文章编号:1000-0240(2009)01-0062-06

乌鲁木齐河源 1 号冰川积累区气溶胶和表层雪中 SO²⁻ 的季节变化及成因分析

张宁宁, 李忠勤¹, 何元庆^{1,2}, 王飞腾¹

(1.中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室,甘肃 兰州 730000;2.中国科学院 青藏高原研究所,北京 100029)

摘 要: 2003 年 12 月至 2004 年 12 月,在天山乌鲁木齐河源 1 号冰川(以下简称 1 号冰川)积累区海拔 4 130 m处共采集了 53 个气溶胶和 55 个表层雪样品.结果表明:气溶胶和表层雪中的 SO⁴。在年内的 浓度变化形式大致相同,均有两个高值区出现,分别出现在春末和夏末秋初,表明年内表层雪中 SO⁴。 浓度变化基本上反映了大气中 SO⁴。的浓度变化情况.通过对不同季节气溶胶和表层雪中的 SO⁴。浓 度相关性分析表明,秋冬季最好,春季次之,夏季最差.这可能与 SO⁴。不同季节的来源,干沉降过程 以及淋溶过程有关. 关键词:1号冰川;气溶胶;表层雪; SO⁴。

中图分类号: P343.6 文献标识码: A

0 引言

雪冰化学记录包含气候和环境信息,是研究过 去大气组成的良好工具[1-2].然而,对雪冰化学记 录进行解释的一个前提是大气化学组分与雪冰中的 化学组分有较好的对应关系^[3].为了能较好的研究 雪冰记录中大气化学组分的变化情况,首先要揭示 气、雪、冰之间各种化学组分的转换机制^[4]. Wake 等^[5]和 Williams 等^[6] 曾对 1 号冰川的冰雪化学组 成进行过短期的研究; 侯书贵^[7]在本冰川区也进行 过一整年的降水化学特征研究,但都缺乏同一时期 的大气气溶胶的对比研究; Sun Junying 等^[8]于 1996 年 5 月 19 日至 6 月 29 日在 1 号冰川上采集气 溶胶和表层雪样品,对其中的可溶性离子相互关系 及变化特征进行了研究,指出了一些可溶性离子在 气、雪之间的转换机制,但这一研究因缺乏长时间 的观测,没能就其长期转换规律进行讨论. 2002 年 7月起,天山冰川观测试验站开展了雪冰物理、化学 现代过程方面的研究,简称为 PGPI(the program for glacier progresses investigation) 项目, $Li^{[9]}$ 等、Wang 等^[10]曾对雪冰物理、化学的现代过程做了初步的总 结.本文选取项目中 2003 年 12 月到 2004 年 12 月间 采集的 53 个气溶胶和 55 个表层雪样品进行研究, 针 对雪冰化学现代过程中 $SO_4^{2^-}$ 在气、雪中的年内演变 过程进行论述.

1 采样点描述

1 号冰川(86 49 E,43 06 N)位于天山山脉东 段,天山乌鲁木齐河源区.该冰川四周被广袤的沙 漠包围,南临塔克拉玛干沙漠;东临东新疆和西甘 肃的沙地,以及内蒙古戈壁高原;北面与古尔班通 古特沙漠呼应,西与巴基斯坦的木云库姆沙漠相 临^[11].1号冰川为一条山谷-冰斗冰川,由东、西两 支组成,根据最新测量面积为1.68 km².绕其分布 有大量裸露山体以及冰碛沉积物,这些冰碛物的重 矿物中,不稳定矿物以普通角闪石为主,较稳定矿 物以绿帘石为主;轻矿物主要为石英,碱性长石和 斜长石等.上述冰碛物中含有大量钠、钙、镁、铁

收稿日期: 2008-07-02;修订日期: 2008-09-02

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2007CB411501);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX-YW-127);国家自然科学基金项目(40801028;40631001;40571033;40701034;40701035)资助

作者简介:张宁宁(1981 → ,男,山东济宁人,2004 年毕业于山东师范大学,现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所在读博士研究 生,主要从事冰雪化学与气候变化研究. E-mail: 236923zh @163.com

等元素^[12].山体景观海拔1 500~2 900 m为森林带,2 900~3 000 m为高山草甸,海拔3 000 m上为裸岩、冰碛物以及冻土带.据 1959—2003 年的观测资料,冰川平衡线波动在海拔4 055 m处^[13].1号冰川高空全年为西风带控制,地表附近受地形影响,每年的 3—9 月山谷风盛行^[14].5—9 月是 1 号冰川主要的降水发生期,集中了全年近 90 %的降水^[15].而此段时间亦是冰川的强烈消融期.距本区 105 km 远处为乌鲁木齐市,有人口 100 多万.另外,河谷内在采样点东北向 50 km 处有后峡镇,该镇有钢铁厂和水泥厂及一些工业部门.

2 样品采集与分析

1期

采样点位于1号冰川东支海拔4130m处,渗 浸带内的粒雪盆后壁. 此处坡向朝北, 少量的太阳 辐射和特殊地形使完整的雪坑剖面得以保存.采样 点处年平均温度为 - 9.1 , 年降水量接近 700 mm 水当量^[16]. 气溶胶和表层雪样品采集频率均为 每周1次(气溶胶样品在降水或有雾的天气除外), 两种样品于同一天采集. 气溶胶采样通过太阳能驱 动 12V 直流泵完成,采样膜是孔径为 2 µm,直径 47 mm 的 Zeflour Teflon 滤膜^[17]. 采样体积用在线 体积流量计测量,同时测得采样期间的大气压和温 度值,用以计算流经滤膜空气的标准体积.采样时 的平均流速为 1. 27 m³ h⁻¹(标准状态),这种流速 使得孔径为 2 µm 的 Teflon 滤膜对粒径大于 0.035 µm 的粒子的收集效率大于 97 %^[18]. 在野外将滤膜 装入采样头,采样时采样膜离雪面1.5m,面朝下. 采样结束后,立即将膜从采样头中取出,置于预先 处理好干净的聚乙烯容器内. 装卸膜时为减少污 染,操作者戴一次性塑料手套,且面朝上风向.具 体采样方法参见文献[17-18].表层雪样品取自雪坑 顶部表层 3~5 cm 处(包括新雪和沉积作用后的 雪),在整个取样过程中,操作人员均穿戴有清洁 的口罩和帽子,无微粒物的外套及聚乙烯手套,以 防止对样品的污染. 样品采集完毕之后被密封在聚 乙烯样品瓶中,并在冷冻状态下运至兰州中国科学 院天山站冰雪化学实验室进行分析.

为了减小污染,所有样品的分析工作都在 100 级的超净环境中进行. 气溶胶样品首先用 200 µL 色 谱纯甲醇完全润湿,之后用 25 mL 去离子水提取, 用超声波振荡 30 min,溶液直接用于分析. 表层雪样 品分析前取出,待自然融化后直接用于分析. 其中 SO²⁻ 浓度用 Dionex-320 离子色谱仪测定. 使用 Dionex IonPac CS12A(4 ×250 mm)分离柱, CG12A(4 × 50 mm)保护柱, 15 mmol ·L ⁻¹MSA 淋洗液, CAES 阳离子抑制器. 具体实验方法参见文献[19], SO² 的检测限为 0.036 neq ·m⁻³.

3 结果与成因分析

通过对气溶胶和表层雪样品的实验分析,获得 年内气溶胶和表层雪中 SO² 浓度的变化情况(图 1).对比发现,样品中存在一些极端高值和极端低 值.极端高值表现为其浓度值是其相邻样品浓度值 的数倍,极端低值则表现为比相邻样品浓度值 就的数倍,极端低值则表现为比相邻样品浓度值骤 减,甚至为0,即样品浓度值低于检测限.在保证 采样和实验结果正确的基础上,这些极端值的出现 极可能反应了自然的暂时状态,但也不排除一些极 端值受到了污染的缘故.这里,我们仍认为这些极 端值为有效值.下面对气溶胶和表层雪中 SO² 浓度 变化的对应关系及成因进行论述.



