

# S&TR

CAEP-Report-  
EMS-0009 (1994)

Science and Technology Report

南极洲洛多姆冰帽 BHQ 钻孔冰岩芯氢氧同位素分析  
Isotope Analyses of Hydrogen and Oxygen of Ice Core  
From BHQ on the Law Dome, Antarctica

## 科技報告



China Academy of Engineering Physics

中国工程物理研究院

## 中国工程物理研究院科技系列报告

科技系列报告编辑部编辑

强激光与粒子束杂志社出版发行

(成都市 511 信箱 5 分箱, 610003)

中物院曙光印刷厂印刷

☆

开本 787×1092 1/16 · 印张 1/2

1994 年 12 月第 1 版 · 1994 年 12 月第 1 次印刷

(绵) 新登字 2272 每册定价: 1.50 元



蒋国强: 四川材料与工艺研究所研究员, 1962年毕业于北京大学技术物理系核物理专业。

**Jiang Cuoqiang:** Professor of Institute of Sichuan Material and Technology. Graduated from Department of Techniccal Physics, Peking University in 1962, Nuclear Physics for Specialty.

# 南极洲洛多姆冰帽 BHQ 钻孔冰岩芯 氢氧同位素分析

—— 南极冰岩芯五千年同位素记录

蒋国强 喻桢静 康明宪 郑联春

(中国工程物理研究院材料与工艺研究所)

**摘 要** 本文通过对南极洲洛多姆冰帽 BHQ 钻孔部分冰岩芯样品的氢、氧同位素分析,初步探讨该地区的气候变化过程。实验研究结果表明,过去约五千年内有相对均匀的气候条件, $\delta_D$  平均值为  $-164.5\text{‰}$ ,  $\delta_{18O}$  的平均值是  $-19.3\text{‰}$ ;推算的平均地表温度  $T_m$  为  $-18.9\text{℃}$ 。

**关键词** 南极洲 冰岩芯 氢氧同位素分析 气候变化 地表温度

## 1 引 言

水同位素  $H_2^{18}O$  与  $HDO$  由于下列原因而成为重要的气候指示剂:(1)在全球范围内,大气水沉降  $^{18}O$  与  $D$  的含量随采样地点的年平均地表温度的降低而减小,这种关系可用来再现大陆的古温度<sup>[1]</sup>;(2)氘过剩量  $d = \delta_D - 8\delta_{18O}$ ,它同水气源海洋表面的相对湿度有关<sup>[2]</sup>。

南极属高纬度地区,终年冰雪覆盖,几十万年的古气候变化被忠实记录下来,分析不同深度冰雪氢、氧同位素的含量,可再现极地区的古温度。如果借助大气循环模式,利用完备的现代气象数据,将近代降水与古代降水氢、氧同位素的分布进行比较,就有可能由古气候的变化预测现代气候的变化趋向<sup>[3]</sup>。此外,根据年平均温度随时间的变化,可以提供不同时期冰雪来源的信息,这对研究冰帽的历史和冰粒的流径是十分有益的。

有关两极地区冰雪的同位素气候记录,已经发表的报告不少<sup>[4-7]</sup>。本文通过对东南极洛多姆冰帽 BHQ 钻孔部分冰岩芯样品的氢、氧同位素分析,初步探讨该地区的气候变化过程。实验结果表明,过去约五千年内有相对均匀的气候条件, $\delta_D$  平均值为  $-164.5\text{‰}$ ,  $\delta_{18O}$  的平均值是  $-19.3\text{‰}$ ,推算的平均地表温度  $T_m$  为  $-18.9\text{℃}$ 。

## 2 实验结果

实验用冰样是澳大利亚政府赠送给我国的,采集地点在南极洛多姆冰帽 BHQ 钻孔 ( $66^{\circ}23'S$ ,  $111^{\circ}44'E$ , 海拔 930m),用热钻孔方法取直径 12cm、深约 400m

的冰岩芯, 切成长5 ~ 8cm 的小段, 最后得 50 个不连续的小段。

除去样品外表浮冰, 从中心部分取样装在密闭的称量瓶内, 在室温下融化成水, 然后转移至安瓿中封装。同一样品分取数微升, 用铈还原法制氢, 分取2.5ml用 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 平衡法制测氧样品。转换后的气体送入质谱计(MAT-250)进行氢、氧同位素分析, 以SLAP与V-SMOW作分析的标准, 测定 $\delta_D$ 及 $\delta_{18O}$ (均相对V-SMOW)的精度分别约0.5‰和0.2‰。

