

铁路运输设备故障研判与运维管理优化探析

孙宗民

安阳钢铁集团有限责任公司 运输作业部 河南 安阳 455000

摘要：铁路运输设备稳定状态直接决定路网运行安全，传统运维依赖人工经验，故障预判滞后，资源配置存在明显冗余。依托多源监测数据融合手段搭建多维特征研判模型，模型可识别设备劣化趋势，划分故障风险等级。这套体系联动分级预警机制，推动运维作业向预测性维护转型，配套完善平台建设、制度规范与人才培养举措，改善设备故障处置效率，提升铁路运维管理精细化水平。

关键词：铁路运输设备；故障研判；多源数据融合；预测性维护；运维优化

引言：路网规模持续扩张，客货运输负荷不断增长，线路、信号、供电及机车车辆等核心设备长期处于复杂工况之中，隐性故障与连锁风险持续增多。依靠周期性检修和事后处置的运维模式，难以适应当下铁路安全管控需求。挖掘设备监测数据内在价值，构建适配现场工况的故障研判手段，重构运维作业流程，压缩故障引发的行车扰动，成为铁路运维领域亟待推进的实践方向。

1 核心概念界定与基础理论

1.1 核心概念界定

铁路运输设备是保障客货运输正常开展的核心硬件体系，涵盖线路、信号、供电、机车车辆等关键模块，设备稳定工况是铁路运输安全高效运行的重要前提。设备故障研判依托现场运行数据与行业技术标准，识别设备异常状态，判定故障发展趋势与影响范围。设备运维管理贯穿设备全生命周期，包含巡检监测、故障处置、养护维修、资源调配等工作，用以稳定设备运行状态，降低故障发生概率。数据驱动运维依托多维度运行数据与数据挖掘技术，改变传统经验化决策模式，为设备精准运维提供支撑。

1.2 相关基础理论

设备全生命周期管理理论针对设备服役至报废的完整阶段，结合不同周期的性能特征制定差异化管控方案，实现运维资源合理配置。设备状态劣化理论阐述设备在荷载、环境、磨损等因素作用下性能逐步衰减、故障风险持续上升的规律，为前置化隐患治理提供理论支撑。多源数据融合理论可整合各类设备运行数据，弥补单一监测维度的局限性，提升状态分析的全面性。风险分级管控理论依据故障概率与危害程度

划分风险等级，匹配对应管控标准，推动运维管理向精细化、标准化转型。

2 铁路运输设备运维及故障研判现状与问题

2.1 铁路运输核心设备运行特征

铁路核心设备具备连续作业、系统联动、工况复杂与劣化阶段性的运行特点。设备长期不间断运行使部件损耗持续累积，隐蔽性故障多发。各类设备相互关联耦合，局部异常能够快速扩散形成系统性风险。露天设备受气候环境影响显著，车载与室内设备易受振动、电磁干扰，故障诱因呈现多元化特征。设备整体性能随运行时长逐步衰减，不同服役阶段的故障概率与故障类型存在明显差异。

2.2 设备故障与运维管理工作现状

现阶段铁路设备运维仍以周期性维保与事后维修为主，作业标准固化，依赖人员经验开展巡检养护工作。行业初步建成设备状态监测体系，可采集基础运行参数，但各类业务数据分散存储，数据整合与深度应用程度较低。运维考核侧重作业完成效率与故障整改结果，针对前置风险预判与隐患防控的考核内容较为缺失。

2.3 故障研判与运维管理现存突出问题

当前故障研判与运维管理存在多项突出短板。经验化研判方式对渐变、隐性故障识别能力不足，研判精度有限。监测数据碎片化问题突出，数据关联分析不足，难以精准定位故障诱因。固定维保模式无法适配差异化设备状态，存在维保资源错配情况。预警干预能力薄弱，故障处置普遍存在滞后性，运维整体智能化水平偏低。

2.4 故障及管理问题根源剖析

各类问题的产生存在深层根源。运维管理理念偏向被动处置,主动防控的数据化运维思维尚未全面落地。监测、数据分析与研判技术体系不完善,技术支撑能力不足。既有管理制度与作业标准适配传统运维模式,无法匹配智能化运维发展需求。行业复合型技术运维人才储备不足,岗位协同与数据互通机制不完善,制约运维质量提升。

