

# 培龙沟泥石流及其堵江可能性探讨

陈宁生, 陈 瑞

(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)

**摘 要:**培龙沟是由冰川和降水共同激发的一条大规模泥石流沟。流域内充足的冰水资源,丰富的冰碛,有利的地形条件是泥石流发生及今后发展的动因。1983~1986年培龙沟泥石流堵塞了帕隆藏布江,本文就今后不同泥石流发生频率探讨了泥石流再次堵江的可能性。这一探讨为该沟泥石流工程整治及过沟工程设计提供科学依据。

**关键词:**冰川降水泥石流;发展趋势;堵江可能性

**中图分类号:**P642.23

**文献标识码:**A

培龙沟位于念青唐古拉山脉东南缘,帕隆藏布江下游自西转南拐弯处的右岸。沟口海拔高程2 000 m,为川藏公路西藏境内海拔最低点。该处原是帕隆乡政府及104道班房所在地,东距波密县通麦乡仅10 km。本世纪初和1951年培龙沟均暴发过较小规模的冰川泥石流,之后一直处于相对稳定状态。该沟近期泥石流活动始于1983-07,1985年达到最大,形成了连续3a暴发的高潮期。这一时期泥石流的暴发不仅使沟口环境发生了很大变化,而且对公路交通带来了极大危害。如泥石流物质直接冲入帕隆藏布河道逼向左岸约350 m,使左岸(原凸岸)遭受强烈冲蚀,同时沟口淤高约40 m,大河河床填高近20 m。排出山外的固体物质把培龙沟沟口深二三十米的“V”型沟谷淤满,形成一个长条形的石质滩地,阻塞帕隆藏布江并形成河流堰塞湖。目前,沟口只得架设钢架便桥,有0.7 km公路便道在

扇体上通行。本文就该沟泥石流的形成和发展趋势进行分析,从而探讨在不同频率下泥石流再次堵江的可能性。

## 1 培龙沟泥石流形成的自然环境条件

### 1.1 培龙沟流域的自然地理条件

培龙沟流域面积86.1 km<sup>2</sup>,主沟道长18.75 km,沟床纵比降132.17‰。海拔2 850 m以上的圈椅形围谷被现代海洋性冰川和常年积雪所覆盖,山坡及脊峰基岩裸露、岩壁陡峭。其下沟谷形态呈较宽顺畅的“U”型谷地。流域源头最高峰海拔5 828 m,与沟口地形高差3 828 m。山坡平均坡度达32°。全流域植被长势良好,覆盖面积33.5 km<sup>2</sup>,占流域面积的38.9%。在沟道海拔2 800 m至沟口一线的两侧山坡,生长茂密的亚热带常绿阔叶林和灌木丛。流域的基本组成和分段特征分列于表1和表2。

表1 流域特征统计表

Table 1 Basin Data of Peilong Gully

流域面积	主沟道长度	主沟纵比降	平均山坡坡度	最大高程	最小高程	冰川面积	植被面积	裸岩面积
(km <sup>2</sup> )	km	(‰)	(°)	(m)	(m)	(km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> )
86.1	18.8	132.2	32	5828	2000	23.8	33.5	28.8

