



指导性文件
GD 14-2023

中 国 船 级 社

非高速全铝合金海船结构 指南

2023

2023年3月1日生效

北 京

目 录

第 1 章 一般规定	1
第 2 章 结构设计原则	4
第 3 章 设计载荷	7
第 4 章 船体梁强度	14
第 5 章 局部构件尺寸	18
第 6 章 双体船直接计算	23
第 7 章 屈曲强度	24

第 1 章 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本指南适用于船长 20 米及以上且航行于有限航区的非高速、主船体为铝合金材质的下列海船：

- (1) 客船；
- (2) 渡船；
- (3) 交通船；
- (4) 公务船。

1.1.2 船体材料及焊接应满足 CCS《材料与焊接规范》的适用要求或 CCS 接受的其他标准。

1.1.3 船体焊缝设计应满足 CCS《海上高速船入级与建造规范》第 4 章第 12 节的要求。

1.1.4 若对本指南的计算方法、评定标准及方法等，能提供相应的试验、理论依据、使用经验，经 CCS 同意，可以接受作为代替和等效方法。CCS 也接受其他公认标准，作为等效要求。

1.1.5 符合本指南要求的非高速铝合金船舶可授予“ALY”附加标志。

1.1.6 本指南未规定者，应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇的相关规定。

1.2 图纸资料

1.2.1 图纸资料应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 1 节的要求。

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) 非高速：系指最大航速 V 小于 $3.7 \nabla^{0.1667}$ m/s。
- (2) 最大航速 $V(\text{kn})$ ：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。
- (3) 满载排水量 $\Delta(\text{t})$ ：系指船舶满载且平浮于水面时的排水量。
- (4) 满载排水体积 $\nabla (\text{m}^3)$ ：系指船舶满载排水量所对应的排水体积。
- (5) 船长 $L (\text{m})$ ：即规范船长，系指沿结构吃水处水线，由首柱前缘量至舵柱后缘的长度；对无舵柱的船舶，由首柱前缘量至舵杆中心线的长度；但均不应小于结构吃水处水线总长的 96%，且不必大于 97%。对于具有非常规船首和船尾的船舶，其船长 L 需特别考虑。对于无舵杆的船舶(如设有全回转推进器的船舶)， L 为结构吃水处水线总长的 97%。
- (6) 船宽 $B (\text{m})$ ：系指在船中结构吃水处量取的最大型宽。对于多体船，系指结构吃水对应水线处各片体最大型宽之和。

(7) 型深 D (m)：在船长中点处，沿船舷由平板龙骨上缘量至上层连续甲板横梁上缘的垂直距离；对甲板转角为圆弧形的船舶，则由平板龙骨上缘量至横梁上缘延伸线与肋骨外缘延伸线的交点。

(8) 吃水 T (m)：即结构吃水，系指在船长中点处，由平板龙骨上缘量至结构吃水处水线的垂直距离。结构吃水是满足船舶尺度的强度要求并反映满载工况的吃水，且应不小于核定干舷对应的吃水。

(9) 方形系数 C_B ：系指按下式算得的船型系数：

$$C_B = \frac{\nabla_1}{LBT}$$

式中： ∇_1 ——在结构吃水处的型排水体积， m^3 。

(10) 上层连续甲板：船体的最高一层全通甲板。

(11) 舱壁甲板：各水密横舱壁上伸到达的连续甲板。

(12) 相对参考坐标系：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。

(13) 船中：系指船长 L 之半处。

(14) 强力甲板：①上层连续甲板；②在船中部 $0.5L$ 区域内长度不小于 $0.15L$ 的上层建筑甲板，和此上层建筑区域以外的上层连续甲板。

(15) 上层建筑及甲板室：上层连续甲板上，由一舷伸至另一舷的或其侧壁板离船壳板向内不大于 4%船宽 B 的围蔽建筑为上层建筑，即首楼、桥楼、尾楼。其他的围蔽建筑为甲板室。

(16) 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。

(17) 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。

(18) 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。

(19) 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。

(20) 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 (20) 所示。

表 1.3.1(20)

类别	航行限制	
	距岸距离(n mile)	
1 类航区	200 (夏季/热带*)	100 (冬季*)

类别	航行限制	
	距岸距离(n mile)	
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。

(21) R'_{m} : 焊接状态下母材最小可保证的屈服应力 $R'_{p0.2}$, N/mm², 取不大于焊接状态下母材的最小可保证的抗拉强度 R'_m 的 70%:

$$R'_{p0.2} = \eta_1 R_{p0.2}$$

$$R'_m = \eta_2 R_m$$

$R_{p0.2}$ —— 交货状态下母材最小可保证的屈服应力, N/mm²;

R_m —— 交货状态下母材最小可保证的抗拉强度, N/mm²。 η_1 和 η_2 在表 1.3.1 (21) a 中给出。

焊接结构用铝合金

表 1.3.1(21)a

铝合金	η_1	η_2
未经加工硬化处理的铝合金 (退火状态 O 或退火矫平状态 H111 下 5000 系列)	1	1
经加工硬化处理的铝合金 (除 O 或 H111 状态外 5000 系列)	$R'_{p0.2} / R_{p0.2}$	R'_m / R_m
经热处理硬化的铝合金 (6000 系列) ⁽¹⁾	$R'_{p0.2} / R_{p0.2}$	0.6

注(1): 如无资料提供, 系数 η_1 应取为表 1.3.1 (21) b 所定义的金相效率系数 β ;

$R'_{p0.2}$ —— 焊接状态下材料的最小可保证的屈服应力, N/mm²;

R'_m —— 焊接状态下材料的最小可保证的抗拉强度, N/mm²。

铝合金——金相效率系数 β

表 1.3.1(21)b

铝合金	回火状态	总厚度 (mm)	β
6005A(开口型材)	T5 或 T6	$t \leq 6$	0.45
		$t > 6$	0.40
6005A(闭口型材)	T5 或 T6	所有	0.50
6061 (型材)	T6	所有	0.53
6082 (型材)	T6	所有	0.45

第 2 章 结构设计原则

2.1 一般要求

2.1.1 船体结构设计应确保结构强度能足以承受船舶在满载出港装载状态航行时按本指南第 3 章所规定的设计载荷。

2.1.2 纵骨架式船体结构的纵向构件应保持连续。如纵向次要构件在横舱壁处中断时，在横舱壁两侧应设置连接肘板，位于横舱壁两侧的纵向次要构件和肘板均应对齐，以保持结构连续。

2.1.3 横骨架式结构的横向构件应尽可能保持连续。如横向次要构件在纵舱壁或纵向主要构件处中断时，应在中断处次要构件两侧设置肘板，且两侧的次要构件和肘板应对齐，以保持结构连续。

2.1.4 主要构件的布置应确保其强度有效连续。主要构件的截面形状和腹板高度应避免突变。

2.1.5 船底实肋板、舷侧强肋骨和甲板强横梁应在同一横剖面内形成一个环形结构，保持有效连续。

2.1.6 主要构件腹板上如需开孔，开孔边缘应光滑，开孔角隅应为圆角。开孔高度不应超过腹板高度的 50%，且开孔边缘离主要构件腹板根部或离主要构件面板的距离均不应小于腹板高度的 25%。开孔长度不应超过腹板高度或穿过腹板的两扶强材间距的 0.6 倍（取大者）。开孔的两端应与相邻两扶强材穿过主要构件处保持等间距。主要构件两端 200mm 范围内一般不应开孔。

2.1.7 主要构件腹板上的开孔高度如超过腹板高度三分之一时，开孔必须补强。

2.2 舱壁布置

2.2.1 船体前部应设有一道水密防撞舱壁。该舱壁通常应向上延伸至舱壁甲板。如船舶设有长首楼，则应向上延伸至首楼甲板。防撞舱壁应位于首垂线之后下列的 l (m) 范围内：

(1) 对于无球鼻首的船舶， $l = 0.035L \sim (3+0.05L)$ ；

(2) 对于有球鼻首的船舶， $l = (0.035L - f) \sim (3+0.05L - f)$ ；

式中： f ——取 $G/2$ 或 $0.015L$ 的小者。其中 G 为球鼻首侧投影的最前端到首垂线的水平距离，m。

位于上述限定范围内的水密防撞舱壁，可以具有阶层或凹入。

2.2.2 机舱的两端应分别设置水密横舱壁。机舱设于船尾时，尾尖舱的前壁可构成机舱的后水密横舱壁。

2.3 船底、舷侧及甲板结构

2.3.1 船底桁材应符合下列要求：

- (1) 船底龙骨或船底纵桁通常应穿过水密横舱壁，并向首尾延伸；
- (2) 桁材两端（距舱壁 1.5 倍桁材高度范围内）不应开孔；
- (3) 作为主机底座的桁材一般应延伸至机舱的前后舱壁，且该桁材应自船底直升到机座面板，并应设置肘板，用于桁材的扶强和防倾；
- (4) 推力轴承处的桁材应予以加强。

2.3.2 机舱的每个肋位都应设置实肋板，在齿轮箱和推力轴承处应另行加强。

2.3.3 对于纵骨架式船体，船底肋板的腹板高度一般应不小于纵骨穿过处开孔高度的 2.5 倍；舷侧强肋骨及甲板强横梁的腹板高度一般应不小于纵骨穿过处开孔高度的 2.2 倍。

2.3.4 如设有双层底，双层底的高度应确保能通达双层底下的各个部分，在中内龙骨处的双层底高度不应小于 0.76m。双层底区域的结构与相邻单层底的结构之间应逐渐过渡，双层底的内底板应逐渐过渡为单层底区域船底纵桁的面板。双层底高度如有变化，则应在足够长度范围内逐渐变化，但不得在船中 $0.5L$ 区域内变化。

