

基于GIS的地质灾害易发性分区评价

陈志雄¹ 龙顺军² 程栋¹

1 云南省有色地质局勘测设计院 2 西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v6i6.1614

[摘要] 本文基于GIS平台,结合评价区区域地质概况、地质灾害发育特征和分布规律,在综合分析评价区内各类型地质灾害孕灾地质条件的基础上,通过层次分析法(AHP)确定各类型地质灾害的权重,采用信息量模型计算各评价指标的信息量值,构建地质灾害易发性评价体系,对该区域地质灾害易发性进行评价。以期对相关工作者起到一定的指导作用。

[关键词] GIS; 地质灾害; 易发性评价

中图分类号: P5 **文献标识码:** A

Zoning of probable occurrence level of geological disasters based on GIS

Zhixiong Chen¹ Shunjun Long¹ Dong Cheng²

1 Survey and Design Institute of Yunnan Nonferrous Geological Bureau

2 Southwest Nonferrous Kunming Survey and Design (Institute) Co., Ltd

[Abstract] This article is based on GIS, combined with the evaluation of regional geological overview, geological disaster development characteristics and distribution patterns, and based on a comprehensive analysis of the geological conditions of various types of geological disasters in the study area, the weight of each type of geological disaster is determined through Analytic Hierarchy Process (AHP), and the information content value of each evaluation index is calculated using an information content model to construct a geological disaster system, In order to provide certain guidance for relevant workers.

[Key words] GIS; geological hazard; evaluation of probability of occurrence

前言

地质灾害包括自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害^[1]。本文结合评价区收集或调查的区域地质概况、地质灾害发育特征和分布规律,在综合分析评价区内各类型地质灾害孕灾地质条件的基础上,通过层次分析法(AHP)确定各类型地质灾害的权重,采用信息量模型,分别计算各评价指标的信息量值,构建地质灾害易发性评价体系,对该区域地质灾害易发性进行评价,为评价区下一步地质灾害危险性、风险性、地质灾害防治分区及国土空间规划等提供基础性评价资料。本文采用的易发性分区评价思路及方法,期望能对从事相关工作的同仁提供一些帮助。

1 概述

1.1 区域地质环境概况

收集评价区内自然地理气象、水文资料,收集并适当修测评价区内地形地貌、地层岩性、地质构造、新构造运动与地震、水文地质特征、工程地质条件、人类工程活动等基础性地质资料。根据收集资料,并结合野外调查、核查情况,分析地质灾害

类型、地质灾害发育特征、地质灾害分布规律、地质灾害危害特征等区域地质环境概况。

1.2 地质灾害孕灾地质条件

地质灾害的发生是地形地貌、地层岩性、地质构造、植被发育情况、降雨、地震、人类工程活动等诸多因素共同作用的结果,其中地形地貌、地层岩性、地质构造、岩土体工程地质条件等是地质灾害产生的基础条件,降雨、地震、人类工程活动等是地质灾害形成的诱发因素。本文主要以崩塌、滑坡及泥石流灾害分析为例,分析其孕灾地质条件,为区域内地质灾害易发性指标的选择和权重设置提供依据,其它灾害类型如地面塌陷等按类似思路进行分析。

1.2.1 滑坡、崩塌孕灾地质条件

根据收集资料、结合野外对滑坡、崩塌核查、调查情况,通过定性评价方法分析地形地貌(地形起伏度、坡度、曲率)、地层岩性(工程地质岩组)、地质构造、斜坡结构、人类工程活动(道路建设、建房、土地利用)、河流等孕灾地质条件与滑坡、崩塌地质灾害的关联性。为后期层次分析法(AHP)评价因子权重值选取提供基础性依据。

1.2.2 泥石流孕灾地质条件

泥石流形成发育主要受地形条件和物源条件等地质环境条件控制。为了进一步分析研究泥石流的主控因子,为下一步层次分析法(AHP)评价因子权重值选取提供依据。其中:地形条件主要分析为流域面积、流域坡度、沟壑密度、相对高差、主沟纵坡等;物源条件主要分析为流域内地层岩性(工程地质岩组)、植被覆盖率、流域内灾害密度等进行分析。

