

杨小凤, 曹云刚, 冯薪朗, 等. 基于无人机高分影像的七盘沟泥石流风险性评价[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 206–212. [Yang Xiaofeng, Cao Yungang, Feng Xinlang, et al. Risk Assessment of Qipangou Debris Flow Based on UAV Image[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 206–212.]

# 基于无人机高分影像的七盘沟泥石流风险性评价<sup>\*</sup>

杨小凤<sup>1,2</sup>, 曹云刚<sup>1,2</sup>, 冯薪朗<sup>1</sup>, 龚 竞<sup>3</sup>, 曹振宇<sup>3</sup>, 李维炼<sup>1,2</sup>

(1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川 成都 611756;

2. 西南交通大学 高速铁路运营安全空间信息技术国家地方联合工程实验室, 四川 成都 610031;

3. 四川省应急测绘与防灾减灾工程技术研究中心, 四川 成都 610041)

**摘 要:**以四川汶川县七盘沟泥石流为研究对象, 综合刘希林模型中危险性和易损性评价因子并总结因子提取方法, 基于无人机高分影像进行灾区评价因子信息提取, 并采用经典的风险性评价模型, 设计了基于无人机高分影像的风险评价流程, 开展了风险性评价与分析试验。研究结果评估出此次泥石流危险度、易损度和风险度分别为0.66、0.73和0.48, 均属于高度危险范围。实验结果表明所提出的方法有效进行了七盘沟泥石流风险评估, 可为泥石流灾害的应急决策、风险评估和预警治理提供重要及时的参考依据。

**关键词:**七盘沟; 泥石流; 风险性评价; 无人机; 高分影像; 评价因子

**中图分类号:** X43; P642      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000–811X(2016)02–0206–07

**doi:** 10.3969/j.issn.1000–811X.2016.02.039

泥石流是指因暴雨、洪水等引发的带有土石的流体, 近年来我国较为频发。2001–2013年, 我国共发生253 683起, 造成5 685人死亡, 913人失踪, 312.98亿元经济损失<sup>[1]</sup>。四川汶川县的七盘沟为全国泥石流的频发地区, 2013年7月10日晚因强降雨引发重大泥石流, 造成3人遇难, 15人失踪, 2 000余人受灾, 破坏房屋700多间, 高达1 800万元的经济损失。因此, 对七盘沟泥石流进行风险评估具有重要的应用价值。

泥石流发生区域地形复杂且淹没面积大, 给灾害监测、调查和评估等工作带来很大困难。目前地质灾害监测的方法主要依据航天遥感和航空遥感两种。其中, 前者主要采用Landsat卫星数据<sup>[2]</sup>、QuickBird数据<sup>[3]</sup>、MODIS数据<sup>[4]</sup>及DEM<sup>[5]</sup>等。该方法因采购周期长、高度高及天气影响等原因, 尤其在紧急任务中往往难以满足要求, 导致评估效率低下。后者主要采用无人机遥感<sup>[6–8]</sup>, 因时效性强、方便快捷、成本低、影像分辨率高、对起降场地要求低等特点而被广泛应用。然而无人机影像主要用于灾害解译和应急监测, 未见将其用于泥石流风险评价中。

本文以汶川七盘沟泥石流为研究对象, 结合危险性、易损性和风险性评价方法, 设计基于无人机高分影像的泥石流灾害评估分析流程, 利用无人机高分影像数据提取风险评价因子, 在此基础上进行七盘沟泥石流灾害风险性评价分析试验。

## 1 研究区域概况及数据来源

### 1.1 研究区域概况

七盘沟位于四川省汶川县威州, 地形起伏较大, 相对高差约为3 041 m, 主沟长约为15.2 km, 有多条支沟(图1)。降雨大约集中在每年的5–9月份, 此次泥石流就发生在7月。平缓区域黄土厚度在几米到几十米不等, 植被覆盖高达90%, 岩体大多以白云岩、花岗岩和元古代闪长岩为主, 受环境侵蚀影响, 转化为颗粒状堆积物, 加上河谷存留的砂砾卵石等, 形成大量的松散物质。受多次地震影响, 七盘沟内岩石堆积物崩塌造成许多滑坡, 进一步加大了沟内松散物质储量。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2015–10–12      修回日期: 2015–11–24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201434); 四川省应急测绘与防灾减灾工程技术研究中心重点开放基金(J2014ZC17); 国家级SRTP项目(201510613014); 四川省应急测绘与防灾减灾工程技术研究中心开放基金资助项目(K2014B016)

