

文章编号:1000-0240(2003)01-0072-05

# 天山乌鲁木齐河源径流水文化学 空间差异及其控制因素

李翠林<sup>1</sup>, 侯书贵<sup>2</sup>, 秦大河<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程  
研究所冰芯与寒区环境重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 天山乌鲁木齐河源暖季径流水文化学特征受大气降水、冰川作用、积雪消融、冻土活动层状况以及水岩相互作用等因素综合影响, 普遍存在的水岩相互作用和冰碛物岩矿离子组分的化学剥蚀作用导致径流中各项离子浓度远远高于大气降水中相应值的规律, 其中黄铁矿氧化反应、钾长石水解和方解石水解反应为控制流域径流偏碱性的主要化学作用. 冰川磨蚀对于岩矿溶解的增强作用和相对更强的积雪消融导致天山乌鲁木齐河源 1 号冰川径流的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{K}^+$  离子浓度和离子脉冲峰值远高于空冰斗和总控水文点. 空冰斗融水径流受大气降水、季节性冻土活动层融水混入以及融雪水与土壤相互作用影响更大, 表现出更显著的  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{NO}_3^-$  离子峰值现象. 总控水文点则大体上反映上述二水文点的混合作用, 变化相对平缓, 离子浓度峰值介于二者之间.

**关键词:** 水文化学特征; 控制因素; 乌鲁木齐河源  
**中图分类号:** P343.6 **文献标识码:** A

天山乌鲁木齐河源冰川河谷的径流由冰雪融水、大气降水以及土壤存储水混合补给, 其水文化学特征受冰川作用、冻土状况、冰碛物成分、水岩相互作用以及大气化学环境等因素的综合影响. 自 1996 年 5 月 1 日天山乌鲁木齐河源 1 号冰川(以下简称 1 号冰川)积雪开始融化形成径流至 6 月 17 日, 在 1 号冰川、空冰斗和总控水文点采集逐日的径流样品, 研究河源区不同下垫面流域水文化学差异及各影响因素的控制作用.

## 1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市以南约 140 km 的乌鲁木齐河上游河源区 ( $86^{\circ}45' \sim 87^{\circ}56' \text{E}$ ,  $40^{\circ}00' \sim 44^{\circ}07' \text{N}$ ). 流域内山势高, 坡降陡, 垂直地带性明显, 海拔 3 600 m 以上发育有现代冰川. 径流样品分别采集于河源区的 1 号冰川水文点、空冰斗水文点和总控水文点(图 1), 其中前两个水文点位于总控水文点的控制流域内.

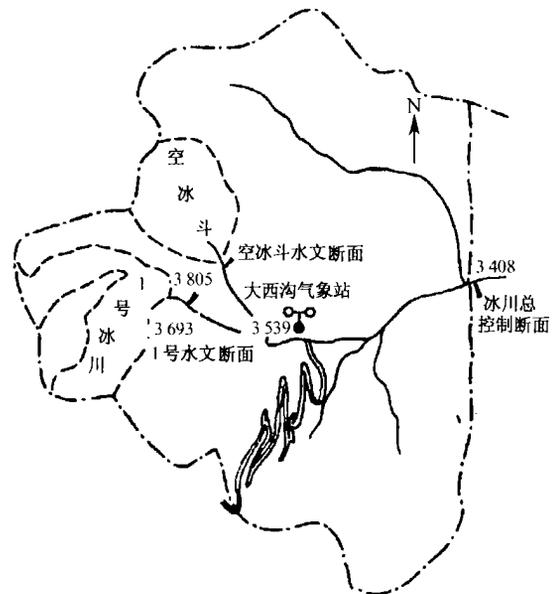


图 1 研究区各水文采样点分布位置图

Fig. 1 Sketch map of the sampling sites

总控水文点位于萝卜道沟与大西沟汇合处, 海

收稿日期: 2002-03-28; 修订日期: 2002-08-26

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-10-02; CZCX2-301); 国家自然科学基金项目 (49901004; 49871022) 资助

作者简介: 李翠林 (1979—), 男, 湖北荆州人, 2000 年在中国地质大学获学士学位, 现为中国科学院地质与地球物理研究所在读硕士研究生, 主要从事冰川与第四纪气候环境研究. E-mail: 79liling@163.com

