

某型塔式起重机臂架结构分析

刘美红 牛高峰 张康熙
 西安航空学院

DOI:10.32629/btr.v2i6.2257

[摘要] 针对塔式起重机臂架结构各杆件的承载问题,综合分析了塔机的主要结构和原理,通过更换臂架弦杆的材料,并结合 ABAQUS 软件对臂架结构进行模态分析。

[关键词] 塔式起重机; 臂架; 模态分析

引言

随着科技的不断发展,塔式起重机的结构趋于大型化,起重重量和工作速度得到了显著提高^[1]。在工作过程中,塔式起重机的结构一般为桁架式结构,塔身和起重臂在起重物的作用下会发生弯曲变形。在一般情况下塔机的桁架不能充分利用材料的性能,导致材料的成本、强度浪费^[2]。本文以塔式起重机臂架为主要研究对象,通过改进桁架材料的强度,有效提高了臂架结构杆件的最大承载能力,并将载荷合理的分配,最终实现了臂架结构的轻量化设计。

1 基于 ABAQUS 的塔式起重机臂架模态理论分析

根据弹性力学有限元法,得到臂架结构的动力学微分方程:

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [C]\{\dot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = \{F_p\} \quad (1)$$

其中, [M]、[C]、[K] 分别代表臂架的质量、阻尼、刚度矩阵; $\{\delta\}$ 、 $\{\dot{\delta}\}$ 、 $\{\ddot{\delta}\}$ 分别指的是系统的位移、速度、加速度向量; $\{F_p\}$ 是外界激振的力向量^[3]。

本文臂架属于自由振动保守系统,振动只发生在初始状态,不受外力,可将上式简化为:

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = 0 \quad (2)$$

求解上述微分方程得:

$$([K] - \omega^2[M])A \sin(\omega t + \theta) = 0 \quad (3)$$

特征方程为:

$$|[K] - \omega_i^2[M]| = 0 \quad (4)$$

A 指的是系统特征向量; ω_i 为系统的第 i 阶模态的固有频率, $i=1, 2, \dots, n$ 。每个特征向量对应臂架的一个振型。

2 塔式起重机臂架模态分析

2.1 有限元模型的建立

该型起重机臂架整体为桁架结构,主要由两段非标准节和四段标准节构成,整体结构如下图 1 所示^[4]。运用 NX8.5 建立臂架的三维模型图。在建立臂架模型的过程中,简化对有限元分析结果影响较小的结构。

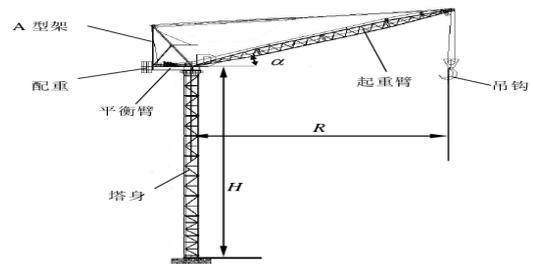


图 1 塔机三维模型

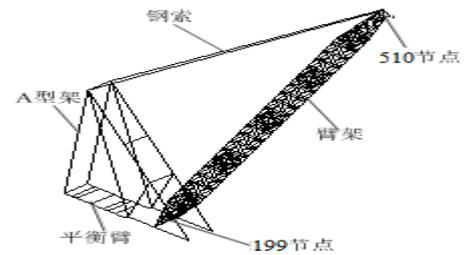


图 2 臂架的有限元模型

将臂架装配体三维模型导入到 ABAQUS 中进行网格模型划分。臂架腹杆采用 15MnV 材料,臂架弦杆采用 D652 材料。基于 ABAQUS 的参数化语言,建立有限元模型,如上图 2 所示。将塔身、平衡臂、A 型架和起重臂均采用梁单元进行模拟,链条采用杆单元进行模拟,配重、回转支撑、起吊装置等集中质量采用质量单元进行模拟^[5]。边界条件为将机台底部 4 个节点的所有自由度均约束。在有限元分析过程中,起重臂在水平方向上的投影为 X 坐标,竖直方向投影为 Y 坐标,起升平面投影为 Z 坐标方向^[6]。由图 2 可知,塔身与起重臂的连结点数为 199,起重臂的端部节点数为 510。

2.2 施加约束条件

约束机台底部的所有自由度。且由于臂架与机座相连时,在垂直面内臂架相对于机座有一定的转动,故需将臂架与机台相连的节点处的平移自由度 UX、UY、UZ 以及旋转自由度 ROTX、ROTY 耦合。

