

文章编号: 1008—2786(2004)01—0104—06

应用简单变量统计模型预测庆元地区滑坡危险性

马志江, 陈汉林, 杨树锋, 赵建华
(浙江省工程地震研究所, 浙江 杭州 310013)

摘 要: 庆元县是浙江省滑坡灾害发生严重地区之一, 开展滑坡预测尤为重要。以研究区的滑坡点位资料、地形数据、土壤类型数据、岩石类型数据及遥感 TM 数据为基础资料, 提取滑坡的影响因素。统计获取了滑坡与因素的关系特征, 并应用简单变量统计模型开展了研究区滑坡灾害预测。预测结果显示, 研究区滑坡灾害危险性高值区分布较广, 主要分布在松源镇的中部、安南乡中部、淤上乡的东部及隆宫乡的北部, 其危险性大, 而在其它地区, 滑坡灾害危险性为低值区, 危险性小。

关键词: 滑坡灾害危险性; 简单变量统计模型; 预测
中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A

由于公路、铁路施工对边坡的开挖, 造成天然斜坡遭受破坏, 每年雨季内都有规模不等的滑坡发生, 给交通和人身安全造成极大危害。如何利用地形、土壤类型、岩性类型、遥感 TM 图像及其构造特征等综合因素分析滑坡灾害危险性, 准确地确定潜在滑坡发生区显得十分重要。本文利用浙江省庆元地区的数字高程数据、坡度数据、土壤类型数据、岩性类型数据、地貌类型数据及植被指数数据等, 应用统计分析的方法, 开展滑坡灾害危险性预测研究。

1 滑坡点在因素图中的统计特征

经野外调查发现, 研究区滑坡发生主要受地形、地貌、植被、岩性、土壤的影响(随机性因素除外)。分别计算了研究区内 37 处¹⁾滑坡点和危险斜坡点(图 1)与高程(图 2)、坡度(图 3)、植被指数(图 4)、土壤¹⁾(图 5)、岩性¹⁾(图 6)及遥感 TM1~5、7 波段主成分分析第一成分(反映地物总反射强度²⁾, 作为地貌因素(图 7)的关系特征, 具体实现步骤如下。

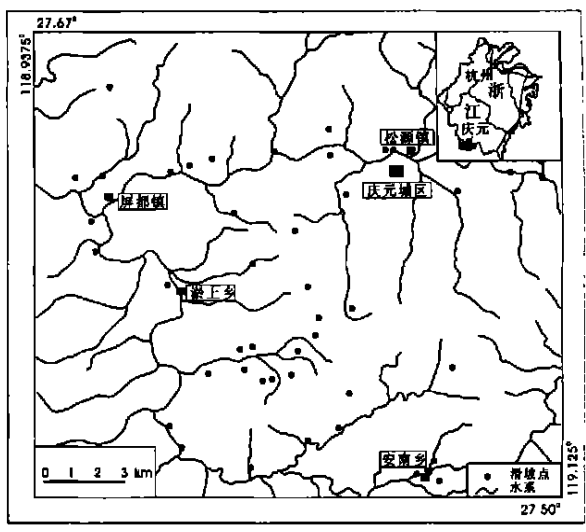


图 1 研究区位置及滑坡点分布
Fig. 1 Location of the research region and distribution of landslide points

1.1 样本的确定

研究区内滑坡点和危险性斜坡点总计 37 个¹⁾, 数目较少, 但每个滑坡具有一定的滑坡面积, 本文根据滑坡点的面积, 分别在每个滑坡点周围取相应数

收稿日期(Received date): 2003—08—10; 改回日期(Accepted): 2003—11—10。
基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(40072096)
作者简介(Biography): 马志江(1977—), 男(汉族), 河北唐山人, 硕士研究生, 专业方向为遥感图像处理及灾害地质学, 联系电话: 0571—87952791。[Ma Zhijiang, (1977—), the Han nationality, master student, major of remote sensing image processing and disaster geology, phone: 0571—87952791.]
1) 据浙江省第七地质大队, 庆元地区地质灾害统计表, 2001。
©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

目的点(滑坡的形状是不规则的,而取的点是规则的,取点存在一些误差),这样获得的滑坡点及危险性斜坡点的数目总共为676个,研究区像元总数减去滑坡点及危险性斜坡点数目,为非滑坡点一类。

