

# 四川省安县千佛山景区震后泥石流灾害及其判识

陈兴长<sup>1</sup> 游 勇<sup>2</sup> 柳金峰<sup>2</sup> 陈 慧<sup>1</sup>

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:**汶川地震对千佛山风景区造成严重的影响,直接诱发滑坡10处,崩塌数十处,形成大小堵塞坝4座,由此形成的松散物质总量大于 $1\ 700 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。2008年雨季有5条支沟暴发泥石流。在泥石流成因分析的基础上,选择流域形状、流域发育程度、沟床纵比降、山坡平均坡降、地层岩性和距发震断层距离6个指标,利用潜在泥石流判识模型,对流域内其余9条支沟进行了判断。结果显示,大部分沟道都具备形成泥石流的潜在条件。2009年雨季研究区全面暴发的大规模泥石流,验证判识的可靠性,表明该模型可以用于灾区潜在泥石流的判识。

**关键词:**汶川地震;潜在泥石流;成因分析;判识模型;千佛山风景区

中图分类号: P642.23/P954 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2011)12-1500-06

汶川地震灾区震后泥石流发生的临界条件明显降低<sup>[1]</sup>。不仅如此,大量震前没有泥石流发生记录的区域,震后也频频暴发泥石流,如北川县的苏宝河流域、安县的千佛山风景区等<sup>[2,3]</sup>。地震重灾区在震后相当长一段时期内都会面临着泥石流灾害的严重威胁<sup>[4,5]</sup>。因此,加强震后成灾条件变化情况下泥石流灾害研究,尤其是潜在泥石流的判识研究具有十分重要的现实意义。

泥石流沟的地貌特征及其演化方面已开展了较多的研究<sup>[6-10]</sup>。其中,崔鹏在对四川金川县220条泥石流沟地貌要素综合研究的基础上,提出“泥石流是地貌发育到一定阶段的产物”<sup>[11]</sup>。李泳等通过对流域演化的深入研究后发现,流域演化存在着普遍规律,并认为泥石流是流域演化历史的“特殊一幕”<sup>[12,13]</sup>。笔者在以上两位学者研究的基础上,提出潜在泥石流沟是沟道发育的一个特殊阶段,潜在泥石流的判识应该属于沟道发展阶段的判断。在此基础上,利用地震极重灾区泥石流调查数据构建了震后潜在泥石流的判识模型<sup>[14]</sup>。

千佛山风景区位于地震极重灾区的安县境内。金溪河是景区内的一条主要河流,对地貌的形成和演化起重要控制作用。本文以该区域为主要研究区,通过对区内地震次生山地灾害的调查和勘测,深入分析了震后泥石流的形成条件,并利用潜在泥石流判识模型对该流域泥石流沟进行判识。

## 1 研究区概况

千佛山景区位于汶川地震极重灾区的四川省安县西北部,安县、北川和茂县交界处。以中山地貌为主,谷坡陡峻,梁顶圆缓,梁坡坡角在 $35 \sim 60^\circ$ 之间,局部形成陡崖。震前为国家级森林公园,植被茂盛,地表覆盖率高。

金溪河既是进入千佛山景区的通道,也是景区的重要组成部分。流域呈长条形,主河居中,两岸支沟与主河近直交,沟道较短。流域面积 $41.0 \text{ km}^2$ ,流域的最高点——千佛山海拔 $2\ 942.2 \text{ m}$ ,最低点——茶坪河 $760 \text{ m}$ ,主河长 $14.7 \text{ km}$ ,河床平均坡降 $148.5\%$ ,流向自NW向SE方向(图1)。

研究区地跨前后龙门山变塑带,地质构造复杂。对该流域有影响的构造主要有映秀-北川逆冲断裂、大屋基倒转复背斜、高川坪倒转向斜、千佛山冲断层、高川坪斜冲断层等(图2)。地层以元古代震旦纪的硅质岩和古生代的硅质岩、千枚岩和灰岩为主,中部有少量侵入岩,侵入在震旦纪的硅质岩中。地层总体倾向NW,倾角 $45^\circ$ 左右,部分地段受构造的影响倾向变化较大。岩层的产状控制了流域内滑坡和崩塌发育情况。

