

南极 Dome A 地区的近期积累率

侯书贵 李院生 效存德 任贾文

(中国科学院冰冻圈与环境联合重点实验室, 兰州 730000; 中国极地研究中心, 上海 200129;
中国气象科学研究院, 北京 100081. E-mail: shugui@lzb.ac.cn)

摘要 根据总 β 活化度标志层确定南极 Dome A 地区的近期平均积累率为 0.023 m 水当量/a, 该值与南极内陆其他观测点的积累率相当. 晴天降水(clear-sky precipitation)是 Dome A 地区的一种主要降水方式. 基于 Dome A 地区的低积累率和冰层厚度等, 推论 Dome A 地区可能存在南极最古老的冰.

关键词 南极 Dome A 积累率 β 活化度

东南极冰盖以 Dome A(80°22'S, 77°21'E, 海拔 4093 m, 距离海岸线 1228 km. 下同)-Dome B(77°05'S, 94°55'E, 3650 m, 1020 km)-Dome C(74°39'S, 124°10'E, 3240 m, 870 km)-Dome F(77°19'S, 39°42'E, 3810 m, 1000 km)为分冰岭, 其中 Dome A 是这一分冰岭和南极冰盖的最高点, 被称为“不可接近之极”(图 1). 根据 NECP 再分析资料, Dome A 地区常年为高压冷气团控制, 高空辐合, 低空辐散, 是南极冷源的中心区, 构成地球气候动力系统中的重要驱动力. Dome A 地区能够观测到具有全球尺度特征的气候环境变化信息, 是开展极端环境下大气观测和冰芯研究的理想区域.

为在南极内陆建立中国第三个科学考察站进行

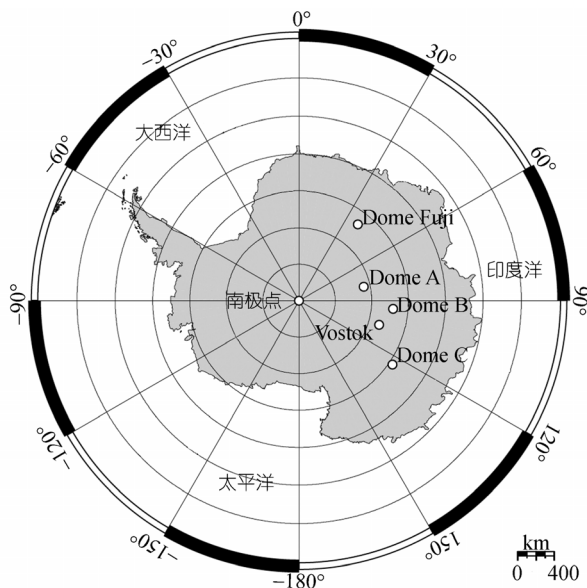


图 1 南极洲示意图

前期调研, 2004/05 中国第 21 次南极科学考察队实施了沿中山站至 Dome A 断面考察, 并成功到达 Dome A 核心区域, 确定了 Dome A 的准确方位, 测得 Dome A 地区的年平均气温为 -58.5 (10 m 深度的粒雪层温度, 在南极可代表观测点的年平均气温), 这是迄今为止器测的最低地表年平均气温, 比曾测量到世界最低气温记录(-89.2, 1983 年 7 月 26 日)的南极 Vostok 站的年平均气温(-55.5)还低 3.

积累率是开展冰芯研究的基本数据之一. 对于积累率较高的地区, 通常利用季节性变量(如 $\delta^{18}\text{O}$ 、主要离子和微粒等), 标志层位(如放射性物质层和火山事件层)和冰流模型等得到深度-年代剖面, 然后再结合深度-密度剖面计算出积累率. 由于南极内陆的积累率极低, 如南极点: 0.065 m 水当量/a^[1]; Dome C: 0.03 m 水当量/a^[2]; Vostok: 0.023 m 水当量/a^[3]; Dome B: 0.038 m 水当量/a^[4]; Dome F: 0.032 m 水当量/a^[5], 通常无法准确划分年层甚至存在特定年层缺失现象^[6], 这时可根据标志层计算一定时段内的平均积累率, 其中 1962 A.D. 全球大规模大气核试验产生的放射性物质经过大气平流层传输(约 1.5 a)到达南极冰盖后, 可在 1964 和 1965 A.D. 层位产生显著的放射性物质峰值^[7]. 通过测量雪层的总 β 活化度(主要源于 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs , 二者的半衰期均约为 30 a)剖面可准确确定放射性物质的峰值位置.

