

达索普冰芯中现代环境信息记录^{*}

段克勤 姚檀栋 皇翠兰 蒲健辰 杨志红

(中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯室, 730000 E-mail: icecore@ns.lzb.ac.cn)

摘要 1996-07~08, 中美联合考察队成功地考察了希夏邦马地区达索普冰川, 并提取了一支 20m 长的冰芯, 这支冰芯是迄今为止世界上海拔最高的冰芯。对资料分析发现离子含量变化显示强烈的周期性变化, 反映了季节变化的特征。离子浓度高低变化将指示气候的冷暖变化, 并与 $\delta^{18}\text{O}$ 存在着对应关系, 但 $\delta^{18}\text{O}$ 对气候变化的反映没有各种离子反映灵敏。 $\delta^{18}\text{O}$ 值自 1989 年以来迅速增大。该冰川受人类活动影响微弱。阳离子浓度大小顺序与地壳中顺序一致。同时, 该冰川所记录的 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的多年平均浓度可做为青藏高原南部对流层中上部 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的浓度的本底值, 其中 NO_3^- 的 13a 平均浓度为 $280\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, SO_4^{2-} 的 13a 平均浓度为 $156.88\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

关键词 希夏邦马达索普, 冰芯, 离子, 环境, 记录, 本底值。

Modern Environment Information Recorded in Dasuopu Shallow Ice Core

Duan Keqing Yao Tandong Huang Cuilan, Pu Jianchen Yang Zhizhong

(Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology,
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000 E-mail: icecore@ns.lza.ac.cn)

Abstract In June—August 1996, a Chinese-American expedition team successfully recovered an ice core (20m) from the Dasuopu Glacier (summit 7000m a.s.l) in the Himalayas. The Dasuopu Glacier is suitable to drill ice core. Major ions (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) and $\delta^{18}\text{O}$ analyses indicate that the glacier has not suffered from human activities. Ions and $\delta^{18}\text{O}$ can reflect climate change. But ions are more sensitive to reflect climate and environment than that $\delta^{18}\text{O}$ does. The values of NO_3^- and SO_4^{2-} recorded in this ice core can be used as the background values of NO_3^- and SO_4^{2-} in the middle-upper troposphere over the South of Qihai-Tibetan Plateau. The mean value of NO_3^- for 13 years is $280\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ and that of SO_4^{2-} for 13 years is $156.88\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$. The proper order of cations in the Dasuopu ice core is same as that in the earth crust.

Keywords Dasuopu shallow, ice core, environment, major ions, background values.

冰芯中记录的阴阳离子是反应过去气候与环境变化的可靠指标, 搞清阴离子和阳离子的来源、传输、沉积以及冰内的次生变化机制, 可以恢复过去气候与环境的变化, 这对研究冰川来说有着十分重要的意义。本文根据希夏邦马浅冰芯中阴离子和阳离子和变化, 探讨了希夏邦马峰的气候与环境变化。

1 冰芯的钻取和分析

1.1 冰芯的提取

冰芯提取之后, 首先对其进行了剖面描述记录, 然后对冰芯平均以 14cm 间隔取样并称

^{*} 国家“九五”攀登计划项目(The National Key Science and Technology Project during the Ninth Five-year Plan Period): KZ951-A1-204-02-03, 国家自然科学基金项目(Project Supported by National Natural Science Foundation of China): 49671021 和中国科学院九五重大项目: KZ951-A1-402-03-03

段克勤: 男, 28 岁, 博士生

收稿日期: 1998-01-14

重,详细记录结果,然后将样品密封于干净塑料袋中,样品拿回营地,溶化后装入干净塑料瓶,中美各一半,共得144个样品.返回兰州时样品处于良好冷冻状态.在样品的包装,运输及分析各个环节中,都严格按照规范方法操作,最大限度地避免了污染.比较中美两国所测之结果,发现两分析结果高度吻合,这说明所测数据是可靠的.

1.2 样品分析

样品中阳离子由PE-2380原子吸收光谱仪测得,该系统对不同的阳离子浓度的测定下限有一定差异,在 $5\text{--}25\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 的范围内,其相对标准偏差小于1%.阴离子的测定是在美

国Dionex公司产的DX-100型离子色谱上进行的,其相对标准偏差小于1%.氧同位素比率测定是在美国产MAT-252质谱仪上进行的,其测量精度为0.5‰.

