

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)6 - 732 - 07

冕宁县牦牛坪稀土矿区“7·18”水石流灾害

杨敏^{1,2}, 马东涛^{1*}, 陈英^{1,2}

(1. 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 100392)

摘 要: 2013 - 07 - 17T20:00—2013 - 07 - 18T3:00, 冕宁县牦牛坪稀土矿区 7 h 降雨 219 mm, 瓦维埃河及支沟发生 6 处水石流, 对采矿场、选矿厂、地面站、弃土场、排洪沟、矿山公路及矿山环境造成严重危害。研究发现: 牦牛坪矿区具备水石流发育的充分条件, 泥石流沟处于发育壮年期, 但泥石流处于衰退期。“7·18”水石流是在 100 a 一遇强降雨激发下, 沟床及岸坡老泥石流堆积物和沟床堆积物在山洪冲蚀下切、侧蚀下形成的, 暴雨和水石流暴发频率同步。其水石流具有固体物质粗大(最大粒径 8 m), 块砾石含量高(80% 以上), 粉、粘粒含量极低(小于 1%), 容重高(1.6 ~ 1.85 t/m³), 冲淤变化大(最大冲深 10 m, 最大淤积 5 m), 规模大(总冲出量 50 × 10⁴ m³)等特点。

关键词: 水石流; 形成条件; 特征; 稀土矿区; 危害

中图分类号: P642.23

文献标志码: A

泥石流按照物质组成, 可以划分为泥流、泥石流和水石流, 水石流与其他两类泥石流的差别主要为颗粒级配中缺少粘粒和粉粒, 流体为非均质两相流^[1-2]。按照泥石流流体性质, 水石流一般属于稀性泥石流, 但由于级配缺失细粒, 中值粒径偏大, 暴发频率较低, 其容重又可能大于 1.6 t/m³, 而高于稀性泥石流。水石流固相以推移质为主^[3], 运动方式为滚动、跳跃、滑动, 主要动力来源为上部水流的拖曳力, 因此水石流为水力类泥石流。水石流主要发育在硬质岩区^[3-4], 如花岗岩、大理岩、石英岩、石灰岩地区, 细粒含量通常为 1% ~ 2%^[3], 固体物源一般来自于原沟坡崩积物、沟床堆积物, 激发水石流的暴雨频率较低, 通常十几年发生一次。典型记录有云南苍山、陕西华山、甘肃西秦岭及舟曲等水石流^[3-6]。

牦牛坪稀土矿区位于四川省凉山彝族自治州冕宁县森荣乡牦牛村, 是我国第二大稀土矿, 其稀土储量占四川省总储量的 90%。矿区广泛出露花岗岩、闪长岩和辉绿岩等侵入岩, 牦牛山横亘于矿区西南

部, 历史上地震频繁, 烈度高, 崩塌、滑坡、泥石流发育, 是四川省地质灾害易发区^[7]。2013 - 07 - 17T20:00—2013 - 07 - 18T3:00, 牦牛坪稀土矿区所在的牦牛山区 7 h 累计降雨量达到 219 mm, 暴雨强度超过 100 a 一遇 24 h 降雨(207.9 mm), 18 日凌晨暴雨洪水起动机瓦维埃河流域 8 处支沟老泥石流堆积物和沟床堆积物形成水石流, 共计冲出固体物质约 50 × 10⁴ m³, 威胁矿区人员安全, 危害矿区建设和生产, 对下游地区彝族群众生产和生活也造成危害^[8]。经过 8—11 月的 3 次实地调查, 查明了矿区水石流的分布及对矿山的危害, 分析了本次水石流的发育背景、成因机理和特征, 为进一步开展牦牛坪矿区泥石流治理和监测预警提供了科学依据, 对今后开展水石流研究和防治也具参考意义。

