

# 中国天山冰川数量的时空分布及其 1959 - 1992 年间变化<sup>①</sup>

杨惠安 李忠勤 叶佰生 焦克勤

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

**摘要** 冰川数量系指一个山区(或流域)范围内的冰川的条数、面积和储量统计(或计算)结果的一组数据。本文在统计分析中国天山冰川数量时空分布的基础上,利用天山乌鲁木齐河流域 1964 年和 1992 年两次重复航空摄影测量对比成图方法获得的冰川变化结果,对中国天山大范围山地冰川的变化进行了定量计算。计算结果表明,1959 - 1992 年间中国天山冰川总条数增加了 3.33%,面积与储量分别减少了 9.43%和 15.96%。

**关键词** 天山 冰川数量 时空分布 冰川变化

## 1 冰川数量的空间分布

中国天山位于亚洲腹地内陆干旱地区的新疆维吾尔自治区境内(图 1)。天山山区是新疆中部地区的水源地,天山冰川是该地区水资源的重要组成部分。根据《中国冰川目录》统计,中国天山冰川数量为 9128 条,冰川面积 9256.58km<sup>2</sup>,冰储量为 1012.2375km<sup>3</sup>(王银生等,1986;丁良福等,1986;赖祖铭等,1986;谢维荣等,1987;罗祥瑞等,1988)。天山冰川数量是我国仅次于喜马拉雅山和昆仑山之后的第三个冰川主要分布区。

中国天山冰川分别分布在中亚内流区伊犁河流域、塔里木、准噶尔和吐鲁番 - 哈密盆地四个内流区(表 1)。冰川面积以塔里木内流区最多,占中国天山冰川总面积的 51.1%,准噶尔内流区和伊犁河流域分别占 24.3%和 21.9%,吐鲁番 - 哈密内流区仅占 2.7%。冰川储量的 71.2%为塔里木内流区冰川所有,伊犁河流域和准噶尔内流区的冰川储量大体相当(分别占 14.0%和 13.6%)。冰川条数以准噶尔内流区最多。吐鲁番 - 哈密内流区为中国天山冰川数量最少的区域。

## 2 冰川数量时间上的分布

这里的时间是指天山冰川编目使用的地形图所依据的航空摄影及其它方法的测量时

<sup>①</sup> 中国科学院天山冰川观测试验站资助项目

间。调查天山冰川的初测时间及其冰川数量的分布情况,这是定量估算冰川变化量的关键条件之一。调查发现,中国天山冰川编目使用的地形图测量时间最早开始于1959年,最新为1972年,这表明中国天山山区大地测量是在1959-1972年间的13年之内逐年逐块的完成测量,而测量后的成图时间则比测量时间滞后若干年,最新的地形图则是在1980年出版的(托木尔峰地区冰川地形图)。因此,冰川数量在时间上的分布应以测量时间为基础。调查统计和分析测量时间与相应的冰川数量,表明1962-1964年连续三年和1971-1972年连续两年分别是天山冰川集中测量的两个主要时期,这从测量时间与相应的冰川数量图上得到充分反映(图2)。

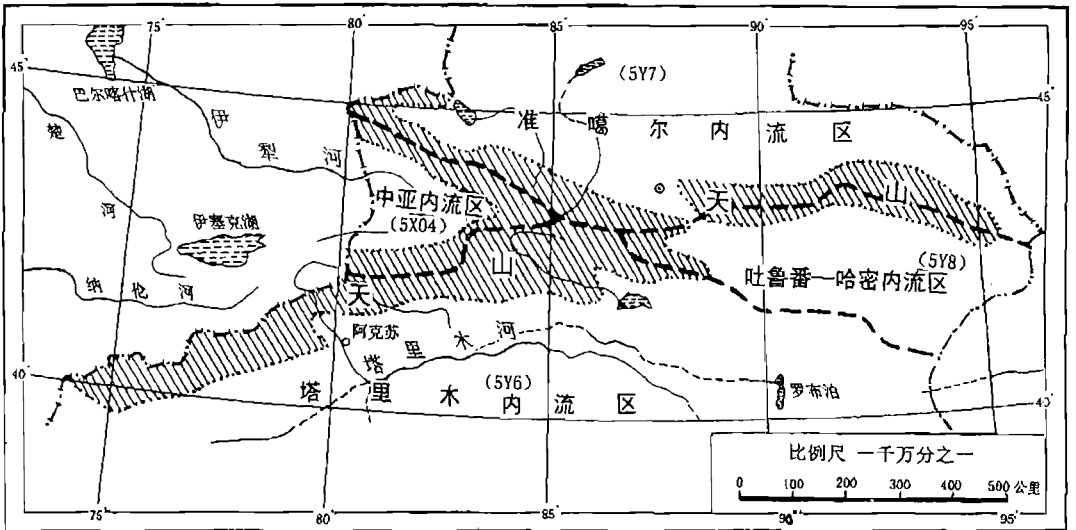


图1 中国天山海拔2000m以上山地与水系

表1 中国天山冰川数量的空间分布

流域名称	流域编码	冰川条数 (条)	冰川面积 ( $\text{km}^2$ )	冰川储量 ( $\text{km}^3$ )	测量时间 (年)
伊犁河流域	5X042/6	2373	2022.66	142.1791	1959-1966
塔里木内流区	5Y66/9	2918	4734.55	720.2098	1962-1972
准噶尔内流区	5Y71/5	3391	2246.64	137.2156	1959-1972
吐鲁番-哈密内流区	5Y81/2	446	252.73	12.6330	1959-1972
合计		9128	9256.58	1012.2375	1959-1972

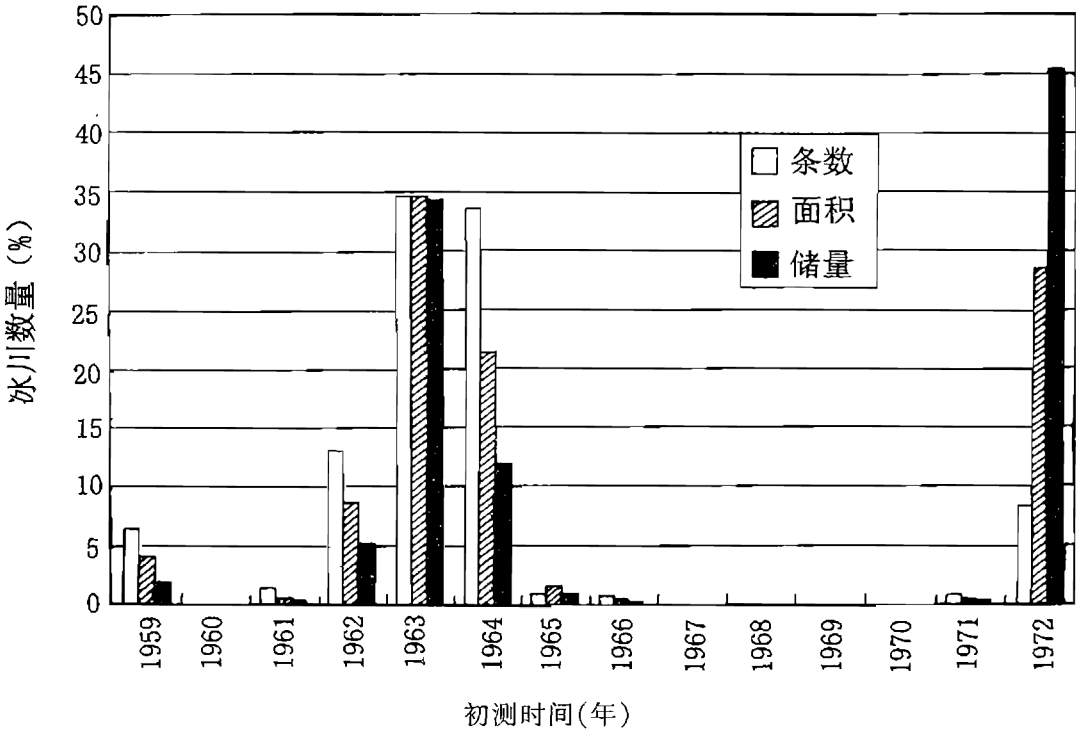


图 2 中国天山冰川测量时间与冰川数量

统计分析中国天山冰川编目调查资料的测量时间、方法及相应的冰川数量,显示如下特点:

1. 现已广泛被引用的天山冰川数据中,五十年代(1959年)测量的冰川数量分别占中国天山冰川总条数、面积和储量的 6.5%、4.1%和 1.9%;六十年代(1961 - 1966年)占 84.6%、67.0%和 52.6%;七十年代(1971年和 1972年)占 8.9%、28.9%和 45.5%。

2. 航空摄影测量的冰川数量分别占总条数、面积和储量的 90.4%、68.8%和 52.4%,地面立体摄影测量、地面测量和在陆地卫星影像上量测的冰川数量占 9.6%、31.2%和 47.6%。航空摄影测量方法反映高山地形和冰川轮廓的精度较高,符合国际冰川编目规范(Muller, F. etc., 1977),而地面立体摄影等测量方法在高山较大范围地区的测量精度较差,尤其是地面测量图的精度更差,一般不能用于冰川编目。应该说目前天山冰川数量中的非航测资料部分实为当时缺少航测资料情况下较粗略的权宜估算而已。

3. 天山山区四大流域中,除准噶尔和吐鲁番 - 哈密两内流区冰川全部为航测资料外。伊犁河流域和塔里木内流区航测资料的冰川数量分别占各自流域的 93.6%、88.9%、85.8%和 75.3%、43.7%、35.9%,其余为非航测资料,其中伊犁河流域为 1964 年的地面测量资料,而塔里木内流区则包罗了 1965 年的地面测量(占天山冰川总数的 0.9%、1.5%和 0.9%)、1971 - 1972 年的地面立体摄影测量(6.0%、26.9%和 44.6%)和 1972 年的陆地卫星影像(1.0%、0.3%和 0.1%)资料,虽然非航测冰川条数所占比例较少(7.9%),但冰川面积(28.8%)和储量(45.6%)所占天山冰川总数的比例非同小可,这主要是由于中国

天山面积大于  $50\text{km}^2$  以上的 10 条大冰川(包括  $>100\text{km}^2$  的 6 条和  $>300\text{km}^2$  的 3 条特大冰川,10 条冰川的面积可达  $1840.33\text{km}^2$ )均集中分布于无航测资料的托木尔 - 汗腾格里峰也区所致。

由此可见,中国天山塔里木内流区既是我国天山冰川数量分布最多的流域区,同时也是我国天山冰川编目调查基础资料测量精度最差的冰川区,该区冰川数量的可靠程度还有待航空摄影等高精度测量资料的进一步核查。

### 3 中国天山冰川 1959 - 1992 年间变化量的估算

冰川变化主要表现在冰川的面积与储量的增大或减小,末端位置的前进或后退,物质平衡量的盈余或亏损,以及雪线(平衡线)高度的上升或下降等诸多方面。本文所要估算的是中国天山山区冰川数量(即条数、面积、储量)总体上的变化量。

天山乌鲁木齐河源一号冰川定位监测研究始于 1959 年,该冰川是一条由两条支冰川汇流复合的冰斗—山谷冰川,其面积从 1962 年的  $1.95\text{km}^2$  缩小到 1994 年的  $1.742\text{km}^2$ (据王纯足量算),最近 32 年来面积减少率达 10.67%,并且自 1993 年以来因退缩而被解体为两条完全独立的冰斗—山谷冰川(原东支)和冰斗冰川(原西支)。

乌鲁木齐河流域冰川 1992 年重复航空摄影测量与 1964 年航测对比成图结果表明,该流域冰川全部在退缩,流域冰川总面积比 1964 年减少了 13.8%,冰储量减少了 16.8%(陈建明等,1996;刘潮海等,1996)。定位长期监测和全流域重复航测变化对比结果均表明中国天山冰川的退缩具有普遍性,而全流域冰川间隔 28 年的重复航测冰川变化对比结果则为估算天山大范围冰川退缩的变化量提供了重要的依据,特别是在没有可能进行大范围山区重复航测进行第二次冰川编目调查的情况下更值得借鉴。

尽管乌鲁木齐河流域的冰川个体平均面积只有  $0.30\text{km}^2$ ,远小于吐鲁番 - 哈密内流区的  $0.57\text{km}^2$ 、准噶尔内流区的  $0.66\text{km}^2$ 、伊犁河内流区的  $0.85\text{km}^2$  和塔里木内流区的  $1.62\text{km}^2$ ,但其位置处于中国天山的中部北坡和以两次航测对比的冰川变化结果和代表性,是目前中国冰川变化研究中的其它冰川区所无法比拟的。

根据乌鲁木齐河流域冰川编目调查量算结果(1964 年航测资料)和该流域 1992 年重复航测资料量算结果的差值,可通过计算获得乌鲁木齐河流域 28 年来冰川数量的年平均变化值,再由此值(即年平均变化值)推算中国天山各流域不同测量年份至 1992 年的冰川数量变化量和总变化量已成为可能。

值得指出的是,乌鲁木齐河流域冰川变化对比结果是分别把 1964 年和 1992 年的航空像片转绘在同一幅图上进行冰川要素量算对比的,其中 1964 年航测的冰川面积( $48.041\text{km}^2$ )和冰川条数(155 条)的量算统计结果分别较现在已被广泛应用的《中国冰川目录》中利用 1964 年航测资料编目调查的冰川面积( $45.99\text{km}^2$ )和冰川条数(150 条)偏多  $2.051\text{km}^2$  和 5 条。

为了修正这个差异,在计算冰川面积和条数的年平均变化量的过程中,只利用乌鲁木齐河流域 1992 年重复航测的和冰川目录中的 1964 年的冰川数量统计结果,以计算乌鲁

木齐河流域冰川面积和条数的年平均变化量和中国天山全部冰川初测时间至 1992 年的变化总量。这样可避免或减少纯对比量算中的误差。

冰储量的变化量仍根据乌鲁木齐河流域冰川两次航测对比变化结果为准,以冰川目录中 1964 年冰储量的基础上进行计算的。

依上述方法计算表明,自 1959 年开始测量至 1972 年逐步完成初次测量的中国天山冰川,截止至 1992 年,冰川总面积已减少了  $872.61\text{km}^2$ ,面积平均减少率约为 10% (9.77%),其中准噶尔内流区和伊犁河流域面积减少率均超过 10%,塔里木内流区冰川面积减少率最小(8.63%)(图 3、表 2)。中国天山冰川总储量平均减少了 15.96%,其中塔里木内流区冰储量减少率高达 23.81%,准噶尔内流区和伊犁河流域亦超过 18%。若按水量表示,这一计算结果说明中国天山冰川固体水库已在 1959 - 1992 年间减少了  $1476.6 \times 10^8\text{m}^3$  的库容量。

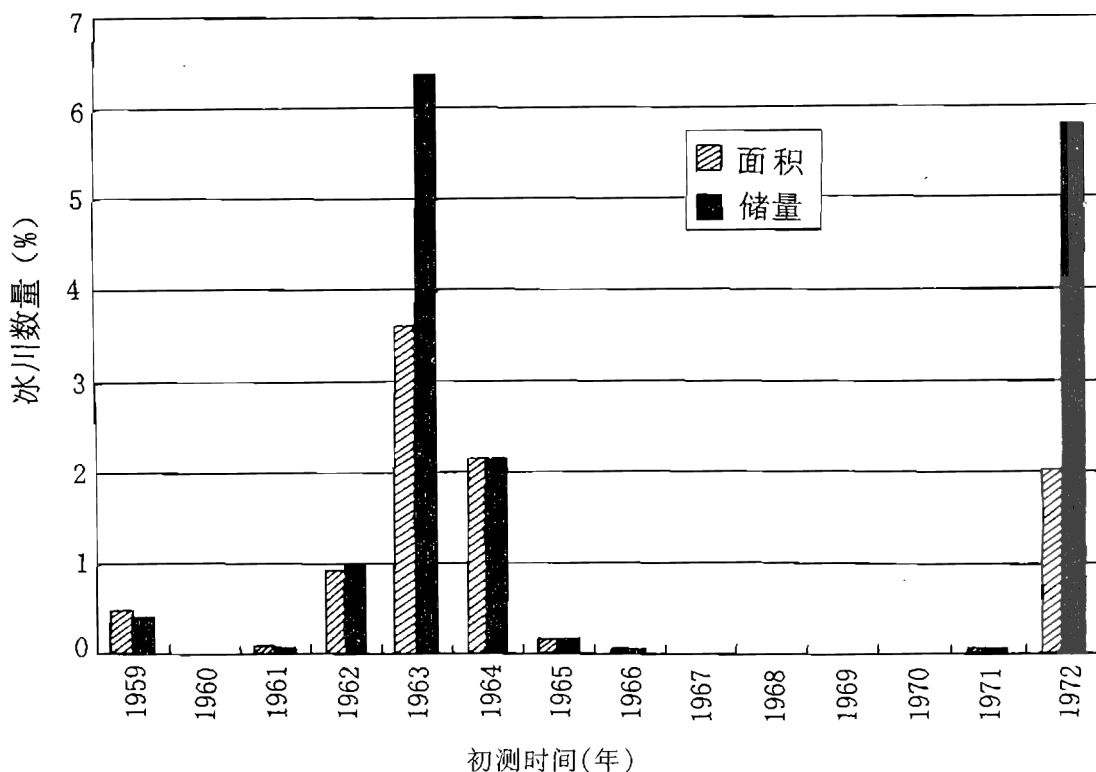


图 3 中国天山冰川各初测年份至 1992 年的减少量

冰川面积普遍性的退缩结果,意味着雪线升高和小冰川的消失,同时又使规模较大的冰川解体及其条数增加(如乌鲁木齐河源一号冰川现在已完全是两条冰川)。乌鲁木齐河流域冰川对比结果的条数虽然增减相当,但仍比编目结果的冰川条数增加了 5 条。由此估算,1959 - 1992 年间,中国天山冰川的条数增加了 304 条。

表 2 中国天山 1959 - 1992 年间冰川变化计算结果

流域名称	1959 - 1992 年冰川变化量					1992 年冰川数量		
	增加条数 (条)	减少面积 (km <sup>2</sup> )	减少率 (%)	减少冰储量 (km <sup>3</sup> )	减少率 (%)	条数 (条)	面积 (km <sup>2</sup> )	冰储量 (km <sup>3</sup> )
伊犁河流域	81	09.24	10.34	26.3927	18.56	2454	1813.42	115.7864
塔里木内流区	93	408.59	8.63	107.7411	23.81	3011	4325.96	612.4687
准噶尔内流区	116	231.04	10.28	25.3447	18.47	3507	2015.60	111.8709
吐 - 哈内流区	14	23.74	9.39	2.1043	16.66	460	228.99	10.5287
合计	304	872.61	9.43	161.5828	15.96	9432	8383.97	850.6547

#### 4 存在的问题

1. 不同规模的冰川,其变化结果亦不同。本文以乌鲁木齐河流域冰川总数的年平均变化值,从宏观角度上粗略估算了中国天山 1959 - 1992 年间的冰川总条数、面积和储量的变化量。乌鲁木齐河流域提供了 150 条面积小于 4.00km<sup>2</sup>(其中 1.00km<sup>2</sup> 以上的冰川只有 11 条)的冰川变化参考值,这对于除了塔里木内流区外的近似乌鲁木齐河流域冰川规模的其它三大流域冰川变化的估算具有一定的代表性,但对于大冰川集中分布的天山塔里木内流区冰川变化结果的估算是否适用,有待进一步研究探讨。

2. 大范围地区的冰川变化研究应该是在有详实而精度较高的间隔一定时段的重复测量资料的基础上进行的,中国天山冰川发育规模最大分布最为集中的托木尔 - 汗腾格里峰地区是 80 年代初天山冰川编目调查时的航测资料空白区,该地区当时编目调查包含了地面测量、地面立体摄影测量和小比例尺卫星影像等精度欠缺或很差的地形测绘资料,其中还使用了 1:20 万中小比例尺的冰川图,故该区冰川编目的基础数据还有待大比例尺的航测资料的进一步调查核实。

3. 在中国天山东、中、西各段选择有代表性的流域进行重复航测和第二次编目调查,将会使天山冰川变化研究结果更有价值。

#### 参考文献

- 王银生,刘潮海,丁良福等,1986.中国冰川目录Ⅲ天山山区(东部散流内流区).北京:科学出版社
- 赖祖铭,曹真堂,刘潮海等,1986.中国冰川目录Ⅲ天山山区(西北部准噶尔内流区).北京:科学出版社
- 丁良福,谢维荣,刘潮海等,1986.中国冰川目录Ⅲ天山山区(伊犁河流域区).北京:科学出版社
- 谢维荣,丁良福,刘潮海等,1987.中国冰川目录Ⅲ天山山区(西南部塔里木内流区).北京:科学出版社
- 罗祥瑞,董光荣等,1988.东帕米尔山区冰川分布规律,中国冰川目录Ⅳ帕米尔山区.北京:科学出版社, 39 - 54
- Muller F., Cafilisch T. and Muller G., 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a world Glacier Inventory. TTS/WGI, Dept. of Geography, ETH Zurich, 19
- 陈建明,刘潮海,金明燮,1996.重复航空摄影测量方法在乌鲁木齐河流域冰川变化监测中的应用.冰川冻土,18(4):331 - 336
- 刘潮海,陈建明,金明燮,1996.天山乌鲁木齐河流域冰川变化及其气候和径流响应,第五届全国冰川冻土学大会论文集(上册).兰州:甘肃文化出版社,123 - 132

# 不同规模山谷冰川及其径流对气候变化的响应过程

叶佰生 丁永建 刘潮海

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

**摘要** 本文以天山伊犁河流域为背景, 用冰川动力模型模拟统计意义上不同规模冰川及其径流对气候变化的响应过程的差异性。结果表明: 冰川径流变化与气候的变化是不一致的, 在气温变暖、冰川退缩的过程中, 冰川径流有一个增大的过程。冰川径流的峰值大和出现时间取决于冰川大小和升温速率, 根据径流峰值出现时间与升温过程的一致与否, 提出冰川径流增大的临界升温速度概念。

**关键词** 天山 气候变化 冰川 响应过程

由于山地冰川的大小、形态差异较大, 因而对气候变化的响应过程也会有相当差别。同时, 目前全球有物质平衡观测的冰川, 规模较小, 根据小冰川的资料推算所有冰川的变化, 可能会引起较大的误差。本文以天山伊犁河流域为背景, 根据冰川编目资料, 统计出大小不同冰川的主要特征值, 据此用冰川动力学模型模拟不同规模冰川对气候变暖的响应过程, 从而了解冰川规模对冰川气候变化引起的响应过程的影响。

## 1 冰川动力模型

冰川动力模型是由一维连续性方程和冰川流动方程组成。考虑到天山区冰川属于亚极地型和极地型冰川, 除一些大型山谷冰川外, 冰川运动主要是冰川冰的变化引起的 (Huang Maohuan, 1995), 冰川流动方程主要考虑冰川冰的变形 (Ye Baisheng et al., 1997)。一维冰体连续性方程:

$$\frac{\alpha S}{\alpha t} = \frac{\alpha Q}{\alpha x} + BW \quad (1)$$

$$Q = \bar{U} \cdot S \quad (2)$$

$$\bar{U} = fFH\tau_b^3 \quad (3)$$

$$\tau_b = -\rho g H s \sin \alpha \quad (4)$$

其中:  $Q$ —通过横断面的冰通量;  $S$ —断面平均流速;  $\tau_b$ —底部剪应力;  $S$ —横断面面积;  $H$ —冰川厚度;  $W$ —冰川宽度;  $\alpha$ —冰面坡度;  $B$ —冰面物质平衡;  $f$ —断面形态参数 (Paterson, 1981),  $F$ —主要代表冰的流动特性的综合参数。

在上述模型中气候变化的影响主要通过冰川物质平衡来影响冰川的变化, 对于气候变化通过改变冰川温度, 进而影响冰川变化的因素, 因其影响较为复杂, 且影响较小, 本文未予考虑。

## 1.1 冰川形态特征值

为确定统计意义上不同规模冰川的形态, 根据冰川编目资料(丁良福等, 1986), 对天山伊犁河流域 2000 多条冰川的特征值如冰川面积、长度、作用差(最大与最低高度之差)、最大高度以及冰川平均坡度进行统计分析, 结果表明, 冰川面积与冰川长度和冰川作用差存在较好的相关关系, 利用这两个关系可基本确定冰川的整体形态。用冰川面积与其最高、中值、最低高度关系来确定能够反映冰川绝对高度的参数, 三者中冰川最大高度为最佳。而冰面沿主流线的高度、宽度的变化则由其它方法来确定。

1.1.1 冰川面积与最大高度在一个流域内, 冰川最大高度  $H_{max}$  对冰川的模拟结果有较大影响。通过对伊犁河流冰川按冰川等级统计, 在此基础上统计  $H_{max}$  随冰川面积  $S$  的变化, 结果如下:

$$H_{max} = \beta \cdot (26.391S + 4168.2) + (1 - \beta)(243.4 \ln S + 4155.9) \\ \beta = S / (48.5 * 2) + 0.5 \quad (5)$$

1.1.2 冰川长度( $L$ )和冰川高度作用差( $TZ$ ): 根据流域冰川面积  $S$ 、长度和高度作用差资料得出如下关系:

$$L = 1.638S^{0.5668} \quad n = 2242 \quad R = 0.914 \quad (6)$$

$$TZ = 5.992S^{0.3888} \quad n = 2242 \quad R = 0.754 \quad (7)$$

1.1.3 冰面坡度沿主流线的变化: 冰面坡度一方面对冰川的流动速度有很大的作用, 另一方面能在一定程度上反应冰川的厚度。实际上, 由于地形的影响, 冰面坡度变化很大, 特别是冰川上有冰瀑布的地方, 而且不同面积和类型的冰川冰面坡度沿主流线的变化也会不同。为了能准确估计冰面坡度沿主流线的变化, 应用伊犁河流域 1:5 万地形图选择了 47 条冰川, 沿冰川主流线直接量测冰面坡度值, 同时为考虑大冰川的作用, 应用托木尔峰地区冰川地形图(1:20 万)对最大的 29 条冰川进行量测, 根据量测结果统计得到如下关系式:

$$K(l) = S^{-0.207} \exp(-5.77l + 4.51l^2 + 0.198) \quad n = 577 \quad R = 0.763 \quad (8)$$

其中:  $l$ —沿主流线的相对距离(从冰川顶部算起) $[0, 1]$ ;  $K(l)$ —冰川主流线  $l$  处的冰面坡度。

1.1.4 冰川面积和冰面宽度沿高度的分布: 冰川面积沿高度的分布依据对西天山 Ак-щльйрак 峰地区 178 条冰川 1943 年和 1977 年两次地形图资料测算统计结果进行估算 (кузьмиченок, В. А., 1993), 即:



$$\Delta S_j = S \sum_{i=1}^5 \frac{a_i}{i} [\cos(i\pi \cdot Z_j) - \cos(i\pi \cdot Z_{j+1})] \quad (9)$$

其中  $S$ —冰川面积;  $Z_j$ —冰川的相对高度,  $Z_j \in [0, 1]$ ; 系数  $a_i$  按下式计算:

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.5 \\ a_2 &= 0.04828 \\ a_3 &= -0.162 + 0.20088e^{-0.06645S} \\ a_4 &= 0.05792 - 0.0672e^{-0.09175S} \\ a_5 &= 0.21325 - 0.2125e^{-0.00484S} \end{aligned}$$

依据冰川在某一高度带的面积  $\Delta S_j$  和相应的冰面坡度和高度差, 可估算出冰川在这一高度带的宽度  $W$ 。

1.1.5 冰川厚度估算 根据冰川物理学研究 (Paterson, 1981), 冰川厚度可按下式计算:

$$H = \frac{\tau_0}{K_h \rho g \sin \alpha} \quad (10)$$

其中:  $\alpha$ —冰面与水平面的夹角;  $\tau_0$ —冰的屈服应力, 变化在 80 ~ 150Kpa;  $K_h$ —冰川横断面的影响系数;  $g$ 、 $\rho$ —分别为重力加速度和冰的密度, 冰密度取 900kg/m<sup>3</sup>。

根据托木尔峰地区台兰冰川和天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的地形资料及冰川厚度资料 (苏珍, 1987) 可推算出  $\frac{\tau_0}{K_h \rho g}$  值的变化在 8 ~ 17 之间, 平均值为 11.3m (对应  $\tau_0$  为 100Kpa)。

根据以上分析, 利用 (5) ~ (10) 式可基本上确定在统计意义上不同面积冰川的形态特征和位置, 将其作为冰川动力学模型的初始参数值, 用来模拟不同规模冰川对气候变化的响应过程。

## 1.2 冰川物质平衡和径流量计算

冰川物质平衡根据度日因子方法计算 (刘时银等, 1996), 而冰川径流根据冰川不同高度带由水量平衡计算 (коновалов, 1983)。

根据乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡资料推算出冰川上积雪和冰川消融的度日因子分别为 3.1 和 7.3mm/(°C·d) (刘时银等, 1996), 由于冰川分布高度带较大, 因而在冰川物质平衡计算中还考虑了降水中不同降水形态对冰川物质平衡和径流的影响 (Ye Baisheng et al., 1997), 流域不同高度气温降水量的估算则依据流域中、低滞观测资料推算 (叶佰生等, 1997)。

## 1.3 F 值的确定

根据乌鲁木齐河源 1 号冰川近四十年的冰川运动和变化资料, 根据冰川模型对代表冰体流动特性的参数  $F$  进行率定, 取  $F$  为  $0.45 \times 10^{-18} \text{m}^6 \text{N}^{-3} \text{月}^{-1}$ 。

## 2 不同规模冰川对气候变化的响应过程的模拟结果

以伊犁流域上游冰川为背景,选取具有统计意义的不同规模冰川,面积为 0.5 - 45.0km<sup>2</sup> 共 15 种方案作为冰川动力模型初始条件,以伊犁流域 1954 ~ 1997 年的平均气候条件(平均气温和降水)为模型的输入,对模型进行检验。由于缺乏冰川变化过程的实际观测值,因而较难用变化过程对模型进行检验,但可以通过对稳定时冰川规模的模拟结果来检验。

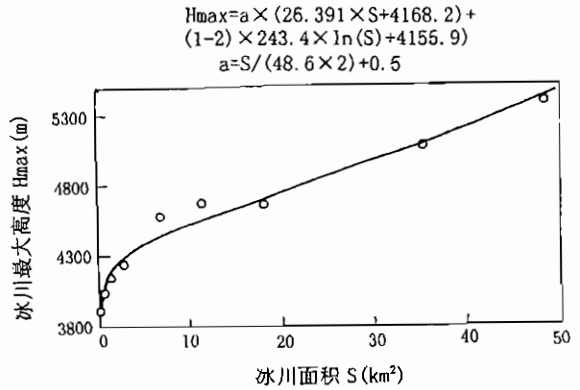


图 1 冰川最大高度与冰川面积的关系

### 2.1 稳定态冰川模型的模拟结果

用冰川动力模型对不同面积冰川进行了模拟,通过稳定时冰川特征值和初始输入值对比(如图 1)来考查模型的可靠性。

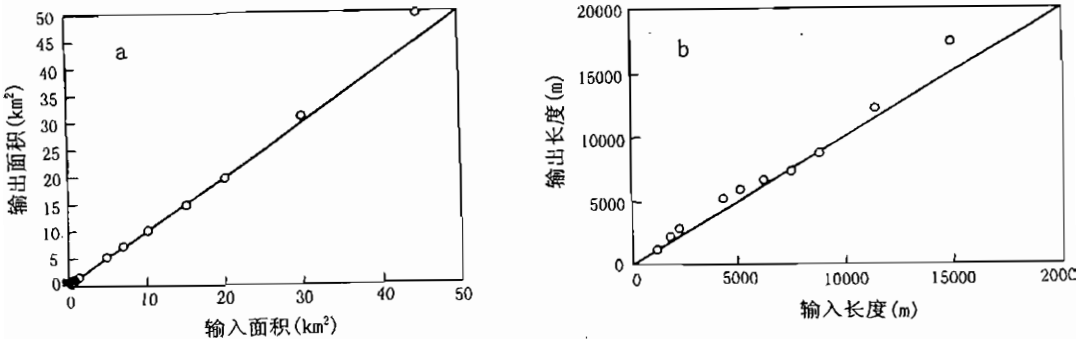


图 2 初始输入冰川与模拟稳定冰川比较 (a. 冰川面积, b. 冰川长度)

从图 2 中可以看出:模型的输入与冰川达到稳定时的输出基本上是一致的,模型基本能够对现代气候条件下的冰川规模进行模拟。

### 2.2 气候变化方案

以 1954 ~ 1997 年平均气温和降水为基础,选择不同的气候情景方案。由于对未来降水变化较难作出估计,本文的气候变化只以气温变化为主,气温的升温幅度 1℃,升温速率从突然升高 1℃到 1000 年内升高 1℃共 10 种方案,即气温以不同的升温速率升高,升高到 1℃之后一直维持不变。

## 2.3 计算结果

### 2.3.1 冰川变化过程

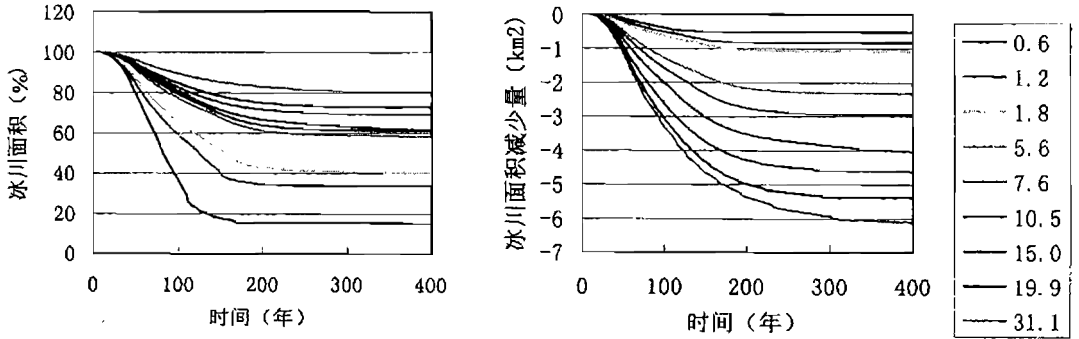
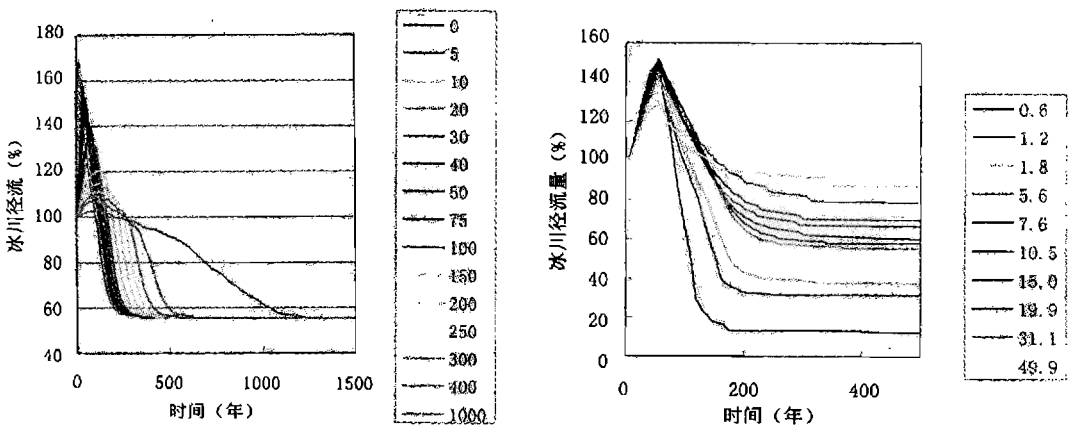


图3 不同规模冰川的面积变化过程(40年内气温升高1℃)

图3给出了不同气候变化条件下冰川长度、面积和体积随时间变化的过程线,从图中可以看出,不同规模的冰川对气候变暖的响应是有差别的,冰川越大,升温条件下的退缩速度(绝对变化)越快,但它的相对变化则较小,即冰川越小对气候变化越敏感,这一结果与最近根据乌鲁木齐河两次航空摄影,通过对比分析冰川变化的研究结果完全一致(陈建明等,1996);在一定气候扰动下,冰川达到稳定所需要的时间亦随冰川规模增大而变长。

### 2.3.2 冰川径流的变化过程



a. 不同升温速率条件

(图例为升温1℃上所需时间(年))

b. 不同规模冰川

(图例冰川面积(km²))

图4 冰川径流变化过程

冰川径流的变化要比冰川的变化复杂,图4给出了不同气候变化条件下冰川径流的变化,从图4中可以看出:冰川越小,冰川径流对气温变化越敏感,径流峰值越高,衰减也越快。径流峰值的出现时间与气温的升高速度有关:升温越快,峰值出现越早,且峰值较高,这同样表明了冰川越小其径流对气候变化越敏感,冰川径流与气温变化的不一致性实际上是冰川对气候变化滞后性的一种表现。

### 2.3.3 冰川径流峰值

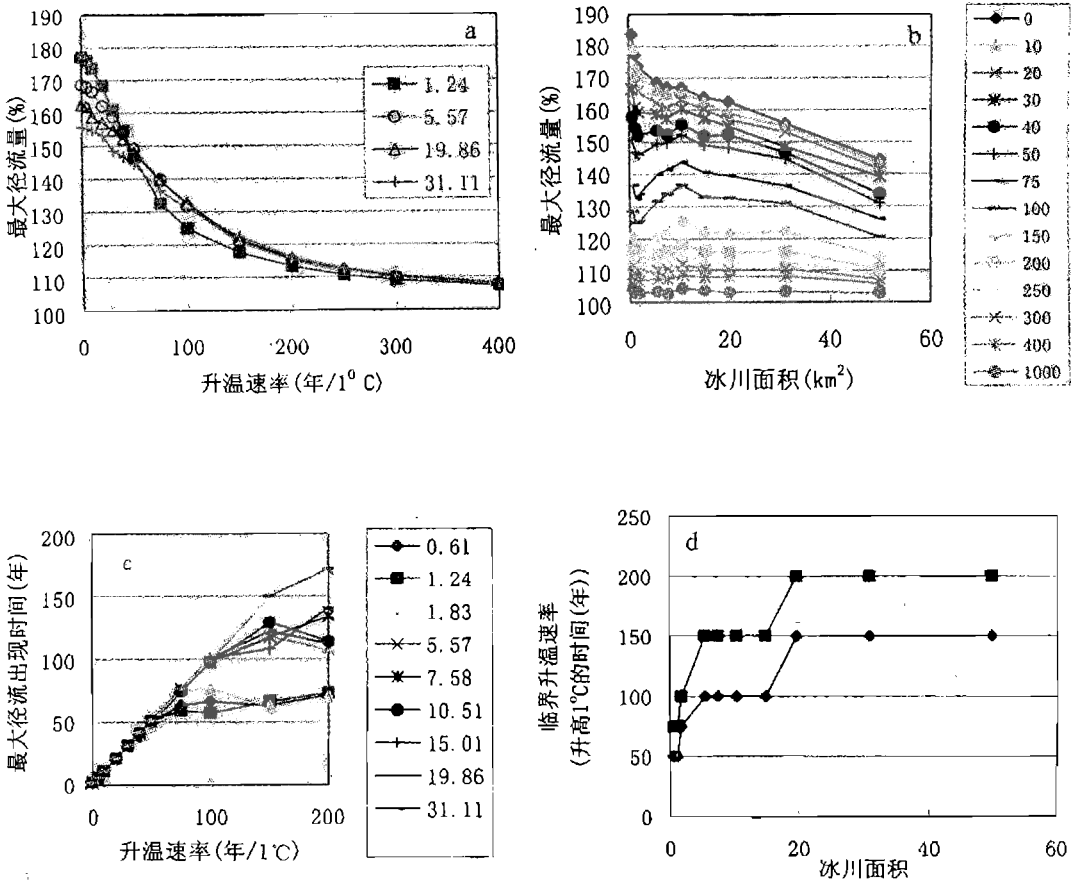


图5 冰川径流峰值大小及其出现时间

图5给出了不同升温速率条件下不同面积冰川的径流峰值变化,从图5a、b中可以看出,径流峰值随升温速率的变化随着冰川面积的增大而逐步减小,并且,随升温速率的减小径流峰值的变化逐步减小,冰川大小的影响逐步消失,径流峰值趋于一致,亦即,不同规模冰川,只有在气候变化较快的情况下,其径流峰值才会有明显的差别;由于受计算方法的限制,计算的径流峰值出现时间,结果有一定的误差,特别是升温较为缓慢,径流峰值较

小时,误差更大,但仍可以看出一些变化趋势,在升温速率较大的条件下,与温度达到最高的时间同步,但随着升温速率的减小,小冰川的径流峰值出现时间提前于温度达到最高时间,可以将这开始出现不一致的升温速率称为冰川径流增大的临界升温速率,它表明在持续升温条件下,冰川径流开始出现减少的时间(临界升温速率的倒数),图 5d 给出临界升温速率随冰川规模的变化,由于计算方法上的限制,只能给出一定的范围。

#### 2.3.4 不同规模冰川的平衡态响应

图 6 给出了不同面积冰川在气温升高  $1^{\circ}\text{C}$  后冰川达到稳定状态的特征值。

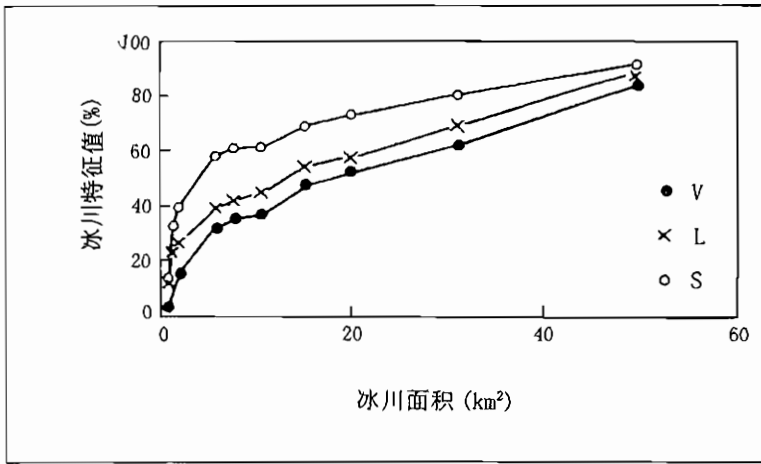


图 6 不同规模冰川的平衡态响应值

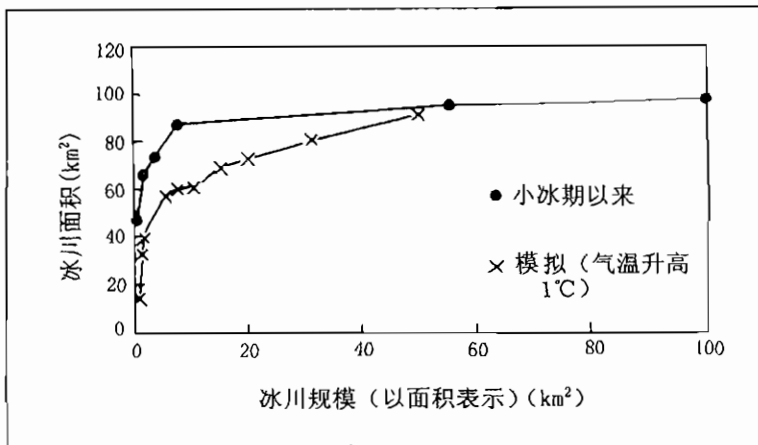


图 7 小冰期以来天山山区不同规模冰川的面积变化

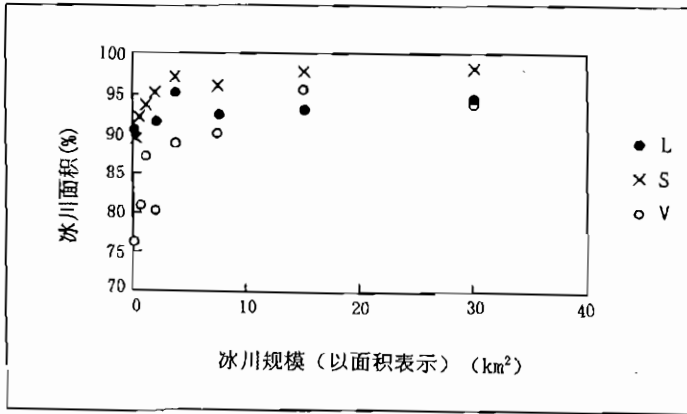


图8 1962 - 1989年间天山伊犁河上游区不同规模冰川的面积变化

从图中可以看出:冰川越小,对气温的变化越敏感;冰川体积对气温的变化最敏感,其次是冰川长度和面积,但在冰川面积较小时(如 $S = 0.6\text{km}^2$ ),冰川长度与面积变化的敏感性比较接近。根据变化趋势推断,对于更小的冰川,冰川长度的变化将小于面积的变化,即对于小冰川,冰川的变化主要是以面积减少为主,冰川长度变化相对较小,而对于大冰川,则其变化则主要是以冰川退缩为主。由模型计算的冰川变化结果,与根据冰碛物推算的小冰期以来的天山区冰川变化(图7)(王宗太,1991)以及根据重复航片资料量算的伊犁河上游区40年来的66条不同面积冰川的变化(图8)相比,尽管由于引起冰川变化的条件不同,在变化量级上存在差异,但在变化趋势上完全一致。这也从另一方面表明了冰川模型能够对冰川变化进行模拟。

### 3 小结

本文以天山伊犁河流域为背景,用冰川动力模型模拟了具有统计意义的不同规模冰川对气候变化的响应过程,通过计算得出下列结论:

(1)冰川模型基本能够模拟不同规模冰川对气候变化的响应过程。

(2)冰川越小,气温升高引起的冰川绝对变化越小,但相对变化量越大,对气候变化越敏感。

(3)气温升高引起的冰川体积变化最大,其次是冰川长度和面积,对于较小的冰川( $< 0.6\text{km}^2$ )冰川长度的相对变化小于冰川面积的变化,但对于较大的冰川,则长度的变化大于面积变化。

(4)冰川越小,气温升高引起的冰川径流变化越大,冰川径流的峰值大、退缩也快。

(5)气温升高引起的冰川径流的峰值大小及出现时间还取决于升温的速率,升温越快,峰值越大,峰值出现时间越早。

(6)对于给定的升温幅度,误差升温速率减小,冰川径流峰值的出现时间将与气温的最高值出现时间不同步,此一临界升温速率与冰川规模呈反相关。

## 参考文献

- 丁良福,谢维荣等,1986.中国冰川目录(Ⅲ)天山山区(伊犁河流域区).北京:科学出版社,21-146
- 王宗太,1991.天山中段及祁连山东段小冰期以来冰川环境.地理学报,46(2):160-167
- 叶佰生,赖祖铭,施雅风,1997.伊犁河流域降水和气温的若干特征.干旱区地理,20(1):46-52
- 苏珍,1987.天山托木尔峰地区的冰川与气象.乌鲁木齐:新疆人民出版社,33-95
- 陈建明,刘潮海,金明燮,1996.重复航空摄影测量方法在乌鲁木齐流域冰川变化监测中的应用.冰川与冻土,18(4):331-336
- Коновапов, 1979. В. г., расчёт и прогноз таяния педедников Средней Азии. Л. Гидрометеиздат, 7-10
- Кузвиченко, В. А., 1993. Ледники Тянь-шаня. Материалы Гляциологических Исследований, вып. 7 30-35
- Paterson, W. S., 1981. The Physics of glacier. Pergamon Press
- Huan Maohuan, 1995. The movement mechanisms of subpolar-type glaciers in China. Science in China, 38(3):352-361
- Ye Baisheng, Chen Kegong, 1997. A Model simulating the processes in responses of glacier and runoff to climate change. Chinese Geographical Science, 7(3):243-250

# 乌鲁木齐河源冰川与径流的转换关系

杨新元 韩添丁

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

**摘要** 乌鲁木齐河属于主要由降水补给的河流,但在出山口以上分布着现代冰川 37.95km<sup>2</sup>,近年来由于 6~8 个月气温及降水月际变化的不均匀性,时段性的出现较高气温和干燥气候,冰川呈减薄的趋势,冰川融水对河流的补给有所增加,其多年平均补给比例为 8%,而 97~98 年达 20%左右。本文叙述了河源区水文气候特征、冰川与径流的转换以及径流分割的简单计算。

**关键词** 乌鲁木齐河源 冰川气候 冰川径流

## 1 基本情况

天山冰川观测试验站水文气象观测点的布设均根据径流的主要来源及气候特征差异,在高山冰川区没有三个观测点,在中山带后峡口(天山站大本营)设一气象观测场。

1 号冰川水文点设在离 1 号冰川冰舌约 300m 处的河道上,海拔为 3695m,集水面积 3.34km<sup>2</sup>,其中冰川面积 1.84km<sup>2</sup>,径流来源主要为冰川融水及周围高山季节积雪。空冰斗水文点位于河源区左侧,与 1 号冰川相邻,水文点设在斗口处,海拔 3805m,集水面积 1.68km<sup>2</sup>,径流来源完全依赖于高山季节积雪(降水)。在大西沟与罗布道沟汇合处建有总控制水文点,其海拔 3408m,集水面积 28.9km<sup>2</sup>,它控制着上游 7 条冰川融水及其高山积雪,降水径流。

三个水文点均没有气象场,观测项目有气温、湿度、降水等。

后峡口气象场其观测项目齐全,它包括气温、降水、湿度、日照、风速、蒸发等。

本文主要根据所刊登的观测数据作一般性的分析,从中了解径流及主要气候要素变化的基本特征、过程,同时了解径流与气候现象的相互关系,另外还分析了河源区(高山带)与中山带气候现象的不同性与相同性。

## 2 主要气候现象特征

对于乌鲁木齐河源冰川区域可以划分为以下几个气候时期:

①气温偏低少雨干燥期(9~10月),②冻结期(11~3月),③气温回升期(4~5月),④



冰川强烈消融期(6~8月)。

干燥期主要体现为晴天少雨,月降水量在 20mm 以下,无雨天数大都在 20 天以上,气温属于回落阶段,如 9 月份比 8 月份回落约为 4℃左右,干燥期仍属于冰川消融期,但由于消融明显减小,因此不可能产生较大的融水径流,而且消融水大部分保留在冰川上,而进入河道的水量极为有限,以 1 号冰川为例,9 月份日平均流量只占 8 月份的 30%左右,显然降水大量减少,这个时期河道不可能出现相应的洪水径流。

冻结期由于冰川区已完全进入冬季,气温都为负值,极端最低在 -30℃左右(1 号冰川 98 年 1 月 16 日为 -29.7℃),冰川消融微弱,处于冰结状态,降水以固态降水为主,其量仅占全年的 10%左右,因此冰川不可能产生径流,在河道由于有残存积水和少部分地下水都已形成河冰,随着严寒的延长和积雪增加,河冰逐渐加厚,这影响着第二年的春汛径流。

气温回升期是人们常说的春季,由于气温的回升,冰川出现消融(主要为冰舌消融),同时河冰也开始解冻,季节积雪大面积出现融水,因而河道开始出现径流,其量可占年总量的 20%以上;这个时期的降水也有所增加,但仍以固态降水为主,由于这个时期气温仅仅是回升阶段以及降水还不是很多,因此在河道不会产生较大的洪峰流量。

强烈消融期(6~8月),其气候特性主要表现为气温较高,降水较多;以 1 号冰川水文点为例,强烈消融期平均气温比年平均气温要高出 10℃左右,降水约占全年 85%,由于这个阶段气温高,在冰川上出现最大消融。

冰川消融主要取决于气温,应该指出,冰川的消融强弱不能单纯看月平均或年值气温高低,由于气温在年际或月际变化的不均匀性,也就是说,即是年或月平均气温不高,但一个月或几个月中某一时段出现较历年高得多的气温,而且持续时间较长,这种现象往往会出大的消融。降水对冰川消融起辅助作用,干旱现象能促进冰川消融。以 1 号冰川水文点为例,冰川径流与气温,可建立于下关系线(图 1)(其中  $Q_{\text{旬}}$  为旬平均流量,  $T_{\text{旬}}$  为旬平均气温)。

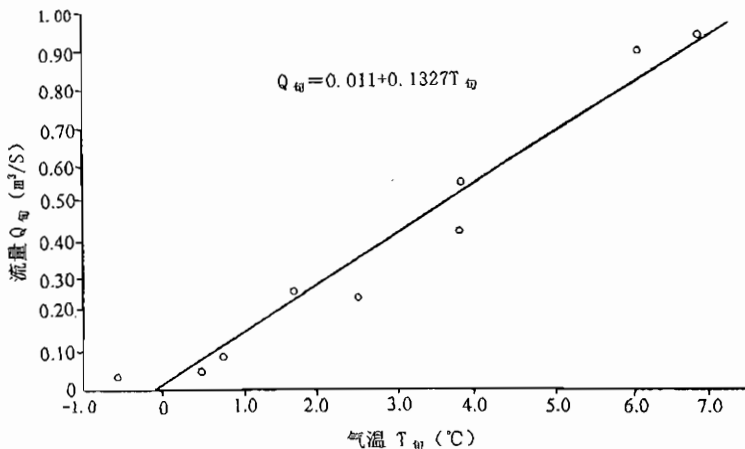


图 1 1 号冰川旬平均气温与流量关系线

关系式为  $Q_{\text{旬}} = 0.011 + 0.1327T_{\text{旬}}$  ..... ①

如果我们用一简单图例来说明,其冰川产流过程于下(图 2)。

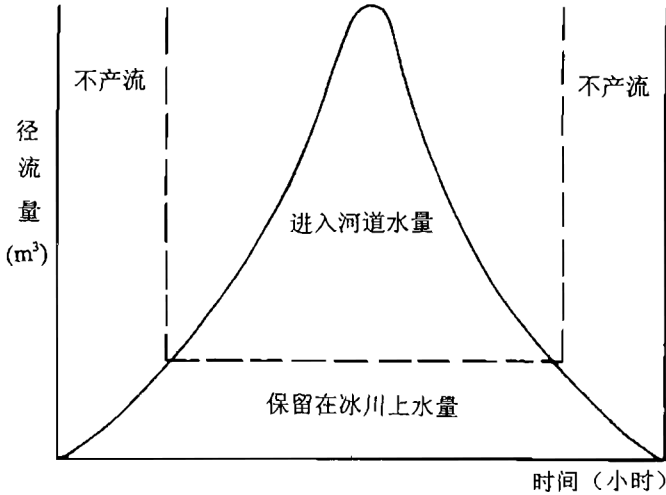


图 2 冰川产流示意图

对于乌鲁木齐河上游径流量,可以认为由这么几部分组成,即冰川水 P,降水(含高山积雪水)X 和地下水 C,即

总水量  $W = P + X + C$  ..... ②

以总控制水文点 1997 年径流量为例,可以这么简单的进行分割;该水文断面以上有 5.6km<sup>2</sup>冰川,它的径流量(冰川融水)根据 1 号冰川水文点径流量(扣除非冰川区径流)来计算,而非冰川径流参照空冰斗径流资料,降水根据上涨 1 号冰川水文点和空冰斗水文点平均年降水总量,降水径流系数采用多年平均值 0.7 来计算非冰川区降水径流,得到于下结果:

表 1 1997 年总控制水文断面径流组成

径流组成名称	冰川水	降水	地下水	总量
径流量(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	651	506	170	1327
所占(%)	49	38	13	100

以上分析了气温与冰川融水径流关系以及径流的简单分割,我们可以得出几点看法: ①冰川径流量的大小关键在于 7~8 月气温。②干旱气候(降水偏少)能促使冰川消融加强,增加融水径流。③在气温不变的情况下,冰川冰(老冰)消融强度大于积雪消融强度。

表 2 1997 年乌鲁木齐河上游水文点水文气象特征值

水文点	年平均气温 (°C)	6~8月平均气温 (°C)	年降水量 (mm)	极端最高气温 (°C)	极端最低气温 (°C)	5~8月平均湿度 (%)	年径流量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )
1号冰川	-5.4	3.6	303	17.6	-27.8	6.8	296
空冰斗	-5.9	2.1	316	14.0	-28.0	67	92
总控制	-4.4	4.6	432	18.8	-26.9	70	1327

### 3 后峡地区气候特征

乌鲁木齐河山谷流域山势高,坡度陡,高差在 2800m 以上,气候和植被有明显的垂直分布,在 3600m 以上的高山为寒冻砾漠,大部分为积雪和冰川覆盖,2600~3600m 为亚高山带,夏季短促,为高山草原及垫状植被区域,1600~2600 的中山带水热条件较好,使得山坡形成稠密的森林,起到保持水土作用。后峡口气象场设在中、山带的峡谷盆地。

后峡地区由于为高山峡谷地带,所以仍属于夏季短促而冬季时间长,降水集中于 5~8 月,占全年总量的 90% 左右,日照 7 月份最长时可达 10 个小时以上,冬季仅为 3~4 小时,后峡地区气候变化总的趋势与河源区相似,这里可将 1 号冰川水文点与它作一比较(表 3),从中可看出同步性及一些联系。

表 3 1 号冰川水文点与后峡口气象场 1997 年气候特征值比较

站名	年平均气温 (°C)	6~8月平均气温 (°C)	最高气温 (°C)	最低气温 (°C)	年降水量 (mm)	5~8月平均湿度 (%)
1号冰川	-5.4	3.6	17.6	-27.8	303.0	66
后峡口气象场	1.6	12.4	29.3	-27.5	297.1	68

### 4 冰川对河流的调节(补给)作用

乌鲁木齐河流域出山口以上共有冰川 37.95km<sup>2</sup>,冰川对河流的调节(补给)起着不可忽视的作用,冰川的调节性能应该分为两点:①间节调节;由于冰川的存在,影响着流域内的气候变化,改变着大气环流,使得在中高山带形成较大的降水过程而影响着河川径流。②直接调节:主要指在降水较少的干旱年份,由于冰川消融量大,其冰川融水弥补了主要

由降水补给的河流的水量不足作用。但是目前计算冰川的补给方法还存在不少困难,这主要是我们的冰川观测工作仅限于局部性(某一定位点观测),而没有其他冰川观测资料,笔者曾采用河源区 7 条冰川进行加权计算,得出一个“替代冰川”,用“替代冰川”与定位观测的 1 号冰川的中值高度,最高(低)高度进行比较,再用 1 号冰川消融量来计算“替代冰川”消融量,显然用“替代冰川”推算全流域的冰川融水及其对河流的补给是较为合理的,按这种方法,冰川对河流的补给比例其多年平均值约为 8%(出山口英雄桥以上),但是此方法算起来较为麻烦。

以下我们用一简单方法计算 97 年冰川对河流的补给:97 年 1 号冰川水文点总径流量为  $296 \times 10^4 \text{m}^3$ ,如果采用空冰斗积雪消融径流模数扣除冰川周围山坡积雪消融,得到纯冰川径流量为  $214 \times 10^4 \text{m}^3$ ,根据出山口以上冰川面积和 1 号冰川面积比例系数 20.6,算得出山口以上冰川产流可达  $0.441 \times 10^8 \text{m}^3$ ,97 年出山口英雄桥径流量为  $2.34 \times 10^8 \text{m}^3$ ,那么冰川对河流的补给比例约为 19%。

应该说明,97 年冰川对河流补给比例较大的主要原因:是该年冰川消融强烈,其消融量远远高出正常年份消融,如 1 号冰川 97 年物质平衡值为  $-853 \text{mm}$  水层,而多年平均值又为  $-189 \text{mm}$  水层。

# 高山季节积雪对融雪和河川径流离子成分的控制作用<sup>①</sup>

刘风景<sup>1</sup> Mark Williams<sup>2</sup> 程国栋<sup>1</sup> 朱守森<sup>1</sup> 王纯足<sup>1</sup> 韩添丁<sup>1</sup>

(1 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

(2 Department of Geography and Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder, Co80309, USA.)

