

南极洲伊利莎白公主地区 250 年来 火山活动记录研究*

张明军 李忠勤 秦大河 效存德

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

康建成

(中国极地研究所, 上海 200129)

李 军

(Antarctic CRC and Australian Antarctic Division, Hobart, Australia, 7001)

摘要 各种离子综合定年的结果表明, 南极冰盖伊利莎白公主地区 LGB65 处钻取的一支 50 m 长雪芯代表了过去 250 a 左右的积累量, 非海盐硫酸根离子明显记录了过去 250 a 来的 16 次火山活动, 与同时期其他冰芯记录相比, 记录的火山活动更为完整, 表明中小强度的火山活动可能在低积累区反映更为明显.

关键词 伊利莎白公主地区 雪芯 火山活动

火山爆发常常将大量的灰尘颗粒和气体物质输送到大气中(经常输送到平流层中), 灰尘颗粒几周以后就可以重新沉积到地球表面, 作为火山爆发的主要气体物质——二氧化硫(SO_2), 则在大气中被氧化成硫酸和水($\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}$)的气溶胶颗粒, 这些气溶胶颗粒可在平流层中悬浮 2~3 a^[1]且常常通过大气环流散布到全球各地.

由于大量散布在大气中的硫酸和水的气溶胶颗粒可以改变大气的辐射平衡, 火山活动长期以来一直被认为是影响 10~1 000 a 尺度上气候变化的 3 大因素之一(其他两个因素是太阳活动和海/气系统的相互作用)^[2]. 因此, 建立全球火山活动的时间序列对于研究气候变化具有非常重要的意义.

两极地区的冰芯研究为建立火山活动的时间序列提供了强有力的工具. 其基本原理是基于发现极地冰芯中硫酸根离子浓度(SO_4^{2-})与大气中硫酸的气溶胶颗粒明显相关^[3], 如前所述, 火山爆发可以使大气中硫酸的气溶胶颗粒在几年之内成倍增加, 因此, 冰芯中附加于硫酸根离子浓度本底值之上的硫酸根峰值就可能代表了火山活动. 近年来用冰芯建立火山活动的时间序列取得了可喜的成绩, 以南极冰芯研究为例, Delmas 等^[4]通过对南极点几支冰芯的固体电导率和硫酸根的测定, 建立了过去 100 a 以来火山活动的时间序列. Moore 等^[5]建立了东南

1999-11-29 收稿, 2000-03-17 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 49771022, 49971021)、中国科学院“九五”重大 A(批准号: KZ951-A1-205)和国家科技攻关(批准号: 98-927)资助项目

极洲 770 a 以来的火山活动时间序列. Langway 等^[6,7]利用从 Byrd 站获得的冰芯恢复了西南极洲 1300 a 以来的火山记录. Jihong Cole-Dai 等^[2]通过对南极半岛两根冰芯的详细研究得到了该地区 500 a 来的火山记录. 在前人取得的成果的基础上,我们用中国第 13 次南极考察队钻取的 50 m 雪芯(称之为雪芯,是因为其密度尚未达到冰川冰的密度)研究伊丽莎白公主地区 250 a 年火山活动的记录,其意义在于:(1)本地区是南极冰盖研究的空白地区,当然也是火山记录研究的空白区;(2)本雪芯利用氧同位素和各种离子综合定年,使得定年精度比较高(绝对误差小于等于 3 a);而上述的火山研究除 Jihong Cole-Dai 外,冰芯定年大多采用数学模型,大大影响了精度;(3)结合前人的工作,将对火山活动在南极洲不同地区的反映作一比较,从而为利用极地冰芯研究火山活动时指标的选取提供依据.

1 样品的采集、分析和定年

1996/1997 年中国第 13 次南极考察期间,在考察的终点 LGB65 处钻取了一支 50 m 长的雪芯(图 1). 样品在低温状态下运回到中国科学院原兰州冰川冻土研究所低温室冷存(-15°C),并在低温室每 3 cm 连续分样. 样品的分析测试见文献[8].

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,伊丽莎白公主地区海盐离子(Cl^- , Na^+)和 NO_3^- 在 50 m 雪芯范围内都具有非常明显的年层效应^[8]. 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)、 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 1851 年的 Tambora 火山活动在雪芯中出现的时间是 1817 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 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 ≤ 3 a). 按照上述方法,50 m 雪芯定年结果为 251 a,即从 1745 ~ 1996 年.

