

文章编号: 1000-0240(2003)01-0001-10

冰芯和台站记录的近 50 a 来东南极冰盖边缘地区气候变化格局

效存德, 秦大河, 任贾文, 李忠勤,
张明军, 孙维贞, 王晓香

(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: 对取自东南极冰盖 Lambert 冰流东、西两侧共 10 支雪芯, 恢复了过去 50 a 来稳定同位素温度序列和积累率序列. 对比发现, 位于 Lambert 冰流东侧, 即位于 Wilks 地和 Princess Elizabeth 地的 5 支雪芯(GC30 GD03 GD15, DT001 和 DT085), 过去 50 a 来积累率总体为上升趋势, $\delta^{18}\text{O}$ 上升速率介于 $0.34 \sim 2.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 稳定同位素显示其气温亦呈整体上升趋势, 上升速率介于 $0\text{‰} \sim 0.02\text{‰} \cdot \text{a}^{-1}$. 但对位于 Lambert 冰流西侧, 即位于 Dronning Maud 地、Mizuho 高原和 Kamp 地的 5 支雪芯(Core E, DML05, W200, LGB16 和 MGA), 过去 50 a 来积累率总体为下降趋势, 下降速率介于 $-0.01 \sim -2.36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 稳定同位素温度变化则十分复杂: Dronning Maud 地西侧为上升, Mizuho 高原和 Kamp 地为下降或变化不明显. 分布于 LGB 两侧沿岸气象站记录也印证了上述格局. 这种格局可能是南大洋独特的环流形式—环南极波(ACW)—在特殊地形(如大的冰盆)影响下, 在南极冰盖边缘的表现形式.

关键词: 南极冰盖; Lambert 冰川流域; 雪芯; 环南极波; 气候变化

中图分类号: P343.3(1661.1) **文献标识码:** A

1 引言

20 世纪, 南、北半球的增暖现象同时被观测资料 and 气候模式所证明^[1, 2], 成为公认事实. 尽管如此, 不同研究者在南极冰盖不同地点冰芯中得出的结果却异常矛盾. 比如, 过去几十年多数地点的表面物质积累率为上升趋势^[3~6], 但也有积累率下降的不少报道^[7~11]. 稳定同位素显示气温变化也是各地有升有降^[10, 12~13]. 气温变化的地域差异性不但在冰芯中被发现, 而且也被气象站所记录^[14]. 以往对南极冰盖气候变化地域差异性的轮廓性解释是^[14]: 1) 南半球独特的大气环流模式阻隔了中低纬地区与高纬地区的直接联系, 尤其绕极洋流的阻隔作用使得南北向能量交换较弱, 与全球相比南极地区气候变化具有一定独特性; 2) 由于南大洋各个

扇形区内海冰范围不同, 冰间海域面积及分布迥异, 导致不同扇区海—气—冰相互作用的强度和过程也不同, 所以出现气候变化差异性.

Lambert 冰川流域(以下缩写为 LGB)是东南极冰盖最大的冰盆(图 1), 面积 $1.320 \times 10^3 \text{ km}^2$, 年平均积累量 $87 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 因而是东南极冰盖最大的冰流区. 以 Charles 王子山脉为其轴线, 冰流经 Amery 冰架向 Prydz 湾排泄, 占东南极冰盖物质支出量的 10% ^[15]. 在过去的 10 a 间, 中国科学家先后在 LGB 东、西两侧钻取数支浅冰(雪)芯, 长度在 100 m 以内^[16~18]. 研究发现, 在 LGB 以内仅仅相隔 300~500 km 的东、西侧冰芯记录的气候变化截然相反^[13]. 在本研究中, 我们将研究地域向 LGB 东、西两侧拓展, 以更多浅芯数据及台站气象记录展示东南极冰盖边缘地区过去 50 a 来气候变化格局.

收稿日期: 2002-05-16; 修订日期: 2002-10-22

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-303); 科技部国际合作重点项目(2001CB711003); 科技部社会公益性项目(2001DIA50040); 国家自然科学基金项目(49971021; 40071025)资助

作者简介: 效存德(1969—), 男, 甘肃定西人, 副研究员, 1997 年在中国科学院兰州冰川冻土研究所获理学博士学位, 主要从事冰川与全球变化研究. E-mail: cdxiao@ns.kzb.ac.cn

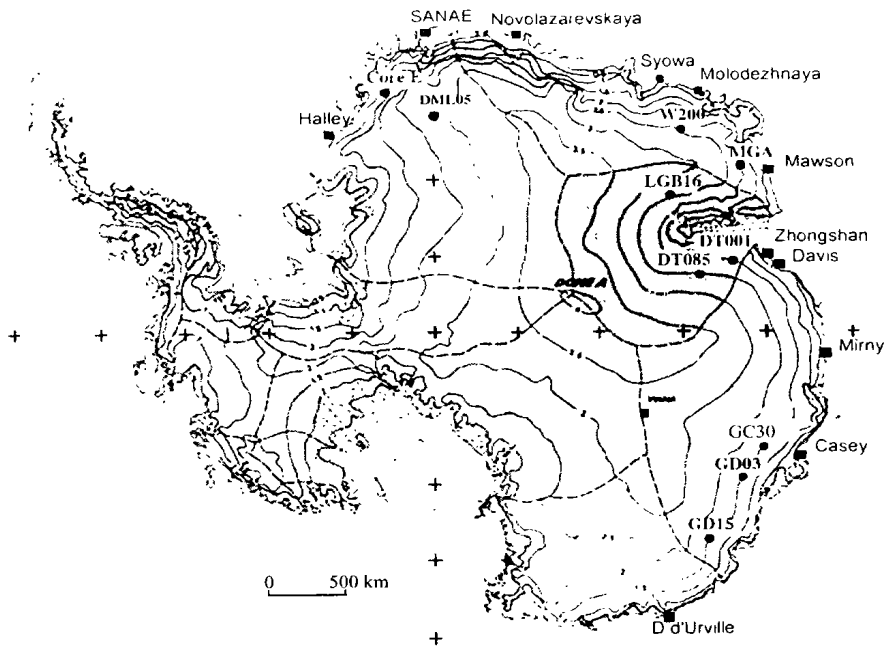


图 1 讨论涉及的南极冰盖雪芯钻取地点(黑点)和气象站(黑方块)位置
阴影部分为 Lambert 冰川流域; 实线为等高线; 虚线为主要的分冰岭

Fig. 1 Map showing the sites of ice cores (dots) and stations (squares) discussed in this paper. Shaded area is the Lambert Glacier Basin (LGB)

