

丁明涛, 李昱陆, 庞金彪, 等. 泥石流胁迫下建筑物易损性评价——以汶川县七盘沟为例[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 144 - 149. [DING Mingtao, LI Yulu, PANG Jinbiao. Vulnerability assessment of building exposed to debris flow ——a case study on Qipan gully, Wenchuan County[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 144 - 149. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.026.]

# 泥石流胁迫下建筑物易损性评价

## ——以汶川县七盘沟为例

丁明涛<sup>1,2</sup>, 李昱陆<sup>1</sup>, 庞金彪<sup>3</sup>, 王英杰<sup>1</sup>

(1. 西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川 成都 611756; 3. 四川中地云智慧科技有限公司, 四川 成都 610017)

**摘 要:** 泥石流暴发后常常会淤埋、冲毁沟内建筑物, 造成严重的人员伤亡和财产损失。开展泥石流影响区建筑物易损性评估是防灾减灾的核心工作之一。该文以汶川县七盘沟为例, 在实地调研基础上, 从建筑物自身特性、建筑物与泥石流沟的空间位置关系、环境因子等三类评价要素中选取了建筑物的功能类型、结构、面积、材料、楼高、建筑物与沟道的距离、建筑物主轴向与泥石流流向的夹角、泥石流流向、流深、流速和防护工程共 11 个易损性评价指标, 综合运用 GIS 和元胞模型模拟得出七盘沟流域内建筑物易损性分布情况。根据评价结果得到以下四点结论: ①沟内易损性最高的建筑物类型为公共服务等特殊功能性建筑物; ②同类型的建筑物离沟道越远, 其易损性越低; ③沟内建筑物易损性分布呈现出左岸高于右岸的特点; ④建筑物易损性对泥石流特征评价因子的敏感度低于建筑自身特性评价因子。研究结论和七盘沟实地考察得到的结果吻合程度较高, 有一定的合理性和可信度, 根据以上研究结果对七盘沟村建筑发展规划提出了对应的灾害防治建议, 以尽可能减少潜在的灾害危险, 最大限度地保护当地居民的生命与财产安全。

**关键词:** 泥石流; 建筑物; 易损性评价; 元胞模型

**中图分类号:** P642; X43; XP15.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2020)01-0144-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.026

泥石流泛滥区建筑物的易损性评价是灾害风险评价研究中的一个重点与难点。国内外有关灾害易损性的研究理论和方法相对较少<sup>[1]</sup>, 学者们对易损性评价做过一些相关研究, 如红绿蓝警示法、易损性计算法、易损性分级和泥石流数值模拟<sup>[2-4]</sup>等, 学者们对建筑物易损性评价的方法也有一定的研究。Ilan Kelman<sup>[5]</sup>总结指出洪水环境下的建筑物易损性评价因子主要为洪水的流深、流量和流速; Andreas J. Kappos<sup>[6]</sup>联合使用统计方法与非线性动力模型评价了钢筋混凝土和砖石结构的建筑物易损性; S N Jonkman<sup>[7]</sup>综合土地利用数据、经济数据和 GIS 模型来评价荷兰建筑物易损性; Sven Fuchs<sup>[8]</sup>总结了易损性研究现状, 指出易损性研究越来越多的成为多学科合作、多方法结合的一项交叉研究; M S Kappes<sup>[9]</sup>利用改进的 PTVA 方法, 选取不同维度的指标定量评价法国南部的建筑易损性; M Holub<sup>[10]</sup>总结了山地灾害环境下建筑物易损性评价的需求和解决方案; A Godfrey<sup>[11]</sup>综合使用专家决策、易损性统计曲线和指标判定法

计算得出不同灾害环境下的建筑易损性曲线; 罗元华、陈崇希<sup>[12]</sup>等将评价因子分为人口、土地、基础工程、建筑、个人社会财产等 5 个大类 17 个小类, 得出半定量的易损性评价; 刘希林、唐川<sup>[13-19]</sup>运用多因子的泥石流危险度判定法来计算易损性; 丁明涛等<sup>[20-23]</sup>使用 3S 技术、信息量模型、特征分析等方法进行易损性评价; 曾超等<sup>[24-25]</sup>基于力学实验, 得出泥石流对建筑的破坏的力学特征, 以此为依据评价建筑的易损性。

