

发电厂锅炉氮氧化物排放与控制技术研究

崔北璟

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 宜春 331100

摘要：发电厂锅炉氮氧化物排放是大气污染的主要来源之一，对环境和人类健康构成严重威胁。氮氧化物不仅导致酸雨和光化学烟雾，还影响农作物生长、水质及人类呼吸系统健康。当前，燃烧前、中、后控制技术被广泛应用于发电厂锅炉氮氧化物排放控制。燃烧前技术侧重燃料预处理和替代，燃烧中技术强调低氮燃烧和新型燃烧方式，燃烧后技术则依赖SCR、SNCR及联合脱硝技术。这些技术共同构成了发电厂锅炉氮氧化物排放控制的综合体系。

关键词：发电厂锅炉；氮氧化物排放；控制技术

引言

随着全球能源需求的不断增长，发电厂作为电力生产的关键环节，其锅炉氮氧化物排放问题日益凸显。氮氧化物作为大气污染物，不仅影响大气环境质量，还与酸雨、光化学烟雾等环境问题紧密相连，对人类健康和生态系统构成潜在威胁。因此，发电厂锅炉氮氧化物排放控制技术的研究与应用显得尤为重要。本文旨在综述发电厂锅炉氮氧化物排放的现状、危害及控制技术的最新进展，为电力行业绿色发展提供参考。

1 发电厂锅炉氮氧化物概述

氮氧化物（ NO_x ），作为发电厂锅炉排放的主要大气污染物，其构成主要包括一氧化氮（ NO ）、二氧化氮（ NO_2 ）及少量其他氮化合物。在燃煤、燃油或燃气发电过程中，锅炉内的高温燃烧环境促使氮元素与氧气发生化学反应，形成氮氧化物。这一过程影响大气环境质量，还与光化学烟雾、酸雨等环境问题紧密相连，对人类健康和生态系统构成潜在威胁。发电厂锅炉 NO_x 的生成机制复杂多样，涉及热力型 NO_x 、快速型 NO_x 及燃料型 NO_x 等多种类型。热力型 NO_x 主要由空气中的氮气在高温下氧化而成，其生成速率随温度的升高而急剧增加。快速型 NO_x 则在燃料过浓燃烧时迅速生成，与燃料中的碳氢化合物反应密切相关。燃料型 NO_x 则源于燃料本身所含的氮元素，在燃烧过程中被氧化为 NO_x 。鉴于 NO_x 排放的严重危害性，国内外对发电厂锅炉 NO_x 排放的控制日益严格。控制 NO_x 排放的技术手段主要分为燃烧前、燃烧中及燃烧后三类。燃烧前控制技术侧重于预处理燃料，通过改变其化学组成或物理特性以降低 NO_x 生成潜力。燃烧中控制技术则聚焦于优化燃烧过程，通过调整燃烧参数、空气分级、烟气再循环等方式，创造不利于 NO_x 生成的条件。燃烧后控制技术则利用脱硝装置，将已生成的 NO_x 转化为无害物质，如氮气和水。发电厂锅炉 NO_x 排放问题复

杂且严峻，其有效控制需综合运用多种技术手段。随着环保意识的增强和技术的不断进步，未来发电厂锅炉 NO_x 排放控制技术将更加高效、智能，为实现电力行业绿色发展提供有力支撑。

2 发电厂锅炉氮氧化物排放现状及危害

2.1 排放现状

在现代电力生产体系中，发电厂作为关键环节，其运行依赖于各类锅炉对化石燃料的燃烧转化，而这一过程正是氮氧化物产生的主要源头。随着全球经济的快速发展，能源需求持续攀升，发电厂的装机容量不断扩张，这使得氮氧化物的排放总量呈现出显著的增长态势。不同类型的锅炉，由于其设计原理、结构特点以及运行参数的差异，在氮氧化物排放表现上大相径庭。传统的煤粉锅炉，在常规的燃烧工况下，煤粉与空气在炉膛内剧烈燃烧，高温环境促使空气中的氮气与氧气发生反应，生成大量的热力型氮氧化物。煤中含有的氮元素在燃烧过程中也会转化为燃料型氮氧化物，导致其排放浓度居高不下。与之相比，新型的循环流化床锅炉，通过独特的流化燃烧方式，燃料在床料中均匀分散，燃烧温度相对较低，且采用分级送风等技术，有效抑制了氮氧化物的生成，排放浓度相对较低。即便如此，面对日益严苛的环保标准，无论是哪种类型的锅炉，都面临着降低氮氧化物排放的紧迫任务。为了应对这一挑战，研究人员和工程师们正在开发更为先进的减排技术。选择性催化还原（SCR）和选择性非催化还原（SNCR）技术已被广泛应用于现有锅炉系统中，以减少氮氧化物的排放。SCR技术通过在烟气中注入氨或尿素，并利用催化剂促进还原反应，将氮氧化物转化为氮气和水蒸气。SNCR则是在燃烧过程中直接向炉膛内喷入还原剂，无需催化剂即可实现氮氧化物的还原。这些技术的应用显著提高了发电厂的环保性能，但同时也带来了额外的运行成本

