



指导性文件
GD 13-2021

中 国 船 级 社

海上公务船船体结构指南

2021

2021年7月1日生效

北 京

目 录

| | |
|-------------------------|-----------|
| 第1章 一般规定 | 1 |
| 1.1 一般要求 | 1 |
| 1.2 图纸资料 | 1 |
| 1.3 定义与符号 | 2 |
| 第2章 结构布置 | 5 |
| 2.1 水密横舱壁的布置 | 5 |
| 2.2 防撞舱壁 | 5 |
| 2.3 隔离空舱的布置 | 5 |
| 2.4 双层底的布置 | 6 |
| 2.5 防撞舱壁前的舱室 | 6 |
| 2.6 燃油舱 | 6 |
| 2.7 通道与开口布置 | 6 |
| 第3章 结构设计原则 | 8 |
| 3.1 一般要求 | 8 |
| 3.2 船底结构 | 10 |
| 3.3 舷侧结构 | 11 |
| 3.4 首尾端结构 | 12 |
| 3.5 甲板结构 | 13 |
| 3.6 舱壁结构 | 16 |
| 3.7 上层建筑与甲板室 | 17 |
| 第4章 设计载荷 | 19 |
| 4.1 一般要求 | 19 |
| 4.2 符号与定义 | 19 |
| 4.3 船体运动 | 19 |
| 4.4 船体梁载荷 | 21 |
| 4.5 局部设计载荷 | 24 |
| 第5章 船体梁强度 | 29 |
| 5.1 一般要求 | 29 |
| 5.2 船体梁剖面模数和静矩 | 29 |
| 5.3 船体梁应力..... | 30 |
| 5.4 船体梁屈服强度校核衡准 | 30 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 5.5 船体梁刚度校核 | 31 |
| 5.6 屈曲强度 | 31 |
| 第6章 船体构件尺寸 | 35 |
| 6.1 板材 | 35 |
| 6.2 骨材 | 37 |
| 6.3 主要构件 | 39 |
| 第7章 直接强度分析 | 44 |
| 7.1 局部结构强度分析 | 44 |
| 7.2 抗冰强度评估 | 45 |
| 第8章 其他结构 | 47 |
| 8.1 首柱 | 47 |
| 8.2 尾轴架 | 48 |
| 8.3 主机基座 | 49 |
| 8.4 舷墙 | 50 |
| 8.5 吊舱式推进装置支撑结构 | 50 |
| 8.6 直升机甲板 | 52 |
| 第9章 船体结构抗碰擦要求 | 53 |
| 9.1 一般要求 | 53 |
| 9.2 主甲板边板和舷顶列板 | 53 |
| 9.3 次要构件和主要构件 | 53 |
| 9.4 首柱 | 53 |
| 9.5 护舷材 | 53 |

第1章 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本指南适用于以钢、铝合金和纤维增强塑料为船体材料的海上航行公务船。

1.1.2 船长^①20m及以上的高航速公务船，其船体结构应满足 CCS《海上高速船入级与建造规范》的相关规定，但船东或设计单位在确定船舶全船重心处的垂向设计加速度 a_{cg} 时，可不受上述规范对 a_{cg} 的上限限制。

1.1.3 船长 20m 及以上的非高航速公务船：

(1) 航行于有限航区的船长 90m 以下的巡逻船按本指南的相关规定；

(2) 除 (1) 以外的其他公务船按 CCS《钢质海船入级规范》(以下简称《钢规》)第 2 篇第 1 章和第 2 章的相关规定。如方形系数 $C_B < 0.6$, 可按钢规第 2 篇第 2 章 2.2.3 条要求计算波浪载荷。

1.1.4 船长 20m 以下的公务船，其船体结构应满足 CCS《小型海船入级规范》的相关规定。

1.1.5 本章 1.1.3(1) 规定的巡逻船应具有下列船型特征：

(1) 船长与船宽之比 $L/B > 5$ ；

(2) 船宽与型深之比 $B/D < 2.5$ ；

(3) 方形系数 $C_B \geq 0.40$ 。

上述符号 L 、 B 、 D 、 C_B 的定义见本章 1.3。对于其他船型特征的巡逻船，将予以特别考虑。

1.1.6 根据需要，船体结构抗碰擦要求可按本指南第 9 章的相关规定执行。

1.2 图纸资料

1.2.1 图纸资料应符合《钢规》第 2 篇第 2 章第 1 节的要求。

① 1.1.2、1.1.3 和 1.1.4 中的“船长”定义同 CCS《钢质海船入级规范》。

1.3 定义与符号

1.3.1 除另有规定外，本指南采用的定义与符号如下：

(1) **公务船**：系指用于政府行政管理目的的船舶。

(2) **巡逻船**：系指依照相关法律，主要从事巡视、现场监管、护航、取证、搜救指挥等业务的公务船，诸如海事巡逻船、监管船艇、渔政监管执法船等。

(3) **高航速**：系指最大航速 V 大于等于 $7.19 \nabla^{0.1667}$ kn。

(4) **最大航速 V (kn)**：系指船舶处于满载排水量状态，并以最大持续推进功率在静水中航行所能达到的航速。

(5) **空载排水量 t** ：系指船舶建造完毕，各种装置设备安装齐全，但不计入人员、行李、食品、淡水、液体负荷、供应品、燃油、滑油、给水、喷气燃料及特殊装载等重量时的排水量。

(6) **满载排水量 Δ (t)**：系指空载排水量加上额定人员、行李食品、淡水、液体负荷、供应品、喷气燃料及特殊装载等重量，再加上续航力所需的 100% 的燃油、滑油、给水等重量的排水量。

(7) **满载排水体积 ∇ (m³)**：系指船舶满载排水量所对应的排水体积。

(8) **满载吃水 T (m)**：系指满载排水量时的平均吃水。

(9) **满载水线**：系指与满载吃水对应的一条与基线平行的水线。

(10) **船长 L (m)**：系指满载水线的长度，不包括满载水线处及以下的附体。

(11) **船宽 B (m)**：系指刚性水密船体的最大型宽，不包括满载水线处及以下的附体。

(12) **水线宽 B_{WL} (m)**：满载水线面的最大型宽。

(13) **型深 D (m)**：系指船长 L 中点处的横剖面上，由基线量至船体最高一层全通甲板边线处的垂直距离。

(14) **方形系数 C_B** ：系指按下式算得的船型系数：

$$C_B = \frac{\Delta}{1.025LB_{WL}T}$$

(15) **相对参考坐标系 OXYZ**：取船纵中剖面上满载水线尾端垂线与基线交点为坐标原点，x 坐标向前为正，y 坐标向左为正，z 坐标向上为正。

(16) **船中**：系指船长 L 之半处。

(17) **主甲板**：系指贯通全船船长的最上层甲板。

(18) **强力甲板**：系指计入船体梁强度的船体最高一层连续甲板或长上层建筑甲板。

(19) **上层建筑**：系指船体最高一层连续甲板上，由一舷伸至另一舷的或其侧壁板离船壳板向内不大于 $4\% B$ 的围蔽建筑。

(20) **长上层建筑及短上层建筑**：长度大于 $0.15L$ ，且不小于其高度 6 倍的上层建筑为长上层建筑。不符合长上层建筑条件的为短上层建筑。

(21) **甲板室**：系指船体最高一层连续甲板或其他露天甲板上，其侧壁板离船壳板向内大于 $4\% B$ 的围蔽建筑。

(22) **长甲板室及短甲板室**：长度大于 $0.15L$ ，且不小于其高度 6 倍的甲板室为长甲板室。不符合长甲板室条件的为短甲板室。

(23) **长首楼**：系指从船首起一直延伸至船中以后，但不及船尾的第一层长上层建筑。

(24) **舱壁甲板**：系指船体内所有水密横舱壁都到达的最上层连续甲板。

(25) **次要构件**：一般是指板的扶强构件，如肋骨、纵骨、横梁、舱壁扶强材、组合肋板的骨材等。

(26) **主要构件**：船体的主要支撑构件称为主要构件，如强肋骨、舷侧纵桁、强横梁、甲板纵桁、实肋板、船底桁材、舱壁桁材等。

(27) **有限航区**：是 1 类航区、2 类航区和 3 类航区的统称。各类航区的航行限制如下表 1.3.1(27) 所示。

表 1.3.1(27)

| 类 别 | 航行限制 | |
|-------|-----------------|------------|
| | 距岸距离 (n mile) | |
| 1 类航区 | 200 (夏季 / 热带 *) | 100 (冬季 *) |
| 2 类航区 | 20 (夏季 / 热带 *) | 10 (冬季 *) |
| 3 类航区 | 遮蔽水域 ** | |

* 季节区按 1966 年国际载重线公约附则 II 的规定。

** 遮蔽水域包括海岸与岛屿、岛屿与岛屿围成的遮蔽条件较好，波浪较小的海域，且该海域内岛屿与岛屿之间、岛屿与海岸之间横跨距离不超过 10n mile，或具有类似条件的水域。

(28) 材料系数：船体结构钢的材料系数 K ，按表 1.3.1(28) 取值。

材料系数 K

表 1.3.1(28)

| 屈服应力 R_{eH} (N/mm ²) | 材料系数 K |
|------------------------------------|----------|
| 235 | 1.0 |
| 315 | 0.78 |
| 355 | 0.72 |
| 390 | 0.68 |

(29) R_{eH} ：钢材屈服应力，N/mm²，见 CCS《材料与焊接规范》有关规定。

第2章 结构布置

2.1 水密横舱壁的布置

2.1.1 所有船舶应至少设有下列水密横舱壁：

(1) 1道防撞舱壁；

(2) 1道尾尖舱舱壁；

(3) 机舱在船中的船舶，设两道舱壁构成机器处所的边界；机舱在尾部的船舶，在机器处所前部设一道舱壁；设有电力推进装置的船舶，发电机舱和推进电机舱都应由水密舱壁封闭。

2.1.2 水密舱壁的布置除应满足 2.1.1 的要求外，水密舱壁的数量及沿船长的分布，还应满足有关破损稳性的要求。

2.1.3 如果水密舱壁不适合布置在 1 个平面内，则可以设置具有台阶的舱壁。此种情况下，构成台阶的甲板部分应为水密且具有与舱壁等效的强度。

2.2 防撞舱壁

2.2.1 防撞舱壁应位于距首垂线向后不小于船长 L 的 5% 且不大于 3m 加船长 L 的 5% 处。

2.2.2 防撞舱壁应水密延伸到舱壁甲板，当首部设有长的上层建筑时，防撞舱壁应风雨密延伸到舱壁甲板的上一层完整甲板。

2.2.3 防撞舱壁可以具有台阶或凹入，但它们应在 2.2.1 条所规定的限度内。

2.3 隔离空舱的布置

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

2.3.2 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。

2.3.3 拟载运易燃液体的处所应使用隔离空舱把它们与居住和服务处所分开。

2.3.4 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，二者之间不必设置隔离舱。

2.4 双层底的布置

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

2.5 防撞舱壁前的舱室

2.5.1 位于防撞舱壁以前的首尖舱和其他舱室不可用来载运燃油及其他易燃品。

2.6 燃油舱

2.6.1 除应急情况外，燃油舱不可装载压载水。

2.7 通道与开口布置

2.7.1 小舱口及通向液舱或其他封闭处所的通道开口的数量和尺寸应在保证船舶正常操作要求的情况下保持最小。

2.7.2 内底人孔不宜小于 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 或者 $500\text{mm} \times 380\text{mm}$ 。其数量（一般至少 2 个）和位置的布置应能方便地通向双层底任何部位。

2.7.3 双层底肋板和纵桁人孔应满足：

(1) 肋板和纵桁（不包括连续中纵桁）上应设置人孔，以方便地通向双层底各部分。

(2) 肋板和纵桁上的人孔及减轻孔的尺寸一般小于此处双层底高度的 50%。

(3) 在船中部 0.75L 区域内的连续中桁材上一般不应开设人孔，在个别特殊情况下一定要开孔时，应适当加强。在支柱下面的肋板和桁材上不准开设人孔。

2.7.4 液舱、压载舱和隔离空舱至少应设置 1 个通道舱口和梯子。

2.7.5 当通道舱口敞开时，在其上面应放置轻型板材，以防止人员跌落。

2.7.6 梯子结构应符合下列规定：

(1) 直梯或倾斜角一般不大于 65° 的斜梯；

(2) 梯子和栏杆应具有适当强度和刚度，并通过支撑安全地连接在舱室结构上。梯子的边桁材截面应为不小于 $60\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的扁钢；

(3) 梯子边桁材间的宽度不宜小于 400mm ；

(4) 斜梯踏板应以垂向间距小于 300 mm 的距离等间距布置。踏板应由截面不小于 $16\text{mm} \times 16\text{ mm}$ 的两根方钢构成水平梯级，方钢的角点边缘朝上，或等效结构。踏板应焊接到边桁材上；

(5) 所有斜梯应在踏板两侧合适的高度处，设置结构牢固的扶手。

第3章 结构设计原则

3.1 一般要求

3.1.1 本章规定了船体主要结构布置和尺寸的原则要求。

3.1.2 纵骨间距应不小于下表所列值：

| 纵骨间距 | | 表 3.1.2 |
|----------------|----------|-------------|
| 船长 L (m) | $L < 80$ | $L \geq 80$ |
| 纵骨的最小允许间距 (mm) | 200 | 300 |

