

智慧电厂背景下集控运行的智能化改造与实践

张晓阳

中电建(崇信)发电有限公司 甘肃 平凉 744206

摘要: 在新型电力系统构建与“双碳”目标引领下,智慧电厂建设成为火电行业转型升级的核心方向,集控运行作为电厂生产管控核心,其智能化改造是实现高效、安全、低碳运行的关键。本文结合行业实践,阐述改造的核心需求与技术路径,整合物联网、AI、数字孪生等技术,优化监控、调度与运维模式,解决传统集控人工依赖高、响应滞后等痛点,通过实践验证成效,为同类电厂升级提供可借鉴的思路。

关键词: 智慧电厂;集控运行;智能化;改造;实践

引言: 当前能源革命深入推进,大数据、人工智能等新兴技术与发电产业深度融合,智慧电厂成为破解传统电厂效率低、运维复杂、安全管控不足等难题的重要抓手。集控运行承担机组启停、参数调节、故障处置等核心职责,传统模式已难以适配智慧电厂规模化、精细化、协同化需求。开展其智能化改造实践,推动从经验驱动向数据驱动转型,对保障能源安全、提升效能、助力“双碳”目标意义重大。

1 智慧电厂与集控运行相关理论基础

1.1 智慧电厂核心内涵与发展背景

(1) 智慧电厂以工业互联网为支撑,融合大数据、人工智能等技术,是实现全流程智能化管控的新型电厂,核心特征为自动化、数字化、协同化,技术架构分五层,可实现数据全链条贯通与高效利用。(2) “双碳”目标与能源结构转型,推动智慧电厂向绿色化、灵活化发展,需降低能耗排放、承担新能源调峰备份职责,技术融合与多能协同是主要发展方向。(3) 智慧电厂建设要求集控运行打破传统分散模式,从人工经验驱动转向数据驱动,对集控系统的协同性、智能化调控能力提出更高要求,倒逼其运行模式升级。

1.2 集控运行的核心职能与传统模式现状

(1) 集控运行是电厂生产的核心中枢,核心定位是集中监控、协调调控锅炉、汽轮机等核心设备,保障机组安全稳定高效运行,衔接生产各环节,把控能耗与环保指标。(2) 传统集控运行以DCS系统为核心架构,运行流程以人工监盘、现场巡检、手动调控为主,依赖运行人员经验完成参数调节与故障处置,各系统数据存在壁垒。(3) 当前集控运行面临设备老化、控制算法滞后、数据利用率低等瓶颈,人工巡检效率低、风险高,控制响应滞后,管理模式粗放,难以适配智慧电厂发展需求^[1]。

1.3 集控运行智能化改造的核心内涵与意义

(1) 集控运行智能化改造是通过引入智能技术优化管控模式,核心目标是实现参数自动调控、故障精准预警、运维高效协同,推动集控运行向少人值守、自主运行转型。(2) 智能化改造可通过智能巡检、精准调控降低安全风险,减少非计划停机,优化运行参数降低煤耗与能耗,显著提升电厂运行的安全性与经济性。(3) 二者协同共生,智能化改造是智慧电厂建设的核心环节,为智慧电厂提供高效运行支撑;智慧电厂的整体架构为集控智能化改造提供技术与平台保障,实现双向赋能。

2 智慧电厂背景下集控运行现存问题及改造需求分析

2.1 集控运行系统现存突出问题

(1) 控制系统老化,多数电厂仍沿用传统DCS系统,硬件设备更新不及时,各子系统独立运行,数据交互存在明显壁垒,无法实现全流程数据贯通,且数据传输存在延迟,影响调控指令的及时下达,难以适配智慧电厂的实时管控需求。(2) 控制算法滞后,传统控制策略多基于固定参数设定,缺乏自适应调整能力,面对新能源并网、负荷波动等复杂工况,以及电网调峰、调频需求,难以快速响应并精准调控,导致机组运行效率下降、能耗增加。(3) 设备运维依赖人工,巡检、故障排查主要依靠运行人员经验,人工巡检效率低、覆盖范围有限,且易受人为因素影响,无法及时发现设备潜在隐患,故障预警滞后、处置不及时,易引发非计划停机,影响电厂安全稳定运行。(4) 数据利用率低,集控运行过程中产生大量设备运行、能耗等数据,但缺乏专业的深度分析工具,数据仅用于简单记录和展示,未能挖掘数据背后的运行规律,无法为运行决策提供科学支撑,难以发挥数据价值。