和复杂性,如何在保证发电效率的同时,实现经济与环境的双重目标,成为当前电力行业亟待解决的问题^[1]。

2.2 危害

2.2.1 对大气环境的影响

发电厂锅炉排放的氮氧化物,因其无色无味且难以察觉,对大气环境构成了极为严重的威胁,被形象地称为大气环境的“隐形杀手”。这些氮氧化物会导致空气质量恶化,还会引发酸雨、光化学烟雾等环境问题,对人类健康、农作物生长及生态系统平衡都带来深远影响。加强氮氧化物排放控制,是保护大气环境、维护生态安全的迫切需求。(1)氮氧化物在大气中与水汽、氧气等发生复杂的化学反应,生成硝酸等酸性物质,这些酸性物质随降水降落,形成酸雨。酸雨的危害深远,它会导致土壤养分流失、土壤酸化,影响农作物的正常生长和产量,还会严重污染水体,使湖泊、河流的水质恶化,进而威胁水生生物的生存环境,对整个生态系统的平衡构成破坏。(2)氮氧化物还是光化学烟雾形成的关键前体物质。在阳光照射下,氮氧化物与挥发性有机物发生光化学反应,生成以臭氧为主的多种强氧化性物质,形成光化学烟雾。这种烟雾明显降低大气能见度,给交通运输带来安全隐患,影响航班起降和公路交通的正常运行,更重要的是,光化学烟雾中的有害物质对人体呼吸系统具有严重损害,可引发咳嗽、气喘、呼吸困难等症状。长期暴露于光化学烟雾环境中,人们患呼吸道疾病和心血管疾病的风险将大幅增加。发电厂锅炉氮氧化物排放对大气环境及人类健康构成了巨大威胁,亟需采取有效措施加以控制^[2]。

2.2.2 对人体健康的深远影响

发电厂锅炉排放的氮氧化物,尤其是二氧化氮,对人体健康构成了严重威胁。二氧化氮具有强烈的刺激性,是人体健康的“隐形杀手”。如果人体吸入二氧化氮,它会迅速与呼吸道黏膜表面的水分发生化学反应,生成硝酸和亚硝酸等酸性物质,这些物质强烈刺激呼吸道,导致咳嗽、气喘、胸闷等不适症状的出现。对于儿童、老年人及呼吸系统疾病患者来说,这种刺激尤为强烈,会引发病情的急剧恶化。长期暴露于含有氮氧化物的环境中,人体的呼吸系统将遭受持续性的损害。二氧化氮能够破坏呼吸道的自然防御机制,使肺部更容易受到细菌、病毒等病原体的侵袭,增加患支气管炎、肺气肿、肺炎等肺部疾病的风险,研究还表明,长期接触氮氧化物会对心血管系统产生不良影响,导致血压升高、心率异常等心血管疾病的出现,严重威胁人体的生命安全和健康状态,发电厂锅炉氮氧化物排放的控制与治

理,对于保护人体健康、维护生态平衡具有重要意义。为了减轻这些有害气体对环境 and 人类健康的影响,发电厂必须采取有效的减排措施。通过安装先进的脱硝装置,如选择性催化还原(SCR)或选择性非催化还原(SNCR)技术,可以降低氮氧化物的排放量。这些技术通过化学反应将氮氧化物转化为无害的氮气和水蒸气。优化燃烧过程,减少燃料中的氮含量,也是控制氮氧化物生成的有效手段。定期对锅炉进行维护和检查,确保其高效运行,同样有助于减少氮氧化物的排放。通过这些综合措施,发电厂能保护公众健康,还能履行其社会责任,为可持续发展贡献力量^[3]。

3 发电厂锅炉氮氧化物控制技术

3.1 燃烧前控制技术

在发电厂致力于削减锅炉氮氧化物排放的技术体系里,燃烧前控制技术占据关键地位,主要包括燃料预处理和燃料替代。燃料预处理是对即将投入燃烧的化石燃料开展脱硫、脱氮等前期处理,旨在降低燃料内的氮含量,从源头抑制氮氧化物的产生。以煤炭洗选技术来说,煤炭作为发电常用燃料,常含有氮化物和杂质。煤炭洗选利用物理或化学方法,依据煤炭与杂质在密度、表面特性等方面的不同,实现两者分离,去除煤炭中的部分氮化物与杂质,有效降低煤炭燃烧时氮氧化物生成的可能性。研究显示,经高效洗选的煤炭,燃烧时氮氧化物排放量可减少10%-30%,大幅减轻后续治理负担。燃料替代则是采用清洁能源替换传统化石燃料,这是降低氮氧化物排放的重要手段,也是能源转型与可持续发展的必然选择。天然气作为相对清洁的化石能源,主要成分是甲烷,含氮量少。与煤炭、石油相比,其燃烧温度较低,热力型氮氧化物生成量少,且自身氮含量低,燃料型氮氧化物生成也相应减少。数据表明,以天然气为燃料的发电厂,氮氧化物排放浓度能控制在较低水平,较传统燃煤电厂,排放量可降低50%-80%。生物质能作为可再生能源,应用愈发广泛。秸秆、木屑等生物质燃料在生长中吸收二氧化碳,燃烧近乎碳中性,对碳排放影响极小。其氮含量普遍低,燃烧时氮氧化物排放少,还能解决农业废弃物处理和农村能源供应问题,兼具环境与社会效益。合理运用这两种燃烧前控制技术,能在燃料进入锅炉燃烧前,降低氮氧化物生成,助力发电厂清洁高效发电。

