

泸溪县地质灾害易发性评价

赵旭龙

湖南省城市地质调查监测所

摘要：泸溪县位于湖南省湘西州，全县地貌以剥蚀侵蚀山地地貌为主，同时境内大面积发育粉砂质泥岩（红层），在降雨及人类工程活动等诱发因素作用下，泸溪县频发地质灾害。本文选取工程地质、坡度、坡向、高程、断裂、河流、植被覆盖度和地形起伏度8个孕灾因子，赋予每个孕灾因子不同权重，通过ARCGIS栅格计算器得出泸溪县境内地质灾害易发区划。

关键词：泸溪县；地质灾害；易发评价

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.014

泸溪县位于湖南省湘西州，县域面积1566.65km²，行政区划调整后辖武溪镇、洗溪镇、白羊溪乡等11个乡镇。全县地貌以剥蚀侵蚀山地地貌为主，地形切割较深，相对高差较大，同时境内大面积出露白垩系紫红色粉砂质泥岩（红层），粉砂质泥岩遇水膨胀、失水收缩，工程地质条件差，在人类工程活动（切坡）、降雨等诱发因素作用下易于发灾。经过综合研究，泸溪县境内地质灾害主要与工程地质、坡度、坡向、高程、断裂、河流、植被覆盖度和地形起伏度8个孕灾因子有关，本文通过加权信息量法赋予每个孕灾因子不同权重，并获取泸溪县DEM数据及遥感数据，在此基础上通过ARCGIS栅格计算器进行计算，进行泸溪县境内地质灾害易发评价。

一、评价单元划分

地质灾害易发程度是多种孕灾因子共同耦合作用的结果，且在局部地区又具有自身特点。因此，地质灾害易发评价需要先行确定好评价单元。

根据《地质灾害风险调查评价技术要求》（试行），结合泸溪县的实际情况，地质灾害易发性评价以栅格单元作为此次评价单元。栅格单元划分的尺寸直接影响评价结果的准确性和合理性，评价单元尺寸的选取越小，评价结果的准确性和合理性越高，但不足之处是数据量太大，后期评价中的计算规模就会相当大，这对计算机的性能有较高要求；栅格单元尺寸选取较大，易发评价的准确性和合理性就会大幅下降，这样得到的易发评价结果失去实际意义，更无法指导当地地质灾害防治工作。因此，栅格单元的划分具有关键的作用，考虑到DEM图分辨率，故将栅格大小确定为25m×25m。

二、加权信息模型

（一）层次分析法

在采用此法分析问题，一般按照以下5个步骤进行：建立泸溪县孕灾因子层次结构模型、构造孕灾因子判别矩阵、孕灾因子权向量计算及其一致性检验和层次总排序及其一致性检验^[1-2]。

1. 建立层次结构

根据决策所要达到的目的与要求，将决策目标分解成不同的组成因素，并依据所包含的因素之间关联性

从属关系进行组合，这样把有关的各个孕灾因子按照不同的特性自上而下地分解成不同层次，构建一套多层次分析评价模型，见图1。

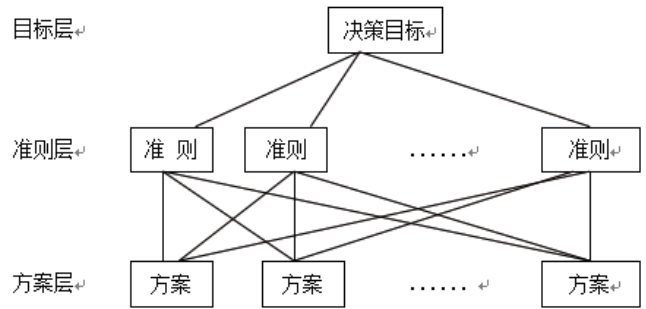


图1 结构层次图

2. 构造判别矩阵

孕灾因子层次结构反映了各因子之间的关联性，但各因子所占的比例需要通过判别矩阵来进行计算。通过孕灾因子对地质灾害的贡献程度进行相互比较建立比较判别矩阵。例如：两个因子A_i和A_j进行比较，则B_{ij}表示A_i和A_j对Z的重要程度比值。对于B_{ij}值的确定，则采用数字1到9作为标度。对所有孕灾因子进行两两比对，比对后结果用矩阵A=(B_{ij})表达，则称A为判别矩阵。

