

# GIS技术支持下的招远市金矿区崩塌遥感调查

吴泉源<sup>1,2</sup>, 姜春玲<sup>2</sup>, 邹敏<sup>2</sup>, 杨圣军<sup>2</sup>, 张祖陆<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学地球科学与工程学院, 山东 泰安 271019 2 山东师范大学, 山东 济南 250014)

**摘要:** 在总结前人研究成果的基础上, 全面系统地分析了诱发招远市金矿区崩塌的自然和人为因素, 然后运用遥感技术对金矿区遥感图像进行处理, 提取诱发崩塌的条件因子, 聘请有经验的专家对各项诱发因子进行诊断分析, 以此作为判断条件, 在GIS技术的支持下对诱发崩塌的条件因子进行空间分析, 预测出招远金矿区发生崩塌的危害程度, 为防治崩塌提供科学依据。预测结果表明, 招远金矿区崩塌有进一步发展的可能, 其中, 高危险区有36820 m<sup>2</sup>, 中易发区有50610 m<sup>2</sup>, 低易发区有67200 m<sup>2</sup>, 需要采取有效措施加以防治。

**关键词:** 遥感; 地理信息系统; 空间分析; 图像处理; 崩塌

**中图分类号:** P642.21

**文献标识码:** A

崩塌是一种常见的山地地质灾害, 主要是由于自然或人为因素影响引起的岩体内应力发生变化导致岩体整体或局部发生快速的下滑运动<sup>[1,2]</sup>。山东省招远市是我国重要的黄金生产基地, 因矿山开采导致岩体或山坡体的不稳定, 时常发生崩塌, 给当地的社会经济和人民生命财产造成极大的破坏。许多学者从工程地质角度对崩塌现象进行了较详细的研究, 但从宏观空间角度的研究则比较少见<sup>[3-5]</sup>。本文运用遥感技术和地理信息系统技术结合现场样点调查, 从宏观空间信息分析入手, 揭示矿区崩塌的地质背景, 为快速准确分析和预测崩塌提供一种技术手段。

研究区位于招远市北部, 地理坐标: 120°27'28"~120°37'37"E, 37°24'00"~37°28'30"N, 陆域面积657.3 km<sup>2</sup>。

## 1 研究技术路线

诱发崩塌的因素很多, 但主要是地质、地貌、构造和人为因素<sup>[6]</sup>。本研究在总结前人研究成果的基

础上, 以GPS技术为引导对研究区历次发生的崩塌进行现场定位和测量, 建立地物光谱数据库, 采用数字遥感图像处理技术提取诱发崩塌的自然和人为因素, 结合现场验证, 然后将遥感信息和常规调查数据转入地理信息系统, 运用GIS空间分析功能对崩塌与诱发崩塌的自然和人为因素进行空间模拟分析, 结合专家诊断技术, 确定现有崩塌的主、次影响因素, 最后依据分析结果对尚未发生崩塌的地区进行分析与预测(图1)。

## 2 崩塌现状及成因分析

### 2.1 现状分析

研究区山体崩塌可分为两类, 即自然崩塌和人为崩塌。山体自然崩塌主要发生在废弃的采空地面塌陷区或坡度在45°以上的高山陡坡地带。由于岩石受强烈风化、剥蚀作用及塌陷、地震等因素的影响, 使岩石的整体稳定性失去平衡, 在重力作用下, 大块岩体突然发生快速的倾倒、翻滚或坠落于坡脚处, 形成自然崩塌。据调查分析, 区内现有自然崩塌

收稿日期(Received date): 2006-03-11; 改回日期(Accepted): 2006-07-28.

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(40271001)。[Supported by the project of National Natural Science Foundation (Program No. 40271001).]

作者简介(Biography): 吴泉源(1959-), 男, 山东师范大学教授, 主要从事遥感教学与科研工作。[Wu Quanyuan, male, born in 1959, Professor of Shandong Normal University, Mainly engaged in Remote Sensing.]

