

# 基于遥感与数量化 II 类的滑坡危险度划分

王卫红, 张文君

(西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

**摘 要:** 以日本广岛地区为例, 利用高分辨率遥感影像动态监测滑坡体, 就滑坡灾害各种自然及环境因素建立其多元回归分析方程。利用数量化理论第 II 类方法对可能发生滑坡灾害区域进行以遥感影像像素为单元的危险度划分。根据发生滑坡可能性的大小可将其划分为高、中、低 3 个等级, 为预测预报提供依据。

**关键词:** 遥感; 数量化 II 类; 滑坡; 危险度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)02-0165-03

中图分类号: S159.3, P954

## Landslide Occurring Probability Decision Based on Remote Sensing and Quantification Theory II

WANG Wei-hong, ZHANG Wen-jun

(Environment and Resource College, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

**Abstract:** Taking Hiroshima, Japan as an example, the landslides are monitored dynamically by making use of high-resolution remote sensing imagery, and the multiple regression analysis equation about the natural and environmental functions affecting the landslide is constructed; then the occurring probability is determined using quantification theory II. The results can provide bases for the forecasts of landslides.

**Keywords:** remote sensing; quantification theory II; landslide; occurring probability

滑坡是山体变形中数量多, 规模大, 危害严重, 性质比较复杂而又具有一定规律性的自然灾害。针对滑坡运动具有时空不确定性进行研究, 对存在的内外因及其相互作用规律进行科学的描述, 结合灾害过程外在表现(如变形、蠕动、滑坡运动)特征的定性定量监测, 反演灾害体的时空状态分布, 了解其运动规律, 是目前滑坡灾害监测的主要任务。采用遥感技术动态监测滑坡灾害, 并进一步开展预测、预报和预警, 已成为空间信息技术的重要任务之一。

由于地质环境因素及暴雨、地震、台风等自然因素的影响, 日本广岛地区属滑坡灾害发生频繁地区之一。本文利用高分辨率遥感影像动态监测滑坡体, 就滑坡灾害各种自然及环境因素分别建立其多元回归分析方程, 并在此基础上利用数量化理论第 II 类方法对可能发生滑坡灾害区域的危险度进行划分, 为预测预报提供依据<sup>[1-2]</sup>。

研究中使用的软件包括: ENVI Version 4.0, SPSS13.0, Photoshop 等。

## 1 滑坡遥感监测技术流程

在本次研究中采用统计分析软件 SPSS13.0 以及数量化第 II 类方法以风化度、表层地质、土地利用等作为因变量, 主要采用逐次增加变量法进行多元回归分析, 构建最优回归方程式, 并划分滑坡危险度。

具体方法是在遥感数字图像处理的基础上, 着重针对滑坡体遥感影像进行几何校正、空间配准、影像增强、影像镶嵌等预处理工作<sup>[3-5]</sup>; 再对滑坡体遥感影像进行图像视觉化处理, 利用面向滑坡灾害对象的分类方法, 划分出滑坡体的位置、大小、类型、边界等信息<sup>[6-7]</sup>; 通过多变量解析方法, 主要是多元回归分析中的最优回归分析对滑坡灾害的影响因子及影响程度进行归纳总结, 并形成各类专题图, 如地形分类图、表层地质图、土壤图、风化专题图、坡度专题图以及土地利用现状图等。在此基础上, 形象而全面地表现出滑坡灾害与坡度、植被因子、风化度、饱和度、土地利用、表层地质等的关系, 进一步明确滑坡区域的危险性程度, 达到滑坡灾害预测预报的目的<sup>[8]</sup>。

收稿日期: 2008-03-08

修回日期: 2009-01-05

资助项目: 国际日圆贷款研究项目“四川高等教育教师培训”(C01-P157); 西南科技大学引进人才博士基金项目(编号: 07zx0105)

作者简介: 王卫红(1971—), 女(汉族), 湖南省益阳县人, 硕士, 副教授, 主要从事 GIS 和遥感图像处理研究。E-mail: wangweihong@swust.edu.cn.