1 水石流分布及对矿区的危害

牦牛坪稀土矿区位于冕宁县城西南 22 km 处瓦维埃河流域。瓦维埃河属雅砻江支流安宁河的二级

收稿日期(Received date): 2013 - 12 - 17; 修回日期(Accepted): 2014 - 01 - 07。

作者简介(Biography): 杨敏, (1987 -), 女, 汉族, 四川眉山人, 在读硕士研究生, 研究方向为山地灾害防治工程。[Yang Min (1987 -), female, major in mountain hazards prevention engineering.]E-mail: 15682027308@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 马东涛, (1965 -), 男, 汉族, 陕西武功人, 博士, 教授, 主要从事地质灾害基础理论研究和防灾减灾工程实践。[Ma Dongtao, (1965 -), male, prof. & Dr. of Science, major in geo-hazards mitigation theory and engineering.]E-mail: dltma@imde.ac.cn

支流,发源于牦牛山,流域面积 52.34 m²,为长流水沟,沟道长度 10.8 km,相对高度达 2 260 m,沟道纵比降为 20.9%。矿区所属牦牛山为雅砻江与安宁河两河所夹持,两河近平行,流向自北向南(图 1)。



图1 研究区地理位置图

Fig. 1 Location map of the studied area

据灾后对当地居民及矿山施工人员调查,7月17日20时牦牛山高山区开始下雨,23时左右电闪雷鸣,雨强加大,在强烈暴雨下瓦维埃河右岸各支沟开始发生山洪,18日零时许支沟水石流开始大范围暴发,漂砾、块石、砂砾俱下,持续 0.5~1 h,大量固体物质被冲进瓦维埃河主沟道,汇流而成主沟水石流;之后支沟水石流演变为山洪,继续冲刷沟床并进入主沟,形成水石流和山洪,整个灾害持续至 18日5时基本结束。这次山洪、泥石流灾害过程中,二道沟、三道沟、四道沟、牧羊坪沟、供水沟和主沟发生水石流,二道半沟、三道沟下沟发生弃渣泥石流,因此这次泥石流灾害事件中以水石流为主,主要发生在右岸支沟和主沟,左岸未发生泥石流(图 2),本次水石流(简称“7·18”水石流)为近百年最大的一次泥石流。

泥石流对矿区的危害如下:1. 危害采矿区。牧羊坪沟、四道沟、供水沟、恩林波西沟泥石流危害采矿场区,表现为泥石流堆积物淤埋矿产和采坑,冲蚀矿产、弃渣,危害采矿活动安排。2. 危害排土场。四道沟、三道沟泥石流位于弃土场上游,危害表现为淤埋排土场、冲刷弃土弃渣,造成渣坡失稳;三道沟下