1.2 滑坡统计分析

获得了滑坡点及危险性斜坡点之后,可以分别统计这类点在高程、坡度等因素上的统计特征。例如统计此类点在高程因素上的特征,可以分别计算高程为0~350 m、350~500 m、500~900 m及>900 m每一分段上滑坡点的数目,分别为22、111、503和40个,这样可以计算该分段中滑坡点的比率(表1);按照同样原理可以统计非滑坡点在高程分段中每一分段上的非滑坡点数目,分别为18 651、94 795、176 863和68 531个,同样可以计算该分段中非滑坡点的比率(见表1),则对应分段中两类点的比率值的比值 b/a 即可求出。

据上述原理,分别统计了研究区滑坡点及危险性斜坡点与非滑坡点在各个因素中的统计特征,结果见表1~6。

表1 滑坡与高程的相关性

Table 1 Relation between landslide and elevation

分段范围	非滑坡点		滑坡点		b/a
	像元数目	百分比(%)	像元数目	百分比(%)	
	a		b		
0~350	18 651	5.197581	22	3.254438	0.626145
350~500	94 795	26.417066	111	16.420118	0.621572
500~900	176 863	49.287426	503	74.408284	1.509681
900 以上	68 531	19.097927	40	5.917160	0.309833
Total	358 840	100	676	100	1.000

表2 滑坡与坡度的关系

Table 2 Relation between landslide and gradient

分段范围	非滑坡点		滑坡点		b/a
	像元数目	百分比(%)	像元数目	百分比(%)	
	a		b		
0~5	16 495	4. 596756	21	3. 106509	0. 675805
5~15	42 263	11. 777673	120	17. 751479	1. 507215
15~25	79 853	22. 253093	234	34. 615385	1. 555531
25~35	104 722	29. 183480	196	28. 994083	0. 993510
35~45	75 953	21. 166258	69	10. 207101	0. 482235
45 以上	39 554	11. 022740	36	5. 325444	0. 483132
Total	358 840	100	676	100	1. 000

表3 滑坡与植被指数的关系

Table 3 Relation between landslide and vegetation index

分段范围	非滑坡点		滑坡点		b/a
	像元数目	百分比(%)	像元数目	百分比(%)	
	a		b		
0~85	15 336	4.273771	42	6.213018	1.453755
86~128	160 432	44.708505	379	56.065089	1.254014
129~153	70 372	19.610969	87	12.869822	0.656256
154~170	53 085	14.793501	72	10.650888	0.719971
171~255	59 615	16.613254	96	14.201183	0.854810
T total	358 840	100	676	100	1.000

表4 滑坡与土壤类型的关系

Table 4 Relation between landslide and soil

分段范围	非滑坡点		滑坡点		b/a
	像元数目	百分比(%)	像元数目	百分比(%)	
	a		b		
0~14	239 447	66.728068	439	64.940828	0.973216
15~46	63 980	17.829673	38	5.621302	0.315278
46~60	39 165	10.914335	186	27.514793	2.520977
61~74	16 248	4.527923	13	1.923077	0.424715
T otal	358 840	100	676	100	1.000

表5 滑坡与岩性的关系

Table 5 Relation between landslide and lithology

分段范围	非滑坡点		滑坡点		b/a
	像元数目	百分比(%)	像元数目	百分比(%)	
	a		b		
1~4	261 428	72.853640	630	93.195266	1.279212
6	1 839	0.512485	6	0.887574	1.731903
8	2 705	0.753818	0	0.000000	0.000000
9~10, 19	7 525	2.097035	20	2.958580	1.410840
11, 13~18	65 667	18.299799	1	0.147929	0.008084
20~24					
12	19 676	5.483224	19	2.810651	0.512591
T total	358 840	100	676	100	1.000

表6 滑坡与地貌的关系

Table 6 Relation between landslide and topographical features

分段范围	非滑坡点		滑坡点		b/a
	像元数目	百分比(%)	像元数目	百分比(%)	
	a		b		
0~63	74 351	20.719819	53	7.840237	0.378393
64~127	127 867	35.633430	209	30.917160	0.867645
128~191	89 703	24.998049	223	32.988166	1.319630
192~255	66 919	18.648701	191	28.254438	1.515089
T total	358 840	100	676	100	1.000000

