

# 四面山国家级风景名胜区地质灾害危险性分区及评价

吴 楚, 陈洪凯

(重庆交通大学岩土与地质工程系, 重庆 400074)

**摘要:**针对重庆市江津区四面山国家级风景名胜区的滑坡、危岩崩塌,选择灾害体、地表坡度、森林植被、水文地质、岩性、地表高程、库水位和地质构造等8个地质灾害的影响因子;在MAPGIS技术支持下,采用综合指数评价模型,通过层次分析法(APH法)及灰色聚类法获取每个因子的平均值;将各影响因子的权重进行空间叠加,据此结合综合评估指数将四面山国家级风景名胜区的地质灾害危险性分为三级区,即:高易发区,中易发区和低易发区,每区所占面积分别为 $96.66\text{km}^2$ ,  $113.37\text{km}^2$ ,  $23.96\text{km}^2$ ,其结果符合实际情况。

**关键词:**地质灾害;危险性分区;GIS技术;江津四面山国家级风景名胜区

**文章编号:**1003-8035(2009)03-0076-05

**中图分类号:**P642

**文献标识码:**A

## 1 引言

地质灾害危险性评价是地质灾害灾情评估的重要内容和基础,其影响因素具有复杂性、相互关系及模糊特点<sup>[1]</sup>。四面山位于重庆市江津区的最南端,距江津城区92km,距重庆市中区138km,南邻贵州省习水县,西靠四川省合江县,是一处以山、水、林、瀑为主景的风景区,景区面积 $234\text{km}^2$ ,1994年被定为国家4A级重点风景名胜区。位于其东南部的四面山集镇区是整个四面山旅游风景区客流的集散中心,四面山集镇区是一个地质灾害多发区,主要有古滑坡、老滑坡、新滑坡、危岩带及单块危岩体等类型,其整体座落于四面山老滑坡(发生于1926年5月17日)之上,其前部头道河边为四面山新滑坡(发生于1998年8月7日),后部为高约百余米的危岩带,这些地质灾害的存在严重影响了四面山的发展,至使多年来四面山风景区的建设处于停滞状态。因此四面山地质灾害的治理任务迫切,本文就是在这样的背景下,对四面山风景区的地质灾害进行了区划研究<sup>[2]</sup>。风景区地质灾害危险性分区遵循考虑地质灾害发育情况,兼顾地质环境复杂程度,结合人类工程活动的强度,依据地质灾害易发程度指数进行分区的原则。风景区地质灾害的影响因素很多,致灾均是多种因素共同作用的结果<sup>[3,4]</sup>。因此,在客观分析各项因素的基础上,应确定相关的因子作为分级标准,才能较客观地反应四面山地质灾害的现状<sup>[5]</sup>。

## 2 四面山地质灾害危险性因子分析

四面山国家级风景名胜区内地质灾害以滑坡、危岩崩塌为主,影响其危险性的因子很多,有自然和人为因素两类。属自然因素的有岩石的性质与结构、地形坡度、坡高、降水、江河涨落、河流冲刷、地下水活动、地震;属于人为因素的有不合理的开挖、加载、排水及浇灌。在上述诸多因素中,任何一个单因素都不足以引起地质灾害的发生,致灾只能是几种因素的耦合<sup>[1]</sup>。通过对灾害体(滑坡、崩滑体)影响因子的综合分析,运用灰色系统方法获取主因子,根据关联度获取次要因子,据此筛选出8个地质灾害危险性因子:灾害体 $x_1$ (空间位置、密度和规模)、地表坡度 $x_2$ 、森林植被 $x_3$ 、水文地质 $x_4$ 、岩性 $x_5$ 、库水位 $x_6$ 和地表高程 $x_7$ 、地质构造 $x_8$ 。四面山属于Ⅵ度烈度区,可只考虑水平地震力对灾害体的作用,这与灾害体的重量有关,此因子不易采取,将其列入灾害体规模;人类活动情况(房屋、开挖等)、降水列入森林植被因子;水文地质因子同时考虑了地表水(降雨、河流冲刷)及地下水。

### 2.1 危险因子权重系数

根据四面山具体情况,通过灰色系统的统计分

收稿日期:2008-12-15;修回日期:2009-03-03

基金项目:国家自然科学基金(50678182);重庆市重点自然科学基金(2008BA0015)

作者简介:吴楚(1983—),女,硕士,从事地质灾害演变过程与防治研究。

析,筛选出四面山地质灾害危险因子中灾害体(滑坡、危岩)为主因子,它包含了灾害体的位置、密度及规模 3 方面;次要因子为地表坡度、森林植被、水文地质、地层岩性、地表高程、库水位降落及地质构造 7 大因子。

