

塔式起重机臂的结构分析

黄忠文,王 培,於潜军

武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430205

摘 要:为了在设计时确定塔式起重机臂斜拉杆的合理位置和机臂悬挂重物荷载的不利位置,针对某型塔式起重机,运用有限元软件对起重臂进行强度与刚度的结构分析.对于不同的拉杆位置和载荷位置,建立了有限元力学模型,加载并求解得到位移和应力云图,将计算结果与许用挠度和许用应力作对比,得到合理的位置参数.结果表明合理的斜拉杆位置:为短拉杆和长拉杆分别与上弦杆交汇在13.125 m左右和51.875 m左右,改变斜拉杆的位置可以提高起重臂的强度与刚度;荷载的不利位置区段为施加在下弦杆端部56.25 m附近至最远端,起吊较重物料时应尽量避免长时间处于此区段,采用局部加强的方法可以提高起重臂的强度与刚度.

关键词:起重臂;安全性;结构分析;有限元

中图分类号:TH213.3

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2014.06.016

0 引 言

随着国民经济的进一步发展,塔式起重机在建筑行业中的应用越来越广泛^[1],在建筑建造的过程担任顶替传统人工搬运的重要角色,可以轻松实现建筑构件垂直运输和水平运输.在建造高层建筑房屋时,对起重机的安全使用提出了更高的要求,应用中主要存在以下问题:生产设计方的能力水平存在着某些方面的不足;设计后的传统检验方式主要依靠在使用过程中的监督和检查,难以做到精确评估设备设计是否符合实际使用要求;安装和施工中不按规范操作等^[1].若是这些问题不及时加以解决,可能会导致严重的安全生产事故,对施工人员的生命财产安全产生巨大的损害.故在起重机械设计的过程中,引入工况对比设计、方案对比设计,对于更合理地设计起重臂和提高其安全性有着重大的意义.

1 塔式起重机的结构简介

工程中常见的起重机有门式起重机、桥式起重机、塔式起重机等几大类型,而塔式起重机在房屋建筑行业使用最为广泛.

塔式起重机主要由起重臂、斜拉杆、塔身、平衡臂、起升滑轮组等部分组成,其结构组成如图1所示.

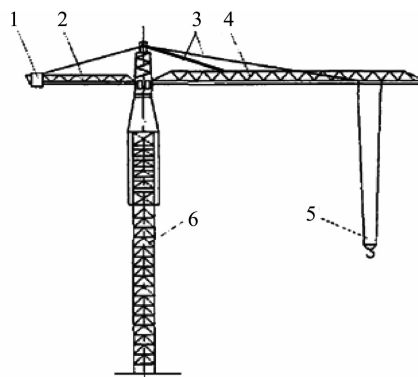


图1 塔式起重机的结构图

Fig. 1 Structure of the tower crane

注:1-配重;2-平衡臂;3-斜拉杆;

4-起重臂;5-起升滑轮组;6-塔身

起重臂作为塔式起重机中的重要组成部分,扮演着悬挂和承载重物的角色,但由于在固定端承受了最大的弯矩易导致强度破坏,在自由端处容易出现变形过大而导致刚度失效.对起重臂进行强度与刚度方面的分析,以达到满足使用时所要求的安全性目的.

在满足塔式起重机的相关性能要求下,单独选取起重臂作为研究对象.对某起重臂采用有限元软件建立几何模型,在选用合理单元、设置合理材料属性和截面尺寸的基础上,建立有限元网格模型,施加与实际工况相一致的约束形式和作用荷载,求解并进行后处理^[2],得到起重臂强度与刚度方面的相关参数.在此基础上,基于对应力

