

# Construction of geological disaster exploration, monitoring and early warning system in ecologically fragile areas

Binhe Xu Yao Wang

Liaoning Province Geological Mineral Survey Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110034, China

## Abstract

Ecological fragile zones, characterized by complex geological structures and unstable ecosystems, have become high-risk areas for geological disasters that severely threaten human lives, property, and regional sustainable development. This paper focuses on establishing a geological disaster investigation and monitoring system in ecologically fragile regions. It first outlines the importance of such system construction, then analyzes the types and characteristics of geological disasters in these areas, with particular emphasis on exploring implementation pathways. These include conducting scientific geological surveys, building multi-level monitoring networks, developing intelligent early warning platforms, and improving emergency response mechanisms. Through this research, we aim to provide references for enhancing geological disaster prevention capabilities in ecologically fragile zones, thereby promoting their safety, stability, and sustainable development.

## Keywords

ecological fragile area; geological disaster; exploration; monitoring and early warning system; construction path

# 生态脆弱区地质灾害勘查与监测预警体系构建

徐彬赫 王瑶

辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 中国·辽宁 沈阳 110034

## 摘要

生态脆弱区因地质结构复杂、生态系统稳定性差, 成为了地质灾害的高发区域, 其严重地威胁着人民生命财产安全和区域可持续发展。本文便聚焦于生态脆弱区地质灾害勘查与监测预警体系构建, 先描述了体系构建的重要性, 然后分析了生态脆弱区地质灾害的类型及特点, 重点在于探讨体系构建的路径, 当中涵盖了科学开展地质灾害勘查、构建多层次监测网络、建立智能化预警平台、完善应急响应机制等。经过本次研究, 希望能够为提升生态脆弱区地质灾害防治能力提供参考, 促进生态脆弱区的安全稳定与可持续发展。

## 关键词

生态脆弱区; 地质灾害; 勘查; 监测预警体系; 构建路径

## 1 引言

生态脆弱区是指生态系统抗干扰能力弱、易退化且难以恢复的区域, 这类区域往往伴随着复杂的地质构造和剧烈的环境变化, 其地质灾害频发。尤其是滑坡、泥石流、崩塌、地面塌陷等地质灾害, 不但会造成人员伤亡和财产损失, 还会进一步地破坏本就脆弱的生态系统, 最终形成恶性循环。加之全球气候变化和人类活动的加剧, 生态脆弱区地质灾害的发生频率和危害程度呈现出上升趋势, 对其进行有效防治已成为了亟待解决的问题。而地质灾害勘查与监测预警体系作为防灾减灾的重要手段, 能够为地质灾害的早期识别、风险评估和及时预警提供科学的依据。然而当前生态脆弱区的

地质灾害勘查与监测预警工作还存在着诸多不足, 如勘查精度不高、监测网络不健全、预警响应不及时等。所以需要构建科学、完善的生态脆弱区地质灾害勘查与监测预警体系, 此举对于提高地质灾害防治水平、保障人民生命财产安全、维护生态平衡具有重要的现实意义。

## 2 生态脆弱区地质灾害的类型及特点

### 2.1 主要灾害类型

生态脆弱区的地质灾害类型多样, 目前常见的有滑坡、泥石流、崩塌和地面塌陷等。其中, 滑坡是指斜坡上的土体或岩体在重力作用下, 沿着一定的软弱面或软弱带整体顺坡下滑的现象, 一般在山区生态脆弱区较为常见, 且多发生于降雨集中期或地震之后。泥石流则是由暴雨、冰雪融水等引发的含有大量泥沙、石块等固体物质的特殊洪流, 它具有暴发突然、流速快、破坏力强的特点, 如今主要分布在地形陡

