

独库公路冰川泥石流分布及其特征*

朱守森 邓晓峰

(中国科学院兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

提 要 对独库公路冰川泥石流的考察及重点泥石流沟的观测,摸清了 9 条泥石流沟的分布,泥石流发生概况、危害和形成的水文气象条件。以实测资料分析了公路沿线冰川泥石流运动规律基本特征和形成机制。参与泥石流形成的主要水源为融雪水、冰崩和冰川融水,其次是暴雨和冰川融水的叠加所形成的洪水,实测最大容重为 $2.46\text{g}/\text{cm}^3$ 。

关键词 独库公路 冰川泥石流 形成条件 基本特征

独库公路北起天山北坡的独山子,南至天山南坡的库车城,全长 542km。自 1984 年公路建成通车以来,泥石流经常袭扰公路设施,淤埋公路,冲毁桥涵,造成断道阻车,给天山南北间的交通运输带来很大损失。1992—1993 年夏,对公路沿线泥石流的分布,发育形成规律进行了全面考察,并对重点泥石流沟设置了半定位观测站进行观测研究。1993 年夏又观测到连续发生的三场冰川泥石流过程,为深入研究该公路沿线冰川泥石流提供了可靠依据。根据两年来收集的资料,对公路沿线冰川泥石流分布及其特征作以下分析。

1 冰川泥石流的分布及危害

独库公路沿线泥石流灾害较为突出,沟谷型,山坡型泥石流沟发育普遍,经考察常发生泥石流的沟谷有 48 条,其中冰川泥石流沟 9 条,据独山子养路段统计资料,冰川泥石流暴发频率最高,暴雨泥石流次之。因此冰川泥石流构成了该段公路的主要危害。这 9 条冰川泥石流沟主要分布于公路北段的哈希勒根及拉帕特(奎屯河上游支流)和夏达勒塔(伊犁河上游支流)河谷(图 1),公路里程为 K85+000—K117+000。对 9 条冰川泥石流沟进行了详细考察和研究,各沟谷要素(表 1)。

公路建成通车以来,每年夏季积雪、冰川、冰崩融水和暴雨常引发泥石流酿成灾害,如 1991-06-23 该段因暴雨条条山沟泥石流暴发,最严重的 K85+600 道班沟泥石流冲毁和淤埋公路,造成停车达一星期之久(独山子养路段提供)。1993-06, K85+600 道班沟连续三场冰川泥石流,造成停车 3 天。

2 泥石流形成条件

2.1 地形及物质条件

陡峻的沟谷地形和丰富的固体物质,是泥石流形成所具备的二个重要基本条件。独库公路 K85+000—117+000 路段山区,是现代冰川集中分布区。这里地势险峻,山高谷

* 国家自然科学基金资助项目(项目号:49171022)。

本文收稿日期:1994-11-15,改回日期:1995-05-30。

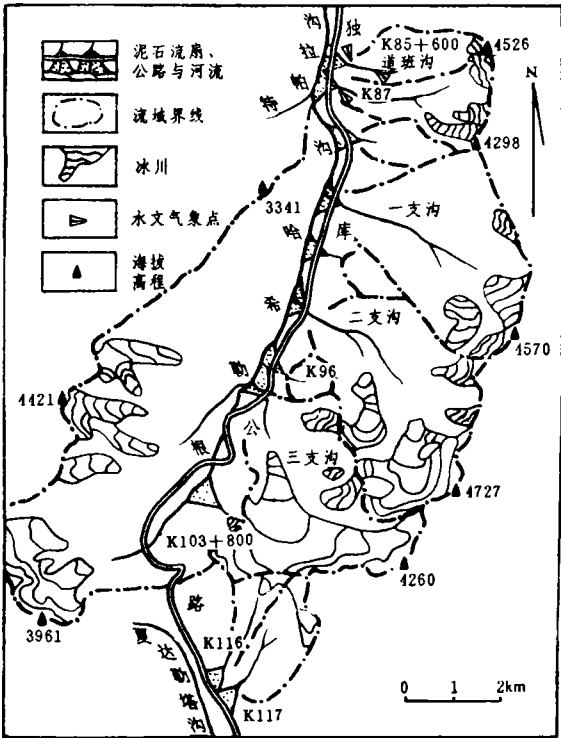


图 1 独库公路北段泥石流沟分布图

Fig. 1 Distribution of gullies along the north section of Dushanzi—Korla Highway

表 1 天山独库公路冰川泥石流沟谷要素表

Table 1 The factors of galcial debris flow gully along Dushanzi—Korla Highway,Tianshan Mountains

