

文章编号: 1000-0240 (1999) 03-0213-07

# 天山乌鲁木齐河融雪和河川径流的 水文化学过程

刘凤景<sup>1</sup>, Mark WILLIAMS<sup>3</sup>, 程国栋<sup>1</sup>, 朱守森<sup>2</sup>, 王纯足<sup>2</sup>, 韩添丁<sup>3</sup>  
(1. 中国科学院 兰州冰川冻土研究所冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2 中国科学院 兰州冰川冻土研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. Department of Geography and Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder, CO80309, USA)

摘要: 研究表明, 含  $\text{CaCO}_3$  矿物的溶解作用在乌鲁木齐河源区居主导地位. 尽管融雪径流的“离子脉冲”作用可以释放峰值强度达 3~4 倍的  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  流, 并且引起了总控断面河川径流与之相像的“离子脉冲”现象, 但河川径流仍然呈现弱碱性; 河源区强烈的含 S 矿物的氧化溶解作用, 产生大量的  $\text{H}^+$ , 被含  $\text{CaCO}_3$  矿物的溶解作用所缓冲, 未引起河川径流的酸化. 乌鲁木齐河以冰川站为界, 以上地区的水文化学过程为矿物的侵蚀-溶解过程, 以下则发生部分矿物的沉淀, 如  $\text{CaCO}_3$  的沉淀.  $\text{CaCO}_3$  的沉淀作用一定程度上又增强了河流的酸缓冲力.

关键词: 离子脉冲; 饱和指数; 矿物溶解; 矿物沉淀; 乌鲁木齐河

中图分类号: P641.3 文献标识码: A

气候变化对季节积雪的影响最为敏感<sup>[1]</sup>. 我国西部及中亚地区高山季节积雪广泛分布, 因此, 开展天山季节积雪水文化学作用研究意义重大. 这一研究不仅帮助我们了解未来气候情景条件下山区河流的水质变化, 而且可以为山区生态环境变化研究搭建一座桥梁. 本文着重分析天山乌鲁木齐河融雪与河川径流离子成分的控制因素, 以及发生在融雪和河川径流中的一些水文化学现象.

## 1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区首府乌鲁木齐市以南约 140 km 的乌鲁木齐河上游, 英雄桥水文观测站 ( $43^\circ 22' \text{N}$ ,  $87^\circ 12' \text{E}$ ) 控制以上地区 (图 1), 流域面积  $924 \text{ km}^2$ , 多年平均降水量  $526 \text{ mm}$ , 平均流量  $7.02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 平均径流深  $240 \text{ mm}$ , 有 124 条冰川, 总面积  $38 \text{ km}^2$ .

总控水文断面: 位于海拔  $3\,043 \text{ m}$  处, 控制面

积  $29 \text{ km}^2$ , 流域内发育 7 条冰川, 冰川总面积  $8 \text{ km}^2$ , 多年平均降水量  $560 \text{ mm}$ , 平均流量  $0.85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 平均径流深  $422 \text{ mm}$ , 多年平均气温  $-5.4^\circ \text{C}$ .

乌鲁木齐河源 1 号冰川 (以下简称 1 号冰川): 为乌鲁木齐河的发源地, 主峰天格尔 II 峰海拔  $4\,486 \text{ m}$ , 为流域最高峰. 1 号冰川流域面积  $3.34 \text{ km}^2$ , 冰川面积  $1.84 \text{ km}^2$ , 冰川长度  $2.3 \text{ km}$ , 为一冰斗-山谷冰川, 其冰舌末端海拔  $3\,710 \text{ m}$ . 1 号冰川东支朝向北, 冬季接受来自东南方向的风吹雪, 积雪厚度明显大于空冰斗, 一般为  $1.0 \sim 1.2 \text{ m}$ . 由于受气温升高影响, 近 30 a 来冰川面积减少  $5.7\%$ , 长度缩短  $117 \text{ m}$ <sup>[2]</sup>, 原来东、西两支冰舌末端相连, 现已完全分离.

