

岷江上游地貌侵蚀对泥石流发育的影响

冯茵^{1,2}, 杨武年^{1,2}, 张林^{1,2}, 朱渊¹, 李晶晶^{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. 成都理工大学遥感与 GIS 研究所, 四川 成都 610059)

摘要:岷江流域上游映秀镇银杏乡境内的兴文坪、磨子沟和野牛沟是 3 条紧邻的泥石流沟,其地质和降雨条件都相类似,但其中磨子沟的暴发频率要显著高于其余 2 条沟。本文通过对这 3 条泥石流沟地貌发育阶段以及地形条件的对比分析,证明了控制其泥石流暴发的关键因素是受地形条件的影响。从而为在某一区域内地质和降雨条件都近似的情况下,对地形条件最有利的泥石流沟进行重点防治和预警预报提供依据,并有效的减少突发性灾害所带来的损失。

关键词:地形条件;泥石流;岷江上游;地貌发育阶段;暴发频

文章编号:1003-8035(2013)02-0016-05

中图分类号:P642.23

文献标识码:A

0 引言

随着经济的快速增长和社会结构的迅速转变,土地资源的日趋匮乏使得人类经济活动开始向山区逐步延伸,然而过度的开发与不当的土地利用严重破坏了山地的水土保持,使自然环境趋于恶化。而泥石流作为一种常见的山地自然灾害,其发展的范围和频率正在逐年增大,所带来的危害也更加严重。近十年来,中国西部山区群发性泥石流灾害更是频繁发生,给当地居民的生命财产造成了严重损害^[1]。特别是受 2008 年汶川大地震的影响,位于重灾区的映秀、清平、龙池等地的山体支离破碎,大量松散碎屑物质堆积在沟道中和坡面上,为泥石流的形成提供了丰富的物质基础^[2]。地震过后,这些地区几乎每场暴雨都会激发一定数量和规模的泥石流灾害,在给当地造成更大损失的同时也阻碍了震后重建工作的开展。

为了有效的降低和减小泥石流的危害,国内外对泥石流的危险性评价进行了很多研究。日本学者足立胜治早在 20 世纪 70 年代就对泥石流的危险度进行了等级划分^[3];美国的 D. A. Alexander、瑞典的 Eldeen. M. T 等西方学者也开展了这方面的研究^[4-5];在我国也形成了以刘希林(1988)“泥石流危险度判定的研究”为代表的泥石流危险度的划分体系^[6]。但这类对泥石流危险性的评价多是建立在对其沟谷地形地貌、地质以及降雨条件等进行全面调查的基础之上,对泥石流地形条件方面单因素的研究还较少。

通过对灾区的野外调查经常会发现:在同一次群发性泥石流灾害中,相隔很近的几条沟谷,其地质岩

性基本相同,地质构造也大体相似,受此次暴雨的影响也近乎一致,但有的沟谷暴发了泥石流,有的没有暴发泥石流。通常,地质、地形和降雨是泥石流形成的三大基本条件,当地质和降雨条件都相类似的情况下,地形条件就可能是控制其泥石流暴发的关键因素^[7-8]。本文正是通过对映秀镇银杏乡境内的兴文坪、磨子沟和野牛沟 3 条紧邻的泥石流沟地形条件的对比分析,指出各自有利因素的同时判断了其泥石流暴发敏感性的大小,并通过访问调查进行验证后得出地形条件的确是控制其泥石流暴发的关键因素,且地形条件越有利,泥石流暴发的频率越高。以此结论可对日后类似区域泥石流沟的重点防治和预警预报提供依据。

1 研究区概况

研究区位于岷江流域上游汶川县银杏乡境内(图 1),该地区地处我国川西高原与四川盆地的过渡带上,为高山峡谷区。其山高坡陡、河谷深切、地表破碎、坡面稳定性差,地层发育比较完整,新构造运动强烈,活动性断裂发育,构造背景复杂,再加之其生态系统脆弱、环境灾害频发,本身就是我国山地灾害的易发区和水土保持的重点区。而汶川县又是“5·12”地震极震区,受地震的影响极为强烈,致使区域内地质

