

火力发电锅炉低氮燃烧技术的性能评估

王尚国

国家电投集团贵州金元绥阳产业有限公司，贵州 绥阳 563300

摘要： 火力发电锅炉采用低氮燃烧技术，旨在减少氮氧化物（NO_x）排放，提高燃烧效率，并兼顾锅炉稳定性与经济性。本文评估了低氮燃烧技术在燃烧效率、NO_x排放浓度、锅炉稳定性、经济性和技术适应性五个方面的表现。通过采用二次风垂直分级高位燃尽风系统、主燃烧器区二次风喷嘴优化设计等策略，实现了燃烧效率的提升和NO_x排放的大幅降低。同时，锅炉稳定性得到保障，经济性显著，且该技术对不同煤种和锅炉类型的适应性良好。

关键词： 低氮燃烧技术；火力发电锅炉；燃烧效率

Performance Evaluation of Low-Nitrogen Combustion Technology for Thermal Power Generation Boilers

Wang Shangguo

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Suiyang Industry Co., LTD. Suiyang, Guizhou 563300

Abstract： Low-nitrogen combustion technology is employed in thermal power generation boilers to reduce nitrogen oxide (NO_x) emissions, enhance combustion efficiency, and balance boiler stability and economy. This paper evaluates the performance of low-nitrogen combustion technology in five aspects: combustion efficiency, NO_x emission concentration, boiler stability, economy, and technical adaptability. By adopting strategies such as the secondary air vertical staging high-level burnout air system and optimized design of secondary air nozzles in the main burner area, improved combustion efficiency and significant reduction in NO_x emissions are achieved. Simultaneously, boiler stability is ensured, economic benefits are notable, and the technology demonstrates good adaptability to different coal types and boiler configurations.

Keywords： low-nitrogen combustion technology; thermal power generation boiler; combustion efficiency

随着环保要求的日益严格，火力发电锅炉的氮氧化物排放问题日益凸显。低氮燃烧技术作为燃煤电厂氮氧化物控制的首选技术，受到了广泛关注。本文将对低氮燃烧技术的性能进行全面评估，以期为火力发电锅炉的环保改造提供参考。

一、燃烧效率评估策略

（一）燃烧器优化设计

为了提升燃烧效率，燃烧器的优化设计显得尤为重要。在燃烧器优化设计中，采用了水平浓淡煤粉燃烧技术。这种技术通过调整煤粉在燃烧器内的分布，使得煤粉在燃烧过程中能够更充分地空气混合，从而提高燃烧效率。同时，还引入了高浓缩比、低阻力的煤粉浓缩技术，进一步提升了煤粉的燃烧效率。这种技术通过优化煤粉的浓缩过程，使得煤粉在燃烧前能够更好地与空气预混合，从而提高了煤粉的燃烧速度和燃烧完全度。此外，在燃烧器优化设计中，还注重了燃烧器的材质和制造工艺。采用耐高温、耐腐蚀的材料，以及先进的制造工艺，确保了燃烧器的稳定性和耐久性。这不仅提高了燃烧器的使用寿命，还降低了锅炉的维护成本^[1]。

（二）燃烧参数调整

燃料供给量与送风量作为燃烧过程中的两大核心参数，其合

理设置对于确保燃烧系统内部稳定、促进燃料充分燃烧至关重要。燃料供给量的调整需根据锅炉的实际负荷和煤质特性进行。通过精确控制给煤机的转速或频率，可以实现对燃料供给量的实时调节。同时，送风量的调整也是关键。合理的送风量不仅能够为燃料提供充足的氧气，还能够有效调节炉膛温度，避免局部过热或燃烧不充分的现象^[2]。在调整燃烧参数时，还需密切关注炉膛出口的氧含量。通过调节送风量，使炉膛出口的氧含量保持在合理范围内，既能保证燃料的充分燃烧，又能避免过量的空气带入炉膛，造成热损失。

（三）实时检测与调整

现代火力发电锅炉已广泛采用便携燃烧效率分析仪等先进检测设备，这些设备能够实时、准确地监测锅炉的燃烧状态，包括火焰温度、烟气成分、燃烧产物浓度等关键参数。通过实时监测，可以及时发现燃烧过程中的异常情况，如火焰不稳定、燃烧不完全等。一旦发现问题，立即根据监测结果进行有针对性的调整。例如，当发现火焰温度偏低时，可以适当增加燃料供给量或

