

电厂锅炉效率优化与节能减排策略研究

张鑫

国家能源集团郭家湾电厂, 陕西 榆林 710100

摘 要： 本文先定义并计算了锅炉效率，接着分析了影响锅炉效率的因素和优化原理，然后评估了电厂锅炉的能耗和排放现状，并指出了节能减排的潜力。据此，提出了包括设备、运行参数和管理优化的锅炉效率提升策略，并详细列举了实施措施。最后，讨论了实现锅炉节能减排的具体技术手段。

关 键 词： 电厂锅炉；效率优化；节能减排；设备改造；运行参数

Research On Efficiency Optimization Of Power Plant Boiler And Strategies Of Energy Saving And Emission Reduction

Zhang Xin

Guojiawan Power Plant, National Energy Group, Shaanxi, Yulin 710100

Abstract： This paper first defines and calculates the boiler efficiency, and then analyzes the effect of boiler efficiency. Then the energy consumption and emission status of the power plant boiler are assessed, and the potential of energy saving and emission reduction is pointed out. Based on this, the boiler efficiency improvement strategy including equipment, operation parameters and management optimization is put forward, and the implementation measures are listed in detail. Finally, the specific technical means to realize boiler energy saving and emission reduction are discussed.

Keywords： power plant boiler; efficiency optimization; energy conservation and emission reduction; equipment transformation; running parameter

引言

我国经济快速发展导致能源需求增长，电力行业作为经济支柱，其能源消耗和污染排放问题突出。电厂锅炉效率对能源利用和环保有重要影响，提升其效率对于能源结构优化和环境保护至关重要。尽管政府重视节能减排并出台了政策，但电厂锅炉仍存在效率低和能源浪费问题，因此研究锅炉效率优化和节能减排策略十分必要。

一、电厂锅炉效率优化理论基础

锅炉作为火力发电厂的核心设备，其效率的高低直接关系到能源的利用率和发电成本。以下将从锅炉效率的概念及计算方法、影响锅炉效率的主要因素以及锅炉效率优化原理三个方面进行详细阐述。

（一）锅炉效率概念及计算方法

锅炉效率是反映火电机组锅炉运行状况的重要技术指标。现代大型电站锅炉的效率常采用反平衡法计算，实际操作较复杂，测试计算时间较长，对锅炉燃烧调整滞后性较大^[1]。定义为在特定工况下，锅炉有效利用的热能与燃料完全燃烧释放热能的比率。

热平衡法基于能量守恒定律，通过精确测量锅炉的输入输出热量来确定有效热能利用率。该方法涉及燃料消耗量、热值、排烟温度、成分分析以及给水吸热量的计算，以确保结果的准确性。反平衡法则侧重于分析锅炉运行中的热量损失，如排烟、化

学不完全燃烧、机械不完全燃烧和散热损失等，从而间接计算效率。联合平衡法结合了热平衡法和反平衡法的优点，同时考虑输入输出热量和热量损失，通过双重验证提高计算结果的精确度和可靠性。尽管该方法计算过程更为复杂，对操作人员技能要求较高，但其综合性和精确性使其在要求高精度计算的场景中尤为适用。

（二）影响锅炉效率的主要因素

锅炉效率受燃料质量、燃烧状况、排烟损失、蒸汽参数、给水温度、锅炉负荷、维护状况、操作水平和设备设计等多重因素共同影响。高热值燃料能提供更多能量，但水分和灰分增加会降低燃烧效率；燃烧器的性能和燃烧温度控制对热交换效率至关重要，不完全燃烧和排烟温度升高均会导致能量浪费；蒸汽参数的优化能提高热效率，但也可能增加运行成本；给水温度的提高和适当的锅炉负荷有助于减少燃料消耗，提升效率；锅炉的清洁维护、操作人员的技能和经验，以及受热面布置、材料选择和保温层的有效性，均是确保锅炉高效运行的关键因素。

（三）锅炉效率优化原理

锅炉效率优化的原理在于深入理解锅炉运行中的能量转换机制，并通过精确调控关键参数以最小化能量损失，最大化燃料能量的有效利用。具体而言，优化过程涵盖以下几个方面：为了提升热能释放效率，我们应优先选用那些热值高、水分低、灰分少的优质燃料。同时，为了降低不完全燃烧的损失，我们需要对燃烧过程进行优化，这包括改进燃烧器的设计、确保燃料与氧气的充分混合，以及精确调控燃烧条件。接着，通过控制排烟温度和过剩空气系数，降低排烟损失，优化烟气流道设计。此外，调整蒸汽参数，提高给水温度，均可有效提升热效率。合理分配锅炉负荷，保持在设计最佳范围内，以及定期维护清洁，都是提高效率的关键。操作人员的专业培训和技能提升，以及锅炉设计的优化，包括受热面布置、保温材料和耐腐蚀材料的选择，都对提升锅炉热效率起到决定性作用。

