

文章编号: 1008-2786-(2019)4-631-08  
DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000454

## 云南省麻栗坡县猛硐河“9.02”泥石流调查

陈 志<sup>1a,2</sup>, 杨志全<sup>1b\*</sup>, 刘传秋<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 a. 环境科学与工程学院, b. 公共安全与应急管理学院, 昆明 650093;

2. 云南地质工程勘察设计院, 昆明 650041)

**摘 要:** 云南北端天气气候事件造成了地质灾害发生频发。2018 年 9 月 2 日云南麻栗坡县猛硐河流域发生特大山洪泥石流灾害, 造成 10 多人死伤, 11 人失联, 建筑损毁、河道淤埋、基础设施破坏, 直接经济损失达 14 亿元。通过对麻栗坡县猛硐“9.02”河流域泥石流灾害的现场调查, 从物源、地形和水源条件入手, 分析了灾害特征与形成演化过程。研究表明, 降水是泥石流发生的根本原因, 造成沟域内岩土体出现崩滑物源、坡面物源和沟道物源三者的启动及链生效应; 由于泥石流造成微地貌改变, 今后泥石流爆发可能性增大, 高频率、中小规模泥石流是泥石流活动的特征。从发展趋势看, 该流域正处于泥石流发育阶段, 存在发生大规模泥石流的可能性。应及时地进行沟道的治理, 并加强监测预警。

**关键词:** 泥石流; 降水; 特征; 猛硐河

**中图分类号:** P642.21

**文献标志码:** C

云南受到西南季风、西太平洋、孟加拉湾和南海等地生成的热带风暴共同影响, 强降水事件和极端降水事件的时空分布规律复杂, 国内其他区也存在明显的差异性<sup>[1-2]</sup>。云南降水诱发的地质灾害表现为点多面广、地质灾害类型复杂多样的特征<sup>[3]</sup>, 尤其是山洪、泥石流及滑坡灾害, 严重威胁山区人民的生命财产安全, 防灾减灾形势严峻, 是制约云南可持续发展的重要因素<sup>[4]</sup>。浅层滑坡诱发的沟谷泥石流主要分布在中国的东部沿海地区, 如辽宁、浙江、福建和台湾山区, 在中国西南部有时也会有此类泥石流发生<sup>[5]</sup>。云南北端天气气候事件的影响不断增强<sup>[6]</sup>, 强降水的强度和频次增加, 加大了地质灾

害发生的风险, 尤其是主汛期强降水事件增加, 导致山洪、泥石流及滑坡等地质灾害发生频次增加<sup>[7]</sup>。

2018 年 9 月 2 日凌晨 3 时—4 时, 因单点强降雨诱发流域内沟岸浅表发生成片的滑坡, 猛硐河自乡政府驻地大桥以上地段及水冲香、香草棚流域内共发生滑坡约 550 个, 进而引发特大山洪泥石流灾害。灾害造成 10 人死亡、7 人受伤、11 人失联, 并有多处房屋受损、部分倒塌, 泥石流堆积物严重堵塞河道, 淤埋街道、商铺, 同时造成该片区公路、电力、通讯和供水全部中断, 大量农田被掩埋, 直接经济损失达 14 亿元。在单点暴雨或持续性强降雨等不利因素作用下, 再次爆发泥石流灾害的可能性极大, 严重

收稿日期 (Received date): 2019-02-23; 改回日期 (Accepted date): 2019-08-27

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (41861134008, 41402272); 云南省应用基础研究计划项目 (2015FB122); 云南省省级人培项目 (KKS201421016); 云南省教育厅科学研究基金重点项目 (2014Z031)。[National Natural Science Foundation of China (41861134008, 41402272); Yunnan Applied Basic Research Program (2015FB122); Yunnan Provincial Personnel Training Program (KKS201421016); Key Project of Scientific Research Foundation of Yunnan Education Department (2014Z031)]

作者简介 (Biography): 陈志 (1980-), 男, 博士研究生, 主要从事水土保持与地质灾害研究。[CHEN Zhi, (1980-), male, Ph. D. candidate, mainly research on soil and water conservation and geological hazards] E-mail: chenchi1934@163.com.

\* 通讯作者 (Corresponding author): 杨志全 (1983-), 男 (汉), 博士, 教授, 主要从事灾害启动机理与水土保持方面研究。[YANG Zhiqian, (1983-), male, professor, Ph. D., mainly specialized in disaster starting mechanism and soil and water conservation] E-mail: yzq1983816@163.com.

