

# 兰州市滑坡地质灾害危险性研究

王云龙<sup>1</sup> 文宝萍<sup>2</sup>

(1.北京市勘察设计研究院有限公司,北京 100038;2.中国地质大学(北京),北京 100083)

**摘要:**兰州是中国省会城市中地质灾害较为频发的地区之一,其地质灾害主要受地质、地形和人类活动等因素的影响。本文在分析兰州市区滑坡发育的控制因素和主要影响因素的基础上,以地理信息系统(GIS)为平台、采用专业数理统计软件 SPSS 中的逻辑回归模型(Binary Logistic)计算评价区内各单元格地质灾害的发生概率,通过 GIS 平台和 SPSS 软件之间数据格式的交换,利用 GIS 软件的空间分析功能,对兰州市滑坡灾害危险性进行了区划。研究结果与滑坡分布规律一致,对兰州市的地质灾害防治具有实际意义。

**关键词:**滑坡;地质灾害危险性区划;逻辑回归;地理信息系统;兰州市

**中图分类号:**P642.22      **文献标志码:**A      **文章编号:**1000-3657(2011)06-1593-06

## 1 引言

兰州市处于陇西黄土高原区,地质环境条件复杂,是一个典型的地质灾害多发地区,2009年5月16日21时20分左右,兰州市城关区九州石峡口发生特大型山体滑坡灾害,导致石峡口小区四号楼两个单元30多户房屋顷刻间被摧毁,造成7人遇难,1人受伤及重大财产损失。2007年9月17日上午10时许,九州大道中段(新九州花园附近)一山体发生大面积滑坡,近万立方黄土顺着山体倾泻而下,掩埋了山下的泄洪道及道路,致使九州大道中断,九州大道交通陷入“瘫痪”。2003年兰州市地质灾害发生频繁,据统计,造成较大经济损失和人员伤亡的地质灾害19起,其中以崩塌、滑坡灾害为主,达18次,泥石流1次。地质灾害共造成16人死亡,2人失踪,5人受伤。2001年,城关区伏龙坪山坡地段频繁发生5次小规模滑坡,造成9人死亡。面对日益严峻的险情、灾情,兰州市政府对地质灾害防治工作高度重视,目前,迫切需从区域上对地质灾害危险性进行评价,以便为地质灾害防治工作提供科学依据。

本文通过野外调查和室内分析,初步分析了兰

州市滑坡发育控制因素和主要影响因素,采用地理信息系统(GIS)<sup>[1-3]</sup>为平台、利用专业数理统计软件 SPSS 中的逻辑回归模型(Binary Logistic)计算评价区内各单元格(20 m×20 m)地质灾害的发生概率,对整个兰州市的滑坡地质灾害进行了区划。

## 2 研究区基本情况

研究区主要包括兰州市城关区、七里河区、安宁区、西固区、红古区以及与西固区毗邻的永靖县黑方台(全区总面积1632 km<sup>2</sup>)。区域内地质环境条件复杂,人类活动对地质环境的影响较为强烈,各种地质灾害比较发育,比较典型的滑坡有徐家山滑坡、文庙滑坡、文昌阁滑坡;崩塌有庙巷子崩塌、吊庄崩塌;泥石流有沙子沟泥石流、铁冶沟泥石流。主要发生在城区南北两山及山前地带。

区域内地层发育良好,以新生界为主,中生界及古生界出露相对较少,长城系、奥陶系、侏罗系、白垩系在黄河北岸北塔山及十里店一带,研究区的南部湖滩、南部阿干镇一带出露。此外,兰州市第四系极为发育,遍布全市,尤其是第四系黄土分布很为广泛。

兰州市滑坡地质灾害分布规律主要体现在:滑

收稿日期:2011-03-22;改回日期:2011-04-10

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目“甘肃省兰州市地质灾害详细调查与监测预警”(1212010740402)资助。

