

普速铁路整体道床常见病害及简易整治技术研究

王晓佳

中铁三局集团桥隧工程有限公司, 安徽 池州 247200

[摘要]高速铁路整体道床在隧道、桥梁等特殊路段得到广泛的使用,具有稳定性好、养护工作量大等特点。但在长期服役期间受列车循环荷载以及各类外界因素的影响,道床容易出现沉降脱空、开裂破损等常见病害,对行车安全造成严重的影响。鉴于此,文章首先归纳总结普速铁路整体道床常见病害以及形成的具体诱因,并充分围绕现场的施工情况,提出简易治理工艺,从而确保线路长效安全运营,降低后期的养护成本,以供参考。

[关键词]普速铁路;整体道床;病害类型;成因分析;简易整治技术

DOI: 10.33142/ect.v4i5.19782

中图分类号: U216.41+2

文献标识码: A

Research on Common Diseases and Simple Remediation Techniques of the Whole Track Bed of Ordinary Speed Railway

WANG Xiaojia

Bridge and Tunnel Engineering Co., Ltd. of China Railway No.3 Engineering Group, Chizhou, Anhui, 247200, China

Abstract: The integral track bed of high-speed railways is widely used in special sections such as tunnels and bridges, and has the characteristics of good stability and low maintenance workload. However, during long-term service, the track bed is prone to common diseases such as settlement, hollowing, cracking, and damage due to the cyclic dynamic load of trains and various external factors, which seriously affects the safety of train operation. In view of this, the article first summarizes the common diseases and specific causes of the overall track bed of ordinary speed railways, and fully focuses on the construction situation on site, proposing simple treatment processes to ensure the long-term safe operation of the line and reduce maintenance costs in the later stage, for reference.

Keywords: general speed railway; integrated track bed; disease type; cause analysis; simple remediation technology

引言

整体道床以混凝土道床板为核心构件,属于无砟轨道结构,和传统有砟道床存在明显的差异,凭借整体稳定性好、刚度强等优势,成为普速铁路特殊路段的主要轨道形式。在长期负载反复环境作用影响下,整体道床结构会逐步出现老化劣质的问题,频繁发生轨道病害,病害兼具隐蔽性强、演变速度快的特征,而常规养护维修方式未能实现精准的治理以及有效的恢复。基于此,本文围绕现场工程的实际情况,对整体道床典型病害的成因进行系统梳理分析,并提出针对性的整治处理措施,以进一步提高普速铁路整体道床养护效率,确保行车安全。

1 普速铁路整体道床常见病害类型及特征

在长期运营过程中造成容易产生各类结构病害,降低乘车的平稳性,同时对列车的行车安全造成很大的影响。

道床开裂破损为线路常见结构性问题,根据裂缝的形态分为4种类型,横向裂缝与线路走向垂直,多因温度变

化产生的应力作用形成,极易逐步发展为贯通裂缝;纵向裂缝顺线路方向延展,多发于道床板中部区域,由结构拉应力超标、地基不均匀沉降引发,病害严重时贯穿整块道床板,还会伴随渗水、翻泥等现象;网状裂缝主要源于混凝土碳化老化,呈不规则龟裂纹路,降低结构的防渗性能与耐久度;伸缩缝病害主要体现为密封填充材料老化、脱落,加速道床内部各类病害发展。道床沉降及基底脱空属于高风险运营隐患,发生病害后,列车在通行的过程中会出现明显的轨道震动,车体晃动的情况,严重时引发道床板断裂;基底脱空病害隐蔽性突出,脱空厚度1~5cm,需依托轨道检测数据综合研判识别。

翻浆冒泥病害主要集中于隧道等密闭潮湿路段,地基长期积水软化底层路基,列车行驶产生的动态荷载持续挤压,将基底软弱泥土挤压至道床表层,造成轨道工况快速劣化,典型特征为泥浆、杂质混合物从道床缝隙向外溢出。支承块松动及配套构件损坏的诱因是地基内膨胀性岩土

