

基于新形势下普速铁路线路维修策略分析

马 将

中国铁路西安局集团有限公司安康工务段 陕西 安康 725000

摘 要：新形势下，普速铁路作为综合交通运输体系的重要组成，其线路维修面临客货需求变化、技术升级等多重挑战。本文围绕普速铁路线路维修展开研究，首先明确安全优先、精准高效等核心原则；分析现有维修体系存在被动维修占比高、精准度不足、智能化滞后等问题；阐述线路状态智能监测、大数据预测等关键技术；提出基于状态监测的精准维修、信息化与智能化融合等优化策略。研究旨在为提升普速铁路维修质量与效率提供系统性思路，助力其在新形势下实现安全、经济、可持续运营。

关键词：基于新形势下普速铁路线路；维修关键技术；维修策略优化

引言：普速铁路是保障客货运输畅通、支撑区域经济发展的关键基础设施。新形势下，货运重载化、客车提速化加剧线路损耗，技术升级与资源约束也对维修提出更高要求。当前传统维修模式存在被动应对、精准度欠缺、技术管理协同不足等问题，制约了线路性能与运营效率。本文立足新形势特征，探讨维修原则，剖析现状与问题，梳理关键技术，提出策略优化方向，以期为构建适配新形势的普速铁路维修体系提供理论与实践参考，推动维修模式向精准化、智能化转型。

1 新形势下普速铁路线路维修策略的原则

新形势下普速铁路线路维修策略需坚守以下四项核心原则。（1）安全优先。所有维修活动必须以保障线路结构稳定、行车安全为底线，通过标准化作业、风险预

控机制筑牢安全防线，任何情况下不得因追求效率或节约成本牺牲安全标准。（2）精准高效。要求基于线路实际状态制定差异化方案，避免“一刀切”式作业，通过精准定位病害、优化工序衔接，提高单位时间内的维修效能，最大限度减少对运输的影响。（3）经济适用。强调资源的合理配置，在满足安全与性能要求的前提下，综合考量短期投入与长期效益，避免盲目采用高价技术或过度养护，优先选择性价比 high、适配线路特点的维修方案。（4）绿色可持续体现发展理念的升级。维修过程中需注重环保材料的应用、节能设备的推广，减少废弃物排放和能源消耗^[1]。

2 新形势下普速铁路线路维修现状与存在的问题

2.1 普速铁路线路现有维修体系与主要模式

维修类型	主要作业方式	核心维护内容	运行现状适应性问题
日常养护	人工巡检、小型机械作业	轨道几何尺寸调整、道床清筛等基础维护	山区线路人工巡检效率低下，日均巡检里程不足20公里，难以满足高频次监测需求
临时补修	应急处理	钢轨伤损、道床板结等突发病害	-
综合维修	按固定周期（每年或每两年）开展大型养路机械集群作业	钢轨打磨、轨枕更换等系统性工程	货运重载化导致钢轨磨损速率加快，传统周期修难以匹配病害发展速度

2.2 普速铁路线路当前维修策略存在的突出问题

问题维度	具体表现
被动维修占比过高	约60%的维修作业为“故障后抢修”，对道床板结、轨道平顺性衰减等渐进式病害缺乏提前干预
精准度不足	周期修“一刀切”，新投用线路因周期未至延误必要养护，老旧线路因过度维修增加成本
技术与管理协同不足	轨检车、无人机等设备数据孤岛突出，轨检数据、巡检记录、设备台账分属不同系统，难以联动分析
成本控制与效率提升压力	人力成本年均增长8%，维修预算增幅不足5%；客货混跑线路“天窗”碎片化（日均可用养护时间不足4小时），大型机械利用率仅为设计值的60%
安全与效率平衡难题	受成本与效率问题影响，维修单位压缩必要作业时长，进一步加剧平衡难度

3 新形势下普速铁路线路维修关键技术

3.1 线路状态智能监测技术

线路状态智能监测技术通过多维度、高频次的数据

采集，实时掌握线路几何参数、部件状态及周边环境的变化。该技术体系涵盖动态与静态监测相结合的多元手段：动态监测依托轨检车、综合检测列车等移动设备，

以120-160公里/小时的速度采集轨道几何尺寸、钢轨伤损、道床状态等数据,通过车载传感器实现0.1毫米级精度测量,单次检测可覆盖500公里以上线路;静态监测则通过布设在线监测终端,如轨道位移传感器、钢轨应力传感器、道床压力传感器等,对关键区段进行24小时连续监测,采样频率可达100Hz,能精准捕捉列车荷载作用下的瞬时变化与长期变形趋势。非接触式监测技术的应用进一步拓展了监测范围,无人机搭载高清摄像头与激光雷达,可在300米高空以0.05米分辨率对线路周边地形、防护设施、接触网等进行大范围快速巡检,单日作业里程可达80公里,尤其适用于山区、桥梁、隧道等复杂地段;地面机器人则能深入道床缝隙、轨枕底部等人工难以抵达的区域,通过2000万像素高清图像识别0.2毫米宽的细微裂纹,检测效率是人工的3倍以上。