威胁下游共计约 3000 人的生命财产安全。泥石流灾害危害性等级为特大型,险情等级为特大型。目前对该次泥石流事件的调查尚未开展。研究这类泥石流形成的地形和降雨条件,再研究这两个条件之间的关系,提出这类地质条件下的泥石流暴发临界条件,为浅层滑坡诱发的沟谷泥石流的预测预报打下基础。

## 1 研究区背景

### 1.1 区域环境

麻栗坡县地处云贵高原南部中山峡谷区,主要于北回归线南侧,纬度较低。县境气候夏季主要受到北上的大洋暖流控制,冬季受南下的高原寒流影响,气候类型属高原亚热带湿润型山地季风气候。研究区降水量较充沛,年均降雨量为 1059.5 mm,雨季一般为每年的 4 月—10 月,其中猛硐乡年均降雨量为 1430.9 mm;流域内分布的主要地层有第四系泥石流堆积层( $Q_4^{sf}$ )、人工堆积层( $Q_4^{ml}$ )、残坡积层( $Q_4^{cl+dl}$ )、冲洪积层( $Q_4^{al+pl}$ )。流域内广泛分布区域变质岩,位于都龙变质区内,为老君山旋卷构造—莲花状构造外旋层。流域内变质岩按其成因划分为花岗质片麻岩、付变质岩两大类。

研究区地理坐标为  $22^{\circ}50'00'' \sim 22^{\circ}55'00''N$ ,东经  $104^{\circ}37'30'' \sim 104^{\circ}45'00''E$ ,位于老君山莲花状构造体系东南部,区内断裂主要有金竹山—猛硐的弧形斜冲断层,不明性质断层。历史上无大的地震记录,地震强度较弱,但越南境内,近年来,连续发生 5.25~5.5 级地震。老君山莲花状构造严格影响着流域内滑坡、泥石流的分布和发育。

### 1.2 流域特征

研究区地理坐标在北纬  $22^{\circ}50'00'' \sim 22^{\circ}55'00''$ 和东经  $104^{\circ}37'30'' \sim 104^{\circ}45'00''$ 之间。香草棚、水冲香沟为猛硐河支流。猛硐河属红河支流盘龙江的一级支流,总体流向由南西向北东。干流全长 23.5 km,落差 950 m,平均纵坡降 40.4‰;流域面积 134.2 km<sup>2</sup>,多年平均径流量 1.34 亿 m<sup>3</sup>;区域属构造侵蚀中山峡谷地貌区,汇水范围内山高沟深,总体地势南高北低,最高点海拔 1654.7 m,最低点海拔高程 1047 m,高差 607.7 m,河流及其支沟多呈树枝状发育,且沟谷侵蚀作用强烈,沟岸坍塌严重,多以密集的、成片的浅表层土质滑坡为主,大量物源汇入

沟谷形成泥石流。

猛硐乡政府驻地微地貌为山间河谷冲积台地,乡政府驻地长约 500 m,宽约 500 m,面积约 0.25 km<sup>2</sup>,处于猛硐河主流与其支流水冲香支流与香草棚支流交汇处,高程 1076~1050 m,地形相对高差约 26 m。猛硐河主流上游从乡政府驻地北西侧穿过,水冲香支流从东侧穿过,香草棚支流从中部穿过,总体上为山麓地带,处于侵蚀与堆积交界地貌区。

## 2 泥石流形成条件

### 2.1 降雨条件

研究区泥石流水源补给主要来源于大气降水。降雨是激发猛硐乡浅层滑坡和泥石流的主要因素。引发“9.02”泥石流的降雨条件具有雨量大、降雨历时长、雨强较大的特点。临灾前 3 天的降雨分别为:8 月 30 日 8 时—8 月 31 日 8 时,21.8 mm;8 月 31 日 8 时—9 月 1 日 8 时,21.7 mm;9 月 1 日 8 时—9 月 2 日 8 时,211.9 mm;9 月 2 日 8 时—9 月 3 日 8 时,46.2 mm,且雨量随海拔增高而增大。根据文献[8],文山地区泥石流发生的临界雨量为 115.2~164.0 mm,小时雨强为 50~80 mm。当天降水已经大幅超过当地泥石流发生的临界降水。

### 2.2 物源条件

研究区泥石流沟固体松散物源主要有崩滑、坡面侵蚀、沟床堆积三类物源(图 1)。各沟物源条件如下:

(1)滑坡类:花岗岩风化土层分布范围广、厚度大,降雨条件下易失稳诱发滑坡。根据现场调查,流域内共发育滑坡 565 个,大多滑坡前缘直接面向沟道,大部分发育有滑移裂隙。滑坡前缘位于沟道内的滑坡,约 80% 的发生垮塌,被泥石流冲刷挟带,堆积于沟道宽缓区。在应急抢险救灾期间,堆积于集镇区或靠近集镇区主沟道内的物源,大部分已被工程清理,但仍有约 20% 的松散物质残留于坡面或淤积于坡脚,有可能成为后续泥石流的物质补给;部分不稳定坡体位于岸坡,距主沟约 40~80 m,并已经产生滑移,约 60% 的坡体物质参与了本次泥石流活动。据专家现场调查评估,约 15% 可能参与下次泥石流活动;项目区近来工程建设开挖形成临空面,造成滑坡,该类滑坡体约有 90% 直接淤积道路,约

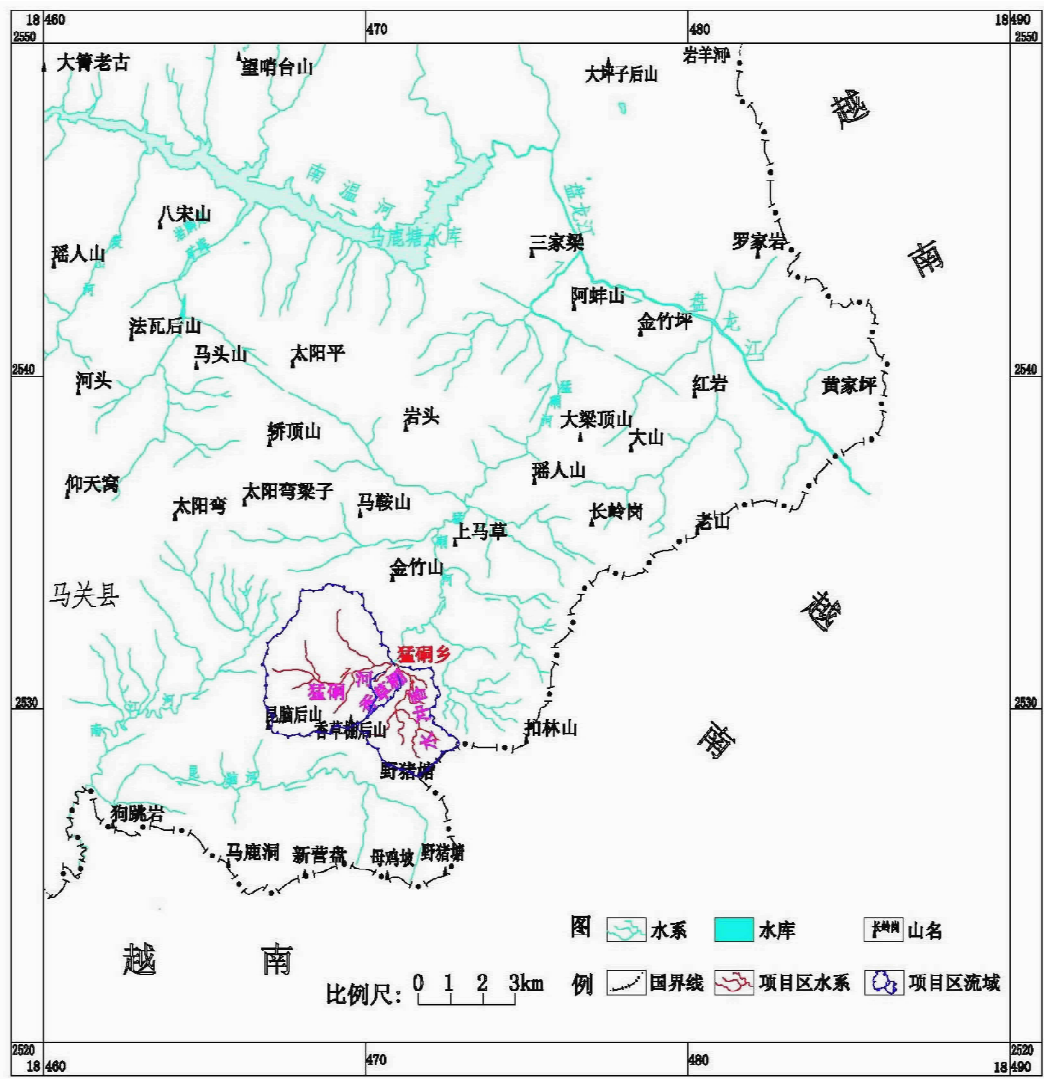


图 1 研究区位置及水系图

Fig. 1 Research location and local drainage system



图 2 水冲香泥石流流域降雨诱发崩滑体分布照片

Fig. 2 Photo of rainfall-induced landslides in the Shuichongxiang debris flow basin