本研究主要采取两种方式进行危险因子权重系数的确定:灰色聚类分析和层次分析法(AHP)<sup>[6]</sup>。由灰色聚类分析法得到权重系数见表 1。

表 1 灰色聚类权重系数

Table 1 Weight of factors in the grey assembly theory method

危险因子	地质构造 ( $x_8$ )	地表高程 ( $x_7$ )	库水位降落 ( $x_6$ )	地表岩性 ( $x_5$ )	水文地质 ( $x_4$ )	森林植被 ( $x_3$ )	地表坡度 ( $x_2$ )	灾害体 ( $x_1$ )
权重	1	2	3	4	5	6	7	14
权重系数	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.44

研究采用的第二种获取权重系数的方法即层次分析法。采用专家系统方法,综合构造判断矩阵,分为四个步骤:

第一步:计算判断矩阵每一行指标的乘积  $M_i$

$$M_i = \prod_{j=1}^n x_{ij} (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{1}$$

于是有:

$$M_1 = \prod_{j=1}^8 x_{1j} = x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \cdot x_{16} \cdot x_{17} \cdot x_{18} = 25200$$

同理,可计算其它 7 个指标的判断矩阵乘积,见表 2。

表 2 各指标成对比较判断矩阵

Table 2 Pairwise comparison judgment matrix of each index

X	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	连乘积
$x_1$	1	2	3	4	5	5	6	7	25200
$x_2$	1/2	1	2	3	3	4	5	5	900
$x_3$	1/3	1/2	1	2	3	4	6	6	144
$x_4$	1/4	1/3	1/2	1	2	2	3	4	2.0
$x_5$	1/5	1/3	1/3	1/2	1	2	3	4	0.266667
$x_6$	1/5	1/4	1/4	1/2	1/2	1	2	3	0.018750
$x_7$	1/6	1/5	1/6	1/3	1/3	1/2	1	2	0.000617
$x_8$	1/7	1/5	1/6	1/4	1/4	1/3	1/2	1	0.000049

第二步:计算  $M_i$  的  $n$  次方根  $\bar{W}_i$ ,即

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \tag{2}$$

对于  $M_1$  有:  $\bar{W}_1 = \sqrt[8]{M_1} = \sqrt[8]{25200} = 3.5496$ ,同理可计算出其它 7 个指标的 8 次方根(表 3)。

第三步:进行归一化处理,确定权重  $W_i$ ,

$$W_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i \tag{3}$$

$$W = (W_1 \quad W_2 \quad \cdots \quad W_n)^T \tag{4}$$

式中:  $W$ ——所求的特征向量,即各指标对应的权重值。

于是有:

$$W_1 = \bar{W}_1 / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i = 0.3232$$

其它 7 个指标归一化处理后的数据见表 3。

表 3 层次分析法的权重系数

Table 3 Weight in the APH method

指标	$M_i$	$\bar{W}_i$	$W_i$	$(BW)_i$
$x_1$	25200	3.5496	0.3232	1.0199
$x_2$	900	2.3403	0.2131	2.2971
$x_3$	144	1.8612	0.1694	3.4669
$x_4$	2.0	1.0905	0.0993	1.7472
$x_5$	0.266667	0.8477	0.0772	0.2717
$x_6$	0.018750	0.6083	0.0554	0.4225
$x_7$	0.000617	0.3970	0.0361	4.6903
$x_8$	0.000049	0.2893	0.0263	0.6604

由此可得各指标的权重向量为:

$$W = (W_1 \quad W_2 \quad \cdots \quad W_n)^T = (0.3232 \quad 0.2131 \quad 0.1694 \quad 0.0993$$

0.0772 0.0554 0.0361 0.0263)

第四步:计算最大特征根  $\lambda_{\max}$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{W_i} \tag{5}$$

式中

$$BW = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix} \tag{6}$$

经计算该例的  $BW$  向量为:

$$BW = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 5 & 6 & 7 \\ 1/2 & 1 & 2 & 3 & 3 & 4 & 5 & 5 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 4 & 6 & 6 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 2 & 3 & 4 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1/5 & 1/4 & 1/4 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/6 & 1/5 & 1/6 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/5 & 1/6 & 1/4 & 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.3232 \\ 0.2131 \\ 0.1694 \\ 0.0993 \\ 0.0772 \\ 0.0554 \\ 0.0361 \\ 0.0263 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0199 \\ 2.2971 \\ 3.4669 \\ 1.7472 \\ 0.2717 \\ 0.4225 \\ 4.6903 \\ 0.6604 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{W_i} = 8.3314$$

做一致性检验

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{7}$$

式中,一致性指标

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$RI$  为平均随机一致性指标,查表求取。当  $CR < 0.1$  时,认为判断矩阵的一致性可以接受。

对于该计算过程,  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0473$ , 由于矩阵为 8 阶,则  $RI = 1.41$ ,于是得到  $CR = 0.0336 < 0.1$ ,表明权重计算结果合理。