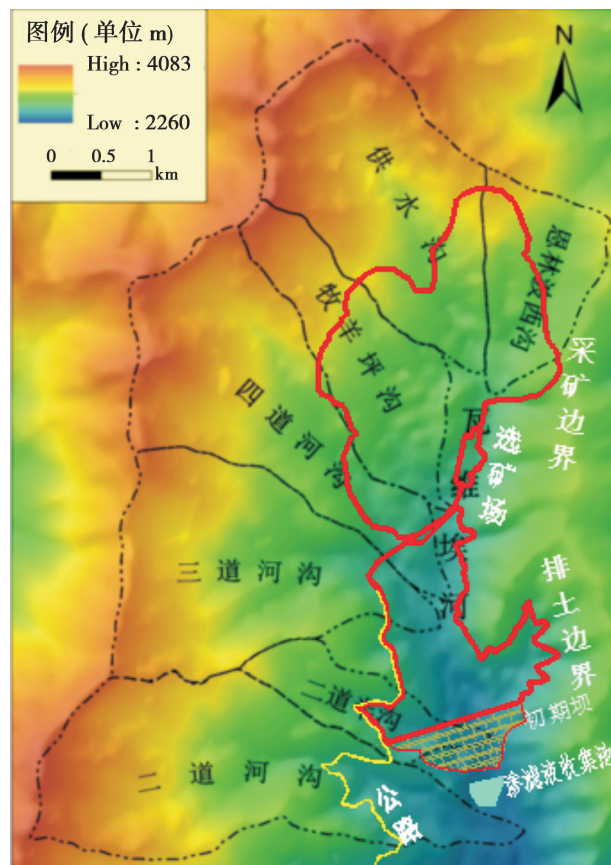


图2 矿区泥石流及危害略图

Fig. 2 Debris flow distribution and hazards diagram in the mining area

沟和二道半沟位于弃土场下游,对弃土场初期坝和弃渣边坡造成危害。3. 危害矿山公路。矿山公路横跨二道沟、二道半沟、三道沟下沟和三道沟,泥石流的危害主要表现为冲毁桥梁、涵洞和路基边坡,淤埋桥涵净空,洪水和泥石流上路。4. 危害地面站。四道河水石流冲入采矿场区外围的地面站,淤埋场地,毁坏厂房及机械设备。5. 危害排洪沟。四道河泥石流直接埋没矿区排洪沟,三道河泥石流冲毁排洪沟和公路涵洞(表 1)。

2 水石流形成条件

2.1 地貌

矿区大地构造位置处于康滇地轴北段,安宁河断裂带是本区的主干构造带。主要山脉和沟谷呈近南北向展布,地势总体为东、西、北三面高,南面低。地貌属于高、中山构造侵蚀地貌。瓦维埃河流域面积 52.34 km²,沟道长度 10.8 km,最高点波莱粗火普高程 4 125.5 m,与南河汇合口高程 1 865 m,相对

表 1 矿区泥石流特征及危害对象

Table 1 Debris flow gully properties and their hazardous objects to mining area

沟名	流域面积/km ²	纵坡	沟长/km	流体性质	容重/(t/m ³)	危害对象
二道沟	5.568	0.33	5.55	水石流	1.8	矿山公路、渗滤液收集池
二道半沟	1.253	0.264	2.6	泥石流	1.7	初期坝、矿山公路、排土场
三道河下沟	0.4	0.405	1.09	坡面泥石流	1.65	排土场
三道沟	4.078	0.374	4.65	水石流	1.85	炸药库、矿山公路、排土场、排洪沟
四道沟	4.693	0.279	4.89	水石流	1.8	排土场、排洪沟、地面站、采矿场
牧羊坪沟	2.581	0.324	3.75	水石流	1.7	采矿场
供水沟	4.538	0.324	3.62	水石流	1.75	采矿场、排洪沟
恩林波西沟	1.921	0.176	2.02	坡面泥石流	1.9	采矿场、排洪沟
瓦维埃河	52.34	0.209	10.8	水石流	1.6	南河、农田及村庄

高度达 2 260 m, 沟道纵比降为 20.9 %。各支沟的流域面积在 0.4 ~ 5.57 km² 之间, 沟道长度在 1.1 ~ 5.55 km 间, 相对高度为 500 ~ 1 600 m, 沟道纵比降 10.8 % ~ 40.5 %。主沟山坡坡度在 15° ~ 45°, 支沟山坡坡度在 30° ~ 50°, 部分基岩峡谷区岸坡陡峻, 超过 70°, 甚至直立。主沟和支沟高差大, 纵坡大, 具备泥石流发育条件。

引入 A. N. Stranlar 面积 - 高程分析法, 计算每条等高线以上的面积 a 与流域最低点高差 h , 以面积比例 $x = a/A$, 高程比例 $y = h/H$ 分别为横坐标和纵坐标绘制面积 - 高程曲线, 分析各个沟道的地貌发育程度, 如图 3。从地貌发育阶段来看各支沟的面积比例 S 为 0.37 ~ 0.56, 根据地貌侵蚀循环理论, 当 $0.35 < S < 0.6$ 时, 曲线接近直线, 地貌发育阶段为壮年期^[9]。以往泥石流沟研究表明: 泥石流多发生在地貌发育的幼年期和壮年期^[10-12], 从地貌阶段看本区适宜泥石流发育。但从泥石流形成和堆积

来看, 矿区主要泥石流表现为形成区和流通区下移, 堆积扇下切和侧蚀明显, 泥石流固体物源以沟床和老泥石流堆积物为主, 且多为水石流, 这说明泥石流发育处于衰退期, 泥石流和地貌的发育并不同步。

