

火电厂热工自动化DCS控制系统及应用分析

白文强

山西国际能源集团宏光发电有限公司 山西 吕梁 033300

摘要: 在电力行业追求高效、稳定生产的背景下,火电厂热工自动化DCS控制系统作为核心技术支撑,其运行机制与应用效果直接影响电厂整体运营效能。本文围绕火电厂热工自动化DCS控制系统展开研究,阐述其“分散控制、集中管理”的核心概念与“数据采集-处理-控制-反馈”的工作原理,剖析系统构成的体系。结合实际应用,从单元机组核心生产、辅助生产、安全保护与联锁、运行管理与数据支撑四方面,分析DCS系统的具体应用。最后指出系统未来将向智能化、网络化协同及绿色高可靠性方向发展,为火电厂DCS控制系统的优化与应用提供理论参考。

关键词: 火电厂;热工自动化;DCS控制系统;具体应用

引言:随着火电厂热工系统复杂度提升,传统控制方式难以满足高效稳定运行需求,DCS控制系统凭借独特架构成为关键技术支撑。本文先明确DCS控制系统的概念与工作原理,再剖析系统构成要素,深入探讨其在生产、安全、管理等场景的应用逻辑,最后梳理发展趋势,旨在厘清DCS系统运行机制,为火电厂提升自动化水平、保障生产安全及应对行业变革提供研究思路。

1 火电厂热工自动化DCS控制系统的概念及工作原理

1.1 概念

火电厂热工自动化DCS控制系统,全称为分布式控制系统(Distributed Control System),是专为火电厂热工过程设计的集散型自动化控制体系,核心特征是“分散控制、集中管理”的架构逻辑。该系统并非单一设备,而是由管理操作应用工作站、现场控制站与通信网络构成的有机整体,各组件既独立运行,又通过标准化通信协议实现数据交互与协同控制。其技术本质是以微处理器为核心控制单元,依托数字化通信技术,通过现场传感器与执行机构,完成火电厂热工过程中温度、压力、流量、液位等关键参数的信号采集与指令执行。系统具备分层控制特性,通过软硬件模块化设计适配火电厂热工系统复杂结构,形成从信号感知到控制执行的闭环控制链路,架构设计始终围绕热工过程连续性与稳定性需求,强调分散性与集中管理的协同统一。

1.2 工作原理

火电厂热工自动化DCS控制系统的工作流程以“数据采集-处理-控制-反馈”为核心逻辑展开。现场传感器对火电厂热工过程中的温度、压力、流量、液位等关键参数进行实时采集,将物理量转化为可传输的电信号或数字信号,并通过现场控制站的信号接口传入系统内

部。现场控制站以微处理器为核心,依据预设的控制算法对采集到的信号进行运算处理,判断当前热工参数是否处于预设的正常范围。若参数偏离标准,现场控制站会生成相应的控制指令,通过执行机构对热工设备进行调节,如调整阀门开度、改变风机转速等,实现对热工过程的实时控制。通信网络承担数据传输中枢职能,将现场控制站的参数数据、控制指令及设备运行状态信息实时传输至管理操作应用工作站,操作人员通过人机交互界面实时监控系统运行情况。管理操作应用工作站可根据实际需求调整控制参数与算法,并将调整指令通过通信网络反馈至现场控制站,形成完整的闭环控制流程,保障热工过程稳定运行^[1]。

2 火电厂热工自动化DCS控制系统构成

2.1 管理操作应用工作站

作为DCS人机交互与集中管理中枢,由操作员站、工程师站、历史数据站及配套硬件构成。操作员站以图形化模块呈现热工流程、参数与设备状态,支持报警响应与参数调节,硬件需满足多任务处理及高分辨率显示;工程师站负责系统组态维护,提供控制逻辑设计、参数配置与故障诊断环境,拥有底层配置权限;历史数据站存储热工参数与设备日志,支持备份、查询及趋势分析。三者通过内部协议协同,形成“监控-组态-存储”闭环。

2.2 现场控制站

分散控制核心单元,以微处理器为核心,集成信号采集、控制运算、指令输出与通信功能。硬件含CPU、内存、I/O模块、电源及通信接口,CPU保障实时运算,I/O模块适配多类热工信号转换;软件以实时数据库为核心,衔接数据巡检(信号采集与滤波)、控制算法(集成PID等)与输出模块(转化调节指令)。关键部件采用

冗余设计,可故障自动切换。

2.3 通信网络

连接各组件的传输纽带,采用分层架构。硬件含通信控制器、交换机、冗余传输介质(光纤、双绞线等),拓扑多为星形、环形或总线形,冗余设计降低中断风险。协议遵循工业标准,保障设备兼容,核心实现现场控制站与管理工作站间实时数据传输,确保指令与状态双向同步。

