

火电厂热工自动化DCS控制系统的运用分析

崔 强

中国能源建设集团江苏省电力建设第三工程有限公司 江苏 镇江 212000

摘 要：火电厂热工自动化中，DCS控制系统通过过程控制单元、操作员站与工程师站、数据通信网络及输入/输出模块等核心构成，实现锅炉、汽轮机及辅助系统的精准控制。系统运用信号采集与处理、智能控制算法、数据传输交互及冗余设计等关键技术，保障生产过程稳定高效。运行维护中，需强化硬件设备巡检、软件系统更新、控制逻辑优化及故障快速排查，以提升系统可靠性与经济性，为火电厂安全运行提供坚实支撑。

关键词：DCS控制系统；火电厂热工自动化；控制算法；冗余设计；运行维护

引言：在电力需求持续增长背景下，火电厂作为能源供应关键环节，其运行稳定性与效率至关重要。热工自动化是提升火电厂运行水平的核心手段，DCS控制系统作为热工自动化核心，通过分散控制与集中管理架构，实现对生产过程全方位监控与精准调节。该系统凭借强大运算能力、高可靠性及灵活性，在火电厂复杂工况下发挥关键作用，有效提升机组运行安全性与经济性，成为推动火电厂智能化转型重要力量。

1 DCS 控制系统的核心构成

1.1 过程控制单元（DPU）

过程控制单元（DPU）是DCS控制系统实现分散控制功能的核心载体，承担着对生产过程直接控制的重任。该单元通常由高性能微处理器、专用控制芯片及配套电路构成，具备强大的运算与逻辑处理能力^[1]。在火电厂热工自动化场景中，DPU可独立完成复杂控制算法运算，如锅炉燃烧系统的风煤比调节、汽轮机转速与负荷控制等。通过内置的PID调节器、前馈补偿模块等，能对温度、压力、流量等关键参数进行精确闭环控制。为确保系统可靠性，DPU普遍采用冗余设计，主从控制器并行工作，当主控制器出现故障时，从控制器可无缝接管控制任务，避免生产过程失控。

1.2 操作员站与工程师站

操作员站与工程师站作为人机交互界面，分别服务于生产运行与系统维护。操作员站配备高分辨率显示器与专用操作终端，以图形化方式展示生产流程、设备状态及参数趋势。运行人员可通过鼠标、键盘等设备，实时监控机组运行工况，执行参数调整、设备启停等操作。工程师站则侧重于系统配置与组态，提供可视化编程环境，支持控制逻辑设计、画面生成及数据库管理。工程师可利用该平台，根据工艺需求修改控制策略，优化系统性能。两站通过数据通信网络与过程控制单元连

接，实现数据双向传输。操作员站侧重于实时数据展示与操作指导，工程师站则聚焦于系统开发与维护，二者协同工作，共同保障DCS系统稳定运行。

1.3 数据通信网络

数据通信网络是DCS系统各单元间信息交换的通道，采用分层架构设计。上层为厂级网络，连接操作员站、工程师站及历史数据库服务器，实现全局数据共享与管理；下层为控制网络，连接过程控制单元与输入/输出模块，负责实时控制指令传输。通信协议通常采用工业以太网或现场总线标准，具备高带宽、低延迟特性，确保控制指令与反馈信号及时传递。为提升网络可靠性，采用冗余链路设计，主备通道自动切换，避免单点故障导致通信中断。

1.4 输入/输出模块

输入/输出模块是DCS系统与现场设备连接的桥梁，负责信号采集与执行机构驱动。输入模块将温度传感器、压力变送器现场仪表输出的模拟信号或开关量信号转换为数字信号，供过程控制单元处理；输出模块则将控制器输出的数字指令转换为模拟信号或开关量信号，驱动调节阀、电机等执行机构动作。模块设计注重抗干扰能力，采用光电隔离、滤波电路等技术，消除现场电磁干扰对信号的影响。为适应不同信号类型，输入/输出模块提供多样化接口，可适配网线、光纤、RS-485通信口，支持热电偶、热电阻、4-20mA电流等标准信号接入，满足火电厂复杂工艺需求。

2 DCS 控制系统在火电厂热工中的核心运用维度

2.1 锅炉系统控制

锅炉系统作为火电厂能量转换的核心环节，DCS控制系统通过精细化控制策略保障运行稳定性。燃烧过程控制聚焦于燃料与空气的精准配比，DCS依据负荷需求动态调整给煤机转速与送风机挡板开度，维持最佳燃烧工况^[2]。

