

火力发电厂脱硝技术研究

孙奎滨 张纯昱 韦 征 于 治 梁天笑

华能国际电力股份有限公司丹东电厂 辽宁 丹东 118300

摘 要: 随着环保标准的日益严格,火力发电厂氮氧化物减排成为关键,本文阐述了火力发电厂脱硝技术的重要性、主要类型及应用挑战。分析了脱硝技术的原理,并探讨了不同规模火力发电厂的技术选择差异,以及高硫煤与低挥发分煤对脱硝技术的影响,指出在严格环保法规下,高效稳定的脱硝技术是火力发电厂实现环保与经济效益平衡的关键。

关键词: 火力发电厂; 脱硝技术; 应用

引言

随着环保意识的增强和法规的严格,火力发电厂氮氧化物(NO_x)排放问题日益受到关注。 NO_x 不仅对环境造成严重污染,还对人体健康构成威胁,所以研究和应用高效脱硝技术对火力发电领域至关重要。本文旨在综述当前主流脱硝技术的原理、特点及应用情况,为火力发电厂的环保转型提供技术支撑和策略建议。

1 火力发电厂脱硝技术的重要性

1.1 环境保护需求

氮氧化物(NO_x)作为大气中的主要污染物,不仅因其自身毒性对环境构成威胁,更因其在大气中经过复杂光化学反应转化为硝酸等酸性物质,随降雨形成酸雨,而引发一系列深远的环境问题。酸雨严重侵蚀土壤,破坏自然酸碱平衡,导致养分流失,影响农作物生长和产量,甚至引发土壤生态系统退化;同时,酸雨使水体酸化,危害水生生物,破坏水生生态平衡,影响水资源可持续利用;此外,酸雨还对森林和建筑物造成腐蚀,削弱树木生长能力,减少森林生态服务功能,加速建筑物老化,增加维护成本。更为严重的是, NO_x 与大气中的碳氢化合物在阳光照射下反应形成化学烟雾,其中包含臭氧、过氧乙酰硝酸酯(PAN)等有害物质,长期暴露其中会对人体健康构成严重威胁,引发呼吸系统疾病等症状,同时降低大气能见度,影响交通安全。脱硝技术通过化学反应将 NO_x 转化为无害的氮气和氮气,有效减少酸雨和化学烟雾的形成,保护土壤、水体、森林和建筑物,改善空气质量,保障人体健康,提高大气能见度,确保交通安全,对于推动环境可持续发展具有重要意义^[1]。

1.2 对人体健康的影响

NO_x (氮氧化物)对人体健康构成了深远且广泛的威胁,特别是对呼吸道健康的损害尤为显著。当人体吸入含有 NO_x 的空气时,这些有害物质就像无形的侵略者,

直接侵袭呼吸道黏膜,引发炎症反应,使呼吸道备受困扰。长期暴露于高浓度 NO_x 环境中,人们面临的风险更为严峻,支气管炎、哮喘等呼吸道疾病的发病率显著上升,给患者带来极大的痛苦,生活质量大打折扣。尤其对于儿童、老年人和免疫力较弱的人群,他们的呼吸系统更为脆弱,对 NO_x 的敏感度更高,因此面临更大的健康危机。更令人担忧的是, NO_x 的危害不仅限于呼吸道,它还能通过与其他大气污染物相互作用生成细颗粒物,这些颗粒物通过呼吸道进入血液循环系统,对心血管造成潜在损害,增加心血管疾病的风险。同时, NO_x 还可能干扰神经系统的正常运作,对儿童等神经系统处于发育关键阶段的人群构成特别威胁,可能阻碍神经系统的正常发育,影响儿童的智力发展和学习能力。

2 火力发电厂脱硝技术

2.1 选择性催化还原(SCR)技术

火力发电厂作为能源供应的核心,其排放的氮氧化物(NO_x)对大气环境构成了严重威胁,因此,采用高效的脱硝技术变得尤为重要。其中,选择性催化还原(SCR)技术以其高效性能在火力发电厂中得到了广泛应用,SCR技术的基本原理是在催化剂的作用下,利用还原剂将烟气中的 NO_x 转化为无害的氮气(N_2)和水(H_2O)。这一过程中,根据烟气中NO和 NO_2 的存在情况,会发生不同的化学反应,最终都生成 N_2 和 H_2O 。催化剂的引入显著降低了反应的活化能,使得这些反应能够在较低的温度下高效进行,从而提高脱硝效率。在SCR技术的工艺流程中,氨气制备系统是关键环节,液氨或尿素经过一系列处理转化为氨气。随后氨气注入系统将制备好的氨气与稀释空气在混合器中按比例混合,防止形成可燃混合气,并通过喷氨格栅均匀喷入烟道与烟气混合,含氨气和 NO_x 的烟气进入SCR反应器后,在催化剂的作用下发生还原反应,将 NO_x 转化为 N_2 和 H_2O 。催化剂的

结构多样,选择合适的催化剂对于提高脱硝效果至关重要,经过SCR反应器处理后的烟气还需经过空气预热器、除尘器、脱硫装置等后续处理设备,以进一步去除烟气中的其他污染物,最终通过烟囱安全排放至大气中。

