

氧化锌回转窑废气提效改造治理工程实例

裴浩言^{1*}, 陈建军², 张洪灿¹

¹湖南有色金属职业技术学院资源环境系, 湖南 株洲

²郴州市生态环境局, 湖南 郴州

收稿日期: 2024年8月16日; 录用日期: 2024年9月19日; 发布日期: 2024年10月8日

摘要

为解决氧化锌回转窑脱硫系统运行不稳定、运行成本高等问题, 响应生态环境部门进一步提高SO₂、NO_x治理的有关要求, 郴州某有色冶炼企业将回转窑尾气处理工艺由“钠钙双碱法脱硫”改造为“气动乳化脱硫法”, 并改用硫酸亚铁作为脱硝吸收剂进行脱硝。项目实施后, 有效解决脱硫塔喷嘴堵塞、运行不稳定的问题, 节约运行成本, 大幅减少排入环境的氮氧化物、二氧化硫、颗粒物的排放量, 环境绩效明显。

关键词

氧化锌回转窑, 气动乳化技术, 脱硫脱硝

Example of Improvement of Zinc Oxide Rotary Kiln Waste Gas

Haoyan Pei^{1*}, Jianjun Chen², Hongcan Zhang¹

¹Resource and Environment Department of Hunan Nonferrous Metals Vocational and Technical College, Zhuzhou Hunan

²Chenzhou Ecological Environment Bureau, Chenzhou Hunan

Received: Aug. 16th, 2024; accepted: Sep. 19th, 2024; published: Oct. 8th, 2024

Abstract

In order to solve the problems of unstable operation and high operating cost of zinc oxide rotary kiln desulfurization system, and in response to the requirements of ecological and environmental departments to further improve SO₂ and NO_x control, a certain non-ferrous smelting enterprise in Chenzhou has transformed the tail gas treatment process of rotary kiln from “desulfurization by

*通讯作者。

文章引用: 裴浩言, 陈建军, 张洪灿. 氧化锌回转窑废气提效改造治理工程实例[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(5): 1077-1082. DOI: 10.12677/aep.2024.145139

sodium-calcium double alkali method” to “pneumatic emulsification desulfurization method”, and switched to using ferrous sulfate as the denitration absorbent for denitration. After the implementation of the project, the problems of nozzle blockage and unstable operation of the desulfurization tower are effectively solved, the operation cost is saved, and the emissions of nitrogen oxides, sulfur dioxide and particulate matter discharged into the environment are greatly reduced, with obvious environmental performance.

Keywords

Zinc Oxide Rotary Kiln, Pneumatic Emulsification Technology, Desulfurization and Denitrification

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 背景

郴州某有色冶炼企业以含锌物料(包括次氧化锌、含锌固体废物)作为生产原料,经石灰水洗、回转窑还原焙烧、烟尘收集,再经碱洗、浸出、沉镉、除铁、净化、电解、熔铸后得到主产品锌锭。在回转窑还原焙烧过程中窑头窑尾产生含二氧化硫、氮氧化物废气,回转窑烟气经重力沉降+余热利用(或表面冷却)+布袋除尘处理后进入1号、2号吸收塔脱硫(钠钙双碱法脱硫),采用石灰、钠碱(氢氧化钠)剂,烟气直接进入吸收塔进行脱硫处理,脱硫后的二水石膏外运处置,处理后的烟气经除雾器除雾后通过烟囱直排,烟气排放浓度较高,对周边环境影响较大。

2. 烟气脱硫系统技改前投产运行情况

该企业烟气脱硫系统在前期投运初期设备运行基本正常,该脱硫设施运行一段时间后,脱硫系统的喷嘴易堵塞,除雾器结晶严重,设施运行不稳定,回转窑有组织排放口废气监测数据见表1。为保证烟气达标排放,运行后期钠碱剂投入量大幅增加。根据企业提供资料,该脱硫设备钠碱剂用量1800 t/a,石灰用量3000 t/a,设施整体运行成本高,脱硫效率不也稳定。

Table 1. Average concentration of exhaust gas pollutants before transformation (mg/m³)

表 1. 改造前废气污染物平均浓度表(mg/m³)

采样点位	项目	出口实测数值(均值)	折算浓度(均值)
回转窑废气 排放口	标杆风量	90,685 (Nm ³ /h)	/
	含氧量	14.7%	/
	氮氧化物	176.33 mg/m ³	363.86 mg/m ³
	二氧化硫	363.33 mg/m ³	749.73 mg/m ³
	颗粒物	25 mg/m ³	51.59 mg/m ³

