

# 天山乌鲁木齐河源1号冰川的水化学特征

骆鸿珍

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

1980年笔者对天山乌鲁木齐河源1号冰川进行了系统采样(图1),并用分光光度比色法、原子吸收光谱、电感耦合等离子体发射光谱以及常规分析等,对近100个样品

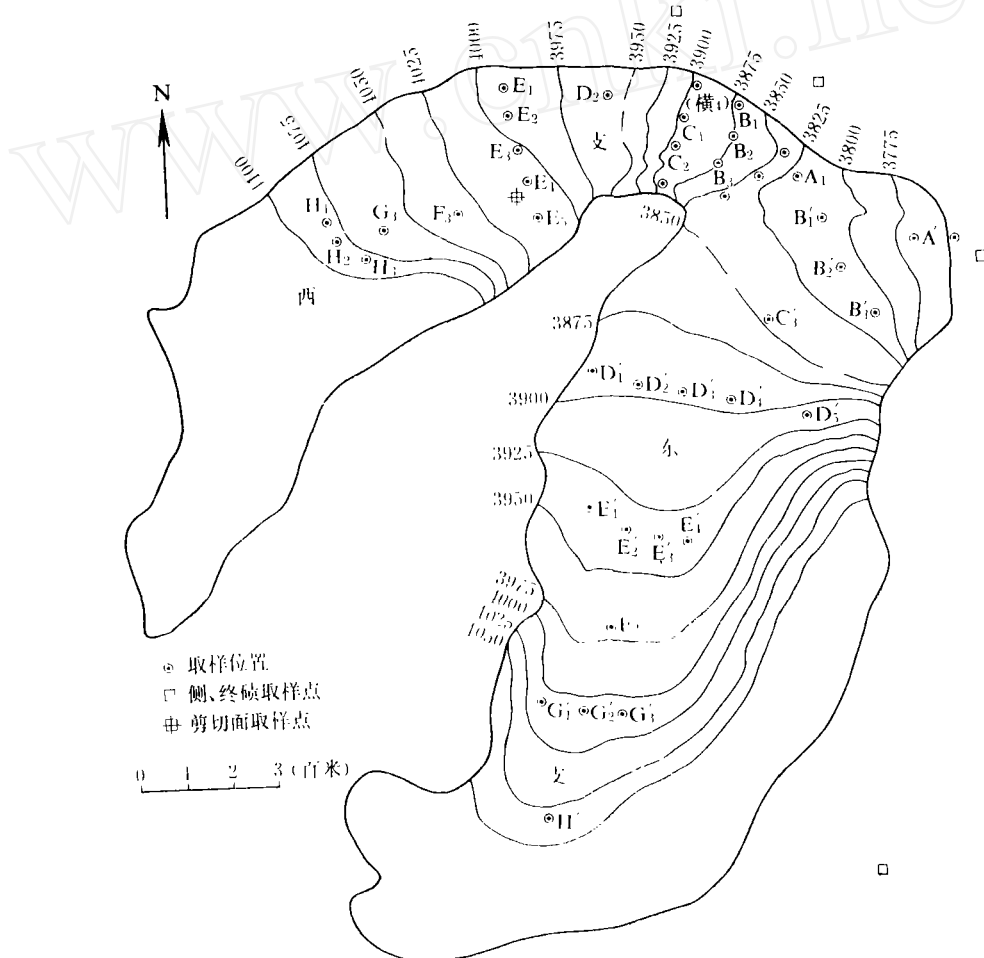


图1 乌鲁木齐河源1号冰川采样位置图

作了分析。本文在这些分析的基础上,对1号冰川西支的某些水化学特征及其与冰川发育的关系等,提出一些初步看法。

## 一、冰碛物的矿物组成

1号冰川由东西两支冰川组成,上限4,475米,冰舌末端3,735米,长2.41公里,面积1.95平方公里,为一条双冰斗冰川。

冰川中化学元素的来源有三个方:一是当地风化的岩石,二是大气降水,三是风吹而来。冰川周围岩石,经长期风化、淋溶、吹蚀,某些矿物释放出后,被风带到冰川表面;而冰川运动时,对冰床底部的研磨、刨蚀,也会使冰床底部岩石中元素释放出来,从而影响冰川水体中离子的组成和含量。我们对1号冰川的终碛、老侧碛、剪切面冰内岩屑等(0.25—0.10毫米粒级)进行了镜相分析,对各类冰碛物的粘土矿物成分(<0.002毫米粒级)进行了X衍射分析(表1,图2)。从镜相分析看出:重矿物中,