图 1 2004 年气溶胶和表层雪中 SO²⁻ 浓度和同期降水变化 (图中曲线为 5 点滑动平均)



3.1 **气溶胶和表层雪样品中** SO²⁻ 浓度值的变化 情况

表1给出了2003年12月到2004年12月间, 气溶胶样品中SO²⁻浓度值在不同季节的统计结 果.可以看出,SO²⁻浓度的波动范围在冬季最小, 秋季最大.其平均值冬季最低,春季和秋季接近, 夏季较春、秋两季略大一些.另外,一年中浓度最 大值出现在秋季,最小值出现在冬季.从图1中可 以看出,气溶胶样品中SO²⁻的浓度从2004年2月 份开始升高,在春季陆续有一些较高浓度值出现. 随后,在夏季SO²⁻浓度出现较大范围的波动,仅

64		冰川	冻 土		31 卷		
表1 气溶胶中 SO ^{2⁻} 浓度不同季节统计结果 Table 1 The SO ^{2⁻} concentration in aerosol for different seasons							
季节	样品数 / 个	最大值 / (neq ·m ⁻³)	最小值 / (neq ·m ⁻³)	平均值 / (neq ·m ⁻³)	标准偏差 / (neq ·m ⁻³)		
春季(3-5月)	12	24.3	2.65	9.13	6.56		
夏季(6-8月)	13	33.13	0.83	9.99	7.79		
秋季(9-11月)	12	33.67	1.53	9.61	9.52		
冬季(12 至翌年 2 月)	16	8.39	0	3.18	2.62		
全年	53	33.67	0	7.74	7.29		

表 2 表层雪中 SO² 浓度不同季节统计结果

	Table 2 The SO_4^{2-} concentration in surface snow for different seasons							
季节	样品数 / 个	最大值 / (µL ·m ⁻³)	最小值 / (µL .m ⁻³)	平均值 / (µL ·m ⁻³)	标准偏差 / (µL ·m ⁻³)			
春季	13	3219.29	206.05	838.02	799.67			
夏季	14	768.75	5.12	529.34	817.43			
秋季	13	3995.61	140.01	758.91	1103.88			
冬季	15	618.62	72.16	247.95	121.53			
全年	55	3995.61	5.12	573.44	795.37			

次于秋季. 但如果去掉 6 月 4 号最小值和 8 月 31 号最大值的影响,夏季 SO_4^{2-} 浓度在 4.81~13.09 neq ·m⁻³的范围内波动,波动范围比冬季还小. 这 在图中也可以明显的看出,夏季相对为一个平稳 期.夏末秋初,样品中的 SO_4^{2-} 浓度突然增大,连 续在 8 月 31 日,9 月 8 日,9 月 14 日,9 月 21 日出 现 4 个高值,并且 9 月 8 日为全年最高值. 这 4 个 连续高值平均为 24.88 neq ·m⁻³,是年平均值的 3 倍还多.冬季为年内 SO_4^{2-} 浓度值最低期,并且在 2004 年 12 月 14 日和 1 月 25 日两次出现样品中 SO_4^{2-} 浓度为 0 的情况.

表层雪样品中 SO⁴⁻ 浓度值在 2003 年 12 月到 2004 年 12 月间不同季节的统计结果见表 2. 可以 看出,表层雪中 SO⁴⁻ 浓度的波动范围同样在冬季 最小,秋季最大. 不同季节的平均值冬季最低,春 季最高. 年内浓度的最小值出现在夏季,最大值出 现在秋季. 从图 1 中可以看出,表层雪样品中 SO⁴⁻ 浓度在年内的变化在春季开始升高,并且在春末夏 初的时候有一些高值集中出现. 随后,在夏季,样 品浓度除了夏初有几个高值外,普遍较低,并基本 稳定. 到了秋季,表层雪样品中 SO⁴⁻ 浓度在秋初 突然升高,全年最大值就出现在这个时期. 然后 SO⁴⁻ 浓度值便开始下降,并且在随后的整个冬季 浓度值一直偏低.

尽管 SO²⁻ 浓度的年内最小值在气溶胶中出现 在冬季,表层雪中出现在夏季,并且年内平均值在 气溶胶中是夏季最高,表层雪中是春季最高,但气 溶胶和表层雪样品中 SO4 浓度的年内变化形式表 现出很强的相似性. 从图 1 可以看出, 气溶胶中 SO_4^2 浓度在冬末春初就开始升高,陆续出现一些 高值持续到春末,然后在夏末秋初又出现一个高值 集中区. 在表层雪中则表现为, 春初的时候 SO4-浓度才开始升高,高值出现持续到春末夏初,然后 在秋初同样也出现第二个高值区,和气溶胶相比, 虽然有一定的时间差,但气溶胶中的峰值在表层雪 中都可以找到对应. 另外, 它们浓度值的变化范围 都是在冬季最小,秋季最大;年内最大值同是出现 在秋季,冬季样品中含量最小.这说明,表层雪中 SO_4^2 浓度的变化基本反映了气溶胶中 SO_4^2 浓度 的变化.

