

敦德冰芯*记录与过去5 ka 温度变化**

姚檀栋

L. G. Thompson

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)(美国俄亥俄州立大学伯德极地研究中心)

摘 要

本文基于敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 的实验室资料, 首次讨论了中国西部地区 5 ka 时间尺度上的气候变化. 讨论结果表明, 距今 3 ka 左右是过去 5 ka 中气候变化的一个界限: 在此之前, 以温暖气候为主, 在此以后, 气候趋于变冷. 在过去 5 ka 中最寒冷期是 1000a.A.D 左右, 而不是小冰期. 敦德冰芯中 13 世纪左右暖期的记录是西部地区的首次发现. 敦德冰芯记录还发现“隋唐温暖期”在这个地区是以寒冷气候为特征的. 此外, 敦德冰芯记录与竺可桢温度曲线, 北半球温度变化具有广泛一致性.

关键词 $\delta^{18}\text{O}$ 、5 ka 温度变化、气候事件比较

自从竺可桢的研究工作^[1]以后, 中国过去 5 ka 来温度变化一直为许多学者所关注. 近年来, 张德二^[2]等人基于历史文献记录建立了中国东部过去 500a 来高分辨率的温度变化序列^[3]. 近年来刚刚兴起的冰芯气候学研究, 使我们有可能对更长时间序列的古温度记录进行高分辨率的研究. 本文将根据敦德冰帽(图 1)资料探讨过去近 5 ka 来中国温度变化的一些特征.

一、敦德冰芯所记录的过去 5 ka 来的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化

敦德冰帽(图 1)位于中国西部祁连山($38^{\circ}06'\text{N}$, $96^{\circ}24'\text{E}$), 海拔 5325m. 冰帽面积 57km^2 . 1987 年测得 10m 处年平均冰温为 -7.3°C , 冰帽底部温度为 -4.7°C , 年平均积累量在 400mm 左右, 是进行冰芯研究比较理想的地区.

合适的时间模型是建立冰芯各种信息

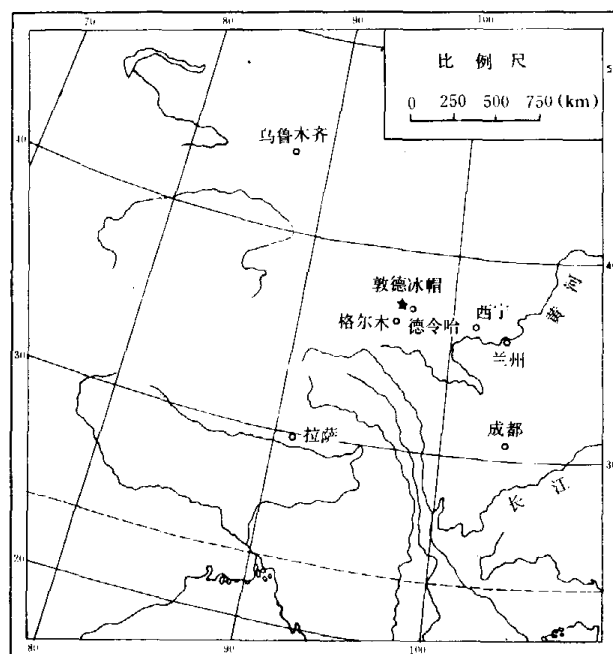


图 1 敦德冰帽位置图

1991-03-07 收稿, 1991-11-11 收修改稿

* 冰芯一词以前称“冰岩芯”, 根据许多专家学者的意见, 本文改称“冰芯”, 特此说明

** 国家自然科学基金资助项目

序列的基础。敦德冰芯时间模型的建立在文献[4,5]中已有详尽的讨论,本文不再赘述。

图2表示敦德冰芯中过去5 ka(2800aB.C.—1986aA.D.)的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录。图2中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值是先取10a平均值、再取10点滑动平均值。从图1可见,敦德冰帽中过去5 ka的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化是十分明显的。敦德冰芯中的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录可以划分成4级:和最暖期相对应的 $\delta^{18}\text{O}$ 极高值期;和暖期对应的 $\delta^{18}\text{O}$ 高值期;和冷期相对应的 $\delta^{18}\text{O}$ 低值期;和最冷期相对应的 $\delta^{18}\text{O}$ 极低值期。

