

# 天山独—库公路三岔河道班 泥石流沟成因分析\*

邓晓峰 朱守森

(中国科学院兰州冰川冻土研究所·兰州市·730000)

**摘 要** 三岔河流域高山带裸露的岩石地表与其 35°以上的陡峻地形一同构成了迅速汇流的有利条件,夏季高山带 5℃~10℃左右的持续高温天气过程,引起冰舌末端发生冰体崩解或山缘积雪发生雪崩、进入沟道,并在较短时间内融化,形成激发泥石流的冰雪消融洪水。目前,由于提供泥石流的这种水源和沟道内丰富的松散固体物质条件依然具备,所以,泥石流爆发将仍处于活跃发展阶段。

**关键词** 泥石流成因 冰雪消融洪水

## Analysis on the Cause of Debris Flow Formation in Sanchahe Valley Along Du-ku Highway of Tianshan Mountains

Deng Xiaofeng Zhu Shousen

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, 730000, Lanzhou Municipality)

**Abstract** The beneficial conditions that debris flow is formed in Sanchahe valley along Du-ku highway of Tianshan mountains are frequent rainstorm, exposed rock and high and precipitous landform in alpine region of the drainage basin. Sustained high air temperature in summer can lead to ice-fall of glacier at backwall of the basin. Then, the ice-fall is melted quickly and results in formation of glacier flood which the debris flow is simulated. Because the conditions mentioned above are still exist, debris flow at present, is in an active period.

**Key words** cause of debris flow formation; flood of melting glacier

## 1 流域及泥石流概况

### 1.1 流域概况

该流域位于天山独(独山子)—库(库车)公路 K85+600 m 处的东侧,地理位置在 43°50.19'N~43°50.97'N,和 84°31.07'E 之间,属于北天山依连哈比尔尕山区,为奎屯河一级支流。流域背东向西,最大长度 3.6 km,最大宽度 1.46 km,总面积 3.25 km<sup>2</sup>,沟口海拔高度为 2 300 m,后缘最高点 4 526 m。

流域后缘分布有两条现代悬冰川,朝向与流域一致。南侧冰舌末端的高程为 4 200 m,冰

川面积 0.076 km<sup>2</sup>,北侧冰舌末端高程 4 000 m,冰川面积 0.12 km<sup>2</sup>。冰川表面呈现三个台阶,坡度 20°~30°左右,冰舌末端呈冰崖形态,前下方为冰川退缩后出露的岩床,陡峻而光秃,是冰雪崩解冰体经过或停积的地段(图 1)。

在地质构造上,属于北天山向斜褶皱带、依连哈比尔尕山复向斜。流域内未见到侵入岩露头,主要由泥盆系上统一石炭系黑色页岩、硅质岩、凝灰岩、粉砂岩、砂岩、灰岩和板岩等岩性所组成。在沟床海拔 2 900 m 以上属于构造上升区,分布有基岩跌水、断层崖、裂沟等一系列构造地貌形态。地表岩石裸露,有利于暴雨和冰雪融水迅速汇流。另外,岩层破碎、易风化、在沟内沉积有丰富的冰缘碎屑和冰川沉积物。

1.2 泥石流发育现状

近年来,泥石流重新复活,爆发频繁,严重的影响了公路畅通。它是天山独—库公路北段泥石流爆发频率最高、规模最大、危害最严重的一条泥石流沟。每次泥石流爆发之后,均有数千立方米泥石流固体物质停淤在路面上,如 1984~1987 年期间爆发了 10 次泥石流(表 1)。由于泥石流连年爆发,破坏桥涵、埋没公路,严重阻断交通。

