

风载荷下的起重机主梁有限元分析*

张 雨¹, 何毅斌^{*1,2}, 杨兵宽¹, 刘诗文¹, 陈定方²

(1. 武汉工程大学 机电工程学院, 湖北 武汉 430073; 2. 武汉理工大学 智能制造与控制研究所, 湖北 武汉 430063)

摘要:针对目前户外起重机受外界风载荷条件的影响,首先,对风载荷进行了分类,并对主梁进行了合理的简化,研究了平均风载荷作用下主梁刚度和强度的影响。在分析起重机主梁静态受力的基础上,计算出了模型在八级大风下风载荷的大小,运用有限元软件对桥式起重机的主梁进行了有风载荷状态和无风载荷状态下的静态应力分析计算。通过对比分析,研究结果表明,风载荷对起重机的垂直静挠度和最大应力影响较小,而对起重机主梁水平方向的位移有一定的影响,这对起重机的防风制动装置有一定的参考价值,在起重机研究中为建立更接近实际的模型提供了参考依据,也为主梁的进一步优化以及轻量化设计提供了参考模型。

关键词:起重机主梁;风载荷;有限元

中图分类号:TH21;TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)09-1090-03

Finite element analysis of crane girder in wind load

ZHANG Yu¹, HE Yi-bin^{*1,2}, YANG Bing-kuan¹, LIU Shi-wen¹, CHEN Ding-fang²

(1. School of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China;

2. Research Institute of Intelligent Manufacture & Control, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: Aiming at the external influence of outdoor cranes to the wind loading, first of all, the wind loading was classified and the main beam was simplified to a reasonable model. Main beam stiffness and strength were studied at an average wind loads. Based on the static force, the size of the model wind load was calculated under the eight level winds, and the crane girder was calculated by the finite element software in the wind loads and no wind loads. Compared with them, the results indicate that there will be tiny influence on the vertical static deflection and maximum stress of the crane. However, it has impact on the horizontal displacement. In the study of crane, it provides the reference value about closer to the actual establishment, and the reference model to the further optimization and lightweight design of the beam.

Key words: crane girder; wind loads; finite element

0 引 言

风灾是一种可怕的自然灾害,户外起重机由于受到工作条件的限制,其风载荷的作用不能简单地忽略,由于起重机的主梁是其主要受力部件而且比较容易受到风载荷的作用,对其进行有效地计算和分析能够降低或者避免风载荷对其产生的影响^[1]。由于起重机结构高耸、迎风面积大、风力作用中心高,容易造成起

重机倒塌或损坏等其他严重事故。

起重机发生事故的原因很多,其中之一就是由于起重机在工作时遇到突发阵风不能有效制动,以致冲出轨道,造成机毁人亡^[2]。为此,本研究针对港口桥式起重机所受风载荷进行相应地分析与研究。

1 起重机主梁模型

笔者研究的是港口小型 12.5 t 桥式起重机,它主要

由装有提升装置的小车、主梁、端梁、大车运行机构、闭式操纵室和桥架构成,其主要技术特性参数分别为:跨度 $s=38\text{ m}$,最大起升高度 15 m ,主起升速度 7.9 m/min ,小车运行速度 37.4 m/min ,起重机运行速度 91.3 m/min 。主梁为箱型主梁,主要由上、下盖板和腹板组成,内部有许多加强筋和工艺筋,其三维模型图如图1所示。



图1 主梁的三维建模图

该起重机选择的材料是 Q235B,泊松比为 0.3,屈服极限为 235 MPa。

2 风载荷分类及计算

2.1 风载荷的分类

起重机械的风载荷主要分为工作性风载荷和非工作性风载荷两大类,风载对起重机的安全起着至关重要的作用。对于港口起重机来说,由于风载引起的事故主要是因为风载荷引起的整机倾覆和局部杆件失稳,以及整机在风力吹动下滑行^[3-4]。而风又分为平均风和脉动风,平均风相当于静力作用,而脉动风将会引起结构的振动,笔者主要研究平均风载荷的影响。

2.2 风载荷的计算

因户外起重机承受风载荷,由起重机设计手册^[5]可知,风载荷按下式计算:

$$P_w = CK_h qA \quad (1)$$

式中: C —风力系数,用以考虑结构物迎风面的风压分布和背风面负压的影响,它与结构物的体型、尺寸等有关,通过查询起重机设计手册选取箱型截面构建 C 为 1.3; K_h —风压高度变化系数,由起重机设计规范可知,起重机在工作状态下不考虑风压高度变化系数的影响,取 $K_h=1$ ^[6]。

