

Study on design optimization of ecological slope protection system for mountain road

Jiechen Zhao

Xingbian Fumin Affairs Center, Zhongke Town, Ximeng, Yunnan, 665706, China

Abstract

This study focuses on the design and optimization of ecological slope protection systems for mountainous roadways, emphasizing the coordinated principles of stability and ecological conservation. Through comprehensive geological surveys, optimized vegetation selection, drainage system upgrades, and innovative geotechnical materials, the research achieves simultaneous advancement in slope mechanical stability and ecological restoration. The paper proposes a design philosophy of site-specific adaptation and integrated management, highlighting the organic combination of multiple technical approaches to enhance protective effectiveness and ecological benefits. This work provides scientific evidence and technical support for slope protection in mountainous roadways, contributing to safer highway operations, environmental protection initiatives, and the green sustainable development of mountain transportation infrastructure.

Keywords

mountain road; ecological slope protection; geological investigation

山区公路生态边坡防护系统设计优化研究

赵捷琛

云南省西盟县中课镇兴边富民服务中心, 中国 · 云南 西盟 665706

摘要

本文围绕山区公路生态边坡防护系统设计优化展开研究, 重点探讨了稳定性与生态保护的协调原则, 通过详实的地质勘察、植被种类优化、排水系统改进及土工材料创新等方法实现边坡的力学稳定与生态恢复同步推进, 文章提出因地制宜和综合治理的设计理念, 强调多技术手段的有机结合, 以提升防护效果和生态效益, 本文为山区公路边坡防护提供科学依据和技术支持, 这有助于保障公路安全运营, 促进生态环境保护, 推动山区交通建设的绿色可持续发展。

关键词

山区公路; 生态边坡防护; 地质勘察

1 引言

山区公路建设过程中, 边坡稳定性直接关系到道路安全和生态环境保护, 传统的边坡防护方法多以刚性结构为主, 易破坏自然生态, 导致水土流失和植被破坏, 而随着生态文明建设的推进, 如何实现边坡防护与生态环境的协调发展成为研究热点, 基于此山区公路生态边坡防护系统设计优化旨在结合地质特性和生态需求, 采用多样化、生态化的防护措施, 提高边坡稳定性, 促进植被恢复, 减少环境破坏, 实现公路安全与生态保护的双重目标。

2 山区公路生态边坡防护系统设计的概述

山区公路生态边坡防护系统设计是一种融合工程技术

与生态环境保护的综合性方案, 旨在保障边坡的稳定性同时维护和恢复自然生态环境。该系统通常包括植物护坡、透水排水结构、土工材料以及生物工程措施等多种技术手段, 通过合理设计实现边坡防护与生态修复的有机结合。生态边坡防护不仅注重边坡的力学稳定, 还强调植被覆盖和土壤保持, 防止水土流失, 提升生态系统的自我修复能力。山区公路在设计过程中需充分考虑地质条件、气候环境和植被生长特点, 结合当地资源因地制宜地选用防护材料和植被种类, 设计整体目标是构建一个稳定、安全、绿色的边坡环境, 促进山区公路可持续发展, 提升公路沿线生态环境质量, 减少施工和维护成本, 兼顾工程效益与生态效益^[1]。

3 山区公路生态边坡防护系统设计的基本原则

3.1 稳定为首要

山区公路生态边坡防护系统设计中, “稳定为首要”原则是保障公路安全运营的基础, 边坡的稳定性直接关系到

【作者简介】赵捷琛 (1995-), 哈尼族, 男, 助理工程师, 从事农村公路建设与管理研究。

道路的使用寿命和行车安全，若边坡失稳则可能引发滑坡、崩塌等地质灾害，严重威胁人员和财产安全，因此在设计过程中必须对边坡的地质条件、力学特性进行全面细致的勘察，准确掌握土壤类型、岩石强度、地下水状况等关键参数。基于这些数据，合理选用边坡支护结构和防护措施，通过科学合理的工程措施最大限度地提升边坡的整体稳定性，为公路运营提供坚实保障^[2]。

稳定为首要，需在生态边坡防护中平衡工程稳固与生态修复：边坡植被可增强表层土壤结合力、减少侵蚀，其根系还能固土提升边坡抗剪强度，辅助工程结构稳固边坡。因此，在保障边坡结构安全的前提下，应优先采用生态工程措施，如种植适应性强、根系发达的植物，结合生物网格、生态袋等新型材料，构建生态—工程复合防护体系。此外，边坡排水设计是稳定关键，合理设置排水管道与沟渠可降低地下水压力，避免边坡因水分饱和失稳。通过多重技术协同，既能确保边坡力学稳定性，又能实现生态可持续，凸显“稳定为首要”的设计核心。

