

四川省都江堰市“8.13”干沟泥石流特征及成因

郝文辉, 杨燕雄, 孟凡杰, 贡长青

(河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质大队, 秦皇岛 066001)

摘要: 采取野外调查方法对干沟泥石流的分布和特征进行调查, 分析泥石流形成区的地形条件和物源条件, 以及流通区和堆积扇的特征。探讨泥石流起动和输移过程, 分析泥石流形成的降雨、岩石和断层作用, 计算泥石流特征值。

关键词: 干沟泥石流; 特征; 成因

中图分类号: P642.23 **文献标识码:** A

1 引言

“5.12”汶川地震引发了四川省地震灾区大规模崩塌、滑坡的发生, 形成大量的松散固体物质, 为泥石流形成创造了丰富的物质条件, 在地震以后的降雨期间, 出现了高频度群发性泥石流。根据调查统计分析, 地震区震后泥石流的活动主要具有泥石流数量增多、规模增大、频度增加、临界降雨强度降低等特点。2010年8月13日至8月19日, 汶川地震灾区的都江堰市虹口乡连续遭受连续强降雨的突袭, 8月13日降雨量一度达到143 mm, 特大暴雨所引发的泥石流等次生灾害, 致使原沟道严重堆积, 住房、基础设施以及支柱产业受损严重; 8月19日的强降雨, 白沙河上游3个堰塞湖整体自然溃坝泄洪, 引发了泥石流等次生灾害, 致使沟口以下部分新建农家乐及民房掩埋, 部分道路和猕猴桃园冲毁并掩埋。根据现场调查, 这是红色村干沟继2009年7月17日泥石流后再次连续发生泥石流灾害, 主要直接受灾为9户47人120间房, 约共计300万元经济损失, 给恢复重建中的震区带来了又一次重创。由于当地政府及时监测预警, 组织转移群众, 所幸未造成人员伤亡。

2 干沟泥石流区域概况

研究区位于都江堰市虹口乡红色村4社东北侧

沟谷内, 地处白沙河右岸, 西南距都江堰市约14 km, 距虹口乡约2.5 km, 区内有乡村公路相通, 交通便利。该区属四川盆地中亚热带湿润季风气候区, 四季分明, 冬无严寒, 夏无酷暑, 与同一气候区的其他各地相比, 又表现为温度较低, 日照较少, 阴雨天气频繁。本区地处都江堰市北部中高山区, 海拔高程920~1773 m, 相对高差853 m。山体走向近南北向, 山脊狭窄, 一般地形坡度在 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 以上, 上陡下缓, 沟谷切割较深, 多为“V-U”型谷, 地貌类型为侵蚀构造中高山地貌。周边山峰林立, 岸坡陡峻, 切割浅, 沟道短, 坡降大, 沟源地形多呈漏斗状与山峰陡岩相接, 溯源侵蚀强烈。这种地形有利于松散固体物源、降水、地下水汇集。

研究区所在沟谷走向近南北, 由于“5.12”地震破坏, 沟谷两侧山坡产生大量的崩滑体或堆于山坡或堆于沟底, 造成地貌较大变化。区内出露地层为震旦系苏雄组“彭灌杂岩”(Za)和第四系堆积物, 第四系堆积物主要包括冲洪积物(Q_4^{al+pl})、残坡积物(Q_4^{el+dl})、崩滑堆积物($Q_4^{col+del}$)、泥石流堆积物(Q_4^{sel})。

地质构造既控制地形地貌, 又可控制岩层的岩体结构及其组合特征, 对地质灾害的发育起综合控制影响作用。“5.12”地震发震断裂为虹口映秀断裂和灌县断裂, 地震新产生的地质灾害点主要沿该断裂带分布。区内地质灾害多发育于褶皱密集和断裂

交汇等构造复活部位,具有沿构造线方向密集展布的特点,说明构造对地质灾害的控制作用明显。位于龙门山之中央断裂北川-映秀断裂(虹口映秀断裂)上盘。“5.12”汶川特大地震在此地震烈度达到11度,区内新构造活动强烈。

