

火电厂烟气脱硫脱硝技术应用与节能环保

邓海荣

国家能源集团科学技术研究院有限公司银川分公司 宁夏 银川 750002

摘要：火电厂烟气脱硫脱硝技术是环境保护的重要措施。该技术主要针对烟气中的二氧化硫（ SO_2 ）和氮氧化物（ NO_x ）进行脱除，以减少大气污染。常用的脱硫技术包括湿法、干法及海水脱硫等，而脱硝技术则多采用选择性催化还原（SCR）等。这些技术不仅显著提升空气质量，还通过优化燃烧过程和提高能源利用效率，促进节能环保目标的实现。此外，副产品的高效利用进一步促进了资源的循环利用和可持续发展。随着科技进步，火电厂烟气脱硫脱硝技术将继续优化，为实现更清洁、更可持续的能源供应贡献力量。

关键词：火电厂；烟气脱硫脱硝技术；应用；节能环保

引言：随着全球能源需求的持续增长及环保意识的日益增强，火电厂作为主要的能源供应基地，其排放的烟气中的二氧化硫和氮氧化物已成为大气污染的主要来源之一。烟气脱硫脱硝技术的应用，对于减少大气污染物排放、保护生态环境具有重要意义。本文旨在探讨火电厂烟气脱硫脱硝技术的最新进展及其在节能环保方面的应用，以期为火电厂的绿色发展提供参考和借鉴，共同推动能源产业的可持续发展。

1 火电厂烟气脱硫脱硝技术概述

1.1 烟气脱硫技术

（1）干法脱硫技术。采用粉状或粒状吸收剂来吸附或吸收烟气中的 SO_2 ，其优势在于系统构造简单且不产生废水。其中，循环流化床干法脱硫技术尤为常见，该技术利用炉内的高温环境促使吸收剂与 SO_2 发生反应，生成固态的脱硫产物。该技术非常适合老机组的改造，尽管其脱硫效率相对较低。（2）湿法脱硫技术。湿法脱硫技术中，石灰石-石膏法最为典型。该技术采用石灰石浆液作为吸收剂，在吸收塔内部与烟气中的 SO_2 发生化学反应，生成硫酸钙。硫酸钙再经过氧化和结晶处理，最终得到石膏。该技术的脱硫效率可达95%以上，但与此同时，也需要处理大量的脱硫废水，导致运行成本相对较高。

1.2 烟气脱硝技术

（1）选择性催化还原（SCR）技术。SCR技术在催化剂作用下，利用氨（ NH_3 ）等还原剂，将 NO_x 还原为氮气和氨，脱硝效率可达80%~90%，广泛应用于大型火电厂，但催化剂成本高且需定期更换。（2）非选择性催化还原（SNCR）技术简介。SNCR技术在高温（850-1100℃）条件下，不使用催化剂，直接向炉膛喷射氨或尿素等还原剂与 NO_x 反应，工艺简单、投资低，但脱硝效率仅40%~60%，适用于小型机组。（3）其他脱硝技术

简述。包括活性炭吸附脱硝、电子束照射脱硝等，活性炭可同时脱硫脱硝，但吸附容量有限；电子束照射脱硝能够实现脱硫脱硝一体化，但设备投资和运行成本高^[1]。

1.3 脱硫脱硝一体化技术

（1）一体化技术的原理与特点。一体化技术通过整合单一系统，实现了脱硫脱硝的双重功能，例如循环流化床脱硫脱硝一体化技术，它利用固体吸收剂在同一反应器内高效完成脱硫脱硝反应，具有占地面积小、投资及运行成本低廉等诸多优势。（2）一体化技术在火电厂中的应用实例。某火电厂采用的循环流化床脱硫脱硝一体化技术，显著提升了脱硫效率至90%以上，脱硝效率达到60%。该技术不仅有效减少了 SO_x 和 NO_x 等污染物的排放，还通过优化设备布局和运行流程，降低了设备占地面积和运行成本，从而实现了良好的环境与经济效益。

2 火电厂烟气脱硫脱硝技术应用分析

2.1 湿法脱硫脱硝技术应用

（1）石灰石石膏湿法脱硫技术。石灰石—石膏湿法脱硫技术，因其高脱硫效率和工艺成熟度，已成为火电厂中最广泛采用的脱硫技术之一。该技术采用石灰石浆液作为吸收剂，在吸收塔内与烟气中的 SO_2 进行充分接触并发生反应，生成亚硫酸钙，随后通过强制氧化过程转化为硫酸钙，最终结晶析出为石膏。在大型火电厂中，该技术的脱硫效率可达95%以上，某千万千瓦级火电厂采用此技术后，每年可减少数十万吨 SO_2 排放，且副产物石膏可用于建材行业，实现资源再利用。然而，该技术也面临一些挑战，如设备易受腐蚀以及需要处理大量的脱硫废水等问题^[2]。（2）氯酸氧化法脱硝技术。氯酸氧化法脱硝技术凭借氯酸的强大氧化能力，将烟气中的NO转化为高价态氮氧化物，随后通过碱液吸收的方式实现脱硝目的。在一些工业锅炉脱硝改造中，该技术脱硝效率

