

RS 与 GIS 支持下的汶川县城周边 地质灾害危险性评价

刘汉湖^{1,2}

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059;
2. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 地质灾害危险性评价是防灾减灾工作的重要依据。本文以汶川县城周边 64 km² 为例, 应用遥感信息提取技术与 GIS 空间分析方法, 根据 IKONOS 遥感图像和地形图及野外调查资料, 提取了崩塌和滑坡易发性评价因子, 采用信息量法确定了因子分值, 计算了崩塌和滑坡易发性, 并分别提出崩塌和滑坡的危险性计算方法, 形成了汶川地区崩塌和滑坡危险性分区图。研究表明: 新的崩塌和滑坡危险性评价方法能够反映区内地质灾害危险程度, 该方法可行, 结果合理, 这为中、大比例尺区域范围内地质灾害危险性研究提供了有益的思路。

关键词: 汶川; 地质灾害; 崩塌; 滑坡; 遥感

中图分类号: P642.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)01-0243-09

“5.12”汶川 8 级特大地震发生在川西高原东部地质环境极为脆弱的中、高山地区, 地震造成了大量山体松动、裂缝、崩塌、滑坡等地质灾害隐患, 严重危及灾区广大人民群众的生命财产安全。切实做好地质灾害危险性评价工作是保障灾后恢复重建工作得以顺利进行的一个十分重要的前提条件。

对于地质灾害危险性评价, 从已有的研究成果来看, 国内的工作思路主要通过选定评价指标, 按照某一模型进行计算, 得到危险性^[1-10]。而笔者认为, 根据评价指标按照模型计算的成果只能表明该地区地质灾害的易发性, 易发性仅代表地质灾害容易发生的程度, 并不代表危险性。换句话说, 地质灾害易发性高的不一定代表危险性高, 不容易发生的区域也不代表危险性低, 危险性的高低还与灾害规模等因素有关。

因此, 本文应用 IKONOS 遥感图像和地形数据及有限的野外调查数据, 以汶川县城周边地区为例, 提取了崩塌和滑坡易发性评价因子, 采用信息量法

确定了因子分值, 计算了崩塌和滑坡的易发性。分别提出崩塌和滑坡的危险性计算方法, 形成汶川地区崩塌和滑坡危险性分区图。

1 研究区基础数据信息

1.1 研究区简介

汶川县地处暖温带大陆性半干旱季风气候区, 研究区主要河流为岷江, 较大支流有杂谷脑河, 其次发育有槐子沟、羊岭沟、七盘沟等支沟(图 1)。地貌上为高山峡谷区, 地势西北高东南低, 呈倾斜状, 山脉走向与地质构造线相一致, 北东—南西向。主要地层由中元古界黄水河群(Pt/m)、震旦系(Z)、月里寨群(D_y)和第四系冲洪积层(Q₃^{al+pl})、残坡积层(Q₄^{al+pl})、崩积层(Q₄^{col})、滑坡堆积层(Q₄^{del})地层组成。

