

传统煤矿机电装备智能化升级改造技术实践

郑丰庆

国能新疆能源化工有限公司乌东煤矿 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 针对传统煤矿机电装备自动化水平低、安全隐患多、能耗偏高、数据管控缺失等突出问题,本文结合矿井生产实际,梳理采掘、运输及辅助装备的运行短板,围绕智能感知、高速通信、协同控制、故障预警四大核心技术,开展智能化升级改造实践。通过搭建四级智能化架构,解决老旧设备兼容、井下环境干扰等难题。改造后矿井安全、经济与管理效益显著提升,可为同类煤矿机电智能化改造提供参考。

关键词: 传统煤矿机电装备;智能化升级改造;技术实践

引言: 煤炭行业智能化转型是实现安全高效、绿色低碳发展的核心路径。传统煤矿机电装备多依赖人工就地操控,设备协同性差、运维模式粗放,易引发设备故障与安全事故,且能耗浪费严重,难以适配现代化矿山生产需求。为破解行业痛点,本文聚焦传统煤矿机电装备升级改造,探究智能化关键技术与落地方案,通过工程实践验证改造成效,助力煤矿生产从经验管控转向数据化、智能化精准管控。

1 传统煤矿机电装备现状及智能化改造需求分析

1.1 传统煤矿核心机电装备概况

(1) 采掘装备:传统采煤机多采用液压牵引与机械截割结构,依赖人工操作手柄调控截割高度与行进速度;刮板输送机通过链轮驱动中部槽往返运动,运输能力固定;掘进机以悬臂式部分断面掘进为主,截割头升降回转均由人工视距遥控,三者协同性弱,作业节奏依赖现场经验。(2) 运输装备:带式输送机采用工频恒速控制,电机长期满速运转,通过联轴器与滚筒传递动力;轨道运输设备多依赖架线电机车或小绞车牵引,人工扳道岔、手动摘挂钩,运输调度凭喊话或简易信号灯,作业连续性差且响应滞后。(3) 辅助机电装备:矿井通风机多为定速运转,通过调节风门挡板改变风量,效率偏低;排水泵采用继电器启停控制,水位到达上限后人工合闸排水;压风机常开供风,卸载空转时间长;供电设备以普通配电柜为主,保护功能单一,运行状态仅靠就地仪表读取。

1.2 传统机电装备运行存在的核心问题

(1) 自动化程度低:采、掘、运各环节均为人工就地操控,设备间无信息交互,开停机需专人值守,无法根据工况自动调节参数。(2) 安全隐患突出:设备过载、轴承磨损、温升异常等故障依赖巡检人员定期排查,突发故障停机后才被动响应,易引发瓦斯超限、透

水等次生事故。(3) 运维能耗偏高:输送机、通风机、压风机长期恒速空载运行,电能浪费显著;故障维修多为事后抢修,备件更换频繁,停机时间长,吨煤运维成本居高不下。(4) 数据管控缺失:多数设备未配备在线监测传感器,运行参数(电流、温度、振动)无自动采集通道,设备健康状态无法量化评估,更无历史趋势分析。

1.3 智能化升级改造核心需求

(1) 安全管控需求:加装振动、温度、电流等多参量传感器,构建故障特征库,实现设备早期异常预警;部署远程集控平台,支持井下关键场所无人值守,从源头降低人员暴露风险。(2) 节能增效需求:引入变频调速与负载自适应控制技术,使输送机、风机按实际煤流、需风量自动调节转速;采煤机根据截割阻力自动调整牵引速度,减少无功损耗,提升单位时间产出。(3) 智能运维需求:建立统一数据采集与传输网络(如工业以太网+5G),开发设备健康管理软件,实现运行数据的实时显示、存储与分析,支撑基于状态的精准维修。(4) 协同作业需求:打通采煤机、刮板机、转载机、带式输送机之间的启停闭锁逻辑,实现顺序自动开停;构建采-掘-运-辅一体化集控系统,根据采面产量自动协调后续运输与通风排量,形成全局联动的智能作业流^[1]。

2 传统煤矿机电装备智能化升级改造关键技术

2.1 智能感知与数据采集技术

(1) 多维度传感器部署:针对采煤机截割电机与摇臂、刮板机链轮轴组、通风机轴承座等关键部位,选型矿用本安型振动加速度计(频响0.5Hz~5kHz)、PT100温度传感器(精度±0.5℃)、扩散硅压力变送器及霍尔转速传感器,统一输出4~20mA或RS485信号;安装采用螺纹紧固与减震垫组合方式,防护等级不低于IP65并取得煤安认证,确保井下潮湿粉尘工况下长期可靠运行。