2 年层划分及离子含量与 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化关系

2.1 年层划分

达索普冰川提取的冰芯中没有明显的污化层,因此不能由污化层来划分年层.但结合 $\delta^{18}\text{O}$ 和阴阳离子的明显季节变化特点可划分年层.其基本原理是冬季降雪和夏季降雪中氧同位素值差异很大.据此特点,可将该冰芯划分为13个年层(图1).

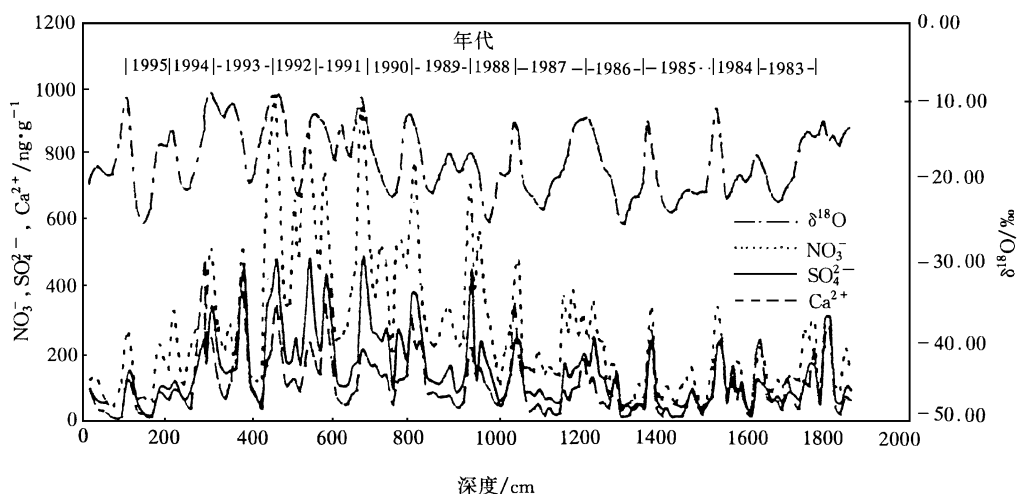


图1 $\delta^{18}\text{O}$, SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 的比较以及年层的划分

从提取的冰芯剖面看,除间或有0.5—6cm的冰层外,绝大部分是由干雪的重结晶作用过程成冰(姚檀栋,中国高山冰川重结晶带的发现,待发表).即没有因融水下渗而造成积累量的损失.因此,可直接把此冰川的年积累量转换为年降水量.

2.2 $\delta^{18}\text{O}$ 的特征及其与离子含量的变化关系

从图1看出, $\delta^{18}\text{O}$ 也存在着明显的周期性变化,与 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 Ca^{2+} 浓度变化曲线有明显的对应关系, $\delta^{18}\text{O}$ 高值与离子浓度高值所对应, $\delta^{18}\text{O}$ 低值与离子浓度低值所对应,在冬春季高粉尘季节 $\delta^{18}\text{O}$ 是一个高值,在夏季低粉尘

季节, $\delta^{18}\text{O}$ 是个低值.说明 $\delta^{18}\text{O}$ 也受季节变化的影响,这就为冰芯年层划分,积累量的恢复提供了可靠证据.在20m冰芯中,从2.5—10m之间,离子含量显示出较大幅度的变化,而 $\delta^{18}\text{O}$ 变化幅度并不大,说明离子含量发生突变时, $\delta^{18}\text{O}$ 并不是灵敏地随离子含量的变化而变化.也就是说,在希夏邦马峰地区 $\delta^{18}\text{O}$ 对气候变化的反映没有各种阴阳离子的反映灵敏.

$\delta^{18}\text{O}$ 的另一个特征是最近一段时间它的值迅速增大,从冰芯顶部所对应的1995年往下到8m深处所对应的1989年的 $\delta^{18}\text{O}$ 6a平均值为 -15.35‰ ,比1983—1989年7a的平均氧同

位素值增大 3.03‰, 这一增大趋势在图 1 中很明显. 这一特征与古里雅冰芯所记录的 1985—1990 年 5a 氧同位素平均值比 1981—1985 年 5a 氧同位素平均值大 1.9‰ 相似^[1], 所不同的是达索普冰芯中氧同位素值明显增大时间比古里雅冰芯氧同位素增大晚 4—5a 且增大趋势更明显. 达索普冰芯记录的 $\delta^{18}\text{O}$ 反映季节变化, 它是否反映温度变化, 有待进一步的工作. 古里雅冰芯所记录的氧同位素值增大是由于气温升高所引起的^[2], 由此推论, 如达索普冰芯中氧同位素值增大也是由气温升高所引起的, 那么, 高原近年来的升温存在东西差异, 即西部升温早于东部升温. 这一结论与古里雅冰芯记录的变暖事件早与唐古拉冰芯记录的变暖事件一致^[2].

