

# Study on risk assessment and prevention strategy of geological hazards in geological engineering

Yuanyuan Du

Hebei Provincial Institute of Regional Geology, Langfang, Hebei, 065000, China

## Abstract

Geological hazards have become a prominent issue threatening urban and rural safety and major engineering projects in China. Influenced by extreme climate, geological activities, and human engineering disturbances, these disasters are occurring more frequently with escalating losses. Research on scientific risk assessment and prevention strategies is crucial for enhancing regional security resilience and promoting sustainable social development. This paper systematically examines the mechanisms of landslides, rockfalls, debris flows, and ground subsidence. It comprehensively summarizes modern risk assessment and early disaster identification technologies including GIS remote sensing, numerical simulation, and big data applications. Through case studies, it analyzes the coordinated implementation of zonal governance, dynamic monitoring, and emergency response measures. The study emphasizes that prevention models should transition from passive emergency response to proactive early warning and intelligent prevention. It proposes a “project-information-management” collaborative approach, providing theoretical and practical references for optimizing China’s geological hazard prevention regulations, technologies, and management systems.

## Keywords

geological hazards; prevention and control strategies; geological engineering; comprehensive management

## 地质工程中的地质灾害风险评估与防治策略研究

杜媛媛

河北省区域地质调查院, 中国·河北 廊坊 065000

## 摘要

地质灾害已成为威胁我国城乡安全和重大工程建设的突出问题,受极端气候、地质活动和人类工程扰动等影响,频发多发且损失加重。科学的风险评估与防治策略研究对提升区域安全韧性、推动社会可持续发展至关重要。本文梳理了滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等灾害机理,系统总结GIS遥感、数值模拟、大数据等现代风险评估与灾害早期识别技术,结合典型案例分区治理、动态监测与应急响应等措施的协同应用。研究强调,防控模式应由被动应急向主动预警、智能防治转型,提出“工程—信息—管理”协同路径,并为我国地质灾害防治法规、技术与管理体系优化提供理论与实践参考。

## 关键词

地质灾害; 防治策略; 地质工程; 综合治理

## 1 引言

地质灾害作为自然灾害体系中破坏性最强、影响最广的一类,其风险评估与防治始终是地质工程、城乡规划与区域安全管理领域的核心议题。我国幅员辽阔、地形地貌多样,活跃的构造运动、复杂的地质条件和频繁的气候极端事件,使滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地裂缝等地质灾害多发、频发,严重威胁人民生命财产安全和重大工程设施运行。近年来,随着山区交通、特大型基础设施、高密度城镇化等工程活动加剧,诱发性地质灾害和次生灾害频率明显升高,灾害损失居高不下。传统防灾模式多以事后应急与被动治理为

主,缺乏全过程、全要素、动态化的风险管理理念和手段。科技进步推动了灾害空间大数据、智能监测、风险仿真等新方法的应用,风险评估与防控体系正向数字化、智能化、系统化转型。本文围绕地质工程实践,系统梳理地质灾害的致灾机理、风险评估理论与技术路径,结合典型案例分析防治策略的集成应用,旨在为我国地质灾害风险防治与安全治理体系现代化提供理论依据与操作范式。

## 2 地质灾害的类型、成因与演化机制

### 2.1 主要地质灾害类型与区域分布

地质灾害类型丰富、区域差异性强。滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地震灾害、岩溶灾害等在不同地貌区、构造带和工程环境中表现各异。山区与丘陵地带滑坡、崩塌和泥石流高发,平原区则以地面塌陷、地裂缝为主。岩溶地

【作者简介】杜媛媛(1980-),女,本科,工程师,从事地质岩土工程研究。

区易出现溶洞塌陷与地表沉陷,沿海与河流冲积区软土滑移和流变问题突出。西南、华南、华北、东北等区域受地质结构和气候影响,各类地质灾害空间分布极不均衡。特大型交通枢纽、水利水电、城市群等工程活动频繁区域,因扰动加剧,地质灾害诱发性风险更高。对区域类型的系统梳理,是精准风险评估和科学防控的基础。

## 2.2 地质灾害成因机理及影响因素

地质灾害成因复杂,受地质、地貌、水文、气象与人类活动多重作用。自然成因包括地质构造活动、地层软硬组合、地貌坡度、地下水变动、极端降雨、冻融循环等。人类工程活动(如边坡开挖、隧道掘进、采矿、蓄水、超载、地面建筑集中)对原有地质结构和应力场产生扰动,是诱发地质灾害的重要外部因素。现代城市化与大规模基础设施建设,往往打破地质环境的平衡,增加了灾害的突发性和隐蔽性。影响因素之间高度耦合、非线性叠加,使灾害风险的预测与管理面临极大挑战<sup>[1]</sup>。厘清成因机理,是制定科学防治措施的前提。

