

基于斜坡单元的山区城镇地质灾害风险快速评价研究

——以江口镇为例

易靖松^{1,2}, 张 勇^{1,2}, 石胜伟^{1,2}, 程英健^{1,2}, 石 岩^{1,2}

(1.中国地质科学院探矿工艺研究所,四川成都 611734; 2.中国地质调查局地质灾害防治技术中心,四川成都 611734)

摘要:本文以江口镇为研究实例,以县城高清 DEM 为底图,对研究区所有具有潜在隐患的可能成灾的、同时具有威胁对象的斜坡进行了划分圈定并编号。基于《半定性半定量斜坡风险评估表》,采用工程地质类比法,对圈定的每一个斜坡进行实地逐坡调查,获取斜坡的危险性得分和易损性评分。采用自然间断法将危险性和易损性划分为高、中、低三个等级,然后再以评估出的危险性等级和易损性等级分别为行向量和列向量,建立风险评估矩阵。通过风险矩阵,获得每一个斜坡的风险等级,最后将各斜坡的风险等级在地理信息图上和 VR 全景摄影图上展示,形成风险评价产品。

关键词:山区城镇;地质灾害风险;快速评价;斜坡单元;风险矩阵;VR 全景摄影

中图分类号:P642.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)08-0072-07

Study on the Rapid Evaluation of Geological Hazards in Mountain Towns Based on Slope Unit: Taking Jiangkou Town for Example/YI Jing-song^{1,2}, ZHANG Yong^{1,2}, SHI Sheng-wei^{1,2}, CHENG Ying-jian^{1,2}, SHI Yan^{1,2} (1.Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2.Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: Taking Jiangkou Town as a case study and based on the high definition DEM of county town, all the slopes in the study area with potential danger and threatened object are delineated and numbered. Based on the “semi-qualitative and semi-quantitative slope risk assessment table” and using the engineering geological analogy method, the survey was conducted on each delineated slope to obtain the risk scores and vulnerability scores. The risk and vulnerability are divided into high, medium and low levels with the method of natural discontinuity, and then a risk assessment matrix is established by putting the assessed risk level and the vulnerability level as row vector and column vector respectively. Through the risk matrix, the risk level of each slope is obtained. At last, the risk grade of each slope is shown on the geographic information graph and VR panoramic photography to form a risk assessment of product.

Key words: mountainous town; geological hazard risk; rapid evaluation; slope unit; risk matrix; VR panoramic photography

0 引言

我国的山区面积约占陆域面积的 70%,同时约有 45%的人口聚居在山区,因此,随着国家城镇化发展战略的逐步开展,山区城镇化成为了其中的一个重要组成部分^[1]。然而,随着山区城镇化的不断发展,一个无法避免的问题开始出现在我们面前,那就是山区城镇地质灾害的防治问题。以我国西南山区的城镇为例,由于第四系以来青藏高原不断的隆

升,西南山区的地形多为高山峡谷,地势较为险要,人们自古以来选择居住地时多是依山而建,傍水而居,因此许多城镇都位于地形条件相对狭窄的山区河谷地带,城镇四周山体连绵,沟谷发育,地质条件较为复杂,此外,西南山区降雨量多而且集中,汇水条件良好,地下水也较为丰富。山区城镇受当地自然因素影响,崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害常常容易发生^[2-3]。而在另一方面,随着城镇化建设的飞

收稿日期:2018-07-01

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“大巴山区城镇地质灾害调查”(编号:121201019000150003)

作者简介:易靖松,男,汉族,1991年生,硕士,主要从事地质灾害防治技术研究等方面的工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路 139 号,991591136@qq.com。

速发展以及城市化和城乡一体化建设进程的快速推进,人类工程活动也日渐强烈,原有的地质环境容量已经不能满足城镇建设发展的需要,城镇建设开始向地质环境条件相对较差的地方扩建,例如开挖坡脚来增大建设用地面积;在滑坡堆积体等不良地段建房;采用填河、填海、挖山、伐林等方式人工造地等。这些不合理的城镇化,也逐渐成为山区地质灾害一大诱发因素^[4]。如何提前防治地质灾害的发生就成为了城镇化发展过程中无可避免的问题。

