



中国船级社

纤维增强塑料船建造规范

2015

生效日期：2016年1月1日

北京

目 录

第1章 总则.....	1
第1节 通则.....	1
第2节 定义.....	1
第3节 材料.....	1
第4节 图纸和技术文件.....	2
第2章 船体结构.....	4
第1节 通则.....	4
第2节 总纵强度.....	11
第3节 外板.....	14
第4节 甲板.....	17
第5节 船底骨架.....	19
第6节 甲板骨架.....	22
第7节 舷侧骨架.....	26
第8节 舱壁.....	27
第9节 支柱.....	29
第10节 主机基座与机舱骨架.....	31
第11节 上层建筑和甲板室.....	31
第12节 货舱口、机舱口及其他甲板开口.....	33
第13节 舷墙和栏杆.....	35
第14节 双体船船体结构补充规定.....	35
第15节 直接计算.....	41
第16节 其他.....	48
第3章 锚泊及系泊设备.....	50
第1节 通则.....	50
第2节 锚泊及系泊设备.....	50
第4章 建造.....	53
第1节 生产条件.....	53
第2节 工艺认可.....	53
第3节 施工.....	54
第4节 连接.....	56
第5节 检验和试验.....	59
第5章 修补.....	61
第1节 通则.....	61
第2节 材料.....	61
第3节 层板的修补.....	61
第4节 夹层板的修补.....	69
第5节 检验.....	70
附录.....	71
A 结构构造细则.....	71
B 纤维增强塑料主要缺陷及其成因.....	83
C 本规范引用的国家标准.....	84
D 单位换算表.....	87

第1章 总则

第1节 通则

1.1.1 一般规定

1.1.1.1 本规范适用于用不饱和聚酯树脂、环氧树脂、玻璃纤维或高强纤维（如芳纶纤维、碳纤维等）为主要构造材料，以手糊成型（或辅以喷射、真空成型）工艺、树脂导入成型工艺建造的纤维增强塑料民用船舶。

1.1.1.2 本规范适用于船长大于等于 20m 小于等于 60m，航行于沿海航区、遮蔽航区的海船和航行于内河航区的河船。

1.1.1.3 本规范不适用于游艇、油船、散装化学品船以及高速船舶。

1.1.1.4 除本规范有明确规定外，纤维增强塑料船舶还应满足中国船级社《国内航行海船建造规范》或《钢质内河船舶建造规范》的相关要求，以及中国海事局《国内航行海船法定检验技术规则》或《内河船舶法定检验技术规则》的相关规定。

第2节 定义

1.2.1 定义

1.2.1.1 船长 L (m)：沿夏季载重水线（或满载水线）自首柱前缘量至舵柱后缘的长度；对无舵柱船舶由首柱前缘量至舵杆中心线；但均应不小于夏季载重水线（或满载水线）长度的 96%，且不大于 97%。

对于无舵杆船舶的船长取夏季载重水线（或满载水线）长度的 97%。

1.2.1.2 船宽 B (m)：在船舶的最宽处，由一舷的外板外缘量至另一舷外板外缘之间的水平距离。

1.2.1.3 型深 D (m)：在船长中点处，沿船舷由船底板外表面或船底板外表面的延长线与船中心线相交点（以下简称基点）量至干舷甲板上表面之间的垂直距离。

1.2.1.4 吃水 d (m)：在船长中点处，由基点到夏季载重线（或满载水线）的垂直距离。

1.2.1.5 干舷甲板：按《国内航行海船法定检验技术规则》或《内河船舶法定检验技术规则》有关规定量计干舷高度的甲板。

1.2.1.6 强力甲板：在中部纵通的，构成等值梁上翼板的最上层连续甲板。

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

第3节 材料

1.3.1 一般规定

1.3.1.1 建造纤维增强塑料船所采用的原材料以及塑料制品的试样制作应符合中国船级社《材料与焊接规范》第 2 篇第 2 章的规定。

1.3.1.2 纤维增强塑料的制作、试验和检验应符合中国船级社《材料与焊接规范》第 2 篇第 3 章的规定。

1.3.1.3 推荐使用以纤维短切毡和无捻粗纱正交布交替铺糊成型的层板。

1.3.1.4 生产船用树脂、纤维等非金属材料或其制品的工厂应按规定向中国船级社申请型式认可或工厂认可。

1.3.2 防护

1.3.2.1 船体外板、甲板的外表面应涂敷胶衣树脂进行防护。胶衣应具有良好的耐候性、耐水性及韧性，涂层要致密均匀。

1.3.2.2 潮湿舱室层板的内表面应采用敷设富树脂层或涂敷油漆进行防护。

1.3.2.3 高海拔地区的纤维增强塑料船，建议在基体材料中适当添加紫外线吸收剂。

第4节 图纸和技术文件

1.4.1 一般要求

1.4.1.1 新建船舶应按本节规定向中国船级社提交图纸资料审查。

1.4.1.2 对特殊型式的船舶，中国船级社可要求增加送审图纸或技术文件的范围。

1.4.2 船体部分图纸或技术文件

1.4.2.1 下列船体图纸资料应提交中国船级社审批：

- (1) 船体结构规范计算书（包括总纵强度和局部强度）；
- (2) 结构强度直接计算书（如有时）；
- (3) 总布置图；
- (4) 基本结构图；
- (5) 主要横剖面结构图；
- (6) 主舱壁结构图；
- (7) 上层建筑和舱室结构图；
- (8) 纤维增强塑料层板铺层设计图；
- (9) 主机座和推力轴承座结构图；
- (10) 与船体构成整体的油水舱柜图；
- (11) 舵叶、舵杆和舵承结构图及其强度计算书；
- (12) 舷墙、栏杆结构图；
- (13) 舾装数计算书；
- (14) 锚泊、系泊设备布置图；
- (15) 原材料详细清单及技术说明书；
- (16) 结构节点图；
- (17) 船体建造工艺。

1.4.2.2 下列船体图纸资料应提交中国船级社备查：

- (1) 船体说明书；
- (2) 型线图；
- (3) 静水力曲线图；
- (4) 重量重心计算书。

1.4.3 轮机和电气设备部分图纸

1.4.3.1 下列轮机和电气图纸资料应提交中国船级社审批：

- (1) 机舱布置图；
- (2) 管系布置图（包括主辅机排气、燃油管系、消防水管系及舱底水管系）；

- (3) 螺旋桨图;
- (4) 轴系布置图;
- (5) 轴系各轴零件图;
- (6) 螺旋桨强度计算书;
- (7) 轴系强度计算书;
- (8) 尾管轴承及其与船体的连接图;
- (9) 液压操舵装置系统图 (如适用);
- (10) 舱室通风系统图及计算书 (如适用);
- (11) 救生设备布置图;
- (12) 灭火设备布置图;
- (13) 电力负荷计算书;
- (14) 蓄电池容量计算书;
- (15) 电力系统图
- (16) 电力设备布置图 (包括发电机、蓄电池、配电板等设备的安装位置);
- (17) 照明系统图和布置图;
- (18) 主干电缆走向图;
- (19) 主配电板 (或蓄电池充放电板) 单线图;
- (20) 应急配电板 (或蓄电池充放电板) 单线图;
- (21) 遥控、报警系统图;
- (22) 电气接地布置结构图。

1.4.3.2 下列轮机、电气图纸资料应提交中国船级社备查:

- (1) 轮机说明书;
- (2) 全船电气说明书;
- (3) 机械设备明细表;
- (4) 电气设备明细表。

第2章 船体结构

第1节 通则

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 本章适用于下列主尺度比值范围的船舶:

(1) 海船:

$$L/D \leq 14$$

$$B/D \leq 2.5$$

(2) 河船:

$$L/D \leq 18$$

$$B/D \leq 4$$

2.1.1.2 当船长大于等于 30m 时, 对于单板结构船舶其船中部 $0.4L$ 区域的甲板、船底和舷侧结构应采用纵骨架式。

2.1.1.3 特殊船型或特殊尺度的船舶, 以及采用新颖结构型式的船舶, 应按照本章第 15 节由直接计算校核结构的总纵强度和局部强度, 如为双体船, 还应按照本章第 15 节校核连接桥的总横弯曲强度和扭转强度。

2.1.1.4 经本社同意, 本节 2.1.1.3 所述船舶的构件尺寸可按本章的第 15 节由直接计算确定, 但应满足本规范的最小厚度要求。

2.1.2 局部计算载荷

2.1.2.1 船底和舷侧结构的计算载荷相当水柱高度 h 值按下述规定确定:

(1) 海船船底和舷侧结构的计算载荷相当水柱高度 h 应不小于按下式计算所得之值:

$$h = 1.2d + 0.007L + 0.9 \quad \text{m}$$

式中: d ——吃水, m ;

L ——船长, m 。

当计算 h 值小于船舶的型深 D 时, 取 $h = D$ 。

对于遮蔽航区船底和舷侧结构的计算载荷相当水柱高度可取上式计算所得之值的 0.95 倍。

(2) 河船船底和舷侧结构的计算载荷相当水柱高度 h 应不小于按下式计算所得之值:

$$h = d + r \quad \text{m}$$

式中: d ——设计吃水, m ;

r ——半波高, m , A 级航区取 $r=1.25\text{m}$ 、B 级航区取 $r=0.75\text{m}$ 、C 级航区取 $r=0.5\text{m}$, 当计算 h 值大于船舶的型深 D 时, 取 $h = D$ 。

2.1.2.2 甲板结构的计算载荷相当水柱高度 h 值按下述规定确定:

(1) 海船甲板结构的计算载荷相当水柱高度 h 应按表 2.1.2.2 (1) 选取:

表 2.1.2.2 (1)

甲板位置	相当水柱高度
露天强力甲板	$h = h_0 = 0.025L + 0.45 \quad \text{m}$ 式中: L ——船长, m

首垂线 0.15L 以前的露天甲板和艏楼甲板	$h = 1.2h_0$
露天载货甲板	$h = 1.2 \frac{Q}{F} + 0.3 \quad \text{m}$ 式中: Q ——载货甲板货物总重量, t ; F ——载货甲板载货区域总面积, m^2 。 当 $h < h_0$ 时, 取 $h = h_0$
上层建筑和甲板室内强力甲板、平台甲板、尾楼甲板、第一层甲板室甲板	$h = 0.8h_0$
上层建筑或甲板室第一层以上各层甲板	依次取 $h = 0.6h_0$ 、 $h = 0.4h_0$ 、 \dots 、但不小于 0.45m

(2) 河船甲板结构的计算载荷相当水柱高度 h 应按表 2.1.2.2 (2) 选取:

表 2.1.2.2 (2)

甲板位置	相当水柱高度
露天强力甲板	A 级航区: $h = 0.725\text{m}$; B 级航区: $h = 0.6\text{m}$; C 级航区: $h = 0.5\text{m}$;
载货甲板	$h = 1.2 \frac{Q}{F} + 0.3 \quad \text{m}$ 式中: Q ——载货甲板货物总重量, t ; F ——载货甲板载货区域总面积, m^2 。 当 $h < 0.725\text{m}$ 时, 取 $h = 0.725\text{m}$
旅客甲板	$h = 0.45\text{m}$
船员甲板	$h = 0.35\text{m}$
顶篷甲板	$h = 0.2\text{m}$

2.1.3 船体梁计算载荷

2.1.3.1 船体梁的静水弯矩按传统方法计算。计算静水弯矩和静水剪力时, 向下的载荷取为正值, 向上的载荷取为负值, 从尾端向船首沿船长积分。静水弯矩 M_s 和静水剪力 F_s 的符号 (正、负) 规定见图 2.1.3.1。

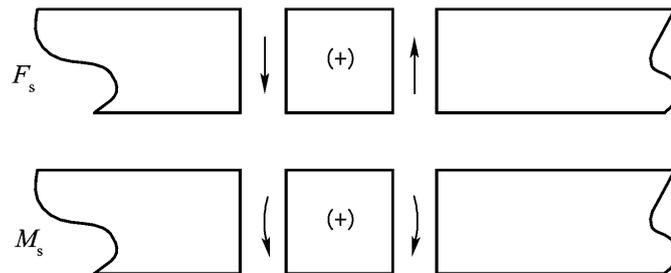


图 2.1.3.1

2.1.3.2 船体梁各横剖面中拱波浪弯矩 $M_w(+)$ 和中垂波浪弯矩 $M_w(-)$ 按下列公式计算:

(1) 海船:

$$M_w(\pm) = \pm a K_M K C_b L^2 B \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中: L ——船长, m;

B ——船宽, m;

a ——航区系数, 沿海航区取 $a = 1.0$, 遮蔽航区取 $a = 0.95$;

K_M ——弯矩沿船长分布系数, 见图2.1.3.1;

K ——系数, $K = (684 + 7.05L) \times 10^{-3}$;

C_b ——方形系数, 当 $C_b < 0.6$, 取 $C_b = 0.6$; 当 $C_b > 0.85$, 取 $C_b = 0.85$ 。

(2) 河船:

$$M_w(\pm) = \pm a K_M K K_c L^2 B \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

式中: L ——船长, m;

B ——船宽, m;

a ——航区修正系数, A级航区, $a = 1$; B级航区, $a = 0.45$; C级航区, $a = 0.2$;

K_M ——弯矩沿船长分布系数, 见图2.1.3.2;

K ——系数, $K = (249 + 4.2L - 0.03L^2) \times 10^{-3}$;

K_c ——系数, $K_c = 1.6C_b + 0.04$ 。

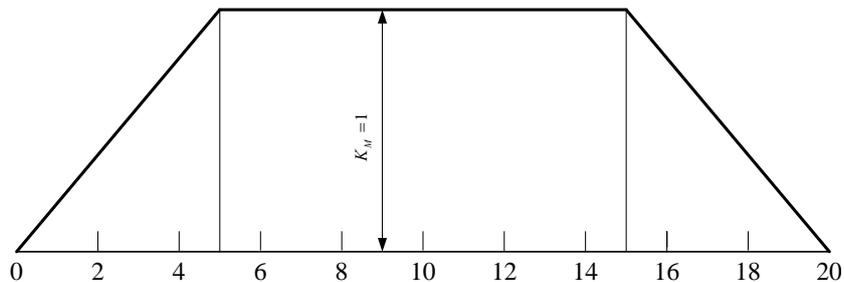


图2.1.3.2

2.1.3.3 船体梁各横剖面中拱波浪切力 $F_w(+)$ 和中垂波浪切力 $F_w(-)$ 按下列公式计算:

(1) 海船:

$$F_w(\pm) = \pm a K_F K L B (C_b + 0.7) \quad \text{kN}$$

式中: L ——船长, m;

B ——船宽, m;

a ——航区系数, 沿海航区取 $a = 1.0$, 遮蔽航区取 $a = 0.95$;

K_F ——切力沿船长的分布系数, 见图2.1.3.3;

K ——系数， $K = (108 + 1.112L) \times 10^{-2}$ 。

C_b ——方形系数，当 $C_b < 0.6$ ，取 $C_b = 0.6$ ；当 $C_b > 0.85$ ，取 $C_b = 0.85$ 。

(2) 河船：

$$F_w(\pm) = \pm a K_F K K_c L B \quad \text{kN}$$

式中： L ——船长，m；

B ——船宽，m；

a ——航区修正系数，A级航区， $a = 1$ ；B级航区， $a = 0.5$ ；C级航区， $a = 0.1$ ；

K_F ——一切力沿船长的分布系数，见图2.1.3.3；

K ——系数， $K = (758.5 + 27.9L - 0.3L^2) \times 10^{-3}$ 。

K_c ——系数， $K_c = 1.15C_b + 0.31$ 。

其中： C_b ——方形系数，当 $C_b < 0.6$ ，取 $C_b = 0.6$ ；当 $C_b > 0.85$ ，取 $C_b = 0.85$ 。

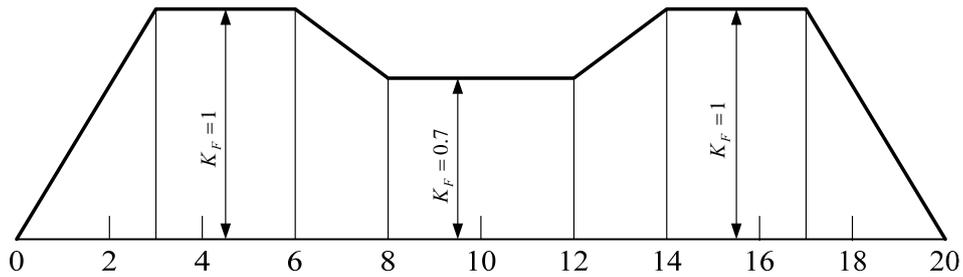


图2.1.3.3

2.1.4 标准铺层

2.1.4.1 规范规定的船体构件尺寸均以玻璃纤维无捻粗纱正交布铺糊成型的标准铺层设计单层板的力学性能为基准。

2.1.4.2 标准铺层设计层板的力学性能指标应不低于中国船级社《材料与焊接规范》第2篇第3章的要求，且两个主方向上的弹性模量的误差应不大于20%。

2.1.4.3 每层以玻璃纤维及其制品增强的层板厚度 t 可按下式计算：

$$t = \frac{W_G}{10\gamma_R G} + \frac{W_G}{1000\gamma_G} - \frac{W_G}{1000\gamma_R} \quad \text{mm}$$

式中： W_G ——单位面积玻璃毡或玻璃布的设计重量， g/m^2 ；

G ——层板的玻璃纤维含量（重量比），%；

γ_R ——经固化后的树脂密度， g/cm^3 ；

γ_G ——玻璃毡或玻璃布的密度， g/cm^3 。

2.1.5 骨材间距

2.1.5.1 单板结构的肋骨、纵骨及扶强材的间距 s 应不大于 500mm。

2.1.6 带板的有效宽度

2.1.6.1 本章中各构件剖面模数和惯性矩的要求值，除有特殊规定者外均为连带板的最小要求值。

2.1.6.2 单层板带板的有效宽度 b_e 取下列计算所得之值的小者：

$$b_e = s \quad \text{mm}$$

$$b_e = 23t + b_s \quad \text{mm}$$

式中： s ——骨材间距，mm；

t ——带板厚度，mm；

b_s ——骨材底脚宽度，mm，见图 2.1.6.2。

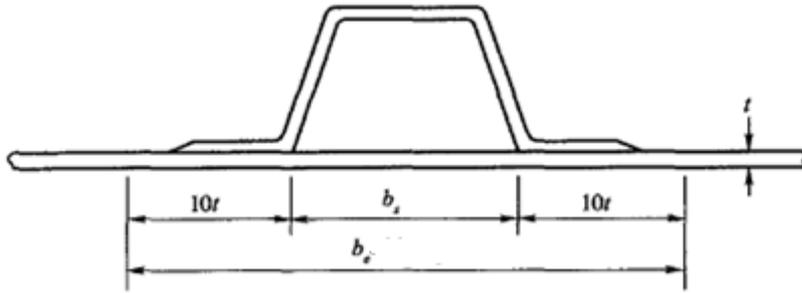


图 2.1.6.2

2.1.6.3 夹层板带板的有效宽度 b_e 应符合下述规定：

(1) 如芯材为泡沫塑料、轻木等软质材料时，带板的有效宽度 b_e 应不大于下式计算所得之值：

$$b_e = 11d \quad \text{mm}$$

式中： d ——带板的两面板厚度中心线间的距离，mm。

(2) 如芯材为胶合板等硬质材料时，带板的有效宽度 b_e 应不大于下式计算所得之值：

$$b_e = 35d \quad \text{mm}$$

式中： d ——带板的两面板厚度中心线间的距离，mm。

2.1.7 构件剖面几何尺寸

2.1.7.1 本章规定的构件剖面的几何形式，一般采用帽型剖面形式。

2.1.7.2 帽型剖面构件的腹板高度 h 与厚度 t 之比值以及面板宽度 b 与厚度 t_1 之比值应符合下列规定：

$$h/t \leq 30$$

$$b/t_1 \leq 20$$

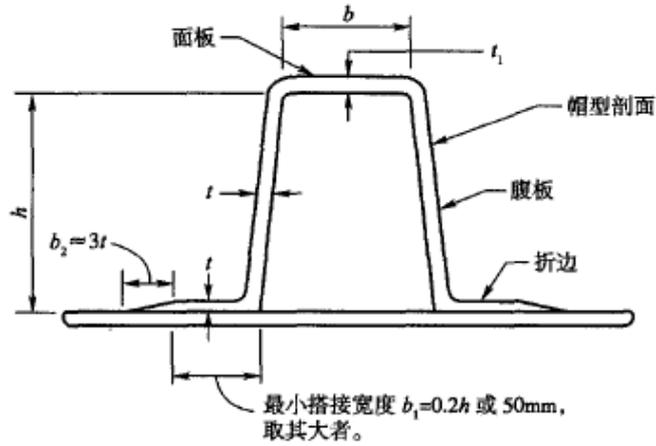


图2.1.7.2

2.1.7.3 T 型剖面构件的腹板高度 h 与厚度 t 之比值以及面板宽度 b 与厚度 t_1 之比值应符合下列规定:

$$h/t \leq 20$$

$$b/t_1 \leq 10$$

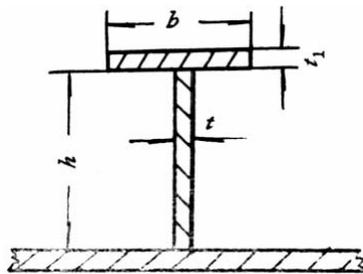


图 2.1.7.3

2.1.7.4 其他剖面形式构件的几何尺寸之比应另行考虑。

2.1.8 夹层结构

2.1.8.1 夹层板是由两层较薄的层板和中间一层较厚的芯材构成的合成板构件或梁构件。

2.1.8.2 夹层板的较薄面板与较厚面板的厚度之比应大于等于 0.5。

2.1.8.3 当船体外板、甲板、舱壁、围壁采用夹层板结构时，外板、甲板、舱壁、围壁上可仅设置强横梁、甲板纵桁、实肋板、底龙骨（纵桁）、强肋骨、舷侧纵桁等强骨材。

2.1.8.4 纵向、横向强骨材划分的夹层板板格的最大边长应不大于 3.6m。

2.1.8.5 夹层结构的芯材一般不参与结构的强度计算。

2.1.9 构件尺寸修正

2.1.9.1 对于单板结构，若层板的抗拉强度或抗弯强度大于 $180N/mm^2$ 时，则按本规范所计算所得的单板厚度和构件的剖面模数，可分别乘以按下式计算的系数 K_l 和系

数 K_w 进行修正:

$$(1) \text{ 层板厚度的修正系数: } K_t = \sqrt{180/\sigma_b}$$

$$(2) \text{ 构件剖面模数的修正系数: } K_w = 180/\sigma_{nu}$$

式中: σ_b —— 单层板的极限抗弯强度, N/mm^2 ;

σ_{nu} —— 单层板的极限抗拉强度, N/mm^2 ;

当 K_t 小于 0.5 时, 取 K_t 等于 0.5; 当 K_w 小于 0.7 时, 取 K_w 等于 0.7。

2.1.9.2 对于夹层板结构, 若其面板的抗拉强度大于 180N/mm^2 时, 则按本规范计算所得的夹层板面板的厚度和夹层结构梁的剖面模数, 可乘以按下式计算的系数 K 进行修正:

$$K = 180/\sigma_{nu}$$

式中: σ_{nu} —— 夹层结构面板的极限抗拉强度, N/mm^2 。

当系数 K 小于 0.5 时, 取 K 等于 0.5。

2.1.9.3 当单层板结构船体梁的上下翼板 (或夹层板结构船体梁上下翼板的面板) 的抗压强度大于 119N/mm^2 时, 按本规范计算所得的船体梁剖面模数 W_0 , 可乘以按下式计算的系数 K_0 进行修正:

$$K_0 = 119/\sigma_{pnu}$$

式中: σ_{pnu} —— 单层板或夹层板面板的极限抗压强度, N/mm^2 。

当系数 K_0 小于 0.7 时, 取 K_0 等于 0.7。

2.1.10 开孔

2.1.10.1 船中部 0.4L 区域内的强力甲板应尽量避免开孔。如必须开孔, 则开孔的形状应特殊设计以减小应力集中程度。舱口角隅区域应避免开孔。

2.1.10.2 应尽量减少在板和构件上开孔。当开孔直径大于 150mm 时, 单层板应在距孔缘周边不小于开孔半径的区域内至少加厚 50% 予以补强, 夹层板应预埋具有一定机械强度的套管予以补强。

2.1.10.3 主要骨材腹板上的开孔的高度应不大于骨材腹板高度的 0.4 倍, 开孔的长度应不大于开孔高度的 3 倍, 开孔边缘距骨材顶板的距离应不小于骨材腹板高度的 0.25, 否则应对开孔进行补强, 且开孔处的剖面模数应不小于规范要求值。开孔的边缘应平滑, 角隅应设圆弧。孔缘与孔缘之间的距离应尽可能远离, 且不小于开孔高度的 2 倍。

2.1.10.4 主要骨材腹板上的开孔边缘距骨材支撑点的距离应不小于腹板高度的 1.5 倍。主要骨材腹板在支柱和肘板趾端处不应开孔, 如否则应在开孔两端处设置垂向加

强筋加强。

2.1.10.5 单层板的所有开口的边缘应采用树脂封闭；夹层板的开孔边缘应用浸透树脂的毡封闭。

第2节 总纵强度

2.2.1 中剖面模数

2.2.1.1 船长等于或大于 20m 的船舶，船体中部剖面的对强力甲板边线和平板龙骨处的剖面模数 W_0 应不小于按下式计算所得之值：

(1) 海船：

$$W_0 = aK L^2 B (C_b + 0.7) \quad \text{cm}^3$$

式中： L —— 船长， m；

B —— 船宽， m；

a —— 系数，沿海航区，取 $a = 1.0$ ，遮蔽航区，取 $a = 0.85$ ；

K —— 系数， $K = 24 + 0.25L$ ；

C_b —— 船舶在设计夏季载重线（或满载水线）下的方形系数，当 $C_b < 0.6$ ，取 $C_b = 0.6$ ；
当 $C_b > 0.85$ ，取 $C_b = 0.85$ 。

(2) 河船：

$$W_0 = aK K_c L^2 B \quad \text{cm}^3$$

式中： L —— 船长， m；

B —— 船宽， m；

a —— 系数，A级航区， $a = 1.0$ ，B级航区， $a = 0.85$ ，C级航区， $a = 0.75$ ；

K —— 系数， $K = 9 + 0.63L - 0.0028L^2$ ；

K_c —— 系数， $K_c = 1.36 - 0.6C_b$ ；

其中： C_b —— 方形系数，当 $C_b < 0.6$ ，取 $C_b = 0.6$ ；当 $C_b > 0.85$ ，取 $C_b = 0.85$ 。

2.2.2 中剖面惯性矩

2.2.2.1 船长等于或大于 20m 的船舶，中剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I = 4.0W_0 L \quad \text{cm}^4$$

式中： L —— 船长， m；

W_0 —— 按 2.2.1.1 规定的中剖面模数， cm^3 。

2.2.3 中剖面模数计算

2.2.3.1 将中剖面对其中和轴的惯性矩分别除以从中和轴到中剖面舷侧处的强力甲板边线和到基线的垂直距离，就得出对甲板和船底的中剖面模数。

2.2.3.2 强力甲板及其以下所有在船中部 $0.4L$ 区域内连续的纵向构件，均可计入船体中剖面模数。舷顶列板在强力甲板以上的延伸部分可计入中剖面模数。对于甲板以上的舱口围板，在船中部 $0.4L$ 区域内保持连续时，可计入其 80% 的剖面积，但在计算对甲

板边线和平板龙骨处的剖面模数 W_0 时，应较 2.2.1.1 中要求的中剖面模数增大 5%。

2.2.3.3 在纵桁腹板上，垂向尺寸大于腹板高度 15% 的开口，计算时应扣除开口的剖面积。

2.2.3.4 在船中部 $0.4L$ 区域内舱口边线以外的甲板开口所占剖面积一般应予扣除。

2.2.4 总纵弯曲强度校核

2.2.4.1 对于船长大于等于 40m 的单板结构船舶，和船长大于等于 20m 的夹层结构船舶，除满足本节 2.2.1.1、2.2.2.1 的规定外，尚应校核下述工况的总纵弯曲强度：

- (1) 满载出港、到港；
- (2) 空载（加压载）出港、到港；
- (3) 可能出现的危险装载工况。

2.2.4.2 使船体产生中拱变形的总纵弯矩（静水弯矩和波浪弯矩）称为正（+）弯矩，此时甲板受拉应力作用，船底受压应力作用。使船体产生中垂变形的总纵弯矩（静水弯矩和波浪弯矩）称为负（-）弯矩，此时甲板受压应力作用，船底受拉应力作用。

