

火电集控运行效率提升技术研究

李磊

阳城国际发电有限责任公司

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8412

[摘要] 火电集控运行作为火力发电厂的核心管控环节，其效率直接影响机组的发电经济性、能耗水平及环保性能。在“双碳”目标与能源转型的背景下，火电机组面临着更高的节能降耗要求，提升集控运行效率成为行业发展的关键课题。本文结合火电集控运行的实际场景，分析了当前运行中存在的效率瓶颈，从燃烧优化、智能化控制、设备状态监测、负荷调度等方面探讨了效率提升技术的应用，通过实际案例验证了技术效果，并提出了针对性的发展建议，为火电厂提升集控运行水平提供参考。

[关键词] 火电集控；运行效率；燃烧优化；智能化控制；节能降耗

Research on Improving the Efficiency of Thermal Power Centralized Control Operation Technology

Li Lei

Yangcheng International Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] As the core control link of thermal power plants, the efficiency of centralized control operation of thermal power directly affects the power generation economy, energy consumption level, and environmental performance of the units. Against the backdrop of the "dual carbon" goal and energy transformation, thermal power units are facing higher requirements for energy conservation and consumption reduction, and improving centralized control operation efficiency has become a key issue for industry development. This article combines the actual scenario of centralized control operation in thermal power plants to analyze the efficiency bottlenecks that currently exist in operation. It explores the application of efficiency improvement technologies from the aspects of combustion optimization, intelligent control, equipment status monitoring, load scheduling, etc. The technical effects are verified through practical cases, and targeted development suggestions are proposed to provide reference for improving the centralized control operation level of thermal power plants.

[Key words] centralized control of thermal power; Operational efficiency; Combustion optimization; Intelligent control; energy conservation and consumption reduction

一、引言

火力发电作为我国电力系统的重要组成部分，承担着保障电力稳定供应的核心任务。火电集控运行通过集中监控系统对锅炉、汽轮机、发电机等主要设备及辅助系统进行统一调控，实现机组的启停、负荷调整、参数优化等操作，是确保机组安全、经济运行的关键。随着电力市场改革的深入及环保政策的收紧，火电机组不仅需要满足日益严格的排放标准，还需在激烈的市场竞争中降低发电成本，这对集控运行效率提出了更高要求。

当前，部分火电厂的集控运行仍存在参数调节滞后、设备协同性不足、能耗偏高等问题，制约了机组效率的充分发挥。因此，研究火电集控运行效率提升技术，通过技术创新与管理

优化突破传统运行模式的局限，对于火电厂实现节能降耗、提升市场竞争力具有重要的现实意义。

二、火电集控运行效率瓶颈分析

2.1 燃烧过程调控精度不足

锅炉燃烧效率是影响机组整体效率的核心因素。传统集控运行中，燃烧参数（如过量空气系数、煤粉细度、配风方式等）的调节多依赖运行人员的经验判断，存在滞后性和主观性。当煤种变化、负荷波动时，易出现燃烧不充分或过量空气系数过大的情况，导致排烟热损失增加、锅炉效率下降。某 300MW 火电机组因燃烧调节不及时，排烟温度长期偏高 10-15℃，年额外煤耗增加约 2000 吨。

2.2 设备协同运行协调性差

火电机组的锅炉、汽轮机、发电机及辅助系统（如风机、水泵）需协同运行，任何环节的效率损失都会影响整体性能。传统集控模式下，各系统的调控相对独立，缺乏全局优化机制。例如，锅炉负荷变化时，汽轮机调速系统与锅炉给水、送风系统的响应不同步，易导致主蒸汽参数波动，增加机组能耗；循环水泵、引风机等辅机设备常处于额定负荷运行状态，与主机负荷不匹配，造成“大马拉小车”现象。

2.3 状态监测与故障预警能力薄弱

设备状态的稳定性直接影响运行效率，而传统集控系统的状态监测多依赖人工巡检和定期检修，难以实时捕捉设备的细微异常。例如，锅炉受热面结渣、汽轮机通流部分积垢等问题早期难以发现，随着时间推移会导致热效率下降；辅机设备的轻微振动、轴承温度升高若未及时处理，可能引发故障停机，造成非计划停运损失。某火电厂因未及时发现引风机叶轮磨损，导致风机效率下降 8%，持续运行 3 个月后被停机检修，直接经济损失超 50 万元。

2.4 负荷调度与市场响应滞后

在电力市场“竞价上网”机制下，火电机组需要根据市场需求快速调整负荷，实现“调峰填谷”。传统集控运行的负荷调节依赖人工操作，响应速度慢，且难以精准预测负荷变化趋势。当电网负荷需求骤升或骤降时，机组易出现参数超调、稳定性下降等问题，不仅影响上网电量，还可能因调节不当增加能耗。

