



中国船级社

钢夹层板材料船舶结构建造指南

中国船级社上海规范研究所

2007年4月

目 录

- 第 1 章 通则
 - 第 1 节 一般规定
 - 第 2 节 构造
 - 第 3 节 图纸资料
- 第 2 章 材料
 - 第 1 节 一般规定
 - 第 2 节 原材料
 - 第 3 节 芯材
 - 第 4 节 芯材型式试验
- 第 3 章 建造工艺
 - 第 1 节 一般规定
 - 第 2 节 施工
 - 第 3 节 试验、检验与修补
 - 第 4 节 焊接
 - 第 5 节 覆盖结构附加过程
- 第 4 章 结构设计基础
 - 第 1 节 一般规定
 - 第 2 节 结构尺寸要求
 - 第 3 节 覆盖结构要求
 - 第 4 节 最小厚度
 - 第 5 节 屈曲
- 第 5 章 主要支撑构件布置原则
 - 第 1 节 一般要求
 - 第 2 节 主要支撑钢构件布置
 - 第 3 节 主要支撑钢构件尺寸
 - 第 4 节 直接计算
 - 第 5 节 屈曲
- 附录 典型节点设计

第 1 章 通则

第 1 节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本指南规定了用钢夹层板构造的船舶结构的评估标准，CCS《钢质海船入级规范》（以下简称《钢规》）的其他相关要求同时适用。

1.1.1.2 本指南适用于全部或部分使用钢夹层板结构的通常结构型式、尺度比和航速的常规单体船。

1.1.1.3 本指南包含了对新建结构和用于现有船的覆盖结构的要求。覆盖结构只适用于减薄后钢板的测量厚度等于或大于原来规定板厚的 50% 的钢板。

1.1.2 特殊要求

1.1.2.1 以下几类构件或部位应用钢夹层板时应予特别考虑：

(1) 某些强力构件，如：甲板强横梁、甲板纵桁、甲板边板、舷侧顶列板、双层底实肋板和桁材等；

(2) 形状不规则的区域，如：首尖舱、尾尖舱结构等；

(3) 直接接触或有可能接触油、有机溶剂的结构或部位，如：油船的舱壁和内底板、油船的甲板、LNG 船的上甲板。

1.1.2.2 当船体的任何部分结构属新型设计，在使用前和使用期间应进行专门的试验和检验。

1.1.3 定义与术语

1.1.3.1 本指南涉及的定义和术语，除另有说明外，以本节的定义为准。

(1) 主要构件：是支撑钢夹层板的构件，典型的有：

① 甲板结构——甲板强横梁和甲板纵桁；

② 舷侧结构——强肋骨和舷侧纵桁；

③ 舱壁结构——垂直桁和水平桁；

④ 单层底和双层底结构——实肋板和桁材。

(2) 船首区域：是指船中 $0.4L$ 以前的所有结构。

(3) 船尾区域：是指船中 $0.4L$ 以后的所有结构。

(4) 覆盖层或覆盖结构：是指用芯材和新的钢顶板按照第 3 章和第 4 章要求覆盖到原有钢板上的结构。

(5) 设计机构：是指提供设计和结构图纸的机构。

(6) 钢夹层板：是由两层钢板及中间的高分子芯材组成的三层结构的复合材料。具体结构见图 1.1.3.1。

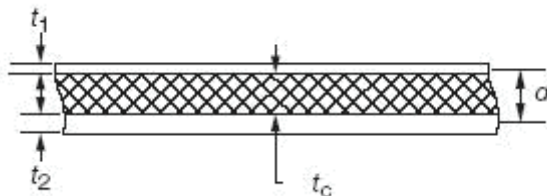


图 1.1.3.1 钢夹层板尺寸定义

(7) 底板：钢夹层板中用于与船体主要构件连接的一侧的钢板。

(8) 顶板：钢夹层板中底板另一侧的钢板。

(9) 芯材：通过灌注封闭于底板和顶板之间的直接与钢表面接触的一层高分子材料或高分子增强材料。

(10) 灌注寿命：两种原材料混合并搅拌，其从开始搅拌到固化的时间。

(11) 空腔：由底板、顶板和边界条围成的空间。

(12) 板格：主要结构件围成的钢夹层板。

(13) 垫块：固定在底板上的方形或圆形的钢或高分子材料，用于保持底板和顶板间的距离。

(14) 边界条：与底板直接连接形成灌注空腔壁的条形钢板。

1.1.3.2 除另有说明外，本指南所使用的符号如下：

a 为板格长边的长度，mm

b 为格短边的宽度，mm

d 为顶底板中心线间的距离。 $d=0.5(t_1+t_2)+t_c$ ，mm，

D 为钢夹层板的弯曲刚度。 $D=E_f t_1 t_2 d^2/(t_1+t_2)$ ，N mm

E_f 为顶板和底板的弹性模量，N/mm²

G_c 为芯材的最小设计剪切模数，N/mm²

t_1 为顶板厚度，mm

t_2 为底板厚度，mm

t_{a1} 为顶板腐蚀裕量，mm

t_{a2} 为底板腐蚀裕量，mm

t_c 为芯材厚度，mm

ν 为泊松比。 $\nu=0.3$

1.1.4 入级符号与附加标志

1.1.4.1 海船的入级符号与附加标志的说明见《钢规》第1篇第2章第3节。

1.1.4.2 对同时符合本指南规定和《钢规》相关要求的海船，CCS 将增授附加标志 Sandwich Construction (pt)，如：★CSA, Bulk Carrier, Sandwich Construction(pt)。在修船中采用覆盖结构的情况下，如船东申请时，可授予该附加标志。

1.1.4.3 附加标志 Sandwich Construction (pt) 表示部分使用钢夹层板建造的船舶。钢夹层板使用的确切位置和范围应包括在所有结构图上。

第2节 构造

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 本节分别描述了新建结构和覆盖结构的基本结构构造。

1.2.1.2 钢夹层板应由主要构件作基本支撑。

1.2.1.3 本节的要求不排除为了维持适当的夹层结构板格边长比而装配桁材、横框架和肋板。

1.2.1.4 钢夹层板一般应安装温控减压塞。其尺寸、数量和位置应保证不影响钢夹层板结构的使用性能。

1.2.2 新建结构

1.2.2.1 新建结构的基本结构构造如图 1.2.2.1 所示。

1.2.2.2 新建结构主要由下列构件组成：

(1) 顶板

(2) 底板

(3) 芯材

- (4) 起支撑作用的主要构件
- (5) 焊在底板上的边界条，构成灌注空腔的边缘
- (6) 安装在钢板上的温控减压塞

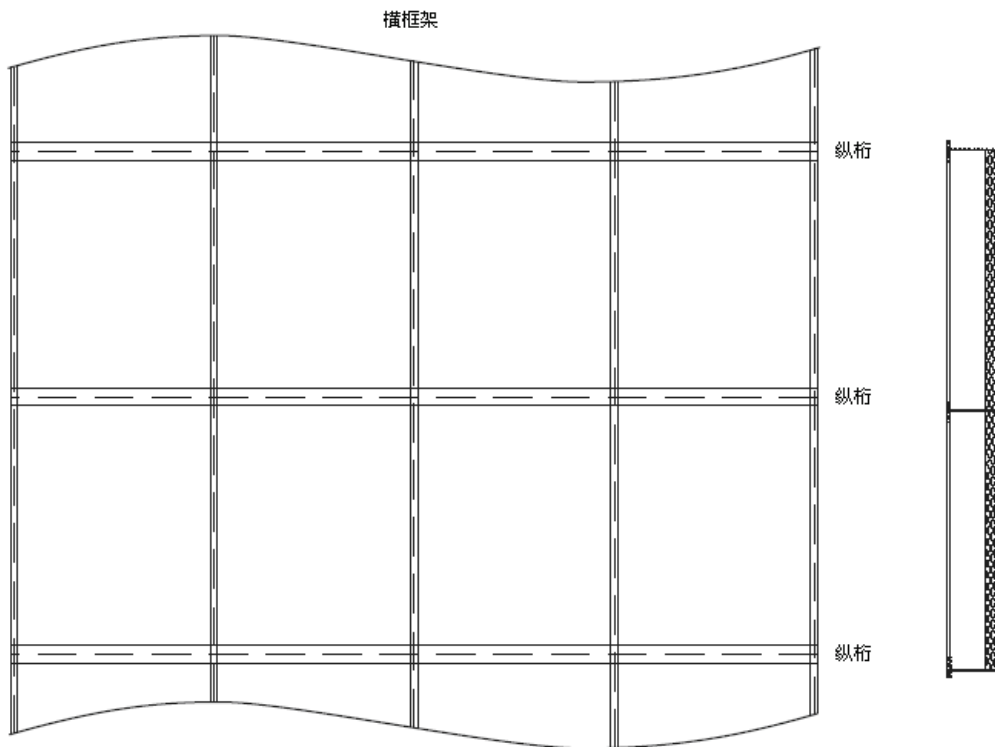
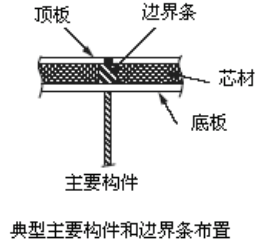


图 1.2.2.1 典型钢夹层板新建结构布置示意图（不按比例）

1.2.3 覆盖结构

1.2.3.1 覆盖结构的基本结构构造如图 1.2.3.1 所示。

1.2.3.2 覆盖结构主要由下列构件组成：

- (1) 新顶板（成为新的磨损表面）
- (2) 芯材
- (3) 原有钢板（包括主要构件及其附连其上扶强材）
- (4) 焊在原有钢板上的平直边界条（其尺寸和数量取决于空腔尺寸而不必安装在每一支撑结构上）
- (5) 安装在钢板上的温控减压塞

