

云南东川地区单沟泥石流危险度评价研究^{*}

赵鑫^{1,2,3}, 程尊兰^{1,2}, 刘建康^{1,2,3}, 刘大翔^{1,2}, 时亮^{1,2,3}

(1. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 泥石流规模和发生频率是体现泥石流危险性的两个最本质的特征参数, 是泥石流危险性评价的两个主要因子。因此, 用泥石流的规模危险度与频率危险度来表达其综合危险度。通过对云南东川地区泥石流沟基础数据的相关分析, 分别找出了与泥石流规模和发生频率显著相关的次要危险因子, 并且发现主要因子和相关的次要因子之间具有一定的线性关系。再通过多元线性回归分析, 计算得出了各参评的次要危险因子的权重, 从而建立了单沟泥石流危险度评价模型。通过该模型, 计算出每条泥石流沟的危险度值, 对各条泥石流沟进行危险度评价, 得出了与实际相符合的评价结果。

关键词: 单沟泥石流; 危险度; 评价; 云南东川

中图分类号: P642.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)01-0102-05

0 前言

云南省属于云贵高原的一部分, 是一个低纬度、高海拔、以山地高原为主的边疆内陆省份, 大部分地区海拔在1 000 m以上^[1]。云南东川地区位于云南省东北部(图1)的小江流域, 小江河谷发育在著名的小江深大断裂带上。这里老构造错综复杂, 新构造运动强烈, 又属强地震震区, 自然条件和人类活动都较特殊, 促使泥石流形成发展的有利因素交织在一起, 成为我国泥石流最发育地区, 堪称“泥石流的天然博物馆”^[2-3], 仅在东川

市附近不足90 km长的小江两岸, 就有灾害性沟谷型泥石流107处, 而小规模的面型泥石流, 成群密布, 难以计数。泥石流冲出的大量泥沙石块, 通过小江输送到金沙江, 在两江汇合处形成巨大的险滩, 把金沙江逼向对岸。在这样一个不大的流域内, 泥石流如此发育, 其活动如此频繁而猛烈, 并且危及国民经济的各个方面, 这在我国乃至世界其他山区均实属罕见。

东川地区(图1)国土面积1 859 km², 山地面积占97.3%, 属深、中切割的高、中山峡谷地貌类型, 水土流失面积占68.5%, 成为我国雨洪型泥石流发育的典型地区^[4]。

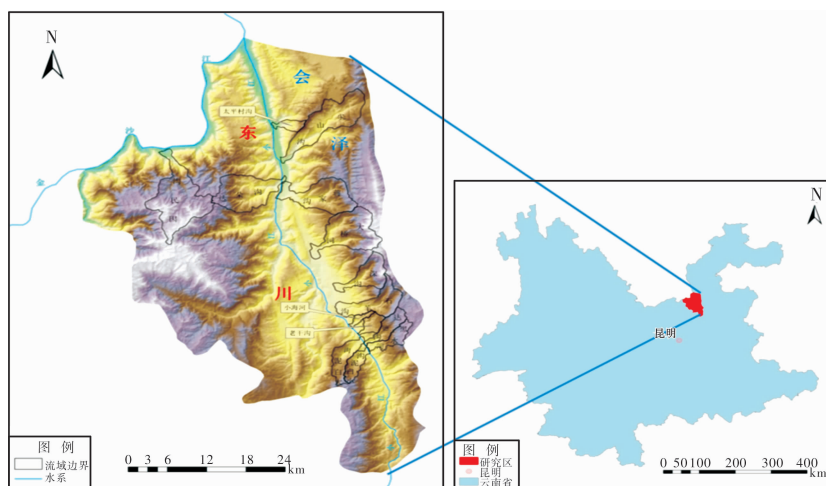


图1 流域位置图

^{*} 收稿日期: 2012-04-09 修回日期: 2012-06-04

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(201231874004-2, 2009318797029); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q03-5-1); 水利部公益性行业科研专项项目(200801032)