可达80%左右。然而,氯酸的强腐蚀性对设备材质提出了极高要求,同时氯酸的制备和储存过程中存在的安全隐患限制了其在大规模应用中的推广。(3) WSA-SNOX脱硫脱硝一体化技术。该技术采用活性炭吸附和催化转化原理。烟气先在吸附塔内被活性炭吸附脱硫,然后在催化反应器中利用氨将氮氧化物还原,最后通过加热吸附活性炭上的硫,制成浓硫酸回收。某沿海火电厂应用该技术后,脱硫脱硝效率均超90%,但设备投资成本高,运行维护复杂。

2.2 干法脱硫脱硝技术应用

(1) 电子束照射技术。利用电子加速器产生高能电子束,照射烟气生成自由基,氧化二氧化硫和氮氧化物,随后与氨反应,生成硫酸铵、硝酸铵等化肥产品。在某生物质发电项目中,该技术脱硫脱硝效率分别达到85%和75%左右,实现了污染物减排和资源回收。然而电子加速器设备昂贵,运行维护要求高。(2) 脉冲电晕等离子体技术。通过高压脉冲放电生成等离子体,激发烟气分子产生自由基,进而氧化二氧化硫和氮氧化物,最终与氨反应生成铵盐。该技术设备简单、占地面积小,但目前能量利用率较低,脱硝效率约60%~70%。(3) LILAC干法脱硫脱硝技术。使用碱性吸附剂,在移动床内吸附烟气中的 SO_2 和 NO_x ,吸附饱和后,吸附剂在再生塔加热再生,实现循环使用。在某燃煤供热厂的应用中,该技术脱硫效率超90%,脱硝效率约70%,且无废水产生,但吸附剂的损耗和再生能耗导致运行成本较高^[3]。

2.3 技术应用效果对比与分析

不同技术在脱硫脱硝效率上的对比。湿法脱硫技术整体脱硫效率更高,石灰石石膏法可达95%以上;干法脱硫技术多在80%~90%。脱硝方面,湿法技术如氯酸氧化法可达80%,干法技术中电子束照射技术可达75%,而脉冲电晕等离子体技术的脱硝效率相对较低。一体化技术中,WSA-SNOX和LILAC技术在脱硫脱硝方面表现出了较高的效率,例如WSA-SNOX技术通过SCR反应器实现氮氧化物还原成氮气,并通过催化剂作用实现二氧化硫氧化,形成硫酸,具有较高的脱硫脱硝效率。然而,与湿法脱硫技术等单项高效技术相比,WSA-SNOX和LILAC技术在某些方面仍有提升空间。

在成本方面,湿法技术因设备投资大、运行原料消耗多以及废水处理成本高而显得较为昂贵;相反,干法技术的设备投资相对较低,尽管其中部分技术设备价格不菲。能耗上,湿法技术由于工艺流程复杂,能耗相对较高;而干法技术则因其工艺流程相对简单,能耗较低。环境影响上,湿法技术面临废水污染问题,干法技

术则需妥善处理吸附剂等废弃物,避免二次污染。火电厂需综合考虑自身条件,选择合适的脱硫脱硝技术。

3 烟气脱硫脱硝技术与节能环保

3.1 节能环保的重要性与目标

(1) 火电厂面临的节能环保压力。火电厂排放的 SO_2 和 NO_x 等污染物,不仅引发酸雨、雾霾等环境问题,还对人体健康造成严重威胁。据世界卫生组织(WHO)统计,每年有近700万人因长期暴露在污染空气中而死亡。例如,2018年,中国环境保护部发布的《中国环境状况公报》显示,全国338个主要城市中,超过20%的城市 SO_2 浓度超过国家二级标准。(2) 国家政策对节能环保的要求与支持。我国出台了一系列严格的环保政策与标准,如《火电厂大气污染物排放标准》,明确限制了烟气中污染物的排放浓度。同时,财政补贴、税收优惠等政策激励火电厂采纳先进脱硫脱硝技术,加速节能环保产业发展,为火电厂转型提供坚实保障与强劲动力。

3.2 烟气脱硫脱硝技术在节能环保中的作用

(1) 减少二氧化硫、氮氧化物排放对环境的改善。高效的烟气脱硫脱硝技术显著降低了火电厂污染物排放,有效遏制酸雨形成、减轻雾霾污染,改善大气环境质量。(2) 提高资源利用效率与副产物回收。部分脱硫脱硝技术实现了资源的循环利用。石灰石—石膏湿法脱硫产生的副产物石膏,可用于建筑材料生产;电子束照射技术将污染物转化为硫酸铵和硝酸铵等化肥产品,既减少了废弃物排放,又创造了经济价值,提高了资源利用效率^[4]。

