

# 火电厂锅炉低氮燃烧技术改造效果分析

钱跃坡 侯超

北方联合电力有限责任公司包头第二热电厂 内蒙古 包头 014030

**摘要:** 氮氧化物是火电厂主要大气污染物,威胁生态环境与人体健康。低氮燃烧技术改造是火电厂实现氮氧化物减排的核心手段,也是响应环保政策、推动绿色发展的关键举措。本文系统梳理火电厂锅炉氮氧化物生成机理,阐述常见低氮燃烧技术原理及改造方案选择依据。详细介绍改造实施全流程,涵盖改造前运行状况分析、工程步骤及质量安全管理要点。构建多维度评估指标体系,从运行、经济、环境和社会效益层面量化分析改造效果。结合行业趋势与“双碳”目标,提出技术升级等发展思路,为火电厂环保升级提供参考。

**关键词:** 火电厂锅炉;低氮燃烧技术;改造效果;氮氧化物排放

引言: 环保法规日益严格,火电厂氮氧化物排放管控标准不断提高,传统燃烧方式难以满足要求。锅炉是火电厂氮氧化物生成的核心设备,其燃烧技术升级是实现减排目标的关键。低氮燃烧技术通过优化燃烧工况抑制氮氧化物生成,具有成本低、适配性强、无二次污染等优势,成为火电厂改造首选。当前多数火电厂已开展改造,但存在方案针对性不足、效果评估体系不完善等问题,影响减排效能。本文深入分析改造全流程与效果,明确关键点与评估标准,助力电力行业绿色转型。

## 1 火电厂锅炉低氮燃烧技术概述

### 1.1 氮氧化物生成机理

火电厂锅炉内氮氧化物生成主要源于三个途径:热力型、快速型与燃料型。热力型氮氧化物由空气中氮气在高温(超过1500℃)下与氧气反应生成,温度越高、停留时间越长、氧气浓度越高,生成量越大,是高温燃烧工况下的主要生成类型。快速型氮氧化物由燃料燃烧产生的烃类自由基与氮气快速反应生成,其生成量与燃料性质、燃烧温度及混合速度相关,在锅炉燃烧中占比相对较小。燃料型氮氧化物来自燃料中的含氮化合物,在燃烧过程中经热解、氧化反应转化而成,是燃煤锅炉氮氧化物的主要来源,占比可达60%~80%,其生成量与燃料含氮量、燃烧氛围密切相关。明确氮氧化物生成机理,是选择合理低氮燃烧技术的基础。

### 1.2 常见低氮燃烧技术原理

在火电厂的环保征程中,常见低氮燃烧技术皆紧密围绕“抑制氮氧化物生成”这一核心目标,凭借优化燃烧工况来实现显著的减排效果,主要涵盖空气分级燃烧、燃料分级燃烧、低氧燃烧以及烟气再循环技术。空气分级燃烧独具匠心,它将燃烧空气巧妙地分为主燃风与二次风。在主燃区,严格控制氧气浓度,精心营造出

还原性氛围,有力地抑制了燃料型氮氧化物的生成。而到了燃尽区,适时通入二次风,确保燃料能够充分燃尽,保障了燃烧效率。燃料分级燃烧则是把燃料分阶段送入炉膛,在特定区域形成还原区,让已生成的氮氧化物在此处被还原。低氧燃烧通过降低炉膛的过量空气系数,减少了氧气与氮气发生反应的机会,同时有效降低了燃烧温度<sup>[1]</sup>。烟气再循环技术别出心裁,把部分低温烟气重新送入炉膛,既降低了燃烧温度,又减少了氧气浓度,从双重角度抑制了热力型氮氧化物的生成。这些技术各有特点,需依据锅炉的具体特性进行合理选择与搭配。

### 1.3 低氮燃烧技术改造方案选择

低氮燃烧技术改造方案选择需结合锅炉类型、燃料特性、现有燃烧系统及环保目标综合判定,核心是确保改造的针对性与可行性。首先需全面分析锅炉型号、炉膛结构、燃烧器类型及燃料含氮量、热值等基础参数,明确现有燃烧系统的氮氧化物生成痛点。其次,结合当地环保排放标准,确定氮氧化物减排目标,倒推技术改造的减排效率要求。对于煤粉锅炉,优先采用空气分级+烟气再循环组合技术;对于循环流化床锅炉,可通过优化床温、调整二次风配比实现低氮燃烧。同时,需兼顾改造经济性与机组运行稳定性,避免过度改造导致燃烧效率下降或设备故障,必要时进行小型试验验证技术适配性。

## 2 火电厂锅炉低氮燃烧技术改造实施

### 2.1 改造前锅炉运行状况分析

改造前需开展全面的锅炉运行状况调研与分析,为改造方案设计提供依据。重点监测锅炉额定负荷、变负荷运行下的氮氧化物排放浓度、炉膛温度分布、过量空气系数、燃烧器出力等核心参数,明确现有排放水平与

