

火电厂自动化控制系统与能源效率提升的关系研究

刘城

福建华电可门发电有限公司，福建 福州 350512

DOI:10.61369/ME.2025060032

摘要：火电厂作为重要的电力生产基地其能源效率直接影响经济效益和环境保护，自动化控制系统通过精确调控燃烧过程与优化运行参数，提升火电厂能源效率，从而以实现智能化管理，自动化控制系统能够实时监测锅炉温度与压力以及流量等关键参数，通过反馈控制机制实现燃料与空气的最佳配比。智能化的控制算法可以根据负荷变化自动调整运行模式，减少能量损失，分布式控制系统整合现场设备与上位机系统形成层次化的控制网络，研究表明，先进的自动化控制技术能够显著降低煤耗率，提高发电效率以及减少污染物排放，通过优化控制策略和完善系统配置，自动化控制系统在火电厂能源效率提升中发挥着不可替代的作用。

关键词：火电厂；自动化控制系统；能源效率；燃烧优化；智能控制

Research on the Relationship between Automation Control System and Energy Efficiency Improvement in Thermal Power Plants

Liu Cheng

Fujian Huadian Kemen Power Generation Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350512

Abstract : As an important power production base, the energy efficiency of thermal power plants directly affects economic benefits and environmental protection. The automation control system becomes a key technical means to improve the energy efficiency of thermal power plants by accurately regulating the combustion process, optimizing operating parameters, and achieving intelligent management. The automation control system can monitor key parameters such as boiler temperature, pressure, and flow rate in real time, and achieve the optimal ratio of fuel and air through feedback control mechanism. Intelligent control algorithms can automatically adjust the operating mode according to load changes to reduce energy loss. Distributed control systems integrate on-site equipment and upper computer systems to form a hierarchical control network. Research has shown that advanced automation control technology can significantly reduce coal consumption rates, improve power generation efficiency, and reduce pollutant emissions. By optimizing control strategies and improving system configuration, automation control systems play an irreplaceable role in improving energy efficiency in thermal power plants.

Keywords : thermal power plant; automated control system; energy efficiency; combustion optimization; intelligent control

引言

能源短缺与环境污染是当前社会面临的重大难题，随着全球能源需求持续增长与生态环境约束日益严格，火电厂作为主要的电力供应来源承担着巨大的节能减排压力，传统的人工操作模式已无法满足现代化生产的精细化管理要求，自动化控制系统的广泛应用为火电厂能源效率的提升提供技术支撑。该系统通过数字化与网络化等智能化的控制手段实现对发电过程的全面监控和精确调节能够实时捕捉设备运行状态变化，及时修正异常参数，自动化控制不仅提高系统运行的稳定性和可靠性，更在能源利用效率方面发挥重要作用，深入研究自动化控制系统与能源效率提升的内在关系，对于推动火电厂技术进步和可持续发展具有重要的理论意义和实践价值。

一、火电厂自动化控制系统与能源效率的基础关联

(一) 控制参数与效率指标的定量影响

火电厂自动化控制系统中的关键，控制参数与能源效率指标之间存在明确的量化映射关系，温度与压力以及流量等基础控制

参数的精确度，直接决定着热效率与煤耗率等核心效率指标的表现水平，控制参数的偏差程度与能源损失呈现出明显的函数关系，微小的参数波动往往引发显著的效率衰减。控制系统的测量精度与调节品质和响应速度共同构成效率指标稳定性的重要基础，自动化控制通过建立参数与指标间的数学模型，这一映射关

系遵循热力学第一定律和传递现象学理论，体现能量守恒与传质传热的基本规律，实现对能源效率的定量预测和精确调控，这种定量化的控制机制突破传统经验操作的局限性，为火电厂能源效率的持续改善提供科学依据，控制参数优化的深度直接影响着效率指标提升的空间，精密的参数控制是实现高效率运行的必要条件。

(二) 控制结构与效率体系的层次对应

火电厂自动化控制系统的分层控制结构与能源效率体系具有天然的层次对应关系，这种层次对应性确保了效率管理能够覆盖从设备到系统再到全厂的各个层面，形成完整的效率管控体系。现场控制层通过直接作用于执行机构，如阀门与风机及泵等设备实时调节设备的运行参数，例如调整引风机转速以控制炉膛负压实现对局部设备运行效率的及时调节构成效率体系的基础层面。过程控制承担着子系统间的协调功能，通过优化各个子系统的配合关系促进整体效率的协同提升，管理控制层从全厂角度统筹各个控制回路管理控制层从全厂角度统筹各个控制回路，结合电网负荷需求与燃料成本及环保标准等多方面因素，制定全厂最优运行方案实现对整体能源效率的综合调节和长期优化，这种层次化的控制架构确保效率管理的全方位覆盖避免局部优化导致的整体效率损失，各控制层级之间的信息传递和指令下达形成完整的效率管理链条，分层控制结构的完善程度，决定着能源效率提升的系统性和持续性，为火电厂实现全面的效率管理提供组织保障^[1]。

