

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.04.14

基于 ArcGIS 的地质灾害易发性分区评价 ——以旬阳县为例

杨德宏, 范文

(长安大学地质工程系, 陕西 西安 710054)

摘要: 旬阳县地质环境条件复杂, 人类工程活动强烈, 滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害频发, 是陕西省地质灾害重灾区。本文采用综合危险性指数法, 在地质灾害详细调查的基础上, 通过量化形成地质灾害的因子并使其归一化, 再利用层次分析法确定各因子的权重系数, 最后利用 ArcGIS 的空间分析功能, 以量化数据为依据, 绘制旬阳县地质灾害易发性分区图, 为旬阳县地质灾害防治提供依据。

关键词: 旬阳县; 地质灾害; 易发程度; 分区

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)04-0082-05

Zoning of probable occurrence level of geological disasters based on ArcGIS——a case of Xunyang

YANG Dehong, FAN Wen

(Department of Geological Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Xunyang with complex geological environment conditions, strong human engineering activities and frequent collapse, landslides and mudslides geological hazards, is geological disaster areas of Shanxi province. This paper adopts a comprehensive risk index method, based on the detailed investigation of geological disasters, quantitative the factor that form geological disaster and make its normalization, and then using analytic hierarchy process (AHP) to determine the weight coefficient of each factor, Finally we based on quantitative data, use the spatial analysis function of ArcGIS draw the map of the geological disaster-prone zoning for Xunyang, provide a basis of geological disaster prevention for Xunyang.

Keywords: Xunyang; geological disasters; probable occurrence level; zoning

0 前言

旬阳县位于陕西省安康市东北部, 秦巴山区的大巴山北麓; 汉江河谷自西向东横贯县境中部, 将县境分割为南北两大自然区。区内以中山为主, 地形地貌复杂; 断裂发育, 地质构造复杂; 雨量充沛, 地表水系发育, 导致县境内滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害频发且分布广, 使旬阳县成为陕西省乃至全国地质灾害重灾区^[1], 因此, 对旬阳县进行地质灾害易发性分区刻不

容缓。

地质灾害的发生, 是一个复杂的渐变过程, 由于自然和人为因素的影响, 地质体原有平衡条件被破坏, 产生力的不平衡, 导致地质体的整体或局部失稳。因此, 评价地质灾害的易发性时, 应综合考虑各种因素的影响, 以便准确合理的划分出地质灾害高、中、低和非易发区^[2], 为制定旬阳县地质灾害防治措施和选择移民搬迁场地提供参考依据。

收稿日期: 2014-11-04; 修订日期: 2015-03-27

基金项目: 《陕西省地质调查院关于下达地质灾害详调查任务的通知》(陕国土资发[2013]19 号文); 国家自然科学基金(41272282)

第一作者: 杨德宏(1989-), 男, 四川人, 硕士研究生, 主要从事地质工程与地质灾害方面的研究。E-mail: 631083596@qq.com

1 评价方法

目前常用的地质灾害易发性分区评价方法主要包括模糊聚类分析法、模糊综合评判法、层次分析法、综合危险性指数法^[3-4]等。为了体现各种因素对地质灾害的影响,提高地质灾害易发性分区评价的精度和准确性,使评价工作具有可操作性,根据旬阳县地质灾害发育特征及地质环境条件等,本文采用综合危险性指数法。

具体方法:首先,量化影响因子并进行归一化处理,并利用层次分析法确定各因子权重系数^[5];其次,构建影响因子栅格图层,利用 ArcGIS 空间分析中的栅格工具对各统计单元进行影响因子加权叠加,构建研究区地质灾害易发性栅格图;最后,综合考虑各种影响因素,概化出旬阳县地质灾害易发性分区评价图。

此方法能充分利用野外详细调查采集的地质灾害数据,综合考虑到与地质灾害相关的影响因子,具有精度高、使用方便的特点。

2 评价因子体系的建立

2.1 评价因子的选取原则

评价因子体系是若干单项评价因子的有机整体,因此单项评价因子的选取遵循3个原则:(1)评价因子要系统、普遍的反应地质环境背景和地质灾害易发条件;(2)选取评价因子时,要考虑各参评因子易于定量化;(3)评价因子的来源要真实、可靠。