2.4 软件组件

分系统软件与应用软件,支撑硬件功能与控制逻辑。系统软件为基础,含实时操作系统(任务调度)、数据库系统(管理实时与历史数据)、通信协议软件(保障传输兼容);应用软件聚焦控制监控,含控制软件(集成算法与逻辑单元,实现热工自动调节)、监控软件(数据显示、报警处理、日志管理)、组态软件。各模块以实时数据库为核心,形成协同生态^[2]。

3 火电厂热工自动化 DCS 控制系统的具体应用

3.1 单元机组核心生产系统的DCS控制应用

单元机组作为火电厂发电核心,其锅炉、汽轮机、发电机的运行控制直接决定发电效率与稳定性,DCS系统通过专用控制模块实现全过程自动化调控,具体应用包括:(1)锅炉系统的分层控制。DCS系统集成燃烧管理系统与模拟量控制系统,形成锅炉控制闭环。在燃烧控制环节,通过采集炉膛温度、压力、烟气含氧量等参数,自动调节一次风、二次风挡板开度及给煤量,实现燃料与空气配比优化;汽包水位控制中,采用三冲量调节逻辑,结合给水流量、蒸汽流量及水位信号动态调整给水泵转速,维持水位稳定;主蒸汽温度控制则通过调节减温器喷水量,配合过热器、再热器区域温度测点反馈,确保蒸汽参数符合汽轮机运行需求。(2)汽轮机系统的精准调控。DCS系统通过数字电液控制系统接口实现汽轮机运行控制,实时采集转速、振动、轴瓦温度等关键参数。在启动阶段,按预设曲线控制汽轮机升速,通过转速反馈信号调整油动机开度;正常运行时,根据电网负荷指令调节调门开度,同步监控汽轮机排汽温度、真空度等指标;当出现转速超限、振动异常等情况时,自动触发联锁保护逻辑,保障设备安全。(3)机组协调控制的联动实施。DCS系统通过协调控制系统实现锅炉与汽轮机的动态匹配,根据电网AGC指令或操作员设定负荷,自动分配锅炉燃烧率与汽轮机调门开度指令。在不同运行模式下,可切换为锅炉跟随模式、汽轮机跟随模式或协调控制模式:BF模式下汽轮机调节负荷,锅炉根据汽压变化调整燃烧;TF模式下锅炉维持燃

烧稳定,汽轮机调节汽压;CC模式下两者协同调节,提升负荷响应速度。

3.2 辅助生产系统的DCS集中管控应用

辅助生产系统涵盖输煤、脱硫、除灰、水务等环节,DCS系统通过网络集成实现分散设备的集中监控,具体应用方式包括:(1)燃料输送系统的流程控制。DCS系统对输煤系统实施全程自动化管控,通过现场传感器采集皮带输送机速度、煤仓料位、除尘器运行状态等参数。控制逻辑包括皮带机的顺序启停联锁、料位自动调节、故障保护输煤控制系统通过分支交换机接入辅助系统集中控制网络,实现远程监控,就地不设控制室,采用无人值守模式。(2)环保处理系统的过程调控。脱硫系统的控制纳入DCS系统管理,涵盖烟道系统、吸收塔系统、浆液疏排系统等环节。DCS系统采集烟气入口SO₂浓度、吸收塔浆液pH值、循环泵运行电流等参数,自动调节浆液循环量、氧化风机风量及脱硫剂投放量。脱硝系统中,根据烟气NO_x浓度与机组负荷,动态调整氨水喷射量,确保排放指标达标。(3)公用辅助系统的集成管理。全厂性公用水系统通过PLC控制并接入DCS辅助控制网络,采集水质指标、水泵压力、水箱液位等信号,实现水泵自动启停与水质处理工艺调控。空压站控制中,DCS系统对空压机及干燥装置进行监测、联锁控制与遥控启停,通过压力传感器信号调节空压机运行台数。除灰除渣系统则根据锅炉排渣量、灰仓料位,自动控制排渣机、输灰泵运行,实现灰渣的连续输送与储存^[3]。

