



中 国 船 级 社
CHINA CLASSIFICATION SOCIETY

小水线面双体船指南
Guidelines of Small
Waterplane Area Twin Hull Craft

2005

目 录

第 1 章 通则

第 1 节 一般规定

第 2 节 检验

第 2 章 结构设计原则

第 1 节 一般规定

第 3 章 设计载荷…

第 1 节 一般规定

第 2 节 总体载荷

第 3 节 高速小水线面双体船局部载荷

第 4 节 非高速小水线面双体船局部载荷

第 4 章 构件尺寸

第 1 节 一般规定

第 2 节 高速小水线面双体船构件尺寸

第 3 节 非高速小水线面双体船构件尺寸

第 5 章 结构直接计算

第 1 节 一般规定

第 2 节 结构模型

第 3 节 屈服强度校核

第 4 节 屈曲强度校核

第 6 章 结构疲劳评估

第 1 节 一般规定

第 7 章 轮机

第 1 节 一般规定

第 1 章 通 则

第 1 节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本指南适用于以下民用的小水线面双体船：

- (1) **高速小水线面双体船**——最大航速满足 $V \geq 3.7 \nabla^{0.1667}$ m/s；
- (2) **非高速小水线面双体船**——最大航速限定为 $V < 30\text{kn}$ ，且在设计中不考虑船体产生的水动升力及其特性。

式中： V ——船舶处于最大营运重量状态，以核定的最大持续推进功率，在静水中航行能达到的速度；

∇ ——设计水线对应的排水体积， m^3 ；

1.1.1.2 对高速小水线面双体船，应按本指南中对高速小水线面双体船的有关规定。

1.1.1.3 对非高速小水线面双体船，应按本指南对非高速小水线面双体船的有关规定。

1.1.1.4 本指南条款中未特别说明者，均适用于高速小水线面双体船和非高速小水线面双体船。

1.1.1.5 小水线面双体船的消防、救生、稳性防污染等法定要求还应符合船旗国主管机关的有关规定。

1.1.2 等效与免除

1.1.2.1 除另有规定外，对计算方法、评定标准、制造程序、材料、检验和试验方法等，凡能提供必需的试验、理论依据或使用经验，或有效公认的标准等，经 CCS 同意后，可等效于或替代本指南要求的内容。

1.1.2.2 经同意，CCS 可接受国际公认的标准作为本指南的替代要求。

1.1.2.3 因受船舶固有特性（如形状、尺寸等）限制，在轮机布置上难以满足 CCS《海上高速船入级与建造规范》或《钢质海船入级规范》的有关规定者，经 CCS 审定后可采用其他等效的布置。

1.1.3 附加标志

1.1.3.1 凡拟申请入 CCS 船级的高速小水线面双体船，可在其船级符号后加注船舶类型附加标志：**SWATH-HSC (Small Waterplane Area Twin Hull HSC)**。

1.1.3.2 凡拟申请入 CCS 船级的非高速小水线面双体船，可在其船级符号后加注船舶类型附加标志：**SWATH (Small Waterplane Area Twin Hull)**。

1.1.4 定义

1.1.4.1 小水线面双体船 (SWATH — Small Waterplane Area Twin Hull): 系指为改善耐波性、减小兴波阻力, 将双体船的片体在水线处缩小形成狭长流线型截面的双体船。其主船体由连接桥结构连接左右两个片体组成。每一片体包括上船体、支柱体和下潜体。小水线面双体船典型横剖面示意图见图 1.1.4.1。

1.1.4.2 连接桥结构: 系指连接左右两片体的甲板及其他附属的强力(箱体)结构。

1.1.4.3 湿甲板: 系指连接桥结构的最下暴露表面结构。

1.1.4.4 上船体: 系指包括主甲板及以下至支柱体以上的结构。

1.1.4.5 舷台: 系指上船体结构中的连接桥与支柱体连接的过渡区域。

1.1.4.6 支柱体: 系指上船体以下至下潜体以上在设计水线面附近的狭长垂向结构, 其水线截面呈扁薄、首尾端为流线型。支柱体有多种型式, 根据每一片体所拥有的支柱体数量, 分别称为单支柱体或双支柱体等。

1.1.4.7 下潜体: 系指连接在支柱体下面沉浸在水下的圆形或类似椭圆形的鱼雷状结构。

1.1.4.8 船长 L (m):

(1) 对于高速小水线面双体船, 系指船舶静浮于水面时, 其刚性水密船体位于设计水线以下部份的总长, 不包括设计水线处及以下的附体;

(2) 对于非高速小水线面双体船, 系指沿夏季载重线, 由最前端支柱体前缘量至最后端支柱体尾缘的长度, 并应计入下潜体从首至尾的长度与刚性水密船体位于设计水线以下部份的总长(不包括设计水线处及以下的附体)之差的 50%。

1.1.4.9 水线面处船长 L_w (m): 系指船舶静浮于水面时, 位于设计水线处量得的船体前后缘纵向之距离。

1.1.4.10 支柱体水线长度 l_s (m): 系指船舶静浮于水面时, 沿设计水线处量得支柱体的最大长度。对于前后独立设置的支柱体, 取一个片体前后同一方向上的各支柱体长度之和。

1.1.4.11 下潜体长度 l_{th} (m): 系指单个下潜体从首缘量至其尾缘的水平长度。若一个片体中的下潜体只数为 1 个以上时, 应作累加计入。

1.1.4.12 船宽 B (m): 系指刚性水密船体的最大型宽, 不包括设计水线处及以下的附体。

1.1.4.13 水线下最大船宽 B_w (m): 系指船舶静浮于水面时, 位于设计水线以下量得的最大型宽。

1.1.4.14 水线宽 B_{wl} (m): 系指船舶静浮于水面时, 沿设计水线处量得支柱体的最大

型宽之和, 如 $B_{wl} = \sum_{i=1}^2 B_{wli}$, 见图 1.1.4.1。

第 2 节 检验

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 申请 CCS 检验的高速小水线面双体船应按 CCS《海上高速船入级与建造规范》、非高速小水线面双体船应按 CCS《钢质海船入级规范》(下同)和本指南的有关规定进行检验。

1.2.2 新建船舶图纸审查与建造中检验

1.2.2.1 新建船舶送审的图纸资料除按照 CCS《海上高速船入级与建造规范》或 CCS《钢质海船入级规范》的有关规定外,尚应提交下列图纸一式 3 份送 CCS 审查:

- (1) 纵向运动稳定性模型试验验证资料/纵向运动稳定性计算书(备查);
- (2) 船体结构规范计算书(备查);
- (3) 船体结构直接计算资料(批准);
- (4) 疲劳评估资料(备查)。

1.2.2.2 建造中检验除按 CCS《海上高速船入级与建造规范》第 3 章第 3 节或 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章的有关规定进行检验和试验外,尚应对船体变形予以关注。

1.2.3 现有船舶的初次检验

1.2.3.1 不在 CCS 检验下建造的现有小水线面双体船,除应按 CCS《海上高速船入级与建造规范》第 3 章第 5 节或 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章第 3 节的相应要求进行检验外,尚应:

- (1) 按本章第 1.2.2.1 条提交的图纸进行评估;
- (2) 按本章第 1.2.4 条的有关特别检验要求进行检验。

1.2.4 建造后检验

1.2.4.1 建造后检验应按 CCS《海上高速船入级与建造规范》第 3 章第 4 节或 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 4 章的要求进行。

1.2.4.2 年度检验时,除按 CCS《海上高速船入级与建造规范》第 3 章第 4 节或 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 4 章的有关规定外,还应检查水线以上支柱体、湿甲板结构和舷台结构区域的腐蚀、损坏或其他缺陷,并确认结构处于良好状态。

1.2.4.3 特别检验时,除按 CCS《海上高速船入级与建造规范》第 3 章第 4 节或 CCS《钢

质海船入级规范》第 1 篇第 4 章的有关规定外，尚应检查：

（1）下潜体、支柱体和湿甲板结构和舷台结构区域的腐蚀、损坏或其他缺陷，并确认结构处于良好状态；

（2）舷台结构区域、支柱体与下潜体连接处结构的腐蚀、损坏或其他缺陷，并确认结构处于良好状态。

第 2 章 结构设计原则

第 1 节 一般规定

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 本章要求适用于第 1 章规定的小水线面双体船。本章未作规定者,对于高速小水线面船,应按照 CCS《海上高速船入级与建造规范》的相应规定;对于非高速小水线面船,应按照 CCS《钢质海船入级规范》的相应规定。

2.1.1.2 对于有限航区和指定航线营运船舶,本指南的有关要求可按 CCS《海上高速船入级与建造规范》或 CCS《钢质海船入级规范》的相应规定和/或其他公认的方法进行适当折减。

2.1.1.3 对于高速小水线面双体船,其营运水域应不超过近海航区营运限制。

2.1.1.4 船体结构的直接计算和疲劳评估可按本指南第 6 章和第 7 章规定。

2.1.1.5 小水线面双体船的材料及建造工艺应满足 CCS《材料与焊接规范》的有关要求。

2.1.1.6 小水线面双体船船体的主要结构一般不采用合成/混合材料。次要构件和上层建筑,包括甲板室部分可采用非金属材料制造。对于与合成/混合材料相关的结构设计,必须予以特殊考虑。

2.1.1.7 小水线面双体船在设计阶段应尽可能地采用模型试验、实船验证和借鉴实船建造经验。

2.1.2 结构与布置

2.1.2.1 本章规定基于小水线面双体船为常规的结构布置、焊接连接及平板或曲板的加筋板结构。其他类型的结构设计、布置和/或建造形式应予以特殊考虑。

2.1.2.2 小水线面双体船的船体主要结构,特别是承受船体横向弯矩的构件尺寸,应按本指南第 5 章的规定进行直接计算分析予以确定,且不应小于本指南第 4 章有关构件的最小尺度要求。

2.1.2.3 对于船体主要结构中的关键细节，如舷台与连接桥及支柱体、支柱体与下船体的连接区域，应使用直接计算方法评估应力集中程度和按本指南第 6 章的规定进行必要的疲劳分析。

2.1.2.4 小水线面双体船的结构设计应确保主要结构传力的连续性，特别是承受横向弯矩的横向结构构件应连续地通过结点区段，且应注意光顺过渡，避免锐角和陡峭的变化，尽量减少应力集中效应。该处板厚和构件尺寸应适当加强。

2.1.2.5 对于连接桥甲板结构，包括主甲板和湿甲板，除特别许可外，横梁和强横梁应穿过纵桁或纵舱壁，在中断时应采取措施保证结构的横向强度连续性，如采用等效的中断加肘板的方式等。

2.1.2.6 设置于支柱体内的垂直扶强材和梁，在与水平框架的交汇之处应尽可能地保持连续。下潜体中的纵向构件应尽可能连续延伸。

2.1.2.7 在支柱体首尾与下潜体交汇处，若下潜体外伸较大，则纵向构件一般应穿过横向强框架或横舱壁。也可采用等效方法替代，同时对支柱体和下潜体的交汇区域处进行局部加强。

2.1.2.8 甲板纵材和强横梁的高度应不小于纵骨和普通横梁穿过其腹板所开槽口或其他开孔高度的 2 倍。一般应在普通横梁穿过露天甲板和湿甲板纵桁的腹板开口处的对应位置下，每隔 1 档设置垂直扶强材。

2.1.2.9 除特别认可或本章特殊规定外，结构构件应有效地与邻近结构连接。肘板的趾部和构件端部不允许断在未与邻近结构搭连的板上。如构件端部未按要求进行连接，则应对其端部的削斜度予以特殊考虑，且采取凹向软趾的肘板或不大于 30° 的端部削斜型式。肘板的趾部或削斜端部与毗邻的支承结构之距应保持在 25mm 以内，且趾部或削斜端部的高度一般应不超过 15mm。

2.1.2.10 桁材和其他内部结构件腹板上的开孔应避免集中载荷或高应力区域。结构件上的开孔通常应避免开在支承结构。腹板上的槽口应设填板。人孔和减轻孔的布置也应避免集中载荷或高应力区域，且应有合适的圆角半径。除某些补偿要求外，孔高一般应不超过构件高度的 0.5 倍，孔宽一般应不超过构件高度的 0.75 倍。

2.1.3 结构细则

2.1.3.1 结构结点应尽实际可能设计成将硬点、切口和引起应力集中和“热点应力”的结构不连续情况降至最低程度。

2.1.3.2 在内部结构中，应对潜在的较易腐蚀的敏感部位厚度予以特别关注，如舷台、湿甲板等区域。

2.1.3.3 焊接制作构件的截面尺度比应与标准型钢的比例一致，以确保面板和腹板的局部屈曲强度。

2.1.3.4 应特别注意构件端部和相交处的肘板型式、空气管和排水管或减轻孔的开孔型式以及切口加强的型式和内部开孔型式，尽量减轻应力集中效应。

2.1.3.5 在对接焊中应消除或填平焊接凹坑。尽量采用肘板软趾方法缓和结构不连续处截面的过渡变化。

2.1.3.6 在高强度钢和高强铝合金材料使用上，应特别注意构件腹板与面板的尺度比例及厚度对局部屈曲和疲劳的影响效应。在水下承受循环载荷的主要部件纵向断开连接（如支柱体与下潜体连接）处的钢材或铝合金，应采用符合 CCS《材料与焊接规范》中规定的 Z 向材料。

2.1.3.7 对于某些采取两种不同材料的结构（如钢和铝材，以下例同），应注意两种材料在靠近区域和接触面的连接。如用机械固定，密封剂和阻隔材料应设于钢材和铝材之间，且该结点区域的外部表面必须进行处理。该结点的连接强度应满足基于最大设计载荷和疲劳载荷的结构完整性要求。

