

火电厂热工自动控制系统优化策略

张晓东

北方联合电力有限责任公司临河热电厂 内蒙古 巴彦淖尔 015000

摘要: 在“双碳”目标与新型电力系统建设的双重驱动下,火电厂对热工自动控制系统的稳定性、精准性提出更高要求。该系统作为机组运行的核心枢纽,直接影响发电效率与环保水平。本文通过分析火电厂热工自动控制系统的组成功能与现有策略,结合实际运行调研,明确系统在算法适配、硬件性能等方面的问题及影响。从控制算法、硬件设备、软件系统及抗干扰四个维度构建优化策略,制定科学实施步骤与评估体系,经仿真与现场测试验证,优化后系统控制精度提升,能耗降低,经济效益与环境效益显著,为火电厂热工系统升级提供可靠路径。

关键词: 火电厂;热工自动控制;系统优化

引言:火电厂是能源供给的核心支柱,其运行效率与安全稳定性直接关系能源保障与生态环保。热工自动控制系统作为火电厂的“神经中枢”,承担着锅炉燃烧、汽轮机组运行等关键环节的参数监测与精准调控任务。随着电力市场改革深化与环保标准收紧,传统热工自动控制系统逐渐暴露出响应滞后、控制精度不足等问题,难以适配灵活负荷调节与低碳运行需求。部分火电厂因系统故障导致非计划停机,不仅造成经济损失,还影响电网稳定。因此,聚焦火电厂热工自动控制系统优化,探索切实可行的升级策略,对提升火电厂核心竞争力、助力能源转型具有重要现实意义。

1 火电厂热工自动控制系统概述

1.1 热工自动控制系统的组成与功能

火电厂热工自动控制系统由硬件与软件两部分构成,形成完整的“感知-决策-执行”闭环。硬件核心包括传感器、执行器与控制器,传感器负责采集温度、压力、流量等热工参数,精度达0.1级以保障数据可靠;执行器如调节阀门、挡板等,根据控制指令精准动作;控制器以分散控制系统(DCS)为核心,实现多回路集中管控。软件部分涵盖控制算法、逻辑组态与监控模块。系统核心功能体现在三个方面:一是参数调节,维持汽温、汽压等关键指标稳定,偏差控制在允许范围;二是联锁保护,当参数超标时自动触发停机、隔离等措施;三是过程优化,通过动态调整运行参数提升能源利用率,这与王殿升在供热系统节能研究中强调的控制核心目标一致。

1.2 现有控制策略分析

当前火电厂热工自动控制系统主流采用传统PID控制策略,该策略结构简单、调试便捷,在稳态工况下能实现基本控制需求,广泛应用于给水、汽温等常规控制回

路。部分机组引入串级控制与前馈控制,通过主副回路协同与干扰提前补偿,提升对负荷波动的适应能力。然而,俞凯伦在研究中指出,传统控制策略难以应对火电厂热工系统的非线性、大滞后特性。当机组面临变负荷运行或煤质波动时,PID参数易失配,导致控制超调或响应滞后。少数先进火电厂尝试应用模糊控制等智能算法,但因缺乏系统整合,尚未形成规模化应用效果,整体控制策略仍以传统方法为主,智能化水平有待提升^[1]。

1.3 系统优化需求分析

火电厂热工自动控制系统的优化需求源于外部政策与内部运行的双重驱动。从外部看,“双碳”目标下,火电厂需降低供电煤耗,污染物排放需严格达标,这要求系统通过精准控制减少能源浪费与污染物生成。电力市场改革后,机组需具备快速负荷调节能力,系统需在变工况下保持稳定控制。从内部看,老旧机组控制系统硬件老化、软件兼容性差,如传感器漂移、执行器卡涩等问题频发,增加运维成本。根据可靠性分析显示,系统故障中30%源于控制策略与工况适配不足。同时,员工对系统的运维需求从“事后维修”转向“预测性维护”,需系统具备状态监测与故障预警功能,这些都构成系统优化的核心需求。

2 火电厂热工自动控制系统现状分析

2.1 系统运行现状调研

通过对不同容量火电厂的调研发现,300MW及以下老旧机组热工自动控制系统问题尤为突出,部分DCS系统运行超10年,硬件备件稀缺,软件升级困难,控制回路投用率仅80%左右。600MW及以上机组虽配置较先进,但仍存在局部短板,如锅炉燃烧系统因煤质多变,控制精度波动较大,汽温偏差可达 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。调研显示,多数火电厂数据采集存在“信息孤岛”,传感器数据仅用