3.2 大数据驱动病害预测与寿命评估技术

大数据驱动的病害预测与寿命评估技术,通过整合监测数据、运营数据及环境数据,构建数学模型以实现对线路病害的提前预判和部件寿命的科学评估。数据整合层面,需建立统一的数据平台,将每日50GB以上的轨检数据、2000余个传感器监测数据、10万条以上维修记录、列车运行图、气象数据等多源信息进行标准化处理,消除数据格式差异与信息孤岛,形成完整的线路数据库。在病害预测方面,基于机器学习算法的模型可分析近10年历史数据中病害发生的规律,识别影响病害发展的关键因素(如荷载频率、温度变化、道床湿度等),预测准确率可达85%以上,进而预测未来3-6个月内病害的类型、位置及严重程度。寿命评估技术则通过建立材料劣化模型,结合疲劳损伤理论,计算钢轨、轨枕、道床等核心部件的剩余使用寿命,误差可控制在5%以内,明确不同部件的更换或维修窗口期,为制定分阶段维修计划提供量化依据^[2]。

3.3 新型养护设备与工艺的应用

新型养护设备与工艺的应用,重点体现在自动化、智能化与集成化三个方向。自动化养护设备方面,大型养路机械集群(如自动化捣固车、连续式钢轨打磨车、道床清筛机)通过数控系统实现作业参数的精准控制,捣固作业可将轨道几何偏差控制在0.5毫米以内,打磨作业能根据钢轨磨耗形态自动调整砂轮角度与进给量,打磨效率较传统设备提升40%,确保打磨后的钢轨轮廓符合设计标准。智能化设备则引入自动导航与远程操控技术,部分设备可通过北斗定位系统与线路BIM模型对接,定位精度达厘米级,实现沿轨精准行驶与作业路径自动规划,减少人工操作误差;远程监控平台能实时显示设

备运行状态与作业数据,支持异地专家对复杂工况进行指导,响应时间缩短至30分钟以内。在工艺创新上,无缝线路养护技术通过控制轨温变化实现应力放散的精准调控,温度控制精度可达 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,提高线路稳定性;模块化轨枕更换工艺则通过专用机械实现轨枕的快速拆装,单根轨枕更换时间从传统的15分钟缩短至5分钟,降低对线路封锁的依赖。

3.4 绿色维修技术

绿色维修技术涵盖环保材料、节能设备及循环利用技术等领域。在材料应用上,新型环保道床材料(如改性沥青道床、再生骨料混凝土轨枕)通过优化配方提高材料耐久性,使用寿命较传统材料延长,且有害物质排放量减少;钢轨表面处理采用无磷除锈剂与水性防腐涂料,挥发性有机化合物(VOC)排放量降低80%,降低对土壤与水体的污染。节能设备方面,电动养护机械(如电动捣固镐、电动钢轨切割机)替代传统燃油设备,噪音降低20分贝以上,减少废气排放100%;设备动力系统引入能量回收技术,将制动过程中产生的能量转化为电能储存利用,可回收30%左右的能量,降低单位作业能耗。循环利用技术则针对废旧材料进行资源化处理,废旧钢轨通过再轧制工艺可重新用于非承重部件;破碎后的道床废料经筛选与改性后可作为路基填料或再生道床材料,实现维修过程的物质循环,降低对自然资源的依赖^[3]。

4 基于新形势下普速铁路线路维修策略的优化

4.1 基于状态监测的精准维修策略优化

基于状态监测的精准维修策略优化,优化措施具体如下:(1)构建多维度状态评价体系,整合轨道几何参数、钢轨伤损程度、道床密实度、轨枕完好率等关键指标,通过量化评分划分线路状态等级(如优良、合格、预警、超限),明确不同等级对应的维修优先级。(2)针对不同状态等级制定差异化维修方案。对“优良”状态线路实施预防性养护,重点开展道床清筛、钢轨预防性打磨等轻度作业,延缓性能衰减;对“合格”状态线路聚焦局部病害整治,如轨距调整、扣件复紧等针对性措施;对“预警”状态线路启动强化维修,通过换轨、轨枕更换等中度工程阻止病害恶化;对“超限”状态线路立即实施应急维修,确保线路安全。(3)优化维修时机选择机制。结合线路运营强度(如客货流量、列车轴重)与环境因素(温度、降水),动态调整维修窗口期。通过持续跟踪监测数据变化趋势,建立维修效果反馈模型,不断修正状态评价标准与维修方案,形成“监测-评价-维修-反馈”的闭环优化流程,实现维修资源的

