

“8.13”四川清平群发性泥石流灾害成因及其影响

苏鹏程^{1,2,3}, 韦方强^{1,2}, 冯汉中⁴, 游勇^{1,2}, 程尊兰^{1,2}, 徐爱松^{1,2,3}

(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, 成都 610041;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4. 四川省气象局, 四川 成都 610072)

摘 要: 汶川地震触发的大量崩塌滑坡改变了泥石流流域的物源条件, 地震灾区震后泥石流活动呈现出愈加明显的高频率、群发性、大规模的特征。地处四川省绵竹市西北部的绵远河上游震后已多次暴发了泥石流。2010-08-13 和 08-18, 在局地暴雨诱发作用下, 绵远河上游的清平乡和天池乡境内的 24 条沟谷同时暴发了泥石流, 冲出的固体物质高达 $1.08 \times 10^7 \text{ m}^3$, 其中仅清平乡附近, 泥石流堆积扇规模就达到 $7.62 \times 10^6 \text{ m}^3$, 泥石流淤满河道形成了 1.5 km^2 的堰塞体, 致使 14 人死亡和失踪, 清平乡境内大量震后重建的民房遭淤埋, 泥石流多次中断九环线的重要支线——绵(竹)茂(县)公路汉旺—清平段, 直接经济损失高达 4.3 亿元。此次群发性泥石流灾害剧烈的改变着震后局部的河流微地貌形态, 对灾后恢复重建和发展规划也将产生深远影响。本研究从汶川地震对绵远河上游泥石流流域物源条件的影响分析入手, 着眼于泥石流形成的基本条件, 分析了 2010-08-13(简称“8.13”)特大群发性泥石流的成因: 汶川地震后绵远河上游两侧支沟内积聚的巨量固体松散物源是此次泥石流形成的前提条件; 1 h 雨强达 37 mm、累计达 203.5 mm 的高强度暴雨是泥石流最直接的激发因素。泥石流物源区和堆积区的堆积物颗粒分析结果表明, 泥石流以粘性泥石流活动为主。作为汶川地震后典型的次生山地灾害链过程, 泥石流活动是自然地貌演化的必然结果, 但此类远远超越常规规模和频率的泥石流灾害的影响将是一个长期的过程。因此, 建议对危害居民点的重点沟谷提高泥石流治理标准, 调整汛期的防洪方案。

关键词: 绵远河; 泥石流; 群发性; 成因; 汶川地震

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

“5·12”汶川大地震触发了上万处的崩塌、滑坡, 为泥石流活动提供了丰富的固体松散物源^[1-2]。与炉霍地震(7.9 级)、台湾集集地震(7.3 级)和西藏察隅地震(8.5 级)等震后泥石流活动特征类似, 流域物源条件的改变, 导致泥石流活动频度和强度明显增加^[3-6], 临界雨量条件也发生了一定程度的降低, 灾区震后泥石流活动进入新的活跃期^[1,7-9]。目前, 灾区已经暴发了大量的泥石流灾害^[9-10], 并且呈现出越来越明显的大规模、高频率、群发性的特征。

清平乡地处四川省绵竹市西北部山区的绵远河上游, 属沱江正源, 正在建设中的九(寨沟)环线重要支线——绵(竹)一茂(县)公路沿河分布。绵远河发源于绵竹市与茂县交界处的九顶山南麓大盐井沟, 经清平乡、天池乡至绵竹市汉旺镇出山, 主河长 43 km, 集水面积 420 km²(图 1)。其中汉旺至清平段长 13.5 km, 平均坡降 12‰; 清平至烂柴湾牛角洞河长 14 km, 平均坡降 32‰; 再上至大盐井沟长 15 km, 平均坡降 117‰。绵远河上游山区河床宽约 10~50 m, 两岸山坡约 70°, 小木岭处山峰与水面相

收稿日期(Received date): 2010-10-21; 改回日期(Accepted): 2011-01-15。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划课题(2008BAK50B04)、科技部国际合作项目(2009DFR20620)及国家公益性行业(气象)专项(GYHY201006039)资助。[Supported by the national Science and Technology Program of China(2008BAK50B04) and International collaboration program of the Ministry of Science and Technology (2009DFR20620) and also by Special funds for Meteorological Commonweal Project (GYHY201006039).]

作者简介(Biography): 苏鹏程(1981-), 男, 安徽桐城人, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事山地灾害风险评价与预测研究。[Su Pengcheng (1981-), male, was born in Tongcheng, Anhui Province, Ph. D student, assistant researcher, majoring in mountain hazards risk assessment and prediction.] E-mail: supengcheng@imde.ac.cn

对高差超过 1 300 m。汉旺镇以下,河流进入平原,在绵竹市境内河道长 21 km,河床宽约 700 ~ 1 000 m,遍布卵石砂料,坡降 5‰ ~ 10‰。绵远河多年平均径流量 $15.7 \text{ m}^3/\text{s}$,年径流量 $5 \times 10^9 \text{ m}^3$,年径流深 $1\,208 \text{ mm}^{[11]}$ 。

从区域气候来看,绵竹市属于四川盆地中亚热带季风性湿润气候,降水充沛,四季分明,大陆性季风气候特点显著。绵竹市降雨量的空间分布表现为从东南向西北递增,什邡、孝德等乡镇降雨量最少,在 900 mm 左右;天池、汉旺、金花等乡降雨量最多,尤其是金花乡降雨量达 1 734.4 mm,天池乡也达到 1 690.5 mm;清平乡(多年平均雨量 1 514.8 mm)以北雨量又逐渐减少。同时,降雨量的月季分布极不均匀。夏季(6—8 月)的雨量占全年总雨量的 59.6%,冬季(12—2 月)的雨量仅占全年总雨量的 2.5%,春季(3—5 月)的雨量占全年总雨量的 14.9%,秋季(9—11 月)的雨量占全年总雨量的 23.2%^[11]。