上述两种方法获取的权重系数较接近,较客观,综合两种方法,权重系数取它们的平均值,即得表 4。

2.2 危险性评价的量化

危险性评价的量化指标是通过危险性指数来获取,因此需建立评价模型,据 AHP 法建立的危险性指数计算模型<sup>[7]</sup>为:

$$F = \sum_{i=1}^n F_i W_i \tag{8}$$

式中:  $F$ ——危险性指数;  
 $F_i$ ——各因子的权重系数;  
 $W_i$ ——各因子的赋值,采用单元面积评价法。

表 4 危险因子权重系数平均值

Table 4 Average weight of the risk factor

危险因子	地质构造 ( $x_8$ )	地表高程 ( $x_7$ )	库水位降落 ( $x_6$ )	地表岩性 ( $x_5$ )	水文地质 ( $x_4$ )	森林植被 ( $x_3$ )	地表坡度 ( $x_2$ )	灾害体 ( $x_1$ )
权重系数	0.0232	0.0381	0.0577	0.0786	0.0997	0.1447	0.1766	0.3810

地质灾害危险性指数为:

$$F = 0.3810x_1 + 0.1766x_2 + 0.1447x_3 + 0.0997x_4 + 0.0786x_5 + 0.0577x_6 + 0.0381x_7 + 0.0232x_8 \tag{9}$$

式中:  $x_1$ ——滑坡灾害体(位置、所占比例、规模大小);

- $x_2$ ——地表坡度;
- $x_3$ ——森林植被覆盖度;
- $x_4$ ——水文地质条件;
- $x_5$ ——地表岩性;
- $x_6$ ——库水位降落;
- $x_7$ ——地表高程;

$x_8$ ——地质构造。

3 基于 MAPGIS 的地质灾害危险性综合评价

3.1 建立数据库

采用 MAPGIS 对四面山基础地质资料(主要为选定的评价因素数据项)进行数字化处理,对基础地质资料采用分层数字化,即各评价因素图层的分层式管理<sup>[8,9]</sup>,用于绘制不同评价因子 MAPGIS 格式的单要素专题图。

3.2 评估单元的划分

建立基础剖分网格图,采用正方形网格单元划分法,在1:20000比例尺的地形图上将地质灾害比较集中的四面山景区以 $(100 \times 100) \text{mm}^2$ 为一单元格,共划分23398个评价单元。

### 3.3 单要素评价图

在MAPGIS中,将剖分的网格与已数字化地质灾害图件进行单元要素叠加,并将灾害划分:

A级——地质灾害高易发区,取值为3;

B级——地质灾害中易发区,取值为2;

C级——地质灾害低易发区,取值为1。

然后,将多种地质灾害进行叠加,当有两种以上地质灾害高易发区重叠时;则取值为4。根据上述标准,对调查区所属单元进行了地质灾害信息的提取和数字化。将上述综合信息叠加结果按1,2,3,4数值表示,并在计算机上自动生成等值线,可量化地综合反映地质灾害的现状<sup>[10]</sup>。其中,等值线 $\geq 3$ ,为地质灾害高易发区,特别是 $\geq 4$ 的地区,地质灾害强度最高;等值线2~3,为地质灾害中易发区;等值线 $< 2$ ,为地质灾害低易发区,其中等值线 $\leq 1.5$ 的地区,地质灾害较为微弱<sup>[11]</sup>。

### 3.4 空间叠加分析

基于单要素因子评估,各单要素图层之间按权值进行叠加运算,生成四面山地质灾害评价分区图(图1)。

### 3.5 结果分析

根据本区地质灾害发育特点,考虑到可能发展为灾害的现状及预测的内容,将本区危险性分为高易发区(I)危险性指数 $> 2.8$ 、中易发区(II)危险性指数 $1.9 \sim 2.8$ 、低易发区(III)危险性指数 $< 1.9$ 三级。地质灾害高易发区面积为 $96.66 \text{km}^2$ ,其中地质灾害指数最高的区域(危险性指数 $> 3.7$ )位于四面山场镇老滑坡的后缘陡崖处,该区主要受后缘危岩威胁。地质灾害中易发区面积为 $113.37 \text{km}^2$ ,占区域总面积的48%,而且地质环境背景条件相对比较脆弱;地质灾害低易发区面积为 $23.96 \text{km}^2$ ,该区不良地质现象不发育。

## 4 结论

(1)本文基于MAPGIS地理信息系统,采用综合指数评价模型,对江津四面山地质灾害进行综合评价分区。利用MAPGIS,可将评价单元的划分、评价因子的选取、权值的确定、等级的评定和成果图的输出等

