

基于 ANSYS 的塔式起重机结构模态分析*

尹 强, 陈世教, 冀满忠

(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

摘要:塔式起重机在工作时由于振动引起较大的动态应力,因而可能造成钢结构的破坏,因此在塔机的设计中动力学设计是必不可少的一部分,用有限元软件 ANSYS,建立了完整的塔机动态分析模型,并对 QTZ25 塔机进行了模态分析,再通过结果的对比分析,证明了该方法的可行性,为快速、准确的进行塔机结构动态分析提供了一种新的途径。

关键词:塔式起重机; 动力分析; 有限元; ANSYS

中图分类号:TH213.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)06-0097-04

Model Analysis of Tower Crane Structure Based on ANSYS

YIN Qiang, CHEN Shi-jiao, JI Man-zhong

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: In this paper, a complete dynamic model of the tower crane is set up by the finite element software ANSYS and then the QTZ25 tower crane model is calculated. Through comparing the results, the feasibility of this method is proven. This method is a new approach to fast and precise analysis on dynamical model of tower crane structure.

Keywords: tower crane; dynamical analysis; finite element; ANSYS

塔式起重机在运动时,钢结构将受到比静载荷大得多的动载荷影响,由于振动引起较大的动态应力可能造成钢结构的破坏,而塔机钢结构在塔机部件中占有及其重要的地位,因此在塔机的设计中动力学设计是必不可少的一部分。通常动力学分析分为系统的模态分析(即求解结构的固有频率和振型)和系统在受到一定载荷时的动力响应分析两部分^[1]。模态分析是与近代计算机技术和动态试验技术密切结合的一门分支学科,它直接利用实际结构的动态试验数据,通过模态分析,再用参数识别理论来计算出机械的动态参数和特性,由此建立起来的动力学模型精度高,较客观地反应了动态特性。本文介绍一种简单、快速求解塔机系统模态的方法。

1 塔式起重机动力分析的完整模型

塔机模态分析用于确定设计塔机部件的振动特性,即结构的固有频率和振型。振动特性是动态载荷结构设计中的重要参数,同时,也可以作为其他动力学分析的起点。目前对塔式起重机进行动力分析有多种方法,其中以动力有限元方法为佳,但是由于塔机结构复杂,进行有限元分析时涉及单元较多,需要花费大量的时间进行数据前处理,而且容易出错。通用有限元软件 ANSYS 提供了强大的动力分析工具,可以很方便进行各类动力分析问题,并且能够自动计算前处理需要的数据,使用起来很方便。

根据塔式起重机的结构特点,在 ANSYS 中可利用梁单元来模拟塔式起重机的钢结构,同时在建立塔机结构动态分析模型时应时要注意以下原则:(1)模型能全面、准确反映塔机在工作状态下的变形和

* 收稿日期:2005-07-10

作者简介:尹 强(1976-),男,四川资阳人,硕士生,主要从事机械设计理论研究。

应力特点;(2)塔机模型应与实际形状保持几何上的相同,对研究的问题影响不大的局部结构,可适当的简化;(3)模型受力应与塔机在工作时外载荷作用下相同;(4)模型的边界约束条件应与塔机实际工作时保持一致;(5)对变幅小车、变幅机构等塔机附件采用质量单元来模拟。

根据上述的原则,在建立模型时做了以下四点处理:(1)塔身、吊臂主弦杆和腹杆的每个连接点根据实际尺寸都建立了节点,另外每节塔身、吊臂的连接点也建立了节点,保证有限元模型与塔机在几何上相同。(2)为了建立模型的方便对平衡臂部分采用增大梁单元截面面积的办法来模拟平衡重。(3)对结果影响不大的局部结构(如钢丝绳等)由于它们的质量和整个塔机相比显得很小,对结果影响不大,为建立模型方便可以不用考虑。(4)塔身底部结构刚度很大,又与地基用地脚螺栓相连,则认为在底部能承受弯矩,假定它是固接支座;起重臂根部是通过销轴与塔机的回转节相连,故在臂架起升平面可认为是固定铰支座;起重臂两根拉杆以梁元处理,其上吊点按固定铰支座处理;平衡臂的拉杆和上吊点处理方法与起重臂相似,为固定铰支座;由于塔身的刚度很大,上部弯矩小,故可把塔帽与上回转支座的连接及下回转支座与塔身的连接做为固接支座。

