

文章编号:1000-0240(2005)05-0655-05

乌鲁木齐河流域径流增加的事实分析

韩添丁^{1,2}, 叶柏生¹, 丁永建¹, 焦克勤¹

(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 大气化学开放实验室, 北京 100081)

摘 要: 对应于新疆气候转型过程, 天山乌鲁木齐河流域径流呈现了明显的增加趋势。河源区 1 号冰川水文点、跃进桥水文站及出山口英雄桥水文站径流在 20 世纪 80 年代中期以后均呈现出非常明显的增大趋势, 但其增加过程的转折时间不尽一致。乌鲁木齐河源 1 号冰川径流在 1997 年发生了明显的突变, 主要是由于强烈的升温过程导致了冰川的强烈消融和河源区降水的连续增加双重因素叠加的结果; 跃进桥水文站径流年际趋势同步和相似于河源区 1 号冰川水文点径流的变化。初步分析表明: 径流增加的主要原因是高山区降水的显著增加, 而流域内降水明显增加的区域在高山带及山前平原区, 中、低山带降水的增加趋势不是非常显著。

关键词: 乌鲁木齐河; 径流; 降水; 20 世纪 80 年代

中图分类号: P339

文献标识码: A

自 1987 年以来, 新疆以天山西部为主地区, 出现了气候从暖干到暖湿转型的强劲信号^[1], 降水量、冰川消融量增加趋势非常明显。高亚洲冰川在 20 世纪 90 年代以来全面退缩, 冰川的强烈消融导致了冰川径流的明显增加, 估计整个西部地区 20 世纪 90 年代以来, 冰储量减少导致的冰川径流增加大于 5.5%^[2]。尤其是冰川面积 < 2 km² 的冰川对气候变暖最为敏感, 冰川融水径流量增加明显^[3]。新疆其它区域也有降水量、径流量增加的趋势, 特别是西天山河流的径流量增加趋势非常显著^[4]。根据天山乌鲁木齐河(简称乌河)源近十几年来冰川进退和雪线变化、水文气象等资料, 河源区及乌河流域气候环境有由暖干向暖湿突变(转型)的事实; 分析河源区降水及径流变化, 其增加趋势非常明显^[5,6], 但就整个乌河流域进行分析, 流域内上、下游河川径流及降水的变化具有显著的差异。

通过对乌河流域降水及径流的实测资料的分析研究, 揭示在全球增暖和天山山区气候发生变化的大背景下, 乌河流域的径流变化特点; 进一步分析降水及冰川消融在乌河径流增大过程中的作用。

1 研究区概况

乌鲁木齐河发源于中天山天格尔 II 峰北坡, 河源为天山乌鲁木齐河源 1 号冰川(简称 1 号冰川), 出山口英雄桥水文站以上流域面积 924 km², 中山带跃进桥水文站以上流域面积 310 km²; 是新疆乌鲁木齐市生产生活的主要水源之一。在河源区, 中国科学院天山冰川站一直开展有冰川、高山积雪、多年冻土等常年观测研究项目, 并设有乌鲁木齐河源 1 号冰川水文点等三个水文监测点, 用于监测河源区不同特征下垫面的径流过程。本文的主要研究区域集中在出山口英雄桥水文站以上(图 1)。

2 资料

本文选取乌河流域 1 号冰川水文点、跃进桥和英雄桥水文站的逐年径流实测资料, 及流域内不同高度区域气象台站(水文站)(表 1)的降水等实测资料; 资料系列大多从 1950 年代至 2003 年, 个别站资料系列偏短。所选降水观测台站有: 天山乌河源大西沟气象站、后峡天山冰川站气象点、英雄桥水

收稿日期: 2005-01-09; 修订日期: 2005-03-22

基金项目: 中国气象局大气化学重点开放实验室开放课题(CCSF2005-3-DH17); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-345); 国家自然科学基金项目(40371026; 40371028); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所引进国外杰出人才基金项目(CACX2004116)资助

