

文章编号: 1004 - 4574(2011)06 - 0068 - 06

汶川县泥石流沟在汶川“5.12”地震后的活动趋势

余斌¹, 谢洪², 王士革², 章书成², 鲁科¹, 韩林¹

(1. 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;
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: 2008年5月12日, 四川省汶川县发生了8级强烈地震。震后, 灾区多处暴发了泥石流。以地震灾区汶川县泥石流为研究对象, 综合考察了6条处在不同地震烈度和具有不同泥石流形成特点的泥石流沟, 分析了泥石流的活动趋势, 并探讨了泥石流活动受地震影响的时间规律, 为地震灾区的泥石流减灾和防治工作提供参考。

关键词: 汶川大地震; 泥石流沟; 活动趋势

中图分类号: P315.9; P642.23

文献标志码: A

Activity tendency of debris flow gully in Wenchuan County after “5.12” Wenchuan earthquake

YU Bin¹, XIE Hong², WANG Shi-ge², ZHANG Shu-cheng², LU Ke¹, HAN Lin¹

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Chengdu Institute of Mountain disasters and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: A strong Wenchuan earthquake happened on May 12, 2008. Many debris flows were triggered in earthquake stricken area by Wenchuan earthquake. In this paper, we focus attention on the debris flows in Wenchuan County, Sichuan Province. The debris flow gullies in different earthquake intensity areas and with different characteristics were investigated. The activity tendency of debris flows was obtained by analyzing the solid source features of debris flows, such as the volume and location of sediment provided by landslides and avalanche. The time of earthquake effect on triggering debris flow was discussed. These works will provide some references to the prevention and mitigation of debris flow hazard in earthquake stricken areas.

Key words: Wenchuan great earthquake; debris flow gully; activity tendency

1 研究背景

2008年5月12日, 四川省汶川县发生8级强烈地震。地震后, 经降雨激发, 汶川县境内多处暴发泥石流灾害。这类后发型地震泥石流的强烈活动时间, 可以持续长达数年甚至数十年^[1-3], 对震区产生长期、强烈的影响。长时间的泥石流活动对灾区的交通运输、救援、疾病控制、灾民安置及灾后恢复重建都有巨大的影响, 因此有必要研究地震灾区震后泥石流的活动趋势及其受地震影响的时间, 为更好地进行灾后恢复重建提供依据。

收稿日期: 2010-04-24; 修回日期: 2010-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40871054); 成都理工大学地质灾害防治国家重点实验室开放研究基金资助项目(DZKJ-0810)

作者简介: 余斌(1966-), 男, 研究员, 主要从事地质灾害研究. E-mail: drbinu@yahoo.com

目前国内外对地震灾区的泥石流活动趋势和受地震影响时间的研究工作,主要集中在一些地震比较活跃的地区,如西藏东南部地区、四川松潘—平武地区,云南永善—大关地区和四川岷江上游地区等^[1-12]。这类研究主要集中于地震区域内的泥石流活动的区域规律,对于区域内的各个泥石流的活动还不能给出较具体的活动趋势和影响时间。对四川岷江上游地区的地震后泥石流活动特征的研究,也仅定性地描述了泥石流的暴发频率和规模特征,对于已暴发泥石流的泥石流沟的泥石流的活动持续时间、尚未暴发泥石流的泥石流沟受影响的时间没有进一步研究。

研究汶川“5.12”地震后地震影响区内具体的泥石流沟的泥石流活动趋势和受地震的影响时间的难点在于:(1)目前国内外对地震泥石流的研究工作主要研究对象是区域规律,没有较多的直接参考作用;(2)每次暴发的地震的特点都不相同;(3)每个区域的泥石流活动特点都不相同;(4)同一地震影响区内的各条沟泥石流的活动特点也各不相同。因此研究地震影响区内的泥石流活动趋势和受地震影响时间,必须逐个研究各种类型的泥石流沟泥石流的活动特点,如地震形成的固体物质的量(如崩塌、滑坡提供的松散固体物质)和参与泥石流的形式,泥石流形成的水源条件的变化(如堰塞湖提供的水体的大小),泥石流形成区沟道变化(如堵塞、淤积程度等)等因素,结合地震后雨季泥石流的活动情况,得出各种类型的泥石流沟内泥石流的趋势和受地震的影响时间。

