

文章编号: 1000-0240(2002)05-0484-08

南极地区数百年来气候变化的冰芯记录对比研究

任贾文, 秦大河, 效存德, 孙俊英, 李忠勤, 张明军

(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)

摘 要: 随着国际横穿南极科学考察计划的实施, 近年来开展了沿中山站—Dome A 考察路线的冰芯研究, 获得了伊丽莎白公主地 250 a 来气候环境变化的高分辨率记录. 通过与 Lambert 冰川流域西侧有关研究结果的对比, 揭示了该冰川谷地为东南极洲重要气候分界线的特征. 综合南极地区其它地点冰芯记录和冰盖变化研究结果, 发现以小冰期为代表的寒冷期在东南极洲较为明显, 在西南极洲则不明显, 甚或恰好相反, 表现为温暖阶段. 就东南极洲来说, 也存在明显的区域差异: 以 Lambert 冰川谷地为界, 东部地区, 如 Wilkes Land (Law Dome), Victoria Land 北部(Hercules Neve)等地, 小冰期冷期比较突出; 西部地区, 如 Dronning Maud Land 和 Mizuho 高原, 情况不是很明确. Lambert 冰川流域是非常特殊的地方, 虽然小冰期冷期也存在, 但 1850 年前后的显著高温和近 100 多年来的降温与南极洲其它地方都不一样, 而与南极半岛北侧一冰芯所给出的 400 a 温度变化记录极为相似, 我们尚不能解释为何如此遥远的两个地点具有很好的一致性而与其它地方则不一致.

关键词: 气候变化; 冰芯记录; 南极地区; Lambert 冰川

中图分类号: P467(166.1) **文献标识码:** A

1 引言

极地地区是地球上的气候敏感区, 因而通过各种途径研究极地地区气候环境变化成为全球变化研究的重要内容. 由于与其它类型的气候环境记录相比, 冰芯记录具有保真度好、信息量大、分辨率高等独特优势, 通过冰芯研究恢复重建极地地区气候环境变化历史倍受重视.

就南极地区冰芯气候环境记录研究来说, 深冰芯长时间尺度的记录特别突出, 尤其是东南极高原 Vostok 冰芯记录更成为地球古气候古环境记录的经典范例. 20 世纪 80 年代该冰芯研究给出了近 160 ka BP 以来气候和环境变化序列^[1~3]. 90 年代该冰芯钻取深度超过了 3 600 m, 时间尺度达 420 ka BP^[4]. 相比而言, 浅冰芯研究较为逊色, 其原因在于短时间尺度冰芯记录必须在一个区域内有多支冰芯进行对比才能揭示一个区域的特征, 而且还应当配合区域综合考察研究. 过去几十年, 虽然在南

极地区许多地点钻取过几十米至上百米冰芯, 但对面积近 $14 \times 10^6 \text{ km}^2$ 之巨的南极冰盖来说是很不够的, 以致于关于南极地区短时间尺度(几十年至上千年)气候变化的区域特征不太明确. 近 10 a 来, 国际横穿南极科学考察计划(ITASE)的实施为全面了解南极冰盖现代气候特征提供了契机. 该计划的核心内容之一是沿纵横交叉横穿南极大陆的路线通过大量浅冰芯研究, 查明 200 a 来南极地区气候环境变化的详细特征和区域差异^[5~6].

中国积极参与 ITASE 的制订, 并承担从中山站到 Dome A 区域的考察. 1997 年以来, 已经通过 4 次考察到达距中山站 1 100 km、海拔 3 900 m 的东南极高原腹地. 沿该考察路线, 在 5 个地点钻取了 50~100 m 深度的冰芯, 使我们有可能揭示伊丽莎白公主地数百年至上千年气候环境变化^[7~10]. 本研究以中山站—Dome A 断面冰芯研究结果为基础, 综合东南极冰盖其它区域(如 Wilkes Land, Dronning Maud Land 等)的冰芯记录, 讨论东南极

收稿日期: 2002-06-02; 修订日期: 2002-08-02

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX2-303); 科技部国际合作重点项目(2001CB711003); 社会公益项目(2001D1A50040); 国家自然科学基金项目(49971021)资助

作者简介: 任贾文(1955—), 男, 甘肃华亭人, 研究员, 1983 年在中国科学院兰州冰川冻土研究所获硕士学位. 现主要从事现代冰川与气候环境变化研究. E-mail: jwren@ns.lzb.ac.cn

洲数百年来气候的变化。

2 野外工作及冰芯分析

中山站—Dome A 考察断面位于 Lambert 冰川东侧、伊丽莎白公主地西部区域, 从中山站向 Dome A 方向大致沿 77° E 经线延伸。沿该断面, 1996/1997、1997/1998 和 1998/1999 年度连续进行了 3 次考察, 第 1 次考察到达最远点为 DT001, 距中山站约 300 km, 第 2 次将考察路线延伸至 DT085, 距中山站 464 km, 第 3 次考察最远点为 DT416, 距中山站 1 128 km。在这 3 次考察中, 分别在 DT001、DT085、DT263 和 DT401 等 4 个地点钻取了 50~100 m 深度的冰芯。2001/2002 年度又进行了一次短距离内陆考察, 在 LGB69 处钻取了 100 m 冰芯。