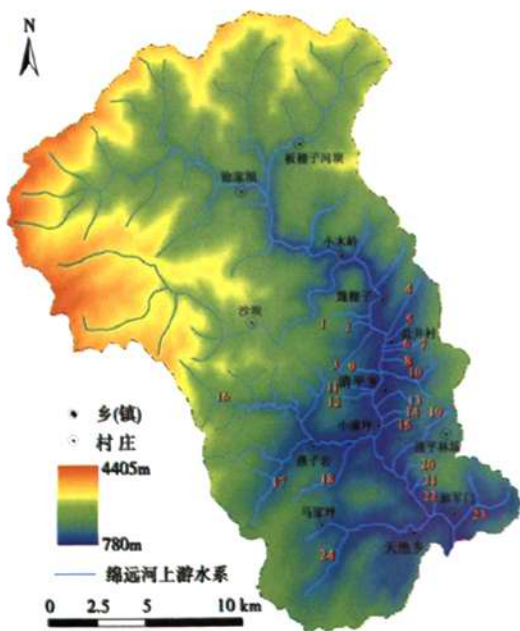


图1 绵远河上游水系图

Fig.1 Upstream drainage map of Mian Yuan River

2010-08-12—13 和 08-18—19,在两次区域强暴雨作用下,绵远河上游暴发了大规模、群发性泥石流灾害,致使 7 人死亡,7 人失踪,379 户民房受损,清平乡部分震后恢复重建的民房遭淤埋,绵-茂公路的汉旺-清平段多次被冲断,直接经济损失高

达 4.3 亿元。根据现场调查,结合遥感影像、区域地质构造、地形地貌及雨量条件,分析了此次群发性泥石流的成因和影响,并对绵远河上游未来泥石流活动趋势进行了初步分析。

1 泥石流特征

根据实地考察,2010-08-13(简称“8.13”)清平特大泥石流(08-18 部分沟谷再次暴发泥石流)中,绵远河上游清平至汉旺段共有 24 条沟谷(包括二级支流)暴发了泥石流(图 1、表 1),左岸 14 条,右岸 10 条。其中主河两侧有 20 条,此外,绵远河一级支流湍沟内的漆树沟、棕树岩沟、烂泥沟以及通往天池乡梅子沟上游的花石沟也暴发了大规模泥石流,但目前这些支沟内的物质还未进入主河而大量停积于支沟中下游的沟道内(图 2 和图 3)。泥石流形成的巨大堆积扇互相重叠,将绵远河清平乡附近的河道完全淤满,形成一条长约 3 000 m,宽 100 ~ 500 m(平均约 350 m),深 3 ~ 15 m(平均约 7 m)的淤积区,方量高达 $7.62 \times 10^6 \text{ m}^3$,其中文家沟约 $4.5 \times 10^6 \text{ m}^3$,走马岭沟约 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ (下游沟道内淤积有 $4 \times 10^5 \text{ m}^3$),芍药沟约 $4.5 \times 10^5 \text{ m}^3$,其他沟谷有 $2.66 \times 10^5 \text{ m}^3$,堆积体范围约 1.5 km^2 (见图 4 ~ 10)。其规模之大,为“5.12”汶川震后所罕见,引起了多方的高度关注。对比震后影像和“8.13”泥石流灾后的航拍照片,其规模可见一斑(见图 4 ~ 6)。此次泥石流活动以大规模、群发性为基本特征,属于典型的汶川震后次生灾害链过程中的重要环节,具体表现为:1. 泥石流形成的物质来源为汶川地震触发的滑坡、崩塌提供的松散物质,表现出大冲、大淤的特点,强烈的侵蚀支流的沟道,剧烈的改变着局部的微地貌形态,如文家沟,“8.13”泥石流在原有的松散滑坡堆积体上切割出宽 50 ~ 100 m,深度为 40 ~ 60 m 的 V 型“峡谷”;2. 绵远河两岸支沟形成的泥石流携带的大量泥沙抬高主河河床形成了堰塞湖;同时,泥石流强烈切割后,沟道内仍有大量固体物质,并且处于不稳定状态,容易再次形成泥石流(见图 7 ~ 10)。

2 泥石流成因

2.1 地质地貌因素

从地形地貌来看,自金花乡象鼻子经遵道、汉旺镇至拱星姚家坪为绵竹市地貌分界线,其西北侧属

表1 绵远河上游主要泥石流灾害统计表
Table 1 Debris flow distribution in Mianyuan River upstream

序号	沟道名称	所在乡镇	主河	流域面积 /km ²	主沟长度 /km	冲出和沟内剩余固体 松散物质规模/m ³	沟口坐标	
							经度/E	纬度/N
1	电站沟	清平乡棋盘村	绵远河	1.25	2.3	3×10 ³ (2×10 ⁴)	104°06′27″	31°34′33″
2	刘拜子沟	清平乡棋盘村	绵远河	0.62	2.2	1×10 ³ (2×10 ³)	104°6′26″	31°34′20″
3	芍药沟	清平乡棋盘村	绵远河	5.05	3.92	4.5×10 ⁵ (1.5×10 ⁶)	104°6′29″	31°34′14″
4	走马岭沟	清平乡盐井村	绵远河	5.70	3.50	2×10 ⁶ (3×10 ⁶)	104°6′55″	31°34′5″
5	罗家沟	清平乡盐井村	绵远河	2.50	2.13	6×10 ⁴ (1×10 ⁵)	104°6′59″	31°33′58″
6	洞子沟	清平乡盐井村	绵远河	0.10	0.26	2×10 ⁴ (1×10 ⁴)	104°7′00″	31°33′50″
7	娃娃沟	清平乡盐井村	绵远河	1.0	1.4	9×10 ⁴ (5×10 ⁵)	104°7′0″	31°33′42″
8	滴洞沟	清平乡盐井村	绵远河	0.18	0.48	2×10 ⁴ (8×10 ⁴)	104°6′57″	31°33′26″
9	簸箕岩沟	清平乡元包村	绵远河	0.84	1.13	7×10 ³ (2×10 ⁴)	104°6′37″	31°33′7″
10	文家沟	清平乡盐井村	绵远河	7.81	5.20	4.5×10 ⁶ (4.5×10 ⁷)	104°6′52″	31°33′6″
11	草墩沟	清平乡元包村	绵远河	0.53	1.35	2.4×10 ⁴ (5×10 ⁴)	104°6′30″	31°32′37″
12	麻柳湾沟	清平乡元包村	绵远河	2.28	1.80	3×10 ⁴ (1×10 ⁵)	104°6′25″	31°32′30″
13	莹家沟	清平乡院通村	绵远河	1.40	2.31	8×10 ³ (5×10 ⁴)	104°6′43″	31°32′29″
14	太阳沟	清平乡院通村	绵远河	1.21	1.48	1×10 ³ (4×10 ³)	104°6′51″	31°32′5″
15	蔡家沟	清平乡院通村	绵远河	0.45	1.12	2×10 ³ (3×10 ⁴)	104°6′54″	31°31′52″
16	棕树岩沟	清平乡漭沟村	漭沟源	22.4	9.3	2×10 ⁶ (1.2×10 ⁷)	104°4′12″	31°31′59″
17	漆树沟	清平乡漭沟村	漭沟	17.8	8.8	3×10 ⁵ (3×10 ⁶)	104°4′27″	31°31′30″
18	烂泥沟	清平乡漭沟村	漭沟	5.8	5.1	7×10 ⁵ (6×10 ⁵)	104°5′52″	31°31′26″
19	石灰沟	天池乡天池村	绵远河	7.78	4.45	4.8×10 ⁴ (1.8×10 ⁶)	104°7′7″	31°30′46″
20	城墙崖沟	天池乡大天池村	绵远河	1.34	0.45	4×10 ³ (2×10 ⁴)	104°7′27″	31°30′34″
21	长滩沟	天池乡大天池村	绵远河	1.15	1.8	3×10 ⁵ (9×10 ⁵)	104°7′39″	31°30′14″
22	小岗剑电站 坡面泥石流	天池乡楠木沟村	绵远河	0.15	0.6	2×10 ³ (8×10 ⁴)	104°8′25″	31°29′40″
23	楠木沟	天池乡楠木沟村	绵远河	9.8	5.3	1×10 ⁵ (3×10 ⁵)	104°9′6″	31°29′24″
24	花石沟	天池乡大天池村	梅子沟	10.4	6.6	1×10 ⁵ (5×10 ⁵)	104°5′43″	31°29′14″

