

# 铜冶炼环集烟气脱硫系统的改造实践

王 斌

(中冶葫芦岛有色金属集团有限公司, 辽宁 葫芦岛 125003)

**[摘 要]** 某铜冶炼厂脱硫系统处理烟气为冶炼环保烟气和精炼工艺烟气。以上两部分烟气混合后进入一套烟气脱硫系统内,采用石灰石-石膏法烟气脱硫工艺进行处理。其中环保烟气包括奥炉及电炉环保排烟、转炉环保排烟、主厂房环境集烟、精炼炉环保排烟、精炼工艺烟气脱硫四部分。为了提高脱硫效率以满足日益提高的排放标准,将现有脱硫工艺改为石灰石法+双氧水法脱硫工艺,现有动力波洗涤器改造为一级脱硫(除尘)塔,采用石灰-石膏法脱硫,现有脱硫塔作为二级脱硫塔(除雾),采用双氧水法脱硫。改造后脱硫系统运行达到了设计指标,产出了合格的石膏,同时达到了烟气排放标准的要求。

**[关键词]** 环集烟气脱硫;一级脱硫(除尘);塔石灰石-石膏法;二级脱硫塔;双氧水法

**[中图分类号]** X758 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2022)03-0055-04

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.03.013

## 0 项目概述

某铜冶炼厂环集脱硫系统于2016年3月投产,环集脱硫烟气包括奥炉及电炉环保排烟、转炉环保排烟、主厂房环境集烟、精炼炉环保排烟,另外精炼工艺烟气也并入环集烟气脱硫系统处理。

脱硫系统设计烟气处理量为 $601\ 191\ \text{Nm}^3/\text{h}$ (湿基,标况),采用石灰石-石膏法,脱硫剂为325目湿石灰石粉(含水10%~15%);系统入口烟气温度 $50\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ ,含尘 $300\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ , $\text{SO}_2$ 平均浓度为 $1\ 327\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ (湿基,标况),最高浓度为 $2\ 000\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ (湿基,标况),烟气先洗涤后脱硫,设计脱硫效率为93%。

烟气经脱硫系统处理后 $\text{SO}_2$ 含量小于 $200\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ (干),尘含量小于 $80\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ ,外排废气中 $\text{SO}_2$ 及颗粒物浓度均低于GB 25467—2010《铜、镍、钴工业污染物排放标准》中标准限值( $\text{SO}_2$ 浓度 $400\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ 、颗粒物浓度 $80\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ )的要求,尾气通过直径4 m、高70 m的环保烟囱排放。

**[收稿日期]** 2021-11-12

**[作者简介]** 王斌(1982—),男,辽宁昌图人,大学本科,高级工程师,主要从事冶金工艺与设备的设计工作。

**[引用格式]** 王斌.铜冶炼环集烟气脱硫系统的改造实践[J].有色设备,2022,36(3):55-58.

## 1 原有脱硫系统基本情况

### 1.1 工艺流程及主要设备规格

原有环集烟气脱硫采用石灰石-石膏法脱硫工艺,动力波洗涤器(除尘)+脱硫塔(脱硫)流程。

动力波洗涤器规格 $\Phi 3400/8000\times 24200/11000$ ,设置两段喷嘴,循环泵规格 $Q=1\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$ , $H=28\ \text{m}$ ,共两台,无备用。

脱硫塔规格 $\Phi 8\ 000\times 25\ 700$ ,设置三层喷淋层,两层S型FRP除雾器,循环泵规格 $Q=2\ 200\ \text{m}^3/\text{h}$ , $H=30\ \text{m}$ ,共三台,无备用。

塔顶烟囱 $\Phi 4\ 000\times 44\ 300$ ,出口高度70 m,塔顶烟囱,钢架支撑。

脱硫风机规格:流量 $8.5\times 10^5\ \text{Nm}^3/\text{h}$ ,全压6 kPa;实际运行参数为:流量 $4.5\times 10^5\ \text{Nm}^3/\text{h}$ ,阻力 $3\sim 3.5\ \text{kPa}$ ,风机配套变频电机,正常运行时变频电机开25 Hz左右。