2 冰(雪)芯的钻取位置及断代

雪芯 GC30, LGB16, MGA 为中澳科学家合作钻取, DT001 和 DT085 为中国科学家独立钻取, 其余冰芯数据均系引用. 其中 GC30, GD03 和 GD15 位于 Wilks 地, DT001 和 DT085 位于 Princess Elizabeth 地. GC30, GD03, GD15, DT001 和 DT085 均位于 LGB 东侧(表 1). 位于 LGB 轴线以西的 5 支浅芯分别为 LGB16, MGA, W200, DML05 和

Core E, 其中 LGB16 位于 LGB 以内, MGA 位于 Kamp 地, W200 位于 Mizuho 高原, DML05 和 Core E 位于 Donning Maud 地(以下缩写为 DML)西部. 上述 10 支冰(雪)芯均取自东南极冰盖边缘地区, 即大约海拔 3 000 m 以下的地区.

各冰(雪)芯的断代方法和精度估计见表 1. 因上述雪芯钻取地点均位于冰盖边缘, 通常积累率较高, 保证了较高的分辨率, 又因采取综合断代方法和控制措施^[19~26], 可以认为上述雪芯的定年准确.

表 1 讨论涉及的雪芯位置、时间域、资料来源以及 10 支雪芯内记录的约自 1940s 以来积累率和稳定同位素年变化速率
Table 1 The rate of change in accumulation and $\delta^{18}\text{O}$ records in the firn cores located over the coastal regions of east Antarctic ice sheet

名称	地点	海拔/m	讨论的时间域	断代方法	积累率变化 /($\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$)	$\delta^{18}\text{O}$ 变化 /($\text{‰}\cdot\text{a}^{-1}$)	资料来源
GC30	69°21' S, 110°51' E	2 307	1950—1981	$\delta^{18}\text{O}$, β 活化度, 花杆测值	+2.36	+0.02	文献[21]
GD03	69°00' S, 115°30' E	1 835	1940—1985	$\delta^{18}\text{O}$, 物理参考层	+1.61	+0.02	文献[22]
GD15	69°00' S, 130°48' E	2 155	1940—1985	$\delta^{18}\text{O}$, 物理参考层	+1.17	+0.02	文献[22]
DT001	71°53' S, 77°55' E	2 325	1940—1996	Cl^- , Na^+ , NO_3^- , 火山事件	+0.34	+0.02	本研究
DT085	73°22' S, 77°01' E	2 577	1940—1997	$\delta^{18}\text{O}$, Cl^- , Na^+ , NO_3^-	+1.21	+0.02	本研究
Core E	73°36' S, 12°26' W	700	1940—1991	$\delta^{18}\text{O}$, ECM	-0.01	+0.04	文献[12]
DML05	75°00' S, 0°01' E	2 892	1940—1996	$\delta^{18}\text{O}$, ECM, β 活化度, 火山事件	-0.02	+0.03	文献[23]
W200	69°35' S, 48°50' E	2 165	1940—1980	$\delta^{18}\text{O}$, 物理参考层	-1.66	-0.04	文献[24]
LGB16	72°49' S, 57°20' E	2 689	1940—1993	物理参考层, ECM, $\delta^{18}\text{O}$, 花杆测值	-0.73	-0.01	本研究
MGA	68°39' S, 60°15' E	1 830	1940—1992	物理参考层, ECM, $\delta^{18}\text{O}$, 花杆测值	-2.36	~0	本研究

注: “+”为增长; “-”为减小.

因本文讨论的时间范围为 1940—2000 年之间, 对较长雪芯均取上部, 分辨率更高, 这是下文中气候记录精细化研究的基础。

3 台站选取及其气温记录

截止 2000 年, 在南极洲共有 42 个常年站. 本文选取 Davis, Mirny, Casey, D d'Urville, Vostok 以及 Halley, SANAE, Novolazarevskaya, Molodetzhnaya 和 Mawson 共 10 个站(图 1, 表 2), 其中前 5 个位于 LGB 东侧, 后 5 个位于 LGB 西侧. 选取原则是: 1) 具有较长序列的温度记录, 尽量选取 1958 年国际地球物理年(IGY)前后建立的考察站, 所选 10 个台站的起始记录年代介于 1957—1963 年; 2) 选取距离上述雪芯地点最近的台站, 以印证雪芯记录, 上述 10 个台站中有 9 个位于冰盖边缘. 使用位于冰盖高原的 Vostok 站气温记录, 作为内陆冰盖气温变化的参考.

我们仅就气温记录与雪芯研究结果进行讨论, 而不涉及降水. 原因之一是大多数台站没有降水记录, 二是个别台站有降水记录但数据并不可靠, 因为南极边缘风力往往较大, 使得吹雪与降雪难以真正分开.

4 结果与讨论

4.1 雪芯内记录的积累率变化及其趋势

4.1.1 LGB 以东地区

对 10 个雪芯序列以 LGB 为界分为两组讨论. 位于 LGB 东侧的 5 支雪芯自 1940 年以来积累率均呈增长趋势(图 2a~e). Wilks 地 GC30 雪芯因上部 0.87 m 损失, 仅存 1950—1981 年共 32 a 的序列. 32 a 间的平均积累率为 $306.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 年均增长速率为 $+2.36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 积累率的年度变化很大, 如最大值出现在 1976 年, 为 $516.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 是 1971 年最低值 $165.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的 3.1 倍. Wilks 地 GD03 和 GD15 雪芯积累率自 1940 年开始分别以 1.61 和 $1.17 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的速率增长, 其中 1960—1985 年间较平均积累率高 25%, 是该雪芯记录的 1930—1985 年间积累率高值期. Goodwin 认为此高积累期与该时期大气环流形势的改变、进而引起降水的强度和频度增加有关^[27]. 如 1975—1985 年间, 由于 Casey 站北部环南极低压槽, 即($100^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{ E}$)附近的气旋活动加强并有所东移, 导致该时期内 GD03 和 GD15 所在地区的降水明显增大.

