

采集工具,未能将其与3s技术、DGSS系统融合,建立一体化勘查体系。同时,AI智能解译、大数据关联分析技术在解读成矿规律、识别矿化异常等工作中的应用较少,地质工作人员仍然依赖人工经验分析。无法发挥新技术的优势实现精准勘查。

第二,数据管理体系不完善,多源数据价值挖掘不足。在实际勘查工作开展过程中,各勘查环节、各项目的多源数据缺少统一标准,坐标系统及格式规范不统一,这加大了数据融合对接难度。部分勘查项目没有建立云端数据库,应用的本地数据库没有智能清洗及关联分析功能。难以解决数据冗余、属性缺失等问题,无法深度挖掘多源数据的价值。<sup>[2]</sup>

第三,系统功能和设备配套滞后。现阶段,DGSS的智能化功能不足,缺少智能地质连图、自动化数据校验等模块,部分基础功能的操作较为繁琐。部分勘查单位配备的高精度北斗采集仪、高光谱无人机等智能化设备较少,原有的老旧设备数据传输效率低、定位精度差等,难以保证野外采集工作的精准性和稳定性。

#### 4.2 优化策略

第一,完善智能化勘查体系,深化新技术融合应用。勘查单位要想将新技术融入地质填图的全流程中,就需完善智能化勘查体系。建立由无人机航测、北斗高精度定位、地面便携采集设备组成的一体化数据采集网络。这样才能够提高勘查范围和勘查精度;要借助GIS平台以及AI算法开发自动提取构造特征、识别矿化异常等模型,以便于高效解读多源数据;还要加强DGSS系统与各种三维建模软件的联动对接。这样才能利用野外采集数据构建三维地质模型,推动填图工作从“平面记录”转型为“立体勘探”。

第二,建立标准化数据管理体系。业内要明确全国统一的矿产地质填图多源数据标准,提出2000国家大地坐标系的强制应用要求,严格规范岩矿测试、遥感等数据的属性编码、录入标准等。这样就能够从源头解决数据标准不统一

的问题;还要建立省级或是国家级的地质填图云平台,增设智能数据清洗、关联查询等功能。这样就能够集中管理地形、遥感、矿产等各项数据;还可以利用区块链和大数据技术做好数据全生命周期溯源,并通过分级权限管理的方法保障数据隐私,方便地质数据跨部门、跨领域共享。<sup>[3]</sup>

第三,迭代优化系统功能,完善配套保障。业内要结合用户需求不断更新优化DGSS,增加智能地质连图、自动化数据校验等功能,简化路线记录打印等基础操作流程;各勘查单位要加大智能化设备的投入力度,引进高光谱无人机、便携式岩矿分析仪等设备;勘查单位还要建立设备全流程管理机制。地质工作人员在野外工作前要先调试设备软硬件、做好设备的精度校准,日常根据使用周期及时更换老旧设备,做好设备的维护保养。这样才能发挥设备的最大化价值,保证野外数据采集的精准性。

### 5 结语

地质填图技术是矿产地质勘查的核心技术,只有提升其数字化水平、推动其标准化发展,才能够保证勘查质量。本文详细分析了地质填图技术在矿产地质勘查中的具体应用,对数据收集与基础构建、野外数据采集等环节进行重点分析。并探讨了地质填图技术应用过程中数字化融合深度不足、数据标准不统一、系统功能和设备配套滞后等问题,提出了完善智能化勘查体系、迭代优化系统功能等优化策略。希望推动地质填图工作朝着精准化和智能化的方向发展。

#### 参考文献

- [1] 尤峰,郭刚,刘会彬,等.填图基于无人机航空摄影的煤矿高效智能地质填图应用研究[J].煤炭技术,2025,44(12):103-108.
- [2] 马粉玲,吴志春,姜叔明,等.填图数字地质填图隐式三维建模方法探索——以1:2.5万抚州市山碛幅为例[J].地质论评,2026,72(01):212-228.
- [3] 莫阿呷,承道明.填图地质矿产调查中数字地质填图的运用分析[J].世界有色金属,2025,(06):229-231.

# Research on the Control Technology of High Temperature Gas Emission of Cement Rotary Kiln

Miao Zhang Guangkun Zou

China National Materials Construction Co., Ltd., Beijing, 100176, China

## Abstract

The cement rotary kiln, as a key piece of equipment in the cement production process, has increasingly drawn attention due to its high-temperature gas emissions and their environmental pollution issues. These high-temperature gases contain large amounts of harmful gases, such as nitrogen dioxide ( $\text{NO}_2$ ) and sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ), which not only affect air quality but also pose serious health risks to humans. Therefore, researching control technologies for high-temperature gas emissions from cement rotary kilns and exploring effective treatment methods is of great significance in reducing pollutant emissions and improving environmental quality. This paper analyzes the characteristics of high-temperature gas emissions from rotary kilns, deeply explores the development of existing traditional control technologies and advanced technologies, and evaluates their application effects. The research provides technical references for environmental protection measures in the cement industry and offers a theoretical basis for emission control plans of related enterprises.