(2) 高清视频与异物识别技术:在采掘面、转载点、主

运皮带等处部署矿用防爆高清摄像头(分辨率 ≥ 200 万像素,最低照度 0.001Lux),配合补光光源实现全天候清晰成像;基于YOLOv8算法构建煤流中大块矸石、锚杆等异物识别模型,训练数据集覆盖不同光照与粉尘条件;识别结果实时上传集控系统,联动皮带控制器自动停机或降速,有效预防运输设备损坏^[2]。(3)井下数据采集终端优化:针对无内置传感器的老旧刮板机、排水泵,采用外夹式超声波流量计、磁吸式贴片温度探头、霍尔式接近开关等外加方式获取关键参数;设计模块化数据采集盒(支持8路模拟量、8路开关量、2路RS485、1路以太网),内置信号隔离与滤波电路,就地完成模数转换后通过ModbusTCP统一上传,实现低成本短周期数字化改造。

2.2 高速通信与数据传输技术

(1)矿井5G与工业以太网融合组网技术:采区巷道部署矿用5G基站($700\text{MHz}+2.6\text{GHz}$ 双频协同),主干采用千兆工业以太环网(自愈 $\leq 50\text{ms}$);5GCPE将无线终端接入有线环网实现链路互备;核心交换机配置VLAN划分业务优先级,保障控制指令、实时数据、视频流并行可靠传输。(2)边缘计算技术应用:采区变电所部署矿用隔爆型边缘计算网关,就地完成振动FFT频谱分析、温度变化率计算及视频关键帧提取;超限报警等简单事件毫秒级本地响应,仅将特征值与结果上传地面,大幅降低骨干网负载,满足采煤机调速、皮带急停等实时控制需求。(3)“云边端”三级数据架构搭建:端侧为传感器与采集终端,完成原始数据获取与清洗;边侧为采区边缘节点,负责数据聚合、特征提取与本地策略执行;云侧为地面大数据中心,承载全矿模型训练、历史分析与远程配置;三级间通过MQTT协议分层汇聚,边侧断网时仍可独立自治运行。

2.3 智能控制与多机协同技术

(1)设备自适应变频控制技术:采煤机牵引采用四象限变频器,据截割机电流反馈自动调节牵引速度,保持截割功率高效稳定;刮板机采用变频软启动与链速自适应调节,据转载点煤量实时调速减少空载磨损;主通风机采用闭环PID调节替代风门节流,综合节电率 $20\%\sim 30\%$ 。(2)多设备联动协同控制技术:构建以采煤机位置与牵引方向为触发的时序联动模型,采煤机割煤时刮板机、转载机、带式输送机按煤流方向顺序预增转速,实现煤流平稳过渡;转载点煤量反哺采煤机调速,避免堆煤或空载;辅助系统按采区生产信号自动启停切换,消除采、运、辅作业脱节^[3]。(3)远程集中控制技术:地面调度中心部署一体化操控平台,基于组态

软件与OPCUA搭建远程集控系统;井下设备控制箱保留“就地/集控/检修”三档切换,正常运行时地面操作员通过操控手柄下发启停、调速指令,故障时自动切回就地安全模式,实现井下常态化无人值守运行。

2.4 智能故障诊断与预警技术

(1)设备故障大数据分析模型构建:采集设备全生命周期数据,按设备类型建立健康基线模型;采用CNN提取振动时频域故障特征,LSTM分析温度与电流趋势,构建轴承磨损、齿轮断齿、定子短路等典型故障分类诊断模型;模型在地面训练迭代,定期下发边缘网关执行推理。(2)分级故障预警机制:三级(轻微异常)对应单参数超限,中控黄色提示并记录;二级(显著故障)对应多参数偏离基线,橙色报警联动语音广播通知,建议计划停机检修;一级(紧急危险)对应电流骤升、振动突增、温度急剧升高,系统自动紧急停机,红色声光报警推送地面调度与移动端。(3)故障溯源与智能运维指导技术:诊断模型判定故障后自动关联设备BOM清单与历史维修记录,定位最可能损坏部件及型号;基于故障树生成推荐维修方案,自动查询备件库存,不足则生成采购申请;维修完成后通过APP录入处理结果闭环反馈至模型,形成“感知-诊断-决策-处置-验证”全链条智能运维闭环。

3 传统煤矿机电装备智能化升级改造工程实践与效果分析

3.1 改造工程总体方案设计

(1)改造原则:坚持适配性原则,针对不同机型差异化制定方案,避免过度改造;严守安全性原则,所有新增设备取得矿用安全标志,不降低原有防爆性能;贯彻经济性原则,优先采用模块化外挂改造方式,控制吨煤改造成本;预留可扩展性原则,通信协议与数据接口标准化设计,便于后续系统迭代升级。(2)改造范围:采掘装备重点改造采煤机牵引与截割监测、刮板输送机链条张力监测与变频软启动;运输装备重点改造主带式输送机变频调速、智能监测及转载点异物识别;辅助装备重点改造主通风机自动调风、排水泵无人值守及供电设备远程监控,实现全矿机电装备全覆盖。(3)总体架构:搭建感知层(多类型传感器、高清摄像头、采集终端完成设备状态与环境数据获取)、传输层($5\text{G}+$ 工业以太环网+边缘计算网关保障数据实时可靠上传)、控制层(地面远程集控平台与就地PLC控制器实现智能调控与联动闭锁)、应用层(设备健康管理、故障诊断、运维决策等软件系统支撑数据分析与业务应用)四级架构^[4]。

