

文章编号: 1673-1719 (2006) 01-0032-04

沈永平^{1,2}, 王顺德³, 王国亚^{1,4}, 邵春^{1,4}, 毛炜峰²

(1 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2 中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 810002; 3 阿克苏水文水资源勘测局, 新疆 阿克苏 841000; 4 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 塔里木河流域近 50 a 来气温主要呈波动上升趋势, 平均上升约 0.3℃, 其中山区平均升高 0.6℃。随着气候变暖, 不稳定天气出现的频率增多, 冰川退缩, 冰雪融水增大, 使冰川泥石流和冰川突发洪水等冰雪灾害的发生频率呈上升趋势。在 20 世纪 80 年代以来的剧烈增温过程中, 冰川消融加剧, 冰温升高, 冰川流速加快, 从而造成冰湖增多和库容增大, 冰湖溃决洪水的发生呈增加的趋势。建议加强气候变化对水资源和洪水影响的监测和评估。

关键词: 气候变暖; 冰川洪水; 响应; 塔里木河流域

中图分类号: P339/P343.6 **文献标识码:** A

中国是世界上冰川洪水和冰湖突发洪水灾害发生频繁的国家之一, 冰川突发洪水严重威胁着公路、桥梁、水电、水库及工农业发展。在一些重大工程区和开发区, 要特别重视对冰雪灾害的研究和监测, 例如塔里木河流域的开发和治理, 就必须搞清楚上游冰湖溃决的频率和强度对下游工程的影响程度。

我国自 1958 年系统地开展冰川学研究以来, 对冰湖溃决洪水灾害给予了很高的重视, 先后对喜马拉雅山区朋曲和波曲河流域冰碛阻塞湖溃决洪水灾害、喀喇昆仑山区叶尔羌河流域冰川阻塞湖溃决洪水的形成与溃决机制等进行了深入的研究^[1-3]。张祥松等^[1]在野外考察和理论分析的基础上提出, 叶尔羌河上游在气候转暖大背景下, 冰川不断退缩, 冰川湖蓄水量趋于减少, 因此发生溃决洪水的频率

和洪水量将日益减少。但实际情况是, 随着 20 世纪 80 年代开始的全球气候变暖, 尤其是 90 年代的剧烈增温过程, 冰川消融加剧, 冰川流速加快, 冰川快速前进再次阻塞河道形成冰湖, 从而发生频繁的大冰湖溃决洪水^[4]。塔里木河流域的冰川洪水和冰湖突发洪水灾害与全球变化密切相关, 因此在全球变暖和气温突变下, 研究分析气温变化与冰川洪水发生的关系, 并为灾害预警和决策系统的建立提供科学依据是十分重要的。

1 气候和水文变化特征

近 50 a 来塔里木河流域气温变化主体上呈波动上升趋势^[5], 流域平均升温约 0.3℃, 山区平均气温

收稿日期: 2005-11-12; 修订日期: 2005-12-26

基金项目: 中国沙漠气象科学研究基金项目 (sqj2005002); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目 (2004117) 资助

作者简介: 沈永平 (1961-), 男, 研究员, 主要从事科技期刊编辑及冰川水资源和全球变化研究。E-mail: shenyp@cma.gov.cn

升高0.6℃。各季的气温变化是夏、秋、冬三季均呈现较明显的上升趋势,尤以秋季上升幅度最大,90年代比60年代上升1.1℃,冬、夏两季上升幅度同为0.7℃,春季变化不明显(表1)。

表1 塔里木河流域山区各年代际气温变化(℃)
Table 1 Decade mean temperature variation in source regions of the Tarim River (℃)

年代	春(3-5月)	夏(6-8月)	秋(9-11月)	冬(12-2月)	年平均
1961-1970	2.1	12.0	0.7	-14.0	0.2
1971-1980	2.3	12.6	1.3	-14.0	0.5
1981-1990	1.9	12.5	1.1	-14.1	0.3
1991-2000	2.1	12.7	1.8	-13.3	0.8

山区以20世纪90年代增湿为主要特征^[6-7],平均降水量90年代明显高于其他年代,60-80年代平均降水量在186.0~191.8 mm之间,变化率为3.1%,但是90年代增加到220.3 mm,较80年代增加了18.3%。春、夏两季增湿程度较秋、冬两季明显,主要表现在夏季≥10 mm的降水过程增加。

塔里木河流域气候没有显著变干迹象^[7],反映在河川径流方面,近半个世纪以来,四条源流出口平均天然径流量为224.9亿m³(1957-1999年),20世纪50-80年代为平水年,基本接近多年均值^[5]。90年代为偏丰水年,特别是1994年至2001年,这和整个新疆山区降雨显著增加有关^[5],90年代平均径流量为241.9亿m³,比多年平均值多17.0亿m³,增加7.6%。1994-2001年径流平均值为261.9亿m³,比90年代均值多20.0亿m³,增加8.3%,比多年均值多37.0亿m³,增加16.5%。

2 冰川洪水灾害特征

随着全球变暖,塔里木河流域不稳定天气出现的频率增多,冰川退缩,融水增大,使雪崩、风吹雪、冰川泥石流和冰湖洪水等冰雪灾害发生频率呈上升趋势^[4,7-9]。随着新疆地区从1987年开始的气候由暖干向暖湿转型^[7],洪水灾害发生的频次有明显增加的趋势^[9];冰川、泥石流阻塞、滑坡阻塞洪

水成灾的频次也有明显的增加,如冰川突发洪水由80年代的平均0.7次提高到了1.0次(表2),这是因为气温升高,消融水增多使冰碛湖突发洪水的发生机率增大^[4,7]。高山冰雪洪水受气温影响大,尤其与高空气温变化一致^[10]。洪峰、洪量大小与升温幅度关系很大,与冰川面积、雪储量、夏季降雪量有关;与季节积雪融水一样,高山冰雪融水有明显的日变化^[10]。塔里木河流域的冰川洪水和冰湖突发洪水主要发生在喀喇昆仑山、昆仑山以及天山南坡西部一带。发源于喀喇昆仑山、昆仑山北坡的大多数河流发生高山冰雪洪水在夏季7、8月,这段时期是昆仑山北坡一带的高温期。冰川洪水起涨慢、退水慢、历时长、洪量大、峰不高。发源于天山山区的大河,由于天山山区高温期短,洪水历时通常为4~10 d,涨水、退水段坡度较陡,洪峰相对昆仑山一带的高山冰雪洪水高。峰型也反映了天山山区高温期短的气候特点^[10],高温天气冰雪大量消融,因此洪水涨水快,降雨期间,气温骤降,融水减少,洪水退水快。发源于昆仑山北坡的大河,由于这一带高温期长,洪水历时通常在10 d以上,甚至长达1个月之久;洪峰持续几天甚至十几天不退,洪量很大,涨水、落水都非常缓慢,但落水段相对涨水段快些。

表2 1950-2000年塔里木河流域冰雪洪灾年平均发生频次(次/a)

Table 2 Annual frequency of glacier and snowmelt floods in Tarim River Basin during 1950-2000 (times/a)					
洪灾类型	1950-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
雪冰融水洪水	0.6	0.2	0.4	0.1	1.0
雨雪融水洪水	0.2	0.3	0.2	1.8	0.9
冰川突发洪水	0.4	0.7	0.2	0.7	1.0
合计	1.2	1.2	0.8	2.6	2.9

3 冰川洪水对气候变暖的响应

塔里木河流域河流主要以冰川和积雪融水补给为主,塔里木盆地流域共有现代冰川14 285条,面积23 628.98 km²,冰储量2 669.435 km³。冰川融水年径流量达150亿m³,约占流域地表总径流量的

40%,是本区最为重要的水资源^[8]。近40 a的升温趋势主要表现在冬春季节,夏季小有降温,冬春升温使得冰川冷储减少,冰温升高,夏季很短的升温都会使冰川大量消融。近40 a来本区冰川物质平衡主要呈负平衡,帕米尔和喀喇昆仑山约为 -150 mm/a ,天山南坡流域为 -350 mm/a ,昆仑山基本稳定^[8]。

1960年曾对帕米尔高原慕士塔格峰地区的冰川进行过冰面消融观测,1987年和2001年的再次观测发现^[11],从1960年到1987年和2001年,冰面消融从 16 mm/d 增加到 20 mm/d 和 37 mm/d ,呈明显的增强趋势,反映了冰川消融对全球变暖的响应。塔里木盆地冰川分布流域,河流流量对气候变化非常敏感,特别是气温,气温变化 1°C 可引起流量 127 mm 的变化^[8]。所以,气温升高更易引起冰川洪水发生,对社会经济产生影响。降水对流量影响程度没有气温大,降水变化 100 mm ,流量变化 66 mm 。在全球变暖情况下,冰川融水流量将明显增加。位于天山南坡的台兰河流域^[12],1957–2000年平均年物质平衡为 -287 mm/a ,累计冰川物质平衡 12.6 m ,相当于44 a额外补给河流径流量 54.5 亿 m^3 ,由于气温升高引起的冰川净消融相当于每年补给河流 1.24 亿 m^3 ,占河流年径流量的15%。1982年以后,台兰河流域冰川物质平衡一直呈负平衡,1957–1981年平均物质平衡为 -168 mm/a ,1982–2000年平均为 -445 mm/a 。根据分析^[8],气温变化 1°C ,冰川物质平衡变化约 300 mm ,河流径流变化在台兰河可达16%。这意味着,随着新疆气候由暖干向暖湿转型,虽然降水量增加,但冰川对气温的敏感性更大,冰川消融速度还是加快,冰川融水量持续增加^[12]。