但是, 现有的建筑易损性评价方法仍存在一定的局限性。例如在选择评价单元时, 现有的方法多是基于流域或者某一行政单元, 对于单个建筑来讲评价尺度过大, 在评价结果中常常会使得建筑的易损性呈片状分布, 评价精度不够高, 不能很好地体现评价要素之间的差异。针对以上不足, 本文提出了一种以格网化为基础综合运用元胞模型和 GIS 空间分析的建筑物易损性评价方法, 并以汶川县七盘沟为研究案例, 对其易损性分布做出科学评价和区划。

\* 收稿日期: 2019-06-26      修回日期: 2019-08-28

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41871174); 国家重点研发计划项目课题(2018YFC1505402); 中央高校基本科研业务费专项项目(2682019CX19)

第一作者简介: 丁明涛(1981-), 男, 山东日照人, 博士, 教授, 博士生导师, 长期从事地质灾害风险防控与聚落减灾研究。

E-mail: mingtaoding@163.com

## 1 研究区概况

七盘沟位于四川省阿坝州汶川县威州镇七盘沟村, 流域总面积约 50 km<sup>2</sup> (图 1)。沟口紧靠岷江左岸, 流域内为高山峡谷地貌, 地势呈东南向西北递减趋势<sup>[26]</sup>。

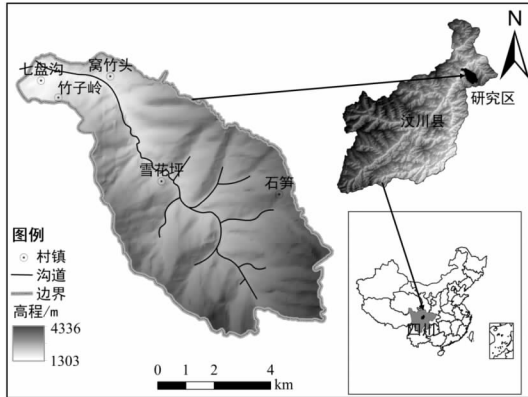


图 1 七盘沟地理位置图

研究区降水较为丰富, 属于湿润半湿润气候, 全年降水主要集中在 5-9 月之间, 日照时间和无霜期较长。村内经济主要以农林经济、工业加工为主, 村内人口 50% 以上为农业人口。区内地质构造复杂, 构造活动频繁, 地层出露从新到老有第四系、泥盆系、震旦系和燕山期、印支期与华里西期火成岩。研究区位于龙门山中南段华夏系构造带内, 还属于甘孜-松潘地槽与扬子地台间褶皱带, 区内构造形迹主要呈北东-南西方向展布, 沟内主要断层为茂汶断层<sup>[27]</sup>。在这些条件的共同作用下, 研究区内泥石流活动频繁 (表 1), 每次都会带来巨大的财产损失。

## 2 研究方法

本文的研究方法可分为三个步骤: 首先, 结

合文献综述和七盘沟实地调研, 选取一系列建筑物易损性指标, 综合运用 ENVI、ArcGIS 进行指标的图像解译分析; 其次, 利用元胞模型模拟不同状态下的七盘沟建筑物破坏程度; 最后, 利用 ArcGIS 的空间分析得出七盘沟流域内建筑物易损性分布情况。

### 2.1 元胞模型理论

元胞自动机是一种较新的计算机建模方法<sup>[28]</sup>, 其数学定义为:

$$A = (G, S, I, f). \quad (1)$$

式中:  $A$  为一个元胞自动机系统,  $G$  元胞,  $S$  为元胞的有限离散状态集合,  $I$  为元胞域内的元胞,  $f$  为状态转化规则, 还可以表示为:

$$S_{i,t+1} = f(S_{i,t}, I_{ij}^h) \quad (2)$$

式中:  $S_{i,t+1}$  是给定元胞  $i$  在  $t+1$  时刻的状态,  $f(\ )$  为状态转换规则,  $S_{i,t}$  为元胞  $i$  在  $t$  时刻的状态,  $I_{ij}^h$  为邻近元胞  $j$  在  $t$  时刻对元胞  $i$  的信息输入, 其中  $h$  为元胞  $i$  的邻居规模。在这之后, 许多学者都尝试运用该模型解决实际问题, 侯西勇等<sup>[29]</sup>将元胞模型与马尔可夫链结合起来研究河西走廊的土地利用变化情况, 陈建平等<sup>[30]</sup>利用该模型预测荒漠化趋势, 都取得了不错的效果。在 Netlogo 中可构建模型并进行模型模拟, 主要以语句控制模型, 模型主要语句如下:

```
turtles-own[ ] ;; 定义自身属性, 本例中为泥石流各参数
to setup
    语句块 ;; 环境初始化
end
to go
    语句块…… ;; 可执行的语句
end
to 具体的行为命令
    ask turtles [ ]…… ;; 可执行语句的具体实现以及实现约束等条件
end
```

