

# 基于 GIS 的西部地区活断层灾害危险性评价

陈鲁皖 (西南科技大学环境与资源学院, 四川绵阳 621010)

**摘要** 西部地区各种地质灾害频发, 活断层是引发地质灾害的重要因素。以海原活动断裂带为研究对象, 采用 ArcGIS 的 ArcObjects 组件技术, 用模糊综合评价数学方法和层次分析技术构建了评价预测模型, 运用西部地区活断层数据库中各项活断层数据研究海原活动断裂带对其周边的影响, 并对地质灾害的危险性进行评价和预测。

**关键词** GIS; 活断层; 层次分析法; 模糊综合评判; 危险性评价

**中图分类号** S127 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)25-12338-03

## Risk Evaluation of Active Fault Hazard in Western China Based on Geographic Information System

CHEN Lu-wan (School of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010)

**Abstract** Geological disasters frequently happen in the western district, and active fault is an important factor that triggers geological disasters. Taking Haiyuan active fault zone as the study object, using the ArcObjects component technology of ArcGIS, fuzzy mathematical evaluation methods and the analytic hierarchy process were used to construct the evaluation forecast model. All active fault data in the active fault database in Western China were used to study the effects of Haiyuan active fault zone on its surrounding areas and evaluate and predict the risk of geological disasters.

**Key words** GIS; Active fault; Analytic hierarchy process; Fuzzy comprehensive evaluation; Hazard evaluation

西部地区各种地质灾害频发, 尤其是活断层十分发育, 其强度和数量远远大于东部地区, 各种工程的建设 and 人民群众的安全面临着严重的活断层灾害威胁。活断层不仅是地震、地裂缝等重大灾害的形成之源, 也是控制崩塌、滑坡等常见地质灾害分布的重要因素。此次研究所选定的研究区域是有名的海原活动断裂带, 研究区域内断裂活动非常频繁, 可以确定研究区内的绝大部分地质灾害主要是由活断层所引起的, 故该文中对活断层灾害的研究实质上是通过对这些活断层所诱发的地质灾害的研究来完成的<sup>[1]</sup>。

该研究开发的系统选用 ARG/INFO 9.0 平台软件完成系统数据库空间信息和属性信息的输入编辑工作, 利用 ArcObjects 进行组件式二次开发, 采用 VB.net 编程语言编写地质灾害危险性区划的评价预测模型程序。

### 1 系统介绍

**1.1 开发目标** 在 ARG/INFO 9.0 软件平台的支持下, 二次开发形成面向专业型的 GIS 系统。使该系统既具有数据采集、存储、查询、管理、分析等功能, 又具有独特的地质灾害危险性空间评价预测分析功能。

**1.2 开发环境** 地理信息系统平台: 将 ArcInfo 9.0 作为工作平台; 数据库: 采用 ArcInfo 9.0 的 geodatabase。二次开发工具: 用于面向专业型 GIS 系统的二次开发。二次开发工具主要是 ArcObjects, ArcObjects 是一套 ArcGIS 的可重用的通用的二次开发组件集。

**1.3 系统主要功能** 该系统分为 4 个功能模块: 普通地图工具、地图查询、活断层灾害危险性评价预测和系统管理。普通地图工具: 主要是一些常用工具, 有地图加载、地图缩放、地图移动和全图等。地图查询: 可进行点查询、矩形查询、任意查询和 SQL 查询。系统管理: 主要是用户管理和行政区划表, 主要功能是对系统不同权限的用户进行管理和修改、增加、删除地图中的行政区。活断层灾害危险性评价预

测: 单灾种发育强度评价(崩塌、滑坡、泥石流)、单灾种发生趋势预测(崩塌、滑坡、泥石流)、地质灾害发育强度综合评价和地质灾害发生趋势综合预测。

基于 GIS 开发出适合于地质灾害评价的空间分析模型, 从而构成集成于一般 GIS 平台的活断层灾害危险性评价与预测子系统, 这是 GIS 应用到活断层灾害危险性评价与预测中取得实用性成果的前提, 也是笔者进行该研究的重点内容之一(图 1)。



图 1 活断层灾害危险性评价

Fig 1 The hazard risk evaluation of active fault

**1.4 西部地区活断层数据库的建立** 数据库是存贮整个地质灾害评价预测 GIS 系统所需数据的“仓库”, 西部地区活断层数据库平台建立在 GIS 空间数据和属性数据基础之上, 数据内容包括基础地理信息(如水系、居民地、铁路等)、基础地质信息(如地层、断裂带、构造分区等)、活断层专题信息(如活断层基本要素、活断层活动要素等)、与活断层有关的地质灾害信息(如地震、地裂缝、滑坡、崩塌、泥石流等)、遥感信息等, 每一类即为一个数据库, 共 5 个数据库<sup>[2]</sup>。

