

铜冶炼熔炼车间环境集烟系统设计

裴泽 任兆成

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 铜冶炼工艺产生的烟气中含有 SO_2 及其他有害烟尘, 导致熔炼车间的工作环境较差, 很容易引起现场工作人员的职业健康问题。环境集烟系统对改善车间环境、减少职业病危害起到十分重要的作用。本文以某铜冶炼厂熔炼车间的环境集烟系统为例, 介绍环境集烟系统的设计方案, 包括烟气罩通风量的计算方法及车间内的气流组织方案, 并通过侧吹炉排放口的测试数据, 分析环境集烟系统运行过程中出现的问题。最后指出一个良好的工作环境, 不仅需要完善的系统设计, 还需要规范的现场操作。

[关键词] 有色冶炼; 熔炼车间; 环境集烟; 通风系统; 气流组织; 烟气排放; SO_2

[中图分类号] TF811 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2022)06-0056-03

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.06.012

0 前言

众所周知, 有色冶炼行业中熔炼车间的工作环境较差, 尤其是炉前区域工作环境更为恶劣。铜冶炼工艺产生的烟气中含有 SO_2 及其他有害烟尘, 对人体的上呼吸道、皮肤、眼睛等均有刺激性影响, 长时间接触很容易引起职业健康问题。

近些年, 冶金工艺、冶金炉设计在环保方面都有了很大提升, 但在炉门开启释放金属熔体等过程中仍然会有少量烟气逸散出来, 造成环境污染。以转炉吹炼技术为例^[1], 从工艺角度来看, 转炉吹炼工艺稳定、节能、历史悠久, 但转炉在倾转、炉门打开时会造成一定的低空污染, 从而使得转炉吹炼技术面临被淘汰的局面。因此, 一个设计合理、有效的环境集烟系统不仅可以改善室内环境, 还对工艺技术的延续起到十分重要的作用。

本文以某铜冶炼厂熔炼车间的环境集烟系统为例, 介绍了有色行业熔炼车间的环境集烟系统的设计, 并分析其在运行过程中出现的问题。

1 设计原则

一个好的环境集烟系统, 首先要能控制污染

源, 减少烟气逸散, 尽可能把烟气限制在通风罩内^[2]。因此, 对通风罩的设计就提出了更高要求, 既要有效捕集烟气还要不影响工人正常操作。第二, 在合理的范围内加大通风量。单位时间内房间换气次数越高, 室内空气越新鲜, 但是过大的通风量不仅造成无效排风, 还会导致更多的能源消耗。因此, 通风量的取值不仅关系着环境效果, 也影响着系统能耗水平。第三, 系统管路设计要合理^[3], 保证系统各通风点负压需求。一套环集系统通常包含有多个通风点, 设计时要尽量保证各环路压力平衡才能保证通风效果。

2 设计方案概述

该熔炼车间内火法冶金工艺配置有 1 台侧吹熔炼炉和 3 台转炉吹炼炉。侧吹熔炼炉的放铜口出铜时和放渣口出渣时, 都会有烟气逸散到空气中; 转炉在倾转、炉门开启状态下也会有烟气逸散到空气中。为控制烟气逸散, 在各烟气逸散口设密闭式通风罩, 采用顶部排风方式捕集逸散烟气。侧吹熔炼工段共 16 个通风口, 设 PY-1 环境集烟系统; 转炉吹炼工段共 6 个通风口, 设 PY-2 环境集烟系统。各通风口处设有电动调节阀, 可根据具体工作情况调节阀门开度, 控制通风量。环境集烟系统工艺流程如图 1 所示。

为减少无组织烟气的排放量, 同时也为进一步改善室内工作环境, 针对逃出通风罩逸散到室内的三次烟气, 在车间顶部设置 PY-3 环境集烟系统, 共

[收稿日期] 2022-06-20

[作者简介] 裴泽(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事工业建筑供暖通风与空气调节设计工作。

[引用格式] 裴泽, 任兆成. 铜冶炼熔炼车间环境集烟系统设计[J]. 有色冶金节能, 2022, 38(6): 56-58, 84.