## 2 滑坡危险度评价流程

多元回归分析(multiple regression analysis)是通过因变量(criterion variable)和自变量(explanation variable)之间的关系比较,确定一个回归函数表达式。从多元线性回归分析方法可以看出,如果采用的自变量越多,则回归平方和越大,残差平方和就越小。然而,采用较多的变量来拟合回归方程,会使得方程的稳定性差,每个自变量的区间误差积累将影响总体误差,使得用这样的方程作预报可靠性差,精度降低;另一方面,如果采用了对因变量  $y$  影响甚小的自变量而遗漏了重要变量,可导致估计量产生偏移性和不一致性。所以,就要考虑“最优”回归方程。所谓最优回归方程,就是包含所有对  $y$  影响比较显著的变量而不包含对  $y$  影响不显著的变量的回归方程。即从一个自变量开始,视自变量对  $y$  作用的显著程度,从大到小地逐个引入回归方程。当原引入变量由于后面变量的引入而变得不再显著时,要将其剔除。引入一个变量或从回归方程中剔除一个变量,为逐步回归的一步。每一步都要进行  $F$  检验,以确保每次引入新的显著性变量之前回归方程中只包含显著的变量。这个过程反复进行,直至既无不显著变量从回归方程中剔除,又无显著变量选入回归方程时为止<sup>[2]</sup>。

数量化理论解析第 II 类分析方法具有判别功能,可以用它进行滑坡灾害危险度的判别。首先确定滑坡危险度的高、中、低 3 个级别,然后以它们作为外部基准参与滑坡发生的危险度判别分析。滑坡灾害危险度判别分析确定的外部基准有:风化度、坡度、表层地质、地形、土壤、土地利用、饱和度、植被指标。

判别分析的具体表达式如下:

$$X_{i(a)}^{r(v)} = \begin{cases} 1: & \text{集合 } r \text{ 的样本为 } v, \text{各要素 } i \text{ 的危险度范围为 } \alpha \\ & \text{样本在危险度范围内时为 yes} \\ 0: & \text{样本不在危险度范围内时为 no} \end{cases}$$

$i=1, 2, \dots, k$  (各要素);  $\alpha=1, 2, \dots, I_i$  (危险度范围);  
 $r=1, 2, \dots, M$  (各要素);  $v=1, 2, \dots, N_r$  (样本)

各要素分别对应一个范围,而各样本值为:

$$y^{r(v)} = \sum_{i=1}^k \sum_{\alpha=1}^{I_i} X_{i(a)}^{r(v)} \alpha_{i(a)} \quad (1)$$

式中:  $r=1, 2, \dots, M$ ;  $v=1, 2, \dots, N_r$ 。

根据线性式得到的假定,系数  $\alpha_{i(a)}$  为实数,称为危险度范围。在这种情况下,根据各外部基准进行分类,并得到比较好的各个集合样本;而各个集合样本间的分离尺度可以通过它们之间的相关比来体现,表示为(2)式。同时,利用相关比的最大值就可反演危险度范围的样本值  $y^{r(v)}$ 。

