

文章编号: 1008-2786-(2010)5-623-05

四川省都江堰市大干沟地震泥石流

张健楠, 马煜, 张惠惠, 李丽, 余斌

(地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 2009-07-17 四川省都江堰市虹口乡大干沟在强降雨作用下发生滑坡堵塞沟道, 在强大洪水作用下堵塞体溃决, 暴发泥石流, 造成 2人失踪、大量农田被毁等严重灾害。这是汶川“5.12”地震引起大干沟内山体松动, 在后期降雨作用下形成的泥石流, 是典型的地震泥石流。这种后发型地震泥石流暴发具有一定隐蔽性, 不易被察觉。大干沟在强降雨下很有可能再次暴发较大规模的泥石流, 并堵塞白沙河、危害公路。

关键词: 泥石流; “5.12”地震; 溃决; 滑坡; 堵塞

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

2008-05-12 14:28 中国四川汶川发生 Ms 8.0级地震。地震造成大量山体滑坡, 大量的泥沙堆积在泥石流沟道内, 也造成许多山体松动。在强震区内, 2008-09-24北川、平武一带遭遇了 20 a一遇的暴雨, 导致大范围的地震泥石流灾害出现^[1-3]。

地震泥石流特指在震区内由地震诱发型成的泥石流, 并与某具体的地震序列或某一次强震时空上相关, 主要分布在烈度 \geq VII度的地区^[3-5]。地震泥石流绝大多数由暴雨激发, 但在同一地区, 激发泥石流的降雨条件在地震前后变化很大, 地震后同样的暴雨条件所激发泥石流不仅数量多, 而且规模也明显增大。按地震与泥石流暴发的时间顺序, 可以将地震泥石流分为同发型地震泥石流和后发型地震泥石流。后发型地震泥石流指在发生地震后由暴雨、堰塞湖溃决等诱发因素激发产生的泥石流, 如日本 1847年信浓善光寺地震和 1932年关中大地震都不同程度地激发了泥石流的强烈活动; 1976-08-16~23四川省松潘—平武接连发生 7.2级, 6.7级和 7.2级地震, 震区内绝大多数的地震泥石流是地震后暴发的。汶川“5.12”地震发生时的同发型地

震泥石流已造成了局部的灾害, 而后发型地震泥石流的强烈活动可以长达数年甚至数十年^[3-6]。

2009-07-17 位于“5.12”汶川地震重灾区的都江堰市虹口乡遭遇强降雨天气, 白沙河流域发生多处泥石流、崩塌等灾害, 给当地带来重大财产损失。其中虹口乡红色村四组大干沟暴发的泥石流, 造成 2人失踪、大量农田被毁等严重灾害。

1 大干沟流域特征

大干沟位于四川省都江堰市虹口乡红色村, 沟口地理坐标 $31^{\circ}06'24.1''N$ $103^{\circ}38'20.7''E$ 属岷江支流白沙河右岸支沟, 流域面积仅 1.1 km^2 , 沟口上游 650 m处发育一支沟; 大干沟下游处于白沙河阶地上, 流域内最高峰海拔 1 784 m, 主沟长 2.1 km, 相对高度 780 m, 平均沟床比降为 370‰(图 1); 沟谷形态呈狭窄的“V”字形, 上游山坡坡度为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$, 陡峻的地形为泥石流的发育提供了动力条件。

在地质构造上, 大干沟沟口位于映秀—北川断裂带上, 该断裂带属于龙门山主中央断裂带, 为

收稿日期 (Received date): 2009-01-20 改回日期 (Accepted): 2010-05-05

基金项目 (Foundation item): 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“科技减灾重建家园”开放基金资助项目 (DZKJ-0810) [This research was funded by the Open foundation of “Mitigation hazard by science and technology and Rebuilding our homeland” of State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology (contact number DZKJ-0810)]

作者简介 (Biography): 张健楠 (1986-) 男 (满族) 吉林东丰人, 硕士研究生, 主要从事地质工程方面的研究。 [Zhang Jiannan (1986-), Male, Man nationality, born in Dongfeng, Jilin, graduated student, Undertaking research on geological engineering] E-mail: 576911530@qq.com

