

文章编号: 1000-0240(2005)06-0813-07

乌鲁木齐河源区 44 a 来气候变暖特征 及其对冰川的影响

王国亚^{1, 2}, 沈永平^{1, 2}, 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 830002)

摘 要: 应用乌鲁木齐河源区大西沟气象站 1961—2004 年 44 a 逐日气象观测资料, 从最高、最低气温、日较差及积温变化角度分析了河源区的气候变暖特征。结果表明: 最低、最高、年平均气温、冬季极端最低气温均呈升高趋势, 并且最低气温的上升幅度大于最高气温的上升幅度, 呈非对称性变化; 气温日较差有显著变小的趋势; 日照时数有变少的趋势, 可能与大气中水汽含量的增加、云量增多有关, 显示了大气水汽温室效应在气候变暖过程中的重要作用。河源区云量出现主要在下午到晚上, 其增多显示的水汽温室效应使最低温上升明显, 进而对冰川的消融和冰川冰的增温产生影响。计算了稳定通过 $T \geq 0^\circ\text{C}$ 的气候积温, 其与冰川物质平衡相关性最大。最后讨论了积温变化趋势与 1 号冰川物质平衡的关系以及冰川对气候变化的敏感性。

关键词: 气候变暖; 气候积温; 冰川响应; 敏感性; 乌鲁木齐河源

中图分类号: P461+.6 **文献标识码:** A

1 引言

近年对天山 1 号冰川的观测研究表明^[1], 在夏季升温不十分明显的情况下, 冰川的消融仍在加速。由此推断, 冰川的消融不仅受夏季气温影响, 而且受冬季气温(事实上受年平均气温)的影响。原因是冰川整体温度由冰川区年平均气温决定, 气温的持续上升, 会造成冰川冷储的减少, 致使冰川对气候变暖的敏感性增强。在这一背景下, 气温的稍许增加, 便会造成消融的非线性加速增加。根据这一推断, 在目前气候持续变暖的大背景下, 冰川可能正经历着一种超出我们估算的速度消融。研究这一规律, 对整个西北地区气候转型时期的冰川变化、融水径流量估算将产生十分重要的影响。最近的研究报告指出^[2], 气候变暖会使高纬度地区和融雪驱动的流域可能产生的强降水天数和洪水频率增加; 在山地流域, 较高的气温会使雨/雪比率增大, 加速春季融雪的速率, 缩短降雪季节的时间, 导致

更快、更早和更大的春季径流。

乌鲁木齐河源区地处天山中段天格尔峰(海拔 4 476 m)北坡, 属大陆山地气候。乌鲁木齐河源是天山冰川站乌鲁木齐河 1 号冰川(以下简称 1 号冰川)的所在地。在全球气候变暖的大背景下, 1987 年起新疆以天山西部为主要地区, 出现了气候转向暖湿的强劲信号^[3]。年平均气温呈现升温趋势, 山前平原区年均温升温幅度远大于山区, 冬季升温非常明显^[4, 5]。气候变暖对冰川的影响表现在冰川后退^[1, 6]、物质平衡亏损^[1]、运动速率下降^[1, 6, 7]、成冰带谱简化^[8, 9]等方面。本文应用乌鲁木齐河源区大西沟气象站 1961—2004 年 44 a 逐日气象观测资料, 从最高、最低气温、日较差及积温变化角度分析了河源区的气候变暖特征。另外, 冰川物质平衡变化反映了水热气候条件对冰川综合作用的结果。由于积温是热量的重要表现形式^[10], 物质平衡变化与之有着密切的关系, 从积温的角度讨论物质平衡变化有着十分重要的意义。

收稿日期: 2005-10-05; 修订日期: 2005-11-20

基金项目: 中国沙漠气象科学研究基金项目(sqj-2005002); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所前沿领域创新项目(2004117)资助