近年来,许多的专家学者在地质灾害风险评估方法的研究上,做出了很多创新,提出了很多方法,其主要趋势是基于 GIS 提出了许多地质灾害易发性区划模型,目前较为常见的区划模型包括:模糊逻辑模型、Logistic 模型、支持向量机模型、人工神经网络模型、信息量模型等。然后基于这些模型,半量化的确定地质灾害敏感性指标,对各敏感性指标进行叠加处理,并进行粗略的易发性、危险性分区,并缺少有效的验证^[5-18]。

基于此,本文以斜坡单元为研究对象,针对研究区圈定编号的斜坡进行逐坡的评价调查,在总结前人研究成果的基础上进行进一步的探索,在山区城镇地质灾害风险评价研究的这一方向提出了一套完成评价思路和方法,以期通过风险评估的结果对城镇化建设起指导性作用,避开地质灾害风险性较高的区域,减小受灾害影响的可能性。

1 研究区地质背景

1.1 地形地貌(见图 1)

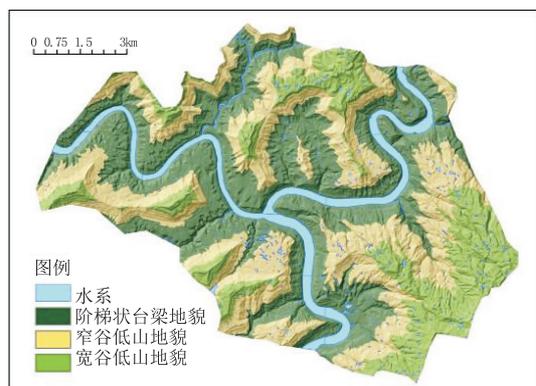


图 1 江口镇地形地貌

江口镇处于格挡式褶皱宽缓的核部位置,受河流切割发育顶平坡陡的“桌状山”地貌。具体可划分为阶梯状宽—峡谷低山区和阶梯状台梁—窄谷低山

区,通江河在研究区东部入境,在南东部边缘汇入巴河,巴河流经全区。区内地势总体上呈中间低南北两侧高,地形坡度一般为 $5^{\circ} \sim 45^{\circ}$,相对高点标高 741.8 m,相对低点位于巴河河床,地面标高 290 m,相对高差达 451.8 m。城区高程主要分布于 320~400 m。

1.2 地层岩性

根据本次调查,由于江口场镇地形起伏较大,且位于两河交汇处,研究区覆盖层主要为第四系崩坡堆积层(Q_4^{c+dl})、坡残积层(Q_4^{dl+el})、冲洪积层(Q_4^{al+pl})、人工堆积层(Q_4^{ml})和滑坡堆积层(Q_4^{del})组成,基岩为白垩系下统苍溪组(K_1c)和侏罗系上统蓬莱镇组(J_3p)组成,如图 2 所示。

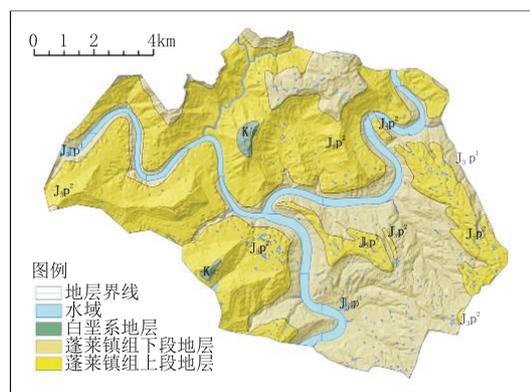


图 2 江口镇地层岩性分布

1.3 地质构造

研究区地处江口向斜南翼,地质构造简单,岩层倾角变化不大,岩层产状一般为 $330^{\circ} \sim 10^{\circ} \angle 3^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。区内主要发育两组节理, J1 节理产状 $120^{\circ} \sim 140^{\circ} \angle 65^{\circ} \sim 80^{\circ}$, J2 节理产状 $240^{\circ} \sim 255^{\circ} \angle 70^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。

1.4 地质灾害发育特征

研究区内共有地质灾害 14 处,由于灾点规模均较小,所以遥感在该区仅解译出 3 处地质灾害。地质灾害类型为滑坡和崩塌,其中滑坡 5 处、崩塌 9 处;规模以小型为主(见表 1),小型 12 处,中型 2 处。共威胁 104 户 367 人,威胁资产 1603 万元。由此可见,研究区地质灾害严重威胁着居民生活财产安全,开展研究区的风险评价对当地政府防灾减灾具有重要意义。