3.2 燃烧中控制技术

在发电厂锅炉氮氧化物排放控制的众多策略中,燃烧中控制技术扮演着至关重要的角色。其中,低氮燃烧技术以其高效、经济的特性而备受瞩目。空气分级燃

烧作为一种经典的低氮燃烧技术,通过将燃烧所需的空气分阶段送入炉膛,实现了燃烧过程的精细化控制。在缺氧的富燃料区,燃料首先进行不完全燃烧,这一过程有效抑制了氮氧化物的生成。在后期补入空气,确保燃料能够充分燃尽,在保证燃烧效率的同时,实现了氮氧化物排放的大幅降低。燃料分级燃烧则是另一种创新的低氮燃烧技术。该技术通过在主燃烧区上方喷入部分燃料,形成了一个独特的还原区。在这个区域内,主燃烧区产生的氮氧化物被还原为氮气,从而降低了氮氧化物的排放。这一技术的巧妙之处在于,它充分利用了燃烧过程中的化学反应,将有害的氮氧化物转化为无害的氮气。新型燃烧技术也为氮氧化物排放控制提供了新的思路。循环流化床燃烧技术通过在流化状态下进行燃料燃烧,实现了燃烧温度的相对降低和燃料与空气的均匀混合。这一特性有效抑制了氮氧化物的生成,还赋予了循环流化床锅炉良好的燃料适应性,使其能燃烧多种劣质燃料。而富氧燃烧技术则通过使用高浓度氧气代替空气进行燃烧,提高了燃烧温度和效率,同时减少了氮气的引入,降低了热力型氮氧化物的生成。此外,富氧燃烧产生的烟气中二氧化碳浓度高,为后续的二氧化碳捕集和利用提供了便利条件。这些新型燃烧技术的应用,无疑为发电厂锅炉氮氧化物排放控制开辟了新的途径^[4]。

3.3 燃烧后控制技术

在发电厂锅炉氮氧化物排放控制的策略体系中,燃烧后控制技术占据着举足轻重的地位。(1)选择性催化还原(SCR)技术作为当前应用最为广泛的燃烧后脱硝技术,其原理在于利用氨气等还原剂,在催化剂的作用下,高效地将氮氧化物还原为氮气和水。SCR技术凭借其脱硝效率高、反应温度范围广、运行稳定等诸多优点,在电力行业得到了广泛应用。在实际操作中,催化剂的选择至关重要,常见的催化剂类型包括钒钛系、铁基、锰基等,它们各自适用于不同的工况和烟气条件,能满足多样化的脱硝需求。(2)选择性非催化还原

(SNCR)技术作为另一种重要的燃烧后脱硝技术,其特点在于无需使用催化剂,降低了投资成本。SNCR技术在高温条件下(通常介于850至1100℃之间),将尿素或氨水等还原剂直接喷入炉膛,与氮氧化物发生还原反应,生成氮气和水。尽管SNCR技术的脱硝效率相对较低,且对反应温度有着较为严格的要求,但其操作简便、成本较低的优势仍使其在特定场景下具有应用价值。(3)为了提升脱硝效率并降低运行成本,联合脱硝技术应运而生。该技术将SCR与SNCR技术有机结合,充分利用了双方的优势。在炉膛温度较高的区域,首先采用SNCR技术进行初步脱硝,然后在尾部烟道采用SCR技术进行深度脱硝。这种联合应用的方式能明显提高整体脱硝效率,还能有效降低运行成本,为发电厂锅炉氮氧化物排放控制提供了更为高效、经济的解决方案。

结束语

综上所述,发电厂锅炉氮氧化物排放控制技术的应用是实现电力行业绿色发展的关键。通过综合运用燃烧前、中、后控制技术,可以有效降低氮氧化物排放,减轻对环境和人类健康的危害。未来,随着技术的不断进步和环保政策的日益严格,发电厂锅炉氮氧化物排放控制技术将更加高效、智能,为实现可持续发展目标提供有力支撑。电力行业应积极响应环保号召,加强技术研发与应用,为构建美丽中国贡献力量。

参考文献

- [1]田宇,赵海燕.锅炉技术在火力发电厂中的应用与研究[J].当代化工研究,2023(13):111-113.
- [2]葛宪福.燃煤电厂锅炉燃烧NO_x排放优化控制技术[J].工业加热,2023,52(6):45-48.
- [3]王伟.SNCR技术在煤电厂NO_x控制中的效果评估[J].燃烧科学与技术,2020,42(2):87-99.
- [4]李亮.低氮燃烧技术在火电厂中的应用研究[J].能源与环保,2019,28(3):45-57.