作者简介: 王国亚(1972—), 女, 山西永济人, 1997 年毕业于桂林工学院, 现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所硕士研究生, 主要从事寒区水文和全球变化研究。E-mail: wanggy04@mails.gucas.ac.cn

2 气候变暖的事实分析

2.1 最高、最低及年平均气温的变化趋势

图 1 是大西沟气象站 1961—2004 年逐日最高、最低和日平均气温的年平均值(以下简称最高、最低气温)变化曲线及其线性趋势线。由图 1 可以看出,最高、最低气温及年平均气温的变化趋势均显著上升,年平均气温、最低、最高气温上升的线性趋势线斜率分别为 $0.205\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.262\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $0.184\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,最低气温的上升幅度大于最高气温的上升幅度,呈非对称性变化趋势。表明冬季和夜间的升温是河源区升温的主要原因,这与文献[11]所讨论的中国西北地区最高最低气温的非对称变化结论一致。由气温日较差变化曲

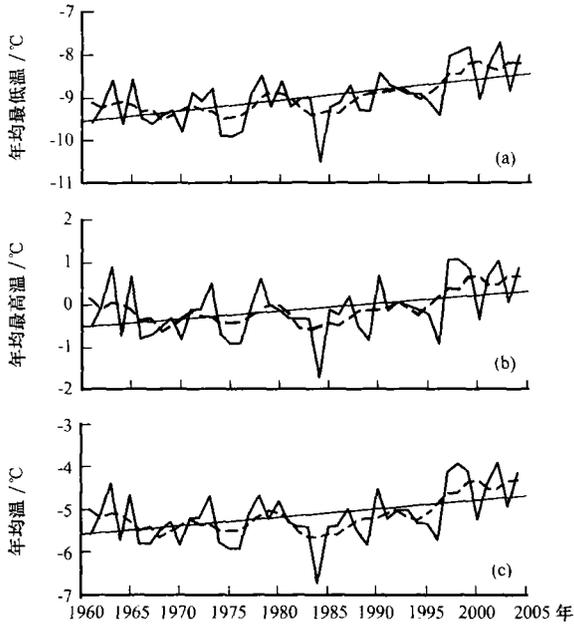


图 1 最低(a)、最高(b)和年平均气温(c)变化
Fig. 1 Change of minimum (a), maximum (b) and annual mean temperature (c)

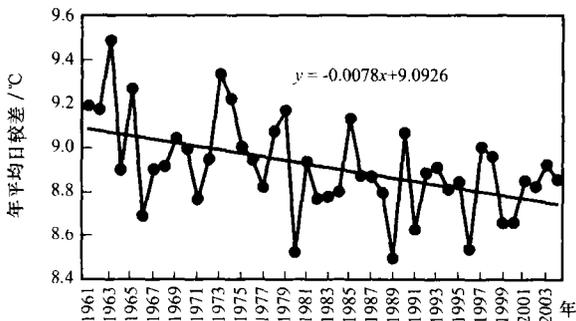


图 2 年平均日较差变化

Fig. 2 Change of annual mean daily temperature range

线(图 2)可以看出,气温日较差有显著变小的趋势,经分析日较差显著变小主要是由于最低温度的明显增暖引起的,这与中国近 40 a 年平均日较差的变化结论一致^[12]。河源区气温从 20 世纪 80 年代中后期开始明显回升,最高最低气温的升高趋势也是西北气候转型^[3]的表现之一。

2.2 冬季极端最低气温变化特征

从 1959—2004 年大西沟气象站所测的冬半年(当年 10 月至翌年 3 月)极端最低气温资料可以看出(图 3),河源区的冬季极端最低气温呈升高趋势,上升的线性斜率为 $0.197\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。1987 年的冬季极端最低温度平均值为 $-28.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,达到 44 a 以来的最低值。1987 年是西北气候由暖干转向暖湿之年^[3],故以 1987 年为界,计算出 1988—2004 年的冬季极端最低气温平均值是 $-23.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,比 1959—1987 年的冬季极端最低气温平均值 $-24.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升高了 $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这比王宁练等^[13]估算的乌鲁木齐河源地区该时期的夏季气温升温幅度 $0.23\sim 0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 要高得多。