2.1.3.8 两种金属的接合部件（如钢向铝的传递部件）应配备混合结构的产品。但该部件应尽可能远离高应力区域，最大限度地降低局部疲劳作用对其影响。应对该部件对接结点和两种金属接合部件露天的保护情况予以关注和特殊考虑。

2.1.3.9 所有的结点（包括典型和特殊结点）的连接和建造型式应书面成册，且应提交 CCS 审批。

第3章 设计载荷

第1节 一般规定

3.1.1 一般要求

3.1.1.1 小水线面双体船的船体结构应能抵抗船舶在整个生命周期中所遭受的最严重环境载荷，并能确保预期的正常营运作业要求。

3.1.1.2 小水线面双体船的船体结构设计载荷及其组合工况、船体主要结构，特别是承受船体横向弯矩的构件尺寸，应满足本章的要求。

3.1.1.3 与波浪相关的载荷作用概率应基于20年。但对于有限航区和指定的航线，本章的有关要求可按CCS《海上高速船入级与建造规范》或CCS《钢质海船入级规范》第2篇的相应做法和/或其他公认的方法进行适当折减。

第2节 总体载荷

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 应对小水线面双体船的运动响应和波浪载荷进行专门计算分析。计算分析一般应采用三维势流理论（允许基于零航速的格林函数）。如用切片理论，则分析方法须计及双船体之间的水动力相互作用。运动和载荷计算模型中应至少包括20站。所用的计算方法与程序应连同其验证结果，应经CCS认可。验证可基于与模型试验的比较，也可基于与CCS认可的软件计算结果的比较。

3.2.1.2 波浪载荷可由船模试验得到。也可由程序计算得出。但试验大纲或计算程序应经CCS认可。

3.2.1.3 在设计阶段，若无合适资料，总体波浪诱导载荷可按本节规定进行估算。但较为精确的载荷确定应基于3.2.1.1和/或3.2.1.2。

3.2.1.4 在考虑载荷时，必须包括作为小水线面双体船关键的设计载荷的横向对开力（横向弯矩）和波浪诱导的两个片体之间的力矩（水平扭矩、纵横扭矩）。

3.2.1.5 在总体分析中应考虑惯性力作用，应将其与之相应的外部环境载荷，如波浪诱

导载荷等进行叠加。

3.2.2 总体横向弯矩

3.2.2.1 小水线面双体船在零航速时所遭受的横向波浪载荷通常为最大横向载荷。小水线面双体船的总横向弯矩 M_{TR} 由横向对开力 F_y 作用形成的弯矩 M_F 和船体所受到的浮力 (P_S+P_{LH}) 及船体重力载荷 ($P_{DL_B}+P_{DL_S}$) 合成作用形成的弯矩 M_{DL} 按下式组合而成，各个载荷的作用位置见图 3.2.2.1:

$$M_{TR} = M_F \pm M_{DL} \quad kN \cdot m$$

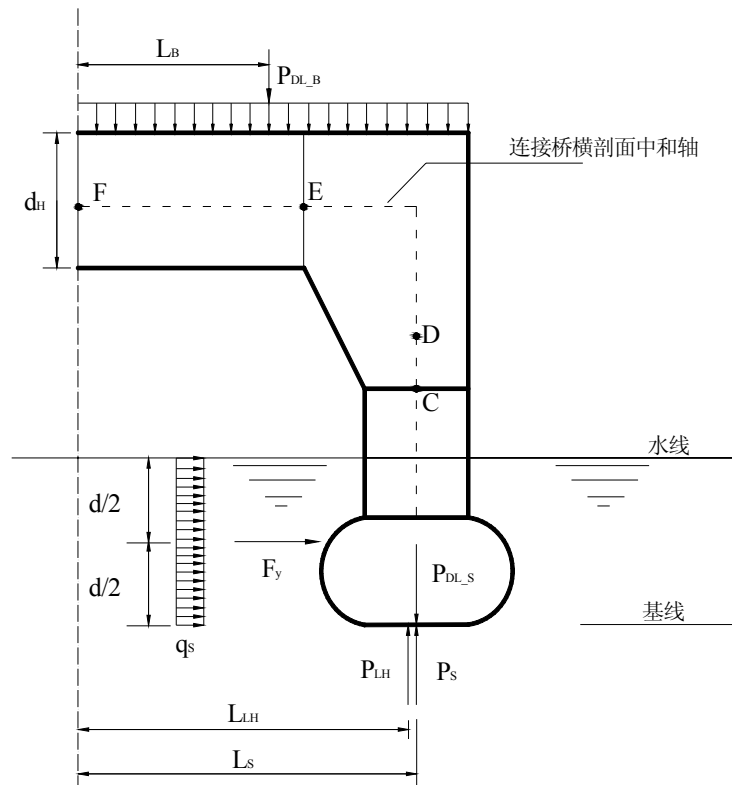


图 3.2.2.1

3.2.2.2 由横向对开力 F_y 作用形成的弯矩 M_F ， $kN \cdot m$ ， 应按下式计算:

$$M_F = \begin{cases} F_y(d_x - d/2) & \text{设计水线以上} \\ q_s d_x^2 / 2 & \text{设计水线以下} \end{cases}$$

式中: F_y ——横向对开力，见 3.2.2.3;

d_x ——从基线至计算点（如图 3.2.2.1 中的点 C、D、E 和 F）的垂直距离，m;

d ——设计吃水，m，见 1.1.4.19;

q_s ——以均布载荷形式等效于作用在支柱体和下潜体的 F_y ，即 $q_s = \frac{F_y}{d}$ 。

3.2.2.3 横向对开力 F_y 应按式计算,并假定从基线至设计吃水高度的垂直方向上呈线性均匀分布,其合力作用点位置应取 1/2 吃水处,见图 3.2.2.1。 F_y 同其他载荷组合时应取向外和向内两种作用方向的对开力分别计入:

(1) 对于非高速小水线面双体船:

$$F_y = \pm 9.81 D_F T L_F \Delta \quad kN$$

式中: D_F ——系数, $D_F = 3.24 - 0.55 \log_{10} \Delta$;

T ——系数, $T = 1.754 d / \Delta^{1/3}$;

L_F ——系数, $L_F = 0.75 + 0.35 \tanh(1.65 l_s / \Delta^{1/3} - 6.0)$;

Δ ——满载排水量, t, 见 1.1.4.20;

d ——设计吃水, m, 同 3.2.2.2;

l_s ——支柱体水线长度, m, 见 1.1.4.10。

(2) 对于高速小水线面双体船:

$$F_y = 57 C_1 d \Delta^{\frac{2}{3}} \alpha_1 L_F \quad kN, \text{ 且适用于 } L \leq 50m$$

式中: C_1 ——系数, 由 CCS《海上高速船入级与建造规范》第 4 章表 4.8.6 中查得;

α_1 ——系数, 计算如下:

$$\alpha_1 = 1.55 - 0.75 \tanh(\Delta / 11000)$$

其余符号同上述 (1)。

注: ① 本条公式适用范围限制在排水量不超过 10000t, 且支柱体型式为直柱式的小水线面双体船;

② 若最大设计海况为 4~5 级浪, 则 F_y 可适当折减, 但不应小于 0.8 F_y , 且应有模型试验验证。

3.2.2.4 由船体所受到的浮力 ($P_S + P_{LH}$) 及船体重力载荷 ($P_{DL_B} + P_{DL_S}$) 合成作用形成的弯矩 M_{DL} , $kN \cdot m$, 应按式计算:

$$M_{DL} = P_S L_S + (P_{LH} - P_{DL_S}) L_{LH} - P_{DL_B} L_B$$

式中: P_S ——支柱体浮力, kN , 按下式计算:

$$P_S = 352.05 (l_s B_s D_s C_{WP} / 35) (F_{DL})$$

其中: B_s ——支柱体宽度, m, 见 1.1.4.16;

D_s ——支柱体深度, m, 见 1.1.4.18;

l_s ——支柱体水线长度, 同 3.2.2.3;

C_{WP} ——小水线面船的水线面系数, 见 1.1.4.21;

$F_{DL} = 1 \pm 0.35$, 动载系数;

L_S —— P_S 作用点到纵中剖面的水平距离, m, 见图 3.2.2.1;

P_{LH} ——下潜体浮力, kN, 按下式计算:

$$P_{LH} = 9.81(\Delta/2)(F_{DL}) - P_S$$

其中: Δ ——满载排水量, t, 同 3.2.2.3;

P_{DL_S} ——支柱体和潜体重量, kN, 按下式计算:

$$P_{DL_S} = 9.81(\Delta/4)(F_{DL})$$

L_{LH} —— P_{LH} 作用点到纵中剖面的水平距离, m, 见图 3.2.2.1;

P_{DL_B} ——连接桥及上部结构的重力载荷, kN, 按下式计算:

$$P_{DL_B} = 9.81\Delta F_{DL}/4$$

其中: B ——船宽, m, 见 1.1.4.12。

3.2.2.5 以上对于船体重力载荷的估算公式是基于船体重力载荷等于全船排水量, 且按下列载荷分配的假定确定的:

$$P_{DL_B} = \Delta/4$$

$$P_{DL_S} = \Delta/4$$

式中: 各符号见 3.2.2.4。

若实际情况与本条假定有较大不同时, 应对相应公式作适当修改。

3.2.2.6 上述各条中, F_y 、 P_S 、 P_{LH} 、 P_{DL_B} 、 P_{DL_S} 的计算所得之值各为作用在一个片体上的载荷量值。

3.2.3 总体水平扭矩

3.2.3.1 当小水线面双体船遭受斜浪和/或由于船体前后线型布置上的实际差异时, 致使横向对开力 F_y 沿船长向产生不均匀的分布状况, 其受力之差使两个片体在水平面内形成首分离力矩 (yaw splitting moment), 并发生相对扭转, 则需按以下加载方式模拟水平扭矩作用效果:

(1) 在浪向角为 90° (横浪) 的情况下, 横向对开力 F_y 沿船长呈梯形分布, 见图 3.2.3.1 (1), 且分布力两端 W_1 和 W_2 的取值分别按下式计算:

$$W_{11} = 1.12 F_y / l_s$$

$$W_{12} = 0.88 F_y / l_s$$

式中: F_y ——横向对开力, 见 3.2.2.3;

l_s ——支柱体水线长度, 同 3.2.2.3。

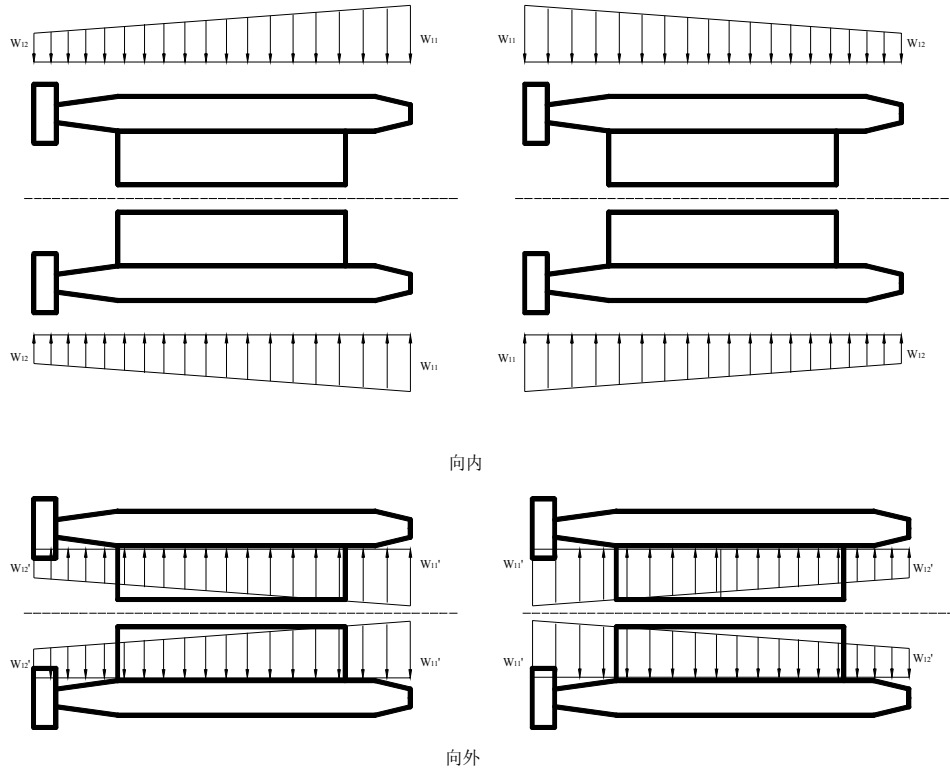


图 3.2.3.1 (1)

