

铁路线路轨道工务维修养护技术

赵 荣

国能新朔铁路有限责任公司大准铁路分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要: 铁路运输在国家综合交通体系中占据骨干地位, 轨道作为列车运行的基础结构, 其状态直接决定运营安全与舒适性。在轮轨反复作用下, 钢轨、轨枕、扣件、道床等部件会产生各类病害与伤损, 需采取系统的维修养护措施。本文从轨道常见病害类型与成因分析入手, 系统阐述了日常保养、综合维修、大修作业等传统养护方法, 重点探讨了钢轨打磨、道床弹性恢复、信息化智能决策及智能化装备等现代技术的发展与应用。构建“检测-诊断-维修-评价”闭环体系, 是提升轨道工务维修水平的关键路径。

关键词: 铁路线路; 轨道工程; 工务维修; 养护技术

引言: 我国铁路运营里程持续增长, 高速铁路、重载铁路与普速铁路并存, 工务维修任务日益繁重。列车速度提高与轴重增加对轨道平顺性和稳定性提出了更高要求, 传统的“周期修”模式正逐步向“状态修”与“预防修”转变。轨道在长期运营中会产生钢轨磨耗、疲劳裂纹、道床板结、几何尺寸超限等多种病害, 若养护不及时将严重影响行车安全。因此, 系统研究轨道工务维修养护技术, 对于延长轨道使用寿命、保障铁路运营安全具有重要意义。本文将从病害成因、养护方法及现代技术三个层面展开论述。

1 铁路轨道常见病害类型与成因分析

1.1 钢轨病害

钢轨病害分为磨耗类、疲劳类和伤损类。磨耗类包括侧面磨耗、波浪形磨耗和垂直磨耗。侧面磨耗多发于小半径曲线, 由轮缘与钢轨侧面摩擦所致; 波浪形磨耗表现为轨顶周期性起伏, 引起车辆剧烈振动; 垂直磨耗发生于大轴重直线段, 是轮轨垂向力反复作用的结果。疲劳类包括轨头裂纹、核伤和剥离掉块, 其中核伤是最危险的内部缺陷, 可导致钢轨突然断裂。钢轨折断和焊头伤损属伤损类, 焊接工艺缺陷是其主要成因。病害根源在于轮轨接触应力过大、钢轨材质与热处理不匹配、润滑措施不足及线路几何状态不良等因素的综合作用, 需针对不同病害类型采取差异化防治策略。

1.2 轨枕与扣件病害

轨枕与扣件病害直接影响轨道稳定性和几何状态保持能力, 混凝土轨枕常见病害包括裂缝、挡肩破损、承轨槽磨损及预埋件失效, 裂缝由荷载反复作用和冻融循环引起, 挡肩破损多发生于曲线地段。木枕病害主要表现为腐朽、开裂和钉孔松弛, 随使用年限增加承载能力显著下降。扣件系统病害更为常见: 弹条断裂或松弛导

致扣压力不足, 轨距挡板磨损改变轨距, 螺栓锈蚀使扣件失去紧固能力, 绝缘垫板老化影响轨道电路。病害成因包括长期动载冲击、环境因素影响、安装不规范及检查维护不及时。加强日常巡检、及时更换失效部件是控制该类病害的有效手段^[1]。

1.3 道床与路基病害

道床和路基状态直接关系到线路平顺性和稳定性, 道床病害主要表现为道砟粉化、道床板结、脏污和翻浆冒泥。道砟在长期冲击下破碎粉化, 弹性下降; 板结的道床排水能力差, 加速劣化; 脏污使道床失去弹性; 翻浆冒泥是雨水渗入使基床软化、泥浆涌出的综合表现。路基病害主要包括不均匀沉降、边坡溜塌、基床软化和冻胀融沉。排水不良是首要诱因, 填料质量差和地基处理不足也加剧病害发展。探地雷达可有效探测道床厚度和脏污程度, 轻型动力触探可评估道床密实度, 为病害治理提供依据。

1.4 线路几何状态不良

线路几何状态不良直接危及行车安全, 几何参数主要包括水平、高低、轨向、轨距和三角坑。水平指两股钢轨相对高差, 过大引起车辆侧倾; 高低反映轨顶纵向起伏, 造成垂向振动; 轨向指钢轨直线度或曲线圆顺度, 不良轨向导致蛇行运动; 轨距超限恶化轮轨作用; 三角坑是平面扭曲状态, 对行车安全威胁最大。几何状态不良成因复杂: 道床变形是主要原因, 包括道砟下沉、不均匀沉降等; 扣件松动使钢轨约束减弱; 路基沉降传导至轨道表面; 养护作业不规范也可能引入偏差。轨检车动态检测和轨道检查仪静态检测是掌握几何状态的主要手段, 根据检测数据制定维修计划是科学养护的基础。