28处,合计崩塌面积  $19\,820\text{ m}^2$ ,崩塌总体积  $53\,070\text{ m}^3$ 。最典型的自然崩塌位于招远金矿附近的班仙洞下方(图 2),分布标高为  $500\sim 540\text{ m}$ ,岩性为胶东群蓬乔组条带状混合斜长角闪岩,崩塌物以巨石块为主,大小混杂,仅  $5\text{ m}$  直径的石块达 18块,总体积为  $2\,400\text{ m}^3$ 。

人为崩塌多发生于露天开采和近地表的浅层开采地带,计 34处,其他地区仅有 5处,合计崩塌面积  $21\,400\text{ m}^2$ ,崩塌总体积  $52\,310\text{ m}^3$ 。由于采矿活动破坏了岩体边坡的稳定性,在一定的条件下会发生崩塌现象。较为典型的人为崩塌发生在招远金矿大开头矿区 9号矿脉 77勘探线附近,崩塌是由 9号采空区塌陷引起的。崩塌原岩位于塌陷区南北两侧,崩塌岩体以巨石块为主夹杂大量碎石,石块大者近  $2.5\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ ,总体积  $1\,400\text{ m}^3$ 。

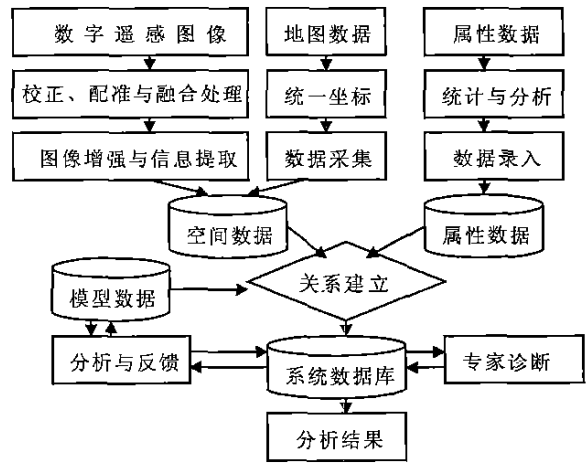


图 1 技术路线

Fig 1 Technology Route

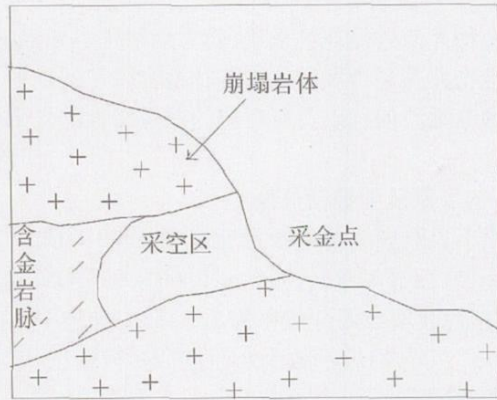


图 2 山体崩塌三维虚拟再现及剖面示意图

Fig 2 Virtual Demonstration and section sketch of mountain landslide

## 2.2 崩塌的影响因素

### 2.2.1 岩体性质

坚硬、完整的岩石,如花岗岩、石灰岩等形成陡峭的边坡而不失去稳定性,软弱的岩石或土体需要低矮平缓的稳定斜坡。由沉积岩组成的斜坡具有层理且硬软相间发育,由于差异分化的作用,软弱岩层风化后上部岩石悬空,进而形成崩塌和坠石。据统计,区内有 48% 崩塌发生在层理性较好的沉积岩区,自然坡度一般在  $45^\circ\sim 60^\circ$ 。

### 2.2.2 地质结构对斜坡稳定性的影响

地质结构对斜坡稳定性的影响包括两个方面,即斜坡面的组成结构和结构面的形态特征。当斜坡结构为块状结构时,发生崩塌的坡度一般在  $65^\circ$  以上;若为软硬互层结构时,发生崩塌的坡度可降至  $50^\circ$ ;当结构面为反向坡时,稳定坡度可达  $70^\circ$ ,而为

