

“5·12”汶川地震后北川苏保河流域泥石流危害及特征

游 勇^{1,2}, 柳金峰^{1,2}, 陈兴长^{1,2}

(1. 中国科学院地表过程与山地灾害重点实验室, 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)

摘 要: 汶川 8 级地震直接引发了大量的崩塌、滑坡等次生山地灾害, 为泥石流提供了丰富的物质来源, 灾后遇高强度降水, 已引发大规模的次生泥石流灾害, 严重威胁灾民安置点和灾后重建场址。以北川苏保河流域为例, 分析了泥石流形成的地形地貌条件、松散固体物质条件和降水条件, 总结了苏保河流域泥石流的危害和特征, 在此基础上, 通过形态调查法和雨洪法对泥石流流量的计算进行了对比分析。结果表明: 地震后苏保河流域演变为泥石流多发区域, 泥石流将会危害人民生命财产安全、灾后抢险救灾公路和人类生存环境; 苏保河流域泥石流具有呈群发性, 危害范围大、密度高, 搬运能力强、激发泥石流的雨量相对偏小、多灾种复合性的特征; 地震后, 由于强震引发松散固体物质的剧增、地表植被破坏引起径汇流条件的变化、沟道性质的变化及沟道内形成的多级堵塞, 使泥石流的规模增大。

关键词: 汶川地震; 苏保河流域; 泥石流; 危害特征

中图分类号: P315.2 P642.23

文献标识码: A

泥石流因暴发突然、来势凶猛、历时短暂、破坏力大而成为山区的一大灾害^[1,2]。汶川 8 级地震后, 由于地震带来的大量崩塌、滑坡直接为泥石流活动提供了丰富的松散固体物质, 并且地震造成大量坡体失稳和岩体破坏, 使这些泥石流沟在今后较长一段时间内处于活跃期, 泥石流暴发规模和频率显著增加, 危害灾区人民生命财产安全, 特别是城镇、村庄、道路、水利水电工程和农田等^[3,4]。本文以地震后典型流域——北川苏保河流域为例, 对震后泥石流的危害和特征进行分析。

1 自然环境背景

1.1 流域概况

苏保河位于四川省北川羌族自治县(简称北川县)擂鼓镇、苏保乡境内, 为安昌河水系的二级支流。苏保河流向由西向东, 流域面积 72.21 km², 主

沟长 14.70 km, 平均沟床纵比降达 92.8%, 相对高度为 1 635 m。该流域平面呈树枝状, 主沟居中, 在海拔 740~1 385 m 段分别接纳右岸的 11 条一级支沟, 在海拔 740~1 506 m 段分别接纳左岸 13 条一级支沟(图 1)。

1.2 地貌条件

北川县境内以山地为主, 北西部为侵蚀构造高中山地形, 中部为侵蚀构造中山地形, 东南部主要为溶蚀山原—峡谷和峰丛—洼地等侵蚀溶蚀低中山地形。苏保河流域处在侵蚀构造中山的东南边缘, 属龙门山前山与后山交界地带。苏保河流域地形变化大, 整体北西高、南东低, 相对高差大, 沟谷谷坡坡度一般大于 25°, 部分达 40°~50°, 甚至陡立。

苏保河流域土地主要集中分布在海拔 1 000~2 000 m 的高程范围内, 占总面积的 82.77%, 其中海拔 ≥ 1 500 m 的面积占总面积的 50.35%, 该流域地表高程分布详见表 1。

收稿日期(Received date): 2009-10-30; 改回日期(Accepted): 2010-02-27。

基金项目(Foundation item): 973 计划(2008CB425803), 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q03-5-2)资助。[Supported by “973 Program” (2008CB425803) and Project group of Knowledge Innovation Program (KZCX2-YW-Q03-5).]

作者简介(Biography): 游勇(1964-)男, 研究员, 硕士, 主要从事山地灾害研究。[You Yong (1964-), male, Han nationality, born in Leshan city, Sichuan province, professor, Master major in mountain hazards and prevention methods study.] E-mail: youyong@yahoo.com.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