2 轨道维修养护技术分类与方法

2.1 日常保养与临时补修

日常保养和临时补修是轨道养护的基础性工作,具有作业频率高、作业量小、以人工为主的特点。日常保养涵盖紧固松动扣件、更换失效弹条、补充道砟、清理排水沟及钢轨涂油等作业,通常按每日或每周周期进行,由巡道工和养路工实施,及时发现并消除微小缺陷。临时补修针对突发性病害或危及行车安全的紧急情况,如钢轨裂纹、扣件大面积失效、几何尺寸严重超限等,需立即安排临时天窗进行处理,要求快速响应、精准处置,常用液压起道器、内燃螺栓扳手等小型机具。质量控制需按《铁路线路修理规则》规定的容许偏差进行验收。日常保养到位可显著延长综合维修周期,降低全寿命养护成本。

2.2 综合维修(周期修)

综合维修是轨道周期性恢复线路状态的重要手段,普速铁路一般每年进行1至2次,高速铁路根据通过总重确定,以大型养路机械为主要装备。核心作业包括起道、拨道、改道、捣固、道床清筛、钢轨打磨等。捣固车恢复轨道几何尺寸和道床密实度;动力稳定车加速道床沉降稳定;配砟整形车负责道砟分配和边坡整形;钢轨打磨车消除波磨和修复廓形;道床清筛机筛除道砟中的泥土和粉化颗粒。作业组织需在天窗时间内完成,要求各机械紧密配合、工序衔接顺畅。维修后采用轨检车或轨道检查仪检测几何参数,确保符合规范要求。综合维修是保持线路优良状态、延长大修周期的关键^[2]。

2.3 大修作业

大修作业是针对轨道结构严重劣化或达到使用寿命周期时进行的全面更新改造,工程量大、周期长(通常10至15年一次),需封闭线路较长时间并编制专项施工组织设计。大修作业的主要内容包括成段更换钢轨、更换轨枕、道床大修(全断面清筛或更换道砟)以及线路拨道改造等。更换钢轨时,长钢轨的运输与铺设是关键工序,需使用长钢轨运输车和换轨作业车协同完成;无缝线路大修时,锁定轨温控制是核心,应力放散与均匀作业必须严格按设计参数执行。更换轨枕可采用轨枕更换机,成段作业效率高。道床大修时,道床清筛机对全断面道砟进行筛分,补充新道砟后分层捣固。大修作业的质量控制贯穿全过程,包括材料检验、工序验收和竣工测量,竣工后需进行动态检测验证。大修作业是轨道结构更新换代的重要环节,对恢复线路整体性能、确保长期运营安全具有不可替代的作用。

2.4 无缝线路特殊养护

无缝线路因消除了大量钢轨接头,显著改善了行车平稳性和钢轨使用寿命,但其对温度应力敏感,养护作

业有特殊要求。锁定轨温是无缝线路的核心参数,它是钢轨被固定时测定的温度,决定了温度应力的分布状态。养护作业必须严格遵守锁定轨温范围:起道、拨道、改道等扰动道床的作业,必须在轨温接近锁定轨温时进行,严禁超温作业。高温季节道床阻力下降,易发生胀轨跑道,应避免大规模扰动道床;低温季节则需防止断轨。应力放散与均匀是调整锁定轨温偏差的主要手段,当锁定轨温偏离设计值较大时需安排应力放散作业,使钢轨应力重新均匀分布。防爬观测桩用于监测钢轨爬行位移,定期观测记录并与历史数据对比,发现异常应及时分析处理。此外,无缝线路的钢轨焊接接头是薄弱环节,需定期探伤检查。无缝线路特殊养护的技术要求高,作业人员需经专门培训并严格执行操作规程。

2.5 曲线区段专项养护

曲线区段是铁路线路中最薄弱、维修工作量最大的地段,轮轨相互作用复杂,养护难度显著高于直线段。曲线区段专项养护的核心内容包括超高设置与调整、轨距加宽、轨下垫板调高以及钢轨涂油等。超高是曲线外轨高于内轨的数值,用于平衡列车通过时的离心力,超高高低都会影响行车安全与舒适性,养护中需定期检测调整。轨距加宽适用于小半径曲线,以改善列车通过条件,养护中需保持轨距变化率平顺^[3]。钢轨涂油是减小侧面磨耗的有效措施,在曲线地段安装涂油装置,定期向钢轨侧面喷涂润滑剂,可延长钢轨使用寿命30%以上。曲线圆顺度控制是专项养护的重点,通过测量正矢并与设计值对比,确定拨道量,使曲线保持圆顺。轨距扩涨是小半径曲线的常见问题,需加强扣件检查和更换。曲线区段养护应建立专项台账,记录每次作业的内容和效果,逐步形成针对性养护方案。

3 现代轨道维修养护技术与发展趋势

3.1 钢轨打磨技术

钢轨打磨是改善轮轨关系、延长钢轨寿命的核心技术,近年来从传统的修复性打磨发展为预防性打磨和廓形优化打磨。预防性打磨是在新轨上道或磨损初期进行的浅层打磨(打磨深度0.1~0.3mm),旨在消除轨顶微小缺陷和脱碳层,延缓波磨和疲劳裂纹的产生,可使钢轨寿命延长30%~50%。修复性打磨针对已出现的波磨、剥落、肥边等病害进行深度打磨(打磨深度0.5~2.0mm),恢复钢轨表面平顺度。廓形优化打磨是根据钢轨实际磨耗廓形与目标廓形的差异,通过软件计算打磨模式,设定打磨角度和深度,使打磨后钢轨廓形接近理想状态,从而改善轮轨接触几何关系,降低接触应力和磨耗速率。钢轨打磨车配备多组打磨头,可实现一次通过多角度作

