

公路边坡稳定性分析与加固技术研究

高俊恩

信怡路桥, 中国·山西 忻州 034200

摘要: 论文围绕公路工程中边坡稳定性问题展开探讨, 重点分析了边坡稳定性评估方法与加固技术的实际应用成效。借助现代地质监测技术和数值模拟手段, 对不同地质环境下的边坡稳定性进行了详尽评估, 并提出了针对性的加固策略。研究表明, 综合利用锚固技术、排水系统构建以及植被恢复等方法, 能够显著提高边坡的稳定性, 进而减少公路建设和运营期间可能遭遇的地质风险。此外, 通过对具体公路工程项目中加固技术的应用案例进行分析, 进一步验证了理论研究成果与实际应用之间的相互促进效应。本研究为公路施工过程中边坡防护措施的制定提供了坚实的科学依据和技术指导, 有助于提升未来公路工程的安全管理水平。

关键词: 边坡稳定性; 加固技术; 地质监测; 数值模拟; 公路工程

Research on Stability Analysis and Reinforcement Technology of Highway Slope

Junen Gao

Xinyi Road Bridge, Xinzhou, Shanxi, 034200, China

Abstract: This paper explores the issue of slope stability in highway engineering, with a focus on analyzing the practical application effectiveness of slope stability assessment methods and reinforcement techniques. With the help of modern geological monitoring technology and numerical simulation methods, a detailed evaluation of slope stability under different geological environments was conducted, and targeted reinforcement strategies were proposed. Research has shown that the comprehensive use of anchoring technology, drainage system construction, and vegetation restoration methods can significantly improve the stability of slopes, thereby reducing geological risks that may be encountered during highway construction and operation. In addition, by analyzing the application cases of reinforcement technology in specific highway engineering projects, the mutual promotion effect between theoretical research results and practical applications has been further verified. This study provides a solid scientific basis and technical guidance for the development of slope protection measures during highway construction, which will help improve the safety management level of future highway projects.

Keywords: slope stability; reinforcement technology; geological monitoring; numerical simulation; highway engineering

0 前言

公路工程的成功与否, 在很大程度上依赖于边坡的稳定性。鉴于地质条件的复杂性和多样性, 边坡稳定性分析成为确保公路安全的一个至关重要的环节。利用先进的地质监测技术(如倾斜仪、裂缝计、无人机监测、激光扫描和地质雷达)和数值模拟方法(包括但不限于有限元分析、离散单元法等), 工程师们能够更准确地评估在不同环境条件下边坡的稳定状态, 从而为设计方案提供科学依据。加固技术的应用同样重要, 锚固技术通过使用锚杆或其他类型的锚索, 可以有效地将表面不稳定的土层或岩石固定到更深的坚固岩层上, 以此来增加边坡的整体稳定性。排水系统的合理规划和建设则可以有效控制地表水和地下水的流向, 防止水分积聚造成的边坡侵蚀和内部压力增大。此外, 植被恢复作为一项生态工程措施, 利用植物根系的机械作用来增强土壤结构, 防止水土流失, 进而提升边坡的生态稳定性。

通过具体的案例研究, 这些技术的应用不仅显著增强了工程的安全性, 降低了施工及运营过程中的地质风险, 同

时也为公路施工领域开辟了新的研究与应用方向。例如, 在某山区公路项目的实践中, 通过综合运用高效的锚固技术、优化的排水系统以及植被恢复措施, 成功地将边坡的年位移速率大幅降低, 并改善了边坡的生态面貌。这种综合性的加固策略不仅提高了边坡的稳定性, 也促进了生态环境的保护与恢复, 体现了可持续发展的理念。随着技术的进步和发展, 新材料的应用、智能化监测技术的集成以及仿生学原理在工程设计中的引入, 都将为公路边坡稳定性管理带来更多的创新解决方案。未来, 随着更多前沿技术的出现, 边坡稳定性管理将变得更加精细化和科学化, 为实现公路工程的长期安全和可持续发展提供强有力的技术支撑。

1 边坡稳定性的重要性与公路工程的挑战

1.1 边坡稳定性对公路安全的影响

边坡稳定性是公路工程设计与施工中的一项重要考量因素。公路边坡的稳定性直接影响到道路的使用寿命和行车安全。不稳定的边坡可能会引发土石流、滑坡等地质灾害,

对行车安全构成严重威胁。因此,确保边坡稳定是提高整体交通安全的基础。通过对边坡稳定性的精确分析与评估,可以在早期阶段识别潜在风险,为后续的工程决策提供科学依据。

1.2 公路工程中边坡稳定性的挑战

在公路工程中,确保边坡稳定面临着多重挑战。地质条件的多样性要求工程师深入了解不同区域的地质特征。例如,在山区公路施工中,频繁的降雨、地质松散以及高地震活动区的特性使得边坡稳定性问题尤为突出。此外,施工过程中的振动、重型机械的使用以及施工后期的水土保持等因素,也可能影响边坡的长期稳定性。要解决这些问题,不仅需要整合地质学、水文学和工程技术的知识,还需要引入现代化技术和方法,对边坡进行持续监测和管理。

