

内河小型甲板渡船运输三轮车 甲板结构局部强度直接计算分析

郭豪

(广西壮族自治区船舶检验中心, 广西南宁 530022)

摘要: 生活在偏远山区及环水孤岛的群众依赖三轮车解决代步和运输生活物资过河、过江的渡运需求非常大。本文以内河小型甲板渡船为研究对象, 建立三维板梁组合有限元模型, 按照三轮车载荷的实际分布情况, 直接计算甲板结构的工作应力, 得出局部强度不满足规范的原因, 对此提出应采取的加强措施, 并验证其满足正常、安全工作的基本要求。

关键词: 甲板渡船; 三轮车; 直接计算; 有限元; 应力

中图分类号: U661.4

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0077—04

内河小型甲板渡船具有建造成本低, 建造周期短, 经济性好的特点, 在我国路网发展相对落后的偏远山区, 尤其在一些四面环水“孤岛”的水域得到广泛应用。随着乡村振兴国家战略的要求, 群众依赖三轮车解决代步和运输生活物资, 再通过渡船渡运的需求日益增大。

然而, 内河小型甲板渡船的甲板结构在设计时按照建造规范^[1]规定的“均布载荷”进行强度校核, 其对于受力均匀的情况是安全的, 而车辆重量作用于甲板的载荷局部应力集中现象突出。船体结构受力复杂, 靠单纯的结构力学分析^[2]难以校核强度, 而有限元方法则能在船体结构强度校核中直接计算应力分布。为此, 本文运用 MSC.Patran 和 MSC.Nastran 软件对内河小型渡船甲板区域受车轮集中载荷的局部强度进行直接计算甲板板格和板架的应力, 并对超出许用应力的结构区域提出进行加强的建议, 为新船的船体结构设计和现有船的结构强度评估分析提供借鉴。

1 研究对象及计算方法

一般来说, 在船体结构强度评估中, 习惯将船体构件按照其受力特点分为四类, 相应的板格应力分为四种成分^[3]。而内河小型渡船船长小于 24m^[4], 主船体梁所受到的波浪载荷和货物载荷等总载荷产生的总弯曲应力水平不大, 但承载车轮下受压的结构板架弯曲应力较大。

因此, 本文将以内河广西标准化甲板渡船进行讨论和研究, 该船型总长 16.00m, 型宽 3.60m, 型深 0.9m, 满载吃水 0.4m, 航行 C 级航区, 按照中国船级社 (CCS) 《钢质内河船舶建造规范》(2016)^[1](以下简称《内规》)

关于结构局部强度直接计算的要求, 评估和分析甲板结构的局部强度。

2 强度分析

2.1 模型范围

根据《内规》的建模原则的要求, 建立三维板梁组合单元的舱段结构有限元模型, 如图 1。

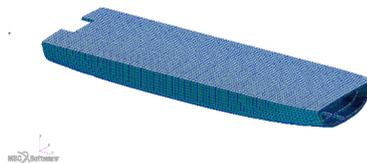


图 1 标准化渡船甲板结构局部强度计算模型范围

2.2 单元和网格

根据《内规》(2016)板梁模型建模原则的要求, 模型以四边形单元为主, 主要构件上的四边形单元边长比不超过 1:2。船体结构板单元的边长以 0.25 倍肋距和 0.25 倍纵骨间距为基准。梁单元全部依板单元的边建立, 所有梁单元均按照实际情况考虑其截面、方向和偏心, 如图 2。

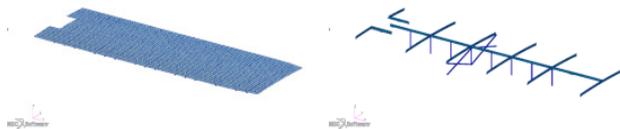


图 2 甲板板、甲板纵桁、强横梁及支柱结构

2.3 材料参数和单元属性

模型材料: $E=2.06 \times 10^5$ MPa; $\mu=0.3$; $\rho=7.85 \times 10^{-9}$ t/mm³。板、梁单元按照基本结构图, 以建造板厚及截面尺寸赋属性, 见表 1。

表1 板单元和梁单元属性

构件名称	板厚或截面 (mm)
强力甲板	4
甲板纵桁、强横梁腹板	4
甲板纵桁、强横梁面板	-4x50
甲板横梁	L40x40x4
支柱	φ32x4

2.4 载荷

计算模型中考虑了以下3种载荷及载荷施加方式:

①车辆轮印负荷,以等效节点力的形式施加在甲板上,重力加速度取 9810 mm/s^2 ,如图3;②舷外水压,局部强度计算模型以“吃水±半波高”的方式计入波浪的影响,如图4;③结构自重,以惯性力施加,重力加速度取 9810 mm/s^2 。

