

云南省新平县滑坡预警区划研究

温铭生^{1,2}, 王连俊¹, 李铁锋², 徐 为², 陈红旗², 吴 菲³

(1. 北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044;

2. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 3. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650000)

摘要: 以新平县为研究区, 采用确定性系数(CF)方法分析滑坡与地质环境因子各区段(类型)之间的敏感性关系, 得出各因子不同区段(类型)的敏感性大小, 并运用 Logistic 回归分析方法建立预警区划模型, 认为坡度、岩组、年均降雨量、高程、构造等五个因子是影响研究区滑坡发生的敏感性因子, 建立 Logistic 概率预测模型, 并对研究区进行五级预警区划, 区划结果对该区预警工作有积极的指导意义。

关键词: 滑坡; 确定性系数; logistic 回归; 敏感性因子; 预警区划

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)04-0103-04

自 2003 年以来, 中国政府开展了地质灾害气象预报预警工作, 对减少人员伤亡和经济损失起到了一定的促进作用, 在提高广大公民地质灾害防范意识的警示作用方面起到了明显的作用^[1]。地质灾害预测预报的重点之一是滑坡的预警预报, 其基础是研究滑坡及其影响因子之间的敏感性关系, 开展滑坡预警区划, 从而根据研究结果建立预警模型开展预警工作。

滑坡影响因子关系十分复杂, 不同地区、不同环境其关系亦不同, 许多国家的学者结合一定的研究实例, 采用不同的研究方法在滑坡影响因子的敏感性关系方面做了大量研究^[2~9], 本文选取新平县作为研究区, 分析滑坡与地质环境因子之间的关系, 根据 Logistic 模型计算结果, 开展预警区划研究。

1 预警区划模型

1.1 确定性系数(CF)模型

根据研究区滑坡和地质环境因子背景情况, 结合研究区的数据特征, 本文采用确定性系数(CF)^[6]模型进行地质环境因子敏感性分析。

确定性系数(CF)作为一个概率函数, 最早由 Shortliffe 和 Buchanan(1975)提出, 由 Heckerman(1986)进行改进, 表示为下式(式 1):

$$CF = \begin{cases} \frac{PP_a - PP_s}{PP_a(1 - PP_s)} & \text{if } PP_a > PP_s \\ \frac{PP_s - PP_a}{PP_s(1 - PP_s)} & \text{if } PP_a < PP_s \end{cases} \quad (1)$$

式中: PP_a —— 滑坡在数据 a 类中发生的条件概率, 在应用时可表示为代表数据类 a 的单元中存在的滑坡面积与单元面积的比值;

PP_s —— 滑坡在整个研究区 A 中发生的先验概率, 可以表示为整个研究区的滑坡的面积与研究区面积的比值。

通过式(1)函数变换, CF 的变化区间为 $[-1, 1]$ 。正值代表事件发生确定性的增长, 值越大即滑坡变形失稳的确定性越高; 负值代表确定性的降低, 表示不易发生滑坡。

1.2 二项分类 Logistic 回归

1.2.1 二项分类 Logistic 回归模型

本文选取二项分类 logistic 回归模型^[7~12]作为分析方法, 该模型是用来解决影响因子取值范围已知的情况下, 预测事件发生的可能性, 适用于将定量和定性相结合的分析类别。Logistic 回归模型设 P 为某事件(Y; 滑坡)发生的概率, 取值范围为 $[0, 1]$, $1 - P$ 为该事件(滑坡)不发生的概率, 将 $P/(1 - P)$ 取自然对数 $\ln(P/(1 - P))$, 即对 P 作 logit 转换, 记为 $\text{logit}P$, 则 $\text{logit}P$ 的取值范围为 $(-\infty, +\infty)$ 。以 P 为因变量, m 个自变量分别为 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 所对应的回归模型为:

$$\text{logit}P = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m \quad (2)$$

由式 2 可得:

$$P = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m)}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m)} \quad (3)$$

收稿日期: 2010-03-25; 修订日期: 2010-05-13

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目
(2006BAC04B01)