3. 计算权向量

根据判别矩阵，采用矩阵相关知识，准确地计算A的最大特征根所对应的特征向量。所求特征向量即为各孕灾因子的重要性排序，经归一化后即为一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值。

4. 一致性检验

判别矩阵的一致性是指在判别指标的重要性时，各判别要保持协调一致，为避免其他外在因素对判别矩阵带来的不利影响，甚至出现相互冲突的结果，在实际生产中应对判别矩阵进行一致性检验。符合一致性检验，说明判别矩阵在逻辑上是科学的，才能继续对孕灾因子进行后续分析。

进行判别矩阵一致性检验的计算公式为：

$$CR=CI/RI$$

式中，CR为一致性比率。若CR<0.10，认为判别矩阵的不一致性在容许范围之内，有科学合理的一致性，否则应重新构造判别矩阵，对B_{ij}作适当调整。其中CI为一致性指标，按下式计算：

$$CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$$

（二）信息量法

信息量模型通过计算各孕灾因子信息量值，以信息量值的大小来评价孕灾因子对地质灾害的贡献程度^{[3][4]}。信息量模型用于评价地质灾害易发性的主要思路是：通过研究地质灾害基本信息，把各孕灾因子的实测值转化为反映滑坡、崩塌、泥石流发生的信息量值。

地灾现象 (y) 受多种孕灾因子耦合作用 (xi=1, 2, 3...n) 的影响, 各种孕灾因子对地质灾害发灾所给予的贡献不同, 要综合考虑各种孕灾因子的类别及其组合。信息量模型计算公式为:

$$I(y, x_1x_2x_3 \dots x_n) = \ln \frac{P(y, x_1x_2x_3 \dots x_n)}{p(y)}$$

式中, I (y, x1x2...xn) 为孕灾因子x, 1x2...xn对地灾发生所提供的信息量; P (y, x1x2...xn) 为孕灾因子x1x2...xn条件下地灾发生的概率; P (y) 为地灾发生的概率。

计算单个评价单元内n种因素组合情况下, 提供地灾发生的总的信息量Ii, 即:

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

将总的信息量值Ii的大小作为该栅格单元里地质灾害易发性的综合指标, 单元信息量值越大越有利于地质灾害的发生, 则该栅格单元里地质灾害易发性越高。

(三) 加权信息量模型

本文将层次分析法和信息量法相结合, 利用信息量法计算出各孕灾因子所占信息量值, 采用层次分析法计算出各因素间的权重值Wi, 加权叠加得到总信息量值, 即为加权信息量法, 单个栅格单元总信息量值的计算公式如下:

$$I = \sum_{i=1}^n W_i I(y, x_i)$$

式中, Wi为层次分析法计算得到的孕灾因子权重。

三、权重值计算

根据各孕灾评价因子相互之间的内在关系, 采用数字1~9标度方法, 对各孕灾因子进行两两比较并构建判别矩阵, 确定各孕灾因子的权重值, 并进行一致性检验。判别矩阵、各影响因子的权重及一致性检验结果见表1。

四、孕灾因子分析评价

本次评价结合泸溪县的实际情况, 选取坡度、坡向、高程、植被覆盖度、地形起伏度、地质构造、工程地质、水系距离作为评价指标, 并在ArcGIS平台上制作了各孕灾因子的栅格图层, 栅格单元尺寸为25m×25m, 共划分出2506640个网格。然后根据前述方法确定各孕灾因子的权重, 进一步计算孕灾因子的加权信息量值, 并分析各评价孕灾因子的敏感程度。

(一) 坡度

坡度决定着地表径流的方式和下渗、山体斜坡的应力分布特征以及斜坡体松散物质的搬运和堆积等, 因此对地质灾害的发生起着控制作用。泸溪县地处山区, 海拔较高, 地形切割较深, 局部坡度较陡, 易于诱发地质灾害, 根据坡度实际分布, 将坡度划分为0~10°、10~20°、20~30°、30~40°、40~50°、>50°共6个子类, 地形坡度在一定程度上影响地质灾害的类型、规模。

