

# 火电厂集控运行效率提升策略研究

谢宜时

中铝集团宁夏能源有限公司六盘山热电厂

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6632

**[摘要]** 本文聚焦火电厂集控运行效率提升问题,系统分析集控系统架构及效率影响因素,从数据驱动优化、控制策略协同、管理机制保障三方面提出策略。通过大数据与人工智能、数字孪生、边缘计算等技术提升数据处理能力,结合先进控制算法与多系统协同框架优化控制逻辑,同时构建全生命周期管理、人员能力提升及标准化评价体系,为火电厂集控运行效率提升提供理论支撑与实践路径。

**[关键词]** 火电厂; 集控运行; 效率提升; 数据驱动; 控制策略

**中图分类号:** TM62 **文献标识码:** A

## Research on strategies for improving the efficiency of centralized control operation in thermal power plants

Yishi Xie

Ningxia Generate Electricity Group Liupanshan Thermoelectricity Factory

**[Abstract]** This paper focuses on the issue of improving the efficiency of centralized control operations in thermal power plants. It systematically analyzes the architecture of centralized control systems and the factors affecting efficiency, and proposes strategies from three aspects: data-driven optimization, control strategy coordination, and management mechanism guarantee. By leveraging technologies such as big data, artificial intelligence, digital twins, and edge computing to enhance data processing capabilities, combining advanced control algorithms with multi-system coordination frameworks to optimize control logic, and simultaneously establishing a full lifecycle management, personnel capability improvement, and standardized evaluation system, this paper provides theoretical support and practical pathways for improving the efficiency of centralized control operations in thermal power plants.

**[Key words]** thermal power plant; centralized control operation; efficiency improvement; data-driven; control strategy

### 引言

火电厂作为我国电力供应的核心主体,其运行效率直接影响能源利用效率、碳排放控制水平及企业经济效益。据统计,我国火电行业平均供电煤耗较国际先进水平高约10-15g/kWh,集控系统运行效率的优化空间较大。集控运行模式通过集中监控与自动化控制实现机组协同运行,但当前系统普遍存在设备老化、控制策略滞后、管理协同不足等问题,导致运行效率受限。本文从技术架构、数据驱动、控制策略及管理机制四方面系统研究效率提升策略,旨在为火电厂智能化转型提供理论参考。

### 1 火电厂集控运行效率提升的重要意义

火电厂集控运行效率提升对能源利用、碳排放控制及经济效益具有显著直接影响。效率提高意味着单位发电量所需燃料

消耗降低,能源转化过程中的损失减少,可直接提升能源利用效率,降低供电煤耗。同时,燃料消耗减少直接带来二氧化碳等温室气体排放量的下降,助力碳排放总量控制目标实现。从经济效益看,效率提升减少燃料采购成本,延长设备使用寿命,降低非计划停机损失,结合电力市场收益,可显著提升火电厂整体盈利水平,形成能源节约、环境友好与经济优化的良性循环。

### 2 火电厂集控运行系统架构与效率影响因素分析

#### 2.1 集控系统技术架构解析

(1) 硬件层。硬件层是集控系统稳定运行的基石。DCS系统凭借分布式架构,将控制功能分散到各现场控制站,实现危险分散与管理集中,极大提升系统可靠性与安全性。传感器网络中,温度、压力等传感器如同敏锐的“触角”,精准采集设备运行参数。执行机构里的阀门、电机等,依据控制指令迅速调整设备

状态,三者紧密协作、相辅相成,为集控系统稳定运行筑牢坚实基础。

(2) 软件层。软件层为集控系统注入智能决策的活力。数据采集模块如同高效的“数据捕手”,快速且准确地收集硬件层数据。监控界面以直观的图形、数据展示运行状态,让操作人员一目了然。优化算法库则是系统的“智慧核心”,基于采集的数据进行分析与决策,像模型预测控制算法能够实现多变量协同优化,精准调整设备运行参数,有效提升系统运行效率与经济性。