研究区所在区域属亚热带湿润季风气候区,四季分明,多年平均气温 $15.6^\circ\text{C}$ 。该区位于鹿头山暴雨中心区边缘,年均降雨量 $900 \sim 1\ 417 \text{ mm}$ ,年

收稿日期:2010-12-40; 修订日期:2011-02-40

基金项目:中国科学院知识创新项目群(KZCX2-YW-Q03-5-2)、国家科技支撑计划课题(2009BAK56B05)、西南科技大学博士研究基金项目(10zx7129)资助。

作者简介:陈兴长(1970-),男,河南泌阳县人,副教授,主要研究方向为地质灾害及其防治。E-mail: mygeotech@126.com

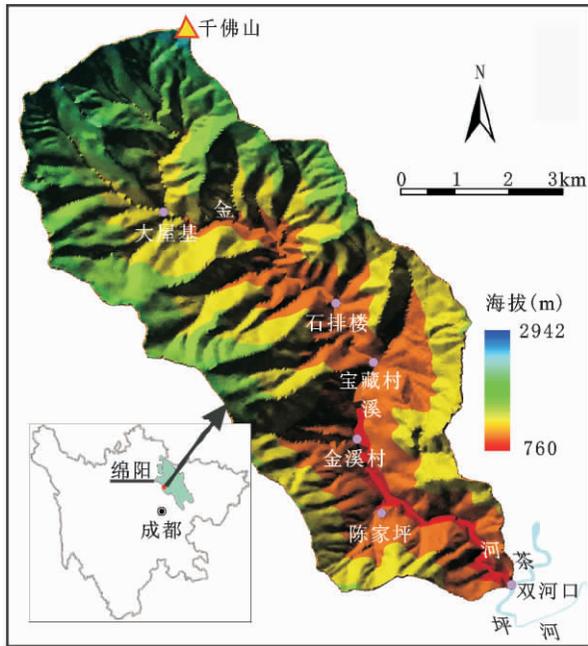


图 1 金溪河流域地势及其位置

Fig.1 Location and relief of Jinxihe river catchment in Qianfoshan scenic spot, Sichuan Province

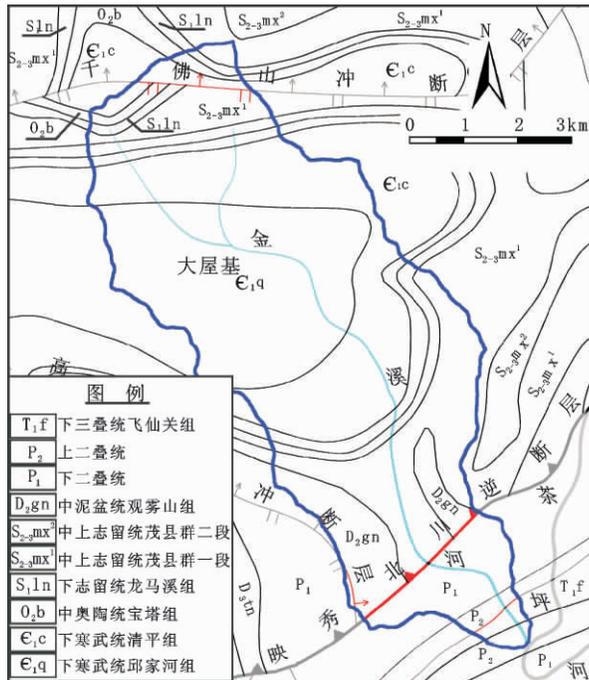


图 2 金溪河流域地质简图

Fig.2 Geological map of Jinxihe river catchment

最大降雨量 2 340 mm (1967 年), 日最大降雨量 101 mm 时最大降雨量 32 mm; 年降雨量绝对值可达 2 000 mm 以上。降雨集中于 6~9 月, 占全年降雨量 71%~76%, 最高达 90% (1981 年), 各年降