汶川县在“5.12”地震前就是泥石流高发区和高危险区^[13],境内有泥石流活动的沟多达 98 条^[14]。在“5.12”大地震后该县的牛圈沟和雁门沟支沟磨子沟的泥石流暴发频率和规模在 2008 年雨季已达到前所未有的程度^[4]。在今后的数年内还将频繁地暴发泥石流。本文通过调查汶川县境内 6 条典型的沟谷型泥石流沟,对比地震前后泥石流的活动特点,根据地震后泥石流沟内的松散固体物质储量,尝试定量地研究这些沟泥石流受地震的影响时间和活动趋势,为汶川大地震灾区泥石流的减灾和防灾提供依据。

2 汶川县典型泥石流沟地震前后的活动状况

“5.12”汶川地震的震中在四川省阿坝州汶川县映秀镇,本文调查研究的泥石流沟从映秀镇开始,分布在地震烈度 IX—XI 度的范围内,共 6 条沟(如图 1)。按各沟所处地震烈度区分类列出其泥石流在“5.12”地震前后的活动特点,如表 1。

图 2 为牛圈沟泥石流形成区,泥石流中的固体物质为地震中形成的碎屑流堆积物,颗粒细小,极易在洪水的冲刷下形成泥石流。图 3 为雁门沟支沟磨子沟 2008 年暴发的泥石流在雁门沟主沟内的堆积。

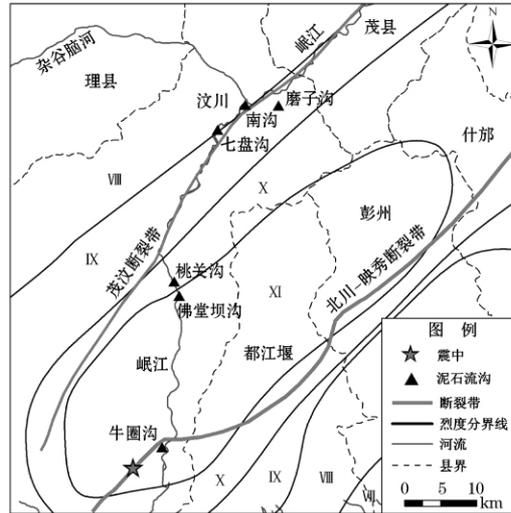


图 1 汶川“5.12”地震灾区烈度及典型泥石流沟考察点分布图
Fig. 1 Distribution map of intensities in “5.12” Wenchuan earthquake stricken area and investigated typical debris flow gully sites



图 2 牛圈沟泥石流形成区
Fig. 2 Debris flow formed area in Niuquan Gully

表 1 6 条沟泥石流在“5.12”地震前后的活动特点

Table 1 Characteristics of activity of debris flow in 6 gullies before and after “5.12” earthquake