## Keywords

Cement rotary kiln; High-temperature gas emission; Pollution control

# 水泥回转窑高温气体排放控制技术的研究

张秒 邹广坤

中材建设有限公司, 中国·北京 100176

## 摘要

水泥回转窑作为水泥生产过程中的关键设备,其高温气体排放对环境的污染问题日益引起关注。高温气体中含有大量有害气体,如二氧化氮( $\text{NO}_2$ )、二氧化硫( $\text{SO}_2$ )等,这些污染物不仅影响大气质量,还对人体健康产生严重威胁。因此,研究水泥回转窑高温气体排放控制技术,探索有效的治理手段,对于减少污染物排放、改善环境质量具有重要意义。本文对回转窑高温气体排放的特点进行了分析,深入探讨了现有的传统控制技术与先进技术的发展,并对其应用效果进行了评估,为水泥行业的环保措施提供了技术参考,并为相关企业的排放控制方案提供了理论依据。

## 关键词

水泥回转窑; 高温气体排放; 污染控制

## 1 引言

随着环保要求日益严格,水泥行业面临着日益严峻的高温气体排放控制挑战。水泥回转窑是水泥生产过程中主要的热源之一,其高温气体排放直接影响着周边的环境质量。尤其是氮氧化物( $\text{NO}_x$ )、二氧化硫( $\text{SO}_2$ )等污染物的排放,对大气质量及生态环境造成了巨大的负担。为应对这一问题,各国纷纷出台了一系列环保政策,要求企业实施严格的排放控制措施。传统的排放控制技术,如吸附法、吸收法和催化氧化技术,虽在一定程度上减少了污染物排放,但存在一定的技术瓶颈。近年来,随着技术的不断创新,选择性催化还原(SCR)技术、废气脱硝技术和废气热回收技术逐

渐成为水泥行业的研究热点。本文将详细探讨这些先进排放控制技术的应用现状与发展趋势,分析其在水泥回转窑高温气体排放控制中的实际效果,为水泥企业的环保技术改造提供科学依据。

## 2 回转窑高温气体排放的特点与危害

### 2.1 回转窑工作原理及高温气体排放源

水泥回转窑是水泥生产过程中的核心设备,其工作原理主要依靠高温将原料加热至反应温度,以完成水泥熟料的烧成过程。回转窑内部的温度可高达  $1450^\circ\text{C}$  左右,这一过程中会产生大量的高温废气。高温气体主要来源于燃料的燃烧和原料的化学反应。在烧成过程中,燃料的燃烧释放出热量,推动水泥熟料的形成,同时伴随着气体的排放<sup>[1]</sup>。这些废气中含有大量的热量和有害物质,若不加以控制,将会对环境造成严重影响。

【作者简介】张秒(1983—),女,中国河南安阳人,本科,工程师,从事水泥工艺研究。

## 2.2 高温气体排放污染物分析

水泥回转窑排放的主要污染物包括氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )、二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ )、颗粒物 (PM)、一氧化碳 (CO) 以及挥发性有机物 (VOCs)。其中, 氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 主要来源于燃料燃烧过程中空气中的氮气与氧气反应生成。 $\text{NO}_x$  是一种重要的空气污染物, 不仅对人体健康产生危害, 还加剧了大气的酸化和臭氧的形成。二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ ) 主要来自于燃料中硫分的燃烧,  $\text{SO}_2$  会与空气中的水分反应, 生成酸雨, 造成水体和土壤的酸化, 影响植物生长。颗粒物 (PM) 排放是由燃烧过程中未完全燃烧的有机物质及灰尘所形成, PM2.5 的污染已成为严重的环境问题。根据统计, 水泥回转窑每吨水泥生产过程中大约会排放 0.1-0.3 吨的  $\text{NO}_x$  和 0.04-0.1 吨的  $\text{SO}_2$ , 严重影响环境质量。

## 3 排放控制技术需求分析

### 3.1 当前环保政策与排放标准要求

随着环保法规的日益严格, 各国政府纷纷出台了相关的排放标准和政策要求。我国在“十四五”规划中明确提出, 要加快推进水泥行业的环保技术改造, 减少工业排放。国家环保总局发布的《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915-2013) 规定了  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$ 、CO 等污染物的排放限值。按照该标准, 水泥回转窑  $\text{NO}_x$  的排放限值为  $500\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  的排放限值为  $400\text{mg}/\text{m}^3$ 。这一标准要求水泥生产企业在生产过程中采取有效的污染控制技术, 以减少对环境的污染。此外, 国际上也有类似的环保要求, 如欧盟的《工业排放指令》(IED) 明确规定了水泥工业对污染物的排放限制。这些标准对水泥行业的排放控制技术提出了更高的要求, 推动了高效环保技术的研发与应用<sup>[2]</sup>。

