更换包钢4#高炉布料器专用吊具的设计与分析

李晓华,林建华,高 民

(内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 包钢4#高炉由于炉顶钢结构的设计缺陷,导致更换布料器需要制作专用的起重吊具。基于Inventor软件对吊具进行初步设计与分析,在完成吊具的建模后利用Inventor应力分析模块计算出吊具的应力分布、位移变形及安全系数,从而成功解决了生产现场实际问题。

关键词: 布料器; Inventor软件; 吊具

中图分类号: TF321.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)03-0078-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.03.021

Design and Analysis on Replacing Special Sling for Distributing Device of 4# Blast Furnace in Baotou Steel

Li Xiao-hua, Lin Jian-hua, Gao Min

(*Iron-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: Due to the design defects of steel structure on furnace top of 4# blast furnace in Baotou Steel, it is necessary to make special sling for replacing the distributing device. The preliminary design and analysis of sling are carried out with the Inventor software. The stress distribution, displacement deformation and security coefficient of sling are calculated with the Inventor stress analysis module after modeling of sling so that the actual problems on site are successfully solved.

Key words: distributing device; Inventor software; sling

布料器位于高炉炉顶位置,是无料钟炉顶的核心设备,其功能是驱动并控制布料溜槽绕高炉中心线的旋转和倾动,以完成高炉不同的布料要求。布料器发生故障后,需高炉休风后进行更换。更换布料器通常是高炉检修的主线,更换时间决定着高炉的休风时间,所以提高布料器的更换效率,可以减少高炉休风带来的经济损失。包钢4#高炉2014年大修后装备了美国Woodings公司的进口布料器,该布料器设备重量为32 000 kg。由于炉顶钢结构的设计缺陷,导致更换4#高炉布料器的检修空间极其狭小,给吊装制造了困难,影响布料器的顺利更换。

1 问题提出与解决

1.1 更换布料器的吊装难点

如图1所示,由于布料器位于炉顶钢圈与下密封阀之间,且布料器的托架部件位于布料器下方,伸入炉顶钢圈980 mm,所以更换布料器首先需要用4台10 t倒链将布料器垂直起吊不低于1 000 mm后,再利用上方4台重型滑车将布料器平移至可用炉顶吊车吊运的位置。结合图纸尺寸,在现场实际

收稿日期: 2018-01-04

作者简介: 李晓华(1988 -),男,内蒙古乌兰察布市人,在读硕士,工程师,现从事炼铁设备管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

测量后发现，因为设计缺陷导致上方吊装梁高度不够，安装4 台重型滑车及 10 t 倒链后，即使以布料器最下方的吊点起吊，起吊高度最多能达到 800 mm，不能使布料器的托架从钢圈上沿移出。由于吊点位置与重型滑车竖直方向不在同一条直线上导致起吊角度大于 20°，且随着布料器的上升起吊角度会逐渐增大，这样会使重型滑车发生倾斜承重，存在严重安全隐患。所以要想将布料器安全平稳的吊出，需设计专用吊具，使用吊具将现有吊点的位置进行调整，从而保证起吊高度。

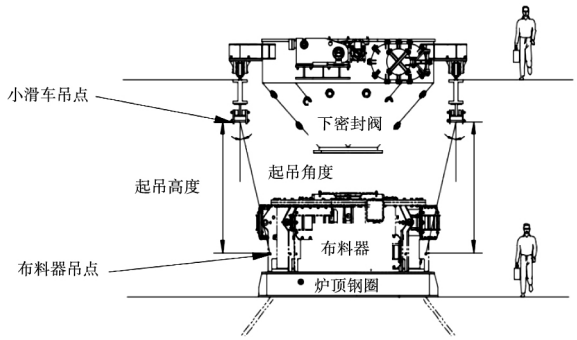


图 1　布料器更换难点示意

1.2　解决方案

如图 2 所示，设计布料器起吊专用吊具，可使吊点位置横向外移 450 mm，竖直下移 200 mm，这样可以满足起吊高度和角度的要求。在起吊前先安装 4 台专用吊具，吊具与布料器用销轴连接，然后用 4 台倒链将布料器吊起，待布料器托架高于炉顶钢圈上沿后，利用上方与倒链相连的 4 台滑车将布料器横向移出。

