

# 基于底吹炉余热锅炉漏水和堵塞问题的改进研究

邓川南

(山西北方铜业有限公司 垣曲冶炼厂, 山西 垣曲 043700)

**[摘要]** 垣曲冶炼厂富氧底吹炉余热锅炉生产中存在爆管漏水、对流管束频繁堵塞等问题, 严重制约生产连续性。本文对于锅炉漏水问题从高温腐蚀和烟尘冲刷两方面开展研究并改进; 针对锅炉堵塞的问题, 从工艺指标控制和设备升级等方面进行优化解决。措施实施后, 余热锅炉实现安全平稳运行。

**[关键词]** 底吹炉; 余热锅炉; 爆管漏水; 冲刷; 腐蚀; 堵塞

**[中图分类号]** TF811 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)02-0080-04

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.02.016

## 0 前言

垣曲冶炼厂采用富氧底吹炉熔池熔炼技术, 铜精矿高温和氧气反应生产二氧化硫烟气。余热锅炉是其重要附属设备, 用于底吹炉高温烟气冷却和余热回收, 产生饱和蒸汽用于供热、发电。本次生产周期余热锅炉爆管漏水事故频发, 对流管束堵塞严重, 影响底吹炉正常运行, 给安全、环保等方面造成较大隐患。

该余热锅炉有上升烟道、辐射冷却室和对流管束三部分组成。上升烟道与底吹炉出口通过法兰和膨胀节相连接, 辐射冷却室为膜式水冷壁结构, 对流管束有第一到第四对流管束组成, 高温烟气依次通过上升烟道、辐射冷却室、对流管束由锅炉尾部排出, 进入电收尘系统。辐射冷却室由膜式壁结构的受热面组成, 管子间距为 80 mm。对流区外壁为全膜式水冷壁结构, 内部沿烟气流向, 依次布置了第一到第四对流管束。锅炉受热面管束采用  $\Phi 38 \times 5$  mm 的无缝钢管。锅炉侧受热面的分配集箱和汇集集箱分布在受热面的侧部, 对流管束的分配集箱和汇集集箱布置在上方。

## 1 水冷壁漏水问题

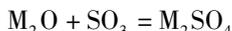
### 1.1 锅炉直升段底部漏水原因

#### 1.1.1 高温腐蚀

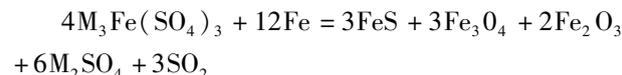
余热锅炉额定蒸发量 18.6 t/h, 实际工作量为 26 t/h, 设计最大烟气量 62 000 Nm<sup>3</sup>/h, 实际工作量约 80 000 Nm<sup>3</sup>/h, 锅炉水冷壁循环换热受到影响, 直升段底部为高温区, 局部水冷壁因无法充分换热表面可达 600 °C, 为高温腐蚀提供必要条件。

富氧底吹炉处理铜精矿和杂料, 部分金属杂质进入余热锅炉附着在水冷壁表面, 发生化学腐蚀。碱性金属腐蚀, 以金属钠、钾为代表。

反应机理:

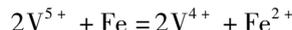


$3M_2SO_4 + Fe_2O_3 + 3SO_3 = 2M_3Fe(SO_4)_3$  (低熔点 600 °C)



物料中含钒元素时, 受热反应生成熔融状态钒盐, 在水冷壁表面, 发生腐蚀反应。

反应机理:  $4V^{4+} + O_2 = 4V^{5+} + 2O^{2-}$



总反应:  $2Fe + O_2 = 2Fe^{2+} + 2O^{2-}$

在管束表面腐蚀现象分为均匀腐蚀和局部腐蚀。均匀性腐蚀是指管束表面和腐蚀介质在高温条件下发生化学反应, 管束表面被腐蚀介质等烟尘覆盖, 均匀覆盖。在锅炉给水、炉水管道内的腐蚀等都属于均匀性腐蚀。局部腐蚀是指金属表面仅有一小