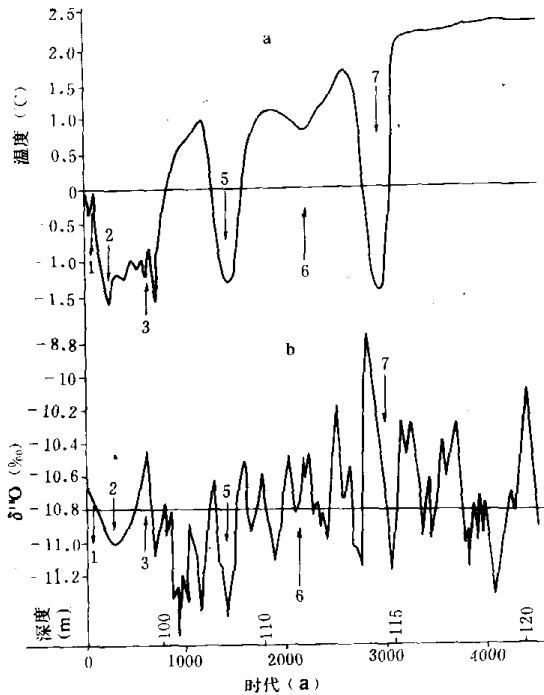


图2 敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录(b)和竺可桢古温度曲线(a)

假如把 $\delta^{18}\text{O}$ 高值期解释为暖期而将 $\delta^{18}\text{O}$ 低值期解释为冷期,那么过去5ka中的最暖期分别为现代;700—1700aB.C.(即3600—3600aB.P.),这段时间 $\delta^{18}\text{O}$ 的100a平均值为 -10.3‰ (10a平均值可高达 -8.37‰);2200—2450aB.C.(即4000—4200aB.P.).敦德冰芯记录表明,现代温暖程度十分接近3kaB.P.时的温暖程度,但仍比3kaB.P.前略冷。同过去5 ka中的其它冷期相比,小冰期并不是最冷时期,而只是距今最近的一次冷期。

从敦德冰芯记录可以看出,3 kaB.P.是一个界限。这个时期以高温为特征。以3kaB.P.为界,前期和后期的温度变化趋势明显不同。3kaB.P.前,以变暖趋势为主,而3kaB.P.以后,以变冷趋势为主。在1kaA.D.左右,变冷过程到了顶点。在这以后,虽然出现了小冰期,但气候在冷暖波动中趋于变暖。以5—3kaB.P.左右为中心,前后约1 ka的时间一直维持高温气候。即使在这1 ka中的某些相对寒冷阶段,平均温度仍高于过去5 ka的平均值。但3 kaB.P.以后,气候明显变冷。虽然出现了一些温暖期,但时间很短,增温幅度很小。

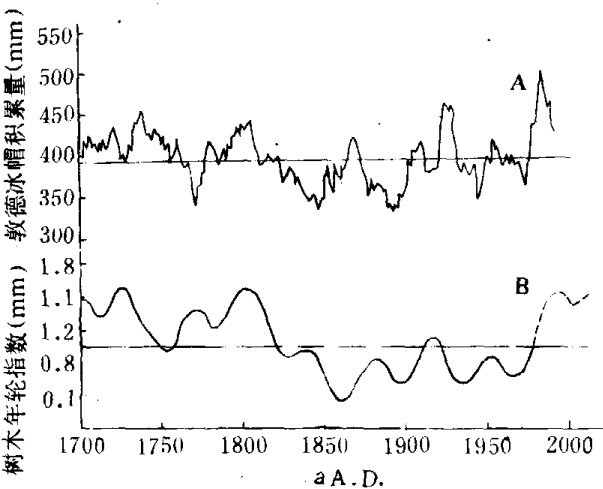


图3 敦德冰芯积累量记录和祁连山树木年轮记录

许多研究证实,竺可桢建立的古温度曲线基本上可以代表中国东部的温度变化。因此比较一下敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录和竺可桢的古温度曲线,对认识中国大范围气候变化是有意义的。为了进行下面的比较,这里需要事先说明一下,文献[6]已就敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录同附近的气象记录进行了比较,发现冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录能较好地反映气象记录结果。此外,敦德冰芯中的积累量记录与祁连山树木年轮记录十分一致(图3)。这至少说明敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录在这个地区是有代表性的。