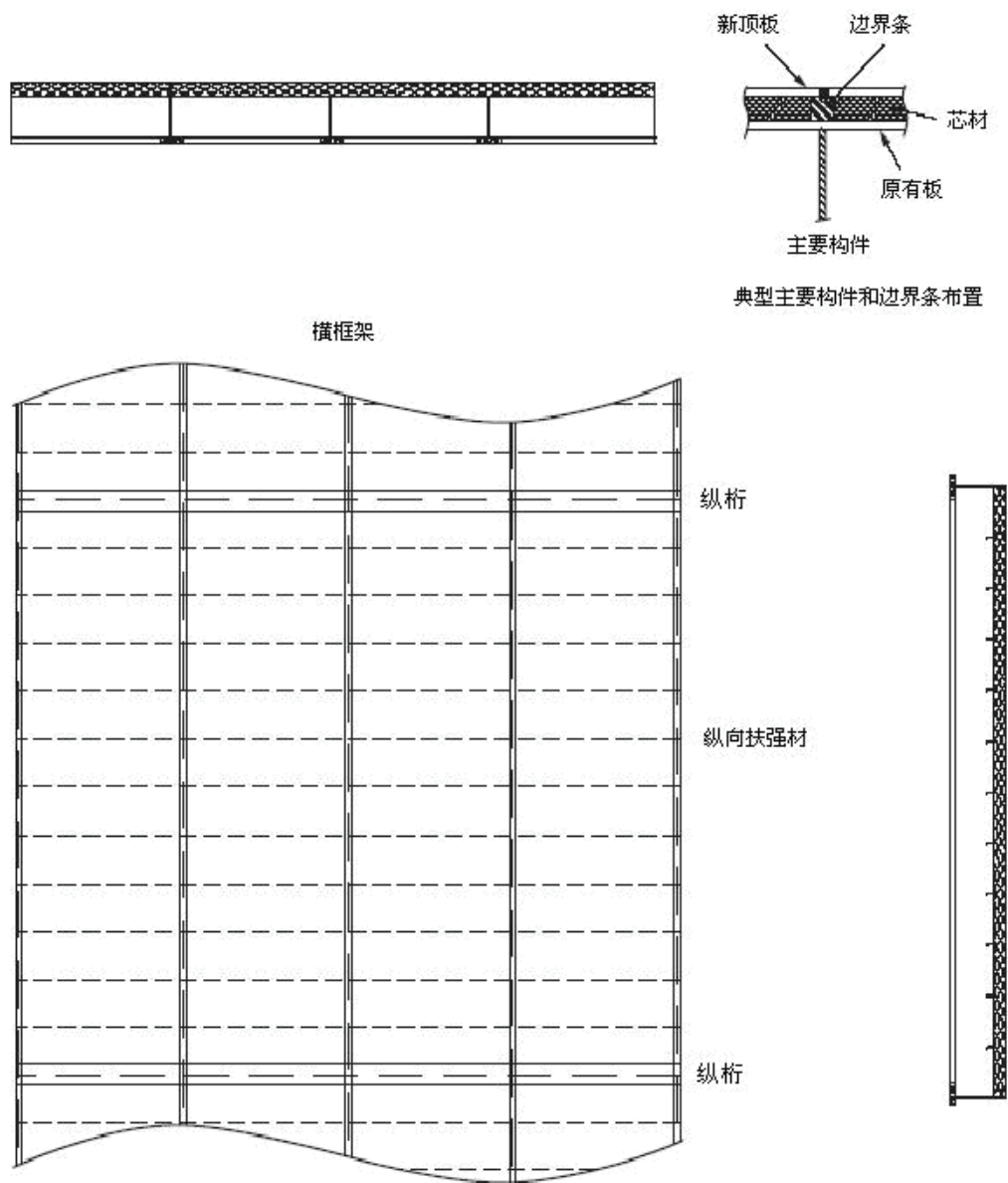


图 1.2.2.1 典型钢夹层板覆盖结构布置示意图（不按比例）

1.2.4 电气连续性

1.3.4.1 为了防止接地不良而发生电击，应采取措施保证船舶金属结构的电气连续性。如果需要，可用横截面不小于 16mm^2 专用导线把钢夹层板和结构件的金属部分有效地接地至船壳。

第 3 节 图纸资料

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 为评估总体设计，应提交充分详细的设计图，内容应包括：所有板厚、扶强材尺寸和间距、肋板的布置和连接。在适当的地方应清楚地表示腐蚀极限的允许值或业主的额外增量。焊接、装配布置和公差范围也应提交，且可以以小册子的形式提交。

1.3.1.2 除了按《钢规》第 2 篇对适用船型相关的常规要求外,还应提供 1.3.1.3---1.3.1.4 所列的设计图和资料(如适用)。

1.3.1.3 应提交包括下列项目的图纸:

- (1) 注明钢夹层板技术条件的图纸(包括顶板、底板和芯材的厚度);
- (2) 钢夹层板使用的确切范围和部位的相关图纸(若部分使用钢夹层板结构);
- (3) 空腔划分和细节;
- (4) 与常规钢结构连接的细节(如有应用);
- (5) 与舱壁等主要结构件连接的细节;
- (6) 建造工艺文件;
- (7) 与重量和工作载荷信息相关的设备、支撑和底座等的布置;
- (8) 钢夹层板结构及主要支撑构件计算书。

1.3.1.4 对覆盖结构,除 1.3.1.3 外还应提交以下的附加资料:

- (1) 原钢板的厚度测量报告。
- (2) 覆盖层尺寸——新顶板和芯材的厚度。
- (3) 空腔布置细节。
- (4) 与原结构连接的细节。
- (5) 对原认可结构图纸的任何改进和改变后的图纸。

1.3.1.5 建造工艺文件应包括:

- (1) 新/旧钢板表面预处理要求(包括表面粗糙度和清洁度要求)。
- (2) 垫块和边界条的布置。
- (3) 板格临时固定系统布置。
- (4) 芯材准备和灌注前原材料检查方法和要求
- (5) 施工设备种类、型号、特征参数及安装和校准程序。
- (6) 空腔准备,及其密封性和湿度检测方法。
- (7) 灌注、固化及后处理工艺。
- (8) 避免焊接热输入影响的措施。
- (9) 检查要求和依据。
- (10) 容许的最大空隙尺寸。
- (11) 返修工艺。
- (12) 温控减压塞安装的尺寸、数量和位置。

1.3.2 直接计算书

1.3.2.1 下列情况应进行直接计算:

- (1) 本指南有专门要求时;
- (2) 新型的结构形式;
- (3) 结构布置和尺寸在本指南规定以外。

1.3.2.2 直接计算根据 CCS 指南提供的方法,并提供所需的信息。

1.3.2.3 采用直接计算时一般应提交以下信息:

- (1) 结构模型的描述。
- (2) 包括材料特性和边界条件等分析参数的说明。
- (3) 装载工况和载荷添加的方式。
- (4) 计算结果的完整说明,必要时提供具体算例。

1.3.2.4 用于有限元计算程序的大量输入输出数据不必提交。

1.3.3 应提交芯材认可资料(详见第 2 章)

第2章 材料

第1节 一般规定

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 用于建造或修理已经或准备入 CCS 级（或由 CCS 发证）的船舶，其制造钢夹层板的原材料应按本指南进行制造、试验和检验。

2.1.1.2 用于形成钢夹层板的边界条及板材等金属材料应符合《材料与焊接规范》中第 1 篇金属材料的相关要求。

2.1.1.3 芯材及用于制造芯材的原材料应按本章要求进行应用、试验和验收。

2.1.1.4 钢夹层板制造厂应在建造前向 CCS 提交如下资料：

- (1) 材料技术条件和公差范围。
- (2) 使用原材料清单及其供应商。
- (3) 芯材制造方法和场所。
- (4) 钢夹层板制造厂或分承包商按设计技术条件生产芯材能力的证明。

2.1.1.5 钢夹层板制造厂有责任确保在建造开始前原材料及其组成符合适当的技术条件的要求。

第2节 原材料

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 本节对用于制造芯材的原材料作出规定。

2.2.1.2 原材料制造厂应当具有良好的生产条件和质量保证体系，以保证产品质量的稳定。

2.2.1.3 原材料制造厂应向钢夹层板制造厂提交原材料的产品说明（TDS）、使用说明及芯材的主要成分说明，并提供每批原材料含有 2.2.2 检验项目的产品合格证。

2.2.2 原材料试验要求

2.2.2.1 制造芯材用的多元醇应按表 2.2.2.1 进行粘度、水含量和羟值的测定，测定的值应填入产品合格证。

多元醇检验项目和标准

表 2.2.2.1

检验项目	标准
羟值	DIN 53240
粘度（25℃）	DIN 53018
水含量	ISO 14897

2.2.2.2 制造芯材用的异氰酸酯应按表 2.2.2.2 进行粘度、异氰酸酯值的测定，测定的值应填入产品合格证。

异氰酸酯检验项目及标准

表 2.2.2.2

检验项目	标准
粘度（25℃）	DIN 53018
异氰酸酯值	DIN EN ISO 14896

第3节 芯材

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 本节对用于钢夹层板的芯材作出相关规定。

2.3.1.2 钢夹层板制造厂应提供其具备钢夹层板生产和试验所需的设备和能力的证明。

2.3.1.3 钢夹层板制造厂应保存每批所接受的原材料的制造厂出具的检验结果及钢夹层板制造厂的实际检测结果，如验船师认为有必要，则 CCS 可以在任何时候选取原材料的样本送独立机构进行检测，该检测结果应满足技术条件的要求。

2.3.1.4 本节为基于目前的芯材工艺所使用的原材料所作规定，如今后采用不同工艺使用不同的原材料，应以原材料生产厂的推荐与说明为准。

2.3.2 检验项目

2.3.2.1 每批原材料进厂后应进行 2.2.2 所要求项目的检验。

2.3.2.2 钢夹层板制造厂应对复验合格的原材料取样制作芯材试样，进行下列项目测试：

- (1) 密度；
- (2) 硬度；
- (3) 剪切模量；
- (4) 抗拉强度；
- (5) 延伸率；
- (6) 粘合面剪切强度。
- (7) 灌注寿命试验

2.3.3 检验方法

2.3.3.1 灌注寿命试验应按下述要求进行：

(1) 将多元醇和异氰酸酯恒温到 25℃，称取 100g 多元醇并按照原材料生产商推荐的配比称取相应重量的异氰酸酯加入一次性杯子中，用直径为 60mm 的搅拌器在 1500rpm 条件下搅拌 10s。