2.3 风压 q 的计算

风压的大小与空气密度和风的速度大小有关,风压实际上是风的速度能转换成压力能的结果,风压的计算公式为:

$$q = 0.613v^2 \quad (2)$$

这里选取起重机工作状态下的最大计算风压,风速按照沿海地区的 20 m/s 的八级大风计算,能够得到工作状态下的计算风压为 250 N/m^2 。

2.4 迎风面积 A 的计算

起重机结构的迎风面积按其净面积与最不利风向的垂直投影面积计算。根据《起重机设计规范》^[7],假定风载荷是沿起重机最不利的水平方向作用的静力载荷。两片并列等高且形式相同的结构,考虑前片对后片的挡风作用,其总迎风面积为:

$$A = A_1 + \eta A_2 \quad (3)$$

式中: A_1 —前片结构的迎风面积; A_2 —后片结构的迎风面积; η —两片相邻桁架前片对后片的挡风折减系数,由起重机设计规范可知,当 $a/h \leq 4$ 时, $\eta=0$ 。

由于本研究选取的模型前后两片桁架之间的距离 $a=3\,900\text{ mm}$,桁架高度 $h=1\,850\text{ mm}$ 。计算得出 $\eta=0$,所以 $A=A_1$ 。

3 主梁有限元分析

桥式起重机主梁的简化模型是简支梁^[8],因此本研究对梁的一端施加全约束,另一端施加 x 和 y 方向的约束,并把自重载荷、起升载荷以及平均风载荷施加到梁的相应部位,取重力加速度为 9.81 m/s^2 ,在无风载荷和有风载荷下都应考虑自重的影响,网格采用 simulation 中实体基于曲率的正四面体高质量网格^[9],最大单元大小 440 mm ,最小单元大小 88 mm ,无风载荷应力图和加载风载荷应力图如图2、图3所示。