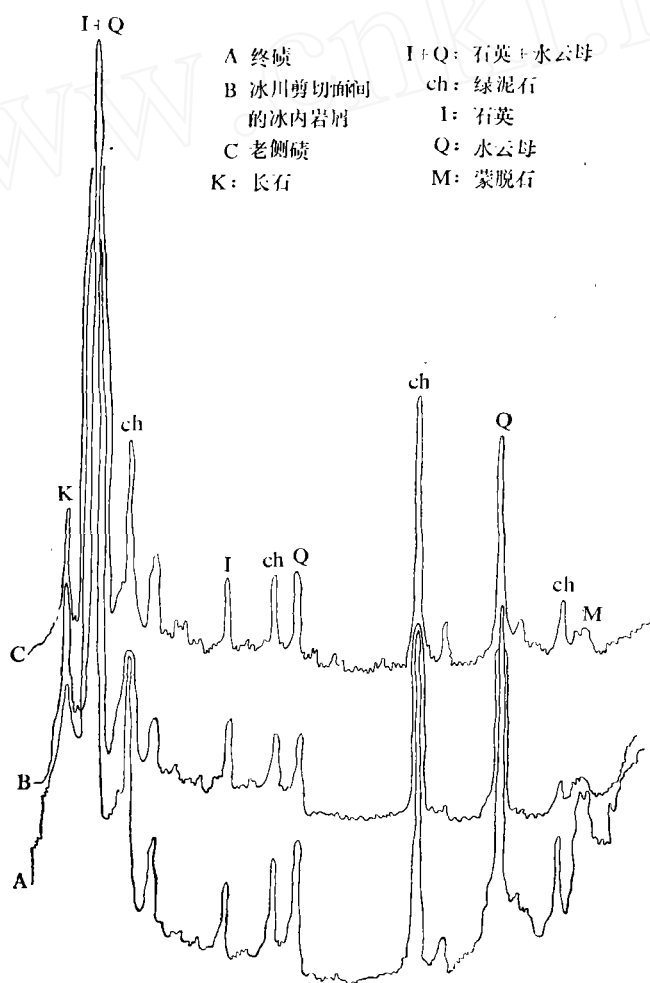


图2 X衍射曲线

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、斜长石等。从X衍射分析看出: 主要是水云母和绿泥石, 伴有少量蒙脱石。碎屑混入物有少量石英和长石。上述冰碛物矿物中含有大量Na、Ca、Mg、Fe、Al、Si等, 这些元素都参与了冰川各种水体的化学组成。

表 1 乌鲁木齐河源 1 号冰川冰碛物碎屑成分表  
(0.25—0.10mm)

样 品	重 矿 物 (%)										轻矿物(%)					
	主要不稳定矿物			主要较稳定矿物				主要稳定矿物			主要最稳定矿物		石 英	碱 性 长 石	斜 长 石	岩 屑
	普 通 角 闪 石	普 通 辉 石	黑 云 母	绿 帘 石	阳 起 石	透 闪 石	绿 泥 石	绢 云 母	白 云 母	柘 榴 石	电 气 石	铈 石				
老终碛	48.8	3.5	1.6	12.1	3.1	0.2	0.2	0.4	2.7	2.9	1.1	11.8	9.8	5.5	72.9	
天山 II	16.9	2.5	1.1	4.9	6.2		1.4	1.4	1.4	0.8	12.6	0.3	8.5	2.8	2.0	86.7
老侧碛	47.7	2.7	1.0	8.3	6.1	0.5		0.2	1.0	0.7	3.2	0.2	4.9	19.6	1.0	74.5
终碛	47.5	2.9	0.3	13.8	3.9	1.0		0.3	0.3	1.2	4.4	0.3	9.6	6.2	7.4	83.0
南侧碛	82.0	0.5	1.7	5.4	3.6				0.2				7.2	8.4	1.4	83.0
山坡土	20.3	5.2	0.8	24.2	7.0		1.8	0.5	3.2	5.2	2.0		7.5	4.5	2.4	85.6
剪切面土	28.2	3.0	0.3	15.3	25.9	0.5			0.3	0.7	1.5		6.8	3.1	1.0	89.1

