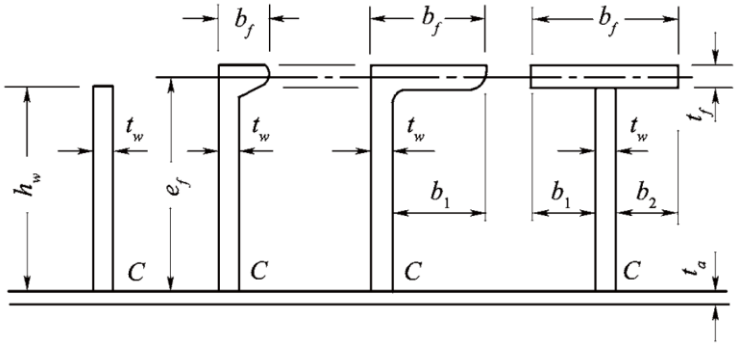


图 2.20.2.6(4) 扶强材的尺寸

I_p——扶强材的净极惯性矩，cm^4，且与图 2.20.2.6(4)所示的点 C 相关

I_T——扶强材的净圣维南惯性矩，cm^4，

I_w——扶强材的净扇形惯性矩，cm^6，且与图 2.20.2.6(4)所示的点 C 相关

ε——固定程度，应为：

$$\varepsilon = 1 + 10^{-3}\sqrt{\frac{a^4}{\frac{3}{4}\pi^4 I_\omega\left(b/t^3 + 4h_w/3t_w^3\right)}}$$

h_w——腹板高度，mm

t_w——腹板净厚度，mm

b_f——翼板(面板)长度，mm

t_f——翼板(面板)的净厚度，mm

A_w——腹板净面积，为：$A_w = h_w t_w$

A_f——翼板净面积，为：$A_f = b_f t_f$

$e_f = h_w + \frac{t_f}{2}$，mm

惯性矩 **表 2.20.2.6(4)**

剖面	I_p	I_T	I
扁钢	$\frac{h_w^3 t_w}{3\times10^4}$	$\frac{h_w t_w^3}{3\times10^4}\left(1-0.63\frac{t_w}{h_w}\right)$	$\frac{h_w^3 t_w^3}{36\times10^6}$
有球缘或折边的型材	$\left(\frac{A_w h_w^2}{3}+A_f e_f^2\right)\times10^{-4}$	$\frac{h_w t_w^3}{3\times10^4}\left(1-0.63\frac{t_w}{h_w}\right)$ + $\frac{b_f t_f^3}{3\times10^4}\left(1-0.63\frac{t_f}{b_f}\right)$	对球扁钢和角钢剖面：$\frac{A_f e_f^2 b_f^2}{12\times10^6}\left(\frac{A_f+2.6A_W}{A_f+A_W}\right)$ 对 T 型剖面：$\frac{b_f^3 t_f e_f^2}{12\times10^6}$

(b)横向扶强材

承受轴向压应力且不受纵向扶强材支撑的横向扶强材，应验证其近似地满足 2.20.2.6(3)④(a)的要求。

2.20.2.7 舱口盖细节要求：

(1)舱口盖上的集装箱基座

舱口盖上的集装箱基座应符合本篇第 7 章附录 1 的有关要求。在本节 2.20.2.2 规定的货物载荷及集装箱载荷的作用下，集装箱基座的支持结构的计算应力应符合本节 2.20.2.5 的要求。

(2)风雨密性

①衬垫材料(一般要求)

密封衬垫材料应适合于船舶所有预期的航行工况，且适合于所要载运的货物。所选密封衬垫材料的尺寸和弹性应能承受可能产生的变形，外力应仅由钢结构承受。

应对密封衬垫进行压紧来实现舱口盖在所有预期操作条件下的有效密封。对于舱盖与船体结构之间，或各盖板之间有较大相对运动的船舶，密封衬垫应予以特殊考虑。

②风雨密衬垫的免除

对于仅运输集装箱的货舱舱口盖，如船东要求并符合下述条件，则本条(2)对于风雨密密封衬垫的要求可以免除：

舱口围板的高度应不小于600mm。

- 露天甲板舱口盖位于深度 $H(x)$ 以上的部位， $H(x)$ 应符合下述计算标准：

$$H(x)\geqslant T_{fb}+f_b+h \qquad \text{m}$$

式中：T_{fb}——与勘定的夏季载重线相应的吃水，m；

f_b——最小要求干舷，m，按《国内航行海船法定检验技术规则》第3篇第3章确定；

h=4.6m 当 $\frac{x}{L_L}\leqslant 0.75$；

h=6.9m 当 $\frac{x}{L_L}>0.75$；

- 围板处贴近每一板格的边缘应装上曲径式密封、排水挡板或其他等效装置，这些开口的净剖面尺寸应尽可能小。
- 如舱口用多块舱口盖板覆盖，盖板之间间隙的净开口宽度应不大于50mm。
- 曲径式密封与舱口盖板之间的间隙应视为完整稳性和破损稳性计算要求的未被保护的开口。
- 对于货舱的排水和必要的消防系统应参照本规范第3篇第3章的相关要求。
- 安装非风雨密舱口盖的货舱应配备舱底水报警器。
- 此外，集装箱载运危险货物的仓储和分割应符合《国内航行海船法定检验技术规则》第4篇的相关要求。

③多板格舱口盖的交叉连接处应提供有效的排水布置。

2.20.2.8 舱口盖的舱口围板应符合下列要求：

(1)舱口围板的净厚度应不小于按下列各式计算所得之值：

$$t = 14.2s\sqrt{\frac{p_A}{0.95R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

$$t = 6 + \frac{L_1}{100} \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m；

p_A——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2(2)进行计算，kN/m^2；

R_{eH}——材料的屈服应力，N/mm^2；

$L_1 = L$，不必大于 300 m。

在船中 0.4L 区域内连续的纵向舱口围板，还应满足本章第 2 节的有关要求。

(2)舱口围板扶强材应满足下述要求：

舱口围板扶强材应在舱口围撑板处保持连续。

两端约束扶强材的净剖面模数 W、净剪切面积 A_s 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W = \frac{83sl^2 p_A}{R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

$$A_s = \frac{10sl\ p_A}{R_{eH}} \quad \text{cm}^2$$

式中：l——扶强材跨距，m，取为舱口围撑板间距；

s——扶强材间距，m；

p_A——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2(2)进行计算，kN/m^2；

R_{eH}——材料的屈服应力，N/mm^2；

对于舱口角隅处削斜的围板扶强材，其固定支撑处的剖面模数和剪切面积应增加 35%，在削斜扶强材端部的围板总厚度应不小于：

$$t = 19.6\sqrt{\frac{p_A s(l - 0.5s)}{R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

在船中 0.4L 区域内连续的纵向舱口围板，其水平扶强材还应满足本章第 2 节的有关要求。

(3)舱口围撑板用来传递载荷，除满足本节 2.20.2.5 规定的许用应力要求外，还应满足下述要求：

①舱口围撑板剖面模数和腹板厚度

对位于甲板连接处的具有折边或面板的梁式舱口围撑板（如图 2.20.2.8（3）的 1 和 2），其净剖面模数 W 和总厚度 t_w 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = \frac{526eh_s^2 p_A}{R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

$$t_w = \frac{2}{R_{eH}} \times \frac{e \times h_s \times p_A}{h_W} + t_s \quad \text{mm}$$

式中：e——舱口围撑板间距，m；

h_s——舱口围撑板的高度，m；

h_w——舱口围板撑板下端的腹板高度，m；

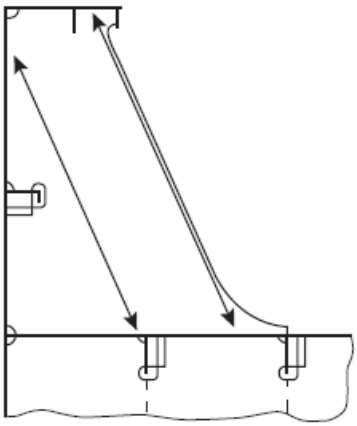
t_s——腐蚀余量，按本节 2.20.2.10 选取。

p_A——水平露天设计载荷，按本节 2.20.2.2(2)进行计算，kN/m^2。

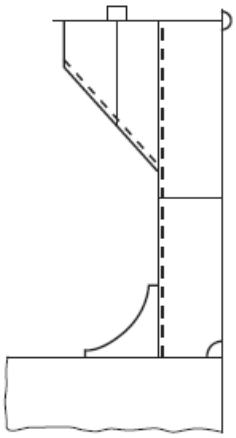
对于如图 2.20.2.8（3）3 和 4 的其它型式舱口围撑板，应采用交叉梁分析或有限元方法来确定其尺寸，并满足本节 2.20.2.5 的强度衡准。

舱口围撑板应由适当的支持结构支撑。计算舱口围撑板的剖面模数时，仅当撑板有适当的支持结构且焊接提供足够连接时，其面板面积方可计入。

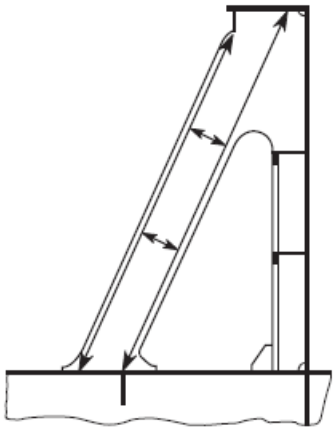
腹板与甲板的焊接应采用双面连续焊，焊喉应不小于 0.44t_w。舱口围板撑板下端的腹板趾部焊喉大小应符合本篇第 1 章的有关要求。



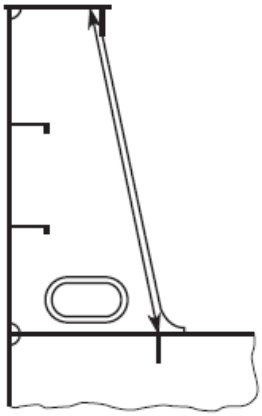
例 1



例 2



例 3



例 4

图 2.20.2.8（3）舱口围撑板举例

②对于传递舱口盖支撑摩擦力的舱口围撑板，应对其疲劳强度进行考虑。

(4) 舱口围板还应符合下述要求：

①作为船体纵向结构部分的舱口围板，在设计时应满足本章第 2 节总纵强度的有关要求。

②焊接到舱口围板上的结构构件和舱口围板上的顶部开口应具有足够的疲劳强度。

③在长度大于 $0.1L$ 的连续纵向舱口围板的两端应设置斜肘板或等效的过渡结构和相应的支持结构。在这些肘板的端部应采用长度为 300mm 的全焊透焊缝将其连接到甲板上。

④局部细节的设计应能将舱口盖上的载荷传递到舱口围板，并通过其传递到以下的甲板结构之上。舱口围板及其支撑结构应进行足够加强来承受来自舱口盖的纵向、横向及垂向载荷。应检查甲板下结构能承受撑板所传递的载荷。除非另外说明，焊接和材料应符合 CCS 的有关要求。

⑤对于在甲板上载运货物(例如木材、煤或焦炭)的船舶，撑板的间距应不大于 1.5m。

⑥舱口围板应延伸到甲板横梁的下边缘或舱口边桁材安装在甲板横梁的下边缘，延伸的舱口围板或舱口边桁材且应有折边或设置面板或半圆钢。见图 2.20.2.8(4)。

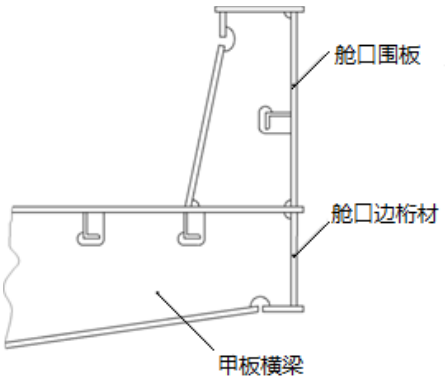


图 2.20.2.8(4) 舱口围板的延伸

⑦舱口围板的排水布置应符合以下要求：

如果通过布置排水挡板或将舱口侧围板和端围板沿垂向进行延伸，将排水沟布置在密封线以内，则应在排水沟的适当位置提供排水孔。

舱口围板的排水口的布置应与应力集中区域(如舱口角隅，起重机支柱过渡区域)保持足够的距离。排水口应布置在排水沟的端部，并应采用止回阀来防止水从外部倒流进去。另外，消防软管不能与排水口相连接。

如在舱口盖和船舶结构的钢材之间存在连续的外部接触面，则在钢材接触面与密封件之间的空间亦应有排水设施。

2.20.2.9 钢质风雨密舱口盖的封闭装置

(1)紧固装置

①一般要求

在舱口盖与舱口围板之间以及在交叉接头处，应通过紧固装置产生足够的密封线压力，以保持风雨密。紧固装置应能承受由于船体变形所引起的舱口盖与舱口围板间的相对位移。

紧固装置应保证结构可靠，并牢固地与舱口围板、甲板或舱口盖连接。每块舱口盖上的各紧固装置应具有大致相同的刚性。根据本节 2.20.2.3(3)②的要求，舱口盖(包括由多个部分组成的舱口盖)的每一侧都应配备足够数量的紧固装置。

限位块、紧固装置的材料以及其焊接材料均应符合 CCS《材料与焊接规范》的有关要求。材料的技术规格应在舱口盖的图纸上标示出。

②杆状压紧器

如采用杆状压紧器，则应设置减振垫片或弹性垫块。

③液压式压紧器

如采用液压式压紧器，则应有可靠措施，以确保当液压系统出现故障时，在关闭位置处仍能保持机械锁紧。

④紧固装置的横剖面面积

紧固装置的实际横剖面面积应不小于：

$$A = 0.28 q S_{SD} k_l \quad \text{cm}^2$$

式中：q——密封线压力，N/mm，不小于 5N/mm；

S_{SD}——紧固装置间距，m，应取不小于 2m；

$k_l = (\frac{235}{R_{eH}})^e$

R_{eH}——材料的屈服应力，N/mm^2，但 R_{eH} 应取不大于 $0.7R_m$；

R_m——材料的抗拉强度，N/mm^2；

e=0.75 当 $R_{eH} > 235\,\text{N/mm}^2$；

e=1.00 当 R_{eH} ≤235N/mm^2；

舱口面积超过 5m^2 时，固定杆或螺栓的实际直径应不小于 19mm。

对于会产生显著弯曲和剪切应力的特殊设计的紧固装置，可按本条(1)⑤的止跳装置来设计。设计载荷为密封线压力 q 与紧固装置距离 S_{SD} 的乘积。

⑤止跳装置

对于其上系固货物的舱口盖的紧固装置，应根据本节 2.20.2.2(4)中载荷确定的提升力来进行设计，如图 2.20.2.9(1)。应考虑在实际中可能遇到的不对称载荷。在这些载荷作用下，紧固装置中的等效应力不能超过：

$$\sigma_V = \frac{150}{k_l} \quad \text{N/mm}^2$$

式中：k_l 同本条④。

注：对于防止舱口盖翻转，表 2.20.2.2(4)中的部分装载工况可能不能涵盖所有非对称装载的最危险情况。

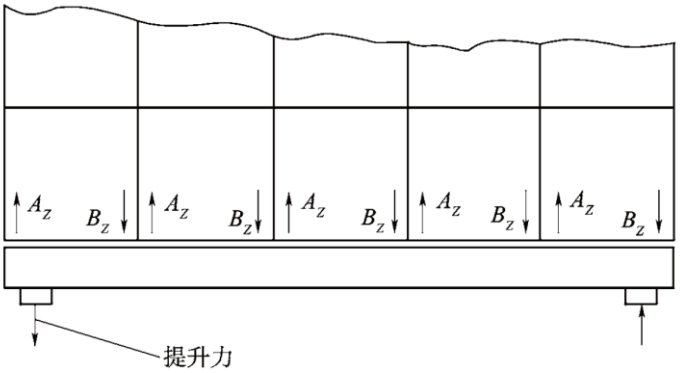


图 2.20.2.9(1) 舱口盖的提升力

止跳装置的免除应参照以下要求：

如果没有由于船舶横摇造成的舱口盖的提升，则舱口盖的紧固装置可以免除。在这种情况下，应经过交叉梁分析或有限元分析证明舱口盖达到平衡状况，垂向的舱口盖支撑应使用只受压的边界单元。如果紧固装置被免除，横向舱口盖导轨的有效高度应达到在舱口盖支撑以上 h_E，如图 2.20.2.9(2)，h_E 应不小于：

$$h_E = 1.75(2se + d^2)^{0.5} - 0.75d \quad \text{mm}$$

$$h_{E\min} = \text{舱口盖边板高度} + 150 \quad \text{mm}$$

式中：e——横向舱口盖导轨的内侧与舱口盖边板的最大距离，mm；

s——横向舱口盖导轨间的总间隙，10≤s≤40，mm；

d——横向限位块的上边界与舱口盖支撑的距离，mm；

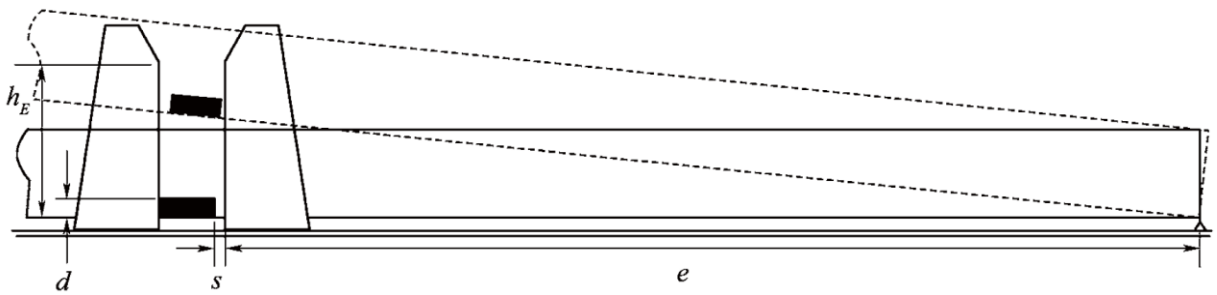


图 2.20.2.9(2) 横向舱口盖导轨的高度

横向舱口盖导轨及其支持结构的尺寸应按照横向载荷作用在高度 h_E 计算。

(2)舱口盖支承、限位块及支持结构

①水平质量力

出于舱口盖支撑结构设计，水平质量力应按下式计算：

$$F_h = ma$$

式中：F_h——水平质量力；

$a_X = 0.2g$ 纵向；

$a_Y = 0.5g$ 横向；

m——舱口盖上所系固货物的质量和舱口盖的质量总和；

纵向和横向加速度可不必同时考虑。

②舱口盖支承

为传递由本节 2.20.2.2 中工况以及本条(2)①中水平质量力所引起的支撑力，应保证支承的标称表面压力一般不超过下式计算所得之值：

$$p_{n\max} = dp_n \quad \text{N/mm}^2$$

式中：d=3.75-0.015L

$d_{\max} = 3.0$

$d_{\min} = 1.0$，一般情况

$d_{\min} = 2.0$，对部分装载工况，见本节 2.20.2.2(5)

P_n——许用标称表面压力，见表 2.20.2.9(2)。

许用标称表面压力 P_n **表 2.20.2.9(2)**

支承材料	如下作用力时的 P_n(N/mm^2)	
	垂向力	水平力(在限位块上)
船体结构钢	25	40
淬火钢	35	50
钢材上的塑料	50	—

对于不易发生相对位移的金属支承表面，其最大标称表面压力为：

$$p_{n\max} = 3p_n \quad \text{N/mm}^2$$

注：当设备商能够证明舱口盖垂向支撑结构的材料具有足够的能力承载更大的表面标称压力时，可对许用标称表面应力进行放宽。其中载荷不但应包括静载荷还应考虑具有足够应力循环相对运动的动载荷。另外，需对垂向载荷和相关水平运动的长期分布谱进行假定并取得批准。

支承的图纸应提交批准。支承的图纸中必须标明材料制造厂商所给出的~~长期应力时的~~最大许用压力。

如预期在支承表面会产生较大的相对位移，则建议采用具有低摩擦特性的材料。

支承的支持结构的设计应使其压力均匀分布。

无论限位块如何进行布置，支承必须能在纵向和横向传递下述载荷 P_h：

$$P_h = \mu \frac{P_V}{\sqrt{d}}$$

式中：P_V——垂向支撑力；

μ——摩擦系数；

μ=0.5，钢对钢；

对于非金属，低摩擦特性的支承材料对钢之间的摩擦系数μ可以减少，但应不小于0.35，并需提交认可；

支承、邻近结构以及支持结构的许用应力应不超过本节2.20.2.5中的要求。

对于承受水平力 P_h 的支承的支持结构和邻近结构，应对其疲劳强度进行考虑。

③舱口盖限位块

应对舱口盖进行充分地压紧来防止水平移动。对于其上装载货物的舱口盖，应设有限位块。

限位块及其支持结构的尺寸由本节2.20.2.2(2)产生的载荷和本条(2)①中载荷较大者确定。
舱口盖和舱口围板上的限位块及其支持结构的许用应力应根据本节2.20.2.5确定。另外，应考虑本条(2)②的要求。

