

文章编号: 1008 - 2786 - (2011)6 - 738 - 09

# 汶川地震后四川省都江堰市龙池镇群发 泥石流灾害

余斌, 马煜, 张健楠, 吴雨夫, 张惠惠, 李丽, 褚胜名, 亓星

(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)

**摘 要:** 在 2008 - 05 - 12 汶川地震后的极震区暴发了多处群发性泥石流灾害, 龙溪河流域的龙池“8 · 13”群发泥石流灾害就是其中之一。龙溪河流域在 2010 - 08 - 13 遭遇强降雨过程, 流域内共有 45 处暴发泥石流, 其中 34 处沟谷泥石流, 11 处坡面泥石流, 泥石流冲出总量共  $334 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 造成大量泥沙淤积在龙溪河下游河道内, 该段河床平均淤高 5 m。诱发“8 · 13”群发泥石流的 1 h 降雨量达 75 mm, 相当于 20 a 一遇的 1 h 降雨量。“8 · 13”群发泥石流中 88.9% 的泥石流活动集中在汶川地震发震断裂带附近 3 km 范围内, 仅有 11.1% 的泥石流分布在距汶川地震发震断裂带 3 ~ 5 km 范围。除受汶川地震发震断裂带影响外, 泥石流分布还受地层岩性和地形的影响。龙池群发泥石流以粘性泥石流为主, 占总数的 88.9%, 而稀性泥石流很少, 仅占总数的 11.1%。小规模泥石流占多数, 达到总数的 60.0%; 大规模泥石流很少, 仅占总数的 11.1%, 其他为中等规模泥石流。泥石流流域主要为小流域,  $< 1 \text{ km}^2$  的泥石流流域占多数, 达到总数的 68.9%; 而  $> 3 \text{ km}^2$  的泥石流流域很少, 仅占总数的 6.7%。龙溪河河道内的泥沙淤积受泥石流活动、主河道坡度和宽度的控制, 河道上半段没有泥沙淤积, 而下半段有大量泥沙淤积。龙溪河河道内淤积的泥沙颗粒粒径受沿岸泥石流流域岩性的影响, 粒径从龙溪河上游到下游呈明显的从大到小的变化规律。龙溪河流域在遭遇较强降雨时还会暴发泥石流灾害; 在汶川地震发震断裂带附近的山区, 在暴雨激发下还有可能暴发群发性泥石流灾害。在雨季到来时需要提高警惕, 预防地震次生泥石流灾害, 特别要提防不易被发现的小流域泥石流灾害, 做好防灾预案和预警报工作, 最大程度地减轻泥石流灾害。

**关键词:** 龙池; 龙溪河; 群发; 泥石流; 地震

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

龙溪河位于四川省都江堰市龙池镇, 是岷江的一级支流。龙溪河流域在汶川地震前地质灾害就极为发育, 共有 21 处地质灾害点, 其中泥石流灾害点 2 处。汶川地震后, 位于地震极震区的龙溪河流域在 2008 - 05 - 12、2008 - 06 - 24、2008 - 09 - 25 和 2009 - 07 - 17 相继有 13 条泥石流沟暴发泥石流, 危害公路 780 m, 损毁民房 74 栋, 造成经济损失 5 200 万元。2010 - 08 - 13 龙溪河流域遭遇强降雨过程, 龙池镇暴发群发泥石流灾害(简称“8 · 13”

群发泥石流), 流域内共有 45 处暴发泥石流灾害, 泥石流冲出总量共  $334 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 大量泥沙淤积在龙溪河下游河道内, 使该段河床整体抬升 3 ~ 8 m, 平均淤高 5 m。“8 · 13”群发泥石流对龙溪河流域汶川地震灾后恢复重建安置点、道路、城镇管网、河道及耕地造成了严重影响和破坏, 造成经济损失约 5.5 亿元; 同时由于其群发性及链发性, 危害范围波及整个龙池镇, 威胁资产达 6.3 亿元<sup>[1]</sup>。沿龙溪河河谷分布的绝大多数房屋部分或全部被泥石流掩埋,

**收稿日期** (Received date): 2011 - 01 - 11; **改回日期** (Accepted): 2011 - 07 - 11。

**基金项目** (Foundation item): 国家自然科学基金 (40871054), 973 项目 (2008CB425801) 和地质灾害防治地国家重点实验室自主研究基金 (SKLGP2009Z004)。[Supported by National Natural Science Foundation (40871054), 973 program (2008CB425801) and Independent research foundation of the State Key Laboratory of Geo - hazard Prevention (SKLGP2009Z004).]

**作者简介** (Biography): 余斌 (1966 - ), 男, 四川成都人, 教授, 博士, 主要从事泥石流的形成, 运动和堆积以及浊流的沉积研究。[Yu Bin, male, born in 1966, professor of Chengdu University of Technology, Mainly engaged in debris flows and turbidity currents.] E - mail: drbinyu@gmail.com



a “8·13”前

b “8·13”后

图1 龙池镇八一沟泥石流灾害发生前后的堆积扇特征

Fig. 1 The deposition fan prior to and after debris flow occurrence in Baiyi gully near Longchi Town

其中以八一沟泥石流灾害最为典型和严重。八一沟位于龙池镇附近龙溪河右岸,流域面积仅  $8.7 \text{ km}^2$ ,在“8·13”群发泥石流过程中,先后有两次大规模的泥石流冲出,集中于08-13T16:00左右和08-14T5:00左右,在堆积扇上淤积量约  $31 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,将沟内已完工的泥石流治理工程(拦挡坝和排导槽)全部摧毁,冲毁堆积扇上安置区板房100余间,淤埋公路约200 m(图1)。2010-08-18龙溪河流域再次遭遇较强降雨过程,又暴发6处泥石流灾害。

为了进一步查明龙池群发泥石流的发生原因和发展趋势,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组织调查组对龙溪河流域在汶川地震后发生的泥石流进行了现场调查,着重调查了2010-08-13的泥石流灾害,分析了泥石流的群发特征、成灾原因、成灾过程,探讨了将来龙溪河流域泥石流的发展趋势并提出了泥石流的防治建议,为今后泥石流的防灾减灾提供了依据。

