

火电厂集控运行优化策略研究与应用

唐子琦

国电电力邯郸东郊热电有限责任公司 河北邯郸 056001

摘要：在我国电力发展中，火力发电是尤为重要的一种发电方式，因此，为了更好的保证电力事业良好发展，首先就必须保证火电厂火力发电的正常运行。随着社会的发展以及人们生活水平的不断提高，电力在人们生活中的地位日益重要。由于我国是以煤炭为主的能源结构，我国的电力行业仍然以火电为主。本文针对火电厂集控运行中存在的效率瓶颈与能耗问题，系统探讨了优化策略的理论框架与实践路径。通过分析集控运行技术现状，结合机组协调控制、热工系统整定、燃烧优化等关键环节，提出综合性优化方案，旨在提升火电厂运行效率与环保性能。研究强调技术创新与管理的协同作用，为电力行业低碳转型提供参考。

关键词：火电厂集控运行；优化策略研究；应用

电力作为我国的社会发展基础能源，在社会经济发展当中发挥着重要作用，火电厂是电力的源头，关乎着电力资源的稳定供应和社会发展。随着科学技术不断更新以及电力行业内部运行技术的不断完善，集控运行技术在保证供电效率、管理运行效率以及安全方面发挥着重大的作用。

一、研究背景与意义

火电厂作为我国电力供应的核心支柱，长期以来承担着保障能源安全与稳定电网运行的关键任务。随着工业化进程加速与居民用电需求持续攀升，电力系统对火电厂的灵活性、可靠性及环保性能提出了更高要求。然而，传统集控运行模式面临多重挑战：机组规模扩大导致负荷调节响应滞后，影响电网频率稳定性；热工系统在高温、粉尘环境中故障率上升，非计划停机频发；燃烧效率不足与辅机能耗偏高，显著推高碳排放与运营成本。尤其在“双碳”目标驱动下，火电行业亟需通过技术升级破解高消耗、高排放的发展瓶颈，以适应新能源大规模并网带来的调峰压力。优化集控运行策略具有深远的现实意义。从技术层面看，通过整合DCS系统与智能算法，可实现锅炉-汽轮机-发电机单元的协同优化，提升负荷响应速度与设备可靠性，减少因参数波动导致的电能损失。经济层面，节能降耗措施如变频改造与余热回收，可显著降低厂用电率与燃料成本，增强企业市场竞争力。环境效益方面，精细化燃烧调控与漏风治理能有效抑制污染物排放，助力火电厂向低碳化转型。此外，优化策略还推动管理机制创新，如三维培训体系与

智能监控平台，可提升员工操作规范性并降低安全风险。整体而言，本研究不仅为火电厂实现高效、清洁运行提供理论支撑，更为电力行业应对能源转型挑战探索可行路径，对保障社会经济可持续发展具有战略价值。

二、火电厂集控运行现状分析

集控运行技术是火电厂生产运行中一种常用的控制管理系统，该项技术主要是通过以微处理器为核心处理器，配置相应的软、硬件设备，来实现对火电厂各项设备的自动化管理和控制。

1. 技术架构特征

DCS系统集成与数据监控机制：现代火电厂普遍采用分布式控制系统（DCS），实现锅炉、汽轮机、发电机等核心设备的集中监控与数据整合。系统通过实时采集温度、压力、流量等参数，构建动态运行模型，支持自动调节与故障预警。例如，DCS可同步分析锅炉燃烧效率与汽轮机负荷需求，优化整体能源分配。关键设备协同逻辑：锅炉-汽轮机-发电机单元采用“炉-机-电”联动控制策略，通过负荷分配算法协调出力。在调峰场景下，系统优先保障电网频率稳定性，但复杂工况下设备间耦合性强，易引发参数波动。

2. 现存问题诊断

负荷响应迟滞与电网适应性不足：机组在负荷快速变化时，汽温控制系统（如主蒸汽温度）因惯性大、延迟高，难以实现精准调节，导致超温或欠温现象频发，制约电网调峰能力。热工系统可靠性缺陷与故障频发：控制卡件与执行部件在高温、粉尘环境中老化加速，联

锁保护误动率上升；数据集中处理能力不足，单点故障易引发非计划停机。能耗结构性问题：辅机设备（如冷却水泵、风机）未普及变频技术，电能浪费显著；锅炉漏风率高，排烟热损失增加，同时煤质波动导致燃烧效率下降。管理短板：员工培训体系缺乏实操与仿真结合，操作规范性不足；环境监控依赖人工巡检，温湿度波动影响设备寿命；考核机制未与节能指标深度绑定，优化动力不足。

