

严炎, 葛永刚, 张建强, 等. 四川省汶川县簇头沟“7.10”泥石流灾害成因与特征分析[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 229–234. [Yan Yan, Ge Yonggang, Zhang Jianqiang, et al. Research on the Debris Flow Hazards in Cutou Gully, Wenchuan County on July 10, 2013[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(3): 229–234.]

四川省汶川县簇头沟“7.10”泥石流灾害成因与特征分析^{*}

严炎^{1,2}, 葛永刚¹, 张建强¹, 曾超^{1,2}

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室/中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 簇头沟是岷江右岸一条低频泥石流沟, 受2013年7月极端暴雨的影响, 暴发特大泥石流。结果显示, 汶川地震造成流域内的坡面和沟道堆积的大量的松散物质是泥石流形成的物源, 流域上游暴雨及其形成的山洪是此次泥石流形成的激发因子。“7.10”泥石流为过渡性泥石流, 泥石流容重约为 $1.8 \sim 1.9 \text{ t/m}^3$, 沟口处最大流速为 9.2 m/s , 峰值流量为 $515 \text{ m}^3/\text{s}$, 冲击力达到 $3\,657 \text{ t}$, 输沙总量约为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。泥石流过程表现为暴雨(山洪)一滑坡(坡面泥石流)一泥石流一堰塞湖一溃决洪水。对震后低频泥石流危险性认识不足、防治工程设计标准偏低是此次灾害造成重大损失的主要原因。在未来灾害防治工程设计中, 应合理估计灾害规模和潜在风险。

关键词: 低频泥石流; 成因; 特征; 堰塞湖; 簇头沟; 四川汶川

中图分类号: TU457; X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2014)03–0229–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.03.042

自2008年汶川8.0级地震以来, 都江堰–汶川公路(以下简称都汶公路)沿线多次暴发泥石流, 给沿线人民生活生产造成了巨大威胁^[1–4], 如2010年8月14日, 红椿沟泥石流堵断岷江, 形成堰塞湖, 迫使岷江洪水冲向映秀镇, 导致灾后重建的城镇被淹, 洪水泛滥造成13人死亡、59人失踪, 受灾群众8 000余人被迫避险转移^[5]; 2011年7月3日高家沟泥石流堆积扇挤压河道, 导致岷江冲毁对面路基, 中断交通十余天^[6]。

汶川地震也造成一些非泥石流沟转化成泥石流沟, 如临近绵虎镇的簇头沟等。2013年7月以来, 汶川县境内持续强降雨, 导致岷江沿岸数十条沟暴发泥石流灾害。其中簇头沟泥石流持续约3 h, 泥石流完全冲毁沟道内断面面积约 25 m^2 , 长约500 m的排导槽, 造成沟道两侧的羌锋村39户农房严重损毁, 3人死亡、1人重伤、1人失踪。泥石流还造成都汶高速公路绵虎段损坏5处, 近100 m长的公路路面被泥石流堆积物淤埋, 一度中断交通。下游泥石流堆积物几乎阻断岷江, 形成长约400 m的堰塞湖, 导致水位升高约6 m, 淹没上游部分耕地与基础设施, 河床抬升的同时对都汶公路跨江大桥构成威胁。

本文基于野外调查, 重点分析“7.10”簇头沟泥石流成因与成灾特征, 为此类低频泥石流灾害的预防提供借鉴。

1 研究区概况

簇头沟位于岷江右岸, 距绵虎镇2 km(图1), 流域面积 21.8 km^2 , 主沟纵长约7.8 km, 流域最高点海拔4 074 m, 沟口海拔1 180 m, 相对高差2 894 m, 流域平均比降约420‰, 主沟比降约为260‰。流域地形总体上属深切切割中高山地形, 岸坡陡峻。出露地层主要为前震旦系黄水河群、下元古–太古界康定群、中元古代晋宁期, 岩性主要以花岗岩、砂泥岩、斜长角闪岩为主。簇头沟自1935年以来未曾发生过泥石流, 沟口修建有羌锋村, 流域内修建有排导槽一座。