2.2 评价因子体系的建立

本次研究依托陕西省旬阳县地质灾害详细调查项目,以野外详细调查期间获得的地质灾害点数据为基础灾害数据建立数据库,以旬阳县 1:50000 地形底图数字化信息为基础地理数据^[1]。

经调查,在县境内共查明地质灾害 608 处(截止 2013 年 9 月),滑坡 556 处、崩塌 33 处、泥石流 16 处、地面塌陷 3 处^[1]。其中,滑坡和崩塌占灾害点总数的比例达 96.9%,且泥石流均为已稳定的历史灾害,地面塌陷零星出现在县境的无人区内^[1],因此本文将基于滑坡和崩塌进行评价因子的选取。

滑坡和崩塌的影响因素主要包括地质环境条件、人类工程活动和降水^[6-8],因此本文利用目标分析法建立旬阳县地质灾害易发性分区的多因子综合评价体系,共选择 10 个影响因子,分别为坡高、坡度、坡形、地层岩性、区域构造、河流分布、降雨量、人类工程活动、坡表应力应变和历史灾害点。

3 评价因子量化及归一化

利用 ArcGIS 软件,在旬阳县 1:50000 的地形地图数据中提取评价因子,将原始 DEM 数据分为特定大小的规则格网,每种评价因子都在同一格网内取值,最终实现同格网叠加^[9]。本文将旬阳县全区离散为 50 m × 50 m 的单元格,提取地质灾害定量评价因子。根据旬阳县地形图生成旬阳县全区原始 DEM 图(图 1)。

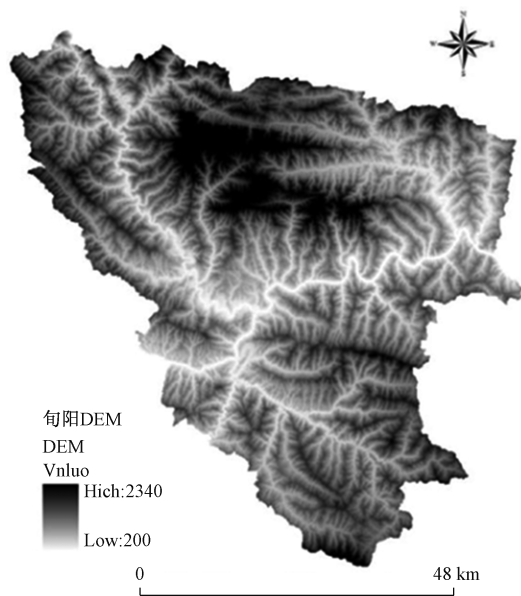


图 1 旬阳县全区原始 DEM 图

Fig.1 Xunyang region's original DEM

评价因子包括定量因子和定性因子,各种因子数值间的单位不统一,无法综合评价同一目标。因此,对定量因子,先将各因子进行定量化表达,并将因子值转化为无量纲的相对数,再通过直线型阈值法(式(1))将数值进行归一化处理,将其规范在 0 和 1 之间;对定性因子,直接根据其与地质灾害的关系归一化赋值^[10](表 1)。

$$y_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

本文以坡度、地层岩性、区域构造和历史灾害点密度为例,分别说明单因子图层的评价。

3.1 坡度因子归一化

坡度对斜坡的稳定性有影响,坡度的增加,斜坡的稳定性降低。在曲面计算中,当地形曲面 $H = f(x, y)$ 为已知时,定点的坡度公式(2)为:

$$\beta = \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (2)$$

其中, f_x ——东西方向高程变化率,

f_y ——南北方向高程变化率。本文基于

表 1 评价因子量化方法及归一化方法表

Table 1 Quantitative methods of evaluation factors and normalization method table