10% 翻越道路, 汇集于泥石流沟道, 成为泥石流物质来源。

(2) 坡面侵蚀类: 项目区属于水力侵蚀为主的西南土石山区, 结合坡面现状植被类型、地形坡度及灾害发育情况等因素综合确定, 物源量计算面积按地形图上量取面积, 因侵蚀剧烈蚀区多位于沟岸, 水流冲刷后 70% 量可直接参与泥石流活动, 中度及轻度侵蚀区多距沟道较远, 根据经验按 20% 计入泥石流可移动物源, 年限取 30 年。

根据各区的侵蚀模数, 按下式计算泥石流流域内不同区段每年可提供泥石流固体松散物:

$$W = A \times M \quad (1)$$

式中,  $W$  为年水土流失总量,  $t/a$ ;  $A$  为水土流失面积,  $km^2$ ;  $M$  为侵蚀模数,  $t/km^2 \cdot a$ 。

项目治理各泥石流沟坡面侵蚀类物源合计  $213.62 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

从物源分布看(表 1),各物源点并无特别集中分布的趋势,在各支沟及主沟内均有分布,就物源总量而言,静储量及动储量猛硐河物源最大,分别为  $460.29 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $460.29 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,水冲香物源次之,为  $419.55 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $143.03 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,香草棚最小为  $67.68 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $22.76 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,主要是因其流域面积递减;就物源种类分布而言,坡面侵蚀物源最大,崩塌次之,最小为沟道堆积物,分别为 62.35%、31.51%、6.15%;强降水后,崩滑类物源数量的激增以及对沟道造成的堵塞溃决,导致沟道堆积物源可能启动量增加,为“9.02”特大泥石流的孕育和发生提供了条件。

2.3 地形条件

猛硐河泥石流流域整体呈“瓢”状,可概括为

“三面环山,中为谷,东为出口”,其地形具备汇水条件;水冲香泥石流流域整体呈“瓢”状,可概括为“三面环山,中为谷,北为出口”,其地形具备汇水条件;区内不良地质现象及坡面侵蚀较发育,沟岸及沟床堆积大量松散固体物源。香草棚泥石流流域整体呈“树叶”状,区内不良地质现象及坡面侵蚀较发育,沟岸及沟床堆积大量松散固体物源。其具体地形指数及泥石流三区划分见表 2。

3 “9.02”泥石流成灾机理

3.1 “9.02”泥石流暴发及运动特征

根据现场调查,2018 年 9 月 2 日凌晨 3 时—4 时,麻栗坡县猛硐乡政府驻地集镇区发生泥石流,泥石流共分三股,三条泥石流(猛硐河、香草棚沟、水冲乡三条泥石流)呈夹击之势同时冲刷集镇,将集

表 1 研究区泥石流流域不同类型松散物源量调查统计

Tab. 1 Statistics about different types of loose materials in the study area of debris flow basin

物源类型	流域沟名	静储量 / $10^4 \text{ m}^3$	动储量 / $10^4 \text{ m}^3$	占静储量比例 /%	动储量 小计	占动储量 总量比例/%	基本特点
崩滑物源	猛硐河	229.70	42.99	18.72	107.95	31.51	315 处,沿沟岸遍布
	水冲香	283.70	56.03	19.75			239 处,沿沟岸遍布
	香草棚	45.96	8.93	19.42			60 处,沿沟岸遍布
坡面侵蚀 物源	猛硐河	217.90	121.80	55.90	213.62]	62.35	早期分布在沿沟两侧坡面的各类成因堆积体
	水冲香	127.60	79.16	62.04			
	香草棚	20.48	12.66	61.82			
沟道堆积 物源	猛硐河	12.69	12.06	95.00	21.07	6.15	沿沟道分布的早期及新近泥石流堆积体
	水冲香	8.25	7.84	95.00			
	香草棚	1.24	1.18	95.00			
总计		925.34	342.64				各类动储量分别按自然休止角、坡面侵蚀模数及沟道下切深度统计估算