雨分布不均。

## 2 震后次生山地灾害发育情况

图 3 系该流域正射影像及灾害分布图, 从图中可以看出, 地震对该流域破坏十分严重。

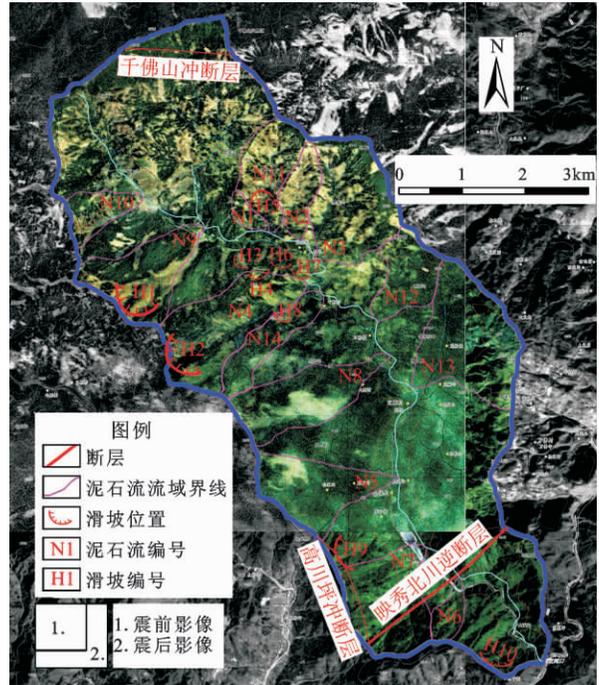


图 3 金溪河流域正射影像及灾害分布

Fig.3 Post-quake digital orthophoto and distribution of hazards in Jinxihe river catchment

### 2.1 崩塌和滑坡

地震导致崩塌滑坡成片发育, 仅主河两岸明显的滑坡就达 10 处, 崩塌数十处 (图 3 和表 1)。部分崩滑体堵塞主河, 形成堰塞湖。

### 2.2 泥石流

该流域共有支沟 14 条, 震前有一条老泥石流沟 (N<sub>5</sub>)。2008 年雨季暴发 5 处泥石流 (表 2)。

### 2.3 堰塞坝

地震诱发的滑坡堵塞主河形成 4 处较大的堰塞坝。此外 2008 年雨季暴发的泥石流 (N<sub>2</sub>) 也堵塞主河形成堰塞坝, 在后期洪水冲刷下, 堆积体前缘被冲开, 但仍残存部分堰塞湖 (表 3)。

