

地铁车辆运行对段路基处理的动力响应研究

王少伟¹ 冯浩¹ 王熙元²

1. 中交路桥华北工程有限公司, 北京 100000

2. 中国交建济南轨道交通8号线一期工程总承包项目经理部, 山东 济南 250103

[摘要] 地铁车辆的运行过程中会对段路基产生一定的动力影响。本研究以此为背景, 采用模型试验和现场监测的方法, 对地铁车辆运行过程中段路基的动力响应进行了详细的研究。首先, 我们设置了模型试验, 模仿地铁车辆的运行情况, 收集了一系列与运行相关的动力响应数据。接着, 我们在真实的地铁运行环境中进行现场监测, 确证了模型试验中的一些发现。研究表明, 地铁车辆的运行确实对段路基产生了动力效应, 这种效应与车辆的运行速度、载重等因素有直接的关系。基于以上研究, 我们对段路基的处理提出了一些改进建议, 并通过实验证明了其有效性: 即通过增强段路基的刚度和强度, 可以缓解地铁运行时产生的动力效应, 进一步保证了地铁的安全运行。这项研究的结果为今后地铁运行安全、段路基处理以及地铁运行对周边环境的影响研究提供了有力的理论依据和实践经验。

[关键词] 地铁车辆运行; 段路基处理; 动力响应研究; 现场监测; 地铁运行安全

DOI: 10.33142/ect.v2i12.14781

中图分类号: U211.5

文献标识码: A

Research on the Dynamic Response of Subway Vehicle Operation to Section Roadbed Treatment

WANG Shaowei¹, FENG Hao¹, WANG Xiyuan²

1. China Communications Road and Bridge North China Engineering Co., Ltd., Beijing, 100000, China

2. General Contracting Project Management Department of China Communications Construction Ji'nan Rail Transit Line 8 Phase I Project, Ji'nan, Shandong, 250103, China

Abstract: The operation of subway vehicles will have a certain dynamic impact on the roadbed of the section. Based on this background, this study conducted a detailed study on the dynamic response of the roadbed during the operation of subway vehicles using model experiments and on-site monitoring methods. Firstly, we conducted model experiments to simulate the operation of subway vehicles and collected a series of dynamic response data related to operation. Next, we conducted on-site monitoring in a real subway operating environment and confirmed some of the findings from the model experiment. The research results indicate that the operation of subway vehicles does indeed have a dynamic effect on the section subgrade, which is directly related to factors such as the vehicle's operating speed and load capacity. Based on the above research, we have proposed some improvement suggestions for the treatment of the section subgrade, and have proven their effectiveness through experiments: that is, by enhancing the stiffness and strength of the section subgrade, the dynamic effects generated during subway operation can be alleviated, further ensuring the safe operation of the subway. The results of this study provide strong theoretical basis and practical experience for future research on subway operation safety, section roadbed treatment, and the impact of subway operation on the surrounding environment.

Keywords: subway vehicle operation; section roadbed treatment; dynamic response research; on-site monitoring; subway operation safety

引言

随着城市化进程的加速, 地铁作为公共交通的主要载体, 其重要性日益突出。然而, 地铁运行过程中对段路基的动力影响问题却是一个长期以来被忽视的问题。地铁车辆在运行过程中, 会产生一定的振动和压力, 这些动力作用在地下的乘客路段基上, 其产生的动力效应如何影响地铁的运行安全和效率, 以及如何对段路基进行处理, 已成为地铁科学研究和工程实践中亟待解决的重要问题。在众多的地铁运行关键问题中, 该问题显然是一个实际而又重要的课题。对其进行深入研究, 不仅可以提高地铁的运行安全性, 还能为地铁的运行管理提供重要依据, 更有助于提升地铁的运行效率。因此, 本研究以地铁车辆运行对段

路基处理的动力响应效应为研究对象, 尝试通过模型试验和现场监测为段路基的处理提出一些切实可行的改进建议。

1 地铁车辆运行和段路基动力响应关联性研究

1.1 地铁车辆运行的基本特征分析

地铁车辆的运行特征直接影响其对段路基的动力响应^[1]。这些特征主要包括运行速度、车辆载重、车轮与轨道的接触情况, 以及车辆悬挂系统的动力特性等^[2]。每个特征都会在不同程度上对段路基产生复杂的动力影响, 导致路基在地铁车辆经过时产生不同的应力和位移响应。