(二) 地形起伏度

地形起伏度是指在某个特定的区域内, 最高点与最低点高程的差值。该指标反映了地表起伏变化, 表征的是微地貌特征, 地形起伏度越大, 越有利于崩塌、滑坡地质灾害的发生。根据泸溪县地质灾害发灾规律, 将其划分为<15m、15~30m、30~45m、45~60m、60~75m和>75m共6个等级, 并根据每个级别地形起伏度赋予不同权重。

(三) 高程

高程因素作为影响地质灾害发育、分布的一个重要因素, 与植被覆盖率、工程地质岩组、切坡建房、切坡修路以及降雨都具有一定的相关性, 随着高程的变化, 地形地貌亦不同, 高程在一定程度上影响地质灾害的类型, 从宏观上控制着地质灾害分布。根据泸溪县地质灾害发灾规律, 将其划分为100~200m、200~300m、300~400m、400~500m、500~600m、600~700m、700~800m和800~900m共8个等级, 每个等级赋予不同权重。

(四) 坡向

斜坡坡向不同, 其接受的太阳辐射强度不同, 这在一定程度上影响坡面的水分蒸发、风化程度和植被覆盖

表1 孕灾因子层次单排序结果一览表

	岩性	坡度	坡向	水系	断裂	高程	FVC	地形起伏度	权重
岩性	1	1/3	3	3	2	1/2	1/2	1	0.115
坡度	3	1	5	4	3	2	2	3	0.2735
坡向	1/3	1/5	1	1	1/3	1/4	1/4	1/2	0.0416
水系	1/3	1/4	1	1	1/3	1/4	1/3	1	0.0495
断裂	1/2	1/3	3	3	1	1/2	1	2	0.1131
高程	2	1/2	4	4	2	1	1	2	0.1749
FVC	2	1/2	4	3	1	1	1	2	0.1551
地形起伏度	1	1/3	2	1	1/2	1/2	1/2	1	0.0773
一致性检验	CI=0.035, CR=0.024<0.1								

度,间接影响滑坡、崩塌等地质灾害的发生。结合泸溪县地形地貌,将坡平面(-1~0°),北(0~22.5°,337.5~360°),东北(22.5~67.5°),东(67.5~112.5°),东南(112.5~157.5°),南(157.5~202.5°),西南(202.5~247.5°),西(247.5~292.5°),西北(292.5~337.5°)共9个等级。

(五) 植被覆盖度

地表植被能起到护坡和防止表层水土流失的作用,有利于斜坡的稳定;也反映了人类工程活动对当地地质环境条件的改造程度。地表植被可采用植被覆盖度(FVC)进行量化表达,本次评价在Landsat8影像的基础上提取得到归一化的植被指数(NDVI),再通过归一化的植被指数提取植被覆盖度(FVC)。

本次评价将植被覆盖度划分为:低植被覆盖度(FVC<20%)、较低植被覆盖度(20%≤FVC<40%)、中度植被覆盖度(40%≤FVC<60%)和高植被覆盖度(FVC≥60%)四个等级。

(六) 地质构造

斜坡周边的地质构造影响着斜坡内的应力分布以及变形破坏特征,它是单个乃至区域性滑坡、崩塌的控制因素,滑坡、崩塌常沿着区域性构造断裂带附近呈条带状展布。事实证明,地质构造强烈、断裂褶皱发育、岩层破碎的地区易于孕育滑坡、崩塌地质灾害。泸溪县地灾点沿主线性构造带分布。将解译构造线距离在ArcGIS中做缓冲区分析,将其划分为<200m、200~400m、400~600m、600~800m和>800m共5个等级。

(七) 工程地质

地层岩性是地质灾害发生的物质基础,尤其是泸溪县境内白垩系红层为易崩易滑地层,诱发了大量滑坡、崩塌等地质灾害。根据岩土体的软硬程度将泸溪县的地层划分为岩土体等级:软弱-坚硬薄-厚层状砂砾岩、粉砂岩及粉砂质泥岩、泥岩岩组,较软弱-坚硬薄-厚层状砂岩、页岩、砂页岩岩组,较软弱-坚硬薄-中层泥质灰岩、白云质灰岩中等岩溶化岩组,坚硬-较坚硬薄层白云岩、碳泥质白云岩夹页岩岩组,坚硬-较坚硬薄-厚层状浅变质岩组。此次对于软弱-坚硬薄-厚层状砂砾岩、粉砂岩及粉砂质泥岩、泥岩岩组赋予较高权重。