作者简介: 赵鑫(1986-), 男, 汉, 山东省威海人, 硕士研究生, 主要从事山地灾害研究。E-mail: zhaoxin_16@126.com

通讯作者: 程尊兰(1952-), 女, 汉, 四川省隆昌人, 博导, 研究员, 主要从事泥石流和山区洪水成灾机理与减灾技术研究。

E-mail: czl@imde.ac.cn

本文选取东川地区 14 条典型的泥石流沟(图 1), 进行危险性评价研究, 在分析基础数据的基础上, 运用一定的统计分析方法建立泥石流危险度评价模型, 对各条泥石流沟进行危险性评价, 得出与实际相吻合的评价结果。

1 研究理论方法介绍

泥石流危险度是指在泥石流流域范围内所有人或物遭受泥石流损害可能性的大小^[5]。单沟泥石流危险度的评价研究一直是我国灾害学研究的重点课题, 在国内外都受到高度重视^[6-9]。最早涉及到泥石流危险度评价研究的可能为日本学者 1977 年提出的泥石流发生危险度的判定^[10-11], 该文指出危险度是泥石流发生频率。1988 年日本两位学者 Ohmori 和 Hirano 将地貌事件影响度表达为地貌事件的规模和发生频率的乘积^[12], 这一观点为泥石流危险度评价研究提供了新的思路。泥石流规模和发生频率是代表泥石流危险性的两个最本质的特征变量^[10], 因此, 在泥石流危险性评价的工作中, 需要同时考虑这两个主要因子。

1.1 选取泥石流危险度参评因子

泥石流参评因子的选取是从影响泥石流形成的地质条件、地形条件、降水条件以及其他影响条件 4 个方面的 14 项候选危险因子中选取。通过相关分析, 得出泥石流规模和发生频率这两个主要因子与各个候选危险因子之间的相关系数, 选取与主要因子显著相关的危险因子作为参评因子(表 1)。

表 1 泥石流规模和发生频率与次要危险因子的相关系数

危险因子	Pearson 相关系数(规模)	Pearson 相关系数(频率)
流域面积	0.351	0.004
主沟长度	0.424	0.032
流域相对高差	0.290	-0.038
主沟平均比降	-0.416	-0.286
形成区山坡平均坡度	-0.173	-0.171
流域切割密度	0.817 **	0.721 **
主沟床弯曲系数	0.773 **	0.738 **
松散固体物质储量	0.910 **	0.765 **
泥砂补给段长度比	0.765 **	0.768 **
24 h 最大降雨量	-0.068	-0.154
年平均降雨量	0.113	-0.214
植被覆盖率	-0.274	-0.468 *
垦殖指数	0.112	-0.075
流域内人口密度	-0.242	-0.472 *

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关; * 表示在 0.05 水平上显著相关

从表 1 中可以看出, 与泥石流规模显著相关的危险因子有流域切割密度、主沟床弯曲系数、松散固体物质储量、泥砂补给段长度比; 与泥石流发生频率显著相关的危险因子有流域切割密度、主沟床弯曲系数、松散固体物质储量、泥砂补给段长度比、植被覆盖率、流域内人口密度。