按上述处理方法以某厂生产的 QTZ25 塔机为例介绍建立模型过程。该塔机选用钢材的弹性 $E = 210 \text{ GPa}$ 、泊松比 $\mu = 0.3$ 、密度 $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$,塔机主要部件选用的截面尺寸和在 ANSYS 中选用的 Beam4 单元时单元的实常数详见表 1。在 ANSYS 中建立 QTZ25 塔机模型时采用三维梁单元 Beam4 来模拟塔机钢结构,ANSYS 中 Beam4 梁单元的特性:该单元是具有拉伸、压缩、扭转和弯曲能力的线单元。单元每个节点有 6 个自由度,3 个沿着 X、Y、Z 轴平移自由度和绕 X、Y、Z 轴转动自由度,可以包含应力强化和大变形效应。该单元的输入数据有横截面积、两个主轴方向的惯性矩 (I_{ZZ} 、 I_{YY})和两个方向上的厚度 (TKY 、 TKZ)等。根据 Beam4 单元特性,结合塔机钢结构受力特点,Beam4 单元能够很好模拟塔机钢结构。最后建立好塔机在 ANSYS 中的完整模型共有节点 337 个,Beam4 单元 842 个,完整模型见图 1。

表 1 QTZ25 塔机钢结构和单元的实常数

序号	部件	截面尺寸/mm	面积/mm ²	I_{ZZ}/mm^4	I_{YY}/mm^4	TKZ/mm	TKY/mm
1	塔身主弦杆	空心圆杆 $\phi 200 \times 15$	8 711	0.375e8	0.375e8	200	200
2	塔身腹杆	空心圆杆 $\phi 100 \times 5$	1 941	0.168e7	0.168e7	100	100
3	吊臂上弦杆	空心圆杆 $\phi 200 \times 15$	8 711	0.375e8	0.375e8	200	200
4	吊臂下弦杆	空心矩形 $80 \times 200 \times 8$	4 224	0.201e8	0.451e7	80	200
5	吊臂腹杆	空心圆杆 $\phi 60 \times 4$	703.16	276 692	276 692	60	60
6	塔顶主弦杆	空心圆杆 $\phi 250 \times 15$	11 065	0.766e8	0.766e8	250	250
7	塔顶腹杆	空心圆杆 $\phi 200 \times 15$	8 711	0.375e8	0.375e8	200	200
8	平衡臂	空心矩形 $300 \times 600 \times 15$	26 100	0.123e10	0.415e9	300	600
9	斜拉索	实心圆杆 $\phi 50$	1 962	306 163	306 163	50	50

注:此表后面五项为单元 Beam4 实常数。

2 加载及求解

在 ANSYS 中典型的模态分析中唯一有效的“载荷”是零位移约束,为了模拟实际情况把节点 1、2、3、4(见模型图 1)的自由度全部约束,用定义材料密度和加重力加速度的方式来模拟塔机的自重。由于典型的无阻尼模态分析求解的基本方程是经典的特征值问题:

$$[K]\{\Phi_i\} = \omega_i^2[M]\{\Phi_i\} \quad [1]$$

式中: $[K]$ = 刚度矩阵; $\{\Phi_i\}$ = 第 i 阶模态的振型向量; ω_i = 第 i 阶模态的固有频率; $[M]$ = 质量矩阵。ANSYS 中提供的 7 种模态提取方法分别是:分块兰索斯法;子空间法、缩减法、非对称法、阻尼法、Power-Dynamics 法和 QR 阻尼法。

采用分块兰索斯法求解,分块兰索斯法特征值求解器采用兰索斯算法,该算法的优点是求解从频率谱中间位置到高频端范围内的固有频率时,求解收敛速度和求解低阶频率时基本上一样快,特别适用于大型对称特征值求解问题。利用前面建立的塔机模型和 ANSYS 中兰索斯算法,提取了塔机前 8 阶模态

