



LW018612

分类号_____

密级_____

UDC _____

编号_____

中国科学院研究生院

硕士学位论文

天山乌鲁木齐河源区 1 号冰川大气气溶胶及表层雪
化学的分析与研究

赵中平

指导教师李忠勤 研究员

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

申请学位级别理学硕士 学科专业名称自然地理学

论文提交日期2005 年 5 月 论文答辩日期2005 年 5 月

培养单位中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

学位授予单位中国科学院研究生院

答辩委员会主席_____

目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
第一章 绪 论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 大气气溶胶概述.....	2
1.1.2 大气气溶胶的气候效应.....	3
1.2 冰川地区大气气溶胶研究的历史和现状.....	4
1.3 偏远地区大气气溶胶的分析结果与讨论.....	7
1.4 问题的提出和本研究的目的意义.....	9
第二章 研究区概况.....	12
2.1 1号冰川及其周边地区的地理环境.....	12
2.2 1号冰川及其周边地区的气候环境.....	14
2.2.1 大气环流.....	14
2.2.2 大气降水.....	17
2.3 小结.....	18
第三章 野外样品的采集.....	20
3.1 采样点的选择及环境意义.....	20
3.2 过程研究取样规范.....	21
3.3 大气气溶胶样品的采集.....	23
3.4 气溶胶样品中的后生现象.....	25
第四章 实验分析.....	28
4.1 超净实验室.....	28
4.2 分析过程.....	29
4.3 结果与讨论.....	30
4.4 本方法和技术在偏远地区的应用.....	33
第五章 1号冰川大气气溶胶的化学成分及季节变化特征.....	34
5.1 1号冰川大气气溶胶的化学成分及季节变化.....	34

5.2 气溶胶中主要离子浓度的主因子分析.....	40
5.3 气溶胶中主要离子的来源与气象条件的关系.....	42
5.4 小结.....	43
第六章 乌鲁木齐河源区的雪冰及降水化学.....	45
6.1 1号冰川表层雪的化学成分及季节变化特征.....	45
6.2 表层雪中主要离子浓度的主因子分析.....	46
6.3 天山站高山营地大气降水的化学特征.....	47
6.4 小结.....	48
第七章 1号冰川大气气溶胶和表层雪化学成分间的关系.....	49
第八章 结论.....	53
参考文献.....	55
致 谢.....	60
专业和科研实践简历.....	61

天山乌鲁木齐河源区 1 号冰川大气气溶胶及表层雪化学的分析 与研究

赵中平

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所天山冰川观测试验站, 兰州 730000)

摘要

由于大气气溶胶对气候和环境有重要的影响, 所以它的研究是全球变化中的热点之一。特别是由于大气气溶胶高度的时空可变性以及实际观测数据点较少, 使得大气气溶胶的辐射强迫的估计存在很大的不确定性。对大气气溶胶的研究不仅可以提供大气的环境状况, 还可为估计大气气溶胶的辐射强迫提供基础数据。另外, 冰川区的大气气溶胶还可为冰芯记录的合理解释提供依据。本文基于在天山乌鲁木齐河源区 1 号冰川采集的大气气溶胶和表层雪样品中可溶性成分的分析, 初步得出了以下结论:

气溶胶中所测阴阳离子总和的年度平均值为 35.14 neq/m^3 。所测阳离子总和为 14.6 neq/m^3 , 稍小于所测阴离子的总和 (20.6 neq/m^3)。 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 和 Ca^{2+} 是气溶胶中的主要离子。1 号冰川大气气溶胶的平均载量在春季达到最高值, 夏季次之, 到了秋季达到了本底值。在春季, 气溶胶中阳离子总和远大于阴离子总和, 夏季阳离子总和近似等于阴离子总和, 说明这段时期该区的大气环境偏碱性, 大气气溶胶逐渐从以粉尘为主过渡到以次生气溶胶为主。到了秋季和冬季, 气溶胶中阳离子总和小于阴离子总和, 尤其是冬季, 阴离子总和是阳离子的 3.5 倍左右, 说明次生气溶胶 (主要是人类排放的污染物) 对该区大气环境的影响远远超过了自然粉尘。

