

实景三维与地质信息集成的灾害风险评估方法研究

汪大超

天津市测绘院有限公司 天津 300381

摘要: 本文聚焦实景三维与地质信息集成的灾害风险评估方法。首先剖析传统灾害风险评估方法及其局限性,随后介绍实景三维与地质信息技术,并阐述二者集成的优势。在评估方法中,数据采集借助多种技术协同完成,预处理保障数据质量。数据集成以GIS平台构建多维空间,依据灾害类型构建评估模型。风险评估采用定性与定量结合,通过等级划分、空间分析等评估风险,借助敏感性分析和时空立方体工具为灾害应急管理提供决策依据。

关键词: 实景三维;地质信息集成;灾害风险评估

引言

在社会快速发展与城市化进程不断推进的当下,各类灾害风险持续增加,准确评估灾害风险对保障人民生命财产安全和社会稳定意义重大。传统灾害风险评估方法虽发挥了一定作用,但存在信息获取片面、空间分析不够深入、动态监测能力欠缺等局限。实景三维技术可呈现逼真的三维地理场景,地质信息技术能深入获取与分析地质信息。二者集成用于灾害风险评估,可实现对区域的多维度认知,增强评估的精准性与时效性,为应急决策提供科学支撑。

1 灾害风险评估研究现状

1.1 传统灾害风险评估方法

传统灾害风险评估方法主要包括经验评估法、指标体系法和模型评估法。经验评估法依赖专家的专业知识和实践经验,对灾害风险进行定性判断。在评估山体滑坡风险时,专家根据山坡坡度、岩土类型、植被覆盖等直观特征,结合过往类似区域的灾害发生情况,给出风险等级判断^[1]。这种方法简单易行,但主观性强,受专家个人经验和认知水平影响较大,评估结果的准确性和一致性难以保证。指标体系法通过选取一系列与灾害相关的指标,构建评估指标体系,并赋予各指标权重,然后对研究区域进行打分,根据总分确定灾害风险等级。以洪水灾害风险评估为例,可能选取降雨量、河流水位、流域地形、防洪设施等指标,通过层次分析法或德尔菲法等确定权重,计算综合得分。该方法在一定程度上实现了评估的定量化,但指标选取和权重确定存在一定主观性,且难以全面反映灾害系统的复杂性和动态性。模型评估法利用数学模型或物理模型模拟灾害发生过程和影响范围。如利用流体力学模型模拟洪水演进过程,通过输入降雨、地形、河道参数等数据,预测洪水淹没范围和水深。然而,这些模型往往需要大量准确的数据支

持,且模型的参数率定和验证较为困难,在复杂地质和地理条件下,模型的适用性和精度受到限制。

1.2 现有评估方法的局限性

传统灾害风险评估方法在信息获取层面存在显著短板。其依赖的监测数据和调查资料多来自有限的站点或局部区域,难以覆盖灾害孕育、发生与发展的全链条要素。以地震灾害评估为例,仅依靠地表地震监测台网数据,缺乏对活动断层深部结构、应力积累状态的精准探测,导致对地震发生概率和震级预估偏差。在空间分析方面,传统方法多以二维地图或简单三维模型呈现结果,难以直观展现灾害风险的空间异质性。对于山区滑坡灾害,二维平面图无法立体展示地形坡度、坡向与岩土分布的耦合关系,决策者难以快速定位高风险区域,延误防灾部署。现有方法在灾害风险评估方面存在明显短板,对时空维度的动态捕捉能力严重不足。在气候变化致使极端降雨愈发频繁、人类工程活动不断改变地质条件的复杂背景下,无法依据实际情况实时更新风险评估结果。这就导致在灾害应急管理中,难以快速精准研判风险态势,进而错失灾害防控的最佳时机,给生命财产安全带来巨大潜在威胁。

2 实景三维与地质信息技术概述

2.1 实景三维技术

实景三维技术是通过航空摄影测量、地面激光扫描、倾斜摄影测量等多种数据采集手段,获取地理空间的海量数据,然后利用计算机图形学、图像处理、三维建模等技术,构建真实、准确、直观的三维地理场景。航空摄影测量利用无人机或飞机搭载的航摄仪,从空中对地面进行多角度拍摄,获取高分辨率影像,通过空三加密、立体测图等流程,生成三维地形模型和正射影像^[2]。地面激光扫描则利用激光扫描仪对目标物体进行扫描,获取物体表面的三维坐标信息,可用于构建高精度的建筑