作者简介:王云龙,男,1984年生,硕士,从事岩土工程和地质灾害研究;E-mail:wangyunlong\_1984@126.com。

坡分布呈带、成片分布;滑坡主要发育在黄土、黄土状土中,其他地层中较为少见;滑坡常常沿构造盆地边缘断裂带分布;滑坡与人类活动密切相关呈现出明显的区域性分布。

本文选取了调查的 130 个滑坡点和 130 个随机点作为样本,采用 20 m×20 m 的单元对研究区进行划分单元格,一共划分为 4.08×10<sup>6</sup> 个单元格。

### 3 滑坡地质灾害危险性区划评价因子选择

地质灾害是各种内外影响因素综合作用的产物,兰州市区地处陇西黄土高原西部,黄土广泛分布,特殊的地形地貌和岩土体条件,决定了兰州市区地质灾害的发育。其影响因素的选取是危险度区划研究的基础<sup>[6-8]</sup>。本文结合研究区自然地理特征,在参阅以往研究资料和实地考察的基础上,根据兰州市滑坡地质灾害分布规律特征,选取了地形坡度、坡高、岩土体类型、地质构造、植被覆盖率、人类活动作为滑坡评价因子。

#### 3.1 地形坡度

地形坡度对地质灾害的影响比较大,尤其滑坡、崩塌,滑坡主要发生在坡度少于 45°的地方,大于 45°以崩塌为主。图 1 中可以发现,随着坡度的增大滑坡点发生的比率也随之递增,20°~30°滑坡发生的比率为 30.8%,30°~40°剧增至 46.2%,>40°也较大,达 12.3%。

#### 3.2 坡高

坡高对滑坡的分布产生影响表现在不同高程范围具有不同的植被类型和植被覆盖率,不同高程范

围地形坡度差异而存在局部集水平台,不同高程范围存在易于滑坡滑动的临空面以及不同高程范围内的人类活动强度差异等。更重要的原因在于高程与地区的降雨之间具有很好的相关性。图 2 可以看出兰州市的滑坡主要分布在 20~140 m。

#### 3.3 岩土体类型

土体岩性结构特征对于滑坡变形失稳的影响是显而易见的,它们是决定斜坡岩土体强度、应力分布、变形破坏特征的基础,同时是滑坡发展的物质基础。从已经发生滑坡灾害的统计图(图 3)可以看出兰州市区的滑坡大部分是发生在黄土和碎石土中以及在软弱岩中有少量的发生。

#### 3.4 地质构造

地质构造对地质灾害的发育及分布有着重要的影响,主要包括构造、新构造运动、地震等对地质灾害的影响。在构造带的附近灾害按照一定的规律分布,成带状,分布比较密集。

由于区内新构造运动比较活跃,通过对几条主要活动断裂带附近的灾害的分布统计(图 4),笔者确定本次评价以区内第四纪以来发育的活动断裂为基准线,向两侧以 300 m 间距进行缓冲区分析。

#### 3.5 植被

植被起到护坡和防止水土流失的作用,对斜坡的演化和稳定性具有一定的影响。调查区南部基岩山区植被覆盖度较高,地质灾害不发育,当然也主要由于该区域人类工程活动对地质环境的影响较为轻微。市区除近年来实施的南北两山绿化工程区域外,北部及中部的大部分区域植被覆盖度较低,地质灾害也较为发育。地质灾害主要发生在植被覆盖率低