表 1 天山独—库公路三岔河道班沟 1984~1987 年泥石流爆发统计表\*

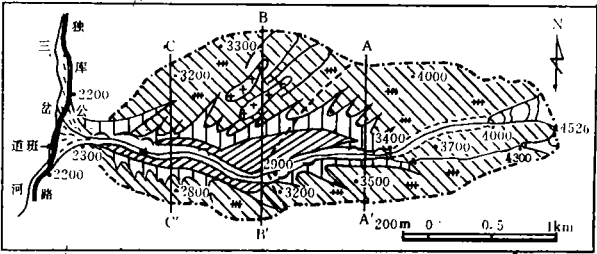
序号	发生时间		总流量 (m <sup>3</sup> )	路面堆积 (m <sup>3</sup> )	引发原因
	(年 月 日)	(时)			
1	19840601	19~21	—	2 500	暴雨
2	19840624	20~23	—	2 000	高温天气
3	19840625	18~次日 4	110 000	3 200	高温天气
4	19840626	18~次日 4	10 000	1 000	高温天气
5	19840713	19~次日 2	50 000	1 000	高温天气
6	19850613	19~22	10 000	1 500	高温天气
7	19850701	20~24	—	2 000	高温天气
8	19850702	19~24	—	4 000	高温天气
9	19860713	22~23h	—	500	高温天气
10	19870711	18~24	30 000	2 500	高温天气

\*:新疆独(独山子)—库(库车)公路北段道路病害及养护情况(打印稿)。

2 泥石流形成条件

2.1 暴雨泥石流的形成条件

天山横贯于新疆中部,周围大部分地区被戈壁、沙漠等干旱地域所围绕,二者构成了截然不同的两种地貌单元。因此,各种气候特点的差异性十分突出,如气温在盆地高于山区,而降水量则山区高于盆地。该流域属于天山北坡,高度范围分布在 2 300~4 526 m 之间,与同位于天山北坡乌鲁木齐河源的直线距离仅 150 km 左右,所以可利用有长期观测资料的乌鲁木齐河



图例: 1. 现代冰川 2. 裸露岩床 3. 基岩山地与残积 4. 倒石堆 5. 古冰川冰碛 6. 老融冻舌状体 7. 沟道跌水与滑塌体

图 1 天山独—库公路三岔河道班沟泥石流沟的第四纪沉积分布图

源 1 号冰川 4 100 m 高程的年降水过程,来反映该考察区相同高度的年降水过程(图 2)。由图 2 可看出,年降水量主要分布在 5 月上旬~7 月上旬期间,月最大降水量在 120 mm 左右,显然为暴雨季节。从图中可看出,乌鲁木齐的降水过程线平缓,月降水量的差值小,与高山地区相比较差别尤为明显,加之高山带植被覆盖条件差,地表岩石裸露,易产生洪水汇流,是产生暴雨泥石流的有利条件。另外,夏季高山带降水量大,盆地降水量小的特点,与其特有的气候背景密切相关,据汤奇成研究(1992 年),在夏季,天山山区上空有一支气流经过,南支峰区活跃在北纬 44°左右,低槽或低涡经常在上空经过,使暴雨主要集中在天山山脉,如在 1956~1975 年之间,在新疆日降雨量大于 50 mm 的暴雨共发生了 87 次,其中天山山区发生了 62 次,占 80%。表明,天山高山带夏季暴雨形式是激发泥石流的水源条件。

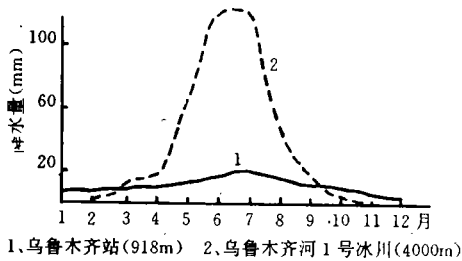


图 2 东天山年降水过程(据阿伊津 1990 年)

该泥石流沟在天山独—库公路勘察设计过程中没有爆发泥石流,被误认为是一条已死亡的泥石流沟。但是在公路修建过程中的 1977 年泥石流开始复活。从泥石流爆发事件记载可看出,其暴雨泥石流的爆发频率低于冰雪融水泥石流,是一条以冰雪融水泥石流为主,暴雨泥石流次之的泥石流沟。这与天山地区的好多泥石流沟近年来泥石流复活和频繁爆发的现象相一对致。如奎屯河和阿拉沟等流域,自 80 年代以来均不同程度地爆发了泥石流,使工农业生产遭到了不同程度的危害(表 2)。此外,从泥石流爆发频率可看出,50 年代泥石流爆发频繁,为泥石流活跃期。60~70 年代基本趋于休止状态,为泥石流间歇期,80 年代以来泥石流又频繁爆发,进入活跃期。由此可知,该区泥石流爆发周期在 30 年左右。

