

研究论文

南极洲伊丽莎白公主地区主要离子沉积方式及 nssSO_4^{2-} 气候效应研究^{*}

张明军¹ 李忠勤¹ 秦大河¹ 效存德¹ 康建成² 李军³

(1. 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000; 2. 中国极地研究所, 上海 200129;

3. Antarctic CRC and Australia Antarctic Division, Hobart 7001, Australia)

提要 通过对1996/1997年中国首次南极内陆冰盖考察获得的南极洲伊丽莎白公主地区50m雪芯样品主要阴、阳离子浓度、通量和积累率关系的研究,揭示以下规律: 1) 南极洲伊丽莎白公主地区大气中各主要离子浓度足够大,足以使本地区冰雪中主要离子浓度不随积累率的变化而变化,即离子浓度不受积累率的影响。2) 各主要离子干、湿沉积所占比重的计算结果表明,本地区离子沉积方式以湿沉积为主。另外, nssSO_4^{2-} 的研究结果表明火山爆发的中、短期气候效应在伊丽莎白公主地区反应不明显。

关键词 离子 干沉积 湿沉积 火山 南极

南极冰芯为研究古气候和大气环境的变化历史提供了非常丰富的信息 (Delmas, 1992)。近年来,从南极冰芯中提取古气候、古环境信息方面取得了进展 (Lorius *et al.*, 1985; Jouzel *et al.*, 1987; Angelis *et al.*, 1987; Barnola *et al.*, 1987; Chappellaz *et al.*, 1990; Legrand *et al.*, 1988; Petit *et al.*, 1997)。尽管如此,由于对冰芯中检测到的离子浓度与大气中相应离子浓度的联系和各种离子的沉积过程等缺乏了解,目前对冰芯中检测到的各种参数的定量解释还很困难。冰芯研究的最终目标是了解气候环境的变化历史,预测未来气候变化,要达到这一目的,必须对冰芯记录作出定量解释,从而建立可靠的预测模型。为此,本文通过1996/1997年中国首次南极内陆冰盖考察获得的南极洲伊丽莎白公主地区50m雪芯样品主要阴、阳离子浓度、通量与积累率关系的研究,对上述问题进行了探讨。

1 样品的采集、分析和雪芯定年

1996/1997年中国首次南极内陆冰盖考察期间,在中山站至 Dome A 方向的考察途中

^{*} 国家自然科学基金 (49771022)、中国科学院 95 重大 A (KZ951-A1-205) 和国家科技攻关 (98-927) 资助项目

分别在 LT921(71° 10. 750' S, 77° 21. 198' E)处和 LGB65 (71° 50. 735' S, 77° 55. 319' E)处挖了两个深 2. 5m 和 4. 5m 的雪坑(图 1),并在 LGB65处钻取了一支 50m 长的雪芯(称之为雪芯,是因为其密度尚未达到冰川冰的密度)。雪坑从上至下每 3cm 连续取样,样品封装在美国产洁净的聚四氯乙烯广口瓶中。所有样品在低温冷冻状态下运回到中国科学院兰州冰川冻土研究所低温室冷存(− 15℃),直到分析前方开启。雪芯在兰州冰川冻土研究所低温室每 3cm 分样。

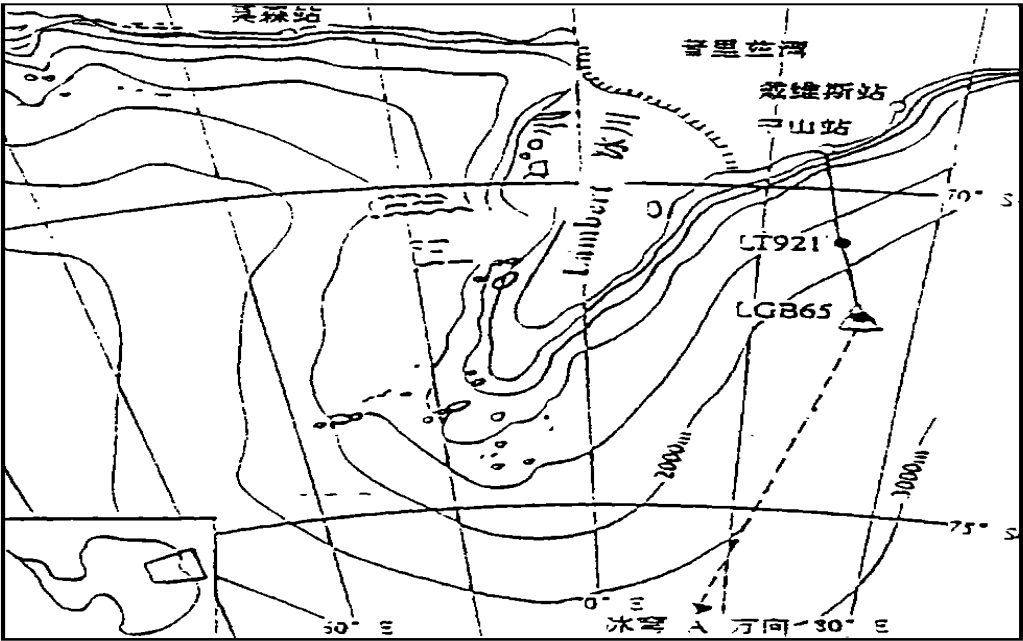


图 1 中国首次南极内陆冰盖考察路线图。● 为雪坑采样地点,△为雪芯采样地点

Fig. 1. Map showing the route of the Chinese First Antarctic Inland Traverse during 1996/1997.

● represents the location of the two snowpits, and △ the location of the firm core.

主要阴、阳离子和 $\delta^{18}\text{O}$ 的测试均在中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯与寒区环境开放实验室完成。所有样品测试前置于超净实验室使其自然融化,分析测试过程始终在超净环境下操作,测试过程中所用试验器皿的清洗以及标样的制备均采用去离子水(大于 $18.3\text{M}\Omega$)。

主要阳离子 Na^+ , Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的分析采用 Dionex300离子色谱仪测试,最低检测限小于 1ppb ,阴离子 Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- 的测试由 Dionex100离子色谱仪测定,最低检测限小于 1ppb , $\delta^{18}\text{O}$ 的测定在 MAT-252气体质谱仪上进行,测得的雪坑中氧稳定同位素含量为与“标准平均大洋水 (SMOW)”的千分差,其精度在 $\pm 0.5\text{‰}$ 之内。

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(张明军等,1999;李忠勤等*),结果表明,伊丽莎白公主地区海盐离子(Cl^- , Na^+)和 NO_3^- 都

* 李忠勤等: 南极洲伊丽莎白公主地区冰雪中 $\delta^{18}\text{O}$, Cl^- , NO_3^- , Na^+ 和 Ca^{2+} 年层效应初探,科学通报,待发表

具有非常明显的年层效应。因此,本雪芯定年采用 $\delta^{18}\text{O}$ (只对雪芯上部 3m 有定年作用,以下被平滑)、 NO_3^- 和海盐离子相结合的办法,火山资料对比结果 (主要是用有确切记录的几次火山资料进行对比,如 1815 年的 Tambora 火山活动在雪芯中出现的时间是 181 年) 表明,在本地区用 $\delta^{18}\text{O}$ 、 NO_3^- 和海盐离子相结合的办法对 50m 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,因此估计绝对误差小于等于 3 年)。按照上述方法,50m 雪芯定年结果为 25 年,即从 1745 年~ 1996 年。

2 各主要离子浓度、通量与积累率的关系

按照上述定年方法,依据雪芯的实测密度,就可以逐年恢复出 25 年来的积累率。本文中的通量指离子浓度与积累率的乘积。

从图 2 中可以看出: 50m 雪芯中六种主要离子的浓度与积累率之间没有关系,相反,图 3 中的六种离子的通量基本上都与积累率呈正相关关系,左上角的回归公式在信度 α 为 0.00 时,都通过相关系数的显著性检验。