根据大西沟气象站所测冬季不同温度日数资料

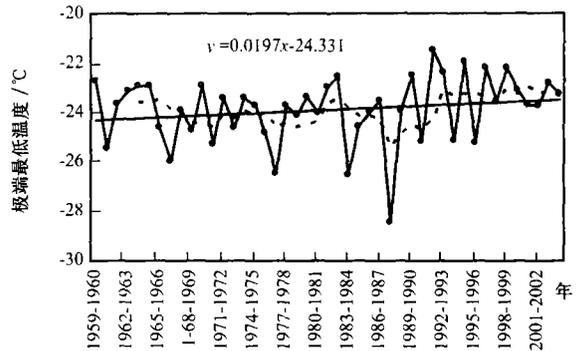


图 3 大西沟冬半年极端最低气温平均变化

Fig. 3 Change of annual mean extreme minimum temperature in winter in Daxigou

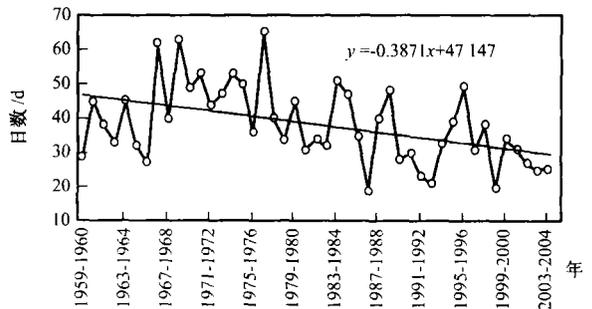


图 4 大西沟冬季 $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日数变化

Fig. 4 Annual change of days of winter temperature lower $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

可以看出(图 4), 河源区自 1959 年以来, 冬季温度 $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数呈减少趋势, 减少的线性趋势线斜率为 $-0.3871\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$, 44 a 平均减少了 16 d. 结合图 2 可以看出, 虽然河源区 1987 年冬季极端最低温度月平均达到多年来的最低值, 但其 $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数却是最少的一个年, 只有 19 d.

2.3 气温的年代平均变化特征

如表 1 所示, 河源区 20 世纪 60~70 年代气温较低, 最高、最低气温相同, 年平均气温 70 年代比 60 年代稍有下降. 80 年代年平均气温及最高气温比 60 年代均降低了 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 主要是由于 80 年代前期温度较低, 后期温度才开始回升, 而其最低气温比 60 年代升高了 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. 90 年代气温显著升高, 年平均气温、最高、最低气温分别比 60 年代升高了 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. 进入 21 世纪, 气温升高趋势更加明显, 2000—2004 年的 5 a 年平均气温、最高、最低气温分别比 90 年代升高了 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 比 60 年代分别升高了 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、

表 1 大西沟 $T\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的气候积温、持续期、年平均、最高、最低及极端最低气温的年代平均变化

Table 1 Decade mean change of the climate accumulated temperature of $T\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, duration, annual mean temperature, maximum, minimum and extreme minimum temperature

要素	年 代				2000—2004 年
	60	70	80	90	
持续期/d	102.6	94.9	95.1	113.4	112.6
积温/ $(\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$	391.6	382.9	391.1	451.1	518.2
年平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	-5.3	-5.4	-5.5	-4.8	-4.5
最高气温/ $^{\circ}\text{C}$	-0.2	-0.2	-0.4	0.3	0.5
最低气温/ $^{\circ}\text{C}$	-9.3	-9.3	-9.2	-8.6	-8.3
极端最低气温/ $^{\circ}\text{C}$	-24.0	-24.3	-24.4	-23.2	-23.3

$1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. 冬季极端最低气温, 70 年代和 80 年代分别比 60 年代降低了 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. 90 年代比 60 年代升高了 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. 气温的年代际变化也显示出最低气温的升高幅度大于最高气温的升高幅度这种非对称的变化趋势.