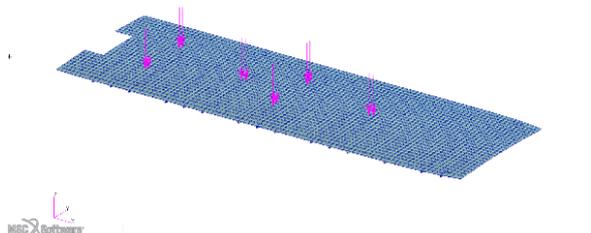


图3 车辆轮印负荷的等效节点力分布

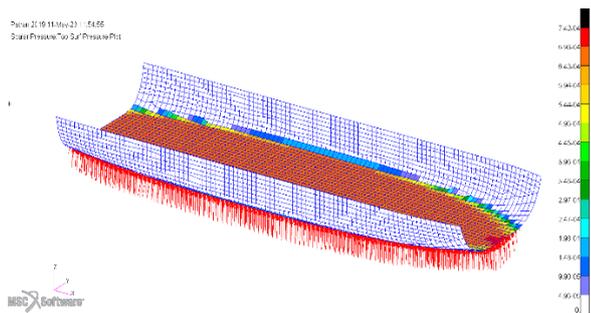


图4 舷外水压力云图

2.5 边界条件

计算模型施加如下边界条件,见图5:

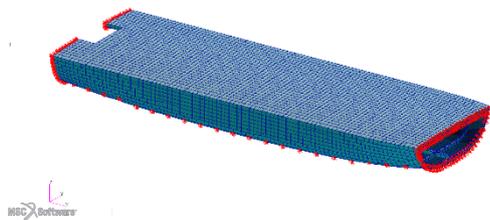


图5 计算模型施加的边界条件

3 许用应力

3.1 强度校核

板单元应采用中面应力^[5]、梁单元采用轴向应力进行强度校核,就本报告所研究的问题而言,根据《内规》1.9.7要求校核下列结构的应力,见表2。

表2 《内规》要求校核的应力

构件名称	应力种类
强力甲板	$[\sigma_a]$ 、 $[\sigma]$ 、 $[\sigma_w]$ 、 $[\tau]$
强横梁	$[\sigma_a]$ 、 $[\sigma_w]$ 、 $[\tau]$
甲板纵桁	$[\sigma_a]$ 、 $[\sigma]$ 、 $[\tau]$
横梁/支柱	$[\sigma]$

3.2 强度衡准

该船型在送审设计之初,按相当0.5m水柱高度的“均布载荷”对其甲板结构的强度进行规范计算校核,如图6,故在相同的计算模型、边界条件下,以施加甲板均布载荷时,结构各应力成分包络值作为许用应力是可靠且偏安全的。

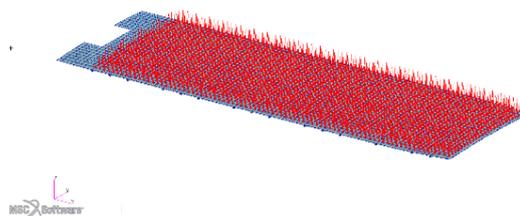


图6 相当500mm水柱高度的甲板载荷分布

3.3 安全许用应力

上述计算条件下,甲板结构的各种应力成分的包络值见表3。

表3 受0.5m水头压力的甲板结构各应力包络值MPa

构件	σ_e	σ_l	σ_w	τ	σ_z
甲板	[13.47]	[12.33]	[12.23]	[7.34]	-
强横梁	[22.50]	-	[22.33]	[11.32]	-
甲板纵桁	[23.83]	[19.35]	-	[10.25]	-
横梁	-	-	-	-	[65.26]
支柱	-	-	-	-	[102.56]

4 校核甲板结构的强度

4.1 计算工况

三轮车与载运货物的总重量以节点力的形式施加在甲板的对应节点上, W_0 为车的整车整备质量, W_1 为承载货物的质量, t ;汽车必须通过专业的汽车渡船渡运,不适用于本文的研究对象,而按照《汽车和挂车类型的术语和定义》^[7],关于三轮汽车的定义为空车质量超过 $0.4t$,因此本文确定4种的计算工况,分别计算得到等效节点力见表4,在模型中施加的载荷云图见图7。

表4 各工况的车轮印负荷等效节点力计算值

工况	W_0 (t)	W_1 (t)	F (N)
LC1	0.4	0	654
LC2	0.4	0.2	981
LC3	0.4	0.4	1308
LC4	0.4	0.6	1635

