

文章编号: 1000-0240(2005)02-0199-06

# 祁连山七一冰川物质平衡的最新观测结果

蒲健辰<sup>1, 2</sup>, 姚檀栋<sup>2, 1</sup>, 段克勤<sup>1, 2</sup>, 坂井亚规子<sup>3</sup>,  
藤田耕史<sup>3</sup>, 松田好弘<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所冰芯与寒区环境重点实验室, 甘肃 兰州 730000;  
2. 中国科学院 青藏高原研究所 北京 100085; 3. Graduate School of Environmental  
Studies, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan)

摘 要: 祁连山七一冰川观测结果表明, 2001/2002 年度和 2002/2003 年度冰川物质平衡分别为 -810 mm 和 -316 mm 水当量, 冰面出现显著的减薄状态. 和过去的观测结果相比较, 20 世纪 70 年代为较大的正平衡, 年平均为 360 mm 水当量; 80 年代年平均为 4 mm 水当量, 基本接近零平衡状态. 到近两年亏损强烈, 为所有观测资料中负平衡值最大的年份, 零平衡线也达到最高位置. 物质平衡出现较大的负值和零平衡线位置升高的状况, 强烈反映了祁连山冰川对气候变暖过程的响应. 如果气候变暖趋势继续, 冰川物质平衡负值将增大、冰面减薄和雪线的升高, 冰川将继续呈现萎缩状态.

关键词: 七一冰川; 物质平衡; 零平衡线; 全球变暖

中图分类号: P343.6 文献标识码: A

## 1 前言

2002 年 6~9 月和 2003 年 8~9 月, 中日联合考察队对祁连山七一冰川进行了冰川物质平衡的观测研究. “七一”冰川(冰川目录编号: 5Y437C18)位于祁连山走廊南山北坡, 冰川融水流入北大河支流柳沟泉河. 1958 年中国冰川研究开始于七一冰川<sup>[1]</sup>, 此后于 1975—1978 年和 1985—1988 年曾对该冰川又进行过大规模的考察研究<sup>[2, 3]</sup>, 先后进行了冰川物质平衡、成冰作用、冰川运动、冰层温度、冰川变化、冰川厚度、冰川测图、冰川水文气候等多方面的观测研究.

七一冰川冰舌前端有零散表碛分布外, 冰面洁净. 冰舌前段为起伏的冰丘, 但坡度不大, 而后壁陡峭, 有横裂隙分布于其上. 东、中、西 3 个大粒雪盆中, 东西粒雪盆海拔较高而宽阔, 中粒雪盆海拔较低相对较小. 3 道冰面河切割较深, 一直延伸到粒雪盆深处. 根据 1975 年地面立体摄影测量的冰川图量算, 七一冰川面积为 2.871 km<sup>2</sup>, 长 3.8

km, 末端海拔 4 304 m, 冰川最高峰海拔 5 158.8 m. 冰川规模较小, 按其形态属冰斗山谷型冰川(图 1), 按冰川的物理特性分类, 属于亚大陆型冰川.

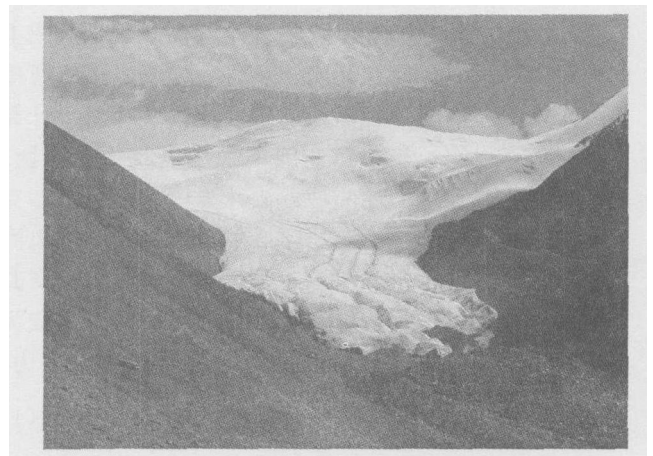


图 1 七一冰川全貌(2003 年 8 月)

Fig. 1 A panorama of the Qiyi Glacier(August 2003)

收稿日期: 2004-08-22; 修订日期: 2004-12-27

基金项目: 国家自然科学基金创新群体项目(40121101); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(ZCX3-SW-339); 国家自然科学基金重大研究计划项目(90102005; 90202013); 国家科学技术部基础研究重大项目前期专项(2001CCB00300)资助