过去 50 a 来积累率总体增长的趋势在 Princess Elizabeth 地 DT001 和 DT085 雪芯内同样明显. 增长速率分别为 0.34 和 $1.21 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. 但 20 世纪 60 年代是明显下降的 10 a, DT001 和 DT085 分别下降 70% 和 38.8%. 1980—1990 年是高积累期, DT001 和 DT085 分别上升 19.3% 和 21.0%.

4.1.2 LGB 以西地区

与 LGB 以东地区相反, LGB 以西的 5 支雪芯均记录了自 1940 年以来积累率递减的总趋势(图 2f~j), 以 MGA 处递减率最大, 达 $-2.36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. 事实上, 积累率大范围递减的趋势在 DML 西部从海岸至内陆的一系列雪芯中均得到证实^[11], 它们记录的积累率在 1970—1990 年间递减率达 $-1.4 \sim -2.1 \text{ cm weq} \cdot \text{a}^{-1}$. 此外, 在 DML 以西, 发现积累率的年际变化与附近台站(Halley)记录的气温变化间有良好相关. 与 LGB 东翼正好相反, 位于 LGB 西翼的 LGB16 和 MGA 记录的积累率最低时期为 1980—1990 年, 此间积累率分别下降 11.2% 和 13.7%, 这 20 a 正好是 DT001 和 DT085 雪芯记录的积累率最高期. 其 LGB 西侧积累率下降趋势的原因是: 由于长期盘踞于($62^{\circ} \text{ S}, 85^{\circ} \text{ E}$)附近的气旋活动持续减弱^[25], 造成 LGB 西侧降水强度和频度减小, 积累率下降. 这也与 Wilks 地积累率上升的机理相同.

总之, LGB 两侧积累率变化截然相反, 与邻近海洋大气环流变化有关. 另外, 我们最近研究还发现, LGB 两侧的水汽通量亦截然不同, LGB 西侧通量很小, 且指向北, LGB 东侧通量较大, 指向南. 这说明, 在局地地形影响下, 在 LGB 形成局地环流, LGB 东侧直接接受来自南印度洋的水汽, 而 LGB 西侧则更多地受内陆及 LGB 东侧风力、吹雪的影响, 积累量不完全反映真实的来自海洋的水汽变化. 澳大利亚科学家同样承认有所谓“雨影”(rain shadow)效应^[28].

4.2 雪芯内记录的温度变化及其趋势

以稳定同位素比率($\delta^{18}\text{O}$, δD)与近地面气温之间的经验方程为基础, 通过 $\delta^{18}\text{O}$, δD 变化序列反演过去气温(T)变化, 在南极冰盖得到广泛应用. 但长期研究表明, 在南极冰盖不同地理单元稳定同位素比率与温度的关系有很大不同, 即线性方程的斜率与截距有很大差距, 所以应在实测基础上建立逼近准确的关系方程方可使用. 以下在不同地区建立不同 $\delta-T$ 关系的前提下, 讨论 10 支雪芯所反映的过去 50 a 来的温度变化.