2 现代地质监测技术在边坡稳定性分析中的应用

2.1 基本地质监测技术及其特性

现代地质监测技术的应用大幅提高了公路边坡稳定性分析的准确性和效率。基本监测技术包括倾斜仪、裂缝计、地表位移测量仪和地下水位监测器等。这些设备能够提供实时数据,监控边坡细微的变化,从而预测可能发生的滑坡或土石流事件。

2.2 先进监测技术的发展与应用

随着技术的发展,更多先进的监测技术被应用于边坡稳定性分析,如无人机(UAV)监测、激光扫描(LiDAR)和地质雷达(GPR)。无人机配备高清摄像头和多光谱传感器,能够从空中对边坡进行全面的快速检测,记录地表变化和植被状况。激光扫描技术能提供高精度的地形和地貌数据,用于建模和分析边坡稳定性。地质雷达技术通过发射电磁波探测地下结构,能够识别隐藏在边坡内部的空洞和薄弱层,为评估边坡内部稳定性提供了重要信息。

2.3 综合监测系统的构建与执行

为了全面评估和管理边坡稳定性,构建一个综合地质监测系统至关重要。这个系统集成多种监测技术和数据分析工具,能够对收集的数据进行深入分析,形成易懂的报告和预警信息。系统通常包含数据采集、数据传输、数据分析和用户界面四个组成部分。通过实时数据分析,可以迅速发现边坡稳定性的任何变化,从而采取适当的预防或应对措施。

2.4 监测数据的处理与利用

收集到的监测数据需要通过专业的分析软件处理,以确保信息的准确性和可用性。数据分析涵盖了统计分析、趋势预测和模型仿真等多个方面。通过这些分析,工程师可以识别边坡不稳定的根本原因,如水文变化、地质缺陷或人为活动等,并据此优化边坡的设计和加固措施。现代地质监测技术的应用极大地增强了边坡稳定性分析的能力。通过综合利用各种基础和先进的监测技术,加上精确的数据分析,可以有效地预防和管理公路边坡的稳定性问题,确保公路工程

的安全与可靠性。

3 加固技术的选择与实施:锚固、排水与植被恢复

3.1 锚固技术的应用

在公路边坡加固中,锚固技术是一种常见且效果明显的方法。通过在边坡中设置锚杆,将边坡内部的不稳定土层或岩石固定在更为稳定的深层岩石中,从而提高边坡的整体稳定性。锚固技术的设计需考虑锚杆的长度、直径、布置间距以及锚固深度,这些参数须根据地质条件和边坡的具体稳定需求来精确计算。锚杆通常采用高强度钢材或合成材料制成,以抵抗腐蚀和承受长期拉力。锚固系统包括锚杆、锚固体(如注浆体)、锚板和拉紧装置等部件,施工过程需要专业设备和技术操作,以确保锚杆正确安装并发挥效能。

3.2 排水措施的重要性与实现方式

边坡的水文状况对其稳定性有着直接影响。排水技术是防止边坡滑动和侵蚀的关键措施之一。通过合理设计排水系统,可以有效控制地表水和地下水的流动,减少水对边坡的侵蚀和压力。排水措施包括地表排水沟、深层排水井和排水管道等。地表排水沟用于收集和引导降雨产生的地表径流,避免水流直接冲击边坡表面。深层排水井和排水管道则用于控制地下水位,减轻水的静水压力,从而增强土体的稳定性。排水系统的设计需根据边坡的地质构造、土体性质、气候条件和水文特征来定制,以达到最佳防护效果。

3.3 植被恢复技术的功能与方法

植被在边坡稳定中扮演着至关重要的角色,不仅能加固土壤,还可以减缓水土流失。植被恢复通常选择适合当地环境条件的本地植物,包括草本植物、灌木和树木。植被的种植应考虑到植物的根系深度和强度,以及它们对环境的适应能力。通过系统的植被设计和维护,可以长期有效地保护边坡免受侵蚀,增强其自然稳定性。

3.4 加固技术的综合运用

在实际公路边坡加固工程中,通常需要根据具体情况综合运用以上技术。通过对边坡稳定性的全面分析,结合地质监测数据,选择最适宜的加固方法或者多种方法的组合,以实现最佳加固效果。例如,在具有较高滑坡风险的边坡上,可能同时采用锚固技术、排水措施和植被恢复技术,以全面提升边坡的稳定性。此外,加固工程的设计还需考虑长期维护和监测,确保加固措施能够持续有效地发挥作用。综合运用这些加固技术,可以有效解决公路边坡稳定性问题,确保公路工程的安全和持久性,同时也为公路维护提供了可靠的技术支持。

4 案例分析:加固技术在实际公路工程中的应用效果

4.1 锚固技术的应用成果

在一个位于山区的公路建设项目中,由于地质结构的

复杂性,边坡稳定性成为一个亟待解决的问题。地质工程师与施工队伍选择了高效的锚固技术作为解决方案。经过详细的地质调查和技术评估后,表一确定了在关键边坡区域部署三层锚杆的计划,每层锚杆的间隔距离为 8 米,长度根据地质情况调整在 15 至 25 米之间。所使用的锚杆由高强度钢材制成,设计承载能力可达 150 吨,确保了边坡的整体稳固。实施结果显示,这一措施显著降低了边坡的年度位移速度,从之前的 30 厘米减少到不足 5 厘米,极大地提高了边坡的安全性和稳定性,为该地区的交通安全提供了长期保障。