通过对研究区灾害点的调查统计分析,研究区地貌主要以阶梯状台地和桌状山低山地貌为主,地质灾害的分布发育与微地貌发育较为密切,具有

表1 江口镇地质灾害点一览表

野外编号	名称	方量/ 万 m ³	规模	稳定性评价		威胁对象		
				现状	趋势	户数	人数	资产/万元
Z01	江口镇建设街社区 354 号后山崩塌	0.200	小型	稳定性较差	稳定性较差	10	41	400
Z02	江口镇华严居委会大石岩崩塌	1.500	中型	稳定性较差	稳定性较差	7	18	50
Z03	江口镇小桥村腰儿岩崩塌	0.100	小型	稳定性差	稳定性差	11	35	80
Z04	江口镇小桥村大岩腔崩塌	0.005	小型	稳定性差	稳定性差	3	17	30
Z05	江口镇小桥村大岩圈崩塌	2.400	中型	稳定性差	稳定性差	8	40	110
Z06	江口镇唐家碛社区二丝厂腰儿岩危岩	0.200	小型	稳定性较差	稳定性较差	3	16	21
Z07	江口镇新华街西段 277 号后山崩塌	0.150	小型	稳定性差	稳定性差	22	78	600
Z08	江口镇廖家嘴社区老佛爷寺危岩	0.050	小型	稳定性较差	稳定性差	寺庙	1	15
Z09	江口镇人民街社区 159 队职工住宿楼后山崩塌	0.180	小型	稳定性较差	稳定性较差	7	24	60
Z10	江口镇雪花坪村伞家坡滑坡	3.600	小型	稳定性差	稳定性差	6	23	21
Z11	江口镇竹园村伟兰大田滑坡	3.600	小型	稳定性差	稳定性差	6	20	21
Z12	江口镇信义村二郎庙梅山嘴滑坡	0.450	小型	稳定性较差	稳定性较差	3	3	60
Z13	江口镇新北街社区友谊巷一号滑坡	0.135	小型	稳定性较差	稳定性较差	2	6	40
Z14	江口镇文化街东风路 213~217 号后山滑坡	0.240	小型	稳定性较差	稳定性较差	16	35	95

连续分布、集中发育、规模小等特点。在中—缓倾的斜坡体上,斜坡中下部往往以残坡积为主,地质灾害类型以浅表层覆盖层的蠕滑变形居多。而在陡坡位

置则常发育崩塌灾害,或是斜坡下部崩坡积层的差异性滑动。现将研究区地质灾害成灾模式总结如图 3 所示。

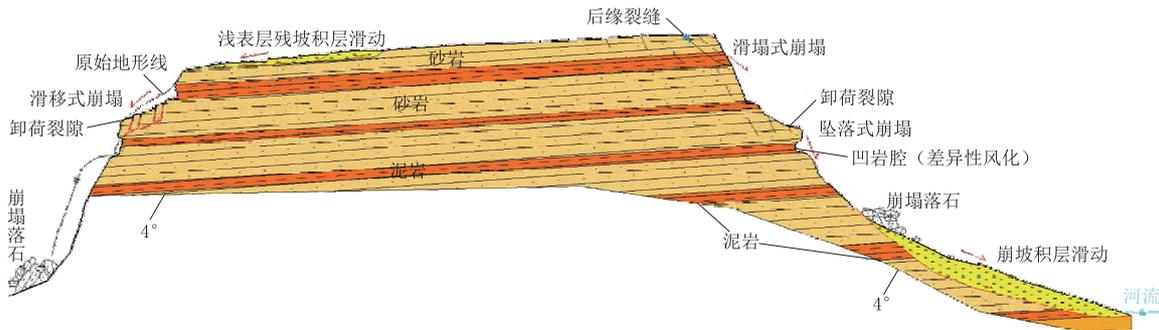


图3 研究区地质灾害成灾模式

2 斜坡风险快速评价

2.1 斜坡圈定划分

地质灾害是地质作用对受灾对象造成严重影响的结果,没有承灾对象,再危险的斜坡不构成灾害,受灾对象通常为人造工程例如建筑、道路、水库、人造林、自然景区等。

因此,斜坡圈定划分考虑的第一个因素是具有威胁对象的斜坡。其次,通过对研究区地质灾害成灾模式的特征分析,借助遥感、无人机等手段,结合野外现场调查及工程地质测绘,锁定区内具有成灾条件的斜坡靶区,然后对具有威胁对象的斜坡进行了逐一圈定划分。通过以上方法,区内共划分了 68 个斜坡单元,并对其按 XP01 - XP68 的顺序进行编号,获得研究区斜坡单元划分图(图 4)。

