

新疆天山北坡四棵树河冰洪分析

贾兵¹, 刘志辉^{2,3,4}, 毛华生¹

(1. 新疆塔城水文水资源勘测局, 新疆 塔城 834700; 2. 新疆大学资源与环境科学学院; 新疆 乌鲁木齐 830046;
3. 新疆绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 4. 干旱、半干旱地区可持续发展国际研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 四棵树河是新疆天山北坡的一条灾害性较大的河流, 除了夏季洪水致灾外, 另一种更引人注目的是冬季冰洪突发成灾。从该河流的自然地理条件分析入手, 阐述了该河独特的冰洪特征, 结合气温、地形等影响因素分析了四棵树河的冰洪成因。冰洪形成往往与当时当地的气温和地形变化有关。因气温逐渐或突然升高, 冰骨架结合力下降, 当虚冰坝阻水形成的水压力超出了冰骨架支撑力时, 上游某一虚冰坝破裂垮塌, 冰水则迅猛下泄, 致使下游虚冰坝连续垮塌形成河流冰洪。此外, 对冰洪沿程变化、冰洪量差异显著、冰洪年际变化不均、稳定封冻期及解冻期不出现冰洪的原因也进行了分析。

关键词: 冰洪; 气温; 地形; 虚冰坝; 四棵树河; 新疆天山北坡

中图分类号: P343.6; TV122 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2005)01-0121-06

四棵树河位于新疆天山北坡中段, 年径流量虽仅有 $3.0 \times 10^8 \text{ m}^3$, 但洪水频发, 灾害严重, 被新疆防汛总指挥部列为重点灾害性河流之一。而在该河发生洪水的类型中, 尤其引人注目的是从当年11月至次年1月经常突发冰洪, 来势凶猛, 破坏性极强, 对下游交通、水利、水电设施、工农业生产和人民生命财产安全造成很大的危害。如1984年12月17日洪水, 导致一级电站引水龙口和部分引水渠冲毁, 下游被迫停水、停电。为此, 对四棵树河冰洪成因、预测及治理措施等问题的探索和研究具有重要的理论意义和现实意义。

1 流域概况

1.1 地理位置

四棵树河是新疆天山山脉北坡的一条河流, 发源于天山山脉中段婆罗科努山和依连哈比尔尕山北坡的高山冰川, 自西南流向东北, 出山口后顺势而下, 汇入奎屯河。四棵树河流域位于 $E83^{\circ}37' \sim E84^{\circ}30'$ 和 $N43^{\circ}53' \sim N44^{\circ}58'$ 之间, 其南与婆罗科努山南坡的喀什河流域为邻, 东西分别与天山北坡的奎屯河、古尔图河流域相邻^[1]。

1.2 水系特征

四棵树河吉勒德水文站以上流域, 集水面积为 921 km^2 , 平均海拔高度 2982 m , 河长 70 km , 流域形状系数为 0.19 , 河网密度为 0.39 km/km^2 , 左右岸不对称系数为 0.41 , 流域地面坡度为 40.8% ^[2], 在羊特尔上游海拔 $1700 \sim 1720 \text{ m}$ 的河段, 河谷平坦开阔, 河道纵比降仅为 6.7% 。出山口以上河道曲折, 曲率为 1.21 , 大于奎屯河的 1.10 和古尔图河的 1.15 , 除个别地段外, 山区河谷深切狭窄, 横断面呈“V”字形。受地质构造的影响, 河流在哈夏特、桑沙、乌拉斯特、羊特尔等地多次出现急弯, 水系呈羽状分布。

收稿日期: 2003-09-17; 修订日期: 2004-02-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70361001); 国家教育部骨干教师规划项目

作者简介: 贾兵(1966-), 男, 四川三台人, 新疆塔城水文水资源勘测局工程师, 主要从事水文监测与分析等研究。

通讯作者: 刘志辉, E-mail: lzh@xju.edu.cn

1.3 冰川

四棵河河流域有大小冰川 128 条, 冰川面积为 106 km^2 , 冰川储量为 7.084 km^3 , 最大的一条冰川长 10.3 km , 面积为 22.1 km^2 , 冰储量为 2.722 km^3 , 丰富的冰川资源, 是四棵河重要水源之一。

