

智能化技术在火电厂集控运行中的应用实践

杜宁富

宁夏银星发电有限责任公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19222

[摘要] 智能化技术为火电厂集控运行带来革新。在集控运行中,借助传感器网络与大数据分析,实现设备智能监测与故障精准诊断;利用智能优化算法,提升燃烧效率、合理分配负荷,降低发电成本;构建安全预警模型,保障生产安全;采用数字孪生技术开展虚拟调试。这些应用有效解决了传统集控运行中的诸多难题,提高了火电厂运行的经济性、可靠性与安全性。

[关键词] 智能化技术; 火电厂集控运行; 应用实践

中图分类号: TM621.6 **文献标识码:** A

Application Practice of Intelligent Technology in Centralized Control Operation of Thermal Power Plants

Ningfu Du

Ningxia Yinxing Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] Intelligent technology brings innovation to the centralized control operation of thermal power plants. In centralized control operation, with the help of sensor networks and big data analysis, intelligent equipment monitoring and accurate fault diagnosis are achieved. Intelligent optimization algorithms are used to improve combustion efficiency, reasonably allocate loads, and reduce power generation costs. A safety early warning model is constructed to ensure production safety. Digital twin technology is adopted for virtual commissioning. These applications effectively solve many problems in traditional centralized control operation and improve the economy, reliability, and safety of thermal power plant operation.

[Key words] intelligent technology; centralized control operation of thermal power plants; application practice

引言

随着能源行业的持续发展与变革,火电厂作为电力供应的关键支柱,其运行效率与稳定性至关重要。集控运行模式虽在一定程度上提升了火电厂的管理水平,但仍面临设备监测滞后、控制精度不足、决策依赖经验等诸多挑战。在此背景下,智能化技术凭借其强大的数据处理能力、精准的分析预测功能以及自主调节优势,逐渐融入火电厂集控运行,为解决传统难题、实现高效运行提供了新的思路与有力支撑。

1 火电厂集控运行关键技术分析

1.1 集控运行系统的基本组成与功能

(1) 数据采集与监控系统(SCADA): 负责实时采集火电厂各设备运行参数,如锅炉温度、汽轮机转速、电网负荷等,通过传感器与通信网络将数据传输至中控室,同时实现对设备启停、阀门开关等操作的远程监控,保障系统运行状态可视化,为操作人员提供基础数据支撑。(2) 分布式控制系统(DCS): 采用分散控制、集中管理模式,将火电厂生产过程划分为多个控制单元,如锅炉控制单元、汽机控制单元等,各单元独立完成本地控制,同

时通过高速通信总线实现数据交互,避免单一故障影响整体系统,提升运行稳定性与控制精度。(3) 能量管理系统(EMS): 以优化能源利用为核心,结合电网负荷需求与电厂能耗数据,制定机组启停计划与负荷分配方案,实时计算煤耗、厂用电率等关键指标,通过动态调整运行参数,实现能源高效转化,降低发电成本^[1]。

1.2 智能化技术概述

(1) 人工智能(AI)与机器学习(ML): 可通过分析历史运行数据,构建设备故障诊断、负荷预测等模型,如基于神经网络识别锅炉结渣前兆,依托决策树算法优化机组启停流程,减少人工经验依赖。(2) 大数据分析与挖掘技术: 整合SCADA、DCS等系统的海量数据,挖掘设备运行规律与能耗关联因素,例如分析不同负荷下的参数组合,找到最优节能运行区间。(3) 物联网(IoT)与边缘计算: 通过物联网传感器实现设备状态全面感知,边缘计算节点在现场实时处理数据,减少数据传输延迟,如在风机、水泵等设备端部署边缘模块,快速响应异常工况。(4) 数字孪生与虚拟仿真技术: 构建火电厂虚拟模型,映射真实设备运行状态,可用

于机组启停仿真培训、故障模拟推演,降低实体设备调试与试验风险。

1.3 智能化技术与集控系统的融合路径

(1) 数据驱动的决策优化: 将大数据分析 with EMS 结合, 基于实时负荷、煤质等数据, 动态优化机组负荷分配与燃料配比, 提升决策科学性, 例如根据电网峰谷电价调整发电策略, 增加经济效益。(2) 实时监控与故障预测: 融合 AI、IoT 与 SCADA 系统, 通过物联网实时采集设备数据, AI 模型分析数据特征, 提前预测设备故障, 如预警汽轮机轴承温度异常, 避免突发停机。(3) 自适应控制与自主调节: 依托机器学习与 DCS 融合, 系统根据运行工况变化自主调整控制参数, 如锅炉水位波动时, 自动优化给水调节阀开度, 维持参数稳定, 减少人工干预。

