

文章编号: 1008-2786-(2009)4-501-09

# 2008年汶川地震重灾区的泥石流

谢洪<sup>1,2</sup>, 钟敦伦<sup>2</sup>, 矫震<sup>1,3</sup>, 张金山<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 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; 3. 中国科学院研究生院 北京 100039)

**摘要:** 2008年,在“5·12”汶川地震后,随着降雨的发生,地震重灾区的中高山区较普遍地多次发生了泥石流灾害,尤其是对一些地震灾民安置点板房区造成了危害,累计造成人员伤亡(含失踪)达450余人,进一步加重了灾情。按照地震与泥石流暴发的时间顺序分类,区内的泥石流属后发型地震泥石流。其特征主要为:泥石流活动频率增高,暴发点多,规模大小不一,流体性质一般以粘性为主,密度值多在 $2.0\sim 2.3\text{ t/m}^3$ 之间;泥石流的活动范围与降雨关系密切,活动范围还受地形因素控制,主要集中在龙门山等中高山区;泥石流危害形式有冲毁、淤埋、堵塞主河等多种形式。因此,在汶川地震重灾区这样的区域选址恢复重建,实质上是在工程地质条件复杂的不稳定区内选择相对稳定的安全岛,可供选择的场地极为有限。故恢复重建居民点时应因地制宜,尤其是岷江等江河峡谷区等地的居民点重建,宜保持当地居民传统的分散、多点居住的特点,而不宜于搞成规模较大的集中成片的居民点。这样既有助于场址的安全,又可以避免大规模泥石流、滑坡、崩塌、山洪等山地灾害发生时造成大量的人员伤亡。地震重灾区2008年的泥石流活动显示,龙门山及邻近的邛崃山等山区因汶川地震的影响,泥石流已进入强烈活动时期。其强烈活动时间,可能持续10~30 a甚至更长。对此,要有足够的重视。在可能遭遇泥石流的区域开展的各种工程建设,一定要加强防范措施,防止泥石流危害。

**关键词:** 汶川地震重灾区;泥石流灾害;活动特征;恢复重建;场地安全

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

“5·12”汶川Ms8级地震,震中烈度达XI度,导致极震区瞬间山崩地裂、山河改观,激发了数以万计的崩塌、滑坡、落石及形成数以百计的堰塞湖等次生山地灾害<sup>[1]</sup>,截止到2008-09-25 12:00造成近46.2万人伤亡与失踪<sup>[2]</sup>,同时还对灾区的生态环境造成了严重的破坏,加剧了水土流失。

据遥感资料分析,“5·12”地震当时,并没有激发泥石流。但其后,随着降雨发生,在地震灾区相继发生了泥石流,尤其是进入汛期后,在震区的中高山区较普遍地多次发生了泥石流。按照地震区内地震与泥石流暴发的时间顺序分类,其泥石流属后发型地震泥石流。地震后的泥石流,不仅对地震灾区的

恢复重建造成巨大困难,还造成了新的人员伤亡,导致一批已重建的基础设施被毁,并迫使北川、彭州等县(市)的一些灾民临时安置点搬迁,进一步加重了灾情,使已逐渐恢复正常的生产生活秩序又一次次的被打乱。

## 1 地震重灾区震前的泥石流概况

2008-07-22民政部、国家发展和改革委员会等5部门发布了《汶川地震灾害范围评估结果》,极重灾区县(市)10个,全部在四川省;重灾区县(市、区)41个,分布在四川省、甘肃省和陕西省(表1)。

收稿日期(Received date): 2009-03-27.

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程重大项目专题:干旱河谷区土壤退化过程对植被的作用及水土保持技术研究(KZCX2-XB2-02-01-01)资助。[This research is supported by Chinese Academy of Science Knowledge Innovation Project Major Topic: Arid River Valley Area Soil Degradation Process to Vegetation's Function and Conservation of Soil and Water Technical Research (KZCX2-XB2-02-01-01).]

作者简介(Biography): 谢洪(1959-),男,四川成都人,研究员,主要从事泥石流及其防治研究。[Xie Hong (1959-), male, born in Chengdu of Sichuan, majoring on debris flow prevention. E-mail: xiehong@imde.ac.cn]