(2) 在浪向角为 $135^\circ / 45^\circ$ (斜浪) 的情况下, 横向对开力 F_y 沿船长呈三角形分布, 见图 3.2.3.1 (2), 且分布力两端 W_1 和 W_2 的取值分别按下式计算:

$$W_{21} = 1.20 F_y / l_s$$

$$W_{22} = 0$$

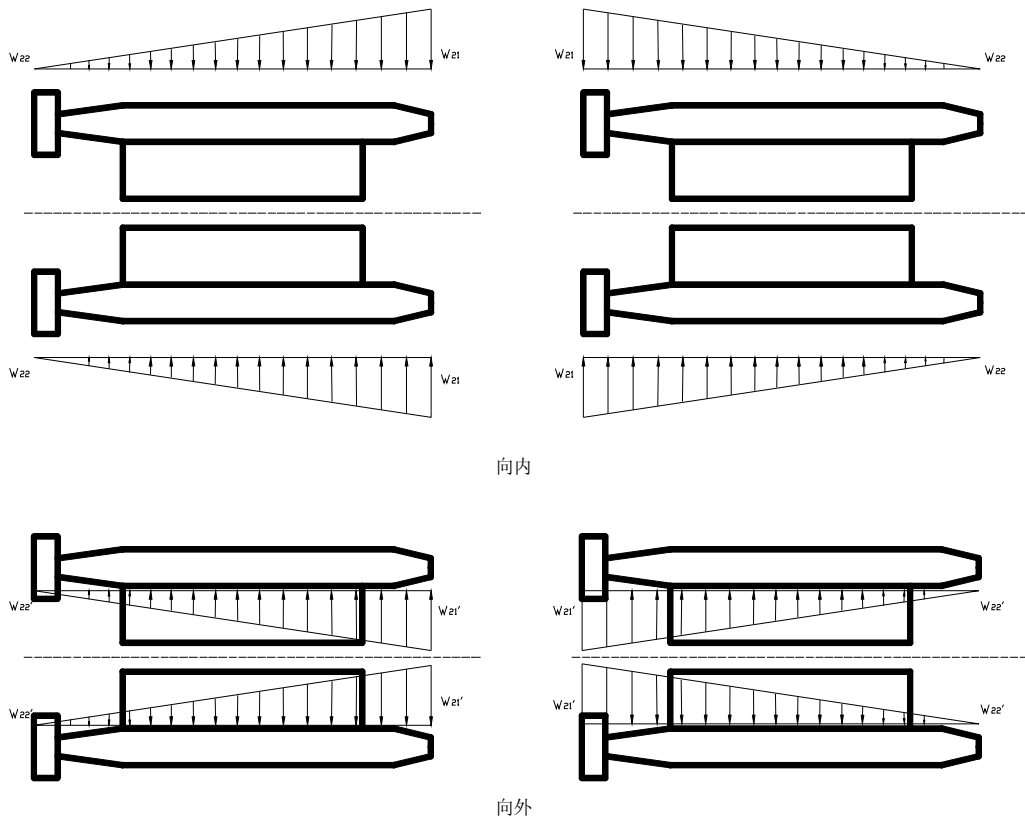


图 3.2.3.1 (2)

3.2.4 总体不同步纵摇扭矩

3.2.4.1 小水线面双体船两个片体之间的不同步纵摇运动产生的对水平横向轴的纵摇扭矩 M_p , $kN \cdot m$, 其值取下列两式计算所得之大者:

$$M_{p1} = 0.125 \Delta a_{cg} l_{lh}$$

$$M_{p2} = 0.25 \Delta a_{cg} b$$

式中: Δ ——满载排水量, t, 同 3.2.2.3;

a_{cg} ——船舶重心处垂向加速度, m/s^2 ,

对于高速小水线面双体船, a_{cg} 值可根据模型试验结果或按本章 3.3.2 确定;

对于非高速小水线面双体船, a_{cg} 值可根据模型试验结果或CCS认可的计算方法进行计算, 但应不小于 $0.35g$ 。($g=9.81 m/s^2$)。

l_{lh} ——下潜体长度, m, 见 1.1.4.11;

b ——片体中心线间距, m, 见图 3.2.4.1;

M_p 可用均布线载荷 p 等效, 见图 3.2.4.1。也可采用其他合适方法等效, 但应使其每一部分的作用中心位置保持在前船体和后船体的中心处。

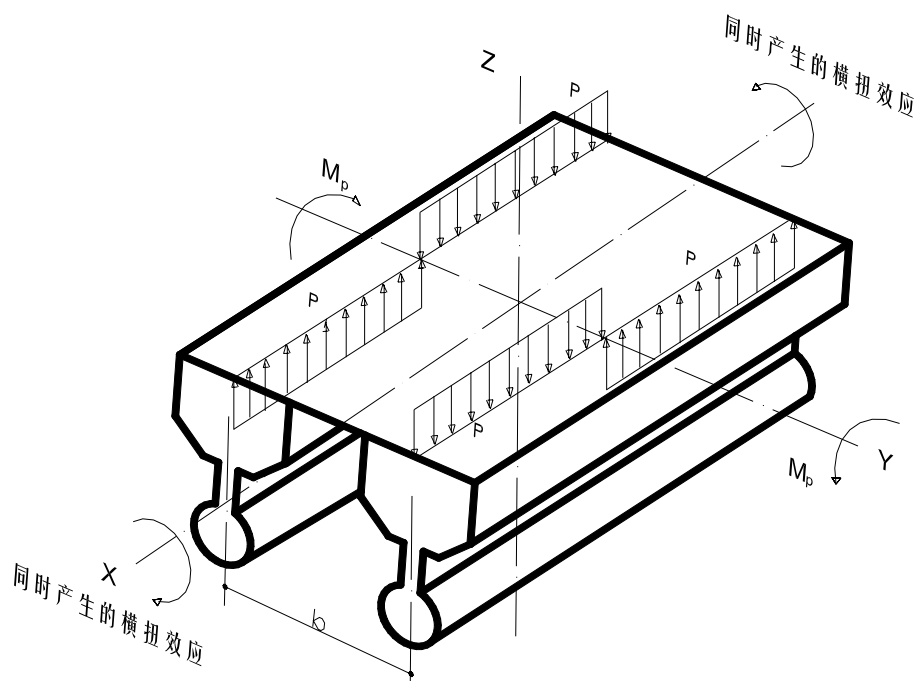


图 3.2.4.1

3.2.5 纵中剖面垂向剪力

3.2.5.1 小水线面船连接桥结构在纵中剖面和与之平行的中剖面处存在垂向剪力 Q 。该剪力作用由两个片体之间的不同步升沉运动和桥体等上部的重力载荷组合, 所产生的在纵中剖面 and 纵舱壁根部纵剖面处的剪力大小需按以下加载方式模拟该垂向剪力作用, 并考虑运动惯性力的叠加效应:

(1) 在纵中剖面处取值 Q_1 , kN , 且按下式计算:

$$Q_1 = 0.25F_y$$

(2) 在纵舱壁根部纵剖面处取值 Q_2 , kN , 且按下式计算:

$$Q_2 = 0.25F_y + 1.35(\Delta/4)$$

(3) 两端之间沿船宽呈梯形分布, 见图 3.2.5.1。

式中: F_y ——横向对开力, 见 3.2.2.3;

Δ ——满载排水量, t , 同 3.2.2.3。

在有限元计算时, 其模型上所加的外载荷在 (1) 和 (2) 两个部位产生的剪力大小应

满足上述条件。

具体加载时，也可将上述载荷等效施于下潜体底部。

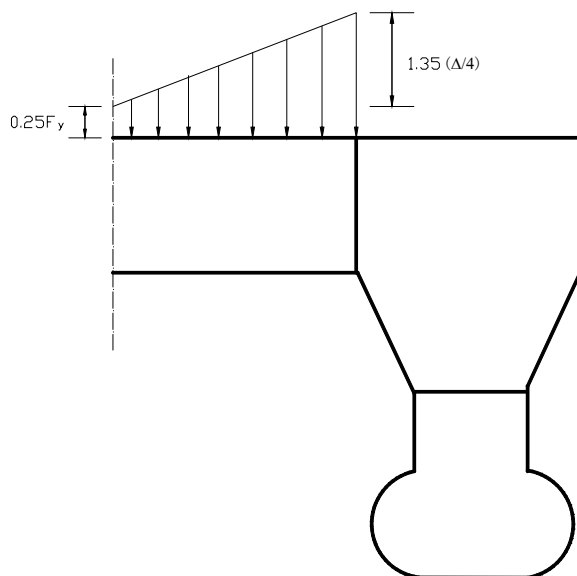


图 3.2.5.1

3.2.6 总体纵向弯矩

3.2.6.1 对于高速小水线面船，纵向中拱（垂）弯矩值 M_h 、 M_s 取按CCS《海上高速船入级与建造规范》第4章4.8.3中的总纵弯矩和等效概率水平的水动力载荷直接计算结果的较大者。

3.2.6.2 对于非高速小水线面船，总体纵向中拱弯矩 $M_L(+)$ 和总体纵向中垂弯矩 $M_L(-)$ 应按下列公式计算：

$$M_L(+)=M_w + M_{sw} \quad kN \cdot m$$

$$M_L(-)=M_w - M_{sw} \quad kN \cdot m$$

式中： M_w ——纵向波浪弯矩， $kN \cdot m$ ，且按下式计算：

$$M_w = 0.082(C_{wp}/0.75)^{2.5} l_s^{2.5} B_s$$

其中： C_{wp} ——小水线面船的水线面系数，见1.1.4.21；

l_s ——支柱体水线长度，m，同3.2.2.3；

B_s ——支柱体宽度，m，见3.2.2.4；

M_{sw} ——纵向静水弯矩， $kN \cdot m$ 。

在设计初期阶段，若无合适资料，可取其总体纵向波浪弯矩 M_w 之值的20%计入。

3.2.7 载荷组合工况

3.2.7.1 通常，小水线面双体船每一种浪向角所表征的船体最大载荷如下：

- (1) 浪向角 90° ——最大横向弯矩和垂向剪切；
- (2) 浪向角 $45^\circ/135^\circ$ ——严重的扭矩组合工况；
- (3) 浪向角 $0^\circ/180^\circ$ ——最大纵向弯矩。

小水线面双体船结构总体分析的载荷计算工况应按上述原则进行组合，对小水线面双体船的横向强度、扭转强度、纵向强度以及纵中剖面处的剪切强度进行校核。表 3.2.7.1 给出了全船总体结构有限元直接计算的设计载荷计算工况。

设计载荷计算工况

表 3.2.7.1

校核工况	浪向角	工况号	载 荷 分 类								
			浮力	横向力 (向内)	横向力 (向外)	水平 扭矩	纵摇/横 扭力矩 M_p	纵向 弯矩 $M_L(+)$	纵向 弯矩 $M_L(-)$	船体 重力 载荷	垂向 剪力
横向强度校核	90°	1	0.65	√	/	首 1.0 W_{11} 尾 1.0 W_{12}	/	/	/	0.65	/
		2	1.35	/	√	首 1.0 W_{11} 尾 1.0 W_{12}	/	/	/	1.35	/
		3	0.65	√	/	尾 1.0 W_{11} 首 1.0 W_{12}	/	/	/	0.65	/
		4	1.35	/	√	尾 1.0 W_{11} 首 1.0 W_{12}	/	/	/	1.35	/
		5	/	/	/	/	/	/	/	/	1.0
扭转强度校核	135° / 45°	6	/	√	/	首 1.0 W_{21} 尾 1.0 W_{22}	0.8	/	/	/	/
		7	/	√	/	尾 1.0 W_{21} 首 1.0 W_{22}	0.8	/	/	/	/
		8	/	/	√	首 1.0 W_{21} 尾 1.0 W_{22}	0.8	/	/	/	/
		9	/	/	√	尾 1.0 W_{21} 首 1.0 W_{22}	0.8	/	/	/	/
纵向强度校核	180° / 0°	10	/	/	/	/	/	1.0	/	/	/
		11	/	/	/	/	/	/	1.0	/	/

注：①表中之值为各载荷分量在同一工况号中的组合分配系数，其中，各载荷分量按本章第 3.2.2~3.2.6 条中定义的计算方法进行求解；符号“√”表示需考虑的工况，符号“/”表示不考虑的工况；

② 各载荷除在上述要求中定义的施载方式外，一般情况下应化为等效分布载荷施于模型上；

- ③ 按 3.2.3 方式加载的横向线性载荷已等效于横向对开力和水平扭矩的联合作用效果；
- ④ 对于横向强度校核，表中所列仅为横向对开力从两舷外朝船体纵中（从外向内）的作用情况。如适用，还应考虑从内向外的作用情况，见图 3.2.3.1(1)和（2）；
- ⑤ 在计算中，可按实际受力情况归并表中某些类似的计算工况。

3.2.7.2 除表 3.2.7.1 中描述的工况外，设计时还应对施工和维修期间，如在建造、进坞、下水以及吊装等过程中产生的较大载荷予以特别考虑，且应进行必要的强度核算、变形控制和加强措施。

第 3 节 高速小水线面双体船局部载荷

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 除另有说明外，本节要求仅适用于高速小水线面双体船。

3.3.2 重心处的垂向加速度

3.3.2.1 高速船船体结构受到的外载荷与常规船不同主要在于：高速船在其营运航区可能出现的浪中高速航行时，船体将受到较大波浪冲击力的作用。该波浪冲击力值与高速船重心处的垂向加速度的大小密切相关。

3.3.2.2 取重心处垂向加速度的百分之一最大值的平均值 a_{cg} ，作为决定结构设计载荷的设计值，该值与有义波高 $H_{1/3}$ 和该波高对应的航速 V_H 三者的关系如下：

$$a_{cg} = \frac{K_T}{426} \left(\frac{V_H}{\sqrt{L}} \right)^{1.4} \left(\frac{H_{1/3}}{B_{WL}} + 0.07 \right) (50 - \beta) \left(\frac{L}{B_{WL}} - 2 \right) \frac{B_{WL}^3}{\Delta} g$$