拔3 408 m, 控制面积 28.9 km<sup>2</sup>, 年平均气温 - 5.4 °C。控制流域内发育 7 条冰川, 冰川总面积约占整个盆地的 19.4%, 其它均为山地多年冻土地带和高海拔山地苔原带。上覆层主要由冰碛、岩石碎屑堆以及冲积物组成<sup>[1]</sup>。

1 号冰川为冰斗-山谷冰川, 冰川面积 1.84 km<sup>2</sup>, 冰川长度 2.3 km, 冰舌末端海拔 3 710 m, 为乌鲁木齐河的发源地之一。1 号冰川 4、5 月份积雪厚度一般为 1.0~1.2 m, 其水文点位于冰舌末端下游 315 m 处, 海拔 3 695 m, 控制流域面积 3.34 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。

空冰斗位于河源西侧, 末端海拔 3 805 m, 无冰, 仅有季节性积雪分布, 每年 4、5 月份积雪厚度达 0.8~1.0 m。空冰斗水文点位于空冰斗排水道上, 控制流域面积 1.68 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。

## 2 样品采集与分析处理

样品采集时间均为 14:00 (北京时间), 其中空冰斗水文点到 5 月 9 日才出现径流。用蒸馏水洗净过的聚乙烯塑料瓶采集径流水样, 流水经振荡清洗 3 次之后装样, 密封保存。大气降水样品采自天山大西沟气象站 (图 1), 采样过程参见文献 [2]。

样品从野外运抵中国科学院寒区旱区环境与工程研究所后立即存入 - 15 °C 低温室, 分析前取出在室温下融化。全部样品的测试工作在冰芯与寒区环境重点实验室完成。pH 和电导率分别使用 pHs-2 型酸度计和 DDS-11A 型电导率仪 (上海雷磁仪器厂) 测定, K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 等阳离子使用 PE-2380 型原子吸收光谱仪测定, 测量精度在 10 ng·g<sup>-1</sup> 以内<sup>[3]</sup>。Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 三种阴离子使用 Dionex-100 型离子色谱仪测定, 精度可达 ng·g<sup>-1</sup> 量级。每测量 20 个样后对仪器进行校正, 保证分析结果与标准样的误差控制在 5% 以内。

## 3 研究结果

分析结果可以看出, 相对于水文点径流, 大气降水 pH 平均值最小, 为 6.95, 略显微酸性。3 个水文点的 pH 值在 7.0~8.0 间变化 (图 2), 呈弱碱性, pH 平均值空冰斗为 7.38, 1 号冰川和总控水文点处的略高, 分别为 7.55 和 7.53。电导率的变化非常大, 但各水文点变化趋势相同 (图 2), 其中大气降水的电导率平均值最小, 为 29.74 μs·cm<sup>-1</sup>, 远远低于其它 3 点的值。1 号冰川的电导率最大, 为 151.28 μs·cm<sup>-1</sup>, 约是大气降水的 5 倍, 空冰斗

的 2 倍, 总控水文点的电导率值介于 1 号冰川和空冰斗之间。

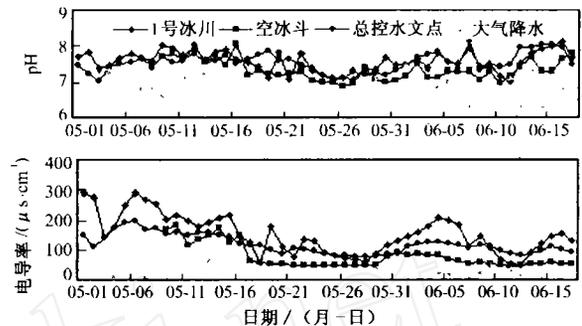


图 2 径流与降水中 pH 值、电导率比较

Fig. 2 Comparison of pH and conductance ratio between precipitation and runoff

相比之下, 大气降水中的各项离子浓度值均远远低于 3 个水文点径流的相应值 (表 1)。例如 1 号冰川 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 浓度分别是大气降水的 5.3、6.2、8.5 和 10.5 倍。径流阳离子中 1 号冰川 Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup> 最大, 总控水文点的 Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 最大, 空冰斗各项阳离子浓度均介于二者之间。各点的阳离子浓度均以 Ca<sup>2+</sup> 居主导地位 (表 1), 且远远高出其它阳离子。其它阳离子浓度顺序在各点略有差异, 其中大气降水和空冰斗水文点相同, 分别为 Na<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup>, 而在 1 号冰川为 Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup>, 总控水文点为 Mg<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup>。各点阴离子

