

地铁线路整体道床空吊病害检测与整治技术研究

张绍明

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 401120

摘要：地铁线路整体道床空吊病害威胁运营安全、降低乘坐体验并增加运维成本。本文系统研究其检测与整治技术，分析地质、施工、运营及养护等成因；阐述传统、无损及新型检测方法的原理与优劣；探讨注浆加固、道床修复更换及改善粘结等整治技术要点。研究成果为地铁线路整体道床空吊病害的高效检测与科学治理提供理论依据与实践指导，对保障地铁安全稳定运营具有重要意义。

关键词：整体道床；空吊病害；无损检测；整治技术

1 地铁线路整体道床空吊病害概述

1.1 道床结构及作用

道床作为轨道结构的重要组成部分，承担着传递列车荷载、固定轨枕位置、提供轨道弹性和稳定性等关键作用。根据结构形式，道床主要分为碎石道床和整体道床两大类。碎石道床由具有一定粒径级配和强度的硬质道砟堆集而成，通过道砟颗粒间的相互嵌挤和摩擦，实现对列车荷载的分散与缓冲，其弹性良好，具有一定的自我调节能力，但后期维护工作量较大。整体道床则采用混凝土整体浇筑或预制块铺设的方式，具有稳定性高、整洁美观、维修周期长等优点，在现代地铁建设中应用广泛。整体道床通常由混凝土底座、隔离层、道床板等多层结构组成。混凝土底座直接与地基接触，起到支撑和稳定上部结构的作用；隔离层能够减少底座与道床板之间的相互约束，防止因温度变化等因素产生的应力集中；道床板则通过轨枕扣件系统与钢轨相连，为列车运行提供稳定的轨道基础。在列车运行过程中，道床将钢轨传递的动荷载均匀分散到地基上，同时抑制轨道的横向和纵向位移，保障列车运行的安全与平稳。

1.2 整体道床空吊病害的定义

整体道床空吊病害主要指在地铁运营过程中，整体道床由于各种因素的影响，导致道床与基底之间出现局部脱离或悬空的现象。具体表现为道床板下方与基底之间存在一定间隙，无法紧密接触，使得道床不能正常发挥承载和传力作用。这种间隙可能是由于基底沉降、土体流失、施工质量缺陷等原因造成的，其大小和分布范围具有不确定性。从微观角度来看，道床空吊病害的形成会破坏道床与基底之间的应力传递路径，使得列车荷载无法均匀分散，导致局部区域承受过大的应力^[1]。随着时间推移和列车荷载的反复作用，空吊区域附近的道床结构容易产生裂缝、破损等问题，进一步加剧轨道结构的劣化。

的劣化。

1.3 病害对地铁运营的影响

整体道床空吊病害对地铁运营的影响是多方面且严重的，从安全性角度考虑，空吊现象会破坏轨道结构的整体稳定性，使得钢轨在列车荷载作用下产生较大的变形和振动。这种异常振动不仅会加速钢轨、扣件等部件的磨损，还可能导致钢轨出现折断、扣件松动等严重安全隐患，威胁列车运行安全。在舒适性方面，由于道床空吊，列车通过时会产生剧烈颠簸，给乘客带来不良的乘坐体验。长期的颠簸还可能对列车内部设备造成损坏，增加设备的维修成本。另外，道床空吊病害还会影响地铁的运营效率。为确保安全，当发现严重空吊病害时，往往需要采取限速运行措施，这会延长列车的运行时间，降低地铁的运输能力。

2 地铁线路整体道床空吊病害的成因分析

2.1 地质因素

在地铁建设过程中，如果线路经过软土地层、湿陷性黄土、膨胀土等特殊地质区域，就容易引发整体道床的空吊病害。软土地层具有压缩性高、强度低、透水性差等特点，在列车荷载的长期作用下，地基土会发生持续沉降，导致道床与基底之间出现间隙。湿陷性黄土在遇水后会发生的显著的湿陷变形，当地下水水位变化或排水系统不畅时，黄土层的湿陷会引起道床的不均匀沉降，造成空吊现象。膨胀土则具有遇水膨胀、失水收缩的特性，其体积的周期性变化会对道床产生反复的胀缩力，破坏道床与基底的紧密接触。

2.2 施工因素

施工质量的好坏直接关系到整体道床的稳定性，在整体道床施工过程中，若基底处理不规范，如基底未进行充分压实、存在虚土或杂物等，会导致基底承载能力不足，在列车荷载作用下产生不均匀沉降，引发空吊^[2]。混凝土

