

重载铁路无损探伤技术运用管理及策略

秦建强

国能朔黄铁路发展有限责任公司肃宁分公司 062350

【摘要】随着我国铁路运输向重载化方向发展,钢轨及相关设备承受的荷载强度持续增大,对无损探伤技术的应用提出更高要求,无损探伤技术作为保障重载铁路安全运营的核心技术手段。在预防钢轨伤损、消除安全隐患方面发挥着不可替代的作用,当前重载铁路无损探伤技术运用管理中仍存在设备技术水平不足、人员专业能力欠缺、数据管理分散突出问题,制约探伤工作质量与效率的提升。本文系统分析重载铁路无损探伤技术运用的重要意义,深入剖析现阶段管理中存在的主要问题,并从设备更新、人员培训、信息化建设三个维度提出针对性的优化策略,旨在为提升重载铁路无损探伤技术运用管理水平提供理论参考与实践指导。

【关键词】重载铁路;无损探伤技术;运用管理;优化策略;信息化建设

Management and Strategies for Non-Destructive Testing (NDT) in Heavy-Haul Railways

Qin Jianqiang

Shuoning Branch, Nengshuo-Huang Railway Development Co., Ltd. 062350

【Abstract】 With China's railway transportation evolving toward heavy-haul operations, the load intensity on rails and related equipment continues to increase, demanding higher standards for NDT applications. As a core technical safeguard for heavy-haul railway safety, NDT plays an irreplaceable role in preventing rail damage and eliminating safety hazards. However, current management practices still face challenges including outdated equipment, insufficient professional training, and fragmented data management, which hinder the improvement of testing quality and efficiency. This paper systematically analyzes the significance of NDT implementation in heavy-haul railways, identifies key management issues, and proposes targeted optimization strategies across three dimensions: equipment modernization, personnel training, and digital infrastructure development. The research aims to provide theoretical references and practical guidance for enhancing NDT management in heavy-haul railway operations.

【Key words】 overload railway; nondestructive testing technology; application management; optimization strategy; information construction

引言:

重载铁路作为我国铁路运输体系的重要组成部分,承担着大宗货物长距离运输的关键任务,其运营安全直接关系到国家经济发展与社会稳定。在重载运输条件下,钢轨长期承受高轴重、大密度列车的反复碾压,极易产生疲劳裂纹、核伤内部缺陷,这些隐蔽性伤损若未及时发现和处理,将导致钢轨折断严重安全事故,无损探伤技术通过超声波、涡流、磁粉物理检测手段,能够在不损伤钢轨本体的前提下准确识别内部缺陷,是保障重载铁路安全的核心技术支撑。然而,当前无损探伤技术在实际运用管理中仍面临诸多挑战,探伤设备性能、人员素质、管理模式方面存在明显短板,难以完全适应重载铁路快速发展的需求,因此,深入研究重载铁路无损探伤技术运用管理中的问题,探索科学有效的优化策略,对于提升铁路安全保障能力具有重要的理论价值与现实意义。

一、重载铁路无损探伤技术运用的意义

(一) 保障重载铁路运输安全的关键手段

无损探伤技术能够及时发现钢轨内部的微小裂纹、疲劳伤损隐蔽性缺陷。在缺陷扩展至危险程度前实施预防性处置,有效避免钢轨断裂引发的列车脱轨、颠覆重大安全事故,重载列车轴重大、编组长、运行密度高,对线路基础设施的安全性能要求极为严格,任何微小的钢轨伤损都可能在重载作用下迅速扩展演变为致命隐患。通过定期开展无损探伤检测,建立钢轨健康状态动态监测体系,能够将安全风险控制在萌芽阶段,为重载铁路安全运营提供坚实的技术保障^[1]。

(二) 提升铁路设备使用寿命与运营效率

无损探伤技术通过准确判定钢轨伤损类型、程度与发展趋势,为制定科学合理的养护维修计划提供可靠依据,避免盲目更换造成的资源浪费。通过持续跟踪钢轨伤损演变规律,可以在钢轨剩余寿命允许范围内最大限度延长使用周

期,显著降低设备更新成本。同时,精准的探伤检测能够减少因漏检导致的临时限速、封锁线路突发性维修作业,保障运输组织的连续性与稳定性,提高线路运用效率,科学的探伤管理还能优化维修资源配置,实现预防性维修向状态修的转变,提升整体运营管理水平^[2]。

(三) 推动铁路检测技术现代化发展

重载铁路对无损探伤技术的高标准需求,促进检测设备与方法的持续创新升级。推动超声相控阵、电磁超声、激光检测先进技术在铁路领域的应用推广,探伤技术的发展带动检测理论研究、设备研发制造、数据分析处理相关产业链的完善,形成技术进步与应用需求相互促进的良性循环。同时,无损探伤技术与信息化、智能化技术的深度融合,催生钢轨伤损智能识别、检测数据云端管理新型应用模式,为铁路检测技术现代化转型提供实践路径,对推动整个铁路行业技术进步具有重要的示范引领作用^[3]。