作者简介: 蒲健辰(1952—), 男, 甘肃天水人, 副研究员, 1978 年毕业于兰州大学自然地理专业, 主要从事冰川资源和冰川变化研究.  
E-mail: pujc@lzb.ac.cn

## 2 冰川物质平衡的观测及计算

### 2.1 观测网点的布设和观测

七一冰川物质平衡的观测主要以测杆法和雪坑雪层剖面相结合的方法进行。2002年6月中旬,在冰川表面布设了14个物质平衡观测横剖面,共设置28根测杆。在海拔4700 m以下的冰舌段和中粒雪盆布设密度较大,横剖面测杆间距100 m左右,纵剖面间高差大多在50 m左右,共22根测杆成网状分布。在海拔4700 m以上的东粒雪盆至山脊间布设了一个纵剖面,在冰川顶部(海拔5105 m)和中粒雪盆后壁各布设1个观测点。在东粒雪盆上部和西粒雪盆中,用雪坑剖面观测。这些测点基本控制了全部冰川,在观测过程中,对倒伏和缺失的测杆于2002年8月下旬分别进行了补插;到2003年8月,对冰舌区即将倒伏和已倒伏的测杆又进行了补插。测杆布设之后,一般每5 d观测一次,观测内容包括测杆高度、积雪厚度和积雪密度、附加冰厚度和污化层深度等。

### 2.2 物质平衡的计算

物质平衡是该冰川表面积累量与消融量的代数和<sup>[4]</sup>,反映了冰川表面单位面积上相对于上一个冰川物质平衡年末冰面的平均升降变化状况。根据野外观测资料,分别计算出各测点的纯积累量和纯消融量<sup>[5]</sup>,将计算结果标在大比例尺的冰川图上,绘制冰川积累和消融等值线图或用等高线法。从图上确定出冰川零平衡线高度,分别量测出每相邻两等值线或等高线间的积累和消融面积,然后逐步计算出整个冰川的纯积累量和纯消融量以及物质平衡。蒲健辰等<sup>[6]</sup>利用上述两种方法计算唐古拉山小冬克玛底冰川的物质平衡,其结果基本一致。刘潮海等<sup>[7]</sup>在天山乌鲁木齐河源1号冰川也做过计算,其结果也很接近。因此七一冰川的物质平衡采用较为简便的等高线法计算。整个冰川的物质平衡( $B$ )为:

$$B = C + A = \sum S_{c_n} c_n + \sum S_{a_n} a_n \quad (1)$$

式中: $C$ 为纯积累量; $A$ 为纯消融量; $S_{c_n}$ 和 $S_{a_n}$ 分别为积累区和消融区相邻两等值线或等高线间的投影面积; $c_n$ 和 $a_n$ 分别为平均积累深度和平均消融深度。

