

燃煤废气处理问题识别与新型处理对策研究

朱兴

淮安淮测检测科技有限公司

DOI:10.32629/eep.v8i9.2871

[摘要] 燃煤作为我国能源结构中的重要组成部分,在工业生产和居民生活中发挥着不可替代的作用,但燃煤过程中产生的废气(含SO₂、NO_x、颗粒物及挥发性有机物等)已成为大气污染的主要来源之一,严重威胁生态环境和人体健康。本文基于我国燃煤废气处理的现状,系统识别当前处理过程中存在的技术瓶颈、效率短板、成本压力及政策落地等问题,结合国内外前沿技术研究成果,提出包括新型吸附材料应用、协同处理技术优化、智能化管控系统构建等在内的新型处理对策,并通过案例分析验证对策的可行性与有效性,为我国燃煤企业废气处理技术的升级提供理论参考与实践指引。

[关键词] 燃煤废气; 问题识别; 协同处理; 吸附材料; 智能化管控

中图分类号: U491.9+2 文献标识码: A

Research on Identification of Coal Combustion Waste Gas Treatment Problems and New Treatment Countermeasures

Xing Zhu

Huai 'an Huaice Testing Technology Co., LTD

[Abstract] Coal burning, as an important component of China's energy structure, plays an irreplaceable role in industrial production and residents' lives. However, the waste gas produced during the coal burning process (including SO₂, NO_x, particulate matter and volatile organic compounds, etc.) has become one of the main sources of air pollution, seriously threatening the ecological environment and human health. Based on the current situation of coal-fired waste gas treatment in China, this paper systematically identifies the technical bottlenecks, efficiency shortcomings, cost pressures and policy implementation issues existing in the current treatment process. Combined with the research results of cutting-edge technologies at home and abroad, it proposes new treatment countermeasures including the application of new adsorption materials, optimization of collaborative treatment technologies, and construction of intelligent control systems. And through case analysis, verify the feasibility and effectiveness of the countermeasures, providing theoretical references and practical guidance for the upgrading of waste gas treatment technology and environmental protection governance in China's coal-fired enterprises.

[Key words] Coal combustion exhaust gas; Problem identification; Collaborative processing; Adsorption material; Intelligent control and management

引言

我国实体经济体系健全,在厚植经济优势、夯实发展动力的同时,也在很大程度上造成了废气污染等问题。废气排放引发的环境问题未能得到妥善处置,势必影响环境生态,抵消经济发展优势。根据《中国能源统计年鉴》数据,2023年我国煤炭消费量占一次能源消费总量的56.2%,其中工业燃煤占比超过80%。燃煤废气中含有的二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)、细颗粒物(PM_{2.5})、重金属及挥发性有机物(VOCs)等污染物,是造成雾霾、酸雨、光化学烟雾等环境问题的主要诱因,同时长期暴露于此类

污染物中会增加人体呼吸系统、心血管系统疾病的发病风险。近年来,我国相继出台《大气污染防治法》《“十四五”大气污染防治规划》等政策法规,明确要求燃煤企业实施超低排放改造,对废气处理效率和排放浓度提出了更为严格的标准。然而,在实际治理过程中,部分企业仍存在处理技术落后、运行成本过高、治理效果不稳定等问题,制约了燃煤废气污染治理的整体成效。因此,系统识别当前燃煤废气处理存在的关键问题,研发和应用新型高效的处理技术与对策,对于推动我国能源结构转型、改善大气环境质量具有重要的现实意义^[1]。

1 燃煤废气处理现状与关键问题识别

1.1 燃煤废气处理现状

目前我国燃煤废气处理技术已形成较为完整的体系,主要包括脱硫、脱硝、除尘及VOCs治理四大核心环节。脱硫技术以石灰石-石膏湿法脱硫为主,占工业燃煤脱硫装置的85%以上,该技术具有脱硫效率高(可达95%以上)、工艺成熟等优点,但存在耗水量大、产生大量脱硫石膏废渣等问题;脱硝技术以选择性催化还原(SCR)为主,脱硝效率可达80%~90%,但存在催化剂易失活、运行成本高、氨逃逸等问题;除尘技术以电除尘和袋式除尘为主。其中,电除尘因处理量大、压力损失小被广泛应用,但对细颗粒物(PM_{2.5})的去除效率较低;袋式除尘对细颗粒物的去除效率可达99.9%以上,但存在滤袋易堵塞、更换成本高等问题;VOCs治理技术包括吸附法、催化燃烧法、生物处理法等,目前应用范围相对较窄,处理效率参差不齐。近年来,随着超低排放政策的实施,部分燃煤企业开始采用“脱硫+脱硝+除尘”一体化处理工艺,废气排放浓度基本能够满足国家现行标准。但在复杂工况条件下,仍存在排放浓度波动较大、处理系统稳定性不足等问题。同时,燃煤废气中多种污染物的协同处理技术、二次污染控制技术等仍处于研发和试点阶段,尚未实现大规模推广应用^[2]。