冰芯从钻孔提取出来后, 在现场进行几何测量和简单描述, 然后密封于塑料筒袋装箱保存并保持冷冻状态运输到国内相关实验室。

在洁净低温室(-10°C 以下)内首先对冰芯进行详细的可见地层学剖面观测和密度测量, 然后根据分析内容进行样品分割, 冰芯切样竖向间距一般为 3 cm。在这 3 cm 段内, 外层部分为稳定同位素样品, 里面部分为化学分析样品, 主要用于阴离子和阳离子分析。尽管对采样器具、服装、面具、手套等进行了净化处理, 在对每一段冰芯采样中还是加进几个空白样品(对用超纯水冻结的冰柱进行切割采样)以便检验采样过程的污染情况。

样品装入净化塑料瓶后密封冷冻保存, 检测分析前放在净化室内让其自然融化。

稳定同位素分析内容为 $\delta^{18}\text{O}$, 所用仪器为 MAT-252 和 Delta-plus 气体稳定同位素质谱仪, 用“标准平均大洋水(SMOW)”进行标定, 精度在 $\pm 5\%$ 以内。

阴离子和阳离子浓度测试分别在 Dionex-100 和 Dionex-300 离子色谱仪上进行, 最低检测限均为 $1 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。阴离子分析内容主要有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等, 阳离子主要有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 等。

所有样品处理和测试分析均在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所(原兰州冰川冻土研究所)冰芯与寒区环境重点实验室进行。

3 伊丽莎白公主地 250 a 来气候环境记录

截止目前, 前述冰芯中 DT001 和 DT085 的各

项分析已全部完成, 其它冰芯的实验测试仍在进行中。DT001 和 DT085 冰芯时间尺度达 250 a 以上。通过对比分析 $\delta^{18}\text{O}$ 和阴、阳离子剖面, 发现 $\delta^{18}\text{O}$ 的季节变化在数十米深度上已有相当程度的平滑, 而某些阴、阳离子则保持的很好, 认为用 Cl^- 、 Na^+ 和 NO_3^- 浓度剖面综合分析确定年代比较可靠^[1]。最近, 应用可见地层剖面分析对 DT001 冰芯定年给出的结果与离子浓度剖面定年结果极为吻合, 250 a 中仅相差 3 a(温家洪, 私人交流)。其次, 将火山喷发记录与该冰芯离子浓度定年结果进行对比, 也显示出了非常好的一致性^[2]。

图 1 展示了 DT001 冰芯 250 a 来 $\delta^{18}\text{O}$ 和积累率逐年变化, DT085 冰芯分析结果与此相似。众所周知, 南极地区冰芯中稳定同位素与温度有非常好的线性相关关系, 因而 $\delta^{18}\text{O}$ 可作为温度的替代指标, 而降水量则由积累率来代表。所以, 从图 1 可清楚地看出过去 250 a 来温度和降水的变化情况。就温度变化来说, 过去 250 a 可明显地分为两个阶段: 以 1860 年为界, 以前为明显升温期, 以后为明显降温期, 尽管最近几十年温度有所上升。降水则在 250 a 中呈持续缓慢增加趋势, 如果仔细考查的话, 1860 年以前积累率增加较为明显, 1860 年以后基本没有多大变化, 但似乎略有减小。分阶段研究表明, 1860 年以前积累率的平均变化为 $0.2823 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 1860 年以来为 $-0.0129 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。如果进一步详细查看的话, 可以发现, 温度

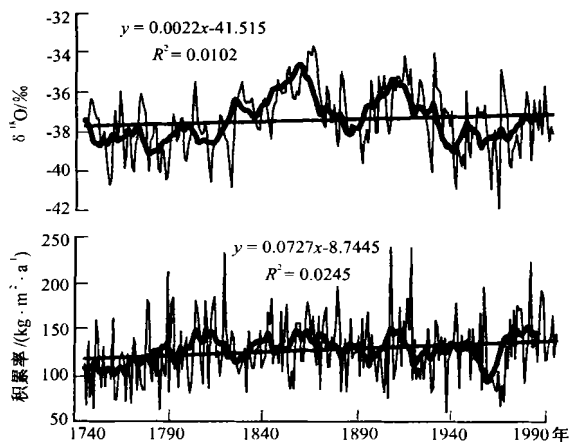


图 1 伊丽莎白公主地 DT001 冰芯 1745—1996 年 $\delta^{18}\text{O}$ 和积累速率变化曲线

细曲线为年平均值; 粗曲线为 11 a 滑动平均值; 直线为一元线性回归曲线, 公式为回归公式

Fig. 1 Variations of $\delta^{18}\text{O}$ and the accumulation rate from 1745 to 1996 derived from the DT001 Core in the Princess Elizabeth Land

表 1 DT001 冰芯不同时期 $\delta^{18}\text{O}$ 和积累率的平均值
Table 1 Average values of $\delta^{18}\text{O}$ and the accumulation rate in DT001 Core for various periods

年份	$\delta^{18}\text{O}$ / ‰	积累率 / (kg·m ⁻² ·a ⁻¹)
1941—1996	− 38. 14	132
1891—1940	− 36. 69	127
1841—1890	− 36. 25	136
1791—1840	− 37. 77	130
1745—1790	− 39. 16	112
1745—1996	− 37. 44	127

和降水变化的趋势具有一致性，即温度升高伴随降水增大，温度降低伴随降水减少，但不同时期的变化幅度不同. 表 1 列举了 DT001 冰芯不同阶段 $\delta^{18}\text{O}$ 和积累率的平均值. 从该表中可以看出，1745—1790 年的 $\delta^{18}\text{O}$ 和积累率都是 250 a 来的最低值，最为特殊的是 20 世纪 40 年代以来， $\delta^{18}\text{O}$ 低于 250 a 来的平均值，而积累率却高于 250 a 来的平均值.