**[收稿日期]** 2022-11-29

**[第一作者]** 邓川南(1990—), 男, 江苏丰县人, 大学本科, 冶炼工程师, 主要从事铜火法冶炼工作。

**[引用格式]** 邓川南. 基于底吹炉余热锅炉漏水和堵塞问题的改进研究[J]. 有色设备, 2023, 37(2): 80-83.

部分受到腐蚀,但腐蚀速度较快,能在较短的时间内引起金属穿孔或裂纹,危害极大,在汽包、炉管内发生较多。

### 1.1.2 烟尘冲刷

底吹炉烟气含尘量高,烟气流速快,对水冷壁磨损、冲刷严重。底部漏水位置集中在主控室侧水冷壁右下角,活动挡板侧水冷壁弯弧处。对漏水管束进行分段切割,断面厚度随烟尘冲刷位置变化。此处水冷壁为主要迎尘侧,结焦覆盖较薄,易被烟气冲刷变薄造成泄漏。其他两侧水冷管壁结焦严重,有效防止冲刷,断面厚度均在 3.8 mm 以上(原管壁厚 5 mm)。高温腐蚀和烟尘冲刷共同作用导致底部漏水,其中烟尘冲刷为主要因素。

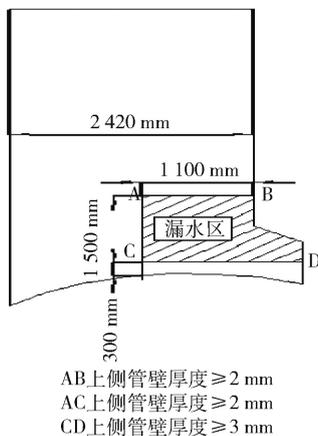


图1 主控室侧水冷壁图

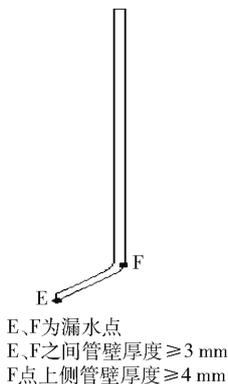


图2 活动挡板侧水冷壁图

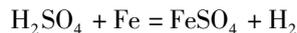
## 1.2 直升段 6 m 连接处漏水原因

两片水冷壁连接处采用焊接密封,密封处无管束降温,冷却效果差,底吹炉正常生产时,此位置火焰温度为 800 ℃,生产 6 个月后,密封烧损,出现冒火现象,导致漏风,加剧 SO<sub>3</sub> 生成。

在余热锅炉中,在催化剂和氧含量的作用下,烟气里的二氧化硫有一部分会转化成三氧化硫。余热锅炉烟气中常见的催化剂有三氧化二铁、三氧化二铝、五氧化二钒、二氧化硅、烟尘等。当余热锅炉积灰时,积灰的表面温度随积灰厚度的增加而上升,从而有利于二氧化硫转化成三氧化硫。

底吹炉烟气含有 SO<sub>3</sub> 成分,烟气温度、O<sub>2</sub>(g)、H<sub>2</sub>O(g) 以及原料中硫酸盐对 SO<sub>3</sub> 形成产生影响,烟气中 O<sub>2</sub>(g)、H<sub>2</sub>O(g) 的升高促成 SO<sub>3</sub> 生成,硫酸盐在底吹炉内受热分解,进一步增大 SO<sub>3</sub> 生成率。锅炉漏风点吸入冷空气,SO<sub>3</sub> 和水蒸气生成稀硫酸,腐蚀管束,造成爆管事故。底吹炉每月处理中和渣 1 500 t,中和渣主要成分为 CaSO<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub>O,造成烟气漏点升高,SO<sub>3</sub> 含量升高,加剧锅炉管束及电收尘等设备稀酸腐蚀。

反应机理:  $\text{CaSO}_4 = \text{CaO} + \text{SO}_3$  (受热分解)