二、重载铁路无损探伤技术运用管理中存在的问题

(一) 探伤设备技术水平不足,检测精度有待提高

当前部分重载铁路线路仍在使用传统的单通道超声波探伤设备,这类设备对钢轨内部复杂缺陷的识别能力有限。在检测微小裂纹、倾斜裂纹及特殊部位伤损时存在明显局限性,设备灵敏度与分辨率不足导致部分早期伤损难以被准确捕捉,容易形成漏检盲区,探伤仪器的稳定性和可靠性也存在不足,在高温、低温恶劣环境下性能波动较大,影响检测结果的准确性与一致性,设备的自动化程度较低,主要依赖人工判读波形信号,容易受到操作者主观因素影响,检测结果的客观性难以保证。此外,设备维护保养不到位,探头老化、耦合剂性能下降问题未能及时发现和解决,进一步降低探伤工作质量,检测设备的更新换代速度滞后于重载铁路技术发展需求,新型高性能探伤设备的配置率偏低,制约整体检测能力的提升^[4]。

(二) 探伤人员专业能力欠缺,操作规范性不强

探伤作业人员的专业技术水平参差不齐,部分人员对无损探伤原理、设备性能特点、伤损识别标准基础理论知识掌握不够扎实,缺乏系统的专业培训与技能训练。在实际操作中,存在探伤速度控制不当、探头耦合不良、参数设置不合理不规范行为,直接影响探伤检测的有效性,人员的伤损判定能力不足,对复杂波形信号的识别和分析存在困难,容易出现误判或漏判情况,探伤队伍整体年龄结构老化,青年技术人才储备不足,技术传承面临断层风险。同时,探伤工作劳动强度大、作业环境艰苦,人员流动性较大,导致经验丰富的技术骨干流失,新入职人员技能水平提升缓慢,管理制度执行不严格,对探伤作业过程的监督检查力度不够,质量考核机制不够完善,难以有效约束和激励探伤人员严格按照技术标准开展工作,影响探伤工作的整体质量水平^[5]。

(三) 探伤数据管理分散,信息化应用水平较低

探伤检测数据的记录、存储、分析仍主要采用纸质台账或简单的电子表格方式,数据管理手段落后,信息分散在不同的工区、班组,缺乏统一的数据平台进行集中管理。这种管理模式导致历史探伤数据难以有效追溯,钢轨伤损的发展演变规律无法系统掌握,不利于开展趋势分析和预测性维修决策,探伤数据与其他线路设备数据、运输组织数据之间缺乏关联,信息孤岛现象严重,无法实现跨部门的数据共享与综合应用,数据分析手段单一。主要依靠人工统计和简单汇总,缺乏智能化的数据挖掘与分析工具,大量有价值的信息未能得到充分利用,探伤设备与信息管理系统集成度低,检测数据无法实时上传和自动处理,增加数据录入工作量,也容易产生数据错误,信息化基础设施建设薄弱,缺乏完善的网络通信条件和数据存储设施,制约探伤信息化管理水平的提升。

三、重载铁路无损探伤技术运用管理的优化策略

(一) 引进先进探伤设备,提升检测技术精度与效率

应积极引进国内外先进的多通道超声相控阵探伤设备,利用其多角度、多方位扫描能力,提高对复杂伤损的检测识别精度,减少检测盲区,推广应用电磁超声、激光超声新型无损检测技术。这些技术无需耦合剂即可实现非接触式检测,特别适合高速移动检测和特殊环境下的作业需求,加快钢轨探伤车的更新换代,配置集成化、智能化的车载探伤系统,实现在线连续检测与实时数据分析,大幅提升探伤作业效率。建立探伤设备的定期检定与校准机制,确保设备性能始终处于最佳状态,制定严格的设备维护保养标准,明确日常检查、定期维护的具体要求与责任主体,加强探伤设备的标准化配置,根据不同线路类型和重载级,科学确定设备配备数量与技术参数,避免设备性能与实际需求不匹配的问题。

例如,在设备引进过程中,首先应组织技术团队开展市场调研,全面了解不同类型探伤设备的技术参数、性能指标和适用范围,结合本线路重载运输特点和实际检测需求,编制详细的设备采购技术规格书,设备到位后,安排专业技术人员进行设备验收测试。在模拟钢轨试块上进行反复试验,确认设备能够准确检测出各类标准伤损,随后建立设备使用档案,记录设备的运行状态、维护情况和检测数据,实施设备全生命周期管理,定期组织设备性能对比试验,选取线路上已知伤损位置,使用新旧设备分别进行检测,评估新设备的实际效能提升程度。同时制定设备操作维护手册,规定探头更换周期、系统校准频次关键环节,安排专人负责设备日常维护保养工作,确保设备始终保持良好工作状态,充分发挥先进设备的技术优势。