2.2.4.3 船体梁各计算剖面的弯曲应力 σ_1 按下式计算：

$$\sigma_1 = \frac{M_s + M_w}{W_c} \times 10^3 \quad \text{N/mm}^2$$

式中： M_s ——计算剖面的静水弯矩， $\text{kN} \cdot \text{m}$ ；按本章 2.1.3.1 的规定计算

M_w ——计算剖面的波浪附加弯矩， $\text{kN} \cdot \text{m}$ ，按本章 2.1.3.2 的规定计算；

W_c ——计算点处船体梁的剖面模数， cm^3 。

2.2.4.4 船体梁各计算工况剖面中和轴处舷侧外板和纵舱壁（如设有）的剪切应力 τ 按下式计算：

$$\tau = \frac{|F_s| + |F_w|}{I} \cdot \frac{S}{\sum t} \times 10^{-1} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： F_s ——计算剖面静水剪力值， kN ；

F_w ——计算波浪剪力， kN ，按本章 2.1.3.2 的规定计算；

I ——计算剖面惯性矩， $\text{cm}^2 \cdot \text{m}^2$ ；

S ——计算剖面位于中和轴以上或以下剖分面积对中和轴的静矩， $\text{cm}^2 \cdot \text{m}$ ；

$\sum t$ ——计算剖面中和轴处舷侧外板和纵舱壁厚度之和， cm 。

若舷侧板和纵舱壁（如设有）为泡沫塑料芯材的夹层板，在计算舷侧板和纵舱壁上的剪切应力 τ 时，芯材的剖面积不应计入，仅计入夹层板两面板的厚度。

2.2.4.5 纵向构件的总纵弯曲计算拉应力 σ_1 应满足下式的要求：

$$\sigma_1 \leq 0.3\sigma_{mu}$$

式中： σ_{mu} ——层板的极限拉伸强度， N/mm^2 。

2.2.4.6 纵向构件的总纵弯曲计算压应力 σ_1 应满足下式的要求：

$$\sigma_1 \leq 0.3\sigma_{pu}$$

式中： σ_{pu} ——层板的极限压缩强度， N/mm^2 。

2.2.4.7 当舷侧为单板结构时，其总纵弯曲最大计算剪应力 τ 应满足：

$$\tau \leq 0.25\tau_u$$

式中： τ_u ——舷侧板层板的极限剪切强度， N/mm^2 。

2.2.4.8 当舷侧（纵舱壁）为夹层板结构时，其总纵弯曲最大计算剪应力 τ 应满足：

$$\tau \leq 0.5\tau_{cr}$$

式中： τ_{cr} ——夹层板的临界剪切应力， N/mm^2 ，取下列二式计算值的小者：

$$\tau_{cr} = 0.3\sqrt[3]{E_f^{45^\circ} E_c G_c} \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{cr} = 0.4\gamma G_c \quad \text{N/mm}^2$$

其中： $E_f^{45^\circ}$ ——夹层板面板沿 45° 方向的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

E_c ——芯材的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

G_c ——芯材的剪切弹性模量， N/mm^2 ；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ 。

2.2.4.9 船体梁船中部的最大挠度 f 应不大于船长的 $1/500$ 。最大挠度 f 可按下列式计算：

$$f = 0.1 \frac{M_s L^2}{E_1 I_z} \times 10 \quad \text{m}$$

式中： M_s ——各装载工况下的最大静水弯矩， $\text{kN} \cdot \text{m}$ ；

L ——船长， m ；

E_1 ——船长方向上的船体材料的弹性模量， N/mm^2 ；

I_z ——船中剖面的惯性矩， $\text{cm}^2 \cdot \text{m}^2$ 。

2.2.5 构件稳定性校核

2.2.5.1 对于船长大于等于 40m 的单板结构船舶，和船长大于等于 20m 的夹层结构船舶，尚应对船底板、强力甲板和舷侧板进行总纵弯曲情况下的板格稳定性校核。

2.2.5.2 纵骨架式单板结构船底板、强力甲板和舷侧板板格的总纵弯曲压应力 σ_1 ，

应不大于按下式计算所得的临界应力 σ_{cr} ：

$$\sigma_{cr} = K \frac{E_1}{1-\nu^2} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

式中： b ——板格短边长度， mm

t ——层板厚度， mm ；

E_1 ——层板两主方向弯曲模量的较小值， N/mm^2 ；

ν ——层板泊松比；

K ——系数，强力甲板取 $K = 4.4$ ，船底板取 $K = 6.0$ 。

2.2.5.3 对夹层板结构的船体，应按下述规定对夹层结构的船底板、强力甲板和舷侧板的面板进行稳定性校核：

(1) 芯材为聚氨酯 (PU) 泡沫塑料的夹层板面板的总纵弯曲压应力 σ_1 ，应不大于按以下两式计算所得的临界屈曲应力 σ_{cr} 的0.3倍：

$$\sigma_{cr} = 0.5(E_f E_c G_c)^{1/3} \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{cr} = 1.39\gamma^{0.639} G_c \quad \text{N/mm}^2$$

式中： E_f ——面板的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

E_c ——芯材的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

G_c ——芯材的剪切弹性模量， N/mm^2 ；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ 。

(2) 芯材为聚氯乙烯 (PVC) 泡沫塑料的夹层板面板的计算压应力 σ_1 ，应不大于按以下两式计算所得的临界屈曲应力 σ_{cr} 的0.3倍：

$$\sigma_{cr} = 0.5(E_f E_c G_c)^{1/3} \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{cr} = 1.52\gamma^{0.585} G_c \quad \text{N/mm}^2$$

式中： E_f 、 E_c 、 G_c 、 γ ——同本节 2.2.5.3 (1)。

(3) 胶合板芯材的夹层板的计算压应力 σ_1 ，应不大于按下式计算所得的胶合板芯材夹层板极限压缩强度 σ_{pun} 的0.6倍：

$$\sigma_{pun} = 0.15(E_f E_c G_c)^{1/3} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： E_f 、 E_c 、 G_c ——同本节 2.2.5.3 (1)。

第3节 外板

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 本节的规定适用于单板结构和夹层结构。

2.3.1.2 船底板系指平板龙骨（或龙骨）至舭部上转角线之间的外板。

2.3.1.3 舷侧外板系指舭部上转角线至舷侧顶列板上缘之间的外板。

2.3.2 船中部外板

2.3.2.1 单板结构的外板应符合下列规定：

(1) 平板龙骨的宽度或帽形龙骨的围长不应小于 $0.1B$ ，其厚度均不得小于船底板厚度的1.5倍，且在整个船长内保持不变；

(2) 船底为横骨架式时，船中 $0.4L$ 区域内单板结构的船底板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 13s\sqrt{h} \quad \text{mm}$$

式中： s ——肋骨间距， m；

h ——计算载荷相当水柱高度， m ，按本章 2.1.2 确定。

(3) 船底为纵骨架式时，船中 $0.4L$ 区域内单板结构的船底板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 12.5s\sqrt{h} \quad \text{mm}$$

式中： s ——纵骨距离， m；

h ——计算载荷相当水柱高度， m ，按本章 2.1.2 确定。

(4) 舷侧为横骨架式时，舷侧板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 11.8s\sqrt{h} \quad \text{mm}$$

式中： s ——肋骨间距， m；

h ——计算载荷相当水柱高度， m ，按本章 2.1.2 确定。

(5) 舷侧为纵骨架式时，舷侧板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 11.4s\sqrt{h} \quad \text{mm}$$

式中： s ——纵骨距离， m；

h ——计算载荷相当水柱高度， m ，按本章 2.1.2 确定。

(6) 船长等于或大于 30m 时，舷侧顶列板的厚度应不小于1.2倍舷侧板厚度，舷侧顶列板的厚度在 $0.4L$ 区域内保持不变，自此向首尾两端可逐渐减薄到相邻舷侧板的厚度。舷侧顶列板的宽度应不小于 $0.15D$ (D 为型深， m)。

2.3.2.2 夹层结构外板应符合下列规定：

(1) 当外板的芯材为各向同性材料（如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料）时，其总厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 12.65k \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right) \frac{hs}{\tau_c} \quad \text{mm}$$

式中： s ——板格的短边长度， m ；

h ——计算载荷相当水柱高度， m ，按本章 2.1.2 确定；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ ；

τ_c ——芯材的抗剪强度， N/mm^2 ；

k ——系数， $k = 1.1578 - 0.4928 \frac{s}{a}$ ，式中： a ——夹层板板格的长边长度， m ；

当板格的短边与长边之比 s/a 小于 0.375 时，取 $k = 0.973$ 。

(2) 当外板的芯材为各向同性材料（如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料）时，其面板的厚度 t_f 应不小于按下式计算所得之值：

$$t_f = 13.48s \sqrt{\frac{kk_1 h}{\gamma}} \quad \text{mm}$$

式中： s ——板格的短边长度， m ；

h ——计算载荷相当水柱高度， m ，按本章 2.1.2 确定；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ ；

k ——系数， $k = 0.158 - 0.11 \left(\frac{s}{a} \right)$ ，当 $s/a < 0.3$ 时，取 $k = 0.125$ ；

k_1 ——系数， $k_1 = 0.6697 - 0.2222 \left(\frac{s}{a} \right) + 1.44 \left(\frac{s}{a} \right)^2 - 0.8275 \left(\frac{s}{a} \right)^3$ ；

其中： a ——板格的长边长度， m 。

非外露面板的厚度可按上式计算所得之值减少 0.5mm。任何情况下外露面板的厚度不得小于 1.6mm，非外露面板的厚度不得小于 1.2mm。

(3) 外板板格中心的最大挠度应不大于板格短边长度的 0.02 倍。当外板的芯材为各向同性材料（如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料）时，其板格中心的最大挠度 V 按下式计算：

$$V = \frac{9.81hs^4}{D} (k + \rho k_1) \times 10^6 \quad \text{mm}$$

式中： h ——计算载荷相当水柱高度， m ，按本章 2.1.2 确定；

s ——板格的短边长度， m ；

k ——系数， $k = 2.6283 - 0.2529 \left(\frac{s}{a} \right) + 1.02 \left(\frac{s}{a} \right)^2 - 2.0845 \left(\frac{s}{a} \right)^3$ ；

k_1 ——系数， $k_1 = 12.494 + 0.0713 \left(\frac{s}{a} \right) - 2.4395 \left(\frac{s}{a} \right)^2 - 2.6505 \left(\frac{s}{a} \right)^3$ ；

其中： a ——板格的长边长度， m ；

D ——夹层板板条梁单位弯曲刚度， $D = \frac{E_f t_f d^2}{2(1 - \nu_f^2)}$ ；

$$\rho \text{——系数, } \rho = \frac{\pi^2 D}{10^6 G_c ds^2};$$

其中: E_f ——面板拉伸弹性模量, N/mm^2 ;

G_c ——芯材的剪切弹性模量, N/mm^2 ;

ν_f ——面板的泊松比;

d ——上、下面板中心线间的距离, mm;

t_f ——上、下面板的平均厚度, mm。

2.3.3 首尾部的的外板

2.3.3.1 单板结构的首尾部分船底板厚度应与船中 0.4L 区域内的船底板厚度相同。

2.3.3.2 单板结构的舷侧板可在船中部 0.4L 区域以外向首尾两端逐渐减薄, 在船端处舷侧板的厚度可为船中部分船侧板厚度的 0.85 倍。

2.3.3.3 夹层结构的首尾部分外板厚度应与船中部的的外板厚度相同。

2.3.4 外板的局部加强

2.3.4.1 对于尾轴管出口处的外板及推进器顶部的的外板应适当加厚。

2.3.4.2 锚链管处的四周外板应适当加厚。

2.3.4.3 船中 0.5L 区域内应尽量避免在外板上开口, 如要开口时, 则应开成长轴沿船长方向布置的椭圆形开口。如在这区域内的外板上有矩形开口时, 开口角隅应为圆角, 还须增大板厚, 予以补偿。对船中 0.5L 区域外的开口, 可视具体情况予以部分补偿或不予补偿。

2.3.4.4 测深管下方的船底板应适当加厚, 以防止因测深而引起的损坏。

第4节 甲板

2.4.1 一般要求

2.4.1.1 单板结构纵骨架式强力甲板的纵骨不应在同一横剖面上终止, 其末端必须错开, 并须延伸至横梁上。

2.4.2 单板结构的甲板

2.4.2.1 强力甲板在船中部 0.4L 区域内的厚度 t 不得小于按下列各式计算所得之值:

(1) 横骨架式:

$$t = 16s\sqrt{h} \quad \text{mm}$$

式中: s ——横梁间距, m;

h ——甲板计算压头, m, 按本章 2.1.2 确定。

(2) 纵骨架式:

$$t = 15.5s\sqrt{h} \quad \text{mm}$$

式中： s ——纵骨间距， m；

h ——甲板计算压头， m， 按本章 2.1.2 确定。

2.4.2.2 强力甲板在船中部 $0.4L$ 区域以外的厚度可向船端部逐渐减薄，但其厚度不得小于船中部甲板厚度的 0.85 倍。

2.4.2.3 船长等于或大于 30m 时，在船中部 $0.5L$ 区域内的强力甲板边板的厚度为强力甲板厚度的 1.2 倍。强力甲板边板在船中部 $0.4L$ 区域以外的厚度可向船端部逐渐减薄，但在首尾端的厚度不得小于该处甲板板和舷侧板的厚度。强力甲板边板的宽度不得小于船宽的 10%。

2.4.2.4 其他各层甲板的厚度应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 14s\sqrt{h} \quad \text{mm}$$

式中： s ——横梁或纵骨间距， m；

h ——甲板计算压头， m， 按本章 2.1.2 确定。

2.4.2.5 上层建筑各层甲板的厚度不得小于 3.5mm；顶篷的厚度应不小于 3mm。

2.4.3 夹层结构甲板

2.4.3.1 夹层结构甲板应符合下列规定：

(1) 当芯材为各向同性材料（如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料）时，甲板的总厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 14.5k \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right) \frac{hs}{\tau_c} \quad \text{mm}$$

式中： s ——板格的短边长度， m；

h ——计算载荷相当水柱高度， m， 按本章 2.1.2 确定；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ ；

τ_c ——芯材的抗剪强度， N/mm^2 ；

k ——系数， $k = 1.1578 - 0.4928 \frac{s}{a}$ ，式中： a ——夹层板板格的长边长度， m；

当板格的短边与长边之比 s/a 小于 0.375 时，取 $k = 0.973$ 。

(2) 当芯材为各向同性材料（如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料）时，甲板的面板厚度 t_f 应不小于按下式计算所得之值：

$$t_f = 15.5s \sqrt{\frac{kk_1 h}{\gamma}} \quad \text{mm}$$

式中： s ——夹层板板格的短边长度， m；

h ——计算载荷相当水柱高度， m， 按本章 2.1.2 确定；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ ；

k ——系数， $k = 0.158 - 0.11 \left(\frac{s}{a} \right)$ ，当 $s/a < 0.3$ 时，取 $k = 0.125$ ；

$$k_1 \text{——系数, } k_1 = 0.6697 - 0.2222\left(\frac{s}{a}\right) + 1.44\left(\frac{s}{a}\right)^2 - 0.8275\left(\frac{s}{a}\right)^3;$$

其中: a ——板格的长边长度, m 。

非外露面板的厚度可按上式计算所得之值减少 0.5mm。任何情况下外露面板的厚度不得小于 1.5mm, 非外露面板的厚度不得小于 1.0mm。

(3) 甲板板格中心的最大挠度应不大于板格短边长度的0.02倍。当甲板的芯材为各向同性材料(如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料)时, 板格中心的最大挠度 V 按本章式2.3.2.2(3)计算。

2.4.4 甲板的局部加强

2.4.4.1 甲板上所有的货舱口和机舱口的开口角隅应为圆角, 其角隅半径及对甲板开口的补强应符合 2.12.5 的规定。

2.4.4.2 当强力甲板上的机舱口、货舱口的角隅是抛物线或椭圆形时, 角隅处的甲板可不必加厚, 但应符合图 2.4.4.2 的规定。

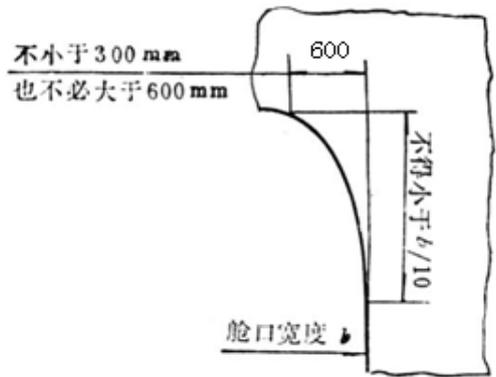


图 2.4.4.2

2.4.4.3 强力甲板舱口边线外的开口应尽量减少, 且应避免舱口角隅, 并作适当补强。

2.4.4.4 对甲板上容易磨损的部位应适当增加其厚度。

2.4.4.5 对装设甲板机械或装载重物的甲板部位应增加其厚度或予以适当加强。

第5节 船底骨架

2.5.1 一般要求

2.5.1.1 龙骨(或底纵桁)间距及龙骨(或底纵桁)至舭部折角线或舭部圆弧中点的间距应不大于 2.5m。

2.5.1.2 对横骨架式单底应在每个肋位上设置实肋板; 对纵骨架式单底实肋板的间距应不大于 2.5m。

2.5.1.3 船底骨架纵向构件不允许突然中断。

2.5.1.4 中龙骨或中桁材必须连续贯通, 并应尽可能贯通至全船。

2.5.1.5 当船底结构的全部或部分为双层底结构时, 底部构件的尺寸应符合 2.5.3 的规定。

2.5.1.6 双层底中断处的船底纵向骨架应保持连续性。

2.5.2 单层底结构

2.5.2.1 实肋板应符合下列规定：

(1) 实肋板的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 26.7kshl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——实肋板间距， m ；

h ——船底计算载荷相当水柱高度， m ， 按本章 2.1.2 确定；

l ——肋板跨距， m ， 取舷侧到舷侧间或舷侧到中纵舱壁（纵舱壁的高度应 $\geq D/2$ ）间的距离；

k ——系数， 按表 2.5.2.1（1）确定。

表 2.5.2.1(1)

$\frac{l_c}{B_c}$	横骨架式			纵骨架式		
	1根龙骨	3根龙骨	≥ 5 根龙骨	1根龙骨	3根龙骨	≥ 5 根龙骨
≤ 0.5	0.25	0.15	0.08	0.20	0.05	0.03
0.75	0.50	0.35	0.26	0.25	0.10	0.07
1.0	0.90	0.65	0.55	0.45	0.25	0.20
1.25	1.10	0.90	0.81	0.65	0.45	0.35
1.5	1.20	1.05	0.99	0.90	0.70	0.60
1.75	1.20	1.10	1.08	1.00	0.90	0.80
≥ 2.0	1.20	1.10	1.10	1.15	1.05	1.00

表中： l_c ——舱底板架长度， m ， 取两横舱壁（横舱壁的高度应 $\geq D/2$ ）的间距。

B_c ——舱底板架宽度， m ， 取两横舱壁间距中点处舷侧到舷侧间或舷侧到中纵舱壁（纵舱壁的高度应 $\geq D/2$ ）间的距离。

注：当数值不在表中时，可内插值确定。

(2) 实肋板在纵中剖面的高度 H 应不小于按下式计算所得之值：

$$H = 50l \quad \text{cm}$$

式中： l ——实肋板跨距， m ， 取实肋板面与两舷侧交点之间的距离。

(3) 斜底船中部向船侧延伸的实肋板的腹板高度可逐渐减小，但离纵中剖面 $3/8$ 船宽处的腹板高度应不小于在纵中剖面处腹板高度的 $1/2$ 。

2.5.2.2 中龙骨的腹板高度应不小于该处实肋板高度，其剖面模数应不小于该处实肋板剖面模数的 1.5 倍。

2.5.2.3 对于单机船的机舱及平底船，允许以机座纵桁或两道旁龙骨（左右各 1 道）代替中龙骨。中龙骨与旁龙骨不应同时在舱壁处突然中断，应各自在舱壁背面处延伸，其延伸长度应不少于 2 个肋位。

2.5.2.4 旁内龙骨的剖面模数应与该处实肋板的剖面模数相同。

2.5.2.5 船底纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 26.2shl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中: s ——纵骨间距, m;

h ——船底计算载荷相当水柱高度, m, 按本章 2.1.2 确定;

l ——纵骨跨距, m, 取实肋板间距。

2.5.3 双层底结构

2.5.3.1 双层底的高度应不小于 800mm。

2.5.3.2 双层底可采用横骨架式或纵骨架式。双层底实肋板、纵桁的间距应不大于 2.5m。

2.5.3.3 中桁材的剖面尺寸应符合 2.5.2.2 的要求。

2.5.3.4 旁桁材的剖面尺寸应符合 2.5.2.4 的要求。

2.5.3.5 实肋板的剖面尺寸应符合 2.5.2.1 的要求(若实肋板为单板结构时,应在实肋板上以适当间距设置垂向加强筋)。

2.5.3.6 若实肋板、中(旁)桁材为单板结构时,应在实肋板、中(旁)桁材的腹板上设置间距不大于双层底高度的垂向加强筋。

2.5.3.7 外底纵骨的剖面尺寸应符合 2.5.2.5 的要求。

2.5.3.8 内底纵骨的剖面模数可为船底纵骨的剖面模数的 85%。

2.5.3.9 横骨架式双层底未设实肋板的肋位上应设置组合肋板。

2.5.3.10 组合肋板船底骨材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = 21.8shl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中: s ——肋距, m;

h ——船底计算载荷相当水柱高度, m, 按本章 2.1.2 确定;

l ——船底骨材跨距, m, 取纵桁间距。

2.5.3.11 组合肋板内底骨材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = W_1 \frac{Z}{D} \quad \text{cm}^3$$

式中: W_1 ——按本节 2.5.3.10 计算所得的组合肋板船底骨材的剖面模数;

Z ——自内底板上表面量至强力甲板下表面的垂直距离, m;

D ——型深, m。

2.5.3.12 内底板应符合下列要求:

- (1) 内底板的厚度应不小于船底板厚度的85%;
- (2) 内底板应与舷侧板、舱壁板等刚性连接;
- (3) 双层底内为燃油舱的区域和货舱口下未加其他保护装置的区域, 其内底板应适当增加厚度。

2.5.3.13 人孔和减轻孔

(1) 双层底内的液和深度大于1.0m的其他液舱,均应设有供船员出入的人孔,液舱内部的非水密构件上应开设人孔和减轻孔。开孔位置应尽可能在船长方向按直线排列,以保证人员能通往液舱的各个部位。开孔高度不能大于该处该处于双层底高的50%,否则应予以加强。

(2) 人孔应设置能保证水密的人孔盖。

2.5.4 夹层板结构

2.5.4.1 船底板为夹层板结构时，实肋板应符合本节 2.5.2.1 的规定。

2.5.4.2 船底板为夹层板结构时，龙骨应符合本节 2.5.2.2、2.5.2.4 的规定。

第6节 甲板骨架

2.6.1 一般要求

2.6.1.1 强力甲板（干舷甲板）的横梁梁拱值，建议为船宽的 1/60，客船则为船宽的 1/100。遮蔽处所的甲板可适当减少梁拱。

2.6.2 甲板横梁

2.6.2.1 甲板为横骨架式时，应在每个肋位处设置横梁。

2.6.2.2 横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 21.8cshl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——横梁间距，m；

h ——甲板计算载荷相当水柱高度，m，按本章2.1.2确定；

l ——横梁跨度，m，船侧与纵桁（纵舱壁）或纵桁与纵桁之间的距离，取大者；

c ——系数：对液舱顶的横梁， $c=1.3$ ；对其他横梁， $c=1.0$ 。

2.6.3 甲板纵骨

2.6.3.1 强力甲板的纵骨不应终止于同一横剖面上，在末端要相互错开，并延伸至强横梁上。

2.6.3.2 甲板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 24.5cshl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——纵骨间距，m；

h ——甲板计算载荷相当水柱高度，m，按本章2.1.2确定；

l ——纵骨跨距，m，强横梁之间或强横梁与舱壁之间的距离，取较大者；

c ——系数：对液舱顶的纵骨， $c=1.3$ ；对其他纵骨， $c=1.0$ 。

2.6.4 甲板纵桁

2.6.4.1 甲板纵桁的间距一般不大于 2.5m，并与龙骨（或底纵桁）应尽可能设置在同一平面内。

2.6.4.2 横骨架式甲板纵桁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 22.7cbhl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： b ——甲板纵桁支承面积的平均宽度，m；

l ——纵桁跨度，m，取支柱之间或支柱与舱壁之间距离的大者；

h ——甲板计算载荷相当水柱高度，m，按本章2.1.2确定；

c ——系数：对液舱顶纵桁， $c=1.3$ ；对其他纵桁， $c=1.0$ 。

2.6.4.3 甲板纵桁受有集中载荷时，其剖面模数 W 除应满足 2.6.4.2 要求之外，尚应增加按下式计算所得之值：

$$W = 0.28cc_1Pl \quad \text{cm}^3$$

式中： P ——集中载荷， kN；

c ——系数：对液舱顶的甲板纵桁， $c=1.3$ ；对其他横梁， $c=1.0$ ；

l ——纵桁跨距， m， 同2.6.4.2；

c_1 ——系数，按表 2.6.4.3 选取。表中 a 为 P 的作用点至纵桁两支点间较远一点的距离， m。

表 2.6.4.3

a/l	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.60	0.50
c_1	4.15	8.10	10.84	12.80	14.06	14.70	14.4	12.5

注：当数值不在表中时，可内插值确定。

2.6.4.4 纵骨架式甲板纵桁的剖面尺寸取与纵骨架式强横梁相同。

2.6.5 强横梁

2.6.5.1 甲板强横梁的间距一般不大于 2.5m， 应与舷侧强肋骨设置在同一肋位上。

2.6.5.2 纵骨架式强横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 20.4cshl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——强横梁间距， m；

h ——甲板计算载荷相当水柱高度， m， 按本章2.1.2确定；

l ——强横梁跨距， m， 船侧与船侧之间， 船侧与支柱之间或支柱与支柱之间的距离， 取较大者；

c ——系数：对液舱顶的强横梁， $c=1.3$ ；对其他强横梁， $c=1.0$ 。

2.6.5.3 甲板强横梁受有集中载荷时， 其剖面模数 W 除应满足 2.6.5.2 要求之外， 尚应增加按下式计算所得之值：

$$W = 0.25cc_1Pl \quad \text{cm}^3$$

式中： P ——集中载荷， kN；

c ——系数：对液舱顶的甲板纵桁， $c=1.3$ ；对其他横梁， $c=1.0$ ；

l ——强横梁跨距， m， 同2.6.5.2；

c_1 ——系数，按表 2.6.5.3 选取。表中 a 为 P 的作用点至纵桁两支点间较远一点的距离， m。

表 2.6.5.3

a/l	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.60	0.50
c_1	4.15	8.10	10.84	12.80	14.06	14.70	14.4	12.5

注：当数值不在表中时，可内插值确定。

2.6.5.4 横骨架式强横梁的剖面尺寸取与横骨架式甲板纵桁相同。

2.6.6 舱口甲板纵桁及舱口端横梁

2.6.6.1 舱口甲板纵桁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = 14k_1k_2k_3(ah + bh_1)l^2 \quad \text{cm}^3$$

式中: l ——舱口纵桁跨距, 取舱口端横梁之间的距离, m;

a ——舱口纵桁与舷侧间的距离, m;

b ——舱口宽度, m;

h ——甲板计算载荷相当水柱高度, m, 按本章 2.1.2 确定;

h_1 ——舱口盖计算载荷相当水柱高度, m, 按实际载荷计算, 但不小于 0.2m; 无舱口盖时, 取 $h_1 = 0$;

k_1 、 k_2 、 k_3 ——系数, 按表 2.6.6.1 确定。

计算舱口纵桁剖面模数时, 可将甲板上舱口围板剖面积的 60% 计入。

表 2.6.6.1

舱口支柱布置情况	系数 k_i		
	k_1	k_2	k_3
无支柱	$2.51 - 2\frac{l}{l_c}$	$1.91 - 1.58\frac{b}{B_c}$	$2 - \frac{l_c}{B_c}$
舱口端横梁跨中设支柱	0.8	1.0	$2 - \frac{l_c}{B_c}$
舱口四角设支柱	0.7	1.0	1.0

