

·成果简介·

青藏高原冰芯研究成果简介

姚檀栋*

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,兰州 730000)

[关键词] 青藏高原,冰芯研究成果

我们是一个冰芯与环境研究群体。在杰出青年基金支持下我们开拓和发展了中国的山地冰芯研究。我们的研究首先从祁连山敦德冰芯研究开始^[1-4]。之后,又成功地进行了古里雅冰芯研究^[5-9]。达索普冰芯研究^[10]标志中国山地冰芯研究的新阶段,这不但因为这一冰芯是目前世界上海拔(7 000 m)最高的冰芯,而且还有许多重要研究成果^[11-14]。这一研究被评为 1997 年中国十大科学新闻之一^[19]。总结研究成果,主要有以下几方面:

(1)通过对整个高亚洲地区降水稳定氧同位素比率和降水时气温关系的研究,建立了定量模型^[15,16],为这个地区气候变化研究和冰芯记录解释打下了基础。大气降水中稳定同位素的系统研究曾一直是由西方科学家进行的,我国只有零星研究。西方学者曾根据理论模型推测高亚洲地区大气降水中稳定同位素与气温之间没有关系。从 1989 年开始,我们先后在青藏高原和天山建立 10 多个研究站,进行大气降水中稳定同位素和气温关系的研究。通过 10 多年的研究,终于建立了高亚洲地区大气降水中稳定氧同位素与气温的相关关系,并建立了定量关系模型。在青藏高原德令哈气象站,其定量关系为稳定氧同位素变化 1‰,相当温度变化 1.5℃。在天山乌鲁木齐河源大西沟气象站,其相关关系为稳定同位素变化 1‰,相当温度变化 1.2℃。这一结果纠正了以前的错误理论推测。

(2)以高分辨率冰芯记录(50 年时间间隔)阐明了青藏高原过去 10 多万年来气候变化特征。发现^[5,9]古里雅冰芯记录了南极冰芯和北极格陵兰冰芯所反映的过去 10 多万年来 5 次大的气候事件,即阶段 1、阶段 2、阶段 3、阶段 4 和阶段 5。阶段

5 又可分为 a, b, c, d 和 e 五个亚阶段。对古里雅立雅冰芯和格陵兰冰芯记录进行更详细的气候事件比较^[17],发现两冰芯中 14 次气候事件除 1 次气候事件外,其他 13 次气候事件两地都是对应出现的。但可以明显看出几个记录的差异性。首先,古里雅冰芯记录的气候波动的次数和幅度大于南极和格陵兰冰芯记录。其次,古里雅冰芯具有从暖变冷时快速变化,而从冷变暖时缓慢变化的特征。此外,距今 3 万多年的气候变暖事件,在南极和格陵兰冰芯记录中是一弱暖期,而在古里雅冰芯记录中为一强暖期。

(3)揭示了冰芯记录的过去一系列重大气候突变事件。通过对古里雅冰芯的研究,特别是古里雅冰芯与格陵兰 GRIP 冰芯的对比研究^[17],发现在距今 18ka-35ka 年时,出现了一系列时间尺度在 200 年左右的突变事件。这些事件的频率在末次冰盛期时达到最大,每次事件的幅度也在末次冰盛期达到最大。在格陵兰冰芯和南极冰芯记录中,其变化频率和幅度要小得多。

(4)揭示了冰芯记录的全新世以来的气候变化特征,并根据冰芯记录将全新世可划分为三个阶段,即早全新世、中晚新世和晚全新世^[18]。两次显著的高温事件成为早、中、晚三个阶段的划分标志。这两高温事件分别出现在距今 8.4ka-8.5ka 年和距今 2.9ka-3ka 年。提出早全新世为气候不稳定阶段,并特别指出了距今 8.8ka 时的突然变冷事件,敦德冰帽和古里雅冰帽下游反映这一时期冰川前进的冰川堆积物的存在也说明这一变冷事件的存在。通过与竺可桢研究结果对比还特别研究了过去 5ka 年来的气候变化。认为距今 3ka 年左右是一重要气候界

* 1994 年度国家杰出青年科学基金获得者。
本文于 2001 年 12 月 3 日收到。

限。距今 5ka 至 3ka 年以温度上升为主,并在距今 3ka 年达到过去 5ka 年内仅次于现在的最暖期。此后,温度明显下降,距今 2ka 年左右时达到最冷,以后又逐渐变暖,目前已接近全新世暖期。