密不可分。

“5·12”汶川地震发生在龙门山断裂带。龙门山断裂带是龙门山区的主要地质构造, 对该区域的地层发育起着控制作用。总体上, 龙门山区地层发育较全, 自中元古界至第四系均有出露。区内上三叠统( $S_3$ )出露广泛, 但一般发育都不完整, 大部分地区缺失晚三叠世早期地层; 发育有多套滑脱层, 如志留系龙马溪群( $S_1l$ )和茂县群( $S_{mx}$ )、中三叠统雷口坡组( $S_2l$ )—下三叠统嘉陵江组( $S_1j$ )等。三叠系的岩性主要是碎屑岩和变质碎屑岩, 志留系主要由千枚岩、板岩等浅变质岩组成, 岩性均较软弱; 在汶川县三江乡至绵竹市清平乡之间, 沿断裂带发育了大面积的澄江—晋宁期花岗岩和闪长岩等岩浆岩, 岩性坚硬。较软弱岩石出露区, 滑坡发育, 且规模巨大, 如茂县境内的周仓坪滑坡、汶川县青坡滑坡等等; 坚硬岩石出露区, 滑坡较少, 崩塌、落石发育, 偶尔也有大规模滑坡发育, 如“5·12”地震在汶川映秀镇附近激发的老虎嘴滑坡、安县肖家桥滑坡等。

龙门山断裂带主要由茂汶断裂、北川—映秀断裂、都江堰—安昌—江油断裂 3 条主干断裂构成。断裂带规模大, 其西南起自泸定, 往东北经天全、宝兴、都江堰、汶川、茂县、北川、青川至陕西宁强, 长 500 余 km, 宽 150~200 km, 总体走向 NE40°左右, 倾向 NW, 倾角 50°~80°。断裂发育历史悠久, 具有多期活动性, 新生代以来又有新的活动, 加剧了对岩体完整性的破坏。

龙门山区位于我国著名的南北向地震带的中部。在“5·12”汶川地震前, 龙门山断裂带地震虽有活动, 但强度较小, 历史上有记载的最大地震震级为 6.5 级(1675 年, 汶川)。但邻近龙门山断裂带的岷江断裂地震活动的强度大, 在茂县叠溪一带已多次发生 7 级以上地震, 仅 1976—08—16~23 在松潘、平武之间, 就连续发生 7.2、6.7、7.2 级地震 3 次<sup>[6]</sup>。自 1169 年以来, 龙门山及邻近区域共发生震中烈度 VII 度以上地震 4 次、VI 度地震 13 次<sup>[7]</sup>。这些地震的震源深度均较浅, 对地表破坏作用强烈, 尤其是破坏了山坡的稳定性, 促进了崩塌、滑坡的发育, 增加了沟道内松散固体物质的积累量。

地质背景决定了龙门山区供给泥石流的松散固体物质丰富, 有利于形成泥石流。尤其是“5·12”汶川特大地震发生后, 由于剧烈的山体震动, 大量崩塌、落石、滑坡活动, 使沟道内松散碎屑物质剧增, 为泥石流发育提供了优越的固体物质条件。

## 2.2 动力

泥石流是山区特有的重力地貌现象, 形成泥石流的动力来源主要为地形相对高度提供的势能和势能转化的动能, 以及暴雨径流提供的动能<sup>[8,9]</sup>。

### 2.2.1 地形高差

在地貌上, 汶川地震重灾区主要处于青藏高原东部与四川盆地的过渡地带, 具有山高、谷深、坡陡的特点。龙门山与四川盆地交接处界线分明, 以都江堰—安昌—江油断裂为界, 龙门山区在新构造运动期间以区域性断块抬升为主, 强烈抬升使其犹如高耸的屏障挺立在四川盆地边缘, 与四川盆地形成强烈的地貌反差。龙门山区除东部接四川盆地外, 其西北部与岷山相连, 西南部与邛崃山相邻, 东北接米仓山西段摩天岭。因此, 地震重灾区也部分涉及到了岷山、邛崃山、米仓山区和四川盆地。龙门山的高度, 总体为中段高, 山顶海拔 2 500~4 000 m, 其中位于茂县境内的龙门山主峰——九顶山狮子王海拔高达 4 989 m; 西南段较高, 山顶海拔一般 2 500~3 500 m, 最高 4 000 m 左右; 东北段较低, 山顶海拔一般 1 500~2 500 m, 最高 3 000 m 左右。岷江上游、涪江上游、沱江上游、嘉陵江上游穿行其间, 往往形成深邃的峡谷, 如都江堰宝瓶口水面高程仅 720 m 左右、沱江上游主要支流岷江在彭州市关口水面高程仅 740 m 左右, 谷底与山顶的相对高度大, 坡陡流急, 有利于山坡高处物质势能的释放和转化为动能, 从而有利于泥石流发育。

### 2.2.2 暴雨

龙门山区及其附近区域是我国暴雨泥石流分布区, 暴雨径流既是组成泥石流的水体成分, 又是激发泥石流形成的动力条件。

龙门山区的气象主要受东南暖湿气流控制。其东坡为迎风坡, 雨量充沛, 是四川省暴雨中心之一——鹿头山暴雨区所在地。从东南方向输送过来的暖湿气流, 因受龙门山的阻挡抬升而形成降水, 使龙门山的山前区域成为暴雨中心, 而处于西部背风坡的岷江河谷区则雨水稀少, 气候干燥。