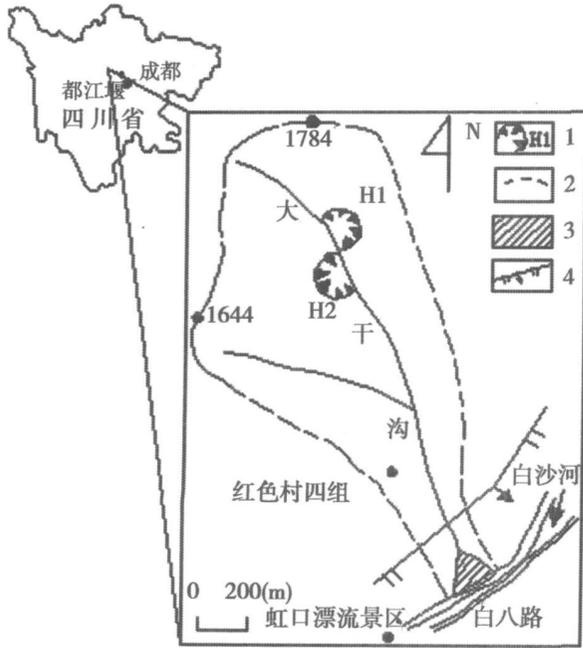


图 1 大干沟流域图

Fig 1 The basin of Dagan gully

1. 滑坡及编号; 2. 流域界线; 3. 泥石流堆积扇; 4. 映秀—北川断裂

“5. 12”地震的主干发震断裂, 受这次 8 级地震作用, 沿龙门山主中央断裂带汶川映秀—北川一线, 滑坡面密度大于 50% 以上, 最大密度达 70%, 沿断裂带形成了大量的松动山体, 在暴雨期间极易发生滑坡、泥石流灾害^[7]。流域内主要出露的地层为元古代晋宁—澄江期的第四期花岗岩和第三期的辉长岩、闪长岩。白沙河断续发育有一级阶地、二级阶地, 阶地上堆积了第四系河流相堆积物和泥石流堆积物。

区内多年平均降水量 1 225.7 mm, 但季节分配不均, 6~8 月约占 62.9%, 其中月平均降水最多的是 7 月, 为 237.3 mm。

根据汶川地震断裂带科学钻探工程网站资料, 2009—07—17 03:00~06:00 降雨量 220 mm, 最大小时降雨量 134 mm, 全天总降雨量达到 336 mm。汶川科学钻探工程距离大干沟沟口 7.4 km, 高程较大干沟沟口高约 200 m。另根据都江堰市气象局资料, 2009—07—17 泥石流发生前有 2~3 h 降雨, 降雨量为 7.4 mm, 全天降雨量为 15.3 mm (图 2)。都江堰市距离大干沟沟口 12.9 km, 高程较大干沟沟口低约 100 m。从上述降雨资料来源可以看出, 都江堰市气象局的降雨资料与汶川地震断裂带科学钻探工程网站的降雨资料相差较大, 两地距大干沟都有一定距离, 资料仅能参考, 但可以确定 2009—07—17 大干沟泥石流发生时流域内有较大降雨过程。

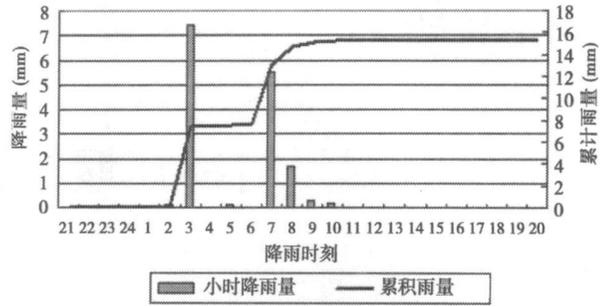


图 2 都江堰气象局 2009—07—17 降雨资料

Fig 2 Rainfall data of meteorological station on July 17 2009 in Dujiangyan Sichuan