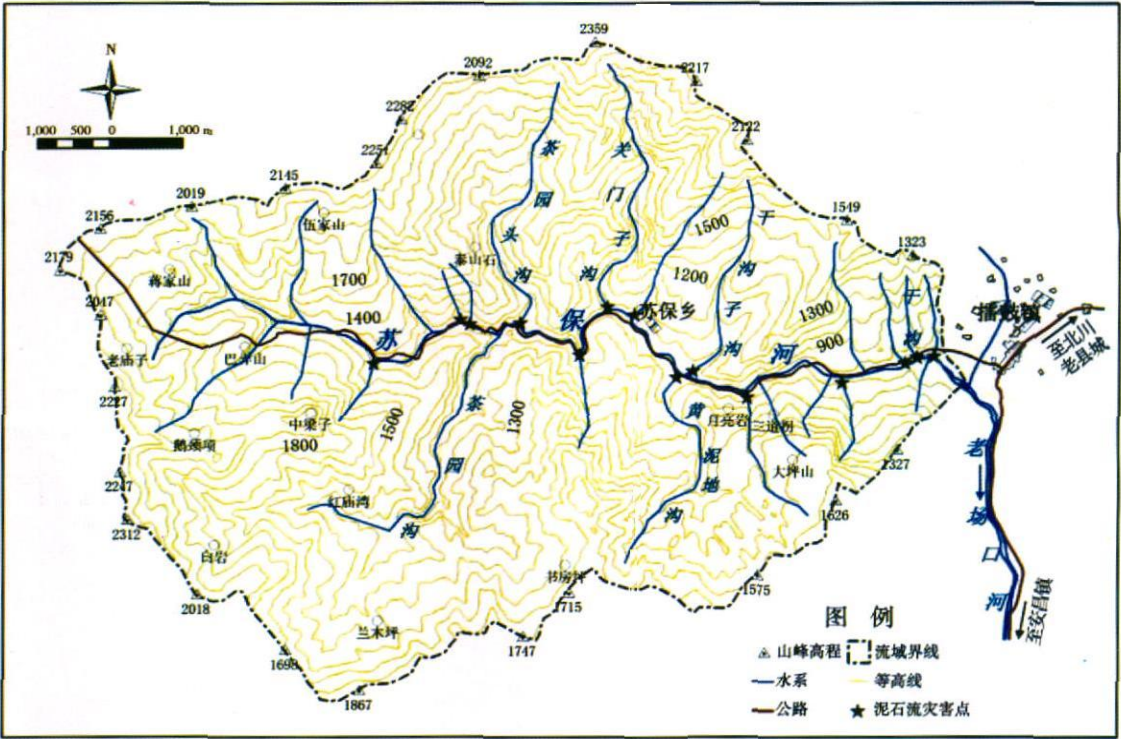


图 1 苏保河流域图
Fig 1 Drainage map of Subao River

表 1 苏保河流域地表面积高程分级统计
Table 1 The elevation classification statistics of Subao River

项目	海拔 (m)				合计
	< 1 000	1 000 ~ 1 500	1 500 ~ 2 000	≥ 2 000	
地表面积 (km ²)	6.26	29.59	30.18	6.18	72.21
所占比例 (%)	8.67	40.98	41.79	8.56	100

苏保河流域地势陡峻, 以陡坡地为主, $\geq 25^\circ$ 的陡坡地和 $\geq 35^\circ$ 的急陡坡地面积之和为 46.76 km², 占流域总面积的 64.76%, 各类坡度的山坡面积分级结果见表 2

表 2 苏保河流域山坡坡度分级统计
Table 2 The slope classification statistics of Subao River

项目	山坡坡度 (°)				合计
	< 15	15 ~ 25	25 ~ 35	≥ 35	
地表面积 (km ²)	7.64	17.81	22.76	24.00	72.21
所占比例 (%)	10.58	24.66	31.52	33.24	100

1.3 地质条件

苏保河所处区域地质构造以 NE 向为主, 受构

造走向控制, 岩层走向亦以 NE 向为主。流域出露的地层主要为志留系上中统茂县群 (Smx), 岩性为千枚岩、板岩、石灰岩、砂页岩; 泥盆系中统 (D₂) 的浅海相灰岩、泥质灰岩建造, 岩性为灰、深灰色灰岩、砂质灰岩、生物碎屑灰岩、砂页岩及赤铁矿。流域内还出露有第四系的松散堆积层如冲洪积、残坡积等; 支沟沟口两侧地带可见卵石、漂石出露, 为苏保河河谷阶地堆积物 (图 2)。

1.4 气象与水文

苏保河流域所处区域位于亚热带湿润季风气候区, 四季分明, 气候温和, 多年平均气温 15.6℃ (表 3); 该区又属著名的鹿头山暴雨区, 雨量充沛, 年均降雨量 1 399.1 mm, 年最大降雨量 2 340 mm (1967 年), 日最大降雨量 101 mm, 小时最大降雨量 42 mm; 降雨集中在 6 ~ 9 月, 占全年降雨量 70% ~ 90% (最大 1981 年)。

1.5 地震

后龙门山褶皱带一直以来就是地震发生集中的区域, “5° 12”汶川 8.0 级大地震震中位于映秀, 地震导致的地下岩体破裂沿映秀—北川断裂由南西向东北延伸, 北川县城的断裂上下盘错动达 5 m “5° 12”大地震余震绝大部分围绕后龙门山褶皱带分布,

