

都江堰八一沟 8·13 泥石流的形成条件分析

覃 怡, 郑洪春

(四川大学 水利水电学院, 成都 610065)

摘要: 2008年汶川地震产生的崩滑体曾造成了巨大的人员伤亡,地震后,这些崩滑体成为泥石流活动的最主要物源,极大地助长了汶川地震后次生灾害的发生。为了有针对性地开展防灾工作,以2010年8月13日都江堰八一沟泥石流为研究对象,采用野外调查与遥感解译的方法,从泥石流形成的地形地貌、物源与水源三大基本条件,详细分析了八一沟8·13泥石流形成条件,发现此次形成条件十分有利于泥石流的暴发,同时,该分析方法对类似条件的泥石流沟具有一定的借鉴意义。

关键词: 八一沟; 泥石流; 形成条件

中图分类号: P642.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0101-04

Initiation Conditions for the 8·13 Debris Flows in Bayi Gully of Dujiangyan

QIN Yi, ZHENG Hongchun

(College of Water Resources and Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The large number of collapse and landslide triggered by the 2008 Wenchuan earthquake had caused a lot of casualties. After the earthquake, the deposits from the collapse and landslide became the primary source for debris flows, which greatly increased the occurrence of earthquake induced hazards. In order to carry out the hazards prevention work, this paper selected the 8.13 debris flows in the Bayi Gully as the example to investigate its initiation conditions. Field investigation and remote sensing measures were used, and three fundamental conditions to initiate the debris flows were analyzed including landform, soil source, and water source. The results suggested the initiation conditions were favor for the occurrence of debris flows. Additionally, the analytical method applied in this paper can provide references for the study of debris flows under similar conditions.

Key words: Bayi Gully; debris flows; initiation condition

汶川地震是近年来发生在我国最严重的一次地震灾害,其主破裂带由南西向东北方向延伸约300 km,地震极重灾区从西南的汶川县到东北方向的青川县,共产生滑坡近15 000处,这些滑坡在地震时造成近2万人死亡^[1]。地震后,滑坡崩塌体又成为泥石流活动的最主要物源。据统计,仅2008年汶川地震灾区就暴发泥石流近百次,造成450余人死亡^[2]。

八一沟位于汶川地震极重灾区——都江堰市西北的龙池镇云华村,距离都江堰市直线距离10.3 km,流域面积8.38 km²,受汶川地震的影响十分严重。根据《汶川8.0级地震烈度分布图》,区域地震烈度为Ⅶ度。根据汶川地震后国家地震局修订颁布的《四川、甘肃、陕西部分地区地震动参数区划图(2008)》,地震动峰值加速度0.20 g,地震动反应谱特征周期为0.40 s。

现场调查发现,八一沟是一条古泥石流沟,流域内分布

着多期泥石流堆积物。沈军辉等^[3]研究发现流域内存在3期泥石流堆积物(图1),以Ⅱ、Ⅲ期泥石流的规模最大。野外调查获知,地震前流域内植被良好,崩滑物少,近百年来未发生过泥石流灾害。汶川地震后,八一沟分别于2008年5月14日、19日和7月17日,2010年8月13日和18日暴发5次规模不等的泥石流。其中以8·13泥石流的规模最大损失最严重,该次泥石流暴发于下午16:00以后,共造成2人死亡,沟口的100余间房屋被冲毁,并掩埋都汶公路连接线250余m,冲毁或淤埋流域内建的所有谷坊和拦砂坝见图2。

近年来八一沟的几次泥石流是典型的汶川地震震后次生灾害。地震灾区还有上千条类似沟道,它们在震前都有着良好的生态环境,泥石流鲜有发生,而震后却成为高频的泥石流沟道,造成巨大的人员与财产损失^[2,4,8],泥石流活动年限更是长达10年到30年^[2,4,9]。鉴于龙门山区人口密度大,

收稿日期: 2013-01-27 修回日期: 2013-06-04 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1311.047.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51079093); 四川省科技支撑计划项目(2011SZ0190)

