

文章编号: 1000 0240(2006)05 0703 04

气候变化对乌鲁木齐河流域水资源的影响

吴素芬¹, 刘志辉², 韩 萍¹, 朱冶超¹

(1. 新疆水文水资源局, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要: 分析了乌鲁木齐河流域近 40 a 来的气候变化及其气候要素与冰川融水、降水径流的关系。结果表明: 高山冰川区融水径流的变化主要受气温变化影响, 冰川区夏季 6~8 月累积气温每增加 0.5℃, 流域 37.95 km² 冰川产生的融水量将增加 3 3514×10⁶ m³; 近期气温再升高 0.5℃, 冰川融水年平均径流量将达到 35×10⁶ m³。降水对中高山径流的影响较大, 每增加 20 mm 降水量, 降雨径流量增加 8.9×10⁶ m³, 40 a 来其变化呈略增加趋势, 年平均增加量为 0 4095×10⁶ m³, 与冰川融水增加量相当; 降水与冰川融水径流量增加百分率相比, 增加幅度较小。最后提出了减少污染, 增加植被覆盖面积等应对气候变化对水资源影响的措施。

关键词: 冰川融水; 降水径流; 气候变化; 乌鲁木齐河流域

中图分类号: P339 文献标识码: A

乌鲁木齐河流域面积在出山口英雄桥站以上为 921 km², 冰川面积 37.95 km²。该河多年平均径流量为 2.44×10⁸ m³, 年最大径流量为 3.44×10⁸ m³, 年最小径流量为 1.75×10⁸ m³, 最大最小年径流量的比值为 1.96, 相对来说径流年际变幅较小, 水量稳定。乌鲁木齐河是乌鲁木齐市主要供水水源, 本文主要研究气候变化对乌鲁木齐河流域径流组成以及对水资源的影响, 提出了如何应对气候变化的措施。

1 设站及资料情况

研究中采用英雄桥水文站、大西沟气象站、1 号冰川水文站实测资料, 设站高程和资料系列见表 1。1 号冰川融水径流深引用李忠勤等^[1]《乌鲁木齐河源区气候变化和 1 号冰川 40 a 观测事实》一文中

表 5 的推算值。流域冰川面积 1975 年前采用 37.95 km², 1975 年后冰川面积的变化按 1 号冰川面积缩减百分率推求。

2 近 40 a 来乌鲁木齐河流域山区气候变化特征

2.1 气温变化

气温不仅影响流域蒸散发, 更重要的是通过对冰川作用直接影响流域水资源。大西沟气象站位于 1 号冰川附近, 该站实测气温从 20 世纪 70 年代中期以来总体呈上升趋势, 1985 年后明显呈波动上升。1985—2003 年年平均气温比 1958—1984 年年平均气温升高了 0.5℃, 1958—1984 年夏季平均气温为 12℃, 1985—2003 年平均气温为 13.6℃, 升高了 1.6℃(图 1)。

表 1 水文、气象站基本情况和观测序列

Table 1 Basic information of the hydrological and meteorological stations

站名	海拔/m	控制面积/km ²	观测项目	时间系列
英雄桥	1920	921	气温、降水、流量	1957—2003
大西沟	3539		气温、降水	1958—2003
1 号冰川水文站	3693	3.34	流量、气温、降水	1980—2001

收稿日期: 2006 02 25; 修订日期: 2006 04 01
基金项目: 国家自然科学基金项目(70361001); 中国沙漠气象科学研究基金项目(sq 2005002)资助
作者简介: 吴素芬(1957—), 女, 广东梅县人, 教授级高级工程师, 1982 年毕业于新疆大学, 主要从事水文预报、水文水资源分析工作。
E-mail: xjswjw@126.com
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

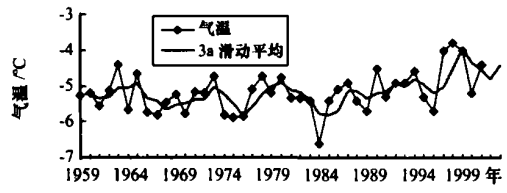


图 1 大西沟气象站年平均气温和 3 a 滑动平均曲线

Fig. 1 Annual mean temperatures and their 3 year moving averages at the Daxigou Meteorological Station

2.2 降水变化

降水通过流域下垫面的作用补给河流. 选取具有较长降水资料系列的英雄桥水文站、大西沟气象站资料进行分析, 流域平均降水量用英雄桥和大西沟站降水资料算术平均计算.

