

火电厂锅炉燃烧过程优化与排放减少策略

王小丰

贵州西电电力股份有限公司鸭溪运营分公司, 贵州 遵义 563108

摘要： 本文深入探讨了火电厂锅炉燃烧过程及其优化策略和排放降低技术。文章先是审视了燃料属性、燃烧机理和锅炉运行原理，以及影响燃烧效率的因素。随后，文章提出了包括燃料预处理、燃烧设备改进和过程参数优化在内的多项优化措施。在减排方面，探讨了低氮燃烧、脱硝、除尘和脱硫等技术。文章结尾部分展望了未来的发展方向和挑战，为火电厂锅炉燃烧优化和排放控制提供了科学依据和实践指导。

关键词： 火电厂；锅炉；燃烧过程；优化策略；排放减少

Strategies for Optimizing the Combustion Process and Reducing Emissions in Thermal Power Plant Boilers

Wang Xiaofeng

Yaxi Operating Branch of Guizhou Xidian Electric Power Co., Ltd. Zunyi, Guizhou 563108

Abstract： This article delves deeply into the combustion process of thermal power plant boilers, along with strategies for optimizing it and technologies for reducing emissions. It begins by examining fuel properties, combustion mechanisms, and boiler operation principles, as well as factors that affect combustion efficiency. Subsequently, the article proposes multiple optimization measures including fuel pretreatment, improvements to combustion equipment, and optimization of process parameters. In terms of emission reduction, technologies such as low-nitrogen combustion, denitrification, dust removal, and desulfurization are explored. The concluding section of the article looks ahead to future development directions and challenges, providing a scientific basis and practical guidance for optimizing the combustion process and controlling emissions in thermal power plant boilers.

Keywords： thermal power plant; boiler; combustion process; optimization strategy; emission reduction

引言

随着全球对环境保护和可持续发展的重视，火电厂作为能源产业的重要组成部分，面临着减少污染物排放和提高能效的双重挑战。锅炉作为火电厂的核心设备，其燃烧过程的优化和排放减少对于实现清洁生产和环境保护具有重要意义。

一、火电厂锅炉燃烧过程原理

火电厂锅炉燃烧过程是能源转换的核心环节，涉及复杂的物理化学变化。为了深入理解并优化这一过程，我们需要从燃料特性、燃烧反应机理以及锅炉工作原理等方面进行详细分析。

（一）燃料特性分析

火电厂锅炉的燃烧效率和环境排放直接受制于所使用的燃料特性。常见的燃料如煤、石油和天然气，各自拥有不同的化学成分和物理属性。这些燃料的元素组成、热值、挥发性、灰分以及硫含量等关键参数，均对燃烧的完整性和排放物的形成起着决定性作用。其中，煤炭中所含硫元素的主要表现形式为碳酸盐、有机硫以及硫铁矿^[1]。例如，含硫量高的煤在燃烧时会产生更多的二氧化硫（SO₂），而挥发分较低的煤种可能会引起燃烧不充分的问题。

（二）燃烧反应机理

锅炉作为火电厂的核心设备，其燃烧效率及对环境的影响极大程度上取决于所采用的燃料类型。煤、石油和天然气这三种主要燃料，每一种都有其独特的化学和物理属性。这些燃料的元素成分、热值、挥发性、灰分以及硫含量等关键特性，对燃烧过程的完整性和排放物的产生有着重要影响。例如，高硫煤在燃烧过程中会释放出更多的二氧化硫（SO₂），而挥发分较低的煤种可能会导致燃烧不完全，增加污染物的排放。因此，深入了解并合理调整燃料的特性，成为提高燃烧效率和减少污染物排放的关键起点。

（三）锅炉工作原理及燃烧效率影响因素

火电厂在发电的过程中，承担发电工作的燃煤锅炉主要负责向机组内提供发电站所需要的蒸汽供应，并利用燃料在锅炉炉膛内燃的形式实现能量释放。锅炉发展燃煤对火电厂发电运行具有关键性的影响^[2]。锅炉的运作原理基于燃料的燃烧，产生热能来