不同深度(不同的计算年龄)冰样的 $\delta_D$ 和 $\delta_{18O}$ 值表示于图1, 图1a纵坐标为冰样的深度(以m为单位), 图1b纵坐标为由简单冰流模型计算的年龄(以a为单位)。

$\delta_D$ 和 $\delta_{18O}$ 实验点的拟合线 $\delta_D = 8.3\delta_{18O} + 0.1$ 表示在图2上, 这与H. Craig近代雨水线公式 $\delta_D = 8\delta_{18O} + 10$ <sup>[8]</sup>有别, 常数项小表示动力学气化因素影响很小。

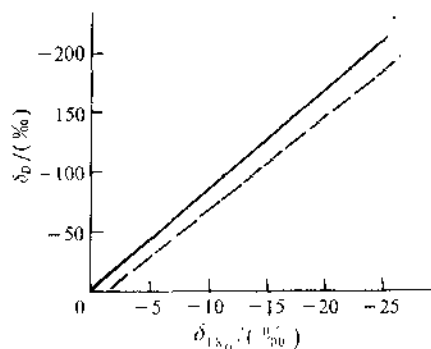


图2  $\delta_D$ 和 $\delta_{18O}$ 的拟合直线

Fig. 2 The fitted relationship between  $\delta_D$  and  $\delta_{18O}$

图3给出选择的几个冰样氘过剩量 $d$ 值。由于 $\delta_D$ 值与 $\delta_{18O}$ 值的测量误差而导致单次 $d$ 值测量精度为1.3‰, 为了获得有代表性的 $d$ 值, 每个选择的冰样又分为10 ~ 15个小样, 取细分样 $d_i$ 的平均值作为每个选择样的 $d$ 值。

### 3 讨论

#### 3.1 冰样的年龄

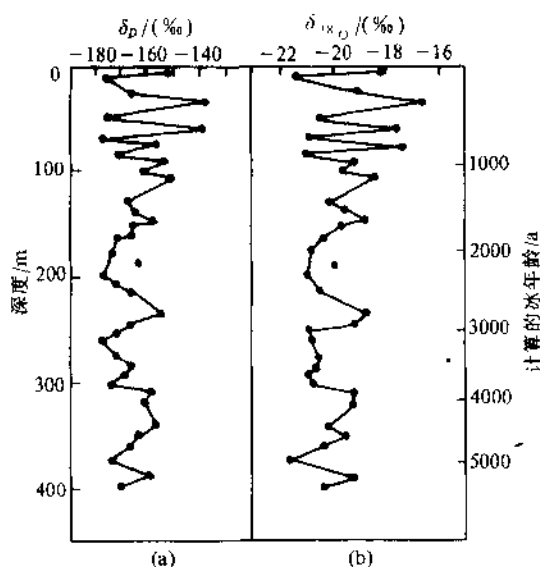


图1 不同深度的 $\delta_D$ 值(a)和 $\delta_{18O}$ 值(b)

Fig. 1 The  $\delta_D$  (a) and  $\delta_{18O}$  (b) values versus depth

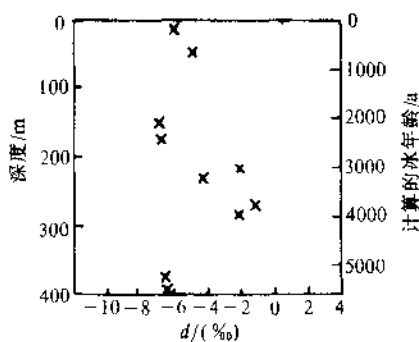


图3 几个选择冰样的 $d$ 值

Fig. 3 The  $d$  values of some selected ice samples

表 1 冰的计算年龄和 $\delta_D$ ,  $\delta_{18O}$ 测定结果  
Table 1 Estimated ice age and measured  $\delta_D$  and  $\delta_{18O}$  for BHQ ice core

