

火电厂热工 DCS 系统的升级改造与性能优化研究

张文昊 闫博

中国华能临河热电厂 内蒙古 巴彦淖尔 015000

摘要: 本文聚焦火电厂热工DCS系统升级改造与性能优化。先概述DCS系统架构、功能及重要性,接着分析行业发展现状、升级改造需求与现存问题。随后阐述升级改造方案设计,涵盖设计原则、硬件与软件升级方案及实施流程。最后探讨性能优化关键技术,包括基于工况适配的控制策略、数据驱动的故障预警诊断及能耗优化控制技术,旨在提升系统性能,保障火电厂安全经济运行。

关键词: 火电厂; 热工DCS系统; 升级改造

引言

本文聚焦火电厂热工DCS系统升级改造与性能优化,涵盖架构演进、软硬件升级路径及工况自适应控制、数据预警、能耗优化等关键技术。

1 火电厂热工DCS系统概述

火电厂热工分散控制系统(DCS, Distributed Control System)是现代火力发电厂的核心自动化控制平台,集计算机技术、通信技术、控制技术于一体,实现对机组热力参数的精准监测与高效控制。DCS系统采用分层分布式架构,通常由分散控制单元(DPU)、操作员站、工程师站、通信网络及现场I/O设备等部分构成。分散控制单元作为核心控制节点,独立承担特定区域的数据采集与控制任务,如锅炉燃烧、汽轮机调速等关键环节,通过冗余设计确保系统可靠性。操作员站提供人机交互界面,实时显示机组运行参数、趋势曲线及报警信息,便于运行人员监控与操作;工程师站则用于系统组态、参数整定及故障诊断,支持灵活的逻辑编程与功能扩展。通信网络采用高速以太网或专用工业总线,实现各节点间数据的高速可靠传输,确保控制指令的实时性与准确性^[1]。现场I/O设备负责将温度、压力、流量等模拟量及开关量信号转换为数字信号,并执行控制输出,连接现场仪表与执行机构。DCS系统通过闭环控制、顺序控制及联锁保护等功能,实现机组启停、负荷调节、参数优化等自动化运行,显著提升火电厂的安全性、经济性与环保性,是保障机组稳定运行、实现节能减排目标的关键技术支撑。

2 火电厂热工DCS系统现状、需求及问题分析

2.1 行业发展现状

当前,我国火电厂热工DCS系统应用体系成熟,多数现役机组配备高自主化DCS系统,摆脱对进口设备的依赖。新建火电机组DCS系统能力升级,具备高速通信、大数据处理及智能化控制功能,可支持机组深度调峰与

灵活运行,满足新能源并网后电网负荷波动需求。老旧机组改造方面,服役超15年的早期DCS系统完成初步升级,更换老化部件,提升稳定性。行业内多家供应商具备自主研发能力,产品在控制精度、可靠性上达国际先进水平,部分核心技术实现突破。同时,DCS系统与物联网、大数据技术加速融合,部分先进电厂实现远程监控与运维。不过,不同区域、规模电厂DCS系统应用水平有差异,部分小型电厂存在设备老化、技术滞后问题。

2.2 新时期下的升级改造需求

新时期,能源结构转型与环保政策收紧,促使火电厂热工DCS系统急需升级改造。双碳目标下,为提升节能降耗水平,现有DCS系统控制算法需升级,以适配机组深度调峰与变工况运行,降低发电煤耗。新能源并网比例提高,电网对火电机组调峰灵活性要求上升,传统DCS系统响应慢、调节精度不足,需升级硬件与控制逻辑。环保标准趋严,现有DCS系统对环保设备控制精度不够,需升级实现协同控制,确保排放达标。智慧电厂建设推动DCS系统智能化、集成化,需支持AI故障诊断等新技术。另外,部分DCS系统硬件老化、备件短缺,存在安全隐患,也需升级改造以保障机组稳定运行。

2.3 现有DCS系统存在的突出问题

现有火电厂热工DCS系统运行中问题突出,影响机组效率与安全。硬件方面,服役超10年的系统老化严重,CPU运算慢、输入输出模块故障多、存储器容量小,无法处理海量参数,导致控制指令执行延迟,引发机组负荷波动。软件上,控制算法多基于传统PID控制,对变工况、多变量耦合适应能力差,在启停机、深度调峰时控制精度下降,难以维持参数稳定^[2]。通信网络存在瓶颈,传统通信总线传输速率低,参数激增时易丢包、延迟,影响实时监控与决策。智能化水平不足,缺乏数据驱动的故障预警与诊断能力,依赖人工巡检,故障处理不及