据对簇头沟泥石流灾害的访问调查, 该沟是一条老泥石流沟, 1930年初期曾发生过一次规模较小的泥石流过程, 未造成灾害。汶川地震后, 簇头沟沟道两侧斜坡变形破坏严重, 沟内物源增

^{*} 收稿日期: 2013–11–25

修回日期: 2014–01–09

基金项目: 国家科技支撑项目(2012BAK10B04); 中国科学院重点部署项目(KZZD–EW–05–01)

作者简介: 严炎(1989–), 男, 汉族, 四川攀枝花人, 硕士研究生, 主要研究方向为泥石流监测预警。

E-mail: yanyanyale@foxmail.com

加,原沟道堵塞严重,极易发生规模较大的泥石流。

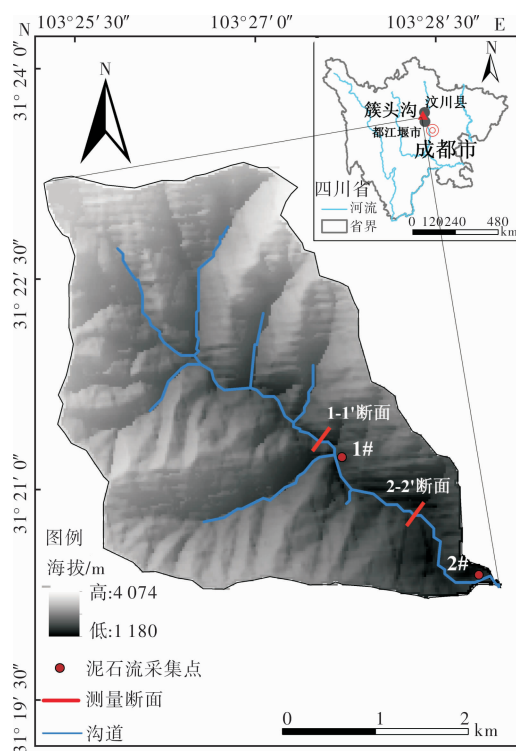


图1 簇头沟流域地形与测量断面

2 簇头沟“7.10”泥石流成因与物理特征

2.1 泥石流形成原因

2.1.1 降雨条件

由于本次强降雨过程中,绵虎雨量站的降雨数据部分缺失,因此采用距离簇头沟10 km的桃关雨量站的数据资料来说明簇头沟的降雨过程(图2)。本次降雨从2013年7月8日开始,主要集中在7月9-10日。根据野外调查访问,簇头沟泥石流暴发于7月10日早上05:00左右,降雨开始到泥石流暴发之前的累积降雨为148.1 mm,激发雨强为18.6 mm/h。

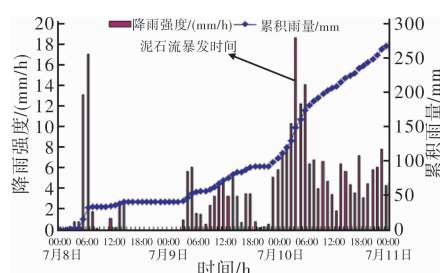


图2 桃关雨量站降雨过程示意图

值得注意的是,由于地形较为复杂,山区降雨存在着很大的不均匀性,且与局部气候差异有关,如本次7月10日降雨过程中,汶川县城雨量

站的峰值雨强为1.1 mm/h,草坡雨量站的峰值雨强为4.7 mm/h,桃关雨量站的峰值雨强为18.6 mm/h,而作者在映秀附近洱沟内安装的雨量站显示的峰值雨强为23.8 mm/h。由此可见,本次都汶公路沿岸的降雨峰值雨强从南到北依次减小,因此,可推测簇头沟沟口峰值雨强小于18.6 mm/h。同时,作者安装在洱沟上游的雨量站,能客观说明泥石流沟物源区的雨量,而桃关站等雨量站安装在河谷地带,仅能说明泥石流沟口及堆积区的雨量,对上游雨量缺乏客观的记录,因此仅能作为参考。

