

文章编号: 1108-2786-(2017)1-112-05

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000202

# 新疆叶城“7.6”特大灾害性泥石流应急科学调查

胡桂胜<sup>1\*</sup>, 尚彦军<sup>2</sup>, 曾庆利<sup>3</sup>, 杨长德<sup>4</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 新疆工程学院, 乌鲁木齐 830091)

**摘 要:** 2016 年 7 月 6 日凌晨新疆喀什地区叶城县柯克亚乡玉赛斯(六村)发生滑坡堰塞坝溃决泥石流灾害, 造成 36 人死亡、6 人失踪、7 户民房被完全毁坏, 其余数十间房屋和大量基础设施不同程度受损。现场调查研究表明: (1) 此次灾害性泥石流形成过程为: 降雨→土质滑坡→滑坡堰塞坝→堰塞湖→堰塞坝溃决→泥石流; (2) 9#土质滑坡堰塞坝在持续强降雨作用下发生溃决, 溃口洪峰流量达  $977.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , 形成堰塞坝溃决型泥石流, 致使 1#土质滑坡堰塞坝发生串联溃决, 其溃决洪峰流量为  $459.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ; (3) 泥石流断面流速为  $4.51 \sim 6.51 \text{ m/s}$ , 断面流量为  $443.2 \sim 524.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , 泥石流堆积扇最大长度 283.9 m, 最大宽度 234.3 m。

**关键词:** 叶城县; 滑坡堰塞坝; 灾害性泥石流; 形成过程; 运动特征

中图分类号: P642.21

文献标志码: A

2016 年 7 月 6 日凌晨 40 分左右, 新疆喀什地区叶城县柯克亚乡玉赛斯(六村)发生滑坡堰塞坝溃决泥石流灾害。泥石流摧毁了 7 户民房, 导致 42 人死亡失踪。中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院大学、新疆工程学院等 4 家单位组建了中国科学院“7.6”新疆叶城特大泥石流考察组, 于 7 月 10-19 日开展了相关工作, 考察结果将为叶城柯克亚乡灾后恢复重建和泥石流减灾提供科技支撑。

## 1 区域概况

柯克亚乡位于叶城县境中部, 地处西昆仑山的北麓, 塔里木盆地西南缘, 辖区南北长 75 km, 东西宽 60 km, 面积  $3\,662.5 \text{ km}^2$  (图 1)。区域处于暖温带大陆性干旱气候, 气候垂直差异大。乡政府驻地

年均气温  $10^\circ\text{C}$ , 年均降水量 100 mm。柯克亚乡六村位于南北向山地向东西向山地地形地貌的拐弯处, 高山区向中山区过渡的地形高差大、梯度大, 且地处喀什-叶城右行走滑转换带(KYTS)、铁克里克逆断层(TKT)的交汇部位, 和田-柯克亚挤压构造带的南东构造带西端、铁克里克台隆前缘, 新构造运动活跃, 物理风化作用强烈, 地震峰值加速度为  $0.20 \text{ g}$ , 反应谱特征周期为  $0.45 \text{ s}$ 。六村所在的阿古河地层从老(中元古代)变化到新(震旦纪), 沟谷底部卵砾石成分包括片麻岩、混合岩、闪长岩、花岗岩、紫色砂岩、大理岩、石英岩等, 次棱角状, 分选性差。

## 2 泥石流形成条件初步分析

### (1) 地形条件

沟道沟谷横断面呈 V 和 U 型谷, 跌水陡坎较发

收稿日期(Received): 2016-07-27; 改回日期(Accepted): 2016-08-23。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41501012); 国家自然科学基金国际合作与交流项目(41661134012); 中国长江三峡集团公司科研项目(JGJ0492014) [National Natural Science Foundation of China (41501012); Projects of International Cooperation and Exchanges, NSFC(41661134012); Research project of China Three Gorges Corporation(JGJ0492014)]

作者简介(Biography): 胡桂胜(1984-), 男, 江西九江, 博士, 助理研究员, 研究方向: 山地灾害与工程防治研究 [Hu Guisheng (1984-), male, born in Jiujiang, Jiangxi province, Ph.D. assistant researcher, research on mountain geohazards] E-mail: huguisheng@imde.ac.cn