二、敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与竺可桢古温度线的比较

将敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与竺可桢古温度曲线作一比较,可以发现以下几个特征:

1. 这两个记录反映了几个主要气候事件相似的温度变化趋势:从3kaB.P.开始,气候趋

于变冷并伴随着许多波动,在 1000a.A.D. 左右,达到最冷. 1000a.A.D. 以后,虽然还出现过一次冷期(小冰期)但总的趋势是在变暖,现在的气候已接近 3kaB.P. 前的温暖程度.

敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录所反映的 3kaB.P. 开始的明显降温,也存在于竺可桢的古温度曲线中. 差别仅在于这两个记录所反映的降温幅度不同.

特别值得指出的是,敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录和竺可桢古温度曲线所反映的重大气候事件可以相互映证. 在敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录中,过去 5 ka 来的最暖期是 800aB.C.. 根据竺可桢研究,《左传》和《易经》都记录了这个时期竹子、梅等亚热带植物北移到温带的事实. 敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录所反映的另外一个重要气候事件是从 9 世纪到 12 世纪的寒冷期. 从最暖的 800a.A.D. 到最冷的 1000a.A.D., $\delta^{18}\text{O}$ 值从 -10.2‰ 减小到 -11.3‰ , 下降了 1.1‰ . 据竺可桢研究,竹子、梅等亚热带植物此时在黄河中下游消失,这与敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录所反映的冷期是一致的(表 1).

表 1 敦德冰芯中的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录和中国东部物候事件的比较

物候事件(据竺可桢)		$\delta^{18}\text{O}$ 记录(敦德冰芯)	
时间	物候事件	时间	$\delta^{18}\text{O}$ 记录(‰)
366a.A.D.	渤海湾连续三年封冻	366a.A.D.	$\delta^{18}\text{O}$ 值低
110a.A.D.	在黄河中下游沿岸,用竹子编筐(竹子意味温暖气候).	110a.A.D.	$\delta^{18}\text{O}$ 值极高
960—1279a.A.D.	在黄河中下游,梅花消失.	960—1279a.A.D.	$\delta^{18}\text{O}$ 值极低
289—372a.A.D.	在山东省可种双季稻(而现在不可能)	289—372a.A.D.	$\delta^{18}\text{O}$ 值比现在高
770aB.C.	温暖气候	770aB.C.	$\delta^{18}\text{O}$ 值极高
903—907aB.C.	汉水封冻	903—907aB.C.	$\delta^{18}\text{O}$ 值低
安阳文化期	温暖气候	安阳文化期	3 kaB.P. 前的 $\delta^{18}\text{O}$ 高期值

2. 由于历史资料的限制,敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录所反映的许多温度波动的细节,在竺可桢的温度曲线上是找不到的,有的甚至是相悖的. 一个十分明显的例子是在 700a.A.D. 左右在敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录中是一冷期,而在竺可桢古温度曲线上为一暖期,亦即“隋唐温暖期”. 复旦大学中国历史地理研究所的满志敏^[7] 最近专门研究了中国唐代气候特征,他认为支持“隋唐温暖期”的 6 条文献证据是不成立的,中国历史气候中不存在“隋唐温暖期”. 根据他的研究,8 世纪纪至 10 世纪的大部分时期,中国气候比现代寒冷. 另一个例子是在 13 世纪左右,敦德冰芯记录了一次明显的升温过程,而在竺可桢温度曲线上,没有明显地显示出这一特征. 而满志敏等^[8] 不久前在中国东部历史文献的研究中也发现了这一暖期.