2005 年 1 月, 在 Dome A 地区从雪表面向下至 2.40 m 连续采集 3 个雪块, 其体积均为 0.35 m × 0.35 m × 0.80 m. 为防止污染, 采样及后续分析过程操作人员穿洁净工作服, 戴一次性防尘口罩、一次性洁净手套操作. 使用预先洁净处理的不锈钢锯、有机玻璃刀

2006-08-31 收稿, 2006-09-20 接受

国家自然科学基金项目(批准号: 40576001)、中国科学院“百人计划”和知识创新重要方向性项目(批准号: KZCX3-SW-354)资助

将雪块切割成型后,装入洁净塑料袋,再用专用保温箱密封后全程保持冻结状态运回国内后存放在低温冰库(-18℃)。在冷库中使用洁净不锈钢刀将0~1.20 m深度内雪块每0.05 m采集一个样品,1.20~2.40 m深度内每0.10 m采集一个样品。样品放入保鲜袋后常温融化,待完全融化后使用天平测得样品质量,然后将样品倒入烧杯,再测量保鲜袋的质量,从而得到样品的净质量。除其中一个样品为0.91 kg外,其他样品质量介于1.00~1.46 kg。按每公斤样品加入0.00033 kg分析纯盐酸以活化放射性物质,然后使用专用洁净过滤器通过3次过滤将放射性物质吸附在MN616 LSA-50型阳离子交换滤膜上。将滤膜放在锡纸上常温晾干,然后装入洁净聚乙烯塑料瓶中备用。测试仪器为堪培拉欧洲系统测量公司生产的MINI20型低本底 α/β 计数系统。样品测试前先将机器空转3 d以上,待机器稳定后测试机器效率和空白值。样品测试时间设定为24 h,单位为cph/kg(即每公斤样品每小时计数)。上述样品处理和分析过程均在超净实验室进行。

样品分析结果如图2所示,0~2.20 m深度内 β 活化度的波动范围介于20~80 cph/kg,平均值为40 cph/kg,基本反映南极内陆雪层内放射性物质的本底状况^[7]。底部两个样品的 β 活化度急剧增加,分别为

224和294 cph/kg。比较自1945 A.D.开始的全球大气核试验当量记录^[8],2.20~2.40 m深度内的 β 活化度峰值应源于1962 A.D.大气核试验高峰时期所释放的放射性产物,考虑大气平流层传输时间(约1.5 a),该 β 活化度峰值对应1964和65 A.D.年层^[5,7],因此0~2.20 m雪层对应1966~2004 A.D.期间的积累量,再结合实测雪层密度,确定Dome A地区的近期积累率为0.023 m水当量/a,该值与南极内陆其它观测点的积累率相当。

对于南极内陆地区,降水方式除常规降雪外,通常在晴天时低空大气层存在缓慢降落的小冰粒或小冰针,称为冰晶降水(diamond dust)或晴天降水(clear-sky precipitation)。发生晴天降水时,高空存在由细小且稀疏冰晶组成的卷云,云层较薄且透光性较好,光可以轻易通过,因此作用在冰晶上的光线产生许多奇妙的现象,包括晕圈等,我们在Dome A停留期间也观察到此类现象(图3)。晴天降水主要由粒径小于150 μm 的盘状、柱状冰晶构成^[9],这类形状的冰晶是在异相成核后通过水汽扩散生长而成^[10]。由于南极内陆地区的降水量极低,总降水量主要通过晴天降水方式产生^[11]。当空气温度低于冰面温度时,近地面气团可达到或略大于饱和状态,这时在冰盖表面发生结霜现象(Frost)。Dome F地区每年通过结

