

电厂辅控运行中的自动化控制技术应用研究

赵 铮 赵 桢

内蒙古京能检修工程管理有限公司 内蒙古 乌兰察布 012000

摘 要：辅控系统是火电厂生产运行的重要组成，其自动化水平直接影响机组整体效能。本文针对传统辅控系统分散控制、人工值守导致的效率偏低问题，系统探讨了自动化控制技术在辅控领域的应用体系。从控制平台选型、集中监控网络构建、各工艺子系统差异化改造及协同控制策略等方面阐述了技术实施方案，深入剖析了系统可靠性保障、复杂工况适应及旧系统接入等工程难点，并结合实践分析了自动化升级对运行管理模式的重塑效应。自动化技术的深度应用是辅控系统提质增效的核心路径，技术与管理的协同演进将成为推动火电厂运行体系现代化的重要动力。

关键词：火力电厂；辅控系统；自动化控制；运行优化

引言：电厂辅控系统承担着燃料供给、烟气净化、化学制水等关键辅助功能，其运行水平直接影响机组的安全性及经济性。长期以来，辅控系统采用“一人一岗、就地操作”的分散运行模式，各子系统独立控制室分散布置，岗位设置多、人员需求量大，运行人员劳动强度高而工作效率偏低，已成为制约电厂整体运行效能提升的突出短板。随着分散控制系统、可编程控制器、现场总线及工业以太网等自动化技术的日益成熟，辅控系统从就地手动向集中监控、从分散值守向少人值守转型的技术条件已充分具备。基于辅控运行实际，系统探讨自动化控制技术在辅控领域的应用路径、关键技术与管理变革，为电厂辅控系统自动化改造提供参考。

1 电厂辅控系统概述与自动化理论基础

1.1 电厂辅控系统的构成与功能

电厂辅控系统是服务于机组安全经济运行的全部辅助生产控制系统的总称，涵盖输煤、除灰渣、脱硫脱硝、化学水处理、制氢站、空压机站、燃油系统及废水处理等子系统。各子系统功能相互关联：输煤系统保障锅炉燃料供给，除灰渣系统承担除尘与排渣，脱硫脱硝系统实现烟气环保净化，化学水处理系统完成原水预处理、除盐水制备及凝结水精处理。这些子系统共同构成电厂辅助生产的完整链条，任一环节异常均可能影响主机安全或导致环保超标，体现了辅控系统在电厂运行中的重要支撑作用。

1.2 辅控运行的传统模式与面临挑战

传统辅控系统采用分散就地值守模式，各子系统分设独立控制室，运行人员固定岗位地完成操作与监视，岗位间依靠电话沟通。该模式面临多重挑战：岗位

分散导致人员需求量大，与行业编制压缩趋势形成矛盾；运行人员长期处于粉尘、噪声等不良环境，劳动强度高且健康风险大；信息传递滞后使异常工况下协同响应能力不足；大量重复操作占用精力，难以关注系统整体优化。同时设备老龄化加剧维护压力，人才断层问题突出，传统模式已难以为继，自动化改造势在必行^[1]。

1.3 自动化控制理论基础

辅控自动化以经典控制与现代控制技术为支撑，涵盖闭环反馈控制、顺序控制和联锁保护三大类，分别实现模拟量调节、设备程控启停和安全保护。PID 控制通过比例、积分、微分参数的合理整定，完成温度、压力、流量等参数的稳定调节。顺序控制按预定工序实现设备自动启停，广泛应用于输煤程控和制水再生。集散控制系统采用分散控制、集中管理架构，将控制功能下放至现场控制器，通过高速通信网络实现操作站集中监控。工业控制系统层级模型从现场设备到管理层逐级递进，各层通过标准协议实现数据贯通，为系统实施提供了成熟的理论框架。

2 电厂辅控自动化控制技术体系与技术选型

2.1 辅控自动化核心技术

辅控自动化涉及控制系统平台、检测执行与网络通信三大核心技术。平台方面，DCS 适用于模拟量调节为主、回路多且数据量大的脱硫、化水等工艺，具备冗余配置和高可靠性；PLC 以顺序控制见长，响应快、编程灵活，广泛应用于输煤程控和除灰渣系统。检测执行方面，智能变送器、在线分析仪表及变频装置是实现精准检测与可靠执行的基础。网络方面，工业以太网和现场总线构建控制网、监控网和管理网三层隔离架构，保障