以汶川北部、茂县、理县为例, 由于处于降雨稀少的岷江干旱河谷区, 多年平均年降水量仅 413~554 mm, 但日最大降雨量可达 35~75 mm; 汶川南部、青川、平武属降雨量中等区, 多年平均年降水量 800~1 200 mm, 日最大降雨量达 135~171 mm; 其余地区降雨极为丰沛, 多年平均年降水量在 1 200 mm 以上, 其中, 北川、安县、绵竹、什邡、彭州、都江

堰一带龙门山暴雨高值区,多年平均年降水量在 1 200~2 200 mm,位于北川、安县、绵竹一带的降水高值中心区,其值达 2 500 mm,一日最大暴雨量可高达 176~324 mm<sup>[10]</sup>。因此,高强度暴雨,往往激发泥石流。2008 年地震重灾区由局地暴雨和区域性暴雨共同激发了大量泥石流。

### 3 泥石流的特征

汶川地震重灾区 2008 年的泥石流,有如下活动特征。

#### 3.1 活动范围大,持续时间长

2008 年汶川地震重灾区的山区,都有不同程度的泥石流活动,北起九寨沟县、文县,南到宝兴县、石棉县,西起理县、黑水县,东至青川县、江油市,范围几乎遍及龙门山和邻近的邛崃山、岷山等山区;并且泥石流活动的持续时间长,从“5·12”汶川地震发生的当晚起,一直持续到 9 月下旬(表 3)。

#### 3.2 活动频率增高

“5·12”汶川特大地震主震过后,又长时间反复发生余震,余震也有不少达到强震级,对灾区的地表及各种设施造成了强烈地、反复地、持续不断地破坏,尤其加剧了对山坡稳定性的破坏,持续不断地诱发新的崩塌、滑坡、落石等山地灾害的发生,极大地增加了山区沟道的松散固体物质量,增强了泥石流的形成条件,使一些长时间没有泥石流活动的沟,泥石流不仅重新活动,而且活动的频率极高,特别是处于地震烈度 X~XI 度极震区的泥石流沟。例如,汶川地震的震中——汶川映秀镇牛圈沟(又称牛眠沟)支沟莲花心沟,地震瞬间激发的高速滑坡迅速解体并转化为碎屑流(照片 1),冲出莲花心沟进入主沟,经实地考察及结合航片、地形图分析,堆积在主沟和支沟内的碎屑物质体积约  $180 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,极大地改变了牛圈沟泥石流的形成条件,使这条近百年没有较大规模泥石流活动的低频率泥石流沟,转化为高频率泥石流沟。从“5·12”当晚开始,牛圈沟泥石流频繁活动,2008 年仅导致沟口公路交通中断的较大规模的泥石流就发生了 11 次,其余小规模泥石流不计其数。据访问,几乎只要下稍大一点的雨,即发生泥石流。与牛圈沟泥石流活动类似的还有汶川银杏乡磨子沟、小沟、关山沟、麻柳槽沟,耿达乡三圣号沟、肖家沟(照片 2 3),彭州市龙门山镇狮子包沟、谢家店子沟、白果坪沟(照片 4),崇州市苟家乡

火石沟(照片 5),等等。

#### 3.3 暴发点多,规模不一,流体性质较单一

地震重灾区除上列沟暴发了大规模、较大规模的沟谷泥石流外,由于山坡上普遍堆积了地震震动形成的松散固体物质,在降雨的激发下,还暴发了大量难以计数的小规模山坡型泥石流,仅汶川映秀镇至卧龙镇约 50 km 长的渔子溪两岸,就有大小 40 多处泥石流活动。据实地考察区域汶川、茂县、黑水、松潘、彭州、都江堰、什邡、北川等地所见,就密度而论,泥石流的流体性质相对较单一,一般以粘性泥石流为主,密度值多在  $2.0 \sim 2.3 \text{ t/m}^3$  之间。

#### 3.4 极震区成片活动,且规模大

汶川映秀镇、银杏乡、耿达乡,都江堰龙池镇、虹口乡,彭州龙门山镇,北川擂鼓镇、曲山镇等 XI 度极震区,泥石流成群暴发,如汶川映秀附近的牛圈沟、沙子坡北沟、关山沟、小沟、黑岩洞磨子沟、清水沟等沟泥石流连片暴发;彭州龙门山镇从东林寺到海汇桥约 12 km 公路沿线就有 13 条沟暴发泥石流,密度达 1.1 条/km;北川擂鼓镇磨房沟、赵家沟、大安山沟,曲山镇魏家沟、王家沟、席家沟、米石沟,等等,数十条沟暴发泥石流。这些沟暴发的泥石流规模普遍大。说明极震区山体破坏剧烈,松散固体物质丰富,对泥石流发生的促进作用强烈。

