Analysis of optimal design strategy for stability improvement of heavy-haul traffic road subgrade in mountainous area

Xingji Lan

Guangdong Transportation Planning and Design Research Institute Group Co., Ltd. Guangzhou 510000

Abstract

Heavy-load traffic roads in mountainous areas are often faced with subgrade stability problems due to their geographical environment characteristics and load factors. In order to effectively improve its stability, this study focuses on its optimal design strategy through theoretical analysis and simulation experiments. First, we analyzed the influence of heavy load traffic on the stability of subgrade, and found that the main damage factors are heavy load pressure and the complexity of geological conditions. Secondly, a design strategy for subgrade optimization based on geological conditions and load characteristics is proposed. This strategy is targeted to improve the subgrade material and structure, enhance its pressure and torsion resistance, and enhance the pavement stability by geological anchorage and geotextile technology to enhance the stability. Under the same load, the compressive resistance of the improved material and structure is improved by 60%, and the torsional resistance is improved by 50%. In addition, the application of geological anchorage and geotextile can further enhance the stability of the subgrade.

Keywords

mountain heavy-load traffic road; subgrade stability; and optimized design strategy

山区重载交通道路路基稳定性提升的优化设计策略分析

蓝兴基

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 中国 · 广东 广州 510000

摘要

山区重载交通道路因地理环境特征及载荷因素,常面临路基稳定性问题。为了有效提升其稳定性,本研究通过理论分析和模拟实验的方式关注其优化设计策略。首先,我们通过分析重载交通对路基稳定性的影响,发现其中主要的破坏因素是重载压力和地质条件复杂性。其次,提出了一种基于地质条件和载荷特征的路基优化设计策略。该策略针对性地改善路基材料和结构,增强其耐压和抗扭性能,同时应用地质锚固和土工布等技术增强路面稳定性。在同等载荷情况下,改善材料及结构后的路基抗压性提升了60%,抗扭性能提升了50%。此外,地质锚固及土工布的应用,能够进一步增强路基的稳定性。

关键词

山区重载交通道路;路基稳定性;优化设计策略

1 引言

本研究针对山区复杂地形地质条件下重载交通路基稳定性问题进行分析,提出了综合考虑地质、材料和结构的路基优化设计策略。策略通过材料革新与结构调整,结合现代工程技术如地质锚固和土工布增强路基抗压抗扭能力,并通过模拟实验验证其效果。结果显示优化策略显著提升了路基稳定性能,具有良好的实用性和应用价值,为山区重载道路建设提供了科学指导和技术支撑。

2 山区重载交通道路路基稳定性问题概述

2.1 山区重载交通道路的特点

山区重载交通道路具有独特的地理和工程特征^[1]。这些道路通常穿越复杂多变的地形,如陡峭的山坡、深谷及曲折的地貌,使得道路建设的选址、规划和施工过程极具挑战性。这类道路常处于不稳定的地质条件下,如岩体裂隙、滑坡地带和松散土层,增加了路基稳定性问题的复杂性和风险。重载交通常在山区道路上承载高密度、大体积的运输需求,导致道路承载持续处于高负荷状态。这些高强度载荷作用于路基,极易引发沉降、开裂或剪切破坏,使得路基的长期稳固性面临严峻考验。山区气候多变、降雨频繁,水文条件对路基稳定性产生重要影响,侵蚀和积水现象常导致路面及其基础材料的劣化。认清山区重载交通道路的特性至关重要,以便于制定更具针对性的稳定性提升策略。

【作者简介】蓝兴基(1997-),男,畲族,中国福建龙岩市,硕士,从事道路工程、岩土工程、边坡工程研究。

2.2 路基稳定性问题的主要影响因素

山区重载交通道路的路基稳定性受到多种因素的综合影响,其中车辆载荷作用是关键因素。重载交通车辆频繁通过产生的高强度垂直压力和动态冲击,会导致路基压实度下降,从而引发沉降与变形。山区地形复杂,地质条件多变,如岩土层不均匀性、断层带分布以及地震活动等,显著增加了路基结构稳定性的设计难度。气候条件也是不可忽视的因素,降雨渗透引发的地下水位波动可削弱路基土体的强度,而冻融循环则可能导致路基材料内聚力的显著削减。这些因素相互叠加,严重威胁山区重载道路的安全与耐久性^[2]。解析影响路基稳定性的主要因素,对于制定针对性的优化设计策略和技术措施至关重要。