将水转化为蒸汽，进而推动涡轮机发电。锅炉的燃烧效率，即热能转换的效率，是衡量其性能的核心指标。这一效率受到多种因素的影响，包括燃料与空气的混合程度、燃烧温度、过剩空气系数等。同时，锅炉的设计和运行参数，如燃烧器类型、燃烧室结构、给料系统等，也对燃烧效率有着显著影响。通过对这些因素的优化，可以有效提升锅炉的热效率，并减少排放，实现更清洁、更高效的能源利用。

二、燃烧过程优化策略

为了提高火电厂锅炉的燃烧效率和减少污染物排放，燃烧过程的优化至关重要。本章将探讨燃料预处理技术、燃烧设备改进和过程参数优化等方面的策略，旨在通过实际操作和工程技术手段，实现更高效、更环保的燃烧过程。

（一）燃料预处理技术

燃料预处理是提升燃烧效率的关键起点，这一过程涵盖了粉碎、筛分、混合和干燥等多个步骤。粉碎和筛分的目的是增大燃料的表面积，从而加快燃烧反应的速度并提高燃烧的充分性^[3]。混合和干燥环节则确保了燃料的均质性和燃烧过程的稳定性，为高效、清洁的燃烧打下坚实的基础。

1. 粉碎与筛分

燃料预处理中的粉碎和筛分对提高燃烧效率至关重要。这些步骤通过减小颗粒尺寸来增加表面积，加快燃烧反应。为了最佳燃烧效果，粉碎和筛分的参数需根据燃料类型和锅炉设计调整。高挥发分煤需细粉碎，而高灰分煤需适当筛分。不同锅炉对燃料粒度分布的优化标准也不同。

2. 混合与干燥

混合和干燥是燃料预处理的两个关键步骤，对于保证燃烧的均匀性和提高效率非常重要。混合环节通过均匀分布燃料的各种成分，消除了成分不均带来的燃烧不稳定性 and 排放增加的风险，提高了燃烧效率并降低了污染物排放。干燥环节的主要目的是减少燃料的水分含量，从而提高燃料的热值和燃烧效率。干燥的燃料更易于粉碎和输送，有助于整个燃烧过程的顺利进行。

（二）燃烧设备改进

燃烧设备的改进是优化燃烧过程的关键。燃烧器和燃烧室的设计和选型对燃烧效率和排放有直接影响。

1. 燃烧器设计与选型

燃烧器是锅炉燃烧系统的关键，其设计和选型对燃烧效率和环保性能至关重要。优秀的燃烧器设计能确保燃料与氧气的有效混合，促进完全燃烧，并减少有害排放^[4]。为提高效率和降低氮氧化物排放，关键在于采用高效燃烧器，实现更好的燃料空气混合。分级燃烧技术也是一种有效策略，通过分阶段引入燃料和空气，降低氧气浓度，抑制 NOx 生成。优化燃烧器不仅涉及设计选择，还包括安装位置、喷嘴布局和燃烧室形状的考量。这些因素共同作用，能显著改善燃烧性能，减少不完全燃烧产物和污染物排放。

2. 燃烧室结构优化

燃烧室的结构设计对燃烧效率和污染物排放有显著影响。优

化的燃烧室能提供理想的燃烧环境，增加体积有助于充分混合燃料与空气，促进完全燃烧。改善流动条件，如使用先进的流动控制技术，能减少涡流和死区，确保均匀分布，提高效率。燃烧室几何形状和燃烧器与燃烧室之间的距离也是关键设计参数，它们的优化能减少温度梯度和压力波动，降低排放。

（三）过程参数优化

过程参数的优化是提高燃烧效率和减少排放的重要手段。空气过剩系数、燃烧温度和燃料与空气混合方式是影响燃烧过程的关键参数。

1. 空气过剩系数调整

空气过剩系数是燃烧效率和环境影响的关键参数。适当降低该系数可提高燃烧效率并减少氮氧化物（NOx）生成，但需避免过度降低导致不完全燃烧和一氧化碳（CO）排放增加^[5]。优化空气过剩系数需考虑燃料类型、锅炉设计和燃烧器性能等因素。火电厂利用先进燃烧控制技术和监测系统实时调整该系数，以最大化燃烧效率和环保性能。

