

文章编号: 1000-0240(2009)04-0759-07

乌鲁木齐河源径流电导率和 TDS 的变化特征

韩添丁, 叶柏生, 李向应, 焦克勤, 李忠勤

(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/天山冰川观测试验站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用 2003—2006 年冰川消融期(5 - 8 月)对乌鲁木齐河源 1 号冰川、空冰斗和总控 3 个水文点逐日定时(14:00 时)的径流及电导率和 TDS 监测资料, 分析河源区不同下垫面流域径流电导率和 TDS 的差异特征及各影响因素的控制作用。结果表明: 观测到河源区不同断面径流的电导率和 TDS 的低值出现在高水期; 峰值出现在低水期, 而且 1 号冰川水文点的高值远超过空冰斗和总控水文点的高值, 且变化幅度最大。河源区不同水文点径流的电导率及 TDS 变化主要与径流量大小关系密切, 空冰斗融水径流主要受大气降水、季节性积雪融水和冻土活动层融水等影响, 相应与土壤相互作用影响更大。总控水文点则明显地体现了 1 号冰川和空冰斗两水文点混合作用的影响特点。

关键词: 河川径流; 冰川消融期; 电导率和 TDS; 乌鲁木齐河源

中图分类号: P332.7 **文献标识码:** A

0 引言

电导率通常代表水体中离子总量的相对大小和强度, TDS 为溶解性总固体, 是溶解在水里的无机盐和有机物的总称。在物理意义上来说, 水中溶解物越多, 水的 TDS 值就越大, 水的导电性也越好, 其电导率值也越大; 从另一个角度来说, 电导率及 TDS 大小的变化也反映了冰川消融强弱, 冰雪融水和降水所占河川径流比例的差异性。电导率和 TDS 在冰川粒雪化过程中同样表现出不同的季节变化特点和趋势, 且它们的淋融过程受温度的影响较大, 受降水的影响较小。

雪冰中电导率的变化反映了雪冰中化学杂质的浓度变化^[1], 雪冰液态电导已被广泛用于青藏高原冰川径流中化学物质源区的示踪指标^[2]和冰内杂质的源区判断, 还提供了可溶性杂质源区和传输路径的信息^[3], 并可能反映某一类离子的变化^[4]。通过对青藏高原电导率、TDS 的关系进行研究显示, 青藏高原冰雪电导率增大因素是碱性尘埃中的可溶盐, 而不是酸性气体。不同于南极的特点, 电导率

控制因素是 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 和 H^+ , 是干湿变化的良好指示器; 在相对湿润年, 由大气降水、冰川融水以及大风搬运至积累区的可溶盐很少, 电导率较低, 在相对干旱年, 电导率较高^[5-7]。同时, 新疆内陆河流域也有相关研究^[8-9]。

乌鲁木齐河源区径流由冰雪融水、冻土融水以及大气降水混合补给形成, 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。对乌鲁木齐河源区冰雪径流及大气降水的化学特征、冬季积雪淋溶作用^[10-14]、“离子脉冲”现象^[15]也有所研究。我们系统采集了乌鲁木齐河源区冰川表面积雪、融水径流、降水、气溶胶等样品, 主要选取乌鲁木齐河源 1 号冰川(以下简称 1 号冰川)、空冰斗和总控等 3 个水文断面的径流样品分析资料, 试图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。着重分析天山乌鲁木齐河源冰雪径流、降水等电导率和 TDS 成分的变化特点和控制因素。

1 研究区概况和资料来源样品收集

本研究区位于天山乌鲁木齐河源区, 径流样

收稿日期: 2008-11-16; 修订日期: 2009-02-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871036); 中国气象局公益性行业科研专项经费项目(GYHY200706008); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB411502); 水利部公益性行业科研专项经费项目(2007SHZ1-46)资助

作者简介: 韩添丁(1964—), 男, 甘肃武山人, 副研究员, 2007 年在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所获博士学位, 主要从事寒区水文与环境研究。E-mail: tdhan@lzb.ac.cn

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). 1 号冰川水文点离 1 号冰川冰舌末端约 300 m, 监测 1 号冰川融水径流, 断面海拔 3 659 m, 流域面积 3.34 km², 其中冰川面积 1.733 km². 空冰斗水文点进行高山区积雪、多年冻土融水径流的观测, 断面海拔 3 805 m, 流域面积 1.68 km². 总控制水文点, 控制监测乌鲁木齐河源区 7 条冰川和降水及冰川周围高山积雪、多年冻土的总径流, 控制断面海拔 3 408 m, 流域面积 28.9 km²; 其中冰川面积约 5.6 km².