表 1 普速铁路整体道床主要病害类型及特征汇总

病害类型	核心特征	主要分布区段	危害程度
纵向/横向裂缝	道床板贯通/非贯通裂缝, 渗水	全区段、隧道洞口、沉降缝处	中-高
基底脱空、下沉	轨面凹陷、高低超限、道床空吊	软弱地基、富水隧道、路基过渡段	高
翻浆冒泥	裂缝冒泥浆、泥水混合物	地下水高、排水不畅、隧道内	高
支承块松动/挡肩破损	块体晃动、挡肩掉块、扣件失效	曲线段、大轴重区段、接头区	中
道床上拱隆起	局部拱起、轨面抬高、横向开裂	膨胀岩土、冻胀、高水压区段	中-高
水沟破损堵塞	水沟开裂、淤积、排水不畅	全区段、隧道内	中

遇水膨胀,或是冻土季节性冻胀抬升,向上作用力超出道床自重与上部荷载约束,最终引发板面拱起变形。常见问题包括支承块松动悬空、挡肩破损、表层脱落、螺旋道钉锈蚀、失效,导致轨道整体框架稳定性降低。

排水设施损坏主要表现为排水沟开裂、堵塞等问题,会造成道床基底积水滞留、地下水渗透倒灌,是诱发翻浆冒泥、路基沉降、道床开裂等多种病害的核心源头。

2 整体道床病害成因机理分析

整体道床病害的发生并非单一因素作用的结果,其中荷载是导致病害发生的主要因素之一。道床板长期承受高频、重复的竖向冲击、横向摇摆及纵向制动荷载,当该应力超过混凝土自身的抗剪强度时,会导致道床板发生裂缝、脱空等病害。同时,支承块空吊、道床脱空等问题会导致荷载传递不均,加速裂缝扩展。

结构与材料是导致病害发生的内在基础,在设计过程中因排水坡度不足、整体道床厚度不足,施工过程中,混凝土浇筑振捣不密实、养护不到位等缺陷,导致结构先天抗力不足,易引发病害。另外,施工单位为了方便施工,将本应一次浇筑成型的仰拱填充混凝土分 2 次进行了浇筑,第一次浇筑面与水沟底部齐平,第二次浇筑至仰拱填充面,形成了施工缝,加之在浇筑第二次混凝土时对已浇筑混凝土面未处理干净,水沟内的水进入施工缝内,在列车动载的长期作用下,易形成空洞。

水文地质因素作为病害发生的主要诱因,隧道围岩渗水、路基地下水上升,浸泡基底软弱土层,降低地基承载力,渗入道床裂缝及结合面,引发脱空、淘空,诱发翻浆冒泥。此外地基不均匀沉降、膨胀土遇水膨胀等地质变形现象,均会导致道床板发生开裂、下沉或上拱。养护管理因素直接影响病害的发展速度及后期的维护难度,日常巡检不到位、病害早期处置不及时,未能及时有效的控制初期病害,快速发展为结构性病害,增加了病害整治的难度,也大幅提升了养护成本。

3 普速铁路整体道床简易整治技术

3.1 道床裂缝简易整治技术

根据破损程度、使用场景合理选择裂缝修补方法。对于宽度 $<0.2\text{mm}$ 的细微网状裂缝采用表面封闭法,具有施工便捷、成本低的优势,通过封闭防护,防止混凝土碳化与渗水,将裂缝表面的灰尘、松散混凝土清理干净,并打磨平整,分 2~3 遍涂刷环氧封闭胶,确保总厚度 $\geq 0.5\text{mm}$ 且覆盖裂缝两侧各 5cm 范围,适合混凝土表面龟裂、细微无渗水裂缝。对于宽度 0.2~2mm 的贯通、较深裂缝及渗水裂缝建议采用压力注浆法,需先清理裂缝,骑缝钻孔(孔径 8~12mm,孔深 1/2~2/3 道床板厚,间距 30~50cm)并埋设注浆嘴,再用快干水泥或环氧胶泥封堵缝口以封闭裂缝表面,配置低黏度环氧浆液或水泥基注浆液(水灰比 0.4~0.5,掺适量早强剂),在 0.2~0.4MPa 压力下由下向上、由深到浅依次注浆,至排气孔出浆后停止,以恢复结构整体性、封堵渗水通道,宽度 $>2\text{mm}$ 、破损严重的裂缝及伸缩缝破损采用开槽修补法,伸缩缝破损,需先清除老化密封材料、清理缝口,嵌入聚乙烯泡沫板后,表面灌注聚氨酯密封胶。常规裂缝修补需沿裂缝开 V 型或 U 型槽(槽深 3~5cm、槽宽 4~6cm),涂刷环氧界面剂,再分层填充环氧砂浆或聚合物修补砂浆。