### 1.2 平面布置

原有环集烟气脱硫系统设备布置紧凑,空间利用率高,现有场地没有空间增加大型设备,如前端除尘器及后端除雾器,脱硫系统的改进只能立足现状,局部改造现有设备。

## 2 环集脱硫系统改造的必要性

环集脱硫系统试车投产以来,脱硫效果基本稳

定,产出了合格石膏,也存在一些问题。

(1)受设备性能的限制,原系统石灰石-石膏法脱硫效率约80%~85%,而环集烟气气量和杂质浓度均存在一定波动,当二氧化硫浓度过高时,石灰石脱硫难以满足脱硫需求,导致系统出口烟气SO<sub>2</sub>浓度偏高,无法长期稳定达标排放。

(2)原有脱硫系统脱硫塔出口未设置湿式电除尘器或其他高效除雾原件,在特定的工况下,容易发生尾气中石膏富集的情况,形成石膏雨。

(3)由于系统除雾效果欠佳,烟气中的颗粒物无法随雾滴同时除去,故环集脱硫系统尾气中的颗粒物以及铅含量超标。

(4)由于脱硫塔前部环集烟气除尘系统,在增加系统整体抽取气量时,造成尾气排放烟尘超标。

(5)在动力波塔体内部,靠近喷嘴处,由于液体的流动,反应石膏晶体不易堆积,在搅拌桨的周围区域不易堆积,其余部分存在石膏堆积严重、上液量不足的问题。

(6)塔体内部反应温度确保45℃,在冬季降温严重的情况下,温度下降,造成石膏反应不完全。

### 3 改造方案确定

冶炼厂可采用的脱硫技术比较多,常见的包括石灰石(石灰)-石膏法、氢氧化钠法、氧化锌法、离子液法、活性焦法、氨法、双氧水法等。

(1)石灰石(石灰)-石膏法:该法技术成熟、应用广泛,脱硫效率较高。其吸收剂来源广泛,可外购石灰石粉(大于250目)或石灰现场配浆,脱硫副产品石膏可销售到水泥厂,但如销路不畅,则需考虑堆存场地,存在二次污染的可能性。

(2)氢氧化钠法:氢氧化钠法脱硫以氢氧化钠或碳酸钠为吸收剂,可达到较高的脱硫效率,但其脱硫产物为亚硫酸钠,如果直接随废水排放,其废水处理难度大,且存在二次污染的风险;也可中和、结晶、干燥生产无水亚硫酸钠产品外售,其优点是运行经济性较好,不存在二次污染问题,缺点是流程复杂、设备种类众多、占地大、一次投资高且对工艺参数控制有很高的要求。

(3)氧化锌法:氧化锌作为脱硫吸收剂活性较低,只能用于脱硫效率要求不高的场合。该法吸收剂氧化锌粉一般来源于锌冶炼厂的收尘粉尘,

副产品硫酸锌溶液可送到锌厂净液工段,经净化后进行电解;产生的过滤渣可送到锌厂的火法冶金炉中,回收未反应完全的氧化锌和亚硫酸锌,也可使用废电解液酸解过滤渣,解析出的SO<sub>2</sub>返回硫酸系统制酸。氧化锌法的最大优点是可实现资源的综合利用。

(4)离子液法:该法通过具有一定功能基团的离子液吸收SO<sub>2</sub>,在蒸汽加热条件下再将SO<sub>2</sub>解吸出来,送往制酸系统制酸或制备液体SO<sub>2</sub>。离子液吸收-解吸循环过程中吸收剂损失量很低。该技术脱硫效率较高,单级可达99%,尤其适用于烟气含硫量较高和厂区配套有硫酸装置的场合,其缺点是一次性投资高、流程复杂、设备防腐要求高、蒸汽和循环水耗量较高。

(5)活性焦法:活性焦法是一种干法脱硫技术,主要通过活性焦吸收SO<sub>2</sub>,通过加热再将SO<sub>2</sub>解吸出来,副产品为含SO<sub>2</sub>约15%的气体。活性焦法的脱硫效率较低,单级使用的情况一般不高于85%;该法生产操作、管理简便,吸收剂活性焦可市场采购,基本不消耗工艺水,但其电耗较高。