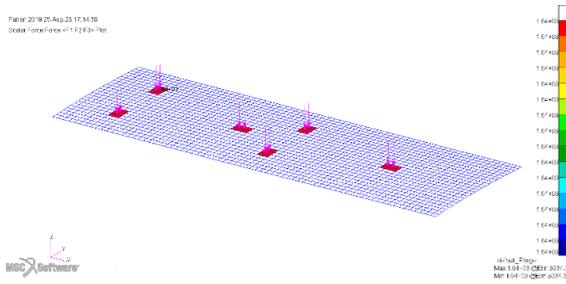


图7 LC4车辆轮印载荷的等效节点力分布云图

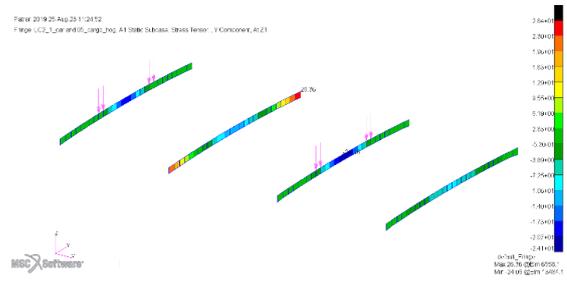


图9 强横梁承载0.6t/台车、航行工况船宽方向应力极值

4.2 最危险状态分析

本文将轮印负荷施加在结构处于最危险状态的位置见表5，以此方式来校核表2所列构件。

表5 各结构构件最危险状态说明

构件	轮印负荷施加位置
甲板、支柱	甲板横梁之间甲板板格的居中位置
强横梁、甲板纵桁、支柱	强横梁
甲板横梁、支柱	甲板横梁

4.3 计算结果

利用MSC.NASTRAN对有限元模型进行计算，表6是按表2列出各构件的应力值以及典型工况的应力结果，并按表3的许用应力值进行衡准。

表6 构件应力表 MPa 及典型工况

构件	工况	应力值	许用值	衡准结果	
甲板	LC2	σ_e	13.35	[13.47]	满足
		σ_l	-3.98	[12.23]	不满足
		σ_w	-14.73	[12.23]	不满足
		τ	7.42	[7.43]	不满足
强横梁	LC2	σ_e	24.93	[22.50]	不满足
		σ_w	-24.06	[22.33]	不满足
		τ	12.79	[11.32]	不满足
甲板纵桁	LC4	σ_e	15.86	[23.83]	满足
		σ_l	12.25	[19.35]	满足
		τ	8.96	[10.25]	满足
横梁	LC4	σ_z	-118.14	[102.56]	不满足
支柱	LC4	σ_z	-54.88	[65.26]	满足

4.4 结果分析

通过表6可以看出在0.6t/台的车辆载荷计算工况下，甲板板格和强横梁的应力值开始出现超出许用值，不难看出这主要是由于甲板上轮印负荷产生的应力集中现象，而导致应力较大的位置主要集中在轮印经过的甲板板格中心以及支柱上方的强横梁和甲板横梁处，见图8至图10。

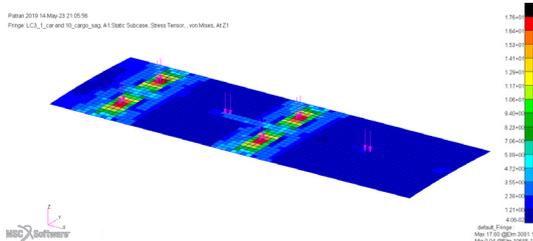


图8 甲板结构承载0.6t/台车、码头工况相当应力极值

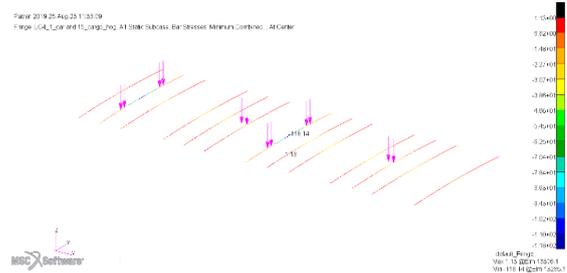


图10 甲板横梁承载1.0t/台车、航行工况合成应力极值

5 工程建议

5.1 结构加强措施

笔者通过实地调研了解到，群众提出的依靠三轮车渡轻量化生活物资的运输，所载货量一般不超0.6t。通过上述对结构局部强度的衡准结果来看，建议采取补强轮印位置的复板以及增加板架下方支柱的措施进行加强，见图11。