顺向坡时,稳定坡度降至  $45^\circ$ ,甚至更低。

### 2.2.3 断裂构造与地震的影响

研究区断裂构造发育,其岩体的整体性较差,易发生崩塌,据调查有 22处崩塌发生在断裂构造影响带上。此外,地震是造成斜坡破坏的重要触发因素,我们将每次崩塌的发生时间与地震部门观测的地震记录数据一一进行对比分析,结果发现有 28% 的崩塌发生在 2级以上地震后的 2 h 之内,如果震后有降水过程,则会诱发较大规模的崩塌。

### 2.2.4 地貌条件

坡度是诱发崩塌的直接原因。据现场调查,整体性较好的基岩区,如果没有人为因素的影响,即使坡度超过  $90^\circ$  也不会发生自然崩塌。但是,对于垂直节理较发育的基岩地层,坡度超过  $70^\circ$  就会导致崩塌发生,而松散岩类或碎屑岩类其稳定坡度则更

低。因此,稳定坡度与岩石类型、性质、构造、裂隙等密切相关。从危害程度上看,稳定坡度愈高的地层,其崩塌的危害性和规模愈大,反之则相对较小。

### 2.2.5 人类活动的影响

人类活动也是诱发岩体崩塌的主要因素,由于人类的生产活动、植被破坏、山体开挖、爆破等导致原有岩体、土体的稳定性受到不同程度的破坏,成为诱发崩塌的主要原因。据调查,研究区内有58%的崩塌直接或间接的与人为活动有关。例如招远大开头矿区附近的崩塌是在爆破后10 min内发生的。

## 3 崩塌遥感信息提取

### 3.1 地物样本知识库的建立

图象处理必须具备丰富的先验知识,为此,我们在GPS技术的引导下,对研究区崩塌发生地附近的各种地物光谱进行现场采集,建立地物样本知识库,包括地物尤其是诱发崩塌的各种地物要素的反射和发射的电磁波信息以及所对应的遥感图像的光谱响应。

### 3.2 信息源及图像预处理

用于提取崩塌的主要数据源是1999-12的航空像片,地面分辨率为0.5 m;2000-05 SPOT卫星图像,全色波段地面分辨率为2.5 m,多光谱分辨率为10 m。对它们进行的预处理包括几何校正、增强处理和数据融合等。以研究区1:1万DEM数据为基础,以1:1万地形图作为参考,在ERDAS系统内采用N次多项式和共线方程纠正模式选出一定数量的控制点(GCP),对两期遥感图像进行几何纠正,误差精度控制在0.5个像元内,纠正后的遥感图像具有相同的坐标信息。

崩塌往往发生在坡度较陡的地貌部位,在遥感图像上恰恰是信息最不丰富的位置,尤其是在阴坡地带,阴影可以遮掩崩塌信息,不利于崩塌信息的提取,在ERDAS系统内运用Shaded Relief模块对遥感图像与DEM栅格数据进行叠加处理,消除地形阴影的影响。

数据融合是一种高级的栅格数据处理技术,其目的是将单一传感器的多波段信息、不同类别传感器所提供的信息,甚至数字化生成的专题栅格数据加以综合,消除各种栅格数据之间可能存在的冗余和矛盾,加以互补,提高栅格数据提取的及时性和可靠性,以及栅格数据的空间分辨率、光谱分辨率和使用效率。

以SPOT和航空像片为例,首先运用HS变换将SPOT 2.5 m分辨率的全色波段与10 m分辨率的多光谱波段进行数据融合,得到分辨率为2.5 m的假彩色SPOT卫星图像。然后采用Bayes变换将0.5 m分辨率的航空像片与融合后的SPOT图像进行二次融合处理,所得的图像既保留了航空像片0.5 m的分辨率,又具有了SPOT较丰富的光谱信息。