2 智能化技术在火电厂集控中的具体应用实践

2.1 智能监测与故障诊断系统

(1) 基于多源感知网络的全域数据采集: 在汽轮机、锅炉、发电机等关键设备部署振动、温度、压力传感器的基础上, 新增 3D TOF 深度相机、红外热成像仪及声纹采集设备, 构建“传感器+视觉+声纹”多维度感知网络。例如在锅炉区域, 通过飞爬协同机器人搭载工业视觉设备, 可采集水冷壁千余张实景图及 2.5 毫米级缺陷数据; 输煤皮带系统则部署 AI 摄像头与张力传感器, 实现仪表读数精度达小数点后两位的实时采集。所有数据经 5G 边缘计算节点预处理后, 以毫秒级频率传输至集控中心, 形成设备运行全域数据池^[2]。(2) AI 诊断与预测模型构建: 采用“数据清洗-特征融合-模型迭代”三级处理架构。先通过卡尔曼滤波去除传感器噪声, 再融合小波变换的时域特征与卷积神经网络 (CNN) 的图像特征, 构建多模态输入层。针对不同设备定制模型: 汽轮机采用循环神经网络 (RNN) 捕捉振动信号时序规律, 锅炉则用 CNN 识别管壁腐蚀纹理, 发电机依托 Transformer 模型分析绝缘层局部放电数据。通过 10 万+ 条历史故障数据训练, 模型可区分正常磨损与异常故障的特征差异, 诊断准确率提升至 98%, 误报率降低超 40%。(3) 案例 1: 汽轮机轴承故障预测: 某 300MW 火电厂部署 RNN 诊断系统, 在汽轮机 8 个轴承处安装高频振动传感器。系统运行第 3 个月, 提前 72 小时捕捉到 2 号轴承 120Hz 异常频率信号, 模型结合油膜压力数据判定为油膜涡动故障, 向集控室推送“立即检查轴瓦间隙”的操作指令。运维人员按指引停机检修, 更换受损轴瓦后, 避免直接经济损失 200 万元, 减少非计划停机 36 小时。(4) 案例 2: 锅炉水冷壁缺陷检测: 内蒙古霍煤鸿骏铝电电厂采用飞爬协同检测系统, 无人机先定位缺陷区域, 爬壁机器人搭载视觉设备精准检测。系统在 8 小时内完成 4 万个检测点排查, 发现 3 处 2.8 毫米裂纹缺陷, 集控屏同步显示缺陷位置坐标及“调整吹灰频次至每 4 小时 1 次”的建议。按此操作后, 成功避免锅炉爆管事故, 年节省检修经费超 300 万元。

2.2 智能优化控制策略

(1) 燃烧智能优化模型: 构建“机理+数据”双驱动强化学习模型, 输入层包含煤质热值、炉膛温度场分布等 18 类参数, 通过 Actor-Critic 算法与锅炉系统实时交互。模型每 5 秒更新一次

给煤量 (调节精度 $\pm 0.5 \text{ t/h}$)、一次风量 ($\pm 2 \text{ kPa}$) 及二次风配比 ($\pm 1\%$), 动态适配煤质变化。某电厂应用后, 锅炉热效率提升 1.2%, NO_x 排放量降低 8%, 集控人员仅需监控“优化建议接受率”指标即可^[3]。(2) 负荷与运行优化系统: 采用遗传算法-粒子群混合优化模型, 以“煤耗最低+设备损耗最小”为双目标, 纳入机组煤耗曲线、汽轮机缸温、厂用电率等约束条件。电网下达 1200MW 负荷时, 模型在 10 秒内完成 4 台机组负荷分配: 1 号机带 320MW (煤耗 295g/kWh)、2 号机带 350MW (设备健康度 92%)、3 号机带 280MW (厂用电率 5.1%)、4 号机带 250MW (备用状态), 日煤耗减少 56 吨, 年节约成本 300 万元。(3) 案例: AGC 性能提升实践: 某 600MW 机组采用“模型预测控制 (MPC)+遗传算法”优化 AGC 逻辑。当电网负荷从 400MW 骤升至 550MW 时, 系统通过数字孪生仿真预判主蒸汽压力波动, 提前 2 秒向集控室推送“开大高压调门至 35%”的指令。升级后, AGC 响应时间从 15 秒缩至 8 秒, 负荷调节偏差控制在 $\pm 2 \text{ MW}$, 连续 6 个月获电网调频补贴 180 万元/年, 集控人员操作量减少 60%。

2.3 智能安全预警与应急响应

(1) 风险动态评估系统: 整合设备数据 (振动、温度)、环境数据 (可燃气体浓度、湿度) 及操作数据, 采用层次分析法 (AHP) 量化风险权重。在电缆夹层部署烟感+红外双探测设备, 油库安装可燃气体浓度传感器 (检测下限 0.1% LEL), 数据实时汇入模糊综合评价模型, 生成红、橙、黄、蓝四色预警。(2) 智能应急处置: 建立含 200+ 场景的应急预案知识库, 采用 BERT 模型实现语义匹配。当油库可燃气体浓度达爆炸下限 30% 时, 系统自动推送“关闭进出口阀门→启动排风系统→联动消防水泵”的三步操作指引, 集控屏同步显示事发区域监控画面及阀门位置图。某电厂应用该系统后, 隐患处置时间从 40 分钟缩至 15 分钟, 成功避免油库火灾风险^[4]。

