包钢4#高炉布料器曲柄断裂原因分析与改进*

张建东,李晓华,刘广涛,张小龙,梁红根

(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#高炉布料器为美国WOODINGS公司制造,在备件修复过程中对其内部零件曲柄进行了国产化改造,在上线投入使用两个月后曲柄发生断裂。应用Solidworks软件对曲柄进行建模分析,研究曲柄的断裂原因并制定改进方案,使现场问题得到了合理解决。

关键词: 布料器; 曲柄; 断裂

中图分类号: TF573 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)06-0076-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.06.020

Reason Analysis and Improvement of Fracture for Crank of Distributing Device on 4# Blast Furnace of Baotou Steel

Zhang Jian-dong, Li Xiao-hua, Liu Guang-tao, Zhang Xiao-long, Liang Hong-gen

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

Abstract: The distributing device on 4# blast furnace of Baotou Steel is manufactured by WOODINGS Company of the USA. During the repair of spare parts, its internal part, crank is with the domestic reconstruction. Two months after the production line was put into service, the crank was fractured. The modeling analysis of crank is with the software Solidworks to study the reason of fracture for crank and formulate the improvement project so that the on-site problems are solved reasonably.

Key words: distributing device; crank; fracture

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进行旋转和倾动,完成高炉生产的不同布料要求。曲柄是布料器倾动传动系统中的关键零件,包钢4#高炉布料器曲柄原材质为美国UNS标准G 43400合金结构钢[1],在布料器修复过程中采用对应的国标钢号40CrNiMoA制作新曲柄,2019年10月上线使用两个月后该曲柄发生断裂,需要对曲柄的结构进行增强改进。

1 布料器传动原理及曲柄功能

无钟炉顶布料器的主要功能特点是使布料溜槽能够具备倾动和旋转两种运动,且溜槽的倾动和旋转采用各自独立的传动系统,二者互不干涉,其传动原理如图1所示。

溜槽水平旋转: 主电机1→小齿轮2→上部回转支承3→耳轴转套4→溜槽8。

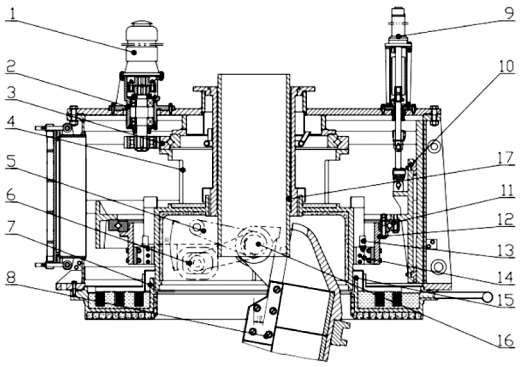
溜槽垂直倾动: 油缸9→托圈10→下部回转支

* 收稿日期: 2020-05-20

作者简介: 张建东(1978-),男,内蒙古包头市人,硕士,高级工程师,现从事炼铁设备管理工作。

承 11→钢圈 12→曲柄 5→溜槽 8。

在布料器的气密箱体内是垂直倾动和水平旋转的传动机构，主要的连接方式为：加工有外齿圈形式的上回转支承外圈与耳轴转套的上法兰连接，上回转支承的内圈与布料器上盖的短管法兰固定。电机及摆线针轮减速机通过弹性垫柱销联轴器与装在布料器上盖上的小齿传动装置相连接，小齿轮伸入气密箱体内与上回转支承的外齿圈相啮合。由交流电机通过小齿轮带动耳轴转套旋转，耳轴转套带动与其相连的托架及溜槽旋转，从而实现布料溜槽的水平旋转运动。



1 – 摆线针轮减速机；2 – 小齿轮；3 – 上部回装支撑；4 – 耳轴转套；5 – 曲柄；6 – 滚子；7 – 水冷底盘；8 – 溜槽；9 – 油缸；10 – 托圈；11 – 下部回装支撑；12 – 钢圈；13 – 自动单点润滑器；14 – 定心块；15 – 浮动环密封；16 – 花键轴；17 – 中心喉管

图 1　布料器传动原理图

在耳轴转套两侧与花键轴相连接的两个曲柄上端均装有大小相同的尾轮，尾轮装入钢圈下侧的方孔中。钢圈法兰与下回转支承的内圈用螺栓连接，下回转支承的外圈与托圈连接，在钢圈两侧对称安装两个定心块与耳轴转套上的定心滑道相配合。托圈外部 8 组竖向滑块与密封箱体内壁的 8 条竖向滑道相配合，从而对托圈的升降起到限位作用。置于气密箱上盖在圆周方向等角度布置的 4 个直线油缸通过托圈拉杆与托圈连接。传动过程为，油缸带动托圈升降，托圈通过回转支承带动钢圈升降，钢圈再带动与曲柄连接的两个尾轮上下运动，曲柄驱动花键轴带动托架和溜槽进行倾动，即实现了布料溜槽垂直倾动运动。