3 积温变化特征

3.1 积温和持续期的变化趋势

积温作为热量的重要表现形式, 主要分为气候积温, 活动积温及有效积温. 气候积温是稳定通过界限温度初、终日期间(包括初日、终日在内)的各日平均气温之和. 活动积温是植物某一正常发育期或全部生长季中高于或等于生物学最低温度的累计值, 活动温度与生物学最低温度的差为有效温度, 有效温度的累积被称为有效积温^[4]. 本文根据所要讨论的内容选择 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为界限温度值, 气候积温采用 5 d 滑动平均法确定其稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的初、终日, 然后再求积温.

图 5 是河源区大西沟气象站 1961—2004 年的气候积温及持续期的变化趋势. 可以看出, 积温高的时期大体上与持续期较长的时期相对应, 说明气候的变暖与冬季时间的缩短有关. 气候积温曲线显示, 积温有两个上升阶段, 70 年代中期以前呈逐渐减少趋势, 70 年代中期至 80 年代初略有回升, 80 年代前期至 90 年代初处于稳定上升阶段; 90 年代前期略有降低, 1996 年以后开始持续而显著地上升, 升高幅度远远大于 80 年代. 积温最大的 1999 年比最小的 1976 年高 $311.14\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$. 年代平均值也表现出以上规律(表 1), 70 年代最低. 持续期演变曲线与积温十分相似, 从 60 年代至 90 年代持续期是逐渐增加的. 由图 6 积温稳定通过界限温度初、终日的变化趋势线可以看出, 初日变化曲线呈

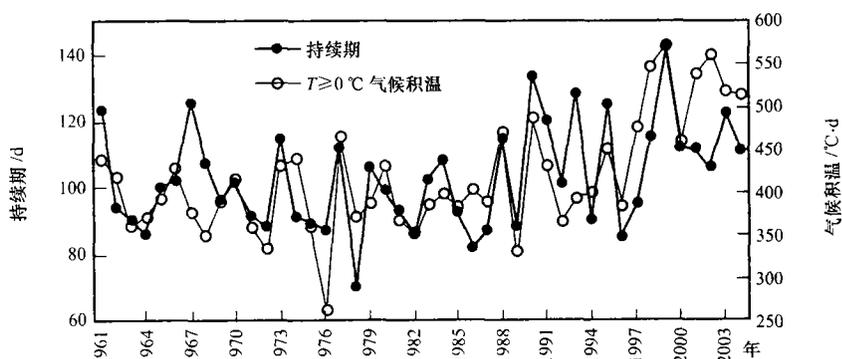


图 5 大西沟日平均气温通过 $T\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的气候积温及持续期变化

Fig. 5 Annual change of climate accumulated temperature of $T\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ and duration

下降趋势,表明初日提前,由1972年的6月21日提前到1999年5月16日,达37 d;终日变化曲线呈上升趋势,表明终日推迟,由70年代的8月中下旬推迟到90年代的9月下旬到10月初。初、终日的这种变化趋势,与持续期延长的趋势相吻合。

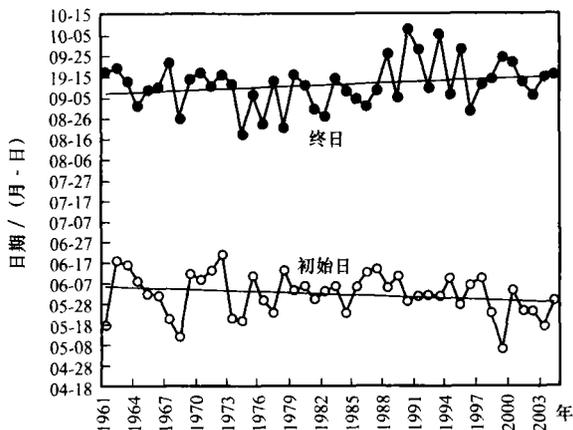


图6 大西沟日平均气温通过 $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 初、终日变化

Fig. 6 Annual change of the first and last day of daily air temperature $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

