

火电厂脱硝技术的经济性分析与节能潜力评估

郭维

江苏淮阴发电有限责任公司, 江苏 淮安 223000

[摘要] 全球经济的持续扩张使得能源需求不断增加, 火电厂作为电力供应的主要来源之一, 虽在满足能源需求方面发挥着重要作用, 但其排放的氮氧化物 (NO_x) 已成为环境问题的重大挑战。NO_x 的排放不仅加剧了空气污染, 还对生态环境及人类健康带来了显著危害。作为一种有效的污染治理手段, 脱硝技术已被广泛应用于火电厂。通过选择性催化还原 (SCR) 与选择性非催化还原 (SNCR) 等技术的不断发展, 火电厂的排放水平得到了有效控制。文章分析不同脱硝技术的经济性、节能潜力与环境效益, 进一步探讨各种技术的优势与局限性, 以期之火电厂选择合适的脱硝方案提供理论依据, 并为推动环境保护目标的实现作出贡献。

[关键词] 火电厂; 脱硝技术; 经济性分析; 节能潜力; 环境效益

DOI: 10.33142/nstr.v1i3.14932

中图分类号: X701.7

文献标识码: A

Economic Analysis and Energy-saving Potential Assessment of Denitrification Technology in Thermal Power Plants

GUO Wei

Jiangsu Huaiyin Power Generation Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu, 223000, China

Abstract: The continuous expansion of the global economy has led to an increasing demand for energy. As one of the main sources of electricity supply, thermal power plants play an important role in meeting energy needs, but their emissions of nitrogen oxides (NO_x) have become a major challenge for environmental issues. The emission of NO_x not only exacerbates air pollution, but also poses significant hazards to the ecological environment and human health. As an effective means of pollution control, denitrification technology has been widely applied in thermal power plants. Through the continuous development of technologies such as selective catalytic reduction (SCR) and selective non catalytic reduction (SNCR), the emission levels of thermal power plants have been effectively controlled. The article analyzes the economics, energy-saving potential, and environmental benefits of different denitrification technologies, further explores the advantages and limitations of various technologies, in order to provide theoretical basis for selecting suitable denitrification schemes for thermal power plants and contribute to the achievement of environmental protection goals.

Keywords: thermal power plants; denitrification technology; economic analysis; energy-saving potential; environmental benefit

引言

火电厂在我国电力供应中占据着核心地位, 但其 NO_x 排放已成为环境治理的重大难题。NO_x 不仅是空气污染的重要来源, 还加剧了酸雨和雾霾的形成, 对生态环境及人类健康产生了严重危害。同时, NO_x 排放与温室气体的增加紧密相关, 进而对全球气候变化产生深远影响。为应对这一挑战, 政府出台了一系列政策法规, 要求火电厂实施脱硝技术, 以减少污染物的排放。以《大气污染防治行动计划》为例, 该政策明确要求火电厂采取脱硝措施, 多个技术方案如 SCR 与 SNCR 已成功应用于实际生产, 并显著降低了 NO_x 排放。然而, 脱硝技术的高成本、复杂维护及设备更新等问题, 仍然是制约其广泛应用的瓶颈。基于此, 对脱硝技术的经济性、节能潜力以及环境效益的全面分析显得尤为重要。

1 火电厂脱硝技术概述

1.1 脱硝技术的基本原理

通过化学反应将氮氧化物 (NO_x) 转化为氮气 (N₂)

和水 (H₂O), 是脱硝技术的核心目标。烟气中 NO_x 的减少, 依赖于还原剂 (如氨或尿素) 与其在特定条件下发生的还原反应。根据催化剂的参与情况, 脱硝技术被划分为两大类。一种是利用催化剂在适宜温度范围内加速化学反应的催化还原技术, 另一种是在高温条件下直接完成反应的非催化还原技术。通常, 烟气的引入、温度控制、还原剂的喷射以及产物的排放处理, 构成了脱硝技术的主要工艺环节。

