

山区公路边坡崩塌灾害形成机理与防治对策

张燕江¹, 徐勇², 李文³

¹ 深圳市工勘岩土集团有限公司四川分公司 四川成都

² 四川省兴文石海天下奇文化旅游投资有限责任公司 四川宜宾

³ 四川兴林建设工程有限公司 四川成都

【摘要】山区公路边坡崩塌灾害严重影响交通安全, 其形成机理复杂, 涉及地质构造、岩土体性质、水文地质条件及人类活动等多方面因素。本文通过分析地质构造、岩土体性质、水文地质条件及人类活动对边坡稳定性的影响, 探讨了山区公路边坡崩塌灾害的形成机理。同时, 提出了综合防治对策, 包括工程加固、生态防护、排水系统设计、监测预警及施工质量控制和后期维护管理等措施。实践表明, 这些措施有效提高了边坡稳定性, 降低了崩塌灾害的发生风险, 保障了山区公路的安全畅通。

【关键词】山区公路; 边坡崩塌; 形成机理; 防治对策; 稳定性

【收稿日期】2025 年 8 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250189

Mechanism and control measures of slope collapse disasters in mountainous area highways

Yanjiang Zhang¹, Yong Xu², Wen Li³

¹Shenzhen Gongkan Geotechnical Group Co., Ltd. Sichuan Branch, Chengdu, Sichuan

²Sichuan Xingwen Shihai tiantianqi Cultural Tourism Investment Co., Ltd., Yibin, Sichuan

³Sichuan Xinglin Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan

【Abstract】Slope collapse disasters in mountainous area highways severely affect traffic safety. The formation mechanism of these disasters is complex, involving multiple factors such as geological structure, soil and rock properties, hydrogeological conditions, and human activities. This paper explores the formation mechanism of slope collapse disasters in mountainous area highways by analyzing the impact of geological structure, soil and rock properties, hydrogeological conditions, and human activities on slope stability. Meanwhile, it proposes comprehensive control measures, including engineering reinforcement, ecological protection, drainage system design, monitoring and early warning, as well as construction quality control and post-construction maintenance management. Practice has shown that these measures effectively enhance slope stability, reduce the risk of collapse disasters, and ensure the safe and smooth operation of highways in mountainous areas.

【Keywords】Mountainous highways; Slope collapse; Formation mechanism; Control measures; Stability

引言

山区公路建设与运营中, 边坡崩塌灾害频发, 给交通和安全带来巨大威胁。复杂的地质条件、多变的气候以及人类活动的干扰, 使得边坡稳定性面临严峻挑战。深入研究边坡崩塌的形成机理, 提出科学合理的防治对策, 对于保障山区公路的安全畅通、促进区域经济社会发展具有重要意义。

1 山区公路边坡崩塌灾害的形成机理

山区公路边坡崩塌灾害是一种复杂的地质灾害, 其形成受到多种因素的综合影响。地质构造是影响

边坡稳定性的关键因素之一。在山区, 复杂的地质构造导致岩体内部存在大量的节理、裂隙和断层等结构面。这些结构面的存在使得岩体的完整性受到破坏, 降低了岩体的整体强度。当边坡受到外力作用时, 这些结构面容易成为潜在的滑动面, 从而引发崩塌灾害^[1]。岩土体的性质也是影响边坡稳定性的另一个重要因素。不同类型的岩土体具有不同的力学性质, 如抗剪强度、抗压强度和弹性模量等。在山区公路建设过程中, 边坡的岩土体往往由多种岩土体组成, 其力学性质的差异会导致边坡的稳定性

不均匀。此外, 岩土体的风化程度也会影响其力学性质。长期的风化作用会使岩土体的强度降低, 孔隙率增加, 从而降低边坡的稳定性。水文地质条件对山区公路边坡的稳定性同样具有重要影响。降雨是导致边坡崩塌灾害的主要自然因素之一。降雨过程中, 雨水会通过边坡表面的裂缝和孔隙渗入岩土体内部, 增加孔隙水压力, 降低岩土体的有效应力。随着孔隙水压力的升高, 岩土体的抗剪强度会显著降低, 从而导致边坡的稳定性下降。地下水的流动会带走岩土体中的细小颗粒, 形成空洞和裂缝, 进一步削弱边坡的稳定性^[2]。除了自然因素外, 人类活动也会对山区公路边坡的稳定性产生重要影响。公路建设过程中, 边坡的开挖和填方改变了原有的地质应力平衡。过度开挖可能导致边坡坡度过于陡峭, 增加了边坡的不稳定因素。同时, 施工过程中对岩土体的扰动也会降低其力学性质。此外, 公路运营过程中, 车辆的频繁行驶产生的振动也会对边坡的稳定性产生一定的影响。在实际的山区公路建设中, 还需要考虑地震等自然灾害对边坡稳定性的潜在影响。地震是一种突发性的自然灾害, 其产生的地震波会在岩土体中传播, 对边坡产生强烈的振动作用。地震波的作用会使边坡岩土体的应力状态发生改变, 原本稳定的边坡可能在地震作用下发生崩塌。地震的震级、震源深度以及地震波的传播方向等因素都会影响边坡的稳定性。