### 3.2 水泥行业的技术性与经济性需求

水泥行业的排放控制技术既要符合环保政策的要求, 又需要兼顾技术性与经济性。首先, 水泥回转窑排放控制技术的实施必须具有技术可行性, 能够有效去除废气中的有害物质, 例如  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  等。其次, 随着市场竞争的激烈, 水泥企业对排放控制技术的经济性要求也越来越高。排放控制技术的实施需要一定的资金投入, 而企业往往希望通过高效的控制技术实现低成本的排放治理, 减少投资与运营成本。因此, 水泥行业迫切需要既能达到环保标准, 又能降低运行成本的排放控制技术。这就要求企业在选择技术时, 需要综合考虑设备投资、运行维护成本以及能效提升等多方面的因素, 力求在环境保护和经济效益之间取得平衡。

## 4 传统排放控制技术的应用与局限性

### 4.1 吸附法的应用与特点

吸附法是目前广泛应用于水泥回转窑气体排放控制的一种技术, 主要通过固体吸附剂将废气中的有害物质吸附到吸附剂表面, 从而实现气体净化。常用的吸附剂包括活性炭、分子筛等, 这些材料具有较大的比表面积和孔隙结构, 能够

有效吸附气体中的有害成分, 如  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  等。吸附法的优点在于操作简便、成本较低, 且能够实现较高的去除效率。例如, 在某些水泥企业中, 采用活性炭吸附法后,  $\text{NO}_x$  的去除效率可达到 70%-80%。然而, 吸附法也存在一定的局限性。随着吸附剂的使用时间延长, 其吸附能力逐渐下降, 需要定期更换或再生吸附剂, 增加了维护成本和设备停机时间。此外, 吸附法对于高浓度的污染气体处理效果较差, 且无法彻底去除所有污染物, 存在一定的排放残留<sup>[3]</sup>。

### 4.2 吸收法的分析与局限

吸收法是一种利用液体溶剂吸收废气中有害成分的技术。该方法常用的吸收液体包括碱性溶液和酸性溶液, 能够有效地将气体中的污染物如  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  溶解并去除。吸收法的优点是适用于较为复杂的气体排放, 去除效果较为稳定。例如, 采用氢氧化钠溶液处理  $\text{SO}_2$  时, 其去除率通常可达到 90% 以上。尽管吸收法具有较高的去除效率, 但也存在不少缺点。首先, 吸收液的使用会导致二次污染, 尤其是需要定期更换吸收液, 处理后废液的处置也会增加成本。其次, 对于高浓度  $\text{NO}_x$  气体的吸收效果较差, 并且需要较大的设备投入和较高的运行维护成本。此外, 吸收法对气体的处理量存在一定限制, 当气体量过大时, 吸收效果会大幅下降, 影响排放控制的稳定性和可靠性。

### 4.3 催化氧化技术的应用与不足

催化氧化技术通过催化剂的作用, 使污染物在较低温度下发生氧化反应, 从而去除废气中的有害物质。该技术广泛应用于水泥回转窑的高温气体排放控制中, 能够有效去除  $\text{NO}_x$ 、CO 等有害气体。催化氧化反应的特点是能在较低的操作温度下完成氧化过程, 具有较高的能效和较低的能耗。例如, 使用钛基催化剂时,  $\text{NO}_x$  的去除率可达到 60%-90%。然而, 催化氧化技术也有其不足之处。首先, 催化剂的价格较高, 且催化剂在长期使用过程中容易受到中毒, 导致催化效率降低。其次, 催化氧化技术对于某些高浓度污染物的处理效果较差, 特别是对于大规模排放的水泥回转窑废气, 催化氧化技术难以满足其排放标准。此外, 催化氧化反应对温度和湿度的要求较为严格, 操作环境的变化可能影响其效果。

## 5 先进排放控制技术的应用与发展

### 5.1 选择性催化还原技术 (SCR) 应用与优势

选择性催化还原技术 (SCR) 是一种通过催化剂使氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 与还原剂反应, 从而将  $\text{NO}_x$  转化为无害物质的技术。在水泥回转窑排放控制中, SCR 技术已被广泛应用, 其原理是将还原剂 (如氨气或尿素溶液) 注入高温废气中, 催化剂促使  $\text{NO}_x$  还原为氮气和水。SCR 技术的优点在于具有较高的  $\text{NO}_x$  去除效率, 通常可达到 80% 以上, 并且适应性较强, 能够在不同的工况下运行。根据研究数据, 采用 SCR 技术后,  $\text{NO}_x$  的去除效率可达到 90%, 大大降低