

PS 卧式转炉送风系统优化与实践

王学建, 夏俊, 张建波

(楚雄滇中有色金属有限责任公司, 云南 楚雄 675000)

[摘要] 本文概述卧式转炉风眼弹子房供风过程,对生产过程中漏风的原因和影响因素进行了分析,同时提出了解决转炉送风系统漏风的控制方法,并在实践中取得成功。

[关键词] 卧式转炉; 送风系统; 漏风; 防松螺栓; 浮动预紧碟簧

[中图分类号] TF06 [文献标志码] B [文章编号] 1003-8884(2021)04-0065-04

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.04.015

0 概述

随着楚雄滇中有色金属有限责任公司生产规模不断扩大,生产效率日益提高,公司对转炉炉耗和可靠性要求越来越高,2017年以前因转炉送风系统漏风影响转炉吹炼时间每年度高达82.34 h,如何有效降低转炉送风系统故障是提高转炉吹炼效率的有效途径。滇中公司通过对传统转炉送风系统连接方式进行实效分析,通过结构优化和采用先进的浮动预紧碟簧技术,解决送风系统的泄漏问题,提高了转炉

吹炼效率。

1 卧式转炉基本参数

卧式转炉是铜冶炼上常用的一种冶金炉^[1],吹炼时靠与炉壳相连的风眼弹子房将冶炼用风鼓入炉内,使熔体中的铁、硫等杂质与氧和熔剂化合形成炉渣和一氧化硫气体而被除去,主要产出品位高于98%的粗铜。滇中公司在用的2台60 t卧式转炉由昆明重型机械厂制造,其主要参数如表1所示。

表1 滇中卧式转炉参数表

设备名称	设备参数	制造厂家	
PS 卧式转炉(60T)	PS 型	容量:60 t(第一批进料量)	
	炉体转速:正常 0.488 r/min	炉体转速:故障 0.372 r/min	
	风眼直径:Φ47	风眼间距:152 mm	
	炉口倾角:27.5°	风眼数量:36 个	昆明重工
	风眼角度:0°	风口截面积:0.062 4 m ²	
	炉体尺寸:Φ3 620 × 8 100 mm	砌体尺寸:Φ2 770 × 6 940 mm	
	炉口尺寸:3.53 m ²	设计风量:31 000 m ³ /h, 设计压力 0.08 ~ 0.12 MPa	

2 PS 卧式转炉生产漏风影响因素

2.1 风眼弹子房结构的影响

卧式转炉在炉后距离炉体水平中心线向下830 mm处设置有一排36个通向炉内的风口,吹炼时GM风机将冶炼用风供至转炉送风系统,然后经风口送入炉内熔体中,参与氧化反应,风口的结构如

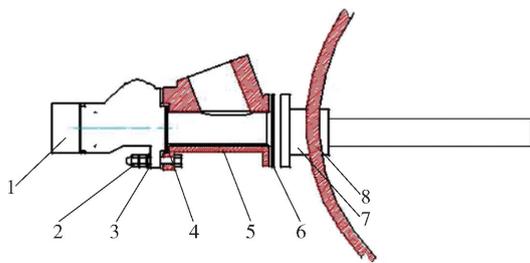
[收稿日期] 2020-08-02

[作者简介] 王学建(1993-),男,云南楚雄人,机械助理工程师,大学本科,主要从事铜冶炼设备管理工作。

[引用格式] 王学建,夏俊,张建波. PS 卧式转炉送风系统优化与实践[J]. 有色设备,2021,35(4):65-68.

图1所示,由前段风眼弹子房、中段三通座和后段底座组成,之间均采用螺栓加密封垫的连接形式,三通座采用无缝管和上部的风箱进行焊接连接。当转炉处于吹炼位置时,风眼弹子在冶炼用风作用下,贴紧密封球座垫,将消音器封死,冶炼用风进入炉腔内参与吹炼;当转炉进行捅风眼作业时,钎子把弹子插入弹子室内,钎子拔出后,冶炼用风又把弹子压向密封球座垫,起到密封作用,外部消声器用于消除捅风眼时产生的漏风噪音。