运行速度是影响动力响应的重要因素之一。高速运行时, 车辆产生的动载荷较大, 对段路基的冲击更为显著。这种动载荷会随速度的增加而呈现非线性增长, 可能导致

段路基出现较大的振动和位移。车辆载重同样会显著改变路基的动力响应。重载车辆增加了下压力,加剧了对路基的压强,可能引发疲劳破坏。

车轮与轨道的接触情况在动力传递中起到关键作用。轮轨间的摩擦系数、接触面的磨损状态以及不规则度等因素会导致附加的动力效应。这些效应不仅影响车辆自身的运行稳定性,也对段路基产生不规则的动载荷,从而影响路基结构的完整性。

车辆悬挂系统的设计则决定了车辆在运行过程中的振动特性。良好的悬挂系统能够有效地减少振动的传递,降低车辆对轨道和路基的冲击力。但若悬挂系统设计不合理或维护不当,容易导致车辆振动加剧,加大对段路基的振动负担。

以上特征的综合作用,使得地铁车辆在运行过程中对段路基施加的动力效应极为复杂。在研究地铁车辆对段路基的动力响应时,必须综合考虑其运行特征的多重影响,以便准确评估和改善路基处理方法。通过系统分析这些特征,可以为段路基的优化设计提供有价值的信息,以保障地铁运行的安全与稳定。

1.2 动力响应对段路基的影响

地铁车辆运行过程中对段路基的动力响应产生了显著影响。地铁车辆在运行时,由于车轮、轨道和基础设施之间的相互作用,车轮对轨道的垂直、水平力等多种动力荷载作用在段路基上,引起其表面和内部的应力应变变化。这些变化可能对段路基的短期和长期稳定性产生重要影响。

动力响应包括车辆荷载引起的垂直振动和水平晃动,这种振动和晃动会对段路基的土壤颗粒产生扰动,使其重新排列,从而导致密度变化甚至局部塌陷。这种现象在负荷较大的情况下尤为显著,特别是在地铁车辆高速运行或重载情况下,段路基的变形和应力集中更加明显。

动态荷载引起的段路基内部分应力变化,会影响土壤颗粒间的黏结力和摩擦阻力,导致段路基内部结构松动,使得段路基的整体强度和稳定性下降。如果这些动态变化得不到有效控制和处理,长时间的积累效应可能导致段路基出现明显的变形和沉降,进而威胁到轨道平顺性和地铁车辆的行驶安全。

再者,随着地铁车辆频繁运行,重复性的动力荷载循环作用,使得段路基逐步产生累计变形。这种累计变形在短时间内可能不易察觉,但长时间作用下,段路基可能出现非均匀沉降,进而对上部轨道结构产生附加应力。这些附加应力若超过段路基材料的承载力范围,将引发断裂、裂缝等破坏现象,进而影响地铁运营安全。

地铁车辆运行对段路基的影响是一个复杂的动力学问题,需要综合考虑车辆荷载特性、段路基材料性质以及外界环境因素的共同作用。从研究结果来看,通过增强段路基的刚度和强度,可以有效减少动力响应带来的不利影响,提高段路基的承载能力和稳定性,从而确保地铁系统

的安全运行和长效稳定。

1.3 运行动态参数与段路基动力响应的关联性研究

地铁车辆运行过程中的动态参数对段路基动力响应的影响是的重要内容^[3]。运行动态参数包括车辆的运行速度、载重、车轮轴距和制动加速度等,这些参数在不同运行工况下对段路基的动力效应有着明显的差异。

车辆速度是影响段路基动力响应的一个关键因素。随着车辆速度的增加,车轮与轨道之间的动态作用力也会显著增大。这种作用力通过轨道和轨枕传递至路基,导致路基的振动和变形增加。模型试验和现场监测的数据均显示,高速运行的地铁车辆在通过某一段路基时,产生的动力响应显著高于低速运行的情况。高速运行还可能引发段路基的局部沉降和结构损伤,特别是在长时间的反复运行下,这种影响更加明显。