表 1 七盘沟泥石流事件历史记录

时间	持续时间/min	方量/万 m <sup>3</sup>	性质	3d 降水量/mm	危害程度
1933	不详	不详	粘性	不详	冲毁雪花坪等村寨
1961	60	13.5		99.5	冲毁成阿公路 150 m, 损失超过 200 万元
1964	50	9.1	稀性	48.3	成阿公路中断 8 d, 损失超过 100 万元
1970	60	5.8		56.5	冲毁林区公路 4 km, 淤埋耕地 4 hm <sup>2</sup>
1971	45	8.4	稀性	79.4	冲毁林区公路 5 km, 淤埋耕地 5.3 hm <sup>2</sup>
1975	40	9.8		不详	冲毁公路, 淤埋耕地 8 hm <sup>2</sup> , 损失超过 16 万元
1977	30	5.8	粘性	不详	淤埋耕地 2.67 hm <sup>2</sup> , 损失 27 万元
1978	50	13.5		79.5	冲毁老的排水沟, 损失 49 万元
1979	30	3.8	稀性	48	不详
1980	20	5.4		不详	
1981	25	6.7	稀性	不详	不详
1983	15	2.3		不详	
2013	90	78.2	粘性	102.6	直接经济损失超过 4.15 亿元

表2 建筑物易损性评价指标

类别	指标	数据来源	值形式
建筑物自身特性	功能类型	实地调查	商业、公共服务、住宅
	结构	实地调查	框架-砖、框架、钢
	面积/m <sup>2</sup>	影像解译、实地调查	
	材料	实地调查	砖、木、混凝土、钢
	楼高	实地调查	低、中、高、极高
建筑与泥石流沟的空间位置关系	建筑物与沟道距离/m	遥感影像解译+实地调查	
	主轴向与流向夹角/(°)	实地调查	
	流向	实地调查	
	流深/m	泥石流勘查报告	
	流速/(m/s)	泥石流勘查报告	
环境因子	防护工程	实地调查	

## 2.2 建筑物易损性指标选取

A Godfrey<sup>[11]</sup>认为评价指标由两方面决定：灾害事件的自身演化机制和受影响的事物的自身特性。本文将其实分为三类：①建筑物的自身特性，包括建筑物的整体形状、门窗的多少、建筑物材料和建筑物的高度等；M Holub<sup>[10]</sup>就曾指出木结构的建筑物对泥石流的抵抗力弱于对洪水的抵抗力，混凝土结构则对两者都有较高的抵抗力，还指出建筑物底部的框架设计可以提供额外的空间以缓解灾害的冲击力。②建筑与泥石流的空间位置关系，主要指泥石流与建筑之间的相互关系如建筑物到泥石流沟的距离、建筑轴向与泥石流沟的夹角等。③环境因子，A Godfrey<sup>[11]</sup>指出建筑物自身与周围环境的关系会影响到建筑物灾害抵抗能力，例如周围的植被覆盖情况、土地利用类型、有无防护工程等。在国内外文献综述和实地调研的基础上，本文最终选取了三类 11 个建筑物易损性评价指标(表2)。

## 2.3 易损性评价

在 ArcGIS 中，将所有的评价因子栅格投影到格网上，以格网为评价单元，运用特征分析确定不同因子在格网中的重要程度，以刘希林等人提出的定量判定方法<sup>[14-17]</sup>为基础，确定出单个格网的易损性，最后使用反距离权重插值，得到整个区域的建筑物易损性分布图。