作者简介: 杨小凤(1989–), 女, 山东临沂人, 硕士研究生, 研究方向为虚拟地理环境、地理信息系统应用。

E-mail: yxf14j@163.com

通讯作者: 曹云刚(1978–), 男, 四川成都人, 博士, 副教授, 研究方向为资源环境遥感。E-mail: yungang78@163.com

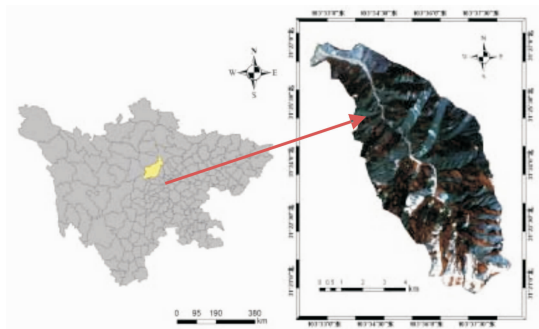


图1 研究区域位置图

## 1.2 数据来源

本文采用的遥感数据如表1所示,利用无人机遥感技术拍摄,获得0.5 m分辨率的高分影像,通过空三加密等处理之后获得DOM。目前,无人机数据从获取到处理最快可达到3 h左右,此次灾害发生后,所获取影像都是当天获取和处理完成,为下一步进行风险评估大大提高了效率。其中,先是使用ENVI5.1的无缝拼接功能(Seamless Mosaic)对获取的多块DOM数据进行图像融合,为了克服颜色差异,在匀色设置中选择了整个影像直方图匹配;然后利用ArcGIS进行投影转换,转换到与灾前遥感影像在统一坐标系统下,进行几何配准以及后期叠加;最后使用ERDAS的AOI工具进行剪切获取研究区域。灾后无人机影像数据处理结果如表2所示。

## 2 评价方法

泥石流发生突然,诱发因子多变,加之不同区域地质、地貌、环境以及居民居住状况不同,

导致各区域泥石流发生的风险程度也有不同。因此,拟引入无人机高分影像来辅助进行泥石流风险评估,通过无人机影像判读和解译,根据沟谷特点、灾害判定及损失破坏情况,并结合目前泥石流危险性和易损性评价前沿方法刘希林模型<sup>[9]</sup>,进而对研究区域泥石流进行风险评价。基于无人机高分影像的泥石流风险评估流程如图2所示。

表1 研究区域遥感数据

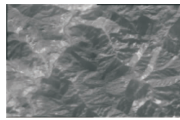
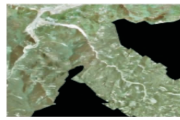
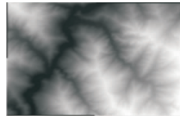
影像	类型	分辨率/m	作用
	灾前遥感影像	5	提取灾前信息
	灾后无人机影像	0.5	提取评价因子
	DEM数据	5	提取高程信息

表2 泥石流危险度评价因子

主要指标	一次泥石流最大冲出量 $L_1$	$10^4 \text{ m}^3$
影响力较大因子	泥石流发生频率 $L_2$	%
	流域面积 $S_1$	$\text{km}^2$
	主沟长度 $S_2$	km
	流域最大相对高差 $S_3$	km
	流域切割密度 $S_6$	$\text{km}/\text{km}^2$
影响力较小因子	主沟床弯曲系数 $S_7$	
	泥砂补给段长度比 $S_9$	
	24 h 最大降雨量 $S_{10}$	mm
	流域人口密度 $S_{14}$	$\text{人}/\text{km}^2$