收稿日期:2012-11-28;**修订日期:**2012-12-14

基金项目:地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自主研究课题(SKLGP2011Z013)

作者简介:冯茵(1987—),女,汉族,四川巴中人,硕士研究生,主要从事 3S 方面相关工作。

E-mail:fengyinchina@163.com

水文、地形地貌、土壤植被等生态环境条件都发生了巨大改变,因而其泥石流活动日益频繁且危害严重,选择该区域的泥石流沟为研究对象具有一定的代表性。

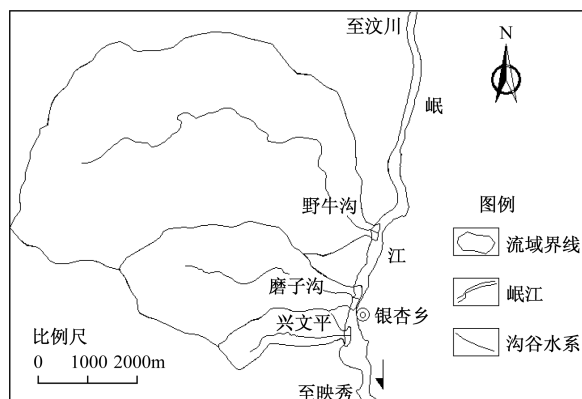


图1 研究区流域图

Fig.1 Drainage map of study area

该研究区所包含的3条泥石流沟均属于岷江右岸的一级支流,在山地亚热带湿润季风气候影响下降水充沛,水文条件垂直分带明显,植被类型主要以林地和草地为主。研究区总面积不到50km²,在这样相对较小的区域内,降雨的影响可认为基本相同。泥石流沟出露的地层岩性主要以花岗岩为主,距离汶川地震发震断裂带的垂直距离也相差不大且受地震影响沟谷内产生了大量的崩塌、滑坡、不稳定边坡为泥石流的形成提供了充足的固体物源,因此其地质条件方面的影响也可归为一致。但即使是在沟谷的地质和降雨条件都相类似的情况下,由于沟谷处于不同的地貌发育阶段,这3条泥石流沟的地形条件都有着各自的特征。

2 沟谷地形地貌条件的比较

2.1 沟谷地貌发育阶段

2.1.1 流域地貌信息熵

沟谷的地形条件在一定程度上受其地貌发育阶段的控制,而沟谷的地貌发育阶段大致可分为幼年、青年、壮年和老年4个时期^[9]。当沟谷发育处于幼年期时,此时的沟谷流域面积往往较小,且流域内流水重力侵蚀作用强烈,相对切割程度也较大,地形陡峭,山坡坡度和沟床纵比降均较高。但随着沟谷地貌的进一步发展演化,其流域面积开始逐渐扩大,流水侵蚀作用趋于减弱,地形也慢慢变缓。当沟谷发育处于老年期时,流域内重力侵蚀作用已很轻微,相对切割

程度变得很小,山坡和沟床也相对平缓。而根据研究,沟谷地貌按照幼年—青年—壮年—老年的演化顺序,其发育泥石流的能力也将由旺盛转向衰退,成灾规模和频率显著降低。因此判断研究区泥石流沟谷的地貌发育阶段具有重要的意义。

当前对沟谷地貌发育阶段的判定主要是运用我国学者艾南山于20世纪80年代建立起来的流域侵蚀地貌系统信息熵理论^[10]。该理论结合了斯特拉勒面积—高程分析法和戴维斯的地貌循环理论,是一种对地貌侵蚀形态的定量计算方法,可以在一定程度上反映沟谷的发育阶段,并判断其的危险程度^[11]。流域地貌信息熵表达式为:

$$H = S - \ln S - 1$$

式中: H ——地貌系统信息熵;

