

船舶上层建筑整体吊装强度有限元分析

张延昌, 王自力, 罗广恩

(江苏科技大学 船舶与海洋学院, 镇江 212003)

摘 要: 利用 MSC.Nastran 软件对 105000DWT 油船上层建筑吊装前 (A 甲板的围壁约束) 以及整吊两种工况下结构在自重作用下的响应进行了有限元分析, 合成得到了吊装引起的上层建筑的结构响应。计算分析表明文中提出的吊装方案可行, 结构响应满足强度要求。通过有限元计算分析得到的有关结论可用于指导大型上层建筑吊装方案的设计及优化; 根据结构响应的特点可提出合理有效的结构加强措施, 保证整体吊装的顺利完成。

关键词: 船舶; 船舶建造; 上层建筑整体吊装; 强度分析; 有限元

中图分类号: U671.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2006) 03-0062-04

FE analysis of the complete lifting and mounting strength of ship superstructure

ZHANG Yan-chang, WANG Zi-li, LUO Guang-en

(School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: It is essential to study assembly of prefabrication systemically. Utilizing the software MSC. Nastran, the FE analysis of the response of 105000DWT tanker's superstructure under the effect of the dead weight in the two cases of before lifting and mounting (constraint of Deck A's trunk bulkhead) and the complete lifting and mounting is performed. Then the two analyzed results are combined and the response of superstructure caused by lifting and mounting is obtained. The calculation and the analysis show that the lifting and mounting project is available and the response of superstructure meets the requirement of strength. The results can be used to guide the design and optimization of large lifting and mounting project. According to the characteristics of the response of superstructure, reasonable and available measures of structure strengthening can be put forward, which will ensure successful complete lifting and mounting.

Key words: ship; shipbuilding; complete lifting and mounting of superstructure; strength analysis; finite element (FE)

0 引言

船舶上层建筑整体吊装已有二十多年的历史, 随着上层建筑吊装前预舾装程度的逐步提高, 整体吊装无疑会大大提高劳动生产效率, 缩短船舶建造周期, 降低造船成本。但船舶大型化以及预舾装程度的提高使上层建筑整体分段的尺寸、重量越来越大, 刚性则小, 因此, 上层建筑的整体吊装变得更加困难。设计合理的吊装方案, 并对上层建筑结构进行有限元强度分析是顺利实施吊装的关键。

目前, 国内各大船厂都采用了上层建筑整体吊装,

但在提高舾装程度的同时, 对上层建筑的结构进行强度分析是至关重要的。本文以 105000DWT 油船的上层建筑为研究对象, 利用 MSC.Nastran 软件对其进行吊装时的强度进行有限元分析。

1 上层建筑基本情况及有限元模型

1.1 上层建筑基本情况

105000DWT 油轮的上层建筑共有五层, 自上而下分别为: 罗经甲板、驾驶甲板、C 甲板、B 甲板、A 甲板。整个上层建筑长 18.0m (Fr29⁻²⁰⁰⁰~Fr49)、宽 42.0m

收稿日期: 2005-05-11; 修回日期: 2005-08-19

作者简介: 张延昌 (1977-), 男, 硕士, 助教, 主要从事船舶结构力学课程教学及船舶结构强度、碰撞方面分析研究。

(上层建筑的左右舷围壁间距 26.24m)、高 13.9m. 上层建筑各层甲板采用横骨架式, 在船舳靠右舷设楼梯通道, Fr29、Fr47 肋位分别设围壁板, Fr35、Fr38 肋位分别设壁板; 肋距 800mm, 纵骨间距 820mm; 上层建筑结构全部采用普通碳素钢, 船体重量为 348.4 t, 其它构件的重量、重心数据见表 1.