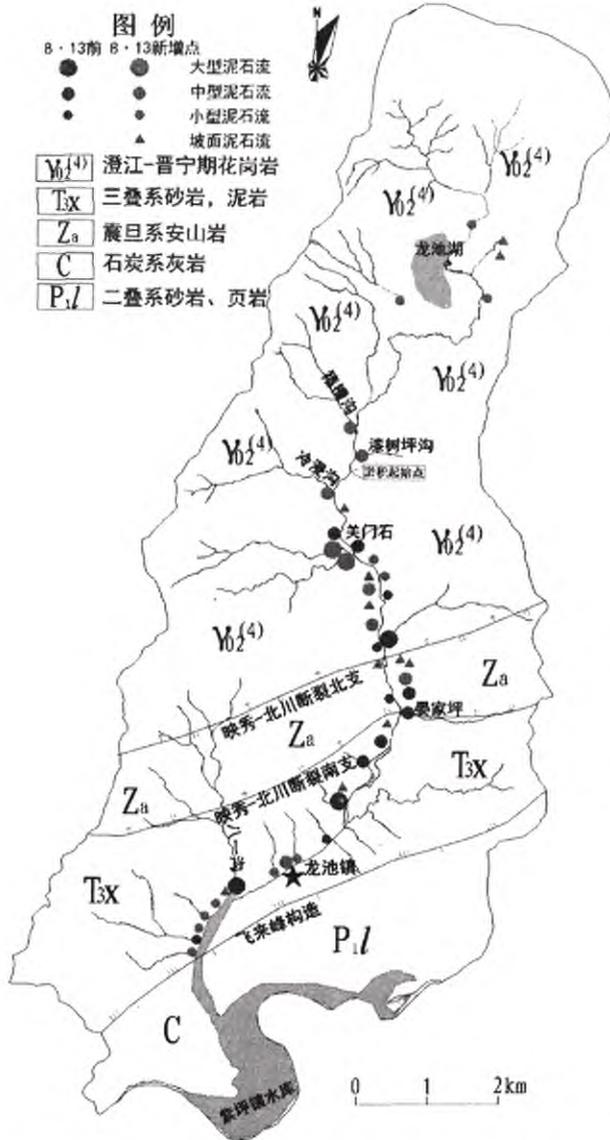
## 1 龙溪河流域环境背景

龙溪河位于四川省都江堰市西北部山区的龙池镇,属长江流域岷江水系的一级支流。龙溪河源出龙溪河流域北端的龙池岗,至南端的楠木园入岷江,流向总体由北向南,流域面积  $96.78 \text{ km}^2$ ;龙溪河全长  $18.22 \text{ km}$ ,平均流量  $3.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大流量  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最小流量  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 。龙溪河河道上半段冷浸沟以上的主河道坡度较陡,平均坡度为  $132 \text{ ‰}$ ,主河道狭窄,平均宽度为  $8 \text{ m}$ ;龙溪河河道下半段冷浸沟以下的主河道坡度较缓,平均坡度为  $45 \text{ ‰}$ ,主河道较宽阔,平均宽度为  $25 \text{ m}$ 。龙溪河主要支流有猪槽沟、孙家沟、碱坪沟、水鸠坪沟、煤炭洞沟、八一沟等。

流域内地形变化大,整体地势北高、南低,相对高差较大,在地形上属低-中山及河谷平坝阶梯状分布,地貌上属构造侵蚀低-中山地貌、堆积侵蚀低山地貌及构造侵蚀溶蚀中山地貌。龙溪河流域平面呈树枝状分布,以主河龙溪河居中,在其两侧发育有多条泥石流沟。

龙溪河流域居龙门山断裂构造带,陡峻的峡谷地貌使龙溪河具有以下地形特征:1. 流域相对高差大:全流域内最高峰为北端的龙池岗山顶,海拔  $3290 \text{ m}$ ,最低点位于南端紫平铺水库边,海拔  $770 \text{ m}$ ,相对高差  $2520 \text{ m}$ 。各泥石流支沟相对高差  $723 \sim 1605 \text{ m}$ ,最大的是八一沟  $1605 \text{ m}$ ,最小的是椿牙树沟  $723 \text{ m}$ 。2. 沟床纵坡陡:整个龙溪河流域平均纵比降  $126 \text{ ‰}$ ,泥石流支沟纵比降  $376 \text{ ‰} \sim 573 \text{ ‰}$ 。3. 流域山坡坡度大:流域山坡坡度在  $300 \sim 700 \text{ ‰}$ 间;在流域内龙池湖附近及其上游地区的山坡坡度最为陡峻,与之相反的是在流域的东南部分的晏家坪下游到紫平铺水库左岸山坡坡度较缓,这两个区域与流域内别的区域有明显的不同。4. 大部分泥石流流域都  $< 1.0 \text{ km}^2$ ,仅个别泥石流沟流域面积  $> 3.0 \text{ km}^2$ 。由此可见,该流域具有山高、坡陡、沟床比降大、支沟面积小的特征。巨大的地形高差,使沟道的松散堆积物具有较大的势能,陡峻的沟床和山坡为松散物质的启动提供了有利的条件,较小的流域面积便于径流的快速汇集。根据对2010-08-13龙池群发泥石流的现场调查,在龙溪河流域内共有45处泥石流灾害点,其中沟谷泥石流沟34处,坡面泥石流11处(图2)。

龙溪河流域在地质构造体系上为龙门山构造带的中南段,属华夏构造体系。在大地构造上分别属扬子准地台和青藏地槽区,地质构造复杂,区内褶



泥石流规模与总量关系: 总量  $< 1 \times 10^4 m^3$ , 小型;  $1 \times 10^4 m^3 \leq$  总量  $< 10 \times 10^4 m^3$ , 中型;  $10 \times 10^4 m^3 \leq$  总量  $< 50 \times 10^4 m^3$ , 大型