式中： g ——重力加速度，取 $g=9.81$ ， m/s^2 ；

V_H ——船在有义波高 $H_{1/3}$ 的波浪中航行的航速，kn；

$H_{1/3}$ ——有义波高，m；

β ——船体重心处横剖面的船底升角($^\circ$)，取 $\beta_{max}=30^\circ$ ； $\beta_{min}=10^\circ$ ，

β 的取值见图 3.3.2.2；

K_T ——船舶类型系数，取为 0.8。

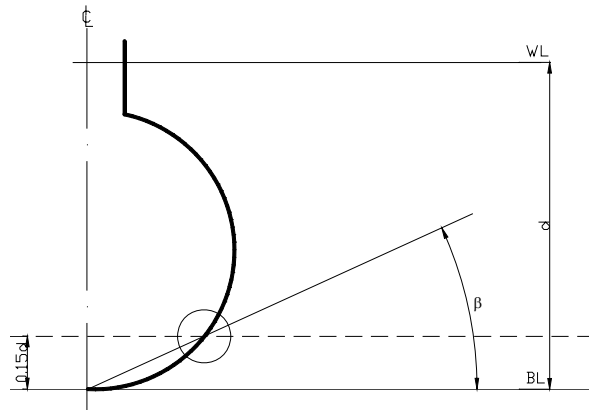


图 3.3.2.2

3.3.2.3 设计部门应按营运限制的类别，假设一组船舶可能遭遇的有义波高 $(H_{1/3})_1 \sim (H_{1/3})_i$ ；其最大值 $H_{1/3max}$ 应不大于下列规定值：

$H_{1/3max} = 6.0m$	近海航区营运限制
$H_{1/3max} = 4.0m$	沿海航区营运限制
$H_{1/3max} = 2.0m$	遮蔽航区营运限制
$H_{1/3max} = 1.0m$	平静水域营运限制

3.3.2.4 对应于 3.3.2.3 一组假设的有义波高，设计部门可参考同型船的经验数据或船模试验值或经 CCS 同意的其他方法，提出相应的一组航速 $(V_H)_1 \sim (V_H)_i$ 。

3.3.2.5 根据 3.3.2.3 和 3.3.2.4 的每一组 $(H_{1/3i}, V_{Hi})$ ，按 3.3.2.2 公式算出相应的垂向加速度 a_{cgi} ，对此，设计部门可调整，取客船的 $a_{cgi} \leq 1.0g$ ，取货船的 $a_{cgi} \leq 1.2g$ ，但须相应调整 V_{Hi} 值，直至按 3.3.2.2 公式算得的 a_{cgi} 不大于所取之值。

3.3.2.6 按 3.3.2.5 确定的一组 a_{cgi} ，取其中的最大值作为重心处垂向加速度的设计值。

3.3.2.7 由设计部门或船东最终确定船舶重心处垂向加速度的设计值，并按 3.3.2.2 公式算出该设计值对应的一组 $H_{1/3} \sim V_H$ 值，应绘成“船舶在波浪中航行时的限速曲线图”送本 CCS 审查，并将此图制成标牌永久性展示在驾驶室内。操船时，必须根据当时目测的有义波高，限制航速。

3.3.3 船底波浪冲击压力

3.3.3.1 本条适用于满载状态高速航行时，仍有部分船体浸在水中小水线面双体船，其船底所受的波浪冲击力。该处的“船底”系指下潜体最宽处的以下部分船体，通常指椭圆或

圆柱体的下半体。

3.3.3.2 船底波浪冲击压力 P_{s11} 由下式确定：

$$P_{s11} = 1.16K_{l1} \left(\frac{\Delta}{nA} \right)^{0.3} \frac{50 - \beta_x}{50 - \beta} a_{cg} d_w \quad \text{kN/m}^2$$

式中： K_{l1} ——纵向压力分布系数。舢前取 $K_{l1} = 1$ ，尾端取 $K_{l1} = 0.5$ ，尾端与船中之间用线性内插法取值；

A——受力点计算面积， m^2 ，应不小于 $0.002\Delta/d$ ；

对板格，A应不大于 $2.5S^2$ ；

对加强筋或桁材 A=承载宽度×跨距；

n——片体数，取 $n=2$ ；

β ——船体重心处横剖面的船底升角（°），见 3.3.2.2；

β_x ——核算横剖面处的船底升角（°），取 $\beta_{x\max}=30^\circ$ ， $\beta_{x\min}=10^\circ$ ；

a_{cg} ——重心处垂向加速度的设计值， m/s^2 ，见 3.3.2.6；

d_w ——波浪中航行时冲击吃水， $d_w=cd$ ；

其中： d ——满载静浮状态吃水，m；

c ——系数，取 $c=1.0$ 。

Δ ——满载排水量，t，见 1.1.4.20。

3.3.2.3 船底波浪冲击压力 P_{s11} 应不小于按本节 3.3.5.1 计算之值。

3.3.4 连接桥底（湿甲板）的波浪冲击压力

3.3.4.1 所谓“连接桥底（湿甲板）”系指双体船的两个片体在水面以上的连接桥结构的下表面。船舶在波浪中高速航行时，这部分结构将受到波浪冲击力的作用。

3.3.4.2 3.3.4.1 所述的冲击压力 P_{s12} 可按船模试验或实船测试所得数据确定，如无试验资料，则由下式确定：

$$P_{s12} = K_{l2} \left(\frac{\Delta}{A} \right)^{0.3} a_{cg} \left(1 - \frac{H_{tx}}{CL} \right) \quad \text{kN/m}^2$$

但不应小于按 3.3.5.1 算得的舷侧计算压力。

式中： K_{l2} ——纵向压力分布系数，应按以下规定计取：船尾至船中区域： $K_{l2}=1.3$

船首至船首之后 $L/3$ 区域：取 $K_{l2}=3.9$

舢前 $L/3$ 至船中区域： K_{l2} 按线性内插法取值；

C——系数，取： $C = 0.0925 + 0.014 \frac{100 - L}{80}$ ；

H_{tx} ——正常航行时，连接桥底压力计算点距水面的垂向高度，m，取 $H_{txmax}=CL$ ；

L ——船长，m，见 1.1.4.8 (1)；

其余符号同 3.3.3.2。

3.3.5 舷侧和甲板压力

3.3.5.1 舷侧包括下潜体(圆柱体或椭圆体)的上半部分和支柱体、上船体结构，其压力由下式确定：

$$P_s = 9.81h + 0.15 P_{st} \quad \text{kN/m}^2$$

式中： h ——压力计算点到主甲板的垂直距离，m，应不小于 0.8m，也不必大于舷侧范围高度的 0.8 倍；

P_{st} ——该处船底的压力，按本节 3.3.3.2 计算所得。

3.3.5.2 露天甲板计算压力由下式确定：

$$P_{d1} = K_{l3}(0.2L + C) \quad \text{kN/m}^2$$

式中： K_{l3} ——纵向压力分布系数。舳前取 1.0，尾端取 0.75，尾端与船中之间用线性内插法取值。

C ——航区系数：

$C=7.6$ 近海和沿海航区营运限制，

$C=4.6$ 遮蔽航区和平静水域营运限制。

L ——船长，m，见 1.1.4.8 (1)。

3.3.5.3 非露天甲板（包括上层建筑和甲板室甲板）计算压力 P_{d2} 由下式确定：

$$P_{d2} = 0.1L + 4.6 \quad \text{kN/m}^2$$

3.3.5.4 旅客舱室甲板的计算压力取 $P_d=4.5 \text{ kN/m}^2$ 。

3.3.5.5 如甲板上装载重物，则除重物本身重量外，还应考虑船舶的垂向加速度 a_v 对甲板受压的影响。重物的垂向加速度可取 $0.5a_v$ 。船舶的垂向加速度 a_v 按下式确定：

$$a_v = K_a a_{cg} \quad \text{m/s}^2$$

式中： K_a ——垂向加速度分布系数，舳后取 $K_a=1.0$ ，船首取 $K_a=2.0$ ，船首与船中之间用线性内插法取值；

a_{cg} ——按 3.3.2.2 确定的重心处设计垂向加速度， m/s^2 。

3.3.6 上层建筑和甲板室的计算压力

3.3.6.1 端壁与侧壁的计算压力 P_{sd} 由下式确定：

$$P_{sd} = 15.6K_1K_2(CL + 0.8 - 0.3h) \quad \text{kN/m}^2$$

式中： K_1 ——位置系数，按下列情况取值：

第一层上层建筑前壁： $K_1=1$

第二层上层建筑前壁: $K_1=0.75$

上层建筑、甲板室的侧壁、后壁: $K_1=0.5$

K_2 ——位置系数, 按上层建筑和甲板室所在位置取值:

位于舳前区域: $K_2=1.0$

位于舳后区域: $K_2=0.75$

C ——航区系数:

$C=0.047$ 近海航区和沿海营运限制

$C=0.035$ 遮蔽航区营运限制

$C=0.024$ 平静水域营运限制

h ——压力计算点到满载静浮水线的垂直距离, m。

3.3.6.2 顶板的计算压力 P_{sd} 应不小于 4kN/m^2 , 但船中之前第一层上层建筑或甲板室的顶板的计算压力 P_{sd} 应不小于 6.6kN/m^2 。

3.3.6.3 第一层上层建筑前端壁的最小计算压力 P_{\min} 应不小于按3.3.5.2公式算得的舳前露天甲板的计算压力。上层建筑和甲板室的其他围壁的最小计算压力应不小于 4kN/m^2 。

3.3.7 舱壁的计算压力 P 按下式确定:

3.3.7.1 水密舱壁:

$$P=10h \quad \text{kN/m}^2$$

式中: h ——从压力计算点到舱壁甲板最高点的垂直距离, m。

3.3.7.2 液舱舱壁, 取以下三者中的大值:

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

$$P = 10\left(h + \frac{2}{3}h_p\right) \quad \text{kN/m}^2$$

$$P = 10(h + 1.0) \quad \text{kN/m}^2$$

式中: a_v ——该处船舶垂向加速度 m/s^2 , 按3.3.2.2取值;

h ——压力计算点到液舱顶的垂直距离, m;

h_p ——液舱顶到空气管顶的垂直距离, m。

3.3.7.3 防撞舱壁:

$$P = 12.5h \quad \text{kN/m}^2$$

式中: h ——从压力计算点到舱壁甲板最高点的垂直距离, m。

第4节 非高速小水线面双体船局部载荷

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 除另有说明外, 本节要求仅适用于非高速小水线面双体船。

3.4.2 局部载荷

3.4.2.1 局部载荷包括静水压力/液舱压力和波浪诱导的侧向水压、砰击、上浪载荷和

甲板及其工作区域的机械设备及其操作重量、货物、人员等。除非特殊原因，一般不考虑晃动载荷的作用影响。

3.4.2.2 局部载荷可视其对总强度的影响程度决定是否与总体载荷进行叠加组合。叠加时应注意剔除相同载荷的重复计入部分。

3.4.2.3 在设计阶段，应在有关计算文件上标明载荷布置情况，如最大分布载荷和集中载荷作用点等。如设计用途包含载车任务，则还应考虑包括拟载车辆荷重和所有可能驶入区域内对结构受力最不利的轮印作用位置。

3.4.2.4 有关静水压力/液舱压力、波浪诱导的侧向水压头以及上浪载荷见第 4 章第 3 节有关规定。

3.4.2.5 应对近水面附近区域船壳板所遭遇的砰击载荷予以适当考虑。湿甲板板格、加强筋和板架的波浪砰击设计压力可根据模型试验或母型船确定。若无上述资料时，可按 3.4.2.6 估算，作用在不同面积区域的板格、加强筋或板架上的砰击设计压力则按 3.4.2.7 予以修正。也可按公认的方法，但应经 CCS 认可。一般情况下，不考虑砰击载荷与总体载荷的叠加效应。

3.4.2.6 波浪砰击压力的大小、作用位置和区域随时间变化。其瞬时峰值对面板和局部扶强材的作用影响尤为显著。在合理选取净空后，砰击压力峰值 P_{max} 按下式计算，砰击压力分布如图 3.4.2.6 (1)：

$$P_{max} = nL_p (L_b)^{1.08} \quad \text{kN/m}^2$$

式中： $n=6.78$

L_p ——纵向砰击力系数，如图表 3.4.2.6 (2)；

L_b ——连接桥箱体结构长度，m。

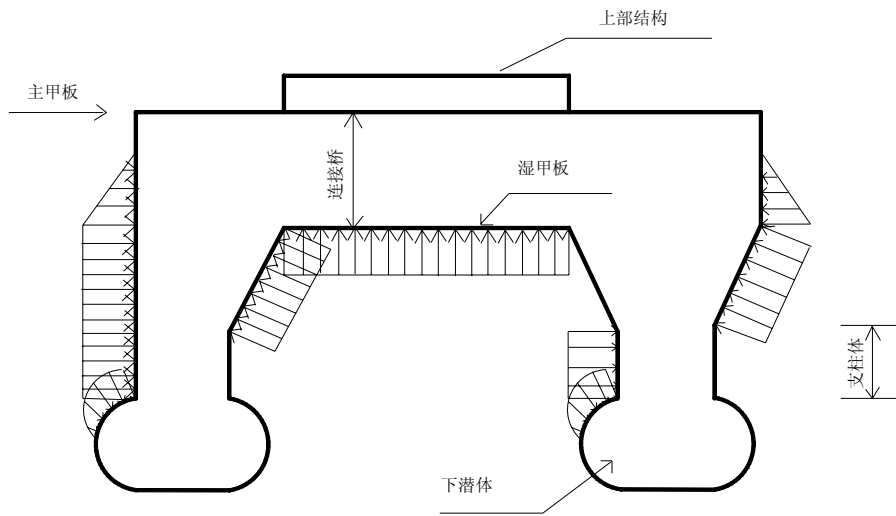
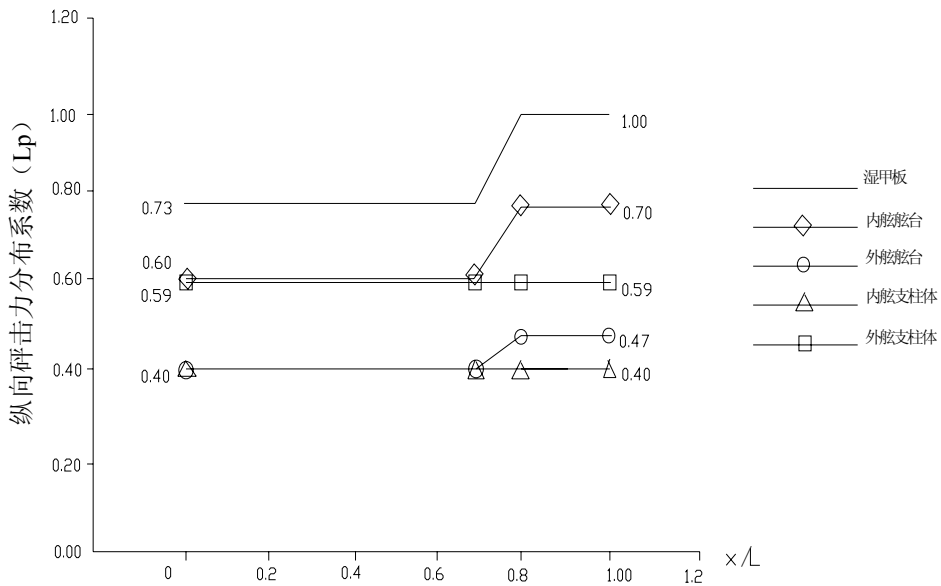


