

文章编号: 1008 - 2786 - ( 2012 ) 6 - 696 - 05

# 宁南县矮子沟“6.28”特大灾害性泥石流成因和特征

胡凯衡<sup>1 2</sup> 崔鹏<sup>1 2</sup> 马超<sup>1 2 3</sup> 周公旦<sup>1 2</sup> 田密<sup>1 2 3</sup> 杨东旭<sup>1 2 3</sup> 刘维明<sup>1 2</sup>

( 1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室 四川 成都 610041;

2. 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; 3. 中国科学院大学 北京 100049)

**摘 要:** 2012 - 06 - 28T5:00 四川省凉山彝族自治州宁南县矮子沟突降强暴雨,引发了特大灾害性泥石流,造成严重的人员伤亡和财产损失。此次泥石流是在长时间的前期降雨和短历时的强降雨共同作用下,从上游支沟坡面和两侧冲沟短时间内形成的,具有发展和运动历时短,规模中等而峰值流量大,泥石流和洪水交替作用等特点。严重的沟道堵塞和中下游松散物质的补充,使得泥石流的峰值流量是清水流量的 3 ~ 4 倍。

**关键词:** 泥石流;矮子沟;暴雨灾害

**中图分类号:** P642. 23

**文献标识码:** A

进入 21 世纪以来,全球范围内的异常地质事件和极端气象事件频发,造成了许多严重的山洪泥石流滑坡等山地灾害。比如 2010 - 08 - 07 的舟曲特大山洪泥石流造成 1 700 多人死亡和失踪<sup>[1]</sup>。特别是我国的西南山区,地形陡峻,地质条件脆弱,一旦遭遇局地的强降雨,很容易引发大规模的泥石流灾害。2012 - 06 - 27 晚至 28 日晨,四川省凉山彝族自治州(简称凉山州)宁南县遭遇区域性的强降雨,致使该县白鹤滩镇的多个流域暴发泥石流。其中,规模和损失最大的为矮子沟泥石流(简称“6.28”泥石流)。由于泥石流发生在凌晨,暴发突然,来势迅猛,直接将沟道下游几处房屋冲毁、淤埋,造成人员伤亡。截止 2012 - 07 - 18T18:00,已造成 20 人死亡,20 人失踪。并且给位于矮子沟下游的一些基础设施带来严重损失。

本文根据实地调查的数据和获取的信息,综合相关的气象、地质和历史资料,对此次特大灾害性泥石流的成因和特征做了分析,为泥石流的研究提供实际的案例和数据。

## 1 研究区域概况

矮子沟位于凉山州东南部,为金沙江的一级支流(图 1),距拟建的白鹤滩水电站坝址 5 km,主沟长 19.55 km,流域面积 65.55 km<sup>2</sup>,沟道狭窄,多跌水陡坎,沟谷平均比降 155.2‰,冲沟发育;地貌上属于川西南山区,起伏很大,流域海拔最高为 3 572 m,沟口处高程为 626 m,平均坡度为 26°,最大坡度为 66.8°,大部分坡面坡度在 20° ~ 34°。

矮子沟在大地构造上位于准扬子地块西部,紧邻川滇菱形块体<sup>[2]</sup>。扬子地块为古老地块,构造相对稳定。矮子沟发育在骑骡沟背斜的东翼,地质构造简单,未发现大的第四纪活动构造断裂通过该区,构造相对稳定<sup>[3]</sup>。构造变形相对简单。但矮子沟距离川滇菱形块体东部边界的小江断裂约 20 km,后者对研究区地质构造具有强烈的影响。

矮子沟主要出露上二叠统峨眉山组玄武岩(P<sub>2</sub>β),本次泥石流的主要固体物源即为该套玄武

收稿日期(Received date): 2012 - 07 - 24; 改回日期(Accepted): 2012 - 08 - 12。

基金项目(Foundation item): 中国科学院重点部署项目(KZZD - EW - 05 - 01)、国家重点基础研究发展计划资助(2011CB409902)和中国科学院成都山地灾害与环境研究所青年百人团队项目。[This research is supported by the Key Research Program of the Chinese Academy of Sciences (Grant No. KZZD - EW - 05 - 01), the National Program on Key Basic Research Project (973 Program) (Grant No. 2011CB409902) and the Hundred Young Talents Program of Institute of Mountain Hazards and Environment.]

