

# 滑坡灾害危险性评价信息图谱研究<sup>\*</sup>

## ——以福建省莆田市为例

刘文玉, 吴湘滨, 安 静, 刘江龙

(中南大学 地质与环境工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘 要:**近年来, 滑坡灾害频繁发生且极大地危害着人类的生产生活, 因此, 如何快速有效地进行滑坡灾害危险性分析与评价, 进而为滑坡的预测、预报及风险管理服务是一个亟待解决的问题。以莆田市为例, 通过将地学信息图谱应用到滑坡灾害危险性评价中, 构建莆田市高程、岩性、坡度、坡向影响因子信息图谱, 并在此基础上得出莆田市滑坡灾害危险性评价信息图谱, 以一系列的图谱直观地反映了莆田市滑坡发生的机制及滑坡危险性空间分布情况, 反演了莆田市滑坡发生的时空变化规律, 为滑坡灾害预测提供了矢量化的图形信息。

**关键词:**地学信息图谱; 滑坡; 地理信息系统; 危险性评价; 福建省莆田市

**中图分类号:** P642.22      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2010)02-0021-05

## 0 引言

我国是一个滑坡灾害频繁发生的国家, 滑坡对人们的生命财产安全和社会建设构成了极大的威胁。自从1990年代以来, 国内外学者针对区域滑坡地质灾害危险性评价这一问题展开了一系列的研究工作。如印度 Roorkee 大学<sup>[1]</sup>在多源数据集的基础上, 引入滑坡危险性系数(LNRF), 对喜马拉雅山麓 Ramganga Catchment 地区进行了滑坡灾害危险性分带, 得到了滑坡灾害危险性分区图。A. K. Pachauri<sup>[2]</sup>等人在对喜马拉雅 Garhwal 地区进行滑坡分区时, 尝试在地形分类的基础上进行易发性制图, 提供了一个基于地质学和地形学的滑坡制图实例。A. Uromeihy 等人<sup>[3]</sup>基于简单格网单元, 考虑滑坡的一系列影响因素, 如岩性、坡度、构造运动、土地利用以及地下水作用等, 将每一个格网单元滑坡发生的概率及其对影响因素的评价结果以 SPI 表示, 然后用模糊综合评判计算潜在灾害指数(HPI), 所得结果用来绘制伊朗 Khorshro-stam 地区滑坡灾害分区图。国内也有不少学者在这一领域也开展了一系列研究工作。如采用层次分析法通过对山体滑坡致灾因子的定性分析, 建立山体滑坡致灾因子层次结构图; 根据判断矩阵计算出山体滑坡各致灾因子的影响权重来进行定

量评价, 并结合实际情况确定危险度等级, 为山体滑坡预警提供依据<sup>[4]</sup>; 其他不少学者也从不同的角度分别对区域滑坡地质灾害危险性评价进行过研究, 如利用 GIS 技术、3S 技术对滑坡灾害进行检测与分析等<sup>[5-6]</sup>。

地学信息图谱是在继承中国传统研究成果的基础上, 运用3S技术和信息网络等当代先进技术和现代科学理论发展起来的, 具有图形与谱系的双重特性, 是一种地理时空分析方法论<sup>[7-8]</sup>。地学信息图谱作为地学问题的一种研究思路和方法论, 有助于深化地学现象和过程滑坡研究<sup>[9]</sup>。本文将地学信息图谱应用于滑坡灾害危险性评价, 利用地形图, 专题地图、遥感图像、灾害数据库、文本统计数据等大量时间、空间及属性信息, 经过图形思维与抽象概括, 以图谱的形式表现滑坡发生的机制及规律, 并在此基础上结合数学模型对研究区的滑坡危险性进行评价, 从而为滑坡灾害预测提供重要的科学依据。

## 1 研究区概况

福建省莆田市包括城厢区、荔城区、涵江区、秀屿区和仙游县, 位于福建沿海中部, 台湾海峡西岸, 北依省会福州市, 南靠闽南“金三角”, 是沿海经济开发区之一。该市属福建东南沿海低山

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-11-23

基金项目: 福建省科技厅基金项目(2006F3111)

作者简介: 刘文玉(1983-), 女, 湖南邵东人, 博士生, 主要从事地质灾害评价、预测与防治研究. E-mail: liuwenyu\_dbt@163.com