表层雪中所测阴阳离子总和的年度平均值为 $125.91 \mu\text{eq/L}$ 。春季表层雪中各种离子的平均载量最大, 约是其它季节的 2.8 倍。冬季的平均载量最小, 各种离子的浓度也达到最小值。 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- 和 K^+ 在春季均达到最大值, 说明在这一时段内, 尘暴活动频繁, 表层雪中含有大量粉尘微粒, 粉尘微粒的溶解可能增加了这些离子的浓度。

总体来说, 在采样时段内, 气溶胶和表层雪中的主要离子随时间的变化趋势相似, 说明在这一地区雪中的某些成分的确能够反映沉积时大气中的浓度。

关键词：1 号冰川、气溶胶化学、雪冰化学

Study and Analysis on Chemistry of Aerosol and Surface Snow at Glacier 1, Tien Shan, China

Zhao Zhong-ping

(Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Environmental and Engineering Research
Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract

Aerosols affect Earth's radiation budget and the regional air quality in a significant manner, thus, aerosol research is an important study of global change. The qualification of aerosol radiative forcing is uncertain, since aerosol mass and particle number concentrations are highly variable in space and time. A variety of field studies will provide a descriptive understanding of the aerosols in different regions and regional differences in aerosol characteristics. In addition, aerosol collected over the glaciers will be useful for interpreting the ice core recovered there. Based on the soluble species concentration in aerosols and surface snow at Glacier No.1, at Urumqi river head, Tianshan Mountains, the following conclusions were obtained.

As annual mean, a total ion mass concentration of $35.14 \text{ neq scm}^{-1}$ was observed in aerosol loading. The total cations measured ($\Sigma + = \text{Na}^+ + \text{NH}_4^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} = 14.6 \text{ neq scm}^{-1}$) was a few smaller than that of the total measured anions ($\Sigma - = \text{Cl}^- + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} = 20.6 \text{ neq scm}^{-1}$). NO_3^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NH_4^+ and Ca^{2+} are the dominant ions in aerosols. The total ion mass concentration showed strong seasonal differences, with 42, 40.5, 26.6, and $31.5 \text{ neq scm}^{-1}$ for spring, summer, fall, and winter, respectively. The seasonal variations in Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , and most SO_4^{2-} concentrations were attributed to the regional Asia dust and local coarse dust.

The averaging surface snow loading varied from $74.71 \mu\text{eq/L}$ in winter to $237.2 \mu\text{eq/L}$ in spring, with a mean of $125.91 \mu\text{eq/L}$. In spring, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , and K^+ reached maximum, which reflected the regional Asia dust and local coarse dust. The spring peak was pronounced for Ca^{2+} denoting the importance of crustal species. During this period the dust storm frequency was increased, thus the surface snow had resolved abundant dust particles, Those soluble particles probably increased

the concentrations of these ions.

As a whole, the soluble species in simultaneous aerosol and surface snow shows similar patterns. This suggests that the concentrations of most species in snow reflect changes in atmospheric composition. This finding gives us confidence in the reconstruction of past atmosphere change using some snow data, although post-depositional processes can alter the records of snow to some extent.

Key words: Glacier No.1; Aerosol chemistry; Glaciochemistry

第一章 绪论

1.1 研究背景

根据 IPCC (1994) 的报告, 大气气溶胶的质量约占地球大气总质量的十亿分之一, 只是大气中的微量成份, 但由于其在许多大气过程中的重要作用而日益受到重视。随着环境问题的日益突出, 人们已认识到大气气溶胶自身的污染特性与其物理化学性质以及在大气中的非均相化学反应有着密切的关系。气溶胶还与其他环境问题如臭氧层的破坏, 酸雨的形成, 烟雾事件的发生等密切相关

(Charlson et al., 1987; Raes et al., 2000; Whitby, 1978; 汪安璞, 1999; 刘强, 1999)。此外, 气溶胶对人体和其他生物的生理健康也存在影响 (Woff and Hidy, 1997; 陈凤翔, 1997; 任阵海, 1999; 任丽新, 1999)。2003 年发生的“非典”(SARS) 病症, 据推测可能与气溶胶上附着的病毒传播有一定关系。欧美国家的流行病学研究表明: 医院哮喘发病率、就医人数以及死亡人数都会随大气中可吸入颗粒物浓度的增加而增加 (徐敬, 2003)。90 年代以来, 由于气溶胶的气候效应问题, 气溶胶再次成为国际学术界的研究热点之一, 大气气溶胶成为当今大气化学研究中前沿的领域。国际大气化学研究计划 (IGAC) 科学指导委员会于 1994 年将国际全球大气化学研究计划和国际气溶胶计划 (ICAP) 合并重组, 大气气溶胶研究被列为 3 大研究方向之一。大气气溶胶的研究内容, 拓展到包括物理和化学的形状、来源和形成、时空分布、对气候变化和环境质量的影响以及对大气化学过程的影响等多方面、多层次的综合研究, 也涉及到大气科学的各个领域, 具有很强的综合性。

气溶胶由于其形状、组分的复杂, 来源的多样性, 在大气环境中的变化与行为千变万化, 其对气候的影响也十分复杂, 不仅有吸收太阳辐射的阳伞效应, 又有散射辐射作用, 此外, 对生态的效应亦各有不同。因此, 气溶胶表征研究一直是大气环境研究的重要而普遍的课题。因为无论是环境影响, 还是生态效应, 都要涉及气溶胶的问题, 但过去着重于直接排放的一次颗粒物。50 年代后期, 逐渐从总悬浮颗粒物 (TSP) 转向可吸入颗粒物 (PM₁₀)。90 年代后期, 更重视二次颗粒物问题, 现今则侧重于细粒子 (PM_{2.5})、亚微米, 甚至超细颗粒, 从总

体颗粒到单个颗粒的研究 (汪安璞, 1999)。

1.1.1 大气气溶胶概述

气溶胶一词的严格含义是指悬浮在气体中的固体和 (或) 液体微粒与气体载体共同组成的多相体系。相应地, 大气气溶胶是指大气与悬浮在其中的固体和液态微粒共同组成的多相体系 (王明星, 1999), 它的尺度、来源、化学组分、浓度、谱分布和滞留时间均随时间和空间有很大变化。

大气气溶胶粒子的形状很复杂, 所以, 在气溶胶研究中, 经常用等效球体的直径来度量粒子的大小。我们把直径在 $0.01-0.1\mu\text{m}$ 的大气气溶胶粒子叫爱根核, 有时也称为超细粒子; 直径为 $0.1-10\mu\text{m}$ 的大气气溶胶粒子叫做稳定的大气气溶胶, 其中直径为 $0.1-1\mu\text{m}$ 的部分叫做细粒子或小粒子; 直径为 $1-10\mu\text{m}$ 的部分叫做粗粒子或大粒子; 直径大于 $10\mu\text{m}$ 的大气气溶胶粒子叫做巨粒子。一般来说, 超细粒子容易因布朗运动而相互碰撞, 由此而引起的凝并使超细粒子变成较大的粒子, 所以超细粒子在大气中的寿命较短。巨粒子会因重力沉降作用很快沉降到地面, 在大气中的寿命也不长。稳定大气气溶胶粒子在大气中寿命较长, 但其中的粗粒子易成为凝结核而被降水清除, 寿命较细粒子短。气溶胶对气候影响最关键的因素是它的尺寸分布。气溶胶的浓度随时间和空间有巨大的差别, 其浓度表示方法一般有数浓度个 $\cdot\text{cm}^{-3}$, 质量浓度 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 质量比 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 等。

由于大气气溶胶受周围环境的影响很大, 所以在不同的地方, 其浓度分布和尺度分布是不一样的, 具有非常明显的局地性。大气气溶胶的来源很复杂, 按照产生的过程可分为自然源和人为源。自然源如岩石和土壤的风化、扬尘、海水溅沫 (即海盐) 以及自然灾害 (火山爆发、森林火灾) 等; 人为源如工业排放、有机体焚烧排放及汽车尾气排放等 (王明星, 1999; 刘毅, 1999); 人为排放的气体污染物在一定条件下通过气-粒转化过程形成气溶胶也是大气气溶胶的一个重要来源。表 1.1 将目前大气中主要的气溶胶排放情况列出, 这些气溶胶排放量的估算存在着很大的不确定性, 主要是因为: (1) 生物燃料燃烧排放的气溶胶在空间和时空上存在很大的不确定性; (2) 气溶胶的大气传输过程存在很大的不确定性; (3) 描述气溶胶与气候强迫有关的物理化学性质存在着很大的不确定性。

表 1.1 大气中主要的气溶胶的排放量 (Tg/yr)

大气气溶胶种类		北半球	南半球	全球	最低	最高	资料来源
有机物气溶胶 (0—2 μ m)	生物燃料燃烧排放量	28.0	26.0	54.0	45.0	80.0	Lioussse(1996); Scholes and Andreae(2000)
	化石燃料燃烧排放量	28.0	0.4	28.0	10.0	30.0	Cook(1999); Penner (1995)
碳黑气溶胶 (0—2 μ m)	生物燃料燃烧排放量	2.9	2.7	5.7	5.0	9.0	Lioussse(1996); choles(2000)
	化石燃料燃烧排放量	6.5	0.1	6.6	6.0	8.0	Cooke (1999); Penner(1995)
工业产生的尘埃等 (>1 μ m)				100.0	40.0	130.0	Wolf(1997); Andreae(1995)
海盐		1440.0	1900.0	3340.0	1000.0	6000.0	Gong (1998)
矿物 (土壤) 尘埃		1800.0	349.0	2150.0	1000.0	3000.0	IPCC(2001)
硫酸盐		145.0	55.0	200.0	107.0	374.0	IPCC(2001)
硝酸盐		14.6	3.5	18.1	10.5	26.8	IPCC(2001)

1.1.2 大气气溶胶的气候效应

气候变化是当前各国政府和科学界关注的重大问题。气溶胶作为影响气候变化的一个重要因子，引起了全世界科学界的普遍重视。

大气气溶胶对气候的影响主要通过以下两种方式：一种是通过气溶胶的光学散射和光学吸收特性直接影响气候；另一种是以云凝结核 (CCN) 形式改变云的光学特性和云的分布而间接影响气候 (Houghton J.T.,1998; 李冰、刘小红等, 2000)。

大气中的气溶胶自身对太阳辐射的散射、反射和吸收作用统称为“直接辐射驱动”。同时，气溶胶作为凝结核，形成的云滴对太阳辐射也有驱动作用。气溶胶的增加导致云滴数量浓度的增加。云滴数量浓度的增加使得云对太阳辐射的

反射（到空间的）增加，导致降温。这就是气溶胶的“第一间接辐射驱动”。气溶胶使得云层的降水效率降低，此外，它还能使云的存在时间增加以及相应的云量的增加，这导致对太阳辐射进一步的反射，称为“第二间接辐射驱动”。

气溶胶粒子的存在是云形成的前提。在现代地球大气的温湿条件下，如果没有气溶胶粒子，将永远不会形成云。因此，气溶胶粒子增加的一个最直接的影响是使云滴数量增加，云的增加总的来说使地表降温，当然云增加可能引起降水增加，进而影响地表湿度和植被，最终改变了地表反照率进一步影响了气候。这一连串的间接影响至今尚无定量计算，这是研究气溶胶对气候影响的一个重要的也是极为困难的课题（王明星，2000）。数值模拟研究使气溶胶气候效应的量化研究成为可能（王喜红，2000；张立盛，2000），90 年代初以来，有关人为排放的气溶胶辐射强迫及其气候效应的定量化研究取得了很大的进展。

1.2 冰川地区大气气溶胶研究的历史和现状

冰雪记录连续、完整地记录了过去大气中各种气溶胶的组成和演变，具有丰富的信息。在冰川区进行大气气溶胶的观测分析，不仅可以了解该区的大气环境状况，为模拟气溶胶的空间分布和考察气溶胶的辐射强迫提供基础数据，而且可与冰雪记录结合起来，研究气溶胶的本底现状与变化历史，自然和人为气溶胶对大气环境的影响以及这些影响的变化。

自 Duce 等人于 1970 年首次在南极开始大气气溶胶的研究以来，冰川区气溶胶的研究不断深入，已成为当今全球变化研究中的重点前沿领域。

南极地区大气化学的研究具有很大的吸引力。一是因为南极地区远离人类活动污染区，无疑是目前地球对流层大气最干净的区域，可以研究自然条件下大气的变化状况。二是由于极昼/极夜现象的存在使得南极地区成为研究光化学过程的理想地区。目前还有一个更重要的原因是南极地区大气化学的研究有助于冰芯记录的解释。大气中的物质主要分为气溶胶和气体两大类，尤其是气溶胶存在明显的区域差异。由于我们对南极地区这些物质的存在形式和气-雪界面过程并不十分清楚，这限制了我们更好地利用冰芯记录恢复过去的气候环境变化（Woff and Bales, 1996）。

南极臭氧洞的发现使得南极平流层化学研究较多，而南极对流层化学的研究

仍然很有限。在南极内陆只有在南极点进行过较多的大气化学观测、分析, 其研究的重点偏重于凝结核的数目、气溶胶的粒径分布、气溶胶的散射性质和温室气体的浓度等。南极点气溶胶化学的研究相对薄弱 (Bodhaine, 1996), 到目前为止, 尚没有连续的气溶胶主要组成成分的记录, 而冰芯研究最多的化学成分正是这些气溶胶的主要成分。在南极海岸地区, 自 20 世纪 80 年代初在某些考察站区附近进行了气溶胶和大气成分的观测 (Wagenbach, 1996)。Neumayer 站气溶胶化学成分和某些气体成分的记录始于 1983 年 (Wagenbach et al., 1988b), Mawson 站始于 1989 年 (Prospero et al., 1991; Savoie et al., 1992)。在南极半岛的 Palmer 和 March 站也有一年多的记录 (Savoie et al., 1993)。1991 年起英、法、德三国联合在 Neumayer, Dumont D'Urville 和 Halley 站开展气溶胶、新雪和表层雪的化学研究 (Wolff et al., 1998b)。Mouri et al. (1999) 利用 X-射线能谱分析了 1993 年在日本的 Syowa 站采集的气溶胶样品中单个颗粒的元素含量。1996-1999 年间中国在 Lambert 冰川流域东侧实施了从中山站 (69.37°S, 76.38°E) 向 Dome A 方向的路线考察, 期间采集了一系列的气溶胶样品并分析了其中的可溶性成分。这些研究工作使我们对南极海岸区大气气溶胶的化学成分与来源有了进一步的认识。

1977 年 4 月 27-28 日在挪威大气研究所召开的北极气溶胶会议揭开了大规模开展北极气溶胶和大气化学研究的序幕。来自 7 个国家的 28 名代表经过广泛交流形成了“北极自然和人类活动气溶胶的来源和意义”的报告。该会议对北极某些地区存在大量污染物气溶胶的事实作出响应, 他们认为北极气溶胶的研究将是一个很重要的研究领域 (Rahn and Heidam, 1981)。1980 年 5 月 6-8 日第二次北极大气化学会议在美国的 Rhode Island 大学举行。该会议上很大部分报告是有关污染物的。研究发现, 北极地区的污染物具有明显的年际变化, 通常为冬季浓度高, 夏季浓度低; 主要成分是非海盐硫酸和有机物, 次生气溶胶的贡献较大; 对污染物的源区和传输途径有了一定的认识, 但对污染物的传输高度仍不很清楚。尽管对北极大气污染的环境效应进行了大量的讨论, 但仍需做大量的工作, 尤其是北极气象研究急需加强 (Rahn and Heidam, 1981)。之后, 美国 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 和加拿大的 AES (Atmospheric Environment Service) 加强了北极地区的研究工作, 挪威也启动了北极空气质量的

5 年观测计划。其中涉及范围最广的是 NOAA 的北极气体和气溶胶采样计划, 主要研究北极大气污染、大气化学等。该计划一直持续到 1991 年, 期间分别在 1983、1986、1989 和 1991 年春季, 利用满载仪器的飞机在北极大范围内采样观测。1988 年 8 月在格陵兰冰盖上启动了 Dye3 气体和气溶胶采样计划。这是因为以往的工作大部分是在海平面高度上进行的, 对格陵兰冰盖上气溶胶化学及其组成知之甚少 (Jaffrezo et al., 1993), 然而, 要对冰芯记录作出更合理的解释就必须了解影响化学组成的各种过程。该计划的主要目的是确定格陵兰冰盖上空大气组成的源区和传输路径; 确定从大气进入冰盖表层组分的机制和沉积速率; 以及影响沉积在冰盖表面组分的过程等。有关北极气体和气溶胶采样计划和 Dye3 气体和气溶胶采样计划的研究结果见专集 *Geophysical Research Letters* Vol. 11, No. 5, 1984; *Atmospheric Environment* Vol. 27A, No. 17/18, 1993)。1999 年 7 月 1 日至 9 月 9 日, 2003 年 7 月 15 日至 9 月 28 日中国分别进行了首次和第二次北极科学考察。在走航过程中采集了大量的大气气溶胶样品, 通过对气溶胶样品的化学成分分析基本上了解了考察沿线的大气环境状况。

自 1989 年起, 我所与美国新布什尔大学地球、海洋空间研究所合作, 开辟了青藏高原雪冰化学研究项目, 通过对高原冰川上的雪、冰及气溶胶样品的系统采集与分析测定, 研究探讨青藏高原水圈、大气圈中化学成分含量的空间变化特征, 以及该地区气溶胶成分的来源、传输沉积等过程的机制; 对青藏高原现代大气环境作出综合性的分析和评价。野外期间, 在希夏邦玛峰北坡抗物热冰川、格拉丹东和煤矿冰川 3 条冰川上建立了气溶胶样品采集装置。近几年我国在南、北极、青藏高原以及天山东部等冰川区均进行了大气气溶胶的本底监测和研究。尼泊尔近年来在大气气溶胶和降水的浓度与组成的季节变化以及炭质气溶胶方面取得了重要进展 (Shrestha et al., 2000, 2002)。

以中科院天山冰川站为依托的雪冰记录研究始于 90 年代初。1996 年后组织了系统的雪冰化学观测与研究。先后开展了博格达峰雪坑化学和 1 号冰川冰芯与冰雪记录过程研究。在降水同位素与气温, 大气气溶胶与雪冰化学, 积雪的物理化学变化过程、离子淋溶作用等方面取得了创新性成果。2001 年以来, 天山冰川站将雪冰记录恢复及其形成的现代过程确立为野外站的重点研究发展领域, 集中各方面力量加强了该方向的研究和硬件支撑。相继申请启动了中科院寒

旱所知识创新工程项目“天山 1 号冰川和慕士塔格峰冰川冰芯化学记录对比研究”，寒旱所《引进国外杰出人才基金》项目“乌鲁木齐河源 1 号冰川雪—冰转化的物理化学过程观测”，国家自然科学基金面上项目“天山乌鲁木齐河源 1 号冰川与奎屯河哈希勒根 51 号冰川冰雪过程观测与研究”以及 2 个相关的野外站开放基金项目。在这些项目的支持下，2002 年 9 月在 1 号冰川 4100 米积累区建立了雪冰过程观测取样定位场，与此前建成的乌河流域降水样品采集网点和大气气溶胶采集站一并形成了一个完整的观测和样品采集网络。同年，还在奎屯河哈希勒根 51 号冰川上建立了雪冰记录过程研究的季节性观测采样定位点，并与美国内华达州沙漠研究所 (DRI) 研究人员合作进行了前期研究，开展了众所关心的碳黑气溶胶的取样研究工作。

1.3 偏远地区大气气溶胶的分析结果与讨论

表 1.2 汇总了前人在南、北极及青藏高原等偏远地区气溶胶的化学组分的分析结果。总体上来看， NH_4^+ 的浓度在南极和北极地区相当，但是南极海岸带不同站点 NH_4^+ 的浓度不同，最大相差 11 倍，浓度介于 $0.69\text{--}7.78 \text{ neq/m}^3$ 之间。北极地区 NH_4^+ 的浓度为 $2.37\text{--}5.86 \text{ neq/m}^3$ ，中国西部高山区 NH_4^+ 的浓度在 $2.33\text{--}15.16 \text{ neq/m}^3$ 。不同地区最高值与最低值相差约 22 倍。

南、北极地区 NO_3^- 的浓度非常接近，均在 $0.39\text{--}1.18 \text{ neq/m}^3$ 之间。南极海岸带 NO_3^- 的浓度为南极内陆的 2 倍左右。北极近海表和边界层内 NO_3^- 的浓度小于北极近地表和自由对流层中的浓度。中国西部高山区 NO_3^- 的浓度变化为 $0.16\text{--}5.48 \text{ neq/m}^3$ （昆仑山东部煤矿冰川例外），浓度值相差 30 多倍。

煤矿冰川气溶胶中 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 和 NO_3^- 的异常高值反应了来自柴达木盆地和塔克拉玛干沙漠的矿物性物质的影响。这种矿物性气溶胶包括蒸发的矿物盐和沙漠粉尘。由于煤矿冰川春季和夏季盛行北风，可把来自北部的柴达木盆地和西北部的塔克拉玛干沙漠的矿物性物质带到该冰川。

SO_4^{2-} 浓度的变化与 NH_4^+ 和 NO_3^- 的变化不同，除了煤矿冰川气溶胶的异常值外，中国西部高山区 SO_4^{2-} 浓度低于或相当于南极和北极地区。 SO_4^{2-} 浓度介于 $2.1\text{--}20.23 \text{ neq/m}^3$ 之间，相差 10 倍左右。南极海岸带 SO_4^{2-} 浓度范围为 $2.21\text{--}14.05 \text{ neq/m}^3$ 。北极地区近地面和近海表气溶胶中 SO_4^{2-} 浓度较高 ($15.35\text{--}20.23 \text{ neq/m}^3$)，

而在自由对流层和边界层中浓度较低。

表 1.2 偏远地区大气气溶胶化学组成的比较(neq/m³)

采样点名称	Na ⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	MSA	参考文献
DT401	0.44	4.01	3.3	0.04	0.04	0.11	0.1	0.44		0.15	孙俊英,2002
DT263	0.46	4.55	4.01	0.05	0.06	0.12	0.08	0.39		0.25	孙俊英,2002
中山站	5.14	6.71	14.05	0.28	1.36	0.87	8.28	1	0.27	1.33	孙俊英,2002
McMurdo	10.73	2.93	11.09	0.49			5.78	0.9		0.76	Mazzera 等 2001
Mawson	3.48	3.22	4.77					1.02		0.58	Savoie 等 1992,1993
Dumont d'Urville	40.22	7.78	5.63					0.66		0.52	Legrand 等 1998
Halley	3.06	0.94	2.21							0.37	Wagenbach 等 1998ab
Neumayer	11.11	0.69	6.54					1.18		1.14	Minikin 等 1998
Arctic-SL	43.46	5.86	15.35	0.89	10.48	2.82	45.46	0.4	0.15	0.24	孙俊英,2002
Arctic-BL	0.80	2.37	2.59	0.23			0.67	0.49	0.47		Talbot 等 1992
Arctic-FTP	0.38	3.35	5.80	0.24			0.67	0.98	0.38		Talbot 等 1992
Mould Bay	9.17	5.47	18.48	0.33	5.5	1.6	8.52	1.02			Barrie and Hoff,1985 ^[3]
Alert	6.07	5.11	20.23	0.35	7.33	8.5	4.17	1.04			Barrie and Hoff,1985
Igloodik	11.78	4.78	17.01	0.62	9.5	4.43	12.3	1.07			Barrie and Hoff,1985
希夏邦玛峰		2.9	2.1		0.07	0.44	0.5	0.16			Wake 等 1994
Hidden	0.38	2.33	3.01	0.14	0.33	1.24	0.2	0.44			Shrestha 等 1997
Ngozumpa		5.8	3.4			0.5		2.4			Wake 等 1994
格拉丹东		4.1	2.6		0.33	2.4	0.89	3.1			Wake 等 1994
绒布冰川 98	2.14	6.78	2.19	0.59	1.15	6.32	0.4	2.67	0.61		孙俊英,2002
绒布冰川 99	2.52	9.84	6.34	0.38	0.84	4.86	0.8	4.93	0.58		孙俊英,2002
Everest			5.73	4.54	3.98	13.05	4.34				张仁健等, 2001
Phorste-monsoon	1.16	14.45	7.06	3.73	1.1	2.64	0.48	5.48			Shrestha 等 2000
天山 June-24	1.72	15.16	14.17	0.89	1.1	8.29	0.5	4.34	1.07		本研究
煤矿冰川		8.6	104		38	206	69	21			Wake 等 1994