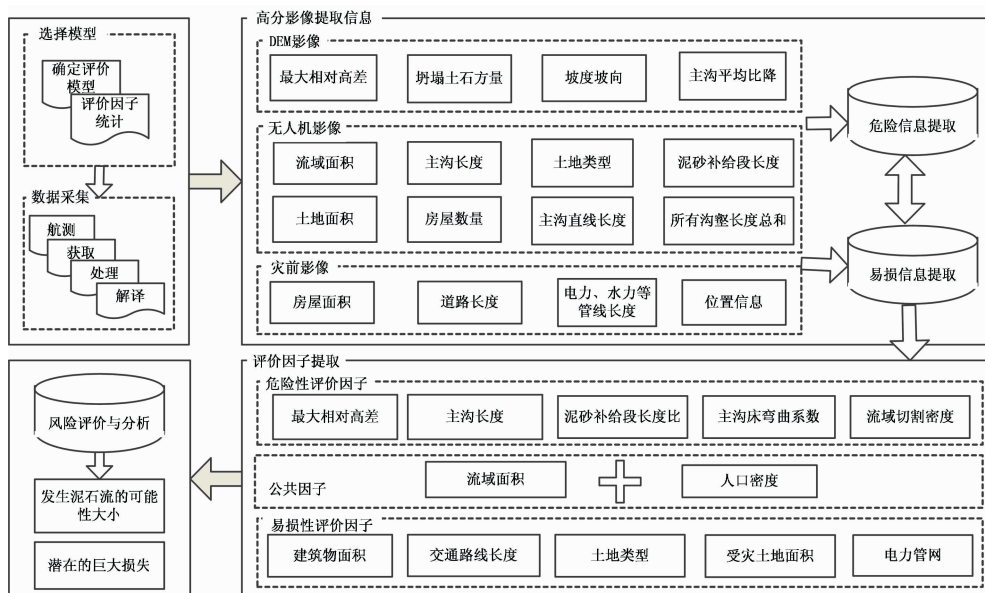


图2 基于无人机高分影像的风险评价流程

在分析过程中,为了提高因子求取精度和评估效率,先是选择评价模型之后确定评价因子;然后将无人机航摄数据用于流域面积、主沟和支沟长度、淹没土地面积及判定土地类型等灾害信息提取与解译,并与灾前影像叠加,获取房屋、道路及管线等易损性评价所需因素;接着与 DEM 数据获取的相对高差等信息用于危险性评价,将所获取的因子量化计算分别得到危险和易损因子实际取值,将危险因子取值按照赋值表格转化后代入评估公式获取危险度值,易损因子直接依据评估公式获取易损度值;最后二者取值求积即得七盘沟风险情况。

### 2.1 危险性评价方法

泥石流危险度评定主要是得出发生泥石流损害的可能性程度<sup>[10]</sup>。危险性评价基本思路如下:首先确定模型的主要指标、影响力较大的因子及因子影响力较小因子如表 2 所示;然后根据研究区的破坏状况、影像解译结果、实地考察和相应的文献记载,通过 ArcGIS 软件分析获取相应的评价因子数据,确定因子的实际取值以及依据因子转换规则每个因子对应的转换值,判断每个因子的危险程度;最后按照危险模型公式(公式 1)得到七盘沟泥石流的危险度。

$$H = 0.2353L_1 + 0.2353L_2 + 0.1176S_1 + 0.0882S_2 + 0.0735S_3 + 0.1029S_6 + 0.0147S_7 + 0.0588S_9 + 0.0441S_{10} + 0.0294S_{14}, \quad (1)$$

式中:  $H$  为泥石流危险度。

### 2.2 易损性评价方法

易损性评价是指沟内所有物质潜在的最大损失,影响因素众多,主要包含物质、经济、环境以及社会四大类<sup>[11]</sup>,如图 3 所示。易损性评价的基本思路如下:首先确定评价因子;然后进行物质易损性评价( $I$ ),本文主要考虑破坏的建筑物面积、道路长度以及电力管网设施等因素;接着进行经济易损性评价( $E$ ),由人均一年收入总额、存款以及固定资产三者进行衡量;接着进行环境易损性评价,主要考虑破坏的土地类型,并根据土地基价估算损失的土地资源价值( $L$ );接着进行社会易损性评价,主要与人口结构有关,需得到当时当地年龄在 65 岁以上与 14 岁及以下人口占总人口的比重  $a$ ,当地文化水平不超过小学的居民总数占当地居民总数比重  $b$ ,以及当地人口密度  $D$ (人  $\cdot \text{km}^{-2}$ )和自然增长率  $r$ (‰)情况;最后按照易损模型公式(公式 2)计算得到七盘沟泥石流的易损度。评价公式如下:

$$\begin{cases} V = [0.5(FV_{1\text{单}} + FV_{1\text{单}})]^{0.5}; \\ FV_{1\text{单}} = 1 / [1 + \exp[-1.25(\log V_{1\text{单}} - 2)]]; \\ FV_{2\text{单}} = 1 - \exp(-0.0035V_{2\text{单}}); \\ V_{1\text{单}} = 1 + E + L; \\ V_{2\text{单}} = (a + b + r)D/3. \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $V$  为泥石流易损度;  $V_{1\text{单}}$  为财产参数(万元);  $FV_{1\text{单}}$  为对应  $V$  转换值(0~1);  $V_{2\text{单}}$  为人口参数(人/ $\text{km}^2$ );  $FV_{2\text{单}}$  为对应  $V_2$  转换值(0~1)。