| 样 品 | 深 度 / m | 计算的年龄/a | $\delta_D$ / ‰ | $\delta_{18O}$ / ‰ |
|-----|---------|---------|----------------|--------------------|
| 3   | 6.32    | 63      | -151.4         | -18.2              |
| 6   | 11.90   | 119     | -175.5         | -21.5              |
| 15  | 27.61   | 280     | -166.3         | -19.1              |
| 20  | 35.13   | 359     | -138.5         | -16.7              |
| 30  | 53.45   | 550     | -175.4         | -20.5              |
| 35  | 62.02   | 645     | -140.1         | -17.7              |
| 40  | 70.11   | 730     | -177.5         | -20.8              |
| 45  | 78.28   | 820     | -157.7         | -17.4              |
| 49  | 84.02   | 890     | -171.5         | -21.0              |
| 55  | 93.66   | 995     | -154.2         | -19.3              |
| 61  | 102.37  | 1090    | -161.5         | -19.5              |
| 65  | 108.30  | 1160    | -150.8         | -18.5              |
| 82  | 131.09  | 1430    | -166.6         | -20.0              |
| 89  | 141.75  | 1560    | -165.7         | -19.6              |
| 92  | 147.43  | 1624    | -158.5         | -18.9              |
| 95  | 152.51  | 1690    | -165.1         | -19.7              |
| 100 | 159.87  | 1790    | -166.5         | -                  |
| 104 | 166.61  | 1870    | -172.0         | -20.3              |
| 111 | 176.83  | 2000    | -173.4         | -20.8              |
| 120 | 190.46  | 2180    | -163.8         | -20.0              |
| 125 | 198.09  | 2270    | -176.3         | -21.0              |
| 130 | 205.96  | 2380    | -172.0         | -                  |
| 135 | 214.09  | 2490    | -166.2         | -20.5              |
| 148 | 234.40  | 2770    | -155.7         | -18.9              |
| 156 | 246.80  | 2950    | -167.6         | -19.3              |
| 159 | 251.60  | 3020    | -172.7         | -20.9              |
| 164 | 259.92  | 3140    | -177.6         | -20.8              |
| 174 | 277.48  | 3400    | -172.3         | -20.6              |
| 179 | 284.78  | 3520    | -167.1         | -20.7              |
| 184 | 292.98  | 3650    | -169.6         | -20.9              |
| 189 | 301.14  | 3780    | -174.8         | -20.8              |
| 195 | 310.96  | 3940    | -160.0         | -19.3              |
| 201 | 320.00  | 4090    | -161.1         | -19.3              |
| 215 | 343.70  | 4500    | -158.9         | -20.1              |
| 220 | 253.72  | 4670    | -165.6         | -19.6              |
| 225 | 361.43  | 4810    | -167.6         | -20.3              |
| 234 | 374.54  | 5050    | -174.3         | -21.6              |
| 244 | 390.58  | 5360    | -160.3         | -19.2              |
| 249 | 398.13  | 5510    | -170.1         | -20.4              |

由于样品量的限制, 利用放射性法测定冰样年龄是不可能的; 又由于BHQ年积雪率低, 受风暴影响大, 利用冰的年轮层次来确定年龄也难办到。可是, 为了把所得的结果同其它冰岩芯结果进行比较, 引用最简单的冰流模型<sup>[1, 9]</sup>, 粗略估算一下冰样年龄是有意义的。最简单的冰流模型假定: 冰壳厚度不变, 冰流形式不变, 还有不变的积雪率<sup>[1]</sup>。按此模型, 不同深度( $h$ )冰的年龄( $t$ )由下式给出<sup>[9]</sup>:

$$t = \frac{H}{\lambda} \ln \frac{H}{H-h}$$

式中,  $H$  是冰壳的厚度, 对 BHQ 而言,  $H \approx 800\text{m}$ ;  $\lambda$  是年积雪率。B. B. Johnson 报告洛多姆冰帽 F 钻孔邻近地区近十年内测量的  $\lambda$  值在  $-0.03 \sim 0.36\text{m}$  范围内波动, 有平均值  $0.18\text{m/a}$ <sup>[10]</sup>。又根据 W. F. Budd 数据图, Q 钻孔和 F 钻孔有差不多相同的  $\lambda$  值<sup>[11]</sup>, 考虑到实际冰的年层厚度随深度减小 (密度增加), 我们取  $\lambda = 0.1\text{m/a}$ 。