丘陵区，地势由西北向东南呈梯状倾斜。西部和北部以山地为主，低山、峡谷、盆地错杂其间；中部和东部为冲积平原和海积平原；东南部沿海为半岛和丘陵台地，地势低平，港湾环抱。山地地貌约占全市总面积的 80% 以上，西北部多为高山峻岭，海拔 500 m 以上的山峰 246 座，其中 1 000 m 以上的 36 座。

莆田市地质灾害点多面广，主要类型有滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等。已调查的灾害点共 388 处，其中滑坡 257 处，占已调查地质灾害总数的 66.24%。

2 滑坡灾害危险性影响因子分析及图谱构建

2.1 滑坡地质灾害数据库的建立

利用 MapGIS 软件进行矢量化，完成了莆田市滑坡分布图、行政区划图、地形图、地质图等基础图件的入库，然后在图形库的基础上，将滑坡灾害相关数据输入到对应图元的属性结构中。

2.2 滑坡与地质环境关系分析

从建立的滑坡灾害数据库中提取地形图与滑坡点空间分布图，将两者叠加(图 1)，发现滑坡发生的数量在不同的高程范围差别较大。另外根据等高线的形状及其与滑坡点的相对位置可以粗略地看出滑坡的发生与坡度、坡向也有一定的关系，大多数滑坡点都分布在 200 ~ 800 m 高程范围，且地势较为平坦的地区。

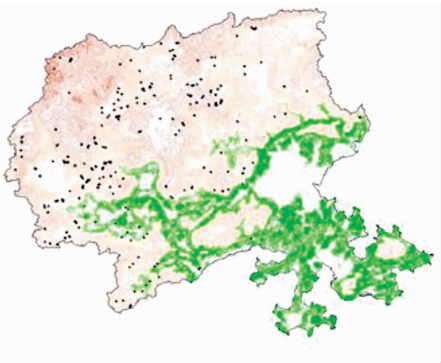


图 1 滑坡与地形关系图

莆田市岩土体主要分为 5 类：块状坚硬火山岩组(J)，块状坚硬侵入岩组( $\gamma$ )，层状较坚硬火山碎屑沉积岩组(K)，粘土、砂、砾卵石土体(Q)，粘土、粘性土土体( $Q^{eld}$ )等。将莆田市岩性空间分布图与滑坡点空间分布图叠加(图 2)，发现滑坡在不同的岩层发生的数量有很大差别。

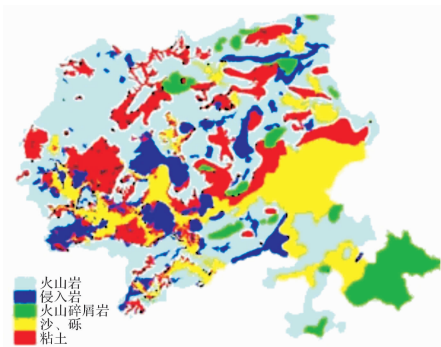


图 2 滑坡与岩性关系图

2.3 滑坡影响因子信息图谱构建

根据上述分析结果，确定高程、坡度、坡向、岩性作为评价滑坡危险性的影响因子，对滑坡点与各影响因子不同形态之间的关系进行归类并划分等级，从而得到各影响因子谱系表(表 1)。

表 1 滑坡影响因子谱系表	
影响因子	因子谱系
岩性	块状坚硬火山岩、层状较坚硬火 粘土、砂、砾 粘土、粘性土 侵入岩(J, $\gamma$ ) 山碎屑岩(K) 卵石土体(Q) 体( $Q^{eld}$ )
坡度/ $^{\circ}$	<15 15 ~ 25 25 ~ 35 35 ~ 45 >45
高程/m	<100 100 ~ 200 200 ~ 400 400 ~ 600 600 ~ 800 >800
坡向	水平 正北 东北 正东 东南 正南 西南 正西 西北

提取莆田市等高线数据，利用 MapGIS 软件的 DTM 模块按照表 1 生成高程、坡度、坡向信息图谱(图 3 ~ 图 5)，并对莆田市地质岩性空间分布图按照表 1 重新分类得到岩性信息图谱(图 6)。