## 3 泥石流形成条件分析

### 3.1 地貌条件

通过现场调查、勘测和室内分析, 对该流域主河两岸的沟道特征进行了深入研究。结果表明, 主

表 1 金溪河流域内主要滑坡基本特征

Table 1 Basic features of landslides in Jinxihe river catchment

编号	性质	位置	滑坡概况
H <sub>1</sub>	岩质顺层滑坡	右岸	后缘宽约 800 m,前缘掩埋公路约 100 m,运行距离约 2 km,体积约 $70 \times 10^4 \text{ m}^3$
H <sub>2</sub>	土质为主	右岸	后缘宽约 200 m,前缘掩埋公路约 60 m,运行距离约 1 km,体积约 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$
H <sub>3</sub>	岩质滑坡	右岸	后缘距堰塞坝顶距离 90 m,体积约 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;堵塞主河,形成堰塞坝 D <sub>1</sub>
H <sub>4</sub>	岩质滑坡	右岸	后缘距堰塞坝顶距离 125 m,体积约 $1.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;与 H <sub>3</sub> 一起形成堰塞坝 D <sub>1</sub>
H <sub>5</sub>	岩质滑坡	左岸	后缘距堰塞坝顶距离 280 m,体积约 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中 $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 参与形成堰塞坝 D <sub>1</sub>
H <sub>6</sub>	岩质滑坡	右岸	后缘顶距水面 87 m,体积约 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;堵塞主河形成堰塞坝 D <sub>2</sub>
H <sub>7</sub>	岩质顺层滑坡	右岸	后缘距公路高度 83 m,堆积体高 33 m,前缘宽 50 m,体积约 $1.3 \times 10^4 \text{ m}^3$
H <sub>8</sub>	岩质顺层滑坡	右岸	后缘高 162 m,堆积体高约 55 m,前缘宽 67 m,滑坡体积约 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3$
H <sub>9</sub>	岩质顺层滑坡	右岸	后缘位于海拔 1 640 m 处,高约 100 m;地震时以抛射的方式从山顶滑落至公路上,落差达 760 m,水平抛射距离约 1 200 m,体积约 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;该滑坡后缘刚好位于高川坪冲断层通过部位
H <sub>10</sub>	岩质顺层滑坡	右岸	后缘高 125 m,体积约 $17 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;堆积体高 87 m,前缘宽约 95 m,形成 D <sub>4</sub> 堰塞坝

表 2 2008 年暴发的泥石流基本特征

Table 2 Basic features of debris flows occurred in 2008 in Jinxihe river catchment

编号	性质	位置	泥石流概况
N <sub>1</sub>	粘性泥石流	左岸	冲沟泥石流,堆积物总体积约 $3 500 \text{ m}^3$
N <sub>2</sub>	粘性泥石流	左岸	2009 年暴发的泥石流,叠加在 2008 年“9.24”泥石流之上。堆积物体积约 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,混有大量的树干和树根;泥石流堆积物堵塞河道形成堰塞湖 D <sub>3</sub>
N <sub>3</sub>	粘性泥石流	左岸	堆积物为黑色的变质粉砂岩和石英砂岩,粒径较均匀,细颗粒物较多,堆积扇体积约 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$
N <sub>4</sub>	粘性泥石流	右岸	堆积物为变质细砂岩和砂板岩,堆积扇前缘被洪水冲刷,保留不完整
N <sub>5</sub>	粘性泥石流	右岸	老泥石流挤压主河,导致河流在泥石流沟口处弯向对面;新发泥石流阻断景区公路

表 3 金溪河流域堰塞坝基本特征

Table 3 Basic features of barrier dams in Jinxihe river catchment

编号	位置		性质	堰塞坝概况
	经度	纬度		
D <sub>1</sub>	104°13'1"E	31°42'30"N	岩质坝	坝体顶宽 15 m,底宽 50 m,高 21 m,长(沟宽) 55 m,以块状变质板岩为主,大小混杂,空隙大,未形成明显的堰塞湖
D <sub>2</sub>	104°13'4"E	31°42'28"N	岩质坝	坝体系 H <sub>6</sub> 滑坡体,以变质砂板岩为主,块体大,坝体空隙大且畅通,仅在上游仅形成了一小型堰塞湖
D <sub>3</sub>	104°13'20"E	31°42'25"N	泥石流堆积物	堰塞坝系泥石流(N <sub>2</sub> )堆积物,长 90 m,宽约 60 m,高约 1.5 m;坝体粘粒含量高,级配好,透水性差,堵塞后在形成一堰塞湖
D <sub>4</sub>	104°13'26"E	31°42'23"N	土石坝	滑坡体(H <sub>10</sub> )堵塞主河道,形成面积约 $0.3 \text{ km}^2$ 的堰塞湖