作者简介：王尚国（1992.07-），男，汉族，吉林省永吉县人，本科，助理工程师，研究方向：生态环保、热能与动力工程、火力发电厂、电力工程。

提高送风量；当发现烟气中氮氧化物含量超标时，可以调整燃烧器的角度或喷口尺寸，以减少氮氧化物的生成。

二、NO_x 排放浓度评估策略

（一）采用二次风垂直分级高位燃尽风系统

为了实现这一目标，采用了二次风垂直分级高位燃尽风系统。该系统将二次空气进行垂直分级，即把一部分二次空气与主燃烧区分离，而在锅炉炉膛的上部设置高位燃尽风喷口。这种设计在燃烧过程中形成了一个独特的还原气氛区域。在主燃烧区内，煤粉与一次空气混合并初步燃烧，产生大量的热量和一定的 NO_x。而当进入还原气氛区域时，由于氧气含量相对较低，已生成的 NO_x 会被还原成氮气，从而有效抑制了燃料氮向 NO_x 的转化。此外，高位燃尽风系统还为燃料提供了充足的氧气，以确保燃料在炉膛上部能够完全燃烧^[3]。

（二）优化主燃烧器区二次风喷口设计

在火力发电锅炉中，主燃烧器区的二次风喷口设计对于 NO_x 排放浓度的控制具有重要影响。为了降低 NO_x 的生成，需要对二次风喷口进行合理设计。具体而言，优化后的二次风喷口形状、尺寸和布置都经过了精心计算。这样的设计可以确保二次空气在喷入炉膛时，能够与煤粉实现充分混合。混合的均匀性不仅提高了煤粉的燃烧效率，还减少了局部高温区域的形成，从而降低了热力型 NO_x 的生成。此外，优化后的二次风喷口还可以根据锅炉的实际运行情况进行调节。通过调整二次风的流量和速度，可以进一步控制燃烧过程中的氧气浓度，从而抑制燃料型 NO_x 的生成。

（三）SCR 烟气脱硝技术结合

当火力发电锅炉的 NO_x 排放浓度通过燃烧优化措施仍无法达到环保标准时，需要考虑采用更高级别的减排技术。此时，选择性催化还原（SCR）烟气脱硝技术便成为了不可或缺的选择。SCR 技术通过在锅炉尾部烟道内设置催化剂层，利用氨气或尿素等还原剂，在催化剂的作用下，将烟气中的 NO_x 还原成氮气和水蒸气。这一过程需要在一定的温度范围内进行，以确保催化剂的活性和反应效率。结合 SCR 烟气脱硝技术，可以进一步降低 NO_x 排放浓度，使其达到甚至低于环保标准。同时，SCR 技术的运行稳定可靠，对锅炉的正常运行影响较小^[4]。

三、锅炉稳定性评估策略

（一）燃烧过程优化

锅炉的稳定性直接关系到火力发电厂的运行效率和安全性。为了确保锅炉的稳定运行，需要对燃烧过程进行优化。在燃烧过程中，燃料的供给和送风量的稳定是关键。通过精确控制燃料供给系统，可以确保煤粉或燃油的连续、均匀供给，避免燃料供应不足或过量导致的燃烧不稳定。同时，送风系统的优化也至关重要。通过合理调节送风量，可以确保炉膛内的氧气浓度适中，既不过量也不过少，从而避免燃料因缺氧而燃烧不完全或因氧气过

剩而产生大量 NO_x。此外，燃烧过程的优化还包括对燃烧器材的保护。通过调整燃烧器的角度和喷口尺寸，可以避免火焰直接冲刷燃烧器材，从而减少燃烧器材的磨损和烧毁风险^[5]。

