

四川峨边县蒋沟矿渣侵蚀泥石流成因与特征

吕学军¹, 倪化勇², 徐如阁², 巴仁基²

(1. 滨州学院 建筑与城乡规划系, 山东 滨州 256603; 2. 成都地质矿产研究所, 成都 610081)

摘要: 四川峨边县蒋沟是一条典型的矿渣型泥石流沟, 在侵蚀作用下时常发生泥石流并造成严重危害。该文采用调查、测绘和综合研究相结合的方法, 论述了蒋沟矿渣侵蚀泥石流的成因和特征。形成条件方面, 矿渣侵蚀类泥石流具有物源集中和机械组成固定性特征; 发生过程呈现出降雨-侵蚀-崩滑-搬运复合型和循环性, 侵蚀成为泥石流形成和发生的关键环节; 泥石流特征则主要表现为堆积物成分单一, 堆积比降小, 暴发频率高和地貌塑造作用强等方面。最后, 针对成因和特征, 提出了以水土分离、固床和护坡等工程措施为主, 以矿山植被恢复措施为辅的防治建议。

关键词: 泥石流; 矿渣; 侵蚀; 蒋沟

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0083-05

Formation and Characteristics of Mine-slag Debris Flows from Jianggou Ravine in Ebian County, Sichuan Province

LÜ Xue-jun¹, NI Hua-yong², XU Ru-ge², BA Ren-ji²

(1. Department of Architecture & Urban Planning, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256603, China;

2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

Abstract: Jianggou Ravine is a typical mine-slag debris flow-induced gully, where debris flow with an incision process frequently occurred and caused serious damages. In this paper, on the basis of field investigation, survey and comprehensive research, the formation and characteristics are discussed and corresponding prevention countermeasures are put forward. In terms of debris flow forming condition, mine-slag debris flow-induced in Jianggou Ravine is representative for mass concentricity and grain-composition fixity. A complex and circle process, namely rainfall-erosion-collapse or landslide-engulfment, existed during debris flow occurrence and erosion is the key process. As characteristics are concerned, debris flows induced by mine slag are typicality in simple deposition, smaller deposition obliquity, high frequency and intense evolvement in landform. In accordance with such forming condition and occurrence characteristics, corresponding countermeasures are put forward at the end of this paper, including main engineering controls such as separating method between water and soil, gull-bed fixing method, slope blocking method and accessorial vegetation recovering method.

Key words: debris flow; mine slag; erosion; Jianggou Ravine

2010 年是西部大开发实施十周年。随着西部山区开发和矿业开采的深入, 大量矿渣的露天堆放, 尤其是废弃矿先期矿渣的处理, 成为了一个突出的山区环境问题。堆放不合理的矿渣为泥石流的发生提供了大量的物源。这类由不合理堆放的矿渣所引发的泥石流被称为矿山泥石流, 属于典型的人为泥石流之一^[1]。目前, 该类泥石流已经引起高度关注^[2-11], 其成因存在多种类型, 归纳起来包括面蚀型、揭底型、侧

蚀型、溃决型和其他复合型等。

蒋沟系峨边县境内一条典型矿渣型泥石流, 流域内早震旦系花岗岩分布广泛且富含钾长石, 采矿-洗矿-输沙等一系列矿业活动导致蒋沟流域环境生态恶化, 早期开放式、露天式堆放的矿渣在近年的强降雨下遭受侵蚀, 导致泥石流频繁发生, 形成了大雨大冲、小雨小冲的发生态势。泥石流淤埋田地, 大量砂石输入大渡河, 产生了一系列的环境问题与安全隐

患,对其进行调查和探讨在矿渣侵蚀类泥石流研究方面具有一定的代表性意义。

1 环境地质背景

蒋沟位于峨边县五渡镇工农村,系大渡河右岸一级支流,由 SSW 向 NNE 注入大渡河。流域地形地貌属于中山-峡谷侵蚀地貌,流域面积 3.5 km^2 ,主沟长度 6.5 km ,相对高差 1020 m ,流域形态呈葫芦状(图 1)。蒋沟泥石流流域左右明显不对称,右岸陡峻,流域狭窄,几乎没有支沟,而左岸开阔,坡度相对较缓,支沟众多,水系呈梳状。