1.4 洪水

暴雨、高山冰雪融水及冬季河冰均可在四棵河引发洪水, 因此把四棵河洪水划分为两种类型, 即夏季洪水和冬季洪水(冰洪), 这两类洪水的形成机制明显不同。

1.5 气候

四棵河河流域多年平均年降水量为 258.5 mm ; 根据流域各水文、气象站气温统计结果(表 1), 该流域年平均气温随海拔高度的增加而递减, 海拔 479 m 的乌苏气象站年平均气温为 $7.3 \text{ }^\circ\text{C}$, 海拔 920 m 处的吉勒德水文站气温为 $6.2 \text{ }^\circ\text{C}$, 海拔 1947 m 处的代普僧气象站气温为 $3.2 \text{ }^\circ\text{C}$; 但冬季月(11~2月)平均气温大都随着海拔高度增加而增加, 即冬季平原地带和亚高山地带天气寒冷, 中山地带在逆温层中相对较暖。两地带的气温差异是冰洪产生的原因之一。

表 1 四棵河河流域气温统计

Table 1 Air temperature in Sikeshu River basin

站 名	海拔高 程/m	月 平 均 气 温/ $^\circ\text{C}$												年平均 气温/ $^\circ\text{C}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
乌苏气象站	479	-16.7	-13.2	-0.7	11.6	18.8	24.3	26.2	24.3	18.2	8.4	-2.0	-11.8	7.3
吉勒德水文站	920	-12.8	-10.9	-2.1	9.6	15.7	21.1	23.3	21.8	15.9	6.1	-3.0	-10.6	6.2
代普僧气象站	1947	-9.6	-7.9	-5.5	2.9	9.7	14.7	14.9	15.5	11.3	1.7	-0.9	-8.8	3.2

2 冰洪特征

2.1 冰情

河道中水体与周边媒介不断地发生着热量交换, 冬季水体失热产生冻结, 春季冻结冰面吸热而融化。每年入冬至次年春季, 四棵河冰情都重复演变着结冰、解冻两个过程^[3]。有观测资料以来, 吉勒德水文站入冬开始结冰日期在 10~12 月。全部融冰出现于 3~4 月, 河道有冰时期约 5 个月。在吉勒德水文站测流断面处, 冬季岸边稳定冰厚一般约 30 cm , 遇冰坝阻水, 冰坝冰盖厚度可达 1.60 m 。独特的自然地理环境造成了四棵河特殊的冰情现象, 即冰洪。

2.2 冰洪特征

2.2.1 洪峰流量特征值差距悬殊

四棵河有记载以来, 历史最大冰洪流量出现于 1984 年 12 月 17 日, 洪峰流量高达 $467 \text{ m}^3/\text{s}$, 约为多年平均流量($9.16 \text{ m}^3/\text{s}$)的 51 倍, 是夏季最大洪峰流量($207 \text{ m}^3/\text{s}$)的 2.3 倍; 最小冰洪流量出现于 1995 年 1 月 1 日, 洪峰流量为 $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 为同期日平均流量的 3 倍。

2.2.2 发源地不同, 冰洪差异显著

冰洪特征差异显著与发源地不同有直接的联系, 详见表 2。

表 2 四棵河吉勒德水文站测流断面处冰洪观测情况

Table 2 Ice flood observation at the across section of Jilede hydrological station of Sikeshu River

发源地	前山(920m~石门)	中山(石门~喇叭)	后山(喇叭以上)
冰洪量	小	大	更大
来冰洪时间	16 00~20 00	20 00~24 00	24 00 以后
冰块体积	大	小	更小
冰块形状	方形	三角形	圆球形
冰块破碎程度	小	大	更大
漂浮物	无	有	较多
冰洪组成	水头以大冰块为主, 水量相对较少	水头以小冰块为主, 水量相对较多	水头以冰球和水为主

2.2.3 年际分布不均,年内多发,且集中在河流稳定封冻期的前段

四棵树河冰洪年际变化不均,随机性大,时而连年发生,时而连年无一次发生。如1970-1979年的10年中,发生冰洪11次,平均每年1次。其中1974-1977年连续四年冬季都有冰洪发生;而20世纪80年代后期至90年代初期,为偶发冰洪。以四棵树河吉勒德水文站冰洪观测为例,自1967年冬季以来,突发性冰洪有19次,详见表3。

表3 吉勒德水文站记载冰洪统计

Table 3 Ice flood statistics at the across section of Jilede hydrological station