3.1.3 肋骨间距应不小于 500mm；局部区域可在原肋骨间距内增加中间肋骨。

3.1.4 次要构件和主要构件的跨距定义：

(1) 对于次要构件，当其端部不设置肘板时，跨距点取在端部；当其端部设置肘板时，跨距点可取在肘板长度之半处。

(2) 对于主要构件，其端部通常设有肘板，则其跨距点应按图 3.1.4 所示，取在离该主要构件端部 K_e 距离处。 K_e 按下式计算：

$$K_e = K_b \left(1 - \frac{d_w}{d_b}\right)$$

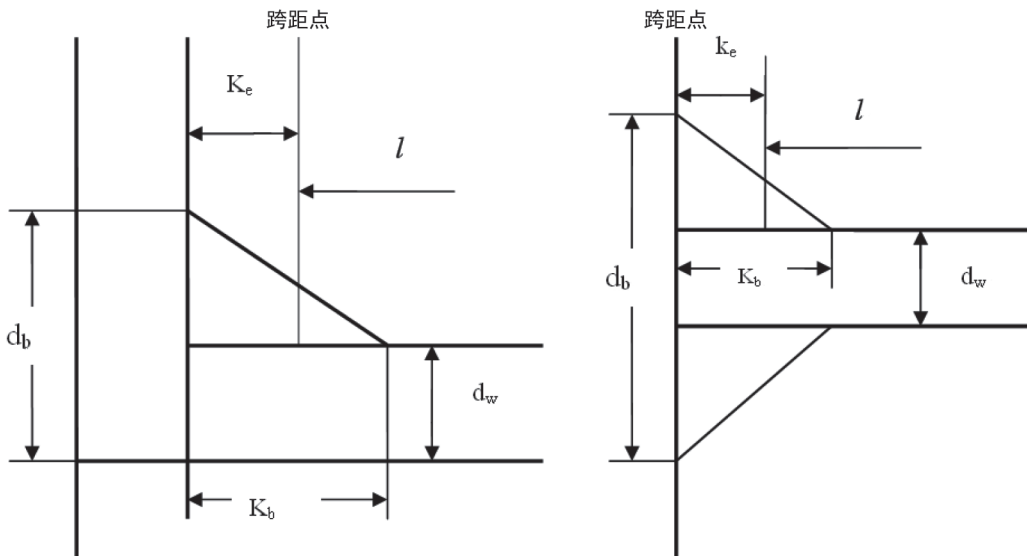


图 3.1.4

如主要构件有支柱支撑时，支柱支撑点可作为该主要构件的跨距点。

3.1.5 次要构件带板的有效宽度取骨材间距的平均值。

3.1.6 主要构件带板的有效宽度 b_e 应按下列式计取：

$$b_e = 0.3S_g \left(\frac{l_g}{S_g} \right)^{2/3}, \quad \text{但不大于 } l_g/5$$

式中： l_g ——主要构件的跨距，m，按 3.1.4 取值；

S_g ——主要构件的间距，m。

3.1.7 设计部门可以采用直接计算法校核船体构件尺寸，但板厚仍应满足最小厚度要求，且应提交必要的计算资料供审查。

3.1.8 设计船舶结构时，应尽量保证主要纵向构件的连续性。纵向构件应尽可能向首尾方向延伸。纵向间断构件的端部不能突然终止，应使其截面逐渐减小，逐步过渡。

3.1.9 伸到两舷的第一层上层建筑不应在船中部 $0.25L$ (自船中向首、尾各 $0.125L$) 区域内终止。其端部应平顺地过渡到舷顶列板，并对附近结构进行必要的加强。

3.1.10 高度方向接近等值梁上、下缘的甲板、内底应尽量沿船长连续。当上述甲板、内底沿船长方向布置在不同高度时，则应设置中间倾斜过渡段，以保证其连续性。当上述甲板、内底沿船长方向必须中断时，则应设置舷侧纵桁、肘板或其他加强构件，使间断结构具有一定的过渡部分，保证船体截面均匀地变化。

3.1.11 高度方向接近等值梁上、下缘的主纵舱壁，同样具有连续性要求，主纵舱壁沿船长的距中线面宽度位置有变化时，其折角应设置在主横舱壁或次舱壁上。

3.1.12 组成骨架的各种型材的高度尺寸突然变化时，其转变部分通常设置在刚性构件上，并通过肘板过渡连接，或采用圆弧过渡连接。当型材必须在两刚性构件之间由一高度转变到另一高度时，则应在不小于 4 倍型材高度差的长度内逐渐过渡。

3.1.13 船体各部分结构的纵向骨架相对于中线面的间距力求统一，即各层甲板、底部的纵向骨架、横舱壁和尾封板的垂向扶强材等应设置在相应的纵向垂直平面内。船体各部分的横向骨架通常应尽实际可能构成环形封闭框架。

3.1.14 船体结构上的任何骨架应力求与相邻骨架有效连接。骨材间断处或骨材之间连接处应适当设置肘板或其他等效构件。肘板的形式及尺寸应力求统一。液体舱内的骨材不得出现自由端。

3.1.15 船体结构中的骨材一般应穿过密性或非密性构件，以保持连续，其要求如下：

(1) 骨材与甲板、舱壁相交处或纵骨与 T 型梁相交处，宜在甲板、舱壁或 T 型梁腹板上开口让骨材穿过，并应保证骨材将所承受的剪力传递到上述构件上；

(2) 构件穿过密性结构时，应保证连接处的密性；

(3) 球扁钢穿过非密性构件时，若强度需要补强则可采用非密性补板补强；在振动剧烈区域，也可采用非密性补板补强；

(4) 底肋骨 (肋板) 和横梁 (包括强横梁) 通常在龙骨和甲板纵桁处间断。

3.1.16 船体外板上的开口应尽可能避免断开构件。当开口断开构件时，应适当加强；开口 (孔) 角隅必须设圆角，其半径应不小于 0.1 倍开口宽度；在集中载荷和高应力区域，应避免开人孔及其他开口。

3.1.17 舷顶列板在强力甲板以上部位不得有任何形式的开口。

3.1.18 外板上锚链筒开口附近等受力较大处，应采用加厚板或覆板的形式予以加强，加强区域的范围以锚爪不碰触加强区域外的外板为准。

3.1.19 舵杆出口处采用法兰、覆板或加厚板加强，加强区域直径应不小于开孔直径的 2 倍。加厚板厚度一般不小于该处外板厚度的 1.5 倍；覆板厚度应不小于该处外板的厚度。

3.2 船底结构

3.2.1 底部结构包括：底部外板、底部骨架和双层底结构，但不包括首尾端部结构。底纵桁为中内龙骨和旁内龙骨的统称。底部除设置中内龙骨外，一般应在左右舷各设置 1 ~ 4 道旁内龙骨。

3.2.2 双层底区域的旁桁材高度一般不小于 700mm，其中，局部区域的旁桁材高度允许为 650mm，对于船长 L 小于 60m 的船舶，其双层底区域的旁桁材最小高度允许适当降低，但要保证能进入其内焊接施工。

3.2.3 底纵桁应在整个长度内保持连续，即底纵桁穿过水密舱壁，并且所有与底纵桁相交的肋板，在相交处应中断。

3.2.4 底部左右舷各有两根以上旁内龙骨时，只允许一对对称布置的旁内龙骨在同一强力横向构件处终止。旁内龙骨端部应终止在主横舱壁或其他支持旁内龙骨的强力横向构件上，且在该主横舱壁或强力横向构件上设置与该旁内龙骨相连的肘板。

3.2.5 中内龙骨或中桁材腹板上，在一般情况下，不应开人孔，龙骨面板上不允许开孔。当通过管路必须开孔时，开孔应布置在腹板高度的中部，开孔直径应不大于 0.25 倍腹板高度，且开孔边缘应相应补强。

3.2.6 旁内龙骨或旁桁材腹板上的人孔（应是圆孔或长圆孔）及通过管路的开孔，一般应布置在腹板高度的中部，孔的高度一般不应超过 0.5 倍腹板高度，否则，开孔边缘应用扁钢补强，补强扁钢的厚度应不小于旁内龙骨或旁桁材腹板厚度 t ，宽度不小于 $12t$ ，但当 $12t$ 大于 60mm 时，则取 60mm。

3.2.7 肋板上的开孔，一般应布置在肋板腹板高度的中部，且开孔直径一般不应超过 0.5 倍腹板高度，否则，按上述 3.2.6 中方法加强。肋板上人孔边缘距底纵桁距离大于 400mm 时，人孔靠近纵桁一侧的肋板应用垂向扶强材加强，该扶强材的上、下端一般应与内底及外板的纵骨相连接。

3.2.8 当肋板上开具有下列两种圆孔时，允许不对肋板进行加强：

(1) 开孔在肋板高度中部，且孔径不大于 25% 肋板高度；

(2) 开孔处在肋板边缘附近，但孔径不大于 10% 肋板高度。

成排布置的圆形开孔若各孔边之间的距离不超过其中大孔的直径，则应作为一个孔考虑。

3.2.9 内底应尽可能向船舶首尾方向及两舷舷侧延伸，一般应连续通过所有横向舱壁。在首尾两端，内底板应在不小于 3 个肋距的范围内逐渐过渡为中内龙骨和旁内龙骨的面板，过渡区的内底板自由边缘应用扁钢加强。在双层底区域的每个底舱的内底板上，一般应在该舱的两端分别设置人孔。

3.3 舷侧结构

3.3.1 承受撞击或磨损的舷侧外板，例如锚链孔周围的外板，其板厚较相邻的外板板厚要求值一般应增厚 50% 左右或采用加覆板的形式予以加强。

3.3.2 舷侧骨架如设置舷侧纵桁，舷侧纵桁的剖面尺寸一般与强肋骨相同。舷侧纵桁端部应终止在主横舱或其他强力横向构架上；舷侧纵桁与强肋骨交叉处，宜间断纵桁，保持强肋骨连续；肋骨可以在舷侧纵桁处中断，舷侧纵桁在与肋骨相交处应保持连续。

3.3.3 舷侧纵桁应与不连续的下层甲板位于同一平面内，其端部应用肘板连接，肘板形式宜为圆弧形，如图 3.3.3 所示。

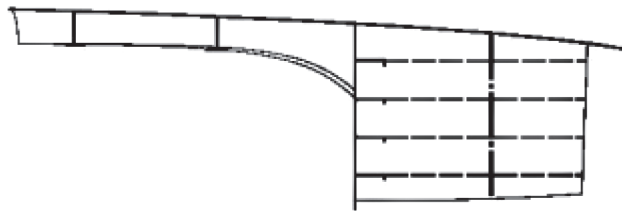


图 3.3.3

3.4 首尾端结构

3.4.1 首端结构系指距首垂线 $0.35L$ 的底部和舷侧结构，包括外板、龙骨、纵骨、肋板及舱壁等。尾端结构系指距尾垂线 $0.25L$ 内，最下层甲板、平台板或舷侧纵桁(当没有这些构件时，取满载水线)以下的船体结构。

3.4.2 首尖舱结构在每个肋位处应设置升高肋板。其高度应保证肋骨与肋板能有效地连接。首尖舱平台向船中部的延伸部位，应设置舷侧纵桁或延伸平台；该舷侧纵桁端部应与横舱壁的水平桁相连接，以形成水平环形框架结构；延伸平台的中线面处应设置纵桁，纵桁的端部应与横舱壁的垂直桁相连接，以形成由平台纵桁、舱壁垂直桁、中内龙骨组成的环形框架结构。

3.4.3 首端底纵桁等强力纵向构件应尽可能向船首延伸，并应注意保持结构的连续性；由于结构上的原因，中内龙骨不能与首柱相连接时，则中内龙骨应在穿过横舱壁适当延伸后终止。

3.4.4 人员无法进入维修保养的首部空间，在结构上应确保密闭或喷涂沥青漆。

3.4.5 与尾轴架、舵轴承相连接的外板，其厚度一般应比相邻的外板板厚要求值加厚 50%，并且应不小于船中部外板的厚度，分段接缝不得通过该加厚板。

3.4.6 尾端 $0.125L$ 结构特殊加强区的肋板腹板，在纵骨处应设置附加扁钢，其尺寸应满足 6.3.7 的要求。

3.4.7 尾部底纵桁和纵骨均应延至尾端，以形成由底纵桁(纵骨)、尾封板及舱壁垂直桁(垂向扶强材)和甲板纵桁(纵骨)组成的垂向环形框架结构。

3.4.8 尾轴管、尾轴架及舵轴附近底部结构应相应加强。

3.5 甲板结构

3.5.1 纵骨架式甲板的强横梁通常在甲板纵桁处间断。横骨架式甲板的横梁通过开口穿过纵桁并与之焊接。甲板横梁与舷侧肋骨应以肘板连接，也可以圆弧形式连接。

3.5.2 强力甲板纵桁不应在同一截面内全部终止，只允许一对对称设置的甲板纵桁在同一截面内终止。强力甲板纵桁端部应终止在主横舱壁或其他强力横向构件上。

3.5.3 不应将强力甲板纵骨终止在同一横剖面处，而应将其末端适当错开，并应将其延伸至横向构件。

3.5.4 强力甲板纵桁和纵骨应是连续的，其中包括穿过主横舱壁保持连续。

3.5.5 船中 $0.5L$ 长度范围内，强力甲板边板应比相邻的甲板板厚要求值加厚 20% ~ 30%，甲板边板的宽度宜取 750 ~ 1500mm。

3.5.6 在甲板终止处，如该层甲板高度上无舷侧纵桁时，应在其甲板平面内设置过渡肘板与纵骨连接。该肘板的长度 l 一般应不小于 $0.15D$ ，肘板宽度一般应不小于 0.5 倍的肘板长度，如图 3.5.6 所示。

