

铁路工程机械的故障分析及维护分析

马卫翔

内蒙古东乌铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010406

摘要：铁路工程机械是保障铁路建设与运维高效推进的核心装备，其运行稳定性关乎工程质量、安全与进度。当下，因工作环境复杂、负载强度大，故障频发制约工程开展。本文以铁路工程机械为对象，梳理其分类、结构与原理，将典型故障分为机械、电气、液压及环境适应性四类，剖析表现与成因。对比传统和智能诊断效果后，从多维度提出维护策略，为提升诊断精度、优化方案提供支撑，助力降本与工程推进。

关键词：铁路工程机械；故障分析；维护策略

引言：铁路作为国家重要基础设施，其建设与运维离不开工程机械的强力支撑。然而，铁路工程机械常面临复杂恶劣的作业环境，长时间运行使其故障频发，不仅影响工程进度与质量，更威胁到铁路运行安全。深入剖析铁路工程机械故障成因，探索高效精准的维护策略，成为保障铁路工程顺利推进的关键所在。本文将围绕铁路工程机械，展开故障分类、诊断及维护策略的详细探讨。

1 铁路工程机械概述

1.1 铁路工程机械的分类

铁路工程机械种类繁多，依据功能可划分为多个类别。轨道铺设设备是铁路建设的基础装备，如铺轨机，能将轨排精准铺设在预定位置，实现轨道的快速延伸；道砟摊铺机则负责将道砟均匀摊铺在轨道下方，为轨道提供稳定支撑。线路养护设备对于保障铁路线路质量至关重要，捣固车通过捣固作业，使道床更加密实，增强轨道的稳定性；清筛机可清除道床中的污土和杂物，恢复道床的弹性。桥梁施工设备用于桥梁的建设与维护，架桥机能够将预制桥梁准确架设在桥墩上；提梁机则承担着桥梁的起吊与运输任务。隧道掘进设备在隧道施工中发挥关键作用，盾构机集开挖、支护、出渣等多种功能于一体，可高效完成隧道掘进工作；凿岩台车则用于隧道岩壁的钻孔作业^[1]。

1.2 铁路工程机械的工作原理与结构组成

以捣固车为例，其工作原理基于振动与冲击原理。工作时，捣固装置在液压系统的驱动下，对道床进行高频振动与冲击，使道砟颗粒重新排列，达到密实道床的目的。捣固车主要由动力系统、走行系统、捣固系统、电气控制系统等部分组成。动力系统为整车提供动力，通常采用柴油发动机；走行系统包括车轮、传动装置等，实现车辆的行走与转向；捣固系统是核心部分，包

含捣固镐、振动装置等；电气控制系统则负责控制各系统的协调运行，通过传感器实时监测设备状态，并将信号反馈给控制器，实现对设备的精准控制。不同类型铁路工程机械虽工作原理与结构组成存在差异，但都围绕其特定功能进行设计与制造。

2 铁路工程机械典型故障分类

2.1 机械系统故障

机械系统故障在铁路工程机械中较为常见。传动部件故障方面，齿轮作为关键传动元件，长期运行后易出现点蚀、胶合等磨损故障。点蚀是由于齿轮表面在交变应力作用下，局部金属疲劳剥落形成小坑，影响齿轮的传动精度与平稳性；胶合则是齿轮在高速重载运行时，齿面温度升高，润滑油膜破坏，导致齿面金属直接接触并粘结在一起。工作装置故障也不容忽视，如捣固车的捣固装置，在长期高强度作业下，捣固镐可能因受力过大而弯曲变形，影响捣固效果。行走部件故障同样频繁，车轮的磨损会导致车辆行驶不稳定，增加运行阻力；履带式设备的履带板断裂会影响设备的行走能力，甚至引发安全事故。

2.2 电气系统故障

电气系统故障对铁路工程机械的正常运行影响显著。电源系统故障中，蓄电池是常见问题源。随着使用时间的增长，蓄电池的容量会逐渐下降，导致充电不足，无法为设备提供稳定的电源。在寒冷环境下，蓄电池的性能还会进一步降低，影响设备的启动。控制系统故障方面，电气控制线路的短路、断路会引发设备失控。例如，传感器线路接触不良，会导致传感器信号无法准确传输给控制器，使控制器做出错误判断，影响设备的正常运行。电机故障也较为普遍，电机绕组短路会使电机发热严重，甚至烧毁电机；轴承损坏会导致电机振动加剧，产生噪声，降低电机的使用寿命。