2. 燃烧温度控制

燃烧温度对锅炉燃烧效率和污染物排放有重大影响。提高燃烧温度能促进燃料充分燃烧，提升效率，但过高的温度会增加氮氧化物（NOx）等污染物排放。因此，优化燃烧温度控制策略，以实现高效、清洁燃烧，是至关重要的。这需要考虑燃料特性、锅炉设计和燃烧条件^[6]。火电厂利用先进燃烧控制技术和监测系统实时调整燃烧温度，以最大化燃烧效率和环保性能。优化燃烧温度的目的是在保证效率的同时，减少 NOx 等污染物生成，实现清洁、可持续的能源转换。通过精确控制燃烧温度，火电厂能更好地满足环保要求，提高能源利用效率，促进环境保护和可持续发展。

3. 燃料与空气混合方式优化

燃料与空气的混合对锅炉燃烧效率和污染排放至关重要。采用分级供风和旋流供风技术可以优化混合，促进完全燃烧，减少污染物。火电厂需根据燃料特性和锅炉设计选择合适的混合技术，并调整燃烧器结构、燃烧室布局和安装位置等参数，以实现高效、清洁地燃烧。

三、排放减少策略

火电厂锅炉燃烧过程中产生的氮氧化物（NOx）、粉尘和硫氧化物（SOx）等污染物对环境和人类健康造成严重影响。为了减少这些排放，行业内开发了一系列技术。

（一）低氮燃烧技术

1. 空气分级燃烧

空气分级燃烧技术是一种创新的燃烧策略，它通过将传统的单一燃烧阶段分解为两个或多个阶段，巧妙地降低了燃烧区域的氧气浓度^[7]。这一技术的核心在于逐步释放氧气，从而在燃料的燃烧过程中减少 NOx 的生成。这种方法不仅确保了燃烧效率，还显著降低了氮氧化物的排放，为火电厂的环保运行提供了有力的技术支持。

2. 烟气再循环

烟气再循环技术是一种创新的燃烧优化手段，它通过将烟气中的一小部分循环引入燃烧区域，有效地降低了燃烧区域的氧气浓度和燃烧温度。这一策略的巧妙之处在于通过调节燃烧条件，从而在减少 NO_x 生成的过程中，仍然能够保持较高的燃烧效率。

这种技术不仅能够有效地控制燃烧效率，还能够对排放物产生积极的影响。通过烟气再循环，不仅可以降低 NO_x 的生成，还可以减少其他有害气体的排放，从而降低对环境的影响。此外，这种技术还能够帮助火电厂节约能源，提高能源利用效率。

（二）脱硝技术

脱硝技术是减少氮氧化物排放的有效手段，主要包括选择性催化还原（SCR）和选择性非催化还原（SNCR）。

1. 选择性催化还原（SCR）

选择性催化还原（SCR）技术是一种高效且稳定的脱硝方法，它通过在催化剂的作用下，利用还原剂（如氨或尿素）与氮氧化物（NO_x）反应，将其转化为无害的氮气和水^[8]。这一过程在燃烧后进行，因此可以显著降低锅炉排放的氮氧化物浓度，对环境保护具有重要意义。

SCR 技术的脱硝性能表现在其高效率和稳定性上，它能够适应不同类型的燃料和燃烧条件，有效地控制氮氧化物的生成。由于其出色的性能，SCR 技术在火电厂锅炉排放控制中得到了广泛地应用，为减少氮氧化物排放、保护环境提供了强有力的技术支持。

2. 选择性非催化还原（SNCR）

选择性非催化还原（SNCR）技术是一种不依赖于催化剂的脱硝方法，它通过在燃烧室或烟道内喷射还原剂（如氨或尿素），直接与氮氧化物（NO_x）反应，将其转化为无害的氮气和水。尽管 SNCR 技术的脱硝效率略低于选择性催化还原（SCR）技术，但它具有投资和运行成本较低的优势。

SNCR 技术的优势在于其成本效益，这使得它成为一种具有竞争力的脱硝解决方案，尤其是在那些对投资成本和运行费用有严格限制的情况下^[9]。此外，SNCR 技术通常具有较快的响应速度和易于操作的特点，使其成为火电厂锅炉排放控制中的一个重要选择。