在生产过程中风眼弹子房受到捅风眼机的捅打,加上炉后结渣、高温的影响,风眼弹子房、中段三通座和后段底座之间会出现不同程度的松动,导致不同程度的漏风现象,严重的影响了转炉生产效率。



1. 消音器 2. 连接螺栓 3. 风眼弹子房 4. 前端密封垫片 5. 三通座 6. 密封垫 7. 底座 8. 炉壳

图1 转炉风口示意图

风口各个连接的部位均采用的是橡胶石棉垫(XB350),该处温度约为150℃左右,垫子长时间经高温后容易老化脆裂,起不到密封作用,也会造成风口漏风,影响整个送风系统效率。

2.2 风眼弹子房的连接方式的影响

转炉在吹炼过程中,磁性铁渣粘结在水平风管的前端,会减小水平风管供风横截面积,造成炉内供风不畅,送风量下降,所以要进行炉后捅风眼操作,清除掉水平风管前端的粘结物,保证风眼畅通,送风量正常。由于需要人工手动使用捅风眼机(捅打力约为25 kN)频繁对风眼弹子房进行清理,会造成36个风眼弹子房所使用的紧固螺栓在使用一段时间后就出现松动或脱落情况(每个风眼弹子房用两颗M16×90性能等级为4.8级的螺栓GB/T 5780-2000和弹垫GB/T93进行紧固)。

风口螺栓松动或脱落主要原因是在捅风眼机的冲击及振动下,螺栓连接不能满足紧固和密封所需最小预紧力要求。现场使用的螺栓是最常规摩擦防松动连接方式,这种方式在螺母和连接底座之间产

生两个反方向的摩擦力,该反向的摩擦力可以有效防止连接构件在无外界影响时发生松动^[2]。但实际在进行捅风眼作业的冲击、振动情况下,刚开始风眼连接螺栓与底座间会产生间隙变得松弛,导致所需预紧力下降,随着时间越长、振动次数的增加,最终导致螺栓连接失效。日常检修人员为防止螺母、螺纹松脱情况,在风眼安装完成后,还采用了铆冲防松的方法,即将螺母拧紧后采用点焊的方式,使螺纹副不会再发生移动^[3]来防止螺栓松动。

表2 普通螺纹六角螺栓/弹垫振松实验

初始轴力/ kN	30°轴 力/kN	60°轴 力/kN	90°轴 力/kN	120°轴 力/kN	残余/ 初始%
57.7	22.1	12.8	9.5	9.2	15.9
57.6	9.6	8.4	8.0	8.0	13.9
57.5	9.4	7.1	6.6	6.4	11.1
57.9	12.6	11.3	11.0	10.8	18.8
58.9	2.7	/	/	/	/
57.6	18.0	8.7	6.9	/	/
57.5	3.7	3.6	/	/	/
57.5	10.7	8.5	8.0	/	/
58.0	5.9	/	/	/	/

注:试验频率12.5 Hz、空载振幅±1.9 mm、润滑条件机油、振动次数1500次、报告通检委字第01226号。

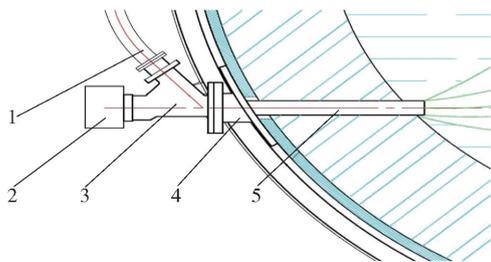
为了更好的研究出捅风眼时风口的工作情况,进行了普通螺纹六角螺栓振松试验。从表2中可看出经过30°的振动,普通螺栓预紧力基本损失殆尽,至使风眼弹子房使用一周后便出现松动现象,造成该区域风眼漏风严重、噪音增大,进而导致炉内水平风管风口形成的空腔减小,炉体内铜液更易接触风口区耐火材料,造成风口区耐火砖爆裂、烧损加剧。

3 送风系统的改进及优化措施

3.1 风口部件的结构优化

由于风口部件连接点位较多,造成检修时工程量大,对检修人员的水平安装要求较高,针对存在的问题,滇中公司对西南铜业、易门铜业等多家冶炼企业的转炉进行考察,综合各方面优缺点考虑后,对风眼弹子房的结构进行调整,即精简了风眼弹子房的连接形式和结构,减少各个部件间的连接点,减少了螺栓的使用,并将风眼连接软管、密封垫片进行了全