收稿日期:2002-03-10;改回日期:2002-06-10。

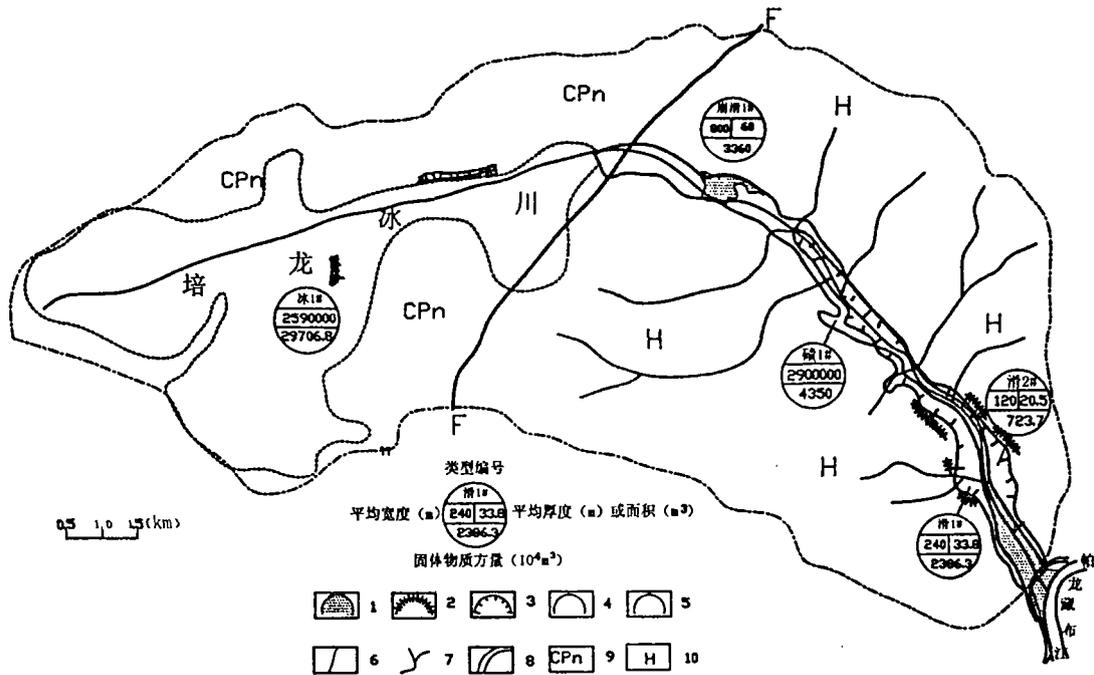
基金项目:中国科学院知识创新项目《进藏公路铁路典型路段工程灾害减灾理论与对策研究》(KZCX2-306)。

作者简介:陈宁生(1965-),男(汉族),福建南安人,硕士,副研,主要从事山地灾害与工程研究,发表论文10余篇。

表2 沿主沟道的分段特征

Table 2 Longitudinal Features along Peilong Gully

流域位置	海拔高程 (m)	平均纵比降 (‰)	特征描述
源头	5828 ~ 4100	595.9	由冰雪和基岩陡壁组成,冰陡坎发育,冰崩、雪崩和岩崩众多,是寒冻风化强烈地带
上游	4100 ~ 2850	286.8	全为冰雪覆盖,以固态降水为主,年降水量大于 2 000 mm.山坡由变质岩系构成,寒冻风化甚强,雪崩、岩崩时有发生,冰川前沿广泛分布冰碛物质
中下游	2850 ~ 2010	129.3	沟道顺直,狭长,在出山口以上略有弯曲,沟道渐趋平缓,分布有古冰碛台地于两侧并有大量崩塌滑坡存在.此带中降雨充沛,可达 1 200 mm 以上,冲沟发育,地下水出露,是水流汇集带
扇形地	2000 ~ 2010	57.8	沟道更趋平缓,沟口狭窄呈“V”型谷地.在东侧,冰碛台地与沟道相连,植被长势极好



- 1. 泥石流堆积 2. 崩塌体 3. 滑坡体 4. 冰川界限 5. 冰碛堆积
- 6. 断层 7. 水系 8. 川藏公路 9. 变质岩类 10. 混合岩类

图1 培龙沟流域自然环境特征

Fig.1 Characteristics of Peilong Gully Basin

培龙沟上游区发育着一条面积 23.8 km<sup>2</sup> 的现代季风海洋性冰川,冰川储量 3 008.1 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,折合水量 2 707.7 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。张文敬认为该冰川属跃动冰川,具周期性快速运动的特点,跃动周期约为 50 a ~ 60 a<sup>[1]</sup>。冰川内裂隙发育。冰舌前端部位常产生大量冰崩和垮落现象,增大了融水径流。沟谷中地下水丰富,泉水露头有 80 余处,坡面冲沟发育,共计 11 条之多。沟内常流水主要由冰雪融水和地下水补给,夏秋季节流水浑浊,很少清澈。水量年内、日内变化明显,与气温变化一致,在 1990 年夏天测量值 10 m<sup>3</sup>/s ~ 25 m<sup>3</sup>/s。

培龙沟流域气候的基本格局,是由印度洋暖湿气流沿雅鲁藏布江而上,受北面念青唐古拉山脉阻挡后,水流循帕隆藏布河谷展开,构成了帕隆藏布流域暖湿的气候环境来决定的。据资料分析,帕隆藏布流域内气温和降水具有溯帕隆藏布河谷降低和减少,随垂直高度的增加而降低或增大的特点。培龙沟正处在此气候环境的中心地带,多年平均气温 6℃,年降水量 1 100 mm 左右。培龙沟一般出现冬雪夏雨,源头围谷区常年以降雪为主,其它地区多以降雨为特点。常见小到中雨,持续时间较长,偶尔出现暴雨天气,日降雨量最大可达 100 mm 以上。