### 2.3 物质平衡计算结果

利用上述观测资料和计算,获得七一冰川2001/2002年度和2002/2003年度的物质平衡值均为负平衡,分别为-810 mm和-316 mm。在所有

观测年份中,是冰川物质亏损最大的两年。为便于比较研究,将20世纪70年代和80年代的物质平衡<sup>[2,3]</sup>观测结果也一并绘入图2中。

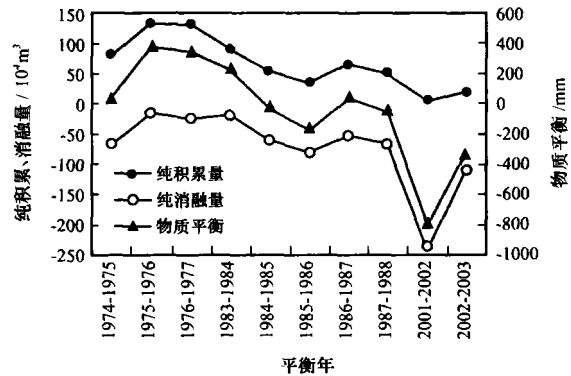


图2 祁连山七一冰川物质平衡观测结果

Fig. 2 The observed mass balances on the Qiyi Glacier in the Qilian Mountains

## 3 冰川的积累和消融特征

### 3.1 物质平衡过程

气候的波动变化会引起冰雪物质的积累和消融,直接影响冰川表面的升高或降低。据观测资料,在七一冰川末端从4月20日开始白天气温出现不连续的高于 $0^{\circ}C$ 的天气,因此冰川会出现不同强度的阵性消融现象。与此同时祁连山区也出现断续的降雪天气,预示雨期的来临。虽然降雪量不大,却因新雪较强的反射作用,使冰川的总体消融强度不大,消融范围有限,难以形成冰川融水径流。其融水大多渗入冰面雪层之中,由于积雪温度低,很快被再冻结而形成冰面附加冰,对冰川起到补给作用。到5月下旬起,进入雨季降水量不断增加,但同时由于日平均气温出现连续的高于 $0^{\circ}C$ 的天气,缩短了冰面积雪的时间,不仅使新雪很快消融,而且使老冰消融,冰川进入消融期。随着气温继续升高,冰川消融逐渐增强,到7月至8月中旬,冰川消融达到最大值。8月中下旬出现大的降温过程,冰川消融减弱,而积累有所增加。9月上旬又有一次升温,使冰川又出现一次消融过程,但消融强度并不大,以表面融雪过程为主。由于融水大部分在雪层中渗浸冻结,仅在冰舌部形成少量径流,冰川表面开始出现积累。9月中旬或之后气温很快降至 $0^{\circ}C$ 以下,冰川消融基本结束,而降落在冰面的雪开始积累。在漫长的冬季,降雪量少,积累量不大。但是在有些年份,冬季在冰舌部也会出现负

平衡, 如 1975/1976 年和 1976/1977 年冬季, 冰舌部都曾出现过负平衡<sup>[2]</sup>. 七一冰川物质平衡过程和冬季补给型冰川不同, 冰川区冷季(9 月至翌年 5 月)漫长, 气温低、降水量不足全年的 20%, 冰川积累和消融过程微弱; 暖季(5 月中下旬至 8 月)短暂, 日平均气温高于 0 °C, 总降水量占全年的 80% 左右, 冰川的积累和消融及物质平衡过程主要发生在暖季节.

如果将冰川末端气温连续高于 0 °C 的时间作为冰川消融期的开始, 低于 0 °C 的时间作为冰川消融期的结束, 根据七一冰川区的自记温度记录推测, 2002 年冰川消融期结束于 9 月 10 日. 7 月中旬开始观测时, 气温已经很高, 比 2003 年同期观测结果高得多, 估计消融期开始的时间至少不会晚于 2003 年. 虽然不能确定消融期开始的具体日期和消融期的长短, 但可以知道消融期的结束比同年乌鲁木齐河源 1 号冰川晚 10 余天<sup>[8]</sup>. 2003 年 5 月 25 日为冰川消融期的开始, 9 月 20 日为消融期的结束, 消融期约为 116 d. 所以 2002 年和 2003 年夏季是七一冰川历年观测记录中消融期最长的年份. 七一冰川的消融期, 接近于天山乌鲁木齐河源 1 号冰川而远小于贡嘎山海洋性冰川区的 7~9 个月<sup>[9]</sup>. 从观测结果可以看出, 七一冰川冰面消融强度略大于青藏高原内部的冰川而小于天山地区和慕士塔格峰区的冰川, 但远小于贡嘎山冰川<sup>[9-11]</sup>.

### 3.2 物质平衡随高度的分布

七一冰川表面的花杆观测结果, 在空间上显示出有规律性变化. 从海拔 4 310 m 的冰舌前端至接近海拔 4 900 m 的山脊附近的花杆观测范围内, 冰面消融深度随海拔的升高而逐渐减小(图 3). 2002

年由 1 880~2 000 mm 水当量减小到 500 mm 左右, 消融区的年平均纯消融深度为 951 mm 水层, 整个冰川的纯消融量达到  $234 \times 10^4 \text{ m}^3$ . 2003 年由 900~1 000 mm 水当量减小到 250~290 mm 左右, 消融区的年平均纯消融深度为 542 mm 水层, 整个冰川的纯消融量为  $109 \times 10^4 \text{ m}^3$ . 2002 年的消融深度和消融量都比 2003 年大得多. 由图 2 可以看出, 在所有观测结果中, 2002 年的消融量和平均消融深度都是最大的, 与 20 世纪 70 年代以及 80 年代的平均消融深度相比要大 400 mm 左右.