四、燃烧过程优化与排放减少策略的协同效应

在火电厂锅炉燃烧过程中，各种优化措施和减排技术并不是孤立存在的，它们之间存在着相互作用和协同效应。本章将探讨不同优化措施间的相互作用、优化与减排技术的集成应用，以及评估这些策略协同效应的方法，以期为火电厂实现更高效、更环保的燃烧过程提供科学依据和实践指导。

（一）不同优化措施间的相互作用

不同的燃烧优化措施之间可能存在相互作用，有时甚至可能相互影响。例如，改进燃料预处理技术（如粉碎和筛分）可以增加燃料的表面积，提高燃烧效率，但同时可能增加烟尘排放。因此，需要综合考虑各种措施的效果，实现优化策略的整体最

优化。

（二）优化与减排技术的集成应用

优化措施与减排技术的集成应用可以实现更好的效果。例如，低氮燃烧技术可以减少氮氧化物的生成，而 SCR 技术可以进一步降低氮氧化物的排放。将这两种技术集成应用，可以实现更低的氮氧化物排放。同样，优化燃烧过程可以提高燃烧效率，减少烟尘和硫氧化物的排放，而除尘和脱硫技术可以进一步降低这些污染物的排放^[10]。通过集成应用，可以实现更高效的燃烧和更低的污染物排放。

（三）协同效应评估方法

评估协同效应的方法主要包括实验研究、数值模拟和现场测试等。实验研究可以通过实验室规模的燃烧试验，研究不同优化措施和减排技术的效果，以及它们之间的相互作用。数值模拟可以基于计算流体力学（CFD）等模型，模拟燃烧过程和污染物排放，研究不同策略的协同效应。现场测试则可以通过在实际火电厂安装测试设备，收集运行数据，评估不同策略的协同效应。这些方法的综合应用可以全面评估燃烧过程优化与排放减少策略的协同效应，为火电厂提供科学的决策依据。

五、结束语

随着科技进步和环保要求的提高，火电厂锅炉燃烧技术正经历重大变革。先进的燃烧控制系统可以利用实时监测的温度、压力和氧气浓度数据，自动优化燃烧过程，提升效率，减少排放。可再生能源的兴起促使火电厂逐步采用生物质、风能和太阳能等替代燃料，要求燃烧设备适应多种燃料并减少碳排放。而严格的环保法规要求火电厂投资新技术和设备，降低污染物排放，推动其采用更清洁、高效的燃烧技术。因此，火电厂锅炉的燃烧过程将朝着更高效、更环保的方向发展，为可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 蓝录勤. 火力发电厂中热能动力锅炉的燃料分析 [J]. 科技创新与应用, 2020, (12): 115-116.
- [2] 刘涛. 火电厂锅炉燃烧优化技术探讨 [J]. 中国设备工程, 2023, (22): 202-203.
- [3] 蒋荣. 基于改进粒子群的火电厂锅炉主汽温优化控制方法 [J]. 今日制造与升级, 2023, (10): 24-26.
- [4] 朱明皓. 火力发电厂锅炉运行优化策略的相关研究 [J]. 机械管理开发, 2023, 38(10): 107-109. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2023.10.042.
- [5] 张立宗. 电厂锅炉炉内低氮燃烧运行优化研究 [J]. 装备维修技术, 2023, (05): 49-52. DOI: 10.16648/j.cnki.1005-2917.2023.5.011.
- [6] 张强. 火电厂锅炉炉内低氮燃烧运行优化试验研究 [J]. 工业炉, 2023, 45(05): 19-23.
- [7] 朱清智, 屈保中, 董泽. 火电厂燃煤锅炉 NO_x 排放预测模型优化设计 [J]. 计算机仿真, 2023, 40(07): 89-93+104.
- [8] 谭畅. 基于燃烧调控与负荷分配的燃煤电厂源头减污降碳协同优化研究 [D]. 浙江大学, 2023. DOI: 10.27461/d.cnki.gzjdx.2023.000872.
- [9] 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.
- [10] 黄林敏. 基于降低飞灰含碳量的火电厂锅炉燃烧过程运行优化研究 [J]. 装备维修技术, 2023, (04): 31-35. DOI: 10.16648/j.cnki.1005-2917.2023.4.007.