### 3.3 信息提取

#### 3.3.1 基于DEM技术的地形坡度要素的提取

无论是自然因素还是人为因素引起的崩塌、散落等都往往发生在一定的坡度地带,所以坡度,尤其是断崖、陡坡的分析是判断这类灾害发生的一个重要依据<sup>[7,8]</sup>。在GIS系统内,运用Surface Analysis Function模块基于1:1万DEM数据对研究区进行坡度分析,提取坡度数据。考虑到已有崩塌现象大都发生在45°以上的陡坡,因此,将45°以上的坡度按5°间隔划分为9个等级,其中坡度在75°以上定义为断崖。

#### 3.3.2 地质环境要素的信息提取

地层和岩性的信息提取是以地物样本知识库为参考,采用主成分分析和融合处理相结合的方法进行。用主成分分析方法对遥感图像进行线性变换,可以较清晰地反映出不同地层区的地貌特征,但地层边界仍无法准确界定,需要与1:1万栅格形式的金矿区地质图进行融合处理,融合后的图像能很好的反映出地层边界信息,最后采用目视解译方法提取地层信息。

边缘增强法可以有效地突出地质构造、地裂缝的影像特征。本次研究运用Texture analysis分析模块选择窗口为5×5的运算方法进行图像处理,之后再与栅格地质构造图进行迭加分析提取构造和地裂缝信息。

#### 3.3.3 基于光谱分析的采空区信息提取

采空区是诱发山体崩塌的主要因素。采空区的分布与地层密切相关,将金矿区分布图、地层分布图与遥感图像进行迭加分析用以确定含金岩脉的分布范围,在此基础上对该地层区的遥感图像进行光谱测试,并与地物样本知识库的光谱数据进行对比分析。由于采空区的存在,必定会导致采空区水文地质条件的变异,这种变异也必然会反映在地层表面,特别是植被生长状况与非采空区有较大差异(图3)。利用ERDAS系统中的Inquire cursor功能对含金岩脉地层进行采样,统计其遥感图像中各种地物

光谱特征, 选择有利的波段和适当的逻辑表达式将采空区从遥感影像中提取出来<sup>[8-11]</sup>。

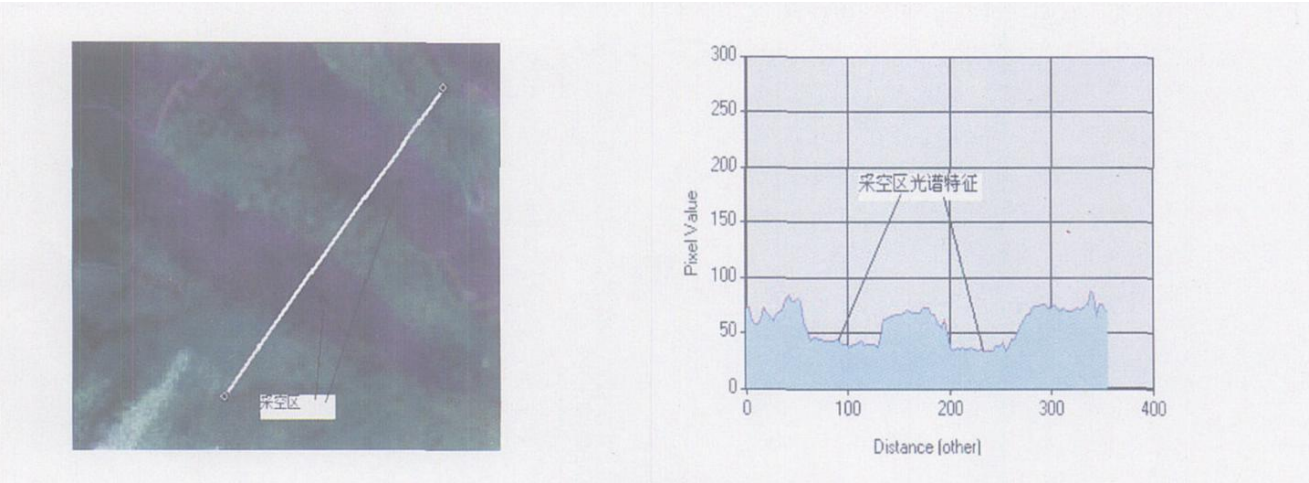


图 3 增强处理后的采空区地面影像特征及光谱特征

Fig 3 Surface image and spectrum characteristic for mined-out area after Strengthened

