

基于6A系统的铁路自轮运转车辆智能运维与安全管控研究

卢海明

国能包神铁路有限责任公司 内蒙古包头 017000

摘要：铁路自轮运转车辆是铁路运输与基础设施维护的核心装备，其运行稳定性直接决定铁路路网的安全高效运转。机车车载安全防护系统（6A系统）作为覆盖车辆关键部件的平台化安全防护装置，整合高压绝缘、防火、走行部等六大类监测功能，可实时采集车辆运行全参数，为智能运维与安全管控提供核心数据支撑。6A系统的数据采集与分析能力，整合多源传感技术、大数据建模与智能决策算法，构建全流程智能运维体系与闭环安全管控机制，实现车辆状态精准感知、故障提前预警、运维精准实施、安全动态管控。本文研究整合6A系统六大子系统数据资源，优化数据融合算法，突破故障精准诊断与剩余寿命预测关键技术，建立运维与安全管控协同模型，实现从被动故障处置向主动预防管控的转型，完善铁路自轮运转车辆智能运维与安全管控的技术路径，提升装备运行可靠性与管控精细化水平。

关键词：6A系统；铁路自轮运转车辆；智能运维；安全管控

引言

铁路自轮运转车辆广泛应用于铁路线路施工、检修、抢险等场景，长期处于频繁启停、负载多变、环境复杂的工况，其关键部件易出现磨损、老化等问题，给运维工作与安全管控带来严峻挑战。传统运维模式依赖固定周期与人工经验，存在响应滞后、精准度不足等缺陷，难以适应现代铁路高强度、高安全要求的运营需求。6A系统作为国内首个具备六大类监测功能的车载安全设备，可覆盖车辆90%以上的主要故障，通过实时检测、网络传输与统一存储，为车辆运维与安全管控提供海量精准数据。

一、相关技术基础

（一）6A系统核心架构

6A系统以中央处理平台为核心，集成六大监控子系统，形成车载与地面一体化的安全防护体系。中央处理平台承担综合报警处理、安全信息统一存储、人机交互、实时网络传输等核心功能，采用双处理器冗余工作模式，具备较强的稳定性与可扩展性，可实现与车载微机系统、GYK监控系统的无缝对接，构建统一的机车数据源。六大监控子系统各有侧重、协同工作，共同实现对自轮运转车辆关键部件与运行状态的全面监测。高压绝缘检测子系统可在升弓前确认车辆高压绝缘状态，记录测试数据，避免盲目升弓导致的接触网烧损；防火监控子系统通过在司机室、机械间布设烟温复合探头与感温电缆，

实时监测温度与烟雾变化，防范电气、油气起火事故；自动视频监控及记录—子系统可记录司机操作、运行路况与机械间图像，实现与防火系统的联动，为故障分析提供直观依据；列车供电监测子系统可在出库、挂车、运行全过程监测供电状态，开展接地诊断与漏电流检测，记录故障信息；空气制动安全监测子系统重点监测列车折角塞门非正常关闭与停放制动非正常施加情况，预防制动失灵引发的行车事故；走行部故障监测子系统通过振动谱分析，监测轴箱轴承、电机轴承温度与冲击情况，捕捉早期故障隐患。

（二）智能运维核心技术

智能运维技术以数据驱动为核心，整合多源传感技术、大数据分析、机器学习等前沿技术，实现自轮运转车辆状态评估、故障诊断与运维决策的智能化。多源传感技术作为数据采集的基础，可补充6A系统原有监测维度，通过在车辆关键部位加装振动传感器、温度传感器、压力传感器等设备，实现对零部件运行状态的全方位、高精度感知，采集的数据与6A系统数据形成互补，为后续分析提供丰富支撑。大数据分析技术重点解决6A系统海量数据的处理与挖掘问题，通过数据清洗、融合、脱敏等预处理流程，剔除无效数据与干扰信息，提取核心特征参数，挖掘数据背后的关联关系与变化规律，为故障诊断与状态预测提供数据支撑。机器学习算法则用于构建故障诊断与剩余寿命预测模型，通过对历史故障数据、运行参数数据的训练，实现对车辆故障类型、故障