3.2 **气溶胶和表层雪中** SO⁴ 浓度变化的对应关 系及成因分析

大气中的微粒和化学组分通过干、湿沉降而被 清除^[19],对于1号冰川,降水和风是控制干、湿沉 降的主要因素.一旦气溶胶中的化学元素沉降到冰 川表面,就会受到以融水淋溶为主的后沉积作用的 影响.对于表层雪中 SO²⁺ 浓度的变化滞后于气溶 胶中 SO²⁺ 浓度的变化,首先 SO²⁺ 干沉降到雪面 上需要一定的时间.其次,我们是采取表层 3~5

cm 的积雪做为分析样品, SO²⁻在这个厚度范围内 会受到淋溶作用的影响. 另外, 表层雪中 SO²⁻ 的 浓度也受风吹雪的影响. 风吹雪对表层雪中离子浓 度有 3 个重要的影响: 1) 风吹雪能够吸附、携带对 流层底部的微粒,从而增加雪中离子浓度;2)风吹 雪过程中雪的升华可以导致雪中离子浓度的增加; 3) 风吹雪可以导致冰川表面表层雪的重新分布, 既 可以使其它区域的雪转移到研究区域,又可以使研 究区域的降雪被完全转移走[20].最后,根据前 人^[21]对本区大气中各种离子清除比率的研究表明, SO_4^2 的清除比率较小,即大气中的 SO_4^2 不容易 通过降雪清除,因此造成气溶胶和表层雪中 SO4-浓度变化出现一定的时差. 对其进行相关性分析发 现,在一年中气溶胶和表层雪中 SO²⁻ 浓度变化相 关性较好,相关系数达到 0.47. 说明在 1 号冰川 上, 表层雪中 SO²⁻ 浓度的变化基本反映了大气中 SO⁴ 浓度的变化情况,这为通过雪冰记录来恢复 本区的气候变化,提供了依据.考虑到不同季节的 环流形式以及 SO_4^2 的来源问题,我们分春季、夏 季和秋冬季3个时段来具体讨论气溶胶和表层雪中 SO_4^2 浓度之间的变化关系及其可能的成因.

Wake 等^[22]和 Williams 等^[6]的研究证明,1号 冰川区的 SO_4^{2-} 主要来源于中亚干旱区的陆地粉 尘. 候书贵^[7]在对本区降水中的化学特征研究时同 时指出,亚洲粉尘对降水中 SO²⁻ 的贡献量可达 78.2%, 是降水中 SO_4^2 的主要来源, 而局地人类 活动贡献量较小.影响我国的沙尘活动一般从2月 中旬到5月下旬,其中最大强度在4月下旬到5月 初. 通常认为 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 主要来源于粉尘, 可以 作为粉尘的替代指标^[23-24]. Wang 等^[10] 通过对 1 号冰川降雪中各种离子间的相关系数分析也发现, Ca²⁺, Mg²⁺主要来源于远源沙尘输送. 2004 年春 季气溶胶中 SO4 和 Ca2+、Mg2+ 的相关系数分别 为 0.88 和 0.71, 说明这期间 SO₄²⁻ 和 Ca²⁺、Mg²⁺ 来源相同,主要来自于沙尘活动,与前人的研究一 致. 同期气溶胶和表层雪中 SO_4^2 浓度变化的相关 系数为 0.24,相关性不好,这是由于表层雪中 SO² 浓度的变化受干湿沉降的影响明显. 首先这 段时间内,本区降水较少,不利于通过降水将大气 中的 SO₄² 带到表层雪上. 根据距离采样点 3 km 处大西沟气象站的观测资料统计,这段时间总降水 量为 14.7 mm, 占全年总降水 (427.9 mm) 的 3.4%. 另外, 春季陆面增温迅速, 以上升气流为 主,不利于气-雪界面的 SO_4^2 交换.