**摘要** 通过对天山乌鲁木齐河源区径流离子浓度变化过程分析,发现积雪消融初期 1 号冰川融雪径流存在“离子脉冲”现象,并可在一定程度上增加河川径流的离子浓度,特别是  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  的浓度。据分析,这一现象源于积雪雪粒圆化—融化过程中的离子淋溶作用。另一方面,矿物和污染颗粒沉积于积雪,一旦有自由水产生,便可发生溶解,增加融雪径流的离子浓度。因此,融雪初期径流离子浓度主要受两种因素控制,即“离子脉冲”作用和矿物、污染物颗粒的溶解作用。

**关键词** 乌鲁木齐河源 离子脉冲 矿物溶解 融雪径流 河川径流

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状况变化研究搭建一座桥梁。本文着重分析天山乌鲁木齐河源融雪与河川径流离子成分的控制因素,以及发生在积雪和融雪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 140km 的乌鲁木齐河上游,英雄桥水文观测站(43°22'N, 87°12'E)控制以上地区(图 1),流域面积 924km<sup>2</sup>,多年平均降水 526mm,平均流量 7.02m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>,平均径流深 240mm,有 124 条冰川,总面积 38km<sup>2</sup>。重点研究区为总控水文断面控制的河源地区,包括 1 号冰川和空冰斗流域。

<sup>①</sup> 国家自然科学基金(49601004)、劳动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站基金联合资助。

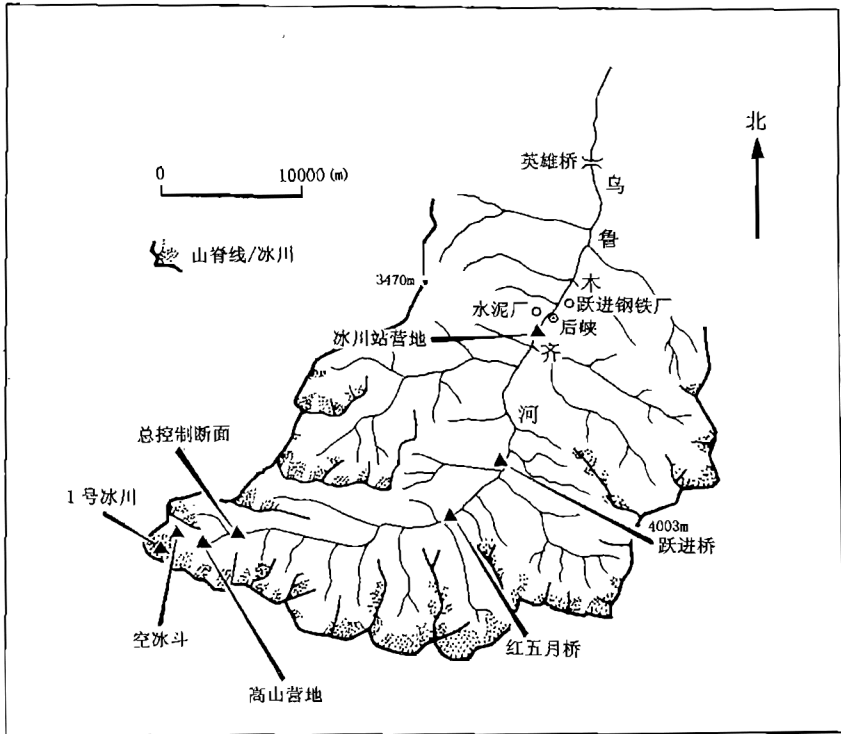


图 1 研究区地理概况图

总控水文断面——位于海拔 3043m 处,控制面积 29km<sup>2</sup>,流域内发育 7 条冰川,冰川总面积 8km<sup>2</sup>,多年平均降水 560mm,平均流量 0.85m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>,平均径流深 422mm,多年平均气温 -5.4℃。

1 号冰川——为乌鲁木齐河的发源地,主峰天格尔 II 峰海拔 4486m,为河源区最高峰。1 号冰川流域面积 3.34km<sup>2</sup>。冰川面积 1.84km<sup>2</sup>,冰川长度 2.3km,为一冰斗—山谷冰川,其冰舌末端海拔 3710m。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—1.2m。由于受气温升高影响,近 30 年来冰川面积减少 5.7%,长度缩短 117m<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 1.68km<sup>2</sup>,无冰仅有季节积雪分布,每年 4、5 月份积雪厚度可达 0.8—1.0m。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。

## 2 样品采集与分析

### 2.1 样品采集

积雪样品采于 5 月 11—15 日,即距离冬季积雪最大积累期 1—2 周时间,位于 1 号冰

川的东支和空冰斗两流域,样点沿流域主流线按高、中、低三个海拔高程布置。在每个样点,同时采集雪芯样和雪层样。雪芯样用专门塑料桶管,由上部至下部完整采集。雪层按其结构和组成特征划分,每层均采集样品。

径流样品采于5月1日—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,每日连续采集,时间均为早晨8点。另外,沿乌鲁木齐河在英雄桥水文站、后峡镇、冰川站营地、跃进桥水文站等点,采集旬或月的径流样品。

## 2.2 样品处理与分析

雪样采集后,当场盛于用脱离子水清洗过的塑料袋中,带回住地,在室温条件下融化,待完全融化后,一部分直接装于预先用10% HCl和脱离子水处理过的塑料瓶中,另一部分经过滤器过滤装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,分过滤和不过滤两种。

样品的pH和电导率在野外现场测定, $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{NH}_4^{+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$ 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,未过滤样品做阳离子分析,采用Varian AA6原子吸收色谱仪,过滤样品做阴离子分析,采用Dionex 2010i离子色谱仪。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。

## 3 研究结果

### 3.1 积雪与径流离子组成特征及对比

1996年1号冰川和空冰斗积雪于5月1日开始消融,流量计开始观测到水位。1号冰川积雪样品分别采于5月11日和15日,地点为1号冰川东支,样点分布于3850—4025m的高程范围内,即从冰舌末端至粒雪盆附近;空冰斗积雪样品采于5月12日,高程分布范围为3840—3880m。该时段内所采样品基本代表冬季积雪最大积累期的化学成分特征,与同时段融雪和河川径流化学成分特征相比较(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;融雪径流略呈碱性,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,与随流域面积增大电导率趋高的一般规律相违。

(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,即990.14和168.06 $\mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ 。更为特殊的是, $\text{SO}_4^{2-}$ 的浓度甚至高于英雄桥水文站的 $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度(326.35 $\mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ )。

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 $\delta^{18}\text{O}$ (‰)

	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

### 3.2 融雪与河川径流离子浓度变化过程

#### 3.2.1 离子浓度变化过程

为了弄清1号冰川和总控水文断面径流离子浓度随时间变化的规律,选取电导率、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 随时间变化的过程进行分析。遗憾的是,由于洪水等自然灾害原因,缺乏当年完整的流量实测值,因而无法与流量进行对比。从5月1日至6月27日离子浓度变化全过程看,融雪初期径流电导率和离子浓度为最高,随后呈波浪式下降趋势,特别是5月3日至5月8日1号冰川和总控断面径流电导率和离子浓度有一明显的峰值过程,并与 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化趋势相佐。



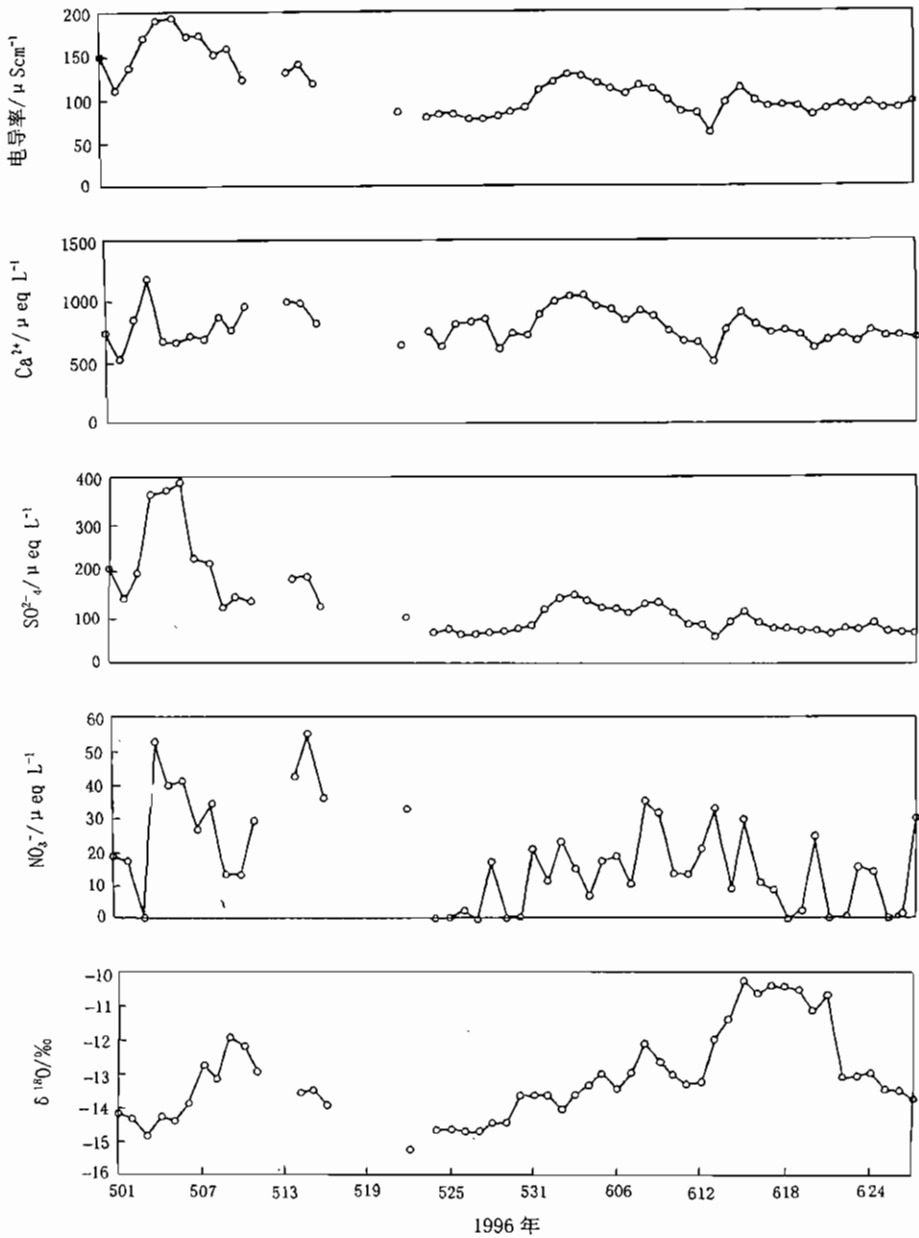


图2 1号冰川融雪电导率、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  变化过程

统计浓度峰值及其出现时间,计算峰值与5月1日—6月27日平均离子浓度的比值结果列于表2。对不同的离子来说,峰值出现的次数不尽相同,与平均离子浓度的比值不同,出现峰值次数最多的为  $\text{Ca}^{2+}$ , 1号冰川有5次,比值最高的为  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$ , 5月1号冰川为3.14和3.79,总控水文断面为3.14和3.09。

表 2 融雪径流和河川径流离子峰值特征统计

离子	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
平均离子浓度	942.1	153.9	50.0	45.9	32.9	388.3	29.3
峰值	1157.5	304.5	96.1	93.6	39.7	1400.0	103.7
第 1 次 比值	1.22	1.99	1.92	2.04	1.21	3.61	3.54
时间	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.02	5.01
1 号 峰值	1122.0	291.4	103.9	85.6	66.8	1217.7	110.0
第 2 次 比值	1.19	1.90	2.06	1.86	2.03	3.14	3.79
时间	5.08	5.08	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06
冰 峰值	1630.5	274.9	100.9		73.0		
第 3 次 比值	1.73	1.79	2.02		2.22		
时间	5.15	5.15	5.24		5.24		
川 峰值	1672.0	225.5					
第 4 次 比值	1.77	1.46					
时间	6.05	6.05					
峰值	1292.0						
第 5 次 比值	1.37						
时间	6.16						
平均离子浓度	789.5	173.7	71.7	24.4	72.1	124.2	18.1
峰值	1200.6	262.6	102.2	49.5	185.9	205.2	53.1
第 1 次 比值	1.52	1.51	1.42	2.03	2.58	1.65	2.93
时间	5.04	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.04
峰值	1050.0	302.0	145.7		225.6	390.0	56.0
第 2 次 比值	1.33	1.74	2.03		3.13	3.14	3.09
时间	6.04	5.06	5.04		5.07	5.06	5.06
总 控 断面							

### 3.2.2 离子共生关系分析

为了检验径流离子浓度变化过程分析的可靠性,确定径流离子来源的同一性,对 1 号冰川融雪径流作了离子(含电导率)互相分析(表 3),结果除 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 以外,所有离子的互相关系系数都超过 0.273,通过  $\alpha$  为 0.05 的显著性水平检验( $n=54$ )

对 1 号冰川融雪径流和总控断面径流之间的相同离子作相关分析(表 4),结果表明,所有离子(包括 pH 和电导率)的相关系数都通过了  $\alpha$  为 0.05 的显著性水平检验,除 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 pH 以外,甚至通过了  $\alpha$  为 0.01 的显著性水平检验。因此,两观测点之间的离子具有继承关系。

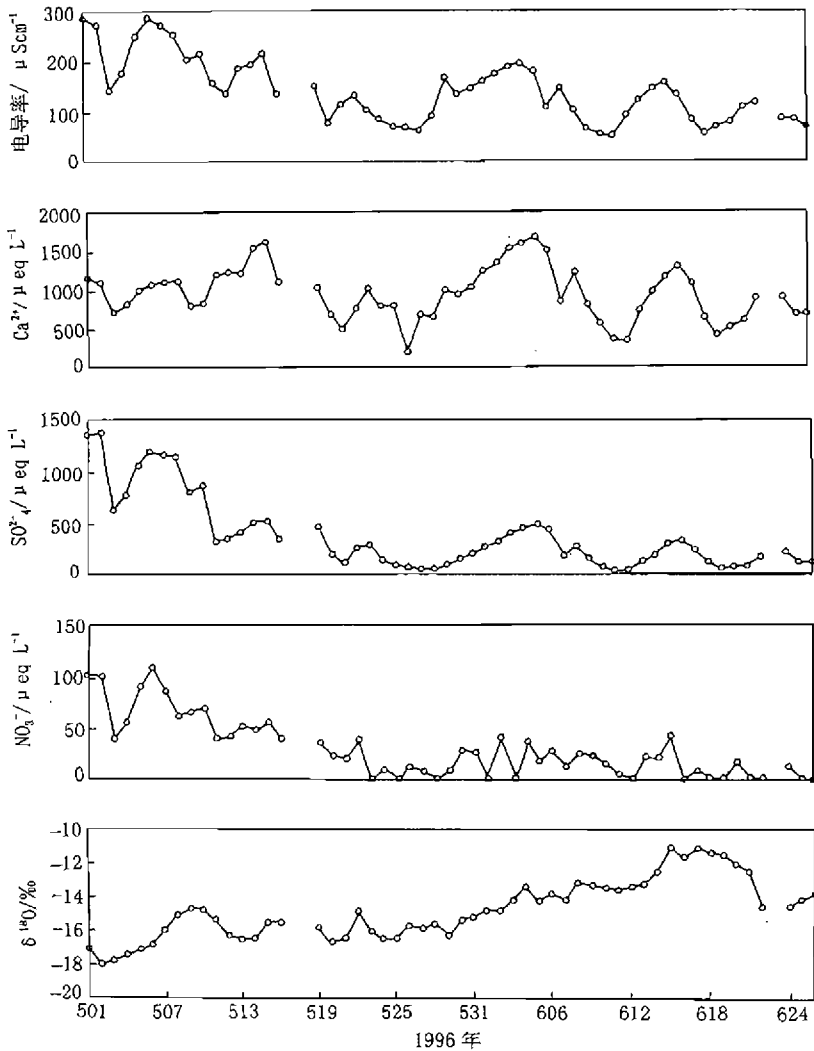
图3 总控断面河川径流电导率、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  变化过程

表3 1号冰川融雪径流离子相关系数

离子	电导率	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$
电导率	1.00								
$\text{Ca}^{2+}$	0.57	1.00							
$\text{Mg}^{2+}$	0.92	0.71	1.00						
$\text{Na}^+$	0.60	0.27	0.58	1.00					
$\text{K}^+$	0.88	0.67	0.94	0.74	1.00				
$\text{NH}_4^+$	-0.02	0.17	0.02	-0.05	-0.03	1.00			
$\text{Cl}^-$	0.44	0.33	0.45	0.80	0.55	-0.12	1.00		
$\text{SO}_4^{2-}$	0.90	0.40	0.90	0.66	0.89	-0.12	0.41	1.00	
$\text{NO}_3^-$	0.86	0.34	0.83	0.65	0.81	0.06	0.42	0.91	1.00

表4 1号冰川和总控水文断面径流离子相关分析

	相关系数 (n = 490)	置信度检验	
		$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
pH	0.30	显著	不显著
电导率	0.80	显著	显著
$\delta^{18}\text{O}$	0.85	显著	显著
$\text{Ca}^{2+}$	0.53	显著	显著
$\text{Mg}^{2+}$	0.81	显著	显著
$\text{Na}^+$	0.59	显著	显著
$\text{K}^+$	0.59	显著	显著
$\text{NH}_4^+$	0.31	显著	不显著
$\text{Cl}^-$	0.47	显著	显著
$\text{SO}_4^{2-}$	0.78	显著	显著
$\text{NO}_3^-$	0.56	显著	显著

### 3.3 积雪雪层剖面特征和离子的分布

5月11日在1号冰川东支海拔4025和3850m处各挖雪坑一处,分别称作上部雪坑和下部雪坑。上部雪坑深89cm,由底部至表层按结构分作4层,0—38cm为结构疏松的粒雪和深霜,38—63cm为中—细颗粒雪层,63—66cm为污化层,66—89cm为中、细颗粒雪层。下部雪坑深77cm,同样分4层,0—33cm为胶结深霜,33—62.5cm为细颗粒夹中颗粒雪层,62.5—65cm为污化层,65—77cm为细颗粒雪层,其中58.5cm处有约1.5cm厚的连续冰夹层(图4)。从结构上看,下部雪坑积雪变质程度高,从 $\delta^{18}\text{O}$ 数值看,下部雪坑总体高于上部雪坑,说明下部雪坑积雪融化早于上部雪坑。

不同雪层,雪的变质程度不同,所对应的 $\delta^{18}\text{O}$ 值和离子浓度就不同。变质程度深的雪层, $\delta^{18}\text{O}$ 值高,而离子浓度低,如以胶结深霜为主的底层雪,上、下部雪坑 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别为-14.28‰和-13.87‰,为各层中最高的,离子浓度则为各层中最低的( $\text{NO}_3^-$ 除外)。另一方面,含污化层的雪层离子浓度高,如图4中 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 在下部雪坑表层的浓度,以及 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 在上部雪坑中间层的浓度。值得注意的是, $\text{NO}_3^-$ 在上、下部雪坑中的分布比较特殊,表现为表层浓度>底层浓度>中间层浓度的规律,与其它离子的分布规律相悖。此外, $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NO}_3^-$ 在上部雪坑中的分布也比较特殊,与 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 分布不同,表层浓度大于中间层浓度。

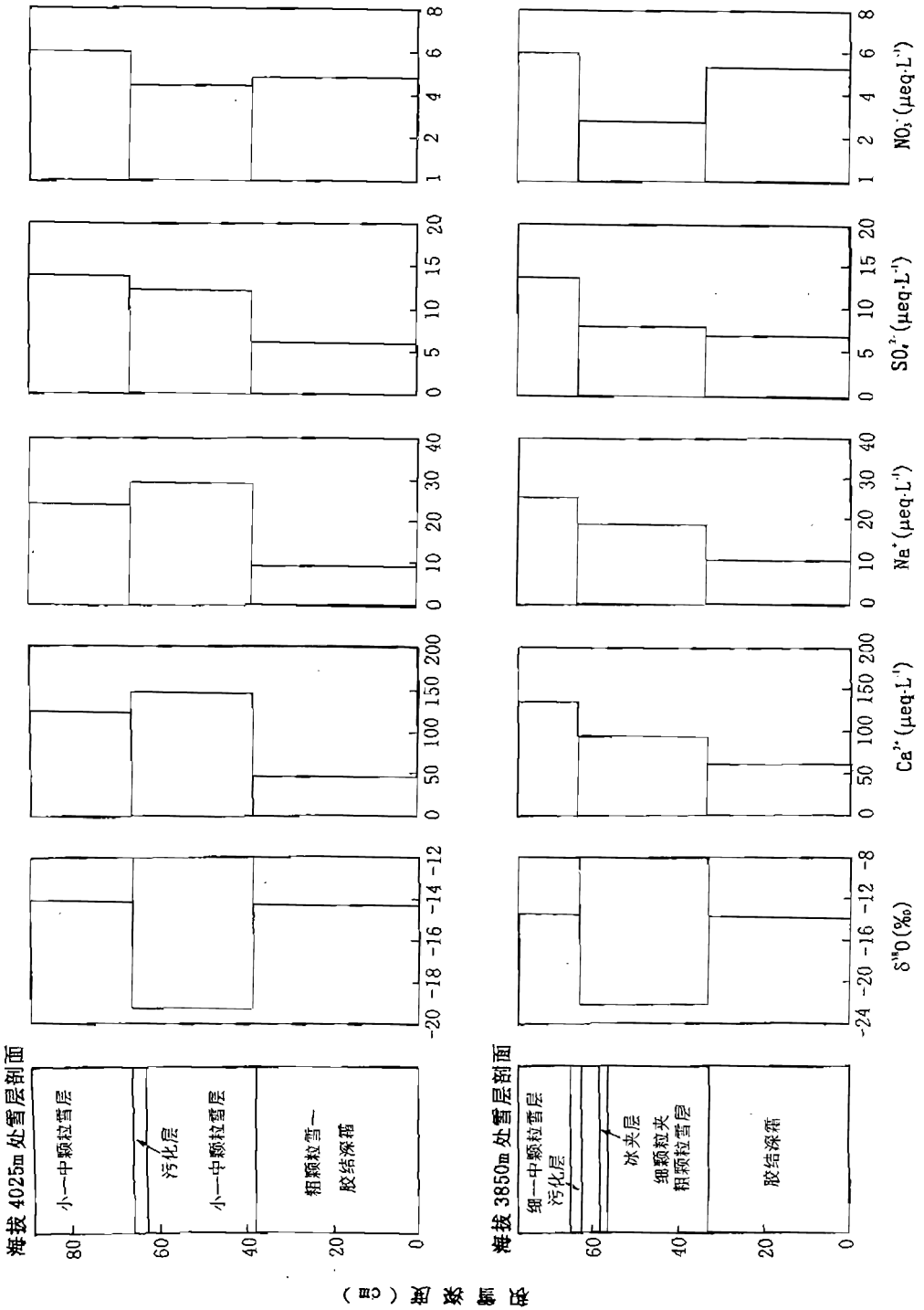


图 4 不同海拔高度雪层剖面结构与主要离子浓度对比

## 4 结论与讨论

融雪径流的“离子脉冲”现象——积雪开始消融时,1号冰川融雪径流离子浓度变化具有明显的峰值过程, $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NO}_3^-$ 的峰值为全时段平均离子浓度的3.14和3.79倍(5月6日),且过程曲线犹如电脉冲波一样,完全符合Johannessen<sup>[3]</sup>关于融雪径流“离子脉冲”现象的定义,即季节积雪开始消融的几日内,少量(一般少于全部积雪雪水当量10%)的融雪水,在短至数小时长至数日内,集中将积雪中80%之多的化学物质排出,使径流化学成分产生一瞬时高峰。从5月1日—6月27日融雪径流离子浓度变化全过程看,峰值过程不止一次, $\text{Ca}^{2+}$ 峰值过程最多,达5次,分别发生在5月1日、5月8日、5月15日、6月5日和6月16日,每次发生前的几日内均有降雪事件,如5月3—5日降雪7.5mm(水当量),5月11—14日降雪达7.9mm。由此说明,每次较大降雪事件后均会有“离子脉冲”现象发生。

第一次峰值出现在5月1日,即第一次取样时,其数值并不低于以后的几次,但是从形状上看不完整,仅有坡降部分。事实上,积雪消融可能远早于5月1日,只是在水文测站未能观测到,采样时已经错过了观测第一次峰值过程的时机,丢失了首次的“离子脉冲”峰值。这与我们1992年在空冰斗观测到的情况完全一致<sup>[4]</sup>。首次的峰值过程所反映的可能主要是冬季积雪的情况,以后的峰值过程则是春季降雪叠加在冬季积雪的基础之上发生的。

河川径流的“离子脉冲”现象——总控水文断面的离子浓度变化过程与1号冰川相似,具有“离子脉冲”的特征。但是,发生次数减少,仅有2次,强度减弱。由于总控水文断面径流离子与1号冰川径流离子具有非常好的相关关系,因此,河川径流的“离子脉冲”现象是由融雪径流的“离子脉冲”现象所引起的。

积雪中离子的淋溶作用——根据粒雪盆附近和冰舌末端的雪层剖面特征,底层雪变质程度最深,发生过明显的积雪融化和重力水排泄。尽管冬季积雪难以发生强消融,但进入春季气温升高时可能仍有雪的融化现象,并重力水的垂直迁移<sup>[5]</sup>,结果使离子发生了淋溶,即雪粒在融化过程中首先将离子排斥到雪粒边缘或雪粒相互接触处,一旦有重力水向下迁移,离子便溶于水,被搬运至雪层底部而富集起来<sup>[6]</sup>,若有径流产生,则这部分相对富集的离子最早进入径流,即产生“离子脉冲”现象<sup>[7]</sup>,造成底层剩余积雪离子浓度相对降低。因此,变质程度深的雪层所对应的离子浓度低。

积雪中矿物和污染物颗粒的溶解作用——从雪层剖面离子分析特征分析、污化层所在雪层对应的电导率和阴阳离子浓度较高,与Cameron等对1号冰川积雪的研究结果吻合<sup>[8]</sup>。污化层成分主要为矿物风化颗粒如方解石等、含S和N的污染尘粒,这些物质遇融雪水则发生溶解,增加积雪的离子浓度。含S和N的颗粒溶解后,增加 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NO}_3^-$ 的浓度,同时也增加 $\text{H}^+$ 的含量。在 $\text{H}^+$ 的作用下,方解石等矿物颗粒可以发生溶解,增加 $\text{Ca}^{2+}$ 等阳离子和 $\text{HCO}_3^-$ 的含量。

关于 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NO}_3^-$ ——由积雪到径流过程,电导率和离子浓度一般增加10—15倍,但1号冰川在融雪初期 $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度却增加了44倍,其值不仅高于同期总控水文断面的 $\text{SO}_4^{2-}$

浓度而且高于英雄桥水文站的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度,究其原因,一方面与“离子脉冲”作用有关,如 5 月 2 日脉冲峰值与平均离子浓度比值达 3.61,为所有离子峰值比值最高的;另一方面则与污染尘粒的溶解有关,由于 1 号冰川能够接受更多的风吹雪和污染物颗粒,因此  $\text{SO}_4^{2-}$  的溶解率高。两种作用相叠加的结果,使得 1 号冰川融雪径流的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度不仅高于总控水文断面的离子浓度,而且高于英雄桥的离子浓度。由此也说明,1 号冰川地区的大气污染特别是 S 的污染已比较严重。

$\text{NO}_3^-$  情况与  $\text{SO}_4^{2-}$  相象,值得一提的是, $\text{NO}_3^-$  含量在海拔高低不同的两个雪层剖面中,底层的含量大于中间一层的含量,与其它离子的分布规律相拗。分析原因,可能是含 N 尘粒主要由人类生产活动造成,发生作用最强时间是作物收割完毕和放牧结束时,即大约 10、11 和 12 三个月,使原始积雪中底层  $\text{NO}_3^-$  浓度大于其它层次,而“离子脉冲”作用在截止取样时间内尚未完成排泄过程,或者是因为含 N 尘粒含量高,溶解过程持续时间长所致,也可能是因为以上两种原因的综合作用结果。因缺乏详尽的资料,这一现象仍需在今后的工作中加以仔细研究。

总之,融雪径流的离子成分受两种作用的制约,即“离子脉冲”作用和矿物粒子(包括污染物颗粒)的溶解作用。融雪径流的“离子脉冲”现象源于积雪雪粒圆化—融化过程中的离子淋溶作用。积雪的“离子脉冲”现象对河川径流的离子成分有一定程度的影响,特别是对  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  影响最为强烈。

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

- Watson R., Zinyowera M., Moss R., Dokken D., 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific - technical analyses. *Climate Change*, Cambridge University Press, :248 - 249
- 刘潮海, 1991. 中国天山冰川站手册. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 26
- Johannessen M. and Henriksen A. . 1978. Chemistry of snow meltwater: changes in concentration during melting. *Water Resources Research*, (14): 615 - 619
- 刘风景, M. Williams, 杨大庆, 1997. 天山乌鲁木齐河融雪径流的“离子脉冲”现象初探. *科学通报*, 42(4): 417 - 419
- Yang D., Woo M., Liu F., et al., 1993. The role of snow in streamflow generation from an alpine permafrost basin in Tianshan. In: *Proceedings of 6th International Symposium on Permafrost*, Guangzhou, Huanan Normal University Press, 738 - 743
- Bales R. . 1992. Snowmelt and the ionic pulse. *Encyclopedia of Earth System Science*, (1): 199 - 207
- Bales R., Robert D. and Williams M. . 1993. Tracer release in melting snow: diurnal and seasonal patterns. *Hydrological Process*, (7): 389 - 401
- Cameron P., Mayewski P., Wang P., et al. . 1992. Anthropogenic sulfate and Asian dust signals in snow from Tianshan, north west China. *Annals of Glaciology*, (16): 47 - 51

# 人类活动对天山现代冰川环境的影响

胡汝骥 姜逢清 马虹

(中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

**摘要** 本文在分析了天山地区典型冰川的环境状况后,指出了近 20 年天山地区冰川快速退缩的原因是由于人类活动所引起。

**关键词** 天山 冰川环境 人类活动

自地球诞生之日起,它的环境就在不断变化。这种变化纯粹是受自然推动力支配。

自人类诞生之日起,人类就开始干预了地球环境的演变过程<sup>[1]</sup>。随着人类社会的发展,人类对地球环境的影响日益增大。这种影响在干旱区表现得尤为突出和明显。水是生命的源泉,干旱区现代冰川的环境问题早为人们所关注,因为它已经成为该地区人类社会可持续发展的一个中心议题。

根据多年的航空航天资料,在全球循环的背景上,干旱区内陆水体(湖泊)与其周边的山系之间,也存在和发育着水分和其他物质的地区性循环。它们的联系路径之一是河流。河流把液态、固态、离子状态物质以及生物体带到这些水体(湖泊)或平原绿洲;另一条联系路径是定常气流。定常气流把蒸发的水分、风吹起的盐分、尘埃微粒、花粉和植物种籽、蚴和真菌孢子等送往山区。这样,就形成了一个完整、系统的干旱区内陆区域循环系统。天山现代冰川在这个循环系统中具有十分重要的地位。

## 1 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的环境状况

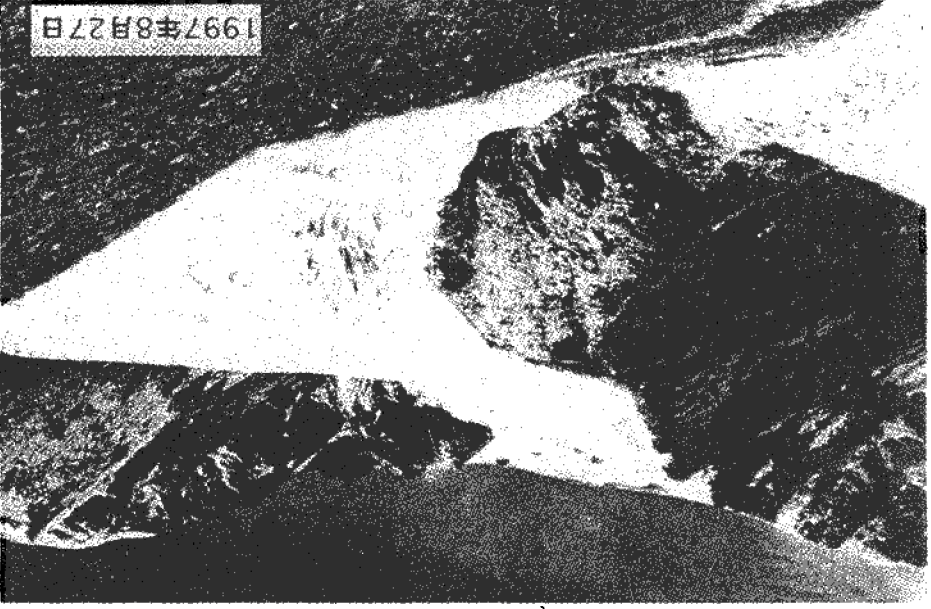
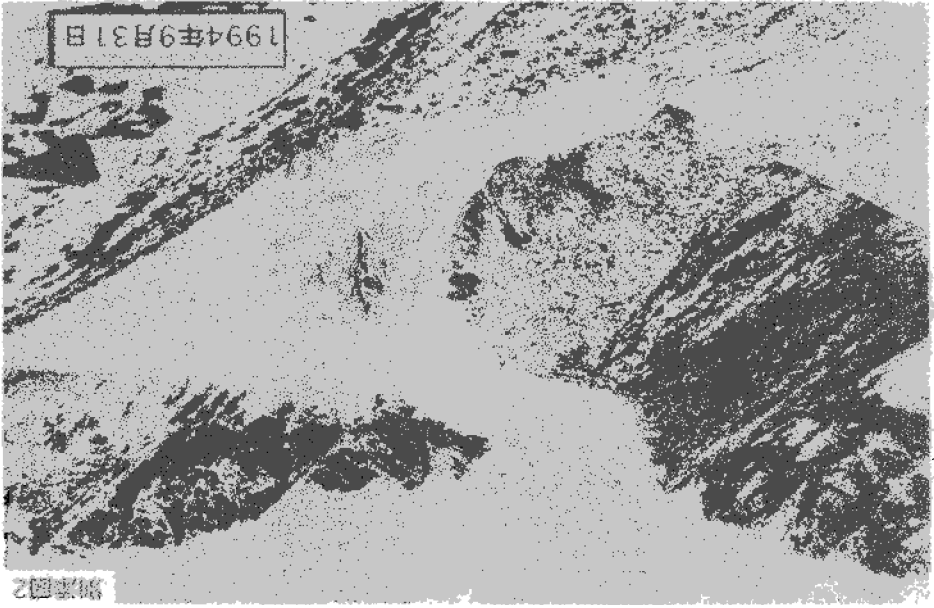
天山乌鲁木齐河源 1 号冰川(以下简称 1 号冰川)地理位置为  $N43^{\circ}05'$ ,  $E86^{\circ}49'$ , 位于天山天格尔山脉北坡,乌鲁木齐河源头,面积现为  $1.84\text{km}^2$ ,为双冰斗—山谷冰川。该冰川由东、西两支冰川组成,面积分别为  $1.163\text{km}^2$  和  $0.677\text{km}^2$ ,其上界到下界高度分别是  $4269\sim 3740\text{m}$  和  $4486\sim 3810\text{m}$ 。东、西支冰川 1997 年以前其末端汇流,形成过统一的冰舌,但由于强烈的消融、退缩,现分离为两支独立的冰川(照片 1、2)。

冰川环境的变化首先通过冰川物质平衡的波动表现出来。物质平衡是冰川反应其环境状况最为敏感的指标之一。冰川物质平衡的动态演变决定着冰川规模与径流量的大小,这样,也就反映出冰川的环境状况。因此,长期监测冰川物质平衡及其分量的演变过程就具有十分重要的科学价值和意义。乌鲁木齐河源 1 号冰川是我国自 1958 年起至今,



唯一长时期进行物质平衡监测的研究基地,多年系统性的观测为我们研究天山现代冰川环境状况提供了可靠的信息。

胡汝骥等:人类活动对天山现代冰川环境的影响



照片1 天山乌鲁木齐河源1号冰川消融退缩的比较(阿部修摄)

从1958-1959年~1995-1996年的38a间(图1)1号冰川物质正平衡有15a,负平衡

为 23a, 累积平衡量为  $-960.9 \times 10^4 \text{m}^3$ 、折合水层是  $-5125\text{mm}$ , 尤其是 1977 - 1978 年 ~ 1987 - 1988 年度, 除 1982 - 1983 年度为一弱的正平衡年外, 其余年份均为负平衡, 累积量达  $609 \times 10^4 \text{m}^3$ , 占 38a 冰川物质总亏损值的 63.4%, 是 1 号冰川物质亏损最多的时期。

38a 间 1 号冰川以负物质平衡状态为主。1980 年以前正平衡值有 10a, 正负平衡交替出现, 最长的间隔为 3a, 出现了两次; 1980 年以后正平衡仅出现 5a, 正负平衡交替出现的间隔时间延长, 而且正平衡只有一次两年连续出现, 还显示了微弱量级。这些事实, 说明 1 号冰川的环境状态很不好, 冰川处于退缩状态, 并且是愈来愈明显。

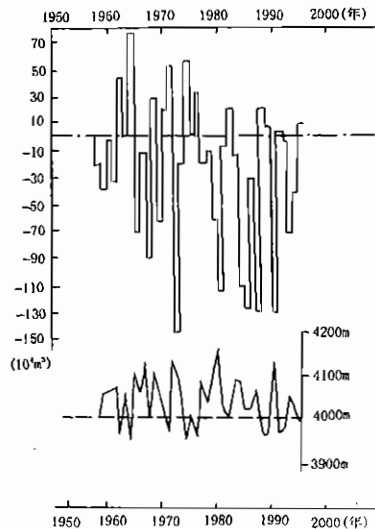


图 1 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡和雪线高度的近 50 年变程

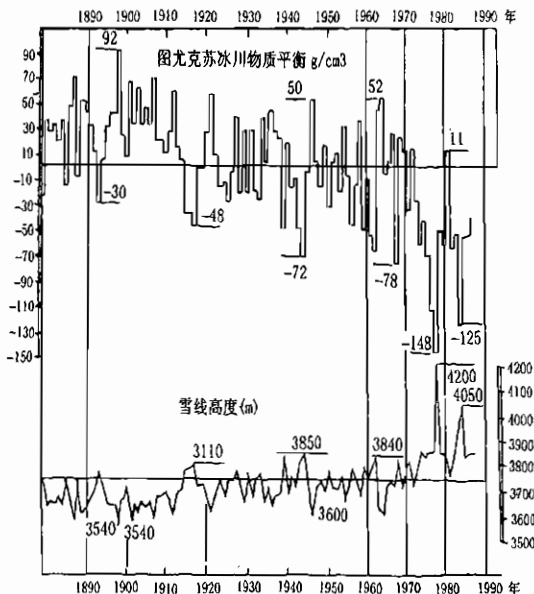


图 2 图尤克苏冰川物质平衡和雪线高度的百年变程

## 2 天山图尤克苏冰川的环境状况

天山图尤克苏冰川地理位置  $N43^{\circ}00'$ ,  $E77^{\circ}06'$ , 地处天山外伊犁山北坡, 小阿尔玛钦卡河源 (哈萨克斯坦阿拉木图市河源之一), 全长约 2.8km, 面积约  $3.1\text{km}^2$ , 它的上下界分别是 4219m 和 3400m, 是天山山脉冰川观测研究项目齐全, 时间最长, 系统研究深入的冰川<sup>[2]</sup>。

1990 年 6、7 月份, 笔者有幸到图尤克苏冰川工作, 分析比较该冰川与中国天山乌鲁木齐河源 1 号冰川, 1958 - 1959 年 ~ 1988 - 1989 年度的冰川物质平衡变化资料, 发现在这

31a 间冰川物质负平衡值的出现年数相同,都是 19 年,而且也都是 80 年代负平衡出现的次数多于 60 和 70 年代。

图 2 所示,该冰川物质平衡和雪线的百年变化。图中清楚地展示出 3 个变化阶段:

1879 年~1914 年,由于降水、气温条件良好,有利于冰川发育的环境,使此间该冰川物质平衡以正值占据主要地位;

1915 年~1972 年间,影响冰川环境状况的各项要素发生了较大的变化,冰川物质平衡正负交错出现,雪线也出现了上升的趋势;

1973 年~1990 年间,该冰川环境恶化,物质平衡负值居高不下,雪线明显上升,冰川退缩一目了然(图 3)。

从该图可以看出,从 1971 年起图尤克苏冰川的平均物质平衡值均为负值。在过去的 100 年该冰川的平均平衡从未低于指数 -29,而近 20 年却两次达到 -89(1978 年)和 -68(1984 年)。为了使冰川环境问题更引起人们重视,我们再补充几

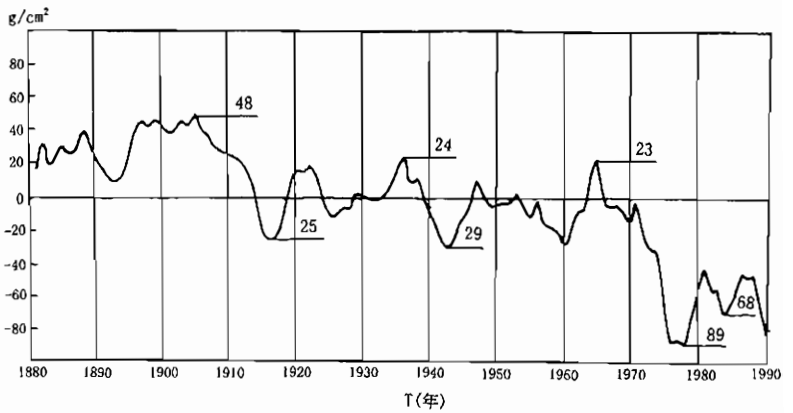


图 3 图尤克苏冰川物质平衡的 5 年滑动平均值的百年变程

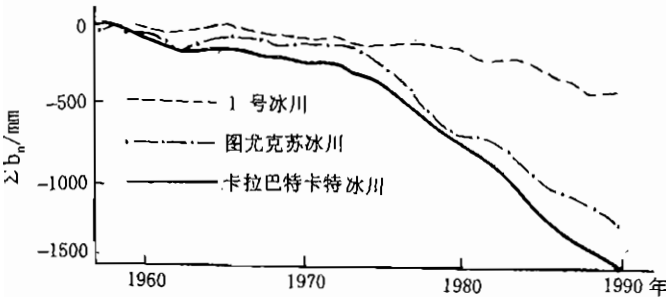


图 4 1 号冰川和图尤克苏、卡拉巴特卡克冰川累积物质平衡(Σb\_n)的变化(据刘潮海)

冰川物质平衡出现顺差。

个实例。1987~1988 年冬,天山山系普遍多雪,外伊犁山冰川的水储量(即冬季积雪水当量)相当于两年的年平均量;阿拉套(山系)的水储量相当于 3 年的年平均量。中国天山山地西部的情况与外伊犁山相同。然而,在 1988 年的夏季中消融得荡然无存,甚至还消融了冰川冰。这说明,丰雪并没有使天山山系的

### 3 近 20 年来天山现代冰川环境恶化的原因分析

图 4 进一步表明<sup>[3]</sup>:天山山地(卡拉巴特卡克冰川系捷尔斯克阿拉套—冰川)现代冰川物质平衡自 1970 年以来负平衡状态占据主导地位。

图 5 给出北半球平均气温变化和 70 年代初著名原苏联气候学家 м·и·вудько 作出的

预测。试比较图 5 与图 3, 图尤克苏冰川对 30~40 年代的气候变暖, 以及 50~60 年代的气候变冷没作出明显反应, 但对 70~80 年代的气候变暖却立即作出了反应。据 М. И. Вудык о, 第一个气候变暖与大气透明度的急剧加大, 北纬高纬度地带辐射净收入较大有关。南纬低纬度地带的大气常常为荒漠和闭合水体沿岸浅水区吹出的固态气溶胶所污染。而 70~80 年代的气候变暖, 主要与温室效应有关。

从 50 年代起, 原苏联对中亚地区进行大规模的农业开发, 发展棉花种植, 由于采取了不合理的灌溉、施肥和管理措施。到 60 年代末“咸海危机”暴发, 该地区大部分河流尾间干涸, 流程缩短, 土壤普遍盐渍化, 弃耕地大量出现。咸海和里海干涸浅水体和其他河流干涸地表, 土壤表层, 弃耕地的固态物质的吹出量增加了该地区大气污染程度。

据哈萨克斯坦土壤学家的实地考察, 致密盐土的每  $1\text{km}^2$  干涸面积, 可向大气输送  $0.7 \times 10^4 \text{t/a}$  盐类<sup>[4]</sup>。如果把所有的情况都考虑进去, 从 60 年代末“咸海危机”暴发以来, 咸海和里海干涸浅水体表现的固态物质的吹出量, 应不小于  $3.1 \times 10^8 \text{t/a}$ 。换言之, 这就使大气中的大陆性气溶胶含量增加 23.8%, 使全球性的气溶胶增加 2.8%。

西风气流的输送, 扩大了沙尘暴东进的范围。输入大气的大量盐类、尘埃和细小沙粒与天山地区沙漠化、盐渍化(含弃耕地盐渍化)、河流和湖泊干涸底所产生的固态物质相结合, 加深了大气污染、加大低层云量, 使年内热量重新分配: 夏季温度降低, 而冬季温度上升, 年降水量和降水矿化度含量增加等等。

天山山地现代冰川环境正是在这种背景下, 人类活动引发的这一切机制综合起来所产生的作用, 加速了高山冰川的消退。

### 参考文献

- 叶笃正, 符淙斌, 1994. 全球变化的主要科学问题. 大气科学, 18(4): 492-512  
 胡汝骥, 马虹, 1992. 天山的冰川现状与未来气候趋势. 干旱区地理, 15(3): 22-30  
 刘潮海, 谢自楚, 王纯足, 1977. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程研究. 冰川冻土, 19(1): 17-24  
 胡汝骥等, 1998. 亚洲中部气候变化对塔里木河流域水资源的可能影响, 见: 塔里木河流域水资源、环境与治理. 北京: 中国环境科学出版社, 144-153

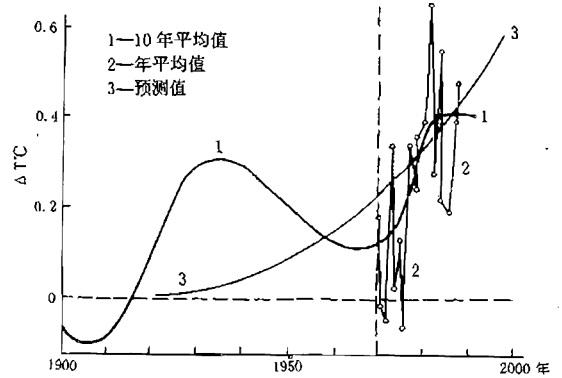


图 5 北半球平均气温预测值与实测数据的比较

## 乌鲁木齐地区年轮气候研究的回顾与展望<sup>①</sup>

胡汝骥 姜逢清 马虹

(中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

**摘 要** 本文首先回顾了近 40 年来乌鲁木齐地区年轮气候与环境研究的现状。然后, 对其今后发展提出了五点主要看法。

**关键词** 乌鲁木齐 树木年轮 年轮气候

乌鲁木齐地区气候环境变化之争由来已久。各位专家学者根据各自所取得的资料各行其说。尽管取得了较显著的成就, 但离彻底弄清过去气候环境变化和确切阐明未来气候环境状况还相距甚远。关键原因之一是缺乏足够长度且令人信服的历史气候指标序列。

近年来的研究发现, 树木年轮资料具有定年准确分辨率高、连续性强、树轮指标量测精确和地域分布广泛等特点(邵雪梅, 1997), 因而, 树木年轮资料在恢复与重建过去气候与环境信息方面具有独特的作用。年轮气候研究受到了气候与环境学家的广泛重视。

由于乌鲁木齐地区地处欧亚大陆中心, 属干旱气候, 其气候环境变化研究受到各界的普遍关注。特别是乌鲁木齐作为我国西部省区新疆维吾尔自治区的首府, 近年来经济发展异常迅速, 城市规模不断扩大。随着这一发展, 水资源短缺正在加剧。而乌鲁木齐市的主要水源来自于乌鲁木齐河, 其水资源量主要形成于位于其南部的中高山地区。

为了弄清乌鲁木齐的水资源的未来变化情况, 多年来气象、水利、院校与科研部门对乌鲁木齐径流形成区的河源地带进行大量的研究工作, 并建立了相应的观测站点, 这些观测站点积累了 50 多年的水文、气象方面的数据资料。这些数据资料的分析研究结果, 在以往的经济建设中发挥了极其重要的作用。

然而, 随着研究工作的不断深入, 特别是未来城市的经济发展, 需要了解未来乌鲁木齐地区的气候环境与水资源变化情况。为更好地对未来气候、水资源状况有更清楚的了解, 单靠过去短短 50 年的器测资料是远远不够的, 迫切需要过去历史时期, 甚至地质时期的气候、水资源变化信息与资料。因而生长于乌鲁木齐河流区的林木就自然成了首选。

### 1 历史回顾

乌鲁木齐地区年轮气候研究经历了三次主要研究阶段, 60 年代初, 80 年代与 90 年代

<sup>①</sup> 中国科学院天山冰川观测试验站资助

中期。

### 1.1 60年代初

1960年8月,权之钧等首次在乌鲁木齐南山小渠子对发育良好的云杉林进行了园盘采样。样树株数为3株,所采3株树木的树龄分别为1085年、160年和176年。通过选择五个方位的方法测定树轮的年轮厚度,最后取一个具有代表性方位的轮厚和160年树龄的年轮厚度作为基础资料(权之钧等,1964)。

利用所取得的树轮厚度资料,与乌鲁木齐站的降水与气温资料进行了对比分析,同时将年轮厚度资料与太阳黑子数也进行了对比分析,得到了一些初步结果。

值得指出的是,本次年轮气候的研究工作进行得比较粗略,特别是在读数方面的精度显然是不够的。

### 1.2 80年代中期

1982年8月,康兴成等在乌鲁木齐河流域的后峡地区和板房沟采集了六个天山云杉样本。采样时对样本生长点环境进行了仔细的挑选和比较,既考虑了树轮年代的长短,也考虑了生长点环境的代表性。样本的读数使用了放大倍数为300的读数显微镜,其精度为0.01毫米。取样本上年轮较清楚的一方读数,分别获得长度为456、375、349、339、238和212年的树轮序列(康兴成,1985)。

利用所获得的年轮指数序列,探讨了天山乌鲁木齐河流域400多年的冷暖变化、气候的干湿变化与冰川进退的趋势。

本次年轮气候研究仅就年轮指数这一特征值探讨了研究区的气候与环境变化情况,而在过去气候环境指标的恢复与重建以及未来变化等方面讨论不够。

### 1.3 90年代初中期

1993年夏季,在乌鲁木齐河流域中山带的森林区采集了36个天山云杉样本。在采样布局上,除遵循树轮气候学中样点选择的基本原理外,还考虑空间分布、垂直分布和坡向等几个方面。在采样区共布设了9个采样点(李江风,1996,李江风等,1997)。

依据树木年代学研究的基本程序,对所采集的树芯进行了定年和年轮宽度量测(李江风等,1987)。所获得的36个年表中年表长度最长的为458年,最短的为195年。

利用所获得的树木年表资料重建了乌鲁木齐河山区流域360年的径流量,并分析了重建径流量的变化特征(李江风等,1997);还恢复了乌鲁木齐地区近250年的温度序列(王承义,1996)。

本次树轮气候的研究,无论从样本的数量,还是从分析研究深度上都远远超过了前两次,取得了较大的进展,特别是在历史径流量与气候指标的恢复重建方面做了大量的工作。

## 2 取得的主要成果

权之钧等利用在天山北坡小渠子林场所获得的三个树轮样本,讨论了年轮厚度与乌鲁木齐站暖季(5~9月)降水的关系,结果发现,年轮厚度的年际变化趋势与降水的一致:降水比上一年多(少)则年轮也比上一年厚(薄),年轮厚度与暖季气温(或积温)有反相关关系,但不如降水明显(权之钧等,1964)。

他们还利用上述树轮资料与同期太阳黑子数进行对比分析,发现太阳黑子数相对最多的年份,则当年或前后一年内多对应地出现年轮厚度的极大值。他们还发现,年轮厚度与太阳黑子的80年左右的周期很吻合,并据此对此后未来几十年北疆暖季降水量的趋势进行了推断,认为此后几十年中北疆暖季降水量的趋势是要比1958~1959年以来出现的高峰逐步减少(权之钧等,1964)。但这一预测,今天看来与实际观测有些不符。

康兴成以乌鲁木齐河流域中山带的树木年轮为依据,分析探讨了该地区近500年来的气候变化及其振动周期。结果发现,在近500年中,该地区经历了程度不同的六次寒冷期和七次温暖期。总体上看,冷暖期持续时间基本相当。他还发现,在16世纪到18世纪初,冷暖交替出现的持续时间短,气候变化比较频繁;而18世纪中至现在,冷暖交替出现的持续时间较长,气候变化相对较稳定(康兴成,1985)。

通过分析树轮指数所示的寒冷与温暖期的变化规律,康兴成还推测了本世纪末20年中气候可能向低温潮湿的方向发展(康兴成,1985)。现在看来,此推断与实际略有出入。

利用上述树轮指数,康兴成探讨了该地区的气候干湿变化,发现在近350年中该地区经历了四次干燥期和四次湿润期。同时,他还讨论了该地区冰川进退的趋势,认为在近350年中,该地区气候变化出现过三次较明显的有利于冰川退缩的时期,即1649~1701年、1847~1901年和1955~现在;相应地也出现了三次有利于冰川前进的时期,即1703~1729年、1794~1814年和1902~1953年,并且还发现,冰川后退期较强,且持续时间长;前进期较弱,持续时间短(康兴成,1985)。

李江风等1997年利用在乌鲁木齐山区所获得的树木年轮年表,通过回归分析,获得了相关系数为0.670的回归方程,重建了乌鲁木齐河流域360年上年7月至当年3月的平均径流量。从他们所获得的重建径流值与实测径流值的对比来看,相似性较好。同时利用重建的360年径流量分析发现,有4个水量偏丰期和3个偏枯期,第2、3两个偏丰期与乌鲁木齐河流域1号冰川的两次冰进期相对应。对重建径流量值的丰枯频率分析发现,平水年份出现最多,偏枯水年多于偏丰水年5.8%,特枯水年没有出现,特丰水年出现6次,约占1.7%(李江风,1997)。

此外,王承义1996年利用上述树轮资料,重建了乌鲁木齐地区过去250年的温度序列。从重建效果来看,比较令人满意。

## 3 未来展望

由于树木年轮在重建过去气候环境变化指标上的独特作用,而目前,在乌鲁木齐地区

仍未发现比树木年轮更直接有效的可用于历史气候环境变化指标重建的载体。因此,树木年轮学研究将会在乌鲁木齐地区历史气候变化的研究方面起到越来越重要的作用。

尽管过去一段时期,在乌鲁木齐地区,年轮气候研究取得了令人鼓舞的成就,但离准确回答乌鲁木齐地区过去相当长时期气候环境状况以及未来气候环境变化趋势还存在一定的距离。进一步深入挖掘树木年轮所富含的气候环境信息迫在眉睫;同时,应加强先进分析手段和技术的利用,也应借鉴相关学科的研究方法,特别是数理学科的分析 and 计算方法。

笔者认为,在今后的乌鲁木齐地区年轮气候研究过程中,以下几个方面应给予特别重视:

(1)除近期获得的九年年表外,应进一步寻找年代更长的树木年表。

(2)除了年轮宽度指数外,今后应重视树木年轮其它方面的指标,如解剖学特征指数等的研究。

(3)应不断开发树木年轮所含的气候环境信息,特别应重视其它相关学科的先进方法(如统计学、同位素分析与图像分析等)的引进,以便从树轮提取更多的气候信息。

(4)在利用树木年轮指数重建过去气候环境信息的过程中,应参考其它来源的有关过去气候环境的记载与信息(如来自史料、湖泊沉积、冰芯等的信息),以使重建值与实际状况更相吻合。

(5)在利用树木年轮指数或其气候环境重建值进行未来状况预测方面应加强研究力度,特别应注重数学方法的改进工作,以避免过去在预测方面的失误或不准确。

### 参考文献

邵雪梅,1997.树木年轮学的若干进展.第四纪研究,(3):265-268

权之钧等,1964.从树木年轮探讨新疆近百年来气候变化.新疆冰川积雪研究论文集,新疆维吾尔自治区科学技术委员会,151-153

康兴成,1985.天山乌鲁木齐河流域年轮气候的初步分析.冰川冰土,7(2):133-139

李江风等著,1989.新疆年轮气候年轮水文研究.北京:气象出版社,192

李江风,袁玉江,1996.乌鲁木齐河(小流域)年轮年表特征.中国科学院天山冰川观测试验站年报,13:23-32

王承义,1996.天山中部乌鲁木齐河流域近250年温度重建.中国科学院天山冰川观测试验站年报,13:34-38

李江风等,1997.乌鲁木齐河山区树轮年表.中国科学院天山冰川观测试验站年报,14:124-133

李江风,袁玉江,由希尧,1997.乌鲁木齐河山区流域360年径流量的重建.第四纪研究,(2):131-136



## 天山冰川观测试验站第三届学术委员会成员<sup>①</sup>

经中科院兰州冰川冻土研究所推荐,中国科学院领导于 1997 年 12 月批准,决定聘任李忠勤同志为中科院天山冰川观测试验站站长,聘任康尔泗同志为中科院天山冰川观测试验站学术委员会主任。并经所领导 1998 年 2 月研究决定,天山冰川站第三届学术委员会由下列同志组成:

主任: 康尔泗

副主任: 赵士洞

委员: 姚檀栋 李忠勤 李述训 周尚哲 张青松

谢自楚 穆桂金 张国威 熊黑钢

## 天山冰川观测试验站工作人员

站长: 李忠勤

副站长: 焦克勤 叶佰生

成员: 王纯足 刘宗香 杨新元 韩添丁 张志忠 井哲帆

杨惠安 赵兰实 张明军 刘保中 余建军

## 天山冰川站被评为中科院野外工作先进集体和 A 类野外开放试验站

在 1997 年 12 月召开的中科院第二次野外工作会议上,天山冰川观测试验站被评选为中科院野外工作先进集体,受到院部的表彰奖励。另经我院现场检查评议,天山冰川观测试验站于同年底被评为 A 类野外开放试验站。

## 天山冰川站学术委员会三届一次会议纪要

在中科院兰州冰川冻土研究所建所 40 周年之际,天山冰川站于 1998 年 9 月在兰州召开了站第三届学术委员会第一次会议,李忠勤站长向新一届学委会汇报了天山冰川站的科研进展及管理措施等。施雅风院士听取汇报后,肯定了冰川站的近期工作,并强调指出:“天山冰川站是中国唯一的冰川站,是冰川研究的一个窗口,要克服困难,勇于前进。”学委会会议还审议并通过了五项本年度的站基金资助课题。

<sup>①</sup> 根据 1997/1998 年有关文件 辑录

## 水样中甲酸、乙酸污染的实验研究 及其对雪冰有机酸研究的意义<sup>①</sup>

李心清 秦大河 周 会

(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,兰州 730000)

**摘 要** 本文利用二次水为主要测试样品,对聚乙烯塑料容器和空气对样品中甲酸、乙酸的污染进行了实验研究。结果表明,甲酸、乙酸的污染主要来自聚乙烯塑料袋的热塑封口过程中,而聚乙烯塑料桶的影响不明显。塑料袋的热塑封口对乙酸的污染具有随机性,且对乙酸造成的污染在相同的条件下是甲酸的 18 倍左右。空气对甲酸、乙酸也存在着污染,但其影响远低于聚乙烯塑料袋。因此,在雪冰甲酸、乙酸的研究中,其融样过程必须避开塑料制品,尤其是聚乙烯塑料袋。此外,加大待测样品量(体积或重量)也可以一定程度地减小雪冰融化样品的甲酸、乙酸的污染。

**关键词** 甲酸 乙酸 雪冰

甲酸( $\text{HCOOH}$ )、乙酸( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )是自然界中两种重要的生物有机酸。它们广泛地分布于大气对流层中,对降雨的酸度尤其是远离人类居住地区降雨的酸度具有重要的影响(Keene et al., 1983; Keene & Galloway, 1986)。甲酸、乙酸的来源既直接涉及生物界,如来源于植物的直接释放(Graedel et al., 1986)和生物有机质的燃烧(Graedel et al. 1986; Talbot et al. 1988),又与大气中若干有机物,如烷烃、烯烃和醇类等的光化学反应密切相关(Jacob & Wofsy, 1988a, b; Madronich & Calvert, 1990; Madronich et al., 1990; Lelievold & Crutzen, 1991)。不仅如此,大气中的甲酸和乙酸含量还与人类生产和生活中向大气中的废气排放,如汽车燃油排放和工业生产排放等有着密切的联系(kawamura et al., 1985; Talbot et al., 1988)。甲酸、乙酸的研究不仅具有实际意义,同时还具有重要的理论价值。它是研究生物地球化学循环的良好指标,是认识生物圈与其它若干圈层的相互联系、相互作用的一种良好载体(Keene & Galloway, 1988)。因此,80 年代以来,甲酸、乙酸的研究在许多领域里都受到了高度的重视。其中研究较多的几个方面包括远离人类居住的偏远地区大气中甲酸、乙酸的研究(Talbot, 1992; Lefer et al., 1994; Dibb et al., 1994),遥远的海洋地区甲酸、乙酸的研究(Arlander et al., 1990)和遥远地区降水中甲酸、乙酸的研究(Keene et al., 1983; Likens et al., 1987; Andreae et al., 1988a)以及大气气溶胶中甲酸、乙酸的研究(Talbot et al., 1988; Andreae et al., 1988a, b)等。这些研究为认识甲酸、乙酸的生物地球化学循环提供了很有价

<sup>①</sup> 本项研究工作得到国家自然科学基金和中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站站长基金的资助。文中样品测试工作由王晓香女士完成。

值的信息。

雪冰中有机酸(主要是甲酸、乙酸)的含量及其变化的研究为认识过去大气中甲酸、乙酸的含量变化及其与气候和环境变化的关系提供了独一无二的途径(Legrand & De Angelis, 1995; Legrand & De Angelis, 1996)。晚更新世以来的降雪年复一年地积累于两极地区的冰盖和一些中低纬度的山岳冰川中,为甲酸、乙酸过去变化的高分辨率研究提供了理想场所。

然而,雪冰中甲酸、乙酸的研究是雪冰地球化学研究的最薄弱环节之一。其中一个重要原因就是雪冰中甲酸、乙酸的测试和分析过程很易遭受外来污染的影响。这种影响主要发生在雪冰融化过程中和融化之后。它包括两个方面:一是待测雪冰融化样品遭受塑料容器的污染;二是融化的雪冰样品遭受来自空气的污染。而雪冰融化之前主要受样品钻取过程中各种因素的影响,这种影响主要发生在冰芯外围 1cm 深度范围内(Legrand et al., 1993),只要除去这部分雪冰中样品,即可避开此种污染。而避开雪冰融化污染却较困难。

已有研究认为,装在塑料容器中的 20ml 超纯水一般都可检测到  $2-3\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  的甲酸和乙酸(Saigne et al., 1987)。而由于甲酸、乙酸的挥发性,暴露于空气中的雪冰融水也会很快会受到空气中甲酸、乙酸的污染。已有的超纯水实验研究表明来自大气的甲酸、乙酸污染速率分别可达  $5\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  和  $2\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Legrand & Saigne, 1988; Saigne et al., 1987; Legrand et al., 1993)。但雪冰融水的上述两种污染不仅与单个待测的雪冰融化样品量(体积或重量)有关,还与塑料的种类和样品所暴露的大气环境有关。本文对上述三个问题进行了详细的对比研究。

## 1 样品制备及测试分析

### 1.1 样品制备

样品共分两种,一种是电阻率达到 17.5 兆欧的超纯水,另一种是蒸馏水。多数样品是前者。

装水样的容器也分两种,一种是聚乙烯塑料胶桶,容量为 20L。超纯水贮满容器后即密封桶口,使超纯水与空气隔绝;另一种是聚乙烯塑料袋,长 25cm,宽 14cm,塑料膜厚 0.08mm。水样装入袋中后用热塑封方式封口。为检验热塑封方式是否会造成甲酸、乙酸的污染和污染的强度,热塑封方式分为三种:

1)一方封口:即水样装入塑料袋后,开口端封闭。

2)二方封口:即经一端封口后的样品,在垂直封口方向再封一刀,把水样分封成两部分,每部分都有两端新封口。

3)三方封口:即经一端封口后的样品,在平行封口方向以一定间隔把水样分封成若干个体积相等的部分,然后再在垂直封口方向封一刀。这样除塑料袋底端两个相邻水样为两端封口外,其余样品都有三个新的热封边缘。

在上述样品制备过程中,还有意识地准备了体积不等的样品,以检查污染对不同体积样品的影响。此外,由于雪冰样品融化时常有部分空气被封入容器中。为检查这种随样品封入的空气是否会带来甲酸、乙酸的污染,有意识地在几个样品中封入了体积不等的室内空气。

按上述设想和方法制备的样品放置 30 天后,分别测定其中甲酸、乙酸的含量及部分暴露于空气的样品中甲酸、乙酸含量变化情况。

## 1.2 样品中甲酸、乙酸的测试分析

样品的甲酸、乙酸含量用 Dionex Model 300 型离子色谱进行测试。全部测试都是在笔者参与下完成。其测试条件如下表 1 所示。

表 1 样品中甲酸、乙酸的 Dionex 300 离子色谱测定条件  
Table 1 Working conditions of Dionex 300 ion chromatography for the analysis of formic acid and acetic acid in water samples.

分离柱	抑制器	保护柱	淋洗液	淋洗液流速	进样体积	定量管
AS4A	ASRS-I	AG4A	NaHCO <sub>3</sub>	1.5ml/min	1ml	800 $\mu$ l

样品的甲酸、乙酸定量中所用标准溶液的甲酸、乙酸浓度都为 75ng·g<sup>-1</sup>,由储备液在每天测试之前配制。

按上述测试分析方法共测试样品 26 个,其测试结果如附表所示。

## 2 样品中甲酸、乙酸的测试分析结果和讨论

### 2.1 新制超纯水和标准样品的色谱图特征

新制超纯水和标准样品是为定性认识超纯水的污染情况和定量标定污染大小而设定的基准。图 1 是标准样品的色谱图特征。该图显示出,在上述测试分析条件下,标准样品中乙酸的保留时间为 4.25 分钟,而甲酸的保留时间为 5.2 分钟。其中甲酸的响应要比乙酸强,故相同浓度下,前者流出线形成的峰

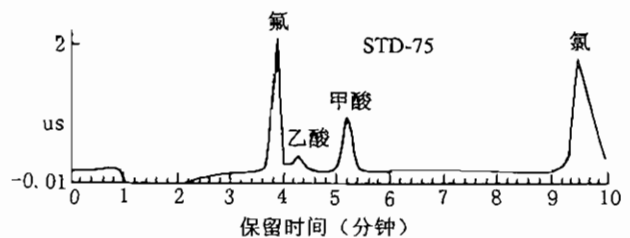


图 1 标准样品的色谱图特征。

Fig 1 Chromatogram of the standard solution with peaks of both acetic and formic acids representing 75ng·g<sup>-1</sup> in concentrations.