由于臂架的体积较大,不可忽略重力对其内力的影响。在计算重力作用下的结构变形和内力时,需要考虑重力加速度影响。建模时臂架的重力体现在 Y 方向,施加重力约束时只需

要定义重力作用方向即可。假定-Y方向的值为重力加速度的正值。该型起重机在实际工况下最大计算风压 220N/m²,非工作状态计算风压为 900N/m²。则根据起重机的风荷载:

$$F_w = C_w \cdot p_w \cdot A \quad (5)$$

其中, F_w 代表作用在塔机和货物上的风荷载, N; C_w 代表风力系数; p_w 代表计算风压, Pa; A 指的是与风向垂直的迎风面积, m²。

图 3 为该型起重机的起重特性曲线, 吊臂幅度分别为 20m 和 40m 时, 最大起重量分别为 70t 和 32t。按照以下两种工况对臂架进行分析: ①当臂架幅度为 20m 时; ②臂架幅度为 40m。考虑到吊具等竖向因素对臂架结构的影响, 在计算起重量时将起吊荷载乘以一定系数作为最终吊重量, 故在工况一下最终吊重为 84t, 工况二下最终吊重为 45t。

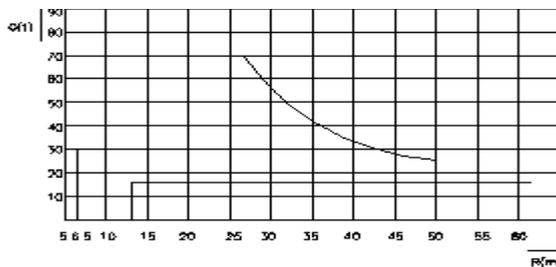


图 3 起重特性曲线

2.3 求解并分析结果

求解并分析结果, 可以得到臂架系统各阶振动模式, 1~6 阶的振动的模式如下图 4~图 9 所示。



图 4 第 1 阶振型

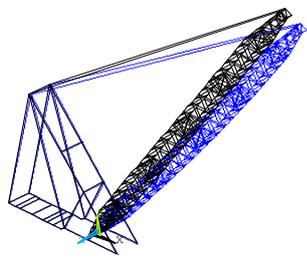


图 5 第 2 阶振型

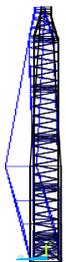


图 6 第 3 阶振型

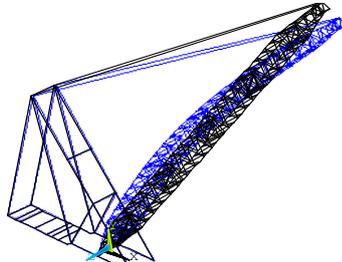


图 7 第 4 阶振型

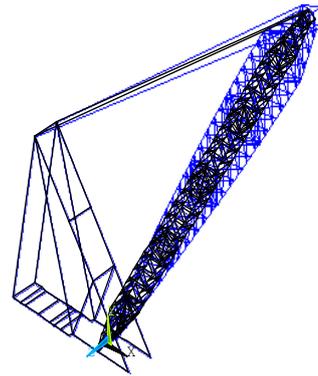


图 8 第 5 阶振型



图 9 第 6 阶振型

臂架结构前 6 阶模态振型如下表所示:

表 1 臂架前六阶模态振型描述

模态阶数	频率(Hz)	振型特征描述
1	0.98361	Z 向振动
2	1.2564	Y 向振动
3	1.3446	人字架和拉索的 Z 向振动
4	2.9561	Y 向振动
5	3.1854	扭转振动
6	4.5694	人字架和拉索的 Z 向振动

3 结束语

臂架结构在 Z 向的刚度较弱, 故塔式起重机在实际工况下需避免在 Z 向上承受过大载荷。从臂架的前六阶模态振型表也可以看出, 系统的前三阶振动频率比较接近, 整体结构刚性比较均匀。

[参考文献]

- [1]潘亮,张作萍.浅析塔式起重机安全评估[J].建筑安全,2013,(8):56-59.
- [2]林贵瑜,史勇.塔式起重机及其发展趋势[J].建筑机械化,2007,(12):22-24.
- [3]顾永强,郭少东.塔式起重机风振效应的初步分析[J].现代机械,2012,(3):44-46.
- [4]张雪辉.变幅塔式起重机结构分析与设计[D].河北工业大学,2014,(07):65.
- [5]梁杰,李明.塔式起重机臂架防后倾问题的探讨[J].建筑机械,2013,(12):84-86.
- [6]沈荣胜,王胜春,王积永.基于 Ansys 的塔式起重机振动模态分析[J].起重运输机械,2011,(9):68-70.

作者简介:

刘美红(1992--),女,陕西佳县人,汉族,研究生,工程师,机械设计,技术员。