

乌鲁木齐河源 1 号冰川冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录气候意义的再探讨^{*}

侯书贵 秦大河 任贾文

(中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯与寒区环境实验室 兰州 730000)

摘 要 根据乌鲁木齐河源 1 号冰川冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与大西沟气象站实测的气温资料, 进一步系统地探讨了所研究区域冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的气候意义。结果表明, 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与夏半年(5 月~10 月) 平均气温之间存在一定程度的正相关关系, 而与冬半年(11 月~次年 4 月) 平均气温不存在稳定的相关性。该结果拓展了中、低纬主地区山地冰川冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录作为温度指标的适用性。

关键词 冰川 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录 气候意义 乌鲁木齐河源

分类号 P597

0 引 言

应用冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录进行古气候研究时, 要求建立冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与气温之间的相关关系。虽然最近的研究结果表明, 青藏高原北部地区大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 与气温之间存在显著的正相关关系^[1], 但 Yao *et al.*^[2] 对本区古里雅、敦德和唐古拉冰芯记录的、近 30 年来的年平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值与各自相距最近的气象台站 (150~200 km) 的气温资料进行比较后, 认为上述各冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与气温之间已不再具有显著的相关性。我们对乌鲁木齐河源 1 号冰川冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的初步研究也得到类似的结果^[3]。由于我们在相距 1 号冰川冰芯 T_0 ^[3] 约 2 m 处获得另一支透底冰芯 T_1 的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录结果, 本文拟据此进一步探讨中、低纬度地区山地冰川冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的气候意义。

1 资料处理和结果

冰芯 T_1 的取样间距为 5 cm, 样品处理和分析过程同冰芯 T_0 ^[3]。由于冰川积雪层的 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面不是冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的最终结果^[3], 本文研究对象仅限于固体冰内的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录。通过比较两支冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 和主要阴、阳离子的季节变化特征, 并参考 1 号冰川的多年物

第一作者简介: 侯书贵 男 1970 年 1 月生 博士 冰川化学与环境

^{*} 国家自然科学基金(编号: 49571020、49871022)、中国科学院“九五”重大项目 A (编号: KZ951-A1-402)、攀登计划项目(编号: 95-预-40)和中国科学院天山冰川观测试验站基金(编号: 95001)联合资助

收稿日期 1998-12-07, 改回日期 1999-05-10

质平衡观测资料¹⁾进行定年。冰芯 T_0 包括 22 个年层, 冰芯 T_1 顶部 6.8 m 包括 24 个年层。

图 1 表示冰芯 T_0 和 T_1 的 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面,以及附近大西沟气象站自 1972 年以来的年平均