表 2 泥石流流域特征表

Tab. 2 Characteristic table of debris flow basin

项目	猛硐河数据			水冲香数据			香草棚数据		
	形成区	流通区	堆积区	形成区	流通区	堆积区	形成区	流通区	堆积区
全流域/ $\text{km}^2$		14.00			5.98			0.80	
分区/ $\text{km}^2$	12.25	1.69	0.07	4.82	1.10	0.06	0.73	0.03	0.05
分段高差/ $\text{km}^2$	432.00	41.00	8.00	500.00	42.00	8.00	289.00	19.00	10.50
全长/ $\text{km}^2$		6.34			5.01			1.99	
分段长/ $\text{km}^2$	3.65	1.99	0.70	2.98	1.56	0.47	1.18	0.39	0.42
纵坡降/%		75.87			109.78			160.05	



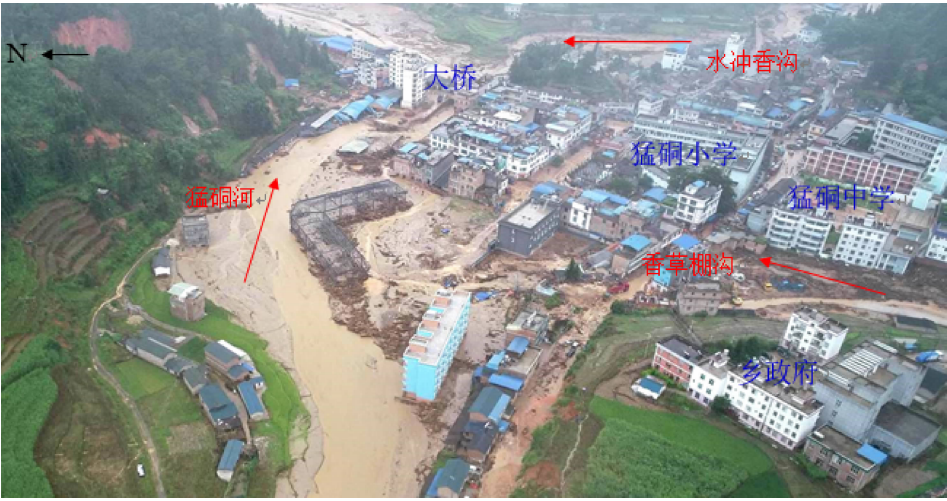


图 3 9.02 泥石流灾害全景

Fig.3 View of 9.02 debris flow disaster panorama

镇包围,据现场调查及排查清淤工程统计,4 天内清理泥石流堆积物  $116 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,除主河猛洞河外,两支流堆积量均大于  $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,单条泥石流为大型,三条综合为特大型。根据泥痕断面,测算水冲香、香草棚沟口泥石流过流峰值流量分别约为  $310 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $170 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $97 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.2 “9.02”泥石流动力学特征

泥石流容重、流速、流量及一次冲出总量是泥石流的重要动力学特征指标及工程防治所需的重要参数<sup>[9-10]</sup>。对泥石流容重采用现场配浆称重法,获得“9.02”泥石流的容重平均值为  $1.65 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ ,属于粘性泥石流。泥石流流量由降水、流域面积及流速等因素决定。麻栗坡县城与猛洞乡历年最大日降雨量值,选用皮尔逊Ⅲ型分布曲线进行拟合配线,经数理统计计算,求得日最大降雨均值  $\bar{H}_{24} = 88 \text{ mm}$ ,变差系数  $C_v = 0.42$ ,  $C_s = 3.5C_v = 1.47$ 。查云南省水文手册附图 19,百年一遇倍比系数为 2.31,50 年一遇倍比系数为 2.08,30 年一遇倍比系数为 1.88。采用云南省水文手册法计算 30 年、50 年、百年一遇设计暴雨量<sup>[11]</sup>。

计算公式:

$$H_{tp} = \zeta \cdot K_{tp} \cdot \bar{H}_{tp} \tag{2}$$

式中,  $H_{tp}$  为历时为  $t$ , 设计频率为  $p$  的暴雨量(表 3);  $\bar{H}_{tp}$  为历时为  $t$  的暴雨量均值;  $K_{tp}$  为倍比系数;  $\zeta$  为点面折减系数,取值为 1.0。

根据以上求得的设计暴雨量  $H_{24}$ ,采用水文研究所法和水文手册法<sup>[11]</sup>求得清水洪峰流量  $Q_w$ ,其

表 3 设计频率暴雨量统计表

Tab.3 Rainstorm Statistics table of Design Frequency

频率	倍比系数 $K_{tp}$	$H_{24}/\text{mm}$
百年一遇 ( $P=1\%$ )	2.31	198.66
50 年一遇 ( $P=2\%$ )	2.08	178.88
30 年一遇 ( $P=3.33\%$ )	1.88	161.68

