

煤炭化验设备的智能化升级与维护管理

杨 倩

国能（乌海）能源有限公司质量管理中心 内蒙古 乌海 016000

摘 要：传统煤炭化验设备存在硬件精度不足、自动化水平低、数据管理滞后及运维模式被动等问题，难以适配智能矿山建设与现代化煤质检测需求。本文依托大数据与AI技术，构建硬件改造、软件赋能、数据联动的智能化升级体系，实现化验全流程自动化、数据精准化与管控数字化。同时搭建全生命周期预测性维护管理机制，优化运维制度与人才体系，有效提升煤质检测效率与设备运行稳定性，为行业智能化改造提供实践参考。

关键词：煤炭化验设备；智能化升级；维护管理

引言：煤质化验是煤炭生产管控、商品煤结算及进出口质检的核心环节，设备性能与管理水平直接影响煤炭生产质量与经济效益。现阶段传统化验设备人工依赖度高、检测误差大、数据追溯困难、故障运维效率偏低，已无法满足煤矿高频次、高精度的检测要求。为顺应煤矿智能化发展政策导向，破解传统检测模式痛点，推进化验设备智能化升级、构建标准化智能运维体系，成为煤炭行业数字化提质增效的重要途径。

1 煤炭化验设备现状及智能化升级需求分析

1.1 传统煤炭化验设备基本概况

（1）主流化验设备类型及核心功能：主要包括量热仪（测定煤炭发热量）、定硫仪（检测全硫含量）、工业分析仪（测定水分、灰分、挥发分等工业分析指标）、碳氢氮元素分析仪（测定元素含量）。各类设备协同完成煤炭质量全指标检测^[1]。（2）传统设备作业流程与应用场景：作业流程涵盖采样、制样、称量、装样、仪器分析、数据记录、结果计算及报告编制等环节，各环节高度依赖人工操作。主要应用于矿井生产煤质监控、商品煤结算检测、洗选加工过程控制及煤炭进出口商检等场景。（3）传统设备技术架构与运行原理：基于经典物理/化学分析原理设计，以传感器、热电偶、光电池等为核心检测元件，配合嵌入式单片机系统完成信号采集与处理，通过内置算法计算检测结果，采用RS232/485串口或USB接口实现本地数据传输，整体架构封闭、功能固定。

1.2 传统化验设备运行现存问题

（1）硬件层面：传感器精度受限、环境适应性差，导致检测结果重复性和再现性不足；设备多为单批次独立作业，缺乏连续自动进样与清洗功能，自动化程度偏低。（2）软件层面：数据采集依赖人工抄录或U盘导出，滞后性明显；设备软件功能单一，仅具备基础计算

与显示能力，不具备数据深度分析、异常识别与趋势预测能力；检测数据分散存储，缺乏统一管理，结果无法有效追溯。（3）管理层面：设备操作、维护及结果判定严重依赖技术人员经验，人员培训成本高；设备长期高负荷运行下故障频发，且故障诊断依赖人工排查，运维响应慢、效率低。

1.3 设备智能化升级的必要性与可行性

（1）适配智能矿山建设的政策必要性：国家《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》明确提出推进煤炭全产业链智能化建设，煤质检测作为矿井智能化体系的关键环节，其设备智能化升级是政策落地的刚性要求。

（2）提升煤质检测效率与精度的生产必要性：传统人工检测模式效率低、人为误差大，难以满足现代化煤矿高频次、高精度、快节奏的检测需求，亟需通过智能化手段提升检测效率与数据可靠性。（3）大数据、AI技术赋能的技术可行性：大数据支撑检测数据的深度挖掘与质量趋势分析，AI技术赋能图像识别、故障预测及结果自动判定，当前上述技术已趋于成熟，为设备智能化升级提供了充分的技术条件。

2 煤炭化验设备智能化升级关键技术与方案设计

2.1 智能化升级总体设计思路与原则

（1）升级总体架构设计：采用“硬件改造+软件赋能+数据联动”三层协同架构。硬件层着力于传感检测、自动执行与状态感知三大模块的智能化改造，提升设备本体作业能力；软件层构建智能数据处理、AI算法推理与云端管控三大系统，赋予设备认知与决策能力；数据层打通检测数据、设备数据与管理数据之间的壁垒，形成从现场采集到云端应用的数据闭环，实现三者的深度融合与高效协同。（2）升级基本原则：坚持实用性原则，以解决煤炭化验实际生产痛点为导向，避免技术堆砌；坚持稳定性原则，确保升级后设备在矿井高粉尘、温湿