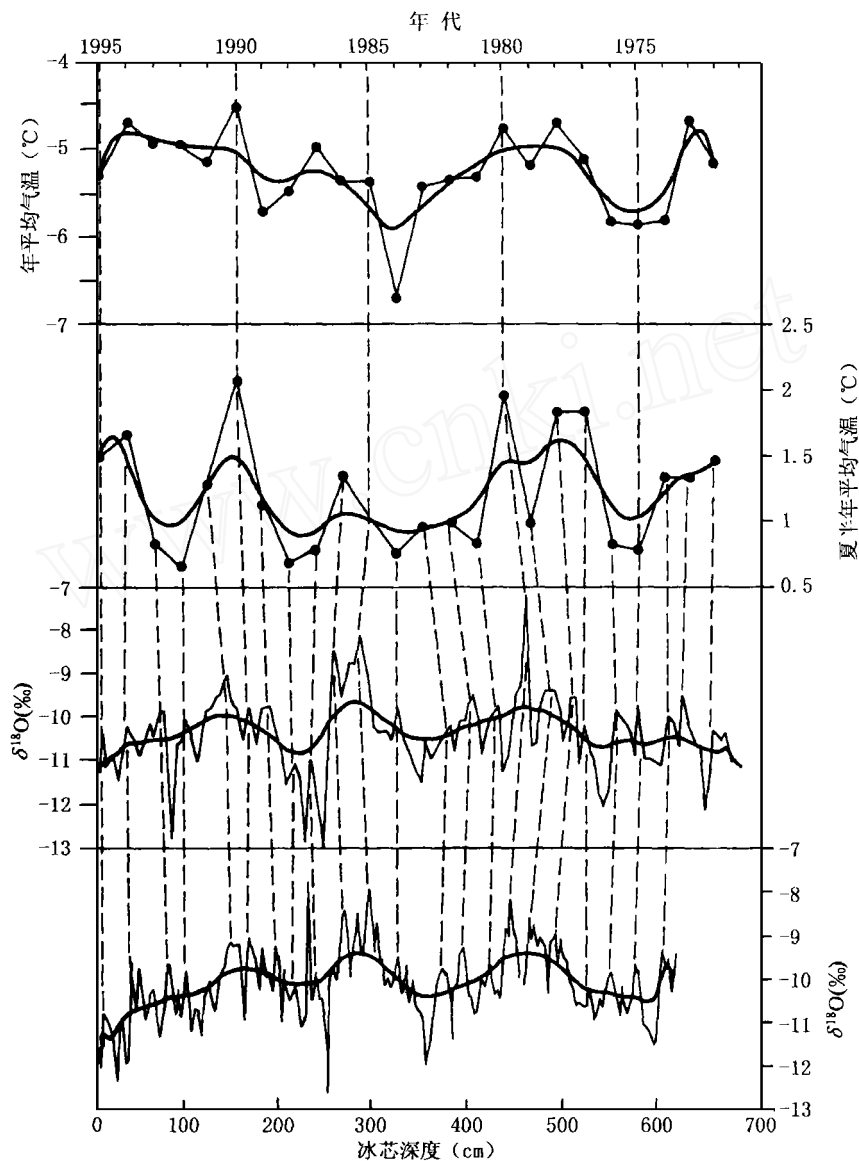


图 1 冰芯 T_0 和 T_1 的 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面以及附近大西沟气象站的年平均气温和夏半年(5月~10月)平均气温变化

Fig. 1 $\delta^{18}\text{O}$ profiles for the " T_0 " and " T_1 " ice core, compared with corresponding annual and summer (from May to October) surface air temperature as measured at the nearby Daxigou Meteorological Station

图中细线代表冰芯年层,粗线代表约 7 年滑动平均结果。

1) 中国科学院天山冰川观测站年报 1~13 期。

气温和夏半年(4月~10月)平均气温变化(本文与文献^[3]所使用的气温资料系通过不同途径获取的,两者除1992年外数值相同。通过对1992年逐日平均气温资料的重新计算,表明本文所用气温资料是正确的)。虽然两支冰芯的取样间距有所差异(T_0 为3 cm, T_1 为5 cm),表现为冰芯 T_0 的 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面的高频变化在冰芯 T_1 中不复存在,但两支冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面总体特征基本类似,尤其是两者的平滑曲线相当一致。 $\delta^{18}\text{O}$ 的季节变化特征得以在冰芯中保存的原因在于冰川雪层中渗浸冰层对融水下渗的阻碍作用,以及快速形成的附加冰层对下伏冰层内 $\delta^{18}\text{O}$ 季节变化的保护作用^[3,4]。图1还表明,冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面与大西沟气象站的夏半年平均气温变化具有较好的一致性,而与年平均气温的一致性较差。尤其是经过平滑处理后,冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面与夏半年平均气温的峰谷位置基本相互对应。由于研究区域内年降水量的90%左右发生在夏季^[5],而且冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 所记录的仅仅是降水时(更确切地讲是冰川积累时)的气候信息^[2],因此冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与夏半年气温之间的较好相关性是符合客观情况的。

为了进一步探讨冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与气温之间的相关性,我们根据图1所示的年层划分结果分别计算了两支冰芯的年平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值,并分别与相应年份的年平均气温、冬半年(11月~次年4月)平均气温和夏半年(5月~10月)平均气温进行线性回归。对于冰芯 T_0 ,其线性回归方程分别为:

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 0.23 t \text{ 年平均气温}(\text{°C}) - 8.87 \quad (r = 0.20, n = 22)$$

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 0.38 t \text{ 夏半年平均气温}(\text{°C}) - 10.56 \quad (r = 0.30, n = 22)$$