空冰斗: 位于河源左侧, 斗口朝南, 流域面积  $1.68 \text{ km}^2$ , 无冰仅有季节积雪分布, 每年 4~5 月份积雪厚度可达  $0.81 \sim 1.0 \text{ m}$ . 据有关资料, 冰斗形成于末次冰期, 而在全新世高温期时空出.

收稿日期: 1998-12-09; 修订日期: 1999-06-16

基金项目: 国家自然科学基金 (49601004); 人事部非教育系统留学回国人员科技活动 D 类经费; 中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站; 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联合资助

作者简介: 刘凤景 (1964-), 男, 河北省南宫市人, 研究员, 在读博士, 1993~1995 年在美国科罗拉多大学地理系进修, 现主要从事干旱区水资源和寒区水文化学研究.

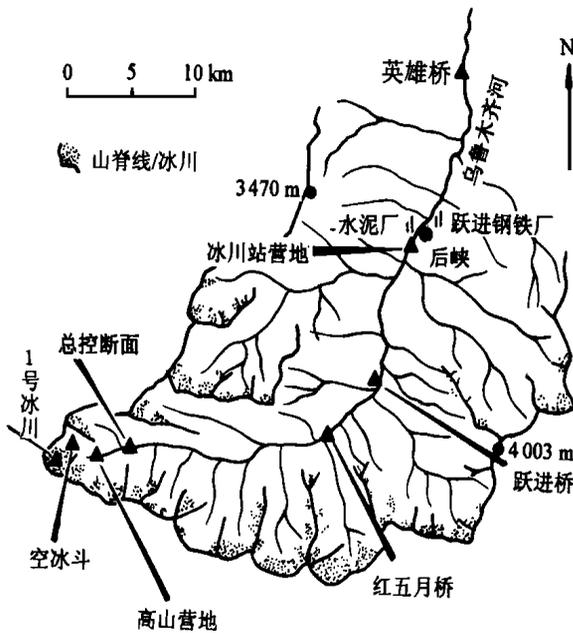


图 1 研究区地理概况与采样位置图

Fig. 1 Sketch map showing geography and sampling sites

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集

1996年5月1日至6月27日,在1号冰川、空冰斗和总控水文断面流量观测站设立采样点,采集逐日径流样品,时间均为早晨8点,研究河源区不同下垫面流域的水文化学过程及融雪径流与河川径流化学成分之间的相互关系.在冰川站营地、后峡镇、英雄桥水文站等点,每月采集径流样品一次,研究由于流域面积增大而造成的河川径流水文地球化学过程的差异.此外,为了进一步弄清融雪径流化学成分的来源,于5月1~15日在1号冰川的东支和空冰斗两流域采集了积雪样品,样点沿流域主流线按高、中、低3个海拔高度布设,使用PVC塑料管由上至下采集完整芯样.

### 2.2 样品处理与分析

雪样采集后,当场盛于用去离子水清洗过的塑料袋中带回住地,在室温条件下完全融化后,一部分直接盛于预先用10% HCl和去离子水处理过的塑料瓶中,另一部分经过滤器过滤盛于用同样方法处理过的塑料瓶中,过滤器采用47-mm Gelman A/E玻璃纤维滤纸,滤纸孔径 $1-\mu\text{m}$ .径流样品的处理方法与雪样相同,分作原样和经过滤器过滤的两种样品.

样品的pH和电导率在野外用原样现场测定, $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{NH}_4^{+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$

$\text{HCO}_3^{-}$ 由美国科罗拉多大学高山北极研究所化学分析实验室测定,其中阳离子采用未过滤样品,由Varian AA6原子吸收色谱仪分析; $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$ 采用过滤样品,由Dionex 2010i离子色谱仪分析; $\text{HCO}_3^{-}$ 采用Gran滴定法测试.每完成20个样品,便对仪器进行矫正,保证分析结果与标准样的误差控制在5%以内.