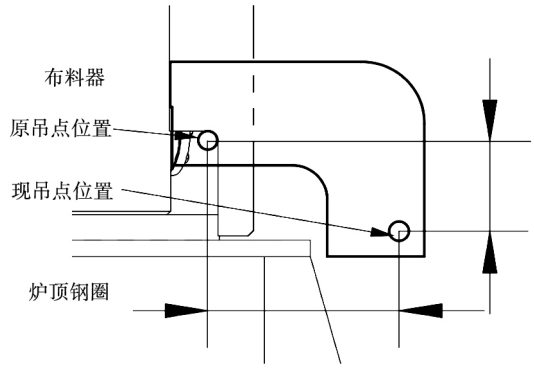


图 2　吊具安装示意

2　吊具受力分析及强度校核

2.1　建立吊具力学模型

由于吊具只在竖直平面受力，所以对吊具在竖直平面上进行受力分析。如图 3 所示，布料器重 32 000 kg由 4 个吊点进行起吊，所以每个吊点在竖直方向承受 80 kN 的力。以布料器原吊点为研究对象建立力学模型，在起吊过程中在 O 点由 F_a 产生的力矩 M_a 与由 F_b 产生的力矩 M_b 的共同作用下处于静止平衡状态。

故 $|M_a| = |M_b|$

$|F_a| \cdot |OA| = |F_b| \cdot |OB|$

带入数值 $|OA| = 0.13$ m，$|OB| = 0.45$ m，$|F_b| = 80$ kN 后，得 $|F_a| = 277$ kN。

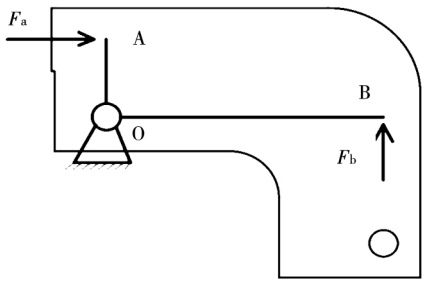


图 3　吊具的力学模型

2.2　销轴强度校核

如图 3 所示，吊具 O 点与布料器用销轴连接，所受的力为 F_a 与 F_b 的合力，所以有：

$$|F_o|^2 = |F_a|^2 + |F_b|^2$$

带入数值后得：$|F_o| = 288$ kN

因为吊具框架与布料器原吊点侧面的配合间隙不大于 2 mm，对销轴产生的弯矩很小，所以仅以抗剪强度校核销轴的直径。

销轴最小直径 d 的计算：

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \leqslant [\tau] \tag{1}$$

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4} \tag{2}$$

式中：τ—— 剪切应力；

F_s—— 剪切力；

A_s—— 剪切面积；

$[\tau]$—— 许用剪切应力；

d—— 销轴直径[1]。

由剪切强度校核公式(1)，公式(2) 得出：

中国知网　https://www.cnki.net

$$d \geqslant \sqrt[2]{\frac{F_s \pi}{4F_s}} \quad (3)$$

销轴采用45#碳素结构钢加工而成，许用抗剪强度为178 MPa，带入公式得：$d \geqslant 22.5$ mm。根据起重机械安全规范，安全系数需大于1.7，得销轴直径为40 mm。

3 基于Inventor吊具应力分析

在对吊具的零件销轴进行完强度校核后，为了确保在起吊过程中吊具框架的变形量不会使吊具与布料器脱开，造成检修安全事故，需要应用Inventor软件对吊具框架进一步进行应力分析，从而确定吊具使用过程中的应力状态及变形量。