S ——斯特拉勒面积—高程积分值。

其中 S (斯特拉勒面积—高程积分) 是美国理论地貌学家 A. N. Stahl 提出的一种定量分析流域地貌发育阶段的方法,其具体计算过程为:

设总流域面积为 A , 该流域内某等高线以上的面积为 a , 该等高线与流域最低点的高差为 Δh , 流域最高点与最低点的高差为 ΔH 。根据测量数据,在直角坐标系内绘制一条拟合的曲线:

$$y = f(x)$$

式中: $x = a/A$; $y = \Delta h/\Delta H$ 。此函数即为该流域的面积—高程曲线,再对其在 X 轴和 Y 轴内的面积进行积分即可得到面积—高程分值。

$$S = \int_0^1 f(x) dx$$

将地貌信息熵值与流域侵蚀循环期相对应,当 $H < 0.111$ 时,沟谷地貌发育处于幼年期;当 H 在 $0.111 \sim 0.400$, 沟谷地貌发育处于壮年期;当 $H > 0.400$ 时,沟谷地貌发育处于老年期^[11-12]。 H 值越小,则沟谷的活动能力越旺盛,暴发泥石流的可能性也就越大。

2.1.2 研究区泥石流沟地貌发育阶段的确定

在研究区 1:1000 的 DEM 中利用 MAPGIS 软件划分出沟谷流域界线并矢量化,然后统计等高距为 40m 的各条等高线所控制的流域面积,再利用上述公式求出所需数据并导入 Excel 软件进行三项式拟合,得出该区域泥石流沟的高程曲线方程,且这 3 条沟谷的拟合曲线均满足 $R^2 > 0.99$, 拟合效果较好,符合计算的精确性要求。

表 1 研究区沟谷地貌系统信息熵及沟谷发育阶段

Table 1 The gully geomorphic information entropy and development stage of study area

泥石流沟名称	面积—高程拟合曲线方程	曲线拟合度 R^2	S	H	发育阶段
兴文坪	$y = 0.3021x^3 - 0.0696x^2 - 1.1688x + 0.9657$	0.9960	0.480	0.214	壮年期
磨子沟	$y = -1.4641x^3 + 2.0436x^2 - 1.5219x + 0.9514$	0.9981	0.506	0.187	壮年偏幼期
野牛沟	$y = -1.9723x^3 + 3.0085x^2 - 1.9589x + 0.9566$	0.9985	0.487	0.206	壮年期

通过拟合公式计算出这 3 条泥石流沟的 H 值(表 1),并对其发育的阶段进行判定。对比其发育阶段可以看出,磨子沟发育的成熟度要低于兴文坪和野牛沟,因此其泥石流活动能力也应更旺盛,发生的可能性更大。

2.2 沟谷地形条件

2.2.1 地形条件的重要性

在地质和降雨条件都相类似的情况下,磨子沟地貌发育的成熟度更低,泥石流发生的可能性也更大,其地形条件必定更有利于泥石流的形成。泥石流沟谷的地形条件主要可用相对高差、沟床纵比降、沟谷形态、发育程度、山坡坡度以及坡向等参数特征值来比较。其中,相对高差决定了泥石流势能的大小,高差越大,势能越大,转换的动能也就越大,能为泥石流的形成提供充足的动力条件。沟床纵比降决定了泥石流的流速及其输送固体物质能力的大小,是评价泥石流流域危险程度的重要因子。一般来说,沟床纵比降越大,固体物质动势能的转换也就越快,越有利于泥石流的形成^[13]。沟谷形态可用形状系数来表示,形状系数越大,流域的汇流条件就越好,水动力条件越充足,越有利于泥石流的起动。流域的发育程度反映了流域地貌的演化阶段,可以用相对切割程度来判别。相对切割程度越大,表明该流域的发育成熟度越低,流水侵蚀作用就更强也更容易发生泥石流。山坡坡度的陡缓则影响松散碎屑物质的分布和聚集,凡是泥石流发育的山地,山坡坡度均较陡,此条件下容易形成的不稳定斜坡就成为泥石流发育所需物质的主要来源。沟道两侧山坡坡向对岸坡的不对称性有较大影响,不同坡向的太阳辐射强度等的不同影响着其水分蒸发、热量分配、植被覆盖、坡面侵蚀等因素,从而影响到坡体的稳定性和山地灾害的形成与发生。因此,沟谷中有利坡向所占得比例越大,越有利于其泥石流的暴发^[14]。