较大的部位和变形较大的部位进行局部加强可以改善强度与刚度性能的思路^[3],提出一些设计合理的使用安全的起重机臂的方案。

2 起重机臂有限元分析

2.1 模型建立

2.1.1 单元选用 由于起重臂在空间里纵向长度大,组合结构的杆件类型和数量多,采用杆梁单元概念建模可大大简化建模过程^[4]。在机臂体系中该结构杆件的内力有轴力、剪力和弯矩,故选用梁单元最为合适。在众多梁单元中,Beam188单元既可以查看节点位移情况,也可以查看应力情况。而刚度可以由位移来表征,强度可以由应力来表征,故在设定单元类型时选 Beam188 可以满足后文在分析强度与刚度的需求。

机臂上的梁截面类型共有7种:方管口 66×6 mm;圆管 $\phi 34\times 3$ mm;圆管 $\phi 42\times 3$ mm;圆管 $\phi 48\times 3$ mm;圆管 $\phi 28\times 3$ mm;方管口 50×4 mm;圆管 $\phi 60$ mm。

2.1.2 材料特性 制造起重机臂的材料为常见的Q235钢材,弹性模量为 2×10^5 MPa,泊松比为0.3,其密度为 $7\,850\times 10^{-12}$ t/mm³。经查表结合实际安全系数,可得Q235许用应力为: $[\sigma]=\frac{235}{1.34}=175$ MPa, $[\tau]=\frac{175}{\sqrt{3}}=101.25$ MPa。

2.1.3 几何建模 采用线来模拟起重机臂上的杆件结构。起重机臂整体由若干个基本单元拼装组成,结合机臂的实际尺寸将基本单元体系进行复制,对复制后的体系进行布尔运算。模型中的线粘接在一起后,起重机臂整体在几何上就有了关联性,几何模型如图2所示。

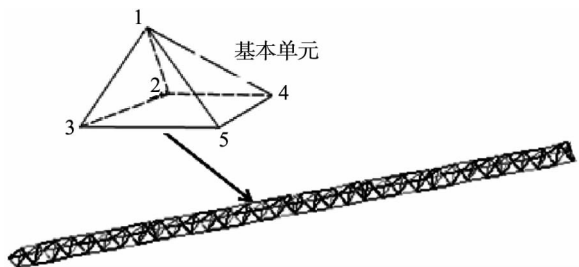


图2 起重臂几何模型

Fig. 2 Geometry model of the boom

2.2 划分网格

划分网格时需保证对各线匹配正确的截面属性。选取同类截面形式的线,再对该类线段赋予合理的截面属性,将具有合理截面属性的线段同时划分网格。通过“显示属性”命令可以看到各

个梁的单元形式。图3即为起重臂的部分有限元模型。

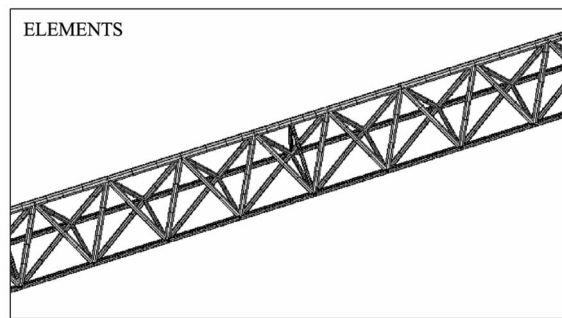


图3 部分有限元模型

Fig. 3 Part of the finite element model

2.3 加载与求解

实际情况中,塔体近似不动,起重斜拉杆和起重臂无相对位移,因此对靠近塔体的最左端两个关键点全约束,起重斜拉杆和上弦杆交汇处两个关键点也施加全约束。实施加载时,把小车和吊钩自重及物重加载到下弦杆的两个关键点上。约束和载荷施加完成后,即可求解。

2.4 后处理

求解完成后,在后处理模块中,可查看机臂结构Y方向位移云图和Von Mises等效应力云图。将云图中数值和工程中的许用应力和许用挠度进行比较,可判定该起重机臂是否满足强度与刚度要求。

