维普资讯 http://www.cqvip.com

第29卷 第1期 冰 川 冻 土 Vol. 29 No. 1
2007年2月 JOURNAL OF GLACIOLOGY AND GEOCRYOLOGY Feb. 2007

文章编号:1000-0240(2007)01-0061-05

天山庙尔沟平顶冰川的基本特征和过去24 a间的厚度变化

李忠勤, 王飞腾, 朱国才, 李慧林

(中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈与环境联合重点实验室 中国科学院天山冰川站, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 山岳冰川在20世纪出现的全面退缩以及在最近20 a的加速消融是近年来国际冰川与全球变化研究的热点问题之一. 庙尔沟平顶冰川位于天山山脉的最东段, 南、北、东外围为气候十分干燥的荒漠戈壁, 高山冰川是哈密绿洲主要的水资源, 其冰芯记录包含有起源于这一地区的沙尘暴信息. 因此, 对该冰川的研究一直为人们所关注. 基于2004年和2005年对庙尔沟平顶冰川的考察和取得的冰芯资料, 初步探讨了庙尔沟平顶冰川的基本特征和过去24 a间的厚度变化.

关键词: 庙尔沟平顶冰川; 特征; 厚度变化

中图分类号: P343.6 **文献标识码**: A

1 引言

庙尔沟平顶冰川又称为庙尔沟喀尔勒克塔平顶冰川 (43°03′ N, 94°19′ E), 在中国冰川目录上该冰川为庙尔沟河源3号冰川 (编码5Y822C3), 本文依据俗称, 将其简称为庙尔沟平顶冰川. 从20世纪70年代起, 原中国科学院兰州冰川冻土研究所对庙尔沟地区的冰川开展了考察研究工作, 并于1981年对平顶冰川和其西侧相邻的藏塔布迪冰川进行了冰川厚度测量, 测量位置如图1所示.

由于庙尔沟冰川处在中亚干旱、半干旱区中部, 对起源于这一地区的沙尘暴会有明显记录, 同时, 这一带冰川是哈密绿洲主要的水资源. 因此, 对这一地区冰川变化和冰芯记录的研究具有重要的意义.

2004年9月, 我们对庙尔沟平顶冰川进行了冰芯钻取的试验性考察, 观测了冰川消融情况, 采集了各类雪冰化学样品. 在此基础上, 我们于2005年8月成功的在海拔4 512 m的冰川顶部钻取了两支约60 m长的透底冰芯, 为重建这一地区的气候环境, 尤其是沙尘暴、水资源变化及人类活动的历史记录提供了独特而良好的途径. 在冰芯钻取的同时, 我们还深入开展了冰川区气温、冰川温度尤其是冰川厚度的测量, 取得了一些鲜为人知的结果. 本文系这些观测结果的报道和初步研究.

2 庙尔沟平顶冰川的基本特征

庙尔沟平顶冰川所处的天山山脉哈尔里克山西连巴里坤山, 南、北、东外围为低山荒漠戈壁, 降水稀少, 气候干燥. 在天山山区, 哈尔里克山的山势也较低, 由于处在影响本区主要的冷湿气流的通道山, 因而得以发育冰川, 并成为本区生态环境、人民生活和经济建设的水源地. 这一带冰川处于天山的最东端, 再往东数百公里之内没有冰川存在, 是一个很独特的冰川区.

庙尔沟位于哈密盆地北缘内陆小河, 其河源区为天山最东段哈尔里克山的南坡. 庙尔沟平顶冰川面积3.45 km^2, 朝向SW, 最高处和冰舌末端高度介于海拔4 512 ~ 3 840 m之间, 雪线海拔为4 100 m左右, 是哈尔里克山主山脊南侧沿西南向山岭发育的冰川. 该冰川最高处北距哈尔里克山主峰托木尔提 (海拔4 888 m) 约3 km.

