

新疆冰川湖溃决洪水发生规律的初步探讨

李 疆 卡德尔 加帕尔

(中国科学院新疆地理研究所)

新疆冰川湖溃决洪水(以下简称冰洪)起落迅猛,洪峰很高。常常对下游地区的工农业生产和人民生命财产造成严重的危害。本文试分析这种特殊洪水的规律性,为防治冰洪害提供科学依据。

新疆的冰洪发生在昆仑山和天山的西部地区,比较典型的流域有昆仑山北坡的叶尔羌河和克里雅河及天山南坡的昆马力克河。这些河流都发源于高山冰川,冰雪融水所占的比例很高。

叶尔羌河发源于世界最高的山体喀喇昆仑山的南侧,世界第二高峰乔戈里峰(海拔8611米)地区广泛发育着规模庞大的山谷冰川,我国最大的音苏盖提冰川就分布在这里。特别是乔戈里峰东部叶尔羌河支流克勒青河上游河谷中,有三条垂直于主流的冰川常年逼进主河道,贴近对岸河谷(见图1)。当这三条冰川前进活动时,即可能堵塞克勒青河干流,在河谷中形成天然冰坝与较大的冰川湖泊。其中位居最上游的克亚格冰川经常堵塞河道,形成典型的冰川湖,该冰湖一般长4~5公里,宽约2公里。在高温年份,一方面冰坝本身受到较严重的融蚀,另一方面融化冰雪水很充沛,冰湖水位上升,当水位达到一定高度时,由于漫坝溢流,或冰洞不断扩大,使湖水一泻而下,形成冰洪。当然地震等其它触发因子也可以引起冰洪。

据文献记载,昆马力克河上游有不少冰川湖泊,麦莱巴赫湖(位于苏联境内)就是其中最大的一个。该湖南岸由冰川冰构成,夏秋季湖水溢出南岸,引起昆马力克河洪水泛滥。

冰湖溃决洪水并非个别流域中偶然出现的特殊事件,而是天山、昆仑山西部冰川汇集区多个流域里经常发生的一种自然现象。其发生与自然地理条件有着密切的联系,也表现出它自身的规律性。

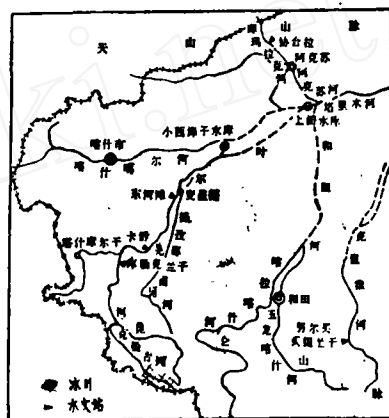


图1 克勒青河道与冰川位置示意图

一、突发性

冰湖把一段时间内的河川径流量集聚起来,在冰坝溃决时倾泻而下,使径流的年内分配趋于高度集中。加之溃坝洪水直接通过河槽传播到下游,因此洪峰涨落迅猛异常。具有洪峰高、历时短、变化快的特点。

为了便于分析洪水涨落的迅速程度,我们规定涨洪平均变化率 a 和落洪平均变化率 b 如下:

$$a = \frac{\text{洪峰流量} - \text{一起涨流量}}{\text{涨洪历时}}$$

$$b = \frac{\text{洪峰流量} - \text{落平流量}}{\text{落洪历时}}$$

显然, a 和 b 分别表示洪峰涨落速度变化的平均情况。同理, 瞬时变化率则代表洪峰过程中某一时刻流量的变化情况, 即水体对时间的加速度。正值表示涨洪加速度, 负值表示落洪加速度, 加速度越大 (绝对值) 表示洪水涨落越迅猛。

1961年9月4日叶尔羌河卡群附近河水在半个小时内流量猛增8倍, 达到6270米³/秒。水位猛涨3米, 涨洪平均变化率达到3.04, 即每秒增加流量3米³/秒以上, 每小时增加10000米³/秒以上。这是新疆来势最猛的一次冰洪水。

1973年8月26日克里雅河流量在15分钟之内, 由68.2米³/秒突然增加到325米³/秒, 水位突然上涨1.61米。涨洪平均变化率为0.29, 相当于每小时增加流量1000米³/秒以上。对于一条年平均流量只有22.2米³/秒的小河, 这样的涨洪速度确实惊人。