3.2 生态优先

山区公路生态边坡防护系统设计中，“生态优先”原则强调在保障边坡稳定的基础上最大限度地保护和恢复自然生态环境，山区地形复杂，生态环境脆弱，传统的刚性防护结构往往破坏植被和土壤结构，导致水土流失和生物多样性下降，因此设计时应优先采用生态工程措施，通过生态优先的设计理念实现边坡防护与环境保护的有机结合，推动山区公路建设向绿色、可持续方向发展^[3]。

生态优先需贯穿山区公路边坡防护施工与维护，减少环境干扰：设计科学施工方案，以分期施工、同步生态修复避免大规模开挖与植被破坏；优选本地适生植物，保障其生态功能与长期稳定性。维护阶段加强生态监测，及时修复受损植被与结构，确保生态健康。通过全面贯彻生态优先原则，既能提升边坡防护效果，又能保护修复山区生态，实现经济与生态效益双赢。

3.3 因地制宜

山区公路生态边坡防护系统设计中的“因地制宜”原则，强调根据不同地区的自然条件和具体环境特点，采取针对性的防护措施，以达到最佳的防护效果和生态恢复效果。山区地形复杂多变，设计时必须充分调研，分析当地的地质结构、降雨特征、植被状况等因素，结合实际情况选择合适的边坡防护技术和植被种类，例如在岩石裸露较多的地区，重点采用机械加固结合生态绿化的复合防护措施；而在土质松软、降雨量大的区域，则应强化排水系统设计，同时选择适应性强的耐水植物进行护坡，通过因地制宜的设计有效避免“一刀切”方案带来的资源浪费和环境破坏，提升系统的科学性和可行性。

因地制宜还体现在材料选择和施工工艺上，针对不同的地质和气候条件应选用当地丰富且环保的材料，如竹材、

木材、生物基土工格栅等，既降低施工成本，又减少对环境的负面影响，工作人员在施工过程中应结合地形条件设计合理的施工步骤，避免大规模土方开挖和对自然植被的破坏，保证生态系统的完整性和恢复能力，同时因地制宜的维护管理策略也十分重要，根据不同地区的气候变化和植被生长规律制定科学的养护计划，及时处理病虫害和土壤侵蚀问题，通过精准的区域适应性设计和管理最大化提升山区公路边坡防护系统的稳定性和生态功能，实现工程安全与生态保护的协调统一。

3.4 综合治理

山区公路生态边坡防护系统设计中，综合治理原则强调多种技术手段和生态措施的有机结合，以实现边坡的稳定和生态环境的可持续发展，单一的防护措施往往难以全面应对复杂的地质和气候条件，容易造成局部失效或生态破坏，综合治理则通过机械加固、生物工程、排水控制和植被恢复等多方面协同作用，形成互补优势，例如在边坡易滑区结合锚杆支护和生态护坡网格，同时配套排水系统和适宜的植被种植，既增强边坡的力学稳定，又提升生态功能，因此综合治理能够有效防止水土流失、减少环境破坏，确保边坡防护系统的整体性和长效性。

综合治理还需要统筹规划和科学管理，结合工程建设与生态保护的双重目标，在设计阶段应充分调研环境状况和潜在风险制定多方案比选，优化技术组合，在施工过程中应同步推进生态恢复措施，减少对自然环境的扰动，养护管理阶段则需定期检查各项措施的运行状态，及时修复损坏部分，保障综合治理体系的持续有效，因此综合治理不仅提升了边坡的安全性能，也促进了区域生态环境的恢复与提升，实现山区公路建设的安全、环保和可持续发展目标。

4 山区公路生态边坡防护系统设计优化的方法

4.1 地质勘察详实

山区公路生态边坡防护系统设计优化中，地质勘察详实是确保设计科学性和工程安全性的基础，山区地形复杂多变，边坡土质、岩层结构、断层裂隙及地下水情况各异，这些因素直接影响边坡的稳定性和防护措施的选择，因此开展全面、细致的地质勘察显得尤为重要。勘察工作应包括地质结构分析、土壤物理力学性质测试、地下水动态监测等内容，通过钻探、取样、现场测试和实验室分析相结合，获得准确的边坡地质信息，详实的地质勘察能够帮助设计人员全面掌握边坡潜在的失稳机理，识别地质灾害风险点，为后续设计提供科学依据，提高防护系统的针对性和有效性。

优化地质勘察流程和技术手段同样关键，利用现代地质勘察技术能够更精准地描绘边坡内部结构和变化趋势，减少盲区和遗漏，同时勘察数据应动态更新和反馈，结合工程施工进展不断修正设计方案，确保防护措施适应实际地质条件，合理安排勘察周期和深度，避免过度勘察导致成本增加，