图2 龙溪河流域及泥石流灾害分布

Fig. 2 The catchment of Longxi River and the distribution of debris flows

皱构造和断裂构造发育: 褶皱构造有彭灌复背斜, 青城山向斜和背斜; 断裂构造有虹口-映秀断裂北支和虹口-映秀断裂南支。流域内出露的地层岩性丰富, 主要有第四系崩滑堆积物 ( $Q_4^{del}$ )、第四系洪积物 ( $Q_4^{pl}$ )、第四系崩坡堆积物 ( $Q_4^{c+d}$ ), 第四系地层主要分布在山前台地以及山区河流谷地、沟口和部分平缓斜坡中下部, 以碎块石为主; 石炭系 (C) 和二叠系下统梁山组 ( $P_{1l}$ ) 主要分布在龙溪河南端飞来峰构造以南的紫坪铺水库两侧, 以灰岩、砂岩和页岩为主; 三叠系上统须家河组 ( $T_{3x}$ ) 主要分布在虹口-映秀断裂南支和飞来峰构造之间, 以砂岩、泥岩、

碳质页岩为主; 震旦系下统火山岩组 ( $Z_a$ ) 主要分布在虹口-映秀断裂南支和虹口-映秀断裂北支之间, 以灰绿色安山岩、凝灰岩及安山玄武岩为主; 澄江-晋宁期斜长花岗岩分布广泛, 主要分布在虹口-映秀断裂北支以北地区, 以花岗岩为主 ( $\gamma_{02}^{(4)}$ )。

龙溪河流域是一个地震活动频繁的地区, 流域内的虹口-映秀断裂北支 (映秀-北川断裂带的一部分) 是汶川地震的发震断裂。在汶川地震主震发生后, 映秀-北川断裂带相继发生 3.4 万余次的余震, 其中 4 级以上的余震 200 多次。虹口-映秀断裂北支 3~5 km 宽带状区内地震最高烈度达 XI 度, 其余山区地震烈度 X 度。根据国家标准 GB18306-2001《中国地震动参数区划图》第 1 号修改单 (国标委服务函[2008]57 号) 对四川、甘肃、陕西部分地区地震动参数的相关规定, 该区地震动峰值加速度为 0.20 g, 地震动反应谱特征周期为 0.4 s。

龙溪河流域内出露的岩性主要以花岗岩、砂岩、泥岩、碳质页岩为主, 安山岩、凝灰岩及安山玄武岩次之。由于龙溪河流域内有虹口-映秀断裂北支和虹口-映秀断裂南支穿过, 导致流域内岩层破碎, 极易产生崩塌滑坡。汶川地震后, 龙溪河流域发育有大量的崩塌滑坡及松散堆积物, 龙池“8·13”群发泥石流后的龙溪河流域仍然发育有崩塌滑坡 66 个, 物源量约  $1.692 \times 10^4 m^3$ 。龙溪河流域主要支沟之一的八一沟内发育有众多的崩塌滑坡, 在中下游区域内, 松散物体积约  $308 \times 10^4 m^3$ 。关门石也是该流域内主要物源区, 关门石为 4 条泥石流沟: 椿牙树沟、双养子沟、孙家沟和纸厂沟汇合处, 该处约有松散物源  $120 \times 10^4 m^3$ 。此外还有  $14 \times 10^4 m^3$ 。

## 2 可参与坡面泥石流的固体物源

龙池镇属四川盆地中亚热带湿润季风气候区, 气候温和, 降水充沛, 四季分明; 冬无严寒, 夏无酷暑, 日照较少, 阴雨天气频繁。通过对都江堰市龙池镇区域 1955 年以来 50 a 余的气温和降雨资料统计分析, 龙池镇极端最高温  $35^\circ C$ , 极端最低温  $-4.1^\circ C$ , 年平均气温  $12.2^\circ C$ ; 年平均降水量  $1134.8 mm$ , 年降水量  $< 1000 mm$  的仅 2 a, 最少年仅  $713.5 mm$  (1974 年), 最多年达  $1605.4 mm$  (1978 年)。最大月降水量为  $592.9 mm$ , 最大日降水量达  $245.7 mm$ , 最大 1 h 降水量为  $83.9 mm$ , 10 a 一遇 1 h 降水量为  $71.3 mm$ , 20 a 一遇 1 h 降水量为  $74.8 mm$ ; 最

大 10 min 降水量为 23.98 mm,一次连续最大降水量为 457.1 mm,一次连续最长降水时间为 28 d。平均月降水最多的 8 月降水量为 289.9 mm,最少的 1 月为 12.7 mm。降水主要集中在 5—9 月,这五个月的降水量占全年降水量的 80% 以上,因此,5—9 月也是地质灾害的高发期。

龙溪河流域降水具有波动变幅大、降水集中、雨强大和暴雨频率高的特点,这些特点往往成为洪水和泥石流等灾害的诱发因素。由于降水的季节分配不均,流域内各主要支流在枯、丰期流量变化很大,汛期流量大、水位陡增,为引发洪水或泥石流灾害提供了充足的水源。

受特殊地形、地质条件影响,汶川地震前龙溪河流域地质灾害就极为发育,共有 21 处地质灾害点,其中泥石流灾害点 2 处。泥石流灾害点中的八一沟历史上曾发生过 3 期次的泥石流。汶川地震后,流域内崩塌、滑坡数量剧增,为泥石流的暴发提供了丰富的物源条件<sup>[2]</sup>。2010-08-13 群发泥石流中,新增泥石流灾害点 31 处,危害公路 4 240 m,河堤 3 130 m,233 栋民房受损,造成经济损失 5.5 亿元。