(2) 将其倒入 0.5l 的玻璃烧杯中，用粘度计测定其从开始搅拌到其粘度到达原材料生产厂规定的粘度时的时间。

2.3.3.2 固化后芯材性能试验应按下述要求进行：

(1) 在室温 (23±5℃) 下用灌注设备将混合的原材料灌注到一个不小于 50cm×50cm×5cm 的模具中固化至少 24h，得到一块芯材板材。

(2) 从该板材的中间部位取样进行抗拉强度及延伸率、剪切模量、硬度、密度试验。

2.3.3.3 结合面剪切强度应按下述要求进行：

(1) 试验前应先对试验用钢块进行表面处理，采用喷砂或喷丸的方式将表面处理为 Sa2.5 级。喷砂形成的表面粗糙度大于喷丸，若用喷砂处理方式，则应采用钢砂（洛氏硬度 > 62）或刚玉作为磨料，在 0.6-0.7MPa 压力下做喷砂处理，其粗糙度应至少达到 60μm。

(2) 在室温下手工混合两种原材料，浇入由两块钢块形成的模具中，固化 24h 后，取出样块进行测试。

2.3.4 检验衡准及标准

2.3.4.1 原材料的检验标准见表 2.2.2.1 及表 2.2.2.2，衡准值以厂商推荐为准。

2.3.4.2 芯材试验应取三个试样进行试验，芯材试验验收的衡准及采用标准列于表 2.3.4.2。此外，如果一个结果的偏差超过平均值两个以上标准差时，则该结果不计入，再取一个试样进行试验，如三个试样都不合格，则该批次拒绝接受。

检验衡准及标准

表 2.3.4.2

试验	标准	标准值
灌注寿命	CCS 认可的试验方法	360-450s
密度	ISO 845	$\geq 1000\text{kg/m}^3$ (室温)
硬度	GB/T 2411或DIN 53505	肖氏 D ≥ 65 (室温)
剪切模量	扭摆法试验 (1Hz) -20~+80℃ DIN EN ISO 6721-2 或 ASTM test E 1356	$G \geq 312-2.4T$ (°C)
抗拉强度	GB/T 1040 或 ISO527 或 ASTM D412	$\geq 20\text{MPa}$ 室温 $\geq 5\text{MPa}$ +80℃
延伸率	GB/T 1040 或 ISO 527 或 ASTM D412	Min. 10% -20℃ Min. 20% 室温
粘合面剪切强度	ASTM D429	$\geq 2.7\text{MPa}$ (喷丸处理) $\geq 4\text{MPa}$ (喷砂处理)
室温 (23±5℃)		

2.3.5 材料贮存

2.3.5.1 对外来原材料的储存，应遵循以下原则：

- (1) 应了解每种化学品发生燃烧或爆炸等事故时的应急处理措施。
- (2) 应对所有原材料分批，且每一批次应贴上相应标签。
- (3) 应检验每一批次原材料其批号是否统一；外观质量和有效期是否符合要求。
- (4) 钢夹层板制造厂应将原材料按照原材料生产厂的指导储存并按照保质期的不同系统而连续地使用。
- (5) 对于过期批次的原材料，除非从原材料生产厂获得新的确认证书并预先得到 CCS 同意才可使用。

2.3.5.2 原材料在使用前应置于带搅拌装置的容器中，容器的温度应保持在生产厂推荐的温度下，如果该温度高于环境温度，应使用合适的校准过的温度测量装置以保持温度。

第 4 节 芯材型式试验

2.4.1 一般要求

2.4.1.1 芯材应由认可的制造厂生产。

2.4.1.2 芯材的型式试验应按 CCS 《材料与焊接规范》中第 0 篇 3.2.4 的要求进行。

2.4.1.3 型式试验一般应在验船师在场下按照 CCS 承认的标准对有关产品性能进行试验。

2.4.1.4 型式试验的样品，应在验船师在场的情况下由验船师指定进行抽样，样品应具有代表性并予以专门标识。如需要制备试样，试样的制备和标识以及标识转移，应在验船师在场下进行。试验之前，验船师应检查试验的符合性，并验证标识情况。

2.4.1.5 如果要求的试验在 CCS 认可或承认的独立的实验室进行，其试验结果可以考虑接受，必要时，CCS 可要求重新做试验。型式试验部分或所有项目，可以在制造厂提供的试验条件下进行，但其试验条件应经 CCS 确认具有相应的试验能力。

2.4.2 型式试验

2.4.2.1 在进行型式试验之前，CCS 与申请方应协商确定认可产品型式试验大纲。型式试验大纲应至少包括以下内容：

- (1) 申请认可产品的品种、规格。
- (2) 型式试验的项目及采用标准、规范。
- (3) 取样位置、示意图及取样说明。
- (4) 试验地点及实验室所具备的资质（如分包，应说明分包方的资质及分包约定情况）。
- (5) 试验机构名称。

2.4.2.2 芯材型式认可试验应至少包括以下项目：

- (1) 芯材的物理性能测试
 - ①密度
 - ②硬度
 - ③拉伸强度及其延伸率
 - ④压缩强度
 - ⑤剪切模量
 - ⑥结合面剪切强度
 - ⑦拉伸冲击试验（ $-80^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$ ）
- (2) 芯材的耐海水，化学品测试
 - ①海水及化学品浸泡后的物理性能测试及芯材与钢板的结合面剪切强度测试。
 - ②海水及化学品浸泡后的膨胀率。

注：项目(1)的试验应在验船师在场的情况下进行，项目(2)的试验可由制造厂向CCS提交试验报告。

2.4.2.3 型式试验结束后，试验机构应编制试验报告，试验报告至少应包括如下信息：

- (1) 产品的型号、规格和标识；
- (2) 试验技术要求；
- (3) 试验设备和测量仪器的规格(包括识别编号和上次的校准日期)；
- (4) 各项试验的环境条件；
- (5) 试验日期和地点；
- (6) 试验结果。

2.4.2.4 试验报告应由试验机构的责任人员和参加试验的验船师签署。当验船师未参加试验时，应对试验报告进行确认。

第3章 建造工艺

第1节 一般规定

3.1.1 适用范围

3.1.1.1 本章适用于新建结构或覆盖结构钢夹层板的现场制造、试验和检验。

3.1.1.2 预制钢夹层板可参照应用。

3.1.2 一般要求

3.1.2.1 使用的材料应符合第2章的要求。

3.1.2.2 使用的灌注设备应按制造厂说明书的要求进行维护。对带仪表的混合设备应进行每班一次校准。

3.1.2.3 灌注芯材的操作人员应接受相关培训并具有相关技能。

3.1.2.4 应按 CCS 批准的建造工艺文件进行施工。

3.1.2.5 工作场地应避免雨水和潮气的影响。

3.1.2.6 对所有环境条件、灌注数据和检测结果进行记录和保存。

3.1.2.7 如多元醇开封后没有用完，则使用后应马上封闭容器。再次使用时应进行含水量试验并满足原材料生产厂的技术要求。

3.1.3 施工工艺步骤

3.1.3.1 用本指南规定的原材料制造钢夹层板时应按以下步骤进行：

(1) 表面处理：除去顶板和底板表面的油漆和铁锈，并达到要求的表面粗糙度和清洁度。

(2) 准备边界：平直的钢条通过焊接或粘结固定在底板上形成空腔，其厚度与芯材厚度相同。

(3) 放置垫块：将金属或高分子材质的垫块安装到底板上，以保证合适的芯材厚度。

(4) 顶板的就位和连接：顶板与边界条间焊接，以形成气密空腔。

(5) 安装临时固定系统：将临时固定系统安装在顶板上，以防止芯材灌注和固化时产生的压力引起顶板变形。

(6) 灌注前腔体的准备：灌注孔和排气孔的设置，灌注头和过流漏斗安装就位，对气密性和湿度进行测量。

(7) 灌注芯材：在一定条件下混合和灌注芯材。

(8) 除去临时固定系统：灌注且芯材固化后就可拆除临时固定系统，封闭灌注孔和排气孔，如果必要安放温控减压塞。

(9) 数据记录和灌注后的检验：包括环境条件和灌注数据记录、空腔检测和粘接不良的检测和质量保证文件的完成。

第 2 节 施工

3.2.1 钢板准备

3.2.1.1 顶板和底板表面应进行喷砂处理，表面应清洁和干燥，没有铁锈、油污和砂粒。

3.2.1.2 芯材灌注前钢板粘接表面应达到最小表面粗糙度 $60\mu\text{m}$ ，清洁度为 Sa2.5。

3.2.1.3 一般主要结构焊缝应在空腔形成前完成。这些包括绑扎底座和其他货物固定装置，以及高负载结构位置，例如起重机机座应直接焊在钢夹层板的主支撑件上。

3.2.1.4 边界条应以连续角焊缝方式焊在底板上以形成空腔壁，边界条尺寸及公差范围、焊脚尺寸应在建造工艺文件中说明。边界条上的任何焊缝均应打磨光滑。

3.2.1.5 在底板上布置与芯材厚度相同的钢或高分子材质垫块，其尺寸、材料和安放距离应在建造工艺文件中说明。一般用焊接或粘接的方法与底板连接，各向间距约 750mm。

3.2.1.6 顶板与边界条按设计图规定的方式进行焊接，以形成空腔。

3.2.1.7 设计的起吊装置应使钢板承受最小的变形和多余载荷，以避免永久变形和对钢板喷砂表面的损伤。贮存和运输钢板也应参照此原则。

3.2.1.8 吊马可以焊到顶板或底板的表面上，但起重后应去除，且端部打磨平齐，使验船师满意。

3.2.1.9 一般两个邻近空腔之间的焊接应在芯材灌注前完成。

3.2.2 灌注前空腔准备

3.2.2.1 在顶板上开灌注孔和排气孔，并安装灌注头和排气阀。

3.2.2.2 由钢板和边界条形成的空腔应气密。在芯材灌注前应进行空腔气密性试验，结果应使验船师满意。具体试验方法参照《钢规》第 1 篇 4.3.3.2 的规定，但推荐试验压力为 0.02MPa，并保持约 1 分钟。任何未通过的焊缝应修补并重新试验。