度变化大等恶劣环境下长期可靠运行。(3) 全流程智能化升级目标: 实现从样品登记、检测分析、数据审核到报告生成的全流程自动化与智能化, 达到检测过程无人化干预、检测数据实时可查、设备状态远程可控、质量趋势智能预警的终极目标, 推动煤质检测从人工操作向数字化、智能化转型。

2.2 设备硬件智能化升级改造

(1) 自动化执行模块改造: 加装精密电子天平自动称量单元、六轴协作机械手自动装样装置及自动清扫清洗机构, 配合可编程逻辑控制器实现样品自动传递、自动称样、自动检测及自动清理功能; 引入RFID样品识别技术, 实现样品信息的自动读取与追踪, 打通制样、化验各环节间的自动化衔接, 实现批量化连续作业^[2]。

(2) 智能感知与传输硬件加装: 部署温湿度、三轴振动、电流电压等多维状态传感器及边缘计算网关, 实时采集设备运行工况参数, 通过工业以太网或5G通信模块将数据上传至上层系统, 为设备状态在线监测、故障早期预警及远程运维提供硬件支撑。

2.3 设备软件与系统智能化升级

(1) 智能数据处理系统搭建: 开发基于工业PC的智能数据管理平台, 具备检测数据自动采集、异常值自动识别剔除、标准曲线动态更新及自定义报表自动生成等功能; 支持多格式报告导出与打印, 取代传统人工数据记录与Excel手动处理模式, 显著缩短数据处理周期。

(2) AI算法模型嵌入: 构建基于随机森林与支持向量回归的检测偏差动态校正模型, 实时补偿环境温度、称量误差等干扰因素对检测结果的影响; 引入流程优化算法, 自动匹配最优检测参数与校准策略, 持续提升检测结果的准确性与一致性。(3) 建立检测数据的区块链存证机制, 确保数据不可篡改, 实现化验数据的互联互通与集中管控。

2.4 智能化升级效果验证

(1) 检测精度与作业效率对比测试: 在同一标准煤样条件下, 分别使用升级前后设备进行不少于20次的重复测定, 对比检测结果的精密性(重复性标准差)与准确度(与标准值偏差); 同时统计从样品就绪到报告生成的全流程耗时, 以量化评估升级后检测精度与作业效率的实际提升幅度。(2) 设备自动化、智能化运行稳定性验证: 通过连续168小时不间断运行测试, 考察设备无故障运行时长、自动进样成功率、系统响应时间及数据上传完整率等关键指标, 检验改造后设备的长期运行可靠性以及各智能化功能的稳定发挥。(3) 升级后综合应用效益初步分析: 从人工成本节约、检测周期缩短、设

备故障停机减少、复检率下降及质量异常预警及时性等维度, 综合评估智能化升级带来的直接经济效益与管理效益, 为后续全面推广提供决策依据。

3 智能煤炭化验设备维护管理体系构建与优化

3.1 智能设备维护管理的核心特点

(1) 区别于传统运维的智能化、预防性管理特征: 传统维护以“故障后维修”和“定期保养”为主, 被动响应且维护过剩或不足并存; 智能设备维护则以状态监测与数据分析为核心驱动力, 实现从“事后补救、计划保养”向“状态感知、预测预警、主动干预”的根本转变, 具备设备健康自评估、故障隐患早识别、维护策略动态优化等显著特征。(2) 智能设备运维的重点与难点: 重点在于确保高精度传感模块的测量准确性、通信链路的稳定可靠、以及软件系统与AI模型正常运行。难点体现为: 设备涉及机械、电子、通信、软件等多学科技术融合, 故障模式更为复杂隐蔽; 检测精度漂移往往由多种因素耦合导致, 定位困难; 多品牌、多类型设备并存, 维护标准与管理要求各异^[3]。(3) 全生命周期维护管理的核心逻辑: 以设备全生命周期健康管理为主线, 覆盖从设备选型采购、安装调试、日常运行、维护保养、故障维修、升级改造直至报废处置的完整闭环。依据设备实时运行数据构建退化趋势曲线, 动态调整各阶段维护策略, 在保障设备可靠运行的前提下实现全生命周期综合成本最优。