表 2 新疆天山地区泥石流及洪水灾害统计表

流域	爆发日期	主 要 灾 害 情 况	资料来源[文献]
阿拉沟	19880624	东风机器厂损失 600 余万元,在 3 次泥石流中,均约有 100 余条支沟同时爆发	陈亚宁等[3]
	19880713		
	19880807		
	19900709	暴雨强度大,但因植被较好,受灾较轻	
	1959	泥石流规模大,呈群发形式,冲毁房舍、淹埋果园,相当于 19880624 泥石流灾害,二者相隔 30 年	
头屯河	19840523	暴雨造成洪水,受灾轻度	邓子风[4]
阿拉沟	1957	11 号沟发生泥石流,相当于 1988 年泥石流	杨发相[5]
博图沟	19910607	死亡 24 人、淹没 9 顶毡房、一部汽车、一台拖拉机、1 000 多头牲畜,为 40 年一遇的暴雨泥石流。	胡汝骥[6]
奎屯河	1987	破坏渠系工程,损失 2 000 多万元,对农七师与乌苏县农业生产造成严重危害	胡汝骥[6]
	1991		
头屯河 库车地区	19530726	暴雨沟道流量 360m <sup>3</sup> /s,毁桥 3 座	李志中[7] 汤奇成等[2]
	19880711	由于泥石流危害,使八一钢厂停产,	
	1958	暴雨产流量 1 200m <sup>3</sup> /s	

## 2.2 冰雪泥石流的形成条件

流域内现代冰川以悬冰川和冰斗冰川为主,均分布在流域的山缘地带,大多数处于古冰川粒雪盆后壁上,其纵坡比降在  $40^{\circ}$  上下,冰舌末端为高 50 m 和宽 100 m 的冰崖形态,冰舌末端的前部为冰川后退而出露的岩床,坡度为  $34^{\circ}\sim 37^{\circ}$ 。在盛夏季节,特别在遇到升温天气过程时,冰川区受到持续高温作用,冰面发生强烈消融,融水量增大。同时,冰内冷波相应变弱,引起冰面裂隙变宽和加深,冰面融水随之向冰川内部下渗,受融水融蚀作用,使冰舌末端首先产生裂缝,并在冰川自重力作用下冰体发生坍塌性崩解,崩解后的冰体,由于海拔高度降低,日照面积大大增加,气温亦相应升高,加之在冰体融水的融蚀作用下,能使崩解的大量碎屑冰体迅速融化,在较短时间内产生消融洪水。除此,区内年降水量随海拔高度上升而增加(表 3),而且固态降水主要分布在高山带,特别是冬春两季,在 3 000 m 以上地带的积雪厚度可达到 100 cm 以上(杨利普,1987 年),进入夏季消融期后,就产生雪体滑塌或雪崩作用,即流域上源的大量积

表 3 1992 年独—库公路 85K+600 处  
道班沟垂直带年降水量估算 mm

海拔高度(m)	6~8 月降水量	年降水量
2 230	138.7	261.7
2 670	166.6	314.3
4 000	223.6	421.9
4 500	245.2	462.6

雪或风吹雪,在融化过程中经常会发生热融滑塌,并顺裸露岩壁或雪崩槽等地形,进入到较低的谷地中,与前述冰川崩解的碎屑冰体一样,由于海拔高度降低、气温相应增加等环境改变的条件下,积雪在较短时间中发生融化,产生融雪洪水,引起泥石流爆发。总而言之,冰雪融水的产生,均与升温天气过程密切相关。

如 1984 年 6 月 1 日的暴雨泥石流之后,在 6 月 24、25 和 26 日接连 3 天的高温、少云和微风的天气过程中,均爆发了冰雪消融泥石流,表明了持续高温天气因素的最明显的例证。另外,由乌鲁木齐河原 1 号冰川的观测资料表明,一日内最大冰雪融水量出现在 15~20 h,最小流量出现在 6~10 h,最高气温出现在一天之内的 15~17 h,最大流量发生在 16~18 h,流量滞后于气温约 1 h,与区内泥石流爆发的时间相吻合。有趣的是在沟口 2 200 m 高程的气温达到  $25^{\circ}\text{C}$  时,就很可能爆发冰川泥石流<sup>[1]</sup>。按我们在沟口泥石流扇形地 2 230 m,和沟内古冰碛垅 2 670 m 海拔高度上布设的半定位气象站的气温资料推算,流域内气温递减率为  $0.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。由此可知,海拔高度 3 000~4 000 m 之间,冰雪消融能激发泥石流的气温范围约在  $5^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$  左右。

