

# 帕米尔高原东北边缘山区的冰川泥石流

王景荣

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

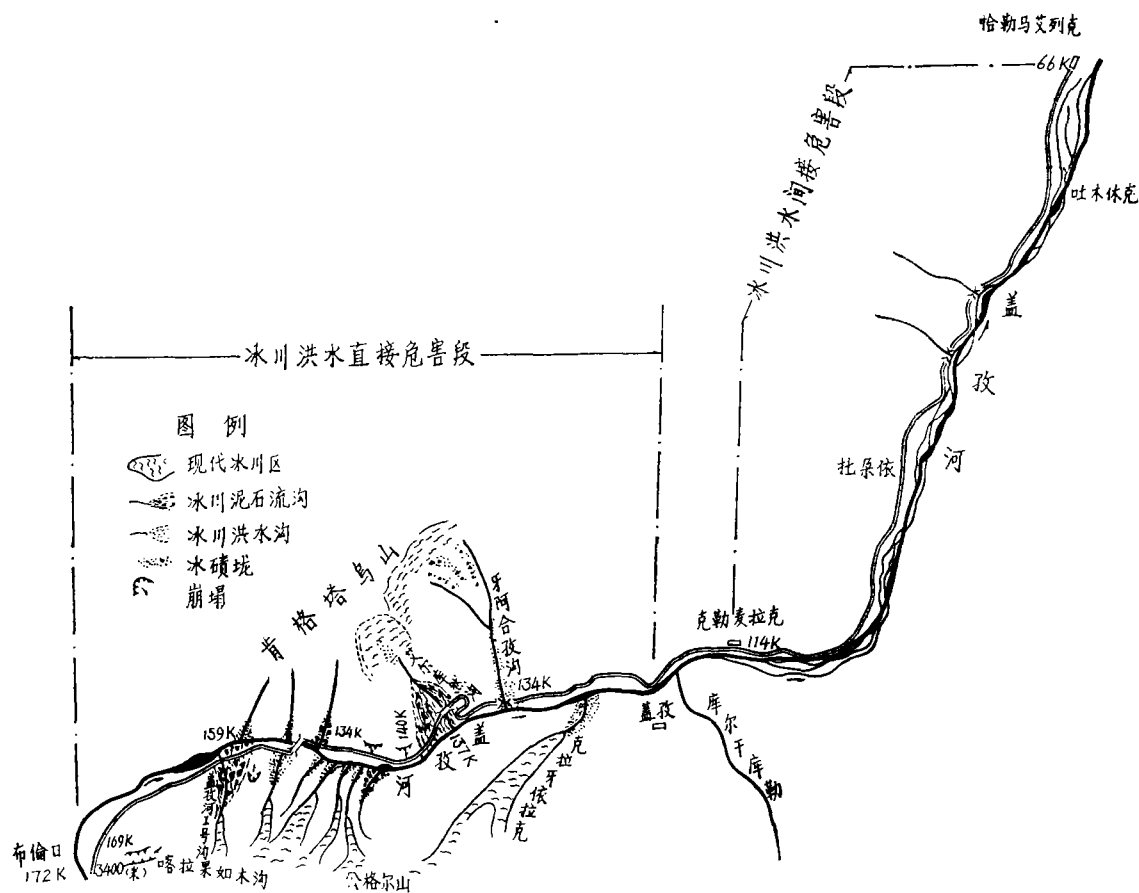
位于我国新疆西部、举世皆知的帕米尔高原,其东北边缘、公格尔山北坡和肯格塔乌山南坡,均有不同程度的泥石流分布和危害。这里地域高,气候寒,人烟稀少,为柯尔克孜族及塔吉克族牧民生活和游牧的地区。历史上著名的丝绸古道曾由此经过;而今,中巴公路沿公格尔山脚下穿行。为此,冰川泥石流、冰川洪水以及山崩等一些山区病害现象直接威胁着公路的安全,几乎每年都因此而发生断绝交通的事故。特别是冰川泥石流灾害,自1965年以来日趋严重。随着国民经济建设重点逐步转向大西北和中巴两国贸易日益频繁的趋势,认真考察并研究这里的冰川泥石流等灾害的分布及活动规律,卓有成效地防治灾害的发生,对确保中巴公路畅通无阻,保障四化建设的顺利进行,有着较为重要的意义和价值。本文仅据1984年赴现场实地考察后,谈一点粗浅认识。