【作者简介】徐彬赫(1996-), 男, 中国吉林吉林人, 本科, 工程师, 从事水文和环境地质研究。

峭、松散堆积物丰富的区域。而崩塌是指较陡斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动、堆积在坡脚（或沟谷）的地质现象，常因岩土体风化、地震、爆破等因素引发<sup>[1]</sup>。最后是地面塌陷，它是指地表岩、土体在自然或人为因素作用下向下塌落，并在地面形成塌陷坑（洞）的一种动力地质现象，通常在岩溶发育区、矿区等生态脆弱区较为多发。

## 2.2 灾害特点

生态脆弱区的地质灾害具有隐蔽性强、突发性高、连锁性明显和危害性大等特点。原因是生态脆弱区地质结构复杂，致使许多地质灾害的孕育和发展过程难以被直接地观察到，因此具有很强的隐蔽性，该特点给早期发现和预警带来了困难。同时这些灾害还受降雨、地震等因素触发，所以发生的时间非常突然，且短时间内就能造成巨大的破坏。此外一种地质灾害的发生往往会引发其他灾害，进而形成连锁反应，如滑坡可能引发泥石流、地面塌陷可能导致建筑物倒塌等等。

## 3 生态脆弱区地质灾害勘查与监测预警体系构建路径

### 3.1 科学开展地质灾害勘查

地质灾害勘查在监测预警体系构建之中是基础环节，只有全面、准确地掌握地质灾害的分布、成因和发展趋势，才能为后续的监测预警工作提供可靠依据。而这一过程需形成“区域筛查—重点剖析—动态追踪”的递进式勘查体系，即结合生态脆弱区的特殊地质环境，实现从宏观到微观的精准把控。

#### 3.1.1 区域筛查

区域地质的调查需运用空天地一体化的技术手段，旨在实现大范围地质信息的高效获取。就遥感技术方面来说，可以采用高分辨率卫星影像（如高分七号，分辨率达0.5米）与无人机航测相结合的方式，对于生态脆弱区进行全域扫描。再通过影像解译识别滑坡后壁、泥石流沟槽、崩塌崖面等典型地貌标志，结合DEM数据便能生成坡度、坡向、地形起伏度等地形因子，一般圈定坡度 $> 25^\circ$ 、切割深度 $> 50$ 米为高风险区域。地质填图则采用1:5万比例尺精度，重点要标注地层界线、断层破碎带、软弱夹层等关键地质体，像西南岩溶山区的调查中，通过填图就发现80%的滑坡体均沿寒武系页岩与灰岩接触面发育。2、重点剖析

重点剖析即针对区域调查圈定的隐患点进行详细地勘查，此时需要实施“一点一策”的精细勘察。其中钻探可以采用XY-4型钻机进行斜孔钻探，孔深需达到滑面以下5-10米，以此通过岩芯鉴定来确定滑带土的物理性质。在物探技术组合方面，建议采用高密度电法（电极距5米）来探测地下水水位变化，结合地震反射波法来识别隐伏断裂。坑探则采用1.5米 $\times$ 2米的矩形探槽，以此直接揭露崩塌体的块石堆

积结构，测量出块石粒径与孔隙率，最终判断其稳定性。

#### 3.1.2 动态追踪

动态追踪的核心在于建立监测-分析-反馈的闭环机制。首先在隐患点布设自动化监测设备，如GNSS位移监测站（精度 $\pm 2\text{mm}$ ）、裂缝计（分辨率0.01mm），用于实时地采集变形数据。其次结合气象站（监测降雨量、风速）与土壤含水率传感器（测量深度1-3米），便能分析出外部诱因与灾害体变形的关联性。例如甘肃某黄土滑坡的动态勘查中，就发现日降雨量 $> 50\text{mm}$ 时，滑坡变形速率会从日均2mm增至8mm。再者建议采用InSAR技术进行季度性的大范围扫描，随后对比分析地表形变场的变化即可。最后动态勘查数据需要在每季度形成分析报告，据此调整监测点密度与预警阈值，便实现了勘查成果的动态更新<sup>[2]</sup>。