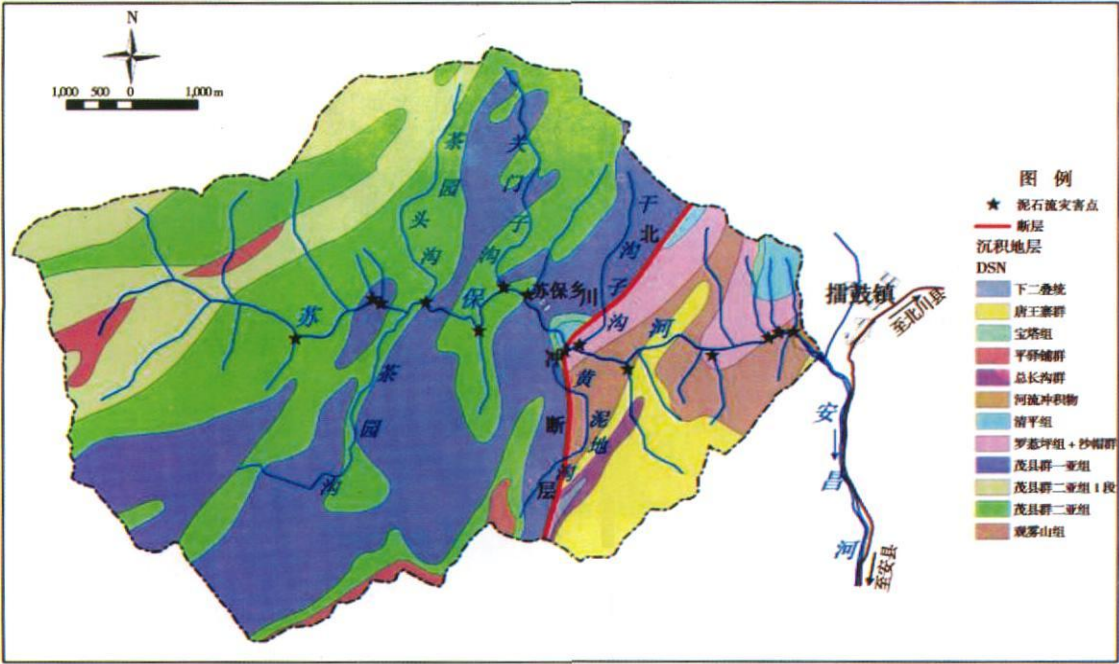


图 2 苏保河流域地质简图
Fig 2 Geology map of Subao River

表 3 1971~2000年北川县平均气温和降雨量

Table 3 Mean temperature and rainfall amount from 1971 to 2000 in Beichuan County

时间	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
气温(℃)	5.3	7.0	11.3	12.9	20.4	21.6	24.4	24.4	20.2	16.0	11.3	6.8	15.6
降雨量(mm)	5.9	11.4	22.8	52.6	97.3	135.3	370.8	350.4	206.6	64.4	18.6	4.1	1399.1

据震后修改的《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001),苏保河流域所处区域地震动峰值加速度为 0.20 g 地震烈度为 XI度。

2 泥石流的危害、形成条件与特征

2.1 泥石流危害

2008—09—24汶川地震区的北川县播鼓镇、苏保乡境内的苏保河流域突降暴雨,导致流域内的 10 余条主要支沟暴发泥石流,激起主河也同时暴发山洪泥石流。泥石流横冲直闯,沿沟两岸的震后灾民临时安置区、居民住宅、公路、桥梁、应急电力和通讯设施等被冲毁或淤埋。此外,苏保河两岸新暴发的泥石流将大量的泥砂带入主河道。

2.1.1 危害人民生命财产安全

2008—09—24苏保河流域的泥石流严重危害当地人民生命财产安全,导致 11人死亡。流域下游

沟口左岸的支沟干沟泥石流严重破坏沟口村民的房屋,泥石流冲入播鼓镇柳林小区震后灾民临时安置区的板房,造成 2人死亡;流域中游右岸的关门子沟泥石流冲毁苏保乡的中心小学的校舍,并冲毁了在中心小学附近驻扎的抗震救灾二炮部队的临时住地,造成当地村民 9人死亡和重大的财产损失;流域中游左岸的黄泥地沟泥石流淤埋沟口苏保乡黄泥地村 12户村民的房屋,冲毁、淤埋沟口附近的震后临时安置点,淤埋沟口对岸的羌山雀舌茶场。