## 一、冰川泥石流分布与危害

帕米尔高原东北边缘山区的公格尔山和肯格塔乌山,是盖孜河的发源地。中巴公路国内段是由喀什市至喀喇昆仑山的红其拉甫达坂,全长499公里,公路自塔什库尔干以下,基本沿盖孜河河谷行进。考察证实,冰川洪水、冰川泥石流以及山崩灾害现象主要集中在由66K里程(由喀什市起算,里程为零公里)处的恰勒马艾列克至172K的布伦口,全长106公里(图1)。其中冰川洪水危害主要分布在上、下两段,而冰川泥石流和山崩主要分布在上段。初步统计泥石流沟有4条,山崩有3处。

冰川洪水灾害分直接危害与间接危害两种形式。直接危害发生在现代冰川分布区,即布伦口至盖孜,全长47公里范围内。例如169K处的喀拉果木沟、152K处的盖孜河1号沟以及134K和133K处的两条沟,均为冰川融雪洪水直接冲淹公路的地段。间接危害主要发生在非冰川区,它是由大河上游的各条冰川形成的洪水汇集并使主河水位急剧上涨,酿成下游河岸、护堤及路基被冲毁的灾害。例如114K的克勒麦拉克至66K的恰勒马艾列克段,该段河谷展宽,河流呈辫状水系,水流摇摆性大,而公路多由河漫滩阶地穿行,每当盛夏冰川强烈消融时,屡遭洪水冲淹。如去年8月9日下午18:00时左右,在105K处,数十米路基被突然猛涨的洪水冲毁,中断交通达三天之久。类似现象每年都有发生,严重阻碍公路畅通。

此外,山崩在盖孜河上游峡谷段也常有发生,近来在150K和140K处,曾两次基岩山体崩塌,中断交通。原因有两方面:一是筑路过程中形成的路堑,坡陡崖高,岩壁失稳造成;二是山体历经多次褶皱,岩层结构疏松,加之后期寒冻风化作用,表层岩石多支离破碎所致。



这里着重介绍冰川泥石流危害。尽管本区泥石流沟为数有限,远不及川藏公路沿线冰川泥石流那么发育,但就其影响和造成的经济损失而言,已是相当严重的了。

盖孜河流域对公路威胁最大的有两条冰川泥石流沟，一条是盖孜河1号沟，另一条是艾尔库然沟。这两条沟几乎每年都发生一次或几次泥石流冲埋公路事故，尤其是后者危害更大。该沟原来在1959年公路正式通车时，由一座3孔4米跨径的木桥通过，不久则被泥石流冲毁。1965年又新建一座净跨12米的石拱桥，以后沟床逐年回淤，自1978年起，出现几次桥孔被堵、泥石流越桥而过的现象。这次考察，我们目睹了8月18日下午15时37分的一次泥石流翻桥而过的惊险场面。当时晴空万里，海拔4,500米处的积雪发生雪崩，大量冰雪急剧消融并形成洪流，穿过4,200米处的冰碛垄时携带大量泥土物质，浊流随即落至3,100米的山脚（沟源），两侧山坡、沟岸均有崩塌发生，并有局部堵塞现象。此时业已完成泥石流的形成史命。强劲的泥石流龙头高达4米，沿主沟呼啸而下，巨大的石块随流而来，抵达下游石拱桥时，由于面积仅有25平方米的“弓”型桥孔无法过流，发生拦阻，汹涌的泥石流一跃而起，飞过桥面，并将下游沟岸上挺立的电话线杆拦腰截断。随之又沿主沟奔腾而去，泥石流冲出沟口并越过25米宽的盖孜河抵达对岸基岩崖壁，河水断流片刻。全部过程仅4分钟左右。冲出的泥石量达10万立方米，其中大石块含量约占1/3。公路桥孔被堵得水泄不通，桥面上被直径为2—6米的巨石铺集，交通被迫中断；过往车辆均被阻隔在沟两岸，旅客和司机同志当日就被迫夜宿在荒野上；还有20几位意大利外宾从慕士塔格山旅游