1.2 主要因子与参评因子关系分析

在得出与主要因子显著相关的参评因子之后, 还需要对主要因子与各个参评因子之间的关系进行具体分析(图 2、3)。

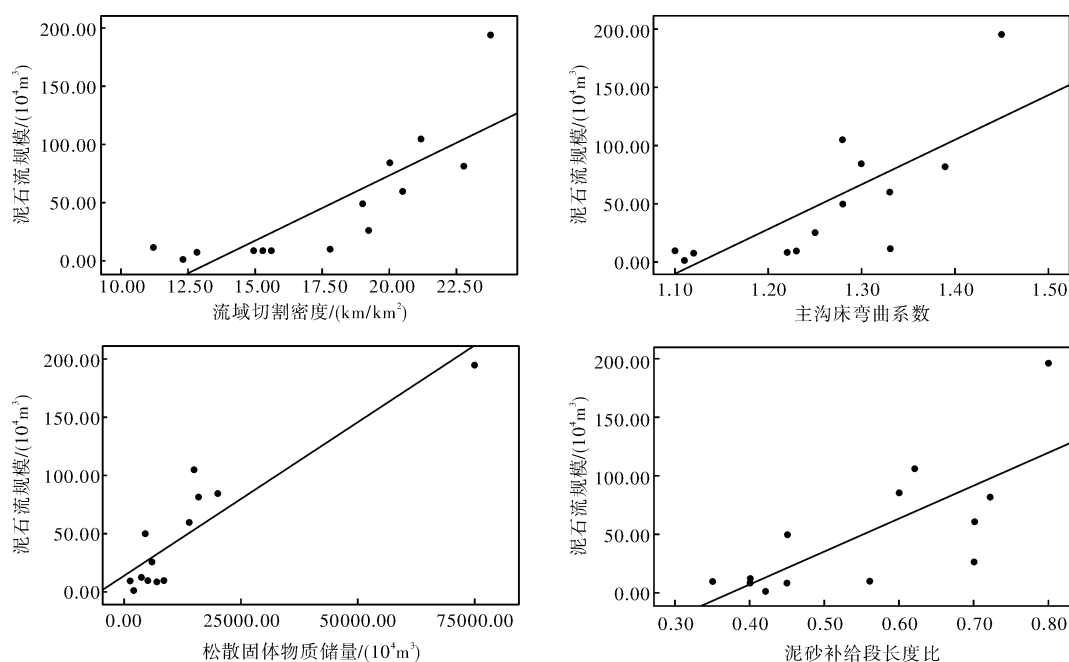


图 2 泥石流规模与各参评因子的关系

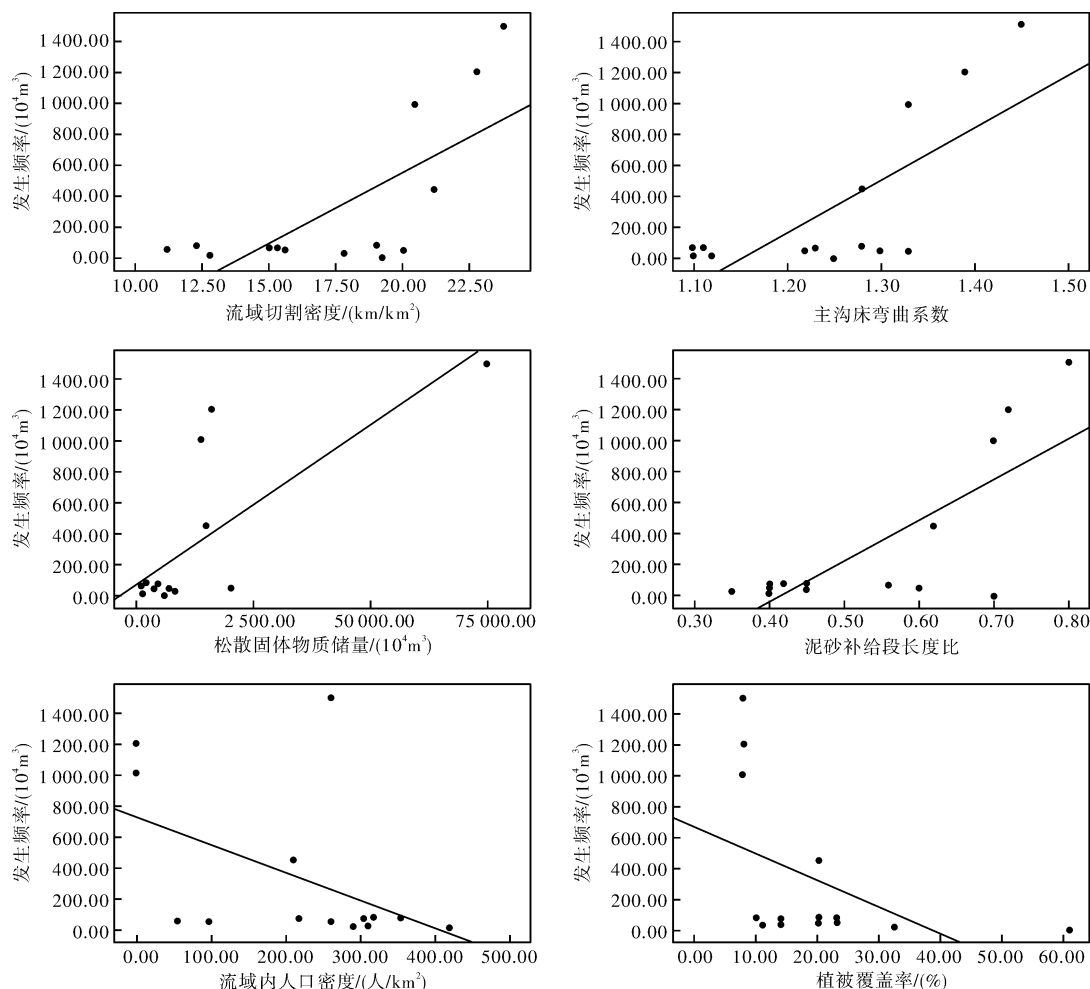


图3 发生频率与各参评因子的关系

从图2、3中可以看出,泥石流规模和发生频率与各参评因子之间具有一定的线性关系。于是,可以利用多元线性回归分析,分别计算以泥石流规模和发生频率为因变量的各回归模型中参评因子的权重。

1.3 泥石流危险度评价模型

基于多元线性回归分析的泥石流危险度评价的流程(图4)。

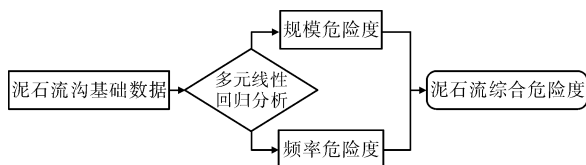


图4 泥石流综合危险度评价流程

泥石流规模危险度评价 H_g , 如式1。

$$H_g = \sum_{i=1}^n S_i W_{g_i}, \quad (1)$$

式中: n 为评价因子个数; S_i 为各评价因子分值; W_{g_i} 为一次泥石流最大冲出量为因变量时各评价因

子的权重。

发生频率危险度 H_p 的评价, 如式2。