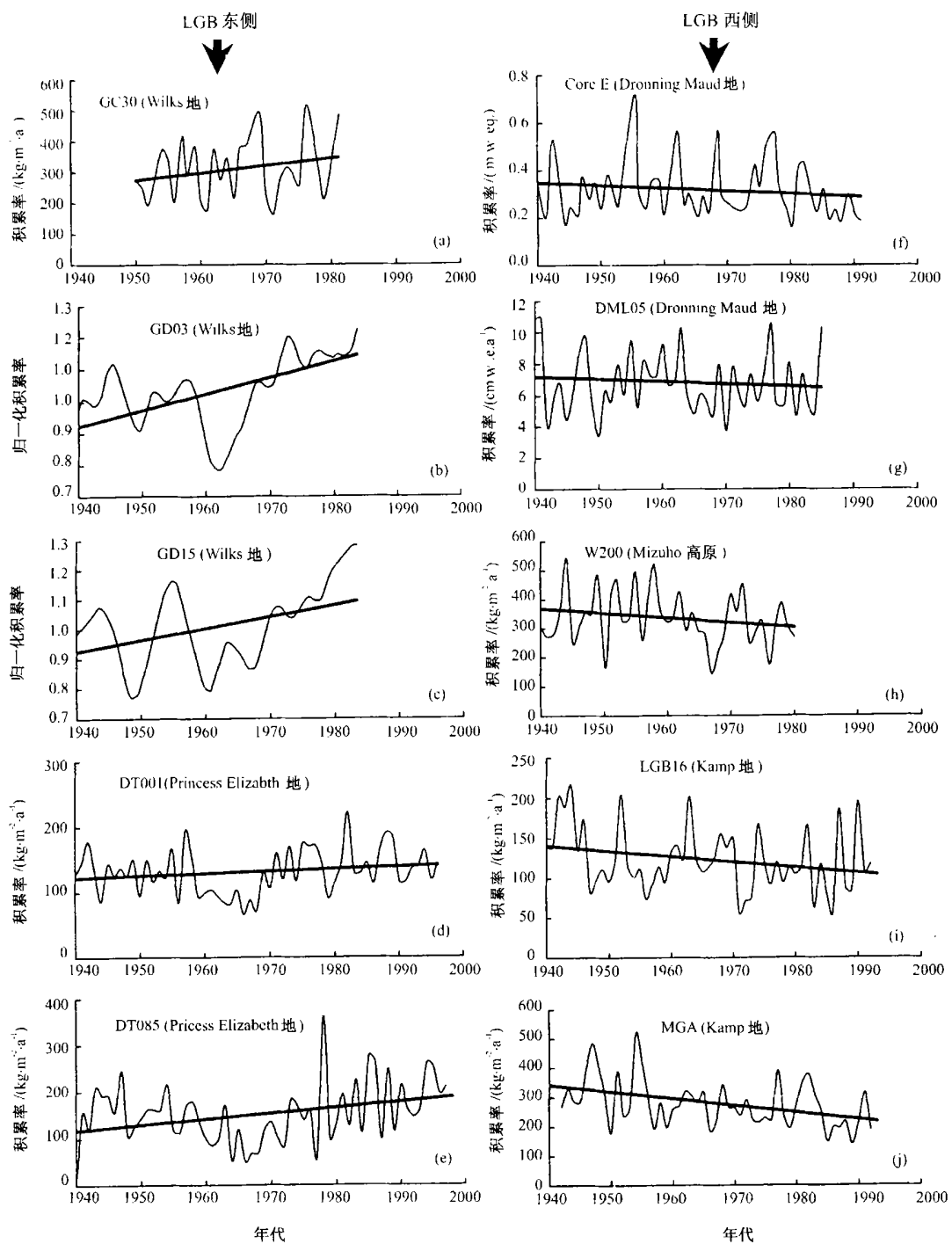


图 2 东南极冰盖边缘地区、LGB 两侧共 10 支雪芯上部记录的自 20 世纪 40 年代以来积累率变化 其中(a)~(e)位于 LGB 东侧; (f)~(j)位于 LGB 西侧。线性拟合显示了变化趋势(资料来源见表 1)

Fig.2 Accumulation rates deduced from the upper sections of the firn cores that extracted from the eastern(a)~(e) and western(f)~(j) LGB

4.2.1 LGB 以东地区

如图 3 所示, 对于 LGB 以东的大片地区, 即 Princess Elizabeth 地和 Wilks 地而言, 过去的半个世纪里整体升温非常明显(图 3(a)~(e)), 但 60 年代期间降温较明显。在 Lorius *et al.* ^[29] 建立的经验方程, 即

$$\delta D = 6.04 T - 51$$

的基础上, 又因为

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$$

由此得到 GC30 处 1950—1981 年间平均温度为 $-33.45^{\circ}C$, 与 1984 年实测的 10 m 深雪层温度(近似为年平均温度为 $-33.6^{\circ}C$)十分接近。1950—

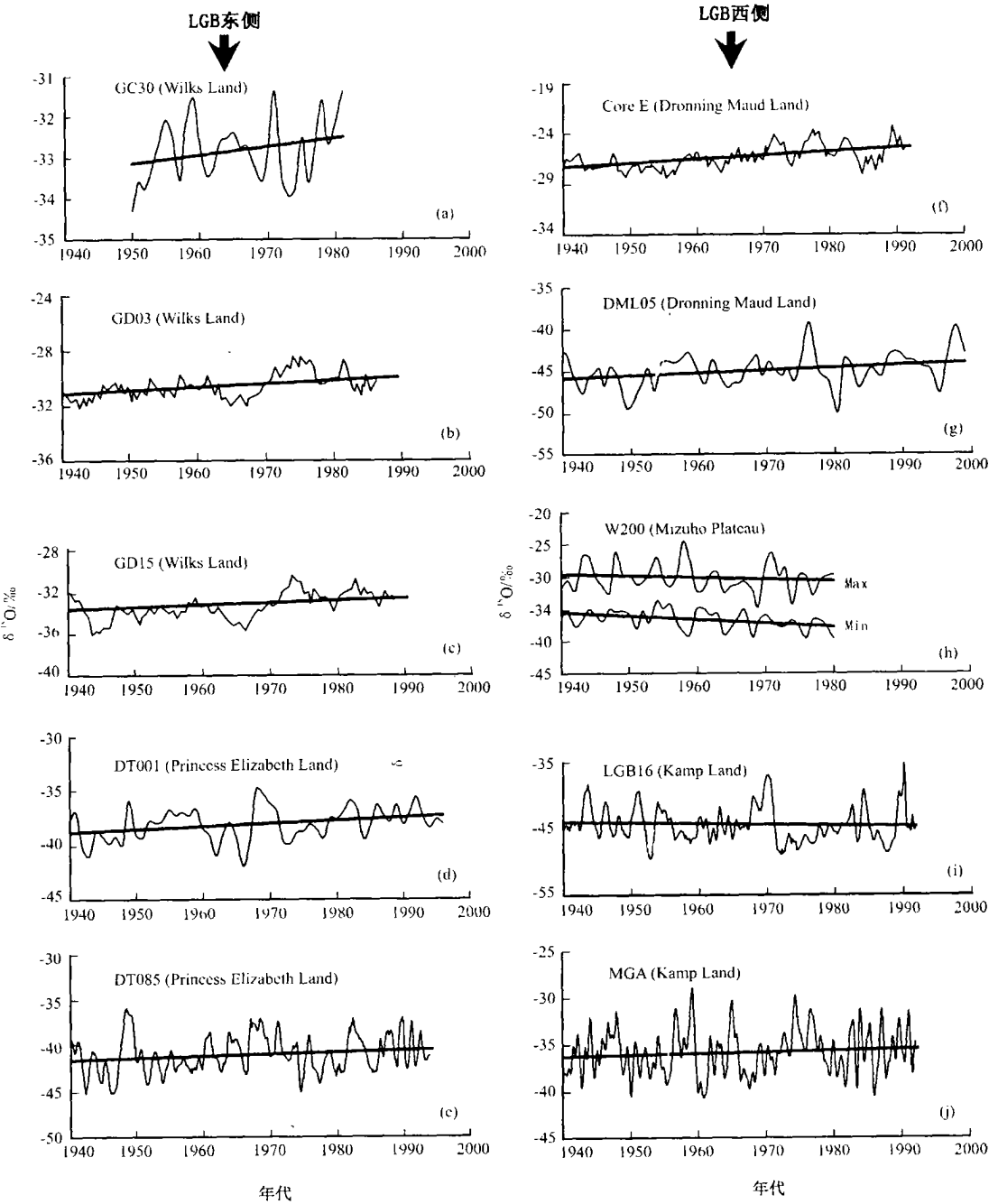


图 3 东南极冰盖边缘地区、LGB 两侧共 10 支雪芯上部记录的自 20 世纪 40 年代以来稳定同位素温度变化 (a) ~ (e) 位于 LGB 东侧; (f) ~ (j) 位于 LGB 西侧. 线性拟合显示了变化趋势