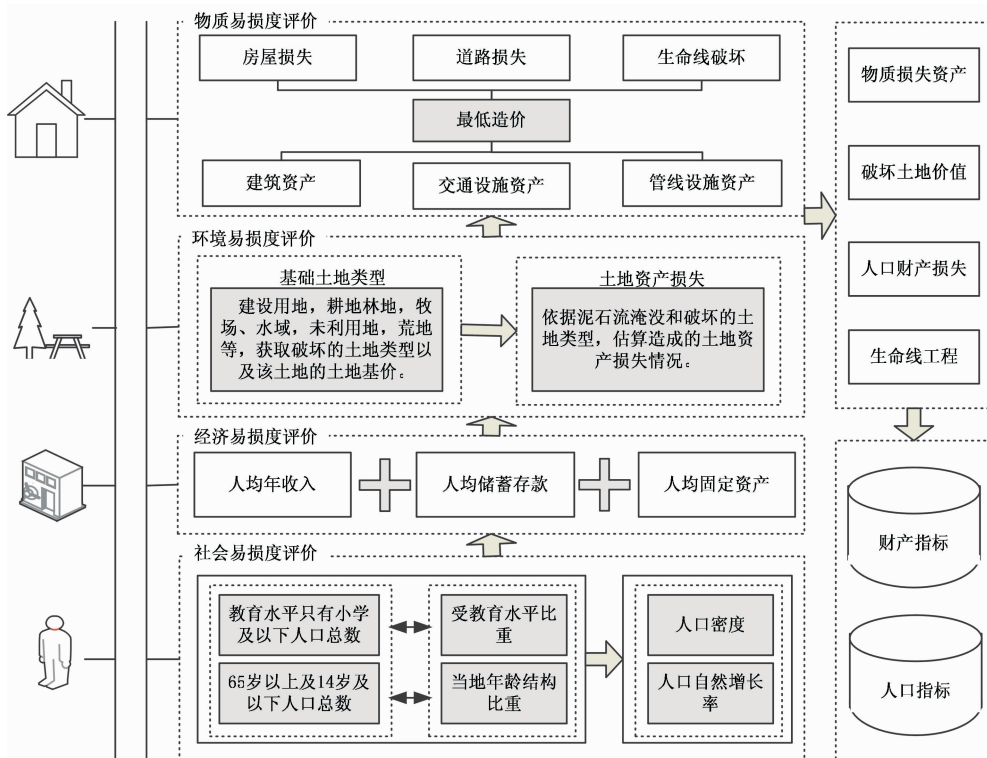


图3 易损性评价因子



### 2.3 风险性评价方法

泥石流风险性评价是指研究地区因为发生泥石流可能造成的自然和社会方面的损失<sup>[12]</sup>。基于危险性评价和易损性评价结果, 就可以使用联合国人道主义提出的风险度评估公式<sup>[13]</sup>来进行风险性评价, 计算方法如公式(3)所示。该泥石流风险评价模型已经泥石流风险评价研究中广泛应<sup>[14-15]</sup>。

$$R = H \times V \quad (3)$$

式中:  $R$  为风险度,  $H$  为危险度,  $V$  为易损度。

## 3 无人机高分影像支持下的因子提取

风险性评价需考虑多方面因素, 基于无人机高分影像提取泥石流风险评价相关参数时, 影像精度越高, 获取参数越精确。而无人机影像具有获取快速、精度高等特点, 因此有助于提高泥石流风险的效率和精度。

### 3.1 危险性因子提取

区域内的面积、相对高差最大值与切割密度, 主沟长度, 主沟床弯曲系数以及泥砂补给段长度比可通过获取的无人机高分影像使用 ArcGIS 进行量算(图4), 对于较小区域可野外实地量算。本文在因子提取过程中, 首先将处理好的无人机影像导入 ArcGIS, 描绘出流域面积、淹没面积、沟壑及沟的整体范围等。流域面积是指除了堆积扇以外的汇水面积, 沟壑包括主沟和旁支沟。通过属性统计功能可以获取所有沟壑的长度和, 流域切割密度是指所有沟长总和与流域面积的比值, 反映了沟谷的地质条件。主沟床弯曲系数是指主沟的长度与沟前后两端连接直线长度的比值, 能够影响流动过程中的难易程度。描绘出的泥砂在沟内的补给长度与主沟长度之比即为泥砂补给段长度比, 与沟谷的水和泥砂资源有关。有些参数是通过遥感影像解译获取, 但有的需要通过 DEM 获取。通过软件查询功能能够获取区域内高程的最高点和最低点从而得到相对高差最大值。一次泥石流最大冲出量是指冲出沟口的最大物质量, 这个指标的获取比较困难, 一般是通过查阅资料获取。或者参照《泥石流危险性评价》通过公式(4)进行估值。