### 1.3 锅炉漏水改进措施

(1) 直升段底部增加耐冲刷腐蚀材料,垣曲冶炼厂采用加装护瓦,由于护瓦和管束点焊连接,存在间隙易脱落。其他企业采用镍铬堆焊工艺,效果更好。

(2) 直升段 6 m 连接处采用双层密封,加焊筋板,防止漏风吸入冷空气,形成稀酸腐蚀。

(3) 保证锅炉给水温度和 pH 值。通过除氧器对锅炉给水升温,保证温度 98 ℃ 以上,脱出水中氧含量。氧气是一种去极化剂,会引起金属的腐蚀。水中溶解氧含量越多,金属的腐蚀较为严重。随着 pH 值的升高,pH 值大于 8.5 ~ 9 时,腐蚀速度迅速下降。这时水中的 OH<sup>-</sup> 浓度较高,在铁的表面会形成保护膜。

(4) 降低中和渣配入量、中和渣含水量,减少锅炉烟气量,降低锅炉温度,高温加快腐蚀速率。

(5) 强化精准操作,稳定工艺指标,开停炉作业严格执行操作规程。

### 1.4 实践效果

直升段底部易冲刷区加装护瓦,使用 5 个月后,护瓦已全部烧损,烟尘直接冲刷锅炉水冷壁。生产 17 个月后,对管壁厚度进行测量,厚度为 3.1 ~ 3.5 mm,可以实现和底吹炉大修同步。大修对直升段 6 m 处水冷壁进行检查,管壁表面无 SO<sub>3</sub> 结露腐蚀现

象,实施效果明显。

## 2 对流管束堵塞问题

### 2.1 对流管束堵塞原因

#### 2.1.1 余热锅炉超负荷运行

铜精矿经富氧底吹炉强氧化熔炼,高温金属粉尘进入余热锅炉,经余热锅炉管壁降温,凝固为固体

表 1 余热锅炉各部位结焦化验数据表(%)

部位	Cu	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	PnO	S	SiO <sub>2</sub>	SnO	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
直升段底部	42.57	30.27	2.41	7.32	6.90	5.2	1.47	1.15
对流管束	37.90	10.43	4.53	15.18	12.38	3.3	1.96	1.75

通过对余热锅炉各部位结焦化验结果分析,结焦的主要成分有铜、铁、铅、锌等金属占主要成分,垣曲冶炼厂底吹炉处理铜原料含铜高,氧枪压力偏高,炉内液体搅拌剧烈,直升段底部液体易喷溅,化验结果含铜高。余热锅炉通过温度控制使烟灰遇冷凝结,达到收尘效果。铅、锌等金属挥发性强,熔点温度低,当精矿中含量增加,在高温对流管束易粘结,形成熔融状态,造成锅炉堵塞。

#### 2.1.2 机械振打和激波吹灰效果差

由于锅炉管束结焦严重,振打频率设置成最短,通过敲击管束承重梁,引起管束晃动,使积灰脱落。由于管束晃动幅度小,现场作业环境温度高、作业频繁,设备故障率高,振打梁经常断裂,维修时间长,总体振打效果差。

本厂锅炉激波吹灰装置,侧面布置 6 个,顶部布置 12 个积灰口,采用乙炔气和空气混合爆炸,产生冲击波对管束积灰进行吹扫,次数为 6 次/天,本厂锅炉较其他厂家运行正压大,锅炉辐射区整体温度高,金属粘结成型后,无法吹扫脱落烟灰,激波吹灰效果未充分体现。

综上所述,进入管束烟尘温度高,管束间距小,清灰效果差,造成锅炉管束频繁堵塞。

### 2.2 锅炉堵塞的危害

(1)余热锅炉堵塞,烟气无法进入烟道,以致现场环境差,被迫停产清理。每次停产时间 10 h,严重影响企业生产效率,破坏工艺稳定性。

(2)清理锅炉作业,必须强制冷却,急剧温度变化,造成锅炉损伤,缩短其使用寿命。

(3)清理作业危险系数高,操作人员进入锅炉

颗粒沉降。锅炉依据不同温度区域,设计各对流管束管间距。本厂锅炉接收烟气流超设计值 30%,进入第一对流管束烟气设计最高温度为 658 ℃,实际温度为 740 ℃ 以上,金属颗粒处于熔融状态,在管束粘结。前三组对流管束使用周期长,变形严重,管束设计间距较小,第二组为 12 cm,第三组为 6 cm,烟灰易出现搭桥,造成管束堵塞。