2.20.2.10 腐蚀余量和换新
(1)舱口盖和舱口围板的腐蚀余量
舱口盖构件的尺寸要求采用下列一般腐蚀余量 t_S，见表 2.20.2.10

舱口盖和舱口围板的腐蚀余量 t_S **表 2.20.2.10**

适用	结构	t_S[mm]
集装箱船、汽车运输船、纸张运输船以及客船的露天甲板舱口	舱口盖	1.0
	舱口围板	1.5 当 $t \leqslant 10$
		$\frac{0.1t}{\sqrt{K}}+0.5$，但不大于 3 当 $t>10$
其他船舶的露天甲板舱口	舱口盖，一般情况	2.0
	双壳舱口盖的顶板和底部板	1.5
	双壳舱口盖和封闭箱型横梁的内部结构	1.0
	不作为船体纵向构件的舱口围板	1.5
	作为船体纵向构件的舱口围板	1.5 当 $t \leqslant 10$
		$\frac{0.1t}{\sqrt{K}}+0.5$，但不大于 3 当 $t>10$
	围板撑板和扶强材	1.5

注：t：规范要求的舱口围板的净厚度；
K：材料系数。

(2)换新
当测量厚度小于 $t_{net}+0.5$ mm 时，以下结构构件需进行换新：
· 单壳舱口盖
· 双壳舱口盖的板
· 表 2.20.2.10 中给出腐蚀余量的舱口围结构
涂装应保持在“良好”状态，“良好”状态是指只有小的点状锈斑。
当验船师根据舱盖板腐蚀和变形情况，对舱口盖顶板或底板换新或认为有必要时，应对双壳舱口盖的内部结构进行测厚，如测量厚度小于 t_{net}，内部结构应要求换新。
当腐蚀余量 t_S=1.0mm 时，钢材换新的厚度是 t_{net}，当测量厚度在 t_{net} 和 t_{net}+0.5mm 之间时，可通过采用涂装或年度测厚的措施替代换新。
对于表 2.20.2.10 中没有给出腐蚀余量的舱口围结构，钢板换新和涂装或年度测厚应符合相关规则/规程的要求。

2.20.3 钢质箱型舱口盖
2.20.3.1 钢质箱型舱口盖的设计载荷应符合下列规定：
(1)露天舱口盖的垂向露天设计载荷按本节表 2.20.2.2(1)进行计算。
(2)舱口盖上的许用货物载荷 p 应由船东或设计方规定，且应包含在装载手册中。同时应符合下述要求：
①下甲板舱口盖上的许用货物载荷 p 应不小于：

$$p=7.06h \quad \text{kN/m}^2$$

式中：h——舱口盖至上一层甲板的舱口盖扶强材下缘的垂直距离，m。
本条要求不适用于将下甲板舱口盖作为下甲板的多用途货船(见本节图 2.20.3.1(2))。

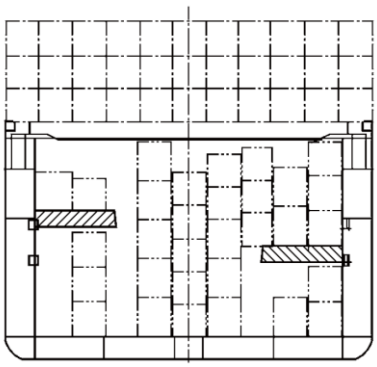


图 2.20.3.1(2)

②居住舱室内舱口盖上的许用货物载荷 p 应不小于 12.7kN/m^2。

2.20.3.2 舱口盖局部尺寸应符合下列规定：

(1)舱口盖顶板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值，且应不小于 6mm：

$$t=10s \quad \text{mm}$$

式中：s——扶强材间距，m。

(2)钢质箱形舱口盖的扶强材和桁材的尺寸应符合以下规定：

①在均布的垂向露天设计载荷作用下，扶强材的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=0.782Kspl^2 \quad \text{cm}^3$$
$$I=1.44spl^3 \quad \text{cm}^4$$

式中：p——垂向露天设计载荷，kN/m^2；

s——扶强材间距，m；

l——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

②在均布货物载荷作用下，扶强材的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=1.064Kspl^2 \quad \text{cm}^3$$
$$I=1.8spl^3 \quad \text{cm}^4$$

式中：p——许用货物载荷，kN/m^2；

s——扶强材间距，m；

l——扶强材跨距，m；

K——材料系数。

③当扶强材的两端设置有效的肘板或为连续时，扶强材的剖面模数可较①或②计算所得之值减小 33%，剖面惯性矩可减小 80%。

④钢质箱形舱口盖的桁材应采用本节的直接计算法予以确定。但当钢质箱形舱口盖承受均布载荷，且仅在一个方向设置桁材时，桁材也可按①和②确定。

(3)钢质箱形舱口盖具有变化横剖面的扶强材和桁材的尺寸应符合以下规定：

①具有变化横剖面的扶强材和桁材(见图 2.20.3.2(3))在其跨距点处的剖面模数应不小于按下列公式计算值的较大者：

$$W = W_{cs} \quad \text{cm}^3$$
$$W=\left(1+\frac{3.2\alpha-\gamma-0.8}{7\gamma+0.4}\right)W_{cs} \quad \text{cm}^3$$

式中：W_{cs}——符合本节要求的等截面剖面模数，cm^3；

$\alpha=\dfrac{l_1}{l_0}$，其中 l_0 为跨距，m，l_1 为变化剖面部分的长度，m；

$\gamma=\dfrac{W_1}{W_0}$，其中 W_0 为跨距中点的剖面模数，cm^3，W_1 为端点的剖面模数，cm^3。

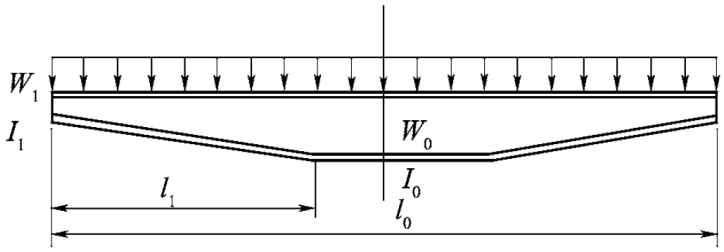


图 2.20.3.2(3)

②具有变化横剖面的扶强材和桁材在其跨距点处的剖面惯性矩I应不小于按下列公式求得值的较大者：

$$I = I_{cs} \qquad \text{cm}^4$$

$$I = \left(1 + \frac{8\alpha^3(1-\beta)}{0.2+3\sqrt{\beta}}\right) I_{cs} \qquad \text{cm}^4$$

式中：I_{cs}——符合本节要求的等截面惯性矩，cm^4；

$\alpha = \frac{l_1}{l_0}$，其中l_0为跨距，m，l_1为变化剖面部分的长度，m；

$\beta = \frac{I_1}{I_0}$，其中I_0为跨距中点剖面惯性矩，cm^4，I_1为端点的剖面惯性矩，cm^4；

③扶强材和桁材两端的腹板高度应不小于其跨距中点处腹板高度的 2/5 且不小于 150mm，在该处的剖面模数应不小于跨距中点处的 0.35 倍。

2.20.3.3 钢质箱型舱口盖结构强度的直接计算应符合本节 2.20.2.4 的规定。

2.20.3.4 钢质箱型舱口盖结构屈服和变形衡准

钢质箱型舱口盖的屈服强度和挠度应满足表 2.20.3.4 的要求。

钢质箱型舱口盖 **表 2.20.3.4**

载荷	许用正应力 ［σ］(N/mm^2)	许用挠度 (m)
垂向露天设计载荷	$0.70R_{eH}$	$0.0049l$
除垂向露天设计载荷以外的载荷	$0.65R_{eH}$	$0.0044l$

2.20.3.5 钢质箱型舱口盖结构屈曲强度应满足表 2.20.3.5 的要求。

表 2.20.3.5

构件		衡准
舱口盖顶板板格	单向设置桁材	对于桁材弯曲而引起的舱口盖顶板板格的压应力应不大于临界屈曲应力 σ_c 的 0.8 倍，σ_c 可按本篇第 8 章第 8 节 8.8.3.6(1)的规定计算。
	双向设置桁材	用有限元板单元模型分析计算所得的舱口盖顶板板格的双轴向压应力，应符合本节 2.20.2.6(1)的规定。
桁材腹板		桁材腹板板格的剪切应力应不大于临界屈曲剪切应力 τ_c 的 0.8 倍，τ_c 可按本篇第 8 章第 8 节 8.8.3.6(3)的规定计算。
与桁材平行的扶强材		对于平行于扶强材方向的桁材弯曲而引起的扶强材带板中的压应力应不大于临界屈曲应力 σ_c 的 0.8 倍，σ_c 可按本篇第 8 章第 8 节 8.8.3.6(2)的规定计算。

2.20.3.6 钢质箱形舱口盖应按下列要求配备防水帆布和封闭装置：

(1)对位于干舷甲板和上层建筑甲板上的露天舱口，至少应覆两层结实的防水帆布。

(2)不应用黄麻制作防水帆布。在防水帆布被制成舱盖布以前的单位面积最小重量为：

如帆布涂煤焦油 0.65kg/mm^2；

如帆布涂化学涂料 0.65kg/mm^2；
如帆布涂黑油 0.55kg/mm^2。

(3)在舱口围板或水平加强筋上应焊有楔耳，楔耳应有适合楔子的斜度。楔耳宽度应不小于 65 mm，中心间距不大于 600mm，近舱口角隅的楔耳距舱口角隅应不大于 150mm。

(4)应采用硬木做楔子。楔子的斜率应不大于 1:6，其薄头厚度至少为 13mm。

(5)对位于干舷甲板及上层建筑甲板上的露天舱口，应配备扁钢或其他相当属具，以便能有效地压紧覆在舱口盖上防水帆布。对于长度大于 1.5m 的舱口盖，至少应用两套装置予以压紧。

(6)对于其他位置的露天舱口，应配备供系缚用的松紧螺栓或其他装置。

2.20.3.7 钢质箱型舱口盖的舱口围板应符合下列规定：

(1)露天舱口围板的结构：

①围板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t=0.05L+6.5 \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m，计算时取值不必大于 90m。

②当围板高度等于或大于 600mm 时，应在其上缘或离上缘约 250mm 处设置水平球扁钢或其他等强度构件。水平球扁钢的腹板高度应不小于 180mm，并应在水平球扁钢与甲板之间设置间距不大于 3m 的垂直加强筋或肘板。加强筋或肘板的腹板高度应不小于水平球扁钢的腹板高度，并应具有折边或面板。当围板高度大于 900mm 时，应减小上述加强筋或肘板的间距。当围板高度等于或大于 1200mm 时，应在围板半高处增设一根水平球扁钢或其他等强度构件。当舱口围板承受集装箱时，应对舱口围板及其支撑构件作相应加强；

③如在围板上缘不设面板，则在该处应用半圆钢或其他能保证围板刚性和上缘部分圆滑的型材；

④当甲板板不伸入围板内时，应将舱口角隅处的围板弯成圆形。在船中部 0.5L 区域内，此圆角半径应符合本章 2.4.4 的要求。

当甲板板伸入围板内，而甲板开口的角隅处符合本章 2.4.4 要求，且将纵向围板在舱口角隅处削斜延伸时，则舱口角隅处的舱口围板可为方形；

⑤不应将与舱口围板大致在一直线上的外伸肘板或供收藏钢质舱盖的轨道焊于甲板室或桅屋上，除非经过计算后表明可以将舱口围板作为船体的纵向强力构件；

⑥如将露天舱口围板同时兼作甲板纵桁时，其结构应符合本章 2.8.8 中的有关要求。

(2)当将下甲板舱口围板同时兼作甲板纵桁时，其结构还应符合本章 2.8.8 中的有关要求。

2.20.4 带活动横梁的舱口盖

2.20.4.1 带活动横梁的舱口盖的设计载荷应符合下列规定：

(1)露天舱口盖的垂向露天设计载荷按本节表 2.20.2.2(1)进行计算；

(2)舱口盖上的许用货物载荷应符合本节 2.20.3.1(2)的要求。

2.20.4.2 带活动横梁的舱口盖应符合下列规定：

(1)对于带活动横梁的舱口盖，如其舱口盖板为钢质，则应满足本节 2.20.3.2(1)的要求；如为木质盖板，厚度 t 应不小于按下式所得之值，且不小于 60mm：

$$t=40S \quad \text{mm}$$

式中：S——舱口活动横梁间距，m。

若设计载荷大于 18.4kN/m^2，则应按比例增加板厚。

木质盖板的两端应用宽为 65mm，厚为 3mm 的镀锌扁钢进行围箍，并予以有效固定。

(2)在垂向露天设计载荷作用下，带活动横梁的露天舱口盖应符合下列规定：

①活动横梁的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=0.782KSpl^2 \quad \text{cm}^3$$

$$I=1.44\,Spl^3 \quad \text{cm}^4$$

式中：p——垂向露天设计载荷，按本节 2.20.4.1 进行计算，kN/m^2；

S——舱口活动横梁的间距，m；

l——舱口活动横梁的跨距，m；

K——材料系数。

②活动横梁距端部至少为 180mm 长度内的腹板加厚 1 倍，或在原腹板上加设复板。

③活动横梁的上下缘应设有连续面板。上缘面板的宽度应达到使支承舱口盖板的宽度不小于 65mm，并在腹板平面内加装高为 50mm 的扁钢。

④在活动横梁的承座上应设有效的装置，以将舱口活动横梁固定在其中。承座的支承长度至少为75mm。

⑤钢质盖板扶强材的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=0.664Kspl^2 \quad cm^3$$
$$I=1.13spl^3 \quad cm^4$$

式中：p——垂向露天设计载荷，按本节 2.20.4.1 进行计算，kN/m^2；

l——扶强材跨距，m；

s——扶强材间距，m；

K——材料系数。

(3)在均布货物载荷作用下，带活动横梁的舱口盖应满足下述要求：

①舱口活动横梁的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=1.064KSpl^2 \quad cm^3$$
$$I=1.8Spl^3 \quad cm^4$$

式中：p——许用货物载荷，kN/m^2；

S——舱口活动横梁的间距，m；

l——舱口活动横梁的跨距，m；

K——材料系数。

②舱口活动横梁还应满足本条(2)中②～④的要求。

③钢质盖板扶强材的剖面模数 W、剖面惯性矩 I 应不小于按下列各式计算所得之值：

$$W=1.064Kspl^2 \quad cm^3$$
$$I=1.8spl^3 \quad cm^4$$

式中：p——许用货物载荷，kN/m^2；

l——扶强材跨距，m；

s——扶强材间距，m；

K——材料系数。

(4)带活动横梁的舱口盖具有变化横剖面的扶强材和桁材的尺寸应符合本节 2.20.3.2(3)规定。

2.20.4.3 带活动横梁的舱口盖结构强度的直接计算应符合本节 2.20.2.4 的规定。

2.20.4.4 带活动横梁的舱口盖结构屈服和变形应符合本节 2.20.3.4 的规定。

2.20.4.5 带活动横梁的舱口盖结构屈曲强度应符合本节 2.20.3.5 的规定。

2.20.4.6 带活动横梁的舱口盖的封闭装置应符合本节 2.20.3.6 的规定。

2.20.4.7 带活动横梁的舱口盖的舱口围板应符合本节 2.20.3.7 的规定。

2.20.5 其他类型的开口

2.20.5.1 对于其他类型开口，应符合本篇第 1 章 1.8.7 的要求。

2.20.5.2 露天甲板上的小舱口还应符合下列要求：

(1)小舱口围板的高度应符合本节 2.20.1.8 的要求，其厚度应不小于本章对舱口开口线内的甲板所规定的最小厚度或 11mm,为其较小者；

(2)小舱口应配以钢质风雨密的舱口盖，并设可靠的紧固装置，以在任何情况下都能使舱口盖保持风雨密，舱口盖的板厚应不小于本章对舱口开口线内的甲板所规定的最小厚度或 8mm，为其较小者。

(3)位于船首露天甲板上的小舱口盖的强度和锁紧，还应符合本篇第 1 章第 9 节的有关要求。

第 23 节 液货舱结构温度场及其热应力分析

2.23.1 一般要求

2.23.1.1 本节规定适用于散装运输液化气体船以及在大气压力下载运液货温度大于80℃的散装运输危险化学品船，油船和沥青船等船舶，且为 CCS《钢质海船入级规范》第 8 篇第 10 章、CCS《散装运输危险液体化学品船舶构造与设备规范》第 A4 章和 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇第 A4 章，以及 CCS 有关规范中要求进行液货舱温度应力计算的具体规定。

2.23.3.1 模型范围：对整体液货舱，按本篇第 5 章附录 1 的规定。必要时(温度梯度较大)，应考虑对

最前一个液货舱的前端区域和最后一个液货舱的后端区域进行建模分析。对独立液货舱，至少应取整个液货舱结构。如需考虑温度对液货舱支承结构乃至对船体的影响，见 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇附录 1 的有关规定要求。对于热传导分析，模型之中应包含模型范围内所有参与作用的热绝缘材料和结构，但可忽略不锈钢内胆；对于热应力分析，模型仅为结构模型。

2.23.3.4 传热分析的边界条件：

(1) 对于确定低温下结构材料级别要求钢级的传热分析，按以下要求：

a.适用于 CCS《散装危险化学品船舶构造与设备规范》规定需进行温度应力计算的散装危险化学品船，外界大气温度和水温的温度边界条件按 CCS《散装危险化学品船舶构造与设备规范》第 A4 章 ~~A4.7 条~~取用。对于适用于 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》规定需进行温度应力计算的散装液化气体船，外界大气温度和水温的温度边界条件按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇第 A4 章~~第 4.8 条~~取用；

2.23.3.5 热力学分析中，对整体液货舱模型的结构边界条件，按本篇第 5 章附录 1 的规定。对独立液货舱，模型的结构边界条件取与温度载荷对应的载荷工况的边界条件~~，另见 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》附录 1~~。此外，上述模型的结构边界中，对舱段模型的某一端面（如端面 B），应放开在船长方向线位移δ_x的约束。

2.23.4.2 对于上述所计算的温度载荷，施加到与此相应的各个装载工况的模型中。常规载荷工况的计算和加载应分别按照按本篇第 5 章附录 1 ~~的规定~~、CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇第 4 章附录 1 和附录 2，以及其他有关文件中的适用规定或常规作法进行。

2.23.5.1 对整体液货舱模型，按本篇第 5 章附录 1 的规定；对独立液货舱模型的船体部分，按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 2 篇附录 1 和附录 2；对石油沥青船的独立液货舱的构造材料，按本规范第 8 篇第 10 章第 2 节。

2.23.7.7 温度场分析时应至少包括 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 4 章所规定的外界环境温度工况。

第 24 节 承载有木质支撑钢卷的内底

2. 24. 3 内底板

2.24.3.1 纵骨架式内底板的板材厚度应不小于按下式求得的大值：

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

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

式中：K_1——系数，取为：

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

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；

F_{SC}——力，kg，取为：

$$F_{SC} = K_S\frac{W_{SC}n_1n_2}{n_3} \text{ 对于 } n_2 \le 10 \text{ 且 } n_3 \le 5$$

$$F_{SC} = K_S n_1 W_{SC}\frac{l}{l_s} \text{ 对于 } n_2 > 10 \text{ 或 } n_3 > 5$$

λ_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；

~~K——材料系数；~~

R_{eH}——材料屈服强度，N/mm²；

n_1——钢卷的层数；

n_2——内底每一基本板格的载荷点数量（见图 2.24.3.1 和图 2.24.3.2）。当 $n_3 \le 5$ 时，n_2 可根据 n_3 和 l/l_s 值的从表 2.24.3.2 获得

