

Innovation of mine equipment operation and maintenance management mode based on mechatronics

Chenggang Liang Xin Dang

Shaanxi Zhongneng Coalfield Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

To address challenges in traditional mining equipment maintenance management—including delayed monitoring, inefficient fault diagnosis, and inadequate coordination—this study innovatively integrates mechatronics technology with operational management. The resulting model features “intelligent sensing, precise diagnosis, collaborative troubleshooting, and efficiency optimization.” By deploying sensors and industrial communication technologies, the system enables 24/7 real-time monitoring of equipment parameters. Leveraging data processing and intelligent algorithms, it establishes predictive models for fault detection, overcoming reliance on empirical methods. An automated control and collaborative management platform eliminates information silos across maintenance processes, enabling efficient allocation of resources. Through comprehensive data accumulation throughout the operational lifecycle, the system optimizes maintenance strategies and spare parts management, driving the transition from reactive repairs to proactive preventive maintenance.

Keywords

mechatronics; mining equipment; operation and maintenance management; intelligent diagnosis; collaborative disposal

基于机电一体化的矿山设备运维管理模式创新

梁成刚 党鑫

陕西中能煤田有限公司, 中国·陕西 榆林 719000

摘要

鉴于传统矿山设备运维管理中监测滞后、故障诊断低效、运维协同不足等问题,立足矿山设备管理需求,将机电一体化技术与运维管理深度融合,创新构建“智能感知-精准诊断-协同处置-效能优化”的运维管理新模式。通过集成传感器与工业通信技术,实现设备运行参数全天候实时监测;依托数据处理与智能算法,建立故障预警与诊断模型,突破经验依赖的局限;借助自动化控制与协同管理平台,打通运维各环节信息壁垒,实现检修资源高效调配;基于全流程运维数据沉淀,优化运维策略与备件管理,推动运维从“被动维修”向“主动预防”转型。

关键词

机电一体化; 矿山设备; 运维管理; 智能诊断; 协同处置

1 引言

矿山设备作为煤炭生产的核心载体,其运维管理水平对矿井生产连续性与综合效益起着直接决定作用。传统矿山设备运维管理借助人工巡检与定期维修,面临着三大核心局限,一是设备状态监测存在欠缺,不易实时捕捉关键部件(如电机轴承、液压油缸)的前期故障迹象。二是故障诊断依靠运维人员经验,定位精准度不高、处置周期偏长,易导致非计划停机。三是运维流程呈现碎片化状态,对设备数据、检修记录、备件信息实施分散管理,协同效率极为低下。

机电一体化技术迅猛发展,其融合了机械、电气、自动化、通信及数据处理等综合优势,给予矿山设备运维管

理突破传统瓶颈以技术支撑。针对矿山设备运维的“监测-诊断-处置-优化”全流程,本研究全面整合机电一体化技术手段,优化运维管理模式,优化设备状态可知、故障可预、检修资源等,为矿山设备运维管理现代化转型提供实践路径。

2 传统矿山设备运维管理的核心痛点

2.1 设备状态监测滞后,故障预警缺失

传统矿山设备监测主要采用“人工定期巡检+便携式仪器检测”的方式,存在显著缺陷。例如,监测范围存在局限,井下作业面既分散又环境恶劣,人工难以全面触及所有设备关键部位,特别是设备在深部开采区域,极易引发监测盲区出现。监测参数仅为单一类型,仅能去采集设备表面温度、运行声音等直观指标,无法获取传动齿轮、液压阀组等内部部件的应力、振动等关键核心参数,早期故障容易被漏

【作者简介】梁成刚(1982-),男,中国陕西蒲城人,本科,助理工程师,从事机电一体化研究。

掉。当前矿山设备运维正处于从传统经验驱动向数据驱动转型的关键期，高粉尘、高湿度的恶劣工况使采煤机、运输机等核心设备故障频发，单次非计划停机即可能造成百万元级损失。机电一体化技术成为衔接传统运维与智能管理的核心纽带。

2.2 故障诊断依赖经验，处置效率低下

矿山设备结构繁复，传统故障诊断方法极为粗放，多凭借“看、听、摸”等经验性手段判定故障，对隐性故障缺少有效识别工具，如液压系统内泄漏、电机绝缘老化。故障定位模糊难辨，难以对故障部件实现精准锁定，反复地进行拆解排查，造成检修时间变长，处置流程偏向被动，故障发生后才去启动检修工作，欠缺提前预防性机制，易引起连锁故障，如电机轴承损坏未及时更换等，导致电机烧毁。传统运维模式中，设备台账混乱、隐患排查滞后等问题导致资源浪费与生产中断风险并存。数字化技术从采购适配到报废评估的全流程可追溯，故障定位时间从数小时缩短至半小时内。这种管控思路，为行业提供了可复制的优化路径。