$$H_p = \sum_{i=1}^n S_i W_{p_i}, \quad (2)$$

式中: n 为评价因子个数; S_i 为各评价因子分值; W_{p_i} 为泥石流发生频率为因变量时各评价因子的权重。

定义泥石流综合危险度 H 为规模危险度与频率危险度的乘积平方根, 如式3。

$$H = \sqrt{H_g \times H_p}. \quad (3)$$

1.4 确定危险因子权重

利用多元线性回归分析计算以泥石流规模和发生频率为因变量的各回归模型中参评因子的权重, 回归分析结果(表2)。

回归分析结果中回归拟合度分别为 0.897 和 0.720, 是比较高的, 说明回归分析的结果比较可靠。

自变量的标准化回归系数绝对值越大, 它对因变量的贡献也就越大。因此, 标准化回归系数的绝对值可以看作为各因子的权重(图5)。

表 2 回归分析结果

因变量	自变量	标准化回归系数	回归拟合度
泥石流规模	流域切割密度	0.364	0.897
	松散固体物质储量	0.594	
	主沟床弯曲系数	0.198	
	泥砂补给段段长度比	-0.080	
泥石流发生频率	流域切割密度	0.082	0.720
	松散固体物质储量	0.263	
	主沟床弯曲系数	-0.053	
	泥砂补给段段长度比	0.552	
	流域内人口密度	-0.071	
	植被覆盖率	-0.364	