归来,途经这里,也只好赤脚裸腿淌泥过河,换乘彼岸一辆装运水泥的卡车返回住地。灾害发生后,道班工人连夜抢修,28小时后才勉强通车。

由此可见,盖孜河流域无论冰川洪水或是冰川泥石流灾害,都严重阻碍了边区军民生活和边防建设的物资供应,并且妨碍着中巴两国人民的友好及贸易往来。每年7、8月间正值该地区的旅游旺季,许多中外登山爱好者就在这时前来登山,更有新疆各地的少数民族路经这里前往巴基斯坦、埃及等地,探亲访友或朝觐,络绎不绝。而冰川洪水、冰川泥石流灾害也都发生在这两个月,对当地旅游业发展影响很大。1983年交通部门决定重新勘测和规划该段公路,设法改变现状,确保公路畅通,以利四化建设。当地的冰川洪水、冰川泥石流防治研究应引起重视。

## 二、泥石流成因分析

帕米尔高原东北边缘山区的冰川泥石流的形成条件与其它类型的泥石流大同小异,只是冰川泥石流的水源由现代冰川或积雪消融补给,松散固体物质是由冰碛物和其它各种堆积物提供。

**首先分析泥石流的运动条件。**盖孜河流域属于中纬度极高山区,最高山峰为海拔7,719米的公格尔山峰,其它一般山峰高度均在5,200—6,500米,山坡陡峻,坡度多在30—40°之间。流域各支沟由山顶至沟口相对高差都在3,000米以上,沟床平均纵比降在25—40%。盖孜河河谷的海拔高度由布伦口的3,295米至恰勒马艾列克为1,560米,此段河床纵比降平均为16%,而布伦口至盖孜段全长47公里的河床纵比降为20%。可见本流域的地形特点是山高坡陡,水流湍急,这就为泥石流的运动提供了极为有利的地形条件。现以137K里程处的艾尔库然沟为例。该沟汇水区是一个由海拔4,200米至6,228.2米、面积为3.56平方公里的古悬冰斗构成的围谷地形,山顶至4,400米海拔处均由冰帽冰川与积雪覆盖;围谷出口海拔4,200米至3,100米,均为38°以上的基岩陡坡;坡脚下海拔3,100米至2,628米段为长1,645米的主沟。沟床是在老泥石流堆积地形上切割而成,沟床纵比降平均29%,主流向为南东,与盖孜河呈70°角交汇。盖孜河在该处的河床比降达15%,多跌水。不难看出,沟谷地形十分有利于泥石流下泻。

**其次分析该区泥石流形成的水源条件。**由冰雪消融提供水源,是冰川泥石流的独特之处。盖孜河沿岸冰川、积雪水资源较为丰富,主要有公格尔西坡和北坡以及肯格塔乌山南坡近20条冰川,冰雪覆盖面积约200多平方公里,折合水量超过150亿立方米。冰川类型有山谷冰川、冰帽冰川、土耳其斯坦型山谷冰川及悬冰川等。本区泥石流沟源多为冰帽冰川,冰层由海拔6,000米左右的山顶一直覆盖到4,400米的山腰,其形状与山型一致,冰层厚度一般为20—50米,表面和冰川下部多积雪覆盖,积雪厚10—30米。

冰川消融的形式按其呈现的位置可分为冰下消融、冰内消融和表面消融三种。其中表面消融是提供泥石流形成的最主要水源。影响冰川表面消融的因素主要有两方面:一是气候因素,它包括太阳辐射(直接辐射和散射辐射),气温,空气湿度,大气降水、凝结和蒸发等;另一方面属于冰川本身的特点,冰川位置、高度,冰川四周环境等。