$$L_1 = -2 + 0.26S_1 + 0.41S_6 + 0.0021S_8 \quad (4)$$

式中:  $S_8$  表示松散固体物质储量( $10^4 \text{ m}^3$ )。

此次通过无人机高分影像并不能得到所有因子取值, 比如 24 h 最大降雨量、发生频率等, 这些因子就需要通过实地调研或者查阅资料等方式获取。泥石流发生频率是指该区域泥石流平均 100 年发生次数。也可以通过公式(5)进行估算。

$$L_2 = -80.6596 - 2.8302S_1 + 12.138S_6 + 0.0209S_8 \quad (5)$$

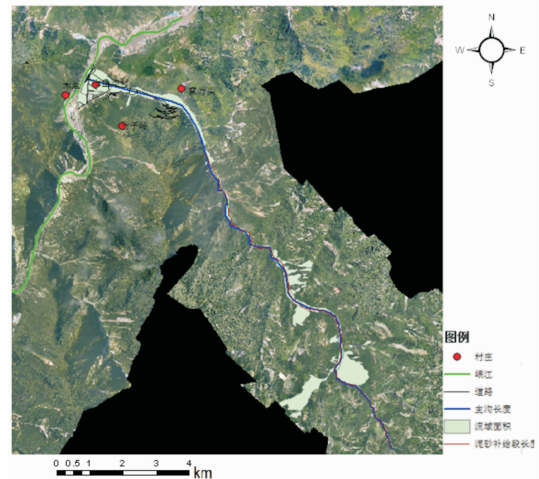


图4 七盘沟危险性信息提取

24 h 最大降雨量可以通过查阅文献、实际测量记录, 或者通过水文手册 24 h 最大降雨量等值线图进行插值获取。

### 3.2 易损性因子提取

在提取过程中, 首先是利用 ArcGIS 软件将对灾前影像进行解译获取流域内的房屋和道路信息, 同时通过房屋数量和平均居住人数可估算人口密度, 人口密度可用于区域的社会和经济损失情况评定。与灾后影像叠加分析获取损坏的土地类型、土地面积、房屋面积、道路以及电力等管线设施长度, 可通过属性查询获取。损坏土地类型是指泥石流发生后破坏的土地种类, 可依据土地基价, 与破坏土地面积一起评定环境损失情况。损坏房屋面积是指灾害发生后房屋被淹没和破坏的面积之和, 可反映建筑物的破坏情况。道路和电力等管线设施破坏情况可用于评估道路交通以及生命管线损失情况(图5)。

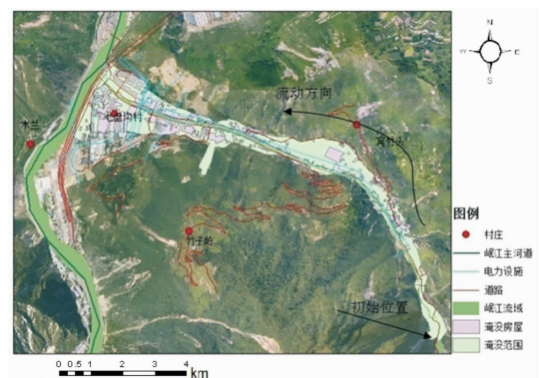


图5 七盘沟易损性信息提取

## 4 实验与分析

### 4.1 评价因子计算

#### (1) 危险性评价

由无人机影像可直接获取七盘沟的实际长度,

表 3 泥石流危险因子实际值转换

流域面积/km <sup>2</sup>	实际取值	≤0.5 或 ≥50	0.5 < , ≤2	2 < , ≤5	5 < , ≤10	10 < , ≤30	30 < , <50
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
主沟长度/km	实际取值	≤0.5	0.5 < , ≤1	1 < , ≤2	2 < , ≤5	5 < , <10	≥10
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
流域切割密度 / (km/km <sup>2</sup> )	实际取值	≤2	2 < , ≤5	5 < , ≤10	10 < , ≤15	15 < , <20	≥20
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
主沟床弯曲 系数/(无量纲)	实际取值	≤1.1	1.1 < , ≤1.2	1.2 < , ≤1.3	1.3 < , ≤1.4	1.4 < , <1.5	≥1.5
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
泥沙补给段 长度比/(无量纲)	实际取值	≤0.1	0.1 < , ≤0.2	0.2 < , ≤0.3	0.3 < , ≤0.4	0.4 < , <0.6	≥0.6
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
泥石流发生 频率/(次/百年)	实际取值	≤5	5 < , ≤10	10 < , ≤20	20 < , ≤50	50 < , <100	≥100
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
24 h 最大降雨量的 等级/mm	实际取值	≤50	50 < , ≤75	75 < , ≤100	100 < , ≤120	125 < , <150	≥150
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
一次泥石流最大冲 出量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	实际取值	≤1	1 < , ≤5	5 < , ≤10	10 < , ≤50	50 < , <100	≥100
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
流域内人口密度/ (人口数/km <sup>2</sup> )	实际取值	≤20	20 < , ≤50	50 < , ≤100	100 < , ≤150	150 < , <200	≥200
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
流域最大 相对高差/km	实际取值	≤0.2	0.2 < , ≤0.5	0.5 < , ≤0.7	0.7 < , ≤1.0	1.0 < , <1.5	≥1.5
	赋值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0