2002 年 8 月中下旬东粒雪盆海拔 4 900~5 120 m 间和西粒雪盆海拔 4 800~5 100 m 间的雪坑资料显示, 随着海拔的上升, 冰川的积累量逐渐增大; 到一定高度时, 则随海拔上升, 冰川积累量出现减小趋势. 东粒雪盆最大积累量(224 mm)出现在海拔 5 050 m 高度带, 而西粒雪盆最大积累量(156 mm)则出现在海拔 4 950 m 的高度带, 最大积累量出现的海拔西粒雪盆比东粒雪盆低 100 m, 积累量也小 33.5%(图 4). 积累区的年平均纯积累深度在 2002 年和 2003 年分别为 138 mm 和 213 mm 水层, 整个冰川的纯积累量分别为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $18 \times 10^4 \text{ m}^3$ . 在所有观测记录中, 2002 年的平均纯积累值和纯积累量是最小的, 反映在物质平衡量和物质平衡值上也是最小的年份, 而平均纯消融深度和纯消融量则是最大的.

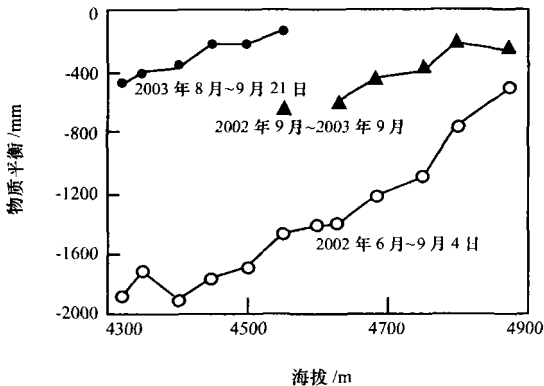


图 3 七一冰川纯消融量随海拔的分布  
Fig. 3 The net ablations of the Qiyi Glacier changing with altitude

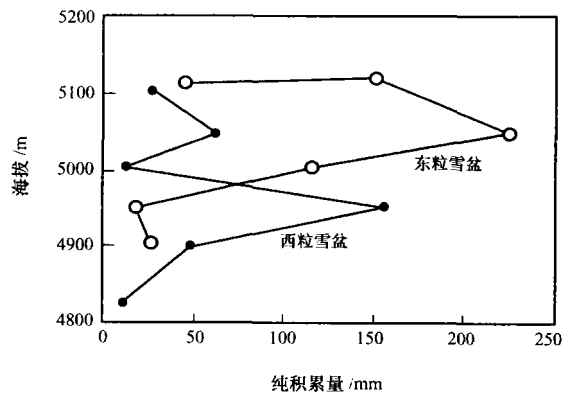


图 4 七一冰川纯积累量随海拔的变化  
Fig. 4 The net accumulations of the Qiyi Glacier changing with altitude

七一冰川积累和消融随海拔变化的特点, 既反映了降水量随海拔上升而增大的特点, 也反映了受气温直减率的影响使冰雪消融随海拔升高而减弱的特点.

### 3.3 物质平衡过程随高度的变化

山区气温一般随海拔的升高呈直线递减, 由此影响冰川消融开始的时间随海拔的上升而逐渐推迟, 而消融结束的时间则不断提前. 随海拔的升高, 冰川消融的时间不断减短, 而积累的时间不断增长, 即冰川的消融强度逐渐减弱, 相反积累强度逐渐增大. 观测结果显示, 七一冰川的积累和消融在时间上也具有显著的规律性. 从6月中下旬观测开始到8月底, 属气候最暖的时段, 冰川的消融速率也较大. 随海拔的上升, 气温降低, 消融期缩短, 冰面积雪也不断增厚, 其消融速率较下部大大减小, 物质平衡向负平衡方向发展的变化过程随时间迅速减缓, 高海拔和低海拔之间的消融速率差随时间不断拉大. 进入8月期间, 特别是8月5~14日的10 d中, 随着气温逐渐降低和冰面频繁降雪积累过程的影响, 冰雪面的反射率增大, 冰川的消融速率急剧减小. 受地形因素的影响, 物质平衡随海拔的上升并非直线变化. 在海拔4 500~4 600 m的粒雪盆区出现剧变带, 其上部和下部的物质平衡过程存在明显的差异(图5); 平衡线附近, 物质平衡随时间的变化过程很小, 基本保持稳定; 在平衡线以上, 物质平衡过程逐渐向正平衡的方向发展, 在一定区间随海拔的升高积累速率会逐渐增大.