Fig. 3 Isotopic temperature change that recovered in the upper sections of the firm cores extracted from the eastern (a) ~ (e) and western (f) ~ (j) LGB

1981 年间 $\delta^{18}\text{O}$ 的上升速率为 $+0.02\text{‰}\cdot\text{a}^{-1}$.
使用在 Princess Elizabeth 地建立的经验方程^[27], 即

$$\delta^{18}\text{O} = 0.84 T - 10.60$$

则自 1940 年以来 DT001 和 DT085 雪芯内 $\delta^{18}\text{O}$ 的上升转化为温度分别上升了 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. 同样, Wilks 地 GD03 和 GD15 雪芯 $\delta^{18}\text{O}$ 反映的温度上升幅度与

Princess Elizabeth 地的上升幅度十分接近(表 1).

4.2.2 LGB 以西地区

与 LGB 以东地区整体升温不同, LGB 以西不同地区温度变化复杂得多(图 3(f) ~ (j)). 最明显的特点是, 虽然 DML 西部升温且幅度与 LGB 以东地区接近, 但在 Kamp 地和 Miziho 高原温度下降或变化不明显. 基于 DML 西部冰盖边缘建立的 δT 线性方程的斜率

1.16‰℃⁻¹, 得出 1932 年至 1991 年 Core E 处 δ¹⁸O 上升速率为 0.036‰a⁻¹, 转换为温度上升 3.6℃. 同理 DML05 处 δ¹⁸O 上升速率为 0.018‰a⁻¹, 相当于 1932—1996 年间升温 1.8℃. 下文将会看到, 过去 50 a DML 西部地区的升温也被气象站记录所证实. 由此可见, Core E 和 DML05 雪芯显示 DML 西部地区过去 50 a 的气候变化特征是升温伴随着积累率降低. 气温与积累率间的反趋势在南极半岛也有报道^[30], 并对此有两种解释: 一是变暖使冰体运动加快, 冰层减薄, 造成积累率降低的假象; 二是此间水汽来源地发生过大的变化, 因而 δ¹⁸O 初始值可能不同. Isaksson *et al.*^[12] 推测 DML 西部地区气温与积累率反趋势的可能原因是: 1) 积累率测量可能有误差; 2) 降雪及其稳定同位素比率存在季节性差异; 3) 冰盖边缘气旋路径发生过改变.

与 DML 西部明显不同, 在 Kamp 地和 Mizuho 高原, 降温伴随着积累率减小. 采用在 LGB 西侧建立的 δ¹⁸O-*T* 关系方程^[27]:

$$\delta^{18}\text{O} = 0.60T - 15.08,$$

得出自 20 世纪 40 年代以来, LGB16 和 MGA 气温分别降低了一 2.9℃和约 0℃, 即 LGB16 处明显降温而 MGA 处无明显变化. Mizuho 高原的 W200 处, 无论是 δ¹⁸O 的最大值曲线还是最小值曲线, 均显示过去几十年的降温十分明显^[24].

由此看来, Kamp 地和 Mizuho 高原以气温与积累率同时降低为特征, 是东南极冰盖气候变化的独特地理单元. 对此的解释有三: 1) 位于 (62°S, 85°E) 附近的气旋活动强度和频度减弱^[27], 使得 LGB 西侧南向水汽通量减小; 2) 自 1950 年以来, LGB 西侧风速显著增强, 风速增强可使 δ¹⁸O 的沉积后变化(分馏作用)增强, 表现为 δ¹⁸O 下降; 3) LGB 沿岸由东侧横扫向西的局地环流在过去几十年内可能不断加强. 如果这是事实, 则有利于 LGB 东侧的积累率上升(因为水汽通量向南)和 LGB 西侧的积累率下降(因为水汽通量向北). 由于 LGB 东侧直接受南印度洋的影响, 而南印度洋过去几十年的海表增温已是事实, 所以 LGB 以东地区的增温降温是南大洋影响的直接结果, 而 LGB 西侧因外加地形和局地环流影响, 受海洋的影响可能不是直接的.

4.3 气象站记录的温度变化及其趋势

选择位于 Dronning Maud 地, Kamp 地, Mizuho 高原, Princess Elizabeth 地和 Wilks 地沿岸常年考察站的气象记录, 以印证雪芯记录的温度变化. 位于 LGB 以东气象站, 即 Davis, Mirny, Casey, D d'Urville, 自 20

世纪 50 年代以来均呈升温趋势(图 4), 和内陆 Vostok 站的结果一致. 因此, 台站气象记录很好地印证了雪芯内温度代用指标的记录, 说明 LGB 以东海拔 3 000 m 以下冰盖边缘地区整体升温是毋庸置疑的. 东南极冰盖这一地区的增暖现象极可能与南印度洋澳大利亚扇形区的海表增温相联系, 过去 50 a 来澳大利亚扇形区 SST 迅速上升是公认的事实^[31].

同样, DML 沿岸的 Halley, SANA E 和 Novolazavoskaya 记录了过去数十年的升温, 与其内陆 Core E 和 DML05 反映的趋势也是相符的. 再看 Kamp 地和 Mizuho 高原沿岸的 Mawson 站和 Molodezhnaya 站, 其温度下降趋势也正好与 LGB16 和 MGA 反映的趋势相符.

器测和代用指标都证明, LGB 是东南极气候变化的明显分界线. 表 2 给出了各台站气温记录及其趋势拟合结果.