河两岸 14 条沟道汇水面积都较小,介于  $0.19 \sim 2.27 \text{ km}^2$ ;沟道长度  $0.88 \sim 2.62 \text{ km}$ ;流域周长为  $1.91 \sim 6.83 \text{ km}$ ;相对高差为  $560 \sim 120 \text{ m}$ ;沟床比降为  $263.4\% \sim 640.2\%$ ,平均  $489.5\%$ 。据此计算得到流域完整系数介于  $0.17 \sim 0.52$ ;相对切割度  $0.09 \sim 0.29$ 。统计结果表明,这些沟道大都处于沟道发育的幼年期,沟道相对较陡,有利于雨水的径流和汇流。

### 3.2 松散物质条件

研究区原为国家级森林公园,震前植被覆盖度达 96%。震后地表破坏十分严重,大面积植被失去立足之地。根据遥感解译,流域内 60% 的植被

被破坏,地表层破坏厚度平均约  $0.5 \text{ m}$ 。据此估算,地震造成的表层松散物质总量达  $1 230 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;震前流域植被覆盖率达 96%,森林破坏率按地表破坏面积(60%)计算,每  $\text{m}^2$  产生的植被残体按  $0.05 \text{ m}^3$  计,共产生植物残体约  $118 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;流域内主要滑坡体积总量约  $180.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;由于崩点多面广,无法实测,据估计体积在  $200 \times 10^4 \text{ m}^3$  左右。因此,该流域震后产生的松散物质总量约为  $1 728.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

地震产生的松散物质结构松散,孔隙度高,如果雨量充足,很容易达到饱和,以泥石流的形式下泄,或向下蠕动进入沟床。植被的破坏导致地表失

去侵蚀的缓冲保护层, 加剧松散物质的侵蚀速度。大量的崩塌和滑坡堆积在坡脚堵塞沟道, 影响沟道的过流能力, 甚至堵断沟道。此外, 森林植被残体堵塞主、支沟的现象也很严重, 泥石流冲出物中含有大量树根和树干等植物残体。

总之, 松散物质条件的变化是影响震后泥石流活动的关键因素; 松散物质的极大丰富, 增加了震后泥石流暴发的潜在可能性。

### 3.3 降雨条件

震前此区域植被茂盛, 松散物质少, 需要非常强暴雨才能起动物坡面和沟床固体物质。震后大量崩塌、滑坡堆积体为泥石流形成提供丰富的固体物源, 此区域的泥石流由震前受控于松散物质条件转化为震后主要受控于降雨条件。研究区处于鹿头山暴雨中心, 雨量充沛, 泥石流形成的水力条件充足。一旦遭遇强降雨, 很容易形成大规模泥石流。

## 4 潜在泥石流判识

泥石流是地貌发育到一定阶段的产物, 是流域演化历史的特殊一幕<sup>[11~13]</sup>。潜在泥石流应该是那些已经具备形成泥石流的地形地貌组合特征, 但尚未暴发泥石流的沟道。潜在泥石流判识是对沟道是否具备暴发泥石流条件的综合评判<sup>[14]</sup>, 不同于以往的泥石流风险评价工作<sup>[18~21]</sup>。

震后由于松散物质条件对沟道性质起着决定性的作用, 因此极震区潜在泥石流的判识还应该把松散物质条件作为重要的判识指标之一。

2008 年该流域已有 5 条支沟暴发了泥石流(表 2)。利用文献[14]构建的潜在泥石流判识模型, 对流域内其余 9 条支沟进行判识。

### 4.1 判识指标

根据震后泥石流形成条件, 潜在泥石流判识主

要依据流域的地貌条件和松散物质条件。根据文献<sup>[14]</sup>, 地貌条件选择流域形状、流域发育程度、沟床纵比降、山坡平均坡度 4 个指标。由于极震区大部分沟道都不具备通行条件, 无法直接勘测沟内松散物质质量; 遥感的手段只能获得崩塌滑坡的面积, 目前还无法准确计算其体积。因此, 松散物质条件采用了地层岩性和流域中心距发震断层的距离两个替代指标(表 4)。

