

滑坡地质灾害风险评估与防治研究

陈学凡 于亚欣

河北省地质矿产勘查开发局国土资源勘查中心（河北省矿山和地质灾害应急救援中心） 河北 石家庄 050081

摘 要：滑坡作为一种常见的地质灾害，对人民生命财产安全构成严重威胁。本研究通过历史数据分析、地理信息系统（GIS）应用、数值模拟与力学分析、多因素综合评估等方法，对滑坡地质灾害风险进行全面评估。同时，探讨了工程防治与生物防治相结合的综合防治措施，为滑坡地质灾害的预警、预防和应急响应提供科学依据和实践指导。

关键词：滑坡地质灾害；风险评估；防治

引言：滑坡作为地质灾害的重要类型，因其频发性与严重性，对人类社会与自然环境构成重大威胁。本研究旨在深入探索滑坡的成因机理、空间分布规律，通过科学的风险评估方法，为滑坡灾害的预防与治理提供理论依据。同时，结合工程技术与生态治理手段，构建综合防治体系，以期降低滑坡灾害风险，保障人民生命财产安全及生态环境可持续发展。

1 滑坡地质灾害概述

1.1 滑坡的定义与分类

（1）滑坡的基本概念。滑坡是指斜坡上的土体或岩体，受河流冲刷、地下水活动、雨水浸泡、地震及人工切坡等多种因素影响，在重力作用下沿一定的软弱面或软弱带整体或局部向下滑动的自然灾害现象。它是一种常见的地质灾害，对人们的生命财产安全构成严重威胁。（2）滑坡体的物质成分与结构特征。滑坡体的物质成分主要包括土体和岩体。土体滑坡主要由松散的土壤、粘土、砂土等组成，而岩体滑坡则由岩石块体、岩层等组成。这些物质在滑坡发生时，会表现出明显的结构特征，如层状结构、碎裂结构等。滑坡体的结构特征与其物质成分、地质构造、地下水活动等密切相关。（3）滑坡的分类。按厚度分类，滑坡可分为浅层滑坡、中层滑坡和深层滑坡。浅层滑坡厚度较小，一般不超过5米；中层滑坡厚度在5至20米之间；深层滑坡则厚度超过20米。按规模分类，滑坡可分为小型滑坡、中型滑坡、大型滑坡和巨型滑坡。按年代分类，滑坡可分为古滑坡、老滑坡和新滑坡。古滑坡发生在地质历史时期，老滑坡发生在近现代历史时期，而新滑坡则是近年来发生的滑坡。

1.2 滑坡的成因机理

（1）地质条件与地貌条件。地质条件是影响滑坡发生的重要因素。斜坡的坡度、坡向、岩土体类型、地质构造等都会影响滑坡的发生。例如，坡度较大的斜坡更

容易发生滑坡；岩土体松散、破碎的地区也更容易发生滑坡。地貌条件如河谷、沟谷等地形地貌特征也会影响滑坡的发生。（2）内外营力（动力）和人为作用的影响。内外营力是滑坡发生的主要动力来源。内营力包括地壳运动、地震等自然力量，外营力则包括降雨、河流冲刷、风化作用等自然因素。人为作用如过度开采、乱砍滥伐、不合理的工程建设等也会加速滑坡的发生。（3）斜坡岩土体的失稳与滑动过程。斜坡岩土体的失稳是滑坡发生的直接原因。在内外营力和人为作用的影响下，斜坡岩土体的强度逐渐降低，当达到极限强度时，岩土体就会发生滑动。滑动过程中，岩土体会沿软弱面或软弱带整体或局部向下滑动，形成滑坡灾害^[1]。

1.3 滑坡的空间分布与影响因素

（1）地质因素与气候因素。滑坡的空间分布与地质因素和气候因素密切相关。地质构造复杂、岩层破碎、地下水活动强烈的地区更容易发生滑坡。此外，气候因素如降雨、融雪等也会影响滑坡的发生。在降雨季节，斜坡岩土体的含水量增加，强度降低，更容易发生滑坡。（2）人类活动对滑坡发生的影响。人类活动对滑坡的发生具有重要影响。不合理的土地利用、过度开采矿产资源、工程建设中的切坡等都会加速滑坡的发生。因此，在滑坡防治工作中，需要充分考虑人类活动对滑坡发生的影响，并采取相应的防治措施。

2 滑坡地质灾害风险评估方法

2.1 历史数据分析和模式识别

（1）历史滑坡事件的数据收集与分析。历史滑坡事件的数据是风险评估的基础。这些数据包括但不限于滑坡发生的时间、地点、规模、类型、造成的损失等。通过广泛的资料搜集，如地质调查报告、卫星遥感影像、新闻报道、当地居民的口述历史等，可以建立起一个详细的滑坡历史数据库。对这些数据进行分析，可以揭示滑坡发生的规律、趋势以及特定区域的滑坡易发性。例