气候变暖对塔里木河流域的负面影响主要表现在随着冰川径流的增大,冰川洪水灾害的频率增加。

库玛拉克河是阿克苏河的最大支流,也是塔里木河主要的补给水源,源区及主要径流形成区位于吉尔吉斯斯坦共和国境内。正是在该河之河源地区分布有天山地区最长最大的冰川—伊力尔切克冰川(长 61 km ,总面积 821.6 km^2)及数量众多的冰面湖与冰川阻塞湖,其中麦茨巴赫冰川湖最大,同时又是频繁发生突发性溃决洪水的湖。该冰川湖为南伊力尔切克冰川阻挡北伊力尔切克冰川的融水,并汇

集两支冰川融水而形成。高水位时湖面长 4.5 km 、宽 1.5 km ,最大蓄水量 3.3 亿 m^3 ,海拔 3600 m ,最大库容达 5 亿 m^3 ,最大水深 140 m 。随着气温的变暖,冰川减薄后退,冰湖库容增加,洪水逐年增大。据前苏联冰川学家的观测,该湖在1932–1954年间发生溃决洪水13次;中国新疆阿克苏水文水资源勘测局设于库玛拉克河出山口的协合拉水文站,自1956年建站以来共观测到溃决突发性洪水事件44次。这就是说,1932–2004年的63 a内发生溃决突发性洪水的几率高达90%以上。在80年代以来的高温期表现出年年甚至一年两次溃决的势头(表3),而且洪峰流量与总洪水量均呈增加的趋势。据协合拉水文站资料分析,20世纪90年代与50年代比较年径流量增多 10 亿 m^3 ,增加25%;最大流量增多32%,洪水频率也不断增加^[5,7–8](图1,表3)。这在世界冰川湖溃决洪水灾害性事件中是十分独特和罕见的。

发源于喀喇昆仑山叶尔羌河源的冰川是上游分布在喀喇昆仑山北坡一系列与克勒青河谷呈正交的冰川,由于有4~5个冰川下伸到主河谷阻塞冰川融水的下排,包括克亚吉尔冰川、特拉木坎力冰川、迦雪布鲁姆冰川等的融水,经常形成冰川阻塞湖。当冰坝被浮起或冰川排水道打开,就会发生冰湖溃决洪水。在经历了1986年的冰湖溃决洪水后,由于冰川排水道打开,直到1996年再没有发生溃决洪水。当时根据喀喇昆仑山冰川进退变化^[1],认为克勒青河上游的克亚吉尔冰川和特拉木坎力冰川等,20世纪10 a时间尺度的冰川前进脉动已经过去,冰川处于相对稳定和退缩、变薄的阶段。预计在21世纪初气温持续升高的情况下,多数冰川将后退变薄,冰川阻塞湖溃决(突发)洪水的规模也相应减小,出现数千立方米每秒流量的溃决(突发)洪水的可能性很小,叶尔羌河流域冰川洪水的危害将日益减轻^[1]。但在90年代的剧烈增温过程,冰川消融加剧,冰川融水量增加,冰温升高,冰川流速加快,冰川再次阻塞河道形成冰湖,发生频繁的大冰湖溃决洪水^[4](表3)。根据研究^[7,9],随着全球变暖,冰湖溃决洪水的洪峰流量和洪水总量将越来越大(图1),冰川湖的规模相应扩大,溃决的危险程度也增加。

冰川变化对全球变暖的响应机理主要表现为^[4]:

表3 1987–2002年库玛拉克河、叶尔羌河冰湖突发洪水洪峰流量 (Q_p)

Table 3 Peak discharge of glacier lake outburst floods of Kumarik and Yarkent Rivers in 1987-2002 (Q_p)					
年份	库玛拉克河 $Q_p/(m^3/s)$	叶尔羌河 $Q_p/(m^3/s)$	年份	库玛拉克河 $Q_p/(m^3/s)$	叶尔羌河 $Q_p/(m^3/s)$
1987	1720	/	1996	1840; 825	/
1988	583	/	1997	1900	4040
1990	1540	/	1998	/	1850
1992	1610	/	1999	2100	6070
1994	2200	/	2000	1380	/
1995	1420	/	2002	1610	4550