### 4.2 判识方法

文献[14]依据地震灾区老泥石流沟和 2008 年雨季新发泥石流作为泥石流样本集, 以实际调查的非泥石流沟为非泥石流样本集, 构建了震后潜在泥石流的判识模型。

1) 判别函数。  $Y = -0.003 x_1 + 0.045 x_2 - 0.013 x_3 - 0.081 x_4 + 0.086 x_5 - 0.358 x_6$

式中  $x_1$  为流域距断层距离的倒数;  $x_2$  为流域完整系数;  $x_3$  为相对切割程度;  $x_4$  为沟床纵比降;  $x_5$  为山坡平均坡降;  $x_6$  为岩组类型。

2) 判别准则。由于  $\bar{Y}^{(1)} > \bar{Y}^{(2)}$ , 因此该模型的判别准则为:

$$\begin{cases} Y > Y_c & \text{样品属于非泥石流} \\ Y < Y_c & \text{样品属于泥石流} \\ Y = Y_c & \text{无法判断(待判)} \end{cases}$$

这里  $Y_c = -0.001646$ 。

### 4.3 判识结果

利用构建的判别指标(表 4), 用上述判识模型对研究区 2008 年未发泥石流的 9 条支沟进行判识(表 4)。

### 4.4 判识结果验证

笔者曾于 2008 年 8、11 月, 2009 年 8 月, 2010 年 3 月中旬 4 次对该流域进行考察。2008 年 9 月 24 日暴发震后的第一场群发性泥石流(共 5 条)。

表 4 金溪河流域潜在泥石流判识指标及判识结果

Table 4 Discrimination parameters and results of potential debris flows in Jinxihe river catchment

编号	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	计算结果	判识结论
N <sub>6</sub>	0.200	0.263	0.265	0.498	0.673	0.019	0.018	非
N <sub>7</sub>	1.563	0.519	0.135	0.414	0.621	0.035	0.023	非
N <sub>8</sub>	0.310	0.238	0.183	0.427	0.774	0.224	-0.041	是
N <sub>9</sub>	0.147	0.310	0.158	0.406	0.710	0.308	-0.071	是
N <sub>10</sub>	0.129	0.421	0.211	0.596	0.731	0.308	-0.080	是
N <sub>11</sub>	0.170	0.298	0.223	0.548	0.757	0.224	-0.049	是
N <sub>12</sub>	0.259	0.346	0.221	0.573	0.834	0.224	-0.043	是
N <sub>13</sub>	0.384	0.409	0.091	0.263	0.707	0.224	-0.025	是
N <sub>14</sub>	0.215	0.167	0.207	0.461	0.687	0.224	-0.054	是

2009年8月初考察时,没有新增泥石流沟。然而,在2010年3月再次考察时发现,整个流域所有支沟都暴发大规模泥石流,主河床淤高3~5 m,景区道路和两岸民房全部被淤埋。

据调查,此次群发性泥石流灾害是在2009年8月17日暴雨激发下形成的。这次群发性泥石流事件验证了该模型的判识效果,进一步表明该模型可以用于地震灾区潜在泥石流的判识。

## 5 结果与讨论

1) 地震期间流域内断裂活动活跃,诱发灾害数量多,类型全。从图3可以看出,千佛山冲断层通过部位,地表破坏十分明显。这表明千佛山冲断层在地震中发生了明显的错动。高川坪斜冲断层正好从 $H_0$ 滑坡后缘通过,可以推断,滑坡的形成主要是由该断层在地震中活动所致。地震中通过该流域的三条断裂全面活动。断裂活动导致地表破坏非常严重,诱发了数量众多、类型齐全的地质灾害。