物、地形等三维模型。倾斜摄影测量通过在同一飞行平台上搭载多个相机,从不同角度拍摄地物,获取丰富的纹理信息和空间信息,能够快速生成逼真的三维实景模型。实景三维模型具有高精度、真实感强、信息丰富等特点,可直观展示地形地貌、建筑物、植被等地理要素的空间形态和相互关系,在城市规划、自然资源管理、文化遗产保护等领域得到广泛应用。在灾害风险评估中,实景三维技术可用于快速获取灾害发生区域的地形地貌变化、建筑物损毁情况等信息,为灾情评估和应急决策提供直观的可视化依据。

2.2 地质信息技术

地质信息技术主要包括地质调查、地质勘探、地质数据分析等技术手段,旨在获取和分析地质结构、岩土特性、地质灾害隐患等信息。地质调查通过野外实地勘察,观察和记录地层、岩石、构造等地质现象,绘制地质图件,了解区域地质背景。地质勘探则利用钻探、物探等方法,获取地下地质结构和岩土物理力学性质的详细信息。通过钻探获取岩芯样本,进行岩土力学试验,测定岩土的密度、强度、渗透性等参数;利用地震勘探、电磁勘探等物探方法,探测地下地质构造、岩性变化等情况。地质数据分析利用地理信息系统(GIS)、数值模拟等技术,对获取的地质数据进行处理、分析和可视化。GIS技术可将地质数据与空间位置关联起来,实现地质信息的空间查询、分析和制图,帮助地质学家更好地理解地质现象的空间分布规律。数值模拟技术则通过建立地质模型,利用有限元、有限差分等方法,模拟地质过程和地质灾害的发生、发展过程,预测灾害的影响范围和程度。地质信息技术在地质灾害预测、矿产资源勘探、工程地质勘察等领域发挥着重要作用。

2.3 两种技术集成的优势

实景三维与地质信息集成,能够整合多源信息,弥补单一技术的不足。实景三维技术提供了直观的地表空间信息,而地质信息技术揭示了地下地质结构和岩土特性,二者结合可实现对研究区域从地表到地下的全方位、立体化认知。在滑坡灾害风险评估中,实景三维模型可展示山坡的地形地貌、植被覆盖和建筑物分布情况,地质信息则可提供岩土类型、地质构造、地下水位等数据,通过集成分析,能够更准确地判断滑坡的潜在风险区域和滑动趋势。集成技术还能增强空间分析能力。利用GIS强大的空间分析功能,结合实景三维模型和地质信息数据,可进行缓冲区分析、叠加分析、三维空间模拟等操作,直观展示灾害风险在空间上的分布特征和演变规律。集成技术支持动态数据更新,能够及时反

映因自然因素或人类活动导致的地理环境和地质条件变化,实现对灾害风险的动态评估和实时预警,为灾害应急管理提供更及时、准确的决策支持。

3 实景三维与地质信息集成的灾害风险评估方法

3.1 数据采集与预处理

数据采集是灾害风险集成评估的根基,其质量与完整性直接决定评估结果的准确性。在实景三维数据采集方面,多种技术协同互补。对于大面积区域,航空倾斜摄影测量凭借高效、覆盖广的优势成为首选。以大疆无人机搭载五镜头倾斜摄影相机为例,在100米航高作业时,可获取地面分辨率达3厘米的影像,通过Pix 4D等软件进行空三加密、点云生成和三维建模,能快速构建包含地形地貌、建筑物、植被的宏观三维场景^[3]。而针对重点灾害隐患区、复杂山地峡谷等区域,地面激光扫描技术则发挥关键作用。Trimble TX8三维激光扫描仪可在1分钟内完成百万级点云数据采集,点云精度达 ± 2 毫米,能精准捕捉危岩体裂隙、陡坡结构面等细节信息,为灾害风险识别提供高精度数据支撑。地质数据采集需多手段结合。地质调查人员通过地质罗盘、GPS定位仪等工具,实地测量岩层产状、绘制地质剖面图,建立区域地质基础框架。钻探工程则获取地下岩芯样本,利用X射线衍射(XRD)分析矿物成分,通过三轴压缩试验测定岩土抗剪强度、弹性模量等力学参数。物探技术如探地雷达(GPR)可探测浅层滑坡面位置,地震折射波法能确定基岩埋深和风化层厚度。此外,气象水文数据采集不可或缺,自动气象站实时监测降雨量、风速风向,水文站通过雷达水位计和多普勒流速仪获取河道水位、流量数据,这些数据与灾害发生概率密切相关。数据预处理是保障数据可用性的关键环节。数据清洗需借助Python编写脚本,利用numpy和pandas库自动识别并剔除异常值,例如通过 3σ 原则过滤掉明显错误的气象监测数据。格式转换面临多源异构难题,实景三维的OBJ、3MX格式,地质数据的SHP、LAS格式,气象数据的CSV格式,需通过FME数据转换平台统一转换为GeoJSON或GDB格式。坐标统一过程中,先将数据从地方坐标系转换至CGCS 2000国家大地坐标系,再采用似大地水准面精化模型进行高程基准统一,如利用EGM 2008地球重力场模型将地方高程转换为正常高,确保不同来源数据在空间上精准匹配。