2 易发性评价方法

2.1 评价单元的选取

基于GIS的地质灾害易发性评价是将影响地质灾害发育的各种因素用专题图层(如坡度图层、地层岩性图层等),按照特定的形式将图层离散成单元集合体(如规则格网单元、行政单元),基于一定准则对图层进行叠加计算,业界认可的划定单元的方法有三种,规则栅格单元、行政单元、自然斜坡或地貌单元。目前,普遍采用规则格网单元作为基本的评价单元,这种评价单元具有数据结构简单、便于运算的特点,用于评价崩塌、滑坡等面积相对较小的灾害时具有极大的优势。根据相关技术要求。本文评价区全域滑坡、崩塌采用栅格数据处理方法对调查区进行剖分,每个评价单元不低于25m×25m。泥石流采用流域为单元进行易发性分析评价^[2]。

2.2 易发性评价指标选取原则

地质灾害作为一个复合的非线性系统,因地质灾害类型不同,影响地质灾害发育的因素的关系性或主要影响因素也不相同。根据评价区地质灾害类型及数量、地质灾害发育特征、地质灾害分布规律、地质灾害危害特征、孕灾地质条件分析以及一些常用地质灾害易发性指标选取的统计方法,筛选出具有代表性且能运用于实际评价的指标,并按其各自影响因素权重进行组合,就构成了评价区地质灾害易发性指标体系。因此,此评价指标除了具备典型性、代表性和系统性外,还应考虑数量性、综合性、可操作性及适用性等^[3]。

2.3 易发性评价指标体系建立

综合考虑崩塌、滑坡、泥石流等各种类型地质灾害作用。在上述地质灾害易发性指标体系建立原则的基础上,从各种类型地质灾害的孕灾地质条件的角度,尽可能全面考虑各种地质灾害发生的各种影响因素。基本孕灾地质条件是指确定评价区地质环境条件和地质灾害发生背景的基本地质因素,包括坡度、坡形、高程、工程地质岩组、斜坡结构类型、断层距离、土地利用现状、植被覆盖率等。影响因素指影响和诱发地质环境向不利方向演化甚至导致地质灾害发生的各种外动力和人类活动因素,包括汛期累积降雨量、地震、道路建设等^[3]。

2.4 易发性评价模型

本次评价区地质灾害易发性评价采用以层次分析法(AHP)与信息量法相结合的方法。

2.4.1 信息量法模型原理及建模流程

(1)信息量法模型原理。地质灾害的形成受多种因素影响,信息量模型反映了一定地质环境下最易致灾因素及其细分区间

的组合;具体是通过特定评价单元内某种因素作用下地质灾害发生频率与区域地质灾害发生频率相比较。由于每个评价单元受众多因素的综合影响,各因素又存在若干状态,各状态因素组合条件下地质灾害发生的总信息量可用下式确定^[4]:

$$I = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i / N}{S_i / S}$$

式中: I——对应特定单元地质灾害发生的总信息量,指示地质灾害发生的可能性,可作为地质灾害易发性指数;

N_i ——对应特定因素、第*i*状态(或区间)条件下的地质灾害面积或地质灾害点数;

S_i ——对应特定因素、第*i*状态(或区间)的分布面积;

N ——评价区地质灾害总面积或总地质灾害点数;

S ——评价区总面积。

(2)评价单元。地质灾害的易发性评价首先要选择一个合适的评价单元,即作图单元。本次采用按照栅格单元划分的评价法,基于前人的研究经验以及评价区的实际情况,本次以25m×25m栅格单元为最小评价单元。

(3)信息量法建模流程。基于对区域地质资料收集,结合野外调查、核查情况,分析评价区地质灾害发育特征和分布规律,在综合分析评价区内各类型地质灾害孕灾地质条件的基础上,通过层次分析法(AHP)确定各类型地质灾害的权重;利用GIS的空间分析功能对各评价指标赋值;并再次利用GIS对各评价因子叠加和栅格代数功能得到综合信息量图。再次结合野外调查情况,对采用信息量分析得到的易发性评价图中的一些异常小图斑进行合理归并,边缘进行拟合平滑,消除锯齿,得到较为圆滑的边界,最后按照斜坡单元划分易发性分级^[5]。

2.4.2 层次分析法确定权重

层次分析法(AHP)于20世纪70年代最早由美国著名的运筹学家T. L. Satty提出,它是一种定量分析和定性分析相结合的多准则决策方法^[6]。层次分析法自1982年引进中国来,在社会中的许多方面都得到了广泛应用,它灵活简便,所需定量数据量少,是一种系统性的分析方法。

运用层次分析法确定指标权重,一般可以分为建立递阶层次结构、建立判断矩阵、计算权向量、判断矩阵一致性检验与计算各指标的组合同权重等环节。现分述如下:

(1)建立递阶层次结构。采用层次分析法首先要建立问题的递阶层次结构,将问题进行分解,形成若干个层次。对于递阶层次结构模型,除了目标层之外,其余所有元素都至少需要与相邻的上一层的一个元素发生联系。

(2)建立判断矩阵。建立好递阶层次结构后,从上至下,依次以上一层元素为依据,分别两两比较下一层与之相关的元素,最后建立判断矩阵。以A层与B层为例,则A—B之间的判断矩阵描述为表1。 B_{ij} 为准则与准则相对于目标重要性的比例标度,本文采用广泛使用的1~9标度法(表1、表2)。

表1 A—B 层判断矩阵

A	B1	B2
B1	B11	B12
B2	B21	B22

表2 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	表示两个因素相比, 具有相等的重要性
3	表示两个因素相比, 前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比, 前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比, 前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比, 前者比后者极端重要
2、4、6、8	上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 a_i 与因素 a_j 的重要性之比为 a_{ij} , 那么因素 a_j 与因素 a_i 的重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

(3) 判断矩阵一致性检验。根据矩阵论理论, 当判断矩阵具有完全一致性时, 它的最大特征根与判断矩阵的阶数相等, 此时 $\lambda_{\max}=m$, 其余特征根为0; 反之, 则 $\lambda_{\max} \neq m$, 此时, 采用判断矩阵最大特征根 λ_{\max} 与判断矩阵的阶数 m 之差与 $m-1$ 的比值作为衡量判断矩阵一致性的指标。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (1-1)$$

从式1-1可以看出, 当 $\lambda_{\max}=m$ 时, $CI=0$, 即为判断矩阵具有完全一致性。 $\lambda_{\max}-m$ 的值越大, CI 值越大, 判断矩阵的一致性越差。

判断矩阵保持一致性的难度随着判断矩阵的阶数增大而变大, 因此当判断矩阵阶数较大时, 很难保持一致性, 此时采用随机一致性比率 (CR) 来评判矩阵的一致性。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1-2)$$

式中 RI 为同阶平均随机一致性指标。当 $CR < 0.1$ 时, 判断矩阵通过一致性检验; 当 $CR > 0.1$ 时, 判断矩阵不能通过一致性检验, 必须调整判断矩阵的元素, 直至通过一致性检验。

3 地质灾害易发区性评价

3.1 地质灾害易发性分析

在获取滑坡、崩塌及泥石流灾害易发性评价结果后, 将三者采用相比取大值的方法获取综合地质灾害易发性评价图, 即同一个栅单元的易发性值为泥石流灾害易发值和崩塌、滑坡灾害易发值的大值。计算公如下:

综合地质灾害易发值 = MAX[泥石流灾害易发值, 崩塌灾害易发值, 滑坡灾害易发值]

这里并不采用直接的叠加的原因是, 直接叠加会导致处于泥石流极高易发栅格单元叠加斜坡灾害低易发栅格之后综合易发值位于中位值左右, 在叠加之后用自然间断法分级时, 中位值附近的数值被分为中易发或高易发, 这就与实际情况

产生了偏离, 因此, 采用取大值叠加的方法求取综合易发性更合理^[7]。

本次以滑坡为列, 对评价区易发性评价按上本文上述易发性采用的信息量法与层次分析法相结合的方法进行分析说明。

据滑坡孕灾地质条件分析, 地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、斜坡结构、人类工程活动以及其他因素等方面进行了滑坡孕灾地质条件分析。根据野外调查情况, 结合上述已发育滑坡与及层次分析法(AHP)各孕灾因子的数理统计表明, 区内滑坡的发育分布首先受地形坡度和工程地质岩组的影响, 然后受地势起伏度、与断层距离影响较为显著, 斜坡结构和人类工程活动影响显著。综上, 选取以下6个二级因子指标评价滑坡地质灾害的易发性。(表3)。

表3 评价区滑坡易发性因子选取

一级因子	地形地貌		地质构造	地层岩性	人类工程活动	其它
二级因子	地势起伏度	坡度	距断层距离	工程地质岩组	土地利用	斜坡结构类型

按信息量法基本原理计算的评价因子信息量如下表4所示:

表4 评价区滑坡易发性评价因子信息量值

因子	分类	代号	个数	面积	信息量
坡度	0° - 8°	C1	24	220.02	-0.0702
	8° - 15°	C2	90	377.32	0.7121
	15° - 25°	C3	231	1298.95	0.4185
	25° - 35°	C4	76	1336.29	-0.7215
	35° - 45°	C5	8	412.97	-1.7985
	>45°	C6	0	20.54	/
地势起伏度