如,统计分析可以显示某些类型的滑坡在特定季节或气候条件下更频繁发生。(2)滑坡发生的模式识别与预测。基于历史数据,运用统计学、数据挖掘和机器学习等技术进行模式识别,可以识别出滑坡发生的空间分布特征、触发因素及其相互关系。模式识别技术如聚类分析、决策树、支持向量机等,能够帮助研究人员发现潜在的滑坡发生模式。进而,利用这些模式结合实时监测数据(如降雨量、土壤湿度、地表位移等),可以建立滑坡预警模型,对未来滑坡的发生进行预测^[2]。

2.2 地理信息系统(GIS)的应用

(1) GIS在滑坡灾害风险评估中的优势。GIS是一种强大的空间信息处理工具,它能够整合多种来源的空间数据,进行复杂的空间分析和可视化表达。在滑坡灾害风险评估中,GIS的优势在于其能够将地质、地形、植被覆盖、水系分布、土地利用、人口分布等多维信息集成于一个平台上,为滑坡易发性、危险性和风险性的评估提供全面而精确的空间框架。(2)利用GIS进行空间分析与建模。GIS支持下的空间分析包括叠加分析、缓冲区分析、网络分析、空间统计等,这些方法可用于识别滑坡敏感区、评估滑坡发生的概率及其对周边环境的潜在影响。例如,通过叠加分析,可以将地质构造图、坡度图、降雨量分布图等叠加,生成滑坡易发性图。此外,GIS还能支持滑坡灾害情景模拟,通过构建三维地质模型,模拟不同降雨强度、地震烈度下滑坡的发生过程,评估其对下游社区、交通线路等的潜在威胁。

2.3 数值模拟与力学分析

(1)山坡力学行为的模拟与分析。数值模拟方法,如有限元分析(FEA)、离散元法(DEM)、有限差分法(FDM)等,能够模拟山坡岩土体的应力应变状态,分析其不同条件下的稳定性。通过输入地质材料参数、边界条件和外部作用力(如重力、水压力、地震波等),模拟程序可以计算出斜坡的位移场、应力场,进而判断斜坡的稳定状态。这对于理解滑坡的形成机制、预测滑坡的发生过程至关重要。(2)滑坡可能性和影响的预测。结合历史数据和数值模拟结果,可以建立滑坡发生概率和潜在影响的预测模型。这些模型不仅考虑地质力学因素,还融入气象学、水文学、生态学等多领域知识,以提高预测的准确性和全面性。通过模拟滑坡发生后可能造成的物理破坏(如地表变形、建筑物损毁)、生态影响(如植被破坏、水土流失)和社会经济影响(如人员伤亡、财产损失、交通中断),可以为制定应急响应计划和灾后恢复策略提供依据^[3]。

2.4 多因素综合评估法

(1)综合考虑地质、地形、气候、人类活动等因素。滑坡灾害的发生是多因素综合作用的结果,因此,风险评估必须采取多因素综合评估的方法。这要求将地质条件(如岩层组合、断层分布)、地形特征(如坡度、坡向)、气候条件(如降雨量、气温)、人类活动(如土地利用变化、工程建设)等多种因素纳入考量,通过权重分配、专家打分、模糊综合评价等手段,量化各因素对滑坡灾害风险的贡献度。(2)对滑坡灾害风险进行全面评估。多因素综合评估法的最终目的是生成滑坡灾害风险图,直观展示不同区域滑坡灾害的相对风险等级。这些风险图不仅考虑了滑坡发生的可能性,还考虑了滑坡一旦发生可能造成的后果严重性,从而为土地规划、工程建设、灾害管理提供科学指导。此外,综合评估还应包括对滑坡灾害风险评估的不确定性分析,识别评估过程中的薄弱环节,提出改进措施,以提高评估结果的可靠性和实用性。

3 滑坡地质灾害防治研究

3.1 滑坡防治措施概述

(1)滑坡防治的基本原则与目标。滑坡防治的基本原则是预防为主、综合治理,即在滑坡发生前通过有效的措施降低其发生的可能性,一旦发生滑坡则迅速采取措施减轻其危害。目标是减少滑坡灾害造成的人员伤亡和财产损失,保护生态环境,促进社会经济的可持续发展。(2)防治措施的分类与选择依据。防治措施主要分为工程防治措施和生物防治措施两大类。工程防治措施侧重于通过物理手段改变斜坡的力学平衡状态,提高斜坡的稳定性;而生物防治措施则侧重于通过恢复和改善生态环境,增强斜坡的自然防护能力。选择防治措施时,需综合考虑滑坡的类型、规模、成因、发生频率以及地形地貌、气候条件、人类活动等因素,确保措施的有效性和经济性。