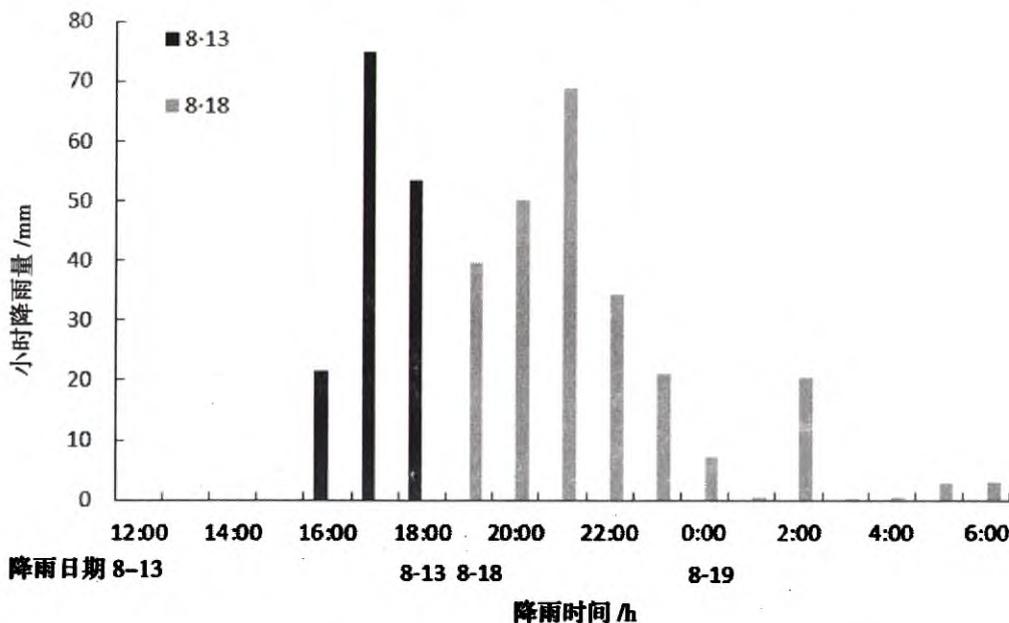
### 3 “8·13”龙池群发泥石流灾害

2010-08-13 龙溪河流域遭遇持续强降雨,从

13 T14:00 到 14 T7:00,总降雨量达到 229 mm,最大 1 h(16:00—17:00)降雨量达 75.0 mm,相当于 20 a 一遇的 1 h 降雨量;连续 2 h(16:00—18:00)降雨量达到 128.3 mm,连续 3 h(15:00—18:00)降雨量达到 150 mm(图 3)。

在持续强降雨诱发下,龙溪河流域于 08-13 T16:00—17:00 暴发了 33 处沟谷泥石流和 11 处坡面泥石流,沟谷泥石流持续时间 50~100 min。多处泥石流堵断龙溪河主河道。泥石流堆积在龙溪河流域内泥石流堆积扇上的总量为  $161 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中  $156 \times 10^4 \text{ m}^3$  为沟谷泥石流堆积,平均每条沟堆积  $4.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;而坡面泥石流在堆积扇上的总量仅  $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,平均每处堆积  $0.45 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。沟谷泥石流还在龙溪河下游主河道内大量淤积,总淤积量  $143 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,平均每条沟贡献堆积物  $4.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;而坡面泥石流在堆积扇上几乎耗尽了全部的泥石流泥沙,没有泥沙进入龙溪河主河道内。此外,在龙溪河主河道内还有大量沟谷泥石流提供的泥沙被龙溪河洪水冲向下游,进入紫平铺水库并淤积在库区,总量约  $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。泥石流将平均 30 m 宽,9 530 m 长的龙溪河下游河床整体抬升 3~8 m,平均抬高 5 m(图 4)。龙溪河河道在冷浸沟以上 400 m 处一弯道开始淤积,一直淤积到紫平铺水库库区。

与坡面泥石流相对很少的堆积量对比,沟谷泥



“8·13”仅有暴发泥石流时的 3 h 降雨资料

图 3 8·13 和 8·18 龙池群发泥石流前后降雨量

Fig. 3 The rainfall amount before and after the debris flow occurrence on August 13 and August 18, 2010

石流在堆积扇上有大量的堆积,在河道内的泥沙淤积量以及在河道中被洪水冲走的泥沙量也非常大,从总量和危害范围上说明沟谷泥石流危害远大于坡面泥石流。

龙池“8·13”群发泥石流灾害造成了巨大的经济损失,其中绝大部分损失和危害都是沟谷泥石流造成的,从危害方式和造成的损失上也说明沟谷泥石流的危害远大于坡面泥石流。

在“8·13”群发泥石流灾害过后仅5 d,2010-08-18龙溪河流域再次遭遇持续强降雨,降雨从18 T17:00到19 T5:00左右,总降雨量达到251 mm,最大1 h(20:00—21:00)降雨量达69.0 mm,接近10 a一遇1 h降雨量,连续2 h(19:00—21:00)降雨量达到119.2 mm,连续3 h(18:00—21:00)降雨量达到159 mm(图3)。从18 T20:00到19 T5:00,陆续有6条泥石流沟暴发泥石流,泥石流冲出总量 $19 \times 10^4$

$m^3$ ,危害公路550 m,损毁民房33栋。

### 4 群发泥石流的特征

#### 4.1 泥石流活动集中在汶川地震发震断裂带附近

汶川地震的发震断裂带映秀-虹口断裂北支(映秀-北川断裂)横穿龙溪河流域。受断裂带影响,龙溪河泥石流灾害分布主要集中在该断裂带附近。在映秀-虹口断裂带北支附近1 km范围内,集中了8·13暴发的45处泥石流中的17处,占总数的37.8%;距映秀-虹口断裂带北支2 km范围内,集中了27处泥石流,占总数的60.0%。距映秀-虹口断裂带北支3 km范围内,集中了40处泥石流,占总数的88.9%。而其余的5处泥石流距映秀-虹口断裂带北支也仅有7 km的距离。这种集中在汶川地震发震断裂带附近的群发性泥石流还有映秀

