

境质量的持续改善与生态文明建设的深入推进。当前我国大气污染治理已取得显著成效，但仍面临产业与能源结构转型滞后、区域协同不足、公众参与度低等挑战，需进一步强化措施落地与保障机制建设。

参考文献

- [1] 生态环境部. 2023 中国生态环境状况公报 [R]. 北京: 中国环境出版社, 2024.
- [2] 张高丽. 推进生态文明建设 努力建设美丽中国 [J]. 环境保护, 2023, 51 (12): 4-8.
- [3] 王浩, 等. 我国大气污染防治现状、挑战与对策 [J]. 中国环境科学, 2022, 42 (5): 2001-2010.

Discussion on Integrated Desulfurization and Denitrification Process for Thermal Power Plants

KanWang¹ Shilin Chang² Yan Fang³

1. Guizhou Yuanda Flue Gas Treatment Co., Ltd., Zunyi, Guizhou, 564600, China

2. Chongqing Yuanda Flue Gas Treatment Franchise Operation Co., Ltd., Datong Branch Qinghai, Xining, 810100, China

3. Guizhou Yuanda Environmental Protection Co., Ltd., Liupanshui, Guizhou, 553531, China

Abstract

In the context of global energy structure transformation and increasingly stringent environmental requirements, thermal power plants as major atmospheric pollution sources urgently need to adopt efficient multi-pollutant synergistic control technologies. The integrated desulfurization and denitrification process achieves simultaneous and efficient removal of sulfur oxides and nitrogen oxides through coordinated reaction processes, significantly reducing equipment investment and operational costs while enhancing system economic efficiency and energy utilization. Currently, mainstream technologies such as activated carbon adsorption, oxidation absorption, and catalytic synergy have been applied on a large scale in China, with emission indicators consistently meeting ultra-low emission standards and significant improvements in by-product resource utilization. This process aligns with circular economy development concepts, providing key technological support for green and low-carbon transformation in the thermal power industry. It will continue to play a vital role under policy promotion and technical optimization.

Keywords

Thermal power plants; Desulfurization and denitrification; Integrated process; Ultra-low emissions

火力发电厂脱硫脱硝一体化工艺的探讨

王侃¹ 常仕林² 方颜³

1. 贵州远达烟气治理有限公司, 中国·贵州 遵义 564600

2. 重庆远达烟气治理特许经营有限公司青海省大通分公司, 中国·青海 西宁 810100

3. 贵州省远达环保有限公司 中国·贵州 六盘水 553531

摘要

在全球能源结构转型和环保要求日益严格的背景下, 火力发电厂作为主要大气污染排放源, 亟需采用高效多污染物协同控制技术。脱硫脱硝一体化工艺通过整合反应过程, 实现硫氧化物和氮氧化物的同步高效脱除, 显著降低设备投资与运行成本, 提升系统经济性和能源利用效率。目前活性炭吸附、氧化吸收及催化协同等主流技术已在我国得到规模化工程应用, 排放指标稳定达到超低排放标准, 副产物资源化利用率显著提升。该工艺契合循环经济发展理念, 为火电行业绿色低碳转型提供关键技术支撑, 未来将在政策推动和技术优化下持续发挥重要作用。

关键词

火力发电厂; 脱硫脱硝; 一体化工艺; 超低排放

1 引言

近年来我国深入推进生态文明建设, 依托“双碳”目标和国家大气污染防治行动计划, 对火力发电行业污染物排放提出更严格要求。2023 年《空气质量持续改善行动计划》明确要求重点区域燃煤机组实现超低排放改造, 二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 35mg/m³ 和 50mg/m³。传统分

步治理技术虽成熟但存在系统复杂、能耗高等瓶颈, 而一体化工艺通过多污染物协同控制、副产物资源化利用和系统集成优化, 有效克服这些难题。当前技术发展已形成活性炭吸附、氧化吸收和催化协同三条主流技术路线, 在工程实践中取得显著成效, 为行业减排升级提供关键技术支持。

2 火力发电厂实施脱硫脱硝一体化工艺的重要性

随着全球气候变化不断加剧和生态环境治理要求的提高, 火力发电厂作为主要大气污染排放源, 正面临日益严格的环保约束 (如图 1)。硫氧化物 (SO_x) 和氮氧化物 (NO_x) 不仅导致酸雨频发、土壤与水体质地退化, 还显著加剧大气

【作者简介】王侃 (1993-), 男, 中国重庆人, 本科, 助理工程师, 从事电力工程系统自动化, 火电厂环保, 火电厂脱硫、脱硝施工管理、安全技术监督等研究。

中细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 和臭氧污染,严重影响生态平衡与公众健康。为应对这一挑战,国际社会通过《巴黎协定》及各国“双碳”目标不断收紧排放标准,推动能源行业走向清洁化。



图1 火力发电厂冷却塔与烟囱排放图

相比传统的分步式脱硫脱硝技术,虽然其应用广泛,但存在装置复杂、能耗偏高、副产物难处理等问题。而脱硫脱硝一体化工艺能够在同一系统内协同去除多类污染物,大幅减少设备规模与用地需求,降低投资与运行成本,提升整体能源利用效率。该工艺还契合循环经济理念,部分技术可实现对硫、氮的资源化回收,如副产硫酸、硝酸等,有效减轻环境负荷。