表 1 降水与径流样品平均离子浓度 (μg·g<sup>-1</sup>)、pH 值和电导率 (μs·cm<sup>-1</sup>)

Table 1 Average ionic concentration, pH and conductance in precipitation and runoff

项目	降水平均 (n=18)	融水径流		河川径流 总控水文点 (n=48)
		1号冰川 (n=48)	空冰斗 (n=40)	
pH	6.95	7.55	7.38	7.53
电导率	29.74	151.28	76.57	118.57
Ca <sup>2+</sup>	2.60	13.77	7.24	11.16
Mg <sup>2+</sup>	0.30	1.87	1.21	2.12
Na <sup>+</sup>	0.82	1.20	1.33	1.77
K <sup>+</sup>	0.21	1.77	0.41	0.97
Cl <sup>-</sup>	0.78	1.18	2.31	2.89
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.54	26.65	4.60	9.79
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.74	2.48	3.00	1.70

平均浓度以  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度最大, 大气降水和总控水文点径流中  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ , 而在空冰斗和 1 号冰川处  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ . 1 号冰川径流中  $\text{SO}_4^{2-}$  的平均浓度远远高于空冰斗和总控水文点, 而  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$  平均浓度则分别是空冰斗和总控水文点最高.

各水文点的阳离子随时间变化的趋势大致相同(图 3), 5 月 1 日开始形成融水径流出现阳离子浓度的最大值, 表现为“离子脉冲”现象, 在前人多项研究中均有述及<sup>[4, 5]</sup>. 随后至 5 月 3 日有较陡的下降, 此后快速上升, 至 5 月 6 日左右各水文点的阳离子浓度达到最高值, 然后缓慢下降, 至 5 月 27 ~ 30 日之间各水文点阳离子浓度均出现极小值. 在 6 月初和中旬又出现两次离子浓度峰值(图 3), 分别在 6 月 5 日和 6 月 16 日达到短时段内的最高浓度, 随时间推移各次离子浓度峰值的强度逐渐减弱. 但各水文点在变化的幅度上有差别, 1 号冰川的阳离子峰值最显著, 总控水文点离子浓度变化相对平缓, 峰值在 1 号冰川和空冰斗之间. 阴离子随时间变化的总体趋势和阳离子相同, 但各水文点间峰值现象略有差异, 如  $\text{SO}_4^{2-}$  在 1 号冰川表现最明显, 而  $\text{Cl}^-$  和  $\text{NO}_3^-$  在空冰斗处表现最明显(图 4).