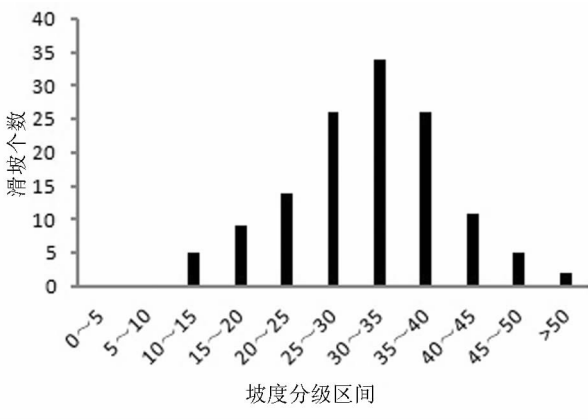


图 1 滑坡与坡度区间分布关系图

Fig.1 Interval distribution relationship between landslide and slope

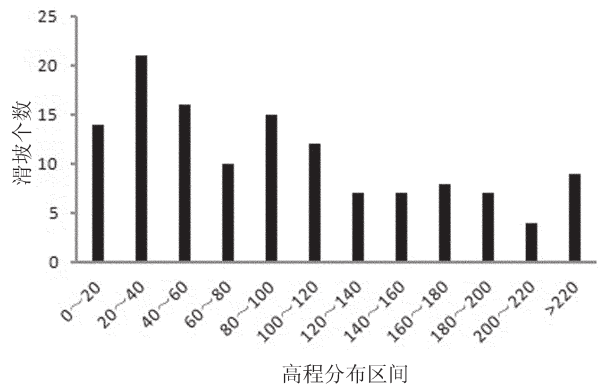


图 2 滑坡与坡高区间分布关系图

Fig.2 Interval distribution relationship between landslide and slope height

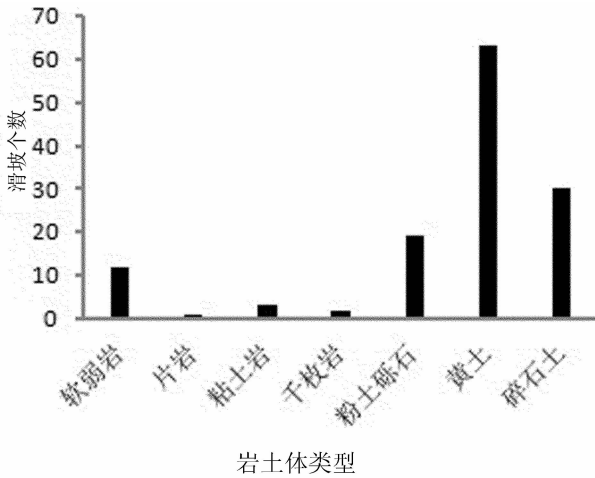


图 3 滑坡与岩土类型分布关系图

Fig.3 Distribution relationship of landslide and soil types

于 30% 的地方(图 5)。

### 3.6 人类活动

人类工程活动对地质灾害的形成与发育的影响极为复杂,表现的形式多样化,如何量化反映是个难题。考虑到兰州市区的特性,公路、采煤采砂、人类灌溉与削坡建房是研究区内最具代表性的人类工程活动,对灾害影响最明显,且具有贯穿或覆盖全区的特点,通过对这四者与灾害的数据分析(图 6),以 200 m 做缓冲区分析,参与评价。