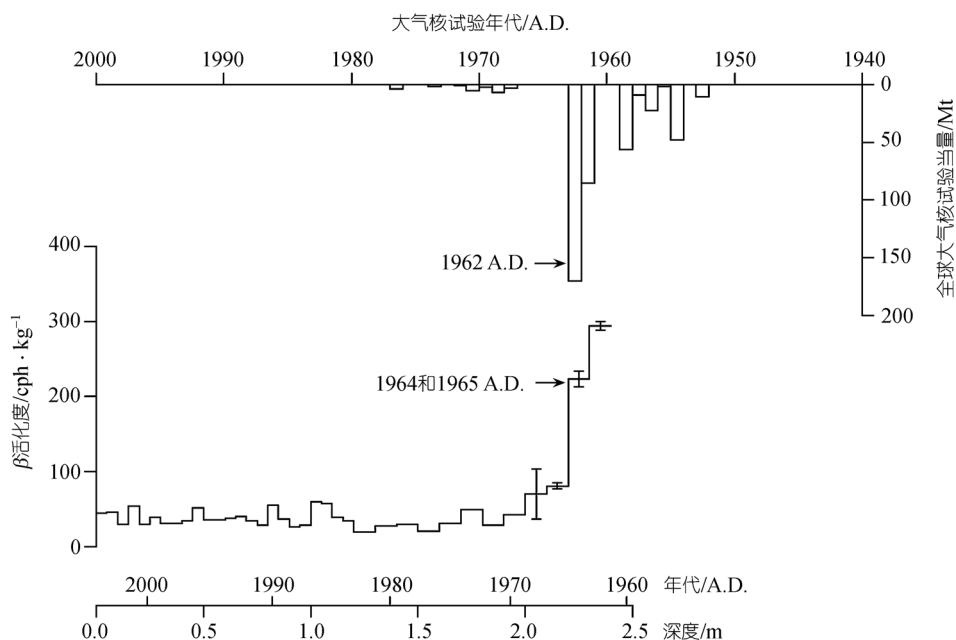


图2 Dome A地区 β 活化度剖面及全球大气核试验记录
底部4个样品的 β 活化度为3次测量结果的平均值和 $\pm\sigma$

霜过程可在冰盖表面净沉积 0.0016 m 水当量^[12], 如果 Dome A 地区结霜过程可产生相同的净积累量, 则其可占 Dome A 地区年总积累量的 7%。由于 Dome A 地区特殊的降水方式, 且本区风力微弱, 因此在 Dome A 地区的冰盖表面广泛发育针状冰晶层(图 4), 这种特殊地貌形态仅出现在南极内陆腹地。

Kameda 等^[6]利用 6 × 6 花秆点阵对 Dome F 地区连续 10 a 的物质平衡观测结果表明 8% 观测点存在年度负物质平衡现象, 即相应年度层位缺失, 但随后 3 年内该类观测点的积累率较高, 从而补偿了前期的缺失量, 各观测点的多年平均积累率趋于一致。由于