1.2 燃煤废气处理关键问题识别

1.2.1 技术瓶颈问题。一是单一处理技术局限性大,现有脱硫、脱硝、除尘技术大多只能处理单一污染物,缺乏协同去除能力。例如,湿法脱硫会产生含硫废水;SCR脱硝在低温时活性下降;电除尘对细颗粒物的去除效率低;袋式除尘器滤袋易损坏。二是新型技术的研发与应用滞后。虽然有新型处理技术,但大多处于实验室或小试阶段,存在技术不成熟、成本高、稳定性不足等问题,难以实现工业化应用。三是二次污染控制技术缺失。燃煤废气处理过程中会产生二次污染物,且资源化利用效率低。例如,脱硫石膏的利用率仅70%,废SCR催化剂的回收利用率不足30%。废渣的堆积与随意丢弃会危害环境。

1.2.2 处理效率与稳定性问题。一是在复杂工况下处理效率波动大,锅炉负荷、煤炭品质等因素会影响废气的成分、浓度和温度,导致处理系统的工况多变。例如,低负荷运行时脱硝效率下降;煤炭含硫量超标会导致脱硫不达标。二是处理系统的运行稳定性不足。现有设备缺乏智能化调控,故障预警和维护不及时,容易出现堵塞、漏风、失活等问题,从而导致系统停运或效率下降。例如,某电厂的脱硝效率降低,某企业的除尘效率下降。

1.2.3 成本压力问题。一是初始投资成本高,燃煤废气超低排放改造需要大量资金投入,中小型企业面临较大的资金压力。例如,1000MW机组的改造费用高,中小型锅炉处理设备的投资占比大。二是运行维护成本高。现有技术的运行成本包括能源、药剂、设备维护和人工等成本。例如,湿法脱硫的耗水量和药剂消耗大,SCR脱硝催化剂的更换成本高。三是资源化利用收益低。二次污染物虽然有利用价值,但由于市场、质量、运输等方面的问题,收益难以覆盖成本,企业缺乏积极性^[3]。

2 燃煤废气处理新型对策研究

2.1 新型协同处理技术研发与应用

2.1.1 多污染物协同吸附技术。开发新型高效吸附材料是实现多污染物协同去除的核心。近年来,金属有机框架(MOFs)材料、石墨烯基复合材料、改性活性炭等新型吸附材料,凭借比表面积大、吸附容量高、选择性强的优势,在燃煤废气处理领域展现出广阔应用前景。例如,MOFs材料通过调控金属离子与有机配体结构,可同步吸附SO₂、NO_x、PM_{2.5}及VOCs等多种物质,吸附容量达到传统活性炭的3~5倍;石墨烯基复合材料经表面改性引入氨基、羟基等官能团,能显著提升对NO_x的吸附选择性,同时对PM_{2.5}具备良好截留效果。此外,这类新型材料还具有再生性能优异、使用寿命长的特点,可有效降低更换成本。未来需重点攻关新型吸附材料的规模化制备技术,进一步降低生产成本,推动其在燃煤废气处理中的工业化落地。