(3) 通信层。通信层是集控系统数据流通与协同控制的“桥梁”。采用工业以太网或5G技术,具备高速率、低延迟的优势,确保硬件层与软件层间数据实时、准确传输。协同控制机制让锅炉、汽轮机等各子系统依据实时数据动态调整,如根据负荷需求同步调节,实现整体高效协同运行,提升能源转换效率,保障发电系统稳定、经济运行。

### 2.2 效率影响因素的多维度分析

(1) 设备层面。设备状态对集控效率有着直接且关键的影响。设备老化会使部件磨损、密封性能下降,增加能量转换损失,例如管道腐蚀导致蒸汽流动阻力增大,热效率降低。传感器精度不足会造成采集数据与实际值偏差,影响控制系统准确判断。执行机构响应延迟会使设备调节滞后,如阀门开闭不及时引发参数波动,这些因素都会降低集控系统的运行效率。

(2) 控制层面。控制策略是提升集控效率的核心要素。传统控制策略多采用固定参数,适应性差,面对燃料质量波动、负荷快速变化等复杂工况时,难以实现精确控制。在多变量耦合情况下,若控制算法不能有效处理变量间相互影响,单一参数调整易引发连锁反应,如调整主蒸汽压力影响汽轮机功率,导致系统不稳定,因此需要优化控制算法以增强系统适应性。

(3) 管理层面。管理水平在很大程度上决定着集控系统的运行效能。人员操作水平参差不齐,部分人员对系统原理和操作规程不熟悉,易引发误操作,增加设备故障风险。应急预案不完善或执行效率低,在突发情况时不能及时有效处理,会扩大事故损失。维护周期不合理,过度维护增加成本和停机时间,维护不足则加速设备老化,均会对集控效率产生不利影响。

(4) 环境层面。环境因素对集控效率的影响不容小觑。燃料质量波动,如煤的热值、灰分等指标变化,会改变燃烧特性,需要调整风煤配比等控制参数。电网调度需求变化要求机组快速跟踪负荷,增加了调节难度和频率。环境温度变化会影响空冷机组背压,夏季高温时背压升高,导致汽轮机排汽阻力增大,发电效率下降,需要针对性优化控制策略以适应环境变化。

## 3 基于数据驱动的集控运行优化策略

### 3.1 大数据与人工智能技术应用

(1) 实时数据挖掘与异常检测。借助大数据技术对集控系统海量实时数据进行深度挖掘,运用机器学习算法构建异常检测

模型。可精准识别设备运行参数的细微异常,如振动频率异常预示设备故障风险,参数漂移及时捕捉能提前预警潜在问题,为设备维护与运行调整提供可靠依据,保障系统稳定高效运行。

(2) 基于机器学习的负荷预测与动态调整模型。利用机器学习算法对历史负荷数据、气象信息等多源数据进行学习分析,构建高精度的负荷预测模型。依据预测结果,结合实时运行数据,动态调整机组出力、燃料供应等参数,实现负荷与发电能力的精准匹配,有效提升能源利用效率,降低运行成本。

### 3.2 数字孪生技术赋能集控系统

(1) 构建虚拟电厂模型实现运行状态仿真与策略预验证。数字孪生技术构建虚拟电厂模型,精确映射实际电厂物理特性与运行逻辑。在虚拟环境中模拟不同工况下电厂运行状态,如负荷突变、燃料切换等场景,提前验证控制策略的可行性与有效性,为实际运行提供科学指导,降低决策风险。

(2) 通过数字孪生优化控制参数以减少实际系统试错成本。基于数字孪生模型,对控制参数进行多维度模拟优化。通过分析不同参数组合下系统性能表现,快速筛选出最优参数,避免在实际系统中反复试错,减少设备磨损与能源浪费,显著降低试错成本,提升集控系统整体运行效率。

### 3.3 边缘计算与云边协同架构

(1) 边缘节点实时处理降低通信延迟。在集控系统部署边缘计算节点,对现场设备产生的数据进行实时处理与分析。边缘节点可快速响应本地控制需求,如实时调整执行机构动作,无需将数据全部传输至云端,有效降低通信延迟,提升系统实时性与可靠性,保障关键控制指令及时执行。