由以上分析可知,积温的变化趋势与气温的变化趋势是一致的,都是从20世纪80年代中后期开始明显回升,其后气候变暖趋势呈加强和加速发展。

3.2 积温与年平均气温的关系

对大西沟气象站1961—2004年逐年 $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的活动积温、气候积温、持续期与年平均气温进行相关分析,其中持续期与年平均气温低度相关,相关系数仅为0.25;活动积温与年平均气温的相关系数为0.60,气候积温与年平均气温的相关系数最大为0.61。对气候积温与年平均气温作一元线性回归,得到的回归方程为:

$$T_{积} = 68.9T_{年} + 772.6 \quad (1)$$

式中: $T_{积}$ 为气候积温 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$); $T_{年}$ 为年平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)。回归方程通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。式(1)表明,年平均气温升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的气候积温将增加 $68.9\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。但回归方程的部分残差值较大,加之持续期与测站年平均气温值相关性较低,产生的原因可能是由于测站附近的7条冰川对区域气候的影响,使积温的变化滞后于年平均气温的变化。

上述对河源区极端最低气温、年平均气温、最高、最低气温及其日较差、积温及其持续期和初、终日的分析表明:近44 a来河源区的气温呈升高趋

势,气温的升高主要是由于夜间和冬季升温以及冬季时间缩短为主要贡献。河源区气温的持续升高趋势与施雅风等^[3]提出的气候转型结论是一致的。

4 冰川物质平衡变化与积温的关系

乌鲁木齐河源区夏季升温幅度虽然小于冬季,但正是由于冬季的升温基础,才得以使冰川在夏季消融期对气候的变化更加敏感。1号冰川从20世纪50年代末有观测记录以来,物质平衡大多处于亏损状态,1985年以后有加速亏损趋势^[1,7]。对比1号冰川物质平衡变化曲线与 $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的气候积温变化曲线可以看出(图7),二者呈反方向变化,而且曲线变化趋势对应很好。经过相关分析得到(表2),1号冰川物质平衡与气候积温的相关性最好,相关系数为 -0.6142 ,与 $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的活动积温相关系数略小为 -0.5954 ,都通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,与其它各项要素的相关系数的绝对值都小于0.5。分析其原因可能是,虽然活动积温的年平均均值均大于相应年的气候积温值,但由于气候积温代表的是冰川消融期 $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温,而活动积温是整年内 $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温,所以气候积温与冰川物质平衡的关系更加密切,有较好的负相关性。

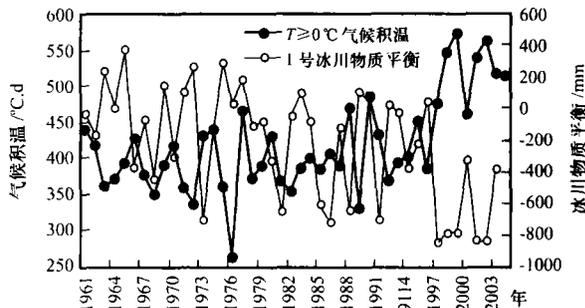


图7 1号冰川物质平衡与气候积温变化

Fig. 7 Glacier No. 1 mass balance and the climate accumulated temperature change with time

表2 气候要素与1号冰川物质平衡的相关系数

Table 2 The correlation coefficients of meteorological elements with mass balance of Glacier No. 1 at headwater of Ürümqi River