三、火电集控运行效率提升关键技术

3.1 锅炉燃烧智能优化技术

燃烧参数自适应调控技术：基于机器学习算法构建燃烧模型，通过布置在炉膛内的温度传感器、烟气分析仪实时采集炉膛温度场、烟气成分（如 O_2 、 CO 、 NO_x ）等数据，动态优化过量空气系数、煤粉分配比例、二次风配风方式。例如，当煤种热值降低时，系统自动增加煤粉供应量并调整配风，确保燃烧充分；当负荷下降时，减少一次风量并优化燃烧器投运方式，避免局部高温和结渣。

煤粉制备系统优化技术：通过在线监测煤粉细度、水分含量，实时调整磨煤机的加载力、通风量，确保煤粉细度符合燃烧要求。同时，采用双进双出磨煤机与直吹式制粉系统相结合的方式，减少煤粉在管道内的沉积，提高燃烧稳定性。

低氮燃烧与效率协同控制技术：在保证 NO_x 排放达标的前提下，通过分级燃烧、烟气再循环等技术优化燃烧区域温度分布，避免为控制氮氧化物而过度增加过量空气系数，实现环保与效率的双赢。

3.2 机组协同优化控制技术

机炉协调控制系统（CCS）升级：采用模型预测控制（MPC）算法改进传统 CCS 系统，建立锅炉与汽轮机的动态响应模型，实现负荷指令与主蒸汽压力、温度的精准匹配。当负荷变化时，

系统提前预判锅炉蓄热能力，协调调整汽轮机调门开度与锅炉燃料量、给水量，减少参数波动。

辅机变频调速与负荷联动技术：对引风机、送风机、循环水泵等辅机设备加装变频调速装置，根据主机负荷、烟气流、水量等参数动态调节转速。例如，当机组负荷降至 50% 时，循环水泵转速自动降至 60%，辅机电耗降低约 40%。

热力系统能效在线分析技术：通过搭建热力系统能效监测平台，实时计算锅炉效率、汽轮机相对内效率、管道散热损失等关键指标，识别能效偏低的环节并给出优化建议。例如，当监测到汽轮机真空度下降时，系统自动提示检查凝汽器清洁度，及时进行胶球清洗，恢复真空度至设计值。

3.3 设备状态智能监测与预警技术

振动、温度在线监测系统：在汽轮机轴承、风机转子等关键部位安装振动传感器、红外温度传感器，实时采集数据并传输至集控系统。通过振动频谱分析、温度趋势预测，早期识别设备不平衡、不对中、轴承磨损等故障。

锅炉受热面结渣、积灰监测技术：采用红外成像仪监测炉膛水冷壁、过热器表面温度分布，结合烟气成分分析判断结渣、积灰程度，及时启动吹灰系统。通过优化吹灰频次与时长，避免过度吹灰导致的热量损失。

润滑油系统在线监测技术：通过油液颗粒计数器、水分传感器实时监测润滑油的污染度、水分含量及黏度变化，评估设备磨损状态。当检测到油液中金属颗粒超标时，及时预警并定位磨损部位，避免故障扩大。

3.4 负荷智能调度与经济运行技术

电力市场负荷预测与优化调度技术：结合天气预报、历史负荷数据、电网调度指令，采用 LSTM（长短期记忆网络）算法预测未来 24-48 小时的负荷需求，制定最优负荷曲线。在电价高峰时段提高机组负荷，低谷时段降低负荷，实现发电收益最大化。

变负荷运行优化技术：针对调峰机组频繁变负荷的特点，优化启停曲线与负荷升降速率。例如，采用“滑压运行”模式，在部分负荷下降低主蒸汽压力，减少汽轮机节流损失；启动过程中合理控制升温升压速率，缩短并网时间，降低启动油耗。

多机组协同经济运行技术：对于多机组电厂，通过建立机组煤耗特性曲线模型，根据负荷需求分配各机组负荷，使总煤耗最低。例如，在总负荷 1000MW 时，优先让煤耗较低的 600MW 机组带满负荷，其余负荷由 300MW 机组承担，相比平均分配负荷可降低煤耗约 3g/kWh。

四、应用案例

某火力发电厂拥有 2 台 600MW 超临界机组，集控运行中存在燃烧效率低、辅机电耗高、负荷响应慢等问题。为提升运行效率，该厂实施了多项技术改造：

1. 燃烧系统优化：引入燃烧智能调控系统，实时调整配风

与煤粉细度，锅炉效率从 92.5% 提升至 93.3%，排烟温度降低 12℃。

2. 机炉协调与辅机变频：升级 CCS 系统为 MPC 控制，同时对引风机、循环水泵加装变频装置，机组负荷响应速率提升 40%，辅机电耗降低 25%。

3. 状态监测与预警：部署设备振动、温度在线监测系统，结合油液分析技术，故障预警准确率达 95%，非计划停运次数从年均 3 次降至 0 次。

4. 负荷调度优化：采用 LSTM 算法预测负荷，制定经济运行曲线，在电力市场中优先承担高电价时段负荷，年增收益约 800 万元。

改造后，机组年均供电煤耗从 310g/kWh 降至 302g/kWh，年节约标准煤约 1.6 万吨，厂用电率从 6.2% 降至 5.5%，综合效益显著。

五、发展建议

5.1 推动智能化技术深度融合

鼓励火电厂引入数字孪生、人工智能等技术，构建集控运行数字孪生系统，实现机组全生命周期的虚拟仿真与优化。通过数字模型模拟不同运行工况，提前预判参数变化趋势，指导实际操作，减少试错成本。