在 2004 年夏季, 气溶胶和表层雪中 SO_4^{2-} 浓度 的相关系数为 - 0.12, 是全年中相关性最差的季 节. 在距离采样点东北约 50 km 处的后峡地区存在 着水泥厂、钢铁厂和焦炭厂等工业部门. 据大西沟 气象资料,这段时间偏北、偏东方向风占主导地 位,再加上白天河谷盛行谷风,必然会将一部分污 染物带到采样点来,从而增加气溶胶中 SO_4^2 浓度. 另外, Sun 等^[8]在研究本区气溶胶的时候也发现, 春末夏初人为因素对 SO_4^2 浓度的贡献可能比沙尘 的贡献大.但同期的降水频繁,降水量为 290.2 mm,占全年总降水量的 68 %. 将会冲刷掉大气中 的一些 SO²⁻,使其浓度降低。同期表层雪中 SO²⁻ 浓度却接近全年最低值,这是由于夏季是本区温度 最高的时期,淋溶作用强烈.研究证明^[25-28], SO⁴ 是雪层中可溶性离子里面最容易被淋溶的, 致使夏季表层雪中 SO_4^2 浓度为全年最低. 可见, 正是由于降水对大气中 SO²⁻ 干沉降的影响, 再加 上表层雪中的 SO4 强烈淋溶, 造成夏季表层雪和 气溶胶中 SO_4^2 浓度的相关性较差.

65

在秋冬季,包括 2004 年 9 月至 12 月和 2003 年 12 月至 2004 年 2 月两段时间, 气溶胶和表层雪 中 SO_4^2 浓度的相关性非常好,相关系数为 0.84, 是全年相关性最好的时期. 在秋初(9月份)气溶胶 中 SO_4^2 浓度出现一个峰值区 (图 1),这可能是由 于此时仍然以偏北、偏东方向风占主导地位,白天 河谷盛行谷风,后峡地区的污染物可以输送到一号 冰川上;同期降水量的减少,使这时候气溶胶中 SO²⁻ 的浓度相对夏季较高. 同样, 随着气温的降 低,淋溶作用的减弱,再加上气溶胶中 SO_4^{2-} 浓度 增大,表层雪中的 SO²⁻ 浓度也相应出现一个高值. 然后随着风向转变为以偏西、偏南为主,以及沙尘 活动的减少, 气溶胶中 SO²⁻的浓度在冬季降到最 低,同时表层雪中的 SO_4^{-1} 浓度也降到全年最低. 这期间气溶胶和表层雪中 SO²⁻ 浓度的相关性为全 年最好,说明在气温低,降水少,以及在冬季以下 沉气流为主的情况下,气、雪界面的交换过程可能 更彻底. 另外, 在 2004 的秋冬季, 气溶胶中 SO_4^{2-1} 浓度偶尔会出现个别高值,据美国海洋和大气局48 h 的卫星云图可知,这几个高值可能是由于哈萨克 斯坦的季节性大火所致.

4 小结

通过对1号冰川大气气溶胶和表层雪中 SO4-

冻

浓度变化的研究,得出以下结论:

(1) 在1号冰川, 气溶胶与表层雪中 SO² 浓 度在年内变化上都出现两个高值区, 并且随时间的 变化趋势对应很好, 说明表层雪中 SO² 浓度变化 的基本上反应了大气中 SO² 的浓度变化情况. 这 为通过雪冰记录来研究本区的古气候变化提供了理 论依据.

(2) 对1号冰川上气溶胶和表层雪中的 SO^{4⁻} 浓度在不同季节的相关性分析表明,它们的相关性 秋冬季最好,春季次之,夏季最差.这可能与 SO^{4⁻} 在不同季节的来源,干沉降过程以及淋溶过程有 关.

致谢:本项研究是天山冰川观测试验站开展的 雪冰现代过程研究项目的一部分.是在全体观测和 研究人员集体努力下完成的.谨此对参加本项研究 的每一个观测人员以及项目组人员表示衷心感谢.

