

图 2.11.1.15 一个支臂  
的受力情况

图 2.11.1.14 双支臂轴支架受力情况

在支臂端部 II - II 剖面处正应力为：

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{T_{\max}}{F} \quad (2.11.1.25)$$

在支臂的根部 I - I 处，作用弯矩为：

$$M = M_1 - (N_1 + N_2) l_1 + Q_1 l_1 \quad (2.11.1.26)$$

当弯矩为最大值时，

$$M_{\max} = A \cos \theta + B \sin \theta \quad (2.11.1.27)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{Pa \left[ l_2^3 I_1 \left( 2 + 3 \frac{l_1}{l_2} \right) - l_1^3 I_2 \right] + 4R_{\max} \cos \alpha \cos \beta l_2^3 I_1}{4 \cos \alpha [l_1^3 I_2 + l_2^3 I_1]} \\ B &= \frac{Pa \sin \beta \frac{l_2^3 I_1 \left( 2 - 3 \frac{l_1}{l_2} \right) - l_1^3 I_2}{4 \sin \alpha}}{l_1^3 I_2 + l_2^3 I_1} \\ \theta &= \arctan \frac{B}{A} \end{aligned} \right\} \quad (2.11.1.28)$$

当  $\beta \approx 90^\circ$ ，且支臂对称时，

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{Pa}{2 \cos \alpha} \\ B &= \frac{Pa}{4 \sin \alpha} \end{aligned} \right\} \quad (2.11.1.29)$$

在支臂根部 I - I 剖面处的应力为：

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{T}{F} \quad (2.11.1.30)$$

## 2.11.2 舳龙骨

### 2.11.2.1 概述

设置舳龙骨可以减少船舶的横摇角，增加附连水质量惯性矩，船舶横摇周期也稍有增大，但却增加船体阻力。故在设计舳龙骨时，应注意使其位置尽可能顺着流线方向布置（通常由船模试验获得）。

舳龙骨一般设于船体中部，不考虑参与船体总纵弯曲，仅承受船舶摇摆时的水压力，每平方米舳龙骨面积的载荷约为：

$$q = \frac{M_m}{2Fd}$$

(2.11.2.1)

式中  $M_m$ ——舳龙骨产生的稳定力矩的最大值；

$F$ ——舳龙骨总面积；

$d$ ——舳龙骨至摇摆轴的平均距离，可近似地取重心至舳龙骨之间距离计算。

## 2.11.2.2 舳龙骨的结构设计

### 1. 结构形式

1) 刚性结构 结构较复杂，如图 2.11.2.1 (a) 所示仅适用于宽度大于 600 的舳龙骨，它参与船体总纵弯曲。这种结构其缓冲作用较好，但安装时，如密性不良，易于腐蚀。

2) 柔性结构 采用平板形式，外缘通常设置圆钢、半圆钢或扁钢，以增大刚性。这种设计为柔性结构，有连续或间断的两种形式。通常不参与船体的总纵弯曲，且希望在舳龙骨碰伤时，不致损及舳板，因此舳龙骨与舳板之间还设有扁钢作为过渡。如图 2.11.2.1 (b) (c) 所示。

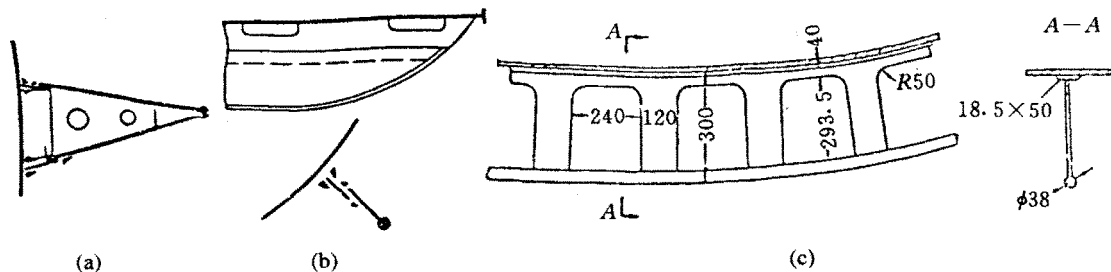


图 2.11.2.1 舳龙骨形式

所有形式的舳龙骨的端部与外板相连处，在航行中易受损伤。因此该处应逐渐削斜，且首端的削斜部分长度需更长，与外板的夹角需更小，应加垫板，且终止在船体内部构件的位置。如图 2.11.2.2 所示。