## 4 滑坡危险性区划结果及其评价

### 4.1 评价方法

进行地质灾害危险性研究的主要方法有定性和

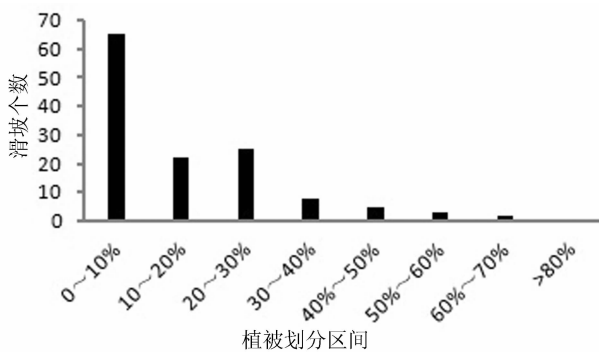


图 5 滑坡与植被分布关系图

Fig.5 The relationship between landslide and vegetation distribution

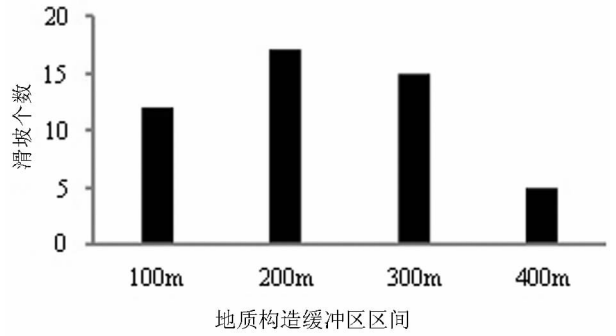


图 4 滑坡与地质构造缓冲距离关系图

Fig.4 Buffer distance diagram of landslide and geological structure

定量 2 种方法:前者主要包括野外现场地貌分析、经验法与使用指数或参数制图;后者主要有统计分析法、模糊评判法、层次分析法、主成分分析法、神经网络法、信息量法和 GIS 计算机技术分析等<sup>[9-10]</sup>。由于滑坡作用的影响因素中有些地质因素是可以量化的,有些是难以量化的,而宜采用定性方式进行表达,并且滑坡发生与否可以用 0 或 1 表示,故采用逻辑回归分析方法进行分析研究是比较合理的。

逻辑回归(logistic)是一种针对定性变量的预测方法。相关分析揭示了地理要素之间相互关系的密切程度,而回归分析用于拟合地理要素之间的具体数量关系、预测发展趋势。

设  $P$  为某事发生的概率,取值范围为  $[0, 1]$ ,  $1-P$  为该事件不发生的概率,将比数  $P/(1-P)$  取自然对数的  $\ln(p/(1-p))$ ,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,

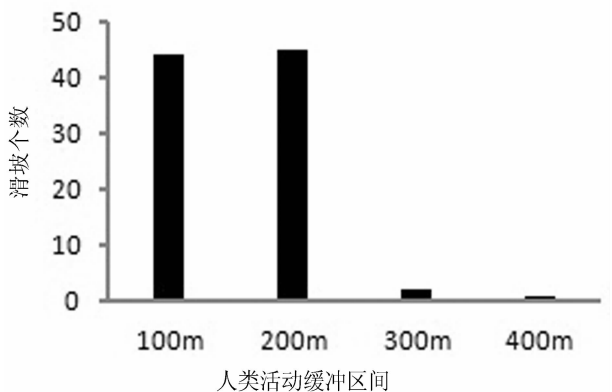


图 6 滑坡与人类活动缓冲距离图

Fig.6 Buffer distance diagram of landslide and human activities

建立线性回归方程。

$$\text{logit}P = \alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n$$

可得：

$$P = \frac{e^{\alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n}}{1 + e^{\alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n}}$$

该模型即为逻辑回归模型，实际上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  $\alpha$  为常数项， $\beta_n$  为逻辑回归系数， $x_n$  为每个影响因子所对应的值。

### 4.2 逻辑回归分析模型评价结果

对随机取样的样本和已发生灾害点的赋值作为变量直接输入 SPSS 软件，选取逻辑回归分析方法，得到滑坡回归系数(表 1)。

由表利用逻辑回归公式，代入数据，分别计算出滑坡每个单元格的概率值，得到滑坡的发生概率分布图(图 7)。

### 4.2 滑坡危险性区划

由上面计算出所有单元格的地质灾害危险性概率，将计算结果按表 2 分区，在 GIS 中进行重分类生成兰州市滑坡危险性区划图(图 8)。

表 1 滑坡回归系数表

Table 1 Regression coefficient table of landslide

编号	因变量	滑坡系数
1	常数项	-11.756
2	坡度	6.11
3	坡高	4.609
4	植被覆盖率	1.541
5	岩土体类型	2.111
6	地质构造	0.168
7	人类活动	1.824