3 达索普浅孔冰芯中现代环境信息的记录

3.1 气候环境信息

冰川中记录的气候环境信息, 对恢复古气候、指示环境变迁以及监测人类活动对环境的影响是精确而有效的. 大气中各种微量成分经各种途径降落到冰川上, 由于干净的雪冰对大气和环境变化很敏感, 研究冰芯就可以建立起这些微量成分的时间序列. 达索普浅孔冰芯的剖面指示出很少有融化现象发生, 因此离子的淋溶作用可忽略掉. 图 2 是阴离子的随深度的变化, 很明显它们都存在较强的季节变化特性 (图 1 中 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 与 $\delta^{18}\text{O}$ 的比较更能说明这一点). 在这里把得到的冰芯样品的化学分析数据进行年平均, 这样得到的浓度平均值具有较强的稳定性, 而且也消除了季节变化所造成的冰内化学浓度纵向周期性变化的影响.

各种化学成分均具有特定的环境指示意义, 一方面, 其浓度从不同侧面反应了大气环境

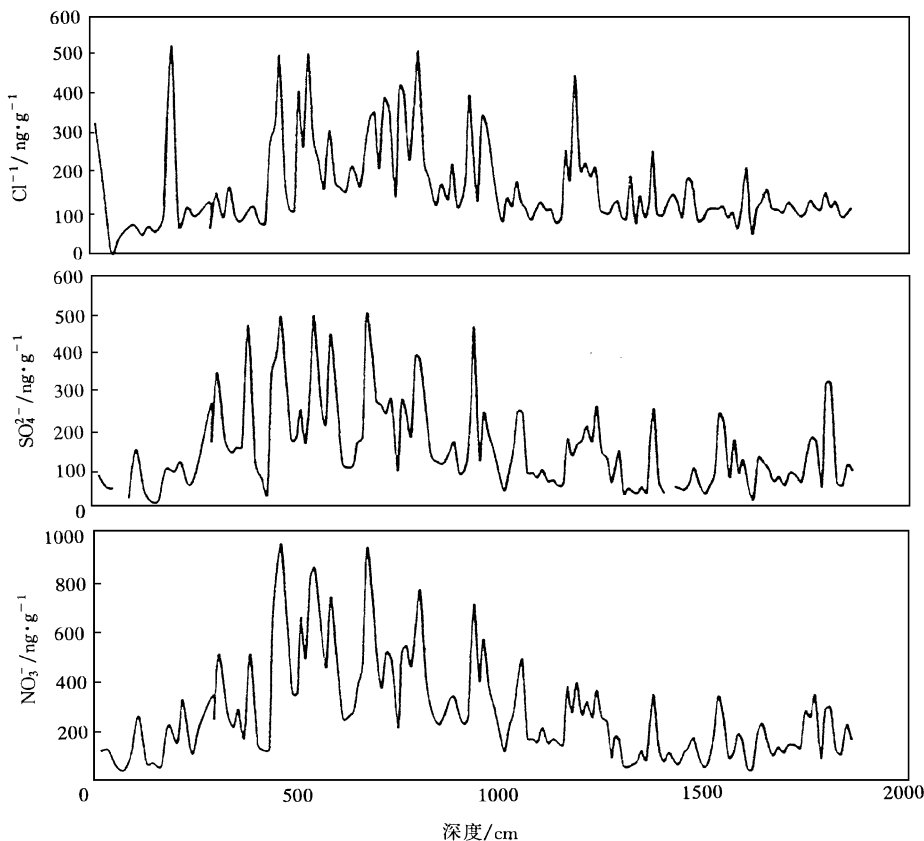


图 2 阴离子随钻孔深度变化的曲线

信息, 另一方面, 它又受各种因素的制约, 环流形式、地理位置和降水量是决定离子浓度的根本原因. 达索普冰川地理位置特殊, 不同季节它受不同形式的环流控制, 但是, 达索普冰川降水量的多寡却主要由西南季风决定. 这样, 就形成了达索普冰川的独特性, 即它的降水量受西南季风的控制, 而阳离子的浓度大小顺序($\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$) 却与地壳中的含量大小一致. 这一特点是其它冰川所不具备的.