高和峰面积都比后者大。标准中还含有  $F^-$  和  $Cl^-$ , 二者的响应都较大,  $F^-$  的保留时间为 3.8 分钟,  $Cl^-$  的保留时间为 9.5 分钟。图 2 是新制超纯水的色谱图, 它显示出所制二次水中不含有甲酸、乙酸和  $F^-$  离子, 故而流出线表现为一条较平的基线。

## 2.2 聚乙烯塑料桶装样品中甲酸、乙酸的测定结果

在上述测试条件下, 聚乙烯塑料桶装的二次水并没有显示出可检测的来自桶壁的甲酸、乙酸的污染。其色谱图同新制的二次水一样也为一条较平的基线。这一结果同前人的研究结果(Saigne et al., 1987) 不同。一种可能的原因是塑料桶中所装的样品量较大(20L), 远大于 Saigne 等人试验中所用的几个毫升样品量, 故而由塑料桶壁中所释放的甲酸、乙酸不足以对 20L 的水样造成明显的影响。此外, 是否与桶壁的材料和放置的室温条件等因素有关, 也值得进一步的研究。虽然塑料桶壁材料为聚乙烯成份, 但一些添加剂成份可以改变塑料的物理和化学性质, 在一定的室温条件下可能不会释放出太多的甲酸、乙酸成分。

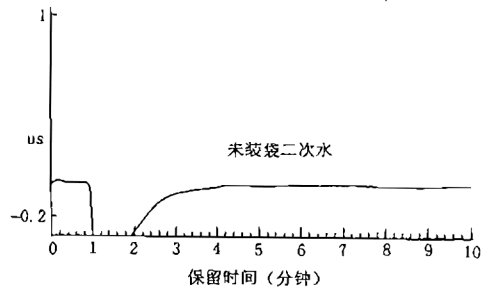


图 2 新制超纯水的色谱图特征

Fig 2 Chromatogram of made-before-analysis ultra-pure water.

## 2.3 聚乙烯塑料袋装样品中甲酸、乙酸的测定结果

同聚乙烯塑料桶相比, 聚乙烯塑料袋中样品的甲酸和乙酸含量却较高。图 3 是样品 B10.6 的色谱图, 可作为塑料袋装水样色谱图的一个代表。从图中可见, 乙酸的含量要高于甲酸, 这是本文实验研究中很典型的特征之一。

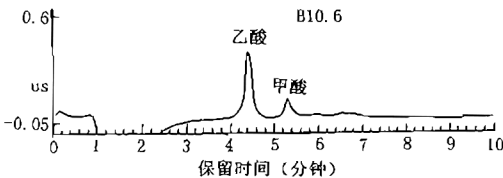


图 3 聚乙烯塑料袋中遭受甲酸、乙酸污染水样的色谱图特征

Fig 3 Typical chromatogram of the water sample contaminated by its polyethylene bag.

利用标准样品进行定量的结果显示, 本实验研究中, 塑料袋装的超纯水中甲酸的平均含量为  $10.4 \pm 12 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 乙酸的平均含量为  $191.4 \pm 101 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。甲酸、乙酸比值约为 1:18。造成这种袋装样品中甲酸、乙酸(尤其是后者)严重污染的原因是塑料袋的热塑封口。对热塑封口数量不同的样品中甲酸、乙酸含量的对比研究显示, 具三个封口的样品中乙酸平均含量为  $227.5 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 甲酸

平均含量为  $8.7 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 而具一个封口的样品中乙酸含量为  $126 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 甲酸平均含量为  $6.9 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 都低于三封口样品的相应值。热塑封口多少的不同造成的乙酸和甲酸平均含量的差别分别为  $101.5 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $1.8 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。乙酸的差别也远远大于甲酸之间的差别。这一现象进一步说明了热塑封口对乙酸造成的污染远高于甲酸的事实。由此看来, 聚乙烯

塑料袋在加热封口的过程中会向外释放出相当多的乙酸。这一过程中虽然也向外释放甲酸,但其释放量远低于乙酸。

不同样品间甲酸、乙酸污染量的比较有助于进一步认识聚乙烯塑料袋对其中水样的污染特点。图4是聚乙烯塑料袋中不同样品甲酸、乙酸污染量的变化特征,纵坐标表示样品中甲酸、乙酸的含量,横坐标表示样品号。其中除了具三封口的样品 B10.26 体积较大,故与大体积具二封口的样品放在一起外,其余样品自左向右按热塑封口由少到多顺序排放。因此横坐标上的样品可分为三组,

第一组:蒸馏水 water-B10.6,为仅有一个热封口;

第二组:B10.4-B9.24,为大体积三封口或小体积两封口的样品;

第三组:B10.10-B9.30,为小体积三封口样品。

图中显示出,各样品甲酸含量除个别(如 B9.22)表现为较高的异常外,总体上变化不大。其中几个大体积样品(B10.4-B10.26)没有显示出其甲酸的污染,甲酸含量在图中显示为零,其值还低于具有一个热塑封口的样品(第一组),然而具二封口的两个小体积样品(B9.22; B9.24)的甲酸含量却较高。这说明样品量(体积或重量)的大小是控制甲酸污染的因素之一。增加样品量可以减小水样的甲酸污染。

聚乙烯塑料袋的热塑封口虽然总体会造成超纯水中乙酸含量的大幅度增加,但并不是每个样品在相同的条件下都有相同或相近量的乙酸的增加。这就是说,聚乙烯塑料袋

的热塑封口对其中水样的污染具有随机性。这是我们发现的聚乙烯塑料袋对其中样品污染的又一个特征。图4显示出,乙酸污染量随样品热塑封口由少到多总体上呈增加变化。这从其含量变化趋势线的展布特征上可以看出。第一组样品中,蒸馏水样(Water)的乙酸污染量似乎不应低于同样具有一个热塑封口的超纯水 B10.6 样品,但之所以显示出较低的含量,可能与其较大的样品量(50-60ml)有关。第二组的几个大体积样品也显示出了较低的乙酸污染量,其中 B10.24 和 B10.26 虽然为三封口,但它造成的可能的乙酸含量的升高与其样品体积较大的效果相抵,故与两封口样品具有相同或相近水平的乙酸含量。由此可见增大样品量也可以一定程度地减少样品中乙酸的污染。第三组样品为三封口样品,因此与其它两组样品相比,具有最高的乙酸污染量。但是,尽管各种样品之间实验条件相同,彼此之间乙酸含量并不相同,而表现为较大的波动,显示出聚乙烯塑料袋的热塑封口对乙酸污染的随机特点。是什么原因造成了塑料袋热塑封口中乙酸的随机污染目前

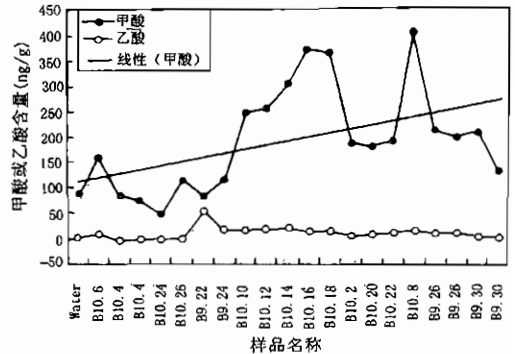


图4 甲酸、乙酸含量随不同样品变化特征。

图中样品共分三组:第一组(water-B10.6)仅有一个热封口;第二组(B10.4-B9.24)为小体积二封口或大体积三封口的样品;第三组(B10.10-B9.30)为小体积三封口样品

Fig 4 Variations of formic acid and acetic acid between water samples which were divided into three categories. Group 1(water-B10.6)represents samples with the only one thermal seal; Group 2(B10.4-B9.24)refers to samples with small volume but three thermal seals or large volume but two thermal seals; Group 3(B10.10-B9.30)those with small volume but thermal seals.

还不清楚。

## 2.4 空气对样品中甲酸、乙酸的污染

我们的实验研究显示,空气对样品中的甲酸、乙酸存在着污染,但其污染速率不象资料报导的那样达到  $3-5\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ,而是平均在  $1\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右,甚至有时检测不到暴露于大气一小时后的超纯水中甲酸、乙酸含量的增加。这可能与我们实验中所用的样品体积较大(300-400ML)有关。此外,是否空气中甲酸、乙含量很低,因而难以暴露于空气中的超纯水形成较高的污染,也是值得进一步探讨的一个问题。

塑料袋中封存有大气的超纯水样品没有显示出甲酸、乙酸含量较高的现象。用作此项实验的样品 B10.4,其平均乙酸含量为  $80\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ,甲酸含量为零。二者竟低于或等于(指甲酸)其它没有空气被封入的样品。这很可能与该样品同时又具有较大的体积有关。因此在这种实验条件下,无法评估这部分被封入气候对超纯水所造成的甲酸、乙酸的污染。然而,暴露于大气的超纯水的甲酸、乙酸污染量尚且很小,所以由此推论被封入塑料袋中的气体对超纯水中甲酸、乙酸的影响几乎可以略而不计,尤其是在超纯水的体积较大时。因此可以认为,装在无甲酸、乙酸污染的容器(如玻璃瓶)中的样品,即使有部分空气存在,但只要密封容器使其不与周围空气存在甲酸、乙酸的交换,则在封存过程中不会带来其中空气对样品甲酸、乙酸的明显污染。

## 3 甲酸、乙酸污染实验对雪冰有机酸研究的意义

野外采集的雪冰样品的包装常常利用塑料制品,如塑料袋和塑料瓶等。雪冰样品在测试分样之前的分析和融化也常常利用塑料容器。而目前市场上出售的塑料制品大部分是聚乙烯材料制成。由上述实验可见,对绝大部分雪冰中的化学参数而言,上述作法是可行的,但对其中甲酸、乙酸的研究却构成了问题。已有的研究表明,南极雪冰中的甲酸、乙酸的含量都在  $2\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 以下(Legrand & Saigne, 1988; Legrand & De Angelis, 1995),格陵兰地区雪冰中的甲酸、乙酸平均含量也都在  $10\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 以下(Legrand & De Angelis, 1996)。山岳冰川雪冰中甲酸、乙酸含量即使高于格陵兰地区,但从目前已有的中低纬度大气中甲酸、乙酸含量的研究(Dawson et al., 1980; Farmer & Dawson, 1982)看,其平均含量也不会超过  $100\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ,而聚乙烯塑料袋在热塑封口过程中可产生平均近  $200\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 的乙酸!由此看来,在进行雪冰中甲酸、乙酸的研究中对塑料制品的应用必须十分谨慎。在待测雪冰样品融化时应避开塑料容器,尤其是塑料袋,因为用塑料袋盛装融化的雪冰样品常常需要对其进行热塑封口。由于和水样封闭在一起的部分空气并不对水样的甲酸、乙酸造成明显影响,因此用玻璃瓶盛装融化的雪冰样品即使有部分空气被封入瓶中也不会对融化样品的甲酸、乙酸造成污染。相反,象已有的作法那样,如果在向瓶中充氮气的过程中使雪冰融化,则有时可能会造成样品中甲酸、乙酸含量的降低(Saigne et al., 1987)。

我们的实验中虽然没有发现空气对水样中甲酸、乙酸的较高污染,但在本研究的实验

条件下,空气的污染也同样存在。因此在雪冰有机酸研究中,应该在测试分析之前临时进行样品的融化,尽量避免过早融化而带来的可能的空气污染。

## 4 结论

4.1 聚乙烯塑料容器对其中水样的甲酸、乙酸造成的污染,不仅与塑料容器的种类有关,更与容器使用过程中的操作方法(如热塑封口)和操作过程(如热塑封口的多少)有关。

4.2 聚乙烯塑料袋的热塑封口过程是水样中甲酸、乙酸污染的一个重要来源,其对乙酸的污染远高于甲酸,平均污染量是后者的 18 倍。且对乙酸的污染具有随机性,而对甲酸则不明显。

4.3 空气对水样造成的甲酸、乙酸的污染,与空气环境有关。与水样封闭在一起的部分空气不会给水样中的甲酸、乙酸含量带来明显的影响,尤其是当水样体积较大时更是如此。

4.4 在雪冰样品的甲酸、乙酸测定时,应尽可能地增加融化的雪冰样品量。在雪冰样品的处理过程中,尤其不应进行雪冰塑料容器的热塑封口。



附表 实验样品名称、特点及其甲酸、乙酸含量

Appendix Water samples studied in this article.

样品名称	样品特点			甲酸、乙酸含量( $\text{ng} \cdot \text{n}^{-1}$ )	
	封口多少	空气有无	体积(ml)	乙 酸	甲 酸
distilled-water	1	无	50-60	90.3	4.1
sample-b10.6	1	无	5-6	161.8	9.8
sample-b10.4	2	有	20-30	83.6	0.0
sample-b10.4	2	有	20-30	74.9	0.0
sample-b10.24	3	无	20-30	48.7	0.0
sample-b10.26	3	无	20-30	113.2	0.0
sample-b9.22	2	无	5-6	80.2	55.4
sample-b9.24	2	无	5-6	115.6	18.2
sample-b10.10	3	无	5-6	248.8	15.1
sample-b10.12	3	无	5-6	255.5	17.1
sample-b10.14	3	无	5-6	304.8	19.3
sample-b10.16	3	无	5-6	374.2	12.3
sample-b10.18	3	无	5-6	365.0	15.2
sample-b10.2	3	无	5-6	186.9	6.3
sample-b10.20	3	无	5-6	179.5	6.8
sample-b10.22	3	无	5-6	186.7	8.0
sample-b10.8	3	无	5-6	404.7	13.8
sample-b9.26	3	无	5-6	211.8	9.2
sample-b9.26	3	无	5-6	197.6	7.2
sample-b9.30	3	无	5-6	203.4	0.0
sample-b9.30	3	无	5-6	131.7	0.0
sample-unbaged-1	无	无	20000	0.0	0.0
sample-unbaged-3	无	无	20000	0.0	0.0
sample-unbaged-4	无	无	20000	0.0	0.0
sample-unbaged-7	无	无	20000	0.0	0.0
sample-unbaged-8	无	无	20000	0.0	0.0

参考文献

- Keene, W. C. ; Galloway, J. N. and Holden, Jr. J. D. 1983. Measurement of Weak Organic Acidity in Precipitation From Remote Areas of the World. *J. Geophys. Res.* 88(C9):5122-5130
- Keene, W. C. Galloway, J. N. 1986. Considerations Regarding Sources for Formic and Acetic Acids in the Troposphere. *J. Geophys. Res.* 91(D31):14466-14474
- Graedel, T. E. ; Hawkins, D. T. and Claxton, L. D. 1986. *Atmospheric Chemical Compounds: Sources, Occurrence and Bioassay*, Academic, Orlando, Fla
- Talbot, R. W. ; Beecher, K. M. , Harris, R. C. et al 1988. Atmospheric Geochemistry of Formic and Acetic Acids at a Mid-Latitude Temperate Site. *J. Geophys. Res.* 93(D2):1638-1652
- Jacob, D. J. and Wofsy, S. C. 1988a. Photochemical production of carboxylic acids in a remote continental atmosphere, in Acid Deposition Processes at High Elevation Sites, edited by M. H. Unsworth, D. Reidel, Hingham, Mass
- Jacob, D. J. and Wofsy, S. C. 1988b. Photochemistry of Biogenic Emissions Over the Amazon Forest. *J. Geophys. Res.* 93(D2):1477-1486
- Madronich, S. and Calvert, J. G. 1990. Permutation reactions of organic peroxy radicals in the troposphere. *J. Geophys. Res.* 95:5697-5715
- Madronich, S. ; Chatfield, R. B. ; Calvert, J. G. et al 1990. A photochemical origin of acetic acid in the troposphere. *Geophys. Res. Lett.* 17:2361-2364
- Lelievold, J. and Crutzen, P. J. 1991. The role of clouds in tropospheric chemistry. *J. Atmos. Chem.* 12:229-267
- Kawamura, K. ; Ng, Lai-Ling and Kaplan, I. R. 1985. Determination of Organic Acids(C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>) in the Atmosphere, Motor Exhausts, and Engine Oils. *Environ. Sci. Technol.* 19:1082-1086
- Keene, W. C. and Galloway, J. N. 1998. The biogeochemical cycling of formic and acetic acids through the troposphere: an overview of current understanding. *Tellus*, 40B:322-334
- Talbot, R. W. ; Vijgen, A. S. and Harriss, R. C. 1992. Soluble species in the Arctic summer troposphere: Acidic gases, aerosols, and precipitation. *J. Geophys. Res.* 97:16531-16543
- Lefer, B. L. ; Talbot, R. W. ; Harriss, R. C. et al. 1994. Enhancement of acidic gases in biomass burning impacted air masses over Canada. *J. Geophys. Res.* 99(D1):1721-1737
- Dibb, J. E. Talbot, R. W. and Bergin, M. H. 1994. Soluble acidic species in air and snow at Summit Greenland. *Geophys. Res. Lett.* , 21:1627-1630
- Arlander, D. W. ; Cronn, D. R. ; Farmer, J. C. et al. 1990. Gaseous Oxygenated Hydrocarbons in the Remote Marine Troposphere. *J. Geophys. Res.* 95(D10):16391-16403
- Likens, G. E. , Keene, W. C. and Miller, J. M. et al. 1987. Chemistry of precipitation from a remote, terrestrial site in Australia. *J. Geophys. Res.* 92:13299-13314
- Andreae, M. O. ; Talbot, R. W. ; Andreae, T. W. et al 1988a. Formic and Acetic Acid Over the Central Amazon Region, Brazil. I. Dry Season. *J. Geophys. Res.* 93(D2):1616-1624
- Andreae, M. O. ; Browell, E. B. , Garstang, M. et al 1988b. Biomass burning emissions and associated haze layer over Amazonia. *J. Geophys. Res.* 93(D2):1509-1527
- Legrand, M. and De Angelis, M. 1995. Origins and variations of light carboxylic acids in polar precipitation. *J. Geophys. Res.* 100(D1):1445-1462
- Legrand, M. and De Anglis, M. , 1996. Light carboxylic acids in Greenland ice: A record of past forest fires and vegetation emissions from the boreal zone. *J. Geophys. Res.* 101(D2):4129-4145

- Legrand, M. ; De Angelis, M. and Maupetit, F. 1993. Field investigation of major ions along Summit (central Greenland) ice cores by ion chromatography. *J. Chromatographr.* 640(1-2): 251-258
- Saigne, C. ; Kirchner, S. and Legrand, M. 1987. Ion-chromatographic measurements of ammonium, fluoride, acetate formate and methanesulphonate ions at very low levels in Antarctic ice. *Analytica Chimica Acta*, 203: 11-21
- Legrand, M. and Saigen, C. 1988. Formate, Acetate and Methanesulfonate measurements in Antarctic ice: Some geochemical implications. *Atmos. Environ.* 22(5): 1011-1017
- Dawson, G. A. ; Farmer, J. C. and Moyers, J. L. 1980. Formic and acetic acids in the atmosphere of Southwest U. S. A. *Geophys. Res. Lett.* 7: 725-728
- Farmer, J. C. and Dawson, G. A. 1982. Condensation sampling of soluble atmospheric trace gases. *J. Geophys. Res.* 87: 8931-8942
- Saigne, C. ; Kirchner, S. and Legrand, M. 1987. Ion-chromatographic measurements of ammonium, fluoride, acetate formate and methanesulphonate ions at very low levels in Antarctic ice. *Analytica Chimica Acta*, 203: 11-21

# 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川和希夏邦马峰抗物热 冰川中不溶微粒的表面化学研究<sup>①</sup>

刘保中<sup>1</sup> 李忠勤<sup>1</sup> 吕功煊<sup>2</sup>

(1 中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站, 兰州 730000)

(2 中国科学院兰州化学物理研究所 OSSO 重点实验室, 兰州 730000)

**摘要** 本文首次用表面分析技术对希夏邦马峰抗物热冰川和天山乌鲁木齐河源 1 号冰川中的不溶微粒(本文中专指矿物质粉尘, mineral dust)进行了表面化学研究(以后分别简称为希峰粉尘和天山粉尘)。测试结果表明, 希峰粉尘的表层含有较粉尘内部高得多的硫酸盐以及亚硫酸盐成分; 然而在天山粉尘的表层却没有发现高于仪器检测下限的硫酸盐, 粉尘的内部(次表层)也不含有硫酸盐成分, 相反在天山粉尘的表层有机氮化合物浓度却比较高。作者认为, 这种差异在一定程度上反映了两个采样地点生态环境的不同, 同时还反映出影响这两个地点雪冰记录的大气环流的差别。

**关键词** 天山 希夏邦马峰 冰川化学 雪冰微粒 表面化学特征

## 1 引言

地球环境科学家们对冰芯研究一经开始, 冰芯中的微粒便被作为一个重要的研究对象确立了。在过去, 人们研究冰芯微粒的主要目的是通过冰芯中微粒记录的科学诠释从而揭示古气候环境的某些信息。人们研究冰芯微粒所采用的研究方法不外乎三种: 物理的、化学的以及统计的。运用物理的和统计的方法, 主要是描述冰芯微粒的浓度、形状、尺寸分布、光学性质等。化学方法主要是用来分析冰芯微粒的化学组成以及主要的矿物质成分(Gaudichet et al., 1988; Petit et al. 1981; Briat et al., 1982), 其主要的测试仪器有电镜(Electronmicroscope)、中子活化仪器分析等。其实, 上述仪器也是人们研究大气气溶胶化学特征的主要手段。从八十年代初期以后, X 射线光电子能谱(XPS)作为一个新的、而且富有成效的固体表面分析技术被引入到了大气气溶胶的研究中, 并且取得了大量的研究成果。在本工作中, 我们也初次尝试了用表面分析技术(XPS)对雪冰中的矿物粉尘进行表面化学的研究。雪冰中的不溶微粒, 绝大多数都属于矿物质粉尘。这些矿物质粉尘在沉降到冰川中以前, 经历了复杂的大气物理及化学过程, 而这些大气过程在粉尘的表面所

<sup>①</sup> 国家自然科学基金(49501004)、中国科学院冰冻圈专项基金及 OSSO 国家重点实验室基金资助; 同时受攀登计划(95-预-40)和中科院重大项目(KZ951-A1-402)支持。

造成的某些结果,也必将因大气粉尘的干、湿沉降而记录在冰川中。基于上述理论,我们认为,通过表面分析技术对雪冰中矿物质粉尘表面的物质特征进行研究,可以为我们揭示雪冰中的矿物质粉尘所携带的环境信息。本文首次对希峰粉尘和天山粉尘表面化学特征进行了研究。

## 2 实验部分

### 2.1 样品的采集与处理

本文所研究的雪冰矿物质粉尘采集于两个不同地区的冰川。1991年,中苏联合冰川考察队在希夏邦马峰抗物热冰川(28°28'N, 85°49'; 海拔 6150m)钻取了一根 13m 长的浅冰芯,该冰芯直至这次实验前一直保存在中科院兰州冰川冻土研究所的冷库中。取冰芯上部 2m(无裂纹,保存完好),剔除表面 1.5cm 冰体,取其内核。分上、下两段(各 1m),待其自然溶解后用无灰滤纸过滤、烘干,制备出不溶微粒样品 2 个,每个样品重约 0.2g。样品 1 和 2 分别对应 90 年代初到 80 年代中、80 年代中到 80 年代初两个时段。冰芯中的化学成分来自大气气溶胶的干、湿沉积,2 个样品反映了相应时段该地区大气对流层中上部不溶粉尘气溶胶颗粒的平均状况。样品分析在中科院兰州化学物理研究所碳基合成与选择氧化(OSSO)国家重点实验室进行。使用英国产 VG-ESCLAB210 型多功能 X 射线光电子能谱仪,在不同程度 Ar 离子流溅射下,对样品 1 和 2 的混合体进行  $S_{2p}$  电子高分辨谱测量,以观测冰芯中颗粒物表面及次表面(表面几十个埃以下)的 S 元素特征;同时测量  $Fe_{2p}$  电子的高分辨谱,作对比分析。用配置 EDAX-9100 型 X 射线能谱仪的 SEM-1200 型扫描电镜分别对样品 1 和 2 进行了组分分析。另外,1997 年在乌鲁木齐河源天山 1 号冰川,采集了三个雪坑污化层中的雪样,采样地点均在海拔 4000m 以上;在野外用清洁的保鲜袋收集雪样,雪样自然融化后溶液全部转移至干净透明的 450ml 塑料瓶中,待瓶中悬浮的固体颗粒物多数沉降在瓶的底部后倾析出上层溶液,重复以上的过程使样品得到浓缩;样品从野外处理后直到实验室测试前,始终保持冷冻状态;为了检验样品的实验室处理过程对雪冰中矿物质粉尘的保真性的影响,我们特别对天山粉尘采取了不同于希峰粉尘的实验室处理方法,把融化后的样品离心,倾析出离心管中的上层液体后置之于日光灯下干燥,块状固体直接拿去测试。

### 2.2 方法介绍

X 射线光电子能谱(简称 XPS 或 ESCA)是八十年代初发展起来的一种研究固体表面(深度数十埃范围)化学特征的分析技术。当原子处于不同的氧化态或处于不同的化学环境时,由于价电子分布的变化,使原子内电子的结合能发生微小的变化(化学位移),XPS 能够利用电子结合能的化学位移效应测定除 H、He 以外所有元素的化学状态。若借用离子溅射技术,XPS 还可分析样品表层下的元素随深度而变化的纵向分布情况。

扫描电镜(SEM)是观察细微颗粒形貌的一种有效手段,对于配置有X射线能谱仪(EDAX)的扫描电镜(SEM/EDAX),不仅可以对固体样品进行形貌分析而且同时还可以进行化学组成分析。目前,通过该技术可一次测出原子序数大于6的全部元素的含量。对自然界出现的元素,如S、Fe等有较低的检测下限( $10^{-15}$ g)。另外,这种测试手段对样品没有破坏性,这种特点容许我们对冰芯中的不溶微粒进行多方面的研究。

### 2.3 主要仪器及其工作状态

本工作所采用的X射线光电子能谱仪是由英国VG公司生产。Mg K $\alpha$ -X射线源激发样品,在超高真空下直接测量颗粒物中元素某内层电子的高分辨谱。能量分析仪的通能(CAE)是40eV,扫描步长(STEP)为30m eV,对样品扫描8次。溅射样品所用的Ar离子流的束压4kV,溅射面积 $6 \times 6(\text{mm})^2$ 。用人们通常采用的C(1S)电子结合能(284.6eV)校正因样品荷电效应引起的能谱位置移动。

玻璃态石墨片:将直径6mm的玻璃态石墨棒,切平后磨平,抛光制得镜面。片厚2mm,依次用甲苯、乙醇和去离子水洗净,存放于密闭器内,用于装载样品进行化学组分分析。

扫描电子显微镜(JEM1200型):配EDAX-9100型X射线能谱仪。样品置于石墨片上,直接在扫描电镜下观测和分析。进行X射线能谱分析时,电子束加速电压为15kV,束流为0.2nA。工作距离为39mm,X射线出射角为 $28^\circ$ ,计数率1000左右,记数时间为180s。数据由计算机处理,采取多点扣除本底方法和ZAF修正,浓度是元素质量百分比浓度。

## 3 结果与讨论

### 3.1 希峰粉尘的表面化学特征及其所携带的环境信息

#### 3.1.1 希峰粉尘的表面化学特征

我们通过XPS固体表面分析技术对希峰粉尘的表面、次表面的化学特征,以及该粉尘含有的 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 在其内部随深度的分布进行了测定。

图1是未经氩离子流( $\text{Ar}^+$  beam)溅射的希峰粉尘表层的 $\text{S}_{2p}$ 电子能谱图,显示的是希峰粉尘表层的S元素特征。根据计算机所给出的拟合曲线(虚线)可知,谱图给出了三个明显的峰值:166.6eV、168.5eV、162.4eV依次分别对应于 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{FeSO}_4$ 和其它形式的金属硫矿(可能有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿等)中的 $\text{S}_{2p}$ 电子的特征峰。其中,162.4 eV的峰最强,表明颗粒物表层中含硫矿化物的含量相对较高;168.5eV的峰比166.6eV的峰略强,表明 $\text{SO}_4^{2-}$ 的含量比 $\text{SO}_3^{2-}$ 的含量略高。

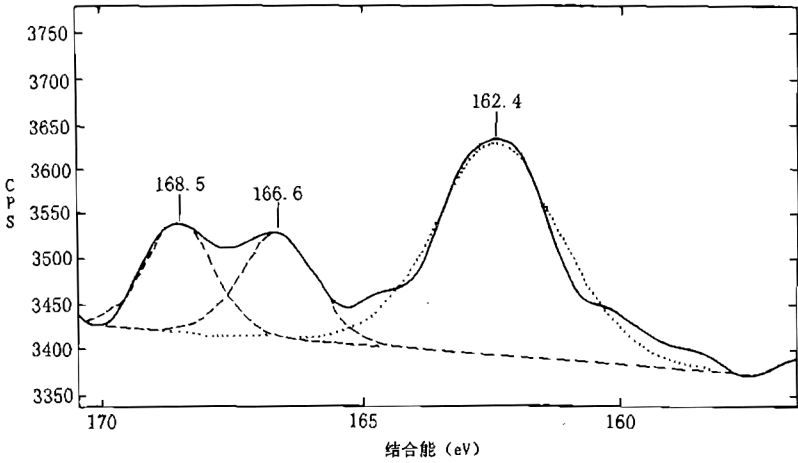


图 1 未经氩离子流溅射的希峰粉尘表层 S<sub>2p</sub> 电子能谱图

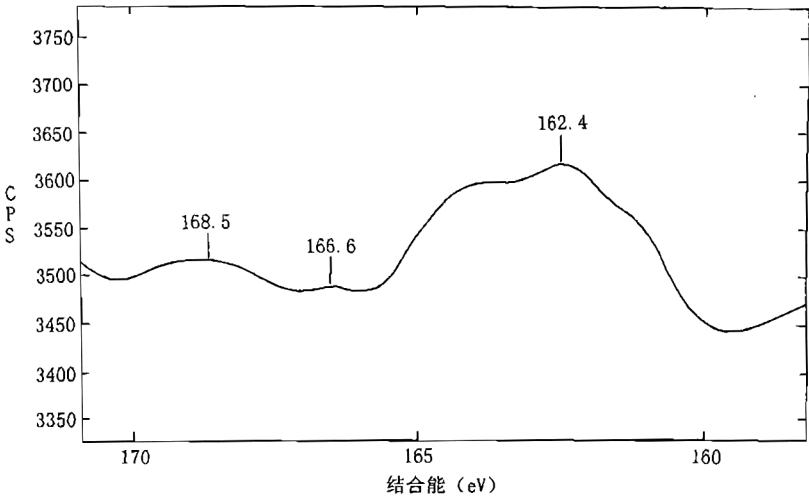


图 2 4kV 的 Ar 离子流溅射 15min 后希峰粉尘次表层的 S<sub>2p</sub> 电子能谱图

图 2 是用 4kV 的氩离子流溅射 15 分钟后的 S<sub>2p</sub> 电子能谱图, 给出了希峰粉尘表层以下(即次表层)的 S 元素特征。可以看出, 162.4eV 的峰强变化很小, 而 168.5eV 和 166.6eV 的峰强明显减弱。表明希峰粉尘表层的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 只是附着在颗粒物表面, 并非希峰粉尘的原始组成。

图 3 是对希峰粉尘所做的 Fe<sub>2p</sub> 电子能谱图分析结果。图中 1、2 和 3 分别是未经 Ar 离子流溅射和溅射 5、10min 所得到的电子能谱图。3 个谱带的形状基本相同, 表明 Fe 在希峰粉尘表面及内层形态稳定、含量均一。710.7eV 是 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中 Fe<sub>2p</sub> 电子的特征峰, 这表明在希峰粉尘中存在的各种形式的铁氧化物中, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的相对含量较高, 且随深度稳定分布。

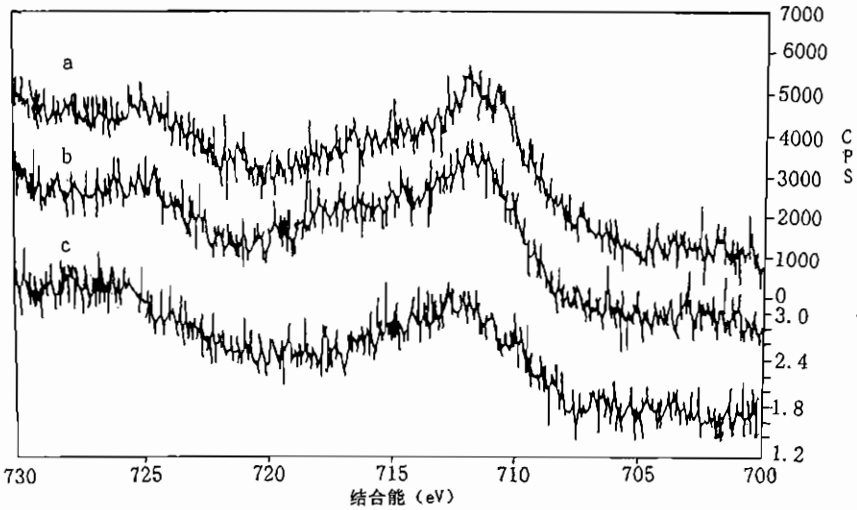


图 3 不同强度的溅射条件下希峰粉尘不同深度层的 Fe2p 电子能谱图  
a. 没有溅射 b. 溅射 5 分钟 c. 溅射 10 分钟

表 1 通过 SEM/EDAX 技术测得希峰粉尘的元素组成

元素	平均浓度(重量百分比)		元素	平均浓度(重量百分比)	
	样品 1	样品 2		样品 1	样品 2
Al	1.7	15.73	Cl	0.23	nd <sup>a)</sup>
Si	11.17	43.87	S	7.38	1.52
Ca	6.88	1.06	Ti	5.38	1.52
Mg	11.42	2.11	Cr	4.26	nd
K	4.08	10.33	Zn	nd	0.14
Fe	12.70	22.25	Pb	10.12	nd

a)nd 表示未检测到

表 1 是用 SEM/EDAX 技术测得的希峰粉尘的元素组成。结果显示,尽管两个样品在某些元素的含量上有所差别,但都含有较高含量的 Fe、Ti 等过渡金属元素。这些金属的氧化物都是被许多研究证实的光催化剂 (Faust B. C., et al., 1989; Christian B., et al., 1995)。

### 3.1.2 希峰粉尘所反映的环境信息

冰芯中的  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{SO}_3^{2-}$  以附着的方式存在于微粒物表面,这一方面证实了大气粉尘对  $\text{SO}_x$  的确具有“捕捉”能力,另一方面也很容易从中推断出两者属于不同的来源。有基



于此,我们推断冰芯中  $\text{SO}_4^{2-}$  和粉尘记录表现出的正相关关系很大程度上起因于大气圈中粉尘对  $\text{SO}_x$  的“捕捉”,而不仅仅是具有相同的来源。事实上希峰冰芯中的微粒主要来自于青藏高原粉尘季节“亚洲粉尘”的输入。而  $\text{SO}_4^{2-}$  则是大气中的  $\text{SO}_x$  在粉尘微粒的作用和影响下经过一系列化学物理变化过程形成的最终沉积物,这些  $\text{SO}_x$  可以来自自然成因以及人为污染。尽管许多地区粉尘中都含有高原北部盐湖蒸发盐地层的硫酸盐成分,这些硫酸盐成分也显然与风尘浓度相关,但它们并不是冰芯中  $\text{SO}_4^{2-}$  的唯一来源,并且这些硫酸盐成分在冰芯中的存在方式不同,易于区分;况且,就我们所研究地这根冰芯中的矿物质粉尘的测试结果来看,硫酸盐并非粉尘颗粒物的原始组成部分,否则实验结果应该是相反的,即硫酸盐在粉尘的内部的含量应该不低于其外部的含量。

最近几年随着国际全球变化研究的深入展开,关于粉尘在大气传输过程中对大气中的污染性气体  $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$  所起的物理化学作用及其对环境变化影响的研究相继出现。目前国际科学界对大气气溶胶所进行的或者是已经完成的研究计划主要有:国际全球大气化学实验(IGAC)的重要支课题——大气海洋化学实验(AEROCE)以及海洋气溶胶与气体交换(MAGE)计划中的两次气溶胶特征实验(ACE-1, ACE-2);北极气体和气溶胶采样计划(AGASP);还有关于亚洲粉尘对太平洋气溶胶的影响等方面的研究。在这些研究报告中普遍报告了一个共同的研究事实:大气粉尘(主要是针对大陆干旱区及半干旱区源的矿物质粉尘)对大气中的污染性气体  $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  以及  $\text{O}_3$  等有巨大的影响,在相当部分的大气粉尘的表面往往覆盖有硫酸盐。希峰冰芯微粒的研究结果同样证明,大气中的自然源的粉尘在其随气流的传输过程中,可能是污染性气体的富集场所和多相化学转化的反应场所。大气粉尘的这种作用将在很大程度上影响气候的变化;再者,大气粉尘在传输过程中另一个重要作用是作为水气的凝结核影响降水的分布,因此对于冰芯研究中颗粒物的数密度、粒径分布与降水积累量间的关系也是值得深入研究的方向;第三,本研究所得出的结论将在一定程度上加深人们对冰芯研究中粉尘记录与其它的阴阳离子诸如  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  记录的相关性的认识。综上所述,对于冰芯粉尘的深入研究将有利于推动冰芯中现代及过去环境记录的科学阐述。

目前国际科学界在大气粉尘化学特征方面的研究,虽然已揭示了自然界存在的一个事实——大气粉尘是大气中污染性气体的多相化学反应的场所,但是均未明确指出种种可能的化学反应机制。在这项研究中,我们所主要依赖的分析仪器是 XPS,在我们对样品所进行的处理及分析过程中,样品表面的化学物质表现出了较好的保真性,我们认为这种保真性的存在,在很大程度上是由于粉尘表面的还原性气体(例如  $\text{SO}_2$ )与粉尘表层的过渡金属氧化物直接作用而形成的,由此我们认为大气粉尘表层的过渡金属氧化物(主要是  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ )的光催化作用可能是其大气化学过程的一种重要机制。(目前,我们的实验室模拟反应已经证明了这种可能性,该研究将另文专门论述)。

## 3.2 天山粉尘的表面化学特征及其所携带的环境信息

### 3.2.1 天山粉尘的表面化学特征

我们用同样的技术手段对天山粉尘进行了研究。针对于希峰粉尘的研究结果,我们将研究重点放在了三个方面:首先,探究天山粉尘的表面化学状态;其次,通过实验论证样品的处理过程对测试结果的影响,即对雪冰矿物质粉尘的大气过程记录的保真性作出评价;第三,在以上系统研究的基础上,评价 XPS 测定雪冰中矿物质粉尘表面化学特征的优缺点。以上三个方面的研究,将为今后开展雪冰矿物质粉尘表面化学特征方面的研究提供依据。

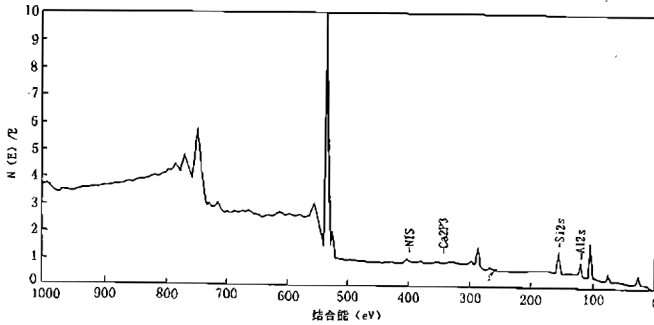


图 4a 天山粉尘表层主要化学元素的全分析能谱图

图 4a 是通过 XPS 测定得天山粉尘表层主要化学元素的全分析能谱图。XPS 所配置的计算机在谱图中列出了粉尘表层主要元素的标志峰。

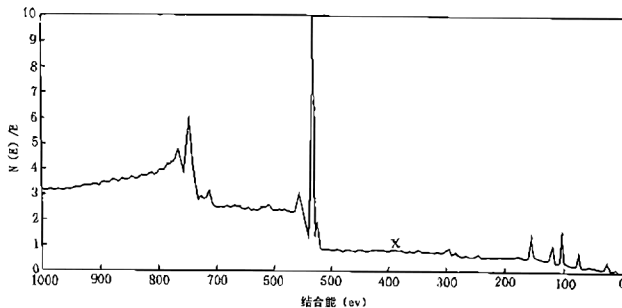


图 4b 经氩离子束溅射后测到的天山粉尘次表层主要元素的全分析能谱图

图 4b 是经过氩离子束溅射后测定得天山粉尘次表层主要元素的全分析能谱图。对比 a、b 两谱图,其最大的区别是氮元素的显著降低。这种结果表明,在天山粉尘表层存在的氮元素不属于粉尘本身所固有的原始组成部分。

氮元素浓度在天山粉尘表层及次表层存在有显著的差异,为了与之作对比,我们测定了 Ca 元素在天山粉尘表层及次表层的高分辨能谱图。图 5a、图 5b 中的两个谱图是单一元素的高分辨能谱图,分别显示溅射前后 Ca 元素在粉尘表层与次表层的分布情况,对比两个图,很清楚地可以发现——次表层的 Ca 元素含量比表层明显高。事实上,天山雪冰污化层中的矿物质粉尘(指可以排除局地主要影响的高海拔雪冰中的矿物质粉尘)大多属于天山周围分布的几个典型沙漠中的粉尘,而人类活动产生的颗粒物在这些污化层中决非占主要。Ca 元素在粉尘表层及次表层的差别,我们认为这是由于雪冰中的淋溶现象以及实验处理过程中粉尘表面的 Ca 元素溶解造成的。这种结果恰恰与天山粉尘中 N 元素的测试结果形成鲜明的对比。这就说明:淋溶过程、样品的溶解过滤、甚至是离心过程都

不能完全消除雪冰矿物质粉尘表面对大气环境过程记录的保留。事实上,不论是希峰粉尘的过滤收集还是天山粉尘的离心收集,测试结果都清楚得反映出了两种雪冰矿物质粉尘中某些元素在表层与次表层间存在得差异。至于样品过滤收集与离心收集对测试结果所产生的影响,我们将在以后的工作中继续研究。由此我们认为,雪冰矿物质粉尘(特指具有大气过程经历的矿物粉尘)记录了该粉尘所经历的某些大气过程中的物理及化学行为,而且对这些行为的记录具有很好的“保真性”,深入这个方面的研究可以为我们揭示现代及过去的大气环境变化情况。另外,根据上述研究结果我们认为,把 XPS 这种表面分析技术引入雪冰矿物质粉尘表面化学特征方面的研究中去将对冰芯研究有深远的影响。

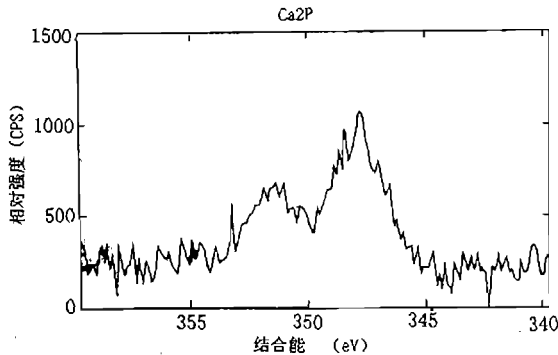


图 5 a 天山粉尘表层分布的 Ca 元素的高分辨能谱图

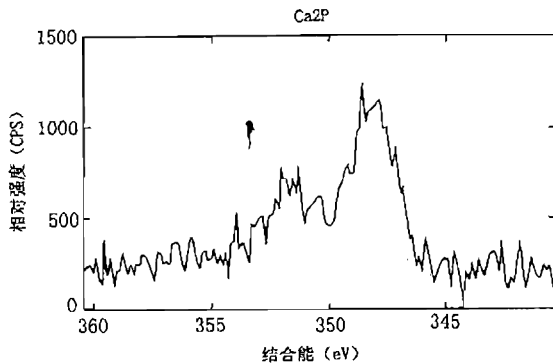


图 5 b 天山粉尘次表层分布的 Ca 元素的高分辨能谱图

### 3.2.2 天山粉尘所反映的环境信息

对于天山雪冰粉尘表层的 N 元素含量高于其次表层的事实,我们的分析如下:天山三面与大沙漠相邻,东有戈壁滩,南有塔克拉玛干沙漠,北有古尔班通古特沙漠。中国西北部的这些干旱与半干旱地区被普遍认为是大气圈中天然粉尘的重要源区之一,研究表明这些地区的粉尘可以跨越太平洋到达美国的中途岛(Mitsuo Uematsu, et al., 1985)。每年的仲春到初夏期间,受西风带及北部西伯利亚冷空气的共同作用,在这些区域都会产生黑沙暴,在天山雪冰中污化层中的粉尘主要是黑沙暴的作用结果。天山附近大都是草场和

植物带,是自然源的  $\text{NO}_x$ 、 $\text{NH}_3$  及有机氮化合物的产生地。当黑沙暴袭掠该地区时,黑沙暴中的颗粒物会充分地吸附这些气体,随之在颗粒物的表面参与各种化学反应,沉降后在雪冰中留下大气过程的这些记录。我们对天山粉尘可能的大气化学行为进行了实验室的模拟研究,结果表明这些颗粒物有能力对所吸附的二氧化硫进行光催化氧化从而在颗粒物的表面生成硫酸盐,这种实验室的模拟结果从一个方面证明了希峰冰芯粉尘的表面硫酸盐可能形成原因(另有文章详述),同时根据模拟实验所得到的认识,我们初步了解到粉尘对所吸附  $\text{SO}_2$  的光催化氧化是很快的,所以如果黑沙暴中的颗粒物一旦和空气中的  $\text{SO}_2$  在颗粒物的表面相互作用,将会有硫酸盐产生。就此而论,在天山附近的大气环境中, $\text{SO}_2$  并不占主要成分。通过以上的实验结果,我们认为天山雪冰中的硫酸盐可能以湿沉降为主。

#### 4 两地雪冰矿物质粉尘研究的比较

从我们以上的研究结果来看,希峰粉尘与天山粉尘的表面化学状态具有显著差异。从各自粉尘的来源来看,天山雪冰污化层中的矿物质粉尘来源相对较明确,而希峰冰芯中的矿物质粉尘的来源则存在一定的争议,有一些研究认为局地影响相对较强,有的认为中国西部和西北部干旱区与半干旱区“亚洲粉尘”的季节性南移所导致。因为希峰粉尘是从一段 13m 长的冰芯上端 2m 滤取的,这些冰芯粉尘是从八十年代初到九十年代初所有粉尘累积情况的综合反映,代表的是这一段时间的综合情况,所以在本文中我们姑且把这种争议搁置在一边。不过可以肯定的是,希峰粉尘表层的硫酸盐成分明显形成于大气传输过程。

从根本上说,大气粉尘(矿物质粉尘)表面化学特征的差异取决于两个因素:大气粉尘的性质与大气粉尘周围的环境。大气粉尘的性质包括:粒度、形状、化学成分在表层的分布等。不同粒度、形状的大气粉尘与各种大气成分的相互作用不同;大气粉尘的化学成分在表层不同的分布情况,也直接影响多相化学反应的类型。由此在比较两地雪冰矿物质粉尘表面化学特征的差别后,我们认为产生这种差异的原因主要有两个方面:一个是影响采样地点的大气环流不同,这些大气环流强烈地影响着大气气溶胶在采样地点的沉降;另一个方面是采样地点周围的生态环境、或者是大气环流运动过程中所袭掠地区的生态及人类生活环境的不同。经初步分析,我们认为两地雪冰矿物质粉尘表面化学特征的差别正是以上两个方面的差异的反映。

#### 5 结束语

当前国内外的研究成果都揭示出,大气矿物质粉尘的表面是大气反应产生的重要环境,这种研究成果与我们最初开展此项研究的理论基础及研究成果不谋而合。然而更重的是,深入雪冰微粒表面化学特征的研究,将会在某种程度上拓宽认识冰芯对现代及过去环境记录的范围。当然,本工作毕竟是初次对雪冰中的粉尘进行表面化学特征的研究,也

是首次把表面分析技术引入到冰芯粉尘的研究中来,因此我们还有大量的工作待做。目前,我们在珠峰垭口东绒布冰川成功地采集到了污化层中的矿物质粉尘,继续深入这方面的研究,并且计划在珠峰垭口以及天山采集大气粉尘,作比较研究。

致谢 侯书贵博士对全文进行了审阅及修改特此感谢。

### 参考文献

- Briat M. , et al. ,1982. Late glacial input of eolian continental dust in the Dome C ice core: additional evidence from individual microparticle analysis. *Annals of Glaciology*, 3:27 - 31
- Christian Brandt, Rudi van Eidik, 1995. Transition metal - catalysed oxidation of sulfur(IV) oxides: Atmospheric - relevant processes and mechanisms. *Chem. Rev.* , 95:119 - 190
- Faust B. C. , Hoffmann M. R. , Bahnemann D. W. , 1989. Photocatalytic oxidation of sulfur dioxide in aqueous suspensions of  $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ . *J. Phys. Chem.* , 93:6371 - 6381
- Gaudichet A. , Anglis D. , et al. , 1988. Mineralogy of Insoluble Particles in the Vostok Antarctic Ice Core over the Last Climate Cycle(150K<sub>y</sub>). *Geophysical Research Letter*, 15(13):1471 - 1477
- Mitsuo Uematsu, Robert A. Duce, et al. , 1985. Deposition of atmospheric mineral particles in the north Pacific Ocean. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 3:123 - 138
- Petit J. R. , et al, 1981. Ice age aerosol content from East Antarctic ice core samples and past wind strength. *Nature* 293:391 - 394

# 乌鲁木齐河源区高寒冰缘植物群落的生态特征 及其与环境关系的研究<sup>①</sup>

安黎哲<sup>1,2</sup> 刘艳红<sup>3</sup> 陈拓<sup>1</sup> 冯国宁<sup>4</sup> 冯虎元<sup>2</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 2 兰州大学生物系

3 甘肃省高科技创业服务中心 4 甘肃省环境保护研究所)

**摘要** 本文对乌鲁木齐河源区高寒冰缘植物群落进行了调查和生态环境分析。研究了高寒冰缘植物对寒区环境在形态结构和繁殖方式等方面的适应特征及其生态对策。在该区域垂直带谱中,植被包括了两个垂直带:高山草甸和高山垫状植被。此外,在高山流石堆上具有处于演替早期阶段的高山植物群聚。主要植物群系有:苔草群系、蒿草群系、早熟禾群系、四蕊山莓草群系、高山红景天群系、簇生柔籽草群系、珠芽蓼群系等七个,共包括 27 类植物群落(群丛)。决定该区植物群落类型和空间分布的主要生态因子是温度(海拔)和水分。同时,对不同的植物类群和植物群落在改善土壤、气候条件和维持生态系统平衡等方面进行了阐述。

**关键词** 乌鲁木齐河源 高寒冰缘植被 群落特征 生态作用

位于天山中段的乌鲁木齐河源区,自末次冰期以来经历了多次冰川作用,从海拔 3820m 的现代冰川末端至海拔 3000m 的望峰之间新老冰碛绵延 12km,是进行高山冰川、冻土、干旱区高山地理研究的理想场所,自 1959 年以来,在冰川<sup>[12-13]</sup>、水文气象<sup>[7,8]</sup>、冰雪物理<sup>[9,10]</sup>、冻土与冰缘<sup>[1,5-7]</sup>、地貌<sup>[4]</sup>、气候变化<sup>[2]</sup>、第四纪冰川环境<sup>[3]</sup>等方面进行了深入的研究,并取得了大量的研究成果,而在植物群落的发育、类型、生态特征、植物的适应性特征等生物过程及其与环境关系方面的研究未见有深入的报道。本文作为乌鲁木齐河源区高寒冰缘植被系列研究的一部分,对该区植物群落的分布、类型及生态特征及其与环境的关系进行了研究,旨在探讨寒区冰缘植物群落及其与环境之间的相互关系,这对充实和发展冰川冻土、寒区植物的发育、演化和寒区生态学有着重要的意义,同时可为区域环境和资源的变化及其保护提供理论依据。

## 1 研究方法

### 1.1 样地位置及生态特征

<sup>①</sup> 本文得到中科院重点项目 B(KZ952-S1-216)和兰州冰川所冻土工程国家重点实验室基金的资助。野外实验得到天山冰川观测试验站的大力支持,在此深表谢忱。

本研究区域位于新疆天山中段乌鲁木齐河源区,野外调查与采样位于海拔 3100 - 3940m 之间的高寒山区内,属于永久性冰缘带边缘,在植物生长期内,时常受到大雪、冰雹、霜冻和大风等恶气候的侵袭,因此,本文根据前人研究称之为高寒冰缘植被,冰缘植物群落和冰缘植物。由于长期经受第四纪冰川作用,冰蚀、冰积现象保存尚好,在海拔 3500m 以上的山谷可见到成层槽谷、岩坎与岩盆、冰斗、羊背岩——毛卷岩等冰蚀地形。在海拔 2800m 以上的谷地中,还保存着各个冰川作用阶段的冰碛垅或冰碛物,冰碛环境显著。本区阳坡海拔 3250m 以上和阴坡 2900 以上,发育着高山多年冻土,在此海拔以下,发育着季节性冻土。岩屑坡、倒石坡、石冰川、融冻泥流、冻分选作用、多年冻胀丘、冰锥、热融坍塌等冰缘作用在该区较为普遍,由于冰蚀、冰积和冰缘作用,地表形态较为复杂,并造成了许多向阳、背风、沼泽、阴湿和寒冷的小环境。

该区年均气温为  $-5.5^{\circ}\text{C}$ ,气温温差为  $35.9^{\circ}\text{C}$ ,植物生长期的 6 - 9 月气温高于  $0^{\circ}\text{C}$ ,但低于  $5^{\circ}\text{C}$ ,其余各月均为负温,年降水量为 431.2mm。降雪量占全年总降水量的 74.5%,降水主要集中在夏季 5 - 8 月植物生长期,为 277mm,占全年的 65% 左右。年蒸发量为 479.7mm,干旱指数为 1.25,5 - 8 月相对湿度一般在 60 - 70% 之间。紫外辐射强烈、风大。土壤为冻土雏形土。

## 1.2 取样:

按巢状样方集方式布设植物群落样方,按照 Cain(1980)的方法确定该区样方调查的最小为  $0.84 - 0.92\text{m}^2$ 。以此面积取样,每样方内包括各类植物群落组成的 90 - 95% 以上,为了调查设置方便,本文采用  $1\text{m}^2$  作为最小面积。本次调查是为了编制详尽的植被及环境条件,因此植被调查采用了主观取样法。即当观察到植被特征及生境与周围不同时,选取典型地段作  $1 \times 1\text{m}^2$  的样地,这样最大限度地保证了每个圈斑均有一个群落样地记录,样地内容包括总盖度,各植物物种的盖度值以及各种植物种的高度、季相、生长期和样地所处的生态环境因子等,用此方法共作了 50 个群落样地,记录到 74 个植物种。环境测试与调查主要包括土壤、海拔、气温、土温、土壤含水量等,一些样地有意选在冰川站具有多年观测数据的地域内。

## 1.3 数据分析方法:

根据以上所得的生态环境数据,建立植物群落样方及环境背景值的对应数据,以每个样方为单位,以各个种的盖度为基础,并在样方内取 0 - 10cm 深的土壤进行土壤学分析。

## 2 乌鲁木齐河源区高寒冰缘植物群落的基本特征:

(1)植物种类简单。据初步统计,组成了该区高寒冰缘植被的植物 74 种,分属于 22 科,其中莎草科、禾本科、毛茛科、菊科、蔷薇科、十字花科、石竹科、虎耳草科、伞形科植物

占有重要地位。该区高寒冰缘植被中,建群种植物有四种,以莎草科和禾本科植物作用最大,它们作为建群种组成的群落所占面积大、分布广。区系组成主要以北温带成分为主,其次是青藏特有成分,它们经历了严酷的自然选择和形态结构、生理生化代谢及遗传性状的特化过程,而形成高寒区特有种,并具备了对高寒冰缘环境很强的适应能力。

(2)草本植物在本区占绝对优势。冰缘植被包括了两个垂直带,高山草甸和高山垫状植被。此外在高山流石堆上出现了处于演替早期阶段的高山稀疏植被。无林亦无灌丛。主要为:苔草草甸(*Carex* sp. Meadow)、嵩草草甸(*Kobresia* sp. meadow)、禾草草甸(*Poa* sp. meadow)和杂类草草甸。不同冰碛期冰碛石表面泛生有壳状地衣鸡皮衣(*Pertusaria rupestris*)、红橙衣(*Caloplaca elegans*)、地图衣(*Rhizo-carpon geographicum*)、梯氏冷地衣(*Cetraria lilesii*)、白冷地衣(*C. nivalis*)等多种地衣(Lichen)。高山草甸多种植物群落内片状地衣和枝状地衣发育。冰碛石间水充足的碎屑物上生长有真藓(*Bryum caespilium*)、银藓(*Anomobryum filiforme*)、黄丝瓜藓(*Pohlia nutans*)、毛尖金发藓(*Polytrichum*)等藓类植物(Bruophuta)。

(3)群落结构简单。由于种类少,为草本,它们的高度相差很小,因此植被层次简单,一般只有草本层和苔藓地衣两层。草本层较为明显,每一群落中建群种较少,通常只有1-2种。苔藓、地衣在高山草甸区其盖度随海拔高度增大而逐渐增加,而在高山垫状植被和高山流石堆中随海拔又逐渐减少或不发育。

(4)植物群落的生活型以地面芽植物为主。在乌鲁木齐河源高山冰缘植被带,一年生植物只有少数种类因生活期短而能正常地完成生长发育。多数植物种类都是多年生,地面芽植物种类最丰富,约占90%以上,其次为地下芽植物。

(5)植物的生态适应特征以抗性为主。乌鲁木齐河源区高山冰缘带,植物具有适应特殊生态环境的形态-生态学特征,现分述如下:

A、植株个体矮小。由于高山气温低,风力大,一年、多年生草本植株不高,地上部分仅为3-15cm,主要是增大抗风能力,同时贴近地面层和土壤层,温度较高,易被雪覆盖以达到保温。植物随着海拔增高,植株越趋于矮小,两者是呈反相关关系,如在海拔3450m的阴坡高山唐松草(*Thalictrum alpinum*)和长果婆婆纳(*Veronica gliata*)的高度约为5cm和10cm,而在海拔3760m的阳坡,其高度则变矮,分别为2-3cm和5cm,同样,乌足毛茛(*Ranunculus brotherusii*)、高山紫菀(*Aster alpinus*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、山羊臭虎耳草(*Saxifrage hircuhus*)、黄白火绒草(*Leontopodium pusillum*)、无瓣女娄菜(*Melandrium brachypetahum*)等都随海拔升高,而植株变小。植物生长缓慢,多年生植物的茎部短缩,粗糙,节间短。

B、根系发达。冰缘植物根系均较浅而发达,一般根系比地上部分要长5-10倍,根系主要分布在土壤表层5-10cm处,并常常沿水平分布,如高山红景天(*Rhodiola coccinea*)、山羊臭虎耳草、四蕊山莓草(*Sibbaldia tetrandra*)等。冰缘植物的根系浅而发达与土层不厚,温度较高,水分充足有关。

C、草本植物多呈丛生状或垫座状。叶片是植物赖以生存的营养器官,它是和外界环境接触面积最大的部分,为了适应高山冰缘生态环境,形成了特殊的着生方式。当植株向上生长时,被大风、低温和缺乏有效水分所限制。因此植株不仅矮小,而且根茎呈密生状,



叶片密集于茎部成垫状,如禾本科、莎草科植物的叶呈丛生状,而簇生柔籽草(*Thylacospermum caespitosum*)、四蕊山莓草、山羊臭虎耳草、橘黄罂粟(*Papaver crceum*)、大拟鼻花马先蒿(*Pedicularis rhinanthoides*)等,均为垫状植物,其特点是多分枝、密集,节间极度缩短,叶片少,密集、簇生、宿生、裹茎,这都是保温、耐冻、耐寒、耐旱、抗强风、抗紫外辐射的特点,这些遗传特性很稳定。

D、高寒冰缘植物的繁殖方式多样化。高山冰缘植物都能开花,植物的传粉方式有虫媒花。这类花颜色鲜艳,大、具特殊香味,白花最多,其次为黄花等。它们靠昆虫来传播花粉。还有的作为风媒花,它们无鲜艳花瓣、花丝长、花药显著、花柱发达,适应以风力传粉。果实或种子传播方式也多种多样,有借风力传播的菊科植物,如黄白火绒草、鼠麴风毛菊(*Sanssurea gnaphalodes*)、风毛菊(*S. pygmaea*)、雪莲(*S. involucrata*)、狭边蒲公英(*Taraxacum pseudoatratum*)等;靠自身机械力传播有十字花科的多数植物,还有的种子或果实作为动物的食物后而传播。值得一提的是高山冰缘植物的生殖器官尽管具有良好的保护结构,但是对低温的耐受力是有限的,常常被突来的低温、大风、高温等不良环境所损伤,造成了结实率很低。在长期的生态适应过程中,许多植物形成了有性生殖和无性繁殖两种方式的高山冰缘植物,更能适应多风、寒冷、干旱、强紫外辐射的生态环境。

E、叶片高度特化。高寒冰缘植物的叶片,经常受到雪层的挤压、霜冻伤害、冰雹的敲打、强风的袭击、干旱的威胁、强紫外辐射、动物的啃食,为了适应以上不良的环境,进行正常的光合作用,植物经漫长的自然选择出现了许多特化性状,如叶片数多,叶片大多缩小,特化成鳞片状、条状或针状;叶片常角质化或木质化,有利于支撑,减少蒸发,防止干旱;叶柄显著延长,基部加宽,构成包被,除防冻保温外,又可强烈吸水,保茎枝免受干旱;叶片上的附属物多种多样,有各种表皮毛,有的是簇生毛和星状毛如葶苈(*Draba sp.*),有的是腺毛,还有的成刺状物,此外有许多植物的叶片尖端,特化成多细胞的扁化刺或非腺毛硬化成刺,这些刺状物除机械保护作用外还能防止动物啃食。

### 3 高寒冰缘植被主要植物群落:

乌鲁木齐河源区高山冰缘植被可分为两个垂直带:高山草甸和高山垫状植被,还有高山流石堆植物群落。主要植物群系包括:苔草群系(Form. *Carex sp.*)、嵩草群系(Form. *Kobresia sp.*)、早熟禾群系(Form. *Poa sp.*)、四蕊山莓草群系(Form. *Sibbaldia tetrandra*)、高山红景天群系(Form. *Rhodiola coccinea*)、簇生柔籽草群系(Form. *Thylacospermum caespitosum*)、珠芽蓼群系(Form. *Polygonum viviparum*)等七个。共包括 27 类植物群落(群丛)。高山草甸中有地衣和苔鲜发育,不同冰碛期冰碛石表面泛生有壳状地衣。本文仅对高等有花植物种类所组成的群落特征进行描述。

#### 3.1 高山草甸

##### 3.1.1 苔草群系:

该群系在该区中分布广泛,建群种主要是黑花苔草(*Carex melanatha*)、细果苔草(*C. slenocarpa*)、白尖苔草(*C. atrofusca*),植被一般发育良好,草丛密集,由于放牧迹象明显,对植被密度和高度产生了影响,草高5-25cm,该群系包括4种植物群丛。

(1)黑花苔草-线叶嵩草(*Kobresia capilliformis*)群丛:分布海拔3400-3600m,总盖度为80-90%,伴生种有珠芽蓼、高山唐松草、卷草(*Cerastium sp.*)、乌足毛茛、大拟鼻花马先蒿、二色藁本(*Ligusticum bicolor*)。

(2)黑花苔草-穗发草(*Deschampsia koelerioides*)-珠芽蓼群丛:分布在海拔3545m的沼泽地、河滩地,植物总盖度90%,草高10-20cm。伴生种有宽瓣毛茛(*Ranunculus albertii*)、大拟鼻花马先蒿、小早熟禾(*Poa calliosis*)、胎生早熟禾(*P. altaica*)、高山葶苈(*Draba alpina*)、喜山葶苈(*D. oreodes*)、阿尔泰葶苈(*D. altaica*)等。

(3)细果苔草+白尖苔草群丛:分布在阳坡海拔3600m左右,植被盖度为50-70%左右,草高15-25cm,伴生有短针羊茅(*Festuca brachylla*)、高山红景天、珠芽蓼、山羊臭虎耳草、火绒草、高山唐松草、无瓣女娄菜等。

(4)黑花苔草+大拟鼻花马先蒿群丛:分布在海拔3465m的河滩地、沼泽地,植被盖度为90%,草高15-20cm,伴生植物有穗发草、小早熟禾、沼泽毛茛、珠芽蓼、嵩草(*Kobresia bellardii*)、胎生早熟禾等。

### 3.1.2 嵩草群丛:

该群系分布在海拔3400-3820m之间,植被的盖度80%以上,草高5-20cm,该群系包括6种植物群丛。建群种有线叶嵩草(*Kobresia capilliformis*)、嵩草。