2.3.5 如舷顶列板为圆弧形，则圆弧半径应不小于舷顶列板板厚的 15 倍。

2.3.6 舷侧板上开孔角隅应为圆形，开孔位置应避开上层建筑端部位置。开孔周围应予以补强。

2.3.7 船中 $0.5L$ 区域内的强力甲板上有较大开口时，开口角隅的形状应为抛物线或椭圆形，并符合图 2.3.7 (1) 的规定。如开口角隅为圆形，则角隅处应用加厚板，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 2.3.7 (2) 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。

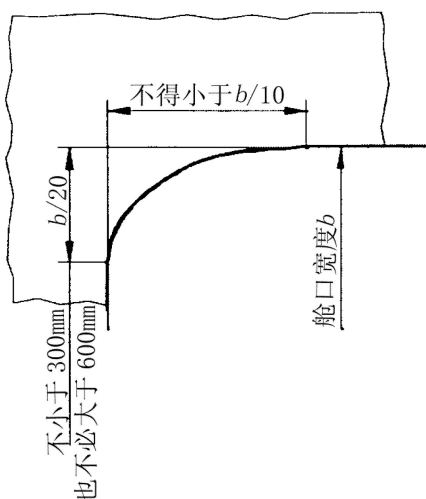


图 2.3.7 (1)

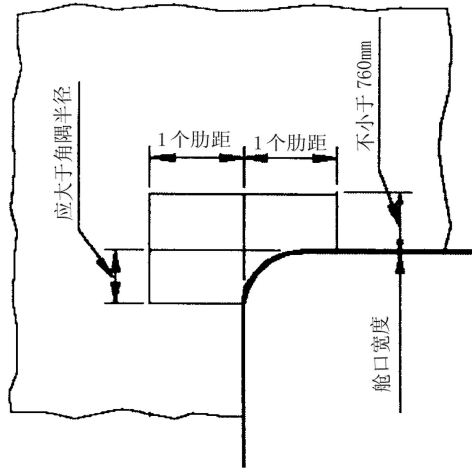


图 2.3.7 (2)

2.3.8 甲板上如设有吊杆、桅杆或者重物，则该处的甲板及支持结构应作适当加强。

2.3.9 露天甲板上如设有游泳池、沐浴池及尾阱等，除应保证其水密外，还应注意保证该处甲板结构的连续性，避免因结构突变而产生应力集中。

2.4 船体首、尾端的布置

2.4.1 船体首、尾端的结构布置应注意保证结构强度的连续性和避免结构突变。

2.4.2 如设有球鼻首，则球鼻首的弯曲部分应位于防撞舱壁之前。球鼻首的前端结构通常应由首柱下伸的中纵桁与若干水平隔板构成。球鼻首的横向垂直隔板应与首尖舱的肋骨位于同一平面。

2.4.3 球鼻首易受锚及其锚链损伤部位的壳板应予以加厚。

2.5 上层建筑和甲板室

2.5.1 露天甲板上第1层上层建筑/甲板室的前、后端壁应尽可能与该甲板下的横舱壁对齐。如确有困难，则端壁处应有甲板下的强横梁或支柱支持。

2.5.2 上层建筑/甲板室的端部处应与主船体结构平滑过渡,避免应力集中。

2.5.3 距甲板室角隅 0.5m 范围内，围壁下的纵桁和强横梁的腹板上不能有任何开孔。

2.5.4 上层建筑/甲板室上如设有吊杆、桅杆或者重物，则该处的结构应予以适当加强。

2.6 液体舱布置

2.6.1 首尖舱不应用作燃油舱。

2.6.2 淡水舱与其他液舱如废水舱之间，应用隔离空舱隔离。

2.6.3 滑油舱与液压油舱之间，应用隔离空舱隔离。

第 3 章 设计载荷

3.1 定义与符号

3.1.1 载荷计算点的取法如下：

(1) 板格的载荷计算点一般取板格沿船长方向的长度中点下缘处或靠近舷侧处。

(2) 扶强材的载荷计算点一般取扶强材跨距的中点处。对于受线形非均布载荷的非水平扶强材，其侧向压力 P 应取完整长度 l 中点处的压力与下列公式得出的值之间的大值：

$$P = \frac{p_U + p_L}{2}, \text{ 当垂直骨材的上端在最低零压力线以下时；}$$

$$P = \frac{l_1}{l} \frac{p_L}{2}, \text{ 当垂直骨材的上端在最低零压力线或之上时，见图 3.1.1。}$$

式中： l_1 ——垂直骨材下端与最低零压力线之间的距离，m；

p_U, p_L ——分别为垂直骨材跨距 l 上下端的侧向压力。

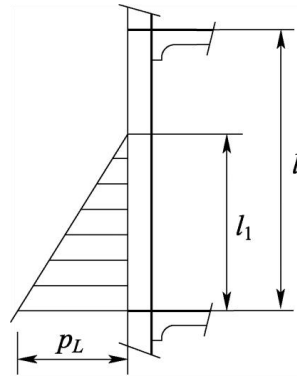


图 3.1.1

(3) 主要构件的载荷计算点取其承载区域的中点。如承载区域载荷为非均布载荷，则应另行考虑。

3.1.2 T_x (m)：系指坐标为 x 的横剖面处的船体吃水。

3.1.3 Z_{kc} (m)：系指坐标为 x 的横剖面处龙骨下缘距基线的高度。龙骨在基线以上为正，在基线以下为负。

3.1.4 船底区域：对于计算横剖面具有舭部颌线的，系指该颌线以下区域。对于计算横剖面为圆舭型的，系指该剖面处的圆舭线与水平成 50° 切线的切点以下区域。

3.1.5 舷侧区域：系指按 3.1.4 定义的船底区域以上直到最高一层露天全通甲板的船侧区域。

3.1.6 重力加速度 g (m/s^2)：取 $g=9.81m/s^2$ 。

3.2 船体运动

3.2.1 船舶在波浪中航行时，坐标为 x 的横剖面的垂向相对运动因子 H_{rm} 应按下式计算：

$$H_{rm} = C_w \frac{1 + C_m (x/L - X_m)^2}{1 + C_m (0.5 - X_m)^2}$$

式中： $C_w = 0.0771L(C_B + 0.2)^{0.3} e^{-0.0044L}$ ；

$$C_m = \frac{C_r}{C_B + 0.2}$$

其中，对单体船 $C_r = 1.95$ ，对双体船， $C_r = 2.55$ ；

$X_m = 0.45 - 0.6F_r$ ，但不小于 0.2；

$$F_r = \frac{0.515V_H}{\sqrt{gL}}$$

V_H ——船舶波浪中航行时的航速，kn，取为 $V_H = \frac{2}{3}V$ 。

3.3 总体设计载荷

3.3.1 船体梁设计载荷（包括垂向弯矩和垂向剪力），应按满载排水量装载状态进行计算。

3.3.2 船体任一横剖面处的垂向弯矩和剪力的符号规则如图 3.3.2 所示：

垂向静水弯矩 M_S 或垂向波浪弯矩 M_W 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。

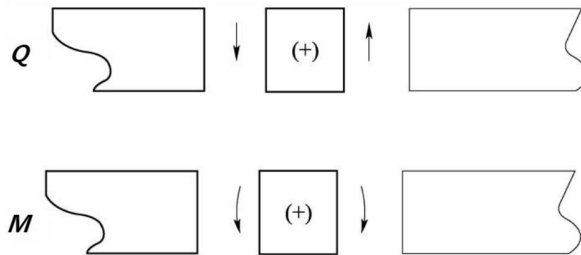


图 3.3.2

3.3.3 应计算船舶在静水状态时的垂向弯矩 M_S 和垂向剪力 Q_S 。

3.3.4 对单体船，船体任一横剖面的垂向波浪弯矩 M_W ，应按下列式确定：

$$\text{中拱状态： } M_{WH} = 0.19F_M L_f C_1 L^2 B C_B \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{中垂状态： } M_{WS} = -0.11F_M L_f C_1 L^2 B (C_B + 0.7) \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中： F_M ——弯矩分布系数，见表 3.3.4 ；

L_f ——系数， $L_f = 0.0412L + 4$ ；

C_1 ——航区折减系数，按下述取值：

$C_1 = 0.8$	1 类航区
$C_1 = 0.7$	2 类航区
$C_1 = 0.6$	3 类航区;

弯矩分布系数 表 3.3.4

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

3.3.5 校核单体船船体梁强度时，任一横剖面的垂向弯矩设计值 M_R 应取 $(M_S + M_W)$ 。

3.3.6 对单体船，船体任一横剖面的垂向波浪剪力 Q_W ，应按下式确定：

$$Q_W = 0.3F_Q L_f C_1 L B (C_B + 0.7) \quad \text{kN}$$

式中： F_Q ——剪力分布系数，见表 3.3.6，其中 $A = \frac{190C_B}{110(C_B + 0.7)}$ ；

L_f 和 C_1 ——同 3.3.4。

正剪力和负剪力分布系数 表 3.3.6

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

3.3.7 校核单体船船体梁强度时，任一横剖面的垂向剪力设计值 Q_R 应取 $(Q_S + Q_W)$ 。

3.3.8 对双体船，包括波浪和静水效应的船体任一横剖面的垂向弯矩 M_{WR} ，应按下式确定：

$$\text{中拱状态: } M_{WRH} = 0.22F_M C_1 L^{2.5} B_{WL} C_{WP} \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{中垂状态: } M_{WRS} = -0.1375F_M C_1 L^{2.5} B_{WL} C_{WP} \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中： F_M 和 C_1 ——同 3.3.4；