3.2.2.3 按建造工艺文件规定的间距将临时固定系统安放在顶板上，并用一定方法（如夹具、强力磁铁或者门形马和铁楔）将其固定。

3.2.2.4 灌注前应测量空腔内的空气湿度。将空腔封闭，只留一个进气口与一个出气口。向进气口中通入压缩空气，测量压缩空气进入空腔和从空腔排出前后的压缩空气的湿度，如前后湿气含量之差大于 1g 水/kg 压缩空气，则向空腔中通入干燥的热空气，直至前后湿度差小于 1g 水/kg 空气。

3.2.3 芯材灌注

3.2.3.1 当空腔按上述要求确认满意后，将排气阀打开并开始灌注。

3.2.3.2 灌注过程中，当观察到某一漏斗内溢出的液体已达到此漏斗高度一半时应关闭此排气阀。

3.2.3.3 灌注结束后，应将距离灌注头最远的排气阀部分打开，将残留的气体释放。

3.2.3.4 为使芯材与钢板的粘接良好，灌注后应使用合适的测温仪测量顶板，保证其温度不低于 50℃ 且持续 30 分钟。根据环境温度，可以用在灌注前对空腔预热或灌注后对顶板进行加热并覆盖保温材料的方法保证达到需要的温度。

3.2.4 灌注后处理

3.2.4.1 在芯材固化后拆除临时固定系统。当使用门形马时，拆除时应小心，以避免损伤顶板和内部芯材，并且表面焊缝应磨平。

3.2.4.2 每个灌注孔和排气孔内应焊一圆形钢板或采取其他等效措施以保持密封。

3.2.4.3 应按设计文件要求在需要的地方安装温控减压塞。

第 3 节 试验、检验和修补

3.3.1 性能试验

3.3.1.1 灌注完成后，被注入的芯材应进行肖氏 D 硬度测定，且应由验船师见证。

3.3.1.2 试验具体要求为：每块板格取其中的一个漏斗中芯材在 24h 后测定 3 点，其平均值应符合表 2.3.4.2 要求。

3.3.2 灌注质量检验

3.3.2.1 在芯材固化后，应对每块板格进行检验以评估填充质量和检查空隙情况。

3.3.2.2 通常用声学检测器或捶击顶板的测试方法检测空隙的存在。测试方法应使验船师满意。

3.3.2.3 建造工艺文件应规定最大容许空隙尺寸。

3.3.3 修补

3.3.3.1 对于超出最大容许尺寸的空隙应进行修补。所有需要修补的区域应进行确认。

3.3.3.2 修补工艺应在建造工艺文件中详细说明。如果由于需要，其修补工艺与设计文件中规定的工艺不同时，应事先得到验船师同意。

3.3.3.3 可采用的修补方法有钻孔法和切割法，应根据空隙的形状和数量来确定修补方法。修补结果应使验船师满意。

3.3.3.4 钻孔法修补步骤如下：

(1) 通过测试确定空隙边缘，并在板上作记号。

(2) 根据空隙的形状和尺寸，在空隙边缘附近钻三个孔作为第二次灌注的排气孔。

(3) 在空隙的大约中心部位钻一个灌注孔。

- (4) 进行芯材灌注，直到满出排气孔。
- (5) 用焊接方法密封灌注孔和排气孔。

3.3.3.5 切割法修补步骤如下：

- (1) 将需修复区域的顶板用冷切割方法切除。
- (2) 去除填充不良的芯材(超过切割边缘至少 30mm)。
- (3) 当余留的芯材表面达到清洁和干燥要求后用加衬垫板方法重新装配定位。
- (4) 完成嵌补板的对接焊缝。
- (5) 重新灌注芯材并密封灌注孔和排气孔。

3.3.3.6 修补完成的区域用 3.3.2.2 的方法进行检测验证。

第 4 节 焊接

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 所有焊接应符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇要求。

3.4.1.2 焊接工艺应得到 CCS 认可。

3.4.1.3 焊工应持有 CCS 颁发的相应等级的证书。

3.4.2 焊缝布置和焊接接头设计

3.4.2.1 为了保持结构连续性，细节部位应达到平顺过渡和合理的对中。特别应注意边界条的设计和布置。除非另外同意，边界条应布置在扶强材的上面。

3.4.2.2 典型节点设计细节见附录。

3.4.2.3 如应用的节点要求在附录中没有给出，应根据本节的原则制订特殊方案并提交 CCS 认可。

3.4.2.4 对于替代的结构布置，如果能通过有限元评估方法证明其满意的性能也可以接受。

3.4.3 焊接要求

3.4.3.1 一般情况下板格间的焊接应在芯材灌注前进行。但如果能保证热输入对芯材的作用没有影响到板格的性能，则灌注后的钢夹层板（包括预制板格）的板材间的焊接是可以进行的。建造工艺文件应包含如何处理热输入影响的细节。

3.4.3.2 小的临时性附件、电缆托架、小管夹等可直接焊在板格的顶板或底板上，不必用内部加强板。

3.4.3.3 对进行过少量焊接的顶板或底板应确保：焊缝无裂纹、焊缝附近不存在大于最大空隙尺寸的空隙。

3.4.3.4 在高应力区域，应采用深熔焊或全焊透。

第 5 节 覆盖结构的附加过程

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 本节条款适用于覆盖结构的钢夹层板。

3.5.1.2 本节包含了对覆盖结构的要求，是附加于本章其他节的要求上的（如适用）。

3.5.1.3 覆盖结构仅适用于减薄后平均测量厚度等于或大于原来规定板厚的 50% 的钢板。

3.5.2 钢板表面准备

3.5.2.1 在原有钢板上的所有安装物都应被除去。在覆层区域的任何潜在泄漏点均应被封闭。

3.5.2.2 钢板喷砂后发现的裂纹或气孔在制造开始前应按认可的返修工艺进行返修。

- 3.5.2.3 在安装边界条前将安装部位的原有钢板上的对接焊缝表面磨平。
- 3.5.2.4 垫块通常布置在原有的扶强材上方以使新顶板得到平直表面。垫块的厚度可以调整。
- 3.5.2.5 当局部变形较严重，顶板和底板的间距超过 50mm 时，应在垫块之间的区域放置钢丝网。
- 3.5.2.6 对于用非焊接方法把边界条连接到现有钢板的覆盖结构将特殊考虑。

第 4 章 结构设计基础

第 1 节 一般规定

4.1.1 适用范围

4.1.1.1 本章的要求适用于用钢夹层板建造的甲板和外壳等结构。

4.1.1.2 为确定钢夹层板要求的尺寸，一般使用本指南规定的规范公式。

4.1.2 等效要求

4.1.2.1 作为规范公式的替代，CCS 也接受用直接计算方法确定钢夹层板的尺寸。

4.1.3 构件尺寸

4.1.3.1 钢夹层板的构件尺寸是基于等效强度方法，即钢夹层板的强度不小于常规框架支撑的钢结构的强度。

4.1.3.2 当钢夹层板结构用作对总纵强度起作用的连续纵向材料的一部分时，结构也应符合《钢规》有关章节要求。

第 2 节 结构尺寸要求

4.2.1 适用范围

4.2.1.1 本节要求适用于钢夹层板结构。

4.2.2 一般要求

4.2.2.1 本节给出了钢夹层板的顶板、底板和芯材的尺寸要求。

4.2.2.2 另外，为满足船体梁强度要求，钢夹层板的顶板和底板的厚度可以增加。

4.2.3 过渡要求

4.2.3.1 钢夹层板的厚度从船中区域向首尾端延伸时可逐渐过渡，见《钢规》第 2 篇 1.2.1.3。钢夹层板结构与单层钢结构过渡处的规范厚度， $t_c = t_{rule}$ ，应作为基本厚度，见 4.2.4.3。