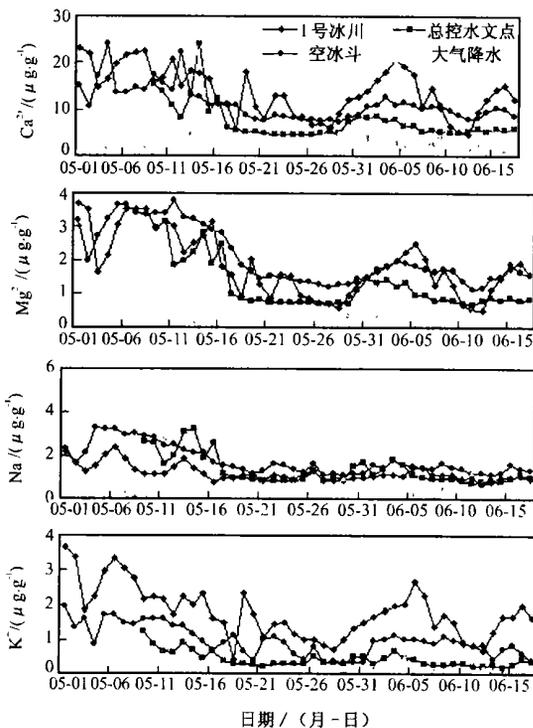


图 3 径流与降水中主要阳离子变化比较

Fig. 3 Comparison of major cation variations between precipitation and runoff

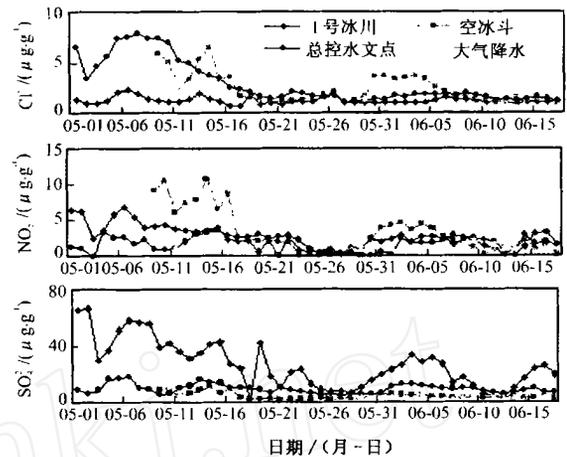


图 4 径流与降水中主要阴离子变化比较

Fig. 4 Comparison of major anion variations between precipitation and runoff

## 4 讨论

### 4.1 大气降水与径流水文差异及控制因素

大气降水微酸化, 而径流一般呈碱性, 可见在径流形成过程中发生了  $\text{H}^+$  损耗, 表明水岩相互作用影响了径流的酸碱度. 而径流的离子浓度是积雪离子浓度的几倍到十几倍, 再次说明水岩相互作用在径流离子浓度形成中的重要作用<sup>[6]</sup>. 整个径流流域内大量存在的冰碛物岩石组分为硅质结晶片岩, 伴有大规模的黑云母花岗岩的侵入, 在侵入体和片岩的接触带形成贯入片麻岩, 并有闪长岩脉和辉绿岩脉穿插. 岩石的矿物组分为普通角闪石、黑云母、白云石、石英以及少量的方解石、石膏和黄铁矿<sup>[8]</sup>. 上述冰碛物含有大量的 Na、Ca、Mg、Fe、Al、Si 等元素, 这些元素都参与了各种水体的化学组成, 经过水岩离子交换过程和化学反应导致径流离子浓度远高于大气降水.

由于冰碛物岩性为火成变质岩, 不存在硫酸钙和硫酸镁等硫酸盐矿物, 因而径流中的  $\text{SO}_4^{2-}$  增强应该与硫化物的氧化密切相关. 冰碛物中普遍存在黄铁矿, 其氧化过程为:



河源区岩石表面大量存在的氧化铁为这一反应提供了证据. 产生的  $\text{H}^+$  会进一步引起长石类矿物的水解, 由于 1 号冰川径流中  $\text{K}^+$  增强比  $\text{Na}^+$  显著, 因此应该主要是钾长石的水解. 反应过程为:



同时,  $\text{H}^+$  还会引起方解石的水解:



造成  $\text{Ca}^{2+}$  的增强,  $\text{H}^+$  被消耗. 正是上述反应过程大大消耗了原来积雪中的  $\text{H}^+$  和后来产生的  $\text{H}^+$  使 pH 值升高, 并造成径流中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{K}^+$  浓度增高.

此外, 消融初期的积雪淋溶作用对于融雪初期径流离子浓度增强也有不可忽视的作用<sup>[9]</sup>.

#### 4.2 空冰斗与 1 号冰川融水径流水文差异及控制因素

空冰斗与 1 号冰川融水径流差别较大, 主要表现为平均离子浓度大小和峰值差异. 1 号冰川的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{K}^+$  平均浓度较高, 且峰值较明显(图 3、图 4), 而空冰斗的  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{NO}_3^-$  峰值较明显. 造成这种差异的原因在于, 1 号冰川为冰川作用流域, 冰川作用流域会增强  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{K}^+$  的剥蚀率, 但  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{NO}_3^-$  却不会超过同海拔和岩性相当的非冰川流域<sup>[9]</sup>. 冰川时刻处在缓慢移动之中, 冰体对基岩有磨蚀和拔蚀作用, 一方面增大了矿物颗粒破碎和表面积增大; 另一方面会产生新的磨光面, 增强矿物水解能力. 此外, 冰碛物孔隙发育, 有利于增加水岩作用的机会<sup>[9]</sup>. 同时, 1 号冰川积雪厚度比空冰斗高, 融水淋溶路径和离子积累时间长也对离子浓度差异产生影响.