于龙门山中段,海拔为700~4 405 m;其东南侧则属于成都平原区。绵远河上游位于龙门山推覆构造带前缘,四川东部地台区与西部地槽区过渡地带的龙门山-大巴山拗陷中南段,北川-映秀断裂带从区内穿过。在次级构造单元上,自北向南,由高川推覆体、大水闸推覆体、太平推覆体、金花推覆体和绵竹前陆盆地组成,其边界断裂分别为四道沟断裂、清平-白云山断裂、卸军门断裂和晓坝-金花断裂。五个次级构造单元控制着区内地形地貌、区域构造。区内地质构造作用强烈、断裂发育、褶皱保存不完整,多为推覆体内的次级褶皱,方向多变,岩层多陡倾、直立乃至倒转,裂隙发育、岩体破碎,为山地灾害

的形成提供了有利条件。

2.2 地震影响

绵远河上游以近乎垂直的方式穿越龙门山断裂带,属汶川地震烈度的Ⅸ~Ⅹ区,强烈的地震一方面直接触发了大量的崩塌、滑坡,并曾经堵塞河道形成4处堰塞湖,例如仅绵远河一级支流文家沟内滑坡形成的堆积物方量就达5×10⁸ m³以上^[12];另一方面地震还导致坡体的稳定性降低,泥石流形成的临界条件也发生了改变。上述两个方面的影响均为后期的泥石流活动埋下了严重的隐患。清平乡位于龙门山主中央断裂映秀-北川断裂附近,而走马岭沟正位于北川-映秀断裂带上(图11)。物源条件的急



图2 烂泥沟内泥石流冲毁公路

Fig. 2 Debris flow destroyed road in Lannigou gully



图3 湍沟内淤积的大量固体物质

Fig. 3 Abundant solid mass materials in Jianggou river



图4 文家沟泥石流堆积扇淤满绵远河(照片右侧即为文家沟沟口,镜头方向NW)

Fig. 4 Debris flow fans occupy all the Mianyun River after 2010-08-13 debris flow



图5 文家沟2010-08-13泥石流前后对比

Fig. 5 Comparison of Wenjia gully before and after 2010-08-13 debris flow

剧改变,导致震后泥石流活动的规模和频率明显增强,如文家沟、走马岭沟和苟药沟。此外,一些震前非泥石流沟谷也转化为泥石流沟谷,如本次发生泥石流灾害的罗家沟、娃娃沟、太阳沟和蔡家沟等。

从“8.13”群发性泥石流典型沟谷颗粒分

布情况来看(图12),以粘性泥石流为主,这与现场考察时泥石流运动和堆积特征比较一致。对比文家沟、走马岭沟、楠木沟、苟药沟和电站沟等堆积区的颗分曲线,可以看出:1. 楠木沟的颗粒分布区间与其余几条沟谷相差较大,究其原因,楠木沟位置距