2.1.2 低温协同催化处理技术。针对现有SCR脱硝技术在低温工况下催化活性不足的痛点,研发低温高效SCR催化剂成为关键突破方向。目前,通过掺杂Mn、Fe、Cu等过渡金属或Ce、La等稀土元素,对传统V₂O₅-W_{0.3}/TiO₂催化剂进行改性,可大幅提升其低温催化活性,使150~250℃区间内的脱硝效率稳定在85%以上。同时,将低温SCR催化剂与脱硫、除尘技术整合,构建“脱硫-脱硝-除尘”协同处理系统,能够实现多种物质的一体化去除。例如,在脱硫塔出口设置低温SCR催化反应器,利用脱硫后180~220℃的低温废气开展脱硝反应,同时通过反应器内滤料层去除细颗粒物,该系统对相关物质的去除效率分别可达98%、90%和99.5%以上,运行成本较传统分置式系统降低20%~30%。此外,等离子体协同催化技术作为极具潜力的多物质协同处理方案,借助等离子体产生的高能电子、自由基等活性物种破坏物质分子结构,结合催化剂的催化作用实现高效去除,具备处理效率高、反应条件温和、无二次影响等优势,目前已在小型燃煤锅炉废气处理中试点应用,处理效率可达90%以上^[4]。

2.1.3 二次影响控制与资源化利用技术。脱硫石膏主要成分为CaSO₄·2H₂O,纯度超90%,具有较高资源化利用价值,当前广泛应用于纸面石膏板、石膏砌块、石膏砂浆等建筑材料生产,也可作为水泥缓凝剂、土壤改良剂等使用。为进一步提升其资源化利用效率,需重点推进三方面技术研发:一是通过干燥、煅烧、改性等预处理工艺优化,提高脱硫石膏的纯度与性能,适配多元应用场景;二是研发α-高强石膏、石膏晶须等高端产品,拓展高附加值利用路径;三是加强产学研协同,构建脱硫石膏收集、运输、加工、应用一体化产业链,降低综合利用成本。与此同时,SCR脱硝废催化剂含有V、W、Ti等有害金属及重金属、有害物质,随意丢弃会引发严重环境问题,必须进行规范回收处理。目前其回收技术主要包括火法冶金、湿法冶金及火法-湿法联合工艺,其中火法冶金虽能实现金属挥发富集,但存在能耗高、排放量大等问题,而湿法冶金通过酸浸、碱浸结合萃取、沉淀等工艺分离回收有害金属,具有能耗低、回收率高、环境影响小等优势,已成为主流技术。

2.2 管控层面强化路径

2.2.1 完善全流程监测监管体系。推进燃煤废气处理设施与生产系统同步安装自动监测、过程监控及高清视频监控设备,确保排放数据实时可追溯。将监测指标与锅炉生产、烟气治理设施主要运行参数联网对接,建立超标自动预警机制,实现“监测-预警-处置”闭环管理。企业完成处理技术改造后,应主动申请变更排污许可证,将相关管控要求明确载入许可内容,强化合规约束。

2.2.2 健全运行维护管理机制。建立燃煤废气治理设施定期巡检制度,确保生产与治理设施同步稳定运行。精准控制脱硝剂用量,有效防范氨逃逸问题;规范脱硫废液处置流程,通过蒸发结晶等方式实现资源化利用或安全处置;保障除雾器、湿电等设备正常运行,减少可凝颗粒物排放。同时,强化跨区域协同监管,针对京津冀、长三角等重点区域,建立统一规划、统一监测、统一监管的联防联控机制,破解区域传输带来的治理难题。

3 案例分析

3.1 改造背景与技术方案

某1000MW燃煤电厂原采用“湿法脱硫+SCR脱硝+电除尘”分置式处理工艺,在长期运行中暴露出三大突出问题:一是处理效率受工况影响波动大,难以稳定满足超低排放要求;二是运行成本居高不下,脱硝剂、脱硝还原剂消耗量大,设备维护费用高;三是二次污染问题显著,脱硫石膏利用率低、废SCR催化剂处置不当易造成环境风险。为破解上述难题,该电厂于2022年启动超低排放改造,核心技术方案包括两部分:一是采用“新型协同吸附+低温SCR脱硝+袋式除尘”一体化处理工艺,替代传统分置式系统,实现多污染物协同高效去除;二是构建覆盖废气处理全流程的智能化管控系统,通过实时监测与智能调控提升系统运行稳定性。