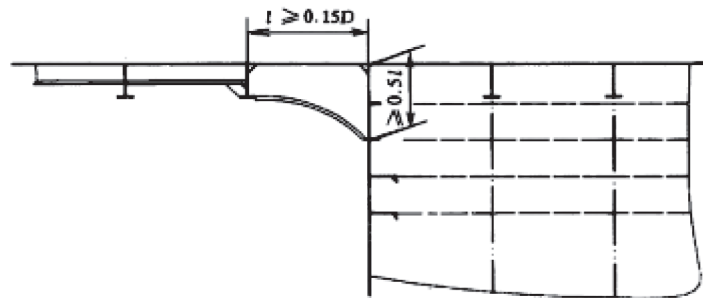


图 3.5.6

3.5.7 强力甲板以下的各层甲板如开口让舷侧肋骨连续通过，开口应加补板补强，如穿过的那层甲板要求水密，则应加密性补板。

3.5.8 当强力甲板上设有较大开口(如机舱开口)时，如开口角隅的形状为抛物线形或椭圆形，角隅处的甲板不需设嵌入板，应符合图 3.5.8 的规定。

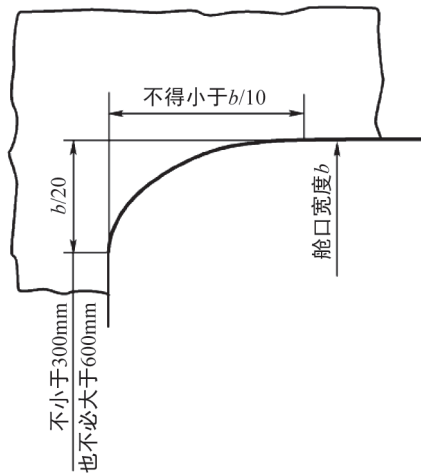


图 3.5.8

3.5.9 当强力甲板上设有较大开口(如机舱开口)时,如开口角隅形状为圆形,则角隅处要求加厚板,且角隅半径与开口宽度之比不小于 1/20。加厚板的尺寸应符合图 3.5.9 的规定。加厚板的厚度应不小于该处强力甲板板厚的 1.5 倍,增厚不必大于 4mm。对于强力甲板下一层甲板,加厚板厚度应较该甲板增加 2mm。

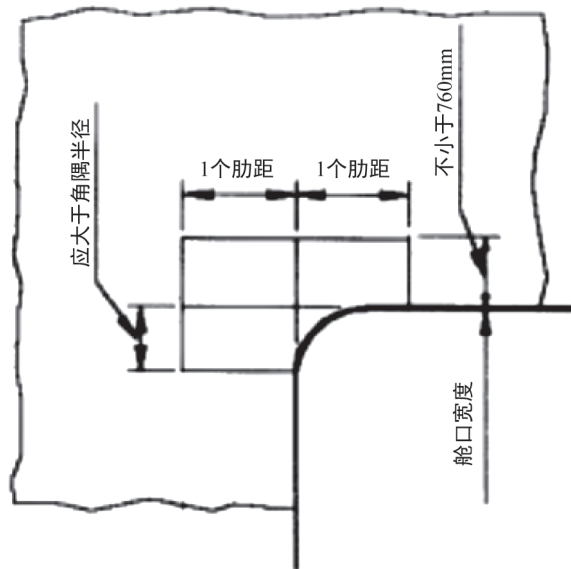


图 3.5.9

3.5.10 甲板纵桁、强横梁腹板离支座距离为纵桁或强横梁 1/8 跨距范围内,不宜开孔。特殊情况下,允许按图 3.5.10 开直径不大于 $1/8h_w$ 的圆孔。此类开孔中,当孔与孔之间的间距小于 1.5 倍两孔直径之和,或孔的中心不在距梁带板 $1/3h_w$ 处时,应补强。

3.5.11 当需要将电缆和管系穿过甲板纵桁或甲板强横梁腹板时，开孔应位于纵桁或强横梁跨中 $3/4$ 跨距范围内，开口边缘应光滑并具有良好的圆角。开口尺寸及位置满足以下要求时，其开口边缘可不作补强：

- (1) 开孔高度不大于 $1/3 h_w$ ，且开孔长度不大于 $2/3 h_w$ ；
- (2) 开孔中心距带板的距离为 $1/3 h_w$ ；
- (3) 开孔中心距带板距离虽不等于 $1/3 h_w$ ，但开孔边仍在(1)、(2)所得出的开孔边缘范围内；
- (4) 开孔与开孔的边缘距离不小于两开孔高度之和。

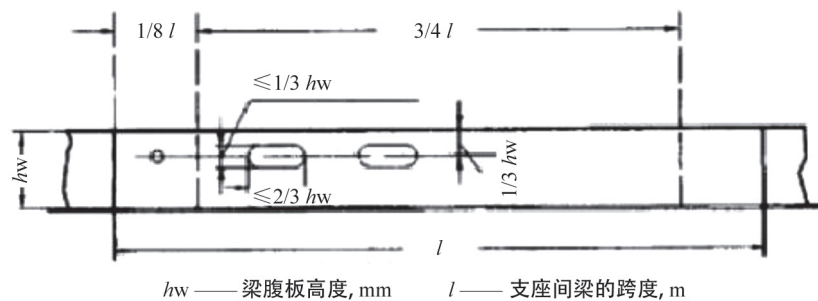


图 3.5.11

3.5.12 当开口不满足 3.5.11 中任一要求时，应补强。通常的补强办法是设置补强腹板、套环或加厚板，补强构件的横剖面面积应不小于因开孔损失的腹板横剖面面积，补强构件材料的强度等级应不低于腹板的材料强度等级。

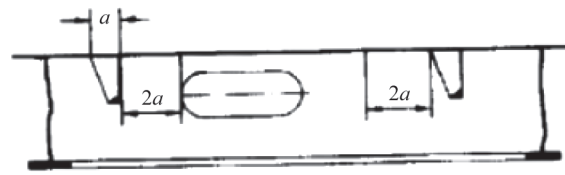
3.5.13 当腹板上开有密集的小开孔，且间距不满足 3.5.11(4) 的要求时，则应按全部开孔的最大外轮廓线作为开孔的计算高度和计算长度。

3.5.14 当纵桁或强横梁承受大的集中载荷时，腹板上开孔应特别考虑。

3.5.15 与支柱或桅杆相连接的强横梁或纵桁，在支柱或桅杆附近 $1/8$ 跨距范围内应尽量避免开孔。当必须开孔时，开孔应满足 3.5.11，且还应按 3.5.12 补强。

3.5.16 上层建筑端壁下的强力甲板横梁上，一般应尽量避免开孔。当必须开孔时，应按 3.5.12 补强。

3.5.17 当梁腹板上有纵骨通过时，在其开口左右 2 倍开口宽度范围内不允许开孔，见图 3.5.17。



a ——纵骨通过口宽度

图 3.5.17

3.6 舱壁结构

3.6.1 各个主横舱壁一般应向上延伸至主甲板。

3.6.2 主横舱壁在甲板纵桁下宜设置垂直桁。支柱下面的舱壁上及沿舱壁集中力作用处宜设置垂直桁，该垂直桁在强度和刚度上应能承受纵桁和支柱传递来的力。

3.6.3 主横舱壁的垂直桁及垂向扶强材，一般应与相应的甲板纵向骨架布置在一个平面内，并应尽可能与底部骨架对准。

3.6.4 主纵舱壁扶强材一般为水平布置，其间距应大致与全船其他部位如甲板、舷侧、底部的纵向扶强材间距基本保持一致。主纵舱壁设计成槽形舱壁时，一般为水平槽形，以有效参与总纵强度。

3.6.5 支柱下面的主纵舱壁上及舱壁集中力作用处宜设置垂直桁。主纵舱壁垂直桁应与相应的船体横向构件设置在一个平面内，其端部应与横向构件可靠地连接，不得出现任何形式的自由端部。

3.6.6 横梁和肋板等构件穿过主纵舱壁时则应加补板补强并保证水密。

3.6.7 主纵舱壁一般应穿过横舱壁保持纵向连续，主纵舱壁折角应设置在横舱壁处。

3.6.8 甲板、平台沿船长方向高度不同时，则主纵舱壁应设置中间倾斜过渡段，以保证其连续性。

3.6.9 参与总纵强度的主纵舱壁一般应向首尾延伸，并且应终止在主横舱壁上。同时，应借助主横舱壁背面的垂直桁逐渐过渡到船体纵向骨架上。如图 3.6.9 所示。

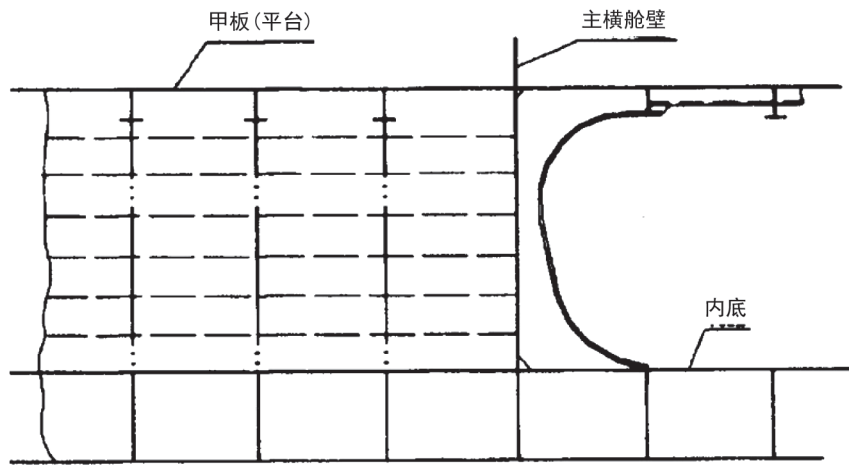


图 3.6.9

3.7 上层建筑与甲板室

3.7.1 各层上层建筑与主船体的相应骨架，应尽可能设置在一个平面内以形成横向框架。有时为配合门、窗开口的布置可视具体情况布置，并予加强。

3.7.2 各层上层建筑前壁、后壁的骨架以垂向设置为宜。端壁的骨架间距视门、窗开口与宽度而定，并尽量与甲板纵骨对齐。

3.7.3 对于多层上层建筑，上一层上层建筑横壁应尽量与下一层上层建筑横壁对齐。当上一层上层建筑侧壁与下一层上层建筑侧壁或纵壁不重合时，必须使其横壁重合。当上述规定无法实现时，应在上一层横壁下设置有效的加强横梁，必要时还应设置附加支柱。必须注意消除上、下层纵横壁相交处的硬点。

3.7.4 甲板室垂直扶强材的端部应与该扶强材上面及下面的构件对齐。

3.7.5 甲板加厚板形式一般应采用整体加厚板。如特殊情况，也可采用覆板加厚形式。

3.7.6 第 1 层上层建筑的端壁应尽量与船体横向构件重合在一个平面内。其侧壁扶强材及端壁扶强材的下端尽量与强力甲板构件对齐，并设置肘板与强力甲板连接。

3.7.7 凡长度超过 0.15 倍船长 L ，且不小于本身高度 6 倍的上层建筑应设计为强力上层建筑。

对于符合上述条件，且支持在不少于 3 个船体刚性横向构件（横舱壁及用支柱支持的加强横梁等）上的长甲板室宜设计为强力上层建筑。

3.7.8 上层建筑或甲板室侧壁端部应按如图 3.7.8 所示的形式及尺寸平顺过渡。过渡部分侧壁板的自由边缘应加围缘球扁钢，必要时还应设置纵骨加强。

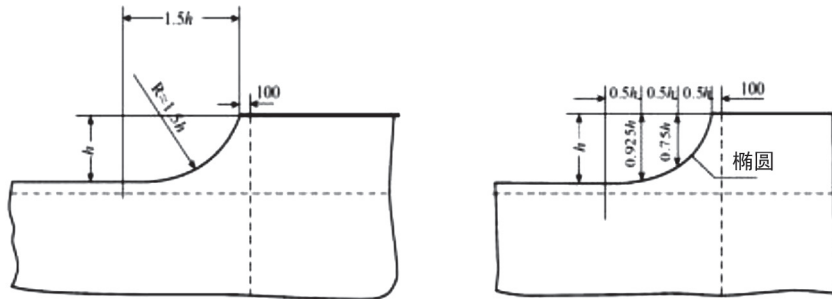


图 3.7.8

3.7.9 上层建筑或甲板室端部区域的舷顶列板及甲板边板应加厚。其中：舷顶列板应加厚 40%，甲板边板应加厚 20%。加厚的范围应满足如图 3.7.9 所示的要求。长度小于 $0.2L$ 的首楼及尾楼，其端部的舷顶列板和甲板边板可不加厚。

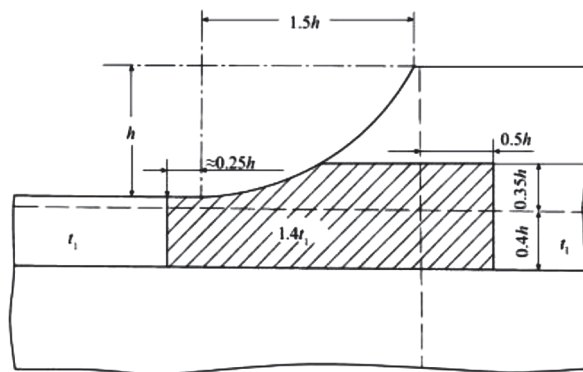


图 3.7.9

3.7.10 凡长度超过 $0.15L$ 及本身高度 6 倍的长甲板室，可采用设置伸缩接头的方法分割成若干个可以相对移动（长度小于 $0.15L$ 及 6 倍甲板室层高）的短甲板室，并宜使每段短甲板室仅与两个船体刚性横向构件连接。

3.7.11 短上层建筑甲板及侧壁的骨架形式宜为横骨架式。

3.7.12 伸缩接头结构应保证两段甲板室相邻部分端部能向两个方向自由移动。伸缩接头宜设置在对穿通道内。伸缩接头距强力甲板大开口角隅一般不宜小于甲板室高度。伸缩接头之间的距离不得大于 $0.15L$ 及 6 倍甲板室高度，且应不小于 3 倍甲板室高度。两侧壁板及甲板的伸缩接头应在同一平面内，不宜错位。