# 3 案例运用

## 3.1 易损性指标的遥感解译和实地验证

在室内进行图像解译等预处理后，又进行了实地调研，主要从建筑物功能、结构和位置三个

方面进行调查。本次调查样本包含七盘沟流域内所有建筑物类型(表3)，并对其易损性指标进行实地调查与遥感解译，得出所需研究数据并导入到数据库中。

表3 七盘沟建筑物功能分布情况

建筑物类型	总量	样本数量	百分比/%
民宅	220	146	66.36
社区政务中心	4	4	100.00
临时居住	56	37	66.07
废弃建筑物	49	14	28.57
驾校	4	4	100.00
派出所	1	1	100.00
厂房	39	20	51.28
幼儿园	1	1	100.00
电厂	2	2	100.00
医院	2	2	100.00
总计	378	231	60.94

## 3.2 建筑物区域格网化

根据七盘沟流域的遥感影像和 DEM 数据提取出泥石流的活动区域，再结合实地调查得到的建筑物尺寸合理确定评价单元大小。为了保证单个建筑物的完整性和建筑物之间的差异性，本文将评价单元确定为 15 m × 10 m 格网。七盘沟流域内建筑物区格网化后共有超过 2 万个矩形格网(图2)。

## 3.2 建筑物损坏程度模拟

根据评价指标和模型要求，对研究数据进一步处理，得到各个格网在元胞模拟中所需要的三类参数。同时，根据七盘沟泥石流勘查报告综合计算得到以下参数(表4，表5，表6)。

表4 不同频率下的泥石流流量

频率	小时雨强/(mm/h)				暴雨洪峰流量/(m <sup>3</sup> /s)			
	p=1%	p=2%	p=5%	p=10%	p=1%	p=2%	p=5%	p=10%
流量	49.1	44.4	38.1	33.2	246.58	212.71	167.72	133.49

表 5 泥石流重度

计算方法	现场配浆法	查表法	颗粒计算法
重度/( $\text{t}/\text{m}^3$ )	1.759	1.868	1.853

表 6 泥石流平均流速

取样点	排导槽 1	排导槽 2	排导槽 3	排导槽 4
流速/( $\text{m}/\text{s}$ )	3.74	3.78	3.81	3.68

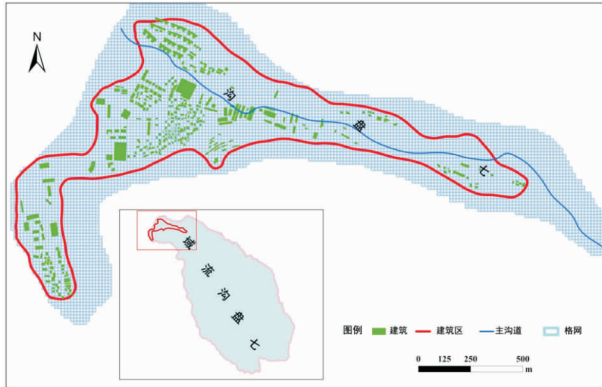


图 2 七盘沟流域建筑物区的格网化

将以上参数输入模型进行模拟运算, 得出在 50 s、100 s、200 s 和 500 s 的冲击时间下的破坏程度(图 3), 从图 3 中可以看出泥石流冲击对建筑物物造成的损坏有以下特点: ①建筑物的四个角是最容易受到泥石流的冲击损坏, 特别是迎向泥石流运动方向, 根据此次模拟实验得出超过 80% 的建筑物物损坏是迎向泥石流运动方向的; ②结构完整, 外形较规则的建筑物物遭受的损坏较少; ③已损坏的建筑物物会不同程度的影响与其邻近建筑物, 严重的时候甚至损坏临近建筑物。