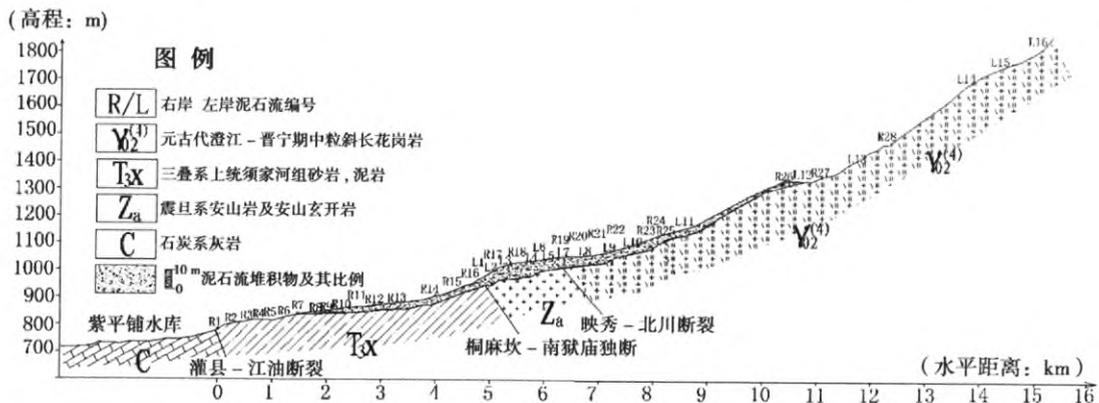


图4 龙溪河主河道纵剖面及泥石流在河道内的淤积  
Fig.4 The section of channel of Longxi River and the deposition of debris flows in the river channel



a 峰洞岩沟泥石流危害民房                      b 黄央沟泥石流淤埋公路(淤埋厚度7 m)

图5 “8·13”泥石流毁坏房屋和公路

Fig.5 The houses and highway were destroyed by debris flows on August 13, 2010

“8·13”群发泥石流、清平8·13群发泥石流<sup>[1]</sup>、2010-08四川平武平通镇石坎河流域群发泥石流以及北川“9·24”群发泥石流<sup>[5]</sup>,说明汶川地震发震断裂带附近的山区在遭遇暴雨时很容易暴发群发性泥石流灾害。

#### 4.2 泥石流活动受岩性和地形的影响

龙溪河流域泥石流沿龙溪河的分布有3段截然不同的特征:1.在映秀-虹口断裂带南支上游(含断裂带)的龙溪河段,泥石流的分布基本是沿两岸均匀分布,左右岸分别有16处和14处泥石流灾害点;2.在映秀-虹口断裂带南支(不含断裂带)下游,飞来峰构造上游的龙溪河段,泥石流的分布全部是沿右岸分布,共有15处泥石流灾害点,而左岸没有泥石流灾害点。3.飞来峰构造下游泥石流不发育,两岸都没有泥石流灾害点。形成这样的泥石流分布规律的原因如下:1.在映秀-虹口断裂带南支上游(含断裂带)的主河两侧主要岩性为灰绿色安山岩、凝灰岩、安山玄武岩以及花岗岩,两岸山坡坡度相似,都非常陡峻,因此都有较多的泥石流分布;2.在映秀-虹口断裂带南支下游(不含断裂带)和飞来峰构造之间主河两侧主要岩性为砂岩、泥岩、碳质页岩,但左岸山坡坡度较右岸山坡坡度平缓,因此右岸泥石流较多,而左岸泥石流不发育;3.在飞来峰构造下游右岸主要岩性为石炭系灰岩,山坡坡度比龙溪河上游龙池湖附近的山坡坡度平缓,因此泥石流不发育;左岸主要岩性为二叠系下统梁山组砂岩和页岩,但左岸山坡坡度较平缓,泥石流也不发育。

#### 4.3 泥石流以粘性为主,新发生的泥石流以小规模为主,主要危害由沟谷泥石流造成

龙溪河流域“8·13”群发泥石流以粘性泥石流为主,所有的45处泥石流中稀性泥石流仅有5处,仅占总数的11.1%;粘性泥石流有40处,占总数的88.9%;粘性泥石流按粘性的强弱又可以分为过渡型泥石流(一般粘性)和粘性泥石流(强粘性),其中过渡型泥石流有19处,占总数的42.2%;粘性泥石流有21处,占总数的46.7%。

“8·13”群发泥石流中新发生的泥石流以小型为主。“8·13”泥石流前的泥石流沟总数为13条,其中小型泥石流5条,中型泥石流5条,大型泥石流3条,大、中、小型泥石流数基本相当。在“8·13”后,泥石流总数增加了32处,增加的泥石流主要是小型泥石流,有23处(其中坡面泥石流11处),中型泥石流7处,大型泥石流2处。“8·13”群发泥

石流的小型泥石流占总数的68.9%。

“8·13”群发的45处泥石流中有34处沟谷泥石流和11处坡面泥石流。沟谷泥石流不仅数量上占多数,而且绝大多数的危害和堆积扇上的泥沙都是沟谷泥石流造成的,进入龙溪河主河道内以及被洪水冲到下游紫平铺水库库区内的泥沙全部是沟谷泥石流造成的。对比泥石流总量、泥石流危害范围、危害方式以及泥石流造成的损失,沟谷泥石流占绝对优势,沟谷泥石流的危害远大于坡面泥石流的危害。

#### 4.4 泥石流流域以小流域为主

“8·13”暴发的45处泥石流流域主要是小流域,流域面积 $\leq 1\text{ km}^2$ 的泥石流有31处,占总数的68.9%; $1\text{ km}^2 < \text{流域面积} \leq 3.0\text{ km}^2$ 的泥石流有11处,占总数的24.4%;流域面积 $> 3\text{ km}^2$ 的泥石流仅3处,占总数的6.7%。许多小流域的泥石流沟在汶川地震前或“8·13”前从未暴发过泥石流,因此在排查和详查工作中不易被发现,具有隐蔽性强的特点,但这些泥石流往往会造成巨大的灾害。