1.2 常见脱硝技术分类

1.2.1 选择性催化还原 (SCR) 技术

选择性催化还原技术以催化剂为核心, 在 300℃ 至 400℃ 的温度区间内, 将还原剂与烟气中的氮氧化物转化为氮气和水。因效率可达 90% 以上, 该技术成为目前最为成熟且广泛应用的脱硝手段。对 SCR 技术而言, 催化剂的选择至关重要, 钛基催化剂和贵金属催化剂是常见材料, 它们在活性、耐久性和抗硫性能方面表现突出。尽管 SCR

技术效率较高,但运行成本偏高的问题不容忽视。催化剂的定期更换以及还原剂的消耗,是系统运行中最主要的费用来源。同时,烟气温度的波动可能导致催化剂活性下降,反应效率因此受到影响。

1.2.2 选择性非催化还原(SNCR)技术

选择性非催化还原技术的特点是无需催化剂,通过在850°C至1100°C的高温环境中直接完成还原反应。还原剂的喷入,使烟气中的氮氧化物被转化为氮气和水。SNCR技术以设备简单、投资成本低为显著优势,广泛应用于中小型锅炉及低成本改造项目。该技术的脱硝效率通常在40%至70%之间,显著低于SCR技术^[1]。反应效率受到温度控制的高度制约:过低的温度导致反应不充分,过高则可能生成一氧化二氮(N₂O)等次生污染物。虽然SNCR技术在某些场景中表现出较好的经济性,但其应用局限性也较为明显,常被作为过渡性技术或与其他技术联合使用。

1.2.3 联合脱硝技术

在烟气的高温区,SNCR技术用于初步降解氮氧化物,而低温区则由SCR技术完成进一步还原。联合脱硝技术在实际应用中显示出了较强的灵活性与经济性。其优势在于效率提升的同时有效控制了成本,特别适合对改造项目提出高性价比需求的场景。然而,要确保技术运行的高效性,必须在系统设计时对温度区间的衔接、设备的配置及控制精度进行科学优化,以避免运行中可能出现的效率损失或资源浪费。

1.3 不同脱硝技术的适用场景与特性

脱硝技术的选择需综合考虑锅炉类型、排放标准、烟气特性及成本投入等因素。SCR技术因其效率高、运行稳定性好,被广泛应用于大型机组以及环保要求较高的场景。SNCR技术则以投资成本低、实施难度小见长,常用于中小型设备或预算有限的改造项目。而联合脱硝技术凭借其灵活性与高效性,在需要兼顾经济性与环保要求的项目中得到了越来越多的应用^[2]。高硫烟气可能引起SCR催化剂的中毒,从而降低其长期效率,而SNCR技术在NO_x浓度较低的情况下,反应速率会明显下降。此外,设备改造的空间限制以及烟气特性的差异,也在技术选择中扮演了关键角色。

2 脱硝技术的经济性分析

2.1 经济性分析的指标体系

2.1.1 初始投资成本

由于各技术之间的设备构成及工艺流程不同,因此初期投入差异较大。以SCR技术为例,其需要购买高效的催化剂及复杂的反应系统,因此初始投入较高^[3]。催化剂的采购费用通常占据较大比例,且更换频率较高,进一步增加了初期资金的投入。而SNCR技术由于不使用催化剂,设备构成较为简洁,初始投资相对较低,主要费用集中在还原剂喷射系统及温控设备。联合脱硝技术的初始投资一

般处于SCR与SNCR技术之间,通过整合已有设施和优化配置,可以在一定程度上降低投资压力。

2.1.2 运行维护成本

运行维护成本是指脱硝技术在日常运行中的费用支出,主要包括催化剂更换、还原剂消耗以及其他日常维护费用。SCR技术的运行成本相对较高,尤其是催化剂更换费用,这部分支出占据了运行成本的较大比例。尽管SCR技术的脱硝效率较高,但其较高的运行成本成为了制约其应用的重要因素。与此同时,SCR技术对还原剂的消耗也较为稳定,随NO_x浓度的变化而调整,因此在一定程度上增加了运行成本^[4]。相比之下,SNCR技术不需要催化剂,系统结构简单,运行成本较低。然而,SNCR技术下运行,其还原剂消耗量较大,尤其在温度控制不稳定的情况下,可能会导致额外的能源浪费和运行成本增加。联合脱硝技术因结合了SCR和SNCR的优点,可在不同工况下优化运行,从而降低整体的运行成本。