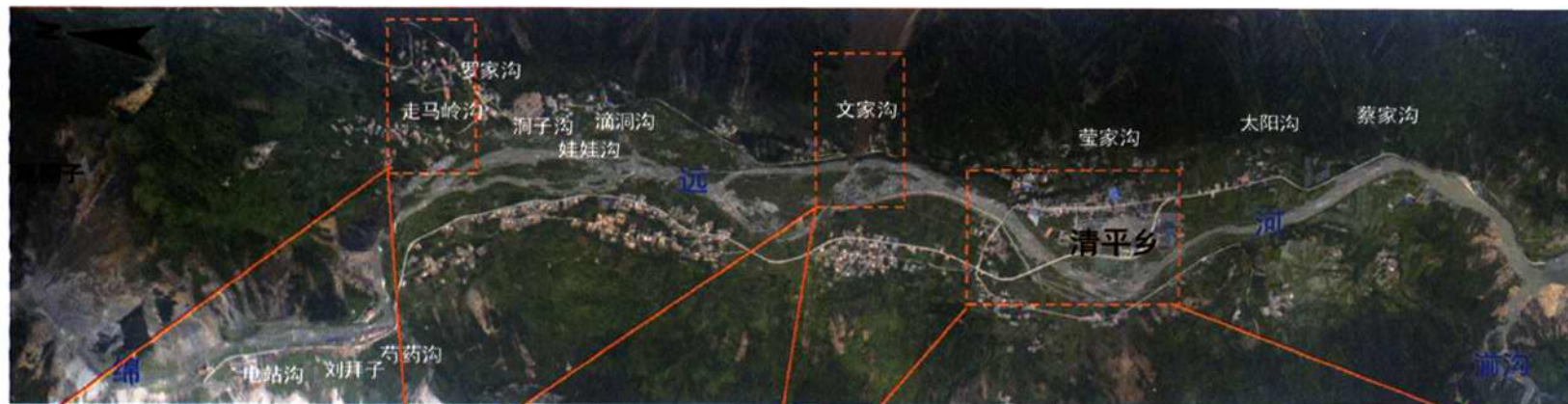


图 6-1



图 6-2



图 6-3



图 6-4

图 6 绵远河清平段 2008-05-26 航空影像和 2010-08-12—08-18 泥石流后河流地貌变化对比图

(图 6-1 为 2008-05-26 航空影像, 图 6-2 为走马岭沟泥石流, 图 6-3 为文家沟泥石流, 图 6-4 为 2010-08-17 航拍照片, 其中图 6-2 ~ 4 来源于人民网)

Fig.6 Geomorphology comparison before and after “8.13” group-occurring debris flow in Mianyuan River upstream, near Qingping town



图7 走马岭沟左侧支沟源头(“8.13”泥石流主要来源于这条支沟)

Fig. 7 Left tributary origin in Zoumaling gully upstream

(Solid mass materials are mainly come from this gully in 2010-08-13 debris flow process)



图8 走马岭沟和罗家沟 2010-08-13 泥石流前后对比(左图中左侧的防护堤已被完全淤埋)

Fig. 8 Comparison of Zoumaling and Luojia gully mouth before and after 2010-08-13 debris flow



图9 文家沟 2010-08-13 泥石流活动前后中游对比图(左图中的谷坊坝已完全摧毁)

Fig. 9 Comparison of Wenjia gully midstream before and after 2010-08-13 debris flow

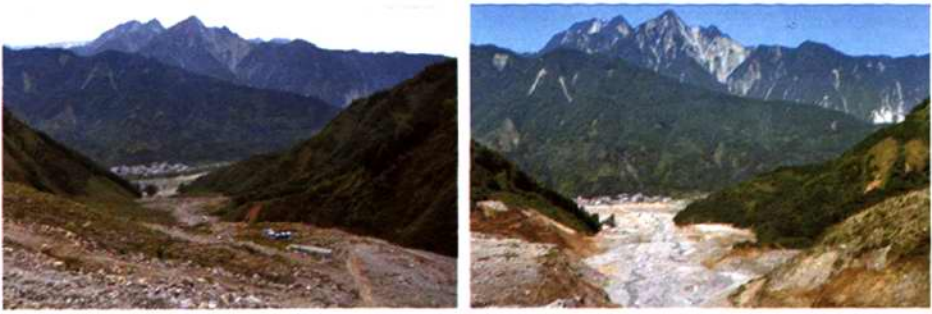


图10 文家沟2010-08-13泥石流活动前后下游对比图

Fig. 10 Comparison of Wenjia gully downstream before and after 2010-08-13 debris flow

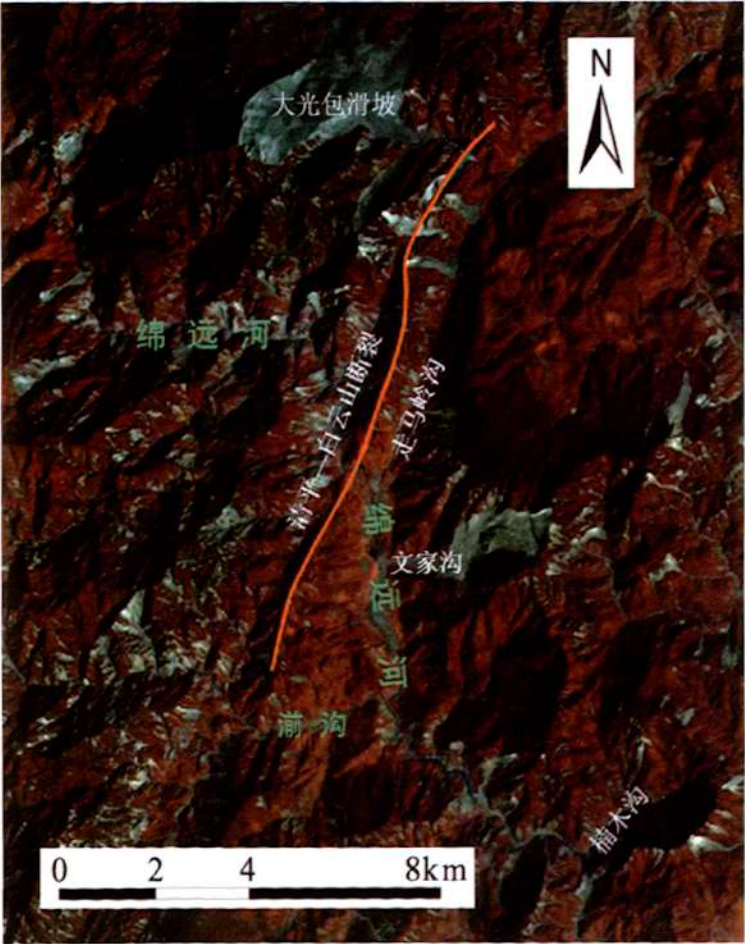


图11 绵远河清平乡上游段震后TM遥感影像

Fig. 11 TM Satellite remote image near Qingping town after Wenchuan earthquake

离其余几条沟较远,沟内物源主要为煤矿弃渣,而其余4条沟谷的位置十分接近,颗粒的形成和风化区域环境较为接近。2. 楠木沟颗粒分布有两个峰值区间:10~20 mm和0.075~0.25 mm,而其余4条

沟谷的峰值区间有三个明显的峰值区间,分别为20~60 mm、5.0~10 mm和0.075~0.25 mm。同时,对比文家沟、走马岭沟物源区和堆积扇的样品颗分曲线(图13),可以看出,走马岭沟的物源区也属于

地震直接触发的崩滑体,其中细颗粒物质含量相对较小;而文家沟滑坡堆积体为震后泥石流活动提供了丰富的物源,其在长距离滑动、碰撞和堆积过程中形成的松散堆积体的颗粒组成与泥石流堆积扇区的颗粒组成比较接近。但总体而言,文家沟和走马岭沟均属于粘性泥石流。