(八) 水系距离

水系对地质灾害的影响主要是通过河流的冲刷、淘蚀破坏斜坡坡脚,斜坡前缘失去支撑进而诱发滑坡、岸崩等变形破坏,变形呈后退式破坏,离河岸越近,河流冲刷、淘蚀作用越明显,越易诱发灾害。同时水系在一定程度上等都影响着人居环境的发育生长,水系对城镇空间形态现时出很强的聚集效应。本次评价对河流进行缓冲,将其划分为<10m、10~50m、50~100m、100~200m、200~400m、>400m共6个等级,尤其在<10m、10~50m权重提高。

五、易发评价成果

根据前述各孕灾因子分析评价及相关计算,采用ARCGIS栅格计算器进行叠加运算,最终得到泸溪县境内

地质灾害易发性分布图,将地质灾害易发程度划分为:高易发区,中易发区,低易发区共3个等级。见图2。

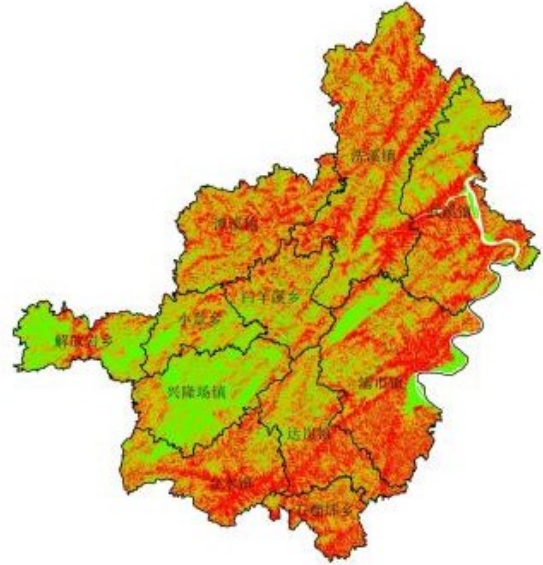


图2 泸溪县地质灾害易发性评价图

通过综合分析评价,泸溪县内共划分出了9个地质灾害易发亚区,这与泸溪县地质灾害发育现状较为吻合。高易发区含3个亚区,面积340.92km²,占全县面积的23.17%,高易发亚区分别为:县域武水沿线以北滑坡、崩塌地质灾害高易发区(I1)、白羊溪-能溪河滑坡、崩塌、泥石流地质灾害高易发区(I2)、石榴坪-达岚滑坡、崩塌地质灾害高易发区(I3);中易发区含亚区3个,面积789.97km²,占全县面积的53.55%,中易发亚区分别为军亭界-杜家寨滑坡、崩塌、泥石流地质灾害中易发区(II1)、解放岩-巴斗山滑坡、崩塌、泥石流地质灾害中易发区(II2)、县域中部滑坡、崩塌、泥石流中易发区(II3)、武溪-浦市-长坪滑坡、崩塌中易发区(II4);低易发区含亚区3个,面积465.97km²,占全县面积的31.67%,低易发亚区分别为:都蛮-利略滑坡、崩塌低易发区(III1)、兴隆场-小章-万金山滑坡、崩塌低易发区(III2),沅水干流及西岸低易发区(III3)。

参考文献

[1]陈欢,孙金辉,余涛.基于GIS技术的地质灾害风险——以北川县开坪乡为例[J].探矿工程,2018,45[8]:65~71.
[2]李天政,贾子超.层次分析法原理及应用举例[J].内江职业技术学院学报,2008,2(4):52-55.
[3]高华喜,殷坤龙.基于GIS的滑坡灾害风险空间预测[J].自然灾害学报,2011,20(1):31-36.
[4]杨德宏,范文.基于ARCGIS的地质灾害易发性分区评价——以旬阳县为例[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(4):82-86.

作者简介:赵旭龙(1987-),男,湖南益阳,本科,工程师,主要研究方向:水文与环境地质及矿产资源勘查。