2.1.2 松散固体物质供给

簇头沟流域地处汶川8.0级地震极震区,流域内崩塌、滑坡、滚石及不稳定边坡广布,沟谷和山坡上形成大量的固体松散物质,为泥石流的发育提供了丰富的物质基础。簇头沟内崩塌、滑坡体面积约为5.76 km²,坡降大于16°所占面积约为19.38 km²,松散物方量约为1108 × 10⁴ m³,泥石流总量约为40 × 10⁴ m³[7],物源区70%以上的沟道都堆积了大量松散堆积物,这些大量的松散固体物质是泥石流的重要补给来源。

2.2 泥石流物理性质

2.2.1 泥石流容重

泥石流在堆积扇上形成了大量的泥石流堆积物,表层颗粒有一定的分选,混杂堆积状不明显。本次野外调查在簇头沟流域内采集泥石流样品2个(图1),采样地点1在泥石流流通区,沟道顺直,泥石流整体呈冲刷特征,两岸有堆积的泥石流体;采样地点2位于泥石流堆积扇,因此样品1和2分别可以代表泥石流流通和堆积过程的颗粒情况。泥石流颗粒分布曲线见图3,根据对泥石流的现场调查和采集样品的分析,本次泥石流的容重约为1.8~1.9 t/m³,为过渡性泥石流。

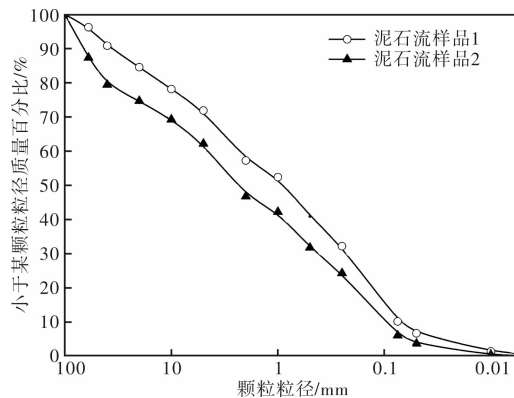


图3 颗粒分布曲线

2.2.2 泥石流流速和流量

泥石流流速是决定泥石流动力特征和防治设计中最重要的参数之一。在簇头沟内选取2个断面

(图1),分别测量断面几何参数,应用形态调查法计算泥石流流速^[8]、流量^[9],计算公式见式(1)和式(2),计算结果见表1。

表1 各洪峰断面参数值

断面 编号	纵坡 I/%	最大泥深 H/m	面积 W_c / m^2	流速 V_c / (m/s)	流量 Q_c / (m^3/s)
1	14.0	2.5	75.0	8.6	645.0
2	11.0	3.5	56.0	9.2	515.2

$$V_c = \frac{1}{n_c} H^{2/3} I^{1/2}, \quad (1)$$

$$Q_c = W_c V_c. \quad (2)$$

式中: V_c 为泥石流过流断面平均流速(m/s); n_c 为泥石流沟床糙率; H 为泥石流泥位(m); I 为泥石流断面沟床坡降; W_c 为泥石流过流断面面积(m^2); Q_c 为泥石流流量(m^3/s)。

1号断面位于泥石流流通区,沟道顺直,为峡谷地形,沟谷两侧岸坡陡峭,沟床纵坡大,泥石流流速较大,1号断面计算得泥石流峰值流量为645.0 m^3/s ;而2号断面区域地势较为平缓开阔,峰值流量为515.2 m^3/s 。