按简单冰流模型公式计算的冰的年龄列于表 1。

### 3.2 实验数据解释

正如图 1 所示, 在近五千年内, 总的说来,  $\delta_D$  和  $\delta_{18O}$  的长期波动不大, 这反映近代气候变化比较平缓。但是仔细分析数据, 我们仍然可以看出  $\delta$  分布图中

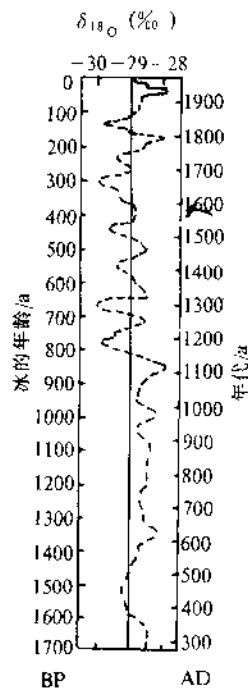
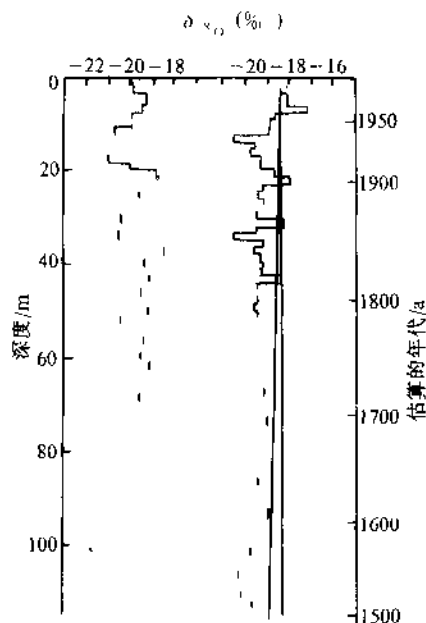


图 4 洛多姆B 钻孔和 P 钻孔不同深度的  $\delta_{18O}$  值 图 5 世纪营地冰岩芯不同深度 (不同年龄) 的  $\delta_{18O}$  值  
Fig.4 Oxygen isotope profile for BHQ ice core Fig.5 Oxygen isotope profile for the ice core  
together with BHP, from Law Dome from Camp Century

有三个同位素阶段: 第一阶段为近 100m 深的冰层,  $\delta_D$  和  $\delta_{18O}$  值呈明显的振荡, 近期的这种振荡在洛多姆 P 钻孔和格陵兰的 Camp Century 钻孔也呈现过。图 4 和图 5 表示这种振荡<sup>[1, 11]</sup>。W. Dansgaard 把产生这种振荡的原因归结于太阳辐射的周期性变化。第二阶段冰层深度在 150 ~ 200m 和 240 ~ 300m 之间,  $\delta_{18O}$  值系统偏离平均值达  $-0.8\%$ 。这种偏离不可能由季节效应和测量误差所造成。C. Lorius 等分析 Dumom d'Urville 与 Dome C 之间的冰雪样品时, 给出了适合该地区平均地表温度  $T_m$  与同位素氘含量之间的经验公式, 即  $\delta_D = 6.04 (T_m / ^\circ\text{C}) - 51$ <sup>[21]</sup>, 这等效于  $d\delta_{18O} / dT_m = 0.75\%$ 。可见这一阶段  $\delta_{18O}$  值偏离平均值达  $-0.8\%$ , 反映这一阶段的温度比平均温度降低约  $1^\circ\text{C}$ , 是为比较寒冷的阶段。第三阶段冰层深度在 310 ~ 400m 之间,  $\delta_{18O} \geq -19.9\%$ , 是为较温暖阶段。

### 3.3 年平均地表温度 $T_m$ 的估计

由  $\delta$  值推测年平均地表温度  $T_m$ , 受着诸种因素的影响, 如纬度效应, 海拔效应, 降水频度, 以及风飘等。但对同一地区来说, 因气象条件相对均匀, 可以建立  $\delta$  值与  $T_m$  之间的经验公式。我们把上述  $\delta_D = 6.04 (T_m / ^\circ\text{C}) - 51$  公式引用到洛多姆冰帽的 BHQ 来, 推测得近五千年内 BHQ 附近地区年平均地表温度  $T_m = -18.9^\circ\text{C}$ 。