序号	施测时间			洪峰流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		冰情	
	年	月	日		最大	平均		
1	1967	11	24	28.6				
2	1970	11	28	16 40- 16 50	131	5.56	3.70	冰坝
3	1972	1	9	0 15	321		5.14	冰坝
4	1972	1	14	17 30- 17 40	33.8	2.88	2.00	冰上流水
5	1974	12	5	13 42- 13 56	17.7	3.56	1.80	
6	1974	12	12	18 00- 18 35	23.0	2.78	1.65	岸冰
7	1974	12	17	18 29- 18 40	29.8	2.78	2.07	岸冰
8	1975	11	22	19 10- 19 40	22.7	3.95	2.56	岸冰
9	1975	12	8	19 45- 19 48	125		3.48	岸冰
10	1976	11	23	—	41.4			
11	1977	12	24	18 41- 18 50	47.6	5.25	2.44	岸冰
12	1979	1	22	—	60			
13	1984	12	17	10 10- 10 14	467	6.84	3.18	岸冰
14	1984	12	27	14 50- 14 55	109	4.48	2.53	岸冰、冰塞
15	1985	1	5	18 05- 18 09	293	6.80	3.98	岸冰、流冰
16	1987	11	30	15 18- 15 24	56.1	5.56	3.02	岸冰、流冰
17	1991	12	30	16 12- 16 20	11.1	2.29	0.90	冰上流水
18	1995	1	1	17 00- 17 20	10.5	1.64	1.11	
19	1999	1	8	15 30- 16 00	13.7			

从表3可见,有些年份一个冬季可发生数次冰洪。如1984年12月至1985年1月两个月发生3次冰洪,尤其是1974年12月,在一个月就连续发生了3次小冰洪。

各次冰洪多发生在冬季的11月底至次年1月初,即河流封冻期前期的不稳定阶段,且无一例外。此特征有别于新疆南疆地区的夏季冰川湖溃坝性洪水和黄河流域上游以及东北个别区域开春时河流解冻期出现的凌汛。

2.2.4 峰型独特,冰洪历时短暂

冰洪过程具有起涨快,在起涨段比夏洪更加陡峭的特点。在冰洪峰过后,流量急剧下落,与起涨前流量相当。

从断面出现冰洪,到冰洪结束,历时非常短暂。如1984年12月17日的洪水,从 $3.30 \text{ m}^3/\text{s}$ 的起涨流量到 $467 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量,仅有3min,而整个洪水过程只持续了59min;又如1972年1月8日的洪水,从 $2.35 \text{ m}^3/\text{s}$ 的起涨流量到 $321 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量,用了45min,而整个洪水过程只持续了2.5h,两次过程分别见图1、图2。



图1 四棵树河1984年12月17日冰洪流量过程线

Fig. 1 Ice flood hydrograph on Dec 17 1984 in Sikeshu River

basin

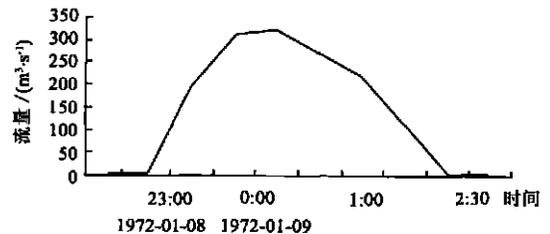


图2 四棵树河1972年1月8日冰洪流量过程线

Fig. 2 Ice flood hydrograph on Jan 8 1972 in Sikeshu River

basin

2.2.5 发生突然, 随机性强

根据表3统计, 冰洪发生的时间多在14~20时, 但有时也发生在夜间和早晨。虽然冰洪突发前数日, 有河流水量减少或水位抬升的前兆, 但其发生的随机性较强, 准确预测突发冰洪十分困难。

3 冰洪成因

3.1 冰洪影响因素

四棵树河冰洪在新疆天山北坡具有典型的代表性, 它是受多种因素影响形成的。

3.1.1 气温、水温影响

进入冬季, 河流下游降温迅速, 主要产流区中山带降温迟缓, 气温明显高于低山及平原地区。如代普僧气象站(海拔1947 m)1月份多年平均气温高于吉勒德水文站(海拔920 m)3.2℃, 11月、12月分别高出2.1℃和1.8℃(表1)。水温沿高程变化也与气温变化相对应, 石门(海拔1300 m)12月多数日8时水温明显高于吉勒德水文站同时水温, 见图3。

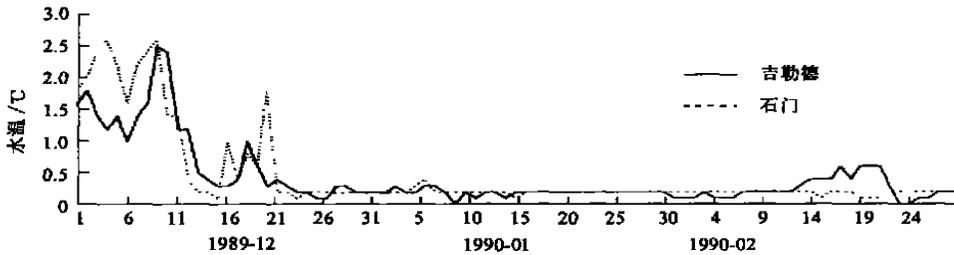


图3 四棵树河吉勒德水文站、石门冬季水温过程线

Fig. 3 The graph of water temperature in winter at Jilede hydrological station and Shimen in Sikeshu River basin

