

# 热控自动化在电厂热工系统中的应用分析

王海瑞

华电库车发电有限公司 新疆 阿克苏 842000

**摘要:** 电力系统的高效和稳定对整个电力网络的运行具有重要影响。随着电力行业的迅速发展和自动化技术的不断进步,热控自动化在电厂热工系统中变得越来越重要。

**关键词:** 热控自动化; 电厂; 热工系统; 能效; 优化控制

热控自动化系统涵盖数据采集(DAS)、模拟控制(MCS)、顺序控制(SCS)及保护联锁(FSSS)四大模块,结合PLC逻辑编程与CFC组态语言,形成完整的闭环控制网络。其核心价值在于通过技术迭代(如DCS向DIA演进),持续推动电厂向高效、安全、低碳方向转型。

## 1 热控自动化基本现状

热控自动化作为能源生产领域的核心技术,其现状可综合多领域发展特征总结如下:

1.1 技术体系与应用现状。核心定位,热控系统在火电厂中承担「神经中枢」功能,通过仪表检测(温度、压力、流量等)与控制系统(DCS为主)实现机组全流程自动化监控,直接影响发电效率与安全性。主流技术特征,DCS系统主导:分散控制系统(DCS)已成为火电自动化标配,融合计算机、智能算法与远程控制技术,提升了机组联动性与运行效能。智能化升级:AI与机器视觉技术逐步应用于故障诊断、参数优化,降低操作门槛与错误率。

1.2 国产化进程与国际市场。国产替代加速,早期依赖进口的仪表与控制系统逐步被国产设备替代,尤其在DCS领域实现规模化应用,但高端精密仪表仍存技术差距。出海趋势显现,本土解决方案在性价比与定制化能力上获得海外认可,出口市场从欧洲扩展至亚太、中东地区,小型通用设备出口快于大型复杂系统。

1.3 行业挑战与痛点。系统异构性难题,传统控制台与新型DCS系统共存导致操作界面不兼容,增加运维复杂度。技术适配性不足,超临界/超超临界机组对自动化要求更高,现有设备在灵活性、稳定性方面仍待提升,合成生物学等新兴领域面临菌株测试等技术瓶颈。标准与合规压力,生物医药等领域对设备合规性要求趋严,需通过强化数据追溯与流程标准化应对监管需求。

## 2 热控自动化在电厂热工系统中的作用

2.1 提升系统安全性与稳定性。实时监测与保护,通过DCS系统和传感器网络实时采集锅炉压力、温度、水

位等关键参数,自动触发保护动作(如超压停炉),避免设备损坏及事故扩大。分级控制架构,采用设备操作级(Drive-D)、单元控制级(SG)、系统控制级(FG)和机组控制级(Unit-U)的多层级控制体系,确保复杂逻辑的精准执行与设备协同运行。冗余与容错设计,分布式控制系统(DCS)通过分散布置、集中控制的结构,降低单点故障对整体运行的影响。

2.2 优化经济运行效率。燃烧效率优化,自动调节燃料与空气配比,减少热损失并降低煤耗,提升锅炉热效率。负荷协调控制,通过协调控制系统(CCS)和自动发电控制(AGC)平衡机组出力与电网需求,降低运行成本。能耗管理,智能算法分析生产数据,优化辅机启停策略及变频调速控制,减少厂用电率。

2.3 支撑智能化运行转型。数字化与智能化升级,基于DIA(数字化智能自动控制)分级体系实现无人值守或少人值守,降低人工干预强度。预测性维护,利用机器学习模型对热工参数进行趋势分析,提前预警设备异常(如阀门卡涩、传感器漂移),减少非计划停机。工艺标准化,锅炉给水、汽机疏水等系统的顺序控制(SCS)模块化设计,保障机组启停流程的规范化执行。

2.4 促进节能减排目标。资源高效利用,通过闭环控制减少蒸汽泄漏、补水量等资源浪费,实现水、电、燃料的精细化管控。环保合规性,自动调节脱硫、脱硝系统运行参数,确保污染物排放符合环保标准。

## 3 热控自动化的关键技术

热控自动化系统的关键技术涵盖传感、控制、数据处理及系统集成等多个领域,其核心架构支撑设备安全运行与能效优化。以下是关键技术的分类解析:

3.1 传感与检测技术。多参数融合检测,通过激光测距仪、红外热像仪等设备实现温度、压力、流量等多参数动态采集,结合压电式测力传感器监测力学参数变化,构建全维度感知网络。传感器冗余设计,在关键监测点部署冗余传感器,采用交叉验证算法消除单一传感