2.2 斜坡危险性评估

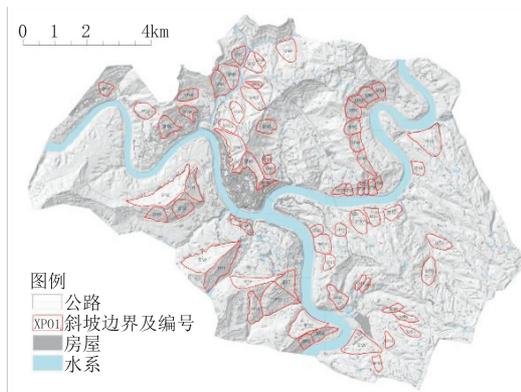


图4 研究区斜坡圈定划分

在完成斜坡圈定及编号后,通过斜坡危险性评估打分表(表 2)对每一斜坡评估其危险性等级;评估斜坡危险性等级的因素一般包括:(1)失稳证据,考虑该斜坡的历史滑坡情况和失稳迹象等;(2)斜坡

表 2 斜坡危险性评估打分表(据《中国地质调查局地质调查标准》附录 A.4-2)

要素	亚要素	权重	内容与分值				
失稳证据	历史数据	1.5	经常发生(10)	有一些发生(6)	有发生(3)	很少发生(1)	无发生(0)
	变形迹象	2.0	迹象明显(10)	迹象较明显(6)	有迹象(3)	迹象不明显(1)	无迹象(0)
斜坡形态	坡形	0.5	凸型(10)	阶梯型(7)	直线型(5)	凹型(2)	
	坡高	0.8	$h \geq 50$ m(10)	$50 > h \geq 30$ m(7)	$30 > h \geq 10$ m(4)	$h < 10$ m(1)	
	坡度	0.4	$\theta \geq 50^\circ$ (10)	$50^\circ > \theta \geq 35^\circ$ (7)	$35^\circ > \theta \geq 20^\circ$ (4)	$\theta < 20^\circ$ (1)	
斜坡结构特征	斜坡结构	1.5	含软弱夹层结构(10) 基覆接触界面(8) 块裂结构(6) 顺向坡—飘倾(8) 逆向坡(3) 斜向坡(1)				
	岩体结构	0.5	块状结构(1) 层状结构(2) 碎裂结构(5) 散体结构(10)				
	土体结构	0.6	层状结构(1) 均质结构(3) 无序状结构(6) 夹软层层状结构(10)				
	岩土类型	1.5	岩质(10) 碎屑(7) 土质(1)				
地质构造	构造背景	0.3	活动性强(10) 活动性较强(6) 活动性中等(3) 活动性弱(1)				
	构造影响程度	0.6	影响程度大(10) 影响程度较大(6) 影响程度中等(3) 影响程度弱(1)				
	活动断裂距离 s	1.0	断裂穿过(10) $s < 200$ m(8) $200 \text{ m} < s < 500$ m(6) $500 \text{ m} < s < 1000$ m(3) $s > 1000$ m(1)				
	地震动峰值加速度	1.5	$\geq 0.30g$ (10)	0.20g(7)	0.15g(5)	0.10g(3)	$\leq 0.05g$ (1)(50年超越概率10%)
水的作用	地表水	1.0	水位变动带(10) 侧蚀强烈(8) 侧蚀一般(5) 无侧蚀(0)				
	地下水	0.6	裂隙孔隙上层滞水(10) 裂隙孔隙潜水(5) 其它水文地质结构类型(3)				
	降雨	2.0	百年一遇(10) 50年一遇(7) 20年一遇(5) 10年一遇(3) 正常降雨(1)				
人类工程活动(现状及历史)	切坡、坡脚开挖等	1.0	$H \geq 100$ m(10) $100 \text{ m} > H \geq 50$ m(7) $50 \text{ m} > H \geq 10$ m(4) $H < 10$ m(1)				
	加载、爆破、采掘活动强度	0.8	极高(10) 高(6) 一般(3) 无(0)				
	水事活动	0.7	坡面农田漫灌(10) 生活用水排放(7) 沟渠渗漏(3)				
其他	天然植被	0.2	无植被(10) 覆盖度差(7) 覆盖度中等(5) 覆盖度好(1)				
	临近灾害体的触发影响	1.0	很可能(10) 可能(7) 不一定(4) 很少(2) 几乎不可能(1)				