备注:根据《无机化学工业污染排放标准》(GB31573-2015)规定,氧化锌回转窑基准含氧量为8%。

3. 烟气脱硫系统技改方案及机理

为解决郴州某有色冶炼企业两条回转窑生产线烟气脱硫系统运行不稳定、运行成本高等问题,以及

响应生态环境部门进一步提高 SO_2 、 NO_x 治理的有关要求，郴州某有色冶炼企业决定对现有的 3.6 m 及 4.2 m 回转窑尾气脱硫设施进行升级改造。

3.1. 改造方案及工艺流程

技改方案要遵循成熟可靠、技术先进、经济适用、节能环保的原则，企业从项目的一次性投资费用、运行费用、处理效率、原有设备利旧等多方面对回转窑烟气脱硫技改方案进行了综合比选，决定采用“气动乳化脱硫”工艺来处理 SO_2 ，并改用硫酸亚铁作为脱硝吸收剂进行协同脱硝，以达到提升 SO_2 及 NO_x 的处理效率，减少 SO_2 及 NO_x 排放量的效果。烟气脱硫系统技改方案中对原有回转窑引风机、循环水泵、滤液池、储浆池、事故池等设施进行利旧使用，回转窑拆除原有的二级脱硫塔，新建 2 套气动乳化脱硫塔、一套脱硝吸收塔，治理项目实施前后烟气处理流程见图 1。

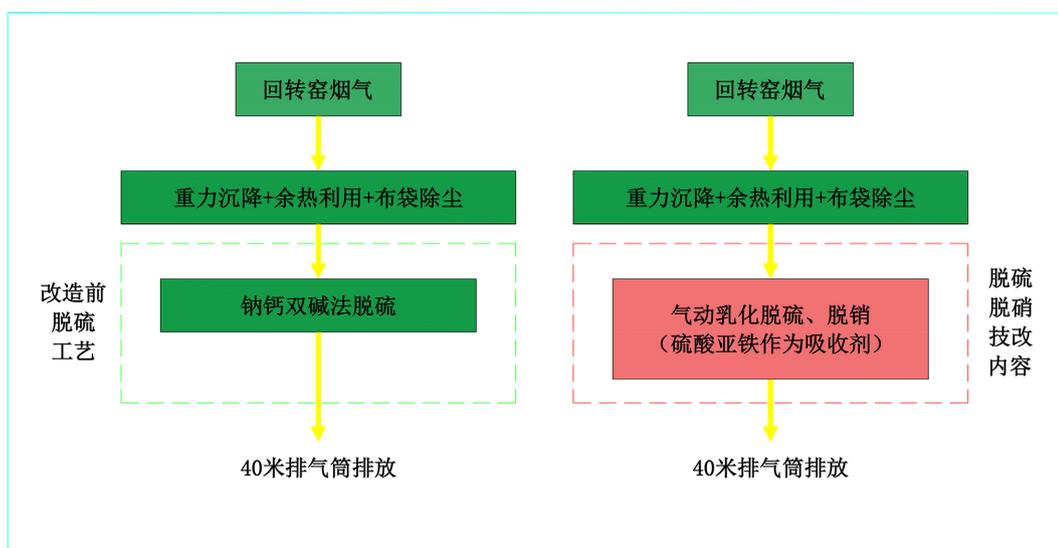


Figure 1. Flue gas treatment process flow chart before and after project implementation
图 1. 项目实施前后烟气处理工艺流程图

回转窑烟气经原有的重力沉降室、余热利用、布袋除尘器进行除尘处理后，含硫烟气按约 3.5 m/s 的烟气流速引入至水洗塔进行预处理，然后引入至一、二级气动乳化脱硫塔进行脱硫(停留时间约 12 S)，再进入脱硝塔进行脱硝协同处置(停留时间约 6 s)，最后净化后的烟气经除雾后通过 40 米的排气筒排入外环境。水洗塔、气动乳化脱硫塔、脱硝塔塔体结构及内部主要构件均采用 316 L 不锈钢材质，烟气连接管道采用玻璃钢材质。每一座塔体下部设置 316 L 不锈钢循环池 1 座，配置 4 台侧入式搅拌器、1 台曝气风机、1 台排浆泵、2 台循环泵(利旧)。排浆泵将部分下层石膏浆液泵入真空皮带脱水机脱水，脱水后的石膏外运，滤液水回入制浆池(利旧)循环利用。脱硝塔上部设置了两层折板除雾器，配套除雾器冲洗水泵定时进行冲洗，防止除雾器的堵塞。本项目 2 套回转窑烟气处理系统共用一套制浆系统，石灰粉通过输送罐车运到现场，通过罐车的气动输灰系统送到储罐内储存，罐内的石灰粉经过插板阀控制，通过螺旋输送机加入到制浆池和新鲜水配制成一定浓度的浆液，再由给浆泵分别送入循环池使用。