根据2004年和2005年开展的观测, 该冰川顶部雪层为50 cm左右, 有消融痕迹, 但不强烈,

收稿日期: 2006-07-15; **修订日期**: 2006-11-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40631001; 40371028; 40571033; J0630966); 国家自然科学基金创新群体项目(40121101)资助

作者简介: 李忠勤(1962—), 男, 重庆人, 研究员, 1995年在中国科学院兰州冰川冻土研究所获博士学位, 美国俄亥俄州立大学博士后, 主要从事冰川与环境方面研究. E-mail: lizq@lzb.ac.cn

维普资讯 http://www.cqvip.com

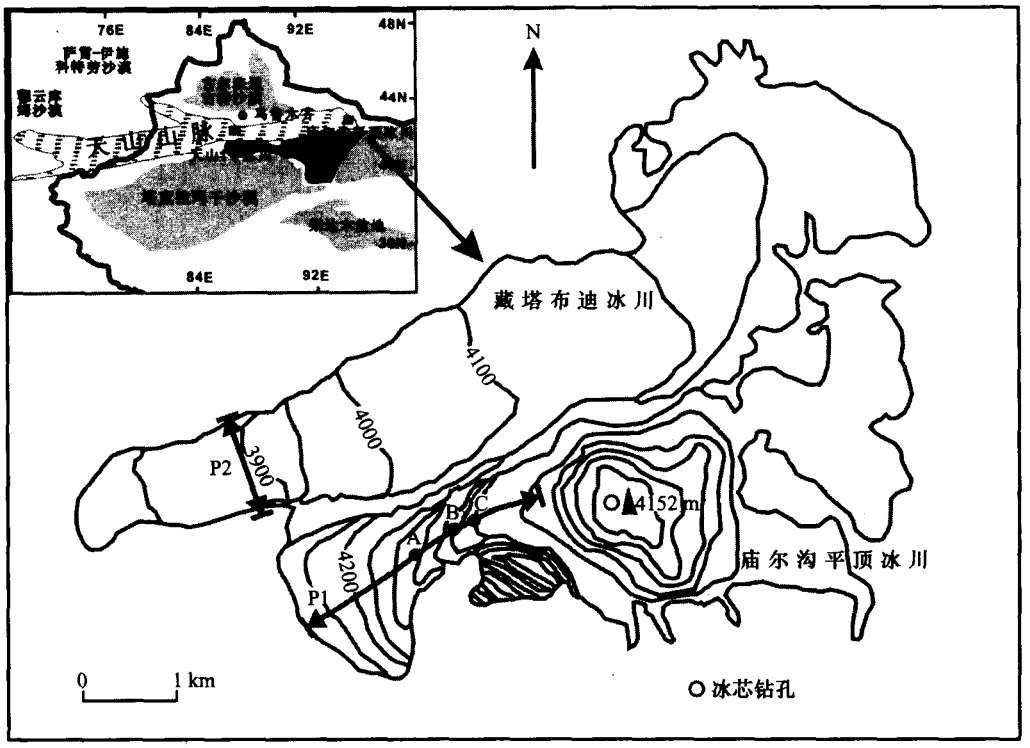

图 1 庙尔沟平顶冰川、藏塔布迪冰川及冰芯钻孔位置图

P1、P2 为 1981 年的雷达测厚轨迹；A、B、C 为 2005 年的雷达测厚点

Fig. 1 Map showing the Location of the Miaoergou Flat-topped Glacier and the Kazangbudi Glacier. The solid cycle represents the ice core drilling site in 2005. P1 and P2 indicate the profiles of radar sounding in 1981. The A, B, and C represent the radar sounding points in 2005

具有湿雪带上部特征. 钻取的冰芯在 17 m 深度以上为粒雪-冰层交替的半透明沉积，内含粗大不规则气泡；以下为含有众多细小而不规则气泡的，呈乳白色的渗浸冻结冰. 这些特征表明成冰深度在 17 m 以下，很可能为冷渗浸带. 整个冰芯相当洁净，冰内污化层很微弱，只在上部较为明显，呈微黄色. 这一方面表明融水量少，对沙尘物质的搬运力不强，另一方面也可能说明在冰川顶部粉尘物质的来源量有限.