实时性与信息安全。各技术的合理选型搭配,是辅控自动化系统设计的核心环节。

2.2 辅控集中监控系统(辅控网)设计

辅控集中监控系统将各子系统纳入统一平台,实现全辅控系统的集中监视与调度。架构采用分层分布式设计:就地控制层由各子系统控制器完成数据采集与控制;集中监控层通过工业以太网汇集数据,在集控室设置操作员站和大屏显示;数据管理层配置实时历史服务器,为运行分析提供支撑。各子系统通过 OPC UA 和 Modbus TCP 等标准协议接入,实现异构系统数据集成。辅控网与主机 DCS 之间设置单向隔离网闸确保安全。统一监控界面以工艺流程图为导向,集成报警管理、趋势分析和操作日志,为运行人员提供全景化一站式的监控手段。

2.3 各子系统自动化改造技术方案

各辅控子系统应根据工艺特点制定差异化改造方案。输煤系统实现卸煤到上煤全流程程控化,皮带按联锁自动启停,配煤根据煤仓料位自动调节给煤量,加装除铁、自动取样等辅助装置。除灰渣系统实现电除尘自动振打、气力除灰按料位自动输送。脱硫系统实现 pH 自动调节、供浆自动控制及石膏脱水自动运行。化学水处理实现制水全流程自动控制,再生按设定程序自动执行。空压机系统实现多机组自动联控与压力自动调节^[2]。各系统改造应充分利用原有设备,合理增设检测仪表和执行机构,通过控制逻辑重构实现自动化功能。

2.4 控制策略优化

控制策略优化是硬件到位后提升控制品质的关键。输煤系统通过皮带秤与给煤机转速构成闭环配煤控制,按锅炉需求自动调节给煤比例。脱硫系统采用浆液循环泵组合与供浆调节阀构成 pH 值串级调节,引入烟气量和 SO₂ 浓度作为前馈信号克服大滞后。化学水处理根据出水电导度自动调整再生周期,按水箱液位和用水负荷优化设备投运。多子系统间引入协调控制,负荷变化时辅控网提前向脱硫和输煤系统发送预测值,实现超前响应。优化完成后须进行阶跃扰动试验和调节品质鉴定,确保各项性能满足工艺要求。

3 电厂辅控自动化系统的关键技术与难点

3.1 可靠性与安全性设计

辅控自动化系统的可靠性直接影响机组运行安全,须从多个层面进行保障。设备层面,控制器、电源、通信网络均按冗余配置设计,单点故障不影响系统整体运行;关键 I/O 模块支持热插拔,故障更换无需停机。

系统层面,控制站与操作站之间采用冗余光纤环网,任一节点或链路中断系统自动切换。故障安全设计方面,当检测到通信中断或控制器故障时,各输出通道按预设的安全值输出,执行机构保持在故障安全位置,确保设备不失控。信息安全方面,辅控网与外部网络实施物理隔离,部署工业防火墙进行访问控制,上位机安装主机加固软件防止未授权操作。同时建立分级报警和操作权限管理体系,关键操作需双人确认,防止误操作引发事故。可靠性试验须在系统投运前全面完成。

3.2 恶劣工况下的测量与控制

辅控系统各工艺环节普遍存在高温、高湿、高粉尘、强腐蚀等恶劣工况,给测量与控制带来特殊困难。输煤系统的粉尘环境易导致光电传感器镜头污染、接近开关误动作,应选用防尘型检测元件并配置自动清扫装置,皮带秤等计量设备须设防震措施。脱硫系统浆液具有强酸性和高含固率,pH 电极表面易结垢导致测量漂移,应选用抗污染型电极并配套自动清洗和定期标定;浆液密度测量宜采用质量流量计替代差压式,避免取压管堵塞;浆液循环泵出口压力变送器须加装隔膜密封隔离酸性介质。烟气测量方面,入口烟温高且含尘量大,温度元件须加装防磨护套,压力测点须设吹扫装置防堵。仪表选型须充分考虑环境腐蚀等级和防护等级,安装位置应避开强振动源和冲刷区域,确保检测数据真实可靠^[3]。

3.3 老旧机组辅控改造的技术难点

老旧机组辅控自动化改造面临诸多特殊困难。设备接口方面,早期进口设备通信协议不公开且各厂家标准不一,新系统难以直接读取数据,需通过协议转换网关或硬接线采集方式解决。就地设备不具备远传和远控能力的问题普遍存在,大量老式电动执行机构仅有开关量控制而无模拟量反馈,须更换为智能执行机构或加装位置变送器。施工组织方面,改造期间不能影响机组正常运行,输煤系统改造须在来煤间隙或停机窗口内分段实施,化水系统改造须保障制水连续供应。新旧系统过渡期需安排并行运行方案,保留原控制盘柜作为备用,新系统稳定运行后再逐步拆除旧设备。改造前应进行充分的现场勘查和技术方案论证,制定详细的施工计划和应急预案,将改造风险降至最低。