2 泥石流灾害调查

该区域为“5. 12”地震的极震区, 地震烈度 XI 度, 本次大干沟泥石流形成发育最显著的特点就是强震作用下形成的松动山体, 在强降雨作用下发生滑坡堵塞沟道, 在强大洪水作用下溃决形成泥石流。现在在沟道上游泥石流形成区有两处较大滑坡体, 目前仍存在总体方量约 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$, 滑坡堆积体颗粒总体特征以碎、块石及砂砾石为主, 块石粒径一般 20~35 cm 约占 20%~30%, 结构松散, 堆积体稳定性较差。这两处滑坡体参与泥石流形成的方式截然不同, 其中位于沟道上游左岸的 H1 滑坡体为“5. 12”地震时形成, 松散的滑坡堆积体堆积于沟道内, 为这次泥石流的发生提供了一部分物源; 而位于泥石流形成区沟道右岸的 H2 滑坡体为本次泥石流主要形成原因。H2 滑坡体在“5. 12”地震时失去原有稳定性但并未滑动进入沟道, 在 2009—07—17 强降雨作用下发生滑动, 滑坡体堵塞沟道, 最后在强大洪水作用下溃决形成泥石流。根据现场测量, H2 滑坡在沟道内的堆积体在溃决前的断面宽 16.5 m, 左岸最低处高 3.4 m, 顶部顺沟道长 24 m, 堵塞体方量约 $3.15 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图 3), 以碎、块石及砂砾石为主, 结构松散 (图 4)。此外, 沟道两侧, 还发育有规模不等的滑坡体, 是形成泥石流的潜在物源, 大干沟内现有固体物质总量共约 $13 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。据访问, 大干沟近百年未发生过泥石流, 仅发生过较大规模洪水。2009—07—17 00:00 开始降雨, 沟内形成洪水, 5 点左右沟内洪水出现短时断流现象, 紧接着泥石流暴发, 持续时间约 30 min, 这与上游 H2 滑坡体在强降雨下失稳后堵塞沟道形成堰塞湖, 后溃决形成泥石流的调查分析一致。堰塞湖溃决后, 泥石流沿沟道

两侧自上而下形成长约 1.5 km 的侧积堤 (图 5), 原本只有 1.5 m 宽的沟道目前拓宽为 15 m, 侧积堤为两侧高中间低, 现在堆积在沟内的泥石流堆积物总量约 $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。泥石流最终在白沙河畔堆积区淤积, 在堆积区淤高后, 改道向右岸淤积, 掩埋了位于沟道右岸边的灾区活动板房, 致使 2 人失踪。大量泥石流堆积体进入河道并挤压白沙河向左岸流动, 威胁左岸白 (沙河) 八 (角庙) 公路。

大干沟泥石流堆积扇前缘宽 160 m, 平均厚度约 5.5 m, 堆积方量 $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图 6)。大干沟泥石流的堆积特征有侧积堤, 堆积物无分选性, 泥包石等, 是典型的粘性泥石流堆积地貌特征, 为粘性泥石流, 密度约为 2.1 t/m^3 。泥石流堆积扇颗粒总体特征以碎、块石及砂砾石为主, 块碎石所占比重达 60% ~ 70%, 根据堆积区所取细颗粒土样的颗粒粒径分析结果得知, 粉、粘粒含量占 4.8%。