作者简介: 温铭生(1977-), 男, 工程师, 从事地质灾害监测预警与防治研究工作。

E-mail: wenms@mail.cigem.gov.cn

式 3 即为二项分类 Logistic 回归模型,是普通多元线性回归模型的推广,但它的误差项服从二项分布而非正态分布,模型中 α 为常数,表示在不接触任何潜在危险/保护因素条件下,事件(滑坡)发生与不发生的概率之比的对数值。 $\beta_i (i=1,2,\dots,m)$ 为偏回归系数,表示某一因素改变一个单位时,事件(滑坡)发生与不发生的概率之比的对数变化值。

1.2.2 回归模型的假设检验

当回归模型建立后,需要对模型进行全局性检验和单个自变量的假设检验。Logistic 回归提供的常用方法进行对比和检验,包括似然比检验(Likelihood Ratio)、Wald 检验、回归系数估计量的标准差(S. E.),回归系数检验的统计量值(Wald),Wald 检验的显著性概率(Sig),标准化的回归系数(β^*),优势比 $\exp(\beta)$,决定系数 R^2 、ROC 曲线拟合优度等多种方法,各种方法均有相关公式进行计算,在此不一一介绍。本文主要选取常用对比检验方法进行检验,标准差 S. E. 的大小反映了估计量取值波动程度。Wald 值越大或 Sig 值越小,则自变量在回归方程中的重要性越大。标准化 Logistic 回归系数是相对大小值,主要通过其绝对值大小来比较不同自变量(因子)对模型的贡献大小。ROC 曲线是以式(3)获得的预测概率 $\hat{P}$ 作为检验变量,应变量 Y(事件:滑坡)作为“金标准”,以 1 - 特异度为横坐标、以灵敏度为纵坐标,绘制的 ROC 曲线,曲线下面积越大,说明预测结果越好。

2 研究区基本特征

新平县地处哀牢山脉中段的分水岭以东,元江自西北向东南斜贯而下,将县境分为东西两部份,呈现“一水中分,两山对峙”的自然地理特征,地势西北高,东南低,最大高差达 2743.9m,境内气候类型属低纬度高原季风气候,垂直气候分带明显,多年平均降水量为 966mm。境内植被类型多样、覆盖度较高、人工林发展快、后备资源充足。新平县境内出露地层以元古界和中生界为主,其中碎屑岩最发育,约占总面积的 68%,变质岩占 27%,碳酸盐岩占 2%,发育红河、哀牢山等深大断裂,地质构造形迹较复杂,地质构造的时空差异明显。

新平县境内滑坡多属气象—地质耦合型,呈现“点多面广、链发性、群发性、成灾时段短、灾害损失重”的特点。地层岩性复杂、构造形迹发育、岩石破碎等各种不利因素,人类工程活动频繁,导致新平县是我国滑坡多发县之一,根据 1:5 万地质灾害详细调查成

果和新发生地质灾害调查成果,已发现并登记在册的滑坡共 431 处(图 1),主要分布在哀牢山东麓者竜乡—水塘镇—戛洒镇—腰街一带约 500km² 区域和新化、老厂乡的部分区域,该区域是群发性、链发性滑坡灾害的典型多发区^[13]。

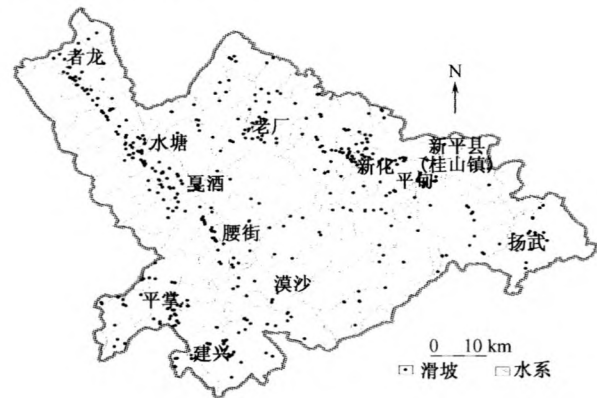


图 1 滑坡分布图

Fig.1 Distribution figure of landslides

3 地质环境因子分析

3.1 因子分类

滑坡的发生是在地形、地层岩性(岩组)、地质构造、降雨等诸多因素的影响下发生的。研究区以哀牢山分水岭为界,西部为滇西红色地层出露区,东部为哀牢山变质带区和滇中红色盖层区,研究时根据其建造类型将区内地层分为岩浆岩、变质岩、碎屑岩、碳酸岩和土体五类工程地质岩性组合。坡度和高程因子从地形图提取获得。坡度分级根据已经发生滑坡的坡度范围进行划分,高程分级是根据研究区高差范围及人类活动高程范围划分。选取 3 级水系为基础,以 200m 为间距构建水系缓冲区。区内构造影响较大,有深大断裂通过,研究时以 500m 为间隔进行构造缓冲区^[14]。各因子分类如表 1 所示。