2.2 选择性非催化还原(SNCR)技术

选择性非催化还原(SNCR)技术是火力发电厂脱硝领域的一种重要技术,与选择性催化还原(SCR)技术相比,其独特之处在于无需使用催化剂,而是直接在炉膛内850-1100℃的高温区域进行NO_x的还原反应。SNCR技术的核心原理是,将含氮还原剂喷入这一高温区域,还原剂迅速热分解产生氨气,随后氨气与烟气中的NO_x发生还原反应,生成无害的氮气和水。由于无催化剂参与,SNCR技术的反应条件相对较为苛刻,需要在较高的温度范围内进行,以确保反应的高效性。在SNCR技术的工艺流程中,还原剂的储存与输送系统、喷射系统均扮演着关键角色。还原剂被储存在专用储罐中,通过输送泵精确输送到炉膛喷射区域,同时严格控制输送量和速度,确保与NO_x充分接触。喷射系统则通过特制喷枪将还原剂喷入炉膛合适温度区域,喷枪设计需根据炉膛结构和烟气流动优化,喷射角度和速度等参数也需精细调整,以实现最佳脱硝效果。

2.3 活性炭/活性焦吸附脱硝技术

活性炭/活性焦吸附脱硝技术是一种高效且环保的烟气净化手段,特别适用于火力发电厂等工业排放源对NO_x及其他污染物的控制。该技术凭借其独特的物理和化学特性,巨大的比表面积和丰富的孔隙结构,对NO_x等污染物展现出强大的吸附能力。在吸附过程中,含有NO_x的烟气通过吸附塔时,NO_x分子被有效吸附到活性炭/活性焦的表面,并在其活性位点上发生化学反应,被氧化成高价态氮氧化物。同时活性炭/活性焦表面的官能团也积极参与这一转化过程,促使NO_x最终转化为无害的氮气,还能同时吸附SO₂等其他污染物,实现多种污染物的协同脱除,从而进一步提升了净化效率。在工艺流程上,该技术主要包括吸附系统、再生系统和产物处理系统三部分。在吸附系统中,经过预处理的烟气进入吸附塔,与活性炭/活性焦充分接触,NO_x等污染物被有效吸附,同时需优化控制烟气在塔内的流速、温度和停留时间等参数以保证吸附效果。当活性炭/活性焦达到吸附饱和后,进入再生系统,通过加热或水洗的方式对饱和的活性炭/活性焦进行再生处理,使其能够重新返回吸附塔继续使用,形成循环。

2.4 氧化法脱硝技术

氧化法脱硝技术是一种针对性强、效率高的烟气净

化手段,专为解决工业排放源中的NO_x污染难题而设计,该技术巧妙利用臭氧、过氧化氢、高锰酸钾等强氧化剂的化学特性,通过氧化反应将烟气中低价态的NO_x转化为高价态形式,这一转化过程极大地提升了NO_x在水中的溶解度,从而使其更容易被后续的吸收液所捕捉并有效去除。在实施氧化法脱硝技术的整个工艺流程中,首先需要构建一个完善的氧化剂制备系统。该系统会根据所选用的氧化剂类型,采用相应的专业设备来精确制备所需的氧化剂。紧接着,在氧化反应系统中,这些精心制备的氧化剂会被精准地喷入烟道,与流动的烟气进行充分混合。为确保NO_x能够得到有效氧化,这一过程中需要严格控制氧化剂的喷射量、烟气的温度以及混合后的停留时间。经过氧化反应后,烟气会进入至关重要的吸收系统,该系统主要由吸收塔构成,塔内设计有逆流接触装置,确保烟气与吸收液能够充分接触,在这一过程中,高价态的NO_x会被吸收液有效捕获。随后含有NO_x的吸收液会经过进一步的处理,既可以选择进行再生处理以实现资源的循环利用,也可以直接处理至达标后进行排放。氧化法脱硝技术不仅能够有效解决NO_x污染问题,还能实现资源的节约与环境的友好保护,展现出其在工业烟气净化领域的广阔应用前景^[2]。

2.5 微生物脱硝技术

微生物脱硝技术是一种创新的烟气净化方法,它以环境友好的方式利用微生物的代谢活动,将有害的NO_x(氮氧化物)转化为无害的氮气,显著降低了工业排放源对大气的污染。该技术基于特定的反硝化细菌在缺氧条件下,以NO_x为电子受体,通过一系列生物化学反应高效且专一地将其逐步还原为氮气的原理。这一系列反应中,微生物依赖自身复杂的酶系统,分别将硝酸盐还原为亚硝酸盐,再进一步将亚硝酸盐还原为氮气。在微生物脱硝技术的工艺流程中,构建微生物培养系统是键的第一步,旨在筛选和培养具有高效脱硝能力的微生物菌种,并提供适宜的生长条件,促进其大量繁殖,为后续脱硝反应提供充足的生物催化剂。在反应系统这一核心部分,含有高效脱硝微生物的培养液被引入精心设计的反应器,这些反应器能有效促进微生物与烟气中的NO_x接触反应,利用微生物的代谢活动将NO_x逐步还原为氮气,实现烟气的净化,且过程高效环保,避免了传统脱硝方法可能产生的二次污染。后续处理系统同样重要,经过微生物脱硝处理的烟气需进行简单净化处理,确保排放质量达标,同时微生物培养液需定期维护和更新,保持微生物的活性和脱硝效率,实现工业排放的有效减少、资源的循环利用以及环境的可持续发展。