作者简介(Biography): 胡凯衡(1975 -),男,江西瑞金人,研究员,硕士生导师,主要从事泥石流研究。[Hu Kaiheng (1975 -), male, born in Ruijin County of Jiangxi Province, major in debris flows.] E-mail: khhu@imde.ac.cn

岩提供。由于玄武岩坚硬不透水,在暴雨的作用下其表层的松散物质极易流失,为泥石流的发生提供物源。峨眉山组玄武岩下伏地层为三叠系飞仙关组( $T_{lf}$ ),以泥岩和粉砂岩为主,容易风化。矮子沟中下游和金江古滑坡相邻。滑坡的北侧以深切矮子沟为界,发育有2条深切的“V”型冲沟,汇入矮子沟<sup>[4]</sup>。

矮子沟处于亚热带季风气候区,干湿季节分明。5—10月为雨季,降水充沛,多强降雨,为泥石流的发生提供水源;11月至翌年4月为干季,降水稀少;年降水量在600~1500 mm<sup>[5]</sup>。区内气候温暖干燥,年平均气温15~21℃,属于干热河谷中的干热河谷区;气候垂直变化显著,流域从沟口到山顶的高差达近3000 m,随着海拔增高,温度降低,降水增多。

沟口六城镇所在的堆积台体有较厚的老泥石流堆积物,沟道有9.6 m高的巨石,沟口出露的河相沉积物(厚度估计为3 m左右)上覆有无分选结构沉积物(厚度大致为5 m)。这说明在历史上该沟暴发过大规模的泥石流。但据对当地居民的访问,除1998年发生过一次中等规模的泥石流外,并无其他

泥石流灾害的记录。

## 2 泥石流成因

矮子沟地形陡峻,相对高度2946 m,沟谷切割较深,多跌水陡坎,平均纵坡比降155.2‰。中下游沟谷深切,狭窄相间,宽度10~80 m。流域形态为长勺形,径流易于集中汇集。海拔2300 m以上有成片森林,以下为耕地、裸地和灌丛,植被稀疏。

矮子沟大部分覆盖有第四系松散堆积物,包括坡积物、冲洪积物及古泥石流堆积物。中游和泥石流形成区坡面基岩上覆1~3 m厚的黄棕壤、砖红壤或灰白色的砂土。流域内陡坡耕作比较普遍,海拔1100~2300 m均有大面积的坡耕地。中下游两侧坡面古滑坡和崩坡积层深厚且分布广,散乱分布大量的块石和巨石。据中国科学院成都山地灾害与环境研究所1991年对这一区域的调查<sup>[6]</sup>,该沟的松散物质可补给方量大约 $2000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。因此,矮子沟内有较丰富的崩坡积物、残坡积物、风化土壤层等固体松散物质补给。此次泥石流主要是由上游右岸支沟的坡面松散物质启动的(图2、图3)。