通过实时监测烟气含氧量与炉膛温度,系统自动修正风煤比例,避免燃料不完全燃烧或过量空气导致的热损失,提升燃烧效率。汽包炉与直流炉采用差异化水位调节方案,汽包炉采用三冲量调节逻辑,以汽包水位为主调信号,蒸汽流量与给水流量作为前馈与反馈补偿,有效克服虚假水位现象;直流炉以煤水比为核心调节依据,通过给水流量与燃料量联动控制,实现蒸发段温度的精准管控,适配无汽包结构的运行特性。DCS快速响应参数波动,通过调节给水泵转速或电动阀开度,确保汽包水位/直流炉汽水参数稳定在安全范围内,防止干锅或满水事故。炉膛压力控制通过调节引风机出力维持负压状态,DCS实时采集炉膛压力信号,结合燃烧强度变化预判压力趋势,提前调整引风量,避免正压导致火焰外喷或负压引发空气漏入,保障炉膛燃烧环境稳定。

2.2 汽轮机系统控制

汽轮机系统控制围绕转速、负荷及蒸汽参数展开,DCS通过闭环调节实现高精度控制。转速控制覆盖启停与运行全周期,启动阶段DCS按预设升速率曲线控制调门开度,避免热应力超限;运行阶段实时监测电网频率变化,自动调整汽轮机进汽量,维持转速稳定。负荷控制以电网调度指令为目标值,DCS协调锅炉燃烧与汽轮机进汽,通过机炉联调模式实现负荷快速响应。采用预测控制算法,提前预判负荷变化趋势,优化燃料投放与蒸汽参数匹配,减少负荷波动对机组寿命的影响。汽压与汽温控制通过调节锅炉燃烧强度与过热器减温水流量实现,DCS依据主蒸汽压力与温度设定值,动态调整燃料量与减温水阀开度,确保蒸汽参数满足汽轮机进汽要求,防止超温或超压损坏设备。

2.3 辅助系统控制

辅助系统控制是保障火电厂安全经济运行的基础,DCS通过集成化控制提升系统协同性。给水系统控制以除氧器水位与给水泵出口压力为调节对象,DCS根据机组负荷变化调整给水泵转速,维持给水流量与压力稳定,通过液位联锁保护防止除氧器满水或抽空。凝结水系统控制聚焦于凝结水泵与精处理装置的协调运行,DCS实时监测凝结水水质与流量,自动调整水泵出力与精处理装置投运方式,确保凝结水品质达标,避免设备腐蚀。除氧系统控制通过调节加热蒸汽量与排气阀开度维持除氧效果,DCS依据给水含氧量与温度信号,优化蒸汽投入量,降低热损失的同时保障除氧效率,为锅炉提供优质给水。

3 DCS 控制系统运用中的关键技术

3.1 信号采集(是否可改为数据采集系统DAS)与处

理技术

信号采集是DCS控制系统感知火电厂热工参数的基础环节。在火电厂复杂电磁环境下,传感器需具备高精度与强抗干扰能力,以准确捕捉温度、压力、流量等关键信号。DCS采用多通道高速采样技术,对模拟信号进行高频采集,确保信号细节不丢失^[1]。采集后的信号需经过预处理,包括滤波、放大与线性化校正,消除现场噪声干扰,提升信号质量。数字信号处理环节运用快速傅里叶变换(FFT)等算法,对周期性信号进行频谱分析,识别异常频率成分,为故障诊断提供依据。部分先进系统集成自适应滤波技术,根据信号特征动态调整滤波参数,进一步优化信号纯净度,为后续控制决策提供可靠数据支撑。

3.2 控制算法的运用

控制算法是DCS实现精准调节的核心手段。传统PID算法凭借结构简单、鲁棒性强等优势,仍广泛应用于温度、压力等常规参数控制。针对火电厂非线性、强耦合特性,DCS引入智能控制算法增强适应性。模糊控制通过模拟人类经验,将复杂控制规则转化为语言变量,无需精确数学模型即可实现参数自整定,适用于燃烧过程等动态特性强的场景。神经网络算法利用海量历史数据训练模型,挖掘参数间隐含关系,在汽温预测、负荷优化等场景展现优势。部分系统采用复合控制策略,将PID与智能算法结合,兼顾动态响应速度与稳态精度,提升复杂工况下的控制品质。

3.3 数据传输与交互技术

数据传输是DCS实现分散控制与集中管理的纽带。现场总线技术将传感器、执行器与控制器直接连接,形成分布式通信网络,减少布线成本的同时提升数据传输实时性。工业以太网凭借高带宽与标准化优势,成为DCS上层通信的主流方案,支持操作员站、工程师站与控制单元间海量数据交换。为保障通信可靠性,DCS采用冗余链路设计,主备通道自动切换,避免单点故障导致数据中断。数据交互层面,OPCUA等开放式通信协议打破设备间数据壁垒,实现不同厂商设备的互联互通。部分系统引入时间敏感网络(TSN)技术,通过精确时间同步与流量调度,满足硬实时控制需求,提升系统整体响应速度。