### 2.3 天然水矿物溶解与沉淀的判定方法

天然水中无机溶解物除以自由离子状态存在外,还有离子对和分子性的离子,如 $\text{Ca}^{2+}$ 族离子存在的主要形式有6种,即自由 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{CaCO}_3^0$ 、 $\text{CaHCO}_3^{+}$ 、 $\text{CaHSO}_4^{+}$ 、 $\text{CaOH}^{+}$ 和 $\text{CaSO}_4^0$ .应用热力学的方法,可以计算离子族存在的形态、活度及活度积(IAP),并采用下式计算水中矿物的饱和指数:

$$S_i = \log IAP / K_T$$

式中: $S_i$ 为矿物的饱和指数; $IAP$ 为矿物的活度积; $K_T$ 为 $T$ 温度下矿物的溶度积,可以采用热力学方法计算,也可以直接查表求得.活度积为溶解离子的浓度与活度系数的乘积,活度系数与溶液离子强度有密切的关系,其计算公式如下:

$$\log f_i = \begin{cases} AZ_i^2 \sqrt{I} & I < 10^{-2.3} \\ \frac{-AZ_i^2 \sqrt{I}}{1 + T_i^0 \sqrt{I}} & I < 10^{-1} \\ -AZ_i \left[ \frac{\sqrt{I}}{1 + T_i^0 \sqrt{I}} - 0.2I \right] & I < 0.5 \end{cases}$$

式中: $f_i$ 为离子的活度系数; $Z_i$ 为离子 $i$ 的电价; $A$ 、 $B$ 为与温度和压力有关的系数; $\alpha_i^0$ 为与离子有效直径有关的常数; $I$ 为溶液的离子强度,由下式计算:

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i Z_i^2$$

式中: $m_i$ 为离子 $i$ 的重量克分子浓度.

当 $S$ 等于0时,矿物的溶解与沉淀处于临界平衡状态;小于0时,则矿物处于溶解状态;大于0时,则发生矿物的沉淀<sup>[3]</sup>.

## 3 研究结果

### 3.1 积雪与径流离子成分及其对比

1996年1号冰川和空冰斗积雪于5月初开始消融,因此,5月1日和15日采集的积雪样品基本可以代表冬季积雪最大积累期的化学成分特征,

表 1 积雪与径流平均离子浓度 ( $\mu\text{eq} \cdot \text{L}^{-1}$ )、pH、电导率 ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) 和  $\delta^{18}\text{O}$  (‰)Table 1 Average ionic concentrations, pH, conductance and  $\delta^{18}\text{O}$  in snow and stream water

项 目	积 雪		融雪径流		河川径流	
	1号冰川 (n= 6)	空冰斗 (n= 4)	1号冰川 (n= 5)	空冰斗 (n= 5)	总控断面 (n= 3)	英雄桥站 (n= 2)
pH	6.70	6.94	7.93	7.86	8.51	7.90
电导率	15.95	18.63	177.88	127.54	130.57	227.00
$\delta^{18}\text{O}$	-16.99	-15.60	-15.92	-16.34	-13.27	
$\text{Ca}^{2+}$	102.15	131.99	1367.66	972.02	990.14	1734.76
$\text{Mg}^{2+}$	10.62	10.55	209.54	189.94	250.26	380.29
$\text{Na}^{+}$	18.85	27.27	54.88	93.11	87.30	251.00
$\text{K}^{+}$	2.21	2.16	53.63	16.12	35.84	24.20
$\text{NH}_4^{+}$	8.48	7.10	7.89	5.65	2.07	3.91
$\text{Cl}^{-}$	12.52	15.01	37.20	90.49	100.70	99.74
$\text{SO}_4^{2-}$	10.21	11.09	440.45	107.17	168.06	326.35
$\text{NO}_3^{-}$	5.01	4.47	48.75	79.32	42.81	24.70
$\text{HCO}_3^{-}$	114.57	148.5	1167.20	999.86	1054.04	1943.37

与同时段融雪和河川径流化学成分相比较 (表 1), 获得以下结果:

(1) 积雪呈微酸性, pH值小于 7.0, 其中 1号冰川为 6.70, 空冰斗为 6.94; 融雪径流呈弱碱性, pH值接近 8.0, 且 1号冰川大于空冰斗; 河川径流 pH值较高, 如总控水文断面 pH达 8.51.

(2) 1号冰川积雪的电导率略低于空冰斗, 但它的融雪径流的电导率明显高于空冰斗, 分别为 177.88和 127.54 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 为积雪电导率的 11和 6.8倍. 总控水文断面电导率为 130.57 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 低于 1号冰川融雪径流的电导率, 与流域面积增大电导率趋高的一般规律不相一致.