在舳板对接焊缝处，如舳龙骨处理不善，可能造成舳板的裂缝。因此，舳龙骨的对接焊缝一定要与舳板的对接焊缝错开一段距离，且在舳龙骨对接缝的靠近垫板处开设止裂孔，同时，可将舳板对接缝的增高量批平，使垫板连续而避免产生裂缝。

### 2. 舳龙骨的位置

舳龙骨的正确位置应按船模试验确定。在缺乏上述资料时，在船舳剖面上的位置可按图 2.11.2.3 确定，图中  $O$  点为假设横摇中心，取稳心与重心之间的中点。

舳龙骨沿船长的位置应与船模试验所确定的流线吻合。有时根据舳部位置与流线确定的舳龙骨，可能延伸到水面或非常接近基线或底部倾斜线，这时可采取两段舳龙骨，使原来舳龙骨中断，而在另一流线处重新设舳龙骨，两段舳龙骨在交接处可以削斜、重叠或只削斜而不重叠。它们之间的舳部展开距离取 1.5 倍 ~ 2 倍的该处舳龙骨宽度，见图 2.11.2.4 (a)。有些船舶，舳部的舳半径很小，接近于矩形剖面，则在此范围内可不设置舳龙骨，如图 2.11.2.4 (b) 所示。

### 3. 舳龙骨尺寸

1) 面积 根据曼德尔对 40 艘船的统计，舳龙骨在一舷的总面积  $F$ ，一般为  $L \times B$  的 2% ~ 4%，设计时可于上、下限间选取。

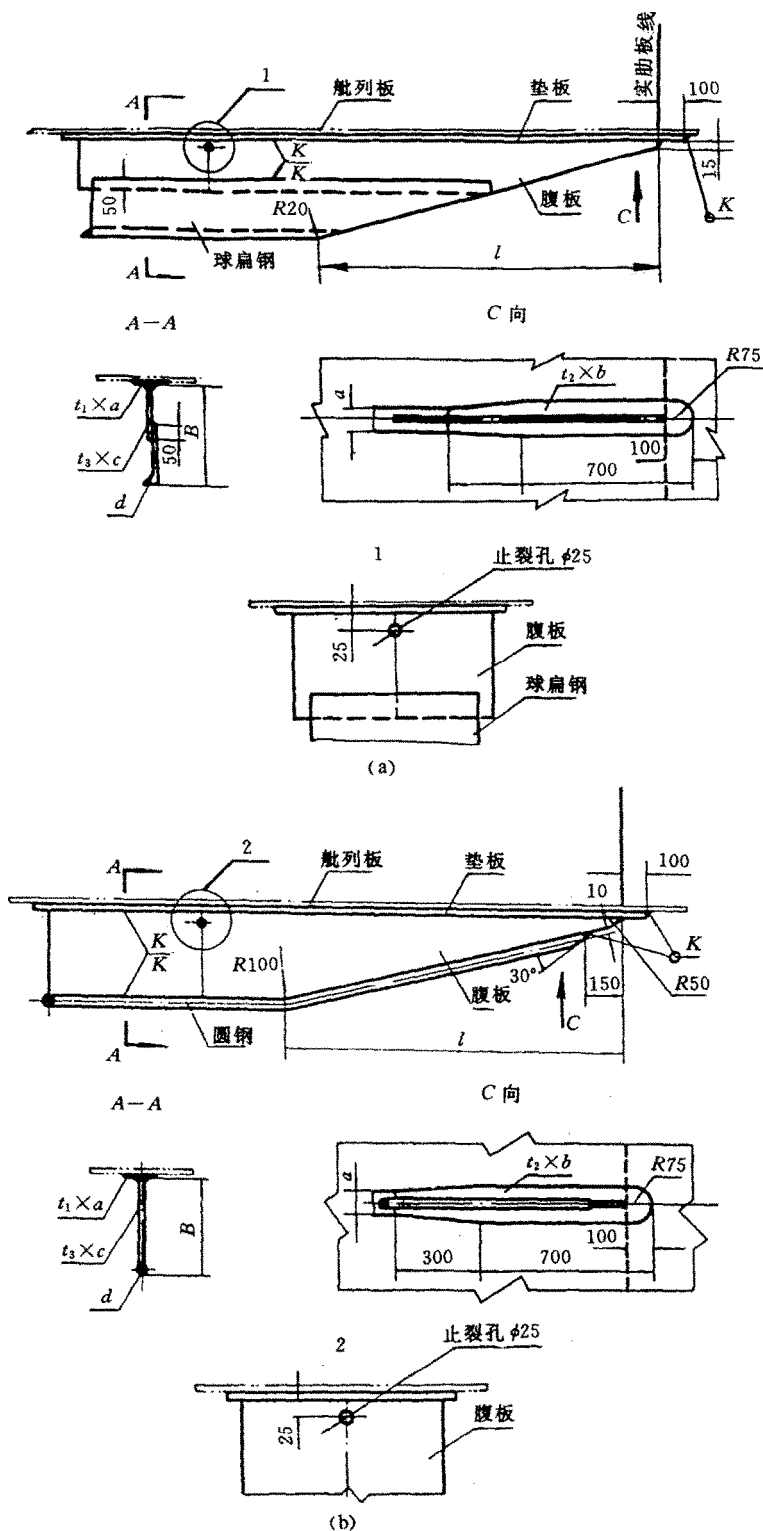
2) 长度 在面积和宽度确定后，即可求得。一般约在船长的 1/4 ~ 3/4 之间，航速较低，方形系数  $C_B$  较大的船，需长一些；航速快，方形系数  $C_B$  较小的船，则短些较好。