评价因子	因子量化方法	因子归一化方法
坡高	根据 DEM 数据各点已知高程值之差求得	利用公式(1)归一化
坡度	根据 DEM 数据各点已知高程变化率求得	0°和 90°时赋值 0; 30°时赋值 1;其余值利用插值法求值
坡形	由 ArcGIS 自带剖面曲率计算程序计算坡形曲率,正值表示凸形坡,负值表示凹形坡	利用公式(1)归一化
地层岩性	——	坚硬岩组赋值 0.2;软硬岩组赋值 0.5;软弱岩组赋值 0.9
河流分布	——	河流本体赋值 1.0,向两边 200 m 逐渐降为 0
降雨量	——	参考已有 1:10 万灾害调查报告及旬阳县志(1996)中降雨等值线图,结合旬阳县近年来平均降雨统计资料进行分析
区域构造	——	构造活动中心赋值 1.0,向两边 200 m 逐渐降为 0
人类工程活动	——	乡镇政府所在地 2 km 范围内赋值 1,无人区赋值 0(取权重为 0.3);路网赋值 1,其他区域赋值 0(取权重为 0.5);矿区赋值 1,其他区域赋值 0(取权重为 0.2)
坡表应力应变	——	对重力作用下的全县 XY 平面位移投影图、XY 对 Z 的剪应力图、最大剪应变图分别赋值 0.3、0.4、0.3
历史灾害点密度	根据本次调查和核查的地质灾害数量 ^[1] ,计算单元格内灾害点的密度	利用公式(1)归一化

DEM 网格,利用公式(2)求解研究区每个单元格斜坡坡度。

在研究区内,已有灾害的原始坡度分布如图 2 所示。由图 2 可知,在研究区内,坡度在 20°~40°时最易发生地质灾害,向两侧逐渐递减趋势。因此,本文对坡度因子归一化时,当坡度为 0°和 90°时,归一化值取为 0;坡度分布图的对称线为最易发生地质灾害的坡度,即取坡度 $\beta=30^\circ$ 时,取归一化值为 1;其余斜坡坡度归一化值采用插值法求得。

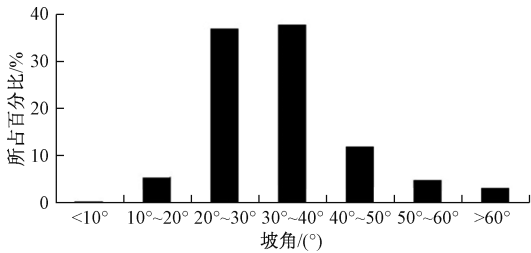


图 2 旬阳县地质灾害原始坡度分布图

Fig.2 Original gradient distribution of geological disaster in Xunyang

3.2 地层岩性因子归一化

地层岩性决定岩土体类型,岩土体是地质灾害发生的物质基础;岩土体越软弱,越容易形成风化堆积层。所以,当岩土体下覆基岩较软时,易发生地质灾害,反之亦然。

按岩性软弱程度将研究区岩土体分为 3 个类并进行归一化赋值:(1)坚硬厚层状碳酸盐岩组,分布于大羊山、南羊山及周边地区,岩石坚硬,饱和抗压强度大于 120MPa,软化系数大于 0.8,由该类岩体构成的山峰陡

峭,易发生岩体崩塌等不良地质现象,影响系数取为 0.2;(2)软硬相间互层状灰岩、千枚岩、片岩组,主要分布在研究区北部、中西部及汉江南岸,神河镇、赤岩镇一带,岩石软硬不均,软化系数 0.6~0.8,沿软弱夹层易形成滑坡、崩塌,影响系数取为 0.5;(3)软弱薄层状浅变质片岩、千枚岩岩组,在汉江以南及蜀河镇、仙河镇均有分布,岩质软弱,易形成风化厚层,遇暴雨或连阴雨,易诱发滑坡、泥石流等地质灾害,影响系数取为 0.9。

3.3 区域构造因子归一化

旬阳县位于秦岭南部与巴山北部的交界处,地质构造活动强烈,受秦岭纬向构造带南秦岭-印支褶皱带东端影响,研究区内主要构造线均呈 NW 向,主要构造包括:旬阳-冷水河复向斜、麻坪-吕河口复向斜、安康-神河镇复背斜、公馆-白河大断裂、月河大断裂。

为体现活动构造对研究区地质灾害易发性分区的影响,本文以研究区内的构造为基础,设置缓冲区。根据《建筑抗震设计规范》(2010 版)4.1.7 中最小避让距离,旬阳县属地震烈度 6 度区,可忽略发震断裂对地表的影响,但通过野外调查发现,构造带附近岩土体变形破碎,因此本文设置缓冲区范围以构造带为中心向两侧各延伸 200 m。在缓冲区范围内,离构造活动越近归一化赋值趋于 1,离构造活动越远归一化赋值趋于 0,缓冲区范围外归一化赋值全部取为 0。