1.2 数据情况

考虑到研究区面积小, 研究的是小尺度大比例的地质灾害危险性划分, 同时考虑到数据源获取的问题。选择了具有高空间分辨率的 IKONOS(成

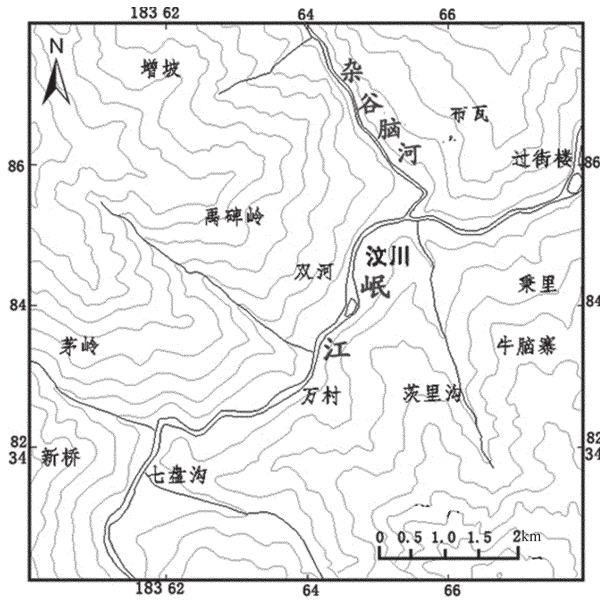


图1 研究区地形位置图

Fig.1 Topographic map of the study area

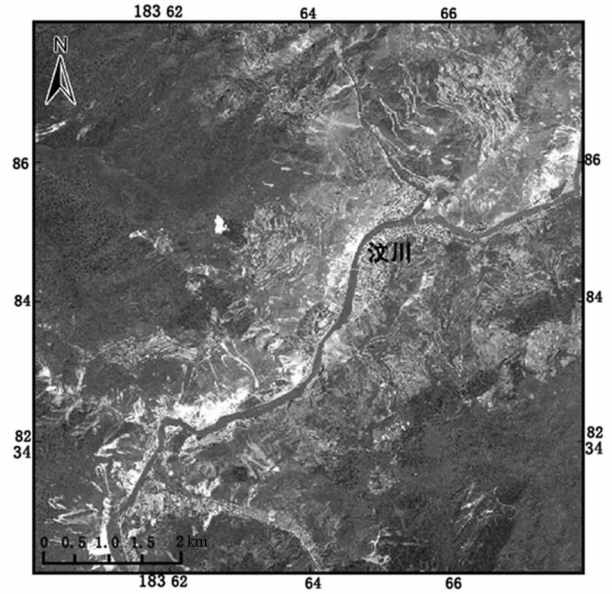


图2 研究区 IKONOS 遥感图像

Fig.2 IKONOS RS image of the study area

像于 2006 年)卫星遥感图像,其多光谱波段空间分辨率(星下点)4 m,全色波段为 1 m(星下点),经过遥感图像处理后可达到 1 m 的真彩色融合图像(图 2)。地形图采用 5 万比例尺,地质图参考 20 万比例尺。

2 评价因子选择与获取

评价因子的选取需要考虑 2 个因素:一是评价因子对地质灾害发育具有较显著的影响,二是所选取的评价因子在研究区内有显著的差异性。根据黄润秋^[1]研究,控制一个地区地质灾害发育的根本性地质因素也就是 3~5 个。就本研究区汶川县城周边而言,位于岷江两侧,面积不到 64 km²,在空间上属于小尺度大比例尺的地质灾害危险度评价,条件差异不大的因子(如地震烈度,降雨)对研究区影响程度相同,可以不予考虑。同时考虑到研究区以崩塌发育为主,滑坡发育次之。因此,通过综合分析,确定了岩性、坡度、高差、构造断裂、土地覆盖类型 5 个因子。

(1) 岩性

岩性的空间分布获取以 IKONOS 遥感图像地质解译为主,参考 1:20 万区域地质图,并辅以野外调查。这 3 种数据来源各有优势,20 万区域地质图的岩性相对位置大体是对的,但其空间绝对位置往往有很大误差;而 IKONOS 遥感图像 321 波段组合后与全色波段融合,无论从色彩上(真彩色)还是空

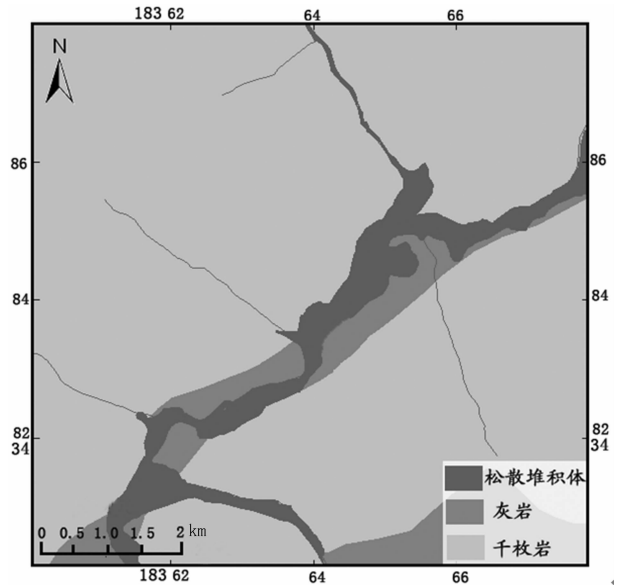


图3 研究区岩性分布图

Fig.3 Lithologic map of the study area

间分辨率(1 m)上都能真实体现地面地物,能区分不同岩性边界,但其对岩性类别确定尚不能满足要求,野外调查仅能选择典型地点验证。考虑到岩性服务于地质灾害易发性分析,研究区将其分为千枚岩,灰岩和松散堆积体 3 类(图 3)。