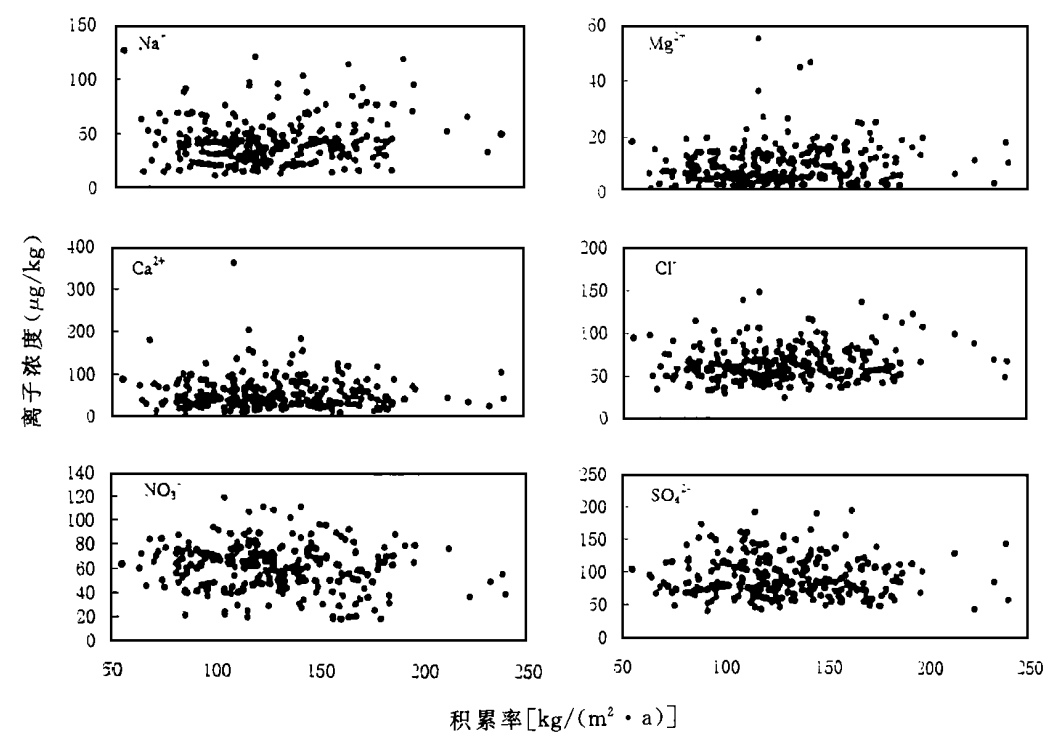


图 2 50m 雪芯 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 浓度与积累率的关系
Fig. 2 Chemical concentration (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- and SO_4^{2-}) versus snow accumulation rate for the 50-meter firm core.

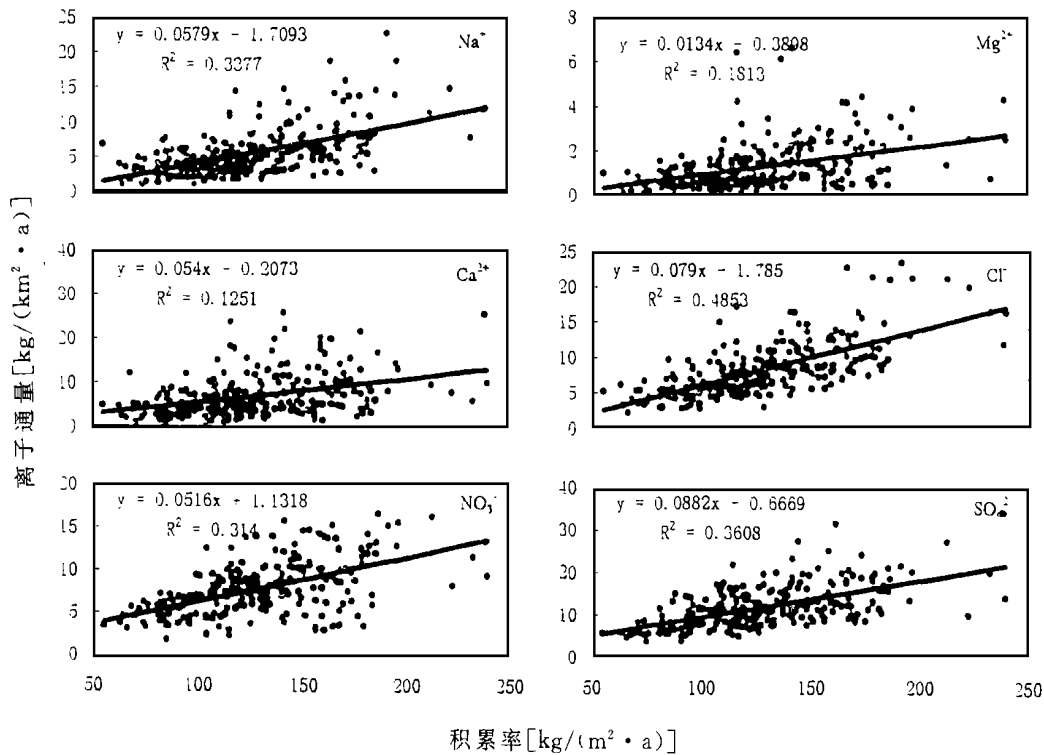


图 3 50m雪芯 Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻和 SO₄²⁻ 通量与积累率的关系。图中的直线为一元线性回归曲线,左上角公式为回归公式