3.2 数据集成与建模

数据集成以GIS平台为核心枢纽,构建多维数据空间。ArcGIS Pro支持将实景三维模型作为底图加载,通过镶嵌数据集管理海量倾斜摄影模型。地质数据以矢量图

层形式叠加,将地层分界线、断层线与三维地形精准套合;钻孔数据则通过点要素属性表关联岩性、深度等信息,利用插值算法生成三维地质体模型。气象水文数据通过时空数据库存储,与三维场景中的监测站点位置关联,实现数据动态加载。例如在洪水风险评估中,实时水位数据可驱动三维河道模型进行水面线动态渲染。灾害风险评估模型构建需因灾施策。对于滑坡灾害,基于极限平衡理论构建的Morgenstern-Price模型,可综合考虑岩土粘聚力、内摩擦角、地下水位线、地震加速度等参数^[4]。将地质钻孔获取的岩土力学参数、实景三维提取的坡度坡向数据输入模型,通过Matlab编程求解安全系数,利用ArcGIS空间分析模块实现区域化计算。针对洪水灾害,采用二维浅水方程的Mike Flood模型,结合DEM地形数据生成河道地形,输入实时降雨、上游来水数据,模拟洪水演进过程。模型参数率定需利用历史洪水淹没范围数据,通过调整曼宁糙率、河道断面系数等参数,使模拟结果与实际情况吻合度达85%以上。

3.3 风险评估与分析

风险评估依托构建的模型,采用定量与定性结合方式。以滑坡风险等级划分为例,依据安全系数将风险分为四级:安全系数 >1.2 为低风险,1.0-1.2为中风险,0.8-1.0为高风险, <0.8 为极高风险。利用ArcGIS的自然间断点分级法,将计算结果渲染为专题地图,直观展示风险空间分布。缓冲区分析用于确定灾害影响范围,例如以滑坡边界为基准生成50米、100米缓冲带,评估潜在威胁区域。叠加分析则将风险图层与人口密度、建筑物分布、交通路网等承灾体数据叠加,利用空间连接工具统计受威胁人口数量、建筑物面积,估算直接经济

损失。敏感性分析采用拉丁超立方抽样法,在滑坡模型中对岩土粘聚力、地下水位埋深、降雨强度等参数进行 $\pm 20\%$ 的变动,通过蒙特卡洛模拟计算安全系数的变化方差。分析结果表明,在暴雨工况下,地下水位埋深对滑坡稳定性影响最为显著,其敏感性系数达0.68,为制定截排水工程等防灾措施提供科学依据。利用ArcGIS的时空立方体工具,将不同时段的风险评估结果进行动态展示,实现灾害风险的演变趋势分析,为应急管理部门制定预案提供可视化决策支持。

结语

实景三维与地质信息集成的灾害风险评估方法,整合多源数据构建多维空间,达成对灾害风险的全面动态评估。其突破传统评估局限,可直观呈现风险分布、精准界定影响范围,为防灾减灾提供科学支撑。展望未来,技术发展日新月异,需持续优化数据采集处理技术,提升模型精度与适用性,强化多源数据融合共享,推动评估向智能化、精细化迈进,为灾害应急管理及城市安全建设提供更有保障。

参考文献

- [1]周阳阳,孙中瑞,陈斌,等.基于实景三维模型的地质灾害隐患识别[J].时空信息学报,2024,31(1):148-156.
- [2]马海志,董书健,王思锴,等.面向实景三维城市建设的物探方法研究与应用[J].城市勘测,2024(3):1-8.
- [3]薛白茹,徐婷.测绘实景三维数据库管理系统的建设分析[J].中国金属通报,2024(9):104-106.
- [4]王朝国,陈建伟,许志鹏,等.云庄隧道施工全过程多源信息集成平台开发[J].公路与汽运,2025,41(2):135-140.