#### 3.5 活动多集中在极小流域

泥石流活动多集中在流域面积  $\leq 5 \text{ km}^2$  的小流域,尤其是集中在  $\leq 3 \text{ km}^2$  的极小流域,而  $5 \text{ km}^2$  以上的流域较少暴发泥石流。例如上述龙门山镇暴发泥石流的 13 条沟,流域面积为  $0.13 \sim 3.56 \text{ km}^2$ ,其中仅 1 条沟(青杠沟)的面积  $> 3 \text{ km}^2$ ,只占总沟数的 7.7%。说明  $3 \text{ km}^2$  以下的极小流域,泥石流对地震的敏感性极强,响应强烈。但另一方面,因支沟泥石流把大量固体物质堆积在主沟内,预示着流域面积较大( $5 \text{ km}^2$  至数十  $\text{km}^2$ )的泥石流沟暴发泥石流的危险性进一步增大。因此,对下一步大、小泥石流沟泥石流齐发带来的严重危害要做好应对准备。

#### 3.6 活动多集中在软质岩石出露区

除映秀附近少数区域泥石流在花岗石、闪长岩等硬质岩石区强烈活动外,其余区域,如岷江支流渔子溪的耿达-卧龙段,彭州市的湔江(沱江上游)上游段,安昌河(涪江支流)支流苏保河上游段,什邡市金河(沱江上游)上游段,北川县的湔江(涪江支流)等,泥石流活动区域出露的岩石主要为千枚岩、板岩、岩屑砂岩、泥质灰岩、砂质页岩、页岩等软质岩

表 3 2008年汶川地震重灾区部分泥石流活动及灾情统计

able 3 Debris flow activity and it's damage in t e areas it andest by Wenc uan eart quake in 2008