### 3.2 构建多层次监测网络

现阶段，多层次监测网络地构建是实现地质灾害有效监测的关键，此网络能够全方位、多角度地获取地质灾害的相关信息。具体的网络构建阐述如下：首先是宏观监测方面，要发挥出卫星与航空遥感的大范围覆盖优势。即卫星遥感采用Sentinel-1（C波段雷达，重访周期6天）与Landsat-8（多光谱，分辨率30米）的组合，以此通过雷达干涉测量（InSAR）获取地表形变的数据，从中识别年变形量 $> 50\text{mm}$ 的区域。航空遥感则采用固定翼无人机搭载激光雷达（LiDAR），便能获取1:2000比例尺的点云数据，进而生成高精度数字表面模型（DSM），基于该模型得以计算出坡体坡度、曲率等参数。其次是中观监测方面，应该在隐患点周边构建“点-线-面”结合的地面监测网。一方面需要在滑坡后缘布设3-5个GNSS监测站，并采用北斗三号卫星定位系统，采样频率设置为1Hz，进而实时地传输数据至监控中心；另一方面是要沿滑坡主轴方向布设测斜管（直径76mm），测量深度在20-50米之内，每0.5米记录一个数据，全面地监测着深部土体滑动的情况；此外在坡脚还需设置自动雨量站与土壤含水率仪，旨在监测降雨入渗对坡体稳定性的影响。最后便是微观监测方面，该部分需深入到灾害体内部，揭示其力学与水文响应机制。

### 3.3 建立智能化预警平台

智能化的预警平台是实现地质灾害快速、准确预警的核心，其能够对监测数据进行综合地分析和处理，及时地向相关人员发出预警信息。而该平台需具备“数据融合-智能研判-精准推送”三大功能，旨在依托于现代信息技术打破数据壁垒，进而提升预警的时效性与准确性。

#### 3.3.1 数据融合

数据采集与传输部分应该构建“天地一体”的通信网络。即宏观监测数据通过卫星链路（如北斗短报文）进行传输，以确保在无公网覆盖的偏远山区依然能够实现数据回传；中观监测站则采用4G/5G无线网络来上传变形、雨量等高频数据，带宽需满足10Mbps以上，延迟控制在100ms以内；

微观监测数据则借助工业以太网进行传输,如此能够保证毫秒级的数据同步。基于此,还需建立数据预处理中心,对于原始数据进行滤波(去除信号噪声)、插值(填补数据缺失)、标准化(统一数据格式)处理。

### 3.3.2 智能研判

智能研判即在数据分析与处理阶段引入“大数据+人工智能”的技术架构。其核心在于搭建分布式计算平台(如Hadoop集群),在其中存储5年以上的历史监测数据(单隐患点数据量>1TB),经由时空关联来分析挖掘变形与降雨、地震等诱因的关系。之后采用深度学习算法构建预警模型,如基于LSTM神经网络的滑坡预警模型,在其中输入近30天的变形速率、降雨量、孔隙水压力数据,便能输出未来7天的滑动概率。

### 3.3.3 精准推送

预警信息的精准推送需要以多级联动传播体系作为基础。具体来说:根据预警等级制定差异化发布策略,蓝色预警(风险较低)通过微信公众号、政务APP进行推送,且要附带隐患点位置与注意事项;黄色预警(有一定风险)则需要增加短信通知,并确保覆盖受影响区域的所有手机号;橙色与红色预警(高风险)便需要立刻启动应急广播系统,联动广播电视插播预警信息,同时调动村干部逐户地进行通知。

## 3.4 完善应急响应机制

在地质灾害监测预警体系之中,完善的应急响应机制是的重要组成部分,其能够在灾害发生后迅速采取有效的应对措施,进而减少灾害损失。但机制的设计需体现“预防为主、防治结合”的原则,且要覆盖灾前准备、灾中处置、灾后恢复的全流程。