4.2.3.2 钢夹层板应采用锥形过渡。

4.2.3.3 钢夹层板与单层钢结构板过渡处的锥度不小于 4:1，过渡处应做局部加强。

4.2.4 钢夹层板厚度

4.2.4.1 钢夹层板的顶板、底板和芯材的厚度按图 4.2.4.1 的流程确定，图中给出的尺寸确定方法与《钢规》等效。

4.2.4.2 根据图 4.2.4.2 确定的钢夹层板的顶板、底板和芯材的厚度不得小于第 4 节规定的最小厚度。

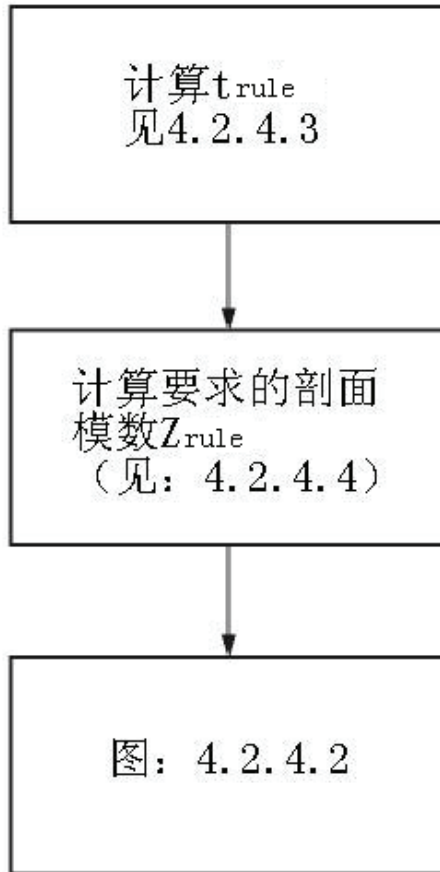


图 4.2.4.1 t_{rule} 和 Z_{rule} 的等效尺寸确定

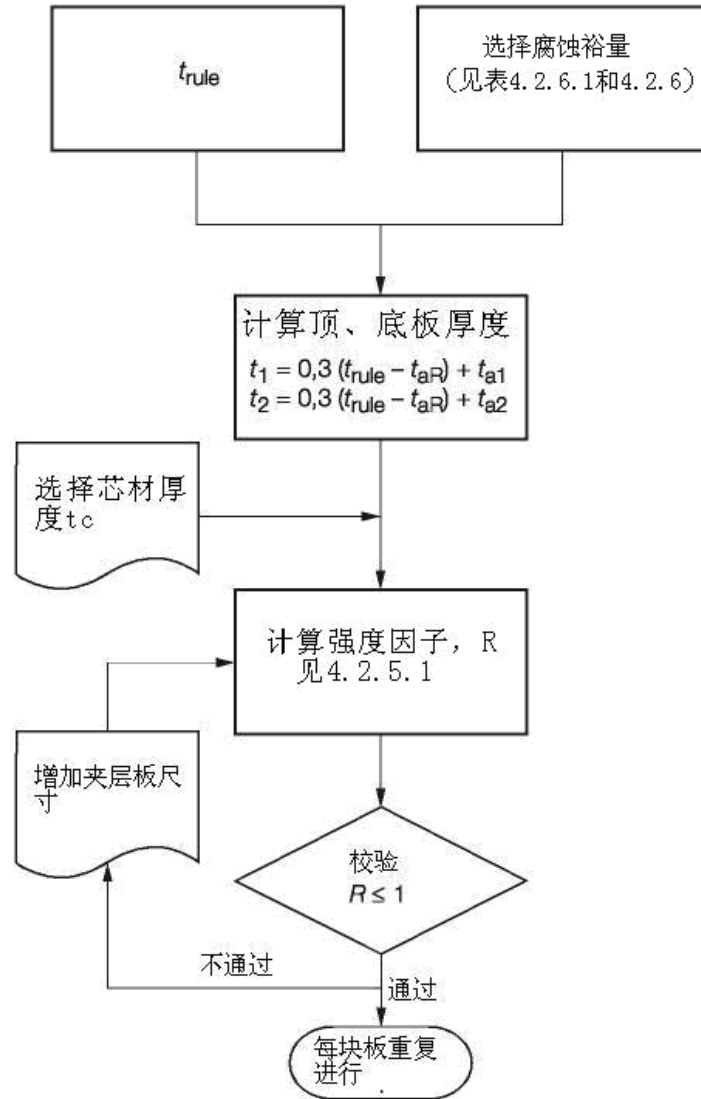


图 4.2.4.2 顶板、底板及芯材厚度的确定

4.2.4.3 等效厚度 t_{rule} 应根据《钢规》中相关船型有关章节的公式计算。如干货船船底板的等效厚度应根据《钢规》第 2 篇 2.3.1 要求确定；内底板的等效厚度应根据《钢规》中特定船型相关要求。

4.2.4.4 次要构件的等效剖面模数 Z_{rule} 应根据特定船型的相关要求计算。如：干货船船底纵骨的剖面模数应根据《钢规》第 2 篇 2.6.7.2 和 2.6.12 的要求。

4.2.4.5 计算 t_{rule} 和 Z_{rule} 材料系数取为： $k = 1$ 。骨材间距取为： $s = 700 \text{ mm}$ 。

4.2.5 强度因子

4.2.5.1 钢夹层板的尺寸应根据下式的强度因子 R 标定，该因子可以保证钢夹层板与传统钢结构强度等效。

$$R = 0.01A_R \left[0.1 \frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11.7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1.3} \right] kP_{eq,R}$$

式中：

$$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0.65}$$

$$P_{eq,R} = 0,0017 \frac{Z_{rule}}{l^2}, \text{ N/mm}^2$$

l = 沿纵骨方向的板格长度, m;

Z_{rule} = 等效剖面模数, cm^3 , 见 4.2.4.4;

t_c = 校核处芯材厚度, mm;

a, b, d 见第 1 章 1.1.3.2;

t_1, t_2 = 顶板和底板的厚度, mm, 见图 4.2.4.2;

k 见《钢规》第 2 篇第 5 节;

4.2.5.2 钢夹层板的强度因子取为:

$$R \leq 1$$

4.2.6 腐蚀裕量

4.2.6.1 单个构件的局部腐蚀裕量值见表 4.2.6.1。表中未列构件以及非典型结构构造的船舶将特殊考虑。

4.2.6.2 腐蚀裕量值适用于与表 4.2.6.1 直接相连构件。如, 同时构成船体甲板的深舱舱顶, 顶板的腐蚀裕量取为: $t_a = 1.0$, 底板的腐蚀裕量取为 $t_a = 2.5$ 。

4.2.6.3 对钢结构的保护, 第 3 节给出了附加要求。对经常用抓斗装卸的船舶, 内底板和底边舱斜板的顶板厚度应该增加, 其中:

- 连续木质铺层板, 2.0mm;
- 无连续木质铺层板, 3.7 mm

腐蚀裕量值

表 4.2.6.1

结构构件	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}
船底外壳	1.0	0.0	1.0
舷侧外壳	1.0	0.0	1.0
内底板、底边舱斜板	2.0	1.0	1.0
构成舱顶的内底板	3.5	1.0	2.5
强力甲板	2.5	2.5	0.0
中间甲板	0.0	0.0	0.0
上层建筑甲板	0.0	0.0	0.0
水密舱壁	0.0	0.0	0.0
深舱舱壁	2.5	0.0	2.5
构成甲板的深舱舱顶	3.5	1.0	2.5
远离液舱的舱顶	2.0	2.0	0.0
符号			
t_{aR} = 规范腐蚀裕量, mm; t_{a1} = 顶板的腐蚀裕量值, mm; t_{a2} = 底板的腐蚀裕量值, mm (主要支撑构件相连的钢板)			

第3节 覆盖结构要求

4.3.1 适用范围

4.3.1.1 本节要求适用于覆盖结构。

4.3.2 强度因子

4.3.2.1 覆盖结构的尺寸应根据下式的强度因子 R 标定：

$$R = 0,0125 \left[0,1 \frac{s^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{s t_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] P_{eq}$$

式中：

s = 纵骨间距，mm；

$P_{eq} = 200 \left(\frac{t_{rule}}{s} \right)^2$ ，N/mm²；

t_{rule} = 见4.2.4.3，mm；

t_c = 校核处芯材厚度，mm；

t_1 = 顶板厚度，mm，不小于 $t_{1MIN} + t_{a1}$

t_2 = 底板厚度，mm。

4.3.2.2 覆盖结构的强度因子取为：

$$R \leq 1$$

4.3.2.3 顶板和底板的厚度均不得小于第4节给定的最小厚度。

第4节 最小厚度

4.4.1 适用范围

4.4.1.1 本节的要求适用于新建结构和覆盖结构。

4.4.2 最小顶板和底板厚度

4.4.2.1 顶板和底板的厚度应不小于表4.4.2.1给出的要求，表中的厚度值不含腐蚀裕量。

最小厚度

表 4.4.2.1

名称	最小厚度， mm	
	新建结构	覆盖结构
t_{1MIN}	3.0	3.0
t_{2MIN}	3.0	50% 建造厚度

4.4.3 最小芯材厚度

4.4.3.1 芯材的最小厚度不得小于15mm。

第5节 屈曲

4.5.1 一般要求

4.5.1.1 本节给出了承受面内单向压缩应力作用的钢夹层板的屈曲强度要求。

4.5.1.2 一般，结构所有部位的设计压缩应力应满足屈曲强度要求，见4.5.3。

4.5.1.3 扣除标准腐蚀余量 d_t 后的板的屈曲要求应予以满足，评估屈曲特性时，不包含任何附加的腐蚀余量和船东自愿增加厚度。

4.5.2 钢夹层板屈曲应力（推导）

4.5.2.1 承受单向面内载荷作用的钢夹层板的临界屈曲应力 σ_E 按下式计算：

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 D f}{l^2 (t_{p1} + t_{p2})} \text{ N/mm}^2$$

式中：

$$f = \frac{4}{(1 + \mu)^2} \quad \mu \leq 1,0$$

$$= \frac{1}{\mu}, \quad \mu > 1,0$$

$$\mu = \frac{\pi^2 D}{(1 - \nu^2) E K}$$

$$K = \frac{G_c d^2}{t_c}$$

D, ν, d, t_c, G_c 见第 1 章 1.1.3.2；

l = 沿受载方向板的长度，mm；

$$t_{p1} = t_1 - d_t$$

$$t_{p2} = t_2 - d_t$$

d_t = 标准腐蚀折减，见《钢规》第 2 篇 1.6.5 要求。

4.5.2.2 根据 4.5.2.1 计算出的临界屈曲应力，如果超出 50%给定材料的最小屈服应力，临界屈曲应力应考虑弹性效应予以修正，修正用 Johnson-Ostenfeld 修正公式，如下：

$$\sigma_c = \sigma_E \quad \text{当} \quad \sigma_E \leq 0,5\sigma_0$$

$$\sigma_c = \sigma_0 \left(1 - \frac{\sigma_0}{4\sigma_E}\right) \quad \text{当} \quad \sigma_E > 0,5\sigma_0$$

4.5.3 屈曲要求

4.5.3.1 本小节给出了单向受压钢夹层板临界屈曲应力要求。

4.5.3.2 板格的屈曲强度要求应满足下式：

单向受压载荷： $\frac{\sigma_c}{\sigma_d} \geq 1.1$

式中：

σ_d =设计压应力；

4.5.3.3 设计压应力取为船体梁弯曲应力 σ_d ，根据《钢规》第2篇2.2.5.5计算。当结构构件承受局部压缩载荷时，设计应力应考虑到这些载荷。

第5章 主要支撑构件布置原则

第1节 一般规定

5.1.1 适用范围

5.1.1.1 本章要求适用于与钢夹层板相连的钢质主要支撑构件。

5.1.1.2 一般，应用《钢规》中给出的公式确定主要支撑构件的等效尺寸。

5.1.1.3 对如局部基座、底板、嵌接板、系缆柱等一些结构的尺寸要求在本指南中不作特别说明。但这些项目的审批将根据经验、公认可行方法和直接计算（适用时）予以特别考虑。