2.2 智慧电厂对集控运行的智能化需求

(1) 数据采集与处理的精准化、实时化需求,需

实现电厂全流程、全设备数据的精准采集,打破数据壁垒,提升数据传输速率,确保数据实时更新,为后续调控、分析提供可靠的数据支撑。(2)控制策略的自适应、协同化需求,要求控制算法能够根据工况变化、负荷波动自动调整参数,实现各子系统、各设备的协同调控,提升机组应对复杂工况和调峰需求的能力,保障运行稳定性。(3)设备运维的预测性、智能化需求,需通过智能监测技术实时掌握设备运行状态,利用算法预测设备潜在故障,实现运维从“事后处置”向“事前预警、主动维护”转型,降低运维成本和安全风险。(4)运行管理的可视化、高效化需求,需构建可视化管理平台,整合各类运行数据,直观呈现机组运行状态,简化管理流程,提升管理效率,推动集控运行管理向精细化、高效化转型^[2]。

2.3 集控运行智能化改造的可行性分析

(1)技术可行性:人工智能、大数据、工业互联网等技术已日趋成熟,在电力领域的应用逐步广泛,可实现数据采集、分析、调控等全流程智能化,为集控运行智能化改造提供坚实的技术支撑,改造技术路径清晰可行。(2)政策可行性:国家出台多项能源领域科技创新规划,明确支持智慧电厂建设和电力系统智能化改造,出台相关扶持政策和补贴措施,为集控运行智能化改造提供了有力的政策引导和保障。(3)经济可行性:改造后可通过优化运行参数、减少非计划停机、降低人工运维成本实现节能降本,同时提升机组运行效率和发电质量,增加经济效益,长期来看,改造投入可通过效益提升逐步回收,具备较强的经济可行性。

3 智慧电厂集控运行智能化改造的核心技术与实施路径

3.1 核心智能化技术选型与应用

(1)智能传感与物联网技术:构建全流程数据采集体系,选用高精度智能传感器,覆盖锅炉、汽轮机核心设备及生产各环节,实时采集温度、压力等关键参数;通过物联网搭建高速传输网络,打破数据壁垒,保障数据全面准确,为智能化管控提供基础支撑。(2)大数据与边缘计算技术:针对集控运行海量数据,采用边缘计算实现就近处理,降低传输延迟、筛选有效数据;结合大数据分析平台深度挖掘数据价值,分析设备运行规律与能耗优化空间,为负荷调度、故障预判提供支撑,提升数据利用率。(3)人工智能技术:应用于故障诊断、负荷调度与参数优化,通过机器学习训练故障识别模型,实现潜在故障精准预警定位;动态调整负荷调度方案适配电网调峰,自动优化运行参数,降低能耗、

提升机组运行经济性。(4)数字孪生技术:构建集控系统虚拟仿真模型,映射物理系统全状态,实现运行可视化监控;依托虚拟模型开展模拟调试、故障演练,优化运行策略,同时实现设备全生命周期追溯,提升运维精细化水平^[3]。

3.2 集控运行系统智能化改造实施步骤

(1)前期调研与方案设计:全面排查现有集控系统设备、运行流程及现存问题,结合智慧电厂建设目标,明确改造范围、核心指标与实施周期,制定贴合电厂实际的个性化改造方案,细化技术选型、设备清单及施工计划,规避改造风险。(2)核心设备升级:重点替换老旧DCS系统,升级为智能DCS系统,提升系统调控精度与响应速度;更换传统传感器为智能感知设备,新增物联网终端,实现设备数据全面感知与互联互通,筑牢硬件基础。(3)软件系统搭建:搭建智能控制平台与数据中台,整合数据采集、分析、调控等功能,实现全流程智能化管控;开发故障预警、负荷调度等专项模块,打通软件与硬件的数据交互通道,确保系统协同运行。(4)系统调试与试运行:对改造后的系统进行全面参数校准,开展单机调试、联动调试,排查软件漏洞与设备衔接问题;进行一段时间试运行,监测系统运行性能,根据运行数据优化参数设置,确保系统达到改造目标^[4]。

3.3 改造过程中的关键难点与解决对策

(1)新旧系统兼容难点及衔接方案:难点在于老旧系统与新系统数据格式、通信协议不兼容,易出现数据中断。对策的是采用协议转换器实现新旧系统通信适配,分阶段推进系统替换,先并行运行再逐步切换,确保生产连续稳定。(2)数据质量管控难点及优化措施:难点在于数据采集存在误差、冗余数据过多,影响分析结果。措施的是优化传感器安装位置,定期校准设备;搭建数据清洗模块,过滤无效、冗余数据,建立数据质量考核机制,保障数据精准可靠^[5]。(3)技术融合难点及跨学科协同解决方案:难点在于多技术交叉融合难度大,缺乏跨领域专业人才。解决方案的是组建由电力、计算机、自动化等领域专家组成的团队,明确各技术衔接节点,开展技术培训,提升运维人员综合能力,确保技术融合落地。