3.2 工程防治措施

(1)地表水与地下水的控制。水是滑坡发生的重要触发因素之一,因此控制地表水和地下水是滑坡防治的关键。地表水控制主要通过修建排水沟、截水沟等设施,将地表水迅速排除到滑坡影响范围之外,防止其渗入斜坡岩土体。地下水控制则采用防水覆盖、盲沟、集水井、截水渗沟等地下排水工程,降低地下水位,减少水对斜坡岩土体的软化和润滑作用。(2)斜坡岩土体强度的提升。提升斜坡岩土体强度是增强斜坡稳定性的有效手段。这主要通过修建挡土墙、防滑桩等结构物来实现。挡土墙通过其重力或锚固作用抵抗斜坡岩土体的下滑力,防止其发生位移。防滑桩则通过其桩体深入稳

定地层,将斜坡岩土体的下滑力传递给深层稳定地层,从而提高斜坡的稳定性。此外,还可以采用注浆、电渗法等技术改良斜坡岩土体的力学性质,增强其抗剪强度和凝聚力^[4]。(3)削方减载与斜坡稳定性改善。削方减载是通过削除斜坡上部的不稳定岩土体,减少斜坡的高度和荷载,从而降低其下滑力,提高稳定性。这种方法适用于滑坡体厚度较小、坡度较陡的斜坡。同时,削方减载还可以结合其他工程措施,如修建挡土墙、防滑桩等,共同提高斜坡的稳定性。

3.3 生物防治措施

(1)退耕还林与植树造林的作用。退耕还林与植树造林是生物防治措施的重要组成部分。它们通过增加斜坡表面的植被覆盖,提高土壤的抗剪强度和凝聚力,减少水土流失,从而增强斜坡的自然防护能力。同时,植被的根系还能起到固结土壤的作用,防止斜坡岩土体的松动和位移。(2)生物多样性提升与环境保护。生物多样性提升不仅有助于增强斜坡的生态稳定性,还能促进生态环境的恢复和改善。通过种植多种植物,形成多层次的植被结构,可以提高斜坡的生态系统服务功能,如保持水土、净化空气等。同时,生物防治措施的实施应遵循环境保护的原则,避免对生态环境造成破坏。(3)生物措施的长期效益与经济性分析。生物防治措施具有长期效益显著、维护成本较低等优点。虽然初期投资可能较大,但随着时间的推移,植被的不断生长和生态系统的不断完善,其防护效果将逐渐增强。此外,生物防治措施还能促进当地生态系统的恢复和发展,带来间接的经济效益和社会效益。

3.4 监测与预警系统建设

(1)基于三维GIS的滑坡灾害监测预警系统。随着地理信息系统(GIS)技术的不断发展,基于三维GIS的滑坡灾害监测预警系统已成为滑坡防治的重要手段。该系统能够整合多种来源的空间数据,进行复杂的空间分

析和可视化表达,为滑坡灾害的监测、预警和应急响应提供科学依据。(2)数据采集与处理技术。数据采集是监测预警系统的基础。通过安装各种监测设备,如位移计、倾斜仪、雨量计等,实时采集斜坡的位移、变形、降雨量等数据。数据处理则采用先进的数据分析算法和模型,对采集到的数据进行整理、筛选和初步分析,为后续的预警和应急响应提供依据。(3)预警信息发布与应急响应机制。预警信息发布是监测预警系统的关键环节。一旦监测到滑坡灾害的迹象或预警阈值被触发,系统应立即发布预警信息,通过短信、邮件、广播等多种渠道通知相关部门和人员。同时,应建立完善的应急响应机制,确保在滑坡灾害发生时能够迅速启动应急预案,采取有效的救援和抢险措施,最大限度地减少灾害造成的损失。

结束语

本研究通过综合评估方法与防治策略的探讨,为滑坡地质灾害的风险管理与应对提供了理论依据与实践路径。未来,需进一步融合先进技术与多学科知识,提升风险评估的精准度与防治措施的有效性。同时,加强公众教育与社区参与,构建全社会的防灾减灾体系,共同应对滑坡地质灾害挑战,守护人民生命财产安全与自然环境和諧。

参考文献

- [1]赵宁.滑坡地质灾害的成因与防治研究[J].中国安全生产科学技术,2020,(05):58-59.
- [2]刘晓明,王宁.滑坡地质灾害成因机制分析及防治对策[J].地质灾害与环境保护,2020,(04):45-46.
- [3]张伟,李霞.滑坡地质灾害防治技术研究与应用[J].工程地质学报,2020,(07):72-73.
- [4]刘刚.试论滑坡地质灾害勘察与治理方法[J].冶金与材料,2024,(14):149-150.