## 2.3 地质地貌条件

2.3.1 地质条件 在地质构造方面,该流域位于天山槽褶皱带之西部。属于北天山向斜强烈上升区。受历次构造运动强烈上升作用影响,主河道狭窄,呈峡谷形态,两岸支流纵坡比降亦很大,如该泥石流沟,自沟口 2 300 m 至

表 4 三岔河附近岩层及节理构造特点

节理号码	节理走向	节理倾向	节理倾角
1	10	280	84.91
2	5	275	74.50
3	15	285	67.77
4	13	283	98.98
5	15	285	79.85
6	95	185	84.92
7	85	175	49.48
8	95	5	56.32
9	0	270	74.50
10	0	270	42.40
11	0	270	84.92
12	0	270	56.32
13	0	270	84.92
14	100	190	79.65
15	80	170	62.77
16	90	180	74.50

后缘 4 526 m 之间的纵坡总比降达 62%。在沟内 2 900 m 以上地带,上升岩壁、基岩跌水、裂沟等与构造运动有关的地貌形态发育典型。在流域内及附近基岩露头处测得基岩构造节理走向为  $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$  和  $80^{\circ}\sim 100^{\circ}$  两组,其倾角为  $50^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ,一般在  $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$  左右(表 4)。前者与近南北走向的拉帕特主谷基本一致。由此可见,该区河流水系的发育,主要受到近东西和南北向的两组断裂作用所控制。

岩层主要由泥盆系上统至石炭系的黑色页岩、砂岩、凝灰质砂岩、千枚岩、板岩组成,岩性软弱易风化。易遭洪水及泥石流侵蚀和搬运。

**2.3.2 地貌条件** 实地考察发现,流域内冰雪洪水的形成,与其特有的地形条件有直接关系。如自冰舌末端 4 000 m 至下方 3 400 m 之间,为一段基岩裸露区,其高差 600 m,宽 50~80 m 左右,(图 3、图 4)。这是冰雪停积和搬运的地段。在坡脚 3 400 m 处有一高度 40 m 的跌水,构成了沟床内最大的坡折点。冰雪滑落高差 600 m,至坡脚处,由于该处气温比 600 m 坡顶高  $4.2^{\circ}\text{C}$ 。所以,冰雪消融量在较短时间内就会增大数倍或数百倍。因此,陡峻基岩裸露的地形,是产生冰雪洪水和引起冰雪泥石流的有利地形条件。

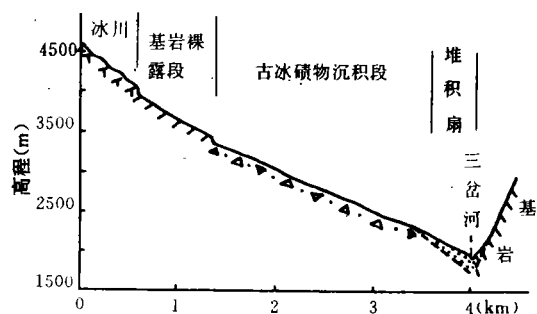


图3 三岔河道班泥石流沟纵断面图

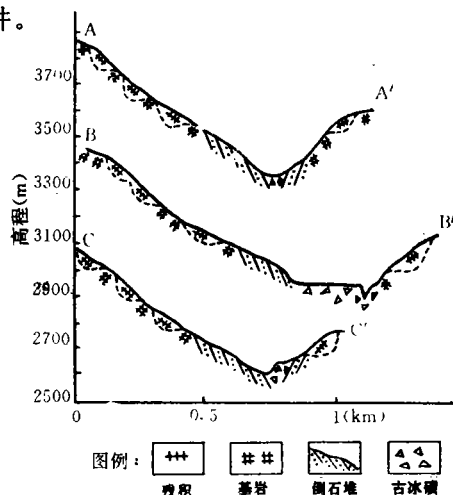


图4 三岔河道班泥石流沟横断面图

泥石流规模取决于冰川冰的崩解量和积雪滑塌量。如 1992 年 8 月 24 日,冰川末端发生少量崩塌,造成沟内水量倍增。但由于冰体崩解数量有限,没有形成泥石流灾害。