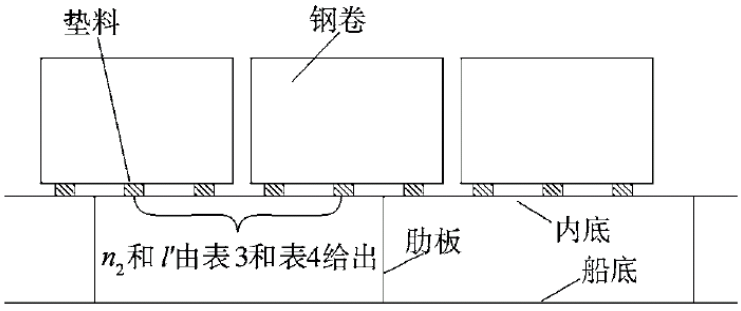


图 2.24.3.1 钢卷装载工况

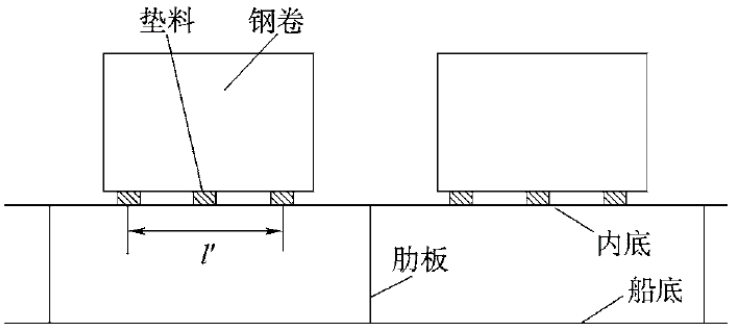


图 2.24.3.2 钢卷装载工况

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：

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

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

l'——沿船长方向，内底板每一基本板格的载荷点之间的距离（见图见图 2.24.3.1 和图 2.24.3.2）。当 $n_3 \le 5$ 时，l' 按 l，l_s，n_2 和 n_3 之值从表 2.24.3.3 获得。当对于 $n_2 > 10$ 且 $n_3 > 5$ 时，l' 取 l。

2.24.4 底边舱斜板和内壳板

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

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

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

式中：K_1——系数，定义见 2.24.3

~~K——材料系数；~~

R_{eH}——材料屈服强度，N/mm^2；

θ_h——内底板与底边舱斜板或内壳板之间的夹角，（°）；

a_{hopper}——系数，取为：

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

a_R——切向加速度，定义见 2.24.2；

$y_{G\text{-}SC}$——横向重心位置，定义见 2.24.2；

R——系数，定义见 2.24.2；

F'_{SC}——力，kg，取为：

$$F'_{SC} = \frac{W_{SC}n_2C_k}{n_3} \text{ 对于 } n_2 \le 10 \text{ 且 } n_3 \le 5$$

$$F_{SC}^{'} = C_k W_{SC} \frac{l}{l_s}$$ 对于 $n_2 > 10$ 或 $n_3 > 5$

λ_p ——系数，见 2.24.3；

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。

2.24.5 内底板上的普通扶强材

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

~~$$W = K_3 \frac{\left(g + 0.5a_v\right) F_{SC} K}{12 R_{eH}}$$~~

$$W = K_3 \frac{\left(g + 0.5a_v\right) F_{SC}}{12 R_{eH}}$$

~~$$A = \frac{4\left(g + 0.5a_v\right) F_{SC} K}{\tau_a \sin\phi} \times 10^{-3}$$~~

$$A = \frac{4\left(g + 0.5a_v\right) F_{SC}}{\tau_a \sin\phi} \times 10^{-3}$$

式中：K_3 ——系数，定义见表 2.24.5.1，当n^2 大于 10 时，K_3 取 $2l/3$；

~~K ——材料系数；~~

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；

F_{SC} ——力，kg，定义见 2.24.3；

R_{eH} ——材料屈服强度，N/mm^2；

τ_a ——剪切强度，N/mm^2，取为：

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

ϕ ——扶强材腹板与外板的夹角，（°），在扶强材跨距中点量取。

系数 K_3 **表 2.24.5.1**

n_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_3	l	$l - \frac{l^{'2}}{l}$	$l - \frac{2l^{'2}}{3l}$	$l - \frac{5l^{'2}}{9l}$	$l - \frac{l^{'2}}{2l}$	$l - \frac{7l^{'2}}{15l}$	$l - \frac{4l^{'2}}{9l}$	$l - \frac{3l^{'2}}{7l}$	$l - \frac{5l^{'2}}{12l}$	$l - \frac{11l^{'2}}{27l}$

2.24.6 底边舱斜板或内壳上的普通扶强材

2.24.6.1 底边舱斜板或内壳上单跨普通扶强材的剖面模数W，cm^3 和剪切剖面积A，cm^2 应不小于按下列公式求得之值：

~~$$W = K_3 \frac{a_{hopper} F_{SC}^{'} K}{12 R_{eH}}$$~~

$$W = K_3 \frac{a_{hopper} F_{SC}^{'}}{12 R_{eH}}$$

~~$$A = \frac{4 a_{hopper} F_{SC}^{'} K}{\tau_a \sin\phi} \times 10^{-3}$$~~

$$A = \frac{4 a_{hopper} F_{SC}^{'}}{\tau_a \sin\phi} \times 10^{-3}$$

式中：K_3——系数，定义见表 2.24.5.1，当n^2大于 10 时，K_3取$2l/3$；

~~K——材料系数；~~

R_{eH}——材料屈服强度，N/mm^2；

τ_a——剪切强度，N/mm^2，见 2.24.5.1；

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；

$F_{SC}^{'}$——力，kg，定义见 2.24.4；

ϕ——夹角，（°），定义见 2.24.5。

附录 3 船首底部砰击强度评估方法

2 砰击压力计算

2.3.2 波浪扩散函数$f_0(\theta)$按下式计算：

$$f_0(\theta) = \begin{cases} \frac{2}{\pi}\cos^2\theta, & |\theta| < \frac{\pi}{2} \\ 0, & \theta\text{为其它值} \end{cases}$$

式中：θ——组合波与主浪向之间的夹角，rad。

~~2.3.2~~2.3.3 砰击压力计算采用短期海况极值预报，有义波高H_S按下式计算：

~~$$H_S = \begin{cases} 8 - 0.6\left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5}, L < 300m \\ 8 + 0.6\left(\frac{L-300}{100}\right)^{1.5}, L \geq 300m \end{cases}$$~~

$$H_S = \begin{cases} 8 - 0.6\left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5} \text{ m}, L < 300\text{m} \\ 8 + 0.6\left(\frac{L-300}{100}\right)^{1.5} \text{ m}, L \geq 300\text{m} \end{cases}$$

平均跨零周期T_Z及计算航行时间t_n按表 2.3.2 选取，中间值可采用线性插值法求得。

海浪条件选取 **表 2.3.2**

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

~~2.3.3~~2.3.4 计算航速采用 0.75V，V 的定义见第 1 章 1.1.2.27。

~~2.3.4~~2.3.5 计算航向角取迎浪工况。

~~2.3.5~~2.3.6 计算波浪频率范围取为 0.2 到 1.8rad/s，步长取 0.05rad/s。

2.4.1 砰击压力极值P_B按下式计算：

$$P_B(\alpha)=\begin{cases}\dfrac{1}{2}\rho k_1\left\{V_0^2-2E_v\ln\left[1-(1-\alpha)^{1/n}\right]\right\} & \text{kPa},\ b_1/d_1\le 5\\ \dfrac{1}{2}\rho k_1\left\{V_0^{1.4}-1.625E_v^{0.7}\ln\left[1-(1-\alpha)^{1/n}\right]\right\} & \text{kPa},\ b_1/d_1>5\end{cases}$$

式中：d_1——$d/10$吃水，m，d 的定义见第 1 章 1.1.2.4；

b_1——d_1 吃水下的计算横剖面水线半宽，m；

ρ——海水密度，t/m^3，取为 1.025；

k_1——砰击系数，按下式计算：

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

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

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

Z_0——剖面坐标~~，即 $Z_0=x+iy$~~；

ζ——圆~~的~~坐标~~，即 $\zeta=\xi+i\eta$~~；

U——尺度比，$U=\dfrac{d_1}{1-a_1+a_3-a_5}$；

V_0——临界砰击速度，m/s，按下式计算：

~~$$V_0=\begin{cases}0.0925\sqrt{L}, & \text{对集装箱船}\\ 0.07\sqrt{L}, & \text{对其他船型}\end{cases}$$~~

$$V_0=\begin{cases}0.0925\sqrt{L}, & \text{对集装箱船、客船和车辆运输船}\\ 0.07\sqrt{L}, & \text{对其他船型}\end{cases}$$

E_v——计算横剖面底部的~~垂向船波~~船体与波浪垂向相对速度方差，由本附录 2.3 谱分析计算结果确定；

α——保证率，取为 0.01；

n——砰击次数，用计算航行时间 t_n 小时内平均砰击次数 N 代替，按下式计算：

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

其中：E_r——计算横剖面底部的~~垂向船波~~船体与波浪垂向相对运动方差，由本附录 2.3 谱分析计算结果确定；

T_f——评估工况的首吃水，m。

3 强度评估

3.1.2 当板的极限承载压力 P_{cp} 与极值砰击压力 P_B 满足下述关系，则认为板具有足够抗砰击能力：

~~$$1000\frac{P_{cp}}{P_B}\geqslant 0.75$$~~ $$1000\frac{P_{cp}}{C_S P_B}\geqslant 0.75$$

式中：P_B——砰击压力极值，kPa，见本附录 2.4.1。

C_S——三维砰击系数，按下式选取：

$$C_S=\begin{cases}0.7, & \text{对集装箱船、客船、车辆运输船}\\ 1, & \text{对其他船型}\end{cases}$$

3.2.2 当纵骨的极限承载压力P_{cl}与极值砰击压力P_B满足下述关系，则认为纵骨具有足够抗砰击能力：

~~$1000\dfrac{P_{cl}}{P_B}\geqslant 0.75$~~ $1000\dfrac{P_{cl}}{C_S P_B}\geqslant 0.75$

式中：P_B——砰击压力极值，kPa，见本附录 2.4.1。

C_S——三维砰击系数，同 3.1.2。

3.3.3 计算载荷

根据砰击原理，认为砰击压力是作用在中纵桁处的肋板上，其作用面积为边长S_1的正方形，S_1按下式计算：

$$S_1=\sqrt{1.1C_bLB\times 10^{-3}}\quad \text{m}$$

船首各站处的砰击压力的极限值不出现在同一时刻，所以必须对各站处作用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 3.3.3(1)，单位长度肋板上作用力Q按下式计算：

~~$Q=P_BS_1$~~ $Q=C_DP_BS_1$ kN/m

式中：S——肋板间距，m；

P_B——砰击压力极值，kPa，见本附录 2.4.1。

C_D——动态砰击系数，按下式选取：

$$C_D=\begin{cases}0.4, & \text{对集装箱船、客船、车辆运输船}\\ 1, & \text{对其他船型}\end{cases}$$

(2) $S<S_1<2S$：

砰击压力作用在二块肋板上，见图 3.3.3(2)，单位长度肋板上作用力Q按下式计算：

~~$Q=0.5P_BS_1$~~ $Q=0.5C_DP_BS_1$ kN/m

(3) $S_1>2S$：

砰击压力作用在三块肋板上，中间肋板单位长度肋板上作用力Q_C按下式计算：

~~$Q_C=P_BS$~~ $Q_C=C_DP_BS$ kN/m

边肋板单位长度上的作用力Q_S按下式计算

~~$Q_S=0.5P_B(S_1-S)$~~ $Q_S=0.5C_DP_B(S_1-S)$ kN/m

第 3 章 舾 装

第 1 节 舵

3.1.10 **其他**

3.1.10.2 舵柄与舵杆的连接

(10) 当采用液压装配或冷缩配合的锥形连接，应按下列要求确定推入长度和推入平均表面压力：

①推入长度 S 应满足下式要求：

$$S_1 \leqslant S \leqslant S_2$$

最小推入长度 $S_1 = \frac{1}{k_1}[\frac{2p_r D_m k_2^2}{E(k_2^2-1)} + 0.02]$ mm

~~最大推入长度 $S_2 = \frac{1}{k_1}[1.4R_{eH} D_m \frac{k_2^2}{E\sqrt{3k_2^4+1}} + 0.02]$ mm~~

最大推入长度 $S_2 = \frac{1}{k_1}[1.6R_{eH} D_m \frac{k_2^2}{E\sqrt{3k_2^4+1}} + 0.02]$ mm

式中： p_r ——舵柄与舵杆连接的平均表面压力，N/ mm^2，按本节 3.1.10.2⑵确定；

K_1 ——锥体的直径锥度；

$K_2 = \left(D_m + 2t_a\right) / D_m$；

D_m ——锥体的平均直径，mm；

t_a ——舵柄毂的平均厚度，mm；

R_{eH} ——舵柄毂或舵杆材料的屈服应力，取小者；N/ mm^2；

E ——弹性模量，取 2.06×10^5，N/ mm^2。

第 7 节 甲板设备支撑结构

3.7.2 **锚机和挚链器的支撑结构**

~~3.7.2.4 应按本节 3.2.5 的要求校核船首甲板锚机固定的强度。~~

3.7.2.4 对于满足本章 3.2.5.1 的锚机，还应按本节 3.2.5 的要求校核船首甲板锚机固定的强度。

3.7.3 **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) 本节 3.7.3.2 和 3.7.3.3 中定义的设计载荷和相关的作用在基座和支撑结构上的反力。~~

~~3.7.3.2 校核下列工况下系泊绞车支撑结构的强度：~~

~~(1) 表 3.2.1.1（2）要求的对应船舶舾装数的系索（缆索）破断强度 125%。~~

~~3.7.3.3 位于船首 0.25L 以内的系泊绞车，同样适用本节 3.7.2.4 中所述的上浪载荷工况，各项作用力见~~

~~本节 3.2.5，各螺栓组中单个螺栓由上浪产生的应力应满足本节 3.2.5.8 的要求。~~

~~3.7.3.4 计算分析要求、模型化方法及许用应力按本节 3.7.2.5~3.7.2.7 的规定。~~

~~3.7.3.5 系泊绞车的支撑结构还需满足本篇第 3 章第 6 节的要求。~~

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。

3.7.5 **应急拖带装置的支撑结构**

3.7.5.1 载重量大于或等于 20000t 的~~油船~~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。

3.7.6 **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~~篇第 3~~章第 6 节的要求。

第 7 章 集 装 箱 船

第 1 节 一般规定

7.1.1 适用范围

7.1.1.3 对集装箱船使用~~屈服强度 460N/mm^2~~厚度大于 50mm 且不超过 100mm、最小屈服强度大于 355 N/mm^{2}的高强度钢时，应满足 CCS《船用高强度钢厚板检验指南》的要求。

7.1.1.4 对集装箱船强力甲板和舱口围板使用屈服强度 390 N/mm^2 的高强度钢时，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 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 5 节 舷侧骨架

7.5.2 双层壳舷侧骨架

7.5.2.1 双层壳舷侧内的横框架和水平隔板(包括开孔平台)的最小厚度 t，应不小于按下式计算所得之值，但不必大于 ~~10~~ 9mm：

$$t=7.5+0.015L \quad \text{mm}$$

式中：L——船长，m。

第 6 节 双 层 底

7. 6. 1 一般要求

7.6.1.3 对于船长为 150m 及以上的集装箱船，双层底结构可按本章 7.9.10 的要求。

第 9 节 大型集装箱船的补充要求

7.9.9 双舷侧结构尺度

7.9.9.2 内壳板应符合下述要求：

(1) 内壳板的最小厚度 t 应按下式计算：

~~$t=7+0.02(L,300)_{\min}\sqrt{K}$ mm~~

$$t=7+0.02L\sqrt{K} \quad \text{mm}$$

式中：L ——船长，m，计算时取值不必大于 300m；

K ——材料系数。

(2) 内壳板应符合~~本篇第 2 章第 12 节水密舱壁的要求~~本节 7.9.11.4 的要求。

(3) 船中 0.4L 区域，构成液舱边界的内壳板厚度 t 除应满足本条(4)的要求外，还应不小于：

$$t=\left(4+0.6\frac{z-z_n}{D-z_n}\right)s\sqrt{hK}+2.5 \quad \text{mm，在水平中和轴以上}$$

~~$t=\left(4+0.2\frac{z_n-z}{z_n}\right)s\sqrt{hK}+2.5$~~ $t=\left(4+0.2\frac{z_n-z}{z_n}\right)s\sqrt{F_b hK}+2$ mm，在水平中和轴以下

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——由板列下缘 1/3 板列高度处量至液舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

D ——型深，m；

Z_n ——船体横剖面的水平中和轴距基线的高度，m；

Z ——计算点距基线的高度，m；

F_b—折减系数，见本篇第 2 章 2.2.5.6；

K ——材料系数。

(4) ~~船中 0.4L 区域以外，~~构成液舱边界的内壳板厚度 t 应不小于：

$$t = 4s\sqrt{hK} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——由板列下缘 1/3 板列高度处量至液舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

K ——材料系数。

(5) 内壳的顶列板与下一列板的厚度差一般应不大于 25mm，最大应不超过 35mm。通常厚板在连接处将按照不大于 1:4 的比例对高出的边缘予以削斜。

7.9.9.3 纵骨(舷侧、内壳)应满足本篇第 2 章的有关要求。纵骨腹板的最小厚度为 10mm。纵骨应连续穿过垂直横隔板。其中，舷侧纵骨在按本篇第 2 章 2.7.5.1 确定时，计算压头 h 应按下列各式计算：

$$h = 0.26C + d - \frac{Z}{D_F}d \quad \text{m，当 } Z<D_F \text{ 时；}$$

$$h = 0.2C + 0.06C\frac{D-Z}{D-D_F} \quad \text{m，当 } Z \geqslant D_F \text{ 时；}$$

式中：D——型深，m；

D_F——最小型深，m，在船长中点处，自平板龙骨上缘至舷侧干舷甲板横梁上缘之间的垂直距离；

d ——吃水，m；

C ——系数，见本篇第 2 章 2.2.3.1；

Z ——纵骨距基线的高度，m。

7.9.9.4 构成液舱边界的垂直横隔板、水平横隔板厚度 t 应不小于：

$$t = 4s\sqrt{hK} + 2.5 \quad \text{mm}$$

式中：s ——扶强材间距，m；

h ——由板列下缘 1/3 板列高度处量至液舱顶的垂直距离，或量至溢流管顶垂直距离的一半，取大者，m；

K ——材料系数。

垂直横隔板、水平隔板的最小厚度为 10mm。水密隔板的最小厚度为 11mm。

附录 1 集装箱系固

1 一般规定

1.1 适用范围

~~1.1.1 本附录适用于符合国际标准化组织 ISO 1496-1：1990 及其第 1，2，3 次修订案建造的集装箱。对于根据 ISO 1496-1：1990 2006 年第 4 次修订案建造的集装箱即具有更高许用负荷的集装箱，需要特殊考虑。~~

1.1.1 本附录的集装箱堆装及系固要求基于符合国际标准化组织 ISO 1496-1：2013 所建造集装箱制定。

1.1.2 常用货运集装箱的外部尺寸、额定重量及角件定位尺寸见表 1.1.2。

常用货运集装箱的外部尺寸、额定重量及角件定位尺寸①　　表 1.1.2

公称 长度	集装箱 型号	长度 (mm)	宽度 (mm)	高度 (mm)	箱角件孔中心距(纵向) (mm)	箱角件孔中心距(横向) (mm)	额定重量 (kg)
ISO668 20 英尺	1CC	6058	2438	2591	5853	2259	~~24000 (30480)②~~ 30480 (24000)②
	1C			2438			
	1CX			<2438			
ISO668 40 英尺	1AAA	12192	2438	2896	11985	2259	30480
	1AA			2591			
	1A			2438			
	1AX			<2438			
ISO668 45 英尺	1EEE	13716	2438	2896	11985 13509	2259	30480
	1EE			2591			
43 英尺		13103	2438	2591	11985	2259	30480
48 英尺		14630	2591	2908	11985 14422	2259	30480
53 英尺		16154	2591	2908	11985 15947	2259	30480

注：①本表格中 ISO 标准集装箱的数据是根据 ISO 668：~~1995 及其修订案~~ 2013 确定。

②根据 ISO 668：1995 的 Amd 1：2005~~，20 英尺集装箱的额定重量为 30480kg~~ 之前版本制造的 20 英尺集装箱额定重量为 24000kg。用于系固系统设计的集装箱空箱重量建议如下：

20 英尺集装箱　2.5t

40 英尺集装箱　3.5t

43 英尺和 45 英尺集装箱　4.0t

48 英尺集装箱和 53 英尺集装箱　4.5t

1.2 ~~附加标志~~其他规定

1.2.1 对非集装箱船舶，~~如~~其集装箱系固设备应符合本附录 1~5 的要求~~，授予附加标志:Equipped with Container Securing Arrangement~~。

1.3 图纸资料

1.3.1 应将下列图纸资料提交批准：

(1)集装箱排列和重量布置图；

(2)箱格导轨结构图(如有时)；

(3)绑扎桥结构图(如有时)；

(4)甲板箱柱结构图(如有时)；

(5)非箱格导轨集装箱系固设备布置图(如有时)；

(6)系固设备详图（固定式及便携式设备，含安全工作负荷）；

(7) ~~集装箱系固手册 (船上应配有经 CCS 批准的集装箱系固手册)。~~固定式系固设备布置图及其船体支撑结构图；

(8)集装箱系固手册/布置方案(船上应配有经批准的集装箱系固手册/布置方案)。

1.5 定义

1.5.8 设计初稳性高度(Design GM Value)：用于集装箱绑扎计算的 *GM* 值由设计方确定，并在集装箱系固手册/布置方案中标明。至少应包含最小值和最大值两个值。最小值应不小于装载最多集装箱数量工况时的 *GM* 值，最大值应不小于所有预期装载集装箱工况时的最大值。在初始设计时，设计初稳性高度的最小值可取为 0.025*B*，最大值可取为 0.075*B*，其中 *B* 为船舶的宽度。