日期	地点	主要灾情
5月 12 日	四川汶川县映秀镇牛圈沟	“ 5• 12” 汶川地震当晚暴发泥石流, 冲毁房屋、农田。
5月 12、13、17 日	四川汶川县雁门乡	“ 5• 12” 汶川地震当晚, 通山寨沟暴发大规模泥石流, 淤塞沟道, 淤埋农田, 其后又相继暴发泥石流。
5月 15 日	四川宝兴县硃碛夹拉村	3处发生泥石流, 冲毁房屋, 堵塞河道, 使 200多人无家可归。
5月 17 日	甘肃文县县城关家沟	泥石流冲埋汽车 4辆, 冲毁房屋 46间, 冲断光缆线路 5处, 毁坏耕地 17. 3 m <sup>2</sup> 。
5月 18 日	四川崇州市苟家乡、彭州龙门山镇	苟家乡火石沟泥石流冲毁 10余农户房屋和 3座桥梁; 龙门山镇白果坪沟等泥石流淤埋公路。
5月 24 日	四川石棉县草科乡	泥石流摧毁数间民房及 1座小水电站。
5月下旬	四川汶川映秀镇、银杏乡	牛圈沟、磨子沟、小沟、关山沟等暴发泥石流, 堵塞岷江。
6月 8 日	甘肃文县临江乡东风村	泥石流堵塞白龙江, G212线多处被阻断, 威胁 6个村 3 380村民和参加抗震救灾的解放军某部 60余名官兵驻地安全。
6月 11~ 12 日	四川九寨沟县保华乡、永乐镇、黑河乡、陵江乡等	17处发泥石流, 损毁 S301线 17. 6 km、村道约 5 km。
6月 13 日	甘肃文县石坊乡	泥石流淤塞房屋、G212线、农田等。
6月 14 日	四川汶川县耿达乡瓦厂沟、黄家沟等	泥石流掩埋公路 200多 m, 阻塞河道, 威胁 3个村 1 000余名居民的生命财产安全。
6月 15 日	四川平武县平通镇	泥石流淤埋道路和村民的粮食。
6月 16 日	四川茂县石大关乡两河口	山坡泥石流淤埋 G213线, 阻断汶川通往外界的生命线。
6月中旬、下旬	四川汶川雁门乡通山寨沟	多次暴发泥石流, 堵塞沟道, 淤埋农田和乡村公路。
6月 30 日	甘肃文县	泥石流导致 G212线文县至武都段中断; 临江乡马桑沟、东风沟等多处暴发泥石流灾害, 一辆客车被淤埋。
6~ 9月	四川理县	杂古脑镇至桃坪乡段 G317线, 多次、多处被泥石流阻断。
7月 13~ 14 日	四川彭州市小鱼洞镇、龙门山镇等	多条沟暴发泥石流, 阻断公路, 14日进入银厂沟查看灾情的彭州市抗震救灾指挥部成员和部分官兵被困。
7月 27 日	四川都江堰市龙池乡、虹口乡	泥石流阻断公路, 堵塞河道, 威胁居民安置点安全。
7月 31 日	四川石棉县草科乡	泥石流卷走 1辆小汽车, 5人遇难, 公路等设施多处受损。
7~ 9月	四川汶川县映秀镇、银杏乡、耿达乡、卧龙镇等	牛圈沟、麻柳湾沟、关山沟、磨子沟等岷江支沟相继多次发生泥石流, 其中磨子沟和关山沟泥石流多次堵断岷江形成堰塞湖, 仅牛圈沟阻断 G213线的泥石流就有 11次之多; 岷江支流渔子溪映秀至卧龙段, 被泥石流堵断形成大小 10多个堰塞湖。
8月 20~ 21 日	四川黑水县麻窝乡、九寨沟县漳扎镇牙扎村, 汶川县雁门乡, 理县薛城乡、蒲溪乡等, 茂县凤毛坪等	麻窝乡牙窝村泥石流冲走 1人, 冲垮民房 1幢, 损毁村道 13 km; 漳扎镇牙扎村因泥石流 3人失踪、9人受伤、28户房屋受损; 雁门乡萝卜寨南沟、通山寨沟等泥石流阻断 G213线和乡村公路; 理县薛城乡、蒲溪乡等地泥石流阻断 G317线; G213线凤毛坪段被泥石流阻断。
8月 28 日	四川青川县红光乡、石坝乡、马公乡等	泥石流及山洪使 10余人死亡或失踪, 36个乡镇近 5万人不同程度受灾; 泥石流涌入红光乡乡政府大院及附近民房内, 100多间居民房被泥石流冲垮。
9月 5 日	甘肃文县	泥石流阻断公路等。
9月 20 日	四川彭州市、都江堰市、崇州市、大邑县等的山区乡镇	不同程度都有泥石流活动, 其中彭州市新兴镇狮山大桥桥头, 山坡泥石流将桥头完全淹没, 并冲毁附近的房屋。
9月 22~ 24 日	四川汶川县映秀镇, 北川县曲山镇、擂鼓镇、陈家坝乡等, 安县永安镇等, 平武县平通镇等, 青川县, 彭州市龙门山镇等, 绵竹市、什邡市、江油市、都江堰市的山区乡镇等	泥石流大范围活动, 房屋、公路、电力线路等大量被毁。都江堰通往汶川的生命线——都汶公路再次中断; 汶川映秀镇牛圈沟泥石流致死 1人; 北川县数十条泥石流暴发, 造成 9人死亡、35人失踪、340人受伤, 其中擂鼓镇柳林板房区受泥石流危害, 除造成人员伤亡外, 还迫使 2 000多名受灾群众再次搬迁; 泥石流和山洪使在北川县抗震救灾的二炮某部 41名官兵和 39名群众被困 2天 2夜; 安县、平武县、江油市等死伤 39人。

注: 表中资料部分为实地考察所得, 部分来自新华网、人民网、中新网、四川在线、四川新闻网、搜狐网、新浪网等。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

石,反映出软质岩石出露区对地震泥石流更为敏感。

### 3.7 活动范围与降雨关系密切

2008年“5·12”汶川地震后,震区逐渐进入汛期,降雨增多,处于山区的地震重灾区陆续普遍出现泥石流活动,尤其是9月22~26日,地震重灾区持续出现区域性暴雨天气过程,激发了大范围的泥石流活动。据气象部门的资料<sup>[11]</sup>,22日20时~28日08时江油的马角坝、雁门,青川、青川竹园,绵竹汉旺,累计降雨量分别为546.4 mm、438.7 mm、288.3 mm、336.0 mm、373.8 mm;北川9月22日08时~27日08时累计降雨614.3 mm,23日20时~24日20时盆地西部的成都、绵阳、德阳、雅安等5市出现区域性暴雨,其中北川、江油等县(市)降了大暴雨,北川24日降雨量达334.7 mm。25日20时~26日20时绵阳、成都、德阳、广元等6市出现区域性暴雨,共有32个县(市)降了暴雨。这次持续区域性暴雨在北川、江油、平武、绵竹、什邡、汶川、彭州、都江堰、崇州等地震重灾区激发了大范围的泥石流活动。