### 3.4.1 灾前准备

灾前准备的关键便是应急预案地制定。针对于滑坡、泥石流等不同灾害的类型,应该明确应急组织机构(如成立由政府分管领导牵头的指挥部)、职责分工(国土资源部门负责监测预警,民政部门负责群众转移)、响应流程(从预警接收到应急结束的12个步骤)。而对特大型隐患点,需要编制专项的预案,在当中要明确转移的路线(需避开河道、陡坡)、安置点(满足人均面积 $\geq 3\text{ m}^2$ ,配备饮用水、医疗设备)、物资调度(每100人储备20顶帐篷、500kg粮食)。但最为重要的是,预案需经过专家评审,且每年结合监测数据与环境变化进行修订。

### 3.4.2 灾中处置

一方面是应急演练的实战化、常态化。即每半年组织一次区域性综合演练,经过模拟暴雨引发群发性滑坡的场景,来检验多部门协同作战能力。对高风险的隐患点,则每

季度均开展针对性的演练,如组织受威胁群众进行转移演练,记录下转移的时间(目标 $\leq 30$ 分钟)、秩序维护等情况。另一方面是应急救援队伍地建设,务必打造专业+志愿的复合型力量。其中专业队伍(如地质灾害应急救援队)可配备无人机勘察系统(续航时间>60分钟)、生命探测仪(探测深度>5米)、液压破拆工具等装备,在每年开展不低于120小时的专业训练(包括绳索救援、边坡支护)。同步发展村级的志愿队伍,在每个行政村均培训10-15名的志愿者,帮助他们掌握简易监测、伤员急救、群众转移等技能,并为其配备应急哨、手电筒、急救包等装备。

### 3.4.3 灾后恢复

灾后恢复与评估需坚持“科学评估、精准施策”<sup>[1]</sup>。具体来说:灾害发生后24小时内迅速地开展灾情核查,建议采用无人机航测与现场勘查相结合的方式,主要评估人员伤亡、房屋损毁、经济损失等情况。同时1周内完成灾害成因的分析,如通过监测数据判断滑坡是否因预警失效或强降雨超设防标准引发。然后便是编制灾后的恢复规划,该操作一般控制在3个月内,核心是对受损房屋实行原址重建或异地搬迁,而对地质灾害点采取工程治理(如抗滑桩、截水沟)。

## 4 结语

生态脆弱区地质灾害勘查与监测预警体系的构建对于保障生态脆弱区的安全稳定和可持续发展具有非常重要的意义。只有通过科学开展地质灾害勘查、构建多层次监测网络、建立智能化预警平台和完善应急响应机制等路径,才可以有效地提升生态脆弱区地质灾害的防治能力。跟随着科技的不断进步和防治经验的积累,生态脆弱区地质灾害勘查与监测预警体系将得到不断地完善和优化,为有效应对地质灾害风险、保护人民生命财产安全、促进生态环境改善能够提供更加有力的支撑。而相关人员在实践中应进一步加强多学科交叉融合,以此推动技术创新和应用,使得体系的智能化和精准化水平得到提升,为实现生态脆弱区的可持续发展提高一个坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 齐芳,丁建林,崔嘉琪,等.西南生态脆弱区重大建设工程渣场的生态修复技术和策略[J].应用与环境生物学报,2024,30(04):848-860.DOI:10.19675/j.cnki.1006-687x.2021.04062.
- [2] 夏玉成,孙学阳,苗霖田,等.智能时代的矿井地质工作展望——矿井开采智能地质保障技术体系架构[J].煤田地质与勘探,2025,53(01):64-76.DOI:10.12363/issn.1001-1986.24.07.0492.
- [3] 夏冬,邵国梁,李富平,等.新世纪我国露天矿边坡地灾监测预警与生态修复互馈研究进展与展望[J].金属矿山,2025,(04):241-255. DOI:10.19614/j.cnki.jsks.202504031.