精准投放。

4.2 信息化与智能化融合的维修策略优化

信息化与智能化融合的维修策略优化,应采取以下措施:(1)构建一体化信息平台,整合监测系统、维修管理系统、设备管理系统的数据资源,实现轨检数据、巡检记录、维修历史、设备参数等信息的实时共享与关联分析,为决策提供全面数据支撑。(2)在智能决策层面,引入人工智能算法构建维修方案生成模型,基于线路状态数据、历史维修效果与运营需求,自动生成最优维修计划,包括作业内容、所需设备、人员配置及时间安排。开发动态调度模块,根据实时监测数据与突发情况(如临时限速、设备故障)快速调整维修计划,实现维修资源的柔性调配。(3)在作业执行环节,推广智能化装备的协同应用,如无人化轨检车与养护机械的联合作业,通过数据实时传输实现“检测-养护”无缝衔接;利用数字孪生技术构建线路虚拟模型,模拟维修方案实施效果,提前规避潜在风险。

4.3 专业化与集约化结合的维修资源配置策略优化

专业化与集约化结合的维修资源配置策略优化,重点在于提升资源利用效率与维修能力。(1)在专业化建设方面,按线路类型(如干线、支线)与病害类型(如钢轨病害、道床病害)组建专项维修团队,配备专用设备与工具,通过针对性培训提升团队对特定病害的处置能力,形成“术业有专攻”的维修力量布局。(2)集约化管理聚焦资源的集中调配与共享利用,打破区域壁垒建立跨工务段的维修资源池,统一管理大型养路机械、检测设备及专业技术人员,根据各区域维修需求进行动态调配,避免设备闲置与重复配置。优化维修基地布局,按地理区域设置综合性维修中心,集中开展设备保养、材料储备与人员培训,缩短维修资源的调运距离与响应时间。(3)在作业组织上,推行“天窗”集中利用模式,结合列车运行图优化,将分散的维修天窗整合为连续时段,支持大型机械集群作业与多工序同步施工,提高单位时间作业效率。

4.4 全生命周期成本管控的维修策略优化

全生命周期成本管控的维修策略优化,具体措施如下:(1)建立全周期成本核算体系,将线路从建成到退役的整个生命周期划分为初期、中期、后期三个阶段,分别核算各阶段的预防维修、故障维修、部件更换等成本,明确不同阶段的成本构成与控制重点。(2)在策略制定上,强化前期预防维修投入,通过增加预防性养护频次(如定期道床清筛、钢轨打磨)延缓线路性能衰减,减少中后期大修与故障维修的高额支出,实现“预防成本”对“故障成本”的替代。优化部件更换策略,基于寿命评估技术确定钢轨、轨枕等核心部件的经济更换周期,避免过早更换造成的浪费或过晚更换导致的连锁故障成本。(3)在成本控制手段上,引入价值工程理念,对维修方案进行经济性与有效性的综合评估,在满足安全标准的前提下选择性性价比最优的技术与材料。建立成本动态监控机制,通过信息化平台实时跟踪维修成本支出与线路性能变化的关联关系,识别成本浪费环节并及时优化^[4]。

结束语:本文系统探讨了新形势下普速铁路线路维修的原则、现状问题、关键技术及优化策略。安全优先等原则为维修提供根本遵循,智能监测与大数据技术为精准维修奠定基础,多维度策略优化直指当前维修痛点。这些研究成果为破解维修资源浪费、效率不足等难题提供了可行路径。未来要进一步深化技术与管理的融合应用,持续完善策略动态调整机制,以更好适应新形势变化,为普速铁路的安全稳定运营与高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]李贵生.基于新形势下普速铁路线路维修策略分析[J].城镇建设,2020(1):117-118.
- [2]贾龙.基于新形势下普速铁路线路维修策略分析[J].建筑工程技术与设计,2020(6):4279.
- [3]张渊.基于新形势下普速铁路线路维修策略探究[J].电脑采购,2021(22):64-66.
- [4]盖振,赵鹏,蔡刘苓.浅析新形势下普速铁路线路常见病害及养护技术[J].建筑工程技术与设计,2019(31):3875.