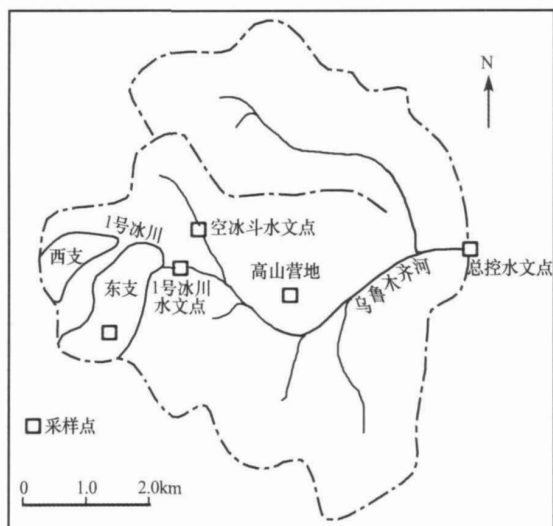


图 1 乌鲁木齐河源取样点分布简图

Fig. 1 Sketch map of the sampling sites

2003—2006 年冰川消融期 5 - 8 月, 我们分别对 1 号冰川、空冰斗和总控水文点进行了逐日定时(14:00 点)的径流量及径流电导率和 TDS 的观测和取样, 一般用蒸馏水清洗过的塑料瓶采集径流水样, 样品采集后在室内分析. 由于河源径流水样低矿化度水电导率和 TDS 不仅与流域下垫面土壤和岩石特性有关, 还与测量时水温等有关; 因此, 室内室温下的分析可能对消除高山区水温下的直接测定对电导率误差的影响有益. 样品采用奥立龙 125A(精度 $\pm 0.5\%$) 多功能电导率测量仪进行测

量.

雪冰样品采集于 1 号冰川东支积累区海拔 4 130 m 处的雪-粒雪坑中, 大约有 100 个表层雪样品(2002 年 9 月 - 2004 年 9 月)取样频率为每周 1 次, 表层雪样品取自雪-粒雪坑顶部表层 5 cm 处. 样品电导率和 TDS 均使用 DDSJ-308A (0.001) 型电导率仪(上海雷磁仪器厂)进行测定^[14]. 大气气溶胶样品于 1 号冰川东支海拔 4 030 m 处采集, 主要分析大气气溶胶的电导率特征, 通过太阳能驱动 12 V 直流泵完成. 采样膜是孔径为 20 μ m, 直径 47 mm 的 Zeflour Teflon 滤膜, 采样体积用在线体积流量计测量, 采样期间每隔 1 h 测量 1 次大气压和温度值, 用以计算流经滤膜的空气的标准体积.

2 结果和分析

2.1 3 个水文点电导率和 TDS 变化特点

样品分析显示, 1 号冰川水文点冰雪径流的电导率明显高于空冰斗, 且变化幅度最大; 空冰斗平均值最小, 总控水文点平均电导率和 TDS 为各水文点径流中最高, 断面平均电导率为 226.7 μ S $\cdot$ cm⁻¹(表 1). 基本与流域面积增大电导率趋高的一般规律相一致, 与 1 号冰川积雪电导率略低于空冰斗积雪的电导率、总控水文断面电导率低于 1 号冰川融雪径流的电导率^[15]的结论有所不同, 显示了代表冬季积雪及消融过程和夏季冰雪消融径流电导率的显著差别.

不同水文点径流的电导率和 TDS 的变化趋势不尽一致. 在河源区冰雪消融期, 以大气降水和冻土融水为主的空冰斗径流的电导率及 TDS 呈现明显的增加趋势, 1 号冰川水文点电导率及 TDS 主要显示为随径流大小波动的强烈变化, 而总控水文点径流电导率及 TDS 的变化体现了空冰斗和 1 号冰川水文点变化的混合特征. 3 个水文点实测电导率及 TDS 的变化如图 2 所示(基于电导率和 TDS 变化趋势的一致性, 以电导率变化为代表). 相比较而言, 河源区降水的电导率和 TDS 平均值均低于

表 1 乌鲁木齐河源不同水文点径流电导率和 TDS 统计

Table 1 Average conductivity and TDS of runoff at the headwater of the Ürümqi River