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 0.05 t \text{ 冬半年平均气温}(\text{°C}) - 9.52 \quad (r = 0.07, n = 22)$$

对于冰芯 T_1 , 其线性回归方程分别为:

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 0.12 t \text{ 年平均气温}(\text{°C}) - 9.79 \quad (r = 0.09, n = 24)$$

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 0.40 t \text{ 夏半年平均气温}(\text{°C}) - 10.88 \quad (r = 0.27, n = 24)$$

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = -0.03 t \text{ 冬半年平均气温}(\text{°C}) - 10.81 \quad (r = 0.04, n = 24)$$

可见冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录仅与夏半年平均气温之间具有一定程度的相关性,而与年平均气温和冬半年平均气温之间基本上不存在稳定的相关关系。

2 讨 论

研究表明,乌鲁木齐河源区大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 与气温之间存在显著的正相关关系^[3]。对于1995年6月初至1996年6月末在天山冰川观测站之高山营地所采集的全部降水样品,其 $\delta^{18}\text{O}$ 依日平均气温的线性回归方程为: $\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 0.94 t(\text{°C}) - 12.38$ ($r^2 = 0.52$, $n = 121$);而每月全部降水样品 $\delta^{18}\text{O}$ 的算术平均值依月平均气温的线性回归方程为: $\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 1.29 t(\text{°C}) - 13.05$ ($r^2 = 0.98$, $n = 10$)^[3]。比较而言,冰芯中的 $\delta^{18}\text{O}$ 对气温的敏感程度远逊于大气降水中的 $\delta^{18}\text{O}$,其原因在于诸多沉积过程及沉积后过程的影响作用。

首先,降水季节分布的不均匀性为影响因素之一^[2]。由于年平均气温是全部月平均气温的综合结果,而冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 所记录的仅仅是冰川发生积累时的气候信息,因此不能设想由一年内若干次降水事件产生的冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录能够完全反映该年的平均气温状况。这也正是冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与夏半年气温的相关程度较高的原因所在。

再者多种沉积后的过程能够进一步影响冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录。如粒雪层内同位素扩散导致的季节 $\delta^{18}\text{O}$ 信号的平滑作用^[6]; 风吹雪现象导致积雪的重新分布, 从而产生小尺度的局地沉积噪音^[2,3]; 在加拿大高北极地区的阿格西(Agassiz)冰帽也观测到这种风蚀作用对冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的影响^[7], 研究结果表明, 该冰帽分冰岭处冰芯的年平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值, 比位于山坡上较低海拔处冰芯相应的 $\delta^{18}\text{O}$ 值低2.5‰。

雪冰融化参与冰川物质平衡过程的现象在天山^[8]、祁连山^[9]、唐古拉山^[10]、喜马拉雅山^[11]以及加拿大高北极地区的彭尼(Penny)冰帽^[4]和阿格西冰帽^[7]、秘鲁的 Quelccaya 冰帽^[12]等均有表现。由此导致大气降水的原始 $\delta^{18}\text{O}$ 季节变化特征在有融水参与的粒雪化过程和成冰过程中急剧减弱^[13], 同时发生稳定同位素的分馏作用, 导致固相雪冰内相对富集稳定重同位素^[13,14]。融水渗浸对雪冰 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的影响作用在文献^[3]中有比较详尽的探讨, 这里需要特别强调的是, 附加冰层的快速形成及其不渗透性, 可有效地保护下伏冰体内的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录不被后期的融水作用所平滑, 从而保证了冰芯的最终 $\delta^{18}\text{O}$ 记录仍可能在一定程度上反映降水沉积时的气温状况。

3 结 论

本文进一步系统地探讨了乌鲁木齐河源1号冰川冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的气候意义。虽然冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与气温之间的相关程度明显低于降水样品 $\delta^{18}\text{O}$ 的相应值, 但冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录仍与夏半年平均气温之间具有一定程度的相关性, 从而为中、低纬度地区山地冰川冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 的古气候研究奠定了不可或缺的观测和理论基础。