作者简介: 韩添丁(1964—), 男, 甘肃武山人, 副研究员, 1987 年毕业于兰州大学地理系, 现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所在职博士生, 主要从事冰川水文气象的观测研究。E-mail: tdhan@lzb.ac.cn

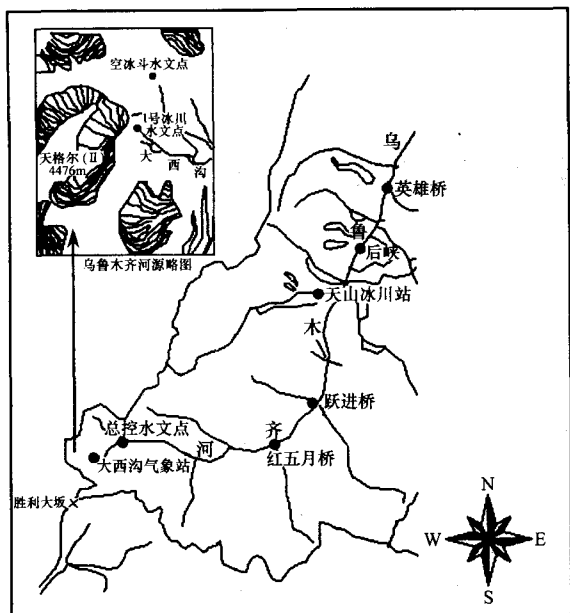


图 1 乌鲁木齐河流域略图

Fig. 1 Sketch map showing the Ürümqi River Basin

表 1 乌鲁木齐河流域水文气象台站
Fig. 1 Features of the hydrometeorological
stations in Ürümqi River

台站类型	台站名称	资料时 间系列	水文站集 水面积 /km ²	海拔 /m
水文站	1 号水文点	1980—2003	3.34	3659
	跃进桥	1983—2003	310	2336
	英雄桥	1960—2001	924	1920
	头屯河制材厂	1959—2002	940	1430
气象站	大西沟气象站	1959—2003		3539
	天山冰川站气象点	1986—2003		2134
	乌鲁木齐气象站	1959—2000		918

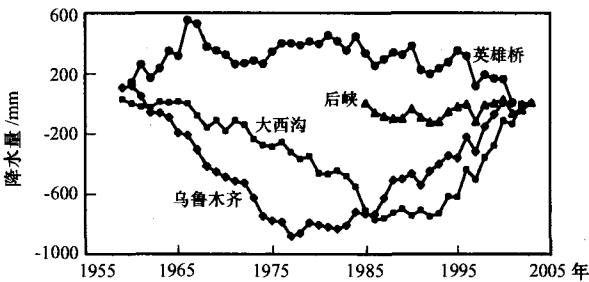


图 2 乌鲁木齐河流域降水累积距平

Fig. 2 Cumulative anomalies of precipitation in
the Ürümqi River Basin

文站和乌鲁木齐气象站等. 为进行对比研究, 特选取了与乌河流域相邻的头屯河流域制材厂水文站的降水和径流资料.

3 降水及冰川变化特征

3.1 乌鲁木齐河流域降水变化

分析表明, 平原区乌鲁木齐气象站和乌河流域河源区大西沟气象站降水分别从 20 世纪 50 年代中期至 70 年代中期、80 年代初期呈下降的趋势; 此后, 降水相继呈现为明显的增加趋势, 二者降水量增加的趋势系数均超过了 0.05 的信度水平. 降水累积距平统计资料显示(图 2), 山前乌鲁木齐发生降水增加转折的时间大约要比河源区大西沟气象站早 10 a 左右. 河源区降水量增加的主要转折时期是

在 20 世纪 80 年代中后期, 与韩萍等^[7]认为的大多数台站降水发生转折的时期基本一致. 乌鲁木齐气象站 1978—2000 年平均降水量为 294 mm, 较 1951—1977 年的 231 mm 增加了约 27.3%; 乌河源区大西沟气象站 1986—2003 年平均降水量为 492 mm, 较 1958—1985 年的 426 mm 增加了约 15.5%; 后峡天山冰川站降水实测资料显示, 其降水量的增加趋势不甚显著; 而出山口英雄桥水文站的降水量更呈现出明显的减少趋势. 将乌河流域相邻的头屯河出山口制材厂水文站降水变化与乌河流域以上台站的降水变化特征相比较, 同样其降水增加的转折时期大致也在 20 世纪 80 年代中期, 但转折趋势仍不是非常明显, 年际变化过程波动也相对较小. 这表明降水在山前平原、中高山带的变化存在显著的差异性.

3.2 乌鲁木齐河源 1 号冰川变化

1 号冰川自 1959 年以来的物质平衡记录中(1967—1979 年为推算资料)^[8], 共有 29 a 为负平衡年, 而从实测的 1980 年以来, 仅有 5 a 为弱的积累年. 1985 年以后 1 号冰川有加速亏损趋势, 1985—2002 年年平均物质平衡量为 -425.6 mm, 较 1959—1984 年的平均值 -74.5 mm 低 351.1 mm, 1993 年 1 号冰川完全分为独立的东、西两支冰川^[9]. 从 1 号冰川 1959 年以来的年物质平衡累积距平图(图 3)来看, 1997 年是近年来冰川强烈消融的转折年, 1997—2002 年为有观测以来连续的强物质亏损时段(平均为 -739.6 mm). 研究降水对冰川物质平衡的影响^[5], 显示出 20 世纪 80 年代以来 1 号冰川积累区物质平衡的变化趋势与相应时段冰川总体变化趋势一致, 自 1997 年起, 同样呈现大幅度亏损.

虽然乌河流域河源区降水 20 世纪 80 年代中后期以来的增加趋势非常明显, 但由于 1997—1999

年气温为正距平且偏离均值幅度较大^[5], 物质平衡仍然达到有记录以来的最大负平衡. 可以认为, 气温升高引起的冰川消融已经远远超过降水增加对冰川的贡献.

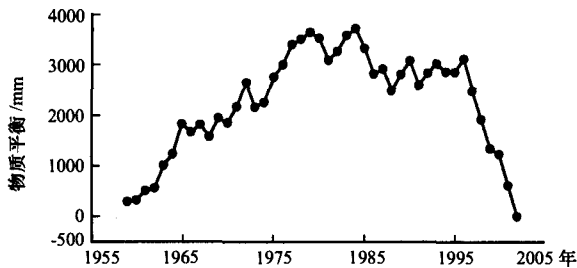


图3 乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡累积距平

Fig. 3 Cumulative anomaly of mass balance of the Glacier No. 1 at the source of the Ürümqi River

4 径流变化特征

通常而言, 冰川对径流具有调节作用, 当降水量增大时, 会有更多的降水以固态形式在冰川上保存下来, 冰川物质收入量将会增加; 而降水量减少时, 冰川的消融反过来将会补给径流. 分析1号冰川水文点和出山口英雄桥水文站径流的累积距平变化(图4a), 1号冰川水文点径流没有明显对应于河源大西沟气象站20世纪80年代中期降水显著增大的过程, 进一步验证了冰川径流不仅受降水影响, 更主要受气温的影响; 1号冰川径流的增加主要发生在气温急剧升高的90年代中期以后. 相关研究显示^[5,6], 以观测研究河源区降水、高山积雪和多

年冻土融水径流为主的空冰斗径流自20世纪80年代中期以来增大趋势同样明显, 其主要原因还是河源区1985年以来降水的明显增多; 但气温尤其是冻土活动层地温的明显升高, 导致了冻土活动层内地下冰、埋藏地下冰的大量消融, 对其径流增大的贡献也是不可小视的.

