

电厂辅控运行系统优化与智能化升级研究

赵 祯 赵 铮

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：电厂辅控系统涵盖输煤、除灰渣、脱硫脱硝、化学水处理等多个子系统，其运行水平直接影响机组安全性与经济性。传统辅控系统长期存在硬件老化、自动化水平偏低、子系统协同性差及故障预警不足等问题。本文在梳理辅控系统构成与智能化核心技术基础上，深入分析传统辅控运行痛点，从硬件改造、控制逻辑优化、程控流程优化及跨系统联动四个维度提出运行优化策略，并设计了一体化集中监控平台、智能故障诊断预警、节能调控及无人值守模式升级等方案。运行优化与智能化升级协同推进，可有效提升辅控系统可靠性、经济性与自动化水平，为电厂智慧化转型提供有力支撑。

关键词：电厂辅控系统；运行优化；自动化改造；智能化升级

引言：电厂辅控系统是保障机组安全经济运行的重要支撑，覆盖输煤、除灰渣、脱硫脱硝、化学水处理、空压机站等辅助生产环节。与主机自动化水平日臻成熟相比，辅控系统长期面临技术投入不足、管理粗放的困境，各子系统相互独立、信息孤岛严重，运行人员劳动强度大而系统整体效能偏低。随着智慧电厂建设深入推进，自动化控制、工业互联网、人工智能等新一代信息技术加速与电力生产融合，为辅控系统的优化与智能化升级提供了技术条件。本文立足辅控系统运行实际，从优化与智能化两个层面系统探讨提升路径，旨在为电厂辅控系统提质增效提供参考。

1 电厂辅控系统基础概述与智能化理论

1.1 辅控系统整体构成

电厂辅控系统是指除机组主控系统之外，服务于机组安全经济运行的全部辅助生产控制系统，覆盖输煤系统、除灰渣系统、脱硫脱硝系统、化学水处理系统、制氢站、空压机站、燃油系统及废水处理系统等。各子系统功能各异但相互关联：输煤系统保障锅炉燃料供给，除灰渣系统负责烟气除尘与灰渣排放，脱硫脱硝系统承担烟气环保净化，化学水处理系统提供合格除盐水。这些子系统共同构成电厂辅助生产的完整链条，任一环节运行异常均可能影响主机安全或环保达标。

1.2 传统辅控系统运行模式

传统辅控系统普遍采用“一人一岗、就地操作”的分散式运行模式。各子系统分别设置独立控制室，运行人员固定值守，通过就地仪表盘或操作台完成设备启停、状态监视和参数调整。各岗位之间缺乏有效的

信息沟通和协调机制，操作主要依赖人工经验和纸质规程。这种模式下，岗位设置多、人员需求量大，运行人员长时间处于嘈杂、粉尘或噪声环境中，劳动强度大且工作效率偏低。分散值守造成人力资源无法集约化利用，管理幅度受限，已成为制约辅控运行水平提升的突出瓶颈^[1]。

1.3 辅控智能化升级核心技术

辅控系统智能化升级涉及多项核心技术的综合应用。感知层通过智能传感器、无线传感网络和边缘计算节点实现设备状态全面感知，视频图像识别技术可完成跑煤检测、表计读数及安全行为识别。控制层采用先进过程控制算法替代传统 PID 调节，提高复杂工况控制品质。数据层通过工业大数据平台对运行数据进行采集、清洗与分析，构建设备健康评估与故障预测模型。应用层利用数字孪生技术建立辅控系统虚拟镜像支撑虚拟调试与优化，工业互联网平台将各子系统数据贯通形成统一监控界面。这些技术的系统集成，为实现辅控从自动化向智能化的跨越提供了技术基础。

1.4 辅控系统优化与智能升级目标

辅控系统优化与智能化升级应确立清晰的多维目标体系。安全性方面通过完善联锁保护、增强故障预警，减少辅控异常引发的机组非停。经济性方面通过控制策略优化和能耗精细化管理，有效降低辅机单耗和厂用电率。环保性方面确保脱硫脱硝系统在各类工况下稳定达标。少人化方面通过集中监控和智能运维替代就地值守，缓解人员结构性短缺压力。长远来看，辅控系统应朝着“安全可控、经济高效、绿色环保、少人无人”的智

慧化方向持续演进,实现从被动执行指令向主动感知、自主决策、自动优化的运行模式跃迁。

2 传统电厂辅控系统运行现状及问题分析

2.1 辅控系统硬件设备老旧

多数燃煤电厂辅控系统投运时间较长,硬件设备普遍老化。就地控制盘柜继电器逻辑复杂、触点氧化接触不良,故障率高且排查困难。现场检测仪表以传统模拟量为主,测量精度逐年衰减,部分测点已失效未及时更换。执行机构电动阀门和气动执行器行程不到位、关不严或卡涩,自动调节品质差。输煤系统皮带保护装置、除铁器等辅助设备损坏率偏高。老旧硬件不仅制约自动控制功能的投入和优化,还导致维修成本逐年攀升,部分设备型号停产备件采购困难,严重影响辅控系统连续可靠运行,硬件更新改造迫在眉睫^[2]。