(三) 控制模式演进与效率改善阶段

火电厂控制模式的技术演进过程与能源效率的改善历程呈现出明显的阶段性特征，每一次控制模式的革新都伴随着技术理念的升级和效率水平的跨越式提升。在工业发展初期，手动控制模式下工作人员通过肉眼观察仪表数据与手动操作阀门，控制精度完全依赖个人经验，能源浪费严重效率水平较低。手动控制向自动控制的转变标志着效率管理进入规范化阶段，自动化技术的引入大幅提升控制精度和响应速度，例如自动调节系统可将参数波动控制在±2%以内，相比手动控制减少50%以上的参数偏差^[2]，显著降低因参数波动导致的能源损失。随着火电厂设备复杂度增加和运行工况多样化，单回路控制向多变量控制的发展实现系统性的效率优化，多变量协调控制有效解决各个控制回路间的耦合问题，传统控制向智能控制的跃升开启效率管理的智能化时代，先进算法和人工智能技术为深度挖掘效率潜力提供技术手段。每个控制模式的演进都伴随着效率水平的显著提升，技术进步成为推动效率改善的根本动力，控制模式的持续创新为火电厂能源效率的不断突破提供技术路径，体现自动化控制系统在效率提升中的核心作用。

二、自动化控制系统对能源效率的作用机制

(一) 燃烧过程控制的热效率影响

燃烧过程作为火电厂能量转换的核心环节，其本质是化学能向热能的转化过程，遵循化学反应动力学和燃烧理论的基本原理，燃烧反应的完全性与燃烧温度的合理性及燃烧状态的稳定性

共同决定着热效率的高低水平，任何一个环节的失控都可能导致大量能量损失，自动化控制系统通过精确调节空气与燃料的配比关系，根据燃料的热值与水分及灰分等特性实时调整空燃比，通常将空燃比控制在1.1–1.3的最佳范围内确保燃烧反应的完全性最大限度地释放燃料的化学能，燃烧温度的智能控制维持着最佳的传热条件，提高热量传递效率和蒸汽品质，燃烧稳定性控制消除燃烧过程中的波动现象，避免因燃烧不稳定造成的效率损失，如防止火焰脱稳导致的局部高温区和低温区，减少热量分布不均带来的能量浪费。自动化控制系统通过实时监测炉膛温度分布，烟气成分和燃烧状态与动态调整燃烧参数，实现燃烧过程的优化运行，先进的燃烧控制算法能够适应燃料特性的变化，面对煤种更换时自动调整控制策略保持燃烧效率的稳定性，燃烧过程控制的精细化程度直接影响着火电厂的整体热效率水平是提升能源利用效率的关键技术环节。

(二) 系统协调控制的循环效率促进

火电厂热力循环效率的提升有赖于各个子系统间的精密协调配合，自动化控制系统通过汽轮机与锅炉的协调控制，实现蒸汽参数与负荷需求的最佳匹配，提高热力循环的整体效率，给水系统的优化控制通过监测给水温度、流量、水质以及锅炉水位等参数，精确调节给水泵转速和给水阀门开度，确保给水温度和流量的精确调节，改善循环水的热力学性能，减少给水系统的能耗，如将给水温度控制在设计值±3℃范围内可降低给水泵电耗6%–8%。辅助设备的智能控制针对风机与水泵及磨煤机等辅助设备，根据主设备运行状态和负荷需求，采用变频调速与变负荷运行等方式降低厂用电消耗，减少内部能源损失，如低负荷工况下将送风机转速降低20%可减少风机电耗30%以上。系统协调控制通过建立各子系统间的耦合模型实现多变量的同步优化避免单一系统优化导致的整体效率损失。先进的协调控制策略能够根据运行工况的变化，动态调整各子系统的运行参数保持循环效率的最优状态，系统协调控制的完善程度决定着火电厂能源综合利用效率的上限是实现高效发电的技术保障。

(三) 负荷控制与运行效率的平衡机制

火电厂负荷控制与运行效率之间存在着复杂的平衡关系，而负荷变化会改变设备运行工况，影响热效率与煤耗率等关键指标，因此负荷控制与运行效率之间存在着复杂的平衡关系，需要通过精密的控制策略实现二者的协调统一，既要满足电网调峰调频需求，又要避免效率过度下降。自动化控制系统通过优化负荷跟踪算法，提高部分负荷工况下的运行效率^[3]，缓解变负荷运行对效率的不利影响，快速的负荷响应能力与效率稳定性要求之间的矛盾，通过智能控制策略得到有效解决。深度调峰控制技术扩展机组的最低稳燃负荷范围，提高低负荷工况下的运行效率，负荷控制系统通过预测电网需求变化提前调整机组运行状态，减少负荷变化过程中的效率损失，负荷控制系统通过预测电网需求变化提前调整机组运行状态，减少负荷变化过程中的效率损失，先进的负荷分配算法确保多台机组间的效率优化配置实现全厂效率的最大化，负荷控制与效率平衡机制的完善为火电厂在复杂电网环境下的高效运行提供技术支撑。