### 3.8 活动范围受地形控制明显

地表破碎、切割强烈、坡陡沟急、相对高度大的区域,地震为泥石流活动提供的松散固体物质多<sup>[12]</sup>,地形为泥石流活动提供的能量大,有利于泥石流下泄。因此,泥石流的活动除与地震烈度相关外,还与地形密切相关。这种现象在汶川地震重灾区表现明显。龙门山等山区的地形差异大,以中高山为主,相对高度一般达1 000~2 500 m,如汶川县、茂县、理县以及彭州与崇州2市的山区等,泥石流频繁活动,规模较大,危害严重;而四川盆地边缘和外部的低山区及盆地丘陵区,相对高度一般在500 m以下,丘陵区甚至在200 m以下,如同样在地震烈度Ⅷ度及以上区内的广元市利州区、朝天区、元坝区,旺苍县,梓潼县,剑阁县,三台县,阆中市,盐亭县,苍溪县,中江县,宁强县,略阳县,勉县,康县,成县等,泥石流活动微弱或基本无泥石流活动。

### 3.9 危害形式多样

泥石流以多种形式造成灾害,使当地群众继遭受“5·12”特大地震灾害后再次受到重创。

#### 3.9.1 冲毁和淤埋

泥石流冲毁和淤埋其流路上的各种设施(照片6),特别是对其流路上的居民住房和灾民安置点危害极大,并造成了新的人员伤亡,如9月下旬北川县的部分灾民临时安置点的板房等遭受了泥石流

冲、淤危害,导致伤亡和失踪达417人(见表1);再如,汶川县耿达乡龙潭村三圣号沟口8户村民未被地震震垮的房屋,都被5月下旬的几场泥石流冲毁或淤埋(见照片2)。另外,泥石流多处、多次冲毁和淤埋刚刚恢复的交通、电力、通讯、供水等设施,给地震灾区恢复重建带来极大困难。

#### 3.9.2 堵塞主河

在汶川县映秀镇、银杏乡、耿达乡、卧龙镇,彭州市龙门山镇,崇州市苟家乡等地震重灾区的多条沟泥石流暴发时曾短暂堵塞主河、形成堰塞湖,危害与威胁主河上下游沿河各种设施的安全。如银杏乡磨子沟泥石流堵塞断岷江成湖,水位迅速上涨,最高涨幅达12 m左右,形成淹没灾害,一碗水村19户村民的房屋被淹没在江水之中;在堵塞体溃决后,大量由泥石流带入岷江的石块仍然堆积在河床上,抬高了沟口段河床和岷江水位(照片7),使河边的村庄长时间浸泡在水中(照片8)。再如,9月下旬,北川县唐家山堰塞湖右岸泥石流阻断泄流槽入口河道,使堰塞湖水位上升数米,平武县文家坝堰塞湖泄洪道被泥石流堵塞等,均对下游沿岸群众的生命财产安全造成直接威胁。

## 4 结论与讨论

1 泥石流活动频繁、危害严重。2008年地震震中及附近的汶川、茂县、理县、彭州、崇州、什邡、绵竹、北川、平武、青川、文县等地泥石流频繁发生;地震重灾区因泥石流而造成的人员伤亡(含失踪)达450余人,伤亡惨重。惨痛的教训再一次警示我们,对地震过后的泥石流等次生山地灾害决不能轻视。

2 泥石流危害的严重性提醒我们,在灾后恢复重建中不管是临时安置点还是永久性居住区,都必须高度重视选址工作,一定要避开泥石流、山洪、滑坡、崩塌等山地灾害的危险区。北川擂鼓等地的临时安置点,因处于泥石流危险区而惨遭泥石流危害,造成房毁人亡的教训,应该深刻吸取。

3 汶川地震重灾区,尤其是烈度Ⅸ度及以上龙门山区等区域,本身就是工程地质条件复杂的不稳定区域,泥石流、滑坡、崩塌、山洪等山地灾害历来十分发育,“5·12”特大地震对山坡稳定性造成强烈破坏后,必然极大地促进其持续活跃、加大规模与危害。在这样的区域内选择恢复重建的场地,实质上是在不稳定区内选择相对稳定区,这种相对稳定区类似安全岛,不可能有大块安全的场地供建设使用。





照片 1 汶川牛圈沟支沟莲花心沟滑坡碎屑流

Photo 1 The high-speed elastic flow of landslide in Lianhuaxingou gully



照片 4 彭州白果坪沟泥石流冲毁村庄淤埋公路

Photo 4 Villages and road were destroyed by debris flow from Baiguoping gully



照片 2 汶川耿达三圣号沟泥石流淤埋村庄

Photo 2 A village of Wenchuan County was destroyed by debris flow



照片 5 崇州火石沟泥石流淤塞沟道(陈晓清 摄)

Photo 5 Gully bed of Huoshigou has been silted by debris flow (by Cheng Xiaoqing)