## 二、水化学特征

### 1. 在雪—粒雪—冰的变质过程中, 不同冰雪水体的离子含量

新雪未经变质作用, 基本上保持雪在大气中凝华作用所产生的骸晶形态, 粒雪是由老雪、中粒雪或直接由新雪继续演化而成; 粒雪进而变质成不透气、不透水的冰晶聚合体, 即为冰川冰。在由雪—粒雪—冰的变质过程中, 阴阳离子含量和矿化度逐渐升高(表 2)。这主要是因为新雪基本上保持大气中的成分, 而由新雪到粒雪再到冰的演变中, 离子逐渐向下淋溶, 迁移到冰层, 将晶粒间孔隙封闭, 成为不透气、不透水的冰晶聚合

表 2 雪—粒雪—冰演化过程中阴阳离子含量的变化

冰 雪 类 型	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、 SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> 总量 (PPM)	Ca <sup>++</sup> 、Mg <sup>++</sup> 、K <sup>+</sup> 、Na <sup>+</sup> 总量 (PPM)	矿化度 (PPM)
营地新雪(6月18日)	8.832	2.706	11.538
老雪 H <sub>3</sub>	13.238	3.768	17.006
粒雪 H <sub>3</sub>	17.663	4.126	21.789
渗浸冰 H <sub>3</sub>	19.108	6.152	25.260
冰川冰 (8月30日)	31.009	10.663	41.673

体,离子就富集起来了。冰川冰的晶体内或晶体间含有各种矿物和有机物质<sup>[1]</sup>。分析晶体界面上的融水时发现,其导电率比晶粒本身的融水要高20—30倍<sup>[1]</sup>,其原因就在于前者是含盐的溶液,其中发现有NH<sub>4</sub>、SO<sub>4</sub>、Cl、Na、NO<sub>3</sub>以及Ca和Mg等离子,它们不是平均分布,而是集中分布在纯冰晶的周围,形成盐壳或盐膜,有时冰晶内部的液泡内也有盐分分布。由此可见,冰晶是一个晶胞壁为液态盐溶液所构成的晶胞,并且只有在很冷的情况下才会冻结<sup>[1]</sup>。因此可以认为,由雪变成冰川冰以后,密度加大,晶胞增多,盐分含量也相应增高。

## 2. 不同类型冰雪水的化学组成

新雪、中粒雪、粗粒雪、渗浸冰、冰川冰等不同类型的冰雪水,矿化度都比较低,一般在0.040克/升以下,其总硬度随矿化度的增大而增大(图3)。各水体中阴离子以HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>占绝对优势,阳离子以Ca+Mg含量占绝对优势。Ca、Mg、HCO<sub>3</sub>离子含量较高,而且Ca离子大于Mg离子(表3),体现了低矿化度水离子组成的特点。