2.1.3 净现值(NPV)与投资回收期

在脱硝技术的经济性评估中,净现值通过将未来的现金流按一定的折现率折算成现值,来衡量项目的经济效益。NPV值为正,意味着该项目在经济上具有较强的回报潜力。投资回收期则表示回收初期投资所需的时间,直接反映了项目的资金流动性。对于SCR技术而言,尽管初期投资较大,且运行维护费用较高,但其高效的脱硝能力和长期稳定的运行效果使得其在较长的运营周期内可以获得较好的经济回报,NPV通常表现为正。相较之下,SNCR技术初期投资较少,投资回收期较短,但由于其脱硝效率相对较低,NPV较低。联合脱硝技术通过对SCR与SNCR的有效结合,既能平衡投资与运行成本,又能提升脱硝效率,形成合理的经济回报。

2.2 不同脱硝技术的成本对比

2.2.1 SCR技术的经济性分析

SCR技术是一种高效的脱硝技术,因其在高排放标准下的优异表现,已广泛应用于多个领域。该技术的脱硝效率可达到90%以上,尤其在需要严格控制NO_x排放的情况下,具有不可替代的优势。然而,SCR技术的高效背后也伴随着高昂的投资与运营成本。催化剂的采购和更换是其主要的运行成本来源,这一费用在长期运行中不可忽视。此外,由于SCR系统对温度、烟气流速等的要求较为严格,因此其设备投入和维护也较为复杂。

2.2.2 SNCR技术的经济性分析

SNCR技术作为一种低成本、简单易行的脱硝技术,其主要优势在于初期投资低且运行维护费用较少。该技术通过向炉膛内喷入还原剂,在高温环境下去除NO_x。然而,SNCR技术的脱硝效率通常较低,仅能达到40%~70%之间,尤其在NO_x浓度较高的情况下,其脱硝效果难以满足严格的排放标准。此外,由于高温条件下还原剂消耗量较大,

温控不稳定时可能导致能源浪费,进而增加运营成本。

2.3 脱硝成本对火电厂运营的影响

实施脱硝技术不可避免地会增加火电厂的运营成本,从而对电厂的综合经济效益产生影响。脱硝技术的初期投资及运行维护费用,直接增加了电力生产的成本,特别是在煤炭价格波动较大的时期,这一负担更加明显。在高排放标准要求下,脱硝技术的实施无疑加大了电厂的资金压力,特别是对老旧机组进行技术改造时,可能需要额外投入大量资金进行设备更新和设施优化。

然而,脱硝技术的实施也为火电厂带来了正面的经济效益。有效的 NO_x 减排可以避免环保罚款,并有助于提升企业的社会形象,从而提高其市场竞争力。随着环保政策的日益严格,脱硝技术的应用不仅能够帮助火电厂达标排放,也能在一定程度上降低长远的合规风险。合理的技术选型与精准的成本控制,能使火电厂在实现减排目标的同时,保持较强的市场竞争力,确保其持续发展。

3 节能潜力与环境效益评估

3.1 脱硝技术的节能潜力

3.1.1 氮氧化物(NO_x)减排效率

各种脱硝技术的 NO_x 去除效率存在差异,SCR、SNCR及其联合应用各具优劣。SCR技术在高排放标准下表现出色,能够在适当的温度条件下实现90%以上的 NO_x 去除率,且反应过程效率高,污染物排放控制效果显著。然而,由于催化剂需要维护、设备投资较高,且对温度和流速要求严格,这些因素可能会引发能耗的增加。