地震烈度	沟名	地理位置及基本情况	主要出露岩性	泥石流形成原因	地震前后的泥石流的活动特征
XI	牛圈沟	沟口: 103°28'E, 31°02'N。流域面积 11.1 km ² 主沟长 6.1 km 纵比降 17.2% 海拔最高点 2 282 m, 沟口海拔 880 m。主沟道较宽, 但支沟莲花心沟很狭窄。地震提供的泥石流固体颗粒细小。	花岗岩、闪长岩等	沟床揭底 ^①	震前为低频率泥石流沟, 近百年来都没有暴发泥石流, “5.12”地震后规模较大的泥石流就暴发了 11 次, 小型的泥石流还暴发了多次 ^[4] 。
XI	佛堂坝沟	沟口: 103°28'E, 31°02'N, 流域面积 33.5 km ² 主沟长 10.3 km 纵比降 22.7% 海拔最高点 3 556 m, 沟口海拔 1 085 m。沟道宽阔, 地震提供的泥石流固体颗粒粗大。	玄武岩等	沟床揭底	低频率泥石流沟, 近百年来 4 次暴发泥石流, 其中 1912 年的特大规模泥石流对沟口的佛堂坝村造成毁灭性灾难, 并堵断岷江 ^[15-16] 汶川“5.12”地震后(截止 2008 年底) 没有暴发泥石流。
X	桃关沟	沟口: 103°29'E, 31°15'N, 流域面积 49.9 km ² 主沟长 13.3km 纵比降 14.5% 海拔最高点 3 820 m, 沟口海拔 1 120 m。沟道宽阔, 地震提供的松散固体物质颗粒粗大。	花岗岩和闪长岩等	沟床揭底	低频率泥石流沟。近 100 多 a 来 4 次暴发泥石流, 其中 1890 年的特大规模泥石流造成沟口桃关村上千人遇难(当地称“水打桃关”) 并堵断岷江 ^[16-18] 汶川“5.12”地震后(截止 2008 年底) 没有暴发泥石流。
IX	七盘沟	沟口: 103°33'E, 31°27'N, 流域面积 53.6 km ² 主沟长 14.8 km 纵比降 14.0% 海拔最高 4 277 m, 沟口海拔 1 304 m。沟道宽阔, 地震提供的泥石流固体颗粒粗大。	花岗岩和闪长岩等	沟床揭底	原为高频率泥石流沟, 在 1980 年修建治理工程后成为低频率泥石流沟 ^[19] 汶川“5.12”地震后(截止 2008 年底) 没有暴发泥石流。
IX	南沟	沟口: 103°35'E, 31°29'N, 流域面积 7.1 km ² 主沟长 5.3 km 纵比降 28.4% 海拔最高 3 210 m, 沟口海拔 1334 m。沟道狭窄, 地震提供的泥石流固体颗粒大小中等。	千枚岩、板岩和石灰岩等	滑坡活动 ^②	低频率泥石流沟, 汶川“5.12”地震后(截止 2008 年底) 没有暴发泥石流。
IX	磨子沟	沟口: 103°37'E, 31°30'N。该沟是雁门沟支沟, 沟口距雁门沟沟口约 3.5 km。磨子沟海拔最高点 3 476 m, 沟口海拔 1 542 m, 沟道狭窄, 地震提供的泥石流固体颗粒大小中等。	板岩和千枚岩等	滑坡活动	磨子沟为低频率泥石流沟, 在 1999 年曾发生过小规模泥石流, 汶川“5.12”地震后中等规模的泥石流暴发了 3 次 ^[4] 。

注: ①高强度的降雨形成的沟道径流冲刷沟道, 揭底沟床形成泥石流; ②降雨形成的径流冲刷沟道和位于沟道边的滑坡体坡脚, 引发滑坡活动, 掺混入洪水形成泥石流。

3 地震对泥石流活动趋势的影响

汶川“5.12”地震使其影响区域内的泥石流沟受到不同程度的影响, 主要表现在 3 个方面: (1) 对泥石流形成的固体物源的改变: 地震后形成更多的崩塌、滑坡, 为泥石流的形成提供了丰富的固体物质; (2) 崩塌、滑坡全部或局部堵塞沟道, 束窄了沟道, 使洪水或泥石流更容易形成强大的动力侵蚀沟道和沟床固体物质, 从而形成更大规模的泥石流; (3) 崩塌、滑坡堵塞沟道后形成堰塞湖, 积蓄了水体, 增加了形成泥石流的水源, 一旦堰塞湖溃决, 暴发的泥石流会以更大规模运动出沟。

根据地震在泥石流沟中形成的松散固体物质的量(如崩塌、滑坡堆积物)和其中可能参与泥石流活动的量、泥石流形成区沟道宽窄变化程度等因素, 结合地震后 2008 年雨季的泥石流活动情况及历史上泥石流的活动规律, 分析泥石流的活动趋势和受地震的影响时间。 “5.12”地震后汶川县境内 6 条典型泥石流沟泥石流的松散固体物质的量计算, 根据“5.12”地震后的高分辨率航空照片和实地考察, 以航片为面积计算的依据, 量测每一个滑坡和崩塌的面积, 结合山坡坡度计算滑坡和崩塌的实际面积, 再按小滑坡 1m 厚, 大滑坡(崩塌) 5m 厚, 计算出每一个滑坡和崩塌的体积。但航片主要集中在岷江河谷两侧, 对于流域较大的泥石流沟还没有上游的航片。按照流域内崩塌滑坡情况基本一致的方法, 以滑坡和崩塌的体积与流域面积成正比

计算出全流域的滑坡和崩塌的体积,作为泥石流流域内的松散固体物质的总量。由航片计算出的松散固体物质的总量包括了堆积体中的空隙的体积,因此比实际的固体物质总量大。按实际的固体物质占总体积的60%计算,可以得出实际的松散固体物质的总量。