3.2 各种离子随钻孔深度的变化

离子浓度随钻孔深度的变化曲线中高值大约是低值的 4—8 倍, 曲线显示出强烈的周期性变化, 反映了季节变化的特征, 说明大气环境存在着明显的季节性变化差异. 希夏邦马峰地区大气环境特殊, 冰芯中矿物成分主要来源于青藏高原北部亚洲粉尘和区域性岩矿风化物的输入^[3]. 所以离子浓度的高低变化将指示气候的冷暖变化. 阳离子浓度大小顺序为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, 与它们在地壳中含量大小顺序相似^[4]. 阴离子 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 NO_3^- 浓度曲线变化趋势相似. 但 $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ 和 Cl^- , NO_3^- 离子浓度在高原南部和北部变化幅度不大, 它可能有与其它离子不同的传输方式和沉积机制. 冰芯层位形成机制是: 在冬春季 2—5 月份为亚洲高粉尘季节, 离子浓度出现高值, 在夏季为低粉尘季节, 离子浓度出现低值. 由于该地区粉尘自高原北部经长距离输送, 至此, 粉尘含量较北部低, 因此, 离子含量也比青藏高原北部要低. 7 种离子年平均最大浓度值是最低年平均浓度值的 1—4 倍不等, 这一比值比古里雅冰芯记录的离子在高粉尘季节的平均浓度值为低粉尘季节平均浓度的 4—8 倍为小, 这一差异指示了青藏高原南部大气环境的季节差异比北部的小.

3.3 降水量与离子的关联性

由灰色因素的关联分析得到降水量对离子的关联序为:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0.7022 > r_2 = 0.6861 > r_3 = 0.6705 > \\ r_4 &= 0.6495 > r_5 = 0.6493 > r_6 = 0.6421 > \\ r_7 &= 0.6236 \end{aligned}$$

$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$ 分别表示降水量对

Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ , NO_3^- 的贡献. r_1 最大, 也就是降水量对 Cl^- 的影响最大, r_7 最小, 即降水量对 NO_3^- 的影响最小.

3.4 阴离子讨论

氮化合物是影响大气质量的重要指标, 它的来源复杂. 从降水的 NO_3^- 分布等值线上看, 高于 $620\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 的地区都可能受到人为成因氮气的影 响^[5]. 北京市 NO_3^- 浓度最高值可达 $1736\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 而美国中部工业发达人口密集地区, 降水中 NO_3^- 含量高达 $2480—3100\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$. 达索普冰芯中 NO_3^- 的多年平均浓度为 $280\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 它远小于 $620\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 也小于受亚洲粉尘较大影响的北太平洋海域 NO_3^- 气溶胶的含量 $300\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[6], 但它又比太平洋赤道附近和南太平洋中部上空 NO_3^- 的纯海洋型本底值 $110\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 为大^[6].

SO_4^{2-} 浓度 13a 的平均浓度为 $156.88\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 比目前发现受到人为污染气体影响的新疆天山一号冰川和博格达峰冰川的 SO_4^{2-} 浓度低得多(分别为二者的 1/6 和 1/18), 比污染较严重的北京、贵阳等地多年降水中 SO_4^{2-} 浓度则低得更多(仅为这些地区的 1/200). 没有受到人类活动污染气体影响的古里雅冰芯中 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 主要来源于高粉尘季节粉尘的注入^[7], 古里雅冰芯中从 1977—1992 年间 SO_4^{2-} 平均浓度为 $321.6\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 是达索普冰芯中 SO_4^{2-} 浓度的 2 倍. Monaghan 等 1990 年提出, 在过去的一个世纪里, 矿物燃料燃烧产生的硫化物气体并没影响到整个北半球对流大气层. 人为成因的硫化物气溶胶从工业集中地向其它地区扩散仅发生在对流大气层的中下部. 他分析了加拿大 Logan 山冰芯中 SO_4^{2-} 浓度后指出, 该冰芯(钻于海拔 5951m 处)中亚微米型气溶胶物质可能来自对流层中部和上部, 人为成因的 SO_4^{2-} 没有影响到该大气层^[6]. Galloway 等 1987 年指出: 北美大陆由于燃烧产生的气体物质大多数沉降在燃烧区附近及顺风区域^[6].