第2节 钢质主要支撑构件布置

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 主要支撑构件的布置应如下：

(1) 板格的边长比 a/b 在1.2到1.7之间，其中 a 为长边， b 为短边；

(2) 板格的最长边不得大于3.6 m。

5.2.1.2 钢质主要支撑构件的跨距见5.2.1.1。钢质主要支撑构件的布置应保证钢夹层板板格有合适的边长比。为了达到5.2.1.1的边长比可做适当的结构加强。

5.2.2 设计节点

5.2.2.1 钢质主要支撑构件与钢夹层板的典型连接节点见附录。

5.2.2.2 一般，钢质主要支撑构件应与钢夹层板的顶板和底板相连。

5.2.2.3 主要支撑构件的布置和设计应保证船体结构有足够的刚度。一般，主要支撑构件应布置在同一平面并形成连续的横框架。构成横框架的主要支撑构件的连接应用肘板连接，肘板的尺寸应满足《钢规》要求。

5.2.2.4 构成横框架的主要支撑构件的连接处应详细设计以降低该处的应力集中。

5.2.2.5 主要钢质主要构件应有足够的侧向稳定性，应用腹板加强筋和扶强结构减少硬点和其他应力集中。

5.2.2.6 受集中载荷作用的钢质主要支撑构件，当这些载荷不与腹板共面时，应作适当加强。

5.2.2.7 甲板和船底上有效连续的钢质主要支撑构件的端部应安装合适的过渡肘板。

第3节 钢质主要支撑构件尺寸

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 主要支撑构件的模数和惯性矩应参照《钢规》中特定船型的相关章节的要求。

5.3.1.2 主要支撑构件的加强和结构节点见《钢规》第2篇1.2.5要求，对甲板下纵桁的上部面板构成的的甲板板的厚度要求应满足钢夹层板的顶板和底板的合成厚度。

5.3.1.3 另外，对船体梁强度起作用的主要支撑构件，其厚度要求还应满足《钢规》第2篇第2节的要求。

5.3.2 钢质主要支撑构件的几何特性

5.3.2.1 主要支撑构件不和底板和顶板同时相连，见图 5.3.2.1 (b)，计算主要支撑构件的模数时应扣除顶板的厚度：

$$t_{1R} = \alpha t_1$$

式中：

t_{1R} = 顶板的折减厚度，mm；

t_1 = 顶板的最小要求厚度，mm，见第4章第2节；

$$\alpha = \left(14 \frac{t_c}{d}\right)^{0.63}$$

t_c, d = 见第4章第2节

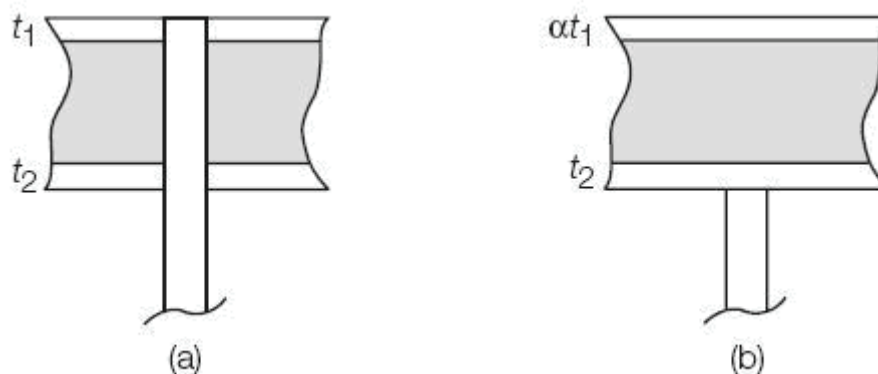


图 5.3.2.1 顶板厚度折减（仅供说明）

5.3.3 腐蚀增量

5.3.3.1 根据《钢规》要求算出的主要支撑构件已经包含了腐蚀增量要求，无需再加腐蚀增量。

5.3.4 有效宽度

5.3.4.1 主要支撑构件的剖面模数计算时必须考虑带板的有效宽度，有效宽度的计算见《钢规》第2篇1.2.2.1的要求。

5.3.5 船体梁强度

5.3.5.1 所有船舶，船体梁强度要求应满足《钢规》第2篇第2章第2节要求。

5.3.5.2 参加船体梁强度的主要支撑构件的尺寸布置应避免结构不连续性而导致应力突变。

5.3.5.3 船体中剖面中有效连续的纵向结构应计入总强度，臂长为中和轴到钢夹层板

中心的垂直距离。

5.3.5.4 中剖面有效几何特性应根据对总纵强度贡献的有效材料的构件剖面尺寸直接计算。

5.3.6 甲板

5.3.6.1 甲板主要支撑构件的尺寸不小于：

- (1) 《钢规》第 2 篇第 2 章第 9 节要求；
- (2) 特定船型相关章节的要求。

5.3.7 承受轮印载荷的甲板

5.3.7.1 承受轮印载荷的甲板结构的主要支撑构件还应满足《钢规》第 2 篇第 9 章要求。

5.3.8 上层建筑

5.3.8.1 本节适用于上层建筑中间甲板的尺寸要求，所有中间甲板应根据 5.3.8.2 计算。

5.3.8.2 上层建筑主要支撑构件的剖面模数应满足《钢规》第 2 篇相关章节的要求。见表 5.3.8.2。

适用规范

表 5.3.8.2

船型	适用规范
所有船型（除海洋供应船首楼甲板室外）	《钢规》第 2 篇第 2 章 17 节
火车渡船、客滚船、客船	《钢规》第 2 篇第 9 章

5.3.9 双层底

5.3.9.1 双层底主要支撑结构的要求应不小于：

- (1) 《钢规》第 2 篇第 2 章第 6 节要求；
- (2) 《钢规》特定船型相关章节的要求。

5.3.10 外壳板

5.3.10.1 钢质主要支撑构件的尺寸要求应不低于：

- (1) 《钢规》第 2 篇第 2 章第 7 节；
- (2) 特定船型的相关章节

5.3.10.2 适用时，水线下船底和舷侧结构应根据《钢规》第 2 篇第 2 章要求，考虑抨击要求。

5.3.10.3 水线以上舷侧结构要求不得低于《钢规》第 2 篇第 2 章第 7 节的要求，同时还应考虑特定船型相关章节的要求。

第 4 节 直接计算

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 本节给出了直接计算分析时应遵循的基本原则和要求。

5.4.1.2 钢质主要支撑构件的直接计算要求应参照 CCS 相关船型的直接计算指南。

5.4.1.3 CCS 指南中的建模及衡准要求同样适用于钢夹层板。

5.4.2 钢夹层板的结构建模

5.4.2.1 本小节给出了钢夹层板结构建模的要求。

5.4.2.2 一般，板单元网格应足够精细以反映板格边界处的应力。建议的钢夹层板有限元网格尺寸为：

- (1) 钢质板材间芯材应有两个单元；
 - (2) 板材网格尺寸应与芯材厚度相等，保证单元的细长比不超过 4: 1；
- 5.4.2.3 钢夹层板的顶板和底板应用壳单元模拟，芯材用实体单元模拟。但当壳单元方法的结果证明与3D实体单元的结果等效时，芯材也可以用壳单元模拟。两层壳单元节点间的距离为 d ，见图5.4.2.3。

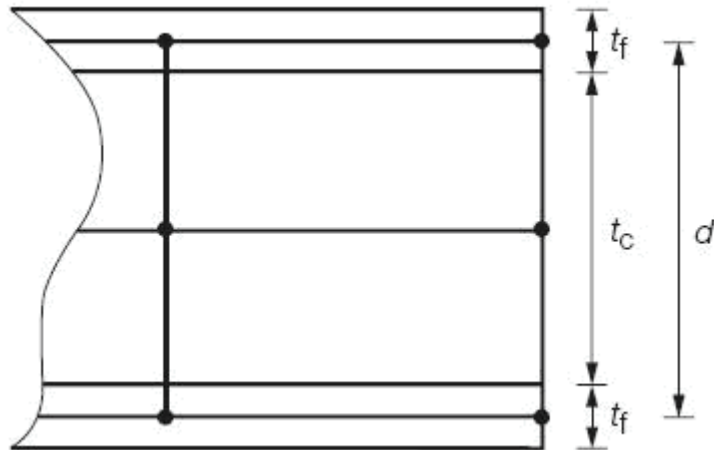


图5.4.2.3 壳单元与实体单元混合的钢夹层板有限元模型

第5节 屈曲

5.4.1 屈曲要求

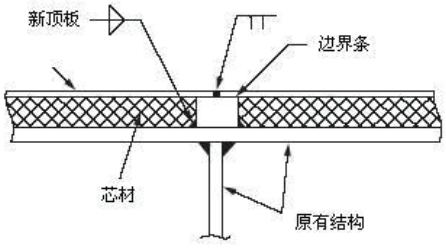
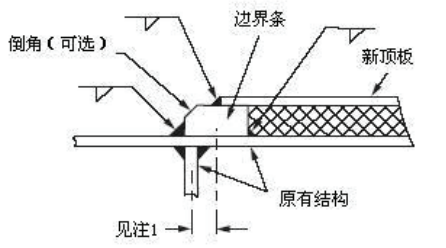
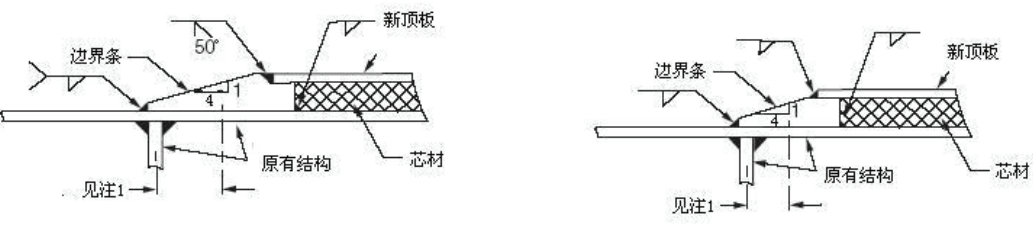
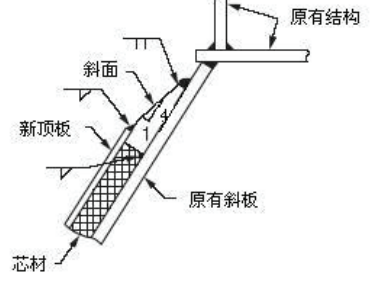
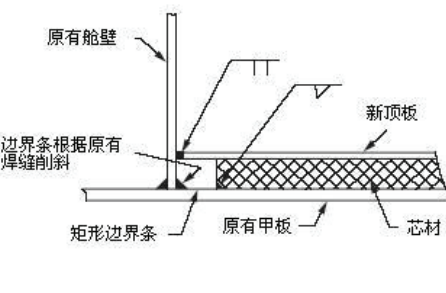
5.4.1.1 钢质主要支撑构件腹板的临界屈曲应力应根据《钢规》第2篇 2.2.7的要求确定，同时还应满足特定船型的相关要求。