表中: l_c ——舱长, m, 取两横舱壁间的距离;

B_c ——舱宽, m, 取舱长中点处的甲板宽度;

当 $l/l_c > 0.8$ 时, 取 $l/l_c = 0.8$;

当 $l_c/B_c < 0.5$ 时, 取 $l_c/B_c = 0.5$; 当 $l_c/B_c > 1.5$ 时, 取 $l_c/B_c = 1.5$ 。

2.6.6.2 舱口端横梁的剖面尺寸取与舱口纵桁相同。

2.6.7 无支柱甲板骨架

2.6.7.1 当甲板板架下方未设置支柱时, 甲板强横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值, 且不小于甲板纵桁的剖面模数:

$$W = 25kshl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中: s ——强横梁间距, m;

h ——甲板计算载荷相当水柱高度, m, 按本章 2.1.2 确定;

l ——强横梁跨距, m, 取甲板宽度;

k ——系数, 按表 2.6.7.1 选取。

表 2.6.7.1

l	1 道甲板纵桁	3 道甲板纵桁	≥ 5 道甲板纵桁
-----	---------	---------	----------------

	强横梁数量				强横梁数量				强横梁数量			
	1	3	5	≥7	1	3	5	≥7	1	3	5	≥7
	系数 k				系数 k				系数 k			
0.5	0.154	0.162	0.184	0.213	0.052	0.089	0.120	0.148	0.041	0.062	0.074	0.094
0.75	0.172	0.250	0.317	0.369	0.107	0.188	0.247	0.294	0.064	0.131	0.186	0.230
1.0	0.231	0.374	0.448	0.498	0.178	0.300	0.374	0.424	0.128	0.238	0.310	0.362
1.25	0.298	0.473	0.537	0.567	0.250	0.400	0.469	0.509	0.199	0.340	0.413	0.459
1.5	0.354	0.540	0.579	0.591	0.314	0.474	0.530	0.556	0.266	0.421	0.486	0.521
1.75	0.400	0.575	0.592	0.593	0.364	0.524	0.563	0.576	0.322	0.481	0.532	0.555
2.0	0.431	0.591	0.591	0.584	0.402	0.554	0.577	0.580	0.366	0.522	0.559	0.571

表中： l_c ——板架长度，m，取两横舱壁间距；
 B_c ——板架宽度，取两横舱壁间距中点的甲板宽度。
注：当数值不在表中时，可内插值确定。

2.6.7.2 当甲板板架下方未设置支柱时，甲板强纵桁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值，且不小于甲板强横梁的剖面模数：

$$W = 27.8kbhl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： b ——纵桁间距，m；
 h ——甲板计算载荷相当水柱高度，m，按本章 2.1.2 确定；
 l ——纵桁跨距，m，取两横舱壁间距；
 k ——系数，按表 2.6.7.2 选取。

表 2.6.7.2

$\frac{l_c}{B_c}$	1 道甲板纵桁				3 道甲板纵桁				≥5 道甲板纵桁			
	强横梁数量				强横梁数量				强横梁数量			
	1	3	5	≥7	1	3	5	≥7	1	3	5	≥7
	系数 k				系数 k				系数 k			
0.5	0.753	0.567	0.491	0.438	0.847	0.704	0.645	0.601	0.842	0.722	0.681	0.651
0.75	0.560	0.353	0.271	0.220	0.725	0.518	0.426	0.365	0.770	0.583	0.501	0.444
1.0	0.393	0.205	0.141	0.106	0.569	0.348	0.258	0.205	0.647	0.429	0.336	0.277
1.25	0.269	0.115	0.074	0.056	0.426	0.222	0.150	0.112	0.514	0.298	0.214	0.166
1.5	0.185	0.070	0.046	0.041	0.313	0.138	0.088	0.065	0.398	0.200	0.133	0.097
1.75	0.130	0.055	0.036	0.031	0.230	0.084	0.059	0.050	0.304	0.132	0.084	0.062
2.0	0.094	0.045	0.033	0.024	0.171	0.068	0.041	0.040	0.233	0.085	0.060	0.050

表中： l_c ——板架长度，m，取两横舱壁间距；
 B_c ——板架宽度，取两横舱壁间距中点的甲板宽度。
注：当数值不在表中时，可内插值确定。

2.6.8 夹层板结构

2.6.8.1 当甲板为夹层板结构时，甲板纵桁、甲板强横梁应符合本节 2.6.4、2.6.5、2.6.6 或 2.6.7 的规定。

第7节 舷侧骨架

2.7.1 一般要求

2.7.1.1 舷侧骨架可采用横骨架式或纵骨架式。横骨架式一般采用强肋骨与普通肋骨相间布置的交替肋骨制型式。强肋骨间距一般不大于 2.5m。

2.7.1.2 当型深大于等于 2m 时，舷侧应设一道自首防撞舱壁到机舱后壁连续的，尺寸与强肋骨相同的舷侧纵桁。舷侧纵桁距肋骨下端的距离 a 应符合下式规定：

$$0.4l \leq a \leq 0.55l$$

式中： l ——肋骨跨距，m。

2.7.2 肋骨

2.7.2.1 肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 12shl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——肋骨间距，m；

l ——肋骨跨距，m，在舷侧从船底板或内底板上表面至甲板间的垂直距离，对于船中 $0.5L$ 区域的肋骨， l 应在船中处量取；对于距首端 $0.25L$ 以前和距尾端 $0.25L$ 以后的肋量， l 应分别在距首尾端 $0.25L$ 处量取；

h ——舷侧计算载荷相当水柱高度，m，按本章 2.1.2 确定。

2.7.2.2 当在肋骨跨距中部设有一道舷侧纵桁时，肋骨的剖面模数可减少至按本节 2.7.2.1 计算所得之值的 0.65 倍。

2.7.3 强肋骨

2.7.3.1 舷侧为纵骨架式时，应在实肋板处设置强肋骨，强肋骨间距应不大于 4 个肋距。

2.7.3.2 强肋骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 15shl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——强肋骨间距，m；

h ——舷侧计算载荷相当水柱高度，m，按本章 2.1.2 确定；

l ——强肋骨跨距，m，单底取型深值，双底取型深减去双层底的高度。

2.7.3.3 舷侧纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 22.2shl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——纵骨间距，m；

h ——计算载荷相当水柱高度，m，自纵骨处量至干舷甲板边线的垂直距离；

l ——纵骨跨距，m，取强肋骨间距。

2.7.4 首尾尖舱肋骨

2.7.4.1 首尾尖舱肋骨（或强肋骨）的剖面模数应较 2.7.2（或 2.7.3）的规定增大 15%。

第8节 舱壁

2.8.1 一般要求

2.8.1.1 横向舱壁的布置除应满足本节规定外，尚应符合《国内航行海船法定检验技术规则》或《内河船舶法定检验技术规则》的规定。

2.8.1.2 本节所述的深舱舱壁为双层底以外的压载舱舱壁、水舱舱壁、燃油舱舱壁及水密舱壁等。

2.8.1.3 船舶首部应设有达到舱壁甲板（或干舷甲板）的水密防撞舱壁。防撞舱壁距首垂线的距离一般在 $0.05L \sim 0.1L$ 范围内。

2.8.1.4 船舶应设有水密的尾尖舱壁，此舱壁应通至干舷甲板。但如尾尖舱设有水密平台甲板，且平台甲板在水线以上时，此舱壁可仅通至平台甲板。

2.8.1.5 机舱的前后舱壁应为水密舱壁。

2.8.1.6 燃油舱与淡水舱之间应有隔离空舱。

2.8.1.7 深舱的预定用途及其溢流管的高度应在送审图纸上注明。深舱内的扶强材、肋骨和横梁等构件均不得贯穿深舱的周界。

2.8.1.8 深舱周界的内表面应铺设至少不低于每平方米 600 克重的短切毡，铺层表面涂上一层树脂或其他合适的涂层。

2.8.1.9 本节关于舱壁的规定均指横向舱壁。对纵向舱壁的要求与横向舱壁相同。

2.8.2 舱壁板

2.8.2.1 单板结构舱壁板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = ks\sqrt{h} \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——扶强材间距， m；

h ——计算压头， m，自舱壁下缘量至舱壁顶缘或量至溢流管顶端的垂直距离；

k ——系数，按表 2.8.2.1 选取。

表 2.8.2.1

舱壁种类	防撞舱壁		干货（或结构）舱壁		深舱舱壁	
	水平扶强材	垂直扶强材	水平扶强材	垂直扶强材	水平扶强材	垂直扶强材
k	11.5	10.0	10.5	9.0	12.5	10.5

2.8.2.2 当舱壁为夹层板结构且芯材为各向同性材料（如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料）时，舱壁板的总厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 11.4kk_1 \left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \frac{hs}{\tau_c} \quad \text{mm}$$

式中： s ——夹层板板格的短边长度， m；

h ——计算载荷相当水柱高度， m，自舱壁下缘量至舱壁顶缘或量至溢流管顶端的垂直距离；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ ；

τ_c ——芯材的抗剪强度， N/mm^2 ；

k ——系数，防撞舱壁取 $k = 1$ 、深舱舱壁取 $k = 1.1$ 、货舱舱壁取 $k = 0.9$ ；

k_1 ——系数, $k_1 = 1.1578 - 0.4928 \frac{s}{a}$, 式中: a ——夹层板板格的长边长度, m ;

当板格的短边与长边之比 s/a 小于 0.375 时, 取 $k = 0.973$ 。

2.8.2.3 当舱壁为夹层板结构且芯材为各向同性材料(如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料)时, 舱壁板的面板厚度 t_f 应不小于按下式计算所得之值:

$$t_f = 12.1k_0s\sqrt{\frac{kk_1h}{\gamma}} \quad \text{mm}$$

式中: s ——夹层板板格的短边长度, m ;

h ——计算载荷相当水柱高度, m , 自舱壁下缘量至舱壁顶缘或量至溢流管顶端的垂直距离;

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比, 且 $6 \leq \gamma \leq 14$;

k_0 ——系数, 防撞舱壁取 $k_0 = 1$ 、深舱舱壁取 $k_0 = 1.1$ 、货舱舱壁取 $k_0 = 0.9$;

k ——系数, $k = 0.158 - 0.11\left(\frac{s}{a}\right)$, 当 $s/a < 0.3$ 时, 取 $k = 0.125$;

k_1 ——系数, $k_1 = 0.6697 - 0.2222\left(\frac{s}{a}\right) + 1.44\left(\frac{s}{a}\right)^2 - 0.8275\left(\frac{s}{a}\right)^3$;

其中: a ——板格的长边长度, m 。

任何情况下夹层板舱壁的面板厚度不得小于 1.2mm。

2.8.3 舱壁扶强材

2.8.3.1 单板舱壁的扶强材可垂直布置也可水平布置, 单板结构舱壁的扶强材间距一般不大于 500mm。夹层板舱壁应在甲板纵桁处设置垂直桁。

2.8.3.2 舱壁垂直扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值;

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

式中: s ——扶强材间距, m ;

l ——扶强材跨距, m , 包括肘板在内的扶强材长度;

h ——计算压头, m , 自舱壁下缘量至舱壁顶缘或量至溢流管顶端的垂直距离;

k ——系数, 按表 2.8.3.2 (1) 选取;

k_c ——系数, 按表 2.8.3.2 (2) 选取。

当扶强材跨距中部设有水平桁材时, 扶强材的剖面模数可取上式计算值的 0.65 倍。

表 2.8.3.2 (1)

舱壁种类	防撞舱壁	干货舱壁	深舱舱壁
k	12.9	12.0	14.4

表 2.8.3.2 (2)

扶强材端部约束	两端有肘板	下端有肘板	两端无肘板
k_c	1	1.3	1.55

2.8.3.3 舱壁水平扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值

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

式中: s ——扶强材间距, m;

l ——扶强材跨距, m, 取舱壁垂直桁间距;

h ——计算压头, m, 自扶强材跨距中点量至舱壁顶缘或溢流管顶端的垂直距离。

k ——系数, 按表 2.8.3.3 选取;

表 2.8.3.3

舱壁种类	防撞舱壁	干货舱壁	深舱舱壁
k	23.4	21.8	26.2

2.8.4 桁材

2.8.4.1 垂直桁材剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = kbh l^2 \quad \text{cm}^3$$

式中: b ——由桁材所支承面积的宽度, m;

h ——计算压头, m, 自舱壁下缘量到舱壁顶缘或量至溢流管顶端的垂直距离;

l ——桁材的跨距, m, 取桁材包括肘板在内的长度;

k ——系数, 按表 2.8.4.1 选取。

表 2.8.4.1

舱壁种类	防撞舱壁	干货舱壁	深舱舱壁
k	14.6	13.1	16.2

2.8.4.2 水平桁材的尺寸取与垂直桁材的相同。

2.8.4.3 桁材的末端要用肘板连接。

2.8.5 通气孔和排水孔

2.8.5.1 在液舱内, 所有非水密构件上均应开设通气孔和流水孔, 以保证气体能自由流向通气管, 液体能自由流向吸口。

第9节 支柱

2.9.1 支柱的负荷

2.9.1.1 当仅在强力甲板(或干舷甲板)下方设置支柱时, 支柱的计算负荷 P 按下式计算:

$$P = 9.81kab h \quad \text{kN}$$

式中: a 、 b ——支柱所支撑甲板(船底)面积的长度和宽度, m, 如图 2.9.1.1 所示;

h ——甲板计算载荷相当水柱高度, m, 按本章 2.1.2 确定;

$$k \text{——系数, } k = 0.5 \left(1 + \frac{d_0}{h} \right);$$

其中: d_0 ——船底计算载荷相当水柱高度, m, 空舱内的支柱取 d_0 等于满载吃水, 货舱

(含机舱)内的支柱取 d_0 为满载吃水的 0.6 倍; 当 $d_0 < 1.0\text{m}$ 时, 取 $d_0 = 1.0\text{m}$ 。

2.9.1.2 当自船底向上连续设置二层及二层以上支柱时, 各层甲板下支柱的计算负荷 P 按下式计算:

$$P = 9.81abh + c_1(0.95P') \quad \text{kN}$$

式中: h ——甲板计算载荷相当水柱高度, m, 按本章 2.1.2 确定;

a 、 b ——支柱所支撑甲板面积的长度和宽度, m, 如图 2.9.1.1 所示;

P' ——上方支柱的负荷, kN ;

c_1 ——系数, 按下式计算所得:

$$c_1 = 2\frac{l_1^3}{l^3} - 3\frac{l_1^2}{l^2} + 1$$

其中: l_1 ——为上方支柱中心线至如图 2.9.1.2 所示的下方计算支柱中心线间的距离, m;

l ——为下方计算支柱中心线至如图 2.9.1.2 所示的相邻支柱中心线(或舱壁)间的距离, m。

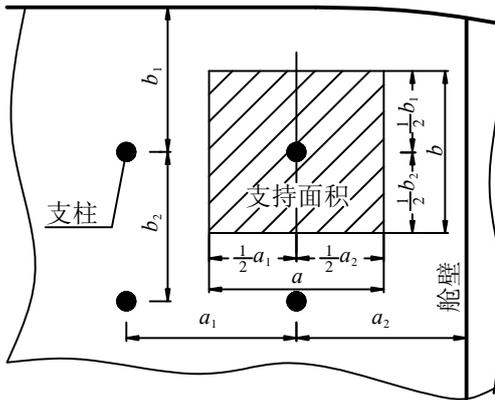


图 2.9.1.1

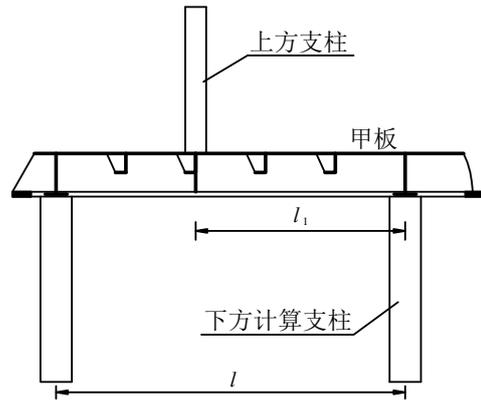


图 2.9.1.2

2.9.2 钢质支柱的剖面积及壁厚

2.9.2.1 钢质支柱的剖面积 A , 应不小于按下式计算所得之值:

$$A = kP \quad \text{cm}^2$$

式中: P ——支柱负荷, kN, 按本节 2.9.1.1 或 2.9.1.2 确定;

k ——系数, $k = (12500 - 199\lambda + 2.4\lambda^2 - 0.00152\lambda^3) \times 10^{-5}$;

其中: λ ——支柱的细长比, $\lambda = l/r$;

l ——支柱长度, cm ;

r ——支柱剖面的最小惯性半径, cm 。

2.9.2.2 管形钢质支柱、组合型材或轧制型材钢质支柱的壁 t , 在任何情况下不得小于 4mm。

2.9.3 支柱上下端的结构加强

2.9.3.1 支柱上端和下端的结构应保证载荷的合理承受和传递。强力甲板以下支柱的上端和下端应设置纵向和横向肘板。在支柱的上下端面应设置垫板。

2.9.3.2 支柱应设置在纵、横强构件的交叉点上，否则应在强构件的腹板上设置加强筋。支柱上下端处的强构件腹板上不应开孔。

2.9.3.3 当支柱设置于轴隧上或其他较薄弱的骨架上时，所在部位的结构应适当加强。

2.9.3.4 压载舱或其他液舱内支柱的端部结构，应具有一定的抗拉强度。油舱不得选用管形支柱。

第10节 主机基座与机舱骨架

2.10.1 主机基座

2.10.1.1 主机基座的结构应具有足够的强度和刚性。基座纵桁应在每个肋位处设置横隔板和横肘板，以确保有效支承。

2.10.1.2 为了增加基座纵桁抗压和抗弯刚度，纵桁的腹板结构可采用木材或铝合金型材作芯材。在这种情况下，木材和铝合金芯材应与表层纤维增强塑料以及船底板有效粘接。

2.10.2 机舱骨架

2.10.2.1 应使机舱内的骨架保持结构的连续性，避免应力集中。

2.10.2.2 机舱船底为横骨架式时，应在每个肋位设置实肋板，船底为纵骨架式时，可每隔一个肋位设置实肋板。机舱实肋板的剖面模数应按 2.5.2.1 的规定值增加 10%，且实肋板与基座纵桁应有效连接。

2.10.2.3 机舱内的中龙骨（或中桁材）和旁内龙骨（或旁桁材）的剖面模数应较 2.5.2.2 和 2.5.2.4 的规定值再增加 10%。

2.10.2.4 机舱处的舷侧必须设置强肋骨，强肋骨应设置在实肋板处，强肋骨间距应不大于 2.5m。肋骨和强肋骨的剖面模数应较第 7 节的规定值增加 10%。

第11节 上层建筑和甲板室

2.11.1 一般要求

2.11.1.1 海船应设置首楼或增大舷弧，使船首最小高度符合本局《海船法定检验技术规则》的有关要求。

2.11.1.2 上层建筑或甲板室构件如承受附加负荷时，除应符合本节要求外，尚应增大构件尺寸。

2.11.1.3 上层建筑或甲板室的甲板和甲板骨架的尺寸应符合第 6 节的有关规定。

2.11.2 计算压头

2.11.2.1 海船上层建筑或甲板室前端壁、侧壁和后壁的计算压头 h 应按下列公式计算：

$$(1) \text{ 前端壁: } h = 0.02L + 0.5 \quad \text{m}$$

$$(2) \text{ 侧壁和后端壁: } h = 0.02L + 0.25 \quad \text{m}$$

式中： L ——船长，m。

2.11.2.2 河船上层建筑或甲板室前端壁、后端壁和侧壁的计算压头 h 应按下列公式计

算:

$$h = 0.01L + 0.4 \quad \text{m}$$

式中: L ——船长, m。

2.11.3 上层建筑和甲板室围壁板的厚度

2.11.3.1 单板结构的上层建筑或甲板室围壁板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值, 且不得小于 3mm:

$$t = 11.7s\sqrt{h} \quad \text{mm}$$

式中: s ——扶强材间距, m;

h ——计算压头, m, 按本节 2.11.2 确定。

2.11.3.2 上层建筑或甲板室的围壁为夹层结构且芯材为各向同性材料(如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料)时, 夹层结构板的总厚度 t 应不小于按下式计算所得之值:

$$t = 12.65k \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right) \frac{hs}{\tau_c} \quad \text{mm}$$

式中: s ——夹层板板格的短边长度, m;

h ——计算载荷相当水柱高度, m, 按本节 2.11.2 确定;

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比, 且 $6 \leq \gamma \leq 14$;

τ_c ——芯材的抗剪强度, N/mm^2 ;

k ——系数, $k = 1.1578 - 0.4928 \frac{s}{a}$, 式中: a ——夹层板板格的长边长度, m;

当板格的短边与长边之比 s/a 小于 0.375 时, 取 $k = 0.973$ 。

2.11.3.3 当上层建筑或甲板室的围壁为夹层结构且芯材为各向同性材料(如聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料)时, 围壁的面板厚度 t_f 应不小于按下式计算所得之值:

$$t_f = 13.48s \sqrt{\frac{kk_1 h}{\gamma}} \quad \text{mm}$$

式中: s ——板格的短边长度, m;

h ——计算载荷相当水柱高度, m, 按本节 2.11.2 确定;

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比, 且 $6 \leq \gamma \leq 14$;

k ——系数, $k = 0.158 - 0.11 \left(\frac{s}{a} \right)$, 当 $s/a < 0.3$ 时, 取 $k = 0.125$;

k_1 ——系数, $k_1 = 0.6697 - 0.2222 \left(\frac{s}{a} \right) + 1.44 \left(\frac{s}{a} \right)^2 - 0.8275 \left(\frac{s}{a} \right)^3$;

其中: a ——板格的长边长度, m。

非外露面板的厚度可按上式计算所得之值减少 0.5mm。任何情况下外露面板的厚度不得小

于 1.5mm，非外露面板的厚度不得小于 1.0mm。

2.11.4 扶强材

2.11.4.1 上层建筑或甲板室围壁扶强材的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 20.3shl^2 \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——扶强材间距，m；

l ——扶强材跨距，m，取扶强材的实际长度；

h ——计算压头，m，按本节 2.11.2 确定。

2.11.5 开口加强

2.11.5.1 上层建筑或甲板室的围壁上的所有开口均应用骨材加强，以使开口关闭后能保证风雨密。

第12节 货舱口、机舱口及其他甲板开口

2.12.1 一般要求

2.12.1.1 强力甲板上的货舱口、机舱口及其他开口的宽度应小于船宽的 0.7 倍，开口长度应小于舱长（两横舱壁之间的距离）的 0.7 倍。但载货甲板或载客甲板距船底的距离大于等于 1/2 型深的半落舱船，以及在船中部 0.4L 区域连续的上层建筑或甲板室内的舱口除外。

2.12.1.2 甲板上的货舱口、机舱口及其他开口除满足本节要求外，尚应符合《国内航行海船法定检验技术规则》、《内河船舶法定检验技术规则》的有关规定。

2.12.2 货舱口盖板

2.12.2.1 舱口盖上的计算压头 h 应按表 2.12.2.1 的规定选取，或按舱口盖上实际货物的负荷确定，取其大者。

表 2.12.2.1

甲板位置		计算压头， h (m)
海船	在干舷甲板、尾部升高甲板及距首垂线 0.25L 以前的上层建筑甲板上	0.014L + 1.07
	在距首垂线 0.25L 以后的上层建筑甲板上	0.01L + 0.8
河船	在干舷甲板、尾部升高甲板和上层建筑甲板上	0.2

注：表中 L 为船长，m。

2.12.2.2 舱口盖板可用木质、纤维增强塑料或钢质的材料制成。盖板的厚度按下列情况确定：

(1) 木质盖板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值；且不小于 60mm：

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

式中： s ——舱口活动横梁间距，m。

木质盖板的两端需用宽度为 65mm、厚度为 3mm 的镀锌扁钢围箍，并有效固定。

(2) 采用非木质舱口盖板时, 其板厚的计算应另行考虑, 并取得中国船级社认可。

2.12.3 露天舱口围板结构

2.12.3.1 围板厚度 t 应不小于按上式计算所得之值:

$$t = 18.5s\sqrt{h} + 5 \quad \text{mm}$$

式中: s ——围板扶强材间距, m;

h ——计算压头, m, 海船: $h = 0.02L + 0.5$; 河船: $h = 0.01L + 0.4$;

其中: L ——船长, m。

2.12.3.2 围板上缘应设置适当尺寸的水平扶强材予以加强。当围板高度等于或大于 600mm 时, 在离上缘适当距离处应增设水平扶强材, 并应在水平扶强材与甲板之间每隔一档肋距设置垂直加强筋或肘板。

2.12.3.3 露天货舱口围板兼作甲板纵桁时, 尚应符合第 6 节的有关规定。

2.12.4 机舱口

2.12.4.1 机舱口应设置坚固可靠的机舱棚加以保护。

2.12.4.2 机舱棚的门应结构紧固, 并在其内外两面均可关闭。

2.12.4.3 机舱棚围壁板的厚度和其扶强材尺寸, 应按相应位置的甲板室围壁的要求进行计算。棚顶板厚度不小于 3mm, 横梁和纵桁应符合第 6 节的有关规定。

2.12.5 甲板开孔的加固

2.12.5.1 甲板上的开口角隅应采用圆角和增加甲板厚度两项措施予以加固, 并符合下列规定:

(1) 开口角隅的圆角半径 r 应不小于按下式计算所得之值, 且不小于 60mm:

$$r = kb$$

式中: b ——开孔的横向宽度, m;

k ——系数, 当开口边缘有套环结构加强时取 0.10; 当开口边缘无套环结构加强时取 0.15。

(2) 开孔处 $1.5r$ 区域内的甲板应增厚至 $1.6t$, 然后逐渐过渡。过渡区的范围为 $30t$, 见图 2.12.5.1 所示。 t 为未增厚甲板的厚度。增厚用的纤维增强材料通常与甲板材料相同, 其铺层设计可与甲板的铺层设计相同。

2.12.6 其他甲板开口

2.12.6.1 所有的开口均应用骨架加强, 以使开口关闭时能保持风雨密。

2.12.6.2 设置在干舷甲板和上层建筑甲板的露天部分处的或设置在非封闭的上层建筑或甲板室内的各种开口, 应能用保持风雨密的坚固的盖子关闭。

2.12.6.3 甲板的升降口处应由封闭的上层建筑(或甲板室)或升降口围罩予以防护。

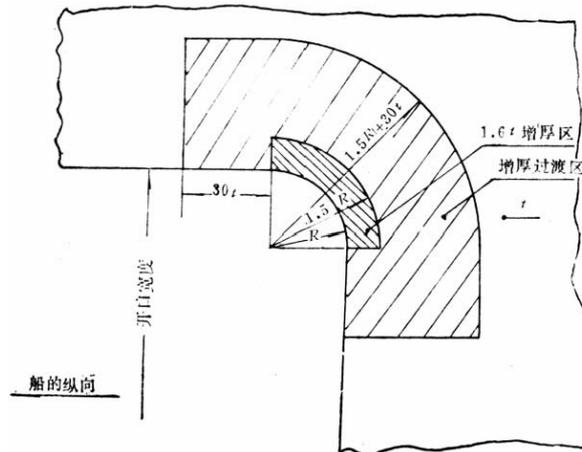


图 2.12.5.1

第13节 舷墙和栏杆

2.13.1 一般要求

2.13.1.1 露天干舷甲板、上层建筑及甲板的露天部分均应装设舷墙和栏杆。

2.13.1.2 露天干舷甲板、上层建筑和甲板室甲板上的舷墙高度、栏杆高度及栏杆的纵横杆间距，应符合《国内航行海船法定检验技术规则》、《内河船舶法定检验技术规则》的有关规定。

2.13.2 舷墙

2.13.2.1 舷墙可以是船壳板的延伸部分，与甲板一体成型，也可以是单独的部件。舷墙的顶部和底部应作有效加强，并应在甲板横梁位置上设置支撑肘板，肘板间距应不大于 3 个肋距。肘板的高度与舷墙相同，肘板下端的宽度应不小于肘板高度的 0.25 倍。肘板应与舷墙围板、甲板牢固连接。