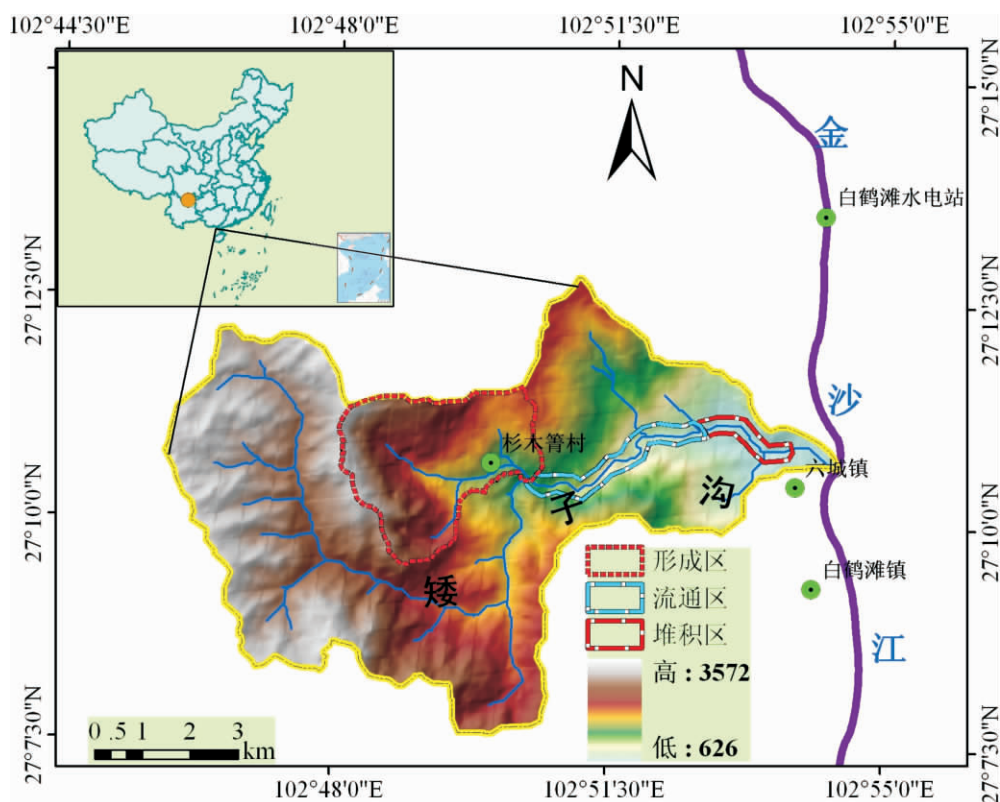


图1 矮子沟泥石流流域图

Fig.1 Map of Aizi ravine



图2 杉木箐村背后的坡面泥石流

Fig. 2 Hillslope debris flow behind Shanmuqing village



图3 泥石流形成区坡面强烈侵蚀

Fig. 3 Strong soil erosion on slopes in the formation area of debris flow

“6.28”泥石流是在长时间的前期降雨铺垫下,由短时间的强降雨激发的。据当地雨量站的记录,该区域自5月1日进入汛期以来连续约50 d的断续降雨,特别是在6月21日起连续一周强降雨。前期降雨使流域内堆积物被浸润,降低了土体的抗剪

能力,稳定性减弱,易于启动。6月27日20:00到28日10:00,白鹤滩周边3个自动雨量站的降雨量分别为:大寨站89.0 mm、新田站77.7 mm、白鹤滩站24.2 mm。3站每小时最大雨量分别为:大寨26.9 mm(06:00)、新田23.3 mm(06:00)、白鹤滩9.1 mm(06:00),最大降雨集中在28日05:00—07:00。但是这3个站的海拔位置在1260 m以下,不能完全反映泥石流形成区的降雨情况。据昭通市气象台根据气象雷达回波数据的分析,估计05:00—06:00矮子沟降雨量约超过坝址附近15 mm,约为38 mm。而泥石流正是由于这个时段的强降雨激发的。

### 3 泥石流特征

“6.28”泥石流在矮子沟上游右侧支沟形成后(见图1),沿途汇集两侧冲沟的泥石流和坡面侵蚀物质,并冲刷两岸的坡积物和沟底的冲积物,一路向下发展,到达下游沟口六城镇公路桥处时间在5:50左右。据新田站气象记录,05:00—06:00的最大10 min雨强在06:20—06:30。所以,泥石流的整个发展过程估计在30 min左右。

现场调查发现,泥石流在岸边留下的堆积物比较粘稠,具有一定的结构性;在多处弯道和开阔处留下大量的块石(图4)。泥石流的物质组成沿程有明显的变化。现场在泥石流形成区杉木箐村和堆积区公路桥附近分别采集了2个泥石流样品。因为采集工具的限制,样品中没有包含粒径>40 mm的粗大颗粒。2个泥石流样品颗分曲线(图5)的对比表明,经过一定距离的搬运后,泥石流中>5 mm的粗颗粒含量在增加,而0.005 mm和4 mm粒径之间的颗粒在减少,<0.005 mm的粘粒含量基本不变。这