项目	相关系数	项目	相关系数
日平均积温	-0.3986	$T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 初日	0.3646
日最高气温积温	-0.3642	$T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日	-0.0529
日最低气温积温	-0.4447	持续期	-0.2736
年平均温度	-0.4022	$T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 气候积温	-0.6142
年平均最高温度	-0.3638	$T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温	-0.5954
年平均最低温度	-0.4430		

研究表明^[15], 对于 1 号冰川在气候变暖背景下, 气温对物质平衡的影响仍是物质平衡变化的主导因子. 但表 2 显示, 冰川物质平衡与大西沟气象站的最高、最低、年平均气温的相关性都较低, 均低于物质平衡与气候积温的相关性. 对物质平衡与气候积温作线性回归, 得到的回归方程为:

$$B_n = -3.36T_{\text{积}} + 1166.62 \quad (2)$$

式中: B_n 为冰川物质平衡(mm). 回归方程通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 表明积温升高 1°C , 物质平衡将减少 3.36 mm . 结合式(1)和(2), 年平均气温变化 1°C 可以引起 230 mm 的冰川物质平衡变化, 比刘时银等^[15] 估算的 365 mm 小了 $1/3$. 本文的分析表明, 积温变化回归方程的部分残差较大, 判定系数为 37.72% , 说明在物质平衡取值的变差中, 至少有 $1/3$ 以上是由气候积温决定的. 积温是热量的重要表现形式, 物质平衡变化与热量的多少也是息息相关, 除降水和其它因素影响外, 积温是影响物质平衡变化的主要因素, 故研究冰川物质平衡变化与冰川区物质-能量交换, 用积温的手段是有十分重要的意义.

5 讨论

河源区气候变暖主要是由于夜间和冬季气温的升高为主要贡献. 分析大西沟气象站 1961—2004 年的日照时数资料, 其变化趋势如图 8 所示. 可以看出年总日照时数呈显著减少趋势, 日照时数有变少的趋势可能与大气中水汽含量的增加、云量增多有关. 总日照时数减少而气温却升高, 这种反方向变化趋势的原因可能是水汽温室效应的结果. 河源区云量出现主要在下午到晚上, 其增多显示的水汽温室效应使最低温上升明显, 进而对冰川的消融和冰川冰的增温产生影响. Philipona *et al.*^[16] 研究表明, 欧洲近几十年的气候变暖 70% 是由于水汽的反

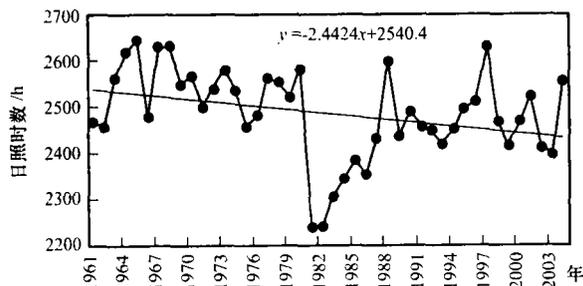


图 8 河源区年日照时数变化曲线

Fig. 8 The hours of sunlight change with time at headwater of Ürümqi river

馈作用引起的, 而仅 30% 是由人为增加的温室气体导致的. 显示了大气水汽温室效应在气候变暖过程中的重要作用. 河源区云量出现主要在下午到晚上, 故其夜间升温的原因不言而喻. 文献^[17] 亦指出, 西北地区气候转型的原因是和北大西洋向东输送的水汽增加、西风气流加强有关. 河源区气温的升高在多大程度上是由于水汽温室效应引起, 这种变化将对冰川产生怎样的影响, 还有待于进一步加强水汽的观测研究.

6 结论

(1) 44 a 来河源区极端最低气温、最高、最低、年平均气温均呈升高趋势, 并且最低气温的上升幅度大于最高气温的上升幅度, 呈非对称性变化趋势.