(6)氨法:氨作为脱硫吸收剂活性较高,更适用于含硫量较高的烟气,吸收剂可外购液氨或氨水,副产品为硫酸铵固体或亚硫酸铵溶液,可以外售。氨法脱硫要精确控制氨的投加量,避免尾气中氨超标。

(7)双氧水法:双氧水法流程简洁,可达到较高的脱硫效率。吸收剂一般采用低浓度的双氧水,可产出副产品稀酸,稀酸浓度一般25%~35%,可送到硫酸装置,代替工艺水补充SO<sub>3</sub>吸收塔的水消耗,副产品最终以成品酸的形式外售,不存在副产品堆存、二次污染问题。该方法最适宜处理制酸尾气。

烟气脱硫方法的选择主要取决于原烟气条件、吸收剂的供应条件及工厂的地理条件、副产品的利用、工程投资和运行成本等多方面因素,并且应遵循安全、可靠、技术先进合理、满足环保排放等原则。

通过对比决定采用石灰石法+双氧水脱硫工艺方案,将动力波洗涤器改造为一级脱硫(除尘)塔,采用石灰石膏法脱硫工艺,现有脱硫塔作为二级脱硫塔,采用双氧水脱硫工艺。

## 4 改造内容及工艺参数

### 4.1 改造内容

(1)将现有动力波洗涤器 DN3400 的逆喷管更换为 2 根 DN2000 的逆喷管,每段逆喷管设一段喷嘴,同时增加一台循环泵 ( $Q = 1\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$ ,  $H = 28\ \text{m}$ ),三台泵两用一备(原设计一开一备)。

(2)增加动力波洗涤器气液分离槽段的高度约 4~5 m。

(3)在动力波洗涤器底部增加 3 台侧壁搅拌器,同时通入氧化空气,并设置汽包。

(4)二级脱硫塔采用双氧水脱硫,拆除第三层喷淋层,现有三台循环泵中一台作为备用,将现有 S 型除雾器更换为高效除雾器(一级管式+二级屋顶式除雾器)。

(5)增加和完善有关检测仪表。动力波入口管道增加测量入口烟气流、二氧化硫浓度、温度检测。

(6)在脱硫塔前部增加 3 500 m<sup>2</sup>布袋收尘设施。

(7)对动力波本体进行保温,防止北方冬季降温,造成石灰石浆液反应温度不够,脱硫效果下降。

(8)在实际运行过程中,二脱塔采用双氧水喷淋方式,在环集烟气起量大的情况下,消耗过多、成本增加,同时产生稀酸腐蚀性强,污水处理增加难度,后改用碱液喷淋,脱硫率达到 99.5% 以上。

### 4.2 改造设计工艺参数

(1)入口烟气流:  $4.58 \times 10^5\ \text{Nm}^3/\text{h}$ 。

(2)SO<sub>2</sub> 含量:入口烟气 SO<sub>2</sub> 最高浓度为 5 349 mg/Nm<sup>3</sup>,最低浓度为 450 mg/Nm<sup>3</sup>,平均浓度为 2 486 mg/Nm<sup>3</sup>。

(3)尾吸塔出口 SO<sub>2</sub> 含量按小于等于 93 mg/Nm<sup>3</sup>设计,最高脱硫率要求 98.3%。

(4)含尘量:入口烟气含尘 200~300 mg,出口烟气含尘小于 50 mg/Nm<sup>3</sup>。

### 4.3 尾气排放指标

改造后脱硫尾气排放指标为:

(1)SO<sub>2</sub> 含量:  $\leq 93\ \text{mg}/\text{Nm}^3$  (折算后),最高脱硫率要求 98.3% ;

(2)尘含量:  $< 50\ \text{mg}/\text{Nm}^3$  (折算后);