$$\eta^2 = \sigma_B^2 / \sigma^2 \quad (2)$$

式中:  $\sigma_B^2$ ——集合样本间的分散度;  $\sigma^2$ —— $y^{r(v)}$  的全分散度。

数量化理论第 II 类方法滑坡危险度评价流程图如图 1 所示。

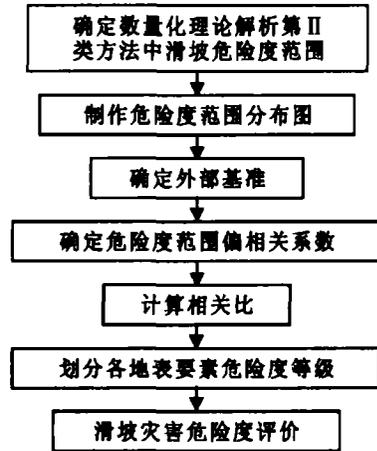


图 1 数量化理论第 II 类方法滑坡危险度评价流程

## 3 滑坡遥感最优回归分析与危险度划分

### 3.1 研究解析区域滑坡灾害最优回归分析

回归处理影像与实地地图数据之间有着非常密切的关系,利用多元回归分析构建的最优回归式可以得到新的影像。单波段影像经过比值运算处理后,可以提取出表示地表状况的特征量数据,但显然其精度是不够的<sup>[9]</sup>。因此,在这里把比值运算处理后的数据作为自变量,而把地表数据作为因变量,利用多元回归分析就可以得到各地表专题图。以表层地质因子为例,把从表层地质图上记录的点数据确定的表层地质区分度作为因变量,而把经过比值运算处理的 12 幅遥感影像对应的像元灰度值 DN 值作为自变量。采用逐次增加变量回归分析法进行多元回归分析。多元回归处理结果如表 1 所示。最优回归式为

$$Y = -0.510X_1 + 1.047X_2 - 0.195X_3 - 0.682X_4 - 0.309X_5 + 98.332$$

表 1 多元回归处理结果

专题图	重相关系数	贡献率	调整后的贡献率
表层地质	0.999	0.997	0.992
F 检验显著性水平 $\alpha$	t 检验显著性水平 $\alpha$	自变量 $X_N$	偏回归系数
0.1%	常数: 0.1%	$X_1; R_{12}$	-0.510
	$R_{12}$ : 0.9%	$X_2; R_{13}$	1.047
	$R_{13}$ : 0.8%	$X_3; R_{14}$	-0.195
	$R_{14}$ : 0.3%	$X_4; R_{23}$	-0.682
	$R_{23}$ : 0.9%	$X_5; R_{43}$	-0.309
	$R_{43}$ : 0.3%	常数	98.332

注:  $R_{ij}$  为将第  $i$  波段和第  $j$  波段进行比值运算以后的影像。

### 3.2 解析区域滑坡灾害危险度划分

自然斜坡中滑坡灾害产生的原因很多,如风化度、表层地质、坡度、土地利用、饱和度、地形、土壤、植被等要素。根据前面回归处理得到的各地表专题图,利用数量化理论解析第 II 类方法可以以遥感影像像素为单元进行滑坡危险度的预测分析,得到基于地形要素的滑坡灾害危险度预测图<sup>[10]</sup>。

本次选择的解析区域为广岛龟山地区,通过对该地区各地形要素数据的分析,可以得到各要素的相关比(见表 2)。在研究过程中主要考虑以坡度因子作为基准进行数量化理论解析第 II 类分析,以此达到预测预报滑坡灾害的目的。

表 2 各地形要素的相关比

地形要素	相关比 $r^2$	地形要素	相关比 $r^2$
风化	0.681	饱和度	0.550
表层地质	0.611	地形	0.606
地面坡度	0.377	土壤	0.351
土地利用	0.609	植被因子	0.542