照片 3 汶川耿达头道桥村遭泥石流冲毁

Photo 3 Toudaoqiao village of Wenchuan has been covered with mud and silt from debris flow



照片 6 北川县城遭席家沟等沟泥石流淤埋

Photo 6 Beichuan county has been silted by debris flow





照片 7 汶川磨子沟泥石流堵塞岷江

Photo 7 The Minjiang River is blocked by debris flow from Mozigou gully



照片 8 汶川磨子沟泥石流堵塞岷江成湖,淹没村庄

Photo 8 The debris flow stops up the Minjiang River to become the lake, submerges a village of Wenchuan

因此,恢复重建居民点时,建设一定要因地制宜,尤其是岷江和其他江河峡谷区等地的居民点,宜保持当地居民传统的分散、多点居住的特点,而不宜于搞成规模较大的集中成片的居民点,这样一方面有助于场地安全选址,另一方面可以避免大规模泥石流、滑坡、崩塌、山洪等山地灾害发生时造成大量人员伤亡。

4 2008年在汶川地震的高烈度区内,有一些泥石流沟内尽管松散固体物质已非常丰富,但泥石流并没有活动,如汶川县的佛堂坝沟、桃关沟、罗圈湾沟、古溪沟、大溪沟、七盘沟,等等,分析可能有两个原因,一是暴雨未能到达这些沟的泥石流形成区;二是雨量不够大,不足以激发泥石流,因为这些沟内的松散固体物质粒径十分粗大,如佛堂坝沟、桃关沟、七盘沟等,虽已有多处大规模崩塌堵塞沟道,但崩塌石块太大,一般的暴雨径流难以启动其形成泥石流。对这类沟可能发生的泥石流决不能放松警惕,其一

旦暴发泥石流,往往是大规模或特大规模的<sup>[13]</sup>,危害极大。因此,今后的防灾减灾工作,除要警惕那些已发生过泥石流的沟再发泥石流造成危害外,更要警惕类似上列的2008年泥石流暂未活动的沟泥石流的危害。

5 汶川地震震级大,烈度高,余震持续时间长,对山坡稳定性破坏剧烈,龙门山及邻近的邛崃山等山区的泥石流因此从2008年开始,进入一个强烈活动的时期,时间可能持续10~30 a甚至更长。对此,要有足够的重视,作好长期抗御泥石流的准备。在可能遭遇泥石流的区域开展的各种工程建设,一定要加强防范措施,防止泥石流造成危害。

## 参考文献 (References)

- [1] Xie Hong Wang Sige Kong Jinling Distribution and characteristics of mountain hazards induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan, China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(4): 396~401 [谢洪, 王士革, 孔纪名. “5·12”汶川地震次生山地灾害的分布与特点 [J]. *山地学报*, 2008, 26(4): 396~401]
- [2] Information Office of the State Council of China Sichuan Wenchuan earthquake quick relief work progress (on September 25) [EB/OL]. <http://www.512.gov.cn/GB/123057/8107719.htm> [国务院新闻办公室. 四川汶川地震抗震救灾进展情况 (9月25日) [EB/OL]. 人民网, <http://www.512.gov.cn/GB/123057/8107719.htm>]
- [3] Zong Dunlin, Xie Hong, Wei Fangqiang et al. Map of Debris Flow Distribution and Danger Degree Division in Sichuan and Chongqing and Its Manual [Z]. Chengdu: Chengdu Cartographic Publishing House, 1997 [钟敦伦, 谢洪, 韦方强, 等. 四川与重庆泥石流分布及危险度区划图 (1:100万) 及说明书 [Z]. 成都: 成都地图出版社, 1997]
- [4] Xie Hong, Wei Fangqiang, Zong Dunlin, et al. A research of China mountain towns debris flow and non-engineering disaster reduction measures [R]. Chengdu: MHE, CAS, 2000 [谢洪, 韦方强, 钟敦伦, 等. 中国山区城镇泥石流及非工程减灾措施研究报告 [R]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 2000]
- [5] Xie Hong, Zong Dunlin, Wei Fangqiang et al. Debris flow hazards and their formation causes in mountain urban area of China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(1): 79~87 [谢洪, 钟敦伦, 韦方强, 等. 我国山区城镇泥石流灾害及其成因 [J]. *山地学报*, 2006, 24(1): 79~87]
- [6] Xu Junming, An Wanpei. Earthquake triggered debris flows in the Songpan-Pingwu of August 1976 in Sichuan [A]. In: Chengdu Institute of Geography. *Debris Flow* (No. 3) [C]. Chongqing: Chongqing Branch of Science and Technology Literature Press, 1986, 67~75 [涂俊名, 谭万沛. 1976年松潘平武地震泥石流 [A]. 见: 中国科学院成都地理研究所. 泥石流 (3) [C]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1986, 67~75]
- [7] Chen Xiaoqing, Li Ziguang, Cui Peng et al. Estimation of soil erosion caused by the 5·12 Wenchuan Earthquake [J]. *Journal of Mountain Science*, 2009, 27(1): 122~127 [陈晓清, 李智广, 崔鹏, 等. 5·12汶川地震重灾区水土流失初步估算 [J]. *山地学报*,