（二）压力与温度控制

锅炉内部的压力和温度是影响其稳定运行的关键因素。为了确保锅炉的高效、安全运行，必须对这两个参数进行严格控制。在锅炉运行过程中，压力的稳定至关重要。通过调节锅炉的进水量和蒸汽排放，可以保持锅炉内部压力在设定范围内波动，从而确保蒸汽的稳定产生和输送。同时，压力的稳定也有助于减少锅炉部件的磨损和泄漏风险，延长锅炉的使用寿命。温度的控制同样不可忽视^[6]。锅炉内部的温度直接影响燃料的燃烧效率和蒸汽的质量。通过调整燃烧器的火焰强度和送风量，可以精确控制炉膛内的温度，使其保持在最佳燃烧范围内。这样不仅可以提高燃料的燃烧效率，还可以减少有害物质的排放，保护环境。

（三）智能燃烧优化系统

在锅炉稳定性评估中，智能燃烧优化系统正逐渐成为不可或缺的一部分。这一系统通过集成先进的传感器和数据分析技术，能够实时监测锅炉的各项运行参数，如燃料供给量、送风量、炉膛温度、压力等。智能燃烧优化系统不仅具备实时监测功能，更重要的是能够进行在线调整。当系统检测到锅炉运行参数偏离设定范围时，会立即启动调整机制，通过精确控制燃料供给和送风量等参数，使锅炉迅速恢复到稳定状态。这种实时的反馈和调整机制，大大提高了锅炉的稳定性和安全性。此外，智能燃烧优化系统还能够根据锅炉的历史运行数据和当前工况，预测未来的运行趋势，为操作人员提供决策支持。这样，操作人员可以更加准确地判断锅炉的运行状态，及时采取预防措施，避免潜在的安全隐患。

四、经济性评估策略

（一）节省脱硝剂费用

在燃煤电厂或工业锅炉等排放氮氧化物的场所，传统上常使用脱硝剂来减少氮氧化物的排放。然而，脱硝剂的使用成本较高，对企业的运营支出造成了一定压力^[7]。此时，采用低氮燃烧技术成为了一个有效的解决方案。低氮燃烧技术通过优化燃烧过程，调整燃烧参数，如燃烧温度、氧气浓度和燃料与空气的混合方式，从而减少燃烧过程中氮氧化物的生成。这一技术的应用，能够显著降低氮氧化物的原始排放浓度，进而减少了对脱硝剂的依赖。实践表明，在引入低氮燃烧技术后，许多企业的脱硝剂使用量有了明显下降，从而节省了脱硝剂的采购、储存和运输等成本。此外，低氮燃烧技术还带来了其他经济效益。例如，由于燃烧效率的提高，燃料的消耗量也相应减少，进一步降低了企业的运营成本^[8]。

（二）减少催化剂折旧与维护费用

特别是在选择性催化还原（SCR）系统中，催化剂作为核心部件，其性能与寿命直接影响着系统的运行效率与成本。通过降低 SCR 系统入口的 NO_x（氮氧化物）浓度，可以有效减轻催化剂

的负担，进而减少催化剂的使用层数。降低 SCR 系统入口 NO_x 浓度，意味着催化剂在相同的处理量下，所面临的反应压力减小，催化剂的活性得以保持更长时间，从而延长了催化剂的使用寿命。这不仅减少了因催化剂频繁更换而产生的折旧费用，还降低了因更换催化剂而带来的系统停机时间和维护成本。此外，减少催化剂层数还有助于降低 SCR 系统的整体建设成本。每一层催化剂的添加都需要相应的支撑结构和配套设施，减少层数意味着可以减少这些额外的建设费用。

（三）提高能源利用率

通过优化燃烧过程，可以显著提升燃料的利用效率，从而直接降低企业的运营成本。优化燃烧过程涉及对燃烧设备的精细调整，包括燃烧温度、氧气供给、燃料与空气的混合比例等参数的优化。这些调整旨在确保燃料能够更充分、更高效地燃烧，释放出更多的能量。同时，减少不完全燃烧产生的废弃物和污染物，如黑烟和碳粒，也有助于提升整体能源利用效率。提高燃料利用率不仅意味着企业能够以更少的燃料消耗产生更多的能量，还减少了因燃料浪费而带来的额外成本^[8]。