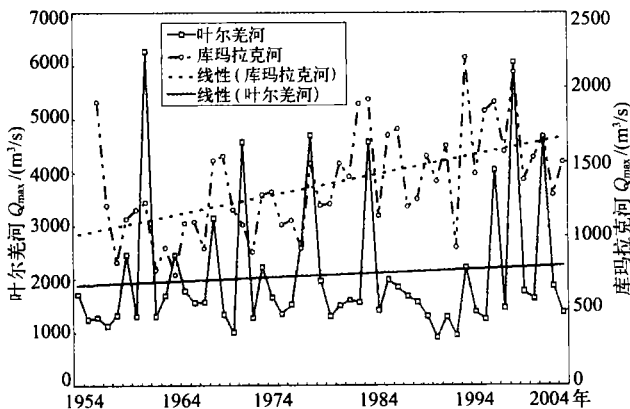


图1 库玛拉克河协合拉站与叶尔羌河卡群站年最大径流量 (Q_{max}) 变化

Fig. 1 Annual peak discharge change at Shehel hydrological station of Kumarik River and Kaqun hydrological station of Yarkent River (Q_{max})

1) 冰床变软,冰体变形加大,冰底部滑动量大,加快冰川流动和融化;2) 冰川流速加大,阻塞河谷,冰川湖形成;3) 冰温升高,冰川软化,冰湖水更易打开排水通道;4) 气温升高,冰川消融加剧,径流量增大,洪水发生频率加快;5) 冰川后退,冰川湖库容增大,冰川湖面积扩大,洪水洪峰增大,洪水量增多。

4 结束语

塔里木河流域的冰川水资源不但是重要的淡水资源,稳定着河流水文的变化,而且由于全球变暖引起的冰川融水猛烈增加也是洪水灾害的主要根

源,尤其是冰湖溃决引起的洪水灾害危害更大。气候的变化将对河流水资源和洪水的发生产生重要影响,全球变暖下对冰川水资源变化及冰川洪水的研究对塔里木河的治理及供水安全防范是十分重要和迫切的。随着国民经济的发展及人类活动加剧,伴随着全球变暖的增强,冰湖溃决洪水的洪峰流量和洪水总量将越来越大,冰川湖的规模相应扩大,溃决的危险程度也增加,冰川突发洪水的危害将越来越严重。加强气候变化对水资源和洪水灾害的影响评估,应引起国家和当地政府的足够重视。■

参考文献

- [1] 张祥松,周律超.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.
- [2] 徐道明,冯清华.冰川泥石流与冰湖溃决灾害研究 [J].冰川冻土,1988,10(3):284–289.
- [3] LIGG/WECS/NEA. Report on First Expedition to Glaciers and Glacier Lakes in the Pumqu (Arun) and Poiqu (Bhote-sun Kosi) River Basins, Xizang (Tibet), China: Sino-Nepalese Investigation of Glacier Lake Outburst Floods in the Himalayas [M]. Beijing: Science Press, 1988.
- [4] 沈永平,丁永建,刘时银,等.近期气温变暖叶尔羌河冰湖溃决洪水增加 [J].冰川冻土,2004,26(2):234.
- [5] 王顺德,王彦国,王进,等.塔里木河流域近40a来气候、水文变化及其影响 [J].冰川冻土,2003,25(3):315–320.
- [6] 施雅风,沈永平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨 [J].冰川冻土,2002,24(3):219–226.
- [7] 施雅风,沈永平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估 [M].北京:气象出版社,2003:17–59.
- [8] 沈永平,王顺德.塔里木盆地冰川及水资源变化研究进展 [J].冰川冻土,2002,24(6):819.
- [9] 姜逢清,胡汝骥,王亚俊,等.突发洪灾事件对新疆潜在气候转型的响应 [J].自然灾害学报,2003,12(2):140–146.
- [10] 毛炜峰,吴钧,陈春艳.0℃层高度与夏季阿克苏河洪水的关系 [J].冰川冻土,2004,26(6):697–704.
- [11] 蒲健辰,姚檀栋,段克勤.慕士塔格峰洋布拉克冰川消融的观测分析 [J].冰川冻土,2003,25(6):680–684.
- [12] 沈永平,刘时银,丁永建.天山南坡台兰河流域冰川物质平衡变化及其对径流的影响 [J].冰川冻土,2003,25(2):124–129.