三、控制系统与效率提升的深化优化

(一) 综合优化控制的整体效率协同

综合优化控制代表着火电厂自动化控制系统的高级发展阶段，通过统筹考虑多个控制目标实现整体效率的协同提升^[4]，多目标优化控制策略该策略基于运筹学理论和最优控制理论，通过帕累托最优解的搜寻实现多维度目标的均衡，同时兼顾效率提升和环保要求，在满足排放标准的前提下最大化能源利用效率，约束优化控制技术突破传统控制方法的局限性，通过合理处理各种运行约束条件，拓展效率优化的边界范围。全局优化控制算法从系统整体角度寻求效率的极值解，避免局部优化导致的整体性能损失，综合优化控制通过建立完整的目标函数和约束条件实现火电厂运行的多维度优化，先进的优化算法能够处理复杂的非线性控制问题为深度挖掘效率潜力提供技术手段，综合优化控制的实施水平直接反映着火电厂自动化技术的先进程度是实现效率持续改善的重要途径。

(二) 预测性控制的效率稳定保障

预测性控制技术通过前瞻性的监测和调节机制为火电厂能源效率的长期稳定提供可靠保障，设备健康监测控制系统通过实时跟踪设备运行状态，及时发现效率衰减的早期征象实现预防性的维护调节，故障预警控制机制能够提前识别可能导致效率突降的异常情况，通过预先调整避免严重的效率损失。维护时机优化控制确定设备检修的最佳时间窗口在保证安全运行的前提下最大化设备的效率贡献期，预测性控制技术通过建立设备劣化模型和效率预测模型，实现对效率变化趋势的准确预判，智能化的预测算法能够综合考虑多种影响因素提供精确的效率预测结果，预测性控制的完善程度决定着火电厂效率管理的前瞻性和主动性，是确保长期高效运行的关键技术，其理论基础源于概率论与统计学和时间序列分析体现随机过程的预测性建模思想。

(三) 先进控制技术的效率潜力挖掘

先进控制技术的不断涌现为火电厂能源效率的深度挖掘开辟新的技术路径，数字化技术通过提高控制系统的精度和响应速度

为效率优化提供更加精密的技术手段，如数字式炉膛压力传感器的测量精度可达 $\pm 0.1\text{kPa}$ ，远高于传统模拟传感器，为精准控制炉膛压力、减少漏风损失提供保障。人工智能技术的应用使控制系统具备学习和自适应能力，如基于深度学习的燃烧优化模型，能够通过分析大量历史运行数据自主学习不同工况下的最优控制策略，并根据燃料特性、负荷需求等变化实时调整，持续优化控制策略以挖掘更深层次的效率潜力，例如自动识别煤种变化并调整空燃比，保持燃烧效率稳定。机器学习算法通过分析大量运行数据发现传统方法难以识别的效率优化规律，云计算和大数据技术为复杂的效率优化计算提供强大的算力支撑^[5]。

实现多机组与多电厂的运行数据汇聚分析通过云端平台构建区域级的效率优化模型，为单厂效率提升提供参考依据。未来控制技术的发展趋势指向更加智能化和自主化的效率管理模式将实现效率优化的自动化和智能化，先进控制技术的持续创新为火电厂效率的突破性提升提供技术驱动力代表着能源效率管理的发展方向，这些技术的深度融合将推动火电厂向着更高效率水平迈进。

四、结语

自动化控制系统与火电厂能源效率提升之间存在着密切的内在联系，通过建立科学的控制理论体系和完善的技术架构，自动化控制系统能够实现对发电过程的精细化管理和优化调节，确保每个环节的能源利用都处于最优状态。燃烧过程的精确控制与热力循环的协调运行以及负荷响应的智能调节，这些控制功能共同构成能源效率提升的技术基础，为火电厂高效运行提供核心支撑。多目标优化控制策略的实施进一步挖掘系统的节能潜力，预测性维护技术的应用保障系统长期稳定高效运行，面向未来数字化技术与人工智能的深度融合将为火电厂自动化控制带来新的发展机遇，构建更加智能化与网络化以及协同化的控制系统将成为实现火电厂能源效率持续提升的重要途径。

参考文献

- [1]渠国防.火电厂热控自动化系统优化与性能提升研究[J].电力设备管理,2025(2):114~116.
- [2]陈井龙.火电厂热控自动化控制设备的调试与安装研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(4):133~136.
- [3]王梦琦.火电厂热工自动化控制技术应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(2):121~124.
- [4]白芮铭.火电厂热控自动化保护装置的检修与维护研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(3):005~008.
- [5]李常彬.基于智能化的火电厂电气工程自动化技术探析[J].电力设备管理,2025(2):93~95.