Fig. 3. Chemical flux (Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻) versus snow accumulation rate for the 50-meter firm core. The solid line and the equation are the least squares fitted regression line and the best fit linear regression equation to each species.

3 分析和讨论

从图 2揭示的现象中可以看出: 250年来,南极洲伊丽莎白公主地区的离子浓度既不随积累率的增大而增大,也不随积累率的减小而减小。本地区 250年来积累率的变化幅度是很大的,最小值为 $55 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,最大值 $239 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。在如此巨大的变化幅度条件下,离子浓度并不随积累率的变化而变化,说明南极洲伊丽莎白公主地区各主要离子浓度不存在稀释现象,即离子浓度并不受积累率的影响。结合图 3,我们进一步提出,本地区大气中的离子浓度足够大,可以满足大气降水对各种离子的吸附能力,也就是说,相对于降水而言,大气中的离子是降水中离子无穷无尽的离子库,因此,本地区雪冰中的各种离子浓度可能反应了降水对大气中各种离子的吸附能力和各种离子的传输路径、沉积方式等。为此,本文将对上述各种离子的沉积方式作一探讨。一般说来,冰雪中的离子沉积方式主要分为干沉积和湿沉积两种,图 3中回归曲线的截距就表示了各种离子的干沉积量 (Dai *et al.*, 1995),从各回归公式中可以看出,海盐离子 Cl⁻, Na⁺ 和 Mg²⁺ 干沉积量都为负值,表

示上述离子以湿沉积为主,事实上从海盐离子的来源(伴随海洋水汽沉积到南极冰雪中)不难理解这一点。对 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 而言,其干沉积分量都为正值,说明干沉积在这三种离子沉积量中占一定比重,若以三种离子的平均沉积通量来计算, Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 干沉积量占沉积总量的百分比分别为: 3%、15% 和 6%。由于取样地点位于距海岸近 300km 处, Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 有一部分来源于海洋,因此,这两种离子的干沉积百分比低于 NO_3^- 。由此可以看出,本地区各主要离子的沉积方式以湿沉积为主,且海盐来源的离子比其它来源的离子干沉积量占沉积总量的百分比小。

4 nssSO_4^{2-} 气候效应研究

火山活动的短期气候效应已被充分证实 (Rampino and Self, 1982; Robock, 1991)。例如, Pinatubo 火山爆发以后,曾在全球范围内的对流层和地球表面观测到温度下降了 0. 2