分析图 1，我们可以看出，过去 250 a 间温度和降水的最高值出现在 1860 年左右，近几十年来温度和降水虽然明显升高，但还未达到那时的水平. 这种结果与东南极洲其它区域的冰芯记录极为不同，下面我们将对此进行讨论.

4 南极其它区域冰芯记录对比

4.1 几十年时间尺度的气候变化

南极地区几十年时间尺度的浅冰芯研究结果比较多，尤其是在一个区域的路线考察中可获得多支浅冰芯. 根据这些浅冰芯研究，可以明确一个区域近几十年来的气候变化特征. 通过对比中山站—Dome A 断面和 Lambert 冰川西侧内陆考察路线上浅冰芯研究结果^[13~16]，我们发现，Lambert 冰川流域东侧和西侧近几十年来气候变化显著不同：东侧区域(如上所述)温度和降水都呈明显上升趋势，西侧区域降水为下降，温度变化趋势则不明确.

如果范围扩大，进一步向东到 Wilkes Land 等地区，向西到 Dronning Maud Land 等地区(图 2，表 2)，我们发现东部地区(如 Wilkes Land 等)为温度升高、降水增加；西部地区(如 Dronning Maud Land 等)降水明显减小，温度变化则不确定：靠近 Lambert 冰川，温度略有下降或没有变化，离 Lambert 冰川较远，则呈升高趋势. 也就是说，以 Lambert 冰川谷地为界的气候差异在很大范围都存在，可认为 Lambert 冰川谷地是东南极洲重要的气候分界线.

表 2 东南极冰盖不同区域冰芯近几十年积累率和 $\delta^{18}\text{O}$ 的年变化速率

Table 2 Annual change rates of the accumulation rate and $\delta^{18}\text{O}$ in past decades derived from the cores drilled at different sites in East Antarctic Ice Sheet

雪芯	讨论的上部 年层数/a	积累率平均年变化 / (kg·m ⁻² ·a ⁻¹)	$\delta^{18}\text{O}$ 平均年 变化/ (‰·a ⁻¹)
GC30	31	+ 2. 36	+ 0. 02
GD03	55	+ 1. 61	+ 0. 02
GD15	50	+ 1. 17	+ 0. 02
DT001	56	+ 0. 34	+ 0. 02
DT085	57	+ 1. 21	+ 0. 02
Core E	51	− 0. 01	+ 0. 04
DM L05	56	− 0. 02	+ 0. 03
W200	40	− 1. 66	− 0. 03(最大值曲线) − 0. 06(最小值曲线)
LGB16	53	− 0. 73	− 0. 01
MGA	52	− 2. 36	~ 0

注：“+”表示增长，“−”表示减小，其中 W200 分别给出了重复测试最大值和最小值曲线的变化速率^[17].

4.2 百年时间尺度的气候变化

相对来说，南极地区数百年时间尺度的冰芯记录比较零星. 在几个比较著名的深冰芯研究地点，如 Vostok, Byrd, Dome C 和 Dome F 等，由于研究重点是长时间尺度，关于数百年高分辨率记录的报道甚少. 截止目前，除南极半岛外，南极冰盖上数百年时间尺度冰芯记录主要有：南极点、Dome C、Siple 站、Law Dome、Mizuho 站、Filchner - Ronne 冰架 T340、Dronning Maud Land (DML)、Northern Victoria Land (NVL). 这些冰芯钻取的基本情况为：Siple 站(77°55′ S, 84°15′ W；海拔 1 054 m)，位于南极半岛东侧大陆性气候与西侧海洋性气候之间的过渡带，1985/1986 年度钻取冰芯 302 m，时间尺度 550 a^[18]；南极点(90° S；海拔 2 835 m)，1974 年钻取 101 m 冰芯，时间尺度 911 a^[19]，后来还曾有过通过几十米冰芯研究获得几十年至百年气候变化记录的报道^[20, 21]；Dome C(124°10′ S, 74°39′ W；海拔 3 420 m)，1977/1978 和 1978/1979 年度钻取两支数百米深度冰芯，对最上部 100 m 较详细的分析，获得了 2 500 a 高分辨率气候记录^[22]，但只有近 1 000 a 来的结果最为详细可靠；T340(78°60′ S, 55° W；)，位于 Filchner - Ronne 冰架，1984 年钻取了 1 支 100 m 浅芯，时间