### 2 地质灾害危险性评价与预测子系统实现原理

该系统核心模块的实现步骤是在把研究区划分为上千个评价单元的基础上, 运用数学方法对每个评价单元进行现状评价和趋势预测, 得到不同等级的评价结果, 然后使用不同的颜色表示评价后的结果。

**2.1 评价单元** 该研究采用等面积网格状的单元。研究区

**基金项目** 西部交通项目(200431881212)。

**作者简介** 陈鲁皖(1980-), 男, 安徽桐城人, 助教, 从事空间数据库和组件式 GIS 研究。

**收稿日期** 2009-07-15

域采用 1.5 km × 1.5 km 的方格进行网格化,所依据的基础图件为 1:50 000 的地质图,全区共划分为 1 080 个单元。

**2.2 地质灾害预测评价模型结构** 活断层灾害预测评价系统包括以下两个评价模型:①地质灾害发育强度评价模型。地质灾害发育强度评价反映地质灾害的发育强度,属于灾害现状评价。②地质灾害发生趋势预测模型。地质灾害发生趋势预测主要反映地质灾害的发生趋势,属于灾害未来的预测评价,反映地质灾害作为一种自然现象在未来发生的可能程度。

**2.3 地质灾害危险性等级划分** 根据国土资源部《建设用地地质灾害危险性评估技术要求》中的规定,把地质灾害的发育强度等级相应地划分为严重发育区、中度发育区和轻度发育区 3 个等级<sup>[3]</sup>。同样,地质灾害发生趋势预测结果相应地划分为重度危险区、中度危险区和轻度危险区。

**2.4 地质灾害预测评价方法——模糊综合评判方法** 地

质灾害危险性预测评价从数学上是一个多变量的目标预测问题<sup>[4]</sup>。对这类问题,其数学模型的建立有多种方法,该研究结合已有的工作经验和问题的特点,选定的数学方法为模糊综合评判方法。以下以崩塌灾害发育强度评价为例,对某个评价单元使用模糊综合评判方法进行评价。

**2.4.1 建立因子集 U。**崩塌的形成条件和影响因素很多,影响崩塌发育强度的因素主要有地质条件、动力条件和崩塌现状。所以选择如下 10 个评价因子建立因子集,  $U = (F_1, F_2, \dots, F_{10}) = \{\text{坡高、坡度、岩性、活断层数目、降雨量、地下水状况、地震烈度、工程最大开挖深度、崩塌堆积体覆盖面积、崩塌灾害损失}\}$ 。

**2.4.2 建立评价集合 V。**评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\} = \{\text{I、II、III}\} = \{\text{轻度发育区、中度发育区、严重发育区}\}$ 。各因子的评价标准见表 1,其中评判标准主要由专家经验确定。

**2.4.3 建立模糊综合评判矩阵。**根据地质灾害危险性评价

表 1 影响崩塌灾害的各因子评价标准

Table 1 Evaluation criteria of different influencing factors of collapse hazard

崩塌发育强度等级 Grade of collapse development degree	坡高 (F <sub>1</sub> )/m Slope height	坡度//° (F <sub>2</sub> ) Slope gradient	岩性 (F <sub>3</sub> ) Lithology	活断层数目 (F <sub>4</sub> ) Number of active fault	降雨量 (F <sub>5</sub> )/mm Rainfall	地下水状况 (F <sub>6</sub> ) Situations of groundwater	地震烈度 (F <sub>7</sub> ) Earthquake intensity	工程最大开挖深度 (F <sub>8</sub> )/m Maximum excavation depth of the project	崩塌堆积体覆盖面积 (F <sub>9</sub> )/万 m <sup>2</sup> Covered area of colluvial accumulation	崩塌灾害损失 (F <sub>10</sub> ) Loss of collapse hazard
I(轻度发育区)	<10	<30	硬岩 (<0.5)	0	<200	长年无水 (0)	<3	<10	<1	损失小 (<0.4)
II(中度发育区)	10~30	30~45	软硬相间 (0.5~0.8)	1~2	200~400	潮湿或雨季有水 (0~0.6)	3~8	10~20	1~10	损失中等 (0.4~0.8)
III(严重发育区)	>30	>45	软岩 (0.8~1)	>2	>400	常年有水 (0.6~1)	≥8	>20	>10	损失较大 (>0.8)