C_{WP} ——水线面系数，应取不小于 0.5。

3.3.9 校核双体船船体梁强度时，任一横剖面的垂向弯矩设计值 M_R 应取 M_{WR} 。

3.3.10 对双体船，包括波浪和静水效应的船体任一横剖面的垂向剪力 Q_{WR} ，应按下式确定：

$$Q_{WR} = 0.66F_Q C_1 L^{1.5} B_{WL} C_{WP} \quad \text{kN}$$

式中： F_Q ——剪力分布系数，同 3.3.6；

C_1 ——航区折减系数，同 3.3.4；

C_{WP} ——水线面系数，同 3.3.8。

3.3.11 校核双体船船体梁强度时，任一横剖面的垂向剪力设计值 Q_R 应取 Q_{WR} 。

3.3.12 对双体船，连接桥纵向剖面的垂向剪力 Q_l ，应按下式确定：

$$Q_l = 9.81C_1 C_2 C_3 \Delta \quad \text{kN}$$

式中： C_1 ——航区折减系数，同 3.3.4；

C_2 ——系数， $C_2 = 0.164\left(\frac{b}{D}\right)^2 - 0.874\left(\frac{b}{D}\right) + 0.974$ ；

C_3 ——系数， $C_3 = -1.958\left(\frac{b_1}{B}\right) + 1.783$ ；

其中， b ——片体宽度，m，在船长 L 中点处，片体内外侧壁外表面之间的最大水平距离；

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

3.4 局部设计载荷

3.4.1 船体外壳的设计载荷 P_R ，应按载荷计算点所在位置确定如下。

(1) 对单体船

① 设计水线以下船底及舷侧区域的 P_R ， kN/m^2 ，取以下三者中的大值：

船体底部和舷侧区域的水压力 P_1 ， kN/m^2 ，按 3.4.2 确定；

船体波浪砰击压力 P_{bs} ， kN/m^2 ，按 3.4.4 确定；

船体波浪冲击压力 P_{fs} ， kN/m^2 ，按 3.4.5 确定。

② 设计水线以上舷侧区域的 P_R ， kN/m^2 ，取以下三者中的大值：

船体舷侧区域的水压力 P_2 ， kN/m^2 ，按 3.4.3 确定；

船体波浪砰击压力 P_{bs} ， kN/m^2 ，按 3.4.4 确定；

船体波浪冲击压力 P_{fs} ， kN/m^2 ，按 3.4.5 确定。

(2) 对双体船

① 片体船底及舷侧区域，按 (1) 方法确定；

② 湿甲板区域，取以下两者中的大值：

双体船连接桥底波浪砰击压力，kN/m²，按 3.4.6 确定；

计算点所在横剖面同一水线上片体外舷侧设计压力，kN/m²，按（1）方法确定。

3.4.2 设计水线以下的船体底部和舷侧区域的水压力 P_1 ，应按下式确定：

$$P_1 = 10.5[T_x - (z - z_{kx})] + P_w \quad \text{kN/m}^2$$

式中： z ——压力计算点的 z 坐标；

P_w ——船体垂向相对运动在压力计算点处引起的波浪附加水动压力，按下式确定：

$$P_w = 10.5F_z H_{rm} \quad \text{kN/m}^2$$

其中： H_{rm} ——坐标为 x 的横剖面的垂向相对运动因子，按 3.2.1 计算；

F_z ——坐标为 x 的横剖面的附加水动压力垂向分布系数，按下式计算：

$$F_z = e^{-u} + (1 - e^{-u})\left(\frac{z - z_{kx}}{T_x}\right), \quad \text{其中 } u = \frac{2\pi T_x}{L}$$

3.4.3 设计水线以上的船体舷侧区域的水压力 P_2 ，应按下式确定：

$$P_2 = (10.5H_{rm} - P_{Rd})\frac{z_{dx} - z}{z_{dx} - T} + P_{Rd} \quad \text{kN/m}^2$$

式中： H_{rm} ——坐标为 x 的横剖面的垂向相对运动因子，按 3.2.1 计算；

P_{Rd} ——坐标为 x 横剖面的露天干舷甲板上的设计载荷，按 3.4.7（1）的 P_R 取值；

z_{dx} ——坐标为 x 横剖面的露天干舷甲板边线处距基线的高度，m。

3.4.4 船体底部波浪砰击压力 P_{bs} ，应按下述确定：

（1） $x = 0.8L$ 至 $0.9L$ 区域，取按下式计算的波浪砰击压力 P_{sl} ，且应不大于按 3.4.5 计算的 $x = 1.0L$ 处的 P_{fs} 值：

$$P_{sl} = C_1 \left[3.59 - 514 \left(\frac{T_x}{L} \right)^2 \right] \sqrt{LV_H} \quad \text{kN/m}^2$$

式中： C_1 ——航区折减系数，按下述取值：

$$C_1 = 1.0 \quad \text{1 类航区}$$

$$C_1 = 0.85 \quad \text{2 类航区}$$

$$C_1 = 0.75 \quad \text{3 类航区；}$$

V_H ——船舶在波浪中航行时的航速，kn，同 3.2.1。

（2） $x = 1.0L$ 处，取 $P_{bs} = 0.5P_{sl}$ ；

（3） $x = 0$ 至 $0.5L$ 区域，取 $P_{bs} = 0$ ；

（4）其他区域的 P_{bs} 值，按线性内插确定。

垂向高度上，波浪砰击压力值从船底龙骨至舷侧最低点位置取 P_{bs} ，在露天干舷甲板位置取 $0.4P_{bs}$ ，其他位置按线性内插确定。

3.4.5 船体首部波浪冲击压力 P_{fs} ，应按下述确定：

(1) $x = 1.0L$ 处，取按下式计算的波浪冲击压力 P_{im} ：

$$P_{im} = C_1 C_h L \left(0.82 + 0.154 \frac{V_H}{\sqrt{L}} \right)^2 \quad \text{kN/m}^2$$

式中： C_1 ——航区折减系数，同 3.4.4；

C_h ——系数，按下述取值：

$$C_h = 0.89 \quad \text{对单体船}$$

$$C_h = 1.0 \quad \text{对双体船；}$$

V_H ——船舶在波浪中航行时的航速，kn，同 3.2.1。

(2) $x = 0.9L$ 处，取按 3.4.4 计算的 P_{bs} 值；

(3) $x = 0.75L$ 处，取按 3.4.2 计算的 P_w 值；

(4) $x = 0.75L$ 至 $1.0L$ 区域， P_{fs} 可按线性内插确定；

(5) $x = 0$ 至 $0.75L$ 区域，取 $P_{fs} = 0$ 。

垂向高度上，波浪冲击压力值从船底龙骨至水线位置取 P_{fs} ，在露天干舷甲板位置取 $0.4P_{fs}$ ，其他位置按线性内插确定。

3.4.6 双体船连接桥底波浪砰击压力 P_{cd} ，应按下式确定，但不小于 0：

$$P_{cd} = 0.35 F_{cd} V_H \left(1 + 4 \frac{H_S}{\sqrt{L}} \right) \left(1 - 0.78 \frac{H_{tx}}{H_S} \right) \quad \text{kN/m}^2$$

式中： F_{cd} ——连接桥底冲击压力纵向分布系数，按下述取值：

$$F_{cd} = 2.0 \quad x = 1.0L \text{ 处}$$

$$F_{cd} = 1.0 \quad x = 0 \text{ 至 } 0.75L \text{ 区域}$$

其他区域的 F_{cd} 值，按线性内插确定；

V_H ——船舶在波浪中航行时的航速，kn，同 3.2.1；

H_S ——设计单位或船东在该船航区类别对应的有义波高范围内，选定其设计有义波高值，m，该值应不小于该船航区类别所对应的有义波高值 H_S （见下表 3.4.6）；

H_{tx} ——连接桥底的压力计算点在该处设计水线以上的距离，m。

航区类别与 H_S 对应值

表 3.4.6

航区类别	H_S (m)
1	6.0
2	4.0
3	2.0

3.4.7 露天甲板和上层建筑/甲板室的设计载荷 P_R 分别按下述确定：

(1) 取露天干舷甲板上的水压力作为设计载荷 P_R ，应按下式计算，但不小于 7：

$$P_R = 1.05C_1 \left\{ F_d(0.01L + 6) \left[1 + 0.05 \left(\frac{V_H}{\sqrt{L}} \right) \right] + \frac{0.08L + 0.7}{D - T} \right\} \quad \text{kN/m}^2$$

式中： C_1 ——航区折减系数，见 3.4.4；

F_d ——纵向分布系数，按以下取值：

$$F_d = 1.5 \quad x = 1.0L \text{ 处}$$

$$F_d = 1.0 \quad x = 0 \text{ 至 } 0.5L \text{ 区域}$$

其他区域的 F_d 值，按线性内插确定；

式中： V_H ——船舶在波浪中航行时的航速，kn，同 3.2.1。

(2) 上层建筑/甲板室的设计载荷 P_R ，应按下式计算：

$$P_R = KP_{df} \quad \text{kN/m}^2$$

式中： P_{df} ——第 1 层上层建筑/甲板室前端壁处露天干舷甲板的设计载荷， kN/m^2 ，按 3.4.7 (1) 的 P_R 取值，纵向分布系数 F_d 根据前端壁的实际纵向位置线性内插确定；