另外,把地面坡度作为基准进行数量化第 II 类解析计算,可得到各地形要素相关表层区分值以及各自的偏相关系数,结果如表 3 所示。

表 3 龟山区域数量化第 II 类解析地形要素区分值

地形要素	表层区分	表层区分值	偏相关系数
风化	$\alpha$	-0.202 27	0.254 23
	$\beta\gamma$	-0.039 85	
		0.273 01	
坡度	<3°	基准	—
	3°~20°		
	20°~40°		
	>40°		
表层地质	水系	-0.399 79	0.099 44
	固结堆积物	0.222 73	
	深成岩	-0.013 00	
	未固结堆积物	0.044 84	
植生	活性度小	0.924 03	0.621 76
	活性度中	-0.472 01	
	活性度大	-0.490 40	
地形	丘陵	0.221 42	0.420 06
	山地	-0.057 39	
	低地	0.554 26	
饱和度	饱和度低	0.131 26	0.105 75
	饱和度中	0.029 77	
	饱和度高	-0.041 76	
土壤	残积性生土	-0.079 50	0.206 76
	灰色低地土	0.150 37	
	市街地	0.316 36	
土地利用	天然阔叶林	-0.102 24	0.059 67
	针叶林	-0.004 86	
	市街地	0.042 58	

通过上面的分析过程可以看出,以坡度作为基准可对各地形要素的表层区分度进行统计计算,其危险度范围分布图如图 2 所示,危险度评价结果见附图 4。

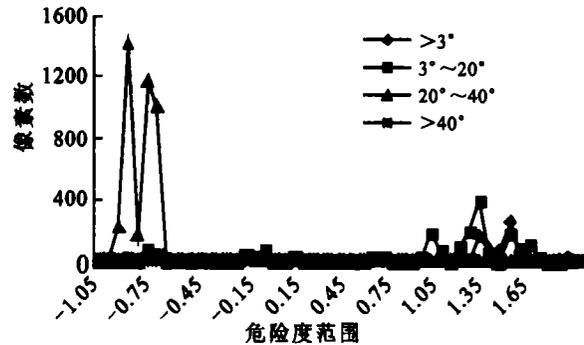


图 2 研究区滑坡危险度分布图

从图 2 中可以看出,由于地面坡度可能引起的滑坡危险度区分的范围,危险度划分为高 = (-1.05, -0.81), 中 = (-0.81, 0.15), 低 = (0.15, 1.89) 这 3 个等级。危险度高对应倾斜 20°~40° 及大于 40° 的情况,这个情况下滑坡发生的可能性较大,危险度中对应倾斜 3°~20° 的情况,危险度低对应倾斜小于 3° 的情况,而这种情况滑坡发生的可能性较小。

## 4 结论

本文在分析滑坡影像数据特征和利用图像比值运算方式有效地剔除原始影像中部分噪声的基础上,利用最优回归算法得到了各地表专题图,主要包括风化度专题图、表层地质专题图、土地利用专题图、植被专题图等,然后经过计算其重相关系数,利用 F 检验和 t 检验和数量化理论解析第 II 类方法得出了各地表滑坡危险度的大小,所得结果与实际情况相符。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 島重章,吉国洋,石原慎一郎,等.人工衛星 SPOT-2 を用いた広島豪雨災害の危険度評価に関する研究[C]//土木学会中国支部第 52 回研究発表会:第 III 部門. 2000,5:441-442.
- [2] 島重章,石原慎一郎,吉国洋.地形要因データを考慮した降雨時の土砂崩壊発生の予測.(社)地盤工学会誌「土と基礎」[J], 2001,7:25-27.
- [3] Byrne G F, Crapper P F, Mayo K K. Monitoring land-cover by principal component analysis of multitemporal landsat data [J]. Remote Sensing of Environment, 1980,10: 175-184.
- [4] Taejung Kim, Yong-Jo Im. Automatic satellite image registration by combination of matching and random sample consensus[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003,41(5): 1111-1117.

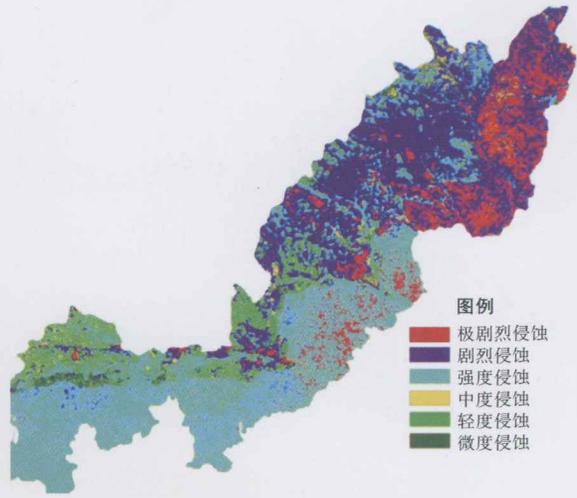
(下转第 171 页)

