

文章编号: 1000-0240 (2002) 01-0079-04

# 南极伊丽莎白公主地 50 m 雪芯雪冰化学研究

张明军<sup>1</sup>, 李忠勤<sup>2</sup>, 效存德<sup>2</sup>, 秦大河<sup>2</sup>, 康建成<sup>3</sup>, 李 军<sup>4</sup>

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国极地研究所, 上海 200129;  
4. Antarctic CRC and Australian Antarctic Division, Hobart 7001, Australia)

**摘 要:** 利用 1996/1997 年度中国首次南极内陆冰盖考察获得的 50 m 雪芯雪冰化学资料, 对南极伊丽莎白公主地 250 a 来的雪冰化学特征进行了初步研究. 结果表明, 3 种海盐离子 ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  和  $\text{Mg}^{2+}$ ) 的变化趋势表现出惊人的相似性, 除个别年份出现高值外, 变化均较为平缓, 总体上呈现出略微上升趋势;  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  的变化更为平缓, 总体变化趋势很不明显; 变化最为剧烈的是  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的变化趋势极为相似, 除变化幅度大外, 总体变化趋势都表现出较为明显的上升趋势,  $\text{SO}_4^{2-}$  最为明显的变化特征是记录了过去 250 a 来的 16 次火山活动.

**关键词:** 伊丽莎白公主地; 雪芯; 雪冰化学; 大气环境

**中图分类号:** P426. 63<sup>+</sup>5 (166. 1) **文献标识码:** A

通过雪冰化学研究揭示大气环境的某些特征是冰雪与全球变化研究的重要内容之一. 南极洲因远离人类正常活动区且被海洋所包围, 再加上极昼和极夜等特殊因素, 使南极地区雪冰中杂质来源和分布较其它大陆相对简单. 因此, 在南极地区进行雪冰化学研究, 以便区分和探明某些物质成分的特殊来源, 如人类活动污染的贡献, 建立雪冰与大气之间某些杂质变化的关系, 为冰芯记录的研究奠定基础, 具有独特的优势和重要意义.

南极地区雪冰化学研究近十多年来发展极为迅速, 既有关于深冰芯的研究 (如 Vostok 冰芯)<sup>[1, 2]</sup>, 又有浅冰芯和雪坑研究<sup>[3~5]</sup>. 但是, 这些研究与南极洲巨大的面积极不相称.

1996/1997 年度中国首次南极内陆冰盖考察期间, 在考察的终点 LGB65 处钻取了两支 50 m 长的雪芯<sup>[6]</sup> (雪芯位置见文献 [7] 的图 1), 本文基于其中一支雪芯雪冰化学资料的分析结果, 对这一地区 250 a 来的雪冰化学特征进行探讨.

## 1 样品的采集、分析及定年

样品的采集、分析测试过程在文献 [8, 9] 中

已有详细阐述, 此处不再赘述.

冰芯定年是冰芯研究的基石, 为此, 笔者专门研究了本地区各种离子的年层效应. 结果表明, 伊丽莎白公主地海盐离子 ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ) 和  $\text{NO}_3^-$  在 50 m 雪芯范围内都具有非常明显的年层效应<sup>[8]</sup>. 因此, 本雪芯定年采用  $\delta^{18}\text{O}$  (只对雪芯上部 3 m 有定年作用, 以下被平滑)、 $\text{NO}_3^-$  和海盐离子相结合的办法, 火山资料对比结果表明<sup>[10]</sup>, 在本地区用  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\text{NO}_3^-$  和海盐离子相结合的办法对 50 m 雪芯定年具有较高的精度 (由于个别地方出现离子浓度平滑现象, 因此估计绝对误差  $\leq 3$  a). 按照上述方法, 50 m 雪芯定年结果为 251 a, 从 1745—1996 年.

## 2 主要阴、阳离子浓度

图 1 所示为 50 m 雪芯主要离子浓度随深度的变化情况. 从图中可以看出, 3 种海盐离子 ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  和  $\text{Mg}^{2+}$ ) 的变化趋势表现出惊人的相似 (需要说明的是本次样品分析过程中, 阴离子和阳离子分别采用 Dionex 100 和 Dionex 300 离子色谱仪和不同份样品测试), 除个别年份出现高值外, 变化均

收稿日期: 2001-03-02; 修订日期: 2001-07-11

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX2-303); 国家自然科学基金 (49971021; 49771022) 资助

作者简介: 张明军 (1975—), 男, 甘肃宁县人, 2000 年在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所获硕士学位, 现为该所的博士研究生, 主要从事冰川与环境方面的研究工作. E-mail: zhangmj@ns. lzb. ac. cn