SNCR技术则通过直接喷射还原剂减少 NO_x ,具有较低的设备投资和运行成本,适用于排放要求不高的环境。尽管其去除效率通常为40%到70%,在许多情况下仍能有效减少 NO_x 排放,特别是在排放标准相对宽松的情境中,显示出较高的应用灵活性。

3.1.2 能耗与资源利用优化

SCR技术的高效性虽然带来显著的脱硝效果,但为了维持催化反应的稳定性,可能会引入额外的能耗。催化剂的作用、反应器加热及烟气温度控制等方面,都要求耗费一定的能源。相比之下,SNCR技术虽然不使用催化剂,减少了能耗,但其大规模还原剂的消耗仍可能引起能源浪费。通过合理控制还原剂用量、优化喷射装置,既可提高 NO_x 去除效率,也有助于降低能耗。联合脱硝技术结合了两种技术的优点,能根据实际情况灵活调配SCR与SNCR的应用方式,从而在确保高效去除 NO_x 的同时,进一步减少能耗,优化资源配置。

3.2 环境效益分析

3.2.1 大气污染物减排效益

NO_x 是臭氧和 $\text{PM}_{2.5}$ 等二次污染物的主要前体物,因此,减少 NO_x 的排放有助于减少这些有害物质的生成。SCR技术能够在较高的排放标准下有效去除 NO_x ,同时显著减

少臭氧和 $\text{PM}_{2.5}$ 的生成。尽管SNCR技术的 NO_x 去除效率较低,但它仍能有效减少臭氧及其他二次污染物的生成。尤其在排放标准不严格的情况下,SNCR技术能够作为一种成本效益较高的脱硝方法,起到减排作用。联合脱硝技术通过优化SCR与SNCR的协同应用,能够灵活调整脱硝策略,从而在确保 NO_x 去除效果的同时,减少臭氧及 $\text{PM}_{2.5}$ 等二次污染物的生成。

3.2.2 对碳减排与气候变化的间接贡献

脱硝技术在去除 NO_x 的同时,通常伴随有碳减排效应,主要表现在提高燃烧效率、减少化石燃料消耗方面。SCR技术在提高 NO_x 去除效率的过程中,也通过优化燃烧反应降低了过量燃烧现象,间接减少了二氧化碳的排放。这种效应在控制温室气体排放方面起到了积极作用。SNCR技术的碳减排效应相对较弱,但通过提升燃烧效率、减少能源浪费,仍能在一定程度上降低 CO_2 排放,从而有助于缓解气候变化。联合脱硝技术通过同时应用SCR与SNCR技术,不仅能提高 NO_x 去除效率,还能通过优化燃烧过程减少二氧化碳的排放。合理配置两种技术,有望进一步减少温室气体的排放,增强其对气候变化的应对能力。

3.3 节能与减排的协同效应

脱硝技术与其他节能减排措施的结合,通过结合低氮燃烧技术等手段,不仅能够减少 NO_x 排放,还能提高燃烧效率,降低能源消耗。此外,节能改造技术通过优化锅炉设计和提升热效率,减少热能损失,进一步降低了整体能耗。在电厂的实际运营中,脱硝技术与这些节能减排措施的协同应用,能够在确保严格排放控制的同时,提升能效,降低成本,并加强电厂的竞争力。

4 未来发展趋势与优化建议

4.1 新兴脱硝技术的发展方向

4.1.1 低温脱硝技术

传统的SCR技术通常要求在较高的温度下运行,这不仅增加了能耗,也导致了运营成本的上升。然而,低温脱硝技术通过新型催化剂的研发,在较低温度下也能实现高效脱硝。使用纳米材料等新型催化剂,能够在低温条件下保持良好的反应活性,从而有效降低能源消耗。在实际应用中,低温脱硝技术适用于负荷波动较大或温度变化剧烈的场景,其推广无疑将显著提升火电厂的能源利用效率,并减少温室气体排放。