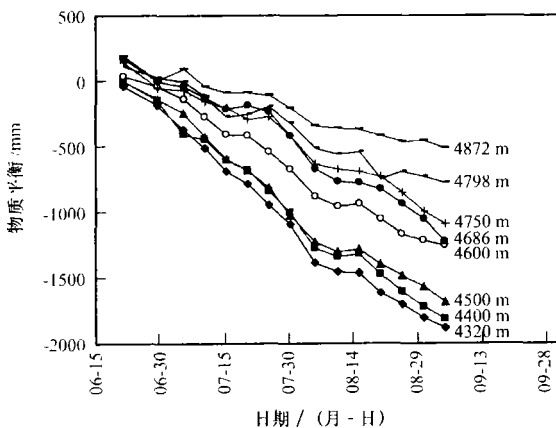


图5 不同海拔冰川物质平衡随时间的变化过程

Fig. 5 Mass balances of various altitudes changing with time

## 4 零平衡线高度

零平衡线是冰川响应气候变化最敏感的指标, 在这个高度上冰川的年积累量等于年消融量, 即物质平衡等于零. 冰川消融量和积累量的大小, 决定冰川消融区和积累区面积的扩张和缩小, 从而影响冰川零平衡线位置的升降变化. 在降水比较稳定的

情况下, 当年平均气温高时不仅使冰川消融强度增大, 而且使冰面消融时间延长、消融区面积扩展, 零平衡线升高, 反之则降低. 七一冰川物质平衡计算得出, 2002年和2003年的零平衡线海拔分别为5 012 m和4 940 m, 平均为4 970 m. 与20世纪70年代(海拔4 600 m)和80年代(海拔4 670 m)实际观测的平均结果相比, 分别升高了370 m和300 m. 这说明20世纪90年代以来气候的持续变暖, 强烈影响到祁连山冰川消融的加剧和消融区面积的扩大, 从而造成冰川物质平衡负值增大, 零平衡线位置的快速上升.

## 5 冰川物质平衡特征及其对气候的响应

冰川是气候的产物, 冰川物质平衡亦不例外的响应气候的变化而产生正负波动. 七一冰川自20世纪70年代以来不连续的观测结果显示, 1974/1975年度到1977/1978年的物质平衡平均为256 mm, 1984/1985年度到1987/1988年度的冰川物质平衡平均为4 mm, 而2001/2002年度和2002/2003年度的冰川物质平衡分别为-863 mm和-360 mm, 平均为-563 mm. 从这3个时段的观测结果看, 70年代冰川具有较大的正平衡, 到80年代中期冰川基本为零平衡状态, 到时隔10多年后的最近两年间, 冰川为较大的负平衡, 出现强烈亏损. 如果将这些观测结果作为各时段的平均状况, 可以计算出前10 a间(1976—1986)物质平衡平均以 $25.2 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 的速率递减, 后16 a间(1986—2002)平均以 $35.4 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 的速率变化, 较前10 a增大了40%. 也就是冰川物质平衡由正平衡到负平衡的变化过程在逐渐加剧, 这与青藏高原南部冰芯记录的冰川积累量出现的减少<sup>[12, 13]</sup>以及慕士塔格峰洋布拉克冰川消融量增大<sup>[11]</sup>的趋势相一致. 和我国观测系列最长的天山1号冰川相同年代的物质平衡结果相比, 冰川的物质亏损都在增加, 只是天山1号冰川的物质亏损程度较七一冰川更大<sup>[10, 14]</sup>. 天山1号冰川1983/1984—1987/1988年度平均为-448 mm, 和七一冰川的差异较大; 2001/2002年度为-834 mm<sup>[8]</sup>, 接近于七一冰川.

冰川消融期气温的高低和降水的多少, 直接影响冰川物质平衡的变化. 在七一冰川所有物质平衡观测年份中, 70年代气温低, 降水量多, 冰川物质平衡为较大的正平衡. 80年代观测的气温比70年代有较大的升高, 而降水量略有减少, 在观测的5 a中, 物质平衡有2 a正平衡3 a为负平衡, 平均年平

衡量仅 4 mm, 基本处于零平衡状态. 2002 年和 2003 年为 20 世纪 60 年代以来仅次于 1998 年的两个高温年, 冰川区的气温在观测资料中, 也是最高的年份, 所以最近两年七一冰川物质平衡出现较大的负平衡的显著原因是气候变暖.