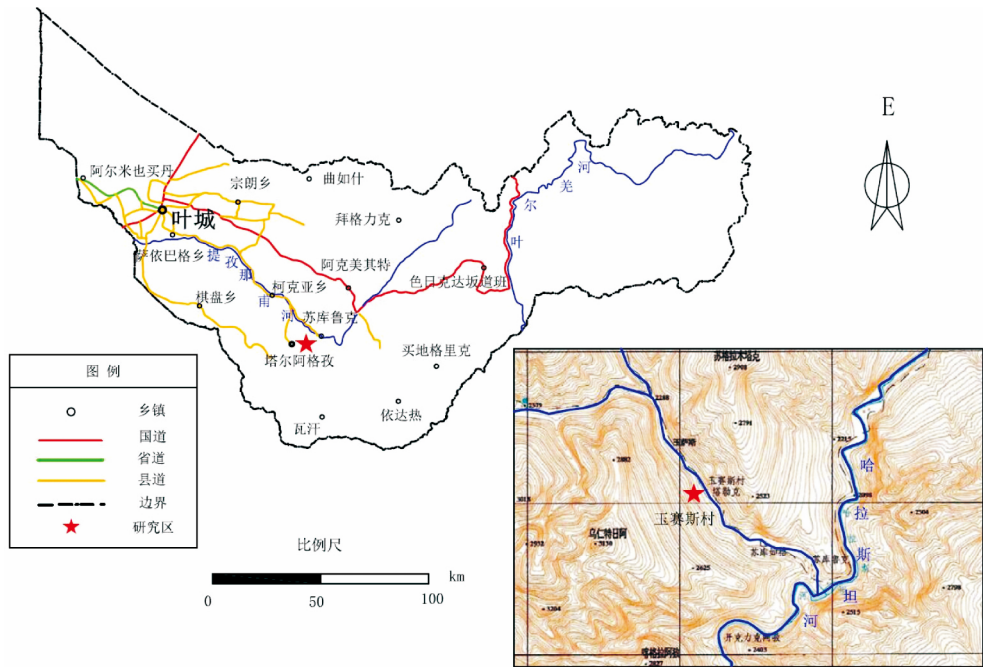


图 1 研究区地理位置  
Fig. 1 Geographic position of study area

表 1 沿沟道分布的主要滑坡特征

Tab. 1 Characteristics of main landslide along the gully

序号	滑坡位置	滑坡坐标	滑坡体积( 万 m <sup>3</sup> )	体积分类	变形破坏模式	力学机理	沟道堵溃
1	沟道右岸	N37°16'49.46"E76°42'4.49"	2.60	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	堵溃点
2	沟道右岸	N37°16'52.21"E76°42'2.15"	0.23	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	无
3	沟道右岸	N37°16'56.40"E76°42'0.57"	2.70	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	无
4	沟道右岸	N37°17'2.26"E76°41'56.80"	0.80	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	无
5	沟道左岸	N37°17'4.43"E76°41'57.52"	1.08	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	无
6	沟道右岸	N37°17'5.56"E76°41'46.94"	0.50	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	无
7	沟道右岸	N37°17'12.77"E76°41'52.28"	0.29	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	无
8	沟道右岸	N37°17'17.51"E76°41'47.73"	0.42	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	无
9	沟道右岸	N37°17'21.97"E76°41'41.96"	14.20	中型	蠕滑 - 拉裂	推移式	堵溃点
10	沟道右岸	N37°17'23.37"E76°41'38.46"	1.30	小型	蠕滑 - 拉裂	推移式	无

育,沟谷坡角 50°~70°,局部可达 80°或近乎直立状。现场测量确定沟道平均纵坡比降为 4°。垂直侵蚀作用赋予泥石流强大动力,导致沟谷迅速下切,侧蚀作用增强,谷坡松散物质频繁崩塌、解体,在湍急的水流作用下形成泥石流,并迅速下泄。

(2) 物源条件

从现场调查情况分析,不稳定变形土质边坡滑动堆积提供了大量松散固体物质,能够直接为泥石流提供松散固体物质物源主要为沟道左、右岸 10 个土质滑坡及少量沟道堆积物,其中 10 个滑坡分别分

布在六村村委会上游近 1 400 m 范围内(右岸分布有 9 个滑坡,左岸分布有 1 个滑坡)。10 个土质滑坡能够为泥石流提供松散固体物质物源总量为 24.12 万 m<sup>3</sup>(表 1 和图 2)。因此,该沟道发生泥石流的物源条件十分充足,满足泥石流发生的物源条件。