作者简介: 覃怡(1989-),女(仡佬族),贵州铜仁人,硕士研究生,主要进行滑坡泥石流防治技术研究。E-mail: qy79900990102@126.com

较多居民居住在小流域沟口,一旦发生泥石流将造成巨大的人员伤亡,因此,需要对震后泥石流的形成条件进行细致的分析,充分论证流域内的地形条件、物源条件与水源条件是否有利于泥石流的形成。



图 1 八一沟内的老泥石流堆积物

Fig. 1 Ancient debris flow deposits in the Bayi Gully

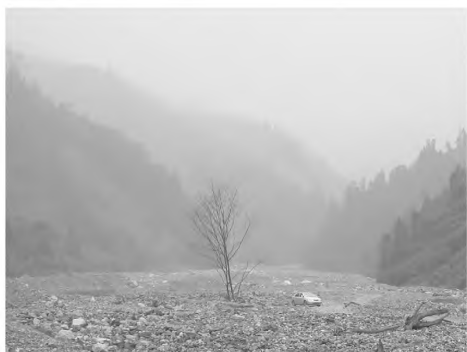


图 2 8·13 泥石流中巨石堵塞沟道

Fig. 2 Boulder in debris flows blocking the channel

1 地形地貌

泥石流运动将高处的重力势能转化为动能,而落差较大的地形地貌就提供了泥石流暴发所需要的能量条件。地形地貌包含因素众多,其中最重要的是沟床比降、山坡坡度与相对高差。水力类泥石流由水流冲刷沟床堆积物起动,沟床比降是最重要的影响因素;而土力类泥石流由土体的崩滑转化而成,因此山坡坡度和沟床比降这两个因素分别影响其形成和汇流过程;相对高差则主要控制着可转化能量的大小。八一沟 8·13 泥石流主要由地震崩滑堆积物起动,属于土力类泥石流。

八一沟位于龙门山的西南角,地貌上属构造侵蚀中切割陡峻低-中山地貌。主沟从沟口至大干沟小干沟汇口处长 1.93 km,平均比降 110.8%。流域最高点 2 508 m,最低点 844 m,流域相对高差 1 664 m。流域内主要有大干沟、小干沟和小湾沟等三条支沟,其中大干沟流域面积 2.63 km²,沟长 2.14 km,平均比降 403.0%;小干沟流域面积 1.74 km²,沟长 2.03 km,平均比降 452.6%;小湾沟流域面积 2.05 km²,沟长 2.08 km,平均比降 259.6%。

1.1 山坡坡度

康志成等^[10]通过统计我国西部众多泥石流沟发现:

> 45° 山坡多为基岩裸露坡,残坡积物薄; < 25° 山坡的堆积物厚,但坡体稳定,很少发生重力侵蚀。因此,这两类坡体都不利于泥石流形成。25°~ 45° 山坡上坡积物较多,且山坡坡度与残坡积物的坡度大致相等,处于极限平衡状态,一旦暴雨激发,极易发生滑动。

以 1: 10000 数字地形图为基础,建立了八一沟流域 DEM,并应用 GIS 手段进行坡度分级,获取流域的坡度分级(图 3,表 1)。图 3 显示,八一沟流域的平均坡度达到 37.6°,以 30°~ 40° 和 40°~ 50° 两组坡度的坡体分布最为广泛。进一步计算发现 25°~ 45° 坡度的坡体面积达到 5.33 km²,占整个流域面积的 63.6%。这说明流域内超过一半面积的坡体处于临界状态,流域极易在强降水条件下暴发泥石流。



图 3 八一沟流域坡度分级图

Fig. 3 Slope classification map of the Bayi Gully

表 1 八一沟流域坡度分布面积

Table 1 Percentages of area with different slopes in the Bayi Gully

坡度范围(°)	面积/ km ²	百分比(%)
< 25°	1.0	11.9
25°~ 45°	5.33	63.6
> 45°	2.05	24.5

1.2 沟床比降

沟床比降主导流域泥石流的汇流过程。对我国西南山区泥石流沟的纵比降统计后发现^[11]:沟床比降 < 50‰ 时不易发生泥石流,为 50‰~ 100‰ 时发生泥石流的可能性较小,为 100‰~ 300‰ 时发生泥石流的可能性较大,为 300‰~ 500‰ 发生泥石流的可能性大,而 > 500‰ 时则不易发生泥石流。