3.1 Inventor软件介绍

Autodesk Inventor是Autodesk公司推出的第三代机械设计软件，具有优秀的三维设计解决方案，杰出的三维参数化尺寸驱动系统以及独特的自适应技术。并且能与AutoCAD无缝结合，操作简单，易于从二维设计过渡到三维设计，非常有利于新产品的设计、开发。在各种CAD软件家族中处于领先地位，一经推出就深受用户的欢迎[2]。

在Autodesk Inventor中，集成了ANSYS公司的有限元分析模块。这个新功能可以对零件进行应力分析。应力分析功能需在Inventor零件环境的模型上使用，进行添加工况、计算应力应变、估算安全系数和频率特性等。

3.2 对吊具进行建模

Inventor包含建立复杂零件模型所需的完整的实体造型特征，造型从草图开始，用点、线、圆弧和样条曲线来交互式地绘制截面轮廓，复杂的几何特征可以用拉伸、旋转、放样和扫掠进行创建。所有特征是完全参数化的，在Inventor零件环境中可以很方便地完成复杂形体的模型。

3.3 应力分析

数学模型由有限个几何单元组成，通过对各个单元进行独立的分析计算，并根据相邻单元的约束条件，得到整个几何模型可能发生的结果。目前Inventor提供的应力分析，只能处理“线性材料特性”的模型。这种材料特性，应力和应变成比例，并认为材料不会进入到塑性变形范围，而总是在弹性变形区域内。在分析系统中，被处理的模型被划分成有限个小的单元结构，称为网格化[3]。应力分析在零件环境中执行，具体分析过程如下：

(1) 设置吊具材料力学参数。打开已创建好的吊具框架模型，启用应力分析功能。点击“创建分析”按钮，新建一个分析。双击导航窗口中的“材料”设置材料参数，吊具的框架采用常用的Q235碳素结构钢制作而成，所以修改材料的屈服强度参数为235 MPa，拉伸强度参数为400 MPa。

(2) 设置零件工况原始条件。首先设置吊具与布料器原吊点的连接孔为固定约束。然后设置吊具所受的载荷，吊具在水平方向受力F_a，大小为277 kN，受力点为吊具上部的接触面。在竖直方向受力F_b，大小为80 kN，受力点为吊具与倒链的销轴孔。之后点击“求解”按钮，计算机开始对吊具框架进行计算分析，并显示出了分析结果的图形报告。

(3) 等效应力的分析结果评估。在导航栏中双击“结果”中的“Mises等效应力”可以看出等效应力的分布情况，如图4所示。由应力云图可以看出，在吊具与布料器原吊点连接的销轴孔处所受的应力较大，边缘局部最大处可达到224.4 MPa，但依然小于钢材的屈服强度，符合使用要求。