3 铁路运输设备故障机理与多源数据研判模型构建

3.1 铁路核心设备故障机理与性能劣化规律

铁路核心设备长期服役过程中,循环荷载、环境侵蚀与机械磨损共同作用,推动设备性能持续劣化,最终引发功能故障。线路设备长期承受列车往复荷载,易出现钢轨磨耗、扣件松动、轨道不均匀沉降等损伤,气象变化会加速损伤累积,影响轨道平顺性。信号设备长期通电运行叠加电磁干扰,易出现硬件老化、信号传输异常,干扰运输调度秩序。露天运行的接触网易受风雨、覆冰影响,出现导线磨损、部件松动、绝缘性能下降等问题^[1]。机车车辆走行部、制动及动力系统受振动、摩擦、润滑失效影响,疲劳损伤持续累积,逐步诱发运行故障。

设备性能劣化具备清晰的阶段性特征。0至2年为磨合稳定阶段,部件适配性逐步提升,故障概率较低,多为轻微偶然缺陷。3至8年为平稳损耗阶段,部件均匀磨损、性能缓慢衰减,故障多出现于易损零部件,整体风险可控。8年以上进入老化劣化阶段,核心设备性能大幅衰减,运行稳定性下降,故障频次显著增加,极易引发系统性关联故障。高负荷运行与恶劣工况会加速劣化进程,缩短设备稳定服役周期。

3.2 多源监测数据融合思路

多源数据融合可有效弥补单一监测数据的局限性,是提升故障研判精准度的核心手段。铁路设备监测数据主要包含车载动态数据、地面设备状态数据、人工巡检记录与环境监测数据四大类,多维度数据相互补充,可全面反映设备真实运行状态。多源数据采用标准化层级处理流程,先完成数据预处理,剔除异常、缺失、冗余数据,统一数据格式与计量标准,实现异构数据整合。再按设备维度关联各类信息,构建单设备全维度数据集,最后完成特征层级融合,提炼设备劣化与故障隐患的核心特征,为智能研判提供高质量数据支撑。

3.3 基于多维特征提取的故障研判模型构建

结合设备故障机理与融合数据,搭建多维特征智能故障研判模型,实现故障识别、类型判定与风险

量化。模型设置数据输入、特征提取、研判分析、结果输出四层递进架构,输入层接入标准化融合监测数据。特征提取层依托数据挖掘算法,筛选与设备劣化、故障高度关联的核心参数,搭建适配多类铁路设备的特征参数体系^[2]。研判分析层为模型核心,结合不同设备故障机理设置差异化研判阈值,区分渐变故障与突发故障的研判逻辑,依托数据趋势预判渐进性劣化,通过瞬时数据波动定位突发故障点位。输出层汇总运算结果,反馈设备运行状态、故障类型与风险等级,为预警管控和运维决策提供依据。模型依托历史故障样本持续校准参数,适配现场运行场景,实现多类核心设备的标准化智能研判。

4 基于智能研判的设备状态监测预警体系

4.1 设备状态全景感知与健康评价指标体系搭建

依托智能研判模型搭建设备状态全景感知体系,整合全线网监测终端,实现设备工况、作业状态与环境参数的全域覆盖。优化监测点位与采集频次,强化关键区段、故障高发设备的监测力度,补齐传统监测盲区,保障数据采集全面精准。监测数据实时同步至后台平台,为设备健康状态量化评价提供动态支撑。结合设备运行特性与研判需求,构建涵盖结构状态、运行性能、损耗程度、环境适配性的多维健康评价指标体系,配套标准化量化规则,依托智能模型自动完成状态评级,为预警管控提供精准依据。

4.2 动态预警阈值与多级预警响应机制设计

针对传统固定预警阈值误报、漏报频发的问题,结合设备健康数据与历史故障样本,搭建自适应动态预警阈值体系。系统可根据设备服役年限、运行负荷、季节环境变化实时调整阈值,适配设备全生命周期性能变化,大幅提升预警精准度。基于风险分级管控原则,建立四级分级预警响应机制,配套标准化处置流程。轻微异常纳入常态化监测台账持续跟踪,一般隐患落实专项维保整改,设备稳定性大幅下降时启动专项管控与深度排查,重大安全隐患即刻停运检修,形成完整的智能化预警处置闭环。

5 数据驱动下运维管理优化策略及保障措施

5.1 运维模式向预测性维护转型路径

依托智能故障研判模型与状态监测预警体系,推动传统被动运维、定期运维模式向预测性主动运维模式全面转型,重构设备全生命周期运维逻辑。摒弃固定周期的一刀切维保模式,以设备实时健康状态、性能劣化趋势、故障研判结果为核心依据,制定差异化、精准化的

维保计划,让维保作业贴合设备实际运行需求,减少无效维保作业造成的资源浪费,规避维保缺失引发的设备故障问题。

建立设备状态动态管控机制,依托全景感知体系实时掌握每台核心设备的运行状态,定期梳理设备性能劣化数据与预警记录,精准预判设备故障发生节点与故障类型,提前制定针对性的运维处置方案。针对处于稳定运行阶段的设备,以常态化监测、预防性养护为主要工作内容,维持设备最优运行状态。针对处于老化劣化阶段的设备,加大监测频次与养护力度,提前更换损耗严重的零部件,延缓设备性能衰减速度,延长设备使用寿命^[3]。针对高负荷、高风险设备,建立专项运维台账,实现全程动态管控,从源头降低故障发生概率。