3 强度与刚度分析

3.1 两个设计方案的强度与刚度分析

方案1和方案2如下表1,两种方案下机臂结构求解计算完成后,分别得到对应的位移云图和应力云图。图4和图6为方案1起重臂的Y方向位移云图和Mises应力云图;图5和图7为方案2时起重臂的Y方向位移云图和Mises应力云图。

表1 两种设计方案

Table 1 Two kinds of design schemes

方案	斜拉杆和上弦杆 交汇位置	载荷位置	载荷大小/N
方案1	13.125 m 和 51.875 m	55 m 处下弦杆的 两个关键点	1×10^4
方案2	11.875 m 和 69.375 m	55 m 处下弦杆的 两个关键点	1×10^4

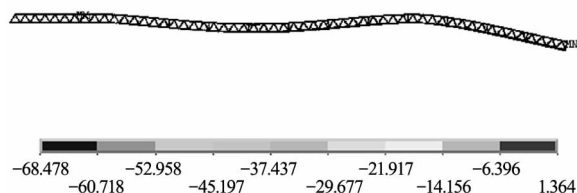


图 4 方案 1 的 Y 方向位移云图

Fig. 4 The displacement nephogram of Y axis in the first scheme

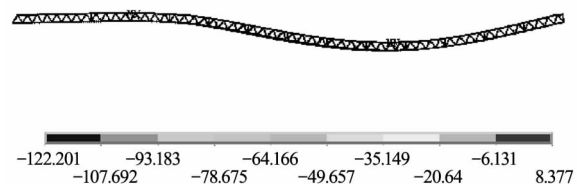


图 5 方案 2 的 Y 方向位移云图

Fig. 5 The displacement nephogram of Y axis in the second scheme

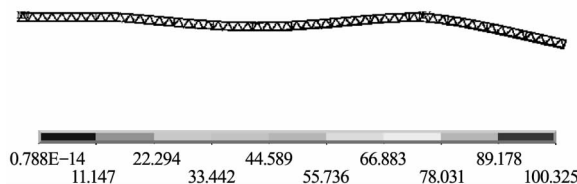


图 6 方案 1 的 Von Mises 应力云图

Fig. 6 The Von Mises stress nephogram in the first scheme

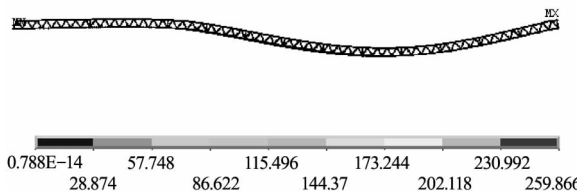


图 7 方案 2 的 Von Mises 应力云图

Fig. 7 The Von Mises stress nephogram in the second scheme

从图 4~8 中可以看出,方案 1 的 Y 方向最大位移为 68.478 mm,最大应力为 100.325 MPa;方案 2 的 Y 方向最大位移为 122.201 mm,最大应力为 259.866 MPa。

结果表明方案 1 比方案 2 有更好的强度与刚度,且方案 1 的 Y 方向最大位移远小于 $3/1\,000 L$ (L 为起重臂总长)^[5-6],最大应力小于 Q235 的许用应力,故方案 1 较为合理。固定一根斜拉杆改变另一根位置或者两根杆一起改变时,利用上述方法分别计算这些位置下的位移和应力,可以证明,方案 1 是合理拉杆位置,配置拉杆时可选择在方

案 1 两拉杆附近。综上所述,可以通过改变斜拉杆的位置或增加斜拉杆数量来达到提高机臂强度与刚度的目的,从而使得起重机整体更为安全。

3.2 合理设计下的两种工况强度与刚度分析

由于小车在起重臂长度方向上可以行走,小车的位置即为载荷所在的位置。采用上述的方案 1 的设计,在行走过程中,小车位置的不同,机臂结构有着对应的位移和应力值。需校核整个起重臂在加载情况下的位移与应力。