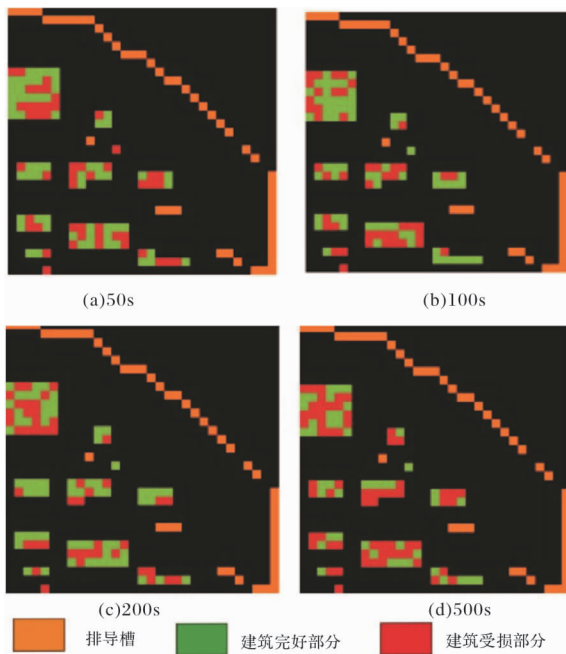


图 3 不同冲击时间下的建筑物物损坏程度模拟

### 3.3 评价结果

将评价因子无量纲后再划分为四个等级(表 7), 选取样本点, 得到易损性与评价因子之间的可视化关系(图 4)。从图 4 中可以看出, 七盘沟建筑物易损性对属于泥石流特征类和环境类评价因子的响应差别不是很大, 这类因子对不同的建筑物易损性影响基本相同; 建筑物易损性对属于建筑自身特性类评价因子的敏感度较高, 不同建筑物之间, 受影响程度变化较大。

表 7 易损性评价因子等级划分

等级	1	2	3	4
功能	公共服务	民宅	商业	废弃建筑
面积/ $\text{m}^2$	<60	<100	<150	>150
结构	钢棚	框架-钢	框架	砖结构
材料	钢棚	混泥土	砖	木
楼高/ $\text{m}$	极高	高	中	低
距离/ $\text{m}$	>500	>300	>150	<150
夹角/ $^\circ$	<15	<30	<45	<90
流速/( $\text{m}/\text{s}$ )	<1.5	<2.5	<3.5	>3.5
流深/ $\text{m}$	1	2	3	4
防护工程(质量)	高	中	低	无

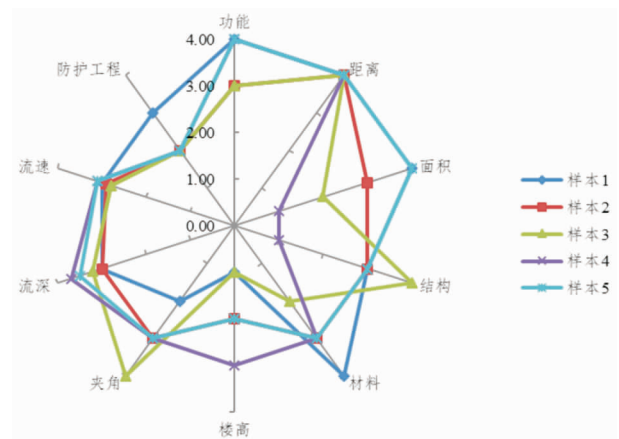


图 4 建筑物易损性与评价因子关系图

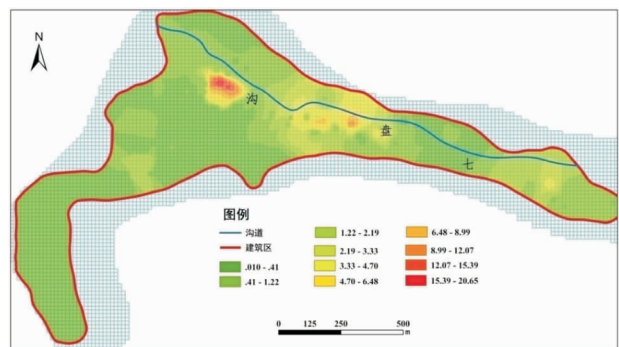


图 5 七盘沟建筑物物易损性评价结果图

由前文所述方法可以得到七盘沟建筑物易损性分布图(图 5)。综合分析图 5, 我们可以得出

建筑物易损性分布的三个特点：①整个七盘沟流域内建筑物易损性分布不均匀，有三个较高的中心，结合实地调查得知这三个地方均为政府服务或商业建筑物，并且在实地调查中得到其到主沟道的距离不超过 50 m，因其特殊的功能和位置而易损性相对较高；②垂直于沟道走向分布的建筑物，在其它因素不变的情况下，距离沟道越远易损性越低，这一结论同实地调研得出的结论相符程度较好。在“7.13”特大泥石流事件中，距离沟道不足 50 m 的左岸居民建筑物大部分被淤埋，而超过 200 m 以外的建筑物淤积了小于 1 m 的泥石流物质，受到的损坏相对较少；③由易损性分布图可以看出，易损性相对较高的建筑物集中在沟道左岸，结合实地调查资料得知，沟道右岸相对左岸高出 3 m，所以右岸建筑物相对左岸易损性较低。