2.2.3 泥石流冲击力

泥石流的冲击力,特别是泥石流中巨石的冲击力是造成建筑物毁坏的主要原因。本次泥石流搬运能力极强,堆积区内粒径超过1 m的巨石随处可见,其中最大石块长4.4 m,宽3.5 m,高2 m,如图4所示。应用式(3)计算泥石流的冲击力^[10]达3 657 t,可见其破坏力的巨大。这是簇头沟内工程措施损坏的一个重要原因。

$$F = \rho_d C_1 V_d A_d, \quad (3)$$

式中: C_1 为纵波波速; A_d 为石块与被撞物体的接触面积(m^2),接触面积按堆积扇上最大石块的中、短径所在平面面积的10%计算; F 为石块冲击力(N); V_d 为石块运动速度(m/s), d_{\max} 为石块的最大粒径; ρ_d 为石块密度(kg/m^3)。



图4 泥石流搬运的最大石块

2.3 泥石流堆积物质总量

根据沟道宽度和泥石流堆积厚度,堆积区从上

到下可以分为A、B、C、D四段(图5)。A段沟道顺直,沟道平均宽度50 m,沟道长度约1 000 m,堆积物平均厚度2~3 m;B段河道较宽,沟道平均宽度约为80 m,长度约为800 m,堆积物厚度约为2~3 m;C段沟道较窄,为主要建筑物掩埋区,沟道宽度约为50 m,长度约为800 m,堆积厚度2~3 m;簇头沟主沟内泥石流堆积物平均厚度约为2~3 m,堆积面积约 $15 \times 10^4 m^2$,得出簇头沟泥石流主沟淤积量约为 $30 \times 10^4 m^3$ 。D段为泥石流形成的堆积扇,堆积扇上缘宽约45 m,下缘宽210 m,长度约为150 m,淤积厚度约为8~10 m,得出沟口堆积量约为 $20 \times 10^4 m^3$,本次泥石流的堆积总量约为 $50 \times 10^4 m^3$,但由于泥石流直接汇入主河,大量冲出物质被河水带走,因此,本次泥石流的总量超过 $50 \times 10^4 m^3$,仅占簇头沟沟内松散物质堆积体总量的4.5%,现在簇头沟沟道内仍然有大量的可以形成泥石流的堆积体。



图5 泥石流堆积区示意图

3 泥石流成灾特点

3.1 泥石流形成特点

簇头沟泥石流具有明显的链生过程与效应,链生过程为暴雨(山洪)–滑坡–泥石流–堰塞湖–溃决洪水。强降雨产生超渗产流,由于水力作用,松散堆积坡体表面形成冲沟,随着水流作用增强,冲沟展宽,造成两侧土体垮塌和沟底进一步侵蚀,侵蚀搬运松散土体。坡面沟道的形成不仅加快洪峰的到达,同时冲出的固体物质淤高河

床,抬升主沟洪水水位。随着暴雨和山洪的持续进行,沟道两侧的滑坡松散堆积物前缘在径流的强烈冲刷侵蚀下失稳,形成泥石流。山洪或泥石流快速向下输移的同时,起动沟床物质,进一步扩大泥石流规模。泥石流堆积扇挤压岷江河道,形成堰塞湖,造成主河水位升高。

3.2 冲刷破坏

快速运动的泥石流,尤其是其中的巨石具有很大的动能,能冲毁桥梁、堤坝、房屋等设施,本次簇头沟泥石流搬运的最大石块长、宽、高分别为 $4.4\text{ m} \times 3.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$,具有强烈的冲击力。泥石流强烈下切和横向侵蚀主沟两侧的残坡积物、阶地,在得到沿途固体物质的补给的同时也严重威胁和破坏沟道两侧民房与设施,造成排导槽侧墙垮塌、排导槽槽底磨蚀破坏与揭底破坏(图6),进而造成工程两侧或沟道两侧的39户农房被泥石流冲击损坏。