2.1.2 危害抢险救灾公路

根据调查,2008—09—24的泥石流冲毁乡村公路约 10 km 更为严重的是冲毁、淤埋播鼓一禹里临时修建的救灾公路,严重影响抗震救灾。

2.1.3 危害人类生存环境

据调查,2008—09—24的泥石流不仅冲毁苏保乡田坝村、黄泥地村等村大量的房屋,使村民在“5.12”地震后,再次面临无家可归的困境。同时,主

沟及支沟泥石流冲毁沿河两岸的耕地, 被毁耕地多数不能复耕或难以复耕, 人类生存环境遭到严重的危害。此外, 由于苏保河两岸新暴发的 12 条泥石流将大量泥沙带入主河道, 造成主河道剧烈抬升, 沿河两岸生态环境遭到严重破坏 (图 3~图 6)。

2.2 泥石流的形成条件

2.2.1 地形条件

苏保河地处青藏高原东缘向四川盆地过渡地带, 切割较强烈, 陡峻的峡谷地貌特征明显。具有下面的地形特征: (1) 流域相对高度大, 全流域最高海拔 2 359 m 最大相对高度 1 635 m 支沟相对高度一般为 484~1 508 m 最大是关门子沟, 为 1 508 m 最小是凤凰山沟, 为 484 m。 (2) 沟床纵坡陡, 支沟比降为 143‰~694‰。 (3) 流域面积小, 除主沟的流域面积达 72.21 km² 外, 支沟的面积在 0.20~19.34 km²。 (4) 沟道短, 除主河长度为 14 700 m 外, 支沟

的沟道长度绝大多数不超过 3 910 m 最短的仅为 990 m (5) 流域山坡坡度大 (见表 2 表 4)。

由此可见, 苏保河流域的具有山高、坡陡、沟床比降大、支沟面积小、支沟沟道短的特征。巨大的地形高差, 使处于坡面和沟床高处的松散堆积物拥有较大的势能, 陡急的沟床和山坡为松散堆积物质的启动提供了有利的条件, 较短的沟道、较小的流域面积又有利于径流的快速汇集。

2.2.2 松散物质条件

流域内出露的岩性以千枚岩、板岩为主, 千枚岩、板岩的抗风化能力极差, 加之苏保河流域处在汶川地震的发震断层映秀—北川断裂上, 该断裂从流域的下部穿越, 都江堰—江油断裂也从流域出口处的右岸穿越, 导致流域内岩层破碎, 极易产生崩塌、滑坡。在流域的中下游主河的两岸, 发育有较大的崩塌、滑坡 11 个, 滑坡体的最大体积达 20.33×10⁴ m³。



图 3 泥石流冲毁、淤埋房屋
Fig. 3 Buildings buried by debris flow



图 4 泥石流堵塞主河, 堰塞湖回水淹没房屋
Fig. 4 Buildings submerged by backwater of barrier lake



图 5 关门子沟泥石流堆积扇
Fig. 5 Debris fan of Guanmenzi Gully



图 6 大量泥沙进入苏保河主沟
Fig. 6 Massive silts into the main river

表 4 苏保河主要支沟地形特征值
Table 4 Topographic characteristics of the tributaries of Subao River

编号	沟名	流域面积 (km ²)	沟长 (km)	沟床比降 (‰)	最高点 (m)	沟口高程 (m)	相对高度 (m)	是否暴发 泥石流
L1	高家坎沟	0.41	1.59	352	1 323	734	589	是
L2	干沟	0.37	1.63	342	1 323	737	586	是
L3	灰家坪沟	0.57	1.70	390	1 410	739	671	是
L4	邵家沟	1.05	2.39	317	1 549	750	799	否
L5	干沟子沟	3.57	3.51	333	2 110	810	1 300	是
L6	观音堂沟	1.52	2.90	415	2 110	845	1 265	是
L7	关门子沟	5.50	4.44	306	2 359	850	1 509	是
L8	茶园头沟	7.39	4.53	254	2 282	930	1 352	是
L9	黄家山 1 沟	0.25	1.20	596	1 700	978	722	是
L10	黄家山 2 沟	0.20	1.02	694	1 700	988	712	是
L11	雷家坪沟	1.62	2.61	443	2 245	1 030	1 215	否
L12	老林口沟	1.98	2.36	357	2 225	1 338	887	否
L13	蒋家山沟	1.53	1.65	375	2 160	1 510	650	否
R1	凤凰山沟	0.20	0.99	486	1 220	736	484	否
R2	肖家坪沟	0.78	1.57	557	1 640	755	885	是
R3	郭牛坪沟	0.53	1.21	624	1 522	758	764	否
R4	三道拐沟	0.46	1.64	485	1 585	780	805	否
R5	小坪山沟	1.33	2.52	333	1 674	790	884	是
R6	黄泥地沟	6.35	3.91	206	1 760	813	947	是
R7	荆竹园沟	1.20	1.66	512	1 765	872	893	是
R8	茶园沟	19.34	7.60	143	2 312	950	1 362	否
R9	中梁子 1 沟	1.00	1.33	617	2 026	1 160	866	是
R10	中梁子 2 沟	0.54	1.40	487	2 026	1 338	688	否
R11	巴弄山沟	2.63	2.77	322	2 318	1 380	938	否