### 4.3 结果评价

高易发区主要分布于南北两山近山地带和阿干镇矿区、窑街镇矿区、西果园兰临高速公路沿线以及人类灌溉区域影响范围内，区内地质环境脆弱。

中易发区分布于南北两山黄土丘陵及侵蚀构造中山区、南部湟水河河谷川地及河谷台地一带。

低易发区分布于南北两侧中等易发区外围地带，区内人类工程活动对地质环境的影响较小，地质灾害发育较少。

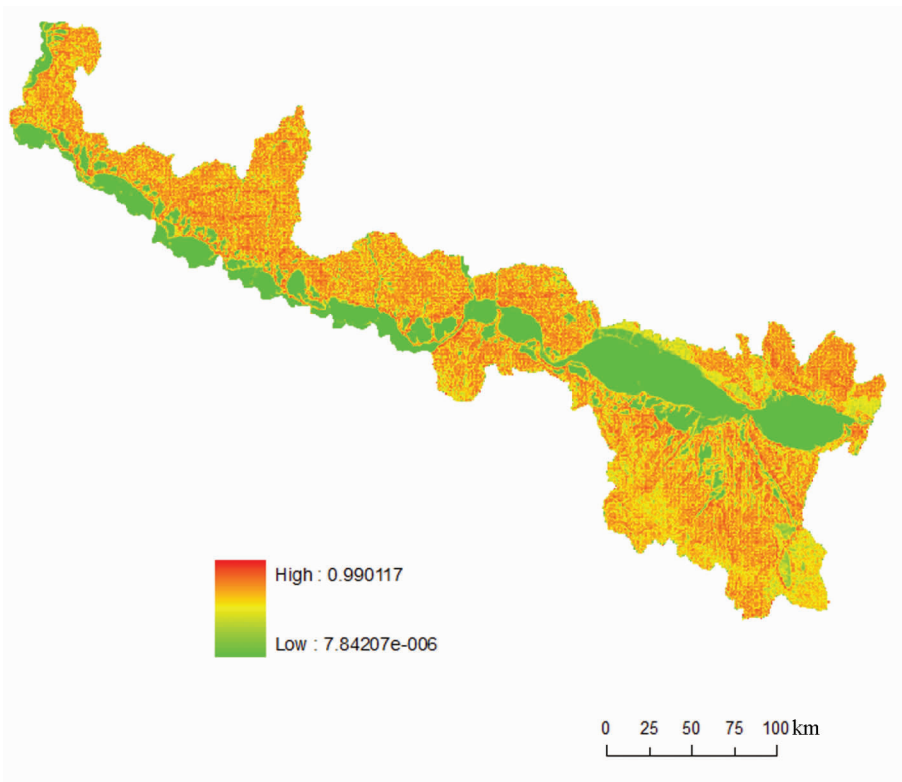


图 7 兰州市滑坡地质灾害危险性概率图

Fig.7 Risk probability diagram of landslide in Lanzhou



表 2 地质灾害危险性级别划分标准

Table 2 Division standard of geological disaster risk level

序号	等级	地质灾害危险性概率
1	不易发区	$P \leq 0.10$
2	低易发区	$0.10 \leq P < 0.65$
3	中易发区	$0.65 \leq P < 0.75$
4	高易发区	$\geq 0.75$

不易发区主要分布在庄浪河、湟水河及黄河的 I、II 级阶地河谷地带,该地区地势平缓,坡高都很低,不利于滑坡的发生。

### 5 结论

本文以实际资料为基础,初步研究了兰州市地质灾害分布规律及其影响因子,采用逻辑回归方法对兰州市进行了滑坡危险性区划研究,研究结果与滑坡分布情况基本一致。

(1)采取逻辑回归模型与 GIS 相结合的方法,克服了传统地质灾害评价方法中人为赋予影响因子权重的不确定性因素,评价结果更加符合实际情况。

(2)通过各因子数据和图形分析判定,确定影响兰州市地质灾害的关键性因子为:坡度、高程、岩土类型、植被覆盖率、地质构造与人类工程活动,这些是实施兰州市地质灾害防治需要考虑的基础要素。