2.2 固体物源

矿区地质构造复杂、岩石风化破碎、新构造运动活跃、地震频发, 3 500 m 以上高山区在第四纪普遍遭受强烈冰川作用, 以侧碛垄和终碛垄型式堆积在沟道和岸坡, 大部分冰碛物为后期山洪和泥石流搬运堆积在沟道中下游, 成为泥石流主要固体物质来源。矿区出露的大部分花岗岩节理发育, 受附近安宁河和雅砻江断裂带长期活动的影响, 产生了大量的破碎岩体, 极易崩塌和滑坡, 为该区泥石流的形成提供了大量的松散碎屑堆积物。据调查, 本次水石流的主要物源为各支沟沟床堆积物和老泥石流堆积物, 一般堆积厚度在 3 ~ 20 m, 以下切和侧蚀塌岸方式直接补给水石流(图 4)。基岩表层的风化残积、

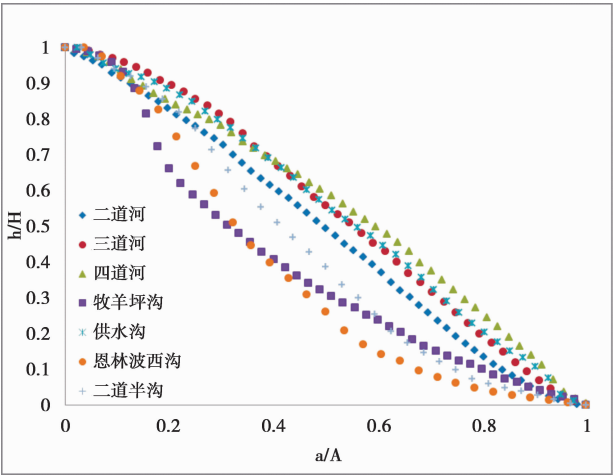


图 3 矿区主要泥石流的地貌发育阶段
Fig. 3 Geomorphologic evolution stages of mining area



图 4 供水沟老泥石流台地切割形态
Fig. 4 Incision form of the old debris flow deposits in Gongshui gully

坡积等覆盖层,厚度在1~5 m,在坡面径流作用下直接补给泥石流。

矿区自1980's开采以来,采矿产生了大量的弃土和矿渣。据调查,堆积在瓦维埃河主沟的矿渣约 $1\,770 \times 10^4 \text{ m}^3$,在恩林波西沟、四道沟和三道河内也堆积了数百万立方米的矿渣,且已形成弃渣坡面泥石流和弃渣坡面滑塌。矿区公路、运渣隧道、尾矿库建设过程中也产生了大量弃渣,由于缺乏拦挡和护坡措施,大量弃渣直接堆积在沟道和岸坡上,已在二道河、二道半沟、三道河下沟形成弃渣泥石流。

2.3 激发水源

矿区泥石流的地表径流主要来源于大气降水,据临近冕宁气象站观测资料,多年平均降雨量为1 118.3 mm。每年5—9月为降雨集中期,年均降雨量达907.2 mm,占全年总降雨量的81%。牦牛坪是冕宁县的暴雨中心之一,受牦牛山顶托,西南的暖湿气流在阴坡大量凝结成降水。据冕宁县气象站在牦牛坪矿区(海拔2 700 m)1998—1999年的短时气象观测,年平均降雨量2 198.11 mm,月最大降雨量625.0 mm(1998年7月),日最大降雨量89.2 mm(1998-07-09)。流域内暴雨具有次数少,暴雨面大,历时短,强度大的特点。2013-07-17T20:00至2013-07-18T 3:00,7 h累计降雨量达到219 mm,超过100 a一遇的强度,在矿区范围内引发了大范围山洪、泥石流。此外,在海拔3 500 m以上高山区冬春季节有降雪,积雪一般从当年的11月持续至次年5月,积雪融水也提供一部分水源。上游的供水沟、牧羊坪沟中,第四系冰川和泥石流堆积物内也蕴藏了丰富的潜水,以泉水形式直接进入沟道,补给泥石流。

