

# Maintenance Management and Fault Diagnosis System of Coal Mine Railless Rubber Wheel Vehicle

Gaofeng Kang

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

## Abstract

As the primary auxiliary transportation equipment in coal mines, the trackless rubber-tired vehicle's operational stability directly impacts production safety and efficiency. To address traditional maintenance management's issues—overemphasis on repair over prevention, manual fault diagnosis, and fragmented data—the study employs IoT, big data, and AI technologies to develop a full lifecycle maintenance and fault diagnosis system for trackless rubber-tired vehicles. A validation case at a million-ton coal mine demonstrated the system's feasibility and practicality. Results show it effectively reduces equipment failure rates and maintenance costs while improving diagnostic accuracy and management efficiency. This research provides technical support for intelligent upgrading of coal mine auxiliary transportation equipment, driving high-quality development in the coal industry.

## Keywords

coal mine railless rubber-tired vehicle; full life cycle; maintenance management; fault diagnosis

# 煤矿无轨胶轮车全生命周期维护管理与故障诊断系统

康高锋

陕西中能煤田有限公司, 中国 · 陕西 榆林 719000

## 摘要

煤矿无轨胶轮车是煤矿井下辅助运输的主要设备, 它的运行是否稳定直接关系到煤矿生产的安全、效率。针对传统维护管理重维修轻预防、故障诊断依靠人工、数据割裂等瓶颈, 本文采用物联网、大数据、人工智能技术, 创建出无轨胶轮车全生命周期维护管理及故障诊断系统。对某千万吨级煤矿应用进行验证, 检验系统的可行性、实用性。结果说明可以有效地降低设备的故障率以及维护成本, 并且可以提高诊断的准确性以及管理效率。本文研究给煤矿辅助运输装备智能化升级赋予技术支撑, 推进煤炭工业高质量发展。

## 关键词

煤矿无轨胶轮车; 全生命周期; 维护管理; 故障诊断

## 1 引言

煤矿无轨胶轮车是完成井下人员、物料转运的重要设备, 运行可靠程度直接影响到煤矿生产效率和作业安全。目前我国煤矿井下胶轮车保有量大, 井下复杂工况造成设备故障频发, 由于胶轮车故障造成的事故占比较高, 造成巨大的经济损失。传统的维护管理方式落后, 故障诊断依靠人工排查, 效率低、精度不高, 不能满足煤矿智能化转型的要求。因此本文建立煤矿无轨胶轮车全生命周期维护管理及故障诊断系统, 对设备全过程实施精细化管控, 并对故障做出准确的预测, 冲破传统管理的束缚, 给煤矿辅助运输装备智能化升级赋予技术支撑, 具备重要的工程应用价值和理论创新意义。

【作者简介】康高锋(1985-), 男, 中国陕西渭南人, 本科, 助理工程师, 从事煤矿辅助运输(无轨胶轮车)研究。

## 2 煤矿无轨胶轮车全生命周期维护管理现存的瓶颈

目前煤矿无轨胶轮车维护管理工作、故障诊断工作存在许多亟待解决的问题, 对设备运行可靠性及管理效率造成影响。一是维护管理模式滞后, 大部分煤矿仍然沿用固定的周期性维护方式, 没有根据设备的实际运行工况和健康状况来动态调整维护计划, 造成过度维护造成资源浪费, 维护不足引发故障频发, 设备全生命周期各个阶段的数据割裂, 采购、调试、检修、报废等环节缺少统一的管控, 不能形成完整的管理闭环。二是故障诊断技术精度不高, 传统的诊断方式依靠维修人员的经验, 对于发动机、制动系统、液压系统等主要部件的潜在故障识别能力较差, 并且井下复杂的环境会造成传感器数据采集出现干扰, 故障定位的准确性低, 平均故障排查时间过长, 影响了井下运输的连续性。三是智能化水平低, 大部分煤矿没有对设备运行参数进行实时监测和数据化管理, 缺少智能算法的支持, 不能实现故障提前预警