3 脱硝技术在火力发电厂的应用

3.1 不同规模火力发电厂的技术选择

在火力发电领域, NO_x 排放问题因发电厂规模的不同而呈现出不同的挑战。大型火力发电厂由于装机容量高且面临严格的环保法规, 倾向于采用高效稳定的脱硝技术, 其中SCR(选择性催化还原)技术因脱硝效率高、能满足严格排放标准而备受推崇, 尽管初期投资及运维成本较高, 但从长期运行和环境保护的角度看, 具有深远意义。为了平衡环境效益与经济效益, 大型发电厂也会考虑SNCR-SCR联合技术, 融合SNCR的低成本初步脱硝优势和SCR的深度脱硝能力。相比之下, 中小型火力发电厂因财务资源有限, 在脱硝技术选择上更注重成本效益分析, SNCR技术因投资成本低、安装简便而成为首选, 通过向烟气中直接喷射还原剂实现 NO_x 减排。随着环保相关法规的日益严苛, NO_x 排放标准不断提升, SNCR技术可能难以应对未来更严格的排放要求, 因此部分中小型发电厂正考虑采用更为高效的SCR技术或SNCR-SCR联合技术进行技术改造升级, 以应对日益严格的环保标准。尽管SCR技术的初期投资和运行成本相对较高, 但其长期运行的稳定性和可靠性使其成为中小型发电厂脱硝技术升级的重要趋势^[3]。

3.2 不同煤质对脱硝技术的影响

3.2.1 高硫煤

在火力发电的领域, 煤质特性对脱硝技术的选择与应用效果起着至关重要的作用, 尤其是高硫煤的燃烧所带来的挑战更为显著。高硫煤在燃烧过程中会产生大量富含 SO_2 (二氧化硫)的烟气, 这对脱硝技术的有效实施构成了严峻考验。以SCR技术为例, 高浓度的 SO_2 可能与注入的氨气发生反应, 生成黏性硫酸氢铵, 这种物质容易堵塞催化剂的孔道, 从而降低其催化活性, 进一步影响脱硝效率。而活性炭/活性焦吸附脱硝技术虽然具备同时脱除 SO_2 和 NO_x 的能力, 但在高 SO_2 含量的烟气环境下, 吸附剂的容量会迅速消耗, 导致再生周期缩短, 运行成本相应增加。所以在选择和应用脱硝技术时, 必须充分

考虑煤质特性, 特别是高硫煤燃烧产生的烟气成分, 同时权衡各种技术的优缺点及运行成本, 只有综合这些因素, 才能制定出既符合环保要求, 又能实现经济效益最大化的脱硝方案, 这要求我们在技术选型时, 既要注重技术的先进性, 也要兼顾其经济性和实用性, 以确保火力发电过程的绿色、高效运行。

3.2.2 低挥发分煤

低挥发分煤因其着火困难、燃尽时间长及炉膛温度分布不均的特性, 给脱硝技术带来了挑战。SNCR(选择性非催化还原)技术虽然常用, 但对温度窗口要求严格, 低挥发分煤燃烧导致的炉膛温度不均可能使SNCR技术在某些区域的脱硝效率大幅下降, 因为脱硝效果高度依赖于适宜的反应温度。相比之下, SCR技术虽然对温度波动的适应性较强, 能在较宽温度范围内保持高效脱硝, 但低挥发分煤燃烧产生的高飞灰含量却可能加速SCR催化剂的磨损, 缩短其使用寿命, 因此需采取防磨措施。另外, 微生物脱硝技术作为一种新兴方法, 其温和的反应条件理论上受低挥发分煤影响较小, 但目前应用规模有限, 其实际运行效果及受煤质影响的具体因素仍有待深入研究和验证。

结语

综上所述, 火力发电厂脱硝技术的选择与应用需综合考虑多种因素。随着环保法规的日益严格, 高效稳定的脱硝技术将成为主流。未来, 应进一步加强技术研发, 提高脱硝效率, 降低成本, 实现环保与经济效益的双赢, 同时针对不同煤质和发电厂规模, 制定科学合理的脱硝方案, 推动火力发电行业的可持续发展。

参考文献

- [1]武祥.关于火力发电厂脱硝技术的研究[J].百科论坛电子杂志,2020(2):913.
- [2]张睿.火力发电厂烟气脱硝技术研究[J].现代工程项目管理,2024,3(18):32.
- [3]舒凯.火力发电厂宽负荷脱硝技术初探[J].电力设备管理,2020(6):125-126,165.