\* 泥石流爆发当天降水为 211.9 mm,与百年一遇相符。来源于《云南省水文手册》中的相关参数。

计算公式略。通过测量猛洞河流域流通段典型泥痕断面和相应部位沟道纵坡,采用雨洪修正法,结合沟道堵塞溃决情况,取堵塞系数均值 2.32,根据泥石流流速及流量计算公式,结合泥痕调查法计算结果,显示该次泥石流对应的降雨频率相当于百年一遇。考虑“9.02”泥石流暴发持续时间约 2 h,则可根据公式获得各泥石流沟口相应的一次泥石流冲出总量及固体总量,见表 4。根据“9.02”泥石流在沟口集镇区部位的堆积面积和平均堆积厚度以及冲出沟口和清淤的规模,可确定本次泥石流一次冲出量为  $110 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,与表 2 结果比较,也显示出大致相当于 20 年一遇降雨冲出的规模。

经采用水文研究所法和水文手册法方法比较,水文研究所法计算结果与现场踏勘及访问调查结果更吻合,综合各方面因素考虑后,清水洪峰流量采用水文研究所法计算结果。泥石流流量分别采用雨洪修正法(东川泥石流流量公式)及形态调查法进行计算,以确定最佳的泥石流流量。经雨洪修正法和

泥痕法比较,泥石流流量采用雨洪修正法计算结果。

$$Q_c = Q_w \times (1 + \varphi) \times D_c \tag{3}$$

式中, $Q_c$  为泥石流流量, $m \cdot s^{-1}$ ;  $Q_w$  为设计清水流量, $m \cdot s^{-1}$ ,取用云南省水文手册法计算值;  $D_c$  为泥石流堵塞系数; $\varphi$  为泥石流泥沙修正系数。

$$\varphi = (\gamma_c - 1)/(\gamma_H - \gamma_c) \tag{4}$$

式中, $\gamma_H$  为泥石流固体物质比重, $t \cdot m^{-3}$ ;  $\gamma_c$  为泥石流容重, $t \cdot m^{-3}$ 。

雨洪修正法计算泥石流流量结果见表 4。

3.3 “9.02”泥石流成灾机理分析

猛硐河所属流域为强暴雨区,雨量充沛,夏秋两季湿热多雨,雨热同期,立体性小区域气候较为突出,流域内植被覆盖很好,沟谷沿岸斜坡沟岸坍塌滑严重,丰富的沟岸堆积物和坡面松散碎屑物为泥石流的发生提供了丰富的物源条件;加上沟谷汇水条件好,泥石流发生当天最大 1 小时降水达 97 mm (2018 年 9 月 2 日),水动力充足。上述地形、物源、水源条件具备,泥石流爆发也就在所难免。传统认为植被覆盖良好的区域,水土流失较轻,不易发生泥石流,该区域之前也无泥石流记载。但植被只是一方面,关键还是暴雨及地质物源因素。①泥石流形成区内,在前期集中降雨的作用下,原有岩土体已趋于饱和,后期降雨已形成径流;②地表径流对破面松散碎屑物进行浸润、冲刷,携带大量松散物质汇集于沟中形成山洪;③沟岸坍塌堆积体的碎屑物进行浸润解体,再次启动部分沟床堆积物;④流域内地形相对高差大,地形陡峻,洪水携带大量泥沙、树枝沿沟冲出,从而发展为泥石流。

3.4 泥石流发展趋势分析

项目区泥石流沟具备泥石流爆发的物源、地形条件,只要在持续暴雨的诱发下就有可能产生泥石流,其规模视松散物源、水动力条件、沟床的堵塞程度、岩土体工程地质条件等因素综合确定,泥石流活动规模随着生态、地质环境的进一步恶化,泥石流活动强度增大是必然的,预测各泥石流发展趋势如下:

(1)流域内岩体风化强烈,结构松散,岸坡坡度陡且植被保水性差,坡面侵蚀严重,滑坡极为发育。随着雨季的到来,滑坡的数量、规模、范围将不断扩大,可移动的固体松散物总量及补给范围也日趋增大,致使各泥石流沟泥石流灾害规模也将扩大。

(2)9.02 泥石流灾害发生后,在沟坡、沟床中积存了大量的松散堆积物质。尤其在沟床宽缓处,泥石流堆积层厚度较大。沉积物结构松散,大部分呈架空结构,若遇较大洪水,沟床堆积物部分极易再次启动参与泥石流活动。