序号	沟谷名称	位置 (公里桩计)	沟口海拔 (m)	流域面积 (km ²)	主沟长度 (km)	主沟比降 (%)	堆积扇面积 (km ²)	冰川面积 (km ²)	冰川融水量(6月 至7月11日,m ³)
1	拉帕特 1	K85+600	2200	3.26	3.60	54	0.1400	0.24	4.3×10 ⁴
2	拉帕特 2	K87+000	2260	4.18	3.25	31	0.0250	0.52	9.4×10 ⁴
3	1(一支沟)	K90+000	2430	11.10	4.25	26	入主河流走	2.27	40.9×10 ⁴
4	2(二支沟)	K93+000	2560	15.40	3.75	23		4.36	78.6×10 ⁴
5	3	K96+900	2750	0.87	1.50	53		融雪水	125.0
6	4(三支沟)	K98+600	2780	11.10	1.45	30	0.0080	6.94	125.1×10 ⁴
7	5	K103+800	3070	0.40	1.00	71	0.1000	0.08	1.4×10 ⁴
8	夏达勒塔 1	K116+000		0.35	1.00	42	0.0002	0.24	4.3×10 ⁴
9	夏达勒塔 2	K117+000		2.45	2.25	33	0.0003	0.14	2.5×10 ⁴

注:冰川融水为在 K87+000 沟设水文点实测流量,以冰川面积(抄自冰川编目)之比而求得。

深,泥石流沟源头山顶都在海拔 4 500m 以上,沟口海拔 2 200—3 000m,相对高差在 2 000m 左右,各泥石流沟特点是沟短坡陡,源头为瓢状围谷,三面环山基岩裸露,岩石坡在 50°以上,产汇流迅速。冰川融水在冰碛体中切割出深 30—70m,宽 6—8m 窄而深的泥石流沟床,上部纵坡在 40°以上,下部在 27°—37°之间,陡峻的沟谷为泥石流迅猛下泄提

供了良好的沟床条件。古冰碛和现代冰碛物极其丰富,崩塌物和其他风化坡积物在沟内也很普遍,为泥石流的形成提供了充足的固体物质源。据实地考察,固体物质在泥石流沟内分布位置不同,对泥石流的形成有很大影响,其分布在上游,即使储量丰富,但因汇水区范围小,汇集水量有限,有的沟谷冰舌末端直接座落在冰碛物之上,融水流出冰川后渗入冰碛物之中呈伏流,由于水流分散,因此形成泥石流的可能性很小。固体物质分布于中下游,因高度相对较低,融雪水,液态降水的浸润,集中湍急的水流冲刷切割掏挖作用,崩塌现象等均优于上游,而且崩塌物和下滑物堵塞沟道阻断水流,潜伏着泥石流的隐患,一旦有触发因素随时都有暴发泥石流的可能。所以固体物质处于中下游比处于上游者较容易暴发泥石流。

2.2 水文气象条件

研究路段地处天山北坡乌苏县境内,据乌苏县气象站资料统计,该县多年平均降水量为 162.6mm,属降水稀少的干旱地区。据 K85+600 道班沟流域,海拔 2 230m,2 670m 两个气象点降水资料与下游将军庙水文站(26 年)降水梯度和 6—8 月多年均值占年降水百分比,估算了研究路段海拔 4 000m 处年降水量为 421.9mm,说明在 4 000m 以上的高山区有较丰富的降水,这对冰川的补给和泥石流的形成都是有利的条件。