3 气温降水

根据研究[1]，影响本区的气流主要是西风气流、西北气流、北方气流和蒙古-西伯利亚气流. 西风气流是主要的水汽携带者，运行于海拔5 000 m 的高空，夏半年能给本区带来较多的降水. 蒙古-西伯利亚气流多在冬季侵入本区，带来更低的气温.

由于没有全年度直接的气象观测，我们尚不能清楚地得知这一冰川区的气温状况. 根据哈密气象站(42°48′ N，93°30′ E)资料，600 hPa 高度上的年均气温为－11.8 ℃，6～8 月的平均气温为－3 ℃.

2005 年 8 月 10～25 日考察期间，测得该处夜间平均气温为－4 ℃. 根据冰芯钻孔测量得到的冰川活动层下界(10 m)附近的温度为－7 ℃，为大陆型冰川温度，并由此断定该处年平均气温接近这一数值.

冰川区降水量的确定较为困难. 哈密盆地的平均海拔为 800 m，多年平均降水量为 34.6 mm[2]. 根据 1961—1963 年高山半定位站资料，得知与庙尔沟平顶冰川相邻的藏塔布迪冰川(见图 1)海拔 3 300 m处 7 月的降水量为 157 mm，又据新疆气象资料推算哈密地区 7 月的降水量占全年的 28%(20 a 统计)，同时考虑到高山带夏季降水比例大于平原区的差异性，王宗太等[3]推算出庙尔沟平顶冰川区的年降水量约为 600 mm.

根据冰芯记录可以较为准确地确定钻取处的净积累量. 据初步分析表明，2005 年冰芯的年层特征记录保存比较完好，在已经测定的成分中，通过不溶微粒的平均粒径数反应出来 (图 2). 据此，我们划定了冰芯上部 3 m 的年层位置，由此推算出该处

维普资讯 http://www.cqvip.com

的净积累量约为200 mm·a^{-1}水当量.

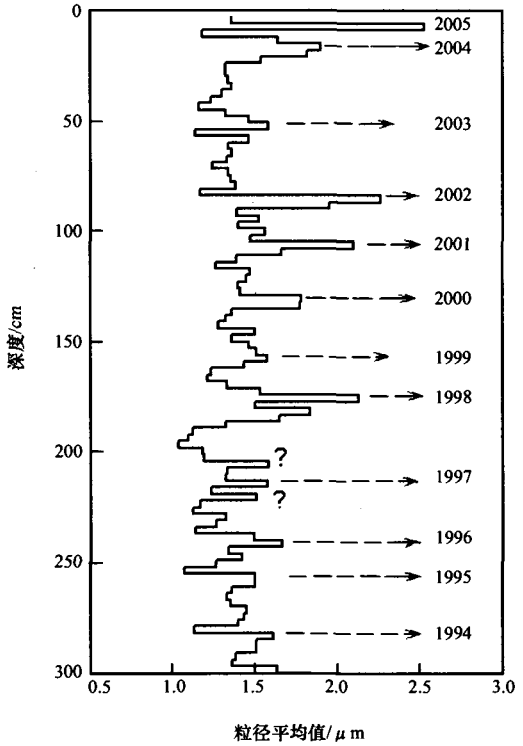

图2　不溶微粒的平均粒径随深度的变化和年层的划分

Fig. 2　Variations of mean grain size of microparticles with depth along with annual layer identification in the ice core

4　厚度变化

4.1　方法及野外测量

通过水准测量法测量冰面高程变化，可以获得较为准确的冰川厚度变化，但这一方法，需要每个测点的坐标. 利用冰雷达重复测量冰川厚度也是一个比较可靠的方法，庙尔沟平顶冰川已有两次测厚历史. 第1次测量使用的是B1型冰雷达，由中国科学院原冰川冻土研究所研制，中心频率为300 MHz，测量误差在5%以内. 其工作原理和误差分析前人已作了详细介绍，并通过蒸汽钻验证了观测的准确性[4]. 测量于1981年8月26日进行，由冰舌末端向上沿主流线方向每50 m测厚一次，直到海拔4 380 m，共计测点34个. 第2次测量使用了新型单周低频冲击冰雷达，该雷达为B1的改进型，与B1型相比，具有轻便灵活、精度高的特点. 测量于2005年8月21日沿第一次测量的剖面进行，共测得7个高度的数据.