(1)线叶嵩草+嵩草群丛:该群丛分布于海拔3400-3700m的阳坡。植物群落盖度达80-95%,株高20-30m,伴生植物有高山唐松草、二色藁本、侧卧兔耳草(*Lagotis decumpens*)、黄白火绒草、葶苈、无瓣女娄菜、粽个而、准葛尔蓼(*Polygonum songoricum*)、裸茎金腰子(*Chrysosplenium nudicaula*)、橘黄罂粟。该群丛分布面积大,草质优良,是良好的牧场。

(2)嵩草+红景天-四蕊山莓草群丛:该群丛分布在海拔3780m的阳坡,群落总盖度40%,群落的优势种为嵩草,高山红景天和四蕊山莓草为次优势种,伴生植物有裸茎金腰子、珠芽蓼、大拟鼻花马先蒿、线叶嵩草、矮丛风毛菊(*Saussurea gnaphalodes*)、黄白火绒草、山羊臭虎耳草、毛建草(*Dracocephalum inberbe*)、紫菀等。

(3)嵩草+珠芽蓼群丛:该群丛分布在乱石滩地。土壤发育较好,植物总盖度70%,放牧现象明显,伴生植物有:高山唐松草、毛建草、天山瘤果芹(*Trachydium tianshanium*)、大拟鼻花马先蒿、卷耳、矮丛风毛菊、线叶嵩草、高山报春(*Primula algida*)等。

(4)嵩草+胎生早熟禾-珠芽蓼群丛:该群丛分布在湿生、沼生环境中,土壤发育良好、土层厚、腐殖质含量高。次亚优势种为珠芽蓼。群落总盖度为90%,生长势好,放牧迹象明显,群落高度为10-25cm,伴生植物有:大拟鼻花马先蒿、线叶嵩草、小早熟禾、藏报春(*Primula libetica*)、高山报春、宽瓣毛茛、长果婆婆纳等。

(5)嵩草+黑花苔草群丛:该群丛分布在海拔3400-3500m左右的阳坡沼泽地和河滩地。该群落总盖度为80%。群落高度可达10-20cm。主要伴生种为高山唐松草、黄白火

绒草、冰岛蓼等(*Koenigia islandica*)。

(6)线叶嵩草 + 珠芽蓼群丛:该群丛的优势种为线叶嵩草。次优势种为珠芽蓼,群落盖度为 80 - 90%,高度为 8 - 15cm。伴生植物有黄白火绒草、长果婆婆纳、山羊臭虎耳草、高山唐松草、高山紫菀、橘黄罂粟、高山报春、裸茎金腰子、高山红景天等。

### 3.1.3 早熟禾群系:

该群系分布于海拔 3300 - 3700m 之间,植物盖度为 60 - 90%,建群种主要有穗发草和胎生早熟禾,包括以下几个群丛。

(1)穗发草 + 黑花苔草 - 珠芽蓼群丛:该群丛分布在沼泽地和河滩地。草毡层较厚,植被总盖度可达 90 - 95%。穗发草和黑花苔草为优势种,次亚优势种为珠芽蓼,群落高度在 5 - 25cm 之间,该群落为良好的牧草,伴生植物有:沼泽毛茛、高山葶苈、线叶嵩草、大拟鼻花马先蒿、小早熟禾、长果婆婆纳等。

(2)胎生早熟禾 + 穗发草 + 黑花苔草:该群丛分布在河滩、沼泽地,草毡层较厚。植物群落由三种优势种共建,只是在不同的地段各自的盖度有所变化。群落总盖度为 80% 以上,高度为 15 - 30cm,伴生植物为珠芽蓼、沼泽毛茛、藏报春、小早熟禾、冰岛蓼、大拟鼻花马先蒿、嵩草、高山唐松草等,该群落为优良的牧草。

(3)胎生早熟禾 + 阿尔泰早熟禾 - 裸茎金腰子群丛:该群丛分布在湿生地和坡地。草毡层较厚,植被总盖度可达 70 - 85%。胎生早熟禾和阿尔泰早熟禾为优势种,次亚优势种为裸茎金腰子,群落高度在 5 - 22cm 之间,伴生植物有:珠芽蓼、葶苈、大拟鼻花马先蒿、嵩草、高山唐松草、鳞叶龙胆(*Gentiana squarrosa*)、密序山俞菜(*Eutrema integrifolium*)等。

### 3.1.4 杂类草群系:

该群丛分布在海拔 3200 - 3650m 阳坡,植物总盖度为 40 - 70% 左右,主要群丛有五类:

(1)高山唐松草群丛:该群丛分布在海拔 3200 - 3500m 阳坡,植物总盖度为 70% 左右,随海拔升高,高山唐松草植物体逐渐变小。伴生植物有珠芽蓼、线叶嵩草、大拟鼻花马先蒿、鸟足毛茛、无瓣女娄菜、天山梭子芹(*Pleurospermum lindleyanum*)、少花棘豆、黄白火绒草等。

(2)鸟足毛茛群丛:该群丛分布在海拔 3490m 左右的次生地,阳坡湿生;总盖度达 90% 左右,群落高度约 10cm,伴生植物有伞花繁缕(*Stellaria umbellata*)、沼泽毛茛、藏报春、珠芽蓼、胎生早熟禾、火绒草等。

(3)毛建草 + 线叶嵩草群丛:该群丛分布在海拔 3470m 左右的潮湿阳坡。群落总盖度 50 - 60%。毛建草为该群丛的优势种,占总盖度的 70%。伴生植物有珠芽蓼、四蕊山莓草、裸茎金腰子、山羊臭虎耳草、红景天、无茎厚棱芹(*Pachypleurum gayoides*)、侧卧兔耳草、高山唐松草、冰雪鸭趾花(*Oxygrophis glacialis*)、少花棘豆、大拟鼻花马先蒿、橘黄罂粟、阿尔泰葶苈、高山葶苈等。

(4)珠芽蓼群丛:该群丛呈小斑块状镶嵌在苔草和嵩草草甸两个群系内,植被盖度为0-70%之间,草层高15cm。伴生植物有:线叶嵩草、嵩草高山唐松草、裸茎金腰子、厚叶美花草(*Callianthan alatavicum*)、苔草、短叶羊茅、天山梭子芹、穗发草、胎生早熟禾、黑花苔草。

(5)大拟鼻花马先蒿群丛:该群丛分布在沼泽河滩等湿生和沼生环境,植被盖度为80%,草高10-20cm,伴生植物有胎生早熟禾、穗发草、黑花苔草、沼泽毛茛、珠芽蓼等。

### 3.2 高山垫状植被

该类植被主要分布在空冰斗中下以及空冰斗以下的冰碛中上部。在1号冰川附近,该类植被的最大特点是,其外形为适应高山恶劣、多变的生态环境条件,整个植株紧缩成密实的垫状体,分布于阳坡海拔3700-3900m之间。

#### 3.2.1 柔籽草群系:

该群系分布于阳坡3800m和阴坡3680m的高山流石堆中,植被层5-10cm。总盖度为5-10%。植被主要群丛有:

(1)柔籽草+四蕊山莓草群丛:伴生植物有黄头小甘菊(*Cancrinia chrysocephala*)、高山离子芥(*Chorispora bungeana*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)、黄花夏至草(*Lagopsis flava*)、山羊臭虎耳草、高山红景天、短筒兔耳草等。

(2)柔籽草+高山红景天群丛:伴生植物有黄头小甘菊、高山葶苈、四蕊山莓草、球茎虎耳草(*Saxifrage sibirica*)。

#### 3.2.2 四蕊山莓草群系:

该群丛分布于阴湿环境,海拔在阳坡3700m和阴坡3550m以上,植被总盖度达20-80%。主要有以下几个群丛:

(1)四蕊山莓草群丛:该群落分布在阳坡3780m以上、阴坡3500m以上的海拔高度,群落盖度大约在30-50%,伴生植物有:高山紫菀、山羊臭虎耳草、高山早熟禾、零余虎耳草(*Saxifrage cernua*)、少花棘豆、葶苈、卷耳、高山红景天等。

(2)四蕊山莓草+山羊臭虎耳草-高山唐松草群丛:该群落以四蕊山莓草和山羊臭虎耳草为共同优势植物,群落盖度为70%,草层高5-10cm,伴生植物有高山红景天、高山唐松草、高山葶苈、喜山葶苈、少花棘豆、高山离子芥、洽草(*Koeleria cristata*)、高山早熟禾、狭边蒲公英等。

(3)四蕊山莓草+高山红景天-毛建草群丛:该群落分布盖度较低,大约有40-55%,其中四蕊山莓草占总盖度的70%以上,高山红景天为次生优势种,伴生植物有毛建草(阳坡)、嵩草、山羊臭虎耳草、喜山葶苈、狭边蒲公英、洽草、高山唐松草、松草、裸茎金腰子、天山瘤果芹、矮风毛菊、珠芽蓼等。

(4)四蕊山莓草 + 柔籽草群丛:该群落分布在海拔 3810m 左右,柔籽草为次优势种,群落总盖度为 40%左右,草层高度 2 - 10cm。伴生植物有高山红景天、少花棘豆、山羊臭虎耳草、高山唐松草、高山葶苈、火绒草、高山早熟禾、高山紫菀等。

### 3.2.3 高山红景天群系:

该群丛分布于阳坡海拔 3650 - 3800m 之间的石质化较强且有细土堆积的低滩,植被盖度为 10 - 30%,主要群丛有

(1)高山红景天 - 四蕊山莓草群丛:该群丛垂直结构可分为两层,第一层以高山红景天占优势,高 10 - 15cm;第二层以四蕊山莓草占优势,高 2 - 7cm。群落总盖度 15 - 25%。伴生植物有高山紫菀、矮火绒草、天山梭子芹、天山瘤果芹、线叶嵩草、毛建草、高山早熟禾、山羊臭虎耳草和裸茎金腰子等。

(2)高山红景天 + 嵩草 - 裸茎金腰子:该群丛分布在砾质山坡,群落总盖度为 40%左右,分两层,高山红景天和嵩草为第一层,草高 10 - 20cm,第二层为裸茎金腰子,草层高 1 - 3cm,占总盖度的 20%。伴生植物有:火绒草、山羊臭虎耳草、高山葶苈、黑花苔草、珠芽蓼、高山紫菀。

(3)高山红景天单优势种群丛:该群落的植被覆盖度为 30%左右,以高山红景天为单优势种,伴生植物有:短针羊茅、裸茎金腰子、山羊臭虎耳草、零余虎耳草、高山紫菀、火绒草。

### 3.3 高山流石堆稀疏植被

该类植被发育于本区高山带碎石、流石堆处,阴坡海拔在 3600m 上,阳坡在 3820m 以上,植物生境的土质疏松易动,植被层次分化不明显,植物之间缺乏制约关系,许多植物于乱石堆能形成许多避风、向阳、温暖潮湿的小环境,未能形成群落,植被盖度为 2 - 5%,植物种类有黄头小甘菊、鼠麴雪兔子、雪莲、黄花夏至草、高山离子芥、零余虎耳草、小早熟禾、黄花独尾草(*Eremurus fuscus*)、高山早熟禾、矮火绒草等。

## 4 乌鲁木齐河源区高寒冰缘植物群落与环境的关系

通过调查采样和环境因子分析,影响乌鲁木齐河源区高寒冰缘植物种类、群落类型、空间分布和地理分布的主要因子是水热条件,即土壤含水量和温度(海拔)。同种植物或相同植物群落在阳坡的分布海拔要高于阴坡,河滩地或沼泽地分布的植物种类、群落类型较为相近。这种现象非常普遍。此外,辐射、土壤、母质年代、风力条件和乱石堆形成许多避风、向阳、温暖潮湿的小环境造就了高寒山区植物的形态、繁殖特征和较丰富的生物多样性。随冰碛物年代的增加,土壤发育更为成熟,植物种类、群落类型更加复杂。寒区环境不仅影响植物种类、分布和群落特征,而且寒区植被也改造着冰川冻土环境。作为寒区

独特的生物资源和自然景观,这些高寒冰缘植物物种和群落类型在不同的层次以不同的方式对冰川和冻土环境起着举足轻重的作用。

表1所示乌鲁木齐河源区主要植物群落的生态作用及其典型环境因子特征分析。

## 5 结语

(1)乌鲁木齐河源高寒区的海拔、气温、地温、水分、光照、土壤条件、冰碛物年龄、风力、坡向等多种生态因子共同决定着植被的类型和发展,决定着植物群落的分布、类型和演替趋势,但主要因子还是水热条件。寒区植被的性质与植物的形态结构是适应该地区生境条件的结果。

(2)高寒山区物理风化强烈,地表土壤发育十分缓慢,而雨水冲刷、侵蚀和物质流失相当严重。不同的植物类群不仅加强岩面分化层的强度和深度,加速矿物分化程度,制造和强烈积累有机物,参与成土过程和土壤风化过程,而且致密的植物群落及其残落物覆盖和保护着地表,植被还具有强大的保水性能,对防止水土流失起着不可估量的作用。

(3)植物的演替过程往往是和土壤的发育紧密相连,随冰川后退,冰碛物年龄的增大,气温和土温的提高,土壤的演化模式依次为:石质永寒冻雏形土,普通永寒冻雏形,土薄草毡寒冻雏形土,普通毡寒冻雏形土,厚草毡寒冻雏形土。相应植物群落的演替趋势依次为:细菌、真菌、藻类及地衣群落,高山流石堆稀疏植被,高山垫状植被,高山草甸,亚高山草甸。

(4)乌鲁木齐河源区高寒冰缘植被还是一个很脆弱的生态系统,具有独特的生物多样性,必须加强保护。它的生物资源、旅游资源应按生态规律进行合理开发利用。

表 1 乌鲁木齐河源区主要植物群落与典型环境因子特征

群落类型	植物群落的生态学作用	环境因子								
		海拔(m)	地貌过程	土壤类型	冰碛物年代	年降雨量(mm)	年均温(°C)	季节性融化深度(m)	土壤有机质含量(g/kg)	全氮(g/kg)
有细菌、真菌、藻类及地衣群落,有高等植物侵入,为高山流石堆稀疏植被。	积累原始的营养物质,增进物理化学风化作用,开始原始成土过程。	3800-4000	冻融作用、块体运动	石质永寒冻锥形土	现代冰碛30-50年	400	-7.5- -8.7	<2.0	3.0-5.0	0.17-0.21
有大量的地衣、苔藓,有花植物出现,为柔子草、四蕊山梅草、高山红景天群系,主要为高山垫伏植被,阳坡有高山草甸呈斑块状分布。	加强岩面分化层的强度和深度,加速矿物分化程度,制造和强烈积累有机物,氮素营养元素,主要参与了成土过程和土壤风化过程。	3700-3800	冻融作用、块体运动、片流冲刷	普通永寒冻锥形土	小冰期冰碛100-400年	425	-6.9- -7.5	2.0-2.4	5.0-8.0	0.21-0.37
有大量地衣和垫状植物,植物群落为蒿草、禾草、苔草草甸、珠草蓼、高山唐古草等杂草类草甸,总盖度40-90%。	地衣,苔藓,有花植物的成土过程更强烈,养分积累更加丰富,植物不仅参与积累养分,而且起到了固着养分的作用,并形成了较薄的腐殖质层。	3550-3700	冻融作用、块体运动、片流冲刷、热融作用	薄草毡寒冻锥形土、土壤含水量较大	新冰期晚期冰碛2800-3900年	430	-5.3- -6.9	2.4-3.0	55.0-153.0	1.2-2.3

续表 1

群落类型	植物群落的生态学作用	环境因子								
		海拔 (m)	地貌过程	土壤类型	冰碛物年代	年降雨量 (mm)	年均温 (°C)	季节性融化深度 (m)	土壤有机质含量 (g/kg)	全氮 (g/kg)
有大量地衣、苔藓, 主要植物群落为蒿草、苔草、禾草草甸, 马先蒿, 沼泽毛茛、毛建草等杂草类草甸, 湿生, 水生, 沼生植物种类增加, 总盖度为 80-95%。	植物使土壤发育的生物学过程更加强烈, 形成的腐殖质层厚可达 18cm, 在沼泽或流水溢出地更高, 植物群落的主要作用还有截留冲刷的有机物, 防止水土流失, 防止水分大量蒸发, 涵养水源。	3400-3550	冻融作用、块体运行、片流冲刷、热融作用	普通毡寒冻锥形土, 具有湿生, 水生, 沼生环境	新冰期早、中期冰碛 4100-6100 年	430	-4.5- -5.3	3.0-3.5	170-184	6.9-8.0
有地衣、苔藓, 主要植物群落为苔藓, 蒿草, 禾草类高山草甸、并向亚高的草甸过渡。植物种类更趋复杂化。	植物形成的草毡层厚 10-22cm, 盘结的根系占土体的 50% 以上, 腐殖质层厚 30cm。植被的作用是防止水土流失, 涵养水源, 它们不仅稳定着高山无林带, 也保护着低海拔森林生态系统。	3000-3500	冻融作用、块体运动、片流冲刷、热融作用	厚草毡寒冻锥形土, 具有湿生、水生, 沼生环境	末次冰期冰碛 10000-20000 年	410	-2.5- -4.5	3.5-4.0	207.4	8.2-9.3



## 参考文献

- 王晓军等, 1988. 从天山乌鲁木齐河源 1 号冰川 28 年来的变化看天山地区近期气候变化趋势. 科学通报 33(9): 693 - 696
- 叶佰生, 赖祖铭, 1992. 未来气候变暖条件下区域冰川的平衡响应. 科学通报, 37(19): 1494 - 1497
- 叶佰生, 李世杰, 施雅风, 1997. 从末次盛期冰川规模探讨当时的气候环境. 冰川冻土, 9(1): 1 - 9
- 朱诚, 崔之久, 1992. 天山乌鲁木齐河源区冰缘地貌的分布和演变过程. 地理学报, 47(6): 526 - 535
- 邱国庆, 1993. 中国天山高山多年冻土的形成条件. 冰川冻土, 15(1): 96 - 102
- 金会军, 邱国庆, 藻林, 赵林等, 1993. 东天山中段乌鲁木齐河上游冻土热状况研究. 冰川冻土, 15(1): 111 - 114
- 金会军, 刘宗香等, 1998. 天山乌鲁木齐河源冰达坂多年冻土温度检测. 冰川冻土, 20(1): 25 - 29
- 施雅风, 1992. 乌鲁木齐山区水资源形成与估算. 北京: 科学出版社, 189
- 姚檀栋, 施雅风, 1988. 乌鲁木齐河气候、冰川、径流变化及未来趋势. 中国科学(B 辑), 18(6): 657 - 666
- 康尔泗, Atsuma Ohmura, 1984. 天山冰川作用流域能量、水量和物质平衡及径流模型. 中国科学(B 辑), 2(9): 983 - 991
- 康尔泗, 刘潮海, 1994. 乌鲁木齐河源冰川物质平衡季节性变化和总消融海拔分布. 冰川冻土, 16(2): 111 - 127
- 黄茂桓, 周韬, 井小平等, 1994. 乌鲁木齐河源 1 号冰川 2 号洞的冰川学研究. 冰川冻土, 16(4): 289 - 300
- Huang Maohuan, 1992. The Movement mechanism of Urumqi Glacier No. 1, Tianshan Mountains China. *Annals of Glaciology*, 16: 39 - 44

## 乌鲁木齐河上游大西沟地区 种子植物区系特征分析<sup>①</sup>

卢学锋<sup>1</sup> 陈桂琛<sup>1</sup> 彭敏<sup>1</sup>

(1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

刘光琇<sup>2</sup> 沈永平<sup>2</sup>

(2 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

**摘 要** 本文研究了乌鲁木齐河上游大西沟地区植物区系。大西沟地区植物区系有 406 种种子植物, 隶属 198 属, 46 科。通过植物区系成分分析, 大西沟地区植物区系是东天山植物区系的组成部分, 具有典型的北温带植物区系特征。在科的组成上, 是以世界分布型科为主; 在属的组成上是以北温带分布型为主; 在种的组成上是以温带亚洲分布的为主, 大部分种类集中分布于本区的中部。与周围地区的共有程度上来看, 尽管东亚分布型在植物区系组成中占有的份额很小, 但是在植物区系的形成和起源上, 与我国北方森林和草原区系有很大的历史渊源性, 明显不同于中亚荒漠植物区系。

**关键词** 植物区系成分 区系分析 乌鲁木齐河源

### 1 前言

乌鲁木齐河上游大西沟地区(以下简称大西沟地区)是我国地理科学观测研究比较系统的区域之一。作为中国科学院天山冰川定位研究站所在地, 已开展了包括气候、水文、冰川、自然地理等多项内容在内的全面研究工作, 特别是冰川及其与环境关系的研究工作尤为显著。区域独特的地理位置和自然条件, 使其拥有许多典型和独特的植物及植被类型, 系统开展区域高山植物与环境关系的研究在理论上和实际应用上都具有十分重要的意义。本文是在野外调查工作完成的种子植物区系名录基础上整理而成, 为日后的相关研究提供较为完整的基础性植物区系资料。

### 2 自然概况

<sup>①</sup> 中国科学院资源与环境研究项目重点 B(KZ952-S1-216)和中国科学院天山冰川观测试验站基金资助项目。野外调查得到李忠勤站长、焦克勤副站长及天山站工作人员的大力支持和帮助; 植物标本鉴定得到中国科学院西北高原生物所植物室许多老师的热心帮助, 在此表示衷心感谢。

乌鲁木齐河地处新疆天山中部,本研究所指大西沟地区为英雄桥以上的乌鲁木齐河上游地区,地理位置约为北纬  $43^{\circ}01'20'' \sim 43^{\circ}22'35''$ ,东经  $86^{\circ}47'40'' \sim 87^{\circ}17'45''$ ,海拔 1920 ~ 4486 米(天格尔 II 峰),流域面积约 924 平方公里。天山山地是一个古老而又年青的山系,区域地形地貌属南山山地。英雄桥一带(前峡)为陡峻的高山峡谷,后峡盆地为区域最大的断陷盆地。从后峡盆地向上游谷地,河谷盆地基本消失,代之以深切狭窄的河床。河源区上部为基岩裸露的冰川—冰缘带,分布着许多小冰川。区域冻土十分发育,在阴坡海拔 2900 米以上和阳坡海拔 3250 米以上主要为高山多年冻土,以下区域发育有季节冻土。区域河谷气候具有大陆性山地气候特征(陈吉阳,1988),年平均气温  $-5.4^{\circ}\text{C}$ ,一月份平均气温  $-16^{\circ}\text{C}$ ,七月份约  $4.7^{\circ}\text{C}$ ;年平均气温随海拔升高而降低;年平均降水量 430.2 毫米。区域主要土壤类型有灰褐色森林土、山地棕钙土、山地草甸土、高山砾漠土等。

### 3 植物区系特征分析

在对大西沟地区详细地进行植物采集、样方调查和有关资料收集分析的基础上,经初步统计分析,大西沟地区现有种子植物 46 科、198 属、406 种,分别占新疆地区种子植物总科数、总属数和总种数的 40.0%、27.0% 和 11.7%。该地区无特有属分布,仅有 24 种中国特有种,其中 4 种天山特有种(但泛天山特有种较多,约有 60 余种)、1 变种为天山中部的特有类群(在本文中作种级单位,下同),其余 19 种可分布于我国其他省区。

为详细说明大西沟地区种子植物区系特征,本文拟从水平分布和垂直分布两方面论述。

#### 3.1 水平分布特征

##### 3.1.1 科的分析

在大西沟地区所有的 46 科种子植物中,裸子植物有 2 科、2 属、2 种;被子植物有 44 科、196 属、404 种。就各科所含种数而言,含有最多属种的科是禾本科(Gramineae, 20 属/45 种,下同)和菊科(Compositae, 17/38)(表 1)。科的顺序基本上与我国北方温带地区植物区系中科的组成顺序相差不大,以世界广布科和北温带分布科为主,只是各科所含种的丰富度相差甚远。一些新疆地区的特征科,如藜科、唇形科、伞形科等在本区含有的种多为环极分布型或北极—高山型分布、耐寒旱的种类,其种数也远少于荒漠或草原地区的种数。显然受到海拔梯度的影响,明显表现出温带性质。

从大西沟地区植物区系植物的生活型组成上,草本植物占有绝对优势,木本植物所占比重不大。古老木本科仅有 5 科杨柳科(Salicaceae)、忍冬科(Caprifoliaceae)、桦木科(Betulaeae)、松科(Pinaceae)、柏科(Cupressaceae),有 6 属 12 种,占区域总种数的 3.1%;多为落叶种类。很明显,本区缺乏古老木本科的分布,在区系起源上是较为年青、衍生的区系。

依照王荷生先生(1995)对科的分布区类型划分,大西沟地区的 46 科植物可以划分为

世界分布型、热带至温带分布型、温带分布型及东亚—北美间断分布型等 4 个分布类型(表 2)。其中世界分布型科占有绝对优势,有 25 科、138 属、304 种,占调查区域总种数的 74.9%;其次是温带分布型科,有 13 科、49 属、84 种,占总种数的 20.7%。这二者合计占到总种数的 95.6%,成为构建大西沟地区各种植被类型的主体成分。热带至温带分布型和东亚—北美分布型科合计有 8 科、11 属、17 种,仅占总种数的 4.2%,平均每属 1.5 种左右。由于自然条件、历史演变等原因,加之地处内陆,致使东亚—北美成分和泛热带成分在本区仅留下一点痕迹。

表 1 乌鲁木齐河上游(大西沟)地区种子植物科的大小顺序

Table 1. The size arrangement of the families of the seed plants from Daxigou region of upper Urumqi River.

> 20 species (7 families, 99 genera, 233 species)		
Gramineae, 20/45;	Compositae, 17/38;	Caryophyllaceae, 13/33;
Leguminosae, 8/33;	Rosaceae, 12/30;	Ranunculaceae, 14/29;
Cruciferae, 15/25.		
10 - 19 species (8 families, 50 genera, 95 species)		
Cyperaceae, 3/18;	Umbelliferae, 13/15;	Polygonaceae, 7/12;
Labiatae, 8/10	Boraginaceae, 7/10;	Gentianaceae, 5/10;
Scrophulariaceae, 4/10;	Chenopodiaceae, 3/10.	
2 - 9 species (17 families, 35 genera, 64 species)		
Saxifragaceae, 3/8;	Primulaceae, 4/7;	Grassulaceae, 4/6;
Salicaceae, 2/5;	Liliaceae, 2/5;	Rubiaceae, 2/4;
Caprifoliaceae, 1/4;	Geraniaceae, 1/4;	Campanulaceae, 3/3;
Papaveraceae, 2/3;	Juncaceae, 2/3;	Onagraceae, 2/2;
Urticaceae, 2/2;	Orchidaceae, 2/2;	Santalaceae, 1/2;
Plantaginaceae, 1/2;	Valerianaceae, 1/2.	
1 species (14 families, 14 genera, 14 species)		
Pinaceae, Cuperssaceae, Berberidaceae, Betulaceae, Linaceae,		
Polygalaceae, Euphorbiaceae, Elaeagnaceae, Tamaricaceae,		
Violaceae, Ericaceae, Plumbaginaceae, Solanaceae, Iridaceae.		
Total: 46 families, 198 genera, 406 species		

表 2 大西沟地区种子植物科的分布区类型  
Table 2. The areal-types of families of the seed plants  
from Daxigou region of upper Urumqi River.

1. Cosmopolitan distribution (25 families, 138 genera, 304 species):

Cupressaceae, 1/1; Polygonaceae, 7/12; Chenopodiaceae, 3/10;  
Caryophyllaceae, 13/33; Cruciferae, 15/25; Crassulaceae, 4/6;  
Rosaceae, 12/29; Leguminosae, 8/33; Geraniaceae, 1/4;  
Polygalaceae, 1/1; Violaceae, 1/1; Onagraceae, 2/2;  
Ericaceae, 1/1; Plumbaginaceae, 1/1; Boraginaceae, 7/10;  
Labiatae, 8/10; Scrophulariaceae, 4/10; Plantaginaceae, 1/2;  
Campanulaceae, 3/3; Compositae, 17/38; Gramineae, 20/45;  
Cyperaceae, 3/18; Juncaceae, 2/3; Liliaceae, 2/5;  
Iridaceae, 1/1.

2. Tropic-Subtropic-Temperate distribution

(7 families, 10 genera, 13 species):

Urticaceae, 2/2; Santalaceae, 1/2; Linaceae, 1/1;  
Euphorbiaceae, 1/1; Solanaceae, 1/1; Orchidaceae, 2/2;  
Rubiaceae, 2/4.

3. Temperate Zone distribution (13 families, 49 genera, 84 species):

Pinaceae, 1/1; Salicaceae, 2/5; Betulaceae, 1/1;  
Ranunculaceae, 14/29; Berberidaceae, 1/1; Papaveraceae, 2/3;  
Saxifragaceae, 3/8; Tamaricaceae, 1/1; Elaeagnaceae, 1/1;  
Umbelliferae, 13/15; Primulaceae, 4/7; Gentianaceae, 5/10;  
Valerianaceae, 1/2.

4. East Asia distribution (1 family, 1 genus, 4 species):

Caprifoliaceae, 1/4.

Total: 46 families, 198 genera, 406 species

3.1.2 属的分析

大西沟地区所分布种子植物的 198 属中,含 10 - 16 种的属有委陵菜属 (*Potentilla*, 1 种)、黄芪属 (*Astragalus*, 12)、棘豆属 (*Oxytropis*, 11)、苔草属 (*Carex*, 11)、早熟禾属 (*Poa*, 10

等5属;含5~9种的属有卷耳属(*Cerastium*,9)、毛茛属(*Ranunculus*,9)、葶苈属(*Draba*,7)、蓼属(*Polygonum*,6)、绢蒿属(*Seriphidium*,6)、嵩草属(*Kobresia*,6)、羊茅属(*Festuca*,5)、马先蒿属(*Pedicularis*,5)、蒿属(*Artemisia*,5)、风毛菊属(*Saussurea*,5)、蝇子草属(*Silene*,5)等11属;这16属共含有128种,占调查区域总种数的31.5%,均为温带分布型或世界分布型属;其余182属是含有4种以下的属,占总种数的68.5%。单型属和寡型属分别有6属和17属,分别占总属数的3.0%和8.6%。本区表土中的孢粉组合基本上也反映了这一类分布特征(闫顺等,1996)。

按照吴征镒先生(1991)中国种子植物属的分布区类型划分,大西沟地区198属可分为以下10个类型、21亚型(表3)。

(1)世界分布型 有24属(隶属18科),占调查区域总属数的12.1%;含有88种,占总种数的21.7%。这24属全部为多型属,无单型属和寡型属。木本属仅悬钩子属(*Rubus*)1属;藤本属也仅铁线莲属(*Clematis*)1属,其余22属均为草本属。常见的属有蓼属、毛茛属、苔草属、繁缕属(*Stellaria*)、黄芪属(*Astragalus*)、老鹳草属(*Geranium*)、龙胆属(*Gentiana*)、车前属(*Plantago*)、早熟禾属等。这些属参与了各种植被类型的构建,在一些植被类型中成为优势种。如龙胆属中的高山龙胆(*Gentiana alpina*)是冰缘地带或高山流石滩植被的常见植物;蓼属中的珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)是山地草甸、灌丛或林缘的常见植物,可在某些区域成为优势植物。由于世界广布属在统计区系资料时难于确定植物区系的性质,因而在统计分析时常忽略不计。

(2)热带分布 仅有2属:大戟属(*Euphorbia*)、及百蕊草属(*Thesium*)。它们分别属于泛热带分布型和热带亚洲、非洲和大洋洲间断分布型,分别各占总属数的0.5%,所占比重很小。

(3)北温带分布型 这是该区域植物区系中最丰富的成分,有103属(隶属31科),占总属数的52.0%;含有233种,占总种数的57.4%;其中禾本科及菊科含有的种数最多。在这些属中,除三叶草属(*Trifolium*)、三肋果属(*Trileurospermum*)、种阜草属(*Moehringia*)、羽衣草属(*Alchemilla*)等几属不见于我国北方其它植物地区外,其余均分别在我国北方各植物地区中有分布。由此表明大西沟地区(也可能为整个东天山植物区系中的高山区)与我国北方温带各植物地区在发生上的密切联系。一方面,这很可能是由于喜马拉雅的抬升、青藏高原的隆起、西风环流带的形成,引起内陆的新疆大部分地区(尤其是低海拔地区)水分流失等加重,产生荒漠化或半荒漠化的地理环境,从而限制了中生植物的生存和发展,使得这些中生性植物退缩至其可以适应的高山地带而得以保存。另一方面,可能是受新生代以来,地球气候多次冷暖交替、冰川进退变化的影响,植物区系成分也在不断地发生变化,特别是第四纪冰川对我国北方植物区系的影响极大,使得各个地区的植物区系在不同历史时期表现出不同的特点。

北温带分布型及其变型不仅在本区区系中占有极为重要的地位,而且与世界广布属共同参与构建了本区几乎所有的植被类型,许多种成为群落的关键种或优势种。在这103属中,草本类型有99属,木本类型(或有木本种类的草本属,如委陵菜属中的木本种类)仅有15属;其中绝大多数属是含有6种以上的多型属或中大型属,单型属或寡型属仅5属,仅占总属数的2.4%。

表 3 大西沟地区种子植物属的分布区类型  
Table 3 The areal-types of genera of the seed plants from Daxigou region of upper Urumqi river.

The areal-types	Horizontal distribution						Vertical distributions															
	Alpine screes belt						Alpine meadows & shrubs belt				Forests and near forests belt				Below the forests belt							
	Genera		species		species		Genera		species		Genera		species		Genera		species		Genera		species	
Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	Num- bers	Percent- age% **	
I. Cosmopolitan distribution	24	12.1	88	21.7	4	2.0	7	1.7	21	10.6	69	17.0	22	11.1	68	16.7	5	2.5	9	2.2	-	-
II. Tropic distribution	2	1.0	2	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.0	3	0.8	-	-	-	-	-	-
2*. Pantropic distribution	1	0.5	1	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1	0.2	-	-	-	-	-	-
4. Old world tropic's 4-1 subtype	1	0.5	2	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	2	0.5	-	-	-	-	-	-
III. Temperate zone distribution	170	85.9	313	77.1	37	18.7	50	12.3	105	53.0	188	46.3	139	70.2	237	58.4	26	13.1	41	10.1	-	-
8. North temperate & its subtypes	103	52.0	233	57.4	26	13.1	38	9.4	71	35.9	148	36.5	85	42.9	174	42.9	11	5.6	22	5.4	-	-
9. East Asia & North America disjunctal	2	1.0	2	0.5	-	-	-	-	1	0.5	1	0.25	2	1.0	2	0.5	-	-	-	-	-	-
10. Old world temperate & its subtypes	29	14.6	35	8.6	3	1.5	4	1.0	16	8.1	19	4.7	25	12.6	31	7.6	6	3.0	8	2.0	-	-
11. Temperate Asia distribution	9	4.5	14	3.4	2	1.0	2	0.5	4	2.0	7	1.7	8	4.0	11	2.7	2	1.0	4	1.0	-	-
12. Mediterranean, West Asia to Central Asia & its subtypes	12	6.1	12	3.0	-	-	-	-	4	2.0	4	1.0	11	5.6	11	2.7	6	3.0	6	1.5	-	-
13. Central Asia & its subtypes	13	6.6	15	3.7	6	3.0	6	1.5	7	3.5	7	1.7	6	3.0	6	1.5	1	0.5	1	0.2	-	-
14. East Asia distribution	2	1.0	2	0.5	-	-	-	-	2	1.0	2	0.5	2	1.0	2	0.5	-	-	-	-	-	-
Endemic species to Daxigou region	-	-	24	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	198	100.0	406	100.0	41	20.7	57	14.0	126	63.6	257	63.3	163	82.3	308	75.9	31	15.7	50	12.3	-	-

\* The numbers of the first column are according to Prof. Wu Zheng-yi's numbers, (see Wu Zheng-yi 1991, p.15).

\*\* The percentages are occupying to the total genera or the total species.

北温带分布型在大西沟地区有 5 个变型:(1)环极分布;(2)北极—高山分布;(3)北温带—南温带(全温带)间断分布;(4)欧亚和南美洲温带间断分布;(5)地中海、东亚、新西兰和墨西哥到智利间断分布。其中变型(1)和(5)各仅 1 属 1 种,分别是冰草属和墙草属(*Parietaria*);变型(2)有 10 属,如山箭菜属(*Eutrema*)、金莲花属(*Trollius*)、冰岛蓼属(*Koenigia*)等;变型(3)仅有 2 属;赖草属及火绒草属(*Leontopodium*),分别有 1 种和 3 种;变型(4)是在北温带分布型中拥有较多属数的变型,在本地区植物区系中占有较为重要的位置,共有 26 属,占本类型属数的 1/4 左右,与世界分布型相当,仅次于旧世界温带分布型,占第四位。如蚤缀属(*Arenaria*)、柳叶菜属(*Epilobium*)、假龙胆属(*Gentianella*)、獐牙菜属(*Swertia*)、勿忘草属(*Myosotis*)、山柳菊属(*Hieracium*)、落草属(*Koeleria*)等。

(4)东亚和北美间断分布型 仅有 2 属:黄华属(*Thermopsis*)和地蔷薇属(*Chamaerhodos*),各有 1 种,所占比重很小。

(5)旧世界温带分布型 有 29 属(隶属 14 科),占总属数的 14.6%。其中,单型属和寡型属有 4 属,占本类型属数的 13.8%。如沙棘属(*Hippophae*)、山莓草属(*Sibbaldia*)、石竹属(*Dianthus*)、美花草属(*Callianthemum*)、假报春属(*Cortusa*)、青兰属(*Dracocephalum*)、荆芥属(*Nepeta*)、糙苏属(*Phlomis*)、橐吾属(*Ligularia*)、芨芨草属(*Achnatherum*)、偃麦草属(*Elytrigia*)、鹅冠草属(*Roegneria*)等。

本分布型有 2 个变型:地中海、西亚和东亚间断分布以及欧亚和南美洲(有时也在大洋洲)间断分布。前者有 2 属:针枝蓼属(*Atriplex*)和天仙子属(*Hyoscyamus*);后者也有 2 属:莴苣属(*Lactuca*)和苜蓿属(*Medicago*)。

(6)温带亚洲分布型 有 9 属(隶属 9 科),占总属数的 4.5%。单型或寡型属 4 属,占本类型属数的 44.4%。仅豆科的锦鸡儿(*Caragana*)1 属为木本属,其余 8 属为草本属;如大黄属(*Rheum*)、鸭趾花属(*Oxygraphis*)、裂叶荆芥属(*Schizonepeta*)、细柄茅属(*Ptilagrostis*)、假繁缕属(*Pseudostellaria*)等。

(7)地中海区、西亚至中亚分布型 有 12 属(隶属 7 科),占总属数的 6.1%,略高于上一分布型,所占比重不大;其中糙草属(*Asperugo*)和薄蒴草属(*Lepyrodiclis*)等 2 属是单型或寡型属,其余 9 属均为多型属,无木本植物。这 11 属大部分生于荒漠或半荒漠化生境中,如马康草(*Malcolmia*)、蚓果芥(*Torularia*)、独尾草(*Eremurus*)、糖芥(*Erysimum*)、驼舌草(*Goniolimon*)等属植物。

本分布型下有 2 个变型:地中海区至西亚和南非、大洋洲间断分布变型及地中海区至热带亚洲、喜马拉雅间断分布变型,各有 1 属。分别为车叶草属(*Asperula*)和软紫草属(*Arnebia*)。

(8)中亚分布型 有 13 属(隶属 7 科),占总属数的 6.6%,略高于前两个分布型,且均为草本属。单型或寡型属有 8 属,占本分布型属数的 61.5%。常见的有天山芹属(*Seselopsis*)、狭腔芹属(*Stenocoelium*)、长蕊青兰属(*Fedtschenkiella*)、柔子草属(*Thylacospermum*)、假蒺藜属(*Paraquilegia*)、甘菊属(*Cancrinia*)等。

(9)东亚分布型 仅有狗哇花(*Heteropapus*)和党参(*Codonopsis*)2 属,占总属数的 1.0%,非常贫乏。



## 3.1.3 种的分析

大西沟地区分布的 406 种(包括几个变种,下同)种子植物,其中天山东部或我国天山地特有种仅 5 种,中国特有种 19 种,合计 24 种,仅占总种数的 5.9%(表 3);其余 382 种可分布于北半球其他地区,占总种数的 94.1%。参考中国种子植物属的分布区类型及一些学者的观点(王荷生,1995),可以将这 406 种大致划分为 15 个分布区类型(表 4)。

表 4 大西沟地区种子植物种的分布区类型  
Table 4 The areal-types of species of the seed plants  
from Daxigou region of upper Urumqi river.

The areal-types and subtypes	Species numbers	Percentage (%)
1. North temperate zone distributions	58	14.3
2. Old world temperate or to Africa	53	13.1
3. Temperate Asia distribution	28	6.9
4. Himalaya or from Qing-Zang Plateau & C Asia to Sibirica or East Asia region	36	8.9
5. W Himalaya-C Asia-Sibirica	2	0.5
6. C Asia-Sibirica & North-east Asia (including NE China)	34	8.4
7. C Asia-Himalaya or Qing-Zang Plateau	30	7.4
8. Central Asia distribution	15	3.7
9. C Asia (sometimes Pamir or Iran)- Sibirica distribution	34	8.4
10. Central Asia-Mongol distribution	7	1.7
11. Tianshan & C Asia-Himalaya or Qing- Zang Plateau distribution	6	1.5
12. Tianshan & C Asia-W Himalaya	9	2.2
13. C Asia (including Tianshan)(sometimes in Pamir or Mediterranean)	18	4.4
14. Pan-Tianshan distribution	52	12.8
15. Endemic species to China	24	5.9
15 - 1. East Tianshan or Tianshan of China	5	1.2
15 - 2. North-west China	2	0.5
15 - 3. North-west-South-west China	17	4.2
Total	406	100.0

这 406 种植物,除个别种分布至泛热带地区外,几乎全部是分布于北温带地区或泛热带高山分布的种,因而在种级水平上与热带地区无多大联系。其中,广域分布的有 139 种(类型 1,2,3),占全区总种数的 34.2%;亚洲中部及泛天山分布(类型 8,10,13,14,15-1,15-2)的有 99 种,占总种数的 24.4%;中亚和亚洲中部地区至西伯利亚和东北亚地区(类型 6,9)的有 68 种,占总种数的 16.7%;中亚和亚洲中部地区至青藏高原地区(类型 7,11,12,15-3)的有 62 种,占总种数的 15.3%;由青藏高原地区经中亚、亚洲中部地区至西伯利亚或东北亚地区分布(类型 4,5)的有 38 种,占总种数的 9.4%。因此,从种的水平上看,大西沟地区植物区系中没有占据绝对优势的分布型,但基本上是属于温带亚洲区系,与东亚和古地中海区系有着一定的联系,而与热带植物区系联系较小。

3.1.4 与毗邻和邻近地区种子植物区系关系比较

为进一步说明大西沟地区植物区系的性质及其与邻近或毗邻地区植物区系关系,现选取华北地区、北祁连山地区、中亚荒漠地区及蒙新草原地区作为对比,在属级和种级水平上对大西沟地区植物区系进行对比分析(表 5)。

表 5 大西沟地区植物区系与其邻近或毗邻地区比较

Table 5 The comparisons of the genera and species of the Daxigou region with those in the adjacent regions

The comparisons of the genera and species Regions		Genera				Species			
		Total numbers of genera	Numbers of comopolitan	Genera in common with Daxigou			Total numbers of species	common species	
				Total	Genera similar index* (%)	Comopolitan		species	Species similar index* (%)
Daxigou region		198	24				406		
Bei-Qilianshan region		429	59	169	83.3	24	1182	189	46.6
North China area		919	90	164	80.5	24	3358	154	37.9
C. Asia desert region		361	51	78	36.2	15	1079	73	18.0
Mongol-Xinjiang grassland region	Nei Mongol	534	65	121	55.7	24	1519	162	39.9
	Xinjiang	112	21	60	27.6	12	217	38	9.4

\* 属或种的相似性指数以如下公式计算(这里共有属或总属数均抛除了世界分布属):

$$\text{相似性系数 (SIG1, SIP)} = \frac{a, b \text{ 两地的共有属数或种数}}{a \text{ 地的总属数或种数}} \times 100$$

通过比较研究,从属级水平上来看,大西沟地区植物区系与华北地区、北祁连山地区的植物区系关系极为紧密。蒙新草原区中的内蒙古草原区(内蒙古草原区,下同)与大西沟地区植物区系关系的亲缘性略低一些。相对于中亚荒漠地区和蒙新草原区中的新疆草原区(新疆草原区,下同)在植物区系关系上是疏远的。

在各地拥有属的数量上看,华北地区拥有 919 属,北祁连山地区拥有 429 属,内蒙古草原区拥有 534 属,中亚荒漠地区拥有 361 属,新疆草原区拥有 212 属。由于大西沟地区所处的地理位置及内陆性山地生境条件,其植物区系在某种程度上与邻近或毗邻地区植物区系明显具有历史渊源性;此外,也可能有周围地区植物区系成分参与构建。

无论从哪种角度,大西沟地区与北祁连山地区植物区系都保持有较高的相似性,这种相似性多少体现在广域分布或广域生态幅的类群上。对比这两个地区,从它们各自所处的地理位置上也是较为相似的。大西沟地区地处东西走向的天山中部,是典型的内陆山地,很少受到太平洋海洋季风的影响。北祁连山地区地处大致为东西走向的祁连山山脉,其东端多少可以受到太平洋海洋季风的影响,气候较为湿润温暖。因而无论在属的数目上,还是在种的数目上,都比大西沟地区丰富的多,而且古老木本属也较丰富,所以又有很大的不同。相对于新疆草原区,与大西沟地区植物区系相比,它们之间属的共有程度不高。这是由于它们各自所处的地理环境很不相同。大西沟地区地处较高海拔的山地,植物受气候寒冷、潮湿、辐射强、地温低等条件限制,区系组成上多以耐寒旱的高山或环极分布的植物为主;新疆草原区地处较低海拔的平原、低山丘陵地带,气候以温暖、干旱、辐射低、地温高等为主,其区系组成上是以喜温性的温性草原植物种类为主,旱生性种类较丰富,因而在属的组成上是不同的。

从种类组成上,大西沟地区植物区系与北祁连山地区植物区系之间种的相似程度最高,达 46.6%;其次与华北地区、内蒙古草原区植物区系之间种的相似性指数分别为 37.9% 和 39.9%,基本处于同一数量水平上;与中亚荒漠地区 and 新疆草原区种的共有程度最低,种的相似性指数分别为 18.0% 和 9.4%。经分析,大西沟地区与中亚荒漠地区 and 新疆草原区共有的种类大多是旱生型或耐旱、喜温性种类,这些种类往往处于大西沟地区中下部的干旱山坡、河谷地带。在较高海拔的山地上或随着海拔的升高,共有程度降低很快,以至趋于消失。因此,大西沟地区植物区系与中亚荒漠地区 and 新疆草原区的植物区系之间的共有程度或相似程度,在某种程度上,可以看为是较低海拔所分布的一些物种向较高海拔地区延伸分布所形成的。

### 3.2 垂直分布特征

3.2.1 森林下部半荒漠草原带 这是以荒漠、半荒漠草原植被类型为主的地带,部分地带紧靠着本区森林主体,在研究区域下部连接着荒漠、半荒漠草原区。大致海拔为 1900~2100 米。由于在研究区域下部的荒漠、半荒漠草原区这一地带的植物未做调查,故以分布到研究区域、名录上记载的种类进行分析。

据统计(见表 3),这一地带带有 14 科、31 属、50 种植物。其中,北温带分布型的属数仍然占有最高比例,有 11 属、22 种,分别占研究区域总属数和总种数的 5.6% 和 5.4%。世界分布型有 5 属 9 种,分别占总属数和总种数的 2.5% 和 2.2%,几乎与旧世界温带分布型和地中海、西亚至中亚分布型相当,低于北温带分布型的属数和种数。旧世界温带分布型和地中海、西亚至中亚分布型分别有 6 属 8 种及 6 属 6 种,略高于世界分布型的属数,但种数略低。中亚分布型仅有 1 属 1 种。无热带分布型的属。

3.2.2 森林及林缘地带 这一地带包括林下、林缘、中山河谷以及相应海拔的阳坡植被,大致海拔为 1900~2900 米,是本区植物种类分布较为集中的地带之一。计有 43 科、163 属、308 种植物,分别占研究区域总属数和总种数的 82.3% 和 75.9%。大西沟地区植物的 10 个分布型在这一地带均有,只是种数和属数较少。各分布型的属数与种数所占总属数和总种数比例的多少,与水平分布的相当。

3.2.3 高山灌丛和草甸地带 包括高山灌丛、草甸、沼泽草甸等植被类型,大致海拔为 2800~3500 米。计有 32 科、126 属、257 种植物,分别占研究区域总属数和总种数的 63.6% 和 63.3%,也是本区植物种类分布较为集中的地区之一。这 126 属植物中,除无热带分布型的属外,均为温带分布型和世界分布型的属。其各分布型所含有的属数与种数所占总属数和总种数比例,也与水平分布的相当。以北温带分布型为主,世界分布型其次,旧世界分布型第三,其余各型所占比例均不超过 4%。

3.2.4 高山流石滩及倒石堆地带 包括高山流石滩和倒石堆稀疏植被、高山石隙等植被类型,大致海拔在约 3200 米以上。有 17 科、41 属、57 种植物,分别占研究区域总属数和总种数的 20.7% 和 14.0%。这 41 属植物中,北温带分布型的属所占比例仍然最高,为 26 属、38 种;其次是中亚分布型属和世界分布型,分别有 6 属 6 种及 4 属 7 种;旧世界温带分布型和温带亚洲分布型各有 3 属 4 种和 2 属 2 种,其余各型在这一地带无分布。

## 4 讨论

通过对植物区系成分的全面分析,大西沟地区种子植物区系特征有以下特点:

4.1 大西沟地区植物区系具有典型的北温带、内陆性山地植物区系性质,与热带和东亚的联系是很微弱的。在科的组成上,其所有的 46 科种子植物中,古老木本科仅 5 科,含有 6 属 12 种,种类较为贫乏。从科的分布型上,大西沟地区的 46 科植物,世界分布型有 25 科,共有 138 属 304 种;温带分布型有 13 科,共有 49 属 84 种;热带—亚热带—温带分布型和东亚—北美分布型分别有 7 科和 1 科,合计有 11 属 17 种。

4.2 在属的组成中是以北温带分布成分占有绝对优势,占全区总属数的 53.0%;其次是旧世界温带分布成分及世界广布成分,分别在区系组成中占据第二位、第三位,但只约及北温带分布成分所占比例的 1/4;其它分布型在大西沟地区植物区系组成中所占比例均很小,合计约占全区总属数的 1/5,其中,热带型分布(见表 3:2,4 条)、东亚型分布(见表 3:9,14 条)合计仅有 6 属,仅占全区总属数的 3.0%,由此表明,大西沟地区植物区系与热带和东亚之间的联系甚微。

4.3 在种类组成上,大西沟地区与北祁连山地区植物区系的共有程度最大(种的相似性指数为 46.6%),其次为内蒙古草原区植物区系(种的相似性指数为 39.9%),占据第三位的是华北地区植物区系(种的相似性指数为 37.9%),而与中亚荒漠地区 and 新疆草原区植物区系的共有程度很低(种的相似性指数分别为 18.0% 和 9.4%)。造成大西沟地区植物区系的这种分布特点,可能主要是由于大西沟地区地处天山腹地,内陆的山地环境仅能适应山地植物生存所造成的,也可能是与北祁连山地区、华北地区和内蒙古草原区植物

区系形成的历史渊源有关。

就种的分布型来看,大西沟地区植物区系明显受到周围地区植物区系的影响。在种类组成上,北温带分布、旧世界温带分布和泛天山分布类型占有最大比例,分别约占全区总种数的 13%;其次是温带亚洲、亚洲中部—西伯利亚、亚洲中部—喜马拉雅、喜马拉雅—亚洲中部—西伯利亚和中亚地区—西伯利亚等类型,分别约占全区种数的 8%;其余分布类型各自所占份额很小,均不到 4%。

4.4 大西沟地区植物区系中无中国特有属分布,仅有 24 个特有种,其中东天山或我国天山特有的仅 5 种,其余 19 种是我国西北地区特有种或分布于我国北方地区、有时也分布于我国西南地区的特有种。由此说明大西沟地区植物区系是一个衍生的区系。

4.5 从垂直分布上看,大西沟地区 198 属 406 种植物的分布并不是均匀的。绝大多数种类集中分布于森林及高山灌丛或草甸地带。随着海拔的升高,种类逐渐减少。各分布型的种类也随海拔波动。

综合而论,大西沟地区植物区系在科的组成上,是以世界分布型科为主;在属的组成上是以北温带分布型为主;在种的组成上是以温带亚洲分布的为主,大部分种类集中分布于本区的中部。与周围地区的共有程度上来看,尽管它的东亚分布型在区系组成中占有的份额很小,但是它仍然与我国北方森林和草原植物区系有着明显的历史渊源,不同于中亚荒漠植物区系。

### 参考文献

- 中国科学院新疆地理研究所,1985.天山山体演化.北京:科学出版社
- 中国科学院新疆综合考察队等,1985.新疆植被及其利用.北京:科学出版社
- 王义凤,1963.东天山山地草原的基本特点.植物生态学与地植物学丛刊,1(1-2):110-130
- 王树基,1991.我国天山自然条件的基本特点.地理科学,11(1):42-47
- 王荷生,1992.植物区系地理.北京:科学出版社
- 王荷生,吴征镒,1983.中国自然地理—植物地理(上册).北京:科学出版社
- 王荷生,张懿理,黄劲松等,1995.华北地区种子植物区系研究.云南植物研究,7(增刊):32-54
- 王德辉,张丕远,1985.天山乌鲁木齐河谷气候特征.冰川冻土,7(3):239-248
- 刘潮海等编,1991.中国天山站手册.兰州:甘肃科学技术出版社
- 闫顺,贾宝全,许英勤,1996.乌鲁木齐河源区植被及表土花粉.冰川冻土,18(增刊):264-273
- 何廷农,刘尚武,卢学峰等,1997.从北祁连山植物区系分析划定唐古特地区的东北部边界.高原生物学报,13:69-82
- 吴征镒,1991.中国种子植物属的分布区类型专集.云南植物研究,4(增刊):1-201
- 张立运,海鹰,1990.中国科学院天山冰川站附近的高山植被.草地与饲料,(1-4):9-14
- 潘晓玲,左家哺,1997.中国西北地区种子植物区系相似性的定量研究.西北植物学报,17(1):94-102
- 潘晓玲,1997.新疆地区植物区系科的分析.植物研究(哈尔滨),17(4):397-402

## 高山红景天的形态结构与环境的关系<sup>①</sup>

谭敦炎<sup>1</sup> 李志军<sup>2</sup> 姚芳<sup>1</sup>

(1 新疆农业大学生物基础部, 乌鲁木齐, 830052)

(2 新疆塔里木农垦大学, 阿克苏, 843300)

**摘要** 高山红景天(*Rhodiola coccinea* (Royle) A. Bor)根、根颈、茎、叶结构上的主要特点是均具有通气组织,其中以茎中的最为发达,叶、根、根颈中的依次次之。根颈、茎中维管束数目多,排列为紧密的一环,其中茎的次生木质部中发育出 7~8 层呈环带状分布的厚壁组织细胞。根、根颈周皮发达,而茎、叶的表皮则通过表皮细胞壁非木质化加厚的方式加强支持和保护作用。组织化学反应显示:根、根颈、茎、叶各部均有较多单宁细胞分布,其薄壁组织细胞和细胞间隙中均有蛋白质;此外根和根颈部位的薄壁细胞中还含有多糖类物质,且根颈细胞内多糖物质的含量多于根韧皮部薄壁细胞中多糖的含量。这些特征与高山地区严酷的自然环境条件是相适应的。

**关键词** 天山 高山红景天 结构 环境

高山红景天(*Rhodiola coccinea* (Royle) A. Bor)为多年生草本植物,隶属于景天科景天属,常分布在海拔 2660~4850 米高的高山石质山坡、冲沟边及草甸上,是典型的高山植物。国内已有关于该植物的组织培养、植物学及物候学特性研究的报道<sup>[1,2]</sup>。但对于营养器官形态解剖学特性同生态条件的关系研究尚未见报道。本文从解剖学的角度探讨了生长在新疆天山 1 号冰川观测站附近的高山红景天营养器官的结构特征对高山生境的适应性,为该类植物的人工繁殖及开发利用提供理论依据。

### 1 材料和方法

研究材料于 1996 年和 1997 年 6~7 月分批采自新疆天山 1 号冰川站(北纬 43°06', 东经 87°15')附近的高山草甸上。取材部位为根、茎、根颈、叶,材料以 FAA 固定,用石蜡法制片,切片厚 8~10 $\mu\text{m}$ ,番红一固绿染色,PAS 反应鉴定多糖、溴酚蓝鉴定细胞内及胞间蛋白质,爱氏苏木精鉴定单宁细胞。加拿大树胶封片,Olympus BH-2 研究显微镜下观察并摄影。

<sup>①</sup> 中国科学院重点项目(B类)(KZ952-S1-216)及中科院天山冰川观测试验站基金资助项目。

## 2 观察结果

高山红景天的主根粗长,肉质,侧根较发达;根颈短缩,粗壮,肉质,生于地下。每株具1至数个分蘖,每分蘖上具数个残存的老枝及当年生枝,这些枝矮小直立,成丛生长于根颈顶端。现将高山红景天根、根颈、茎、叶的解剖学结构分述如下:

### 2.1 根的结构

根的初生结构类似于一般双子叶植物根的结构,木质部二原型。当根的直径约为0.05cm时,维管形成层、木栓形成层出现,周皮也随之产生。维管形成层活动较缓慢,明显的变化是周皮与初生韧皮部间的薄壁细胞及新产生的韧皮薄壁细胞迅速增大体积,细胞间隙也明显增大形成通气薄壁组织。当根的直径增大到0.06cm时,可观察到维管形成层向内产生少量的次生木质部的导管分子,向外则产生较多的次生韧皮部薄壁细胞和少量的筛管分子和伴胞,同时新产生的薄壁细胞体积增大迅速,早期形成的通气薄壁组织其细胞间隙在该时期则明显增大,胞间隙数目也增多。当根的直径为0.2cm时,次生木质部的量有所增加,其组成分子主要是导管分子和少量木薄壁细胞,木薄壁细胞内含有颗粒状多糖物质或含单宁物质;次生韧皮部在横切面上占有较大比例,其组成分子中韧皮薄壁细胞占绝大多数,筛管、伴胞则成小群分布在韧皮薄壁细胞间。沿着半径的方向韧皮薄壁细胞体积增大,细胞间隙也随着增大。大多数韧皮薄壁细胞内含颗粒状多糖物质,少部分细胞充满单宁。在韧皮部中还有环形木栓结构存在。该阶段还能观察到韧皮部外围薄壁细胞脱分化形成新细胞。木栓形成层活动较旺盛,老的木栓层脱落,新的木栓层达4~5层。

### 2.2 茎的结构

一年生茎的初生结构包括表皮、皮层和维管柱。

表皮由一层细胞组成,细胞壁明显比薄壁细胞壁厚,是非木质化的初生壁。

皮层中紧邻表皮的一层细胞排列紧密,均含有单宁物质;内侧的皮层细胞排列疏松,有较大的细胞间隙而形成通气薄壁组织,有少数细胞内含单宁物质;与维管柱相邻的皮层细胞体积相对较小,排列紧密,这部分细胞绝大多数含有单宁物质。

维管柱中维管束数目较多,环状紧密排列,髓射线不明显;中央髓部的薄壁细胞也因排列疏松、有较大的细胞间隙而构成通气薄壁组织,部分细胞内也含有较多的单宁物质。

茎的初生结构形成后,直径约为0.15cm时,维管形成层出现。维管形成层经过短暂的活动,向外产生少量的筛管、伴胞和韧皮薄壁细胞;向内则首先形成少量导管分子,随后在导管分子外侧形成7~8层的薄壁细胞。这部分薄壁细胞排列紧密、规则,在横切面上呈连续的环带状分布,以后发育成厚壁组织。随着茎的不断发育,髓部和皮层的通气薄壁组织细胞间隙增大,同时部分薄壁细胞解体而形成大的腔隙。在此阶段未观察到周皮的产生,表皮细胞壁有明显的非木质化加厚,起保护作用,大多数表皮细胞内含单宁物质。

### 2.3 根颈的结构

根颈外形较粗,肉质化程度高。其内部结构为茎的结构。直径为 0.4cm 时横切面的结构由外向内依次为周皮、皮层、维管柱。

周皮的木栓层由 4 层细胞组成;木栓形成层不明显;栓内层仅可见一层薄壁细胞,内含颗粒状多糖物质。

皮层在横切面上所占的比例较大,皮层薄壁细胞间的细胞间隙明显,形成通气薄壁组织,随着发育,细胞间隙继续增大,细胞体积增大也明显,一部分细胞内含较丰富的颗粒状多糖物质,部分细胞内含单宁物质。同时还能观察到皮层薄壁细胞脱分化进行分裂,使皮层细胞增多的现象。

维管柱的维管束数目多,每个维管束在横切面上的比例很小,彼此排列紧密。当维管形成层出现并开始活动时,维管束之间的界线已不明显,整个维管组织呈一连续的环状。维管形成层活动产生的次生木质部及次生韧皮部中以薄壁细胞居多。中央髓部薄壁细胞大小不均匀,细胞间隙大而明显,形成通气薄壁组织。部分细胞含单宁物质,其余细胞含有较丰富的颗粒状多糖物质。同时仍能观察到髓部细胞脱分化产生新细胞。

### 2.4 叶的结构

叶肉质,横切面近半月形,可观察到表皮、叶肉和叶脉三部分。上下表皮均由单层细胞组成,表皮细胞整个壁明显地非木质化加厚,外壁上还具角质膜。上下表皮皆具气孔,大多数表皮细胞含有单宁物质。靠近上下表皮的各为 2~3 层栅栏组织细胞,无海绵组织的分化。栅栏组织细胞排列疏松,有大的细胞间隙。部分栅栏组织细胞也充满单宁物质。叶脉在横切面上的比例及组成细胞都很小,组成分子仅有少量的导管分子、筛管分子、伴胞及薄壁细胞。叶脉周围均有 2~4 个单宁细胞存在。

### 2.5 多糖、单宁和蛋白质在根、茎、叶中的分布规律

PAS 反应显示:根木质部、韧皮部薄壁细胞中的颗粒状物质以及根颈栓内层细胞、皮层薄壁细胞、髓薄壁细胞内的颗粒状物质均为多糖物质,并且根颈中薄壁细胞多糖含量多于根中薄壁细胞多糖的含量。

爱氏苏木精染色反应显示:根、根颈、茎和叶中含稠状物的薄壁细胞均为单宁细胞。在各器官中的分布规律是:根木质部中单宁细胞数目多于韧皮部;茎中部分表皮细胞为单宁细胞,皮层中的单宁细胞主要分布在维管柱的外围和紧邻表皮,在髓部单宁细胞则集中在紧邻木质部的部位;根颈皮层中单宁细胞也主要分布在靠近维管柱的部位,在髓中则随机分布;叶的大部分表皮细胞为单宁细胞,此外栅栏组织的部分细胞及叶脉周围的薄壁细胞多为单宁细胞。

溴酚蓝染色反应显示根、根颈、茎、叶的薄壁细胞及细胞间隙中均含有蛋白质。



### 3 讨论与小结

#### 3.1 营养器官结构特征与环境的关系

高山红景天的根、颈、根颈、叶中均有通气薄壁细胞。王为义指出,通气组织在高山植物中较为广泛,存在的形式有通气薄壁组织、通气道和腔隙薄壁组织3种类型。它们存在于地上营养器官茎的皮层和髓中,叶柄的薄壁组织中,叶片的中脉和叶肉组织中<sup>[3]</sup>。对高山红景天的研究表明,通气组织不仅存在于茎的皮层、髓和叶肉组织中,而且也存在于地下营养器官根及根颈中,但根、根颈中的通气薄壁组织不如茎、叶中发达。由于通气组织成了气体的储藏所,从根本上克服了高山上空气稀薄对植物的危害,同时由于通气组织中始终充满气体,增加了植物体的浮力,减轻了植物体的比重,这对植物体又起到了良好的支撑作用。植物体中充满气体,也起到了一定的保温作用,减轻了低温的冻害,这一点对多年生的地下根和根颈来说尤为重要。因此根、根颈中发育出通气组织可以说是适应生态环境所产生的特化结构。