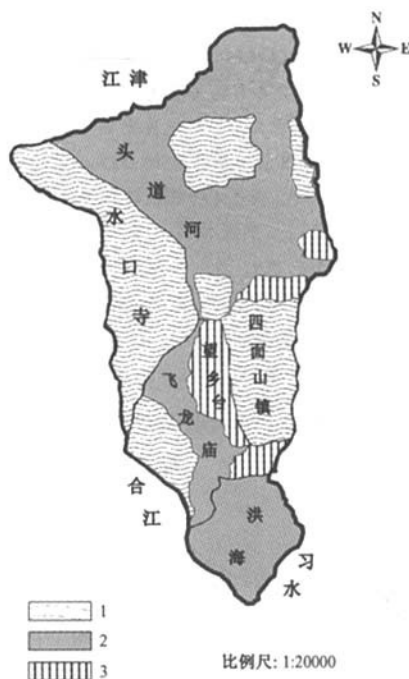


图1 四面山地质灾害危险性分区图

Fig.1 Risk zoning map of geohazard in Simian Mountain

1-高易发区;2-中易发区;3-低易发区

综合为一个共同的数据流程,大大提高了综合评价的效率和精度,其结果与实际情况较吻合。

(2)利用GIS技术,对实现四面山地质灾害的综合评价,简便易行,结果可信。评价分区图清晰地表明了江津四面山地质灾害的现状,对今后江津四面山旅游区的保护与地质灾害治理工作具有一定的指导意义。

### 参考文献:

- [1] 唐红梅,林孝松,陈洪凯,等.重庆万州区地质灾害危险性分区及评价[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(3):1-4.
- [2] 方世跃,徐步元,王得楷,等.MAPGIS在甘肃省矿山地质环境分区中的应用[J].兰州大学学报,2008,44(2):34-36.
- [3] 吴柏清,何政伟,刘严松.基于GIS的信息量法在九龙县地质灾害危险性评价中的应用[J].测绘科学,2008,33(4):146-147.
- [4] B F DI, N S CHEN, P CUI. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China [J]. International journal of sediment research. 2008, 23(2): 138

- 148.
- [5] 李秀玲. 基于 MAPGIS 的天津市矿山地质环境现状评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(3): 136 - 137.
- [6] 张梁, 张业成, 罗元华, 等. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 52 - 61.
- [7] 朱良峰, 殷坤龙. 基于 GIS 技术的区域地质灾害信息分析系统研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(3): 79 - 83.
- [8] 郑彦华, 李昌存, 王明格. 基于地理信息系统的唐山市地质灾害危险性区划[J]. 河北理工学院学报, 2005, 27(4): 117 - 120.
- [9] 温守钦, 李仁锋, 任群, 等. GIS 技术在地质灾害区划中的应用[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 512 - 517.
- [10] 吴信才. MAPGIS 地理信息系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [11] 杨卫中, 陈海洋. 基于 GIS 的评价因子权重分配法[J]. 地理空间信息, 2006, 4(6): 39 - 40.

## Risk zoning assessment of geological disaster in Simian Mountain National Park, Jiangjin, Chongqing City

WU Chu, CHEN Hong-kai

(Department of Geotechnical & Geological Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** As Jiangjin Simian Mountain National Park is surrounded by landslides and perilous rock, we selected eight risk factors i. e. disasters, surface slope, vegetation, hydrogeological conditions, rock property, altitude, reservoir water level and geological structure. Based on MAPGIS technology, the study used a composite index model, each factor calculated through the grey assemble theory and the Analytical Hierarchy Process (AHP), according to their weight. The factors were used for spacial algebraic addition. Geological hazards easy-happening areas can be divided into high-risk area, medium-risk area, low-risk area, covering 96.66km<sup>2</sup>, 113.37km<sup>2</sup>, 23.96km<sup>2</sup>, respectively. The zoning was consistent with the practical situation.

**Key words:** geological hazard; risk zoning; GIS technology; Jiangjin Simian Mountain National Park

欢迎订阅

## 《中国地质灾害与防治学报》

《中国地质灾害与防治学报》由中华人民共和国国土资源部主管、中国地质环境监测院主办, 1991 年创刊。本刊为中国科学引文数据库来源期刊; 中国核心期刊(遴选)数据库期刊, 是我国工程地质、环境地质、地质灾害领域的综合性学术理论与实践的专业期刊, 主要刊载由自然因素和人类经济活动诱发的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、矿井突水、岩爆、瓦斯爆炸、黄土湿陷、粘性土胀缩、冻土融陷、地下水污染、海水入侵、水土流失、土地沙漠化、盐渍化等地质灾害的发生、发展机制、规律、监测、预报、地质灾害防治新技术、新方法以及地质环境保护等具有较高学术水平的研究成果。面向国内工程地质学科发展、地质工程建设、技术方法创新、地质环境开发与保护等方面的科技人员。

目前存有少量合订本, 合订本定价: 120.00 元(含邮费)。有需要者请与编辑部联系。联系电话: 010 - 62171051 010 - 62170025