3 水石流特征

3.1 流体性质及粒度特征

稀性泥石流的粘粒含量极少,一般小于3%,吴积善认为:粘粒和含电解质的水构成的细粒浆体网格结构是泥石流体结构的基础,水石流由于缺少粘粒因而不具备结构流体的特性^[2]。水石流在流动过程中,上部为高含沙水流,下部为不同粒径的石块,水流速度大于石块运动速度,石块的动力为水流的拖曳力,流体为牛顿体,无粘性。在基岩峡谷段未见泥痕和流动痕迹,但在部分下切沟槽中残存流动的洪痕。据现场调查和访问,本次水石流的容重在

$1.6 \sim 1.85 \text{ t/m}^3$,其容重超过一般意义上的稀性泥石流,达到粘性泥石流的标准,这比国内其他地区水石流的容重都高。因此,“7·18”水石流从流态上属于稀性泥石流,从容重上属于粘性泥石流。

泥石流堆积物中砾石和漂砾含量占堆积物总量80%~90%,中值粒径50~100 cm,最大漂砾的长径达8 m,分选和磨圆度均较差(图5)。在此次泥石流堆积物中采集粒径10 cm以下部分样共9组做了颗分试验,结果如图6。分析结果表明,堆积物中粒径<0.075 mm的粉、粘粒含量在0.5%~5%,即在整个堆积物中粉、粘粒含量小于1%。根据费祥俊的研究^[13],水石流的粗细颗粒分界为2 mm,从颗分结果来看,样本中细粒含量集中于18%~30%,而在整个堆积物中含量为3%~6%,具有明显的水石流物质组分特征。据堆积物现场调查,堆积物孔隙度约30%~40%,细颗粒极少,且主要为中粗砂,窄沟道段可见巨石、漂砾聚集堵塞沟道,形成跌水。

3.2 暴发频率、流速及流量

近年来瓦维埃河流域分别于2007年7月、2010年8月、2013-07-18暴发过水石流,平均3 a发生1次,属于高频水石流。泥石流堆积区坑探揭示,在“7·18”水石流堆积物1.3 m之下也发现了前述两次水石流堆积。但“7·18”水石流是自有气象观测以来和近期最大规模的。

泥石流流量特征值一般采用实地沟道断面调查和洪水配方法获取。断面调查法在实施过程中,通常会受到一次泥石流的多次阵流泥痕或切深叠加影响,结果偏于不可靠;而洪水配方法由于使用的是区域的经验公式,对于特定的某次强降雨形成的泥石流,计算结果偏于保守。实际中通常以两种计算结果相互验证。本区沟道为常流水沟,“7·18”水石流冲刷拉深扩展原沟道,形成宽10~100 m不等、深1~10 m不等的沟槽,断面形态清楚,尺寸可靠,冲刷量易于计算。洪水配方法计算结果与断面调查法结果列于表2。结果显示两种方法计算结果差异很大,造成差异较大的原因可能有:水石流形成流通过程中冲刷淤积过程复杂,并非一次成型,而是多期淘蚀堆积形成;计算参数的选取导致计算误差;水文统计结果不能反映当次降雨特性。为进一步验证计算结果,选用洪水配方法计算了泥石流流量,利用概化五角形过程方法计算泥石流径流总量并一次泥石流冲出固体物质总量,结果如表2。

表 2 经验公式计算的泥石流流量与一次冲出量

Table 2 Debris runoff and outburst amount calculated from empirical formula

流域	断面调查法 /(m ³ /s)	洪水配方法 /(m ³ /s)	径流总量 V_c /(10 ⁴ m ³)	一次性冲出量 V_s /(10 ⁴ m ³)
二道沟	245.30	337.70	20.61	10.10
三道沟	251.17	382.86	32.29	16.89
四道沟	391.18	220.63	18.61	9.08
供水沟	214.36	239.31	17.40	7.96