5 结语

基于一系列雪芯和台站气象记录, 我们绘制了东南极冰盖沿岸过去 50 a 气候变化格局(图 5). 从中可见, LGB 是积累率变化的明显分界, 其东侧 Princess Elizabeth 地和 Wilks 地整体上升, 而西侧 Kamp 地、Mizuho 高原和 DML 整体下降. 稳定同位素指示的气温变化在 LGB 两侧亦明显不同, 东侧整体上升, 西侧靠近 LGB 的 Kamp 地和 Mizuho 高原为下降, 更向西的 DML 又为上升. Mizuho 高原与西部 DML 之间地区积累率如何变化尚不清楚.

表 2 东南极冰盖沿岸常年气象站温度记录及其变化趋势
Table 2 The rate of change in temperature recorded at meteorological stations over the coastal regions of east Antarctic ice sheet, except Vostok which is at the inland of the Antarctica

气象站	记录时间	气温年变化率 /(℃·a ⁻¹)	说明
Davis	1957—1997	+0.004	1964-11—1969-02 中断
Mirny	1956—1996	+0.00	
Vostok	1958—1995	+0.013	1962 和 1994 年 中断
Casey	1957—1997	+0.027	
D d'Urville	1956—1996	+0.012	
Halley Bay	1956—1996	+0.009	
SANA E	1957—1992	+0.023	
Novolazarevskaya	1961—1996	+0.030	
Molodezhnaya	1963—1996	-0.004	
Mawson	1954—1997	-0.010	

注: “+”号表示升温, “-”号表示降温. 其中 Vostok 居东南极内陆高原, 以作参考.

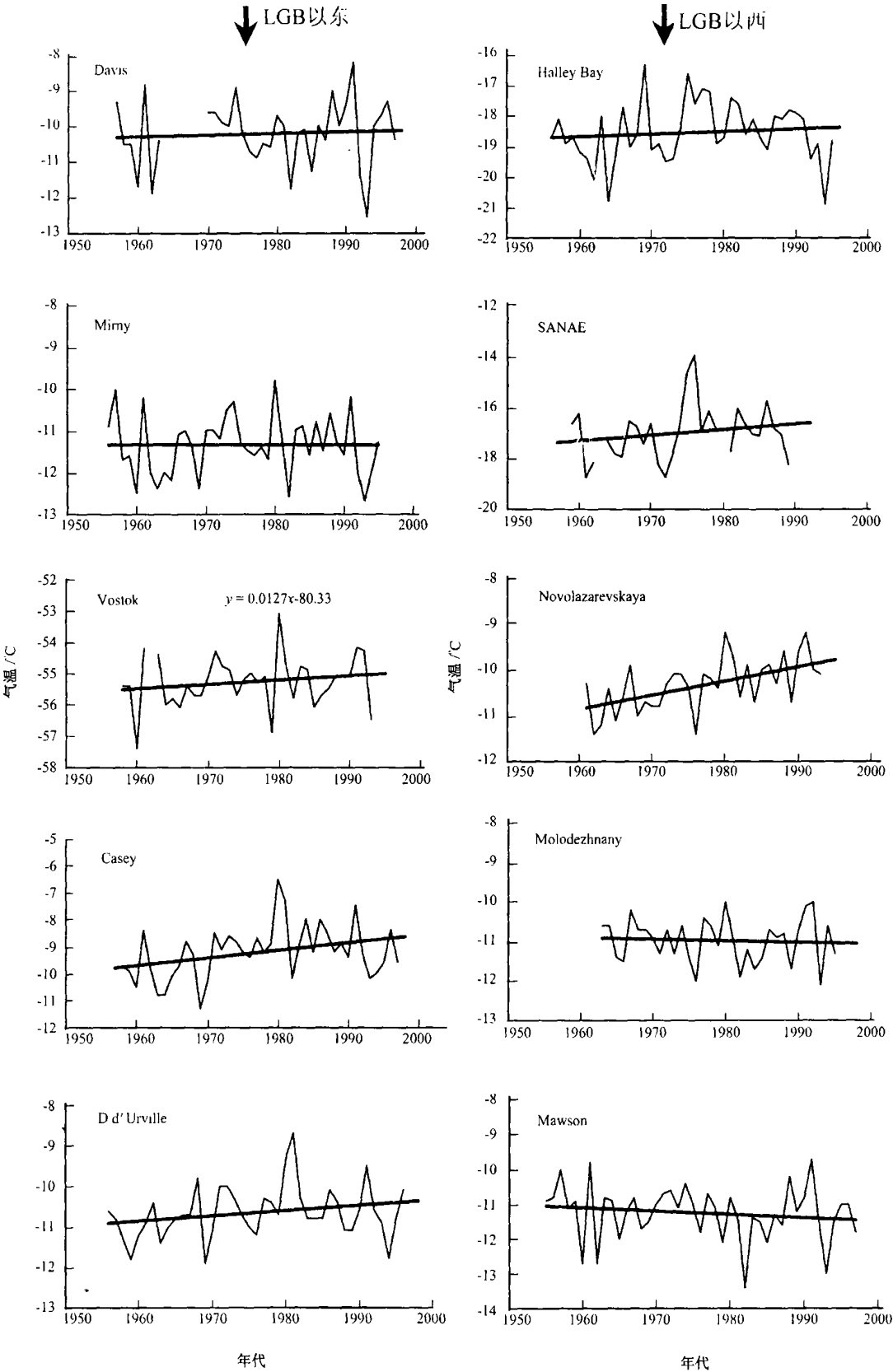


图 4 东南极冰盖边缘地区(Vostok 在内陆高原)、LGB 两侧共 10 个台站记录的自 20 世纪 50~60 年代以来的气温变化
其中左侧 5 个台站位于 LGB 东侧; 右侧 5 个台站位于 LGB 西侧。线性拟合显示了变化趋势(统计资料见表 3)
Fig. 4 Temperature change recorded at the stations of the coastal Antarctic ice sheet