## 2.3 地质灾害演化过程与灾变特征

地质灾害具有孕育—发展—加速—突发的典型演化过程。以滑坡为例,初期地层软化、水力压力升高,诱发局部变形;发展阶段土体应力累积、微裂隙扩展,伴随局部滑移和沉降;加速期应力释放、位移突变,灾害陡然发生。泥石流往往由强降雨、坡面堆积物饱和引发,表现为突发性、链式反应和大规模物质迁移。地面塌陷常经历地基沉降—空洞发育—临界破坏的渐变过程。现代灾害研究强调对演化全过程的时空监测与机理建模,融合地表遥感、地下监测与应力场仿真,捕捉灾变临界点,实现灾害的前瞻识别与动态预警。

# 3 地质灾害风险评估理论与技术方法

## 3.1 地质灾害风险评估的理论基础

风险评估以风险管理、灾害链、系统科学等理论为支撑,强调危险性(灾害发生概率)、易损性(损失后果)与暴露度(受威胁对象)三元耦合。经典方法如概率统计、模糊综合评判、层次分析、灰色理论等,用于定量描述灾害发生概率与影响程度。近年来,风险评估正向空间化、动态化、多源数据融合发展,GIS与遥感、大数据与机器学习成为主流工具<sup>[2]</sup>。风险评估理论的系统化发展为灾害分区、工程防控与应急管理提供了理论框架。

## 3.2 GIS与遥感技术在风险空间分析中的应用

GIS(地理信息系统)与RS(遥感)实现对地质灾害空间分布、演化趋势和影响范围的综合分析。遥感数据可快速获取灾区地貌、地表变形、植被覆盖等动态信息,GIS用于多源数据集成、灾害因子权重分析、风险分区制图与动态监控。高分辨率影像、SAR干涉测量等遥感手段为滑坡、地裂缝等大范围灾害的识别和监控提供了高效手段。基于地理空间信息的灾害数据库与模拟平台,为多灾种耦合风险评

估、分级响应和预警提供支撑。GIS/RS技术的集成,是现代地质灾害风险评估与管理的核心工具。

## 3.3 数值模拟与大数据驱动灾害预测

数值模拟方法(如有限元、离散元、流体力学、地质过程建模等)在灾害机理分析和临界状态预测中应用广泛。结合地形、地质、降雨、应力等多维参数,模拟滑坡、泥石流等灾害的孕育发展过程,量化关键影响因子与极限工况。大数据与人工智能技术推动了海量监测数据的自动分析和灾害临界状态的智能识别。机器学习模型能够在多源、多时序数据基础上,实现灾害早期识别、风险趋势预测与灾害级别自动判定。数值模拟与大数据驱动的集成,为地质灾害主动预警和科学决策提供了坚实支撑。

# 4 地质灾害风险防控的工程措施与管理体系

## 4.1 灾害监测预警与动态响应

现代地质灾害防控体系的核心在于高效、精准的监测预警与动态响应能力。借助地表GNSS、形变监测、倾斜仪、应力计、地下水水位计、视频监控等多元传感手段,可以实现对滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等灾害隐患点的全天候、全要素动态感知<sup>[3]</sup>。当前,物联网、无线传感、边缘计算、云分析等智能技术日益深度应用于监测平台,大幅提升了数据采集、处理和响应的时效性。灾害预警系统通过分级发布预警信息,配套应急预案和响应流程,实现从异常识别到现场处置的高效联动,做到“早发现、早报告、早处置”。数字化、智能化的监测预警体系,已成为重大工程、城市群、交通走廊等高风险区域安全管理的“标配”,极大增强了区域灾害防控的主动性与科学性。

## 4.2 工程治理措施的集成应用

针对地质灾害成因复杂、空间异质性强的特点,工程治理必须坚持系统性、针对性与集成化。滑坡、崩塌高发区以边坡减载、锚固支护、挡土墙、排水系统、坡面绿化、抗滑桩等多元措施协同防治;泥石流沟采用拦砂坝、排导槽、沉砂池、植被修复等手段削弱灾害冲击力;地面塌陷和地裂缝治理则以地基加固、注浆、空洞充填、地表覆盖为主。近年来,“工程+生物+信息”集成治理理念不断强化,重视生态修复与信息化管控并重,减少对自然地貌的扰动。数字孪生、BIM等新技术的引入,不仅提升了治理方案的科学性,还优化了施工过程和运维管理,实现从前端设计到后期维护的全过程精细化管理。

## 4.3 灾害风险管理与应急体系建设

有效的地质灾害风险管理强调全过程、全要素、全社会参与。灾前,通过风险分区、隐患排查、灾害台账管理和动态预警,实现隐患早识别、早管控。灾中,建立多部门联动、快速响应的应急指挥体系,包括灾情会商、现场调度、应急物资储备、信息通报和人员疏散等环节。灾后,注重科学救援与协同恢复,强化技术支持、舆情管控与公众科普。各地

积极推进地质灾害综合减灾示范区和智能应急平台建设,打造“风险感知—响应处置—救援恢复”闭环管理模式。政府、企业、社区、公众多元协同,是提升灾害治理韧性、实现防灾减灾现代化的根本保障。