水土保持监测分区

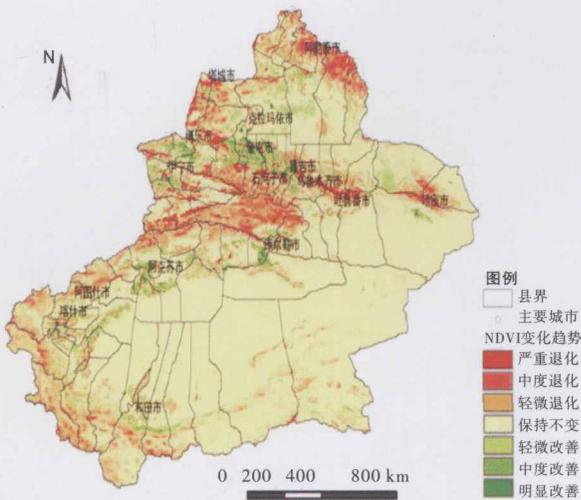
- I 1 武陵山以东低中山中度侵蚀重点治理兼保持监测区
- I 2 大娄山—武陵山中山中度侵蚀重点治理观测区
- I 3 武陵山以东低中山中度侵蚀重点治理兼保护监测区
- II 1 三峡库区中段平行岭谷低山丘陵中度侵蚀重点治理监测区
- II 2 三峡库区中段平行岭谷低山丘陵中度侵蚀重点治理监测区
- II 3 平行岭谷低山丘陵轻度侵蚀城市建设重点治理监测区
- II 4 平行岭谷低山丘陵轻度侵蚀重点治理监测区
- III 渝西方山丘陵轻度侵蚀重点治理监测区



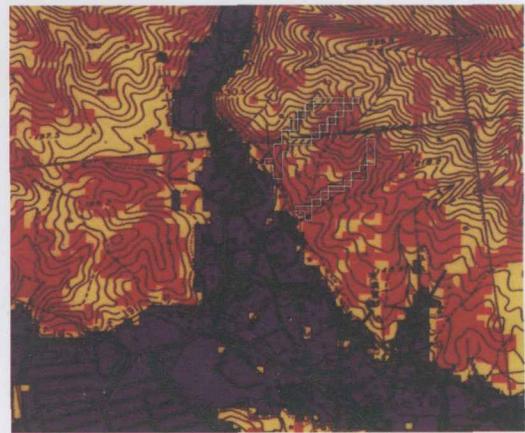
附图1 重庆市水土保持监测分区



附图2 榆林市北6县水土流失状况

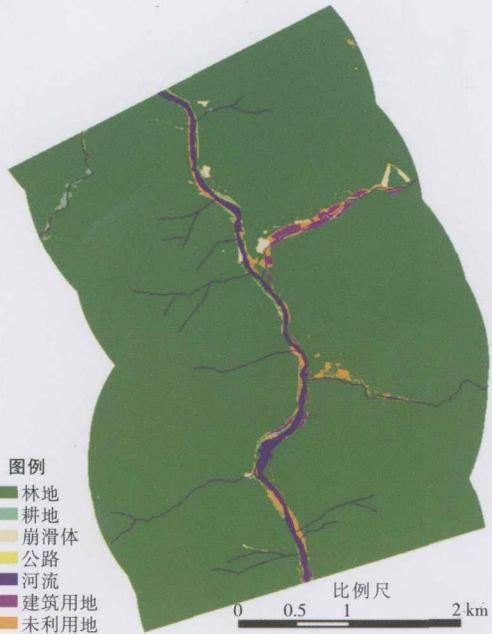


附图3 新疆地区近10 a最大化NDVI变化趋势



危险度等级	像素数	占有率	颜色
危险度高	1798	27.4%	红色
危险度中	2499	38.1%	黄色
危险度低	2264	34.5%	棕色

附图4 日本广岛地区滑坡危险度评价图



附图5 汶川县桃关地区景观分布信息提取成果 (左图为震前, 右图为震后)