3.4 历史灾害点密度归一化

灾害点密度代表地质灾害的发育程度,它是地质灾害危险性的正向指标。本文利用研究区已查明地质灾害绘制地质灾害的灾点分布图(图 3),利用(1)式

对灾害点密度归一化赋值,形成旬阳县灾害点密度归一化图层,再将此图层与其余 9 个评价因子的归一化图层叠加,对各种因子图层进行二次校正,提高量化的精度与准确性。



图 3 旬阳县灾害点分布图
Fig. 3 Distribution map of disasters in Xunyang

4 评价因子权重系数确定

各评价因子对地质灾害的影响不同,因此确定各因子的权重系数是一个重要环节。层次分析法是一种多因子分析评价方法,具有精度高,使用方便的特点,它通过估计两两影响因子之间的关系构造矩阵,因而,这种方法带有一定的主观性。不过构成关系矩阵是通过所有影响因子两两比较来确定,所有关系的两两比较综合决定了各个影响因子的权重系数,避免了个别结果因不合理而造成的偏差过大;评价因子比较的结果也可以用一致性比率(CR)来衡量,它代表矩阵一致性指标与随机性指标,范围是 0~1。因此,该方法在地质灾害的易发性评价中受到广泛应用。因子矩阵及权重见表 2。

用 MATLAB 求得该因子矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 为 11.0258,则一致性指标 $CI=(\lambda-n)/(n-1)$,解得 CI 为 0.114,RI 查表^[11]为 1.49,则 $CR=CI/RI=0.076<0.1$,表明矩阵中因子的不一致程度在允许范围之内。通过式(3)计算得各评价因子的权重系数表(表 3)。

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{k=1}^n \alpha_{ki}}$$

(3)

表 2 因子权重的配对比较矩阵表
Table 2 Weights paired comparison matrix

因子	坡高	坡度	坡形	地层岩性	区域构造	河流分布	降雨量	人工活动	应力应变	灾点密度
坡高	1	1/5	1/4	1/3	1/5	1/8	1/4	1/7	1/3	1/9
坡度	5	1	1/5	1/5	1/3	1/2	1/5	1/3	4	1/4
坡形	4	5	1	1/3	1/3	1/5	1	1/6	3	1/7
地层岩性	3	5	3	1	1/2	1/5	1/4	1/5	1	1/7
区域构造	5	3	3	2	1	1/3	1/2	1/4	2	1/5
河流分布	8	2	5	5	3	1	1/3	1/3	4	1/4
降雨量	4	5	1	4	2	3	1	1/4	3	1/5
人工活动	7	3	6	5	4	3	4	1	4	1/3
应力应变	3	1/4	1/3	1	1/2	1/4	1/3	1/4	1	1/5
灾点密度	9	4	7	7	5	4	5	3	5	1

表 3 各因子的权重系数表
Table 3 Each factor weight coefficient table

因子	坡高	坡度	坡形	地层岩性	区域构造	河流分布	降雨量	人工活动	应力应变	灾点密度
权重	0.017	0.125	0.062	0.030	0.049	0.135	0.065	0.190	0.034	0.293

5 易发性分区

在 ArcGIS 软件平台下,根据 10 个地质灾害控制参数,构建影响因子栅格图层,利用空间分析模块中的栅格计算工具对各统计单元进行影响因子加权叠加,构建研究区地质灾害易发性栅格图。

地质灾害易发性指数按照公式(4)计算:

$$SI = \sum W_i IF_i$$

(4)