(5)以年际变化的分辨率揭示了冰芯所记录的去 2ka 来气候变化的重要特征^[19-26]。对古里雅冰芯记录的研究以及与其他地区的对比研究,发现古里雅冰芯记录的去 2ka 有温度升高、降水增多趋势。根据对敦德冰芯和古里雅冰芯的研究提出,小冰期以来发生过 3 次明显的变冷时期和明显的变暖时期,认为这和中国西部地区普遍存在的小冰期以来的 3 道冰碛垄是互相印证的。同时发现古里雅冰芯记录的去 2ka 的气候事件与中国东部近 2ka 以来许多气候事件是同时以至同年代出现的。但也有差异存在。如“中世纪暖期”在中国东部表现明显,而在这两冰芯记录中并不显著。小冰期以来的 3 次冷暖变化,虽然在敦德冰芯和古里雅冰芯记录及中国东部地区都有反映,但冷暖出现的时间和各次冷暖期的气候变化幅度是不同的。在这两冰芯记录中,位相差异和变幅差异也是十分明显的。如 3 个冷期中的最冷期,在敦德冰芯记录中出现在 17 世纪,而古里雅冰芯出现在 19 世纪。

(6)揭示了中纬度地区冰芯所记录的甲烷浓度变化特征及其与气候变化的关系^[14,28]。冰芯是记录过去温室气体变化最理想的载体。这一工作过去只限于南极、北极地区。但要研究全球变化的整体特征,中纬度是一个核心链条。青藏高原海拔 7 000 m 处钻取的达索普冰芯为连立这一核心链条提供了契机。研究发现,青藏高原的甲烷浓度变化幅度比极地地区更大。现在的浓度比极地高,但小冰期最冷期,其浓度反比极地低。研究认为季风的强弱变化会对甲烷浓度变化起重要影响。研究发现,温度与甲烷浓度有很好的对应关系,但未发现甲烷浓度变化驱动温度上升的证据。

(7)提出了人类活动对高海拔地区环境污染的高精度研究结果^[29,30]。对达索普冰芯中铅(Pb)记录的研究表明,其铅(Pb)浓度远高于南极冰芯记录,也高于北极冰芯记录,而且近年来其增长速率也大于两极冰芯记录。认为这是由于南亚和东南亚工业污染排放所导致的。对达索普冰芯有机化合物的研究,也说明处于 7 200 m 的高海拔地区已受到人类活动的污染。其污染源是海湾战争期间科威特燃烧产生的烟尘和印度汽车尾气排放的扩散。

(8)通过冰芯研究,提示了冰芯记录与印度夏季

降水变化的关系,建立了长系列的季风降水变化主要是受海洋过程控制的。而在敦德冰芯,降水记录与温度有很好的正相关关系。

基于我国的西部大开发战略和我们关于西部气候环境演化研究程度的深入程度,我们认为未来近期内亟待研究的三个科学问题是:

第一个科学问题:中国季风气候区与西风带的气候变化特征、机制及其相互作用问题。中国季风气候与西风带气候的相互作用是中国西部气候环境变化的直接驱动力。但我们对这一问题的认识十分有限。

第二个科学问题:人类活动与环境的相互作用问题。我国西部地区的环境变化主要是受全球变化大背景的驱动,但人为活动的影响不可忽视。随着工业革命的进一步发展,人为活动对环境的影响也在逐步加深。只有将影响环境的自然与人为因素进行整体研究,对环境长期演变过程中的重大自然事件和人为事件、特别是灾害事件进行剖析,才有可能对西部环境变化的特征、机制和未来趋势作出正确的评价。

第三个科学问题:中低纬度地区、特别是青藏高原在全球变化中的作用问题。在两极冰芯记录中,一些大的气候突变事件发生时,南极和北极气候冷暖变化呈现明显的“跷跷板”效应。这里就提出了一个问题,这一“跷跷板”的支点在什么位置,该位置处的气候又是如何变化的。过去人们比较多地把研究这一现象的焦点放在北大西洋地区。随着研究的不断深入,目前科学家们越来越相信中低纬度地区特别是青藏高原的作用以前被忽略了。因此,这个地区的研究工作会显得越来越重要。

参 考 文 献

- [1] Yao T et al. Trends and features of climatic changes in the past 5000 years redorded by the Dunde ice core. *Annals of Glaciology*, 1992, 16: 21—24.
- [2] Yao T et al. Temperature and precipitation fluctuations since 1600 A. D. provided by the Dunde Ice Cap, China, *IAHS Publ.* 1991, 208: 61—70.
- [3] Yao T et al. Climatic Change since the Little Ice Age as recorded in the Dunde Ice Cap. *Science in China*, 1991, 34: 760—767.
- [4] Thompson L G, Mosley-Thompson E, Davis M et al. Holocene—Pleistocene climate ice core record from Qinghai-Tibetan. *Science*, 1989, 246: 474—477.
- [5] Yao T et al. Climatic changes since the Last Interglacial recorded in the Guliya ice core. *Science in China (series D)*, 1997, 40: 662—668.
- [6] Yao T et al. Climatic variations since the Little Ice Age recorded in the