在主要支沟内也发育了众多的崩塌、滑坡。例如右岸的支沟干沟子,沟内的松散物质主要分布在海拔 900~1 300 m 之间长约 2 km 的沟段,为崩塌、滑坡严重区段,由于汶川地震的影响,沟段两侧分布有崩塌 12 处,最大崩塌方量为 43 000 m³,最小崩塌方量为 9 200 m³,该沟段内新增不稳定体总方量达 36×10⁴ m³,是该沟泥石流的主要物源。又如流域右岸的关门子沟,松散物质主要分布在海拔 900~1 200 m 的沟段。该沟段长约 2.5 km 平均比降为 10°,沟谷呈“V”型,岸坡坡度 60°~80°,汶川地震激发崩塌滑坡 13 处,崩塌、滑坡物质堆积在坡脚沟道内,最大方量为 69 630 m³,最小方量为 7 905 m³,该区段新增不稳定体总方量约为 50×10⁴ m³。

2.2.3 暴雨

苏保河流域地处四川盆地 向川西高原的过渡带,亚热带湿润季风气候特征明显,具有干、湿季分明、降雨集中在夏半年和立体气候明显等气候特征。根据气象资料,苏保河一带一日最大降雨量为 101 mm,小时最大降雨量为 42 mm。受地形的影响,年降雨量随海拔升高而增加。据调查,苏保河流域偶尔出现的高强度、短历时点暴雨是泥石流形成的水源条件和激发因素。根据《四川省中小流域暴雨计算手册》得到苏保河流域所处区域在不同频率条件下的暴雨量(表 5),从计算结果来看,频率百年一遇 10 min 雨强达 35.7 mm,频率百年一遇的小时雨强达 116.1 mm。因此,苏保河流域具有形成泥石流的水源条件。

表 5 不同频率不同历时的暴雨量

Table 5 Rainfall in different frequency and different duration

P(%)	H _{1/6P}	H _{1P}	H _{6P}	H _{24P}
0.5	38.9	126.0	367.4	484.3
1	35.7	116.1	325.6	429.2
2	32.3	105.6	283.8	374.1
5	27.7	91.9	231.0	304.5
10	24.2	80.9	189.2	249.4

2008—09—24的群发性泥石流就是在暴雨的激发下产生的。在 2008—09—23之前的相当长的一段时间内,该区域的降水量偏少,7月、8月的降水量分别只有 125.7 mm、234.7 mm,9月 1日至 22日,苏保河流域所在的区域处于干燥期,期间擂鼓镇的降雨量仅有 40 mm。9月 23日,该区域开始大面积降雨,根据附近唐家山的资料,降雨量达 173.8 mm。09—24T0:00~5:00的降雨量 57.9 mm,5:00~6:00的降雨量达 41.0 mm。最终诱发大范围的泥石流。

2.3 泥石流的特征

2.3.1 泥石流活动呈群发性,危害范围大

根据实地的调查访问,并查阅“北川县地质灾害调查与区划报告”,在“5.12”地震前,苏保河流域内近百年内未暴发过泥石流。震后 2008—09—24,在苏保河流域内,14条支沟及主沟同时暴发泥石流,具有群发性,危害范围大。泥石流的成群暴发,

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。

2.3.2 泥石流密度高,搬运能力强

苏保河 2008—09—24的泥石流按流体性质划分,14条支沟暴发的都是粘性泥石流,具有高密度的特征。根据野外采取典型泥石流沟小样的颗粒级配分析结果(图 7),粘粒(<0.005 mm)含量为 1.665%~3.409%,平均 2.71%,说明流域内有粘粒含量高的土体补给泥石流。

因为苏保河流域泥石流的物源主要是来自地震引发的崩塌滑坡,加之沟道原有的大漂砾和卵石在泥石流运动过程中也被挟带,所以,泥石流堆积物的颗粒组成比较粗大,巨砾、砾石较多,直径一般 1~3 m,最大达 10 m,破坏力惊人,往往打断钢筋混凝土的支柱,洞穿墙壁。苏保河流域支沟虽然流域面积较小,沟道长度较短,但其泥石流具有巨大的搬运能力。一次泥石流搬运泥沙、石块的总量可达几万立方米乃至几十万立方米,所搬运直径 1 m 以上的石块随处可见。例如关门子沟 2008—09—24泥石流冲出的最大石块直径约 3 m,右岸的一级支沟荆竹园沟最大石块直径约 10 m。