图4 矮子沟中下游弯道和开阔处停积的块石

Fig. 4 Cobbles and boulders left on the side of the ravine

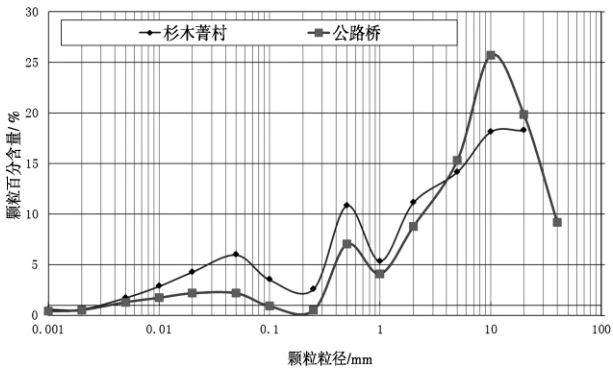


图 5 泥石流样品的重量百分含量曲线  
Fig.5 Grain size distribution of debris flow samples

说明泥石流在运动过程中逐渐加入了粗颗粒,而有部分细颗粒沿程发生沉积。另外,还可以发现矮子沟泥石流中粒径 0.1~0.25 mm 的颗粒非常少。根据现场的情况可以初步判断,矮子沟“6.28”泥石流为高密度的粘性泥石流,密度值在 2.0~2.1 g/cm<sup>3</sup>。

根据记录,1981 年、1983 年、1999 年和 2009 年宁南县范围内均发生过日降雨量超过 84.1 mm 的暴雨<sup>[7]</sup>。张远瞩<sup>[8]</sup>根据与矮子沟隔江相望的巧家县水利局大寨乡雨量观测点(海拔 1 375 m) 1995—2001 年降雨数据,计算了这一区域的降雨概率分布(表 1)。而白鹤滩附近新设立的大寨自动雨量站测得此次泥石流发生前后(6 月 27 日 20:00 到 28 日 10:00)的降雨量为 89.0 mm。所以,引发“6.28”泥石流的暴雨大约为 20 a 一遇。

矮子沟流域内无实测的洪峰流量资料,无法按数理统计方法计算设计洪峰流量。遵从有关规定,采用《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》推荐的推理公式计算设计暴雨,再由设计暴雨推求设计洪峰流量。根据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》确定的基本参数及计算公式,矮子沟不同频率的设计洪峰流量见表 2。根据计算泥石流峰值流量的雨洪修正法计算泥石流流量。矮子沟沟道狭窄,弯道和卡口多,为严重堵塞情况,泥石流的堵塞系数取 3.0。清水流量取 20 a 一遇的设计洪峰流量。由此得到泥石流的峰值流量为 724.8 m<sup>3</sup>/s。

而根据公路桥上游 300 m 处的一个过流断面形态和泥痕,使用形态调查法估算泥石流的峰值流量约为 1 000 m<sup>3</sup>/s。但是,因为此次泥石流事件为洪水和泥石流交替,加之过流断面处停积的块石抬高了洪水位。所以,测量的洪水位可能比实际的要高。实际的泥石流峰值流量要比形态调查法估算的低。

如果按形态调查法和雨洪修正法两者的平均值作为此次泥石流峰值流量的估计值的话,那么当时的峰值流量约为 862 m<sup>3</sup>/s。此次泥石流的峰值流量虽然比较大。但是,经过下游沟道的停淤和公路桥的拦截作用(图 6),大部分泥石流物质并没有输入金沙江。所以,泥石流的冲出总方量并不是很大。尽管此次泥石流的冲出量达不到特大型泥石流的标准。但是,由于峰值流量较大,冲击破坏力极大,死亡人数较多。所以,称之为特大灾害性泥石流。

表 1 矮子沟附近的降雨概率分布 <sup>[8]</sup>					
Table 1 Rainfall-frequency relationship in the study area					
频率/%	1	2	5	10	20
日降雨量/mm	133	114	88	69	52.9

表 2 矮子沟的设计清水洪峰流量					
Table 2 Peak discharge of floods with different return periods in the study area					
频率/%	1	2	5	10	20
洪峰流量/(m <sup>3</sup> /s)	345.8	301.0	241.6	195.7	150.0



图 6 由于涵洞被堵沟道下游公路桥拦截了大部分泥石流物质  
Fig.6 Most of debris-flow sediment intercepted by the road bridge across the downstream channel

#### 4 结论

野外调查与资料分析表明,“6.28”矮子沟特大灾害性泥石流是由长时间的前期降雨和短历时的强降雨共同引发的。陡峻的地形和丰富的松散物质为泥石流的形成提供了充分的动力和物源条件。此次事件具有发展时间和历时短,泥石流规模中等而峰值流量大,泥石流和洪水交替作用等特点。严重的沟道堵塞和中下游松散物质的补充放大了泥石流的

峰值流量,造成重大人员伤亡和经济损失。

金沙江下游地区是我国泥石流、滑坡等山地灾害发育最为典型、活动最为强烈、危害最为严重的地区,也是我国水电开发最为密集的区域之一。此次灾害事件表明,需要加大重点工程区的山地灾害预防力度,研究适合水电工程施工区的泥石流减灾对策和风险管理措施,减少山地灾害带来的人员伤亡和经济损失。