泥石流流域内的松散固体物质并不能全部都参与泥石流的活动,如一些细小的颗粒会被小的洪水冲走,而一些位于沟道边缘的粗大石块即使暴发大规模泥石流也可能还是停留在原地。因此可以根据泥石流沟道的宽度,地震提供的泥石流固体物质颗粒大小,划分流域内的松散固体物质参与比例:沟道越宽,比例越小;固体颗粒越粗大,比例越小。本文中的汶川县境内6条典型泥石流沟的固体物质颗粒参与泥石流的比的特点有:沟道窄,颗粒小,参与比例0.8(如牛圈沟支沟);沟道宽,颗粒大,参与比例0.2(如桃关沟);沟道宽,颗粒小,参与比例0.5(如牛圈沟主沟);沟道窄,颗粒大,参与比例0.5(如南沟)。

较大规模的泥石流对流域内的泥沙输送影响很大,因此泥石流沟的泥沙输送量和暴发泥石流所需要的固体物质质量由较大规模的泥石流的固体物质质量确定。根据现场调查和文献计算得到各泥石流沟的较大规模泥石流的总量。再由泥石流的容重和固体物质体积浓度计算得出较大规模泥石流的固体物质总量。通过现场访问调查,对比地震前后的流域条件的变化得出近期内较大规模泥石流的重现周期,小于1的表示一年多次发生泥石流。

“5.12”地震后汶川县境内6条典型泥石流沟可能参与泥石流的松散固体物质的总量和暴发较大规模泥石流所需要的固体物质质量见表2。

表2 地震后典型泥石流沟可能参与泥石流的松散固体物质的总量和暴发较大规模泥石流所需要的固体物质质量

Table 2 Debris flow-participating loose solid matter amount in typical debris flow gully after earthquake and required solid matter amount for breaking out relatively large scale debris flow

沟名	地震时产生的滑坡崩塌量/万 m ³	实际固体物质量/万 m ³	能参与泥石流的比例	能参与泥石流的固体物质质量/万 m ³	震后(历史)较大规模的泥石流暴发周期/a	震后(历史)较大规模的泥石流暴发规模/万 m ³	震后(历史)泥石流中的固体物质质量/万 m ³	固体物质能形成较大规模的泥石流的次数/次
牛圈沟(支沟)	180	108	0.8	86	0.09	3	2	43
牛圈沟(主沟)	110	66	0.5	62 ^①	5	24	16	4
磨子沟	450	270	0.5	135	0.3	13	9	15
佛堂坝沟	800	480	0.2	96	50	133	78	1
桃关沟	1070	642	0.2	128	50	223	79	2
七盘沟	1370	822	0.2	164	50	128	75	2
南沟	9	5	0.5	3	50	12	6	1

注:①牛圈沟主沟中的固体物质还包括支沟暴发泥石流后堆积(总量的2/3)在主沟中的固体物质。

表2中固体物质能形成较大规模的泥石流的次数是理想状态下,固体物质没有大的增加和减少,形成的较大规模的泥石流的总量和固体物质总量都保持一致的情形下获得的。实际的情况可能会有很大的不同,如在地震中没有发生崩塌和滑坡的地点在降雨的激发下发生了运动形成大量的固体物质,增加了固体物质总量;或在降雨下没有形成较大规模的泥石流,但洪水输送了较多的固体物质,使固体物质总量减少;又如在降雨的激发下发生了较大规模的泥石流,但泥石流总量和固体物质的比例比原来的设计的大或小,造成固体物质的输送量比设计的输送量大或小,使剩下的固体物质总量偏小或偏大。因此评估“5.12”地震后汶川县境内6条典型泥石流沟的泥石流活动受地震影响的时间只能在一个范围内,各泥石流沟的泥石流受地震影响的时间为:牛圈沟支沟:5~10 a;牛圈沟主沟:15~25 a;磨子沟:5~10 a;佛堂坝沟:40~60 a;桃关沟:60~100 a;七盘沟:80~120 a;南沟:20~40 a。

4 讨论和结论

距离汶川“5.12”地震震中映秀最近的气象站是都江堰气象站。根据该气象站资料,往年5-10月平均总降水量为1019.5 mm,2008年5-10月总降水量为927.5 mm(另有17 d的降雨资料缺测)。因此可以初

步判定四川省汶川县在 2008 年雨季的降水量属于中等水平(如表 3)。表 2 中的结果和泥石流沟受地震的影响时间(主要是牛圈沟和磨子沟)是建立在与 2008 年降水量一致的基础上得出的,如果在今后的雨季降水量比 2008 年的大,则泥石流的活动将增多,大量的松散固体物质会随频繁的泥石流活动被输出沟外,泥石流受地震的影响时间将缩短;反之,则会使大量的松散固体物质继续保持在泥石流沟内,泥石流活动受地震的影响时间将延长。