K ——位置系数，按载荷计算点位置取值：

$$K = 1.50 \quad \text{位于距船首 } L/3 \text{ 区域内的第 1 层上层建筑/甲板室前端壁}$$

$$K = 1.30 \quad \text{位于距船首 } L/3 \text{ 区域外的第 1 层上层建筑/甲板室前端壁}$$

$$K = 1.00 \quad \text{第 2 层上层建筑/甲板室前端壁及其它露天甲板}$$

$$K = 0.80 \quad \text{上层建筑/甲板室所有的侧壁}$$

$$K = 0.65 \quad \text{上层建筑/甲板室的顶板、后壁及其他部位。}$$

3.4.8 船体内部的甲板和舱壁的设计载荷 P_R ，分别按下述确定：

$$(1) \text{ 非露天甲板或平台： } P_R = 1.05(0.01L + 6) \left[1 + 0.05 \frac{V_H}{\sqrt{L}} \right] \quad \text{kN/m}^2$$

$$(2) \text{ 水密舱壁： } P_R = 10h \quad \text{kN/m}^2$$

式中： h ——压力计算点到舱壁甲板最高点的垂向距离，m。

$$(3) \text{ 防撞舱壁： } P_R = 12.5h \quad \text{kN/m}^2$$

式中： h ——压力计算点到舱壁甲板最高点的垂向距离，m。

(4) 液舱舱壁上的设计载荷 P_R ， kN/m^2 ，取以下两者中的大值：

$$P_{bh1} = 10h + 6.7h_p \quad \text{kN/m}^2$$

$$P_{bh2} = 10(h + 1) \quad \text{kN/m}^2$$

式中： h ——压力计算点到液舱顶的垂向距离，m；

h_p ——液舱顶到空气管顶的垂向距离，m。

第 4 章 船体梁强度

4.1 一般要求

4.1.1 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 40m；
- (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一半的开口。

4.2 船体梁校核剖面的选定

4.2.1 至少应选取以下 3 个船体梁的横剖面进行船体梁总纵强度校核：

- (1) 船中 $0.4L$ 范围内结构最弱处的剖面，校核船体梁的弯曲强度；
- (2) 取舭前垂向剪力最大的剖面，校核船体梁的剪切强度；
- (3) 取舭后垂向剪力最大的剖面，校核船体梁的剪切强度。

4.2.2 强力甲板大开口处横剖面以及船体梁结构形式突变区域横剖面，也应予以考虑。

4.3 船体梁横剖面强度特性

4.3.1 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，包括强力甲板及其以下所有连续纵向构件，并考虑到 4.3.2 至 4.3.3 的要求。

4.3.2 在校核剖面处，凡剖面两边长度均大于型深 D 的纵向构件，可计入船体梁剖面。如上述构件上开孔，且开孔高度超过腹板高度 25% 时，该开孔面积应予以扣除。机座和舭龙骨不应计入船体梁剖面。

4.3.3 在距尾端 $0.25L$ ~ $0.75L$ 范围内，第一层上层建筑/甲板室的长度如大于 $0.15L$ ，且大于自身高度 6 倍，并至少支持在 3 个横舱壁上，且不设置弹性接头时，该第一层上层建筑/甲板室可计入船体梁剖面。

4.3.4 凡不满足 4.3.3 中任一条件的上层建筑或甲板室，则认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。

4.3.5 如在整个上层建筑/甲板室的侧壁上有大量开孔，且开孔纵向孔径之和超过该上层建筑/甲板室长度之半，或上层建筑/甲板室与主船体的连接采用弹性结构型式时，则认为该上层建筑/甲板室不参与总纵强度。

4.3.6 横剖面内甲板上长度超过 2.5m，或者宽度超过 1.2m 或 $0.04B$ （取其小者）的开口，在计算船体梁剖面模数时，应扣除其剖面面积。

4.3.7 比 4.3.6 规定小的甲板小开口(包括人孔、减轻孔、焊缝处的单个扇形孔等)，如其宽度或阴影区宽度(阴影区夹角为 30° 的两根切线之间所形成的区域，见图 4.3.7)在一个横剖面上的总和 b_c 符合下式要求或在甲板及船底处降低的剖面模数不超过 3%，则在计算

船体梁剖面模数时，不必扣除其剖面积。

$$b_c \leq 0.06(B_1 - \Sigma b)$$

式中： B_1 ——计算剖面处的船宽，m；

Σb ——计算剖面处按本节 4.3.6 规定应扣除的开口宽度的总和，m。

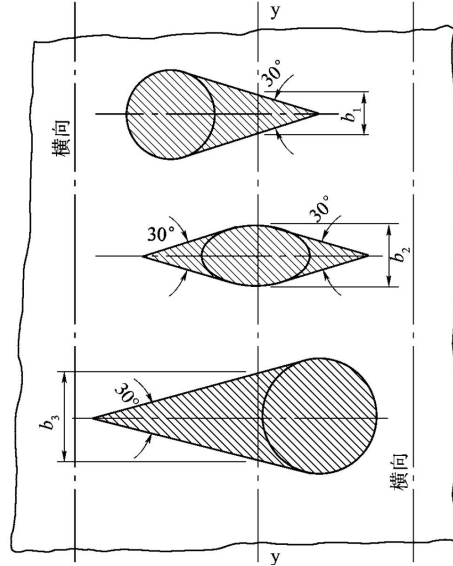


图 4.3.7

4.4 船体梁剖面模数

4.4.1 强力甲板以下任一点（垂向坐标为 z ）的剖面模数 Z_A 按下式计算：

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

式中： I_y ——横剖面对其水平中和轴的惯性矩， m^4 ；

N ——横剖面的水平中和轴距基线的高度，m；

z ——计算点的垂向坐标，m。

4.4.2 船底龙骨处的剖面模数 Z_{AK} 和强力甲板处剖面模数 Z_{AD} 分别按下式计算：

$$\text{船底龙骨处： } Z_{AK} = \frac{I_y}{|z_{kx} - N|} \quad \text{m}^3$$

$$\text{强力甲板处： } Z_{AD} = \frac{I_y}{z_D - N} \quad \text{m}^3$$

式中： z_{kx} ——见 3.1.3；

z_D ——横剖面处强力甲板边线的 z 坐标；

I_y 和 N ——同 4.4.1。

4.5 基线以上高度 z 处的静矩

4.5.1 基线以上高度 z 处的静矩 S (m^3)：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。

4.6 船体梁应力

4.6.1 垂向弯矩引起的正应力 σ_L 按下式计算：

(1) 所校核的横剖面上强力甲板以下任一点（垂向坐标为 z ）：

$$\sigma_L = \frac{|M_R|}{Z_A} \times 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： Z_A ——按 4.4.1 算得的剖面模数， m^3 ；

M_R ——按 3.3.4、3.3.8 算得的船中剖面垂向弯矩设计值， $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

(2) 所校核的横剖面上船底平板龙骨处（垂向坐标为 z_{kv} ）

$$\sigma_L = \frac{|M_R|}{Z_{AK}} \times 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： Z_{AK} ——按 4.4.2 算得的剖面模数， m^3 ；

M_R ——按 3.3.4、3.3.8 算得的船中剖面垂向弯矩设计值， $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

(3) 所校核的横剖面上强力甲板处：

$$\sigma_L = \frac{|M_R|}{Z_{AD}} \times 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： Z_{AD} ——按 4.4.2 算得的剖面模数， m^3 ；

M_R ——按 3.3.4、3.3.8 算得的船中剖面垂向弯矩设计值， $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

4.6.2 垂向剪力引起的剪切应力 τ_L 按下式计算：

(1) 对于没有纵舱壁的横剖面，舷侧外板上的剪切应力按下式

$$\tau_L = \frac{|Q_R|S}{I_y t} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： Q_R ——按 3.3.6、3.3.10 算得的垂向剪力的设计值， kN ；

t ——距基线高度为 z 处的计算点的两舷舷侧外板厚度之和（双壳船为两舷侧内、外壳板厚度之和）， mm ；

S ——按 4.5.1 算得的距基线高度 z 处计算点的静矩， m^3 ；

I_y ——校核的横剖面对其水平中和轴的惯性矩， m^4 ，见 4.4.1。

(2) 对于有纵舱壁的横剖面，应按薄壁剪流理论计算剪切应力。

(3) 连接桥结构纵剖面应按 3.3.12 规定的剪力计算剪切应力。

4.7 船体梁屈服强度评估

4.7.1 中拱或中垂状态按 4.6.1 计算所得的正应力 σ_L 应满足下式：

$$\sigma_L \leq \sigma_{perm}$$

式中： σ_{perm} ——许用正应力，N/mm²，取 $\sigma_{perm} = 0.72\sigma_{SW}$ ，其中： σ_{SW} ——材料焊接后的屈服强度，N/mm²，取 R_{lm} ，见 1.3.1 (21)。

4.7.2 按 4.6.2 计算所得的剪切应力 τ_L 应满足下式：

$$\tau_L \leq \tau_{perm}$$

式中：许用剪切应力，N/mm²，取 $\tau_{perm} = 0.72\tau_{SW}$ ，其中 τ_{SW} ——材料焊接后的剪切强度，

$$\tau_{SW} = \frac{\sigma_{SW}}{\sqrt{3}} \quad \text{N/mm}^2, \quad \text{其中 } \sigma_{SW} \text{ 见 4.7.1。}$$

第 5 章 局部构件尺寸

5.1 一般要求

5.1.1 本章计算所得的板，其舍入容差按下述原则确定：

(1) 对于厚度等于或大于 4 mm 的板，如小数等于或小于 0.25mm，可予不计；如大于 0.25mm 且小于 0.75mm，应进为 0.5mm；如等于或大于 0.75mm，应进为 1.0mm；

(2) 对于厚度小于 4 mm 的板，如小数等于或小于 0.15mm，可予不计；如大于 0.15mm 且小于 0.65mm，应进为 0.5mm；如等于或大于 0.65mm，应进为 1.0mm。

5.2 符号与定义

5.2.1 除另有规定外，本章采用的符号与定义如下：

(1) 局部设计载荷 P_R (kN/m^2)：系按第 3 章 3.4 确定的载荷；
(2) 规范要求的板厚 t (mm)：系按本章相关要求计算所得的板厚；
(3) 骨材/主要构件间距 s (m)：对于扶强材取相邻两扶强材的间距，对于主要构件取