图6 泥石流冲毁排导槽

3.3 淤埋破坏

淤埋破坏是泥石流主要的破坏形式,多发生于泥石流沟口或地形宽缓区。都汶高速公路横穿簇头沟下游堆积区,由于桥涵设计净空不足,阻碍泥石流的流通,泥石流运动的直进性导致其遇阻爬高,淤埋高速公路路面100 m。泥石流向下游运动时,淤塞沟口高速公路桥涵(图7),造成下游河床抬升,威胁都汶公路跨江大桥。



图7 泥石流淤塞都汶高速公路大桥

3.4 对耕地的破坏

在本次灾害中,羌锋村总计 25 hm^2 耕地损毁,如图8所示。其中 6 hm^2 耕地受到泥石流冲刷掏蚀,部分丧失耕作价值; 19 hm^2 耕地被泥石流淤埋,造成农作物绝收。耕地的破坏方式主要表现为:在簇头沟上游流通区,泥石流冲刷、掏蚀沟道两侧耕地台地,造成耕地垮塌;在簇头沟下游



(a) 泥石流冲刷掏蚀耕地



(b) 泥石流淤埋耕地

图8 泥石流毁坏耕地

堆积区,由于地形较平缓,泥石流流速降低,大量泥石流汇淤积,淤埋河谷耕地。

3.5 对居民点的破坏

冲击和淤埋是此次泥石流对建筑物的主要破坏方式,本次泥石流共造成羌锋村39户农房严重损毁,其中以冲击作用为主致结构破坏的房屋共33户,另有6户被泥石流携带的泥沙部分淤积。当冲击能量高于建筑物抵抗能力时,泥石流将摧毁建筑物,同时将部分动能转化为建筑物形变产生的能量;当泥石流动能不足以破坏建筑物主体结构时,泥石流物质会进入室内导致淤埋破坏,即物质积聚的过程;在此次泥石流,上述两种情况都有发生,且受冲击作用为主的建筑物破坏程

度较淤积作用更为严重(图9)。



图9 泥石流冲毁房屋

3.6 对河道的影响

簇头沟泥石流活动对河道的影响主要表现为泥石流冲入主河, 堵塞、阻断岷江, 形成堰塞湖。泥石流在堆积区流速变缓、输沙能力降低, 大量淤积, 形成最大宽度 210 m, 长 150 m, 厚度 8 ~ 10 m 的堆积扇。堆积扇强烈顶托岷江水流向对岸偏移, 形成回水长约 400 m 的堰塞湖。原本 130 m 宽的河道被泥石流堆积扇挤压 60 m, 河水水位抬高 6 m。

4 泥石流成灾原因

4.1 泥石流防治工程标准偏低

本次泥石流灾害发生之前, 簇头沟流域内仅修建有一座用于疏通小规模山洪灾害, 保护村庄和农田的排导槽, 宽 7 m、高 3.5 m。汶川地震以后, 主沟上游沟道内产生丰富的松散物质堆积, 但却未采取相应的稳坡固土措施, 采取工程措施以有效调控、拦防泥石流。主沟下游都汶高速公路桥涵设计宽度为 20 m, 深 5 m, 可过流量为 400 m³/s, 而根据现场实测数据, 泥石流实际流量约为 500 m³/s, 表明桥涵净空设计不足^[11], 不能满足泥石流正常流通, 导致泥石流冲高淤埋路面, 堵塞桥涵, 造成巨大损失。

4.2 风险估计不足

对泥石流发生位置、规模、危险程度认识不足, 是导致建在沟口泥石流危险区的羌锋村造成重大损失的重要原因。强降雨作用下, 泥石流流量、规模大幅度增加, 危害程度和范围明显增大(图10)。原本修建在沟口两侧的居民设施挡住了泥石流的流路, 导致 30 余户民房被淤埋和损毁, 泥石流对穿越泥石流堆积区的都汶高速公路和国道 G213 线也造成了很大危害。由于簇头沟本身是一条低频泥石流沟, 且泥石流暴发前后, 沟内居民区降雨量偏小, 因此居民的防灾意识不足, 采取的防灾措施不充分, 加重了灾害损失。

