

基于 GIS 的地质灾害风险评价研究

张宇笑 余 萌

河南省地质研究院 河南 郑州 450016

摘要:我国是地质灾害高发国家,地灾频发对区域可持续发展、人民生命财产安全与生态环境稳定构成了严重威胁,山区地质条件构造复杂,极端降雨与城镇化进程中的高强度人类活动,致使各类地质灾害易发、多发。精准识别与评估灾害风险,是做好防灾减灾工作的基本前提。地理信息系统(GIS)凭借其强大的多源空间数据整合、空间叠加分析、栅格运算及可视化表达能力,打破了传统地质灾害评价数据分散、定性为主、精度不足的局限,已成为地质灾害风险量化、空间化评价的核心技术支撑。

关键词:地理信息系统(GIS);地质灾害;风险评价;指标体系;信息量模型;层次分析法

1 引言

我国常见的地质灾害类型有滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等,其中滑坡、泥石流、崩塌分布最广、危害最重。传统地质灾害评价多依赖野外调查,以定性描述和经验判断为主,难以实现大区域、高精度、动态化的定量评价,多源数据整合利用较困难,评价结果主观性强、空间辨识度不足。GIS技术为地质灾害风险评价提供了高效技术平台,能统一管理地形、地质、气象、遥感、人类活动等多源异构数据,并通过空间分析功能实现评价指标的量化提取与模型运算,大幅提升评价结果的科学性与精准度。

本研究基于GIS的地质灾害风险评价完整体系,主要包括:地质灾害风险的核心内涵与GIS技术应用优势;地质灾害风险评价指标体系的构建原则、筛选流程、分级分类与量化标准;评价单元划分、数据预处理等关键技术问题,为同类研究提供参考。

2 地质灾害风险评价理论基础

2.1 地质灾害风险的内涵

地质灾害风险是指在一定的时间尺度和空间范围内,地质灾害发生的可能性及其造成的人员伤亡、财产损失、生态环境破坏的综合期望值,并非单一概念,而是由易发性、危险性、易损性、暴露性四大核心要素耦合而成,其通用数学表达式为:

$$R = H \times V \times E$$

式中:R为地质灾害风险度;H为地质灾害危险性,由易发性与致灾因子共同决定;V为承灾体易损性,数值越大易损性越高;E为承灾体暴露性,代表人口、建筑、经济等承灾体暴露于灾害威胁区域的数量、密度与价值。

2.2 GIS在风险评价中的作用机制

GIS技术贯穿地质灾害风险评价全流程,核心作用主

要体现在三个方面:一是多源数据整合,可将矢量、栅格、文本等不同格式,地形、地质、社会经济等不同类型的数据库统一坐标与格式;二是空间分析与指标量化,可应用于表面分析、叠加分析、缓冲区分析、栅格计算等功能,提取坡度、坡向、断层距离等各类评价指标,实现指标与数据的空间化、量化;三是评价结果可视化与决策支持,可将指标运算结果、风险评价结果生成专题地图,直观展示风险等级空间分布,为防灾减灾决策提供直观依据。

3 评价模型与方法

3.1 信息量模型

信息量模型是通过对各评价指标的信息量值进行叠加计算,可得到研究区的总信息量,进而据此划分地质灾害易发性与危险性等级,各评价指标分级对应的信息量计算公式如下:

$$I(x_i, Y) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S}$$

评价单元总信息量为各指标信息量之和:

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n I(x_i, Y) = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S}$$

式中:n为评价因子总数,I总代表各评价单元的总信息量,其余符号含义与前文一致。

各评价单元的总信息量I总,可综合反映多因子的共同影响下地质灾害的易发程度,其数值越高,表明该单元发生地质灾害的可能性越大。

3.2 层次分析法(AHP)

层次分析法是美国运筹学家T.L.Saaty提出的定性定量相结合的系统分析方法,通过指标两两比较确定重要性标度,计算指标权重并进行一致性检验,适用于地质灾害评价体系中各评价指标的权重确定环节。

其基本步骤分为四步:一是构建层次结构,分为目

标层(地质灾害风险评价)、准则层(易发性、危险性、风险性)、指标层(各类具体评价指标);二是构造判断矩阵,采用1-9标度法对同层次指标两两比较重要性,1代表同等重要,9代表极端重要;三是计算指标权重向量,通过乘积方根法求解判断矩阵特征向量,即为指标权重;四是一致性检验,计算一致性指标CI与随机一致性比率CR,当 $CR < 0.1$ 时,判断矩阵满足一致性要求,权重有效。该方法可与GIS深度结合,实现权重空间化运算,弥补单一信息量模型的局限性。