1.6 特殊考虑

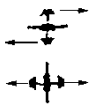
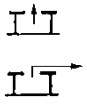
1.6.1 对于 ISO~~668~~1496-1 标准以外的集装箱以及特殊的集装箱装载方式，其集装箱的系固应根据其参数、许用负荷按本附录 4.8 中的方法考虑。

2 材料与试验

2.2 原型试验

2.2.3 系固设备可按表 2.2.3 的模式进行试验。

试 验 模 式 **表 2.2.3**

系固设备	试验模式示意图	建议的最小值(kN)		
		SWL	验证负荷	破断负荷
绑扎杆(高强度钢)		180	270	360
绑扎杆		250	375	~~360~~500
绑扎链(高强度钢)		80	—	200
绑扎链		100	—	300
绑扎钢丝绳		120	—	360
花篮螺丝		250	375	500
扭锁		200	300	400
		250	375	500
堆锥		200	300	400
埋入式底座		250	375	500
底座		250	375	500
		200	300	400
D 形环		250	375	500
绑扎眼板		250	375	500
撑柱		应根据堆装布置的单独计算结果作为安全工作负荷，按表 2.2.1 确定试验负荷。		

3 集装箱的堆装与系固

3.2 集装箱露天甲板上的堆装和系固

~~3.2.2 应使用扭锁和(或)绑扎装置进行系固。~~

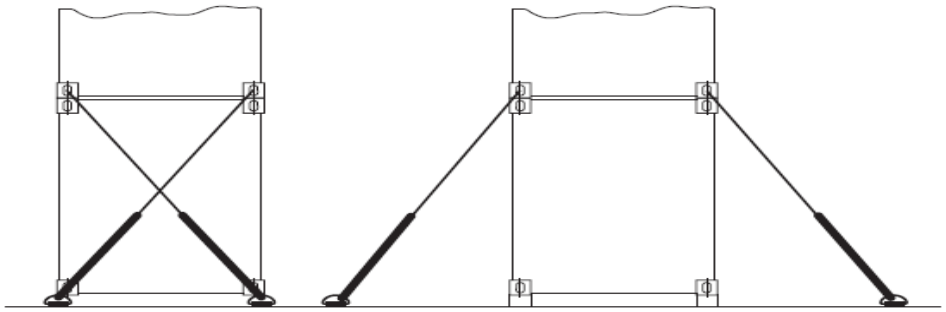
3.2.2 堆装在露天甲板上的集装箱的系固应符合下述要求：

(1) 应使用扭锁和(或)绑扎装置进行系固；

(2) 为提高绑扎效率，可将固定系固点布置在绑扎桥上。此种情况下，绑扎力的计算应考虑绑扎桥结

构与集装箱堆垛间的相对位移；

(3) 通常情况下，应使用内绑扎型式进行系固，如图 3.2.2（a）所示。图 3.2.2（b）所示的外绑扎形式，在绑扎杆连接的角件承受拉力时，由于扭锁与集装箱角件之间存在间隙， 扭锁在该间隙没有关闭之前将不承受拉力，此时绑扎杆可能将承受过大的拉力而被破坏。如选用外绑扎形式，则上述情况需在系固计算中予以考虑。如无实际数据，半自动扭锁考虑 12mm 的垂向间隙，全自动扭锁考虑 20mm 的垂向间隙。



（a）内绑扎 （b）外绑扎

图 3.2.2 内绑扎与外绑扎

3.4 20 英尺与 40 英尺集装箱在货舱内的混合堆装

3.4.3 当用于装载 40 英尺集装箱的箱格导轨装置的处所中间处的 20 英尺集装箱不用支撑时，应按下述要求堆装集装箱：

(1)20 英尺集装箱堆上不堆装 40 英尺集装箱时，允许的 20 英尺集装箱~~平均~~堆垛的总重量按加速度和堆垛层数可由表 3.4.3(1)得出。

(2) 20 英尺集装箱顶部至少堆装 1 层 40 英尺集装箱时，允许的 20 英尺集装箱~~平均~~堆垛的总重量按加速度和堆垛层数可由表 3.4.3(2)得出。

(3)在用于装载 40 英尺集装箱的箱格导轨装置的处所全长范围的 1/2 处的最底层 20 英尺集装箱端壁所受的扭变力应不超过~~本附录 4.7 的规定~~ 185 kN。集装箱的堆装应尽可能保证所有的门端或封闭端是朝向相同方向。表 3.4.3(1)和表 3.4.3(2)所列重量适用于 ~~ISO1496-1：1990 最大额定重量 24t~~ 最大额定重量 30480kg 的 20 英尺集装箱。

表 3.4.3（1）和表 3.4.3（2）替换为：

20 英尺集装箱堆装重量(t) 表 3.4.3(1)

a_t (g) / 层数	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40
12	168.9	163.5	158.4	153.6	149.1	144.8	140.8	137.0	133.4	129.9	126.7
11	168.8	163.4	158.2	153.5	148.9	144.7	140.7	136.9	133.3	129.8	126.6
10	168.4	163.0	157.9	153.1	148.6	144.3	140.3	136.5	133.0	129.5	126.3
9	167.4	162.0	156.9	152.2	147.7	143.5	139.5	135.7	132.1	128.8	125.5
8	166.7	161.3	156.3	151.5	147.1	142.9	138.9	135.1	131.6	128.2	125.0
7	166.4	161.0	156.0	151.3	146.8	142.6	138.7	134.9	131.4	128.0	124.8
6	164.8	159.5	154.5	149.8	145.4	141.2	137.3	133.6	130.1	126.7	123.6
5	152.5	152.5	152.5	149.3	144.9	140.8	136.9	133.2	129.7	126.4	123.2
4	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	121.5
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t (g) / 层数	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51
12	123.6	120.7	117.9	115.2	112.6	110.2	107.8	105.6	103.4	101.4	99.4
11	123.5	120.6	117.8	115.1	112.5	110.1	107.7	105.5	103.3	101.3	99.3
10	123.2	120.3	117.5	114.8	112.3	109.8	107.5	105.3	103.1	101.0	99.1

9	122.5	119.6	116.8	114.1	111.6	109.2	106.8	104.6	102.5	100.4	98.5
8	122.0	119.1	116.3	113.6	111.1	108.7	106.4	104.2	102.0	100.0	98.0
7	121.8	118.9	116.1	113.5	110.9	108.5	106.2	104.0	101.9	99.8	97.9
6	120.6	117.7	115.0	112.3	109.8	107.5	105.2	103.0	100.9	98.9	96.9
5	120.2	117.3	114.6	112.0	109.5	107.1	104.8	102.7	100.6	98.6	96.6
4	118.5	115.7	113.0	110.4	108.0	105.6	103.4	101.2	99.2	97.2	95.3
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t(g) / 层数	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62
12	97.5	95.6	93.8	92.1	90.5	88.9	87.4	85.9	84.5	83.1	81.7
11	97.4	95.5	93.8	92.1	90.4	88.8	87.3	85.8	84.4	83.0	81.7
10	97.2	95.3	93.6	91.9	90.2	88.6	87.1	85.6	84.2	82.8	81.5
9	96.6	94.7	93.0	91.3	89.7	88.1	86.6	85.1	83.7	82.3	81.0
8	96.2	94.3	92.6	90.9	89.3	87.7	86.2	84.7	83.3	82.0	80.6
7	96.0	94.2	92.4	90.8	89.1	87.6	86.1	84.6	83.2	81.8	80.5
6	95.1	93.3	91.5	89.9	88.3	86.7	85.2	83.8	82.4	81.0	79.7
5	94.8	93.0	91.3	89.6	88.0	86.5	85.0	83.5	82.1	80.8	79.5
4	93.4	91.7	90.0	88.3	86.8	85.2	83.8	82.4	81.0	79.7	78.4
3	91.5	89.8	88.2	86.6	85.0	83.5	82.1	80.7	79.4	78.1	76.8
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t(g) / 层数	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73
12	80.4	79.2	78.0	76.8	75.6	74.5	73.4	72.4	71.4	70.4	69.4
11	80.4	79.1	77.9	76.7	75.6	74.5	73.4	72.3	71.3	70.3	69.4
10	80.2	78.9	77.7	76.5	75.4	74.3	73.2	72.2	71.2	70.2	69.2
9	79.7	78.5	77.3	76.1	74.9	73.8	72.8	71.7	70.7	69.7	68.8
8	79.4	78.1	76.9	75.8	74.6	73.5	72.5	71.4	70.4	69.4	68.5
7	79.2	78.0	76.8	75.6	74.5	73.4	72.3	71.3	70.3	69.3	68.4
6	78.5	77.2	76.0	74.9	73.8	72.7	71.6	70.6	69.6	68.7	67.7
5	78.2	77.0	75.8	74.7	73.5	72.5	71.4	70.4	69.4	68.4	67.5
4	77.1	75.9	74.8	73.6	72.5	71.5	70.4	69.4	68.4	67.5	66.6
3	75.6	74.4	73.2	72.1	71.1	70.0	69.0	68.0	67.1	66.1	65.2
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t(g) / 层数	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84
12	68.5	67.6	66.7	65.8	65.0	64.1	63.3	62.6	61.8	61.1	60.3
11	68.4	67.5	66.6	65.8	64.9	64.1	63.3	62.5	61.8	61.0	60.3
10	68.3	67.4	66.5	65.6	64.8	64.0	63.2	62.4	61.6	60.9	60.1
9	67.9	67.0	66.1	65.2	64.4	63.6	62.8	62.0	61.2	60.5	59.8
8	67.6	66.7	65.8	64.9	64.1	63.3	62.5	61.7	61.0	60.2	59.5
7	67.5	66.6	65.7	64.8	64.0	63.2	62.4	61.6	60.9	60.1	59.4
6	66.8	65.9	65.0	64.2	63.4	62.6	61.8	61.0	60.3	59.6	58.8
5	66.6	65.7	64.8	64.0	63.2	62.4	61.6	60.8	60.1	59.4	58.7
4	65.7	64.8	63.9	63.1	62.3	61.5	60.7	60.0	59.3	58.5	57.8
3	64.3	63.5	62.6	61.8	61.0	60.3	59.5	58.8	58.1	57.4	56.7
2	61.0	61.0	60.3	59.5	58.7	58.0	57.2	56.5	55.8	55.2	54.5

注：表中层数为 20 英尺集装箱堆垛层数，a_t为堆垛中间层的横向加速度。例如：堆装 7 层 20 英尺集装箱，且集装箱

堆上不堆装 40 英尺集装箱时，如堆垛中间层的横向加速度 a_t 为 0.45g，则该堆垛的总重量应不超过 110.9t，但堆垛中每层集装箱的重量可不相同。

20 英尺集装箱顶部至少堆装 1 层 40 英尺集装箱堆装重量(t)　　表 3.4.3(2)

a_t (g) / 层数	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40
12	210.8	209.9	209.2	208.4	207.6	206.8	205.9	205.3	204.5	203.6	203.5
11	218.4	217.6	216.8	216.1	215.3	214.6	213.9	213.0	209.8	204.5	200.4
10	227.4	226.7	225.9	225.3	224.7	223.5	217.4	211.5	206.0	200.8	197.0
9	238.6	237.9	237.2	232.1	225.3	218.9	212.8	207.1	201.7	196.5	193.1
8	244.0	243.1	235.5	228.4	221.7	215.3	209.3	203.7	198.3	193.2	188.4
7	213.5	213.5	213.5	213.5	213.5	209.1	203.3	197.8	192.6	187.7	183.0
6	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	183.0	181.4	176.8
5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5	152.5
4	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t (g) / 层数	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51
12	198.5	193.8	189.3	185.0	180.9	177.0	173.2	169.6	166.1	162.8	159.6
11	195.5	190.8	186.4	182.1	178.1	174.2	170.5	167.0	163.6	160.3	157.1
10	192.2	187.6	183.2	179.1	175.1	171.3	167.6	164.1	160.8	157.6	154.5
9	188.3	183.9	179.6	175.5	171.6	167.9	164.3	160.9	157.6	154.4	151.4
8	183.8	179.4	175.3	171.3	167.5	163.8	160.4	157.0	153.8	150.7	147.8
7	178.5	174.3	170.2	166.4	162.7	159.1	155.7	152.5	149.4	146.4	143.5
6	172.5	168.4	164.5	160.8	157.2	153.8	150.5	147.4	144.4	141.5	138.7
5	152.5	152.5	152.5	152.5	150.5	147.3	144.1	141.1	138.2	135.5	132.8
4	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t(g) / 层数	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62
12	156.5	153.6	150.7	148.0	145.4	142.8	140.3	138.0	135.7	133.4	131.3
11	154.1	151.2	148.4	145.7	143.1	140.6	138.2	135.8	133.6	131.4	129.3
10	151.5	148.6	145.9	143.2	140.7	138.2	135.8	133.5	131.3	129.2	127.1
9	148.5	145.7	143.0	140.4	137.9	135.5	133.1	130.9	128.7	126.6	124.6
8	144.9	142.2	139.6	137.0	134.6	132.2	129.9	127.7	125.6	123.5	121.6
7	140.8	138.1	135.6	133.1	130.7	128.4	126.2	124.1	122.0	120.0	118.1
6	136.0	133.5	131.0	128.6	126.3	124.1	122.0	119.9	117.9	116.0	114.1
5	130.3	127.8	125.4	123.2	121.0	118.8	116.8	114.8	112.9	111.0	109.3
4	122.0	121.1	118.9	116.7	114.6	112.6	110.7	108.8	107.0	105.2	103.5
3	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t(g) / 层数	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73
12	129.2	127.2	125.2	123.3	121.5	119.7	118.0	116.3	114.6	113.1	111.5
11	127.2	125.2	123.3	121.4	119.6	117.9	116.1	114.5	112.9	111.3	109.8
10	125.1	123.1	121.2	119.4	117.6	115.9	114.2	112.5	111.0	109.4	107.9
9	122.6	120.7	118.8	117.0	115.3	113.6	111.9	110.3	108.8	107.3	105.8

8	119.6	117.8	115.9	114.2	112.5	110.8	109.2	107.7	106.1	104.7	103.2
7	116.2	114.4	112.6	110.9	109.3	107.6	106.1	104.6	103.1	101.7	100.3
6	112.3	110.5	108.8	107.2	105.6	104.0	102.5	101.1	99.6	98.2	96.9
5	107.5	105.8	104.2	102.6	101.1	99.6	98.2	96.8	95.4	94.1	92.8
4	101.9	100.3	98.8	97.3	95.8	94.4	93.0	91.7	90.4	89.2	87.9
3	91.5	91.5	91.5	90.4	89.0	87.7	86.4	85.2	84.0	82.8	81.7
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

a_t(g) / 层数	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84
12	110.0	108.5	107.1	105.7	104.4	103.0	101.8	100.5	99.3	98.1	96.9
11	108.3	106.9	105.4	104.1	102.7	101.4	100.2	98.9	97.7	96.6	95.4
10	106.5	105.0	103.7	102.3	101.0	99.7	98.5	97.3	96.1	94.9	93.8
9	104.4	103.0	101.6	100.3	99.0	97.8	96.5	95.3	94.2	93.0	91.9
8	101.8	100.5	99.2	97.9	96.6	95.4	94.2	93.0	91.9	90.8	89.7
7	98.9	97.6	96.3	95.1	93.8	92.7	91.5	90.4	89.3	88.2	87.1
6	95.6	94.3	93.1	91.9	90.7	89.5	88.4	87.3	86.3	85.2	84.2
5	91.5	90.3	89.1	88.0	86.8	85.7	84.7	83.6	82.6	81.6	80.6
4	86.7	85.6	84.5	83.4	82.3	81.3	80.2	79.3	78.3	77.3	76.4
3	80.6	79.5	78.5	77.5	76.5	75.5	74.5	73.6	72.7	71.9	71.0
2	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

注：表中层数为 20 英尺集装箱堆垛层数（不包含顶层 40 英尺集装箱的层数），a_t为堆垛中间层的横向加速度。例如：堆装 7 层 20 英尺集装箱，且集装箱堆上至少堆装一层 40 英尺集装箱时，如堆垛中间层的横向加速度 a_t为 0.45g，则该堆垛的总重量应不超过 162.7t（不包含顶层 40 英尺的集装箱的重量），但堆垛中每层集装箱的重量可不相同。

4 集装箱的受力与系固设备的计算

4.1 一般要求

~~4.1.2 集装箱上所受的力可分为 F_x、F_y及 F_z三个分力，如图 4.1.2 所示。其中 *ox* 为横摇中心轴，F_x、F_y及 F_z均作用在集装箱的中心，即认为集装箱的重心位于箱的中心处。如果设计时，假定集装箱重心不在箱的中心处，则应将集装箱的重心位置连同船舶的浮心、横向初稳性高度、吃水以及垂向重心位置一起提供。~~

4.1.2 集装箱上所受的力可分为F_x、F_y及 F_z三个分力，如图 4.1.2 所示。其中 *ox* 为横摇中心轴，F_x、F_y及 F_z均作用在集装箱的中心，即认为集装箱的重心位于箱的中心处，在系固计算中可接受集装箱的重心位置位于箱高的 45%处。

~~4.2 集装箱系固加速度~~

~~4.2.1 对于甲板以上的集装箱，横向加速度 a_t按下式计算，且不小于按本篇第 1 章第 5 节 1.5.2.2（6）计算的合成横向加速度值：~~

$$~~a_t = \frac{9}{B^{0.16}} k_{GM} k_x \quad m/s^2~~$$

~~式中：k_{GM}——系数，$k_{GM} = 1 + \frac{GM - 0.055B}{0.165B}$，当$GM \le 0.05B$且$B \ge 40m$时，取不小于 0.9，其他情况下，取不小于 1；~~

~~B——船宽，m；~~

~~GM——设计初稳性高度，按本附录 1.5.8 确定；~~

~~k_x——纵向分布系数，按下式计算：~~

~~$k_x = 1 + 0.1\dfrac{(0.2L - x)}{0.2L}$ 当 $x < 0.2L$~~

~~=1 当 $0.2L \le x \le 0.7L$~~

~~$= 1 + 0.2\dfrac{(x - 0.7L)}{0.3L}$ 当 $x > 0.7L$~~

~~式中：L——船长，m；~~

~~x——计算点至尾垂线的纵向距离，m。~~

~~4.2.2 对于甲板以下的集装箱，横向加速度 a_t 按下式计算，且不小于按本篇第 1 章第 5 节 1.5.2.2（6）计算的合成横向加速度值：~~

~~$$a_t = \frac{9}{B^{0.23}} k_{GM} k_x \quad \text{m/s}^2$$~~

~~式中：k_{GM}——系数，$k_{GM} = 1 + \dfrac{GM - 0.055B}{0.165B}$，$k_{GM}$ 取不小于 1；~~

~~其中 GM、B、k_x 见本附录 4.2.1。~~

~~4.2.3 纵向加速度 a_L 按本篇第 1 章第 5 节 1.5.2.2（7）计算，且 a_L 不小于 1.5 m/s²。在计算时，航速取为最大服务航速的一半，最大纵摇角 ψ_m 的取值还应满足以下要求：~~

~~$\psi_m \le 0.122$rad，当 $L \le 120$m~~

~~≤ 0.105rad，当 $120\text{m} < L < 275\text{m}$~~

~~≤ 0.0873rad，当 $275\text{m} \le L$~~

~~4.2.4 垂向加速度 a_v 按本篇第 1 章第 5 节 1.5.2.2（8）计算。在计算时，最大纵摇角 ψ_m 的要求同 4.2.3。~~

4.2 集装箱系固加速度

4.2.1 用于集装箱系固计算的横向加速度 a_t 按下式计算：

$$a_t = (g + b_v) \cdot \sin\phi_m + b_h \cdot \cos\phi_m + (\frac{2\pi}{T_R})^2 \cdot \phi_m \cdot (z - z_{ROLL}) \quad \text{m/s}^2$$

式中：g——重力加速度，取 9.81 m/s^2；

b_v——由纵摇和升沉引起的垂向运动的加速度，m/s^2；

b_h——由艏摇和横荡引起的横向运动的加速度，m/s^2；

ϕ_m——船舶横摇角，rad；

T_R——船舶横摇周期，s；

z——集装箱重心位置距基线高度，m；

z_{ROLL}——船舶横摇中心线距基线高度，m；

在上述横向加速度计算公式中，b_v，b_h 由船舶的主尺度、方形系数以及航速确定，横摇角及横摇周期则由船舶主尺度与初稳性高度确定。横向加速度 a_t 可通过船舶计算系统进行拟合确定。