附录 典型节点设计

1. 覆盖结构典型节点设计

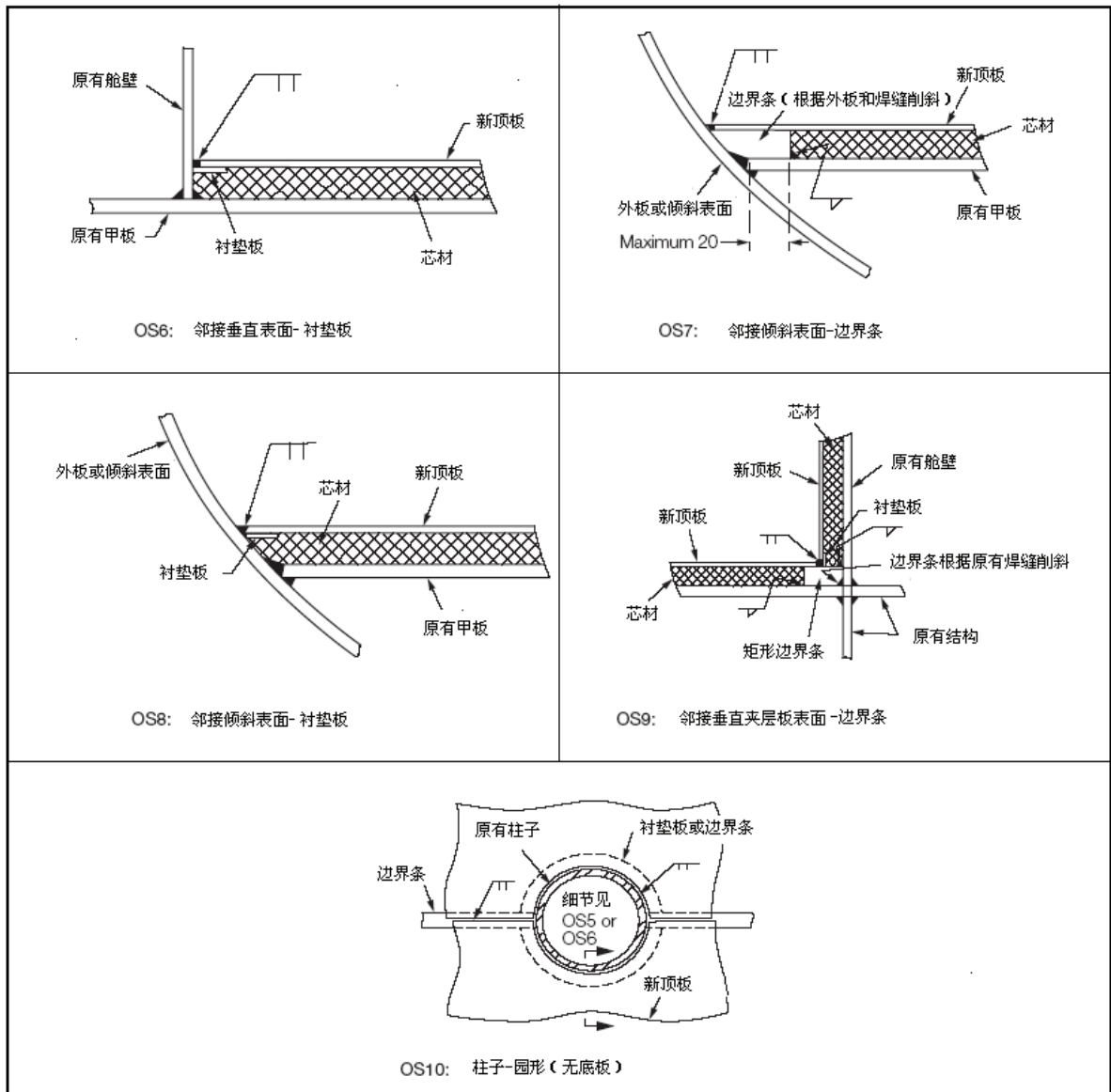
船体结构的覆盖结构节点设计细节

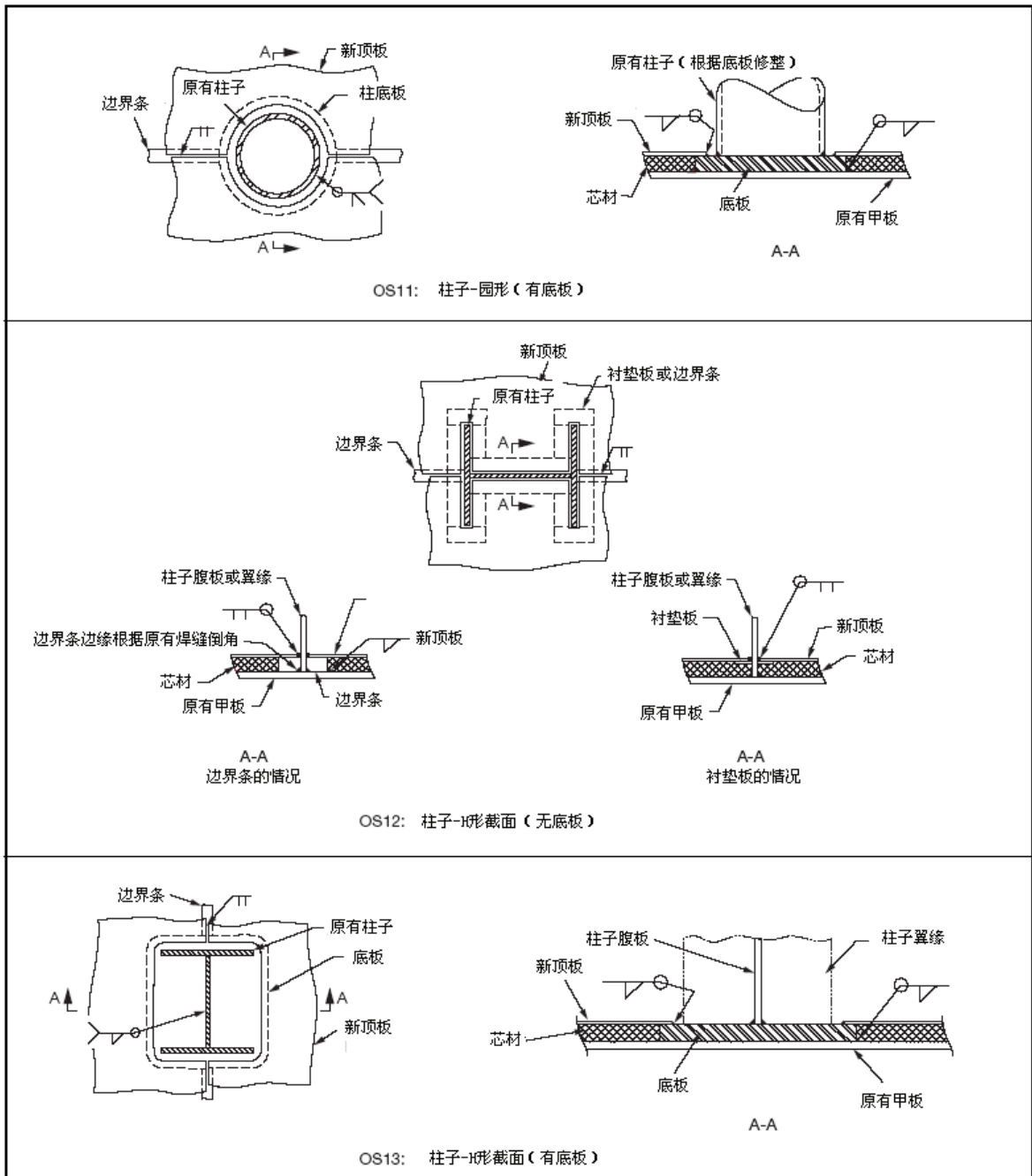
表 1.1

 <p>OS1: 边界条-邻接板格</p>	 <p>OS2: 边界条-无过渡限制 (见注1)</p>
 <p>OS3: 边界条-过渡方式 (见注1)</p>	
 <p>OS4: 舱壁的上缘</p>	 <p>OS5: 邻接垂直表面-边界条</p>

船体结构的覆盖结构节点设计细节(续)