2.3.3 激发泥石流的雨量较震前减小

在该区域,根据泥石流发生临界雨量的研究成果,2003年“北川县地质灾害调查与区划报告”,地震前的资料表明,该区域泥石流发生的前期累积雨量 320~350 mm,激发泥石流的临界雨量为每小时

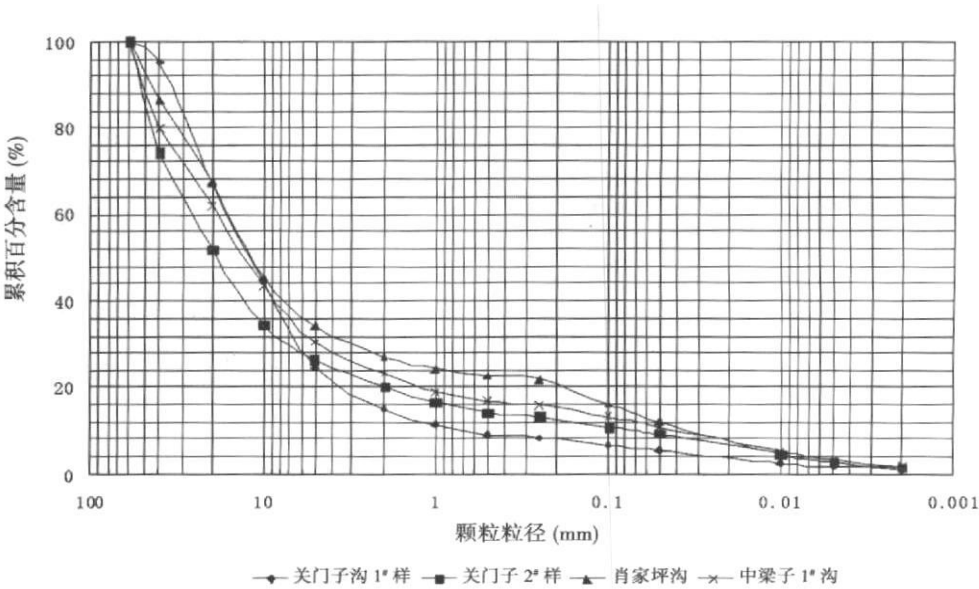


图 7 苏保河典型支沟泥石流样品颗粒级配图

Fig. 7 Debris flow grain grading graph of typical tributaries of Subao River

50~60 mm。地震后,临界雨量发生了变化,2008—09—23~24的泥石流发生前的累积雨量为 272.7 mm 激发泥石流的临界雨量为每小时 41.0 mm 累积雨量和临界雨量较地震前都有所降低,泥石流起动的前期累积雨量降低大约 14.8%~22.1%,小时雨强降低约 25.4%~31.6%^[6]。

2.3.4 多灾种的复合性

泥石流并不是单独发生,而是滑坡、崩塌→泥石流→堵塞主河→堵塞体溃决洪水,形成了明显的灾害链。而且,泥石流输送的泥沙导致河床淤高,引发漫滩洪水。例如苏保河右岸的一级支沟荆竹园沟,地震在沟内形成了 8 个较大的崩塌、滑坡堵塞在沟道内,在暴雨的作用下,这些堵塞体溃决成为泥石流体的一部分,泥石流冲出沟口,堵塞苏保河主河,堵塞高度达 10 m 上游回水淹没公路。随主河水位抬升,泥石流堵塞体溃决,溃决洪水冲毁下游的公路、耕地、民房等。

3 泥石流流量的计算与分析

3.1 形态调查法

地震造成的大量滑坡、崩塌堵塞在沟道上,没有降雨时,滑坡、崩塌堵塞坝较为稳定,在降雨、水流的作用下,滑坡、崩塌堵塞坝迅速溃决,不仅是泥石流形成的主要原因之一,同时导致泥石流流量大大增加。为了了解泥石流的流量、流速特征,通过现场的泥痕调查和测量,分别在关门子沟、黄泥地沟、干沟子沟出口附近确定了典型的断面,采用形态调查法计算泥石流的流速和峰值流量。泥石流流速采用下面公式计算^[7]

$$V_c = (R_c^{2/3} \times I^{1/2}) / n_c \tag{1}$$

式中 V_c 泥石流断面平均流速 (m/s); n_c 泥石流沟床粗糙率; R_c 计算断面水力半径 (m); I : 泥石流水力坡降,可用沟床坡降代替。

泥石流的流量采用下式计算

$$Q_c = W_c \cdot V_c \tag{2}$$

式中 W_c 泥石流过流断面面积 (m²)。

形态调查法得到 3 条支沟泥石流的流速、流量 (表 6)。

4.2 雨洪法

为了比较,又采用目前常用的雨洪法计算泥石流的峰值流量,先按水文方法计算出断面不同频率下的小流域暴雨洪峰流量,然后选用堵塞系数,按下

式计算泥石流流量^[8]

$$Q_c = (1 + \Phi) Q_p \cdot D_c \tag{3}$$

式中 Q_c : 频率为 P 的泥石流峰值流量 (m³/s); Q_p : 频率为 P 的暴雨洪水流量 (m³/s); Φ : 泥石流泥沙修正系数, $\Phi = (\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_H - \gamma_c)$; γ_c : 泥石流重度 (t/m³); γ_w : 清水的重度 (t/m³); γ_H : 泥石流中固体物质比重 (t/m³); D_c : 泥石流堵塞系数。3 条典型泥石流沟的流量计算结果见表 7。