(2) 坡度

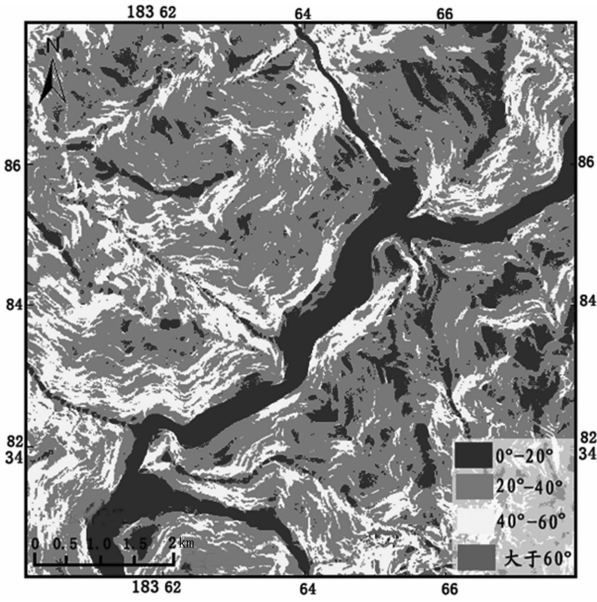


图 4 研究区坡度分布图
Fig.4 Slope distribution of the study area

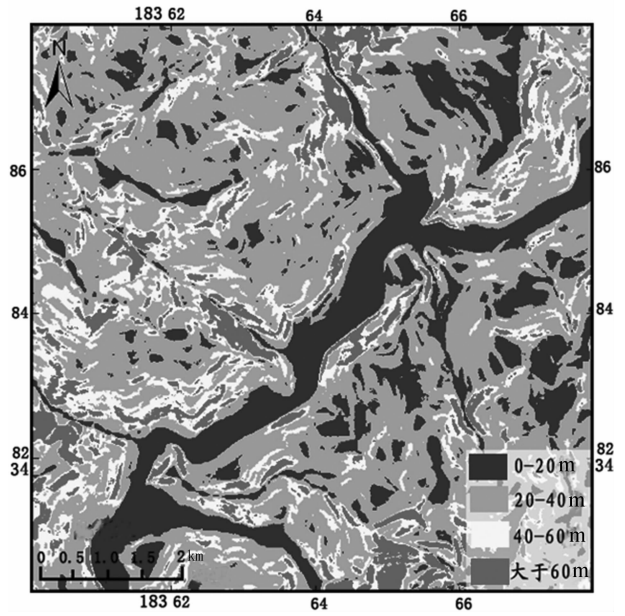


图 5 研究区高差分布图
Fig.5 Height difference map of the study area

坡度主要是描述研究区的地势陡峭状况，地面坡度影响着地质灾害的发育规模与强度，坡度的获取主要根据 1:5 万地形图构建 DEM，由 DEM 衍生坡度图，部分关键位置坡度则通过野外实测获取。根据坡地分级标准进行分组： $<25^\circ$ 为平缓坡， $25^\circ\sim 45^\circ$ 为陡坡， $45^\circ\sim 60^\circ$ 为峻陡坡， $>60^\circ$ 为极陡坡(图 4)。

(3)高差

高差是特定区域内，最高点海拔高度与最低点海拔高度的差值。高差的大小代表地形的起伏特征，而地形起伏与地质灾害发育度(尤其是与崩塌发育情况)关系密切。高差的获取主要是根据 1:5 万地形图构建的 DEM 进行空间计算，获取所在地点方圆 30 m 范围内高差(图 5)。

(4)与断裂距离

研究区汶川县城周边断裂为北东-南西向的龙门山后山断裂，性质属于逆冲，在研究区以几个分支的形式通过。断裂具体位置的获取主要通过 IKONOS 遥感图像的解译，并参考 1:20 万区域地质图。对获取的断裂进行缓冲分析，缓冲距离分别为 200 m 和 400 m(图 6)。

(5)土地覆盖

土地覆盖类型是千百年来人类与自然相互作用的结果。覆盖类型与地表松散堆积厚度、堆积类型等

有关，而这些和地质灾害的发育条件是密切相关的。土地覆盖类型的获取主要通过 IKONOS 遥感图像的解译，共提取了 7 类地物类型，分别为乔木林、灌木林、草地、农用地(包括耕地和经济林用地)，建设用地(包括城市建筑用地、农村建筑用地、省级、县级公路)、裸地、河流(图 7)。

3 因子分值确定

因子分值的确定采用信息量法，该方法通过计算诸多因子对地质灾害发育情况所提供的信息量值叠加，作为判别分值的依据。具体公式如下：

$$I(x_i, A) = \lg \frac{N_i/N}{S_i/S} = \lg \frac{S}{N} \cdot \frac{N_i}{S_i} \quad (1)$$

其中， x_i 为因子， S 为研究区栅格单元总数； N 为研究区已发生崩塌或滑坡的单元总数； S_i 为含有 x_i 的单元个数； N_i 为含有因子 x_i 并且已经发生了滑坡的单元个数。对于计算结果，其信息量值越大，代表灾害越容易发生，相应的因子分值也越大。

不同灾害类型其因子分值不同，研究区主要地质灾害为崩塌和滑坡，因此，这里将野外调查的崩塌与滑坡转换为 5 m×5 m 大小的栅格图像，分别与各个因子栅格图层进行运算，计算结果如表 1。根据计算的信息量进行各个因子中崩塌和滑坡分值的确