形态,如坡形、坡高和坡度等;(3)斜坡结构特征,包括斜坡的内部地质层结构,岩体结构和土体结构等;(4)斜坡所处地区的地质构造,如板块和断裂带分布影响等;(5)水作用,斜坡附近的河流湖泊水库分布情况和斜坡的侧面侵蚀状态,地下水情况;(6)人类工程活动,如斜坡及其附近是否有采掘、爆破、开挖;是否存在梯田灌溉、用水排放和沟渠等;(7)其他方面,如植被覆盖率、邻近灾害体影响如附近是否存在深坑、断崖等不稳定地质灾害出发点等因素。

通过资料收集、无人机航拍、卫星遥感等技术手段,在对城镇的灾害情况、孕灾条件以及变形破坏模式有了深入了解的基础上,对圈定划分的斜坡进行实地的逐坡走访调查,查明影响各斜坡危险性相关因子的情况,填写各斜坡《风险评估半定性半定量打分表》,对斜坡的各个因素考虑后根据实际情况打分,每一类别得分 $A = \sum X_i Y_i$, X_i 表示每一类别下不同因素, Y_i 表示各个因素的权重,将各个要素总分相加得到危险性等级评分。针对处于相同结构及物质组成的斜坡体,如 XP22、XP23 和 XP25,可采用工程地质类比法快速获得斜坡的危险性评分。

根据各斜坡调查所得分数的结果,划分相应的风险等级(L 低风险、M 中风险、H 高风险),采用自然间

断法,将危险性得分在 37.8~52.7 划分为低风险斜坡,危险性得分在 52.7~66.1 划分为中等危险斜坡,危险性得分在 66.1~80.5 划分为高风险斜坡;具体各斜坡得分分布情况及所属等级如图 5 所示。

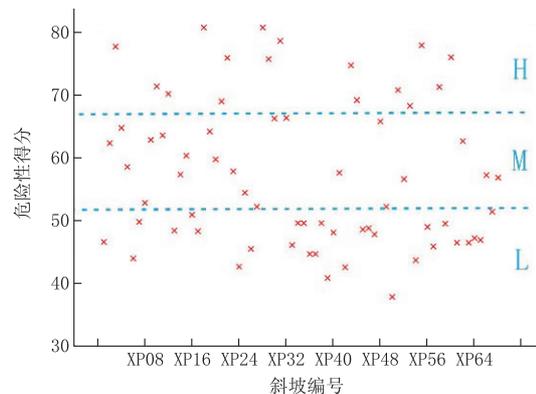


图 5 各斜坡危险性得分及等级

2.3 斜坡易损性评估

易损性是指地质灾害发生时可能对承灾体造成的破坏、损失程度。地质灾害造成的损失主要有直接和间接经济损失、人员伤亡和资源环境破坏等^[18]。

在完成斜坡危险性等级评估后,根据《斜坡易损性评估打分表》对圈定斜坡进行逐坡调查评价,斜坡易损性打分表主要包括了:人口、交通、建筑、管线等

几大要素(见表3)。易损性评分同样由权重和因素两部分组成,每一个斜坡易损性评分 $B = \sum X_i Y_i$, X_i 表示每一类别下不同要素对应的分

值, Y_i 表示各个因素的权重。将各个要素总分相加得到易损性等级评分。

同危险性评价一样,根据各斜坡易损性调查所得

表3 斜坡易损性评估打分表(据《中国地质调查局地质调查标准》附录A.4-2)