昆马力克河流域平均变化率不如其它河流那样大, 并表现为落洪快于涨洪。

为了进一步了解冰洪的瞬时变化, 特别是最大变化率和变化率在洪峰过程中的分布情况, 现绘出冰洪流量过程线的一阶导数曲线, 即流量瞬时变化率曲线如图2。

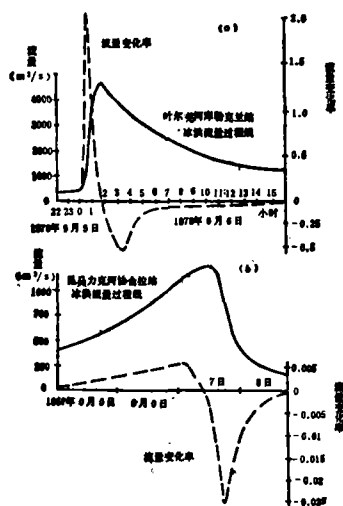


图2 冰洪流量过程线和流量变化率曲线图

由图2可见, 变化率在涨洪初期并不大, 到涨洪中期迅速增加到最大值, 后期开始减

小, 到洪峰时变化率为零。退水初期变化率由零开始变化, 中期达到负的极值, 后期又渐趋平缓, 接近于零。

叶尔羌河1978年9月6日洪水涨落都很迅猛, 最大涨洪变化率达到2.06, 落洪最大变化率为-0.62, 涨水快于退水。昆马力克河涨落较缓, 1957年9月5日冰洪最大涨洪变化率只有0.006, 落洪最快时变化率为0.025, 退水快于涨水。但仍慢于叶尔羌河变化率。

冰湖溃决洪水与普通的冰雪融化洪水相比, 洪峰更高, 历时更短, 变化率更大, 表现出很强的突发性。这种突发性与溃坝流量、河道坡降和河槽调蓄能力等因素有关。叶尔羌河冰湖一般分布在海拔5000米以上, 山高坡陡, 植被差又无山间盆地调节径流, 溃坝时流量可能发生在10000米³/秒以上, 因此该河冰洪的突发性最强。

二、相似性

同一流域不同年代发生的冰湖溃决洪水表现出相似性特征。各次冰洪在峰高、峰型、传播过程、洪量以及涨落历时和变化率等方面都具有共同的特点。

叶尔羌河近三十年来观察到多次冰洪, 其中1982年冰洪发生于冬季(11月16日), 情况稍有特殊。其它几次从洪水特征上明显地分为二组。1961年、1978年和1984年三次冰洪的洪峰高大, 相互接近, 形成一组。1964年、1959年和1971年冰洪的洪峰低且彼此相差不多, 形成第二组。

第一组洪峰流量在庫勒克干附近为4890~6670米³/秒之间, 在出山口卡群处为4700~6270米³/秒。净峰高(即洪峰流量与起涨流量之差)约为5000米³/秒, 洪水总量约为1.4亿米³, 涨洪历时为1~1.5小时, 落洪历时约一天。涨洪平均变化率都在0.9以上, 每小时要增加流量3000米³秒以上。第二组洪峰流量较小, 有的年份大, 是因为基流较高, 而净峰高都比较接近。如1971年冰洪洪峰流量高达4740米³/秒, 但起涨流量高达2450米³/秒, 因此净

峰高与本组其它洪峰仍然很接近。第二组峰高在2000米³/秒左右(见表1)。涨洪历时2~3小时,洪峰总历时10~20小时,涨洪平均变化率也比较一致,不超过0.3。第二组洪水总量约为0.7亿米³。

1982年11月16日叶尔羌河冰洪也属于第二组,虽然发生于冬季,但各项特征值都接近第二组。库勒克兰干站测得洪峰流量只有1530米³/秒,稍微偏低,是因为冬季河道基流很低,河槽的调蓄能力加强。因而使得这次洪峰递减较快,历时加长,洪峰降低。

根据上述叶尔羌河冰湖溃决洪水的相似性分析,我们假设在上游支流克勒青河谷,存在着一个或几个可能形成冰湖的地址。冰湖的大致容积为0.7亿米³或1.4亿米³。如果约为0.7亿米³的小冰湖垮溃,形成的冰洪属于第二组。如果是容积约为1.4亿米³的大冰湖溃坝,形成的冰洪洪峰属于第一组。

由表1还可以清楚地看到,各次冰洪的发生日期十分接近。除1971年以外,都集中在8月底和9月初约一周的时间里。这并非偶然,可能因为秋季积温达到一年的最大值,冰坝的

消融垮溃需要足够的热量。因此洪峰多在秋季发生。塔什库尔干气象站位于叶尔羌河流域的中心位置,海拔3091米,据统计,到各次冰洪发生之日,塔什库尔干 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温值都超过了1000 $^{\circ}\text{C}$ 。1971年冰洪发生于8月2日,比一般年度提前了将近一个月。这是由于1971年春暖夏热,积温一直高于正常年份。到8月2日,塔什库尔干 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温已超过1000 $^{\circ}\text{C}$,达到1067 $^{\circ}\text{C}$ 。