在地质构造条件和地形地貌条件的共同控制下,岩层产状变化大,岩石较破碎,风化强烈,斜坡岩体的自稳性较差。厚层或块状的硬质岩层在本次地震中容易发生崩塌,如花岗岩、安山岩、石灰岩等。岩石经过了多期构造运动的破坏,岩体中的片理和裂隙较为发育,其均一性和完整性均较差,加之后期遭受强烈风化和剥蚀,岩体强度有所降低,这就导致了岩石的风化、卸荷、崩塌、坠落等地质作用显著,造成滑坡、泥石流等不良物理地质现象较普遍。

发生泥石流灾害的主要条件是由其特定的地质环境条件决定的,对虹口乡泥石流灾害发生、发育起主导作用的是地形地貌、地质构造、地层岩性。陡峻的地形、软硬相间的岩土组合和深大断裂活动带的影响3个因素是地质灾害易发的必备形成条件,大暴雨的激发则是泥石流发生的主要诱发因素。

3 干沟泥石流流域特征

红色村干沟泥石流位于白沙河右岸,沟流域面积约1.12 km²,主沟全长1.972 km,标高1773~920 m。其沟口地理坐标为东经103°38′06.7″,北纬31°06′44.9″。所在沟谷平面形态呈“V-U”字型;沟底标高1640~1150 m,相对高差490 m,沟谷两侧山坡坡度一般30°~40°,沟谷呈整体上陡下缓特征,沟谷总体坡降398.07‰左右(图1、图2)。

3.1 泥石流沟流域分区特征

根据泥石流沟床纵比降、地形地貌及物源分布特征,整个沟域形成区、流通区区分不是太明显;沟口以下堆积区特征比较明显。

3.1.1 形成区特征

形成区(物源区)位于干沟沟谷中上游段,最高海拔1772.6 m,最低海拔1110 m,相对高差约662 m,面积约0.842 km²,占流域面积的75.2%,平均纵坡降530.78‰,沟谷形态呈“V”字型,谷底宽一般6~15 m,谷坡坡度一般35°~45°。由于“5.12”地震作用,造成大部分表层剥落,山坡基岩裸露,多处山坡坡体出现裂缝,坡体明显下搓;稍缓山坡及谷底堆积了大量崩塌堆积物,成分以碎石土为主,碎石含量50%~70%。根调查,沟底“5.12”新近堆积松散物厚度一般3~5 m,最厚可达到15 m。沟谷断面形态变化较大,地形地貌为中山地貌(图3、图4)。

泥石流形成区的冲淤特征表现为以冲为主,具体表现包括不同程度的崩滑堆积物质水土流失、小型的支沟泥石流、局部的浅层残破积溜滑等,由于形成区地形陡峻,径流强烈,这些冲刷形成的松散物质很快汇入沟床,进入流通区便成为泥石流的物源。

3.1.2 流通区特征

干沟泥石流流通区沟道较短,特征不太明显,面积约0.017 km²,流通区沟谷两侧山坡坡度30°~45°,右侧山坡较陡,大部分地段基岩出露,左侧山坡坡度30°~40°,表层残坡积土厚1~2 m,沟床左岸掏蚀,形成陡岸,沟道宽5~8 m,沟深3~5 m。沟道中堆积大量石块,块径一般30~50 cm,大块石块径约3.5 m,属“5.12”地震山坡崩塌石块。但目前流通区发生了较大变化,震后多次泥石流活动基本将流通区沟道填满,沟中堆满了碎块石,沟床坡度基本与原来相同。部分沟段堆积物已明显高出周围两侧地面高程,在暴雨流水冲刷下,易产生漫流、改道,将导致巨大灾害。泥石流流通区的冲淤特征表现为有冲有淤,其冲淤特征与不同沟段坡降及沟谷方向、沟床宽度的变化等有关。调查表明,泥石流流通区一般冲淤变幅在1~2 m(图5、图6)。