相邻主要构件之间的平均间距；

(4) 构件的跨距 l (m)：对于扶强材，当其端部不设置肘板时，扶强材跨距点取在扶强材端部。当其端部设置肘板时，跨距点可取在肘板长度之半处。对于主要构件，端部通常设有肘板，则其跨距点应按图 5.2.1 (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：

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

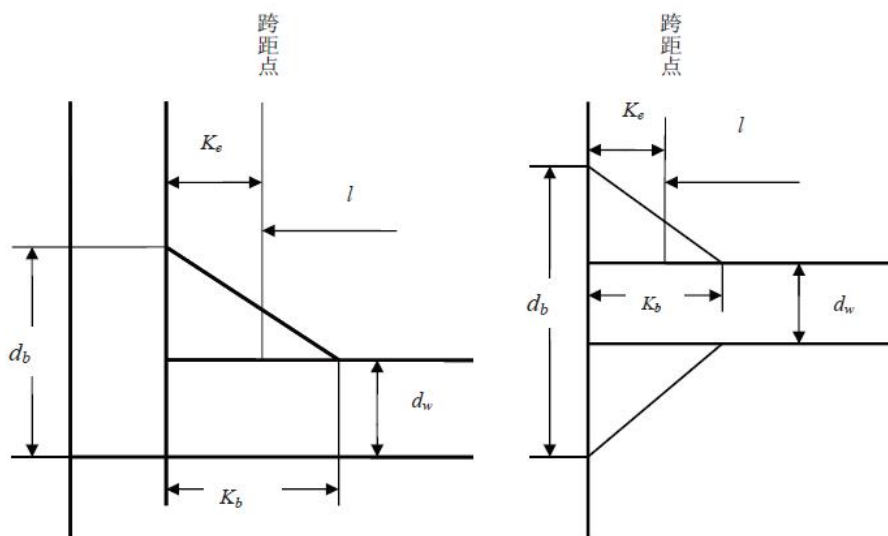


图 5.2.1 (4)

如甲板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。如构件两端

的支撑结构不能有效防止转动和位移，则构件使用的有效跨距应另行考虑。

(5) 规范要求的骨材剖面模数 $W(\text{cm}^3)$ ：计算时应计入按下述 (6) 确定的有效宽度 b_e 的带板，带板厚度应取有效带板宽度范围内不同板厚的加权平均值；

(6) 带板有效宽度 $b_e(\text{m})$ ：

对于扶强材：取 $b_e=s$ ，但不大于 $l/5$ ；

对于主要构件：取 $b_e = 0.3 \left(\frac{l}{s} \right)^{\frac{2}{3}} s$ ，但不大于 $l/5$ 。

(7) 材料屈服强度 $\sigma_s(\text{N/mm}^2)$ ：对于铝材，取 $\sigma_s = R_{p0.2}$ ，见 1.3.1 (21)；

(8) 材料焊接后的屈服强度 $\sigma_{sw}(\text{N/mm}^2)$ ：对于铝材，取 R_{lm} ，见 1.3.1 (21)。

5.3 最小厚度

5.3.1 最小板厚 t_{\min} 按下式计算：

$$t_{\min} = K_0 K_1 \sqrt[3]{L} + 1.5 \text{ mm}, \text{ 但不小于 } 3\text{mm}^{(1)}$$

式中： K_0 ——系数，见表 5.3.1；

K_1 ——系数， $K_1 = s / s_b$ ，取值不小于 0.5，也不大于 1.0；

s ——骨材间距，m；

s_b ——骨材标准间距，m， $s_b = 0.0016L + 0.2$ ；

L ——船长，m。

系数 K_0

表 5.3.1

构件名称		K_0	
船底板		1.02	
连接桥底		0.82	
舷侧板		0.82	
强力甲板舢前		0.68	
强力甲板舢后		0.55	
非露天甲板板		0.41	
防撞舱壁板		0.68	
液舱舱壁板		0.61	
水密舱壁板		0.55	
上层建筑、 甲板室	前端壁	第 1 层	0.44
		第 2 层	0.44
		第 3 层及以上	0.41
	侧壁、后壁		0.41
	顶板		0.41

注 (1)：对于采用带筋板的上层建筑、甲板室的侧壁、后壁、顶板，为 2.0mm。

5.3.2 船底组合型材（包括机座）须满足下列要求：

(1) 面板最小板厚 t_{\min} 应不小于按下式计算所得之值：

$$t_{\min} = \frac{b}{16} \quad \text{mm}$$

式中： b ——面板宽度，mm。

(2) 腹板最小板厚 t_{\min} 应不小于按下式计算所得之值:

$$t_{\min} = \frac{h}{50} \quad \text{mm, 但不小于 3mm}$$

式中: h ——腹板高度或腹板加强筋间距, mm。

(3) 主机座(包括面板和腹板)的最小板厚, 还应不小于按下式计算所得之值:

$$t_{\min} = 1.9\sqrt[3]{L} \quad \text{mm}$$

5.3.3 甲板支柱的最小壁厚应满足以下要求:

(1) 不论管形支柱或组合型支柱, 其最小壁厚应不小于 4mm。

5.4 板厚

5.4.1 由板的弯曲强度确定的板厚 t , 按下述公式计算:

$$t = 22.4C_1C_2s\sqrt{\frac{P_R}{C_a\sigma_{sw}}} \quad \text{mm}$$

式中: C_1 ——曲面修正系数, $C_1=1-0.5s/r$, r 系板的曲率半径, m;

C_2 ——板格长边 l 与短边 s 之比的修正系数, 按如下取值:

$$C_2 = \frac{l}{s}(1-0.25\frac{l}{s}) \quad \text{如 } l/s \leq 2;$$

$$C_2 = 1.0 \quad \text{如 } l/s > 2。$$

C_a ——板的许用弯曲应力系数, 见 5.8.1。

5.4.2 船体外板还应符合如下规定:

(1) 平板龙骨的板厚应较其相邻的船底板增加 2mm。平板龙骨的宽度应不小于 0.1B, 其中 B: 对于双体船, 取单片体的型宽; 对于单体船, 为型宽。

(2) 舳部板厚应不小于相邻的船底板厚度。

(3) 船尾或尾封板的板厚应不小于该处船底板厚度。

(4) 船体尾部螺旋桨上方和舵柱附近区域的外板应至少加厚 2mm。

(5) 锚链筒处的外板及其下方的一块板应予以加厚或用复板。

(6) 如具有首楼, 而首楼的后端壁位于首垂线后 0.25L 处或之后, 则露天甲板在首楼后端壁处的板厚应增加 20%。如首楼的后端壁位于首垂线后 0.2L 处或之前, 则露天甲板在首楼后端壁处的板厚不必增加。如首楼的后端壁位于首垂线后 0.2L~0.25L 处, 则露天甲板在首楼后端壁处应增加的板厚可内插确定。

5.5 骨材的剖面模数

5.5.1 承受侧向局部压力的骨材/主要支撑构件剖面模数 W 应不小于按下式计算的值:

$$W = \frac{P_R s l^2}{f_{bdg} C_s \sigma_{sw}} \times 10^3 \quad \text{cm}^3$$

式中： f_{bdg} ——弯矩因子：

$$f_{bdg} = 12 \quad , \quad \text{对于水平骨材和垂直骨材的上端；}$$

$$f_{bdg} = 10 \quad , \quad \text{对于垂直骨材的下端。}$$

C_s ——许用弯曲应力系数，见 5.8.1；

σ_{sw} ——材料焊接后的屈服强度，见 5.2.1 (8)。

5.6 骨材端部的有效剪切面积

5.6.1 承受侧向局部压力的骨材/主要支撑构件有效剪切面积 A_e 应不小于按下式计算所得之值：

$$A_{e\min} = \frac{f_{shr} P_R s l}{C_t \tau_{sw}} \quad \text{cm}^2$$

式中： f_{shr} ——剪力分布因子：

$$f_{shr} = 5 \quad , \quad \text{对于水平骨材和垂直骨材的上端；}$$

$$f_{shr} = 7 \quad , \quad \text{对于垂直骨材的下端。}$$

C_t ——许用剪应力系数，见 5.8.1；

τ_{sw} ——材料焊接后的剪切强度，见 4.7.1。

对于骨材， A_e 按下式计算：

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

式中： h ——扶强材的腹板高度，mm；

t ——扶强材的腹板厚度，mm。

对于主要支撑构件， A_e 按下式计算：

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

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

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

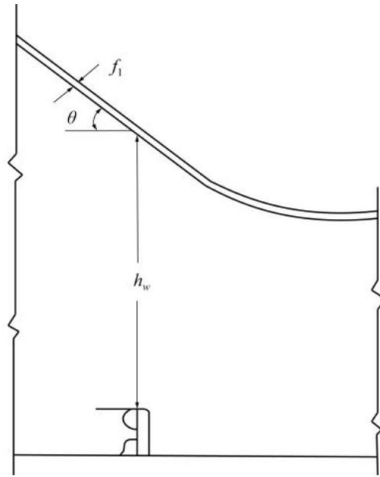


图 5.6.1

5.7 支柱

5.7.1 甲板支柱的剖面面积 A 应不小于按下式计算的值:

$$A = \frac{P}{(6 - 0.0349 \frac{l}{r}) \sigma_s} \times 10^2 \quad \text{cm}^2$$