3.4 改造后的系统架构与运行模式

(1)智能化集控系统整体架构:分为硬件层、软件层、通信层,硬件层包含智能感知设备、智能DCS终端等;软件层涵盖数据中台、智能控制平台等;通信层采用工业以太网与物联网结合的方式,实现三层协同联动,保障数据高速传输与系统稳定运行。(2)“感知-

决策-调控-优化”闭环运行模式构建：通过感知层采集数据，数据中台分析处理并生成决策指令，控制层执行调控操作，再通过运行数据反馈优化决策，形成闭环管理，实现系统自主调控、持续优化。（3）人机协同的集控运行新流程：减少人工干预，系统自动完成参数调控、故障预警等常规工作；运行人员重点负责系统监控、异常处置及策略优化，形成“系统自主运行+人工精准管控”的新流程，提升运行效率与安全性。

4 智慧电厂集控运行智能化改造实践案例分析

4.1 案例电厂概况与改造背景

（1）案例电厂为燃煤火力发电厂，装机容量 $2\times 300\text{MW}$ ，机组投运12年，集控运行沿用传统DCS系统，主要依靠人工监盘与巡检，核心设备运行数据分散，未实现统一管控，运行效率与智能化水平偏低。（2）改造动因源于“双碳”目标要求、电网调峰需求提升及自身降本增效需求，核心目标是构建智能化集控运行体系，实现故障精准预警、参数自动优化，提升机组安全性、经济性与环保性。（3）改造前主要问题：控制系统响应滞后，调峰适配能力弱；人工巡检效率低，故障处置不及时；数据利用率低，缺乏决策支撑；能耗与污染物排放指标偏高，运维成本居高不下。

4.2 案例电厂智能化改造具体实施内容

（1）硬件升级：替换老旧DCS系统为智能DCS系统，部署高精度智能传感器120余台，安装边缘计算设备8套，实现全流程数据实时采集与就近处理，打通设备数据壁垒。（2）软件搭建：开发智能集控平台与故障预警系统，整合数据采集、分析、调控功能，实现运行状态可视化，构建多维度故障预警模型，提升管控智能化水平。（3）控制算法优化：应用MPC模型预测控制算法，提升负荷调节精度与响应速度；引入AI预测模型，实现设备故障精准预判与运行参数动态优化。（4）管理体系完善：开展智能化技术培训，培养复合型运维人才20余名；制定智能化运行管理制度与设备运维规程，规范系统操作与管理流程。

4.3 改造效果验证与分析

（1）安全性提升：故障预警准确率提升至95%以上，非计划停机次数同比减少70%，有效规避设备安全

风险。（2）经济性提升：供电煤耗同比下降 3g/kWh ，厂用电率降低0.8个百分点，年节约运行成本约800万元。

（3）效率提升：负荷调节响应速度提升40%，人工巡检工作量减少60%，年节约人工成本约200万元，集控运行效率显著提升。（4）环保效益：二氧化硫、氮氧化物排放浓度均优于国家标准，排放量同比分别下降15%、12%，实现绿色低碳运行。

4.4 案例启示与经验总结

（1）经验做法：改造需结合电厂实际制定个性化方案，优先升级核心硬件、搭建统一数据平台，同步推进技术与管理协同优化，注重实用性与可操作性。（2）不足与改进：部分技术融合不够深入，人才专业能力仍需提升；后续需加强系统迭代升级，深化AI技术应用，完善人才培养长效机制。（3）借鉴意义：同类老旧电厂可借鉴“硬件升级+软件搭建+算法优化+管理完善”的改造路径，兼顾安全性、经济性与环保性，分阶段稳步推进改造，降低改造风险。

结束语

智慧电厂背景下，集控运行智能化改造是系统性工程，需兼顾技术适配、流程优化与人才转型。本文通过实践探索，验证了物联网、AI等技术在集控监控、故障预警、智能调度中的应用价值，有效降低人工劳动强度，提升运行可靠性与经济性。未来需突破数据孤岛、技术融合不足等瓶颈，深化人机协同，推动智能化向更高水平发展，助力电力行业高质量发展。

参考文献

- [1]石飞.火电厂电气运行的安全管理路径探索[J].中国设备工程,2021,(14):45-47.
- [2]岳威.火电厂电气运行安全管理与故障处理[J].清洗世界,2021,37(01):87-88.
- [3]李俊.发电厂热控自动化系统设计与优化分析[J].仪器仪表用户,2024,31(03):92-94.
- [4]徐伯梁.火电厂热控系统的可靠性研究[J].科学家,2023,5(11):70-71.
- [5]包滨喆.浅谈电厂的热控系统优化方案[J].电子制作,2022,(18):81-84.