## 4 结论与讨论

(1)在实地考察的基础上，本文选取建筑物的功能类型、结构、面积、建筑物材料、楼高、建筑物与沟道的距离、建筑物主轴向与泥石流流向的夹角、泥石流流向、流深、流速和防护工程共三类 11 个因子作为建筑物易损性的评价指标。以格网化为基础，首先利用元胞模型模拟得出在不同规模泥石流冲击下建筑物的损坏情况，并将其结果和建筑物的功能类型、结构、面积等数据转换为相应的数据格式存入到 GIS 软件中，最后得出七盘沟建筑物易损性分布图(图 5)。

(2)总体上，可以看出七盘沟建筑物存在三个高易损性区域见(图 5)，分别是七盘沟社区政府大楼、社区医院和七盘沟驾校，均为具有特殊社会服务功能类型的建筑物；易损性分布还呈左右岸不对称分布，如三个高易损性区域据分布在左岸，右岸建筑物的易损性相比较低，从实地调研得知，七盘沟右岸平均高出左岸 2~3 m；同时，易损性高的建筑物主要集中在沟道 30 m 以内的范围，评价结果和实地考察结果较符合，具有一定的可信度和推广性。根据所得结果，本文有几点关于建筑物规划的建议：①优先选择在沟道右岸修建建筑物，利用右岸的高度优势；②必须选择在左岸修建建筑物时，应该选择合适的避让距离，根据论文结果，避让距离应不小于 50 m；③特殊功能类型建筑物，例如政府服务、医院等建筑物，为了服务最优化，又必须建在高易损性区域时，就应该从建筑物结构设计、建筑物材料等方面对建筑物进行抗灾性能增强。

(3)对于同一地区的建筑物而言，其易损性对属于泥石流特征和环境类的评价因子敏感度相当见(图 4)，这样的结论与在精细化的格网评价方法中泥石流的各个参数变化幅度较小的特点基本相符。相反，建筑物易损性对建筑自身特征类的评价因子敏感度较高，这也是符合实际调查得到的直观认识，木结构的房屋易损程度远高于钢结构的房屋。从这个结论出发，本文认为要降低建筑物易损性可以从以下两个方面来考虑：其一是治理泥石流沟，修建防护工程，降低整个沟域内的建筑物易损性；其二从建筑物自身特征评价因子出发，降低单个建筑物的易损性。

## 参考文献：

- [1] UNISD. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2011. Revealing Risk, Redefining Development Summary and Main Findings[R]. United Nations: Oxford, UK, 2011.
- [2] UNDRO. Natural Disasters and Vulnerability Analysis[R]. Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, Geneva, 1980: 5-6.
- [3] W Neil Adger. Vulnerability[J]. Global Environmental Change, 2006(16): 268-271.
- [4] 曾小莉. 基于数值模拟的白沙河流域干沟泥石流风险评价[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2015.
- [5] Ilan Kelman, Robin Spence. An overview of flood actions on buildings[J]. Engineering Geology, 2004(73): 297-309.
- [6] Andreas J. Kappos, Georgios Panagopoulos, A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings[J]. Bull Earthquake, 2006(4): 390-413.
- [7] S N Jonkman, M. Bockarjova, M Kok, P. Bernardini. Integrated hydrodynamic and economic modeling of flood damage in the Netherlands[J]. Ecological Economics, 2008(66): 77-80.
- [8] Sven Fuchs, Christian Kuhlicke, Volker Meyer. Editorial for the special issue: Vulnerability to natural hazards—the challenge of integration[J]. Natural Hazards, 2011, 5(58): 609-619.
- [9] M S Kappes, M Papathoma-kohle, M Keiler. Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology[J]. Applied Geography, 2012(32): 577-590.
- [10] M Holub, J Hubl. Local protection against mountain hazards—State of the Art and future needs[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2008(8): 81-99.
- [11] A Godfrey, R L Ciurean, C J Van Westen, et al. Assessing vulnerability of buildings to hydro-meteorological hazards using an expert based approach—An application in Nehoiu Valley, Romania [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2015(13): 229-241.
- [12] 罗元华, 陈崇希. 泥石流堆积数值模拟及泥石流灾害风险评估方法[M]. 北京, 地质出版社, 2003.
- [13] 刘希林, 莫多闻, 王小丹. 区域泥石流易损性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(2): 7-12.
- [14] 刘希林. 区域泥石流易损性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(6): 8-10.