4.2　厚度变化

1981年测得的冰川主流线厚度分布如图3所示. 从中看出，冰川表面比较平坦，受底部局部地形作用较小. 冰川平均厚度为64 m，最大厚度为75 m，出现在冰川中下部. 根据现场观测和对地形图上两次测厚点标记的对比分析，确定2005年的7个测点中有3个与1981年测点的位置相吻合(图3). 表1给出了这3个点两次测量的结果，包括第2次测厚时的海拔值.

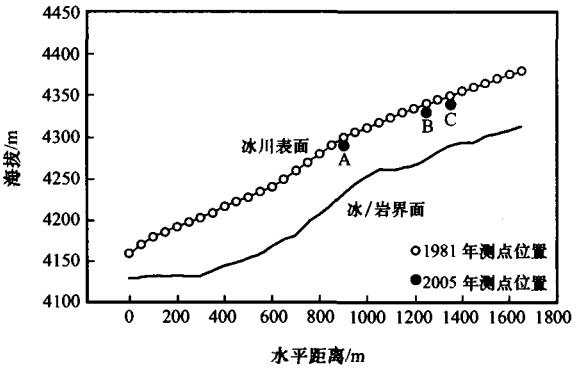

图3　庙尔沟平顶冰川纵剖面雷达测厚结果

其中A、B、C三点为1981年与2005年相同的测点

Fig. 3　A radar sounding longitudinal profile of the Miaoergou Flat-Topped Glacier A, B and C are the repeated sounding sites in 1981 and 2005

表1　1981年与2005年庙尔沟平顶冰川厚度对比

Table 1　The thicknesses of Miaoergou Flat-topped Glacier in 1981 and 2005

测点海拔高度/m	1981年8月26日冰川厚度/m	2005年8月21日冰川厚度/m	冰川厚度变化/m
4295	68.0	62.6	5.4
4340	66.0	60.9	5.1
4357	59.0	54.0	5.0

由表1对比资料可以看出，在过去的24 a间，冰川厚度在海拔4 295～4 357 m处减薄了5 m左右. 由于2005年的测量没有对整个剖面进行仔细测量，我们无法得到整条冰川厚度变化的分布. 从已有这三个点的数据上可以看出，冰川下部的减薄程度略大于上部，但考虑到观测误差等因素，这一结果并不可靠.

4.3　厚度变化的气候指示意义

厚度是冰川的基本物理参数之一. 其变化是对冰川区水、热条件长时间尺度变化的综合反映. 由于冰川具有向稳定态流变的特性，因而可以根据已发生的厚度变化来预测冰川将要发生的变化. 例如Jóhannesson *et al.*[5]提出的剖面形状参数相关预测模式，就是以厚度变化为主要参数来进行冰川预测的. 这一模式基于“运动波”向下游传播引发末端变

维普资讯 http://www.cqvip.com

化后，冰川应出现的稳定态剖面形状的理论，建立了利用剖面形状参数来计算冰川体积变化和冰川达到稳定状态所需时间的方法. 根据这一理论，如果冰川的变化发生在消融区，则冰川处在一种由不稳定态向稳定态过渡的状态，将会达到一种新的稳定态；如果变化发生在积累区，其随运动波向下部传播，消融区会形成较上部更大幅度的变化响应，因此，这时的冰川处于一种不稳定态的初始阶段，将会发生长时间的变化响应.