(3) 水源条件

现场调访可知(柯克亚乡六村现场自来水施工人员:叶润,汉族,此次灾害幸存者),沟道于 2016 年 7 月 6 日凌晨开始降雨,一直持续至 7 月 6 日 5 点

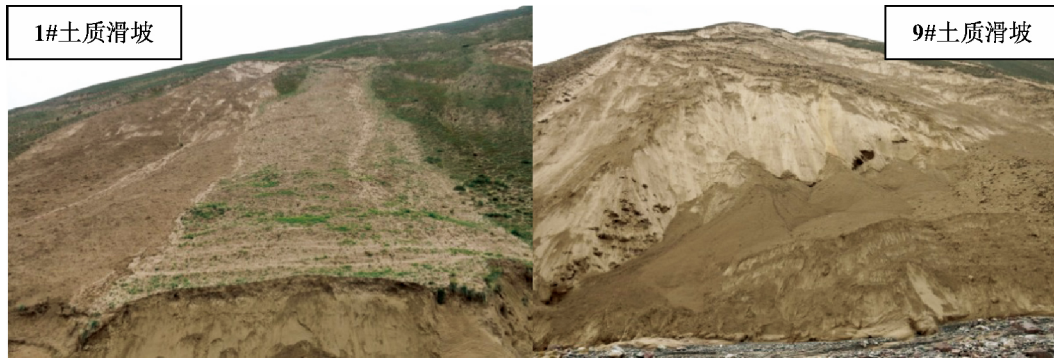


图2 沟道上游堵溃点滑坡

Fig. 2 Landslides of breach section in gully

左右。其中有3-4个时间段降雨强度为我国气象上规定暴雨级别。根据中国西部山区泥石流统计数据<sup>[2-3]</sup> 24小时、1小时、10分钟泥石流激发降雨临界值  $H_{24}$ 、 $H_1$ 、 $H_{1/6}$  分别为60 mm、20 mm、10 mm。因此,7月6日的降雨满足泥石流启动的临界雨强条件。

### 3 泥石流形成过程

2016年7月6日零点左右,沟道内开始降雨,短时间内山体发生滑坡,在沟道上游1400 m范围内形成1~10#土质滑坡。6日0:30分,1#和9#土质滑坡堵塞沟道形成堰塞坝,在沟道上游形成了2个堰塞湖。9#土质滑坡堰塞坝在持续强降雨作用下,于0:35分左右发生溃决,形成堰塞坝溃决型泥石流,泥石流形成过程如图3所示。溃决洪峰于0:40抵达六村村委会,受阻于西侧的1号土质滑坡堰塞坝,并折向村委会大院,泥石流泥深至现场施工人员的脖颈,并于30秒左右后致使1#土质滑坡堰塞坝发生级联溃决,泥石流沿沟道冲向下方的六村居住房屋,造成了36人死亡、6人失踪,至少7户民房被完全毁坏,其余民房不同程度受损。

### 4 泥石流运动特征

#### (1) 滑坡堰塞坝溃决洪峰流量 $q_m$

现场调查发现,1#和9#堰塞坝溃决方式为全溃。采用常用的全溃计算公式<sup>[4]</sup>,计算9#和1#堰塞坝溃决洪峰流量(图4)。

$$q_m = 0.296 \sqrt{g} \left( \frac{B}{b_m} \right)^{0.4} b_m H_0^{1.5} \quad (1)$$

式中:  $B$  为坝迎水面宽度(m),  $b_m$  为溃口宽度(m),  $H_0$  为坝前水深(m)。计算得到9#和1#堰塞坝溃决洪峰流量分别为  $977.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $459.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

#### (2) 泥石流流速

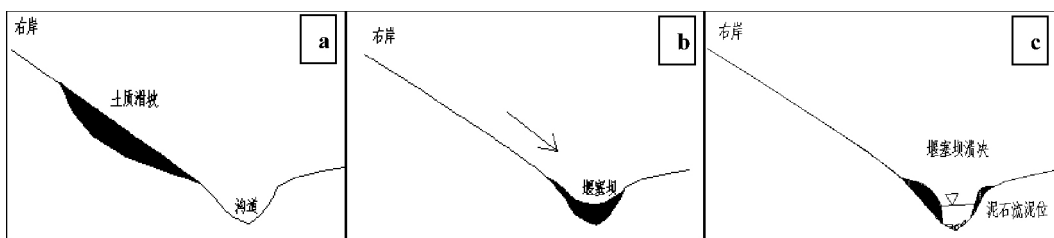
采用常用的西部山区泥石流流速公式进行估算<sup>[5]</sup>。

$$V_c = (M_c/a) \cdot R^{2/3} \cdot I_c^{1/2} \quad (2)$$

$$a = (1 + \varphi_c \gamma_s)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\varphi_c = \frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_s - \gamma_c} \quad (4)$$

