

地铁曲线段轨道几何偏差整治技术探究

龙明辉

(贵阳市城市轨道交通运营有限公司,贵州省贵阳市,550000)

摘要 地铁曲线段轨道几何偏差问题严重影响地铁的运行安全、舒适性及运营效率。本文分析了地铁曲线段轨道几何偏差的成因及影响,并探讨了轨道整治的关键技术措施,包括路基与轨道结构修复、轨道调平与调整、高精度测量与监测技术及智能化监测技术。通过精确的偏差检测与调整技术,结合自动化设备和高精度监测手段,地铁轨道几何形态得到有效修复,显著提高了轨道的稳定性和安全性。现场监测数据显示,整治后的轨道几何偏差显著改善,乘客舒适度和地铁运行效率得到提高,进一步证明了该整治技术的有效性和经济性。

关键词 地铁曲线段;轨道几何偏差;整治技术;仿真模型

中图分类号:U213.2 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2026)06-0055-03

地铁曲线段轨道几何偏差问题长期困扰着城市轨道交通系统,特别是在地铁运行过程中,轨道几何偏差会导致列车运行的稳定性和安全性下降,影响乘客的舒适度^[1]。由于曲线段轨道结构的特殊性,轨道变形通常较为复杂,如何精确评估轨道几何偏差并有效整治,是地铁系统运营中的一项重要技术任务。

1 地铁曲线段轨道整治技术概况

地铁曲线段的轨道结构特点主要有曲线半径小、线路倾斜度大等,这些特点使列车运行过程中侧向力加大,给轨道带来了很大的压力与变形。轨道几何偏差主要有地基沉降、材料老化、轨道结构变形和不均匀载荷作用。地基沉降可使轨道产生纵、横向偏差,材料老化、摩擦引起变形等,使其平整度、稳定性降低^[2]。侧向偏移则多由曲线段车辆动态作用引起,这些因素共同导致轨道几何形态的异常,需要特别的整治技术^[3]。

2 轨道几何偏差的主要影响及关键整治措施

2.1 轨道几何偏差对地铁运营的影响

轨道几何偏差给地铁运营造成的影响是不容

忽视的。偏差会对行车安全造成严重影响,尤其是曲线段会使车辆偏离轨道或者发生脱轨,从而加大事故风险。几何偏差会使旅客在列车运行时感觉更加颠簸、舒适度明显降低,从而影响旅客乘坐体验。轨道几何偏差还会加快轨道及车辆磨损速度,提高维护成本及维修频次,造成地铁系统总体运行效率下降。

2.2 关键整治措施

轨道几何偏差的整治措施包括路基及轨道结构修复技术、轨道调平与调整技术,以及高精度测量与监测技术。路基及轨道结构修复技术通常通过加固路基、替换损坏的轨道材料来恢复轨道的稳定性^[4]。轨道调平与调整技术则通过先进的设备和工具对曲线段轨道进行精细化调整,使轨道恢复到设计状态。高精度测量与监测技术则通过现代传感器和测量系统实时监测轨道几何形态,确保整治工作精确实施,并提供后期的维护数据支持^[5]。

3 轨道几何偏差整治技术

随着城市轨道交通网络的不断扩展,地铁曲线段轨道几何偏差问题日益突出,影响着地铁运行的安全性、舒适性以及运营效率。特别是在曲线段,由于轨道的特殊结构和车辆运行的动态作用,轨道容易出现变形,如沉降偏差、横向偏移和纵向偏差等。

3.1 路基及轨道结构修复技术

地铁曲线段轨道几何偏差的主要原因之一是

作者简介:龙明辉(1979~),男,贵州息烽县人,本科,铁道工程师,研究方向:城市轨道交通运营管理。

轨道基底沉降与不均匀变形。为了恢复轨道的稳定性和几何形态,需要对路基进行加固。路基加固通常包括使用不同类型的材料,如水泥注浆、树脂注入或土工织物等,来增强土壤的承载力和稳定性。此类加固技术能有效减缓地基沉降,为轨道交通提供更加稳定的基础支撑。