(3)酸雾含量:  $< 40\ \text{mg}/\text{Nm}^3$  (折算后)。

### 4.4 主要技术经济指标

改造后环集烟气脱硫系统的主要技术经济指标,如表 1 所示。

表 1 改造后环集烟气脱硫系统的主要技术经济指标

项目	指标
石膏(含水 20%)产量/(t·d <sup>-1</sup> )	76.6
稀酸(20%)产量/(t·d <sup>-1</sup> )	13.3
废水产量/(t·d <sup>-1</sup> )/(t·d <sup>-1</sup> )	50.0
烟气流(设计值)/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	458 000
SO <sub>2</sub> 含量(最大值)/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	5 400
SO <sub>2</sub> 含量(平均值)/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	2 486
尘含量/(g·Nm <sup>-3</sup> )	0.2~0.3
酸雾含量/(g·Nm <sup>-3</sup> )	~0.08
脱硫率/%	≥98.3
除尘率/%	≥85.0
出口 SO <sub>2</sub> 含量/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	≤90
出口尘含量/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	≤50
出口酸雾含量/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	≤40
石灰石消耗/(t·d <sup>-1</sup> )	~41.3
双氧水(27.5% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )消耗/(t·d <sup>-1</sup> )	~3.4
新水消耗/(t·d <sup>-1</sup> )	~350

表 2 改造后环集烟气脱硫系统的实际运行  
主要技术经济指标

项目	指标
石膏(含水 20%)产量/(t·d <sup>-1</sup> )	86.5
稀酸(20%)产量/(t·d <sup>-1</sup> )	10.3
废水产量/(t·d <sup>-1</sup> )	40.0
运行烟气流/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	285 000
SO <sub>2</sub> 含量(最大值)/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	5 400
SO <sub>2</sub> 含量(平均值)/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	2 486
尘含量/(g·Nm <sup>-3</sup> )	0.15~0.2
酸雾含量/(g·Nm <sup>-3</sup> )	~0.05
脱硫率/%	≥99.5
除尘率/%	≥90.0
出口 SO <sub>2</sub> 含量/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	≤50
出口尘含量/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	≤20
出口酸雾含量/(mg·Nm <sup>-3</sup> )	≤40
石灰石消耗/(t·d <sup>-1</sup> )	~50.3
碱液消耗/(t·d <sup>-1</sup> )	~3.5
新水消耗/(t·d <sup>-1</sup> )	~280

## 5 结语

脱硫系统改造后,投产以来各项指标达到了设计值,满足了工艺生产需要。脱硫尾气满足排放标准的要求,副产的石膏品质达到了预期水平。该项目实施证明了石灰石法 + 双氧水法脱硫工艺在冶炼烟气治理工程中的可行性,为公司下一步环保项目的改造提供了有力的实践经验。

### [参考文献]

- [1] 周晓蒙. 烟气脱硫脱硝工艺手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [2] 杨颢. 烟气脱硫脱硝净化工程技术与设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [3] 夏辉, 周子阳, 王艳玲. 双氧水法硫酸尾气脱硫实践[J]. 有色设备, 2017(4): 49 - 51.

# Upgrading Practice of Copper Smelting Secondary Off-gas Desulfurization System

WANG Bin

**Abstract:** The desulfurization system of one copper smelter in China treats smelting secondary off-gas and refining process off-gas. The two kinds of off-gas above are sent into the off-gas desulfurization system with limestone-gypsum method for treatment. The secondary off-gas includes: the gas from MO furnace and SCF, the gas from the converter furnace, the gas from the main plant building, and the gas from the refining furnace. In order to improve the desulfurization efficiency to meet the increasing emission standards, the existing desulfurization process adopts the limestone method + hydrogen peroxide method. The existing primary reverse jet scrubber is changed to the one-stage desulfurization (dust removal) tower with the lime-gypsum method for treatment. The existing desulfurization tower is used as the two-stage desulfurization tower (dust removal) with the hydrogen peroxide method for treatment. After the transformation, the desulfurization system has reached the design index, producing qualified gypsum and meeting the requirements of the off-gas emission standard.

**Key words:** secondary off-gas desulfurization; one-stage desulfurization (dust removal); tower limestone-gypsum method; two-stage desulfurization tower; hydrogen peroxide method ▲

---

## 敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

《有色设备》编辑部