2 山区公路边坡崩塌灾害的防治对策

山区公路边坡崩塌灾害的防治是一个系统性工程, 需要综合考虑多种因素, 采用多种技术手段和管理措施。在工程措施方面, 锚杆加固是一种常见且有效的方法。锚杆通过深入岩土体内部, 将边坡的不稳定岩土体与稳定的基岩连接起来, 形成一个整体, 从而增强边坡的整体稳定性。锚杆的布置需要根据边坡的地质条件和稳定性分析结果进行优化设计, 确保其能够充分发挥作用^[3]。抗滑桩也是常用的边坡加固措施之一。抗滑桩通过在边坡内部设置钢筋混凝土桩, 利用其抗剪能力和抗弯能力来抵抗边坡的滑动力。抗滑桩的设置深度和间距需要根据边坡的地质条件和滑动面的位置进行精确计算。在一些大型滑坡体的治理中, 抗滑桩可以有效地阻止滑坡的进一步发展, 保护公路的安全。此外, 抗滑桩还可以与其他支护结构联合使用, 形成更加可靠的支护体系。

除了工程措施外, 生态防护措施也在边坡崩塌灾害防治中发挥着重要作用。植被护坡是一种生态友好型的防护方法, 通过在边坡上种植植被, 利用植物根系的固土作用来增强边坡的稳定性。植被的根系可以深入岩土体内部, 形成一个复杂的网络结构, 有效减少水土流失, 降低孔隙水压力。同时, 植被的覆盖还可以减少雨水对边坡表面的直接冲刷, 降低边坡的侵蚀速率。在边坡崩塌灾害的防治中, 排水措施也是不可或缺的。良好的排水系统可以有效降低边坡内的孔隙水压力, 减少水对边坡稳定性的不利影响。边坡排水系统的设计需要综合考虑降雨量、地下水位和边坡的地质条件。在边坡表面设置排水沟可以有效拦截地表水, 防止雨水直接渗入边坡内部。同时, 在边坡内部设置盲沟和排水孔, 可以将边坡内的地下水排出, 降低孔隙水压力。例如, 在一些降雨量较大的山区, 完善的排水系统可以有效减少边坡崩塌的发生概率。在实际的边坡崩塌灾害防治中, 监测预警系统的建立同样重要^[4]。通过安装各种传感器, 如位移传感器、应力传感器和孔隙水压力传感器, 可以实时监测边坡的稳定性变化。这些传感器可以将监测数据传输到监控中心, 通过数据分析和处理, 及时发现边坡的潜在风险。当监测数据超过预设的阈值时, 系统可以自动发出警报, 提醒相关人员采取相应的措施。例如, 在一些高风险边坡上, 安装监测预警系统可以提前发现边坡的变形迹象, 及时采取加固措施, 避免崩塌灾害的发生。在边坡崩塌灾害的防治过程中, 还需要注重施工质量的控制。在工程实施过程中, 严格按照设计要求进行施工, 确保各项工程措施的质量。例如, 在锚杆和抗滑桩的施工中, 要保证其深度和强度达到设计要求。同时, 在植被护坡施工中, 要选择合适的植被种类, 确保其能够有效生长并发挥固土作用。此外, 施工过程中的安全管理也非常重要, 要确保施工人员的安全, 避免因施工不当引发新的灾害。在山区公路边坡崩塌灾害的防治中, 还需要加强后期的维护和管理。定期对边坡进行检查和维护, 及时修复受损的支护结构和排水系统。此外, 建立完善的灾害应急预案, 当边坡崩塌灾害发生时, 能够迅速启动应急预案, 进行有效的救援和恢复工作^[5]。综上所述, 山区公路边坡崩塌灾害的防治需要综合运用多种措施, 包括工程加固、生态防护、排水系统设计、监测预警以及施工质量控制和后期维护管理等。