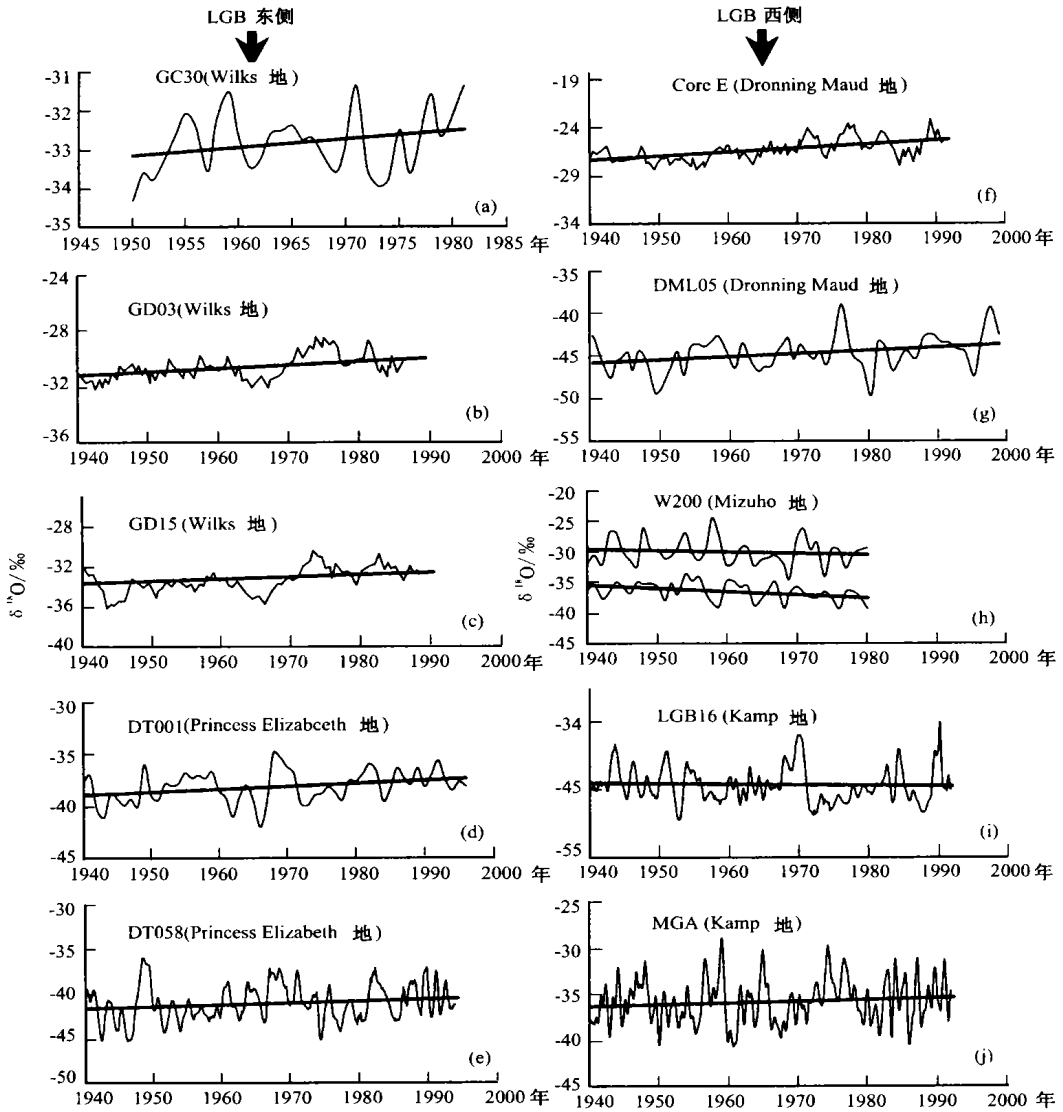


图2 东南极冰盖 Lambert 冰川以东和以西冰芯记录 显示的近几十年来温度($\delta^{18}\text{O}$)变化
Fig. 2 Comparison of temperature ($\delta^{18}\text{O}$) variations in past decades derived from
cores in east and west of the Lambert Glacier in East Antarctic Ice Sheet

尺度 520 a, 底部年龄 A.D. 1460 年^[23]; Law Dome (66°44' S, 112°50' W; 海拔1 390 m), 1977 年在顶部获取了一支 473 m 浅芯^[24], 20 世纪 80 年代末, 在 Law Dome 顶部附近钻取了两支浅冰芯(DSS 和 DE08), 时间尺度分别为 180 a 和 150 a^[25]; Mizuho (70°42' S, 44°20' W; 海拔2 230m), 于 1970—1976 年间钻取了 1 支 150 m 的浅芯^[26], 由于该地点位于强下降风带, 且仅用 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面与其它地区进行对比定年(同位素季节变化显示不出来), 年代序列不够准确; DML, 1997/1998 年度在 300 km 范围内的 3 个地点钻取冰芯: B31(75°34.9' S, 3°25.8' W, 海拔2 669 m), B32(75°00.1' S, 0°00.4' E, 海拔2 882 m), B33(75°10.0' S, 6°29.9' E, 海拔3 160

m), 深度分别为 115.1、149.9 和 130.5 m, 底部年龄分别为 1 536 a、1 885 a 和 2 142 a, 通过阴、阳离子分析, 恢复了积累率变化记录^[27]; NVL, 1994/1995 年在 Victoria Land 的北部 Hercules Neve 高原(内陆1 000 km, 海拔2 960 m)钻取了一支 42.2 m 长的冰芯, 年龄 222 a^[28].
Mosley - Thompson^[14] 曾详细研究了 Siple 站冰芯记录, 并与南极点、Mizuho、T340 等冰芯记录进行了对比. 图 3 展示了 Siple, T340, Mizuho, Law Dome 和南极点冰芯研究给出的 1500—1985 年 $\delta^{18}\text{O}$ 变化. 由于这一时段在地球上曾普遍出现了被称为“小冰期”(LIA)的最近一次冷事件, 图 3 中还将南美洲秘鲁安第斯山 Quelccay a 冰芯记录也