4 关键技术问题

4.1 评价单元划分

评价单元作为地质灾害风险评价的基础空间载体,其划分合理性直接决定最终的评价结果精度,常用的评价单元类型主要有规则栅格单元、自然斜坡单元、行政单元以及均一条件单元这几类,其中规则栅格单元是GIS评价的主流选择。栅格单元大小需合理选取,综合现有研究与工程实践,中小尺度精细化评价采用5m-10m栅格,大区域评价采用20m-30m栅格,可在精度与效率之间达到平衡。

5 评价指标体系构建

5.1 指标体系构建原则

指标选取需贴合实际评价需求,遵循四项核心原则,兼顾科学性与可操作性:一是科学性,贴合地质灾害形成机制,选取与灾害发生密切相关的因子;二是主导性,抓住坡度、降雨、岩土体类型等关键控制因子,剔除重复无关指标;三是可操作性,指标数据易获取、易通过GIS量化处理,不选取难以监测或空间化的指标;四是区域性,根据研究区灾害类型、地质条件灵活调整,适配不同区域特点。

5.2 三级指标体系详细内容

本次指标体系分为易发性、危险性、风险性三大模块,层层递进,全面覆盖灾害形成到损失的全过程,各模块指标及GIS处理方法如下:

5.2.1 易发性评价指标(孕灾环境静态指标)

易发性指标反映地质灾害发生的潜在基础条件,属于静态指标,短期内不会发生明显变化,是地质灾害评价的基础指标,主要涵盖地形地貌、地质条件等,共8项核心指标:

(1) 地形地貌指标

坡度:核心控制指标,是滑坡、崩塌灾害的最关键因素。GIS通过DEM数字高程模型提取,分级标准:0-5°(极低易发)、5-15°(低易发)、15-25°(中易发)、25-35°(高易发)、35°以上(极高易发)。

坡向:影响区域日照、降水入渗与植被覆盖。GIS通过DEM提取,分为阳坡、阴坡、半阴半阳坡。

高程:反映区域地形起伏与降水、植被分布差异,结合研究区地形分为低海拔、中海拔、高海拔,高海拔山区地形起伏大,灾害易发性更高。

地形曲率:分为凸形坡、凹形坡、直线型坡,凸形坡应力集中,岩土体稳定性差,易发生滑坡;凹形坡易积水,软化岩土体,也属于高易发地形。

地形起伏度:反映区域地形切割程度,切割越剧烈,地形起伏度越大,斜坡稳定性越差,灾害易发性越高,GIS通过DEM邻域分析提取。

(2) 地质条件指标

岩土体类型:决定岩土体抗剪强度与稳定性,是地质灾害的物质基础。分为坚硬岩石、软质岩石、松散堆积层、砂砾石层,其中软质岩石与松散堆积层抗剪强度低,遇水易软化,属于极高易发岩土体。

距断层距离:断层破碎带岩体完整性差,裂隙发育,易渗水,距离断层越近,灾害易发性越高。通过GIS做缓冲区分分析,分级:0-500m(高易发)、500-1000m(中易发)、1000m以上(低易发)。

(3) 人为诱发因子

距道路距离:道路建设切坡破坏斜坡天然平衡,距离道路越近,危险性越高,GIS通过交通图做缓冲区分分析,分级:0-200m(高危险)、200-500m(中危险)、500m以上(低危险)。

提取核心指标后,先利用AHP层次法在yaahp软件中求得因子权重,再据孕灾条件用信息量法计算各分级信息量值。两者相乘得到加权信息量,基于GIS叠加生成综合指数,经自然断点法划分为高、中、低及非易发四级。

5.2.2 危险性评价指标

危险性指标在易发性基础上,叠加动态诱发因子,反映灾害实际发生概率,分为自然与人为两类诱发指标。

自然诱发指标:降雨是最主要诱因,通过气象数据空间插值获取年均降雨量、最大日降雨量,降雨强度越大,灾害发生概率越高;其次为植被覆盖度,GIS通过NDVI归一化植被指数提取,覆盖度越低,岩土体固持能力越差,危险性越高;最后为地震烈度,地震震动破坏岩体完整性,触发大量滑坡、崩塌灾害,地震烈度越高,危险性越大,通过地震烈度图矢量化获取。