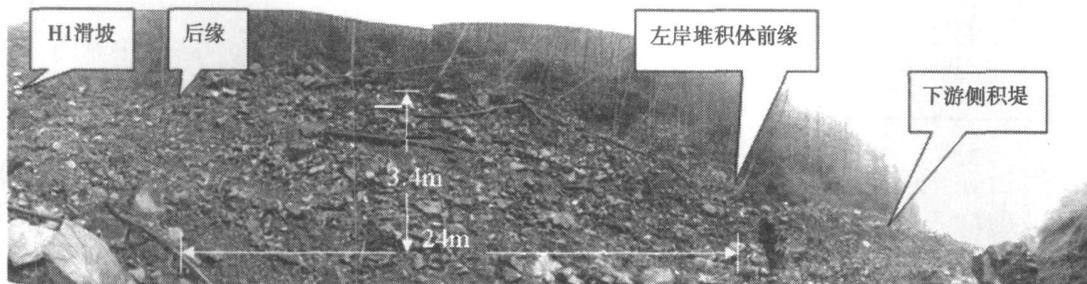


图 3 堵塞坝断面图

Fig. 3 Cross-section of the dam

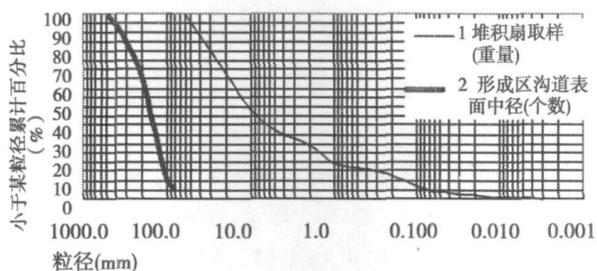


图 4 大干沟泥石流颗粒曲线图

Fig. 4 Particle size distribution of debris flow materials in Dagan Gully
1. 堆积扇取样颗粒级配曲线 (重量); 2. 形成区沟道表面颗粒粒径曲线 (个数)

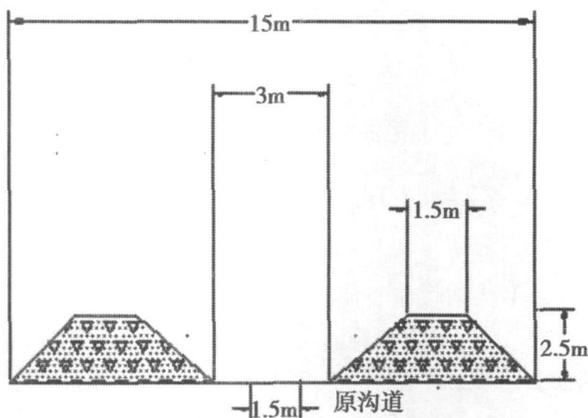


图 5 - b 侧积堤示意图 (平均尺寸)

Fig. 5 - b Lateral dyke (Average scale)



图 5 - a 泥石流沟中的侧积堤 (自上游拍向下游)

Fig. 5 - a Lateral dyke in Dagan Gully (from upstream to downstream)

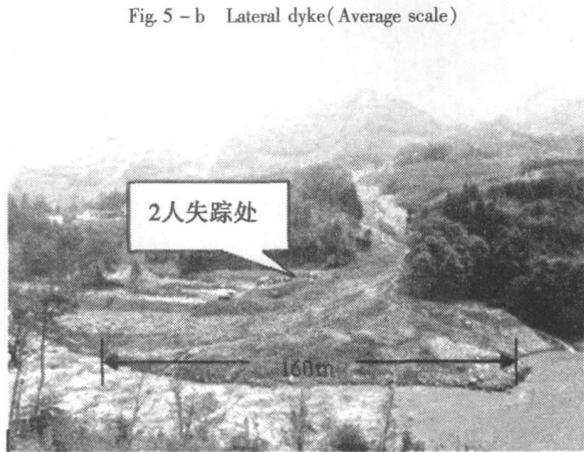


图 6 泥石流堆积扇全貌

Fig. 6 The alluvial fan of the debris flow

3 泥石流特征

对大干沟泥石流洪痕调查,共测量了2个断面,其中断面I紧挨H₂滑坡体下游,为梯形,断面II位于堆积扇上游20 m处,为矩形,断面特征见表1。

表1 断面特征
Table 1 Feature of the cross section

断面	最大泥深 (m)	最大宽度 (m)	断面面积 (m ²)	水力半径 (m)	沟床比降 (‰)
断面I	2.9	16.5	32.3	1.6	268
断面II	2.0	14.1	28.2	1.6	123

泥石流的运动速度是泥石流的动力学参数中最重要的参数,根据大干沟泥石流特征,选用以下公式计算^[8]:

东川泥石流改进公式

$$V=K \times R^3 \times I^{1/5} \quad (1)$$

综合西藏古乡沟、东川蒋家沟、武都火烧沟的通用公式

$$V=\frac{1}{n} R^3 I^{1/2} \quad (2)$$

粘性泥石流运动平均速度计算公式^[9]

$$V=1.1(gR)^{1/2} I^{1/3} \left[\frac{D_{50}}{D_{10}} \right]^{1/4} \quad (3)$$

$$Q=VA \quad (4)$$

式中 V 为粘性泥石流断面平均流速(m/s), R 为水力半径(m), I 为泥石流表面(或沟床)坡度, K 为粘性泥石流流速系数(本文中为10), g 为重力加速度(m/s²), n 为粘性泥石流的河床糙率(本文中取13), D_{50} 为泥沙颗粒中百分比小于50%的颗粒粒径(本文中为9.5 mm), D_{10} 为泥沙颗粒中百分比小于10%的颗粒粒径(本文中为0.14 mm), A 为泥石流过流面积(m²), Q 为泥石流流量(m³/s)(下同)。

泥石流流速和流量的计算结果见表2。

表2 泥石流流速和流量的计算结果

Table 2 Calculating results of velocities and discharges of debris flows

公式	断面I (m ³ /s)	断面I (m ³ /s)	断面II (m ³ /s)	断面II (m ³ /s)
(1)	10.5	340	9.0	254
(2)	10.6	343	7.2	203
(3)	8.1	260	6.2	176

的适用范围较广,因此建议使用公式(3)的计算结果。

本次泥石流为溃决型泥石流,一次泥石流过程总量的计算方法采用水量平衡原理分析出的概化过程线,按下式计算^[10-11]。

$$W_c=0.2TQ \quad (5)$$

式中 W_c 为一次泥石流总量(m³); T 为泥石流历时(s)。

根据公式(3)、(5)计算获得的泥石流总量为:根据断面I数据计算为 9.4×10^4 m³。因断面I紧挨H₂滑坡体下游,计算获得的泥石流总量应为侧积堤与堆积扇的方量和;实地测量的侧积堤与堆积扇方量之和为 8.5×10^4 m³,计算值与实测值较为接近。断面II位于堆积扇上游20 m处,计算为 6.3×10^4 m³,应为断面II以下堆积扇总方量;实地测量堆积扇总方量 5.7×10^4 m³,计算值与实测值较为接近。断面I和II的堆积方量计算说明,用公式(3)~(5)计算大干沟2009-07-17泥石流特征值较准确。

4 趋势分析

大干沟近百年并未发生过泥石流,“5.12”地震作用形成松动的山体,在2009-07-17强降雨作用下发生滑坡堵塞沟道形成堰塞湖,在强大洪水作用下溃决形成泥石流,活动特点为:流域面积小,堰塞湖溃决导致较大瞬时洪峰流量,是典型的地震泥石流。大干沟流域是受“5.12”汶川地震作用,松动的山体在震后强降雨作用下才产生滑坡,堵塞沟道形成堰塞湖,在强降雨引发的洪水作用下溃决形成泥石流。这种在地震后没有立即发生滑坡,潜在的危险滑坡很难被发现,强降雨时的泥石流暴发具有隐蔽性,不易被察觉,比地震时就形成滑坡堵塞沟道而暴发泥石流的危险性更大。所以有必要对这种泥石流给予更多关注,更好的为防灾减灾服务。

目前大干沟内仍然存在有大量物源和潜在滑坡体,在强降雨下还有可能再次暴发较大规模的泥石流灾害。由于侧积堤已将沟道束窄,白沙河河道被挤压变窄,下次泥石流将会有大量的泥沙直接进入白沙河,并堵塞白沙河;堵河后,河水冲刷左岸公路路基,将严重危害交通安全,并对下游虹口漂流景区造成危害。

5 结论

由于公式(1)与(2)的适用范围较窄,公式(3)