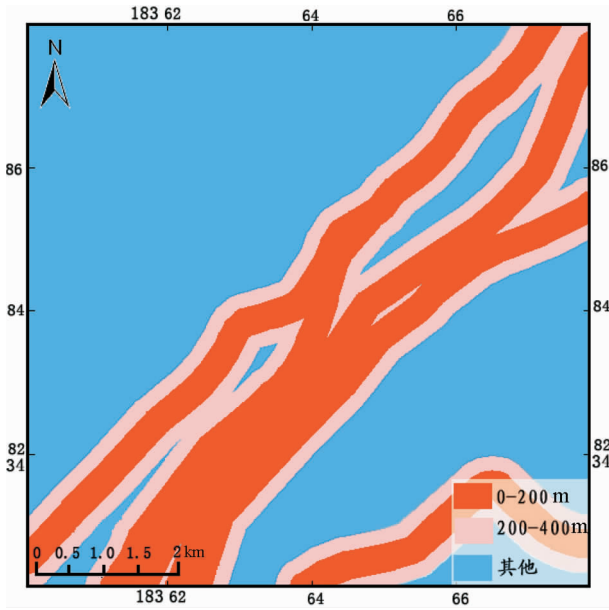


图6 研究区断裂缓冲区图
Fig.6 Fracture buffer map of the study area

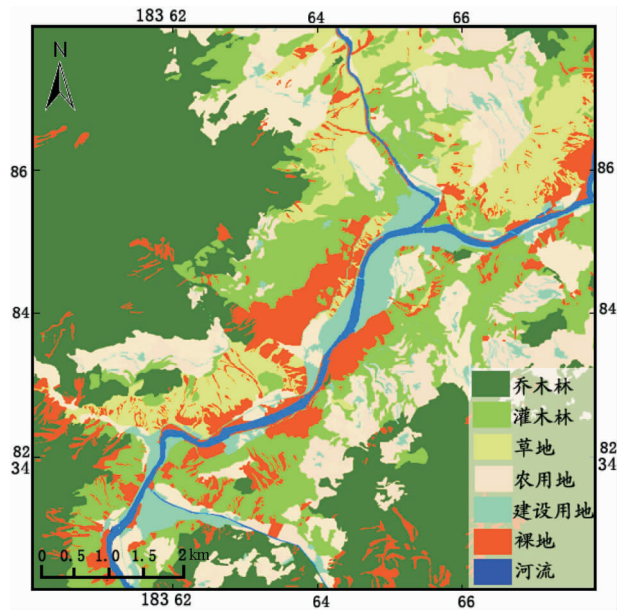


图7 研究区土地覆盖类型分布图
Fig.7 Land cover types of the study area

表1 研究区不同地质灾害类型的信息量及其分值
Table 1 Information and scores of different types of geological disasters

因子	类别	崩塌	滑坡	崩塌	滑坡
岩性	松散堆积体	-4.323	1.257	0	3
	灰岩	0.891	0.542	3	2
	千枚岩	0.753	0.846	3	2.5
坡度	0°~20°	-1.524	0.245	0	1.5
	20°~40°	-0.478	1.459	1	3
	40°~60°	1.254	-0.214	2.5	0.5
	60°~90°	2.347	-2.148	3	0
高差	0~20 m	-0.325	-0.157	0.5	2
	20~40 m	0.784	0.247	2	3
	40~60 m	1.357	-1.268	3	2
	大于 60 m	4.782	-2.347	3	1
与断层距离	0~200 m	5.746	1.544	3	3
	200~400 m	4.674	0.424	2	2.5
	大于 400 m	-0.248	-0.136	1	2
土地利用	建设用地及河流	-4.357	-2.972	0	0
	农用地	-5.284	-2.241	0	2
	灌木林	0.982	-0.187	1	3
	乔木林	-0.846	-0.357	1	1
	草地	1.574	0.747	2	3
	裸地	4.671	-2.471	3	1

定,对于不可能发生灾害的情况,分值为 0,特别有利于灾害的情况下分值为 3,其他情况分值为 0~3。

4 地质灾害易发性评价

信息量法依靠的是野外有限的地质调查,不适合于整个区域的地质灾害易发性评价。这里采用几个平均模型(GM)进行崩塌和滑坡的易发性分区。

$$GM = \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

其中, P_i 为第 i 个因子的分值, n 为因子总数。该模型的优点之一是当某区域某个因子分值为零时,表明该区域不可能发生崩塌或滑坡地质灾害,则通过乘积直接得到零。对崩塌和滑坡中涉及的因子栅格图像分别进行计算,计算后统计其直方图,按照直方图进行等级的划分,则分别得到崩塌和滑坡的易发性分区图(图 8~9)。

5 危险性分区

根据研究,地质灾害危险性可以定义为某一规模地质灾害事件发生的可能性,可以用地质灾害易发性,发生频率及规模来估算,即地质灾害危险性=易发性×发生频率×规模。而地质灾害涵盖的范围较广,就研究区而言,主要为崩塌和滑坡。根据笔者野

