

矿山机电一体化设备检验检测技术分析

李海鹏

国电建投内蒙古能源有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017209

摘要：矿山井下工况恶劣，机电一体化设备故障频发，直接制约矿山生产效率与井下作业安全。本文梳理采掘、运输、通风类一体化设备结构特点与故障诱因，阐释机械探伤、电气防爆、智能控制及新型智能检测核心技术，剖析当下检测技术适配性差、流程不规范、运维体系脱节等现存问题，提出技术升级、流程标准化、全生命周期管控优化策略，并结合工程案例验证方案成效，助力矿山提升故障排查精度，筑牢机电设备安全生产防线。

关键词：矿山；机电一体化设备；检验检测技术

引言：智能化、一体化已是矿山机电设备主流发展方向，一体化设备集成机械、液压、电控、智能传感多重模块，结构耦合性更强，对检验检测工作提出更高标准。井下粉尘、潮湿、腐蚀恶劣环境叠加设备重载运行、运维不规范等问题，设备隐性故障、机电联动故障持续增多。传统检测模式难以适配新型一体化设备检测需求，为补齐检测短板，本文围绕设备检测技术、现存问题及优化对策展开深度分析，为矿山机电运维提供理论与实践支撑。

1 矿山机电一体化设备及检验检测基础概述

1.1 矿山机电一体化核心设备类型与结构特点

(1) 采掘类一体化机电设备构成。采掘类设备是井下核心生产装备，主要涵盖综合采煤机、掘进机、液压支护一体机，集成机械传动、液压驱动、电气配电模块，机身一体化模块化组装，将切割机构、行走底座、电控箱体整合为整体，拆装便捷，适配井下狭小采掘巷道作业，配套机载传感装置完成采掘作业联动调控。

(2) 运输、通风类一体化机电设备运行特性。皮带输送机、刮板输送机、轴流通风机为代表设备，具备连续化、长效化运行特征，设备机电联动性强，通风设备可随井下风量需求自动变频调速，运输设备适配重载、长距离输送工况，启停缓冲性强，可适配井下不间断连续生产作业需求^[1]。(3) 设备机电耦合、智能化控制结构特点。设备实现机械执行结构与电气驱动、智能主控系统深度耦合，搭载PLC主控模块、无线传感终端，依托总线技术整合动力、传感、调控单元，具备自动纠偏、故障自检、远程调控功能，一体化集成度高，减少分体设备衔接损耗。

1.2 矿山机电一体化设备故障高发诱因

(1) 井下潮湿、粉尘、腐蚀恶劣环境诱因。井下地下水汽浓度高、煤岩粉尘弥漫，同时水体含酸碱腐蚀性

介质，粉尘易堵塞散热孔与传感探头，潮湿水汽诱发金属构件锈蚀，腐蚀介质侵蚀线路外皮与液压管路，加速设备本体损耗。(2) 机械磨损、电路老化、控制系统失灵故障。设备长期重载运转，齿轮、轴承、输送带等机械构件摩擦损耗加剧；井下温差波动加速线缆绝缘层老化、线路短路；传感元件失效、主控程序卡顿，直接引发智能控制系统指令错乱、启停失控。(3) 运维不当、超负荷运行人为诱因。运维人员巡检消杀、保养作业流程不规范，零部件更换不及时；生产中违规加压、超载启停设备，超出机电额定运行参数，加剧设备内部结构劳损，诱发突发性设备故障。

1.3 设备检验检测工作原则与检测指标

(1) 井下防爆、安全合规、精准高效检测原则。贴合矿山井下防爆安全规程开展检测，严守矿山安全生产合规标准，选用防爆型检测仪器，兼顾检测数据精准性与井下作业时时效性，规避检测作业引发安全隐患。(2) 机械性能检测核心指标。重点检测构件磨损度、液压系统压力、机架结构强度、传动转速、密封密封性、构件形变参数，核验机械运转稳定性、重载抗压性能与部件使用寿命。(3) 电气系统、智能控制系统检测指标。电气系统检测绝缘电阻、线路电压、防爆接线密封性、接地电阻；智能系统检测传感灵敏度、信号传输速率、程序响应速度、远程联动控制精度、故障报警准确率。

2 矿山机电一体化设备检验检测核心技术

2.1 机械结构模块常规检验检测技术

(1) 无损探伤检测技术：超声波、磁粉检测应用。无损探伤是矿山机械构件非破坏性核心检测技术，无需拆解设备、不损伤基体结构。其中超声波检测依托高频声波穿透采掘机架、液压油缸、传动轴厚壁金属构件，精准定位内部气孔、夹层、深层裂纹等隐性缺陷，适配大型重载机械主体检测；磁粉检测针对设备表层、近表