八一沟泥石流在支沟内便发生汇流,在主沟内已发生全面淤积,因此需要考虑各支沟的沟床比降。利用流域 1: 10000 地形图,结合野外实地调查,发现流域内大干沟、小干沟和小湾沟等三条支沟^[16](图 4)的平均比降分别为 403.0%、452.6%、259.6%。如此大的沟床比降有利于泥石流在沟道的流动,同时携裹沟道内的松散固体物质,促使流量激增。

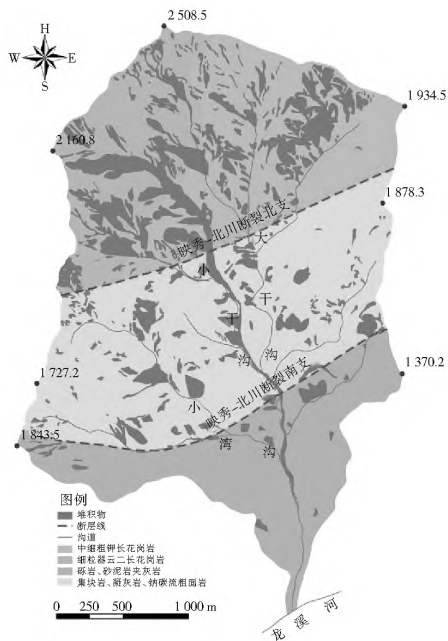


图4 八一沟流域的工程地质条件

Fig.4 Engineering geology map of the Bayi Gully

2 物源条件

物源是产生泥石流的根本,其方量也被作为评估流域泥石流易发性的重要指标^[12]。物源的影响因素主要包括构造、地震、物源结构及其组成,构造和地震作用产生物源,而物源结构与组成则决定其有效性,即其转化为泥石流的能力。

八一沟位于龙门山地震带区,2008年汶川地震的主断裂(包含映秀-北川断裂北支和南支)从沟道中游穿过(图4)。流域内出露的主要地层有第四系崩滑堆积物(Q_4^d)、第四系洪积物(Q_4^h)、三叠系须家河组(Tx^3)和下震旦统苏雄组(Zs^2),出露的岩性主要是凝灰岩、砂岩和泥岩等。汶川地震强大的动力作用致使流域中上游产生大量崩滑体(图5,图6),崩滑体总储量达到 $757.61 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中动储量为 $438.34 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[7]。2009年八一沟历次泥石流共冲出固体物质为 $114.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[13],即2010年8·13泥石流之前流域内仍有动物源 $324.04 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。这些崩滑物质结构松散,密度低,且都以临界坡度进行堆积;同时,由凝灰岩、砂岩和泥岩等岩石转化的崩坡积物具有较高的黏粒含量。降雨作用下,土体含水量增加,松散土体湿陷收缩,同时土体中的黏土颗粒吸水膨胀,导致孔压上升,土体强度锐减,极易破坏产生泥石流。

通过解译震后SPOT全色和多光谱数据融合后的2.5 m空间分辨率影像发现(图4),汶川地震产生的物源主要分布于大干沟和小干沟的上游区,其中小干沟中的松散堆积物主要分布在沟道内;而大干沟中堆积物的位置集中在各支沟的山脊;小湾支沟内植被丰富,遥感影像未能解译出太多物源^[8],实地考察亦发现有滑坡分布。经计算,流域内崩滑位置极其堆积物的分布总面积为 1.56 km^2 ,占流域面积的18.6%。野外实地调查发现,沟道两岸崩坡积物的堆积坡度介于 $30^\circ \sim 40^\circ$,接近临界坡度,且实测堆积物的密度为 1.67 g/cm^3 。这些条件表明,在降雨作用下,八一沟流域内广泛分布的崩坡积物极易起动形成泥石流,是流域泥石流发育的最

主要物源。



图5 松散崩坡积物

Fig.5 Loose landslide deposits



图6 轻微固结的松散崩坡积物

Fig.6 The weakly consolidated landslide deposits

3 水源条件

泥石流的水源包含前期降雨和激发降雨。前期降雨主要使土体的含水量升高,强度降低,以使土体能在后期的激发降雨作用下发生破坏。若前期降雨不充分,则降雨在初期首先扮演前期降雨的作用。