3.2. 气动乳化脱硫脱硝机理

1) 气动机理

气动乳化脱硫塔由均气室、过滤元件、气水分离室三部分组成。与传统脱硫塔相比，气动乳化塔具

有开孔率大、弹性宽、抗堵性强、压降小、效率高、方便管理等特点[1]。含硫烟气以一定角度进入脱硫塔均气室，形成旋转上升的紊流气流，与脱硫塔上端下来的吸收溶液相碰撞，烟气高速旋切流下的吸收溶液，溶液被切碎，气液相互持续碰撞旋切，液粒被粉碎得越来越细，气液充分混合，形成一层稳定的乳化液。在乳化过程中，乳化液层逐渐增厚，当上流的气动托力与乳化液重力平衡后，最早形成的乳化液被新形成的乳化液取代，并带着被捕集的杂质流经均气室落至吸收塔的底部[2]，并通过底部管道外排至制浆系统处置，气动脱硫技术原理见图 2。

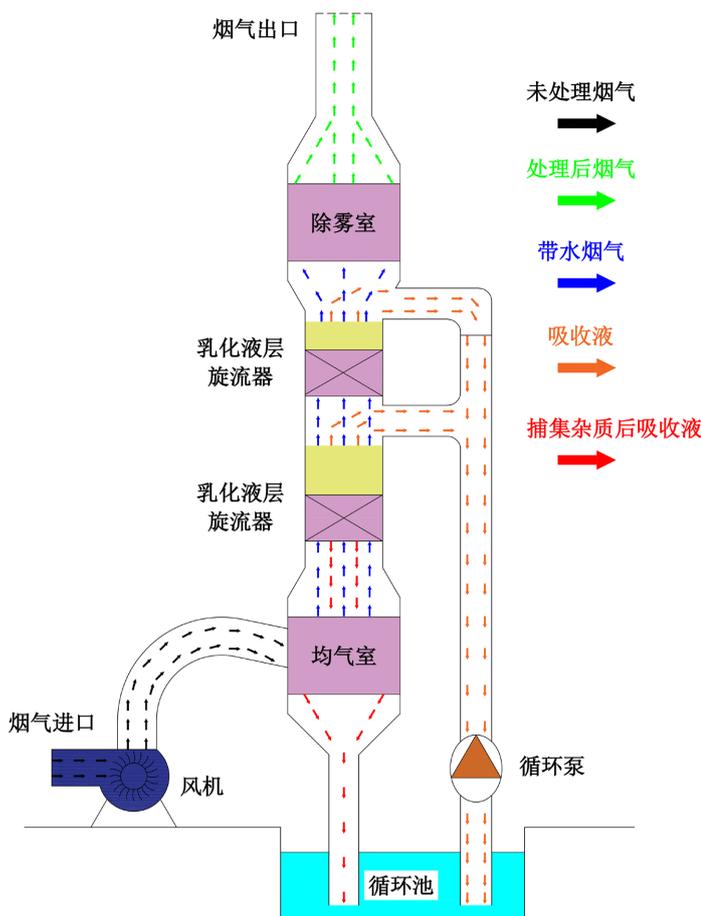


Figure 2. Schematic diagram of pneumatic desulfurization technology
图 2. 气动脱硫技术原理图

2) 脱硫机理

吸收液带着被捕集的 SO_2 断续流经均气室直至回到循环槽，在乳化室内，只要有足够的处理气流量，总能保持一个相对稳定的乳化液层[3]。本项目采用石灰作为脱硫剂，石灰是钙基脱硫剂的一种，主要成分是氧化钙。在工业烟气脱硫行业，除了有现成的碱性废液之外，钙基脱硫剂是现实中最容易取得，也是最为经济廉价的脱硫剂[4]。钙基脱硫剂普遍应用于电厂、有色冶炼、水泥等行业，钙基脱硫剂使用率占 80%。

3) 脱硝机理

回转窑烟气采用硫酸亚铁作为脱硝吸收剂，烟气与吸收塔内的循环浆液逆向接触，利用硫酸亚铁吸收烟气中的氮氧化物，在一层水滤式水床内(位于吸收塔内)用正二价铁离子络合吸收 NO 中氧原子，生成硫酸亚硝基酰合铁，使 N 还原成 N_2 释放回大气，达到氮氧化物被还原， NO_x 的去除率可以达到 80% 以上[5]。

