

南极冰盖表面过量氘的分布特征*

任贾文 秦大河

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

关键词 南极冰盖 过量氘 稳定同位素比率 水汽源区

寒冷地区冰雪中稳定同位素比率 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 的分析是恢复古气候记录的最有效手段之一。近年来与 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 有关的另一个量值——过量氘(exD)也越来越受到重视, 因为 exD 可提供水汽源区的某些信息。对东南极冰盖过去虽曾有过 exD 分布的研究, 但资料主要取自靠近海岸一些站点^[1]。本文根据沿“1990 年国际横穿南极考察队”路线表面雪样稳定同位素比率测定结果, 对南极冰盖表面 exD 的分布特征予以介绍, 并对其意义给予初步解释。

1 采样和分析

如图 1 所示, 考察队从南极半岛北端出发, 穿越拉森冰架、埃尔斯沃思山脉、南极点、南极高原等典型地理区域, 考察路线总长度 5 896 km。沿考察路线共选择了 104 个采样地点, 即每隔大约 55 km 一个采样地点。在每个采样地点于 1 m 深度范围内采集 4 个样品, 每个样品代表 25 cm 厚度雪层。样品保持原冻结状态运往法国贮存于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷库中。考察路线上的自然地理特征和雪层剖面观测结果已有另文专述^[2]。

样品稳定同位素测试是在位于法国 Saclay 市的气候与环境模拟实验室用质谱仪 (LODO) 完成。测试前将样品置于常温室融化, 然后从每个雪坑的 4 个样品中各提取 1 mL 混合后作为该站点的平均样品进行测试。 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的测量精度分别为 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{‰}$ 和 $\pm 0.15\text{ }^{\circ}\text{‰}$, exD 由下式计算^[3]:

$$\text{exD} = \delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O},$$

其精度约为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{‰}$ 。

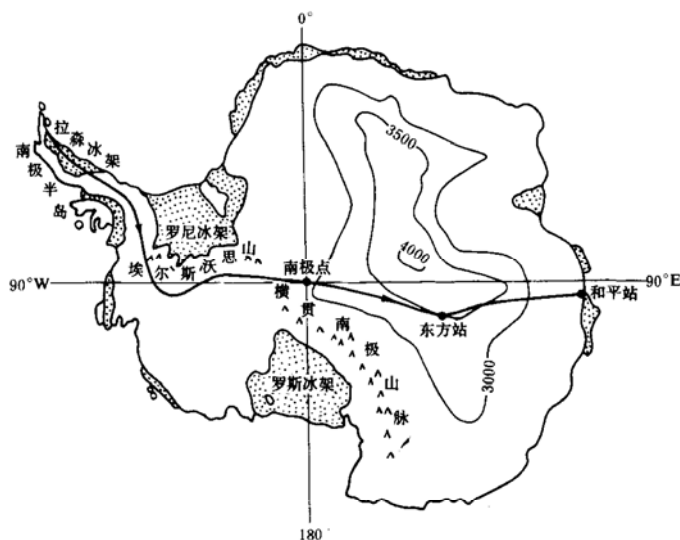


图 1 1990 年国际横穿南极考察队路线图

1994-08-08 收稿, 1995-01-24 收修改稿

* 国家科委、国家自然科学基金和中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯实验室资助项目

2 exD 的分布特征

图2给出了沿考察路线海拔高度的变化和exD的分布. 年平均温度随海拔升高而降低, 这里不再给出. 从图2中可看到exD值有些散乱, 其原因主要为: 首先, 每个地点仅有一个样品; 其次因降雪积累速率的差异, 1 m雪层所包含的降水在不同地点有所不同, 如南极高原中心(Vostok站附近)1 m雪层包含10~15年降水, 而在南极半岛某些地点年积雪深度超过1 m; 第三, 与 δD 和 $\delta^{18}O$ 相比, exD的精度较低. 尽管如此, exD的总的分布趋势仍然比较明显: 从海岸到约2000 m高度, exD变化不大, 基本上稳定在5%左右; 在海拔超过2000 m的内陆地区, exD随海拔升高呈增大趋势, 在高原中心达到15%左右. 这与Petit等^[1]根据东南极冰盖东部一些站点资料得出的分布趋势相一致, 只是Petit等的资料显示, exD比较稳定和明显增大的转折区域高度为2500 m左右.

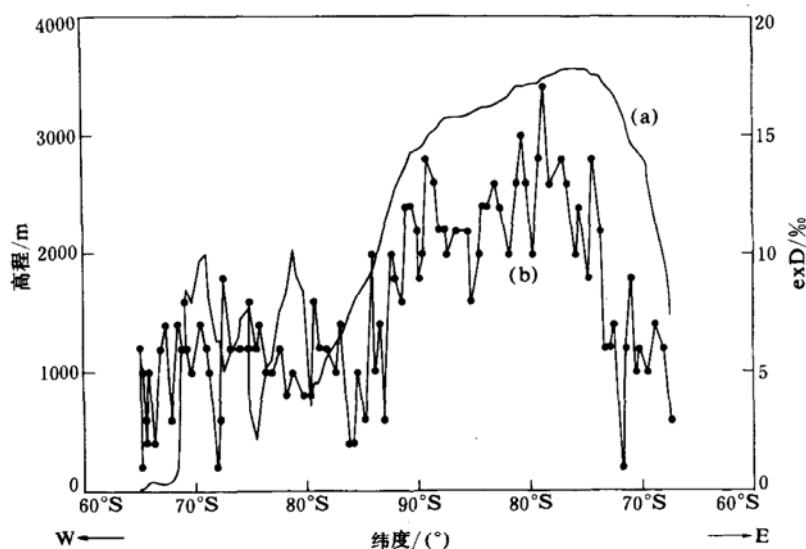


图2 沿“横穿南极”考察路线海拔高度的变化(a)和exD的分布(b)

3 影响exD的主要因素

对影响exD的因素曾有不少研究, 目前一般认为主要是海洋蒸发时的洋面温度、近洋面空气温度和风速. 另外, 在寒冷地区水汽凝结形成降雪时的过饱和度也可能有一定影响.