八一沟所在的都江堰市位于华西雨屏区,区域多年平均降雨 1134.8 mm ,降雨多集中在6月-8月,最大年降雨量 1605.4 mm (1978年),最大日降雨量 233.8 mm 。研究表明,区域10 min雨强超过 4 mm ,1 h雨强大于或等于 9 mm 时,泥石流暴发的概率较大^[14]。

汶川地震以后,都江堰市补充建设多个气象站点,以至于本次研究得以使用龙池镇站点的气象数据(图7)。数据显示,2010年8月12日夜晩,龙池镇开始降雨,一直持续到次日凌晨2点,单场降雨量达到 53.6 mm 。下午14:00龙池镇再次发生降雨,到16:00降雨开始明显增大,1 h降雨强度达到 75 mm/h ,致使泥石流源区土体发生大规模破坏,从而暴发泥石流。

由于凌晨的这场降雨之前没有明显的降雨过程,该次降雨主要扮演前期降雨的作用。泥石流起动的降雨试验表明,这种地震产生的松散堆积物在 51.8 mm/h 的雨强下历经半小时开始破坏^[15],即这种松散堆积物在 51.8 mm/h 雨强下对应的前期雨量约为 30 mm ,而堆积物密度增加后,^[16]前期雨量也需要相应增加。8月13日下午14:00,降雨再次发生,15时的降雨量为 15.8 mm ,并未达到泥石流的激发雨强,16:00后雨强激增,泥石流暴发,推测此时泥石流的激发雨强为 50 mm/h 左右。

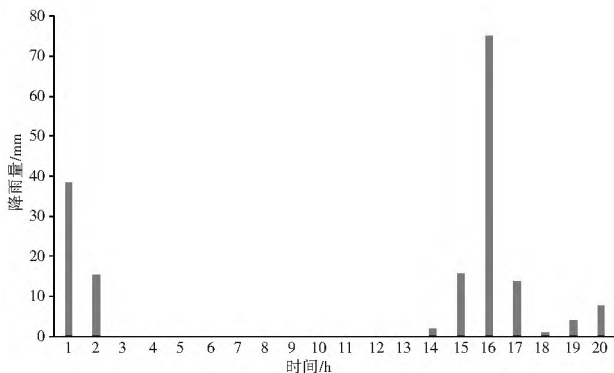


图 7 2012 年 8 月 13 日龙池镇降雨过程

Fig. 7 Rainfall process on August 13, 2012 in Longchi Town

4 结论

都江堰市八一沟位于 2008 年汶川地震的极重灾区,也是震后泥石流发生频率非常高的流域。通过对该流域泥石流形成的各方面条件进行分析,建立起一种更加细致的分析泥石流形成的方法,该分析方法可以推广应用于地震灾区其他范围内泥石流沟的评估。

(1) 八一沟流域的平均山坡坡度为 37.6° , $25^\circ \sim 45^\circ$ 山坡坡度的分布面积为 5.33 km^2 , 占整个流域面积的 63.6%, 同时流域内大干沟、小干沟和小湾沟等 3 条支沟的平均比降分别为 403.0‰、452.6‰、259.6‰, 这说明流域的地形条件(含山坡坡度与沟床比降)十分有利于泥石流的形成。

(2) 汶川地震主断裂贯穿整个流域腰部,地震中,流域内产生了大量松散固体物质,其分布面积为 1.56 km^2 , 占流域面积的 18.6%, 有关研究显示物源总量达 $757.61 \times 10^4 \text{ m}^3$, 其中动储量为 $438.34 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。这些松散物质的坡度介于 $30^\circ \sim 40^\circ$, 接近临界坡度, 加上结构十分松散, 十分有利于泥石流形成。

(3) 八一沟位于华西雨屏区, 降雨丰富且点暴雨多, 2010 年 8·13 泥石流的前期降雨量约为 70 mm 左右, 激发雨强推算为 50 mm/h。

参考文献(References):