4.2.2 用于集装箱系固计算的垂向加速度 a_v 按下式计算：

$$a_v = 0.866 k_x \cdot g \quad \text{m/s}^2$$

式中：g——重力加速度，取 9.81 m/s^2；

k_x——纵向分布系数，可通过船舶计算系统确定。

4.2.3 用于集装箱系固计算的纵向加速度 a_l 按下式计算：

$$a_l = g \cdot (0.4 - 0.001 L_{BP})$$，但不必小于 1.5 m/s^2

式中：g——重力加速度，取 9.81 m/s^2；

L_{BP}——垂线间长，m。

4.3 集装箱的受力

4.3.1 对平行于甲板的横向分力F_y 应按下式计算：

$$F_y=Ga_t+Q \quad kN$$

式中：G ——集装箱的总重量，t；

a_t——横向加速度，m/s^2，见本附录 4.2.1 ~~和 4.2.2~~；

$Q= qA$,kN，其中 q 为风压，对于舷旁外侧的集装箱 q=~~1.0~~0.95kPa(对于最底层集装箱还需考虑 ~~1.0~~0.95kPa 的飞溅力)，对于中间和货舱内的集装箱 q=0，A 为受风压作用的集装箱的侧面积，m^2。当邻近的集装箱堆间距离不超过 1m，内侧的集装箱的风载荷可不计入。当集装箱堆间距离为 5m 或以上，内侧的集装箱的风载荷应完全计入。距离在 1m 到 5m 的情况，需要进行线性插值计算。当暴露面积小于 1/3 的侧向面积时，风载荷可以忽略。

4.3.2 对垂直于甲板的垂向分力 F_z 应~~分为以下两种情况~~按下式计算：

校核集装箱垂向支撑结构强度时为：

~~$F_z=9.81Gc\cos\varphi_m+Ga_v$ kN~~

$$F_z = Ga_v \quad kN$$

~~校核集装箱角柱上压力和角件垂向拉力时为：~~

~~$F_z=9.81Gc\cos\varphi_m k_x k_L$kN~~

式中：G ~~——集装箱的总重量，t~~ 见本附录 4.3.1；

~~φ_m——最大横摇角，rad，见本篇第 1 章第 5 节 1.5.2.1（2）；~~

a_v~~——垂向加速度，m/s^2，见本附录 4.2.4~~ 见本附录 4.2.2；

~~k_x——纵向分布系数，见本附录 4.2.1；~~

~~k_L——系数，按下式计算：~~

~~$k_L=4.35L^{-0.24}$~~

~~式中：L——船长，m。~~

4.4 集装箱上力的分配和组合

4.4.1 在每只集装箱上，力的分配如下：

(1)对于横向分力 F_y 由箱的前后两端壁传递到支撑点 x。对第 i 只集装箱的每个端壁传递的横向力 H_i 应按下式计算：

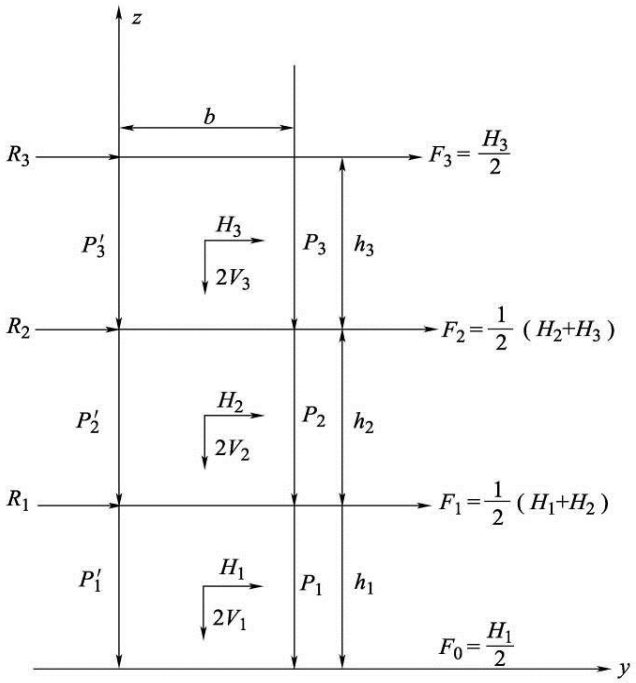
$$H_i = F_{yi}/2 \quad kN$$

H_i 的分配：假定集装箱的重心位于箱的中心处时，在集装箱端壁上端为 $H_i/2$，在下端为 $H_i/2$。

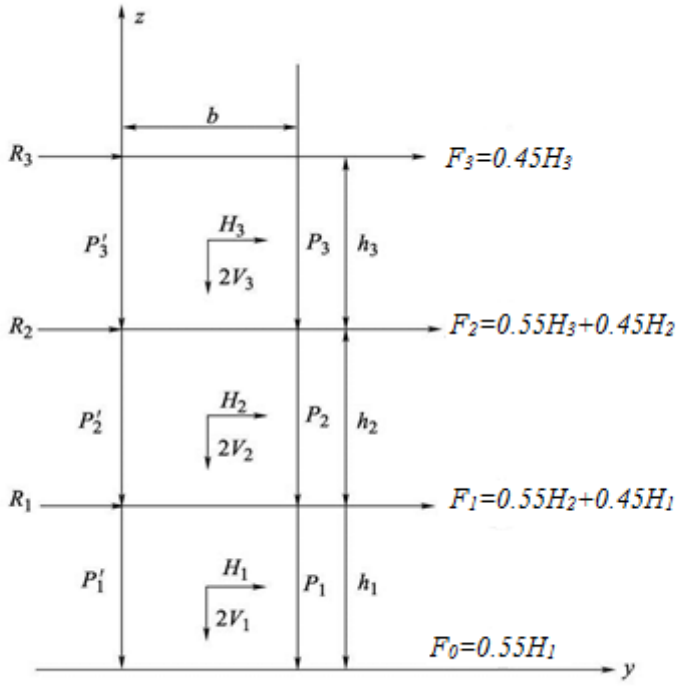
假定集装箱的重心位于箱的 45%高度时，在集装箱端壁上端为 $0.45H_i$，在下端为 $0.55H_i$。

式中：F_{yi}——第 i 只集装箱的横向分力，见本附录 4.3.1。

图 4.4.2 替换为：



(a) 重心位于箱中心



(b) 重心位于 45%箱高处

图 4.4.2 集装箱端壁上的力

4.5 集装箱绑扎装置的计算

4.5.2 如图 4.5.2 为 1 垛 2 层的集装箱，对第 2 层用绑扎装置~~对角系固~~进行内绑扎。当假定重心在集装箱中心处，选定绑扎装置的有效剖面积 A 时，可按下式计算集装箱上所承受的剩余扭变力 T (T 应符合本附录 4.7.2(2)的要求)：

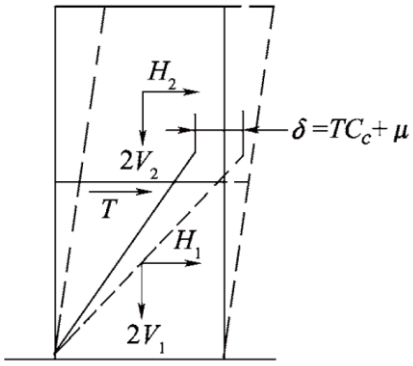


图 4.5.2 一垛 2 层集装箱

$$T = \frac{\frac{1}{2}H_1 + H_2 - \frac{AEl_y^2}{l^3}\mu}{\frac{AEl_y^2}{l^3}C_c + 1} \text{ kN}$$

式中：H_1、H_2——见本附录 4.4.1(1)；

l ——绑扎装置的总长度，应包含受拉装置，花篮螺丝及眼板。可通过公式计算获得：

$l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2}$ ，mm；

l_x ——绑扎装置在纵向的长度分量，mm；

l_y ——绑扎装置在横向的长度分量，mm；

l_z ——绑扎装置在垂向的长度分量，mm；

E——绑扎装置的弹性模量，按如下取：钢丝绳 10000kN/cm^2，钢链(按钢链的名义直径)4000kN/cm^2；钢杆(绑扎到第 1 层集装箱箱顶或第 2 层集装箱箱底)14000 kN/cm^2，钢杆(绑扎到第 2 层集装箱箱顶或第 3 层集装箱箱底)17500kN/cm^2，钢杆(绑扎到第 3 层集装箱箱顶或第 4 层集装箱箱底)19000kN/cm^2；

A——绑扎装置的有效剖面积，cm^2；

μ——集装箱底座处的滑动位移，mm，~~一般可取为零~~对于集装箱门端的第一层和第二层取为 4mm，对于封闭端取为 0；

C_c——集装箱横向框架的柔度，如无实际资料，可~~按表 4.5.2 选~~取门端柔度为 0.27 mm/kN，封闭端柔度为 0.06 mm/kN，纵壁的柔度为 0.168 mm/kN。

~~集装箱横向框架的柔度 C_c(mm/kN)　　表 4.5.2~~

~~箱高(m)~~	~~门端~~	~~封闭端~~	~~纵壁~~
~~2.438~~	~~0.275~~	~~0.061~~	~~0.168~~
~~2.591~~	~~0.291~~	~~0.066~~	~~0.178~~
~~2.896~~	~~0.325~~	~~0.073~~	~~0.199~~

4.6 支撑力

4.6.1 当舱内集装箱的堆装不用导轨而用刚性支撑时，支点的受力如下：

如图 4.6.1 所示，对支撑力 Q_3、Q_5 应按下述计算：

$$Q_3 = \frac{1}{h_1}[H_4(h_1 - Z_4) + H_5(h_1 - Z_5)] + \frac{1}{h_2}[H_1Z_1 + H_2Z_2 + H_3Z_3] \text{ kN}$$

$$Q_5 = \frac{1}{h_1}(H_4Z_4 + H_5Z_5) \text{ kN}$$

式中：H_1、H_2、H_3、H_4 及 H_5 见本附录 4.4.1(1)。

Q_i 是对一垛集装箱的支撑力。当横向并列有 n 垛集装箱，且 n 不超过 4 时，支撑力应为 nQ_i；当 n 超过 4 时，对支撑力 $Q_i(n)$，可按下式计算：

~~$Q_i(n) = Q_i[n - 0.015(n-4)^3]$~~

如 $n-m\le 4$，则 $Q_i(n)=Q_i\cdot\left[1-\frac{(n-4)^2}{2\cdot n\cdot m}\right]$

如 $n-m>4$，则 $Q_i(n)=Q_i\cdot\left(\frac{8+m}{2\cdot n}\right)$

式中：n——使用同一横向支撑的并列堆垛数；

m——所有集装箱堆垛的最高层数；

~~5 集装箱绑扎桥强度~~

5 集装箱系固结构的强度评估

5.1 一般要求

~~5.1.1 本要求适用于位于集装箱船甲板上的绑扎桥结构及固定式系固设备的支撑结构。~~

5.1.1 本要求适用于位于集装箱船甲板上的绑扎桥和箱柱结构，以及固定式系固设备（绑扎眼板、地令等）的支撑结构。

~~5.2 设计载荷~~

5.2 绑扎桥

5.2.2 校核绑扎桥强度时，应按集装箱系固手册/布置方案中可能出现最大绑扎力的工况进行加载，绑扎力按集装箱系固手册/布置方案计算获得。绑扎力的方向应与绑扎杆的方向一致，可分解为纵向，横向以及垂向的分力进行加载，绑扎力加载于绑扎桥的系固眼板位置。~~为考虑舱口盖与船体结构的相对运动，应按表 5.2.2 的要求增加额外的绑扎力。~~计算绑扎力时应考虑绑扎桥与集装箱堆垛间的相对位移，应不超过表 5.2.2 中所列之值：

表 5.2.2 替换为：

绑扎桥与集装箱堆垛间相对位移 表 5.2.2

一层箱高绑扎桥	两层箱高绑扎桥	三层箱高绑扎桥
10mm	25 mm	35 mm

5.2.3 初始设计时，可按实际情况中可能出现最大绑扎力的工况进行加载，绑扎力取为每根绑扎杆（或其他系固设备）~~175kN~~安全工作负荷的 60%。

5.2.4 校核绑扎桥强度时，应计算绑扎力分别加载于绑扎桥前部和后部的工况，以及同时加载的工况~~，所有预期的操作方向都要考虑~~。

~~5.2.5 安全工作负荷应作为固定式系固设备支撑结构的设计载荷。~~

5.2.5 为较好地描述各结构部件在各个方向上的受力分布情况，绑扎桥的强度校核应采用三维有限元结构分析方法。模型范围、单元及边界条件的取用原则如下：

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

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

~~5.2.6 甲板箱柱在设计时还应考虑本附录 4.3.2 中用于校核集装箱垂向支撑结构强度的垂向设计载荷。~~

~~5.3 直接计算分析~~

~~5.3.1 为较好地描述各结构部件在各个方向上的受力分布情况，强度校核应采用三维有限元结构分析方法。~~

~~5.3.2 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及立柱的结构。边界条件可约束与甲板或舱口盖连接处的三个平动自由度。~~

~~(2)板单元的网格尺寸一般可采用 100mm×100mm，在高应力区和高应力变化区尽可能避免使用三角形单元。~~

5.3 甲板箱柱

5.3.1 甲板箱柱在设计时应考虑最危险的工况，应同时考虑作用在箱柱上的横向载荷和垂向载荷。

5.3.2 如有绑扎点布置在箱柱上，还应同时考虑绑扎力的水平及垂向分量。

~~5.4 强度衡准~~

~~5.4.1 各种工况下，绑扎桥、固定式货物系固设备的支撑结构的许用应力如下(R_{eH} 为材料的屈服应力，N/mm^2)：~~

~~许用剪应力：$[\tau]=0.4R_{eH}$~~

~~许用相当应力：$[\sigma]=0.88R_{eH}$~~

5.4 固定式系固设备

5.4.1 所连接系固设备的安全工作负荷应作为固定式系固设备支撑结构的设计载荷。

5.5 强度衡准

5.5.1 各种工况下，绑扎桥结构、甲板箱柱结构以及固定式货物系固设备支撑结构的许用应力如下(R_{eH} 为材料的屈服应力，N/mm^2)：

许用剪应力：$[\tau]=0.4R_{eH}$

许用相当应力：$[\sigma]=0.88R_{eH}$

附录 2 集装箱船结构强度直接计算

2 货舱区域主要构件强度直接计算

2.1 一般要求

2.1.1 舱段直接计算适用于货舱区域主要构件在~~典型装载工况~~ 2.3 所列工况下的强度评估。主要构件包括：

(1)双层底结构（船底板，内底板，纵桁，肋板）；

(2)~~横向(横舱壁、强框架)结构~~双舷侧结构 (外板，内壳板，边舱纵向平台和横向强框架)；

(3)~~舷侧(纵舱壁)结构~~横舱壁结构；

(4)甲板及舱口间甲板结构。

2.2 设计载荷

~~2.2.3 货舱内每一集装箱由纵向运动加速度产生的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。~~

2.2.3 除上述载荷外，工况 1、1G、2、2G、3、3G、7G、8G、9G 还应计入船体结构和集装箱货物的自重、惯性力；工况 4、5 应计入船体结构和集装箱货物的自重；工况 6 应计入由船体纵向加速度引起的纵向载荷。

~~2.2.4 舱口盖上集装箱载荷应按下述要求计算：~~

~~(1)应按舱口盖上堆高中点处加速度确定每舱口盖上集装箱的纵向力，由纵向力在每堆的基座处产生的力矩不计。~~

~~(2)集装箱的层数取最大装载层数，按装载手册或货物操作手册中集装箱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。~~

~~2.2.5 除上述载荷外，还应计入船体结构和集装箱货物的自重、惯性力。~~

2.3 计算工况

2.3.1 应按表2.3.1的~~适用~~工况进行校核。如装载手册中存在表2.3.1中计算工况以外的更为严重的装载工况，也应对此装载工况进行结构强度直接计算。

表 2.3.1 中注（6）修改为：

“(6)工况 6 中，舱内及舱口盖上的载荷值的确定，见本附录 2.3.5；”

2.3.2甲板板、船底板、内底板、舷侧外板、纵舱壁与双层底纵桁除应进行局部强度校核外（工况1、2、3、4、5、6），还应考虑受到的船体梁总纵弯矩产生的应力与局部载荷产生的~~沿船长方向~~应力合成的强度校核（工况1G、2G、3G、7G、8G、9G），评估衡准分别见本附录2.6.2和2.6.1。船体梁总纵弯矩作用下的应力响应应采用本附录2.4规定的有限元模型来计算，其总体载荷边界条件见本附录2.5.3的规定。

~~2.3.5 工况 6 中，舱口盖上集装箱载荷应按下述要求计算：~~

~~(1)作用在舱口盖上的纵向载荷总量的 15%以分布力的形式，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纵向运动受到的摩擦力。~~

~~(2)舱口盖上其余 85%的纵向载荷，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。~~

2.3.5纵荡工况（工况6）中，货舱内每一集装箱由纵向运动加速度产生的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。纵向加速度按照本篇按本篇第1章第5节1.5.2.2（7）计算（在计算a_0 时，V取为最大服务航速的一半）。舱口盖上集装箱载荷应按下述要求计算：

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

（2）集装箱的层数取最大装载层数，按装载手册或货物操作手册中集装箱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）作用在舱口盖上的纵向载荷总量的15%以分布力的形式，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纵向运动受到的摩擦力。

（5）舱口盖上其余85%的纵向载荷，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。

3 整船结构强度直接计算

3.3 整船结构模型化

3.3.2 单元选取

~~3.3.2.2 板材上的骨材等次要构件可以合并归入板单元的网格边界成为等效梁元，其截面积为合并的骨材面积之和，其剖面特性应计入等效梁与板连接的偏心设置。~~

3.3.3 网格划分

3.3.3.1 ~~通常，整船有限元模型在纵向按双层底肋板间距划分，在横向按纵桁间距划分，在垂向按垂向桁材或甲板间距划分。~~除本附录另有规定外，结构模型化要求见本篇第 1 章第 5 节。

3.5 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 的规定。

4 甲板舱口角隅疲劳强度评估

4.2 载荷

4.2.3.3 甲板舱口角隅边缘的动应力范围应以本附录 4.2.3.1 规定的各工况计算结果，按下列组合规定进行合成：

$$\Delta\sigma_{12} = \sigma_{LC1} - \sigma_{LC2}$$

$$\Delta\sigma_{34} = \sigma_{LC3} - \sigma_{LC4}$$

$$\Delta\sigma_{56} = \sigma_{LC5} - \sigma_{LC6}$$

$$\Delta\sigma_{78} = \sigma_{LC7} - \sigma_{LC8}$$

$$\Delta\sigma_{910} = \sigma_{LC9} - \sigma_{LC10}$$

其中：~~σ_{ij}~~ $\overline{\Delta\sigma_{ij}}$ ——组合工况 i、j 的角隅边缘切向动应力范围，N/mm^2；

σ_{LCi}——计算工况 i 时的角隅边缘切线方向的应力值，N/mm^2。

第 8 章 散 货 船

第 8 节整节修改如下:

第 8 节 货舱舱口盖尺寸的确定

8.8.1 一般要求

8.8.1.1 本节适用于散货船、矿砂船和兼用船。对于舱口盖上装货的情况，应满足本篇第 2 章 2.20.2 的有关要求。

8.8.1.2 舱口盖除应满足本篇第 2 章第 20 节的有关要求外，露天甲板上处于《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇规定位置 1 的所有板梁结构的货舱舱口盖和舱口前端横向围板、舱口两侧纵向围板还应满足本节要求。

舱口盖的主要支撑构件和扶强材在舱口盖的长度和宽度范围内应尽可能连续，如无法实现时，应采用适当的布置方式以确保舱口盖有足够的承载能力，但不应采用端部削斜的连接方式。