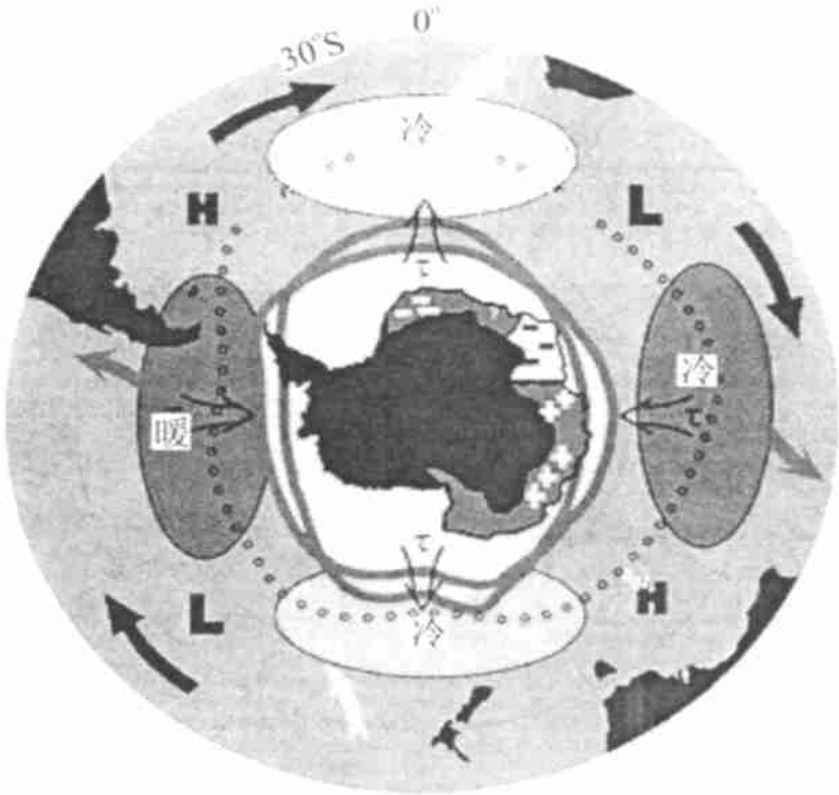


图 5 雪芯和气象站显示的东南极冰盖边缘地区气候变化的分布格局
图中给出的东南极冰盖边缘地区以3 000 m 等高线表示, 在此范围内, 深色区域表示
过去 50 a 增暖; 浅色区域表示过去 50 a 降温. 图中南大洋部分见文献[28]

Fig. 5 The spatial pattern of the climate change over the coastal areas of the east Antarctic ice sheet
deduced from the firn-core and the instrumental records

无独有偶, 最近运用南大洋历史海表温度 (SSTs)模拟南极冰盖气候变化的研究^[32], 得出了与本文的研究十分相似的格局. 这就说明, 东南极冰盖边缘地区的气候变化与南大洋有紧密联系.

过去的几年里, 一种被称为环南极波(ACW)的现象被海洋学家所发现^[33]. ACW 是绕极洋流引发的一种气候异常以顺时针方向环南大洋波动性传递的现象, 这些异常包括海表温度(SSTs), 海面气压(SLP), 经向风速(MWS)和海冰范围(SIE)等. 研究表明, 南半球海气异常, 如 ENSO 可以传递到绕极海流中, 绕极海流携带这种异常环南大洋运动, 从而造成气温、气压等异常在环南大洋海面上交替分布的态势(图 5). 这种态势极可能影响到南极冰盖沿岸, 如上文讨论中谈及的位于(62°S, 85°E)和(100°~110°E)附近的两个气旋中心, 分别对 LGB 以西和以东地区的气候施加了相反的影响. 假设南极冰盖为一规则球冠, 则环南大洋气候异常的分布态势可能传播到环南极冰盖边缘而出现类似的分布, 正由于复杂地形的影响, 使得这种分布变得

不规则. 目前, 从 DT001 冰芯中过去 250 a 来的气候和海盐气溶胶记录中发现的确存在 ACW 信号, 我们期待着更充实的证据以向大家公布.

参考文献(References):

[1] Wu X, Budd W F, Jacka T H. Simulations of south Hemisphere warming and Antarctic sea-ice changes using global climate models [J]. Annals of Glaciology, 1999, 29: 61—65.
[2] Fyfe J C, Boer G J, Flato G M. The Arctic and Antarctic oscillations and their projected changes under global warming [J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26(11): 1 601—1 604.
[3] Peel D A, Mulvaney R. Air temperature and snow accumulation in the Antarctic Peninsula during the past 50 years (Abstract) [J]. Annals of Glaciology, 1988, 11: 207.
[4] Morgan V I, Goodwin I D, Etheridge D M, et al. Evidence from Antarctic ice core for recent increases in snow accumulation [J]. Nature, 1991, 354: 58—60.
[5] Pourchet M, Pinglot F, Lorius C. Some meteorological application of radioactive fallout measurements in Antarctic snow [J]. Journal of Geophysical Research, 1983, 88 (C10): 6 013—6 020.
[6] 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.