MSA 的浓度在中国西部高山区气溶胶中低于检测限,在南极海岸带高于南极内陆地区,而北极近海面则与之接近。MSA 的最高浓度 (1.33 neq/m³) 与最低值相差不到 10 倍。

草酸在南极内陆气溶胶中的浓度低于检测限, 南极中山站气溶胶中的浓度为 0.27 neq/m^3 。所测定的草酸最高浓度 (1.07 neq/m^3) 与最低值相差不到 10 倍。

Na^+ 的浓度高值出现在南极的海岸带和北极地区近海表和近地面气溶胶中。南极海岸带气溶胶 Na^+ 的浓度是南极内陆 (为 0.44 neq/m^3) 的几倍至上百倍。北极地区近海表和近地面气溶胶中 Na^+ 的浓度是南极内陆的 10-100 倍。北极地区自由对流层中 Na^+ 的浓度与南极内陆相当, 而边界层 (0.15-2Km) Na^+ 的浓度大约为南极内陆的两倍。中国西部高山区 Na^+ 的浓度较低, 介于 $0.38\text{-}2.52 \text{ neq/m}^3$ 。 Cl^- 总的变化趋势与 Na^+ 相同 (煤矿冰川例外)。

Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度变化非常一致, 均在南极内陆出现最低值, 分别为 0.11 和 0.05 neq/m^3 , 而南极中山站 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度分别是南极内陆的 8 倍和 7 倍。北极地区 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度分别介于 $1.6\text{-}8.5 \text{ neq/m}^3$ 和 $5.5\text{-}10.48 \text{ neq/m}^3$, 是南极内陆的 14-80 倍和 110-120 倍。中国西部高山区 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度变化范围较大, 介于 $0.44\text{-}13.05 \text{ neq/m}^3$ 和 $0.07\text{-}3.98 \text{ neq/m}^3$, 分别是南极内陆的 4-118 倍和 1.4-80 倍。

K^+ 的浓度最低值出现在南极内陆, 最高值出现在喜马拉雅山中段地区, 最高值与最低值相差 100 多倍。南极海岸带 K^+ 的浓度是南极内陆的 7-10 倍。北极地区 K^+ 的浓度介于 $0.23\text{-}0.89 \text{ neq/m}^3$, 是南极内陆地区的 6-20 倍。中国西部高山区 K^+ 的浓度变化范围介于 $0.14\text{-}4.54 \text{ neq/m}^3$, 是南极内陆的 4-114 倍。

1.4 问题的提出和本研究的目的意义

尽管大气气溶胶只是地球大气成分中含量很少的组分, 但由于其在许多大气过程中的重要作用而日益受到重视。随着环境污染问题的发展, 人们已经认识到大气气溶胶自身的污染特性与其物理化学性质以及在大气中的非均相化学反应有着密切的关系。气溶胶还与臭氧层的破坏、酸雨的形成、烟雾事件的发生有密切的关系。气溶胶对人体和其他生物的生理健康也有特定的影响。20 世纪 90 年代以来, 鉴于气溶胶的气候效应问题, 气溶胶再次成为国际学术界研究的热点之一。由于大气气溶胶寿命较短、具有较大的时空变化特征, 因此, 需要在全局范围内进行大量的观测研究。

为了评价人类活动对全球大气化学成分的影响, 进而对气候环境的影响, 我