

基于 ANSYS 的大型浮吊结构有限元分析

撰文 / 大连华锐重工集团股份有限公司设计研究院 王蕾 齐桂营 王伟

本文基于通用有限元软件 ANSYS 对深水半潜式起重铺管船用 $2 \times 8000\text{t}$ 全回转起重机结构进行有限元分析, 根据规范要求对其强度、刚度和稳定性进行校核, 为结构的进一步优化提供理论指导和有效依据, 同时也为同类设备以及配套项目的相关研究提供参考。

一、引言

近年, 海洋工程、海上运输等产业的兴起, 促使与之配套的大型浮式起重机 (简称浮吊) 迅速发展。跨海大桥及海洋石油开发平台的建造、大型海洋装备的运输及安装等工程, 不仅对浮吊起重量和起升高度的要求大大提高, 而且要求其具有远洋自航能力。

本文所研究的深水半潜式起重铺管船用 $2 \times 8000\text{t}$ 起重机按照相关海工标准和规范中的重型起重机标准进行设计, 但起重量和回转起重力矩等各方面技术参数已远超现有起重机, 并且作业海况 (中国南海) 与相关标准中的规定无法完全吻合, 为保证该起重机的作业安全性, 需要通过仿真技术对该起重机结构进行分析和验证。

1. 结构设计特点

本次研究的起重机具有起重量大、工作幅度大、工作速度快、深水作业以及全回转等特点, 铺管船上安装有两台 8000t 起重机, 可以单独或者联合作业, 每台起重机配有两个 4000t 主钩、一个 1000t 副钩和一个 200t 小钩, 最大作业水深 3000m , 主要作业海域为中国南海。

2. 本文主要工作

本文工作内容主要有以下五项。

(1) 基于 ANSYS 商用软件, 建立深水半潜式起重铺管船用 $2 \times 8000\text{t}$ 起重机有限元模型。

(2) 按照 CCS 标准进行载荷定义、载荷计算以及载荷组合。

(3) 对起重机结构进行有限元分析, 提取各工况下的结构应力和位移分布。

(4) 根据起重机设计规范, 校核各关键部位强度、刚度及稳定性。

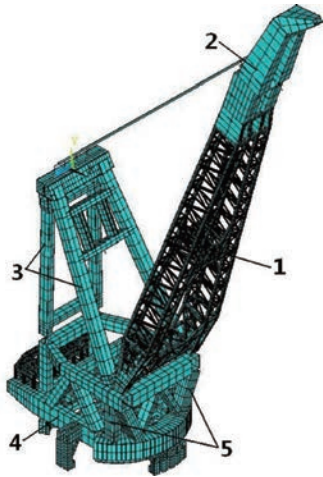
(5) 对计算分析和校核结果进行汇总, 为同类设备以及相关配套项目的后续研究提供参考。

二、有限元模型

图 1 所示为深水半潜式起重铺管船用 $2 \times 8000\text{t}$ 起重机的整机有限元模型, 主要由臂架、人字架、回转平台和变幅钢丝绳四部分组成, 单元类型主要有三维线性有限应变梁单元 BEAM 188、集中质量单元 MASS 21 和杆单元 LINK 10 等。

采用笛卡尔坐标系进行建模, XY 平面为变幅平面, Y 为竖直方向, Z 为变幅平面法向; 铰点采用节点耦合, 约束 5 自由度, 具有单轴旋转自由度; 变幅钢丝绳采用杆单元来

模拟，两端点处具有三轴旋转自由度；回转平台底部约束为仅受压；反滚轮支架约束为仅受拉；起升钢丝绳以节点力的形式施加到相应的位置上进行模拟。



1、臂架桁架 2、臂架头部 3、人字架 4、回转平台 5、前部支柱
图 1 臂架仰角 71°模型

三、结构材料选用

浮吊主要在海上作业，风、浪、船体运动及吊物自重都会对结构产生作用力，使起重机结构产生很大的应力和变形，所以在浮吊的结构设计过程中，整体结构一般采用高强度的钢板和型钢。

本次研究的深水半潜式起重铺管船用 2×8000t 起重机的臂架桁架部分材料为 Q690，臂架头部、人字架和回转平台材料为 D36，金属结构材料的许用应力如表 1 所示。

表 1 许用应力

屈强比 σ_s/σ_b	≤ 0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
系数 β	1	1.045	1.084	1.12	1.155	
材料	屈服极限	许用应力 (N/mm ²)				
		工况类型	I	II	III	IV
	σ_s (N/mm ²)	安全系数	1.5	1.33	1.15	1.15
		许用应力 ($\beta=1.03$)	σ_a	σ_a	σ_a	σ_a
			D36	355	230	259
Q690	690	447	504	583	583	