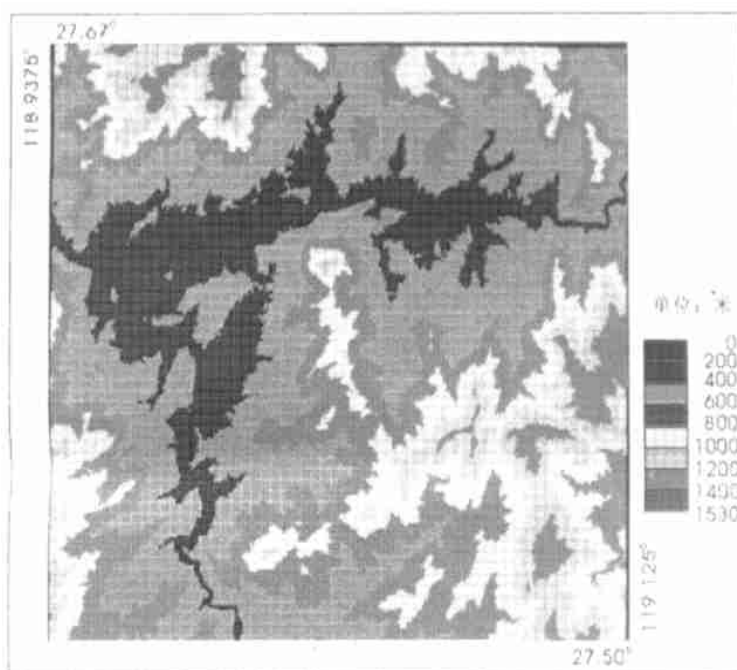


图 2 研究区的数字高程图

Fig. 2 Digital elevation map of research region

对于高程因素, 结合了陈和平的研究结果¹⁾, 划分为 4 段: 0 ~ 350 m (平原和低丘)、350 ~ 500 m (低山)、500 ~ 900 m (高丘或中山) 及 900 m 以上 (高山)。

对于坡度分段, 庆元地区坡度划分为 6 段: 平缓坡 ($0^{\circ} \sim 5^{\circ}$)、缓坡 ($5^{\circ} \sim 15^{\circ}$)、斜坡 ($15^{\circ} \sim 25^{\circ}$)、较陡坡 ($25^{\circ} \sim 35^{\circ}$)、陡坡 ($35^{\circ} \sim 45^{\circ}$) 和极陡坡 ($> 45^{\circ}$)。

对于植被指数因素, 因灰度值与植被覆盖度基本成正相关关系, 根据研究区植被覆盖情况结合牛旭彤对杭州地区植被覆盖度的研究成果²⁾, 对研究区植被指数图分为 5 段 (按覆盖度): $< 30\%$ (0 ~ 85)、 $30\% \sim 50\%$ (86 ~ 127)、 $50\% \sim 70\%$ (127 ~ 153)、 $70\% \sim 90\%$ (154 ~ 170) 及 $> 90\%$ (171 ~ 255)。

对于土壤类型图, 根据原始土壤类型数据, 分为 4 大类: 红壤 (0 ~ 14)、黄壤和粗骨土 (15 ~ 46)、淹育型和潜育型水稻土 (47 ~ 60) 及渗育型和浅育型水稻土 (61 ~ 74)。

对于岩性类型图, 根据研究区岩石类型特征, 大致分为 6 类: 凝灰岩类 (1 ~ 4)、酸性岩脉 (6)、变质岩类 (8)、砂砾岩类 (9, 10, 19)、花岗岩类 (11, 13 ~ 18, 20 ~ 24) 和第四纪全新统 (12)。数值代表岩性类型。

对于获得的遥感主成分分析的第一成分图像, 它是 6 个波段 (TM 1 ~ 5, 7) 加权和, 反映了地物总

的反射强度。据其灰度值分为 4 段: 0 ~ 63 (高山陡坡地貌)、64 ~ 127 (较陡坡地貌)、128 ~ 191 (缓坡丘陵地貌) 及 192 ~ 255 (平原、河谷地貌)。

根据 Gokceoglu C (1996)^[3]、Luzi L (1996)^[4] 和 Saro L (2001)^[5] 的研究成果, 认为若某个因素中某一分段的 b/a 值 > 1 , 则说明滑坡发生与该因素中这个分段范围的地质环境特征关系密切, 发生滑坡概率大; 反之若 b/a 值 < 1 , 则说明滑坡发生与该因素中这个分段范围的地质环境特征关系不密切, 发生滑坡概率小。据如上理论对表 1 ~ 6 进行分析如下:

分析表 1 中数据, 可以发现滑坡产生的概率高程在 500 ~ 900 m 范围最大, 在其它高程范围内发生滑坡的概率相对较小。

分析表 2 中数据, 可以发现滑坡发生的概率在地表坡度为 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 范围最大, 其次为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$, 而在其它地表坡度范围内发生滑坡的概率较小。

分析表 3 中数据, 可以发现滑坡发生的概率在植被指数的数值为 0 ~ 85 (覆盖度 $< 30\%$) 范围最大, 其次分别为 85 ~ 128 (覆盖度为 $30\% \sim 50\%$) 的范围概率较大, 而在其它植被覆盖度范围内 (覆盖度 $> 50\%$), 发生滑坡的概率较小。

1) 陈和平. 庆元县山地环境数据库建立及山地灾害综合成因研究. 浙江大学硕士学位论文, 2002.

2) 牛旭彤. 植被指数在植被覆盖度信息提取中的应用研究. 浙江大学硕士学位论文, 1999. rights reserved. <http://www.cnki.net>

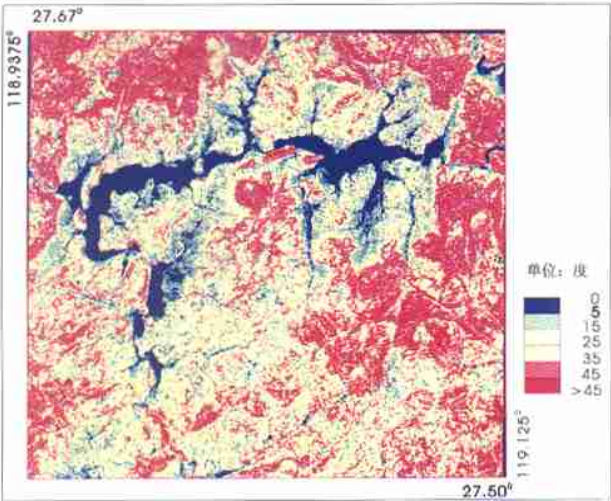


图 3 研究区的坡度图

Fig. 3 Gradient map of research region

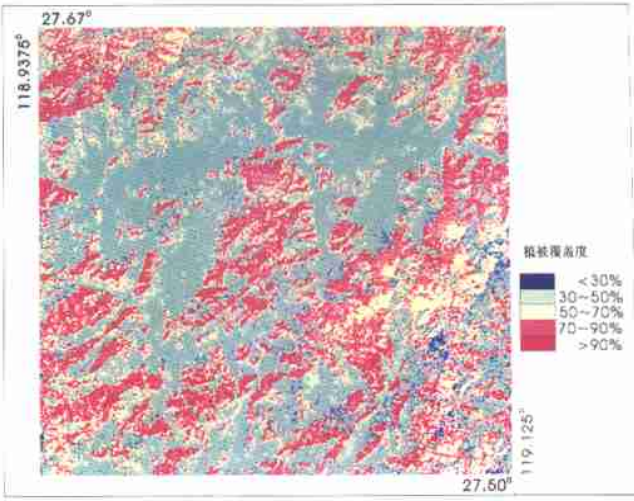


图 4 研究区植被指数图

Fig. 4 Vegetation index map of research region

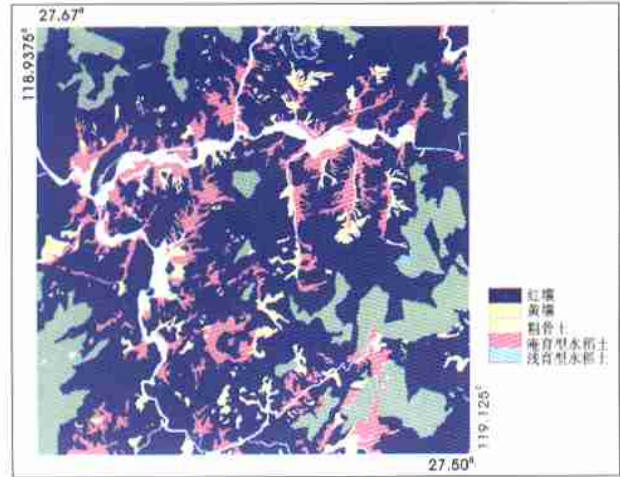


图 5 研究区土壤类型图

Fig. 5 Soil map of research region

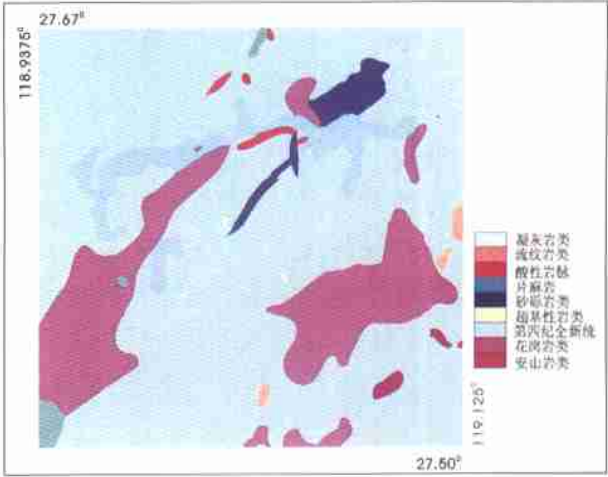