七一冰川考察期间, 在海拔 3 700 m 的大本营附近设有气温和降水的观测资料. 分析七一冰川物质平衡和海拔 3 700 m 考察大本营夏季(6~8 月)的平均气温和降水量之间的关系, 发现冰川物质平衡( $B$ )与夏季平均气温( $T$ )和降水量( $P$ )之间具有很好的相关性:

$$B = -271.72T + 1749.8$$

$$(5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 10^{\circ}\text{C})$$

$$R^2 = 0.9996 \quad (2)$$

$$B = 5.41P - 805.53$$

$$(80 \text{ mm} \leq P \leq 210 \text{ mm})$$

$$R^2 = 0.7845 \quad (3)$$

式(2)和(3)表明, 在所观测的气温和降水量的波动范围内, 气候变暖对冰川物质平衡的影响非常显著. 气温每升高  $0.1^{\circ}\text{C}$ , 冰川表面将出现 27.2 mm 水当量的物质亏损; 降水量减少 1 mm, 冰川物质平衡变化 5.41 mm. 从气温、降水量和物质平衡之间的相关程度可以看出, 七一冰川物质平衡对气温变化的响应比对降水量变化的响应更敏感. 这和在唐古拉山冬克玛底冰川上物质平衡对气温效应较灵敏, 对降水效应较迟钝的研究结果是一致的<sup>[15]</sup>. 其原因在于降水是断断续续发生的, 对冰川的影响不是连续的, 而气温是持续作用于冰川的, 所以在降水量大致保持稳定的情况下, 气温高的年度冰川物质亏损较大, 反之则小或为正平衡.

## 6 小结

七一冰川夏季消融期约为 3~4 个月, 而年降水量的 80% 集中在暖期, 因此冰川物质平衡过程主要发生在暖季; 在漫长冬季除了冰层中冷储的积累之外, 冰川上的物质循环过程十分微弱.

1975 年以来的观测结果说明, 冰川物质平衡由正平衡到稳定再到近两年的巨大负平衡和零平衡线的上升过程, 强烈反映了在全球变暖背景下冰川对气候变化的响应过程. 1960 年以来的器测记录显示, 近 50 a 来的 3 个高温年份都集中在近几年中, 所以, 无论是祁连山区的冰川, 还是天山冰川或唐古拉山冰川, 冰川物质平衡负值最大的年份也

都集中在近几年的高温年份中. 计算结果也显示了气候变暖在冰川物质循环中的作用, 如果气候变暖趋势继续, 冰川物质平衡负值将增大、冰面减薄和雪线升高, 冰川的萎缩还将会继续下去.

## 参考文献(References):

- [1] Investigation Team on Utilization of Snow and Ice Resources in Mountain Regions, Academia Sinica. Investigations Report of Glaciers in the Qilian Mountains [M]. Beijing: Science Press, 1958. [中国科学院高山冰雪利用研究队. 祁连山冰川考察报告[M]. 北京: 科学出版社, 1958.]
- [2] Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences. Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, No. 5 (Glacier Variations and Utilizations in Qilian Mountains) [M]. Beijing: Science Press, 1985. 1-185. [中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 第 5 号, 祁连山冰川变化及利用[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 1-185.]
- [3] Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences. Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, No. 7 (The Monitoring of Glacier, Climate, Runoff Changes and the Research of Cold Region Hydrology in Qilian Mountains) [M]. Beijing: Science Press, 1992. 1-147. [中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊(第 7 号), 祁连山冰川、气候及径流变化监测与寒区水文研究专辑[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 1-147.]
- [4] Paterson W S B. The Physics of Glaciers (2nd Edition) [M]. New York: Pergamon Press, 1981. [Paterson W S B. 冰川物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 27-36.]
- [5] Xie Zich, Zhang Jinhua. Mass balance of glaciers in China [A]. An Introduction to the Glaciers in China [C]. Beijing: Science Press, 1988. 67-94. [谢自楚, 张金华. 中国冰川的物质平衡[A]. 中国冰川概论[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 67-94.]
- [6] Pu Jianchen, Yao Tandong. Study on mass balance of Small Dongkemadi Glacier [A]. Glaciological Climate and Environment on Qing-Zang Plateau [C]. Beijing: Science Press, 1993, 60-67. [蒲健辰, 姚檀栋. 冬克玛底支冰川物质平衡研究[A]. 青藏高原冰川气候与环境[C]. 北京: 科学出版社, 1993. 60-67.]
- [7] Liu Chaohai, Dyurgerov M B. A study on the mass balance process of glacier No. 1 at the source of Ür mqi River in Tianshan Mountains [A]. Annual Report on the Work at Tianshan Glaciological Station, Vol. 8 [C]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, 1989. 1-23. [刘潮海, М Б 久尔盖洛夫. 乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程研究[A]. 天山冰川观测试验站年报, Vol. 8 [C]. 兰州: 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1989. 1-23.]
- [8] Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences. Annual Report on the Work at Tianshan Glaciological Station, Vol. 16 [R]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chi-

