

起重船船体结构强度有限元分析

刘健中

(中国船级社质量认证公司南京分公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 起重船作为一种工程船舶, 由于其起重作业要求, 船体结构局部区域受力集中且分布不均匀, 因此对船体结构强度的要求比较高。本文针对某 58m 沿海航区起重船, 运用 MSC.Patran/Nastran 有限元计算软件, 计算其起重作业工况下的局部结构强度, 分析应力分布规律, 对该类型船舶的结构设计具有参考意义。

关键词: 局部强度; 起重船; 有限元分析

中图分类号: U674.35

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 09—0115—03

起重船作为一种常见的工程船舶, 承载着吊装、打捞沉船、装卸货物等水上工程任务。起重船按照航行方式可以分为自航式与非自航式。非自航式起重船常以驳船的形式出现。按船体数可以分为单体与双体起重船两种。双体起重船是由两个单船体通过连接桥连接, 相较于单体船具有稳定性好、横摇周期短、操纵灵活、起重量大等优点。按照起重机的作业特点可以分为固定式、半回转式、全回转式。固定式起重船的起重臂不能水平旋

转。全回转式起重船的起重臂能够通过起重机底座进行 360° 旋转, 作业方式更加灵活。起重臂由钢结构组成, 通常可在垂直方向进行起升、变幅。可见全回转式起重船在作业工况上会更加复杂。其总体受力大, 局部区域受力集中, 对船体结构、起重机回转底座的强度储备要求很高^[1]。

近几十年来随着海洋工程技术的进步, 起重船有了很大发展, 首先起重船的用途逐渐向海洋工程服务发展。

其次是船舶造价和利率。因此, 在船舶建造期间, 应控制好造价; 在船舶营运期间, 应合理设计航线, 采用经济航速等措施, 降低必要运费率。

6 结论

本文针对水电枢纽回水变动段进行水域特征分析及现行船舶分析, 以此为基础研发设计具有“小尺度、大拖力”特点的新型助航顶推船, 最终确定新型顶推船主要船型要素, 船长为 45m, 船宽为 10.8m, 吃水为 2.0m, 干舷为 0.9m, 航速为 14km/h, 船舶造价为 129.382 万元, 并对其进行成本分析及敏感性分析, 根据分析结果为其运营提出相应建议, 为解决回水变动段船舶通航问题及提升船舶航行经济性的进一步研究奠定理论基础。

参考文献:

- [1] 唐荣婕, 陈立, 杨阳, 等. 三峡水库变动回水区三角碛浅滩冲淤与碍航特性分析 [J]. 水运工程, 2015, 2(1): 109-113.
- [2] 董明玉, 张立, 邢磊. ATB 顶推驳船的快速性研究 [J].

船舶物资与市场, 2019, 6(10): 34-36.

[3] 张培超. 整体连接顶推驳船在几内亚 Fataha 河的应用 [J]. 航海技术, 2020, 11(6): 4-5.

[4] 贵州省交通运输厅. 贵州省水运发展规划 (2012-2030 年) [Z]. 贵州省: 贵州省交通运输厅, 2012.

[5] 中华人民共和国海事局. 内河船舶法定检验技术规则 [Z]. 北京: 中华人民共和国海事局, 2018.

[6] DB5/T811-013, 贵州省乌江货运船舶 (队) 标准船型主尺度系列 [S]. 贵州省: 贵州省质量技术监督局, 2013.

[7] 中华人民共和国交通运输部. 川江及三峡库区运输船舶标准船型主尺度系列 [Z]. 北京: 中华人民共和国交通运输部, 2010.

基金项目: 重庆市研究生科研创新项目 (CYS19222)。

例如海底油气管道铺设、海上大型桥梁建设、海洋平台、海上风机的吊装、海难事故救援等都要依靠起重船。二是起重船的作业水域由内河转入近海。三是起重船逐渐趋于大型化。四是起重船的功能性多样化。准确的起重船船体结构强度计算方法为该类型船舶的结构设计提供理论数据支撑，为其结构的优化提供指导意义。

本文以某沿海航区 58m 全回转起重船为例，按照中国船级社《国内航行海船建造规范》《船舶及海上设施起重设备规范》的要求，使用 MSC.Patran/ Nastran 对起重船船体结构进行强度计算。