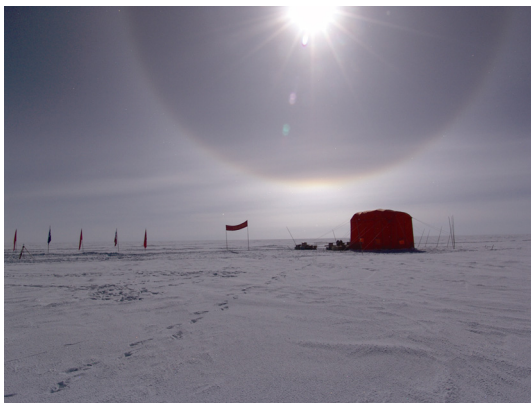


图 3 Dome A 地区晕圈, 地面标志物为冰芯打钻帐篷
摄于 2005 年 1 月

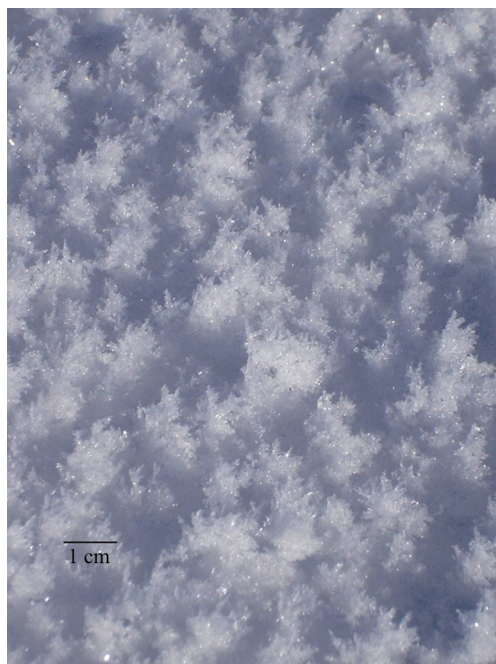


图 4 Dome A 地区地貌特征
摄于 2005 年 1 月

Dome A 地区的积累率比 Dome F 地区还要低, 有理由认为 Dome A 地区的特定年层缺失现象更加显著, 因此研究 Dome A 冰芯记录应着眼于其年代际或更长时间尺度的变化特征。

根据雷达测厚结果, Dome A 地区存在冰层厚度大于 3000 m 的区域(孙波, 个人交流), 结合本地区的极低积累率和冰穹区冰流缓慢等事实, 推论 Dome A 地区可能存在南极最古老的冰。中国南极考察率先在 Dome A 这个科考空白点开展系统性研究, 不但能使中国科学家获得珍贵的第一手资料, 而且有益于提升中国在国际南极事务上的发言权和影响力。

致谢 感谢中国第 21 次南极科学考察队提供野外工作支持, 耿志新帮助分析样品。

参 考 文 献

- 1 Mosley-Thompson E, Paskievitch J F, Gow A J, et al. Late 20th century increase in South Pole snow accumulation. *J Geophys Res*, 1999, 104(D4): 3877—3886[DOI]
- 2 Lorius C, Merlivat L, Jouzel J, et al. A 30000 year isotope climatic record from Antarctic ice. *Nature*, 1979, 280: 644—648
- 3 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. *Nature*, 1999, 399: 429—436[DOI]
- 4 Jouzel J, Vaikmae R, Petit J R, et al. The two-step shape and timing of the last deglaciation in Antarctica. *Clim Dyn*, 1995, 11: 151—161[DOI]
- 5 Kamiyama K, Ageta Y, Fujii Y. Atmospheric and depositional environments traced from unique chemical compositions of the snow over an inland high plateau, Antarctica. *J Geophys Res*, 1989, 94(D15): 18515—18519
- 6 Kameda T, Motoyama H, Fujita S, et al. Ten years characteristics of surface mass balance at Dome Fuji, East Antarctica, from 1995 to 2005 by a stake method. *Geophys Res Abs*, 2005, 7: 02639, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-02639
- 7 Pourchet M, Pinglot F, Lorius C. Some meteorological applications of radioactive fallout measurements in Antarctic snows. *J Geophys Res*, 1983, 88: 6013—6020
- 8 Mikhailov V N. *Catalog of Worldwide Nuclear Testing*. New York: Begell House Inc, 1999. 129
- 9 Kikuchi K, Hogan A W. Properties of diamond dust type ice crystals observed in summer season at Amundsen-Scott South Pole Station, Antarctica. *J Meteorol Soc Jpn*, 1978, 57: 180—189
- 10 Bacon N J, Baker M B, Swanson B D. Initial stages in the morphological evolution of vapour-grown ice crystals: A laboratory investigation. *Q J R Meteorol Soc*, 2003, 129: 1903—1927[DOI]
- 11 Bromwich D H. Snowfall in high southern latitudes. *Rev Geophys*, 1988, 26: 149—168
- 12 Kameda T, Azuma N, Furukawa T, et al. Surface mass balance, sublimation and snow temperatures at Dome Fuji Station, Antarctica, in 1995. In: *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Meteorology and Glaciology*, National Institute of Polar Research Tokyo, Japan, 1997, 11: 24—34