表 1 上层建筑及其各部分的重量、重心

构件	重量/t	重心坐标/m		
		X	Y	Z
船体	348.4	30.54	0.006	29.16
舾装	15.4	28.30	5.77	30.71
管系	16.8	29.75	1.21	28.0
暖、空、通	17.1	36.34	-5.05	29.31
居装	170.7	30.4	0	28.5
电装	25.2	31.83	-0.95	29.15
上层建筑	593.6	30.64	-0.04	28.98
上层建筑结构模型	420.9	30.8	-0.03	29.19

1.2 上层建筑有限元模型

1.2.1 上层建筑结构有限元模型

利用 MSC.Patran 软件对上层建筑船体结构建立结构有限元模型. 上层建筑整体有限元模型如图 1 所示. 参考中国船级社《船体结构强度直接计算指南》选取有限元网格尺寸; 有限元模型中的板材均为平板, 板材采用四节点四边形板单元; 横梁、纵骨、纵桁采用梁单元模拟. 模型共有 30339 个节点、43953 个单元.

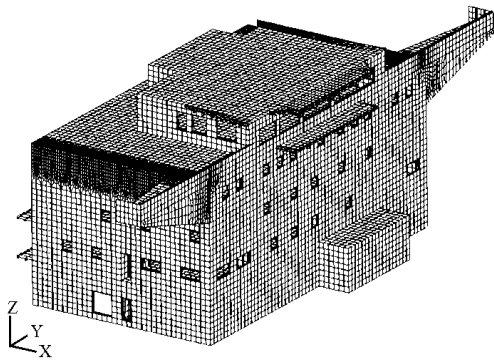


图 1 105000DWT 油轮上层建筑整体结构有限元模型

1.2.2 质量模型

本文研究船体结构在承受船体、舾装件、居装件等重力作用下的应力与变形. 通过定义全船结构有限元模型中构件单元的尺寸和密度, 可以由程序自动计

算船体结构构件钢材自重; 居装件重量主要是甲板敷料的重量, 它以分布力的形式施加到相应的甲板 (主要为驾驶、C、B、A 四层甲板); 其余构件重量相对较小, 以加大结构密度的方式予以考虑. 调整结构的重量、重心, 使其与实际结构的重量、重心相一致.

1.2.3 边界条件

本船上层建筑整体吊装方案中吊马布置在左右舷 13120 围壁上. 由于吊点布置数量较多, 在有限元模型中约束处理采用左舷 13120 围壁上缘约束 x 、 y 、 z 三方向的位移; 右舷 13120 围壁上缘约束 x 、 z 两方向的位移. 在计算分析结构在在吊装前由于重力作用引起的结构响应时, 有限元模型的约束处理采取 A 甲板下纵横围壁下缘完全刚性约束, 即约束 x 、 y 、 z 三方向的平动和转动.

2 上层建筑吊装强度有限元分析

2.1 上层建筑吊装强度有限元计算简介

吊装前后上层建筑结构的变化主要是约束的变化, 吊装前结构放置于平台胎架上, A 甲板的围壁与胎架接触, 结构重量通过 A 甲板的围壁传至地面; 在吊装过程中结构重量通过驾驶甲板左右舷壁板上的 16 个吊马传至缆绳. 这两种状态下, 结构自重都是引起其变形的主要因素, 值得注意的是吊装过程中的结构变形并不是 A 甲板的围壁约束时, 结构在自重作用下的变形也不同于吊装过程中的结构变形, 而是两种状态结构变形的合成. 因此, 本文将分别分析吊装前 (A 甲板的围壁约束) 结构在自重作用下结构的响应以及分段整吊时结构在自重作用下的响应, 最后合成得到吊装引起的上层建筑的结构响应.

2.2 吊装前上层建筑结构响应分析

吊装前, A 甲板围壁下端完全刚性约束, 惯性载荷取 $a_z = g = 9.8\text{kgm/s}^2$, 其余方向为 0. 将有限元模型调入 MSC.Nastran 计算, 得到上层建筑吊装前部分结构的应力与变形分别见表 2、表 3.

2.3 整吊时上层建筑结构响应分析

吊装方案中左右舷 13120 纵壁板上缘板厚临时加厚, 并有肘板临时加强, 在研究各层甲板的响应时, 可以忽略吊装过程中引起的吊马局部响应, 在有限元约束处理时取驾驶甲板左右舷壁板整个板边约束; 由于上层建筑 A 甲板下沿在未割尽零星固定支撑而起吊瞬间, 考虑其冲击载荷的影响在计算吊装时的惯性载荷, 在型深方向取 $a_z = 1.1g = 1078\text{kgm/s}^2$, 其余方向为 0. 计算得到结构的应力与变形图分别见图 2、图 3; 上层建筑吊装引起的最大应力与变形见表 2、表 3.