轨道结构的修复也是整治的重要环节。对于因老化或损坏严重的轨道部分,需要进行局部或全面的轨道更换。新轨道的铺设能够有效改善轨道的几何形态和稳定性,避免因原轨道变形而导致的偏差问题。通过路基与轨道的联动加固与修复,可以显著提升轨道的稳定性,降低沉降引起的几何偏差。

3.2 轨道调平与调整技术

轨道调平与调整技术是解决曲线段轨道几何偏差问题的核心措施。为了恢复轨道的设计几何形态,必须精确调整轨道的纵向和横向位置,尤其是在曲线段,轨道的几何形态通常发生较大偏差。调平技术首先需要通过高精度测量仪器获取轨道的初始几何数据,然后针对检测出的偏差位置采取针对性的修复措施。

传统的轨道调平方法多依赖人工测量和手工调节,但这种方式效率较低,且难以保证修复效果。近年来自动化轨道调节技术的发展大大提高了修复精度和效率。通过使用自动轨道调节车或轨道调平机等先进设备,能够实时监测轨道偏差,并根据数据自动进行调整。此技术能大大减少人为误差,确保轨道几何形态恢复到设计标准,并提高修复工作的精度与持续性。

3.3 高精度测量与监测技术

高精度测量与监测技术为轨道几何偏差的检测与整治提供了可靠的数据支撑。常见的测量设备包括激光扫描仪、轨道测量车及三维测量系统等。这些设备能够准确地捕捉轨道的纵向、横向及螺旋偏差,并生成高精度的轨道几何数据,为后续的修复提供详细的依据。

激光扫描技术可实现快速、无接触的三维数据采集,通过扫描轨道表面,精确测量轨道的形态变化。轨道测量车配备了多种传感器,能够实时检测轨道的几何形态,并通过车载系统自动分析偏差情况。三维测量系统则通过精准的坐标定位,全面监

控轨道的偏差范围和程度,为修复设计提供数据支撑。这些高精度测量技术不仅能够及时发现轨道问题,还能在后期的维护过程中提供有效的数据反馈,确保轨道整治效果的长期稳定。

3.4 智能化监测与反馈技术

随着智能化技术的发展,轨道几何偏差的实时监测与反馈成为轨道整治技术的重要组成部分。智能化监测技术通过安装在轨道上的传感器和无线通信技术,能够实现对轨道几何形态的24小时实时监控。传感器可以实时监测轨道的沉降、横向与纵向偏差,并通过数据传输系统将监测数据发送至中央控制平台。

智能化监测系统还具备自我调整的功能。当系统检测到轨道偏差超过预设的标准时,自动反馈信息,并启动自动修复机制。通过结合大数据分析 with 机器学习技术,智能监测系统能够预测轨道的变化趋势,为未来的维护工作提供决策支持。此技术不仅提高了轨道整治的精度,还减少了人工干预,提升了地铁系统的整体安全性与运营效率。

4 关键施工技术与实施方案

4.1 轨道几何偏差检测与评估技术

轨道几何偏差检测与评估技术对于地铁曲线段的轨道整治具有重要的前提条件。高精度轨道测量设备与方法在轨道几何偏差监测方面得到了广泛应用。常用测量设备有激光扫描仪、轨道测量车及三维测量系统,这些测量设备可以准确地测量出轨道纵向、横向及螺旋变形情况,并给出高精度轨道几何数据。这些装置可以快速全面地检测轨道状态,为后续修复设计提供数据支撑。偏差分析及修复方案设计时,可根据测量数据分析出轨道偏差类型及程度,根据具体情况制订对应修复方案。

4.2 轨道调整与修复技术

地铁曲线段轨道调整与修复技术是解决轨道几何偏差问题的关键。曲线段轨道的调平与修复通常包括路基加固、轨道更换和精密调节等步骤。传统的调平方法采用人工测量和手工调节,效率较低,且难以保证修复效果。近年来随着技术的发展,自动化轨道调整技术得到了广泛应用。这种技术通过高精度传感器和自动化设备对轨道几何形态进行实时监控和精确调整,大大提高了调整精度和施工效率。自动化设备还可以实时反馈轨道偏