表 6 形态法计算泥石流典型断面的流速及流量

Table 6 The velocity and discharge calculation of debris flow by using morphologic method

沟名	断面面积 (m ²)	水力半径 (m)	纵坡	流速 (m/s)	流量 (m ³ /s)
干沟子沟	78.2	2.0	0.145	10.26	802
黄泥地沟	89.6	2.3	0.138	10.97	983
关门子沟	49.7	2.8	0.133	12.32	612

表 7 雨洪法计算泥石流流量

Table 7 The discharge calculation of debris flow by using rainstorm-flood method

沟名	频率 P (%)	洪水流量 Q_p (m ³ /s)	修正系数 Φ	泥石流堵 塞系数 D_c	泥石流峰值流量 Q_c (m ³ /s)
干沟子沟	0.5	118	2.18	2.20	827
	1	108	1.69	2.00	579
	2	96	1.69	2.00	519
	5	82	1.33	2.00	381
	10	70	1.33	2.00	325
黄泥地沟	0.5	202	2.18	2.20	1412
	1	183	1.69	2.00	986
	2	164	1.69	2.00	880
	5	138	1.33	2.00	643
	10	117	1.33	2.00	547
关门子沟	0.5	172	2.18	2.20	1207
	1	156	1.69	2.00	842
	2	140	1.69	2.00	752
	5	117	1.33	2.00	548
	10	100	1.33	2.00	465

通过对形态调查法和雨洪法计算泥石流流量的对比分析,干沟子沟采用形态调查法计算的流量相对于采用雨洪法计算中的 200 a 一遇的泥石流,黄泥地沟采用形态调查法计算的流量相对于采用雨洪法计算中的 100 a 一遇的泥石流,关门子沟采用形

态调查法计算的流量相对于采用雨洪法计算中的 50 a 一遇的泥石流。实际资料表明, 干沟子沟、黄泥地沟和关门子沟发生泥石流时的降水量相当于 20 a 一遇, 雨洪法计算的结果明显偏小于形态调查法计算的流量。即使将河道视为最严重堵塞, 按文献 [7] 取 D_c 为最大值, 计算结果仍然如此。由此可知, 强震后, 沟道内的崩塌、滑坡, 使泥石流松散物质的补给量剧增, 沟道内的崩塌、滑坡多级堵塞沟道, 使得相同频率条件下实际泥石流的规模可能要远大于雨洪法计算结果。其主要原因有: 1. 地震造成地表植被破坏, 植被拦截降雨的作用减弱, 雨洪法计算中的径流、汇流参数与震前有变化, 但目前仍未修正; 2. 汶川地震诱发的大量崩塌、滑坡为泥石流提供了大量的松散固体物质, 震前很多仅是山洪的沟转变成泥石流沟, 其性质的变化加之充足的松散固体物质, 使泥石流规模增大; 3. 震后沟道的堵塞不仅仅只是沟道弯曲及局部堵塞情况, 而是多级的堵塞, 多级溃决后的级联效应, 增大了泥石流的规模。因此, 震后计算泥石流流量时, 应采用雨洪法、形态调查法相结合综合分析。

当无实际调查条件, 只能采用的洪法时, 本文建议最后泥石流堵塞系数 D_c 可按表 8 取值, 取值主要考虑河道内的堵塞密度、堵塞体高度和堵塞体性质。表 8 中, 当 3 个分级指标所属级别相关两级以上, 且最高级别指标只有 1 个时, 将 3 个分值指标中所属最高级别降低一级, 作为堵塞系数取值级别。其余情况时将最高级别作为取值级别。

表 8 泥石流堵塞系数取值表

Table 8 The blocking coefficient of debris flow

堵塞密度 (个 /km)	分级指标堵塞 体高度 (m)	堵塞体性质	堵塞程度	堵塞系数
> 5	> 10	以土质为主	最严重	4. 5~5. 5
3~5	5~10	土含大块石	较严重	3. 5~4. 5
2~3	3~5	大块石含土	中等	2. 5~3. 5
< 2	< 3	以大块石为主	一般	< 2. 5