并进行了模态扩展,结果如下见表2。

表2 QZT25塔机动态计算结果与文献结果比较

阶数	固有频率	文献[2]结果	误差/%	阶数	固有频率	文献[2]结果	误差/%
1	0.247 998	0.253 92	2.332	5	1.909	1.956 9	2.448
2	0.564 301	0.578 13	2.392	6	3.736	—	—
3	0.626 421	0.641 87	2.407	7	3.993 0	—	—
4	1.60	1.639 2	2.391	8	5.001 6	—	—

通过表2可以清晰的看到本文建立的计算模型,与文献[2]结果十分接近,最大误差为2.448%,最小误差为2.332%,普遍误差在2%~3%之间,完全达到了工程计算误差许可范围,也直接证明了本方法具有很高的可行性。本例计算的QZT25塔机前面几阶振型及振型曲线(限于篇幅,只列出前面6阶振型),见图2~图8。

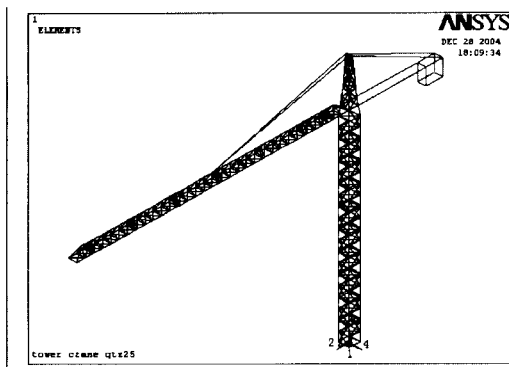


图1 塔机的有限元模型

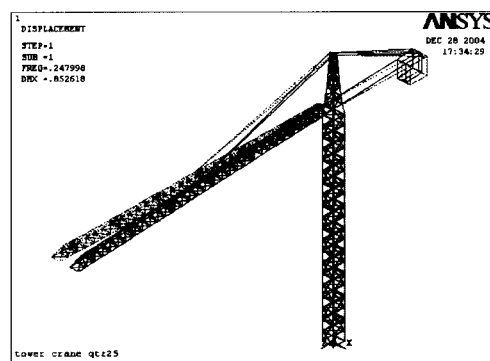


图2 一阶振型

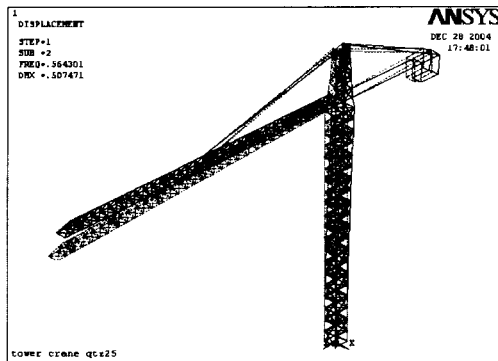


图3 二阶振型

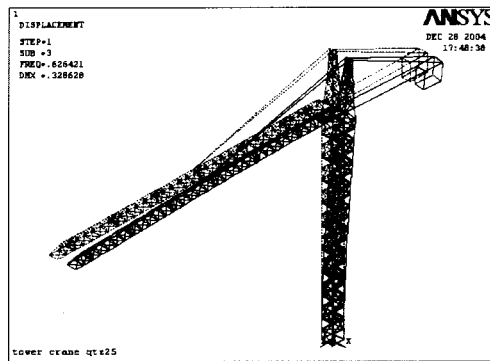


图4 三阶振型

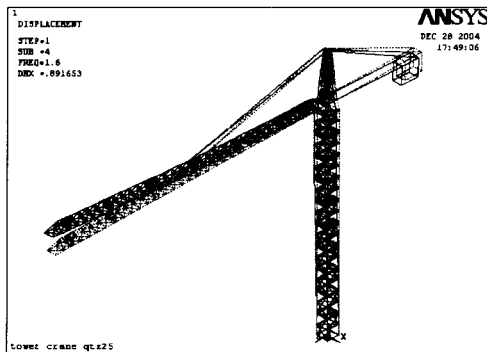


图5 四阶振型

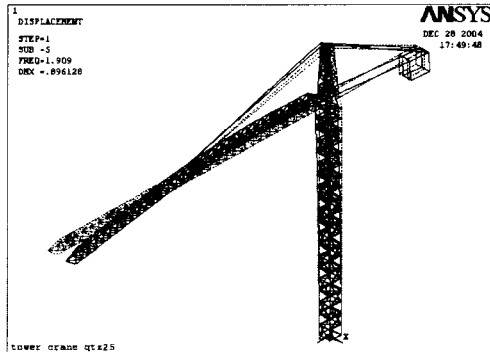


图6 五阶振型

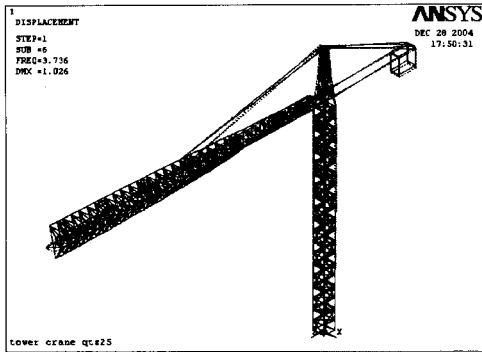


图7 六阶振型

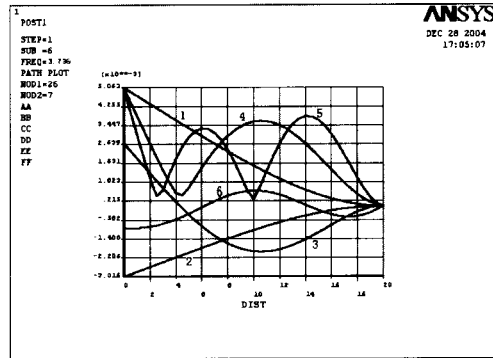


图8 各阶振型曲线

3 结论