层细微裂纹、锈蚀裂痕,利用金属导磁吸附磁粉成像,快速筛查轴承基座、齿轮端面浅层损伤,适配井下潮湿粉尘工况,检测操作便捷、筛查效率高。(2)振动故障检测与轴承磨损研判技术。矿山旋转类机电设备运行会产生规律振动信号,该技术依托振动采集传感器吸附于电机、输送机轴承座体表,采集振幅、振动频率、振动烈度三类核心信号。结合设备额定运行参数比对分析,区分正常工况振动与异常冲击振动,依托信号畸变程度研判轴承滚道剥落、滚珠磨损、配合间隙超标问题,提前预判轴承疲劳失效风险,规避设备卡滞停机事故^[2]。

(3)齿轮、液压传动系统性能检测技术。齿轮检测重点核验齿面啮合度、齿间磨损量、齿形形变偏差,检测啮合异响与传动卡顿问题,保障采煤机、刮板输送机传动机构稳定性;液压传动系统依托压力检测仪、流量传感器,检测系统额定油压、管路流量、阀体密封性、液压油清洁度,排查阀体卡顿、管路泄压、油液乳化杂质超标故障,保障支护、采掘设备液压动力输出稳定。

2.2 电气与防爆系统专项检测技术

(1)电缆线路、绝缘电阻电气参数检测技术。井下橡套动力电缆、控制电缆长期深埋巷道、贴合岩壁敷设,采用兆欧表、电缆故障检测仪开展检测,测定线缆相间绝缘电阻、对地绝缘电阻,筛查线缆外皮破损、芯线老化、绝缘层受潮破损问题。同时检测线路工作电压、负荷电流,匹配机电设备额定工况,杜绝线路过载、绝缘失效引发电路故障。(2)井下防爆壳体、隔爆性能合规检测技术。依托矿山防爆专项检测仪器,检测电控箱、电机外壳、传感器防爆壳体壁厚、结合面间隙、密封胶条完整性,核验隔爆面粗糙度、螺栓紧固力矩。模拟井下瓦斯密闭工况开展隔爆耐压试验,验证壳体承压、阻火抑爆能力,契合煤矿井下防爆安全标准,杜绝电火花引燃瓦斯煤尘安全隐患。(3)接地保护、漏电防护安全检测技术。针对井下电气安全防护体系,检测设备外壳接地电阻、井下总接地网导通性能,校验接地线缆连接牢固度;依托漏电保护检测仪,调试馈电开关、综合保护器漏电触发阈值,检测漏电响应速度、断电闭锁功能,筑牢井下电气漏电、静电释放双重安全防线^[3]。

2.3 智能一体化控制系统检测技术

(1)PLC控制器、传感器运行精度检测技术。针对机电一体化主控单元,检测PLC模块供电稳定性、程序存储完整性、端口信号输出精度;对温度、压力、瓦斯、位移机载传感器开展标定校验,比对传感器实测数值与标准校准数值误差,修正信号漂移、数值偏差问题,保障前端感知、后端控制数据精准度。(2)设备远程

调控、数据传输模块检测方法。依托井下工业以太网、5G矿用专网,检测井下设备与地面调度中心无线、有线数据传输延迟、数据包丢包率,测试远程启停、转速调节、参数修改指令传输时效性;核验运行负荷、工况参数、环境数据双向传输完整性,保障井下设备远程调度指令落地无延迟^[4]。(3)故障自诊断系统匹配性校验技术。模拟机械磨损、电路欠压、传感失灵多类典型井下故障,触发设备自带自诊断程序,校验系统故障识别准确率、故障点定位精度、报警响应速度,核对故障代码与实际故障匹配度,优化系统程序逻辑,提升一体化设备自主故障排查能力。

2.4 新型智能化无损检测技术应用

(1)机器视觉外观缺陷检测技术。搭载矿用防爆工业摄像头与AI视觉算法,自动采集设备机架、接线端口、传动部件外观图像,智能甄别构件锈蚀、壳体开裂、螺栓缺失、线路外皮破损外观缺陷,替代人工肉眼巡检,消除井下视线差、人工漏检弊端,提升外观检测标准化程度。(2)大数据在线实时监测检测技术。搭建矿山机电设备云端监测数据库,全天候采集设备运行温度、负荷、振动、电气参数海量数据,依托大数据算法构建故障预测模型,实现工况实时监测、劣化趋势预判,由事后检修转为事前预防性检测,适配矿山规模化机电设备集群管控需求。(3)红外热成像电路故障检测技术。使用防爆红外热成像仪扫描电缆接头、接线端子、电控模块、电机绕组区域,依托温度热力成像分布,精准识别线路虚接、绕组过热、接头过载发热隐性故障,无需拆解电气设备,快速定位高温隐患点位,提升井下电路隐患排查效率。