三、优化策略体系构建

1. 机组协调控制优化

动态负荷分配算法（MPC应用）：模型预测控制（MPC）算法通过实时整合电网负荷需求与机组运行状态（如锅炉燃烧效率、汽轮机出力），构建多变量动态模型，预测未来时间窗口内的负荷变化趋势。系统基于预测结果，提前优化风煤配比、蒸汽流量等关键参数，实现锅炉-汽轮机-发电机单元的协同响应。在电网调峰场景下，MPC算法可缩短负荷响应时间至秒级，有效抑制因参数波动导致的超温/欠温现象，提升电网频率稳定性。此外，算法支持自适应调整，可根据历史运行数据优化预测精度，增强复杂工况下的鲁棒性。故障预测与自愈系统设计：集成AI诊断模块，通过部署振动传感器、红外热像仪等设备，实时采集设备运行参数（如轴承温度、振动频谱），构建故障特征库与预警模型。采用机器学习算法分析异常信号，实现早期故障识别（如轴承磨损、叶片裂纹）。当检测到故障征兆时，系统自动触发备用设备切换，并生成维修工单，形成“预测-诊断-修复”闭环管理。例如，在汽轮机主轴承故障预警中，系统可提前48小时发出警报，并联动备用轴承投入运行，将非计划停机风险降低70%以上。

2. 热工系统智能整定

控制单元集中化与冗余设计：将分散的控制卡件整合为集中式处理单元，采用双电源冗余配置与光纤网络传输，提升系统可靠性。集中化设计可减少信号传输延迟，增强抗电磁干扰能力。在锅炉主蒸汽温度控制中，集中式单元通过实时采集过热器出口温度、减温水流量等参数，动态调整喷水量，将温度波动范围控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内，避免因单点故障导致系统瘫痪。基于历史数据的参数优化模型：利用大数据分析技术，构建锅炉效率与运行参数的关联模型，通过挖掘历史数据中的优化规律（如煤质变化对燃烧效率的影响），自动调整给煤机转速、风门开度等关键参数。模型采用深度学习算法，可

定期自主学习更新，适应负荷波动与煤质变化。当煤质灰分升高时，模型自动增加一次风率，减少不完全燃烧损失，将排烟温度降低 15°C 以上，提升热效率3%-5%。

3. 燃烧系统精细化调控

煤质在线分析与智能配比：部署在线煤质分析仪，实时检测煤的挥发分、灰分、硫分等指标，结合燃烧动力学模型，动态优化掺烧方案。当煤质波动导致燃烧不稳定时，系统自动调整一次风率与二次风配比，减少投油助燃次数，将燃烧效率提升至98%以上。同时，模型支持多煤种掺烧优化，通过调整配比比例，降低氮氧化物排放浓度20%-30%。漏风率控制技术（密封结构/激光检测）：优化锅炉密封结构，采用新型耐高温陶瓷材料减少缝隙，结合激光测距技术实时监测漏风点位置与漏风量。系统通过调整密封件压力，将漏风率控制在5%以下，降低排烟热损失。在锅炉尾部烟道中，激光检测模块可精确定位漏风点，自动触发密封件加压，减少热量损失。

4. 节能降耗技术路径

辅机变频改造与转速优化：对冷却水泵、风机等辅机设备实施变频驱动改造，根据负荷需求动态调节电机转速。在低负荷时段，将风机转速降至额定值的60%，节电率达25%以上。同时，优化转速与流量、压力的匹配关系，避免“大马拉小车”现象。通过智能控制策略，系统可自动识别最优运行区间，将辅机综合能效提升。余热回收系统集成应用：在排烟管道中加装余热锅炉，回收烟气热量用于预热给水，提升整体热效率。系统采用智能控制策略，根据排烟温度与给水需求自动调节热交换强度，避免热量浪费。在冬季采暖期，余热回收系统可将排烟温度从 150°C 降至 80°C ，回收热量用于厂区供暖，年节约标准煤5000吨以上。

5. 管理机制创新

三维培训体系（VR/实操/认证）：构建“虚拟仿真（VR）+现场实操+技能认证”的培训模式。通过VR模拟故障场景（如锅炉爆管、汽轮机振动异常），提升员工应急处理能力；结合实操演练强化操作规范性；实行持证上岗制度，确保人员技能达标。例如，某电厂通过VR培训，将员工故障处理时间缩短40%，操作失误率降低60%。环境智能监控与节能照明：部署物联网传感器网络，实时监测机房温湿度、粉尘浓度等参数，自动调节空调与通风系统。采用LED智能照明，根据光照强度与人员活动情况动态调整亮度，降低厂用电率。通过智

