

乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡过程研究

(1989.8.31—1990.8.31)

王纯尼 刘潮海 韦尧志 刘时银

1 观测研究方法

1990年4月中旬开始,在冰川上进行大面积积雪测量,研究冬季积累状况及其随高度的变化。此后,每15天进行一次物质平衡观测,研究物质平衡形成过程。与此同时,6月1日开始在西支冰川下部3 830 m处设立日积、消物质平衡观测场,研究冰川的日物质平衡形成过程。为了在冰川积累区取得较详细资料,在东、西支积累区中、上部增设了9根测杆。这样,东、西支冰川分别有8条横断面、1条纵剖面共计34或35个测点。

冰川物质平衡同时采用两种方法进行计算:1)等高距法,即将每50 m高度区间的测点平均,求出该高度区间的单位物质平衡值,累积得到东、西支冰川的物质平衡;2)等值线法,即将单点物质平衡值点绘在大比例尺图上(1:5 000),绘制物质平衡等值线,累积得到整个冰川的物质平衡量。

2 日积、消和物质平衡过程

从1990年6月1日起,每天日出前在西支冰川下部3 830m处,对观测场的4根测杆同时进行雪积累、消融和物质平衡测量,平均得出该高度处的日积累、消融和物质平衡值,其结果列入表1。

由观测资料的分析可以得出以下主要结论:

(1)夏季期间(6—8月),冰川上消融的同时也发生积累。测量期间大西沟站(3539 m)降水量为272.4 mm。将此降水量按26.6%的修正值修正,再按22 mm/100 mm的梯度推算,观测场(3 830 m)处的相应降水量为396.3 mm,大于同期的积累量(365 mm)。造成这种差别的原因是:在积累观测时,部分雪体已融化;另外观测场处有部分液态降水产生,致使测量的积雪值小于大西沟站同期的降水量。

(2)冰川下部观测场以消融为主。在观测期间冰川消融2 242 mm。冰川消融在很大程度上取决于下垫面的状况。在冰川冰出露时,消融强烈,而有瞬时雪盖时,消融非常缓慢。1号冰川区夏季降水集中,其值可占到年降水总量的60—70%以上。1990年6—8月期间,降水日数60天,占总观测时间的67%。夏季降水所形成的瞬时雪盖有抑制冰川消融的作用。日消融量迟后于气温的日变化,因而日平均气温和日消融量的关