优化运维作业资源配置模式,根据设备故障风险等级与运维需求,合理调配人力、物资、设备等运维资源,将优质资源倾斜至高风险区段、老旧设备、核心运输设备,提升运维资源利用效率。依托数据研判结果预判阶段性设备故障高发类型,提前储备对应维修物资与配件,避免故障发生后出现物资短缺、处置滞后等问题,全面提升运维工作的前瞻性与精准性。

5.2 智能运维平台与闭环运维流程优化

搭建一体化智能运维管理平台,整合数据采集、故障研判、状态监测、预警推送、运维调度、记录归档等多项功能,实现运维工作的数字化、一体化管控。平台接入全线网设备监测数据,自动完成数据汇总、分析研判与状态评价,实时展示各类设备运行状态与预警信息,让运维管理人员可直观掌握全网设备运维动态。平台设置分级权限管理体系,不同岗位人员对应不同操作权限,实现运维指令精准下发、运维任务高效落实。

重构全闭环运维工作流程,形成状态监测、故障研判、预警推送、任务派发、现场处置、结果核验、数据归档的完整工作链路。智能平台识别设备异常并发布预警信息后,自动匹配对应运维岗位与处置流程,快速派发运维作业任务,明确作业内容、作业标准与完成时限。运维人员接收任务后开展现场隐患排查与故障处置,完成作业后上传处置过程与处置结果。管理人员依托平台核验作业质量,确认隐患彻底整改后完成流程闭环,所有运维数据自动归档存储,为后续运维策略优化、模型参数迭代提供数据支撑。

优化平台数据联动功能,打通监测系统、调度系统、运维管理系统的数据壁垒,实现设备数据、运输数据、运维数据的互联互通。依托数据联动分析,精准梳理设备故障与运输负荷、运行环境、作业操作之间的关

联关系,持续优化故障研判模型与预警机制,推动运维流程持续迭代升级^[4]。简化平台操作流程,适配一线运维人员操作习惯,降低智能化系统的操作门槛,提升智能运维平台的落地应用实效。

5.3 制度组织与人才多维保障措施

完善适配智能运维的制度体系,结合预测性运维流程、平台应用标准、预警处置规范,修订现有运维管理制度与考核标准,细化各岗位工作流程与作业规范,形成标准化运维管理体系。建立制度动态更新机制,结合技术迭代与运维优化成果持续完善制度条款,保障制度贴合现场实际。优化运维组织架构与协同机制,组建数据研判、运维调度、现场作业、质量监督专项小组,明确岗位职责与联动机制,强化岗位协同配合,提升整体运维效率。搭建分层分类人才培养体系,针对一线人员开展智能设备操作、预警处置实操培训,针对管理人员开展故障机理、数据研判、体系搭建专业培训,依托技能竞赛、实操演练补齐人才短板。优化岗位考核激励机制,将故障预判、隐患整改、平台应用、数据归集等内容纳入考核,配套专项奖励机制,调动人员工作积极性,筑牢智能运维人才根基。全方位的制度、组织与人才保障是智能运维体系落地的关键,能够有效破解传统运维模式的各类痛点,为数据驱动的故障研判、精准运维落地提供坚实支撑,持续夯实铁路设备安全稳定运行的管理与人才基础。

结束语: 综上所述,多源数据驱动的故障研判手段,能够捕捉设备性能渐变特征,精准识别隐患点位。依托研判成果搭建动态预警体系,重构运维作业闭环,推动维保资源按需调配,弱化固定检修模式带来的资源浪费。同步完善组织机制、管理制度与人才培育方案,打通数据流转壁垒,持续优化设备健康管控能力,切实降低设备故障发生概率,稳固铁路运输系统安全运行基础。

参考文献

- [1] 高学峰.安全双重预防机制在铁路货车检修作业的应用[J].中国设备工程,2024(23):17-19.
- [2] 胡志坚,杜昭童,宋丹丹,等.轨道车辆高压主回路耐压试验问题分析及改进[J].铁道运营技术,2025,31(4):50-52.
- [3] 韩鹏,张训望,张宏飞. CTCS-3 级列控系统无线通信超时一体化智能分析平台研究[J].铁道通信信号,2025,61(4):9-15.
- [4] 柳琪渊.接触网分段绝缘器的故障分析及防范措施[J].时代汽车,2024(19):4-6