表 1 地质环境因子及其分类

Table 1 Geo-environment factors and categories

地质环境因子	分类
岩组类型	岩浆岩、变质岩、碎屑岩、碳酸盐、土体
斜坡坡度(°)	0 ~ 10, 10 ~ 20, 20 ~ 30, 30 ~ 40, 40 ~ 90
年均降雨量(mm)	≤800, 800 ~ 1000, 1000 ~ 1200, 1200 ~ 1400, 1400 ~ 1600, > 1600
海拔高程(m)	≤1000, 1000 ~ 1500, 1500 ~ 2000, 2000 ~ 2500, > 2500
构造缓冲区(m)	≤500, 500 ~ 1000, 1000 ~ 1500, 1500 ~ 2000, > 2000
水系缓冲区(m)	≤200, 200 ~ 400, 400 ~ 600, 600 ~ 800, > 800

3.2 分类计算

根据确定性系数计算结果(表 2),对因子各区段的 CF 值进行数据分类处理。

表 2 回归模型因子分类
Table 2 Factor Classification of Regression model

因子	分类	CF 值	类别
岩组类型	岩浆岩	0.20	4
	变质岩	0.14	3
	碎屑岩	-0.03	3
	碳酸岩	-0.46	2
	土体	0.14	3
坡度 (°)	0~10	-0.59	2
	10~20	0.19	3
	20~30	0.31	4
	30~40	-0.08	3
	40~90	-0.66	1
年均降雨 量(mm)	<800	-0.45	2
	800~1 000	0.48	4
	1 000~1 200	0.36	4
	1 200~1 400	0.43	4
	1 400~1 600	0.03	3
高程 (m)	>1 600	-0.81	1
	<1 000	-0.29	2
	1 000~1 500	0.15	3
	1 500~2 000	0.40	4
	2 000~2 500	-0.79	1
构造缓 冲区(m)	>2 500	-0.95	1
	<500	0.49	4
	500~1 000	-0.11	3
	1 000~1 500	-0.21	2
	1 500~2 000	-0.20	2
水系缓 冲区(m)	>2 000	-0.09	3
	<200	0.09	3
	200~400	0.16	3
	400~600	-0.07	3
	600~800	-0.19	3
	>800	-0.01	3

具体分类根据因子 CF 值按(-1,-0.6)、(-0.6,-0.2)、(-0.2,0.2)、(0.2,0.6)、(0.6,1)等 5 个区间分别赋予 1~5 的权值,分类结果见表 2。由于水系缓冲区的 CF 在 -0.2~0.2 之间,权值均为 3,参与统计没有意义,因此不进行分析。

4 预警区划

4.1 分析方法

将研究区按 500m×500m 标准划分为 17617 个网格单元(含边界单元),有滑坡的网格单元为事件(滑坡)确定发生,没有滑坡的网格单元为事件(滑坡)确定不发生,根据表 2 的各因子分类数据,导入 SPSS 统计软件中,选取 Binary Logistic,将 5 个因子分类数据全部加入自变量进行计算,选用 Wald 向后逐步法筛选自变量,选取 Options 的所有输出选项,根据输出参数结果建立区划模型,在 Mapgis 支持下开展预警区划。