图 3.4.2.6 (1)



图表 3.4.2.6 (2)

3.4.2.7 当砰击现象发展到较大区域时，可表征为板格或板架整个作用区域上的平均垂直设计压力 P_{des} ，且按下式计算：

$$P_{des} = P_{max} [K_d / K_n] \quad \text{kN/m}^2$$

式中： K_d ——系数，按下式计算：

$$K_d = \begin{cases} 1.0 & \text{当 } A_d / A_r < 0.00025 \\ 0.2776 + 0.0154[-\log_{10}(A_d / A_r)]^3 & \text{当 } 0.00025 \leq A_d / A_r < 0.0226 \\ 0.09 + 0.37[-\log_{10}(A_d / A_r)]^{1.5} & \text{当 } 0.0226 \leq A_d / A_r < 1.0 \end{cases}$$

K_n ——系数，计算同 K_d ，但计算时取 A_d 为 1m^2 ；

A_d —— P_{des} 的作用覆盖面积，取与 A_r 同一单位；

A_r ——参照面积， m^2 ，且按下式计算：

$$A_r = 0.06L_bB$$

其中： L_b ——连接桥箱体结构长度， m ；

B ——船宽， m ，见 1.1.4.11。

3.4.2.8 机械设备等较大重量载荷尚应考虑运动引起的惯性力作用。

3.4.2.9 除非经实践证明，在设计阶段，甲板设计均布载荷应不小于按表 3.4.2.9 之规定值：

甲板最小设计均布载荷 表 3.4.2.9

位置	载荷
船员舱室和走道	4500 N/m^2 (0.64m设计压头)
工作区域	9000 N/m^2 (1.28m设计压头)
储藏区域	13000 N/m^2 (1.84m设计压头)

3.4.2.10 若无其他任何资料和特殊考虑，露天甲板的水头可按以下假定予以确定：

- (1) 首端：2m；
- (2) 尾端：1m；
- (3) 两端之间：线性内差。

第4章 构件尺寸

第1节 一般规定

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 本章对承受正常局部载荷时一些构件所需的最小构件尺寸做出相应的规定。对于第5章中要求进行强度验证的结构构件，其构件尺寸还应符合本章的相应强度要求，且不应低于本章规定。

第2节 高速小水线面双体船构件尺寸

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 高速小水线面双体船的结构尺寸应按照 CCS《海上高速船入级与建造规范》第4章的有关要求确定，其中相关的局部载荷应按本指南第3章第2节的要求计算。此外，还应满足本节如下要求。

4.2.1.2 对于平板龙骨，其宽度与最小板厚 t_{min} 与 CCS《海上高速船入级与建造规范》中的双体船要求相同，且应不小于该位置处的船底板厚度。

4.2.1.3 连接桥湿甲板与舷台交叉区域的板厚与构件尺寸还应通过有限元计算对强度进行验证。适用时，应考虑对关键部位进行疲劳评估。

第2节 非高速小水线面双体船构件尺寸

4.2.2 一般要求

4.2.2.1 在本节中使用的符号和有关定义：

t：规范规定的板厚，mm；

W：规范规定的构件剖面模数（包括带板）， cm^3 ；

σ_s ：材料的屈服强度， N/mm^2 ，按下述规定确定：

对于钢材，是指钢材的最小屈服强度；但取值不大于72%的规定最小抗拉强度。

对于铝合金，是指铝合金焊接后的最小屈服强度；应取铝合金退火状态下的0.2%规定非比例伸长应力，见 CCS《材料与焊接规范》。

m: 铝合金材料系数, 对钢板 m=1.0; 对铝合金板见表 4.2.2.1;

铝合金材料系数 m

表 4.2.2.1

铝合金牌号	材料系数 m	交货状态
5083	1.23	所有交货状态
5086	1.46	所有交货状态
5454	1.62	所有交货状态
5456	1.23	所有交货状态
6061-T-6	1.75	用 5183、5356 或 5556 焊丝

k: 板格修正系数, 按下列公式计算:

$$k = (3.075a^{1/2} - 2.077) / (a + 0.272), \text{ 当 } 1 \leq a < 2 \text{ 时}$$

$$k = 1.0, \text{ 当 } a \geq 2 \text{ 时}$$

a——板格长边与短边之比;

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

次要构件: 一般指板的扶强构件, 如肋骨、纵骨、横梁、舱壁扶强材等。

4.2.2.2 肘板尺寸应按表 4.2.2.2 确定, 其中的肘板臂长是指肘板较长的一个臂长:

肘板尺寸

表 4.2.2.2

肘板臂长 (mm)	无折边肘板厚度 (mm)	有折边肘板厚度 (mm)	折边宽度 (mm)
150	6.5	——	——
175	7.0	——	——
200	7.0	6.5	30
225	7.5	6.5	30
250	8.0	6.5	30
275	8.0	7.0	35
300	8.5	7.0	35
325	9.0	7.0	40
350	9.0	7.5	40
375	9.5	7.5	45
400	10.0	7.5	45

425	10.0	8.0	45
450	10.5	8.0	50
475	11.0	8.0	50
500	11.0	8.5	55
525	11.5	8.5	55
550	12.0	8.5	55
600	12.5	9.0	60
650	13.0	9.5	65
700	14.0	9.5	70
750	14.5	10.0	75
800	——	10.5	80
850	——	10.5	85
900	——	11.0	90
950	——	11.5	90
1000	——	11.5	95
1050	——	12.0	100
1100	——	12.5	105
1150	——	12.5	110
1200	——	13.0	110

4.2.2.3 除另有规定者外,本节计算构件所取的跨距均为跨距点之间的有效跨距。跨距点应如下确定:

(1) 次要构件的跨距点应在与主要构件腹板连接处。当构件端部设置符合 4.2.2.2 要求的有效肘板时,其跨距点在距肘板趾端 25%的肘板臂长处;

(2) 主要构件的跨距点应在支持结构的支持点处,支持结构有支柱、舱壁等。当构件端部设置符合 4.2.2.2 要求的有效肘板时,其跨距点在距肘板趾端 25%的肘板臂长处。

4.2.2.4 构件应连续地穿过其支持点,或有效地连接至坚实固定能防止转动的支持结构。如构件端部的支持结构达不到该固定条件,则其剖面模数应按本节的计算值增加 50%。

4.2.2.5 主要构件的腹板高度一般应不小于次要构件穿过处切口高度的 2 倍,但液舱边界上的主要构件一般应为 3 倍。

4.2.3 甲板板

4.2.3.1 围闭处所的平台甲板板

(1) 围闭货物处所的平台甲板板的厚度应不小于:

$$t=m[(skh^{1/2}/254)+t_c] \quad \text{mm, 但不小于 5mm}$$

式中: m ——铝合金材料系数;

s ——甲板横梁间距, mm;

k ——板格修正系数;

h ——设计压头, m; 通常为甲板间高, 当指定设计载荷 p (kPa) 时, h 应为 $0.142p$ 。 h 应不小于第 3 章 3.4.2.9 条的要求。

t_c ——设计腐蚀裕量, 一般为 1.5mm;

(2) 围闭乘客处所的平台甲板板的厚度应不小于:

$$t=m(0.0058s+t_c) \quad \text{mm, 但不小于 4.5mm}$$

式中: t_c ——设计腐蚀裕量, 一般为 1.0mm;

m 、 s ——见 4.2.3.1 (1)。

4.2.3.2 露天甲板板

(1) 露天甲板板的厚度应不小于:

$$t=m[(skh^{1/2}/254)+t_c] \quad \text{mm}$$

式中: m 、 s 、 k 和 t_c 见 4.2.3.1 (1);

h ——设计压头, m, $h=1.43h_{gs}$;

h_{gs} ——上浪压头, 首端为 2m, 线性递减至尾端为 1m。

(2) 露天甲板应满足 4.2.3.1 的要求。露天甲板必须能承受船舶装载计划中的局部面载荷和甲板货载荷。

4.2.3.3 强力甲板板

(1) 强力甲板除了应满足总体强度的要求外, 对于局部载荷尚应满足 4.2.3.1 和 4.2.3.2 的要求。

4.2.3.4 液舱处的甲板板尚应满足 4.2.10 对液舱的要求。

4.2.4 甲板骨架

4.2.4.1 甲板横梁和纵骨的剖面模数应不小于:

$$W=585sh^2/\sigma \quad \text{cm}^3$$

式中: h ——设计压头, m, 见 4.2.3 和第 3 章 3.4.2.9;

s ——骨材间距, m;

l ——跨距, m;

σ ——许用弯曲应力, N/mm^2 , 取 $\sigma = 0.55 \sigma_s$ 。

4.2.4.2 对于液舱顶部的甲板横梁和纵骨, 除应满足 4.2.4.1 的要求外, 剖面模数尚应不小于:

$$W = 877shl^2 / \sigma \quad \text{cm}^3$$

式中: s 、 l ——同 4.2.4.1;

h ——设计压头, m; 取液舱顶至溢流管顶垂直距离的三分之二或液舱顶以上 0.91m, 取大者;

σ ——许用弯曲应力, N/mm^2 , 取 $\sigma = 0.45 \sigma_s$ 。

4.2.4.3 甲板纵桁和强横梁的剖面模数应不小于:

$$W = 585hb l^2 / \sigma \quad \text{cm}^3$$

式中: h 、 l 和 σ 同 4.2.4.1;

b ——支持甲板面积的平均宽度, m。

4.2.4.4 对于液舱顶部的甲板纵桁和强横梁, 除应满足 4.2.4.3 的要求外, 剖面模数尚应不小于:

$$W = 877hb l^2 / \sigma \quad \text{cm}^3$$

式中: h 、 l 和 σ 同 4.2.4.2;

b ——支持甲板面积的平均宽度, m。

4.2.4.5 钢质甲板纵桁和强横梁应满足下述要求:

(1) 腹板高度在非液舱处应不小于其跨距的 0.0583 倍, 在液舱处应不小于其跨距的 0.0833 倍;

(2) 腹板厚度一般应不小于 $(0.01d+4)$ mm, 其中 d 为腹板高度, mm。

(3) 应设置防倾肘板, 间距约为 3m。当面板在腹板任一侧的未支持宽度超过 200mm 时, 防倾肘板应支持面板。

4.2.4.6 铝质甲板纵桁和强横梁应满足下述要求:

(1) 腹板高度在非液舱处应不小于其跨距的 0.0672 倍, 在液舱处应不小于其跨距的 0.0958 倍;

(2) 腹板厚度一般应不小于 $(0.018d+6.5)$ mm, 其中 d 为腹板高度, mm。

(3) 应设置防倾肘板, 间距约为 2.25m。当面板在腹板任一侧的未支持宽度超过 150mm

时，防倾肘板应支持面板。

4.2.4.7 甲板纵桁和强横梁的剪切应力应不大于许用弯曲应力 σ 的 0.67 倍。在计算剪切应力时应扣除腹板上的开口。

4.2.5 外板

4.2.5.1 外板包括湿甲板、上船体的舷侧区域、支柱体和下潜体两侧的壳板。

4.2.5.2 外板的最小厚度应不小于 4.2.10 对液舱的要求。

4.2.5.3 考虑波浪冲击，湿甲板、舷台内侧和支柱体外侧的外板尚应不小于：

$$t=uskH^{0.5}/J \text{ mm}$$

式中：s——骨材间距，mm；

H——航行中的等效压头，m； $H=P_{des}/10.5$ ，其中 P_{des} 为设计压力，kPa，见第 3 章第 4 节或根据模型试验获得；

k——板格修正系数；

J——按表 4.2.5.3 确定；

u——对钢材取 1.0，对铝合金 $u=(235/\sigma_s)^{0.5}$ 。

系数 J 表 4.2.5.3

材料	J
普通钢	304
H32 钢	334
H36 钢	348
铝合金	304

4.2.6 外板骨架

4.2.6.1 外板骨架应满足对相同位置水密舱壁构件的强度要求。在液舱处，尚应满足对相同位置液舱构件的强度要求。

4.2.6.2 肋骨和纵骨的剖面模数应不小于：

$$W=877shl^2/\sigma \text{ cm}^3$$

式中：l——跨距，m；

s——骨材间距，m；

h——设计压头，m，最小值为 2.1m；当船长 $<90\text{m}$ 时，取跨距中点至甲板边线的垂直

距离；当船长 $\geq 90\text{m}$ 时，首垂线处取跨距中点至舱壁甲板的垂直距离，船中以后取跨距中点至距舱壁甲板三分之二距离处的垂直距离，首垂线与船中之间用线性插值法求得；