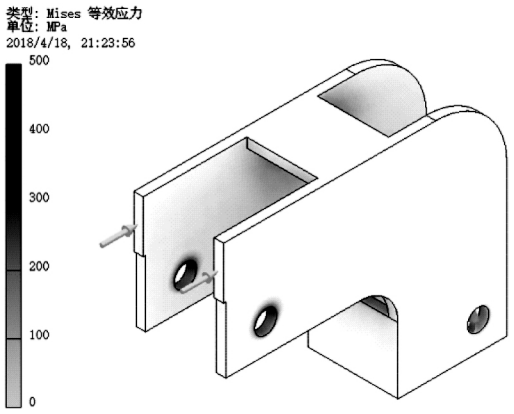


图4 等效应力云图

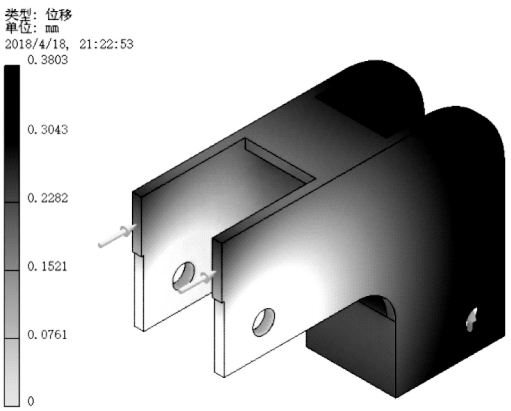


图5 位移变形云图

中国知网 https://www.cnki.net

(4) 位移变形的分析结果评估。在导航栏中双击“结果”中的“位移”可以看出位移变形量的分布情况,如图 5 所示。由位移云图可以看出,深色部分为最大位移量,最大处的位移变形为 0.35 mm,不影响吊具的正常使用。

(5) 安全系数的分析结果评估。在导航栏中双击“结果”中的“安全系数”可以看出安全系数的分布情况,如图 6 所示。由安全系数云图可以看出,和应力分布情况类似,深色部分为安全系数最低的地方,在吊具与布料器原吊点连接的销轴孔处。但依然可以达到 1.7,满足起重吊具的设计要求。

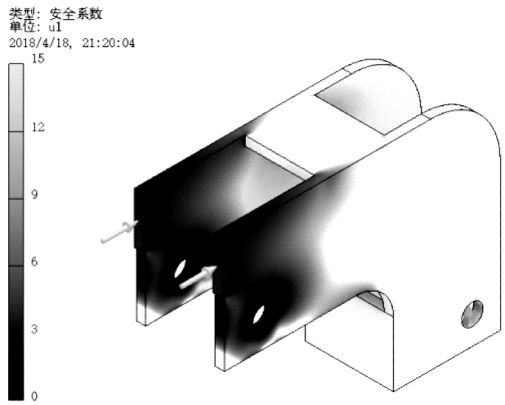


图 6　安全系数分布云图

4　结束语

实践证明,基于 Inventor 设计的更换包钢 4#高炉布料器专用吊具,不但为工程现场提供重要的参考依据,而且成功解决了实际问题。2016 年度、2017 年度炼铁厂曾多次使用此吊具成功完成了 4#高炉布料器的更换工作,在提高检修作业效率的同时保证了施工安全。

参　考　文　献

[1] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社,2016.
[2] 韩俊平,叶红. Inventor 应力分析与机械零件设计 [J]. 机械与电气,2008,(7):28 - 29.
[3] 王桂梅,杨立洁. 基于 Inventor 的机械产品虚拟设计 [J]. 煤矿机械,2006,(1):12 - 13.

(上接第 77 页)

最小极限值,发出一个报警,实现报警功能,监控室触摸屏显示故障并记录。

(8) 主润滑系统回油流量传感器。测量回油流量,如果回油流量低于最小极限值,发出一个重报警,监控室触摸屏显示故障并记录。

(9) 复位按钮。作为复位控制器激发的报警。

(10) 控制柜具有手动或者自动控制两种方式。操作简单,自动化程度高,易维护,使用寿命长。

(11) 减少由于润滑不当引起的备件损坏现象,有效提高了旋回破碎机的开动率,满足了生产的需要,保证了原料的供应。

(12) 减轻了工人的劳动强度。

4　结束语

润滑监测系统在旋回破碎机上安装使用,效果显著,杜绝了由于压力低、温度高、流量低等原因造成破碎机润滑部位的研磨、发热事故。经过几个月运行,安全实用。它具有结构简单,维修量小,适应性强等优点,减少了设备维修费用,减轻工人劳动强度,具有较高的使用价值和推广前景[3]。

参　考　文　献

[1] 周恩蒲. 矿山机械(选矿部分) [M]. 北京: 冶金工业出版社,1985.
[2] 王万良. 自动控制原理 [M]. 北京: 科学出版社,2001.
[3] 夏宗泽. 机械设备手册 [M]. 北京: 机械工业出版社,2002.

中国知网　https://www.cnki.net