3.2 道床下沉、基底脱空简易整治技术

针对道床下沉、局部脱空、基底软弱、翻浆冒泥等常见病害建议采用基底压力注浆加固法,采用地质雷达检测结合轨检数据分析,对道床掏空的严重程度范围进行明确,选用小型手持钻机进行作业,孔径控制在 16~20mm,孔深需深入基底 10~20cm,埋设孔口管与止浆塞。优先选用早期强度高、凝结时间可调的注浆材料,例如水泥-水玻璃双液浆等,配比为水泥浆水灰比 0.5~0.6,水泥浆与水玻璃的体积比为 1:0.6~1:1,水玻璃浓度 30~40Be',施工过程中严格控制注浆的压力,实时观察道床表面、轨面高程变化。基底压力注浆加固法可在铁路天窗期内快速

实施,工艺相对简单,病害整治效果持久,并且施工便捷,无需破坏道床的整体结构,可以降低施工成本。难点是注入材料的膨胀压力比较难控制,很难实现一次将轨道精确抬升到位,可采用多次注浆抬升的办法来解决该难题。

道床局部轻微下沉、轨面高程偏差 $\leq 5\text{mm}$,建议采用局部抬升微调法,通过微型抬升与同步注浆结合,精准纠正轻微高程偏差,避免大规模开挖,施工流程简便、耗时短。先确定局部下沉区段的范围和高程偏差值,标记抬升点位与注浆孔位,在抬升点位处布设微型千斤顶,缓慢将轨面抬升至设计高程,同时注意适时监测轨面高程,同步进行低压注浆作业,既恢复轨面高程,又巩固基底承载力。待浆液初步凝固后拆除千斤顶,完成孔口封堵、道床表面恢复及轨面几何尺寸复测,提升道床养护质量。

3.3 翻浆冒泥简易整治技术

道路翻浆处置以治水固基为核心原则,同步推进排水设施修缮与路基基底注浆加固,全面切断泥水渗透路径,根除翻浆病害。首先对既有排水体系进行全面疏通,清理中心沟、侧沟内的淤积杂物,修缮破损沟体及盖板,充分考虑现场的条件,增设泄水孔、盲沟,加快地下水疏导排出,从源头降低基底地下水位。其次对翻浆受损路段采用双液注浆工艺施工,通过专用注浆设备高压注入路基深层,利用双液材料快速凝结的特性固结软化泥浆基底、填充结构脱空空隙,形成致密、坚硬的密闭隔水固结层,从根源上遏制翻浆病害反复,提高路基承载力、抗冻、抗渗能力。最后封堵道床表层裂缝与支承块周边缝隙,彻底阻断地表雨水下渗通道,多措并举形成地表水、地下水双向管控的完整防护体系,从根源上解决路基软化、空洞问题,稳固路基基底结构,延长道路使用寿命,降低后期养护频次和成本。

3.4 支承块松动、挡肩破损简易整治技术

针对支承块松动、空吊及挡肩破损病害,采用针对性简易整治工艺:支承块锚固补强施工时,先清理其周边松动混凝土与杂物并对结合面凿毛处理,沿支承块四周斜向钻孔至道床板内部,控制钻孔深度 $15\sim 20\text{cm}$ 并彻底清孔,随后灌注环氧锚固剂或快硬水泥锚固砂浆,植入 $\Phi 12\sim 16\text{mm}$ 钢筋完成支承块锚固固定,最后做好表面平整修补,复位扣件系统并按设计扭矩拧紧螺栓;挡肩破损修补需先剔除破损、松散混凝土,露出坚实新鲜基面,涂刷环氧界面剂后,采用环氧混凝土或聚合物砂浆分层浇筑修补,精准恢复挡肩原有外形尺寸,保障钢轨支撑及轨距控制性能,待养护达到规定强度后即可恢复正常使用。