由振动理论可知,对于塔机这样一个多自由度系统而言,低阶固有频率对系统的动力响应贡献较大,而高阶固有频率影响较小,所以对塔机系统而言只要提取其低阶固有频率就能很好反映系统动力特性。通过对前几阶振型分析可以得到以下几点结论:

- 1) 塔机结构的一阶振型是塔机绕塔身在水平面内扭转振动,振动频率为 0.229 19 Hz,说明了塔机在绕塔身的刚度偏小,在设计时应该考虑予以加强。
- 2) 塔机结构的二阶振型是塔机绕塔身根部固定端在前后弯曲振动引起吊臂的点头运动。振动频率为 0.578 13 Hz。
- 3) 塔机结构的三阶振型是塔机绕固定点左右摆动,其振动频率为 0.632 26 Hz。
- 4) 塔机结构的四阶振型是吊臂和平衡臂绕塔身前前后后弯曲振动,振动频率为 1.605 8 Hz。
- 5) 塔机结构的五阶振型是吊臂和平衡臂在水平面内弯曲振动,振动频率为 1.907 7 Hz。

以上结果与实际观察的振动情况相符合,进一步说明本文介绍的方法具有可行性,避免了常规分析塔机动态响应时做的种种假设,结果更具有可靠性。塔机生产企业技术人员可以在塔机新产品设计中用有限元分析结果指导样机试制,样机做好后进行模态试验分析,用模态分析所得的模态参数,对有限元模型再进行修改,使其更符合实际,从而提高有限元分析的精度,根据修改后的分析结果提出塔机结构动力修改方案,用于指导新产品的批量生产。该方法很容易掌握,对塔机设计单位和塔式使用工程技术人员有一定的帮助。

参考文献:

- [1] 徐业宜. 机械系统动力学[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [2] 刑静忠,王永刚,陈晓霞. ANSYS 7.0 分析实例与工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [3] 刘佩衡. 塔式起重机使用手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [4] 韩守习,张大可. 基于 SIMULINK 的起重机起升机构动态仿真[J]. 重庆建筑大学学报,2003,25(6):67-73.