各类型水体中,Ca离子含量和HCO<sub>3</sub>离子含量,随离子总量的增加而增加,而其它

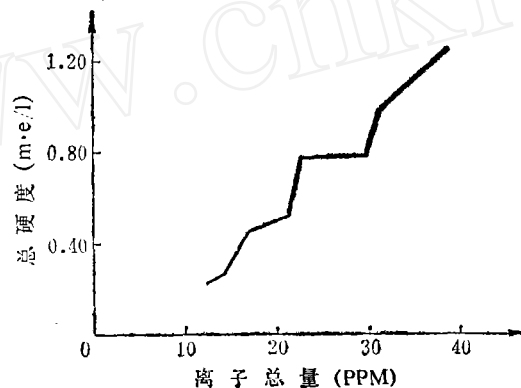


图3 冰雪水的总硬度与矿化度的关系

表3 1号冰川西支不同类型冰雪水化学组成

冰雪类型	矿化度 (mg/l)	总硬度 (m.e./l)	平均含量 (PPM)							水化类型
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
E <sub>4</sub> 新雪	39.182	1.26	5.711	2.006	1.299	0.297	23.798	2.846	3.224	HCO <sub>3</sub> ·Cl—Ca·Mg
B <sub>2</sub> 细雪	31.458	0.99	5.224	1.135	1.150	0.245	18.916	1.921	2.865	HCO <sub>3</sub> ·Cl—Ca·Mg·Na
II <sub>3</sub> 细粒雪	29.997	0.79	4.037	1.009	1.249	0.245	16.152	4.439	2.865	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> ·Cl—Ca·Mg·Na
C <sub>3</sub> (横5)	23.126	0.79	2.850	1.729	0.648	0.187	13.058	2.504	2.149	HCO <sub>3</sub> ·Cl—SO <sub>4</sub> —Mg·Ca
冰川冰	22.044	0.53	2.137	1.009	1.748	0.944	10.068	4.778	0.748	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> —Ca·Mg·Na
H <sub>3</sub> 粗粒雪	17.006	0.46	1.662	1.009	0.851	0.246	10.068	1.024	2.149	HCO <sub>3</sub> ·Cl—(Ca,Mg)·Na
H <sub>3</sub> (8)	14.443	0.26	0.956	0.576	0.851	0.296	8.238	1.024	2.507	HCO <sub>3</sub> ·Cl—(Ca,Mg)·Na
H <sub>2</sub> 细粒雪	12.629	0.23	0.701	0.577	0.628	0.109	7.017	2.163	1.433	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> ·Cl—Mg·Ca·Na

离子则不明显(图 4), 说明其主要成分是很难溶的碱土金属(主要是Ca)碳酸盐。

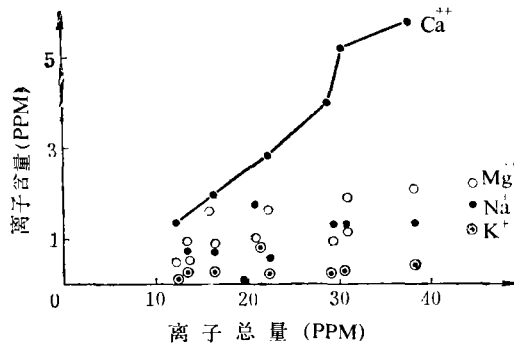


图 4 a 水体中主要阳离子与离子总量的关系

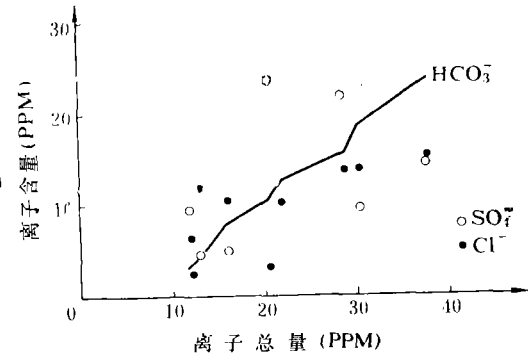


图 4 b 水体中主要阴离子与离子总量的关系

### 3. 离子含量的垂直变化

1 号冰川西支冰雪水中, 阴阳离子含量、矿化度、部分微量元素含量, 随海拔高度的降低而增大(表 4), 积累区离子含量低于消融区(表 5、6)。这是因为冰川运动的时间愈长, 则表碛和泥沙中的含盐物质溶解到水体中的数量就愈多, 风吹尘埃落在消

表 4 1 号冰川西支不同高度冰雪水阴阳离子含量

样品号	高程(m)	阴离子总量 (PPM)	阳离子总量 (PPM)	矿化度 (PPM)
A 中	3,840	22.396	7.088	29.484
B <sub>1</sub>	3,875	21.201	5.199	26.400
C <sub>2</sub>	3,912	12.543	4.856	17.399
E <sub>3</sub>	3,999	11.670	3.211	14.881
G <sub>3</sub>	4,063	10.751	2.506	13.256
H <sub>3</sub>	4,075	11.954	1.517	13.471

融区冰面的数量也多, 同时冰面迳流也把沿途流经地区的离子往下运移, 使离子得到了富集。

样品中 H<sub>3</sub> 点位于粒雪盆, 并距粒雪盆后壁很近, 雪崩雪可崩落到 H<sub>3</sub> 取样点附近, 故表中此点出现了阴离子含量异常(表 4)。