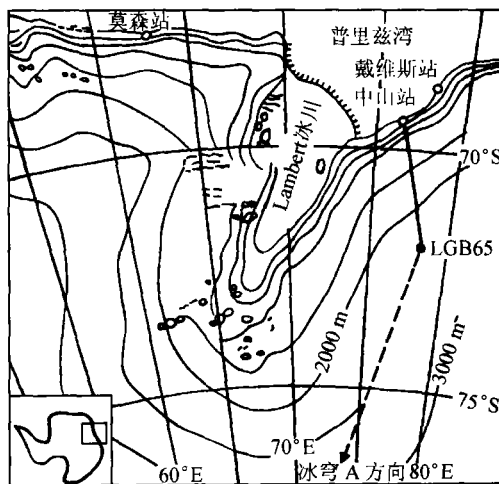


图 1 雪芯钻取地点

左下脚小图表示考察流域在南极洲的位置

2 资料的处理和结果

一般说来,冰芯中的硫酸根离子常可分为海盐硫酸根离子(ssSO_4^{2-})和非海盐硫酸根离子(nssSO_4^{2-}). ssSO_4^{2-} 代表的是满足海洋离子平衡的硫酸根离子, nssSO_4^{2-} 代表的则是 H_2SO_4 ^[9],如前所述,火山喷发的大量的二氧化硫在大气中常被氧化成硫酸的气溶胶颗粒,因此,为了使硫酸根离子更能准确的反映火山活动的信号,根据海洋中硫酸根离子和钠离子浓度的比值将雪芯中的硫酸根离子分为 nssSO_4^{2-} 和 ssSO_4^{2-} 两部分,用 nssSO_4^{2-} 资料恢复 250 a 来火山活动的时间序列.

用 nssSO_4^{2-} 资料建立 250 a 来火山活动的时间序列,尤其是检测那些中小尺度的火山活动时,主要取决于怎样估算非海盐硫酸根离子浓度的本底值及其变化范围,我们对此问题的解决

采用以下办法:先从 nssSO_4^{2-} 资料中选出那些有确切记录的火山活动(如 Pinatubo, Agung, Tarawera, Krakatoa, Tambora 等)年份的 nssSO_4^{2-} 的值(一般根据 nssSO_4^{2-} 浓度的变化幅度,对每次火山活动取出 2~3 a 的 nssSO_4^{2-} 值),然后计算所剩 nssSO_4^{2-} 资料的均值和标准方差,均值即为非海盐性硫酸根离子浓度的本底值,标准方差为非海盐性硫酸根离子浓度的变化范围,定义 nssSO_4^{2-} 浓度的值高于本底值的 2 倍标准方差时为火山爆发年份(图 2),处理方法类似于 Ji-hong Cole-Dai 等^[2]的方法。

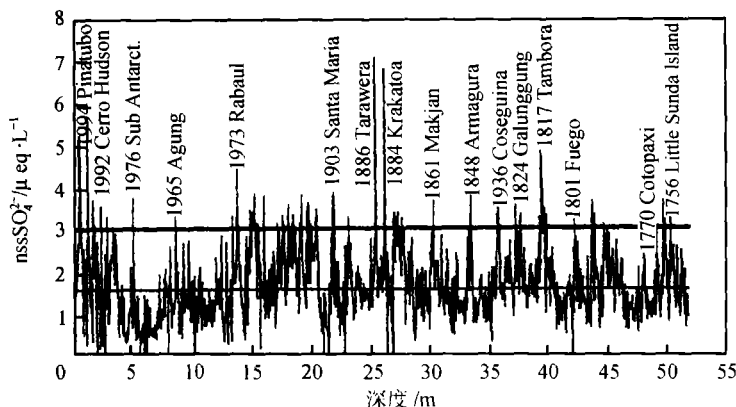


图 2 南极洲伊利莎白公主地区 250 a 来 nssSO_4^{2-} 浓度变化记录的火山活动图

图中下方的虚横线为本地 nssSO_4^{2-} 浓度的本底值,上方的实横线为本底值加 2 倍的标准方差

从图 2 中可以看出,本地区 250 a 来非海盐硫酸根离子浓度变化记录的火山活动多达 16 次。图 2 中标注的时间为在雪芯中检测到 nssSO_4^{2-} 浓度最大值的时间,火山爆发时间见表 1。