式中,SI——评价单元地质灾害综合易发性指数,
 W_i ——为影响因子的权重,
 IF_i ——为影响因子归一化值。

得出旬阳县综合因子评价计算结果,针对旬阳县野外调查情况,将综合危险性指标分为 4 个等级,指数在 0~1 为非易发区^[2],1~2.4 为低易发区,

2.4~3.1 为中易发区,大于 3.1 的为高易发区。由图 4 可知,研究区无非易发区,有较明显的中易发区和高易发区。

在定量计算分级分区的基础上,综合考虑各种因素的影响,概化出旬阳县地质灾害易发性分区图(图 4)。

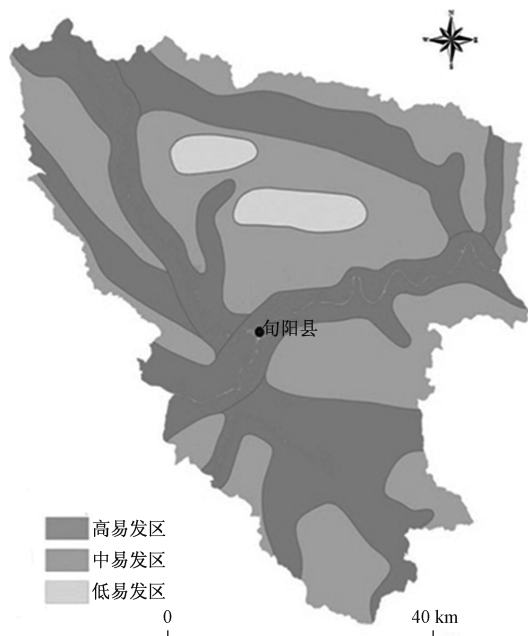


图 4 旬阳县地质灾害易发程度分区图

Fig. 4 The partitions with susceptible degree of the geological hazard in Xunyang

高易发区:受众多因素的综合影响,在地质构造活跃、人类工程活动及河流冲刷侵蚀作用强烈、地形地貌特征不利的吕河镇-神河镇-石门镇-金寨镇-赤岩镇-铜钱关镇一带,以及汉江、旬河、坝河、吕河、蜀河等主要河流的沿线;总面积 1650.944 km²,占全县面积的 46.59%;地质灾害密度为 0.26 处/km²。

中易发区:在高易发区的周缘,地质构造活动、人类工程活动、河流冲刷侵蚀等的程度略低,但影响同样强烈,加之不利的地形地貌特征、降雨等其他因素作用下,同样容易发生地质灾害;总面积 1740.519 km²,占全县面积的 49.12%;地质灾害密度为 0.09 处/km²。

低易发区:在旬阳县北侧的高山区,主要位于小河镇-赵湾镇-白柳镇一带、双河镇-构元镇-关口镇-城关镇-白柳镇一带,由于植被茂密,人类工程活动较弱,地质灾害易发性较低;总面积 151.826 km²,占全县面积的 4.28%;地质灾害密度为 0.005 处/km²。

6 结论

(1)旬阳县的地质灾害影响因子主要包括坡高、坡度、坡形、地层岩性、区域构造、河流分布、降雨量、人类工程活动、坡表应力应变等,将其作为地质灾害易发性分区评价的因子是合理的。

(2)在地质灾害详细调查的基础上,采用综合危险性指数法划分出的高、中、低易发区与旬阳县历史灾害点的分布特征一致。

(3)建议旬阳县在地质灾害易发区内进行工程建设时,必须对工作场地进行地质灾害危险性评价,对地质灾害中、高易发区,采用移民搬迁或工程治理的措施,避免人民生命和财产的损失。

参考文献:

- [1] 范文,曹琰波,石耀武,等.陕西省旬阳县地质灾害详细调查报告[R].西安长安大学工程设计研究院有限公司,2013.
FAN Wen, CAO Yanbo, SHI Yaowu, et al. Xunyang county of Shaanxi province geological disasters detailed investigation report [R]. Xi'an, Chang'an University Engineering Design and Research Institute co., LTD., 2013.
- [2] 陕西省地质调查院.陕西省地质灾害详细调查技术要求[R].西安:陕西省质调查院,2012.
Shaanxi Provincial Geological Survey Institute. Detailed investigation geologic hazard in shaanxi technical requirements [R]. Xi'an: Shaanxi Qualitative Survey Institute, 2012.
- [3] 马杨敏,高宗军,李岩铭,等.基于 GIS 空间分析的山东青岛崂山区地质灾害易发程度区划[J].中国地质灾害与防治学报,2013,24(1):93-97.
MA Yangmin, GAO Zongjun, LI Yanming, et al. Zoning of probable occurrence level of geological disaaters in Laoshan district based on GIS spatial analysis[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(1): 93-97.
- [4] 朱晓曦,王一鸣,龚新法.浙江省文城县滑坡灾害危险性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2013,24(3):13-19.
ZHU Xiaoxi, WANG Yiming, GONG Xinfu. Assessment of the landslide hazards in Wencheng county of Zhejiang province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(3): 13-19.

(下转第 93 页)