(3) 积雪中,  $\text{Ca}^{2+}$  含量居阳离子之首, 其次为  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$  含量居阴离子之首, 其次为  $\text{Cl}^{-}$ ; 径流中, 虽然居主导地位的阳、阴离子仍为  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^{-}$ , 但居第二位的离子则分别为  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ .

(4) 积雪离子浓度小于融雪径流离子浓度, 融雪径流离子浓度小于河川径流离子浓度. 但是, 1号冰川融雪径流中的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  非常特殊, 其浓度分别为 1367.66和 440.45 $\mu\text{eq} \cdot \text{L}^{-1}$ , 高于总控水文断面  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  的浓度 (分别为 990.14和 168.06 $\mu\text{eq} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 甚至高于英雄桥水文站的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度 (326.35 $\mu\text{eq} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

### 3.2 融雪与河川径流离子浓度变化

为了弄清融雪与河川径流离子浓度随时间的变化, 以及融雪径流对河川径流化学成分的影响, 选取 1号冰川和总控水文断面两点的离子浓度变化过

程进行研究. 由于受当年洪水灾害影响, 未观测到完整的流量值, 因此, 观测结果无法与流量的变化过程进行对比.

根据 5月 1日至 6月 27日 1号冰川电导率、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  随时间变化的过程分析 (图 2), 融雪径流初期径流的电导率和离子浓度为全时段最高值, 随后呈波浪式下降趋势, 特别是 5月 3~ 8日有一明显的峰值过程, 并与  $\delta^{18}\text{O}$  的变化呈负相关, 称之为融雪径流的“离子脉冲”现象<sup>[4]</sup>. 与 1992年在空冰斗流域观测到的融雪径流的“离子脉冲”过程相比较<sup>[5]</sup>, 发生的时间一致, 但 1号冰川的峰值强度达到平均离子浓度的 3~ 4倍, 如  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^{-}$  分别为 3.14和 3.79倍, 明显高于空冰斗的“离子脉冲”峰值强度. 总控水文断面径流的电导率和离子浓度变化过程与 1号冰川融雪径流一致 (图 3), 而且“离子脉冲”的峰值强度的倍数接近 1号冰川, 如  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^{-}$  的峰值强度倍数分别为 3.14和 3.09.

### 3.3 河川径流化学成分的时空变化与矿物沉淀作用

#### 3.3.1 离子组成与时空变化

乌鲁木齐河英雄桥水文站控制以上流域, 径流主要来源于冰川消融、积雪消融、冻土和高山植被带水分补给, 这些成分在不同季节和河段组成比例不尽相同, 造成径流与岩石和土壤相互作用的强度和方式也就不同, 表现为河川径流化学成分的时空差异. 本文通过对比分析阴、阳离子在相应阴、阳离子总量中所占的百分比, 研究离子组成的时空变