- [7] Kamada T, Nakawo M, Mae S, *et al.* Thinning of the ice sheet estimated from total content of ice cores in Mizuho Plateau, East Antarctica [J]. *Annals of Glaciology*, 1990, **14**: 131—135.
- [8] Graf W, Reinwarth O, Oester H, *et al.* Isotopic and stratigraphical interpretation of a 16m firn core nearby Druzhnaya I [A]. Miller H. Filchner Ronne Ice Shelf Programme, Report No. 4 [C]. Bremerhaven: Alfred Wegener Institute, 1990. 46—49.
- [9] Bindshadler R, Vornberger P L, Shabtaie S. The detailed net mass balance of the ice plain on Ice Stream B, Antarctica: a geographic information system approach [J]. *Journal of Glaciology*, 1993, **39**(133): 471—482.
- [10] Ren Jiawen, Qin Dahe, Allison I, *et al.* A study of snow stratigraphy and accumulation rate change in the west part of the Lambert Glacier basin, East Antarctica [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1995, **17**(3): 274—282. [任贾文, 秦大河, I. Allison, 等. 东南极 Lambert 冰川流域西部地区雪层剖面和积累速率变化特征 [J]. *冰川冻土*, 1995, **17**(3): 274—282.]
- [11] Isaksson E, Karén W. Spatial and temporal patterns in snow accumulation, western Dronning Maud Land, Antarctica [J]. *Journal of Glaciology*, 1994, **40**(135): 399—409.
- [12] Isaksson E, Karlén W, Gundestrup N, *et al.* A century of accumulation and temperature changes in Dronning Maud Land, Antarctica [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(D3): 7085—7094.
- [13] Xiao Cunde, Ren Jiawen, 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.
- [14] Jones P D. Recent variations in mean temperature and the diurnal temperature range in the Antarctic [J]. *Geophysical Research Letters*, 1995, **22**(11): 1345—1348.
- [15] Higham M, Craven M. Surface mass balance and snow surface properties from the Lambert Glacier basin traverses 1990—1994 [A]. Antarctic CRC Research Report No. 9 [C]. Hobart: Australian Antarctic CRC, 1997. 1—129.
- [16] Wang Dalì, 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.]
- [17] 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.]
- [18] Ren Jianwen, Qin Dahe, Xiao Cunde, *et al.* Comparison of ice core records of climatic change over past centuries in Antarctica [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(5): 84—491. [任贾文, 秦大河, 效存德, 等. 南极地区数百年来气候变化的冰芯记录对比研究 [J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(5): 484—491.]
- [19] Zhang M J, Li Z Q, Xiao C D, *et al.* A continuous 250-year record of volcanic activity from Princess Elizabeth Land, East Antarctica [J]. *Antarctic Science*, 2002, **14**(1): 55—60.
- [20] Qin D, Ren J, Kang J, *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.
- [21] Qin D, Wang W. The historical climatic records in ice cores from the surface layer of Wilks Land, Antarctica [J]. *Science in China (Series B)*, 1990, **33**(4): 460—466.
- [22] Goodwin I D. Snow accumulation variability from seasonal surface observations and firn-core stratigraphy, eastern Wilks Land, Antarctica [J]. *Journal of Glaciology*, 1991, **37**(127): 383—387.
- [23] Oester H, Graf W, Wilhelms F, *et al.* Accumulation studies on Amundsenisen, Dronning Maud Land, Antarctica, by means of tritium, dielectric profiling and stable isotopic measurements: first results from the 1995—1996 and 1996—97 field seasons [J]. *Annals of Glaciology*, 1999, **29**: 1—9.
- [24] Satow K, Watanabe O. Seasonal variation of oxygen isotopic composition of firn cores in the Antarctic ice sheet [J]. *Annals of Glaciology*, 1990, **14**: 256—260.
- [25] 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.]
- [26] Wen Jiahong, Kang Jiancheng, Wang Dalì, *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.]
- [27] Bromwich D H. Snow fall in high southern latitudes [J]. *Reviews of Geophysics*, 1988, **26**: 149—169.
- [28] Higham M, Craven M, Ruddell A, *et al.* Snow accumulation distribution in the interior of the Lambert Glacier basin, Antarctica [J]. *Annals of Glaciology*, 1997, **25**: 412—417.
- [29] Lorius C, Merlivat L. Distribution of mean surface isotope in East Antarctic: observed changes with depth in a coastal area [J]. *IAHS-AISH Publ.*, 1977, **118**: 127—137.
- [30] Jones P D. Decadal timescale links between Antarctic Peninsula ice core oxygen-18, deuterium and temperature [J]. *The Holocene*, 1993, **3**(1): 14—26.
- [31] Jacka T H, Budd W F. Detection of temperature and sea-ice extent changes in the Antarctic and Southern Ocean, 1949—96 [J]. *Annals of Glaciology*, 1998, **27**: 553—559.
- [32] Schmitt G A, Hoffmann G, Thresher D. Isotopic tracers in coupled models: a new paleo-tool [J]. *PAGES News*, **9**(1): 8—

9.
[33]
White W B Peterson R G. An Antarctic circumpolar wave in

surface pressure, wind, temperature, and sea-ice extent [J] .
Nature, 1996, **380**: 699—702.

Climate Regime of the Coastal Antarctic Ice Sheet over the Past 50 Years
Indicated by the Ice-core and Meteorological Records

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

Abstract: Ten firn cores, in which five locates at the eastern side and another five at the western side of Lambert Glacier basin (LGB), were contrasted for their records of snow accumulation and isotopic temperature for the recent 50 years. It is demonstrated that snow accumulation at the five sites over the eastern side (i. e., GC30, GD03, GD15, DT001 and DT085, which locate at Wilks Land and Princess Elizabeth Land) of LGB increases, whereas those at the western side (i. e., Core E, DML05, W200, LGB16 and MGA, which locate at Dronning Maud Land, Mizuho Plateau and Kamp Land) decreases. For the past decades, the increasing rate at the eastern side was between $0.34 \sim 2.36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, and the decreasing rate at the western side between $-0.01 \sim -2.36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Temperatures at the eastern LGB were also increasing, with the rate around 0.02 a^{-1} . But at the western LGB it was much more complex. Instrumental temperature

records at coastal stations confirm this complexity. Although statistic study and modeling display that both surface temperature and accumulation rate display increasing trends in Antarctic ice sheet for the period 1950—2000, the regional temperature distribution is much different, even converse over in some geographical units. It is believed that the ice-core records at Wilks Land and Princess Elizabeth Land reflect the real variations of sea surface temperature and moisture change in the southern India Ocean. But for the Kamp Land and Dronning Maud Land, varied circulation pattern complexes the climate. The International Trans—Antarctic Scientific Expedition has its initial aim to reveal an overall spatial pattern of climatic change on Antarctic ice sheet for the past 200 years. This study will re—confirms the importance of continental to regional scaled circulation to annual—decadal scaled climatic change in Antarctica.

Key words: Antarctic ice sheet; Lambert Glacier basin; snow core; Antarctic Circumpolar Wave; climate change