式中: P ——支柱载荷, kN;

l ——支柱长度, cm;

r ——支柱剖面最小惯性半径, cm。

5.8 局部载荷的许用应力系数

5.8.1 承受侧向局部载荷的板、主要支撑构件和次要构件的许用应力系数见表 5.8.1。

许用应力系数

表 5.8.1

项目	许用应力系数		
	C_a	C_s	C_t
船底部位以及船首区域 ($x=0.75L$ 之前) 舷侧	0.75	0.65	0.65
船首区域之外区域 ($x=0.75L$ 之后) 舷侧部位	0.75	0.65	0.65
连接桥底	0.75	0.65	0.65
强力甲板	0.75	0.65	0.65
其他甲板 (包括上层建筑/甲板室的板)	0.75	0.6	0.6
水密舱壁/防撞舱壁	1.0	0.9	0.9
液舱舱壁	0.65	0.65	0.65
上层建筑/甲板室围壁	0.75	0.75	0.75
所有主要支撑构件	-	0.65	0.65

第 6 章 双体船直接计算

6.1 一般要求

6.1.1 双体船的总强度（含总纵强度、总横强度及扭转强度）应采用整船结构强度直接计算进行校核。应按《钢质海船入级规范》第 2 篇第 18 章附录 1 的相关要求进行整船结构强度直接计算。

6.1.2 整船模型应包含整个船体结构，如船体外板、纵/横舱壁、甲板结构、连接桥、片体等构件。有限元模型结构尺寸应采用建造厚度，不考虑船东附加厚度。

6.1.3 构件应力应不大于表 6.1.3 许用应力。如使用了更细的网格，应取在规定网格尺寸范围内所有细网格应力的平均值。

构件	许用应力
板单元许用相当应力	$0.75\sigma_{sw}^{(1)}$
板单元许用剪切力	$0.41\sigma_{sw}^{(1)}$
梁、杆单元许用正应力	$0.73\sigma_{sw}^{(1)}$

注(1): σ_{sw} (N/mm²): 对于铝材, 取 R_{tm} , 见 1.3.1 (21)。

6.1.4 屈曲强度评估要求见 7.6。

第7章 屈曲强度

7.1 一般要求

7.1.1 铝合金船体构件应按本章7.1.2~7.1.4要求进行屈曲强度校核。

7.1.2 骨材的剖面长细比、主要支撑构件防倾肘板和腹板加强筋，应满足7.4的要求。

7.1.3 符合本指南4.1.1情况的铝合金船，应按照7.5，对计入总纵强度的构件进行总纵受弯压缩和剪切屈曲校核。

7.1.4 适用于本指南6.1.1要求的铝合金船，应按照7.6，对船体结构的加筋板格、主要支撑构件和骨材进行有限元屈曲校核。

7.2 定义与符号

7.2.1 除另有规定外，本章采用的定义与符号如下：

- (1) 铝合金弹性模量 $E=0.69 \times 10^5$ (N/mm²)；
- (2) 铝合金泊松比 $\nu=0.33$ ；
- (3) 材料焊接后的屈服强度 R'_{lim} (N/mm²)，见1.3.1 (21)；
- (4) 材料焊接后的剪切强度 τ'_{lim} (N/mm²)， $\tau'_{lim} = \frac{R'_{lim}}{\sqrt{3}}$ ；
- (5) 板格理想弹性轴向屈曲应力和剪切应力 σ_{Ep_x} 、 σ_{Ep_y} 、 τ_{Ep} (N/mm²)，见7.7.1；
- (6) 板格临界屈曲轴向应力和剪应力 σ_{cr_x} 、 σ_{cr_y} 、 τ_{cr} (N/mm²)，见7.7.1和7.7.2，且 x 、 y 坐标轴对应于板格的长边和短边；
- (7) 骨材/主要支撑构件理想弹性屈曲轴向压应力 σ_{Ea} (N/mm²)，见7.7.5 (1)；
- (8) 骨材/主要支撑构件临界屈曲轴向压应力 σ_{cr_a} (N/mm²)，见7.7.5；
- (9) 骨材/主要支撑构件理想弹性扭转屈曲应力 σ_{Et} (N/mm²)，见7.7.5 (2)；
- (10) 骨材/主要支撑构件临界扭转屈曲应力 σ_{cr_t} (N/mm²)，见7.7.5；
- (11) 骨材/主要支撑构件腹板和面板的理想受压屈曲应力 $\sigma_{E_{web}}$ 、 $\sigma_{E_{flange}}$ ，(N/mm²)，见7.7.5 (3)；
- (12) 骨材/主要支撑构件临界屈曲应力 $\sigma_{cr_{stiffener}}$ ，(N/mm²)，见7.5.3 (2)；
- (13) 板格轴向应力和剪应力 σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} (N/mm²)；
- (14) 骨材/主要支撑构件最大轴向压应力 σ_a (N/mm²)；
- (15) 骨材/主要支撑构件最大弯曲应力 σ_b (N/mm²)；
- (16) 板格短边长度 s (mm)；
- (17) 板格长边长度 b (mm)；
- (18) 板格/骨材带板厚度 t_p (mm)；
- (19) 骨材/主要支撑构件面板宽度 b_f (mm)；
- (20) 骨材/主要支撑构件面板厚度 t_f (mm)；

- (21) 骨材/主要支撑构件腹板高度 h_w (mm) ;
- (22) 骨材/主要支撑构件腹板厚度 t_w (mm) ;
- (23) 不包括带板的骨材截面积 A_s (cm²) ;
- (24) 骨材有效截面积 A_{eff} (cm²) ;
- (25) 骨材/主要支撑构件梁柱模型截面总面积 A (cm²) ;
- (26) 骨材/主要支撑构件长度 l (m) , 根据骨材方向布置, 等于板格的长边长度 b 或短边长度 s ;
- (27) 板格长边的轴向: x ; 板格短边的轴向: y ;
- (28) 构件的许用屈曲利用系数 η_{all} , 见表7.3.1;
- (29) 构件的屈曲利用系数 η_{act} , $\eta_{act} = 1/\gamma$;
- (30) 极限状态在失效时的应力倍增因子 γ , 根据不同的极限状态方程计算得出。

7.3 许用屈曲利用系数

7.3.1 构件的许用屈曲利用系数 η_{all} , 见表 7.3.1。

构件的许用屈曲利用系数 η_{all}

表 7.3.1

构件名称	许用屈曲利用系数 η_{all}
a. 板材;	1.0: 对静载+动载工况
b. 骨材;	0.8: 仅静载工况
c. 主要支撑构件腹板 (d 除外)	
d. 立柱和支柱、交叉撑材	0.75: 对静载+动载工况 0.65: 仅静载工况

7.4 骨材剖面长细比、主要支撑构件防倾肘板和腹板加强筋

7.4.1 骨材的剖面长细比应满足表 7.4.1 的要求。

骨材的剖面长细比要求

表 7.4.1

	扁铝	其他剖面
腹板高厚比	$h_w/t_w \leq 15\sqrt{k}$	$h_w/t_w \leq 33\sqrt{k}$
面板宽厚比	—	$b_f/t_f \leq 21\sqrt{k}$: 对称面板 $b_f/t_f \leq 10.5\sqrt{k}$: 不对称面板
腹板与面板的比例	—	$b_f t_f \geq h_w t_w / 6$

注: $k = 100/R_{lim}$, 且对于使用不同铝材焊接装配的骨材, k 值应取最大值。

7.4.2 为防止主要支撑构件面板屈曲, 防倾肘板应焊到主要支撑构件的面板上, 见图 7.4.2。防倾肘板间距一般应不大于 2 m, 且安装在如下位置 (如适用) :

- (1) 倒角或折角的面板上;
- (2) 端肘板的趾端;

- (3) 交叉撑材位置处；
- (4) 集中荷载处；
- (5) 主要支撑构件腹板加强筋的每 4 档间距处。

如对称面板的宽度大于 200 mm，应在防倾肘板处设置背肘板。

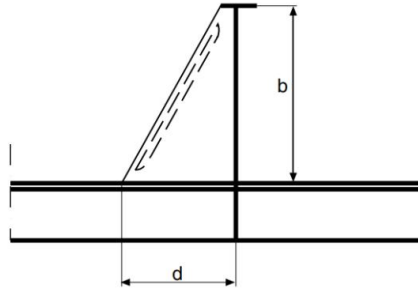


图 7.4.2 主要支撑构件的防倾肘板

7.4.3 防倾肘板的臂长 d ，见图 7.4.2，应不小于按下式计算所得之值：

$$d = \max(0.38b, 0.85b\sqrt{S_t/t}) \quad \text{m}$$

式中： b ——防倾肘板高度，m，见图 7.4.2；

S_t ——防倾肘板间距，m；

t ——防倾肘板厚度，mm。

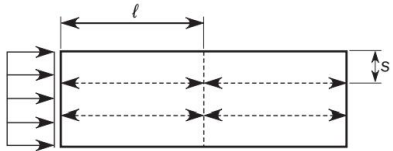
7.4.4 防倾肘板的厚度（mm）小于其自由边长度（m）的 22 倍时，应折边或用焊接面板予以加强。折边翼缘或面板的剖面积， cm^2 ，应不小于肘板自由边长度（m）的 10 倍。

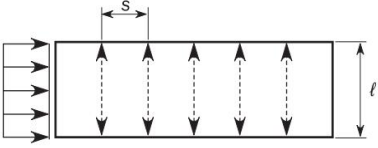
7.4.5 当 $h_w/t_w > 60$ 时，一般应设置主要支撑构件的腹板加强筋，且腹板加强筋间距一般应不大于 $65t_w$ （ h_w 和 t_w 分别为主要支撑构件腹板的高度和厚度，mm）。在主要支撑构件的端部 $0.2l$ 范围内（ l 为主要支撑构件长度）和高应力处，腹板加强筋间距应再适当加密。对于支持其他主要支撑构件的主要支撑构件，其腹板加强筋间距一般应不大于 $60t_w$ 。

