

DCS 系统在热电厂锅炉燃烧控制中的应用研究

何 乔

重庆川仪自动化股份有限公司智能控制系统分公司 重庆 400707

【摘 要】：针对热电厂锅炉燃烧过程多变量强耦合、大惯性大滞后的控制难题，本文系统研究 DCS 系统在锅炉燃烧控制中的应用。文章阐述了 DCS 系统与燃烧控制关键技术体系，分析了多参数协同感知调节、智能算法与数字孪生支撑的优化控制路径，完成了系统架构硬件与核心算法软件设计。研究表明，DCS 智能控制方案可有效提升锅炉热效率，降低污染物排放，增强运行安全性。

【关键词】：DCS 系统；锅炉燃烧控制；智能优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.013

引言

热电厂锅炉燃烧控制直接影响机组热效率、能耗水平与污染物排放，传统单回路 PID 控制难以应对多变量耦合的复杂工况。随着集散控制技术的快速发展，DCS 系统凭借分布式采集与集中管理的架构优势，已成为锅炉燃烧控制的主流技术方案。本文结合工程实践，从技术概述、应用场景、系统设计三个维度展开研究，为热电厂锅炉燃烧智能化控制提供参考。

一、DCS 系统与热电厂锅炉燃烧控制关键技术概述

电厂锅炉燃烧控制技术历经现场常规仪表独立控制到集散自动化控制的迭代更新，传统单回路 PID 控制模式无法适配锅炉燃烧环节多变量强耦合的运行特征。中国电机工程学会 2025 年发布的火电热控技术发展报告显示，配备常规控制方案的 300MW 发电机组，锅炉主蒸汽压力平均波动幅度可达 0.45MPa。DCS 系统依托分布式现场采集单元、中控平台集中管控的架构特点，可完成锅炉燃烧全流程运行参数闭环自动调控，系统控制站标准运算周期设置为 100ms，可快速响应炉膛内部实时工况变化^[1]。锅炉燃烧自动化控制依托的核心技术包含多变量解耦控制、全域运行数据实时采集传输、现场工况智能优化算法三大板块。全国电力行业热工自动化技术委员会 2024 年开展的行业调研数据显示，多变量解耦控制技术可缩短锅炉燃烧调节响应时长，响应速度提升约 30%，为机组自适应燃烧调节、动态工况优化搭建稳定底层技术支撑。

2 DCS 系统在热电厂锅炉燃烧优化控制中的应用

2.1 多参数协同感知下的燃烧智能调节控制

DCS 系统依靠分布式 IO 采集节点同步收集锅炉燃烧全流程运行参数，监测范围涵盖炉膛各截面温度、烟气含氧量、一次风管压力、给煤机转速、炉膛煤粉浓度等 200 余项关键运行指标，搭建覆盖锅炉燃烧全流程的立体化工况感知网络。系统后台实时数据库整合现场采集的多元运行数据，研判不同参数

之间的联动变化规律，系统结合机组实时负荷指令自动调节给煤量与送风量配比，将炉膛过量空气系数稳定控制在最优区间。中国电力企业联合会 2025 年公开的火电机组运行统计数据表明，投入 DCS 多参数协同控制设备的 300MW 机组，锅炉燃烧热效率平均上涨 1.2%，炉膛出口烟气温度偏差稳定控制在 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 以内，现场调节精准度对比传统单回路控制设备提升幅度超过 40%。系统可根据入炉煤质波动自动修正预设燃烧曲线，结合烟气氧量实时监测结果微调二次风门开度，保证锅炉全负荷区间燃烧工况稳定，避免因煤质波动造成煤粉不完全燃烧、炉膛局部超温等运行故障。

2.2 智能算法与数字孪生支撑的燃烧全局优化及故障运维

基础闭环工况调控功能之外，DCS 系统接入多种智能控制算法实现锅炉燃烧全域动态工况优化，遗传算法结合模糊 PID 控制逻辑，结合机组负荷需求与环保排放约束，自动求解最优风煤配比与分层配风策略。全国电力行业热工自动化技术委员会 2024 年行业调研数据显示，嵌入智能优化控制算法的 DCS 控制平台，锅炉烟气 NO_x 排放浓度可以下降 18% 左右，机组供电煤耗同步降低 2.5g/kWh。数字孪生技术进一步拓展 DCS 系统在锅炉运维场景的应用范围，通过搭建与锅炉实体尺寸一致的虚拟仿真模型，实时映射炉膛真实运行工况，提前识别炉膛结焦、炉膛熄火、锅炉受热面管壁磨损等隐性运行隐患。依托机组历史海量运行数据训练成型的故障预警模型，针对锅炉四管泄漏故障预警准确率可达 92%，故障预警前置时长能够超过 72 小时，减少机组非计划停机出现概率，兼顾锅炉运行安全指标与电厂发电经济指标^[2]。