3.7.13 第二层及其以上各层上层建筑，一般应设计为短上层建筑。第二层及其以上各层上层建筑侧壁扶强材下端允许削斜，第二层甲板室前端壁扶强材下端宜形成固定端，其余端壁扶强材下端允许削斜。

第4章 设计载荷

4.1 一般要求

4.1.1 本章规定了作用在整个船体结构上的船体梁载荷和作用在船体局部结构上的用以校核结构局部强度的设计载荷。

4.1.2 本章给出的设计载荷均基于满载排水量装载状态。

4.2 符号与定义

4.2.1 符号与定义如下：

(1) 波浪系数 C_w ：

$$C_w = (118 - 0.36L) \frac{L}{1000}$$

对于 1 类航区的船舶， C_w 可减少 5%；

对于 2 类航区的船舶， C_w 可减少 10%；

对于 3 类航区的船舶， C_w 可减少 15%。

(2) 共用加速度系数 a_0 ：

$$a_0 = \frac{3C_w}{L} + \frac{C_v V}{\sqrt{L}}$$

式中： $C_v = \frac{\sqrt{L}}{50}$ ，但取值不大于 0.2；

$\frac{V}{\sqrt{L}}$ 取值不小于 0.8，其中 V 为航速，kn。

4.3 船体运动

4.3.1 假定船体运动是周期性的。本章公式定义的运动幅值为峰值至谷值幅度之半。

4.3.2 作为本章公式的替代，可使用由适航性计算或模型试验得到的概率水平为 10^{-8} 的船体运动幅值。适航性计算或模型试验均应提交批准。

4.3.3 横摇角单幅值 θ 由下式得出：

$$\theta = \frac{50(1.25 - 0.025T_R)K_b}{B + 75} \quad \text{rad}$$

式中： T_R —— 横摇周期，s，按 4.3.4 计算；

K_b —— 系数，取：

$K_b = 1.2$ ，无舦龙骨的船舶；

$K_b = 1.0$ ，有舦龙骨的船舶；

$K_b = 0.8$ ，有主动式减摇鳍的船舶。

4.3.4 横摇周期 T_R 由下式得出：

$$T_R = \frac{2K_r}{\sqrt{GM}} \quad \text{s}$$

式中： K_r —— 满载排水量时船舶的横摇回转半径，m；当 K_r 未知时，可取 $K_r = 0.39B$ ；

GM —— 满载排水量时的初横稳性高度，m；当 GM 未知时，取 $GM = 0.07B$ 。

4.3.5 纵摇角单幅值 ϕ 由下式得出，但取值不大于 0.14：

$$\phi = \frac{a_0}{4C_B} \quad \text{rad}$$

4.3.6 垂荡加速度和纵、横摇加速度垂向分量合成的垂向加速度 a_v 可近似取为：

$$a_v = \frac{K_v a_0 g}{C_B} \quad \text{m/s}^2$$

式中： K_v —— 垂向加速度分布系数，见图 4.3.6

$K_v = 1.3$ ，当 $x \leq 0$ ；

$K_v = 0.7$ ，当 $0.3L \leq x \leq 0.6L$ ；

$K_v = 1.5$ ，当 $x \geq L$ 。

在上述区域之间， K_v 值按线性内插。

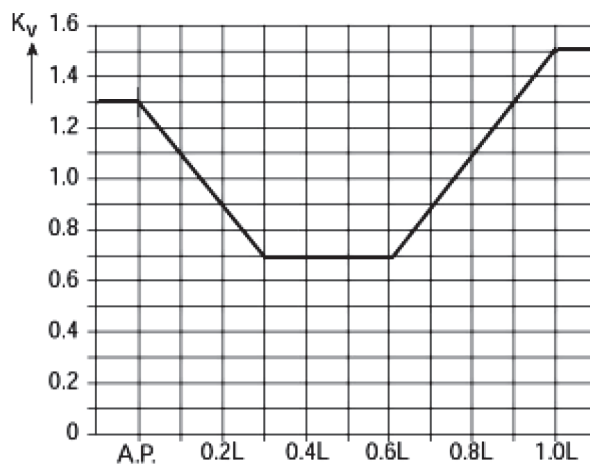


图 4.3.6 加速度分布系数

4.4 船体梁载荷

4.4.1 船体任一横剖面处的垂向弯矩和剪力的符号规则如图 4.4.1 所示：

垂向静水弯矩 M_{SW} 或垂向波浪弯矩 M_{WV} 在强力甲板上引起拉应力时为正值 (中拱弯矩)，引起压应力时为负值 (中垂弯矩)；

垂向剪力 Q ：当所考虑的船体横剖面之前的剪力向下时为正值，或在其后横剖面的剪力向上时为正值；反之则为负值。

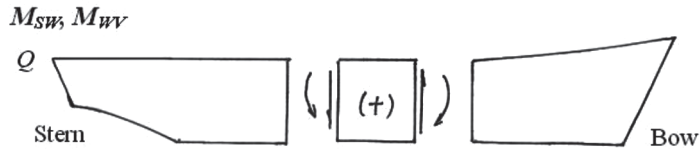


图 4.4.1 弯矩 M_{SW} 、 M_{WV} 和剪力 Q 的符号规则

4.4.2 船舶应根据各装载状态计算确定其最大垂向静水弯矩 M_{SW} 和剪力 Q_{SW} 。

4.4.3 船体任一横剖面的垂向波浪弯矩 M_{WV} 应由以下公式确定：

$$\text{中拱状态: } M_{WVH} = 150 F_M C_W L^2 B C_B (1 + C_A) \times 10^{-3} \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{中垂状态: } M_{WVS} = -85 F_M C_W L^2 B (C_B + 0.7) (1 + C_A) \times 10^{-3} \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中： F_M ——表 4.4.3 定义的分布因子 (见图 4.4.3)；

C_W ——按航区类别由 4.2.1(1) 确定；

C_A ——系数，按下式计算：

$$C_A = \frac{7.1 H_A (1 + 1.26 F_{CH})^2}{L}$$

其中： $H_A = \frac{C_W L}{200}$ ，应取不大于 $0.8 C_W$ ；

F_{CH} ——特征傅汝德数；

$$F_{CH} = 0.164 \frac{V_{CH}}{\sqrt{L}};$$

其中：特征航速 V_{CH} ，kn，取 $0.75 V$ 与船舶巡航速度中的大者。

分布因子 F_M

表 4.4.3

| 横剖面位置 | 分布因子 F_M |
|-----------------------|--------------------------|
| $0 \leq x < 0.4L$ | $2.5 \frac{x}{L}$ |
| $0.4L \leq x < 0.65L$ | 1.0 |
| $0.65L \leq x \leq L$ | $2.86 (1 - \frac{x}{L})$ |

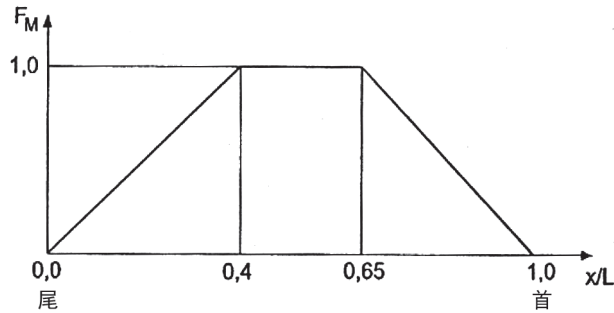


图 4.4.3 分布因子 F_M

4.4.4 船首外飘引起的垂向波浪弯矩增量应按以下计算：

(1) 对于船首具有外飘特征，且满足以下两个条件的船舶，应考虑由于船首外飘引起的中垂波浪弯矩增量：

a) 航速 V 不小于 17.5 kn ；

b)
$$\frac{100F_r A_S}{LB} > 1$$

式中： F_r ——傅汝德数， $F_r = 0.164 \frac{V}{\sqrt{L}}$ ；

A_S ——船首外飘的水平投影面积， m^2 ；见图 4.4.4(1)，可按下式计算：

$$A_S = ba_0 + 0.1L(a_0 + 2a_1 + a_2)$$

其中： a_0, a_1, a_2 ——按图 4.4.4(1) 所示量取， m 。

图 4.4.4(1) 中“外飘最大的那层甲板”应计到首楼甲板（如有时）。

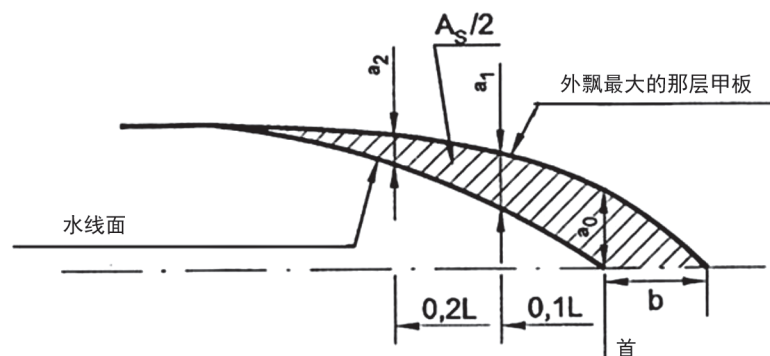


图 4.4.4(1) 船首外飘水平投影面积 A_S

(2) 计入船首外飘引起的波浪弯矩增量后的中垂波浪弯矩 $M_{WV \cdot sf}$ 应从下式得出：

$$M_{WV \cdot sf} = F_D M_{WVS} \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中： F_D ——外飘引起的中垂波浪弯矩增量分布系数，该分布系数见表 4.4.4 (2)，但取值不小于 1.0。

弯矩增量分布系数 F_D 表 4.4.4 (2)

| 横剖面位置 | 增量分布系数 F_D |
|----------------------|--------------------------------------|
| $0 \leq x < 0.4L$ | 1 |
| $0.4L \leq x < 0.5L$ | $1 + 10(C_D - 1)(\frac{x}{L} - 0.4)$ |
| $0.5L \leq x \leq L$ | C_D |

表 4.4.4 (2) 中的 C_D 按下式计算，但取值不大于 1.2：

$$C_D = 262.5 \frac{A_S}{C_W L B (C_B + 0.7)} - 0.6$$

其中： A_S 为船首外飘水平投影面积， m^2 ；见图 4.4.4(1)。

4.4.5 船体任一横剖面的垂向波浪剪力 Q_{wv} 由以下公式确定：

$$Q_{wv} = 30F_Q C_W L B (C_B + 0.7) \times 10^{-2} \quad \text{kN}$$

式中： F_Q ——表 4.4.5 所定义的正剪力和负剪力分布因子，表中

$$A = \frac{190C_B}{110(C_B + 0.7)}, \quad x \text{ 为横剖面的纵坐标。}$$

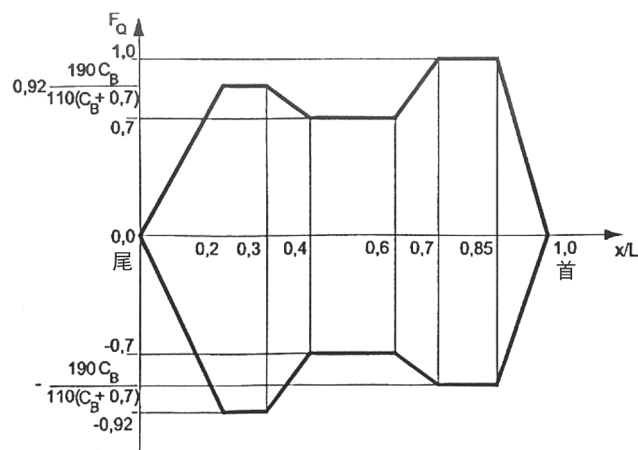


图 4.4.5 剪力分布因子 F_Q

正剪力和负剪力分布因子

表 4.4.5

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

4.4.6 应按以下算式分别计算船舶中拱状态和中垂状态时的垂向弯矩 M_V 及垂向剪力 Q_V :

① 中拱状态时船体梁任一横剖面的垂向弯矩 M_{VH} 为:

$$M_{VH} = M_{SW} + M_{WVH} \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

② 中垂状态时, 船体梁任一横剖面的垂向弯矩 M_{VS} 为:

$$M_{VS} = M_{SW} + M_{WV \cdot Sf} \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

③ 不论中拱或中垂状态, 船体梁任一横剖面的垂向剪力 Q_V 由下式确定:

$$Q_V = Q_{SW} + Q_{WV} \quad \text{kN}$$

4.5 局部设计载荷

4.5.1 船底和舷侧的计算压力应按以下情况分别计算。

(1) 满载水线以下船底和舷侧部位的海水压力 P_1 应按以下公式得出:

$$P_1 = 9.81h_0 + P_w \quad \text{kN/m}^2$$

式中: h_0 —— 载荷计算点到满载水线的垂直距离, m;

P_w —— 载荷计算点波浪的附加水动压力, 由下式得出:

$$P_w = P_\ell + \frac{135y}{B + 75} - 25C_w \frac{h_0}{L} \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{其中: } P_{\ell} = (K_s C_w + f)(0.8 + 0.1 \frac{V}{\sqrt{L}}) \quad \text{kN/m}^2$$

K_s ——系数, 根据载荷计算点的纵坐标 x 按下式确定:

$$K_s = 2 + \frac{3.1}{\sqrt{C_B}} \quad \text{当 } x \leq 0$$

$$K_s = 2.5 \quad \text{当 } 0.2L \leq x \leq 0.7L$$

$$K_s = 10 \quad \text{当 } x \geq 1.0L$$

当 x 在上述区域之间, K_s 线性插值。

f ——载荷计算点所在横剖面上, 从满载水线到舷侧顶点 (计及首楼) 的垂直距离, m; 但不大于 C_w ;