σ ——许用弯曲应力， N/mm^2 ，取 $\sigma = 0.50 \sigma_s$ 。

4.2.6.3 强肋骨和舷侧纵桁的剖面模数应不小于：

$$W = 877bh^2 / \sigma \quad \text{cm}^3$$

式中： h 、 l 和 σ 同4.2.6.2；

b ——支持舷侧面积的平均宽度， m 。

4.2.6.4 强肋骨和舷侧纵桁的剪切应力应不大于许用弯曲应力 σ 的0.67倍。在计算剪切应力时应扣除腹板上的开口。

4.2.6.5 钢质强肋骨和舷侧纵桁应满足下述要求：

(1) 腹板高度应不小于其跨距的0.125倍，但是舷侧纵桁的腹板高度不必大于与其相连接的强肋骨的腹板高度；

(2) 腹板厚度一般应不小于 $(0.01d + 3.5)$ mm，其中 d 为腹板高度， mm 。

(3) 应设置防倾肘板，间距约为3m。当面板在腹板任一侧的未支持宽度超过200mm时，防倾肘板应支持面板。

4.2.6.6 铝质强肋骨和舷侧纵桁应满足下述要求：

(1) 腹板高度应不小于其跨距的0.144倍，但是舷侧纵桁的腹板高度不必大于与其相连接的强肋骨的腹板高度；

(2) 腹板厚度一般应不小于 $(0.018d + 4.5)$ mm，其中 d 为腹板高度， mm 。

(3) 应设置防倾肘板，间距约为2.25m。当面板在腹板任一侧的未支持宽度超过150mm时，防倾肘板应支持面板。

4.2.6.7 考虑波浪冲击，外板骨架尚应按如下要求加强：

(1) 湿甲板上的横梁、舷台内侧的横梁和支柱体外侧的肋骨的剖面模数应不小于：

$$W = 83.3Ps^2 / \sigma \quad \text{cm}^3$$

式中： s ——骨材间距， m ；

l ——跨距， m ；

P ——设计压力， kPa ，见第3章第4节；

σ ——许用弯曲应力， N/mm^2 ，取 $\sigma = 0.80 \sigma_s$ 。

(2) 湿甲板、舷台内侧和支柱体外侧的桁材或支持构件剖面模数应不小于：

$$W=83.3Pb^2/\sigma \quad \text{cm}^3$$

式中：P、l 和 σ 同 4.2.6.7 (1)；

b——支持面的平均宽度，m。

其剪切应力应不大于许用弯曲应力 σ 的 0.67 倍。在计算剪切应力时应扣除腹板上的开口。

4.2.7 支柱

4.2.7.1 应保证支柱上下端处的结构能有效地承受和传递载荷，支柱所受的载荷应不大于其许用载荷。

4.2.7.2 支柱所受的载荷 P_c 应按下式计算：

$$P_c=7.04abh \quad \text{kN}$$

式中：a——支持面的平均宽度，m；

b——支持面的平均长度，m；

h——计算压头，m，见 4.2.3。

4.2.7.3 支柱的许用载荷 P_p 应按下式计算：

$$P_p=f(m_1-nl/r)A \quad \text{kN}$$

式中：l——支柱的长度，m，取支柱的全长；

r——支柱横剖面的最小惯性半径，cm；

A——支柱的横剖面面积， cm^2 ；

f——对钢材取 1.0，对铝合金 $f=\sigma_s/167$ ；

m_1 和n见表 4.2.7.3。

系数 m_1 和n

表 4.2.7.3

材料	m_1	n
普通钢	12.09	4.44
H32 钢	16.11	7.47
H36 钢	18.12	9.00
铝合金	10.00	5.82

4.2.7.4 液舱中的支柱除满足 4.2.7.1 的要求外，尚应满足以下要求：

(1) 应采用实心剖面，不得用空心箱形剖面，如管形支柱、空心矩形剖面的支柱。

(2) 支柱的横剖面面积应不小于：

$$A=CP_c/f \quad \text{cm}^2$$

式中：f 见 4.2.7.3；

C 见表 4.2.7.3；

系数 C 表 4.2.7.4

材料	C
普通钢	0.1035
H32 钢	0.0776
H36 钢	0.069
铝合金	0.146

$P_c=10.5abh$, kN；其中 a、b 分别为支持面的平均宽度和平均长度，m；计算压头 h 取液舱顶至溢流管顶垂直距离的三分之二，m。

4.2.8 下潜体结构

4.2.8.1 下潜体中构成内部液舱边界的平板舱壁和平台，以及纵骨架式的下潜体外板和外板骨架的结构尺寸一般应不小于 4.2.9 对水密舱壁的要求。同时应满足 4.2.10 对深舱要求，但其中的设计压头 h 应按下述规定确定：

(1) 在干舱处，计算压头应计量至满在水线处或至距舱壁甲板三分之二距离处，取大者；

(2) 在液舱处，计算压头应计量至从液舱顶至溢流管顶三分之二距离处，或液舱顶以上 0.91m 处，取大者，但不小于本条 (1) 的要求。

4.2.8.2 对于有曲度的壳板，在计算时通常不考虑曲度的影响。

4.2.8.3 非液舱边界的平台结构应满足 4.2.5 和 4.2.6 的要求。

4.2.9 水密舱壁

4.2.9.1 水密舱壁舱壁板的厚度应不小于下列要求：

$$t=m[(sk(qh)^{1/2}/C)+t_c] \quad \text{mm}$$

$$t=m(s/200+2.5) \quad \text{mm}$$

$$t_{\min}=6 \quad \text{mm, 当船长} \geq 100\text{m 时}$$

$$t_{\min}=5 \quad \text{mm, 当船长} < 100\text{m 时}$$

式中：m——铝合金材料系数；

s——扶强材间距，mm；

k——板格修正系数；

C——对于防撞舱壁，C=254；对于一般水密舱壁，C=290；

q——对铝合金取 1.0，对钢材 $q=235/\sigma_s$ ；

h——设计压头，m；板列的下缘至舱壁甲板中心处的垂直距离；

t_c ——设计腐蚀裕量，一般为 1.5mm。

4.2.9.2 水密舱壁扶强材的剖面模数应不小于：

$$W=877shl^2/\sigma \quad \text{cm}^3$$

式中：s——扶强材间距，m；

l——扶强材跨距，m；

h——设计压头，m；跨距中点至舱壁甲板中心的垂直距离；但对于船长 $\geq 46\text{m}$ 的船舶，当该距离小于 6.10m 时，h 应取该距离的 0.8 倍再加上 1.22m。

对于参与全船弯曲的舱壁，其许用弯曲应力 $\sigma=0.45\sigma_s$ ；对于不参与全船弯曲的舱壁，其许用弯曲应力 $\sigma=0.75\sigma_s$ 。

4.2.9.3 水密舱壁和水密平台上的主要构件（桁材、横向支持构件）的剖面模数应不小于：

$$W=877bh^2/\sigma \quad \text{cm}^3$$

式中：b——支持面的平均宽度，m；

l——跨距，m；

h——设计压头，m；支持面的中点至舱壁甲板中心的垂直距离；当该距离小于 6.10m 时，h 应取该距离的 0.8 倍再加上 1.22m。

σ ——见 4.2.9.2。

主要构件的剪切应力应不大于许用弯曲应力 σ 的 0.75 倍。在计算剪切应力时应扣除腹板上的开口。

4.2.9.4 防撞舱壁上的扶强材和主要构件的剖面模数应分别不小于 4.2.9.2 和 4.2.9.3 计算值的 1.25 倍。

4.2.9.5 钢质主要构件应满足下述要求：

(1) 腹板高度应不小于其跨距的 0.0833 倍；

(2) 腹板厚度一般应不小于 $(0.01d+3)$ mm，其中 d 为腹板高度，mm。

(3) 应设置防倾肘板，间距约为 3m。当面板在腹板任一侧的未支持宽度超过 200mm 时，防倾肘板应支持面板。

4.2.9.6 铝质主要构件应满足下述要求:

- (1) 腹板高度应不小于其跨距的 0.0958 倍;
- (2) 腹板厚度一般应不小于 $(0.015d+4.5)$ mm, 其中 d 为腹板高度, mm。
- (3) 应设置防倾肘板, 间距约为 2.25m。当面板在腹板任一侧的未支持宽度超过 150mm 时, 防倾肘板应支持面板。

4.2.10 液舱舱壁

4.2.10.1 液舱舱壁的构件尺寸应满足 4.2.9 对水密舱壁的要求。

4.2.10.2 液舱舱壁舱壁板的厚度应不小于下列要求:

$$t=m[(sk(qh)^{1/2}/254)+t_c] \quad \text{mm}$$

$$t=m(s/150+2.5) \quad \text{mm}$$

$$t_{\min}=6.5 \quad \text{mm, 当船长} \geq 100\text{m 时}$$

$$t_{\min}=5.5 \quad \text{mm, 当船长} < 100\text{m 时}$$

式中: m ——铝合金材料系数;

s ——扶强材间距, mm;

k ——板格修正系数;

q ——对铝合金取 1.0, 对钢材 $q=235/\sigma_s$;

h ——设计压头, m; 板列的下缘至下列点处的最大距离:

- (1) 液舱顶至溢流管顶三分之二距离处;
- (2) 液舱顶以上 0.91m 处;
- (3) 满载水线;
- (4) 板列下缘至舱壁甲板三分之二距离处。

t_c ——设计腐蚀裕量, 一般为 2.5mm。

4.2.10.3 液舱舱壁扶强材的剖面模数应不小于:

$$W=877shl^2/\sigma \quad \text{cm}^3$$

式中: s ——扶强材间距, m;

l ——扶强材跨距, m;

h ——设计压头, m; 跨距中点至下列点处的最大距离:

- (1) 液舱顶至溢流管顶三分之二距离处;
- (2) 液舱顶以上 0.91m 处;
- (3) 满载水线;
- (4) 跨距中点至舱壁甲板三分之二距离处。

对参与全船弯曲的舱壁，其许用弯曲应力 $\sigma = 0.45 \sigma_s$ ；对不参与全船弯曲的舱壁，其许用弯曲应力 $\sigma = 0.75 \sigma_s$ 。

4.2.10.4 液舱舱壁的主要构件（桁材、横向支持构件）的剖面模数应不小于：

$$W = 877bh^2 / \sigma \quad \text{cm}^3$$

式中：b——支持面的平均宽度，m；

l——跨距，m；

h——设计压头，m；见 4.2.10.3；

σ ——见 4.2.10.3。

主要构件的剪切应力应不大于许用弯曲应力 σ 的 0.75 倍。在计算剪切应力时应扣除腹板上的开口。

4.2.10.5 钢质主要构件应满足下述要求：

(1) 腹板高度应不小于其跨距的 0.145 倍；但当设置支柱或撑材时，应不小于其跨距的 0.0833 倍；

(2) 腹板厚度一般应不小于 $(0.01d+3)$ mm，其中 d 为腹板高度，mm。

(3) 应设置防倾肘板，间距约为 3m。当面板在腹板任一侧的未支持宽度超过 200mm 时，防倾肘板应支持面板。

4.2.10.6 铝质主要构件应满足下述要求：

(1) 腹板高度应不小于其跨距的 0.167 倍；但当设置支柱或撑材时，应不小于其跨距的 0.096 倍；

(2) 腹板厚度一般应不小于 $(0.015d+4.5)$ mm，其中 d 为腹板高度，mm。

(3) 应设置防倾肘板，间距约为 2.25m。当面板在腹板任一侧的未支持宽度超过 150mm 时，防倾肘板应支持面板。

第 5 章 结构直接计算

第 1 节 一般规定

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 本章规定适用于小水线面双体船的结构强度直接计算分析。

5.1.1.2 对于首制型的小水线面双体船一般应进行全船结构强度直接分析。对于以有效负重作为重要设计附加值的船型，建议应采用直接计算方法评估船体结构强度。对于在有限航区及指定的航线上航行作业的小水线面船可视海况决定是否采用直接计算法进行船体强度直接评估。

5.1.1.3 对于连接桥结构，尤其是舷台内外舷侧及湿甲板区域应进行专门的局部强度计算分析。

5.1.1.4 直接计算应基于第 3 章所定义的载荷及其组合工况以及本章定义的许用应力。

5.4.1.5 结构分析应使用公认的结构有限元计算程序。

5.4.1.6 本指南中的直接计算计入的构件厚度采用图纸标定厚度。若采用其他方式，应予以特殊考虑。

5.1.2 送审文件

(1) 计算中所依据的图纸及目录；

(2) 计算分析报告应至少包括以下内容：

① 计算模型的详细说明（包括结构模型范围及模型化方法、边界条件、计算基本工况及荷载组合等）和结构计算模型图；

② 对于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，并需经 CCS 认可；

③ 各个组合工况下的计算结果（包括整体结构位移图及其数据、各个区域的应力分布图及其主要构件应力值、构件最大屈服、屈曲应力汇总表以及包括最大工作应力与许用应力比值结果的计算总结）；

④ 若结构需作修改，应提交修改后的分析计算报告。

(3) 应提交计算数据的磁介质或电子文本文件。

第 2 节 结构模型

5.2.1 模型范围

5.2.1.1 总体结构分析的有限元模型范围应包含整个船体结构，如船体外板、纵/横舱壁、甲板结构、连接桥、舷台、支柱体和下潜体等主要结构。

5.2.1.2 局部强度分析的有限元模型范围应以分析对象所处位置为中心，向空间延伸至结构强支撑构件上（如舱壁板，桁材、强肋骨、强横梁等）。一般情况下，如连接桥及其舷台和湿甲板区域结构局部强度分析的模型范围在船长方向应以一个横舱壁为中心，向前后对等延伸至少一个横舱壁或数个横舱壁；船宽方向取全船宽；型深范围内从上船体上缘向下伸至支柱体 2/3 长度左右的结构强支撑构件上或直至包含整个下潜体。强度评估基于模型中心处的计算结果。

