

双体客船上层建筑铝合金结构强度研究

黄燕玲¹, 潘甜¹, 张晓丹²

(1. 武汉市港航管理局船舶检验所, 湖北 武汉 430063; 2. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 上层建筑铝合金结构设计时可以不遵照传统的规范设计法, 而是应用强度理论及 ANSYS 程序或运用 MSC Patran/Nastran 程序进行有限元设计, 这样一方面可以确保设计中所选择的铝合金构件满足强度要求, 另一方面又可以使船舶重量最轻量化。本文以 42.4m 双体观光旅游船为例, 采用 MSC Patran/Nastran 计算铝合金上层建筑结构强度, 得出上层建筑应力分布情况, 证明选取的上层建筑的构件尺寸满足局部强度的要求, 为结构尺寸的设计提供参考。并在其他条件都不变时, 局部改变罗经甲板前围壁与侧围壁连接处(即应力集中处)板厚, 得出板厚与应力的关系, 发现板厚越厚, 此处板的应力减小; 且板厚度较小时, 增加板厚对减小板的应力效果明显, 当板厚度增大到一定时, 增加板厚, 板应力减小幅度并不大。

关键词: 铝合金上层建筑; 结构强度; 数值计算

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 02—0131—03

随着社会的不断发展, 船东对船舶性能的要求越来越高, 但中小型船舶本身质量却是影响船舶性能的一个重要因素。经过对各种造船材料的分析对比, 发现钢质材料具有价格低、易加工成型、易于维修保养、耐碰撞等优点, 因而主船体结构采用钢材较为理想, 可以使其强度、刚度、结构稳定性得到保障。另外铝合金材料具有比重和弹性模量小等优良性能, 作为上层建筑材料对高速船以及军船尤为适用。对于滑行艇、水翼艇、气垫船和冲翼艇等高速船, 重量对航速也很敏感, 如能减轻

船重, 也可有效提高航速。另外, 现代舰艇航海仪器设备和武器装备的增加, 使舰艇上部重量增加, 稳性变坏。因此减轻船重, 降低船舶重心以保证船舶稳性的需求越来越迫切。而采用铝合金作为上层建筑材料来减轻船舶上部重量是一种有效适用的方法^[1]。

由于铝的密度是 2.7t/m^3 , 仅为钢的 $1/3$, 并具有耐海水腐蚀能力强, 无低温脆性等特点, 因此采用铝合金建造的船舶较钢船具有诸多的优点, 如结构重量轻, 相同排水量时可多装载, 在相等航速下所需要的推进功率

如画和挂毯等, 是否必须为不燃材料制成。笔者通过查阅资料、交流后理解如下: ①梯道环围内家具配置, 仅限于座位、储物柜和开放式吧台。其中, 座位应为限制失火危险的家具, 且有数量上限要求。储物柜和开放式吧台必须为不燃材料制成。以上家具的布置均应固定且不能阻塞和妨碍脱险通道。②自动售卖机、电子导航台和公共充电桩, 不属于家具范畴, 属于电子设备类。应在满足使用功能前提下, 尽可能少的布置, 牢固永久固定, 且不能阻塞和妨碍消防通道。关于材质要求未明确, 电子设备至少应具有金属外壳。③梯道环围内装饰花木布置、塑像或其他艺术品, 如画和挂毯等, 该条款未明确材质要求。应为固定且不限脱险通道的宽度, 材质不做要求。

2.5 兼具集合站的装修设计

考虑客滚船梯道环围由于具有较大的甲板面积, 通常在撤离计算中, 将作为集合站考虑, 这就对甲板面积提出了要求。应考虑到船东对客滚船对内部装修方案修改, 时刻关注甲板面积是否被占用, 是否满足要求。

3 结语

船舶内装设计是船舶设计的重要组成部分, 其总体

原则包括适用、合理、安全、舒适、经济。笔者通过对中韩客滚船的建造检验, 基于 SOLAS 梳理了客滚船梯道环围内装修设计应考虑的几个方面问题, 并阐述了部分防火安全方面的要求, 为客滚船梯道环围的内装修设计提供参考。

参考文献:

- [1] 姜海滨, 常红艳. 1300 客位 /1800m 车道客滚船内装修设计 [J]. 江苏船舶, 2007(04):20-21.
- [2] 国际海上人命安全公约 (SOLAS 2020) [Z]. 2020.
- [3] 顾晓阳. 船舶结构防火安全探讨 [J]. 中国水运, 2011(10):52-53.
- [4] 罗超. 船舶生活区梯道环围防火门耐火完整性实例 [J]. 航海技术, 2018(05):69-71.
- [5] IMO, UNIFIED INTERPRETATIONS OF SOLAS CHAP-TER II-2, THE FSS CODE, THE FTP CODE AND RELATED FIRE TEST PROCEDURES, MSC/Circ.1120 IMO, 2004.
- [6] 国际海事组织. 2010 年国际耐火试验程序应用规则 [M]. 国际海事组织, 2010:52.

比钢船要低，其耐腐蚀能力和在低温海域的抗裂性远高于钢制船舶等^[2]。但铝合金的焊后屈服强度相对较低，若船舶采用铝合金建造，需要重点考虑其强度问题。

本文采用直接计算方法研究了铝合金上层建筑结构的强度，得出应力分布情况，为结构设计提供参考依据。并对比了在其他条件都不变时，局部改变罗经甲板前围壁与侧围壁连接处（即应力集中处）板厚，得出板厚与应力的关系，发现板厚越厚，此处板的应力减小；且板厚度较小时，增加板厚对减小板应力效果明显，当板厚度增大到一定时，增加板厚，板应力减小幅度并不大。

1 模型概述

根据《海上高速船入级与建造规范（2005）》以及《国内航行海船建造规范（2009）》（以下简称《海规》）的要求，铝合金上层建筑的强度分析可通过大型有限元分析软件 MSC Patran/ Nastran，施加边界条件和载荷，计算分析获取应力分布和变形规律。

整个模型范围为整个上层建筑。甲板板及围壁结构采用二维 3、4 节点 shell 单元离散，甲板横梁及强横梁、围壁扶强材、加强筋及桁材采用 2 节点梁单元模拟。

2 计算实例

以 42.4m 双体观光旅游船的整个上层建筑为研究对象，双体船总长 42.4m，水线长 39.4m，型深 3.8m，总宽 12.60m，设计吃水 2.1m。主甲板至游步甲板高 2.8m，游步甲板至驾驶甲板高 2.6m，驾驶甲板至罗经甲板高 2.4m。具体有限元模型见图 1。船宽方向为 y 轴，正方向由右舷指向左舷；型深方向为 z 轴，正方向由船底指向甲板；船长方向为 x 轴，正方向由船尾指向船首。

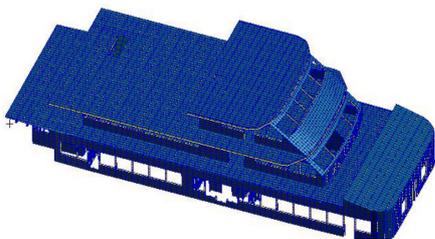


图 1 上层建筑有限元模型

2.1 构件尺寸

游步甲板及下围壁的主要构件的尺寸见表 1。驾驶甲板以及罗经甲板的板厚与游步甲板板厚都完全相同，只是甲板强横梁和强扶强材稍微偏小。

2.2 边界条件

根据《海规》，在围壁结构下缘节点上施加全位移约束： $\mu_x = 0$ 、 $\mu_y = 0$ 、 $\mu_z = 0$ 、 $\theta_x = 0$ 、 $\theta_y = 0$ 、 $\theta_z = 0$ ，即刚性固定。

表 1 游步甲板及下围壁主要构件尺寸

构件名称	板厚 / 构件尺寸 (mm)
甲板板	4
围壁板	5
甲板纵骨、横梁	L 50×32×4
甲板纵桁、强横梁	T 8×250/10×140
横向内围壁扶强材	L 50×32×4
纵向内围壁扶强材	L 75×50×6
侧围壁扶强材	L 100×63×6
前后围壁扶强材	L 75×50×6
围壁强扶强材	T 5×200/8×100