空冰斗的离子浓度由大气降水、积雪消融以及土壤存储水共同决定. 刘凤景等<sup>[7]</sup>利用硅为示踪剂和简单的模型进行径流分割得到结果表明空冰斗和总控的土壤存储水占优势, 分别为总径流量 69.9% 和 77.1%. 而 1 号冰川以新融水为主, 占 60.4%, 表明冻土活动层在空冰斗处的控制作用比 1 号冰川强得多, 因而产生离子浓度差异和离子脉冲表现差异. 5 月初, 部分初融水渗透到岩屑堆形成地面冰, 或在土壤表面冻结阻止融雪水进一步下渗, 形成地表流, 在融雪初期非常有利于离子脉冲的发生. 同时, 径流出口附近和向阳坡的季节性冻土层由于温度升高解冻融水会改变径流的离子浓度. 特别是这会给地下水提供了空间, 增加地下水和土壤岩石的离子交换. 冻土层融水和充分交换的地下水在水文点处汇入空冰斗径流. 石元春<sup>[10]</sup>指出塔里木盆地北部盐分组成以  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^-$  类型的盐渍土为主, 也在一定程度上解释了空冰斗显著的  $\text{Cl}^-$  峰值.

1 号冰川  $\text{NO}_3^-$  离子峰值不如空冰斗显著可能与  $\text{NO}_3^-$  的物理化学特性有关, 因为沉积在冰雪中的  $\text{NO}_3^-$  经过一定时期会从雪层中逸出. 一方面是

由于  $\text{HNO}_3$  分子易挥发导致向大气的反向逸散; 另一方面,  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{HNO}_3$  在一定条件下受太阳紫外线的作用发生光化学自由基反应, 也同样可以导致冰雪中的  $\text{NO}_3^-$  的反向逸散<sup>[11]</sup>. 此外, 融雪季节, 大气降水对于像空冰斗这样的非冰川作用流域的径流有更大的影响<sup>[9]</sup>, 从大气降水和空冰斗离子浓度顺序相同也证明了这一点.

#### 4.3 河川径流与融水径流水文差异及控制因素

总控水文点径流离子浓度变化相对缓和, 总体上体现了空冰斗和 1 号冰川不完全同步的离子峰值的混合作用. 但从表 1 可以看到总控水文点浓度为各径流中最高, 应与总控水文点控制流域面积最大, 且主要为高  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  盐渍土多年冻土带有关. 相关分析发现二者相关系数达到 0.96, 表明二者主要来源相同, 而平均  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  比为 1.1, 远小于海盐比 1.8, 因而主要受陆地来源控制, 也证明了这一点.

### 5 结论

通过对天山乌鲁木齐河源大气降水和各水文控制点样品水化学特征的分析、比较和讨论, 可以得出以下几点:

(1) 河源区各处径流流域在暖季融雪季节存在普遍的水岩相互作用, 冰碛物岩矿离子组分的化学剥蚀作用以及积雪消融对径流离子成分产生巨大的影响, 导致径流离子浓度远远高于大气降水中相应离子浓度. 其中黄铁矿氧化反应、钾长石水解和方解石水解反应为控制流域高  $\text{Ca}^{2+}$ 、高  $\text{K}^+$  (1 号冰川)、高  $\text{SO}_4^{2-}$  离子浓度以及偏碱性 pH 值的主要化学作用.

(2) 1 号冰川由于冰川磨蚀对于岩矿溶解的增强作用而在  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{K}^+$  离子浓度上远高于空冰斗和总控水文点, 同时这些离子的离子脉冲峰值也比其它两个非冰川作用流域水文点相对显著. 融雪作用在 1 号冰川的控制作用比空冰斗要强.

(3) 空冰斗与大气降水影响关系比 1 号冰川更密切, 此外还受到水岩作用, 冻土层融水混入以及融雪水与土壤相互作用的共同影响. 特有的岩石土壤覆盖层条件和与大气降水更密切的关系导致  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{NO}_3^-$  更显著的离子浓度峰值.

(4) 总控水文点则大体上反映上述二水文点的混合作用. 由于空冰斗与 1 号冰川在离子峰值出现时间上的不同步, 导致在总控水文点峰值抵消, 变

化相对平缓. 其高  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  浓度和相关系数与流域面积和流域下垫面性质密切相关.