我们知道,冰川或积雪接收太阳直接辐射量与地表面接收程度相差很大。观测证明,裸露而污化极微的冰川,冰面反照率为40—50%,而新鲜雪面反照率为89%。为此,冰川表面在本区多积雪覆盖的状况就会根本改变冰川的消融条件,主要原因是大量太阳能未被充分利用的缘故。但是在云雾或阴天的日子,不管冰川所处位置或坡向如何,均受散射辐射控制,从而连续均匀地融化。

另外,在确定融雪条件时,既要观测气温高低,又必须掌握空气湿度值的大小,并且要综合评

价。这是因为空气绝对湿度在冰川消融过程中起着与气温等同作用。例如帕米尔山区，有些冰川积雪往往消失而不产生径流。去年我们在艾尔库然沟径流观测中发现，在相同温度条件下，冰川径流量几乎相差一倍。这就是说，当温度为某一定值时，绝对湿度减少，融化可能停止且代之以蒸发加强。事实证明，当绝对湿度小于6.11毫巴时，冰川融化与蒸发同时出现；空气越干燥，蒸发量越大，从而抑制了融化。当空气绝对湿度大于6.11毫巴时，融雪表面发生水汽凝结，释放的凝结热增加了空气的热容量，加大了冰的融化强度。气象部门提出实际当量温度的概念，苏联学者B.П.布扎诺夫曾提出一个计算实际当量温度的公式：

$$T = t + \frac{0.623(e - 6.11)L}{(p - e)C_p + 0.623e \cdot C_w}$$

式中：

$t$ —气温（℃）；  $e$ —绝对湿度（毫巴）；

$L$ —冰的凝结热（卡/平方厘米）；  $p$ —大气压（毫巴）；

$C_p$ —干空气定压热容量；  $C_w$ —水汽热容量。

该公式的缺点在于它没有考虑辐射热。所以当大量辐射参与融雪时，融雪强度与实际当量温度 $T$ 的关系不十分满意。

在这里还需提到风的作用，当气温的消融效应在有风天气时增大，尤其是刮热风时可使冰雪消融极大加强。

蒸发和凝结作用常常在同一天里交替出现，其结果一般多偏向凝结，在西天山观测中为0.005毫米（相当于折合热0.3卡/平方厘米）。

盖孜河流域处在中亚大陆中心，北邻天山主脉，南连喀喇昆仑山，西接帕米尔高原，东临塔里木盆地，区域气候干燥而寒冷，属于典型大陆性气候区。由于三面高山阻隔，北部的北冰洋气团和南来的印度洋暖湿气团均难进入本区；西来的湿润高空西风，也由于长途跋涉水汽含量消耗极大，故造成本区降水稀少，而且大部分为固体降水（布伦口水文站海拔3,400米的三年平均降水量为105毫米）。所以大气降水的热作用在本区可忽略不计。毋庸置疑，所有各种影响冰雪消融的因素比重都随季节变化而变化。例如，苏联的科尔斯冰川，春季的辐射能对积雪消融起主导作用（60—70%），夏季末，它的份额就降低到37%；而空气的传热量则从春季的25%上升到夏季的45%；表面凝结热在春季只占5%，在仲夏时达20%，以后再慢慢地减少。同时，辐射在冰的消融中始终占优势。

盖孜河流域冰川洪水和冰川泥石流灾害主要出现在7、8月份。这时为本区日照最长的时刻，太阳辐射和气温对冰雪消融起主导作用。在去年野外观测中，8月份在海拔2,685米处日气温变化为10—26℃，推测4,400米的雪线附近为5—10℃左右。据天山胜利达坂一号冰川海拔3,820米的径流场观测，8月份白天冰面消融深度最大为53毫米水柱。每年4—11月流域大部分冰川泥石流沟处于断流状态。去年在艾尔库然沟泥石流观测中发现，冰崩和雪崩是本区7、8月间常见的事情，它是形成短历时冰雪消融洪水极重要的因素，也是产生泥石流不可忽视的重要一环。