也防止勘察不足带来安全隐患，通过详实且科学的地质勘察能够为山区公路生态边坡防护系统设计提供坚实的基础保障，实现工程的安全稳定与生态环境的和谐共存。

4.2 植被种类优化

山区公路生态边坡防护系统设计优化中，植被种类优化是提升生态防护效果和边坡稳定性关键措施，由于山区环境复杂多变，不同地区的气候条件、土壤性质和水分状况各不相同，选择适应性强、根系发达且生态功能优良的植物种类，能够有效增强边坡的抗侵蚀能力和土壤固定能力，优化植被种类应结合当地生态特点，优先选用本地耐旱、耐寒、抗风化的草本和灌木类植物，这些植物不仅能快速覆盖裸露边坡，还能形成稳固的根系网络，增加土体的内聚力，同时山区公路生态边坡防护系统应考虑植物的生态功能，如改善土壤结构、促进微生物活动和提高生物多样性，确保生态边坡的可持续发展。

植被种类优化还需注重植物的组合搭配和层次结构设计，通过多样化的植物配置，合理搭配草本、灌木和乔木不仅增强了植被的抗逆性，还能构建更稳定的生态系统，提高边坡的生态韧性，不同植物的根系深度和生长周期互补，有助于实现对边坡不同深度土壤的加固和保护，此外在种植过程中应根据具体环境条件调整播种密度和时间，促进植物的快速成活和健康生长，通过科学合理的植被种类优化不仅提升了边坡防护的生态效益，也增强了整体防护系统的稳定性和美观性，实现山区公路生态边坡的绿色可持续发展。

4.3 排水系统改进

在山区公路生态边坡防护系统设计优化中，排水系统改进是确保边坡稳定和防止水害的重要环节，山区降雨集中且强度大，地表和地下水的排泄不畅容易导致边坡土体饱和、抗剪强度下降，进而引发滑坡和崩塌，改进排水系统首先应科学规划地表排水和地下排水两大部分，地表排水设计应设置合理的排水沟渠、截水墙等设施，及时将雨水引导至安全区域，防止水流直接冲刷边坡表层土壤，同时通过合理布置排水管道和集水井保障地下水能够顺畅排出，降低土体孔隙水压力，完善的排水系统不仅减轻了水的侵蚀和渗透压力，还能有效保护植被根系，促进生态恢复。

排水系统的改进还需结合现代技术和生态理念，提升系统的智能化和环保性，采用透水性好的生态排水材料既能保证排水畅通，又有助于雨水下渗和补充地下水，减缓径流速度，减少洪涝风险，同时山区公路生态边坡防护系统设计可结合智能监测设备实时监测水位和排水情况，及时发现堵塞或渗漏问题，保障排水系统的长期稳定运行，此外在设计

过程中应充分考虑雨季和干旱季节的水文变化，合理设置调节设施，确保系统在不同气候条件下均能有效发挥作用，通过科学优化排水系统既保障了边坡的结构安全，也促进了生态环境的可持续发展。

4.4 土工材料创新

山区公路生态边坡防护系统设计优化中，土工材料创新是提升边坡稳定性和生态功能的重要手段，传统土工材料如混凝土、钢筋等刚性材料虽然具有较强的力学性能，但往往对生态环境造成较大破坏，随着环保理念的发展，新型绿色土工材料逐渐应用于边坡防护设计中，例如生物降解型土工格栅、生物基复合材料和植物纤维土工布等材料不仅具备良好的机械强度，还能够促进植物根系的生长和土壤微生物的活性，从而实现工程稳定性与生态修复的双重目标，创新材料的使用能够改善土壤结构，增强土体抗剪强度，同时减少对环境的负面影响，推动边坡防护向绿色、可持续方向发展。

土工材料的创新还体现在材料功能的多样化和适应性上，针对不同的边坡环境和地质条件，研发具备防水、防腐蚀和自修复功能的复合材料，提高材料在复杂环境下的耐久性和使用寿命，同时山区公路生态边坡防护系统设计可以结合现代材料科学技术，以实现边坡防护结构的智能响应和实时监测，提升系统整体性能，此外创新的土工材料还应注重成本效益，推动本地资源的合理利用，降低施工和维护成本，通过不断引入和优化新型土工材料能够有效提升山区公路生态边坡防护系统的稳定性，实现工程效益与生态效益的有机统一。

5 结语

山区公路生态边坡防护系统设计必须坚持稳定、安全与生态保护相结合的原则，通过科学合理的设计和优化措施实现边坡的长期稳定和生态环境的可持续发展，只有注重因地制宜、综合治理和创新应用才能有效应对复杂多变的山区地质条件，保障公路安全运营的同时促进生态文明建设，推动山区公路建设迈向绿色发展新阶段。

参考文献

- [1] 杨逊.山区公路高边坡开挖与防护设计研究[J].交通科技与管理, 2024.
- [2] 唐高华,程良,陈欣然,等.山区高速公路路堑高边坡落石计算与临时防护设计研究[C]//土木工程建造行业科技论坛(2024)暨第十五届中建八局科技论坛论文集.2024.
- [3] 蒙礼超.山区高速公路路基边坡防护方案比选分析[J].西部交通科技, 2023(2):58-60.