二、电厂锅炉节能减排现状分析

随着我国对环境保护和能源利用效率的日益重视，电厂锅炉的节能减排工作已成为电力行业改革的重要内容。本章节将对电厂锅炉的能耗现状、污染物排放现状以及节能减排潜力进行深入分析，旨在为后续的效率优化和节能减排策略提供现实依据。

（一）电厂锅炉能耗现状

在能源紧张的大环境下，电厂锅炉的能耗问题是一个复杂且多层面的挑战，涉及设计、运行、维护以及燃料质量等多个方面。尽管电厂锅炉采用了高效的燃烧技术以提高热能转换效率，但实际运行中，设备老化、设计缺陷和运行条件变化等因素常导致实际能耗超出设计标准。燃料质量波动、操作技能和运行策略的不当，以及维护状况不佳，如受热面积灰、结渣和腐蚀，均可能导致能耗增加。

（二）电厂锅炉污染物排放现状

在环保意识不断提升的当下，电厂锅炉的污染物排放问题成为公众和政府关注的焦点。发电过程中，锅炉排放的二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、汞及其他重金属对环境与人类健康构成威胁。技术层面上，污染物排放受燃料类型、燃烧技术、控制设备效率及运维状况影响。为降低排放，电厂普遍实施脱硫、脱硝和除尘措施。尽管如此，实际运行中，设备老化、操作不当和维护不足等问题导致控制设备效率降低，实际排放常高于标准。

（三）节能减排潜力分析

节能减排潜力分析是一项综合性的工作，旨在深入评估企业和行业在既定技术和管理条件下，在能源消耗和污染物排放方面的降低潜力和提升空间。这项分析通过细致考察能源利用效率和污染物排放现状，揭示出在能源节约和排放减少方面的可能性和可行性。核心内容包括能源消费结构分析、技术节能潜力评估、管理节能潜力挖掘、污染物排放控制潜力分析以及综合效益分析。这些分析有助于优化能源结构、推广清洁能源使用、提高能源利用效率、探索更高效经济的污染减排技术和管理策略，并为政策制定和投资决策提供科学依据。

三、电厂锅炉效率优化策略

提升电厂锅炉效率是降低能源消耗、减少运营成本和减轻环境负担的关键途径。为了实现锅炉的高效运行，本文提出了设备改造优化、运行参数优化和管理优化三大策略。以下将分别对这三个方面进行详细阐述，旨在为电厂锅炉效率提升提供全面的解决方案。

（一）设备改造优化

电厂锅炉效率优化策略涉及炉膛设计、受热面布置、烟气泄漏控制、燃烧器优化以及辅助设备提升等多方面的技术和管理措施。炉膛设计优化通过改进形状、尺寸和材料，并采用高效燃烧器设计，实现燃料与空气的充分混合，从而减少不完全燃烧损失。受热面布置优化通过合理布局水冷壁、过热器、再热器等，使用高效热交换材料和结构，提高热交换效率。烟气泄漏减少通过改进密封设计，如双层密封或液压密封，减少烟气泄漏，提升运行效率。燃烧器优化通过改进结构、控制系统、适应性等，实现更充分、更均匀的燃料燃烧，提高热效率。辅助设备优化通过提高效率、减少能量损耗、降低维护成本，提升锅炉系统的综合性能。

（二）运行参数优化

通过精确调整燃料供给速度、空气量、燃烧温度等参数，实现燃料的充分燃烧，提升燃烧效率。例如，利用先进的燃烧控制技术，如燃烧器自动调节系统或燃烧过程优化控制系统，可以根据燃料特性和运行条件自动调整燃烧参数，达到最优燃烧状态。同时，通过优化蒸汽压力和温度，以及给水温度和流量，可以增强蒸汽的做功能力，减少热损失，进一步提高热交换效率。负荷调节优化则涉及根据需求调整锅炉负荷，以实现不同负荷下的最优运行效率。此外，运行维护优化通过定期设备检查、清洗、更换等措施，提升锅炉的运行可靠性，减少故障和维护成本。综合运用在线监测和预测性维护技术，可以实时监控锅炉状态，预测潜在故障，提前进行维护，进一步降低维护成本，提高运行效率。

（三）管理优化

电厂锅炉效率优化策略中的管理优化涉及全方位的管理措施，包括人员培训、操作规程、设备维护和性能监控等。通过加强操作人员和管理人员的专业培训，提高他们对锅炉运行原理、操作规程和维护知识的掌握程度，定期举办操作技能培训和安全管理培训，确保操作人员能够熟练掌握锅炉的操作技能，减少操作失误，从而提高锅炉运行的安全性和效率。同时，制定和执行详细的锅炉操作规程，确保操作人员在锅炉运行过程中遵循正确的操作步骤和注意事项，优化操作规程，包括启动、运行、停机和紧急情况处理等环节，以减少操作失误和事故发生。建立完善的设备维护制度，确保锅炉及其辅助设备的正常运行，定期进行设备检查、清洗、更换和润滑等维护工作，及时发现和处理设备故障，提高设备可靠性和运行效率。建立锅炉性能监控系统，实时监测锅炉的运行参数和性能指标，采用先进的监测设备和技术，如在线监测系统或远程监控系统，实时监控锅炉的燃烧参数、热交换效率、污染物排放等指标，及时发现和解决问题，提