### 参考文献(References):

- [1] Liu Chaohai. Handbook of Tianshan Glacier Station[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1991. 26. [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.]
- [2] Hou Shugui. Chemical characteristics of precipitation at the headwater of the  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River in the Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(1): 80 - 84. [侯书贵. 乌鲁木齐河源大气降水的化学性质[J]. 冰川冻土, 2001, 23(1): 80 - 84.]
- [3] Huang Cuilan, Li Zhongqin, Hou Shugui, *et al.* The effect of ion elution on the formation of icecore records [J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(23): 2 171 - 2 173. [皇翠兰, 李忠勤, 侯书贵, 等. 淋溶作用对冰芯记录形成的影响[J]. 科学通报, 1996, 41(23): 2 171 - 2 173.]
- [4] Johannessen M, Henriksen A. Chemistry of snow meltwater: changes in concentration during melting [J]. Water Resources Research, 1978, 14: 615 - 619.
- [5] Liu Fengjing, Williams M, Yang Daqing. Preliminary investigation on the "ionic pulse" of snowmelt runoff at the headwater of  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River, Tian Shan [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(4): 417 - 419. [刘凤景, 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] Williams M W, Yang D Q, Liu F G, *et al.* Controls on the major ion chemistry of the  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River, Tianshan, People's Republic of China [J]. Journal of Hydrology, 1995, 172: 209 - 229.
- [7] Liu Fengjing, Mark Williams, Sun Junying, *et al.* Hydrochemical processes and hydrological separation at the headwaters of the  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River, Tianshan Mountains, China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology(冰川冻土), 1999, 21(4): 362 - 370.
- [8] Wang Jingtai, Zhang Zhenshuan. Glacial sediments at headwater basins of  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River, Tian Shan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1981, 3(Suppl.): 49 - 56. [王靖泰, 张振栓. 天山乌鲁木齐河源的冰川沉积[J]. 冰川冻土, 1981, 3(增刊): 49 - 56.]
- [9] Hou Shugui. Preliminary result of ion elution experiments of winter snow at the headwater of the  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22(4): 362 - 364. [侯书贵. 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 - 364.]
- [10] Shi Yuanchun. Accumulation of salt in the northern Tarim Basin and utilization of alkaline soil [A]. Natural Resource of Xinjiang Autonomous Region [C]. Beijing: Science Press, 1959. 131. [石元春. 塔里木盆地北部盐分的积聚规律和盐渍土の利用改良问题 [A]. 新疆维吾尔自治区的自然条件 [C]. 北京: 科学出版社, 1959. 131.]
- [11] Sun Junying, Qin Dahe, Ren Jiawen, *et al.* A study of water chemistry and aerosol at the head waters of  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River in the Tianshan mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(2): 186 - 191. [孙俊英, 秦大河, 任贾文, 等. 乌鲁木齐河源区水体和大气气溶胶化学成分研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(2): 186 - 191.]

## Spatial Differences of Hydro-Chemical and Its Control Factors of the Headwater Runoff in the $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River, Tianshan Mountains

LI Cui-lin<sup>1</sup>, HOU Shu-gui<sup>2</sup>, QIN Da-he<sup>2</sup>

(1. Geological and Geophysical Research Institute, CAS, Beijing 100029, China; 2. Key Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China)

**Abstract:** The hydro-chemical characteristics of stream flow within the headwater drainage of the  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River, Tianshan Mountains, is affected by various factors, such as precipitation, glaciation, snow melting, permafrost active layer, moraine components and talus-soil-water interaction in warm season. The wide meltwater-soil interaction and chemical denudation of mineral solutes dramatically contribute to the stream water, resulting in higher solute concentration in stream water than that in precipitation. Pyrite oxidation, calcite dissolution and K-feldspar hydrolyze are the main reactions, causing

**Key words:** hydro-chemical characteristics; control factor; headwaters of the  $\text{Ir}\ddot{u}$ nuqi River

high  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations and weak alkaline pH value in stream water.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{K}^+$  concentrations with their ionic pulse peaks in the Glacier No. 1 are much higher than those in the Dry Cirque and the Total Control Gauge Section due to more effective snow melting and glacier grinding on the underlain rocks that boosts mineral dissolution. Stream flow in the Dry Cirque is more influenced by precipitation, except for soil-restored meltwater mixing and soil-water interaction. The Total Control Gauge Section generally shows a mixed effect of the Glacier No. 1 and the Dry Cirque.