参考文献(References):

- Mayewski P A, Lyons W B, Ahmad N. Chemical composition of a high altitude fresh snowfall in the Ladakh Himalayas
 [J]. Geophysical Research Letters, 1983, 10: 105 108.
- [2] Mayewski P A, Spencer M J, Twickler M S, et al. Glaciochemical survey of the summit redion, Greenland[J]. Annals of Glaciology, 1990, 14: 186 - 190.
- [3] Woff E W. The record of aerosol deposited species in ice cores and problem of interpretation [M]// Chemical Exchange between the Atmosphere and Polar Snow. New York: Springer-Verlag, 1996: 1 - 17.
- [4] Dibb J E, Jaffrezo J L. Air snow exchange investigations at Summit, Greenland: An overview [J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102: 26795 - 26807.
- [5] Wake C P, Mayewski P A, Wang P, et al. Anthropogenic Sulfate and Asia dust signals in snow from Tienshan, northwest China [J]. Annals of Glaciology, 1992, 14: 301 - 306.
- [6] Williams M W, Tonnessen K A, Melack J M, et al. Sources and spatial variation of the chemical composition of snow in the Tienshan, China [J]. Annals of Glaciology, 1992, 16:25 - 32.
- [7] Hou Shugui. Chemical characteristics of precipitation at the head waters of the Ür ünqi river in the Tianshan Mountain [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(1): 80 84. [侯书贵. 乌鲁木齐河源区大气降水的化学特征[J]. 冰川冻土, 2001,23(1): 80 84.]
- [8] Sun Junying, Qin Dahe, Mayewski P A, et al. Soluble species in aerosol and snow and their relationship at Glacier 1, Tien Shan, China [J]. Journal of Geophysical Research, 1998, 103(D21): 28022 - 28027.
- [9] Li Zhongqin, Edwards R, Mosley-Thompson E, et al. Seasonal variability of ionic concentrations in surface snow and elution processes in snow-firn packs at the PGPI site on Glacier No. 1 in eastern Tianshan, China [J]. Annals of Glaciology,

2006, 43: 250 - 256.

±

- [10] Wang Feiteng, Li Zhongqin, You Xiaoni, et al. Seasonal evolution of aerosol stratigraphy in Glacier No. 1 percolation zone, eastern Tianshan, China [J]. Annals of Glaciology, 2006, 43: 245 - 249.
- [11] Yuan Fangce, Mao Dehua. The Geomorphology of Xinjiang
 [M]. Beijing: Meteorological Press, 1994:1 166. [袁方 策, 毛德华. 新疆地貌[M]. 北京: 气象出版社, 1994:1 - 166.]
- [12] Luo Hongzhen. Hydrochemical features of the Glacier No.1 in the source region of Ür ünqi River, Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1983, 5(2):55-64. [骆鸿 珍. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的水化学特征[J]. 冰川冻 土, 1983, 5(2):55-64.]
- [13] Li Zhongqin, Han Tianding, Jing Zhefan, et al. A summary of 40-year observed variation facts of climate and Gacier No. 1 at the headwaters of Ür ünqi River, Tianshan, China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25 (2): 117-123. [李忠勤,韩添丁,井哲帆,等. 乌鲁木齐河源区气候变化和1号冰川40年观测事实[J]. 冰川冻土, 2003, 25 (2): 117-123.]
- [14] Zhang Yinsheng, Kang Ersi, Liu Chaohai. Mountain climate analysis in Üünqi River valley, Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1994, 16: 333 - 341.[张寅生, 康尔泗,刘潮海.天山乌鲁木齐河流域山区气候特征分析 [J].冰川冻土, 1994, 16: 333 - 341.]
- [15] Wang Dehui, Zhang Peiyuan. On the valley climate of Ür ünqi river in the Tianshan Mountain [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1985, 7(3): 239 - 248. [王德辉,张 怔远.天山乌鲁木齐河谷气候特征[J].冰川冻土, 1985, 7 (3): 239 - 248.]
- [16] Zhang Kun, Li Zhongqin, Wang Feiteng, et al. Soluble mineral dusts in aerosol and surface snow on the Glacier No. 1 at the Headwaters of Ür ünqi River, East Tianshan Mountains: characteristics and their interrelation-taking calcium and magnesium as examples[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(1): 113 118. [张坤,李忠勤,王飞腾,等. 天山乌鲁木齐河源1号冰川积累区气溶胶和表层雪中可溶性矿物粉尘的变化特征及相互关系——以 Ca²⁺、Mg²⁺为例[J]. 冰川冻土, 2008, 30(1): 113 118.]
- [17] Zhao Zhongping, Li Zhongqin. Determination of soluble ions in atmospheric aerosol by ion chromatography [J]. Modern Scientific Instruments, 2004, 5: 46 - 49. [赵中平,李忠勤. 离子色谱法测定大气气溶胶中的可溶性离子[J]. 现代科学 仪器, 2004, 5: 46 - 49.]
- [18] Liu BYH, Pui DYH, Rubow KL. Characteristics of air sampling filter media [J]. Ann Arbor Science 1983, 3: 989 -1038.
- [19] Heather A R, Seung-Muk Y, Nadjoua M. Quantifying the dry deposition of reactive nitrogen and sulfur containing species in remote areas using a surrogate surface analysis approach [J]. Atmospheric Environment, 2004, 38, 2687 2697.
- [20] Wolff E W, Hall J S, Mulvaney R, et al. Relationship between chemistry of air, fresh snow and firn cores for aerosol species in coastal Antarctica [J]. J. Geophys. Res, 1998, 103(D9): 11057 - 11070.
- [21] Sun Junying. Study on Chemistry of Aerosol and Snow/ Ice