由于供水沟水石流堆积物全部进入了采矿坑,没有流失,为估计冲出固体物质量提供了可靠的条件。经测量,堆积于沟口下采坑内的泥石流固体物质总方量 $8.02 \times 10^4 \text{ m}^3$,测量沟床启动物质 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$,与计算结果 100 a 一遇泥石流一次冲出量 $7.96 \times 10^4 \text{ m}^3$ 相符合。因此,认为此次泥石流的计算结果洪水配方法较为准确可靠。由此,推断用于水石

流其他参数计算上,洪水配方法优于断面形态调查方法,究其原因可能为水石流为水力侵蚀原因造成,比较符合配方法公式使用条件。据此,计算了各水石流的流速在 $4.1 \sim 5.3 \text{ m}^3/\text{s}$,与一般水石流流速基本接近。

3.3 冲淤特征

在各支沟基岩峡谷段以上未发现泥石流起动迹象,因此峡谷段以上可认为是本次水石流的水源集中补给区。基岩卡口以下为老泥石流的堆积区,即本次泥石流的形成-流通区,主沟瓦维埃河及支沟下游较宽部位为水石流的主要堆积区。在支沟和主沟普遍存在二级泥石流堆积台地,一级台地一般高出沟床 3~8 m,二级台地高出沟床 10~20 m,可以推断全新世以来本区普遍发生过两期大规模泥石流活动,老泥石流堆积物是水石流的主要固体物源。本次水石流形成区与流通区重合,原沟道受山洪急



图 5 二道沟水石流堆积侧堤高出沟床 3 m

Fig. 5 Deposits embankment in Erdao gully which laid 3 m above the bed

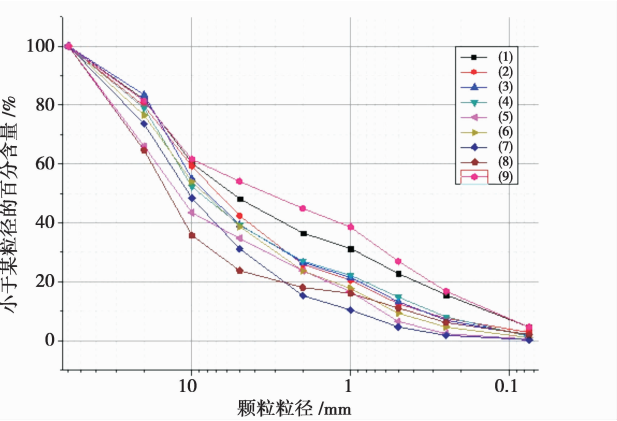


图 6 沟道堆积物颗分试验结果

Fig. 6 Particle analysis testing result of deposits



图 7 四道沟沟床侵蚀下切 7 m

Fig. 7 Water-stone flow caused 7 m depth invasion in Sidao gully



图 8 四道河水石流冲出沟道危害下游地面站

Fig. 8 Water-stone flow rushed out of the channel in Sidao gully and endangered mining field station

流冲刷淘蚀,起动沟床老泥石流堆积和沟床质,引起沟床下切,两侧泥石流堆积台地岸坡基脚因侧蚀失稳垮塌,垮塌的物质直接进入洪流成为水石流,扩展拉伸的沟道成为流通的通道。

据测量,本次水石流中沟道冲淤变化巨大,一般沟道冲刷深度2~5 m,三道沟主沟一次冲刷深度达10 m,四道沟达到7 m(图7);主沟瓦维埃河冲刷相对较小,平均冲刷深度1~2 m,但在二道半沟与主沟交汇处,冲刷深度达4 m,形成一个4 m高的跌水陡坎,使二道半沟悬于主沟之上。对沟床淤积调查发现,供水沟淤积厚度最大,平均5 m;其次为四道沟、三道沟,平均4 m;二道沟为3 m,瓦维埃主河由于沟床宽度达100 m以上,平均淤积厚度约1 m。各支沟水石流共冲出固体物质约 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$ 堆积在各支沟中(图8),约 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 由支沟进入主沟,最后冲向下游及南河。