1 船体结构有限元模型

1.1 结构模型

1.1.1 目标船主要参数

本文以某沿海航区 58m 全回转起重船为例，进行局部结构强度计算。该船总长 58.00 m，垂线间长 56.00 m，型宽 20.80 m，型深 4.08 m，设计吃水 2.00 m。主钩起吊重量起吊高度：50m。全回转：200t。副钩起吊重量，起吊高度：60m。全回转：50t。航区：沿海。

1.1.2 有限元结构模型

本文按照《国内航行海船建造规范》中相关规定，采用子结构建模技术对目标船进行建模。该船船体模型的结构为左右对称结构。模型横向范围选取到船体内舷侧，舱段模型的纵向范围从 #63 肋位到 #102 肋位。垂向范围为整个型深。船体钢材屈服强度 $\sigma_s=235\text{MPa}$ ；材料的弹性模量 $E=2.06 \times 10^5\text{MPa}$ ；泊松比 0.3；密度 7.85t/m^3 。船体结构模型如图 1~ 图 3 所示。

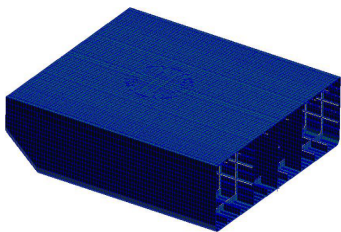


图 1 舱段模型

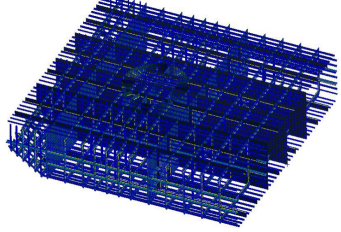


图 2 舱段模型（隐去船体外板）

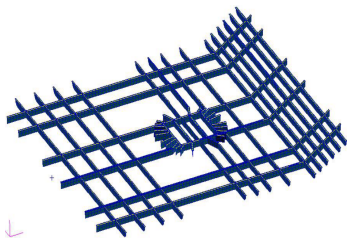


图 3 船底桁材加强结构

1.1.3 坐标系

本模型坐标系为：坐标系统的原点取在 #63 肋位船体舳甲板处。X 轴指向船首为正；Y 轴由原点指向左舷为正；Z 轴垂直向上为正。

1.1.4 边界条件

模型的两端（简称 A 端和 B 端）均需约束。

1.2 工况及载荷

1.2.1 计算工况

根据《船舶与海上设施起重设备规范》及完整稳性计算书考虑以下 2 种工况：

工况 1：全部燃料备品 30° 的变幅（吊杆沿船长方向）。

工况 2：全部燃料备品 30° 的变幅（吊杆沿船宽方向）。

1.2.2 载荷计算

根据《船舶与海上设施起重设备规范》将计算载荷加在基座构建模型的最顶端，且合力的作用位置应设在加载断面的几何形心处，采用 MPC（多点约束/主从节点）方式进行加载^[2]。作业时当正横且变幅 30 度时产生最大倾侧力矩 M_{max} 。载荷详见表 1。加载模型见图 4~ 图 5。

表 1 载荷

工况	合力 (N)	方向	弯矩 (N·m)	方向
1	3924000	-z	84296251	+y
2	3924000	-z	84296251	-x

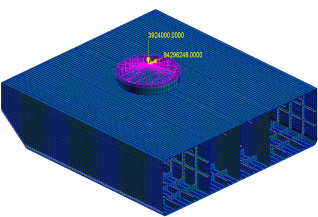


图 4 LC1 加载模型

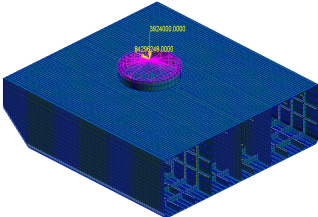


图 5 LC2 加载模型

2 分析结果

起重船分段的强度有限元应力汇总见表 2。结构强度分析结果如下：

（1）分段应力最大位置出现在工况 2，即吊杆沿

船宽方向起吊作业时，基座圆筒与船底板 90 号肋位附近相交位置。该工况下船体横向构件如横舱壁、肋骨等承受了较大应力，可见横向吊装时船体横向构件对载荷起到了很好的分担作用。