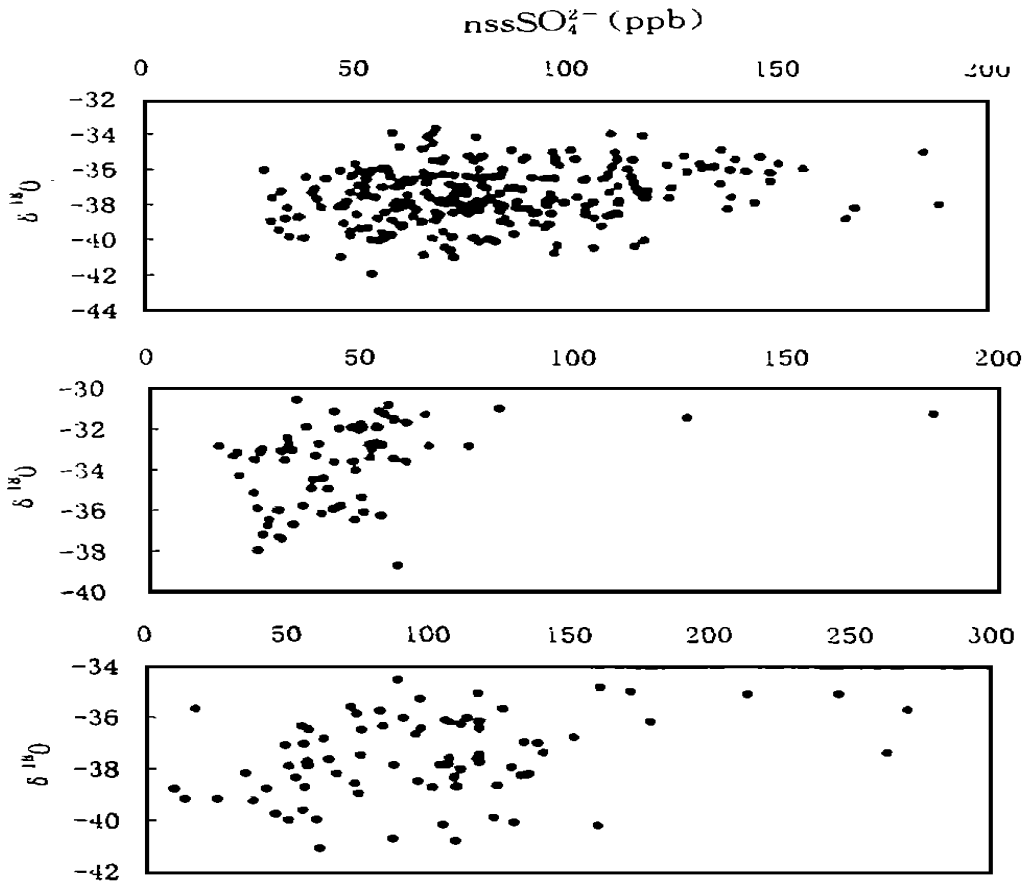


图 4 50m 雪芯和两个雪坑的 nssSO_4^{2-} 和 $\delta^{18}\text{O}$ 关系图。上图: 50m 雪芯; 中图: LT921 雪坑; 下图: LGB65 雪坑。
Fig. 4. nssSO_4^{2-} concentration versus $\delta^{18}\text{O}$ for 50-meter firn core and two snow pits. Up: 50-meter firn core; Middle: LT921 snow pit; Down: LGB65 snow pit.
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

$\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ (McCormick *et al.*, 1995; Robock and Mao, 1995), 与此同时观测到平流层的温度明显上升 (Randel *et al.*, 1995) 本次考察获得的 50m 雪芯记录了过去 250 多年来 16 次火山爆发事件 (对此作者将有专文论述), 两个雪坑也已记录了 1991 年爆发的 Pinatubo 火山和 Cerro Hudson 火山活动 (张明军等, 1999)。既然火山活动的短期气候效应已被充分证实, 冰雪中反应火山活动指标的 nssSO_4^{2-} 应与反应气温指标的 $\delta^{18}\text{O}$ 有某些联系。为此, 我们对 50m 雪芯和两个雪坑的 nssSO_4^{2-} 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之间的关系作了分析 (图 4)。

从图 4 中可以看出, 无论是在 10 年的时间尺度范围内, 还是在 250 年的时间尺度范围内, nssSO_4^{2-} 与 $\delta^{18}\text{O}$ 并未出现我们所预料的关系 (负相关关系)。究其原因, 我们认为: 虽然已证实火山活动的短期气候效应, 但这种气候变化的幅度很小 ($0.2\sim 0.7^{\circ}\text{C}$), 在气候正常变化幅度范围内。再者, 温度是影响 $\delta^{18}\text{O}$ 值的主要因素, 但其它因素 (如降水) 对它也有影响。因此, $\delta^{18}\text{O}$ 未能反映出由于火山活动引起的降温就不足为奇了。

5 结语

通过对南极洲伊丽莎白公主地区 50m 雪芯主要阴、阳离子的浓度、通量与积累率关系的研究, 揭示了以下规律:

(1) 南极洲伊丽莎白公主地区主要离子的浓度不存在稀释现象, 即离子浓度并不受积累率的影响。

(2) 本地区各主要离子干、湿沉积所占比重的计算结果表明, 南极洲伊丽莎白公主地区离子沉积方式以湿沉积为主, 且海盐离子 (Cl^- , Na^+ 和 Mg^{2+}) 湿沉积比重大于 Ca^{2+} , NO_3^- 和 SO_4^{2-} 。