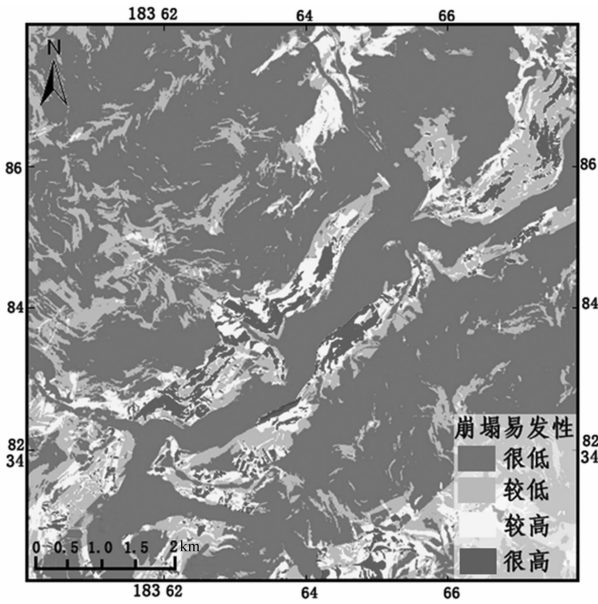


图 8 崩塌易发性分布图

Fig.8 Susceptibility distribution map of collapse

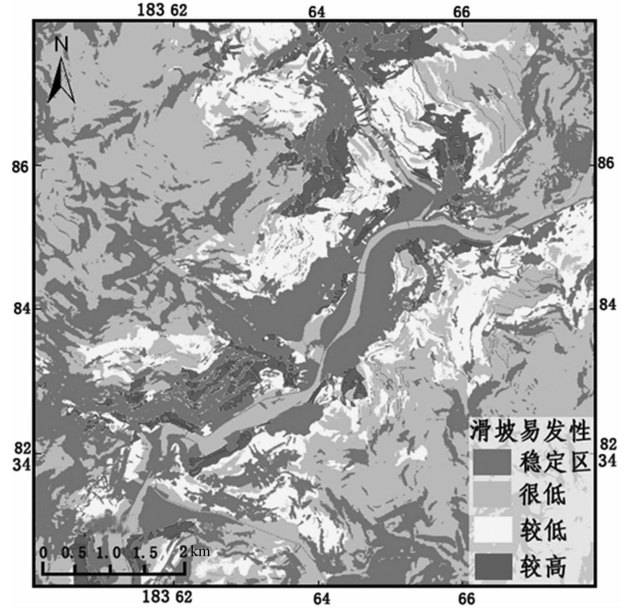


图 9 滑坡易发性分布图

Fig.9 Susceptibility distribution map of landslide

外对汶川县城周边的调查情况, 崩塌和滑坡的影响因素和危害方式不同, 简单地用一个公式来涵盖不同类型的地质灾害危险性评价有失偏颇。就崩塌而言, 其危险程度除了与易发性有关, 还与崩塌频率, 崩塌总方量及崩塌岩石单体方量有关。滑坡的危险程度则与滑坡发生频率及滑坡方量有关。因此, 崩塌与滑坡的危险性计算分别为:

$$H_b = B_s \times B_m \times B_f \times B_l \quad (3)$$

$$H_p = L_s \times L_m \times L_f \quad (4)$$

式中, H_b 为崩塌危险性, B_s 为崩塌易发性, B_m 为崩塌总方量, B_f 为崩塌发生频率, B_l 为崩塌最大岩块, H_p 为滑坡危险性, L_s 为滑坡易发性, L_m 为滑坡方量, L_f 为滑坡发生频率。

前人在进行危险性评价时, 对不同地质灾害的发生频率和规模的划分采用同一标准^[1], 而根据笔者的野外调查, 认为其发生频率和规模的限定范围是不相同的, 崩塌的发生频率远远高于滑坡的发生频率, 而其规模则小于滑坡的规模。因此, 本文对崩塌和滑坡的发生频率与规模等分别按照不同标准进行了划分与量化(表 2)。

根据量化标准, 基于遥感图像和野外调查基础上, 分别形成崩塌发生频率分值图、规模分值图、最大岩块分值图和滑坡发生频率分值图、规模分值图。

表 2 崩塌和滑坡发生频率与规模量化值

Table 2 Frequency and scale quantitative values of collapse and landslide

崩塌				
发生频率	一天一次	一月一次	一年一次	十年一次
分值	4	3	2	1
崩塌规模/m ³	10 ⁴ ~10 ⁵	10 ³ ~10 ⁴	10 ² ~10 ³	10 ¹ ~10 ²
分值	4	3	2	1
最大岩块/m	10×10×10	1×1×1	0.5×0.5×0.5	0.1×0.1×0.1
分值	4	3	2	1
滑坡				
发生频率	百年	千年	万年	十万年
分值	4	3	2	1
滑坡规模/m ³	10 ⁶ ~10 ⁷	10 ⁵ ~10 ⁶	10 ⁴ ~10 ⁵	10 ³ ~10 ⁴
分值	4	3	2	1

根据公式(3)和(4)进行计算, 得到崩塌和滑坡危险区划分图(图 10~11)。

从空间位置上看, 崩塌危险性高的区域有几个特点: ①与岩性关系密切, 危险性高的区域主要是灰岩, 这是由灰岩节理发育而单个岩体体积大引起的; ②危险性高的区域位于龙门山后山分支断裂之间的构造透镜体上; ③与河流切割作用有关, 发育在河流切割强烈的两侧; ④与地表覆盖类型有关, 危险性高的区域植被覆盖极少。滑坡危险性高的区域特点是: ①危险性高的区域有 3 类: 一是古滑坡前缘, 二是堆