表 7 给出了两个不同部位冰雪水离子的含量, E<sub>1</sub>—E<sub>4</sub> 为在消融区(海拔 4,000 米左右), H<sub>1</sub>—H<sub>3</sub> 为在粒雪盆(海拔 4,075 米左右)。分析这两组样品所在冰川运动情况, 发现 E 组运动速度快, H 组运动速度慢。资料表明, 运动速度快的部位的 Cl、SO<sub>4</sub>、Ca、Mg、K、Na 离子平均含量, 都高于冰川运动速度慢的部位, 其原因有待进一步研究。

表 5 1号冰川西支冰川积累区与消融区常量离子含量

编 号		离 子 含 量 (PPM)					
		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
消 融 区	冰舌 <sub>1</sub>	0.748	4.778	2.137	1.009	0.944	1.748
	冰舌 <sub>2</sub>	2.149	3.299	4.038	2.017	0.296	0.699
	冰舌 <sub>3</sub>	3.224	5.331	2.850	1.153	0.456	1.748
	B <sub>1</sub>	1.791	7.301	1.904	2.189	0.169	0.998
	C <sub>4</sub> 横 <sub>7</sub>	2.866	1.935	1.662	1.153	0.316	1.249
	横 <sub>4</sub>	2.866	4.227	1.900	1.441	0.296	1.198
	平 均	2.274	4.478	2.415	1.494	0.403	1.273
积 累 区	H <sub>3</sub> (新)	2.149	0.569	1.202	0.730	0.406	0.787
	G <sub>3</sub>	2.149	3.415	0.501	0.865	0.600	0.540
	II <sub>1</sub>	1.791	4.212	1.904	1.702	0.378	0.849
	H <sub>3</sub> (粒)	1.791	1.926	0.238	0.432	0.199	0.649
	H <sub>2</sub> -1	2.149	5.576	0.475	2.161	0.316	1.398
	平 均	2.006	3.139	0.864	1.178	0.380	0.844

表 6 1号冰川西支冰川积累区与消融区痕量元素含量

编 号		元 素 含 量 (PPM)					
		Al	Fe	SiO <sub>2</sub>	Zn	Mn	Cu
消 融 区	冰舌末端	0.002	0.017	1.50	0.01	0	0.01
	D <sub>2</sub>	0.006	0.018	0.058	0.02	0.04	0
	A中	0.003	0.018	0.675	0.03	0	0.04
	C <sub>2</sub>	0.009	0.045	0.455	0.01	0	0.05
	C <sub>4</sub> 横 <sub>7</sub>	0.006	0.020	0.423	0.04	0	0
	B <sub>2</sub>	0.001	0.015	0.460	0.09	0	0
	横 <sub>4</sub>	0.008	0.020	0.430	0.01	0	0.02
平 均	0.005	0.022	0.572	0.03	0.006	0.02	
积 累 区	H <sub>3</sub> 夏	0.005	0.022	0.375	0.01	0	0.02
	G <sub>3</sub> 粒	0.006	0.017	0.318	0.04	0	0
	G <sub>3</sub> 新	0.003	0.015	0.085	0.02	0	0
	G <sub>3</sub> 夏	0.006	0.017	0.318	0.05	0.07	0.01
	II <sub>3</sub> 粒	0.002	0.017	0.368	0.01	0.02	0.02
	平 均	0.004	0.018	0.293	0.026	0.018	0.01

表 7 1 号冰川西支两个不同部位冰雪水离子含量对比

离子含量 (PPM)	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	平均	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	平均
Cl	2.149	5.015	1.683	3.224	3.018	1.791	1.433	1.791	1.672
SO <sub>4</sub>	9.106	16.503	1.138	2.846	7.398	4.212	2.163	1.926	2.767
Ca	7.615	12.124	1.904	5.711	6.838	1.904	0.701	0.238	0.948
Mg	2.858	2.737	0.547	2.006	2.037	1.702	0.578	0.432	0.904
K	0.328	0.426	0.260	0.297	0.328	0.378	0.109	0.199	0.229
Na	0.900	2.630	0.500	1.300	1.332	0.849	0.628	0.649	0.709