2.2.2 研究区地形条件的比较

受汶川大地震的影响,震区泥石流沟谷的地质水文和地形地貌条件均发生了巨大的改变,沟道内产生

了大量的崩塌、滑坡、不稳定边坡,由此带来的松散碎屑物质堆积在沟道中和坡面上,为泥石流的形成提供了充足的物源。因此,震区泥石流沟谷暴发泥石流时所需的固体物质已不单纯的受制于形成区的供给,在其流通区以上的沟谷流域都可能在强降雨过程中参与泥石流的补给。对于研究区的泥石流沟谷来说,对比其流通区以上流域的地形条件具有重要意义。因而,本文所研究的地形条件主要是泥石流沟流通区以上流域的地形条件。

在沟谷地形条件的统计中,沟床纵比降、形状系数和流域相对切割程度可通过下列公式计算得到:

$$J = H/L$$

式中: J ——沟床纵比降;

H ——流域相对高差(km);

L ——流域主沟道长度(km)。

$$F = A/L^2$$

式中: F ——形状系数;

A ——流域面积(km²);

L ——流域主沟道长度(km)。

$$h' = H_{max}/C$$

式中: h' ——流域相对切割程度;

H_{max} ——流域最大相对高差(km);

C ——流域周界长度(km)。

通过野外调查并结合研究区区域资料,对兴文坪、磨子沟和野牛沟的地形条件进行对比分析可以看出:在地质和降雨资料都相似的情况,除相对高差略小于野牛沟外,磨子沟在沟床纵比降、形状系数和流域相对切割程度方面对泥石流形成的影响都优于兴文坪和野牛沟(表 2)。

再利用 ARCGIS 软件将研究区 DEM 转换成 40m × 40m 的栅格网络后对其泥石流沟进行坡度和坡向的划分。由于受地震的影响,研究区内所发育的大量的崩塌、滑坡等次生地质灾害均成为泥石流发育所需的物质来源,根据韩用顺等人对岷江流域上游地质灾害发育情况的研究^[15],在坡度方面,研究区内有利于山地灾害发生的坡度为大于 35°的中陡坡区域,且随

着坡度增大,次生山地灾害发生的可能性也增大,其中最有利于次生山地灾害发生的坡度为大于 50°的陡坡区域。因此,对兴文坪、磨子沟和野牛沟来说,在大于 50°的这个坡度范围内,磨子沟所拥有的比例最大,且在 35°~50°这个范围,磨子沟也占有相当大的比例,就有利于山地灾害发生的坡度范围(大于 35°)来说,其所占的比例也最大(表 3)。而在坡向方面,

22.5°~67.5°,337.5°~22.5°,112.5°~157.5°和 292.5°~337.5°为次生地质灾害的易发坡向,而 22.5°~67.5°为最容易发生地质灾害的坡向。对应研究区的坡向依次为东北、北、东南和西北,东北向坡最容易发生次生灾害。通过对比可以看出,磨子沟在东北坡向以及有利于发生次生灾害的坡向中均有最大的比例(表 4)。