目前, 国际雪冰界比较重视非理想条件下冰芯气候环境信息的提取工作, 这是因为在大部分中、低纬度的高海拔地区进行冰芯研究时, 很难找到理想的、保持原始雪层记录的干雪带, 而多是经过融水作用后的(冷)渗浸带或渗浸-附加冰带, 由此导致大气降水的原始季节变化特征在有融水参与的粒雪化过程和成冰过程中急剧减弱, 即发生雪冰内气候环境记录信息的损耗, 造成冰芯记录恢复和重建工作的困难。因而对于此类冰芯气候环境信息的本质和变化规律的研究, 将有助于根据实际情况对冰芯资料进行去伪存真的筛选和去粗存精的研究, 最大限度地获取非理想气候条件下冰芯记录的气候和环境信息。

参 考 文 献

- 1 章新平, 施雅风, 姚檀栋. 青藏高原东北部降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化特征. 中国科学, B 辑, 1995, 25(5): 540~547
- 2 Yao T, Thompson L G, Thompson E M *et al.* Climatological significance of $\delta^{18}\text{O}$ in north Tibetan ice cores. J Geophys Res, 1996, 101(D23): 29 531~29 537
- 3 侯书贵, 秦大河, 李忠勤等. 乌鲁木齐河源1号冰川冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的现代环境过程分析. 地球化学, 1998, 27(2): 108~116
- 4 Holdsworth G. Glaciological reconnaissance of an ice core drilling site, Penny Ice Cap, Baffin Island. J Glaciol, 1984, 30: 3~15
- 5 张寅生, 康尔泗, 刘潮海. 天山乌鲁木齐河流域山区气候特征分析. 冰川冻土, 1994, 16(4): 333~341
- 6 Dansgaard W, Johnsen S J, Clausen H B *et al.* Stable isotope glaciology. Medd Grönl, 1973, 197(2): 1~53
- 7 Fisher D A, Koerner R M, Paterson W S B *et al.* Effect of wind scouring on climatic records from ice-core oxygen isotope profiles. Nature, 1983, 301: 205~209

- 8 刘潮海,谢自楚,王纯足. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程研究. 冰川冻土, 1997, 19(1): 17~24
- 9 Thompson L G, Wu X, Thompson E M *et al.* Climatic records from the Dundee ice cap, China. *Ann Glaciol*, 1988, 10: 178~182
- 10 侯书贵,秦大河,皇翠兰. 唐古拉山冬克玛底冰川雪层淋溶作用的初步分析. 冰川冻土, 1996, 18(3): 227~234
- 11 谢自楚. 绒布冰川的消融特征. 见: 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 (1966—1968) ——现代冰川与地貌. 北京: 科学出版社, 1975. 65~70
- 12 Grootes P M, Stuiver M, Thompson L G *et al.* Oxygen isotope ratio changes in tropical ice, Quelccaya, Peru. *J Geophys Res*, 1989, 94: 1 187~1 194
- 13 Arnason B. The exchange of hydrogen isotopes between ice and water in temperate glaciers. *Earth Planet Sci Lett*, 1969, 6: 423~430
- 14 Buason T. Equation of isotope fractionation between ice and water in a melting snow column with continuous rain and percolation. *J Glaciol*, 1972, 11: 387~405

Re-examination on the Climatological significance of the ice core $\delta^{18}\text{O}$ records from the No. 1 Glacier at the head of Ür ümqi River

Hou Shugui Qin Dahe Ren Jiawen

(Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

The ice core $\delta^{18}\text{O}$ records from the No. 1 Glacier at the headwater of Ür ümqi River were used to test the relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and contemporaneous surface air temperature at the nearby Daxigou Meteorological Station (~2 km away from the ice core drilling site). Although the ice core records of annually averaged $\delta^{18}\text{O}$ are positively correlated with contemporaneous air temperature, especially summer air temperature, the correlation is less significant than that for the precipitation samples due to depositional and post-depositional modification processes. However, the climatological significance of the ice core $\delta^{18}\text{O}$ records can be still preserved to a certain degree, which might extend the application of high altitude and sub-tropical ice core $\delta^{18}\text{O}$ records for paleoclimate reconstruction.

Key words: glacier, ice core, $\delta^{18}\text{O}$ records, climatological significance, the head of Ür ümqi River