于实时控制，未实现与运维管理系统的融合。贾志杰在检修研究中提及的传感器校准不及时、执行器维护不到位等问题普遍存在，导致系统运行数据可信度下降，为故障埋下隐患，这与现场调研结果高度吻合。

2.2 存在的问题与不足

火电厂热工自动控制系统主要存在四方面问题：一是控制算法局限，传统PID在变工况下参数自适应性差，如负荷骤变时易出现汽压超调；二是硬件性能短板，老旧传感器存在零点漂移，部分执行器动作滞后，响应时间超2秒；三是软件协同不足，控制软件与监控系统数据交互延迟，影响决策效率；四是抗干扰能力弱，电磁干扰导致参数采集波动，尤其在电缆敷设不规范的区域，数据失真率达5%。另外，系统缺乏统一的故障诊断模块，故障定位依赖人工经验，耗时且易误判，这与贾志杰指出的检修过程中故障排查难题形成呼应，凸显系统优化的紧迫性^[2]。

2.3 问题对火电厂运行的影响

系统存在的问题直接影响火电厂运行的安全、经济与环保效益。安全层面，控制精度不足导致参数频繁超标，某电厂因汽温控制失准引发锅炉管壁超温，被迫停机检修，损失超百万元；连锁保护系统响应滞后，增加设备损坏风险。经济层面，控制偏差导致能源浪费，供电煤耗较设计值高3-5g/kWh，按600MW机组年发电量计算，年多耗标煤超千吨。环保层面，燃烧控制不佳使氮氧化物排放浓度波动，部分时段超标需支付高额排污费。同时，故障频发增加运维工作量，李高强的研究表明，系统问题导致的运维成本占电厂总运维费用的15%以上，显著降低火电厂盈利水平。

3 火电厂热工自动控制系统优化策略

3.1 控制算法优化

控制算法优化核心是实现传统策略与智能算法的融合升级。对常规控制回路，采用自适应PID算法，通过在线辨识系统特性动态调整比例、积分、微分参数，解决变工况下参数失配问题，在汽温控制中应用后，偏差可降至 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 。针对锅炉燃烧等复杂回路，引入模糊PID控制，结合专家经验构建模糊规则库，实现煤质、负荷波动下的精准调控，这与俞凯伦提出的自动控制理论应用方向一致。对于多变量耦合系统，采用模型预测控制（MPC）算法，通过建立系统数学模型预测未来状态，提前优化控制指令，有效抑制回路间干扰，提升整体控制精度与稳定性。

3.2 硬件设备升级与优化

硬件设备升级遵循“精准感知、可靠执行”原则。

传感器方面，更换为高精度智能传感器，具备自校准与故障诊断功能，温度测量精度提升至0.05级，数据通过工业以太网实时传输；关键部位采用冗余配置，避免单点故障。执行器选用智能电动调节阀，响应时间缩短至0.5秒以内，定位精度达0.1%，并具备阀位反馈与故障报警功能。控制器层面，对老旧DCS系统进行升级，扩展处理器运算能力与I/O接口，支持多算法组态与大数据处理。同时，优化硬件布局，如传感器远离强电磁干扰区域，执行器增加防尘密封装置，结合贾志杰提出的检修维护要点，提升设备运行可靠性与使用寿命。

3.3 软件系统优化

软件系统优化聚焦“数据融合、功能拓展”。首先构建统一数据平台，整合控制数据与运维数据，打破“信息孤岛”，采用实时数据库存储热工参数，历史数据留存周期延长至3年，为优化分析提供支撑。其次升级控制软件，开发算法组态模块，支持PID、模糊控制等多算法灵活配置，新增参数趋势分析与故障诊断功能，通过数据比对自动识别传感器漂移、执行器卡涩等异常^[3]。最后搭建可视化监控界面，以三维组态展示设备状态与控制流程，操作人员可直观掌握系统运行情况，实现“监、控、管”一体化。软件优化过程中注重兼容性，确保与原有硬件及第三方系统无缝对接。

3.4 系统抗干扰策略

针对火电厂复杂电磁环境，构建“多层次、全流程”抗干扰体系。在信号采集环节，传感器采用屏蔽电缆传输数据，电缆敷设远离高压线路，减少电磁耦合干扰；模拟信号转换为数字信号传输，提升抗干扰能力。在控制回路中，增加信号隔离器，实现输入、输出与电源的三重隔离，抑制共模干扰与差模干扰。系统接地采用独立接地网，接地电阻控制在 4Ω 以下，避免接地不良引发的信号失真。软件层面引入数字滤波算法，对采集数据进行平滑处理，剔除脉冲干扰；设置参数波动阈值，当数据突变超限时自动启动校验机制，确保控制指令基于可靠数据生成，保障系统稳定运行。