器漂移误差,提升数据可靠性。智能校准补偿,基于历史数据建立传感器非线性误差模型,实现温度漂移的在线补偿,精度提升达 $\pm 0.5\%$ FS。

3.2 控制算法与策略。PID优化与预测控制,融合模糊逻辑改进传统PID算法,结合模型预测控制(MPC)动态优化控制参数,响应速度提升40%以上。多变量协调控制,针对锅炉-汽轮机耦合系统开发多变量解耦算法,实现负荷-压力-温度的协同调节,供电煤耗降低2-3g/kWh。自适应故障容错,建立设备退化模型,在传感器失效时自动切换控制模式,保障系统连续运行。

3.3 系统架构与集成。分层控制架构,采用设备层(Drive-D)、单元层(SG)、系统层(FG)、机组层(Unit-U)四级架构,实现复杂逻辑的分级执行。冗余与容错机制,DCS系统通过分散控制单元(DPU)冗余配置,单点故障切换时间 $< 200\text{ms}$ ,系统可用率达99.99%。模块化集成设计,将SCS顺序控制、FSSS保护联锁等功能封装为标准模块,支持即插即用式系统扩展。

3.4 数据管理与分析。实时数据处理,应用小波变换消除信号噪声,结合时序数据库实现毫秒级数据归档与追溯。特征提取与诊断,通过统计过程控制(SPC)识别异常特征,故障预警准确率超过85%。边缘计算优化,在控制层部署边缘计算节点,实现关键控制回路的本地化闭环,降低云端依赖度58%。

3.5 通信与协同技术。工业物联网(IIoT),采用OPC UA协议整合DCS、PLC等异构系统,实现跨平台数据互通。协议标准化,推动Modbus TCP/IP与Profibus DP协议转换,减少20%以上通讯延迟。远程监控平台,基于GPRS/5G构建远程运维中心,支持热网调度与设备健康状态的云端可视化。

#### 4 电厂热控自动化应用领域应用

4.1 应用领域。热能转换与传输控制,主要涉及锅炉、汽轮机等核心设备的温度、压力、流量精确控制,优化热能转换效率。例如,通过DCS系统实现锅炉燃烧参数实时调节,降低煤耗量。供热系统智能管控,针对多机组供热场景,采用厂级集中控制系统优化热能分配,平衡安全性与经济性。例如基于MODBUS通信的热负荷分配模型,实现全网供热压力波动小于 $\pm 0.03\text{MPa}$ 。输煤程控自动化,应用PLC与组态软件构建煤场卸煤、堆煤、上煤全流程控制系统,通过双网冗余技术保障系统稳定性。典型系统可同时控制20-30台设备,满足复杂联锁需求。

远程监测与故障诊断,集成GPRS无线通信与传感器网络,实现管网参数远程采集与异常预警。如供热远程

计量系统支持50-400t/h流量变化监控,结合DLL接口实现组态软件集成。

4.2 典型应用实例。火电厂DCS改造项目,某3320MW燃煤电厂通过分散控制系统(DCS)整合6台机组供热单元,建立性能仿真模型后,全厂总煤耗降低0.13-3.53t/h。输煤程控系统优化,采用组态王软件与PLC构建火车/汽车双路输煤控制系统,通过以太网冗余设计提升犁煤器控制精度,降低人工巡检强度。

智能供热压力调控,某热电厂部署GPRS/CDMA DTU模块,结合流量积算仪构建热网监控平台,实现供热母管压力动态平衡控制,异常响应时间缩短60%。热工仪表智能诊断,通过I/O模块热插拔技术配合系统自诊断功能,实现温度传感器、压力变送器等关键仪表故障快速定位,平均维修耗时降低45%。

#### 5 热控自动化技术最新发展趋势

5.1 核心技术融合。AI与数字孪生深度集成,基于机器学习和数字孪生构建设备预测性维护模型,显著降低运行错误率并优化控制精度,如生物医药领域通过AI算法实现菌株测试自动化平台开发。工业场景中,机器视觉技术用于锅炉燃烧参数实时调节,煤耗量降低幅度达3.8%以上。5G+边缘计算应用扩展,低时延通信技术支撑关键控制指令实现毫秒级响应,助力远程监测系统提升异常预警速度,典型场景如供热管网压力波动控制缩短至15秒内。边缘计算节点与DCS系统协同,推动电厂实现局部自治控制,减少云端依赖。