3. 在 0.5ka 时间尺度上,敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 反映的温度变化与中国东部的温度变化^[7] 存在明显的位相差异. 根据我们的研究,自从 1400a.A.D. 以来,出现过三个明显的冷期和三个明显的暖期. 三个冷期分别出现在 15 世纪、17 世纪和 19 世纪. 三个暖期分别出现在 16 世纪、18 世纪和 20 世纪. 三次冷期的寒冷程度各不相同. 最寒冷期是在 17 世纪. 寒冷程度最轻的是在 19 世纪. 从过去 0.5ka 的气候过程看,温暖的程度是在逐渐加强. 从 19 世纪末开始,温度急剧上升. 过去 0.5ka 中,敦德冰芯记录与上海冬温记录^[2] 基本一致. 唯一的差异是敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录反映的气候变化早于上海冬温反映的气候变化,通常早 10—20 a. 汤懋苍^[9] 在研究中也发现了中国东西部气候变化的这种差异,并由此认为,青藏高原可能是气候变化的启动区.

4. 过去 0.5ka 来气候变化的一个重要特征是 $\delta^{18}\text{O}$ 的变幅在 0.5ka 的时间尺度上和 5ka 的时间尺度上大不相同. 在 0.5ka 时间尺度上, $\delta^{18}\text{O}$ 高值是 -8.9‰ (1980—1986A.D. 的平均值), $\delta^{18}\text{O}$ 低值是 -11.8‰ (1600—1610aA.D. 平均值), 其变化幅度为 -2.9‰ . 在 5ka 时间尺度上, $\delta^{18}\text{O}$ 高值为 -8.73‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 低值为 -14.01‰ , 其变化幅度为 -6.28‰ .

5. 长期以来, 人们大多认为在过去的 5ka 里, 3kaB.P. 前一直为温暖气候所控制. 但敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录表明, 5—3kaB.P. 前, 气候的冷暖波动也颇为频繁. 实际上, 这期间相当一段时间是由寒冷气候所控制的.

三、敦德冰芯记录与北半球气候变化

Johnes 等^[10] 根据气象仪器观测资料建立了北半球温度系列, 这样我们可以将敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与北半球温度记录的变化趋势进行比较. 图 4 表明, 敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的趋势同北半球温度记录的趋势基本吻合.

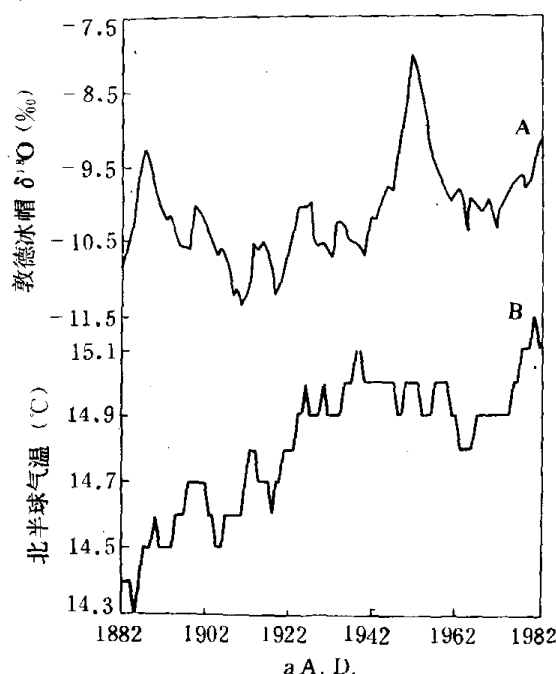


图 4 敦德冰芯氧同位素记录和北半球温度记录

在北极和南极, 都已建立了冰芯同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 记录. 考虑到敦德冰芯的地理位置, 将敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与北极地区冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录进行比较更合逻辑. 因此本研究选北极格陵兰世纪营地冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录作比较.