- [1] 殷跃平. 汶川八级地震滑坡特征分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 29-38. (YIN Yue ping. Feature of Landslides Triggered by the Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 29-38. (in Chinese))
- [2] 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. (XIE Hong, ZHONG Dun lun, JIAO Zhen, et al. Debris Flow in Wenchuan Quake hit Area in 2008[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(4): 501-509. (in Chinese))
- [3] 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. (SHEN Jun hui, ZHU Rong chen, LIU Wei guo, 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. (in Chinese))
- [4] 崔鹏, 庄建琦, 陈兴长, 等. 汶川地震震后泥石流活动特征与防治对策[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2010, 42(5): 10-19. (CUI Peng, ZHUANG Jian qi, CHEN Xing chang, et al. Character
- istics and Countermeasures of Debris Flow in Wenchuan Area After the Earthquake[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2010, 42(5): 10-19. (in Chinese))
- [5] 周伟, 陈宁生, 邓明枫, 等. 四川省都江堰市八一沟泥石流动力学特征及危险性评估[J]. 水土保持通报, 2011, 31(5): 138-143. (ZHOU Wei, CHEN Ning sheng, DENG Ming feng, et al. Dynamic Characteristics and Hazard Risk Assessment of Debris Flow in Bayi Gully of Dujiangyan City of Sichuan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(5): 138-143. (in Chinese))
- [6] 付尚瑜, 黄润秋, 裴向军, 等. “5·12”地震极重灾区-四川安县甘沟泥石流发育特征[J]. 南水北调与水利科技. 2010, 8(5): 105-108. (FU Shang-yu, HUANG Run qiu, PEI Xiang jun, et al. Debris Flow Character Analysis of Gangou Village in Severe Disaster Area of “5·12” Earthquake[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(5): 105-108. (in Chinese))
- [7] 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特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1): 34-38. (ZHANG Zi guang, ZHANG Zhang ming, ZHANG Shun bin. 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. (in Chinese))
- [8] 程思, 袁源, 王运生. 汶川地震灾区泥石流启动机制及其动力学特征[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(5): 119-123. (CHEN Si, YUAN Yuan, WANG Yun sheng. Initiation Mechanism and Dynamic Characteristics of Debris Flow in the Earthquake Disaster Region of Wenchuan - a Case Study at Wuxing Gully of Beichuan County[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(5): 119-123. (in Chinese))
- [9] Chen N Sh, Hu G Sh, Deng M F, et al. Impact of Earthquake on Debris Flows with a case study on the Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Earthquake and Tsunami, 2011, 5(5): 493-508.
- [10] 康志成, 李焯芬, 马霭乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 科学出版社, 北京, 2004. (KANG Zhi cheng, LI ZHUO fen, MA Ai nai, et al. Debris Flow Study in China[M]. Science Press, Beijing, 2004. (in Chinese))
- [11] 陈宁生, 杨成林, 周伟, 等. 泥石流勘查技术[M]. 科学出版社, 北京, 2011. (CHEN Ning sheng, YANG Cheng lin, ZHOU Wei, et al. Investigation Technology on Debris Flows[M]. Science Press, Beijing, 2011. (in Chinese))
- [12] 重庆市高新岩土工程勘察设计院. 都江堰市八一沟泥石流应急勘查报告[R]. 2009. (Chongqing Gaoxin Institute of Geotechnical investigation and design. The Investigation report of debris flows in Bayi Gully, Dujiangyan[R]. 2009. (in Chinese))
- [13] 陈宁生, 黄蓉, 李欢, 等. 汶川 5·12 地震次生泥石流沟应急判别方法与指标[J]. 山地学报, 2008, 27(1): 108-114. (CHEN Ning sheng, HUANG Rong, LI Huan, et al. Emergency Judge Method and Index of Debris Flow Sites Triggered by 5·12 Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 27(1): 108-114. (in Chinese))
- [14] Chen N Sh, Yang Ch L, Zhou W, et al. The Critical Rainfall Characteristics for Torrents and Debris Flows in the Wenchuan Earthquake Stricken Area[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 6(4): 362-372.
- [15] 陈宁生. 泥石流产流与汇流过程研究[D]. 中国科学院研究生院. 北京, 2006. (CHEN Ning sheng. Debris Initiation and Confluence Processes Research[D]. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 2006. (in Chinese))