2.2 自动化控制水平偏低

辅控系统自动化水平远低于主机 DCS 系统。部分子系统仍处于就地手动或半自动操作状态,输煤配煤依赖人工调整给煤机转速,化学制水再生需运行人员逐一手动开关阀门。已实现自动控制的回路控制品质普遍不高,PID 参数多年未更新,调节过程振荡频繁或响应迟缓,工况变化较大时往往切回手动。自动投入率统计显示辅控各子系统自动投入率大多不足,大量控制回路长期处于手动模式。运行人员长时间陷于频繁操作,无暇关注系统整体运行状态优化。

2.3 各子系统独立运行、协同性差

辅控各子系统在设计 and 建设时期各自独立,形成明显的“信息烟囱”和“控制孤岛”。各系统来自不同厂家、采用不同通信协议,数据无法互通,各控制室之间仅靠电话沟通。机组负荷变化时,输煤系统不能提前获取需求调整供煤节奏,脱硫系统不能预知烟气波动提前优化运行组合,化水系统不能根据全厂用水需求优化制水设备启停。这种缺乏协同的运行方式造成系统响应滞后、调节裕度不足,设备空转和能耗浪费严重,异常工况下容易出现沟通失误或决策延误。

2.4 故障监测与预警能力不足

传统辅控系统的故障监测主要依赖运行人员定时巡检和仪表超限报警,缺乏智能化的诊断与预警手段。设备劣化过程无法被及时发现,往往等到故障发生或参数严重超标时才能被动响应。各子系统大量运行数据未被有效利用,数据间隐含的关联规律和故障前兆特征无人挖掘。报警系统缺乏分级管理,大量无效报警淹没关键预警信息,运行人员对报警的敏感度不断降低。这种

“事后处置”模式导致故障处理成本高昂、非计划停运频繁,亟需建立基于数据驱动的智能预警体系,实现设备状态在线评估和故障早期识别。

3 电厂辅控系统运行优化策略研究

3.1 辅控硬件设备优化改造

硬件设备优化改造是辅控系统运行优化的基础工程。针对就地检测仪表老化,应将关键工艺测点模拟仪表更新为智能变送器,提高测量精度和响应速度,补充缺失测点完善数据采集完整性。执行机构方面以智能电动执行机构和精小型气动执行机构替代老旧产品。输煤系统皮带保护装置升级为集成化智能保护单元,实现多参数综合保护。控制柜内老旧继电器逻辑逐步改造为 PLC 或 DCS 控制,简化硬接线提高可靠性。对于已停产进口设备需制定国产化替代方案。硬件改造应统筹规划、分步实施,优先安排故障率高、影响面大的关键设备,逐步夯实辅控系统自动化和智能化的硬件基础^[3]。

3.2 控制逻辑与 PID 参数优化

控制逻辑与 PID 参数优化是提升自动控制品质的核心手段。应对各子系统现有控制逻辑全面梳理,排查逻辑缺陷和不合理联锁条件,完善启停顺控程序和保护逻辑。基于当前设备特性和运行工况重新整定 PID 参数,采用临界比例度法或衰减曲线法获取合适的比例增益、积分时间和微分时间。对于大滞后、强耦合对象,在 PID 基础上增加前馈补偿,将烟气量、负荷变化等扰动信号提前引入调节通道改善抗干扰能力。输煤给煤机转速闭环调节、脱硫 pH 值串级调节、化水导电度关联控制等均应纳入优化范围,优化后须经仿真验证和在线试运行确认再正式投入。

3.3 各子系统工程控流程优化

程控流程优化旨在提高各子系统顺序控制自动化程度和适应性。输煤系统从卸煤到上煤全流程实现程控化,优化配煤逻辑使不同煤种给煤量按比例精确执行,实现煤仓料位自动均衡控制。除灰渣系统完善气力除灰自动输送逻辑,根据灰斗料位信号自动启停输送单元。脱硫系统实现从供浆、循环氧化到排石膏的全流程自动程控。化学水处理系统实现制水设备自动投运与再生全自动程控,根据水箱液位和用水负荷自动启停。程控流程优化关键是使控制逻辑具备充分工况适应性,在不同负荷和煤质条件下均能稳定运行,每项措施须经充分测试并编制标准化程控操作卡。