2.13.2.2 舷墙上桅侧稳索和吊杆稳索等的系固处和导缆孔安装处应予以加强。

2.13.2.3 舷墙上应设有符合《国内航行海船法定检验技术规则》、《内河船舶法定检验技术规则》规定的排水舷口。

2.13.2.4 如舷边过道太窄设置舷墙有困难时，应在甲板上设置防滑设施，且甲板室外围壁上应设扶手。

2.13.2.5 河船的舷墙结构，应尽可能使其不参与船体的总纵弯曲。

2.13.3 栏杆

2.13.3.1 固定栏杆直杆的底座应与甲板牢固连接，杆底座区域的甲板应做有效加强。

2.13.3.2 栏杆的直杆与横杆应牢固连接。

2.13.3.3 当栏杆采用特殊结构型式，栏杆的高度和栏杆间的间隙应符合有关规定。

第14节 双体船船体结构补充规定

2.14.1 一般要求

2.14.1.1 本节无规定者，应符合本章第 1 节至第 13 节的相应规定。

2.14.1.2 本节适用于双体客船（含公务船）和双体趸船。

2.14.1.3 双体船单个片体的总纵强度应满足本章第 2 节的要求。单个片体梁的剖面模数和惯性矩计算可计入连接桥横剖面积的一半。

2.14.2 定义

2.14.2.1 船长 $L(m)$ ——沿片体夏季载重水线（或满载水线）自首柱前缘量至舵柱后缘的长度；对无舵柱船舶由首柱前缘量至舵杆中心线；但均应不小于满载水线长度的 96%，且不大于 97%。

对于无舵杆船舶的船长取片体夏季载重水线（或满载水线）长度的 97%。

2.14.2.2 船宽 $B(m)$ ——在船长 L 中点处，由一舷的外板外缘量至另一舷外板外缘之间的水平距离。舷伸甲板宽度不计入。

2.14.2.3 型深 $D(m)$ ——在船长 L 中点处，沿片体外舷舷侧自平板龙骨上表面量至干舷甲板下表面之间的垂直距离。

2.14.2.4 吃水 $d(m)$ ——在船长 L 中点处，沿片体外舷自平板龙骨上表面量至满载水线的垂直距离。

2.14.2.5 片体宽度 $b(m)$ ——在船长 L 中点处，包括船壳板在内的片体最大宽度。

2.14.2.6 连接桥——系指连接左右片体的板架或箱型结构。

2.14.2.7 连接桥甲板——系指左右片体内舷所围成的连续甲板。

2.14.2.8 连接桥长度 $l_1(m)$ ——系指沿纵中剖面，连接桥首、尾端之间的水平距离。

2.14.2.9 连接桥宽度 $b_1(m)$ ——在船长 L 中点处，两片体内侧壁外表面之间的水平距离。

2.14.3 主尺度比值

2.14.3.1 海上双体船的主尺度比值应符合表 2.14.3.1 规定：

表 2.14.3.1

船舶种类	L/D		B/D	
	沿海航区	遮蔽航区	沿海航区	遮蔽航区
双体客船	≤ 12	≤ 15	≤ 3.5	≤ 5
双体趸船	≤ 20		≤ 6	

2.14.3.2 内河双体船的主尺度比值应符合表 2.14.3.2 的规定。

表 2.14.3.2

船舶种类	L/D		B/D		
	A 级航区	B、C 级航区	A 级航区	B 级航区	C 级航区
双体客船	≤ 15	≤ 18	≤ 5	≤ 6	≤ 8
双体趸船	≤ 25		≤ 8		

2.14.4 连接桥尺度比

2.14.4.1 双体船的连接桥尺度比应符合下列范围：

$$l_1 / L \geq 0.8; b_1 / B \leq 0.4。$$

2.14.5 计算载荷

2.14.5.1 双体船连接桥总横弯矩 M_{bx} 按下述规定计算：

(1) 海船:

$$M_{bx} = 9.81k\nabla(0.5b + b_1) \quad kNm$$

式中: ∇ ——双体船排水量, t ;

b ——片体宽度, m ;

b_1 ——连接桥宽度, m ;

k ——系数, 沿海航区取 $k = 0.243$, 遮蔽航区取 $k = 0.135$ 。

(2) 河船:

$$M_{bx} = 9.81k\nabla(0.5b + b_1) \quad kN \cdot m$$

式中: ∇ ——为双体船的排水量, t ;

b ——片体宽度, m ;

b_1 ——连接桥宽度, m ;

k ——系数, A 级航区取 $k = 0.125$ 、B、J 级航区取 $k = 0.111$ 、C 级航区取 $k = 0.1$ 。

2.14.5.2 双体船连接桥垂向总剪力 Q_t 按下述规定计算:

(1) 海船:

$$Q_t = 9.81k\nabla \quad kN$$

式中: ∇ ——双体船排水量, t ;

k ——系数, 沿海航区取 $k = 0.328$, 遮蔽航区取 $k = 0.180$ 。

(2) 河船:

$$Q_t = 9.81k\nabla \quad kN$$

式中: ∇ ——双体船的排水量, t ;

k ——系数, A 级航区取 $k = 0.125$ 、B、J 级航区取 $k = 0.111$ 、C 级航区取 $k = 0.1$ 。

2.14.5.3 双体船连接桥扭矩 M_{ty} 按下述规定计算:

(1) 海船:

$$M_{ty} = 9.81k_0k\nabla L \quad kN \cdot m$$

式中: ∇ ——双体船排水量, t ;

L ——船长, m ;

k_0 ——系数, $k_0 = (281 - 7.49L + 0.0639L^2) \times 10^{-3}$;

k ——系数, 沿海航区取 $k = 1.0$, 遮蔽航区取 $k = 0.55$ 。

(2) 河船:

$$M_{ty} = 9.81k_0k\nabla L \quad kN \cdot m$$

式中： ∇ ——双体船排水量， t；

L ——船长， m；

k_0 ——系数， $k_0 = (1871 - 69.71L + 1.056L^2 - 0.00542L^3) \times 10^{-4}$ ；

k ——系数， A 级航区取 $k = 1$ 、B 级航区取 $k = 0.6$ 、C 级航区取 $k = 0.4$ 。

2.14.5.4 双体船连接桥砰击压力相当水柱高度 h 按下述规定计算：

(1) 海船：

$$h = k_0 k \left(\frac{\nabla}{A} \right)^{0.3} \left(1 - \frac{H_c}{CL} \right) \quad \text{m}$$

式中： ∇ ——双体船排水量， t；

A ——计算板格的面积， m^2 ； $A \leq 2.5s^2$ ， 其中： s ——纵骨或肋骨间距， m；

H_c ——水线至计算点的距离， m， 当 $H_c > CL$ 时， 取 $H_c = CL$ ；

L ——船长， m；

k_0 ——系数， $k_0 = 9.44 - 0.237L + 0.00182L^2$ ， 其中： L ——船长， m；

k ——系数， 沿海航区取 $k = 1.0$ 、遮蔽航区 $k = 0.55$ ；

C ——系数， $C = 0.066 - 0.000175L$ ， 其中： L ——船长， m。

(2) 河船：

$$h = 0.375k \left(\frac{\nabla}{A} \right)^{0.3} \left(1 - \frac{H_c}{CL} \right) \quad \text{m}$$

式中： ∇ ——双体船排水量， t；

A ——计算板格的面积， m^2 ； $A \leq 2.5s^2$ ， S 为纵骨或肋骨间距， m；

H_c ——水线至计算点的距离， m， 当 $H_c > CL$ 时， 取 $H_c = CL$ ；

L ——船长， m。

k ——系数， A 级航区取 $k = 1.0$ 、B 级航区取 $k = 0.8$ ；

C ——系数， $C = 0.066 - 0.000175L$ ， 其中： L ——船长， m。

2.14.6 连接桥结构

2.14.6.1 连接桥结构可采用横骨架式或纵骨架式。横骨架式骨架由横梁、强横梁及纵桁组成。纵骨架式由纵骨、纵桁及强横梁组成。

2.14.6.2 连接桥也可采用设有底封板的箱形结构。箱形结构连接桥结构可采用横骨架式或纵骨架式。横骨架式箱形结构由甲板横梁、底封板横梁、横向隔板及纵向隔板组成。纵骨架式箱形结构由甲板纵骨、底封板纵骨、横向隔板及纵向隔板组成。

2.14.6.3 不论骨架型式如何，连接桥强横梁（或横隔板）的间距应不大于 2.0m。连接桥强横梁（或横隔板）应与片体的横舱壁或横向强框架设置在同一平面内，否则连接桥强横梁（或横隔板）端部应向片体内做有效的结构过渡。连接桥强横梁（或横隔板）在两片体间应为连续构件。

2.14.6.4 片体与连接桥连接处的结构应予以特别加强，连接桥横向主要构件与片体横向主要构件应整体制作。

2.14.6.5 单板结构连接桥甲板的厚度 t 应不小于按本章 2.4.2.1 式 (1) 或式 (2) 计算所得之值。式中的计算水柱高度 h ，海船取本章表 2.1.2.2 (1) 中的规定值和按本节 2.14.5.4 式 (1) 计算值的大者，河船取 $h = 0.5m$ 和按本节 2.14.5.4 式 (2) 计算值的大者。

2.14.6.6 夹层板结构连接桥甲板的总厚度 t 和面板厚度 t_f 应不小于按本章 2.4.3.1 式 (1) 和式 (2) 计算所得之值。式中的计算水柱高度 h ，海船取本章表 2.1.2.2 (1) 中的规定值和按本节 2.14.5.4 式 (1) 计算值的大者，河船取 $h = 0.5m$ 和按本节 2.14.5.4 式 (2) 计算值的大者。

2.14.6.7 当连接桥设置底封板时，连接桥的主要支撑构件应与甲板和底封板有效连接。

2.14.6.8 单板结构底封板的厚度 t 应不小于按本章 2.4.2.1 式 (1) 或式 (2) 计算所得之值，且不小于片体外板的厚度。式中的计算水柱高度 h ，海船取按本节 2.14.5.4 式 (1) 计算所得之值，河船取按本节 2.14.5.4 式 (2) 计算所得之值。

2.14.6.9 夹层板结构底封板的总厚度 t 和面板厚度 t_f 应不小于按本章 2.4.3.1 式 (1) 和式 (2) 计算所得之值，且不小于片体外板的尺寸。式中的计算水柱高度 h ，海船取按本节 2.14.5.4 式 (1) 计算所得之值，河船取按本节 2.14.5.4 式 (2) 计算所得之值。

2.14.6.10 连接桥强横梁（或横隔板）的剖面模数 W 应不小于按下列二式计算所得之值的大者：

$$(1) \quad W = 21.8hsl^2 \quad cm^3$$

$$(2) \quad W = 26.7 \frac{M_b}{n} \quad cm^3$$

式中： h ——连接桥甲板计算水柱高度，m，海船取本章表 2.1.2.2 (1) 中的规定值和按本节 2.14.5.4 式 (1) 计算值的大者；河船取 $h = 0.5m$ 和按本节 2.14.5.4 式 (2) 计算值的大者；

l ——强横梁（或横隔板）计算跨距，m，取两片体内侧甲板边线间的距离；

s ——强横梁间距，m；

M_b ——连接桥总横弯矩，kNm，按本节 2.14.5.1 计算；

n ——连接桥强横梁（或横隔板）总根数；

连接桥两端距端线 $0.15l_1$ 范围内的强横梁（或横隔板）应予以特别加强，其剖面模数应不小于按本节 2.14.6.10 (2) 式计算所得之值的 1.25 倍。

2.14.6.11 连接桥强横梁腹板（或横隔板）的剖面积（夹层结构则为夹层两面板的剖面积） a 应不小于按下式计算所得之值：

$$a = \frac{Q_t}{n[\tau]} \times 10^3 \quad mm^2$$

式中： Q_t ——连接桥总垂向剪力，kN，按本节 2.14.5.2 计算；

n ——连接桥强横（或横隔板）的总根数；

$[\tau]$ ——腹板许用剪切应力， kN/mm^2 ，对于单板结构取层板面内极限剪切强度的 0.25 倍；对于夹层板结构取面板的面内极限剪切强度的 0.25 倍，且不大于面板临界剪切应

力的 0.5 倍。面板的临界剪切应力 τ_{cr} 取下列两式计算值的小者：

$$\tau_{cr} = 0.3(E_f^{45^\circ} E_c G_c)^{1/3} \quad N/mm^2$$

$$\tau_{cr} = 0.4\gamma G_c \quad N/mm^2$$

式中： $E_f^{45^\circ}$ ——面板沿 45° 方向的压缩弹性模量， N/mm^2

E_c ——芯材的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

G_c ——芯材的剪切弹性模量， N/mm^2 ；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ 。

连接桥两端距端线 $0.15l_1$ 范围内的强横梁（或横隔板）腹板的剖面积（夹层结构则为夹层两面板的剖面积），应不小于按上式计算所得之值的 k 倍， k 值按下式计算：

$$k = 2.03 - 0.0164L$$

其中： L ——船长，m。

2.14.6.12 连接桥应设置间距不大于 3.0m 的甲板纵桁，其构件尺寸应不小于按本节 2.14.6.10 计算所得的强横梁（或横隔板）之值。

2.14.6.13 连接桥甲板横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 23hsl^2 \quad cm^3$$

式中： h ——连接桥甲板计算水柱高度，m，连接桥结构不设底封板时：海船取本章表 2.1.2.2

(1) 中的规定值和按本节 2.14.5.4 式 (1) 计算值的大者；河船取 $h = 0.5m$ 和按本节 2.14.5.4 式 (2) 计算值的大者。连接桥结构设有底封板时：海船按本章表 2.1.2.2 (1) 中的规定值选取；河船取 $h = 0.5m$ ；

l ——横梁计算跨距，m，取片体内侧甲板边线与甲板纵桁（或纵隔板）之间、或甲板纵桁（或纵隔板）之间距离的大者，但不小于 2m；

s ——横梁间距，m。

2.14.6.14 连接桥甲板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值：

$$W = 28hsl^2 \quad cm^3$$

式中： h ——连接桥甲板计算水柱高度，m，连接桥结构不设底封板时：海船取本章表 2.1.2.2

(1) 中的规定值和按本节 2.14.5.4 式 (1) 计算值的大者；河船取 $h = 0.5m$ 和按本节 2.14.5.4 式 (2) 计算值的大者。连接桥结构设有底封板时：海船按本章表 2.1.2.2 (1) 中的规定值选取；河船取 $h = 0.5m$ ；

l ——纵骨计算跨距，m，取强横梁（或横隔板）间距，但不小于 1.5m；

s ——纵骨梁间距，m。

2.14.6.15 连接桥底封板横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值，且不小于甲板横梁剖面模数的 0.85 倍。

$$W = 23hsl^2 \quad cm^3$$

式中： h ——连接桥甲板计算水柱高度，m，海船取按本节 2.14.5.4 式（1）计算所得之值；
河船取按本节 2.14.5.4 式（2）计算所得之值；

l ——横梁计算跨距，m，取片体内侧甲板边线距甲板纵桁或甲板纵桁之间的距离，
但不小于 2m；

s ——横梁间距，m。

2.14.6.16 连接桥底封板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值，且不小于甲板纵骨剖面模数的 0.85 倍。

$$W = 28hsl^2 \quad cm^3$$

式中： h ——连接桥甲板计算水柱高度，m，海船取按本节 2.14.5.4 式（1）计算所得之值；
河船取按本节 2.14.5.4 式（2）计算所得之值；

l ——纵骨计算跨距，m，取强横梁（或横隔板）间距，但不小于 1.5m；

s ——纵骨梁间距，m。

2.14.7 直接计算

2.14.7.1 当船长大于等于 40m 时，尚应对连接桥的总横弯曲强度、扭转强度进行直接计算校核。直接计算一般采用有限元方法进行。

第15节 直接计算

2.15.1 一般要求

2.15.1.1 本节适用于本章要求的有限元结构强度直接计算。

2.15.1.2 直接计算一般采用适用的通用计算程序，如使用非通用计算用程序，送审单位应提供所采用计算程序的可靠性说明文件。

2.15.2 送审文件

2.15.2.1 对于采用直接计算法校核船体构件强度的，应提供详细的直接计算说明，包括载荷、计算模型及边界条件等。

2.15.2.2 送审的直接计算文件应按照如下要求编制：

- (1) 提交直接计算文件所依据的图纸资料目录；
- (2) 直接计算报告，至少应包括以下内容：
 - ① 计算目标和计算条件的说明；
 - ② 计算使用的软件；
 - ③ 计算模型的详细说明，包括所作的简化处理、结构模型范围及模型化方法、构件厚度、边界条件等及模型的图形显示；
 - ④ 载荷计算的依据、主要数值、分布及工况组合的说明；
 - ⑤ 如属由模型试验得出的计算载荷，则应提交完整详细的模型试验资料和载荷计算方法，并经本社同意；
 - ⑥ 各个工况下的计算结果，包括结构位移图及其数据、各个区域的应力分布图及构件应力值、构件最大屈服、屈曲应力汇总表、工作应力与许用应力比值和校核结论。

2.15.3 总纵强度计算

2.15.3.1 本条的直接计算目标为校核纤维增强塑料船船体的总纵强度。

2.15.3.2 总纵强度计算载荷与施加

(1) 总纵弯曲强度计算工况，应包括船舶设计中船体梁中拱静水弯矩和船体梁中垂静水弯矩最大的装载工况。

(2) 船体梁总体载荷应为船体梁静水载荷与波浪附加载荷合成，船体梁波浪附加载荷和静水载荷方向应一致。

(3) 由重力和静浮力组成的静水载荷采用传统的计算法确定，波浪载荷可以根据本章 2.1.3 确定，也可以根据载荷直接计算或模型试验确定。

(4) 总纵弯矩及分布

①假设船体总纵弯矩沿船长按下式规律分布（中拱变形为“+”，中垂变形“-”）：

$$M(x) = \pm M_0 \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

式中： M_0 ——船中弯矩幅值；

L ——船长，m；

x ——计算点距尾垂线的距离，m。

② $M(x)$ 可通过施加沿船长分布的垂向等效载荷 $q(x)$ 来实现。 $q(x)$ （向上为正，向下为负）按下式计算：

$$q(x) = \frac{2\pi^2 M_{\max}}{L^2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) \quad \text{KN/m}$$

式中： M_{\max} ——船中最大合成弯矩，kNm，按本章 2.1.3 的规定计算，也可以根据载荷直接计算或模型试验确定；

L ——船长，m；

x ——计算点距尾垂线的距离，m。

垂向等效载荷一般以其 1/2 值对称施加在甲板边线上的所有节点上。当使用系列集中力加载时，每个集中力应等于分布载荷 $q(x)$ 乘以该集中力加载区间的长度。

(5) 加载后模型上所有的垂向力之和应为零，其绝对值误差不大于 0.0001 倍排水量 (t)。

2.15.3.3 结构强度直接计算时的建模原则

(1) 进行总纵强度计算时应采用全船结构模型。

(2) 层合板结构的外板、甲板、舱壁以及帽型强构件（如强横梁、甲板纵桁、强肋骨、实肋板等）应采用板单元模拟。对参与弯曲或拉伸的帽型强构件的硬质芯材，可采用体单元模拟。

(3) 夹层结构的外板、甲板、舱壁以及强构件（如强横梁、甲板纵桁、强肋骨、实肋板等）一般也可以采用板单元模拟。对参与弯曲或拉伸的帽型强构件的硬质芯材，可采用体单元模拟。

(4) 若设有普通骨材（如横梁、纵骨、肋骨等）时，普通骨材可采用梁单元模拟。

(5) 板单元的网格尺寸一般不大于船体普通骨材的间距或肋距，强构件腹板在其深度方向至少划分 2 个网格。

2.15.3.4 材料性能参数的确定

(1) 以无捻粗纱正交布增强的层合板结构可以假定为正方对称层板, 即 $E_1 = E_2$ 、

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2} \quad (E_1、E_2 \text{ 为层板主方向的弹性模量, } \nu_1、\nu_2 \text{ 为层板主方向的泊松比})。以无捻$$

粗纱正交布增强的夹层结构, 若芯材为聚氯乙烯泡沫塑料 (PVC) 芯材或聚氨酯泡沫塑料 (PU), 也可以假定夹层结构为正方对称层板。

(2) 以无捻粗纱正交布增强的层合板结构和夹层结构, 应输入层板的弯曲弹性模量、面内剪切弹性模量及泊松比。

(3) 以短切毡增强的层合板结构可以假定为各向同性材料。以短切毡增强的夹层结构, 若芯材为聚氯乙烯泡沫塑料 (PVC) 芯材或聚氨酯泡沫塑料 (PU), 也可以假定为各向同性材料。

(4) 以短切毡增强的层合板结构和夹层结构, 应输入层板的弯曲弹性模量及泊松比。

(5) 材料的力学性能参数可以通过试验方法确定; 经本社同意, 也可以采用其它适用的方法确定。若没有泊松比的实测值可取泊松比等于 0.25。

2.15.3.5 总强度计算边界条件

(1) 为消除刚体位移, 在船体的相应节点, 见图 2.15.3.5, 应施加适当的线位移约束。

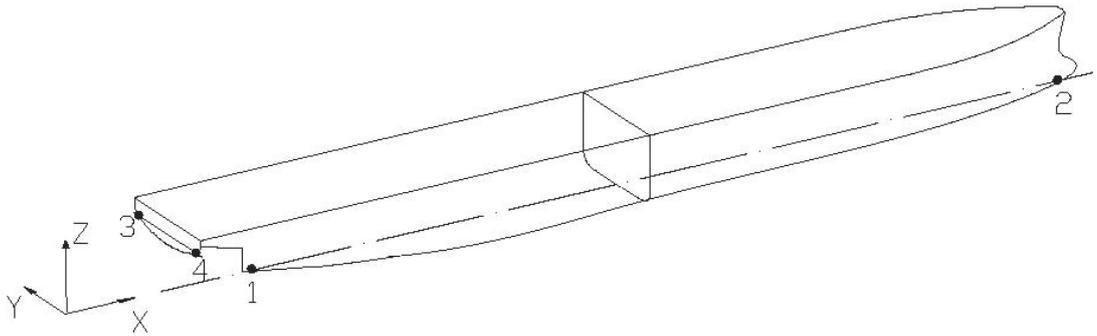


图2.15.3.5 边界条件示意图

(2) 船底平板龙骨(纵中剖面处)在船尾(图 2.15.3.5 节点 1)处沿横向的线位移约束, 即: $\delta_y = 0$; 船首(图 2.15.3.5 节点 2)处, 沿纵向、横向和垂向的线位移约束, 即: $\delta_x = \delta_y = \delta_z = 0$ 。

(3) 尾封板水平桁材距纵中剖面距离相等的左(图 2.15.3.5 节点 3)、右(图 2.15.3.5 节点 4)各一节点处, 沿垂向的线位移约束, 即: $\delta_z = 0$ 。

2.15.3.6 强度衡准

(1) 应根据上述的规定校核外板、甲板和纵向连续构件的正应力, 以及舷侧板和纵舱壁的剪应力, 以及船中部的最大挠度。

(2) 强度计算应力衡准基于本节 2.15.3.3 规定的网格尺寸, 如使用了更细密的网格, 应取在规定网格尺寸范围内所有细网格单元应力的平均值。

(3) 构件单元应力应不大于表 2.15.3.6 所列的许用应力。

表 2.15.3.6 总纵强度许用应力

应力种类	许用应力
甲板、外板、舷侧板、纵向构件等纵向结构的计算纵向拉应力	$0.3\sigma_{nu}$
甲板、外板、舷侧板、纵向构件等纵向结构的计算纵向压应力	$0.3\sigma_{pnu}$
层合板结构的舷侧(纵舱壁)的总纵弯曲计算剪应力	$0.25\tau_u$

夹层板结构的舷侧（纵舱壁）的总纵弯曲计算剪应力	$0.5\tau_{cr}$
-------------------------	----------------

表中， σ_{nu} ——层板的极限拉伸强度， N/mm^2 ；

σ_{pun} ——层板的极限压缩强度， N/mm^2 ；

τ_u ——层板的极限剪切强度， N/mm^2 。

τ_{cr} ——夹层板面板的临界剪切应力， N/mm^2 ，取下列二式计算值的小者：

$$\tau_{cr} = 0.33\sqrt{E_f^{45^\circ} E_c G_c} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{cr} = 0.4\gamma G_c \text{ N/mm}^2$$

其中： $E_f^{45^\circ}$ ——夹层板面板沿 45° 方向的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

E_c ——芯材的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

G_c ——芯材的剪切弹性模量， N/mm^2 ；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ 。

(4) 船体梁船中部的最大挠度 f 应不大于船长的 $1/500$ 。

2.15.3.7 构件稳定性校核

(1) 采用本节方法进行总纵强度计算的船舶，尚应对船底板、强力甲板和舷侧板进行总纵弯曲情况下的板格稳定性校核。

(2) 板格稳定性校核可采用本章 2.2.5 的方法。若采用其他方法，应经本社同意。

2.15.4 双体船总横强度和扭转强度计算

2.15.4.1 本条的直接计算目标为校核纤维增强塑料双体船的连接桥总横强度和扭转强度。

2.15.4.2 总横强度计算载荷与施加

(1) 双体船连接桥结构分析中，应计算如下载荷组合工况：

- ① M_{bx} （中拱）；
- ② M_{bx} （中垂）；
- ③ $0.8M_{bx}$ （中拱）+ $0.6M_{ty}$ ；
- ④ $0.8M_{bx}$ （中垂）+ $0.6M_{ty}$ ；
- ⑤ $0.6M_{bx}$ （中拱）+ $0.8M_{ty}$ ；
- ⑥ $0.6M_{bx}$ （中垂）+ $0.8M_{ty}$ ；

(2) 双体船总横弯矩 M_{bx} 按本章 2.14.5.1 式 (1) 或式 (2) 计算，或采用模型试验或直接计算确定，并通过等效横向对开力施加。等效的横向对开力 f_y 按下式计算：

$$f_y = \frac{M_{bx}}{nz} \text{ KN}$$

式中： z —横向对开力施加点至连接桥中横剖面中和轴的垂向距离， m ；
 n —单片体上横向对开力施加节点数；
 等效横向对开力施加于船体舳部的节点上。如图2.15.4.2 (1) 所示。

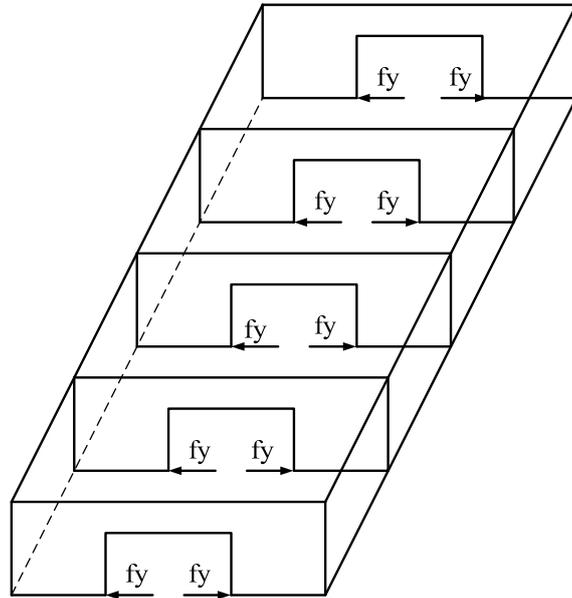


图2.15.4.2 (1)

(3) 双体船总横扭矩 M_{ty} 按本章 2.14.5.3 式 (1) 或式 (2) 计算，或采用模型试验或直接计算确定，通过反对称分布的垂向均布等效力来施加。所谓反对称分布是指同一个片体以中横剖面为界前后载荷方向相反，左右片体的载荷方向亦相反。等效的垂向分布力 p 由下式计算：

$$p = \frac{4M_{ty}}{L^2} \text{ KN/m}$$

等效垂向分布力应施加于纵向主要构件上，例如纵舱壁、甲板纵桁或船底纵桁上。如图 2.15.4.2 (2) 所示。当使用集中力时，它应等于分布力乘以该集中力加载区间的长度。

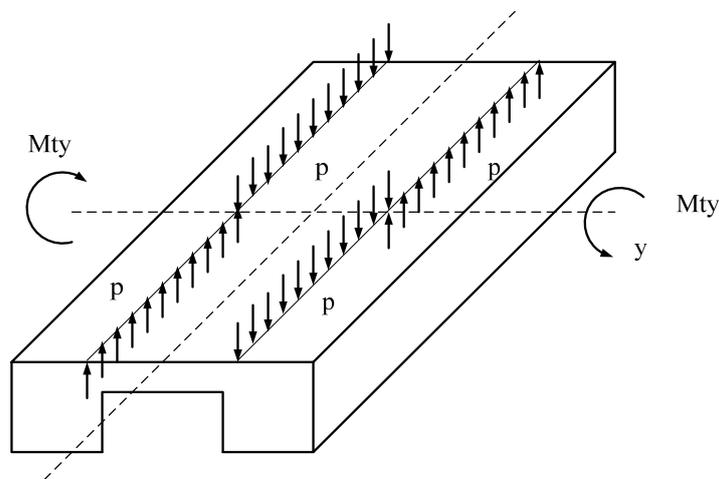


图2.15.4.2 (2)