要素	亚要素	权重	内容与分值				
人口	居住	2.5	1~10人(1)	11~30人(3)	31~100人(5)	101~1000人(7)	>1000人(10)
	办公生产	1.6	1~10人(1)	11~30人(3)	31~100人(5)	101~1000人(7)	>1000人(10)
交通	行人流量	1.0	<1人/min(1)	2~5人/min(4)	6~10人/min(7)	>10人/min(10)	
	行车流量	1.2	<1辆/min(1)	2~5辆/min(4)	6~10辆/min(7)	>10辆/min(10)	
建筑	高层建筑	2.0	1~2栋(1)	3~5栋(4)	6~10栋(7)	>10栋(10)	
	多层建筑	1.0	1~2栋(1)	3~5栋(4)	6~10栋(7)	>10栋(10)	
	普通民房	0.3	1~10间(1)	11~20间(2)	21~50间(4)	51~100间(7)	>100间(10)
	工厂厂房	0.5	1~10间(1)	11~20间(2)	21~50间(4)	51~100间(7)	>100间(10)
路网管线	高速公路	1.5	0~20m(1)	20~50m(2)	50~100m(4)	100~500m(7)	>500m(10)
	等级公路	0.6	0~20m(1)	20~50m(2)	50~100m(4)	100~500m(7)	>500m(10)
	铁路	1.5	0~20m(1)	20~50m(2)	50~100m(4)	100~500m(7)	>500m(10)
	管线	0.6	0~20m(1)	20~50m(2)	50~100m(4)	100~500m(7)	>500m(10)
	输电线	0.1	0~0.5km(1)	0.5~1.0km(2)	1.0~1.5km(4)	1.5~2.0km(7)	>2.0km(10)
	输电设施	0.2	变电站(10)	电线杆数量≥10根(7)	10根>电线杆数量≥5根(5)	电线杆数量<5根(3)	
其他	农田	0.2	0~250m ² (1)	250~500m ² (2)	500~1000m ² (4)	1000~2000m ² (7)	>2000m ² (10)
		0.2	其他补充因素				

分数的结果,划分相应的易损性等级(L低易损性、M中易损性、H高易损性);采用自然间断法,将易损性得分在10.7~38.3划分为低易损性斜坡,易损性得分在38.3~71.8划分为中等易损性斜坡,危易损性得分在71.8~109.9划分为高易损性斜坡;具体各斜坡易损性评分及所属等级如图6所示。

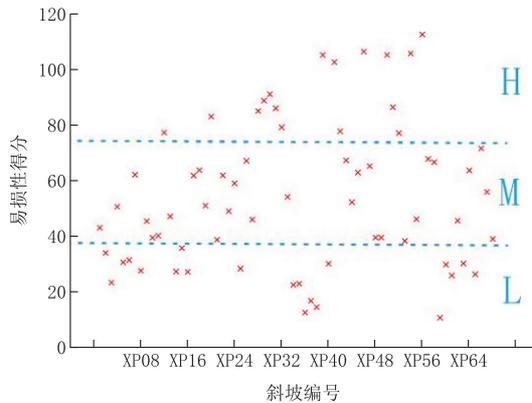


图6 各斜坡易损性得分及等级

2.4 斜坡风险性评价

地质灾害风险是在一定区域和给定时段内,地质灾害对人类生命财产和经济活动产生损失的可能性或期望值。地质灾害风险综合反映了地质灾害的自然属性和社会属性,由致灾体的危险性、承灾体的易损性和孕灾环境的显性组合而成,其概念模型可

以用风险三角形来表达(图7)^[19]。

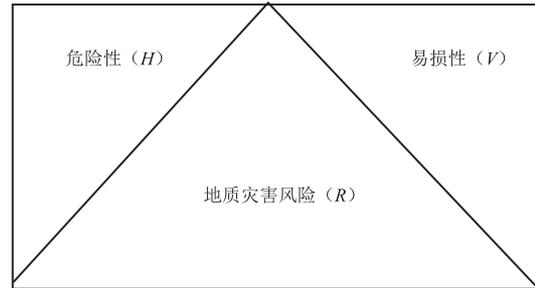


图7 地质灾害风险概念模型

地质灾害风险三角形分别由危险性和易损性的3条边组成,三角形面积则代表地质灾害风险:当三角形的某一边增大或减小时,则风险也相应地增大或减小;当某一边不存在时,则风险为0。因此,风险等级可以用风险矩阵来确定^[20]。