4.2 结果分析

从预测概率与应变量的 ROC 曲线图(图 2)可以看出,曲线下方面积为 0.774,表示预测准确度较好,相应的标准差 0.012,P=0.000,95%置信区间为(0.751,0.797)。由表 3 可以看出,5 个因子均留在模型中,说明 5 个因子对滑坡的作用明显,同时结果相关性矩阵中因子间相关性弱,说明各因子均对滑坡发生有明显的影响。每个因子(自变量)对应的 P(sig.)可知,在 0.05 的检验水准下,5 个因子均有统计学意义。根据因子的标准化回归系数可知,绝对值最大的是坡度因子,说明坡度因子对滑坡发生的贡献最大,其次为岩组因子。根据表 2 中的运算结果,建立预测概率模型:

$$P = \frac{\exp(-14.831 + 0.409x_1 + 0.696x_2 + 0.307x_3 + 1.169x_4 + 0.637x_5)}{1 + \exp(-14.831 + 0.409x_1 + 0.696x_2 + 0.307x_3 + 1.169x_4 + 0.637x_5)}$$
 (4)

表 3 模型分析结果

Table 3 Analysis results of model

	B	标准化 回归系数	S. E.	Sig.	Exp(B)	95.0% 置信区间	
						Lower	Upper
高程	0.409	0.01	0.058	0.000	1.505	1.342	1.686
降雨	0.696	0.04	0.109	0.000	2.006	1.622	2.482
构造	0.307	0.01	0.061	0.000	1.359	1.205	1.533
坡度	1.169	0.14	0.219	0.000	3.220	2.094	4.950
岩组	0.637	0.09	0.251	0.011	1.890	1.156	3.091
系数-14.83			1.21	0.000	0.000		

根据式(4)的概率计算结果,预测模型预测概率范围为 0.0014~0.135,概率曲线在 0.019、0.035、0.052 和 0.053 处出现拐点,以此为划分区间将研究区划分为滑坡预警低危险区、较低危险区、中危险区、较高危险区和高危险区共 5 级分区,编制地质灾害危险性预警等级分区图(图 3),其中地质灾害高危险区包含了 44% 已知地质灾害,较高危险区包含 30% 的已知地质灾害,中危险区包含了 14% 的已知地质灾害。评价结果合理地反映了研究区内地质灾害的发育特征,并以定量的形式反映了每一单元地质灾害发生的

4.3 预警区划

可能概率,对于地质灾害预警工作具有积极的指导意义。

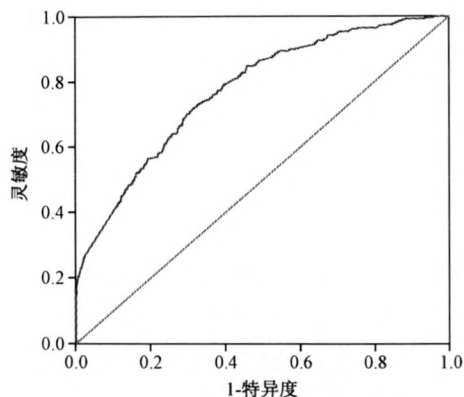


图2 ROC 曲线

Fig.2 ROC curve

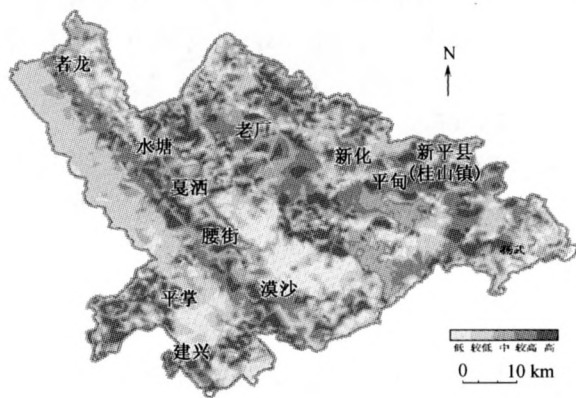


图3 滑坡预警区划图

Fig.3 Early-warning zoning of landslides

5 结论

确定性系数(CF)可以作为滑坡与地质环境关系研究的分析模型,研究区内影响滑坡发生的重要因子类型(区段)是:岩浆岩岩组类型、坡度为 $20 \sim 30^\circ$ 、年均降雨量 $800 \sim 1\,400\text{mm}$ 、海拔高程 $1500 \sim 2\,000\text{m}$ 、构造缓冲区 500m 。二分类 Logistic 回归模型可以较好的解决区域滑坡预警问题,得出的概率预警模型和预警区划图可直接用于该区的滑坡预警工作。

参考文献:

[1] 刘传正,温铭生,刘艳辉. 基于气象因素的区域地质灾害预警原理与应用[C]// 第二届全国岩土与工程学术大会论文集. 北京:科学出版社,2006: 686-693.