	样品数	电导率 / (μ S $\cdot$ cm ⁻¹)			TDS/ (mg $\cdot$ L ⁻¹)		
		最大值	最小值	平均	最大值	最小值	平均
1 号冰川水文点	268	470	16.4	170.2	223	7	80.3
空冰斗水文点	275	370	17.9	145.2	177	10	69.1
总控制水文点	269	399	42.9	226.7	185	19	107.5

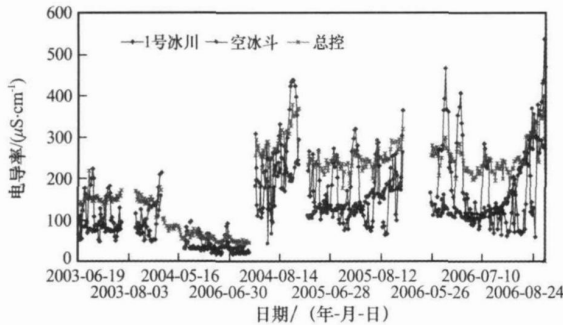


图 2 2003—2006 年 6 - 8 月乌鲁木齐河源 3 个水文点电导率的变化

Fig. 2 Variations of runoff conductivity of the three hydrological points at the headwaters of the Ür ünqi River, June to August, 2003—2006

断面径流值, 其值分别为 $2.8 \sim 256 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 和 $1 \sim 121 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间^[10], 其较大值多出现在夏季, 但夏季同时也会发生多次电导率很小的降水过程, 表明夏季降水性质的复杂、易变性, 也是对降水期间大气气溶胶状况的间接反映。

2.2 各水文点电导率和 TDS 与径流变化的关系

图 3 分别表示了 2005 年 6 - 8 月 3 个水文点电导率与断面径流的变化 (TDS 变化相似于电导率变化), 图中显示: 1 号冰川水文点径流和电导率有着显著的反相关关系, 相关系数为 -0.711 , 达到了 99 % 的显著水平 (表 2); 空冰斗径流过程基本反映了降水径流的特点, 而电导率又显示出了夏季消融期较为明显的增大趋势, 其与径流量的相关系数为 -0.259 , 也达到了 95 % 的显著水平; 总控制水文点电导率的变化体现了空冰斗和 1 号冰川水文点的混合特征, 电导率在总体变大的同时, 显示了明显的波动特征, 其与径流量的相关系数为 -0.326 , 同样达到了 99 % 的显著水平。

相关分析表明 (表 2), 总控径流 (Q_z) 和空冰斗径流 (Q_k) 的大小主要取决于降水的大小, 二者与同期降水的相关关系较好, 相关系数分别为 0.391 和 0.703, 均达到了 0.01 的信度水平, 与气温基本没有相关性; 而 1 号冰川水文点径流 (Q_l) 与降水相关关系不显著, 但与同期气温的相关性很好 (相关系数为 0.633, 达到了 0.01 的信度水平)。总控径流与 1 号冰川及空冰斗的相关关系为 0.308 和 0.657, 达到了 99 % 的显著水平, 但其电导率与二者电导率的关系同样显著, 分别为 0.538 和 0.565。河源区径流变化受到冰川和降水的共同影响, 但降水还是较为显著, 但电导率 (TDS) 的变化更多的反映了冰