2.3 计算载荷

按《海规》第 2 篇第 2 章第 8 节的相应甲板设计载荷计算，将所选定的计算压头 h(m)，按 $p=7.06h$ 转化为 MPa 为单位的设计压力。各层甲板及围壁计算载荷见表 2。

表 2 各层甲板及围壁计算载荷

区域	计算压头 (m)	计算压力 (MPa)
游步甲板	0.9	0.00635
驾驶甲板	0.6	0.00424
罗经甲板	0.45	0.00318
游步甲板下前围壁	3.0	0.02118
其他外围壁	1.5	0.01059

2.4 许用应力

本船上层建筑为耐腐蚀高强度铝合金，弹性模量 $E = 0.7 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ，泊松比 $\nu = 0.3$ ，密度 $\rho = 2.7 \text{ t/m}^3$ 。所有板材 5083H₃₂₁，其 $\sigma_{0.2} = 215 \text{ MPa}$ ，型材 6082T₆， $\sigma_{0.2} = 240 \text{ MPa}$ 。按照《海规》中许用应力的有关规定，板材许用应力 $[\sigma] = 0.75\sigma_{0.2} = 161.25 \text{ MPa}$ ，骨材的许用应力为 $[\sigma] = 0.75\sigma_{0.2} = 180 \text{ MPa}$ ，其中 $\sigma_{0.2}$ 为铝合金交货状态下的规定非比例伸长应力。

3 计算结果分析

第一层游步甲板、第二层驾驶甲板以及罗经甲板的板材的最大相当应力和骨材的最大合成应力见表 3。由表 3 可知，所有的板材和骨材的应力值都小于许用应力值，即上层建筑的构件尺寸满足局部强度的要求。各层板和骨材的应力图见图 2~4。

表 3 板及骨材的最大应力值 (MPa)

名称		最大计算应力	许用应力
游步甲板	板材	72.8	161.25
	骨材	160	180
驾驶甲板	板材	98.6	161.25
	骨材	174	180
罗经甲板	板材	97	161.25
	骨材	129	180

由图 2 可知，游步甲板及下围壁的板的最大相当应力发生在横舱壁与甲板连接处，最大合成应力在甲板强横梁上，且应力最终由强骨架和横舱壁承受。驾驶甲板及下围壁的板的最大相当应力发生在侧围壁开口处，此处也正是结构最弱处，设计时应考虑局部加强。罗经甲