本研究发现，庙尔沟冰川中上部厚度发生了变化，并且变化幅度几乎相同，说明有两种可能性：一种是冰川下部较为稳定，其厚度变化小于或轻微大于上部，则冰川处于由非稳定态到稳定态转化的初期或中期阶段；若与之相反，则冰川的响应过程处在中期或后期. 根据前人的研究[6]，1973—1981年间的冰川运动速度为0 m·a^{-1}，而本次考察测得冰川底部冰温为−8.3 ℃，因此可以认为该冰川末端十分稳定，变化不大. 并由此推断，该冰川很可能处于对气候变化响应的初期阶段，在今后相当长一段时期，该冰川的动力学响应还会继续下去.

这一气候变化很可能对应于20世纪80年代中期，尤其是90年代中期以来天山地区气温的显著升高. 气温升高引起冰川消融加剧，这点也在冰芯上部的物理特征上也表现出来. 在我们所钻取的冰芯上部5 m内，特别是2 m内出现了显著的污化层，具有明显融水改造搬运的特征.

4.4 与乌鲁木齐河源1号冰川的对比

乌鲁木齐河源1号冰川是这一地区惟一具有长时间观测记录的冰川. 在过去20 a里，1号冰川经历了有观测记录以来最为显著的退缩变化[7−9]，而这一变化在1995年以后呈明显加速趋势[10−11]. 依据1981年和2001年厚度测量推算出了1号冰川的厚度变化及其分布，发现该冰川的减薄主要发生在消融区. Jóhannesson *et al*.[5]模式的数值预测结果显示1号冰川剖面形状因子较高(0.44)，说明冰川正处于由非稳定态向稳定态演化过程的中期阶段. 响应时间预测结果显示这一过程仍将持续53～55 a.

庙尔沟平顶冰川表现出的相对稳定性与乌鲁木齐河源1号冰川的强烈消融形成了鲜明的对照. 这一地区的冰川分布也和1号冰川及天山其它地区有明显差异，很多冰川的规模在南坡大于北坡，这些消融特征和冰川分布方面的差异都很可能与来自北部方向的气流特性有关[3]，但需要进行更深入的研究.

5 结论

根据冰川温度的测定和冰芯记录，发现天山东端的庙尔沟平顶冰川区年均气温为−7 ℃左右，冰川积累率在200 mm·a^{-1}左右，是一条典型的大陆型冰川. 过去24 a，冰川的中上部减薄了5 m左右.

研究发现，冰川底部温度为−8.3 ℃，表明冰川底部与基岩冻结，无滑动现象发生. 有迹象表明，该冰川过去一直处在一个相对稳定的状态，但在近10～20 a里出现了显著的消融，表现为冰芯剖面上部污化层增多.

致谢：野外考察是与中国科学院寒区旱区环境与工程研究所侯书贵研究员和效存德研究员共同组织实施的，各项任务的完成是庙尔沟冰川考察队全体队员艰辛工作的结果，在此深表感谢.

参考文献(References)：

[1] Elena M. Aizen, Vladimir B. Aizen, John M. Melack, *et al*. Precipitation and atmospheric circulation patterns at mid-latitudes of Asia [J]. International Journal of Climatology, 2001, **21**: 535−556.

[2] Hu Ruji. Physical Geography of the Tianshan mountains in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004: 69−153. [胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京：中国环境科学出版社，2004：69−153.]

[3] Wang Zongtai, Liu Chaohai, Wang Yinsheng. Distribution and principal features of glaciers ininterior drainage area of scattered flow in east Tianshan Mountains[M]// Glacier Inventory of China (Vol. Ⅲ): Tianshan Mountains (Interior drainage area of scattered flow in east). Beijing: Science Press, 1986: 7−17. [王宗太，刘潮海，王银生. 天山东部散流内流区流域冰川分布与基本特征[M] // 中国冰川目录(Ⅲ)：天山山区(东部散流内流区)，中国科学院兰州冰川冻土研究所. 北京：科学出版社，1986：7−17.]