茎、根颈中维管束多,并位于茎中央,排成紧密的一环,从而增加了支持强度。在茎的次生木质部中还发育出呈连续带状分布的厚壁组织。厚壁组织的细胞壁强烈加厚,并逐渐木化。这种加厚的细胞壁坚硬且富有弹性,可以抗大雪、冰雹和大风引起的各种机械损伤。茎的表皮细胞通过表皮细胞壁增厚的方式加强支持和保护作用。叶中的机械组织不发达,但表皮细胞壁非木质化的加厚却起着显著的支持作用。

#### 3.2 细胞内含物与环境的关系

高山红景天根、根颈、茎、叶中的薄壁细胞及细胞间隙含有蛋白质。根、根颈、茎、叶各部中同时分布有大量的单宁细胞。在根、根颈的薄壁细胞中还含有丰富的颗粒状多糖物质。单宁细胞的存在,被认为在抵抗低温冻土导致的“生理性干旱”方面具有一定的意义,在抵御高山环境中诸多不利因子,如强辐射、空气稀薄等方面可能也有积极的意义<sup>[4]</sup>。地下器官根、根颈的薄壁细胞含有较多多糖物质可能与多年生根、根颈要渡过寒冷冬季提高抗寒性有关。因为植物具有抗寒性的生理基础是细胞内保护物质增多,即可溶性糖含量增多。糖可提高细胞液浓度,使冰点降低,细胞不易结冰,并可增强细胞的保水能力,使原生质不易脱水;糖还能保护原生质胶体不致遇冷凝固。此外,气温降低时体内积累较多的蛋白质也有利于提高植物的抗寒性。由此可见,高山植物在适应特殊的生态环境方面,其内部结构表现出多方面的特异性。它们的外部形态与内部结构之间,结构同功能之间,表现出高度的统一性。

### 参考文献

- 罗明,谭敦炎等,1996.高山红景天的组织培养.新疆农业科学,(3):123-125
- 谭敦炎,朱建雯,田允温,1997.高山红景天的繁殖生态学研究, I. 生态因子与植物学、物候学特性析.新疆农业大学学报,20(3):1-4
- 王为义,1985.高山植物特异性研究.高原生物学集刊,4:19-32
- 吴学明,范平,李有忠等,1995.阿尼玛卿山8种柳属植物叶片的形态结构特征研究.西北植物学报,(6):72-75

## 高山红景天种群分布格局的研究<sup>①</sup>

朱建雯 谭敦炎 陈敬峰

(新疆农业大学生物基础部, 乌鲁木齐 830052)

**摘 要** 新疆天山 1 号冰川附近高寒草甸上的高山红景天种群的分布格局为集团分布, 符合  $n=2$  的奈曼分布型, 此格局的形成主要是靠有性生殖(即种子繁殖), 营养繁殖对其形成只起间接的作用。其种群数量和分布格局的变化将会对高寒草甸生态系统的稳定性产生影响。

**关键词** 天山 分布格局 种群 高山红景天

植物种群是植物在生态系统中存在的基本单位, 也是人类对资源利用的一个基本单位。植物种群的分布格局是种群生态学所关注的基本研究内容。研究分布格局的目的在于定量地描述种群在空间的数量变化, 了解植物种的生物学和生态学特性。高山红景天 (*Rhodiola coccinea* (Royle) A. Bor) 是天山 1 号冰川附近冻原植被带高寒草甸上的建群种之一, 由于红景天具有强身、健体、增强机体免疫机能等作用, 以及近年来冰川旅游的大力开发, 该地的高山红景天资源遭到大量采挖, 并成为向旅游者出售的“旅游商品”, 使该资源受到了严重破坏。因此, 开展该种植物种群生态学方面的研究, 不仅可以了解其种群数量、分布格局等方面的基本规律, 而且还可了解现代环境变化可能对冰缘植物产生的影响, 从而为冻原植被带高寒草甸植物资源的保护及可持续利用、维持高寒草甸生态系统的稳定提供理论依据。

作者曾对该地区高山红景天种群的植物学、物候学及繁育、结实特性等方面进行过较详细的观察<sup>[1,2]</sup>。本文则重点从其种群分布格局的形成与繁育系统的关系, 探讨高山红景天种群对其极端生态环境的适应特性。

### 1 地点及取样方法

观测点选在新疆天山 1 号冰川站(北纬  $43^{\circ}06'$ , 东经  $87^{\circ}15'$ )附近冻原植被带的高寒草甸上, 观测范围海拔高度 3490 ~ 3800m。取样点选在海拔 3700m 的高寒草甸上, 选择高山红景天种群生长具代表性的地段上做样方, 取样采用相邻样方格子法, 具体方法是选用  $0.5 \times 0.5\text{m}^2$  的小样方作为基本的最小格子单位, 共 256 个。全部格子连接成一个  $8 \times 8\text{m}^2$  的大样方, 此面积是此高寒草甸植物群落最小面积的 25 倍。调查时以高山红景天株丛为

<sup>①</sup> 国家自然科学基金(39460006)及中科院重点项目(B类)资助项目(KZ295 - S1 - 216)

单位进行统计记录。

## 2 资料统计分析

自然界中植物种群分布格局大体可分为以下三种形式<sup>[4,6]</sup>：

### 2.1 随机分布

指植物每个个体在取样单位中出现的机率均等,与同种其它个体的位置无关,其分布函数称波松分布,理论频数公式为:

$$NP_r = Ne^{-m} \frac{m^r}{r!}$$

式中  $P_r$  是样本中出现  $r$  个个体的概率,  $m$  是样本平均个体数。

### 2.2 集团分布

植物种群的个体由于种种原因形成个体的聚集体,一个个体的存在往往影响其它个体出现在同一取样单位中的机率。其分布有负二项分布、奈曼分布等。

负二项分布的特征是形成密集程度极不均匀的大小集团,呈嵌纹状,其理论频数公式为:

$$NP_r = N \frac{(k+r-1)!}{r!(k-1)!} q^{-k-r} p^r$$

其中:  $P = \frac{m}{k}$   $q = 1 - p$   $k$  由样本的信息估计得到。

奈曼分布的特征是:种群内个体呈核心团聚集,核心团大小相近,随机分布于空间,核心团内的个体又以随机形式分布。理论分布频数公式为:

$$NP_0 = Ne^{-m_1} e^{m_1 f(0)}$$

$$NP_{r+1} = N \frac{m_1}{r+1} \sum_{k=0}^r F_k P_{r-k}$$

其中:  $F_k = \frac{1}{k!} f^{(k+1)}(0)$

$$f(0) = n!(-m_2)^{-n} \left\{ e^{-m_2} - \sum_{s=0}^{n-1} \frac{(-m_2)^s}{s!} \right\}$$

$$f(0) = (m_2 + n)f(0) - n$$

高山红景天种群频数分布与理论分布比较表

株数	实测频数	理 论 频 数		
		波松分布	负二项分布	奈曼分布(n=2)
0	30	17.765	78.700	29.990
1	51	47.395	16.300	51.206
2	51	63.225	5.700	54.586
3	49	56.227	} 5.1	45.348
4	38	37.503		31.975
5	16	20.011		20.000
6	8	8.898		11.397
7	6	} 4.975		6.022
8	4			2.987
9	2			} 2.490
10	0			
11	1			
12	0			150.3
	$\chi^2$	25.840	3407.8	3.927
	自由度	6	2	7
	$\chi_{0.05}^2$	18.548	10.597	14.067
	适合与否	否	否	适合

注:奈曼分布中  $n=0,1,\infty$  的拟合均为不适合,表中略去。

### 2.3 均匀分布

种群的个体间保持均匀的间距,在自然情况下极少见,常见于人工栽培的群落。其分布为正二项分布,理论频数公式略。

用来检验某个种分布格局实测数据是否与以上既定的分布格局类型的数学模型吻合,所用的检验方法很多<sup>[5]</sup>,本文采用的是  $\chi^2$  检验方法,其统计量计算公式为:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_i - NP_r)^2}{NP_r} = \sum \frac{(\text{实测频数} - \text{理论频数})^2}{\text{理论频数}}$$

若  $\chi^2(r-s-1) < \chi_{0.05}^2(r-s-1)$ ,则认为适合理论模式,反之,则不适合理论模式。其中: $s$ 为独立参数的个数, $r$ 为  $\chi^2$  值的区段数。

根据以上的理论频数公式及  $\chi^2$  检验的适合性检验结果(见表),可以看出高山红景天

种群属集团分布格局,符合奈曼分布,为  $n=2$  的奈曼分布类型。

### 3 讨论

植物种群的空间分布型是种群繁殖方式和营养生长方式等生物学特性同周围环境因子互相作用的结果在空间分布上的反映。高山红景天种群奈曼型集团分布格局的形成,和该种群所处的特殊生境及该植物所具有的特殊繁育系统是密切相关的。高山红景天为较典型的高山垫状植物,具有有性生殖和营养繁殖两种繁殖方式<sup>[2]</sup>。进行有性生殖的植株,表现为雌雄异株,雌雄花均生长于生殖枝的顶端,组成伞房花序,每花序平均雌花和雄花数分别为 5.62 个和 7.76 个。果实为开裂蓇葖果,结籽率较低,成熟时果实开裂,种子体积很小,长园形,长约 1~1.5 毫米<sup>[3]</sup>,其散播方式主要有:高山强劲风力的传播作用和蓇葖果开裂时所产生的弹力使种子离开母体,但由于种子表面无任何有利于随风远距离散播的附属物,加之种子本身的重力作用,因而其种子的散播仅局限于母株附近一定的范围内,并在母株周围形成一个密度较大的核心团,核心团内的个体则呈近似的随机分布。经过长期的如此反复的过程,该种群形成了奈曼型集团分布的分布格局。

由于高山红景天生活于恶劣的环境条件下,果实的结籽率、种子的萌发率及幼苗的存活率均不高,加之其由种子萌发产生的幼苗生长多年后才能进行有性生殖,虽然通过多年生多次结实的特性加以弥补,但以单株形式产生的种子数仍然很有限,种群数量的维持和扩大受到限制。因而在长期的适应过程中,又发展了营养繁殖的方式,在植株根颈的顶端不断产生分蘖,每个分蘖顶端生长锥的细胞分裂、分化形成芽丛,这些芽丛发育成越年生的地上枝(茎),行使同化或生殖功能,而成为营养枝和生殖枝。据统计,高山红景天每株上所产生的芽丛最多可达 50 个左右,最少为 2 个,平均每株 18.42 个,每芽丛芽数最多可达 7 个,最少为 2 个,平均为 4.7 个<sup>[2]</sup>。这样通过营养繁殖所产生的无性系分株的成活率大大提高,生殖枝的数量大量增加,开花结实所产生的种子数量也相应增加,保证了种群延续和发展的需要。

从以上分布格局的形成过程可以看到,高山红景天种群分布区域的扩大和种群数量的增加,依赖于有性生殖过程中产生的种子的数量及其在所处环境中的萌发率和幼苗的存活率,营养繁殖只能增加营养、生殖枝数量和增加该种群在群落中的覆盖度,对高山红景天种群的分布格局形成只起到间接作用。

冻原植被带的高寒草甸生态系统是非常脆弱的生态系统,目前,由于过度放牧和人为的无计划采挖,使该系统中作为建群种之一的高山红景天种群数量呈下降趋势,分布格局将被破坏,一方面会限制高山红景天种群本身的维持与发展,另一方面,其数量和格局的变化,又会影响其伴生种的数量和格局,使高寒草甸生态系统的稳定性下降,如不加以控制,可能会引起整个系统的破坏,因此,应引起有关部门的重视。

## 参考文献

- 覃敦炎,朱建雯,田允温,1997.高山红景天的繁殖生态学研究Ⅰ.生态因子与植物学、物候学特性分析  
新疆农业大学学报,20(3):1-4
- 覃敦炎,朱建雯,姚芳,1998.高山红景天的繁殖生态学研究Ⅱ.繁育系统及结实特性(摘要).中国植物  
会六十五周年年会论文集
- 张彦福,1995.新疆植物志 第二卷第二分册.乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,242-243
- 丁岩钦,1994.昆虫数学生态学.北京:科学出版社,22-41
- 周纪纶,郑师章,杨持,1993.植物种群生态学.北京:高等教育出版社,99-101
- 祝宁,张大宏,常健斌等,1984.红松林下刺五加种群格局的初步研究.东北林学院学报,12(增刊):69-

## 高山离子芥营养器官的解剖学与 环境的关系研究<sup>①</sup>

阿依吐尔汗<sup>1</sup> 李志军<sup>2</sup> 谭敦炎<sup>1</sup> 姚芳<sup>1</sup>

(1 新疆农业大学生物基础部, 乌鲁木齐 830052)

(2 新疆塔里木农垦大学, 阿克苏 843300)

**摘要** 高山离子芥营养器官的解剖学研究表明:根次生结构具较厚的周皮,次生韧皮部中具发达的腔隙薄壁组织。茎的初生结构中,皮层和髓部具发达的腔隙薄壁组织;在次生结构中无周皮,表皮和皮层均存在,皮层中除具腔隙薄壁组织外,还分布有由异常形成层活动形成的壁非木质化加厚的厚壁组织,紧邻髓部的木质部中也有呈连续花环状分布的壁非木质化加厚的厚壁组织。叶片表皮细胞壁具非木质化加厚的特点,叶肉中具发达的通气组织,栅栏组织细胞 3~4 层,主脉维管束上下两侧均有壁非木质化加厚的厚壁组织,主脉与上、下表皮间的薄壁细胞均含有叶绿体。

**关键词** 天山 高山离子芥 营养器官 解剖学 环境

高山离子芥(*Chorispora bungeana* Fisch. et Mey.)是十字花科多年生高山草本植物。在新疆主要分布在海拔 2600~3700m 处的亚高山草甸、草原、砾石质山坡上。其环境条件的特点是气候寒冷,空气稀薄,辐射强,劲风,关于高山植物结构特异性的研究国内已有部分报道<sup>[1-4]</sup>。本文对高山离子芥的营养器官进行了解剖学的研究,以期获得高山植物形态结构特异性方面的资料和探讨结构与环境关系。

### 1 材料和方法

研究材料于 1996 年 4~6 月采自海拔高度为 3700m 的天山 1 号冰川附近向阳的砾石质山坡上。取材部位为根、茎、叶,以 FAA 固定,石蜡切片法制片,切片厚 9~11 $\mu$ m,番红固绿对染,加拿大树胶封片,于 Olympus BH-2 光学显微镜观察并照相。

### 2 观察结果

<sup>①</sup> 中国科学院重点项目(B类)(KZ952-S1-216)及中科院天山冰川观测试验站基金资助项目



## 2.1 根的构造

根的初生生长过程较短,维管形成层发生较早并迅速活动。根的直径为0.1cm时,其横切面由外向内可观察到周皮、次生维管组织和中央的初生木质部。

周皮的木栓层由3~4层扁平长方形细胞组成,细胞壁尚未完全木栓化;木栓形成层细胞1~2层;栓内层为2~3层薄壁细胞,细胞体积较大。

次生维管组织包括次生韧皮部、维管形成层和次生木质部。次生韧皮部在整个横切面上占有较大比例,其组成分子有筛管、伴胞和韧皮薄壁细胞,其中韧皮薄壁细胞的数量占绝大多数。次生韧皮部靠近周皮的外围部分,韧皮薄壁细胞体积较大,由于部分韧皮薄壁细胞解体而形成较大腔隙,早期形成的筛管、伴胞夹杂在薄壁细胞间;次生韧皮部靠近维管形成层的部分,新产生的筛管、伴胞、韧皮薄壁细胞较小,但清晰可见。维管形成层为2~3层扁平细胞,核明显。次生木质部的组成分子为导管分子、木薄壁细胞及部分细胞壁非木质化加厚的细胞,导管分子排列不规则,导管口径大小不一,木薄壁细胞体积较小,排列在导管分子周围。

根中央的初生木质部依然保留,为二原型根。

当根的直径为0.15cm时,根结构上明显的特征是周皮的木栓层增加到5~7层,木栓形成层为1~2层扁平细胞,而栓内层的2~3层薄壁细胞则细胞壁非木质化全面加厚。由于维管形成层向外产生较多的薄壁细胞,使得次生韧皮部中的韧皮薄壁细胞数量明显增多,同时由于韧皮薄壁细胞的不断解体,出现了较多较前期更大的腔隙,由此形成了次生韧皮部中发达的腔隙薄壁组织。次生韧皮部外侧原有的组织则由于内侧腔隙的大量形成而被挤毁。次生木质部除组成细胞增多外无显著的变化。

## 2.2 茎的结构

茎的初生结构由表皮、皮层和维管柱组成。

表皮细胞一层,为长方形薄壁细胞,细胞外壁具角质层。

皮层为10~15层薄壁细胞,细胞体积较大。在生长过程中由于部分细胞解体,皮层薄壁细胞间出现大的腔隙,从而形成皮层发达的腔隙薄壁组织。

维管柱中,维管束为外韧无限维管束,约12个做一环状排列。维管束中的初生木质部较发达,由较多导管分子和木薄壁细胞组成;初生韧皮部由筛管、伴胞及韧皮薄壁细胞组成。维管束之间的髓射线4~6列细胞宽。中央的髓部薄壁细胞体积较大,也具有由薄壁细胞解体所形成的发达腔隙薄壁组织。

当茎的直径达0.2cm时,维管形成层出现并开始活动。维管形成层向外产生次生韧皮部的量多于向内产生的次生木质部的量,且次生韧皮部的组成细胞整齐地径向排列,其中以韧皮薄壁细胞居多。木质部的主要特点是与髓相邻的木质部薄壁细胞壁非木质化加厚,在横切面上这种非木质化加厚的机械组织呈花环状分布于髓的外围。髓部的腔隙薄壁组织则依然发达。在维管形成层活动的同时,靠近韧皮部的皮层薄壁细胞恢复分裂能力,转变成异常形成层,它活动向外产生少量薄壁细胞,向内产生较多的薄壁细胞,呈环状

分布。这部分细胞以后继续发育,形成细胞壁全面非木质化加厚的机械组织。皮层中早期形成的发达腔隙薄壁组织由于维管形成层、异常形成层活动导致细胞数目增加而被挤在一起,腔隙没有初生生长阶段明显。在该生长阶段,尚无观察到周皮出现,表皮依然存在,表皮外有较厚的角质层。

### 2.3 叶的结构

在叶片的横切面上可观察到表皮、叶肉和叶脉三部分。上下表皮均由单层细胞组成,细胞均非木质化全面加厚,对应主脉的上下表皮细胞加厚尤其明显,上下表皮外还具有角质层,皆具气孔,气孔下有气孔下室。叶肉具典型的栅栏组织和海绵组织的分化,栅栏组织细胞3~4层,细胞排列疏松;海绵组织细胞近圆形或不规则,其细胞间隙较栅栏组织大而明显,形成了叶肉中较为发达的通气组织。主脉维管束单个,其中木质部较发达。木质部和韧皮部的外围分别有2~3层排列紧密的厚壁细胞,厚壁细胞壁均为非木质化加厚。主脉与上、下表皮间的部分是形态不同于栅栏、海绵组织细胞的薄壁细胞,内含叶绿体。

## 3 讨论与小结

### 3.1 营养器官的结构特征

根的次生结构中周皮较厚,栓内层细胞壁非木质化全面加厚,次生韧皮部中发育出发达的通气组织。

茎初生结构上的特点表现在皮层和髓部有发达的腔隙薄壁组织。茎具有正常的次生长,但无周皮形成,表皮、皮层依然存在。茎同时具有异常次生长,异常形成层是由靠近韧皮部的皮层薄壁细胞恢复分裂能力转变而成,它活动向内产生的3~5层呈环状分布的薄壁细胞,发育成细胞壁非木质化加厚的厚壁组织。靠近髓部的木质部中也有这种壁非木质化加厚的厚壁组织,呈连续的花环状分布。

叶片结构上的主要特征为:表皮细胞壁非木质化全面加厚;栅栏组织细胞3~4层,叶肉中具发达的通气组织;主脉维管束上下两侧均有壁非木质化加厚的厚壁组织,主脉与上、下表皮间的薄壁细胞均含有叶绿体。

### 3.2 营养器官的结构特征与环境的关系

3.2.1 关于高山植物体内通气组织存在于地上营养器官的皮层、髓、叶柄薄壁组织、叶片中脉和叶肉组织中及地下营养器官根中的研究已有报道<sup>[1,3]</sup>。我们的研究结果表明,除叶片中脉中没有发现通气组织外,根的次生韧皮部、茎的皮层、髓、叶肉组织中均有通气组织。其中茎、叶片中通气组织十分发达,从根本上克服了低浓度CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>对植物体的伤害。同时,通气组织中始终充满了气体,不仅对植物体起到良好的支持作用,而且

也起到了一定的保温作用,减轻了低温的冻害<sup>[1]</sup>。这显然是高山离子芥适应高山寒冷、空气稀薄、氧分压低、劲风所形成的适应性结构特征。

3.2.2 王为义(1985)认为草本植物为了适应高山的环境,在长期的进化过程中,以发育厚角组织、厚壁组织、普通薄壁细胞壁加厚和表皮细胞壁加厚等方式减少体内柔软的薄壁组织的比例,发展支持结构,增强细胞壁的抵抗强度<sup>[1]</sup>。高山离子芥根中具有普通薄壁细胞壁加厚的类型,即栓内层细胞壁非木质化加厚;茎皮层、木质部和叶片主脉维管束上下两侧则分布有壁非木质化加厚的厚壁组织;而叶片的表皮细胞也具有细胞壁非木质化加厚的特征。这种非木质化加厚的细胞壁坚硬且富有弹性,可以抗萎焉、抗大雪、冰雹和大风引起的各种机械损伤,这也是高山植物适应环境而特化的结构特征。

3.3.3 高山离子芥叶片栅栏组织3~4层,具备高寒地区植物叶片的栅栏组织多层<sup>[1,3]</sup>这一共同特征。而且栅栏组织细胞排列疏松与海绵组织一起构成了叶片中发达的通气组织,为光合作用提供了充足的原料。此外主脉维管束与上、下表皮间的薄壁细胞也含有叶绿体,进一步提高了光合效率,保证了高山离子芥能在短时间内正常完成个体发育,并为地下多年生根渡过寒冷冬季提供物质需要。

#### 参考文献

- 王为义,1985.高山植物特异性研究.高原生物学集刊,4:19-32  
周广泰,吴学明等,1990.青海高寒地区五十种植物解剖特征研究.青海师范大学学报,4:50-56  
周广泰,刘风琴,吴学明等,1992.青海高山植物解剖特征的研究.青海师范大学学报,45-57  
吴学明,1996.五种高山藏医药用植物茎叶的结构特征研究.西北植物学报,16(1):56-60

## 优美红景天的化学成分研究

余建军<sup>1</sup> 李忠勤<sup>1</sup> 李瑜<sup>2</sup>

(1 中国科学院兰州冰川冻土研究所天山站, 兰州 730000; 2 兰州大学化学系, 兰州 730000)

**摘要** 优美红景天(*Rhodiola coccinea*)为景天科(*crassulaceae*)植物,它是西藏民间常用中草药之一,现我们从该植物的根茎中分得 15 种化合物,经化学方法和光谱数据确定为:熊果甙(*arbutin*);伞型花内脂(*umbelliferone*);没食子酸(*gallic acid*); $\beta$ -谷甾醇( $\beta$ -*sitosterol*);胡萝卜甙(*daucost*);咖啡酸(*caffeic acid*);氢醌;槲皮素;异槲皮素;异槲皮素葡萄糖甙;莨菪亭;草酸;酪醇(*tyrosol*);没食子酸乙酯;小麦黄素。

**关键词** 天山 优美红景天 景天科 化学成分

### 1 红景天的国内外研究现状

景天科红景天属(*rhodiola* L.)植物全世界有 90 多种,中国有 70 余种,进行过化学成分研究和预试的品种约 20 个,中国 7 个。先后分离出 20 多种化学物质。主要有香豆素类、黄酮类、甙类和萜类等。已知有效单体为红景天甙(*Salidroside*)、二苯甲基六氢吡啶(*Pyridrde*)、酪醇;红景天植物提取物、红景天素和红景天甙有广泛的药理作用,如抗缺氧、抗疲劳、抗微波辐射、抗毒作用、双向调节作用及对神经系统、内分泌系统作用。毒性低;临床应用于过度疲乏时需要提高智力的健康人,病后衰弱期的病人,各种神经官能症患者。

自 50 年代起,苏联学者开始对红景天属植物的生药学、化学、药理等进行了比较全面的研究。研究发现,红景天属药物具有类似于人参和刺五加样“适应原”作用,但无人参兴奋作用过程以及刺五加易致便秘等副作用。更重要的是,红景天抗疲劳作用超过人参及刺五加,而兴奋智力活动则优于刺五加等,因此可认为它是很有发展前途的环境适应药物。现将有关红景天研究现状简述如下:

#### 1.1 红景天植物概况:

红景天为景天科(*Crassulaceae*)红景天属多年生草本或亚灌木植物,常具肉质、匍匐的根状茎民间多以此药用。

红景天全世界有 90 多种,分布在东亚、中亚及北美地区。我国有 70 多种,分布在东北、华北、西南、西北、华中等地区,大部分的物种生于海拔 3500 ~ 5000m 的石灰岩、花岗岩

山地冰川、山梁草地和山谷岩石上。常几十平方米一片片的密集生长,很少零星分布。红景天植物能在极其恶劣多变的自然环境中生长,如缺氧、低温干燥、狂风、强紫外线照射昼夜温差大等。这就意味着它从遗传上具有适应高寒多变的恶劣环境或具备了其它植物所没有的适应性物质。

红景天现已在阿尔泰山区进行人工栽培取得成功,我国东北也在进行栽培实验。

## 1.2 化学成分分布:

到目前为止,中外学者对该属的 27 种植物进行了系统的植化研究或成分分析。现列表如下:(表中化学成分空白代表未见此种植物化学成分研究)

编号	植物名称	化 学 成 分	备 注
1	大紫红景天 ( <i>R. atropurpurea</i> )		
2	<i>R. borealis</i>		
3	优美红景天 ( <i>R. coccinea</i> )	Anthocyanin, arbutin, 氢醌, 草酸, 槲皮素, 6-o-galloyarbutin, umbelliferone, 异槲皮素, 异槲皮素葡萄糖甙, 葎苣苣, 没食子酸	
4	大花红景天 ( <i>R. crenulata</i> )		
5	长鞭红景天 ( <i>R. fastigiatae</i> )		
6	长鳞红景天 ( <i>R. gelidn</i> )	Gelidolin, gelatin, 酪醇, 红景天甙, 对-羟苯乙酮, 没食子酸	
7	菱叶红景天 ( <i>R. hennyi</i> )	Tricin, tricin-7-o- $\beta$ -glucoside, 琥珀酸, 没食子酸	
8	异齿红景天 ( <i>R. heterodonta</i> )	酪醇, 红景天甙, 山奈酚, 异槲皮素, 槲皮素, 没食子酸, umbelliferone, ferulic acid	
9	喜马红景天 ( <i>R. hinnulensis</i> )	$\beta$ -谷甾醇, 没食子酸乙酯, 没食子酸, 甘露糖, 红景天甙, daucosterol, tricin	
10	( <i>R. integrifolia</i> )		
11	狭叶红景天 ( <i>R. kirilowii</i> )		
12	<i>R. krylovii</i>	8-o- $\alpha$ -L-鼠李吡喃糖甙, 8-o- $\beta$ -D-木糖-4-o-D- $\beta$ -D-木糖甙, acetyl-rhodalglin, herbacetin	
13	条叶红景天 ( <i>R. linearfolia</i> )	酪醇, 红景天甙, 山奈酚, $\beta$ -谷甾醇, 焦没食子酸, 没食子酸, 对-羟苯乙酮, rhodulide, daucosterol, phloreoglucinol, rosirrdol, rosildin, picein, herbaetin, listrinolin	

编号	植物名称	化 学 成 分	备 注
14	黄萼红景天 ( <i>R. litrinovii</i> )		
15	羽裂红景天 ( <i>R. pinnatifida</i> )	酪醇, 红景天甙酪醇, 红景天甙, 山奈酚, 槲皮素, 没食子酸, 草酸, berbacetin, myricetin, myricetin-3-o- $\beta$ -D-glucoside	
16	紫绿红景天 <i>R. purpureviridis</i>		
17	四裂红景天 ( <i>R. quadrifida</i> )	Acetyl rhodalgin, 8-methylherbacetin, rhokiolin, rhodionin, rhodiosin, rosann, rosavil, rosin, tricin, tricin-7-o- $\beta$ -D-glucoside-tricin-5-o- $\beta$ -D-glucoside, 酪醇, 红景天甙, 山奈酚-7-o- $\alpha$ -L-鼠李糖甙, 没食子酸, 没食子酸甲酯, $\beta$ -谷甾醇	
18	红景天 ( <i>R. rosea</i> )		
19	库页红景天 ( <i>R. sachalinensis</i> )	红景天甙, 酪醇	
20	圣地红景天 ( <i>R. sacra</i> )		
21	柱花红景天 ( <i>R. semenovii</i> )	儿茶酚, (-)-表儿茶酚, (-)-表儿茶酚没食子酸酯	
22	唐古特红景天 ( <i>R. tangutica</i> )	Acetyl rhodalgin, skimmin, acetyl rhodalgin, algidinalginoside, umjbelliferone, alginin, diacetyl rhodalgin, rhodalgin, rhodalginin, rhodalginoside, rhodalginin, 酪醇, rhodalide, triacetyl rhodalgin, 没食子酸, 山奈酚, 洛丁, 槲皮素, 红景天甙	
23	浅绿红景天 ( <i>R. viridula</i> )		
24	云南红景天 ( <i>R. yunnanensis</i> )		
25	互生红景天 ( <i>R. atema</i> )		
26	短柄红景天 ( <i>R. brevipitiolata</i> )		
27	粗糙红景天 ( <i>R. scabrida</i> )		

## 3 特有的化学结构

主要有三类:

## (1) 黄酮体类, 包括:

A 黄酮醇(约 30 种, 其中 22 种为特有化合物 1 - 22)详见表 1

B 黄酮类(三种 23 - 25)详见表 2

## (2) 苯烷基甙类:

A 苯乙基甙类(2 种 26 - 27)

B 苯丙素类(3 种 28 - 30)

C 酚类(2 种 31 - 32)详见表 3

表 1 黄酮醇类

编号	化 合 物	结 构	备注
1	Acetylrhodalgin	8-o- $\alpha$ -L-3-acetylarab(C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub> )	
2	Acetylrodalin	8-o- $\alpha$ -D-3-acetylxyl	
3	Alginin-curronide	3,5,4,7-tetrahy-droxy-8-o- $\beta$ -D-glu	
4	Alginoside	8-o- $\beta$ -D-glu	
5	Diacetylrodolgin	8-o- $\alpha$ -L-(2,3-diacetyl)-arab(C <sub>24</sub> H <sub>22</sub> O <sub>13</sub> )	
6	Gelidolin	4-o- $\beta$ -D-glu(C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub> )	
7	Gelolin	7-o- $\alpha$ -L-arab(C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>11</sub> )	
8	Herbacetin	C <sub>15</sub> H <sub>13</sub> O <sub>7</sub>	
9	Herbacetin-8-o-L-rha -maopyranoside	8-o- $\alpha$ -L-rham(C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub> )	
10	8-methylherbacetin	8-o-CH <sub>3</sub> (C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub> )	
11	Litrinolin	8-o- $\alpha$ -L-rha(C <sub>25</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub> )	
12	No name	8-o- $\beta$ -D-xyl-4-o- $\beta$ -D-xyl(C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub> )	
13	Rhodalgin	8-o- $\alpha$ -L-arb(C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>11</sub> )	
14	Rhodalginin	7-o- $\beta$ -D-glu, 4-o- $\beta$ -D-glu	
15	Ghodalgsiide	8-o-(di-o-acetyl)- $\beta$ -D-glu(C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>14</sub> )	
16	Rhodalginisn	8-o-(di-o-acetyl)- $\alpha$ -L-glu(C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>14</sub> )	
17	Rhodalide	8-o- $\alpha$ -L-arab, 4-o- $\beta$ -D-xyl(C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub> )	
18	Rhodalin	8-o- $\beta$ -D-xyl	
19	Rhodionin	7-o- $\alpha$ -L-rha(C <sub>21</sub> H <sub>26</sub> O <sub>11</sub> )	
20	Rhodiolin	R <sub>1</sub> + R <sub>2</sub> (C <sub>25</sub> H <sub>17</sub> O <sub>9</sub> )	
21	Rhodosin	7-o-(3-o- $\beta$ -D-gluco-pyranyl- $\alpha$ -L-rha	
22	Triacetylrodalgin	8-o- $\alpha$ -(2,3,4-triacetyl)-L-arab	

表 2 黄酮类

编号	化 合 物	结 构	备注
23	Tricin	$C_{17}H_{17}O_7$	
24	Tricin-5- $\beta$ -D-glucopyranoside	5- $\beta$ -D-glu( $C_{23}H_{14}O_{12}$ )	
25	Tricin-7- $\beta$ -D-glucopyranoside	7- $\beta$ -D-glu( $C_{23}H_{24}O_{12}$ )	

表 3 苯烷基甙类

编号	化 合 物	结 构	备注
26	D-tyrosol(酪醇)	$HO-C_6H_4-CH_2-CH_2-OR$	
27	Salidroside (红景天甙)	$R = H(C_8H_{10}O_2)R = \beta-D-glu$	
28	Rosin (酪生)	反- $ROCH_2CH = CH-C_6H_5$ $R = \beta-D-glu(C_{15}H_{20}O_6)$	
29	Rosavin (酪萨维)	$R = \alpha-L-arab-(1 \rightarrow 6)-\beta-D-glu(C_{28}H_{28}O_{10})$	
30	Rosarin (酪萨利)	$R = o-(1 \rightarrow 6)-o-\alpha-L-arab-\beta-D-glu(C_{20}H_{28}O_{10})$	
31	6-o-gallylarbutin	$RO-C_6H_4-R^1(R = 6-o-gallyl-\beta-D-glu R^1 = OH)C_{19}H_{20}O_{11}$	
32	Ricein	$R = \beta-D-glu R^1 = CH_3CO(C_{14}H_{18}O_7)$	

(3)内酯及其它甙类如香豆素类(coumarin, 2种)、伞型花内酯(umbelliferone)、苜蓿亭(scopoletin)、三萜(isomotioli-3-acetate, taraxeryl-acetate, isomultiflikenylyl-acetate)、其它(algindin,  $\delta$ -isopentenyl-3- $\beta$ -glu, D-altrofurano-h-eptulose-3, pyridrde,  $\gamma$ -lactone)。另外还有脂肪、蜡、蛋白质、水溶性挥发油、果胶、谷甾醇、丹宁、苯三酚、间苯三酚、葱醌、辛酸、氢醌、对苯二酚、阿魏酸、儿茶酸、儿茶酚等。

## 2 实验部分

熔点用  $X_6$  型熔点仪测定;质谱用 MAT-711 型质谱仪测定;核磁共振氢谱、碳谱、DEPT、二维用 JNM-G\* 400 型核磁共振仪测定;柱层析和薄层层析用硅胶(青岛海洋化工厂生产)。

### 2.1 提取分离



样品于1997年8、9月份采集于新疆天山上。经鉴定为优美红景天。取该植物根茎干粉3.0公斤,用于95%乙醇冷浸三次(每次两天),再用70%乙醇冷浸三次(每次两天),合并提取液,减压回收乙醇至无乙醇味,放置,抽滤得胶状物350克,滤液分别用石油醚、乙酸乙酯、正丁醇萃取,分别得浸膏20克、70克、212克。乙酸乙酯部分经硅胶柱层析得15个单体。

## 2.2 结构鉴定

晶Ⅰ:无色透明针状结晶(氯仿),mp 90-91°C。HRMS:  $M^+$  138.0676, 分子式  $C_8H_{10}O_2$ , 计算值 138.0888,  $m/z$ : 108, 107, 91, 79, 77, 65, 63。 $^1H_{NMR}$ ( $CDCl_3$ ) $\delta$ : 2.80(2H, t,  $J = 6Hz$ ,  $\alpha-H$ ), 3.81(2H, t,  $J = 6Hz$ ,  $\beta-H$ ), 6.80, 7.10(各2H,  $AA^1BB^1$ 型,  $J = 8Hz$ ,  $C_3-H$ ,  $C_5-H$ 和 $C_2-H$ ,  $C_6-H$ )以上理化常数和光谱数据均与文献所报道酪醇完全一致。与标准品酪醇 Tlc 的 Rf 值相同,故鉴定晶Ⅰ为酪醇。

晶Ⅱ:白色粉状(乙醇)mp 136-137°C MS  $m/z$ : 414( $M^+$ ), 396, 382, 329, 304, 273, 256, 231, 213, 159, 145, 133, 107, 95, 93, 81。晶Ⅱ的理化常数与标准品 $\beta$ -谷甾醇一致 Tlc 的 Rf 值与标准品一致。故晶Ⅱ鉴定为 $\beta$ -谷甾醇。

晶Ⅲ:白色粉末(乙醇)mp 291-293°C。EI-MS  $m/z$ : 414, 413, 399, 396, 383, 382, 381, 358, 329, 303, 273, 255, 231, 179, 161, 145, 107, 95, 81, 69。以上理化常数、光谱数据和 Rf 值均与标准品胡萝卜甙一致。故晶Ⅲ为胡萝卜甙。

晶Ⅳ:白色针状晶体(氯仿)mp 231-235°C。FeCl<sub>3</sub>呈阳性反应,25%磷钼酸乙醇溶液显兰色(加热)。 $^1H_{NMR}$ ( $CDCl_3$ ) $\delta$ : 6.91(2H, s,  $C_2-H$ 和 $C_6-H$ ), 8.86(1H, s,  $C_4-OH$ ), 9.22(2H, s,  $C_3-OH$ 和 $C_5-OH$ ), 12.24(1H, s, COOH)。晶Ⅳ的 $^1H_{NMR}$ 和 Tlc 的 Rf 值与标准品没食子酸一致,故鉴别为没食子酸。

晶Ⅴ:白色针晶(氯仿),mp 157-158°C; HRMS: 198.0545; 分子式为  $C_9H_{10}O_5$ ; IR( $cm^{-1}$ ): 3400, 3280, 2970, 1700, 1618, 1515, 1475, 1390, 1310, 1260, 1200, 1040, 1030, 870, 760;  $^1H_{NMR}$ (DMSO- $d_6$ ) $\delta$ : 9.29(2H, s, -)8.95(1H, s, -)6.94(2H, q,  $J = 7Hz$ )1.26(3H, t,  $J = 7Hz$ ),  $m/z$ : 198.0545, 170, 153, 125, 107, 79, 68, 67 以上理化数据和光谱数据均与文献报道相符,故鉴定晶Ⅴ为没食子酸乙酯(gallic acid ethyl ester)。

晶Ⅵ:黄色针状晶体 mp 189-191°C(氯仿-甲醇)HRMS: 330.0738 分子式为  $C_{17}H_{14}O_7$   $m/z$ : 330.0734, 315, 302, 301, 300, 299, 287, 272, 268, 259, 241, 229, 213, 178, 163, 153, 152 IR: 3520-2800, 1655, 1505, 1357, 1338, 1168, 1120, 1838。 $^1H_{NMR}$ :  $\delta$ 12.97(1H, s, -)10.83(1H, s, -)9.30(1H, s, -)7.32(2H, s, -)6.98(1H, s, -), 6.56(1H, s, -)6.20(1H, s, -)3.88(6H, s, -)。以上理化数据和光谱数据均与文献报道相符,故鉴定晶Ⅵ为小麦黄素(tricin)。

晶Ⅶ:无色透明晶体, mp 159-160°C(氯仿-乙醇)HRMS: 300. MS:  $m/z$  300, 163, 135, 122, 117, 103, 87, 85, 73, 69 分子式:  $C_{14}H_{21}O_7$  根据以上光谱数据,可断定晶Ⅶ为红景天甙。

晶Ⅷ:黄色针晶, mp 275-277°C(甲醇)MS:  $m/z$  286( $M^+$ ), 267, 257, 241, 153, 121; IR( $cm^{-1}$ ): 3350, 1650, 1600, 1560;  $^1H_{NMR}$ ( $CD_3COCD_3$ ):  $\delta$ 6.20(1H, s, -)6.45(1H, s, -)6.90(2H, d,

$J = 9\text{Hz}$ ) 8.10(2H, d,  $J = 9\text{Hz}$ ) 9.41(1H, s, -) 10.16(1H, s, -) 10.86(1H, s, -) 12.60(1H, s, -) 以上 IR, MS,  $^1\text{H}$ NMR 数据与文献山奈酚光谱数据理化数据相符, 故鉴定晶Ⅶ为山奈酚(kuempferol)。

晶Ⅷ: 白色针状结晶(甲醇), mp 234-235 $^{\circ}\text{C}$ 。在含水乙醇中产生兰色荧光, 紫外灯下显强的兰色荧光。晶Ⅷ Rf 值也与标准品一致, 混合物斑点重合, 故鉴定晶Ⅷ为伞形花内酯。

晶Ⅸ: 黄色方晶(水), mp 204-206 $^{\circ}\text{C}$ (分解), 190 $^{\circ}\text{C}$ 软化,  $\text{FeCl}_3$  显兰色。EI-MS  $m/z$ : 180( $\text{M}^+$ ), 163, 145, 135, 134, 117, 107, 89。以上理化数据、光谱数据与文献报道的咖啡酸一致。故晶Ⅸ为咖啡酸。

### 3 红景天植物化学成分波谱解析

表 4 晶 I 波谱数据及解析

MS( $m/z$ )	归属	氢谱(D-氯仿)	归属
138.0676(31)	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2$	2.80(2H, t, $J = 6\text{Hz}$ )	$\alpha\text{-H}$
108(13)		3.81(2H, t, $J = 6\text{Hz}$ )	$\beta\text{-H}$
107(100)		6.80, 7.10(各 2H, AA <sup>1</sup> BB <sup>1</sup> 型, $J = 8\text{Hz}$ )	分别代表 $\text{C}_3\text{-H}$ , $\text{C}_5\text{-H}$ 和 $\text{C}_2\text{-H}$ , $\text{C}_6\text{-H}$
91(3.2)			
79(32)			
65(4.1)			
63(4.3)			

表 5 晶 II 波谱数据及解析

MS( $M/Z$ )	归属	IR( $\text{CM}^{-1}$ )	归属
414(100%)	$\text{M}^+(\text{C}_{29}\text{H}_{50}\text{O})$	3400	-OH
396	$\text{M}^+ - \text{H}_2\text{O}$	2930	
382		1640	$\text{C} = \text{C}$
329(32)		1450	
304		1380	
273(31)		1370	
256		1060	

表 6 晶Ⅲ波谱数据及解析

MS(M/Z)	归 属	FAB-MS(M/Z)	归 属
414	甙元的 M <sup>+</sup>	576	M <sup>+</sup> (C <sub>30</sub> H <sub>60</sub> O <sub>6</sub> )
413		414	M <sup>+</sup> -glucosyl + H <sub>2</sub> O
399		396	M <sup>+</sup> -glucosyl
396	甙元的 M <sup>+</sup> -H <sub>2</sub> O	163	Glucosyl-OH
383			
382			
381			
358			
329			
303			
273			
255			
231			
179			
161			
145			
107			
95			
81			
69			

表 7 晶Ⅳ波谱数据及解析

MS(M/Z)	归 属	氢谱 PPM(XHPJ)	归 属
170	M <sup>+</sup> (C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub> )	12.24(1H, s, -)	COOHD <sub>2</sub> O 交换后消失
153	M <sup>+</sup> -OH	9.22(2H, s, -)	C <sub>3,5</sub> -OH×2D <sub>2</sub> O 交换后消失
125	M <sup>+</sup> -COOH	8.86(1H, s, -)	C <sub>4</sub> -OHD <sub>2</sub> O 交换后消失
107		6.91(2H, s, -)	C <sub>2,6</sub> -H×2
96			
79			
66			

表 8 晶 V 波谱数据及解析

MS(M/Z)	归 属	氢谱 PPM(XHPJ)	归 属
198	M <sup>+</sup> (C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )	9.29(2H, s, -)	D <sub>2</sub> O 交换后消失,说明有两个完全对称的 OHC <sub>3</sub> -OH 和 C <sub>5</sub> -OH
170	M <sup>+</sup> -CO	8.95(H, s, -)	D <sub>2</sub> O 交换后消失,说明有三个 OH, C <sub>4</sub> -OH
153	M <sup>+</sup> -OCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	6.94(2H, q, 7Hz)	O-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> 中 CH <sub>2</sub> 上的两个 H
125	M <sup>+</sup> -COO CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1.26(3H, t, 7Hz)	O-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> 中 CH <sub>3</sub> 上的三个 H
107		4.2(2H, s, -)	C <sub>2</sub> -H 和 C <sub>6</sub> -H
79			
68			
67			

表 9 晶 VI 波谱数据及解析

MS(M/Z)	归 属	氢谱 PPM(XHPJ)	归 属
330	M <sup>+</sup> (C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub> )	12.96(1H, s, -)	C <sub>5</sub> -OH
315	M <sup>+</sup> CH <sub>3</sub>	10.84(1H, s, -)	C <sub>7</sub> -OH
302	M <sup>+</sup> -CO	9.45(1H, s, -)	C <sub>4</sub> -OH
300	M <sup>+</sup> -2CH <sub>3</sub>	7.33(2H, s, -)	C <sub>2,6</sub> -2H
299	M <sup>+</sup> -OCH <sub>3</sub>	6.99(1H, s, -)	C <sub>3</sub> -H
287	M <sup>+</sup> -CH <sub>3</sub> CO	6.57(1H, d, 2Hz)	C <sub>8</sub> -H
272	M <sup>+</sup> -2CH <sub>3</sub> CO	3.88(6H, s, -)	2OCH <sub>3</sub>
268	M <sup>+</sup> -2OCH <sub>3</sub>		

表 10 晶Ⅷ波谱数据及解析

MS(M/Z)	归 属	氢谱 PPM(XHPJ)	归 属
300	M <sup>+</sup> (C <sub>14</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub> )	2.82(2H, t, 8Hz)	α-2H
163	glu-OH(C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>5</sub> )	4.31(1H, d, 7Hz)	C <sub>6</sub> -H
138(45.3)	貳元	6.8(2H, d, 8Hz)	C <sub>3</sub> -H C <sub>5</sub> -H
122(100)		7.13(2H, d, 8Hz)	C <sub>2</sub> -H C <sub>6</sub> -H
107(77)		3.0-4.2(8H, m, -)	β-2H 和糖上 6H
103(42.5)			
87(50.2)			
73(61)			
69(45.6)			

表 11 晶Ⅷ波谱数据及解析

MS(M/Z)	归 属	氢谱 PPM(XHPJ)	归 属	IR(CM <sup>-1</sup> )	归属
286	M <sup>+</sup>	6.2(1H, s, -)	C <sub>6</sub> -H	3350	酚羟基
269	M <sup>+</sup> -OH	6.45(1H, s, -)	C <sub>8</sub> -H	1650	
257		6.9(2H, d, 9Hz)	C <sub>3</sub> -H C <sub>5</sub> -H	1600	芳环
241		8.10(2H, d, 9Hz)	C <sub>2</sub> -H C <sub>6</sub> -H	1560	
153		9.41(1H, s, -)	C <sub>3</sub> -OH		
121		10.16(1H, s, -)	C <sub>4</sub> -OH		
		10.86(1H, s, -)			
		12.60(1H, s, -)			

## 参考文献

中国科学院中国植物志编委会, 1984. 中国植物志, 34(1). 北京: 科学出版社

# 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡观测研究 (1996/1997 和 1997/1998 年度)

焦克勤 王纯足

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

**摘 要** 本文以 1 号冰川 1996/1997 和 1997/1998 年度实测物质平衡资料为基础, 计算出 1 号冰川物质冬平衡分别为 11.0mm 和 29.3mm 水当量, 对应的 AAR 值分别为 0.71 和 0.73; 年平衡分别为 -853.0mm 和 -789.9mm 水当量, 相应的 AAR 值分别为 0.25 和 0.33。自 1959 年以来, 1996/1997 年度 1 号冰川物质负平衡值最大, 1997/1998 年度次之。根据气温和降水记录资料分析, 造成这种结果的主导因素是气温, 尤其是夏季气温, 其次是降水。

**关键词** 乌鲁木齐河源 冰川物质平衡 影响因素

## 1 前言

1994 年, 对 1 号冰川进行了地面立体摄影测量, 并于 1995 年编绘成图。因此, 在 1996 年前, 1 号冰川使用 1986 年地面立体摄影测量图(1:5000)量算的面积为  $1.84\text{km}^2$ , 东、西支冰川面积分别为  $1.163\text{km}^2$  和  $0.677\text{km}^2$ 。1996 年后, 1 号冰川使用 1994 年地面立体摄影测量图(1:5000)量算的面积为  $1.742\text{km}^2$ 。东、西支冰川面积分别为  $1.115\text{km}^2$  和  $0.627\text{km}^2$ 。

由于全球气候的变暖, 1 号冰川退缩和减薄迅速, 使得 1 号冰川东、西支已完全分离。因此, 在观测研究 1 号冰川物质平衡形成过程时, 分别对东、西支冰川进行观测和计算。但为了和以往观测资料相衔接与比较, 同时也给出了 1 号冰川物质平衡及其分量的观测研究结果。

## 2 冰川物质平衡的观测和计算

冰川物质平衡观测最精确的方法是在冰川上布设足够多的测点, 定期进行系统的观测, 然后综合各个测点的观测结果, 并计算出整个冰川或冰川某一部分在一个物质平衡年度或某一时段的物质平衡各分量。1 号冰川东、西支物质平衡观测分别布设了 12 和 14 条横断面(由于冰川后壁陡峭, 观测困难, 东支 I'-L' 断面, 一条断面只布设了一个测点; 西支 L<sub>1</sub>-和 L<sub>6</sub> 断面, 同样只布设了一个测点), 共计 73 个测点, 不仅是我国目前单位面积测点最多的冰川, 平均测点布设密度为 42 个/ $\text{km}^2$ , 而且也是定期的、系统的进行观测研究的

冰川,其时间序列亦是最长的。

1号冰川物质平衡观测按传统的直接观测法进行。在消融区,以测杆法进行冰川消融观测,并在测杆附近挖坑观测记录积雪、附加冰层厚度及其平均密度和污化面位置,确定年层层位,再分别计算出相邻两次观测期间冰川冰、附加冰和积雪的净平衡。在积累区,除量测各个测点上的测杆外,必须用开挖雪坑观测雪层剖面的方法直接观测冰川积累。但观测雪坑的雪层剖面比在消融区的直接观测要复杂得多。除对开挖的雪层剖面进行层位描述和测定各层的物理指标(颗粒形状、粒径、硬度和密度等)外,还必须准确判别夏末消融面即污化面。由于中国大多数冰川夏季降雪频繁,在一个年层中往往出现几个污化面,而在冰川上部,夏季连续降雪也可能造成找不到明显的污化面。因此,观测者应具有雪层演变、成冰作用的知识和丰富的经验,必要时需采用其它辅助方法。1号冰川除以测杆观测来断定年层外,并辅以撒覆松针或锯沫人工污化面加以对照和修正。

冰川物质平衡计算按传统的方法进行,即以各测点的测杆实测物质平衡(表1、2、3、4)为基础,将所得结果标定在大比例尺(1:5000)冰川图上,并绘制成积、消等值线图(图1、2、3、4),利用等值线法计算出1号冰川东、西支或整个冰川的平均冬平衡(表5、6)和年平均量(表7、8)。为便于对比和使用,同时也计算给出了各高度带的物质平衡(表9、10、11、12)。

### 3 冰川物质平衡的基本特征

#### 3.1 冬平衡与年平衡

从表5和6计算结果可以看出,1号冰川1996/1997和1997/1998年度冬平衡分别为11mm和29.3mm水当量,对应的AAR值分别为0.71和0.73,不论是冬平衡值还是AAR值,前者小于后者。根据多年观测资料证实,无论冬平衡值多大,冰舌下部的物质平衡总是处在负的状态下,并随着冬平衡值的减小而消融强度增大,零平衡线不是低于冰舌末端,而是出现在冰舌区某一高度上。例如,1996/1997和1997/1998年度冬季,1号冰川冰舌下部的消融面积分别达 $0.498\text{km}^2$ 和 $0.473\text{km}^2$ ,消融量分别达 $11.2 \times 10^4\text{m}^3$ 和 $8.4 \times 10^4\text{m}^3$ ,平均消融深分别为456.2mm和177.6mm,零平衡线高度分别达到3974m和3970m。这一状态反映出,天山乌鲁木齐河源冬季降雪少,并在太阳辐射作用下,不仅使新降雪融化,而且使部分冰川冰消融,同时冰雪面的升华和蒸发损失也是一个不可忽视的因素。

从表7和8的计算结果可以看出,1996/1997和1997/1998年度1号冰川年物质平衡分别为-853.0mm和-789.9mm水当量,相应的AAR值分别为0.25和0.33。前者是实测记录以来负平衡值最大,AAR值最小的,后者仅次于前者。根据1号冰川末端附近的1号冰川水文点气温和降水观测资料,这两个年度的冰川物质平衡年内和夏季消融期内(5~8月)的平均气温都十分接近,其差值为 $0.1^\circ\text{C}$ 和 $0.05^\circ\text{C}$ ,而降水相差较大,其差值为200mm。这反映在冰川年物质平衡上,1号冰川1997/1998年度负平衡值小于1996/1997年度的负平衡值,其差值为63.1mm水当量。

表1 1号冰川东支单点物质平衡观测数据统计表

(1996.9.1~1997.8.31)

剖面 (位置)	花杆 (NO.)	高度 (m)	纯 积 消 量 (mm)					合 计 (mm)
			96.9.2 97.5.2	97.6.2	97.7.2	97.8.2	97.9.2	
A'	1		-288.0	-513.0	-1161.1	-2061.0	-2556.6	-2556.6
	2		-396.0	-846.0	-1434.0	-2394.0	-3564.0	-3564.0
	3		-360.0	-810.0	-1398.0	-2745.0	-3843.0	-3843.0
	平均		-348.0	-723.0	-1331.0	-2400.0	-3321.2	-3321.2
B'	1		+120.0	+161.8	+5.0	-846.0	-1566.0	-1566.0
	2		-330.0	-531.0	-960.0	-2115.0	-2835.0	-2835.0
	3		-240.0	-432.0	-566.0	-1710.0	-2250.0	-2250.0
	4		-450.0	-684.0	-1195.0	-2340.0	-3033.0	-3033.0
	平均		-225.0	-371.0	-679.0	-1752.8	-2421.0	-2421.0
C'	1		-18.9	-26.8	-158.9	-1452.9	-2136.9	-2136.9
	2		-211.0	-262.0	-443.0	-1639.0	-2242.0	-2242.0
	3		-132.0	-188.4	-566.4	-1772.4	-2321.4	-2321.4
	4		-116.7	-173.5	-274.5	-1087.5	-1717.5	-1717.5
	平均		-119.7	-162.7	-360.7	-1488.0	-2104.5	-2104.5
D'	1		+27.0	+117.4	+149.4	-754.6	-1546.6	-1546.6
	2		-36.3	-6.0	-153.0	-928.0	-1522.0	-1522.0
	3		-123.3	-126.8	-314.3	-1197.3	-1791.3	-1791.3
	4		-151.2	-131.3	-310.8	-1218.8	-1803.8	-1803.8
	5		+50.5	+137.7	+167.0	-404.0	-836.0	-836.0
	平均		-58.3	-2.3	-115.4	-1125.7	-1499.9	-1499.9
E'	1		+7.7	+44.5	+7.0	-840.3	-1335.3	-1335.3
	2		+45.4	+93.8	+38.2	-773.1	-1268.1	-1268.1
	3		+86.8	+104.4	+30.3	-553.7	-940.7	-940.7
	4		+43.1	+84.7	+38.0	-552.9	-993.9	-993.9
	5		+46.0	+39.3	+83.9	-114.0	-450.0	-450.0
	平均		+45.8	+73.3	+39.5	-566.8	-997.6	-997.6
F'	1		+228.5	+223.5	+307.5	-359.5	-836.5	-836.5
	2		+52.0	+88.8	+104.3	-498.5	-894.5	-894.5
	3		+91.2	+164.7	+100.2	-433.8	-739.8	-739.8
	4		+95.7	+220.0	+278.7	-152.3	-314.3	-314.3
	5		+127.0	+213.6	+242.6	-42.0	-640.5	-640.5
	平均		+118.9	+182.1	+206.7	-297.2	-685.1	-685.1
G'	1		+44.5	+176.5	+227.9	-401.0	-851.0	-851.0
	2		+18.0	+84.8	+71.5	-524.5	-1019.5	-1019.5
	3		+14.7	+92.3	+91.7	-488.3	-875.3	-875.3
	4		+153.9	+244.3	+315.4	-144.1	-311.6	-311.6
	5		-0.1	+42.4	+92.0	-325.1	-497.1	-497.1
	平均		+46.2	+128.1	+159.7	-376.6	-710.9	-710.9
H'	1		+52.8	+127.3	+82.8	-508.2	-1021.2	-1021.2
	2		+126.0	+160.0	+205.2	-160.2	-266.0	-266.0
	3		+150.0	+192.9	+234.0	-232.0	-397.0	-397.0
	平均		+109.6	+159.8	+174.0	-298.3	-561.4	-561.4
I'	1		+150.0	+84.2	+18.3	-47.6	-113.5	-113.5
J'	1		+165.0	+112.2	+59.3	+6.4	-46.5	-46.5
K'	1		+180.0	+226.2	+272.3	+318.4	+364.5	+364.5
L'	1		+180.1	+225.1	+270.1	+315.1	+360.0	+360.0
平均	平均		+168.8	+161.9	+155.0	+148.1	+141.1	+141.1



表2 1号冰川西支单点物质平衡观测数据统计表

(1996.9.1~1997.8.31)

剖面位置)	花杆(NO.)	高度(m)	纯 积 消 量 (mm)					合 计 (mm)
			96.9.3 97.5.1	97.6.1	97.7.1	97.8.1	97.9.1	
A	1		-936.0	-1290.0	-2363.0	-3314.8	-4349.8	-4349.8
	2		-480.0	-660.0	-1373.0	-2189.8	-3269.8	-3269.8
	平均		-705.0	-975.0	-1868.0	-2752.3	-3809.8	-3809.8
B	1		-480.0	-723.0	-1148.0	-2234.8	-3134.8	-3134.8
	2		-540.0	-900.0	-1253.0	-2366.8	-3221.8	-3221.8
	平均		-510.0	-811.5	-1200.5	-2300.8	-3178.3	-3178.3
C	1		-126.0	-264.0	-393.6	-1542.0	-2163.0	-2163.0
	2		-357.0	-564.0	-918.0	-1914.0	-2724.0	-2724.0
	3		-705.0	-915.0	-1007.6	-1995.0	-2607.0	-2607.0
	平均		-396.0	-581.0	-773.3	-1817.0	-2498.0	-2498.0
D	1		-90.0	-195.0	-494.6	-1455.0	-2022.0	-2022.0
	2		-225.0	-369.0	-614.6	-1485.0	-2151.0	-2151.0
	3		-75.0	-124.5	-242.6	-843.0	-1581.0	-1581.0
	4		-663.0	-852.0	-1127.0	-2175.0	-2877.0	-2877.0
	平均		-263.3	-385.1	-619.7	-1489.5	-2157.8	-2157.8
E	1		-78.0	-87.6	-390.1	-1343.6	-1640.6	-1640.6
	2		-144.0	-224.0	-399.5	-1268.0	-1853.0	-1853.0
	3		-111.0	-77.6	-113.1	-990.6	-1575.6	-1575.6
	4		-150.0	-138.6	-186.3	-1504.8	-1657.8	-1657.8
	5		+55.0	+40.0	+12.0	-753.5	-1140.5	-1140.5
	平均		-85.6	-97.6	-215.4	-1082.1	-1573.5	-1573.5
F	1		-11.0	+51.3	+22.5	-692.5	-1241.5	-1241.5
	2		-27.5	+25.2	-8.0	-748.3	-1297.3	-1297.3
	3		-20.5	+76.3	+11.5	-561.2	-1173.2	-1173.2
	4		+57.5	+106.0	+47.0	-406.5	-901.5	-901.5
	5		+96.0	+181.3	+176.5	-150.0	-230.0	-230.0
	平均		+18.9	+88.0	+49.9	-511.7	-968.7	-968.7
G	1		+46.0	+63.4	+70.6	-463.0	-1021.0	-1021.0
	2		-30.0	-23.7	-50.7	-772.6	-1294.6	-1294.6
	3		+56.5	+39.6	-40.0	-694.5	-1207.5	-1207.5
	4		+55.0	+230.6	+271.0	-70.0	-291.5	-291.5
	5		+150.0	+169.2	+237.5	-10.0	-117.5	-117.5
	平均		+55.5	+105.3	+97.7	-402.0	-786.4	-786.4
H	1		+45.0	+68.8	+111.2	-356.0	-853.0	-853.0
	2		+12.5	+12.3	-22.4	-521.5	-1016.5	-1016.5
	3		+77.5	+89.8	+53.3	-469.0	-1009.0	-1009.0
	4		+150.0	+182.4	+244.2	0.0	-258.5	-258.5
	平均		+71.3	+88.3	+96.6	-336.6	-784.3	-784.3
L <sub>1</sub>	1		+144.0	-55.2	-254.3	-453.4	-652.5	-652.5
L <sub>2</sub>	1		+141.0	+32.5	-76.0	-184.0	-293.0	-293.0
L <sub>3</sub>	1		+168.0	+212.7	+257.3	+301.9	+346.5	+346.5
L <sub>4</sub>	1		+196.0	+214.5	+233.5	+251.5	+270.0	+270.0
L <sub>5</sub>	1		+168.0	+193.5	+219.5	+244.5	+270.0	+270.0
L <sub>6</sub>	1		+84.0	+111.0	+138.0	+165.0	+192.0	+192.0
平均	平均		+150.2	+118.2	+86.3	+54.2	+22.2	+22.2

表3 1号冰川东支单点物质平衡观测数据统计表

(1997.9.1~1998.8.31)

剖面位置	花杆(NO.)	高度(m)	纯 积 消 量 (mm)					合 计 (mm)
			97.8.31 98.5.1	98.6.1	98.7.1	98.8.1	98.9.1	
A'	1		-408.0	-540.0	-1593.0	-2511.0	-3402.0	-3402.0
	2		-432.0	-685.0	-1800.0	-2700.0	-3591.0	-3591.0
	3		-462.0	-685.0	-1800.0	-2700.0	-3636.0	-3636.0
	平均		-434.0	-636.7	-1731.0	-2637.0	-3534.0	-3534.0
B'	1		-120.0	-36.5	-1355.6	-2309.0	-3164.0	-3164.0
	2		-177.0	-159.5	-819.0	-1809.0	-2686.5	-2686.5
	3		-276.0	-238.5	-1170.0	-2070.0	-2988.0	-2988.0
	4		-315.0	-442.0	-1377.0	-2250.0	-3123.0	-3123.0
平均		-222.0	-219.1	-1180.3	-2108.0	-2990.4	-2990.4	
C'	1		-165.5	-107.5	-666.0	-1476.0	-2277.0	-2277.0
	2		-39.0	-146.5	-729.0	-1377.0	-2178.0	-2178.0
	3		-93.0	-47.0	-531.0	-1251.0	-1962.0	-1962.0
	4		+180.0	+258.0	-162.0	-720.0	-1557.0	-1557.0
平均		-29.4	-10.8	-522.0	-1206.0	-1993.5	-1993.5	
D'	1		-351.0	-353.0	-981.0	-1476.0	-1948.5	-1948.5
	2		-69.0	+3.5	-423.0	-846.0	-1345.5	-1345.5
	3		-120.0	-128.5	-657.0	-1233.0	-1597.5	-1597.5
	4		-129.0	-69.5	-567.0	-1035.0	-1372.0	-1372.0
	5		-45.0	+89.0	-207.0	-585.0	-774.0	-774.0
平均		-142.8	-91.7	-567.0	-1035.0	-1407.5	-1407.5	
E'	1		+15.0	+135.0	-225.0	-576.0	-837.0	-837.0
	2		+57.0	+152.0	-198.0	-788.0	-1161.5	-1161.5
	3		+42.0	+97.6	-198.0	-558.0	-765.0	-765.0
	4		+9.0	+39.0	-261.0	-567.0	-855.0	-855.0
	5		+83.5	+191.0	-80.0	-161.0	-341.0	-341.0
平均		+41.3	+122.9	-192.4	-530.0	-791.9	-791.9	
F'	1		+15.0	+6.5	-423.0	-783.0	-1075.5	-1075.5
	2		+21.0	+28.5	-237.0	-579.0	-826.5	-826.5
	3		+45.0	+89.0	-171.0	-477.0	-733.5	-733.5
	4		+69.0	+90.0	-155.5	-234.0	-441.0	-441.0
	5		+270.5	+332.5	+36.5	-63.0	-288.0	-288.0
平均		+84.1	+106.7	-190.0	-427.2	-672.9	-672.9	
G'	1		+120.0	+226.0	+24.0	-626.5	-851.5	851.5
	2		-60.0	-29.0	-136.5	-540.0	-810.0	-810.0
	3		-57.0	-38.5	-360.0	-720.0	-999.0	-999.0
	4		+169.0	+192.5	-59.0	-291.5	-480.5	-480.5
	5		+150.0	+277.5	+76.5	-90.0	-247.5	-247.5
平均		+64.4	+125.7	-91.0	-453.6	-677.7	-677.2	
H'	1		+116.0	+283.5	+5.0	-373.0	-638.5	-638.5
	2		+79.5	+145.5	-49.5	-125.5	-278.5	-278.5
	3		+165.0	+287.5	+54.0	-103.5	-157.5	-157.5
平均		+120.2	+238.8	+3.2	-200.7	-358.2	-358.2	
I'	1		+172.5	+191.3	+210.0	+228.8	+247.5	+247.5
J'	1		+243.5	+264.8	+286.0	+307.3	+328.5	+328.5
K'	1		+210.0	+230.7	+251.3	+271.9	+292.5	+292.5
L'	1		+150.0	+165.4	+180.8	+196.2	+211.5	+211.5
平均	平均		+194.0	+213.0	+232.0	+251.6	+270.0	+270.0

表4 1号冰川西支单点物质平衡观测数据统计表

(1997.9.1~1998.8.31)

剖面位置)	花杆(NO.)	高度(m)	纯 积 消 量 (mm)					合 计 (mm)
			97.8.31 98.5.2	98.6.2	98.7.2	98.8.2	98.9.2	
A	1		-510.0	-810.0	-1809.0	-2709.0	-3608.0	-3608.0
	2		-600.0	-900.0	-1836.0	-2736.0	-3635.0	-3635.0
	平均		-555.0	-855.0	-1822.5	-2722.5	-3621.5	-3621.5
B	1		-213.0	-297.0	-1037.0	-1943.0	-2824.5	-2824.5
	平均		-384.0	-468.5	-1249.5	-2164.8	-3037.0	-3037.0
C	1		-162.0	-138.5	-237.5	-836.5	-1276.0	-1276.0
	2		-240.0	-325.0	-1106.0	-1998.0	-2753.0	-2753.0
	3		-708.0	-883.0	-1692.0	-2601.0	-3419.0	-3419.0
	平均		-370.0	-448.8	-1011.8	-1811.8	-2482.7	-2482.7
D	1		-63.0	-16.0	-418.0	-1111.0	-1731.0	-1731.0
	2		-291.0	-329.0	-899.0	-1494.0	-2159.0	-2159.0
	3		-12.0	+83.0	-351.0	-837.0	-1547.3	-1547.3
	4		-708.0	-883.0	-1224.0	-1971.0	-2861.0	-2861.0
	平均		-268.5	-270.5	-719.0	-1248.8	-1796.8	-1796.8
E	1		-294.0	-258.0	-425.5	-954.0	-1421.0	-1421.0
	2		-147.0	-92.0	-429.0	-936.0	-1403.0	-1403.0
	3		-135.0	-105.0	-375.0	-900.0	-1296.0	-1296.0
	4		-162.0	-64.5	-378.0	-900.0	-1231.0	-1231.0
	5		-75.0	+76.0	-282.0	-693.0	-953.0	-953.0
	平均		-162.6	-88.7	-377.9	-876.6	-1260.8	-1260.8
F	1		+9.0	+55.5	-165.0	-612.0	-899.0	-899.0
	2		-30.0	+46.0	-156.0	-549.0	-786.0	-786.0
	3		+63.0	+117.5	-177.0	-423.0	-818.0	-818.0
	4		-57.0	-15.0	-333.0	-495.0	-725.0	-725.0
	5		+165.0	+245.0	+176.0	0.0	-250.0	-250.0
	平均		+30.0	+89.8	-131.0	-415.8	-695.6	-695.6
G	1		-69.0	+48.5	-260.0	-738.0	-873.0	-873.0
	2		-177.0	-70.5	-307.0	-675.0	-910.0	-910.0
	3		-144.0	-58.0	-210.0	-486.0	-599.0	-599.0
	4		+133.0	+159.5	-27.0	-156.0	-210.0	-210.0
	5		+255.0	+367.5	+340.0	+198.0	+150.0	+150.0
	平均		-0.4	+89.4	-92.8	-371.4	-488.4	-488.4
H	1		-96.0	+9.5	-108.5	-540.0	-676.0	-676.0
	2		-111.0	-58.5	-239.0	-522.0	-658.0	-658.0
	3		+99.0	+167.0	-42.0	-252.0	-388.0	-388.0
	4		+285.0	+367.5	+252.0	+81.0	+150.0	+150.0
	平均		+44.3	+121.4	-34.4	-308.3	-393.0	-393.0
L <sub>1</sub>	1		+213.0	+203.7	+194.4	+184.7	+175.0	+175.0
L <sub>2</sub>	1		+222.0	+210.3	+198.5	+186.8	+175.0	+175.0
L <sub>3</sub>	1		+213.0	+221.0	+229.0	+237.0	+245.0	+245.0
L <sub>4</sub>	1		+210.0	+220.0	+230.0	+240.0	+250.0	+250.0
L <sub>5</sub>	1		+171.0	+109.6	+219.0	+243.7	+268.4	+268.4
L <sub>6</sub>	1		+102.0	+120.5	+139.0	+157.5	+176.0	+176.0
平均	平均		+188.5	+195.1	+201.7	+208.3	+214.9	+214.9

表5 1号冰川冬平衡观测计算结果

(1996.9.1~1997.4.30)

冰川	零平线高度 (m)	纯 积 累			纯 消 融			物质平衡差额	
		积累区面积 (km <sup>2</sup> )	积累深度 (mm)	积累量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	消融区面积 (km <sup>2</sup> )	消融深度 (mm)	消融量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	总量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	平衡值 (mm)
东支	3902	0.848	95.5	8.1	0.267	183.5	4.9	+3.2	+29
西支	4046	0.396	126.3	5.0	0.231	272.7	6.3	-1.3	-21
合计	3974	1.244	221.8	13.1	0.498	456.2	11.2	+1.9	+11

表6 1号冰川冬平衡观测计算结果

(1997.9.1~1998.4.30)

冰川	零平线高度 (m)	纯 积 累			纯 消 融			物质平衡差额	
		积累区面积 (km <sup>2</sup> )	积累深度 (mm)	纯积累 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	消融区面积 (km <sup>2</sup> )	消融深度 (mm)	纯消融 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	总量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	平衡值 (mm)
东支	3903	0.963	99.7	9.6	0.152	177.6	2.7	+6.9	+61.9
西支	4037	0.306	127.5	3.9	0.321	177.6	5.7	-1.8	-28.7
合计	3970	1.269	106.4	13.5	0.473	177.6	8.4	+5.1	+29.3

表7 1号冰川年物质平衡观测计算结果

(1996.9.1~1997.8.31)

冰川	零平线高度 (m)	纯 积 累			纯 消 融			物质平衡差额	
		积累区面积 (km <sup>2</sup> )	积累深度 (mm)	积累总量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	消融区面积 (km <sup>2</sup> )	消融深度 (mm)	消融总量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	总量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	平衡值 (mm)
东支	4079	0.275	192.7	5.3	0.840	1089.3	91.5	-86.2	-773
西支	4240	0.151	317.9	4.8	0.476	1411.2	67.2	-62.4	-995
合计	4160	0.426	510.6	10.1	1.316	2500.5	158.7	-148.6	-853

表 8 1号冰川年物质平衡观测计算结果

(1997.9.1~1998.8.31)

冰川	零平线 高度 (m)	纯 积 累			纯 消 融			物质平衡差额	
		积累区 面积 (km <sup>2</sup> )	积 累 深度 (mm)	纯积累 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	消融区 面积 (km <sup>2</sup> )	消 融 深度 (mm)	纯消融 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	总 量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	平衡值 (mm)
东支	4055	0.314	159.2	5.0	0.801	1212.2	97.1	-92.1	-826.0
西支	4138	0.256	191.4	4.9	0.371	1358.4	50.4	-45.5	-725.7
合计	4096	0.570	173.7	9.9	1.172	1258.8	147.5	-137.6	-789.9

表 9 1号冰川东支各高度带的物质平衡(mm)

(1996.9.1~1997.8.31)

海拔区间 (m)	面积 (km <sup>2</sup> )	观 测 时 间				
		97.5.2	97.6.2	97.7.2	97.8.2	97.9.2
3700~3750	0.012	-348.0	-723.0	-1331.0	-2400.0	-3321.2
3750~3800	0.055	-225.0	-371.0	-679.0	-1752.8	-2421.0
3800~3850	0.082	-119.7	-162.7	-360.7	-1488.0	-2104.5
3850~3900	0.129	-71.0	-36.7	-157.2	-1024.7	-1665.9
3900~3950	0.199	+46.7	+93.0	+56.1	-624.8	-1074.8
3950~4000	0.151	+102.7	+147.3	+174.9	-311.6	-647.0
4000~4050	0.140	+71.6	+162.3	+189.8	-320.0	-739.6
4050~4100	0.105	+120.0	+130.4	+153.5	-306.4	-520.3
4100~4150	0.103	+157.5	+98.2	+38.3	-20.6	-80.0
4150~4200	0.115	+180.0	+226.2	+272.3	+318.4	+364.5
4200~4250	0.024	+180.1	+225.1	+270.1	+315.1	+360.0
3700~4250	1.115	+47.7	+64.2	+16.9	-525.3	-886.0

表 10 1号冰川西支各高度带的物质平衡(mm)

(1996.9.1~1997.8.31)

海拔区间 (m)	面积 (km <sup>2</sup> )	观 测 时 间				
		97.5.2	97.6.2	97.7.2	97.8.2	97.9.2
3825~3875	0.024	-705.0	-975.0	-1868.0	-2752.3	-3809.8
3875~3925	0.031	-441.6	-673.2	-944.2	-2010.5	-2770.1
3925~3975	0.051	-263.3	-385.1	-619.7	-1489.5	-2157.8
3975~4025	0.094	-85.6	-97.6	-215.4	-1082.1	-1573.5
4025~4075	0.104	+24.7	+83.3	+55.6	-506.5	-962.0
4075~4125	0.075	+11.3	+85.0	+94.9	-339.1	-749.0
4125~4175	0.045	+147.0	+118.8	+249.3	-226.7	-455.5
4175~4225	0.039	+142.3	+43.9	+165.2	-319.0	-472.8
4225~4275	0.035	+154.5	+122.6	+166.7	+58.7	+26.8
4275~4325	0.038	+168.0	+212.7	+257.3	+301.9	+346.5
4325~4375	0.040	+196.0	+214.5	+233.0	+251.5	+270.0
4375~4425	0.033	+168.0	+193.5	+219.5	+244.5	+270.0
4425~4475	0.018	+84.0	+111.0	+138.0	+165.0	+192.0
3825~4475	0.627	+22.5	+34.5	+96.7	-593.6	-951.0

表 11 1号冰川西支各高度带的物质平衡(mm)

(1997.9.1~1998.8.31)

海拔区间 (m)	面积 (km <sup>2</sup> )	观 测 时 间				
		98.5.2	98.6.2	98.7.2	98.8.2	98.9.2
3825~3875	0.024	-555.0	-855.0	-1822.5	-2722.5	-3621.5
3875~3925	0.031	-375.6	-456.7	-1106.9	-1953.0	-2704.4
3925~3975	0.051	-268.5	-270.5	-719.0	-1248.8	-1796.8
3975~4025	0.094	-162.6	-88.7	-377.9	-876.6	-1260.8
4025~4075	0.104	+15.2	+89.8	-111.9	-393.6	-592.0
4075~4125	0.075	+44.3	+121.4	-34.4	-308.3	-393.0
4125~4175	0.045	+249.0	+285.6	+223.2	+132.9	+162.5
4175~4225	0.039	+217.5	+207.0	+196.5	+185.8	+175.0
4225~4275	0.035	+217.5	+215.7	+213.5	+211.9	+210.0
4275~4325	0.038	+213.0	+221.0	+229.0	+237.0	+245.0
4325~4375	0.040	+210.0	+220.0	+230.0	+240.0	+250.0
4375~4425	0.033	+171.0	+109.6	+219.0	+243.7	+268.4
4425~4475	0.018	+102.0	+120.5	+139.0	+157.5	+176.0
3825~4475	0.627	+2.2	+20.9	-178.1	-456.0	-668.5

表 12 1号冰川东支各高度带的物质平衡(mm)

(1997.9.1~1998.8.31)

海拔区间 (m)	面积 (km <sup>2</sup> )	观 测 时 间				
		98.5.1	98.6.1	98.7.1	98.8.1	98.9.1
3700~3750	0.012	-434.0	-636.7	-1731.0	-2637.0	-3543.0
3750~3800	0.055	-222.0	-219.1	-1180.3	-2108.0	-2990.0
3800~3850	0.082	-29.4	-10.8	-522.0	-1206.0	-1993.5
3850~3900	0.129	-167.3	-136.9	-657.0	-1147.5	-1565.9
3900~3950	0.199	+15.6	+102.5	-217.8	-614.8	-878.5
3950~4000	0.151	+46.7	+78.4	-213.3	-446.8	-683.5
4000~4050	0.140	+88.5	+136.7	-99.0	-448.2	-685.8
4050~4100	0.105	+127.6	+248.5	+22.3	-173.0	-330.5
4100~4150	0.103	+172.5	+191.3	+210.0	+228.8	+247.5
4150~4200	0.115	+243.5	+264.8	+286.0	+307.3	+328.5
4200~4250	0.024	+180.0	+197.7	+216.1	+234.1	+252.0
3700~4250	1.115	+40.0	+84.4	-215.8	-538.8	-817.8

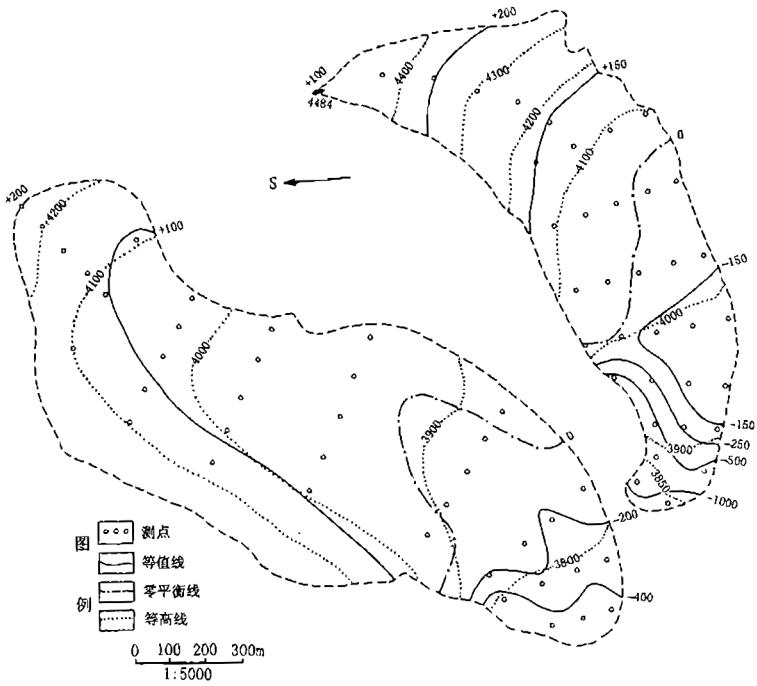


图 1 1号冰川 1996.9.1~1997.4.30 冬物质平衡等值线图

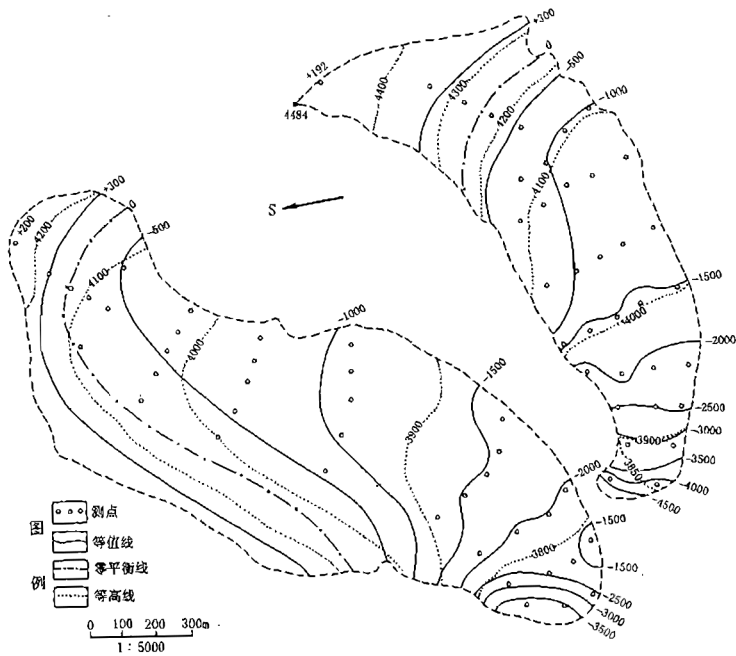


图 2 1号冰川 1996~1997 年度物质平衡等值线图

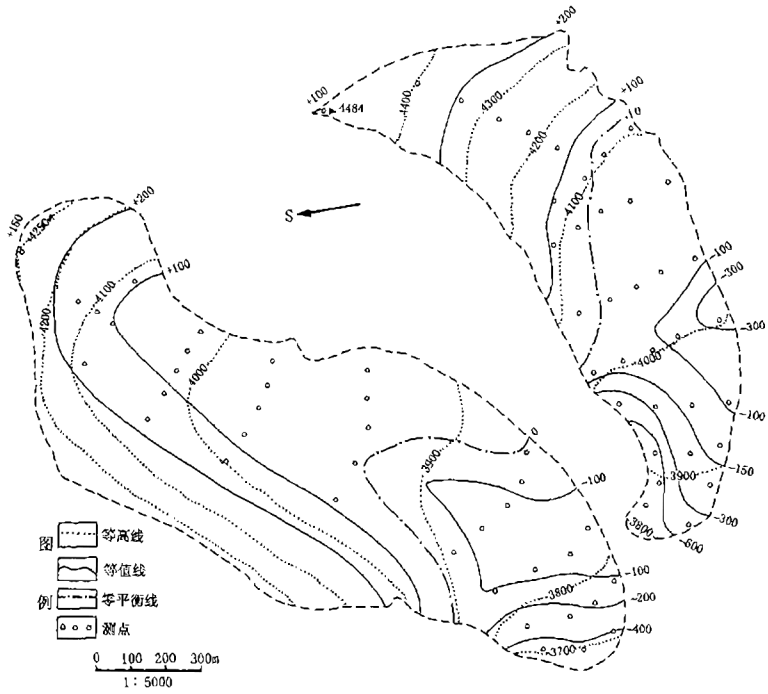


图3 1号冰川1997.9.1~1998.4.30冬物质平衡等值线图

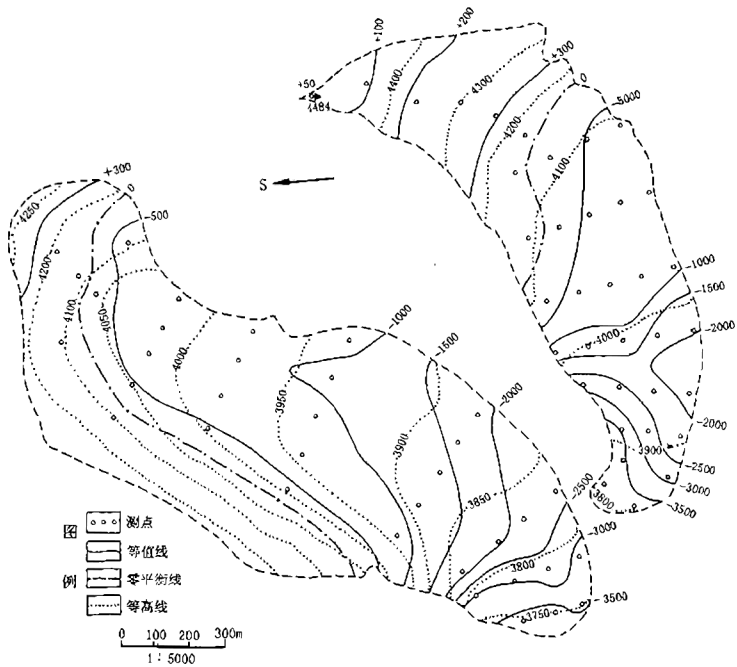


图4 1号冰川1997~1998年度物质平衡等值线图

## 2 物质平衡的高度分布



将表 9、10、11、12 计算给出的 1 号冰川东、西支自 1996 年 9 月 ~ 1998 年 8 月各月份瞬时物质平衡随高度的分布绘制成图 5、6、7、8,从图中可以看出 1 号冰川东、西支瞬时物质平衡随高度的分布随着夏季的来临,冰川下部区域负平衡值逐渐加大,而积累区向正平衡增加的趋势也十分明显。但是,1 号冰川东、西支积累区各时段的瞬时物质平衡随时间的变化很小,这一点尤以西支冰川最为明显。而消融区的冰川物质负平衡值随着盛夏的来临且逐渐增大,因而在推断夏季冰川物质平衡变化中,气温仍是主要控制因子(王宁练, 1995)。

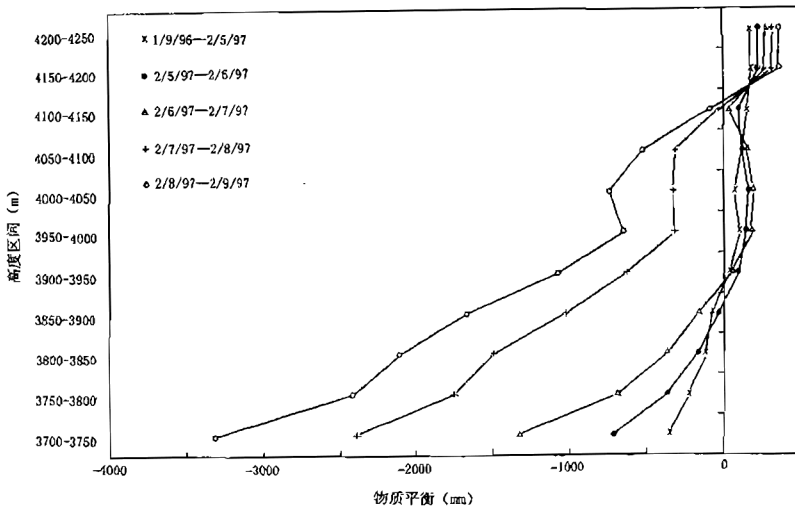


图 5 1 号冰川东支 1996 ~ 1997 年度瞬时物质平衡的高度分布

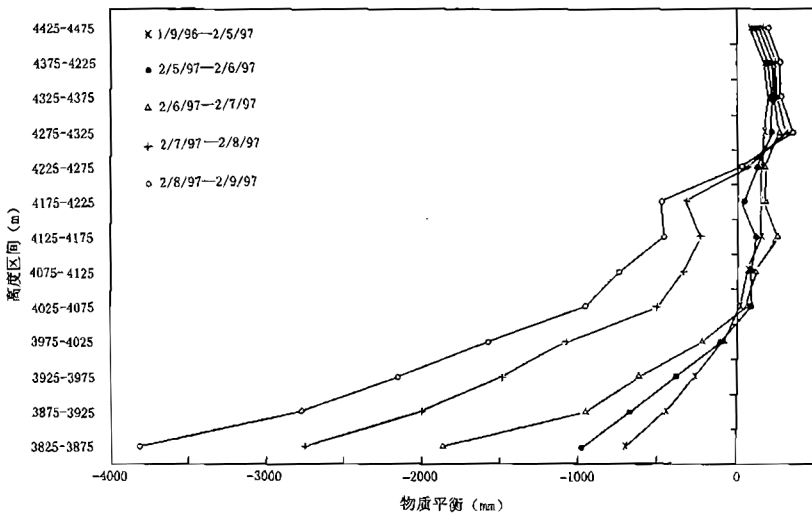


图 6 1 号冰川西支 1996 ~ 1997 年度瞬时物质平衡的高度分布

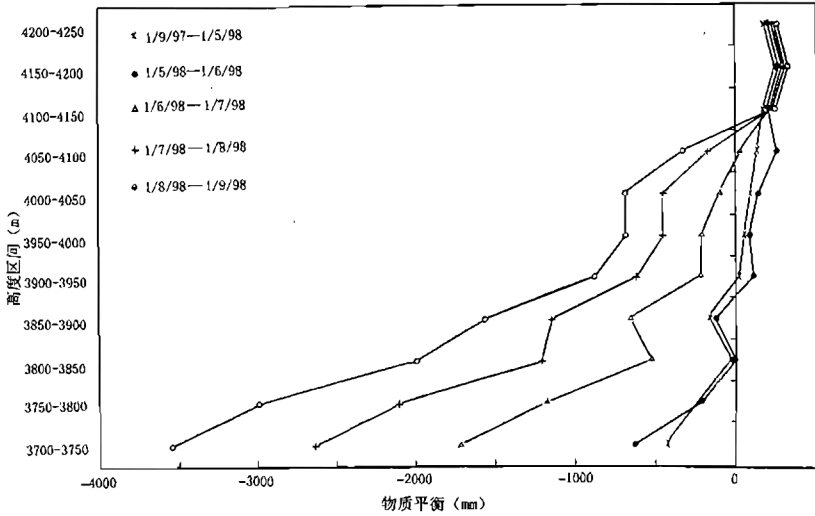


图7 1号冰川东支1997~1998年度瞬时物质平衡的高度分布

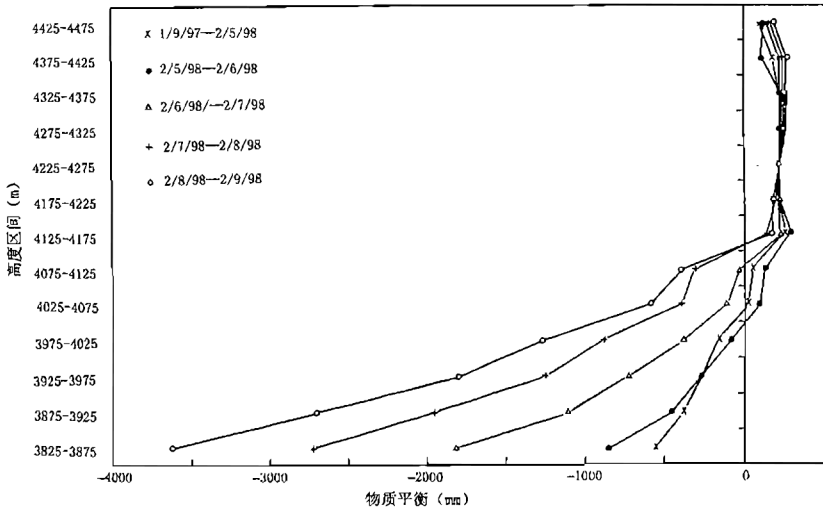


图8 1号冰川西支1997~1998年度瞬时物质平衡的高度分布

#### 4 影响冰川年物质平衡的因素

在冰川物质平衡形成过程中,积累和消融是决定冰川物质平衡正负的关键所在,而积累的多少和消融的强弱取决于气温和降水的高低。因此,在冰川物质平衡年内和夏季消融期内(5~8月)气温的高低和降水的多寡,对当年冰川物质平衡起决定性的作用。当冰川物质平衡年内和夏季消融期内平均气温接近,而降水丰富时,冰川处于正平衡或负平衡减小的状态。如1994/1995年度与1995/1996年度相比,平均气温后者比前者低0.1℃和0.2℃,而降水则多了177.3mm和193.6mm,因此,使得后者正平衡值为42.0mm,前者负平

衡值为 228.0mm;又如 1996/1997 年度与 1997/1998 年度相比,平均气温只相差 0.1℃和 0.05℃,而降水后者比前者多 200mm,使冰川年物质负平衡减少了 63.1mm;当冰川物质平衡年内和夏季消融期内平均气温高,降水少时,则造成冰川严重亏损。如 1995/1996 年度与 1996/1997 年度相比,平均气温后者比前者高 0.9℃和 0.8℃,而降水少了 223.5mm 和 186.3mm,由此导致 1996/1997 年度负平衡值高达 853.0mm,并创下 1 号冰川实测物质平衡以来的最大负平衡记录;当冰川物质平衡年内和夏季消融期内平均气温低,降水相当而不低于多年平均值时,温度对冰川年物质平衡的影响特别明显,如 1995/1996 年度与 1997/1998 年度相比,平均气温前者比后者低 0.8℃和 0.85℃,降水只相差 24.1mm 和 25.0mm,由此造成前者正平衡值为 42.0mm,后者负平衡值达 789.9mm。根据上述,影响冰川物质平衡的主导因素是气温,尤其是夏季消融期的气温,其次是降水。

## 5 小结

根据 1994 年地面立体摄影测量图量算,1 号冰川面积为 1.742km<sup>2</sup>(减少 0.098km<sup>2</sup>),东、西支冰川面积分别为 1.115km<sup>2</sup> 和 0.627km<sup>2</sup>。

冰川物质平衡观测计算结果表明,1 号冰川 4200m 以上区域由于观测点稀疏,给确定冰川物质平衡等值线的趋势带来困难,因此,在以后观测积累区的冰川物质平衡时,对无测杆区域应采用测杆探测的方法增加观测密度,以提高对积累区冰川物质平衡估算结果。

在冰川物质平衡过程中,影响冰川物质平衡的主导因素是气温,尤其是夏季消融期的气温,其次是降水。

## 参考文献

王宁练,1995.冰川平衡线变化的主导气候因子灰色关联分析.冰川冻土,17(1):8-15

## 天山冰川站水文气象资料整编说明 (1997/1998 年度)

韩添丁 杨新元

(中国科学院天山冰川观测试验站,兰州 730000)

天山冰川观测试验站的常规水文气象观测在乌鲁木齐河源区的 1 号冰川(3695m)、空冰斗(3805m)和总控制(3408m)三个水文气象点及后峡基本营地(2130m)进行。在三个水文断面均装有自计水位计(每日 14:00 点校正水位),测流主要采用流速仪法,流量由水位—流量过程线计算;气象观测项目主要为气温、降水、蒸发、湿度等。

本文为 1997—1998 年度的资料整编结果,所有资料均按规范整编。在基本资料的整编过程中,有如下初步结论:

1. 从实测资料来看,气温仍处于升温过程中,两年均显示有记录以来的较高温,但 1998 年为有记录以来的最高温;其年内变化并不同步,以 1 号气象点为例,1998 年 2 月和 11 月气温明显高于 1997 年同期,而春季气温 1998 年低于 1997 年同期。

2. 降水年度变化较大,1 号气象点 1998 年降水量较 1997 年多出 40% 左右,而 6 月份少于 1997 年同期。

3. 1 号水文点径流深度相差不大,1997 和 1998 年分别为 887mm 和 996mm;而物质平衡实测值分别是 -853mm 和 -790mm。由于年际降水量相差较大,从而说明了 1 号冰川 1997 年冰川消融深度大于 1998 年。

表1 乌鲁木齐河1号水文点1997年逐日平均流量表

(集水面积 3.34km<sup>2</sup> 流量:m<sup>3</sup>/s)

日 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1					0.051	0.107	0.157	0.650				
2					0.051	0.132	0.157	0.590				
3					0.051	0.312	0.312	0.365				
4					0.051	0.338	0.259	0.421				
5					0.084	0.084	0.338	0.393				
6					0.107	0.051	0.365	0.590				
7					0.107	0.051	0.450	0.560				
8					0.084	0.051	0.590	0.705				
9					0	0	0.705	0.715				
10					0	0	0.650	0.590				
旬总数					0.586	1.126	3.983	5.579				
旬平均					0.059	0.113	0.398	0.558				
11					0	0.157	0.675	0.560				
12					0	0.107	0.650	0.478				
13					0	0.051	0.560	0.338				
14					0	0.051	0.285	0.365				
15					0	0.084	0.232	0.421				
16					0	0.107	0.207	0.510				
17					0	0.182	0.312	0.478				
18					0	0.132	0.590	0.393				
19					0.040	0.182	0.620	0.338				
20					0.040	0.338	0.590	0.421				
旬总数					0.080	1.391	4.721	4.302				
旬平均					0.008	0.139	0.472	0.430				
21					0.040	0.421	0.754	0.510				
22					0	0.510	0.478	0.478				
23					0.040	0.259	0.393	0.510				
24					0.107	0.182	0.450	0.312				
25					0.107	0.157	0.510	0.182				
26					0.107	0.207	0.478	0.132				
27					0.132	0.338	0.540	0.157				
28					0.132	0.259	0.478	0.132				
29					0.132	0.182	0.510	0.084				
30					0.232	0.157	0.620	0.107				
31					0.157		0.705	0.132				
旬总数					1.186	2.672	5.916	2.736				
旬平均					0.108	0.267	0.538	0.249				
月统计	总 数				1.852	5.189	14.62	12.617				
	平 均				0.060	0.173	0.472	0.407				
	最 大 日 期				0.421	1.04	1.57	1.64				
	最 小 日 期				0	0	0.084	0.040				
年统计	年总数 34.278				最大流量 1.64 8月9日			最小流量 0 5月9日		平均流量 0.279		
	径流量 296.2 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>					径流模数 83.5 L/s·km <sup>2</sup>			径流深度 887mm			

表2 乌鲁木齐河空冰斗水文点 1997年逐日平均流量表

(集水面积:1.68km<sup>2</sup> 流量:m<sup>3</sup>/s)

日	月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1						0	0.042	0.160	0.042				
2						0	0.042	0.160	0.042				
3						0	0.089	0.190	0.042				
4						0.042	0.112	0.160	0.170				
5						0.042	0.034	0.112	0.200				
6						0.112	0.034	0.089	0.160				
7						0.112	0.042	0.160	0.136				
8						0.089	0.042	0.160	0.160				
9						0.042	0.013	0.160	0.112				
10						0.042	0.042	0.136	0.136				
旬总数						0.481	0.492	1.487	1.200				
旬平均						0.048	0.049	0.149	0.120				
11						0.042	0.089	0.160	0.136				
12						0.042	0.136	0.160	0.042				
13						0.042	0.089	0.112	0.026				
14						0	0.034	0.034	0.034				
15						0	0.160	0.160	0.026				
16						0	0.042	0.136	0.034				
17						0	0.042	0.042	0.042				
18						0.026	0.042	0.042	0.042				
19						0.160	0.042	0.042	0.042				
20						0.089	0.042	0.112	0.089				
旬总数						0.401	0.718	1.000	0.513				
旬平均						0.040	0.072	0.100	0.051				
21						0.034	0.042	0.136	0.042				
22						0.160	0.220	0.270	0.042				
23						0.438	0.034	0.136	0.042				
24						0.230	0.034	0.089	0.042				
25						0.136	0.034	0.042	0.013				
26						0.112	0.220	0.034	0.034				
27						0.112	0.270	0.034	0.170				
28						0.089	0.160	0.034	0.136				
29						0.042	0.034	0.034	0.089				
30						0.112	0.136	0.034	0.026				
31						0.112		0.034	0.034				
旬总数						1.577	1.184	0.877	0.670				
旬平均						0.143	0.118	0.080	0.061				
月统计	总数					2.459	2.394	3.364	2.383				
	平均					0.079	0.080	0.108	0.077				
	最大日期					0.58	0.62	0.62	0.38				
	最小日期					22	26	22	4				
	日期					0	0	0	0				
年统计	年总数					最大流量 0.62		最小流量 0		平均流量 0.086			
	10.60					6月26日		5月1日					
径流量 $91.6 \times 10^4 \text{ m}^3$						径流模数 51.2 L/s·km <sup>2</sup>			径流深度 545mm				

表3 乌鲁木齐河总控制水文点 1997 年逐日平均流量表

(集水面积 28.9km<sup>2</sup> 流量:m<sup>3</sup>/s)

日	月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1						0.41	1.36	1.00	1.36				
2						0.41	1.36	1.00	1.36				
3						0.41	1.58	1.50	1.26				
4						0.46	1.18	1.50	1.58				
5						0.46	1.26	1.50	1.36				
6						0.68	0.90	1.50	1.18				
7						0.68	0.36	1.69	1.18				
8						0.80	0.46	1.90	1.42				
9						0.68	0.60	2.10	2.00				
10						0.80	1.36	1.90	2.34				
旬总数						5.79	10.42	15.59	15.04				
旬平均						0.58	1.04	1.56	1.50				
11						0.60	1.42	1.69	2.22				
12						0.46	1.36	2.58	1.69				
13						0.46	0.90	1.50	1.36				
14						0.41	0.90	1.50	1.08				
15						0.46	0.90	1.50	1.42				
16						0.46	0.72	0.80	1.58				
17						0.54	1.00	1.00	1.69				
18						0.36	1.00	1.42	1.50				
19						0.36	1.08	1.69	1.69				
20						0.36	1.36	1.69	1.80				
旬总数						4.47	10.64	15.37	16.03				
旬平均						0.45	1.06	1.54	1.60				
21						0.30	2.00	2.70	2.10				
22						0.54	2.10	3.22	2.10				
23						1.08	2.34	1.42	2.00				
24						1.00	2.00	1.36	1.58				
25						0.80	2.00	1.42	1.18				
26						0.54	1.58	1.42	1.08				
27						0.80	0.50	1.26	1.42				
28						0.90	1.42	1.26	1.42				
29						0.80	2.10	1.26	0.90				
30						1.08	1.36	1.42	0.46				
31						1.42		1.18	0.36				
旬总数						9.26	18.40	17.92	14.60				
旬平均						0.84	1.84	1.63	1.33				
月统计	总 数					19.52	39.46	48.88	45.67				
	平 均					0.63	1.32	1.58	1.47				
	最 大					1.90	3.90	8.60	3.90				
	日 期					23	22	22	21				
	最 小					0.08	0.18	0.46	0.30				
日 期					13	7	31	31					
年统计		年总数 153.53				最大流量 8.60 7月 22日			最小流量 0.08 5月 13日		平均流量 1.24		
		径流量 1326.5 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>				径流模数 42.9 L/s·km <sup>2</sup>			径流深度 459mm				

表4 1号水文点1997年逐日平均气温表(°C)

日 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1	-8.6	-15.0	-12.7	-9.7	2.6	3.2	1.4	8.0	4.8	-2.5	-5.7	-18.1	
2	-13.3	-15.0	-10.3	-6.6	4.8	4.2	2.8	8.4	5.7	-2.5	-5.5	-12.6	
3	-13.0	-16.0	-15.5	-3.8	5.1	6.0	5.1	4.7	8.2	-1.4	-5.9	-12.6	
4	-8.9	-18.7	-16.2	-3.2	2.2	3.2	3.6	1.8	7.5	-0.7	-6.9	-13.4	
5	-11.1	-18.5	-13.1	-7.1	-2.1	-2.3	5.1	1.0	7.4	-1.7	-7.6	-18.7	
6	-13.8	-16.5	-9.5	-8.7	2.2	-7.2	5.7	3.6	6.0	-3.5	-4.8	-22.4	
7	-15.0	-18.9	-6.1	-9.9	4.8	-10.0	6.5	5.5	4.3	-2.2	-2.7	-17.9	
8	-13.7	-19.6	-5.5	-9.1	0.7	-5.4	10.9	8.1	1.2	-0.6	-9.8	-15.9	
9	-12.5	-18.4	-7.0	-8.6	-1.8	2.7	9.1	8.8	-1.5	-0.2	-13.2	-16.2	
10	-12.2	-17.2	-6.4	-6.3	-4.4	3.2	3.7	6.7	-1.5	-2.5	-16.8	-12.0	
旬总数	-122.1	-173.8	-102.3	-73.0	14.1	-2.4	53.9	56.6	42.1	-17.8	-78.9	-159.8	
旬平均	-12.2	-17.4	-10.2	-7.3	1.4	-0.2	5.4	5.7	4.2	-1.8	-7.9	-16.0	
11	-11.7	-16.7	-11.0	-3.9	-4.5	3.0	2.3	2.7	-0.3	-3.5	-17.5	-12.7	
12	-15.7	-17.8	-14.5	-0.7	-5.3	0.5	4.6	0.2	0.8	-2.5	-14.8	-12.3	
13	-16.9	-20.0	-15.6	-0.8	-10.0	-1.9	5.3	-1.6	-2.5	-4.9	-10.9	-11.2	
14	-15.2	-18.5	-11.2	-1.0	-6.8	-1.0	2.4	1.2	-2.4	-4.1	-22.2	-9.8	
15	-17.7	-17.4	-10.0	0.5	-1.5	1.2	1.9	5.0	-0.5	-4.2	-18.8	-13.6	
16	-18.9	-18.6	-8.0	-0.4	-2.0	2.3	3.7	8.1	-1.6	-3.7	-15.0	-12.3	
17	-16.3	-17.0	-8.3	-0.3	-0.5	3.9	5.8	6.9	2.1	-4.7	-15.6	-9.9	
18	-9.7	-17.4	-7.7	-2.3	-1.8	3.6	7.6	4.5	-0.8	-2.8	-11.4	-10.9	
19	-9.5	-18.4	-6.9	-4.3	1.2	4.1	9.9	5.6	-2.3	-1.2	-14.5	-12.7	
20	-21.2	-17.2	-8.5	-5.4	-1.0	6.6	9.6	7.2	0.3	-0.8	-15.6	-11.9	
旬总数	-152.8	-179.0	-101.7	-18.6	-32.2	22.3	53.1	39.8	-7.2	-32.4	-156.3	-117.3	
旬平均	-15.3	-17.9	-10.2	-1.9	-3.2	2.2	5.3	4.0	-0.7	-3.2	-15.6	-11.7	
21	-20.4	-13.0	-9.3	-3.6	-2.6	6.1	7.3	10.9	-1.2	-4.2	-13.9	-14.3	
22	-16.3	-16.8	-10.5	-0.4	-1.0	4.8	3.1	9.6	-0.7	-6.2	-11.7	-11.8	
23	-16.9	-17.2	-10.4	-0.3	-0.4	2.0	3.6	5.7	-0.7	-5.7	-11.1	-10.8	
24	-19.8	-14.8	-9.1	-0.5	0.6	0.8	5.0	2.6	0.5	-6.4	-21.9	-18.6	
25	-20.0	-14.6	-10.4	-0.7	2.0	1.5	5.7	-2.2	0.5	-6.3	-18.4	-20.3	
26	-15.7	-17.9	-10.9	-3.1	3.4	3.8	3.9	-1.1	0.4	-5.8	-18.0	-18.6	
27	-9.6	-17.8	-11.9	1.6	5.0	3.2	2.7	3.4	-0.2	-6.0	-18.2	-16.8	
28	-13.2	-14.5	-8.3	4.6	3.2	1.7	4.8	2.5	-1.7	-6.1	-18.0	-16.3	
29	-13.1		-4.1	5.8	2.8	0.0	4.1	-1.4	-2.7	-6.4	-17.0	-18.6	
30	-12.5		-7.0	3.2	4.8	0.5	5.1	-1.5	-2.0	-5.9	-18.8	-20.5	
31	-14.3		-9.5		4.4		7.4	5.1		-4.8		-17.4	
旬总数	-171.8	-126.6	-101.4	6.6	22.2	24.4	52.7	33.5	-7.8	-63.8	-167.0	-184.0	
旬平均	-15.6	-15.8	-9.2	0.7	2.0	2.4	4.8	3.0	-0.8	-5.8	-16.7	-16.7	
月统计	总数	-446.7	-479.4	-305.4	-85.0	4.1	44.3	159.7	129.9	27.1	-114.0	-402.2	-461.1
	平均	-14.4	-17.1	-9.9	-2.8	0.1	1.5	5.2	4.2	0.9	-3.7	-13.4	-14.9
	最高	-4.2	-8.0	0.6	11.8	11.0	10.8	17.6	16.5	14.4	5.3	3.0	-5.8
	日期	27	21	29	29	26	3	8	8	3	19	7	13
	最低	-25.0	-24.0	-19.8	-13.6	-14.9	-12.4	-2.0	-7.5	-7.6	-10.2	-27.8	-26.1
日期	21	27	4	1	14	8	1	30	14	22	14	6	
年统计	最高气温 17.6 7月8日			最低气温 -27.8 11月14日				平均气温 -5.4					



表5 空冰斗水文点 1997年逐日平均气温表(°C)

日\月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1	-9.4	-16.7	-13.4	-10.8	2.5	2.5	0.4	5.2	4.7	-4.3	-4.4	-12.4	
2	-14.3	-15.8	-9.9	-6.3	4.4	3.7	1.2	5.6	4.9	-3.7	-4.2	-12.5	
3	-12.9	-16.6	-13.0	-4.2	4.6	5.6	3.6	4.0	8.5	-2.9	-5.0	-12.3	
4	-8.4	-18.0	-16.6	-3.5	3.2	3.2	2.8	2.9	7.0	-1.5	-7.0	-15.9	
5	-11.4	-18.9	-13.1	-6.9	-2.1	-2.4	4.0	3.5	6.3	-2.4	-7.5	-21.5	
6	-13.9	-16.8	-9.6	-8.0	1.4	-6.3	4.4	6.0	5.1	-4.4	-4.9	-21.1	
7	-13.8	-19.3	-6.9	-10.3	4.0	-9.4	5.2	6.6	3.3	-3.7	-2.4	-15.9	
8	-13.1	-20.4	-6.7	-9.1	0.3	-5.6	7.8	7.9	0.6	-2.3	-8.8	-14.2	
9	-12.1	-19.6	-7.6	-9.1	-1.6	1.0	7.3	8.6	-1.9	-2.6	-12.2	-15.4	
10	-12.2	-18.5	-7.0	-6.8	-2.9	2.7	2.6	6.1	-2.1	-3.6	-16.0	-10.9	
旬总数	-121.5	-180.6	-103.8	-75.0	13.8	-5.0	39.3	56.4	36.1	-31.4	-72.4	-152.1	
旬平均	-12.2	-18.1	-10.4	-7.5	1.4	-0.5	3.9	5.6	3.6	-3.1	-7.2	-15.2	
11	-12.1	-17.8	-10.4	-3.6	-3.2	1.9	2.0	2.9	-1.2	-4.0	-17.0	-11.2	
12	-16.1	-18.4	-14.8	0.3	-3.1	0.2	3.7	0.5	-0.3	-3.3	-13.9	-11.6	
13	-16.6	-21.0	-15.1	0.3	-9.0	-1.6	3.2	-0.3	-3.5	-5.2	-10.5	-10.0	
14	-14.7	-19.2	-12.1	0.5	-5.7	-1.1	0.8	1.0	-2.5	-5.5	-21.5	-8.9	
15	-18.0	-18.1	-10.2	1.1	-0.8	0.2	0.6	2.7	-1.4	-4.9	-18.2	-12.5	
16	-18.3	-18.9	-7.8	0.8	-1.2	1.8	2.3	5.6	-1.8	-4.8	-13.5	-12.4	
17	-14.3	-17.3	-8.0	0.3	0.6	2.5	4.2	5.3	0.7	-5.3	-14.0	-10.4	
18	-9.1	-17.9	-7.7	-2.3	-0.8	2.2	6.0	3.4	-1.7	-3.7	-10.5	-11.2	
19	-9.0	-18.4	-6.5	-3.5	2.1	2.8	7.1	3.5	-3.0	-1.4	-14.2	-13.1	
20	-21.8	-18.0	-8.4	-4.9	0.2	5.0	6.6	6.4	-1.4	-2.2	-15.6	-11.7	
旬总数	-150.0	-185.0	-101.0	-11.0	-20.9	13.9	36.5	31.0	-16.1	-40.3	-148.9	-113.0	
旬平均	-15.0	-18.5	-10.1	-1.1	-2.1	1.4	3.6	3.1	-1.6	-4.0	-14.9	-11.3	
21	-19.2	-13.2	-9.5	-3.5	-1.9	6.2	4.1	8.0	-2.7	-5.6	-14.0	-13.6	
22	-15.6	-19.0	-10.3	-0.7	-2.3	3.9	1.5	7.0	-2.3	-7.9	-11.7	-10.9	
23	-16.7	-18.0	-10.0	-0.6	-1.5	2.6	1.8	4.7	-2.3	-7.5	-11.1	-10.8	
24	-19.5	-15.5	-8.8	-2.3	-1.9	2.2	2.7	2.6	-2.5	-7.6	-20.9	-19.1	
25	-20.8	-14.8	-9.5	-0.1	-0.5	2.7	3.4	-1.4	-1.0	-5.9	-18.0	-20.0	
26	-16.3	-18.3	-9.9	-2.9	0.4	4.2	1.5	-0.2	-1.4	-5.1	-17.8	-18.1	
27	-9.8	-18.7	-9.6	0.7	1.5	4.0	1.1	3.6	-1.6	-5.2	-18.1	-15.8	
28	-13.0	-15.0	-8.2	4.5	1.4	2.8	2.1	2.2	-2.8	-5.9	-18.2	-14.8	
29	-13.4		-4.9	4.8	1.6	1.0	3.4	-0.7	-3.1	-6.5	-18.3	-17.0	
30	-13.0		-7.8	3.1	3.8	-0.3	3.1	-1.9	-3.5	-6.4	-14.6	-19.5	
31	-15.7		-10.1		2.8		4.4	3.8		-4.8		-16.4	
旬总数	-173.0	-131.5	-98.6	3.0	3.4	29.3	29.1	27.7	-23.2	-68.4	-162.7	-176.0	
旬平均	-15.7	-16.4	-9.0	0.3	0.3	2.9	2.6	2.5	-2.3	-6.2	-16.3	-16.0	
月统计	总数	-444.5	-497.1	-303.4	-83.0	-3.7	38.2	104.9	115.1	-3.2	-140.1	-384.0	-542.1
	平均	-14.3	-17.8	-9.8	-2.8	-0.1	1.3	3.4	3.7	-0.1	-4.5	-12.8	-17.5
	最高	-5.0	-8.2	0.6	9.9	9.8	10.2	13.2	14.0	8.0	4.2	1.0	-5.4
	日期	4	21	29	28	3	20	8	8	7	19	2	13
	最低	-26.7	-25.0	-20.0	-15.0	-12.1	-11.4	-3.4	-7.2	-7.9	-11.6	-28.0	-25.3
	日期	21	27	4	1	14	8	27	30	13	22	15	6
年统计	最高气温 14.0 8月8日			最低气温 -28.0			11月15日			平均气温 -5.9			

表6 总控制水文点 1997年逐日平均气温表(℃)

日 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1	-8.1	-15.4	-11.6	-9.9	5.8	5.6	1.7	9.0	6.3	-0.4	-5.9	-13.2	
2	-13.9	-14.6	-10.8	-5.0	6.4	6.6	2.7	8.8	7.6	-1.7	-4.6	-12.4	
3	-13.8	-15.6	-11.5	-3.1	5.7	7.0	5.3	5.4	10.3	-0.4	-6.6	-15.5	
4	-7.9	-16.5	-15.2	-1.3	3.4	3.2	7.2	3.4	9.3	1.6	-7.2	-17.1	
5	-10.4	-18.5	-11.0	-5.4	-1.0	-1.9	7.4	3.1	9.5	-0.3	-6.6	-21.8	
6	-14.1	-16.0	-7.9	-7.4	2.9	-4.6	6.2	5.4	8.6	-1.6	-3.8	-22.9	
7	-14.5	-16.5	-4.6	-9.0	6.2	-7.3	7.6	7.3	4.2	-1.0	-2.8	-18.5	
8	-13.8	-18.7	-5.1	-8.3	1.8	-3.7	9.8	9.3	2.1	0.3	-10.6	-17.8	
9	-11.9	-19.3	-5.9	-6.0	-0.5	6.2	10.0	10.4	0.6	1.2	-13.7	-18.0	
10	-10.4	-18.0	-5.6	-4.6	-3.0	4.9	4.8	7.7	-0.2	0.4	-18.0	-13.9	
旬总数	-118.8	-169.1	-89.2	-60.0	27.7	16.0	62.7	69.8	58.3	-1.9	-79.8	-171.1	
旬平均	-11.9	-16.9	-8.9	-6.0	2.8	1.6	6.3	7.0	5.8	-0.2	-8.0	-17.1	
11	-10.0	-16.2	-9.9	-1.5	-2.5	5.4	3.1	4.2	2.8	-1.7	-16.7	-13.2	
12	-14.3	-17.5	-13.9	1.9	-4.6	3.1	5.2	1.6	4.1	-0.9	-14.8	-13.1	
13	-17.3	-19.2	-14.1	1.4	-8.7	0.0	5.2	-0.7	1.6	-2.5	-8.5	-12.5	
14	-13.8	-18.2	-11.0	1.3	-7.0	0.7	2.8	2.4	-1.2	-4.1	-21.0	-11.5	
15	-17.5	-16.2	-9.7	3.2	-0.4	2.1	3.5	5.9	2.2	-2.0	-17.6	-14.0	
16	-19.3	-19.0	-8.5	2.3	0.2	3.6	4.7	8.8	1.2	-1.5	-15.4	-12.4	
17	-14.9	-17.0	-7.3	1.7	1.1	4.3	6.8	8.7	3.5	-2.5	-15.3	-8.0	
18	-9.1	-17.6	-8.1	1.2	-0.3	4.4	9.8	5.2	2.9	-1.8	-12.4	-9.1	
19	-9.8	-17.6	-5.8	-2.3	1.7	5.4	9.6	6.8	1.1	0.3	-13.7	-11.9	
20	-21.1	-16.0	-8.5	-4.9	0.3	6.3	10.3	8.4	3.0	0.1	-13.2	-9.6	
旬总数	-147.1	-174.5	-96.8	5.3	-20.2	35.3	61.0	51.3	21.2	-16.6	-148.6	-115.3	
旬平均	-14.1	-17.4	-9.7	0.5	-2.0	3.5	6.1	5.1	2.1	-1.7	-14.9	-11.5	
21	-20.5	-11.8	-7.7	-2.5	0.0	7.2	8.7	12.0	0.0	-3.0	-11.8	-11.4	
22	-17.1	-15.2	-9.5	1.2	-0.8	5.5	4.7	11.2	0.4	-4.6	-10.8	-9.7	
23	-19.3	-16.6	-10.3	1.3	0.2	3.9	5.5	7.0	0.9	-4.4	-9.0	-10.5	
24	-20.5	-13.3	-7.6	3.0	0.7	3.4	6.4	4.5	-0.1	-4.0	-23.0	-17.6	
25	-20.1	-13.1	-8.3	0.5	3.2	3.3	7.2	-0.8	2.1	-4.0	-18.1	-21.0	
26	-17.6	-16.3	-10.2	-1.8	4.8	6.6	5.0	0.3	1.9	-4.7	-18.2	-20.5	
27	-11.1	-17.7	-8.6	1.7	5.0	5.8	3.4	4.8	1.0	-5.4	-17.7	-17.4	
28	-13.8	-14.4	-7.5	6.8	4.5	5.1	5.1	4.8	0.5	-4.7	-18.7	-17.2	
29	-13.9		-5.2	7.4	4.1	1.9	5.5	-0.4	0.9	-5.6	-15.7	-18.6	
30	-12.8		-6.1	5.6	5.7	1.9	6.2	-0.8	0.0	-5.4	-13.0	-21.2	
31	-13.5		-8.6		5.8		9.0	5.4		-4.5		-15.9	
旬总数	-180.2	-118.4	-89.5	23.2	33.2	44.6	66.7	48.0	7.6	-50.3	-156.0	-181.0	
旬平均	-16.4	-14.8	-8.1	2.3	3.0	4.5	6.1	4.4	0.8	-4.6	-15.6	-16.5	
月统计	总数	446.1	461.9	275.5	31.7	40.7	95.9	190.3	169.1	87.1	-68.8	-384.4	-467.4
	平均	-14.4	-16.5	-8.9	-1.1	1.3	3.2	6.1	5.4	2.9	-2.2	-12.8	-15.1
	最高	-1.8	-4.2	1.8	15.6	14.3	13.3	18.1	18.8	17.0	7.5	5.0	-5.9
	日期	19	21	8	29	3	20	8	21	3	4	7	17
	最低	-25.7	-24.6	-20.8	-16.5	-14.9	-12.7	-1.6	-6.6	-6.3	-9.9	-26.9	-25.4
	日期	21	27	4	1	14	8	27	30	14	30	15	25
年统计		最高气温 18.8 8月21日				最低气温 -26.9 11月15日				平均气温 -4.4			

表 7 天山冰川观测试验站基本营地 1997 年逐日平均气温表(°C)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1	-8.2	-11.1	-6.9	-2.2	13.3	13.0	10.8	17.3	12.3	5.0	1.3	-12.1	
2	-7.1	-10.6	-6.0	2.0	13.1	14.1	11.5	17.4	11.7	4.3	1.6	-9.8	
3	-13.4	-9.8	-6.5	4.4	13.5	14.5	13.4	14.2	15.5	4.9	-2.5	-9.5	
4	-10.2	-10.9	-4.6	5.1	11.3	9.6	15.4	10.8	16.5	6.8	-1.7	-11.6	
5	-8.3	-11.9	-6.2	2.8	7.3	5.6	14.7	11.8	14.4	7.9	-1.2	-14.9	
6	-7.0	-12.0	-2.7	3.0	10.9	3.3	13.7	12.8	12.2	7.1	1.0	-18.4	
7	-10.6	-13.2	-0.6	-1.2	12.6	1.6	15.7	14.3	7.6	6.7	1.7	-16.7	
8	-10.6	-12.6	-0.5	-1.9	8.1	7.1	17.4	16.2	6.4	5.5	-4.2	-15.8	
9	-9.1	-13.1	1.7	1.0	7.0	10.4	16.6	16.9	4.9	6.6	-8.5	-16.7	
10	-9.6	-13.8	1.0	2.8	3.4	12.8	12.6	15.3	5.8	4.2	-6.6	-16.0	
旬总数	-94.1	-119.0	-31.3	15.8	100.5	92.0	141.8	147.0	107.3	59.0	-19.1	-141.5	
旬平均	-9.4	-11.9	-3.1	1.6	10.0	9.2	14.2	14.7	10.7	5.9	-1.9	-14.2	
11	-9.8	-12.3	-4.3	5.6	4.8	12.7	10.7	10.9	6.4	4.9	-8.6	-11.6	
12	-13.6	-11.8	-5.8	6.7	4.9	10.2	12.2	8.6	5.4	4.8	-8.3	-10.0	
13	-14.2	-13.4	-5.8	6.7	-0.3	8.1	12.8	9.3	4.1	4.6	-6.3	-8.8	
14	-12.6	-12.2	-3.5	7.3	3.4	9.6	10.9	10.1	4.7	3.6	-15.7	-8.9	
15	-16.2	-10.5	-3.9	7.1	6.7	10.9	11.9	13.0	6.1	3.2	-16.3	-9.4	
16	-16.0	-11.4	-2.8	7.5	7.8	13.4	12.0	15.4	6.2	4.5	-13.2	-10.3	
17	-13.2	-10.8	-1.0	7.5	8.0	13.8	14.5	15.5	7.2	4.4	-11.1	-8.2	
18	-8.8	-10.1	1.2	6.6	7.3	14.1	16.9	14.8	10.9	4.7	-10.6	-7.2	
19	-8.2	-9.4	0.9	5.7	10.2	13.2	17.9	15.0	9.2	6.0	-9.7	-12.0	
20	-14.1	-8.5	0.7	4.4	9.7	12.8	16.2	15.9	10.0	5.0	-8.5	-9.2	
旬总数	-126.7	-110.4	-24.3	65.1	62.5	118.8	136.0	128.5	70.2	45.7	-108.3	-95.6	
旬平均	-12.7	-11.0	-2.4	6.5	6.2	11.9	13.6	12.8	7.0	4.6	-10.8	-9.6	
21	-18.3	-7.9	1.2	6.3	7.5	13.3	15.3	17.2	8.5	3.8	-9.5	-11.3	
22	-16.3	-11.5	-0.3	8.1	9.0	13.0	12.8	17.0	8.8	3.1	-3.9	-9.9	
23	-14.2	-13.6	0.2	8.5	8.3	11.3	11.0	14.1	8.7	2.0	-5.4	-6.3	
24	-13.9	-9.1	1.5	11.8	9.4	10.9	11.3	12.0	8.2	2.1	-14.7	-14.0	
25	-13.8	-7.6	0.8	7.6	10.9	12.1	12.6	7.5	8.5	0.9	-15.5	-19.1	
26	-12.6	-9.3	0.1	7.0	11.5	12.5	11.1	9.3	8.3	0.1	-12.3	-17.5	
27	-10.6	-11.3	2.4	9.0	13.2	12.3	10.6	11.6	9.2	0.4	-13.9	-16.4	
28	-9.2	-8.6	5.0	11.7	10.5	12.0	11.7	14.4	7.4	0.1	-15.1	-13.1	
29	-9.0		2.6	13.5	11.7	10.3	12.5	5.7	7.9	-0.2	-14.5	-13.8	
30	-11.1		2.9	13.2	13.6	9.9	13.4	6.3	6.7	0.5	-14.7	-15.3	
31	-10.3		-0.7		13.8		14.9	9.9		0.9		-15.4	
旬总数	-139.3	-78.9	15.7	96.7	119.4	117.6	137.2	125.0	82.2	13.7	-119.5	-152.1	
旬平均	-12.7	-9.9	1.4	9.7	10.9	11.8	12.5	11.4	8.2	1.2	-12.0	-13.8	
月统计	总数	-360.1	-308.3	-39.9	177.6	282.4	328.4	415.0	400.5	259.7	118.4	-246.9	-389.2
	平均	-11.6	-11.0	-1.3	5.9	9.1	10.9	13.4	12.9	8.7	3.8	-8.2	-12.6
	最高	2.6	4.8	19.5	25.5	24.0	23.8	27.1	29.3	28.9	22.0	19.5	6.3
	日期	29	21	10	29	2	3	8	21	3	6	4	2
	最低	-24.5	-20.5	-16.0	-11.5	-4.8	-2.0	3.1	-1.5	-3.2	-8.0	-27.5	-24.0
	日期	21	5	1	1	14	8	27	31	14	26	15	6
年统计	最高气温 29.3 8月21日			最低气温 -27.5 11月15日				平均气温 1.6					

表 8 1号水文点 1997年逐日降水量表(mm)

日 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1						0.8						
2					0.0	0.4						
3					4.8		8.6					
4						1.1	5.1	10.3				
5					13.1	8.1	0.5	7.1				
6						2.7	1.0					
7						2.3	2.5					
8						5.1						
9												
10							0.5					
11							8.5	9.8				
12					6.0		6.0					
13					8.0	0.8						
14						8.9		1.0				
15							11.7	0.2				
16												
17												
18					1.6							
19						0.6						
20								2.2				
21					0.6	0.7	0.5					
22					14.5	0.4	17.3					
23					0.6	19.1		0.3				
24					8.5	15.6						
25						3.0	1.0					
26					0.2	2.9		14.0				
27							0.0					
28						1.3						
29					1.2	18.0						
30						9.6		0.0				
31												
总 量	0.7	0.0	9.2	5.3	59.1	101.4	63.2	44.9	16.3	2.9	0.0	0.0
降水日数					12	19	13	9				
最大日降水量					14.5	19.1	17.3	14.0				
日 期					22	23	22	26				
年 统 计	降水量 303.0				降水日数							