4 崩塌预测分析

基于上述分析, 诱发岩体崩塌的潜在因素可概括为地形坡度、地质条件、构造条件、采空区分布以及人类活动等。运用 GIS空间分析模块对上述诱发因子进行空间分析<sup>[12-15]</sup>, 预测出崩塌发生的潜在危险区域。首先分别建立与诱发因子相对应的图层,

并对各种诱发因子进行缓冲区处理, 测出研究区崩塌的危险区域。其次在专家诊断分析的基础上, 依据各诱发因子的影响程度对所有因子进行赋值 (表 1), 然后对各图层进行拓扑叠加计算, 得出每个多边形影响指数值, 其计算公式为

$$K = \sum P_i \times 100 / \max(P_i) \quad i = 1, 2, 3 \dots$$

最后按  $K$  值大小进行崩塌危险区等级划分 (表 2), 确定崩塌发生的潜在区域 (图 4)。

表 1 崩塌诱发因子评价表						
Table 1 Factors assessment table for causing landslide						
	采空区	地质与地貌				
		基岩			松散堆积体	
		坡度	坡度	坡度	坡度	坡度
		65° ~ 80°	80° ~ 90°	> 90°	45° ~ 60°	60° ~ 70°
赋值	10	6	8	10	6	8
		10			8	10
	断裂构造	地质构造				
		块状		软硬互层		人类活动
		逆向坡	顺向坡	逆向坡	顺向坡	强
		5	10	5	10	10
赋值	10	5	10	5	10	5
		10			5	10

表 2 崩塌易发性分区表		
Table 2 Partition table for the probable occurrence of landslide		
区名称	分区代码	分区 K 值范围
高易发区	A	70~ 100
中易发区	B	40~ 70
低易发区	C	0~ 40



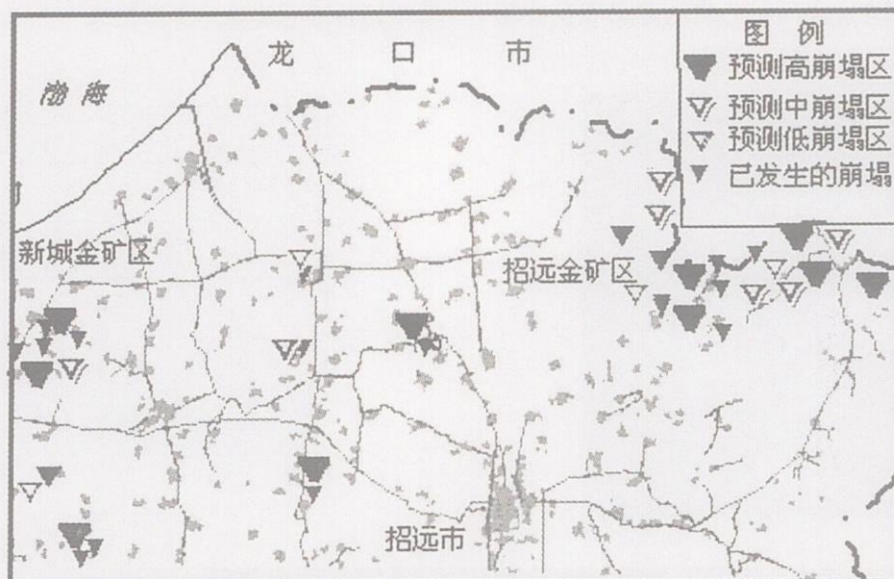


图 4 金矿区崩塌现状与崩塌预测结果示意图 (部分)

Fig 4 The current condition and forecast result for landslip in gold field (Part)