运用 Yamamoto 的参数检验(信噪比)法^[10], 检验乌河流域内各水文站径流的变化特征. 发现河源区1号冰川径流在1997年发生了明显的突变, 年平均径流深从1980—1996年的585 mm, 增加到1997—2003年的874 mm, 后一时段较之前一时段冰川径流增加了289 mm, 增加幅度达49.4%.

跃进桥水文站径流没有明显的突变发生, 但径流增大的年际变化过程更相似于河源区1号冰川径流的变化(图4b), 而且1994年以后径流的增加趋势非常显著; 径流的年际变化幅度明显增大, 与流域内降水变化趋势的对应关系不甚显著. 出山口英雄桥水文站径流在1997年同样也没有发生明显的突变过程, 其径流则呈现为进一步增大的转折特点, 但径流增加的主要转折时间还是1987年以后, 径流的增加趋势非常明显(图4a). 1987—2001年英雄桥水文站年平均径流量为 $8.28 \times 10^8 \text{ m}^3$, 较之1958—1986年的 $7.37 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加了 $0.91 \times 10^8 \text{ m}^3$, 亦即增加了约12.3%.

5 讨论

乌鲁木齐大西沟气象站的实测资料记录显示, 1997—1999年为有实测资料记录以来的连续高温, 1号冰川在1997—2002年同样显示为自有物质平衡观测记录以来连续的强消融时段, 年平均物质平衡为-739.6 mm, 已远超出降水量对径流的贡献, 导致了1号冰川径流1997年发生了明显增大的突变转折. 河源区气温自20世纪80年代以来总体呈上升趋势, 其中1997—1999年的高温十分显著; 从大西沟气象站20世纪60年代以来的气温资料上看, 同步于降水变化特点, 1985年前后也是一个气温相对较低时期, 而1986—2003年气温在波动中呈上升趋势, 期间年平均气温为-4.9℃, 升高了0.5℃. 可以认为, 1号冰川径流发生突变的主要原因是由于气温升高引起的冰川强烈消融的结果. 加之河源区降水在该时段仍然呈现为连续且较大的正距平, 降水对径流的增加也起到一定的作用.

乌河流域中下游跃进桥和英雄桥径流在1997年均未发生明显的径流突变, 但20世纪80年代中

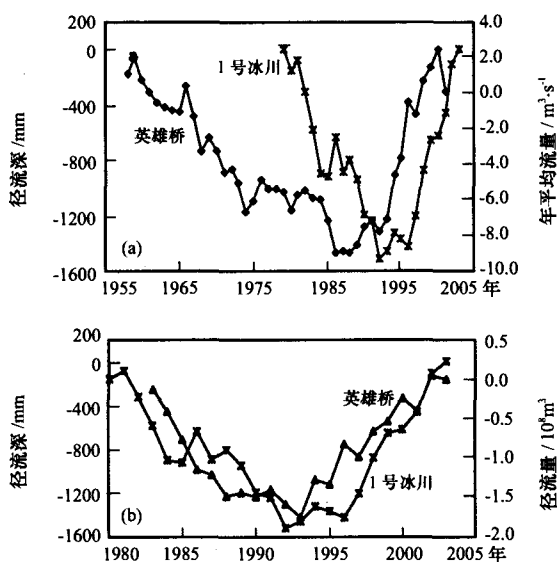


图4 乌鲁木齐河流域径流累积距平

Fig. 4 Cumulative anomalies of runoff in the Ürümqi River basin

后期出山口英雄桥水文站径流的增加趋势非常明显,其径流的转折时间早于乌河源1号冰川水文点和跃进桥水文站,变化基本同步于高山区大西沟气象站的降水变化,英雄桥径流和大西沟降水累积距平的年际变化图(图5)更加直观地反映了这一变化特点。这表明尽管乌河流域有一定量的冰川融水补给(约8%)^[11],但山区径流的变化主要还是取决于高山区降水的变化。基于冰川径流主要取决于温度的变化,1号冰川水文点径流转折主要发生在升温强烈的20世纪90年代中期,跃进桥水文站以上流域冰川径流补给比重较大,径流变化是冰川径流和高山区降水变化共同作用的结果,径流的主要转折时间晚于英雄桥径流转折变化时间。