## 1.2 培龙沟流域的环境地质条件

该流域受到区域地质构造作用,加之新构造运动强烈、地震活动频繁等因素,地质条件复杂多样,褶皱裂隙发育,节理、劈理等构造特征也很明显。流域中部横穿着一走向 NE 的断层。流域内出露地层为旁多群(C<sub>pn</sub>) 钙质石英砂岩、含砾砂岩及板岩和由变质岩和片麻岩、结晶质岩以及不明岩体组成的混合岩(H)(图 1)。

流域内第四纪堆积物十分丰富。培龙沟是一条沿构造线发育且受过古冰川作用的谷地,不仅寒冻风化、重力作用明显,而且古冰川和现代冰川影响巨大,因此流域内的残坡积物,崩塌滑坡、冰水沉积物和冰碛物分布广泛。通过调查,该沟冰舌前缘及旁侧是现代冰碛物,沿沟坡两侧堆积有长 9 km,宽 50 余 m,厚 30 m ~ 50 m 的古冰碛台地,储量估算约  $1\ 800 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该堆积体无层理构造;颗粒大小不一、形状各异,磨圆度较差;砾石表面具冰擦痕等特点。在流域中部东侧悬冰川坡脚处可见堆积的倒石锥和碎屑坡积裙,储存量约  $300 \times 10^4 \text{ m}^3 \sim 500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。沟槽两侧的局部地段还有明显的 2 ~ 3 级阶地分布,每级高 1.5 m 许,物质组成类似洪积物和稀性泥石流堆积物。

## 2 培龙沟泥石流的发展趋势

培龙沟冰川泥石流是冰川融水、暴雨和重力侵蚀共同作用的产物,属冰川暴雨型泥石流。该沟经过长期的地质、冰川和重力等作用,碎屑物非常丰富,水源充沛,形成的泥流体组成十分复杂。推算容重值界于  $1.8 \text{ t/m}^3 \sim 2.2 \text{ t/m}^3$ ,具有明显的粘性泥石流运动和淤积的特点。在流域内有大量固体物质分布在有利于泥石流形成的地段,如冰舌末端到出山口的沟道两侧分布的古冰碛台地和崩滑物,就是泥石流形成的主要补给源之一。显然 1983 ~ 1985 年泥石流发生与冰崩引起的右侧坡体的崩滑并造成沟道的堵塞有密切的关系。冰川快速运动所产生的大量冰崩,当气温升高时消融水量增加;中下部降雨汇流不仅形成更大径流,而且易使坡面松散体饱和而失稳下滑(如沟内已形成的 3 km 滑坡)堵塞沟道,再经蓄水溃决后形成大型乃至特大型泥石流。培龙沟经历多次泥石流活动,由于 1985 冰川融水量较大,该年泥石流流量达到最大,1986 年后规模越来越小,活动也减弱,1989 年到 1991 年间甚至未有发生,仅偶见小型的山洪水泥石流。但这并不意味着该

沟泥石流将减弱,而只能认为它处于相对稳定时期。也就是说,今后发生大规模泥石流的可能性仍然存在。其理由有三:

1. 培龙沟源头冰雪融水在湿热气候的控制下仍十分丰富,非冰川区内又有大暴雨提供强大径流,且有地下水出露和冲沟汇流。根据对气候的研究,该区有更加湿热的趋势,因此冰雪积销量及暴雨量均会更大。

2. 该流域内可参与泥石流活动方量达  $36\ 110.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。除有少部分冰碛物和崩滑体(约  $800 \times 10^4 \sim 1\ 000 \times 10^4 \text{ m}^3$ )已被泥石流挟带出山外,还残留了大量物质于冰川前沿和沟道中。不仅如此,由于现代季风海洋性冰川的频繁活动,雪崩、冰崩等形成的冰碛物还会得到源源不断的补充,仅 1983 年泥石流暴发时堆积在沟道中的冰雪崩物质就近  $3500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。此外泥石流暴发后诱发的崩滑地段,尤其是出山口以内约 3 km 长的狭窄沟段的崩塌滑坡极为发育,当其下滑后,既可导致沟槽阻塞,又可成为物质补给源。因此,该段仍将是今后泥石流形成的重要地段。