时,增加非计划停机风险,且能耗优化功能薄弱,无法实现精细化节能控制。

3 火电厂热工DCS系统升级改造方案设计

3.1 总体设计原则与目标

火电厂热工DCS系统升级改造遵循可靠性优先、兼容性适配、智能化提升、经济性平衡的总体设计原则。可靠性优先原则要求升级过程中采用成熟稳定的硬件设备与软件技术,关键控制节点采用双重冗余设计,确保改造期间机组不发生非计划停机,改造后系统平均无故障运行时间提升50%以上。兼容性适配原则强调新系统需与电厂现有仪控设备、监控系统无缝对接,兼容原有控制逻辑与历史数据,减少设备更换成本,降低改造对现有生产流程的影响。智能化提升原则聚焦引入数据驱动、AI控制等新技术,增强系统故障预警、自动调节与能耗优化能力。经济性平衡原则要求在满足性能需求的前提下,合理选择设备与技术方案,控制改造投资成本,确保改造后3年内通过节能降耗、减少故障损失收回投资。升级改造目标明确,包括硬件层面实现控制单元运算能力提升3倍以上,通信速率提升至1000Mbps;软件层面实现控制精度提升20%,故障诊断准确率达到90%以上;运行层面实现机组调峰范围拓宽至30%额定负荷,发电煤耗降低3g/kWh,同时构建集监控、控制、诊断、优化于一体的智能化DCS系统。

3.2 硬件升级方案

硬件升级方案围绕核心控制单元、通信网络、人机交互设备及现场设备四大模块展开。核心控制单元方面,将原有现场控制站CPU更换为高性能多核处理器,运算速度提升至2GHz以上,内存扩展至8GB,存储容量升级至1TB,同时每个控制站配备双重冗余CPU与电源模块,实现故障自动切换,确保控制指令连续执行;输入输出模块更换为高精度智能模块,模拟量采集精度提升至0.1级,数字量响应时间缩短至1ms,支持热插拔功能,便于在线维护。通信网络升级采用工业以太网与现场总线结合的双层架构,主干网络采用千兆冗余以太网,传输速率提升至1000Mbps,现场总线采用Profibus-DP协议,提升现场设备与控制站间数据传输效率,同时增设网络交换机冗余备份,消除通信单点故障。人机交互设备方面,操作站更换为高分辨率工业级显示器,配备多功能操作键盘与轨迹球,工程师站升级为高性能工业计算机,支持多任务并行处理与大型组态软件运行。现场设备升级聚焦关键传感器与执行器,更换为智能型压力、温度、流量传感器,测量精度提升15%,执行器采用电液伺服型,调节响应时间缩短至0.5秒,确保控制指令精准执行。

3.3 软件系统升级

软件系统升级涵盖系统软件、控制软件与应用软件三个层面,实现系统性能与智能化水平全面提升。系统软件层面,采用基于Linux的嵌入式实时操作系统,提升系统稳定性与安全性,支持多任务实时调度,任务响应延迟控制在10ms以内,同时升级驱动程序,确保与新硬件设备完美适配,兼容原有外部接口协议。控制软件升级核心是优化控制算法,引入模糊PID、模型预测控制等先进算法,针对锅炉燃烧、汽轮机调速等关键环节设计专用控制模块,实现变工况下参数的自适应调节^[3]。应用软件方面,新增三大核心功能模块:一是数据采集与分析模块,实时采集机组运行数据,建立历史数据库,支持数据趋势分析与报表生成;二是智能故障诊断模块,基于机器学习算法分析设备运行数据,实现故障提前预警与精准定位,诊断准确率达到90%以上;三是能耗优化模块,结合锅炉燃烧效率、汽轮机热效率数据,自动优化给煤、给风、给水参数,降低发电能耗。

3.4 升级实施流程设计

升级实施流程设计为六个阶段,确保升级工作有序推进、风险可控。第一阶段为前期准备,耗时2周,完成现场设备勘查、原有系统参数备份、升级方案细化,采购硬件设备与软件授权,组建由技术人员、运维人员、供应商工程师组成的专项团队,开展安全技术交底。第二阶段为硬件预制,耗时3周,在电厂备用厂房完成新控制站、交换机等硬件组装与调试,进行软件组态与控制逻辑编写,通过仿真测试验证控制策略可行性。第三阶段为并行运行,耗时4周,将新控制站与原有系统并行连接,实时采集现场数据并执行控制指令,对比两者运行参数,逐步优化新系统控制逻辑,确保参数偏差控制在允许范围。第四阶段为分区域切换,耗时6周,按照锅炉系统、汽轮机系统、环保系统的顺序,分区域将控制权从原有系统切换至新系统,每完成一个区域切换,进行24小时试运行,确认无异异常后再推进下一区域。第五阶段为系统联调,耗时2周,完成全系统控制权限切换后,进行机组满负荷、变负荷等多工况联调,测试系统响应速度、控制精度与故障处理能力,同步完成操作人员培训。第六阶段为验收交付,耗时1周,整理升级过程技术资料,邀请第三方检测机构进行性能检测,对比升级前后各项指标,达标后签署验收报告,供应商提供1年免费运维服务,保障系统稳定运行。