四、载荷定义和计算

起重机在设计与分析过程中应考虑如下载荷：自重载荷、起升载荷、因船体运动产生的惯性载荷、因船体倾斜产生的侧倾载荷以及风载荷的影响，基本载荷如表 2 所示。

表 2 基本载荷

安全工作负荷	SWL	8000t (主钩)
		1000t (副钩)
		200t (小钩)
吊钩重量	Gg	462t (主钩)
		43t (副钩)
		7t (小钩)
钢丝绳重量	Gs	380t (主钩)
		82t (副钩)
		22t (小钩)
变幅平面工作风载荷	Fwx	179.25N/m ²
回转平面工作风载荷	Fwz	179.25N/m ²
起升系数	ϕh	1.1
作业系数	ϕd	1.05
侧倾载荷	Pc	工作状态: 2°
回转惯性载荷	PHh	1.047e-3rad/s ²
变幅惯性载荷	PHb	1.32e-6rad/s ²
纵向平行甲板惯性载荷	PHx	0.5g
横向平行甲板惯性载荷	PHz	0.5g
垂直于甲板惯性载荷	PHy	1g
变幅平面非工作风载荷	Fswx	1620N/m ²
回转平面非工作风载荷	Fswz	1620N/m ²

1. 自重载荷

自重载荷是指在起重机的结构、机械设备、电气设备以及附近再起重机上的存仓、连续输送机及其上的物料等的重力。

2. 起升系数与作业系数

本起重机根据 CCS《船舶与海上设施起重设备规范 2007》中的重型起重机的使用要求进行设计，因此起升系数取 1.1，作业系数取 1.05。

3. 侧倾载荷

侧倾载荷 Pc 代表由于船舶倾斜所产生的所有载荷，其中起升载荷产生的水平力为： $1.1 \times 1.05 \times (SWL+Gg+Gs) \times \tan 2^\circ$ ，同时重力加速度按照船体倾斜 2°（空载时 20°）进行同步分解。

4. 回转与变幅惯性载荷

回转与变幅惯性载荷根据回转、变幅速度及启制动时间进行计算，将通过计算得出的角加速度施加于整体钢结构，同时起升载荷惯性力作为集中载荷施加于臂架头部相应位置。

5. 风载荷

工作风速为 17.1m/s，非工作风速为 51.4m/s，作用在起升载荷上的风力按照公式： $F_w = 815 \times \sqrt{SWL}$ 进行计算，安全工作负荷如表 2 所示。

五、载荷工况和载荷组合

1. 载荷工况

起重机设计应考虑下列四类工况。

- (1) I 类工况：起重机工作于无风状态。
- (2) II 类工况：起重机工作于有风状态。
- (3) III 类工况：起重机处于放置状态。
- (4) IV 类工况：起重机承受特殊载荷。

2. 载荷组合

(1) 组合 1：主钩 8000t，臂架仰角 71°，I 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs)$ 。

(2) 组合 2：副钩 1000t，臂架仰角 38°，I 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs)$ 。

(3) 组合 3：小钩 200t，臂架仰角 22°，I 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs)$ 。

(4) 组合 4：主钩 8000t，臂架仰角 71°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wx} + PHb$ 。

(5) 组合 5：主钩 8000t，臂架仰角 71°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wz} + PHh$ 。

(6) 组合 6：主钩 3100t，臂架仰角 57°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wx} + PHb$ 。

(7) 组合 7：主钩 3100t，臂架仰角 57°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wz} + PHh$ 。

(8) 组合 8：主钩 1300t，臂架仰角 39°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wx} + PHb$ 。

(9) 组合 9：主钩 1300t，臂架仰角 39°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wz} + PHh$ 。

(10) 组合 10：副钩 1000t，臂架仰角 38°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wx} + PHb$ 。

(11) 组合 11：副钩 1000t，臂架仰角 38°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wz} + PHh$ 。

(12) 组合 12：小钩 200t，臂架仰角 22°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wx} + PHb$ 。

(13) 组合 13：小钩 200t，臂架仰角 22°，II 类工况： $1.05 \times DL + 1.1 \times Pc + 1.1 \times 1.05 \times (SWL + Gg + Gs) + F_{wz} + PHh$ 。