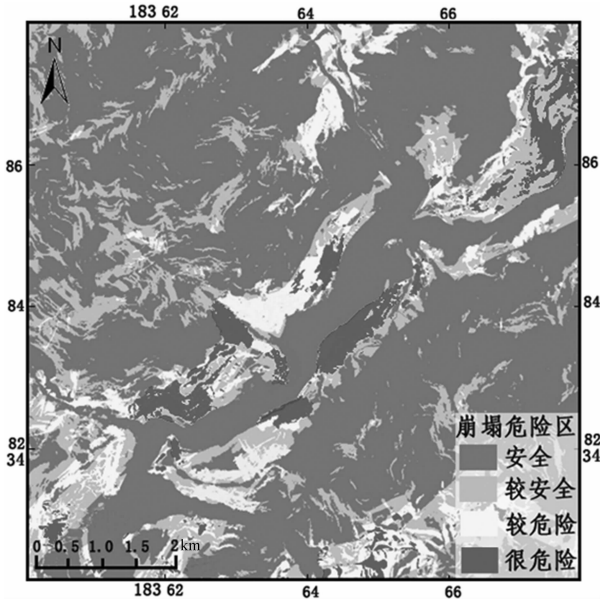


图 10 崩塌危险区划分图
Fig.10 Collapse risk zoning map

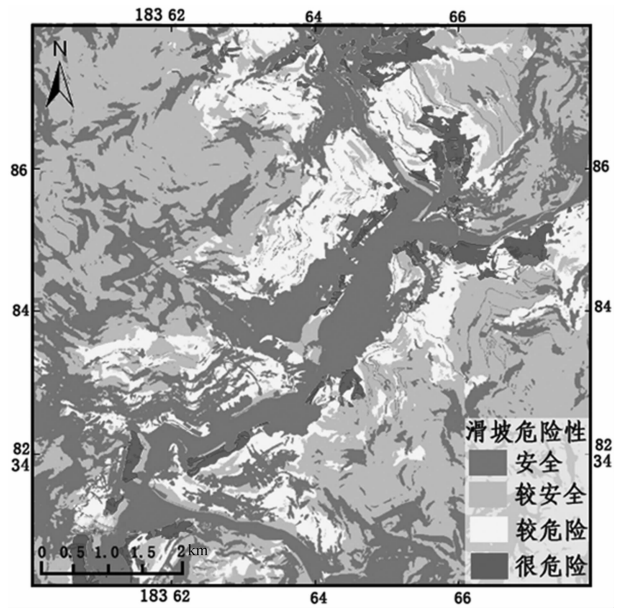


图 11 滑坡危险区划分图
Fig.11 Landslide risk zoning map

积阶地边缘, 三是表层植被覆盖少而具有一定厚度松散堆积的斜坡; ②危险性高的区域普遍有人类活动痕迹, 如修建道路; ③区内主要为松散堆积体滑坡, 未见基岩滑坡。

6 野外验证

为了验证地质灾害危险性分区效果, 笔者选择汶川县城时代广场后山崩塌进行了详细调查。根据

危险性分区图, 该处为崩塌危险性高的区域 (图 12), 且规模较大。野外现场调查表明, 此处后山高约 360 m, 斜坡倾角 55°, 山顶附近为逆冲断层平行山脊通过, 岩性为灰岩, 岩体发育 3 组节理, 贯通性较好, 节理间距平均 1.5 m, 斜坡大多为裸露基岩, 其余为覆盖度极浅的松散堆积物。斜坡上有多处岩体耸立, 因危险性大, 未能爬山去观察, 但据后山山顶观察来看, 山顶上孤立岩石开裂现象严重, 裂缝达

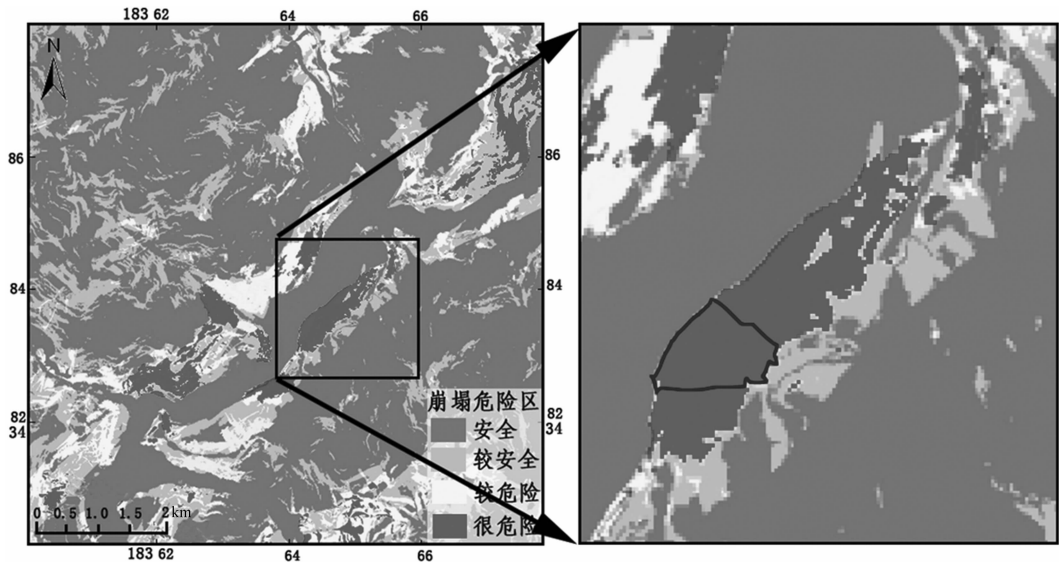


图 12 汶川县城时代广场后山崩塌危险性分区图
Fig.12 Collapse risk zoning map behind Times Square in Wenchuan County