(4) 加载后模型上所有的垂向力之和应为零，其绝对值误差不大于 0.0001 倍排水量 (t)。

2.15.4.3 结构强度直接计算时的建模原则

(1) 进行双体船总横强度计算时应采用全船结构模型，片体结构可以进行适当地简化。

(2) 结构的有限元模拟满足本节 2.15.3.3 的要求。

2.15.4.4 材料性能参数的确定

(1) 材料性能参数的确定满足本节 2.15.3.4 的要求

2.15.4.5 边界条件

(1) 在连接桥纵剖面首尾端取 A 点和 B 点、在任一片体中横剖面舷侧处取 C 点进行约束，如图 2.15.4.5 所示。在 A 点约束 x、y、z 三个方向的位移，在 B 点约束 y、z 方向的位移，在 C 点约束 z 方向的位移。

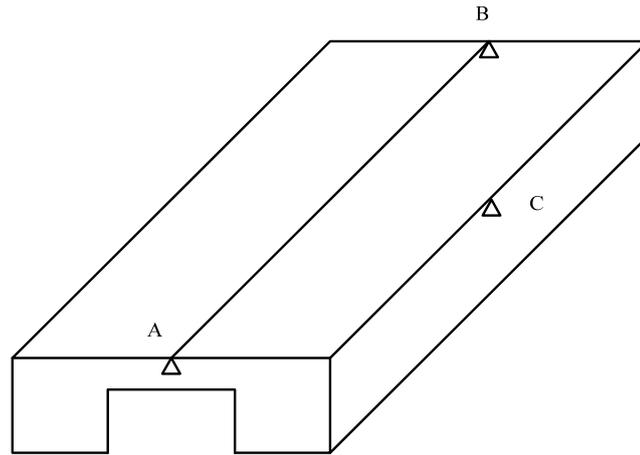


图 2.15.4.5

2.15.4.6 强度衡准

(1) 应根据上述的规定校核连接桥上下翼板的正应力（包括连接桥强横梁面板的轴向应力）、连接桥强横梁腹板的剪切应力。

(2) 强度计算应力衡准基于本节 2.15.3.3 规定的网格尺寸，如使用了更细密的网格，应取在规定网格尺寸范围内所有细网格单元应力的平均值。

(3) 构件单元应力应不大于表 2.15.4.6 所列的许用应力。

表 2.15.4.6 连接桥结构许用应力

构件名称	许用应力	
连接桥上下翼板及强横梁面板正应力	$0.3\sigma_{nu}$	$0.3\sigma_{pun}$
连接桥强横梁腹板（若为层合板结构）剪应力	$0.25\tau_u$	—
连接桥强横梁腹板（若为夹层板结构）剪应力	$0.5\tau_{cr}$	—

表中， σ_{nu} ——层板的极限拉伸强度， N/mm^2 ；

σ_{pun} ——层板的极限压缩强度， N/mm^2 ；

τ_u ——层板的极限剪切强度， N/mm^2 。

τ_{cr} ——夹层板面板的临界剪切应力， N/mm^2 ，取下列二式计算值的小者：

$$\tau_{cr} = 0.33\sqrt{E_f^{45^\circ} E_c G_c} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{cr} = 0.4\gamma G_c \text{ N/mm}^2$$

其中： $E_f^{45^\circ}$ ——夹层板面板沿 45° 方向的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

E_c ——芯材的压缩弹性模量， N/mm^2 ；

G_c ——芯材的剪切弹性模量， N/mm^2 ；

γ ——两面板厚度中心线的距离与两面板的平均厚度之比，且 $6 \leq \gamma \leq 14$ 。

(4) 片体中各主要结构的强度衡准应符合 2.15.5.6 的规定。

2.15.4.7 构件稳定性校核

(1) 采用本节方法进行连接桥强度计算的船舶，尚应对连接桥上下翼板的板格进行稳定性校核。

(2) 板格稳定性校核可采用本章 2.2.5 的方法。若采用其他方法，应经本社同意。

2.15.4.8 局部细化分析

(1) 当双体船连接桥前后端部与片体连接处粗网格模型计算应力超过表 2.15.4.6 的许用应力时，应对该处进行细化分析。

(2) 细化模型可以嵌入粗网格模型中，计算结果表示在粗网格计算状态时的细部应力状态。

(3) 目标区的细模型网格尺寸应不大于 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，并逐步过渡到外围区域的大网格。

(4) 细化网格区域构件的单元应力应不大于表 2.15.4.6 许用应力的 1.6 倍。

2.15.5 局部强度计算

2.15.5.1 本条适用于需要通过直接计算确定局部结构的主要构件尺寸、次要构件尺寸的船舶。

2.15.5.2 局部强度计算载荷与施加

(1) 局部结构上的计算载荷可以按本章 2.1.2 确定，连接桥结构的砰击压力可以按本章 2.14.5.4 确定，上层建筑或甲板室的计算载荷可以按本章 2.11.2 确定。

(2) 对局部结构上承受局部集中载荷的情况，应予以特别考虑。

2.15.5.3 局部结构模型范围

(1) 局部结构分析模型应以目标结构为中心，向外扩展到强力结构处。船底板架、舷侧板架、甲板板架和连接桥板架模型一般至少应覆盖一个舱长范围，宽度和高度方向应达到相连接的舱壁、舷侧或甲板等船体主要结构。

2.15.5.4 局部结构模型化

(1) 局部构件强度计算一般应用三维板梁组合单元的有限元计算模型，对舱壁板架等结构可简化为二维板梁组合单元的有限元计算模型。

(2) 若仅需要通过直接计算确定局部结构的主要构件尺寸，结构的有限元模拟满足本节 2.15.3.3 的要求，材料性能参数的确定满足本节 2.15.3.4 的要求。

(3) 若需对甲板、外板、舱壁板等构件的局部强度进行直接计算校核，校核区域板单元的网格尺寸应不大于板厚的 5 倍。

(4) 若需对夹层结构的甲板、外板、舱壁板等构件的局部强度进行直接计算校核，夹层结构的外板、甲板、舱壁以及强构件（如强横梁、甲板纵桁、强肋骨、实肋板等）的面板应采用板单元模拟，芯材应采用体单元模拟。对参与弯曲或拉伸的帽型强构件的硬质

芯材，可采用体单元模拟。以无捻粗纱正交布增强的夹层结构的面板可以假定为正方对称层板，应输入拉伸或压缩弹性模量、面内剪切弹性模量和泊松比。以短切毡增强的夹层板结构的面板可以假定为各向同性材料，应输入弯曲弹性模量及泊松比。夹层板的聚氯乙烯泡沫塑料（PVC）芯材或聚氨酯泡沫塑料（PU）芯材可以假定为各向同性材料，应输入拉伸或压缩弹性模量及泊松比。

（5）材料的力学性能参数可以通过试验方法确定；经本社同意，也可以采用其它适用的方法确定。若没有泊松比的实测值可取泊松比等于 0.25。

2.15.5.5 边界条件

（1）在有限元模型的边界处，除非周边结构远强于中心分析区，一般应采用简支边界条件。模型范围内受到支柱、短舱壁、平台等支持的结构，可用简支座代表。

2.15.5.6 局部强度衡准

（1）局部强度计算的构件主应力方向上的应力应不大于表 2.15.5.6 所列许用应力：

表 2.15.5.6 局部强度许用应力

	许用应力	
板单元的拉压应力	$0.4\sigma_{nu}$	$0.4\sigma_{pun}$
梁单元的拉压应力	$0.4\sigma_{nu}$	$0.4\sigma_{pun}$
体单元的剪切应力	$0.4\tau_c$	—

表中， σ_{nu} ——层板的极限拉伸强度， N/mm^2 ；

σ_{pun} ——层板的极限压缩强度， N/mm^2 ；

τ_c ——芯材的极限剪切强度， N/mm^2 ；

2.15.5.7 局部细化网格分析

（1）对于结构应力集中点附近及其他应力梯度较大的部位以及在局部强度分析模型中不能正确表达其几何特点的部位，应进行局部结构细化网格有限元分析，以确定其真实应力。

（2）细化模型可以嵌入粗网格模型中，计算结果表示在粗网格计算状态时的细部应力状态。

（3）目标区的细模型网格尺寸应不大于 $50mm \times 50mm$ ，并逐步过渡到外围区域的大网格。

（4）细化网格区域构件的单元应力应不大于表 2.15.5.6 许用应力的 1.6 倍。

第16节 其他

2.16.1 一般要求

2.16.1.1 主机、辅机、动力传动系统、轴系、压力容器、管路、电气装置和消防设施等，除应符合本节的规定外，尚应符合中国船级社《国内航行海船建造规范》或《钢质内河船舶建造规范》中的有关规定。

2.16.1.2 安装在船体结构上的所有机械设备，应采取必要措施避免应重力和螺栓夹紧力造成局部结构的损伤。

2.16.1.3 固定管路的支撑应采用螺栓或螺钉与船体构件连接。管路的布置应避免应船体变形而使管路损坏。

2.16.1.4 管路穿过水密舱壁或甲板时，应采用具有座板和垫板的通舱贯通件。采用贯穿螺栓将座板、垫板与舱壁或甲板牢固连接，并采取密封措施保证舱壁或甲板的水密完整性。

2.16.1.5 在安装推进装置和排气管系统时，应考虑因其工作时的温度升高损伤其安装处的船体结构的可能性，否则应提供有效的绝热措施。

2.16.1.6 贯穿或掩埋在泡沫塑料里的电缆，应加装金属套管，以便于移动和更换。

2.16.1.7 对于内河客船其强力甲板及以下的主船体可采用钢质结构，且应满足以下要求：

- (1) 钢质结构的主体应满足《钢质内河船舶建造规范》第1篇的相关规定；
- (2) 纤维增强塑料上层建筑（或甲板室）的外围壁及内隔壁与钢质主船体连接型式的图纸资料应经批准；
- (3) 纤维增强塑料上层建筑（或甲板室）一般不计入总纵强度剖面模数及剖面惯性矩的计算；如要计入则应对纤维增强塑料上层建筑（或甲板室）的外围壁与钢质主船体的连接型及其参与总纵强度的计算方法进行特别考虑。

2.16.2 燃油柜

2.16.2.1 燃油柜一般应为金属独立结构。

2.16.2.2 纤维增强塑料独立燃油柜应符合下列要求：

- (1) 应采用有效的防静电措施；
- (2) 其面对可能成为火灾热源的主机舱等场所的表面，应采取适当的阻燃和/或耐燃措施。

2.16.3 接地装置和避雷装置

2.16.3.1 接地装置应符合下列要求：

- (1) 金属结构、机器和设备外壳应有效接地；
- (2) 金属燃油柜和管道均应有效接地。

2.16.3.2 船上均应安装一个避雷装置。避雷针应以直径不小于 12mm 的铜棒或直径不小于 25mm 的铁棒制成，安装后其顶部应至少高出桅顶 300mm。

2.16.3.3 避雷针应以剖面积不小于 70mm² 的铜索或剖面积不小于 100mm² 的铁条与接地板作可靠的电气连接。

2.16.3.4 避雷针引下线应牢固地固定在一块由耐腐蚀性金属制成的面积不小于 0.2m²、厚度不小于 2mm 的接地板上。该接地板应装置在船壳板外侧，其安装位置应保证在船舶摇摆时不露出水面。金属舵板或不锈钢海底阀箱允许作为接地板。

第3章 锚泊及系泊设备

第1节 通则

3.1.1 一般规定

3.1.1.1 锚、锚链、锚索、系船索等设备所用材料，应符合中国船级社《材料与焊接规范》的要求。

3.1.1.2 凡是锚、锚链及锚索可能擦碰的船体表面应加以保护，使锚、锚链及锚索在正常情况下不能损伤船体。

3.1.1.3 航行于湖泊、水库、连续航行时间不超过4小时且有固定停靠码头以及专门航行于内河支流的船舶可免设锚设备。

第2节 锚泊及系泊设备

3.2.1 舾装数

3.2.1.1 船舶的舾装数 N 按下述计算：

$$N = \left(\Delta^{2/3} + 2BH + \frac{A}{10} \right) K$$

式中： Δ ——满载排水量，t；

B ——船宽，m；

A ——自满载水线以上的船体和宽度大于 $B/4$ 的各层甲板室的侧投影面积， m^2 ；

H ——自满载水线向上量至最高层宽度大于 $B/4$ 的甲板室顶的垂直高度，m，由下式计算：

$$H = a + \sum h_i \quad m$$

其中： a ——船中处自满载水线至上甲板的垂直距离，m；

h_i ——宽度大于等于 $B/4$ 的各层甲板室高度，m；

K ——系数，按船舶的营运航区按表 3.2.1.1 选取。

表 3.2.1.1

海 船		河 船	
航 区	K	航 区	K
沿海航区	1.2	A 级航区 (J 级航段)	1.0
遮蔽航区	1.0	B 级航区	0.8
		C 级航区	0.7

3.2.2 锚泊设备

3.2.2.1 应在船首配置一个认可型的大抓力锚。该锚的锚重，海船不得小于根据舾装数 N 按表 3.2.2 (1) 查得的锚重，河船不得小于根据舾装数 N 按表 3.2.2 (2) 查得的锚重。如配置非大抓力锚，则锚重不得小于按表 3.2.2 (1) 或 3.2.2 (2) 查得的锚重的 1.3 倍。

3.2.2.2 海船如在船首配置两个锚，则每个锚的质量不得小于按表 3.2.2 (1) 查得

的锚质量的 0.7 倍；河船如在船首配置两个锚，则每个锚的质量不得小于按表 3.2.2 (2) 查得的锚质量的 0.45 倍，且两个锚的总质量不得小于表中查得的锚质量。

3.2.2.3 单个锚的质量超过 30kg 时，应配置起锚装置。

3.2.3 锚链和锚索

3.2.3.1 如采用不锈钢锚链，其破断拉力应不小于表 3.2.2 (1) 或 3.2.2 (2) 所规定锚链的破断拉力。

3.2.3.2 每个锚的锚链长度，海船不得小于按表 3.2.2 (1) 查得的长度，河船不得小于按表 3.2.2 (2) 查得的长度。

3.2.3.3 如符合下列情况、可采用锚索（钢索或纤维索）替代锚链：

- (1) 当 $N < 440$ 时，可用破断负荷与锚链相当的钢索替代锚链；
- (2) 当 $N < 80$ 时，可用破断负荷与锚链相当的纤维索替代锚链。

3.2.3.4 如采用锚索代替锚链，锚索的长度不得小于表 3.2.2 (1) 或表 3.2.2 (2) 规定的锚链长度的 1.5 倍。

3.2.3.5 如采用锚索代替锚链，则在锚与锚索之间应加设一段短锚链。短锚链的长度至少应为锚的存放位置至锚机的距离，且不小于 0.2 倍的船长。

3.2.3.6 锚机座和为锚链（锚索）固定或导向的装置应牢固固定在船体结构上，所在处所的船体结构应当适当加强。

3.2.4 系泊设备

3.2.4.1 系索的长度和破断负荷应根据舳装数 N ，海船按表 3.2.2 (1) 查得，河船按表 3.2.2 (2) 查得。系索的直径不得小于 15mm，系索长度在任何情况下不得小于船长的 4 倍。

3.2.4.2 系泊设备应牢固固定在船体结构上，所在处所的船体结构应适当加强。

海船锚、锚链、系索配备表

表 3.2.2 (1)

舳装数 N		大抓力锚		锚链规格与直径 (mm)				锚链或锚索长度 (m)	系船索	
				无档锚链		有档锚链				
超过	不超过	数量	总质量 (kg)	BM1	BM2	AM2	AM3	数量×长度 (m)	破断负荷 (kN)	
	10	1	15	10	8	—	—	75	2×22.5	25
10	20	1	20	10	8	—	—	80	2×25	30
20	25	1	25	10	8	—	—	84	2×25	30
25	30	1	30	10	8	—	—	87	2×35	30
30	40	1	37	10	8	—	—	90	2×40	32
40	50	1	48	10	8	—	—	97	2×40	32
50	60	1	59	11	9	—	—	104	3×40	34
60	75	1	74	—	10	—	—	108	3×50	35
75	85	1	91	—	11	—	—	112	3×50	36
85	100	1	101	—	—	11	—	117	3×55	38
100	115	1	120	—	—	11	—	122	3×55	41
115	135	1	140	—	—	12.5	—	128	3×55	45
135	160	1	170	—	—	12.5	11	134	3×60	50
160	185	1	194	—	—	14	12.5	140	3×60	56
185	210	1	227	—	—	16	14	146	3×60	62

210	240	1	260	—	—	17.5	16	152	4×60	69
240	270	1	293	—	—	17.5	16	158	4×60	75
270	300	1	330	—	—	19	16	165	4×70	80
300	335	1	370	—	—	20.5	17.5	165	4×70	85
335	365	1	400	—	—	22	19	165	4×70	90
365	400	1	442	—	—	22	19	165	4×70	95
400	440	1	490	—	—	24	20.5	192.5	4×70	100.2
440	480	1	534	—	—	26	22	192.5	4×70	105.6

河船锚、锚链、系索配备表

3.2.2 (2)

舾装数 N		大抓力锚		锚链规格与直径 (mm)				锚链或锚索长度 (m)	系 船 索	
				无挡锚链		有档锚链				
超过	不超过	数量	总质量 (kg)	BM1	BM2	AM1	AM2	数量×长度 (m)	破断负荷 (kN)	
	10	1	10	10	8	—	—	—	2×20	—
10	20	1	15	10	8	—	—	25	2×20	—
20	30	1	25	10	8	—	—	25	2×20	—
30	40	1	30	10	8	—	—	50	2×20	32
40	55	1	35	10	8	—	—	50	2×30	32
55	70	1	40	11	9	—	—	50	2×30	35
70	90	1	50	—	10	—	—	50	2×30	36
90	110	1	60	—	11	—	—	50	2×40	38
110	130	1	80	—	11	—	—	50	2×40	45
130	150	1	100	—	—	11	—	75	2×40	50
150	170	1	125	—	—	11	—	75	2×40	56
170	190	1	145	—	—	12.5	—	75	3×50	56
190	210	1	165	—	—	12.5	—	75	3×50	62
210	230	1	180	—	—	12.5	11	75	3×50	69
230	250	1	200	—	—	14.0	12.5	75	3×50	75
250	270	1	220	—	—	16.0	14	75	3×50	75
270	300	1	240	—	—	16.0	14	75	3×50	80
300	335	1	265	—	—	17.5	16	100	4×60	85
335	365	1	300	—	—	17.5	16	100	4×60	90
365	400	1	330	—	—	19.0	16	100	4×60	95
400	440	1	360	—	—	20.5	17.5	100	4×70	100.2
440	480	1	400	—	—	22.0	19	100	4×70	105.6

第4章 建造

第1节 生产条件

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 建造纤维增强塑料船的工厂其生产条件和质量管理体系应满足中国船级社的要求。

4.1.1.2 建造厂的质量管理人员应具有能评价纤维增强塑料船建造工艺和构造质量的能力。

4.1.1.3 船体主要部件及构件的成型应由技术熟练的作业人员操作，并应在对工艺和施工质量有判断能力的检验人员监督下进行。

4.1.2 原材料贮存

4.1.2.1 原材料的贮存除应符合原材料生产厂的有关规定外，还应符合下列规定：

- (1) 树脂和添加剂应储存于密闭的容器内，并置于低温、干燥和避光的贮藏室中；
- (2) 纤维增强材料应储存在干燥、无尘和温度变化不大的场所，不可储存在温度会骤变的场所；
- (3) 引发剂与促进剂应分开贮存。

4.1.3 车间环境

4.1.3.1 成型车间、配料间和原材料储存间应为具有坚固结构的建筑物。

4.1.3.2 建造船体和主要构件的成型车间应能确保成型时温度和湿度的基本稳定。

4.1.3.3 成型车间温度应保持在 10~32℃ 之间。

4.1.3.4 成型车间内空气的相对湿度应不超过 80%，并保持平稳，避免结露和凝雾。

4.1.3.5 通风调节设备和温湿度计在整个树脂固化期内均应处于良好状态。

4.1.3.6 成型车间应有良好的照明，但应避免自然光和人工照明对树脂固化产生影响。

4.1.4 模具

4.1.4.1 模具设计应能保证使船体或构件形状规整、尺寸准确、表面质量优良且脱模容易。

4.1.4.2 模具的结构应牢固，以使其在整个成型和固化期间内保证不产生影响产品性能及外观的变形。

第2节 工艺认可

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 建造厂应在船舶建造前制定详细的施工工艺规程，并提交中国船级社认可。

4.2.1.2 施工工艺规程应包括下列内容：

- (1) 原材料的种类、类型（如树脂主要成份、织物编织型式等）、生产厂、技术参数和制造年月；
- (2) 各种原材料的配合比例（相当于纯树脂质量百分比）；

- (3) 铺敷工艺（包括织物方向、铺敷方式和程序等）；
- (4) 脱模方式和脱模剂的技术参数；
- (5) 部件和构件连接方法（包括分段合拢、二次胶接、金属与非金属构件边接、芯材粘接工艺等）；
- (6) 铺敷设备种类、型号及特征参数；
- (7) 固化说明（包括树脂的温度与固化时间的关系）。

4.2.1.3 每艘船在开工前，建造厂均应根据送审的工艺规程敷制一块试板进行工艺认可试验。对成批（不超过 10 艘为一批）生产的船舶，允许以同一图纸型号、同一工艺规程、同一生产条件，每批敷制一块试板进行工艺认可试验。

4.2.1.4 工艺试验应在验船师在场时，按本节有关规定进行。

4.2.2 试件与试样

4.2.2.1 工艺试验试件通常应为能代表船壳的平板。必要时，验船师可对重要的船体构件要求制作模拟构件作为试件。

4.2.2.2 试件应在与车间相同的施工条件下，由合格的工人按审核后的施工工艺流程敷制。

4.2.2.3 试件的尺寸应能切制出足够数量的试样，供进行抗拉、抗弯和冲击等力学性能试验，同时作密度、固化度和树脂含量等项目的测定。如验船师认为有必要时，可要求增加试验项目。

4.2.2.4 试样的数量和尺寸均应符合国家标准或中国船级社认可的标准。

4.2.2.5 力学性能的试样允许不除去防水层进行试验。

4.2.3 试验及评定标准

4.2.3.1 试件不得有明显的不合格缺陷存在（如大气泡、固化不良等）。

4.2.3.2 各项试验和测定均应按国家标准或中国船级社认可的标准进行。

4.2.3.3 力学性能试验结果应符合第三章第二节的有关要求或中国船级社认可的有关标准。

4.2.3.4 各项测定的结果应提交中国船级社备查。

第3节 施工

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 本节规定仅适用于以玻璃纤维和不饱和聚酯树脂为主要原材料的手糊成型（或辅以喷射成型）、树脂导入成型的造船工艺。

4.3.1.2 为完工后验证产品层板质量的需要，应事先考虑验证试验用试板的截取位置。通常试板应是船体壳板或其延伸的一部分。

4.3.2 施工准备

4.3.2.1 产品施工前应仔细清除模具工作表面上的灰尘、脏物。工作表面若有损坏应进行整修。

4.3.2.2 施工前模具应在环境中放置足够的时间，以使其铺糊时工作面的温度和湿度与工作环境相一致。

4.3.2.3 所用的原材料应符合工艺规程的要求。如发现原材料超过贮存期，应重新试验，证实不影响使用性能，方可使用。

4.3.2.4 配胶时，各种添加剂的加入量应严格控制，且搅拌均匀。一次配胶量不宜过大。严禁凭经验任意增减或不计量加入添加剂。

4.3.3 手糊成型工艺

4.3.3.1 敷制层板的每层增强材料时，应使树脂涂敷均匀并充分浸渍增强材料以获得预定树脂含量。

4.3.3.2 应严格控制每层树脂的用量。各铺层之间的树脂含量应均匀，以保证层板的厚度和质量。层板的厚度偏差不得大于 5%。

4.3.3.3 铺排纤维增强材料层时应尽量减少接缝的数目，同一层纤维增强材料片边缘可采用搭接或对接的方法连接。不同铺层的接缝应错开 150mm，五层之内接缝应不重叠。若采用拱接时，搭接的宽度应不小于 50mm。纤维增强材料层少于五层的层板不应采用对接方式。

4.3.3.4 敷制过程中，应消除气泡，避免增强材料片滑移。如果发现有纤维裸露、缺胶和积胶等妨碍使用的缺陷，应在敷制下一层增强纤维前修补完好。

4.3.3.5 使用环氧树脂时，船厂应制订手糊工艺的补充规定，以防止缺陷，保证质量。

4.3.4 喷射成型工艺

4.3.4.1 纤维和树脂喷射成型法仅在喷射法施工易于保证成型良好的结构面上使用。

4.3.4.2 喷射设备在使用前应进行校准，以保证喷出的纤维百分比符合预定的要求。在操作期间还应定时校验，以保证纤维长度和层板成份。

4.3.4.3 当采用喷射成型工艺时，应采取消除气泡的措施。当喷射纤维量达 $600\text{g}/\text{m}^2$ 时，应使用辊压法或其他方法消除气泡。

4.3.5 分次成型

4.3.5.1 大型船舶的壳体或构件，可采用分次成型的方法。

4.3.5.2 分次成型时，每次成型必须在适用期（凝胶时间）内施工完毕。各次之间的界面而后两层树脂应采用无蜡树脂。

4.3.5.3 分次成型隔天进行时，应先清洁和处理表面，使层间粘接良好。

4.3.6 真空成型

4.3.6.1 采用真空袋湿法作业时，应在纤维增强塑料制品尚未固化前进行。

4.3.6.2 采用真空袋干法作业时，应保证树脂的均匀流动。

4.3.7 涂敷胶衣

4.3.7.1 层板外表面应涂敷胶衣树脂。胶衣层的厚度应在 0.25~0.6mm 之间，且应厚薄均匀。

4.3.7.2 采用阴模预制胶衣时，第一层增强材料应采用表面毡在胶衣树脂未完全固化前糊制。

4.3.7.3 对形状受限制，而使第一层增强材料铺不到的角落处，应作特殊处理。

4.3.7.4 采用阳模成型的船壳，其表面涂料应与基层树脂相适应，否则应先涂一层与基层树脂和表面涂层都适应的中间层。

4.3.8 固化

4.3.8.1 用模具制成的船体和构件在未达到树脂生产厂推荐的巴氏硬度值之前，不

应改变其受控环境。

4.3.8.2 层板必须在达到一定固化程度（通常为巴氏硬度 40 以上）后才能脱模。

4.3.8.3 脱模后应立即支撑其主要表面，直到充分固化。

4.3.9 其他

4.3.9.1 当构件因挖孔、开口、切断等原因使板的纤维外露时，应用树脂将纤维裸露处封闭。

4.3.10 夹层板铺敷成型

4.3.10.1 夹层板的铺敷成型，应遵循单层板的铺敷成型要求。

4.3.10.2 与芯材表面接触的应是纤维短切毡，并应浸透树脂，也可使用适当的粘结膏糊或混合物替代。按要求铺放芯材后应把足够的饱和聚酯树脂或膏糊施涂在芯材表面和后续的层片（通常为纤维短切毡）上，让其浸透并辊压。随后把芯材真空袋压至在面板上。

4.3.10.3 如把芯材铺设在以预制的面板上时，则应在铺层固化发热过后尽快实施。

4.3.10.4 如把芯材铺设在不平的铺层表面上，应修理铺层表面或芯材外廓，以保证芯材与铺层之间紧密均匀粘结。

4.3.10.5 粘结前芯材应保持清洁，并按要求涂以密封底漆。底漆应固化且不妨碍后续所使用的粘结方法中所含材料的正常固化。

4.3.10.6 对使用硬质芯材的板材，应采用真空袋压工艺。芯材应预先设置排气孔，以保证有效去除芯材下的空气。真空带压成型后，应在呼吸孔处看到粘结膏糊。呼吸孔的大小、数量和分布应符合施工规程和材料生产厂家的要求。