3.4 跨系统联动协同优化

跨系统联动协同优化是实现辅控系统整体效能提升

的关键突破。首先建立各子系统间信息共享通道,将煤质信息和上煤量、烟气参数和排放数据、制水能力等关键信息统一汇总至协同调度层。在此基础上开发跨系统协同控制策略:负荷变化时提前向脱硫系统发送烟气量预测值,自动优化浆液循环泵运行组合;根据负荷和煤质硫分协同调整制浆供浆量;根据全厂用水需求和化水设备状态优化制水系统运行方式。协同优化需建立统一时间基准和通信协议,确保各子系统动作同步,实施应循序渐进,先从信息共享开始逐步过渡到部分协同闭环控制。

4 电厂辅控系统智能化升级方案设计

4.1 辅控一体化集中监控平台建设

一体化集中监控平台是辅控智能化升级的核心基础设施。该平台将各子系统控制终端统一迁移至辅控集控室,通过工业以太网实现全部辅控设备的远程集中监视与控制。平台采用统一操作界面和数据标签体系,以工艺流程图为导向实现全辅控系统运行状态一屏总览。平台架构分为数据采集层、数据处理层和应用展示层:采集层通过 OPC UA、Modbus TCP 等标准协议与各子系统控制器通信;处理层部署实时数据库和历史数据库完成数据清洗与存储;展示层提供流程监视、报警管理、趋势分析和操作导航。集中监控平台打通了各子系统间数据壁垒,为后续智能应用开发奠定基础,关键节点须实现冗余配置满足工业级可靠性要求。

4.2 智能故障诊断与预警系统升级

智能故障诊断与预警系统基于大数据分析机器学习技术,对辅控设备运行数据进行深度挖掘,建立设备健康状态评估和故障预测模型。针对浆液循环泵、搅拌机、空压机、皮带机等关键设备,采集振动、温度、电流、压力等多维特征参数,通过异常检测算法实时计算设备健康度。当检测到特征参数出现异常演化趋势时,系统提前预警并给出可能故障原因和处置建议^[4]。对于脱硫效率下降、除雾器差压异常等工艺异常,通过历史数据训练回归预测模型提前预判性能劣化趋势。系统具备自学习能力,随运行数据积累不断优化模型精度,预警信息分级管理与集中监控平台联动,实现从被动抢修向主动预维护转变。

4.3 辅控系统节能智能调控升级

节能智能调控是辅控智能化升级的重要价值体现。基于实时运行数据建立各辅机系统能耗模型,以厂用电率最小化为目标,在满足主机运行需求约束下通过智能

算法优化设备组合和参数设定。脱硫系统根据入口烟气 SO_2 浓度和烟气量动态优化浆液循环泵投运台数和供浆量。输煤系统根据机组负荷预测和煤仓料位优化皮带运行时间和给煤量分配。空压机系统根据全厂用气量智能调度多台机组加卸载和轮换运行。化学水处理根据用水负荷优化制水设备运行组合和再生周期。节能调控采用模型预测控制策略,利用滚动优化机制适应工况变化,实现辅控系统整体能耗持续优化。

4.4 无人值守与少人值守模式升级

无人值守与少人值守是辅控系统智能化升级的最终运行形态。在集中监控平台全面建成、智能预警有效运转、自动控制品质达标基础上,辅控运行模式可实现分阶段演进。少人值守阶段,辅控集控室仅保留一名监盘人员负责全系统监视和异常处置,就地取消固定值守改由区域巡检人员按周期巡查。无人值守阶段,正常工况系统全自动运行,智能预警承担状态监视职能,异常时通知巡检人员到场处理。巡检模式同步升级,采用智能巡检系统进行任务派发、路径优化和记录上传。运行规程、交接班制度、应急处置流程须同步修订,原有值班员经培训转岗为集控值班员或巡检维护人员,实现运行管理向集约化专业化方向发展。

结束语

辅控运行系统的优化与智能化升级是火电厂数字化转型的重要组成部分。本文系统梳理了辅控系统构成、传统运行模式及智能化核心技术,深入剖析了硬件老化、自动化水平偏低、协同性差、预警能力不足等现实问题,从硬件设备改造、控制逻辑优化、程控流程优化和跨系统协同四个维度提出了运行优化策略,并设计了涵盖一体化集中监控平台、智能诊断预警、节能调控和无人值守模式的智能化升级方案。随着人工智能、数字孪生等技术的持续成熟,辅控系统将逐步实现自感知、自决策、自优化,为电厂全面智慧化转型贡献关键力量。

参考文献

- [1] 李政阳. 电厂辅机系统节能改造与运行优化的一体化方案探究 [J]. 消费电子, 2026(9): 200-202.
- [2] 崔少峰. 电厂汽机热力系统运行优化研究 [J]. 电力设备管理, 2022(23): 314-316.
- [3] 车勇, 刘镨, 王小辉, 等. 双馈调速电机系统在发电厂辅机中的应用研究 [J]. 电力与能源, 2026, 47(3): 309-312.
- [4] 范宏, 罗昊, 陈舒阳, 等. 智慧楼宇型虚拟电厂辅助电网调频的优化方法 [J]. 南方电网技术, 2025, 19(9): 117-130.