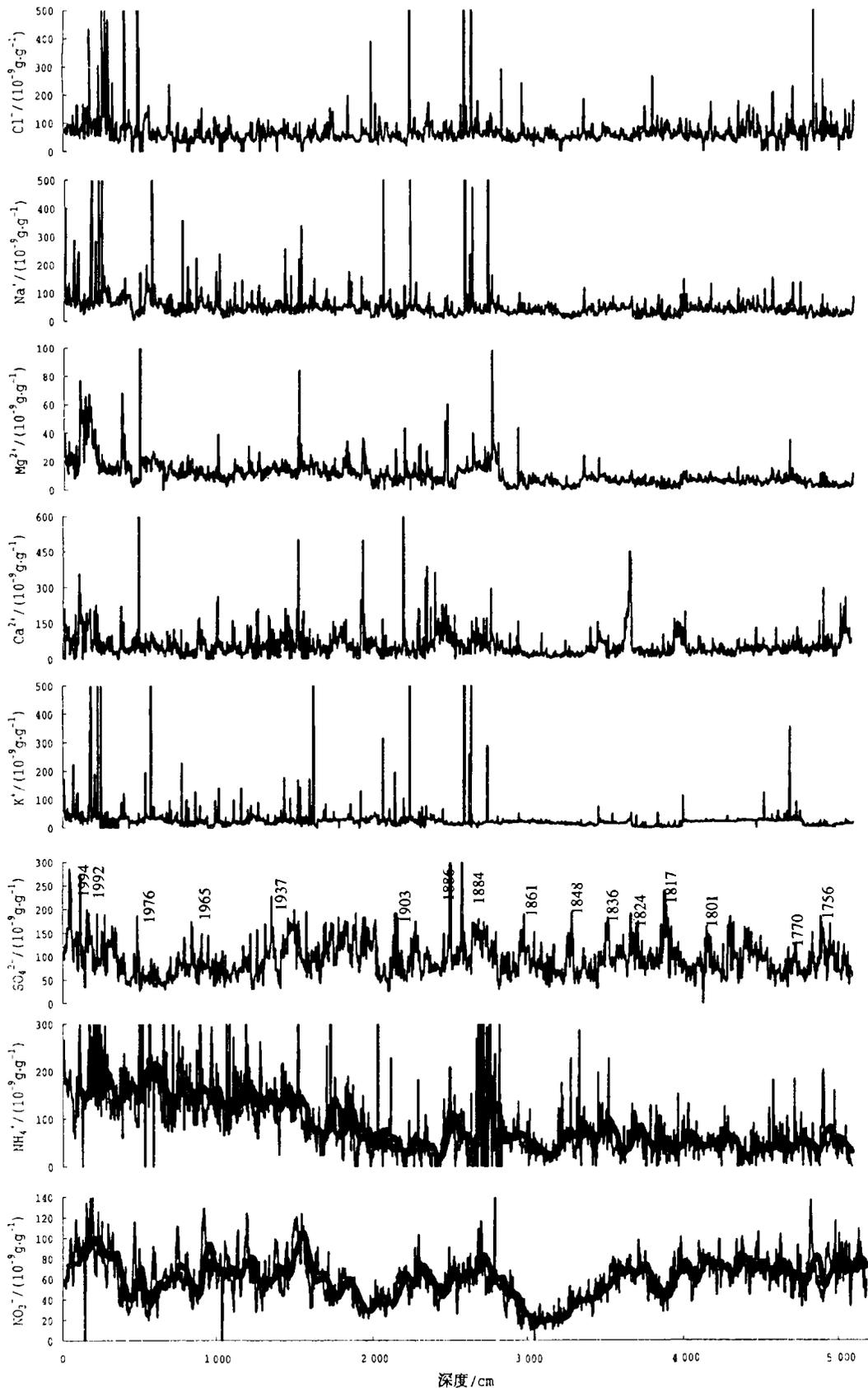


图 1 LGB65 雪芯主要离子浓度变化

Fig. 1 Concentration variations of the main ions of the firm core

较为平缓, 总体上呈现出略微上升趋势, 250 a 来  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{Mg}^{2+}$  浓度的平均值分别为:  $64 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $45 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $10 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ . 研究表明<sup>[11, 12]</sup>, 南极冰盖中的海盐离子主要来源于周边亚南极地区的海洋, 因此, 图 1 显示的海盐离子浓度变化特征表明: 总体上看, 本地过去 250 a 来海洋气流入侵呈加强趋势, 特别是 1860 年以后, 加强趋势更为明显. 海洋离子某些年份的突然升高 (如 19 世纪 70 年代和 20 世纪 80 年代末 90 年代初等) 是否受污染影响或与特定的大气环流如“钠暴”(sodium storm) 等因素有关, 还有待深入研究.