4.3.10.7 芯材的接头应紧密对接并粘牢或采用其他有效的方式连接。

4.3.10.8 如需在夹层板中设置预埋件，预埋件应具有足够抗挤压强度，应与与芯材和面板良好粘结。

4.3.10.9 应尽可能避免切割芯材。如确实需要，仅能单面切割，并且切割面应朝上使用在板材的外露表面上。

第4节 连接

4.4.1 一般要求

4.4.1.1 除甲板和尾封板可以分开糊制外，船体壳板通常应整体糊成。如船体壳板采用左右舷分开糊制时，则应经船舶检验部门同意。

4.4.1.2 船体的连接可采用现场糊制、粘接或机械连接等方法。

4.4.1.3 当骨材交叉时，应在大骨材上开孔，使小骨材连续通过。当骨材尺寸相近时，一般应使纵向骨材保持连续。骨材相交处应选用毡片或毡布交替铺层连接。

4.4.2 现场糊制

4.4.2.1 如设计要求扶强构件与壳体敷成整体时，应在壳体层板成型后尽快敷制扶强构件。该工艺应使用慢凝树脂。

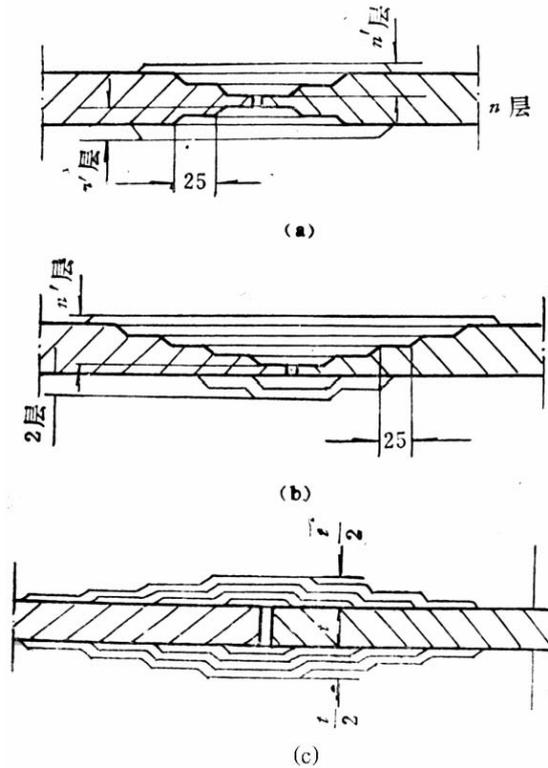
4.4.3 粘接

4.4.3.1 粘接时一般应使用与层板相同的树脂。若采用高强胶粘剂粘接时，所用的胶粘剂的化学性能应与被粘物的化学性能互相适应，且热膨胀系数相近。

4.4.3.2 舱壁及重要构件应在两侧采用连接毡片或等效方法与相邻结构连接，每侧

各层连接毡片的单重之和应不低于受连接的构件中较薄者的 1/2，也不应低于 900g/m² 毡或等效重量，每层毡片应比前一层两边都宽 25mm。这里所指的一层可以由总厚度不大于 2mm 的若干条同样宽度的增强材料叠铺而成。

4.4.3.3 粘接对接接头应采用多层铺敷工艺连接。对接接头分为双面接头和单面接头，见图 4.4.3.3 (a) 和 (b) 所示。接头在采用与层板相同的原材料粘接时，连接用增强纤维的总层数应不少于被连接层板增强纤维的总层数。对层板边缘倒角的对接接头铺层总厚度还应为原层板总厚度的 1.15 倍；对层板边缘不倒角的对接接头铺层总厚度应不小于原层板的总厚度，如图 4.4.3.3 (c) 所示。



$$\text{如 } n \text{ 为偶数, 则 } n' = \frac{n}{2} + 1 \text{ 层, 如 } n \text{ 为奇数, 则 } n' = \frac{n+1}{2} \text{ 层}$$

图 4.4.3.3

4.4.3.4 角接一般均应两侧连接，每侧应采用先窄后宽的方法逐层铺敷角形层板。角接接头的每边宽度应大于所连接的两层板中较厚者厚度的 14 倍，并且角材宽度之半处的厚度应大于被连接构件中较薄者厚度之半（如图 4.4.3.4 所示）。

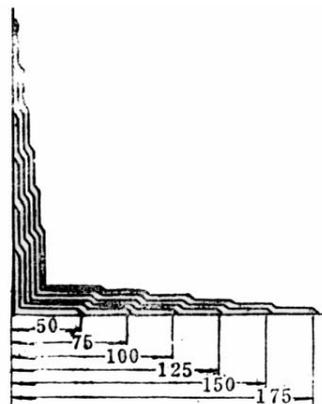


图 4.4.3.4

4.4.4 二次胶接

4.4.4.1 二次胶接一般只允许在整体成型不能实现或内部构件胶接至船体或修理时采用。

4.4.4.2 二次胶接时应遵循下列原则：

- (1) 胶接区域应清洁；
- (2) 二次粘接时应先进行打磨并清洗表面，增加连接表面的宽度，然后用高强粘接剂仔细粘接，以增加粘接的可靠性。打磨时（尤其高应力区域）不应损伤任何结构纤维增强材料，避免造成层板的强度损失；
- (3) 经打磨或撕去皮层的表面，铺敷前应用溶剂擦拭并干燥。
- (4) 对需二次胶接的构件，其层板需胶接面的最后一层增强材料应采用纤维短切毡。胶接前应将已固化构件的待胶接表面打毛，并清除石蜡、油脂、污物和灰尘。二次胶接的第一层增强材料应采用纤维短切毡。

4.4.5 机械连接

4.4.5.1 采用机械连接时应采取以下措施：

- (1) 连接孔的设计，应尽可能降低连接孔处的应力集中；
- (2) 连接孔的位置和形状，应满足设计要求；
- (3) 在连接处应对被削弱的层板采取补强措施；
- (4) 为防止螺栓或铆头压入层板而引起层板破坏，应选用足够大的垫圈。

4.4.5.2 机械连接时，连接孔的端距、行距和列距应不小于表.4.4.5.2 所列规定。

表.4.4.5.2

t (mm)	a (mm)	b (mm)	l_1 (mm)	l_2 (mm)
<3	$3.0d$	$2.00d$	$5d$	$>4d$
$3\sim5$	$2.5d$	$1.50d$	$\geq 4d$	$>4d$
>5	$2.0d$	$1.25d$	$\geq 4d$	$>4d$

表中： d ——连接孔直径，mm；

t ——板厚，mm；

a ——端距，mm，即边连接孔中心到接头端的距离；

b ——边距，mm，即边连接孔中心到边缘距离；

l_1 ——列距，mm；

l_2 ——行距，mm。端距、边距、行距和列距见图 4.4.5.2 所示。

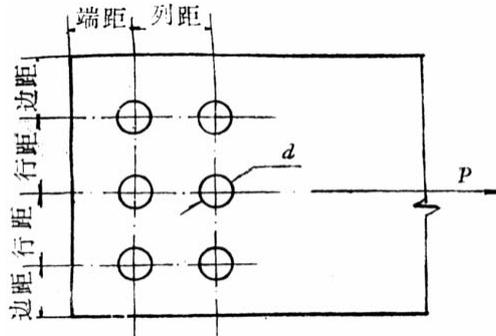


图 4.4.5.2

4.4.5.3 为避免层板中产生过大的局部应力，应使用穿过层板的螺栓和铆钉进行机械连接，以固定木质或金属元件，或固定上层建筑或设备。

4.4.5.4 机械连接应不损害层板的密封性。为了避免层板直接与金属接触，应套入塑料密封垫，连接孔中纤维暴露面应充填树脂。

4.4.5.5 应避免使用柱头螺栓和螺钉连接。

第5节 检验和试验

4.5.1 工厂认可

4.5.1.1 制造纤维增强塑料船的船厂应向中国船级社申请工厂认可。工厂认可合格后方能从事纤维增强塑料船的生产。

4.5.2 原材料

4.5.2.1 查阅树脂、添加剂、玻璃布、玻璃毡的质量合格证件，并核对实物。

4.5.2.2 如原材料超过贮存期，应重新试验，合格后方可使用。

4.5.3 工艺认可

4.5.3.1 开工建造前，工厂应按本章第二节的规定进行工艺认可试验。

4.5.3.2 当建造过程中出现偶然事故或需变更工艺规程的情况，船厂应提出补救措施或变更方案，经验船师同意后方可实施。

4.5.4 成型后检查

4.5.4.1 构件成型后应检查树脂的固化程度和支撑情况。在脱模后到充分固化前，应检查船体的支撑情况。

4.5.4.2 脱模后应检查船体或构件的外表面，尤其是成型困难的部位。发现缺陷应予以修补。

4.5.4.3 对船体上部、船壳的开孔和管孔等锐角部位可采用以轻金属敲击的方法检查空穴。如发现有明显空穴应予以修补。

4.5.4.4 船舶完工后应进行结构完整性检查。

4.5.4.5 对有厚度要求的构件和部件应测量其厚度。

4.5.4.6 在船体充分固化后，应检查船长、船宽和型深等主尺度值。

4.5.4.7 取下 4.3.1.2 规定的试板，当验船师认为有必要时，可要求进行验证试验。

4.5.5 密性试验

4.5.5.1 船体完工后，应进行密性试验。密性试验根据舱室的性质，可采用灌水、充气、冲水等方法。液体舱柜必须采用灌水或充气法试验。

4.5.5.2 灌水试验应符合下列规定：

- (1) 灌水试验应在船舶下水前进行；
- (2) 灌水试验前，被试验的密封舱应打扫清洁，且不得刷涂油漆等影响试验的涂料；
- (3) 对液舱和压载水舱应灌水至空气管顶；不设空气管时应灌水至溢流管顶端；
- (4) 不作液舱用的首、尾尖舱、机舱、货舱应灌水至满载水线，有两条以上不同满载水线的船应灌水至最高满载水线；
- (5) 灌水或浸水后应保持4小时，应无渗漏现象。

4.5.5.3 充气试验符合下列规定：

- (1) 充气试验时应装有2只带有减压阀的压力表，其量程应不大于0.1MPa。也可用

内盛液体的U形管替代压力表。

(2) 充气压力一般为0.02MPa。在此压力下保持15min无明显压降时，将舱内压力降至0.014MPa，然后涂刷肥皂水进行密性检查。

(3) 如果全部液舱均采用充气试验，则至少应在每种类型的液舱中选取1个作灌水试验。

4.5.5.4 冲水试验应符合下列规定：

(1) 高于灌水高度部分的外板、甲板、舱壁、上层建筑端壁、甲板室围壁，以及水密舷窗、舱口盖、孔盖、门窗等均应进行冲水试验。

(2) 冲水试验时，出水口的水压力应不低于0.1MPa，喷嘴内径应不小于12.5mm，喷嘴离被试验处的距离应不大于1.5m，水柱移动速度应不大于0.1m/s。

4.5.6 强度试验及其他

4.5.6.1 根据船舶的用途，中国船级社可要求进行船舶的结构强度试验（如承载下的应力—挠度试验、水中投落试验或碰撞试验等）。

4.5.6.2 根据船舶的使用目的，验船师可以提出对船体部件或全船船体进行称重。

4.5.6.3 系泊试验和航行试验应按国家有关标准或中国船级社的有关规定进行。

第5章 修补

第1节 通则

5.1.1 一般规定

5.1.1.1 本章规定适用于对建造过程中出现的缺陷的修补。这些规定同样适用于因碰撞或其他强作用力造成的层板损坏的修补。

5.1.1.2 所有修补工作应符合第4章4.4.4关于二次胶接的规定。

5.1.1.3 修补所使用的材料应能达到原层板的强度性能。修理方应制定修补工艺文件，详细说明修补区域、使用的材料（树脂、增强材料、芯材等）以及修补程序等，并提交中国船级社认可。

第2节 材料

5.2.1 树脂

5.2.1.1 通常，间苯二甲酸型聚酯树脂、乙烯基酯树脂或环氧树脂等可用于所有的修补。若采用其他类型的树脂，应证明所使用的树脂适用于被修补船舶原层板的胶接。

5.2.2 纤维增强材料

5.2.2.1 应尽可能采用建造时所使用的纤维增强材料进行修补。如果采用替代的增强材料，这些材料应在品种和规格上与被修补区域的材料相近。不同种类的纤维不能用于修补，除非它们是原层板中的一部分。

第3节 层板的修补

5.3.1 损伤评估

5.3.1.1 可通过外观检查、探伤或敲击声音来发现损伤。通过以下现象可确定损伤的部位：

- (1) 表面涂层粉化、开裂或磨损；
- (2) 结构或支撑构件变形；
- (3) 异常出现或存在的水迹、油迹或锈迹；
- (4) 结构出现水泡或者鼓泡；
- (5) 表面裂纹、开裂和纤维裸露；
- (6) 擦伤的划痕；
- (7) 结合面剥离。

5.3.1.2 船体上的损坏区域应完全暴露出来。为了对可疑区域进行检查，必要时应拆除隔热或防护层、机械设备等。

5.3.1.3 若在层板或芯材上发现水迹，该区域应用淡水进行清洗并至少经48小时的干燥，直到层板及芯材中水的含量低于5%（质量）时才能继续以后的工序。

5.3.2 层板损坏区域的清理

5.3.2.1 对于未穿透的层板损伤，应先用砂轮机将损坏部分片除，再用细砂纸将修补区域整理成如图5.3.2.1所示的剖面形式。

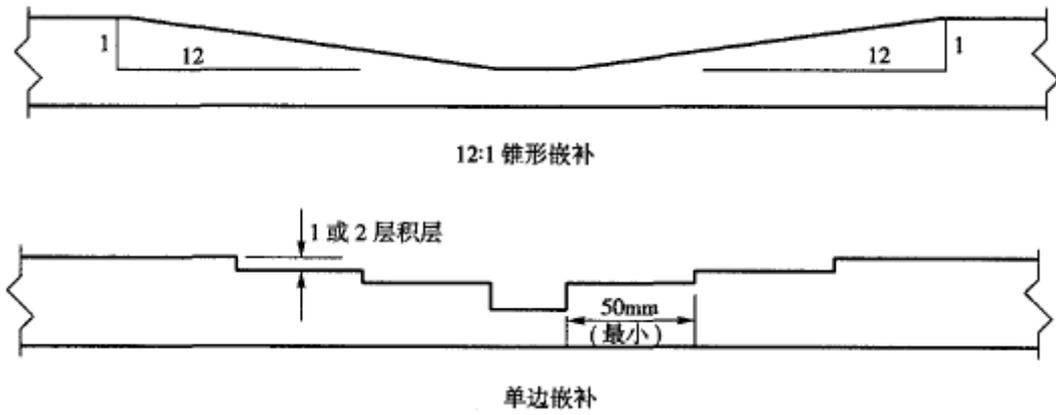


图 5.3.2.1

5.3.2.2 对于穿透性的层板损伤，应对损伤区域进行切除，并整理成如图 5.3.2.2 所示的剖面形式。

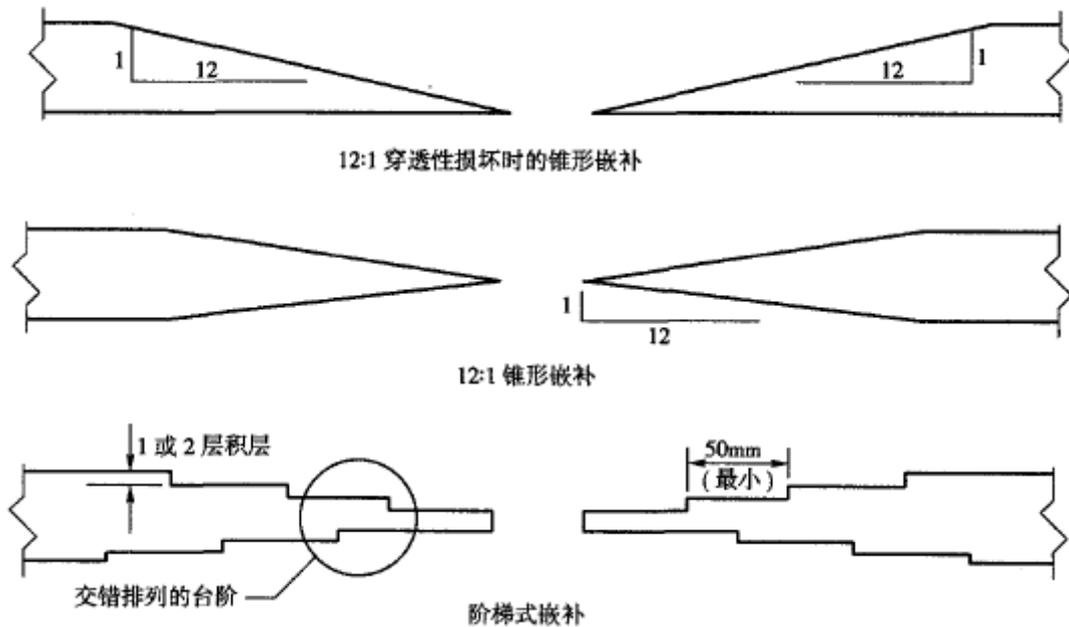


图 5.3.2.2

5.3.3 铺敷工序

5.3.3.1 整个修补过程应按照第 4 章 4.4.4 关于二次胶接的方法进行。通常情况下，最下一层的铺层应最小，其他层依次增大，如图 5.3.3.1 所示。

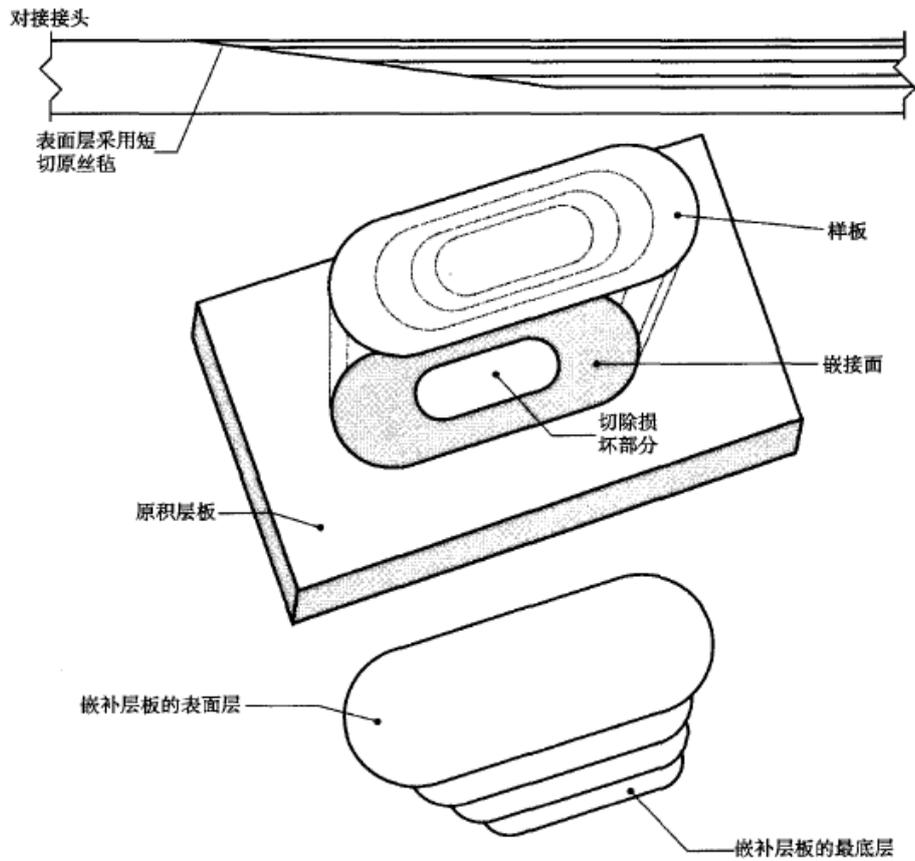


图 5.3.3.1

5.3.3.2 每上一层连续铺层应稍微大于下一层连续铺层并进行平整。铺敷时纤维的方向应与原层板纤维方向一致。在使用小的铺层时，应注意避免在胶接线处产生树脂堆积。

5.3.3.3 当增强材料为纤维布时，相邻片间应进行搭接，其他的增强材料可以对接。铺层搭接部分应至少 25mm 宽。上层铺层的端接缝应与其下面铺层的端接缝错开 150mm。如图 5.3.3.3 所示。

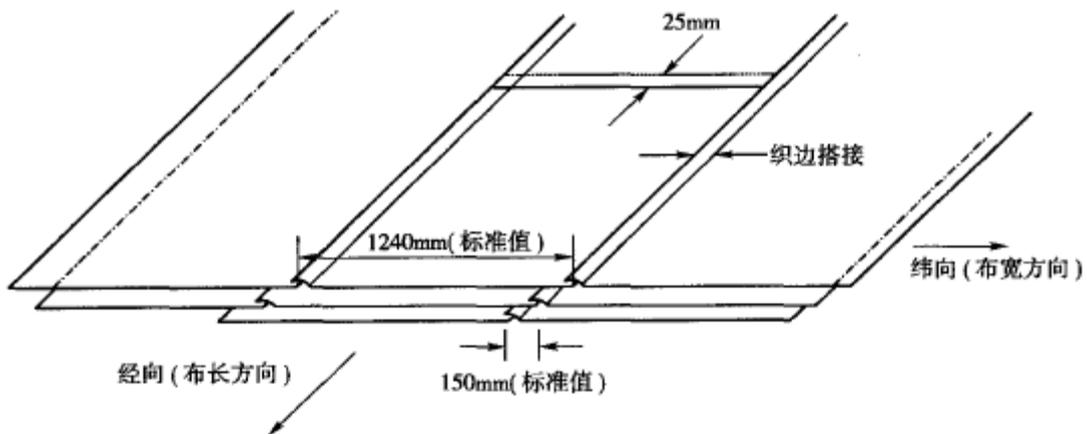


图 5.3.3.3

5.3.4 铺敷过程

5.3.4.1 在所有情况下，作为表面的第一铺层均应采用短切原丝毡覆盖整个接触表面，并应全部用树脂浸透。铺敷过程应参照第 4 章第 3 节的规定进行。如果损伤部位需要

仰糊时，应采取措施防止浸湿的增强材料掉落。可接受的层板修补方式见图 5.3.4.1 (1) ~ (8)

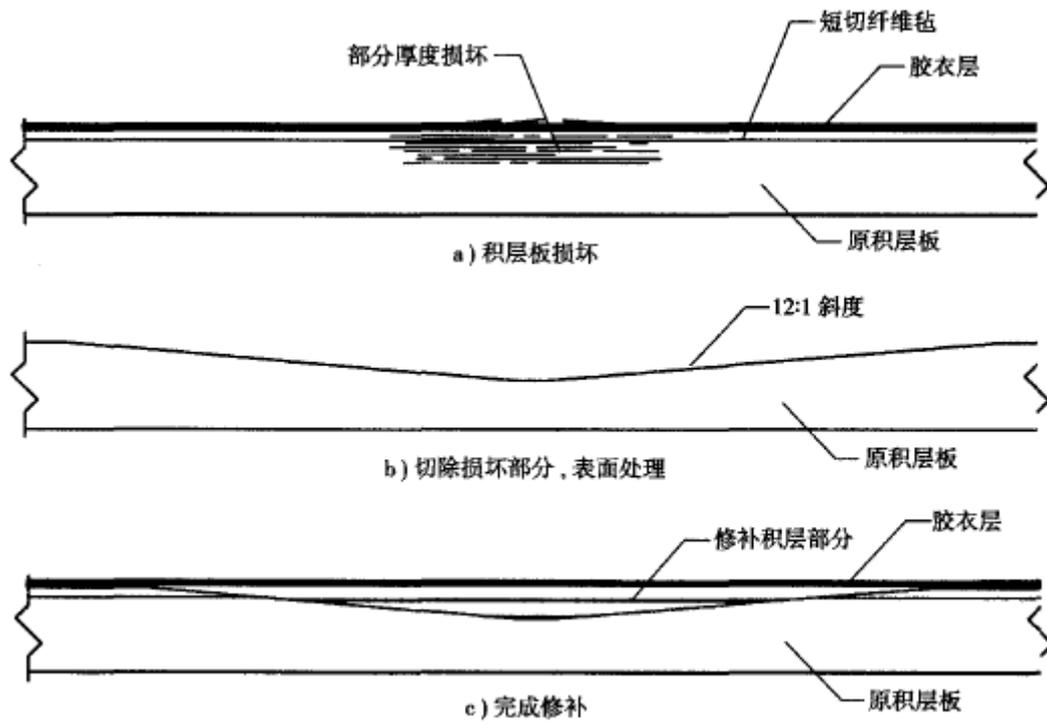


图 5.3.4.1 (1) 未穿透的修补

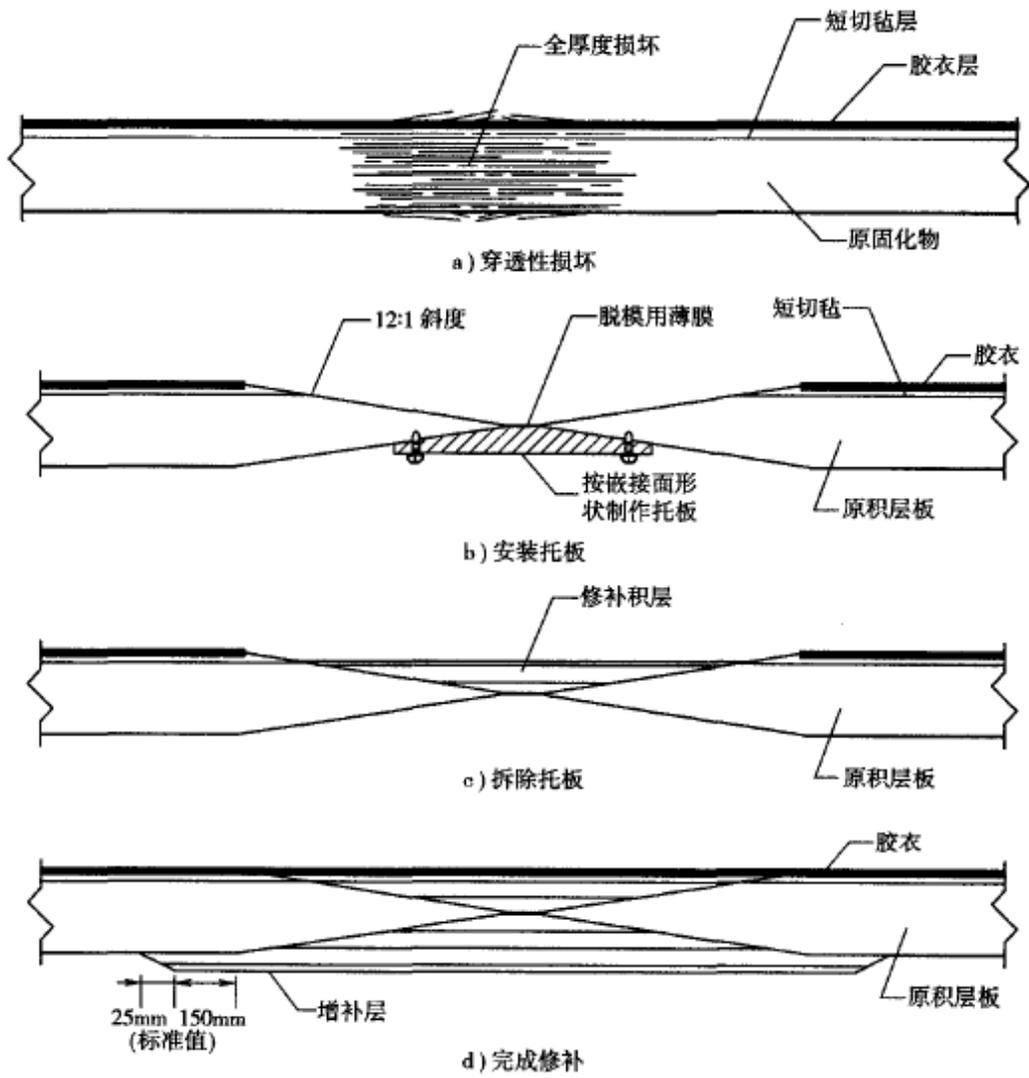
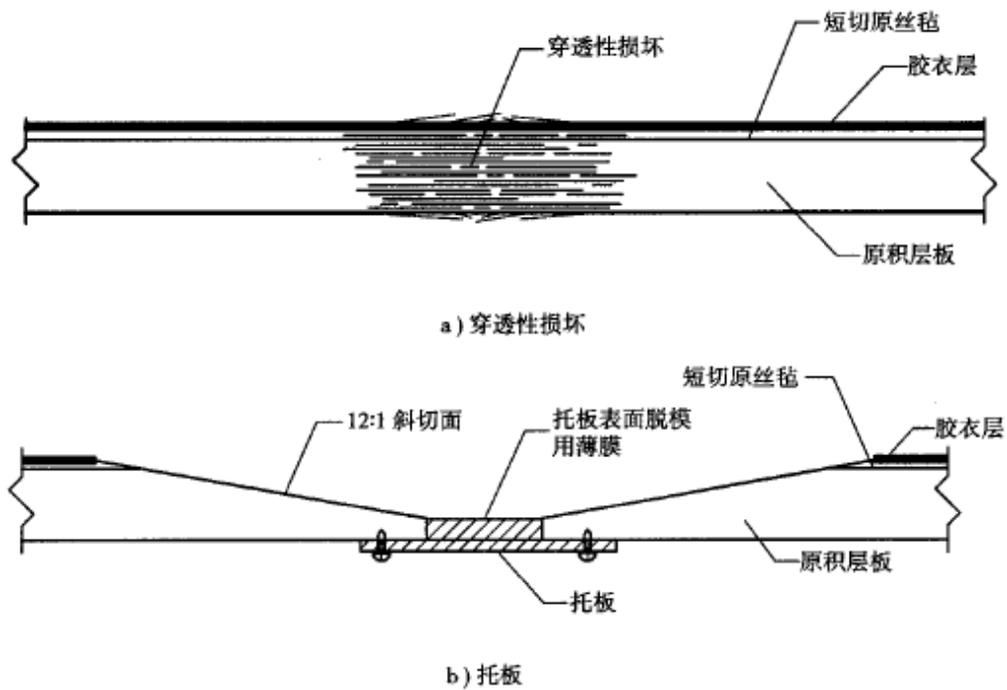