冰川泥石流受控于高山区气温的变化,在连续晴朗天气出现的高温下,冰崩,冰川融水则是诱发泥石流暴发的关键因素。据考察,该区大部分冰川已退居高山之巅,以小型悬冰川和冰斗冰川为主,这些冰川因地势陡峻,冰舌末端极不稳定,在夏季消融期常发生崩塌,崩塌的冰体居高临下迅速冲至沟内,由此增大的冰崩融水是冰川泥石流形成的诱发因素。

另外季节积雪融水和雨水的浸润也是参与冰川泥石流活动的水源,是泥石流形成的前期孕育过程。据独山子养路段资料统计,泥石流一般发生于气温较高的 6,7 月份,以 6 月最多,独库公路山坡积雪每年 5 月底虽已消融殆尽,但大部分渗入沟内松散固体物质之中。该路段 6 月进入雨季,新疆的降水有明显的峰值,天山山区北坡主要出现在 6 月^[1],据乌苏县气象站 33 年资料统计 6 月份为全年降水最高月。前期降雨和冰川融水的浸润或遇高温天气之后高强度暴雨,冰川融水与降雨径流叠加,在沟内固体物质含水量较高的情况下极易引发冰川或冰川暴雨混合泥石流,这是 6 月份泥石流暴发居多的原因之一。

3 泥石流静力学特征

1993 年夏在 K85+600 道班沟实测到三场冰川泥石流全过程,据此资料对独库公路泥石流静力学特征做以下深入分析。

3.1 泥石流基本特征及运动规律

3.1.1 流速、流量

泥石流流速是计算泥石流流量的重要指标。在予先选定的上中下断面上,以龙头巨砾为标志物实测每阵泥石流的表面流速,泥深和泥面宽,参考古乡沟断面平均流速的经验公式 $V_{\mu}=K_c V_0^{[2]}$,计算出每阵泥石流的段面平均流速。式中 V_{μ} 为断面平均流速; V_0 为表面流速; K_c 为流速系数, K_c 的确定因无实测实验数据,故参考古乡沟,蒋家沟 K_c 为 0.46—

0.60,采用二者中间稍高值(这里纵坡较大) K_c 选定 0.55.

流量计算,以算得各阵次断面平均流速 V_m 乘以相应阵次实测断面面积 W 为相应阵次流量即 $Q=V_mW$,利用上式计算了泥石流全过程流量. 图 2 为 6 月 29 日第二场冰川泥石流流速流量过程线.

3.1.2 活动规律

冰川泥石流因受高山区气温的制约,其暴发有较严格的时间性,据实测资料表明,暴发时间一般在 17—19 时,即滞后当日最高气温 2—3h.

泥石流暴发过程,先浑水后稀性泥石流,紧接着粘性阵性泥石流. 阵性流是该路段粘性泥石流的主要运动形式和显著特征(实测三场泥石流过程规律相同),每阵持续 10—20s,阵与阵之间有明显的间隔时间. 后期出现粘稀阵次交替和稀性连续流,当再次出现浑水时一场泥石流结束.

流态及规模,以巨砾为先导形成高数米龙头(小者 3—4m,大者 7—8m),整个龙身砂石巨砾泥土和水融为一体,呈等速和层流运动,表面流速以 3—5m/s 的速度奔腾下泄冲出峡谷. 其规模据实测和野外调查量算小者 $<1 \times 10^4 \text{m}^3$,中等 $2 \times 10^4 \sim 10^4 \text{m}^3$,大者 $>10 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上.

泥石流活动具有周期性. 在公路沿线许多山沟沟口都有大小不等的新老泥石流堆积扇,有的已处于基本稳定状态,说明这里在很久以前也是泥石流活跃地区,近期因气候条件适宜,及修公路开挖路面不合理弃土,放炮炸石,削坡等降低了泥石流的侵蚀基准面,破坏了已处于稳定状态的沟床比降,致使泥石流再度活跃,这都说明其活动有稳定期和活跃期的周期变化.