从图 1 中可以看出,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  的变化更为平缓, 总体变化趋势很不明显, 其浓度平均值分别为  $54 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $22 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ .  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  在靠近海岸区域以海洋来源为主, 向内陆方向, 陆地来源所占比例不断增大<sup>[12]</sup>. 从图 1 显示的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  的变化趋势中, 可以看出其变化表现出与海盐离子相近的趋势, 这是因为雪芯钻取点 LGB65 处位于距海岸近 300 km 处, 海洋来源的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  占重要地位. 但和海盐离子变化趋势相比, 又较为平缓, 反映出大陆来源的占一定比例. 另外,  $\text{K}^+$  浓度的峰值是否反映了森林火灾还有待进一步研究.

变化最为剧烈的是  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 从图中  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的 21 点滑动平均曲线可以看出, 二者的变化趋势极为相似, 除变化幅度大外, 总体变化趋势都表现出较为明显的上升趋势, 250 a 来它们浓度的平均值分别为  $61 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $80 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $95 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ . 南极冰盖雪冰中的  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  主要源于大气圈中  $\text{HNO}_3$  和  $\text{NH}_3$  的沉积. 由于  $\text{NO}_3^-$  的浓度较高, 再加上较先进的分析技术, 因此, 南极冰盖冰芯及雪层中  $\text{NO}_3^-$  的浓度数据颇多. 然而, 在对  $\text{NO}_3^-$  的来源问题上, 却存在很多争议<sup>[12]</sup>. 目前已有许多文章论及了南极雪冰中  $\text{NO}_3^-$  与太阳活动存在密切关系, 如 Zeller 和 Parker<sup>[13]</sup> 发现南极点和东方站两支雪芯近 1 200 a 来的  $\text{NO}_3^-$  记录与太阳活动具有一定相关性. 然而, 在对伊利莎白公主地 50 m 雪芯  $\text{NO}_3^-$  浓度进行谱分析时, 我们并未发现  $\text{NO}_3^-$  浓度的变化存在明显的太阳活动周期, 事实上, Legrand *et al.*<sup>[14]</sup> 对南极点的 PS14 冰芯中 184 a 的  $\text{NO}_3^-$  记录进行了谱分析, 结果显示 11 a 的周期在 80% 的置信度下仍不显著. 因此, 目前对伊利莎白公主地  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的变化趋势, 尤其是总体上表现出升高趋势的解释

还比较困难.

$\text{SO}_4^{2-}$  的来源虽然很广, 但对南极地区雪冰来说, 主要来源为海盐、海洋生物和火山喷发 3 种, 其次为陆地尘埃<sup>[12]</sup>. 伊利莎白公主地 250 a 来的 nss  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度变化记录了过去 16 次火山活动<sup>[10]</sup>. 与同时期其它冰芯记录相比, 本雪芯记录的火山活动更为完整, 反映本地火山来源的  $\text{SO}_4^{2-}$  占有重要地位.

### 3 结语

南极伊利莎白公主地雪冰化学的研究仅为开始, 由于伊利莎白公主地位于 Lambert 冰川流域东侧, 而 Lambert 冰川流域作为东南极冰盖最大的凹谷, 使其周围的大气环流和风场更为复杂, 气候变化也表现出复杂的区域差异性<sup>[15]</sup>. 因此, 雪冰化学分析结果与其它区域有差异理所应当. 然而, 要对这些差异做出准确解释还需要进一步工作, 所幸随着由中国参加的国际横穿南极科学考察计划 (I-TASE) 的实现, 我国已经成功地组织了第二次和第三次南极内陆冰盖科学考察, 并获得了 3 支浅冰芯<sup>[16]</sup>, 相信随着研究工作的深入, 这一地区的气候环境变化规律一定会被人们所认识.

致谢: 样品分析中, 阴离子由皇翠兰测定; 阳离子由王晓香测定;  $\delta^{18}\text{O}$  由孙维贞测定, 特此致谢. 同时, 作者衷心地感谢任贾文老师有益的意见和建议.