(14) 组合 14：空载，臂架仰角 0°，III 类工况： $DL + Pc + F_{swx} + PHx + PHy$ 。

(15) 组合 15：空载，臂架仰角 0°，III 类工况： $DL + Pc + F_{swz} + PHy + PHz$ 。

(16) 组合 16：试验，臂架仰角 71°，IV 类工况： $DL + 1.1 \times SWL + Gg + Gs$ 。

六、有限元分析结果

图 2 ~ 图 5 所示为典型工况的结构应力与变形云图。

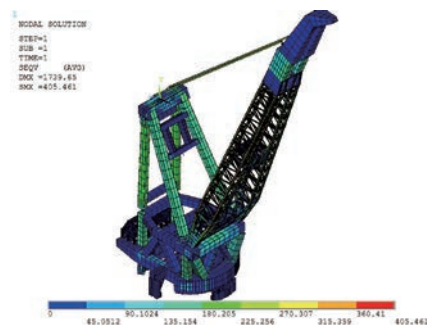


图 2 载荷组合 1 应力云图

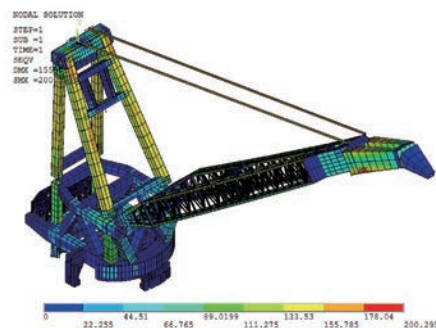


图 3 载荷组合 2 应力云图

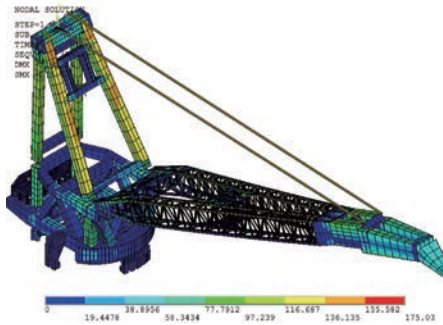


图4 载荷组合3应力云图

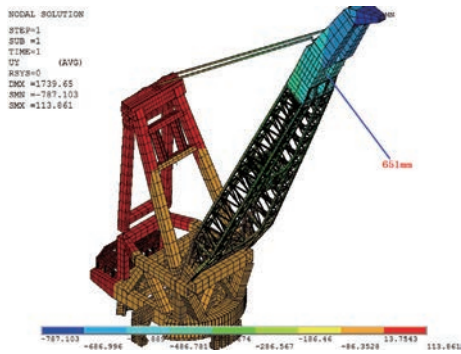


图5 荷组合1垂直变形云图

表3 强度计算结果汇总 (单位: N/mm²)

项目 组合	臂架桁架 (Q690)			臂架头 部 (D36)	人字架 (D36)	回转平台 (D36)
	弦杆	斜腹杆	直腹杆			
1	405.5	236.5	171.3	178.5	226.4	227
2	165.5	94.8	61.7	200.3	168	129.3
3	175	118.4	52.7	99.8	150.6	92.6
4	404.5	236.1	170.5	178.2	227.9	228.8
5	411.4	243.5	172.1	179.2	226.1	227.5
6	265.6	157.4	92.1	150.1	191.8	174.2
7	269	159	90.9	148.6	192.9	173
8	248.9	149.6	78.1	165.7	199	151.2
9	250	147.8	78.9	163.8	200	150.3
10	167.4	96.2	62.1	200.7	168.2	131.1
11	173.8	98	63.1	201.4	169.3	130.8
12	177.8	121.3	53.9	101.1	150.9	93.7
13	177.3	118.6	54.2	100.5	152	95
14	134.2	160.3	59.4	93.1	110.3	109.6
15	160.2	167.4	60.5	105.1	165.7	131.7
16	320.2	184.9	158.1	153.5	212.1	205.1