5.2 加强专业人才培养

建立集控运行智能化人才培养体系，培养既掌握火电工艺又熟悉算法编程、数据分析的复合型人才。通过校企合作、在职培训等方式，提升运行人员对智能系统的操作与维护能力，确保技术落地效果。

5.3 完善标准与管理体系

制定火电集控智能化运行的技术标准，规范数据采集、模型构建、系统运维等环节。首先在数据采集层面，明确传感器选型标准、数据采集频率及传输协议，确保生产数据采集的完整性、准确性和实时性；建立数据校验机制，对异常数据进行自动识别与修正。在模型构建方面，制定通用建模规范，统一模型架构、算法选择及参数优化方法，保障模型的可靠性和泛化能力；定期对模型进行验证与更新，使其适应不同工况需求。系统运维环节则需建立全生命周期管理标准，涵盖设备巡检、故障诊断、软件升级等流程，通过制定标准化操作手册，提升运维的规范化和专业化水平。

同时，建立以效率为核心的绩效考核机制，将节能降耗指标与运行人员薪酬挂钩，激发优化积极性。细化考核指标体系，将供电煤耗、厂用电率、机组负荷响应速度等关键指标进行量化分解，制定不同工况下的考核基准值；引入动态调整机制，根据机组运行年限、设备健康状况等因素，科学调整考核标准。设立专项奖励基金，对节能降耗成效显著的个人和团队给予物质奖励与荣誉表彰；对于未达标的人员进行针对性培训，并将

考核结果与岗位晋升、职业发展通道相衔接，形成正向激励闭环，充分调动运行人员主动优化运行参数、探索节能潜力的积极性。

5.4 探索多能互补协同运行

结合新能源发展趋势，推动火电机组与风电、光伏、储能系统协同运行。具体而言，在风光资源富集地区，通过火电机组深度调峰、快速爬坡等能力，平抑风电、光伏的间歇性与波动性；在储能系统辅助下，构建“火电 + 新能源 + 储能”联合运行模式，实现能源互补与削峰填谷。通过集控系统整合多能源数据，利用大数据分析 with 人工智能算法，建立动态负荷预测模型，实时监测新能源出力与电网负荷变化，优化负荷分配与调度策略。

六、结论

火电集控运行效率提升是火电厂实现节能降耗、应对市场竞争的核心路径。在传统火电集控运行模式下，机组负荷响应迟缓、燃烧调整依赖人工经验、设备故障预警滞后等问题普遍存在，导致能源浪费严重、运行成本居高不下。而通过燃烧智能优化、机组协同控制、设备状态监测、负荷调度优化等技术的应用，可有效突破这些瓶颈，显著提升机组效率与经济性。

在燃烧智能优化方面，基于大数据与人工智能算法构建的燃烧模型，能够实时分析煤质特性、炉内温度场分布、烟气成分等参数，动态调整配风、给煤量，使燃料充分燃烧，降低不完全燃烧损失。机组协同控制技术打破了锅炉、汽轮机、发电机等核心设备间的信息壁垒，通过多变量协调控制策略，实现机组在变负荷工况下的快速响应与高效运行。设备状态监测系统借助传感器网络与振动分析、红外热成像等技术，对关键设备进行全生命周期健康管理，提前预判故障风险，减少非计划停机时间。负荷调度优化则依托电力市场预测模型与智能决策算法，结合机组能耗特性，合理安排发电计划，最大化利用峰谷电价差提升收益。

未来，随着 5G、物联网、数字孪生等智能化技术的不断发展，火电集控运行将向更精准、更高效、更灵活的方向演进。

[参考文献]

- [1]岑可法，周昊。锅炉原理 [M]。北京：中国电力出版社，2020。
- [2]沈士一，康松，庄贺庆。汽轮机原理 [M]。北京：中国电力出版社，2019。
- [3]李青，张磊。火电厂集控运行与优化 [M]。北京：机械工业出版社，2018。
- [4]刘吉臻，牛玉广。火电机组智能化技术与应用 [J]。中国电机工程学报，2021，41（10）：3367-3378。
- [5]周建新，王宁。超临界火电机组燃烧优化与节能技术 [J]。热力发电，2020，49（5）：89-94。