7.4.6 主要支撑构件腹板加强筋连同带板的剖面惯性矩 I_{st} ，应不小于按表 7.4.6 中给出的惯性矩 I_{st_min} ：

腹板加强筋的刚度要求

表 7.4.6

加强筋布置形式	腹板加强筋连同带板的剖面最小惯性矩 I_{st_min} ， cm ⁴
(1) 腹板加强筋沿着主要支撑构件的跨距方向 	$I_{st_min} = Cl^2 A_{eff} \frac{R'_{lim}}{100}$
(2) 腹板加强筋垂直于主要支撑构件的跨距方向	$I_{st_min} = \left[1.14ls^2 t_w \left(2.5 \frac{1000l}{s} - \right. \right.$

加强筋布置形式	腹板加强筋连同带板的剖面最小惯性矩 I_{st_min} , cm^4
	$2 \frac{s}{1000l} \left(\frac{R_{lim}}{100} \right) \times 10^{-5}$
<p>注： C——长细比系数，按以下取用： 1.43， 对纵向加强筋，包括削斜筋； 0.72， 其他加强筋；</p> <p>l——腹板加强筋长度， m； 对焊接在局部支撑构件上的腹板加强筋，其长度取为局部构件翼板之间的距离； 对削斜的腹板加强筋，长度取为侧向支撑之间，例如主要支撑构件翼板之间的整个距离，如加强筋布置（2）所示；</p> <p>A_{eff}——腹板加强筋的净横截面积，见 7.6.4</p> <p>s——主要支撑构件腹板加强筋间距， m；</p> <p>t_w——主要支撑构件腹板厚度， mm；</p> <p>R_{lim}——主要支撑构件焊接后屈服强度。</p>	

7.5 总纵屈曲强度

7.5.1 应对总纵弯矩和剪力作用下的单体和多体船的纵向船体梁构件（船底板、甲板板和舷侧外板，以及纵向主要支撑构件和纵骨）进行总纵屈曲强度校核，且校核剖面至少包含 4.2.1 和 4.2.2 所选定的 $0.4L$ 范围内的横剖面。

7.5.2 总纵弯曲压应力和剪应力计算见 4.6。

7.5.3 总纵屈曲强度应满足如下衡准：

$$\eta_{act} \leq \eta_{all}$$

式中： $\eta_{act} = 1 / \min(\gamma_1, \gamma_2)$ ；

γ_1, γ_2 ——分别由本条（1）、（2）的极限方程式中求解得出。

（1）板格：

$$(\gamma_1 \sigma_x / \sigma_{cr_x})^2 + (\gamma_1 \tau_{xy} / \tau_{cr})^2 = 1 \quad \text{对纵骨架式}$$

$$(\gamma_1 \sigma_y / \sigma_{cr_y})^2 + (\gamma_1 \tau_{xy} / \tau_{cr})^2 = 1 \quad \text{对横骨架式}$$

（2）纵骨/纵桁等：

$$(\gamma_2 \sigma_a / \sigma_{cr_stiffener}) = 1$$

式中： $\sigma_{cr_stiffener} = \min(\sigma_{cr_a}, \sigma_{cr_t}, \sigma_{cr_web}, \sigma_{E_flange})$ ，各符号见 7.7.5。

7.6 有限元屈曲强度

7.6.1 应对有限元模型中的加筋/非加筋板格、主要支撑构件和骨材单元，分别按照 7.6.2~7.6.5 的要求进行有限元屈曲校核，且应满足如下衡准：

$$\eta_{act} \leq \eta_{all}$$

式中: $\eta_{act} = 1/\min(\gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6)$;

$\gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6$ ——分别由 7.6.2、7.6.3、7.6.4 和 7.6.5 的极限方程式中求解得出, 其中: γ_3, γ_4 适用于加筋和非加筋板格, γ_5, γ_6 适用于加筋板格。

7.6.2 板格的屈曲/极限强度应满足如下衡准:

$$\left(\frac{\gamma_3\sigma_x}{\sigma_{xu}}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_3\sigma_y}{\sigma_{yu}}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_3\tau_{xy}}{\tau_u}\right)^2 = 1$$

式中: σ_{xu} 、 σ_{yu} 、 τ_u ——见 7.7.3 (1)、(2)、(3)。

7.6.3 板格侧向压力极限强度应满足如下衡准:

$$\gamma_4 p_p / p_u = 1$$

式中: p_p ——板格侧向均布压力 (可从有限元模型载荷数据中读取, 且取板格内外两面同时受到的压力差值), N/mm^2 ;

p_u ——见 7.7.4。

7.6.4 对于加筋板格, 板格骨材/主要支撑构件的压-弯极限强度, 应满足如下衡准:

$$\frac{\gamma_5\sigma_a}{\varphi_c\sigma_{cr-a}\frac{A_{eff}}{A}} + \frac{m\sigma_b}{\varphi_c R_{lim}\frac{W_{eff}}{W}} = 1$$

式中: φ_c ——系数, 对扁铝: 0.7; 对球扁铝: 0.80; 对角铝和 T 型材: 0.75;

$A_{eff} = A_s + 0.01(b_{eff}t_p)$ cm^2 , 其中: $b_{eff} = C_{\beta_y}s$, C_{β_y} 见 7.7.2;

$A = A_s + 0.01(st_p)$ cm^2 , 其中: A_s 为骨材截面积 (不计入有效带板), cm^2 ;

$m = \max\left(\frac{1}{1-\gamma_5\sigma_a/\sigma_{Ea}}, 1\right)$; σ_{Ea} 见 7.7.5 (1);

$\sigma_b = (M_{max}/W_{eff}) \times 10^{-3}$ N/mm^2 ;

M_{max} ——极限状态下侧向载荷引起的骨材最大弯矩, 按下式计算:

$$M_{max} = \frac{\gamma_5 p_p s l^2}{c_m} \times 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$c_m = \begin{cases} 24 & \text{两端固支} \\ 8 & \text{两端削斜} \\ 14.2 & \text{一端固支、一端削斜} \end{cases}$$

p_p ——见 7.6.3;

W_{eff} ——计入包括有效带板 b_{eff} 计算得到的骨材在面板处的剖面模数, cm^3 ;

W ——骨材在面板处的剖面模数 (不计入有效带板 b_{eff}), cm^3 ;

l ——骨材长度, m 。

7.6.5 对于加筋板格, 板格骨材/主要支撑构件的扭转极限强度, 应满足如下衡准:

$$\frac{\gamma_6\sigma_a}{\varphi_c\sigma_{cr-t}\frac{A_{eff}}{A}} = 1$$

式中: φ_c ——系数, 对扁铝: 0.55; 对球扁铝: 0.80; 对角铝和 T 型材: 0.85;

A_{eff} 和 A —— 见 7.6.4;

$\sigma_{cr,t}$ —— 见 7.7.5。

7.7 临界屈曲应力和极限应力

7.7.1 单轴向压缩的板格屈曲临界应力取值应按如下规定:

(1) 板格轴向受压临界屈曲应力 $\sigma_{cr,x,y}$:

$$\sigma_{cr,x,y} = \begin{cases} \sigma_{Ep,x,y} & \sigma_{Ex,y} \leq \frac{R'_{lim}}{2} \\ \sigma_s \left(1 - \frac{\sigma_{sw}}{4\sigma_{Ep,x,y}} \right) & \sigma_{Ex,y} > \frac{R'_{lim}}{2} \end{cases}$$

式中: $\sigma_{cr,x,y}$ —— $\sigma_{cr,x}$ 或 $\sigma_{cr,y}$;

$\sigma_{Ep,x,y}$ —— $\sigma_{Ep,x}$ 或 $\sigma_{Ep,y}$, 计算如下:

① 板格短边受压理想弹性屈曲应力 $\sigma_{Ep,x}$:

$$\sigma_{Ep,x} = k_x C_1 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_p}{s} \right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

其中: k_x ——短边受压及弯曲的屈曲系数, 见表 7.7.1 (1);

C_1 ——边界约束系数, 见表 7.7.1 (2)。

② 板格长边受压理想弹性屈曲应力 $\sigma_{Ep,y}$:

$$\sigma_{Ep,y} = k_y C_2 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_p}{s} \right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

其中: k_y ——长边受压及弯曲的屈曲系数, 见表 7.7.1 (1);

C_2 ——边界约束系数, 见表 7.7.1 (2)。

(2) 板格剪切临界屈曲应力 τ_{cr} :

$$\tau_{cr} = \begin{cases} \tau_E & \tau_E \leq \frac{\tau'_{lim}}{2} \\ \tau_s \left(1 - \frac{R'_{lim}}{4\tau_E} \right) & \tau_E > \frac{\tau'_{lim}}{2} \end{cases}$$

式中: τ_E ——板格剪切理想弹性屈曲应力 τ_E :

$$\tau_E = k_\tau C_1 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_p}{s} \right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

其中: k_τ ——剪切屈曲系数, 见表 7.7.1 (1)。

7.7.2 承受双轴向压缩的板格, 则板格轴向受压临界屈曲应力应按如下计算:

(1) 短边受压: $\sigma_{cr,x} = C_{\beta_x} R'_{lim} \quad \text{N/mm}^2$;

(2) 长边受压: $\sigma_{cr,y} = C_{\beta_y} R'_{lim} \quad \text{N/mm}^2$;