(2) 云端集中优化与边缘自主控制的协同机制。云端凭借强大计算能力进行全局数据整合与深度分析,实现控制策略的集中优化。边缘节点则依据云端优化结果,结合本地实时数据,自主执行控制任务。云边协同既保证了全局优化的科学性,又发挥了边缘控制的灵活性,提升集控系统整体运行效能。

## 4 控制策略优化与协同机制设计

### 4.1 先进控制算法的集成应用

(1) 模型预测控制(MPC)在多变量耦合场景中的实践。在火电厂集控中,锅炉蒸汽压力、温度与汽轮机功率等多变量紧密耦合。MPC算法通过构建动态模型,预测未来多步的系统输出,并基于预测结果优化当前控制输入。例如在负荷快速变化时,MPC能同时协调燃料量、给水量和风量,有效克服多变量间的相互影响,实现蒸汽参数稳定与负荷精准跟踪,提升机组运行的经济性与稳定性。

(2) 自适应控制策略应对燃料质量与负荷波动。燃料质量差异大、负荷频繁波动是火电厂常见问题。自适应控制策略通过实时监测燃料热值、水分等参数以及负荷需求变化,自动调整控制参数。如当燃料热值降低时,自动增加燃料量并优化风煤配

比; 负荷突变时, 快速调整汽轮机进汽量, 使系统始终运行在最佳状态, 增强对复杂工况的适应能力, 保障发电效率。

#### 4.2 多系统协同控制框架

(1) 锅炉-汽轮机-发电机组的一体化协调控制。锅炉、汽轮机与发电机组相互关联, 一体化协调控制至关重要。通过建立统一的控制模型, 实时共享各子系统数据, 实现能量流的优化分配。例如在变负荷工况下, 协调锅炉燃烧与汽轮机进汽, 使蒸汽参数与负荷需求匹配, 避免参数波动过大, 提升机组整体效率, 减少能量损失, 实现高效稳定发电。

(2) 辅助系统(如脱硫、除尘)与主系统的动态联动。辅助系统对环保与主系统运行均有重要影响。动态联动机制下, 主系统运行参数变化实时触发辅助系统调整。如锅炉负荷增加时, 脱硫系统自动提高石灰石浆液供给量, 确保二氧化硫排放达标; 除尘系统根据烟气量变化调整清灰频率, 保障除尘效率, 实现主辅系统协同优化, 兼顾发电与环保要求。

#### 4.3 人机协同决策支持系统

(1) 操作员决策辅助工具开发。开发可视化界面与智能推荐系统作为操作员决策辅助工具。可视化界面直观展示机组运行状态、参数趋势及设备健康状况, 让操作员快速掌握关键信息。智能推荐系统基于历史数据与实时工况, 为操作员提供控制策略建议, 如在异常工况下推荐最佳调整方案, 帮助操作员快速准确决策, 提升运行效率与安全性。

(2) 基于专家系统的异常工况快速响应机制。专家系统集成大量专家知识与经验, 构建异常工况判断规则库。当系统出现异常时, 专家系统迅速分析参数变化, 匹配规则库中的案例, 给出诊断结果与处理建议。如发生汽轮机振动异常时, 系统快速判断故障原因并推荐停机检查或调整运行参数等措施, 实现异常工况的快速响应, 降低事故风险, 保障机组安全稳定运行。

### 5 管理机制与保障体系构建

#### 5.1 全生命周期管理策略

(1) 设备健康管理(PHM)与预防性维护计划。某火电厂通过部署多维度传感器采集核心设备运行参数, 结合大数据分析机器学习算法构建设备健康评估模型, 故障预警准确率 $\geq 90\%$ 。基于评估制定差异化维护计划: 关键设备每季度开展检测校验, 易损件更换周期缩短30%; 辅助设备采用风险分级维护模式。某百万千瓦机组应用后, 非计划停机次数从4.2次/年降至1.5次, 设备综合效率(OEE)提升8.3%, 维修成本降低22%, 为集控效率提升奠定设备基础。

(2) 集控系统软件版本迭代与兼容性管理。某火电厂以提升控制精度、优化运算速度为目标, 建立“需求调研-测试验证-灰度上线-全量推广”闭环迭代流程。通过虚拟化平台模拟30+工况测试新软件兼容性(通过率 $\geq 95\%$ ), 构建版本库记录优化点与效率数据(如AGC指令响应时间从2.5s缩至1.2s)。