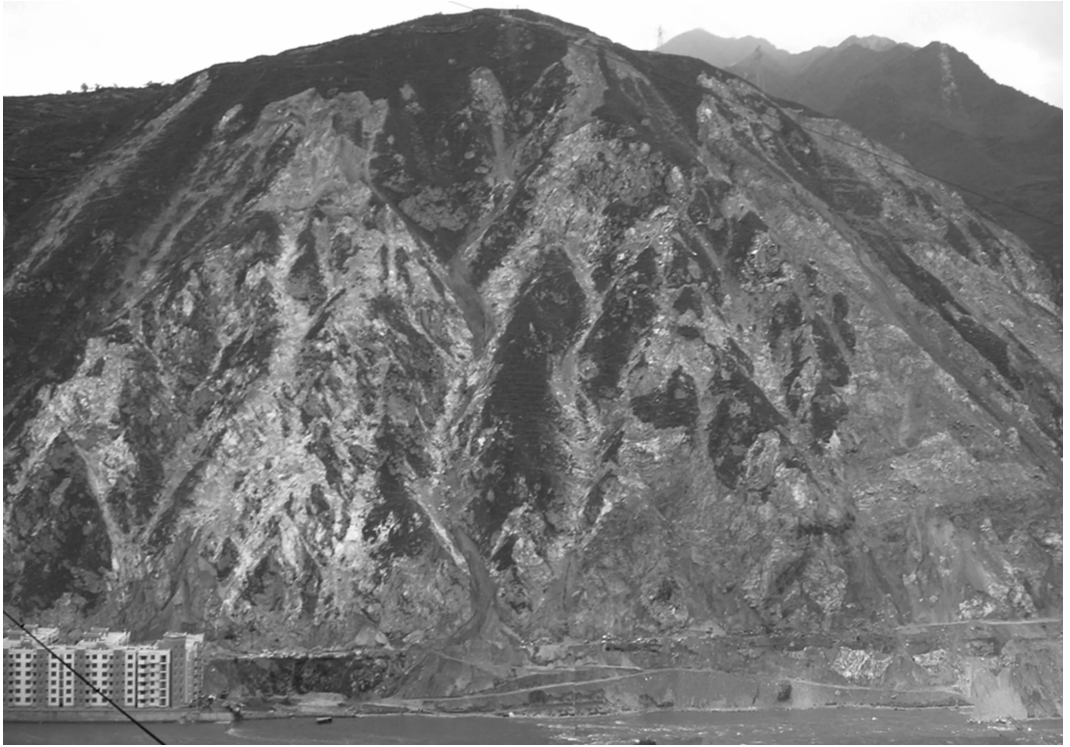


图 13 汶川县城时代广场后山崩塌

Fig.13 Collapse behind Times?Square in Wenchuan County

10 余厘米,随时都有崩落的可能。

据当地居民回忆,“5.12”地震前常有零星崩塌发生,小规模崩塌发生频率 1~2 年。崩塌前方时代广场居民小区的建设也曾考虑此因素,建筑楼房与斜坡平距 20 余米,但两者间未有任何防护措施。“5.12”地震时,发生大规模崩塌(图 13),斜坡上巨大滚石(最大约 3 m×2 m×3 m)依然对建筑楼房造成损害。而后几天频繁发生落石与小范围碎屑物溜滑,笔者在此调查的几天,有 2 次发现此处松散堆积物在风力作用下溜滑到坡脚,表明该处崩塌性危险性极高,这与本文崩塌危险性评价结论一致。

7 结 论

本文通过对汶川地区崩塌和滑坡危险性划分研究,得到以下几点成果与认识:

(1)提出基于 IKONOS 遥感图像与地形地质资料,配合野外调查的地质灾害危险性评价因子提取方法,并实现了汶川地区相关参数的提取与计算,划定了汶川县城周边崩塌与滑坡易发性区域。

(2)根据野外调查,分别查明了崩塌和滑坡危险

性的影响因素,由此提出崩塌和滑坡危险性的计算模式,实现了汶川县城周边崩塌与滑坡危险性划分,并进行了野外验证。

(3)对于小尺度中、大比例尺的地质灾害危险性评价,土地覆盖类型是其中一个重要的评价因子,这有别于大尺度小比例尺的区域性地质灾害危险性评价。

(4)以遥感、地理信息技术为主,野外调查为辅的工作思路,可以解决地质灾害因子数据获取瓶颈,比较快速地获取区域地质灾害研究所需的因子数据。

尽管本文取得了一定的工作成果,但仅仅是对地质灾害危险性进行了空间上的划分,而未从时间角度上进行划分。另外,目前危险性评价仅是防灾减灾的初步工作,进一步还需进行承灾体易损性评价、风险评价与管理等。

参考文献(References):

- [1] 殷坤龙,朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究 [J]. 地学前缘, 2001, 8(2):279-284.
Yin Kunlong, Zhu Liangfeng. Landslide hazard zonation and application of GIS[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(2):279-284 (in Chinese with English abstract).