**丰富而松散的冰碛物是冰川泥石流产生的三大条件之一。**随着气候变迁，大陆冰盖早已消失，大规模的冰川运动在本区业已成为历史。可是标志它们曾经存在和运动的证据依然留存，这就是冰碛。我们笼统的把冰川搬运和沉积下来的松散物质，包括岩石矿物，大至巨石，小至粘粒，以及由它们所构成的地貌形态称为冰碛。与形成泥石流关系比较密切的冰碛类型主要有中碛、侧碛和终碛。例如134K的牙阿合孜沟中，海拔3,720米处可见两条侧碛和一条中碛垄岗地形，长达3公里、宽250米左右、高50—150米，主要岩性为片麻岩、眼球状石英、（下转第50页）

容重 $\gamma$ 值。把这些综合调查资料进行整理分析,得到各类沟床质的粒度分布随泥石流类型不同而变:稀性泥石流和水泥石流的中值粒径 $d_{50}$ 多数在20—250毫米之间;粘性泥石流的中值粒径多在2—30毫米之间;泥流的中值粒径多在0.005—0.05毫米之间;而泥石流容重与沟床质组成的中值粒径同样关系密切。

### 三、结 语

泥石流容重的确定,目前尚处于探索阶段。根据现有资料分析,有不少启示:

(一)随着桥址附近沟床质的变化,泥石流容重发生有规律的演变,这种变化与相应地为泥石流分类提供了客观的依据。初步规律是:

1、稀性泥石流和水泥石流的中值粒径 $d_{50}$ ,多数为碎石或卵石(粒径为20—250毫米),少数为大砾石或块石;

2、粘性泥石流的中值粒径 $d_{50}$ 多数为砾石(粒径为2—30毫米),少数为粗砂、小碎石。

3、泥流的中值粒径 $d_{50}$ 多数为粉粒(粒径为0.05—0.005毫米),少数为细砂。

(二)暴雨泥石流的容重将随降雨强度的变化而变化。这种变化过程,必然会导致冲淤的巨大变化,因此在泥石流防治工程设计中必须注意。

(三)西北地区大多数泥石流流域人烟稀少,泥石流间歇时间长,现场较难确定。故建议在泥石流沟内作线格法或简易筛分法计算中值粒径 $d_{50}$ 。然后查下表确定 $\gamma$ 。对于泥流,也可查表上的近似值,确定 $\gamma$ 。

(四)在有条件的泥石流沟,可因地制宜采用各种方法,综合比选确定。

---

(上接第54页)云母斑岩和变质岩屑物质。大块石粒径多在1米左右,体积也有上百立方米的,细粒物质以粗砂为主。这些物质结构疏松,孔隙度大,总堆积量约有3亿多立方米。尽管松散固体物质储量雄厚,但是目前冰川洪水与其分布位置相互脱离,两者不遭遇,故该沟以冰川洪水为主。对于艾尔库然沟,虽然冰碛物储备量远不及前者,仅有约700万立方米的一条中碛垄,物质颗粒较细,而且有冰水沉积物混杂,含有大量粗砂及粉土成份,分布在汇水区出口处。就其分布位置十分有利洪水携带,而且冰碛下方就是高差千米的陡坡,两侧渠壁经常坍塌。可见既有洪水与松散物质遭遇的机会,又有沿途补给和下泻的条件,这样一种布局是泥石流形成最理想的天然模式。

除此而外,做为本区冰川泥石流物质供给的另一种形式则是岩崩。崩塌自身又是流域公路病害的一种类型,前面已简单介绍过。这里补充说明一下流域的地质构造概况。本区正值帕米尔—喜马拉雅歹字型构造体系西北翼与欧亚山字型构造东翼的交汇处,以强烈挤压、褶皱和隆起为主要特点,因而形成高入云天的褶皱山系和断块山脉。受其影响,流域岩层多见S型褶曲,加之岩浆活动频繁,热变质作用强烈,侵入岩带四周岩层多变质,后期寒冻风化作用更加促进岩层支离破碎。这是造成山崩多见的内因。

本区目前仍属抬升区,主河下切,支沟发育,沿岸山脚处近万立方米的倒石堆比比皆是。但是仅从沿岸老泥石流扇形地的分布、规模及活动现状来看,冰川泥石流似乎开始一个新的活跃期,很值得继续深入探讨。

(魏兴昌、丁永建两同志参加了野外考察工作)