浇筑过程中,如果振捣不密实,会使道床板内部存在蜂窝、孔洞等缺陷,降低道床的整体强度和耐久性,随着时间推移,这些缺陷区域容易出现开裂、脱落,造成道床与基底脱离。另外,施工过程中对轨道几何尺寸控制不准确,如轨枕间距偏差过大、道床板平整度不符合要求等,会使列车荷载分布不均匀,局部区域承受过大压力,加速道床结构的破坏,最终导致空吊病害的产生。施工材料质量不合格,如混凝土强度不达标、钢筋锈蚀等,也会影响道床的结构性能,增加空吊病害发生的风险。

2.3 运营因素

随着地铁客流量的不断增加,列车运行密度和荷载也相应增大。频繁的列车荷载作用会使道床结构产生疲劳损伤,加速其老化和劣化进程。列车运行过程中产生的振动和冲击力,会使道床与基底之间的土体逐渐松动,导致土体流失或压缩变形,从而形成空吊间隙。列车制动和启动时产生的纵向力,会对道床结构产生拉扯和挤压作用,容易造成道床板与基底之间的粘结破坏。同时地铁隧道内的环境条件,如湿度、温度变化等,也会对道床结构产生影响。

2.4 养护因素

合理的养护维修工作对于预防和控制整体道床空吊病害至关重要。若养护不及时,不能及时发现和处理道床出现的轻微病害,如裂缝、松动等,这些病害会在列车荷载作用下逐渐发展扩大,最终导致空吊现象的产生。养护方法不当,如在进行道床维修时,未能正确处理道床与基底的连接,或者维修后未对轨道几何尺寸进行精确调整,也会影响道床的稳定性,增加空吊病害发生的可能性。养护设备和技术的落后,使得对道床病害的检测不够准确和全面,无法及时发现潜在的空吊隐患,从而错过最佳的整治时机。养护资金投入不足,导致养护工作无法正常开展,也会影响道床的使用寿命和稳定性,促进空吊病害的发展。

3 地铁线路整体道床空吊病害检测技术

3.1 传统检测方法

传统的道床空吊病害检测方法主要包括人工敲击法和水准仪测量法。人工敲击法是通过人工使用工具(如小锤)敲击道床表面,根据发出的声音判断道床是否存在空吊现象。若敲击声音清脆、空洞,则表明该区域可能存在空吊;若声音沉闷,则表示道床与基底接触良好。这种方法操作简单、成本低,但检测效率低,受检测人员经验和主观判断影响较大,且只能检测出表层的空吊病害,对于深层的空吊情况难以准确判断。水准仪测量法则是利用水准仪测量道床不同部位的高程,通过

对比各点高程数据,判断道床是否存在不均匀沉降,进而推断是否有空吊现象。该方法能够较为准确地测量道床的高程变化,但测量过程繁琐,需要在多个测点进行测量,耗费大量时间和人力,且只能检测出宏观的不均匀沉降,对于较小范围的局部空吊检测效果不佳。

3.2 无损检测技术

无损检测技术在道床空吊病害检测中具有重要应用价值,主要包括地质雷达检测和声波检测。地质雷达检测是利用高频电磁波在不同介质中的传播特性来探测道床内部结构。当电磁波遇到道床与基底之间的空吊区域时,由于介质特性发生变化,会产生反射信号。通过接收和分析这些反射信号,能够准确确定空吊区域的位置、大小和深度。地质雷达检测具有检测速度快、分辨率高、对道床无损伤等优点,可实现对道床结构的连续检测,但检测结果受地质条件和检测人员数据分析能力的影响较大。声波检测则是利用声波在不同介质中的传播速度和衰减特性来判断道床的密实程度^[3]。当声波在密实的道床中传播时,速度较快且衰减较小;而在空吊区域,声波传播速度会明显降低,衰减增大。通过在道床表面布置声波发射和接收装置,测量声波的传播参数,可分析道床内部是否存在空吊病害。声波检测具有检测深度大、成本相对较低等优点,但检测精度相对较低,对较小尺寸的空吊区域检测效果不理想。

3.3 新型检测技术

随着科技的不断发展,一些新型检测技术逐渐应用于道床空吊病害检测领域,如光纤传感技术和无人机检测技术。光纤传感技术是利用光纤的光弹效应和应变-光学效应,将道床的应变、位移等物理量转化为光信号进行测量。通过在道床内部铺设光纤传感器,能够实时监测道床的受力和变形情况,一旦出现空吊现象,传感器所在区域的光信号会发生变化,从而实现空吊病害的早期预警。光纤传感技术具有灵敏度高、抗干扰能力强、可实现分布式测量等优点,能够对道床进行长期、连续的监测,但该技术成本较高,对施工和维护要求也较为严格。无人机检测技术则是利用搭载高清摄像头和激光雷达等设备的无人机,对地铁隧道内的道床进行快速扫描和图像采集。通过对采集到的图像和数据进行分析处理,能够直观地发现道床表面的裂缝、破损等病害,结合三维建模技术,还可进一步判断道床内部是否存在空吊现象。无人机检测具有检测效率高、覆盖范围广、不受隧道内复杂环境限制等优点,能够大大减少人工检测的工作量和危险性,但目前该技术在道床空吊病害检测的准确性和可靠性方面还需要进一步提高。