## 参考文献(References)

- [1] Hu Kaiheng, Ge Yonggang, Cui Peng, et al. Preliminary analysis of extra-large-scale debris flow disaster in Zhouqu County of Gansu Province[J]. *Journal of Mountain Science* 2010, 28(5): 628–634 [胡凯衡, 葛永刚, 崔鹏, 等. 对甘肃舟曲特大泥石流灾害的初步认识[J]. *山地学报* 2010, 28(5): 628–634]
- [2] Huang Fugang, Li Zhonghua, Qin Jiazhen, et al. Correlation of seismicity in Sichuan–Yunnan Rhombic Block[J]. *Journal of Seismological Research* 2007, 30(3): 205–209 [皇甫岗, 李忠华, 秦嘉政, 等. 川滇菱形块体强震活动关联分析[J]. *地震研究* 2007, 30(3): 205–209]
- [3] The First Geological Team of Geological Bureau of Sichuan. Survey report of G–48–7 1/200 000 regional geology[R]. 1964 [四川省地质局第1区测队. 米易幅 G–48–7 1/20 万区域地质测量报告[R]. 1964]
- [4] Zhao Jianjun. Analysis of characteristics and stability of Jinjiang landslide in the vicinity of Baihetan reservoir [J]. *Science and Technology Innovation Herald* 2011, 8(16): 123 [赵建军. 白鹤滩水电站金沙江滑坡特征及稳定性分析[J]. *科技创新导报* 2011, 8(16): 123]
- [5] Institute of Tibetan Plateau Comprehensive Scientific Survey Team, Chinese Academy of Sciences. *Physical Geography of Hengduan Mountains* [M]. Beijing: Science Press, 1997: 39–61 [中国科学院青藏高原综合科学考察队. 横断山区自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 39–61]
- [6] Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy. Survey on debris flows and landslides in Sichuan region at downstream of Jinsha river[R]. 1991: 69 [中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 金沙江下游四川片泥石流、滑坡普查报告[R]. 1991: 69]
- [7] Tan Wanpei, Wang Chenghua, Yao Lingkan, et al. Prediction and forecasting of rainfall debris flow landslide area——Taking Panxi Area as an example [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology, 1994: 36–53 [谭万沛, 王成华, 姚令侃, 等. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报——以攀西地区为例[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 36–53]
- [8] Zhang Yuanzhu. Research on environment and discharge to Dazhai Gully and Haizi Gully debris flows in Baihetan reservoir area, Jinsha river [D]. Chongqing: Southwestern Normal University, 2004: 49 [张远瞩. 金沙江白鹤滩水电站库区大寨沟、海子沟流域泥石流形成环境与流量研究[D]. 重庆: 西南师范大学, 2004: 49]

# Causes and Characteristics of 28 June Disastrous Debris Flow Event in Ningnan County of Sichuan, China

HU Kaiheng<sup>1 2</sup>, CUI Peng<sup>1 2</sup>, MA Chao<sup>1 2 3</sup>, ZHOU Gongdan<sup>1 2</sup>, TIAN Mi<sup>1 2 3</sup>,  
YANG Dongxu<sup>1 2 3</sup>, LIU Weiming<sup>1 2</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;  
2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;  
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** A disastrous debris-flow event occurred at Aizi Ravine in Ningnan County, Sichuan Province between 5:00 and 6:00 am on June 28, 2012. As of July 4, 7 people were killed and 33 missing. The debris flows were triggered by a local intensive rainfall of 38mm/h after one month antecedent rainfall. The formation area was the sub-catchment belonging to the upstream right tributary. Massive material from hill slopes and small gullies was concentrated in a short duration of approximate 30 minutes. The peak discharge was amplified by 3 to 4 times because meandering channels and narrow passes of the main stream accumulated the flows, and a great deal of debris from colluviums, diluvium, and sediment deposit in the downstream channel were eroded. The event is characterized with short duration of formation and propagation, moderate scale but high peak discharge, and inter-occurrence of flood and debris flow. A lesson from the disaster is low-frequency debris-flow ravines such as Aizi should be paid special attention in the hydropower engineering area.

**Key words:** debris flow; Aizi ravine; rainstorm