3.2 改造后核心成效

改造后电厂废气处理在环保效果、运行稳定性和经济效益三方面实现显著提升:环保排放层面, SO_2 排放浓度稳定在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下, NO_x 排放浓度稳定在 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以下, $\text{PM}_{2.5}$ 排放浓度稳定在 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,均大幅优于国家超低排放标准($\text{SO}_2 \leq 35\text{mg}/\text{m}^3$, $\text{NO}_x \leq 50\text{mg}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2.5} \leq 10\text{mg}/\text{m}^3$);在运行稳定性层面,设备故障发生率降低60%以上,年停运时间从改造前的200小时压缩至30小时以下,降幅超80%,有效保障连续生产;经济效益层面,脱硝剂和脱硝还原剂消耗量分别减少25%和30%,吨煤处理成本从18.5元降至13.2元,年节约运行成本约1.2亿元;二次污染治理层面,脱硫石膏综合利用率从65%提升至92%,通过生产纸面石膏板、石膏砂浆等产品年实现资源化收益3000万元,废SCR催化剂经湿法冶金工艺回收,钒、钨等有色金属回收率超90%,年回收价值约800万元,彻底解决二次污染隐患。此外,改造后的电厂在环境友好性方面也取得突破性进展。废气处理系统运行噪音从改造前的85分贝降至65分贝以下,达到城市区域环境噪声标准要求;废水零排放系统实现循环利用率100%,年减少工业用水取水量超200万吨;通过优化烟气余热回收装置,热效率提升15%,

年节约标准煤1.2万吨,相当于减少二氧化碳排放3.1万吨。

3.3 智能化管控系统的关键作用

该电厂构建的智能化管控系统成为保障处理效果稳定的核心支撑,实现了废气处理全过程的精准管控。系统通过在锅炉炉膛、烟道、处理设备等关键节点部署各类传感器,实时采集废气成分浓度、设备运行参数、锅炉燃烧工况等数据,建立动态监测网络。基于实时数据,系统可自动调整锅炉燃烧参数与处理设备运行参数,即便在复杂工况下也能维持高效处理效率。例如,当锅炉负荷从100%降至50%时,废气温度同步从 300°C 降至 180°C ,系统迅速响应并调整低温SCR催化剂反应参数与还原剂喷射量,使脱硝效率始终稳定在85%以上,未出现任何污染物排放超标现象。该系统的应用,不仅破解了传统工艺对人工调控的依赖,更实现了处理系统的自适应优化,为一体化工艺发挥最大效能提供了技术保障,也验证了“新型处理技术+智能化管控”模式的可行性与推广价值^[5]。

4 结论

本文通过对我国燃煤废气处理现状的分析,系统识别了当前燃煤废气处理存在的四大关键问题:一是技术瓶颈突出,单一处理技术局限性强、新型技术研发与应用滞后、二次污染控制技术缺失;二是处理效率与稳定性不足,复杂工况下排放浓度波动大、设备运行故障频发;三是成本压力较大,初始投资高、运行维护成本高、资源化利用收益低;四是政策与管理机制不完善,政策执行差异化、监管技术手段落后、企业环保管理水平不足。针对上述问题,本文提出了一系列新型处理对策:在技术层面,研发和应用多污染物协同吸附技术、低温协同催化处理技术,实现多种污染物的一体化高效去除;在二次污染控制层面,优化脱硫石膏资源化利用技术和废催化剂回收处理技术,提高二次污染物的资源化利用效率,减少二次污染;在管控层面,构建集实时监测、智能调控、远程运维于一体的智能化管控系统,提高处理系统的运行稳定性和调控精准度。案例分析验证了上述对策的可行性与有效性,能够显著提升燃煤废气处理效率、降低处理成本、减少二次污染。

[参考文献]

- [1]赵玲.工业燃煤废气挥发性有机物催化减排进展探讨[J].黑龙江环境通报,2024,37(01):97-99.
- [2]刘爽,丁龙.工业燃煤废气挥发性有机物催化减排研究进展[J].安徽工业大学学报(自然科学版),2022,39(2):119-131.
- [3]夏冬前.热电企业燃煤废气量的统计方法探讨[J].干旱环境监测,2017,31(04):182-186.
- [4]潘振,仇阳,乔伟彪,等.以燃煤废气为热源的LNG冷能三级利用系统[J].化工进展,2016,35(11):3720-3726.
- [5]浙江菲达环保科技股份有限公司.一种电解铝工艺废气处理装置:CN208349315U[P/OL].2019-01-08[2025-11-28].

作者简介:

朱兴(1991—),男,汉族,江苏人,大专,助理工程师,研究方向:废气处理。