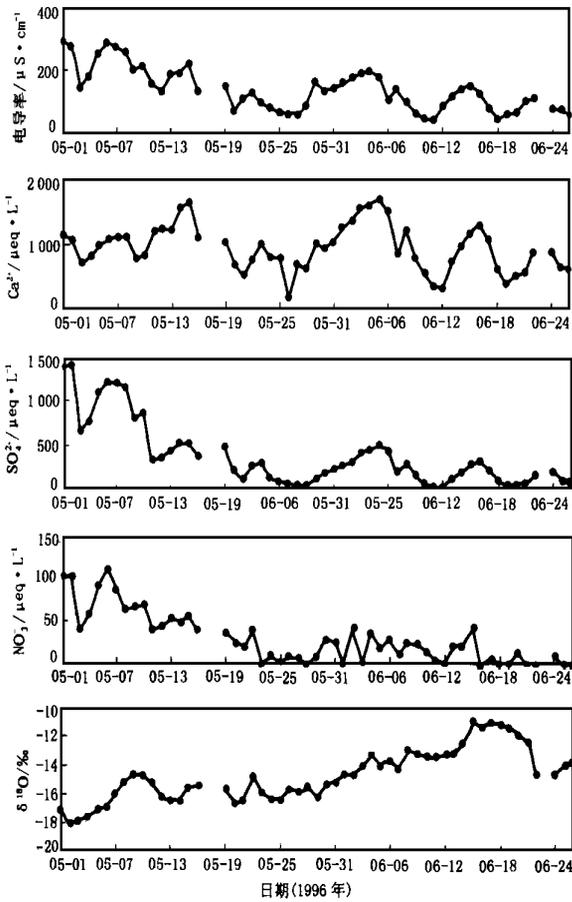


图 2 1号冰川融雪径流电导率,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$ 变化过程

Fig. 2 Regime of conductance,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  in snowmelt at Glacier No. 1

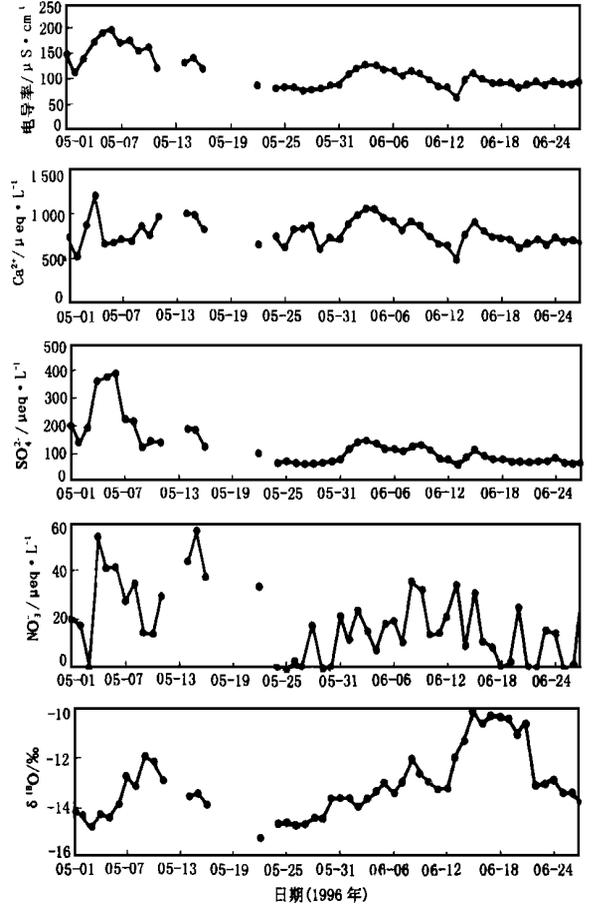


图 3 总控断面河川径流电导率,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$ 变化过程

Fig. 3 Regime of conductance,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  in snowmelt at Total Control

化规律 (图 4 图 5), 并获得以下结果:

(1) 从 5月 9日、6月 15日和 7月 2日 3个时段的结果看,  $\text{Ca}^{2+}$  浓度百分比变化幅度为 65% ~ 80%, 随时间具有升高趋势, 而  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度百分比则呈降低趋势, 说明随降水径流比例的增加, 含 Ca矿物的溶解强度有所增强。

(2) 流域面积由 1号冰川向英雄桥逐渐增大。除  $\text{Ca}^{2+}$  和 1号冰川的  $\text{SO}_4^{2-}$  以外, 离子浓度百分比随流域面积的增大而升高。 $\text{Ca}^{2+}$  的变化趋势与之相反, 随流域面积的增大而降低, 说明含 Ca风化矿物的溶解作用主要发生在河源区, 而且最强烈的地区是 1号冰川。

(3) 1号冰川  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度百分比为 3个时间段 6个采样点中的最高值, 而且春季融雪径流高于夏季降水径流, 反映了 1号冰川含 S矿物和干沉积污染物的强烈溶解作用。