表 3 都江堰气象站和汶川气象站历年平均降雨值和 2008 年降雨值
Table 3 Average rainfall over the years and rainfall in 2008 in Dujiangyan Meteorological Station and Wenchuan Meteorological Station mm

月份	都江堰气象站历年平均值	都江堰气象站 2008 年值	汶川气象站 2008 年值
5	93.8	86.3	59.6
6	127.5	138.2	61.7
7	265.6	122.9	42.6
8	271.8	235.6	86.5
9	187.1	249	32.2
10	73.7	95.5	25.3
总量	1019.5	927.5	307.9

低频率泥石流沟(如佛堂坝沟、桃关沟、七盘沟和南沟)在地震前就储存了大量松散固体物质,具备了暴发大规模泥石流的固体物质条件,在地震后更是积累了足以暴发大-特大规模泥石流的固体物源,但要形成泥石流还需要有相应的水源配合,如 50 a 或以上一遇的低频率的大暴雨,因此地震对这些沟泥石流的影响在暴发大规模泥石流之前都存在,只有将因地震而产生的固体物质在通过泥石流活动被大量消耗后,地震对泥石流的影响才显著能减小。泥石流沟受地震的影响时间是可能的最长影响时间,在这些最长的影响时间内,低频率的大降雨都可能诱发这些沟暴发泥石流。

泥石流的形成由地质条件(固体物源)、地貌条件(地形)和水源条件(降雨)等三大条件决定。汶川县境内的泥石流沟主要沿岷江河谷分布,地质条件上以硬岩为主,也有少量的软岩石;地貌条件上都是深切沟道,流域高差较大,但流域面积大的泥石流沟道的宽度也大;降水量从靠近都江堰的年降雨 1 000 mm 沿岷江往上游逐渐降低到汶川县城附近的 300 mm,降水量差别较大。本文研究的 6 条泥石流沟在地质条件、地貌条件和水源条件上都有较大的差别:(1)在地质上既有硬岩(牛圈沟、佛堂坝沟、桃关沟和七盘沟)也有软岩(磨子沟和南沟),一般硬岩暴发泥石流条件较高,泥石流暴发频率较低;软岩暴发泥石流条件较低,泥石流暴发频率较高;(2)在地貌上既有较宽沟道(佛堂坝沟、桃关沟和七盘沟)也有狭窄沟道(牛圈沟、磨子沟和南沟),一般较宽沟道暴发泥石流条件较高,泥石流暴发频率较低;狭窄沟道暴发泥石流条件较低,泥石流暴发频率较高;(3)在水源上既有降雨较丰富的牛圈沟,也有降雨较少的七盘沟、磨子沟和南沟,一般降雨较丰富的地区暴发泥石流的频率较高;降雨较少的地区暴发泥石流的频率较低。



图 3 磨子沟泥石流堆积扇
Fig. 3 Pile-up fan of debris flow in Mozi Gully

如果泥石流沟所有条件都符合产生高频率泥石流沟的条件,那么该泥石流沟就是高频率泥石流沟,如牛圈沟:硬岩地区但因“5.12”强地震作用产生了大量的碎屑物(相当于在软岩地区产生的碎屑物)堆积在狭窄的沟道中,靠近都江堰的位置具有较丰富的降雨,在常年洪水的冲刷下即可形成泥石流,泥石流的暴发频率非常高。如果泥石流沟所有条件都符合产生低频率泥石流沟的条件,那么该泥石流沟就是低频率泥石流沟,如七盘沟:硬岩地区,沟床中因强地震产生了大量的粗大岩石(最大的约 2 000 t),沟道较宽,因靠近汶川的位置降水量小,形成泥石流的条件非常较高。但其他泥石流沟的条件既有符合产生低频率泥石流沟的条件也有符合产生高频率泥石流沟的条件时,判断泥石流的暴发条件和频率的高低就较复杂。

泥石流形成的三大条件制约着泥石流的暴发条件和暴发频率。在汶川“5.12”强地震后,汶川县境内的泥石流沟的活动规律和特征是如何受泥石流形成的三大条件制约,哪一个条件占主导地位并主要影响泥石