3. 泥石流活动未使该沟基本地形地貌改变多少,因此,从目前来看今后泥石流活动所需的地形条件仍能满足。当然,在泥石流间歇期沟槽形态及床面的微小变化对今后泥石流形成将更为有利。

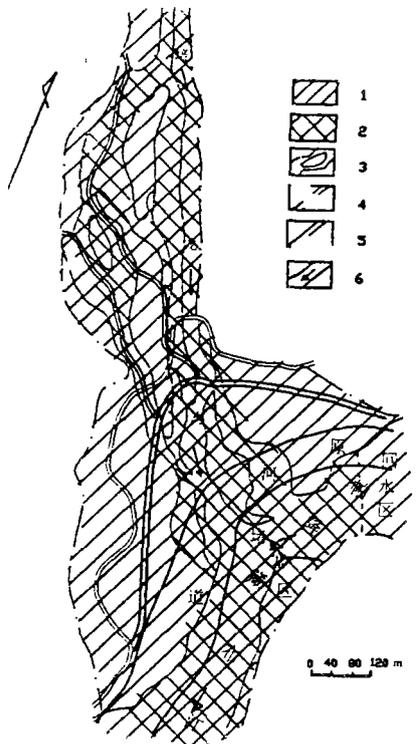
综上所述,培龙沟具有的暖湿气候特点,以及横亘在沟道中游的崩滑体和 3km 滑坡段,对该沟冰川泥石流的形成是极为有利的,今后暴发大型乃至特大型泥石流仍是很有可能的。若一旦暴发,将导致下一泥石流高潮的到来。

## 3 培龙沟泥石流堵江可能性分析

前述表明,培龙沟仍有再次爆发大规模泥石流的可能性,但今后的泥石流能否再次堵塞帕隆藏布江呢?下面就作一些分析。

### 3.1 目前沟口地形特征

通过 1990 年 7 月对培龙沟泥石流堆积扇的量测,绘成平面图(图 2),经计算扇形地最大淤积量逾  $750 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,对帕隆藏布江产生了堵塞和顶托。从平面上来看,出山口后培龙沟流水沟道经扇体左侧汇入大河。沟槽纵坡为 87.8‰。在与帕隆藏布江交汇处,培龙沟宽约 50m,江面宽 200m,江水深 20m。



1.最大堆积区 2.经常堆积区 3.笼状堆积区  
4.公路便道 5.原公路线 6.原大河河道

图2 培龙沟堆积扇平面图

Fig.2 Plan of debris flow fan of Peilong Gully

### 3.2 培龙沟泥石流水文设计计算

根据1990年对该沟下游现钢架桥上下的断面痕迹调查,1985年发生的特大型粘性泥石流,容重

为 $2.2t/m^3$ ,最大洪峰流量 $Q_c = 5\ 200m^3/s \sim 6\ 000m^3/s$ ,其周期超过百年一遇,是该区仅次于古乡沟( $Q_c = 28\ 600m^3/s$ )的大型泥石流。

由于培龙沟年降水量及暴雨均很大,而气温又较高,故降雨对泥石流的形成作用影响很显著,而冰川积雪的作用不容忽视,故使原以暴雨为依据的泥石流流量值,增大50%,从而最后构成该沟各设计频率的泥石流流量,即: $P = 1\%$ 时, $Q_c = 4\ 475m^3/s$ ;  $P = 2\%$ 时, $Q_c = 2\ 490\ m^3/s$ ;  $P = 4\%$ 时, $Q_c = 1\ 227\ m^3/s$ 。三种频率下的一次泥石流方量分别为 $1\ 348 \times 10^3m^3$ 、 $996 \times 10^3m^3$ 和 $679 \times 10^3m^3$ 。泥石流的流速在堆积扇上很小,据调查多在 $5m/s$ 以内。

### 3.3 可以参与堵江并形成堆石坝的方量

泥石流汇入帕隆藏布江前,在沟口扇体上会淤积一部分,随着堵江发生,侵蚀基准面随之抬高,沟口一带发生淤积。从地形分析,能汇入帕隆藏布江的约占30%,若再考虑大部分泥石流物质被大河带走(约3/4),三种频率下,真正能参与堵江并形成堆石坝的固体物质方量仅约占1/4,其数量也可分别达到: $101 \times 10^4m^3$ 、 $72 \times 10^4m^3$ 、 $51 \times 10^4m^3$ 。