3.5 道床上拱隆起简易整治技术

针对道床隆起病害,建议通过减压排水、应力释放、基底加固相结合的综合措施治理。根据道床的结构形式、地层分布和地下水位情况在上拱区段增设泄水孔与排水盲沟,确保积水能顺坡排出至线路两侧的排水系统,降低岩土含水率,在道床表面铺设防水卷材或涂刷防水涂层,减少地表水渗入基底,削弱土体膨胀作用。于上拱区域合理切割道床板并设置应力释放缝,释放结构附加应力,在应力释放缝内填充弹性密封材料,防止地表水通过缝隙渗入基底,遏制裂缝持续发展。根据土体膨胀等级、地层厚度等参数对膨胀土地层进行注浆加固,改良土体结构、减小膨胀特性。若上拱变形较为严重、土体稳定性较差,增设锚杆辅助约束,治理道床隆起病害。

3.6 排水系统病害简易整治技术

通过对国内道床病害的调查分析,水是造成道床出现病害最直接的原因,为了彻底整治道床病害,必须先治理水沟内的流水,对既有水沟开展综合整治修缮作业,通过人工对天窗范围内水沟淤泥、垃圾杂物进行彻底清理,疏通排水通道,保障完整过水断面,修复还原原有设计排水坡度,提升自然排水能力。针对沟体裂缝、沟壁破损等缺陷,采用聚合物砂浆、环氧砂浆进行加固修补,对破损断裂的水沟盖板统一更换为预制混凝土盖板,恢复沟体结构完整性与耐久性。同时,结合现场渗水病害实际情况,在渗水严重路段增设横向泄水管与盲沟设施,并与中心水沟有效连通,高效疏导排出基底积水,从根源减少积水浸泡引发的各类沟体及路基病害,全面完善整体排水体系。

4 结论与展望

整体道床作为保障普速铁路高效安全平稳运营的基础设施,在长期运营过程中受荷载、结构材料、水文地质等多重因素的影响,容易出现裂缝、上拱、翻浆冒泥、排水等病害。基于此,为了确保列车运行舒适以及行车安全,实施注浆加固、裂缝修补、锚固补强、排水修复等工艺,提升基底承载力、稳定性、整体性,这些简易整治技术无需大型施工设备,施工便捷,能够控制病害复发与发展,确保铁路运营安全。随着普速铁路运营年限的延长。在整体道床病害养护整治工作中研制智能化注浆、修补装备,提升整治效率和质量。开发快速固化、高耐久性的新型整治材料,适配天窗短的作业需求,在提高整治效果与耐久性的同时缩短注浆、修补等作业的固化时间。结合大数据、人工智能等技术建立普速铁路整体道床病害数据库,实现病害早期预警、早期干预,推动普速铁路整体道床养护工

作向精细化、智能化、标准化方向发展。

[参考文献]

- [1]高龙.浅谈地铁线路病害成因及维护措施[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2018(10):408.
- [2]段炼,全巍,唐佑绵,等.普速铁路隧道整体道床下沉产生机理与整治技术优化研究[J].铁路工程技术与经济,2024,39(2):15-19.
- [3]马超锋.整体道床铁路隧道隧底病害成因分析及整治方案设计[J].铁道建筑,2019,59(6):69-73.
- [4]张健强.地铁运营线路道岔区整体道床沉降病害综合整治策略研究[J].运输经理世界,2023(32):127-129.
- [5]李宇杰,徐会杰,宋国侠,等.盾构隧道整体道床脱空病害整治技术应用研究[J].土木工程学报,2020(1):119-123.
- [6]邹文浩,马伟斌,杜晓燕,等.既有隧道整体道床下沉的“抬-注-锚”复合整治技术研究[J].铁道建筑,2016,56(1):20-24.
- [7]唐佑绵,王巍,柳卫林,等.高铁精测精调技术在普铁隧道整体道床的应用验证[J].高速铁路新材料,2026,5(1):58-65.
- [8]徐凌雁.双块式无砟轨道轨枕成段开裂整治技术研究[J].铁道建筑,2019,59(8):117-120.
- [9]李宇杰,徐会杰,宋国侠,等.盾构隧道整体道床脱空病害整治技术应用研究[J].土木工程学报,2020(1):119-123.
- [10]杨湘,田建.膨胀型软弱地层中隧道修建及病害防治问题的探讨[J].建筑技术开发,2017,44(9):55-56.

作者简介: 王晓佳(1990—), 就职于中铁三局集团桥隧工程有限公司, 毕业于西南科技大学土木工程专业。