致谢 中国科学院兰州冰川冻土研究所为我们提供了样品和有关材料, 肖伦对我们工作进行了指导和论文审改, 在此表示感谢。

### 参考文献

- 1 Dansgaard W, et al. One thousand centuries of climatic record from camp century on the Greenland Ice Sheet. *Science*, 1969, **166**: 377-381
- 2 Jean Jouzel and Liliane Merlivat. Deuterium excess in an East Antarctic ice core suggests higher relative humidity at the oceanic surface during the last glacial maximum. *Nature*, 1982, **299**: 688-691
- 3 Sylvie Joussaume, et al. A general circulation model of water isotope cycles in the atmosphere. *Nature*, 1984, **311**: 24-29
- 4 Dansgaard W, et al. A New Greenland deep ice core. *Science*, 1982, **218**: 1273-1277
- 5 Johnsen S J, Dansgaard W, et al. Oxygen isotope profiles through the Antarctic and Greenland ice sheets. *Nature*, 1972, **235**: 429-434
- 6 Morgan V I. Antarctic ice sheet surface oxygen isotope values. *Journal of Glaciology*, 1982, **28** (99): 315-323
- 7 Lorius C, et al. A 150, 000-year climatic record from Antarctic ice. *Nature*, 1985, **316**: 591-596
- 8 Craig H. Isotopic variations in meteoric water. *Science*, 1961, **133**: 1702-1703

- 9 Lorius C, et al. A 30,000-yr isotope climatic record from Antarctic ice. *Nature*, 1979, **280**: 644~648
- 10 Johnson B B, Chamberlain M. Sodium, magnesium, potassium and calcium concentrations in ice cores from the Law Dome, Antarctica. *Geochim, Cosmochim Acta*, 1981, **45**: 771~779
- 11 Budd W F, Morgan V I. Isotopes, climate and ice sheet dynamics from core studies on Law Dome, Antarctica. *IAHS Publ*, 1977, **118**: 312~321
- 12 Lorius C and Merlivat L. Distribution of mean Surface stable isotope values in East Antarctica: observed changes with depth in the coastal area. *IAHS Publ*, 1977, **118**: 127~137

## ISOTOPIC ANALYSES OF HYDROGEN AND OXYGEN OF ICE CORE FROM BHQ ON THE LAW DOME, ANTARCTICA

—— An Isotope Climatic Variation Record for 5000 years

Jiang Guoqiang, Yu Zhengjing, Kang Mingxian, Zheng Lianchun

(Institute of Sichuan Material and Technology, CAEP)

**ABSTRACT** The  $^{18}\text{O}$  and D isotopes in water are important climatic tracers. The ratios of  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and D/H are governed primarily by the temperature at the time when the water was precipitated as snow. Studies on hydrogen and oxygen isotopic composition of polar ice provide a continuous record of past climatic variations. The  $\delta$  curves of D and  $^{18}\text{O}$  determined from an ice core thermally drilled to 400m on the Law Dome, Antarctica indicate relatively little climatic fluctuation in the past 5000 years, with a mean value of  $-19.3\text{‰}$  for  $\delta_{18\text{O}}$  and  $-164.5\text{‰}$  for  $\delta_{\text{D}}$ . The annual surface mean temperature  $T_m$  is estimated to be  $-18.9^\circ\text{C}$ .

**KEY WORDS** isotopic analyses of hydrogen and oxygen ice core antarctica

This series of science and technology reports is published by China Academy of Engineering Physics (CAEP) and issued worldwide to expand domestic and international exchanges of science and technology. Permission is granted to quote from the reports for nonprofit use. Contributors include those from CAEP and those who do research in CAEP. Reports in this series are divided into 7 catalogues:

MCSP— Mechanics and Condensed State Physics

NPPP— Nuclear Physics and Plasma Physics

EMS— Engineering and Material Science

EPE— Electronics and Photoelectronics

CCE— Chemistry and Chemical Engineering

CCM— Computer and Computational Mathematics

OT— Other

Available to the public from the High Power Laser and Particle Beams Magazine Corporation, P.O.Box 511-5, Chengdu, China, 610003