表1 1号冰川西支3830 m处日积累 (C)、消融 (A) 和
物质平衡 (b_t) 的观测结果

日期	大西沟		空冰斗		A (mm)	ΣA (mm)	C (mm)	ΣC (mm)	b_t (mm)	Σb_t (mm)
	t ($^{\circ}C$)	P (mm)	t ($^{\circ}C$)	P (mm)						
6.1	2.5	0.0	-0.9	0.2	8.1	8.1	0	0	-8.1	-8.1
6.2	2.3	0.0	0.2	0.0	18.8	26.9	0	0	-18.8	-26.0
6.3	5.6	0.0	3.4	0.0	34.9	61.8	0	0	-34.9	-61.8
6.4	6.0	0.0	4.3	0.0	25.5	87.3	0	0	-25.5	-87.3
6.5	4.8	2.9	2.4	3.0	2.2	89.5	5.4	5.4	+3.2	-84.1
6.6	0.5	1.2	-0.6	1.3	27.3	116.8	2.8	8.2	-24.5	-108.6
6.7	3.5	0.0	0.4	0.0	22.6	139.4	3.0	11.2	-19.6	-128.2
6.8	6.5	0.0	4.0	0.0	48.4	187.8	0	11.2	-48.4	-176.6
6.9	4.6	8.2	2.0	8.5	19.1	206.9	10.5	21.7	-8.6	-185.2
6.10	3.9	0.1	2.0	0.0	7.5	214.4	0	21.7	-7.5	-192.7
6.11	4.0	1.2	2.5	0.0	13.4	227.8	0	21.7	-13.4	-206.1
6.12	6.1	9.9	4.8	8.5	22.3	250.1	11.2	32.9	-11.1	-217.2
6.13	4.5	4.5	2.7	4.2	11.2	261.3	0	32.9	-11.2	-228.4
6.14	5.5	8.9	3.8	7.4	40.2	301.5	0	32.9	-40.2	-268.6
6.15	5.3	24.6	4.0	20.3	26.2	327.7	24.5	57.4	-1.7	-270.3
6.16	1.2	4.2	1.2	1.9	4.5	332.2	14.0	71.4	+9.5	-260.8
6.17	2.7	1.9	3.8	1.8	2.3	334.5	4.2	75.6	+1.9	-258.9
6.18	2.1	3.3	0.3	2.2	11.2	345.7	2.8	78.4	-8.4	-267.3
6.19	4.5	0.0	1.6	0.0	40.5	386.2	0	78.4	-40.5	-307.8
6.20	7.4	0.0	5.0	0.0	67.5	453.7	0	78.4	-67.5	-375.3
6.21	6.8	4.8	4.7	3.3	6.8	460.5	4.8	83.2	-2.0	-377.3
6.22	6.1	4.7	4.8	4.5	20.1	480.6	7.2	90.4	-12.9	-390.2
6.23	4.1	14.7	2.8	12.0	31.5	512.1	14.4	104.8	-17.1	-407.3
6.24	3.4	4.3	1.9	4.6	33.8	545.9	9.0	113.8	-24.8	-432.1
6.25	6.3	5.2	5.0	4.8	20.3	566.2	1.5	115.3	-18.8	-450.9
6.26	5.7	1.9	3.8	3.4	13.5	579.7	4.5	119.8	-9.0	-459.9
6.27	4.9	0.2	3.6	2.4	9.0	588.7	16.5	136.3	+7.5	-452.4
6.28	3.4	9.4	1.8	5.2	6.8	595.5	0	136.3	-6.8	-459.2
6.29	5.1	0.5	3.9	0.4	18.0	613.5	0	136.3	-18.0	-477.2
6.30	4.5	0.0	3.9	0.0	40.5	654.0	0	136.3	-40.5	-517.7

表 1 (续 1)

日 期	大 西 沟		空 冰 斗		A (mm)	ΣA (mm)	C (mm)	ΣC (mm)	b_t (mm)	Σb_t (mm)
	t (°C)	P (mm)	t (°C)	P (mm)						
7.1	5.4	0.7	4.8	0.0	40.5	694.5	0	136.3	-40.5	-558.2
7.2	5.7	6.9	4.3	8.2	29.3	723.8	5.6	141.9	-23.7	-531.8
7.3	3.9	0.0	2.3	0.0	20.5	744.3	0	141.9	-20.5	-602.4
7.4	1.4	4.3	1.3	4.8	9.0	753.3	4.5	146.4	-4.5	-606.9
7.5	2.8	3.1	2.7	4.2	24.8	778.1	7.9	154.3	-16.9	-623.8
7.6	3.4	0.0	1.9	0.0	38.3	816.4	6.8	161.1	-31.5	-655.9
7.7	5.9	6.5	3.3	5.2	47.3	863.7	0	161.1	-47.3	-702.6
7.8	7.6	0.0	4.9	0.0	56.3	920.0	0	161.1	-56.3	-758.6
7.9	7.4	3.0	6.1	2.6	65.3	985.3	0	161.1	-65.3	-824.2
7.10	3.7	0.7	3.1	0.0	18.0	1003.3	0	161.1	-18.0	-842.2
7.11	2.2	16.4	2.1	10.4	6.8	1010.1	21.4	182.5	+14.6	-827.6
7.12	3.7	3.7	2.8	3.4	9.0	1019.1	7.0	189.5	-2.0	-829.6
7.13	3.0	0.7	3.3	0.0	11.3	1030.4	0	189.5	-11.3	-840.9
7.14	4.1	0.0	3.8	0.0	27.0	1057.4	0	189.5	-27.0	-867.9
7.15	5.0	0.0	4.4	0.5	51.8	1109.2	0	189.5	-51.8	-919.7
7.16	4.0	2.7	2.4	0.7	9.0	1118.2	3.0	192.5	-6.0	-925.7
7.17	4.2	3.1	2.6	5.4	9.0	1127.2	0	192.5	-9.0	-934.7
7.18	4.6	2.2	3.4	4.3	0.0	1127.2	3.0	195.5	+3.0	-931.7
7.19	1.4	12.7	0.6	13.7	0.0	1127.2	25.0	220.5	+25.0	-906.7
7.20	2.3	0.0	0.8	0.0	0.0	1127.2	0	220.5	0.0	-906.7
7.21	4.2	0.0	2.8	0.0	22.5	1149.7	16.9	237.4	-5.6	-912.3
7.22	7.3	5.1	5.4	5.3	38.3	1188.0	28.4	265.8	-9.9	-922.2
7.23	6.5	11.4	4.8	14.2	13.5	1201.5	8.0	273.8	-5.5	-927.7
7.24	2.9	7.1	1.5	13.7	13.8	1215.3	12.0	285.5	-1.8	-929.5
7.25	3.1	5.1	0.9	7.8	31.5	1246.8	2.5	288.3	-29.0	-958.5
7.26	3.7	3.5	2.0	3.2	58.5	1305.3	9.0	297.3	-49.5	-1008.0
7.27	5.6	2.7	3.7	6.4	6.8	1312.1	0	297.3	-6.8	-1014.8
7.28	3.1	0.0	0.8	0.0	40.5	1352.6	0	297.3	-40.5	-1055.3
7.29	6.1	0.8	2.0	0.0	20.5	1373.1	0	297.3	-20.5	-1075.8
7.30	4.6	0.0	2.6	0.0	60.8	1433.9	0	297.3	-60.8	-1136.6