达索普冰川海拔 7000m 以上, 位于对流层中上部, 由上面对 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的分析可知达

索普冰川几乎没受到人类活动的影响. 因此, 由达索普冰芯中记录的 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的多年平均浓度可作为青藏高原南部对流层中上部 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的浓度的本底值. NO_3^- 在 1983—1995 13a 间平均浓度为 $280\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, SO_4^{2-} 在 1983—1995 年 13a 间平均浓度为 $156.88\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$.

Cl^- 也是降水含量较大的微量成分. 在太平洋上, 降水中 Cl^- 浓度可高达 $40000\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 而在内陆地区, 降水中 Cl^- 浓度可能低于 $100\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 根据已有的大量观测资料来看, 降水中 Cl^- 浓度随着离海岸距离的增加而呈指数下降. 事实说明, 如没有人类污染, 降水中 Cl^- 主要来自海盐粒子^[8]. 达索普冰芯中 Cl^- 13 年的平均浓度为 $166.64\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 由前面讨论知该冰川受到人类活动影响微弱, 且计算的降水量对 Cl^- 的关联度最大也说明了 Cl^- 应主要来自海盐粒子. 因此, 可以以 Cl^- 为海洋参考元素来计算出达索普冰芯中海盐离子所占比例.

海水在温度为 25℃, 盐度为 35‰ 时, 主要离子和 Cl^- 的比值(重量比)为^[9]:

$$\begin{aligned}\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- & 0.14 & \text{Na}^+ / \text{Cl}^- & 0.557 \\ \text{K}^+ / \text{Cl}^- & 0.02 & \text{Ca}^{2+} / \text{Cl}^- & 0.021 \\ \text{Mg}^{2+} / \text{Cl}^- & 0.07\end{aligned}$$

在达索普冰芯中, 主要离子和 Cl^- 的比值(重量比)为:

$$\begin{aligned}\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- & 1.07 & \text{Na}^+ / \text{Cl}^- & 0.559 \\ \text{K}^+ / \text{Cl}^- & 0.294 & \text{Ca}^{2+} / \text{Cl}^- & 0.707 \\ \text{Mg}^{2+} / \text{Cl}^- & 0.08\end{aligned}$$

比较达索普冰芯与海水中主要离子和 Cl^- 的比值可以发现, 达索普冰芯中 Na^+ 和 Mg^{2+} 主要来自于海盐离子, 而 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 主要来

自于陆源.

4 结论

达索普冰芯是迄今为止世界上海拔最高的冰芯, 研究它有许多优越性. 通过离子分析, 发现该冰川没有受到人类活动较大的影响, 因此该冰芯所记录的离子浓度可做为青藏高原南部对流层中上部离子浓度的本底值. 该冰芯中记录的 NO_3^- 浓度多年平均值为 $280\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$. SO_4^{2-} 多年平均浓度值为 $156.88\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$. 离子浓度呈周期变化, 反应了季节变化的特征, 且阳离子含量与地壳中阳离子含量一致. 离子浓度与 $\delta^{18}\text{O}$ 存在着对应关系, 但 $\delta^{18}\text{O}$ 对气候变化的反映没有各种离子反映灵敏.

参 考 文 献

- 1 姚檀栋, 焦克勤, 李忠勤. 古里雅冰帽气候环境记录. 中国科学(B 辑), 1994, 24(7): 769
- 2 姚檀栋, 杨志红, 刘景寿. 冰芯记录所揭示的青藏高原升温. 科学通报, 1994, 39(5): 441
- 3 李忠勤, 姚檀栋, 皇翠兰. 古里雅冰帽中的化学物质沉积特征和现代大气环境记录. 青藏高原形成演化、环境变迁和生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京: 科学出版社, 1995: 11—21
- 4 李月芳, 姚檀栋, 皇翠兰. 古里雅冰帽中化学成分的空间变化. 冰川冻土, 1993, 5(3): 467—473
- 5 Barrie L A. The spatial distribution of precipitation acidity and major ion wet deposition in north America during 1980. Tellus, 1984, 3616: 333—335
- 6 李忠勤, 姚檀栋, 谢自楚. 大气气溶胶中 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 研究. 地球科学进展, 1994, 10(3): 290—293
- 7 李忠勤, 姚檀栋, 谢自楚. 青藏高原古里雅冰芯中的现代大气环境记录. 科学通报, 1994, 39(23): 2201
- 8 王明星. 大气化学(第一版). 北京: 气象出版社, 1991: 356
- 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: 88