### 参考文献 (References):

- [1] De Angelis M, Barkov N I, Petrov V N. Aerosol concentrations over the last climatic cycle (160 ka) from an Antarctic ice core [J]. *Nature*, 1987, **325**: 318–321.
- [2] Legrand M R, Lorius C, Barkov N I, *et al.* Vostok (Antarctica) ice core: atmospheric chemistry changes over the last cycle (160 000 years) [J]. *Atmospheric Environment*, 1988, **22** (2): 317–331.
- [3] Legrand M R, Mayewski P A. Glaciochemistry of polar ice cores review [J]. *Reviews of Geophysics*, 1997, **35** (3): 219–243.
- [4] Mayewski P A, Legrand M R. Recent increase in nitrate concentration of Antarctic snow [J]. *Nature*, 1990, **346**: 258–260.
- [5] Mulvaney R, Peel D A. Anions and cations in ice cores from Dolleman Island and the Palmer Land Plateau, Antarctic Peninsula [J]. *J. Glaciol.*, 1988, **10**: 121–125.
- [6] Wen Jiahong, Kang Jiancheng, Wang Dali, *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. 东南极伊利莎白公主地 LGB65 点的雪层密度与剖面特征 [J]. 冰

- 川冻土, 2001, **23** (2): 156—163.]
- [ 7 ] Wang Dali, 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.]
- [ 8 ] Li Zhongqin, Zhang Mingjun, Qin Dahe, *et al.* Primary research on the seasonal variations of  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  in the snow and firn recovered from Princess Elizabeth Land Antarctica [ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44** (24): 2 270—2 274.
- [ 9 ] Zhang Mingjun, Li Zhongqin, Qin Dahe, *et al.* The primary research on the environmental climatic records of the two snow pits recovered from Princess Elizabeth Land Antarctica [ J ]. *Chinese Journal of Polar Science*, 1999, **10** (1): 61—66.
- [ 10 ] Zhang Mingjun, Li Zhongqin, Qin Dahe, *et al.* A continuous 250-year record of volcanic activity from Princess Elizabeth Land Antarctica [ J ]. *Progress in Natural Sciences*, 2000, **10** (10): 920—924. [ 张明军, 李忠勤, 秦大河, 等. 南极洲伊利莎白公主地区 250 年来火山活动记录研究 [ J ]. *自然科学进展*, 2000, **10** (10): 920—924.]
- [ 11 ] Qin Dahe. The physical procedure, contemporary climate and environmental records in the surface firn of Antarctic ice sheet [ M ]. Beijing: Science Press, 1995. 100. [ 秦大河. 南极冰盖表层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. 100.]
- [ 12 ] Qin Dahe, Ren Jiawen. *Antarctic Glaciology* [ M ]. Beijing: Science Press, 2001. 104—169. [ 秦大河, 任贾文. 南极冰川学 [ M ]. 北京: 科学出版社, 2001. 104—169.]
- [ 13 ] Zeller E J, Parker B C. Nitrate ion in Antarctic firn as a marker for solar activity [ J ]. *Geophys. Res. Lett.*, 1981, **8** (8): 895—898.
- [ 14 ] Legrand M R, Kirchner S. Origins and variations of nitrate in south polar precipitation [ J ]. *J. Geophys. Res.*, 1990, **95** (D4): 3 493—3 507.
- [ 15 ] 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 ]. *J. Glaciol.*, 2001, **47** (15): 160—162.
- [ 16 ] Ren Jiawen. Success of the third inland traverse of Chinese National Antarctic Research Expedition [ J ]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, **21** (2): 97—98. [ 任贾文. 中国第 3 次南极内陆冰盖考察圆满成功 [ J ]. *冰川冻土*, 1999, **21** (2): 97—98.]

## Glaciochemistry Study on a 50 m Firn Core in Princess Elizabeth Land, Antarctica

ZHANG Ming-jun<sup>1</sup>, LI Zhong-qin<sup>2</sup>, XIAO Cun-de<sup>2</sup>, QIN Da-he<sup>2</sup>  
KANG Jian-cheng<sup>3</sup>, LI Jun<sup>4</sup>

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China;  
3. Polar Research Institute of China, Shanghai 200129, China; 4. Antarctic CRC and Australian Antarctic Division, Hobart 7001, Australia)

**Abstract:** A 50-m firn core collected from the Site LGB65 (with an accumulation rate of  $127 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , and an mean annual temperature of  $-33.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) on Princess Elizabeth Land, East Antarctica, during 1996/1997 Chinese First Antarctic Inland Expedition has been analyzed for chemical composition and oxygen isotope ratio. The dating is accurate within  $\pm 3$  years due to the well-preserved seasonal cycles of major ions. Based on the analyses, the glaciochemistry features in the study region in the past 250 a have first been revealed. It is found that the variations of

three kinds of sea salt ions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$ ) in the past 250 a were rather smooth, except for the high concentrations in the very few years, and showed a very similarly slightly rising trend. The variations of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  are smoother than those of sea salt ions with a variation trend not obvious. However, the variations of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  were rather large, the variations of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  showed a very similarly rising trend. The most positive variation feature of  $\text{SO}_4^{2-}$  was that by  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations 16 volcanic eruptions were detected in the past 250 a.

**Key words:** Princess Elizabeth Land; firn core; glaciochemistry; atmospheric environment