4 优化策略的实施与效果评估

4.1 优化策略的实施步骤

优化策略实施分四阶段有序推进：第一阶段开展现状诊断，通过现场测试与数据采集，明确系统问题及根源，结合电厂实际制定个性化方案；第二阶段进行硬件升级，分批更换传感器、执行器等设备，同步完成DCS系统扩容与调试，确保硬件兼容；第三阶段实施软件优化，搭建数据平台、升级控制软件并完成算法组态，开展离线仿真验证；第四阶段系统联调与投运，先在单一

控制回路试点，如给水调节回路，待成效稳定后逐步推广至全系统，全程安排技术人员跟踪，及时解决调试问题，避免影响机组正常运行。

4.2 效果评估指标体系建立

构建“安全-效率-经济-环保”四维评估指标体系。安全指标包括控制回路投用率、故障预警准确率与非计划停机次数，直观反映系统可靠性；效率指标涵盖控制精度、响应时间与参数稳定时长，如汽温、汽压控制偏差等；经济指标选取供电煤耗、运维成本与备件消耗，量化优化的经济价值；环保指标以氮氧化物、二氧化硫排放浓度为核心，评估低碳成效。各指标设定基准值与目标值，基准值基于优化前6个月运行数据确定，目标值参考行业先进水平，如控制回路投用率提升至98%以上，供电煤耗下降2g/kWh，确保评估科学可行。

4.3 仿真实验与现场测试

优化方案先通过MATLAB/Simulink搭建仿真模型，模拟不同负荷与干扰工况，测试控制算法性能，如变负荷时模糊PID控制的调节效果，仿真显示汽温控制偏差从 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 降至 $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ ，响应速度提升40%。现场测试在某600MW机组开展，选取锅炉燃烧与汽温控制回路试点，连续监测1个月，结果表明：传感器数据准确率达99.8%，执行器动作响应及时，无卡涩现象；系统在50%-100%负荷波动下稳定运行，故障预警准确率达92%，有效避免2次潜在停机事故，验证了优化策略在实际工况中的适用性与可靠性，与李高强强调的系统可靠性提升目标相符。

4.4 经济效益与环境效益分析

从经济效益层面来看，优化后的效果显著。机组供电煤耗下降2.5g/kWh，按照年发电量30亿kWh计算，年节约标煤达7500吨，直接减少燃料成本超500万元。同时，系统故障次数下降70%，运维成本降低20%，年节约检修

费用约80万元。另外，非计划停机的减少使年增加发电量1.2亿kWh，新增收益超600万元。这些数据直观地反映出优化策略为火电厂带来的巨大经济收益。在环境效益方面，成果同样斐然。燃烧系统的精准控制使得氮氧化物排放浓度下降15%，远低于国家标准限值，有效减少大气污染^[4]。供电煤耗的降低带动二氧化碳年排放量减少约2万吨，为火电厂实现低碳运行目标提供有力支撑。这一成效不仅符合国家“双碳”战略要求，还提升了电厂在日益严格的环保约束下的市场竞争力，真正实现了经济与环境效益的双赢，为火电厂的可持续发展奠定了坚实基础。

结束语

火电厂热工自动控制系统优化是一项系统工程，直接关系到机组运行的安全、高效与环保。本文通过分析系统组成功能与现有问题，从算法、硬件、软件及抗干扰维度构建优化策略，经仿真与现场测试验证，优化后系统控制精度与可靠性显著提升。未来，随着数字孪生、AI等技术发展，火电厂热工自动控制系统将向“预测性控制-全生命周期优化”方向演进。火电厂需结合自身工况持续推进系统升级，不断提升核心竞争力，为能源转型与“双碳”目标实现提供坚实保障。

参考文献

- [1]贾志杰.关于火电厂热工自动化系统检修存在的问题及解决对策研究[J].中国设备工程,2023(16):130-132.
- [2]俞凯伦.自动控制理论在火电厂热工自动化中的应用[J].今日自动化,2021(8):196-198.
- [3]李高强.热工自动控制在火电厂中的可靠性分析[J].电力设备管理,2021(13):214-215.
- [4]王殿升.热工自动控制在供热系统中节能效果研究[J].百科论坛电子杂志,2020(13):1692-1693.