3.1.3 堆积区特征

(1) 老泥石流堆积区

根据现场调查,结合井探、探槽对底层的揭露,沟口以下至下游白沙河之间为老泥石流堆积区,村路以下至白沙河段为泥石流堆积影响区,地貌为河流阶地,地层为冲洪积卵砾石土层,面积约0.261 km²。堆积区的冲淤特征表现为以淤积为主,局部冲刷。泥石流冲出山口后,因地形突然变得开阔和沟谷纵坡变缓,泥石流物质便停积下来形成泥石流堆积扇,同时,在沿沟段局部地段也有一定的冲刷痕迹。

(2) “8.13”泥石流新近堆积特征

根据调查,“8.13”泥石流新近堆积区平面形态沿原有沟道呈长条形展布,比较完整,堆积前缘至下游白沙河一带,长约692 m,纵坡降192‰~209‰,前后缘相对高度约140 m,面积约0.0186 km²(图7、图8)。

3.2 泥石流运动与堆积特征

(1) 泥石流运动输移能力强

根据调查访问,本次“8.13”干沟泥石流堆积物以块石、碎石土为主,夹杂少量树木,其搬运输移能力也十分巨大,在流域的面积较小、沟谷长度较短的条件下,仍然具有巨大的输移能力,所搬运的直径1 m以上粗大石块随处可见,一次搬运泥砂、石块可