七、校核计算

1. 压杆稳定性分析

表4所示为结构的压杆稳定性分析。

表4 压杆稳定性计算

压杆稳定性	臂架			人字架	回转平台	
	弦杆	斜腹杆	直腹杆	前撑杆	前部支柱一	前部支柱二
A (mm ²)	88416	9831.81	11600	420000	567600	520240
I _x (mm ⁴)	5.57E+09	8.38E+07	1.63E+08	5.06E+11	6.64E+11	5.97E+11
I _y (mm ⁴)	5.57E+09	8.38E+07	1.63E+08	4.59E+11	6.58E+11	4.62E+11
r (mm)	251	92	119	1045	1077	942
L (mm)	6526	4800	3520	27500	10950	10020
λ	26	52	30	26	10	11
λF	45	89	51	45	17	18
φ	0.878	0.628	0.852	0.878	0.978	0.976
N (N)	2.86E+07	1.86E+06	1.25E+06	6.35E+07	7.63E+07	8.28E+07
M _x (N.mm)	4.39E+07	2.88E+07	3.51E+07	4.23E+09	2.93E+10	7.36E+09
M _y (N.mm)	1.28E+09	4.14E+06	3.39E+07	1.41E+10	7.71E+09	4.67E+09
W _x (mm ³)	1.71E+07	6.14E+05	1.09E+06	3.68E+08	4.73E+08	3.95E+08
W _y (mm ³)	1.71E+07	6.14E+05	1.09E+06	3.56E+08	4.39E+08	3.85E+08
σ (MPa)	4.45E+02	3.74E+02	1.90E+02	2.26E+02	2.17E+02	1.94E+02
Judgement	ok	ok	ok	ok	ok	ok

2. 臂架整体稳定性分析

表5所示为臂架结构整体稳定性分析。

表5 整体稳定性计算

构件实际长度	L _x (mm)	94000
	L _y (mm)	49300
构件计算长度	L _{cx} (mm)	63137
	L _{cy} (mm)	23179
弦杆截面积	A (mm ²)	353664
单肢截面积	A ₁ (mm ²)	88416
单肢截面惯性矩	I _{x1} (mm ⁴)	5.57E+09
构件截面惯性矩	I _x (mm ⁴)	4.35E+12
	I _y (mm ⁴)	1.12E+12
截面回转半径	r _x (mm)	3509
	r _y (mm)	1778
单肢截面回转半径	r ₁ (mm)	251
构件虚轴长细比	λ_x	18
	λ_y	13
单肢截面长细比	λ_1	26
换算长细比	λ_{hx}	32
	λ_{hy}	29
假想长细比	λ_{hFx}	54
	λ_{hFy}	50

Creo 二次开发及其在车体型材设计中的应用

撰文 / 中车唐山机车车辆有限公司 宫洪磊 张绍东 郭玉亮 王志海

针对目前轨道车辆产品设计特点,分析 Creo 二次开发快速设计系统的关键技术。提出基于 TOOLKIT 和 VC2008 开发平台的快速设计系统的设计思路,重点研究并实现了模板派生、参数传递、特征自动建模、骨架模型替换和数据库管理等关键技术并通过车体型材快速设计系统实例说明这些关键技术的应用。

一、前言

计算机辅助设计技术(CAD)在产品设计领域发挥着重要的作用。其在产品设计过程中的广泛应用不仅使设计人员摆脱手工二维绘图的繁琐,而且也使得产品设计更加精确、便捷和直观。

目前,中国轨道车辆领域主要采用 Creo 及其升级产品三维设计软件开展产品几何样机设计,提高了工作效率。但随着轨道车辆技术的快速发展,轨道车辆产品的研制难度逐渐增加、研制周期不断缩短、功能需求愈加多样,需要在较短时间内设计出满足不同技术指标、适用不同功能需求的车辆产品。如何在产品设计过程中缩短研制周期,提高产品设

计质量,实现产品设计的通用化、模块化和系列化已成为轨道车辆领域开展数字化技术平台建设的重要目标。在现有三维设计软件平台下开发符合轨道车辆自身产品特点,提高设计效率、规范,固化设计流程的系统工具产品插件,是轨道车辆领域数字化的最有效方法之一。

美国 PTC 公司的 Creo 软件是当前国内外使用较广泛的三维 CAD 软件之一。同其他三维 CAD 软件一样,面对轨道车辆产品造型复杂、非标件众多、零部件借用关系复杂、空间布局不一和产品设计版本更改频繁等特点,Creo 软件在使用过程中也存在着通用性有余,专用性不足的问题,特别是在设计标准、设计规范、设计流程及设计意图传递等

稳定系数	φ_x	0.838
	φ_y	0.856
轴向力	N (N)	1.05E+08
强轴弯矩	M_x (N · mm)	1.07E+10
弱轴弯矩	M_y (N · mm)	7.03E+09
强轴抗弯模量	W_x (mm ³)	1.24E+09
弱轴抗弯模量	W_y (mm ³)	6.35E+08
计算结果	σ (N/mm ²)	3.78E+02
判定结果	Judgement	Ok

八、结语

本文基于通用有限元软件 ANSYS 对深水半潜式起重铺管船用 $2 \times 8000t$ 起重机结构进行了有限元分析,提取了 16 组载荷组合下的结构应力和位移分布,并根据相关规范和标准对计算结果进行了校核和汇总,为该起重机结构的设计和进一步优化提供了有效依据,同时也为后续相关研究工作奠定了基础。