表 2 吊装引起的上层建筑结构构件应力值/N·mm⁻²

结构构件		应 力			应力（吊装引起的）最大值位置
		吊装前结构应力	吊装时结构应力	吊装引起的应力最大值	
罗经甲板结构	甲板	0.49	8.19	7.71	Fr35、L9 附近
	Fr47	3.12	33.79	30.67	L16 近驾驶甲板
驾驶甲板结构	甲板	0.86	29.09	28.24	Fr35、L16 附近
	Fr38	1.67	32.73	31.06	L11 中部
	Fr47	1.99	27.73	25.73	L16 近驾驶甲板
	13120 左舷	0.66	82.31	81.65	Fr45 吊耳上缘
	围壁 右舷	1.10	39.68	38.58	Fr31 吊耳上缘
C 甲板结构	甲板	0.77	14.77	13.94	Fr38、L10 附近
	Fr38	0.90	29.77	28.87	L10 附近中部
	Fr47	2.51	15.86	13.35	L13 附近下部
B 甲板结构	甲板	0.45	14.19	13.73	Fr38、L11 附近
	Fr38	0.45	27.32	26.88	L10.5 中上部
	Fr47	5.01	20.31	15.30	L12 中部
A 甲板结构	甲板	1.23	16.51	15.28	Fr47、L7 附近
	Fr38	2.1	12.21	14.36	L11 上部
	Fr47	1.1	77.19	79.09	船中下部
	其余围壁	1.35	67.21	65.8	L0.5 围壁 Fr47 下部
上层建筑汇总	应力最大值	-	82.31	81.65	驾驶甲板左舷 13120 围壁 Fr45 附近

表 3 吊装引起的上层建筑结构构件变形值（位移/mm）

结构构件		位 移			吊装引起的位移最大值位置
		吊装前结构位移	吊装时结构位移	位移最大值	
罗经甲板结构	甲板	0.08	1.83	1.75	Fr32、L3 附近
	Fr47	0.10	1.41	1.31	L1 下部
驾驶甲板结构	甲板	0.07	1.83	1.75	Fr32、L3 附近
	Fr38	0.07	1.72	1.65	船中下部
	13120 左舷	0.07	1.13	1.06	Fr38 中部
	围壁 右舷	0.05	1.00	0.95	Fr35 下部
C 甲板结构	甲板	0.05	1.74	1.69	L0.5、Fr35 船中部
	Fr38	0.05	1.73	1.68	船中下部
	其余围壁	0.04	1.75	1.71	L0.5 围壁、Fr35 下部
B 甲板结构	甲板	0.04	1.75	1.71	Fr35 船中
	Fr47	0	3.46	3.46	L0.5 中部
	其余围壁	0.03	1.76	1.73	L0.5 围壁、Fr35 下部
A 甲板结构	甲板	0	17.30	17.30	Fr50 靠船中
	Fr47	0	25.24	25.24	L1 下部
	Fr50	0	28.04	28.04	靠船中下部
	其余围壁	0	25.21	25.21	L1 围壁、Fr50 下部
上层建筑汇总	最大位移	—	28.04	28.04	Fr50、靠船中下部