图 6 研究区岩石类型图

Fig. 6 Lithology map of research region

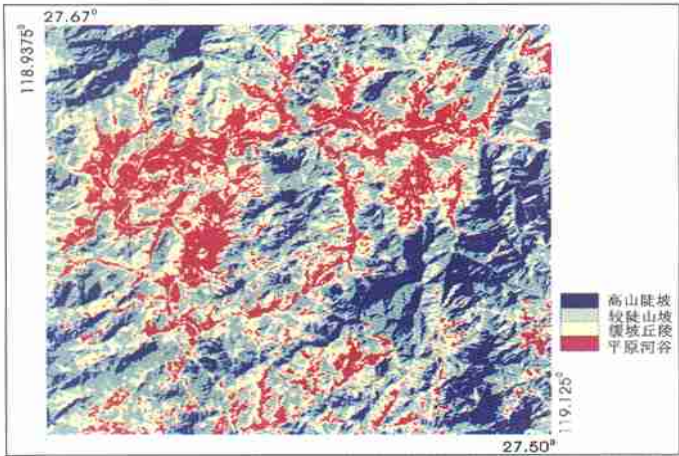


图 7 研究区第一主成分图像

Fig. 7 First principal component map of research region

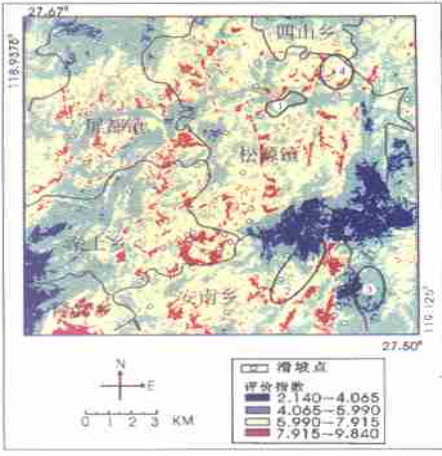


图 8 研究区滑坡灾害危险性预测图

Fig. 8 Landslide hazard prediction map of research region

分析表 4 中数据, 可以发现滑坡发生的概率在土壤类型数值范围为 46~60(淹育型和潜育型水稻土)内最大, 而在其它土壤类型内发生滑坡的概率较小。

分析表 5 中数据, 可以发现滑坡发生的概率在岩脉内最大, 其次为砂砾岩和凝灰岩, 而在花岗岩类和第四纪全新统及变质岩类内发生滑坡的概率很小。

分析表 6 中数据, 可以发现滑坡发生的概率在第一主成分图像的第四分段区域(192~255)范围最大, 其次在第三分段区(128~191)较大, 第二和第一分段区(64~128 和 0~63)内发生滑坡的概率较小。

2 滑坡危险性的简单变量统计预测结果

据 Saro L (2001)^[5] 中滑坡灾害评价公式

$$LSI = \sum Fr \quad (1)$$

式中 LSI 为滑坡灾害评价指数; Fr 为评价点在各个滑坡因素专题图中不同区间的 b/a 的值。

根据式(1), 对研究区每个像素点(30 m×30 m 分辨率), 求取其评价指数, 从而获得了评价指数图, 评价指数的最小值为 2.140, 最大值为 9.840。将评价指数等分 4 段, 每段用同一颜色表示, 其中低值区段用蓝绿色表示, 高值区段用红黄色表示, 形成的 4 级评价指数图如图 8 所示。