位置的精准识别,以及关键零部件剩余寿命的科学预测,为运维计划制定提供智能决策依据^[1]。

(三) 安全管控关键技术

安全管控技术聚焦自轮运转车辆运行全流程风险防控,整合动态监测、风险评估、应急处置等技术,构建闭环管控体系。动态监测技术依托6A系统实时传输的运行数据与多源传感数据,对车辆运行状态、关键部件性能、运行环境等进行持续监测,实时捕捉异常信号,及时发出预警信息。风险评估技术通过构建风险评估指标体系,结合车辆运行数据、故障历史数据、环境数据等,对车辆运行过程中的各类风险进行量化评估,明确风险等级与影响范围,为风险防控提供针对性依据。应急处置技术针对监测到的紧急故障与安全风险,结合预设的处置流程与应急预案,自动生成处置建议,辅助工作人员快速开展应急处置,降低故障与风险造成的影响,保障车辆运行安全。

二、铁路自轮运转车辆运维与安全管控现状

(一) 运维模式现存问题

当前铁路自轮运转车辆运维仍以传统模式为主,存在诸多亟待解决的问题。运维周期主要依据制造厂家推荐标准或人工经验制定,采用固定时间间隔的例行检查与保养模式,缺乏对车辆实际运行状态的动态响应。这种模式导致部分零部件出现过度维护,增加人力、备件与停机成本,频繁拆卸装配还可能引入人为操作误差,降低设备稳定性;同时部分潜在故障因维护周期过长未能及时发现,逐步积累后演变为突发性故障,影响车辆运行安全。数据利用效率低下是另一突出问题,6A系统虽能采集海量运行数据,但这些数据多处于分散存储状态,缺乏有效的融合与挖掘,未能充分发挥数据的价值,导致运维决策仍依赖人工经验,精准度与科学性不足^[2]。

(二) 6A系统应用局限

6A系统在自轮运转车辆中的应用虽已实现全覆盖,但仍存在诸多局限,制约了其在智能运维与安全管控中的作用发挥。系统各子系统之间存在数据接口不统一、数据格式不一致的问题,导致数据难以有效融合,形成数据孤岛,影响数据的综合利用。系统的数据分析能力较弱,主要以数据采集、存储与简单报警为主,缺乏对数据的深度挖掘与智能分析,难以实现故障的精准诊断与提前预警。此外,6A系统与运维管理系统、安全管控系统缺乏有效对接,监测数据无法直接为运维决策与安全管控提供支撑,导致系统的技术优势未能充分转化为管控效能。

三、基于6A系统的智能运维体系构建

(一) 体系总体架构设计

基于6A系统构建的铁路自轮运转车辆智能运维体系,采用“感知层—数据层—分析层—应用层”四层架构,实现从数据采集到运维实施的全流程智能化。感知层以6A系统六大子系统为核心,补充多源传感设备,实现对车辆关键部件运行状态、运行参数、环境条件等信息的全方位采集,形成多维度、高精度的数据源。数据层负责对感知层采集的数据进行统一处理,包括数据清洗、融合、脱敏、存储等操作,解决6A系统各子系统数据割裂问题,构建统一的运维数据库,实现数据的集中管理与共享。分析层依托大数据分析机器学习技术,构建故障诊断、状态评估、剩余寿命预测等模型,对数据层的海量数据进行深度挖掘,提取核心特征,实现对车辆运行状态的精准评估与故障的提前预警。应用层结合运维实际需求,开发状态监测、故障预警、运维计划制定、备件管理等功能模块,将分析层的结果转化为具体的运维决策与操作指令,为运维工作人员提供智能化支撑^[3]。

(二) 数据融合与预处理

数据融合与预处理是智能运维体系高效运行的基础,重点解决6A系统数据碎片化与质量参差不齐的问题。首先,针对6A系统各子系统数据接口不统一、格式不一致的问题,制定统一的数据标准,对不同于子系统的监测数据进行格式转换与规范化处理,确保数据的一致性与可比性。其次,开展数据清洗工作,通过设定合理的阈值与过滤规则,剔除异常数据、缺失数据与干扰数据,采用插值法、回归分析法等对缺失数据进行补充,提升数据质量。然后,进行数据融合处理,将6A系统采集的数据与补充传感设备采集的数据进行融合,通过加权融合算法,整合多维度数据,挖掘数据之间的关联关系,形成全面、准确的车辆运行状态数据。

(三) 故障诊断与预警模型

依托6A系统的海量数据,结合机器学习算法,构建高精度的故障诊断与预警模型。故障诊断模型采用随机森林算法,以6A系统采集的故障历史数据、运行参数数据为训练样本,提取故障特征参数,构建故障识别模型,实现对车辆各类故障的精准识别,明确故障类型、故障位置与故障严重程度。针对走行部、制动系统、电气系统、传动系统等关键部件,分别构建专项故障诊断子模型,提升故障诊断的针对性与精准度。故障预警模型采用LSTM神经网络算法,基于车辆运行参数的时序变化