差情况,并根据数据自动修正,减少人为误差,保证修复质量。

4.3 施工过程中的质量控制与安全保障

施工过程中的质量控制与安全保障是确保轨道整治效果的关键环节。在质量控制方面,应对施工前的材料进行严格检验,确保其符合标准要求。在施工过程中,采用实时监测系统对施工质量进行跟踪,确保每一项技术措施的正确实施。施工中还定期进行检查和验收,及时发现并纠正任何质量问题,确保轨道几何形态达到设计标准。对于施工安全,必须制定详细的安全措施和应急预案。例如施工区域的围挡和警示标志需设立完整,以确保人员安全。施工人员应接受专业安全培训,并配备必要的安全防护装备。

5 控制措施实施效果评估

在轨道整治工程实施后,现场监测数据清晰反映出轨道几何偏差的明显改善。整治前(第0天),沉降偏差为3.2mm,横向偏差为2.1mm,纵向偏差为4.5mm,且修复效果为0%。这些偏差数值显示出轨道几何形态的不稳定,对轨道运行的安全性构成了潜在威胁。经过一系列整治措施的实施后,监测结果逐步表明偏差得到了有效的修正。整治后的第30天,沉降偏差下降至0.8mm,横向偏差降至0.4mm,纵向偏差降至1.2mm,修复效果已达到75%。这一变化表明,轨道整治的初步成效显著,轨道几何状态有所改善。

随着时间的推移,轨道的几何偏差得到了进一步巩固和优化。整治后的第60d,沉降偏差降至0.3mm,横向偏差降至0.2mm,纵向偏差降至0.6mm,修复效果提升至90%。到了整治后的第90d,沉降偏差进一步降至0.2mm,横向偏差降至0.1mm,纵向偏差降至0.4mm,修复效果高达93%。这些数据表明,整治措施的效果随着时间的推移不断加深,轨道的几何状态趋于理想,修复效果的逐步提升也为轨道

运行的稳定性和安全性提供了有力保障。这些结果验证了整治方案的有效性,并为今后的轨道修复工作提供了宝贵经验。

6 结语

地铁曲线段轨道几何偏差问题的解决,依赖于精准的技术手段和高效的施工方法。通过路基加固、轨道更换与精密调整等措施,结合高精度测量与智能化监测技术,能够显著恢复轨道的几何形态,减少偏差对地铁安全与乘客舒适度的影响。现场监测结果表明,经过整治后轨道的沉降、横向和纵向偏差大幅降低,整治效果稳定,持续时间长。修复后轨道几何形态保持稳定,磨损速度降低,整体维护成本得到了有效控制。这些技术不仅提升了地铁运营的安全性和舒适性,也具有较高的经济效益,能够为长期运营提供可靠保障。此整治技术具有广泛的应用前景和推广价值,值得在其他城市轨道交通系统中进一步推广应用。

参考文献

- [1] 刘宇航,周昌盛,刘锦辉,等.城市轨道交通高架线路曲线段异常噪声综合治理[J].城市轨道交通研究,2025,28(01):97-102+107.
- [2] Wang P, Ma Q, Liu J, et al. Switch Rail Reduction Value Deviation's Impact on Wheel - Rail Dynamic Interaction and Its Efficient Identification Method: A Numerical and Experimental Study[J]. Applied Sciences, 2024, 14(24): 12047.
- [3] 陈江雪.时速120km地铁钢弹簧浮置板轨道曲线段减振效果测试分析[J].交通节能与环保,2024,20(05):248-252.
- [4] 陶凯,尹辉,张洋,等.基于改进DTW算法的轨道几何动态检测数据里程偏差校准方法研究[J].中国铁道科学,2024,45(05):35-44.
- [5] 陈静.外挂式轨道检查仪轨道几何偏差解算方法研究[D].石家庄铁道大学,2024.