5.2.1.3 应使用三维立体有限元模型进行分析。

5.2.1.4 局部强度分析的有限元模型可嵌入全船有限元模型中一并分析，也可提取或另创建进行单独分析。单独分析的模型应按 5.2.3.6 要求考虑边界条件。

5.2.2. 单元

5.2.2.1 用板单元、梁单元和杆单元模拟真实结构。一般来讲，船体的壳板结构、甲板、平台及强框架、桁材和强肋骨等的高腹板采用 4 节点的板壳单元模拟；曲面的船壳板可用平面单元模拟；对于承受水压力和货物压力的各类板上的扶强材采用梁单元模拟，并考虑偏心影响；桁材和肋板上的加强筋、肋骨和肘板等主要构件的面板和加强筋用杆单元模拟。在高应力区和高应力变化区域尽可能避免或少用三角形单元，如：减轻孔、人孔、肘板连接等结构不连续处。

5.2.2.2 整体结构分析的有限元模型网格的尺度按一个纵骨或一个肋位间距的小者划分。横向强框架、桁材腹板、肋板等的腹板在高度方向上划分一般不少于三个单元。板壳单元的长宽比一般应控制在 3 以内，且应尽量接近正方形。主要构件上的减轻孔、人孔等开孔可采用等效板厚的板单元方法模拟替代。

5.2.2.3 对于主要构件上的减轻孔、人孔等开孔和结构细节及结构不连续处，应采用细

网格的精细有限元模型进行较为准确的描述和模拟，并进行局部强度分析，以考察局部区域的应力水平和分布情况。网格的尺度应不大于 50mm×50mm，且应尽量接近正方形。

5.2.2.4 用于疲劳分析的有限元热点应力模型应从局部强度分析的精细有限元模型中，以拟分析的热点应力处为中心，沿空间毗邻的支承结构切出一立体小块，并按 CCS《船体结构疲劳强度指南》的有关要求再度进行模型细化。

5.2.3 边界条件

5.2.3.1 对于全船模型分析，船体结构模型在各外力的作用下应处于平衡状态，因此边界支点符合以下要求：

5.2.3.2 支点反力应尽可能为零；

5.2.3.3 对整体模型的刚体移动进行约束。

应特别注意由于边界条件的原因而额外产生的应力和变形对计算结果的影响。

5.2.3.4 应按结构适时工况的受力变形及对称性确定边界条件。为最大限度减少对全船、连接桥及其相应结构的影响，建议全船模型在纵、横弯矩和水平扭矩的作用下按表 5.2.3.4 (1) 及图 5.2.3.4 (1) 设置边界支点及约束条件；在不同步纵摇扭矩的作用下按表 5.2.3.4 (2) 及图 5.2.3.4 (2) 设置边界支点及约束条件（支点 C' 为支点 C 的替代）；在纵中剖面垂向剪力的作用下按表 5.2.3.4 (3) 及图 5.2.3.4 (3) 设置边界支点及约束条件。也可采用其他的合适方法，但应能正确表征上述分析对象的结构响应。

边界支点设置——适用于全船纵、横向弯曲和水平扭矩的分析 表 5.2.3.4 (1)

自由度 支点	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
A	Cons.	Cons.	Cons.	—	—	—
B	—	Cons.	Cons.	—	—	—
C(C')	—	— (Cons.)	Cons. (—)	—	—	—

其中：Cons.：固定；

—：自由，以下同。

另外：1) A、B、C' 组合也可用于扭转工况；

2) 纵向弯曲工况时，若 Z 向力系不平衡，则可引起支点 A、B 处的附加支座反力，此

时应忽略 A、B 处的结果（该工况仅用于考察船中区域）。

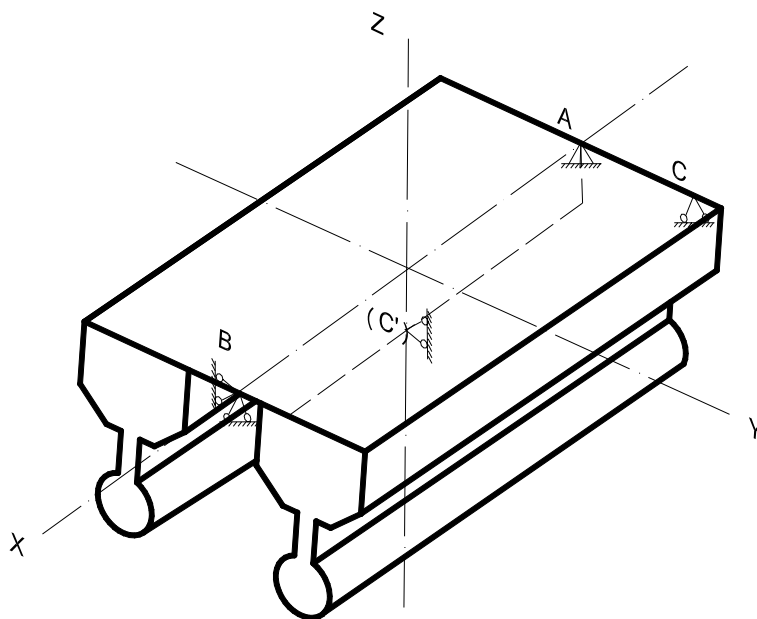


图 5.2.3.4 (1)

边界支点设置——适用于全船纵向扭转和横向弯曲的分析 表 5.2.3.4 (2)

自由度 支点	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
A	Cons.	Cons.	Cons.	—	—	—
B	Cons.	—	Cons.	—	—	—
C(C')	—(Cons.)	—	Cons. (—)	—	—	—

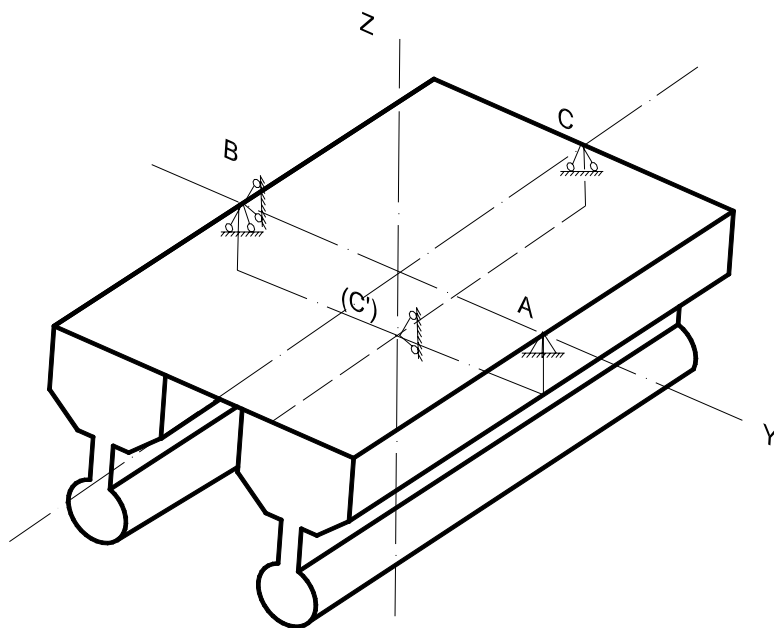


图 5.2.3.4 (2)

边界支点设置——适用于全船纵中剖面垂向剪切的分析 表 5.2.3.4 (3)

自由度 支点	X	Y	Z	θ_x	θ_x	θ_x
A	Cons.	Cons.	Cons.	—	—	—
B	—	Cons.	Cons.	—	—	—
C	—	Cons.	—	—	—	—
D (在纵中处剖面设置数个)	—	—	Cons.	—	—	—

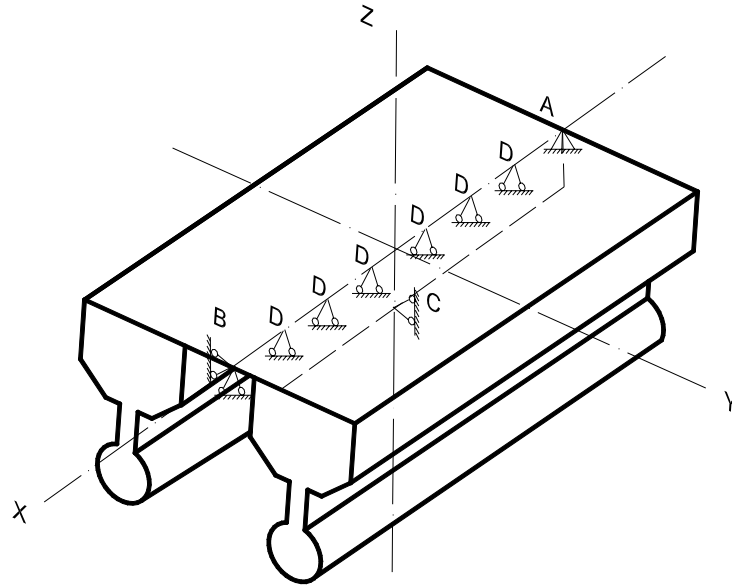


图 5.2.3.4 (3)

5.2.3.5 对于采用波浪直接计算,且所有外载与运动惯性力已在模型中处于力系平衡状态的全船有限元模型,可采用表 5.2.3.4 (1) 及图 5.2.3.4 (1) 设置边界支点及约束条件。

5.2.3.6 局部强度分析和疲劳分析的有限元模型边界条件应视其对考察结果的影响程度决定采用总体模型中的位移/力响应结果作为边界刚度矩阵或直接取刚性固定、简支等作为边界条件。

第 3 节 屈服强度校核

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 结构构件的许用屈服应力按表 5.3.1.1 取用:

许用相当屈服应力 $[\sigma_{eq}]$ N/mm^2 表 5.3.1.1

模型 单元	全船整体结构有限元 模型	局部精细有限元模型 (基于 50mm×50mm 网 格尺度)
板单元	$0.85\sigma_{sw}$	$1.45\sigma_{sw}$ (单个单元) $1.02\sigma_{sw}$ (区域平均)
杆、梁单元	$0.60\sigma_{sw}$	—

注:

① 板单元按相当应力 (Von Mises stress) 计, 即:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad N/mm^2, \text{ 且取板单元形心处的中面应力值 (膜应力) 计入;}$$

式中: σ_x ——单元 x 方向的应力, N/mm^2 ;

σ_y ——单元 y 方向的应力, N/mm^2 ;

τ_{xy} ——单元 xy 平面的剪应力, N/mm^2 。

② 杆、梁单元按轴向拉伸应力, N/mm^2 。

③ σ_{sw} ——为材料的屈服强度, N/mm^2 ; 对铝合金, 为材料焊接后屈服强度。

④ 对于舱壁、肋板、桁材腹板等, 还需考察板单元的剪切应力 (局部精细有限元分析不考虑该项要求)。许用剪切应力取为 $0.36\sigma_{sw}$, 且对于高腹板, 取其总深度的平均剪应力。

⑤ 区域平均值系指细化网格区域中所计算的单元和与其连接结点所属单元 Von Mises 应力的平均值。

第 4 节 屈曲强度校核

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 对于承受可能引起屈曲失效的板材结构, 应按本指南或公认的方法校核板格的屈曲强度。

5.4.1.2 以下屈曲强度要求仅适用于非高速小水线面双体船。对于高速小水线面双体船的屈曲强度校核, 按 CCS《海上高速船入级与建造规范》第 4 章第 9 节的规定。

5.4.1.3 本指南中, 仅考虑校核结构使用状态下的屈曲模式 (serviceability buckling limit state)。如采用极限状态的评估方法 (ultimate limit state), 应按公认的计算方法及适用条件进行极限强度评估, 并应经 CCS 认可。

5.4.1.4 在板格的屈曲计算中, 本指南仅考虑矩形平板的无加筋板格。对于加筋板和曲板的屈曲强度评估, 可按公认的方法并应经 CCS 认可。

5.4.1.5 板格的屈曲强度计算一般可参照 CCS 船舶结构直接计算有关文件，如 CCS《油船结构强度直接计算指南》的相应规定。

5.4.1.6 对于扶强材（加筋骨材）的屈曲强度校核，除 5.4.1.7 规定外，均应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇的相应要求。

5.4.1.7 扶强材（加筋骨材）柱屈曲模式的理想弹性屈曲应力按下式计算：

$$\sigma_E = 0.001E \frac{I_a}{Al^2} \quad N/mm^2$$

式中：E ——材料弹性模数：

对钢材：E = 2.06 × 10⁵，N/mm²；

对铝合金：E = 0.69 × 10⁵，N/mm²；

I_a ——扶强材惯性矩，cm⁴，其中：带板宽度可按以下计算的有效带板宽度 b_e 计入；

$$b_e = C_x s \quad mm$$

$$C_x = \begin{cases} \frac{2}{\beta} - \frac{1}{\beta^2} & \beta > 1 \\ 1.0 & \beta \leq 1 \end{cases}$$

β ——板格长细比系数，β = $\frac{s}{t} \sqrt{\frac{\sigma_{sw}}{E}}$ ；

s ——mm，取纵骨、加强筋或扶强材间距；

t ——mm，板厚；

σ_{sw} ——见 5.3.1.1；

A ——扶强材横截面积，cm²，其中，带板宽度可按上述计入有效带板宽度；

l ——扶强材跨距，m；

5.4.1.8 对于 5.4.1.7，其压缩临界屈曲应力 σ_{cr} 应按下式计算：

$$\sigma_{cr} = \begin{cases} \sigma_E & \sigma_E \leq 0.5\sigma_{sw} \\ \sigma_{sw} \left(1 - \frac{\sigma_{sw}}{4\sigma_E}\right) & \sigma_E > 0.5\sigma_{sw} \end{cases}$$