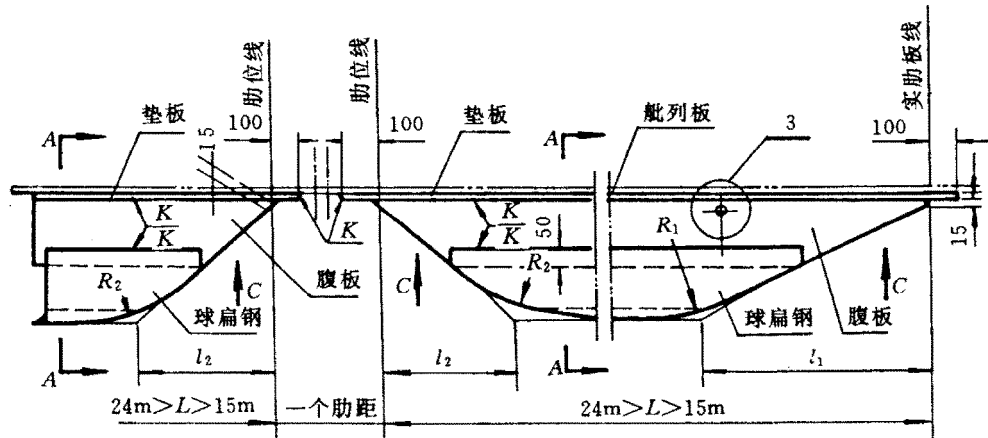
3) 宽度 根据船型及舳龙骨结构形式的不同，一般取 0.2m ~ 1.2m，平均约为船宽的 2% ~ 5%。通常方形系数  $C_B$  较大者，宜取小些， $C_B$  较小者，可取大些；连续舳龙骨，可取小些，间断舳龙骨应取大些。