表 4 七盘沟泥石流危险度评价因子实际取值及转换结果

评价因子	一次泥石流最大 冲出量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	泥石流发生 频率/%	流域面 积/km <sup>2</sup>	主沟长 度/km	流域最大 相对高差/km	流域切割密度/ (km/km <sup>2</sup> )	主沟床弯 曲系数	泥沙沿途补给 累积长度比	24 h 最大降 雨量/mm	流域人口密度/ (人口/km <sup>2</sup> )
初始值	150	25	52.5	15.2	3.041	2.12	1.134	0.77	79.9	135
赋值	1	0.6	0	1	1	0.2	0.2	1	0.4	0.6

直线长度为 13.4 km, 沟长总和为 111.21 km, 泥沙沿途补给累积长度 11.7 km, 部分因子取值可通过查阅文献获取<sup>[16]</sup>。按照因子转换规则, 如表 3 所示, 将获取的是实际取值, 如表 4 所示, 进行转换。

根据危险性评价公式计算得到危险度为 0.655 78, 由表 5 可知该泥石流属于高度危险。

表 5 泥石流危险性等级划分标准

分类	低	中	高	极度
危险指数	0≤H≤0.35	0.35<H≤0.60	0.60<H<0.85	0.85≤H≤1

(2) 易损性评价

物质易损性评价主要考虑破坏的建筑物面积 59 869.623m<sup>2</sup>, 按照最低造价 300 元/ m<sup>2</sup> 计算, 共 1 796.089 万元。交通路线长度 7.486 km, 按照造价 10 万/km 计算, 共 74.86 万元。以及一些电力、电缆线等管线设施总长 61 741m, 按照嫡传电力电缆价格行情报价 62.46 元/m, 共 42.104 万元。从而得物质易损度 I 为 1 913.053 万元。

经济易损性评价将人均年总收入、人均存款以及人均固定资产三项合计为人均 48 070 元, 按照受灾 4 183 人计算<sup>[17]</sup>, 经济易损度 E 为 20 107.6810 万元。

环境易损性评价根据破坏的土地类型, 通过

判读得知多为居民地和道路, 淹没区域面积为 742 397.962 m<sup>2</sup>, 并根据土地基价 150/ m<sup>2</sup> 估算, 估算土地资源价值 L 为 11 135.969 万元。

社会易损性评价主要与人口结构有关, 通过查阅资料得到泥石流发生时刻当地年龄在 65 岁以上老年人与 14 及岁以下青少年和儿童人口占总人口的比重, 中记载, 2013 年四川省青少年和儿童(0~14 岁)人口数共有 11 073 人, 65 岁以上共有 8 536 人, 总人口为 66 904 人<sup>[18]</sup>, 则该比重为 0.293。当地文化水平不超过小学的居民总数占当地居民总数比重 0.425, 人口自然增长率 5.86‰。

根据易损性评价公式计算得到易损度为 0.73, 由表 6 可知该泥石流属于高度危险。

表 6 泥石流易损性等级划分标准

分类	极低	低	中	高	极高
易损指数	0≤V≤0.2	0.2<V≤0.4	0.4<V≤0.6	0.6<V≤0.8	0.8<V≤1

4.2 泥石流风险性评价与分析

根据公式(7)计算得到风险度为 0.48。根据表 7 可知该泥石流属于高度风险。

表 7 泥石流风险性等级划分标准

分类	极低	低	中	高	极高
易损指数	0≤R<0.04	0.04≤R<0.16	0.16≤R<0.36	0.36≤R<0.64	0.64≤R≤1

通过分析得到如下结论。

(1)采用高分影像进行灾害评价,能更加清晰地表现出研究区的地形特征和灾害范围,便于评价因子信息提取,确保图像解译精度,使得评价结果能准确地反映出泥石流的风险情况,提升结果可靠性。同时,灾害发生后无人机数据从获取到处理最快可达到3 h左右,大大提高评估效率,便于在最短时间采取针对性防治措施,这将为自然灾害的预测预警、防灾减灾以及治理工作提供重要依据。实验表明目前无人机高分影像能满足泥石流风险评价要求。