4 结论

分析北川苏保河流域的泥石流灾害, 对汶川地震后泥石流的防灾减灾有如下一些启示。

1. 从泥石流形成的地形地貌、松散固体物质和降水条件三大条件分析可知, “5° 12”地震后北川

苏保河流域演变为泥石流多发区域, 泥石流严重危害人民生命财产安全、灾后抢险救灾公路和人类生存环境。

2 苏保河泥石流具有呈群发性, 危害范围大、密度高, 搬运能力强、激发泥石流的雨量相对偏小、多灾种复合性的特征。

3. 地震后, 由于强震引发松散固体物质的剧增、地表植被破坏引起径汇流条件的变化、沟道性质的变化及沟道内形成的多级堵塞, 使泥石流的规模增大。

参考文献 (References)

[1] Kang Zhicheng Zhang Shucheng The primary analysis on fluid characteristics of debris flow[A] . International Symposium on River Sedimentation[C] . Beijing Guanghua Press 198Q 74 ~ 78 [康志成, 章书成. 泥石流流体特征的初步分析 [A] . 河流泥沙国际学术讨论会论文集 [C] . 北京: 光华出版社, 198Q 74 ~ 78]

[2] Kang Zhicheng Li Zhuofen Luo Jintian et al. Research on Debris Flow in China[M] . Beijing Science Press 2004 [康志成, 李焯芬, 罗锦添, 等. 中国泥石流研究 [M] . 北京: 科学出版社, 2004]

[3] Cui Peng Wei Fangqiang He Sining et al. Mountain disasters induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan and the disasters mitigation[J] . Journal of Mountain Science 2008 26(3): 280 ~ 282 [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]

[4] Cui Peng Wei Fangqiang Chen Xiaojing et al. Geo-hazards in Wenchuan earthquake area and countemeasures for disaster reduction[J] . Bulletin of the Chinese Academy of Sciences 2008 23(4): 317 ~ 323 [崔鹏, 韦方强, 陈晓清, 等. 汶川地震次生山地灾害及其减灾对策 [J] . 中国科学院院刊, 2008 23(4): 317 ~ 323]

[5] Fei Xiangjun Shu Anping Movement Mechanism and Disaster Control for Debris Flow[M] . Beijing Qinghua University Press 2004 262 ~ 267 [费祥俊, 舒安平. 泥石流运动机制与灾害防治 [M] . 北京: 清华大学出版社, 2004 262 ~ 267]

[6] Tang Chuan Liang Jingtao Characteristics of debris flows in Beichuan epicenter of the wenchuan earthquake triggered by rainstorm on september 24 2008[J] . Journal of Engineering Geology 2008 16(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 16(6): 751 ~ 758]

[7] Zhou Bifan Li Deji Luo Defu et al. Guide to Prevention of Debris Flow[M] . Beijing Science Press 1991: 125 ~ 129 [周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南 [M] . 北京: 科学出版社, 1991: 125 ~ 129]

[8] Wu Jishan Tian Lianquan Kang Zhicheng et al. Debris Flow and Its Comprehensive Control[M] . Beijing Science Press 1993 152 ~ 153 164 ~ 180 [吴积善, 田连权, 康志成, 等. 泥石流及其综合治理 [M] . 北京: 科学出版社, 1993: 152 ~ 153 164 ~ 180]

Debris Flow and Its Characteristics of Subao River in Beichuan County after “5·12” Wenchuan Earthquake

YOU Yong^{1,2}, LIU Jinfeng^{1,2}, CHEN Xingchang^{1,2}

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

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: “Wenchuan Earthquake” caused a lot of secondary disasters, such as collapse and landslide, which provide rich material sources for debris flow. The high-intensity rainfall after the disaster has already induced large-scaled debris flows, which threatens victims’ resettlement spots and reconstruction spots greatly. This paper takes Subao River basin in Beichuan county as an example, analyzes topography and geomorphology conditions of forming debris flow, loose solid matter conditions and precipitation conditions, and summarizes the damage and characteristics of debris flow in the Subao River basin, on the basis of which, the calculation of the flow of debris flow is compared and analyzed by means of morphology investigation method and rain flood method. The result shows that Subao River basin in Beichuan is a region with frequent debris flows and debris flows will threaten people’s life and property safety, emergency rescue and disaster relief road and human beings’ living environment. Subao River debris flow has the characteristics of group-occurring, large-ranged damage, high density, strong transport capacity, comparative small rainfall that induces debris flow and many disaster types. After the earthquake, since huge increase of loose solid material, runoff and convergence change due to destroyed vegetation by earthquake, property change of channel and many blockages formed in the channel, the scale of debris flow will increase.

Key words: Wenchuan Earthquake; Subao River; debris flow; damage characteristics