### 三、痕量元素含量与冰川区气候的关系

冰川痕量元素的含量,对说明冰川受不同气候影响的程度和冰川补给水汽来源有一定的参考价值。苏联В. Д. Виленский曾指出: Na、K、Mg、Sr 等化学元素是由海洋进入大气,而 Sc、Mn、Fe、Co、Al、Cr 等则是在地壳风化后进入大气<sup>[2]</sup>。法国 C. Lorius、C. Boutron 研究了南极东部杜蒙—厄维莱—沃斯托克轴线上所采集的冰雪样的化学元素含量后指出: 冰雪中 Na、Mg 含量主要受海洋性气候的影响; Mn、Fe、Al 含量主要受大陆性气候的影响; K、Ca 含量受大陆和海洋性气候的共同影响<sup>[3]</sup>。1 号冰川西支雪样中的 K、Mn、Ca、Fe、Al 元素的含量远大于 Na、Mg 元素的含量; 冰川冰样中大部分也如此, 只有少数相反(表 8)。说明该区主要是受大陆性气候影响。

国际上常用元素富集系数<sup>[4]</sup>, 即冰雪中某种元素和 Al (或 Fe) 的含量比值与在地

表 8 某些化学元素含量之间的关系

水样编号及类型	元 素 含 量			元素含量间关系
	K+Ca (a)	Mn+Fe+Al (b)	Na+Mg (c)	
营地新雪(7月31日)	2.771	0.087	2.071	a+b>c
营地新雪(5月7日)	1.142	0.048	1.057	a+b>c
H <sub>3</sub> (8月13日)	1.608	0.027	1.517	a+b>c
营地新雪(8月31日)	2.296	0.014	0.936	a+b>c
E <sub>2</sub>	12.55	0.073	5.367	a+b>c
营地新雪(6月18日)	1.902	0.012	0.803	a+b>c
H <sub>1</sub>	7.865	0.070	1.787	a+b>c
B <sub>2</sub>	5.470	0.016	2.285	a+b>c
冰川冰(横 <sub>1</sub> )	1.553	0.024	2.308	c>a+b
冰川冰(横 <sub>4</sub> )	2.195	0.028	2.639	c>a+b
冰川冰(C <sub>4</sub> 横 <sub>7</sub> )	1.978	0.026	2.402	c>a+b

壳或海水中相应比值之比,来判断和评价大气中元素的来源。1号冰川西支化学元素富集系数列入表9。从表9中可以看出,冰雪样绝大部分为 $Ca > Mg > Na > K$ ,仅在暖季有一部分冰样,其Na和Mg的富集大于Ca和K。苏联B. И. 维尔纳茨基曾指出,陆地

表9 1号冰川西支冰雪中元素富集系数

样品编号及类型	富集系数(EF <sub>A1</sub> )						富集顺序
	Ca	Mg	K	Na	Mn	Fe	
A中粒雪	3509.9	1489.5	300.3	851.8	0	9.5	Ca>Mg>Na>K>Fe
E <sub>3</sub> 新雪	844.3	424.0	162.7	284.9	0	4.8	Ca>Mg>Na>K
F <sub>3</sub> 新雪	9219.5	5536.8	511.5	995.7	/	31.9	Ca>Mg>Na>K
B <sub>2</sub> 细粒雪	11583.1	4399.2	769.7	3276.3	0	23.9	Ca>Mg>Na>K
营地新雪(7月31日)	138.3	58.7	32.6	112.1	0	2.1	Ca>Na>Mg>K
H <sub>3</sub> 渗浸冰	1842.5	1116.2	276.9	1025.5	909.1	4.8	Ca>Mg>Na>K
横 <sub>1</sub> 冰样(8月9日)	657.9	977.7	286.3	925.2	0	7.9	Mg>Na>Ca>K
II <sub>3</sub> 粒雪(8月13日)	262.7	837.2	311.3	924.5	909.1	13.5	Na>Mg>K>Ca
冰舌 <sub>1</sub> 冰样(8月9日)	1184.5	977.7	738.4	1245.0	/	3.6	Na>Ca>Mg>K
II <sub>3</sub> 新雪(8月13日)	533.0	565.1	253.4	447.8	0	7.0	Mg>Ca>Na>K

水盐类组成之间阳离子的数量关系是 $Ca > Mg > Na$ <sup>[5]</sup>。1号冰川冰雪水盐类组成符合陆地水盐类组成之间阳离子的数量关系。至于暖季有部分冰样出现相反现象,将在后面再述。