From Cryosphere-Cases studies at the Antarctic, the Arctic and Western China[D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute (CAREERI) Chinese Academy of Sciences (CAS), 2002: 50 - 75. [孙俊英, 冰冻圈大气气溶胶和雪冰化学研究——以南、北极和中国西 部高山区为例[D]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程 研究所, 2002: 50 - 75.]

- [22] Wake C P, Mayewski P A, Spencer M J. A review of central Asian glaciochemical data [J]. Annals of Glaciology, 1990, 14: 301 - 306.
- [23] Wolff E W, Bales R C. Chemical Exchange between the Atmosphere and Polar Snow [M]. NATO ASI Ser, Ser I, 43. New York: Springer-Verlag, 1996.
- [24] Mayewski P A, Meeker L D, Whitlow S, et al. The atmosphere during the Younger Dryas [J]. Science, 1993, 261:

192 - 197.

- [25] Tranter M, Tsiouris S Davies T D, et al. A laboratory investigation of the leaching of solute from snowpack by rainfall [J]. Hydrol. Process, 1992, 6: 169 178.
- [26] Anja E, Margit S, Heinz W G, et al. Meltwater-induced relocation of chemical species in Alpine firn[J]. Tellus, 2001, 53B: 192 - 203.
- [27] Brimblecombe P, Clegg SL, Davies TD, et al. Observations of the preferential loss of major ions from melting snow and laboratory ice [J]. Water Research, 1987, 21: 1279 - 1286.
- [28] Hou Shugui. Preliminary results of ion elution experiments of winter snow at the Headwaters of the Ür ünqi River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22 (4): 362 365. [候书贵, 乌鲁木齐河源冬季积雪淋溶作用的实验结果[J]. 冰川冻土, 2000, 22 (4): 362 365.]

Seasonal Variation of SO_4^{2-} in Aerosol and Surface Snow in the Accumulation Area of the Glacier No. 1 at the Headwaters of \ddot{U} ünqi River

ZHANG Ning-ning, LI Zhong-qin, HE Yuan-qing, WANG Fei-teng

(1. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Under the Program for Glacier Progress Investigation, 53 aerosol samples and 55 surface snow samples were collected at 4 130 m a. s. 1 in the Glacier No. 1 at the headwaters of the Urumqi River, Tianshan Mountains, during Dec. 2003 to Dec. 2004. The analysis results indicate that the concentration variations of $SO_4^{2^-}$ in aerosol and surface snow show the similar trends during the whole year. There are two concentration peaks for $SO_4^{2^-}$ in aerosol and surface snow. The first one appears at the end of spring, and the second one during the end of summer to early fall. There is a good corre-

Key words: Glacier No. 1; aerosol; surface snow; SO_4^{2-}

lation (r=0.47) between surface snow and aerosol $SO_4^{2^-}$ concentrations for a whole year, suggesting that surface snow chemistry basically reflects the changes of chemistry in the atmosphere. It is demonstrated that chemical compounds in ice cores can be applied to reconstruct the past atmospheric changes. And in different seasons it has different correlation between surface snow and aerosol $SO_4^{2^-}$ concentrations, because of different sources of $SO_4^{2^-}$ and different processes of dry deposition and elution.

67