一般货船可取  $0.015B$ ，尖底船则可取  $\frac{D}{60} + 100\text{mm}$ ，但不得超出船舳剖面的方框线之外，最好能限制在图

2. 11. 2. 3 折线  $DKF$  之内, 以保证船舶离靠码头与搁浅时不致损坏舢龙骨。

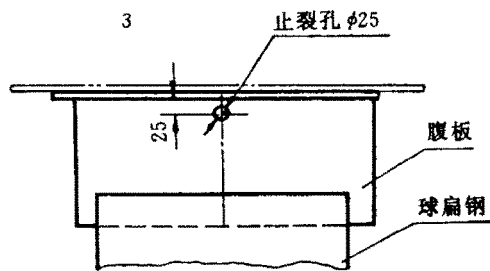
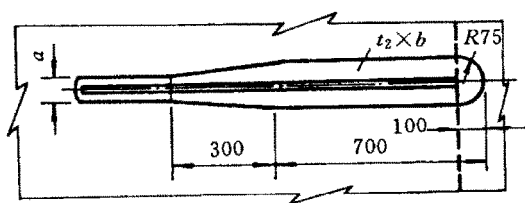
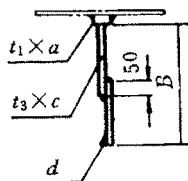
4) 间断舢龙骨的展弦比  $2b/l$  最好取 5.0, 最佳间隙与宽度之比取 2.0, 断面形状如表 2. 10. 2. 1 所示的 5, 7, 8 三种为最好。为防止板的振动而损坏舢龙骨, 最好两者的比值避开 0.65 与 1.60 之间的区域, 即:





A-A

C向



(c)

图 2.11.2.2 艉龙骨端部结构

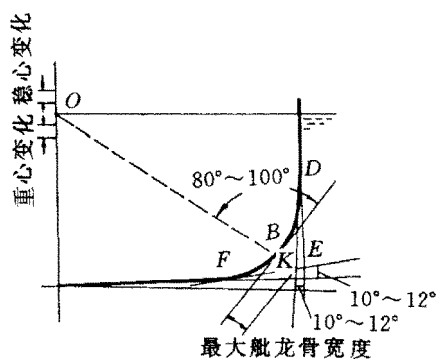


图 2.11.2.3 船舯剖面上艉龙骨位置

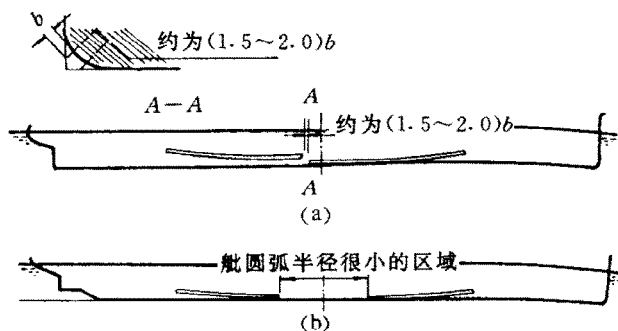


图 2.11.2.4 艉龙骨沿船长布置形式

(a)交错布置的形式 (b)舯部不设艉龙骨的形式。

$$0.65 \geq r = k \frac{f_p}{f_v} \geq 1.60 \quad (2.11.2.2)$$

式中  $f_y$ ——海水中板的振动频率，按式 (2.11.2.3) 确定；  
 $f_v$ ——静水中航行时板的后缘发生涡流振动频率，按式 (2.11.2.4) 确定：

$$f_p = 0.56 \sqrt{\frac{EI \left[ 1 + \varphi_1 \frac{I_1 b^3}{I (S+L)^3} + \psi e^2 \frac{I_0 b^3}{I h^3} \right]}{\mu b^4 \left( 1 + 0.053 \frac{b'}{t} \right) \left( 1 + \varphi_2 \frac{m_1}{m} + \psi e^2 \frac{m_0}{m} \right)}} \quad (2.11.2.3)$$