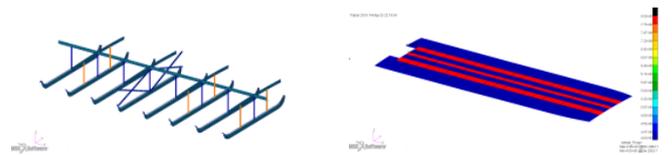


图11 轮印区域增设复板及跨距中点设撑材的加强措施

5.2 加强措施校核

通过上述计算方法和强度标准，校核经加强后采取加强措施的局部强度，计算结果见表7。

表7 构件应力表 MPa

构件	工况	应力值	许用值	衡准结果	
甲板	LC4	σ_e	10.47	[13.47]	满足
		σ_l	-3.41	[12.23]	满足
		σ_w	-10.36	[12.23]	满足
		τ	5.66	[7.43]	满足
强横梁	LC4	σ_e	21.4	[22.50]	满足
		σ_w	-20.63	[22.33]	满足
		τ	10.99	[11.32]	满足
横梁	LC4	σ_z	-97.73	[102.56]	满足

5.3 结果分析

表7计算结果说明，采取上述加强措施，能有效降低应力水平，满足局部强度的安全许用值衡准要求。

船舶减摇技术现状及减摇鳍的应用管理

蒋丛福

(渤海轮渡集团股份有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 船舶减摇技术是提高船舶安全性、舒适性和经济性的重要手段。在海洋工程、军事应用和民用运输等领域, 船舶减摇技术都发挥着至关重要的作用。本文将介绍船舶减摇技术的现状、关键技术以及减摇鳍实例, 以期对相关领域的研究和应用提供参考。

关键词: 船舶减摇; 舳龙骨; 减摇水舱; 减摇鳍

中图分类号: U664.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2025) 05—0080—03

海上航行气候多变, 船舶受到风、浪、流等外部因素扰动, 不可避免的导致船舶发生摇摆和晃动。剧烈的摇摆和晃动不仅会影响船上人员的舒适度, 而且可能导致船舶结构损坏、货物泄漏、导航失灵等问题。为了降低这些不良影响, 船舶减摇技术应运而生。

现代科技的高速发展, 促进了减摇技术的更新换代。船舶减摇产品种类繁多, 按其作用特点分为被动减摇和主动减摇两大类。被动减摇产品主要包括舳龙骨、减摇鳍等, 其特点是结构简单、可靠性高, 但减摇效果有限。主动减摇产品则主要包括减摇陀螺仪、主动抑摇鳍等, 这些产品采用了先进的控制理论和算法, 能够实现更加精准的减摇控制。

1 摇荡运动对船舶性能的影响

船舶摇荡是指因遭受外力作用, 打破其原有平衡状态, 使船舶绕原平衡位置做往复性运动, 因此摇荡对船舶安全性影响很大。

- (1) 使船舶因稳性破坏而倾覆。
- (2) 使船体结构和设备受到损坏。
- (3) 使得货物的重心发生变化, 这将对船舶的安全构成威胁。
- (4) 影响设备及仪表的运转。
- (5) 影响螺旋桨的推进效率, 增加航行阻力。
- (6) 工作和生活条件恶化, 甲板上浪等。

2 减摇技术的应用

为了控制减弱摇荡对船舶的影响, 一方面要在保证船舶操纵安全的前提下合理进行装载, 其次是安装必要的减摇装置。以下是目前几种常见的装置:

2.1 舳龙骨

在构建船只的过程中, 常会在船舶底部外部放置一条长型板, 该板顺着水流动的方向并位于船舶的舳部两侧, 这便是人们熟知的舳龙骨。由于它具有良好的减摇性能、制作简便等优点, 几乎所有类型的船只都配备

6 结论

本文以某型广西内河标准化小型甲板渡船为研究对象, 针对运输农用三轮车这类轻量化货物所导致局部应力集中现象突出的特点, 依据《内规》的要求进行建立有限元模型直接计算, 以设计之初的相当水头压力作用于甲板结构应力成分包络值作为许用值, 得出不满足强度衡准的结论, 并针对轮印负荷产生的应力集中现象, 对此提出了结构应采取补强措施, 并用同样的计算方法进行验证, 说明经加强后的甲板结构强度等效于原设计结构强度, 确保内河小型甲板渡船甲板结构的局部强度、刚度以及稳定性满足正常、安全工作的基本要求。

参考文献:

- [1] 中国船检社. 钢质内河船舶建造规范 2016(第 1 分册)[S]. 北京: 人民交通出版社, 2016.
- [2] 吴梵, 朱锡, 梅志远. 船舶结构力学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [3] 裴志勇, 谌伟, 杨平, 吴卫国. 船体强度与结构设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [4] 中国船检社. 内河小型船舶建造规范 2022[S]. 北京: 人民交通出版社, 2022.
- [5] 张少雄, 李雪良, 陈有芳. 船舶结构强度直接中板单元应力的取法 [J]. 上海: 船舶工程, 2004.
- [6] 汽车和挂车类型的术语和定义 (GB3730.1-2001) [S].