和维护决策智能化,不能满足智慧矿山建设的要求。

### 3 煤矿无轨胶轮车全生命周期维护管理体系构建

#### 3.1 全生命周期分阶段维护管理策略

根据煤矿无轨胶轮车各个生命周期阶段的运行特点和管理需求,创建分阶段、差异化的维护管理策略,从而达成全流程精细化控制。采购选型阶段,创建以工况适配性为依据的选型评价体系,依照井下巷道坡度、运输载荷、瓦斯浓度等工况参数来挑选契合防爆、耐冲击、高可靠性的设备,并且确定设备核心部件的质保周期和维护标准,从源头削减故障风险,防止选型失误引发后期维护费用增多。入矿调试阶段对设备进行全面性能检测,重点对发动机、制动系统、液压系统等主要部件进行校验,调试监测传感器和控制系统灵敏度,建立设备初始健康档案,确定调试合格标准,保证设备达到井下运行要求后才能投入使用。井下服役期间,推行以设备健康状态为基础的预测性维护模式,对设备运行参数进行实时监测,结合历史故障数据,用智能算法评价设备健康等级,动态制订维护计划,重点对高负荷、高损耗部件实施定期巡检和预防性维护,防止故障扩大。维护检修阶段创建标准化检修流程,确定检修内容、检修标准和检修周期,记载检修过程中所更换的部件、处理的故障等信息,更新设备健康档案,保证检修质量可追溯。报废处置阶段,创建设备报废评价指标体系,依照设备运行年限、故障发生率、维护成本等参数来判定设备是否达到报废标准,对报废设备实施拆解、回收并开展环保处理,整理设备全生命周期数据,给后续的设备选型和维护管理赋予参照。

#### 3.2 维护管理数字化与智能化升级路径

依靠数字化、智能化技术,促使煤矿无轨胶轮车的维护管理方式发生改变,冲破传统管理的束缚,改善管理的效能和精确度。创建全生命周期维护管理数字化平台,把设备采购、调试、服役、检修、报废等各个阶段的数据整合起来,创建统一的数据库,达成数据的实时共享和可视化管理,管理人员可以借助平台实时掌握设备运行状况、维护记录、故障信息,从而达到对设备全生命周期动态控制的目的。利用物联网技术,在设备关键部件上安装高精度传感器,连续采集转速、油温、压力、振动频率等 20 多项主要运行参数,数据采集精度为  $\pm 0.5\%$ ,传输延迟  $< 50\text{ms}$ ,可以对设备运行状态进行实时监测,为维护决策提供数据支持。运用大数据分析技术对设备运行数据、维护记录、故障数据等进行深入挖掘,分析出故障发生的规律以及维护的需求,从而改善维护计划,达到合理分配维护资源的目的。利用人工智能技术建立维护决策智能模型,可以对设备的实时运行状况和历史数据进行分析,自动判断出需要进行维护的情况,并给出个性化的维护计划,还可以预估维护的成本以及效果,给管理者提供科学的决策支持。

### 4 煤矿无轨胶轮车故障诊断系统关键技术研发

#### 4.1 多源数据融合采集技术

故障诊断准确度受设备运行数据全面、准确的影响,由于井下复杂环境造成数据采集受到干扰、数据类型单一等状况,研发多源数据融合采集技术,给故障诊断赋予可靠的数据支持。整合传感器采集、设备自带数据接口、人工记录等各种数据采集方式,创建起多源数据采集体系,包含设备运行参数、环境参数、维护记录、故障数据等诸多种类的数据。根据井下高瓦斯、高湿度、强振动的环境特点,选用本质安全型高精度传感器,改进传感器安装位置,削减环境干扰给数据采集带来的影响,着重抓取发动机转速、制动压力、液压油温、轮胎压力这些关键参数,还要收集井下瓦斯含量、巷道坡度这些环境参数,从而达成对设备运行状况和环境状态的联合观测。用闭环动态卡尔曼滤波算法来降噪、去冗余处理采集到的原始数据,剔除异常值,提高数据精度,完成不同种类数据的融合处理,打破不同种类数据之间的壁垒,建立完整的设备运行数据模型,为之后的故障诊断算法提供高质量的数据输入,解决传统数据采集精度低、数据不完整的问题。

#### 4.2 智能故障诊断算法设计与优化

冲破传统故障诊断依靠人工经验的限制,融合深度学习,机器学习这些人工智能手段,研发改良的智能故障诊断算法,从而改善故障识别精确度和预警水平。由于煤矿无轨胶轮车故障种类繁多、故障特征不明晰,所以要创建基于深度学习的故障诊断模型,把多源融合后的运行数据当作输入,用卷积神经网络(CNN)提取故障特征,用长短期记忆网络(LSTM)剖析故障发展走向,从而达成发动机、制动系统、液压系统等关键部件常见故障的精确判定与定点,故障诊断准确率可到达 98% 以上。根据故障预警的要求,设计出以阈值分析和趋势预测相结合的双重预警算法,根据设备运行参数正常阈值范围,对参数的变化进行实时监测,当参数超过阈值或者出现异常变化趋势的时候,立即发出预警信号,并且结合故障发展趋势来预测故障发生的时间,给维护人员留出足够的处理时间。