指标体系及分级标准,得出模糊评判矩阵的隶属度值,其隶属度函数可取为梯形分布函数<sup>[5]</sup>。形式如下:

$$u_1(x) = \begin{cases} 1 & x < a_1 \\ \frac{(a_1 + a_2) - 2x}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x < \frac{a_1 + a_2}{2} \\ 0 & \frac{a_1 + a_2}{2} \leq x \end{cases}$$

$$u_2(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ 1 - \frac{(a_1 + a_2) - 2x}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x < \frac{a_1 + a_2}{2} \\ 1 - \frac{2x - (a_1 + a_2)}{a_2 - a_1} & \frac{a_1 + a_2}{2} \leq x < a_2 \\ 0 & a_2 \leq x \end{cases}$$

$$u_3(x) = \begin{cases} 0 & x < \frac{a_1 + a_2}{2} \\ \frac{2x - (a_1 + a_2)}{a_2 - a_1} & \frac{a_1 + a_2}{2} \leq x < a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \end{cases}$$

式中,  $u_1(x)$ 、 $u_2(x)$ 、 $u_3(x)$  分别表示最后计算结果分别属于轻度发育区、中度发育区和严重发育区的概率;  $a_1$  和  $a_2$  用来判断评价因子的取值属于轻度发育区、中度发育区和严重发育区的标准。

下面以一个评价单元为例建立该评价单元的模糊矩阵来说明,如某个评价单元其崩塌发育强度评价所需各因素值为:坡高 15 m,坡度 30°,岩性 0.6,活断层数目 1,降雨量 200

mm,地下水状况 0.2,地震烈度 4,工程最大开挖深度 15 m,崩塌堆积体覆盖面积 500 m<sup>2</sup>,崩塌灾害损失 0.5。将各值代入梯形型隶属函数,每个因素值得到 3 个隶属度,对应于 3 个崩塌发育强度的等级,所有因素值得到的隶属度就是模糊矩阵 R,如下所示:

$$R = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 0 \\ 3/5 & 2/5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1/9 & 8/9 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 0 \end{bmatrix}$$

实际上,不同因素在地质灾害危险性评价预测中所起的作用是有大小之分的,即必须考虑因素的权重问题。

**2.4.4 层次分析法确定权重。**假定  $\alpha_1, \dots, \alpha_m$  分别是评价因素  $F_1, \dots, F_m$  的权重,并满足  $\alpha_1 + \dots + \alpha_m = 1$ ,令  $\underline{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ ,则  $\underline{A}$  为反映了因素权重的模糊集(即权向量)<sup>[6]</sup>。

具体到崩塌发育强度评价,建立两个层次的结构模型。采用 1~9 标度法对各层中的因子对上一层次目标的相对重要性进行两两比较,构造判断矩阵。并且计算出最大特征根、对应的特征向量、各层次的单排序以及进行判断矩阵一致性检验,其结果如下:

$$\underline{A} = [0.059 \quad 0.065 \quad 0.131 \quad 0.145 \quad 0.178 \quad 0.063 \\ 0.053 \quad 0.106 \quad 0.100 \quad 0.100]$$

2.4.5 模型求解。由权向量与模糊矩阵进行“合成”得到综合隶属度B,即通过模糊运算 $\underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{R}$ ,求出模糊集 $\underline{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$  ( $0 \leq b_j \leq 1$ ),其中  $b_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} r_{ij} [M(\cdot, +)]$ 。还是使用上面的例子进行计算,得到 $\underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{R} = [0.430 \quad 1 \quad 0.569 \quad 9 \quad 0]$

根据最大隶属度准则,所对应的分级即为危险性等级  $i_0$ ,则  $b_i = 0.569 \quad 9$ ,发育强度等级为 II,计算出所有单元的崩塌灾害发育强度等级值  $i$ ,即可以得出研究区崩塌灾害发育强度评价结果。

在系统运算后得到的结果图中,分别用红色、黄色、绿色的区域来表示为崩塌灾害严重、中度和轻度发育区。同理可以得到其他灾种的发育强度评价和趋势预测结果。图2为地质灾害发生趋势综合预测结果。