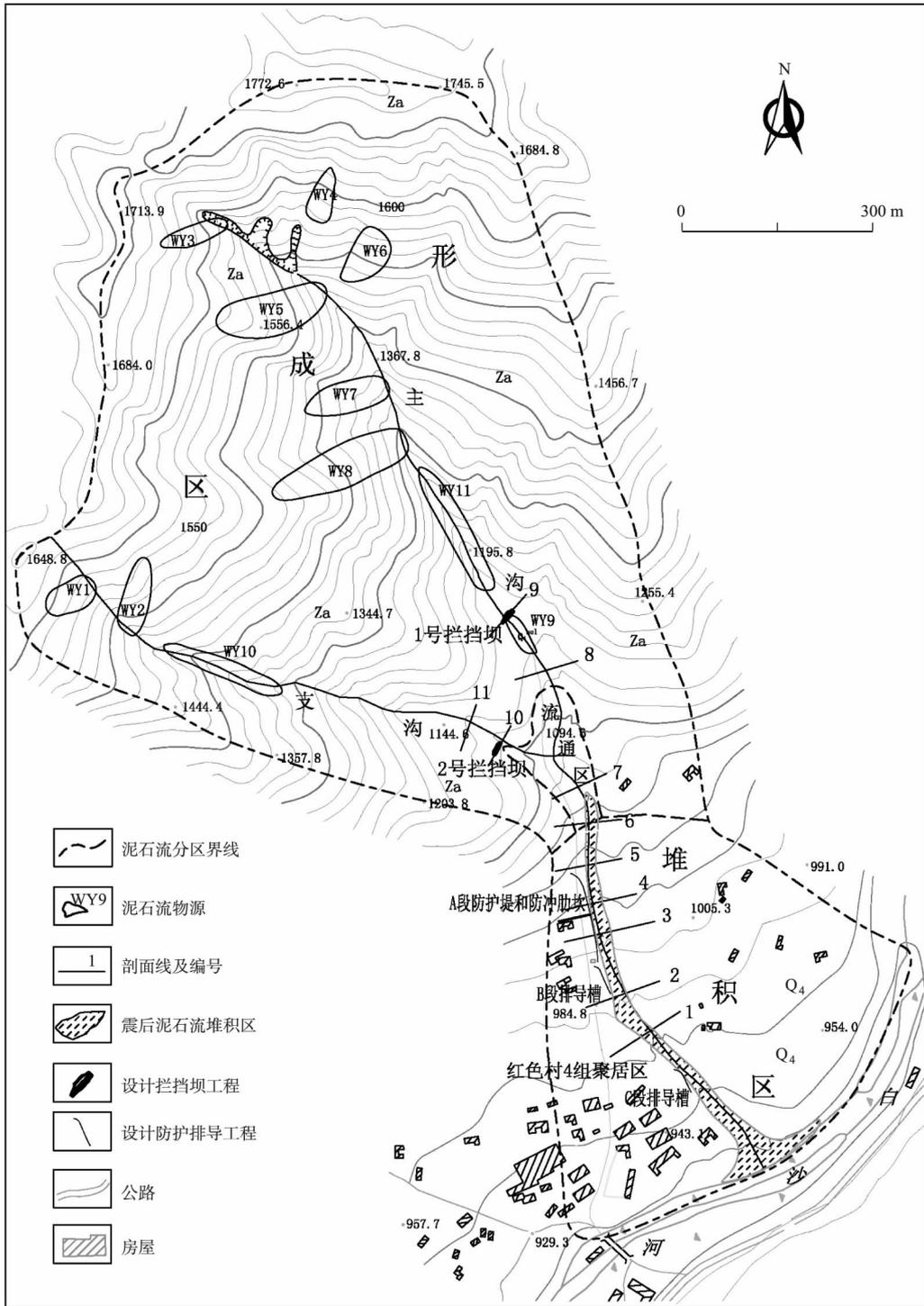


图 1 干沟泥石流流域图

Fig. 1 Basin of the Gangou debris flow

上万立方米以上。这次泥石流运动输移特征与源地丰富松散物质供给、较陡沟床比降有密切关系。泥石流这种惊人的搬运输移能力及冲淤幅度,一般洪水过程需几年,甚至几十年才能完成,因此泥石流过程是山区塑造地貌最强的外营力之一。

(2) 泥石流侵蚀能力强度大

干沟泥石流运动中表现出了强大的侵蚀能力,流体携带的巨大石块强烈冲蚀、铲刮沟岸和沟床,使沟道普遍加宽,沟床下切深度加大。此外,泥石流过程也产生了溯源侵蚀,泥石流的下切侵蚀迅速加深沟谷后,沟谷源头因重力侵蚀作用加强而不断向上游方向后退,使沟谷长度不断增加,形成溯源侵蚀。

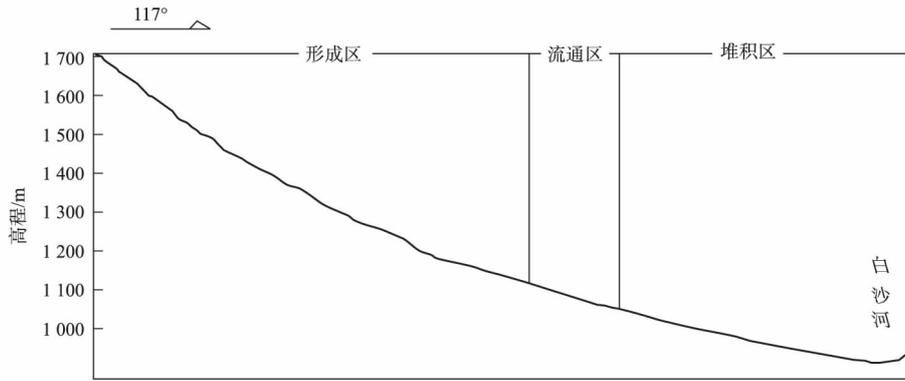


图 2 干沟泥石流主沟纵坡降分区图

Fig. 2 Longitudinal slope gradient of the main gully



图 3 形成区 V 型沟道

Fig. 3 V-shaped gully in the formation zone



图 5 流通区沟道特征

Fig. 5 Gully features in the flow zone



图 4 山坡表层剥落形成大量松散物源

Fig. 4 Surface flaking forming loose material



图 6 泥石流流通区沟道淤积

Fig. 6 Deposits in the flow zone

(3) 不同沟段泥石流冲淤特征明显

形成区的冲淤特征表现为以冲为主,具体表现包括不同程度的崩滑堆积物质水土流失、小型支沟泥石流、局部的浅层残坡积溜滑等。流通区冲淤特征表现为有冲有淤,“5.12”震后多次泥石流活动基本将沟道填满,沟中堆满了碎块石,部分沟段堆积物