式中:  $R$  - 泥石流水力半径(m),通常用泥深来代替;  $M_c$  - 泥石流沟床粗糙系数;  $a$  - 为阻力系数;  $\gamma_s$  - 固体容重,取  $2.65 - 2.7 \text{ g/cm}^3$ ;  $\gamma_c$  - 泥石流容重。



a. 土质边坡变形破坏;

b. 滑坡冲入沟谷形成堰塞坝;

c. 堰塞坝溃决形成泥石流

图3 泥石流形成过程示意图

Fig. 3 Formation process of debris flow

据现场初判 取泥石流容重  $1.7\text{ g/cm}^3$ ;  $\gamma_w$  – 水的容重 取  $1.0\text{ g/cm}^3$ ;  $I_c$  – 泥石流水力坡度;  $\varphi_c$  – 容重系数。

计算得到上游 3 号滑坡断面处、4 号滑坡断面处、5 号滑坡断面处的泥石流流速分别为  $5.52\text{ m/s}$ 、 $6.51\text{ m/s}$ 、 $4.51\text{ m/s}$ (表 2)。

(3) 泥石流流量

根据现场测量泥石流泥痕断面 ,可以计算得到 3 号至 5 号滑坡断面处泥石流流量分别为  $443.2$

$\text{m}^3/\text{s}$ 、 $524.7\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $508.7\text{ m}^3/\text{s}$ 。

(4) 泥石流危险区

由于泥石流的主要危害范围为泥石流的堆积扇区 ,泥石流的堆积扇最大长度、宽度以及堆积面积与泥石流的补给总量的关系式分别为<sup>[6]</sup>:

$$L = 12.81V^{0.25} \tag{5}$$

$$B = 4.44V^{0.32} \tag{6}$$

$$S = 38.51V^{0.58} \tag{7}$$

式中  $L$  为堆积扇最大长度  $\text{m}$ ;  $B$  为堆积扇最大

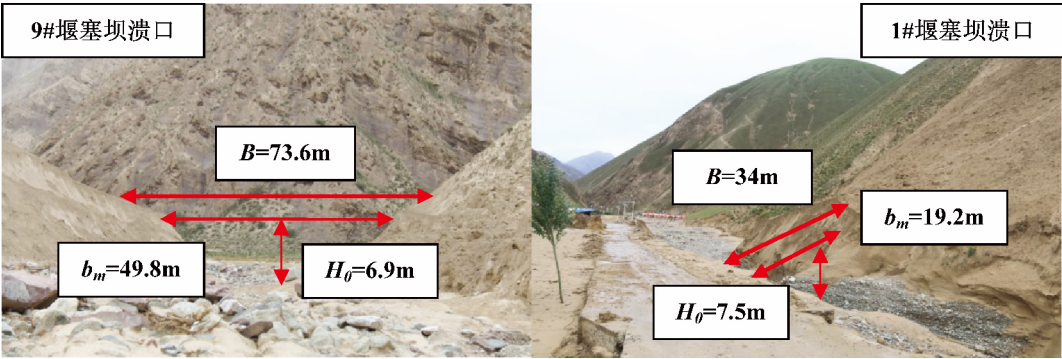


图 4 滑坡堰塞坝溃口断面  
Fig. 4 Breach section of landslide dam

表 2 沟道不同断面泥石流流速与流量计算结果

Tab. 2 Results of debris flow velocity and discharge on different section

断面编号	断面位置	比降(°)	泥深( m)	糙率值( Mc)	流速( m/s)	断面面积( m <sup>2</sup> )	流量( m <sup>3</sup> /s)
3#滑坡	N37°16′55.31″ E76°42′01.01″ H: 2506m	3	3.7	15	5.52	80.29	443.2
4#滑坡	N37°17′01.86″ E76°41′57.37″ H: 2483m	5	4	15	6.51	80.60	524.7
5#滑坡	N37°17′03.19″ E76°41′57.36″ H: 2487m	4.8	2.4	15	4.51	112.8	508.7