板及下围壁的板的最大相当应力发生在前围壁与侧围壁连接处, 由于前围壁和侧围壁窗子的开口, 此处的结构相当薄弱, 应力集中, 设计时应考虑加强。

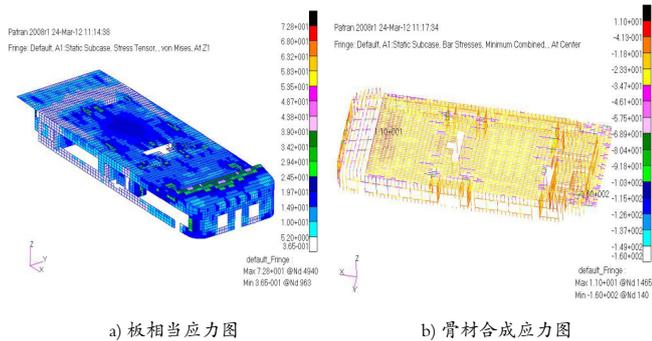


图2 游步甲板及下围壁

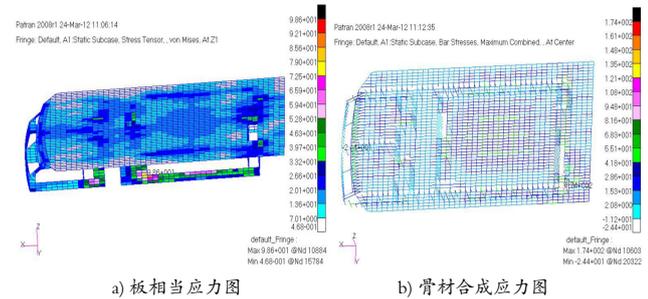


图3 驾驶甲板及下围壁

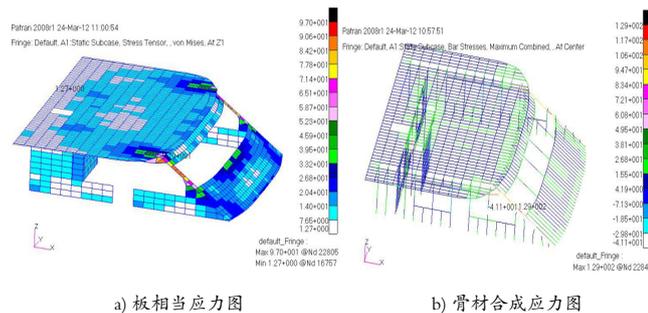


图4 罗经甲板及下围壁

当载荷以及其他条件都不变时, 只是局部改变罗经甲板前围壁与侧围壁连接处的板厚(即应力集中处)时, 计算发现其他结构不变处的应力几乎不变, 板厚变化处应力有明显变化, 厚度改变处板和骨材的应力随此处板厚度改变的关系如图5~6。由图5可知, 板的厚度越厚, 此处板的相当应力越小, 可是随着板的厚度增加, 应力的减小幅度越来越小。即在板厚度较小时, 增加板厚可以明显的减小板的应力, 当板厚度增大到一定时, 通过增加板厚来减小板的应力效果不明显。由图6也可知, 当骨材尺寸不变时, 增大板的厚度可以减小此处骨材应力, 但当板的厚度增大到一定时, 骨材应力的减小变得越来越平缓。

4 结论

根据以上计算结果可知本船上层建筑按直接计算校核的构件及板材, 其尺寸及厚度满足局部强度的要求。同时通过仿真分析发现:

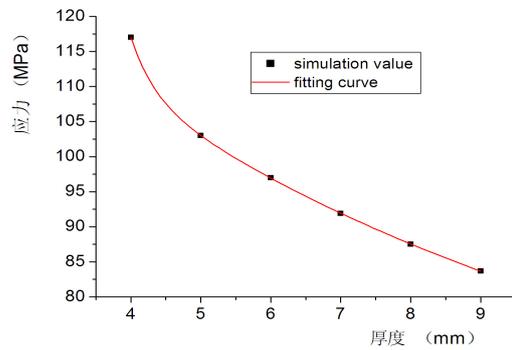


图5 板的应力与厚度关系图

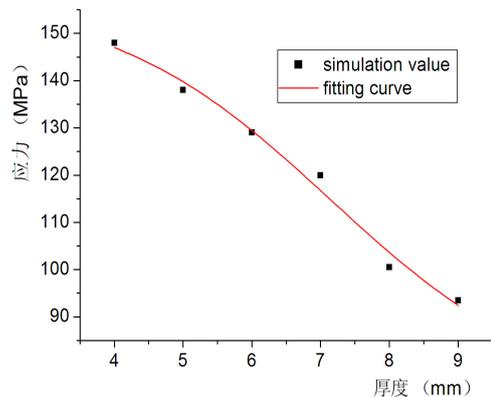


图6 骨材的应力和板厚的关系图

- (1) 结构主要由强构件和横舱壁承担应力。
- (2) 最大应力发生在大的开口处(即结构薄弱处), 设计时应考虑此处的结构加强。
- (3) 当其他条件都不变时, 局部改变应力集中处板厚时, 发现板厚越厚, 此处的应力减小; 且板厚度较小时, 增加板厚对减小板的应力明显, 当板厚度增大到一定时, 增加板厚, 板应力减小效果并不明显。

参考文献:

- [1] 王世杰. 上层建筑铝合金结构尺寸的优化设计 [J]. 江苏船舶, 2010, 27(06): 18-19+22.
- [2] 崔立. 铝合金舰船结构设计中相关问题探讨 [J]. 航海工程, 2008, 37(06): 36-37.
- [3] 中国船级社. 海上高速船入级与建造规范 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [4] 管义锋, 黄涣青, 谷家扬, 马卫泽. 双体铝合金高速客船强度有限元分析研究 [J]. 船舶工程, 2011, 33(06): 14-17.
- [5] 中国船级社. 国内航行海船建造规范 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.