3.2 核心装备智能化改造实践

(1) 综采装备改造: 采煤机加装摇臂振动与截割电机温度传感器, 替换为四象限变频驱动, 实现牵引速度根据截割负载自动调节; 刮板输送机加装链条张力监测装置与变频软启动, 通过PLC实现与采煤机位置联动; 施工按传感器安装、线缆敷设、控制器程序升级、联调测试顺序推进, 确保改造期间不影响正常生产。(2) 运输装备改造: 主运带式输送机加装激光煤流传感器与红外热成像仪, 改造变频调速柜实现根据煤流量自动调节带速; 转载点安装矿用防爆高清摄像仪与AI异物识别装置, 识别到大块矸石或锚杆时自动触发停机报警; 安装调试按传感器固定、摄像仪对焦、系统接线、程序烧录、空载试运行、重载测试顺序实施。(3) 辅助系统改造: 主通风机加装风压、风量、振动、温度传感器, 实现变频自动调风, 根据采区需风量自动调节转速; 排水泵加装水位传感器与压力变送器, 实现水位联动自动启停与轮值切换; 供电设备更换智能综合保护器, 支持远程分合闸与电量采集, 配套远程运维终端实现辅助系统无人值守运行。

3.3 改造难点与关键解决措施

(1) 老旧设备兼容性差问题: 采用模块化外挂改造方案——通过外加传感器获取运行参数, 利用独立数据采集盒完成信号转换, 以开关量或模拟量方式接入控制回路实现调速与启停, 无需更换原有电气系统与机械结构, 大幅降低改造难度与成本。(2) 井下复杂环境干扰问题: 所有电子设备防护等级不低于IP65并全密封灌胶处理; 通信线缆采用双屏蔽铠装结构, 信号与动力线缆分层敷设、间距不小于300mm; 5G与工业环网双重冗余链路, 单条中断时自动切换, 确保系统持续稳定运行^[5]。(3) 人员操作适配问题: 制定分层培训方案, 管理层侧重系统功能认知, 技术人员侧重软件配置与故障排查, 操作层侧重远程操控界面操作与应急切换; 采取理论授课+模拟操作+跟班实操“三步走”方式, 确保人员具备独立操作能力。

3.4 改造效果综合分析

(1) 安全效益: 振动、温度实时监测提前发现轴承磨损等早期故障, 设备突发故障率显著降低; 井下关键场所实现无人值守, 值守人员大幅减少; 未因设备故障引发安全事故, 本质安全水平显著提升。(2) 经济效益: 主通风机、带式输送机变频改造后综合节电率约25%, 吨煤电耗明显下降; 设备故障率降低使维修备件消耗减少, 运维综合成本明显下降; 多机协同控制有效缩短采煤循环作业时间, 单产水平稳步提升。(3) 管理效益: 建成矿井机电设备数字化管控平台, 设备运行状态在线可视可控; 设备从“被动抢修”转变为“主动预防性维护”; 管理人员可随时随地查看设备运行情况, 矿井机电管理从经验驱动转向数据驱动, 智能化管控水平全面提升。

结束语

本次煤矿机电装备智能化升级改造, 依托智能感知、5G通信、多机协同及智能运维技术, 有效解决了传统设备运行的各类弊端, 实现井下关键设备无人值守、精准调控与故障提前预警。改造后矿井安全生产水平、节能效益与数字化管理能力大幅提升。后续可依托标准化数据接口, 持续迭代智能算法, 拓展设备全生命周期智慧运维体系, 进一步推动传统煤矿智能化、高质量发展。

参考文献

- [1] 王国法, 张金虎. 煤炭高效开采数智技术与成套装备研究及应用[J]. 煤炭学报, 2025, 50(01): 43-64.
- [2] 范宝冬. 采煤工作面刮板输送机智能控制系统研究[J]. 工矿自动化, 2025, 51(01): 52-60.
- [3] 尤秀松, 葛世荣. 智采工作面三机数字孪生驱动控制架构[J]. 煤炭学报, 2024, 49(07): 322-327.
- [4] 刘银报, 李瑞楼, 卞涛. 连续采煤机电控系统研发与应用[J]. 中国矿业, 2023, 32(S2): 73-77.
- [5] 郑启跃. 煤矿矿山机电设备智能化升级关键技术研究[J]. 现代矿业, 2026, 42(03): 112-115.