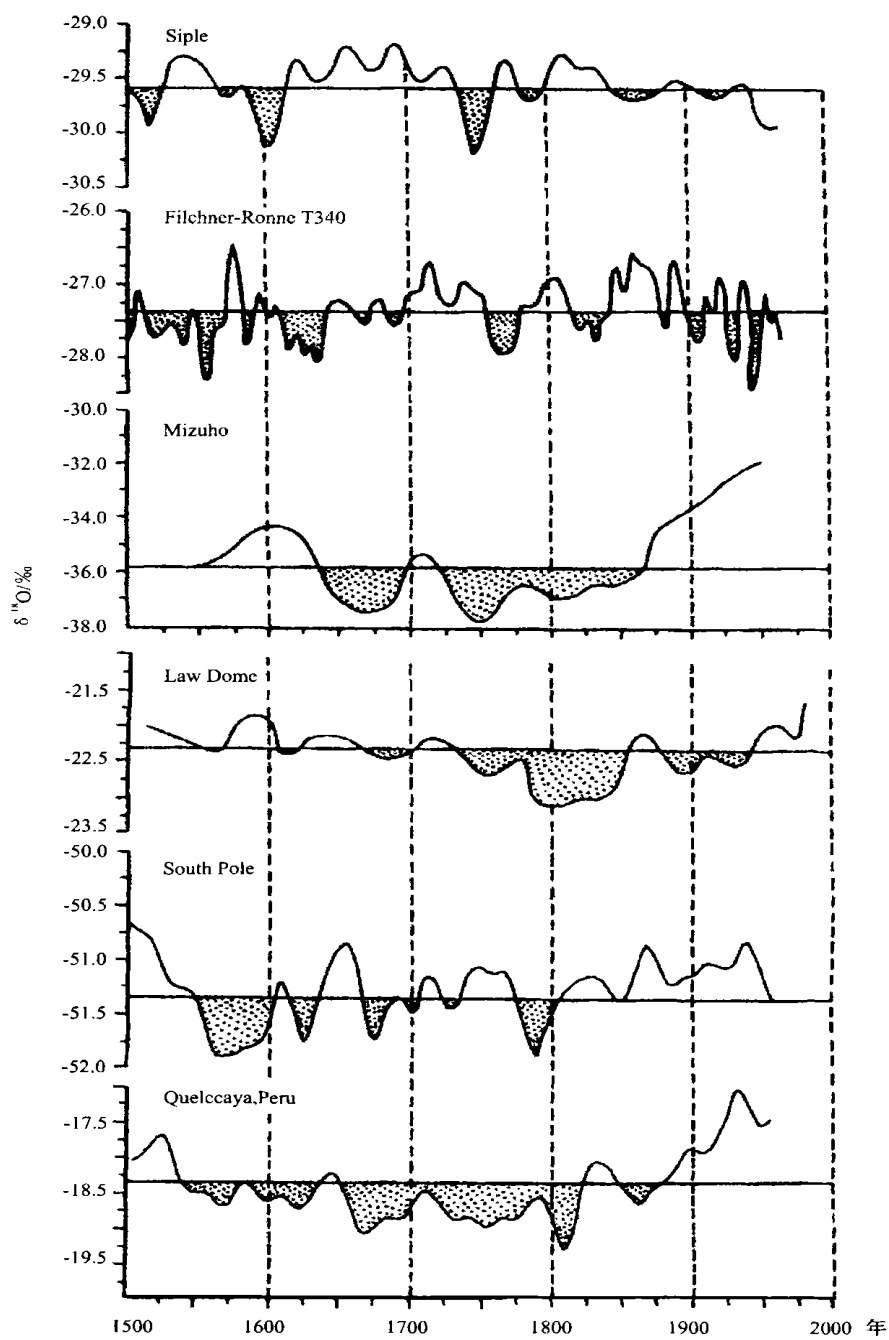


图3 南极冰盖 Siple、T340、Mizuho、Law Dome 和南极点冰芯及南美洲 Quelccaya 冰芯记录中 1500—1985 年 $\delta^{18}\text{O}$ 变化^[14]

Fig. 3 The Antarctic isotope records for the period of 1500—1985; Siple, T340, Mizuho, Law Dome and South Pole. A comparable record of Quelccaya Ice Core in South America is included^[14]

纳入其中进行对比。

从图3中可以看出几个明显特征：首先，从16世纪到19世纪中期，东南极冰芯（Law Dome、Mizuho、南极点）显示为冷阶段，西南极冰芯（Siple）则显示为暖阶段或冷暖不明显（T340）；自19世纪后期以来，东南极表现为升温，西南极则正好相反，温度呈下降趋势。南美洲冰芯记录与东南极

的基本一致，说明东南极和西南极在百年尺度气候变化上是非常不同的两个区域，而且东南极的气候变化顺应全球普遍性。

其次，就东南极或西南极来说，不同地点仍有明显差异。例如，在东南极洲，Law Dome 的冷期较短，比较强烈的集中在1800年前后的100多年间；Mizuho 的则出现较早、持续时间较长，大致在

1630—1870 年间, 南极点的则更为特别, 不仅开始和结束的时间更早一些, 大约为 1550—1800 年, 而且在此期间还相间一些升温过程, 以致于似乎为一连串的降温、升温组合, 因而总体来看其寒冷程度比 Law Dome 和 Mizuho 要小. 在西南极洲, Siple 冰芯记录在 1850 年以前基本以温暖为主要特征, 近 100 多年来温度处于下降; T340 冰芯在 1500—1700 年间寒冷占优, 其后一直到 1900 年温暖特征明显, 20 世纪的总趋势是温度下降, 但短期波动很剧烈. 这些现象提示我们, 南极地区百年尺度的气候变化也具有很明显的小区域特征.