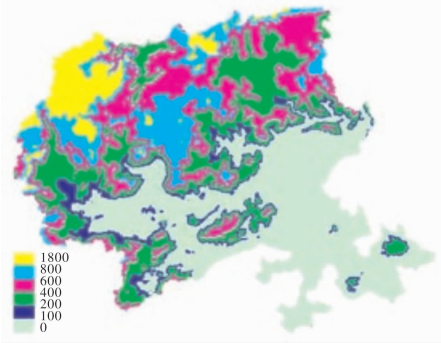


图 3 高程信息图谱



图 4 坡向信息图谱

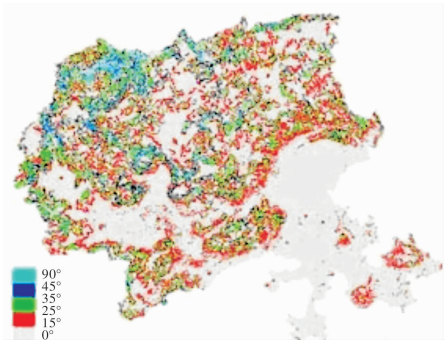


图5 坡度信息图谱

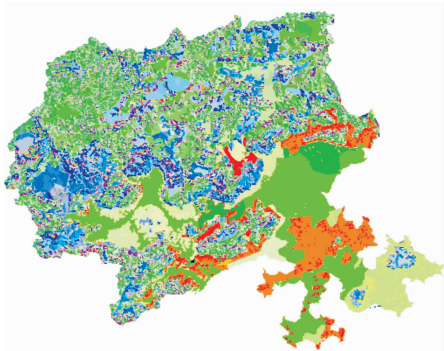


图7 滑坡危险性评价信息图谱单元

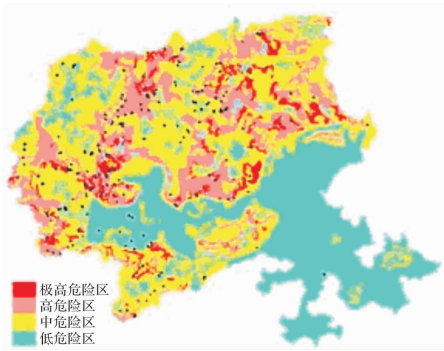


图8 滑坡点与危险性评价结果信息图谱关系图

2.4 滑坡影响因子权重的确定

由于选取的影响因子有的是分类变量,有的是连续变量,无法直接用来进行定量分析,因此采用数据驱动权重原理<sup>[10]</sup>来确定各影响因子不同类别的权重,以滑坡在各因子对应的谱系中发生的概率作为权重,由此得到各影响因子的权重值(表2)。

表2 滑坡危险性评价因子权重	
评价因子	权重
岩性	J, γ
	K Q Q <sup>eld</sup>
坡度/°	0 0.02 0.03 0.95
	<15 15~25 25~35 35~45 >45
高程/m	0.03 0.07 0.60 0.27 0.03
	<100 100~200 200~400 400~600 600~800 >800
坡向	0.06 0.10 0.21 0.35 0.25 0.04
	水平 正北 东北 正东 东南 正南 西南 正西 西北
	0.01 0.07 0.07 0.10 0.16 0.19 0.17 0.14 0.09

3 滑坡灾害危险性评价及信息图谱生成

3.1 信息图谱单元的提取

利用 MapGIS 软件空间叠加分析功能,把每一个滑坡影响因子图谱做为一个单独的图层,再将所有图层叠加,得到一个新的图层,该图层中的

每一个多边形区域都只代表每个因子的单一类别,这样就得到了评价所需的信息图谱单元。通过叠加分析,得到了 212 043 个统计单元,如图 7 所示。

3.2 基于逻辑回归模型的危险性评价

逻辑回归分析是一种针对定性定量变量进行预测的统计分析方法。由于选取的滑坡地质灾害影响因子如岩性等是定性的,并且因变量是一个判断滑坡发生与否的分类变量,因此选取逻辑回归方法对得出的信息图谱单元进行分析。

设  $P$  为滑坡发生的概率,取值范围为  $[0, 1]$ ,则  $1 - P$  为滑坡不发生的概率,取  $P/(1 - P)$  的自然对数  $\ln(P/(1 - P))$ ,即对  $P$  作 Logit 变换,记为  $\text{Logit } P$ ,其取值范围为  $(-\infty, +\infty)$ 。以  $P$  为因变量,建立线性回归方程:

$$\text{Logit } P = B_0 + B_1 X_1 + \cdots + B_n X_n. \tag{1}$$

对于包含一个以上自变量的逻辑回归分类概率方程为

$$P = \frac{e^Z}{1 + e^Z} = \frac{e^{B_0 + B_1 X_1 + \cdots + B_n X_n}}{1 + e^{B_0 + B_1 X_1 + \cdots + B_n X_n}}, \tag{2}$$