4 水石流发展趋势

虽然矿区近期泥石流活动也较频繁,平均3 a发生一次泥石流,“7·18”发生了特大规模百年一遇的水石流,但和历史上两期大规模泥石流活动相比较,区域泥石流整体发展趋于衰退阶段,主要表现在泥石流形成区向下游堆积区迁移,老的泥石流堆积扇地和台地下切和强烈侧蚀,溯源侵蚀受到上游峡谷基岩基底限制并形成跌水。目前,主要支沟内虽然堆积了大量漂砾和巨砾,但由于沟床宽阔且较为稳定,在一般小型山洪下很难启动沟床堆积,更难引起沟岸坍塌,发生水石流的可能较小。但在中等规模山洪下,部分中小颗粒块石、泥沙可以启动,形成中小规模水石流,危害较小,其规模及容重很难超过“7·18”水石流。

5 结论

1. 冕宁县牦牛坪稀土矿区地处牦牛山中高山区,高差大,大范围出露花岗岩,第四纪冰川作用强烈,第四纪以来主沟及支沟普遍存在两级泥石流堆积台地,固体物质丰富,同时是区域暴雨中心,具备形成水石流的基本条件。

2. 2013-07-17T20:00—2013-07-18T3:00,牦牛山区7 h累计降雨量达到219 mm,暴雨频率超过100年一遇,18日凌晨瓦维埃河流域支沟和主河

发生8处泥石流,其中6处为水石流,2处为弃渣泥石流。

3. 水石流是在低频的罕见强暴雨激发下,沟床及岸坡老泥石流堆积物和沟床堆积物在山洪冲刷下切、侧蚀形成的,对矿区的采矿场、选矿厂、地面站、弃土场、排洪沟、矿山公路造成严重危害。

4. “7·18”泥石流为典型水石流,其暴发频率为100 a一遇,为有记载以来最大,暴雨和水石流频率基本同步,本次水石流具有固体物质粗大(最大粒径8 m),粉、粘粒含量极低(小于1%),容重高($1.6 \sim 1.85 \text{ t/m}^3$),冲淤变化大(最大冲深10 m,最大淤积5 m),规模大(总冲出量 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$)等特点。

致谢:本调查研究是在中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所李德基研究员指导下完成的,四川大学谢辉和马司骞参加了野外和分析计算,李占鲁工程师进行了样品测试,四川江铜稀土有限责任公司和中国恩菲工程技术有限公司提供了有关降雨和工程设计资料,在此一并致谢。

参考文献(References)

- [1] Zhou Bifan, Li Deji, Luo Defu, et al. Prevention guide for debris flow [M]. Beijing: Science Press, 1991: 2-3 [周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南[J]. 北京: 科学出版社, 1991: 2-3]
- [2] Wu Jishan. Textures of a debris flow body [G]//Chengdu Institute Geography, Chinese Academy Sciences. Collected papers on debris flows (No. 1). Chongqing: Chongqing Bureau of Science and Technology Literature Press, 1981: 58-66 [吴积善. 泥石流流体的结构 [G]//中国科学院成都地理研究所. 泥石流论文集(1). 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1981: 58-66]
- [3] Qi Long. Nature and formation mechanism of water-rock flow [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1985, (01): 21-24 [祁龙. 水石流的性质及形成机理[J]. 水土保持通报, 1985, (01): 21-24]
- [4] Li Deji. Water-rock flow of eighteen creeks and corresponding control measures in Cangshan [J]. Mountain Research, 1992, 10(03): 172-178, 195-196 [李德基. 苍山十八溪的水石流及其防治[J]. 山地研究(现山地学报), 1992, 10(03): 172-178, 195-196]
- [5] Li Zhaoshu. The contributing factors and protections of water debris flow on Huashan mountain [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1989, 9(02): 57-65, 43 [李昭淑. 华山水石流的成因与防治[J]. 水土保持通报, 1989, 9(02): 57-65, 43]
- [6] Li Zhaoshu, Chen Yongqing. Genesis of the water-stone-flow and its control in Jijia gully [J]. Chinese Journal of Geological Hazards and Control, 1995, 6(01): 81-86 [李昭淑, 陈永庆. 纪家沟水石流的成因与防治[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(01): 81-86]
- [7] Shen Bo, Ma Dongtao. Geological environment problems and treat-