- nese Academy of Sciences, 2003. 158. [中国科学院寒区旱区环境与工程研究所. 天山冰川观测试验站年报, Vol. 16 [R]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2003. 158.]
- [ 9 ] Su Zhen, Wang Lilun. Ablation of glacier [ A ]. Glaciers in the Hengduan Mountains [ C ]. Beijing: Science Press, 1996. 70–78. [ 苏珍, 王立伦. 冰川消融 [ A ]. 横断山冰川 [ C ]. 北京: 科学出版社, 1996. 70–78.]
- [ 10 ] Jiao Keqin, Jing Zhefan, Han Tianding, *et al.* Variation of the Glacier No. 1 at the headwaters of the Ür mqi River in the Tianshan Mountains during the past 42 years and its trend prediction [ J ]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, **26** (3): 253–260. [ 焦克勤, 井哲帆, 韩添丁, 等. 42 a 来天山乌鲁木齐河源 1 号冰川变化及趋势预测 [ J ]. 冰川冻土, 2004, **26** (3): 253–260.]
- [ 11 ] Pu Jianchen, Yao Tandong, Duan Keqin. An observation on surface ablation on the Yangbulark Glacier in the Muztag Ata, China [ J ]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25** (6): 680–684. [ 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 ] Zhang Dongqi, Qin Dahe, Hou Shugui, *et al.* Net accumulation rate of the East Rongbuk glacier and Indian summer monsoon rainfall [ J ]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, **26** (2): 129–134. [ 张东启, 秦大河, 侯书贵, 等. 东绒布冰芯净积累量与印度夏季风降水的关系 [ J ]. 冰川冻土, 2004, **26** (2): 129–134.]
- [ 13 ] Yao Tandong, Duan Keqin, Tian Lide, *et al.* Change of net accumulation recorded in Dasuopu ice core and past 400 years Indian summer monsoon rainfall [ J ]. Science in China (Series D), 2000, **30** (6): 619–627. [ 姚檀栋, 段克勤, 田立德, 等. 达索普冰芯积累量记录和过去 400a 来印度夏季风降水变化 [ J ]. 中国科学 (D 辑), 2000, **30** (6): 619–627.]
- [ 14 ] Li Zhongqi, Han Tianding, Jin Zhefan, *et al.* A summary of 40 years observed variation facts of climate and Glacier No. 1 at Headwater of Ür mqi 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.]
- [ 15 ] Pu Jianchen, Yao Tandong, Zhang Yingsheng. Study on the relationship mass balance and climatic factors on the Xiao Dongkemadi Glacier [ J ]. Journal of Glaciology and Geocryology (冰川冻土), 1996, **18** (Suppl.): 59–62.

## Mass Balance of the Qiyi Glacier in the Qilian Mountains: A New Observation

PU Jianchen<sup>1, 2</sup>, YAO Tandong<sup>2, 1</sup>, DUAN Keqin<sup>1, 2</sup>  
SAKAI Akiko<sup>3</sup>, FUJITA Koji<sup>3</sup>, MATSUDA Yoshihiro<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

3. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya 464–8601, Japan)

**Abstract:** A new observation has been made on the Qiyi Glacier in the Qilian Mountains since 2001. The observation shows that mass balance of the glacier was – 810 mm in 2001/2002 and – 316 mm in 2002/2003, respectively, suggesting that the glacier was thinning dramatically. However, the glacier experienced positive mass balance of about 360 mm per year in the 1970s and 4 mm per year in the 1980s. In last two to three years the glacier has

characterized by strong negative mass balance and its snow line has gone up steadily. Now the equilibrium line of the glacier has reached the highest altitude since the glacier has been observed. Both the mass balance and snow line respond sensitively to the global warming. Under the condition of global warming, it is expected that the glacier will experience negative mass balance, thinning, shrinking and snow line rising.

**Key words:** Qiyi Glacier; mass balance; ELA change; global warming