#### 5.2 人员能力提升路径

##### 5.2.1 集控操作员技能培训体系设计

火电厂需要通过构建“仿真实训+案例复盘+理论深化”三维培训体系, 聚焦操作熟练度、故障处置效率、控制策略优化能力三大核心指标。采用1:1还原虚拟仿真平台, 模拟20+种极端工况, 通过沉浸式训练将故障响应时间从8分钟缩短至3分钟; 建立含100+实际案例的案例库(含效率优化与故障教训案例), 深化操作员对控制参数与效率关联的理解。某电厂实施后, 操作员误操作率从0.8%降至0.2%, 机组负荷响应偏差率降低50%, 直接提升集控系统操作效率与控制精度。

##### 5.2.2 跨部门协作流程优化

火电厂集控运行需要优化“运行-维护-调度”协作流程, 破解信息壁垒问题。搭建一体化信息共享平台, 实现运行参数、检修进度、负荷指令实时传输(延迟 $\leq 10$ 秒), 明确各部门职责接口; 建立“每日晨会+应急联动”机制, 同步效率目标, 在应急状态10分钟内完成联动部署。某电厂应用后, 设备故障平均修复时间从4小时缩短至1.5小时, 机组负荷调整到位时间减少30%, 协作效率损耗降低40%, 提升集控系统协同运行效率。

#### 5.3 标准化与评价体系

##### 5.3.1 集控运行效率评价指标体系构建

火电厂集控运行需要围绕“设备效率、能源效率、协同效率”三大维度, 构建可量化评价体系。核心指标包括: ①设备综合效率(OEE), 由可用率( $\geq 95\%$ )、性能开动率( $\geq 90\%$ )、合格品率( $\geq 99.5\%$ )构成, 直观反映设备运行水平; ②能耗强度( $\leq 260$ g/kWh), 衡量单位发电量标煤消耗; ③负荷响应速率( $\leq 5$ 分钟/10%负荷), 评估系统对电网指令的响应能力; ④故障处置效率( $\leq 2$ 小时/次), 体现协同处置水平。采用加权赋分法(设备效率40%、能源效率30%、协同效率30%)计算综合得分, 某电厂应用后精准识别出汽轮机热效率偏低、负荷调整滞后等效率瓶颈, 为优化提供明确方向。

##### 5.3.2 对标管理与持续改进机制

以国内同类型机组TOP10指标为标杆(如百万千瓦机组OEE基准92%、能耗强度基准255g/kWh), 通过PDCA循环实现持续优化。计划阶段针对差距制定措施(如优化汽轮机密封间隙); 执行阶段分解目标至班组; 检查阶段每周生成效率分析报告; 处理阶段将成功措施纳入SOP, 未解决问题转入下一轮循环。

### 6 结语

在火电厂集控系统不断发展的进程中, 先进技术、科学管理与人员能力提升的多维度融合已成为提升运行效率与稳定性的关键。从大数据、人工智能赋能实时监测与预测, 到数字孪生、边缘计算优化控制架构; 从先进控制算法的集成到多系统协同控制框架的构建; 从全生命周期管理保障设备与软件可靠, 到人

员培训与跨部门协作提升团队效能,再到标准化评价体系推动持续改进。

**[参考文献]**

[1]黄强.火电厂集控运行中节能减排技术的探讨与实践策略[J].现代工业工程,2025,(8):22-24.

[2]董浩,彭素荣.基于5G通信技术的火电厂集控运行系统优化研究[J].通信电源技术,2024,41(9):215-217.

[3]梁建明,靳淼,李学民.火电厂集控运行系统的可靠性分

析与提升策略研究[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(4)[2025-04-21].

[4]陈建鑫.火电厂集控运行节能降耗策略与实践分析[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(3)[2025-04-01].

**作者简介:**

谢宜时(1994--),男,汉族,宁夏固原人,本科,毕业学校:宁夏大学新华学院,毕业时间:2017年6月,专业:电气工程及其自动化专业,职称级别:助理工程师,研究方向:火电厂集控运行。