## 5 典型工程案例分析与防治优化建议

### 5.1 山区交通基础设施地质灾害防控

山区交通基础设施建设因地质环境复杂和气候条件多变,面临极高的地质灾害风险。以西南地区某高速公路为例,沿线地处山地丘陵过渡带,断层发育、岩土不均、降雨集中,边坡滑移频发,严重威胁道路安全。工程团队在实施过程中,系统开展分区风险评估,利用高分辨率遥感和三维地质建模识别高危滑坡体,并部署数字化动态监测系统,实现对边坡变形、地下水和降雨的实时监控。针对不同风险区,采取复合锚固、格构梁、抗滑桩等工程措施,并联合排水疏导和坡面绿化等生态手段,构建多元协同的治理体系。智能预警平台能动态分析监测数据,及时识别异常趋势并推送预警。运营期定期回访和数据跟踪显示,滑坡灾害风险明显下降,通行安全和经济损失均有效受控。该案例表明,分区治理、智能监测与全过程风险管理是山区交通地质灾害防控的关键,为类似工程提供了可复制的实践范例。

### 5.2 城市群地面塌陷与综合治理

城市群地面塌陷与地裂缝灾害在华北等地表现突出,已成为制约城市安全和可持续发展的重要隐患。近年来,随着地下空间过度开发、地下水超采和地质环境退化,塌陷灾害呈现高发、连片、多发态势<sup>[4]</sup>。以某特大城市群为例,项目集成大数据分析、地面雷达普查与深孔物探,实现塌陷风险区的精准定位与隐患动态分级。治理措施上,实施多轮地基注浆补强,降低地下水抽采速率,建立分层地下水位智能监测体系,对高风险区地面结构进行加固处理,同时完善地下空间开发审批和动态风险管控机制。城市规划部门协同调整土地利用和建筑密度,强化相关法规标准,推进地下空间一体化管控。多部门协同与技术集成带来了显著治理成效:地面沉降速率明显减缓,塌陷和裂缝灾害发生频率持续下降,基础设施安全水平和市民生活质量大幅提升。该案例表明,城市地质灾害治理必须坚持科学分区、系统治理和多部门协同,推动地下空间开发与风险防控融合发展,实现城市安全与可持续运行的良性互动。

### 5.3 泥石流高发区综合防治与生态修复

泥石流灾害在我国西南山区具有高发性和突发性,严

重威胁区域基础设施、居民安全和生态环境。以西南某典型泥石流沟治理工程为例,项目采用“工程措施—生态修复—社区防灾”一体化治理思路。治理初期通过遥感、无人机和地面调查等手段,对泥石流发源区和堆积区进行动态监测和灾害风险建模,确定灾害运动路径和影响范围。工程措施包括分级拦砂坝、排导槽、沉砂池等设施,实现泥石流主沟、支沟的有效拦截和分流,减少灾害下泄冲击力。同步推进坡面生态修复,选用本地树种灌草混播,稳定坡面、增强土壤保持,改善水文循环。社区防灾体系建设贯穿全过程,组织应急演练、科普宣传和风险教育,提升村民避险意识与自救互救能力。治理后区内泥石流灾害频率显著下降,植被覆盖率和生态系统功能明显提升,区域灾害防治和可持续发展水平稳步提高。该案例充分证明,工程措施与生态修复、社区共建协同,是泥石流等地质灾害可持续治理的有效策略,值得在全国类似地区推广借鉴。

## 6 结语

地质灾害风险评估与防治是地质工程安全与区域可持续发展的核心课题。面对灾害类型多样、成因复杂、空间异质性强新形势,需以风险管理为主线,集成GIS/RS、大数据、智能监测、数值模拟等多元技术,推动风险评估与防控手段智能化、系统化。工程防治需强调因地制宜、集成创新、绿色生态,强化灾害监测预警与全流程应急体系建设。典型案例表明,数字化治理、分区管控、生态修复和社会协同是提升灾害治理效能的必然趋势。我国地质灾害风险防控亟须完善法律法规、健全管理体制、加强技术创新和人才培养,推动多元主体协同,提升社会整体韧性。未来,应持续深化理论创新与工程实践,为实现国土安全、民生保障和可持续发展目标作出更大贡献。

## 参考文献

- [1] 吴治军.地质工程对地质灾害预警与监测的影响研究[J].中国金属通报,2025,(02):243-245.
- [2] 黎煜麒,伍江华,傅园庆.矿山开采地质工程中的环境保护与资源利用研究[J].世界有色金属,2025,(01):91-93.
- [3] 孙政.地质工程中地质灾害的减缓与防治策略[C]//香港新世纪文化出版社有限公司.2023年第七届国际科技创新与教育发展学术会议论文集(第三卷)。中水东北勘测设计研究有限责任公司;2023:407-408.
- [4] 李银光.地质资源勘查中地质工程的作用及其发展路径探寻[J].中国金属通报,2022,(04):10-12.