(4)  $\text{Cl}^-$  和  $\text{NO}_3^-$  浓度百分比的时空变化规律不甚明显, 而且绝大部分数值小于 5%。

### 3. 3. 2 矿物的溶解与沉淀

WATEQ模型<sup>(3)</sup>是采用热力学方法计算天然水离子族种类、活度、活度积、矿物饱和指数的地球化学模型。WATEQ模型的计算结果表明, 乌鲁木齐河水中  $\text{Ca}^{2+}$  族离子的主要存在形态为自由  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CaCO}_3^0$ ,  $\text{CaHCO}_3^+$ ,  $\text{CaHSO}_4^+$ ,  $\text{CaOH}^+$ ,  $\text{CaSO}_4^0$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$  族主要存在形态除自由  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CaHSO}_4^+$  和  $\text{CaSO}_4^0$ 外, 还有  $\text{KSO}_4^+$ ,  $\text{MgSO}_4^0$ ,  $\text{NaSO}_4^+$ ,  $\text{NH}_4\text{SO}_4^+$ ,  $\text{HSO}_4^-$  等, 文石、方解石、白云石、石膏、菱铁矿、岩盐等矿物为河川径流化学成分的主要来源。

图 6选取了文石、方解石、白云石、石膏 4种矿物饱和指数的时空变化, 1号冰川、空冰斗和总控水文断面 4种矿物的饱和指数均小于 0, 处于未

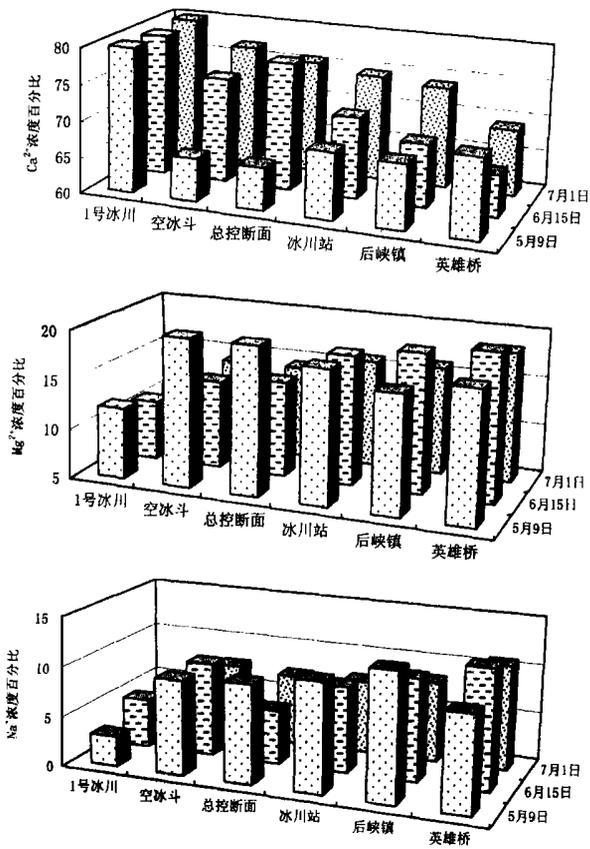


图 4 河川径流阳离子的组成特征与时空变化  
Fig. 4 Spatial and temporal changes of cationic composition in stream water

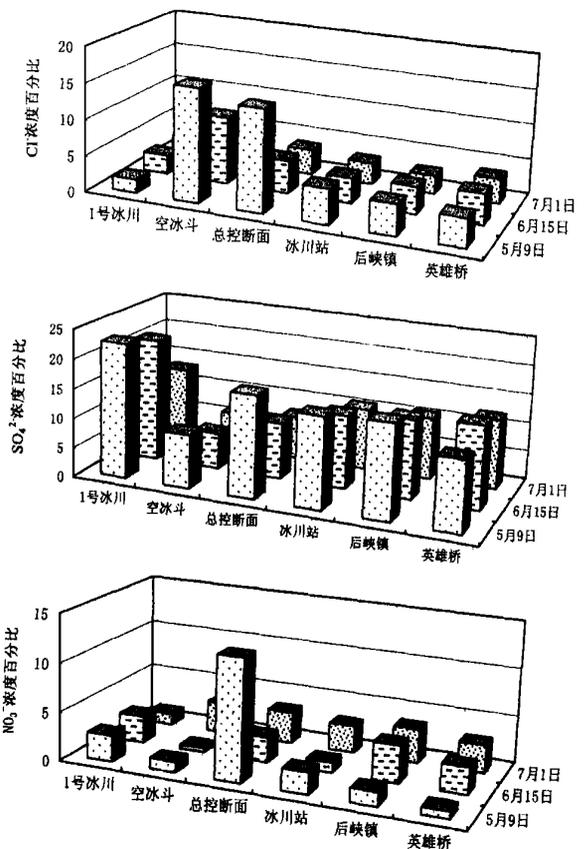


图 5 河川径流阴离子的组成特征与时空变化  
Fig. 5 Spatial and temporal changes of anionic composition in stream water