式中:  $P$  为观测值相对于滑坡的发生概率,  $B$  为多元回归系数。

借助专业的统计分析软件 SPSS 对研究区进行分析。在得到的叠加结果图层中随机选取部分已

发生滑坡单元和未发生滑坡的单元作为试验区，以对应的权重作为自变量，滑坡发生与否作为因变量，将试验区数据导入 SPSS 软件中，得到研究区逻辑回归模型如下：

$$P = \frac{e^Z}{1 + e^Z} = \frac{e^{3.165 + (-2.401)X_1 + (-2.643)X_2 + (-3.016)X_3 + (-2.385)X_4}}{1 + e^{3.165 + (-2.401)X_1 + (-2.643)X_2 + (-3.016)X_3 + (-2.385)X_4}}$$
 (3)

式中： $P$  为滑坡发生概率； $X_1$  为坡度概率函数； $X_2$  为高程概率函数； $X_3$  为岩性概率函数； $X_4$  为坡向概率函数。

利用逻辑回归模型对数据进行拟合，其中 Cox&nell  $R^2$  和 Nagelkerke  $R^2$  两个统计量表示回归模型所能解释的因变量变异的百分比，两个结果分别为 0.749 和 1.000，表示因变量的变异有 74.9% ~ 100% 是由自变量引起的，说明得到的模型拟合度比较好。

利用 GIS 软件将整个研究区图像转成数字矩阵并输入 SPSS 软件，根据建立的逻辑回归模型计算每个图谱单元滑坡危险性概率。

3.3 滑坡灾害危险性评价信息图谱的生成

逻辑回归分析的结果只是一种数字化的形式，不能直接反映研究区的危险性情况，因此需要对得到的结果进行分类并划分相应的等级。由于研究区域情况各异，对于危险性等级的划分，目前还没有公认的标准，通过对得到的分析结果进行统计分析，按照如下方式将研究区划分为 4 个危险性级别(表 3)。

表 3 滑坡危险性评价标准	
危险度	滑坡危险性概率范围
低危险区	< 0.27
中危险区	0.27 ~ 0.45
高危险区	0.45 ~ 0.88
极高危险区	> 0.88

将评价得到的结果转到 GIS 软件中，根据前面给出的判断标准，对每个图谱单元进行归纳并分类，进而生成滑坡危险性评价结果信息图谱。

4 莆田市滑坡地质灾害信息图谱分析

从莆田市滑坡危险性评价信息图谱可以看出：极高危险区和高危险区主要分布在该市的中部，呈带状向北东方向展布；中危险区分布于极高危险区和高危险区的两侧以及研究区的西南部；低危险区则主要集中在研究区的东南部并向北西方

向展布。所得到的危险性区划结果与莆田市国土资源局提供的地质灾害易发区规划图基本吻合。

莆田市滑坡多发区的地质条件为：高程范围 200 ~ 800 m，坡度范围 25° ~ 45°，粘性土体斜坡处。所统计的 257 处滑坡发生在 1958 - 2003 年之间，其中 1990 年之前共发生 20 处滑坡，仅占滑坡总数的 7.78%，这种现象的出现与莆田市社会经济发展状况紧密相关。1990 年以后莆田市经济迅速发展，人口数量不断增加，人地关系紧张，使得人类生存的空间逐步向山区扩展，为了保护有限耕地，削坡建房、开山种果等社会经济活动频繁，伴随其他不合理的工程活动，造成莆田市地质环境条件不断恶化。位于阳坡的岩土体化学风化和物理风化作用强烈，大部分土壤被冲刷，使得土层变薄，造成严重的水土流失。受这些自然和人类活动因素的综合影响，在暴雨、地震等因素的诱发下导致滑坡灾害频发。