1. 2009-07-17大干沟泥石流是由2008年

“5.12”汶川地震作用形成松动的山体在强降雨作用下发生滑坡堵塞沟道, 在强大洪水作用下溃决形成的, 是典型的地震泥石流。

2. 目前大干沟内仍然存在有大量物源和潜在滑坡体, 在强降雨下还有可能暴发较大规模的泥石流灾害, 堵塞白沙河, 危害交通安全。

3. 受“5.12”汶川地震作用, 松动的山体在震后强降雨作用产生滑坡, 堵塞沟道后在强大洪水作用下溃决暴发的泥石流灾害, 具有隐蔽性和较大的危险性。

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 (References)

- [1] Tang Chuan Tiej Yongbo Reconnaissance and analysis on the main stream induced debris flow in Weijiaogou Valley of Beichu Earthquake area after the Wenchuan [J]. Journal of Mountain Science 2009, 26(5): 625~630 [唐川, 铁永波. 汶川震区北川县城魏家沟暴雨泥石流灾害调查分析[J]. 山地学报, 2009, 26(5): 625~630]
- [2] Cui Peng Wei Fangqiang Chen Xiaoping et al. Geohazards in Wenchuan Earthquake Area and countermeasures for disaster reduction [J]. Bulletin of 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]
- [3] Xie Hong Zhong Dunlun Jiao Zhen et al. Debris flow in Wenchuan quake-hit area in 2008 [J]. 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]
- [4] Xu Junming Tan Wanpei. Debris flow caused by earthquake at Song-Pangpingwu in 1976 [A]. In: Debris Flow (3) [C]. Chongqing

- Chongqing Branch of Publishing House for Scientific Reference 1986, 67~75 [徐俊名, 谭万沛. 1976年松潘平地地震泥石流 [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]
- [5] Zhong Dunlun. The role of earthquake influence on debris flow occurrence in Articles Collection of Debris Flow [C]. Chongqing Chongqing Branch of Publishing House for Scientific Reference 1981, 30~35 [钟敦伦. 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 [C]. 重庆: 科技文献出版社重庆分社, 1981, 30~35]
- [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] Yin Yueping. Features of landslides triggered by the Wenchuan near quake [J]. Journal of Engineering Geology 2009, 17(1): 29~38 [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]
- [8] DZ/T0220-2006 Specification of geological investigation for debris flow stabilization [S]. DZ/T0220-2006 泥石流灾害防治工程勘查规范 [S]. DZ/T0220-2006
- [9] Yu Bin. Study on the mean velocity of viscous debris flows [J]. Advances in earth Science 2008, 23(5): 524~532 [余斌. 粘性泥石流的平均运动速度研究 [J]. 地球科学进展, 2008, 23(5): 524~532]
- [10] Chen Xiaoping Chen Ningsheng Cui Peng. Calculation of discharge of debris flow induced by glacier lake outburst [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2004, 26(3): 357~362 [陈晓清, 陈宁生, 崔鹏. 冰川终碛湖溃决泥石流流量计算 [J]. 冰川冻土, 2004, 26(3): 357~362]
- [11] Ye Bingru. Water Conservancy Calculation [M]. Beijing Water Conservancy and Electric Power Press, 1985 [叶秉如. 水利计算 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1985]

Study on Earthquake Debris Flow in Dagan Gully Dujianyan, Sichuan

ZHANG Jiannan MA Yu ZHANG Huohui LILi YU Bin

(State Key Laboratory of Geohazards Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: A catastrophic debris flow occurred in Dagan Gully Hongkou Dujianyan, Sichuan Province on July 17, 2009. The debris flow caused 2 persons disappearance and plenty of farmland were covered by sediment. Landslides were triggered by heavy rainfall and blocked the channel. Strong flood made the dam break and formed the debris flow. The Wenchuan Earthquake made the land lost part of stability. The debris flow in Dagan Gully on July 17, 2009 is a typical earthquake debris flow. This kind of debris flow is more dangerous as it is difficult to be distinguished. It is likely triggered a large scale debris flow by heavy rainfall in this gully in the future. The debris flow will block Baishan River and destroy the highway.

Key words: debris flow, Wenchuan earthquake, dam break, landslide, block