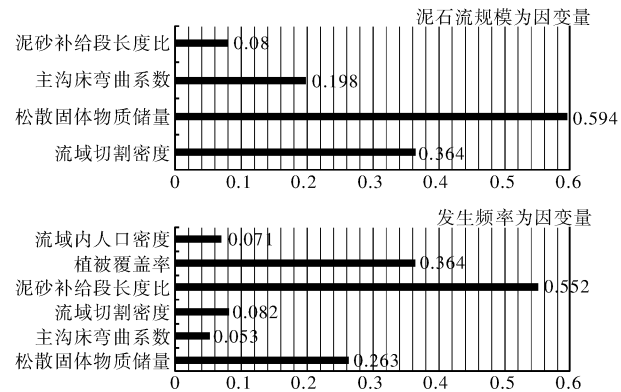


图 5 各参评因子权重

1.5 参评因子定量评分及危险度等级划分

各参评因子等级划分及定量评分见表 3。泥石流危险度等级划分见表 4。

表 3 参评因子等级及分值

参评因子	参评因子等级划分及定量分值					
	I	II	III	IV	V	VI
松散固体物质储量/(10 ⁴ m ³)	<100	100 ~ (1000)	1 000 ~ (5 000)	5 000 ~ (10 000)	10 000 ~ (15 000)	≥15 000
主沟床弯曲系数	<1.15	1.15 ~ (1.25)	1.25 ~ (1.35)	1.35 ~ (1.45)	1.45 ~ (1.55)	≥1.55
流域切割密度/(km/km ²)	<2	2 ~ (5)	5 ~ (10)	10 ~ (15)	15 ~ (20)	≥20
泥砂补给段长度比	<0.20	0.20 ~ (0.35)	0.35 ~ (0.50)	0.50 ~ 0.65	0.65 ~ (0.75)	≥0.75
植被覆盖率/(%)	≥60	(60) ~ 40	(40) ~ 30	(30) ~ 20	(20) ~ 10	<10
流域内人口密度/(人/ km ²)	<10	10 ~ (50)	50 ~ (100)	100 ~ (200)	200 ~ (300)	≥300
因子定量评分	1	2	3	4	5	6

注：括号表示不含其内的值

表 4 泥石流危险度等级划分

泥石流危险度	危险度分级
1.30 ~ 2.50	极低
2.50 ~ 4.00	低
4.00 ~ 5.50	中等
5.50 ~ 7.00	高
7.00 ~ 7.86	极高

表 5 危险度计算结果

沟名	规模危险度	频率危险度	综合危险度	危险性评价级别
黑水河	3.676 0	5.072 0	4.317 9	中等危险
达德沟	4.634 0	5.417 0	5.010 2	中等危险
老干沟	4.040 0	4.790 0	4.399 0	中等危险
蒋家沟	7.218 0	8.186 0	7.686 8	极高危险
大桥河	6.662 0	6.248 0	6.451 7	高度危险
石羊沟	3.676 0	4.273 0	3.963 3	低度危险
小海河	4.912 0	5.951 0	5.406 6	中等危险
深沟	4.832 0	5.035 0	4.932 5	中等危险
尖山沟	6.662 0	6.106 0	6.377 9	高度危险
大白泥沟	6.940 0	7.297 0	7.116 3	极高危险
小白泥沟	6.148 0	6.981 0	6.551 3	高度危险
达朵沟	4.072 0	4.965 0	4.496 4	中等危险
太平村沟	4.436 0	4.896 0	4.660 3	中等危险
因民沟	5.190 0	5.171 0	5.180 5	中等危险

2 应用实例

利用上述泥石流危险度评价模型，计算出东川地区 14 条典型泥石流沟的规模危险度、频率危险度以及综合危险度(表 5)。

3 结论与讨论

通过上述危险度计算，东川地区 14 条典型的泥石流沟中极高危险的泥石流沟有 2 条，占 14.3%；高度危险的泥石流沟有 3 条，占 21.4%；中度危险的泥石流沟有 8 条，占 57.1%；低度危险的泥石流沟有 1 条，占 7.2%。

随机选取 4 条泥石流沟进行实例验证：

将上面的危险度计算结果制成危险度评价图(图 6)。

(1)蒋家沟：历史上曾 7 次堵断小江，累计堵江时间 245 d。平均每年爆发 15 次泥石流，最多时一年爆发 28 次之多，如此之高的爆发频率，堪称东川“泥石流之王”。评价结果为极高危险度，与实际情况吻合。

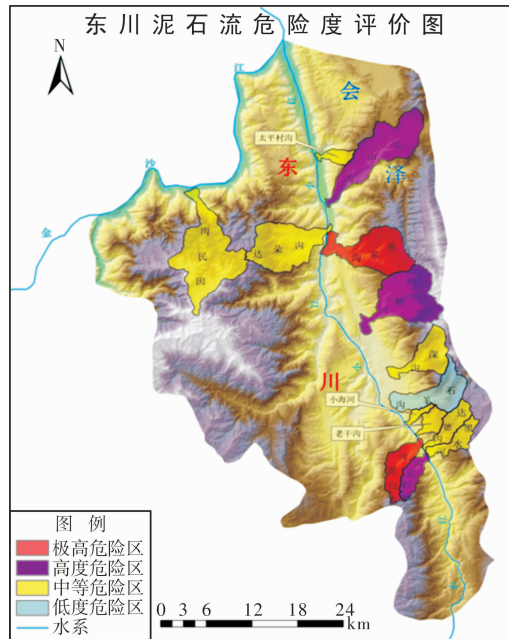


图6 泥石流危险度评价图

(2) 大桥河：历史上曾爆发大规模泥石流，1919-1933 年期间，泥石流最盛，一年可达十几次。大桥河泥石流前锋龙头最高可达 7 m，最大流量达 2 000 m³/s。评价结果为高度危险，与实际情况相符。