在布料器的正常工作过程中，布料溜槽的旋转与倾动同时进行，从而实现了 β 角和 α 角同时进行的布料方式[2]。

2　曲柄断裂原因分析

2.1　曲柄改进前后材质的力学实验对比

包钢 4#高炉布料器曲柄原材质为美国 UNS 标准 G 43400[1]，在布料器修复过程中因发现其有探伤缺陷，采用了对应的国标钢号 40CrNiMoA 制作新曲柄。G 43400 理论力学性能与 40CrNiMoA 的实测力学性能对比见表 1。根据表中的数据对比，可以看出目前使用的国标钢号 40CrNiMoA 力学性能明显低于原装材质 G 43400。

表 1　曲柄原装进口与现用材质力学性能对比

名称	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	断面收缩率/%	冲击功/J
G 43400 理论力学性能[1]	≥980	≥835	≥12	≥55	≥78
40CrNiMoA 实测性能	880	678	19	57	38

2.2　曲柄受力分析

2.2.1　当布料溜槽在 55°时曲柄的受力分析

如图 2 所示，当溜槽在最大设计角度 55°时，溜槽与托架的质量 G_0 为 8 063 kg，溜槽重心距离垂直中心线距离 L_1 为 1 041 mm。曲柄与水平的夹角为 9°，曲柄尾轮支点距离垂直中心线距离 L_2 为 429.6 mm。曲柄受到向下压力 $F = G_0 \cdot L_1/L_2 =$ 19 538 kg。

2.2.2　当布料溜槽在最小角度 3°时的受力分析

如图 3 所示，当溜槽在最小设计角度 3°时，溜槽与托架的质量 G_0 为 8 063 kg，溜槽重心距离垂直中心线距离 L_1 为 664.6 mm。曲柄与水平的夹角为 61°，曲柄尾轮支点距离垂直中心线距离 L_2 为 210.5 mm。两侧曲柄受到向上压力 $F = G_0 \cdot L_1/L_2 =$ 25 457 kg。

2.2.3　溜槽在 42°布料时受力分析

如图 4 所示，当溜槽在 42°布料时，溜槽内的炉料重量 $G_{料}$ 为 2 573 kg，溜槽受到炉料的冲击力 F_c 为 835 kg，溜槽与托架的质量 G_0 为 8 063 kg，溜槽重心距离垂直中心线距离 L_1 为 641.7 mm。曲柄尾轮支点距离垂直中心线距离 L_2 为 403.3 mm。两侧曲柄

受到向下压力 $F = (G_0 + G_{料} + F_c) \cdot L_1/L_2 =$ 18 252 kg[3]。

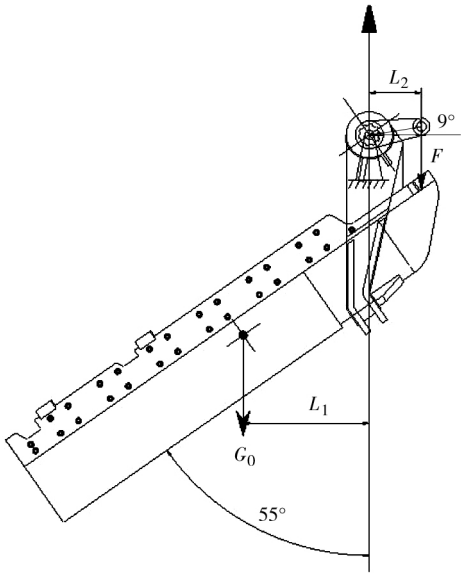


图2 溜槽在最大角度55°时曲柄的受力分析

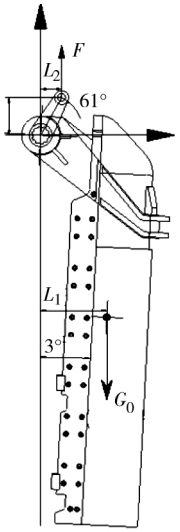


图3 溜槽在最小角度3°时曲柄的受力分析

2.3 基于SolidWorks软件的曲柄应力分析

应用SolidWorks计算机软件对曲柄建模，理论上布料器应该通过双侧曲柄的均匀受力实现溜槽倾动，但是由于制造及安装过程中不可避免的误差，在实际运行过程中往往是单侧曲柄受力或是两侧曲柄依次先后受力。所以在计算机软件分析时只对单侧曲柄施加载荷，分析其在不同状态下的应力分布情况。从而找出曲柄的应力集中点，判断其断裂原因。