(3)基于 GIS 的逻辑回归模型,采用均质网格划分,计算出单个灾种的单个单元格发生灾害的概率值,对兰州市区进行滑坡地质灾害危险性评价,其中高易发区面积 242.42 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 14.9%;中易发区面积 588.13 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 36%;低易发区面积 432.47 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 26.5%;不易发区面积 368.46 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 22.6%。可为制定兰州市地质灾害防治规划提供科学依据。

致谢:在地质灾害野外调查工作期间,得到了甘

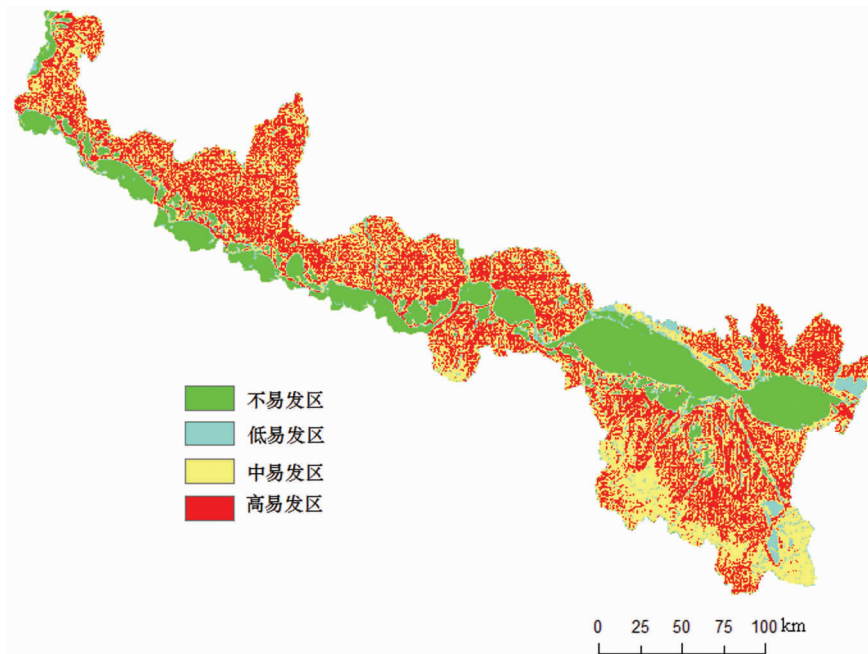


图 8 兰州市滑坡地质灾害危险性区划分区图

Fig.8 Division zoning diagram of landslide in Lanzhou

肃省地质环境监测院的大量帮助,特此表示感谢。

## 参考文献 (References):

- [1] 丛威青, 潘 懋, 李铁锋, 等. 基于 GIS 的滑坡、泥石流灾害危险性区划关键问题研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(1):185-190.  
Cong Weiqing, Pan Mao, Li Tiefeng, et al. Key research on landslide and debris flow hazard zonation based on GIS [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13 (1):185-190 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李军, 周成虎. 基于栅格 GIS 滑坡风险评价方法中网格大小选取分析[J]. 遥感学报, 2003, 7(2):86-91.  
Li Jun, Zhou Chenghu. Appropriate grid size for terrain based landslide risk assessment [J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(2): 86-91(in Chinese with English abstract).
- [3] 辜寄蓉, 范晓, 彭东. 九寨沟地质灾害预测的空间分析模型[J]. 中国地质, 2002, 29(1):109-112.  
Gu Jirong, Fan Xiao, Peng Dong. Spatial analysis model for the forecast of geological disasters in Jiuzhaigou. [J]. Geology in China, 2002, 29(1):109-112(in Chinese with English abstract).
- [4] 李永兵, 陈旭瑞, 胡俊峰, 等. 基于 GIS 的地质数据库系统研究现状和发展趋势[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(3):532-539.  
Li Yongbing, Chen Xurui, Hu Junfeng, et al. The geologic database system with GIS: research status in quo and development trend [J]. Progress in Geophysics, 2002, 17 (3):532-539 (in Chinese with English abstract).
- [5] 朱良峰, 殷坤龙, 张梁, 等. 基于 GIS 技术的地质灾害风险分析系统研究[J]. 工程地质学报, 2002, 10(4):428-434.  
Zhu Liangfeng, Yan Kunlong, Zhang Liang, et al. Risk analysis system of geo-hazards by using GIS technique [J]. Journal of Engineering Geology, 2002, 10 (4):428-434 (in Chinese with