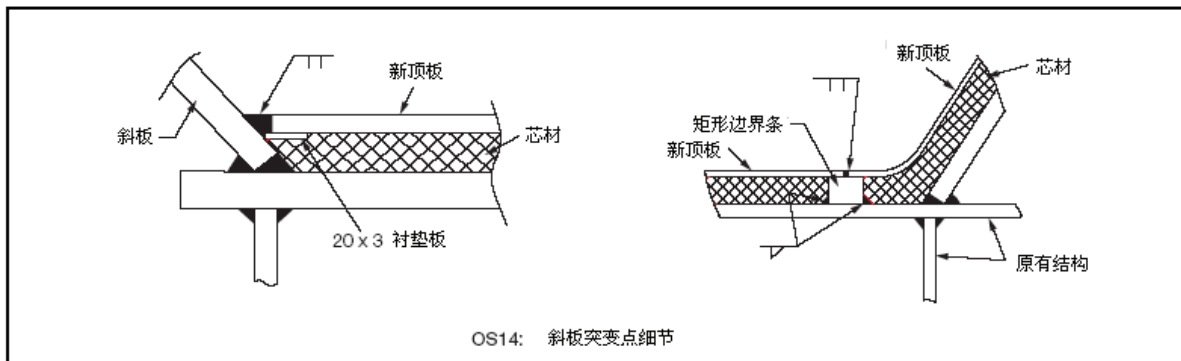
表 1.1





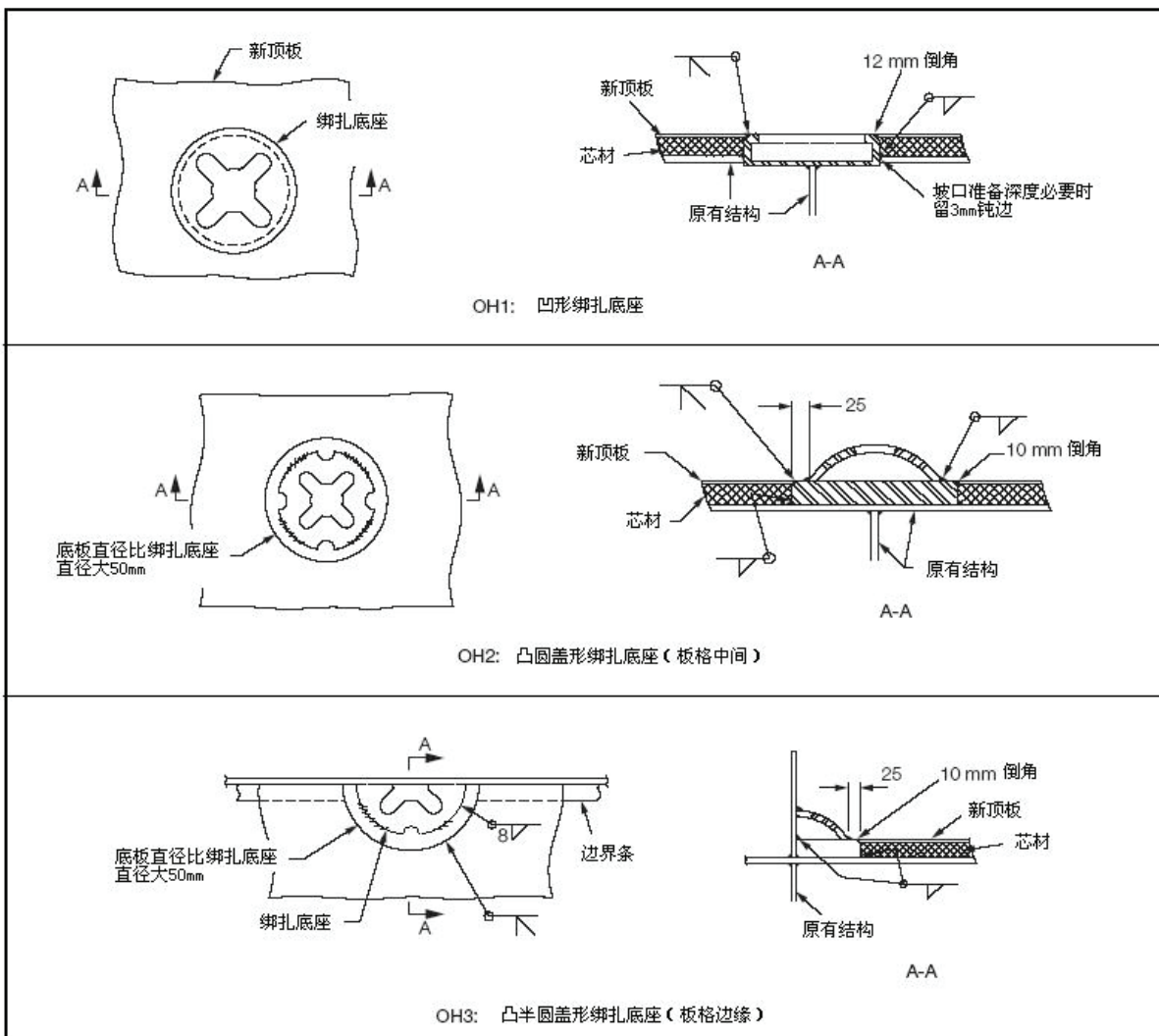
船体结构的覆盖结构节点设计细节 (续)

表 1.1



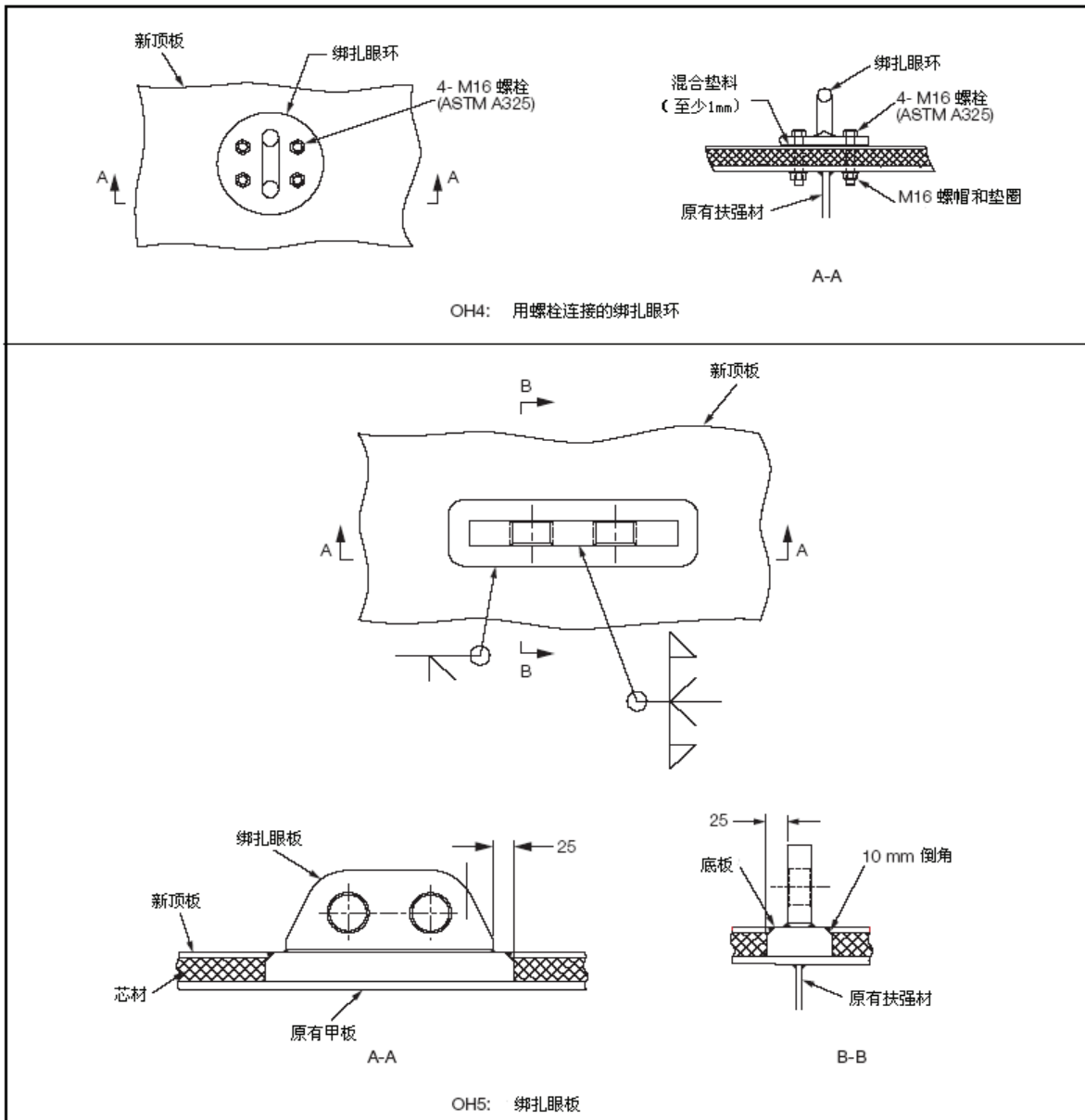
船体外舾装设备的覆盖结构节点设计细节

表 1.2



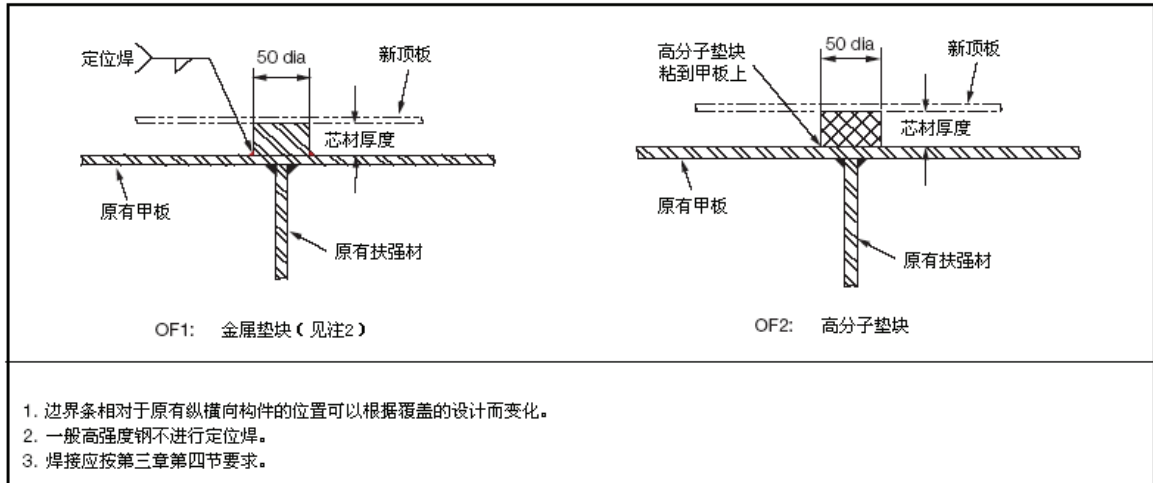
船体外舾装设备的覆盖结构节点设计细节 (续)

表 1.2



钢夹层板建造的覆盖结构节点设计细节

表 1.3



2. 新建结构典型节点设计

新建结构节点设计细节

表 2