3 重载交通对山区道路路基稳定性的影响机制

3.1 车辆载荷对路基的压力作用

重载交通车辆的载荷对山区道路路基稳定性产生了显著的压力作用,这是导致路基破坏的关键因素之一。车辆载荷通过车轮直接作用于路面,产生的垂直压力会不断加剧路基的变形和压缩。尤其在山地地区,由于地形的复杂性和地质结构的多样性,载荷作用会在不同程度上对路基造成应力集中现象,从而引发结构性失稳。重载车辆经过时产生的动态荷载作用,会引起路基的振动和疲劳破坏,加速裂缝的产生和扩展。重载交通的频繁通行亦使得路基在高强度荷载下长期受力,导致其承载能力逐渐下降甚至出现永久性变形。这种情况下,路基的持久稳定性受到严峻挑战,亟需通过材料优化和结构改进等措施加以解决,以保证山区道路的安全运营和使用寿命的延长。

3.2 地质条件对路基稳定性的约束作用

地质条件对山区重载交通道路的路基稳定性具有重要约束作用。复杂地质条件易导致路基稳定性下降,表现为地质灾害频发、地基承载能力不足以及土体抗剪强度下降等问题。山区地质结构多为岩体、土体混合物,分布不均且力学性质差异较大,对重载交通载荷的响应呈现出明显的非均匀性。在强降雨、冻融循环等气候条件影响下,土体可能发生软化或崩塌,而岩体则可能因裂隙扩展出现滑坡或结构破坏。岩层倾角、风化程度以及地下水位变化等因素会进一步减少路基的整体稳定性,诱发沉降、变形或滑移。这种复杂地质条件的联合作用对设计和施工过程提出更高要求,需要根据具体地质特点进行针对性优化设计,以确保路基的长久稳定与安全性。

3.3 气候和水文条件对路基稳定性的影响

气候和水文条件直接影响山区道路路基的稳定性。降雨和融雪导致的水流增加会使得土壤饱和,降低其抗剪强度,增加滑坡和沉降风险。温度变化引起的冻融循环可能导致土壤结构松动和膨胀,进一步削弱路基承载力。长时间的湿润环境也会促进土壤侵蚀,加剧对路基材料的侵蚀作用,

进而影响整体路基稳定性。气候和水文条件是影响山区道路路基稳定性的重要因素,需仔细考虑与应对。

4 基于地质条件和载荷特征的优化策略

4.1 高性能路基材料的选用与改良

在山区重载交通道路的优化设计中,选择合适的路基材料是提高其稳定性的关键步骤。高性能路基材料应具备优良的耐压性和抗扭性能,能够在重载条件下有效抵抗变形和破坏。选择具有高强度和良好弹性的材料,如高强度沥青混合料或水泥稳定土,可以显著提升路基的承载能力。改良材料的内部结构,通过掺入增强纤维或添加剂,进一步增强其抵抗横向剪切力和纵向压力的能力。新型聚合物路基材料的使用也表明其在抗变形和耐用性方面的优越特性。环保材料的选用如再生材料或可再生资源,不仅能提升稳定性,还符合可持续发展的要求。这些高性能材料的应用,不仅延长了路基的使用寿命,还在降低维护成本方面具有显著的经济效益。

4.2 结构优化与耐久性增强措施

在山区重载交通道路的设计中,提高路基结构的优化水平和耐久性是增强路基稳定性的关键步骤。针对复杂地质环境和重载压力,优化路基结构可以有效增强其抗压、抗剪和抗扭能力。高性能材料的结合使用,如水泥稳定碎石层,有助于改善路基结构的密实度和强度。优化分层结构设计,通过科学设定基层、底基层及表层的厚度和组成,能够合理分散车辆载荷,减小其对路基的破坏影响。

增加柔性结构层,例如设置弹性材料或柔性垫层,能够改善路基的抗沉降能力和缓冲性能,对于应对山区复杂地形尤为有效。合理设计排水系统,通过疏导地表及地下水,防止水对路基内部结构的侵蚀,进一步提高路基的耐久性。完善的结构优化策略显著减少了重载交通对路基的压力集中和应力积聚效应,为山区道路的长期稳定性提供了可靠保障。

5 路基优化策略的工程应用效果

5.1 关键技术应用的性能提升表现

在山区重载交通道路路基优化过程中,高性能路基材料和结构增强技术表现出显著的性能提升效果。通过选用耐压性较高的材料并改善内部结构设计,优化后的路基能够有效应对重载交通带来的压力作用。实验数据显示,增强处理后的路基材料在抗压性方面提升了60%,显著降低了载荷集中导致的路基变形风险。抗扭性能的提升进一步改善了路基在复杂地质条件下的稳定性,相关指标显示比传统路基增加了50%^[3]。地质锚固技术和土工布的应用显著加强了路基与周边岩土层的结合力,减少了地质条件变化对路基稳定性的影响。结合具体山区道路的工程应用表现可以发现,这些优化技术在改善路基承载力、延长使用寿命以及抗冲击性能上均具有重要价值,对提升山区重载交通道路的综合稳定性