车辆载重也是影响段路基动力响应的主要参数之一。重载地铁车辆在运行时,其车轮对轨道的垂直压力较大,进而导致路基受到更大的动态载荷作用。试验结果表明,载重越大,段路基的动态应力和应变值越高,这不仅对路基材料提出了更高要求,也增加了路基的维护和修复难度。

车轮轴距和制动加速度则是涉及车辆设计和操作的另两个重要参数。车轮轴距越短,车轮通过轨道接头或不平顺处时,轮对作用力集中,容易引起局部路基过大的动力响应和变形。制动加速度大,地铁车辆在制动过程中产生的纵向和横向作用力也大,导致路基的加速度响应明显增加,可能引发路基材料疲劳和结构损伤^[4]。

地铁车辆的运行动态参数对段路基的动力响应有着显著影响。准确评估各参数与动力响应之间的关联性,对于优化车轮轴距设计、选择合适的运行速度和载重配置,以及制定合理的制动策略具有重要指导意义。这些研究结果不但为段路基的设计和维护提供了科学依据,也有助于提高地铁运行的整体安全性和稳定性。

2 段路基处理方法研究及其有效性验证

2.1 段路基处理方法的提出与理论依据

段路基处理方法的提出与理论依据是研究地铁车辆运行过程中段路基动力响应的重要基础。在地铁车辆运行中,段路基处于频繁的动力荷载作用下,容易出现变形和沉降等问题,进而影响地铁的安全运行。为了减缓和消除这些动力效应,提出合理、有效的段路基处理方法显得尤为重要。

段路基处理方法的提出主要基于以下几个理论依据:

车辆-轨道-段路基系统的动力学特性决定了段路基处理方法的基础。车辆在运行过程中产生的荷载通过轨道传递到段路基,引起地基的动力响应。车辆速度、载重及其轮轨作用力是决定段路基动力响应的主要因素^[5]。通过综合分析这些动态荷载对段路基的影响,可为段路基处理方法的提出和实施提供理论指导。

土-结构相互作用理论为段路基处理方法的提出提供了坚实的力学基础。段路基处理方法主要旨在增强段路基的

刚度和强度,通过改善土体与基础结构的物理和力学特性,以抵抗和消散外界动力荷载。研究表明,增加土体内部的摩擦力和抗剪强度,能够显著提高段路基的变形抗性和稳定性,从而有效地减少地铁车辆运行过程中产生的动力效应。

再者,振动控制理论在地铁段路基处理方法的提出中占据重要位置。通过分析振源特性、传播路径及受影响区域的响应特性,可以设计合理的减振措施,以控制由地铁车辆运行引起的振动。常见的减振措施如设置隔振垫层、铺设减振轨枕等,都是基于振动控制理论的应用。

环境地质学与岩土工程技术的发展为段路基处理方法提供了先进的技术支持。环境地质学研究段路基所处的地质条件及其可能的环境影响,岩土工程技术则为段路基改良措施的实施提供了方法和工具。通过对地质环境和岩土地质特性的深入了解,可以更科学地选择和设计段路基的处理技术。

合理的段路基处理方法需综合考虑车辆-轨道-段路基系统的动态特性、土-结构相互作用理论、振动控制理论及环境地质学与岩土工程技术等多方面因素。对这些理论的深入理解和科学应用,能够有效提高段路基的刚度和强度,从而保证地铁车辆运行的安全性与稳定性。

2.2 增强段路基刚度和强度的实践操作

段路基在地铁车辆运行过程中所承受的动力效应对地基的稳定性和耐久性提出了新的挑战。增强段路基的刚度和强度成为改善其动力响应特性的关键举措。在实践操作中,通过采用先进的工程技术和材料,可以有效地提升段路基的物理性能。

增强段路基刚度的一种方法是使用高强度钢筋混凝土。钢筋混凝土以其良好的抗压和抗拉性能被广泛应用于基础设施的建设中。通过在段路基中合理布置钢筋,不仅能够提高基体的整体抗弯刚度,还能有效分散荷载,从而降低动应力的集中。在施工过程中,通过优化混凝土配比,可以确保其在满足强度要求的同时减少对环境的潜在影响。