**2.3.3 松散沉积物补给特点** 流域内不论冰雪消融泥石流还是暴雨泥石流,其松散沉积物的补给来源是相同的,即主要来自岩屑裙、坡面泥石流及古冰川沉积物等。

流域 2 700 m 以上地带处于现代冰川、冰缘作用带,以丰富的冰缘岩屑、崖麓堆积和坡面泥石流等,为主要沉积特点的斜坡堆积体,其坡脚下伸至沟道内,是直接参与泥石流的一种物质补给方式。此外,2 700 m 以下的沟床内分布有巨厚的古冰川沉积,在沟道水流下切作用下,被切出上口宽 20~50 m,底宽 4~8 m,和深度 30~50 m 不等的沟床形态,目前仍未切出基岩床面,随着沟道继续深切、两岸相应后退和加宽,伴随的一系列滑塌、错落等不良地质现象,均为形成泥石流的丰富的物质基础。

我们对沟内储存的松散固体物质做了较详细的量算工作,目前沟内尚储存近 1 000 万  $\text{m}^3$  的第四纪各类松散碎屑物质。这是该沟泥石流爆发频率高、危害突出的主要因素。

### 3 结 论

通过对三岔河道班泥石流成因的分析,可归纳成以下几点结论:

- (1)该沟是一条以冰雪泥石流为主和以暴雨泥石流次之的多发性泥石流沟。
- (2)沟床海拔 2 900m 以上流域,处于降水丰富地带,而且地表基岩裸露,不论对冰雪融水还是降雨,都有利于在较短时间内产生较大的坡面流水。此外,冰舌末端前下方为坡度  $34^{\circ}\sim 37^{\circ}$  的裸露岩床,是冰舌部分发生断裂、崩解、滑落、或雪崩停积的场所,冰雪堆积于这一地形之后,使高度降低、气温升高、消融速率加快,同样在较短的时间内可产生能激发泥石流的消融洪水。
- (3)区内属现代冰川、冰缘气候作用地带,侵蚀与堆积地貌过程进行速率快,沟床内丰富的松散碎屑物是泥石流易于爆发的物质基础。

---

(上接第 13 页)

- (1)提供商品材。河堤造林可增加一定数量的商品材,缓解了市场木材紧缺的矛盾,也解决了群众生产生活部分用材。
- (2)节省能源。在沿海沙土地区,一个县的河沟坡面柴草年产量高达  $10\times 10^4\text{t}$ ,相当于  $4\times 10^4\text{t}$  原煤的燃料。
- (3)减轻国家负担。在过去各地河道堤防管理所的人员全是吃“皇粮”,如今各地利用河坎林木更新,兴办各种经营,增加收入,实行人员工资自给,减少国家开支。有的堤防管理所还办起了木器厂,将原材料加工成产品,供应市场需要。
- (4)促进村办工业的兴起。农村经济林果的发展,可进行水果罐头和果汁饮料加工,酿草莓酒,以及杞柳工艺编织品等。
- (5)增加肥料和饲料。坡面上柴草可当燃料,就可将田间秸草还田作基肥,提高土壤肥力;牧草和杂草可给猪、牛、羊、兔等牲畜作饲料。

### 3 结 语

- (1)河堤防护林带及河沟坡植被化,既防治河坎滑塌和坡面土壤被溅蚀,又增加农民的经济收入,有其现实意义,建议在沙土地区推广使用。
- (2)本文探索的四种植被模式,各地可根据当地实际情况,因地制宜地选用植被模式。如大沟选用阶梯式,中沟用夹种式或纯作式,小沟可用遮盖式为宜。
- (3)在盐碱不太重的地区,建议提倡栽植经济果林,既可护坡保土,又可获得较高经济效益,并可加快综合开发的步伐。
- (4)河堤林带及坡面植被,必须加强管理,以管为主,才能获得经济效益,达到护坡保土的目的。如重治轻管,将直接影响护坡的效果和经济效益,导致前功尽弃。