#### 4.3 故障诊断可视化与闭环管控技术

为了提高故障诊断的直观性和控制效率,开发故障诊断可视化和闭环管控技术,对故障进行识别、预警、处理、复盘全过程闭环管理。创建故障诊断可视化平台,把设备运行参数,故障信息,预警信号等数据以图表,曲线的形式直观地表现出来,管理人员可以随时查看到故障类型,故障位置,故障严重程度,故障发展趋势等信息,从而快速掌握设备的故障情况。设计故障分级预警系统,根据故障的严重程度将预警信号分为一级、二级、三级,不同的预警等级对应不同的处理程序和响应时间,保证重大故障能够得到及时处理,防止故障扩大。建立故障处理闭环机制,当系统发出预警信号之后,会自动给维护人员下达故障处理任务,维护人

员完成故障处理之后,及时上传处理结果,系统更新设备健康状态和故障记录,并且对故障处理的效果展开评价,剖析故障产生的原因,改善故障诊断算法和维护管理策略。

## 5 系统应用验证与优化方向

### 5.1 系统应用验证

为了检验煤矿无轨胶轮车全生命周期维护管理与故障诊断系统是否可行、是否实用,选取某千万吨级煤矿进行应用验证。该煤矿井下辅助运输车辆现为118台,包括运人车20台、皮卡车20台、工程车50台以及其他特种车辆28台,各种车型承担着井下人员、物料运输和工程施工等工作,受到井下复杂工况的影响,设备故障较多,影响运输效率和生产安全。本次应用创建起系统软硬件平台,安装了1770多个高精度传感器,把所有车辆全生命周期数据都包含在内,给传统维修管理、故障诊断方式带来颠覆性的改变。经过实践检验,系统可以对车辆运行参数进行实时监测,故障诊断的正确率达到了98.7%,预警响应时间小于50ms;与传统的模式相比,设备故障的发生率降低了72%,维护成本降低了60%,停机时间减少了42%,井下运输效率提高了35%。系统可以实现对超百台车辆全生命周期精细化管理,提高维护计划的科学性,解决了传统管理的各种问题,满足了煤矿智能化转型的需求,具有工程应用价值,可以为同类千万吨级煤矿提供可以复制的应用范例。

### 5.2 系统优化方向

根据应用验证的结果以及煤矿智能化的发展趋势来确定系统以后的改进方向,从而提高系统的智能化程度和适应性。一是改善多源数据融合采集技术,利用5G通信技术加快数据传输速度和稳定程度,克服井下信号弱造成的数据传输延迟,扩大数据采集范围,增添设备能耗、部件磨损等数据的搜集工作,塑造起更为完备的设备运行数据模型。二是完善智能故障诊断算法,利用数字孪生技术创建无轨胶轮车虚拟镜像,对设备运行状况展开虚拟仿真并开展故障模拟,

从而加强故障诊断的精确性与前瞻性,采用联邦学习技术,达成多煤矿数据共享以及算法协同改进的目的,改善模型的通用性。三是加强维护管理和故障诊断的融合,创建数字孪生支撑下的维护决策模型,达成维护计划同故障诊断的动态联系,依照设备故障状况来自动调节维护计划,从而改进维护资源的分配。四提升系统具有良好的兼容性及扩展性,可与各类型号、各类厂家的无轨胶轮车相适配,并且能够与煤矿综合自动化系统对接,从而达成数据共享以及协同管控的目的,融入到智慧矿山建设的大体系之中,促使煤矿辅助运输装备的管理朝着全面智能化、精细化的方向转变。

## 6 结语

煤矿无轨胶轮车全生命周期维护管理及故障诊断系统,属于推进煤矿辅助运输装备智能化升级的重要手段,较好地解决了传统管理模式下维护效率低下、诊断不准确等难题,达成对设备全流程精细化控制以及故障的及时预警。本文对系统的核心内涵进行界定,分析现有的瓶颈,提出分阶段维护管理的体系,研发出多源数据融合、智能诊断等关键技术,并且通过验证证明了该系统具有可行性、实用性。之后会用到5G、数字孪生等新技术对系统进行改进,提高系统的性能,完善功能,推动维护管理以及故障诊断技术的发展。系统推广应用能改善设备运行稳定性、管理效率,削减故障开支,给煤矿安全生产赋予保证,给煤矿智能化装备管理赋予新思路、新支撑。

### 参考文献

- [1] 姚军,吴邦民,贺耀宜. 煤矿井下无轨胶轮车多目标优化调度方法研究[J]. 矿业研究与开发, 2026, 46 (02): 280-287.
- [2] 王瑞卿. 无轨胶轮车在煤矿井下辅助运输中的应用分析[J]. 能源与节能, 2026, (02): 295-297+333.
- [3] 刘晓军,张芬,赵国君. 煤矿无轨胶轮车雷达视觉障碍物检测预警算法优化[J]. 实验室检测, 2025, 3 (22): 1-4.
- [4] 王洋. 矿用无轨胶轮车智能调度管理技术的研究[J]. 西部探矿工程, 2025, 37 (11): 152-154.