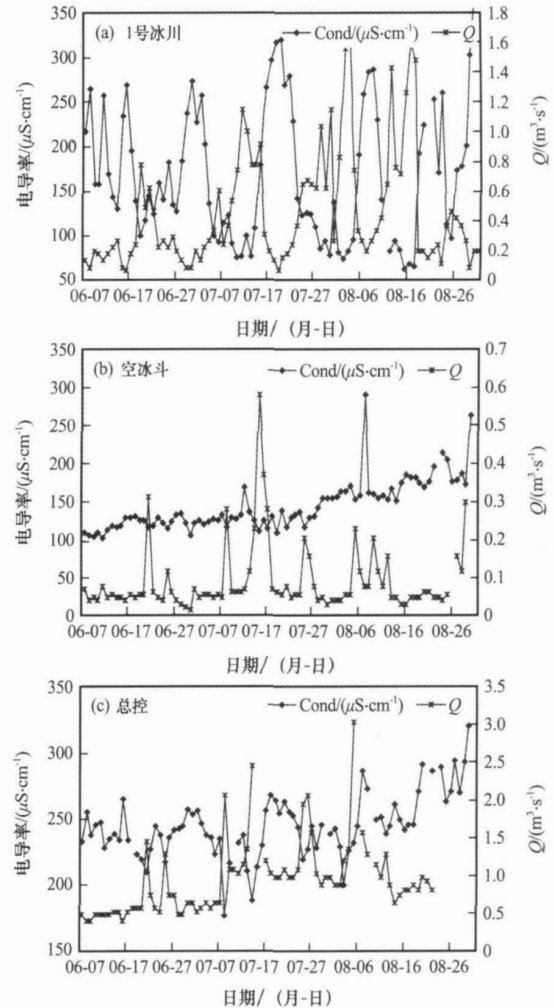


图 3 2005 年 6 - 8 月 3 个水文点电导率与断面径流的变化

Fig. 3 Variations of runoff conductivity and runoff of the three hydrological points at the headwaters of the Ür ünqi River, June to August, 2005

川运动及冻土参与下的总体下垫面特征。

从 1 号冰川水文点径流和电导率的显著反相关关系分析来看 (表 2), 持续的大流量条件下, 径流电导率可能出现减小的趋势, 其原因可能与降水代替先前水事件有关。水化学变化特征反映了径流的产汇流过程, 大、小浓度均代表不同的径流来源和水文事件。

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。在消融期电导率及 TDS 呈现为由春季到夏季的增加过程, 而与径流的变化过程关系不大, 其主要原因可能是: 地、气温度升高, 大气降水、积雪消融和冻土层融水充分交换形成空冰斗径流, 期间增加了地下水和土壤岩石的离子交

表 2 乌鲁木齐河源不同水文点电导率与断面径流及气温、降水的相关关系分析

Table 2 Coefficient between conductivity and runoff and temperature/precipitation at the headwaters of the Ür ünqi River

	Cond-1	Q1	Cond-k	Qk	Cond-z	Qz	T	P
Cond-1	1							
Q1	- 0.711	1						
Cond-k	0.026	0.193	1					
Qk	0.169	0.051	- 0.122	1				
Cond-z	0.538	- 0.371	0.565	- 0.259	1			
Qz	- 0.242	0.308	- 0.288	0.657	- 0.552	1		
T	- 0.671	0.633	0.04	- 0.141	- 0.408	0.282	1	
P	0.118	0.015	0.06	0.703	- 0.111	0.391	- 0.247	1

注：样品数为 85， $R \geq 0.28$ ，在 0.01 水平上显著相关； $R \geq 0.24$ ，在 0.05 水平上显著相关。

换^[15]。其较大值多出现在夏季，但同时也会发生多次电导率较大的波动现象，这可能是大的降水过程造成的。

空冰斗流域为季节积雪，控制融雪径流的因素除积雪淋溶作用外，冻土活动层的参与亦很重要，另外，采样时段大气降水的补给，亦可影响径流和积雪的浓度比值，更为详尽的过程有待进一步研究。

总控水文点平均电导率和 TDS 为各水文点径流中最高，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，应与总控水文点控制流域面积最大，且主要为水渍土多年冻土带有关。不同断面水化学有着时空变化的不一致，时间变化反映了径流条件，而空间变化不能充分解释，反映了径流和水化学过程。

2.3 1 号冰川电导率和 TDS 的时空变化

2.3.1 1 号冰川水文点电导率和 TDS 的年际变化

1 号冰川水文点径流电导率的年际变化显示(表 3)，尽管所取样品数有差异，但近年的平均电导率的增加趋势非常明显。初步分析认为，其与冰

川运动加快、冰温增加等有关^[16]，变化趋势基本对应着 1993 年 1 号冰川完全分为独立的两支冰川后的强烈消融^[17]。基于冰川运动加快和冰川温度及气温等的升高趋势变化，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^[11]，从而会导致冰川径流电导率的增大趋势。

2.3.2 1 号冰川气溶胶、表层雪、径流的电导率和 TDS 比较

为了系统分析同一时段内 1 号冰川区域冰川融水、表层雪及其大气气溶胶的电导率和 TDS 的空间变化，我们选取了与冰川表层雪、大气气溶胶取样同一时段(2003-06-26 - 2004-08-30)的径流电导率及 TDS 资料。根据河源区的 2 个夏季消融期样品资料来看，同一时间的 1 号冰川径流电导率和 TDS 远大于冰川表层雪和气溶胶的值，而且变幅非常大(表 4)；从图 3 中还可以看出，消融时段内，2004 年电导率及 TDS 均大于 2003 年。这可能与当年春季和夏初，乌鲁木齐河源区尘暴发生的频率