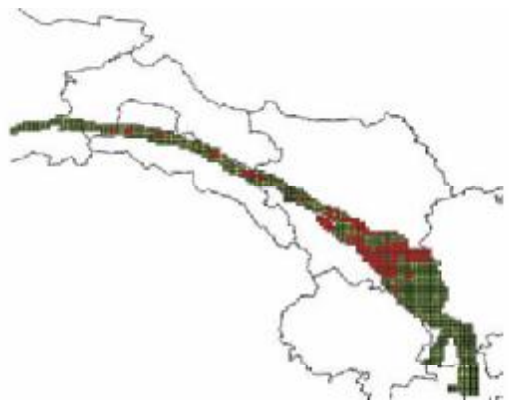


图2 评价结果

Fig 2 The evaluation results

### 3 综合结果分析

通过系统计算,在研究区内轻度发育区占总面积的57.13%,中度发育区占24.35%,重度发育区占18.52%,而

地质灾害危险性综合预测结果为轻度危险区占58.98%,中度危险区占23.80%,重度危险区占17.22%。根据以上结果可知,研究区地质灾害主要为中度及其以下危险等级区域所占比例较大,并且研究区域地质灾害呈现出以下几个特征:①在活断层发育强烈的区域往往是危险程度较高的地带。主要如南、西华山南北麓有深大断裂的发育。②降雨的多寡与地质灾害的发生存在着正相关关系,丰水年、月和连阴雨天较多的月份,往往是发生崩塌、滑坡最多的年月。③研究区域地势较为陡峭,坡高、坡度均较大,往往是地质灾害易发区。如研究区域内的高台、史店乡南部和曹洼乡东部等地。④在工程建设过程中,直接导致原始地质条件改变,严重破坏了原始斜坡的安定角,稳定性降低,诱发地质灾害。主要在扩建的同海公路,201省道海原段等。

### 4 结论

此次研究针对海原活动断裂带地质环境,形成了一套基于GIS的较为完整的地质灾害评价预测的研究技术路线、方法体系和工作流程,运用定性与定量相结合的层次分析法和模糊综合评判法对各类地质灾害进行了危险性评价,得出的评价结果较符合实际。实例研究表明,论文提出的研究思想和方法有助于推动西部地区地质灾害危险性评估研究的发展。

### 参考文献

[1] 长安大学. 公路工程活断层与地裂缝灾害的精细探测、危害评价及防治技术研究——可行性研究报告[R]. 2004.  
 [2] 石昊楠. 基于GIS的黄土地区公路高边坡防护决策支持系统[D]. 西安:长安大学,2005.  
 [3] 张永波,张礼中,周小元,等. 地质灾害信息系统的设计与开发[M]. 北京:地质出版社,2001.  
 [4] 李安贵. 模糊数学及其应用[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.  
 [5] 沈芳. 山区地质环境评价与地质灾害危险性区划的GIS系统[D]. 成都:成都理工大学,2000.  
 [6] 庄锐法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2000,23(4):582-585,590.

(上接第12331页)

测的较差小于2cm时,取其平均值作为该点的最终结果;⑩每次作业开始前,对RTK进行点校正,每次作业结束后,再对检校点进行复测,并做好记录,其误差不得大于2cm。

### 6 结束语

通过GPS-RTK技术在该次曹县数字地形测量中的应用,得出了以下结论和建议:

(1)坐标转换参数直接关系到测量成果的正确性。在进行RTK测量图根点之前,必须正确输入该测区的坐标转换参数。

(2)利用RTK布设图根控制点,几何精度独立且均匀,不仅可以避免常规图根控制带来的误差积累,而且作业灵活,省时、省力、工作效率高。

(3)GPS-RTK技术非常适用于大范围的城市规划测量,尤其是在图根控制加密和空旷区的碎部点数据采集中的应用效果更加明显。

(4)在建筑物密集区域采用GPS-RTK技术与全站仪相结合或GPS-RTK技术与手持激光测距仪相结合的办法,更能大大提高作业效率,这种方法克服了在外作业数据采集时对“通视条件”和“测站测定”方面的限制。

### 参考文献

[1] 周建邦. GPS测量定位原理与技术[M]. 郑州:黄河水利出版社,2005.  
 [2] 周忠谟. GPS卫星测量原理与应用[M]. 修订版. 北京:测绘出版社,2004.  
 [3] 任伟,周建邦,朱德河. 菏泽市四等GPS网的设计与实施[J]. 测绘通报,2008(5):43-45.  
 [4] 杨永平,洪绍明,段德磊. GPS-RTK定位技术在数字化测图中的应用[J]. 铁路勘察,2008(2):10-13.  
 [5] 蓝悦明,贾媛. GPS观测值误差分布的研究[J]. 测绘通报,2008(4):12-13.  
 [6] 刘贺春,郭秋. GPS-RTK在地形图测绘应用中的精确性和可靠性研究[J]. 城市勘测,2008(2):49-51.  
 [7] 周建新. GPS-RTK技术在城市规划测量中的应用[J]. 湘潭师范学院学报:自然科学版,2007,29(3):60-61.