图 5.3.4.1 (2) 双面嵌补



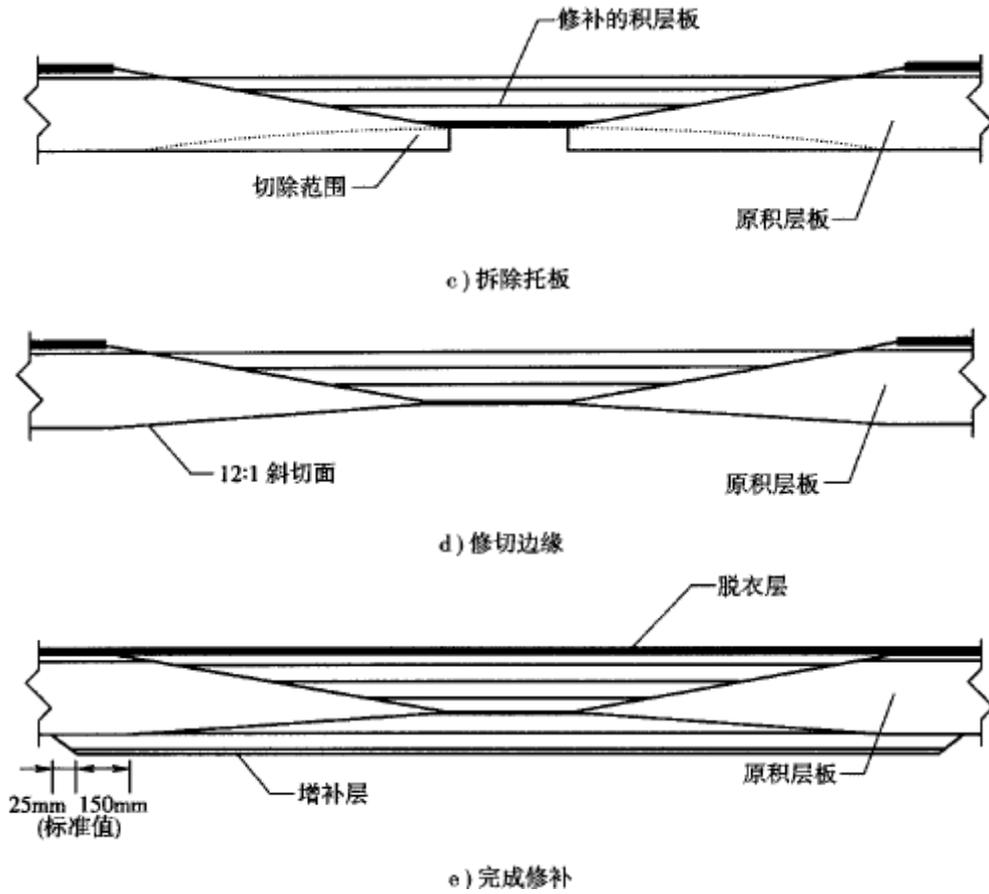
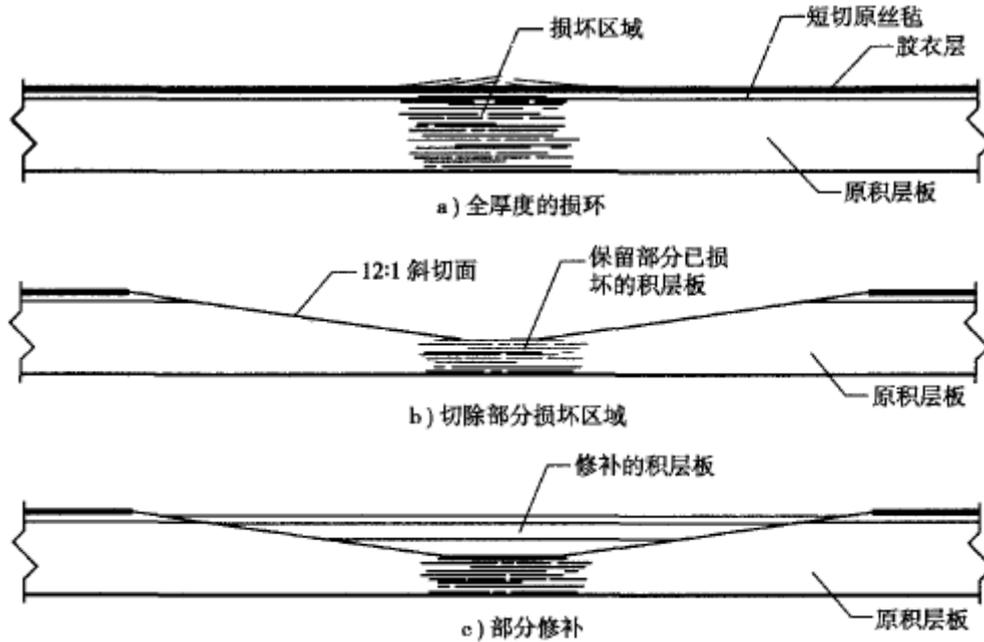


图 5.3.4.1 (3) 从一面嵌补——另一面加衬垫



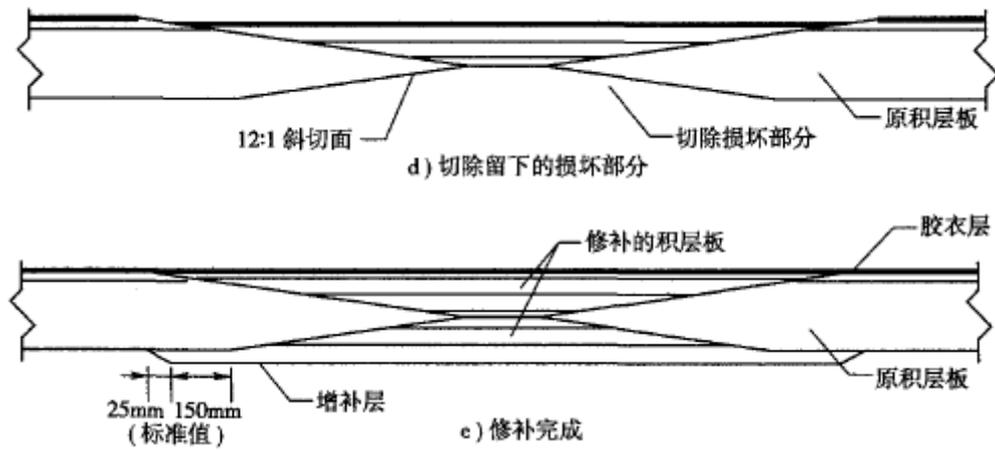


图 5.3.4.1 (4) 利用损坏部分做衬垫的修补

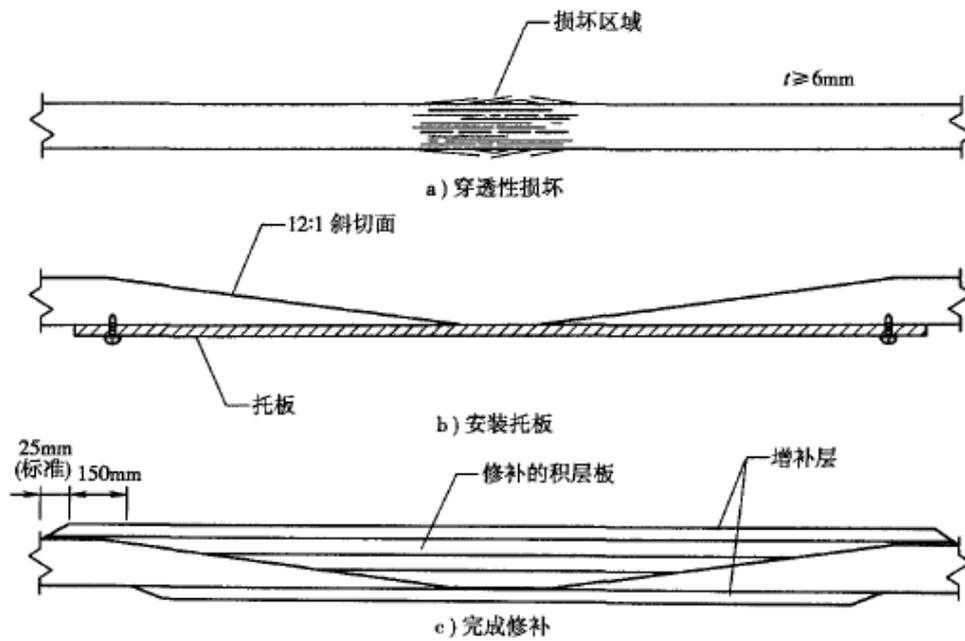


图 5.3.4.1 (5) 用薄层板做衬垫的单面嵌补

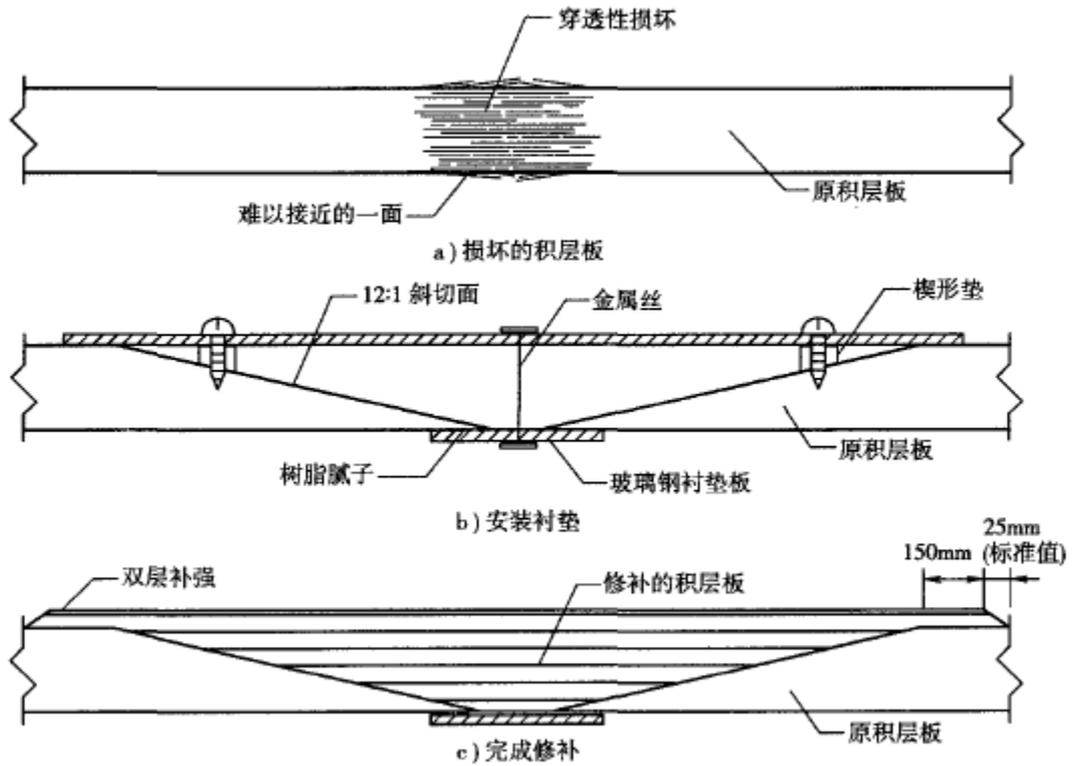
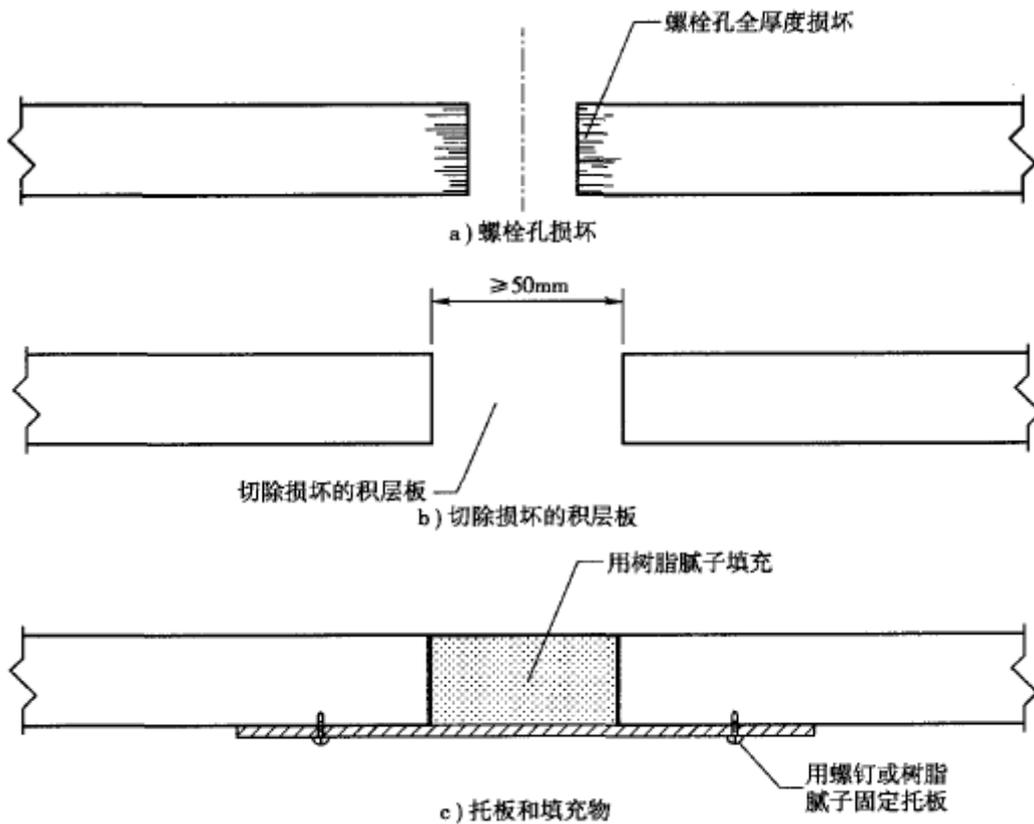


图 5.3.4.1 (6) 安装衬垫——从一面修补



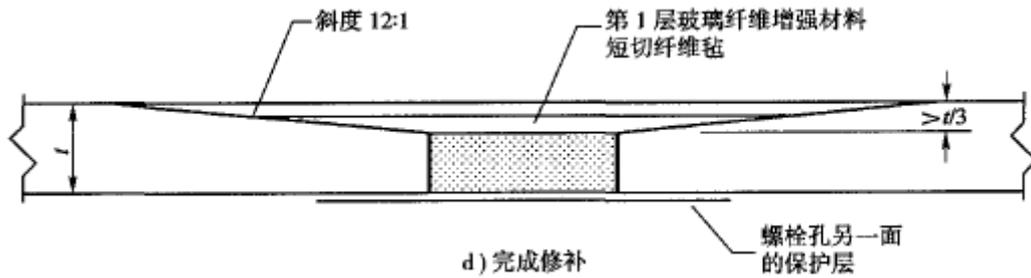


图 5.3.4.1 (7) 螺栓孔损坏部位的修补

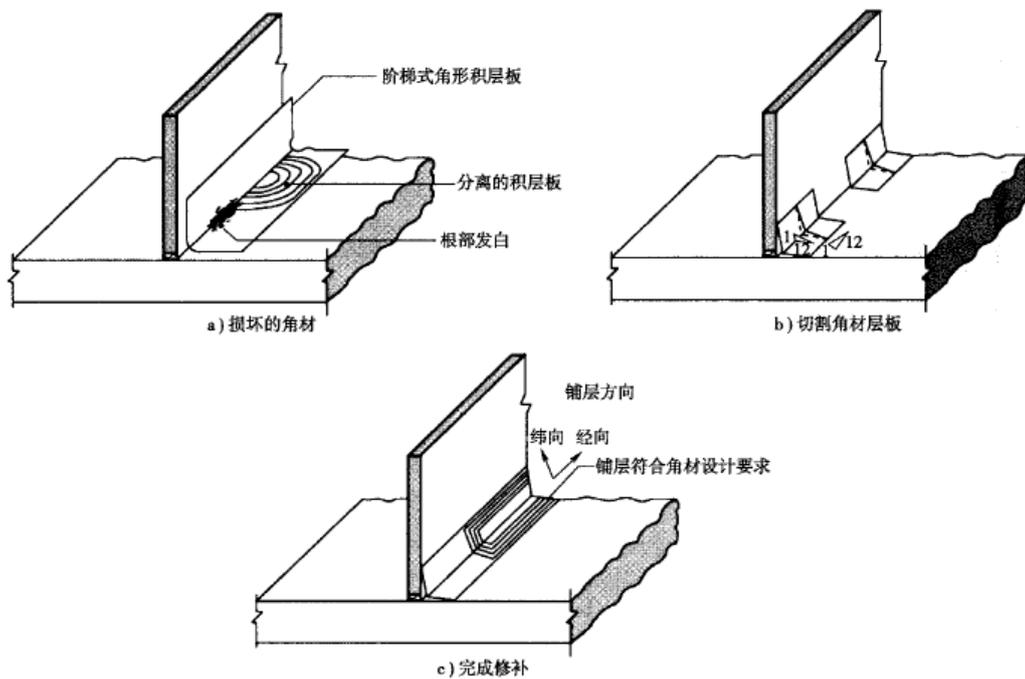


图 5.3.4.1 (8) 阶梯式角材损坏的修补

第4节 夹层板的修补

5.4.1 损伤评估

5.4.1.1 本章 5.3.1 中所述的方法可以应用于夹层板。但是，损伤的范围可能远超过可见损伤的区域。

5.4.2 层板损坏部分的清除

5.4.2.1 通常情况下，本章 5.3.2 中的要求适用于夹层板。被切割的范围可能会逐渐扩大，从外层项内层拓展。

5.4.3 铺敷程序和步骤

5.4.3.1 通常情况下，夹层板的面板应满足本章 5.3.3、5.3.4 的要求。新的芯材应与被替换的原芯材在型式和密度上相近。新芯材应比原芯材稍薄一点，以适应修补层板增厚的需要。铺敷程序参见第 4 章 4.3.9 的规定。

第5节 检验

5.5.1 检验

5.5.1.1 修补完工刷胶衣前，应对修补区域进行检验并符合下列要求：

- (1) 层板中没有孔、凹陷、裂纹、龟裂、分层或混入杂质；
- (2) 无明显的树脂变色或过热现象；
- (3) 无未浸透的增强材料，即层板无泛白现象；
- (4) 增强材料无褶皱，没有超过12mm的空隙。

5.5.1.2 修补表面应光滑，且与周围的表面相吻合。

5.5.1.3 固化度应与要求的巴氏硬度相差在 10% 以内。

附录

A 结构构造细则

A1 一般要求

A1.1 本附录推荐了在实践中已被证实的各种有效的连接形式。设计和建造单位可以在保证强度和连接目的的条件下，提出其他连接形式，但应经中国船级社同意。

A2 甲板与舷侧板的连接

A2.1 甲板与舷侧板的连接除应保证结构的完整性以承受总纵弯矩之外，还应能承受由甲板局部载荷造成的角变形。甲板与舷侧板的连接方式见图A2.1 (1)至图A2.1 (12)。

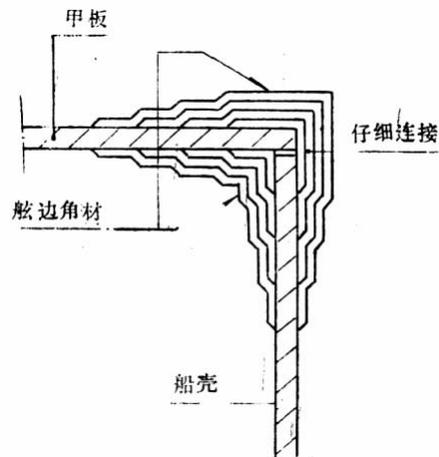
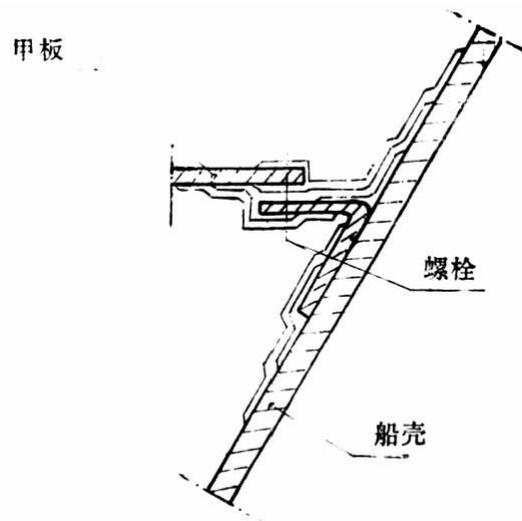
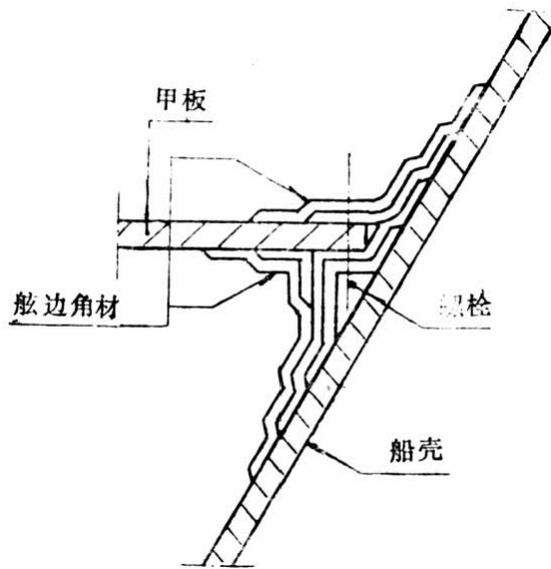


图 A2.1 (1)



图A2.1 (2)



图A2.1 (3)

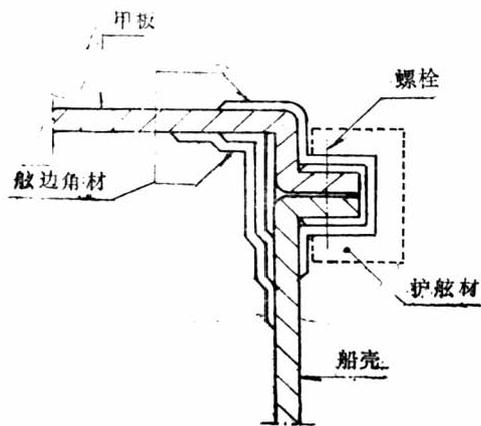


图 A2.1 (4)

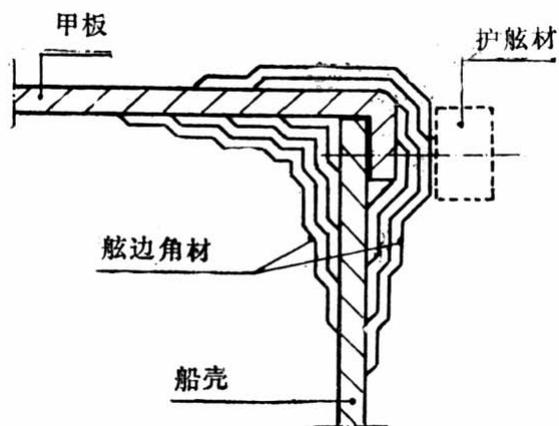


图 A2.1 (5)

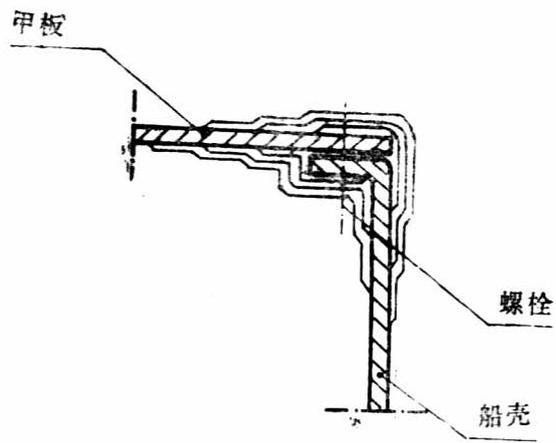


图 A2.1 (6)

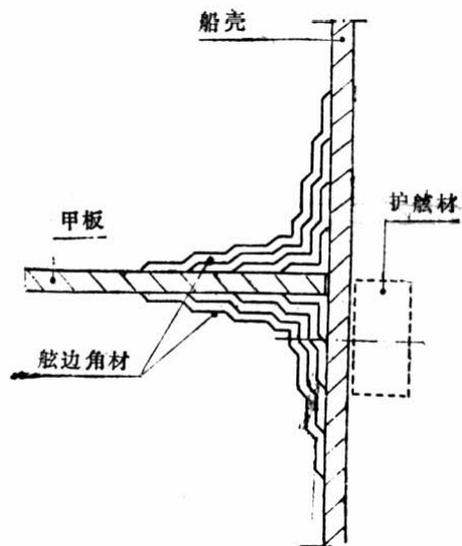


图 A2.1 (7)

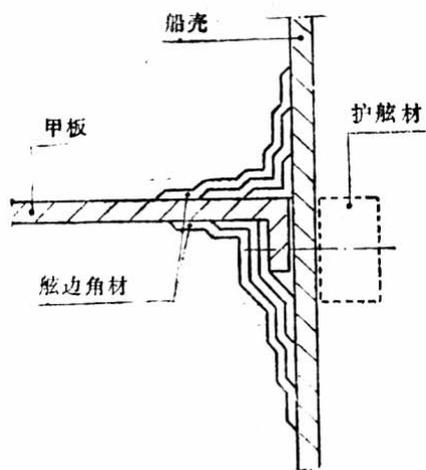


图 A2.1 (8)

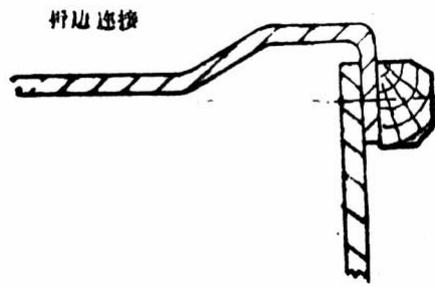


图 A2.1 (9)

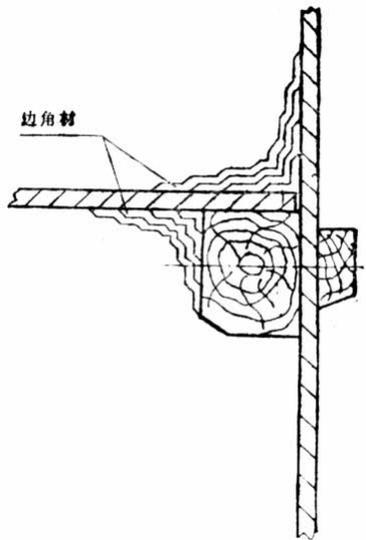


图 A2.1 (10)