表 2 研究区地形条件对比
Table 2 Comparison of topographic conditions of study area

泥石流沟名称	地层岩性	距断裂带垂直距离(km)	年最大日降雨量(mm)	相对高差(mm)	沟床纵比降	完整系数	相对切割程度
兴文坪	花岗岩	9.69	95	1.24	0.449	0.190	0.211
磨子沟	花岗岩	11.23	93	2.48	0.494	0.277	0.240
野牛沟	花岗岩	14.55	86	2.84	0.287	0.245	0.138

表 3 研究区泥石流沟坡度分析
Table 3 Debris flow gully slope analysis of study area

坡度范围(°)	0~8	8~15	15~25	25~35	35~50	>50	>35
兴文坪	0.55%	1.54%	6.26%	21.30%	38.64%	31.72%	70.36%
磨子沟	0.50%	0.96%	3.16%	7.31%	48.71%	39.35%	88.06%
野牛沟	0.50%	1.42%	4.40%	16.25%	54.75%	22.68%	77.43%

表 4 研究区泥石流沟坡向分析
Table 4 Debris flow gully slope direction analysis of study area

坡向及范围	兴文坪	磨子沟	野牛沟
平面(-)	0.11%	0.07%	0.00%
北(0°~22.5°)	3.29%	11.37%	7.87%
东北(22.5°~67.5°)	14.60%	24.18%	15.08%
东(67.5°~112.5°)	46.54%	11.41%	21.56%
东南(112.5°~157.5°)	32.05%	21.41%	13.94%
南(157.5°~202.5°)	1.65%	20.61%	14.22%
西南(202.5°~247.5°)	0.00%	2.06%	8.94%
西(247.5°~292.5°)	0.00%	0.07%	3.77%
西北(292.5°~337.5°)	0.11%	0.94%	6.92%
北(337.5°~360°)	1.65%	7.88%	7.70%
有利坡向	19.54%	43.43%	30.65%

对研究区 3 条泥石流沟地形条件的对比分析表明,磨子沟除在相对高差略小于野牛沟外,在沟床纵比降、沟谷形态、发育程度、山坡坡度以及坡向等地形条件方面均占有优势。

通过对研究区兴文坪、磨子沟和野牛沟 3 条泥石流沟地貌发育阶段和地形条件进行对比研究后可以得出:磨子沟从地貌发育上就处于泥石流活动更加旺盛的阶段,而其的地形条件也更有利于泥石流的形成,因此就该区域来说,磨子沟暴发泥石流的频率应

该更高。而根据有关资料和现场调查表明,地震过后磨子沟暴发泥石流十分频繁,仅 2008 年 7~9 月就暴发了 75 阵阵流^[16],而兴文坪和野牛沟每年最多暴发 2~3 次泥石流,其频率远低于磨子沟,准确地印证了对比的结果。

3 结论

在对研究区兴文坪、磨子沟和野牛沟 3 条泥石流沟地形地貌条件和暴发频率的对比后,得出以下结论:

(1)在某一区域内的泥石流沟,当其地质和降雨条件都相类似的情况下,地形条件就是控制其泥石流暴发的关键因素,且沟谷地形条件越好,越容易暴发泥石流。

(2)流域地貌信息熵 *H* 值越小,表明流域所处的地貌发育阶段越年轻,其流水侵蚀活动也越旺盛,地形条件也相对越有利于泥石流的暴发。

(3)通过对类似区域(地质和降雨条件相差不大)的泥石流沟地形条件的对比,可以有针对性的对该区域地形条件最有利于泥石流发生的沟谷进行重点防治和预警预报,以较少突发性灾害所带来的损失。

参考文献:

- [1] 费祥俊,舒安平. 泥石流运动机理与灾害防治[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- FEI Xiangjun, SHU Anping. Debris flow movement mechanism and disaster prevention [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [2] 许强. 四川省8·13特大泥石流灾害特点、成因与启示[J]. 工程地质学报, 2010, 18(5): 610-621.
- XU Qiang. The 13 August 2010 catastrophic debris flow in Sichuan province: Characteristics, genetic mechanism and suggestion [J]. Journal of Engineering, 2010, 18(5): 610-621.
- [3] 足立胜治, 德山九仁夫, 中筋章人, 等. 土石流发生危险度の判定にμやて[J]. 新砂防, 1977, 30(3): 7-16.
- [4] D. Alexander. Natural disaster framework for research [J]. Disasters, 1991, 15(3): 209-226.
- [5] Eldeen M. T, Predisaster Physical Planning: Integration of disaster risk anaysis into physical planning-A case study in Tunisia[J]. Disasters, 1980, 4(2): 211-222.
- [6] 刘希林. 泥石流危险度の判定的研究[J]. 灾害学, 1988, 3(3): 10-15.
- LIU Xilin. Debris flow risk decision research[J]. Journal Of Catastrophology, 1988, 3(3): 10-15.
- [7] Yu B., Li L., MaY., et al. (2011) Research on topographical factors in the formation of gully type debris flows, River, Coastal and Estuarine Morphodynamics: RCEN2011, Beijing: Tsinghua University Press: 1-10.
- [8] 方琼,段中满. 湖南省地形地貌与地质灾害分布关系分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(2): 83-88.
- FANG Qiong, DUAN Zhongman. Distribution analysis of topography and geological hazards in Hunan province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2): 83-88.
- [9] 孙然好,潘保田,王义祥. 祁连山北麓地貌信息熵与山体演化阶段分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 88-93.
- SUN Ranhao, PAN Baotian, WANG Yixiang. Analysis on the geomorphic in formation entropies and the evolution of the Qilian Mountains [J]. Arid Land Geography, 2006, 29(1): 88-93.
- [10] 艾南山. 侵蚀流域系统的信息熵[J]. 水土保持学报, 1987, 1(2): 1-8.
- AI Nanshan. Commentropy in erosional drainage-system [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1987, 1(2): 1-8.
- [11] 陈宁,杨武年,杨鑫. 基于GIS的岷江映秀段泥石流危险性评价[J]. 测绘, 2012, 35(1): 3-5.
- CHEN Ning, YANG Wunian, YANG Xin. Hazard assessment of debris flow based on geography in formation system technology[J]. Survey and Draw, 2012, 35(1): 3-5.
- [12] 艾南山,岳天祥. 再论流域系统的信息熵[J]. 水土保持学报, 1988, 2(4): 1-9.
- AI Nanshan, YUE Tianxiang. Second discussion of the comentropy of drainage-system [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1988, 2(4): 1-9.
- [13] 朱渊,余斌,陈源井,等. 贵州望漠打蒿沟“6·06”泥石流特征[J]. 山地学报, 2012, 30(5): 599-606.
- ZHU Yuan, YU Bin, CHEN Yuanjing, et al. The 6·06 disaster characteristics and forming mechanism of debris flow In Wangmo, Guizhou [J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(5): 599-606.
- [14] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治[M]. 四川: 四川科学技术出版社, 2000: 143-145.
- Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences. Research and prevention of debris flow [M]. Sichuang: Sichuang Science and technology Press, 2000. 143-145.
- [15] 韩用顺,梁川,崔鹏,等. 地形条件对次生山地灾害易发性分析[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2010, 42(S): 15-21.
- HAN Yongshun, LIANG Chuan, CUI Peng, et al. Susceptibility of mountain hazards triggered by Wenchuan earthquake to gopographic factors[J]. Journal of Sichuan University(engineering science edition), 2010, 42(S): 15-21.
- [16] 苏鹏程,韦方强,程尊兰. 5·12汶川地震对磨子沟的影响及震后泥石流活动状况[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(3): 16-23.
- SU Pengcheng, WEI Fangqiang, CHENG Zunlan. Debris flow activity of Mozi Gully after Wenchuan earthquake on May 12[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(3): 16-23.

(下转第25页)