2.3 运维流程碎片化，协同管理不足

矿山设备运维与生产、机电、备件等多个部门相关联，存有信息壁垒与协同的相关短板，信息传递欠佳。设备故障信息需经多环节人工进行转达，信息易出现失真及延迟现象，致使检修人员无法快速把控现场情形。资源调配效率欠佳，检修人员、工具、备件调度靠人工协调实现，基于设备故障优先级的智能分配机制匮乏，出现“关键设备待修、资源闲置”的矛盾。数据整合陷入困境，不同部门设备运维数据呈分散存储状态，如故障记录、维修次数、备件消耗等，未构建起统一数据链，难以对运维策略优化起到支撑作用。多源数据割裂是制约运维升级的核心瓶颈，振动监测、维修记录等信息分散导致决策缺乏支撑。机电一体化技术通过统一数据接口与字典标准，打通设备运行与仓储管理链路。这种数据融合解决了过度维修问题，从被动抢修转向主动预防。

2.4 运维策略僵化，备件管理无序

矿山设备传统运维主要采用“定期维修”的方式，面临两大局限。首先体现为运维周期固定，未依据设备实际运行负荷及状态作出调整，能够造成“过度维修”，如设备状态良好却频繁停机检修等，“维修不足”，如设备已出现故障征兆却未及时处理等状况。其次备件管理存在盲目性，凭经验设定备件库存，未与设备故障规律形成联动，关键备件短缺易引发停机等待，如采煤机截割电机，或冗余备件积压造成资金白白浪费，备件周转效率欠佳。技术落地需突破人才与成本双重挑战，“振动分析+设备管理”复合型人才短缺、初期投入较高等问题较为突出。通过培养机电一体化技术专业人才，结合“先关键设备后全面覆盖”的分阶段实施策略，可有效降低转型门槛。

3 基于机电一体化的矿山设备运维管理模式构建

以“数据驱动、智能诊断、协同高效、预防为主”作为核心关键，运用机电一体化技术手段，围绕“智能感知-精准诊断-协同处置-效能优化”四个方面，创立矿山设备运维管理模式。

3.1 构建全维度设备状态监测网络

凭借机电一体化技术里的传感器技术、工业通信技术及数据采集技术，构建贯穿矿山设备全生命周期的状态感知体系，对设备运行参数予以实时、全面监测，基于设备部件特性及监测需求，将传感器精准安装在关键部位。在电机轴承、传动齿轮等旋转部件之上安装振动传感器与温度传感器，实时监测温度变化以及振动频率。压力传感器与流量传感器安装在诸如液压油缸、液压阀组等液压部件处，把握压力波动以及流量异常态势。在设备机架、底座安置应力传感器，监测结构受力所处状态；将定位传感器部署至移动设备上，记录运行轨迹及位置讯息，实现监测无遗漏。

高效数据传输体系借助“工业以太网+无线通信”融合架构，达成对监测数据的实时传输。井下固定设备借助工业以太网接入矿井数据平台，移动设备借助无线射频（RFID）、ZigBee等技术实现数据传输。实施通信协议优化，保证数据传输稳定且延迟低，保障实时监测的顺利开展。搭建设备数据平台，对传感器所采集的原始数据进行标准处理。利用滤波算法把环境干扰信号去除；如温度单位 $^{\circ}\text{C}$ 、压力单位MPa的不同格式的数据被统一转换为平台兼容格式。构建数据质量校验体系，自动辨认出存在问题的数据，保证数据具备准确性。

3.2 构建智能故障识别与定位体系

整合机电一体化技术里的数据处理算法、故障树分析（FTA）以及机器学习技术，冲破传统经验诊断的束缚，做到设备故障精准识别及定位，按照矿山设备历史故障数据及设备机理分析，如故障类型、故障部件、故障征兆。提取特征参数以区分不同故障。电机轴承磨损时，其特征表现为振动频率峰值偏移，液压油缸内泄漏的体现是压力下降速率异常；构建故障识别模型借助机器学习算法，构建“特征参数-故障类型-故障部位”的对应关系。

采集的运行参数被设备数据平台实时输入故障识别模型，把运行参数与预设阈值相互对比，如振动频率正常范围、温度安全上限。若参数超出正常范围，系统自动进行预警发出动作，并推送故障类型。针对诸如液压系统多部件协同失效的复杂故障，利用故障树分析（FTA）去梳理故障传播路径，找出故障根源，防止出现“头痛医头”的片面举措。依靠数据可视化技术，把故障诊断结果予以直观展示。设备各部件故障风险等级采用热力图呈现。标注故障部位借助三维模型，呈现故障参数变化曲线叠加效果；给运维人员呈上诊