2.3 液压系统故障

液压系统凭借功率密度大、传动平稳的优势，广泛应用于铁路工程机械的作业机构驱动，故障占比约20%，主要表现为泄漏、压力异常及动作失灵。泄漏是最直观的液压故障，分为内漏与外漏，外漏多因密封件老化、管接头松动导致，架桥机的起升液压缸密封圈在高压作用下易出现唇口磨损，液压油渗出污染设备表面，内漏则发生在阀芯与阀套配合间隙，导致液压能损耗，设备动力下降；压力异常包含压力不足与过高，压力不足多由液压泵磨损、溢流阀卡滞引起，挖掘机液压系统中，主泵磨损会导致系统压力无法达到作业要求，挖掘力减弱，压力过高则可能因负载超出系统设计极限，引发安全阀起跳；动作失灵表现为执行机构运动速度不均或停滞，摊铺机的熨平板升降机构若出现液压油污染、节流阀堵塞，会导致升降动作卡顿，影响摊铺平整度^[2]。液压系统故障与油液污染、元件磨损、维护不当及负载超标直接相关，需建立严格的油液管理与定期检测制度。

2.4 环境适应性故障

铁路工程机械作业环境多样，环境适应性故障占比约10%，发生率低但影响大，易致设备停机或性能衰减。高原气压低、氧气稀薄，发动机燃烧效率降、功率输出降超30%，冷却液沸点低易过热，盾构机在青藏高原施工需增压改造进气系统；高寒时液压油等黏度增，设备启动阻力大，蓄电池容量衰减，东北冬季捣固机若未换低温液压油，液压系统响应迟缓，轮胎抓地力下降；湿热环境水汽与盐分加速金属部件锈蚀、电气绝缘性能降，沿海铁路维修车常底盘锈蚀、线路短路；沙漠沙尘侵入设备，磨损密封件与运动部件、堵塞空气滤清器，清筛机施工需频繁换滤芯。应对此类故障，需进行针对性设备改装与适应性维护。

3 故障诊断方法

3.1 传统诊断技术

传统诊断技术凭借其简单实用的特点，在铁路工程机械故障诊断中仍占据重要地位。人工观察法是最基本的方法，维修人员通过观察设备的外观、运行状态、仪表指示等，初步判断设备是否存在故障。例如，观察液压系统是否有泄漏现象，观察电机是否有异常振动与噪声等。听诊法则是通过听设备运行时的声音来判断故障。不同部件故障产生的声音特征不同，如齿轮啮合不良会产生异常的噪声，维修人员可通过听诊器准确判断故障部位。触摸法通过触摸设备的部件，感受其温度、振动等情况。如触摸电机外壳，若温度过高，则可能存在电机过载或散热不良等问题。参数测量法利用各种测

量仪器，如万用表、压力表、流量计等，测量设备的电气参数、液压参数等，通过与正常参数对比，判断设备是否故障。

3.2 智能诊断技术

随着科技的发展，智能诊断技术在铁路工程机械故障诊断中得到广泛应用。振动诊断技术通过在设备关键部位安装振动传感器，采集设备的振动信号，运用信号处理技术与模式识别算法，分析振动信号的特征，判断设备的运行状态与故障类型。例如，通过分析振动信号的频谱，可识别齿轮、轴承等部件的故障特征频率，从而准确诊断故障。油液分析技术通过对设备使用的润滑油、液压油等进行理化指标分析与磨粒分析，判断设备的磨损状态与故障情况^[3]。理化指标分析可检测油的粘度、酸值、水分等指标，反映油的质量变化；磨粒分析则通过分析油中磨粒的形状、大小、成分等，判断磨损部件的类型与磨损程度。智能传感器技术将传感器与微处理器相结合，实现数据的自动采集、处理与传输。智能传感器可实时监测设备的状态参数，并将数据上传至监控中心，为故障诊断提供及时准确的数据支持。

4 铁路工程机械维护策略优化

4.1 维护模式分类与选择

铁路工程机械维护模式需依据设备类型、作业强度及重要程度科学选择，当前主流模式包括事后维修、预防性维护、预测性维护及主动维护，各类模式适用场景与效益差异显著。事后维修是设备发生故障后的被动维修，适用于小型、非关键设备，如物料运输平车的简易部件，该模式无需提前规划，但易导致故障扩大化，增加维修成本与停机时间；预防性维护基于设备运行周期制定固定维护计划，定期更换易损件、开展全面检查，适用于发动机、液压泵等核心部件，捣固机的发动机需按运行小时数定期更换机油与滤芯，这种模式可降低突发故障风险，但可能存在过度维护问题；预测性维护结合智能诊断技术，依据设备实时运行状态确定维护时机，适用于架桥机、盾构机等大型关键设备，通过振动监测、油液分析判断部件健康状况，按需开展维护，可避免过度维护与维护不足；主动维护则通过改进设计、优化操作等方式从源头减少故障，如为高原地区设备发动机加装增压装置，降低环境适应性故障。维护模式选择需综合考虑设备故障后果、维护成本及技术条件，核心设备优先采用预测性维护与主动维护结合的模式。