附注:1-4月和9-12月降水计月值

表9 空冰斗水文点 1997年逐日降水量表(mm)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1						1.6						
2												
3						0.1						
4						2.1		14.1				
5						8.4	14.8	4.4				
6						2.2						
7					12.0	1.4						
8						2.5						
9												
10							1.6					
11								12.7				
12						2.9	13.7					
13						0.6						
14					19.8	7.2						
15												
16							9.7					
17												
18					1.5							
19						1.3		1.1				
20												
21					0.3							
22					16.4	0.7						
23					0.6	25.2	16.9					
24					6.2							
25						25.0						
26					0.4	4.8		17.0				
27												
28												
29					1.6	20.2						
30						12.7						
31												
总 量	1.0	0.0	8.2	5.0	58.8	118.9	56.7	49.3	15.7	2.6	0.0	0.0
降水日数					9	17	5	5				
最大日降水量					19.8	25.2	16.9	17.0				
日 期					14	23	23	26				
年 统 计	降水量 316.2				降水日数							

附注:1-4月和9-12月降水计月值

表 10 总控制水文点 1997 年逐日降水量表

日 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1						0.5						
2					0.6		11.4					
3			1.4		5.6	1.7		9.8				
4					3.7	0.6	7.1	17.4				
5					14.9	9.7		5.5				
6	0.5					1.7						
7						5.3	3.6					
8						6.7					1.8	
9									5.9		6.2	
10					3.2		1.7	13.7	7.4			
11			2.9		9.1	1.6	7.7	1.4	3.0			
12			3.9		14.4	4.2	4.9					
13					0.0	0.1						
14					0.0	8.9		0.8				
15					0.0		12.3	0.7				
16					0.0		1.7					
17					0.0			0.3				
18				2.5	1.5				0.3			
19				1.3	0.0	2.1		4.0	0.4			
20	0.5			1.8	0.0		1.8					
21			3.3		3.1	6.8	2.9		2.0			
22			1.7		12.1	15.6	15.2		3.0			
23					0.0	16.5		0.3	2.2			
24			2.3	3.5	8.3	12.1	1.4					
25			1.7		0.0							
26			1.2					23.2				
27			5.0		0.0		0.1		0.4			
28					0.0				0.8			
29					0.7	30.4			5.9			
30						4.8		0.0				
31			2.7		0.9							
总 量	1.0	0.0	26.1	9.1	78.1	129.3	71.8	77.1	31.3	0.0	8.0	0.0
降水日数	2	0	10	4	24	18	13	12	11	0	2	0
最大日降水量	0.5		3.9	3.5	14.9	30.4	15.2	23.2	7.4		6.2	
日 期	6		12	24	5	29	22	26	10		9	
年 统 计	降水量		431.8		降水日数							

表 11 天山冰川观测试验站基本营地 1997 年逐日降水量表 (mm)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1						0.9	0.5					
2					0.0	0.0	1.4					
3	2.5				0.0	0.1	0.9	1.4				
4			0.8		4.4	0.3	1.1	13.4				
5					14.4	9.8		4.7				0.4
6						3.5	0.0	2.6				
7						3.9						
8									0.0		1.2	
9					0.2		0.3		2.5		5.3	
10					0.4		2.8	2.0	5.0	3.6		
11			1.6		0.8	0.0	2.6	2.7	3.0	0.1		
12					4.5	0.8	4.2	0.7				
13					6.7	8.0	0.1					
14						1.3	7.9				0.8	
15							0.4					
16												
17												
18				1.8	0.1	0.3		0.3				
19				4.6	0.2	4.8						
20	0.6			1.5	0.0	7.1	0.9					
21					0.0	16.5	4.0					
22			0.3		1.3	7.5	10.5					
23					15.5	5.2	3.3	3.0				
24						5.7	0.8	2.0				0.5
25				2.0		2.5		6.6				
26		0.6	0.2	2.6		7.9	5.2	0.2				
27						0.1	0.1					
28					2.6	2.5			1.7			
29						4.7		1.2	0.9			
30						7.9		1.3				0.2
31	0.3		9.9		1.1							
总 量	3.4	0.6	12.8	12.5	52.2	101.3	47.0	42.1	13.1	3.7	7.3	1.1
降水日数	3	1	5	5	17	24	19	14	6	2	3	3
最大日降水量	2.5	0.6	9.9	4.6	15.5	16.5	10.5	13.4	5.0	3.6	5.3	0.5
日 期	3	26	31	19	23	21	22	4	10	10	9	24
年 统 计	降水量	297.1			降水日数							

表 12 1号冰川水文点 1997 年逐日平均相对湿度表(%)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					51	72	77	47				
2					58	63	91	51				
3					52	69	80	89				
4					85	86	79	100				
5					83	85	74	98				
6					32	68	85	82				
7					24	80	70	67				
8					78	55	50	51				
9					94	36	68	53				
10					92	48	94	69				
旬总数					649	662	768	707				
旬平均					65	66	77	71				
11					90	66	100	78				
12					89	88	84	80				
13					81	97	67	93				
14					47	56	84	58				
15					36	28	84	56				
16					67	39	59	40				
17					70	71	50	50				
18					96	82	66	61				
19					57	80	59	46				
20					73	77	61	38				
旬总数					706	684	714	600				
旬平均					71	68	71	60				
21					86	79	82	29				
22					80	89	93	43				
23					92	87	66	68				
24					40	89	61	78				
25					56	86	68	90				
26					28	54	82	62				
27					37	48	68	36				
28					64	74	50	66				
29					60	96	67	84				
30					50	82	56	54				
31					68		50	22				
旬总数					661	784	743	632				
旬平均					60	78	68	57				
月统计	总数				2016	2130	2225	1939				
	平均				65	71	72	62				
	最小				13	8	24	11				
	日期				7	15	28	30				

附注 相对湿度只在 5-8 月冰川消融期观测



表 13 空冰斗水文点 1997 年逐日平均相对湿度表(%)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					71	84	81	45				
2					74	72	86	38				
3					70	66	74	88				
4					89	84	83	98				
5					84	87	66	89				
6					34	76	82	74				
7					36	88	76	55				
8					89	68	46	55				
9					92	38	69	51				
10					97	48	95	66				
旬总数					736	711	758	669				
旬平均					74	71	76	67				
11					96	73	96	76				
12					92	88	82	77				
13					86	98	59	88				
14					51	64	84	61				
15					36	38	86	60				
16					76	44	69	40				
17					72	54	56	55				
18					92	78	58	66				
19					57	80	50	58				
20					74	68	52	45				
旬总数					732	685	692	626				
旬平均					73	68	69	63				
21					88	69	84	38				
22					74	92	93	50				
23					88	90	62	63				
24					38	94	57	85				
25					70	92	57	95				
26					34	54	77	64				
27					49	48	61	39				
28					74	76	43	72				
29					74	96	52	82				
30					60	84	45	62				
31					81		46	22				
旬总数					730	795	677	672				
旬平均					66	79	62	61				
月 统 计	总 数				2198	2191	2127	1967				
	平 均				71	73	69	63				
	最 小				15	19	18	16				
	日 期				24	15	28	31				

附 注 相对湿度只在 5-8 月冰川消融期观测

表 14 总控制水文点 1997 年逐日相对湿度表(%)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					62	77	87	48				
2					71	74	81	52				
3					65	70	72	89				
4					96	85	72	98				
5					94	89	60	94				
6					38	65	79	75				
7					35	80	67	56				
8					92	56	54	54				
9					94	43	72	56				
10					100	53	98	66				
旬总数					747	692	742	688				
旬平均					75	69	74	69				
11					99	63	98	82				
12					97	85	76	75				
13					88	98	65	87				
14					50	59	84	56				
15					40	65	83	61				
16					74	57	68	50				
17					76	63	63	53				
18					90	75	60	55				
19					75	75	60	52				
20					78	70	62	55				
旬总数					767	710	719	626				
旬平均					77	71	72	63				
21					90	75	69	48				
22					76	96	85	58				
23					93	88	61	77				
24					46	94	60	79				
25					67	85	57	92				
26					41	56	72	62				
27					56	55	72	56				
28					77	78	62	72				
29					73	92	65	86				
30					64	78	55	60				
31					80		46	22				
旬总数					763	797	704	712				
旬平均					69	80	64	65				
月统计	总数				2277	2199	2165	2026				
	平均				73	73	70	65				
	最小				18	27	13	9				
	日期				7	16	28	31				

附注 相对湿度只在 5-8 月冰川消融期观测

表 15 天山冰川观测试验站基本营地 1997 年逐日平均湿度表(%)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	91	82	57	69	45	68	76	48	48	53	54	67	
2	89	64	52	59	51	64	76	49	48	44	50	64	
3	88	63	52	58	57	64	69	71	46	42	62	71	
4	78	67	84	53	79	77	62	90	41	39	67	82	
5	78	69	65	74	79	78	66	77	40	43	52	74	
6	82	56	56	52	57	77	71	72	61	52	51	67	
7	77	72	54	57	52	81	67	64	83	49	57	57	
8	72	74	60	54	77	52	58	58	87	51	81	54	
9	71	71	56	56	73	54	65	58	86	54	85	57	
10	71	77	62	55	80	52	82	65	83	72	88	62	
旬总数	797	695	598	587	650	667	692	652	623	499	647	655	
旬平均	80	70	60	59	65	67	69	65	62	50	65	66	
11	74	72	85	42	79	58	84	74	71	77	79	57	
12	88	64	71	44	84	78	73	75	65	63	80	60	
13	85	76	78	45	81	83	64	61	70	60	76	64	
14	70	69	56	45	59	67	78	61	61	70	74	65	
15	81	62	74	41	62	53	72	53	51	69	62	79	
16	78	67	79	43	63	48	70	48	47	58	72	71	
17	74	69	62	54	66	49	63	48	49	56	69	58	
18	69	63	51	70	74	55	57	51	45	53	65	69	
19	74	59	54	83	69	69	55	50	50	53	72	81	
20	84	57	64	73	68	76	63	52	52	45	81	68	
旬总数	777	658	674	540	705	636	679	573	561	604	730	672	
旬平均	78	66	67	54	70	64	68	57	56	60	73	67	
21	88	55	70	59	77	81	70	44	53	50	71	72	
22	79	72	74	48	75	85	78	50	60	55	61	58	
23	74	69	67	57	80	84	77	65	54	60	61	58	
24	69	56	74	50	66	81	78	75	57	58	66	84	
25	77	58	74	66	58	81	65	86	50	54	68	85	
26	66	81	74	67	50	73	73	62	46	43	71	72	
27	65	70	64	57	46	68	73	54	47	47	68	68	
28	62	60	33	49	70	70	68	50	59	44	73	66	
29	65		53	37	64	79	61	80	54	45	70	75	
30	69		70	43	54	82	50	68	55	49	70	86	
31	81		86		61		47	56		49		77	
旬总数	795	521	739	533	701	784	740	690	535	554	679	801	
旬平均	72	65	67	53	64	78	67	63	54	50	68	73	
月统计	总数	2369	1874	2011	1660	2056	2087	2111	1915	1719	1657	2056	2128
	平均	76	67	65	55	66	70	68	62	57	53	66	69
	最小	40	27	10	10	20	21	24	19	11	12	16	19
	日期	28	5	7	30	6	16	31	18	3	2	5	17

附 注

表 16 乌鲁木齐河 1 号水文点 1998 年逐日平均流量表

(集水面积 3.34km<sup>2</sup> 流量:m<sup>3</sup>/s)

日	月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1						0.050	0.259	0.312	0.620					
2						0.050	0.420	0.365	0.365					
3						0.050	0.450	0.285	0.338					
4						0	0.285	0.420	0.393					
5						0	0.259	0.285	0.421					
6						0	0.285	0.338	0.450					
7						0.050	0.050	0.540	0.590					
8						0.050	0.050	0.510	0.840					
9						0.050	0.107	0.540	0.540					
10						0.107	0.132	0.705	0.510					
旬总数						0.407	2.297	4.300	5.067					
旬平均						0.041	0.230	0.430	0.507					
11						0.050	0.207	0.754	0.450					
12						0.050	0.232	0.620	0.421					
13						0.050	0.207	0.312	0.510					
14						0.050	0.132	0.207	0.560					
15						0.107	0.312	0.285	0.650					
16						0.107	0.420	0.393	0.754					
17						0.182	0.510	0.393	0.970					
18						0.182	0.540	0.560	0.560					
19						0.050	0.510	0.590	0.207					
20						0	0.312	0.365	0.365					
旬总数						0.828	3.382	4.479	5.447					
旬平均						0.083	0.338	0.448	0.545					
21						0	0.182	0.232	0.232					
22						0.050	0.232	0.207	0.182					
23						0.050	0.365	0.157	0.182					
24						0.182	0.675	0.207	0.182					
25						0	0.675	0.157	0.157					
26						0	0.705	0.338	0.157					
27						0	0.540	0.590	0.132					
28						0	0.510	0.940	0.157					
29						0.182	0.620	0.715	0.132					
30						0.182	0.560	0.365	0.132					
31						0.207		0.715	0.132					
旬总数						0.853	5.064	4.623	1.777					
旬平均						0.078	0.506	0.420	0.162					
月统计	总数					2.088	10.743	13.402	12.291					
	平均					0.067	0.358	0.432	0.396					
	最大					0.393	1.43	1.54	1.54					
	日期					29	25	28	17					
	最小					0	0.050	0.107	0.132					
	日期					1	7	24	30					
年统计	年总数	38.524				最大流量 1.54 7月28日			最小流量 0 5月1日			平均流量 0.313		
	径流量	332.8 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>				径流模数 93.7 L/s·km <sup>2</sup>			径流深度 996mm					

表 17 乌鲁木齐河空冰斗水文点 1998 年逐日平均流量表

(集水面积 1.68km<sup>2</sup> 流量:m<sup>3</sup>/s)

日	月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1						0.042	0.270	0.160	0.250				
2						0.089	0.220	0.170	0.170				
3						0.042	0.220	0.290	0.200				
4						0	0.270	0.304	0.200				
5						0	0.220	0.304	0.160				
6						0.034	0.290	0.112	0.112				
7						0.042	0.190	0.089	0.112				
8						0	0.042	0.089	0.230				
9						0.042	0.034	0.160	0.190				
10						0.089	0.160	0.136	0.136				
旬总数						0.380	1.916	1.814	1.760				
旬平均						0.038	0.192	0.181	0.176				
11						0.089	0.270	0.220	0.112				
12						0.089	0.170	0.200	0.304				
13						0	0.160	0.320	0.304				
14						0	0.034	0.250	0.250				
15						0	0.160	0.250	0.220				
16						0.112	0.160	0.200	0.220				
17						0.112	0.170	0.170	0.380				
18						0.170	0.190	0.230	0.230				
19						0	0.190	0.170	0.160				
20						0	0.220	0.400	0.160				
旬总数						0.572	1.724	2.410	2.340				
旬平均						0.057	0.172	0.241	0.234				
21						0	0.160	0.230	0.200				
22						0	0.250	0.190	0.136				
23						0.112	0.220	0.160	0.220				
24						0.170	0.170	0.089	0.170				
25						0.112	0.170	0.089	0.160				
26						0.042	0.250	0.089	0.190				
27						0.089	0.304	0.089	0.190				
28						0.160	0.190	0.170	0.112				
29						0.160	0.160	0.112	0.112				
30						0.160	0.160	0.042	0.089				
31						0.160		0.190	0.042				
旬总数						1.165	2.034	1.450	1.621				
旬平均						0.106	0.203	0.132	0.147				
月统计	总数					2.117	5.674	5.674	5.721				
	平均					0.068	0.189	0.183	0.184				
	最大					0.304	0.600	0.670	0.580				
	日期					24	56	26	17				
	最小					0	0	0.042	0				
日期					4	8	7	22					
年统计	年总数					最大流量 0.670		最小流量 0		平均流量 0.156			
	19.186					7月20日		5月4日					
	径流量 165.8 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>					径流模数 92.9 L/s·km <sup>2</sup>		径流深度 987mm					

表 18 乌鲁木齐河总控制水文点 1998 年逐日平均流量表

(集水面积 28.9km<sup>2</sup> 流量:m<sup>3</sup>/s)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1					0.36	0.64	2.74	1.34				
2					0.40	0.98	5.72	2.74				
3					0.36	1.09	3.76	1.56				
4					0.11	1.14	3.56	1.82				
5					0.36	1.56	2.74	2.32				
6					0.36	1.56	1.69	2.46				
7					0.40	1.03	1.82	1.69				
8					0.36	0.93	1.69	1.09				
9					0.36	0.98	1.94	1.56				
10					0.40	1.27	2.32	1.82				
旬总数					3.47	11.18	27.98	18.40				
旬平均					0.35	1.12	2.80	1.84				
11					0.40	1.46	3.76	1.82				
12					0.40	1.26	2.90	0.49				
13					0.36	1.21	3.56	1.21				
14					0.11	0.93	2.46	1.56				
15					0.11	1.03	2.60	1.14				
16					0.36	1.34	2.74	0.82				
17					0.36	1.56	2.90	1.27				
18					0.36	2.08	4.18	2.20				
19					0.11	1.94	2.74	2.08				
20					0.11	2.08	4.18	1.14				
旬总数					2.68	14.89	32.02	13.73				
旬平均					0.27	1.49	3.20	1.37				
21					0.40	1.21	2.46	0.58				
22					0.36	1.56	1.69	1.09				
23					0.53	1.46	1.27	3.20				
24					0.70	1.69	0.98	3.76				
25					0.58	2.08	0.78	2.32				
26					0.70	2.20	0.88	2.90				
27					0.75	2.60	0.43	1.27				
28					0.88	2.08	2.90	1.09				
29					0.78	2.08	1.56	0.98				
30					0.70	2.32	1.09	0.98				
31					0.49		0.88	1.03				
旬总数					6.87	19.28	14.92	19.20				
旬平均					0.62	1.93	1.36	1.74				
月统计	总数				13.02	45.35	74.92	51.33				
	平均				0.42	1.51	2.42	1.66				
	最大日期				1.09	4.62	8.00	4.62				
	最日				27	26	1	24				
	最日				0.11	0.49	0.11	0.11				
最日				4	1	31	11					
年统计	年总数 184.62				最大流量 8.00 7月1日			最小流量 0.11 5月4日			平均流量 1.50	
	径流量 1595.1 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>				径流模数 51.9 L/s·km <sup>2</sup>			径流深度 552mm				

表 19 1 号水文点 1998 年逐日平均气温表(°C)

日 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1	-17.4	-14.7	-10.9	-1.7	-0.3	4.2	4.0	5.4	4.8	-2.4	-2.5	-19.0	
2	-20.6	-13.2	-10.0	-4.2	1.8	5.4	1.0	3.6	5.1	-0.3	-0.3	-13.6	
3	-21.0	-12.9	-5.6	-7.7	0.8	3.7	3.4	1.8	7.4	0.3	-2.2	-10.7	
4	-17.3	-16.4	-6.2	-9.2	-10.5	5.1	4.7	4.2	8.8	1.2	-4.8	-12.5	
5	-17.7	-15.4	-11.0	-7.8	-8.5	6.3	5.2	6.2	9.8	1.7	-4.6	-15.8	
6	-20.3	-14.2	-13.3	-6.6	-3.6	3.8	4.8	6.1	8.2	0.7	-6.6	-9.6	
7	-15.0	-14.4	-13.0	-3.8	-1.3	2.1	6.8	5.5	6.9	-3.4	-3.5	-11.6	
8	-14.1	-11.8	-16.6	-7.0	-4.8	0.6	6.7	6.7	7.0	-0.6	-6.6	-13.4	
9	-17.3	-9.3	-15.6	-11.6	-4.4	-0.6	5.9	5.3	3.2	1.1	-7.1	-15.1	
10	-16.9	-8.9	-13.3	-8.0	0.4	1.6	5.6	5.1	3.0	-6.6	-6.3	-13.1	
旬总数	-177.6	-131.0	-115.5	-67.6	-30.4	32.2	48.1	49.9	64.2	-8.3	-44.5	-134.4	
旬平均	-17.8	-13.1	-11.6	-6.8	-3.0	3.2	4.8	5.0	6.4	-0.8	-4.4	-13.4	
11	-16.4	-12.8	-13.9	-4.5	-0.7	3.3	5.3	4.5	4.6	-10.3	-4.7	-13.1	
12	-19.5	-18.9	-14.1	-4.1	0.2	3.0	3.6	1.5	4.3	-13.0	-2.8	-15.7	
13	-21.0	-8.7	-12.8	-10.1	-4.4	2.5	0.4	2.8	4.7	-1.9	-6.0	-15.6	
14	-19.4	-5.6	-12.7	-5.8	-9.8	3.3	0.5	3.8	3.7	-1.8	-13.1	-8.8	
15	-23.0	-5.4	-13.5	-1.9	-2.2	5.3	4.8	6.2	-3.1	-10.1	-15.4	-8.8	
16	-24.8	-7.3	-11.8	1.9	1.4	5.0	8.3	7.4	-5.9	-8.4	-7.4	-13.0	
17	-23.5	-5.8	-21.2	1.0	2.1	6.8	7.1	5.2	-8.6	-2.1	-7.6	-15.7	
18	-20.5	-8.3	-20.4	-0.2	2.5	8.1	6.1	4.4	-5.8	-2.8	-8.0	-15.8	
19	-21.3	-6.5	-18.4	-4.1	-2.7	7.2	6.1	2.6	2.2	-4.6	-10.0	-8.4	
20	-19.3	-8.2	-15.0	0.0	-10.0	4.4	1.8	4.2	2.7	-4.3	-8.9	-11.8	
旬总数	-208.7	-87.5	-153.8	-27.8	-23.6	48.9	44.0	42.6	-1.2	-59.3	-83.9	-126.7	
旬平均	-20.9	-8.8	-15.4	-2.8	-2.4	4.9	4.4	4.3	-0.1	-5.9	-8.4	-12.7	
21	-19.0	-8.9	-11.6	-5.5	-5.5	2.7	1.9	1.7	-1.7	-3.3	-6.1	-17.1	
22	-16.0	-11.5	-12.7	-12.2	-4.8	3.1	3.1	0.5	-3.6	-6.6	-9.5	-10.8	
23	-16.8	-15.5	-11.0	-6.6	0.0	5.2	3.2	3.9	-2.2	-10.8	-7.2	-13.9	
24	-16.6	-15.6	-13.8	-1.2	2.9	5.5	2.9	4.3	0.7	-5.8	-10.6	-15.0	
25	-17.8	-15.1	-13.8	2.0	1.3	7.6	3.0	0.3	2.2	-4.2	-15.2	-11.3	
26	-17.1	-11.3	-12.7	-2.1	-0.6	6.5	6.0	2.1	4.1	-5.8	-15.2	-15.0	
27	-11.8	-10.2	-10.4	-4.8	-0.7	4.9	6.6	4.5	5.7	-7.0	-11.3	-18.8	
28	-9.4	-12.3	-14.1	-6.4	-0.5	5.2	6.6	5.5	-0.1	-7.3	-11.2	-15.3	
29	-10.7		-14.5	-8.6	-0.4	7.4	5.8	3.8	-3.8	-8.6	-9.5	-14.0	
30	-13.0		-13.3	-6.4	0.4	6.6	4.6	2.4	-4.3	-11.1	-13.7	-15.6	
31	-13.5		-3.5		3.0		3.4	3.6		-6.3		-18.5	
旬总数	-161.7	-100.4	-131.4	-51.8	-4.9	54.7	47.1	32.6	-3.0	-76.8	-109.5	-165.3	
旬平均	-14.7	-12.6	-11.9	-5.2	-0.4	5.5	4.3	3.0	-0.3	-7.0	-11.0	-15.0	
月统计	总数	-548.0	-318.9	-400.7	-147.2	-58.9	132.8	139.2	125.1	60.0	-144.4	-237.9	-426.4
	平均	-17.7	-11.4	-12.9	-4.9	-1.9	4.4	4.5	4.0	2.0	-4.7	-7.9	-13.8
	最高	-6.0	-0.2	1.2	8.2	8.8	14.2	15.1	12.1	14.5	7.0	5.2	-4.3
	日期	28	14	31	25	24	18	16	5	5	5	2	6
	最低	-29.7	-23.1	-27.2	-16.8	-14.9	-2.8	-4.2	-2.6	-14.0	-18.4	-19.9	-22.4
	日期	16	12	17	9	20	10	2	26	18	12	26	1
年统计	最高气温 15.1 7月16日		最低气温 -29.7 1月16日					平均气温 -5.0					

表 20 空冰斗水文点 1998 年逐日平均气温表(℃)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1	-17.1	-15.0	-11.1	-0.8	-0.8	4.3	2.5	5.4	2.6	-2.9	-2.9	-17.6	
2	-20.4	-13.0	-9.6	-4.1	1.3	4.4	0.8	2.0	2.6	-1.0	-0.5	-13.5	
3	-20.3	-13.2	-5.7	-8.4	0.6	3.3	2.8	1.4	4.0	0.7	-3.0	-10.0	
4	-15.7	-16.8	-6.7	-5.3	-10.7	4.2	3.7	2.4	5.1	1.1	-5.5	-12.3	
5	-17.1	-15.9	-11.5	-7.9	-9.1	5.8	3.1	4.7	5.3	1.1	-5.4	-15.4	
6	-19.5	-14.6	-8.4	-6.0	-4.7	3.0	3.1	5.3	4.7	0.7	-6.4	-8.7	
7	-15.3	-14.0	-12.8	-3.8	-2.6	2.0	4.1	4.9	4.0	-3.0	-3.6	-8.6	
8	-13.8	-10.2	-16.0	-6.5	-4.9	1.0	5.0	6.0	4.5	-1.6	-6.2	-12.5	
9	-18.0	-8.6	-14.0	-6.1	-5.1	1.6	4.4	4.8	0.7	0.6	-6.5	-14.3	
10	-17.4	-7.9	-13.2	-7.6	-0.3	2.7	4.8	4.5	1.3	-6.1	-5.5	-12.2	
旬总数	-174.6	-129.2	-109.0	-56.5	-36.3	32.3	34.3	41.4	34.8	-10.1	-45.5	-125.1	
旬平均	-17.5	-12.9	-10.9	-5.7	-3.6	3.2	3.4	4.1	3.5	-1.0	-4.6	-12.5	
11	-16.3	-11.6	-13.7	-3.7	-0.9	3.8	4.0	3.4	2.6	-9.6	-4.5	-12.8	
12	-19.3	-19.1	-13.4	-3.2	-0.4	3.5	3.0	2.7	1.4	-12.4	-3.5	-14.9	
13	-21.1	-8.9	-12.6	-10.0	-4.4	3.4	1.2	4.0	2.2	-2.2	-6.0	-14.4	
14	-19.4	-4.7	-13.1	-5.7	-10.1	4.2	0.7	4.2	1.3	-2.4	-12.7	-7.9	
15	-23.0	-5.1	-13.5	-2.1	-2.1	6.2	3.4	5.6	-4.5	-10.3	-15.6	-7.9	
16	-25.2	-8.5	-12.2	1.3	1.3	5.0	6.5	6.1	-8.4	-7.8	-8.1	-12.2	
17	-20.8	-5.7	-21.2	2.3	2.1	5.7	4.7	4.1	-10.5	-2.4	-7.7	-14.6	
18	-19.6	-8.9	-20.6	0.6	1.9	6.0	4.2	3.2	-8.2	-3.6	-8.5	-14.3	
19	-20.8	-7.9	-18.9	-2.8	-3.2	6.1	3.7	1.5	0.1	-5.4	-9.7	-7.7	
20	-19.5	-7.9	-15.1	0.3	-11.0	4.2	0.2	3.4	1.9	-5.4	-8.8	-10.4	
旬总数	-205.0	-88.3	-154.3	-23.0	-26.8	48.1	31.6	38.2	-22.2	-61.5	-85.1	-117.1	
旬平均	-20.5	-8.8	-15.4	-2.3	-2.7	4.8	3.2	3.8	-2.2	-6.2	-8.5	-11.7	
21	-17.3	-8.2	-11.7	-5.1	-6.3	1.8	0.5	1.2	-1.3	-3.4	-6.4	-14.4	
22	-16.7	-11.2	-12.6	-11.3	-5.2	2.2	1.5	-0.5	-0.4	-7.5	-9.8	-9.9	
23	-15.6	-15.1	-11.2	-6.9	-0.7	4.4	1.2	3.1	-1.6	-11.5	-6.8	-12.6	
24	-17.0	-14.8	-13.8	-1.4	2.7	4.0	1.3	3.0	0.3	-6.4	-10.4	-13.7	
25	-18.4	-14.1	-13.9	2.7	1.2	6.2	1.0	-0.1	1.8	-5.4	-14.9	-9.6	
26	-17.3	-10.6	-13.0	-2.3	-0.9	5.6	3.5	1.0	3.5	-6.5	-15.2	-13.8	
27	-11.8	-10.2	-10.3	-3.9	-0.6	3.7	3.9	3.2	4.7	-7.0	-11.9	-16.8	
28	-10.1	-11.6	-13.6	-6.0	-0.1	4.2	5.5	3.5	1.3	-7.6	-11.2	-15.3	
29	-11.5		-14.1	-8.6	0.2	5.9	4.5	1.7	-4.0	-8.9	-9.2	-14.0	
30	-13.7		-12.8	-5.8	0.5	4.7	3.8	1.1	-5.0	-10.3	-13.2	-15.6	
31	-13.8		-4.3		1.4		2.7	1.1		-5.3		-18.6	
旬总数	-163.2	-95.8	-131.3	-48.6	-7.8	42.7	29.4	28.3	-0.7	-80.8	-109.0	-154.3	
旬平均	-14.8	-12.0	-11.9	-4.9	-0.7	4.3	2.7	2.6	-0.1	-7.3	-10.9	-14.0	
月统计	总数	-542.8	-313.3	-394.6	-128.1	-70.9	123.1	95.3	107.9	11.9	-152.3	-239.4	-396.5
	平均	-17.5	-11.2	-12.7	-4.3	-2.3	4.1	3.1	3.5	0.4	-4.9	-8.0	-12.8
	最高	-6.8	-0.3	1.2	6.8	8.1	12.6	11.4	11.8	10.5	9.0	4.9	-2.5
	日期	28	14	31	16	24	18	16	16	5	2	2	6
	最低	-27.7	-23.0	-27.0	-16.8	-15.7	-2.0	-4.5	-3.0	-16.7	-17.3	-18.9	-21.2
	日期	17	12	18	22	20	22	2	22	18	12	15	29
年统计		最高气温 12.6 6月18日				最低气温 -27.7 1月17日				平均气温 -5.2			



表 21 总控制水文点 1998 年逐日平均气温表(°C)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1	-17.6	-17.8	-11.5	0.3	0.4	5.3	4.0	6.2	9.2	-1.7	-4.0	-18.4	
2	-19.6	-15.7	-9.0	-2.7	3.4	6.7	1.4	5.0	8.7	0.5	-1.6	-12.1	
3	-21.1	-12.1	-5.4	-7.1	2.2	4.7	5.2	3.8	8.2	1.5	-2.8	-8.4	
4	-17.8	-16.2	-8.1	-8.2	-10.0	4.5	7.8	4.5	8.8	1.4	-4.8	-11.0	
5	-17.2	-16.6	-11.6	-6.5	-7.0	5.3	6.2	6.3	8.9	2.8	-3.6	-13.8	
6	-20.1	-15.2	-14.6	-5.4	-2.6	3.0	5.2	7.7	8.8	1.3	-7.5	-11.4	
7	-16.0	-13.6	-12.2	-1.2	0.4	2.7	6.9	7.5	7.6	-1.3	-3.7	-9.3	
8	-13.8	-12.9	-16.0	-5.9	-3.5	1.2	7.0	8.7	7.7	-0.2	-6.8	-12.8	
9	-18.7	-8.5	-15.9	-11.6	-2.9	0.8	6.4	7.4	5.8	1.8	-6.6	-15.7	
10	-17.1	-7.6	-13.5	-4.9	1.7	3.1	7.6	6.4	4.6	-5.6	-5.7	-13.5	
旬总数	-179.0	-136.2	-117.8	-53.2	-17.9	37.3	57.7	63.5	78.3	0.5	-47.1	-126.4	
旬平均	-17.9	-13.6	-11.8	-5.3	-1.8	3.7	5.8	6.4	7.8	0.0	-4.7	-12.6	
11	-15.7	-10.8	-13.3	-4.1	0.7	3.7	5.8	6.3	6.3	-8.1	-3.6	-12.3	
12	-19.0	-18.4	-14.5	-3.3	2.2	3.6	5.1	3.1	5.4	-11.4	-1.7	-15.3	
13	-21.5	-6.5	-12.1	-8.6	-3.1	3.0	3.0	5.1	5.8	-2.1	-3.2	-14.4	
14	-18.6	-4.5	-12.6	-3.8	-8.1	4.4	1.5	5.3	4.8	-1.4	-10.8	-9.2	
15	-24.1	-7.0	-13.2	-0.5	-5.2	5.2	5.9	7.2	-1.2	-8.5	-17.9	-8.1	
16	-25.1	-8.2	-10.0	2.6	3.2	6.0	8.4	7.8	-3.2	-8.5	-7.5	-10.7	
17	-25.7	-5.0	-22.8	2.1	3.8	7.4	8.3	6.1	-9.2	-2.1	-7.1	-13.3	
18	-21.9	-11.5	-19.6	3.0	3.8	8.3	6.5	5.1	-3.9	-2.2	-7.8	-13.6	
19	-21.6	-7.8	-19.0	-1.0	-1.1	7.0	5.7	2.7	2.7	-2.9	-8.0	-4.7	
20	-21.1	-9.5	-15.6	3.1	-9.7	5.1	1.4	3.2	2.8	-3.7	-7.4	-10.0	
旬总数	-214.3	-89.2	-152.7	-10.5	-13.5	53.7	51.6	51.9	10.3	-50.9	-75.0	-111.6	
旬平均	-21.4	-8.9	-15.3	-1.1	-1.4	5.4	5.2	5.2	1.0	-5.1	-7.5	-11.2	
21	-21.4	-7.8	-11.2	-4.6	-5.6	2.6	2.5	1.9	1.3	-1.1	-5.5	-16.0	
22	-16.9	-11.3	-12.3	-12.6	-3.4	4.0	4.8	0.8	-1.3	-4.4	-7.0	-9.2	
23	-17.2	-15.5	-10.7	-6.3	1.7	5.9	3.9	5.0	1.0	-10.5	-5.2	-12.7	
24	-16.7	-16.8	-12.3	-0.6	4.9	6.2	3.9	5.6	3.3	-6.4	-7.9	-12.9	
25	-17.9	-15.0	-11.8	2.5	2.4	7.6	3.7	2.3	3.7	-4.0	-11.3	-11.7	
26	-18.7	-12.3	-12.5	-4.0	0.5	7.3	5.2	3.2	4.6	-5.5	-14.2	-13.9	
27	-10.7	-10.7	-8.5	-5.4	0.6	6.0	6.6	4.8	5.3	-6.6	-11.2	-16.8	
28	-8.3	-11.8	-14.4	-6.4	0.1	6.7	7.7	4.3	0.0	-7.3	-8.9	-14.2	
29	-13.2		-13.7	-8.5	0.4	8.5	5.5	3.7	-2.1	-8.2	-7.4	-14.6	
30	-12.1		-11.8	-3.9	0.5	8.4	4.3	3.9	-4.7	-10.6	-11.8	-14.8	
31	-12.4		-2.9		2.2		4.1	5.1		-6.4		-17.6	
旬总数	-165.5	-101.2	-122.1	-49.8	4.3	63.2	52.2	40.6	11.1	-71.0	-90.4	-154.4	
旬平均	-15.0	-12.7	-11.1	-5.0	0.4	6.3	4.7	3.7	1.1	-6.5	-9.0	-14.1	
月统计	总数	-558.8	-326.6	-392.6	-113.5	-26.5	154.2	161.5	156.0	99.8	-121.4	-212.5	-392.4
	平均	-18.0	-11.7	-12.7	-3.8	-0.1	5.1	5.2	5.0	3.3	-3.9	-7.2	-12.7
	最高	-5.7	1.0	3.6	9.8	10.5	16.4	17.3	15.5	15.0	9.0	6.8	-2.5
	日期	28	14	31	16	24	29	3	16	5	9	2	6
	最低	-30.0	-26.1	-28.4	-18.0	-14.8	-3.9	-7.3	-2.4	-13.0	-16.8	-23.3	-22.0
日期	16	12	17	9	20	10	2	22	18	12	15	27	
年统计		最高气温 17.3 7月3日			最低气温 -30.0 1月16日				平均气温 -4.3				

表 22 天山冰川观测试验站基本营地 1998 年逐日平均气温表(°C)

日 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1	-15.6	-11.0	-2.6	4.4	7.7	12.1	10.8	13.8	12.5	4.8	1.2	-10.9	
2	-14.6	-11.0	-1.1	2.0	10.9	13.8	9.7	13.2	14.2	6.6	3.0	-11.7	
3	-19.4	-8.4	-2.3	0.1	6.1	12.4	12.9	12.9	13.6	7.5	2.2	-6.7	
4	-17.6	-8.7	-3.9	1.5	-0.3	12.4	15.3	12.5	14.4	8.3	2.4	-6.2	
5	-11.2	-10.4	-4.9	3.4	3.2	12.6	12.4	14.6	15.8	9.1	1.8	-9.3	
6	-15.4	-9.0	-5.0	4.8	5.3	8.1	13.6	15.3	14.6	7.1	2.0	-11.0	
7	-15.0	-7.5	-5.1	4.6	7.9	10.4	14.0	15.0	14.1	6.2	1.0	-10.9	
8	-10.5	-8.5	-6.4	2.8	6.0	11.0	15.2	15.2	13.0	5.5	0.4	-10.9	
9	-9.9	-5.7	-7.8	-3.7	6.6	8.9	14.8	16.3	9.2	6.9	-0.4	-9.5	
10	-14.2	-3.2	-5.4	1.3	9.4	11.4	17.3	14.6	8.8	0.1	-0.1	-10.0	
旬总数	-143.4	-83.4	-44.5	21.2	62.8	113.1	136.0	143.4	130.2	62.1	13.5	-97.1	
旬平均	-14.3	-8.3	-4.5	2.1	6.3	11.3	13.6	14.4	13.0	6.2	1.4	-9.7	
11	-15.0	-8.1	-6.2	4.1	8.0	8.9	14.1	13.6	8.1	-1.2	1.0	-6.3	
12	-14.4	-12.9	-5.7	5.4	7.9	9.8	12.4	11.4	9.8	-3.6	3.1	-9.7	
13	-14.4	-9.4	-4.2	1.0	4.1	10.2	11.0	13.4	9.6	1.3	-1.7	-10.8	
14	-18.1	-4.8	-5.0	4.0	1.4	10.8	12.1	12.9	7.2	4.0	-7.6	-10.1	
15	-19.4	-2.4	-4.2	7.5	6.6	12.4	13.8	15.3	4.8	-0.6	-13.2	-6.0	
16	-21.2	-3.1	-6.6	10.3	9.9	12.8	15.8	14.8	1.0	0.5	-9.1	-3.9	
17	-20.5	-3.7	-16.4	10.7	8.9	13.8	15.5	13.8	-3.1	3.2	-4.3	-6.8	
18	-21.0	-7.2	-15.1	8.3	9.6	15.6	14.7	12.2	-0.8	2.7	-3.5	-11.1	
19	-17.3	-7.0	-12.7	7.0	2.4	14.9	12.9	10.5	5.3	3.5	-2.1	-7.7	
20	-16.9	-3.7	-10.5	1.4	-2.7	12.6	10.3	11.3	7.8	0.2	-3.4	6.4	
旬总数	-178.2	-62.3	-86.6	59.7	56.1	121.8	132.6	129.3	49.7	10.0	-40.8	-78.2	
旬平均	-17.8	-6.2	-8.7	6.0	5.6	12.2	13.3	12.9	5.0	1.0	-4.1	-7.8	
21	-16.3	-6.3	-4.9	-4.2	2.7	10.9	10.0	10.4	8.7	1.8	-1.5	-10.3	
22	-14.0	-6.2	-0.8	-3.4	5.2	12.4	11.2	9.8	9.2	0.3	-1.9	-11.3	
23	-13.2	-8.5	-2.6	1.3	7.1	13.2	11.1	10.9	7.9	-2.5	-5.7	-8.1	
24	-16.9	-9.3	-4.3	6.5	11.7	15.0	11.8	11.2	7.9	-4.2	-8.1	-9.4	
25	-13.9	-8.1	-4.9	10.4	10.1	16.4	11.9	10.8	9.9	-0.1	-8.0	-9.6	
26	-14.8	-6.2	-2.8	4.4	9.0	14.2	11.9	9.9	10.9	1.1	-10.7	-10.0	
27	-9.6	-5.4	-2.2	4.2	9.4	13.0	13.1	11.9	10.7	-0.5	-8.5	-15.9	
28	-9.9	-3.8	-7.7	4.3	8.7	14.0	14.0	12.8	6.8	1.2	-7.3	-11.5	
29	-10.2		-9.9	0.6	9.2	15.9	13.5	11.7	5.5	0.1	-8.1	-14.3	
30	-7.0		-5.7	3.5	8.8	14.1	13.5	10.5	4.5	-0.8	-10.4	-10.6	
31	-9.6		1.9		10.3		13.1	12.4		-0.6		-13.1	
旬总数	-135.4	-53.8	-43.9	27.6	92.2	139.1	135.1	122.3	82.0	-4.2	-70.2	-124.1	
旬平均	-12.3	-6.7	-4.0	2.8	8.4	13.9	12.3	11.1	8.2	-0.4	-7.0	-11.3	
月统计	总数	-457.0	-199.5	-175.0	108.5	211.1	374.0	403.7	394.9	261.9	67.9	-97.5	-299.4
	平均	-14.7	-7.1	-5.6	3.6	6.8	12.5	13.0	12.7	8.7	2.2	-3.2	-9.7
	最高	4.9	9.5	14.0	23.6	21.3	26.4	25.1	24.1	25.1	21.8	16.8	9.5
	日期	27	14	31	17	24	29	10	16	5	5	2	14
	最低	-28.2	-17.2	-23.8	-9.0	-9.2	1.6	2.0	2.6	-5.5	-11.5	-17.6	-20.5
	日期	17	2	18	23	20	12	2	26	18	24	15	27
年统计		最高气温 26.4 6月29日				最低气温 -28.2 1月17日				平均气温 1.6			

表 23 1号水文点 1998年逐日降水量表(mm)

日 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1							34.2	11.6				
2								5.0				
3						7.4	11.0	10.3				
4								6.5				
5					8.2	0.2	0.2					
6												
7						9.5		6.0				
8						6.8	0.6	10.8				
9					2.7	10.9	2.1	4.6				
10						7.4	2.8					
11							9.0					
12					0.8		3.1					
13							15.0	36.2				
14					6.1	1.5		1.3				
15							11.8					
16												
17						1.6		13.8				
18							13.0	6.3				
19						2.0		3.5				
20					13.5	6.9	29.5	3.6				
21						0.8	9.1	11.0				
22							11.1	22.8				
23												
24							2.8					
25							1.0					
26					17.5	0.8	1.0	16.1				
27					0.8	13.2						
28						1.5	9.5					
29							0.3	0.4				
30					2.2	0.4		2.5				
31							15.0					
总 量	5.4	2.9	0.0	1.5	51.8	82.0	171.0	174.8	8.1	6.6	0.6	3.1
降水日数					8	16	19	18				
最大日降水量					17.5	13.2	34.2	36.2				
日 期					26	27	1	13				
年 统 计	降水量 507.8				降水日数							

附注:1-4月和9-12月降水计月值

表 24 空冰斗水文点 1998 年逐日降水量表(mm)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1							34.5	10.7				
2												
3						8.7		14.3				
4						0.2	12.2	5.4				
5								3.2				
6								4.6				
7					3.2	5.0						
8						6.6	1.0	12.2				
9							0.8					
10						14.2	2.5	0.5				
11							5.2					
12							9.2	32.5				
13							10.3					
14					6.6	1.6						
15												
16												
17						2.8		13.8				
18						1.9		6.6				
19												
20						7.1	27.5					
21					2.5		8.1					
22						6.9		33.0				
23						5.2						
24												
25												
26												
27							3.5					
28					24.8	15.1	8.5					
29												
30						0.5						
31							12.5					
总 量	5.4	2.9	0.0	12.7	37.1	75.8	135.8	136.8	7.8	2.7	0.3	2.8
降水日数					4	13	12	10				
最大日降水量					24.8	15.1	34.5	33.0				
日 期					28	28	1	22				
年 统 计	降水量 420.1				降水日数							

附注:1-4月和9-12月降水计月值

表 25 总控制水文点 1998 年逐日降水量表(mm)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1							37.2	12.1				0.0
2								12.4				
3					7.1	6.3	15.5	11.6				
4							0.3					
5						1.7	0.2	3.3				0.2
6												
7						0.1	1.4	11.4		6.8		
8					4.9	5.4	1.3	9.5				
9						11.7	1.9	0.6				
10						5.4						
11							10.2			2.0		
12					1.6		8.7	36.6		4.1		0.2
13					0.9		13.0	0.8				
14					10.5	1.5	4.3					
15						1.2	3.0					
16										1.8		0.4
17								15.5				
18						3.9	15.3	9.5				
19								4.0				
20					16.2	6.6	26.5					
21						5.5	16.4	8.1				3.2
22						3.6	2.0	27.5		0.3		
23												
24							2.4					
25					16.5		2.2	14.6				
26					5.3	9.5		3.7				
27						3.7						
28					0.8							
29							10.8	1.4				
30					2.4	5.6	4.4	1.8		1.2		
31							12.5					
总 量	5.9	2.9	5.1	38.1	66.2	71.7	189.5	184.4	33.4	16.2	1.4	4.0
降水日数					10	15	21	18				
最大日降水量					16.5	11.7	37.2	36.6				
日 期					26	9	1	2				
年 统 计	降水量 618.8			降水日数								

附注:1-4月和9-12月降水计月值

表 26 天山冰川观测试验站基本营地 1998 年逐日降水量表(mm)

日 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1							32.8	6.2				
2	0.5			2.8			3.8	2.8				
3				5.5	1.3	0.8		3.8				
4					4.2	0.8		0.1				
5			1.9			2.2	2.4					1.5
6						7.6						
7			2.4			0.3		1.6	0.2	2.0		
8	0.2		1.6	4.5	1.5	0.0		4.0				
9	2.3			1.2		7.3	0.6	0.2	2.0			
10						0.8	1.5					
11		0.7			0.8	0.0	8.1	1.9		0.9		
12					2.4		3.2	35.5		1.6		0.2
13	0.7			4.3	7.8		9.1	4.2				
14					2.7	2.1	1.8	0.1			0.3	
15			0.3			3.7			7.3			
16						1.0		0.7	0.2			
17					4.3		2.7	17.7	3.2			
18		0.1		1.0	3.1	0.1	5.9	3.7				1.2
19					7.1	2.2	9.4	3.5				
20					8.1	3.8	32.0	0.0				
21						4.2	1.7	16.8				3.4
22						3.2	8.3	9.9				
23						0.0	2.9			4.0		
24		0.3					0.2	3.5				
25					5.8		0.8	14.0			0.1	
26	0.5		0.1		5.5	2.6	2.0	0.1			0.2	
27			0.4	4.1	1.9	5.6	5.2					
28			4.9	8.3	12.0	3.6	5.2		1.2			
29			0.1	0.4	1.5		19.8	4.5	7.3			0.4
30			0.3	0.3	0.7	2.4	1.6	0.8	0.5		0.2	1.3
31							6.3					1.5
总 量	4.2	1.1	12.0	32.4	70.7	54.3	167.3	135.6	21.9	8.5	0.8	9.5
降水日数	5	3	9	10	17	22	24	23	8	4	4	7
最大日降水量	2.3	0.7	4.9	8.3	12.0	7.6	32.8	35.5	7.3	4.0	0.3	3.4
日 期	9	11	28	28	28	6	1	12	15	23	14	21
年 统 计	降水量			518.3	降水日数							

表 27 1号冰川水文点 1998 年逐日平均相对湿度表(%)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					48	43	91	88				
2					53	44	65	96				
3					59	63	67	94				
4					75	67	67	65				
5					59	67	72	76				
6					55	77	72	83				
7					68	78	64	85				
8					93	97	69	69				
9					45	97	74	82				
10					36	70	79	83				
旬总数					591	703	720	821				
旬平均					59	70	72	82				
11					73	85	90	92				
12					58	72	78	90				
13					78	77	97	80				
14					54	73	94	79				
15					22	67	73	68				
16					59	76	66	84				
17					69	69	74	92				
18					54	61	81	72				
19					78	66	83	68				
20					46	81	95	63				
旬总数					591	727	831	788				
旬平均					59	73	83	79				
21					48	92	70	93				
22					66	78	76	73				
23					43	74	89	51				
24					44	72	88	69				
25					75	62	82	89				
26					83	80	69	50				
27					75	74	84	49				
28					90	65	84	52				
29					75	42	85	75				
30					79	72	81	73				
31					63		94	70				
旬总数					741	711	902	744				
旬平均					67	71	82	68				
月统计	总数				1924	2141	2453	2353				
	平均				62	71	79	76				
	最小				17	20	41	18				
	日期				31	21	4	26				
附注	相对湿度只在 5-8 月冰川消融期观测											

表 28 空冰斗水文点 1998 年逐日平均相对湿度表(%)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					56	51	97	80				
2					67	53	54	92				
3					70	75	62	89				
4					87	60	68	59				
5					72	65	76	67				
6					60	80	76	80				
7					70	85	69	91				
8					99	100	72	77				
9					65	100	76	87				
10					49	71	72	88				
旬总数					695	740	722	810				
旬平均					70	74	72	81				
11					85	75	97	98				
12					67	74	83	98				
13					88	76	94	83				
14					73	76	99	80				
15					25	60	72	67				
16					69	78	50	82				
17					79	72	78	91				
18					65	67	81	75				
19					81	69	77	72				
20					66	89	96	70				
旬总数					698	736	827	806				
旬平均					70	74	83	81				
21					59	92	76	97				
22					82	85	75	85				
23					59	78	92	49				
24					54	78	82	64				
25					86	66	77	92				
26					94	83	61	56				
27					83	85	77	55				
28					97	71	80	62				
29					91	44	82	84				
30					85	81	76	84				
31					75		76	84				
旬总数					865	763	854	812				
旬平均					79	76	78	74				
月统计	总数				2258	2239	2403	2428				
	平均				73	75	78	78				
	最小				20	26	25	15				
	日期				15	29	16	23				
附注	相对湿度只在 5-8 月冰川消融期观测											



表 29 总控制水文点 1998 年逐日相对湿度表 (%)

日 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					40	54	95	78				
2					57	48	57	88				
3					74	79	77	92				
4					87	77	76	75				
5					67	89	71	77				
6					56	97	78	81				
7					55	75	77	85				
8					98	98	71	80				
9					59	97	76	85				
10					50	60	77	83				
旬总数					643	774	755	824				
旬平均					64	77	75	82				
11					75	84	98	93				
12					62	74	80	97				
13					93	86	93	90				
14					71	84	98	79				
15					26	86	78	66				
16					51	87	67	79				
17					66	74	77	84				
18					61	66	86	73				
19					80	69	78	78				
20					59	91	98	74				
旬总数					644	801	853	813				
旬平均					64	80	85	81				
21					62	92	86	100				
22					77	87	65	82				
23					47	86	85	52				
24					46	82	81	72				
25					77	83	79	89				
26					84	89	70	63				
27					82	80	77	74				
28					95	67	83	79				
29					88	58	85	90				
30					93	80	81	86				
31					70		93	87				
旬总数					821	804	885	874				
旬平均					75	80	80	79				
月统计	总 数				2108	2379	2493	2511				
	平 均				68	79	80	81				
	最 小				12	20	30	10				
	日 期				15	2	30	23				
附 注	相对湿度只在 5-8 月冰川消融期观测											

表 30 天山冰川观测试验站基本营地 1998 年逐日平均湿度表(%)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	80	63	54	56	54	59	85	75	65	64	50	82	
2	85	51	46	88	51	57	73	77	56	64	50	75	
3	78	60	57	80	67	65	67	74	62	68	56	66	
4	62	63	69	64	78	73	54	69	61	62	56	82	
5	62	59	83	69	63	80	72	67	56	58	63	84	
6	82	59	78	54	63	84	71	68	66	70	69	82	
7	66	58	82	65	54	73	69	76	66	86	63	66	
8	65	64	77	80	72	73	62	80	72	63	59	64	
9	86	61	72	65	60	87	61	75	91	62	60	66	
10	86	69	71	49	51	68	61	77	75	86	60	65	
旬总数	752	607	689	670	613	719	675	738	670	683	586	732	
旬平均	75	61	69	67	61	72	68	74	67	68	59	73	
11	76	82	71	45	64	80	80	83	77	85	63	62	
12	76	75	58	49	80	70	76	83	71	72	60	86	
13	86	68	57	64	86	66	84	80	72	66	83	64	
14	79	70	73	48	73	78	77	76	77	61	86	42	
15	69	63	65	50	54	80	72	69	87	77	66	45	
16	61	65	71	54	58	77	65	78	82	65	60	63	
17	68	63	65	53	79	68	73	80	82	65	50	86	
18	67	71	42	66	73	65	82	80	65	61	58	94	
19	64	75	52	59	90	68	83	77	70	53	68	78	
20	65	64	55	70	81	82	89	79	64	62	75	86	
旬总数	711	696	609	558	738	734	781	785	747	667	669	706	
旬平均	71	70	61	56	74	73	78	79	75	67	67	71	
21	60	68	47	78	76	83	77	90	66	70	36	86	
22	62	72	54	61	70	73	78	78	60	68	71	93	
23	65	78	62	49	65	70	84	75	68	82	78	83	
24	77	76	76	49	46	65	76	83	68	67	84	85	
25	76	64	76	46	68	63	73	84	65	66	81	75	
26	80	55	58	65	83	71	75	71	58	63	80	82	
27	58	56	56	74	74	80	80	71	59	69	66	88	
28	65	56	86	77	83	68	85	71	78	71	65	86	
29	69		70	84	78	59	80	73	89	67	77	69	
30	71		65	56	75	71	75	78	78	68	88	88	
31	66		54		67		75	71		56		90	
旬总数	749	525	704	639	785	703	858	845	689	747	726	925	
旬平均	68	66	64	64	71	70	78	77	69	68	73	84	
月统计	总数	2211	1828	2002	1867	2136	2156	2314	2368	2106	2097	1981	2363
	平均	71	65	65	62	69	72	75	76	70	68	66	76
	最小	23	18	13	11	18	23	24	31	23	14	13	13
	日期	27	25	20	6	15	1	10	15	3	31	1	14

附 注

# 乌鲁木齐河源 1 号冰川表面运动速度和冰舌末端变化(1996/1997 和 1997/1998 年度)

井哲帆

(中国科学院兰州冰川冻土研究所,兰州 730000)

**摘 要** 本文公布了 1996/1997 和 1997/1998 年度乌鲁木齐河源 1 号冰川的运动变化资料,并对观测方法和资料计算作了有关说明,同时进行了冰川运动的初步对比分析,得出了四个基本结论。

**关键词** 乌鲁木齐河源 冰川运动 冰川变化

## 1 简述

本期年报中公布了 1996/1997 和 1997/1998 年度 1 号冰川表面运动速度和冰舌末端进退变化的观测资料。

观测方法仍同以往,采用 020 型经纬仪进行前方交会法得出各流速点的空间位置,再计算出每一流速点在单位时间内的空间位移,从而得出各点的运动速度。在 1997 年 9 月使用 GPS(全球定位系统)将观测控制点重新测定,经平差计算修正了控制点的坐标,提高了控制点的精度等级,也使得运动速度的观测资料更加准确。

## 2 资料说明

表 1 为 1996/1997 年度的运动速度,表 2 为 1997/1998 年度的运动速度,表 3 为 1 号冰川东、西支冰舌的年进退变化量,表 4、5 为 1997 和 1998 年度的各流速点的空间坐标。

使用的坐标系统仍为独立坐标系。 $X$  为纵坐标, $Y$  为横坐标, $Z$  为竖直向上的坐标。 $U_x$ 、 $U_y$ 、 $U_z$  是分别平行于  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  轴的速度分量, $U_{xy}$  为速度的水平分量, $a$  为运动速度的方向。

## 3 对运动速度的初步分析

在计算和整编运动速度资料的过程中,经过对比和分析得出以下结果:

(1)1 号冰川 97 年度和 98 年度的表面运动与前几年运动速度相比基本变化不大,从表 1 和表 2 中可以看出,东支冰川 1997 年度最大流速点为 f3',其年流速为 5.19 米,1998 年度流速最大点为 e3'点,其年流速为 5.48 米。西支冰川 1997 年度最大流速点为 e3 点,其年流速为 7.22 米,1998 年度最大流速点仍为 e3 点,其年流速为 7.23 米。最大流速点的点位高度基本相同,东支冰川在 1997 年度流速最大点点位略有升高,而在 1998 年又回复到与往年相同的点位。

(2)将表 1 中的运动速度值与上年度(1996 年)的速度值作一比较,以及 1998 年度的运动速度同 1997 年度的流速比较,发现 1 号冰川表面运动速度值呈降低的趋势,降低幅度不大,约在 0.1~0.3m/年的范围内。

(3)运动速度的垂直分量  $U_z$  的年度变化规律同往年的变化规律完全相同。即反映在消融区的显出流作用和积累区的显入流作用。

(4)冰川末端的进退观测方法仍同往年。从表 3 中反映出 1997 年度的冰舌退缩量比 1996 年略大一些,而 1998 年的退缩速率则略有减小。

表 1 年运动速度(观测日期:1996.9.5-1997.9.12)

点名	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$U_{xy}(m)$	$U_z(m)$	$\alpha(^{\circ} \quad ')$	$U_{xy}(m/a)$
a2'	0.75	3.38	3.46	-0.11	77 29	3.39
b2'	1.68	3.78	4.13	-0.04	66 02	4.06
b3'	-0.51	5.27	5.29	0.06	84 28	5.19
c2'	3.10	4.02	5.08	-0.33	52 22	4.98
c3'	3.06	3.79	4.87	-0.70	51 05	4.78
d2'	4.00	1.76	4.37	-0.25	23 45	4.29
d3'	4.16	1.59	4.45	-0.08	20 55	4.37
d4'	3.92	1.18	4.32	-0.10	24 47	4.24
e1'	0.98	0.16	0.99	-0.09	9 16	0.97
e2'	4.77	0.83	4.84	-0.76	9 52	4.75
e3'	5.42	0.80	5.48	-1.04	8 24	5.38
e4'	5.12	0.51	5.14	-0.81	5 41	5.05
e5'	3.52	-0.21	3.53	-1.12	3 25	3.46
f1'	1.21	0.48	1.30	-0.36	21 38	1.28
f2'	4.49	0.85	4.57	-0.90	10 43	4.48
f3'	5.21	0.90	5.29	-0.95	9 48	5.19
f4'	4.64	0.77	4.70	-1.24	9 25	4.61
g1'	0.64	0.33	0.72	-0.09	27 17	0.71
g2'	3.70	1.34	3.94	-0.72	19 54	3.86
g3'	4.05	1.64	4.37	-1.03	22 03	4.29
g4'	4.44	1.33	4.63	-1.15	16 41	4.55
g5'	3.54	0.15	3.54	-1.97	2 26	3.45

续

点名	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$U_{xy}(m)$	$U_z(m)$	$\alpha(^{\circ} \quad ')$	$U_{xy}(m/a)$
h1'	1.21	1.29	1.77	-0.33	46 50	1.74
h2'	2.40	0.99	2.60	-0.74	22 25	2.55
a2	-1.46	1.07	1.81	-0.18	143 51	1.78
b1	-0.51	2.39	2.44	-1.03	102 03	2.40
b2	-2.38	6.15	6.59	-1.55	111 09	6.47
c1	0.41	4.50	4.52	-0.87	84 48	4.43
c2	-0.37	6.71	6.72	-0.86	93 09	6.59
c3	-0.48	6.42	6.44	-0.46	94 17	6.32
d1	0.10	2.98	2.98	-0.52	88 05	2.93
d2	1.17	5.81	5.93	-1.25	78 37	5.82
d3	0.81	7.30	7.34	-1.21	83 40	7.21
d4	0.83	6.03	6.09	-1.51	82 10	5.97
e1	0.31	1.84	1.87	-0.17	80 26	1.83
e2	1.26	7.11	7.22	-1.12	79 57	7.08
e3	2.23	7.01	7.36	-1.80	72 21	7.22
e4	2.74	6.38	6.94	-0.50	66 45	6.81
e5	1.97	3.57	4.08	-0.64	61 07	4.00
f1	0.95	2.42	2.60	-0.47	68 34	2.55
f2	2.85	5.01	5.76	-1.07	60 22	5.66
f3	2.81	5.50	6.18	-1.06	62 56	6.06
f4	2.54	5.02	5.63	-0.98	63 10	5.52
f5	1.97	3.00	3.59	-1.60	56 42	3.52
g1	0.30	0.58	0.65	-0.02	62 39	0.64
g2	2.22	5.40	5.84	-0.65	67 39	5.73
g3	2.68	5.78	6.37	-0.96	65 07	6.25
g4	2.47	4.75	5.35	-1.32	62 32	5.25
g5	2.23	1.47	2.67	-2.15	33 24	2.62
h1	0.13	0.47	0.49	-0.07	74 32	0.48
h2	2.60	4.67	5.34	-0.59	60 54	5.24
h3	3.17	4.95	5.88	-1.39	57 22	5.77
h4	3.67	4.49	5.80	-2.81	50 44	5.69
11	4.41	3.65	5.72	-3.03	39 37	5.62
12	5.38	4.06	6.74	-3.61	37 02	6.61

表2 年运动速度(观测日期:1997.9.12-1998.8.28)

点名	$U_x(m)$	$U_y(m)$	$U_{xy}(m)$	$U_z(m)$	$\alpha(^{\circ} \quad ')$		$U_{xy}(m/a)$
a2'	0.65	3.18	3.24	-0.08	78	27	3.37
b2'	1.51	3.57	3.87	-0.02	67	04	4.02
b3'	-0.40	5.03	5.05	0.06	85	27	5.25
c2'	2.92	3.83	4.82	-0.28	52	41	5.00
c3'	2.88	3.60	4.61	-0.65	51	20	4.79
d2'	3.81	1.60	4.13	-0.21	22	47	4.30
d3'	4.00	1.43	4.25	-0.05	19	40	4.42
d4'	3.72	1.66	4.07	-0.06	24	03	4.24
e1'	0.84	0.07	0.84	-0.07	4	46	0.88
e2'	4.53	0.69	4.58	-0.68	8	40	4.76
e3'	5.23	0.68	5.27	-0.98	7	24	5.48
f1'	1.03	0.36	1.09	-0.30	19	16	1.13
f2'	4.22	0.72	4.28	-0.82	9	41	1.45
f3'	4.90	0.72	4.95	-0.87	8	22	5.15
g1'	0.48	0.23	0.53	-0.05	25	36	0.55
g2'	3.50	1.19	3.70	-0.66	18	47	3.84
g3'	3.89	1.42	4.14	-0.97	20	03	4.31
h1'	1.02	1.10	1.50	-0.29	47	10	1.56
h2'	2.22	0.81	2.36	-0.68	20	03	2.46
a2	-1.27	0.88	1.54	-0.11	145	17	1.60
b2	-2.20	5.80	6.20	-1.38	110	46	6.45
c1	0.30	4.24	4.25	-0.80	85	57	4.42
c2	-0.27	6.33	6.33	-0.78	92	27	6.58
c3	-0.32	6.11	6.11	-0.37	92	59	6.36
d1	0.07	2.79	2.79	-0.45	88	33	2.88
d2	1.01	5.53	5.62	-1.16	79	39	5.84
d3	0.63	6.93	6.96	-1.13	84	48	7.24
e1	0.20	1.65	1.66	-0.11	83	05	1.73
e2	1.09	6.72	6.81	-1.05	80	47	7.08
e3	2.02	6.65	6.95	-1.73	73	06	7.23
e4	2.51	6.02	6.52	-0.44	67	22	6.78
f1	0.80	2.20	2.34	-0.40	70	01	2.43
f2	2.62	4.71	5.39	-1.01	60	55	5.60
f3	2.62	5.15	5.78	-0.98	63	02	6.01
f4	2.36	4.72	5.28	-0.91	63	26	5.48
g1	0.20	0.43	0.47	-0.01	65	03	0.49
g2	2.04	5.08	5.47	-0.58	68	07	5.69
g3	2.48	5.45	5.98	-0.90	65	32	6.23
h1	0.06	0.32	0.33	-0.04	79	23	0.34
h2	2.41	4.40	5.02	-0.52	64	21	5.22
h3	2.97	4.69	5.55	-1.30	57	39	5.77
11	4.13	3.41	5.36	-2.95	39	33	5.57
12	5.06	3.81	6.33	-3.50	37	12	6.59