### 3 结论

(1) 莱西市土壤数据库的建立,对推动莱西市“数字土壤”建设,土壤资源管理,测土配方施肥工作的顺利开展,农业的正确决策,土地资源的充分合理利用及土壤污染的治理,是十分必要的。通过莱西市土壤数据库的建立,探索了县域土壤数据库建立的技术路线和方法,也可为大比例尺土壤数据库的制作提供一定的参考。

(2) 莱西市土壤数据库的建立,以 MAPGIS 软件平台建立了以村级土种类型图斑为基本单元的空间数据库,并应用 Visual FoxPro 数据库软件输入相关属性数据,采用“村名+土种类型+数字”方法构成关键字段,实现了属性数据库与空间数据库的连接。它同时包含着丰富的数据信息,除第二次土壤普查的成果外,还有 2005—2008 年的土壤质量监测和测土配方施肥测定的土壤数据,保证了土壤数据库的实用性。在此基础上可以进行各种专题分析,服务于土壤管理,土壤养分容量和需求计算,土壤资源的开发利用决策等方面。

(3) 土壤数据库中所采用的土壤养分数据具有一定的时效性,设置的采样点个数又是有限的,并不

能很好地代表整体的养分状况,因而需要及时地更新和维护。

#### [参 考 文 献]

- [1] Dumanski J B, Kloosterman B, Brandon S E. Concepts, objectives and structure of the Canadian soil information system [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1975, 55(2): 181-187.
- [2] 龚子同. 面临新世纪挑战的土壤地理学[J]. 土壤, 1999 (5): 236-243.
- [3] 史舟, 王人潮. 红壤区土壤资源利用与管理信息系统的研制[J]. 农业工程学报, 1998, 14(1): 7-11.
- [4] 贺红士, 侯彦林. 区域微机土壤信息系统的建立与应用[J]. 土壤学报, 1991, 28(4): 456-477.
- [5] 张学雷, 杨玉建, 肖光平. 山东省 1: 100 万 SOTER 数据库的建设与初步应用研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2001, 32(2): 136-142.
- [6] 龙怀玉, 张维理, 黄鸿翔, 等. 关于我国“数字土壤”建设若干问题的思考[J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1041-1044.
- [7] 何明华. MAPGIS 制图过程中的误差分析与校正[J]. 地矿测绘, 2004, 20(2): 28-29.
- [8] 胡晋山, 康建容. 地图扫描数字化误差分析及控制[J]. 测绘科学, 2005, 30(2): 90-91.
- [5] Yun He, Hamza A Ben, Krim Hamid. A generalized divergence measure for robust image registration [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(5): 1211-1220.
- [6] 王治华. 数字滑坡技术及其在天台乡滑坡调查中的应用[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(4): 516-520.
- [7] 李端有, 王志旺. 滑坡危险度区划研究初探[J]. 长江科学院院报, 2005, 22(4): 41-44.
- [8] 余波, 陈占恒. 水电工程地质灾害调查中的遥感技术应用[J]. 贵州水力发电, 2004, 18(5): 18-22.
- [9] 张明华. 西藏墨脱公路工程地质灾害遥感勘察与解译方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 54-58.
- [10] 魏丽, 单九生, 朱星球. 植被覆盖对暴雨型滑坡影响的初步分析[J]. 气象与减灾研究, 2006, 29(1): 29-33.

(上接第 167 页)