五、技术适应性评估策略

（一）煤种适应性

低氮燃烧技术作为一种先进的燃烧控制技术，展现出了对不同煤种的高度适应性。在实际应用中，煤种的特性，如挥发分含量、灰分、硫分以及固定碳含量等，都会对燃烧过程产生影响。低氮燃烧技术通过灵活调整燃烧参数，如燃烧温度、空气流量、燃料供给速率等，可以有效应对这些差异，确保在各种煤种下都能实现低氮排放^[9]。对于高挥发分煤种，低氮燃烧技术可以通过优化燃烧初期的燃烧条件，减少氮氧化物的生成。而对于低挥发分煤种，则可以通过提高燃烧温度和加强空气与燃料的混合，来提高燃烧效率和降低氮氧化物排放。

（二）锅炉类型适应性

在技术适应性评估策略中，锅炉类型适应性是衡量一项技术广泛应用潜力的重要指标。低氮燃烧技术展现出了对多种类型锅炉的强大适应性，无论是四角切圆燃烧锅炉，还是 W 火焰锅炉，都能有效融入并发挥其低氮排放的优势。四角切圆燃烧锅炉以其独特的燃烧方式和较高的燃烧效率，在大型电站锅炉中占据重要地位。低氮燃烧技术通过优化四角喷燃器的布置和燃烧参数，可以在保证燃烧效率的同时，显著降低氮氧化物的排放。而对于 W 火焰锅炉，其独特的火焰形状和燃烧特性，使得低氮燃烧技术的应用更具挑战性。

（三）负荷适应性

为了确保在负荷变动时低氮燃烧技术仍能发挥最佳效果，需要对燃烧参数进行实时优化调整。这包括调整燃料供给量、燃烧空气流量、燃烧器角度等，以适应负荷变化带来的燃烧条件变化。通过精确控制这些参数，可以确保在负荷上升或下降时，燃烧过程仍能保持稳定，氮氧化物的生成得到有效抑制。此外，负荷适应性还体现在低氮燃烧技术对不同负荷工况下的适应性。在锅炉低负荷运行时，通过调整燃烧策略，如减少燃烧器投入数量、降低燃烧温度等，可以避免燃烧不稳定和氮氧化物排放超标的问题。而在高负荷运行时，则通过增加燃烧器投入、提高燃烧效率等措施，确保锅炉的稳定运行和低氮排放^[10]。

六、结论

低氮燃烧技术在火力发电锅炉中表现出色，不仅提高了燃烧效率，降低了 NO_x 排放浓度，还确保了锅炉的稳定性和经济性。同时，该技术对不同煤种和锅炉类型的适应性良好，具有广泛的应用前景。未来，应继续优化低氮燃烧技术，提高其在各种工况下的稳定性和效率，为火力发电行业的可持续发展做出贡献。

参考文献

- [1] 张勇涛. 火力发电厂锅炉安装主要工艺及技术措施解析 [J]. 中国设备工程, 2023, (05): 110-112.
- [2] 郭向兵. 火力发电厂锅炉运行控制的节能策略研究 [J]. 当代化工研究, 2021, (05): 163-164.
- [3] 全威. 火力发电设备锅炉检修新方法及其维护对策 [J]. 中国设备工程, 2020, (21): 72-73.
- [4] 王灏. 火力发电锅炉节能降耗对策与措施研究 [J]. 设备管理与维修, 2020, (18): 159-160.
- [5] 林恩志. 火力发电锅炉节能降耗的对策与措施分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2019, 9(12): 54-55+114.
- [6] 简越, 陈超. 对冲燃烧锅炉低氮燃烧改造技术探析 [J]. 中国设备工程, 2022, (08): 162-163.
- [7] 孙佳东. 火电厂锅炉低氮燃烧改造及运行优化 [J]. 中外企业家, 2019, (32): 122.
- [8] 鲍永武. 低氮燃烧背景下的火力发电厂微油点火应用 [J]. 山东工业技术, 2018, (20): 191.
- [9] 王广龙. 火力发电机组提高 AGC 调节品质及其影响 [D]. 华北电力大学 (北京), 2016.
- [10] 王雷. 电厂锅炉低氮燃烧器改造项目综合评价研究 [D]. 华北电力大学, 2016.