规律,构建剩余寿命预测模型,实现对关键零部件剩余寿命的科学预测,提前发出预警信息^[4]。

四、基于6A系统的安全管控机制完善

(一) 闭环安全管控流程

根据6A系统的实时监测能力,构建“监测—预警—处置—反馈”的闭环安全管控流程,实现全流程、全方位的安全防控。监测环节依托6A系统六大子系统与补充传感设备,对车辆运行状态、关键部件性能、运行环境等进行持续监测,实时采集各类数据,确保监测无死角。预警环节结合故障预警模型与风险评估结果,对监测到的异常信号进行分级预警,根据故障严重程度与风险等级,划分不同的预警级别,采用声光报警、短信通知等方式,及时将预警信息推送至相关工作人员。处置环节针对不同级别的预警信息,制定对应的应急处置流程,工作人员根据预警信息与处置建议,快速开展故障排查与处置工作,降低故障造成的影响。反馈环节对预警处置效果进行跟踪,收集处置数据,分析处置过程中存在的问题,优化预警阈值与处置流程,完善安全管控机制,形成闭环管理。

(二) 风险分级评估体系

构建基于6A系统数据的风险分级评估体系,实现对车辆运行风险的精准识别与量化评估。结合自轮运转车辆的运行特点,选取关键部件性能、运行参数、环境条件、故障历史等作为评估指标,建立多层次的风险评估指标体系,明确各指标的权重与评估标准。依托6A系统采集的实时数据与历史数据,采用层次分析法与模糊综合评价法,对各类风险进行量化评估,将风险划分为不同等级,明确各等级风险的影响范围与处置要求。建立风险动态评估机制,根据车辆运行状态的变化与监测数据的更新,实时调整风险评估结果,确保风险评估的准确性与时效性,为安全管控决策提供科学依据^[5]。

(三) 车地协同管控模式

结合6A系统的网络传输功能,构建车地协同管控模式,实现车载监测与地面管控的无缝对接。车载端通过6A系统实时采集车辆运行数据,将数据实时传输至地面管控中心,地面管控中心对数据进行实时分析与处理,实现对车辆运行状态的远程监测与实时管控。建立车地信息交互机制,地面管控中心可将预警信息、处置建议、

运维计划等实时推送至车载端,车载工作人员根据相关指令开展工作;车载端可将故障处置情况、运行状态反馈等信息实时上传至地面管控中心,实现信息的双向交互。同时,构建地面专家系统,整合行业专家经验与故障处理案例,针对车载端反馈的复杂故障,为工作人员提供专业的处置指导,提升故障处置效率与质量,实现车地协同、上下联动的安全管控格局。

结论

本文围绕基于6A系统的铁路自轮运转车辆智能运维与安全管控展开系统研究,梳理了6A系统核心架构、智能运维与安全管控相关技术基础,剖析了当前铁路自轮运转车辆运维模式存在的弊端、6A系统应用局限等核心问题。基于此,构建了“感知层—数据层—分析层—应用层”四层智能运维体系,通过数据融合与预处理优化、故障诊断与预警模型构建、智能运维决策机制完善,实现了运维模式从经验驱动向数据驱动的转型;同时完善了闭环安全管控流程、风险分级评估体系、车地协同管控模式及管控系统集成优化,形成了全方位、精细化的安全管控格局。研究充分发挥6A系统的数据采集与监测优势,整合多源技术突破核心痛点,有效解决了数据碎片化、管控被动化等问题,提升了车辆运维效率与安全管控水平,为铁路自轮运转车辆智能化运维与安全管控提供了可行的技术路径与实践支撑,也为后续相关技术的优化升级与推广应用奠定了坚实基础。

参考文献

- [1]王东.种自轮运转车辆车载设备数据联动分析方法[J].今日制造与升级,2022,(12):42—44.
- [2]李欢.地方铁路自轮运转特种设备年检鉴定及质量管理的探讨[J].中国设备工程,2021,(24):138—139.
- [3]潘璐.铁路自轮运转车辆人员培训班班主任管理思考[J].办公室业务,2020,(08):46—47.
- [4]雷张文,倪琍,李石平,等.高速铁路自轮运转快速换轨车研究[J].中国机械工程,2019,30(03):354—358.
- [5]冯俊杰,邓强.自轮运转设备施工安全监控系统研发与应用[J].铁道运输与经济,2013,35(07):113—116.