3 脱硫脱硝一体化工艺的主要技术

3.1 活性炭吸附协同脱硫脱硝技术

活性炭吸附协同脱硫脱硝技术是一种基于多孔吸附与催化反应相结合的烟气净化技术。该技术利用活性炭材料独特的多孔结构和丰富的表面官能团,实现对烟气中 SO_2 和 NO_x 的同步吸附与转化。在工艺流程中,烟气首先进入吸附塔, SO_2 分子被活性炭物理吸附后,在孔隙内被催化氧化为硫酸 (H_2SO_4); 与此同时,在氨气存在的还原性气氛中, NO_x 通过选择性催化还原 (SCR) 反应被转化为无害的氮气和水蒸气。饱和的活性炭可通过热再生过程回收浓硫酸,再生活性炭可循环使用,有效降低运行成本。该技术具有适应烟气负荷波动能力强、副产物硫酸可资源化利用等突出优点,特别适用于中高硫煤燃烧条件。然而,该技术在实际应用过程中也面临着一些显著的工程挑战。具体而言,活性炭在使用过程中会出现较大的机械损耗问题,不仅缩短了活性炭的使用寿命,还增加了维护和更换的频率,从而提升了运营成本。

3.2 氧化吸收协同脱硫脱硝技术

氧化吸收协同脱硫脱硝技术是一种基于强氧化剂的高级氧化工艺,其核心在于通过化学或物理方式产生具有强氧化性的自由基,将难溶的 NO 氧化为易于处理的 NO_2 。常用氧化剂包括臭氧 (O_3)、过氧化氢 (H_2O_2) 以及通过电子束辐照产生的羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 等。在氧化阶段, NO 被转化为水溶性较高的 NO_2 ,随后与 SO_x 一同进入吸收塔,

与石灰石浆液或氢氧化钠等碱性吸收剂发生反应,生成稳定的硫酸盐和硝酸盐混合物。电子束辐照法作为该技术的一个重要分支,通过高能电子激发烟气中的分子产生自由基,实现污染物的高效氧化去除。该技术脱除效率可达 90% 以上,且不产生二次废弃物,环境友好性显著。但其主要缺点在于氧化剂制备能耗高、运行成本较大,特别是臭氧发生装置电耗较高,限制了其大规模推广应用。技术的脱除效率非常高,能够达到 90% 以上,并且在脱除过程中不会产生任何二次废弃物,从而展现出显著的环境友好性,对生态环境的保护起到了积极作用。

3.3 催化协同脱硫脱硝技术

催化协同脱硫脱硝技术是借助多功能催化剂在单一反应器内实现 SO_x 和 NO_x 同步去除的高效净化工艺。该技术采用 $\text{V}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$ 、 $\text{CeO}_2\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$ 等复合催化剂,在适宜温度窗口内同时催化 NO_x 的还原和 SO_x 的氧化反应。以 SCR-SNO_x 集成系统为例,在氨气存在下,催化剂促进 NO_x 发生选择性催化还原生成 N_2 ,同时催化 SO_2 氧化为 SO_3 ,进而与预注入的钙基吸收剂反应生成硫酸钙。技术核心在于开发具有高活性、抗水抗硫中毒能力的催化剂材料,并优化反应温度(通常控制在 300-400℃)、空速、氨氮比等关键参数。该技术具备诸多显著优势,其中包括系统结构紧凑、运行阻力小以及效率稳定可靠等特点,这使得其在实际应用中表现出色。

4 火力发电厂脱硫脱硝一体化工艺的应用

4.1 活性炭吸附一体化技术在火力发电厂中的应用

活性炭吸附一体化技术作为协同控制多种烟气污染物的关键技术,在我国燃煤电厂中已实现规模化工程应用,尤其在 中 高 硫 煤 燃 烧 机 组 中 展 现 出 显 著 优 势。该技术依托活性炭材料高度发达的孔隙结构,其比表面积达 800 至 1200 平方米每克,提供优异吸附能力。此外,活性炭材料表面富含多种在化学反应中起重要作用的官能团。通过结合物理吸附与催化转化的协同作用,该技术能在单一塔式反应器内同步高效脱除二氧化硫和氮氧化物这两种大气污染物。

在实际工程运行过程中,系统通常采用多层固定床吸附结构,通过精确调控烟气停留时间与氨氮摩尔比等关键参数,实现污染物的最大化去除。基于气固相传质理论与表面催化反应机理,活性炭孔隙内的物理吸附与化学转化过程协同作用,使 SO_2 和 NO_x 得以同步脱除。典型工程运行数据表明,在燃煤硫分达到 1.5% 的条件下,系统出口二氧化硫浓度可长期稳定维持在 35 mg/m^3 以内,氮氧化物排放浓度低于 50 mg/m^3 。同时,通过热再生工艺可回收高纯度工业级硫酸产品,有效实现硫资源的循环利用。

4.2 氧化吸收一体化技术在超低排放工程中的应用

氧化吸收一体化技术凭借其卓越的污染物协同脱除性能,在燃煤电厂超低排放改造中发挥着关键作用,特别适用