地质灾害危险性评价采用信息量模型与层次分析法相结合的方法进行评价。采用前述信息量模型,计算出降雨因子的信息量值,将降雨因子的信息量与地质灾害易发性评价中主要因子的信息量进行对比,再通过层次分析法

得到降雨的权重,将该因子分级及权重带入易发性评价结果中,应用ArcGIS软件进行叠加,得到危险性评价结果,采用自然断点法,最终得到危险性评价模型图。

5.2.3 易损性评价指标(承灾体指标)

易损性指标反映灾害发生时可能造成的损失程度,属于人文社会经济类指标,需结合GIS空间化与社会经济数据整合,核心指标如下:

人口暴露性指标:指单位面积内的人口数量受地质灾害威胁的暴露程度,人口密度越大,灾害风险的潜在暴露水平越高。造成的人员伤亡风险越高,GIS通过人口统计数据空间插值生成人口密度栅格。

经济暴露性指标:地均GDP、建筑密度、固定资产价值,反映区域经济资产暴露程度,建设用地密集、经济发达区域,经济损失风险更高,通过社会经济统计数据与土地利用数据结合量化。

承灾体易损性指标:根据承灾体的抗灾能力,主要分为高易损、中易损、低易损三级,民用建筑、公共设施属于高易损,林地、耕地属于低易损,结合土地利用类型与建筑结构类型赋值。

基础设施暴露指标:道路、铁路、通信、水利设施分布,基础设施越密集,灾害造成的社会影响与经济损失越大,通过矢量数据空间叠加分析量化。

根据承灾体易损性按照上述赋值的各易损性图层进行叠加后,得到易损性指数,进一步叠加易损度栅格数据并做归一化处理,依据自然断点法将评价区易损性综合指数分为极高、高、中、低等4个等级,生成地质灾害易损性分区模型图。

5.2.4 风险性评价

按《重点区域地质灾害风险调查评价规范(1:10000)》(DB41/T 2431-2023)》中“地质灾害风险等级划分建议表”将上述得到的危险性和易损性评价结果采用矩阵分析法叠加运算,将地质灾害风险评价结果划分为极高风险区、高风险区、中风险区、低风险区等4级,最终得到

地质灾害风险评价模型图。

6 结论

本研究主要基于GIS的地质灾害风险评价理论、方法与核心技术,重点细化了评价指标体系。GIS在多源数据整合、指标量化与可视化方面优势明显,是风险定量化评价的核心平台。

指标体系构建应遵循科学性、主导性、可操作性、动静结合与区域性五大原则,按“易发性—危险性—风险性”三级框架进行展开,需涵盖地形、地质、降雨、人类活动、承灾体等多种维度。

评价单元的划分、指标预处理与不确定性分析是关键环节。该领域当前正从静态、半定量向动态、全定量、智能化方面演进,指标体系将不断优化,为地质灾害风险调查和防控提供更科学的技术决策支撑。

参考文献

- [1]殷坤龙,朱良峰.滑坡灾害空间区划及GIS应用研究[J].地学前缘,2001,8(2):279-284.
- [2]黄润秋,李为乐.汶川地震触发崩塌滑坡数量及其密度特征分析[J].地质灾害与环境保护,2009,20(3):1-7.
- [3]吴树仁,石菊松,张春山,等.地质灾害风险评估技术指南[J].地质通报,2009,28(8):995-1005.
- [4]汤国安,杨昕.ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M].北京:科学出版社,2012.
- [5]刘光旭,戴尔阜,吴绍洪,等.基于GIS的滑坡灾害风险评价研究进展[J].地理科学进展,2010,29(11):1379-1386.
- [6]许冲,戴福初,姚鑫,等.GIS支持下基于信息量模型的汶川地震滑坡危险性评价[J].岩土力学,2010,31(S2):355-360.
- [7]兰恒星,伍法权,周成虎,等.基于GIS的云南小江流域滑坡危险性评价[J].岩石力学与工程学报,2002,21(5):707-712.
- [8]张梁,张业成,罗元华.地质灾害灾情评估理论与实践[M].北京:地质出版社,1998.
- [9]唐川,朱静.基于GIS的泥石流危险度区划研究——以云南省为例[J].地理科学,2002,22(3):300-304.