表1 (续2)

期	大西沟		空冰斗		A (mm)	ΣA (mm)	C (mm)	ΣC (mm)	b _i (mm)	Σb _i (mm)
	t (°C)	P (mm)	t (°C)	P (mm)						
7.31	5.0	5.9	2.7	0.0	62.4	1496.3	0	297.3	-62.4	-1199.0
8.1	7.0	0.0	5.5	0.0	33.8	1530.1	0	297.3	-33.8	-1232.8
8.2	11.5	0.0	9.7	0.0	36.0	1566.1	0	297.3	-36.0	-1268.8
8.3	11.8	0.0	10.7	0.0	76.5	1642.6	0	297.3	-76.5	-1345.3
8.4	10.0	4.8	8.6	3.2	40.5	1683.1	0	297.3	-40.5	-1385.8
8.5	3.8	3.0	1.6	4.5	13.5	1696.6	5.1	302.4	-8.4	-1394.2
8.6	5.0	0.0	2.5	0.0	29.3	1725.9	0	302.4	-29.3	-1423.5
8.7	5.2	0.0	3.4	0.0	42.8	1768.7	0	302.4	-42.8	-1466.3
8.8	5.9	0.4	4.1	0.0	33.8	1802.5	0	302.4	-33.8	-1500.1
8.9	8.2	0.0	5.9	0.0	42.8	1845.3	0	302.4	-42.8	-1542.9
8.10	9.1	0.7	4.7	0.5	40.5	1885.8	0	302.4	-40.5	-1583.4
8.11	0.6	5.8	0.5	7.2	22.5	1908.3	6.8	309.2	-15.7	-1599.1
8.12	-0.9	3.4	-2.6	4.0	2.3	1910.6	6.6	314.8	+3.3	-1595.8
8.13	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1910.6	0	314.8	0.0	-1595.8
8.14	3.6	7.3	1.2	4.6	33.8	1944.4	12.7	327.5	-21.1	-1616.9
8.15	1.5	4.1	0.0	5.9	24.8	1969.2	5.3	332.8	-19.5	-1635.4
8.16	2.1	0.2	-0.1	0.1	0.0	1969.2	4.9	337.7	+4.9	-1631.5
8.17	2.1	0.1	0.6	0.6	6.7	1975.9	4.5	342.2	-2.2	-1633.7
8.18	3.2	1.1	1.3	0.4	29.3	2005.2	3.0	345.2	-26.3	-1660.0
8.19	3.9	1.6	2.2	0.3	27.0	2032.2	0.8	346.0	-26.2	-1686.2
8.20	4.4	0.0	2.5	0.0	22.5	2054.7	0.0	346.0	-22.5	-1708.7
8.21	5.1	0.0	2.7	0.0	31.5	2086.2	0.0	346.0	-31.5	-1740.2
8.22	7.4	0.0	5.3	0.0	45.0	2131.2	0.0	346.0	-45.0	-1785.2
8.23	5.7	6.5	4.0	4.2	45.0	2176.2	5.0	351.0	-40.0	-1825.2
8.24	1.6	3.7	-0.2	4.2	13.5	2189.7	6.0	357.0	-7.5	-1832.7
8.25	1.1	0.0	-0.6	0.0	0.0	2189.7	0.0	357.0	0.0	-1832.7
8.26	0.9	0.6	0.0	1.2	6.8	2196.5	1.5	358.5	-5.3	-1838.0
8.27	-0.3	3.4	-1.2	4.8	22.9	2219.4	5.0	363.5	-17.9	-1855.9
8.28	2.5	0.0	1.1	0.0	18.0	2237.4	0.0	363.5	-18.0	-1873.9
8.29	2.8	0.8	0.9	0.4	4.5	2241.9	1.5	365.0	-3.0	-1876.4
		272.4		260.0						