3.3 节能环保策略与实践

(1) 提高脱硫脱硝效率的策略。火电厂通过技术创新和工艺优化提升脱硫脱硝效率。研发新型催化剂和吸收剂,例如,纳米级脱硝催化剂能够显著提升反应活性,并有效延长其使用寿命;引入智能化控制系统,通过运用大数据和人工智能技术,实时监测烟气成分,并据此动态调整脱硫脱硝的工艺参数,确保系统高效运行。某火电厂引入智能脱硫系统后,通过精准监控和实时调节,实现了脱硫脱硝效率的显著提升,达到10%的效率增长。同时,通过优化工艺流程和设备运行参数,能耗降低了8%,有效降低了石灰石消耗量和循环泵、氧化风机的电耗。(2) 副产物高效利用的实践案例。山东某火电厂创新性地将脱硫石膏与粉煤灰相结合,成功研发出新型环保墙体材料,年产量达50万立方米,不仅解决了脱硫石膏堆放难题,还替代了传统黏土砖,节约土地资源;江苏某电厂将SCR脱硝过程中失效的催化剂进行再生处理,催化剂的再生率高达85%,每年可节省超过千万元的催化

剂更换成本,实现了资源的循环利用。脱硫脱硝技术将向一体化、高效化发展,如开发同时脱除多种污染物的协同处理技术;在能源结构层面,火电厂将逐步增加新能源消纳比例,探索“火电+光伏”“火电+储能”等综合能源模式;在管理层面,利用数字孪生、物联网等技术实现全厂设备的智能运维,降低能耗和排放,推动火电厂从传统能源生产向绿色综合能源服务转变。

4 火电厂烟气脱硫脱硝技术应用中的问题与挑战

4.1 技术应用中的常见问题

(1) 设备腐蚀与磨损。在湿法脱硫脱硝过程中,烟气中的二氧化硫、氮氧化物等污染物与吸收剂反应生成的酸性物质,以及浆液中固体颗粒的冲刷,会对设备造成严重腐蚀与磨损。如石灰石—石膏湿法脱硫的吸收塔、管道等,长期接触强酸性环境,易出现内衬脱落、管道穿孔等问题,不仅增加设备维修成本,还可能导致停机检修,影响生产效率。(2) 吸收剂与催化剂的消耗与再生。脱硫脱硝过程中,吸收剂和催化剂的持续消耗是重要成本因素。例如,石灰石-石膏法需要不断补充石灰石浆液。而在SCR脱硝技术中,催化剂在使用一段时间后,会因中毒或老化导致活性降低,因此需定期更换。而部分吸收剂和催化剂的再生技术尚不成熟,再生效率低、成本高,使得企业只能依赖购买新物料,增加了运行成本。(3) 废水与废渣的处理与排放。湿法脱硫产生的废水含有大量重金属、悬浮物和酸性物质,若未经有效处理而直接排放,将对水体环境构成污染。此外,干法脱硫脱硝过程中产生的废渣,例如电子束照射技术生成的硫酸铵和硝酸铵混合固体,若处理不当,也可能引发土壤污染。然而,当前废水废渣处理技术存在能耗高、处理效果不稳定等问题,难以满足环保要求。

4.2 面临的挑战与对策

(1) 技术更新与改造的投入与成本问题。火电厂进行脱硫脱硝技术更新与改造,需要大量资金投入用于购置新设备、研发新技术。可通过技术创新优化设备运行参数,减少能耗与物料消耗,从而减轻成本压力。(2) 环保意识的提升与公众参与。部分火电厂管理人员及员工对脱硫脱硝技术重视不足,偏重生产而忽视环保,影响了技术的规范实施。此外,公众对火电厂环保工作关注度高,但参与渠道有限。对此,亟须强化环保宣传教育力度,借助多样化的培训、讲座等手段,切实提升企业员工对环保的认知水平和实际操作技能;并且,要积极构建公众参与机制,激励大众对火电厂污染物排放情况进行有效监督,从而营造出全社会齐心协力推进环保事业的浓厚氛围。

结束语

综上所述,火电厂烟气脱硫脱硝技术的应用是实现节能环保、促进绿色发展的关键环节。通过不断的技术创新和工艺优化,不仅能显著降低空气污染物的排放,还能提高资源利用效率,实现经济与环境的双赢。未来,火电厂应继续加大脱硫脱硝技术的研发力度,探索更高效、更经济的解决方案,为构建清洁、低碳、可持续发展的能源体系贡献力量,共同守护我们美丽的家园。

参考文献

- [1]王连喜.探讨火电厂烟气脱硫脱硝技术应用与节能环保问题[J].中国设备工程,2024,(07):93-94.
- [2]邓皓.火电厂烟气脱硫脱硝的节能环保研究[J].能源与节能,2023,(05):54-55.
- [3]刘欢.火电厂烟气脱硫脱硝技术的应用[J].化工管理,2021,(12):114-115.
- [4]丁照强.火电厂烟气脱硫脱硝技术与节能环保[J].电力设备管理,2021,(14):168-169.