2.4 数字孪生与智能巡检

(1) 全工况仿真与操作指导: 某 660MW 机组搭建 1:1 数字孪生平台, 可仿真负荷骤降 (从 600MW 至 300MW)、煤质突变 (热值从 5000kcal/kg 降至 4200kcal/kg) 等 12 类极端场景。集控人员在虚拟界面测试操作: 当模拟“给煤机卡堵”时, 平台显示“主蒸汽压力下速率 0.3MPa/min”, 并推荐“开启备用给煤机+降低负荷至 450MW”的应对方案, 操作正确率提升至 95%。(2) 智能巡检体系: 构建“机器人巡检+AI 分析+集控联动”闭环。准东电厂在 750kV 升压站部署轮式机器人, 6kV 配电室用升降机器人, 每小时自动采集红外热像、设备读数等数据。当检测到开关柜温度超标时, 系统立即向集控室推送“检查母线接头紧固度”的指令, 同时锁定异常设备。应用后, 巡检人员从 24 人次/日缩减至 3 人次/日, 非计划停机时间减少 40%^[5]。(3) 案例: 输煤皮带智能运维: 国神府谷电厂在输煤皮带部署 AI 视觉系统, 当检测到皮带跑偏 20mm 时, 集控屏弹出“调整左侧张紧装置至 2.5MPa”的操作提示。运行人员确认后, 系统自动执行调整指令, 响应时间仅 0.8 秒。该系统投运后, 皮带撕裂事故发生率降为零, 年减少燃煤浪费 800 吨。

3 智能化技术在火电厂集控运行中的实施挑战与对策

3.1 技术层面挑战

(1) 数据质量与标准化问题: 火电厂各系统数据来源分散, SCADA、DCS等系统数据格式不统一, 存在数据缺失、冗余及误差, 且缺乏统一数据标准, 导致数据难以有效整合, 影响AI模型训练精度与决策有效性。(2) 算法模型的可解释性与鲁棒性: 深度学习等AI算法存在“黑箱”特性, 模型决策逻辑难以解释, 运维人员难以判断结果可靠性; 同时, 模型在应对极端工况或数据异常时鲁棒性不足, 易出现误判或失效。(3) 系统兼容性与集成难度: 传统集控系统 with 新增智能化系统(如数字孪生平台)接口不兼容, 数据传输协议差异大, 集成过程中易出现数据断层, 且可能影响原有系统稳定性, 增加实施难度与成本。

3.2 管理层面挑战

(1) 人员技能转型与培训需求: 传统运行人员擅长手动操作, 但缺乏AI、大数据分析等技能, 难以驾驭智能化系统; 而新招聘的技术人员对火电厂工艺流程不熟悉, 供需技能错配明显, 某电厂调研显示, 仅30%运行人员能独立操作智能诊断系统。(2) 智能化运维体系建设: 现有运维模式以定期检修为主, 无法适配智能化设备的实时监测需求, 且缺乏针对智能系统的运维流程与考核机制, 导致设备故障响应滞后, 某电厂曾因智能预警未及时跟进处理, 引发小范围设备损坏。(3) 网络安全与数据隐私保护: 智能化系统依赖网络传输数据, 易遭受黑客攻击、数据泄露等风险; 同时, 电厂生产数据涉及能源安全, 隐私保护要求高, 某电厂曾因物联网传感器漏洞出现部分运行数据被非法访问。

3.3 对策建议

(1) 构建统一的数据中台与标准体系: 整合各系统数据, 建立涵盖数据采集、清洗、存储的统一中台, 制定数据格式、接口

标准, 通过数据校验技术提升数据质量, 为智能化模型提供可靠数据支撑。(2) 推动产学研合作加速技术落地: 联合高校、科技企业针对算法“黑箱”、系统兼容等问题开展攻关, 开发可解释性强、鲁棒性高的定制化模型; 同时, 共建培训基地, 开展“工艺+智能”复合型人才培养。(3) 完善智能化运维管理制度与规范: 建立“实时监测-预警-处置”闭环运维流程, 制定智能系统运维考核指标; 部署防火墙、数据加密等安全技术, 明确数据访问权限, 保障网络安全与数据隐私。

4 结束语

智能化技术在火电厂集控运行中的应用实践已取得显著成效, 极大地提升了设备监测的精准度、控制策略的优化度以及安全预警的及时性。然而, 技术发展永无止境, 未来仍需不断攻克数据质量、算法可解释性等难题, 持续完善运维管理体系。相信随着智能化技术的深入应用与创新发展, 火电厂集控运行将迈向更高水平的智能化、高效化与安全化, 为能源行业的可持续发展注入强劲动力。

[参考文献]

- [1]方然. 火电厂集控运行节能降耗技术措施分析[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(08): 126-128.
- [2]马海军. 火力发电厂发电机组集控运行技术探讨[J]. 黑龙江科学, 2021, (24): 139-140.
- [3]张棋. 火电厂集控运行优化策略研究[J]. 电力系统装备, 2021, 8(1): 123-125.
- [4]王志超. 基于智能控制的火电厂集控系统设计与应用[J]. 南方农机, 2021, (3): 45-46.
- [5]吴烨鏊. 火电厂集控运行智能控制技术研究[J]. 集成电路应用, 2021, 10(1): 102-103.