表 3 1 号冰川径流电导率年际变化特征

Table 3 Yearly variation of the runoff conductivity ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) of the Glacier No. 1 at the headwaters of the Ür ünqi River

年份	1981 ^[18]	1982 ^[18]	1996 ^[13]	2003	2004	2005	2006
样品数	14	105	48	62	92	83	98
平均/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	94.5	86.2	151.3	102.4	127.3	168.2	191.2
最大值/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	168.9	245.4		223	438	364	537
最小值/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	58.6	29.6		46.4	16.4	62.4	59.8

表 4 乌鲁木齐河源区 1 号冰川大气气溶胶、表层雪和径流的平均电导率和 TDS 浓度

Table 4 Mean conductivity and TDS concentration of aerosol , surface snow and runoff in the Glacier No. 1 at the headwaters of the Urumqi River

	样品数	电导率 / ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)			TDS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		
		最大值	最小值	平均	最大值	最小值	平均
径流	25	437	3	114.7	208	1	54.6
表层雪	26	95.5	2.1	13.4	47.7	1.1	6.7
气溶胶	23	9.0	2.0	4.3			

增加，大气中的粉尘载量增大，可溶性化学离子的沉降作用增强有关^[14]。

侯书贵等^[10]分析显示，海拔 4 030 m 处雪坑(1 m 厚雪层)的电导率资料(119 个样品)，从夏季(6 - 8 月)电导率变化范围为 122 ~ 10.1 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，其变化幅度大于表层雪。造成雪坑样品这种变化特征的原因可能与冰川雪层中存在大量融水，碱性尘埃物质在液态水体内的溶解和分解作用导致积雪的碱性增强有密切关系。

结果表明，径流的电导率和表层雪及大气气溶

胶电导率的变化关系不尽一致，径流电导率变化与二者分别呈负相关(相关系数 - 0.222)和正相关(相关系数 0.17)，而表层雪-气溶胶电导率之间同样存在着不太显著的反相关关系(- 0.123)；二者与日平均气温的关系也不尽一致，相关系数分别为 - 0.056和 0.265。基于径流电导率与断面流量的显著反相关关系，电导率的最小值与强降水的影响不无关系，尽管这种关系在前文中分析显示不甚明显。同样，径流和表层雪的 TDS 变化与电导率变化相似。

3 结论与讨论

分析结果表明，乌鲁木齐河源区不同水文断面径流电导率的变化非常大，1 号冰川径流的电导率和 TDS 峰值远高于空冰斗和总控水文点。且变化幅度较大。河源区不同水文点径流的电导率及 TDS 主要与径流量大小关系密切，空冰斗融水径流主要受大气降水、季节性积雪融水和冻土活动层融水等影响，与土壤相互作用影响更大；总控水文点则大体上反映上述二水文点的混合作用的特点。

(1) 近期冰川温度升高和强烈的冰川变薄、退缩等变化，以及脆弱的冰川水源环境，增强了冰川径流过程中磨蚀溶解作用和离子径流的补给，1 号冰川水文点径流近年来的平均电导率增加趋势非常明显。

(2) 河源不同水文点径流与电导率均有着显著的反相关关系，尽管这种相关系数的显著水平有所差异；同时，总控水文点径流与 1 号冰川及空冰斗水文点径流电导率均有显著的相关关系，相关系数分别达到 0.538 和 0.565，反映了河源区径流变化受到冰川和降水的共同影响的特点，但电导率及 TDS 的变化更多的反映了冰川运动及冻土参与下的总体下垫面特征。