C_w ——按本章 4.2.1(1) 确定;

y ——载荷计算点到船中纵剖面的水平距离, m, 但不小于 $B/4$ 。

(2) 距尾端 $0.65L \sim 1.0L$ 范围内的船底区域 (系指从基线至 $0.2T$ 的垂向区域) 的海水压力 P_1' , 应按下式算得:

$$P_1' = 162C_1 K_s \sqrt{L} \quad \text{KN/m}^2$$

式中: C_1 ——系数:

$$C_1 = 3.6 - 6.5 \left(\frac{T}{L}\right)^{0.2}, \quad \text{取不大于 } 1.0;$$

K_s ——系数, 根据载荷计算点的纵坐标 x 按下式确定:

$$K_s = 0.65, \quad \text{当 } x = 0.65L;$$

$$K_s = 1.0, \quad \text{当 } x = (0.75 \sim 0.85)L;$$

$$K_s = 0.35, \quad \text{当 } x = 1.0L;$$

当 x 在上述区域之间, K_s 线性插值。

(3) 满载水线以上的舷侧的海水压力 P_2 应按以下公式得出:

$$P_2 = (K_s C_w + f)(0.8 + 0.1 \frac{V}{\sqrt{L}}) + \frac{135y}{B + 75} - 4h_0 \quad \text{kN/m}^2$$

式中: h_0 、 f 和 y ——同 4.5.1(1) 条规定;

K_s ——系数, 根据载荷计算点的纵坐标 x 按下式确定:

$$K_s = 4, \quad \text{当 } x \leq 0;$$

$$K_s = 2.5 \quad \text{当 } 0.2L \leq x \leq 0.7L;$$

$$K_s = 6, \quad \text{当 } x = 0.9L;$$

$$K_s = 5, \quad \text{当 } x \geq 1.0L。$$

当 x 在上述区域之间, K_s 线性插值。

对于舷侧, P_2 取值不小于 $(6.25 + 0.025L)$ kN/m^2 。

(4) 距尾端 $0.65L \sim 1.0L$ 范围内的首部舷侧区域 (该区域包括距基线 $0.2T$ 以上的舷侧区域, 如有时, 包括首楼), 应考虑由于舷侧外飘引起的波浪冲击压力, 应按下列式计算:

$$P_{sl} = KP \quad \text{kN/m}^2$$

式中: P —— 对于在满载水线以上的载荷计算点, 按 4.5.1(3) 确定的海水压力 P_2 , kN/m^2 ;
 对于在满载水线以下的载荷计算点, 按 4.5.1(1) 确定的海水压力 P_1 , kN/m^2 ;
 K —— 系数, 按下式计算:

$$K = \frac{C_{FL}(0.2V + 0.6\sqrt{L})^2}{42C_w(C_B + 0.7)[1 + \frac{20}{C_B}(\frac{x}{L} - 0.7)^2]}(10 + z - T)$$

其中: x, z —— 载荷计算点的 x 坐标和 z 坐标, m ;

C_w —— 见本章 4.2.1 (1)。

C_{FL} —— 系数, 取:

$$C_{FL} = 0.8 \quad \text{一般情况}$$

$$C_{FL} = \frac{0.4}{1.2 - 1.09\sin\alpha} \quad \text{当外飘角 } \alpha \text{ 大于 } 40^\circ$$

(5) 按 4.5.1 条算得的 P_1 、 P_1' 、 P_2 和 P_{sl} , 可按船舶航区类别分别折减如下:

- a) 对于 1 类航区的船舶, C_w 可减少 5%;
- b) 对于 2 类航区的船舶, C_w 可减少 10%;
- c) 对于 3 类航区的船舶, C_w 可减少 15%。

4.5.2 露天甲板及上层建筑 / 甲板室的各层露天甲板, 及其上的甲板室侧壁板和后壁板下缘的压力 P_3 应按下列式计算, 但不小于 5 kN/m^2 :

$$P_3 = 0.3 \frac{L}{\sqrt{h_0}} [4(x/L)^2 - 3(x/L) + 1] \quad \text{kN/m}^2$$

式中: x —— 载荷计算点的纵坐标, m ;

h_0 —— 载荷计算点到满载水线的垂直距离, m 。

4.5.3 各层露天甲板上的上层建筑 / 甲板室的前端壁板下缘的压力 P_3 应在按 4.5.2 算得的 P_3 值基础上, 增加 50%。

4.5.4 当露天甲板或上层建筑甲板上装有重物时，除应计入重物的重量外，还需考虑船舶摇摆引起的惯性力的作用。

4.5.5 非露天甲板的计算压力 P 由下式得出：

$$P = P_1 + 4.9 \quad \text{kN/m}^2$$

式中： P_1 ——设备、物品引起的载荷，包括静载荷和动载荷。

4.5.6 水密舱壁的计算载荷 P 应按以下公式计算，但不得小于 0：

$$P = 9.81(T - z + h_B) \quad \text{kN/m}^2$$

式中： T ——满载排水量时的吃水，m；

z ——所计算构件距基线的高度，m；

h_B ——附加压头高度，m，见图 4.5.6(1) 和图 4.5.6(2)，根据船舶的型式及水密舱壁的纵坐标 x 确定：

$$h_B = \frac{7}{6}F_A \quad \text{当 } X = 0;$$

$$h_B = \frac{1}{2}F \quad \text{当 } X = 0.375L - 0.625L;$$

$$h_B = \frac{7}{6}F_F \quad \text{当 } X = L$$

当 X 在上述区域之间， h_B 线性插值。

上式中： F ——船中处主甲板距满载水线的高度，m；

F_A ——对于无长首楼或桥楼的船舶，取 $F_A = F$ ；

对于有长首楼或桥楼的船舶，取 F_A 为船中处的长首楼甲板 / 桥楼甲板距满载水线的高度，m；

F_F ——对于无长首楼和桥楼的船舶，取为 $x = L$ 处主甲板距满载水线的高度；

对于有长首楼的船舶，取 F_F 为 $x = L$ 处长首楼甲板距满载水线的高度；

对于桥楼型船舶，取 F_F 为船中处桥楼甲板距满载水线的高度，m。

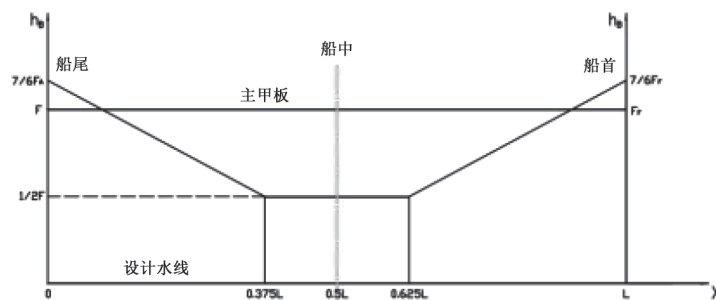


图 4.5.6(1) 无长首楼的附加压头

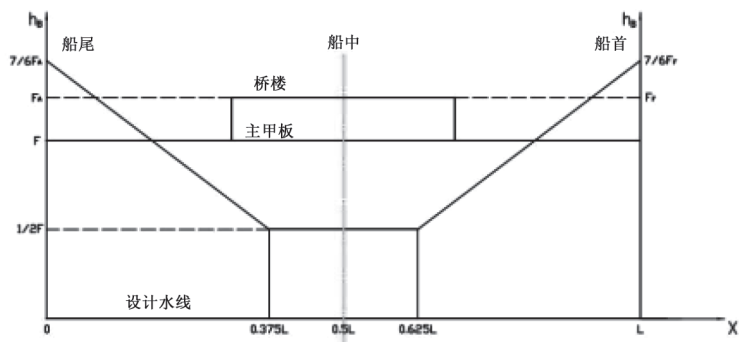


图 4.5.6(2) 有桥楼的附加压头

4.5.7 防撞舱壁的压力 P 应按下式计算:

$$P = 9.81(T - z + h_B) + 13.24 \quad \text{kN/m}^2$$

式中: T 、 z 、 h_B , 见 4.5.6。

4.5.8 液舱周界的计算压力 P , 取以下二者中的大值:

$$P = (9.81 + 0.5a_v)h \quad \text{kN/m}^2$$

$$P = 9.81(h + h_p) \quad \text{kN/m}^2$$

式中: a_v —— 该处船舶的垂向加速度 m/s^2 , 按 4.3.6 计算;

h —— 压力计算点到液舱顶的垂直距离, m ;

h_p —— 液舱顶到空气管顶的垂直距离, m 。

4.5.9 内底板的压力 P 按该内底所在舱段水密舱壁的计算载荷 P 计算, 见 4.5.6。如内底板作为液舱周界的一部分, 还应考虑 4.5.8 规定的计算压力。

第5章 船体梁强度

5.1 一般要求

5.1.1 凡属下列情况之一的船舶应校核船体梁强度：

- (1) 船长 L 大于 50m 的船舶；
- (2) 强力甲板在船中 $0.4L$ 范围内有开口宽度超过强力甲板宽度之半的大开口。

5.1.2 应对船舶各装载状态下的总纵强度进行校核。

5.1.3 校核剖面应选择在船中 $0.4L$ 范围处、最大剪力作用处、甲板和舷侧的大开口处、船体剖面重大改变处及骨架形式变化处等。

5.1.4 船体梁横剖面应考虑由对船体梁纵向强度起作用的构件组成。凡剖面两边长度均大于型深 D 的纵向构件，均可计入船体梁剖面。主机基座和舳龙骨不应计入。

5.1.5 在距尾端 $0.25L \sim 0.75L$ 范围内，长度大于 $0.15L$ ，且大于自身高度 6 倍，并至少支持在 3 个横舱壁的上层建筑或甲板室，且不设置弹性接头时，应视为完全参与总纵强度，可计入船体梁剖面。

5.1.6 凡不满足 5.1.5 所述条件中任一条件的上层建筑或甲板室，则视为其不参与总纵强度，不计入船体梁剖面。如要考虑其部分参与船体梁强度，则应采用直接计算法确定其参与程度。

5.1.7 船体梁剖面特性计算时，该剖面处强力甲板上长度超过 2.5m 或宽度超过 1.2m 的椭圆形开口，以及直径超过 0.9m 的圆形开口，应从船体梁剖面面积内扣除。

5.2 船体梁剖面模数和静矩

5.2.1 船体横剖面上任何一点的剖面模数 Z_A 由下式得出：

$$Z_A = \frac{I_Y}{|z - N|} \quad \text{m}^3$$

式中： I_Y ——所校核横剖面对其水平中和轴的惯性矩， m^4 ；

z ——参考坐标系下的 Z 坐标， m ；

N ——所校核横剖面的水平中和轴距基线的高度， m 。

5.2.2 计算基线以上高度 Z 处的静矩 $S(\text{m}^3)$ 时, 如计算点在水平中和轴以上时, S 为通过计算点的水平线以上的所有构件对水平中和轴的静矩。如计算点在水平中和轴以下时, 则 S 为通过计算点的水平线以下所有构件对水平中和轴的静矩。

5.3 船体梁应力

5.3.1 所校核横剖面上任何一点由垂向弯矩引起的正应力 σ_1 由下式得出:

$$\sigma_1 = \frac{M_V}{Z_A} \times 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: M_V ——船体梁垂向弯矩, $\text{kN}\cdot\text{m}$, 按 4.4.6 确定;

Z_A ——所校核横剖面上任何一点处的剖面模数, 按 5.2.1 计算, m^3 。

5.3.2 对船中之前和之后最大垂向剪力处的两个横剖面, 应分别校核该剖面处舷侧外板与纵舱壁的剪切强度。下式为计算点处 (距基线高度为 z) 剪切应力 τ_1 的计算公式, 应沿垂向取最大剪切应力进行校核:

$$\tau_1 = \frac{Q_V S}{I_y t} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: t ——距基线高度为 z 处计算点的两舷舷侧外板与纵舱壁壁板的厚度之和, mm ;

S ——按 5.2.2 计算距基线高度 z 处的计算点的静矩, m^3 ;

Q_V ——船体梁的垂向剪力, kN , 按 4.4.6 确定;

I_y ——所校核横剖面对其水平中和轴的惯性矩, m^4 。

5.4 船体梁屈服强度校核衡准

5.4.1 应根据 5.1.2 规定, 对选定的横剖面校核船体梁的屈服强度。按 5.3.1 核算所得的垂向弯矩作用下的正应力 σ_1 , 不论在中拱或中垂状态均应符合下式:

$$\sigma_1 \leq [\sigma_1] \quad \text{N/mm}^2$$

式中: $[\sigma_1]$ ——许用正应力:

$$[\sigma_1] = \frac{175}{k} \quad \text{N/mm}^2, \text{ 船中 } 0.4L \text{ 区域};$$

$$[\sigma_1] = \frac{125}{k} \quad \text{N/mm}^2, \text{ 船端 } 0.1L \text{ 区域};$$

其余区域用线性内插法求得, 其中 k 为材料系数。

5.4.2 应根据 5.1.2 规定，对选定的横剖面校核船体梁的剪切强度。按 5.3.2 核算所得的剪切应力 τ_1 ，不论是正剪切应力或负剪切应力，其绝对值均应符合下式：

$$|\tau_1| \leq [\tau_1] \quad \text{N/mm}^2$$

式中： $[\tau_1]$ ——许用剪切应力：

$$[\tau_1] = \frac{110}{k} \quad \text{N/mm}^2$$

k ——材料系数。

5.5 船体梁刚度校核

5.5.1 如果船体材料采用屈服应力 R_{eH} 大于 235N/mm^2 的高强度钢，则应校核船体梁的刚度，对于船长 L 小于 70m 的船舶可免于校核船体梁刚度。

5.5.2 船体刚度按船舶满载排水量状态下所受到的垂向弯矩 M_V 作用下求得的船体挠度曲线来校核。钢质船舶的最大挠度应不大于 $L/500$ 。船体梁横剖面的垂向挠度 ν 可按下式计算：

$$\nu = \frac{10^{-6}}{E} \int_0^x \int_0^x \frac{M(x)}{I_y(x)} dx \cdot dx - \frac{10^{-6} x}{EL} \int_0^L \int_0^x \frac{M(x)}{I_y(x)} dx \cdot dx \quad \text{m}$$