4 地铁线路整体道床空吊病害整治技术

4.1 注浆加固法

注浆加固法是整治道床空吊病害的常用方法之一。该方法是通过向道床与基底之间的空吊区域注入填充材料,如水泥浆、水泥砂浆、环氧树脂浆液等,使填充材料充满空隙并与周围土体和道床板紧密粘结,恢复道床与基底的接触,提高基底的承载能力和道床的稳定性。在实施注浆加固前,需要准确确定空吊区域的位置和范围,可结合检测结果进行定位。注浆过程中,要合理控制注浆压力、注浆量和注浆速度。注浆压力过大,可能会导致道床板上抬或产生裂缝;压力过小,则无法保证浆液充分填充空隙。注浆量应根据空吊区域的体积和浆液的扩散情况进行确定,确保空隙被完全填充。注浆速度也需根据浆液的特性和注浆设备的性能进行调整,避免因注浆速度过快导致浆液外溢或不均匀分布。注浆加固法具有施工简单、对运营影响较小等优点,但对于复杂地质条件下的空吊病害,可能需要多次注浆才能达到理想效果。

4.2 道床修复与更换

对于空吊病害较为严重、导致道床结构出现严重破损或变形的情况,通常需要采用道床修复与更换的整治技术。当道床板局部破损时,可先对破损部位进行凿除清理,然后重新浇筑混凝土进行修复。在修复过程中,要确保新旧混凝土之间的良好粘结,可通过对旧混凝土表面进行凿毛、涂刷界面剂等处理措施来实现。若道床板整体损坏严重或无法修复,则需要进行整体更换。更换道床板时,首先要拆除旧的道床板,对基底进行清理和检查,确保基底平整、密实。然后按照设计要求铺设新的道床板,并精确调整轨道几何尺寸,保证轨道的平顺性和稳定性。道床修复与更换工作较为复杂,施工周期长,对地铁运营影响较大,因此通常需要在夜间停运时段进行,同时要做好施工安全防护和质量控制工作。

4.3 改善道床与基底的粘结

改善道床与基底的粘结性能是预防和整治道床空吊病害的重要措施,需贯穿施工与运营全周期。在施工阶段,基底预处理是关键第一步。对基底表面进行凿毛处理,能够增大其粗糙度,形成更多的机械咬合点,使后续浇筑的道床板混凝土与基底更好地嵌合;彻底清理基

底杂物和浮土,可消除影响粘结的不利因素;涂刷粘结剂则能在基底与混凝土之间形成过渡层,增强界面粘结力,如同在两者之间搭建起紧密连接的“桥梁”。而在道床板浇筑时,精准控制混凝土配合比至关重要,合适的水灰比、骨料级配能确保混凝土的流动性和强度,利于其与基底充分接触;合理的振捣方式和时间,可排出混凝土中的空气,使混凝土密实填充基底与模板间的空隙,避免出现空洞和蜂窝麻面,从而提高粘结质量。进入运营阶段,定期检查和维护不可或缺^[4]。可采用无损检测技术,如超声波检测,对道床与基底的粘结情况进行检测,通过分析超声波在界面处的传播特性,判断粘结是否存在缺陷。一旦发现粘结力下降或轻微空吊,表面喷涂粘结增强材料可及时弥补粘结缺陷,该材料能渗入细微缝隙,增强界面的粘结效果。优化道床排水系统,通过设置合理的排水坡度、增加排水盲沟等措施,及时排除地下水和轨道排水,避免水分长期浸泡粘结面导致材料性能下降,有效减少因水侵蚀引发的粘结失效问题。通过这些全方位、分阶段的措施,能够显著提高道床与基底的粘结强度,从根源上减少空吊病害的发生。

结束语

本文全面分析了地铁线路整体道床空吊病害的检测与整治技术。传统、无损及新型检测技术各有优劣,注浆加固等整治方法有效应对不同程度病害。这些技术的合理应用,对提升地铁运营安全性、稳定性和经济性至关重要。未来,应进一步优化检测与整治技术,探索智能化、精准化解决方案,同时加强多学科融合研究,为地铁线路结构健康管理提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]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.
- [2]杨凯,张立海.轨道交通道岔病害及其预防整治措施[J].高铁速递,2023(5):87~88.
- [3]王阿利.复杂条件下道岔主要病害的整治措施[J].铁道建筑,2024,64(8):45-49.
- [4]张宏菊,张智慧,许强.地质雷达技术在地铁整体道床病害检测中的应用[J].工程地球物理学报,2021,18(05):709-715.