Jouzel和Merlivat^[4]曾建立水汽形成和降水发生过程中同位素分馏的动力Rayleigh模型. 在此模型中, 水汽中的同位素 δ 值由洋面温度、空气湿度和风速所决定. 若凝结时水汽为饱和状态, 降水中的 δ 值由简单的Rayleigh模型^[5]所决定; 但形成降雪时通常为过饱和状态, 因而需增加一个动力分馏因子.

Petit等^[1]应用此模型对东南极冰盖一些站点表面雪层同位素资料进行了模拟. 人们首先根据大量的海洋气象资料确定出20°S到60°S不同海域的表面温度、空气湿度、风速等参数, 然后根据样品采集地点气候条件确定水汽凝结时的温度、过饱和度等参数, 最后得出各个参数变化情况下exD与 δD 关系. 其结果显示, 当洋面风速不同时exD与 δD 关系曲线仅表现

为平移变化; 洋面空气湿度的变化在 δD 负值较大时影响甚微; 而洋面温度不同时曲线形状发生变化, 说明洋面温度是影响 exD 的最主要因素。

4 对 exD 分布特征的解释

图 3 给出了沿“横穿南极”考察路线 exD 与 δD 的关系和 Petit 等^[1]的结果进行对比。从图 3 中可看到二者具有非常好的一致性。因此我们在此不再重复前述模拟过程对“横穿南极”路线上的资料进行模拟, 而可直接引用 Petit 等^[1]的模拟结果来对 exD 的分布特征予以解释。

由于一般来说洋面温度随纬度单调变化, 空气湿度和风速随纬度不同也有变化, 我们可简单地将水汽源区条件的差异看成是水汽源区位置的差异。根据 Petit 等的模拟结果及其分析结论, 作为一级近似, 可将 exD 的分布解释为: 较低且稳定的 exD 值 (5‰ 左右) 意味着水汽源于近海区域, 较高且明显变化的 exD 说明水汽源于洋面温度较高、纬度较低 ($30^{\circ} \sim 40^{\circ} S$) 的远海区域。

从图 2 中我们知道, 较低且稳定的 exD 出现在海拔低于 2 000 m 的地区; 当海拔超过 2 000 m 时 exD 呈明显增大趋势。根据“横穿南极”路线上的年平均温度资料^[5]和地形特征^[2], 前者主要对应的是西南极洲大部分区域和东南极洲海岸带 ($-12 \sim -45^{\circ} C$), 后者为东南极洲内陆 (低于 $-50^{\circ} C$)。也就是说, 南极高原地区降水主要源于远海气团, 海岸带和西南极洲大部分区域 (西南极洲小部分区域海拔高于 2 000 m, 但未有资料) 降水主要源于近海水汽。秦大河¹⁾对“横穿南极”路线上雪样的主要阴、阳离子分析也得出了与此相吻合的结论。

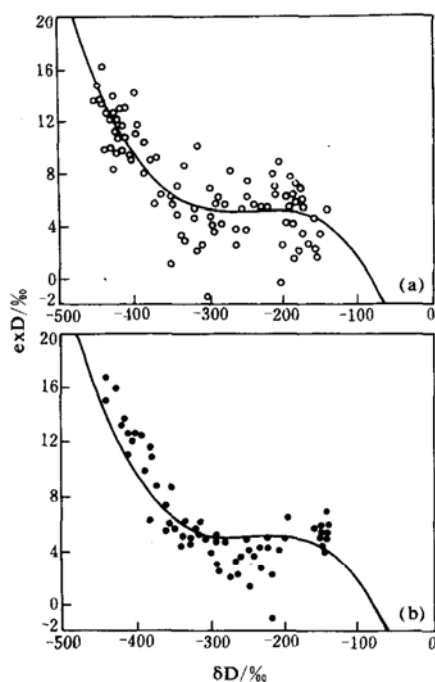


图 3 exD 与 δD 之间的关系
(a) 沿“横穿南极”考察路线资料, (b) Petit 等^[1]的结果。为了对比, (a) 图中的拟合曲线也示于 (b) 图中

参 考 文 献

- 1 Petit J R, White J W C, Young N W *et al.* Deuterium excess in recent Antarctic snow. *J Geophys Res*, 1991, 96(D3): 5 113~5 122
- 2 Qin Dahe, Ren Jiawen. A study on snow profiles and surface characteristics along 6 000 km Trans-Antarctic route (I). *Science in China, Series B*, 1992, 35(3): 366~374
- 3 Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 1964, 16(4): 436~468
- 4 Jouzel J, Merlivat L. Deuterium and oxygen 18 in precipitation: modeling of the isotopic effects during snowformation. *J Geophys Res*, 1984, 89(D7): 11 749~11 757
- 5 Qin Dahe, Petit J R, Jouzel J *et al.* Distribution of stable isotopes in surface snow along the route of the 1990 International Trans-Antarctica Expedition. *J Glaciol*, 1994, 40(134): 107~118

1) 秦大河. 南极冰盖表层雪内的现代气候和环境记录研究. 中国科学院兰州冰川冻土研究所博士论文, 1992