流域地质构造比较复杂,构造部位处于龚嘴背斜东翼,五渡-利店断层自 NNE 至 SSW 向沿沟穿越。流域内出露早震旦纪、震旦纪、奥陶纪、二叠纪和第四纪地层,岩性分别为早震旦系花岗岩(r_2^3)、震旦系上统观音崖组(Z_{bg})石英砂岩和灰岩、奥陶系下统红石崖组(O_1h)紫红色、灰色砂岩、二叠系下统(P_1)石灰岩含燧石条带夹白云岩以及第四系冲积物、泥石流堆积物和坡积物等(图 1)。流域内地层以早震旦系花岗岩和二叠系下统(P_1)石灰岩含燧石条带夹白云岩为主,两者以五渡-利店断层为界分别分布于蒋沟的左岸和右岸,其中,早震旦系花岗岩分布占绝对优势,分布面积广泛(图 1)。但流域内花岗岩风化严重,处强风化状态,部分全风化;奥陶系下统红石崖组(O_1h)紫红色、灰色砂岩则分布于胡岗上游段 r_2^3 与 P_1 之间的河沟地带,震旦系上统观音崖组(Z_{bg})石英砂岩和灰岩分布较少,仅仅分布于流域最上游的羊儿坳一带;第四系冲积物的分布以沟口堆积扇和沟道堆积为主,泥石流堆积物则分布于下游沟道宽阔地区。

蒋沟流域内矿业开采人类工程活动极其频繁,生态环境恶化,植被破坏严重。据调查,流域中游左岸支沟内存在两处早期开采的大型矿渣,目前正在进行的采矿、洗矿、采砂活动主要集中在中游左岸和下游左岸。据遥感解译和现场调查,流域内目前正在开展的采矿、洗矿、采砂等大型矿区至少 5 处(图 1),大面积山体斜坡被采空,破碎不堪的挖空区代替了郁郁葱葱的植被,在降雨发生的情况下,水土流失严重,泥石流发生频繁。

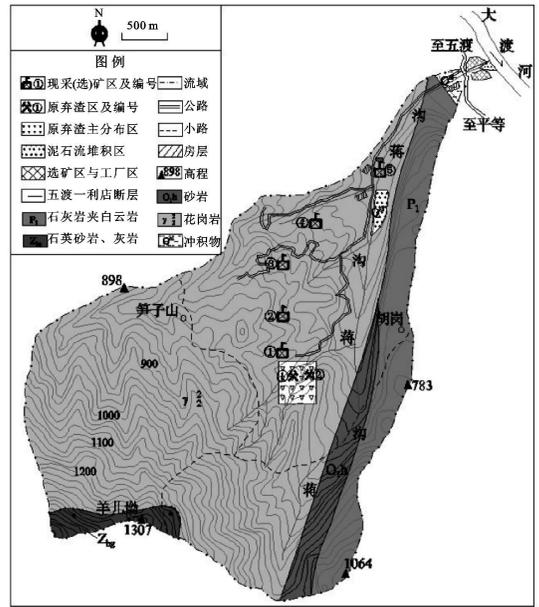


图 1 蒋沟泥石流流域、地质及矿渣分布图

2 泥石流成因

同自然泥石流一样,矿渣泥石流的发生需同时具备水源、物源和具有一定沟床比降的地形三个条件,但三者对泥石流发生的作用同自然沟谷泥石流不同,以大量松散矿渣为主的物源是蒋沟泥石流的决定性条件,而从蒋沟泥石流形成的动力条件来看,属于降雨-侵蚀-崩滑-搬运复合型泥石流,侵蚀成为泥石流形成的关键环节。

2.1 矿渣与物源

蒋沟泥石流物源几乎全部来自中上游支沟内早期钾长石采矿过程中露天式开放堆积的砂砾石矿渣。同自然泥石流相比,蒋沟矿渣类泥石流物源方面呈现出明显的集中性特征。据调查,早期矿渣主要有两处(图 2),分别堆积于流域中上游左岸支沟两岸(见图 1 中的矩形框内),其位置、规模等见表 1。

调查发现,早期渣堆(1)和早期渣堆(2)均沿沟横向堆放,渣堆土体以含砾石砂土为主,砾石含量约占 $40\% \sim 50\%$,块度 $2 \sim 5 \text{ mm}$,砂含量约占 $50\% \sim 60\%$,土体松散,基本上无胶结,粘聚力差,透水性较强。其中,早期渣堆(1)渣堆沿沟边坡坡度 38.7° ,早期渣堆(2)渣堆沿沟边坡坡度 44.5° 。

表 1 早期矿渣调查表

名称	坐标	高程/m	岸别	长度/m	宽度/m	厚度/m	体积/ 10^4 m^3
早期渣堆(1)	$29^\circ 15' 49.9''$ (N) $103^\circ 28' 48.6''$ (E)	762	支沟右岸	175	30	23	12
早期渣堆(2)	$29^\circ 15' 44.9''$ (N) $103^\circ 28' 55.3''$ (E)	742	支沟右岸	65	15~20	22	2.5