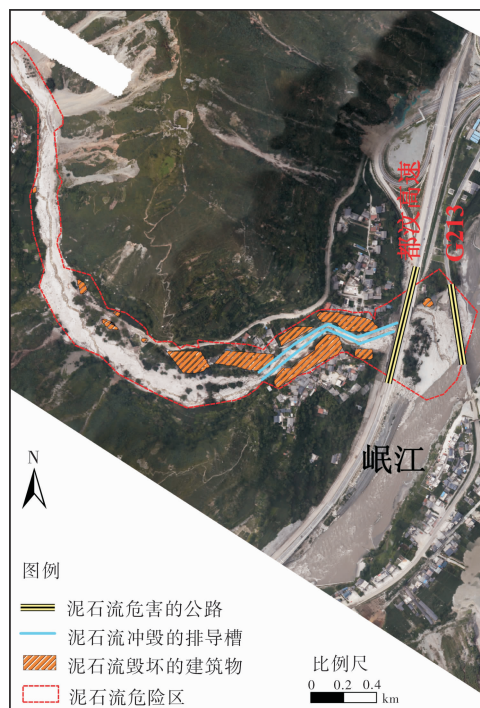


图10 簇头沟泥石流危险区示意图

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 汶川地震后, 簇头沟沟道两侧斜坡变形破坏严重, 沟谷和山坡上形成大量的固体松散物质, 为泥石流的发育提供了丰富的物质基础, 在持续的较大降雨条件下, 松散物质可以源源不断地被洪水起动形成规模巨大的泥石流。

(2) 簇头沟泥石流为过渡性泥石流, 泥石流容重约为 1.8 ~ 1.9 g/cm³, 沟口处最大流速为 9.2 m/s, 峰值流量为 515 m³/s, 冲击力达到 3 657 t, 泥石流的总量超过 50 × 10⁴ m³。

(3) “7.10”簇头泥石流冲出物质总量仅占簇头沟沟内松散物质堆积体总量的 4.5%, 泥石流暴发后簇头沟沟道内仍然有大量的可以形成泥石流的堆积体。簇头沟在较大降雨下仍然可能暴发泥石流灾害, 因此有必要对簇头沟泥石流进行治理。

5.2 讨论

(1) 依据此类低频泥石流活动特点进行泥石流防治工程的设计, 适当提高设防标准。针对簇头沟流域内地形陡峻、沟内松散物质堆积量大等特点, 实施以排为主, 稳、拦结合的防治措施。应认真复核泥石流的参数, 特别是泥石流容重、流速、流量等与工程设计密切相关的参数^[12], 保证设计流量及冲出量计算的合理性。

(2) 加强对都汶公路沿线地质灾害隐患点的详细排查工作, 进一步研究泥石流的发育特征、形

成条件和演化规律,在泥石流危险性评价和危险范围预测时,应考虑此类低频泥石流的新特点。

(3) 根据本次泥石流灾害的经验和教训,应加强重点沟谷的监测预警设施,强化簇头沟沟口居民的减灾意识与基本技能培训,完善泥石流监测预警体系和预案,提高防灾能力,减少损失。

参考文献:

- [1] Cui P, X Chen, Y Zhu, et al. The Wenchuan Earthquake (May 12 2008), Sichuan Province, China, and Resulting Geohazards [J]. *Nat Hazards*, 2009, 56(1): 19–36.
- [2] 崔鹏, 韦方强, 何思明, 等. 5.12 汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. *山地学报*, 2008, 26(3): 280–282.
- [3] 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] 崔鹏, 韩永顺, 陈晓清. 汶川地震堰塞湖分布规律与风险评估[J]. *四川大学学报: 工程科学版*, 2009, 41(3): 35–42.
- [5] 唐川, 李为乐, 丁军, 等. 汶川震区映秀镇“8.14”特大石流灾害调查[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2011, 36(1): 172–180.
- [6] 郭晓军, 向灵芝, 周小军, 等. 高家沟泥石流和深溪沟泥石流灾害特征[J]. *灾害学*, 2012, 27(3): 81–85.
- [7] 庄建琦, 崔鹏, 葛永刚, 等. “5·12”地震后都汶公路沿线泥石流沟危险性评价[J]. *四川大学学报*, 2009, 41(3): 131–139.
- [8] 国土资源部. DZ/T0220–2006 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [9] 费祥俊, 舒安平. 泥石流运动机理与灾害防治[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 114–116.
- [10] 章书成, Oldrich Hungr, Olav Slaymaker. 泥石流中巨石冲击力计算[M]. 泥石流观测与研究. 北京: 科学出版社, 1996: 67–72.
- [11] 胡凯衡, 崔鹏, 游勇, 等. 汶川灾区泥石流峰值流量的非线性雨洪修正法[J]. *四川大学学报*, 2010, 42(5): 5257–5257.
- [12] 马超, 胡凯衡, 赵晋恒, 等. 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[J]. *灾害学*, 2013, 28(4): 89–94.

Research on the Debris Flow Hazards in Cutou Gully, Wenchuan County on July 10, 2013

Yan Yan^{1,2}, Ge Yonggang¹, Zhang Jianqiang¹ and Zen Chao^{1,2}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Progress, Chinese Academy of Sciences/ Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The catastrophic debris flow in Cutou gully resulted from extreme rainstorms, which is a low frequency debris flow gully on the right of Mingjiang river. The incompact substance in the gully is the main reason of the catastrophic debris flow; however, the rainfall and mountain torrent are the inducing factors. Debris flows are featured with sub-viscous debris flows, the density of $1.8 \sim 1.9 \text{ t/m}^3$, the maximum velocity of 9.2 m/s , the peak discharge of $515 \text{ m}^3/\text{s}$, the impact force of $3\ 657 \text{ t}$ and the volume of $50 \times 10^4 \text{ m}^3$. Debris flow induced disaster chains, including the process of rainstorm-landslide-debris flow-dammed lake-outburst flood. The shortage of dangerous low frequency debris flow gullies assesment and the destruction of debris flow control constructions led to huge property losses. It is strongly suggested for mitigation that estimated the scale of hazards resonably, strengthened assesment of the dangerous debris flow gullies.

Key words: low frequency debris flow; causes; characteristics; dammed-lakes; Cutou Gully; Wenchuan in Sichuan

《灾害学》杂志 2015 年起改为邮局发行的启事

作为北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览 2011 版》收录、中国科学引文数据库(CSCD)来源源刊及 RCCSE 中国权威学术刊的《灾害学》杂志是把灾害问题作为一门科学在我国最早(1986 年)创办的科技期刊。《灾害学》杂志旨在对各种灾害(自然灾害和人为灾害)进行综合系统地探讨研究;通过对各种灾害事件的分析讨论,总结经验,吸取教训;广泛交流灾害科学的学术思想、研究方法、研究成果;报导国内外关于灾害问题的研究动态和防灾抗灾对策;揭示和探索各种灾害发生演化的客观规律;目的是提高人类抗御灾害的科技水平和能力,最大限度地减少灾害损失。

2015 年《灾害学》杂志仍为季刊,每季度初月 20 日出版,铜版纸印刷,大 16 开,220 个页码,彩色插图,国内统一刊号:CN 61–1097/P。

《灾害学》杂志 2015 年定价每期为 50 元,全年 200 元(含邮费)。另外,编辑部还存有少量 2005–2014 年的精装合订本,每册定价 220 元。

《灾害学》杂志编辑部热忱欢迎广大读者和作者订阅本刊。2015 年起《灾害学》改为邮局发行,请各位订户到全国各地邮局订阅,邮发代号为:52–47。

《灾害学》编辑部