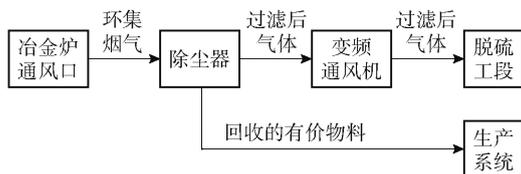


图1 环境集烟系统工艺流程图

30个通风口。每个通风口处设有电动百叶风门,可根据室内实际环境状况,控制通风口开启数量及开度。

此外,每套环集系统均配备有变频通风机,依据工艺生产情况调节通风机频率,减小系统通风量,进而降低系统能耗,保证系统处在经济、合理的运行范围内。

PY-1和PY-2环集系统收集的烟气分别经气箱脉冲袋式除尘器过滤充分回收有价物料后,送至脱硫工段作进一步处理,达到排放标准后排空。PY-3环集系统环集烟气含尘量很低,因此直接送至脱硫工段处理。

3 通风量计算

通风量的取值关系着室内环境效果以及系统的能耗水平。合理计算通风量是设计一个良好环境集烟系统的基础。

侧吹炉、转炉在放出高温熔融体时,热气以射流方式向上流动,且在此过程中不断地卷入周围空气,因此流量越来越大,射流断面也越来越大,形成一个圆锥体。采用热过程高悬伞形罩的设计方式计算通风量^[4]。图2所示为高悬伞形罩的工作示意图。

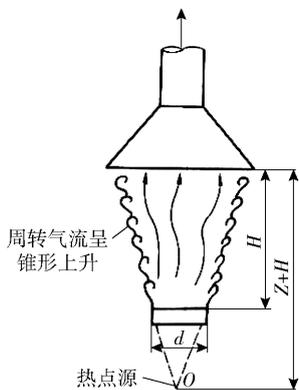


图2 高悬伞形罩的工作示意图

该圆锥体的锥顶为假想热点源,即图中的O点。图中d表示圆形热源的直径或矩形热源的长边。

通风量的计算^[4]如下:

$$D_c = 0.434(H+Z)^{0.88} \quad (1)$$

式中, D_c 为热点源“O”至罩口距离为 $(H+Z)$ 处的热射流直径,m; H 为热源上表面至罩口距离,m; Z 为热点源至热源上表面的距离,m。

罩口尺寸和罩口处热射流的直径有关,在干扰气流存在时,可用式(2)确定罩口尺寸:

$$D_f = D_c + KH \quad (2)$$

式中, D_f 为罩口直径,m; K 代表干扰系数,有干扰时通常取0.5~0.8,无干扰时取1。

罩口处的热射流平均流速 v_c 可用式(3)计算:

$$v_c = 0.085 \frac{A_s^{1/3} \Delta t^{5/12}}{(H+Z)^{1/4}} \quad (3)$$

式中, A_s 为热源表面积, m^2 ; Δt 为热源表面温度与周围空气温度之差, $^{\circ}C$ 。

则罩口处热射流流量 Q_c 可按下式计算:

$$Q_c = \frac{\pi}{4} D_c^2 v_c \times 3600 \quad (4)$$

高悬罩的排风量包括热射流的流量和罩口从周围空气吸入罩内的气量。总排风量为:

$$Q = Q_c + v_r(F_f - F_c) \times 3600 \quad (5)$$

式中, v_r 为罩口热射流断面多余面积上的流速, m/s ,它取决于抽力大小、罩口高度以及横向干扰气流的大小等因素,一般取0.5~0.75 m/s ; F_f 为罩口面积, m^2 ; F_c 为罩口处热射流截面积, $F_c = \frac{\pi}{4} D_c^2, m^2$ 。

厂房顶部三次烟气环集系统的通风量采用换气次数法计算,换气次数取1次/h。

经计算,PY-1环集系统总通风量为105000 Nm^3/h ;PY-2环集系统总通风量为160000 Nm^3/h ;PY-3环集系统总通风量为290000 Nm^3/h 。