English abstract).

- [6] 李学杰, 冯志强, 林进清, 等. 广东大亚湾海洋地质环境与潜在地质灾害[J]. 中国地质, 2002, 29(3):322-325.  
Li Xujie, Feng Zhiqiang, Lin Jinqing, et al. Marine geological environment and potential geohazards in the Daya Bay of the Guangdong coast [J]. Geology in China, 2002, 29 (3):322-325(in Chinese with English abstract).
- [7] 文宝萍. 滑坡预测预报研究现状与发展趋势 [J]. 地学前缘, 1996, 3(1/2):86-92.  
Wen Baoping. The state of the art and trend of the landslide predictions [J], Earth Science Frontier, 1996, 3 (1/2):86-92(in Chinese with English abstract).
- [8] 张加桂, 陈庆宣, 蔡秀华. 三峡地区泥灰质岩石中几种表生构造及其与地质灾害的关系[J]. 中国地质, 2003, 30(3):320-324.  
Zhang Jiagui, Chen Qingxuan, Cai Xiuhua. Some supergene deformation structures in marly limestone in the Three-Gorges region and their relation to geohazards[J]. Geology in China, 2003, 30(3):320-324(in Chinese with English abstract).
- [9] 马小计, 杨自安, 邹林, 等. 抚顺市市区地质灾害遥感调查研究[J]. 中国地质, 2006, 33(5):1167-1173.  
Ma Xiaoji, Yang Zian, Zou Lin, et al. Remote sensing survey of geological hazards in the urban district of Fushun City [J]. Geology in China, 2006, 33 (5):1167-1173 (in Chinese with English abstract).
- [10] 孟晖, 张岳桥, 杨农. 青藏高原东缘中段地质灾害空间分布特征分析[J]. 中国地质, 2004, 31(2):218-224.  
Meng Hui, Zhang Yueqiao, Yang Nong. Analysis of the spatial distribution of geohazards along the middle segment of the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geology in China, 2004, 31(2):218-224(in Chinese with English abstract).

## Risk study of landslide geohazards in Lanzhou City

WANG Yun-Long<sup>1</sup>, WEN Bao-Ping<sup>2</sup>

(Beijing Geotechnical Institute Engineering Consultant Ltd., Co., Beijing 100038, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Lanzhou is one of the frequent geological disaster regions among provincial capital cities in China, and its geohazard is mainly affected by such factors as geology, topography and human activities. Based on an analysis of controlling factors and main factors of landslide development in Lanzhou, and on the platform of GIS system, the authors used Binary Logistic of SPSS to calculate the probability of geological hazards in the unit of the evaluation region. Through the exchange between GIS software platform and SPSS data format and the utilization of the spatial analysis function of GIS software, the landslide hazards susceptibility was divided into different zones in Lanzhou. The results are consistent with the distribution of landslides and thus can play an important role in preventing the geological disasters in Lanzhou.

**Key words:** landslide; geological hazard zoning; logistic regression; geographic Information system; Lanzhou City

**About the first author:** WANG Yun-Long, male, born in 1984, engineer, master, mainly engages in the study of geotechnical engineering and geohazards; E-mail: wangyunlong\_1984@126.com.