(3)据区域气象资料分析,近年来极端暴雨频率有所增加,特别是近 20 年来,24 小时雨强、1 小时雨强呈总体上升的趋势,为泥石流的爆发提供了充足的水动力条件。

总体上看,项目治理各泥石流沟流域内物源数量、规模、补给范围随着极端气候的加剧、地质环境条件逐渐恶劣而日趋增大,可能引发大规模泥石流灾害,若突发大规模泥石流,将对下游居民、学校、机关、事业单位共计约 3000 人的生命财产构成严重安全威胁,其所造成的人员财产损失将不可预估。

表 4 雨洪修正法计算泥石流流量

Tab.4 The total run-off volume of “9.2” debris flow calculated by rain flood correction method

沟名	频率/%	$Q_w/(m^3 \cdot s^{-1})$	$\varphi$	$D_c$	$Q_c/(m^3 \cdot s^{-1})$	一次泥石流总量	一次泥石流固体总量
						$\times 10^4 m^3$	$\times 10^4 m^3$
猛硐河	3.33	79.70	0.74	2.32	321.40	30.60	22.60
	2.00	88.20	0.74	2.32	355.60	33.90	25.00
	1.00	97.90	0.74	2.32	394.90	37.60	27.80
水冲香	3.33	31.00	0.79	2.32	128.70	31.40	13.90
	2.00	35.30	0.79	2.32	146.30	35.70	15.80
	1.00	40.10	0.79	2.32	166.30	40.60	17.90
香草棚	3.33	9.60	0.79	4.45	76.10	22.10	9.80
	2.00	10.90	0.79	4.45	86.50	25.20	11.10
	1.00	12.40	0.79	4.45	98.20	28.60	12.60

## 4 结论

根据规范<sup>[12]</sup>,2018年9月2日麻栗坡猛硐河特大泥石流是由局地强降雨引发的沟谷型特大低频黏性泥石流<sup>[11]</sup>,容重在 $1.60 \sim 1.67 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间。本次泥石流冲香沟口峰值流量为 $168.63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,流速为 $2.72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,冲出量为 $13.86 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;香草棚沟口峰值流量为 $96.80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,流速为 $2.69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,冲出量为 $9.77 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。本次泥石流活动具有激发时间短、流速快、流量大、规模大、持续时间长、发生于夜间、造成损失惨重等特点。“9.02”泥石流后,整个流域内松散物源总量仍达 $947.56 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中动储量 $342.69 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,本次泥石流冲出量为 $116 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,仅占流域物源总量的12.2%、占动储量的33.8%,尤其是中、下游主沟道内仍停淤大量泥石流堆积体,另外沟道局部堵塞情况仍较严重,因此,若遇适当的前期累计雨量和激发雨强,再次暴发泥石流的可能性极大,在未来5~10年内仍会呈现出频繁暴发的趋势。综上分析,为了减轻泥石流的威胁,应及时治理,并加强监测预警。