[4] Zhang Xiangsong, Zhu Guocai, Qian Songlin, *et al*. Radar measuring ice thickness of Glacier No. 1 at the source of Ürümqi River, Tianshan[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1985, **7**(1):153−162. [张祥松，朱国才，钱嵩林，等. 乌鲁木齐河源1号冰川雷达测厚[J]. 冰川冻土，1985，**7**(2):153 −162.]

[5] Jóhannesson T, Raymond C , Waddington E. Time-scale for adjustment of glaciers to change in mass balance[J]. Journal of Glaciology, 1989, **35**(121): 355−369.

[6] Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences. Glacier Inventory of China(Ⅲ)[M] . Beijing: Science Press, 1986: 69−71.[中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国冰川目录(Ⅲ)[M]. 北京：科学出版社，1986：69−71.]

[7] You Xiaoni, Li Zhongqin, Wang Feiteng. Study on time scale of snow-ice transformation through snow layer tracing method—Take Glacier No. 1 at the headwaters of Ürümqi River as

维普资讯 http://www.cqvip.com

an example [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(6): 853－860. [尤晓妮，李忠勤，王飞腾. 利用雪层层位跟踪法研究暖型成冰作用的年限问题——以乌鲁木齐河源1号冰川为例[J]. 冰川冻土，2005，27(6)：853－860.]

[8] Wang Feiteng, Li Zhongqin, You Xiaoni, *et al*. Snow to ice evolution process observation and study at percolation zone on Glacier No. 1 at Ürümqi River Head, the East Tianshan, China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, **28**(1): 45－53.[王飞腾，李忠勤，尤晓妮，等. 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(1)：45－53.]

[9] Li Xiangying, Li Zhongqin, You Xiaoni, *et al*. Study on ice formation zones and stratigraphy profiles of snow-pits on Glacier No. 1 at the headwaters of Ürümqi River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, **28**(1): 36－44. [李向应，李忠勤，尤晓妮，等. 近期乌鲁木齐河源1号冰川成冰带及雪层剖面特征研究[J]. 冰川冻土. 2006，28(1)：36－44.]

[10] Li Zhongqin, Han Tianding, Jing Zhefan, *et al*. A summary of 40-year observed variation facts of climate and Glacier No. 1 at the headwaters 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.]

[11] Li Zhongqin. A glacier melt water pool was discovered at summit of east branch of Glacier No. 1 at Ürümqi River Head, Tianshan Mts., Xinjiang [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, **27**(1): 150－153. [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)：150－153.]

Basic Features of the Miaoergou Flat-Topped Glacier in East Tianshan Mountains and Its Thickness Change over the Past 24 Years

LI Zhong-qin, WANG Fei-teng, ZHU Guo-cai, LI Hui-lin

(*Key Laboratory of Cryosphere and Environment / Tianshan Glaciological Station, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu* 730000, *China*)

Abstract: The shrinkage of alpine glaciers in the twentieth century is on a global scale. For a number of glaciers, the rate of shrinkage appears to have accelerated toward the end of the century. Located at the easternmost Tianshan Mountains in central Asia, Miaoergou Flat-Topped Glacier is surrounded by vast desert and gobi, where the Asia dust storms originate. Furthermore, the glaciers in this area are the major water supply for the extremely dry land. Therefore, the changes of these glaciers and their ice core records are widely concerned. On the basis of field investigations in 2004 and 2005 and the ice core records recovered from the summit of the glacier during 2005, this paper presents general characteristics of the Miaoergou Flat-Topped Glacier and its thickness changes over the past 24 years. The result shows that the glacial borehole temperature was around −7 ℃ at 10 m depth and −8.3 ℃ at the 60 m borehole bottom, indicating that this is a typical continental glacier. The net accumulation rate at the summit was approximately 200 mm • a^{-1}. Over the past 24 years, the glacier has evidently thinned around 5 m at the upper reaches. The ice core stratigraphy indicates that enhancement of the glacier melting may occur during the last 20 years.

Key words: Miaoergou Flat-topped Glacier; features; thickness change