3 山区公路边坡崩塌灾害防治的实践与效果评估

在山区公路边坡崩塌灾害防治的实际工作中, 众多实践案例为评估防治措施的有效性提供了丰富的素材。通过对不同地区、不同地质条件下的边坡崩塌防治工程进行长期跟踪与监测, 能够深入分析各项防治措施在实际应用中的表现, 进而为后续的边坡治理提供科学依据和技术支持。

在一些地质条件复杂的山区公路边坡治理中, 采用了锚杆与抗滑桩相结合的工程措施。经过多年的实践观察, 这种组合方式在提高边坡稳定性方面取得了显著成效。锚杆深入岩土体内部, 有效锚固了不稳定岩土体, 增强了边坡的整体性。抗滑桩则在边坡内部形成了坚固的支撑结构, 能够有效抵抗滑动力^[6]。在一些曾经发生过小型崩塌的边坡上, 经过这种工程措施加固后, 多年未再出现崩塌现象, 边坡的变形速率也显著降低。生态防护措施在边坡崩塌防治中的实践效果也值得关注。在一些土质边坡上, 实施了植被护坡工程。通过种植适应当地环境的草本植物和灌木, 边坡的植被覆盖率得到了显著提高。经过几个雨季的考验, 这些植被护坡的边坡在降雨过程中表现出良好的抗侵蚀能力。与未进行植被护坡的边坡相比, 实施植被护坡的边坡水土流失量大幅减少, 孔隙水压力上升幅度也较为缓慢。这说明植被护坡不仅能够有效减少雨水对边坡的冲刷, 还能通过植物根系的固土作用增强边坡的稳定性^[7]。排水系统的完善在边坡崩塌防治实践中也发挥了重要作用。在一些降雨量较大的山区公路边坡上, 通过优化排水系统设计, 增设排水沟、盲沟和排水孔, 有效改善了边坡的水文地质条件。经过长期的观测, 这些边坡的稳定性得到了显著提升, 崩塌灾害的发生频率明显下降。监测预警系统的应用为边坡崩塌灾害的防治提供了有力的技术支持。在一些高风险边坡上, 安装了多种类型的传感器, 实时监测边坡的位移、应力和孔隙水压力等参数。通过对监测数据的分析, 能够及时发现边坡的潜在变形迹象。在实际应用中, 监测预警系统多次成功预警了边坡的变形趋势, 为采取及时的加固措施提供了宝贵的时间。相关部门迅速采取措施, 对边坡进行了临时加固, 并对交通进行了管制, 避免了可能发生的崩塌灾害对公路交通和人员安全造成的影响。

在边坡崩塌灾害防治的实践中, 施工质量控制和后期维护管理的效果评估也不容忽视^[8]。通过对施工过程的严格监督和质量检测, 确保了各项工程措施的质量符合设计要求。在后期维护管理方面, 定期对边坡进行检查和维护, 及时修复受损的支护结构和排水系统, 保证了防治措施的长期有效性。

4 结语

通过深入分析山区公路边坡崩塌灾害的形成机理, 并结合工程实践提出综合防治对策, 本文为山区公路边坡的稳定性治理提供了理论依据和技术支持。实践证明, 综合运用多种防治措施能够显著提高边坡稳定性, 降低崩塌灾害发生风险。未来, 随着技术的不断进步和实践经验的积累, 应进一步优化防治措施, 加强监测预警技术的应用, 提升山区公路边坡的抗灾能力, 为山区交通的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 金鹏, 梅本强, 何恩怀, 等. 川西山区公路危岩发育特征及崩塌防治措施[J]. 科技和产业, 2025, 25(01): 56-61.
- [2] 李岩, 南赞, 曹颖. 北京山区道路沿线崩塌灾害特征分析与防治思路探讨[J]. 城市地质, 2022, 17(03): 291-298.
- [3] 赵胤翔. 公路岩质边坡崩塌成因分析与防护方案研究[J]. 山西交通科技, 2025, (01): 20-25+29.
- [4] 杨盛皓. 公路高边坡崩塌问题及治理技术[J]. 中华建设, 2024, (03): 131-133.
- [5] 王福瑛, 兰素恋, 郭庆, 等. 岩溶山区公路危岩分类及其防治对策探讨[J]. 西部交通科技, 2023, (12): 49-51+87.
- [6] 林东云, 王明华, 陈仁权. 鄂西南山区某公路滑坡—碎屑流灾害链形成机理探究[J]. 资源环境与工程, 2025, 39(01): 69-74.
- [7] 李裕良, 黎兴铨, 文海珍. 试论山区公路桥梁施工技术难点及解决方案[J]. 时代汽车, 2025, (16): 160-162.
- [8] 彭斌. 山区公路边坡滑塌分析及治理方案[J]. 交通世界, 2025, (18): 27-29.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS