

研究论文

雪冰电导率反映的南、北极和 青藏高原大气环境差异^{*}

效存德 秦大河 任贾文 李忠勤 盛文坤

(中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯与寒区环境开放研究实验室,兰州 730000)

提要 青藏高原(无论南部、北部)雪冰电导率与雪冰体的酸碱度及雪冰内各类杂质成分的关系明显不同于极地冰盖(南极冰盖与格陵兰冰盖),青藏高原雪冰电导率依赖于地壳来源的碱性矿物盐类杂质(如 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 等),因而与雪冰酸度(即 H^+)呈反相关;极地冰盖雪冰电导率依赖于海洋来源的酸根离子(如 Cl^- , SO_4^{2-} 等),因而与雪冰酸度呈正相关。但在北极地区,雪冰电导率与各离子的关系存在复杂的地域分异,如在北极中心地区,极可能由于“北极霾”的干扰,打破了格陵兰冰盖内电导率与酸根离子间明确的函数关系。总之,雪冰电导率是寒区大气环境的替代性“指示器”。

关键词 北极 南极 青藏高原 电导率 pH值 大气环境

降水中电导率是降水中所含总离子综合性指标的反映,电导率的变化反映了降水化学性质的变化(刘嘉麟等,1995)。雪冰电导率的变化反映了雪冰化学杂质的浓度变化(Moore *et al.*, 1992),冰芯中不同离子与电导率呈何种关系可以印证控制电导率的主导因子(Delmas *et al.*, 1982),反过来,雪冰电导率又反映了雪冰化学特征,因而归根结蒂指示了大气环境状况。南极、北极和以青藏高原为主体的高亚洲是现代地球上面积最大、最显著的三个寒区,本文通过对北极中心地带,青藏高原南、北部等地区现代雪冰的实测电导率值的分析,以及与前人在南极、格陵兰冰盖的实测结果的比较,探讨雪冰电导率所揭示的寒区现代大气环境的异同性。

1 样品采集和测试方法

1995年4月24日至5月6日“中国首次远征北极点科学考察”期间,取得了北冰洋中心地

^{*} 中国科学院重大项目 A(KZ951-A1-205-01), 国家科技攻关计划(98-927-5)和中国科学院冰冻圈专项(KJB-2-207)资助项目

带自 88°~ 90°N 路段上共 10 个雪坑计 74 个样品 (效存德、秦大河, 1996; 效存德等, 1998)

1993 年 8 月 5 日在唐古拉山口北侧冬克玛底支冰川海拔 5700m 处钻取一支 4.93m 的浅冰芯, 截取样品 47 个; 此外, 在同一冰川沿主流线海拔 5500m, 5700m 和 5900m 处, 挖三个深度分别为 1.2m, 0.9m 和 1.06m 的雪坑, 均包含一个年层的积雪, 各获样品 9 个。

1997 年 5~ 6 月, 在青藏高原南缘的珠穆朗玛峰北坡远东绒布冰川海拔 6500m 和 6400m 处采集了两个雪坑的样品共 13 个, 同时沿该冰川主流线从海拔 6140m 到 6400m 采集表层 5cm 样品共 36 个, 共计 49 个样品。

电导率 (ECM) 系用 DDS-11A 型电导仪测定常温下的电导率值, 再据电导参数和标准曲线法推算 25℃ 时的比电导; pH 值用 pH5-型酸度计测定。下文讨论涉及的主要阳离子的测试采用 PE-2380 型原子吸收光谱仪, 最低检测限 $< 10 \times 10^{-9} \text{ g/g}$, 主要阴离子采用 Dionex 300 型离子色谱仪测试, 最低检测限 $< 10^{-9} \text{ g/g}$

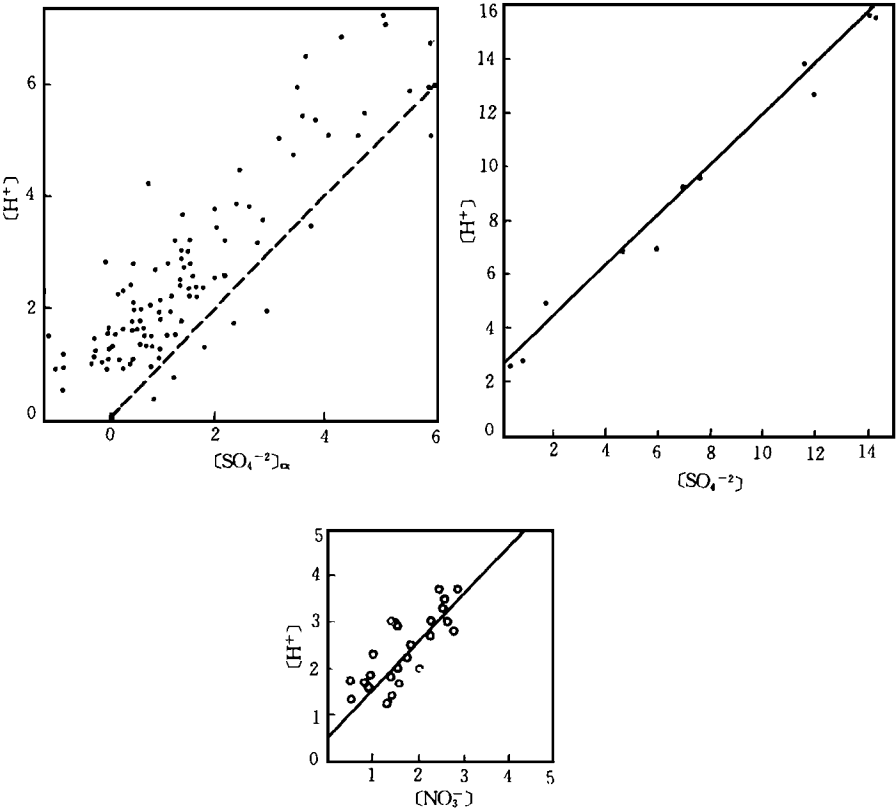


图 1 南极冰盖中 H^+ 与 SO_4^{2-} , NO_3^- 及 nss SO_4^{2-} 的关系 (引自 Legrand *et al.*, 1987)
Fig. 1. The correlations of H^+ with SO_4^{2-} , NO_3^- and nss SO_4^{2-} in Antarctic Ice Sheet (Legrand *et al.*, 1987).

2 结果与讨论

2.1 南极和格陵兰冰盖

对南极冰盖和格陵兰冰盖雪冰电导率的诸多报道,揭示了其与雪冰酸度的良好相关性 (Legrand *et al.*, 1987; Delmas, 1986; Moore and Wolff, 1994),并据此恢复了历史时期火山喷发事件。南极冰芯中电导率与 H^+ 浓度之间存在良好的线性正相关关系,并且 H^+ 与 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 浓度之间均亦存在很好的线性正相关 (Legrand *et al.*, 1987) (图 1),而铝硅酸盐 (主要以地壳来源为主) 与电导率之间呈反相关关系。说明了海盐酸性离子在雪冰化学性质中占据主导地位,也就是说南极冰盖物质的最根本来源是海洋。在三种阴离子中, Cl^- 和 NO_3^- 对电导率的贡献较 SO_4^{2-} 更加有效。显微观测显示,雪冰内杂质倾向于聚集到冰晶间界面,从极地雪冰化学离子与 pH 值之间的关系说明,这些大量赋存的酸性杂质可导致冰晶界面上的 pH 值下降。

格陵兰 GRIP 冰芯研究初步认定电导率峰值主要与三种因子相关: 酸度、 NH_4^+ 和 Cl^- (Moore and Wolff, 1994)。影响电导率的主因子是酸度 (pH),其它酸根离子各自的作用有待进一步研究。

总而言之,极地雪冰电导反映了酸根离子对雪冰化学的主导作用。除火山爆发等突发事件的作用外,海洋是南极、格陵兰冰盖酸根离子的主要来源,因而决定了极地冰盖雪冰化学性质。

2.2 青藏高原地区

对青藏高原唐古拉冬克玛底冰川 4.93m 浅芯内 47 个样品中电导率与 H^+ 浓度拟合,结果表明 ECM 与 H^+ 呈反指数相关 (图 2A)。此外,在同一冰川沿主流线海拔 5500m, 5700m 和 5900m 处三个雪坑样品的分析结果表明,ECM 与 H^+ 浓度的关系与浅冰芯的分析结果一致,呈反指数相关 (图 2C)。无独有偶,从位于青藏高原西北部的西昆仑古里雅冰帽浅冰芯亦建立了同样的相关关系 (李月芳等, 1995)。略有不同的是,在青藏高原南缘的珠穆朗玛峰北坡远东绒布冰川 13 个雪坑样品以及 36 个表面样品中,电导率和 H^+ 相关分析显示负乘幂相关性优于负指数相关 (图 2B)。但无论哪种相关,青藏高原南、北部均与极地冰盖相反,酸度 (亦即 H^+) 不是雪冰电导率的主控制因子。

与 H^+ 相反,其它各种可溶盐离子则对电导率有积极的贡献 (图 3),冬克玛底冰川浅芯中电导率与多数可溶盐离子,尤其与含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等碱性、中性可溶盐关系密切。由于雪冰中可溶盐离子位于冰晶晶格的边缘,这些离子一方面决定了雪冰体的 pH 值,而且当它们在水溶液中离解为带电离子时,决定了导电能力的强弱,即电导率。统计表明,现代无污染天然降水中, pH 值近似于 5.6 左右 (盛文坤等, 1995),当 pH 值小于 5.6 时,表明受到酸性离子的污染,当 pH 值大于 5.6 时,则受到碱性离子的污染。显然,青藏高原雪冰中的阳离子是电导率的主要控制因子,局地陆源碱性气溶胶的沉降占冰川表面气溶胶注入通量的主要部分。值得指出的是, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 和 SO_4^{2-} 中, SO_4^{2-} 与电导率的相关性最差, Ca^{2+} 最好。我们认为,青藏高原雪冰内 Ca^{2+} 较其它离子更能敏感指示天气过程,或

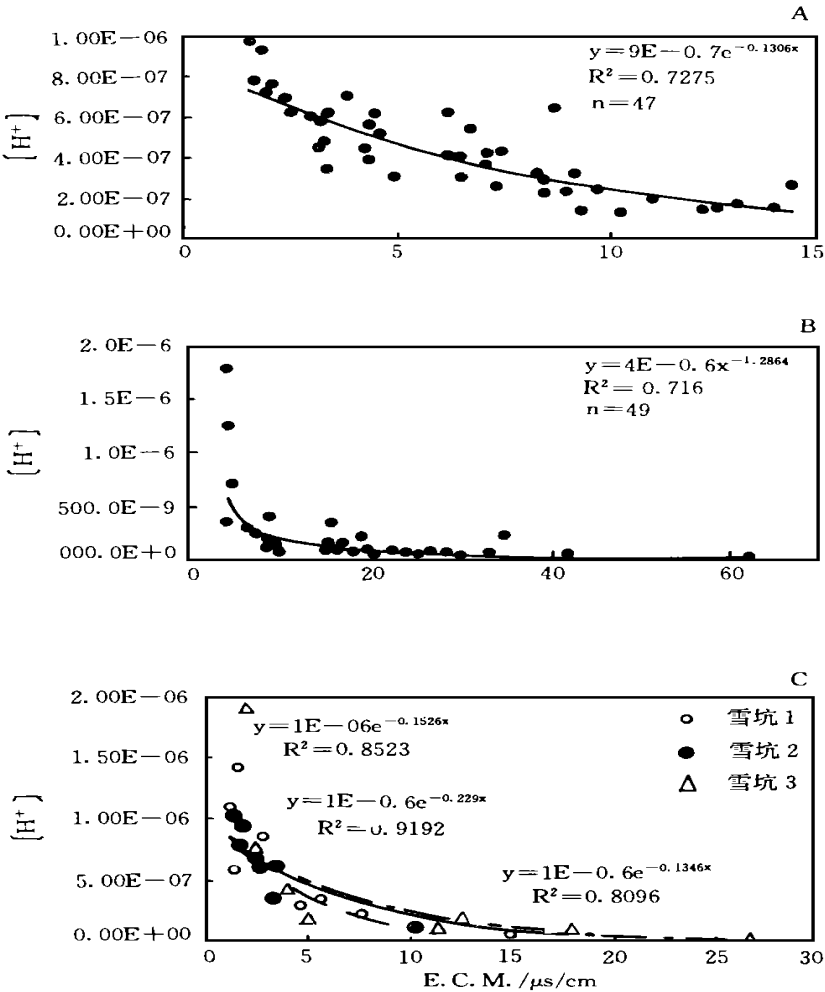


图 2 青藏高原雪冰电导率与 H^+ 的关系

Fig. 2. The correlation of ECM and H^+ in snow and ice on the Qinghai-Tibetan Plateau.

大气传输源区,而 Mg^{2+} 则对短期或阵性天气过程的扰动反应迟钝,相对较稳定,是指示长期环境气候变化,尤其是陆地干湿度、风速变化的理想示踪元素。

2.3 北极中心地区

1999年北极考察中北冰洋中心地带积雪内电导率值与 H^+ 无任何明显相关性(图 4A),说明该地区与南极和青藏高原不同,ECM 不再单一地反映海洋大气环境和陆地大气环境,而是受第三个因素或多重因素的支配。比如,通过对北冰洋中心地带及周围数个地区北极霾中 SO_4^{2-} 与 H^+ 关系拟合,两者具有良好的相关性(图 4B),由此可见北极污染物对大气环境有极大影响。

在整个北极地区,雪冰电导率还很好地反应了大气环境的地域分异。格陵兰冰盖与加拿大北极大陆雪冰内 ECM 与 H^+ 关系与南极地区的关系相同,反映海洋环境的主导影响作用。对重金属元素的研究(效存德等,1998)表明,北冰洋中心海域及其他周边地区受到

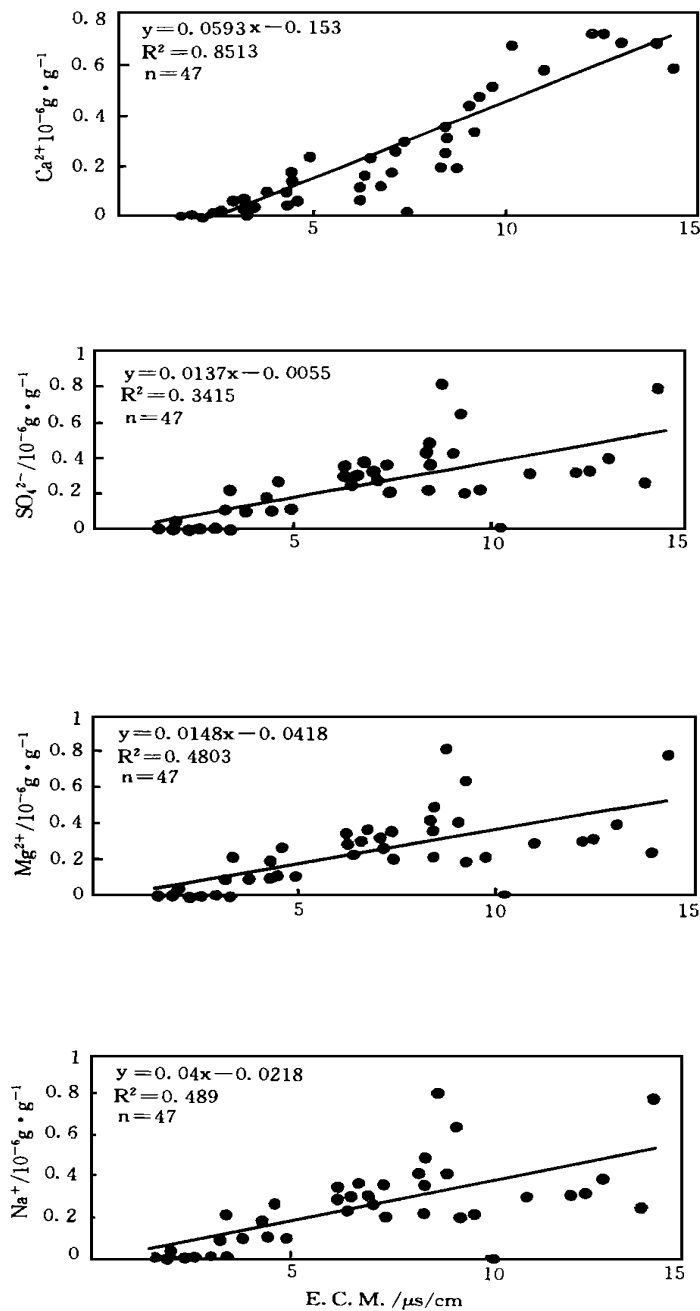


图 3 青藏高原雪冰电导率与主要阴阳离子的相关关系

Fig. 3. The correlation of ECM and major ions in snow/ice on the Qinghai-Tibetan Plateau.

污染气团的严重影响,而格陵兰冰盖及加拿大北极大陆却受人为污染程度较轻,因而不难理解其作为独特地理单元所表现出的 ECM 与 H 的关系

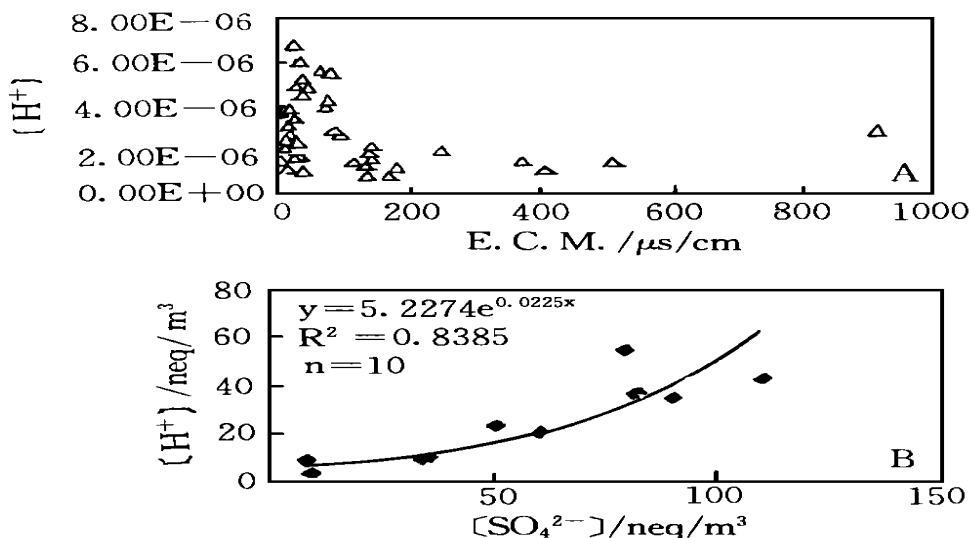


图 4 A 北冰洋中心地带积雪内电导率与 H^+ 散点关系图; B 北极霾气溶胶中 SO_4^{2-} 与 H^+ 相关曲线 (据 Lazrus and Ferek, 1984)

Fig. 4. A. The correlation of ECM and H^+ in snow at Central Arctic Ocean, B. The correlation of SO_4^{2-} and H^+ in Arctic Haze (After Lazrus and Ferek, 1984).

致谢 南德集团为“中国首次远征北极点科学考察”提供赞助, 北极徒步考察过程中得到其他队员的协助, 青藏高原考察中得到蒲健辰、瀚古胜基和康世昌等人的帮助, 在此一并致谢!

[本文于 1998 年 7 月收到]

参考文献

- 刘嘉麟等 (1995): 背景降水——中美科技合作全球内陆降水背景值研究, 中国环境科学出版社, 北京, 30– 44.
- 李月芳等 (1995): 古里雅冰帽 8m 浅冰芯的化学成分组成特征及其来源, 冰川冻土, 19(2), 173– 179.
- 效存德, 秦大河 (1996): 中国首次远征北极点科学考察队“雪冰与环境”考察简介, 地球科学进展, 11(3), 318– 320.
- 效存德等 (1998): 中心北极积雪内 pH 指示的大气污染源区, 科学通报, 43(5), 540– 544.
- 盛文坤等 (1995): 古里雅小冰期以来的 pH 值和电导率分析, 冰川冻土, 17(4), 360– 365.
- Delmas R, Briat M and Legrand M (1982): Chemistry of south polar snow, *Journal of Geophysical Research*, 87(C6), 4314– 4318.
- Delmas RJ (1986): Antarctic precipitation chemistry, In *Chemistry of Multiphase Atmospheric System*, Ed. by Jaeschke W, NATO ASI Series, Vol. C6, 250– 256.
- Lazrus AL and Ferek RJ (1984): Acidic sulfate particles in the winter Arctic atmosphere, *Geophysical Research Letters*, 11, 417– 419.
- Legrand M, Petit JR and Kozlovich YS (1987): D. C. conductivity of Antarctic ice in relation to its chemistry, *Journal of Physique*, C1, 605– 611.
- Moore JC, Wolff EW, Hammer CU and Clause HB (1992): The chemical basis for the electrical stratigraphy of ice, *Journal of Geophysical Research*, 97, 1887– 1896.
- Moore JC and Wolff EW (1994): Electrical response of the summit–Greenland ice core to ammonium, sulphuric acid, and hydrochloric acid, *Geophysical Research Letters*, 21(7), 565– 568.

THE DIFFERENCE OF ATMOSPHERIC CHEMICAL LOADINGS BETWEEN ANTARCTICA ,ARCTIC AND THE QINGHAI – TIBETAN PLATEAU ,SHOWN BY ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SNOW AND ICE

Xiao Cunde, Qin Dahe, Yao Tandong, Ren Jiawen and Sheng Wenkun

(The Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment,
Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology,
CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract

The relationships of ECM with ice acidity and impurities concentrations are much different between the Tibetan Plateau and the polar regions. On the Tibetan Plateau, ECM is contributed by mineral ions(i. e. , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , etc.) mainly derived from crustal sources, and thus display an actively linear correlation between ECM and these ions. While in polar ice sheet, however, ECM of snow and ice is mainly contributed by acidic roots such as Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- that mostly come from ocean. Therefore, there is good relationship between ECM and concentration of H^+ . However, the relationship between ECM and major ions has complicate geographical differentiation in the whole Arctic. For instance, there no longer exists the same simple relationship in the central Arctic as in the Greenland Ice Sheet, probably due to the disturbance of Arctic Haze. In general, ECM of snow and ice is a potential indicator of atmospheric environment of cold regions.

Key words Arctic, Antarctic ice sheet, Qinghai–Tibetan Plateau, ECM, pH, atmospheric environment

作者简介 效存德,男,1969年生. 1992年毕业于兰州大学地理科学系,1997年于中国科学院兰州冰川冻土研究所获理学博士学位. 主要从事冰川化学与环境、南北极冰川与全球变化研究.