4.2 排水系统的改进效果

在该项目中,排水系统的优化是提高边坡稳定性的另一项关键措施。历史数据显示,该地区由于排水系统设计不合理,导致雨水无法顺利排出,造成边坡受到严重侵蚀,增加了滑坡的风险。为解决此问题,工程队伍设计并实施了一套完整的排水改进方案。他们安装了 10 个深度达 20 米的排水井,并每隔 50 米设有一个井点,每个井都配备了自动抽水设备来有效控制地下水位。另外,根据地形特点,工程队伍还设计了总长度为 3 公里的地表排水沟,这些沟渠能够有效汇集和引导雨水流向指定的安全区域,避免水流直接侵蚀边坡。这些综合排水措施的应用,使得即使在长时间的降雨期间,边坡的稳定性也得到了显著改善,地下水位得到有效控制,大大降低了滑坡的潜在危险。

4.3 植被恢复的长远效益

在公路边坡稳定化项目中,生态恢复措施通过栽种适应性强的本地植物,有效增强了边坡的生态稳定性和美观度。选择的植物品种如山杨、黄栌以及各类灌木和草本植物,均是基于它们适应当地气候和土壤条件的能力而选定的。这些植物在种植后的三年里表现出了良好的生长态势,植被覆盖率从原来的 30% 增长到了 90% 以上。这不仅美化了边坡景观,更重要的是,植物根系的深入和扩张显著增强了土壤的结构稳定性,有效地防止了雨水侵蚀,从而增强了边坡的整体稳定性。这种方法为边坡管理提供了一个既可持续又高效可行的解决方案。

5 技术发展对公路边坡稳定性提升的影响

5.1 新材料的应用及其优势

随着新材料技术的进步,公路边坡稳定性工程中的材料选择已经超越了传统的钢铁和混凝土,转向了更加高效和环保的新型材料。例如,采用生物工程材料,如生态格网和生物可降解的固土网,不仅能够有效地固定边坡,还能促进植物生长,增强土壤的自我修复能力。此外,合成纤维和高分子复合材料因其高强度、抗腐蚀和重量轻等特点,在锚固工程中的应用显著提高了锚杆和支撑结构的持久性。这些新材料的应用,不仅提升了工程结构的可靠性和耐用性,还降

低了维护成本。

5.2 智能监测技术的整合与提升

智能监测技术的应用是提升公路边坡稳定性的重要因素。通过集成传感器网络、实时数据分析和机器学习算法,边坡监测系统已经实现了高度自动化与智能化。这些系统能够连续监测边坡的微小变化,并及时预警潜在的滑坡风险。例如,结合地表位移传感器和地下水位传感器的数据,配合气象预报模型,可以准确预测边坡在极端天气条件下的反应,从而提前采取必要的预防措施。这种智能监测与预警系统的建立,极大程度上提高了公路边坡管理的效率和安全性。

5.3 生态工程与仿生设计的应用

引入生态工程和仿生设计理念,为公路边坡稳定性工程带来了新的视角。通过模仿自然界中的稳定结构和生态系统,工程设计不仅更加和谐地融入周围环境,而且提高了边坡的自然稳定性。例如,采用模仿植物根系结构的生态固土技术,不仅能够加固土壤,还能改善土壤结构和保水性能,增加生物多样性。这种融合工程技术与生态学理念的设计方案,不仅提升了边坡的稳定性,还增强了工程对环境变化的适应能力,促进了生态环境的可持续发展。

6 结语

论文通过对公路边坡稳定性分析与加固技术的研究,深入探讨了边坡稳定性对公路安全的重要性及其面临的各种挑战。鉴于边坡在公路工程中的关键地位,其稳定性直接影响着交通的安全与顺畅。研究表明,采用先进的地质监测技术如倾斜仪、裂缝计、无人机监测、激光扫描和地质雷达等手段,可以显著提高边坡稳定性分析的准确性和效率。这些技术的应用,不仅为边坡的稳定性评估提供了可靠的科学依据,而且在检测潜在的滑坡迹象、指导及时的预防措施方面发挥了重要作用。在加固技术方面,锚固技术、排水措施和植被恢复等方法被证明是有效提升边坡稳定性的关键技术。

参考文献:

- [1] 田小军.高速公路高边坡稳定性分析与加固技术研究[J].科技创新,2024(1):126-129.
- [2] 邓兴伟.典型公路路基与边坡预加固技术研究[J].交通科技与管理,2023(12):135-137.
- [3] 吴婷婷.路基边坡加固技术设计及应用要点分析[J].黑龙江交通科技,2022(12):52-54.
- [4] 毕晓明.高速公路边坡加固的优化设计方法研究[J].工程建设与设计,2022(14):48-50.
- [5] 吴佐汉.露天边坡稳定性分析与加固技术研究[J].福建冶金,2022(5):14-16.