3.2 评价因子权重的确定

根据野外调查成果及统计分析, 区内滑坡灾害B层权重矩阵见表5。

表5 滑坡B层权重矩阵

B层权重矩阵	土地利用类型	斜坡结构	距断层的距离	地形起伏度	坡度	工程地质岩组
土地利用	1	1/3	1/5	1/7	1/9	1/9
斜坡结构	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9
距断层距离	5	3	1	1/3	1/5	1/7
地势起伏度	7	5	3	1	1/3	1/5
坡度	9	7	5	3	1	1/3
工程地质岩组	9	9	7	5	3	1
权重	0.0235	0.0387	0.0730	0.1387	0.2600	0.4662
CR=0.0725<0.1 满足一致性检验						
$\lambda_{\max}=6.4569$						

由表5可知:评价区滑坡灾害的主控因子为工程地质岩组及地形坡度,其次为与地形起伏度、断层距离、斜坡结构,土地利用影响较弱^[4]。

3.3 评价结果分析

应用滑坡易发性分析类似方法,即通过层次分析法(AHP)确定各类型地质灾害的权重;利用GIS的空间分析功能对各评价指标赋值;并再次利用GIS对各评价因子叠加和栅格代数功能得到滑坡易发性综合指数,然后基于自然间断点,按照《地质灾害风险调查评价技术要求(1:50 000)》要求,把栅格单元易发性等级按照斜坡单元划分为高、中、低、非四级。应用相同方法对评价区内代表性灾种进行易发性分析,并将各灾种的易发性分区图进行叠加,按就高原则得到评价区内基础性地质灾害易发性分区图。

4 结束语

(1)本文思路是通过GIS平台栅格化,以信息量法与层次分析法相结合的方法进行评价区易发性分析,再采取人工修正后的易发性分区图,即将原图中的一些异常小图斑进行合理的归并,边缘进行拟合平滑,消除锯齿,得到较为圆滑的边界,得出评价区地质灾害综合易发性分区评价图。修正后地质灾害综合易发性分区评价图较符合实际,为下一步地质灾害危险性、风险性分区评价提供较为合理、可行的基础性地质基础资料。

(2)本文对滑坡、崩塌及泥石流灾害基于GIS平台栅格化进行易发性分析,并将三者采用相比取大值的方法获取综合地质灾害易发性评价图,即同一个栅单元的易发性值为泥石流灾害易发值和崩塌、滑坡灾害易发值的大值。

(3)评价区野外对有人类工程活动地段进行调查、核查,对无人区未进行调查,导致无人区无灾点等信息量值,基于以上原因,可能导致人类工程活动强烈地段地质灾害较发育,综合易发

性指数偏高,而无人区地段,无灾害点信息,易发性指数相对偏低;地形地貌、地层岩性、地质构造等地质灾害影响因子的选取、分级及其与初步分析筛选地质灾害易发性分区权重的确定尚没有统一的标准,而它们对易发性分区结果的影响较大,还需要进一步研究^[8]。

[参考文献]

[1]中华人民共和国国土资源部.滑坡崩塌泥石流灾害调查规范(1:50000):DZ/T0261-2014[S].2014.

[2]赵帅,赵洲.基于信息量模型的地质灾害易发性评价[J].水力发电,2019,45(3):27-32.

[3]陈伟.西南山区城镇建设地质灾害风险管理控制方法研究[D].四川:成都理工大学,2011.

[4]田仕雄,张路飞,孟思宇,等.AHP-信息量模型在斜坡类地质灾害易发性评价中的应用[J].河北地质大学学报,2022,45(6):62-68.

[5]谭玉敏,郭栋,白冰心,等.基于信息量模型的涪陵区地质灾害易发性评价[J].地球信息科学学报,2015,17(12):1554-1562.

[6]王维早,雷霆,许强.《基于层次分析法的河北省太行山区泥石流灾害危险性评估研究》[J].地球与环境,2010,38(3):357-362.

[7]王万金,钟响.基于信息量模型的地质灾害易发性评价——以贵州省荔波县为例[J].中国煤炭地质,2023,35(7):59-67.

[8]张二阳,袁航.基于信息量模型的上饶市广丰区地质灾害易发性评价[J].资源信息与工程,2023,38(2):54-59.

作者简介:

陈志雄(1980--),男,汉族,云南禄劝人,工程硕士,高级工程师,从事水文地质、工程地质、环境地质、地质灾害、岩土工程研究。