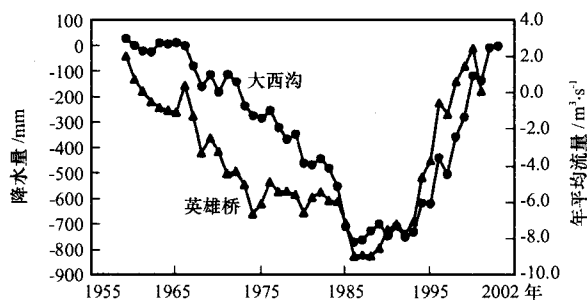


图5 乌鲁木齐河源大西沟降水及英雄桥径流累积距平对比
Fig. 5 Cumulative anomalies of precipitation and runoff in the Ürümqi River basin

综合分析来看,乌河流域年径流的变化主要依赖于高山区降水量的变化,冰川径流在河川径流增加过程中的作用,主要还受流域面积(冰川面积)的影响。冰川编目资料显示^[12],跃进桥水文站以上流域冰川覆盖率约为8.9%,出山口英雄桥水文站以上流域冰川覆盖率略大于4.0%,冰川融水径流约占总径流的8.0%左右^[11];流域内冰川覆盖率和降水差异,造成了径流变化的差异性特征。这从乌河源1号冰川径流和中山带跃进桥径流相似的变化过程,及其二者与出山口英雄桥径流的差异变化中得以明显体现。

流域内高山带及山前平原区降水同样呈现了明显的增加趋势,但均未形成突变的事实;中低带的降水没有明显的增加趋势,英雄桥水文站降水呈明显的减少趋势。山区不同高度径流和降水变化的不一致性表明,山前平原、中高带降水变化存在明显的差异性,高山区径流的变化不仅受降水的影响,同时还受到由于升温导致冰川径流增加的影响。基于中低带降水变化不明显,更由于英雄桥水文站降水明显的减少趋势,初步分析认为,出山口

径流变化与高山区降水更为一致,而中、低山带降水对径流的贡献作用相对较小。但降水的这种变化特点可能与降水资料由于台站受地形影响及资料系列相对较短、缺乏代表性等原因有关。

6 结论

在气候从暖干到暖湿转型过程中,乌鲁木齐河出山口英雄桥水文站径流在20世纪80年代中后期以来的增加趋势非常明显,年平均径流量1987—2001年较之1958—1986年增加了约12.3%,其主要原因是高山区降水量的连续增加。

乌河源1号冰川水文点径流在1997年发生了明显的突变现象,平均年径流深从1980—1996年的585 mm,增加到1997—2003年的874 mm,增加了近50%。主要是强烈的升温过程导致了冰川的强烈消融,其次降水的连续增加双重因素叠加的结果。跃进桥水文站径流增大趋势同步和相似于河源区1号冰川径流变化。

乌河流域内降水量明显增加的地带在高山带及山前平原区,但未形成突变事实,中低山带降水的增加趋势不甚明显。河源区降水量增加的主要转折时期是在20世纪80年代中后期,山前乌鲁木齐发生降水增加转折的时间在1977年左右,比高山区大西沟气象站早10 a左右。乌鲁木齐气象站年降水1978—2000年平均降水量为294 mm,较1951—1977年的231 mm增加了约27.3%;大西沟气象站年降水1986—2003年平均降水量为492 mm,较1958—1985年的426 mm增加了约15.5%。

参考文献(References):