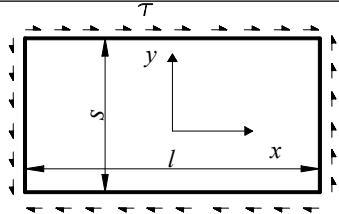
$$\text{式中: } C_{\beta_x} = \begin{cases} \frac{2.25}{\beta_x} - \frac{1.25}{\beta_x^2} & \beta_x \geq 1.25 \\ 1.0 & \beta_x < 1.25 \end{cases}, \quad C_{\beta_y} = \begin{cases} \frac{2.25}{\beta_y} - \frac{1.25}{\beta_y^2} & \beta_y \geq 1.25 \\ 1.0 & \beta_y < 1.25 \end{cases}$$

其中: $\beta_x = \frac{s}{t_p} \sqrt{\frac{R_{lim}}{E}}$, $\beta_y = \frac{b}{t_p} \sqrt{\frac{R_{lim}}{E}}$

板格屈曲系数

表 7.7.1(1)

板格受压及弯曲和剪切力学模型		屈曲系数
短边受压	<p>其中: $0 \leq \varphi \leq 1$</p>	$k_x = \frac{8.4}{\varphi + 1.1}$
	<p>其中: $-1 \leq \varphi < 0$</p>	$k_x = 7.6 - 6.4\varphi + 10\varphi^2$
长边受压	<p>其中: $0 \leq \varphi \leq 1$</p>	$k_y = \left[1 + \left(\frac{s}{l} \right)^2 \right]^2 \frac{2.1}{\varphi + 1.1}$
	<p>其中: $-1 \leq \varphi < 0$</p>	$k_y = 1.909(1 + \varphi) \left[1 + \left(\frac{s}{l} \right)^2 \right]^2 - k_p \varphi + 10\varphi(1 + \varphi) \left(\frac{s}{l} \right)^2$ <p>其中:</p> $k_y = \begin{cases} 24 \left(\frac{s}{l} \right)^2 & \frac{l}{s} \leq \frac{3}{2} \\ 2 + 16 \left(\frac{s}{l} \right)^2 + 8 \left(\frac{s}{l} \right)^4 & \frac{l}{s} > \frac{3}{2} \end{cases}$

板格受压及弯曲和剪切力学模型		屈曲系数
边缘受剪		$k_t = 5.34 + 4\left(\frac{s}{l}\right)^2$
注：表中 l 的单位为 mm。		

板格边界约束系数 C_1 、 C_2 表 7.7.1(2)

边界情况	C_1	C_2
空心剖面型材, $s/l < 500$, 且空心剖面闭合面积大于 $20(s \times t)$	1.1	2.50
主要支撑构件		1.30
T型和角铝扶强材		1.21
球扁铝		1.10
扁铝		1.05
	1.0	

7.7.3 承受面内双轴向压缩和剪切共同作用下的板格极限应力, 按如下计算:

(1) 板格 x 轴向极限应力 σ_{xu} :

$$\sigma_{xu} = \sigma_{cr,x} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: $\sigma_{cr,x}$ —— 见 7.7.2 (1)。

(2) 板格 y 轴向极限应力 σ_{yu} :

$$\sigma_{yu} = R'_{lim} \frac{b_{eff,y}}{b} \quad \text{N/mm}^2, \text{ 且取值不小于 } \sigma_{cr,y}。$$

式中: $b_{eff,y} = C_{\beta_x} s + 0.115l \left(1 - \frac{s}{b}\right) \left(1 + \frac{1}{\beta_x^2}\right)^2$

β_x —— 见 7.7.2;

$\sigma_{cr,y}$ —— 见 7.7.1 (1)。

(3) 板格剪切极限应力 τ_u :

$$\tau_u = \tau_{cr} + \left[0.5(R'_{lim} - \sqrt{3}\tau_{cr}) \sqrt{1 + \frac{b}{s} + \left(\frac{b}{s}\right)^2} \right] \quad \text{N/mm}^2, \text{ 且取值不小于 } \tau_{cr}。$$

式中: τ_{cr} —— 见 7.7.1 (2)。

上述的板格极限应力公式仅用于 7.6.2 中的板格有限元极限强度校核。

7.7.4 承受侧向均布压力的板格极限应力 p_u , 按如下计算:

$$p_u = 4R'_{lim} \left(\frac{t_p}{s}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{s}{b}\right)^2 \right] \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{VM}}{R'_{lim}}\right)^2} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: σ_{VM} —— 板格单元的膜相当应力 (Von Mises), N/mm^2 。

7.7.5 除非另有说明, 骨材/主要支撑构件的临界屈曲应力取值, 应按如下规定:

$$\begin{aligned}
\text{柱式屈曲: } \sigma_{cr_a} &= \begin{cases} \sigma_{Ea} & \sigma_{Ea} \leq \frac{R'_{lim}}{2} \\ \sigma_s \left(1 - \frac{R'_{lim}}{4\sigma_{Ea}}\right) & \sigma_{Ea} > \frac{R'_{lim}}{2} \end{cases} \\
\text{扭转屈曲: } \sigma_{cr_t} &= \begin{cases} \sigma_{Et} & \sigma_{Et} \leq \frac{R'_{lim}}{2} \\ \sigma_s \left(1 - \frac{R'_{lim}}{4\sigma_{Et}}\right) & \sigma_{Et} > \frac{\sigma_{sw}}{2} \end{cases} \\
\text{腹板局部屈曲: } \sigma_{cr_{web}} &= \begin{cases} \sigma_{E_{web}} & \sigma_{E_{web}} \leq \frac{R'_{lim}}{2} \\ \sigma_{sw} \left(1 - \frac{R'_{lim}}{4\sigma_{E_{web}}}\right) & \sigma_{E_{web}} > \frac{R'_{lim}}{2} \end{cases} \\
\text{面板局部屈曲: } \sigma_{cr_{flange}} &= \begin{cases} \sigma_{E_{flange}} & \sigma_{E_{flange}} \leq \frac{R'_{lim}}{2} \\ \sigma_{sw} \left(1 - \frac{R'_{lim}}{4\sigma_{E_{flange}}}\right) & \sigma_{E_{flange}} > \frac{R'_{lim}}{2} \end{cases}
\end{aligned}$$

式中: σ_{Ea} 、 σ_{Et} 、 $\sigma_{E_{web}}$ 、 $\sigma_{E_{flange}}$ ——见本条如下 (1)、(2)、(3) ;

(1) 骨材/主要支撑构件理想弹性梁柱受压屈曲应力 σ_{Ea} :

$$\sigma_{Ea} = C_{end} \frac{\pi^2 E}{(l/r_{eff})^2} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: r_{eff} —— $10\sqrt{I_{eff}/A_{eff}}$, mm, I_{eff} (cm⁴) 和 A_{eff} (cm²) 分别为计入有效带板宽度的骨材剖面惯性矩和剖面积, 其中: 带板宽度可取骨材间距。如铺板仅在一边延伸时, 取骨材间距的一半;

C_{end} ——构件端部约束系数, 取值如下:

$$C_{end} = \begin{cases} 1 & \text{两端简支} \\ 2 & \text{一端简支, 一端固定} \\ 4 & \text{两端固支} \end{cases}$$

(2) 骨材/主要支撑构件理想弹性扭转屈曲应力 σ_{Et} :

$$\sigma_{Et} = \frac{\pi^2 E I_\omega}{I_p l^2 \times 10^4} \left(n^2 + \frac{K_B}{n^2} \right) + 0.385 E \frac{I_t}{I_p} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: n ——半波数, 见表 7.7.5 (1) ;

I_t 、 I_p 、 I_ω —— 见表 7.7.5 (2) ;

$$K_B = \frac{C_T l^4}{\pi^4 E I_\omega} \times 10^6 \quad ;$$

$$C_T = \frac{E t_p^3}{2.73 s} \times 10^{-3} \quad .$$

半波数 n 值

表 7.7.5(1)

	$0 < K_B \leq 4$	$4 < K_B \leq 36$	$36 < K_B \leq 144$	$(n-1)^2 n^2 < K_B \leq n^2 (n+1)^2$
n	1	2	3	n

惯性矩

表 7.7.5(2)

剖面惯性矩名称	(1) 扁铝	(2) 折边/角铝/球扁铝	(4) T 型材
I_s, cm^4 剖面的圣维南惯性矩 (不包括带板)	$\frac{h_w t_w^3}{3} \times 10^{-4}$	$\frac{1}{3} \left[h_w t_w^3 + b_f t_f^3 \left(1 - 0.63 \frac{t_f}{b_f} \right) \right] \times 10^{-4}$	同 (2)
I_p, cm^4 骨材与板连接处的剖面极惯性矩	$\frac{h_w t_w^3}{3} \times 10^{-4}$	$\left(\frac{h_w t_w^3}{3} + h_w^2 b_f t_f \right) \times 10^{-4}$	同 (2)
I_ω, cm^6 骨材与板连接处的剖面扇形惯性矩	$\frac{h_w t_w^3}{36} \times 10^{-6}$	$\frac{b_f^3 h_w^2}{12(b_f + h_w)^2} (t_f b_f^2 + 2b_f h_w + 4h_w^2 + 3t_w b_f h_w) \times 10^{-6}$	$\frac{t_f b_f^3 h_w^2}{12} \times 10^{-6}$

(3) 骨材/主要支撑构件腹板和面板的理想受压屈曲应力 σ_{E_web} 、 σ_{E_flange} :

- ① 扁铝: $\sigma_{E_web} = 5.5(t_w/h_w)^2 \times 10^4 \quad \text{N/mm}^2;$
- ② 对称面板的焊制型材: $\sigma_{E_web} = 27(t_w/h_w)^2 \times 10^4 \quad \text{N/mm}^2;$
- ③ 面板: $\sigma_{E_flange} = 11(t_f/b_f)^2 \times 10^4 \quad \text{N/mm}^2。$

7.7.6 临界屈曲应力和极限应力计算时, 铝合金构件的计算厚度应至少扣除标准减薄厚度 0.15 mm。