- [2] 刘海松, 范敏, 倪万魁, 等. 灰色关联度法在公路地质灾害危险性评价中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005, (3):32-34.
Liu Haisong, Fan Min, Ni Wankui, et al. Application of the method of gray correlation in risk evaluation of highway geological hazard [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2005, (3):32-34 (in Chinese with English abstract).
- [3] 张桂荣, 陈丽霞, 殷坤龙. 浙江省永嘉县滑坡灾害危险性区划[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(3):21-27.
Zhang Guirong, Chen Lixia, Yin Kunlong. Landslide hazard zonation of Yongjia County, Zhejiang Province [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2005, 32 (3):21-27 (in Chinese with English abstract).
- [4] 向喜琼. 区域滑坡地质灾害危险性评价与风险管理[D]. 成都理工大学, 2005.
Xiang Xiqiong. Regional Landslide Hazard Assessment and Risk Management [D]. Chengdu University of Technology, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [5] 曾忠平, 汪华斌, 张志, 等. 地理信息系统/遥感技术支持下三峡库区青干河流域滑坡危险性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(1):2777-2784.
Zeng Zhongping, Wang Huabin, Zhang Zhi, et al. Landslide hazard assessment in Qinggan River of the Three Gorges Reservoir based on geographical information systems and remote sensing [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25 (1):2777-2784(in Chinese with English abstract).
- [6] 苏强. 基于 DEM 的黄土滑坡危险性评价研究[D]. 中国地质大学, 2006.
Su Qiang. Research on Loess Landslide Hazard Zonation Based on DEM[D]. China University of Geosciences, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [7] 高启晨, 陈利顶, 李国强, 等. 基于 GIS 的西气东输工程陕西段滑坡危险性评价[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(6):53-57.
Gao Qichen, Chen Liding, Li Guoqiang, et al. GIS-based loess slumping hazard assessment of Shannxi section of west-east Pipeline Project [J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16 (6):53-57 (in Chinese with English abstract).
- [8] 匡乐红, 徐林荣, 刘宝琛. 地质灾害危险性评价指标规范化方法研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2007, 4(1):39-43.
Kuang Lehong, Xu Lingrong, Liu Baochen. Research on the normalization method of risk evaluation indexes of geological hazard [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2007, 4(1):39-43 (in Chinese with English abstract).
- [9] 温守钦, 李仁锋, 任群智, 等. GIS 技术在地质灾害区划中的应用[J]. 中国地质, 2005, 32(3):512-517.
Wen Shouqin, Li Renfeng, Ren Qunzhi, et al. Application of GIS technology in the regionalization of geological hazards [J]. Geology in China, 2005, 32(3):512-517 (in Chinese with English abstract).
- [10] 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).
- [11] 黄润秋, 向喜琼, 巨能攀. 我国区域地质灾害评价的现状和问题[J]. 地质通报, 2004, 23(11):1078-1082.
Huang Runqiu, Xiang Xiqiong, Ju Nengpan. Assessment of China's regional geohazards: present situation and problems [J]. Regional Geology of China, 2004, 23(11):1078-1082 (in Chinese with English abstract).
- [12] Fourniadis I G, Liu J G, Mason P J. Regional assessment of landslide impact in the Three Gorges area, China, using ASTER data; Wushan-Zigui[J]. Landslides, 2007, 4:267-278 (in Chinese with English abstract).

The assessment of geohazard danger in Wenchuan County based on RS and GIS

LIU Han-hu^{1,2}

(1. *State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*; 2. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*)

Abstract: The assessment of geohazard danger constitutes an important basis for the work of disaster prevention and mitigation. In this paper, the author collected the remote sensing images of IKONOS, topographic maps and field survey data, and extracted the evaluation factors of rock fall and landslide based on remote sensing information extraction technology and GIS Spatial Analysis. Then the factor scores were determined by information method and calculated susceptibility of rock fall and landslide. At last, the new danger calculation method of rock fall and landslide was put forward, and the rock fall hazard zonation map and landslide hazard zonation map were drawn. The results show that the new rock fall and landslide risk assessment method can reflect the risk degree of geological disasters in the study area. The method is feasible and the results are reasonable. This achievement has provided a useful idea for large-scale regional geological hazard study.

Key words: Wenchuan; geohazard; rock fall; landslide; remote sensing

About the first author: LIU Han-hu, male, born in 1978, associate professor, engages in the study of remote sensing geology; E-mail: liuhanhu@cdut.cn.