2.3 强降水作用

清平特大泥石流是在该区域具备了泥石流发生的基本条件下,由高强度暴雨激发的结果。根据清平乡盐井沟雨量站的记录,08-12T20:00—13T08:00降雨量达到141.5 mm,08-18T20:00—19T08:

00降雨量达到145.9 mm。其中08-12—14累计雨量高达203.5 mm,08-18—21雨量更是达到284.7 mm,也正因为此次降雨,导致文家沟在内的沟谷于08-18晚再次暴发泥石流,根据实地考察访问,由于“8.13”特大泥石流已经输送了大量物质,这次规模已经小了很多。根据实地调查,“8.13”泥石流发生于08-12T23:00~08-13T01:00,据盐井沟(清平乡)和楠木沟(天池乡)雨量站监测结果,盐井沟站降雨记录起始于08-12T14:00,楠木沟则起始于08-12T20:00,降雨至08-13T04:00结束(盐井沟站由于08-13T00:00仪器出现故障,缺乏小时降雨

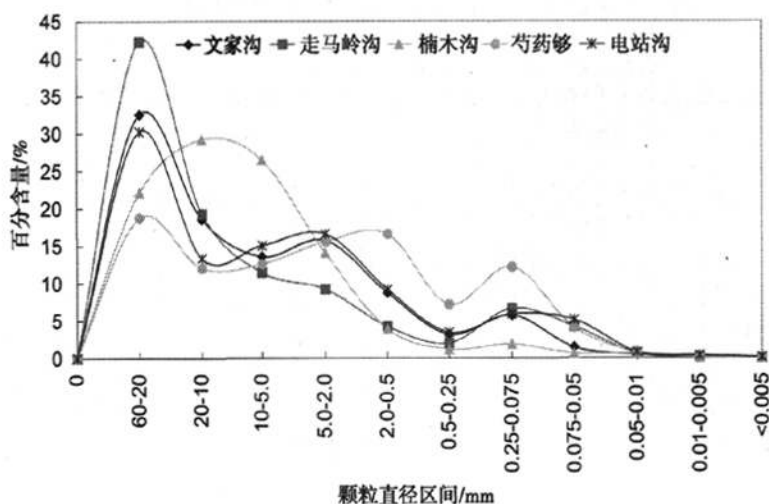


图 12 清平特大泥石流典型沟谷泥石流堆积扇样品级分曲线

Fig. 12 Typical debris flow accumulation sample grading curve in Mianyu river upstream

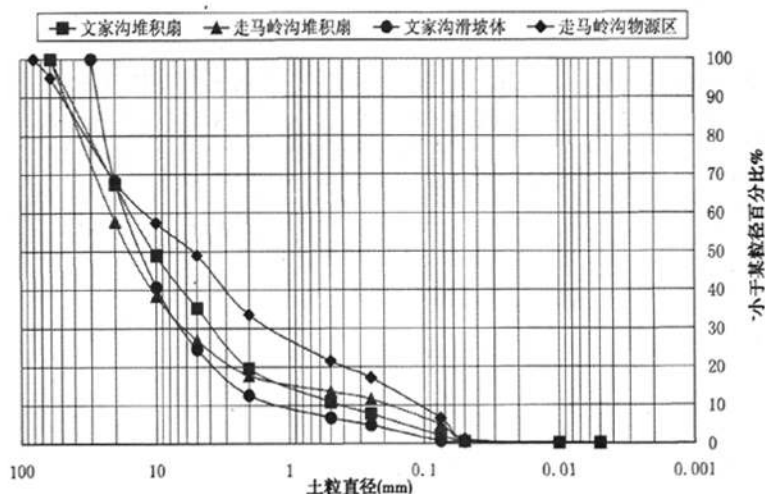


图 13 文家沟、走马岭泥石流物源区和堆积区级分曲线对比图

Fig. 13 Grading curve comparison of source area and accumulation fans in Wenjiagou gully and Zoumaling gully

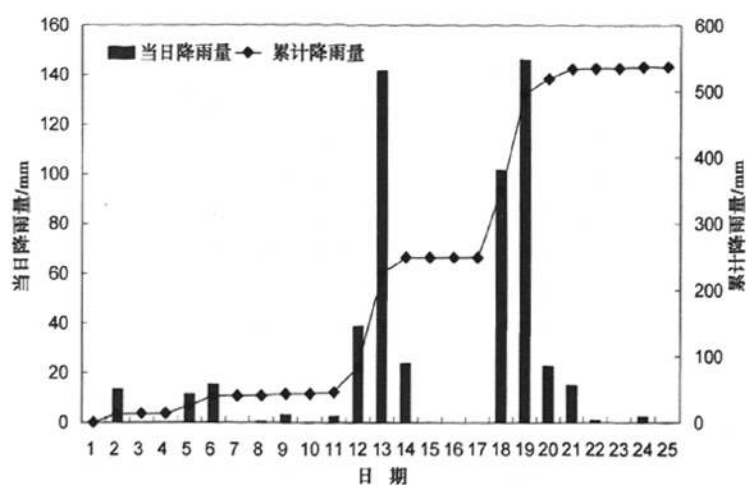
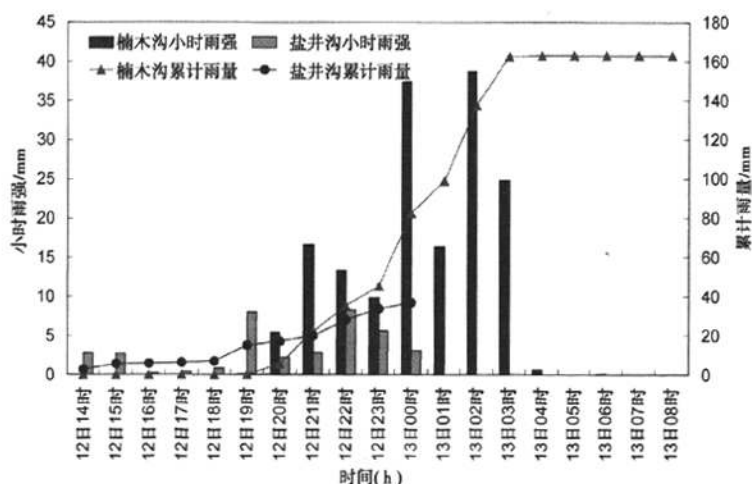