3.4 系统冗余设计技术

冗余设计是DCS保障火电厂安全稳定运行的关键措施。控制单元冗余采用热备用模式,主备控制器同步运行,实时比对输出指令,当主控制器故障时,备用控制器无缝接管控制任务,切换时间低于毫秒级,确保生

产过程连续性。电源冗余通过双路供电与不间断电源(UPS)组合,避免市电中断导致系统停机。通信网络冗余部署双链路,数据通过不同路径传输,当某条链路故障时,系统自动切换至备用链路,通信中断概率显著降低。输入/输出模块冗余设计支持信号多路采集与输出,当某模块故障时,系统自动启用备用通道,维持现场设备正常控制。冗余管理软件实时监测硬件状态,提前预警潜在故障,为维护人员提供检修窗口,将非计划停机风险降至最低。

4 DCS 控制系统的运行维护要点

4.1 硬件设备维护

硬件设备是DCS控制系统稳定运行的物质基础,需建立周期性巡检与预防性维护机制。控制单元作为核心部件,需定期检查散热风扇运行状态,清理积尘以保障散热效率,避免因过热导致性能下降或硬件损坏^[4]。输入/输出模块的接线端子易因振动松动,需每月紧固一次并检查信号传输质量,发现氧化或接触不良及时更换端子。电源模块需监测输出电压稳定性,通过万用表定期测量各路输出值,波动超过额定值5%时需调整或更换模块。网络交换机需检查端口指示灯状态,清理光模块接口灰尘,确保通信链路畅通,避免因网络故障导致控制指令传输中断。

4.2 软件系统维护

软件系统维护涵盖操作系统、组态软件与数据库等多个层面。操作系统需定期更新安全补丁,关闭非必要端口与服务,降低网络攻击风险。组态软件维护需备份当前工程文件,更新前验证新版本兼容性,避免因版本冲突导致画面显示异常或控制逻辑错乱。数据库需定期清理历史数据,优化存储结构以提升查询效率,同时设置自动备份策略,将备份文件存储至异地服务器,防止本地故障导致数据不可恢复。软件权限需严格管理,不同用户分配差异化操作权限,防止误操作引发系统异常。

4.3 控制逻辑优化

控制逻辑优化是提升DCS系统性能的关键环节。需结合生产工况变化定期评估控制策略有效性,当负荷特性或设备参数发生显著改变时,重新校准控制参数以适应新工况。针对复杂控制回路,如汽温调节、燃烧控制等,可采用阶跃响应测试分析系统动态特性,基于测试结果调整PID参数或优化智能算法模型,缩短调节时

间并减少超调量。控制逻辑优化需兼顾安全性与经济性,在保障设备安全运行前提下,通过优化燃烧配比或蒸汽参数匹配降低能耗。优化过程中需记录参数修改历史,便于后续追溯与问题复盘,避免因多次修改导致逻辑混乱。

4.4 系统故障排查

系统故障排查需建立标准化流程与工具库。故障发生时,首先通过操作员站画面定位故障范围,观察报警信息与参数变化趋势,初步判断故障类型。利用系统自带的诊断工具检查硬件状态,通过模块指示灯或诊断软件快速定位故障模块^[5]。对于通信故障,采用网络测试仪检测链路质量,排查交换机端口或光纤连接问题。软件故障可通过重启相关服务或模块尝试恢复,若问题依旧需分析系统日志与组态文件,查找代码错误或配置冲突。故障处理后需进行功能验证,模拟类似工况测试系统响应,确保故障彻底排除且未引入新问题。建立故障知识库,记录典型故障现象、处理步骤与预防措施,为后续维护提供经验支持。

结束语

DCS控制系统在火电厂热工自动化中占据核心地位,其稳定运行直接关系到机组安全与生产效率。通过完善硬件设备维护机制、规范软件系统管理流程、持续优化控制逻辑及建立标准化故障排查体系,可有效提升系统可靠性与控制精度。科学运维策略能显著降低非计划停机风险,延长设备使用寿命,为火电厂长期稳定运行提供技术保障。随着技术不断进步,DCS系统将在智能化、集成化方向持续发展,为火电厂转型升级注入新动能。

参考文献

- [1]辛丽梅.火电厂热工自动化DCS控制系统的运用分析[J].科技视界,2024,14(33):65-68.
- [2]吴尔夫.浅析火电厂热工自动化DCS控制系统的运用[J].中国设备工程,2024(10):117-119.
- [3]张玉强.火电厂热工自动化DCS控制系统的应用及发展分析[J].精品,2021(18):219.
- [4]武学华.火电厂热工自动化DCS控制系统及应用分析[J].中国科技纵横,2024(23):52-54.
- [5]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.