在获取各个斜坡的危险性和易损性等级后,分别以危险性的高中低为行向量,易损性的高中低为列向量,形成如表4所示的风险矩阵,根据风险矩阵

表4 风险矩阵

风险 \ 易损性	危险性		
	低危险(L)	中危险(M)	高危险(H)
低易损(L)	低风险(L)	低风险(L)	中风险(M)
中易损(M)	低风险(L)	中风险(M)	高风险(H)
高易损(H)	中风险(M)	高风险(H)	高风险(H)

最终确定各斜坡的风险性高低(H级:风险高;M级:风险中等;L级:风险低)。

根据已有的危险性等级和易损性等级,通过风

险矩阵,得到研究区内划分圈定斜坡的风险性高低,然后将确定的各斜坡风险等级在地理信息图上标注展示,获得城镇的风险快速评价图(图 8)。

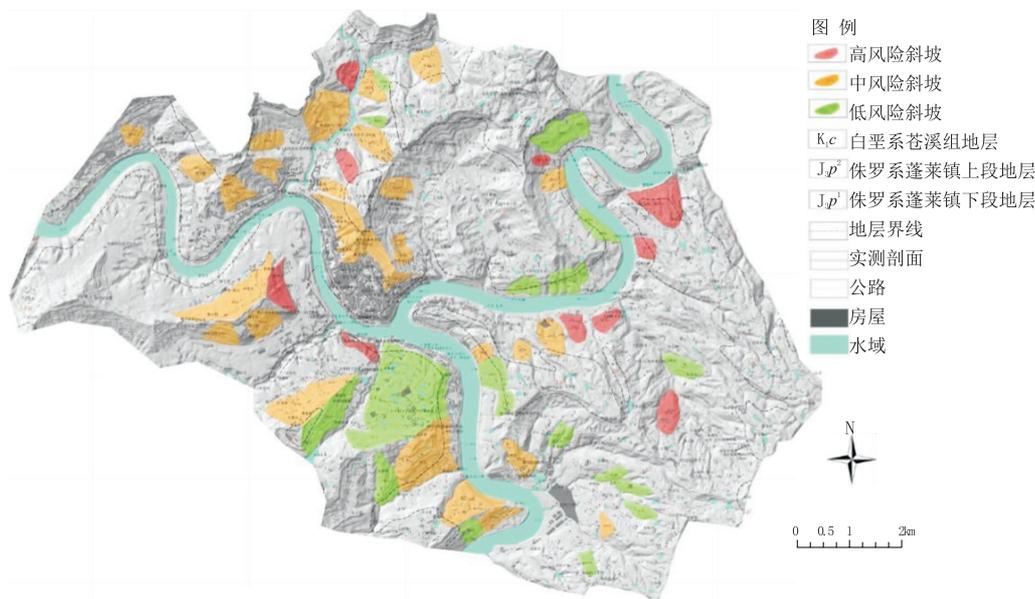


图 8 江口镇风险评价图

可以看出,江口镇城镇周边的几个斜坡均处于中风险状态,高风险斜坡主要分布在沿巴河左岸的缓倾顺层斜坡区域,低风险斜坡多分布在阶梯状台地和山脊坡麓区域。

3 基于 VR 全景摄影的风险快速评价产品

基于 VR 全景摄影的风险快速评价产品是指用 VR 全景摄影技术对城镇斜坡地质灾害风险性评价成果进行三维展示的可视化技术。VR 全景摄影技术是通过实地拍摄,对真实场景进行虚拟再现的一种新兴技术,技术通过对环境、场景或具体静物进行 360°的实地或实物拍摄,再运用图片拼接软件将图片拼接为 360°的全景图,形成具有一定交互功能和三维效果的展示空间。

所谓全景,就是视角超过人的正常视角的图像,水平上下全向均可观看,不会因为图像的扩大、缩小、旋转等操作而出现失真的情况。本文首次尝试将该技术运用在地质灾害风险评价研究领域,空间展示效果强,有震撼的视觉感受,同时让观者能清晰直观地看到各个斜坡单元的形态、威胁对象、威胁范围及风险性高低。

首先,利用无人机对整个研究区山体或孕灾的斜坡进行 360°的实地拍摄,再利用软件将场景或物

体各个角度的二维图片模拟成具有一定交互功能的、具有三维效果的研究区全景图,然后再将获得的斜坡风险高低在全景图上分别用不同颜色进行圈定。用红色虚线圈定高风险斜坡;黄色虚线圈定中风险斜坡;蓝色虚线圈定低风险斜坡;形成最终的风险快速评价产品(图 9)。