图 13 绵竹市清平乡盐井沟自动雨量站 08-01—25 降雨过程

Fig. 14 Rainstorm process of Qingping auto-meteorological station from 1st to 25th, August

注:盐井沟站 13T00:00 开始仪器出现故障,缺乏 1h 雨量资料。

图 15 绵竹市清平乡楠木沟和盐井沟自动雨量站 08-12T14:00—13T08:00 期间的 1 h 雨强

Fig. 15 Rainstorm process from 14:00, 12th - 8:00, 13th in Nanmugou and Yanjinggou auto-meteorological station

记录,但据此可以判断,在泥石流灾害形成前,在距离上距离清平乡更近的盐井沟雨量小于楠木沟雨量站),依据楠木沟站记录,整个降雨过程持续 8 h 左右。其中盐井沟从 08-12T19:00 雨量加大,小时雨强达到 8 mm/h;楠木沟站从 08-12T21:00 开始增大,小时雨强达到 16.6 mm/h,并且在 13T0:00 和 T2:00 分别达到 37.4 mm/h 和 38.7 mm/h。此时段的高强度降水最终突破了泥石流暴发的临界点,“8.13”清平特大群发泥石流正是于 13T00:00 左右暴发,至 13T05:00 左右结束,这一时段与降雨过程十分吻合。

3 特大泥石流的影响

3.1 对河流地貌影响

泥石流灾害的孕育、发生和发展相对来说是一个缓慢的过程,而地震则在瞬间以一种极端的方式大大加速了这个过程,震后泥石流灾害以远超常规水平的强度和频率在活动,强烈的改变着流域自身的形态和山区的河流地貌,这种快速的变化过程也给平时难以直接观察到的自然演化现象提供了另一种视角。地震直接触发了河道两侧的岸坡及其支流

内产生大量的崩坡积物,为泥石流活动提供了丰富的固体松散物源。从地貌演化的角度来说,作为山区常见的重力地貌灾害,泥石流也是山区河流地貌演化中重要的外营力。地震后随着泥石流活动进入新的活跃期,地震灾区的山区河流地貌演化也进入了一个较为快速的时期。在重力和水力作用下,大量固体松散物质被泥石流从河道两侧的支沟内带入主河道,淤高了主河河床,提高了河流侵蚀基准。绵远河清平至汉旺段平均比降仅 12 ‰,地形十分平缓,不利于泥沙的输移。而从灾害学的角度来说,泥石流携带大量的泥沙淤高河床后,严重影响着河流的泄洪能力,抬高了洪水期的水位线,使河谷两侧河漫滩的范围也发生相应改变,增加了绵远河上游发生洪水灾害的风险,提高了汛期防洪的难度。

从长期来看,由于特大地震触发的次生灾害链引起的河流地貌变化甚至会导致生态环境灾难。根据王汝雕的研究,1556 年陕西华县大地震造成陕西潼关黄河河床抬升,触发了 1570 年以后黄河小北干流长期的洪水泛滥。最终明代山西的荣河县城、蒲州城和陕西朝邑县城就在这场长达 400 a 的生态环境灾难中被废弃,以致人们以为它们在华县地震时也和现在一样,位于黄河河漫滩上^[13]。绵远河上游主要位于汶川地震地表烈度的 X 区,“8.13”特大泥石流后,地震直接触发的大量崩塌、滑坡形成的巨量固体松散物源仅有一部分进入绵远河,河谷两侧支沟内仍有大量的固体松散物源(见表 1)。目前相关部门已经采取工程措施对其进行治理。但由于震后泥石流活动规模和频率远远超越常规水平,因而其治理难度很大,成本也很高。但可以肯定的是,未来该地区的泥石流活动风险仍然存在,其影响也将持续一段较长的时间。

3.2 对震后重建房屋的影响

根据本文作者在“8.13”特大泥石流前后的实地考察,汶川地震后绵远河上游的文家沟、走马岭沟、芍药沟分别在 2008-09-24、2009-07-17、2010-07-03 的暴雨作用下已经多次暴发过泥石流灾害,芍药沟还于 2010-07-03 刚刚发生了一场泥石流。绵远河上游沿岸震后的高频率、大规模、群发性的泥石流活动形成的堆积扇淤塞了河道,2010-08-13 的特大泥石流更是将局部河道平均淤高了 7 m,其形成的堰塞湖淹埋了清平乡震后恢复重建的公路桥梁;泥石流冲出的大量泥沙更是将清平乡近 400 户房屋淤埋,震后恢复重建的成果毁于一旦。而被水流输送至清平到汉旺段绵远河中的大量泥沙,整体淤高了河床,正在修建的绵-茂公路的大

量浇注成型的桥墩几乎被全部淹埋,更为严重的是使得分布于沿河两侧河漫滩上的居民点和公路很容易遭受洪水威胁,增加了今后汛期的防洪难度。因此,灾后汛期的防洪方案、恢复重建和未来的发展规划必须进行相应的调整,尤其是需要对河道两侧的居民点进行危险性评估,避免再次遭遇泥石流和洪水危害造成新的损失。

4 结论和建议

根据实地考察,结合遥感影像分析,“8.13”清平特大泥石流灾害形成的根本原因是汶川地震直接触发的崩塌、滑坡提供的极其丰富的物源;其次,高达 37 mm/h 的高强度暴雨是此次特大规模、群发性泥石流的最直接激发因素。作为汶川地震诱发的典型次生灾害链过程:汶川地震→(直接触发)崩塌、滑坡→泥石流活动→(携带)大量泥沙进入主河→抬高河床(甚至堵塞主河形成堰塞湖)→洪水泛滥→危害沿河居民点和生命线工程,该地区的泥石流活动是必然的结果。