由于滑坡的发生发展是随着时间的变化而变化的，所以滑坡危险性的空间分布也会随时间变化而产生变化。将莆田市的滑坡分布图与得到的危险性评价结果图谱叠加(图 8)。经统计，有 15 处位于低危险区，96 处位于中危险区，146 处位于高 - 极高危险区。位于低危险区的滑坡主要发生在 1990 年以后，大都分布在人口密集的地区，虽然地质条件本身产生滑坡的危险性较小，但由于人类频繁地进行各种不合理的工程经济活动，在暴雨和地震的诱发下导致滑坡灾害的发生。在中危险区分布的 96 处滑坡中，有 62 处滑坡发生在 200 m 高程以下或 1 000 m 高程以上，这些地区虽然人口密度相对较小，但受人类工程活动主导因素的影响，在暴雨和地震等因素诱发下也可导致滑坡的发生；其余 36 处滑坡位于 400 ~ 800 m 高程范围内。总的来看，得到的危险性评价结果精度在 80% 以上。

5 结语

以福建省莆田市为例，对滑坡灾害危险性评价信息图谱进行实例研究，以图的形式直观地展现了莆田市的滑坡灾害情况，又以谱的形式反演了滑坡发生的规律，将图与谱相结合，从图谱的角度对研究区进行了危险性评价。所建立的滑坡灾害危险性评价信息图谱能够实时更新、编辑和处理，为区域滑坡灾害危险性的预测和反演提供了矢量化的图形信息。

由评价结果来看，极高危险区和高危险区主要分布在莆田市的中部，呈带状向北东方向展布；中危险区分布于极高危险区和高危险区的两侧以及研究区的西南部；低危险区则主要集中在研究区的东南部并向北西方向展布。该分区基本反映了莆田市地质灾害发育的现状。

滑坡灾害危险性评价信息图谱的研究不仅扩大了地学信息图谱的应用领域，丰富了其理论体系，同时也给滑坡灾害危险性评价带来了图形化的思维方式及新的评价理念。

参考文献：

[1] Gupta P, Anbalagan R. Slope stability of Tehri Dam Reservoir Area, India, using landslide hazard zonation (LHZ) mapping [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 1997, 30(1): 27-36.

[2] Pachauri A K, Gupta P V, Chander R. Landslide zoning in a

part of the Garhwal Himalayas [J]. Environmental Geology, 1998, 36(3): 325-334.

[3] Uromeihy A, Mahdaviar M R. Reply to Discussion on “Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran” by A. Uromeihy and M. R. Mahdaviar [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2001, 60(1): 207-213.

[4] 武立新, 王建国, 杨计准. 层次分析法在山体滑坡危险度中的应用[J]. 有色金属: 矿山部分, 2009, 61(4): 66-69.

[5] 郭芳芳, 杨农, 张岳桥, 等. 基于 GIS 的滑坡地质灾害地貌因素分析[J]. 地质力学学报, 2008, 14(1): 87-96.

[6] 张继贤. 3S 支持下的滑坡地质灾害监测、评估与建模[J]. 测绘工程, 2005, 14(2): 1-5.

[7] 陈述彭, 岳天翔, 励惠国. 地学信息图谱研究及其应用[J]. 地理研究, 2000, 19(4), 337-343.

[8] 廖克. 地学信息图谱的探讨与展望[J]. 地球信息科学, 2002, 4(1): 14-20.

[9] 李军. 地面滑坡信息图谱的浅析[J]. 地球信息科学, 2001, 3(3): 64-71.

[10] 张丽君, 江思宏. 区域性滑坡敏感性评价的数据驱动权重模型及应用[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(6): 33-36.

Research on Information Map of Landslide Hazard Evaluation  
——A Case Study in Putian of Fujian Province

Liu Wenyu, Wu Xiangbin, An Jing and Liu Jianglong

(School of Geo-science and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Landslides occur more and more frequently in recent years and threaten the production and human life seriously. So, it becomes an urgent task to analyze and evaluate landslide hazards fast and effectively for serving landslide prediction and risk management. Taking Putian city as an example, by applying the geo-informatics map to landslide hazard evaluation, the information maps of landslide causative factors, such as elevation, lithology, terrain slope and aspect are worked out, on the basis of which, the landslide hazard evaluation information maps are obtained. The series of maps not only reflect the landslide mechanism and spatial distribution, but also inverse the rule of temporal-spatial change of landslides in Putian city. It provides vector graphic information for landslide prediction.

**Key words:** geo-informatics map; landslide; GIS; hazard evaluation; Putian city of Fujian province