[2] LEE Saro. Application of likelihood ratio and logistic

regression models to landslide susceptibility mapping using GIS[J]. Environmental Management,2004, 34 (2): 223-232.

- [3] Ohlmacher Gregory C, Davis John C. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA [J]. Engineering Geology, 2003 (69):331-343.
- [4] Perotto-Baldiviezo H L, Thurowb T L, Smith C T. GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2004 (103):165-176.
- [5] 李彰明. 模糊分析在边坡稳定性评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,1997,16(5):490-495.
- [6] 兰恒星,伍法权,周成虎,等. 基于 GIS 的云南小江流域滑坡因子敏感性分析[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(10):1500-1506.
- [7] 余建英,何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [8] 李雪平,唐辉明,陈实. 基于 GIS 的 Logistic 回归在区域滑坡空间预测中的应用[J]. 公路交通科技, 2005,22(6):152-155.
- [9] 姚玉增,任群智,李仁峰,等. 层次分析法在山地地质灾害危险性评价中的应用:以辽宁凌源地区为例 [J]. 水文地质工程地质,2010,37(2):130-134.
- [10] 李铁锋,丛威青. 基于 Logistic 回归及前期有效雨量的降雨诱发型滑坡预测方法[J]. 中国地质灾害与防治学报,2006,17(1):33-35.
- [11] Ayalew Lulseged, Yamagishi Hiromitsu. The application of GIS - based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda - Yahiko Mountains, Central Japan [J]. Geomorphology, 2005 (65): 15-31.
- [12] Dai F C, Lee C F, Tham L G. Logistic regression modeling of storm - induced shallow landsliding in time and space on natural terrain of Lantau Island, Hong Kong[J]. Bull Eng Geol Environ,2004 (63): 315-327.
- [13] 尹洪峰,谢博,赵体,等. 云南省新平县地质灾害发育特征及防治对策研究[J]. 长春工程学院学报: 自然科学版,2006,7(2):54-56.
- [14] 赵银兵,何政伟,倪忠云,等. 云南省新平县地质灾害与线性构造的相关性研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2009,20(1):70-73.

(下转第 110 页)

Measurements of soil radon gas of the Nmai Hka fault zone in the Chipwi hydropower station of Myanmar

SUN Dong¹, WANG Dao-yong², WANG Yun-sheng³, LUO Yong-hong³

(1. *Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;*

2. *College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;*

3. *College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)*

Abstract: Geometrical characteristics of hidden faults can be determined by measuring the radon anomalies of soil gas. Among four sections in the project of the Chipwi hydropower station of Myanmar, the abnormal soil radon gas is evident. The abnormal radon value near the dam area is about 3 to 8 times the background value, and the radon value of the southern dam is 100 times the background value, showing that the activity near the southern dam area is stronger. The under-coverage trend of the Nmai Hka fault is controlled by radon gas measurements. Excavation and the surface exposure can reveal a good validation of the fault location by the results of radon measurement. Therefore, it is feasible to search for buried fractures through measurements of radon anomalies.

Key words: soil radon gas; buried fracture; Nmai Hka fault; Myanmar

责任编辑:张若琳

(上接第 106 页)

Early-warning zoning studying of landslides in Xinping

WEN Ming-sheng^{1,2}, WANG Lian-jun¹, LI Tie-feng², XU Wei², CHEN Hong-qi², WU Fei³

(1. *School of Civil Engineering & Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044;*

2. *China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China;* 3. *Faculty of Environmental Science and Engineering Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000)*

Abstract: The Xinping county was chosen as a research area. The relationships between landslides and sections (types) of geo-environment factors were analyzed with CF in this paper, The sensitivity factors were filtrated by logistic regression model. The result tell us that gradient, lithology (fabric), mean annual precipitation, ground elevation and geological structure are sensitivity factors of landslide hazards in Xinping county. The logistic early warning model and five grades zoning figure was constituted. The zoning result is significant in early warning.

Key words: landslide; certainty factor(CF); logistic regression, sensitivity factor; early warning zoning

责任编辑:张若琳