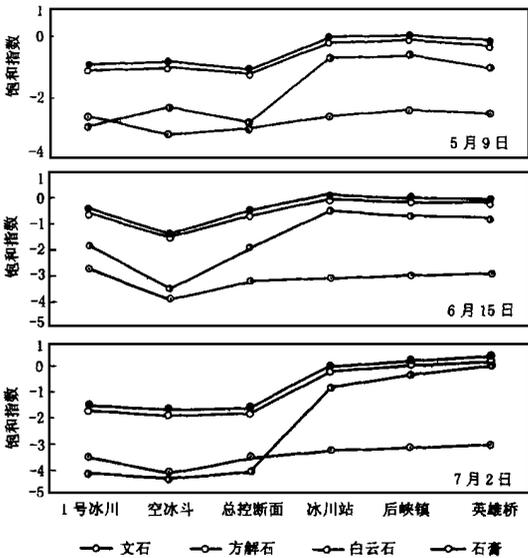


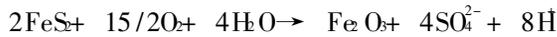
图 6 河川径流中几种主要矿物饱和指数的时空变化  
Fig. 6 Spatial and temporal changes of saturation indices of major minerals in stream water

饱和状态, 冰川站以下河段文石和方解石接近饱和状态, 6月 15日和 7月 2日两矿物的饱和指数大于 0, 处于过饱和状态. 由于文石和方解石的化学成分均为  $\text{CaCO}_3$ , 因此,  $\text{CaCO}_3$ 在冰川站以下河段有沉淀发生.

#### 4 结论与讨论

积雪开始消融时, 总控水文断面径流的离子浓度具有“离子脉冲”的特征, 脉冲强度接近 1号冰川融雪径流的峰值强度, 发生的时间也一致, 说明完全是受 1号冰川和空冰斗融雪径流“离子脉冲”的影响所致.

1号冰川融雪径流  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度为  $440.43 \text{ eq} \cdot \text{L}^{-1}$ , 高于总控水文断面和英雄桥水文站径流的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度, 所占阴离子总量的百分比超过 20%, 也为各观测点最高值, 说明 1号冰川具有很强的溶解含 S矿物的作用, 岩石表面大量存在的硫铁矿为这一化学过程提供了物质条件, 反应过程表示如下:



上述反应产生的  $\text{H}^+$  又为方解石的溶解提供了物质条件, 如下式:



因此, 每溶解 2 mol 的硫铁矿, 便可以产生 4 mol 的  $\text{SO}_4^{2-}$  和 8 mol 的  $\text{H}^+$ , 同时可以产生 8 mol 的  $\text{Ca}^{2+}$  和 8 mol 的  $\text{HCO}_3^-$ , 伴随融雪径流的不断排泄, 使上述反应过程持续进行. 1号冰川  $\text{Ca}^{2+}$  浓度百分比高达 80% 的事实, 为这一假设提供了进一步的证据.

乌鲁木齐河英雄桥水文站以上河段存在两个水文化学作用过程, 即冰川站以上河流的侵蚀-溶解过程 (特别是含  $\text{CaCO}_3$  矿物的侵蚀-溶解过程) 和冰川站以下方解石、文石的沉淀过程.

1号冰川融雪径流的  $\text{SO}_4^{2-}$  的浓度高于天山其它地区、昆仑山<sup>[6]</sup> 和北美已经发生径流酸化的地区, 而且“离子脉冲”过程可以使酸性离子浓度增加 3~4 倍, 但酸化事件在这一地区的河川径流中并未发生, 该地区居主导地位的含  $\text{CaCO}_3$  矿物的溶解作用缓冲了硫铁矿氧化溶解伴随产生的  $\text{H}^+$ . 总控断面以下河段径流的 pH 值均大于 7.0 的事实, 进一步证实了乌鲁木齐河具有较强的酸缓冲能力.