“8.13”清平特大泥石流灾害对绵远河上游河流地貌演化、清平乡震后恢复重建民房的影响将是极其深远的。建议在灾后的恢复重建过程中应对此次已暴发泥石流的沟谷、特别是绵远河上游清平到小木岭段尚未暴发的大量潜在泥石流沟谷进行彻底的调查,对危害居民点、生命线工程和农田水利设施的沟谷进行重点治理,必要时提高灾害防治设计标准和等级。目前 20 a 一遇的治理标准对于远远超越常规活动规模和水平的震后泥石流活动来说有些偏低。因此,建议对危害居民点的沟谷治理标准提高到 50 a 一遇,对危害重点城镇的沟谷治理标准提高到 100 a 一遇,避免泥石流等次生灾害再次造成人员伤亡。

参考文献(References)

- [1] Cui Peng, Wei Fangqiang, Cheng Xiaqing, 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, 陈晓青, 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]
- [2] Yin Y, Wang F, Sun P. Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China[J]. Landslides, 2009 (6): 139-151
- [3] Tian Lianquan. Debris flow after Luhue earthquake, Sichuan province[G]//Debris flow (3). Chongqing: Chongqing branch, Science and Technology Literature Publishing House, 1986: 58-66

- [田连权. 四川炉霍地震泥石流[G]//泥石流(3). 重庆:科学技术文献出版社重庆分社, 1986: 58-66]
- [4] Zhu Pingyi, Luodefu, Kou Yuzhen. Debris flow development trend of Guxiang Ravine, Xizang[J]. Mountain Research, 1997, 15(4): 296-299 [朱平一, 罗德富, 寇玉贞. 西藏古乡沟泥石流发展趋势[J]. 山地研究(现山地学报), 1997, 15(4): 296-299]
- [5] Chen H, Hawkins A. B. Relationship between earthquake disturbance, tropical rainstorms and debris movement: an overview from Taiwan[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2009, 68: 68:161-186
- [6] Ching Weei Lin, Chjeng Lun Shieh, Bee-Deh Yuan. et al. Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows: example from the Chenyu lan River watershed, Nantou, Taiwan. Engineering[J]. Geology, 2003, 71: 49-61
- [7] Tang Chuan, Liang Jingtao. Characteristics of Debris flow in Beichuan Epicenter of the Wenchuan earthquake triggered by rainstorm on September 24, 2008[J]. Journal of Engineer 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]
- [8] Tang Chuan. Activity Tendency prediction of rainfall induced landslides and debris flows in the Wenchuan earthquake areas [J]. Journal of mountain science, 2010, 28(3): 341-349 [唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报, 2010, 28(3): 341-349]
- [9] Xie Hong, Zhong Dunlun, Jiao Zheng, et al. Debris flow in Wenchuan quake-hit area in 2008 [J]. Journal of Mountain Science. Journal of Mountain Science, 2009, 27(4): 501-509 [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]
- [10] Xinhua News Agency. 75 times Geo-hazards were occurred within 8 days in Sichuan province, 16 people lose their life. www.sc.xinhuanet.com[EB/OL] [新华网四川频道. 四川省8天发生较大规模地质灾害75处, 因灾死亡16人[EB/OL]. http://www.sc.xinhuanet.com/content/2010-08/21/content_20684202.htm]
- [11] Committee of Chorography of Mianzhu County, Chorography of Mianzhu county [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technique Publishing House, 1992 [四川省绵竹县志编纂委员会. 绵竹县志[M], 成都: 四川科学技术出版社, 1992]
- [12] Huang Heqing, Zhao Qihua. Basic characteristics and preliminary mechanism analysis of large Scale rockslide-sturztrom at wenjiagou triggered by Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineer Geology, 2010, 18(2): 168-177 [黄河清, 赵其华. 汶川地震诱发文家沟巨型滑坡-碎屑流基本特征及成因机制初步分析[J]. 工程地质学报, 2010, 18(2): 168-177]
- [13] Wang Rudiao. Huaxian, Shaanxi strong earthquake infrequent secondary disaster Chain caused by the earthquake in the World - Talk from engineering ground condition [J]. Earthquake Research in Shanxi, 2006(2): 4-6 [王汝雕. 陕西华县大地震引发世界罕见的地震次生灾害链[J]. 山西地震, 2006(2): 4-6]

Causes and Effects of Group-occurring Debris Flow Disasters in Qingping Town, Mianyuan River Upstream, Sichuan

SU Pengcheng^{1,2,3}, WEI Fangqian^{1,2}, FENG Hanzhong⁴, YOU Yong^{1,2}, CHENG Zunlan^{1,2}, XU Aisong^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, 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 Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China; 4. Meteorological Bureau of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: Debris flow in the affected area has become more and more frequent and of bigger magnitude after the Wenchuan earthquake. The upper Mianyuan River is one of the typical areas, where a number of debris flow occurred in the last three years. In August, 2010, debris flows occurred in more than 20 gullies in the upstream of Mianyuan river, Mianzhu, Sichuan, at stimulus of regional rainstorms. The events delivered deposit of $1.08 \times 10^7 \text{ m}^3$ in volume, just near Qingping town, the deposits are $7.62 \times 10^7 \text{ m}^3$ in volume and 1.5 km^2 in area, caused 14 deaths and missing, blocked the river and inundated new houses, and disrupted the Mianzhu-Maoxian highway repeatedly. In addition, they have sharply changed river morphology and will have a long influence on reconstruction and developing programs. This study explores the cause of the events based on investigation of the material supplies caused by the earthquake. Analysis shows that the rainstorm had an intensity of 37 mm/h and the cumulative rainfall reached 203.5 mm, and this was the triggering factor of the debris flows. Soil samples indicate that the flow is viscous given material supplies in the area, such extreme events are expected to be encountered frequently in the near future.