由于沿程气温影响, 下游河段冻结时间较早, 冰坝先自海拔高度较低处形成, 然后向上游高处发展, 这是四棵树河发生冰洪的气候原因。

3.1.2 地形影响

当四棵树河冬季遇强寒潮时, 气温急剧下降, 水体热量散失, 当水温降至0℃时, 河道出现冰情。河流结冰是动态结冰, 由于紊动的混和作用, 水流的失热几乎是在整个水体同时进行, 所以河流不仅在水面形成薄冰和岸冰, 同时在水内、河底形成海绵状多孔隙的冰花。随着气温的不断下降, 河道产冰量逐渐增多, 流冰密度增大, 当密集的流冰流经坡度平缓、弯曲、狭窄、大砾石多的河段时, 易发生堵塞, 过水断面越来越小, 最后断面大部分被流冰堵塞, 形成虚冰坝。因该河道曲折, 弯道多, 曲率大于邻近的奎屯河和古尔图河, 且大砾石众多, 所以, 四棵树河出现冰洪的频次和洪量远大于邻近河流。

3.2 冰洪形成机制

从地形分析和冰洪突发季节可以排除“冰川湖溃决”、“山体滑坡”引发冰洪的可能, 从实测断面观测和实地考察又可排除“雪崩”致洪的可能^[4]。

对四棵树河冰洪突发形成机制可以认为由河冰自身冻结堆积形成多级暂时性阻

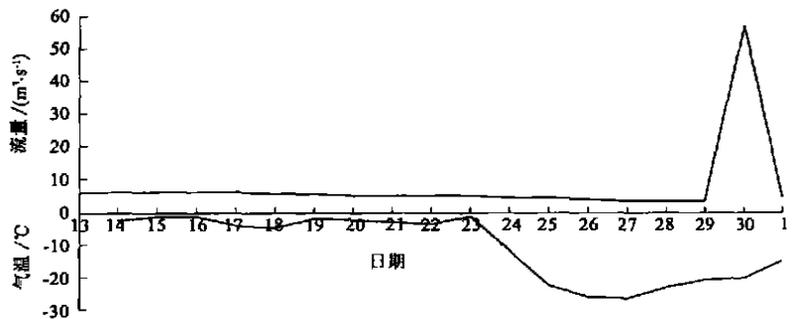


图4 四棵树河1987年11月30日冰洪流量、气温过程线

Fig. 4 The graph of ice flood and air temperature on Nov. 30 1987 at Jilede hydrological station

塞的虚冰坝,阻截部分河道水流,随着气温逐渐或突然升高,冰骨架结合力下降,当虚冰坝阻水形成的水压力超出了冰骨架支撑力时,上游某一虚冰坝突然破裂垮塌,冰水迅猛下泄,致下游虚冰坝连续溃垮形成冰洪。四棵树河1987年11月30日冰洪是一典型实例,见图4。

4 冰洪分析

4.1 冰洪沿程变化

某一虚冰坝破裂垮塌,冰水下泄,少部分冰块被推向两岸,大部分随水流运动,冰块在运动中逐渐分选,大冰块升至上层,由于上层流速大,大冰块不断前移,聚集在水头。部分水头前端河冰受动水和水头挤压碰撞破碎,部分冰块不断向两岸滑动,冰洪过后,会留下两道矗立的冰墙。越往下游,河冰越厚,冰盖承载能力越大,得不到冰源补给的水头也就逐渐消失。

4.2 冰洪量差异显著的原因

如表2所示,因发源地不同,冰洪有显著差异。当冰洪发源于前山带时,距离吉勒德水文站较近,冰洪中的冰块运移时间短和撞击机率少,所以冰块的体积大、形状呈方形、破碎程度小,而且导致下游连续垮溃的虚冰坝数量少,该站测得的冰洪量较小。如1995年1月1日该站的冰洪流量仅 $10.5\text{ m}^3/\text{s}$ 。当冰洪发源于后山带时,距吉勒德水文站较远,冰块撞击机率多和运移时间长,体积小,呈圆球形,破碎程度大,下游垮溃的虚冰坝数量多,所以冰洪量很大。如1984年12月17日的冰洪流量高达 $467\text{ m}^3/\text{s}$ 。