流的暴发条件和暴发频率等问题还需要在将来的工作中进一步深入研究。

汶川“5.12”地震发生后,汶川县境内已有多处暴发泥石流灾害。这类后发型地震泥石流的强烈活动可以持续长达数年甚至于数十年,对震区产生强烈影响。长时间的泥石流活动对灾区的交通运输、救援、疾病的控制、灾民安置及灾后重建工作都有巨大的影响。本文在综合考察了汶川“5.12”地震极重灾区汶川县的6条典型泥石流沟后,研究得出泥石流沟的泥石流活动趋势和受“5.12”强地震的影响时间等规律:

(1) 受地震影响,该区域内泥石流暴发频率和规模都会增加,但具体的泥石流沟的受影响程度是各不相同的。

(2) 泥石流沟的泥石流活动趋势受泥石流的活动特点和地震提供的固体物质的量影响,活动趋势由强到弱,逐渐恢复到地震前的水平。

(3) 泥石流沟受地震的影响时间也受泥石流的活动特点的影响,在地震提供的固体物质被泥石流大量消耗之前,地震对泥石流的影响依然存在,其影响时间可能长达数十年甚至于100 a。

致谢:本文的气象资料由成都高原气象研究所刘兴华副研究员提供,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 钟敦伦. 试论地震在泥石流活动中的作用: 泥石流(1) [M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1981: 30 - 35.
- [2] 徐俊名, 谭万沛. 1976年松潘平武地震泥石流: 泥石流(3) [M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1986: 67 - 75.
- [3] 杜榕桓, 章书成. 西藏古乡沟1953年特大冰川泥石流剖析[M]//中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊(第4号). 北京: 科学出版社, 1985: 36 - 47.
- [4] 黄润秋, 唐川, 李勇, 等. 汶川地震地质灾害研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 838 - 847.
- [5] Scharer K M. Earthquake affect size, not frequency, of debris flows in San Gabriel Mountains, CA [C]//GSA. Denver: Denver Annual Meeting, 2007.
- [6] Chen T C, Wang H Y, Shu C Y, et al. Chi Chi earthquake and typhoons influence debris flows-106 debris flow events in Taiwan [C]. Geophysical Research Abstracts, 2007, 9: 04786.
- [7] Cheng J, Huang Y, Wu H, et al. Hydrometeorological and landuse attributes of debris flows and debris floods during typhoon Toraji [J]. J. of Hydrology, 2003, 306: 161 - 173.
- [8] Plafker G, Ericksen C, Concha J F. Geological aspects of the May 31, 1970 Peru earthquake [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1971, 61(3): 543 - 578.
- [9] 田连权. 四川炉霍地震区泥石流: 泥石流(3) [M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1986: 58 - 66.
- [10] 周必凡, 兰肇声. 1976年唐山地震区的泥石流: 泥石流(3) [M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1986: 76 - 83.
- [11] 游繁结, 蔡志隆, 刘邦崇. 921地震后土石流潜在危险溪流初步判译——以云林古坑、嘉义梅山地区为例 [C]//海峡两岸山地灾害与环境保育研究(第二卷). 台中: 中华防灾协会, 2000: 171 - 180.
- [12] 那须信治. 地基地震灾害与地基调查的必要性 [R]. 东京: 东京大学地震研究所, 1973.
- [13] 钟敦伦, 谢洪, 韦方强, 等. 1:100万四川与重庆泥石流分布及危险度区划图 [M]. 成都: 成都地图出版社, 1997.
- [14] 唐帮兴, 柳素清. 四川省阿坝藏族羌族自治州泥石流及其防治研究 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 21 - 25.
- [15] 谢洪, 钟敦伦. 岷江上游汶川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.
- [16] 刘希林, 王全才, 孔纪名, 等. 都(江堰)汶(川)公路泥石流危险性评价及活动趋势 [J]. 防灾减灾工程学报, 2004, 24(1): 41 - 46.
- [17] 王全才, 刘希林, 孔纪名, 等. 岷江上游桃关沟泥石流特性与工程治理 [J]. 山地学报, 2003, 21(6): 752 - 757.
- [18] 何其修. 川西地区水电开发中的泥石流典型实例 [J]. 山地研究, 1993, 11(3): 184 - 186.
- [19] 许忠信. 四川省汶川县七盘沟泥石流治理 [J]. 山地研究, 1985, 3(3): 166 - 172.