4 气流组织方案

工作区域的空气环境不仅与通风量有关,还与车间内的气流组织方案密切相关^[5]。

本车间建筑形式与传统的熔炼车间有较大不同。为减少无组织烟气排放量,建筑设计中不设置可开启的高窗与屋顶天窗,只有首层外窗可供开启。因此,结合建筑形式以及室内环境需求,设计了车间的全面通风系统PY-3环集系统。通风口设在车间顶部,从而可形成低侧窗自然进风,车间顶部通风口排风的良好气流组织形式(图3)。而且当PY-1、PY-2环集系统运行时,冶金炉周边的工作区域形成负压,室外新风可以通过低侧外窗流入工作区,保证工作区域的空气质量。

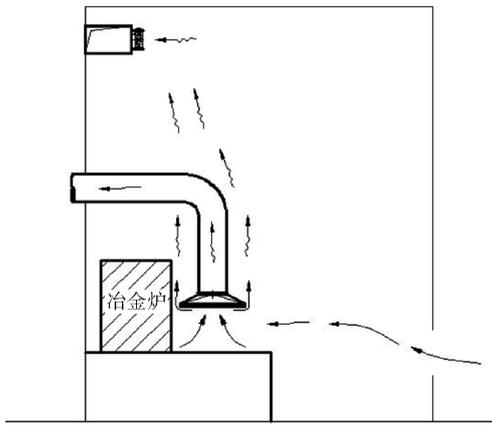


图3 熔炼车间气流组织示意图

5 运行表现、存在问题及解决方案

熔炼车间正常工作时,室内环境整体良好,基本达到设计效果。侧吹熔炼炉炉口通风罩能够有效地捕集放铜、放渣过程中逸散的烟气;其他逸散到室内的三次烟气亦能通过厂房顶部环集系统有效地排出。

在转炉倾转、炉门打开时,瞬时会有一次烟气涌出炉体逸散到室内。随着烟气上升,会逐步被车间顶部 PY-3 环集系统捕集,不会造成室内烟气积存。

在正常生产期间,对侧吹熔炼炉的主要通风口的压力、风速、温度以及 SO_2 浓度进行了测定。测试位置取在罩内通风口断面处或连接通风罩的直管段处。由于侧吹熔炼炉共有 16 个通风口,取其中重要通风口测试,并对同类通风口测试结果取平均值,主要测试结果见表 1。

表 1 侧吹炉主要排放口测试结果

测试位置	平均压力/Pa		平均风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$		平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	SO_2 最高浓度/%
	测试值	设计值	测试值	设计值		
放铜口 (罩口)	-70	-100	5	5	41	0.09
铜铈包子 (直管内)	-110	-	10.3	18	47	0.1
放渣口 (罩口)	-50	-100	8.1	5	39	0.07
渣包 (直管内)	-125	-	11.7	18	35	0.023

分析表 1 测试数据发现,测试位置的平均压力、平均风速与设计值不尽相同。测试平均负压的绝对值低于设计值的绝对值,平均风速低于设计值,说明测试位置的实际通风量小于设计值。测试结果中的烟气温度、 SO_2 最大浓度均处在正常波动范围内。

通风口处风压偏低,则表现为通风罩抽力不足。

铜冶炼行业金属熔融体温度一般都在 $1\ 000\ ^{\circ}\text{C}$ 以上,熔融体挥发的烟气混合室内空气形成的热射流流速可超过 $2\ \text{m/s}$,因此想要捕集逸散烟气,通风罩排风口处的风速要大于热射流上升速度,所以通风口处的风压不宜过低。

实际通风量偏小,则无法把有害烟气完全收集,就会影响整个车间内的通风效果。

因此,针对侧吹熔炼炉环集系统通风口处实际风压低于设计值,实际通风量小于设计通风量等问题进行排查分析:

PY-1 系统原设计中共有 16 个通风口,通过逐个排查发现,该系统中多个通风口处的电动阀门时刻都处于全开状态,没有起到合理的调节作用,从而造成通风口处的负压不足。

在放渣口区域,操作工人根据实际需要对该系统进行了改造,在现场又增设了一个新的通风口,并且该通风口处没有安装阀门来调节风量,因此会对系统平衡造成不利影响。

运行中该系统除尘器阻力过大,达到 $3\ 000\ \text{Pa}$ 左右,造成系统可利用的有效负压极大减少,无法保证各通风口处的负压要求。

测试期间 PY-1 系统环集风机频率为 $35\ \text{Hz}$,风机并没有完全开启。

为方便工人操作,部分密闭通风罩设有操作门、观察窗等,在不使用时,应保持门、窗关闭。实际工作中,门、窗为常开,造成通风罩密闭性的破坏。

6 结束语

通过对铜冶炼熔炼车间环境集烟系统设计方案及运行表现的分析,若要改善熔炼车间工作环境,可采取源头控制加末端捕集的通风方案,即严格限制炉口烟气逸散,并捕集室内逸散烟气。

在系统设计阶段,要准确计算系统通风量,优化通风罩的设计,合理设计通风管路,确保系统末端压力需求。

在系统运行阶段,室内工作环境还和工作管理制度密切相关,一定要加强岗位职业卫生意识,规范环境集烟系统操作,以使系统达到最好的通风效果,从而创造一个良好的工作环境。

[参考文献]

- [1] 朱江. 转炉外溢烟气治理的生产实践[J]. 中国有色冶金, 2013(1): 62-64.

(下转第 84 页)

[8] 杜宝瑞,王勃,赵璐,等. 航空智能工厂的基本特征与

框架体系[J]. 航空制造技术, 2015(8):26-31.

Digital Upgrade of Production Control in a Hydrometallurgical Plant

CHEN Rui

Abstract: Digital plant is the direction for future plant construction. A digital control system can transcend spatial, systematic and organizational divides in a plant, realize the integration and collaboration of human and financial resources, materials, production, and supply, and provide data support for production and optimization decisions. A hydrometallurgical plant adopted the “1 + 1 + N” intelligent plant architecture, and combined cloud computing, big data, the Internet of Things, artificial intelligence and other emerging technologies to conduct digital upgrading of production management and control. This paper introduced the hardware and network architecture involved in the digital upgrading, as well as the core functions of the software, and analyzed the application effect and value of the digital engineering to the factory. The digital upgrade provides users with mobile and real-time access to situations of the production line, cuts down on the manual transferring of information, and improves significantly the efficiency of the plant’s production process control.

Key words: production digitization; smart factory; MES; digital factory; industrial big data

(上接第 58 页)

[2] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册(第二版)(上)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

[3] 袁正明. 大型铜冶炼厂环境集烟系统的设计技术[J]. 有色冶金设计与研究,2007(5):28-30,40.

[4] 张殿印,王纯. 除尘工程设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2010.

[5] 中国有色金属工业协会. 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2015.

Design of Fugitive Offgas Collection System in Copper Smelting Plant

PEI Ze, REN Zhao-cheng

Abstract: The offgas produced in copper smelting process contains SO_2 and detrimental dust, which leads to poor working conditions in the smelting plant, posing occupational health hazards to workers there. The fugitive offgas collection system is critical in improving work conditions and reducing occupational disease hazards. Taking as an example the fugitive offgas collection system in a certain copper smelting plant, this paper introduced the design scheme of fugitive offgas collection system, the calculation method of the ventilation volume of the offgas hood and the air distribution scheme in the plant building. It also analyzed the problems in the operation of the fugitive offgas collection system through test data of the vent of the side-blowing furnace. Finally, it pointed out that to ensure working conditions requires both sound system design and standard field operation.

Key words: non-ferrous metallurgy; smelting plant; fugitive gas; ventilation system; air distribution; offgas discharge; SO_2