3.2 静力学特征

静力学指标是表明某一地区泥石流基本特征的重要组成部分. 在野外实测和取样,计算了容重和含水量. 静切力因缺乏必要的测试仪器测定,故选用吴积善在云南蒋家沟实验的适用于粘性泥石流屈服应力计算公式 $\tau_b = 10^{6.11(\gamma_m - 1.281)}$ [3] 计算了所取样品的 τ_b 值,式中 γ_m 为粒径小于 2mm 浆体容重,以公式 $\gamma_m = 1 + (\gamma_s - \gamma) \gamma_n C_r / [1 - (1 - \gamma_n) C_r]$ 计算,式中主要参考数也是 τ_b 值的主要影响因素, C_r, γ_n 分别为实测的体积百分比浓度和颗粒级配,其计算结果(表 2). 从实测最大容重 2.46g/cm³ 与我国目前有实测资料的西藏古乡沟最大容重 2.43g/cm³ [4],云南蒋家沟 2.37g/cm³ [5],甘肃武都火烧沟 2.30g/cm³ [6],相比独库公路冰川泥石流容重为最高的.

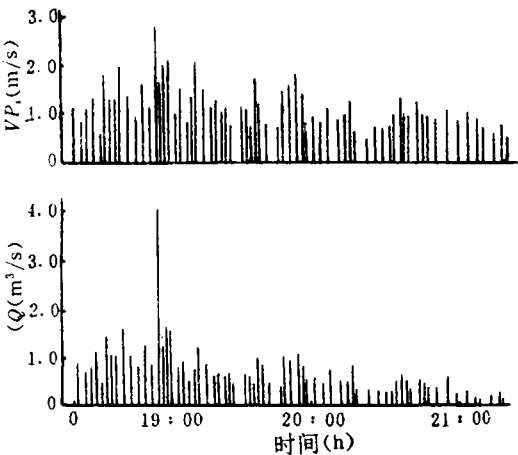


图 2 1993-06-29 独库公路 K85+600 道班沟泥石流流速、流量过程线

Fig. 2 The velocity and discharge curves of debris flow on June 29, 1993 in K85+600 Maintenance Squad Gully along Dushanzi-Korla Highway

表 2 1993 年 K85+600 道班沟泥石流静力学指标计算

Table 2 Calculations of debris flow static index in K85+600 Maintance Squad Gully in 1993

样 品 编 号	1	2	3	4	5	6	7	8
容 重 (g/cm ³)	2.46	2.34	2.35	2.20	2.15	1.49	1.80	2.04
含 水 量 (%)	6.5	7.3	7.0	19.5	26.4	75.5	42.0	19.1
屈服应力 (mg/cm ²)	1 400.00	535.00	500.00	67.00			0.59	

4 冰川泥石流类型

参照“中国冰川概论”表 12—1^[7], 根据泥石流形成的主要补给水源将独库公路冰川泥石流分为 4 类, 其活动特征 (表 3)。

表 3 根据主要补给水源划分的冰川泥石流类型

Table 3 Glacial debris flow types classified according to their main water resources

类 型	亚 类	主要补给水源	活 动 特 征
冰川融水型		冰川急剧消融而形成的洪水	其来势迅猛, 多发生在夏季连续出现晴朗高温天气的午后, 代表沟为 1, 2, 3 支沟
冰崩雪崩型	冰崩雪崩堆积融化型	冰崩雪崩堆积迅速消融形成的洪水	是独库公路冰川泥石流的主要类型, 多暴发在初夏, 连续高温天气的午后, 代表沟 K85+600
积雪融水型		季节积雪骤然融化形成的洪水	在无冰川的个别泥石流沟流域如 K96+900. 多暴发在初夏, 气温骤然升高, 其规模小于上述两类
冰雪融水与降雨混合型		冰川融水与降雨共同形成的洪水	冰川融水与降雨径流叠加, 发生于盛夏高温天气又遇暴雨, 但发生次数很少