### 3.4 堵江所需泥石流参数值

泥石流堵江时,可设堆石坝剖面为三棱锥体,坝体下游面坡度为水石流起始坡度,取 $14^\circ$ ,上游面坡度取 $25^\circ$ 。由实测和实验分析结果,根据有关计算<sup>[2]</sup>,确定泥石流堵江所需的参数值如表3所示。

表3 培龙沟泥石流堵江参数值统计表

Table 3 Parameters of River blocked by Peilong Glacial and Rainfall Debris-flow

频率 (%)	基本参数值			堵江所需条件		
	泥石流流量 ( $m^3/s$ )	一次泥石流总量 ( $10^4m^3$ )	参与堵江量 ( $10^4m^3$ )	所需方量 ( $10^4m^3$ )	最大主河流量 ( $m^3/s$ )	最小扇形地纵坡 (%)
$P = 1$	4475	1348	101		4133.8	
$P = 2$	2490	4133.8	93	24.6	2300.1	93
$P = 4$	1227	679	51		1133.4	

## 4 结论

培龙沟的自然组合特征决定了该沟泥石流的发生发展,在不同的暴发频率下泥石流对主河有着不同的影响,可归结如下:

1.三种频率下的泥石流都可以满足堵江所需的堆石方量。对于百年一遇的泥石流,由于大河流量

在洪峰时一般不会超过 $4\ 000m^3/s$ ,因此该频率下泥石流流量和规模满足堵江条件。对五十年一遇的泥石流来讲,则要求大河流量不大于 $2\ 300m^3/s$ ,这一般是帕隆藏布江秋末、春初的流量,而这时泥石流发生的概率很小。可以认为该频率下泥石流流量不满足堵江条件。但当帕隆藏布流域出现干旱少雨年份,而培龙沟同时出现强烈冰雪消融及局地大暴雨,导致大型泥石流爆发时,则堵江条件就会基本得到

满足(如 1983 年),而出现堵江。

2. 二十五年一遇的泥石流虽然满足堵江所要求的流量和规模,但由于大河流量在泥石流发生时极少可能小于  $1\ 200\text{m}^3/\text{s}$ ,基本上可以排除该频率下泥石流堵江可能性。

3. 目前的沟床纵坡小于泥石流运动所需的最小纵坡,不利于造成堵江,但我们在讨论时已考虑到两点:泥石流出口后,排泄不畅,有大量物质沉积,参与堵江量仅占一小部分;泥石流正处于相对平静期,沟槽必定受流水冲刷切深,而更加有利于泥石流物质的下泻。通过对三种频率下泥石流发生的规模、

流量和扇体沟床纵坡的讨论,其基本结论是:百年一遇泥石流堵江可能性极大;五十年一遇的泥石流一般不会堵江;二十五年一遇的泥石流堵江的可能性极小。

#### 参考文献:

- [1] 张文敬. 南迦巴瓦峰跃动冰川的某些特征[J]. 山地研究(现《山地学报》), 1985, 3(4): 234 ~ 238.
- [2] 周必凡, 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 51 ~ 64.
- [3] 罗德富, 等. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[J]. 北京: 科学出版社, 1995. 187 ~ 194.

## Glacial and Rainstorm Debris-flow in Peilong Gully and Possibility in Its Blocking Main River

CHEN Nin-sheng and CHEN Rui

( Chengdu Institute of Mountain hazards and Environment, Chinese Academy  
of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041 China )

**Abstract:** Peilong gully is situated in the southeastern Tibet and the Sichuan-Tibet Railway along the Peilongzangbu River goes through its mouth. The debris flows in the gully, often with a large scale, were generally triggered by glacier and rainstorm. In order to research the possibility of the debris flow stopping the river, with the exploration of the whole basin area, visiting the local farmer and getting samples to analyze it is found that the debris flows of this gully have a trend to be well developed by the large quantity of glacial resource, plenty of tills and other Quaternary sediments, favorable topography. The Peilongzangbu River was once blocked by the debris flows having occurred between the year of 1983 and 1985. According to the debris flows' development tendency and occurring frequency, the possibility in their blocking main river is discussed in details and also the scientific grounds for the engineering project crossing the gully mouth have been given in the paper.

**Key word:** glacial and rainstorm debris flow; development tendency; river blocks