图 2 为流域年降水量变化曲线, 可以看出 1959—1986 年降水呈略减少的波动, 多年平均年降水量为 456 mm, 1987—2001 年降水呈略增加变化, 这一期间多年平均年降水量为 471 mm, 增加了 22 mm. 根据流域各站降水资料分析, 降水主要增加在中高山区, 如大西沟气象站 1987 年来降水有所增加, 1987—2003 年多年平均降水量比 1959—1986 年前增加了 17%.

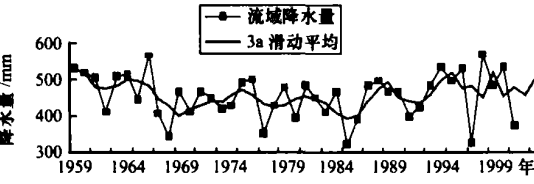


图 2 流域平均降水量和 3 a 滑动平均曲线

Fig. 2 Annual mean precipitations and their 3 year moving averages in the Ütümqi River basin

3 气候变化对水资源的影响

从气温和降水的变化可知, 乌鲁木齐河流域山区气候自 1987 年以来处在暖湿阶段, 气候变化对流域水资源也产生了一定的影响.

3.1 气温变化对高山区冰川融水的影响

3.1.1 气温与冰川融水径流的关系

高山冰川融水径流, 包括冰川冰融水径流、消融区夏季融雪径流、消融区冬春融雪水和粒雪区融水, 其中冰川冰融水占到 52.3%^[2]. 高山区降水 80% 是以降雪的形式降落, 有些降水当年并不融化, 积雪与冰川的融化和热量有关. 为此, 建立了大西沟气象站夏季(6~8 月)累积月平均气温与流域冰川融水的关系, 图 3 列出了二者线性相关系数和线性方程, 相关系数达 0.81, 说明气温是影响当

年融水径流的主要因素. 由线性方程可推出: 在现状降水条件下, 冰川区夏季 6~8 月累积平均气温升高 0.5℃, 冰川融水径流量将增加 $3.3514 \times 10^6 \text{ m}^3$.

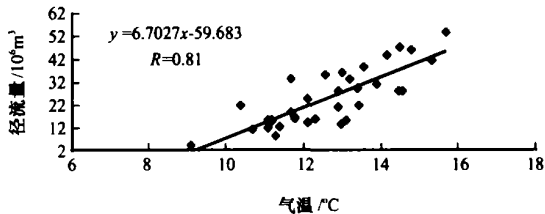


图 3 大西沟气象站夏季 6~8 月累积平均气温与流域冰川融水关系

Fig. 3 Correlation between mean air temperature and melt water runoff during June to August in the Daxigou Station

3.1.2 冰川融水径流量的变化

从图 4 的流域冰川融水径流 3 a 滑动平均曲线可看出, 冰川融水径流总体呈增加趋势, 平均年增加量为 $0.4926 \times 10^6 \text{ m}^3$, 与流域多年平均冰川融水量 $24.15 \times 10^6 \text{ m}^3$ 相比, 年增加量为 2%. 但是从 1985 年后冰川融水径流增加显著, 与大西沟气象站气温升高的时间同步. 冰川融水径流量 1959—1985 年的平均值为 $19.294 \times 10^6 \text{ m}^3$, 26 a 中仅有 5 a $> 25 \times 10^6 \text{ m}^3$; 1986—2001 年平均值为 $32.348 \times 10^6 \text{ m}^3$, 17 a 中有 13 a $> 25 \times 10^6 \text{ m}^3$, 1997—1998 年连续 3 a 冰川融水径流量都在 $45 \times 10^6 \text{ m}^3$ 左右. 实际上增加的冰川融水径流量中, 有一部分是高山冰川区降水增加产生的融雪水. 分析大西沟降水资料, 1986—2001 年的多年平均降水总量比 1959—1985 年的增加了 62.1 mm, 高山区降水增加对冰川区径流有一定贡献^[3]. 但气温在冰川融水径流量的变化中起了主导作用, 1 号冰川东支顶部出现冰面湖^[4], 就说明增温不仅使高山区降雪当年融化而且也消融了大量冰川. 依据气温与冰川融水关系, 近期气温若仍高于多年平均 0.5℃, 冰川融水平均径流量将维持在 $35 \times 10^6 \text{ m}^3$, 远期则随着冰川面积缩小, 冰川融水径流量将随着减小.