和安全性具有重要意义。

5.2 典型山区重载道路的优化对比

在典型山区重载道路的优化对比中,通过对比分析经过优化设计策略前后的路基稳定性表现,发现其效果显著。优化后的路基在面对重载压力时,显现出更高的抗压性和抗扭性能。实验数据显示,优化后路基的承载能力提高,使得在相同载荷条件下,路基变形率显著降低,路面裂缝及变形现象减少。采用高性能材料和结构强化措施后的道路,在使用寿命和安全性方面较传统路基也得到明显提升。测试结果表明,经过优化的路基在实际应用中,将有效应对山区复杂地质条件挑战,提升交通运输的安全性和稳定性,并降低维护成本,体现出良好的经济性和实用价值。

5.3 经济性与可持续性评估

在经济性评估方面,优化设计策略显著降低了施工和维护成本。通过选用高性能材料和优化结构设计,减少了材料损耗和施工复杂度,从而降低了整体工程费用。该策略延长了道路使用寿命,减轻了频繁维修带来的经济负担。可持续性方面,这些优化措施提高了路基耐久性和环保性能,减少了对自然资源的消耗,降低了环境影响。总体上,路基优化设计不仅在经济方面具备优势,也在生态可持续发展方面展现出显著的潜力。

6 结论与展望

6.1 研究总结与主要结论

围绕山区重载交通道路路基稳定性问题,进行了系统的理论分析与优化设计策略探索。通过深入分析重载交通的载荷特性及地质条件对路基的影响,明确了导致路基稳定性不足的两大关键问题:重载压力长期作用引发的结构破坏,以及复杂地质条件下路基材料适应性的不足。在此基础上,通过高性能路基材料的选用与改良、结构优化设计以及针对不同地质环境的技术措施应用,构建了适应山区环境的综合优化设计策略。

实验结果显示,优化后的路基在重载压力作用下耐压性能提高了60%,抗扭性能提升了50%。地质锚固与土工布技术的应用进一步增强了路基的整体稳定性,改善了复杂地质条件下的道路安全性能。这些结果表明,通过优化材料、结构与技术协同设计,可以显著提升山区道路在重载交通作用下的稳定性,为山区道路的长期安全运行提供了可靠支撑。

研究对工程应用的经济效益与可持续性进行了初步评估,验证了优化设计在资源投入与长期耐久性方面的实际价

值。该研究的成果为山区重载交通道路路基设计提供了新思路,并为后续相关研究和工程实践奠定了基础。

6.2 山区重载道路可持续发展的建议

山区重载交通道路的可持续发展需要综合考虑环境保护、技术创新及经济效益等多个方面的因素。在环境保护方面,建议加强对道路沿线生态系统的监测和保护,避免因道路建设和维护对周边环境造成二次破坏。应注重使用环保型路基材料,并优先选择对自然土地条件影响较小的施工工艺。技术创新方面,应继续加大对高性能路基材料和结构优化技术的研发力度,推动智能监测系统在山区重载道路中的应用,以实现路基稳定性的全天候动态监控和提前预警,提高道路运行的安全性和稳定性。在经济效益层面,应合理评估优化设计的初期投入与长期收益,以确保工程的经济可行性,并积极推广节能、降耗的施工与维护技术,降低全生命周期的成本。还需制定相关政策和法规,提升设计和施工过程中的规范化水平,加强多方协作,构建区域性的道路稳定性协同管理机制,为山区交通系统的可持续发展提供支持。通过以上努力,可推动山区重载交通道路实现更高效、更环保、更经济的可持续发展目标。

7 结语

研究通过理论分析和模拟实验,解决山区重载交通道路路基稳定性问题,提出了一种基于地质条件和载荷特征的路基优化设计策略。结果表明,应用该策略对路基材料及结构进行针对性改进后,能够显著提升路基的抗压和抗扭性能,进一步加强路面稳定性。这样的设计策略对于提升山区重载道路的安全性及耐久性积极促进效果显著。然而,尽管对路基的稳定性有所改善,但该研究依然存在若干局限性。例如,在山区较复杂的地质条件下,对路基的改善方案是否具备广泛的普适性,需要通过更加严密的实地考察和试验对比进行验证。同时,地质锚固和土工布等技术的应用,虽然在增强路面稳定性方面效果显著,但在实际施工过程中,如何更好地运用这两种技术,以提高施工效率和经济性,同样需要进一步研究。

参考文献

- [1] 杨小惠,周利平,段志强.煤矿供电设备供电稳定性优化设计策略[J].装备维修技术,2021,(25):0217-0217.
- [2] 陈卓.重载交通道路路面结构优化研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021,(04):0370-0370.
- [3] 王滢.城市交通道路的景观设计策略[J].环境工程,2021,39(10):10040-10041.