(2)由于七盘沟特殊的地形、地质、地貌条件、发生多次地震以及连日来的强降雨等因素影响,导致此次泥石流的危险程度达到0.66。此次泥石流破坏了大约七盘沟村90%区域,破坏房屋500多间,受灾人口多达2 000余人,导致易损程度达到0.73,从而使得风险度为0.48,都属于高度危险范围,表示此次泥石流可以造成大规模灾害以及巨大的潜在损失。

(3)在评价过程中,因子的取值都是固定的,得到的评价结果也只是一个静态的数值。而有些评价指标在不同的时间、区域内是动态变化的,如何根据某一或者多个变化的参数取值,进行实时风险评定,将大大提高评估效率,为防治工作提供重要依据,具有非常重要的应用价值。

## 5 结论

西南地区是我国地质灾害的高发区,近年来,因为地震、滑坡、泥石流等自然灾害的频繁爆发给当地人们带来了严重的经济和人员损失。泥石流进行风险性评价是指研究地区因为发生泥石流可能造成的自然和社会方面的损失。本文以西南地区泥石流频发地带七盘沟为例,对无人机高分影像进行泥石流风险评价进行研究,并采用自然灾害风险性评价模型:风险度=危险度×易损度,通过影像判读获取模型所需因子并量化,完成研究区域的危险性、易损性评价,最后对研究区泥石流进行风险评价与分析。其中,高分影像能够为灾害评价提供更加准确的因子取值,有效地提高了灾害监测和评价结果精度;而无人机技术在快速获取和处理数据方面的优势,有效地提高了评估工作效率。

为了更好地将无人机技术用于泥石流风险性评价,还需要在一些方面进行探索:①研究结果只是一个静态数值,只能说明该泥石流的危险大小、潜在损失和风险程度,如果可以根据不同区域的危害程度,得到该区域的风险区划,并利用无人机高分影像结合软件和编程,进行不同风险

程度下的房屋、道路、管线以及农田等信息提取与统计,可为今后的防灾减灾提供重要依据;②基于无人机未来的发展趋势,将会很好地解决它的载荷能力、数据处理、稳定性以及飞控技术,将被广泛地应用到灾害监测等诸多领域。

## 参考文献:

- [1] 牛岑岑. 泥石流危险度评价指标的提取与等级划分[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [2] 王治华, 徐起德, 徐斌. CBERS-02B星数据地质灾害调查典型应用[J]. 国土资源遥感, 2009, 21(1): 86-92.
- [3] 张海涛, 程新文, 陈性义, 等. 基于ICA/MNF变换的高分影像滑坡灾害检测方法研究[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 193-197.
- [4] 孔凡明, 蒋卫国, 李京, 等. 基于MODIS的2011年泰国洪涝受灾信息提取与分析[J]. 灾害学, 2013, 28(2): 95-99.
- [5] Adnan Ozdemir, Mehmet Delikanli. A geotechnical investigation of the retrogressive Yaka Landslide and the debris flow threatening the town of Yaka (Isparta, SW Turkey)[J]. Natural Hazards, 2009, 49(1): 113-136.
- [6] 赵星涛, 胡奎, 卢晓攀, 等. 无人机低空航摄的矿山地质灾害精细探测方法[J]. 测绘科学, 2014, 39(6): 49-52.
- [7] 肖波, 朱兰艳, 黎剑, 等. 无人机低空摄影测量系统在地质灾害应急中的应用研究——以云南洱源特大山洪泥石流为例[J]. 价值工程, 2013(4): 281-282.
- [8] 梁京涛, 成余粮, 王军, 等. 基于无人机遥感技术的汶川震区典型高位泥石流动态监测——以绵竹市文家沟泥石流为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(3): 54-61.
- [9] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险评价[M]. 成都: 四川科技出版社, 2002: 18-26.
- [10] 宁娜, 马金珠, 张鹏, 等. 基于GIS和信息量法的甘肃南部白龙江流域泥石流灾害危险性评价[J]. 资源科学, 2013, 35(4): 892-899.
- [11] 王春山, 巴仁基, 罗骑龙, 等. 四川省石棉县安顺场飞水岩沟泥石流综合评判及风险性分析[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 69-73.
- [12] 铁永波, 唐川. 汶川县城泥石流灾害风险评价研究[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 43-47, 53.
- [13] United Nations, Department of Humanitarian Affairs. Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options[M] // A Manual for Policy Maker and Planners. New York: United Nations, 1991: 1-164.
- [14] 刘光旭, 戴尔阜, 吴绍洪, 等. 泥石流灾害风险评估理论与方法研究[J]. 地理科学进展, 2012, 31(3): 383-391.
- [15] 王春山, 巴仁基, 周洪福, 等. 草科-田湾泥石流风险性评价[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 210-216.
- [16] 杨秀元, 蔡玲玲, 田运涛. 四川汶川七盘沟泥石流现状与危险性评价[J]. 人民长江, 2014, 45(1): 60-63.
- [17] 四川省统计局. 四川统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [18] 汶川网. 2013年汶川县国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2014-5-14) [2015-10-11]. [http://www.wenchuan.gov.cn/p/st\\_news\\_items\\_i\\_f5eb50760ff7433bbb0d6e1ba4d073e](http://www.wenchuan.gov.cn/p/st_news_items_i_f5eb50760ff7433bbb0d6e1ba4d073e).