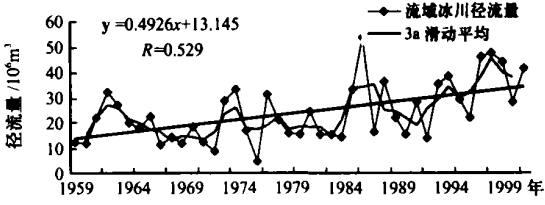


图 4 流域冰川径流量和 3 a 滑动平均曲线

Fig. 4 Meltwater runoff and its 3 year moving average in the Ütümqi River basin changing with time

冰川融水径流在出山口控制站所占的比重反映了径流组成的变化. 多年平均情况下, 流域冰川融水径流量约占总径流的 10%. 1985 年前大多数年份冰川融水径流所占比重不到 10%, 1985 年后绝大多数年份冰川融水径流比重达 10% 以上. 在高温年份冰川融水的比重达 30% 以上, 如 1986 年为 27.5%, 1997 年为 21%.

3.2 降水变化对中高山区径流的影响

3.2.1 降水与径流的关系

中高山区是降水产流区, 出山口英雄桥站位于海拔 1 920 m, 出山口以上是降水径流形成区. 由于流域地下水补给相对稳定, 忽略地下水的影响. 英雄桥站径流量扣除流域冰川融水径流即为流域降水径流, 多年平均为 $219.4 \times 10^6 \text{ m}^3$. 流域降水与降水径流关系及相关系数、线性方程见图 5, 二者相关系数达到了 0.71, 可见降水与径流具有大致相同的丰枯变化. 由线性方程可推出流域每增加 20 mm 降水量, 降水径流量增加 $8.9 \times 10^6 \text{ m}^3$.

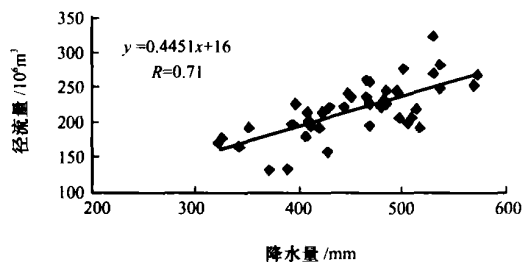


图 5 流域平均降水量与降雨径流关系

Fig. 5 Correlation between annual mean precipitation and rainfall runoff in the Ürümqi River basin

3.2.2 降水径流的变化

流域多年平均降水径流量为 $219.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, 从图 6 可看出, 流域降水径流量除了 1986 年、2001 年低于 $150 \times 10^6 \text{ m}^3$, 1996 年高于 $300 \times 10^6 \text{ m}^3$ 外, 其余年份都在 $150 \times 10^6 \text{ m}^3 \sim 300 \times 10^6 \text{ m}^3$ 之间变动, 40 多年来其变化呈略增加趋势, 平均年增加量为 $0.4095 \times 10^6 \text{ m}^3$, 与冰川融水增加量相当, 但与冰川融水径流量增加百分率相比, 增加幅度较小, 仅

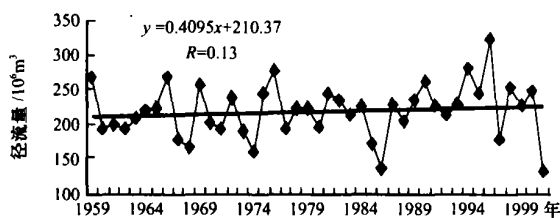


图 6 流域降水径流的逐年变化曲线

Fig. 6 Variation of rainfall runoff in the Ürümqi River basin

为 0.2%.

3.3 乌鲁木齐河流域水资源量的变化

乌鲁木齐河流域水资源量变化以出山口控制站英雄桥年径流量来反映, 径流有增加趋势, 年径流与时序相关系数 $r=0.31$, 通过了信度为 0.01 的 t 检验, 其平均年增加 $0.9094 \times 10^6 \text{ m}^3$.

依据英雄桥站径流资料, 分析乌鲁木齐河流域水资源四季变化, 年径流中主要是冬、秋季径流增加明显, 尤其是冬季自 1987 年以来增加显著. 虽然夏季冰川融水径流显著增加, 但其在总径流量中所占比重较小, 夏季径流仅略有增加.