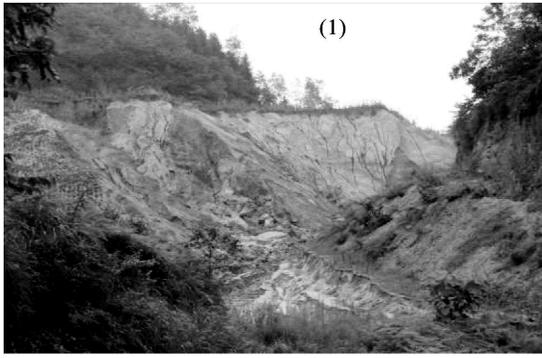
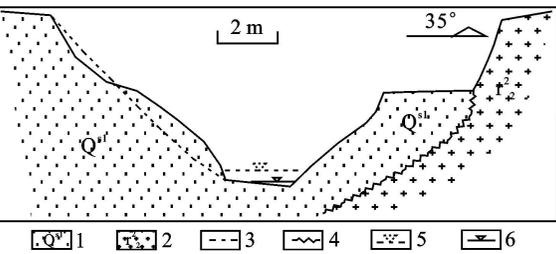


图 2 早期矿渣

同松散砾砂、粗砂在饱和状态下内摩擦角为 28° ^[12] 相比, 早期渣堆 (1) 和早期渣堆 (2) 都超过摩擦角上限。从现场来看, 早期渣堆 (1) 受河水侵蚀和雨水冲刷的影响, 渣堆沟壑纵横, 多处发生滑塌 (图 2), 严重挤占沟道, 矿渣堆放处河床宽度仅仅 2~3 m; 对于早期渣堆 (2), 据访问 2009 年 6 月前堆积体上方曾居住一住户且已居住多年, 渣堆被开垦为旱地。然而 2009 年 6 月 28 日, 峨边县普降大到暴雨, 渣堆坡脚遭受河水冲刷矿渣发生滑坡, 住户房屋、院坝一起滑落, 使得渣堆稳定性降低, 矿渣挤占沟道严重。

可见, 两处早期渣堆目前稳定性差, 为以往曾经发生的泥石流以及今后可能发生的泥石流均提供大量的物源, 且已经形成了降雨-侵蚀-矿渣崩滑-泥石流搬运-矿渣进一步滑塌-泥石流再次搬运的循环局面 (图 3)。



注: 1 表示人为堆积矿渣; 2 表示强 (全) 风化花岗岩; 3 表示滑坡界线; 4 表示推测矿渣与花岗岩分界线; 5 表示洪水水位; 6 表示平水位。

图 3 洪水侵蚀-矿渣滑坡-补给泥石流关系图

2.2 水源

蒋沟泥石流水源全部来自降雨及其汇流产生的沟道水流。整个蒋沟流域的汇水区面积主要包括 570 m 高程以上的流域, 但事实上对泥石流发生起决定性作用的汇水区主要包括早期渣堆堆放的支沟流域 (图 1), 汇水面积仅仅 0.35 km^2 , 高程在 640 m 以上, 形态呈纺锤状。但该区气候属于亚热带湿润季风气候, 雨量充沛, 年均降水量为 1 275.5 mm, 年平均降水日达到 163.3 d, 最长达 182 d, 连续最长降水日数 18 d, 日最大降水量为 157.4 mm, 尤其是降水季节分布不均, 主要集中在 6-8 月, 三月降雨量占年降水

量的 57.4%。可见, 降雨量四季分布不均匀, 汛期以暴雨降水为主, 为沟道汇流创造了良好条件。

2.3 地形

从蒋沟泥石流启动部位、运动路径和堆积部位来看, 蒋沟泥石流可明显分为形成区、流通区和堆积区 (图 4)。形成区包括汇水区和矿渣启动区, 主要指堆积有早期渣堆的支沟, 支沟长约 1 200 m, 沟床比降 336% , 明显高于平均纵比降 (157%), 沟谷呈 V 型, 两岸斜坡坡度为 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$, 纺锤状; 流通区主要指高程 720~550 m 的主沟段, 长约 950 m, 沟床比降仅 143% , 比较平直, 沟谷也呈 V 型, 右岸斜坡陡峻, 坡度 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 左岸相对较缓, 坡度 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$; 堆积区主要分布在现 5 号选矿区上游, 受该选矿区矿堆的阻挡作用, 泥石流堆积于下游沟道, 5 号选矿区以下则为沟口段以及大渡河交汇段, 沟道宽度 3~5 m。该地形有利于雨水的汇集和径流形成, 使得泥石流的启动条件降低。