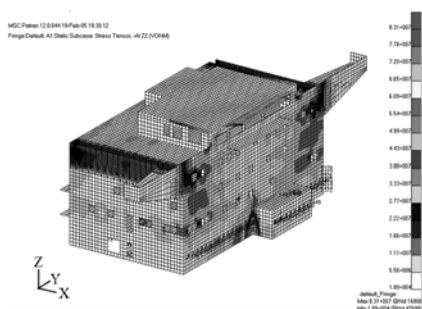


图2 吊装时上层建筑结构应力云图

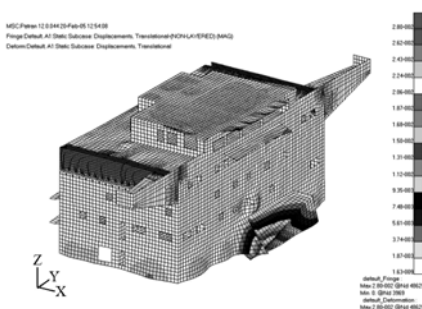


图3 吊装时上层建筑结构变形云图

2.4 吊装引起的结构响应分析

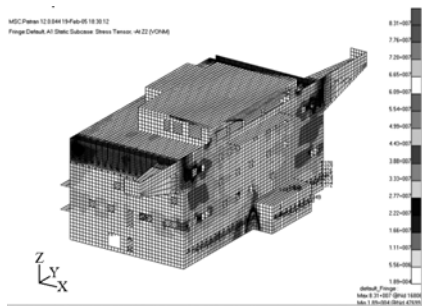


图4 吊装引起的上层建筑结构应力云图

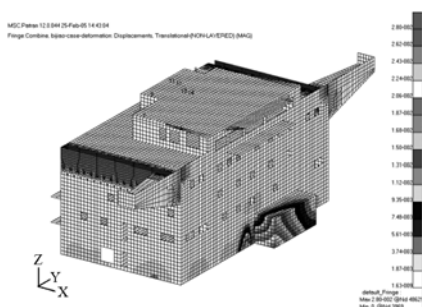


图5 吊装引起的上层建筑结构变形云图

吊装引起的结构应力即 2.3 讨论的吊装时的结构应力. 吊装引起的结构变形不是 2.2 讨论的 A 甲板围壁下端约束时的结构变形, 也不同于 2.3 讨论的吊装过

程中的结构变形, 而是两种工况下结构变形的合成, 应用 2.2 及 2.3 的计算分析结果进行后处理, 合成得到吊装引起的结构响应. 吊装引起的结构应力与变形分别参见图 4、图 5; 上层建筑部分应力、变形值参见表 2、表 3.

3 结论及优化建议

本文通过建立 105000DWT 油船上层建筑整段有限元模型, 分别计算上层建筑整体结构在吊装前由于重力载荷作用而引起的结构响应, 以及上层建筑整体吊装过程中引起的结构响应, 计算得到上层建筑构件的应力与变形水平, 并进行结果处理得到上层建筑结构因吊装引起的结构应力与变形. 通过对计算结果的分析与研究, 可对该船上层建筑整体吊装时的结构强度特点、吊装方案、临时加强措施等进行分析总结, 并进一步提出优化建议. 由本文研究可得到以下结论:

1) 计算表明上层建筑在吊装前、吊装时结构应力的最大值为 82.31N/mm^2 , 结构强度满足要求; 结构的高应力主要出现在门窗开孔角隅附近、纵横强构件间断处和悬臂构件的根部.

2) 上层建筑在吊装前、吊装引起的大部分结构相对变形不大, 小部分区域变形较大, 需要加强.

3) 由于吊装引起的结构的相对最大应力水平为 81.65N/mm^2 , 出现在吊马布置的局部位置, 因此有必要对吊马进行强度评估, 限于篇幅, 该部分内容省略.

4) 应对应力、变形水平相对较高的区域采取必要的临时加强措施. 如: 对 A 甲板下 Fr47~Fr50 结构在 Fr47 肋位前船中靠底部设临时支撑, 或者将 Fr47~Fr50 结构分开吊装; A 甲板下纵、横围壁的开口下缘设临时支撑; 在吊马两端改为均匀过渡, 这会减小该处的应力集中.

参考文献:

- [1] 陈铁云, 陈伯真. 船舶结构力学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1990.
- [2] 中国船级社. 船体结构强度直接计算指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [3] 刘兵山, 黄聪. Patran 从入门到精通[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [4] 龚恢. 大型上层建筑的整体吊装[J]. 船舶, 1999 (3): 27-31.
- [5] 杨永谦, 黄贻平等. 29000t 货船上层建筑整体吊装应力与变形计算[J]. 武汉交通科技大学学报, 1994 (3): 301-306.