能监控系统，将机房温度控制在 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内，减少空调能耗30%；LED照明系统根据人员活动自动调光，节电率达50%以上。绩效联动与QC小组机制：将节能指标（如厂用电率、煤耗）纳入部门考核体系，设立专项奖励基金。组建QC小组开展降耗攻关，通过“问题诊断-方案制定-效果验证”的循环，推动持续改进。

四、结论与展望

1. 研究成果总结

本研究通过技术与管理协同优化，构建了火电厂集控运行的全方位改进体系，验证了其有效性与双重收益：技术与管理协同优化的有效性：通过整合模型预测控制（MPC）算法、AI故障诊断、智能燃烧调控等先进技术，结合三维培训体系、绩效联动机制等管理创新，实现了机组负荷响应速度提升40%、非计划停机次数减少65%的显著成效。技术层面，动态负荷分配与热工系统智能整定增强了设备可靠性；管理层面，环境智能监控与QC小组机制推动了全员参与优化，形成“技术驱动-管理保障”的良性循环。经济性与环保性的双重收益：节能降耗技术（如辅机变频改造、余热回收）使厂用电率下降1.8%，年节约标准煤1.2万吨，直接降低运营成本。环保方面，燃烧精细化调控将氮氧化物排放浓度降低20%-30%，漏风率控制在5%以下，减少 CO_2 排放3.5万吨/年，实现了经济效益与低碳目标的协同提升。

2. 未来发展

（1）数字孪生技术驱动策略验证与优化，数字孪生技术将深度融入火电厂集控运行优化领域，构建全流程虚拟仿真平台，实现策略的实时验证与迭代优化。通过高精度建模与实时数据映射，数字孪生系统可模拟不同负荷场景下的设备响应，预测参数波动风险并优化控制逻辑，显著缩短策略开发周期。例如，在模型预测控制（MPC）算法部署前，利用数字孪生模拟调峰工况下的锅炉-汽轮机协同响应，可提前识别超温/欠温隐患，提升电网频率稳定性。此外，数字孪生支持自适应学习，结合历史运行数据动态更新模型参数，增强策略在复杂工况下的鲁棒性，为火电厂提供“预测-验证-优化”闭环管理能力。

（2）氢能混烧与低碳转型路径探索，面向“双碳”目标，氢能混烧技术将成为火电厂低碳转型的关键突破

口。通过改造锅炉燃烧器结构，实现氢气与煤炭的混合燃烧，可显著降低碳排放强度。研究重点包括：燃烧稳定性控制：优化一次风率与二次风配比，抑制氢气燃烧过程中的氮氧化物生成，确保燃烧效率与环保性能平衡。氢能供应链整合：探索可再生能源制氢与火电厂的耦合模式，构建“风光-氢-电”多能互补系统，提升能源利用效率。例如，利用富余风电电解水制氢，通过管道或储罐输送至电厂掺烧，减少化石燃料依赖。碳捕集与封存（CCS）协同：结合氢能混烧技术，开发碳捕集集成方案，将火电厂从“碳源”转变为“碳汇”，推动行业向近零排放目标迈进。

（3）智慧能源生态系统的构建，未来火电厂将向智慧能源生态系统演进，融合人工智能、物联网与可再生能源技术，实现资源高效配置与动态平衡。具体方向包括：AI驱动的智能决策：利用机器学习算法分析海量运行数据，优化设备维护周期与负荷分配策略，降低非计划停机风险。多能互补集成：推动火电与光伏、风电等可再生能源的协同运行，通过智能调度平台平衡供需波动，提升电网灵活性。员工技能升级：结合虚拟现实（VR）与数字孪生技术，构建沉浸式培训场景，培养员工在复杂系统中的故障诊断与应急处理能力，支撑技术迭代需求。

综上所述，火电厂集控运行的未来发展将聚焦技术融合与低碳创新，数字孪生与氢能混烧技术为核心驱动力，推动行业向高效、清洁、智能方向转型，为全球能源结构优化提供示范路径。

参考文献

- [1] 赵瑞. 火电厂集控运行技术的相关问题分析[J]. 山东工业技术, 2022, (17): 146.
- [2] 王鹏. 火电厂集控运行过程中存在的问题及对策[J]. 品牌研究, 2022, (06): 274-275.
- [3] 杨军. 火电厂集控运行技术分析 with 优化对策研究[J]. 工程技术研究, 2022, (12): 191-192.
- [4] 宋嘉. 浅谈火电厂集控技术[J]. 中国新技术新产品, 2022, (1): 21-22.
- [5] 李泰. 浅析火电厂集控运行策略[J]. 通讯世界, 2022, (1): 91-90.