平行于扶强材方向的主要支撑构件的间距应不超过其跨距的 1/3。

舱口围板的扶强材在舱口围板的宽度和长度范围内应连续。

8.8.1.3 舱口盖应采用 8.8.2 的载荷模式，最小净尺寸应满足下列强度衡准：

(1) 舱口盖板的最小净尺寸应满足 8.8.3.3 的要求。

(2) 舱口盖扶强材的最小净尺寸应满足 8.8.3.4 的要求。

(3) 舱口盖主要支撑构件的最小净尺寸应满足 8.8.3.5 的要求。

舱口盖还应根据本节 8.8.3.6 进行临界屈曲应力校核，并满足 8.8.3.7 的刚度衡准。

8.8.1.4 舱口围板应采用 8.8.4.1 的载荷模式，最小净尺寸应满足下列强度衡准：

(1) 舱口围板的最小净尺寸应满足 8.8.4.2 的要求。

(2) 舱口围板扶强材的最小净尺寸应满足 8.8.4.3 的要求。

(3) 舱口围板支撑的最小净尺寸应满足 8.8.4.4 的要求。

8.8.1.5 根据本节 8.8.3 和 8.8.4 要求得到的舱口盖和舱口围板的构件厚度，称为净厚度 t_{net}。

8.8.1.6 本节要求的总厚度等于净厚度 t_{net} 加上本节 8.8.6 规定的腐蚀余量。

8.8.1.7 舱口盖和舱口围板的材料应满足本篇第 1 章第 3 节船体结构用钢的要求。

8.8.2 舱口盖载荷模式

对于载重线船长为 100m 及以上的散货船，干舷甲板上的舱口盖板上的压力 p 应按下式计算，且应不小于 34.3kN/m^2：

$$p = 34.3 + \frac{p_{FP} - 34.3}{0.25}(0.25 - \frac{x}{L_L})\ \text{kN/m}^2$$

式中：P_{FP}——首垂线(系指勘划干舷时所使用的首垂线)处压力，kN/m^2，按下式计算：

$$P_{FP} = 49.1 + (L_L - 100)a;$$

对 B 型干舷船舶，$a = 0.0726$;

对减少干舷船舶，$a = 0.356$;

x——舱口盖的长度中点至 L_L 前端的距离，m。

如舱口位于高出干舷甲板至少一个上层建筑标准高度的甲板上时，p 值可取为 34.3kN/m^2，一个上层建筑标准高度的定义与《国内航行海船法定检验技术规则》第 3 篇第 3 章相同。

对于载重线船长小于 100m 的散货船，干舷甲板上的舱口盖板上的压力 p 应取按下列两式计算之大值：

$$p = 15.8 + \frac{L_L}{3}\ (1 - \frac{5x}{3L_L}) - 3.6\frac{x}{L_L}\ \text{kN/m}^2$$

$$p = 0.195\,L_L + 14.9 \qquad \text{kN/m}^2$$

式中：x——舱口盖的长度中点至 L_L 前端的距离，m。

如舱口盖由两块及两块以上的盖板铰接而成，每块盖板应分别考虑。

8.8.3 舱口盖强度衡准

8.8.3.1 许用应力校核

舱口盖结构的正应力 σ 和剪切应力 τ 应不超过下列的许用值：

许用正应力 $\sigma_a = 0.8R_{eH}$ N/mm^2

许用剪切应力 $\tau_a = 0.46\,R_{eH}$ N/mm^2

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2。

主要支撑构件带板的压应力应不超过 8.8.3.6 中的临界屈曲应力的 0.8 倍。

纵向主要支撑构件和横向主要支撑构件组成的板梁形式的舱口盖的应力，应使用交叉梁分析或有限元分析计算得出。如使用梁分析或交叉梁分析，则扶强材不应计入主要支撑构件的带板面积。

计算应力 σ 和 τ 时，应使用构件的净尺寸。

8.8.3.2 主要支撑构件带板的有效横截面积

使用梁分析或交叉梁分析、对主要支撑构件进行屈服强度和屈曲强度校核时，应考虑带板的有效面积，带板的有效面积 A_F 为桁材腹板每侧有效带板面积之和：

$$A_F = \sum_{nf}(10b_{ef}t)\ \text{cm}^2$$

式中：nf=2，桁材腹板的两侧均有带板，见图 8.8.3.2；

nf=1，桁材腹板仅一侧有带板，见图 8.8.3.2；

t——带板的净厚度，mm；

b_{ef}——桁材腹板一侧带板的有效宽度，m，$b_{ef} = b_p$，且应不大于 $0.165l$ ；

b_p——主要支撑构件与相邻主要构件之间距离的一半，m；

l——主要支撑构件的跨距，m。

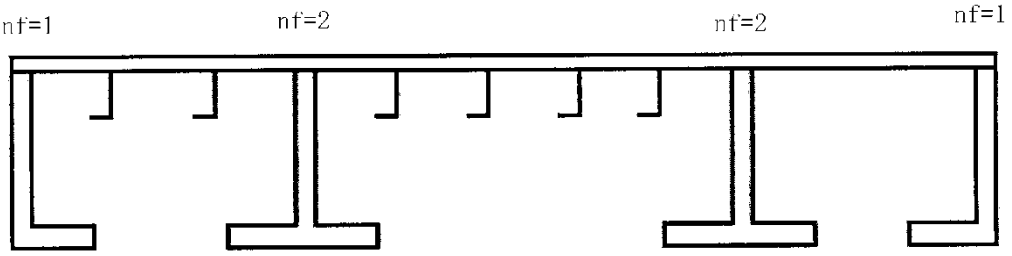


图 8.8.3.2

8.8.3.3 舱口盖顶板净板厚

舱口盖顶板的净厚度应不小于按下列两式计算所得之值，且应不小于 6mm：

$$t_1 = F_p\,15.8s\sqrt{\frac{p}{0.95R_{eH}}}\quad \text{mm}$$

$$t_2 = 10s\quad \text{mm}$$

式中：F_p——考虑拉压和弯曲联合作用的系数，一般取 1.5，当主要支撑构件带板的应力 $\sigma/\sigma_a \geq 0.8$ 时，$F_p = 1.90\sigma/\sigma_a$；

s——扶强材间距，m；

p——压力，kN/m^2，见 8.8.2；

σ——见 8.8.3.5；

σ_a——见 8.8.3.1；

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2。

8.8.3.4 扶强材的净尺寸

按净厚度计算所得的舱口盖顶板扶强材的净剖面模数 W，应不小于按下式计算所得值：

$$W = \frac{1000l^2sp}{12\sigma_a}\quad \text{cm}^3$$

式中：l——扶强材跨距，m，应取为主要支撑构件的间距或主要支撑构件与边界支撑之间的距离。当扶强材的所有跨距两端均设置肘板时，扶强材的跨距可以减少，对于每块肘板，减少量等于肘板最小臂长的 2/3，但应不大于扶强材总跨距的 10%；

s——扶强材间距，m；

p——压力，kN/m^2，见 8.8.2；

σ_a——见 8.8.3.1。

计算扶强材净剖面模数时，带板宽度应取扶强材间距。

8.8.3.5 主要支撑构件的净尺寸

按净厚度计算所得的主要支撑构件的净剖面模数和腹板净厚度，应使得主要支撑构件的翼板和带板的正应力 σ 不超过许用正应力 σ_a，腹板的剪切应力 τ 不超过许用剪切应力 τ_a，σ_a 和 τ_a 见 8.8.3.1。

当主要支撑构件的无侧向支撑跨距大于 3.0m 时，主要支撑构件的翼板宽度应不小于其高度的 40%，与主要支撑构件翼板相连的防倾肘板可认为是主要支撑构件的侧向支撑。

翼板外伸应不超过翼板厚度的 15 倍。

8.8.3.6 临界屈曲应力校核

(1) 舱口盖板

对于平行于扶强材方向的主要支撑构件弯曲而引起的舱口盖板板格的压应力 σ，应不超过临界屈曲应力 σ_{c1} 的 0.8 倍，σ_{c1} 应按下列两式计算：

$$\sigma_{c1} = \sigma_{E1} \qquad \text{当 } \sigma_{E1} \le \frac{R_{eH}}{2} \text{ ；}$$

$$\sigma_{c1} = R_{eH}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_{E1}}\right) \qquad \text{当 } \sigma_{E1} > \frac{R_{eH}}{2} \text{ ；}$$

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2；

$\sigma_{E1} = 3.6E\left(\frac{t}{1000s}\right)^2$，$N/mm^2$；

E ——弹性模量，钢材取为 2.06×10^5 N/mm^2；

t——板格的净厚度，mm；

s——扶强材的间距，m。

对于垂直于扶强材方向的主要支撑构件弯曲而引起的舱口盖板板格的平均压应力 σ，应不超过临界屈曲应力 σ_{c2} 的 0.8 倍，σ_{c2} 应按下列两式计算：

$$\sigma_{c2} = \sigma_{E2} \qquad \text{当 } \sigma_{E2} \le \frac{R_{eH}}{2} \text{ ；}$$

$$\sigma_{c2} = R_{eH}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_{E2}}\right) \qquad \text{当 } \sigma_{E2} > \frac{R_{eH}}{2} \text{ ；}$$

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2；

$\sigma_{E2} = 0.9mE\left(\frac{t}{1000s_s}\right)^2$ ，N/mm^2；

$m = c\left[1+\left(\frac{s_s}{l_s}\right)^2\right]^2 \frac{2.1}{\psi+1.1}$

E——弹性模量，钢材取为 $2.06\times10^5 N/mm^2$；

t——板格的净厚度，mm；

s_s——板格的短边长度，m；

l_s——板格的长边长度，m；

ψ——最小压应力与最大压应力之比值；

c=1.3，当板格由主要支撑构件支撑；

c=1.21，当板格由角钢或 T 型钢扶强材支撑；

c=1.1，当板格由球扁钢扶强材支撑；

c=1.05，当板格由扁钢扶强材支撑。

用有限元板单元模型分析计算所得的板格的双轴向压应力，应满足本篇第 2 章 2.20.2.6 的要求。

(2) 舱口盖扶强材

对于平行于扶强材方向的主要支撑构件的弯曲而引起的舱口盖扶强材带板中的压应力 σ，应不超过临界屈曲应力 σ_{cs} 的 0.8 倍，σ_{cs} 应按下列两式计算：

$$\sigma_{cs} = \sigma_{Es} \qquad \text{当 } \sigma_{Es} \le \frac{R_{eH}}{2} \text{ ；}$$

$$\sigma_{cs} = R_{eH}\left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_{ES}}\right) \qquad \text{当 } \sigma_{Es} > \frac{R_{eH}}{2} \text{ ；}$$

式中：R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2；

σ_{Es}——扶强材的理想弹性屈曲应力，N/mm^2，取 σ_{E3} 和 σ_{E4} 中之小值；

$\sigma_{E3}=\frac{0.001EI_a}{Al^2}$ ，N/mm^2；

E——弹性模量，钢材取为 2.06×10^5N/mm^2；

I_a——扶强材的惯性矩，cm^4，计算时应包括带板，带板宽度取为扶强材间距；

A——扶强材的横剖面面积，cm^2，计算时应包括带板，带板宽度取为扶强材间距；

l——扶强材跨距，m；

$\sigma_{E4}=\frac{\pi^2EI_w}{10^4I_pl^2}(m^2+\frac{K}{m^2})+0.385E\frac{I_t}{I_p}$ ，N/mm^2；

$K=\frac{Cl^4}{\pi^4EI_w}\times10^6$；

m——半波数，由表 8.8.3.6 给出；

I_w——扶强材与板连接处的剖面扇形惯性矩，cm^6，应按下列各式计算：

$I_w=\frac{h_w^3t_w^3}{36}\times10^{-6}$，对扁钢；

$I_w=\frac{t_fb_f^3h_w^2}{12}\times10^{-6}$，对 T 型钢；

$I_w=\frac{b_f^3h_w^2}{12(b_f+h_w)^2}[t_f(b_f^2+2b_fh_w+4h_w^2)+3t_wb_fh_w]\times10^{-6}$，对角钢和球扁钢；

I_p——扶强材与板连接处的剖面极惯性矩，cm^4，应按下列两式计算：

$I_p=\frac{h_w^3t_w}{3}\times10^{-4}$，对扁钢；

$I_p=(\frac{h_w^3t_w}{3}+h_w^2b_ft_f)\times10^{-4}$，对有折边的扶强材；

I_t——扶强材的圣维南惯性矩，cm^4，应按下式计算，计算时不包括带板

$I_t=\frac{h_wt_w^3}{3}\times10^{-4}$ ，对扁钢；

$I_t=\frac{1}{3}[h_wt_w^3+b_ft_f^3(1-0.63\frac{t_f}{b_f})]\times10^{-4}$，对有折边的扶强材；

h_w——扶强材的腹板高度，mm；

t_w——扶强材的腹板净厚度，mm；

b_f——扶强材翼板宽度，mm；

t_f——扶强材翼板净厚度，mm；

s——扶强材间距，m；

C——由舱口盖顶板产生的弹簧刚度，应按下式计算：

$$C=\frac{k_pEt_p^3}{3s(1+\frac{1.33k_ph_wt_p^3}{1000st_w^3})}\times10^{-3}$$

$k_p=1-\eta_p$，取值应不小于 0，对于有折边的扶强材，取值应不小于 0.1；

$\eta_p=\frac{\sigma}{\sigma_{E1}}$ ；

σ ——见 8.8.3.5；

σ_{E1} ——见 8.8.3.6(1)；

t_p ——舱口盖板板格的净厚度，mm。

半波数 *m* 值 表 8.8.3.6

K	$0<K\leq4$	$4<K\leq36$	$36<K\leq144$	$(m\text{-}1)^2m<K\leq m^2(m+1)^2$
m	1	2	3	m

对于扁钢扶强材和容易失稳的扶强材，腹板的高度和厚度比应满足下列要求：

$$\frac{h}{t_w}\leq 15\sqrt{k}$$

式中：h——扶强材腹板高度，mm；

t_w——扶强材腹板净厚度，mm；

$k=\frac{235}{R_{eH}}$；

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2。

(3) 舱口盖主要支撑构件腹板板格

应对主要支持构件的腹板板格进行屈曲校核，腹板板格是由主要支撑构件的腹板加强筋、与之相交的其他主要支撑构件、面板(或舱口盖底板)、舱口盖顶板围成的。

主要支撑构件腹板板格的剪切应力 τ 应不超过临界屈曲应力 τ_c 的 0.8 倍，τ_c 应按下列两式计算：

$$\tau_c=\tau_E \qquad 当\ \tau_E\leq\frac{\tau_F}{2}\ ；$$

$$\tau_c=\tau_E\left(1-\frac{\tau_F}{4\tau_E}\right) \qquad 当\ \tau_E>\frac{\tau_F}{2}\ ；$$

式中：$\tau_F=\frac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$，N/mm^2；

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2；

$\tau_E=0.9k_tE\left[\frac{t_{pr,n}}{1000d}\right]^2$，N/mm^2；

E——弹性模量，钢材取为 2.06×10^5 N/mm^2；

$t_{pr,n}$——主要支撑构件腹板的净厚度，mm；

$k_t=5.35+4.0\left(\frac{d}{a}\right)^2$；

a——腹板板格中长边长度，m；

d——腹板板格中短边长度，m。

对于平行于扶强材方向的主要支撑构件，腹板板格边长应考虑实际尺寸。

对于垂直于扶强材方向的主要支撑构件或者舱口盖结构没有扶强材的情况，在计算 τ_c 时应假定板格是边长为 d 的正方形，应考虑板格端部剪切应力的平均值 τ。

8.8.3.7 变形限制和舱口盖板之间的连接

为限制舱口盖板之间的相对垂向位移，舱口盖板之间的连接方式应能够承受载荷。

主要支撑构件的垂向挠度应不大于 $0.0056l$，其中 l 为主要支撑构件的最大跨距。

8.8.4 舱口围板和结构细则

8.8.4.1 载荷模式

第一货舱舱口盖的前端横向围板上的压力 p_{coam} 应按下列各式计算：

p_{coam}=220 kN/m^2，当设置首楼时；

p_{coam}=290 kN/m^2，其他情况；

其余围板上的压力 p_{coam} 应按下式计算：

p_{coam}=220 kN/m^2；

8.8.4.2 围板净板厚

围板的净厚度 t 应不小于按下式计算所得值，且应不小于 9.5mm：

$$t = 14.9s\sqrt{\frac{p_{coam}}{\sigma_{a,coam}}S_{coam}} \quad \text{mm}$$

式中：s ——围板扶强材间距，m；

p_{coam} ——压力，kN/m^2，见 8.8.4.1；

S_{coam} ——安全因子，取 1.15；

$\sigma_{a,\,coam}$=0.95 R_{eH}；

R_{eH} ——材料屈服应力，N/mm^2。

8.8.4.3 纵向和横向扶强材的净尺寸

按净厚度计算所得的舱口围板的纵向和横向扶强材的净剖面模数 W，应不小于按下式计算所得值：

$$W = \frac{1000S_{coam}l^2sp_{coam}}{mc_p\sigma_{a,coam}} \quad \text{cm}^3$$

式中：m=16　通常情况；

m=12　当扶强材端部在围板转角处削斜时；

S_{coam}——安全因子，取为 1.15

l——扶强材跨距，m；

s——扶强材间距，m；

p_{coam}——见 8.8.4.1；

c_p——扶强材的塑性剖面模数与弹性剖面模数之比，计算时应计入带板，带板宽度取 40t，其中 t 为板的净厚度，如无法精确计算，c_p 取 1.16；

$\sigma_{a,\,coam}$=0.95 R_{eH}；

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2。

8.8.4.4 围板支撑的净尺寸

当围板支撑设计成折边梁形式与甲板连接或在与甲板连接处削斜、并设置肘板(见图 8.8.4.4(1)和图 8.8.4.4(2))时，按构件净厚度计算所得的剖面模数 W 和腹板净厚度t_w 应不小于按下列两式计算所得值：

$$W = \frac{1000H_c{}^2sp_{coam}}{2\sigma_{a,coam}} \quad \text{cm}^3$$

$$t_w = \frac{1000H_csp_{coam}}{h\tau_{a,coam}} \quad \text{mm}$$

式中：H_c——支撑高度，m，见图 8.8.4.4(1)和 8.8.4.4(2)；

s ——支撑间距，m；

h——围板支撑与甲板连接处长度，mm，见图 8.8.4.4(1)和 8.8.4.4(2)；

p_{coam} ——压力，kN/m^2，见 8.8.4.1；

$\sigma_{a,\,coam}$=0.95 R_{eH}；

$\tau_{a,\,coam}$=0.50 R_{eH}；

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2。

计算围板支撑的剖面模数时，仅当面板以全焊透焊接在甲板上、且甲板下有足够支撑构件承受其传递的力时，围板支撑的面板面积方可计入。

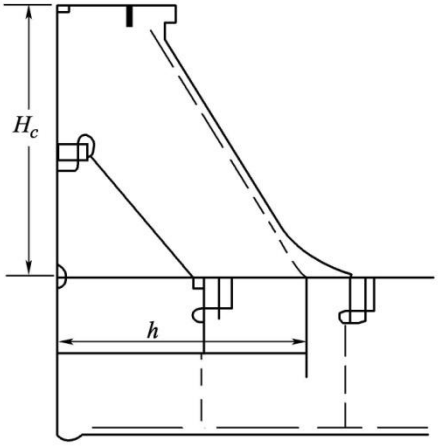


图 8.8.4.4(1)

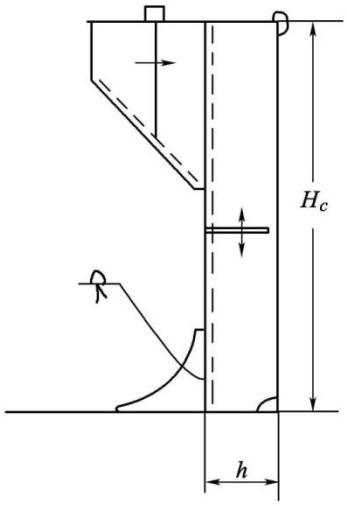


图 8.8.4.4(2)

对于其他设计形式的支撑，见图 8.8.4.4(3)和图 8.8.4.4(4)，应采用 8.8.3.1 的许用应力，校核应力最大的部位。

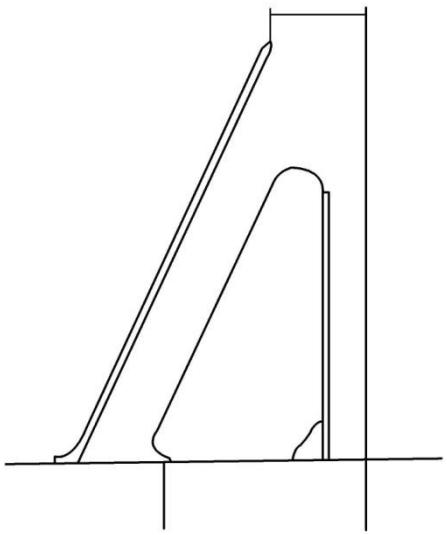


图 8.8.4.4(3)

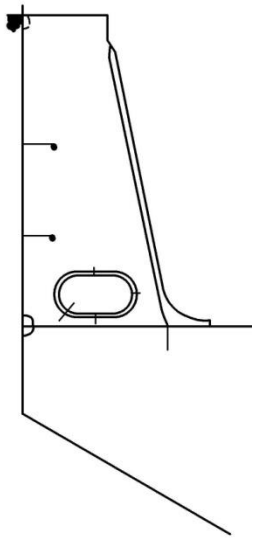


图 8.8.4.4(4)

8.8.4.5 结构细则

局部细节的设计应满足本篇第 1 章第 2 节有关要求，以确保舱口盖的压力经由舱口围板，传递给甲板下面的结构。舱口围板及支撑结构应适当加强以承受来自舱口盖的纵向、横向和垂向的载荷。