表 1 伊利莎白公主地区 LGB65 处雪芯检测到的火山爆发事件

火山名称	爆发时间	在雪芯中检测的时间	火山名称	爆发时间	在雪芯中检测的时间
Pinatubo	1991	1994	Makjan	1860	1861
Cerro Hudson	1991	1992	Armagura	1846	1848
Sub Antarc.	1975	1976	Coseguina	1835	1836
Agung	1963	1965	Gaiunggung	1822	1824
Rabaul	1936	1937	Tambora	1815	1817
Santa Maria	1902	1903	Fuego	1799	1801
Tarawera	1886	1886	Cotopaxi	1768	1770
Krakatoa	1883	1884	Little Sunda Island	1752	1756

3 分析和讨论

以上所发现的 16 次火山活动都能从文献中找到证据及其论述^[2,4,5,10]。本文结合前人的工作对以下问题进行一些讨论:

首先对用冰芯建立火山活动的时间序列时指标的选取做一探讨。一般说来,从极地冰芯中检测火山活动有 4 种方法:(1) 测量固体电导率(SEC 或 ECM);(2) 测量冰样融化后的液体电导率(LC);(3) 测定酸度($[\text{H}^+]$);(4) 测定硫酸根离子的含量($[\text{SO}_4^{2-}]$)^[10]。限于资料,本文

这里只对用 SO_4^{2-} 检测火山活动时进行一些讨论. Jihong Cole-Dai 等^[2]利用南极半岛的两根冰芯研究火山活动后认为,在南极半岛研究火山活动时用 nssSO_4^{2-} 的通量指标(等于浓度乘以积累率)比用浓度效果好,然而,在我们的研究过程中发现,在伊利莎白公主地区研究火山活动时选用浓度指标比通量好. 我们认为两者的差别在于两地的积累率差别很大. Jihong Cole-Dai 等^[2]钻取冰芯地点的积累率在 450 ~ 550 mm w.e. 之间,而 LGB65 处的积累率仅在 120 ~ 150 mm. w.e. 之间. 如果在高积累区选用 nssSO_4^{2-} 的浓度指标,由于积累率高, nssSO_4^{2-} 在沉降过程中必将被稀释,浓度降低,此时对一些中小强度的火山活动就很难检测出来,但由于积累率高的地区降水的变率小,因此,在积累率高的地区,通量指标比浓度指标更易检测出中小强度的火山活动. 而在低积累区,由于 SO_4^{2-} 浓度本身高,所以用浓度指标即可检测出中小强度的火山活动,同时由于积累率低,降水的变率大,若用通量指标,反而倒不易检测出中小强度的火山活动. 从我们的研究结果来看,用浓度指标,可检测出上述 16 次火山活动,若用通量指标,则只能检测出几次大的火山活动(如 Tambora, Tarawera, Krakatora, Pinatubo 等). 另外,从我们研究浓度和通量的本底值变化范围来看,若对 nssSO_4^{2-} 的通量采用与计算浓度本底值相同的计算方法,则浓度本底值的相对标准差只有 30%,而通量本底值的相对标准差却达 40% 以上. 这也从另外一方面说明在低积累区检测火山活动时,用浓度指标比用通量指标质量高. 同时也说明在不同地区用 SO_4^{2-} 浓度的变化建立火山活动的时间序列时,火山活动在低积累区更易被检测出来.

从图 2 中可以看出,雪芯中几乎所有检测到的火山爆发年份的 nssSO_4^{2-} 浓度值都高于本底值加 2 倍的标准方差,只有 1768 年 Cotopaxi 火山爆发后雪芯中的 nssSO_4^{2-} 浓度值低于本底值加 2 倍的标准方差. 我们之所以仍将 1770 年判为 1768 年的火山年,其原因有二:(1)1768 年 Cotopaxi 火山活动已经在其他冰芯资料中被发现^[5,10]. (2)从图 2 中看出,1770 年左右 nssSO_4^{2-} 浓度的本底值很低,在这样一个低本底值的基础上,1769 ~ 1770 年 nssSO_4^{2-} 浓度值相对来说比较高,因此,我们认为可以将 1770 年的高 nssSO_4^{2-} 值判为 1768 年火山活动的结果. 另外,从图 2 中可以看出,15 ~ 20 m 之间 nssSO_4^{2-} 浓度值很高,基本上都高出本底值加两倍的标准方差,但由于此段没有高出本底值的突出年份,因此被认为是本底的变化. 综上所述,在用 nssSO_4^{2-} 检测火山活动时,一方面要制定客观标准,另一方面也要根据各段情况具体分析.