3 基于 DCS 的热电厂锅炉燃烧控制系统设计

3.1 系统整体架构与硬件模块设计

整套控制系统采用三层分布式硬件架构，自上而下分为监控管理层、现场控制层与就地设备执行层，三层架构依托双冗

余工业以太网实现稳定的数据交互。整套三层分布式硬件架构的信号采集、运算、输出流程可通过系统硬件结构框图直观呈现,完整架构的层级交互逻辑、信号传输路径与硬件单元组成如图所示。

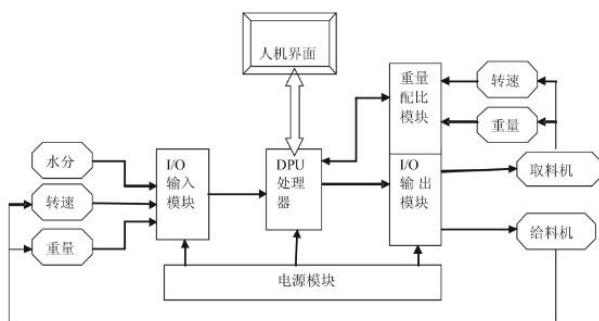


图1 基于DCS的锅炉燃烧控制系统硬件架构框图

就地设备执行层负责现场燃烧参数采集与控制指令执行,炉膛温度检测采用0.5级K型热电偶,24个测点沿炉膛高度均匀布置;压力监测选用0.075级电容式差压变送器,量程0-10kPa,覆盖炉膛负压、一次及二次风压检测;风道、水路流量由超声波流量计监测,给煤流量依托电子皮带秤实时计量。现场执行设备中,给煤机配备0-50Hz变频调速装置,二次风门搭载电动执行机构,全行程动作时长控制在30秒以内。

现场控制层设置两套冗余DCS控制站,均搭载双CPU处理器,运算周期可在50ms-1s区间调试,结合燃烧控制响应需求将主回路运算周期设定为100ms。系统按信号类型分配IO模块,包含16块模拟量输入模块、8块模拟量输出模块,数字量输入、输出模块各12块,所有模块均支持热插拔,满足现场不停机检修需求。监控管理层配备三台操作员站、一台工程师站与两台冗余数据服务器,操作员站搭载27英寸工业显示屏,用于工况监控与人工手动调控;工程师站负责控制逻辑组态与参数整定;数据服务器以1s为采样周期存储运行数据,存储容量超2TB,可留存三年以上机组运行数据。整套环形工业以太网通讯速率为100Mbps,单点网络故障不会影响系统整

体运行。

3.2 燃烧控制核心算法与软件模型设计

控制系统采用模糊PID复合控制算法,适配锅炉燃烧系统大惯性、大滞后的运行特点。算法以主蒸汽压力为核心控制目标,炉膛氧量为辅助参考指标,输入信号包含蒸汽压力偏差、偏差变化率与氧量偏差,输出信号直接控制给煤量与总送风量。系统配置二维模糊控制器,输入输出信号分为7个模糊子集,采用三角形隶属度函数,结合现场调试经验拟定49条适配锅炉实际工况的控制规则。回路增加前馈补偿解耦单元,弱化给煤量波动对炉膛氧量带来的耦合干扰,相关补偿系数通过现场阶跃响应实验完成标定^[3]。

负荷预测模块采用滑动窗口时间序列算法,依托24小时历史负荷数据预判后续一小时负荷变化,预测步长设置为5分钟。实测数据显示,该算法在300MW机组中平均预测误差低于2.5%,能够支撑燃烧系统提前开展前置调节。风煤配比依靠氧量寻优完成动态优化,稳定工况下逐步微调过量空气系数,锁定最低煤耗对应的最佳氧量值,单次调整步长0.1%,每次调整后静置10分钟再开展后续优化。系统软件采用模块化设计,划分数据采集、控制运算、报警联锁、趋势分析四大功能单元,可差异化配置信号采样周期,支持图形化组态搭建控制回路,分级实现参数超限报警与联锁保护,同时支持多组运行参数曲线回溯。系统具备手动无扰切换能力,切换过程维持输出信号稳定,规避工况波动对锅炉燃烧造成的冲击。

4 结语

DCS系统能够适配热电厂锅炉复杂燃烧工况,提供一体化自动化控制解决方案,系统联动多维度现场感知单元与智能控制算法,实现锅炉燃烧全过程精细化调控与全域工况动态优化。本文设计的控制系统架构与算法模型,在提升热效率、降低煤耗与排放、故障预警等方面效果显著。未来结合人工智能与大数据技术,DCS锅炉燃烧控制将向更高智能化水平发展。

参考文献:

- [1] 马宝成,刘驰,李德成.基于锅炉DCS系统外挂式APC优化燃烧控制系统的架构及实际应用效果浅析[J].工业锅炉,2025(3):30-34.
- [2] 吕超伦.基于DCS的电厂燃煤锅炉优化控制系统设计与实现[J].科学技术创新,2025(19):74-77.
- [3] 范雪龙,邓继军.基于自动控制的火电厂锅炉自适应燃烧控制系统优化及应用[J].大众标准化,2025(2):136-138.