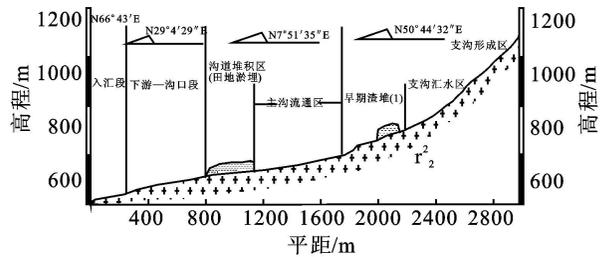


图 4 蒋沟泥石流沟床纵剖面示意图

3 泥石流特征

3.1 堆积与规模特征

蒋沟在下游沟道开阔处进行了堆积, 形成一舌状巨型堆积扇 (图 5)。据测量, 扇体长约 300 m, 宽平均约 70 m, 厚度约 3~4 m, 体积约 5.5 万 m^3 。这部分堆积体主要由 2009-06-28 泥石流所造成, 属于中等规模泥石流, 但由于物源丰富, 启动条件具有重复性, 因此水力条件的不同决定泥石流规模的差异性, 降雨强烈, 水力侵蚀能力大, 矿渣补给多, 则泥石流规模大, 反之, 泥石流规模小。



图 5 泥石流堆积

从堆积组成来看,蒋沟泥石流堆积物同矿渣物源在机械组成上具有一致性,堆积物机械组成同渣堆机械组成相同,均由砂和砾石组成,属于粗粒土,几乎不含有漂石和黏土,表明泥石流形成主要来自早期露天开放式堆放的渣堆,而流域内自然不良地质现象较少,从而呈现出堆积物机械组成的固定性和单一性特征。另外,同自然泥石流堆积相比,蒋沟泥石流的堆积比降较小,仅约 5° ,反映了其动力特征较弱。

3.2 易发性与频发性特征

由于物源补给丰富,矿渣失稳的临界条件低且



图 6 泥石流对沟床的快速塑造作用

再如,在 5 号洗矿-采砂区上游的沟道开阔区,受局部弯道、矿区阻挡以及地形开阔的共同影响,泥石流流体扩散,流速和携带能力均降低,泥石流开始堆积,形成了一个平整的巨大舌状扇体,蔚为壮观。而后续的洪水快速侵蚀下切,下切深度达 2.2 m,将扇体一分为二。

3.4 泥石流危害特征

蒋沟泥石流的危害主要表现在淤埋田地和环境破坏两个方面(图 7)。

(1) 淤埋田地。蒋沟流域内田地主要分布在下游右岸陡崖下方的开阔缓坡地带,同泥石流在下游沟道内停淤场所一致。2009 年泥石流堆积扇面面积达 6.3 万 m^2 ,直接导致 2 hm^2 多田地淤埋,粮食绝收,还冲击淤埋大量的灌丛。另外,河床被泥石流填埋淤高后,大量河水漫过扇面抵达高处,使得高处近 1.3

不变,只要降雨形成沟道径流后,即可对渣堆坡脚进行侵蚀,导致渣堆不断垮塌,洪水含沙量的增加进一步增强了其侵蚀能力,渣堆垮塌规模不断增大,洪水携带大量砾砂运动,随着矿渣垮塌和流体中固体物质含量的增加,泥石流最终形成。可见,矿渣型泥石流启动条件低,物源补给的连续不断性决定了蒋沟泥石流的易发性和频发性。

3.3 沟床地貌的复杂演变性特征

泥石流和洪水的交替发生对蒋沟沟床地貌的演变和塑造起到了巨大的冲淤变化作用,使得沟床地貌演变快速。2009 年 7 月 22 日调查发现,“2009-06-28”泥石流的发生,对早期渣堆(1)下游之沟床起到了很好的铺床作用,沟床淤高近 1 m 且床面平坦(图 6);而 8 月 28 日再次调查发现,该处河床地貌发生了明显变化,洪水再次侵蚀下切“2009-7-22”河床,下切深度近 1 m,老河床砾石和漂石也被揭露出来,并在沟床两侧形成三级阶面,造就了暂时性泥石流阶地地貌景观(图 6)。通过降雨观测资料的推测,得知系由“2009-8-15”洪水的涨峰过程或峰顶过流所致。

hm^2 田地也受到影响。随着扇体的进一步淤高,今后受到影响的田地也将进一步向高处延伸而增加。

(2) 环境破坏。蒋沟泥石流对环境的影响进一步表现在水土流失、生态破坏和增大大渡河含沙量 3 个方面。通过实地调查发现,蒋沟泥石流的发生,实际上是对蒋沟流域内土体快速输送的一种方式。随着泥石流发生频率的增加和规模的增大,大量的土体被携带至下游,改变河床地貌的同时,使得流域内土体减少从而影响环境;另外,作为土体输送的一种快速方式,蒋沟泥石流最终将大量泥沙输入了大渡河。调查发现,即使在平水期,蒋沟水体仍然浑浊,含沙量极高(图 7)。在入汇处,蒋沟水体呈现出明显的高含沙量,随着时间的积累,数十万立方米的砂石将输入大渡河,影响大渡河水体,甚至影响大渡河下游电力开发。