3.3 安全保护与联锁系统的DCS落地应用

DCS系统构建全流程安全防护体系,通过硬接线与软件逻辑双重保障,实现设备与安全系统的安全运行,具体应用包括:(1)锅炉安全保护逻辑的执行。BMS系统作为DCS核心安全模块,承担锅炉燃烧安全防护职能。当检测到炉膛火焰丧失、炉膛压力超限、汽包水位异常(过高或过低)、引送风机全停等故障时,立即触发主燃料跳闸逻辑,切断所有燃料供应(燃煤、燃油),同时联锁关闭相关阀门、停运给煤机与磨煤机。MFT动作后,系统自动记录首次跳闸原因,为事故分析提供依据。(2)机组联锁保护的分级实施。DCS系统按故障严重程度设置多级保护逻辑:一级保护为机组紧急停机,当汽轮机超速、发电机内部故障、润滑油压低等情况发生时,触发紧急停机指令,关闭主汽门并切断发电机与电网连接;二级保护为减负荷运行,如部分给水泵故障时,执行RB逻辑将机组负荷降至安全水平;三级保护为设备联锁跳闸,如磨煤机润滑油温过高时,自动停运

磨煤机并关闭入口闸板。(3)系统异常预警与处理。DCS系统对热工参数设置多级报警阈值,当参数偏离正常范围时,通过声光信号提示并在操作员站显示报警位置与数值。针对常见故障,内置自动处理逻辑:如通信网络单点故障时,冗余网络自动切换;I/O模块故障时,系统自动采用历史数据趋势预测或手动控制模式过渡;电源中断时,UPS电源立即投入,保障控制系统持续运行。

3.4 运行管理与数据支撑的DCS功能应用

DCS系统不仅承担控制职能,还为机组运行管理提供数据与技术支持,具体应用体现在:(1)实时数据采集与监控。通过分散布置的I/O模块,DCS系统对全厂热工参数进行全覆盖采集,包括温度、压力、流量、液位等模拟量,阀门开关、设备启停等开关量,以及电流、电压等电气量。采集数据经滤波、转换后,以流程图、数值表、趋势曲线等形式在操作员站呈现,更新周期不超过1秒,确保运行人员实时掌握设备状态。(2)历史数据存储与追溯。历史数据站作为DCS存储核心,按预设周期存储热工参数、设备运行状态、操作记录等数据,存储容量可满足1-3年数据留存需求。数据检索支持多条件筛选,可按时间范围、参数类型、设备名称等查询历史趋势,生成日报、月报、年报等统计报表。(3)系统组态与维护支持。工程师站为DCS系统提供组态与维护平台,支持控制逻辑修改、参数配置、画面编辑等操作。在组态功能上,可通过图形化编程工具搭建控制回路,集成PID、逻辑运算、函数运算等算法模块;在维护功能上,具备设备自检与故障诊断能力,可定位故障模块,显示故障代码与处理建议。(4)网络通信与系统集成。DCS系统通过分层通信网络实现内部与外部集成:现场总线层连接现场控制站与传感器、执行机构,采用Modbus、Profibus等协议;监控网络层连接现场控制站与管理操作工作站,保障实时数据传输;管理层则实现DCS与SIS(厂级监控信息系统)、MIS(管理信息系统)的数据交互,为厂级生产调度与管理决策提供支撑^[4]。

4 火电厂热工自动化DCS控制系统的发展趋势

火电厂热工自动化DCS控制系统的发展趋势如下:

(1)智能化水平持续提升,将深度融合人工智能技术,通过机器学习算法分析历史运行数据,实现热工参数异常预警、控制策略自优化,例如基于工况动态调整PID参数,减少人工干预;同时引入数字孪生技术,构建机组虚拟模型,模拟不同工况下系统运行状态,辅助故障诊断与运维规划。(2)网络化与协同化加强,打破传统DCS的封闭性,采用工业以太网与5G技术,实现与SIS、MIS及云端平台的高效数据交互,支撑跨厂区、跨层级的集中管控;同时推动多系统协同。(3)绿色化与可靠性升级,硬件上采用低功耗芯片与节能模块,降低系统能耗;软件上优化控制逻辑,助力机组深度调峰与节能运行;同时强化冗余设计与cybersecurity(网络安全)防护,通过多重备份与入侵检测,保障系统在复杂环境下稳定运行。

结束语:本文系统梳理火电厂热工自动化DCS控制系统的概念、原理、构成及应用,明确其在单元机组控制、辅助系统管理、安全防护等方面的核心作用,验证该系统对火电厂稳定高效运行的重要性。当前DCS系统虽已广泛应用,但仍需适配行业新需求。未来可围绕智能化技术融合、网络安全强化等方向深入研究,进一步发挥DCS系统价值,助力火电厂实现绿色、智能转型,推动电力行业高质量发展。

参考文献

- [1]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.
- [2]苏伟,毕盛源,田若锦.火电厂热工自动化DCS控制系统的设计与应用[J].自动化应用,2025,66(11):46-48.
- [3]瞿发仰.火电厂热工自动化DCS控制系统的应用探析[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(1):059-062.
- [4]李玉超.火电厂热工自动化DCS控制系统的运用研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(10):013-016.