#### 4.5 龙溪河河道内的泥沙淤积受泥石流活动、主河道坡度和宽度的控制

龙溪河河道冷浸沟以上的主河道平均坡度为132‰,平均宽度为8m;而冷浸沟以下的主河道平均坡度为45‰,平均宽度为25m;冷浸沟以上的流域内仅有7处泥石流,其中1处泥石流还流入龙池湖内,没有泥沙进入龙溪河;有2处泥石流为坡面泥石流,没有泥沙进入主河道;有2处泥石流为小型泥石流,仅有2处为中型泥石流在紧靠冷浸沟的上游:猪槽沟和漆树坪沟。猪槽沟虽然是中型泥石流沟,有较多的泥石流堆积物,但都淤积在堆积扇上了,没有泥沙进入龙溪河主河道;漆树坪沟也是中型泥石流沟,有较多的泥石流堆积物,有部分泥沙进入龙溪河主河道;尽管这段主河道的坡度较缓,但洪水从上游携带的泥沙量较小,河道在漆树坪沟沟口宽仅10m,因此洪水还是能将河道中的泥沙冲向下游,泥石流仅将河道左岸向对岸推进了2m;因河道底床是基岩,因此这段河道没有被冲刷。漆树坪沟及以上段的河道两岸的泥石流带入这段主河道内的泥沙量较小,龙溪河洪水在较大的沟道坡度和较小的沟道宽度条件下,可以集中水力冲刷泥石流带入主河道的少量泥沙到下游,其结果是没有泥沙在漆树坪沟及其上游龙溪河河道内淤积。从漆树坪沟下游400m的向右弯道处开始河道展宽,一直到冷浸沟出口

处河道展宽到 20 m,河道坡度仍然较缓。冷浸沟冲出的泥石流堵断了龙溪河主河道,泥沙大量淤积在河道内,使河道坡度进一步减缓,上游冲下来的泥沙开始淤积,一直淤积到冷浸沟和漆树坪沟中间的弯道处,这个弯道就是龙溪河泥沙在主河道淤积的起始点。冷浸沟以下的龙溪河两岸紧密分布了大大小小的泥石流 37 处,因此龙溪河洪水在冷浸沟下游较小的沟道坡度和较大的沟道宽度条件下,只能冲刷泥石流带入主河道的大量泥沙中的一小部分,其结果是大量泥沙在冷浸沟下游龙溪河河道内淤积。

#### 4.6 龙溪河河道内淤积的泥沙粒径受泥石流流域的岩性影响

龙溪河流域内以映秀 - 虹口断裂北支、映秀 - 虹口断裂南支和飞来峰构造为界,将流域内岩性分为 4 部分:上游元古代澄江 - 晋宁期的花岗岩( $\gamma_{02}^{(4)}$ );中游震旦系下统火山岩组(Za)的灰绿色安山岩、凝灰岩及安山玄武岩;下游三叠系须家河组( $T_{3x}$ )砂岩、泥岩;以及没有泥石流发生的最下游石炭系的灰岩和二叠系下统梁山组的砂岩和页岩。从龙溪河上游到下游有泥石流发生的地段,岩性从硬岩向软岩过渡,龙溪河主河两岸的泥石流堆积扇上的颗粒粒径也由大到小逐渐过渡,泥石流进入龙溪河主河内的泥沙粒径从上游到下游也由大逐渐变小,加上洪水从上游到下游的分选作用,龙溪河河道内淤积的泥沙的粒径从上游到下游呈更加明显的从大到小的变化规律。

## 5 泥石流的发展趋势和防治建议

### 5.1 泥石流的发展趋势

尽管龙溪河流域在汶川地震前也有泥石流发生过,但仅有 2 条泥石流沟。在汶川地震后到 2010 - 08 - 13 前,有 13 条泥石流沟暴发泥石流,但分散在 2 a 内的 4 次降雨过程,没有呈现群发泥石流的特征。龙池“8·13”群发泥石流的原因有:1. 汶川地震引起了大量的崩塌和滑坡,使大量的松散固体物质堆积在龙溪河流域内,不仅形成泥石流的物源丰富,而且也容易被起动形成泥石流;2. 2010 - 08 - 13 的降雨量和降雨强度都很大,总降雨量接近最大日降雨量,最大 1 h 降雨量相当于 20 a 一遇的 1 h 降雨量,此后的持续降雨量也很大。因此龙溪河流域先后暴发多处泥石流,不仅有规模较大的沟谷泥石流,也有小规模的山坡泥石流。相比之下,2010 - 08

- 18 的最大 1 h 降雨量比“8·13”群发泥石流的最大 1 h 降雨量小,接近 10 a 一遇的 1 h 降雨量,因此“8·18”群发泥石流的数量和规模都较小。

自从汶川地震以来,龙溪河流域内的泥石流流域的地形变化很小,依然是山高、坡陡、沟床比降大。流域内的松散固体物质仍然很多,在沟谷型泥石流流域内有  $1692 \times 10^4 \text{ m}^3$  可参与泥石流的固体物质,这是“8·13”群发泥石流总量的 5 倍;尽管坡面泥石流仅有  $14 \times 10^4 \text{ m}^3$  可参与泥石流的固体物质,但其他不稳定斜坡有可能转化为坡面泥石流,因此龙溪河流域具备再次暴发群发泥石流的地形条件和物源条件。

以泥石流形成的三大条件:地形、地质和降水条件对比汶川地震后在龙溪河流域内的 4 次泥石流和 2 次群发泥石流过程可以得出:地形和地质条件基本没有发生改变,控制泥石流发生数量和规模的是降水条件。当 1 h 降雨强度为 50 mm 或以下时,龙溪河流域内会局部暴发泥石流灾害;当 1 h 降雨强度为 70 mm 时,即相当于 10 a 一遇的 1 h 降雨量时,龙溪河流域内会有一些泥石流暴发形成群发泥石流灾害;当 1 h 降雨强度为 75.0 mm 时,即相当于 20 a 一遇的 1 h 降雨量时,龙溪河流域内会有较多泥石流暴发形成较大规模的群发泥石流灾害;当 1 h 降雨量为 50 a 或 100 a 一遇的 1 h 降雨量时,龙溪河流域内将会有更多的泥石流暴发形成更大规模的群发泥石流灾害。目前龙溪河流域内可参与泥石流的固体物质依然很多,只有在遭遇多次强降雨和群发大规模泥石流事件后,这些固体物源被消耗将尽时,流域内的泥石流活动才会恢复到汶川地震前的活动水平。