Dansgaard^[11] 建立了世纪营地冰芯过去 0.1Ma 来详细的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录. 但已发表的资料只有从 1200aA.D. 以来的 $\delta^{18}\text{O}$ 资料最详细, 可以与敦德冰芯资料比较. 图 5 表明, 这两个冰芯所记录的自从 1200aA.D. 以来的 $\delta^{18}\text{O}$ 长期变化趋势基本一致. 根据这两个冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化, 可对过去 0.8ka 气候变化趋势给出如下简单图式: 在 13 世纪中期温度开始上升并于 1370—1380aA.D. 间达到最暖. 然后温度持续下降并于 1400aA.D. 左右进入过去 0.5ka 来的第一次冷期. 经过一短暂的温度回升以后, 在大约 1500aA.D. 左右发生了另一次强烈的温度下降. 随后出现的温暖期没有维持很长时间, 就发生了大约在 1600aA.D. 左右开始的过去 0.5ka 来的最冷期. 1700—1800aA.D., 是一个相对温暖的时期. 但这时气候冷暖波动仍十分频繁. 且气候波动幅度很大. 发生于 1850—1860aA.D. 的冷期是这两个冰芯中最后一次明显的冷期. 在这次冷期以后, 两个冰芯中都记录了强烈升温趋势.

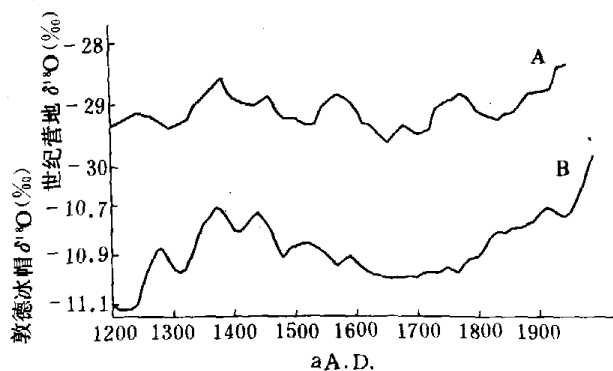


图 5 敦德冰芯和格陵兰世纪营地冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的比较

四、结 论

敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录表明,在过去 5ka 气候中,发生过明显的冷暖波动. 3kaB.P. 左右是一重要的界限. 在此之前,温度以上升为主要趋势. 并在 3kaB.P. 左右达到最暖期. 在 3kaB.P. 以后,温度明显下降,并在 1000aA.D. 左右达到最冷. 自那以后,温度又在逐渐上升. 现在已接近 3kaB.P. 左右暖期时的温暖程度. 从敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录看,在不同的时间尺度上,气候变化特征大不一样. 在 ka 时间尺度上,反映气候冷暖变化的 $\delta^{18}\text{O}$ 的变幅达 -6.28‰ . 而在 0.5ka 时间尺度上, $\delta^{18}\text{O}$ 的变幅为 -2.9‰ . 在 0.5ka 时间尺度上,以 17 世纪为中心的小冰期是最寒冷的,而在 5ka 时间尺度上,小冰期并不是最冷的,只是距今最近的一次冷期.

敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与其它地区各种记录比较发现,敦德冰芯记录所反映的温度变化与中国东部乃至北半球的温度变化趋势是相似的,这就是说敦德冰芯记录将为全球变化研究提供重要依据.

致谢 施雅风先生惠阅全文,并提出宝贵修改意见. 谢超同志进行计算机资料处理及绘图,金正妹同志帮助绘图,在此一并感谢.

参 考 文 献

- [1] 竺可桢,中国科学,1973,2: 418.
- [2] 张德二,中国气候变化学术会议论文集,科学出版社,1978,64—70.
- [3] Thompson, L. G. et al., *Science*, **246** (1989), 474—477.
- [4] 谢自楚等,第四纪研究,1989,2: 135—142.
- [5] 姚檀栋等,中国科学B 辑,1990,11: 1196—1200.
- [6] 姚檀栋等,中国西部第四纪冰川与环境,科学出版社,1990,24—32.
- [7] 满志敏,中国气候与海面变化研究进展(一),海洋出版社,1990,22—23.
- [8] 满志敏,中国气候与海面变化研究进展(一),海洋出版社,1990,17—19.
- [9] 汤懋苍等,高原气象,1984,3: 21—33.
- [10] Johnes, P. D. et al., *Nature*, **322** (1986), 430—434.
- [11] Dansgaard, W. et al., *Science*, **165** (1969), 561—578.