(二) 加强探伤人员培训,规范操作流程与管理制度

建立系统完善的探伤人员培训体系,制定分层级、分类

别的培训计划,涵盖理论学习、实操训练、案例分析多个环节。新入职人员必须经过严格的岗前培训和技能考核,取得相应资质证书后方可独立上岗作业,定期组织在岗人员开展技术培训与交流研讨,及时学习新技术、新标准、新规范,持续提升专业技能水平,建立探伤技术专家团队,发挥技术骨干的传帮带作用,通过师徒结对、现场指导方式加快青年人才培养。完善探伤作业标准化操作规程,明确探伤作业的每个环节、每个步骤的具体要求与技术标准,编制图文并茂的操作手册和视频教材,便于人员学习掌握,健全探伤质量考核评价体系,将探伤准确率、漏检率关键指标纳入绩效考核,建立奖优罚劣的激励约束机制。

例如,在培训实施过程中,可采取集中授课与现场实践相结合的方式开展。理论培训阶段,邀请经验丰富的高级探伤师系统讲解超声波传播原理、波形识别方法、伤损分类标准核心知识,组织学员观看典型伤损案例视频,分析不同类型缺陷的波形特征。实操训练阶段,在专门的培训场地设置多种标准伤损试块,要求学员按照规范流程进行探伤操作,对检测到的信号进行判读分析,由培训教师现场点评指导,培训结束后组织严格的理论考试和实际操作考核,考核内容包括设备操作熟练度、伤损识别准确率多项指标。只有全部合格者才能颁发上岗证书,建立定期复训机制,每季度组织一次技术交流会,让探伤人员分享工作中遇到的疑难问题和处理经验,促进相互学习提高,通过系统培训,全面提升探伤队伍的专业素质和操作技能水平。

(三) 构建智能化数据管理平台,推进探伤信息化建设

构建统一的探伤数据管理平台,实现探伤检测数据的集中存储、统一管理与时共享,建立涵盖钢轨基础信息、探伤记录、伤损处理、维修养护全生命周期的数据库系统。推进探伤设备与信息管理系统的高度集成,实现检测数据的自动采集、上传与存储,减少人工录入环节,提高数据准确性与时效性,开发智能化的数据分析工具,运用大数据分析、机器学习技术,对海量探伤数据进行深度挖掘,识别钢轨伤损发展规律与趋势,为预测性维修决策提供科学依据,建立伤损智能识别系统。通过图像识别和信号处理技术,辅助探伤人员快速准确判定伤损类型与级,提高检测效率与判定准

确率,推进探伤数据与线路设备管理、运输组织、维修计划系统的互联互通,实现跨部门数据共享与业务协同,支撑精细化管理决策。

例如,在平台建设实施中,先期应完成系统需求分析和总体架构设计,明确平台应具备数据采集、存储查询、统计分析、预警提示核心功能模块,开发阶段采用模块化设计思路。建立钢轨档案管理模块,录入每根钢轨的型号、铺设时间、累计通过总重基础信息;建立探伤记录模块,自动接收探伤设备上传的检测数据,包括检测时间、里程位置、伤损波形图像内容;建立数据分析模块,设置伤损发展趋势分析功能,系统自动对比同一位置历次探伤数据,生成伤损变化曲线图,平台投入使用后,探伤人员在作业现场通过移动终端登录系统,实时查看该区段的历史探伤记录。检测完成后直接上传数据,无需返回驻地再手工填写报表,管理人员通过平台可随时查看各工区探伤进度和伤损分布情况,系统对重点伤损位置自动标注提醒,为制定维修计划提供数据支撑,实现探伤管理的数字化转型。

结语

重载铁路无损探伤技术运用管理是一项系统性工程,直接关系到铁路运输安全与运营效率。面对重载铁路快速发展带来的新挑战,必须充分认识无损探伤技术的重要战略地位,正视当前管理中存在的设备、人员、数据管理方面的突出问题,坚持问题导向,采取切实有效的优化措施,通过引进先进探伤设备提升技术装备水平。通过强化人员培训打造高素质专业队伍,通过构建智能化平台推进管理模式创新,实现探伤工作由传统经验型向现代科技型转变,由粗放管理向精细管理转变,由被动应对向主动预防转变。同时,应加强探伤技术研究与应用创新,密切跟踪国际先进技术发展动态,结合我国重载铁路实际需求,持续优化探伤技术体系与管理模式,只有不断提升无损探伤技术运用管理水平,才能为重载铁路安全高效运营提供坚强保障,推动我国铁路事业持续健康发展。

参考文献

- [1]仇宝.高速铁路无损探伤技术运用管理与对策分析[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2017(5)[2017-07-26].
 - [2]武威,马小宁,殷新贝,等.面向重载铁路基础设施智能运维的朔黄铁路智能大脑平台总体设计及关键技术研究[J].铁道运输与经济,2023,45(11):11-21.
 - [3]吴艺迪,何世伟,周汉.重载铁路智慧港口站作业计划综合优化模型及算法研究[J].交通运输系统工程与信息,2023,23(6):215-226.
 - [4]吴占清,龙亦语,武庆.重载铁路直线区段钢轨大修周期研究[J].铁道建筑,2025,65(9):11-14.
 - [5]蒋根,孟仲战.高速铁路无损探伤技术运用管理及策略[J].中小企业管理与科技,2015,(25):204-204.
- 作者简介:秦建强(1984.8-)男,河北石家庄人,大专,助理工程师,研究方向:无损检测专业。