2) 泥石流活动频繁,具有独特的震后风景区泥石流形成模式。震后该流域每年雨季都会暴发多场大小不等的泥石流,尤以2009年泥石流规模最大。根据调查、访问,诱发此次泥石流的暴雨仅相当2008年“9.24”暴雨的水平(20 a一遇的水平)。“堵溃”是震后泥石流峰值流量显著增大的主要原因<sup>[1,2]</sup>。2008年雨季形成的洪水起动了沟道内的松散物质,部分形成泥石流并冲出沟道。更多的松散物质由于树木残体的阻挡在坡面和沟道内形成梯级“小型”堰塞坝。在2009年8月17日暴雨的作用下,这些堰塞坝溃决,造成级联效应形成大规模泥石流。堵溃模式为:树木残体→堆积于坡面和沟道→堵塞成坝→溃决→逐级溃决→形成大规模泥石流。这是震后风景区泥石流形成的重要特点之一。

3) 潜在泥石流判识模型可以用于灾区潜在泥石流的判识,但仍需进一步改进。该流域2009年暴发的群发性泥石流事件,较好地验证了该模型的判识效果。但是,流域内的 $N_6$ 和 $N_7$ 却判识错误。在构建判识指标时,为体现地震形成松散物质的断层上下盘效应<sup>[22,23]</sup>,处于断层下盘的 $N_6$ 距断层距离增加7 km。从判识结果来看,这种处理方法弱化了发震断层对附近区域松散物质的影响。 $N_7$ 主要是高川坪斜冲断层导致的滑坡堆积物在降雨

作用下起动形成的。但是在构建判识指标时,只考虑了发震断裂的影响,忽略了高川坪斜冲断层的影响。由此可以看出,利用流域中心距发震断层的距离作为松散物质条件的替代指标,仍然具有很大的局限性。下一步应对该模型中的松散物质条件(或者其替代指标),进一步研究,以改进该模型,提高其判识效果。

## 参考文献:

- [1] 唐川,梁京涛.汶川震区北川9.24暴雨泥石流特征研究[J].工程地质学报,2008,16(6):751~758.
- [2] 游勇,柳金峰,陈兴长.“5.12”汶川地震后北川苏保河流域泥石流危害及特征[J].山地学报,2010,28(3):358~366.
- [3] 胡凯衡,游勇,庄建琦,等.北川地震重灾区泥石流特征与减灾对策[J].地理科学,2010,30(4):566~570.
- [4] 崔鹏,韦方强,何思明,等.5.12汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J].山地学报,2008,26(3):280~282.
- [5] 谢洪,钟敦伦,矫震,等.2008年汶川地震重灾区的泥石流[J].山地学报,2009,27(4):501~509.
- [6] 胡凯衡,李泳,韦方强.泥石流流域集水区面积限值与一级水系数目关系[J].地理科学,2005,25(4):473~477.
- [7] 徐刚.坡面泥石流流域地貌要素的概率分布[J].自然灾害学报,2005,14(2):70~74.
- [8] Chen J C, Lin C W, Wang L C. Geomorphic Characteristics of Hillslope and Channelized Debris Flows: A Case Study in the Shitou Area of Central Taiwan [J]. Journal of Mountain Science, 2009, 6: 266~273.
- [9] 陈杰,韦方强,崔鹏.小江流域泥石流堆积扇形成的制约因素及其特征[J].地理科学,2005,25(6):704~708.
- [10] 李泳,胡凯衡,苏凤环,等.流域演化与泥石流的系统性——以云南东川蒋家沟为例[J].山地学报,2009,27(4):449~456.
- [11] 崔鹏.泥石流地貌要素的统计分析[C]//唐邦兴.第二届全国泥石流学术会议论文集.北京:科学出版社,1991:296~302.
- [12] 李泳,胡凯衡,崔鹏,等.泥石流流域的形态特征[J].山地学报,2002,20(1):1~11.
- [13] Li Y, Su P C, Cui P, et al. A Probabilistic View of Debris Flow [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 5(2): 91~97.
- [14] 陈兴长.汶川地震极震区泥石流活动特征与潜在泥石流判识[D].成都:中国科学院成都山地灾害与环境研究所,2010:104~110.
- [15] 马宗晋.中国大陆地震分区及其动力学讨论[C]//中国地质学会构造地质专业委员会.国际大陆岩石圈构造演化与动力学讨论会——第三届全国构造地质会议论文集(II):前寒武纪构造、活动构造与地震以及其他.北京:科学出版社,1990:86~89.
- [16] 张培震,徐锡伟,闻学泽,等.2008年汶川8.0级地震发震断裂的滑动速率、复发周期和构造成因[J].地球物理学报,