从图 8 中可以看出, 研究区滑坡灾害预测的危险区分布较广、面积较大。松源镇的中部、安南乡中部、淤上乡的东部及隆宫乡的北部预测的危险性较大; 屏都镇的北部、松源镇的东部和南部、淤上乡的中部、五大堡乡西部、四山乡南部、安南乡的北部等及庆元县城区等区域预测的危险性较小。

3 滑坡危险性评价方法的可行性分析

分析预测结果图 8, 绝大多数滑坡和危险性斜坡点处在预测图中的红色或黄色区域内(预测指数的高值区); 少数点也处在蓝色和绿色区域(预测指数低值区)。经分析, 这些滑坡点在图像中都不超过 3~4 个像元面积, 说明其滑坡点代表性不强、规模较小, 被误分到稳定区。

对比预测结果图与研究区实地的地质环境, 预测结果基本与当地滑坡发生的地质环境相一致。标号为①是较为稳定区, 此区为庆元县城区, 为山脉中

的一块平原, 虽人类活动频繁, 但滑坡灾害很少, 出露的一个滑坡点为庆荷公路北面的一个小型滑坡, 预测结果与实地较为相符。标号②的区域在预测图中以稳定区及较稳定区为主, 夹有稳定性很差、较差区, 实地情况是: 此区在地貌上为山区, 山谷间修建公路, 开山造路导致坡脚失稳, 易发生滑坡, 预测结果与实地情况较相符。标号为③的区域在预测图中主要为稳定区和较稳定区, 实地情况是: 此区为高山林区, 植被覆盖好, 人类活动较少, 滑坡很少发生, 预测结果与实地情况十分相符。标号为④在预测图中以稳定性很差、较差区为主。实地情况是: 此区位于庆元县城北, 区内主要为茶田夹松林, 人类较活动频繁, 山坡人为改造较大(尤其是茶田区), 易造成斜坡失稳; 在该区内, 存在将部分稳定区归入了不稳定区情况, 预测结果与实地情况略有差异。总之, 对比预测结果与实地滑坡危险性情况, 预测结果与实际情况比较相符。

4 结语

通过对滑坡点及非滑坡点在滑坡因素图中简单概率统计分析, 获得了滑坡点的及非滑坡点的统计特征, 从而实现了研究区滑坡灾害危险性的简单概率统计预测。该方法以滑坡为研究对象, 从影响滑坡的因素入手, 探求滑坡区与非滑坡区在影响因素中的概率特征, 并据得出的概率特征对整个研究区进行预测评价, 取得了研究区的预测结果。这一方法的评价结果与实际较相符, 如果研究区的滑坡点比较多, 并且获得的滑坡点及危险性斜坡点的实际位置精确, 得到的统计规律将更好地反映研究区内滑坡与影响因素之间的关系, 则应用该方法对研究区滑坡灾害危险性进行预测, 得到结果的精度将会更好。

参考文献(References):

- [1] Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. Regional geology of Zhejiang Province[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1989. [浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988.]
- [2] Zhang Xiaocan, Huang Zhicai, Zhao Yuanhong. Remote sensing digital image processing[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press. [章孝灿, 黄志才, 赵元洪. 遥感数字图像处理[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1997.]
- [3] Gokceoglu C, Aksoy H. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deter-

ministic stability analysis and image processing techniques[J] . *Engineering Geology*. 1996 **44**(1): 147 ~ 161.

[4] Luzi L. Application of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1 :50, 000 Fabriano geological map sheet)[J] . *Soil Dyn and Earthquake Eng.* 1996, **15**(2): 83 ~ 94.

[5] Saro L, Kyungduck M. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea[J] . *Environmental Geology*. 2001, **40**(9): 1095 ~ 1113.

Applying Simple-Variable Statistical Model to Prediction of Landslide Hazards of Qingyuan

MA Zhijiang, CHEN Hanlin, YANG Shufeng, ZHAO Jianhua
(Department of Earth Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Qingyuan County is one of the heaviest landslide regions in Zhejiang Province. It's necessary to predict and evaluate landslide hazards in the region. In the paper, based on the distribution of landslide points, topographical data, soil types data, lithology data, and remote sensing data of TM, the author extract landslide influence factors, and calculate the relationship between landslide and influence factors. Simple-variable statistical model was used to predict and evaluate landslide hazards of the research region. Prediction shows that highly dangerous landslides are distributed in the middle of Songyuan town, in the middle of Annan town, in the east of Yushang town and in the north of Longgong town, which agrees well with the realities in those regions.

Key words: Landslide hazards; simple-variable statistical model; prediction