## 5 结论与讨论

分析崩塌的发生、发展, 必须从诱发崩塌发生的自然因素和人为因素统一考虑, 对其分布规律和造成这种现象的驱动因素进行分析。本文在遥感技术与地理信息系统技术支持下, 对招远市北部金矿区崩塌进行了空间分析, 结果如下:

1 进行崩塌空间分析时, 关键是抓住诱发崩塌发生的影响因素。因此, 常规调查和专家分析判断是不可缺少的基础条件, 本次研究之所以能获取成功, 得益于前人的研究成果和地质专家的帮助, 所以空间信息分析技术离不开常规技术的支持。

2 崩塌的发生有一定的局限性, 发生范围也不算大, 大规模的崩塌一般不超过  $2\,000\text{ m}^2$ , 小者不足  $100\text{ m}^2$ 。因此, 用空间信息技术分析崩塌, 关键是定位精度要高, 否则很难从空间角度准确分析各种诱发因素的影响程度, 这就要求有高分辨率的栅格数据以及图像的配准和几何校正精度要高。

3 分析结果表明, 招远市北部金矿区崩塌的发生有进一步扩大的可能性, 其中高危险区有  $36\,820\text{ m}^2$ , 中易发区有  $50\,610\text{ m}^2$ , 低易发区有  $67\,200\text{ m}^2$ , 需要引起当地政府和金矿企业的高度重视, 必须采取有效措施加以防治。

## 参考文献 (References)

- [1] Shen Hongyuan, Zhu Cheng, Tang Yunsong *et al.* Mechanism of paleo-collapse landform in Mt. Fu of Huangyan, Zhejiang Province [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21 (5): 529~536 [申洪源, 朱诚, 唐云松, 等. 浙江黄岩富山地区古崩塌地貌发育机制 [J]. *山地学报*, 2003, 21 (5): 529~536]
- [2] Huang Zhiqua, Liu Xilin. Stability assessment of collapse and landslide in the First-Stage Project of Water-Transferring from South to North in West China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23 (5): 579~584 [黄志全, 刘希林. 南水北调西线一期工程滑坡崩塌体稳定性评价 [J]. *山地学报*, 2005, 23 (5): 579~584]
- [3] Wang Juanle, Dai Ziqiang, Wu Kan. Decision support of GIS and ES in the Protection of Mining Subsidence [J]. *Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources*, 2002, 18 (2): 7~15 [王卷乐, 戴仔强, 吴侃. GIS与ES在矿区沉陷防治中的决策支持 [J]. *地矿测绘*, 2002, 18 (2): 7~15]
- [4] Qiao Yanxia, Li Mwen, Zhang Weichen. Comprehensive evaluation on geological hazards and the environment of developing geological hazards in the northwest Hebei on the basis of RS [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2002, 13 (4): 83~87 [乔彦肖, 李密文, 张维宸. 基于遥感技术支持的地质灾害及孕灾环境综合评价 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2002, 13 (4): 83~87]
- [5] Wang Zhijia, Lu Jietang. Understand Yigong Landslide in Tibet based on the satellite image [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 5 (4): 312~316 [王治华, 吕杰堂. 从卫星图像上认识西藏贡嘎滑坡 [J]. *遥感学报*, 2001, 5 (4): 312~316]
- [6] Wei Yining. A research on the complexity of natural disasters [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1998, 18 (1): 21~31 [魏一鸣. 自然灾害复杂性研究 [J]. *地理科学*, 1998, 18 (1): 21~31]