环保标准的差距。同时, 排查燃烧系统存在的问题, 如燃烧器磨损、炉膛结焦、空气与燃料混合不均等, 分析其对氮氧化物生成的影响。此外, 收集锅炉设计资料、历史运行数据及燃料分析报告, 评估现有系统的改造潜力与限制因素。通过上述分析, 精准定位改造核心需求, 避免改造方案与实际运行工况脱节, 为后续改造工程的精准实施奠定基础。

## 2.2 改造内容与步骤

改造内容需结合选定的技术方案确定, 核心包括燃烧器改造、风烟系统调整及控制系统优化。燃烧器改造主要是更换或改造现有燃烧器, 增设分级燃烧喷口、调整喷口角度, 实现燃料与空气的分级混合; 风烟系统调整包括新增或改造二次风管、安装烟气再循环管道及阀门, 优化风量分配; 控制系统优化则是升级DCS系统, 新增氮氧化物在线监测与闭环控制模块, 实现燃烧参数的精准调控。改造步骤遵循“方案设计→设备采购→停机改造→调试运行”的逻辑: 先完成详细设计与设备选型, 再利用机组检修期开展燃烧器、风烟系统的改造施工, 最后进行冷态调试与热态试运行, 逐步优化运行参数<sup>[2]</sup>。

## 2.3 改造过程中的质量控制与安全管理

改造过程需强化质量控制与安全管理, 确保改造效果与施工安全。质量控制方面, 严格把控设备采购质量, 对燃烧器、管道、阀门等关键设备进行进场检验; 规范施工流程, 重点控制燃烧器安装精度、管道焊接质量及风量分配的均匀性, 避免因安装偏差影响改造效果; 建立质量验收机制, 分阶段对施工质量进行验收, 不合格部分及时整改。安全管理方面, 制定专项安全施工方案, 明确施工人员安全职责; 对施工人员进行安全培训, 重点强化高空作业、动火作业、有限空间作业的安全防护; 加强施工现场安全监管, 配备必要的安全防护设施与应急物资, 严防安全事故发生。

## 3 火电厂锅炉低氮燃烧技术改造效果评估

### 3.1 评估指标体系建立

构建涵盖技术、经济、环境、社会四大维度的改造效果评估指标体系, 确保评估全面客观。技术指标核心包括氮氧化物排放浓度、减排效率、锅炉热效率、燃烧稳定性(如炉膛温度波动范围、结焦情况)及设备故障率, 重点衡量改造对燃烧系统的影响; 经济指标包括改造投资成本、运行成本(燃料消耗、电费、维护费)及减排收益(环保补贴、罚款减免), 评估改造的经济性; 环境指标包括氮氧化物减排量、二氧化硫协同减排效果及烟尘排放变化, 量化环境效益; 社会指标包括环

保合规性、行业示范效应及区域空气质量改善贡献, 体现社会价值。

### 3.2 改造前后运行数据对比分析

以某300MW煤粉锅炉改造为例, 改造前后运行数据对比显示: 额定负荷下, 氮氧化物排放浓度从改造前的 $650\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $280\text{mg}/\text{m}^3$ , 减排效率达56.9%, 远超预设的40%减排目标; 锅炉热效率从改造前的92.3%提升至92.8%, 主要因燃烧工况优化, 燃料燃尽率提高; 炉膛平均温度降低 $50^\circ\text{C}$ , 温度分布更均匀, 结焦现象明显减少; 过量空气系数从1.25降至1.15, 风机电耗降低3.2%。变负荷运行下, 氮氧化物排放浓度始终稳定在 $300\text{mg}/\text{m}^3$ 以下, 燃烧稳定性良好, 未出现灭火、爆燃等异常情况, 验证了改造技术的适配性与可靠性。

### 3.3 经济效益分析

经济效益分析显示, 该改造工程总投资860万元, 改造后年新增运行成本(设备维护、风机电耗变化等)约35万元, 但年收益显著。一方面, 氮氧化物减排量达1200吨/年, 按当地环保补贴政策可获年补贴144万元, 同时避免因超标排放产生的年罚款约200万元; 另一方面, 锅炉热效率提升使年节约标准煤约800吨, 按煤价900元/吨计算, 年节约燃料成本72万元。综合测算, 改造投资回收期约2.3年, 且后续长期稳定产生收益, 经济效益显著, 符合火电厂成本控制需求。

### 3.4 环境效益分析

改造带来显著环境效益, 核心体现为氮氧化物排放大幅削减, 年减排量达1200吨, 有效降低酸雨、光化学烟雾等环境问题的发生风险。同时, 燃烧工况优化使二氧化硫排放浓度从改造前的 $120\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $105\text{mg}/\text{m}^3$ , 烟尘排放浓度从 $15\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $12\text{mg}/\text{m}^3$ , 实现多污染物协同减排。低氮燃烧改造减少燃料消耗, 间接降低二氧化碳排放, 年减排二氧化碳约2000吨, 为区域空气质量改善与“双碳”目标推进贡献力量。另外, 避免了因污染物超标排放对周边生态环境的破坏, 减少了对农作物、水体的污染影响<sup>[3]</sup>。