高锅炉运行的稳定性和效率。通过优化锅炉运行成本，提高经济效益，例如，优化燃料采购和库存管理，降低燃料成本；优化设备维护和运营成本，提高设备可靠性和运行效率；优化能源消耗和排放控制，降低环保成本。

四、电厂锅炉节能减排措施

在当前全球能源紧张和环境保护要求日益严格的背景下，电厂锅炉的节能减排工作显得尤为重要。本章节将详细介绍电厂锅炉在节能和减排方面的具体措施，旨在为电力行业提供实用的技术指导，推动锅炉运行向更高效、更环保的方向发展。

（一）节能技术措施

电厂锅炉节能减排措施中的节能技术措施包括燃烧优化技术、热交换技术、余热利用技术、污染物控制技术和运行管理优化。燃烧优化技术通过改进燃烧器设计和燃烧过程控制系统，提高燃料与空气的混合程度，减少不完全燃烧损失，实现最优燃烧状态。热交换技术通过改进锅炉的受热面布置和热交换材料，提高热交换效率，减少热损失，同时优化锅炉密封设计，减少烟气泄漏。余热利用技术通过回收锅炉排放的废热，用于发电或供热，实现能量的再利用，并优化余热利用系统的运行参数。污染物控制技术通过安装先进的污染物控制设备，减少二氧化硫、氮氧化物和颗粒物的排放，并优化污染物控制设备的运行参数。运行管理优化包括加强人员培训、优化操作规程、加强设备维护和加强性能监控，以提高锅炉的运行效率和能源利用水平。

（二）减排技术措施

电厂锅炉减排技术措施包括脱硫、脱硝、除尘、汞及其他重金属控制，以及运行优化和环保管理优化。脱硫技术通过石灰石 / 石膏湿法脱硫系统减少二氧化硫排放，降低酸雨影响；脱硝技术通过 SCR 或 SNCR 系统减少氮氧化物排放，改善空气质量；除尘技术通过静电除尘器或布袋除尘器减少颗粒物排放，降低对健康的影响；汞及其他重金属控制技术通过活性炭吸附装置或组合技术减少重金属排放，保护生态健康；运行优化技术通过调整燃烧参数提高污染物控制效率，实现减排效果；环保管理优化通过加强检测和操作规程确保锅炉排放符合环保标准，降低污染风险。

结束语

本文针对电厂锅炉效率优化与节能减排策略进行了系统研究，从理论分析、现状剖析、策略制定、措施探讨等方面进行了全面探讨。通过对电厂锅炉效率低下原因的深入分析，提出了切实可行的优化策略和节能减排措施，旨在为我国电厂锅炉的高效运行和环境保护提供有力支持。

然而，本文研究仍存在一定的局限性，如在策略实施过程中可能遇到的实际情况和问题未能详尽考虑，部分措施的实际效果还需进一步验证。总之，电厂锅炉效率优化与节能减排策略研究是一个长期、复杂且富有挑战性的课题。希望通过本文的研究，能为我国电厂锅炉的高效运行和绿色发展提供有益的参考，为推动我国节能减排事业和环境保护工作作出贡献。

参考文献：

- [1] 吴娜, 孙娜, 张勤, 等. 基于 LSTM-Mod 模型的锅炉效率预测研究 [J]. 节能, 2023, 42(12): 74-76.
- [2] 符岳全. 基于 MPC 技术的电厂锅炉节能减排控制策略研究. 浙江省, 浙江嘉华发电有限责任公司, 2008-12-29.
- [3] 杨志恺, 卢红书, 杨晓明, 等. 燃煤电厂锅炉吹灰系统的优化策略及应用 [J]. 山东电力高等专科学校学报, 2023, 26(05): 40-44.
- [4] 孙悦. 电厂锅炉燃烧系统建模及优化研究 [D]. 吉林化工学院, 2023.DOI: 10.27911/d.cnki.ghjgx.2023.000025.
- [5] 王真. 超低排放火电机组燃煤锅炉运行优化技术研究 [D]. 山东大学, 2021.DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2021.006451.
- [6] 杨彦超. 影响电厂锅炉运行的因素及运行方式的优化研究 [J]. 锅炉制造, 2020, (02): 24-26.
- [7] 郭锐. 燃煤电厂全负荷 NOx 减排模型研究 [D]. 南昌大学, 2019.DOI: 10.27232/d.cnki.gnchu.2019.001929.
- [8] 李俊甫. 基于双种群灰狼算法的电厂锅炉建模与优化 [D]. 上海电机学院, 2019.
- [10] 赵保生. 电厂锅炉节能改造措施研究 [J]. 河南科技. 2021, (4).DOI: 10.3969/j.issn.1003-5168.2021.04.050.