4 热工DCS系统性能优化关键技术

4.1 基于工况适配的控制策略优化

基于工况适配的控制策略优化技术,核心是根据火

电机组不同运行工况动态调整控制参数与逻辑,提升系统控制精度与适应性。该技术先建立多工况分类模型,把机组运行状态划分成启动、满负荷等典型工况,结合历史数据与热力学机理,为各工况制定最优控制参数基准库。实时运行时,系统借助传感器采集负荷、蒸汽参数等120余项关键指标,经工况识别算法判断当前工况,匹配基准库初始参数。同时引入自适应调节机制,利用PID参数自整定算法,依据工况变化和参数偏差,实时调整比例系数等控制参数。针对多变量耦合工况,如锅炉燃烧与蒸汽温度耦合,采用解耦控制算法,建立数学模型,通过矩阵变换消除变量干扰,实现独立精准控制。还开发工况过渡平滑控制模块,工况切换时用线性插值算法让控制参数渐变,避免机组波动。

4.2 数据驱动故障预警与诊断优化

数据驱动的故障预警与诊断优化技术依托海量运行数据,借助机器学习与数据挖掘实现故障早预警、精诊断。该技术构建三级数据处理体系:一级数据采集层,通过DCS系统实时采集传感器等设备运行数据,涵盖温度、压力等参数,采样频率1Hz,保证数据完整;二级数据预处理层,运用异常值剔除等算法处理噪声与缺失值,提升数据质量;三级分析诊断层,搭建神经网络预警模型与决策树诊断模型。预警模型建立正常工况模板,实时数据偏差超阈值即触发分级预警;诊断模型训练历史故障数据,快速匹配异常模式定位故障^[4]。

4.3 能耗优化控制技术

能耗优化控制技术围绕火电厂发电全过程的能耗关键点,通过多维度优化实现节能降耗目标,核心包括燃烧优化、汽轮机效率优化与辅助系统能耗优化三大技术方向。燃烧优化技术基于锅炉燃烧机理与历史运行数据,建立燃烧效率预测模型,实时采集给煤量、给风量、一次风温、氧量等参数,通过遗传算法优化配风配比与给煤方

式,确保燃料充分燃烧,降低飞灰含碳量,例如根据煤质变化自动调整二次风分配比例,使燃烧效率提升1%以上。汽轮机效率优化技术通过监测汽轮机进汽参数、排汽压力、轴封泄漏量等指标,建立汽轮机热效率计算模型,识别效率偏低环节,自动调整调门开度与抽汽参数,减少节流损失与散热损失,在机组变负荷运行时,通过滑压运行优化策略,使汽轮机热效率提升0.8%以上。辅助系统能耗优化技术针对引风机、送风机、给水泵等大功率辅机,采用变频调速控制与负荷联动调节策略,根据主设备运行负荷动态调整辅机运行转速,避免辅机长期处于额定转速运行导致的能耗浪费,另外,开发全局能耗优化协调模块,实现主设备与辅机系统的协同优化,综合考虑各环节能耗耦合关系,使电厂整体发电煤耗降低3g/kWh,显著提升经济性。

结束语

火电厂热工DCS系统升级改造与性能优化是适应能源转型、环保要求的必然选择。通过遵循科学设计原则,实施硬件、软件升级及优化控制策略,可有效解决现存问题,提升系统可靠性、智能化水平与节能效果。未来,随着技术发展,DCS系统将进一步融合先进技术,为火电厂高效、绿色发展提供更强支撑,推动电力行业迈向新高度。

参考文献

- [1]杨阳.火电厂热工自动化DCS控制系统的应用及发展分析[J].百科论坛电子杂志,2020,000(008):1071.
- [2]王海欢.ECMS和DCS一体化监控在火电厂脱硫工程中的应用[J].科技与创新,2022,(22):153-155+159.
- [3]梁雪.火电厂热工自动化DCS控制系统的应用浅析[J].中国设备工程,2023(14):53-55.
- [4]王亮.火电厂热控自动化控制设备调试与安装[J].科技视界,2022,(27):102-104.