目前一些汶川地震发震断裂带附近的山区在暴雨激发下已多次发生群发性泥石流灾害,这些地区和其他汶川地震发震断裂带附近的山区在暴雨激发下还有可能暴发群发性泥石流灾害。

### 5.2 防治建议

四川省都江堰市龙池镇龙溪河流域有许多泥石流流域,这些泥石流流域的特点相近,都有陡峻的地形,丰富的松散固体物质,在较强降雨作用下容易暴发泥石流。泥石流在进入龙溪河主河后不仅会堵塞或局部堵塞主河,还会淤高河道,将大量泥沙带向下游,进入下游紫平铺库区,因此对龙溪河流域的泥石流防治需要采取更加慎重而有效的措施,对此本文提出针对龙溪河流域泥石流的防治建议。

1. 龙溪河流域泥石流灾害点数量很多,而且很多点可能会多次暴发;有的泥石流规模巨大(如八一沟),仅修建个别拦挡坝收效甚微。因此实施拦挡的办法代价太大,除局部因居民需要保护建议采用防护堤的办法外,不建议修建拦挡工程。

2. 龙溪河主河道内泥沙淤积主要在冷浸沟及以下河道,由于龙溪河流域下游出口是紫平铺水库库区,不可能对流域主河的泥沙采取排沙的办法疏通河道,因此很难改变冷浸沟以下主河道内泥沙大量淤积和抬高河床的现状。主河河床被抬高后,主河道两岸各泥石流支沟的堆积区的坡度就会减缓,有利于泥石流在堆积扇上的淤积,而不利于泥石流的排导。这样的主河抬高-泥石流堆积扇坡度减缓-不利于排导泥石流的现象在将来的泥石流过程中将越来越严重,因此在冷浸沟及以下的泥石流流域采取排导的办法也不可取。

3. 由于龙溪河在冷浸沟及以下主河道内泥沙大量淤积和抬高河床的现象将在今后的泥石流事件中越来越严重,泥石流堆积扇的范围也越来越大,淤埋高程越来越高,因此建议重建的房屋应该建在现有的泥石流危害范围外并且比现有泥石流堆积高程高10 m以上,以免被后续的泥石流淤埋。

4. 由于龙溪河流域内泥石流拦挡工程代价太大,冷浸沟及以下区域泥石流排导工程难度很大,且容易失效;而漆树坪沟及以上主河沟道狭窄,河道两边也没有合适的建设场地,因此建议在龙溪河流域内受泥石流威胁的地区采取以搬迁为主的措施,在具有较好避让泥石流条件的地方可以安置居民,其他不适宜的地方均应搬迁,避开泥石流危害。

5. 沿龙溪河主河的冷浸沟及以下的公路应考虑后续泥石流将继续淤积主河,抬高河床的发展规律,选择较高位置线路修建公路,以免被泥石流再次淤埋或冲毁。

6. 在龙溪河流域内建立降雨监测及泥石流预警报系统,在有较大降雨时(如1 h降雨量为50 mm)发出泥石流警报。在每个雨季到来前组织流域内居民进行泥石流防灾演习,划分安全区域和避难场所,保证所有居民在泥石流警报发出后可以迅速撤退到安全的避难场所。

## 6 结论

1. 位于汶川地震极震区的龙溪河流域在2010

-08-13遭遇强降雨过程,暴发龙池“8·13”群发泥石流灾害,泥石流冲出总量共 $334 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,造成大量泥沙淤积在龙溪河下游河道内,该段河床平均淤高5 m。

2. 诱发“8·13”群发泥石流的1 h降雨量达75 mm,相当于20 a一遇的1 h降雨量;共有44处暴发泥石流灾害,其中33处沟谷泥石流,11处坡面泥石流,沟谷泥石流是造成“8·13”群发泥石流灾害的主要原因。

3. “8·13”群发泥石流的88.6%的泥石流活动集中在汶川地震发震断裂带附近3 km范围内,仅有11.1%的泥石流分布在距汶川地震发震断裂带3~7 km范围内。除受汶川地震发震断裂带影响外,泥石流分布还受地层岩性和地形的影响。

4. “8·13”群发泥石流以粘性泥石流为主,占总数的88.9%,而稀性泥石流很少,仅占总数的11.1%。小规模泥石流占多数,达到总数的60.0%;大规模泥石流很少,仅占总数的11.1%。泥石流流域主要是小流域,<1 km<sup>2</sup>的泥石流流域占多数,达到总数的68.9%;而>3 km<sup>2</sup>的泥石流流域很少,仅占总数的6.7%。

5. 龙溪河河道内的泥沙淤积受泥石流活动、主河道坡度和宽度的控制,河道上半段没有泥沙淤积,而河道下半段出现大量泥沙淤积。龙溪河河道内淤积的泥沙颗粒粒径受泥石流流域岩性的影响,粒径从上游到下游呈明显的从大到小的变化规律。

6. 龙溪河流域在遭遇较强降雨时还会暴发泥石流灾害;在汶川地震发震断裂带附近的山区在暴雨激发下还有可能暴发群发性泥石流灾害。对汶川地震次生泥石流灾害需要我们在雨季到来时提高警惕,特别要提防不易被发现的小流域泥石流灾害,做好防灾预案和预警报工作,最大程度地减轻泥石流灾害。

致谢:四川省地质工程勘察院,成都高原气象所刘兴华副研究员为本文提供了许多宝贵资料,成都理工大学黄润秋教授、唐川教授安排和指导了本文的现场调查工作并对本文的撰写提出了许多宝贵意见,在此一一表示感谢!