- [ 7 ] Lin Xiaosong, Zhao Chunyong. Applications of GIS in the Geological Hazard Information Management System of Chongqing[ J]. *Journal of Catastrophology*, 2003, 18 ( 1 ) 71~ 76 [ 林孝松, 赵纯勇, GIS在重庆市地质灾害信息管理系统中的应用 [ J]. 灾害学, 2003, 18 ( 1 ) 71~ 76 ]
- [ 8 ] Wang Wenjun, Xiang Xiqiong, Huang Runqiu, *et al*. A real landslides susceptibility analysis—a case study in Hong County, Sichuan Province[ J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2003, 14( 2 ): 31~ 38 [ 王文俊, 向喜琼, 黄润秋, 等. 区域崩塌滑坡的易发性评价—以四川省珙县为例 [ J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14( 2 ): 31~ 38 ]
- [ 9 ] Gan Fuping, Wang Runsheng, Jiang Shong, *et al*. Discrimination technique for rocks or ore deposits based on the feature of full spectral shape using hyperspectral remote sensing and its application[ J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2000, 35( 3 ): 376~ 384 [ 甘甫平, 王润生, 江思宏, 等. 基于完全光谱特征的成像光谱遥感岩矿识别技术及其应用 [ J]. 地质科学, 2000, 35( 3 ): 376~ 384 ]
- [ 10 ] De Jong S M. Imaging spectrometry for monitoring tree damage caused by volcanic activity in the Long Valley Caldera, California [ J]. *ITC Journal*, 1998 ( 1 ): 1~ 10
- [ 11 ] Hansen A. Landslides hazard analysis [ A ]. In: Brunsten D. and Prior D B ( ed ) *Slope Instability* [ C ]. 1984, 523~ 602
- [ 12 ] Townshend A I. Monitoring vegetation Changes in a Mediterranean Saudi Arabia using TM data[ J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 12( 2 ): 191~ 194
- [ 13 ] Hu Xinli, Tang Huiming. Frame design of space prediction and evaluation system for the slope geological hazard based on GIS[ J]. *Geological Science and Technology Information*, 2002, 21 ( 1 ): 99~ 103 [ 胡新丽, 唐辉明. GIS支持的斜坡地质灾害空间预测系统框架设计 [ J]. 地质科技情报, 2002, 21( 1 ): 99~ 103 ]
- [ 14 ] Zhou Yunxuan, Wang Lei. Implementation Methods of DEM-based GIS Terrain Analysis Functions[ J]. *Research on Application of Computers*, 2002, 12: 50~ 53 [ 周云轩, 王磊. 基于DEM的GIS地形分析的实现方法研究 [ J]. 计算机应用研究, 2002, 12: 50~ 53 ]
- [ 15 ] Zhu Zhao, Qi Shizheng, Yang Naiyi, *et al*. The application of GIS to land management—the construction of a model for potential landslide hazard evaluation[ J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2001, 50( 4 ) 13~ 19 [ 朱子豪, 齐士铮, 杨乃夷, 等. 应用地理信息系统辅助山坡地潜在崩山灾害评估模式之建立 [ J]. 国土资源遥感, 2001, 50( 4 ): 13~ 19 ]

## GIS/RS-based Investigation on Landslip in Zhaoyuan Gold Field

WU Quanyuan<sup>1, 2</sup>, JIANG Chunling<sup>2</sup>, ZOU Min<sup>2</sup>, YANG Shengjun<sup>2</sup>, ZHANG Zulu<sup>2</sup>

( 1 The College of Geoscience and Engineering of Shandong, Taian 271019 China;

2 Shandong Normal University, Jinan 250014 China )

**Abstract** Based on past research, the paper analyzed systematically and comprehensively the natural and artificial factors leading to landslide geo-hazard in Zhaoyuan gold field, Shandong. Though processing remote sensing image of the gold field on the basis of RS technology, the paper distilled the conditional factors that can induce landslide, and retained experienced expert to diagnose these inducing factors. Then using these diagnoses as judgment condition, it gave a spatial analysis of those conditional factors by GIS technology, and predicted the criticality of landslide in Zhaoyuan gold field, offering a scientific basis for preventing landslide. The prediction indicates that there exists probability of further developing of landslide in Zhaoyuan gold field. The high hazardous area is 36 820 m<sup>2</sup>, the middle hazardous 50 610 m<sup>2</sup>, and the low hazardous 67 200 m<sup>2</sup>. Effective measures are needed to take in order to control this crucial question.

**Key word:** remote sensing; Geographic information system; spatial analysis; image processing; landslide