4. 系统运行效果分析

4.1. 环境效益分析

该项目改造安装完成后达到试运行条件，经调试后系统各设备运行良好，处理效果稳定，回转窑有组织废气排口污染物平均浓度见表 2 所示。

Table 2. Average concentration of exhaust gas pollutants after modification

表 2. 改造后排口废气污染物平均浓度表

采样点位	项目	出口实测数值(均值)	基准折算浓度(均值)
4.2 m 回转窑窑尾 烟气出口	标杆风量	292,708 (Nm ³ /h)	/
	含氧量	15.27 (%)	/
	颗粒物	3.8 mg/m ³	8.6 mg/m ³
	二氧化硫	30 mg/m ³	68.33 mg/m ³
	氮氧化物	34 mg/m ³	77.33 mg/m ³
3.6 m 回转窑窑尾 烟气出口	标杆风量	125,311 (Nm ³ /h)	/
	含氧量	9.07 (%)	/
	颗粒物	8.03 mg/m ³	8.76 mg/m ³
	二氧化硫	36.67 mg/m ³	40 mg/m ³
	氮氧化物	49.67 mg/m ³	54.33 mg/m ³

备注：根据《无机化学工业污染排放标准》(GB31573-2015)规定，氧化锌回转窑基准含氧量为 8%。

废气排口各指标可稳定达到《无机化学工业污染排放标准》(GB31573-2015)中特别排放限值要求(“SO₂ 排放浓度限值 100 mg/m³、NO_x 排放浓度限值 100 mg/m³”)。经对比改造前后的回转窑有组织废气排放口监测数据可知各污染物去除效率显著提高。其中颗粒物去除效率提升 83.33%，氮氧化物去除效率提升 78.75%，二氧化硫去除效率提升 94.66%，该提效改造工程产生了显著的生态环境效益。

4.2. 经济效益分析

技改前，本项目两套回转窑烟气脱硫设施合计钠碱剂使用量 1800 t/a (0.3 万元/t)、石灰使用量 3000 t/a (0.068 万元/t)，生产成本为 744 万元/a。

技改后，两套回转窑烟气脱硫设施合计石灰使用量约 5680 t/a (0.068 万元/t)脱硝硫酸亚铁使用量约 10 t/a (0.095 万元/t)，运行成本约为 387.19 万元/a，技改前后可节约生产成本 356.81 万元/a，经济效益明显。

5. 结语

1) 针对有色冶炼行业炉窑烟气成分复杂、烟气浓度高的特点，本项目在烟气脱硫脱硝技改工艺上创新地采用了“气动乳化法”+“硫酸亚铁吸收剂脱硝”，解决了有色行业应用传统喷淋脱硫塔喷嘴堵塞、净化不达标的难题，是一次“气动乳化法”成果应用的典型实践；

2) 气动乳化工艺无喷嘴布液，可以适用任何脱硫剂，能以更小的液气比，得到更高的脱硫率，可以有效解决常规喷淋脱硫塔喷嘴堵塞、处理效率不稳定的问题；

3) 气动乳化工艺对泵入脱硫塔的循环液无水压要求，不需要额外增压雾化，可以有效降低循环泵的扬程及使用功率，较常规脱硫塔节约了喷嘴更换费用，大幅节约项目的运行成本，具备良好的经济效益；

4) 项目经 6 个月实际运行检验，设备运行良好，烟气中的 SO₂、NO_x 均实现了达标排放，生态环境

效益明显，为有色冶炼行业烟气治理的提效改造提供了有益借鉴。

参考文献

- [1] 张明军, 韩建军, 程海军, 刘苗, 于宝云. 酸性尾气综合治理技术研究[J]. 河南化工, 2021(6): 41-43.
- [2] 李秀芬, 冯伟杰, 康奕菁, 冯业钧. 气动乳化除尘脱硫+湿式静电除尘器组合处理器净化污泥焙烧烟气的应用[J]. 当代化工研究, 2021(22): 126-128.
- [3] 冯肇霖, 谢逢俊, 吴少娟, 等. 带烟尘荷电功能的气动乳化新技术[C]//中国环境保护产业协会电除尘委员会. 第十七届中国电除尘学术会议论文集. 2017: 724-725.
- [4] 岳花婷. 燃煤锅炉烟气指标优化改造小结[J]. 氮肥与合成气, 2022, 50(3): 7-9+12.
- [5] 陆哲维, 李明玉, 刘海叶, 邓丹, 钟少芬. 用硫酸亚铁溶液吸收处理氮氧化物的效果[J]. 生态科学, 2009, 28(2): 164-168.