(3) 1 号冰川径流的电导率和 TDS 与表层雪及

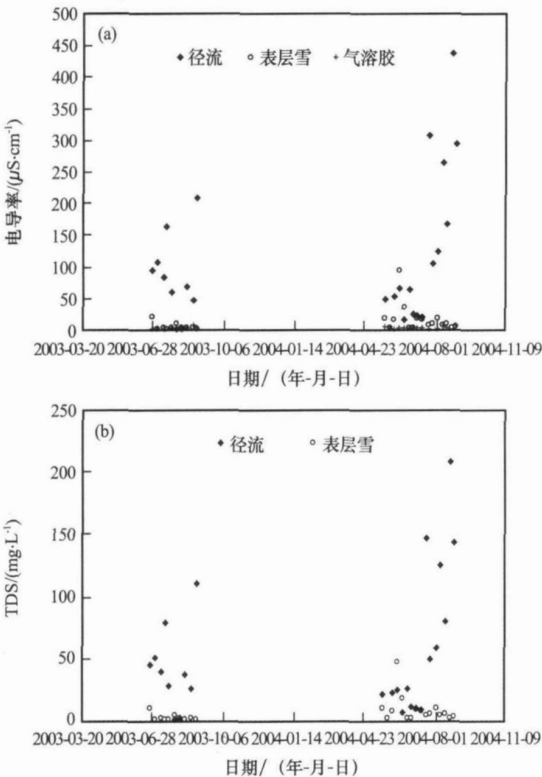


图 4 1 号冰川大气气溶胶、表层雪和径流的平均电导率(a)和 TDS(b)变化(2003. 6. 26 - 2004. 8. 30)
Fig. 4 Variations of mean conductivity and TDS of aerosol , surface snow and runoff in the Glacier No. 1 at the headwaters of the Ür ümqi River

大气气溶胶电导率的变化关系不尽一致,而表层雪与气溶胶之间有不太显著的反相关关系;而二者与日平均气温的关系也不尽一致,相关系数分别为 -0.056 和 0.265.

参考文献(References):