业。打磨周期的确定需综合考虑通过总重、磨耗速率和轨检车数据。钢轨打磨技术的推广应用显著降低了钢轨更换频率和养护成本,是目前工务领域应用最成熟的高新技术之一。

3.2 道床弹性恢复技术

道床弹性是有砟轨道保持良好运营性能的基础,随着运营年限增加,道砟粉化和脏污导致弹性下降,需采取弹性恢复措施。道砟挖除回填是最直接的恢复方法,针对板结严重区段,挖除旧道砟并更换新道砟,配合大型捣固作业使道床恢复密实度和弹性。道砟再生技术是将脏污道砟经清筛机处理后,筛除泥土和粉化颗粒,保留合格道砟并补充新道砟,实现资源循环利用,可大幅降低新道砟采购量和运输成本。聚氨酯道床固化是近年来发展的新技术,在道砟中灌注聚氨酯材料形成弹性固化道床,具有强度高、弹性好、维修少等优点,适用于桥隧过渡段、道岔区等维修困难地段。道床弹性检测可采用轻型动力触探和落锤式弯沉仪,评估道床刚度和承载能力^[4]。另外,优化道砟级配、采用优质硬质道砟(如玄武岩)也是从源头保障道床弹性的有效措施。道床弹性恢复技术的应用,显著延长了有砟轨道的维修周期,提升了线路的长期稳定性。

3.3 信息化与智能决策

信息化技术正在深刻改变工务维修管理模式,推动从“经验修”向“数据修”转变。工务管理信息系统是信息化的核心平台,集成了轨检车检测数据、探伤数据、添乘仪数据及维修作业记录,构建轨道设备全寿命数据库。系统可对检测数据进行自动分析,识别病害类型、判定严重等级、生成预警信息,并依据预设规则推荐维修方案。大数据分析技术的引入,使轨道几何状态劣化趋势预测成为可能,通过机器学习算法训练历史数据,预测未来一段时间内的几何状态变化,从而优化维修计划,实现“状态修”。工务安全生产管理系统实现了作业计划审批、任务派发、现场管控、质量验收、问题闭环的全流程信息化,提高了作业管理的规范性和透明度。工务管理信息系统与现场作业终端(移动APP)的互联,使检测数据能够直接推送至作业人员,维修结果可实时上传,形成“检测-分析-决策-维修-评价”的闭环管理流程,显著提

升工务维修的科学化水平。

3.4 智能化养护装备

智能化养护装备是轨道工务技术发展的重要方向,在降低人工劳动强度、提高检测作业效率与精度。自动化巡检机器人集成了视觉识别、激光雷达、超声波探伤等多种传感器,可在轨道上自主行走,自动识别扣件缺失、弹条断裂、钢轨表面裂纹等病害,并实时上传检测结果,巡检速度可达5-10km/h,效率远高于人工巡检。无人机搭载高清相机和红外成像设备,可用于高路堑边坡、隧道口、桥梁支座等人工难以到达区域的快速巡查,及时发现边坡溜塌、积水等问题。智能捣固车根据前方轨检系统实时采集的轨道几何数据,自动计算起拨道量并调整捣固参数,实现闭环控制,减少人工测量和设定环节,提高作业精度和一致性。钢轨探伤机器人搭载相控阵超声波技术,可对钢轨进行全断面快速扫查,检测速度可达30km/h,大幅提升探伤效率。智能化养护装备的推广应用,使工务作业逐步走向少人化、无人化,是应对劳动力短缺、提升作业安全性的有效途径。

结束语

铁路线路轨道工务维修养护是保障铁路运营安全与舒适性的基础性工作。本文系统分析了钢轨、轨枕扣件、道床路基及线路几何状态等常见病害的类型与成因,阐述了日常保养、综合维修、大修作业及曲线无缝线路专项养护等传统技术,重点探讨了钢轨预防性打磨、道床弹性恢复、信息化智能决策及智能化装备等现代技术的发展应用。未来随着大数据、人工智能、机器人等技术的深度融合,轨道养护将向更高水平的智能化、精准化、预防化方向发展,为铁路运输安全提供更加可靠的技术支撑。

参考文献

- [1]李甜甜.铁路线路轨道工务维修养护技术[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(7):2479-2480.
- [2]晋霞,窦杨阳,雷娟娟.铁路线路轨道工务标准维修养护技术研究[J].大众标准化,2022(19):31-33.
- [3]郝振华,祁卫东.北方铁路普速线路养护技术探究[J].包头职业技术学院学报,2024,25(4):49-51.
- [4]赵梦辉.山区铁路无缝线路小半径曲线养护维修探讨[J].铁道工务,2024,2(4):9-13.