如前所述,由火山喷发的 SO_2 形成的硫酸气溶胶颗粒可以在大气中悬浮 2 ~ 3 a,所以冰芯中 nssSO_4^{2-} 浓度的峰值也应该持续 2 ~ 3 a,从图 2 中可以看出,虽然大部分峰值持续了 2 ~ 3 a (平均 2.5 a),但有些峰值持续不到 2 a(如 1976 年的峰值). 我们认为这可能是雪芯中环境信息缺失的缘故(一方面可能是在分样过程中损失部分信息,另一方面有可能是伊利莎白公主地区积累降低,再加上下降风的影响,使雪芯中本身就缺失信息).

一般说来,从火山活动的信号在冰芯中出现的时间与火山爆发的时间差可以判断火山与冰芯钻取地点的距离. 若以南极冰芯来说,冰芯中的信号滞后火山爆发的时间 ≤ 1 a,则认为火山发生在中、高纬度,相反,如果滞后的时间比较长,则火山可能发生在低纬度地区. 从图 2 中也可以反映出这一点,如 Pinatubo 火山和 Cerro Hudson 火山活动发生在同一年(1991 年),由于 Pinatubo 火山位于低纬度地区(菲律宾),Cerro Hudson 位于中高纬度地区(智利),从图 2 中可以明显看出,Pinatubo 火山爆发在雪芯中的反映明显滞后于 Cerro Hudson 火山. 但从另一方面

来讲,由于受冰芯定年精度的影响,要对冰芯中所有的火山进行判断从而确定火山的分布地点,结果却不尽人意,如图中 1756 年的 Little Sunda Island 火山信号滞后爆发时间长达 4 a, 1886 年 Tarawera 火山信号在雪芯中出现的时间与爆发时间发生在同一年,这些显然都是受到雪芯定年精度的影响. 因此,如果要想做到这一点,必须提高冰芯的定年精度.

4 结语

通过以上对南极洲伊利莎白公主地区 50 m 雪芯 nssSO_4^{2-} 浓度值的分析,我们检测出此雪芯记录了过去 250 a 来的 16 次火山活动,尽管个别年份的火山活动会因种种原因损失部分环境信息,然而对大多数火山活动而言,火山活动可以使雪芯中的高 nssSO_4^{2-} 浓度值持续 2 ~ 3 a. 同时,结合前人的工作,我们进一步提出,对于中小强度的火山活动,可能在积累率低的地区更易检测到,而要通过火山活动信号在冰芯中出现的时间与火山活动的时间差判断火山与冰芯钻取地点的距离,还必须进一步提高冰芯的定年精度.

参 考 文 献

- 1 Cadle R D, Kiang C S, Louis J F. The global scale dispersion of the eruption clouds from major volcanic eruptions. *J Geophys Res*, 1976, 81: 3 125
- 2 Dai J, Mosley-Thompson E, Thompson L G. Annually resolved southm hemisphere volcanic history from two Antarctic ice cores. *J Geophys Res*, 1997, 102: 16 761
- 3 Wagenbach D, Gorlach U, Moser K, et al. Coastal Antarctic aerosol: theseasonal pattern of its chemical composition and radionuclide content. *Tellus*, 1988, 40B: 426
- 4 Delmas R J, Kirchner S, Palais J M, et al. 1 000 year of explosive volcanism recorded at the South Pole. *Tellus*, 1992, 44B: 335
- 5 Moore J C, Narita H, Maeno N. A continuous 770-year record of volcanic activity from East Antarctica. *J Geophys Res*, 1991, 96: 17 353
- 6 Langway C C, Osada Jr K, Clausen H B, et al. New chemical stratigraphy over the last millennium for Byrd Station, Antarctica. *Tellus*, 1994, 46B: 40
- 7 Langway C C, Osada Jr K, Clausen H B, et al. A 10-century comparison of prominent volcanic events in ice cores. *J Geophys Res*, 1995, 100: 16 241
- 8 李忠勤, 张明军, 秦大河, 等. 南极洲伊利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*, 1999, 44(19): 2 114
- 9 秦大河. 南极冰盖表层的物理过程和现代气候及环境记录. 北京: 科学出版社, 1995. 90
- 10 Legrand M, Delmas R J. A 220-year continuous record of volcanic H_2SO_4 in the Antarctic ice sheet. *Nature*, 1987, 327: 672