- [1] Moore J C, Wolff EW, Hammer C U, *et al.* The chemical basis for the electrical stratigraphy of ice [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97**: 1887 - 1896.
- [2] Fenn C R. Electrical conductivity [M]// Gurnell A M, Clark M J. *Glaciofluvial Sediment Transfer: An Alpine Perspective*. Chichester: John Wiley and Sons, 1987: 377 - 414.
- [3] Hammer C U, Clausen H B, Langway C C Jr. The Byrd ice core: continuous acidity measurements and solid electrical conductivity measurements [J]. *Annals of Glaciology*, 1985, **7**: 214.
- [4] Collins D N. Seasonal variation of solute concentration in meltwaters draining from an alpine glacier [J]. *Annual of Glaciology*, 1981, **1**: 11 - 16.
- [5] Yao Tandong, Sheng Wenkun, Yang Zhihong. A study on ice and snow chemistry in Qing-Zang (Tibet) Plateau [C]// Yao Tandong, Agrta Y. *Glaciological Climate and Environment on Qing - Zang Plateau*. Beijing: Science Press, 1993: 8 - 15 [姚檀栋, 盛文坤, 杨志红. 青藏高原的冰雪化学研究 [C] 青藏高原冰川气候与环境. 北京: 科学出版社, 1993: 8 - 15.]
- [6] Seng Wenkun, Yao Tandong, Xie Chao, *et al.* Analysis of pH and conductivity in Guliya Ice Core since Little Ice Age [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1995, **17**(4): 360 - 365. [盛文坤, 姚檀栋, 谢超, 等. 古里雅冰芯小冰期以来的 pH 值和电导率分析 [J]. 冰川冻土, 1995, **17**(4): 360 - 365.]
- [7] Sheng Wenkun, Yao Tandong, Li Yuefang. Dry and wet changes in Guliya ice cap region approached by pH and electric conductivity in ice core [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1998, **20**(4): 432 - 437. [盛文坤, 姚檀栋, 李月芳. 用古里雅冰芯的 pH 值及电导率探讨该冰川作用区的干湿变化 [J]. 冰川冻土, 1998, **20**(4): 432 - 437.]
- [8] Su Litan, Song Yudong, Zhang Zhanyu. Study on the spatio-temporal variation of groundwater salt content in Xinjiang Weigan catchment [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, **58**(6): 854 - 860. [苏里坦, 宋郁东, 张展羽, 新疆渭干河流域地下水含盐量的时空变异特征 [J]. 地理学报, 2003, **58**(6): 854 - 860.]
- [9] Chen Yongjin, Chen Yaning, Li Weihong, *et al.* The reaction of groundwater chemical characteristics to the eco-water conveyance in the lower Tarim River [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, **60**(3): 309 - 318. [陈永金, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游地下水化学特征对生态输水的响应 [J]. 地理学报, 2005, **60**(3): 309 - 318.]
- [10] Hou Shugui, Qin Dahe, Ren Jiawen, *et al.* The present environmental processes of the pH and conductivity records in the Glacier No1 at the headwaters of Ürümqi River, Tianshan Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, **21**(3): 225 - 232. [侯书贵, 秦大河, 任贾文, 等. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川 pH 和电导率记录的现代环境过程 [J]. 冰川冻土, 1999, **21**(3): 225 - 232.]
- [11] Hou Shugui. Preliminary result of ion elution experiments of winter-snow at the headwater of the Ürümqi 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.]
- [12] Sun Junying, Qin Dahe, Ren Jiawen, *et al.* A study of water chemistry and aerosol at the head waters of Ürümqi 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.]
- [13] Li Cuilin, Hou Shugui, Qin Dahe. Spatial differences of hydro-chemical and its control factors of the headwater runoff in the Ürümqi River, Tianshan Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(1): 72 - 76. [李翠林, 侯书贵, 秦大河, 天山乌鲁木齐河源径流水文化学空间差异及其控制因素 [J]. 冰川冻土, 2003, **25**(1): 72 - 76.]
- [14] Li Xiangying, Li Zhongqin, Chen Zheng, *et al.* Seasonal variations and elution processes of pH and electrical conductivity in snowpits on Glacier No.1 at the Ürümqi River Head, Tianshan [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, **21**(5): 58 - 66. [李向应, 李忠勤, 陈正华, 等. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川雪坑中 pH 值和电导率的季节变化和演变过程 [J]. 地球科学进展, 2006, **21**: 58 - 66.]
- [15] Liu Fengjing, Williams M, Cheng Guodong, *et al.* Hydro-chemical process of snowmelt and stream water in Ürümqi River, Tianshan Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, **21**(3): 213 - 219. [刘风景, Mark Williams, 程国栋, 等. 天山乌鲁木齐河源融雪和河川径流的水文化学过程 [J]. 冰川冻土, 1999, **21**(3): 213 - 219.]
- [16] Li Zhongqin, Shen Yongping, Wang Feiteng, *et al.* Response of glacier melting to climate change Take Ürümqi Glacier No. 1 as an example [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, **29**(3): 333 - 342. [李忠勤, 沈永平, 王飞腾, 等. 冰川消融对气候变化的响应——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例 [J]. 冰川冻土, 2007, **29**(3): 333 - 342.]
- [17] Jiao Keqin, Wang Chunzu, Han Tianding. A strong negative mass balance appeared in the Glacier No.1 at the headwater of the Ürümqi River [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(1): 62 - 64. [焦克勤, 王纯足, 韩添丁, 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川新近出现大的物质负平衡 [J]. 冰川冻土, 2000, **22**(1): 62 - 64.]
- [18] Tianshan Glaciological Station. Annual Report of Tianshan Glaciological Station, Vol. No.1 - 16 [R]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, 1980 - 2002. [天山冰川站. 天山冰川站年报, 1 - 16 卷 [R]. 兰州: 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1980 - 2000.]

Variations of Conductivity and TDS of the Runoff at the Headwaters of the Ür ümqi River, Tianshan Mountains

HAN Tian-ding, YE Bai-sheng, LI Xiang-ying, JIAO Ke-qin, LI Zhong-qin

(Tianshan Glaciological station/ State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Analyses of conductivity and TDS in runoff samples collected from May to August in the three hydrological stations at the headwaters of the Ür ümqi River during 2003 - 2006 are presented in this paper.

The conductivity and TDS of stream flow within the headwater drainage of the Ür ümqi River, Tianshan Mountains, is affected by various factors, such as runoff, air temperature, precipitation and talus-soil-water interaction in warm season. The analyses show that conductivity and TDS values are high in low water level and low in high water level at different hydrological sections. The

values in Glacier No. 1 Section are the highest among all sections, with large amplitude. The relationship between conductivity and TDS in runoff and runoff is close in general. A significant positive relationship between conductivity (TDS) and runoff demonstrates that the conductivity and TDS values of the runoff are controlled mainly by the discharge, air temperature, precipitation and etc. Stream flow in the Dry Cirque is more influenced by precipitation. The Total Control Hydrological Section generally shows a mixed effect of the Glacier No. 1 Section and the Dry Cirque.

Key words: runoff; glacier ablation period; conductivity and TDS; headwaters of the Ür ümqi River