- [15] 刘希林, 莫多闻. 泥石流易损度评价[J]. 地理研究, 2002, 21(5): 569-577.
- [16] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J]. 工程地质学报, 2002, 10(3): 266-273.
- [17] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险评价[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- [18] 唐川, 朱静. 城市泥石流风险评价探讨[J]. 水科学进展, 2006, 17(3): 352-353.
- [19] 铁永波, 唐川. 四川省北川县暴雨泥石流的发育与汶川地震的响应特征[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 73-76.
- [20] 丁明涛, 韦方强, 王欢, 等. 基于聚类分析的三江并流区泥石流危险性评价[J]. 资源科学, 2012, 34(7): 1257-1259.
- [21] 王骏, 丁明涛, 庙成, 等. 基于 GIS 和 AHP 的庐山地震灾区泥石流危险性评价[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11): 1580-1583.
- [22] 丁明涛, 庙成. 基于 GIS 的庐山地震灾区滑坡灾害风险评价[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(4): 81-84.
- [23] 丁明涛, 黄英, 庙成, 等. 云南蒋家沟泥石流运动特征及其发展趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(8): 1434-1436.
- [24] 曾超, 贺拿, 宋国虎. 泥石流作用下建筑物易损性评价方法分析与评价[J]. 地球科学进展, 2012(11): 1211-1220.
- [25] 曾超, 崔鹏, 葛永刚, 等. 四川汶川七盘沟“7·11”泥石流破坏建筑物的特征与力学模型[J]. 地球科学与环境学报, 2014, 36(2): 81-84.
- [26] 丁明涛, 周鹏, 庙成, 等. 基于降雨垂直分异的泥石流监测网传感节点布设研究[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 128-132.
- [27] 丁明涛, 周鹏, 庙成, 等. 基于临界水深法的单沟泥石流启动降雨量推算[J]. 灾害学, 2018, 33(3): 55-59, 63.
- [28] 王铮. 计算地理学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [29] 侯西勇, 常斌, 于信芳. 基于 CA-Markov 的河西走廊土地利用变化研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 285-289.
- [30] 陈建平, 丁火平, 王攻文, 等. 基于 GIS 和元胞自动机的荒漠化演化预测模型[J]. 遥感学报, 2004, 8(3): 254-256.

## Vulnerability Assessment of Building Exposed to Debris Flow ——A Case Study on Qipan Gully, Wenchuan County

DING Mingtao<sup>1,2</sup>, LI Yulu<sup>1</sup>, PANG Jinbiao<sup>3</sup> and WANG Yingjie<sup>1</sup>

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 2. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China; 3. Sichuan ZhongDiYun Wisdom Technology Co., Ltd., Chengdu 610017, China)

**Abstract:** Assessing vulnerability of building to debris flow is the foundation work for disaster risk management. This paper selected 11 indicators including the buildings characteristics, the relationship between buildings and debris flow and the environment, which are described as the buildings' function, structure, area, material, height, the distance to the debris flow gully, the angle between the buildings' axial direction and the flow direction, flow direction, depth of flow, and velocity of flow, to assess the buildings vulnerability by using the GIS and the Cellular model. The three steps of this methodology are as following: firstly, the vulnerability indicators are selected and those data are pre-processed into the raster form. Secondly, the damages of buildings caused by debris flow at different frequency are simulated by Netlogo. Lastly, all the data are processed in the GIS with the spatial analysis model. This paper takes the Qipan gully as a case study, and draw conclusions as follows: ① The buildings with special functions such as hospital, government department, and schools shares the highest vulnerability. ② For buildings with the same function, the farther it gets away from the channel, the lower vulnerability it has. ③ The vulnerability of buildings on the left bank of Qipan gully is higher than they're on the right. ④ The buildings vulnerability has the highest sensitivity to the buildings' characteristics included buildings' function, area, structure, material and height among the 11 indicators. The conclusions are confirmed by the field investigation in the Qipan gully, and it is seasonable and reliable. Finally, this paper gives some advice to the Qipan gully government department for disaster risk management.

**Key words:** debris flow; building; vulnerability assessment; cellular model