表3 东西支冰舌进退变化量

冰 舌 进 退 值 (米)		
时 间	东 支 冰 舌	西 支 冰 舌
1996.9 - 1997.9	- 3.65	- 4.80
1997.9 - 1998.8	- 3.47	- 4.47

表4 流速点坐标(观测日期:1997.9.12)

东支点名	X(m)	Y(m)	Z(m)	西支点名	X(m)	Y(m)	Z(m)
a2'	5143.77	3756.12	3775.20	a2	5296.58	3388.72	3834.49
b2'	5145.52	3611.93	3804.67	b1	5447.44	3388.74	3834.49
b3'	5072.75	3659.52	3801.39	b2	5397.09	3386.40	3862.18
c2'	5054.22	3425.95	3851.55	c1	5435.70	3258.48	3905.60
c3'	4981.91	3491.50	3846.48	c2	5385.40	3248.01	3913.68
d2'	4870.39	3223.26	3891.78	c3	5343.11	3229.50	3923.09
d3'	4824.06	3310.30	3893.61	d1	5489.17	3238.17	3934.08
d4'	4774.74	3398.70	3894.67	d2	5429.18	3145.07	3135.85
e1'	4565.61	2999.47	3925.01	d3	5363.82	3135.85	3938.01
e2'	4545.15	3094.96	3925.61	d4	5285.71	3117.03	3953.49
e3'	4511.98	3184.61	3924.33	e1	5505.58	2981.64	3975.33
e4'	4472.76	3273.32	3932.40	e2	5438.14	2994.58	3974.92
e5'	4439.64	3334.31	3943.51	e3	5364.92	2986.42	3980.49
f1'	4347.69	2965.46	3967.73	e4	5289.42	2975.94	3995.67
f2'	4328.76	3040.10	3967.33	e5	5207.17	2956.85	4008.63
f3'	4301.53	3107.07	3965.53	f1	5452.92	2785.11	4011.70
f4'	4267.32	3179.22	3969.04	f2	5381.33	5803.32	4014.60
g1'	4151.75	2899.50	4014.57	f3	5302.38	2813.24	4018.97
g2'	4134.86	2967.02	4010.81	f4	5225.46	2817.55	4028.10
g3'	4108.17	3029.69	4006.00	f5	5145.27	2816.36	4041.18
g4'	4080.31	3091.17	4002.78	g1	5404.89	2596.20	4058.18
g5'	4049.02	3149.72	4008.87	g2	5326.78	2646.61	4054.28
h1'	3943.59	2787.47	4065.93	g3	5245.69	2677.63	4046.77
h2'	3897.36	2929.55	4043.06	g4	5161.59	2704.55	4051.24
				g5	5090.33	2717.45	4069.83
				h1	5344.32	2434.17	4077.03
				h2	5269.04	2502.00	4074.08
				h3	5186.55	2553.30	4071.36
				h4	5105.50	2401.64	4076.75
				11	5133.56	2487.16	4071.04
				12	5056.62	2416.10	4141.83

表 5 流速点坐标(观测日期:1998.8.28)

东支点名	X(m)	Y(m)	Z(m)	西支点名	X(m)	Y(m)	Z(m)
a2'	5144.42	3759.30	3725.12	a2	5295.31	3389.60	3834.38
b2'	5147.03	3615.50	3804.65	b2	5394.89	3392.20	3860.80
b3'	5072.35	3664.55	3801.45	c1	5436.00	3262.72	3904.80
c2'	5057.14	3429.78	3851.27	c2	5385.13	3254.34	3912.90
c3'	4984.79	3495.10	3845.83	c3	5342.79	3235.61	3922.72
d2'	4874.20	3224.86	3891.57	d1	5489.24	3240.94	3233.63
d3'	4828.06	3311.73	3893.56	d2	5430.19	3150.60	3929.74
d4'	4778.46	3400.36	3894.61	d3	5364.45	3142.78	3936.88
e1'	4566.45	2999.54	3924.94	e1	5505.78	2983.29	3975.22
e2'	4549.68	3095.65	3924.93	e2	5439.23	3001.30	3973.78
e3'	4517.21	3185.29	3923.35	e3	5366.94	2993.10	3978.76
f1'	4348.72	2965.82	3967.43	e4	5291.93	2981.96	3995.23
f2'	4332.98	3040.82	3966.51	f1	5453.72	2787.31	4011.30
f3'	4306.43	3107.79	3964.66	f2	5383.95	2808.03	4013.61
g1'	4152.23	2899.73	4014.52	f3	5305.00	2818.39	4017.99
g2'	4138.36	2968.21	4010.15	f4	5227.82	2822.27	4027.19
g3'	4112.06	3031.11	4005.03	g1	5405.09	2596.63	4058.17
h1'	3944.61	2788.57	4065.64	g2	5328.82	2651.69	4053.70
h2'	3899.58	2930.36	4042.38	g3	5248.17	2683.08	4045.87
				h1	5344.38	2434.49	4076.99
				h2	5271.45	2506.40	4073.56
				h3	5189.52	2557.99	4070.06
				11	5137.69	2490.57	4088.09
				12	5061.68	2419.91	4138.33

## 参考文献

- 井晓平,1996.乌鲁木齐河源 1 号冰川表面运动速度和冰舌进退变化(1994 - 1995).中国科学院天山冰川观测试验站年报,13:142 - 147
- 井哲帆,1997.乌鲁木齐河源 1 号冰川表面运动速度和冰舌进退变化(1995 - 1996).中国科学院天山冰川观测试验站年报,14:76 - 79



## 南极洲伊利莎白公主地区 两雪坑内环境气候时间序列记录初步研究<sup>①</sup>

张明军<sup>1</sup> 李忠勤<sup>1</sup> 秦大河<sup>1</sup> 李 军<sup>2</sup> 慕富强<sup>1</sup>

(1 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

(2 澳大利亚南极局南极研究中心)

**摘要** 本文对 1996/1997 年中国首次南极内陆冰盖考察获得的南极洲伊利莎白公主地区两个雪坑样品的阴离子、阳离子和  $\delta^{18}\text{O}$  进行对比分析, 结果表明  $\text{NO}_3^-$  的浓度变化和  $\delta^{18}\text{O}$  的变化同相,  $\text{Cl}^-$  的浓度变化和  $\delta^{18}\text{O}$  的变化异相, 二者的变化和  $\delta^{18}\text{O}$  的变化一样, 都形成明显的季节变化层。这为研究者在本地区冰盖内划分年层、建立时间序列提供了重要的依据, 但与此相反的是, 各种阳离子的时间序列却不明显。另外, 两个雪坑中的  $\text{msSO}_4^{2-}$  在 1995/1994 和 1993/1992 都表现出非常高的浓度值, 很可能是 1991 年 6 月和 1991 年 8 月的 Pinatubo 火山和 Cerro Hudson 火山的爆发在本地区冰雪中的反应。

**关键词** 南极洲 冰盖 雪冰 阴离子 阳离子  $\delta^{18}\text{O}$

### 1 引言

浅层雪坑内的主要阴、阴离子含量的分析研究, 可获得现代环境气候条件下高分辨率、短时间序列环境气候变化的精细记录。从理论上讲, 如果在一个物质平衡年的雪层中采样数不少于 5 个, 则可获得以季节为周期的时间序列变化的记录。这种分辨率, 加上 90 年代条件下高精度、高灵敏度的测试仪器, 使浅层雪坑内的记录研究对全球变化研究的贡献在各类沉积物中独占鳌头, 使冰川化学在环境气候研究中的若干方面保持了独特的优势。但也存在不少问题, 例如, 南极冰盖浅层雪坑内时间序列的确定, 即年层划分问题, 长期以来一直是困扰冰川学家的难题; 又如, 主要阴、阳离子沉积到雪层后变化的过程, 即现代环境过程的研究也是一个薄弱环节。只有较好地解决这些难题, 雪坑乃至冰芯内的记录之真实性、可靠性才能得到保证, 冰川化学在全球变化研究中的地位才能巩固, 其研究也就更有意义(秦大河 1995)。

近年来, 南极冰盖业已完成的雪坑雪层内高分辨率冰川化学分析的地点逐渐增多(如著名的南极点、Dome C、Vostok 等地点), 但与面积广大, 自然地理条件复杂的南极洲相比而言, 这方面的资料还是太少。下面, 本文将对中国首次南极内陆冰盖考察的地区——南

<sup>①</sup> 国家自然科学基金(49771022)和中国科学院 95 重大 A(KZ951-A1-205)资助项目

极洲伊利莎白公主地区两个雪坑内的冰川化学资料进行讨论。

本文主要作者之一——李忠勤研究员参加了 1996/1997 年期间中国首次南极内陆冰盖考察,这一考察是国际横穿南极科学考察计划(I-TASE)的重要组成部分,其主要目标是完成我国中山站至 Dome A 方向内陆 300 公里的科学考察任务(如图 1 所示)。而以中山站至 Dome A 为轴线的南极大扇形区是南极冰盖研究的薄弱地区,因此,从中山站至 Dome A 方向的大断面考察是填补这一薄弱区的关键剖面,考察所获得的冰川化学资料也是完善整个南极洲冰川化学资料的关键资料。

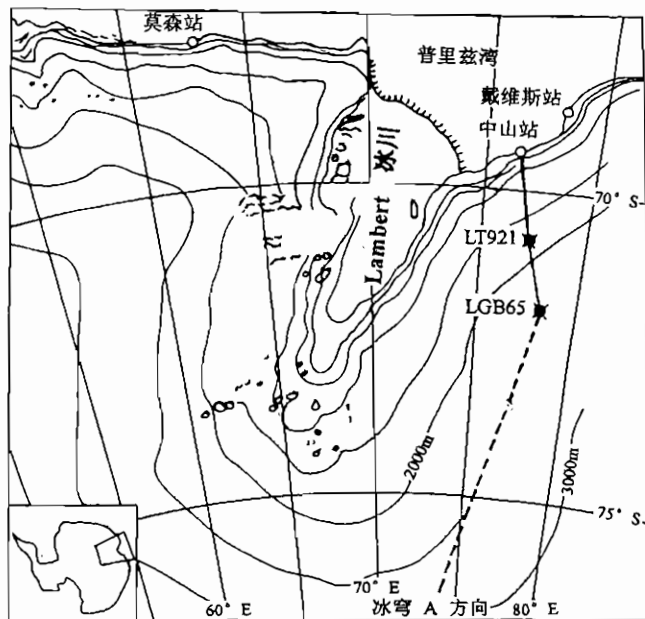


图 1 中国首次南极内陆冰盖(1996/1997)考察路线图

## 2 样品的采集和分析

在本次考中,李忠勤研究员分别在 LT921 处和 LGB65 处挖了两个深 2.5 米和 3.5 米的雪坑(如图 1 所示)。沿雪坑从上至下每隔 3cm 用不锈钢小铲进行高密度连续取样,样品封装在聚四氟乙烯广口瓶中,并在低温状态下运回到中国科学院兰州冰川冻土研究所低温室冷存( $-15^{\circ}\text{C}$ ),直到分析前才开启。

主要阴、阳离子和  $\delta^{18}\text{O}$  的测试均在中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯与寒区环境开放实验室完成。所有样品测试前置于超净实验室使其自然融化,分析测试过程始终在超净环境下操作,测试过程中所用试验器皿的清洗以及标样的制备均采用去离子水(大于 18.3M)。

主要阳离子  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  的分析采用 Dionex300 离子色谱仪测试,最低检测限小于 1ppb;阴离子  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  的测试由 Dionex100 离子色谱仪测定,最低检测限小于 1ppb; $\delta^{18}\text{O}$  的测定在 MAT-252 气体质谱仪上进行,测得的雪坑中氧稳定同位素的含量为与“标准平均大洋水(SMOW)”的千分差,其精度在  $\pm 0.5\%$  之内。

## 3 结果

从图2中可以看出:在两个雪坑中, $\text{NO}_3^-$  的浓度变化基本上与  $\delta^{18}\text{O}$  的变化同相,而  $\text{Cl}^-$  的浓度变化与  $\delta^{18}\text{O}$  的变化异相,但两者的变化和  $\delta^{18}\text{O}$  的变化一样,都形成明显的季节变化层。可见,以稳定同位素比率为基础建立时间序列后, $\text{Cl}^-$  和  $\text{NO}_3^-$  的时间序列与稳定同位素比率的时间序列具有可比性。因此,当稳定同位素资料不全或缺乏时, $\text{Cl}^-$  和  $\text{NO}_3^-$  可以成为研究者在冰盖内划分年层、建立时间序列的重要依据之一。然而在两个雪坑中只有一个雪坑(LGB65)的  $\text{Na}^+$  与  $\delta^{18}\text{O}$  的变化基本上异相,另外一个雪坑的  $\text{Na}^+$  及两个雪坑的  $\text{Ca}^{2+}$  浓度变化基本上看不出季节变化层。

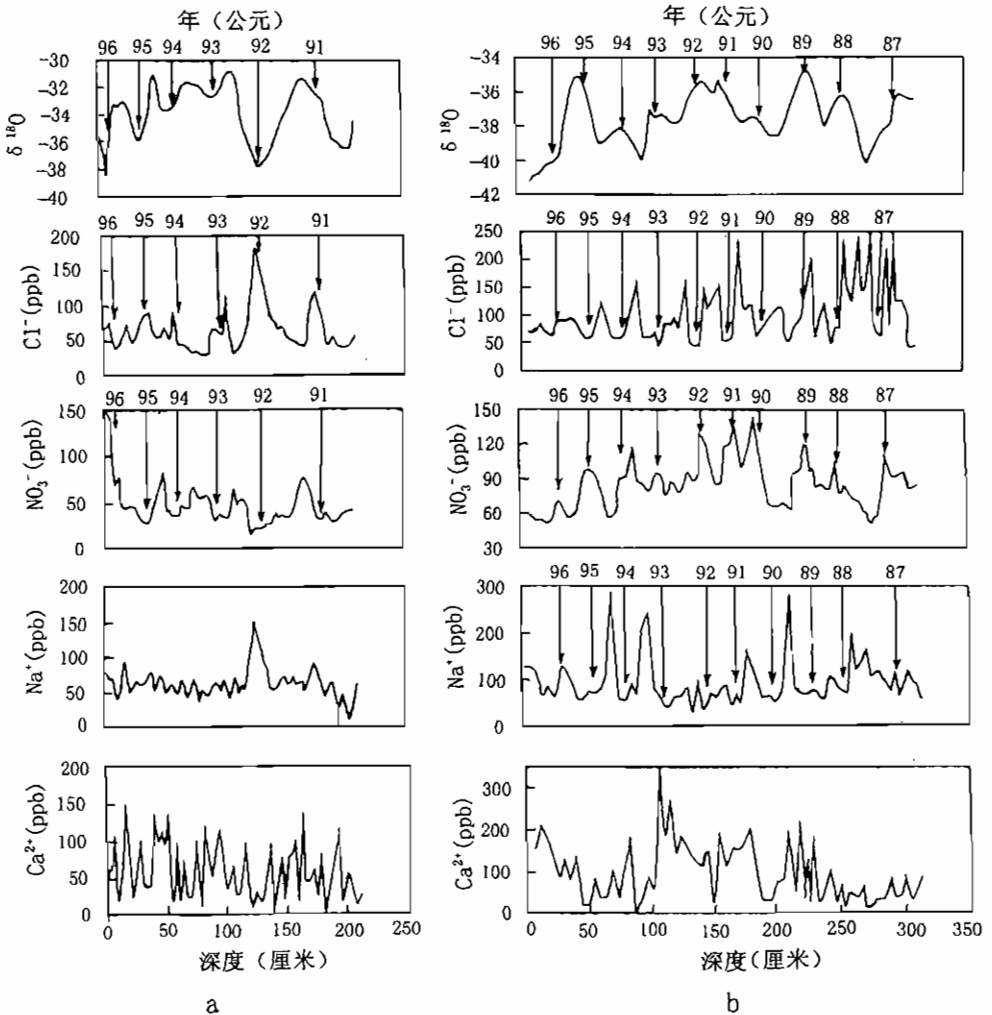


图2 a, 1991~1996年LT921处雪坑中 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度剖面的对比  
b, 1987~1996年LGB65处雪坑中 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度剖面的对比

从图3中可以看出:两个雪坑在1995/1994和1993/1992年期间 $\text{nssSO}_4^{2-}$ 都显示出高峯值,即两个雪坑中 $\text{nssSO}_4^{2-}$ 的变化基本上同相。

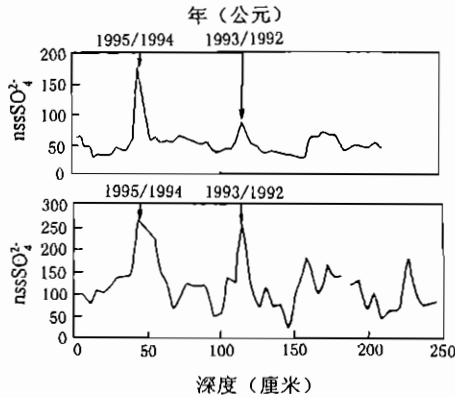


图3 LT921处和LGB65处两雪坑中 $nssSO_4^{2-}$ 浓度剖面的对比

#### 4 分析和讨论

从图2揭示的规律中,我们可以得出这样的印象:在南极洲伊丽莎白公主地区的海盐性离子和陆盐性离子中,海盐性离子更易揭示出气候的季节变化,其原因是伊丽莎白公主地区位于南极洲东海岸,冬季,亚南极地区海洋上空的气旋南侵,频频进入南极冰盖内陆,同时,也将各种海盐性离子一道送入雪冰内,因此,冰盖浅层雪内海盐性离子的浓度在冬季雪内可出现峰值,夏季出现较低值,即在南极冰盖浅层雪冰内形成较清晰的季节轮回,从而使海盐性离子成分划分年层的依据。然而从上图中还发现,在海盐性阴离子和阳离子的比较中,阴离子更易表现出季节变化现象,其原因可能与阴阳离子的沉积过程和“沉积后过程”有关系。很多文献的研究结果表明,海盐性离子,不管是阴离子还是阳离子,都可表现出明显的季节轮回(Whitlow et al., 1992; Legrand M and Delmas RJ, 1988),所以这里表明的是我们的研究结果,至于这一结论的正确性及其原因,还需要对各种离子沉积到雪层后的现代环境过程做进一步细致深入的研究。

同时,在本研究中我们还意外的发现, $NO_3^-$ 浓度的变化与 $\delta^{18}O$ 的变化表现出良好的正相关性。文献表明,有学者业已发现雪冰中的 $NO_3^-$ 浓度的最大值在夏季,有时也在春季(Andreas Minikin et al., 1994; Mulvaney and Volff, 1993; Whitlow et al., 1992; Steffensen, 1988; Neubauer and Heumann, 1988; Mayewski et al., 1987, 1990; Legrand M and Delmas RJ, 1986; ME Davis, LG Thompson, etc. 1995)。但对 $NO_3^-$ 随季节变化的原因至今尚无完满的解释,主要是 $NO_3^-$ 有多种来源,那一种来源最为重要,很难确定,不过,目前的研究结果告诉我们,在伊丽莎白公主地区 $NO_3^-$ 的多种来源中,能反映季节变化的来源可能占主导地位。

另外,正如图3所示的那样,在两个雪坑的冰川化学分析中, $nssSO_4^{2-}$ 在1995/1994和1993/1992都表现出了很高的浓度值,其原因可能是火山爆发在南极雪冰中的表现。Ji-hong Cole - Dai(1997)已通过对南极点两个雪坑样品的 $nssSO_4^{2-}$ 的分析,检测到分别于1991年6月和1991年8月爆发的Pinatubo火山和Cerro Hudson火山,其 $nssSO_4^{2-}$ 的位相和图3中的位相很相似,因此我们认为,南极洲伊丽莎白公主地区1995/1994和1993/1992

年期间的高  $\text{nssSO}_4^{2-}$  值也可能是前述两次火山的爆发在本地区的表现。

## 5 结语

通过对南极洲伊丽莎白公主地区两个雪坑冰川化学资料的分析,不但在雪层中检测到发生于 1991 年 6 月的 Pinatubo 火山爆发和 1991 年 8 月的 Cerro Hudson 火山爆发的痕迹( $\text{nssSO}_4^{2-}$  的高峰值),而且通过对比阴、阳离子浓度和  $\delta^{18}\text{O}$  的变化规律,我们得出这样的结论:在南极洲伊丽莎白公主地区,海盐性离子比陆盐性离子更易揭示年层的季节变化,同时,在海盐性的阴、阳离子中,阴离子比阳离子更能表现出清晰的季节旋回,对于这一点,还需要进一步的深入探讨。

致谢 样品分析中,阴离子由皇翠兰测定,阳离子由王晓香测定, $\delta^{18}\text{O}$  由孙维贞测定,特此致谢。

## 参考文献

- 秦大河,1995. 南极冰盖表层内的物理过程和现代气候及环境记录. 北京:科学出版社,116 - 117
- Andreas Minikin, Dietmar Wagenbach, Wolfgang Graf and Josef Kipfstuhl, 1994. Spatial and seasonal variations of the snow chemistry at the central Filchner - Ronne Ice Shelf, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 21: 283 - 290
- Jihong Cole - Dai, Ellen Mosley - Thompson and Lonnis G Thompson, 1997. Quantifying the Pinatubo volcanic signal in South Pole snow. *Geophysical Research Letters*, 24(21): 2679 - 2682
- Legrand M and Delmas RJ, 1988. Formation of HCl in the Antarctic atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 93 (D6): 7153 - 7168
- Legrand M and Delmas RJ, 1986. Relative contribution of tropospheric and stratospheric sources to nitrate in Antarctic snow. *Tellus*, 38B: 236 - 249
- Mayewski PA, MJ Spencer, WB Lyons and MS Twickler, 1987. Seasonal and spatial trends in south Greenland snow chemistry. *Atmospheric Environment*, 21: 863 - 869
- Mayewski PA, MJ Spencer, WS Twickler and S Whitlow, 1990. A glaciochemical survey of the Summit region, Greenland. *Annals of Glaciology*, 14: 186 - 190
- ME Davis and LG Thompson et al., 1995. Recent ice - core climate records from the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of Glaciology*, 21: 225 - 230
- Mulvaney R and EW Wolff, 1993. Evidence for winter/spring denitrification of stratosphere in the nitrate record of Antarctic firn cores. *Journal of Geophysical Research*, 98: 5213 - 5220
- Neubauer J and KG Heumann, 1988. Nitrate trace determinations in snow and firn core samples of ice shelves at the Weddel Sea, Antarctica. *Atmospheric Environment*, 22: 537 - 545
- Steffensen JP, 1988. Analysis of the seasonal variation in dust,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$  in two central Greenland firn cores. *Annals of Glaciology*, 10: 171 - 177
- Whitlow S, Mayewski PA and Dibb JE, 1992. A comparison of major chemical species seasonal concentration at the South Pole and Summit, Greenland. *Atmospheric Environment*, 26A(11): 2045 - 2054

## 青藏高原冰川资源及其分布<sup>①</sup>

刘宗香 苏 珍 姚檀栋 王文悌 邵文章

(中国科学院兰州冰川冻土研究所,兰州 730000)

**摘 要** 青藏高原发育有现代冰川 33024 条,冰川面积 41878.62km<sup>2</sup>,冰川冰储量 3739.696km<sup>3</sup>,分别占我国冰川总数的 78%、81.5% 和 78.5%,是世界上中低纬度地区最大的现代冰川分布区。青藏高原冰川折合成淡水约有 32161 亿立方米,大约是青藏高原地表径流总量的 8.9 倍,是巨大的优质淡水资源。初步计算,冰川每年可提供冰川融水 370.7 亿立方米补给青藏高原的河流。由于青藏高原极大的海拔高度和独特的地理单元,使得现代冰川在分布上,特别在形态类型组合上和气候雪线高度等方面都表现了独特的形式。

**关键词** 青藏高原 冰川资源 气候雪线 形态类型 冰川融水

青藏高原是全球海拔最高的独特地理单元,素有“世界屋脊”之称,它西起帕米尔,东至横断山,北界昆仑山、祁连山,南抵喜马拉雅山。青藏高原的绝大部分位于我国境内,包括西藏自治区和青海省,以及新疆、甘肃、四川与云南等省的一部分,约 240 万平方公里,占我国陆地面积的四分之一。

青藏高原是世界上中低纬度地区最大的现代冰川分布区,而这里现代冰川又是众多河流,特别是我国母亲河长江、黄河的摇篮。因此青藏高原的冰川研究在科学和经济方面都有重大意义。对于青藏高原现代冰川数量的考察有比较长的历史,但对整个高原的冰川的估计,施雅风等(1980)和李吉均等(1986)的工作最为系统。自施雅风和李吉均的工作以后,青藏高原冰川编目工作取得了长足进展。本文是根据国际冰川编目规范系统编制的青藏高原冰川目录数据库(尚缺雅鲁藏布江大拐弯处冰川资料)的基础上进行的,资料的精确性和可靠性比以前大大提高。

### 1 青藏高原现代冰川的分布

青藏高原我国境内统计有现代冰川 33024 条,冰川面积 41878.62km<sup>2</sup>,冰川冰储量 3739.696km<sup>3</sup>(表 1),分别占我国冰川总数的 78%、81.5% 和 78.5%。也就是说,我国现代冰川绝大部分分布在青藏高原。青藏高原现代冰川主要分布在昆仑山、喜马拉雅山、喀喇昆仑山、念青唐古拉山、帕米尔、祁连山、唐古拉山、横断山、羌塘高原及冈底斯山等各大山

<sup>①</sup> 中国科学院重大项目(KZ951-B1-212)和中国科学院天山冰川观测试验站资助项目

脉(表1)。冰川朝向,是反应冰川出露和延伸的方向。根据冰川朝向资料,绘制出的冰川朝向玫瑰图(图1)可以看出,青藏高原冰川的分布主要是朝北向(N、NE和NW)的冰川为21786条,冰川面积26069.94km<sup>2</sup>,冰川冰储量2287.5505km<sup>3</sup>,分别占高原冰川总数的66%、62%和61%;而朝南向(S、SE和SW)的冰川为5650条,冰川面积8331.10km<sup>2</sup>,冰川冰储量812.9803km<sup>3</sup>,分别仅占高原总数的17%、20%和22%。青藏高原现代冰川之所以大部分发育在北坡,主要朝向北东,而南坡冰川不太发育,其原因是太阳辐射的差异,符合北半球冰川分布的一般规律。

表1 青藏高原现代冰川在各大山脉的分布

山脉名称	冰川条数		冰川面积		冰储量		平均冰川面积(km <sup>2</sup> )	冰川融水径流量		雪线高度(m)
	条数	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	储量(km <sup>3</sup> )	%		(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	%	
祁连山	2859	8.7	1972.50	4.7	95.4375	2.6	0.690	11.5	3.1	4300-5360
昆仑山	7610	23.0	12270.89	29.3	1283.7741	34.3	1.612	63.3	17.1	5062-5774
唐古拉山	1184	3.6	1875.23	4.5	162.3591	4.3	1.583	14.7	3.9	5407-5787
羌塘高原	958	2.9	1802.12	4.3	162.1640	4.3	1.881	9.5	2.5	5640-6000
喀喇昆仑山	4426	13.4	7411.17	17.8	791.9598	21.2	1.674	57.5	15.5	5225-5891
横断山	1988	6.0	1805.53	4.3	111.5133	3.0	0.908	55.3	14.9	4817-5328
帕米尔	1325	4.0	2163.02	5.2	191.0644	5.1	1.632	13.2	3.6	4778-5200
冈底斯山	3273	9.9	1768.84	4.2	83.8807	2.2	0.540	9.9	2.7	5720-6140
念青唐古拉山	3091	9.4	2771.50	6.6	185.8161	5.0	0.896	61.8	16.7	5170-5390
喜马拉雅山	6310	19.1	8037.82	19.2	671.7270	18.0	1.273	74.0	20.0	4300-6200
合计	33024	100	41878.62	100	3739.696	100	1.268	370.7	100	

雪线是冰川上多年固体降水量等于消融量的零平衡线,它的高度取决于气候、地形和冰川三者相互作用的结果。局部地形的影响,可使冰川雪线高度相差数十米至数百米。若略去地形差别的影响,即可得气候雪线,可用以比较大范围气候和冰川的分布关系。根据冰川目录数据库资料统计,对青藏高原各大山脉10km<sup>2</sup>以上面积冰川雪线高度按流域进行平均,就可绘出整个高原气候雪线分布的趋势图(图2)。可以看出,青藏高原气候雪线的分布,从高原边缘向高原内部逐渐升高,大致呈不规则的同心圆状分布,同心圆的中心在阿里喀喇昆仑山地区,最高雪线达6200m左右。这同李吉均等(1986)的工作结果一致。从图2还可以看出,在最高雪线同心圆的西北,帕米尔地区也有一个小的同心圆分布,这一小的同心圆代表的雪线在5200-5400m。以前的工作,由于工作方法和资料的限制,没有发现这一特征。

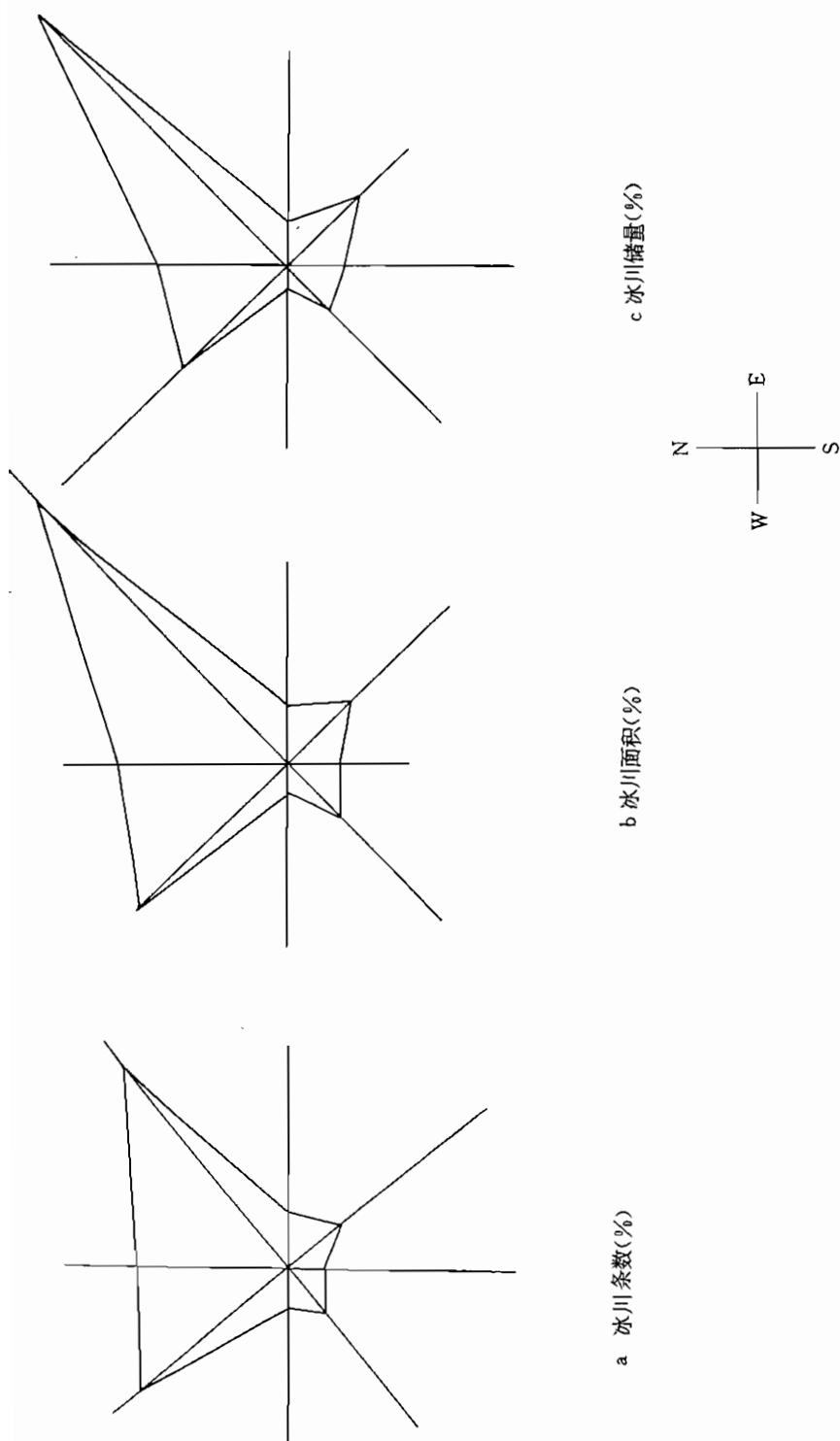


图1 青藏高原冰川朝向玫瑰图



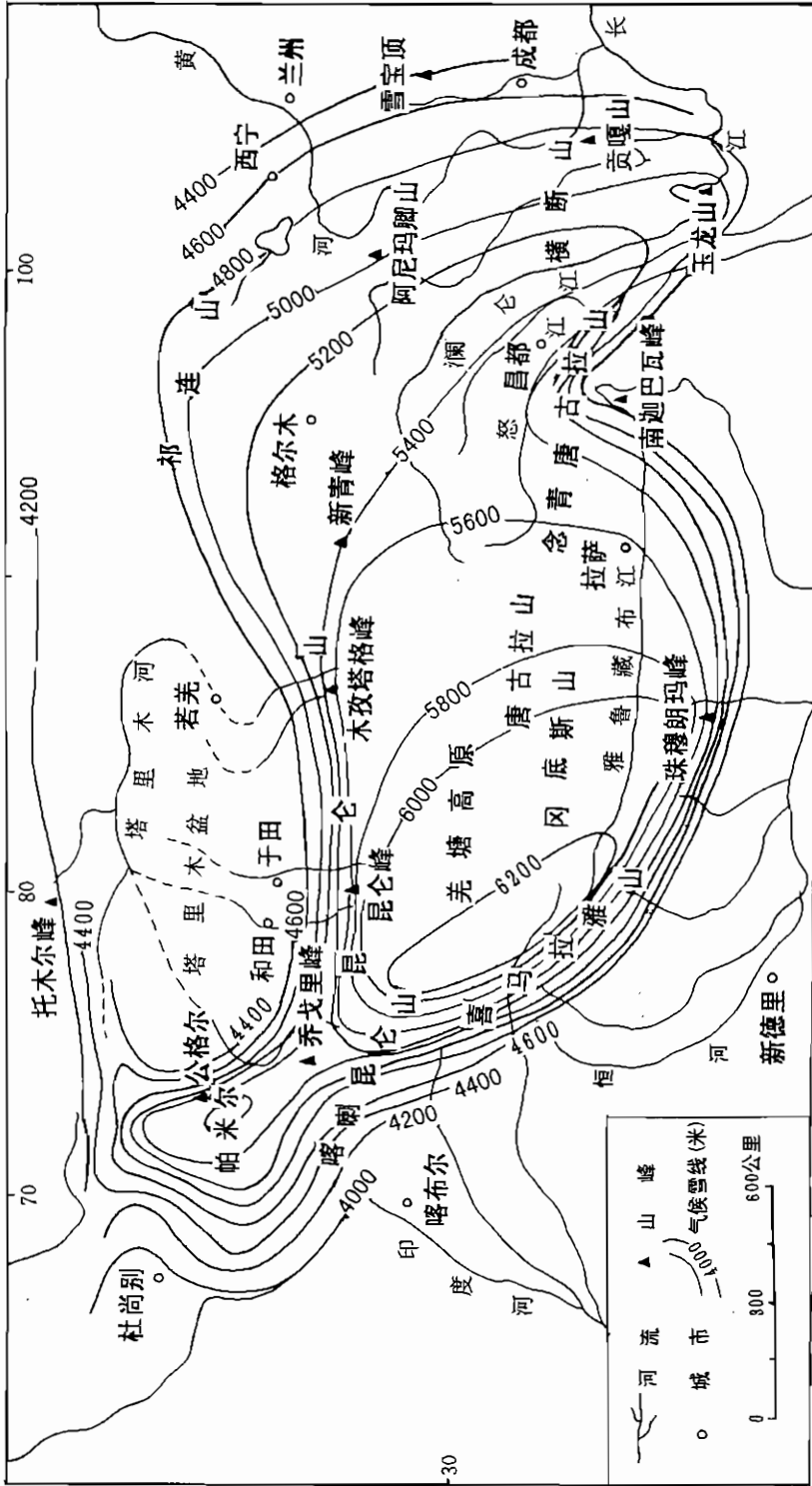


图 2 青藏高原气候雪线分布趋势图

为了更直观反映出青藏高原冰川雪线高度的空间分布特征,我们将青藏高原地理范围 N27.8° - 39.43°、E74.28° - 99.6°间各大山脉 10km<sup>2</sup> 以上面积的 456 条冰川雪线高度进行趋势面分析,成功地画出冰川雪线趋势立体分布图(图 3),也可以看出青藏高原雪线由边缘向内部逐渐升高的趋势。形成青藏高原雪线高度这样分布的原因,反应了高原大气环流、山体效应和地理纬度等综合作用的结果。青藏高原是世界上最大的高原,不但对热量收支和降水分布以巨大影响,而且导致了雪线高度分布的特殊形式,从高原外围至高原内部降水量的急剧减少,使高原边缘特别是南侧、西侧出现雪线急剧升高 1000m 的现象,而高原东侧雪线,一反其变化的纬度地带性,呈东西径向变化,高原南侧雪线变化与正常的

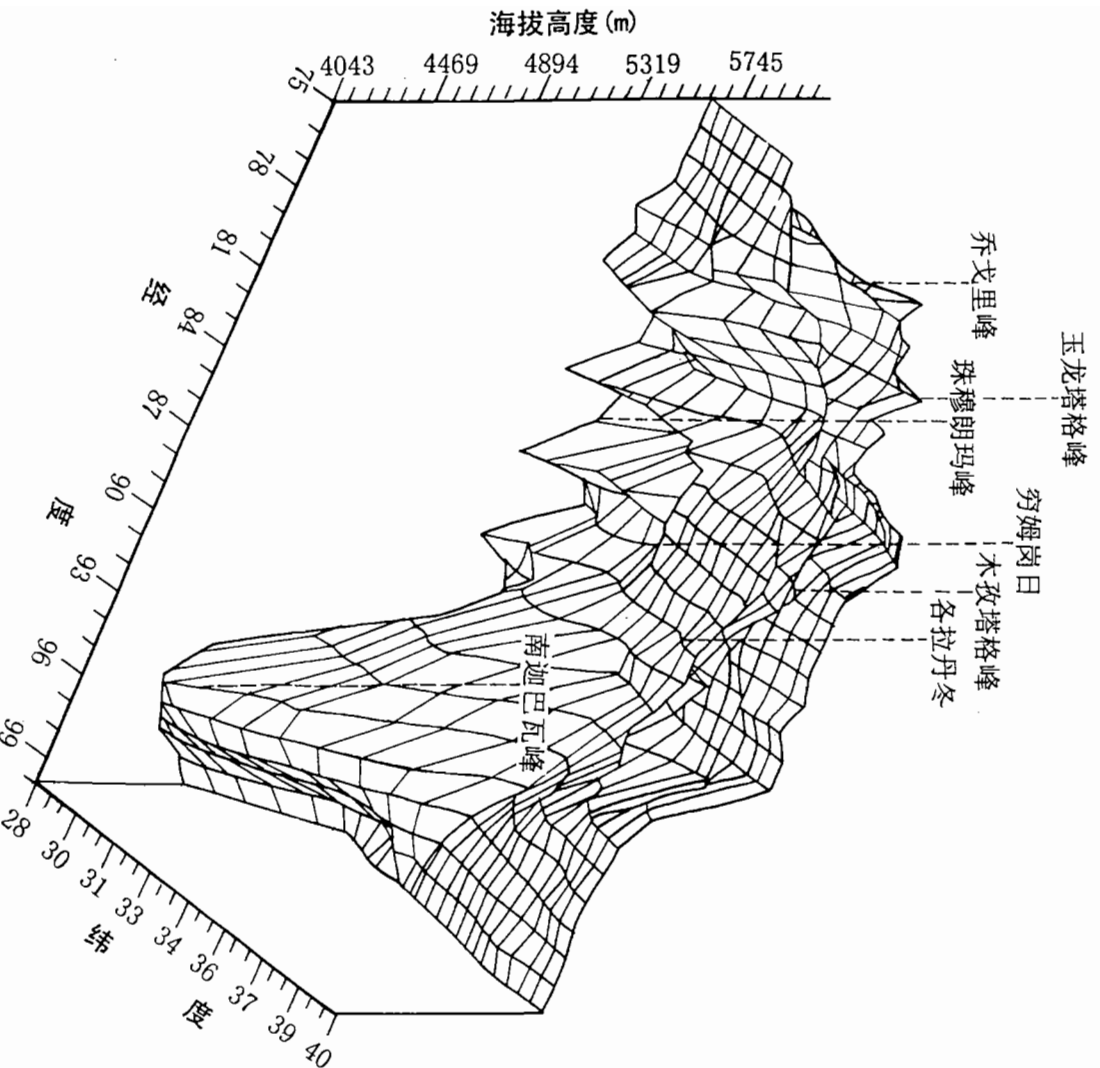


图 3 青藏高原 10km<sup>2</sup> 以上面积冰川雪线立体分布趋势图

南高北低变化截然相反,出现南低北高的异常现象,其中西藏东南部低雪线区呈舌状向北突出明显,是由于这个地区特殊丰沛的降水状况决定的。整个高原降水是从东南向西北减少,冰川雪线高度的分布与章基嘉等(1988)计算所绘整个青藏高原降水的分布图有比较好的一致性,高原西北部降水最小,因此,最高雪线出现在高原西北部也是必然的。另外,青藏高原又是接收太阳总辐射值很大的区域,大高原的热效应使高原的温度较两侧同高度自由大气温度高出 4-6℃,以至 10℃,成为明显的高温区,而高温中心又在高原西部,这是高原内部雪线特高的另一个主要原因(施雅风,1988)。

## 2 青藏高原冰川水资源

冰川水资源是冰川消融期释放出来的水体,即冰川融水径流,每年有物质补充,因此也是动态水资源(杨桂娘,1991)。每年一到暖季,由于气温上升,冰川就开始消融,产生融水。冰川融水往下流淌,汇集到冰川末端向下的河道开始,称为冰川融水径流。冰川融水流至山下,对山下的河流起调节多年径流的作用。青藏高原地区的河流,大多靠冰川融水补给水源,为该区的国民经济建设,发挥着重大的作用。特别是作为中国人民母亲河的长江和黄河就直接孕育于冰川。

青藏高原冰川冰储量 3739.696km<sup>3</sup>,若以冰的密度 0.86 计,可以折合成淡水约 32161 亿立方米,大约是青藏高原山区地表径流总量 3621 亿立方米的 8.9 倍,这是一笔数量巨大的优质淡水资源。初步计算,青藏高原冰川每年可提供冰川融水 370.7 亿立方米,这些冰川融水是青藏高原河流主要的补给来源。

### 2.1 冰川水资源的分布

青藏高原冰川水资源在各大水系的分布很不均匀。例如,分布在青藏高原东南部的横断山和念青唐古拉山的冰川,面积分别仅占高原冰川总面积的 6.6% 和 4.3%,但其冰川融水径流量分别为高原总量的 16.7% 和 14.9%,达到 61.8 亿立方米和 55.3 亿立方米;昆仑山的冰川面积最大,占高原总面积的 29.4%,但冰川融水径流量仅占高原总量的 17.1%,为 63.3 亿立方米。这与冰川所处的地理位置和气候条件有关,因为念青唐古拉山和横断山位于青藏高原东南部海洋性气候区,那里降水丰沛,气温高,消融强烈,冰川融水径流模数远大于其他山脉冰川,所以那里冰川面积虽小,但冰川融水径流量大(表 1)。从青藏高原各大小水系冰川水资源的分布来看,外流水系冰川径流量要占高原总量的 62.6%,其中雅鲁藏布江水系的冰川融水径流量最多,为 151.5 亿立方米,要占高原总量的 40.8%;内流水系冰川融水径流量为高原总量的 37.4%,其中塔里木盆地南缘水系的冰川融水径流量最多,为 101.2 亿立方米,占高原总量的 27.3%(表 2)。内流水系的塔里木盆地水系、柴达木水系和河西内陆水系,均位于干旱内陆地区,那里的降水稀少,冰川融水对河流的补给占的比重相对要大,是这里经济发展的主要淡水资源。

表2 青藏高原各大水系冰川分布

流域名称		冰川条数		冰川面积		冰川冰储量		冰川融水径流量	
		条	%	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>3</sup> )	%	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	%
内 流 水 系	河西内陆	2194	6.6	1334.75	3.2	61.5494	1.7	9.9	2.7
	柴达木	1581	4.8	1865.05	4.5	128.5280	3.4	6.0	1.6
	塔里木	9307	28.3	15556.97	37.1	1627.5962	43.5	101.2	27.3
	青藏内陆	5213	15.8	7812.64	18.7	772.1809	20.7	21.5	5.8
	小 计	18295	55.5	26569.41	63.5	2589.8545	69.3	138.6	37.4
外 流 水 系	黄河上游	176	0.5	172.41	0.4	12.2931	0.3	2.1	0.6
	长 江	1332	4.0	1895.00	4.5	147.2648	3.9	21.0	5.7
	澜沧江	380	1.1	316.32	0.8	17.8781	0.5	6.0	1.6
	怒 江	2021	6.1	1730.20	4.1	114.9745	3.1	33.0	8.9
	雅鲁藏布江 (恒河)	8788	26.6	9744.07	23.3	761.9511	20.4	151.5	40.8
	印度河	2032	6.2	1451.21	3.5	95.4799	2.6	18.5	5.0
	小 计	14729	44.5	15309.21	36.5	1149.8415	30.7	232.1	62.6
合 计		33024	100	41878.62	100	3739.6960	100	370.7	100

### 3 讨论

除上述统计和分析外,我们提出以下问题进行讨论:

1. 冰川有“高山固体水库”之称,中国是世界中、低纬度地区山岳冰川最多的国家,其中80%以上的现代冰川分布在青藏高原。世界最大的青藏高原,海拔4000m以上,面积达240万平方公里。这里有世界最高大的山脉,14座海拔超过8000m的高峰,其中有9座就位于我国境内或边境上。由于青藏高原特殊的地势条件和气候的影响,使高原边缘山地和高原内部的冰川在形态组合和分布上有很大的差异。高原边缘山地绝对高度和相对高度都很大,加之山地多受强烈切割侵蚀,冰川分布多以巨大山汇为中心发育起以山谷-冰斗冰川为主的冰川类型组合,长大的山谷冰川曾被(Kleibelsberg, 1926, 1949)称为喜马拉雅型或托木尔型(苏珍等, 1982);而高原内部,山顶平面广泛分布,山地相对起伏不大,一般多发育以冰帽或平顶冰川为主的冰川类型组合,高原内部冰川曾被称为高原型或西藏

型(Watanabe, 1976)。

2. 青藏高原冰川水资源相当丰富。初步估计,折合成淡水约 32161 亿立方米,是高原山区地表径流总量的 8.9 倍,每年可提供冰川融水 370.7 亿立方米,是青藏高原河流水资源的主要组成部分。青藏高原冰川水资源在分布上表现如下特点:①冰川水资源的数量分布与冰川面积分布不吻合,以相同数量的冰川面积进行比较,海洋性冰川分布区冰川融水径流量相对要比大陆性冰川分布巨大。②在相同冰川融水量的情况下,少雨的干旱山区河流的冰川融水补给具有较高的比重。

3. 青藏高原冰川是巨大的天然财富,千百年来,高原冰川水资源已自动的为人类造了不少福。随着青藏高原工农业迅速发展和人口的不断增长,水的需求量也相应增加的情况下,青藏高原冰川正是能够提供优质淡水的理想源泉,这不仅由于冰川水资源是高原河流的主要补给来源之一,而且还能够调节河流的多年径流变化,还为干旱区的农业灌溉用水提供可贵的水源。青藏高原现有的河流、湖泊,如果没有冰川融水的补给,其中部分就要干涸,有一些河流要变成涓涓细流的间歇河,这对河流附近的工农业生产将带来不堪设想的后果,青藏高原的柴达木盆地及边缘的塔里木盆地和河西走廊一带的工农业生产,对青藏高原冰川融水有很大依赖性,把冰川融水作为生产和生活的主要水源,还可利用冰川水发电。

4. 冰川是气候变化的敏感指示器,它随着气候的变化而波动,19 世纪以来,随着全球气候变暖,中国气候也呈现暖干化趋势,加之工业化带来的  $\text{CO}_2$  及其他痕量气体的排放增加导致的温室效应很可能使 21 世纪气候剧烈升温。1990 年政府由气候变化专门委员会(IPCC)发表报告,认为如不节制  $\text{CO}_2$  等的排放,到 21 世纪全球平均每 10 年递增  $0.3^\circ\text{C}$ ,累计至 2100 年升高  $3^\circ\text{C}$ 。如逐步受到节制,全球升温率可降为每年  $0.2^\circ\text{C}$  (Houghton, et al. 1990),若按此推算,到 2030 年青藏高原气温将要上升  $1^\circ\text{C}$  左右。这就意味着青藏高原冰川面积将比现在缩减相当规模,特别是高原边缘的一些小冰川可能完全消失,小冰川融水补给的河流量也相对减少,这种转变将对河流下游工农业生产和人民生活相当不利,应及时加强监测以便采取相应的对策。

## 参考文献

- Shi Ya-Feng, Hsieh Tze-Chu, Cheng Pen-Hsing, Li Chi-Chun, 1980. Distribution, features and variations of glaciers in China. IASH-AISH Publ. 126: 111 - 116
- 李吉均, 郑本兴等, 1986. 西藏冰川. 北京: 科学出版社, 13 - 24
- 施雅风等, 1988. 中国冰川概论. 北京: 科学出版社, 15 - 16
- 章基嘉, 朱抱真, 朱福康等, 1988. 青藏高原气象学进展. 北京: 科学出版社, 199 - 202
- Klebsberg, R. V., 1926. Der turkestanische gletschertypus. Zeit Fier Gilde, Bd. 14: 193 - 209
- Klebsberg, R. V., 1949. Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie. Springer-Verlag, Wien
- 苏珍等, 1982. 天山托木尔峰地区冰川的基本特征. 中国科学(B辑), 8: 736 - 744
- 杨针娘, 1991. 中国冰川水资源. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 115 - 137
- 王宗太等, 1981. 中国冰川目录 I 祁连山. 中国科学院兰州冰川冻土研究所
- 罗祥瑞, 米德生等, 1988. 中国冰川目录 IV 帕米尔山区. 北京: 科学出版社
- 杨惠安, 安瑞珍, 1989. 中国冰川目录 V 喀喇崑山区(叶尔羌河流域). 北京: 科学出版社
- 杨惠安, 安瑞珍, 1992. 中国冰川目录 VI 昆仑山区(4册). 北京: 科学出版社
- 焦克勤, 张振栓等, 1988. 中国冰川目录 VII 青藏高原内陆水系(5册). 北京: 科学出版社
- 蒲健辰, 1994. 中国冰川目录 VIII 长江水系. 兰州: 甘肃文化出版社

## 来站工作客座人员一览表(1997/1998 年度)

序号	姓名	性别	学位	职称	单 位
1	崔之久	男		教授	北京大学地理系
2	刘耕年	男	博士	副教授	北京大学地理系
3	马配学	男	博士后	副教授	北京大学技术物理系
4	唐元新	男	硕士生		北京大学地理系
5	张 宇	男	硕士生		北京大学地理系
6	许 瑀	女	博士生	助教	中科院地理研究所
7	王 鑫	男		教授	台湾台北大学地理系
8	杨建夫	男	博士生	副教授	台湾台北大学地理系
9	宋国城	男	博士	教授	台湾成功大学地球科学系
10	刘风景	男	博士	研究员	中科院兰州冰川冻土研究所
11	Mark Williams	男	博士	教授	美国科罗拉多大学北极高山研究所
12	Eran Hood	男	研究生		美国科罗拉多大学北极高山研究所
13	谭敦炎	男		副教授	新疆农业大学
14	彭 敏	男	学士	研究员	中科院西北高原生物研究所
15	陈世龙	男	博士	副研究员	中科院西北高原生物研究所
16	陈桂琛	男	学士	研究员	中科院西北高原生物研究所
17	周国英	男	硕士生	研实员	中科院西北高原生物研究所
18	安黎哲	男	博士后	副教授	兰州大学生物系 中科院兰州冰川冻土研究所
19	冯国宁	男	硕士	工程师	甘肃省环境保护研究所
20	刘艳红	女	硕士	工程师	甘肃省高科技创业服务中心
21	孙 林	男	硕士	讲师	新疆大学地理系
22	孙 波	男	博士	副研究员	上海极地研究所
23	钱嵩林	男	学士	高工	上海极地研究所
24	张惠荣	男		副所长	上海极地研究所
25	邵文章	男	学士	高工	中科院兰州冰川冻土研究所
26	高新生	男		工程师	中科院兰州冰川冻土研究所
27	朱守森	男		工程师	中科院兰州冰川冻土研究所

## 固定和客座人员发表专著与论文目录 (1997/1998 年度)

### 一、专著

崔之久等, 1997. 中国天山冰冻圈地貌过程与沉积特征. 石家庄: 河北人民出版社  
刘潮海, 谢自楚等, 1998. 天山冰川作用. 北京: 科学出版社

### 二、论文

#### 1. SCI 收录期刊(6 篇)

- Liu Fengjing, Williams Mark, Cheng Guodong and Yang Daqing, 1997. Preliminary studies on the ionic pulse of snow melt runoff in the Urumqi River, Xinjiang, Northwest China. Chinese Science Bulletin, 42(19): 1643 - 1646
- Song Junying, 1997. Spectrophotometric Flow Injection Determination of Trace Jodide in Table Salt and Laver Through the Reaction of Jodate with 3,5-Br<sub>2</sub>-PADAP and Thjocyanate. Fresenius J Anal Chem., (357): 1002
- Huang Cuilan, Li Zhongqin, Hou Shuqiu and Pu Jianchen, 1997. Effects of Ion Elution on Formation of Ice Core Record. Chinese Science Bulltin, 42(3): 236 - 239
- Yi Chaolu, Liu Kexing, Cui Zhijiu, 1997. AMS dating on glacial tills at the source area of the Urumqi River in the Tianshan Mountains and its implications. Chinese Science Bulltin, 43(20): 655 - 656
- Sun Junying, Qin Dahe, Li Zhongqin et al., 1998. Soluble species in aerosol and snow and their relationship at Glacier 1, Tianshan, China. Journal of Geophysical Research, 103(21): 28021 - 28028
- Yi Chaolu, 1998. Subglacial commination in tillevidence from microfabric studies and grainsize distributions. Journal of Glaciology, 43(145): 473 - 479

#### 2. 国内核心期刊(30 篇)

- 刘风景, M. Williams, 杨大庆, 1997. 天山乌鲁木齐河融雪径流的“离子脉冲”现象初探. 科学通报, 17(4): 417 - 419
- 康尔泗, 施雅风, 杨大庆, 张寅生, 张国威, 1997. 乌鲁木齐河山区流域径流形成的实验研究. 第四纪研究, (2): 139 - 146
- 李江风, 袁玉江, 由希尧, 1997. 乌鲁木齐河-山区流域 360 年径流量的重建. 第四纪研究, (?) : 131 - 138



- 张志忠,刘宗香,1997. 乌鲁木齐河流冰椎的形成特征及其分布. 水利学报, (1):73 - 77
- 叶佰生,李世杰,施雅风,1997. 从末次冰盛期冰川规模探讨当时的气候环境——以乌鲁木齐河源区末次冰盛期冰川为例. 冰川冻土, 19(1):1 - 9
- 刘潮海,谢自楚,王纯足,1997. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡过程研究. 冰川冻土, 19(1):17 - 24
- 王宁练,刘时银,1997. 从天山乌鲁木齐河源 1 号冰川变化估计近百年来该地区夏季升温. 冰川冻土, 19(3):207 - 213
- 崔之久,熊黑钢,刘耕年,1997. 关于井冰川冰——谷界面地貌过程与冰川动力耦合模式——以中天山冰川为例. 冰川冻土, 19(3):193 - 201
- 蓝永超,康尔泗,杨文华,1997. 黄河上游径流预报的灰色拓朴方法. 冰川冻土, 19(4):308 - 311
- 沈永平,谢自楚,丁良福,刘景时,1997. 流域冰川平均物质平衡的计算方法及其应用. 冰川冻土, 19(4):302 - 307
- 刘光琇,施雅风,沈永平,洪明,1997. 青藏高原全新世大暖期环境特征之初步研究. 冰川冻土, 19(2):114 - 123
- 王宁练,蒲建辰,刘时银,黄茂桓,1997. 山谷冰川稳定态时积累区面积比率研究. 冰川冻土, 19(2):167 - 172
- 张寅生,姚檀栋,蒲建辰等,1997. 青藏高原唐古拉山冬克玛底流域水文过程特征分析. 冰川冻土, 19(3):214 - 222
- 姚檀栋, L. G. Thompson, 施雅风, 秦大河, 焦克勤, 杨志红, 田立德, E. Mosley Zhompson, 1997. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究. 中国科学(D辑), 27(5):447 - 452
- 姚檀栋, 杨志红, 焦克勤, 皇翠兰, 田立德, 1997. 近 2000 年来气候环境变化的冰芯记录研究. 地学前缘, 4(1 - 2):95 - 100
- Ye Baisheng, Lai Zuming and Shi Yafeng, 1997. Impact of Climate Change on runoff of the upper Yili River, Tianshan Mountains. Cryosphere, 3:53 - 58
- 易朝路, 刘克新, 崔之久, 1998. 天山乌鲁木齐河源末次冰期以来冰川沉积物 AMS 测年及其意义. 科学通报, 43(6):655 - 656
- 侯书贵, 秦大河, 李忠勤等, 1998. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川冰芯  $\delta^{18}\text{O}$  记录的现代环境过程分析. 地球化学, 27(2):108 - 116
- 皇翠兰, 蒲建辰, 李忠勤等, 1998. DX - 100 型离子色谱仪用于冰雪样品中阴、阳离子的测定. 环境化学, 17(2):195 - 199
- 刘时银, 丁永建, 王宁练, 谢自楚, 1998. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡对气候变化的敏感性研究. 冰川冻土, 20(1):9 - 13
- 金会军, 刘宗香, 曾根敏雄, 1998. 天山乌鲁木齐河源冰达坂多年冻土温度监测. 冰川冻土, 20(1):25 - 29
- 孙俊英, 秦大河, 姚檀栋, 李忠勤, 1998. 古里雅冰芯中生物有机酸的初步分析. 冰川冻土, 20(2):163 - 166
- 任贾文, 秦大河, 井哲帆, 1998. 气候变暖使珠穆朗玛峰地区冰川处于退缩状态. 冰川冻土,

20(2):184 - 185

- 李忠勤,叶佰生,1998.天山冰川观测试验站 10 年来的回顾与展望.冰川冻土,20(3):280 - 286
- 侯书贵,秦大河,李忠勤等,1998.冰芯化学记录的对比研究.冰川冻土,20(4):348 - 354
- 皇翠兰,李忠勤,侯书贵,1998.希夏邦马峰抗物热冰川离子淋溶作用对冰芯记录的影响.冰川冻土,20(4):355 - 357
- Xiao Cunde, Qin Dahe, Ren Jiawen, Li Zhongqin and Wang Xiaoxiang, 1997. Bromine in snow from high arctic and its correlation with arctic atmospheric events. Cryosphere, 3: 92 - 98
- 胡双熙,马玉贞,王乃昂,张宇田,刘潮海,1998.天山中段冰川环境变迁与高山土壤的形成演化.土壤学报,35(2):243 - 253
- 李震,陈建明,周丰昆,孙文新,井小平,陈淑芳,1998.敦煌壁画计算机存储与管理信息系统中的图像处理.测绘学报,27(1):74 - 79
- 谢自楚,韩建康,朱国才,井哲帆,高新生,康建成,1998.西南极洲柯林斯冰帽的物理特征.冰川冻土,20(4):466 - 472

### 3. 国内一般期刊(10 篇)

- 叶佰生,赖祖铭,施雅风,1997.伊犁河流域降水和气温的若干特征.干旱区地理,20(1):46 - 52
- 王宁练,姚檀栋,田立德,刘时银,段克勤,1998.天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的气候敏感性研究.干旱区地理,21(4):34 - 40
- 张淳,龚建新,亚生,1998.乌鲁木齐河“960719”洪水分析.干旱区地理,21(1):49 - 56
- 熊黑钢,刘耕年,崔之久等,1998.天山羊背石上冰蚀痕迹分布与冰底过程的初步研究.干旱区地理,21(2):1 - 7
- 熊黑钢,刘耕年,崔之久,1997.天山泥石流灾害的形成条件和过程特点.地理科学,17(3):243 - 247
- 叶佰生,陈克恭,施雅风,1997.冰川及其径流对气候变化响应过程的模拟模型——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例.地理科学,17(1):32 - 40
- Ye Baisheng, Chen Kegong, 1997. A Model Simulating the Processes in Responses of Glacier and Runoff to Climatic Change-A Case study of Glacier No.1 in the Urumqi River, China. Chinese Geographical Science, 7(3):243 - 250
- 杨惠安,苏珍,1998.喀喇昆仑山——昆仑山地区现代冰川的数量、形态类型及分布特征,见:喀喇昆仑山——昆仑山地区现代冰川与环境.北京:科学出版社,10 - 37
- 张明军,1998.对甘肃省城市化道路问题的思考.西北人口,(3):46 - 48
- 张明军,1998.试论城市地域形态对城市公交方式的影响.经济地理,18(5):128 - 130

### 4. 学术会议文集(6 篇)

- Kang Ersi, 1997. Formatin and Sustainable Utilization of Water Resources in the Hexi Area of China. Proceedings of the CERes International Symposium on Hydroenvironment in Asia, 155 - 165
- Zhang Yingsheng et al., 1997. Some Feature of Evaporation From the Ground Surface of Tibetar

- Plateau. Proceedings of the CERes International Symposium on Hydro environment in Asia, 83 - 89
- Ding Yongjian, 1997. Glacier Lake Outburst Floods and Detains Flow Risaters in Tibetan Plateau. Proceedings of the CERes International Symposium on Hydro environment in Asia, 125 - 131
- Lixing, Cheng Guodong, Ding Yongjian, 1997. GIS for Sustaining Water Resources in Heihe Catchment. Proceedings of the CERes International Symposium on Hydro environment in Asia, 189 - 196
- Zhen Li and Qunzhu Zeng, 1997. Deriving Glaciers Variation Integrated Remote Sensing and GIS in the Tibetan Plateau. Proceeding of 1997 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 408 - 410
- 叶佰生, 刘风景等, 1998. 石羊河流域中下游地区近十年来绿洲发展与退化研究, 西部资源环境与可持续发展文集. 兰州大学出版社, 83 - 91