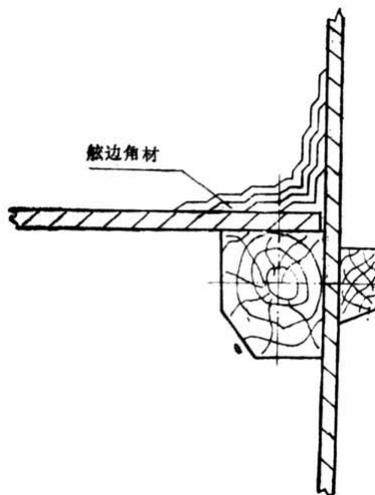


图 A2.1 (11)

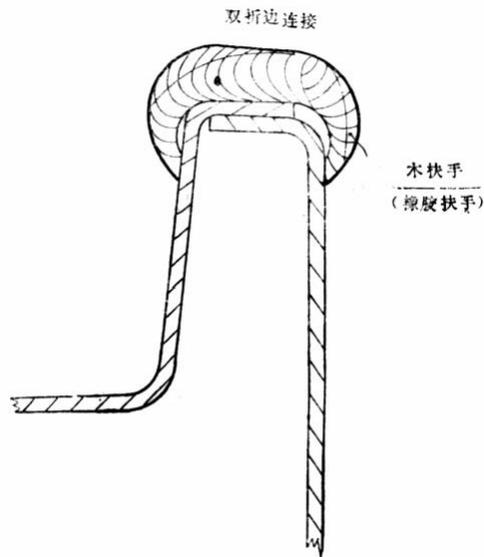


图 A2.1 (12)

A2.2 通常甲板与舷侧板的连接程序为：先将板甲与舷侧板连接，接着铺敷角材，然后再铺敷与之正交的横梁和肋骨。

A3 骨架构件之间的连接

A3.1 骨架构件之间的连接（如横梁与肋骨的连接）可采用机械连接和粘接两种方式。

A3.2 骨架构件之间的连接可分为有肘板型和无肘板型两种。为了增加角部连接的刚性，一般多采用有肘板的骨架构件连接形式。

A3.3 预制肘板的组装见图A3.3（1）所示；单腹板骨材的角接，在面板宽度不同时，应逐渐过渡，见图A3.3（2）所示；

预制骨材按对接规定组装的连接方式，见图A3.3(3)所示；

帽型骨材现场糊制有肘板角连接的方式，见图A3.3(4)所示；

帽型骨材现场糊制无肘板角连接的方式，见图A3.3(5)所示去除甲板后，其节点连接如图A3.3(6)所示。

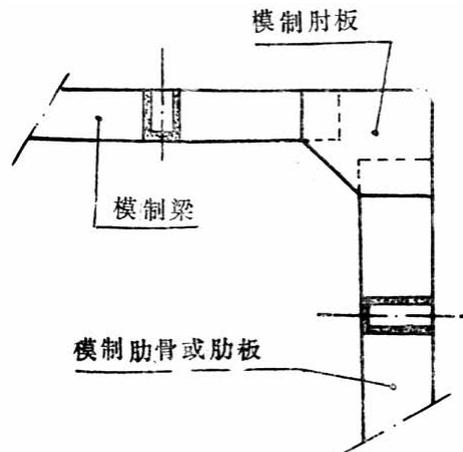


图 A3.3 (1)

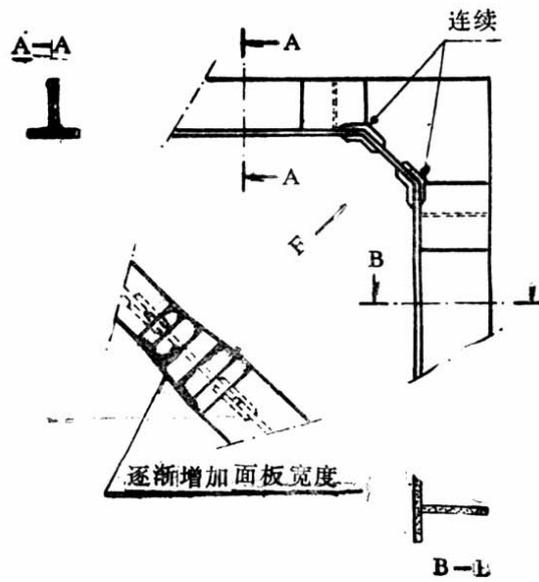


图 A3.3 (2)

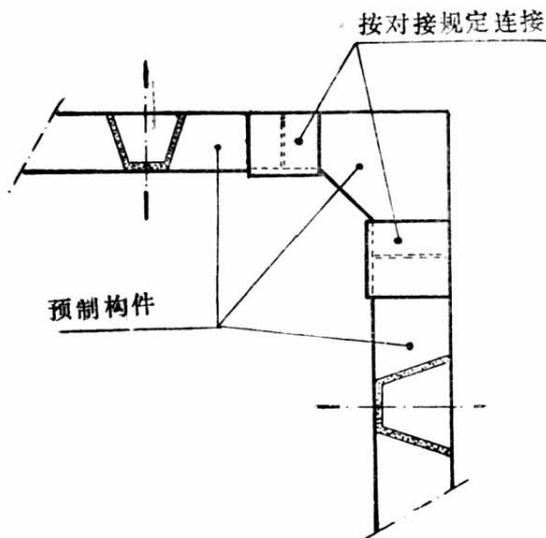
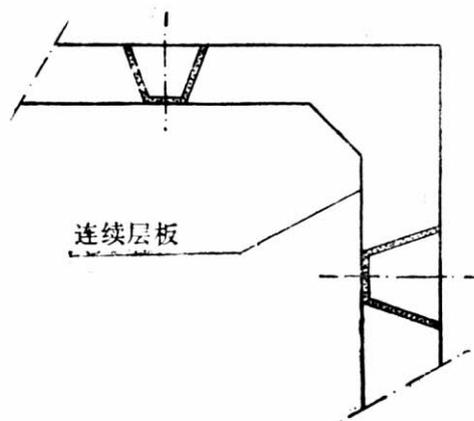
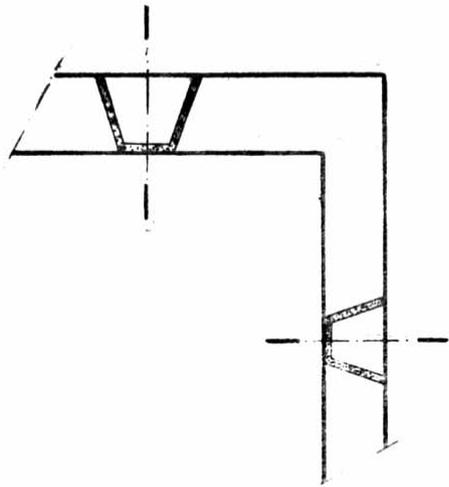


图 A3.3 (3)



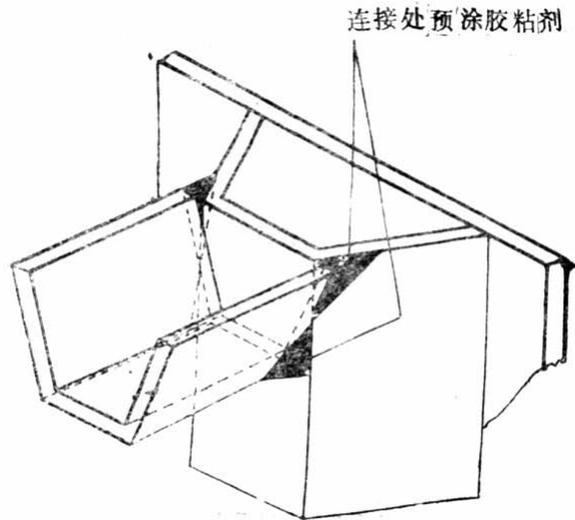
帽型骨材现场糊制图

图 A3.3 (4)



无肘板帽型骨材现场糊制图

图 A3.3 (5)



去除甲板的糊制图

图 A3.3 (6)

A4 舱壁与船壳的连接

A4.1 舱壁与船壳的连接处为船体受总纵弯曲变形时的刚性点，为减少其连接刚性而使其在小变形时的应力分布较均匀。建议采用图 A4.1(1)至(4)的连接方式。

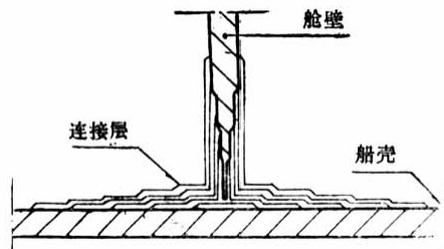


图 A4.1 (1)

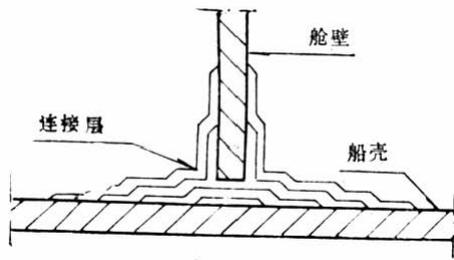


图 A4.1 (2)

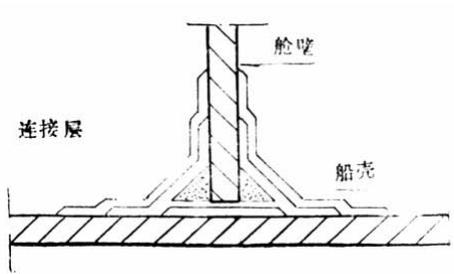
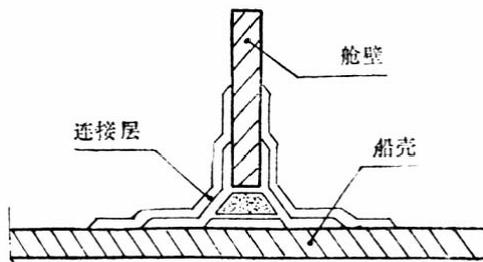


图 A4.1 (3)

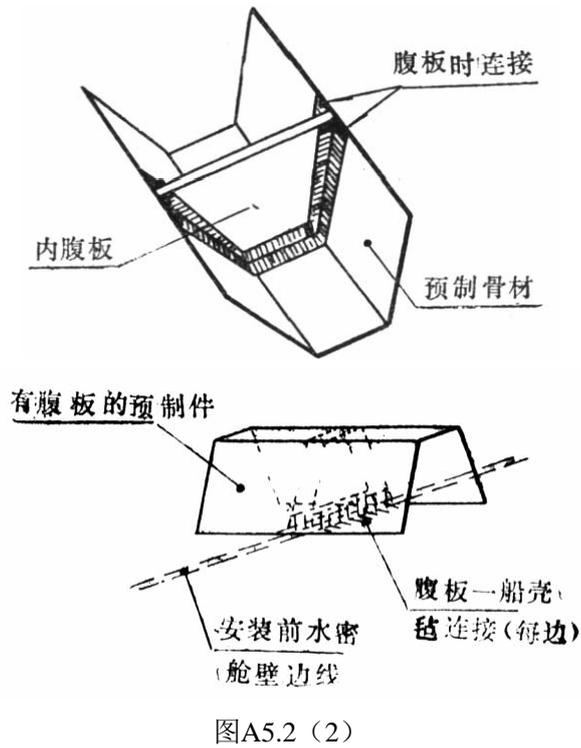


图A4.1 (4)

A5 水密舱壁与骨材的连接

A5.1 为了保证水密舱壁在破舱情况下保持水密，对穿过舱壁的连接帽型骨材和其他骨材本身也应在水密舱壁处是水密的。

A5.2 图 A5.2(1)、(2)、(3)显示了装有水密内隔板的帽型骨材的装配方法。水密舱壁与帽型骨材的连接应是将带有腹板的帽型骨材预制件先在船壳底板上装好，然后再进行舱壁定位。



图A5.2 (2)

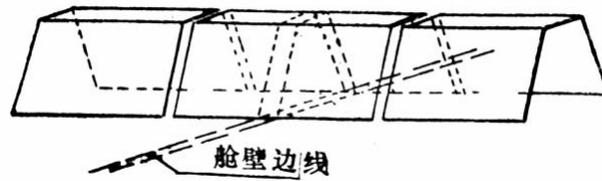
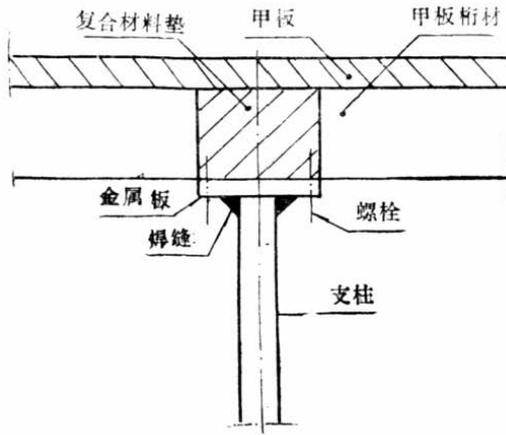


图 A5.2 (3)

A6 支柱

A6.1 纤维增强塑料船可以使用金属支柱。应制定钢、铝等金属支柱及其连接板在纤维增强塑料上的安装工艺并报中国船级社审查。

A6.2 安装金属支柱时，支柱上下端与复合材料连接的金属板必须先与支柱焊接成一个整体，不允许先装金属板再焊上金属支柱，见图 A6.2 所示。



图A6.1 (1)

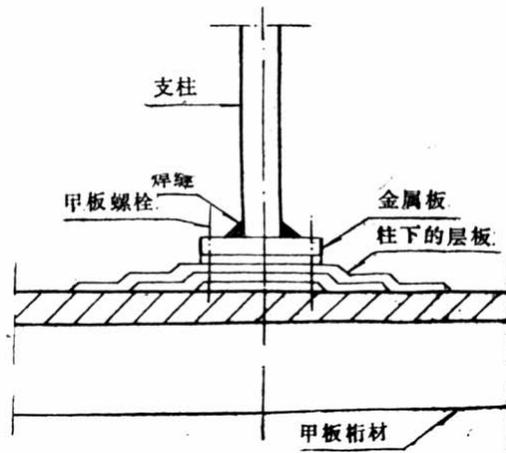
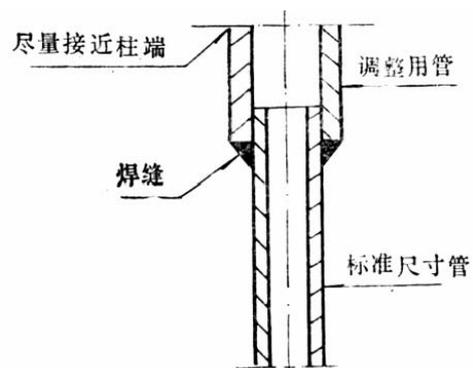


图 A6.2 (2)

A6.3 当采用管子套管子来调整支柱长度时，应尽量在金属支柱一端进行调整。调好尺寸后，卸下焊毕后再安装，见图 A6.3 所示。



图A6.3

A7 穿过船壳的金属构件与船壳的连接

A7.1 在金属构件穿过船体壳板的部位，特别是如舵杆、尾轴架、轴系等位于水线以下的和有可能受到振动影响的部位，均应认真考虑，仔细设计。通常对这些部位应采用增加壳板厚度或增设扶强构件的方法予以加强。对由金属件引起垂直于壳板的作用力，应由增设的构件承受。图 A7.1 是一个金属构件穿过船体壳板的一个实例。先将一块板与穿过层板的金属构件焊在一起，然后装配到位，在层板的另一面套上一个垫环，用螺栓夹紧。

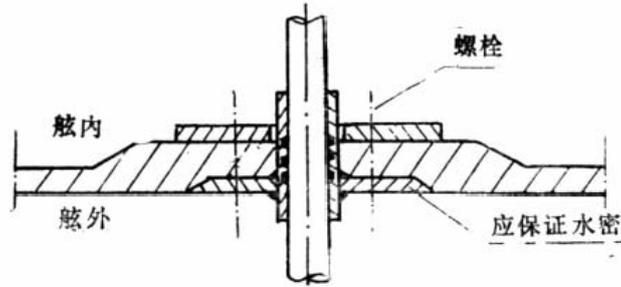
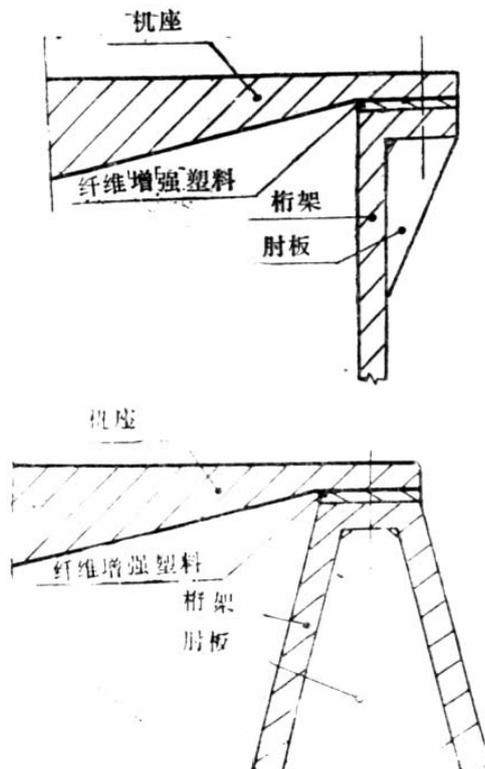


图 A7.1

A7.2 所有的连接界面应精心加工，并符合装配要求，同时应选择适应金属和纤维增强塑料的树脂（也可加入增强材料），以保证连接后的强度和密封性。

A8 机座结构

A8.1 机座应安装在专门设计的基座纵桁的构架上，并保证其具有良好的刚性，图 A8.1 给出了两种实用的机座结构形式。



图A8.1

A8.2 机座结构也可以采用在纤维增强塑料构件上加装金属帽的结构，见图 A8.2 所示。安装金属帽的螺栓处可以使用木质芯材。

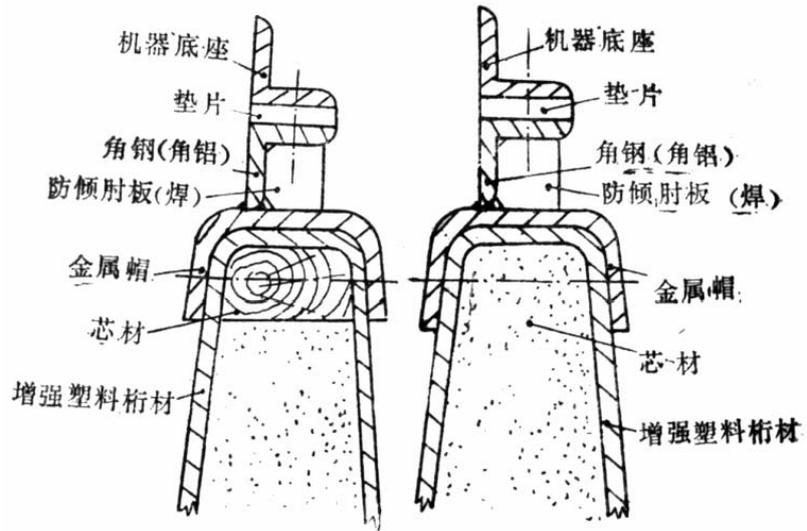


图 A8.2

B 纤维增强塑料主要缺陷及其成因

B1 鼓泡——层板表面大面积隆起，一般为内部分层所致。

B2 皱折——局限在表面（大面积或小面积）的皱纹。表明模具表面湿气太大，或糊制时固化辅料中湿气太大；不局限在表面的皱折，其成因主要为树脂含量过大。

B3 桔皮纹——有乳头状突起的涂层表面。这是由于表面涂层施工不良所致，即因涂层化合物与脱模剂不相容所造成的。

B4 擦伤——仅存在于涂层表面的擦伤或已向层板扩展的树脂中的纤维裂纹，一般意味着固化速度太快，某处树脂过多或固化不正常。

B5 表面发粘——通常伴随有浓的苯乙烯气味（不同于充分固化时，树脂的微弱气味），意味着固化不完全。

B6 针孔——成型表面上规则或不规则的孔，显示了空气进入表面涂层或进入表面涂层与脱模剂之间。

B7 纤维裸露——局部泛白的纤维过多。原因是：脱模过早；树脂与纤维或其浸润剂不相适应；纤维增强材料分布不均匀。

B8 缺胶面——增强纤维材料浸渍不好。原因是：增强纤维材料局部过多；糊制时树脂分布不均匀；凝胶硬化过早。

B9 积胶面——这些表面实际上仅含树脂，使用中很快出现裂缝。原因是：部件设计没有适应纤维增强塑料的特点，曲线变化太突然。

B10 局部积胶——表面树脂局部积聚。因反应热而变色，出现裂缝，属操作不当所致。

B11 分层——增强材料层间分离。其原因是：固化不完全；固化不正常；糊制时有潮气存在；在完全固化前受碰撞；模具上局部温度过高，脱模过早；局部缺少树脂。

B12 气泡——局部或普遍含有大量小气泡。其原因是：树脂滚轧不充分；糊制时树脂流动困难；增强材料潮湿；涂树脂的方法不当。

B13 增强材料位移——成型时增强纤维撕裂或位移。其原因是：树脂粘度太高；凝胶过早；增强材料结构样式不当；模具设计有缺点。

C 本规范引用的国家标准

- [1] GB/T2918 塑料试样状态调节和试验的标准环境
- [2] GB/T3961 纤维增强塑料术语及其定义
- [3] GB/T8237 玻璃纤维增强塑料（玻璃钢）用液体不饱和聚酯树脂
- [4] GB/T7193.1 不饱和聚酯树脂粘度测定方法
- [5] GB/T7193.2 不饱和聚酯树脂羟值测定方法
- [6] GB/T7193.3 不饱和聚酯树脂固体含量测定方法
- [7] GB/T7193.4 不饱和聚酯树脂 80℃ 下反应活性测定方法
- [8] GB/T7193.5 不饱和聚酯树脂 80℃ 热稳定性测定方法
- [9] GB/T7193.6 不饱和聚酯树脂 25℃ 凝胶时间测定方法
- [10] GB/T7194 不饱和聚酯树脂 浇铸体耐碱性测定方法
- [11] GB/T8238 不饱和聚酯树脂液体和浇铸体折光率的测定
- [12] GB/T2567 树脂浇铸体力学性能试验方法总则
- [13] GB/T2568 树脂浇铸体拉伸性能试验方法
- [14] GB/T2569 树脂浇铸体压缩性能试验方法
- [15] GB/T2571 树脂浇铸体冲击性能试验方法
- [16] GB/T2570 树脂浇铸体弯曲性能试验方法
- [17] GB/T4726 树脂浇铸体扭转性能试验方法
- [18] GB/T4202 玻璃纤维纱代号
- [19] GB/T1446 纤维增强塑料性能试验方法总则
- [20] GB/T1447 纤维增强塑料拉伸性能试验方法
- [21] GB/T1448 纤维增强塑料压缩性能试验方法
- [22] GB/T1449 纤维增强塑料弯曲性能试验方法
- [23] GB/T1450.1 纤维增强塑料层间剪切强度试验方法
- [24] GB/T1450.2 纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法

- [25] GB/T1451 纤维增强塑料简支梁冲击韧性试验方法
- [26] GB/T1462 纤维增强塑料吸水性试验方法
- [27] GB/T1463 纤维增强塑料密度和相对密度试验方法
- [28] GB/T2572 纤维增强塑平均线膨胀系数试验方法
- [29] GB/T2573 玻璃纤维增强塑大气暴露试验方法
- [30] GB/T2574 玻璃纤维增强塑湿热试验方法
- [31] GB/T2575 玻璃纤维增强塑耐水性试验方法
- [32] GB/T2576 纤维增强塑树脂不可溶分含量试验方法
- [33] GB/T2577 玻璃纤维增强塑树脂含量试验方法
- [34] GB/T3139 纤维增强塑导热系数试验方法
- [35] GB/T3140 纤维增强塑平均比热容试验方法
- [36] GB/T3854 增强塑料巴柯尔硬度试验方法
- [37] GB/T3355 纤维增强塑料纵横剪切试验方法
- [38] GB/T3857 玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法
- [39] GB/T7559 纤维增强塑料层板螺栓连接挤压强度试验方法
- [40] GB/T1452 夹层结构平拉强度试验方法
- [41] GB/T1453 夹层结构或芯子平压性能试验方法
- [42] GB/T1454 夹层结构侧压性能试验方法
- [43] GB/T1455 夹层结构或芯子剪切试验方法
- [44] GB/T1456 夹层结构弯曲性能试验方法
- [45] GB/T1457 夹层结构滚筒剥离强度试验方法
- [46] GB/T1464 夹层结构或芯子密度试验方法
- [47] GB/T6059 玻璃纤维增强塑料板材和蜂窝夹层结构弯曲蠕变试验方法
- [48] GB/T3354 定向纤维增强塑料拉伸性能试验方法
- [49] GB/T3355 纤维增强塑料纵横剪切试验方法
- [50] GB/T3356 单向纤维增强塑料弯曲性能试验方法

- [51] GB/T3856 单向纤维增强塑料平板压缩性能试验方法
- [52] GB/T4944 玻璃纤维增强塑料层合板层间拉伸强度试验方法
- [53] GB/T4550 试验用单向纤维增强塑料平板的制备
- [54] GB/T5258 纤维增强塑料薄层板压缩性能试验方法
- [55] JC/T774 预浸料凝胶时间试验方法
- [56] JC/T775 预浸料树脂流动度试验方法
- [57] JC/T776 预浸料挥发物含量试验方法
- [58] JC/T777 预浸料纱带拉伸强度试验方法
- [59] JC/T780 预浸料树脂含量试验方法
- [60] GB/T1458 纤维缠绕增强塑料环形试样拉伸试验方法
- [61] GB/T1459 纤维缠绕增强塑料环形试样压缩试验方法
- [62] GB/T1460 纤维缠绕增强塑料环形试样弯曲试验方法
- [63] GB/T1461 纤维缠绕增强塑料环形试样剪切试验方法
- [64] GB/T2578 纤维缠绕增强塑料环形试样制作方法
- [65] GB/T5349 纤维增强热固性塑料管轴向拉伸性能试验方法
- [66] GB/T5350 纤维增强热固性塑料管轴向压缩性能试验方法
- [67] GB/T5351 纤维增强热固性塑料管短时水压失效压力试验方法
- [68] GB/T5352 纤维增强热固性塑料管平行板外载性能试验方法
- [69] GB/T6011 纤维增强塑料燃烧性能试验方法 炽热棒法
- [70] GB/T3362 碳纤维复丝拉伸性能试验方法
- [71] GB/T3363 碳纤维复丝纤维根数检验方法（显微镜法）
- [72] GB/T3364 碳纤维直径和当量直径检验方法（显微镜法）
- [73] GB/T3365 碳纤维增强塑料孔隙含量检验方法（显微镜法）
- [74] GB/T3366 碳纤维增强塑料纤维体积含量试验方法
- [75] GB/T3855 碳纤维增强塑料树脂含量试验方法
- [76] GB/T3856 单向碳纤维增强塑料平板压缩性能试验方法

D 单位换算表

力	$1 \text{ N} = 0.102 \text{ kgf}$ $9.8 \text{ N} = 1 \text{ kgf}$ $1 \text{ kN} = 102 \text{ kgf}$ $1 \text{ kN} = 0.102 \text{ tf}$ $9.8 \text{ kN} = 1 \text{ tf}$
应力	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 0.102 \text{ kgf/m}^2$ $0.098 \text{ MPa} = 9.8 \text{ N/cm}^2 = 1 \text{ kgf/cm}^2$ $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$ $9.8 \text{ MPa} = 0.98 \text{ kN/cm}^2 = 1 \text{ kgf/cm}^2$ $1 \text{ GPa} = 100 \text{ kN/cm}^2 = 10200 \text{ kgf/cm}^2$
冲击值	$1 \text{ J/cm}^2 = 0.102 \text{ kgf} \times \text{m/cm}^2$ $9.8 \text{ J/cm}^2 = 1 \text{ kgf} \times \text{m/cm}^2$ $981 \text{ J/cm}^2 = 1 \text{ tf} \times \text{m/cm}^2$ $1 \text{ kJ/cm}^2 = 1.01 \text{ tf} \times \text{m/cm}^2$ $98 \text{ kJ/cm}^2 = 1 \text{ kgf} \times \text{m/cm}^2$