- [1] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Riji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climate shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(3): 219—226. [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.]
- [2] Shi Yafeng. Estimation of the resources affected by climatic warming and glacier shrinkage before 2050 in West China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, **23**(4): 333—341. [施雅风. 2050年前气候变暖冰川萎缩对水资源影响情景预估[J]. *冰川冻土*, 2001, **23**(4): 333—341.]
- [3] Yao Tandong, Wang Youqing, Liu Shiyong, et al. Recent glacial retreat in High Asia in China and its impact on water resource in Northwest China [J]. *Science in China (Series D)*, 2004, **47**(12): 1 065—1 075.
- [4] Zhang Guowei, Wu Sufen, Wang Zhijie. The signal of climate shift in Northwest China deduced from river runoff change in Xinjiang Region [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*,

- 2003, **25**(2): 183—187. [张国威, 吴素芬, 王志杰. 西北气候环境转型信号在新疆河川径流变化中的反映[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 183—187.]
- [5] Li Zhongqin, Han Tianding, Jin Zhefan, *et al.* A summary of 40-year observed variation facts of climate and Glacier No. 1 at headwater of Ürümqi River, Tianshan, China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 117—123. [李忠勤, 韩添丁, 井哲帆, 等. 乌鲁木齐河源区气候变化和 1 号冰川 40 年观测事实[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 117—123.]
- [6] Han Tianding, Li Zhongqin, Ye baisheng. Increasing in runoff in the Ice-free cirque at the headwaters of the Ürümqi River [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(4): 389—393. [韩添丁, 李忠勤, 叶柏生. 乌鲁木齐河源空冰斗径流增大的原因分析[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(4): 389—393.]
- [7] Han Ping, Xue Yan, Su Hongchao. Precipitation signal of the climatic shift in Xinjiang Region [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 179—182. [韩萍, 薛燕, 苏宏超. 新疆降水在气候转型中的信号反应[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 179—182.]
- [8] Tianshan Glaciological Station. Annual Report of Tianshan Glaciological Station, Vol. 1—16 [R]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, 1980—2002. [天山冰川站. 天山冰川站年报, 1—16 卷 [R]. 兰州: 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1980—2002.]
- [9] Jiao Keqin, Wang Chunzu, Han Tianding. A strong negative mass balance appeared in the Glacier No. 1 at the headwater of the Ürümqi River [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(1): 62—64. [焦克勤, 王纯足, 韩添丁. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川新近出现大的物质负平衡[J]. 冰川冻土, 2000, **22**(1): 62—64.]
- [10] Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. An analysis of climatic jump[J]. *J. Met. Soc. Japan, Series II*, 1986, **64**: 273—281.
- [11] Yang Xinyuan, Han Tianding. Climate Characteristic and glacial runoff in the source of Ürümqi River [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1994, **16**(2): 147—155. [杨新元, 韩添丁. 乌鲁木齐河源气候特征和冰川融水径流[J]. 冰川冻土, 1994, **16**(2): 147—155.]
- [12] Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS. Glacier Inventory of China[M]. Beijing: Science Press, 1985. [中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国冰川目录[M], 北京: 科学出版社, 1986.]

Increasing Runoff in the Ürümqi River Basin since 1980s

HAN Tian-ding^{1,2}, YE Bai-sheng¹, DING Yong-jian¹, JIAO Ke-qin¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Key Laboratory of Atmospheric Chemistry, Centre of Atmosphere Watch and Services, Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the observations of runoff and precipitation in the Ürümqi River basin, the variation features in climatic shift from warm-dry to warm-humid are analyzed. It is reveals that there is an obvious increasing trend of runoff at the Glacier No. 1 and Yingxunqiao Hydrologic Stations of the Ürümqi River after 1987. Especially, the runoff at the Glacier No. 1 Hydrologic Stations has a

very clear shift in 1997. The main reason of the increasing runoff is the obvious increment of precipitation in the source area of the Ürümqi River. Doubtless, the shift of glacial runoff in the Glacier No. 1 Hydrologic Station is due to the two factors: strong ablation of glacier and durative increase in precipitation.

Key words: Ürümqi River; runoff; precipitation; 1980s