## 参考文献(References)

- [1] Xu Qiang. The 13 August 2010 catastrophic debris flows in Sichuan Province: characteristics, genetic mechanism and suggestions[J]. 2010, Journal of Engineering Geology, 18(5): 596-608[许强,四川省8.13特大泥石流灾害成因与启示[J].工程地质学报,

- 2010, 18(5):596-608]
- [2] Shen Junhui, Zhu Rongchen, Lin Weiguo, et al. Possibility geological analysis of Gangou debris flow in Longchi Town in Dujiangyan induced by the Earthquake of May 12 in Wenchuan[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(5):513-517 [沈军辉, 朱容辰, 刘维国, 等. 5.12 汶川地震诱发都江堰龙池镇干沟泥石流可能性地质分析[J]. 山地学报, 2008, 26(5):513-517]
- [3] Zhang Ziguang, Zhang Zhiming, Zhang Shunbin. Formation conditions and dynamics features of the debris flow in Bayi Gully in Dujiangyan County[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(1):34-38 [张自光, 张志明, 张顺斌. 都江堰市八一沟泥石流形成条件与动力学特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1):34-38]
- [4] Wang Shige, Zhong Dunlun, Xie Hong. Debris Flow disaster and its control on northern slope of Litoujian Hill of Mountain Lushan[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(6):33-36 [王士革, 钟敦伦, 谢洪. 庐山风景区犁头尖北坡泥石流及其防治[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6):33-36]
- [5] Tang Chuan, Liang Jingtao. Characteristics of debris flows in Beichuan epicenter of the Wenchuan Earthquake triggered by rain storm on September 24, 2008[J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 18(6):751-758 [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, 18(6):751-758]

## The Group Debris Flow Hazards after the Wenchuan Earthquake in Longchi, Dujiangyan, Sichuan Province

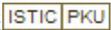
YU Bin, Ma Yu, ZHANG Jiannan, WU Yufu, ZHANG Huihui, LI Li, CHU Shengming, QI Xing

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Many group debris flow hazards were triggered by subsequent rainstorm in the Wenchuan Earthquake area after the main shock. Group debris flow hazards in Longchi, Dujiangyan, Sichuan Province is one of these disasters. There were 45 debris flows triggered by heavy rainfall in the catchment of Longxi River on August 13, 2010. In the all 45 debris flows, there were 34 channelized debris flows and 11 debris flows on the slope. The total volume of debris flow was  $3.34 \times 10^6 \text{ m}^3$  and plenty of sediment was deposited in the downstream of Longxi River. The rainfall which triggered the debris flows in Longxi River catchment on August 13, 2010 was 75 mm in one hour. It was the same as one hour rainfall of twenty years return period. Most debris flows were distributing in 3 km from the triggering belt of Wenchuan Earthquake, only 11.1% of total debris flows were located in 3-5 km from the triggering belt. The distribution of debris flows were also controlled by the rock characteristics and geomorphology. Most of debris flows are viscous debris flows, only 11.1% of total debris flows were less viscous debris flows. There were 60.0% small scale debris flows and 11.1% large scale debris flows in total debris flows. Most catchments of debris flow were small catchment, 68.9% of total catchments was less than  $1 \text{ km}^2$ , only 6.7% of total catchments was larger than  $3 \text{ km}^2$ . The sediment deposited in Longxi River was controlled by the activity of debris flows, the width of channel, and the slope of channel; there was no sediment deposited in the upper stream of Longxi River, but there was plenty of sediment deposited in the downstream. The size of sediment deposited in Longxi River was partly decided by the rock characteristics of debris flow catchments, as the results the particle sizes were decreasing from upper stream to downstream of Longxi River. The debris flow hazards will be triggered again when it is heavy rainfall in Longxi River catchment. To reduce the hazards of debris flows in the Wenchuan Earthquake area, forecast and prevention work must be done in the next raining season.

**Key words:** Longchi; Longxi River; group; debris flow; Wenchuan Earthquake

# 汶川地震后四川省都江堰市龙池镇群发泥石流灾害

作者: 余斌, 马煜, 张健楠, 吴雨夫, 张惠惠, 李丽, 褚胜名, 亓星, YU Bin, Ma Yu, ZHANG Jiannan, WU Yufu, ZHANG Huihui, LI Li, CHU Shengming, QI Xing  
作者单位: 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  
刊名: 山地学报   
英文刊名: Journal of Mountain Science  
年, 卷(期): 2011, 29(6)  
被引用次数: 4次

## 参考文献(5条)

1. 许强;四川省 13特大泥石流灾害、成因与启示[期刊论文]-工程地质学报 2010(05)
2. 沈军辉;朱容辰;刘维国 5.12汶川地震诱发都江堰龙池镇干沟泥石流可能性地质分析[期刊论文]-山地学报 2008(05)
3. 张自光;张志明;张顺斌 都江堰市八一沟泥石流形成条件与动力学特征分析[期刊论文]-中国地质灾害与防治学报 2010(01)
4. 王士革;钟敦伦;谢洪 庐山风景区犁头尖北坡泥石流及其防治[期刊论文]-水土保持通报 2001(06)
5. 唐川;梁京涛 汶川震区北川9.24暴雨泥石流特征研究[期刊论文]-工程地质学报 2008(06)

## 引证文献(4条)

1. 陈源井, 余斌, 朱渊, 王涛, 亓星 地震后泥石流临界雨量变化特征——以汶川地震区小岗剑沟为例[期刊论文]-山地学报 2013(3)
2. 宋国虎, 崔鹏, 郭晓军 汶川震区震后土体入渗特征试验研究[期刊论文]-水土保持通报 2013(4)
3. 马超, 胡凯衡, 赵晋恒, 雷发洪 震后泥石流的激发雨量特征——以汶川地震和集集地震后泥石流为例[期刊论文]-灾害学 2013(4)
4. 郭碧云, 傅旭东, 张正峰 龙溪河流域震后次生地质灾害分布与地形及河床演变关系[期刊论文]-应用基础与工程科学学报 2013(6)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_sdx201106014.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201106014.aspx)