已明显高出周围两侧地面,一般冲淤变幅在 1~2 m 左右,在暴雨流水冲刷下,易产生漫流、改道,将导致巨大灾害。堆积区的冲淤特征表现为以淤积为主,局部冲刷。泥石流冲出山口后,因地形突然变得开阔和沟谷纵坡变缓,泥石流物质便停积下来形成泥



图 7 “8.13”泥石流堆积范围
Fig. 7 Accumulation scope



图 8 “8.13”泥石流堆积特征
Fig. 8 Accumulation features

泥石流堆积扇,同时在沿沟段局部较陡地段也有一定的冲刷痕迹,具体表现为先冲后淤。

(4) 堆积区易产生漫流,地形变化显著

震后多次泥石流堆积物质几乎将沟谷淤积满,大大改变了原有沟道地形。由于堆积区内原本无明显、良好的排泄沟道,2010年8月13日和18日泥石流受阻后以漫流形式向下游排泄,直冲下游4社居民重建区新建房屋,泥石流固体物质最终在距离白沙河上方范围的区域停淤,形成一宽10 m、长130 m的扇形堆积区,堆积厚度0.5~2 m。

4 干沟泥石流特征值计算

4.1 泥石流性质

现场调查发现,泥石流堆积物从细微颗粒到大型漂砾均有分布,由固相物质组成可以判定干沟泥石流为泥石质泥石流。暴雨既是泥石流形成的水源条件又是动力条件,从水源条件分析为暴雨型。泥石流流路集中,不易分散,停积时堆积物无分选性,并保持其流动时的整体结构特征,沟槽弯道处堵塞

严重,泥石流稠度高,冲击力强,具有直进性特征,从流体性质分析可判定干沟泥石流为稀性泥石流。

4.2 泥石流特征值

(1) 泥石流流速计算

形态调查法(据弯道超高值求):

由于泥石流流速快,惯性大,在弯道凹岸处会产生明显超高现象,依据实测泥石流沟道泥痕得出泥面的弯道超高值,进而根据弯道超高与流速的关系式来推算泥石流流速。干沟于2010年8月13、18日发生的泥石流在弯道上留下明显的泥痕,而且当地的居民对泥石流沟床和泥石流的泥深记忆犹新。通过访问并测量该泥石流沟的相关参数,获得的第一手试验资料,可为泥石流的流速计算提供依据(图9)。

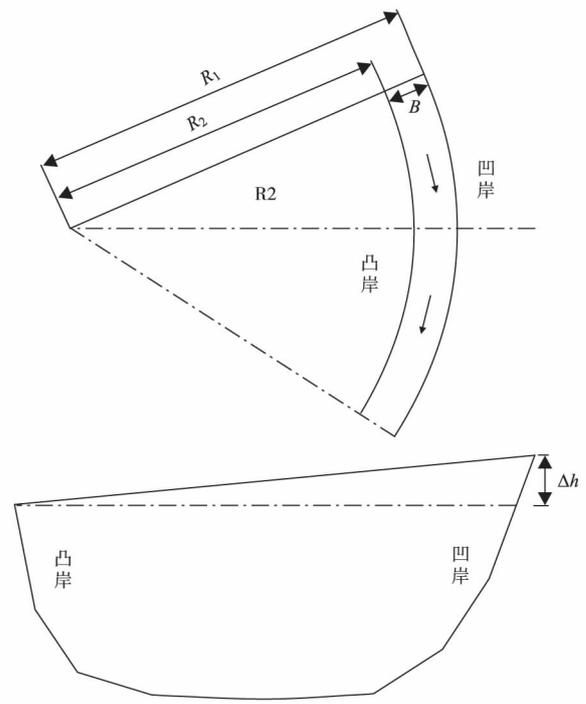


图 9 弯道超高平面图和剖面图
Fig. 9 Plane and profile of debris rising higher at curves

根据弯道超高计算稀性泥石流流速公式:

$$V_c = [Rg(\Delta h/B - \tan\varphi)]^{1/2} \quad (1)$$

式中, V_c 为泥石流流速(m/s); R 为沟道中心曲率半径(m), $R=(R_1+R_2)/2$; R_2 为凸岸曲率半径(m),68.2 m; R_1 为凹岸曲率半径(m),76.7 m; Δh 为弯道超高值(m),取0.75 m; B 为泥面宽度(m), $B=R_1-R_2$,8.5 m; $\tan\varphi$ 为内摩擦系数,取经验值0.07。

经计算,红色村干沟泥石流沟2010年8月泥石流流速为3.50 m/s。

按雨洪法公式求泥石流流速 V_c :

$$V_c = 1/\alpha \cdot 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I_c^{0.5} \quad (2)$$

式中, $1/\alpha = 1/(\gamma_H \cdot \Phi + 1)^{0.5}$ 为泥石流中含沙量变化引起的流速修正系数; R 为水力半径(m), 2.1 m; I_c 为泥流水力坡度, 0.235; $1/n$ 为清水河床糙率系数, n 取 0.08。

经计算, 泥石流流速为 3.46 m/s, 结果与弯道超高值算法较为接近, 亦与野外观测的泥石流弯道运动的特征相符。

(2) 泥石流流量计算

对已发生的泥石流流量可采用形态调查法进行计算, 根据调查得到的泥石流泥位及据此求得的泥石流流速, 再乘上调查求得的过流断面求取泥石流流量。因此, 本次泥石流流量计算主要采取形态调查法。据野外实测资料, 选取沟道断面位于泥石流流通区下游沟口处, 沟道左右两侧分别残留有 2010 年“8.13”泥石流遗留固体物质, 周围长满树木及杂草, 沟床堆积物为块石、漂石, 沟床纵坡比降为 235‰, 泥位高度 2.1 m, 泥面宽度为 11.5 m, 断面面积 24.15 m²。

形态调查法计算公式为:

$$Q_c = W_c V_c \quad (3)$$

式中, Q_c 为泥石流断面峰值流量(m³/s); W_c 为泥石流过流断面面积(m²); V_c 为泥石流断面平均流速(m/s)。

经计算, 红色村干沟泥石流沟 2010 年 8 月泥石流流量为 84.53 m³/s(表 1)。

表 1 泥石流断面处流量计算表

Table 1 Calculations of flow amount at cross section

序号	泥位高度 /m	泥面宽度 /m	断面面积 /m ²	流速 /m·s ⁻¹	流量 /m ³ ·s ⁻¹
断面 1	2.1	11.5	24.15	3.50	84.53

5 干沟“8.13”泥石流成因分析

地震后的强降雨过程是诱发“8.13”泥石流的动力因素, 泥石流暴发是大量前期累积雨量和当次激发雨强共同作用下的结果。干沟泥石流为沟谷型, 汇水面积广, 沟床纵坡降一般较大, 暴雨时容易在短时间内汇流形成洪水, 为泥石流的形成提供水力条件。泥石流流域提供大量松散固体物质来源仍然十分丰富, 直接补给参与泥石流过程。通过对泥石流特点分析, 干沟“8.13”泥石流成因主要有:

(1) “8.13”泥石流灾区地处高山峡谷地貌单元, 为泥石流暴发和快速运动提供了基本地形条件。

(2) “8.13”泥石流灾区位于龙门山构造带, 地质构造复杂, 岩体破碎, “5.12”汶川地震使山体大范围震裂松动, 并触发了大量的崩塌、滑坡堆积于沟谷和坡麓, 为泥石流的暴发提供了物源条件, 是暴发泥石流灾害的主要原因。