### 3.5 社会效益分析

社会效益层面, 改造后火电厂氮氧化物排放完全满足现行环保标准, 彻底解决环保合规压力, 提升了企业社会形象。该改造案例为同类型火电厂提供了可复制的技术方案与实施经验, 具有良好的行业示范效应, 推动了区域内火电厂环保改造的整体进程。氮氧化物及多污染物排放的削减, 有效改善周边区域空气质量, 降低了污染物对人体健康的威胁, 提升居民生活质量。同时, 改造契合国家绿色发展理念, 为电力行业环保升级提供

实践支撑,助力生态文明建设。

#### 4 未来展望

##### 4.1 低氮燃烧技术升级方向

未来,低氮燃烧技术将朝着智能化、精准化、高效化大步迈进。借助人工智能与大数据技术的强大能力,构建燃烧过程数字孪生模型成为可能。该模型能实时且精准地监测炉膛温度、烟气成分等关键参数,依据这些数据精准调控燃料与空气的配比,实现对氮氧化物生成的动态抑制,让燃烧过程始终处于最优状态。同时,研发适配宽负荷、多燃料类型的通用型低氮燃烧技术迫在眉睫。在电力生产中,机组负荷常发生变化,不同燃料特性差异大,通用型技术可有效解决变负荷运行下减排效率波动的问题。此外,探索低氮燃烧与污染物深度治理技术的协同优化,开发一体化减排系统,能整合多种技术优势,进一步提升减排效能,以从容应对未来更为严格的环保标准,为火电厂的绿色发展筑牢根基。

##### 4.2 不同类型火电厂改造技术的差异化推广建议

鉴于不同类型火电厂具有独特特性,制定差异化改造推广策略十分必要。大型煤粉火电厂规模大、设备先进,优先推广空气分级+烟气再循环+智能控制组合技术,能充分发挥其减排潜力,实现高效、低成本的氮氧化物减排。循环流化床火电厂有其特殊燃烧方式,重点优化床温控制与二次风配比,结合燃料预处理技术,可提升燃料燃烧效率,进而增强减排效果。小型火电厂资金与场地有限,采用低成本的燃烧器改造与低氧燃烧技术,在保证一定减排效果的同时,兼顾经济性。对于老旧机组,结合机组升级改造同步开展低氮燃烧改造,可避免重复投资,提高资源利用效率;新建机组则应直接采用先进低氮燃烧技术,从源头控制氮氧化物生成,为未来的环保运营奠定良好基础<sup>[4]</sup>。

4.3 结合“双碳”目标的低氮燃烧技术与节能技术融合发展思路

结合“双碳”目标,推动低氮燃烧技术与节能技术深度融合是实现减排与节能协同增效的关键。一方面,将低氮燃烧改造与锅炉节能改造同步推进,优化炉膛结构、升级传热系统,在有效抑制氮氧化物生成的同时,提升锅炉热效率,减少能源浪费。另一方面,结合余热利用、变频调速等节能技术,降低改造后系统的能耗。例如利用烟气余热预热助燃空气,能减少燃料加热所需的能量,进一步降低燃料消耗与二氧化碳排放。此外,构建“低氮燃烧+碳捕集”协同体系意义重大。低氮燃烧可减少污染物排放,为碳捕集系统提供更洁净的烟气,降低碳捕集过程中的杂质干扰,从而降低碳捕集成本,助力火电厂实现“减污降碳”的协同目标,推动电力行业绿色可持续发展。

#### 结束语

火电厂锅炉低氮燃烧技术改造是应对环保压力、践行绿色发展的必然选择,其不仅能大幅降低氮氧化物排放,还能实现经济、环境与社会效益的统一。未来,随着技术的不断升级与“双碳”目标的深入推进,低氮燃烧技术将向智能化、协同化方向发展。火电厂需结合自身特性选择适配改造方案,强化技术融合与创新,持续提升减排与节能效能。相信通过技术升级与行业协同,火电厂将逐步实现绿色低碳转型,为生态环境改善与能源行业高质量发展贡献更大力量。

#### 参考文献

- [1]翟陈婷.火电厂燃煤锅炉低氮燃烧技术优化控制策略[J].电力设备管理,2024(10):261-264.
- [2]张强,何陆灿,方亚雄.火电厂锅炉低氮燃烧改造与运行优化调整探究[J].中国设备工程,2023(04):130-132.
- [3]许瑞杰.火电厂锅炉低氮燃烧改造与运行优化调整分析[J].化工管理,2020(24):147-148.
- [4]孙雪景.火电厂锅炉大气污染控制袋式除尘器的优化设计[J].北方建筑,2020,5(06):40-42.