4 应对气候变化的水资源保护对策

乌鲁木齐河流域冰川面积虽不大, 但对调节和稳定河流径流起了重要作用. 近十几年来冰川大量消融, 从短期来看, 增加了河流径流补给, 有利于流域工农业生产和城市生活用水; 但从水资源可持续利用角度看, 冰川大量消融会使冰川面积缩小最终消亡, 河流失去冰川调节, 径流减少, 同时增大发生丰、枯水机会. 小冰川对气候变化非常敏感, 1962—2000 年气温升高已导致流域源区的 1 号冰川减少了 0.22 km^2 , 今后气温的持续升高仍将加速冰川消融, 这是人类不可逆转的, 但人类活动造成冰川区环境污染, 也加速了冰川融化. 近 20 多年来后峡一带人口增多, 工厂和冬季取暖排放污染物增多, 尤其是 1996 年后水泥厂、电石厂扩建和采矿爆破造成的污染, 以及冰川附近人为活动频繁, 有加剧冰川消融作用. 对此应采取措施减少人为环境污染, 减缓冰川消融速度, 保护冰川水资源, 达到可持续利用水资源的目的.

加强流域生态保育, 增加植被覆盖度, 进而达到调蓄洪水作用. 1987 年来流域降水虽增加的不多, 但高强度降水发生次数明显增加, 大洪水发生次数增多, 1986 年前 29 a 间发生 $> 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 洪水有 5 次, 而在 1987—2005 年 19 a 间出现 5 次, 且量级比前 29 a 大, 前 3 位的洪水都出现在后 19 间. 这除了与降水强度、次降水量有关外, 另一个原因是, 中低山兴建旅游点过多, 人为破坏生态环境, 流域调蓄洪水能力减弱, 遇有大暴雨, 易产生大洪水. 对此, 应控制旅游点数量, 加强对旅游业管理, 保护生态环境, 使暴雨产生的洪水转化为有效可利用的水资源.

通过兴修山区水库, 拦蓄洪水和夏季冰雪融水, 减少蒸发损失, 调节流域气候, 促进水循环,

高效利用有限的水资源.

参考文献(References):

[1] 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 a观测事实[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 117 – 123.]

[2] Yang Zhenriang , Zeng Qunzhu. Glacier Hydrology [M]. Chongqing: Chongqing Press. 2001. [杨针娘, 曾群柱. 冰川水文学[M]. 重庆出版社, 2001.]

[3] 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 – 391. [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 – 391.]

[4] Li Zhongqin. A glacier meltwater pool was discovered at summit of east branch of Glacier No. 1 at Ürümqi River head, Tianshan, Xinjiang [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(1): 150 – 151. [李忠勤. 天山乌鲁木齐河源1号冰川东支顶部出现冰面湖[J]. 冰川冻土, 2005, 27(1): 150 – 151.]

Impact of Climate Change on Water Resources of the Ürümqi River Basin

WU Su fen¹, LUI Zhi hui², HAN Ping¹, ZHU Zhi chao¹

(1. Xinjiang Hydrology and Water Resources Bureau Bureau, Ürümqi Xinjiang 830000, China; 2. Resources and Environmental Scientific College, Xinjiang University, Ürümqi Xinjiang 830000, China)

Abstract: Based on the analysis of meteorological and hydrological data of the Ürümqi River basin, climate change in the past 40 years was analyzed, together with a correlation analysis of climate parameter, glacier meltwater and precipitation runoff. In the alpine glacier regions, the increase of temperature has major effect on the variation of glacier melt runoff. With a 0.5 °C temperature increasing, the meltwater runoff increases $3.3514 \times 10^6 \text{ m}^3$. If the temperature increases 0.5 °C in the near future, meltwater runoff will reach about $35 \times 10^6 \text{ m}^3$. At the same time, precipitation has an

effect on runoff of medium high mountain regions. When precipitation increases 20 mm, rain runoff will increase $8.9 \times 10^6 \text{ m}^3$. Variation of runoff due to precipitation change shows an ascending tendency, with an annual increment of $0.4095 \times 10^6 \text{ m}^3$, equivalent to an increment of glacier meltwater. But, as compared to the increased percentage of runoff from glacier meltwater, the increase amplitude is smaller. Facing the impact of climate change on water resources, measures, such as reducing pollution and increasing vegetation coverage, are suggested.

Key words: meltwater runoff; rainfall runoff; climate change; Ürümqi River basin