式中： $M(x)$ ——沿船长变化的船体梁垂向弯矩， $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

$I_y(x)$ ——沿船长变化的船体横剖面对水平中和轴的惯性矩， m^4 ；

x ——横剖面的 x 坐标， m ；

E ——船体材料的弹性模量，对于钢质船体取 $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

按上式计算船体梁横剖面垂向挠度 ν 时，应在整个船长 L 范围内将船体梁 10 等分，除首、尾端剖面外，取 9 个横剖面计算。

5.6 屈曲强度

5.6.1 船长 L 为 60m 及以上的船舶应校核其船体梁屈曲强度。

5.6.2 对于参与总纵强度并承受船体梁压缩应力的构件，均应校核其屈曲强度，并保证其不丧失稳定性。

5.6.3 对于参与总纵强度并承受船体梁剪切应力的舷侧外板和纵舱壁板，应校核其剪切屈曲强度，保证其在垂向剪力作用下不丧失稳定性。

5.6.4 在按 5.6.6(2) 和 (3) 计算欧拉应力时, 构件的计算厚度应为设计厚度减去两个表面的扣除厚度之和。每一个表面的扣除厚度按下表规定取值:

构件表面扣除厚度

表 5.6.4

| 构件表面所处环境 | | 扣除厚度 (mm) |
|-----------|----------------------------|-----------|
| 压载舱 | | 1.0 |
| 燃油舱 | 与水平面夹角 $\leq 25^\circ$ 的板材 | 0.75 |
| | 与水平面夹角 $> 25^\circ$ 的板材 | 0.5 |
| | 次要构件和主要构件 | 0.75 |
| 机舱、储藏舱等 | | 0.25 |
| 外部海水 | | 0.5 |
| 外部空气环境 | | 0.25 |
| 工作舱室及起居舱室 | | 0 |

注: 铝合金构件表面扣除厚度取 0。

5.6.5 屈曲强度校核衡准如下:

(1) 受压构件应满足如下衡准:

$$\frac{\sigma_C}{\sigma_1} \geq 1.0$$

式中: σ_1 ——按 5.3.1 算得的负值正应力即压应力, N/mm^2
 σ_C ——构件受压时的临界屈曲应力, N/mm^2 , 见 5.6.6。

(2) 受剪切力作用的舷侧板和纵舱壁板应满足如下衡准:

$$\frac{\tau_C}{\tau_1} \geq 1.0$$

式中: τ_1 ——按 5.3.2 算得的剪切应力, N/mm^2 。
 τ_C ——构件受剪时的临界剪切屈曲应力, N/mm^2 , 见 5.6.7。

5.6.6 受压构件的临界屈曲应力按以下确定:

(1) 受压板格以及带板纵骨的临界屈曲应力 σ_C 可按本条 (2) 和 (3) 算得的欧拉应力 σ_E , 由下列各式取得:

$$\sigma_C = \sigma_E \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{当} \quad \sigma_E \leq \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_C = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_E} \right) \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{当} \quad \sigma_E > \frac{R_{eH}}{2}$$

如受压构件为锰钢 ($R_{eH}=390 \text{ N/mm}^2$), 构件的临界屈曲应力 $\sigma_C (\text{N/mm}^2)$ 可按表 5.6.6 查得。

构件的临界屈曲应力

表 5.6.6

| σ_E (N/mm ²) | σ_C (N/mm ²) | σ_E (N/mm ²) | σ_C (N/mm ²) |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 20 | 20 | 400 | 310 |
| 40 | 40 | 420 | 320 |
| 60 | 58 | 440 | 330 |
| 80 | 76 | 460 | 338 |
| 100 | 94 | 480 | 344 |
| 120 | 112 | 500 | 352 |
| 140 | 130 | 520 | 358 |
| 160 | 146 | 540 | 364 |
| 180 | 163 | 560 | 372 |
| 200 | 180 | 580 | 378 |
| 220 | 194 | 600 | 382 |
| 240 | 210 | 650 | 394 |
| 260 | 224 | 700 | 404 |
| 280 | 238 | 750 | 414 |
| 300 | 250 | 800 | 424 |
| 320 | 264 | 850 | 438 |
| 340 | 276 | 900 | 442 |
| 360 | 290 | 950 | 450 |
| 380 | 300 | 1000 | 458 |

(2) 受压板格的欧拉应力 σ_E 可按下式计算:

$$\sigma_E = 0.9K_c E \left(\frac{t}{1000s} \right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

式中: t —— 板的计算厚度, mm, 按 5.6.4 扣除;

E —— 材料的弹性模量, N/mm²; 对于普通船用钢, $E=2.06 \times 10^5$ N/mm²;

s —— 板格短边长度, m;

K_c —— 系数, 按下列公式计算:

$$K_c = \frac{8.4}{\psi + 1.1}, \text{ 对于具有与压应力平行的纵向加强筋的板;}$$

$$K_c = C \left[1 + \left(\frac{s}{l} \right)^2 \right]^2 \frac{2.1}{\psi + 1.1}, \text{ 对于具有与压应力垂直的横向加强筋的板。}$$

其中: l —— 板格的长边长度, m;

$C = 1.3$, 由肋板或高腹板梁扶强的板格;

$C = 1.21$, 加强筋是角钢或 T 型材;

$C = 1.10$, 加强筋是球扁钢;

$C = 1.05$, 加强筋是扁钢;

ψ —— 为板格最小与最大压应力之比值, $0 \leq \psi \leq 1$ 。

(3) 带板纵骨的欧拉应力 σ_E 可按下式计算:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 EI}{Al^2} \times 10^{-4} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: I ——带板纵骨的剖面惯性矩, cm^4 ; 计算时构件厚度按 5.6.4 扣除, 带板宽度按 3.1.5 取定;

A ——带板纵骨的剖面面积, cm^2 ; 计算时构件厚按 5.6.4 扣除, 带板宽度按 3.1.5 取定;

E ——材料的弹性模量, N/mm^2 ; 对于普通船用钢, $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$;

l ——纵骨跨距, m 。

(4) 受压的纵向主要构件如甲板纵桁、船底纵桁和舷侧纵桁等 T 型组合型材的面板的临界屈曲应力 σ_C , 可从表 5.6.6 中查得。面板的欧拉应力 σ_E 应按下式算得:

$$\sigma_E = 8.33 \left(\frac{100t}{b} \right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

式中: t ——面板厚度, mm ; 按 5.6.4 规定扣除;

b ——面板宽度的一半, mm 。

5.6.7 受剪切力作用的构件临界剪切屈曲应力按如下确定。

(1) 临界剪切屈曲应力 τ_C 按下式计算:

$$\tau_C = \tau_E \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{当} \quad \tau_E \leq \frac{\tau_S}{z}$$

$$\tau_C = \tau_S \left(1 - \frac{\tau_S}{4\tau_E} \right) \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{当} \quad \tau_E > \frac{\tau_S}{z}$$

式中: $\tau_S = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$

τ_E ——构件受剪时的欧拉剪切应力, N/mm^2 , 按 5.6.7(2) 计算。

(2) 构件受剪时的欧拉剪切应力 τ_E 按下式计算:

$$\tau_E = \frac{K\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t_b}{1000s} \right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

式中: t_b ——按 5.6.4 扣除后的板厚, mm ;

s ——板格短边长度, m ;

E ——弹性模量, N/mm^2 , 普通钢取 2.06×10^5 ;

μ ——泊松比, 钢材取 0.3;

K ——系数, $K = 5.34 + 4 \left(\frac{s}{l} \right)^2$;

l ——板格的长边长度, m 。

第 6 章 船体构件尺寸

6.1 板材

6.1.1 本条要求适用于承受侧向压力板材的弯曲强度校核。承受船体梁压应力的板材还应满足本指南第 5 章的屈曲强度要求。

6.1.2 基本板格是次要构件之间板材的最小未加强部分。

6.1.3 板格的载荷计算点取板格的下缘。

6.1.4 本条计算所得的板厚，其值等于或大于 4 mm 时，如小数等于或小于 0.25mm，可予不计；如大于 0.25mm 且小于 0.75mm，应取为 0.5mm；如等于或大于 0.75mm，应取为 1.0mm。其值小于 4 mm 时，如小数等于或小于 0.15mm，可予不计；如大于 0.15mm 且小于 0.65mm，应取为 0.5mm；如等于或大于 0.65mm，应取为 1.0mm。

6.1.5 有关板的符号定义如下：

s ：板格短边长度，m；

ℓ ：板格长边长度，m；

C_1 ：有曲率板的折减系数， $C_1 = 1 - 0.5s/r$ ，其中 r 为板的曲率半径，m；

C_2 ：板格短边与长边比的修正系数：

$$C_2 = \ell/s * (1 - 0.25\ell/s) \quad \text{如 } \ell/s < 2$$

$$C_2 = 1.0 \quad \text{如 } \ell/s \geq 2$$

P ：板格所受侧向压力， kN/m^2 ，按第 4 章取值。

R_{elH} ：钢材屈服应力， N/mm^2 ，见 CCS《材料与焊接规范》有关规定。

$R_{P0.2W}$ ：铝合金板材焊接后的屈服强度，取退火状态的规定非比例伸长强度， N/m^2 ，见 CCS《材料与焊接规范》有关规定。

6.1.6 最小板厚

(1) 钢板实取厚度应不小于表 6.1.6(1) 中的值。

最小板厚 (钢质)

表 6.1.6(1)

| 部位 | | 船长 $L(\text{m})$ | 最小板厚 t_{\min} (mm) | |
|-----------|----------|---|-----------------------------|-----------------------|
| 船底 | 船底外板 | — | $\frac{L}{30} + 2$, 且不小于 4 | |
| | 内底板 | $L < 80$ $L \geq 80$ | 4 5 | |
| 舷侧 | 舷侧外板 | — | $\frac{L}{30} + 2$, 且不小于 4 | |
| 甲板与平台 | 强力甲板 | $L < 60$ $60 \leq L < 80$ $L \geq 80$ | 3 4 5 | |
| | 其他甲板、平台 | — | 3 | |
| 水密舱壁 | 主纵 / 横舱壁 | | 舱壁下部 | 舱壁中部和上部 |
| | | $L < 80$ $L \geq 80$ | 4 5 | 3 3 |
| | 液舱舱壁 | — | 4 | |
| 上层建筑或短甲板室 | 顶板与外壁板 | | 顶板 | 外壁板 |
| | | $L < 60$ $L \geq 60$ | 3 3 | 2.5 ^① 3 |

注：① 如为铝质甲板室，最小板厚为 3mm。

(2) 平板龙骨的板厚应比相邻船底外板板厚要求值增厚 1~3 mm。平板龙骨宽度一般为 1000~1800mm。

(3) 舷顶列板的厚度应不小于强力甲板边板的厚度。对于船长 L 等于和大于 80m 的船舶的舷顶列板宽度应为 1000~1500mm。

(4) 距尾端 $0.25L \sim 0.75L$ 范围内的强力甲板边板厚度应较相邻甲板板厚要求值增加 20~30%。该甲板边板的宽度一般为 750~1500mm。

(5) 距尾端 $0.25L \sim 0.75L$ 范围内的强力甲板厚度还应满足下式：

$$t \geq \frac{s}{1.252} \sqrt{\sigma_c} \quad \text{mm}$$

式中： s —— 强力甲板板格的短边长度，m；

σ_c —— 强力甲板的临界屈曲应力， N/mm^2 ，见 5.6.6。

(6) 螺旋桨上方前后一倍螺旋桨直径范围内的船底外板厚度应不小于该处平板龙骨厚度。

6.1.7 局部强度要求的板厚按如下计算：

(1) 船底与舷侧受波浪冲击力作用或受波浪冲击力和海水压力共同作用的钢质船底板格和舷侧板格的厚度 t 应不小于下式所得之值：

$$t = 23.5C_1C_2s\sqrt{\frac{P}{R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

(2) 受其他压力的横向承载钢质板格的厚度 t 应不小于下式所得之值:

$$t = 25C_1C_2s\sqrt{\frac{P}{R_{eH}}} \quad \text{mm}$$

(3) 铝合金甲板室的板格厚度 t 应不小于下式所得之值:

$$t = 23.5C_1C_2s\sqrt{\frac{P}{R_{P0.2W}}} \quad \text{mm}$$

6.2 骨材

6.2.1 本条要求适用于承受侧向压力的骨材的弯曲强度及其端部剪切强度校核。承受船体梁压应力的骨材还应满足本指南第 5 章的屈曲强度要求。

6.2.2 骨材载荷计算点按以下确定:

- (1) 对于受均布载荷的骨材, 取骨材跨距 l 的中点作为计算点。
- (2) 对于受线性非均布载荷的骨材, 取其两端载荷平均值的发生点。

6.2.3 有关骨材的符号定义如下:

l : 骨材的跨距, m;

s : 骨材的间距, m, 在跨距中点处沿弦长量取;

W : 骨材(包括带板)的剖面模数, cm^3 ; 骨材带板的有效宽度取 $b_e = s$;

A_e : 骨材端部的有效剪切面积, cm^2 ;

P : 骨材所受的侧向压力, kN/m^2 , 按第 4 章取值;

R_{eH} : 钢材屈服应力, N/mm^2 , 见 CCS《材料与焊接规范》有关规定。

$R_{P0.2W}$: 铝合金型材焊接后的屈服强度, 取退火状态的规定非比例伸长强度, N/mm^2 , 见 CCS《材料与焊接规范》有关规定。

6.2.4 骨材的尺寸要求按以下确定:

(1) 弯曲强度要求的剖面模数

- ① 船底和舷侧受波浪冲击力作用或受波浪冲击力和海水压力共同作用的部位的骨材的剖面模数 W , 应不小于下式计算之值:

$$W = 94 \frac{Psl^2}{R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

- ② 受其他压力作用的船底、舷侧和甲板 (包括非露天甲板 / 上层建筑 / 甲板室的顶板) 部位的骨材的剖面模数 W , 应不小于下式计算之值:

$$W = 106 \frac{Psl^2}{R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

- ③ 水密舱壁、液舱舱壁以及甲板室外壁的骨材剖面模数 W , 应不小于下式计算之值:

$$W = 125 \frac{Psl^2}{R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

- (2) 剪切强度要求的端部有效剪切面积:

- ① 骨材端部的有效剪切面积 A_e 应按下式计算:

$$A_e = 0.01ht \quad \text{cm}^2$$

式中: h —— 骨材腹板高度, mm;

t —— 骨材腹板厚度, mm。

- ② 船底和舷侧受波浪冲击力作用或受波浪冲击力和海水压力共同作用的部位的骨材端部的有效剪切面积 A_e , 应不小于下式计算之值:

$$A_{e\min} = 9.8 \frac{Psl}{R_{eH}} \quad \text{cm}^2$$

- ③ 仅受其他压力作用的船体各部位, 包括船底、舷侧、甲板 (包括非露天甲板 / 上层建筑 / 甲板室的顶板) 的骨材端部的有效剪切面积 A_e , 应不小于下式计算之值:

$$A_{e\min} = 10.87 \frac{Psl}{R_{eH}} \quad \text{cm}^2$$

- ④ 舱壁 (包括水密舱壁、防撞舱壁和液舱舱壁) 以及上层建筑 / 甲板室外壁的骨材端部的有效剪切面积 A_e , 应不小于下式计算之值:

$$A_{e\min} = 13.0 \frac{Psl}{R_{eH}} \quad \text{cm}^2$$

6.2.5 铝合金甲板室的骨材尺寸要求按以下确定。

- (1) 甲板室顶板骨材的剖面模数 W , 应不小于下式计算之值:

$$W = 85 \frac{Psl^2}{R_{P0.2W}} \quad \text{cm}^3$$

(2) 甲板室外壁板骨材的剖面模数 W ，应不小于下式计算之值：

$$W = 100 \frac{Psl^2}{R_{P0.2W}} \quad \text{cm}^3$$

(3) 甲板室顶板骨材的有效剪切面积 A_e ，应不小于下式计算之值：

$$A_{e\min} = 8.6 \frac{Psl}{R_{P0.2W}} \quad \text{cm}^2$$

(4) 甲板室外壁板骨材的有效剪切面积 A_e ，应不小于下式计算之值：

$$A_{e\min} = 10.3 \frac{Psl}{R_{P0.2W}} \quad \text{cm}^2$$

6.3 主要构件

6.3.1 本条要求适用于承受侧向压力的船体主要构件的弯曲强度和剪切强度校核。承受船体梁压应力的主要构件还应满足本指南第 5 章的屈曲强度要求。

6.3.2 本条要求还适用于承受轴向压缩载荷的甲板支柱。

6.3.3 有关船体主要构件的符号定义如下：

b ：主要构件所支承面积的平均宽度，m；

l_g ：主要构件跨距，m；

W ：主要构件（包括带板）的剖面模数， cm^3 ；

A_e ：主要构件端部有效剪切面积， cm^2 ，按下式计算：

$$A_e = 0.01h_w t_w \quad \text{cm}^2 \quad \text{端部无肘板}$$

$$A_e = 0.01h_w t_w + \Delta A_e \quad \text{cm}^2 \quad \text{端部有肘板}$$

式中： h_w ——计算剖面处减去开孔后的腹板实效高度，mm；

t_w ——腹板厚度，mm；

ΔA_e ——端部有肘板时的附加剪切面积， cm^2 ，按肘板面板的水平倾角 θ 取值，见图 6.3.3。

$\theta = 45^\circ$ 时， $\Delta A_e = 0.9f_1$ ； $\theta = 0^\circ$ 时， $\Delta A_e = 0$ ； θ 为中间值，可用插入法求取 ΔA_e ； f_1 为计算剖面处肘板面板的截面积， cm^2 。

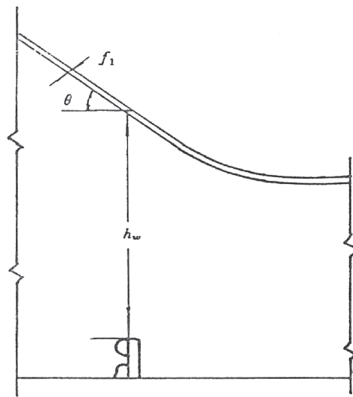


图 6.3.3

P : 主要构件所受的侧向压力, kN/m^2 , 按第 4 章取值;

R_{eH} : 钢材屈服应力, N/mm^2 , 见 CCS《材料与焊接规范》有关规定。

6.3.4 主要构件腹板与面板的最小厚度要求如下:

(1) 腹板的最小厚度分别要求如下:

① 腹板的最小板厚 t_{\min} 应不小于按下式计算之值:

$$t_{\min} = \frac{S_w}{K_1} \quad \text{mm, 当承受弯曲与剪切载荷时;}$$

$$t_{\min} = \frac{S_w}{K_2} \quad \text{mm, 当主要承受压缩载荷时。}$$

式中: S_w —— 板格宽度, mm , 取腹板加强筋的间距;

K_1 、 K_2 —— 系数, 按下表确定:

表 6.3.4(1) ①

| 主要构件材料的屈服应力 R_{eH} N/mm^2 | K_1 | K_2 |
|--------------------------------------|-------|-------|
| 235 | 60 | 47 |
| 315 | 55 | 42 |
| 355 | 52 | 39 |
| 390 | 47 | 37 |

腹板加强筋的厚度一般不小于主要构件腹板的厚度, 宽度一般不小于其厚度的 8 倍, 但不必大于主要构件面板宽度的 0.5 倍 (主要构件为折边型材时不必大于面板的宽度), 或采用中和轴惯性矩 (中和轴与腹部高度方向垂直) 与之等效的其他构件。

② 船底主要构件腹板最小厚度 t_{\min} , 还应满足表 6.3.4(1) ②;

船底主要构件腹板最小厚度 t_{\min} (mm)

表 6.3.4(1) ②

| 船长 L (m) | 中内龙骨或中纵桁 | 旁内龙骨或旁纵桁 | 肋板 |
|-------------|----------|----------|----|
| $L < 80$ | 5 | 4 | 4 |
| $L \geq 80$ | 6 | 5 | 5 |

③ 舷侧主要构件腹板最小厚度 t_{\min} ，还应满足表 6.3.4(1) ③。

舷侧主要构件腹板最小厚度 t_{\min} (mm)

表 6.3.4(1) ③

| 船长 L (m) | 强肋骨、舷侧纵桁 | 肋骨 |
|-------------|----------|----|
| $L < 80$ | 4 | 3 |
| $L \geq 80$ | 5 | 4 |

(2) 面板的最小厚度 t_{\min} 应不小于按下式计算之值：

$$t_{\min} = \frac{b}{18\sqrt{k}} \quad \text{mm}$$

式中： b ——面板宽度，mm；

k ——面板的材料系数。

6.3.5 承受侧向压力的主要构件应满足以下要求：

(1) 剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = K_1 \frac{bl_g^2 P}{R_{eH}} \quad \text{cm}^3$$

式中： K_1 ——系数，对于水密舱壁桁材取 109，其他主要构件取 150。

(2) 构件端部的有效剪切面积 A_e 应不小于按下式计算所得之值：

$$A_e = 13.5 \frac{bl_g P}{R_{eH}} \quad \text{cm}^2$$

(3) 对于采用交叉梁结构的主要构件，可按本指南第 7 章的要求计算，确定构件尺寸。

6.3.6 承受轴向压缩载荷的甲板支柱应满足以下屈曲强度的要求。

(1) 对于承受轴向压缩载荷的甲板支柱，其压缩应力 σ_p 应不超过按本条 (2) 计算的临界屈曲应力 σ_c 。甲板支柱的压缩应力 σ_p 应按下式计算：

$$\sigma_p = \frac{Pab + P_0}{A} \times 10 \quad \text{N/mm}^2$$

式中： P ——支柱所支承甲板上的平均垂向载荷， kN/m^2 ，按第4章计算确定；
 P_0 ——在计算支柱同一垂线上，上面的支柱承受的垂向载荷， kN ；
 a ——支柱所支持甲板面积的长度， m ；
 b ——支柱所支持甲板面积的宽度， m ；
 A ——支柱的横剖面面积， cm^2 。

(2) 甲板支柱临界屈曲应力 σ_C 应按下式计算：

$$\sigma_C = \sigma_E \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{当 } \sigma_E \leq \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_C = R_{eH} \left(1 - \frac{\sigma_{eH}}{4\sigma_E} \right) \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{当 } \sigma_E > \frac{R_{eH}}{2}$$

式中： σ_E ——受压支柱的欧拉应力， N/mm^2 ；应按下式计算：

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 EI}{Al^2} \times 10^{-4}$$

其中： E ——支柱材料弹性模量， N/mm^2 ；

$E = 2.06 \times 10^5$ ——钢质；

$E = 0.69 \times 10^5$ ——铝合金；

A ——支柱横剖面面积， cm^2 ；

l ——支柱的长度， m ；

I ——支柱横剖面对中和轴的最小惯性矩， cm^4 。

6.3.7 设置在主要构件上的腹板加强筋，其剖面惯性矩应分别符合下述要求：

(1) 垂直加强筋的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I = 11.4 l s^2 t \left(2.5 \frac{l}{s} - 2 \frac{s}{l} \right) \quad \text{cm}^4$$

式中： t ——主要构件腹板厚度， mm ；

l ——腹板加强筋的长度， m ；

s ——加强筋间距， m 。

(2) 水平加强筋的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

对于甲板、舷侧和船底纵桁：

$$I = 1.43 l^2 A \quad \text{cm}^4$$

式中： l ——腹板加强筋的长度， m ；

A ——加强筋连同带板的横剖面面积（带板厚度可不计入直接强度分析要求增加的厚度）， cm^2 。

对于其他主要构件：

$$I = 0.72l^2A \quad \text{cm}^4$$

式中： l ——腹板加强筋的长度，m；

A ——加强筋连同带板的横剖面积（带板厚度可不计入直接强度分析要求增加的厚度）， cm^2 。

第 7 章 直接强度分析

7.1 局部结构强度分析

7.1.1 本条规定了船体局部结构强度直接计算的方法。

7.1.2 模型范围应包括需要分析的区域，并延伸足够的范围，以消除边界条件的影响。

7.1.3 船体的内外壳板与强框架、纵桁、肋板、平面舱壁桁材、强肋骨等的高腹板用板单元模拟。在高应力区和高应力变化区应尽可能避免使用三角形单元，如减轻孔、人孔、邻近折角或结构不连续处。

7.1.4 对于承受侧向压力的各类板上的扶强材用梁单元模拟，并考虑偏心的影响；非水密纵桁和肋板上加强筋、肋骨和肘板等主要构件的面板或加强筋可用杆单元模拟。

7.1.5 网格划分应符合以下原则：

(1) 在横向或垂向按纵骨间距或类似的间距划分，纵向按肋骨间距或类似的间距大小划分，舷侧也参照该尺寸划分，网格形状应尽量接近正方形。

(2) 船底纵桁和肋板在腹板高度方向一般应不少于 3 个单元。

(3) 板单元的长宽比通常应不超过 3。模型中应尽可能减少使用三角形板单元。在可能产生高应力或高应力梯度的区域内，板单元的长宽比应尽可能接近 1。

7.1.6 模型前后端为对称边界条件，该处横舱壁与舷侧交线横向、垂向线位移为零。

7.1.7 载荷应包括本指南第 4 章规定的甲板载荷（包括露天和非露天）、舷侧海水压力、液舱压力、船底载荷、舱壁压力等，进行合理组合后在结构模型上施加。

7.1.8 许用应力取为：

$$\text{许用相当应力: } [\sigma] = 180/k \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{许用剪切应力: } [\tau] = 94/k \quad \text{N/mm}^2$$

式中： k ——材料系数。

$$\text{相当应力: } \sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

σ_x —— 平面应力状态下结构任一点 X 坐标方向的正应力, N/mm^2 ;
 σ_y —— 平面应力状态下结构任一点 Y 坐标方向的正应力, N/mm^2 ;
 τ_{xy} —— 平面应力状态下结构任一点 X 坐标方向的剪切应力, N/mm^2 。

7.2 抗冰强度评估

7.2.1 对于需在碎冰航区执行任务的船舶, 应校核船舶在碎冰中航行时船体结构 (外板、肋骨、纵骨) 的抗冰强度要求。

7.2.2 舷侧肋骨的冰载荷计算值 q 按图 7.2.2 确定。载荷作用方向取为垂直于外板方向。

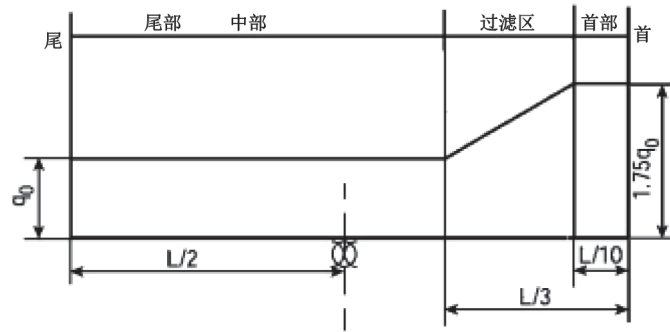


图 7.2.2

图中: q_0 按以下公式计算确定:

$$q_0 = 9.81 K \sqrt[4]{B \cdot \Delta}$$

式中: q_0 —— 中部、尾部区域每米水线长度上的冰载荷, kN/m ;
 B —— 船宽, m ;
 Δ —— 船舶满载排水量, t ;
 K —— 系数, 船舶满载排水量小于 2000t 时取 0.8 , 大于 10000t 时取 1.0 , 其间取 0.9 。