(2) $T \geq 0^\circ\text{C}$ 的持续期与积温的变化规律一致, 特别是 80 年代中期以后, 持续期与积温同时逐渐增加. 表明气候的变暖使得 $T \geq 0^\circ\text{C}$ 的持续期延长, 冬季时间缩短, 因而积温增加.

(3) 1 号冰川物质平衡与气候积温有较好的负相关性, 两条曲线的变化趋势对应很好. 物质平衡与热量的多少关系密切, 而积温是热量的重要表现形式, 所以用积温的手段研究物质平衡变化是有重要意义的.

(4) 建议加强水汽和冰温的观测研究, 以便更好地预测冰川的变化. 通过对冰川变化、气候变化的研究, 揭示冰川水资源的变化特征与机制.

致谢: 在中国科学院天山冰川站的野外工作中, 得到了站长李忠勤教授及其站上许多老师和同学的帮助和支持, 在此表示衷心感谢!

参考文献 (References):

- [1] Li Zhongqin, Han Tianting, Jing 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 40a 观测事实 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 117-123.]
- [2] Houghton J T, Ding Y H, Griggs D J, *et al.* Climate Change 2001: The Scientific Basis [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. 1-896.
- [3] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in North-west 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.]

- [4] Su Hongchao, Wei Wenshou, Han Ping. Change in air temperature and evaporation in Xinjiang during recent 50 years [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 174–178. [苏宏超, 魏文寿, 韩萍. 新疆近50a来的气温和蒸发变化[J]. *冰川冻土*, 2003, **25**(2): 174–178.]
- [5] Han Tianding, Ye Baisheng, Jiao Keqin. Temperature variations in the southern and northern slopes of Mt. Tianger in the Tianshan Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(5): 567–570. [韩添丁, 叶柏生, 焦克勤. 天山天格尔山南北坡气温变化特征研究[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(5): 567–570.]
- [6] Sun Zuozhe, Chen Yaowu, You Genxiang, *et al.* Flow characteristics of Glacier No. 1 at the headwater of Ürümqi River, Tianshan [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1985, **7**(1): 27–39. [孙作哲, 陈要武, 尤根祥, 等. 天山乌鲁木齐1号冰川的运动特征[J]. *冰川冻土*, 1985, **7**(1): 27–39.]
- [7] Wang Xiaojun, Wang Zhongxiang, Xie Zichu. A change trend of recent climatic on the Tianshan regions from the change of the past 28 years of the Glacier No. 1 at the Ürümqi River Headwater, Tianshan [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1988, (9): 693–696. [王晓军, 王仲祥, 谢自楚. 从乌鲁木齐河源1号冰川二十八年来变化看天山地区近期气候变化趋势[J]. *科学通报*, 1988, (9): 693–696.]
- [8] Xie Zichu, Huang Maohuan. An evolution of the snow-snow grains layer and ice formation in the Glacier No. 1 at the headwaters of the Ürümqi River, Tianshan [A]. *An Studies of Glaciology and Hydrology on the Ürümqi River, Tianshan* [C]. Beijing: Science Press, 1965. 1–14. [谢自楚, 黄茂桓. 天山乌鲁木齐河源1号冰川雪-粒雪层的演变及成冰作用 [A]. *天山乌鲁木齐河源冰川和水文研究* [C]. 北京: 科学出版社, 1965. 1–14.]
- [9] Wang Feiteng, Li Zhongqin, You Xiaoni. Studying on ice formation process of surface snow layer in accumulation area of Glacier No. 1 at the Ürümqi river head, Tianshan Mts. [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, **28**: in press. [王飞腾, 李忠勤, 尤晓妮. 天山乌鲁木齐河源1号冰川积累区表面雪层演化成冰过程的观测研究[J]. *冰川冻土*, 2006, **28**: 待发.]
- [10] Yuan Yujiang, Shao Xuemei, Wei Wenshou, *et al.* On the relationship between tree ring and cumulative in mountainous area of Ürümqi River and reconstruction of $\geq 5.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ cumulative temperature [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, **25**(4): 756–762. [袁玉江, 邵雪梅, 魏文寿, 等. 乌鲁木齐河源区数目年轮-积温关系及 $\geq 5.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的重建[J]. *生态学报*, 2005, **25**(4): 756–762.]
- [11] Ma Xiaobo. The asymmetric change of maximum and minimum temperature in the Northwest China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1999, **57**(5): 614–621. [马晓波. 中国西北地区最高、最低气温的非对称变化[J]. *气象学报*, 1999, **57**(5): 614–621.]
- [12] Zhai Panmao, Ren Fuming. On changes of China's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, **55**(4): 418–428. [翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. *气象学报*, 1997, **55**(4): 418–428.]
- [13] Wang Ninglian, Liu Shiyin. Summer temperature rise quantified from the change of the Glacier No. 1 at the source of Ürümqi River in the 20th century [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1997, **19**(3): 207–212. [王宁练, 刘时银. 从乌鲁木齐河源1号冰川变化估计近百年来该地区夏季升温[J]. *冰川冻土*, 1997, **19**(3): 207–212.]
- [14] Wang Shuting, Wang Bomin. *Meteorological Data Reduction and Statistical Method* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1984. 23. [王树廷, 王伯民. *气象资料的整理及统计方法* [M]. 北京: 气象出版社, 1984. 23.]
- [15] Liu Shiyin, Ding Yongjian, Wang Ninglian, *et al.* Mass balance sensitivity to climate change of the Glacier No. 1 at the Ürümqi River head, Tianshan Mts [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1998, **20**(1): 9–13. [刘时银, 丁永建, 王宁练, 等. 天山乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡对气候变化的敏感性研究[J]. *冰川冻土*, 1998, **20**(1): 9–13.]
- [16] Philipona R, Dürr B, Ohmura A, *et al.* Anthropogenic greenhouse forcing and strong water vapor feedback increase temperature in Europe [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, **32**(19809): doi: 10.1029/2005GL023624.
- [17] Shen Yongping, Liu Shiyin, Ding Yongjian, *et al.* Glacier mass balance change in Tailanhe River watersheds on the south slope of the Tianshan Mountains and its impact on water resources [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 124–128. [沈永平, 刘时银, 丁永建, 等. 天山南坡台兰河流域冰川物质平衡变化与其对径流的影响[J]. *冰川冻土*, 2003, **25**(2): 124–128.]