## 参考文献 (References)

- [1] 李华宏,胡娟,闵颖,等. 云南短历时强降雨时空分布特征分析[J]. 灾害学,2017,32(3): 57-62. [LI Huahong, HU Juan, MIN Ying, et. Spatial and temporal distribution characteristics of short diachronic heavy precipitation in Yunnan [J]. Journal of Catastrophology, 2017,32(3): 57-62]
- [2] 刘丽,陶云. 云南省汛期极端强降水事件的气候特征[J]. 干旱气象,2012,30(1): 15-20. [LIU Li, TAO Yun. Climatic characteristics of extreme heavy precipitation events in flood season in Yunnan Province [J]. Journal of Arid meteorology, 2012, 30(1): 15-20]
- [3] 万石云,赵宁坤,段玮. 云南滑坡泥石流与强降水的相关性和多时间尺度特征研究[J]. 灾害学,2015,30(1): 45-50. [WAN Shiyun, ZHAO Ningkun, DUAN Wei. Correlation and multi-time scale characteristics of landslide debris flow and heavy precipitation in Yunnan province [J]. Journal of Catastrophology, 2015,30(1): 45-50]
- [4] 唐川,朱静. 云南滑坡泥石流研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2003: 25-46. [TANG Chuan, ZHU Jing. Study on landslide and debris flow in Yunnan [M]. Beijing: Commercial Press, 2003: 25-46]
- [5] 徐友宁,陈华清,张江华,等. 小秦岭金矿7.23 蒿岔峪泥石流成灾模式及启示[J]. 地质通报,2015,34(11): 2001-2008. [XU Youning, CHEN Huaqing, ZHANG Jianghua, et al. Hazard model of the 7.23 mine debris flow in the Xiaoginling gold mine area [J], Geological Bulletin of China, 2015, 34(11): 2001-2008]
- [6] 解明恩,程建刚,范菠. 云南气象灾害的时空分布规律[J]. 自然灾害学报,2004,13(51): 40-47. [XIE Ming'en, CHENG Jiangang, FAN Bo. Spatial and temporal distribution of meteorological disasters in Yunnan [J]. Journal of Natural Disasters, 2004,13(51): 40-47]
- [7] 陶云,唐川. 人类活动和降水变化对滑坡泥石流中长期的影响[J]. 高原气象,2012,31(5): 1454-1460. [TAO Yun, TANG Chuan. Long-term effects of human activities and precipitation changes on landslide debris flow [J]. Highland Meteorology, 2012, 31(5): 1454-1460]
- [8] 万石云,李华宏,胡娟等. 云南省滑坡泥石流灾害危险区划[J]. 灾害学,2013,28(2): 60-64. [WAN Shiyun, LI Huahong, HU Juan and so on. Hazard zoning of landslide and debris flow disaster in Yunnan Province [J]. Journal of Catastrophology, 2013,28(2): 60-64]
- [9] 唐川,铁永波. 汶川震区北川县城魏家沟暴雨泥石流灾害调查分析[J]. 山地学报,2009,27(5): 625-630. [TANG Chuan, TIE Yongbo. Reconnaissance and analysis on the rainstorm induced debris flow in Weijiagou Valley of Beichuan City after the Wenchuan earthquake [J]. Mountain Research, 2009,27(5): 625-630]
- [10] 章书成,HNUGR O,SLAYMAKER O. 泥石流观测与研究: 泥石流中巨石冲击力计算[M]. 北京: 科学出版社,1996: 67-72. [ZHANG Shucheng, HNUGR O, SLAYMAKER O. The observation and research on debris flows: The calculation of the impact of boulders in mudslides [M]. Beijing: Science Press, 1996: 67-72]
- [11] 邵子杰,李宇宁,刘道怀. 云南省暴雨洪水查算实用手册(云水规字(1992)第92号)[R]. 昆明: 云南省水利厅,1992,12: 23-27. [SHAO Zijie, LI Ningning, LIU Daihuai. Yunnan Provincial Practical Handbook for Rainstorm Flood Estimation (Yunshui Regulation No. 92, 1992) [R]. Kunming: Yunnan Provincial Water Conservancy Department, 1992,12:23-27]
- [12] DZ/T 0220-2006. 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社,2006. [DZ/T0220-2006. Specification of geological investigation for debris flow stabilization [S]. Beijing: China Standard Press,2006]

# Investigation of the “9.02” Debris Flows in Mengdong River, Malipo County, Yunnan, China

CHEN Zhi<sup>1a,2</sup>, YANG Zhiquan<sup>1b\*</sup>, LIU Chuanqiu<sup>2</sup>

(1. a. Faculty of Environmental Science and Engineering,

b. School of Public Safety and emergency management, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Yunnan Institute of Geological Engineering Survey and Design, Kunming 650041, China)

**Abstract:** Extreme weather and climate events in Yunnan, China, evoked frequent occurrences of geological disasters. On September 2, 2018, a massive debris flow hit the Mengdong River of Malipo County, Yunnan Province, China, causing more than 10 deaths and injuries, 11 missing, and it incurred river channel burial, infrastructure damages, with a direct economic losses amounting to 1.4 billion yuan. Based on field investigation on its source, topography and water source conditions of the debris flow, in this research it identified the geohazard characteristics, formation and evolution process for understanding the geohazard provenance. The research suggested that precipitation is the root cause of the catastrophe, which caused rock and soil instability in gully walls along with shallow geomaterial motivation, and then an ensuing chain-effect of failures in slope source and channel source, eventually contributing to the outbreak of debris flow. Taking the long view of geohazards in the Mengdong basin, it will have been evolved into an active development phase. There will be a great possibility of large-scale debris flow occurring in the nearest future. And high frequency and small or medium-scale debris flows will characterize the geohazards in the basin. The engineered treatment of the channel stability of the Mengdong basin should be carried out in a timely manner, and monitoring and early warning should be strengthened for geohazard prevention and control.

**Key words:** debris flow; precipitation; characteristic; the Mengdong River