如果我们将伊丽莎白公主地、Dronning Maud Land (DML) 和 Victoria Land 北部 (Hercules Neve) 等新近冰芯记录也纳入其中进行对比的话, 则会进一步发现东南极洲百年尺度气候变化的区域复杂性. 从前面对于伊丽莎白公主地 250 a 冰芯记录的介绍中已经看到, 该区域冰芯记录与南极洲其它区域冰芯记录很不相同, 特别是与东南极冰盖其它区域的冰芯所显示的大趋势不一致. DML 三支冰芯的积累率记录表明, 过去几百年甚至近 2 ka 间积累率没有什么变化, 温度变化的分析研究尚未完成^[27]. Hercules Neve 冰芯记录显示, 从 18 世纪中期 (冰芯底部) 到 19 世纪末为寒冷阶段, 其中最寒冷时期在 18 世纪, 进入 20 世纪以来温度不断升高^[28], 与 Law Dome 的较为相似. 而伊丽莎白公主地冰芯则呈现出 18 世纪属于冷期, 19 世纪为显著温暖阶段, 特别是 1860 年前后是最近几百年中的温暖高峰, 这与其它区域差异很大. 另外, 近 100 多年来的降温在东南极其它地区也未发现, 虽然 Lambert 冰川西侧区域近几十年有降温现象, 但在百年时间尺度上惟有伊丽莎白公主地存在降温.

将图 3 中的冰芯记录和伊丽莎白公主地、DML 和 Hercules Neve 冰芯记录一起进行对比, 可得到这样一些看法: 1) 在近几百年中, 以小冰期为代表的寒冷期在东南极洲较为明显, 在西南极洲则不明显, 甚或恰好相反, 表现为温暖阶段. 2) 在东南极洲, 数百年气候变化仍然存在区域差异, 以 Lambert 冰川谷地为界, 东部地区, 如 Wilkes Land (Law Dome), Victoria Land 北部 (Hercules Neve) 等地, 小冰期冷期比较突出; 西部地区, 如 Dronning Maud Land 和 Mizuho 高原, 情况不是很明确. 因为根据其它区域冰芯记录中温度和降水都有很好正相关性这一特征来看, DML 冰芯积累率没有变化意味着温度也不会有显著的变化. Mizuho 冰芯则与东

部地区的有相似之处, 即小冰期寒冷特征比较明显, 尽管时间上有差异. 3) Lambert 冰川流域可能是非常特殊的地方, 虽然小冰期冷期也存在, 但 1850 年前后的显著高温和近 100 多年来的降温不仅与东南极洲其它地方不一样, 也和西南极洲不一样. 东南极洲其它地方近 100 多年来以升温为主, 西南极洲除 Siple 和 T340 冰芯显示近几百年中看不出小冰期寒冷期外, 在南极半岛的其它地点也有类似的冰芯记录. 4) 南极点虽然小冰期寒冷程度不强烈, 但基本趋势与东南极洲的主流较为一致, 而且与南美洲冰芯结果的吻合程度较好, 意味着南极点可能比其它地点更好地反映大尺度气候变化特征.

特别有意思的是, 南极半岛东北侧 James Ross Island 上 154m 冰芯所给出的 400a 稳定同位素记录显示出与伊丽莎白公主地极为相似的特征. 该冰芯钻取地点位于 James Ross 岛冰穹顶部 ($64^{\circ}12'54''S$, $57^{\circ}40'30''W$, 海拔 1 640m), 钻取时间为 1981 年, 根据该冰芯 δD 剖面, 1600—1850 年温度呈波动升高态势, 自 1850 年以来温度持续下降^[29]. 我们尚不能解释为何伊丽莎白公主地与相距非常遥远的南极半岛东北侧有如此的一致性而与其它地方则不一致.

5 结论

沿中山站—Dome A 考察断面的冰芯研究获得了伊丽莎白公主地近 250 a 以来逐年温度和积累率变化序列. 结果表明, 过去 250 a 间温度和降水的最高值出现在 1860 年左右, 近几十年来温度和降水虽然明显升高, 但还未达到那时的水平, 这与东南极洲其它区域的冰芯记录极为不同.

与南极地区其它地点的研究结果对比显示, 在几十年时间尺度上, Lambert 冰川谷地两侧气候变化显著不同: 东侧区域温度和降水都呈明显上升趋势, 西侧区域降水为下降, 温度变化趋势则不明确.