3.4 智能化升级方向

自动化系统建成后,进一步向智能化方向升级是技术发展的必然趋势。在智能感知方面,输煤系统可部署

AI 视频识别装置自动检测皮带跑偏、撕裂、异物混入和人员违规穿越；化学水处理系统引入在线智能分析仪表，自动识别水质异常并关联处置。在预测预警方面，基于历史运行数据构建设备故障预测模型，对浆液循环泵轴承磨损、空压机效率衰减等缓慢劣化过程实现提前预警，从定期维护向状态检修过渡。在优化决策方面，利用大数据分析辅控系统能耗规律，建立厂用电率优化模型，在满足机组负荷和环保要求的前提下自动推荐各辅机最优运行组合。在数字孪生方面，建立辅控系统的虚拟仿真模型，支撑离线调试、操作培训和运行优化方案验证。智能化升级将推动辅控系统从“自动执行”向“自主决策”的能力跃升。

4 辅控自动化对运行管理模式的影响与变革

4.1 运行组织方式的转变

辅控自动化技术的应用从根本上改变了传统运行组织方式。空间组织上，各子系统分散的控制室被辅控集控室取代，运行人员从就地值守转变为集中监控，以“一个平台、一张网”实现对全辅控系统的统一监视和调度。岗位组织上，按系统划分的独立值班岗位整合为辅控集中值班岗位，运行人员在集控室内即可完成全部辅控设备的启停操作、参数调整和异常处置。值班主任或辅控长通过操作站全面掌握各子系统运行状态，指挥协调能力显著增强。巡检模式同步变革，就地值守取消后改为区域化定时巡检，巡检人员按规划路线对现场设备进行周期性巡查，发现问题即时通过移动终端上报处理。组织方式的转变实现了管理幅度的压缩和管理效率的提升，是辅控运行现代化的重要标志。

4.2 人员配置优化与岗位转型

自动化改造带来了显著的人员配置优化效应。辅控岗位总人数可大幅减少，原各子系统就地值班员经系统培训后竞争上岗至辅控集控值班员岗位，富余人员分流至巡检岗位、检修岗位或其他部门^[4]。人员素质要求发生根本转变，集控值班员不再需要掌握单一系统的就地操作技能，而需要具备全辅控系统的系统认知、跨系统协调和异常综合分析能力；巡检人员则需具备现场设备识别、异常感知和初步处置能力。岗位转型需要配套的系统化培训体系支撑，培训内容涵盖辅控工艺流程、集控操作规范、报警分析判断和应急处理预案等模块。人员配置优化后须同步调整排班制度和交接班流程，确保岗位职责清晰、工作衔接顺畅，避免因人员减少导致管

理盲区。

4.3 运行管理制度变革

自动化系统的投用要求运行管理制度进行系统性修订和完善。操作规程方面，原按各子系统分别编写的运行规程须整合为统一的辅控集控运行规程，增加集控操作规范、跨系统操作协调流程和自动化系统异常处置章节，明确正常工况下以自动控制为主、人工干预为辅的操作原则。报警管理制度需建立分级报警体系，区分紧急报警、重要报警和一般报警，明确各级报警的响应时限和处置流程，同时设置报警泛滥抑制机制防止瞬时扰动引发大量无效报警。交接班管理制度由就地设备逐一交接转变为系统状态交接，接班人员通过查看趋势图、报警日志和运行记录快速掌握系统状况^[5]。缺陷管理方面，自动化系统具备自诊断功能，控制器、通信和 I/O 模块故障自动上报，须纳入缺陷管理流程闭环处理。各项制度的修订须充分征求运行人员意见，经审批后严格执行。

结束语

辅控自动化技术应用对电厂生产运行产生了深远影响。本文在阐明辅控系统架构与运行现状的基础上，围绕技术体系构建、平台搭建、子系统改造及策略优化等层面，系统探讨了自动化控制技术的工程实践路径，并就系统可靠性保障、恶劣环境适应性及存量机组改造等关键难题展开了深入分析。同时，本文还着重审视了技术引入所引发的运行组织重构、人力资源优化及制度体系变革等管理议题。展望未来，随着数智技术的深度融合，辅控系统必将向更高效、更智能的方向持续演化，有力支撑电厂整体的数字化转型。

参考文献

- [1] 徐梦蝶. 自动化控制技术在水电厂中的应用研究[J]. 模型世界, 2025(25): 137-139.
- [2] 赵贵秋. 电气自动化在瓦斯发电厂运行效率提升中的应用研究[J]. 电气技术与经济, 2025(7): 92-94.
- [3] 晏建新. 自动化技术在火力发电电气控制中的应用[J]. 通信电源技术, 2022, 39(14): 167-169.
- [4] 邓桃, 王亭鹃. 电厂集控系统自动化控制技术在电力生产中的应用研究[J]. 张江科技评论, 2026(2): 140-142.
- [5] 李顺. 电气自动化技术在电厂锅炉控制中的应用实践[J]. 模型世界, 2025(6): 126-128.