4.3 冰洪年际变化不均的原因

四棵树河冰洪年际变化不均,如1970-1979年的10年中,平均每年发生冰洪,而20世纪80年代后期至今,偶发冰洪,可以认为原因在于全球气候变暖 and 气候周期性变化在该地区的影响。当冬季的气温相对较高时,无较大较多的虚冰坝形成,则冰洪不易发生。

4.4 稳定封冻期及解冻期不出现冰洪的原因

该河冬季进入稳定封冻期一般不会出现冰洪,原因是该时期上游水量减少,冰盖密实,强度增加,虚冰坝变实,冰洪现象消失。另外,解冻期下游气温高于上游,下游首先融冰解冻,也就不可能出现冰洪了。

5 结 语

四棵树河冰洪是河流地貌与气候(气温)特征的综合反映,是新疆天山北坡河流的一种独特的水文异常现象,其发生无一定的周期和固定的地点,最大洪峰流量值远大于夏季等其它类型洪水。通过实地考察和对现有资料的分析可得出以下结论:

(1) 由于逆温层影响,下游河段冻结时间较早,多级虚冰坝由下游向上游逐步形成。这是四棵树河出现冰洪的气候原因。

(2) 当密集的流冰流经坡度平缓、弯曲、狭窄、大砾石多的河段时,易发生堵塞,形成虚冰坝。因四棵树河道曲折,曲率大于临近的奎屯河和古尔图河,弯道多,河段大砾石众多,所以,四棵树河出现冰洪的频次和洪量远大于邻近的河流。

(3) 冰洪形成往往与当时的气温变化有关。因气温逐渐或突然升高,冰骨架结合力下降,当虚冰坝阻水形成的水压力超出了冰骨架支撑力时,上游某一虚冰坝破裂垮塌,冰水则迅猛下泄,致使下游虚冰坝连续垮溃形成河流冰洪。

(4) 因发源地不同,冰洪量差异显著。原因是当冰洪发源于不同地带,其距离吉勒德水文站远近不同,冰块撞击机率和运移时间长短不一,冰块的体积、形状、破碎程度不同,导致连续垮溃的下游虚冰坝数量也不同,所以实测冰洪量有显著差异。

(5) 四棵树河冰洪年际变化不均, 原因在于全球气候变暖和气候周期性变化在该地区的影响。由于冰洪发源地第一手资料较少, 对冰洪的研究有待于进一步深入。

参考文献:

- [1] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国冰川目录(III). 天山山区(西北部准噶尔内流区)[M]. 北京: 科学出版社, 1986. 38.
- [2] 周聿超. 新疆河流水文水资源[M]. 乌鲁木齐: 新疆卫生科技出版社, 1999. 3.
- [3] 赖祖铭. 冰川洪水的某些特征[J]. 冰川冻土, 1984.
- [4] 张祥松, 周聿超, 等. 喀喇昆仑山叶尔羌河冰川湖突发洪水研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

Analysis of ice-flood in Sikeshu River basin on the north slope of Xinjiang Tianshan mountain*

JIA Bing¹, LIU Zhi-hui^{2, 3, 4}, MAO Hua-sheng¹

(1. Tacheng Hydrologic Bureau in Xinjiang, Tacheng 834700, China;

2. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. Oasis Ecology Key Laboratory of Xinjiang Uyqur Autonomous Region, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

4. International Center for Desert Affairs-Research on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Lands, Urumqi 830046, China)

Abstract: Sikeshu River on the north slope of Xinjiang Tianshan mountain is a calamitous river. Besides summer flood the bursting ice-flood causing disaster in the winter is more remarkable. Starting with the analysis of its condition of physical geography, this paper elaborates the particular characteristics of the ice-flood, and analyzes the cause of formation of ice-flood combined with air temperature and terrain factors. Formation of ice-flood is related to the changes of air temperature and terrain. When air temperature rise gradually or suddenly, the force of combination of ice-dam framework decline. While the water pressure caused by ice-dam exceed the support force of ice-dam framework, a certain loose ice-dam of the upper reach burst, ice water flow swift to the lower reach, thus brought out a series of collapsed ice-dam and forming ice-flood. Moreover, the ice-flood evolvement and the reasons of the notable difference of ice-flood volume, nonuniformity of annual change of ice-flood and no ice-flood in stable period of ice-cover or melting period etc are also analyzed.

Key words: ice-flood; air temperature; terrain; loose ice-dam; Sikeshu River; north slope of Xinjiang Tianshan mountain

* The project is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 70361001).