面优化,如图 2 所示。



1. 连接软管 2. 风口消音器 3. 风眼弹子房 4. 风口底座 5. 风口内管

图 2 风眼弹子房优化后示意图

改造后的风眼弹子房取消了中间部分的三通座,直接与底座 4 进行连接,后部底座与炉壳为一体,这样的结构简单,使其满足在振动工况下减少位移。并且在三通底座与风眼弹子房连接处加工一个深 10 mm 的凹台,将 3 mm 厚的耐高温(200℃)铝包石棉垫安装在该处,改进后避免了该处漏风情况,降低了风口产生的噪音,提高了风眼区炉衬的使用寿命。

3.2 连接方式的改进

风眼弹子房与底座的连接类似于法兰连接,连接螺栓将风眼弹子房与风口底座进行紧密连接,连接所产生的压力需大于座子在密封垫片上的力才能够防止泄露。对于部件 3 风眼弹子房和部件 4 底座的连接改用唐氏螺栓连接(Q/TANGS 5782-TM20 性能等级 12.9 级)。与传统连接螺栓相比,唐式螺栓采用的是正、反两个螺母(分为紧固螺母、防松螺母)和螺杆进行连接,两个螺母丝牙旋向刚好相反^[4]。在使用过程中紧固螺母受振动、冲击后存在向外位移的趋势,外部的锁紧螺母旋向刚好和紧固螺母位移方向相同,这时锁紧螺母就能够有效阻止紧固螺母发生位移,从而有效防止螺栓松动。如表 3 所示唐式防松动螺栓经过 120 秒振动仍保持 62.4% 的预紧力,防松效果显著。

图 3 中上部曲线为在振动情况下防松螺栓预紧力随时间变化图,下部为普通螺栓预紧力随时间变化图,可以看出采用防松螺栓代替普通六角螺栓后风眼弹子房与底座连接预紧力下降缓慢,随着时间推移预紧力逐步趋于平稳,由于捅风眼机作业振松问题得到有效解决。

3.3 预紧力的有效补偿

实际运行中由于转炉送风系统的密封性常常受

表 3 唐氏螺纹紧固件连接副振松实验

初始轴力/kN	30"		60"		90"		120"		残余/初始 %
	轴力/kN								
49.4	56.1	47.4	46.7	46.4	46.3	46.3	46.3	82.5	
50.0	57.1	49.6	49.2	49.0	47.2	47.2	47.2	82.7	
49.7	58.1	47.7	46.5	46.0	45.5	45.5	45.5	78.3	
49.9	57.1	48.5	46.9	45.9	45.3	45.3	45.3	79.3	
49.5	57.6	48.6	47.9	47.5	47.0	47.0	47.0	81.6	
50.0	57.4	45.7	44.1	42.0	35.8	35.8	35.8	62.4	
50.0	57.7	50.1	48.5	47.5	47.0	47.0	47.0	81.5	
50.0	57.8	52.3	51.8	50.3	49.5	49.5	49.5	85.6	
50.0	57.7	52.7	52.0	49.5	48.2	48.2	48.2	83.5	

注:初始轴力栏:第 1 列为右旋(紧固)螺母安装轴力,第 2 列为左旋(锁紧)螺母安装轴力,试验频率 12.5 Hz,空载振幅 ±1.9 mm,润滑条件机油,振动次数 1 500 次,报告通检委字第 01226 号。