甲板下结构应能承受围板支撑传递的载荷，按照 8.8.4.4 中规定的许用应力进行校核。

除非另外说明，焊接尺寸和材料选用应符合本篇第 1 章第 3 节和第 4 节的有关要求。支撑腹板与甲板的焊接应采用双面连续焊，焊喉应不小于 $0.44t_w$，其中 t_w 为围板支撑的腹板实际厚度。

围板支撑腹板趾部与甲板的焊接应采用双面开坡口深融焊，且延伸的距离应不小于围板支撑宽度的 15%。

8.8.5 关闭装置

8.8.5.1 压紧装置应满足下列要求：

舱口盖板应采用适当的压紧装置(如螺栓、楔子或类似装置)进行紧固，压紧装置应沿舱口围板、和舱口盖板之间适当分布。

压紧装置的布置和间距应根据舱口盖的大小和形式、压紧装置之间盖板边缘的刚度决定，并应充分考虑风雨密的有效性。

每个压紧装置的净剖面积应不小于按下式计算所得值：

$$A = \frac{1.4a}{f} \text{ cm}^2$$

式中：a ——压紧装置的间距，m，取值应不小于 2m；

$f = \left(\frac{R_{eH}}{235}\right)^e$；

R_{eH}——材料屈服应力，N/mm^2，且取值应不大于材料极限抗拉强度的 70%；

当 $R_{eH} >$ 235 时，e = 0.75；

当 $R_{eH} \leq$ 235 时，e = 1.0。

如舱口面积超过 5m^2，则压杆和螺栓的净直径应不小于 19mm。

压紧装置应使舱口盖与舱口围板之间、以及相邻盖板之间有足够的密封线压力，从而保持舱口盖的风雨密。当密封线压力超过 5N/mm 时，压紧装置的横剖面面积应按正比例增加，密封线压力应注明。

舱口盖边缘刚度应足以承受压紧装置之间的密封压力。舱口盖边缘部件的惯性矩应不小于按下式计算所得值：

$$I = 6pa^4 \quad \text{cm}^4$$

式中：p——密封线压力，取值应不小于 5N/mm；

a ——压紧装置间距，m。

压紧装置应保证结构可靠，并能牢固地与舱口围板、甲板或舱口盖连接。每块舱口盖压紧装置的刚度应相近。

如采用杆型压紧装置时，应配置弹性垫圈或缓冲衬垫。

如采用液压型压紧装置，应配备有效装置，当盖板在关闭位置，即使液压系统失灵时盖板仍能保持机械锁紧。

8.8.5.2 限位块

舱口盖应通过限位块有效地紧固，承受由 175kN/m^2 压力引起的横向力。

第一货舱舱口盖应通过限位块有效地紧固，使舱口盖前端部能承受由 230kN/m^2 压力引起的纵向力。当船首按照本篇第 8 章第 13 节设置首楼时，该压力可以减为 175kN/m^2。

其余货舱舱口盖也应通过限位块有效地紧固，使舱口盖前端部承受由 175kN/m^2 压力引起的纵向力。

限位块及其支撑结构的相当应力和限位块焊缝处焊喉的计算所得相当应力应不超过许用值 0.8R_{eH}，R_{eH} 为材料屈服应力，N/mm^2。

8.8.5.3 材料和焊接

限位块和压紧装置的材料以及焊接材料，应满足本篇第 1 章第 3 节和第 4 节的有关要求。

8.8.6 腐蚀余量和换新

8.8.6.1 舱口盖：

对于单壳舱口盖，所有结构(板和骨材)的腐蚀余量 t_s 为 2.0mm；

对于双壳舱口盖，顶板和底板的腐蚀余量 t_s 为 2.0mm，内部结构的腐蚀余量 t_s 为 1.5mm。

对于双壳舱口盖的板和单壳舱口盖，当测量厚度小于 t_{net} + 0.5mm 时要求换新。当测量厚度大于等于 t_{net} + 0.5mm 且小于 t_{net} + 1.0mm 时，可通过采用涂装或年度测厚的措施替代换新。涂装应保持在“良好”状态，“良好”状态是指只有小的点状锈斑。

当验船师根据舱盖板腐蚀和变形情况，对舱盖板换新或认为有必要时，应对双壳舱口盖的内部结构进行测厚，如测量厚度小于 t_{net}，内部结构应要求换新。

8.8.6.2 舱口围板

舱口围板结构和围板支撑的腐蚀余量 t_s 为 1.5mm。

当测量厚度小于 t_{net}+0.5mm 时要求换板。当测量厚度大于等于 t_{net}+0.5mm 且小于 t_{net}+1.0mm 时，可采用涂装或年度测厚的措施替代换新。涂装应保持在“良好”状态。

第 9 章 滚装船、客船、客滚船与渡船

第 6 节 车 辆 跳 板

9.6.2 (3) 许用弯曲应力为：$[\sigma]=141/K$，N/mm^2，其中 K 为材料系数；许用挠度为：~~$[f]=l/400$ mm~~ $[f]=l/200$ mm，其中 l 为~~骨材~~车辆跳板主要构件支撑点之间的距离，mm。

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，各层甲板设计载荷按下列各式计算：

(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：

~~$P_V=m_0(g\cos\varphi m+0.5a_v)$ kN/m^2~~

~~$P_t=m_0(g\sin\varphi m+0.5a_t)$ kN/m^2~~

$$P_V=m_0(g\cos\varphi_m+0.5a_v)\ \text{kN/m}^2$$

$$P_t=m_0(g\sin\varphi_m+0.5a_t)\ \text{kN/m}^2$$

式中：m_0——设计载荷，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 t/m^2，包括甲板自身质量；

m_0=0.15 t/m^2，不包括甲板自身质量；

g ——重力加速度，g =9.81 m/s^2；

φ_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，m/s^2，见本节 9.7.2.1；

a_t ——横向合成加速度，m/s^2，见本节 9.7.2.1。

第 10 章　拖　　船

第 5 节　拖曳设备与承载结构

10.5.1 拖钩、拖缆机

10.5.1.2 拖钩或拖缆机构件的设计应根据拖缆的破断强度来决定。拖钩的破断强度一般应为~~拖索破断强度的 1.5 倍~~规范要求的拖缆最小破断负荷的 1.5 倍，或其它等效方式。

10.5.2 释放装置

~~10.5.2.1 拖钩或拖缆机构件的设计应根据拖缆的破断强度来决定。拖钩的破断强度一般应为规范要求的拖缆最小破断负荷的 1.5 倍，或其它等效方式。~~

10.5.2.1 拖钩应设有可靠的释放装置，不论拖船的横倾角和拖索的方向如何，都能方便地随时解脱拖索，同时又能避免任何意外地解脱拖索。

第 13 章 起 重 船

第 1 节 一 般 规 定

13.1.3 定义

~~13.1.3.1 船长 L(m)：在上甲板下缘，自船首端外板的外表面到船尾端外板的外表面的水平距离。~~

~~13.1.3.2~~ 13.1.3.1 船首与船尾：非自航起重船船首与船尾的称谓，依其所处的状态不同而不同，在调迁时与一般船舶的规定相同，即将前进方向的船体的前端称为船首，相应另一端称为船尾。在调迁以外的其他状态，则将安装有起重臂的一端称为船首，相应另一端称为船尾。

第 15 章 半 潜 船

第 2 节 结构强度

15.2.4 局部强度

15.2.4.2 构成压载水舱、油舱、淡水舱、污水舱、空舱等舱壁周界的板材厚度 t，应不小于按下式计算所得之值，且应不小于 7.5 mm：

$$t=t_0+2.5 \quad \text{mm}$$

式中：，~~$t_0=3.95\sqrt{\rho hK}$~~ $t_0=3.95s\sqrt{\rho hK}$ 其中，当 $l/s<4$ 时，t_0 还应乘以$(1.1-\frac{s}{2.5l})$；

K——材料系数；

s——扶强材间距，m；

ρ——液体密度，t/m^3，计算时取值应不小于 1.025；

h——计算压头，m，见表 15.2.4.2，且从板列下缘量起；

l——扶强材跨距，m。

第 16 章矿 砂 船

第 1 节 一 般 规 定

16.1.4 船体结构强度直接计算和疲劳强度评估

16.1.4.2 船长 150m 及以上的矿砂船，应按 CCS《船体结构疲劳强度指南》，对其货舱区域的下述部位进行疲劳强度校核并提交 CCS：

（1）纵骨（船底、舷侧、甲板及内壳）与横向强框架的连接部位；

（2）纵骨（船底、舷侧、甲板及内壳）与横舱壁的连接部位；

（3）内壳纵舱壁与内底板连接处；

（4）内底板与底凳连接处；

（5）内壳纵舱壁折角（如有时）。

第 3 节 船 体 骨 架

16.3.2 单底结构

~~16.3.2.1 船底纵骨剖面模数 W 应不小于按下式计算值：~~

~~$W=10sDl^2K$ cm^3~~

~~式中：s ——纵骨间距，m；~~

~~D ——型深，m；~~

~~l ——纵骨跨距，m；~~

~~K ——材料系数。~~

16.3.2.1 船底纵骨的剖面模数 W，应不小于按下式计算所得之值：

$$W=11.5sdl^2K \quad \text{cm}^3$$

式中：s——纵骨间距，m；

d——吃水，m；

l——纵骨跨距，m；

K——材料系数。

16.3.4 舷侧骨架

16.3.4.1 舷侧通常采用纵骨架式，离船底和甲板 0.1D 以内的舷侧纵骨应连续穿过横舱壁。舷侧纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

~~$W=8.4s(h+1.2)l^2K$ cm^3~~

$W=7.2s(h+1.2)l^2K$ cm^3

式中：s——纵骨间距，m；

h——从计算纵骨量至船中甲板边线的垂直距离，m；但不小于 2.5m；

l——纵骨跨距，m；

K ——材料系数。

16.3.6 货舱周界

16.3.6.1 货舱周界系指货舱中除内底以外的与货物接触的纵舱壁、槽型横舱壁及其上、下壁凳（如有时）、平面横舱壁、上甲板、舱口围。

16.3.6.2 货舱周界板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 4.65C_1 s\sqrt{\frac{K_C HK}{\gamma}} \quad \text{mm}$$

式中：s ——板格短边长度，m；

γ——装载率，m^3/t，其值应不大于 0.833；

H——在船中部舷侧处，从板格下沿量至甲板的垂直距离，m；

$C_1=1.2-\frac{s}{2l}$，其中 l 为板格长边长度，C_1 大于 1 时，取 C_1 等于 1；

K_C ——货物压力系数，取：

$Kc = \cos^2\alpha + (1 - \sin\psi)\sin^2\alpha$ 对横舱壁和纵舱壁、底凳、垂直顶凳、舱口围；

$Kc = 0$ 对上甲板和倾斜顶凳。

α ——所考虑板与水平面之间的夹角，（°）；

Ψ ——散货假定的休止角，（°），装载矿砂取为 35°；

K ——材料系数。

16.3.6.3 货舱周界扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W=\frac{8.5}{\gamma}K_C H s l^2 K \quad \text{cm}^3$$

式中：γ、K_C同本节 16.3.6.2；

l ——扶强材跨距，m；

s ——扶强材间距，m；

H ——在船中部舷侧处，从扶强材跨距中点量至甲板的垂直距离，m；

K ——材料系数。

第 4 节 舱 壁

16.4.1 水密横舱壁

16.4.1.2 水密横舱壁及其上、下壁凳(如~~有的话~~有时)构件尺寸除满足本节要求外，还应满足本篇第 2 章第 12 节~~、第 8 章第 4 节~~的有关要求。

16.4.2.8 水平扶强材

(1) 水平扶强材应不小于按下式计算所得之值：

~~$W=8.4s(h+1.2)l^2K$ cm^3~~

$W=7.2s(h+1.2)l^2K$ cm^3

式中：s——水平扶强材间距，m；

h——水平扶强材至中剖面处舱顶的垂直距离，~~但不小于 0.25D，m；~~但不小于 2.5m；

l——水平扶强材跨距，m；

K ——材料系数。

~~(2) 内底板以上 0.10($D-h_o$)范围内水平扶强材的剖面模数不小于同样间距的相邻内底纵骨剖面模数，再逐渐过渡到水平扶强材的剖面模数。其中，h_o为双层底高度。~~

~~(3)~~ （2）水平扶强材在距甲板和距内底 0.1D 范围内应连续通过横舱壁。

第 5 节 快速装载要求

16.5.1 一般要求

16.5.1.1 本节规定适用于具有所有货舱单舱一次性 100%装载（快速装载）工况的矿砂船。

16.5.1.2 快速装载时的平均装载速率应不超出表 16.5.1.1 的规定；对于更高的平均装载速率应另行考虑。

平均装载速率 表 16.5.1.1

载重吨（t）	平均装载速率（t/h）
220000~250000	14000
>250000	16000

16.5.2 船体结构强度

16.5.2.1 在快速装载的整个过程中，船体梁的实际静水弯矩和静水剪力不应超出港内工况许用静水弯矩和许用静水剪力。

16.5.2.2 在快速装载的整个过程中，应保证双层底和横舱壁有足够的局部强度。结构强度直接计算应按 CCS《矿砂船船体结构强度直接计算指南》要求进行。

16.5.3 **设备配备及要求：**

16.5.3.1 如需通过压载调整来控制船体梁的实际静水弯矩和静水切力不超出港口工况的许用静水弯矩和许用静水切力，则应符合 16.5.4.2 和 16.5.4.3 的要求。

16.5.3.2 压载系统应能匹配 16.5.1.2 中平均装载速率的要求，包括压载舱布置、压载泵的能力以及压载管系的布置等。

16.5.3.3 船上应配备液舱（如压载舱、燃油舱等）遥控测深仪、船舶吃水读取系统，并与船上装载仪同步。装载过程中液位无变化的燃油舱等不需考虑在内。

16.5.4 快速装载手册要求

16.5.4.1 船上应配备经批准的快速装载手册或可包含在其它经批准的装载手册中。

16.5.4.2 快速装载的装载顺序，应包括从装货开始至装货结束每一步骤的装货及与之同步的压载调整（如需要）操作顺序，确保在整个装载过程中（包括每个货舱从空舱装载至满舱）符合本规定 16.5.3.1 的要求。

16.5.4.3 快速装载手册中至少应包括下述内容：

（1）每一步骤每一货舱的装货量；

（2）每一步骤每一压载舱的压载水调整量；

（3）每一步骤结束时的最大静水弯矩与剪力；

（4）每一步骤结束时的船舶吃水与纵倾。



中　国　船　级　社

国内航行海船建造规范

2017 年修改通报

第 3 篇　轮　机

目 录

第1章 通 则.....1
第2节 一般规定.....1
第2章 泵与管系.....2
第5节 管路连接、热处理与无损检测.....2
第3章 船舶管系与舱室通风系统.....6
第2节 除机器处所外其他舱室的排水.....6
第11节 舱室通风系统.....6
第4章 动 力 管 系.....7
第2节 燃 油 管 系.....7
第12章 轴系振动与校中.....8
第5节 轴系校中.....8

第 1 章　通　　则

第 2 节　一般规定

1.2.7.5　使用硫含量不超过 0.10 % (m/m)馏分油的船舶，除符合本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶使用低硫燃油指南》的要求。

1.2.8 排放处理

1.2.8.1 为减少燃油燃烧装置 SOx 排放而安装废气清洗系统（简称 EGC 系统）的船舶，除符合本篇有关规定外，还应满足 CCS《船舶废气清洗系统设计与安装指南》的要求。

1.2.8.2 为减少柴油机 NOx 排放而安装选择性催化还原系统（简称 SCR 系统）的船舶，除符合本篇有关规定外，还应满足 CCS《选择性催化还原（SCR）系统认可与检验指南》、《选择性催化还原（SCR）系统船上应用指南》的要求。

1. 2. ~~8~~9　试验

1.2.~~8~~9.1　轮机装置安装完毕后，应根据本规范的有关规定和同意的试验大纲，进行系泊试验和航行试验。

试验结束后，应由船厂提供有关试验的技术文件和试验报告。

第 2 章　泵与管系

第 5 节　管路连接、热处理与无损检测

2.5.3　**机械接头**

2.5.3.1　本条所适用的各类机械接头图示于表 2.5.3.1(1)中。~~它们的应用应符合表 2.5.3.1(2)和表 2.5.3.1(3)的规定。~~ 机械接头应根据不同用途和位置按本章附录 3 的要求进行型式认可。

~~2.5.3.2　机械接头的结构应能防止其装船后因压力脉动、管路振动、温度变化和其他类似不利影响的产生而引起的密封失效。~~

2.5.3.2 如适用，机械接头应为表 2.5.3.1(2)所要求的耐火型。

~~2.5.3.4　机械接头应能承受其内外压力。用于吸入管路的机械接头应能在一定的真空度下正常工作。~~

2.5.3.4 机械接头的适用性以及在每一类服务中可接受的使用见表 2.5.3.1（2）；依据管系级别和管路尺寸的机械接头的应用见表 2.5.3.1（3）。

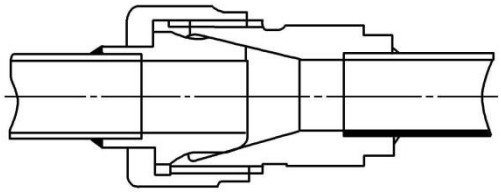
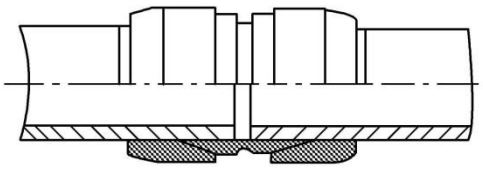
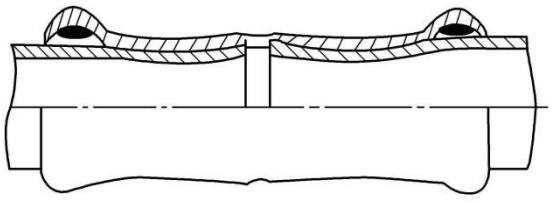
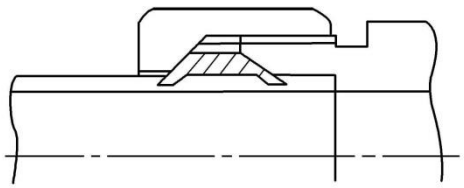
在特殊情况下，可以接受超过上述尺寸但符合公认的国内和/或国际标准的机械接头。

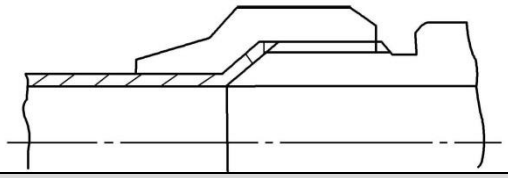
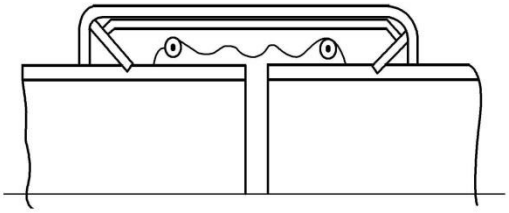
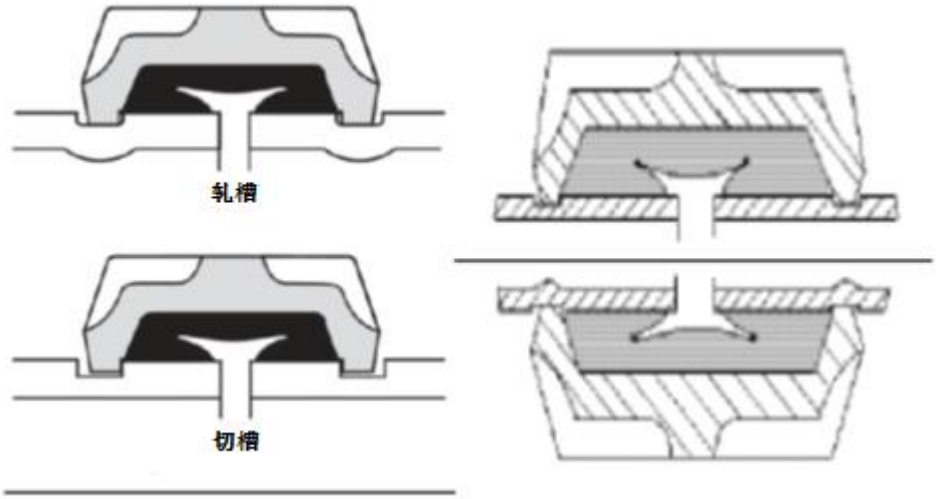
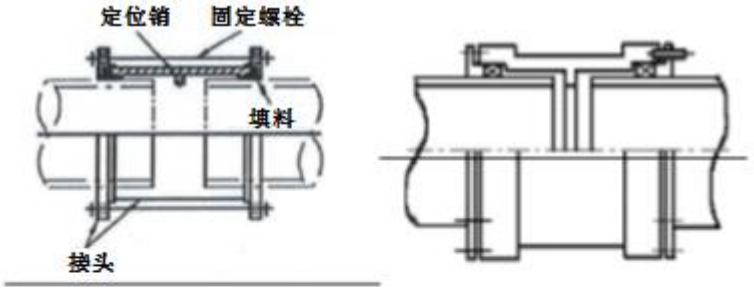
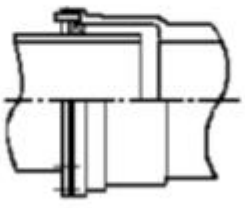
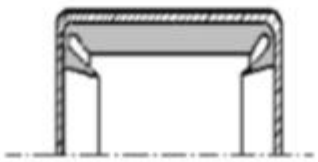
2.5.3.6 在发生破损时会引起浸水或火灾的机械接头，不应直接连接至~~通海~~客船舱壁甲板（或货船干舷甲板）之下的舷侧或易燃液体舱的管段上。~~油路~~易燃液体系统中的机械接头的数量应尽可能少；通常应使用符合公认标准的法兰接头。