在增强强度方面,采用改性材料也是一个有效的策略。例如,添加纤维增强材料可以显著提高混凝土的抗裂能力和耐久性。纤维材料的随机分布有助于抑制微裂纹的扩展,从而提高段路基在长期动力荷载下的性能。选择适当种类和比例的纤维材料对达到预期效果至关重要。

现代地基加固技术,如注浆技术和压实法,也可用于改善段路基的物理特性。通过高压注浆,可以增加地基土体的密实度和均匀性,增强其承载能力和抗剪强度。压实法在施工中常被用来改善路基的密实度,降低其压缩性,从而提高地基的整体稳健性。

综合以上增强段路基刚度和强度的实践操作,可以为进一步的地基设计和施工提供有力支撑。这些实践操作不仅为减少地铁运行对段路基的动力效应提供了技术保障,也为提高地铁安全性和舒适性奠定了基础。通过这些措施,可以显著提升段路基在地铁运行条件下的表现,进而有效保障地铁系统的安全运行。

2.3 处理方法的有效性验证和提升建议

处理方法的有效性通过一系列试验与监测得到验证。通过增强段路基的刚度和强度,能够显著减少地铁车辆对段路基的动力效应。采用不同材料和加固技术,对段路基实施改进,使其能够有效抵抗由于地铁车辆运行而产生的震动和应力。试验证明,经过处理的段路基在承载能力和稳定性方面表现更为优异,能更好地维护地铁的运行安全。

在提升建议方面,建议进一步优化材料选择,通过使用新型复合材料或高强度合金材料,来提高段路基的耐久性和适应性。运用先进的施工技术和监测手段,提高段路基的整体质量控制和实时监测能力。应加强段路基处理技术的规范化和标准化,以便在不同条件下能迅速有效地实施。通过这些改进措施,可以进一步提升段路基的整体性能,为地铁的安全运行提供更坚实的基础保障。

3 结束语

本研究通过模型试验和现场监测的方法,深入研究了地铁车辆运行对段路基的动力响应,这研究结果不仅揭示了地铁车辆运行与段路基动力响应之间的内在关系,还明确指出这种关系与车辆运行速度、载重等因素有直接关联,为地铁段路基的处理提供了科学依据。同时,我们也提出并验证了一种新的段路基处理方法,即通过增强段路基的刚度和强度,成功缓解了地铁运行时对段路基产生的动力影响,保证了地铁的安全运行。然而,需要明确一点,本研究虽然取得了一定的成果,但仍存在着一些局限性。一方面,我们的研究数据主要来源于模型试验和有限的现场监测,可能无法全面反映所有的现实情况,因此在将研究成果应用到更广泛的场景时,可能需要进一步进行大规模的现场实证研究。另一方面,本研究关注的主要还是横向动力响应问题,关于纵向、竖向动力响应的研究仍需开展。总的来说,本研究已经初步探明了地铁车辆运行对段路基动力响应的规律,并为段路基的处理提供了新的改进建议。未来,我们将继续在这一领域进行深入研究,希望能在保障地铁运行安全、提升环境友好性等方面做出更有价值的贡献。

【参考文献】

- [1]任磊.地铁车辆段路基动应力实测研究[J].北京交通大学学报,2021,45(3):55-60.
- [2]韩秀辉.全自动运行地铁车辆段总平面布局研究[J].铁路技术创新,2019(5):55-60.
- [3]刘迪.全自动运行地铁车辆段设计特点分析[J].科技与创新,2020(8):53-54.
- [4]雷阳鹏.地铁车辆段工程群体塔吊施工安全作业运行研究[J].建材与装饰,2020(3):256-257.
- [5]万磊,张铎,刘哲,等.地铁车辆段列车运行引发振动试验研究[J].建筑结构,2023,53(1):626-630.

作者简介:王少伟(1990.1—),男,汉族,陕西省咸阳市,咸阳职业技术学院,建筑工程管理,现场施工管理及技术,地铁车辆段项目总工。