在百年时间尺度上, 以小冰期为代表的寒冷期在东南极洲较为明显, 在西南极洲则不明显, 甚或恰好相反, 表现为温暖阶段; 在东南极洲, 数百年气候变化仍然存在区域差异, 以 Lambert 冰川谷地为界, 东部地区小冰期冷期比较突出, 西部地区情况不是很明确. Lambert 冰川流域是非常特殊的地方, 虽然小冰期冷期也存在, 但 1850 年前后的显著高温和近 100 多年来的降温与南极洲其它地方都不一样. 非常有意思的是南极半岛北侧 James Ross 岛

上一冰芯所给出的 400 a 稳定同位素记录显示出与伊丽莎白公主地极为相似的特征, 我们尚不能解释为何如此遥远的两个地点具有一致性而与其它地方则不一致。

致谢: 本研究中中山站—Dome A 断面考察工作是在国家海洋局极地考察办公室的领导和组织下进行的, 中山站和中国南极考察队给予了大力支持。参加内陆冰盖考察野外工作的人员达 20 多人次, 还有一些人虽未参加野外工作, 但参与了野外工作准备、资料处理、样品分析等工作, 在此难以一一提及, 借此机会向他们表示深切感谢。

参考文献(References):

- [1] Jouzel J, Lorius C, Petit J R, *et al.* Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160 000 years) [J]. *Nature*, 1987, **329**: 403—409.
- [2] Bamola J M, Raynaud D, Korotkevich Y S, *et al.* Vostok ice core provides 160 000-year record of atmospheric CO₂ [J]. *Nature*, 1987, **329**: 409—414.
- [3] Angelis M de, Barkov N I, Petrov V N, *et al.* Aerosol concentrations over the last climatic cycle (160 kyr) from an Antarctic ice core [J]. *Nature*, 1987, **325**: 318—21.
- [4] Petit J R, Jouzel J, Raynaud D, *et al.* Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica [J]. *Nature*, 1999, **399**: 429—436.
- [5] Qin Dahe. A Study of Present Climatic and Environmental Record in the Surface Snow of the Antarctica Sheet [M]. Beijing: Science Press, 1995. 194—199. [秦大河. 南极冰盖表层雪内的物理过程和现代气候及环境记录[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 194—199.]
- [6] Mayewski P A, Goodwin I D. International Trans—Antarctic Scientific Expedition (ITASE). Science and Implementation Plan, 1996 [R]. Durham: University of New Hampshire, 1997. 1—48.
- [7] Ren Jianwen, Qin Dahe, Xiao Cunde. Preliminary results of the inland expeditions along a transect from the Zhongshan Station to Dome A, East Antarctica [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, **23**(1): 51—56. [任贾文, 秦大河, 效存德. 东南极冰盖中山站—Dome A 断面路线考察的初步结果[J]. *冰川冻土*, 2001, **23**(1): 51—56.]
- [8] Wen Jiahong, Kang Jiancheng, Wang Dalu, *et al.* Snow density and stratigraphy at LGB65 in Princess Elizabeth Land, East Antarctica [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, **23**(2): 156—163. [温家洪, 康建成, 汪大立, 等. 东南极伊丽莎白公主地 LGB65 点的雪层密度与剖面特征[J]. *冰川冻土*, 2001, **23**(2): 156—163.]
- [9] Wang Dalu, Kang Jiancheng, Sun Bo, *et al.* Characteristics and implication of microparticle in surface snow samples along a 330 km profile from Zhongshan Station to inland of Antarctica [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(2): 128—134. [汪大立, 康建成, 孙波, 等. 南极中山站至内陆冰盖 330 km 剖面表面雪样微粒分布特征及其意义[J]. *冰川冻土*, 2000, **22**(2): 128—134.]
- [10] Zhang Mingjun, Li Zhongqin, Xiao Cunde, *et al.* Glaciochemistry study on a 50 m firn core in Princess Elizabeth Land, Antarctica [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(1): 79—82. [张明军, 李忠勤, 效存德, 等. 南极伊丽莎白公主地 50 m 雪芯雪冰化学研究[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(1): 79—82.]
- [11] Li Zhongqin, Zhang Mingjun, Qin Dahe, *et al.* Primary research on the seasonal variations of $\delta^{18}\text{O}$, Cl⁻, Na⁺, NO₃⁻ and Ca²⁺ in the snow and firn recovered from Princess Elizabeth Land, Antarctica [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44**(24): 2 270—2 274. [李忠勤, 张明军, 秦大河, 等. 南极洲伊丽莎白公主地区冰雪中 $\delta^{18}\text{O}$, Cl⁻, Na⁺ 和 Ca²⁺ 年层效应初探[J]. *科学通报*, 1999, **44**(19): 2 114—2 117.]
- [12] Zhang Mingjun, Li Zhongqin, Qin Dahe, *et al.* A 250 year record of volcanic activity in Princess Elizabeth Land, Antarctica [J]. *Progress in Natural Science*, **10**(10): 920—924. [张明军, 李忠勤, 秦大河, 等. 南极洲伊丽莎白公主地 250 年来火山活动记录研究[J]. *自然科学进展*, 2000, **10**(10): 920—924.]
- [13] Ren Jianwen, Qin Dahe, Allison I. Variations of snow accumulation and temperature over past decades in the Lambert Glacier basin, East Antarctica [J]. *Annals of Glaciology*, 1999, **29**: 29—32.
- [14] Qin Dahe, Ren Jianwen, Kang Jiancheng, *et al.* Primary results of glaciological studies along an 1100 km transect from Zhongshan Station to Dome A, East Antarctic ice sheet [J]. *Annals of Glaciology*, 2000, **31**: 198—204.
- [15] Xiao Cunde, Ren Jianwen, Qin Dahe, *et al.* Complexity of the climatic regime over the Lambert Glacier basin of the East Antarctic ice sheet: firn-core evidences [J]. *Journal of Glaciology*, 2001, **47**(156): 160—162.
- [16] Ren Jianwen, Xiao Cunde, Qin Dahe. Mass balance in Lambert Glacier basin and variability of the Antarctic ice sheet [J]. *Progress in Natural Science*, **12**(10): 57—63. [任贾文, 效存德, 秦大河. Lambert 冰川流域物质平衡和南极冰盖变化[J]. *自然科学进展*, 2002, **12**(10): 57—63.]
- [17] Xiao Cunde, Qin Dahe, Ren Jianwen, *et al.* Spatial difference in climatic change in coastal region of the East Antarctic ice sheet over past 50 years [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(6): in press. [效存德, 秦大河, 任贾文, 等. 近 50 年来东南极冰盖边缘地区气候变化的空间差异[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(6): 待刊.]
- [18] Mosley—Thompson E. Paleoenvironmental conditions in Antarctic since A. D. 1500: ice core evidence [A]. Bradley R S, Jones P D. Climate since A. D. 1500 [C]. London: Routledge, 1992. 572—591.
- [19] Mosley—Thompson E, Thompson L G. Nine centuries of microparticle deposition at the South Pole [J]. *Quaternary Research*, 1982, **17**: 1—13.
- [20] Jouzel J, Merlivat L, Petit J R, *et al.* Climatic information over the last century deduced from a detailed isotopic record in the South Pole snow [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1983, **88**(C4): 2 693—2 703.
- [21] Mosley—Thompson E, Thompson L G, Paskievitch J F, *et al.* Recent increase in South Pole snow accumulation [J]. *Annals of Glaciology*, 1995, **21**: 131—138.
- [22] Benoit J P, Jouzel J, Lorius C, *et al.* Isotope climatic record over the last 2.5 ka from Dome C, Antarctica [J]. *Annals of Glaciology*, 1982, **3**: 17—22.
- [23] Graf W, Moser H, Oerter H, *et al.* Accumulation and ice core studies on the Filchner—Ronne Ice Shelf, Antarctica [J]. *Annals of Glaciology*, 1988, **11**: 23—31.