昆马力克河在最近30年中,也发生过多冰湖溃决洪水。该河协合拉水文站于1956年设立,下半年开始观测流量,因测次少而借用次年水位流量关系推算该年流量。在下述分析中我们没有收入1956年9月2日这一次冰洪的资料。其它多次冰洪在洪水特征上都表现出一定的相似性。但由于该流域里有山间盆地调节径流,该河冰湖溃坝流量没有叶尔羌河那么大,因而冰洪的相似规律性比叶尔羌河差一些。

昆马力克河各次冰洪,除1958年外,都发生于秋季,且冰洪日平均流量过程线起落情势一致,峰型类同。各次冰洪洪峰流量不是很高,一般在500~1500米³/秒之间,净峰高通

表1 叶尔羌河库勒克兰干站冰洪特征值

组别	发生日期 (年、月、日)	洪峰流量 (m ³ /s)	净峰高 (m ³ /s)	涨洪历时 (小时)	总历时 (小时)	涨洪平均 变化率	洪量 (亿m ³)	溃坝日 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温 (塔什库尔干站)
第一组	1961.9.4	6670	6005	1	26	1.67	1.32	1037
	1978.9.6	4890	4560	1.3	25.3	0.97	1.45	1374
	1984.8.30	5840	5040	1.5	26.5	0.93		
第二组	1959.8.29	2570	1790	2	18	0.25	0.6	1047
	1964.9.6	2380	2087	2.5	19	0.26	0.67	1000
	1971.8.2	4740	2290	3	12	0.21	0.76	1067

表2 昆马力克河冰洪特征值

发生日期 (年、月、日)	洪峰流量 (m ³ /s)	净峰高 (m ³ /s)	落洪历时 (天)	总历时 (天)	落洪平均变化率	洪量 (亿m ³)
1957.9.7	1210	851	2	6	0.0049	1.79
1958.11.27	448	327	1	7	0.0037	1.36
1959.9.19	1120	798	2	7	0.0046	1.75
1972.10.4	703	518	2	7	0.0030	1.69
1964.9.28	617	398	2	6	0.0023	0.8
1980.9.12	1020	735	2	7	0.0043	1.65

常不到1000米³/秒。落洪历时1~2天, 涨洪较慢, 历时4~6天。洪量除1964年偏小外, 其它年份都在1.6亿米³左右(见表2)。

昆马力克河冰洪的相似性表明, 该河的多次洪峰都源于一个位置较高的冰湖, 冰湖容积不足2亿米³, 冰洪经过较长河道和山间盆地的调节。

三、周期性

冰湖溃决洪水的另一特征是具有周期性, 最明显的是一年周期。

昆马力克河自1956年设站开始, 到1959年连续4年每年发生冰洪。时间大都在9月份, 1958年推迟到11月底, 由于冬季河道基流小, 河槽调蓄能力增强, 使得这次冰洪洪峰流量偏小。

冰湖溃决洪水的一年周期与气温的年内变化紧密相关, 说明气温是冰洪发生的控制性因素。气温的多年振动与冰湖溃决洪水的对应关系见图3。



图3 积温的年际波动与冰洪的对应关系

由图可见, 1957~1980年期间 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温共出现5次峰值, 分别是1959、1961、1963、1971和1978年。这5年中除1963年外均发生过冰湖溃决洪水。另一次冰洪发生于1964年, 该年 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温处于低值, 而积温高的1963年却未发生冰洪。

详细分析对比1963和1964年这两年的气温情况, 我们看到1963年 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温高, 是因为

气温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的初始日早(见表3), 比1964年提前1个半月之久, 春季积温很高。而春季积温对高山冰雪消融作用不甚显著。1963年 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温终止日早, 比1964年早20天。8月中旬气温就降了下来, 而8月份中下旬正是冰湖最容易溃决的时刻。1964年春季积温很低, 塔什库尔干日平均气温到5月底才稳定升到 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 以上, 积温集中在夏季和秋季。 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温集中在8月份。这样的积温年内分布对冰坝溃垮十分有利。虽然1964年 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温值偏低, 但溃坝前月余的持续高温促成了冰坝融解, 冰洪暴发。

由上可见, 冰湖溃决洪水与气温的多年振动基本对应, 关联紧密。冰洪的发生同气温和太阳辐射一样, 受到太阳活动周期性的影响, 表现出多年和一年的周期规律。

四、递减性

冰湖溃决洪水与其他洪水的一个显著区别, 是它在河道中传输过程的单一递减性。一般洪水都有一个径流形成过程, 在径流形成区内河道水量不断加大, 离开形成区后水量减小。冰洪没有坡面汇流过程, 流量没有沿途汇入逐渐加大的过程, 冰坝溃决后, 立刻形成巨大的洪峰, 此时流量最大。沿途经过河槽调蓄洪峰流量逐渐减小, 是一个洪水波逐渐展平的过程。