3.2 智能化维护管理体系搭建

(1) 日常标准化智能巡检机制与流程规范: 建立基于NFC电子标签与移动智能终端的数字化巡检系统, 将量热仪氧弹密封性检查、定硫仪电解池状态确认、传感器零点漂移检测、机械手运行轨迹核查等纳入标准化巡检清单。制定每日、每周、每月分级巡检节点及异常处置SOP流程, 自动生成巡检报告并实现问题闭环追踪。

(2) 基于大数据的设备预测性故障预警体系: 全方位采集设备运行中的温度场分布、关键部件振动频谱、电机实时电流、通信网络时延与丢包率等海量时序数据, 构建基于长短期记忆网络与隔离森林算法的设备健康度综合评价模型, 通过多维特征偏离度分析精准识别性能退化趋势, 在故障发生前分级推送预警信息及维护建议, 将处置窗口大幅前置。(3) 设备故障智能诊断与快速处置机制: 构建涵盖量热仪点火故障、定硫仪气路异常、机械臂定位偏差等常见故障类型的知识图谱与专家诊断系统, 智能匹配历史案例库, 自动推荐最优处置方案。同步搭建原厂专家远程会诊通道, 实现复杂故障快速协同处置, 压缩平均修复时间^[4]。

3.3 设备运维管理制度与人员体系优化

(1) 完善智能设备运维台账与管理制度: 建立涵盖设备出厂信息、安装调试记录、维护保养履历、故障维修台账、备件更换明细、软件版本升级记录等内容的数字化“一机一档”管理系统。制定《智能化设备分级维护保养规程》等配套管理制度, 确保管理有章可循、责任可追溯。(2) 搭建专业化运维人员培训体系: 构建分层进阶式培训课程体系, 初级侧重设备标准化操作与日常保养, 中级侧重故障排查诊断与数据分析判读, 高级侧重系统集成优化与远程诊断工具运用。采用内训讲座、原厂实操、技能比武等多元化方式, 推行运维技能等级认证与持证上岗制度, 着力培养兼具机械维修与信息化素养的复合型运维人才。(3) 建立运维考核与责任落实机制: 设定设备综合完好率、故障平均修复时间、计划维护执行率、非计划停机时长、预测预警准确率等量化KPI指标, 逐级签订设备运维责任书, 将核心指标完成情况纳入绩效考核体系, 实现运维工作的量化评价与持续改进。

3.4 维护管理现存问题与优化策略

(1) 当前智能设备运维管理短板: 运维人员知识结构与智能化系统要求脱节, 对软件系统、通信故障及AI模型异常缺乏判断能力; 预测性预警模型因训练数据不足导致准确率偏低, 误报漏报频发; 关键备件采购周期长, 单一来源供应商致被动等待; 多厂家多型号并存, 维护体系缺乏统一标准, 兼容难度大。(2) 运维流程、技术与管理的优化措施: 流程上推行工单全流程数字化闭环管理, 实现从发现到验证的线上追踪; 技术上积累运行数据迭代模型精度, 引入数字孪生构建虚拟镜像,

模拟退化以优化策略; 管理上每季度开展维护体系评审, 制定改进计划, 形成PDCA循环^[5]。(3) 运维成本管控与长效保障: 建立区域级备件共享库与多供应商并行采购, 降低库存与采购成本; 推行核心运维外包与常规自维结合, 平衡保障与经济性; 定期开展全生命周期经济性评估, 科学制定更新改造计划, 实现投入与效益最优匹配, 确保设备长期安全高效运行。

结束语

本文围绕煤炭化验设备智能化升级与维护管理展开系统研究, 明确设备升级核心技术方案, 搭建了适配智能设备的全周期运维管理体系, 解决了传统化验作业与设备运维的诸多短板。设备智能化改造实现了检测流程无人化、数据管控规范化, 预测性运维有效降低设备故障与停机损耗。本次研究成果可有效助力煤矿煤质检测智能化转型, 为煤炭行业高质量、智能化发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]刘奇,梁宇,张洪.选煤生产过程控制机器人煤质化验系统的研制和应用[J].煤炭科学技术,2025,53(S1):216-222.
- [2]易辉,王波.智能采制化助力煤质检验与控制的实践研究[J].陕西煤炭,2026,12(5):89-93.
- [3]尚明.煤质在线检测设备在选煤厂智能化建设中的应用[J].洁净煤技术,2023,29(S1):154-158.
- [4]张治防,张宏悦.煤炭全自动采制一体化系统应用与运行维护[J].煤质技术,2023,38(4):76-81.
- [5]朱慧刚.煤炭洗选设备智能化运维管理策略研究[J].化工与机械进展,2025,3(8):89-94.