属于有限空间危险作业,人工摇晃仅能有效清除底部烟灰,管束 4 m 以上仍有大量烟灰无法清理。

### 2.3 抑制锅炉堵塞改进措施

(1)在正常熔炼下,减少氧枪鼓入量,降低中和渣水分,从而减少总烟气流,降低锅炉负荷和烟尘温度。

(2)保证锅炉负压,增强激波吹灰效果,降低机械振打故障率。

(3)锅炉本体侧面激波吹灰口改造为人孔门,利用底吹炉正常巡检时间,人工在外侧采用钢筋挂钩摇晃对流管束,省去 5 小时锅炉降温时间。避免挂钩大幅度摇晃,易造成管束根部漏水。人孔门采用氮气保护,防止漏风腐蚀。

(4)充分利用锅炉出口富余距离,将对流管束后移,延长辐射区长度,降低烟尘进入管束温度。依据不同烟尘温度设计管束横向间距,增加第二、三对流管束管间距,抑制熔融烟灰搭桥。

(5)控制挥发性金属、煤的配入量,减缓锅炉二次燃烧。

### 2.4 实践效果

通过实施以上措施,底吹炉余热锅炉堵塞问题得到明显改善,通过激波吹灰和机械振打作用,余热锅炉进出口温度降低 30 ℃,保证了锅炉的平稳运行。利用每次底吹炉正常巡检,采用通过小人孔外部清理对流管束烟灰,效果明显。改造完成后,清理间隔由 15 天提高至 2 个月,使底吹炉的工作时间每月可增加 15 小时,产量和作业率均得到大幅提升。

## 3 结语

余热锅炉故障是制约底吹炉生产的重要因素,

通过锅炉生产实践分析,为余热锅炉稳定运行提供经验。继续增加对降低锅炉烟灰含铜高、埋刮板机故障率高、增加锅炉蒸发量等问题的研究,保证锅炉高效、稳定运行。

#### [参考文献]

- [1] 赵钦新. 余热锅炉研究与设计[M]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [2] 陈梅倩,王哲,李敬. 锅炉水冷壁高温腐蚀和防止措施

[J]. 中国电力,1997(30):32-34.

- [3] 刘建党. 火力发电厂锅炉结焦原因分析及预防措施[J]. 自动化应用,2012(10):45-47.
- [4] 刘贤龙,任鹏博,赵祥林. 减少奥斯麦特炉烟道结焦的生产实践[J]. 中国有色冶金,2018,47(4):7-10+63.
- [5] 廖雪华. 脉冲吹灰器在硫铁矿制酸余热锅炉的应用[J]. 化工技术与开发,2017,46(3):45-47.

## Improvement Research on Water Leakage and Blocking Problems of Waste Heat Boiler Based on Bottom Blowing Furnace

DENG Chuan-nan

**Abstract:** In the production of waste heat boilers for oxygen rich bottom blowing furnaces in our factory, there are problems such as pipe bursts, water leakage, and frequent blockage of convection tube bundles, which seriously restrict production continuity. Conduct research and improvement on the issue of boiler water leakage from two aspects: high-temperature corrosion and smoke erosion; Optimize and solve the problem of boiler blockage from aspects such as process index control and equipment upgrade. After the implementation of the measures, the waste heat boiler achieved safe and stable operation.

**Key words:** Bottom blown furnace; Waste heat boiler; Water leakage due to pipe explosion; Scour; Corrosion; Blocking ▲

(上接第 79 页)

temperature of the electric dust collector, anode plate spacing, oxygen concentration control and electric field power transmission at the inlet of the electric dust collector, modification of the dust accumulation inspection hole in the dust collector ash hopper, and temperature measurement of the overflow spiral cylinder. The optimal operating mode of the non ferrous smelting flue gas dust removal system is analyzed, and the operating parameters of the dust removal system are optimized, Investigate the process hazards in the operation of the system and summarize practical experience, in order to provide certain reference significance for similar enterprises to improve the dust collection efficiency of electrostatic precipitators.

**Key words:** Non ferrous smelting flue gas; Electric dust collector; Imported oxygen concentration; Dust collection efficiency ▲