1961年9月3日, 叶尔羌河上游支流克勒青河河谷中巨大的冰川湖溃坝, 形成巨大的冰洪。汇入干流叶尔羌河时洪峰流量高达10000米³/秒以上, 经过150公里河槽的调节, 到库勒克兰干洪峰降低到6670米³/秒, 再下行110公里, 尽管其它支流的注入, 洪峰流量进一步

表3 塔什库尔干日平均气温稳定 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 和 15°C 初、终期和积温

年 份	5 $^{\circ}\text{C}$				15 $^{\circ}\text{C}$			
	初 日	终 日	日 数	积 温	初 日	终 日	日 数	积 温
1963	10/4	10/10	184	2315.4	24/7	11/8	19	319.8
1964	25/5	12/10	141	1783.1	3/8	31/8	29	482.0

降低到 $6270 \text{ m}^3/\text{s}$ 。再下行 130 公里到东河滩附近时, 由于河槽开阔(其间有一些农业引水)洪峰只剩下 $2570 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由图 4 不难看出冰洪沿程变化明显的递减变化。

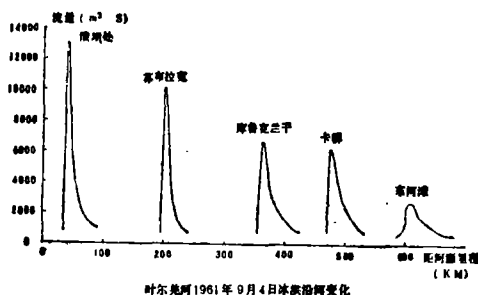


图 4 叶尔羌河 1961 年 9 月 4 日冰洪沿河变化

五、结 语

1. 在一个上游有高山冰川汇集的流域内, 只要发生过有冰湖溃决型洪水, 就说明流域内可能存在着形成冰湖和发生垮坝的自然条件。存在这种自然条件的河流, 冰洪就有可能在某个适宜时刻发生。如果冰洪再次发生, 那么一般说来要遵循它自身的种种规律。如洪峰特征的相似性、发生时间的周期性等。

2. 基于上述, 冰湖溃决洪水并非不可认识、不可预测的偶然事件, 而是一种具有一定规律的自然现象。主要表现为分布上的区域性、洪峰的突发性, 同一流域的相似性、重复发生的周期性和沿河变化的单一递减性。

3. 冰湖溃决洪水是地形地质条件、冰川作用、气象和水文等各方面因素综合影响的结果。在地形许可、水源充足、冰川作用强烈的地区, 温度常常成为控制性因子。年内冰洪通常发生在积雪接近或达到最大值的时候。年际间冰洪一般发生于高温年份。不论年内还是年际, 冰洪与气温都具有紧密的对应关系。由于气温受太阳活动的影响, 表现出年内和年际的周期性变化, 冰洪的发生也具有一年和多年的周期性。

4. 本文单从水文角度剖析冰洪发生的规律, 对于冰川等其它因素未加分析。

陡坡河道上测流建筑物水力选型初步研究

关 巍

(太原工业大学)

冬俊瑞 张清可 李永祥 吕孝琪

(清华大学)

一、前 言

国际标准化组织制订的三角形量水堰和各种型式测流槽等规范, 大多数适用于缓坡河道和较小流量。而陡坡河道上水流特性远比缓坡上的水流复杂, 急流与固体边界两者相互作用所引起的水流型态的变化, 人们了解得还不够, 因此在陡坡河道上利用建筑物测流, 迄今仍属少见。以致国际标准化组织明渠水流测量技术委员会目前尚无一份正式标准供人们参考。所以, 研究陡坡河道上测流建筑物的选型与有关水力特性, 具有一定的实用价值。

我国山溪性河流众多, 其特点是坡陡流急、洪水暴涨暴落、流量变幅很大, 甚至有些为间歇性河流。水文站为了抢测洪峰, 提高测流精

度并保持资料的连续性和有计划地开展巡回测验, 利用建筑物测流是有效途径之一。我们结合山西省店头水文站的实际情况, 通过模型试验进行了陡坡河道上测流建筑物水力选型研究, 得到一些成果和体会。

二、水力选型方案的比较试验

(一) 试验模型

选取店头站试验河段长 240 米, 河床为岩石表层覆以块石间沙卵石, 平均糙率 $n_{\text{平}} = 0.025 \sim 0.02$; 河床平均底坡为 0.025; 河道断面沿程改变, 平均宽度为 40 米左右。该站控制流域