定义两种工况见下表 2,分别对两种工况下机臂结构进行有限元分析计算,得到相应的 Y 方向位移云图和 Von Mises 应力云图。图 8 至图 11 为两种工况下得到的 Y 方向位移云图和 Von Mises 应力云图。

表 2 合理设计下的两种工况

Table 2 Two kinds of working conditions in a reasonable design

工况	载荷位置点	载荷大小/N
工况 1	50 m 处下弦杆的两个关键点	5×10^4
工况 2	56.25 m 处下弦杆的两个关键点	5×10^4

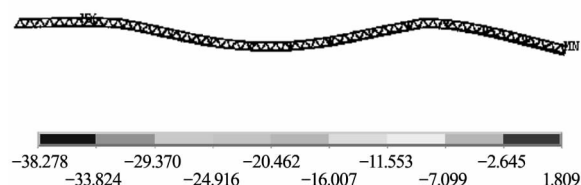


图 8 工况 1 的 Y 方向位移云图

Fig. 8 The displacement nephogram of Y axis in the first working condition

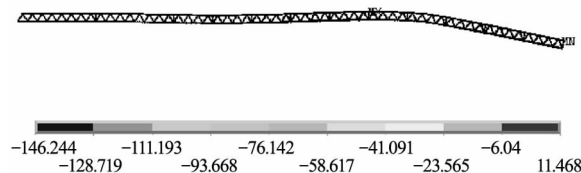


图 9 工况 2 的 Y 方向位移云图

Fig. 9 The displacement nephogram of Y axis in the second working condition

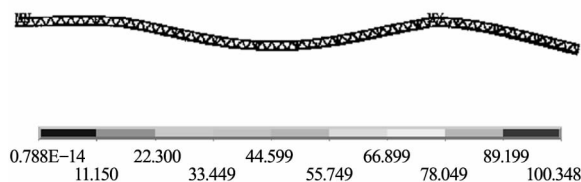


图 10 工况 1 的 Von Mises 应力云图

Fig. 10 The Von Mises stress nephogram in the first working condition

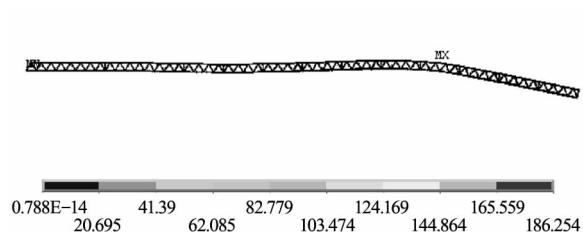


图 11 工况 2 的 Von Mises 应力云图

Fig. 11 The Von Mises stress nephogram in the second working condition

通过对比上述两种工况下的位移和应力云图,可得知:工况 1 下 Y 方向最大位移为 38.278 mm,最大应力为 100.348 MPa;工况 2 的 Y 方向最大位移为 146.244 mm,最大应力为 186.254 MPa. 工况 1 的 Y 方向最大位移没有超出 $3/1\ 000L$ 上限,最大应力也没有超出许用应力的值;工况 2 的位移虽然没有超出 $3/1\ 000L$ 上限,但最大应力超出许用应力的值,即上弦杆和下弦杆的应力过大.通过查看某些局部位置的位移值和应力值并与工程许用位移和应力值进行比较,发现在斜拉杆和机臂连接处应力值过大,甚至是超过了许用范围,但是在实际制造的过程中该局部小区域得到了加强,与其它危险区域比较,该局部小区域虽应力值过大但却并非实际上最危险的区域.较为危险的区域依然是上述最远端附近区域.该局部加强的方法也可以应用到该危险区域,以达到加强机臂强度与刚度的作用,从而使整个结构处于良好的使用状态.在合理斜拉杆约束的情况下,长斜拉杆约束的位置至起重臂最远端为危险区段,施工中滑动小车在起吊较重物料时应尽量避免长时间处于此区段,可大大提高机臂在负荷时的安全性.