式中：σ_E ——理想弹性屈曲应力，N/mm²，见 5.4.1.7；

σ_{sw} ——见 5.3.1.1。

第 6 章 结构疲劳评估

第 1 节 一般规定

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 小水线面双体船的疲劳强度计算可参照 CCS《船体结构疲劳强度评估指南》的方法进行，也可用 CCS 认可的其他方法。

6.1.1.2 疲劳强度评估主要考虑周期载荷引起的疲劳损伤。对于承受循环载荷的高应力区域，应按本节及 CCS《船体结构疲劳强度指南》的有关要求进行必要的疲劳强度评估。

6.1.1.3 疲劳强度校核的载荷应基于第 3 章第 2 节的相应表格，按需求选取。

6.1.1.4 用于疲劳强度校核有限元计算模型的构件厚度按 CCS《船体结构疲劳强度指南》第 1.4.9 条取用。若采用其他方法，应予特殊考虑。

6.1.2 疲劳评估的部位

6.1.2.1 船体纵骨和横向构件（横舱壁、横框架）的连接处。

6.1.2.2 横舱壁和/或横框架的下列部位（见图）：

- (1) 舷台和支柱体的连接处；
- (2) 舷台和湿甲板的连接处；
- (3) 其他应力集中处。

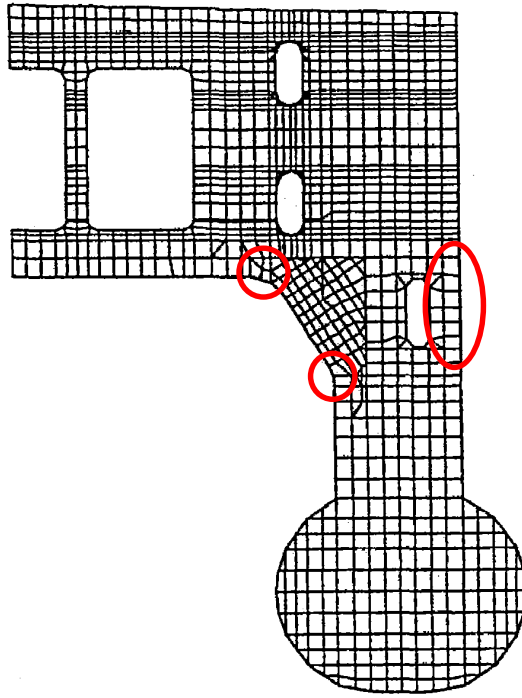


图 6.1.2.2(1) 横舱壁疲劳评估的典型部位

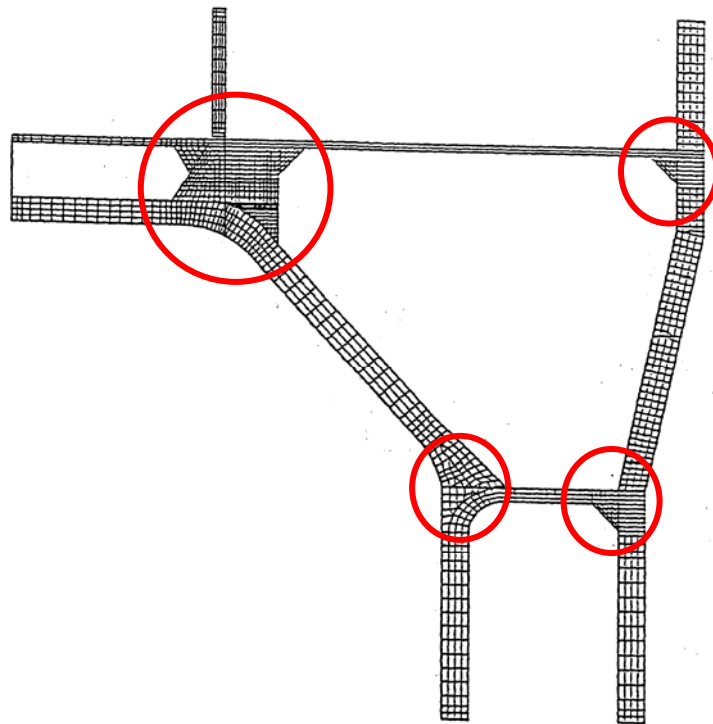


图 6.1.2.2(2) 横框架疲劳评估的典型部位

6.1.3 应力范围的长期分布

6.1.3.1 船体结构应力范围的长期分布假设为两参数 Weibull 分布, Weibull 分布的形状参数 ξ 应按下式计算:

$$\xi=1$$

6.1.4 S—N 曲线

6.1.4.1 钢质材料的 S—N 曲线见 CCS《船体结构疲劳强度评估》第 2.2 节。

6.1.5 计算工况

6.1.5.1 计算时一般考虑最常用工况，其中迎浪、横浪和斜浪三者之间的时间分配比例关系按迎浪占 50%，横浪和斜浪各占 25% 的营运时间确定，见表 6.1.5.1。

时间分配系数 α

表 6.1.5.1

	迎浪	横浪	斜浪
分配系数	0.5	0.25	0.25

6.1.6 累积损伤计算

6.1.6.1 船体结构的累积损伤度 D 应按下式计算：

$$D = \sum_{i=1}^3 D_i$$

$$\text{式中： } D_i = \frac{0.6\alpha_i \mu K_1 S_{Li}^3}{18.42^{3/\xi} f_1 K} \times 10^8 ;$$

其中： α_i ——对应浪向角的时间分配系数，按表 6.1.5.1 取值， $i=1$ ，表示迎浪， $i=2$ 表示横浪， $i=3$ 表示斜浪；

K ——S—N 曲线参数，按表 6.1.6.1(1) 查得；

S_{Li} ——对应计算工况的设计应力范围， N/mm^2 ，按第 5 章的规定计算；

ξ_i ——形状参数，见 6.1.3.1；

K_1 ——完全 GAMMA 函数值，根据 $x=1+3/\xi$ 和 $v=\infty$ ，从表 6.1.6.1(2) 查得；

f_1 ——板厚修正系数，应按下式计算：

$$f_1 = 1.0 \quad \text{当 } t \leq 22 \text{ 时；}$$

$$f_1 = \left(\frac{22}{t} \right)^{3/4} \quad \text{当 } t > 22 \text{ 时；}$$

其中： t ——计算点处的板厚，mm；

$$\mu = 1.0 - \frac{(K_2 - v^{-2/\xi} K_3)}{K_1}$$

K_2 ——不完全GAMMA函数值；根据 $x=1+3/\xi$ 和 v ，从表 6.1.6.1(2)查得；

K_3 ——不完全GAMMA函数值；根据 $x=1+5/\xi$ 和 v ，从表 6.1.6.1(2)查得；

$$v=18.42 \left(\frac{f_2 S_q}{S_L} \right)^\xi$$

S_q ——S-N 曲线二线段的交点处的应力幅值，按表 6.1.6.1(1)查得；

f_2 ——板厚修正系数，应按下式计算：

$$f_2 = 1.0 \quad \text{当 } t \leq 22 \text{ 时；}$$

$$f_2 = \left(\frac{22}{t} \right)^{1/4} \quad \text{当 } t > 22 \text{ 时。}$$

S-N 曲线的 K 和 S_q 表 6.1.6.1(1)

S-N 曲线	K	S_q
B	5.800×10^{12}	83.3955
C	3.464×10^{12}	70.2305
D	1.520×10^{12}	53.3680
E	1.026×10^{12}	46.8147
F	6.319×10^{11}	39.8305
F2	4.330×10^{11}	35.1153
G	2.481×10^{11}	29.1659
W	9.279×10^{10}	21.0136

表 6.1.6.1(2) GAMMA 函数表

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} e^{-u} du \quad \gamma(x,v) = \int_0^v u^{x-1} e^{-u} du$$

表 1

x \ v	∞	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

表 2

$x \backslash v$	∞	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

表 3

$x \backslash v$	∞	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

表 4

$x \backslash v$	∞	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

表 5

$x \backslash v$	∞	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

表 6

$x \backslash v$	∞	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

表 7

$x \backslash v$	∞	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

表 8

$x \backslash v$	∞	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

表 9

$x \backslash v$	∞	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
3.4	2.9812064	0.0190124	0.1381650	0.3811613	0.7117815	1.0789950
3.6	3.7170238	0.0155505	0.1290610	0.3836591	0.7535631	1.1853485
3.8	4.6941742	0.0127638	0.1210418	0.3879346	0.8019018	1.3096973
4.0	6.0000000	0.0105097	0.1139289	0.3938547	0.8572592	1.4545432
4.2	7.7566895	0.0086783	0.1075803	0.4013258	0.9202110	1.6228694
4.4	10.136101	0.0071845	0.1018817	0.4102855	0.9914495	1.8182081
4.6	13.381285	0.0059617	0.0967402	0.4206966	1.0717878	2.0447238
4.8	17.837861	0.0049576	0.0920794	0.4325421	1.1621682	2.3073136
5.0	24.000000	0.0041307	0.0878363	0.4458224	1.2636724	2.6117275
5.2	32.578096	0.0034479	0.0839580	0.4605528	1.3775355	2.9647117
5.4	44.598848	0.0028828	0.0804003	0.4767617	1.5051620	3.3741776
5.6	61.553915	0.0024140	0.0771256	0.4944895	1.6481451	3.8494023
5.8	85.621737	0.0020243	0.0741020	0.5137876	1.8082888	4.4012647
6.0	120.00000	0.0016997	0.0713021	0.5347176	1.9876330	5.0425245
6.2	169.40609	0.0014290	0.0687024	0.5573517	2.1884833	5.7881516
6.4	240.83377	0.0012028	0.0662823	0.5817716	2.4134438	6.6557137
6.6	344.70192	0.0010134	0.0640242	0.6080692	2.6654553	7.6658343
6.8	496.60607	0.0008548	0.0619125	0.6363460	2.9478378	8.8427335
7.0	720.00000	0.0007217	0.0599336	0.6667141	3.2643399	10.214864
7.2	1050.3178	0.0006098	0.0580755	0.6992962	3.6191938	11.815666
7.4	1541.3361	0.0005157	0.0563276	0.7342258	4.0171782	13.684453
7.6	2275.0326	0.0004365	0.0546804	0.7716479	4.4636896	15.867460
7.8	3376.9213	0.0003698	0.0531257	0.8117197	4.9648230	18.419083
8.0	5040.0000	0.0003134	0.0516559	0.8546112	5.5274635	21.403345
8.2	7562.2882	0.0002659	0.0502643	0.9005059	6.1593903	24.895617
8.4	11405.887	0.0002256	0.0489449	0.9496015	6.8693938	28.984669
8.6	17290.248	0.0001916	0.0476922	1.0021112	7.6674099	33.775079
8.8	26339.986	0.0001629	0.0465015	1.0582645	8.5646706	39.390092
9.0	40320.000	0.0001385	0.0453681	1.1183082	9.5738762	45.974994
9.2	62010.763	0.0001178	0.0442882	1.1825077	10.709389	53.701106
9.4	95809.457	0.0001003	0.0432580	1.2511485	11.987458	62.770511
9.6	148696.13	0.0000854	0.0422742	1.3245373	13.426463	73.421645
9.8	231791.87	0.0000727	0.0413338	1.4030034	15.047203	85.935914
10.0	362879.99	0.0000620	0.0404340	1.4869011	16.873221	100.64552

注：中间值可用线性插值法求得。

第 7 章 轮机

第 1 节 一般规定

7.1.1 一般要求

7.1.1.1 除本章规定者外，对于高速小水线面双体船，还应符合 CCS《海上高速船入级与建造规范》的有关规定，对于非高速小水线面双体船，还应符合 CCS《钢质海船入级规范》的有关规定。

7.1.2 材料

7.1.2.1 用于管系的材料应与介质和系统所承担的用途相适应。通常，不锈钢不适用于海水系统。

7.1.2.2 露天甲板上的不锈钢管的强度应与钢管的强度相当。露天甲板上的空气管(钢管)，其壁厚应满足下述要求，但可不必大于同材料的甲板厚度：

管子外径 80 mm 及以下 6.0 mm

管子外径 160 mm 及以上 8.5 mm

中间值可用内插法决定。

7.1.2.3 经认可的非金属材料管可用于下列服务系统：

- (1) 海水冷却系统；
- (2) 淡水冷却系统；
- (3) 舱底水系统；
- (4) 压载水系统；
- (5) 海水压载舱和淡水压载舱的空气管和测量管；
- (6) 不输送可燃液体的非重要管路。

7.1.2.4 非金属材料管的应用、布置、安装、试验等还应满足本社《钢质海船入级规范》中有关要求。

7.1.3 阀的操纵

7.1.3.1 海水进、出口阀，舱底水阀，以及高于双层底舱的燃油舱和滑油舱上的阀，应布置成能就地机械手动操纵。

7.1.3.2 遥控操纵阀的动力源故障不应引起:

- (1) 关闭的阀开启;
- (2) 开启的燃油舱上的阀、为推进服务的冷却水系统中的阀、动力源机械上的阀关闭。

7.1.3.3 控制站内应设有遥控操纵阀的阀位是开位或关位的指示装置,除遥控操纵外,倘若还要求直接手动操纵,阀的所在地应设有能观察阀位的措施。

7.1.3.4 海水进、出口阀,舱底水阀的遥控操纵应能不因其所处舱室进水而丧失功能。