Key words: Mianyuan river; Wenchuan earthquake; group-occurring debris flow; causes

"8. 13"四川清平群发性泥石流灾害成因及其影响

作者：[苏鹏程](#)，[韦方强](#)，[冯汉中](#)，[游勇](#)，[程尊兰](#)，[徐爱松](#)，[SU Pengcheng](#)，[WEI Fangqian](#)，[FENG Hanzhong](#)，[YOU Yong](#)，[CHENG Zunlan](#)，[XU Aisong](#)

作者单位：[苏鹏程](#)，[徐爱松](#)，[SU Pengcheng](#)，[XU Aisong](#)(中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室，四川，成都，610041；中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所，成都，610041；中国科学院研究生院，北京，100039)，[韦方强](#)，[游勇](#)，[程尊兰](#)，[WEI Fangqian](#)，[YOU Yong](#)，[CHENG Zunlan](#)(中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室，四川，成都，610041；中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所，成都，610041)，[冯汉中](#)，[FENG Hanzhong](#)(四川省气象局，四川，成都，610072)

刊名：[山地学报](#)[ISTIC](#)[PKU](#)

英文刊名：[JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)

年，卷(期)：2011，29(3)

被引用次数：2次

参考文献(13条)

1. [崔鹏](#)；[韦方强](#)；[陈晓清](#) [汶川地震次生山地灾害及其减灾对策](#)[期刊论文]-[中国科学院院刊](#) 2008(04)
2. [Yin Y](#)；[Wang F](#)；[Sun P](#) [Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China](#) 2009(06)
3. [田连权](#) [四川炉霍地震泥石流](#) 1986
4. [朱平一](#)；[罗德富](#)；[寇玉贞](#) [西藏古乡沟泥石流发展趋势](#) 1997(04)
5. [Chen H](#)；[Hawkins A. B](#) [Relationship between earthquake disturbance, tropical rainstorms and debris movement: an overview from Taiwan](#)[外文期刊] 2009(2)
6. [Ching Weei Lin](#)；[Chjeng Lun Shieh](#)；[Bee-Deh Yuan](#) [Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows: example from the Chenyulan River watershed, Nantou, Taiwan](#). [Engineering](#) 2003
7. [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)
8. [唐川](#) [汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2010(03)
9. [谢洪](#)；[钟敦伦](#)；[矫震](#) [2008年汶川地震重灾区的泥石流](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2009(04)
10. [四川省8天发生较大规模地质灾害75处，因灾死亡16人](#)
11. [四川省绵竹县志编纂委员会](#) [绵竹县志](#) 1992
12. [黄河清](#)；[赵其华](#) [汶川地震诱发文家沟巨型滑坡-碎屑流基本特征及成因机制初步分析](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2010(02)
13. [王汝雕](#) [陕西华县大地震引发世界罕见的地震次生灾害链](#)[期刊论文]-[山西地震](#) 2006(02)

本文读者也读过(10条)

1. [倪俊勇](#)，[郑万模](#)，[唐业旗](#)，[王德伟](#)，[陈绪钰](#)，[徐如阁](#)，[宋志](#)，[NI Hua-yong](#)，[ZHENG Wan-too](#)，[TANG Ye-qi](#)，[WANG De-wei](#)，[CHEN Xu-yu](#)，[XU Ru-ge](#)，[SONG Zhi](#) [绵竹清平8·13群发泥石流成因、特征与发展趋势](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2011，38(3)
2. [余斌](#)，[马煜](#)，[吴雨夫](#)，[YU Bin](#)，[MA Yu](#)，[WU Yufu](#) [汶川地震后四川省绵竹市清平乡文家沟泥石流灾害调查研究](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2010，18(6)
3. [倪俊勇](#)，[郑万模](#)，[唐业旗](#)，[徐如阁](#)，[王德伟](#)，[陈绪钰](#)，[宋志](#)，[NI Huayong](#)，[ZHENG Wanmo](#)，[TANG Yeqi](#)，[XU Ruge](#)，[WANG Dewei](#)，[CHEN Xuyu](#)，[SONG Zhi](#) [汶川震区文家沟泥石流成灾机理与特征](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2011，19(2)
4. [尚亚军](#)，[杨照国](#)，[卢笋](#)，[Shang Yajun](#)，[Yang Zhaoguo](#)，[Lu Sun](#) [重庆市北碚区醪糟坪泥石流稳定性分析](#)[期刊论文]-[地下空间与工程学报](#) 2010，06(z2)

5. [曾玲玉](#), [ZENG Ling-yu](#) [广东梅州客家居民削坡建房与泥石流灾害](#) [期刊论文] - [四川地质学报](#) 2007, 27 (4)
6. [刘瑞华](#), [祝功武](#), [冯炎基](#) [“97. 5. 8”飞来寺泥石流重灾机制分析](#) [会议论文] - 1998
7. [宋子龙](#), [石江涛](#), [杨卓](#) [四清水库土坝下游滑坡反演分析](#) [期刊论文] - [水电能源科学](#) 2003, 21 (2)
8. [彭亚明](#), [彭军还](#), [张彬](#), [王磊](#) [三峡库区某滑坡抗剪强度参数的反演分析](#) [期刊论文] - [桂林工学院学报](#) 2003, 23 (3)
9. [铁永波](#), [唐川](#), [倪化勇](#), [TIE Yongbo](#), [TANG Chuan](#), [NI Huayong](#) [暴雨泥石流冲出距离预测](#) [期刊论文] - [山地学报](#) 2011, 29 (2)
10. [徐庆](#), [杨文](#), [王浩](#) [胜康沟泥石流特征及危害性评价](#) [期刊论文] - [采矿技术](#) 2010, 10 (2)

引证文献 (7条)

1. [陈晓清](#), [崔鹏](#), [游勇](#), [李德基](#) [汶川地震区大型泥石流工程防治体系规划方法探索](#) [期刊论文] - [水利学报](#) 2013 (5)
2. [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](#) [期刊论文] - [长江科学院院报](#) 2012 (2)
3. [魏斌斌](#), [赵其华](#), [韩刚](#), [张海泉](#) [基于灰色关联法的地震灾区泥石流危险性评价——以北川县泥石流为例](#) [期刊论文] - [工程地质学报](#) 2013 (4)
4. [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)
5. [陈晓清](#), [游勇](#), [崔鹏](#), [李德基](#), [杨东旭](#) [汶川地震区特大泥石流工程防治新技术探索](#) [期刊论文] - [四川大学学报 \(工程科学版\)](#) 2013 (1)
6. [张怀珍](#), [范建容](#) [基于地貌指数的汶川地震灾区单沟泥石流总量计算方法](#) [期刊论文] - [灾害学](#) 2012 (3)
7. [陈晓清](#), [游勇](#), [崔鹏](#), [李德基](#), [杨东旭](#) [汶川地震区特大泥石流工程防治新技术探索](#) [期刊论文] - [四川大学学报 \(工程科学版\)](#) 2013 (1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201103011.aspx