4 结 语

通过有限元软件对某塔式起重机进行结构强度和刚度有限元分析,得到相关可行的设计方案及起重机臂在负荷时的最大应力和最大挠度值,并将之与实际制造采用的钢材的许用应力和最大挠度进行对比,得到强度与刚度方面的结论如下:

(1)对比两约束方案的位移和应力情况,可以看出方案 1 中所设计的斜拉杆位置较为合理,可大大地提高机臂结构的强度与刚度性能.通过改变斜拉杆位置或增加斜拉杆的数量可进一步提高起重机臂的承载能力.

(2)对比两种工况下的位移云图和应力云图,得知不同的起吊位置对于整个机臂的强度与刚度有着不同的要求.通过分析不同工况下的位移和

应力值,反过来又可以指导斜拉杆方案的选用,进一步优化起重机臂的安全性能.

(3)塔机设计员在设计阶段使用有限元软件对机臂结构进行有限元分析可有效地选取并改进设计方案,有利于提高产品的设计质量^[7].

致 谢

本文研究工程得到武汉工程大学机电工程学院力学实验室的鼎力支持,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 马俊. 基于 ANSYS 的塔式起重机结构应力分析与试验研究[D]. 广州:华南理工大学,2009.
MA Jun. Structure stress analysis and experimental research of tower crane basis on A-NSYS method [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2009.
- [2] 孟春玲. 基于 ANSYS 的风机轮毂的强度分析及优化设计[J]. 计算机仿真, 2012, 29(7): 334-338.
MENG Chun-ling. Optimization design and strength analysis for hub of wind turbines based on ANSYS [J]. Computer Simulation, 2012, 29(7): 334-338. (in Chinese)
- [3] 牛向辉. 基于 ANSYS 的平头塔式起重机结构分析及优化[J]. 工程机械, 2011(9): 79-82.
NIU Xiang-hui. Finite element analysis and structure optimum of topless tower crane b-based on ANSYS [J]. Constrction Machinery and Equipment, 2011 (9): 79-82. (in Chinese)
- [4] 黄忠文. 弹塑性力学有限元法及 ANSYS 应用[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2011.
HUANG Zhong-wen. Elastic-plastic mechanics, finite elements method and application of ANSYS [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2011. (in Chinese)
- [5] GB 50017-2003. 钢结构设计规范[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
GB 50017-2003. Code for design of steel structures [S]. Beijing: China Standard Press, 2003. (in Chinese)
- [6] GB/T3811-2008. 中华人民共和国国家标准[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
GB/T3811-2008. National standard of the People's Republic of China[S]. Beijing: China Standard Press, 2009. (in Chinese)
- [7] 姚克恒. 以 ANSYS 为平台的塔式起重机臂架有限元

分析与关键技术研究[J]. 现代制造工程, 2009(12): 48-51.
YAO Ke-heng. Finite element analysis and key tech-

nologies study of the tower crane's jib based on ANSYS[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2009 (12):48-51. (in Chinese)

Structural analysis of tower crane's boom

HUANG Zhong-wen, WANG Pei, YU Qian-jun

School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China

Abstract: To determine the reasonable positions and the dangerous positions for the loads of tower crane's tension rod in the stage of design, a finite elements software was applied to analyze the strength and stiffness for a kind of crane boom. Displacement nephograms and stress nephograms were obtained after building finite elements models, loading and solving for different positions of tension rod and loads. Rational position parameters were acquired by comparing the nephograms with allowable deflection and stress. The results show that rational positions of the short rod and the long rod intersecting with the top chord are in about 13.125 m and 51.875 m; the properties of strength and stiffness are enhanced by changing the positions of the rods; the dangerous positions for loads on bottom chord are from about 56.25 m to the end, which means that it must be forbidden when the tower crane's tension rod works at the interval with heavy loads for a long time. The properties of strength and stiffness are improved by locally reinforcing.

Key words: crane boom; security; structural analysis; finite elements

本文编辑:陈小平