4.1.2 纳米催化技术的应用

纳米催化剂因其超大比表面积与优异的催化性能,不仅能显著提高 NO_x 转化率,还能降低催化剂使用量及更换频率,从而降低长期运营成本。纳米催化剂的另一个优势是其较长的使用寿命以及对高温环境的良好适应性,这使得其在SCR技术中的应用前景非常广阔,脱硝效果得到了显著提高,同时也降低了整体成本,助力火电厂在节能减排的同时提高经济效益。

4.2 提高脱硝技术经济性的措施

4.2.1 技术优化与创新

提升脱硝技术经济性的一条重要途径是对设备与工艺进行不断优化。通过对现有设施的升级,例如改进反应器的设计,优化热交换效率,不仅能够提升脱硝效率,还能显著减少能量消耗^[5]。为了确保脱硝设备在最佳工况下运行,采用智能化控制系统进行实时监控与调节,能有效避免不必要的能源浪费。此外,催化剂的优化与改良同样重要,通过提高催化剂的反应活性与耐用性,可以延长其使用寿命,降低更换频率,进一步降低运营成本。

4.2.2 政策支持与补贴机制

政策支持在脱硝技术的推广中起到了至关重要的作用。通过税收优惠、环保补贴及低息贷款等措施,政府有效减轻了火电厂初期投资的压力,促使企业能够在脱硝技术改造上投入更多资金。这些政策措施鼓励了企业加大对先进脱硝技术的研发与应用,提高了节能减排技术的普及率。在市场化机制的作用下,企业有更强的动力进行技术创新与设备升级,脱硝技术的应用效率得到了显著提高,环境效益也得到进一步巩固。

4.3 火电行业节能减排的综合战略

在火电行业的节能减排过程中,单一技术的应用难以满足整体目标的要求,必须通过多种技术的协同作用来实现节能与减排的双重目标。低氮燃烧技术的引入,为脱硝技术提供了有力支持。通过优化燃烧过程,低氮燃烧技术能够减少NO_x的产生,从源头上减轻脱硝设备的负担。这不仅使脱硝设备能够更加高效地运作,也降低了整体系统的运营成本。结合低氮燃烧与脱硝技术的应用,可以显著

提高脱硝效果,进一步减少氮氧化物的排放。通过余热回收系统,火电厂能够减少燃料的消耗,提高能源的整体利用效率。余热的充分利用,不仅优化了能源结构,还减少了脱硝设施的负担,从而有助于降低脱硝成本,进一步提升经济效益。

5 结语

脱硝技术在减少NO_x排放方面已经取得显著成效,且在提升能源利用效率、推动低碳经济方面发挥了重要作用。低温脱硝技术与纳米催化技术等新兴技术的不断发展,将进一步提高脱硝效果的效率。与此同时,政策支持与市场激励措施的完善,必将推动脱硝技术的推广与应用。脱硝技术不仅在有效减少NO_x及其他污染物的排放方面发挥了重要作用,而且通过提高能源利用率,降低了环境负担。

[参考文献]

- [1] 吕旭光. 火电厂 SCR 脱硝系统经济性优化控制与模拟[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2021.
 - [2] 邹红果. 火电厂 SCR 脱硝方案的技术经济性比较[J]. 能源与节能, 2017(10): 84-85.
 - [3] 祁利明, 陈宏伟. 火电厂脱硝改造前关键问题分析处理[J]. 内蒙古科技与经济, 2015(24): 70-72.
 - [4] 陈玉军. 火力发电厂烟气脱硝(NO_x)技术概述[J]. 黑龙江科技信息, 2014(1): 50-53.
 - [5] 汪琦. 火电厂烟气脱硝 SCR 技术中还原剂的选择及经济性分析[J]. 机电信息, 2013(18): 124-125.
- 作者简介: 郭维(1983.2—), 男, 江苏淮阴发电有限责任公司脱硫脱硝专工, 毕业学校和专业: 南京工程学院 电气工程及其自动化专业。