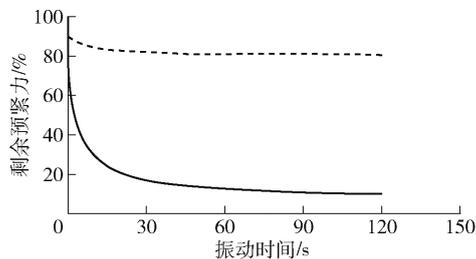


图 3 连接螺栓振松对比图

到炉体温度变化及炉后结渣的掉落的影响。由于风眼弹子房、连接螺栓各构件的热胀冷缩速率不同,导致各个连接构件的膨胀间隙不一致,加之普通垫片的补偿能力有限,就会造成风口和底座之间在温度变化时还是会存在间隙,这些间隙就会导致连接螺栓预紧力的消失,造成螺栓松动。考虑此情况,就需要在连接螺栓上加入一种随时能够补偿由于温度、压力及外力带来的浮动预紧力——耐高温预紧碟形弹簧。当螺栓拧紧时,碟形弹簧将预紧力储存在垫片中,当炉体温度发生变化或机械振动导致螺栓的预紧力缺失时,碟形弹簧将螺栓所需的预紧力进行补偿,保证了连接螺栓所需要小预紧力^[5]。改造后的风眼弹子房采用的是 M20 × 90 的防松螺栓与底座进行连接,根据金属的热膨胀系数及计算公式:

$$\delta = \alpha \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 10^{-6} \times L \times ^\circ\text{C} \quad (1)$$

防松螺栓在转炉吹炼时(200 ℃)的最大膨胀^[3]值经过计算为0.210 6 mm,螺栓最小抗拉力为188.41 kN,如图4所示选用20.4×50×3.45 mm的耐高温碟形弹簧在200 ℃时碟形弹簧弹簧变形量为0.24 mm,载荷为3.738 kN,单片高温碟形弹簧完全满足预紧力的补偿要求。

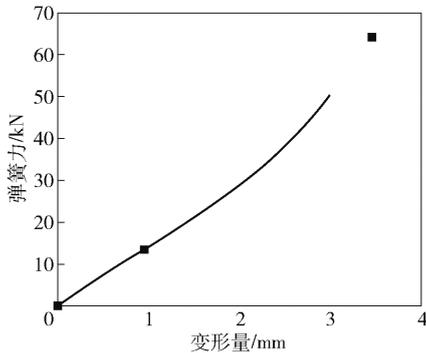


图4 碟形弹簧载荷与位移变化曲线

3.4 结论

通过优化风眼结构后取消原普通螺栓(4.8级)加弹垫、焊接的防松预紧方式,用单片高温预紧碟簧(单片行程0.3 mm)补偿唐氏螺纹紧固件在受振动、冲击情况下发生松动后密封所需的最小预紧力,有效减少了在用2台60 t转炉送风系统漏风问题,通过数据统计2018年滇中有色金属有限责任公司

2台转炉送风系统漏风影响转炉吹炼时间由2017年的82.34 h下降至15.75 h,转炉漏风问题得到明显改善,转炉作业率提升效果显著。

4 下一步研究的方向

预紧碟簧和防松动螺栓能有效控制风眼漏风问题,但在后期人工操作捅风眼机使用过程中,由于人员操作的不稳定因素,导致风眼钎杆捅偏,造成风眼螺栓、消音器螺栓及连接的金属软管损坏。如何减少捅风眼时捅偏次数,是提高风眼弹子房寿命,避免漏风情况的关键。

[参考文献]

- [1] 葛霖. 筑炉手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1994.
- [2] 李建辉. 基于反求工程的定扭矩螺栓联接功能分析与研究[D]. 辽宁:辽宁工程技术大学,2004.
- [3] 孙宏伟. 客车车下悬挂系统的紧固现状及改进建议[J]. 铁道车辆,2006(2):38-40,46.
- [4] 孙峰. 唐氏螺纹的防松原理及效果[J]. 机械工程,2002(5):13-15.
- [5] 程学君,李应力,满艳茹,等. 预紧碟簧在加氢高压换热器上的应用[J]. 润滑与密封,2009(6):112-113.
- [6] 熊卫,严启明. 浅议螺栓预紧力在生产现场的应用[J]. 泸天化科技,2011(9):101-103.
- [7] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2002.

Optimization and Practice of Air Supply System of PS Horizontal Converter

WANG Xue-jian, XIA Jun, ZHANG Jian-bo

Abstract: This paper describes the air supply process of tuyere sealing device on horizontal converter, analyzes the reasons and influences of air leakage during production process; then the paper puts forward the control measures to solve the air leakage of air supply system of converter and achieves successful application in practice.

Key words: horizontal converter; air supply system; air leakage; anti-loosening bolt; floating pre-tightened disc spring