- ment in Maoningping Rare Earth Mining Area [J]. China Mining Magazine, 2012, 21 (5) : 67 – 70 [沈波, 马东涛. 牦牛坪稀土矿矿地质环境问题及治理 [J]. 中国矿业, 2012, 21 (5) : 67 – 70]
- [8] Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy. Investigation and mitigation report on geo-hazards in Maoningping Rare Earth Mining Area [R]. Chengdu: Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Sept. 2013 [中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 牦牛坪稀土矿区地质灾害调查及防治规划 [R]. 成都: 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 2012 年 9 月]
- [9] Lu Zhongchen. The drainage geomorphic system [M]. Dalian: Dalian Press, 1991: 15 – 318 [陆中臣. 流域地貌系统 [M]. 大连: 大连出版社, 1991: 15 – 318]
- [10] Li Qing, Zeng Fanwei, Xu Gang. Quantitative analysis of debris flow drainage developmental stages—take Beibei for example [J]. Journal of Yibin University, 2004, (04) : 82 – 85 [李青, 曾凡伟, 徐刚. 泥石流流域地貌发育阶段的定量分析——以北碚区为例 [J]. 宜宾学院学报, 2004, (04) : 82 – 85]
- [11] Ruan Shikun, Zhuang Ruxin. Quantitative analysis of debris flow drainage developmental stages [J]. Resources Environment & Engineering, 2007, 21 (06) : 695 – 697, 722 [阮诗昆, 庄儒新. 泥石流流域地貌发育阶段的定量分析 [J]. 资源环境与工程, 2007, 21 (06) : 695 – 697, 722]
- [12] Lv Xuejun, Liu Xilin, Su Pengcheng. Area-elevation analysis for Sichuan Daqu debris flow drainage developmental stages [J]. Mountain Research, 2005, 23 (03) : 336 – 341 [吕学军, 刘希林, 苏鹏程. 四川达曲河流域泥石流沟发育阶段的面积 – 高程分析 [J]. 山地学报, 2005, 23 (03) : 336 – 341]
- [13] Fei Xiangjun. Velocity and transport concentration of solid in water-stone debris flow [J]. Sediment Research, 2002, (04) : 8 – 12 [费祥俊. 水石流的输沙浓度与流动速度 [J]. 泥沙研究, 2002, (04) : 8 – 12]

An Approach about Water-stone Flow Hazards Occurred in July 18th, 2013 in Maoniuping Rare Earth Mining Area in Mianning, Sichuan

YANG Min^{1,2}, MA Dongtao¹, CHEN Ying^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;

2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: Water-stone flow is a special type of debris flow, which usually breaks out in granite, limestone, marble area and in rare rainstorm. In July 18, 2013, a heavy rainstorm with rainfall of 219 mm in 7 hours in Maoniuping rare-earth mining area of Mianning County, Sichuan, China triggered 6 water-stone flow and 2 mining debris flow in Waweiai River Basin and its tributaries. The mining fields, ore dressing plant, ground station, dump, flood discharge trench, mining road et al and mine environment suffered serious harms. The study shows that the studied region has sufficient conditions for water-stone flow developing, and the debris flow is in the stage of maturity while the debris flow is in a recession. July 18 water-stone flows are induced by a strong rainfall with frequency of 100 years, which eroded and incised old debris flow bank and bed deposits along with flash flood. The frequency of heavy rain and outbreak of water-stone flow has same synchronization. The water-stone flow has some features such as coarse solids (maximum diameter of 8 m), very low content of powder and clay (less than 1%), high bulk density ($1.6 \sim 1.85 \text{ t/m}^3$), strong scouring and silting changes in gully bed (maximum scour depth 10 meters, the largest deposition depth of 5 meters), large scale (with total capacity of $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ of solid materials) etc.

Key words: water-stone flow; forming condition; characteristics; endangers; rare earth mining area