(3) 局地短时强降雨是灾区产生“8.13”泥石流灾害的主要诱发因素。

(4) 泥石流流域的面积相对较小, 沟谷长度较短, 沟床纵坡较陡, 为泥石流携带大粒径块石远距离运动提供必要条件。

(5) 震区泥石流起动方式主要有二种, 一是由于暴雨过程形成的斜坡表层径流导致悬挂于斜坡上的滑坡体表面和前缘松散物质向下输移, 进入沟道后转为泥石流过程; 二是强降雨使沟道水流快速集中, 并强烈冲刷沟床中松散固体物质, 导致沟床物质起动并形成泥石流过程。

(6) 调查和分析发现干沟泥石流沟内堆积的滑坡坝对泥石流的阻塞明显, 溃决后可导致瞬时洪峰流量特别大。干沟流域内地形崎岖, 高差很大, 峡谷深切, 一般山坡坡度在 30°以上, 最大在 50°以上, 沟域范围内主要出露基岩地层为震旦系下统火山岩组, 岩性主要为花岗岩, 内部节理发育, 地震诱发滑坡, 产生大量松散固体堆积物, 在该段泥石流局部堵塞主沟, 形成了高 3~4 m 左右的滑坡坝。在强降雨诱发条件下, 洪水快速汇集, 主沟流量迅速增大, 再加上滑坡坝处沟道很窄, 形成强劲的溃决泥石流, 进而冲刷沿程沟道的松散固体物质, 逐渐演变为容重为 1.60 t/m³的稀性泥石流。

6 结语

通过对“8.13”干沟泥石流基本特征及成因分析, 针对震后泥石流先洪水后泥石流以及规模大、频度高等特点, 应调整和优化泥石流治理工程措施, 如为防止拉槽深切侵蚀, 坝内应适当回填, 坝后应作副坝和护坦, 泥石流过流沟道内应尽量采用钢筋石笼护底、护坡, 或设置防冲肋坎。应充分分析和总结“8.13”泥石流灾害的经验和教训, 建议当地政府进一步做好监测预警和群测群防, 进一步加强汶川地震区地质灾害防治工作。

参考文献

- [1] 郝文辉, 贡长青, 马爱民, 等. 都江堰市虹口乡红色村干沟泥石流应急勘查报告[R]. 河北省地矿局秦皇岛资源环境勘查院, 2010. 4.

- [2] 郝文辉,张艳春,等.都江堰市虹口乡红色村干沟泥石流治理工程复查复核报告[R].河北省地矿局秦皇岛资源环境勘察院,2010.11.
- [3] 唐邦兴.中国泥石流灾害[M].北京:商务印书馆,2002:72-95.
- [4] 苟正彬,汪雄武,等.四川省丹巴县磨子沟泥石流隐患与防治建议[J].四川有色金属,2010,(1):47-50.
- [5] 宋志,李宗亮,等.泸定县五里村泥石流危害特征分析及防治建议[J].地质灾害与环境保护,2010,21(2):11-14.
- [6] 丁明涛,陈宁生,等.弯道超高法在泥石流流速计算中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(3):147-149.

CHARACTERISTICS AND CAUSES OF THE AUGUST 13-TH GANGOU DEBRIS FLOW IN DUJIANGYAN

HAO Wen-hui, YANG Yan-xiong, MENG Fan-jie, GONG Chang-qing
(Qinhuangdao Hydrologic Engineering Geological Brigade, Hebei Provincial Bureau of
Geology and Mineral Resources, Qinhuangdao 066001, China)

Abstract: Field surveys were done on the distribution and characteristics of the Gangou debris flow. Terrain and source conditions in the formation zone are analyzed as well as the characteristics of and the flow zone and the alluvial fan. Its start and movement are also discussed, with eigenvalues calculated.

Key words: Gangou debris flow; features; causes

作者简介: 郝文辉(1980—),男,河北阳原人,本科毕业于石家庄经济学院勘查技术与工程专业,工程硕士,工程师,现主要从事地质灾害评估、勘查、设计及矿山地质环境保护与评价等方面工作。