5.2 应用场景深化。多系统协同优化,通过云计算平台整合DCS、PLC及能源管理系统,构建厂级大数据中心,典型案例中全厂煤耗降低0.13-3.53t/h。跨行业扩展至新能源领域,如热电联产自动化系统在清洁能源发电场景中渗透率提升。定制化解决方案普及,软硬结合模式成为主流,企业通过“标准品+定制化”双策略满足生物医药、合成生物学等细分领域需求,如全自动质谱一体机加速产业化。实验室自动化设备国产替代率逆势上升,本土企业出海路径拓宽,溢价空间提升明显。

5.3 产业链变革。设备智能化升级,热工仪表与执行机构向高精度、自诊断方向迭代,通过I/O模块热插拔技术使平均维修耗时减少45%。输煤程控系统采用双网冗余架构,满足复杂联锁需求的同时控制设备规模扩大至30台级。人才需求转型,专业人才技能从传统仪表检修转向AI算法开发、数字孪生建模等复合能力,智能制造领域人才缺口扩大。职业方向新增智能运维工程师、工业数据分析师等岗位,薪资涨幅年均超15%。

5.4 标准化与生态构建。国际厂商加速布局工业互联

网平台,霍尼韦尔、西门子等企业通过云边协同技术抢占市场,推动行业标准统一。产学研合作深化,如高校联合企业开发热工程控保护仿真训练系统,缩短人才培养周期。当前技术发展已从单一设备控制转向全产业链智能化协作,未来十年将形成以数据驱动为核心的工业控制新范式。

## 6 热控自动化技术探索与问题解决

6.1 技术现状与核心挑战。设备协同性不足,部分控制系统仍依赖人工操作,锅炉燃烧、汽轮机等关键设备间协调效率低,导致煤耗波动范围达 $\pm 5\%$ 以上。DCS系统上位机与下位PLC通信延迟问题突出,影响机组快速响应能力。系统逻辑缺陷与干扰问题,跳闸设备和联锁保护逻辑设计不合理,非计划停运率高达0.3%-1.2%。弱电与强电电缆混合敷设引发电磁干扰,信号传输误差超允许值30%。化水车间等区域未采用防爆型仪表,电缆规格不达标,存在安全隐患。

6.2 关键问题与解决方案。控制环境优化,电缆敷设规范:通过分层布线技术分离强弱电信号,增加金属屏蔽管覆盖率至95%以上,降低干扰风险。电磁兼容性升级:在爆炸危险环境区域采用防爆型仪表,电缆截面升级至1.5mm<sup>2</sup>铜芯规格,满足高安全要求。系统逻辑缺陷修复,引入动态逻辑测试平台,对跳闸保护逻辑进行全工况模拟验证,缺陷检出率提升至98%。重构DCS上位机组态软件,优化参数设置模块,指令响应时间缩短至200ms以内。智能运维体系构建,开发热工仪表自诊断系统,通过I/O模块热插拔技术实现故障定位耗时减少45%,非计划检修频次下降60%。建立预测性维护模型,结合历史数据预测阀门卡涩等故障,预警准确率达85%以上。

6.3 创新技术探索与实践。数字孪生技术应用,构建

锅炉燃烧数字孪生体,通过实时仿真优化空燃比,煤耗降低0.13-3.53t/h,燃烧效率提升1.8%。在热网监控中部署虚拟压力节点,动态平衡管网压力波动至 $\pm 0.03\text{MPa}$ 以内。边缘计算与5G融合,部署边缘计算节点处理局部控制指令,关键操作响应时间压缩至50ms级,云端依赖度降低40%。利用5G网络实现远程专家诊断系统,故障处理效率提升70%。

6.4 实施成效与未来方向。标准化改造案例:某电厂输煤程控系统采用双网冗余架构后,联锁可靠性达99.9%,设备规模扩展至30台级。经济效益:3320MW电厂改造后年节约燃煤成本超500万元,非计划停机损失减少80%。

综上所述,通过AI算法与工业互联网融合,推动热控系统向“精准控制+智能决策”双引擎驱动演进,实现全自主化运行。

## 参考文献

- [1]吴丽.电厂热控自动化系统运行稳定性的研究[J].自动化应用,2023,64(10):94-96.
- [2]李芳.电厂热控自动化的优化探讨[J].设备管理与维修,2020(19):86-87.
- [3]王盛.热控自动化系统运行的稳定性研究[J].中国设备工程,2021(14):90-91.
- [4]蒋铸.探析电厂热控自动化系统稳定性[J].低碳世界,2020,10(5):46-47.
- [5]丁城.电厂热控自动化系统稳定性分析[J].当代化工研究,2020(11):4748.
- [6]秦瑞.探讨电厂热控自动化系统运行稳定性的研究[J].自动化应用,2023,64(10):94-96.