4 结论

(1)江口镇地貌以桌状山地貌为主,发育地质灾害类型具有集中发育、规模小等特点。地质灾害类型以浅表层覆盖层的蠕滑变形居多。

(2)江口镇城镇周围斜坡多处于低危险性、高易损性、中风险性状态;高风险区域主要位于巴河右岸一侧的缓倾顺向坡区域的斜坡;低风险斜坡多分布在阶梯状台地和山脊区域。

(3)基于斜坡单元的城镇地质灾害风险评估方法考虑多个风险因素综合评价,以量化权重累加的方式代替了以往利用 GIS 将敏感因子叠加大面积的粗略判断风险高低的方式,对地质灾害发生率以具体分数表示,可以全面、准确地评估城镇范围内山体斜坡的风险性高低和可能的危害。

(4)VR 全景摄影的风险快速评价产品具有空间展示效果强,有震撼的视觉感受等特点,同时让



图9 江口镇风险评价产品

观者能清晰直观地看到各个斜坡单元的形态、威胁对象、威胁范围及风险性高低,在地质灾害风险评价展示领域具有较广阔的应用前景。

(5)通过VR全景摄影的风险评价产品研究区城镇聚集的当地居民能清晰直观地看到自己房前屋后斜坡的风险性高低,对于提高居民的主动防灾意识,在极端条件下,提前做好预防和准备,减少人员伤亡和财产损失具有重要意义。

参考文献:

- [1] 徐继维. 秦巴山地质灾害风险评估理论与方法——以陕西山阳为例[D]. 陕西西安: 长安大学, 2017.
- [2] 陈成名. 西南山区城镇地质灾害易损性评价理论与实践——以汶川县为例[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2010.
- [3] 王磊. 山区城镇地质灾害危险性评价方法研究——以重庆武隆县羊角场镇为例[D]. 北京: 中国地质科学院, 2015.
- [4] 向喜琼, 黄润秋. 基于GIS的人工神经网络模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(3): 26—30.
- [5] 张超, 陈艳, 张宇飞, 等. 基于多元线性回归模型的云南昭通地质灾害易发性评价[J]. 水文地质工程地质, 2016, 43(3): 159—163.
- [6] 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 滑坡风险评估理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [7] 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 地质灾害风险评估技术指南初论[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 995—1005.
- [8] 张茂省, 唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1205—1216.
- [9] Fell R, Corominas J, Bonnard C, et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning[J]. Engineering Geology, 2008, 102(3/4): 85—98.
- [10] Leroi E, Bonnard C, Fell R, et al. Risk assessment and management[M]. Weinheim: wiley-vchverlaggmbh & Co. kgaa, 2005: 693—694.
- [11] Murgese D, Fontan D, Pirulli M, et al. Debris-Flow Risk Assessment and Land Management at Municipal Scale[M]. Landslide Science and Practice. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 391—397.
- [12] Van Westen C J. Geo-Information tools for Landslide Risk Assessment: An overview of recent developments [C]// Landslides, Evaluation & Stabilization. Proceedings 9th International Symposium on Landslides, 2004: 39—56.
- [13] B. Temesgen, M.U. Mohammed. Natural hazard assessment Using GIS and remote sensing Methods, with particular reference to the landslides in the Wondogene Area, Ethiopia [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science, 2015, 26(9): 665—675.
- [14] 朱良峰, 殷坤龙, 张梁, 等. GIS支持下的地质灾害风险分析[J]. 长江科学院院报, 2002, (5): 42—45.
- [15] 殷坤龙, 陈丽霞, 张桂荣. 区域滑坡灾害预测预警与风险评价[J]. 地质前缘, 2007, 14(6): 85—97.
- [16] 高华喜, 殷坤龙. 基于GIS的滑坡灾害风险空间预测[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(1): 31—36.
- [17] 齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 地质灾害风险评价研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 33—40.
- [18] 唐亚明, 程秀娟, 薛强, 等. 基于层次分析法的黄土滑塌风险评价指标权重分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(4): 40—46.
- [19] 李春燕, 孟晖, 张若琳, 等. 中国县域单元地质灾害风险评估[J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(2): 160—166.
- [20] 陈伟. 西南山区城镇建设地质灾害风险管理控制方法研究[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2011.