- 2008 **51**(4): 1066 ~ 1073.
- [17] Lin A M ,Ren Z K , Jia D ,et al. Co - seismic thrusting rupture and slip distribution produced by the 2008 Mw 7. 9 Wenchuan earthquake ,China[J]. *Tectonophysics* 2009 **471**(3 - 4): 203 - 215.
- [18] 唐 川 朱大奎. 基于 GIS 技术的泥石流风险评价研究[J]. *地理科学* 2002 **22**(3): 300 ~ 304.
- [19] 唐 川 张 军 万石云 ,等. 基于高分辨率遥感影像的城市泥石流灾害损失评估[J]. *地理科学* 2006 **26**(3): 358 ~ 363.
- [20] 原立峰. 基于 SVM 的泥石流危险度评价研究[J]. *地理科学* , 2008 **28**(2): 296 ~ 300.
- [21] 刘希林 陈宜娟. 泥石流风险区划方法及其应用——以四川西部地区为例[J]. *地理科学* 2010 **30**(4): 558 ~ 565.
- [22] Huang R Q ,Li W L. Development and distribution of geohazards triggered by the 5. 12 Wenchuan Earthquake in China [J]. *Science in China Series E: Technological Sciences* ,2009 **52**(4): 810 - 819.
- [23] 黄润秋 李为乐. 汶川大地震触发地质灾害的断层效应分析[J]. *工程地质学报* 2009 **17**(1): 19 ~ 28.

## Characteristics and Discrimination of Debris Flows Following Wenchuan Earthquake in Qianfoshan Scenic Spot of Anxian County , Sichuan Province , China

CHEN Xing-zhang<sup>1</sup> , YOU Yong<sup>2</sup> , LIU Jin-feng<sup>2</sup> , CHEN Hui<sup>1</sup>

- (1. *School of Environment and Resources , Southwest University of Science and Technology , Mianyang , Sichuan 621010 , China;*  
2. *Institute of Mountain Hazards and Environment , Chinese Academy of Sciences , Chengdu , Sichuan 610041 , China*)

**Abstract:** Qianfoshan scenic spot , located in northwest of Anxian County , Sichuan Province , was heavily hit by the Wenchuan Earthquake. Taking the scenic spot as study area , researches on characteristics and discrimination of debris flows following the Earthquake were conducted. Based on remote sensing interpretation and field survey , it was found out that 10 landslides and dozens of rock avalanches and 4 barrier dams were induced by the earthquake , which could provide abundant loose materials for the subsequent debris flows and totaled up to 17 million m<sub>3</sub> in the study area. There were 14 branches in this area and most of them were still in its infancy , which favored the formation of flow concentration and surface runoff. Additionally , rainfall is abundant in the area , and therefore 5 debris flows had been occurred during the rainy season of 2008. To study the properties of the other 9 branches , on the basis of cause analysis of debris flows in this area , the watershed integrity coefficient , relative cutting degree , mean channel gradient , mean mountain slope , stratum lithology and the distance of geometrical center to the fault were selected as discrimination parameters. Using these parameters , the 9 branches were discriminated by the Fisher Discrimination Model. Results showed that most branches were potential debris flow gullies. In August 2009 , all branches burst out large-size debris flows in the study area , which verified effectiveness and feasibility of the model. However , this model had still room for much improvement.

**Key words:** The Wenchuan Earthquake; potential debris flow; cause analysis; discrimination model; Qianfoshan scenic spot