7.2.3 舷侧外板和纵骨的均布压力 p 按以下公式确定:

$$p = 0.002 q$$

式中: p —— 均布压力值, MPa ;
 q —— 按 7.2.2 确定的冰载荷, kN/m 。

7.2.4 按图 7.2.2 和 7.2.2 条公式及 7.2.3 条公式确定的抗冰计算载荷沿舷高的可能作用区域, 应按表 7.2.4 确定。对表中所示以外的其他船宽船舶, 其相应的冰载荷可能作用区域可用线性插值法确定。

表 7.2.4

| 船舶最大宽度, m | 冰载荷可能作用区, m | |
|-----------|-------------|--------|
| | 满载水线以上 | 满载水线以下 |
| 5 | 0.25 | 0.50 |
| 10 | 0.40 | 0.80 |
| 15 | 0.50 | 1.00 |
| 20 | 0.55 | 1.10 |

7.2.5 在按 7.2.2 条确定的计算载荷计算舷侧肋骨抗冰强度时, 应将这一载荷的作用位置设在肋骨受力最不利处。

7.2.6 船体结构抗冰强度校核时, 舷侧骨架和外板的许用应力应满足以下要求:

$$\text{支座处: } [\sigma] = R_{eH}$$

$$\text{跨度间: } [\sigma] = 0.80R_{eH}$$

$$[\tau] = 0.57[\sigma]$$

第8章 其他结构

8.1 首柱

8.1.1 铸钢(锻钢)首柱在满载水线以上0.5m处以下区域的横剖面面积 A 应符合以下公式的规定:

$$A \geq 1.1L$$

式中: A ——首柱横剖面面积; cm^2 ;
 L ——船长; m 。

8.1.2 当首柱采用铸钢(锻钢)与钢板组合形式时,铸钢(锻钢)部分应通到满载水线以上的甲板或平台处,其上则由钢板制成。与铸钢(锻钢)首柱相连接的上部钢板首柱的厚度一般应比相邻的外板板厚要求值增厚25%~50%。

8.1.3 在铸钢首柱上应有水平加强筋。

8.1.4 首柱外露角和边缘应充分倒圆。

8.1.5 沿首柱高度方向应设置首肘板,其间距应不大于0.5m。首肘板应向后延伸至首柱与外板的接线以外,并与纵骨等结构有效地连接。首肘板的尺寸不得小于表8.1.5的规定:

表 8.1.5

| 船长 L m | 首肘板最小允许尺寸 mm | |
|-------------|-----------------|----|
| | 厚度 | 折边 |
| $L < 80$ | 4 | 30 |
| $L \geq 80$ | 5 | 40 |

8.1.6 钢板首柱应满足以下要求:

(1) 满载水线以上0.5m以下区域的钢板首柱的板厚 t ,应不小于下式计算值:

$$t = 0.1L + 3 \quad \text{mm}$$

但上述 t 应不小于船中部外板的最大厚度,并将厚度向上保持至少一层甲板(或平台)以上。

(2) 上述区域以上的钢板首柱的板厚可向上逐渐减小,首柱顶部钢板板厚应至少较其相邻外板板厚要求值增厚25%。

(3) 钢板首柱的连接缝应距首端400~600mm。

8.2 尾轴架

8.2.1 船舶的一根螺旋桨轴上通常设置前后两个尾轴架。后尾轴架一般宜采用双臂支架；前尾轴架一般采用单臂支架。小型船舶上可采用单臂尾轴架。双臂尾轴架两根支撑臂的长度相差尽量要小，其相互夹角一般不应小于 50° 。

8.2.2 尾轴架应安装在肋骨、加强结构或舱壁上。尾轴架臂固定处的外板厚度一般应比相邻的外板板厚要求值加厚 50%，并且不应小于船中部外板的厚度。分段接缝不得通过该加厚板。尾轴架附近底部结构应相应加强。支撑臂伸入船体内部的长度宜为 0.2 ~ 0.25 倍臂长。支撑臂与船体连接用圆弧过渡。

8.2.3 尾轴架强度校核方法如下：

(1) 应采用包括螺旋桨、螺旋桨轴、尾轴架组成的空间组合结构，通过有限元直接计算法校核尾轴架的强度；

(2) 尾轴架强度校核时的设计载荷系假设尾轴以最大转速旋转，螺旋桨发生以下断叶情况时尾轴上产生的离心力和偏心推力：

① 三叶桨断一叶时产生的离心力 C 和偏心推力 P 按下式计算得出：

$$C = (2\pi n)^2 R_1 q_1 \times 10^{-3} \quad \text{kN}$$

$$P = 2P_1 \quad \text{kN}$$

式中： n ——螺旋桨的最大转速，r/s；

R_1 ——每叶桨的重心至桨轴轴线的距离，m；

q_1 ——每叶桨的重量，kg；

P_1 ——每叶桨的推力，kN； $P_1 = Q/3$ ；

Q ——单个螺旋桨的最大推力，kN。

② 四叶桨断相邻两叶时，产生的离心力 C 和偏心推力 P 按下式计算得出：

$$C = \sqrt{2}(2\pi n)^2 R_1 q_1 \times 10^{-3} \quad \text{kN}$$

$$P = 2P_1 \quad \text{kN}$$

式中： n ， R_1 ， q_1 ， Q 同 8.2.3(2) ①

P_1 ——每叶桨的推力，kN； $P_1 = Q/4$ 。

③ 五叶桨断相邻两叶时，产生的离心力 C 和偏心推力 P 按下式计算得出：

$$C = 1.62(2\pi n)^2 R_1 q_1 \times 10^{-3} \quad \text{kN}$$

$$P = 3P_1 \quad \text{kN}$$

式中: n , R_1 , q_1 , Q 同 8.2.3(2) ①

P_1 ——每叶桨的推力, kN; $P_1 = Q/5$ 。

(3) 尾轴架的许用应力由下式确定:

许用正应力 $[\sigma] = 0.8R_{eH}$ N/mm²;

许用剪切应力 $[\tau] = 0.46R_{eH}$ N/mm²。

8.3 主机基座

8.3.1 以柴油机作为主机的主机基座的纵桁腹板及面板的最小厚度视柴油机功率而定, 不应小于表 8.3.1 的规定。

表 8.3.1

| 柴油机功率 kW | 基座纵桁腹板厚度 t mm | 基座纵桁面板厚度 t mm |
|-------------|--------------------|--------------------|
| 370 | 4 | 12 |
| 750 | 5 | 14 |
| 1500 | 6 | 16 |
| 3000 | 8 | 18 |
| 4500 | 10 | 20 |
| 6000 | 12 | 20 |
| 7500 | 14 | 22 |
| 9000 | 16 | 24 |

8.3.2 主机基座纵桁尽量与船底纵桁相重合。否则应在基座纵桁下设置与船底纵桁等厚的局部桁材, 在有内底时, 该桁材可以为倒挂在内底上的 T 型材 (内底纵桁)。横肘板如不能与底部肋板重合, 而且又不能或没有必要设置横向加强材时, 则必须将横肘板横向延伸至最近的底纵桁或适当位置处的船体纵骨上。

8.3.3 主机基座应可靠地固定在船体主要构件 (肋板、底纵桁) 上, 对有不平衡力作用的主机基座, 其两端宜通到主横舱壁上, 并尽量与主横舱壁可靠地连接, 一般在主横舱壁另一侧设置过渡肘板。

8.3.4 主机基座纵桁面板一般应采用肘板加强。肘板一般应在基座横肘板之间均匀分布。主机基座纵桁面板的肘板高度一般应等于主机基座纵桁腹板的高度。只有当主机基座纵桁腹板超过 2 倍主机基座纵桁面板宽度时, 才允许肘板高度不等于腹板高度, 但肘板高度应不小于 2 倍肘板宽度。

8.3.5 主机基座纵桁不应突然终止，而应使其剖面逐步过渡。主机座的基座纵桁腹板一般不应开孔。如必须开孔时应符合 3.2 条规定。

8.3.6 主机基座横肘板和横隔板腹板的厚度可以比基座纵桁腹板的厚度小 1 ~ 2mm，但横肘板和横隔板腹板的厚度不应小于 3mm。

8.3.7 推力轴承基座纵桁腹板厚度一般应与主机基座纵桁腹板的厚度相同。

8.3.8 如有必要，应采用有限元方法计算主机基座的固有频率，以避免主机激振频率，防止发生共振。

8.4 舷墙

8.4.1 如在船中 $0.5L$ 区域内设置长度不小于 $0.15L$ 的舷墙，应采取有效措施，使其不参与船体梁总纵弯曲。

8.4.2 舷墙的强度应能承受海水压力和某些设备载荷。

8.4.3 舷墙上缘应设有扁钢或球扁钢加强。

8.4.4 舷墙在甲板横梁位置上应设置垂向扶强材，扶强材下端用肘板与甲板相连。每 2 ~ 3 个肋距设一个强扶强材。

8.4.5 舷墙上应设有排水孔，但在上层建筑端部加强区域的舷墙上不应开孔。

8.5 吊舱式推进装置支撑结构

8.5.1 吊舱式推进装置的船体支撑构件系指承托吊臂的底座圈梁及其面板 (如有时) 和与其相连及周围的支撑桁材和肋板所组成的正交格栅板架，见图 8.5.1。该板架可设单层底或双层底结构，但在吊舱式推进装置位置处一般应为双层底结构。

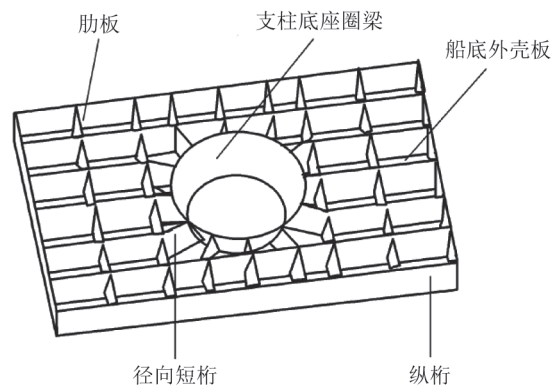


图 8.5.1

8.5.2 通常，径向短桁的外端应与底部纵桁和肋板相连，且在纵向和横向位置上与纵桁和肋板对中连接，将支撑载荷传递到船体结构上。如果径向短桁之间距离过大，应考虑在法兰盘和底座圈梁间设置加强肘板以增加法兰盘的刚度。底座圈梁和桁材的板厚不得小于指南在相同位置处的实肋板或桁材的最小厚度要求。当邻接板厚不同时，应按相关适用要求进行厚度过渡。

8.5.3 一般情况下，底座圈梁与船底外板、内底板或顶部法兰盘之间的连接以及径向短桁与底座圈梁之间的端部连接应采用全熔透焊接，其中，径向短桁的腹板应顶焊到底座圈梁顶部法兰盘的底面，面板（如有时）应顶焊到底座圈梁顶部法兰盘的外侧。其他地方的主要构件应采用最小焊缝系数为 0.34 的双面连续角接焊接。

8.5.4 支撑构件应能抵抗由吊舱式推进装置吊臂传来的最大载荷作用力且具有足够的刚性，以确保在最大载荷下的变形不大于回转轴承工作所需的限定值。该限定值基于吊舱设备操作要求。

8.5.5 支撑结构的布置及其主要构件尺寸应进行直接计算强度评估，有关要求如下：

(1) 结构的模型化（包括单元及网格尺寸等）按船体结构直接计算的常规方法，且边界条件的建立以不影响考察构件的响应结果为原则；

(2) 载荷由吊舱设备厂商 / 设计方提供，一般应考虑吊舱式推进装置正常工况和极限工况（见表 8.5.5 注①）；

(3) 构件的计算应力应不大于其许用应力值。其中，构件的许用应力值为材料的屈服应力除以表 8.5.5 中的相应安全系数。

安全系数

表 8.5.5

| 应力种类 | 工况 | 正常工况 | 极限工况 |
|----------|-----|------|------|
| | 正应力 | | 1.67 |
| 剪应力 | | 2.50 | 2.25 |
| 板单元的相当应力 | | 1.43 | 1.33 |

注：① 正常工况系指正常工作工况，为在正常营运下结构处于不失效的工况；极限工况系指最危险工况，为结构在预期最大载荷作用下的事故工况；
 ② 对于板单元的相当应力校核，仅考察单元形心处的中面（膜）相当应力值，且对于由于形状很差而产生高应力的单元可不予考虑；
 ③ 与基座结构直接相连，且位于三面相交角隅位置上的板单元，其安全系数可适当减少，但不得小于 1.1。如该位置处实施细化网格分析，则该单元的应力值可按折减 5% 计及。

8.5.6 主要构件的尺寸还应不小于本指南对尾部结构的适用要求。

8.6 直升机甲板

8.6.1 直升机甲板结构应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 18 节的相关要求。

第 9 章 船体结构抗碰擦要求

9.1 一般要求

9.1.1 根据船东自愿申请，可按本章 9.2、9.3 和 9.4 要求进行结构抗碰擦加强。

9.1.2 作为替代方法，也可以根据船东需求，采用有限元仿真计算进行防碰擦能力评估。

9.2 主甲板边板和舷顶列板

9.2.1 从首柱向后至 $0.33L$ 范围内的主甲板边板和舷顶列板厚度为规范要求值的 1.15 倍。

9.3 次要构件和主要构件

9.3.1 从首柱向后至 $0.33L$ 范围内主甲板和舷侧上的次要构件和主要构件的剖面模数为规范要求值的 1.25 倍。

9.4 首柱

9.4.1 首柱结构横剖面积为规范要求值的 1.1 倍。

9.5 护舷材

9.5.1 根据公务船防碰撞需要，如有必要时，可增设防撞护舷材结构。