Climate Warming at Headwater of Ürümqi River, Xinjiang in Past 44 Years and Its Impact on Glacier Shrinking

WANG Guo-ya^{1, 2}, SHEN Yong-ping^{1, 2}, MAO Wei-yi²

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Ürümqi Xinjiang 830002, China)

Abstract: Based on the daily data observed of Daxigou Meteorological Station from 1961 to 2004, the characteristics of climate warming at Headwater of Ürümqi River have been analyzed from the aspects of maximum temperature, minimum temperature, daily temperature range and the climate accumulated temperature. It is found that maximum temperature, minimum temperature, mean annual temperature, and extreme minimum temperature in winter are rising. The asymmetry of minimum temperature increase more than maximum is detectable. The decrease of daily temperature range is obvious. The decrease of sunlight hours is related to increase of water vapor and

cloud. That indicated water vapor greenhouse effect could play an important role in climate warming. At headwater of Ürümqi River, most cloud come forth in afternoon and evening. Water vapor greenhouse effect results from cloud increases making minimum temperature rise obviously, and impact on glacier melting and increasing the temperature of glacier. The climate accumulated temperature of $T \geq 0$ °C is calculated. Its correlation with glacier mass balance is the best. The relationship of climate accumulated temperature change trend and Glacier No. 1 mass balance is discussed in the end.

Key words: climate warming; climate accumulated temperature; glacier response; sensibility; headwater of Ürümqi River