$I_0$ ——在图 2.11.2.5 中，每个格栅单元两侧 A-A 剖面的惯性矩之和；

$m_0$ ——上述板每个单元的总质量， $m_0 = S h \rho$ ；

$\rho$ ——钢材密度 ( $\text{t/m}^3$ )；

$I$ ——垂直栅板的剖面惯性矩；

$m$ ——垂直栅板的质量； $m = l t b \rho$ ； $\mu = \frac{m}{b}$ ；

$I_1$ ——每单元的圆钢剖面惯性矩；

$m_1$ ——上述圆钢的质量， $m_1 = \mu_1 (l + s)$ ；

$t$ ——板厚；

$e$ ——由式 (2.11.2.5) 确定。

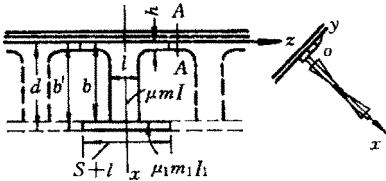


图 2.11.2.5 间断舳龙骨结构

在上述展弦比与隙长比的情况下为：

$$\varphi_1 = 0.44, \varphi_2 = 2.74, \psi = 0.153, k = 0.76;$$

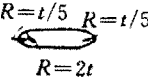
$$f_v = C \frac{v}{t} \quad (2.11.2.4)$$

式中  $C$ ——系数，与垂直栅板的剖面形状有关的加藤弘试验的结果，如表 2.11.2.1 所示；  
 $v$ ——板的行进速度。

$$e = \frac{1}{3} \left[ 6 \left( \frac{h}{b} \right)^2 - 4 \left( \frac{h}{b} \right)^3 + \left( \frac{h}{b} \right)^4 \right] \quad (2.11.2.5)$$

表 2.11.2.1 各种剖面的 C 值

序号	剖面形状	t/cm	l/cm	C	$G_s^{①}$
1		3.0	20.4	0.134	
2		3.0	18.0	0.154	0.168
3		4.0	24.0	0.201	0.208
4		3.0	20.4	0.172	0.193
5		3.0	21.0	0.416	
6		3.0	18.0	3m/s, 0.204 <sup>②</sup> 4m/s, 0.247 5m/s, 0.273	0.242 0.288 —
7		3.0	21.0	0.425	—

序号	剖面形状	$t/\text{cm}$	$l/\text{cm}$	$C$	$C_s^{①}$
8		3.0	21.0	0.408	—
①角为 $5^\circ$ 时的试验值。 ②不同速度时的试验值					

舳龙骨尺寸可按相应的标准选取，表 2. 11. 2. 2 是按船长决定的尺寸。

表 2. 11. 2. 2 舳龙骨尺寸

构件名称 船长 $L/\text{m}$	构件尺寸			
	与舳板相连接的扁钢	腹板/mm	面板/mm	端部削料长度/mm
$L < 200$	$50 \times 12$	$300 \times 12$	$50 \times 20$	900
$200 < L < 250$	$50 \times 16$	$380 \times 14$	$50 \times 20$	1100
$250 < L < 310$	$50 \times 20$	$450 \times 16$	$50 \times 20$	1400
$310 < L$		$450 \times 19$	$50 \times 20$	

4. 舳龙骨的材质

舳龙骨的材质见表 2. 11. 2. 3。

表 2. 11. 2. 3 舳龙骨材质

构件	材质
与舳板相连扁钢	比舳板高一级钢材，但不必采用比“E”，或“EH”级更好的优质钢材
腹板	比舳板高一级钢材，但不必采用比“E”或“EH”级更好的优质钢材
面板	采用“B”或“DH”级钢材

## 2. 11. 3 舷墙和挡风板

### 2. 11. 3. 1 概述

舷墙可以防浪，并能确保船舶摇摆时船员和乘客的安全。

舷墙有参与和不参与船体总纵弯曲的两种结构，前者设计时尚应考虑该处的总纵强度，后者只承受波浪的冲击载荷。

### 2. 11. 3. 2 舷墙的结构设计

#### 1. 结构形式

1) 参与或部分参与船体总纵弯曲的舷墙结构，如图 2. 11. 3. 1 所示的 3 种形式：(a) 图系舷墙板与舷侧顶板刚性连接；(b) 图系用胀缩接头与上层建筑的端点连接，舷墙板除开口部分外，与舷侧顶板刚性连接；(c) 图系舷墙板与舷侧顶板分开，但其两端与上层建筑端部刚性连接。