另外, nssSO_4^{2-} 与 $\delta^{18}\text{O}$ 关系的研究结果表明火山爆发的中、短期气候效应在本地区反应不明显。

[本文于 1999 年 4 月收到]

参考文献

- 张明军等 (1999): 南极洲伊丽莎白公主地区两雪坑内环境气候时间序列记录初步研究, 极地研究, 11 (1), 19–24.
- Angelis M de, Barkov NI and Petrov VN (1987): Aerosol concentrations over the last climate cycle (160kyr) from an Antarctic ice core, *Nature*, 325, 318–321.
- Barnola JM, Raynaud D, Korotkevich YS and Lorius C (1987): Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO_2 , *Nature*, 329, 408–414.
- Chappellaz J, Barnola JM, Raynaud D, Korotkevich YS and Lorius C (1990): Ice-core record of atmospheric methane over the past 160,000 years, *Nature*, 345, 127–131.
- Dai J, Thompson LG and Mosley-Thompson E (1995): A 485 year record of atmospheric chloride, nitrate and sulfate. Results of chemical analysis of ice cores from Dyer Plateau, Antarctic Peninsula, *Ann. Glaciol.*, 21, 182–188.
- Delmas RJ (1992): Environmental information from ice cores, *Rev. Geophys.*, 30(1), 1–21.

- Jouzel J *et al.* (1987): Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years), *Nature*, 329, 403–407.
- Legrand MR, Lorius C, Barkov NI and Petrov VN (1988): Vostok (Antarctica) ice core: atmospheric chemistry changes over the last climatic cycle (160,000 years), *Atmospheric Environment*, 22(2), 317–331.
- Lorius C *et al.* (1985): 150,000-year climatic record from Antarctic ice, *Nature*, 316, 591–595.
- McCormick MP, Thomason LW, Trepte CR (1995): Atmospheric effects of the Mt. Pinatubo eruption, *Nature*, 373, 399–403.
- Petit JR *et al.* (1997): Four climate cycle in Vostok ice core, *Nature*, 387, 359–360.
- Rampino MR and Self S (1982): Historical eruptions of Tambora (1815), Krakatau (1883), and Agung (1963), their stratospheric aerosols and climatic impact, *Quat. Res.*, 18, 127–143.
- Randel WJ *et al.* (1995): Ozone and temperature changes in the stratosphere following the eruption of Mount Pinatubo, *J. Geophys. Res.*, 100, 16753–16764.
- Robock A (1991): The volcanic contribution to climate change of the past 100 years, In *Greenhouse-Gas-Induced Climatic Change: A Critical Appraisal of Simulations and Observations*, Ed. by Schlesinger ME, 429–444, Elsevier, New York.
- Robock A and Mao J (1995): The volcanic signal in surface temperature observations, *J. Clim.*, 8, 1086–1103.

THE STUDY ON THE DEPOSITIONAL STYLES OF MAJOR IONS AND THE CLIMATIC EFFECT OF HSSO_4^{2-} IN PRINCESS ELIZABETH LAND, ANTARCTICA

Zhang Mingjun¹, Li Zhongqin¹, Qin Dahe¹, Xiao Cunde¹, Kang Jiancheng²
and Li Jun³

(1. Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Polar Research Institute of China, Shanghai 200129, China;

3. Antarctic CRC and Australia Antarctic Division, Hobart 7001, Australia)

Abstract

Snow samples collected from a 50-meter firn core along the route of the 1996/1997 Chinese First Antarctic Inland Traverse Expedition in Princess Elizabeth Land, East Antarctica, have been analyzed for chemical composition and oxygen isotope ratio. Analyzing the relationship between the concentration and flux of major ions and accumulation rate can draw the following conclusions. 1) The concentrations of major ions in the atmosphere in the study region is big enough to guarantee the concentrations of the ions do not vary with snow accumulation rate, that is to say, the concentrations of major chemical species are independent of snow accumulation rate. 2) The results of analyzing the depositional styles of major chemical species suggest that wet deposition dominate the major ions flux. In addition,

tion, there is no apparent correlation between nssSO_4^{2-} fluctuations and isotope profile. This would indicate the climatic effect of volcanism is not evident in the region.

Key words ion, dry deposition, wet deposition, volcanic.

作者简介 张明军,男,1975年生.1997年毕业于西北师范大学地理系,主要从事极地冰芯与环境研究