## Risk Assessment of Qipangou Debris Flow Based on UAV Image

Yang Xiaofeng<sup>1,2</sup>, Cao Yungang<sup>1,2</sup>, Feng Xinlang<sup>3</sup>, Gong Jing<sup>3</sup>, Cao Zhenyu<sup>3</sup> and Li Weilian<sup>1,2</sup>

(1. *Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China;*

2. *National-Local Joint Engineering Laboratory of Spatial Information Technology for High-speed Railway Operation Safety, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;* 3. *Sichuan Engineering Research Center for*

*Emergency Mapping & Disaster Reduction, Chengdu 610041, China)*

**Abstract:** Due to its sudden happening, complex internal substances, fast flow rate and other characteristics, debris flow causes great loss in the area along the line. Thus, it is very significant to do research on risk assessment of debris flow and provide reference for the disaster warning and control. This paper firstly chooses Qipangou debris flow as the research object. Then assessment factors in Liu Xilin model were selected to synthesize and summarize factor extraction method. High resolution UAV (unmanned aerial vehicle) images were used to extract assessment factors in disaster area. Meantime, a classical risk assessment model was used to design a risk assessment flow based on UAV images. Finally, risk assessment and analysis experiments were carried out. Debris flow hazard, vulnerability and risk degree were 0.66, 0.73 and 0.48 respectively, which were highly dangerous. The experimental results show that the proposed method in this paper can be effectively for risk assessment of Qipangou debris flow which can provide important and timely reference for emergency decision and early warning management of debris flow disasters.

**Key words:** Qipangou debris flow; risk assessment; UAV high sensing; assessment factor

(上接第 199 页)

## Assessment of Geological Disaster Hazard and Potential Impact in Dujiangyan City

Deng Yue<sup>1,2</sup>, Zhou Tingang<sup>3</sup> and Jiang Weiguo<sup>1,2</sup>

(1. *Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;* 2. *Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;* 3. *School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)*

**Abstract:** The occurrence of geological disaster is uncertain. However, the consequences will cause numerous casualties and property losses. So understanding the space distribution of geological disasters hazard and its potential influences has a guiding significance for the local government to prevent disasters and reduce the losses. Research takes Dujiangyan City as study area, and then used analytical hierarchy process and information value model to evaluate the geological disasters hazard index with the five evaluation factors of slope, hardness of rock, distance away from tectonic lines, vegetation fraction and average annual rainfall. According to the index, Dujiangyan City was divided into high-risk district, moderate-risk district, low-risk district, no-risk district. Finally, the related disaster impacts can be analyzed from perspectives of land use and population separately. Three conclusions can be concluded from the research. First, the high-risk and moderate-risk districts are distributed in central and south-western city, the transition zone from Chengdu Plain to Longmen Mountain. Second, high-risk, moderate-risk and low-risk area of 172.28 km<sup>2</sup>, 241.44 km<sup>2</sup> and 104.40 km<sup>2</sup>, accounts for 15.68%, 21.97% and 9.50% of the total area respectively. Third, in Dujiangyan City, the woodland was the worst area damaged, of which 325.32 km<sup>2</sup> are distributed in moderate-risk and high-risk district, and totally 234277 people were affected in risk districts.

**Key words:** geological disaster; hazard assessment; potential impact assessment; analytical hierarchy process; information value model; Dujiangyan City