5 泥石流形成机制

泥石流形成方式较多, 但主要为重力成因和水动力成因两种方式。独库公路沿线以重力成因粘性泥石流为主, 从粘性泥石流角度阐明其形成机制。

独库公路冰川泥石流沟具有窄而深多弯道跌水等特点, 沟内皆多处堵塞, 这些堵塞一方面来自沟床两侧崩塌和风化坡积物的下滑, 另一方面是夏季冰雪融水和降雨形成的小股泥石流因动力不足停积在沟内的堆积物。在来年天气转暖, 积雪, 冰川融水和降水大部分渗入冰碛物和堵塞的固体物质之中, 这一浸润过程可视为泥石流暴发的前期孕育过程。进入夏季当遇有连续高温天气, 增大的冰崩, 冰川融水或高强度暴雨二者叠加形成的洪水在沟内层层受阻壅高形成较大的溃坝流量, 进而诱发泥石流暴发。在泥石流形成下泄过程中, 一方面冲刷切割沟床, 另一方面掏挖沟床两侧坡脚和堵塞的下滑物, 由于沟床两侧冰碛物因前期冰雪水和雨水的浸润, 受泥石流掏挖极易失稳形成崩塌, 使沿程不断增加补给和增大泥石流规模, 这种断断续续的补给是粘性阵性流形成的主要原因, 据观测每阵泥石流龙头在达到断面之前, 都是由许多小阵流不断补充使龙头加高到一定程度始得启动, 补充的过程发生流量积累, 也是沟床断流的时间, 断流时间愈长即将到来的阵性流的规模就愈大, 这样往复循环直至水源和补给物逐渐枯竭一场泥石流随之结束。

参 考 文 献

- [1] 邓子凤. 阿拉沟暴雨泥石流的天气动力学特点. 干旱区地理, 1991, 14(增刊), 30.
- [2] 王文浚, 章书成, 王家义等. 西藏古乡沟冰川泥石流特征. 见: 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 第4号(中国泥石流研究专辑), 北京: 科学出版社, 1985, 21.
- [3] 吴积善, 康志成, 田连权等. 云南蒋家沟泥石流观测研究. 北京: 科学出版社, 1990. 83.
- [4] 杜榕恒, 章书成. 川藏公路沿线泥石流及其工程防治. 见: 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 第4号(中国泥石流研究专辑). 北京: 科学出版社, 1985. 65.
- [5] 陈琴德. 云南东川蒋家沟泥石流的形成与特征. 见: 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 第4号(中国泥石流研究专辑). 北京: 科学出版社, 1985. 74.
- [6] 杨针娘. 暴雨型粘性泥石流流速公式的初步探讨. 见: 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 第4号(中国泥石流研究专辑). 北京: 科学出版社. 1985. 199.
- [7] 邓养鑫. 中国冰川泥石流与冰湖溃决洪水. 见施雅风主编. 中国冰川概论, 北京: 科学出版社, 1988. 210.

DISTRIBUTION AND CHARACTERISTICS OF GLACIER DEBRIS FLOW ALONG THE DUSHANZI—KORLA HIGHWAY

Zhu Shoushen Deng Xiaofeng

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

Abstract

Research results show that the glacier debris flow along the Dushanzi—Korla Highway is in small scale and has full process of development. The debris flow occurs during June—July every summer and often destroys bridges and blocks the highway. The major water source joining up with the formation of debris flow, first of all, is snow meltwater and ice meltwater from the icefalls during the warm summer, and secondly, the flood of storm rain and meltwater. From the mass conditions for forming debris flow in 9 gullies, the mass in the middle and lower reaches is easier to develop into debris flow than that in the upper reaches. The collapse of rock banks along the gully following the debris flow is both main mean that moraine mass develop into debris flow and supplementary pattern of solid mass. Viscous flow by gravity is major debris flow along the highway; the main way and features of debris flow movement are in viscous and intermittent flow. Observed maximum density of the debris flow is 24.6g/cm^3 which is the maximum figure among all measured data. The glacier debris flow along the highway can be classified into 4 types.

Key words Dushanzi-Korla Highway, glacier debris flow, forming condition, basic characteristics