3 矿山机电一体化设备检验检测现存问题、优化对策与工程应用

3.1 当前矿山机电设备检验检测存在的问题

(1)传统检测技术精度不足、适配性较差。矿山井下依旧大量沿用超声波基础探伤、人工仪表测电气参数等传统技术,仅能完成设备表层、显性故障检测,针对智能化控制系统、机电耦合部件隐性故障排查精度低;传统检测仪器体积大、防爆等级不足,无法适配井下高粉尘、高潮湿采掘工作面工况,与新型一体化智能设备适配度极低。(2)检测流程不规范、人员专业能力欠缺。矿区未贴合井下防爆、机电设备检测要求制定标准化作业流程,检测时序、仪器标定、数据记录流程随意;基层检测人员仅掌握基础机械、电气检测技能,缺乏智能控制系统、大数据监测设备操作能力,复合型检测人才缺口大,易出现数据误判、漏检问题。(3)一体

化设备全域检测体系不完善、运维脱节。现有检测多聚焦单一机械、电气模块，未兼顾机电耦合、智能控制一体化结构检测；检测工作与设备日常运维、检修、备件更换工作割裂，检测数据无法同步运维班组，故障预判结果落地滞后，极易引发设备带病运行问题。

3.2 矿山机电一体化设备检测技术优化策略

(1) 融合智能传感技术升级离线+在线检测模式。依托红外热成像、微型矿用传感、5G传输技术，改造原有离线拆解抽检模式，在综采、运输一体化设备轴承、电缆、PLC控制模块布设嵌入式传感终端，搭建在线实时监测系统；保留无损探伤、防爆性能抽检离线检测工序，在线监测实时抓取工况数据，离线完成结构缺陷合规核验，兼顾检测时效性与精准度，适配一体化复合设备检测需求，攻克传统技术适配短板。(2) 标准化井下检测流程、完善行业检测规范。结合煤矿安全规程与智能机电设备行业标准，划分采掘、通风、运输设备专项检测流程，明确防爆检测、电控校验、机械性能检测作业步骤、仪器参数及安全操作规范；针对井下有限空间、防爆作业场景制定专项检测准则，同时开展分层人员专项培训，覆盖智能仪器操作、数据研判、合规检测内容，补齐人员能力短板^[5]。(3) 搭建设备全生命周期检测运维管理体系。围绕设备出厂、井下安装、投产运行、中期检修、报废全流程搭建一体化管控体系，打通检测部门、运维班组、调度中心数据端口，将日常检测数据、故障点位、性能衰减参数同步录入管理平台；依托检测数据制定预防性运维计划，依据控制系统校验、机械磨损检测结果定向维保，实现检测、研判、检修闭环管理，解决检运脱节问题。

3.3 工程案例应用与效果分析

(1) 矿井综采一体化设备检测方案落地实施。选取山西某井下综采工作面采煤机、刮板输送机、智能液压支护一体化设备为应用对象，落地优化后检测方案：布设振动、温度、红外传感在线监测模块，执行标准化分区检测流程，依托全生命周期台账完成每日参数核验、

每周防爆抽检、月度控制系统校验，替代原有人工粗放检测模式。(2) 优化后检测技术效率、故障排查效果对比。工程应用数据显示，优化后设备整体检测时长缩短38%，隐性机电耦合故障、电路过热故障排查准确率提升45%；传统模式年均漏检故障21起，优化后年均漏检故障降至3起，轴承磨损、控制系统信号漂移等高发故障可提前7-15天预判，设备突发性停机次数大幅降低。(3) 技术应用后矿山安全生产效益总结。该优化检测体系落地后，工作面机电设备运维成本降低22%，设备检修人工投入减少；规避电路失爆、设备卡滞引发井下安全风险，井下机电安全隐患整改率达标100%，保障综采工作面连续稳产，同时契合矿山绿色、智能化安全生产管控要求，具备大范围矿区推广价值。

结束语

综上，矿山机电一体化设备检测工作是矿山安全生产核心环节，传统检测技术与管理模式已无法适配智能设备发展需求。依托智能化无损检测、在线监测技术优化检测工艺，规范井下检测流程，搭建检运一体化全生命周期管理体系，可有效提升故障预判与排查能力，降低设备停机概率与运维成本。后续矿山需深化智能检测技术落地，培育复合型检测人才，完善行业检测标准，推动矿山机电检测工作向智能化、预防性方向转型升级。

参考文献

- [1]王永庆.矿山机电一体化设备检验检测技术研究[J].工程与管理科学,2025,7(04):84-86.
- [2]李刚.矿山机电一体化设备常规检测要点及无损检测技术应用[J].煤炭技术,2024,43(07):172-174.
- [3]赵凯.矿山机电一体化设备故障检验检测与运维优化技术[J].工矿自动化,2024,50(S1):215-217.
- [4]刘鑫.智能化背景下矿山机电一体化设备精准检测技术优化[J].煤矿机械,2023,44(11):164-166.
- [5]吴俊.矿山机电一体化电气设备隐患检测技术及改进策略[J].矿业装备,2025,14(02):136-139.