表10 各地区冰川、冰雪中元素富集顺序对比

地 区	富 集 顺 序
天山乌鲁木齐河源1号冰川西支	Ca>Mg>Na>K(8月份出现少数Mg>Na>Ca>K或Na>Ca>Mg>K)
天山托木尔峰西琼台兰冰川	Ca>Mg>Na>K
珠穆朗玛峰北坡绒布冰川	Ca>Na>Mg>K

表10为有关地区冰川冰雪中元素富集顺序的对比。从表10可以看出,托木尔峰地区和珠穆朗玛峰地区冰川都是受大陆性气候影响为主的冰川作用区。但是,珠穆朗玛峰地区Na的富集仅次于Ca,而托木尔峰地区Na的富集位于Ca、Mg之后,说明前者受海洋性气候的影响比后者大。

1号冰川在暖季有部分冰川冰样Na、Mg元素的富集大于Ca、K。造成这种现象可能有两种情况:一种情况可能是盛行西风带气流的影响,但从托木尔峰冰川冰离子组成资料来看,影响甚微;另一种情况可能就是当地气候和环境的影响。1号冰川周围湖沼很多,如东面的艾丁湖(咸水湖)、盐湖、柴窝堡湖(咸水湖),南面还有塔里木盆地。这些地方降水少,到了暖季,气候干热,蒸发强烈,使湖沼中的含盐微粒因蒸发带



到空中, 被水汽或风带到冰川上, 增加了冰川上冰雪水中 Na、Mg 离子的含量。石元春在研究塔里木盆地北部盐分的积聚规律时指出, 从盐分的组成来看, 以 Cl 和  $\text{SO}_4$ -Cl 类型的盐渍土为主, 阳离子中除有大量 Na 以外, Mg 的含量较 Ca 为多<sup>[6]</sup>。从波斯腾湖的化学组成来看, 也是 Na、Mg 含量为高<sup>1)</sup>。这些都可能对 1 号冰川有所影响。所以在研究冰川上化学元素组成时, 注意周围自然环境的影响, 是必要的。

参加分析工作的有刘子东、江陆建同志, 唐永仪、邢泽民同志做了矿物鉴定, 在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] С.В.Калесник, 1963, Очерки гляциологии, М., Географиз, Гл. 2, стр. 12-13.
- [2] В.Д.Виленский, 1976, Геохимия, №. II, стр. 1683-1690.
- [3] Boutron, C. and Lorius, C., 1977, Isotopes and Impurities in Snow and Ice, *IAHS. publ. No. 118*, 182-187.
- [4] 章 申, 1979, 珠穆朗玛峰高海拔地区冰雪中的微量元素, 地理学报, 第34卷第1期, 15页, 科学出版社.
- [5] Л. К. 布里诺夫, 1963, 论海洋对土壤和陆地水盐渍化的影响, 地表盐分的迁移累积和平衡, 27—28页, 科学出版社.
- [6] 石元春, 1959, 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, 新疆维吾尔自治区的自然条件, 131页, 科学出版社.

(本文于1982年3月29日收到修改稿)

1) 曲跃光, 波斯腾湖盐化的原因及其防治途径, 新疆地理, 1978, 第2期。

## HYDROCHEMICAL FEATURES OF THE GLACIER NO.1 IN THE SOURCE REGION OF ÛR ÛMQI RIVER, TIANSHAN

Luo Hongzhen

*(Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica)*

### Abstract

This paper deals with the hydrochemical features of the Glacier No.1 and the composite characteristics of the negative or positive ions in different waters and the water ion of low mineralization, analyzes the relations between ice crystal texture and the total content of ion from lower to higher in the evolution from snow, firn to ice, and discusses the relations between the content of trace element and climate as well as the source of aqueous vapour supplement in glaciated area. By studies on the relations between the contents of potassium, sodium, calcium, magnesium, manganese, iron and aluminium and their concentration coefficient, it is supposed that the Glacier No.1 is a glaciated area of extremely continental type influenced mainly by continental climate. As a result, the influence of the environment around the glacier to the chemical compounds in glacial water and the vapour supplement is unnegligible.