图 5 泥石流堆积范围  
Fig. 5 Debris flow accumulation fan

宽度  $m$ ;  $S$  为堆积面积,  $m^2$ ;  $V$  为泥石流补给体积,  $m^3$ 。

代入泥石流补给体积  $V = 24.12$  万  $m^3$ , 分别得到堆积扇最大长度(顺沟向)  $L$  为 283.9 m, 堆积扇最大宽度(垂直沟向)  $B$  为 234.3 m, 堆积扇面积为 5 0961.2  $m^2$ , 现场调查泥石流堆积长度约 300 m, 堆积宽度约 220 m, 泥痕高度 2.2 m, 两者结果较为吻合(图 5)。

致谢: 中国科学院地质与地球物理研究所李坤、杨鹏博士一同参加灾区现场调查工作, 并给予帮助与建议, 此次联合应急考察也得到了中国科学院新疆分院、新疆工程学院、新疆国土资源厅、新疆地矿局第二水文工程地质大队、喀什行政专署、喀什公路管理局、叶城县委、叶城县政府、叶城县国土局、叶城县气象局、叶城县柯克亚乡政府等部门相关领导与工作人员的大力支持与帮助, 谨致谢忱!

#### 参考文献(References)

[1] 中国科学院“7.6”新疆叶城特大泥石流考察组. 叶城县柯克亚

- 乡六村滑坡堰塞坝溃决泥石流灾害考察报告[R]. 2016. 7.  
[Investigation team on Yecheng debris flow from CAS. Report on the emergency investigation of catastrophic debris flow in Yecheng County of Xinjiang on July 6th, 2016 [R]. 2016. 7]
- [2] CHEN N Sh, YANG Ch L, ZHOU W, et al. The critical rain-fall characteristics for torrents and debris flow in the WenChuan earthquake stricken area[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 6(4): 362–372
- [3] CHEN N Sh, LU Y, ZHOU H B, et al. Combined impacts of antecedent earthquakes and droughts on hazardous debris flows[J]. Journal of mountain science, 2014, 11(6): 1507–1520
- [4] 周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南[M]. 科学出版社, 1991: 125–129 [ZHOU Bifan, LI Deji, LUO Defu, et al. Guide to prevention of debris flow [M]. Beijing: Science Press, 1991: 125–129]
- [5] 陈光曦, 王继康, 王林海. 泥石流防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983: 151–162. [CHEN Guang Xi, WANG Ju Kang, WANG Lin Hai. The Prevention of debris flow [M]. Beijing: China Railway Publishing House Press, 1983: 151–162]
- [6] 陈宁生, 杨成林, 周伟, 等. 泥石流勘查技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 55–60 [CHEN Ning Sheng, YANG Cheng L, ZHOU W, et al. Investigation technology for debris flows [M]. Beijing: Science Press, 2011: 55–60]

## The Emergency Scientific Investigation of Catastrophic Debris Flow in Yecheng County of Xinjiang on July 6th, 2016

HU Guisheng<sup>1</sup>, SHANG Yanjun<sup>2</sup>, ZENG Qingli<sup>3</sup>, YANG Changde<sup>4</sup>

- (1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Process, CAS, Chengdu 610041, China;  
2. The Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China;  
3. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
4. Xinjiang Institute of Engineering, Wulumuqi 830091, China)

**Abstract:** On July 6th, 2016, a catastrophic debris flow hit Six villages nearby Kekeya town, Yecheng County of Xinjiang province, causing 42 people dead or missing and seven houses destruction. Field investigation revealed that the formation of catastrophic debris flow was stimulated by the successive rainfall, soil landslide, landslide dam, barrier lake breaking and then debris flow. The No. 9 soil landslide dam failed due to lasting concentrated precipitation and form debris flow with a peak rate of 977.8  $m^3/s$ . The No. 1 soil landslide failed in tandem type, with a peak flow rate 459.2  $m^3/s$ . The debris flow velocity varied from 4.51 m/s to 6.51 m/s, and discharge of debris flow reached to 524.7  $m^3/s$ . The maximum length of debris flow accumulated fan was 283.9 m, with the maximum width 234.3 m.

**Key words:** Yecheng county; landslide dam; disastrous debris flow; formation process; movement characteristics