- Guliya Ice Core. *Science in China*, 1996, **39**(6): 588—596.
- [7] Yao T et al. Variations in temperature and precipitation in the past 2000a on the Xizang (Tibet) Plateau - Guliya ice core record. *Science in China*, 1996, **39**:426—433.
- [8] Yao T et al. Climate and environment records in Guliya Ice Cap. *Science in China*, 1995, **38**: 228—237.
- [9] Thompson L G, Yao T et al. Tropical climate instability: the last glacial cycle from Qinghai-Tibetan Plateau. *Science*, 1997, **276**: 1 821—1 825.
- [10] 姚檀栋. 7000m 处冰芯的初步研究. *科学通报*, 1998, **43**(8): 811—812.
- [11] Yao Tandong, Pu Jianchen, Wang Ninlian et al. A new type of ice formation zone found in the Himalayas. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44**(5): 469—473.
- [12] 姚檀栋, 段克芹, 田立德等. 达索普冰芯积累量记录和过去 400 年来印度夏季风降水变化. *中国科学*, 2000, **30**(6): 619—627.
- [13] Thompson L G, Yao T, E. Mosley-thompson et al. A High-Resolution Millennial Record of the South Asian Monsoon from Himalayan Ice Cores. *Science*, 2000, **289**:1 916—1 919.
- [14] 徐柏青, 姚檀栋. 达索普冰芯记录的过去 2 来大气中甲烷浓度的变化. *中国科学*, 2001, **31**(1): 54—58.
- [15] Yao Tandong, Valerie Masson, Jean Jouzel et al. Relationships between $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Surface Air Temperature in the Urumqi River Basin, East Tianshan Mountains, China. *Geophysical Research Letter*, 1999, **26**(23): 3 473—3 476.
- [16] Yao T et al. Climatological significance of $\delta^{18}\text{O}$ in north Tibetan ice cores. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(D23): 29 531—29 537.
- [17] Yao Tandong, Liu Xiaodong, Wang Ninglian et al. Amplitude of climatic changes in Qinghai-Tibetan Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(13): 1 236—1 243.
- [18] 姚檀栋, Thompson L G. 敦德冰芯记录与过去 5 ka 温度变化. *中国科学(B 辑)*, 1992, (10): 1 089—1 093.
- [19] Yao Tandong. High-resolution climatic record from Tibetan ice cores. In: *Interactions between the cryosphere, climate and greenhouse gases*, IAHS, Publ. 1999, **256**, 227—234.
- [20] Yao T et al. Variations in temperature and precipitation in the past 2000 years on the Tibetan plateau-Guliya Ice core record. *Sciences in China*, 1997, **39**: 425—433.
- [21] 姚檀栋, 杨志红, 焦克勤等. 2 ka 来高分辨率的连续气候环境变化记录——古里雅冰芯近 2 ka 记录初步研究. *科学通报*, 1996, **41**: 1 103—1 106.
- [22] Shi Yafeng, Yao Tandong, Yang Bao. Decadal climatic variations recorded in Guliya ice core and comparison with the historical documentary data from East China during the last 2000 years. *Science in China (Series D)*, 1999, **42**: 91—100.
- [23] Yao T et al. High resolution record of paleo-climate since the Little Ice Age from the Tibetan ice cores. *Quaternary International*, 1997, **37**: 19—23.
- [24] Yao T et al. Climatic variations since the Little Ice Age recorded in the Guliya Ice Core. *Science in China*, 1996, **39**(6): 588—596.
- [25] Yao T et al. Climatic Change since the Little Ice Age as recorded in the Dunde Ice Cap. *Science in China*, 1991, **34**: 760—767.
- [26] Yao T et al. Recent warming as recorded in the Qinghai-Tibetan cryosphere. *Annals of Glaciology*, 1995, **21**: 196—200.
- [27] 徐柏青, 姚檀栋. 达索普冰芯记录的过去 2 来大气中甲烷浓度的变化. *中国科学*, 2001, **31**(1): 54—58.
- [28] Xu Baiqing, Yao Tandong, Tian Lide. Chappellaz Variation of CH_4 concentrations recorded in Dunde ice core bubbles. *Chinese Science Bulletin* 1999, **44**(4): 383—384.
- [29] Xie Shucheng, Yao Tandong, Kang bichang et al. Geochemical analyses of a Himalayan snowpit profile: implications for atmospheric pollution and climate. *Organic Geochemistry*, 2000, **31**: 15—23.
- [30] 霍文冕, 姚檀栋, 李月芳. 7000m 处冰芯中 Pb 记录的人类活动污染. *科学通报*, 1999, **44**(9): 978—981.

A BRIEF INTRODUCTION TO THE STUDY ON THE ICE CORE OF QINGHAI TIBET PLATEAU

Yao Tandong

(Careeri Chinese Academy of Sciences , Lanzhou 730000)

Key words A brief introduction, study on the ice core Qinghai Tibet plateau