[24] Morgan V I. An oxygen isotope-climatic record from Law Dome Antarctica[J] . Climatic Change, 1985, 7 (3): 415—426.

[25] Morgan V I, Goodwin I D, Etheridge D M, *et al.* Evidence from Antarctic ice cores for recent increase in snow accumulation [J] . Nature, 1991, 354: 58—60.

[26] Watanabe O, Kato K, Satow K, *et al.* Stratigraphic analyses of firn and ice at Mizuho Station [J] . Memoirs of the National Institute of Polar Research, 1978, 10(Suppl.): 25—47.

[27] Sommer S, Appenzeller C, Rothlisberger R, *et al.* Glacio—chemical study spanning the past 2 k yr on three ice cores from Dronning Maud Land, Antarctica, 1. Annually resolved accumulation rates [J] . Journal of Geophysical Research, 2000, 105(D24): 29 411—29 421.

[28] Stenni B, Caprioli R, Gimino L, *et al.* 200 years of isotope and chemical records in a firn core from Hercules Neve, northern Victoria Land, Antarctica [J] . Annals of Glaciology, 1999, 29: 106—112.

[29] Aristarain A J, Jouzel J, Lorius C. A 400 years isotope record of the Antarctic Peninsula climate [J] . Geophysical Research. Letters, 1990, 17(2): 2 369—2 372.

Comparison of Ice-core Records of Climatic Change
over Past Centuries in Antarctica

REN Jia-wen, QIN Da-he, XIAO Cun-de, SUN Jun-ying, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun
(Key Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Following the International Trans — Antarctic Scientific Expedition, inland traverses for glaciological investigation have been made along a route from Zhongshan Station to Dome A. The shallow cores drilled during these traverses have revealed a 250 year high-resolution record of climatic change in the west Princess Elizabeth Land, i. e. east side of the Lambert Glacier basin. Comparison with the results in west side of the basin shows that the Lambert Glacier valley is an important boundary of climate in East Antarctica. On the whole Antarctica, the ice-core records indicate that the cold period characterized by the Little Ice Age (LIA) is relatively strong in East Antarctica, while it is weak or even contrary in

West Antarctica. Again in East Antarctica, some differences between east and west of the Lambert Glacier valley can be still seen. In east, such as Wilkes Land (Law Dome) and north Victoria Land (Hercules Neve), the cold period of LIA is striking, but in west, such as Dronning Maud Land and Mizuho Plateau, it is relatively weak. The Lambert Glacier basin is exceptional, where although the LIA cold period exists, a remarkable high temperature stage around 1850 and the temperature decrease since then are very different from other regions in East Antarctica but quite consistent with a 400year record from a core in an island of north Antarctic Peninsula. This is hard to be explained at present.

Key words: climate change; ice-core record; Antarctica; Lambert Glacier