断报告,清楚认定故障影响范围及紧急程度,成为检修决策的凭借。

3.3 构建高效运维资源调配体系

依靠机电一体化技术中的自动化控制平台与信息管理系统,全面打通运维各环节信息壁垒,达成了涵盖“故障预警-检修派单-资源调配-检修实施-验收归档”的全流程协同,故障预警触发以后,系统即刻编排检修任务单,有故障设备位置、故障类型、所需工具以及技术要求等信息。根据运维人员技能专长与当前位置,借助人员定位系统匹配最优检修班组,自动把任务单推送至移动端,杜绝人工派单出现延迟跟错配。

实施运维资源管理模块的搭建工作,对检修人员、工具、备件信息进行整合。实时显示在岗状态与技能等级的各班组,紧急检修中动态调配空闲人员给予支援。查找检修工具位置与使用情形,如精密测量仪器、专用拆解设备等,防止工具陷入闲置或短缺状况。对备件库存数据进行关联,检修任务生成后,自动对所需备件的库存数量与存放位置进行核查,如电机轴承、液压密封件等,若备件库存短缺,引发备件申购行动,保证检修资源及时就位。运维人员借助移动端对检修全过程做记录。呈上故障现场照片及视频,实时反馈检修进度。系统自动把设备历史检修记录关联上,为当前检修给予参考;完成检修操作后,对验收数据进行上传,如设备试运行参数、部件检测报告等,经审核通过后予以归档,完成整个检修闭环流程。

3.4 效能优化:构建基于数据的运维策略迭代体系

依靠全流程运维数据的沉淀,采用机电一体化技术算法,始终改进运维策略跟管理方式,达成运维效能的最大化,运维策略优化借助对设备运维数据的分析,如故障频率、故障部位、运行负荷等,摆脱传统“定期维修”模式,实施“状态检修”。就高负荷、高故障风险的设备而言,削减监测间隔且增添预防性检修频次。就低负荷、高可靠性设备,适度延长一下检修周期,防止过度维修的情况出现;依靠设备寿命周期数据,依据设备寿命周期数据建立部件寿命预测模型,事先规划更换计划。

以故障规律与运维数据为基,创建“需求驱动”的备件管理体系。通过分析各类设备、各类部件的故障概率与更换周期,设定出合理备件安全库存。构建备件分类管理体制,备件归类为“关键件”,实施不同存储策略。依靠备件使用

数据追溯,实现备件采购计划的优化,去除多余库存,实现备件周转速度提升。构建起运维知识库,把故障诊断经验、检修工艺、设备参数等转变成数据化知识;针对诸如液压支架立柱泄漏这类典型故障,对故障征兆、诊断方法、处置步骤以及预防措施予以记录。依靠机器学习算法找出运维数据中的隐性规律,造就运维指导手册。为新运维人员准备培训素材,传承运维经验,减少对个人经验的依赖。

4 结语

基于机电一体化的矿山设备运维管理模式,借助整合后的“智能感知-精准诊断-协同处置-效能优化”全流程技术手段,化解了传统运维管理里滞后的监测、低效的诊断、不足的协同、僵化的策略这些痛点。该模式借助机电一体化技术作为纽带,该模式达成转型,让设备状态从“不可知”到“可知”、故障处置从“经验驱动”到“数据驱动”、运维流程从“碎片化”到“协同化”、管理方式从“被动应对”到“主动优化”。实践表明,该模式对矿山设备运维响应速度及精准度有显著的提升作用,非计划停机风险被降低,降低运维花费。未来可进一步拓展机电一体化技术与人工智能、数字孪生技术融合范畴,构建设备数字孪生模型实现运维可视化模拟功能、运用深度学习算法提升故障预测的精准度,推动矿山设备的运维管控朝着更智能、更高效的方向前行,为煤炭行业高质量发展筑牢坚实设备根基。

参考文献

- [1] 贺剑. 基于RFID技术的煤矿机电设备智能运维改进研究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(08):139-141.
- [2] 岳雨田. 煤矿信息化运维管理平台的构建与应用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(24):139-141.
- [3] 孟志,曾栋材,刘跃庆. 振动监测系统在矿山设备运维过程中的应用分析[J].智能物联技术,2024,56(05):132-135.
- [4] 赖作星,杨案江. 采矿设备智能运维管理系统在矿山的开发与应用[J].铜业工程,2022,(06):120-124.
- [5] 白伟. 矿山机电设备智能运维设计和研究[J].内蒙古煤炭经济,2021,(22):184-185.
- [6] 代业滨. 矿山设备运维的智能化搭建[J].设备管理与维修,2021,(14):7-8.
- [7] 蔡俊伟. 基于大数据的矿山机电设备智能运维体系设计[J].世界有色金属,2021,(13):22-23.