致谢: 本文得到施雅风院士的悉心指导, 谨在此表示衷心感谢!

#### 参考文献:

- [1] Watson R, Zinyowera M, Moss R. *et al.* Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses [A]. Climate Change 1995 [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 248-249.
- [2] 刘潮海. 中国天山冰川站手册 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1991. 26.
- [3] Ball J W, Jeanne E A, Nordstrom D K. WATEQ2 - A computerized chemical model for trace and major element speciation and mineral equilibria of natural waters [A]. Jeanne E A. Chemical Modelling in Aqueous Systems: Speciation, sorption, solubility, and kinetics, American Chemical Society Symp. (Ser., Vol. 93) [C]. American Chemical Society, 1979. 815-836.
- [4] Johannessen M, Henriksen A. Chemistry of snow meltwater changes in concentration during melting [J]. Water Resources Research, 1978, 14: 615-619.
- [5] 刘风景, M. Williams, 杨大庆. 天山乌鲁木齐河融雪径流的“离子脉冲”现象初探 [J]. 科学通报, 1997, 42 (4): 417-419.
- [6] Wake C P, Mayewski P, Wang P, *et al.* Anthropogenic sulfate and Asian dust signals in snow from Tien Shan, northwest China [J]. Annals of Glaciology, 1992, 16: 47-51.

## Hydrochemical Process of Snowmelt and Stream Water in Ürumqi River, Tianshan Mountains

LIU Feng-jing<sup>1</sup>, Mark WILLIAMS<sup>3</sup>, CHENG Guo-dong<sup>1</sup>, ZHU Shou-sen<sup>2</sup>,  
WANG Chun-zu<sup>2</sup>, HAN Tian-ding<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, LIGG, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China; 3. Department of Geography and Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder, CO80309, USA)

**Abstract** In China coal burning results in high concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{H}^+$  in precipitation both within major industrial cities and in atmospheric deposition to high elevation areas where annual precipitation is dominated by snow fall. In other areas of the world, significant and severe changes occur in terrestrial and aquatic ecosystems where levels of sulfur- and nitrogen-containing compounds are less than those currently existing in China. As a part of ongoing effort to fully understand the susceptibility of

seasonally snow-covered alpine basins to deposition of atmospheric pollutants, this study aims at better understanding the process that controls the hydrochemistry of high elevation headwater basins during snow melt period.

The research area is the upper part of the Ürumqi River, with an area of 824 km<sup>2</sup> above the Hydrometric Station at Hero Bridge. More intensive studies focused on the headwater basin with an area of 29 km<sup>2</sup>, including the Glacier No. 1 basin, a glacierized

headwater basin with an area of about 2 km<sup>2</sup>. Daily samples of snowmelt and stream water were continuously collected for solute analysis from May 1 to June 30, 1996 at gauging station of the Glacier No. 1 basin, several gauging stations in the headwater basin and several other sites down the stream within an interval of several kilometers.

It is found that pH is slightly less than 7 in snow and is 7.8 to 8.5 in stream water. Ca<sup>2+</sup> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> predominates in cations and anions in the stream water, accounting for approximately 73% and 77% of total cationic and anionic charges, respectively. It is suggested that dissolution of CaCO<sub>3</sub> - containing minerals is the major geochemical process in stream

water at the headwaters of the Urumqi River catchment. Under the Tianshan Glaciological Station near the Hero Bridge, however, ionic concentrations of some species were saturated. Mineral deposits can be seen in the stream water such as calcite, dolomite and gypsum. Although the ionic pulse occurs and concentration of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> increases with a peak of 3 to 4 times of the average concentrations, the stream water of headwaters is not acidified during the initial snow melting period. Oxidation and dissolution of S-containing minerals such as FeS<sub>2</sub> produces a large amount of H<sup>+</sup>. H<sup>+</sup> is then consumed by dissolution of CaCO<sub>3</sub>.

**Key words** ionic pulse; saturation index; mineral dissolution; mineral deposit; Urumqi River