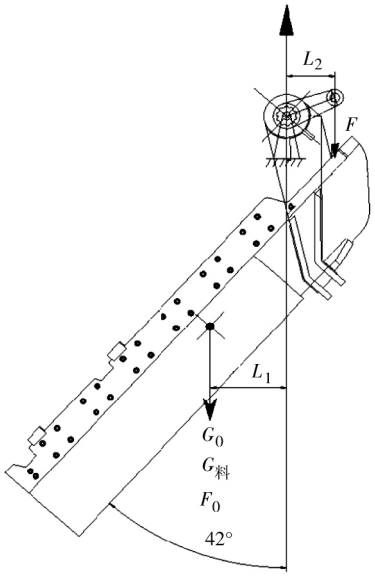


图4 溜槽在42°布料时的受力分析

如图5所示，当布料溜槽在最大角度55°时，应用软件对曲柄施加约束和载荷，计算结果显示曲柄单侧受力的最大集中应力达到了644 MPa。



图5 溜槽在55°时曲柄单侧受力模拟分析

如图6所示，当布料溜槽在最小角度3°时，在软件中对曲柄施加约束和载荷，计算结果显示曲柄单侧受力的最大集中应力达到667 MPa，接近屈服强度678 MPa。

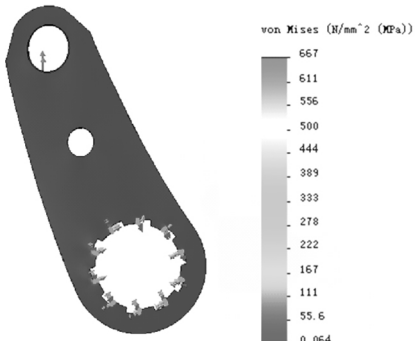


图6 溜槽在3°时曲柄单侧受力模拟分析

当溜槽在 42°进行布料时，布料器单侧曲柄受力，曲柄的应力集中处最大载荷达到了 540 MPa。

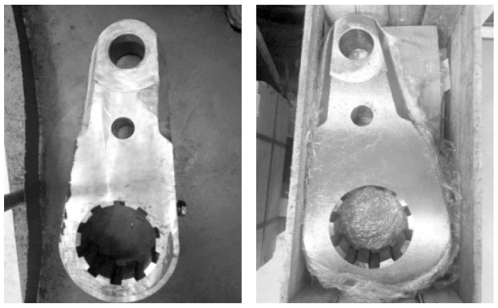
应用 SolidWorks 计算机软件进行静态分析，结果显示曲柄所受应力已经非常接近屈服极限。在设备运转过程中的动态环境下，曲柄承受更大的压力和冲击导致双侧曲柄依次断裂。将计算机分析结果与实物进行对比，计算机软件显示的应力集中部位与现场曲柄断裂部位基本吻合，进一步确定在动载状态下曲柄局部强度不足是导致曲柄断裂的直接原因。

3　曲柄改造方案

受限于现有的结构空间，对曲柄花键应力集中处的外圆进行增厚设计，由改造前半径 127 mm 增加到 147 mm。同时对应力集中处进行再次增强，将半径增加到 167 mm，比布料器原装曲柄半径增加 52.7 mm。易断处截面面积增加约 60%，强度提高 1.6 倍以上，图 7 为曲柄改造前后的实物对比图。

4　结束语

曲柄是布料器的关键零件，使用状况直接关系到高炉的稳定生产。在发生断裂后，通过应用 SolidWorks软件进行建模和有限元受力分析，快速准确找到了曲柄的应力集中部位。以此作为改进参考依据，成功完成了进口曲柄的国产化改造。改造后的布料器曲柄强度得到提升，在 2020 年 6 月 5 日成功上线使用，目前设备运行稳定，满足生产要求。



（a）改进前　　（b）改进后

图 7　曲柄改进前后实物对比

参　考　文　献

[1] UNS G 43400，合金结构钢 [S].

[2] 张建东，吴崇兰. BGⅢ型高炉布料器运动分析 [J]. 包钢科技，2018，(4)：56－57.

[3] 成大先. 机械设计手册(第 6 版) [M]. 北京：化学工业出版社，2016.

(上接第 75 页)

参　考　文　献

[1] 蔡行键. 深入浅出西门子 S7－200PLC [M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2004.

[2] 潘永湘，杨延西，赵跃. 过程控制与自动仪表 [M]. 北京：机械工业出版社，2007.

[3] 李克俭，饶满和. 水塔水位控制系统的研究与设计 [J]. 广西工学院学报，2006，(4)：76.