2.5.3.10 滑套接头不应用于货舱内、液舱内和不易接近的其他处所内的管系。与液舱同种介质的方可在液舱内使用滑套接头。

滑动型滑套接头不应作为管路连接的主要方式，~~。只有当~~除非管路的~~侧向~~轴向变形需要补偿。~~时，方可使用未受限制的滑套接头。~~

机 械 接 头 举 例　　表 2.5.3.1(1)

管 接 头	
电焊和铜焊型	
压 力 接 头	
镦 粗 型	
压 紧 型	
咬 合 型	

扩 管 型	
滑 套 接 头	
夹 扣 型	
机 械 槽 型	
滑 动 型	  

机械接头的应用　　表 2.5.3.1(2)

管　系		接头类型		
		管接头	压力接头[4]	滑套接头
可燃液体 (闪点不大于 60℃)				
1	货油管系④	×	×	×[4]
2	原油洗舱管系④	×	×	×[4]
3	透气管系③	×	×	×[4]
~~惰性气体~~				
4	水封排水管系	×	×	×
5	扫舱排放管系	×	×	×
6	~~惰性气体~~总管②④	×	×	×[2][4]
7	~~惰性气体~~支管④	×	×	×[4]
可燃液体(闪点大于 60℃)				
8	货油管系④	×	×	×[4]
9	燃油管系③②	×	×	×[3][2]
10	滑油管系②③	×	×	×[2][3]
11	液压油管系②③	×	×	×[2][3]
12	热油管系②③	×	×	×[2][3]
海　水				
13	舱底水管系①	×	×	×[1]
14	~~消防总管和水雾管~~充水灭火管系，如喷淋管系③	×	×	×[3]
15	~~泡沫管系~~非充水灭火管系，如泡沫、水幕管系③	×	×	×[3]
16	~~喷淋管系~~消防总管（非永久注满）③	×	×	×[3]
17	压载管系①	×	×	×[1]
18	冷却水管系①	×	×	×[1]
19	洗舱服务管	×	×	×
20	非重要管系	×	×	×
淡　水				
21	冷却水管系①	×	×	×[1]
22	冷凝回水管①	×	×	×[1]
23	非重要管系	×	×	×
卫生/排放/疏水				

24	甲板排水管(船内) ⑥	×	×	×④
25	卫生排放管	×	×	×
26	疏水管和排放管(舷外)	×	×	–
测深/透气				
27	水舱/干舱	×	×	×
28	油舱(闪点大于 60℃) ②③	×	×	×②③
其他				
29	启动/控制空气管①	×	×	–
30	杂用空气管(非重要的)	×	×	×
31	盐水管	×	×	×
32	CO_2 管系①	×	×	–
33	蒸汽管	×	×	×②⑤

注：

× ——允许使用。

– ——不允许使用。

＊ 耐火性能：

在火灾事故下，如机械接头（包含任何部件）易于损坏，则其应为按如下脚注考虑的经认可的耐火型式：

①在 A 类机器处所内，只能使用认可的耐火型式。

②不在 A 类机器处所或生活处所内，如连接接头位于易看见和到达的位置，可接受在其他的机器处所内。

③认可的耐火型式，除非机械接头安装在 SOLAS 公约第 II-2/9.2.3.3.2.2（10）条定义的开敞甲板，且不用于燃油管系。

~~④仅适用于干舷甲板以上。~~

~~⑤~~④仅适用在泵舱和开敞甲板，只能使用耐火型式。

＊ 通用：

~~⑥假如压力接头含有任何易受火灾损坏的部件，压力接头也应与滑套接头的要求一样，是认可的耐火型式。~~

~~⑦~~⑤表 2.5.3.1(1)所示的滑动型滑套机械接头，~~只~~可用于设计压力不超过 1.02MPa(10bar)的甲板~~蒸汽~~管路。

⑥仅适用于客船舱壁甲板（或货船干舷甲板）以上。

第 3 章　船舶管系与舱室通风系统

第 2 节　除机器处所外其他舱室的排水

3. 2. 1　一般要求

3.2.1.1　所有船舶均应设有有效的舱底排水装置，以便能抽除及排干任何水密舱室中的水，但固定用来装载淡水、压载水、燃油或液体货物以及设有在所有实际可能情况下能够使用的其他有效抽除设施的处所除外。对于某些特殊舱室，舱室的进水将无损于船舶的残存能力及船舶安全时，则可免设舱底排水设备。

冷藏货舱应设置有效的排水装置，其具体要求见本规范第 5 篇第 3 章的有关规定。

第 11 节　舱室通风系统

3.11.4　应急发电机室通风

3.11.4.1 应急发电机室应设有通风开口，用于为发动机提供燃烧空气和排出热量。通风开口通常设有百叶窗，在应急发电机室失火时，百叶窗可以在应急发电机室外部被关闭。百叶窗可以手动操作或动力操作；或者，百叶窗也可以为固定式的，并设有手动或自动关闭的门。

3.11.4.2 应急发电机室通风百叶窗和通风关闭装置应满足如下要求：

（1）失火时，通风百叶窗和通风关闭装置应能手动操作或动力操作（液压/气动/电动）。

（2）正常情况下，手动操作的通风百叶窗和通风关闭装置应保持常开。手动操作位置处，应设有相应的告示牌。

（3）动力操作的通风百叶窗和通风关闭装置应为故障开启型。正常情况下关闭通风百叶窗和通风关闭装置是可被接受的；但当应急发电机起动/运行时，动力操作的通风百叶窗和通风关闭装置应能自动开启。

（4）应能从应急发电机室外有清晰标志的安全位置通过人工操作关闭通风开口，上述人工关闭操作位置应能易于确认关闭动作，并应在该位置指示百叶窗的启闭状态。不应从其他遥控位置关闭应急发电机室的通风开口。

第 4 章　动 力 管 系

第 2 节　燃 油 管 系

“4.2.5.9 油船和化学品船货物区域的燃油舱位置

在油船和化学品船上，与液货舱有共同限界面的燃油舱不应位于液货舱区段（Cargo tank block）内，但燃油舱可替代隔离空舱位于液货舱区段（Cargo tank block）的前方和后方。

燃油舱既不能全部，也不能部分延伸至液货舱或污油水舱内，但在考虑溢油和火灾安全后，可以接受独立燃油舱布置在货物区域开敞甲板。

禁止燃油舱延伸至 MARPOL 公约附则 I 和 IBC 规则要求的货油舱保护区域内。对化学品船，应注意货物与燃油舱相邻的限制要求。独立燃油舱及其相关燃油管系（包括泵）的布置可视为位于机器处所内的燃油舱和相关燃油管系；但电气设备应考虑危险区域的相关要求。

液货舱区段（Cargo tank block），系指最后液货舱或污油水舱后舱壁至最前液货舱或污油水舱前舱壁的部分，延伸至船舶的整个深度和宽度，但不包括液货舱或污油水舱甲板上方的区域，如图 4.2.5.9。”

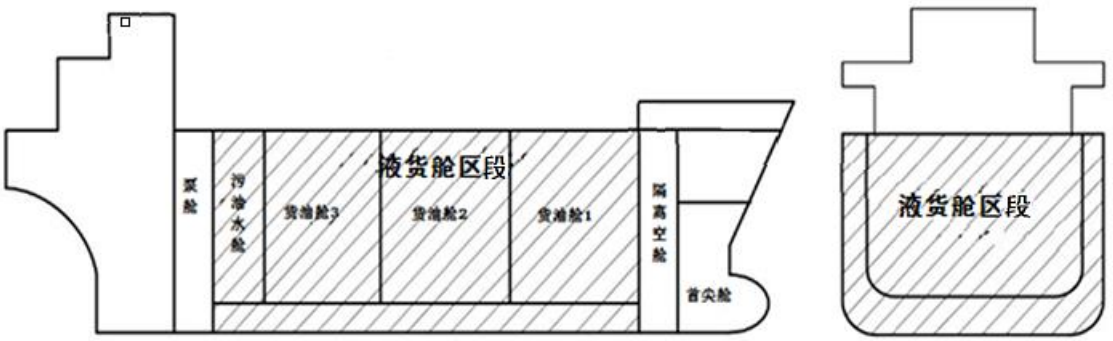


图 4.2.5.9

第 12 章　轴系振动与校中

第 5 节　轴系校中

12.5.1　一般要求

12.5.1.1　主推进轴系的校中应满足本节的要求。如采用环保润滑油的轴系，轴系校中还应满足 CCS《美国环保署环保润滑油要求实施检验指南》第 4 章的要求。

12.5.3　轴系校中要求

12.5.3.6　在尾管后轴承支点处，螺旋桨轴与尾管后轴承的相对倾角，在静态下~~一般~~应不超过 3.5×10^{-4} rad。

12.5.5　轴系校中步骤

12.5.5.1　满足 12.5.4 条件后，可按批准的轴系校中计算或校中工艺文件(分别按 12.5.1.4 或 12.5.1.6)进行轴系校中。

12.5.5.2　轴系安装时，如与计算条件不符而且可能影响校中结果时，例如安装时的环境温度、螺旋桨浸没情况、船舶状态、柴油机主轴承负荷调整等，则应将校中计算书包括其校中说明重新提交批准，除非在计算书中已包含上述内容的影响。

12.5.5.3　船厂应充分考虑镗排挠度对尾轴管加工精度的影响。尾轴管精加工后，应测量尾管镗孔尺寸，确认尾管本体中心线偏差情况。尾轴承外圆加工时应考虑上述偏差情况，视情况对尾管中心线的偏差量做加工补偿。

12.5.5.4　尾轴承压装完成后，应测量尾轴承处斜度。

12.5.5.~~3~~5　在轴系法兰没有连接情况下，如尾管前轴承出现脱空状态，则螺旋桨轴前法兰处向下施加的力，应符合计算书的要求。

12.5.5.~~4~~6　如设有临时支承，则其轴向距离应符合计算书的要求。

12.5.5.~~5~~7　轴系校中时，应以螺旋桨轴前法兰为基准，自尾向首调节各轴承或临时支承及柴油机(或齿轮箱)位置，调整未连接的各对法兰的偏移和开口，并符合相应要求。

12.5.5.~~6~~8　对直线校中的轴系，各对法兰的偏移和开口的误差，应满足 12.5.6.1 的要求，并做出记录。

12.5.5.~~7~~9　对合理校中的轴系，~~如采用按法兰偏移和开口法校中时，~~各对法兰的偏移和开口~~，~~应符合轴系校中计算书的要求，其误差应满足 12.5.6.1 的要求。法兰连接后，应在漂浮状态下，至少~~选 1~2 个轴承~~对尾管前轴承（如有）、中间轴承、主机最后三道轴承（直接传动推进系统）、大齿轮轴轴承（如有）进行负荷验证，其误差应满足 12.5.6.2 的要求，并做出记录。

~~12.5.5.8　对合理校中的轴系，如采用顶举法校中时，初步调整未连接的各对法兰的偏移和开口。法兰连接后，应在漂浮状态下，对有关轴承进行负荷测量，其误差应满足 12.5.6.2 的要求，并做出记录。~~

12.5.5.~~9~~10　在完成轴系校中调整的同时，应检查齿轮的啮合情况或测量柴油机曲轴臂距差，其结果应满足 12.5.6.3 或 12.5.6.4 的要求，并做出记录。

12.5.5.~~10~~11　轴系校中完工后，应按相应技术要求配置各法兰联接螺栓、配置柴油机(或齿轮箱)垫片或浇铸环氧树脂、配置机座底脚联接螺栓，然后加以连接和紧固。



中 国 船 级 社

国内航行海船建造规范

2017 年修改通报

第 4 篇 电气装置

目　录

第 1 章　通　则 ..... - 3 -

第 1 节　一 般 规 定 ..... - 3 -

第 2 节　工 作 条 件 ..... - 3 -

第 3 节　设计、制造与安装 ..... - 3 -

第 2 章　船上电气装置 ..... - 4 -

第 8 节　船内通信系统 ..... - 4 -

第 17 节　载运油箱中有自用燃料车辆船舶附加要求 ..... - 4 -

第 18 节　载运危险货物船舶附加要求 ..... - 4 -

第1章 通 则

第1节 一 般 规 定

1.1.3.1（19）电力推进系统~~装置~~单线图，图中应标明：

①电机、变压器、蓄电池和电力电子设备的主要额定参数；

②电缆型号、截面积和负载电流；

③断路器和熔断器的型号和主要额定参数；

④接地故障监视。

第2节 工 作 条 件

1.2.3.1 交流电气设备应能在供电电源的电压谐波成分不大于8~~5~~%的情况下正常工作。当电源的谐波成分可能大于8~~5~~%时，应注意设备选择，保证其正常工作。

第3节 设计、制造与安装

新增1.3.7如下

“1.3.7 含有谐波滤波器的电力系统的谐波畸变[①]

1.3.7.1 船舶电力系统含有谐波滤波器时应满足1.3.7.2至1.3.7.6的要求，仅用于单个设备变频调速（例如泵的电动机）的谐波滤波器和用于单个设备/系统提高电磁兼容性的谐波滤波器可不必满足该要求。

1.3.7.2 电力系统的总谐波畸变（THD）不应超过8%。如果超过该畸变限值，则所有设备应选择用于较高的特定畸变限值的设计，并应提供该谐波畸变计算且保存在船上，以便验船师年度检验时核查。

1.3.7.3 应安装能连续监测主汇流排谐波的设备，并在超过可接受的限值时应发出报警。连续监测的谐波数值应存储在机舱集中监测系统内，或者记录在轮机日志中以便验船师检验。

1.3.7.4 船舶配电系统集成商应通过计算确定谐波滤波器故障时谐波畸变的影响。配电系统集成商应向船东提供指导性文件，明确在正常航行和谐波滤波器出现故障时允许的电力系统操作模式，以维持在可接受的畸变限值内。前述计算结果和指导性文件的正确性应经验船师在航行试验时验证。

1.3.7.5 三相谐波滤波器应对单相设置独立保护。单相保护装置的触动应能自动切断整个滤波器并发出报警。除此之外，三相谐波滤波器还应设置独立于过电流保护设备的三相电流不平衡检测装置，电流不平衡时应发出报警。上述报警应设置在就地和/或有人值班处所。

1.3.7.6 对于单个电容元器件（例如安全阀或者过压切断开关）应考虑设置额外保护以避免破裂。保护措施应根据电容器型式确定。”

[①] 适用于合同建造日期为2017年7月1日及以后的船舶，以及适用于2017年7月1日及以后进行了谐波滤波器改装的船舶。

第 2 章　船上电气装置

第 8 节　船内通信系统

2.8.1.2（5）在螺旋桨通常控制位置上应设有主机（适用于可换向主机）错向的听觉报警器;

第 17 节　载运油箱中有自用燃料车辆船舶附加要求

2.17.2　在客船的舱壁甲板以上的特种处所以及客船~~、闭式滚装处所~~[①]和货船每小时换气次数不少于 10 次的闭式滚装~~装货~~处所装载车辆

2.17.2.2　在 2.17.2.1 规定以外的部位内，如不使用合格防爆电气设备，则应安装外壳防护等级至少为 IP55 的电气设备~~，且表面温度不应高于 200℃~~。

2.17.3　在客船舱壁甲板以下的特种处所以及客船~~、闭式滚装处所~~和货船每小时换气次数少于 10 次的闭式滚装装货处所装载车辆

2.17.4.1　在客船装货处所内装载车辆时，该处所及其排气通风导管内，应安装合格防爆电气设备。

2.17.4.2　~~在该处所内终止的所有电路中，均应在该处所之外设有多极联动隔离开关，并应有可将该开关锁定在分断位置上的设施。但这一规定不适用于诸如：火警、烟雾或可燃气体探测等电路。~~在货船装货处所内装载车辆时，该处所及其排气通风导管内，应安装合格防爆电气设备。~~2.17.4.3~~　若该处所每小时换气次数不少于 10 次，则在距离车辆甲板或装车平台 450mm 的高度之外，如不使用合格防爆电气设备，则应安装外壳防护等级至少为 IP55 的电气设备~~，且表面温度不应高于 200℃~~。

2.17.5　在客船和货船的开式滚装处所、开式车辆处所以及露天甲板的某区域装载车辆

2.17.5.1　在该区域中安装的电气设备，~~除~~其外壳防护等级应符合本篇表 1.3.2.2 的有关规定~~外，其表面温度不应高于 200℃~~。

第 18 节　载运危险货物船舶附加要求

2.18.1.2　按 IMO《国际海运危险品规则》(《IMDG 规则》)和《国际海运固体散货规则》(《IMSBC 规则》)的有关规定，需对电气设备采取安全措施的危险货物分为以下几类：

(1)　有包装的危险货物：

1 类　　爆炸品，但在配装组 S 中的 1.4 类爆炸品除外；

2.1 类　　压缩、液化或加压溶解的所有易燃气体；

2.3 类　　具有 2.1 类次危险性的所有有毒气体；

~~3.1，3.2~~ 类　　闪点(闭杯试验)低于 23℃的所有易燃液体；

~~① 每小时换气次数不小于 10 次。~~

4.3 类　　遇水会散发易燃气体的液体，闪点低于 23℃；

6.1 类　　闪点(闭杯试验)低于 23℃的所有有毒物质；

8 类　　闪点(闭杯试验)低于 23℃的所有腐蚀性液体;

9 类　　杂类危险物质，会散发易燃蒸气。

(2)　散装固体危险货物：

4.1 类　　易燃固体物质；

4.2 类　　易于自燃的物质；

4.3 类　　遇水会散发易燃气体的物质；

5.1 类　　氧化物；

9 类　　杂类危险物质，经验已经表明或可能表明按其危险性质应采用本节规定的任何其他物质；

MHB　　在散装载运时可能具有化学危害的物质，但在《IMDG 规则》中归入危险货物类别的物质除外。

~~2.18.1.5　当载运闪点低于 23℃的可燃液体（3.1 类、3.2 类、6.1 类和 8 类）、铝熔炼/再熔炼副产品（UN3170）、经加工的铝熔炼/再熔炼副产品（MHB）、硅铁（MHB）和硅铁（UN1408）时，存放带有法兰、阀门、泵等构件的管路的围蔽处所（如管弄，舱底泵舱等）属于扩大危险区（等同于 2 区）。~~

2.18.4　载运只产生爆炸性气体环境的货物，包括闪点低于 23℃有包装的易燃液体(3~~.1、3.2~~、6.1 和 8 类)、有包装的易燃气体(2.1 类)、散发易燃蒸气的有包装杂类危险物质（9 类）和遇水会散发易燃气体的物质（4.3 类固体）

新增 2.18.10 如下

“2.18.10 载运闪点低于 23℃有包装的易燃液体（3 类、6.1 类或 8 类）、铝熔炼/再熔炼副产品（UN3170）、经加工的铝熔炼/再熔炼副产品（MHB）、硅铁（MHB）和硅铁（UN1408）

2.18.10.1 带有法兰、阀门、泵的舱底水管路构成了释放源，含有该释放源的围蔽处所（例如管弄、舱底泵舱等）应作为一个扩大危险区（等同于 2 区），除非具有连续机械通风，换气次数应至少为每小时 6 次。

2.18.10.2 围蔽处所未设置具有自动起动功能的冗余机械通风时，不适合在 2 区使用的设备应在通风故障时自动切断，且重要系统（例如舱底和压载系统）应采用适合在 2 区使用的合格防爆型设备。

2.18.10.3 当设置了冗余机械通风装置时，不适合在 2 区使用的设备和重要系统应与机械通风联锁，以避免在机械通风停止时设备和系统还能工作。应在有人值班处所设置机械通风故障的声光报警。”