- 2009, 27( 1): 122~ 127]
- [ 8] Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS Research and Prevention of Debris Flow [M]. Chengdu: Science and Technology Press of Sichuan, 1989: 60~ 119 [中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989: 60~ 119]
- [ 9] Xie Hong, Liu Sijian, Zhong Dunlun. Environment background of debris flow development in the lower reaches of the Jinshajiang River, Sichuan Province [A]. In: Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy. Debris Flow (4) [C]. Beijing: Science Press, 1995: 26~ 31 [谢洪, 刘世健, 钟敦伦. 四川境内金沙江下游泥石流发育背景 [A]. 见: 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 泥石流 (4) [C]. 北京: 科学出版社, 1995: 26~ 31]
- [ 10] Sichuan Province Meteorological Bureau. Sichuan Ground Climate Data Year after Year Value [Z]. Chengdu: Sichuan Province Meteorological Bureau, 1983: 193~ 218 [四川省地面气候资料年值 (1951~ 1980) [Z]. 成都: 四川省气象局行政处, 1983: 193~ 218]
- [ 11] Sichuan Meteorological Observatory. Weather report 61 issue. Sichuan basins on September 22~ 26 present the long-enduring rainstorm synoptic process [R]. 2008- 09- 28 [四川省气象台. 天气报告第 6期: 四川盆地 9月 22~ 26日出现持续性暴雨天气过程 [R]. 2008- 09- 28]
- [ 12] Zhong Dunlun. A trial discussion on effect of earthquake on debris flow activities [A]. In: Collected Papers on Debris Flow (No. 1) [C]. Chongqing: Science and Technology Literature Press, Chongqing Branch, 1981: 30~ 35 [钟敦伦. 试论地震在泥石流活动中的作用 [A]. 见: 中国科学院成都地理研究所. 泥石流论文集 (1) [C]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1981: 30~ 35]
- [ 13] Xie Hong, Zhong Dunlun. Features and risk zonation of debris flow in Futangba Ravine of Wenchuan County of the Minjiang River [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2003, 14 (4): 30~ 32, 53 [谢洪, 钟敦伦. 岷江上游汶川县佛堂坝沟泥石流特征及危险性分区 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14 (4): 30~ 32, 53]

## Debris Flow in Wenchuan Quake-hit Area in 2008

XIE Hong<sup>1, 2</sup>, ZHONG Dunlun<sup>2</sup>, JIAO Zhen<sup>2, 3</sup>, ZHANG Jinsan<sup>1, 2</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract:** On May 12, 2008 Wenchuan earthquake happened. In quake-hit area, with rainfall occurred after the earthquake, in middle-ig mountain areas were common to many debris flow hazards happened, especially for some of the victims of the earthquake damage caused by the site, causing casualties (including missing) of more than 450. Further aggravated disasters by debris flow. According to the earthquake and debris flow activity of time sequence, the area of the classification of earthquake debris flow after earthquake. With increased frequency of debris flow activities, scale, the outbreak point size, with sticky fluid properties of characteristics, debris flow range of activities and rainfall close range, also terrain factors control, mainly concentrated in Longmenshan Mountains were in middle and ig mountain areas, etc.; debris flow hazards are destroyed, deposition and buried and damming river a variety of forms. Therefore, the worst-hit areas such as regional location area, restoration and reconstruction is essentially in unstable areas relatively stable and safe choice of venue selection is limited. So the restoration and reconstruction measures, especially residential construction of Minjiang River valley and other similar regions, the settlement of local residents in reconstruction, the dispersion, more traditional characteristic of living, and not to get into a larger scale of the settlement, sliced concentration is not only beneficial to site safety location, and can avoid large-scale debris flow, landslide, collapse, mountain torrent disaster when such large casualties. Earthquake-hit area in 2008, the activity of Longmenshan Mountains and adjacent Qinghai Mountains areas, etc., due to earthquake debris flow has entered intense activity. The strong activity time, possibly continues 10~ 30 years, even longer time. Therefore, we should pay enough attention to debris flow. In may encounter in the area of debris flow construction, and must strengthen debris flow hazards prevention measures.

**Key words:** Wenchuan earthquake-hit area, debris flow hazards, activity characteristics, restoration and reconstruction, site safety