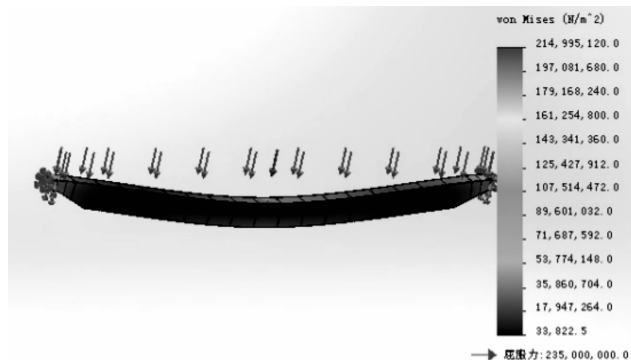


图2 无风载荷应力图

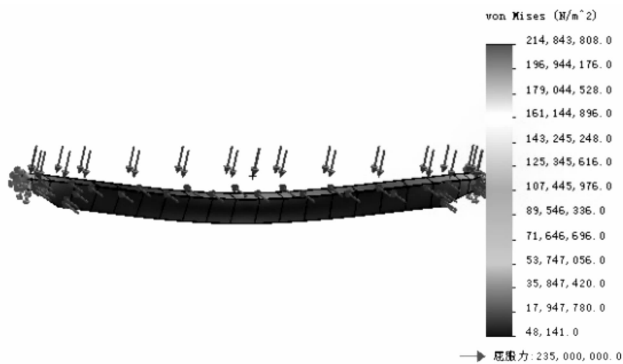


图3 加载风载荷应力图

无风载荷位移图和加载风载荷垂直位移图如图 4、图 5 所示。

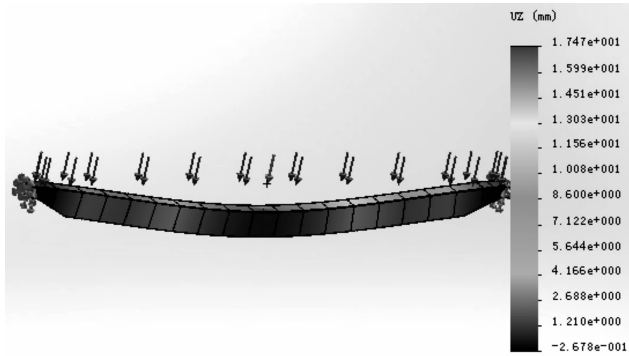


图 4 无风载荷位移图

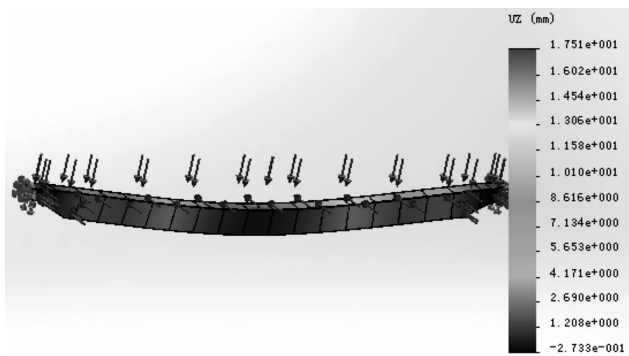


图 5 加载风载荷垂直位移图

由图 4、图 5 可知,无风载荷时受到的最大应力为 215 MPa,最大位移为 17.47 mm;加载风载荷时受到的最大应力也为 215 MPa,最大位移为 17.51 mm,二者结果相差不大。我国起重机标准明确规定由移动载荷(包括起重小车自重和额定起升载荷,下同)在跨中引起的垂直静挠度应满足下述要求:①工作级别为 A5 或 A5 以下的起重机, $y_L \leq L/700$;②工作级别为 A6 的起重机, $y_L \leq L/800$;③工作级别为 A7、A8 的起重机, $y_L \leq L/1\ 000$ (L 为起重机的跨距)。本研究的工作级别为 A7 级,根据计算可得所设计的最大垂直静挠度为: $y_L = 38\text{ mm}$,由位移图可知满足设计要求,考虑风载荷力和不考虑风载荷对垂直静挠度基本没有影响。由所获得的应力图可看到,其对最大应力也基本没有影响。

水平方向的位移图如图 6 所示,图 6 中显示水平方向受到八级风载荷作用时产生的最大位移是 4 mm,由起重机设计手册可知,水平方向上的静挠度^[10]需满足 $f_H \leq L/2\ 000$,其中 f_H 为起重机的最大水平静挠度,计算可得笔者所研究的起重机主梁的最大静挠度为 19 mm,所受风载产生的水平变形在允许的范围內。

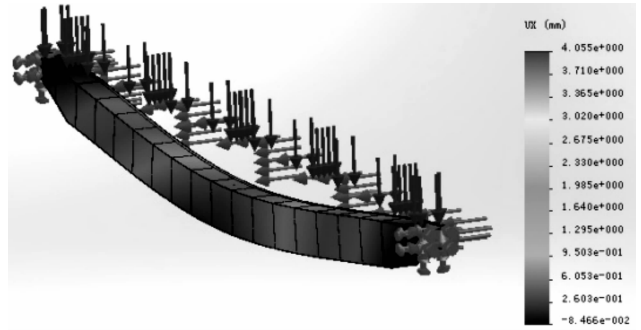


图 6 风载荷下水水平位移图

4 结束语

本研究中通过添加平均风载荷,对起重机主梁进行了应力和变形的研究,研究表明,无风载荷和施加风载荷对起重机主梁的垂直静挠度和最大应力的影响基本相同,表明平均风载荷对起重机的垂直静挠度和最大应力影响较小,因此在设计计算中可以忽略不计,这对减少设计人员的设计工作量、提高工作效率具有重要的参考价值。而风载荷的大小对起重机主梁水平方向的位移具有一定的影响作用,在后续水平刚度校核中应予以考虑,它也为起重机防风制动装置的设计提供了重要的设计数据。

参考文献(References):

- [1] 董达善,俞 浩. 典型起重机双箱梁结构的 CFD 风载研究[J]. 中国机械工程,2009,7(1):7-10.
- [2] 吴晓玲,靳 慧. 一种新型起重机动态防风压轨器的研究[C]//中国力学学会 2009 年学术社会论文集. 郑州:[出版者不详],2009.
- [3] 黄 鹏,王勇军,顾 明. 港口集装箱起重机平均风荷载试验研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(10):1384-1389.
- [4] 李欣灿,周诗洋. 基于 ANSYS 的桥式起重机动态分析[J]. 湖北工业大学学报,2012,27(4):18-20.
- [5] 张质文,虞和谦,王金诺,等. 起重机设计手册[M]. 北京:中国铁道出版社,1998.
- [6] 孙 民,付为刚. 基于疲劳强度设计的通用桥式超重机箱梁结构研究[J]. 机械,2011,38(11):68-73.
- [7] 国家标准委员会. GB/T3811—2008 起重机设计规范[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [8] 李 阳,梁 臻. 桥式起重机大车大梁有限元分析[J]. 湖北工业大学学报,2012,27(4):22-24.
- [9] 鞠衍清,张风雷. 基于 Matlab 的单摆周期近似解的比较[J]. 大学物理,2007(3):6-9.
- [10] 盛景荃. 振华港机 7 500 吨纯吊面世[J]. 华东科技,2008(6):9-10.