(2) 工况 1 即纵向吊装作业时，船体的最大应力位置出现在中纵舱壁与 96 号肋位船底实肋板相交处。纵向吊装作业时，船体的纵向构件如纵舱壁在结构强度中起到了重要作用。

(3) 分段模型应力较大位置均在起重机基座附近连接的船体结构上。得益于起重机基座下方的结构加强设计，如交叉穿过基座圆筒的横、纵舱壁，加厚的基座圆筒、横纵舱壁板，甲板、底板处的八爪支撑结构，都保证了船体关键部位的结构强度储备。但仍建议该区域甚至向外延伸区域甲板和底板也进行板厚加强。

表 2 有限元分析应力结果汇总

构件	最大应力 (MPa)	工况		相当应力 最大工况及位置
		LC1	LC2	
甲板板	σ_x	131	71.6	LC2 : Fr90 ~Fr91 肋位，基座圆筒与甲板板相交处附近
	σ_y	31.8	108	
	τ_{xy}	60.5	76.5	
	σ_{cp}	123	135	
船底板	σ_x	102	83.6	LC2 : Fr90~Fr91 肋位，基座圆筒与船底板相交处附近
	σ_y	62.7	92.8	
	τ_{xy}	76.5	89.1	
	σ_{cp}	133	157	
舷侧板	σ_x	13.0	51.9	LC2 : Fr100~Fr101 肋位，舷侧与距船底 2550mm 舷侧纵桁相交处附近
	σ_z	6.67	28.7	
	τ_{xz}	14.1	54.9	
	σ_{cp}	24.8	96.2	
纵舱壁板	σ_x	98.4	76.6	LC1 : Fr96 肋位，中纵舱壁与船底实肋板相交处附近
	σ_z	115	72.8	
	τ_{xz}	80.9	67.0	
	σ_{cp}	150	118	
横舱壁板	σ_z	19.6	127	LC2 : Fr85 肋位，横舱壁与基座圆筒相交处附近
	σ_y	28.3	82.1	
	τ_{yz}	36.4	76.8	
	σ_{cp}	63.9	152	
基座	σ_{cp}	137	147	LC2 : Fr85 肋位，横舱壁与基座圆筒相交处附近
甲板纵桁强横梁	σ_{cp}	77.0	98.2	LC2 : Fr87 肋位，基座圆筒强横梁与甲板强横梁相交处附近
船底纵桁肋板	σ_{cp}	119	67.7	LC1 : Fr96，距舯 1710mm 船底纵桁与实肋板相交处附近
舷侧纵桁、强肋骨	σ_{cp}	8.66	30.4	LC2 : Fr100~Fr101 肋位，舷侧与距船底 2550mm 舷侧纵桁相交处附近
纵舱壁垂直、水平桁	σ_{cp}	29.8	27.8	LC1 : Fr100~Fr101 肋位，中纵舱壁与距船底 2550mm 中纵舱壁纵桁相交处附近
横舱壁垂直、水平桁	σ_{cp}	22.6	19.9	LC1 : Fr85，距基线 1450mm 横舱壁水平桁与基座圆筒相交处附近

表中： σ_x ——板单元 X 方向正应力； σ_y ——板

单元 Y 方向正应力； σ_z ——板单元 Z 方向正应力； τ_{xy} ——板单元 XY 方向剪应力； τ_{xz} ——板单元 XZ 方向剪应力； τ_{yz} ——板单元 YZ 方向剪应力； σ_{cp} ——板单元相当应力； σ_z ——梁单元组合应力。

3 结论

本文以某 58m 沿海起重船为例，运用子建模技术，对船体分段进行建模计算，详细分析了起重作业工况中船体应力分布规律。起重机基座位置的船体结构是制约其大型化发展的主要难题，通过可靠的有限元计算，为起重船初步设计时结构优化提供数据支持，对该类型船舶的结构设计提供指导性建议。

参考文献：

[1] 马亮, 蒋晟梧, 李明明. 起重船旋转吊机的布置及支撑结构设计 [J]. 广东造船, 2021, 40(02): 30-33.
 [2] 王佚, 张少雄, 张华. 锚机支撑结构局部强度两种直接计算方法对比 [J]. 船海工程, 2015, 44(06): 50-54+59.
 [3] 国内航行海船建造规范 [S].
 [4] 船舶与海上设施起重设备规范 [S].