4.2 基于RCM（以可靠性为中心的维护）的维护周期优化

基于RCM的维护周期优化以设备可靠性为核心，

通过分析故障模式与影响,确定科学的维护周期,避免传统固定周期维护的弊端,提升维护有效性与经济性。该方法实施流程包括设备功能与故障分析、故障后果评估、维护任务制定及周期优化四个阶段。首先梳理设备各部件的功能与潜在故障模式,明确捣固机捣固镐的磨损、盾构机主轴承的疲劳等故障类型;随后采用风险矩阵法评估故障后果,从安全影响、经济损失、环境危害三个维度打分,架桥机起升机构故障因可能引发安全事故,需评定为高风险;基于故障后果与故障模式,制定针对性维护任务,高风险部件采用定期检测与状态监测结合的维护方式,低风险部件采用事后维修;最后结合故障数据与运行经验,通过可靠性模型计算最优维护周期,如挖掘机液压缸的维护周期需综合考虑运行压力、作业环境与密封件寿命,动态调整维护间隔。RCM维护周期优化可使核心设备故障发生率降低40%以上,维护成本降低20%,为铁路工程机械维护提供科学依据^[4]。

4.3 备件库存管理策略

备件库存管理需在保障维修需求与降低库存成本之间寻求平衡,通过分类管理、需求预测与供应链协同,构建高效的备件保障体系。采用ABC分类法对备件进行分级,A类备件为关键核心备件,如盾构机主轴承、架桥机液压泵,这类备件价值高、需求频次低,需建立最低安全库存,采用紧急采购与战略储备相结合的方式;B类备件为重要易损件,如发动机滤芯、液压密封圈,需求相对稳定,按定期补货模式管理,结合历史消耗数据设定补货点;C类备件为普通低值备件,如螺栓、垫圈,需求频次高但价值低,采用批量采购策略降低采购成本。需求预测采用定量与定性结合的方法,定量方法基于历史消耗数据构建时间序列模型,预测常规备件需求,定性方法结合设备维护计划、作业量变化,调整预测结果,如铁路改扩建工程高峰期需增加挖掘机备件库存。供应链协同方面,与备件供应商建立长期合作关系,签订应急供应协议,确保A类备件在48小时内到货,同时搭建备件共享平台,实现同一区域内不同施工单位的备件调配,减少冗余库存。

4.4 数字化维护平台构建

数字化维护平台整合设备数据、维护记录与管理流程,实现铁路工程机械维护的信息化、可视化与智能

化,是提升维护效率的核心支撑。平台核心功能包括设备档案管理、维护计划调度、故障诊断预警、备件管理及数据分析五大模块。设备档案管理模块建立全生命周期电子档案,录入设备型号、技术参数、采购信息及历次维护记录,实现设备信息的集中查询;维护计划调度模块基于RCM维护周期与设备运行状态,自动生成维护任务,通过手机APP推送至维护人员,明确任务内容、时间节点与所需备件,确保维护工作有序开展;故障诊断预警模块对接设备传感器数据与智能诊断系统,实时监测设备运行状态,出现异常时自动发出预警,推送故障诊断报告与维修方案;备件管理模块与库存系统联动,实时更新备件库存信息,维护任务生成时自动核对备件库存,不足时触发采购流程;数据分析模块通过挖掘历史维护数据,分析故障规律与维护效果,为维护策略优化提供数据支撑。平台还需具备移动端访问功能,方便维护人员在施工现场实时操作,实现维护管理的全流程闭环。

结束语

铁路工程机械稳定运行是铁路工程高质量推进的重要保障,故障分析与维护策略优化对提升设备可靠性、降低成本意义重大。其故障具多系统、多成因且相互关联的特点,需结合传统与智能诊断技术精准识别。基于RCM的周期优化、科学备件管理及数字化平台构建,能提升维护成效,改变被动局面。未来,人工智能、物联网深度融合,维护将迈向“预测性维护+智能运维”,借助数字孪生精准预测故障、模拟优化维护,持续提升维护水平,支撑铁路事业可持续发展。

参考文献

- [1]王毅.重载铁路电化区段信号机械设备故障自动检测方法[J].机械与电子,2023,41(4):35-40.
- [2]马子钦,刘洋.重载铁路轨道机械设备故障检测数据加密存储方法研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(8):201-205,209.
- [3]张夕红.铁路机务机械设备维修管理研究[J].中国设备工程,2025(6):73-75.
- [4]张皓惟,唐可,何雷,等.铁路车辆轴承的故障诊断与预防技术研究[J].时代汽车,2023(19):169-171.