(3) 石羊沟：流域面积 10.61 km²，主沟长 4.61 km。小规模泥石流一年可以发生几次，是一条较活跃的稀性泥石流沟。评价结果为低度危险，与实际情况相符。

(4) 黑水河：是一条稀性泥石流沟，1983 年 6 月 20 日发生一次规模中等的泥石流，冲毁农田 20 hm²，冲毁路基 150 m，累计经济损失 210 万元。评价结果为中等危险度，与实际情况吻合。

利用相关分析、多元线性回归分析，获取泥石流危险因子的权重，客观性较强，减少了人为主观因素对因子权重的干扰。用该模型对东川地区的泥

石流进行危险性分析，得出了与实际相吻合的评价结果。

泥石流、滑坡等地质灾害的危险性评价，还需考虑岩性、断层等因素^[13-15]，需要在今后的研究中加以补充、完善。

参考文献：

- [1] 唐川, 朱静. 云南滑坡泥石流研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2003: 1-184.
- [2] 杜榕桓, 康志成, 陈循谦, 等. 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1987: 1-287.
- [3] 康志成, 李焯芬, 马葛乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-253.
- [4] 陈循谦, 王思荣. 东川泥石流防治回顾与展望[C]// 张家福. 东川泥石流防治研究论文集. 昆明: 云南科技出版社, 2000: 1-233.
- [5] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 1-93.
- [6] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险评价[M]. 成都: 四川科技出版社, 2002: 1-81.
- [7] Eldeen M T. Predisaster Physical Planning: Integration of Disaster Risk Analysis into Physical Planning - A Case Study in Tunisia [J], Disasters, 1980, 4(2): 211-222.
- [8] D Alexander. Natural Disasters: a framework for research and teaching [J]. Disasters, 1991, 15(3): 209-226.
- [9] 刘希林. 区域泥石流危险度评价研究进展[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 2-9.
- [10] 刘希林. 我国泥石流危险度评价研究: 回顾与展望[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 1-8.
- [11] 足立胜治, 德山九仁夫, 中筋章人, 等. 土石流发生危险度 N 判定 K_{pd}F [J]. 新砂防, 1977, 30(3): 7-16.
- [12] Ohmori H, Hirano M. Magnitude, frequency and geomorphological significance of rocky mudflows, land creep, and the collapse of steep slopes [J]. Zeit Schrift fur Geomorphologie, 1988, 67 (Supplement): 55-65.
- [13] 朱吉祥, 张礼中, 周小元, 等. 基于信息熵的灰色模型在地质灾害评价中的应用[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 78-82.
- [14] 王景明. 渭河裂谷区活断层对地质灾害的制约[J]. 水土保持学报, 1988, 2(3): 29-36.
- [15] 甘建军, 孙海燕, 黄润秋, 等. 汶川县映秀镇红椿沟特大型泥石流形成机制及堵江机理研究[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 5-9.

Hazard Degree Assessment on Site-Specific Debris Flows in Dongchuan of Yunnan Province

Zhao Xin^{1,2,3}, Cheng Zunlan^{1,2}, Liu Jiankang^{1,2,3}, Liu Daxiang^{1,2} and Shi Liang^{1,2,3}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 2. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Scale and frequency of debris flow are two essential parameters of hazard degree, and therefore are the two primary factors of the hazard assessment. So, composite hazard degree are expressed by scale hazard degree and frequency hazard degree. Base on the correlation analysis of the debris flow gullies in Dongchuan, Yunnan, minor risk factor significantly correlated with scale and frequency of debris flows are got, and a linear relationship between major factors and minor and factors related are discovered. By using multi-variant linear-regression analysis, weights of minor hazard factors are calculated and a hazard degree assessment model for site-specific debris flow is established. Hazard degree of every debris flow gully is calculated by the model, and hazard assessment on the debris flows are done and later proved to be accord with the practice.

Key words: site-specific debris flow; hazard degree; assessment; Dongchuan in Yunnan