系较差，而累积正积温 (Σt) 和累积消融量 (ΣA) 则有很好的相关关系：

$$\Sigma A = -65.29 + 5.7 \Sigma t \quad (1)$$

据此公式推算，日正积温升高 1°C ，消融量增加 5.7 mm 。

在冰舌下部，日物质平衡值随消融量的增大而减小，物质平衡日过程线靠近消融线，并与其相平行。在冰川积累区，物质平衡日过程则与此相反。

3 冰川积、消和物质平衡的年内过程

将 1 号冰川东、西支每 15 天测量的物质平衡值及其按高度区间的分布列入表 2，中。由表中可以看出以下主要规律：

表 2 1 号冰川东支各高度带物质平衡

高度区间 (m)	面积 (km^2)	时 间								
		5.3	5.15	6.2	6.15	7.1	7.15	7.30	8.15	8.30
3 740—3 800	0.059	296	258	211	-75	-406	-742	-1081	-1 535	-1 849
3 800—3 850	0.097	306	374	387	216	43	-192	-463	-873	-1 054
3 850—3 900	0.155	357	355	369	247	213	103	-34	-282	-400
3 900—3 950	0.194	375	540	568	530	535	441	423	254	226
3 950—4 000	0.138	394	566	571	537	575	492	475	278	249
4 000—4 050	0.147	376	473	521	500	555	485	477	300	300
4 050—4 100	0.115	398	528	556	484	583	543	544	363	313
4 100—4 150	0.112	388	452	541	541	631	625	607	568	584
4 150—4 200	0.099	320	603	612	692	783	777	788	719	735
4 200—4 269	0.047	283	368	377	457	548	542	553	484	500
3 740—4 269	1.163	360	470	495	440	446	355	291	96	40

(1) 东、西支年物质平衡分别为 $40, 144 \text{ mm}$ ，1 号冰川合计为 78 mm ，总量为 $14 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

(2) 冰川积累从 4 月份开始增加得很快。到 5 月初，东、西支冰川分别达到 360 和 460 mm ，存在着明显的春季积累期。观测的乌鲁木齐河源 2，6 号冰川也存在着同样的规律性。

(3) 夏季期间，在冰川下部消融增强的同时，冰川中、上部为持续积累。反映在冰川物质的高度结构上，具有多重性。冬 (b_w)、夏 (b_s) 和年物质平衡 (b_y) 的关系可用下式表示：

$$b_y = b_w - \Sigma b_s \quad (2)$$

式中： b_s 为夏季瞬时物质平衡。计算结果表明，东、西支冰川夏平衡分别为 321 和 302 mm ，1 号冰川平均为 314 mm 。在冰川正平衡年份，冬平衡大于夏平衡值。

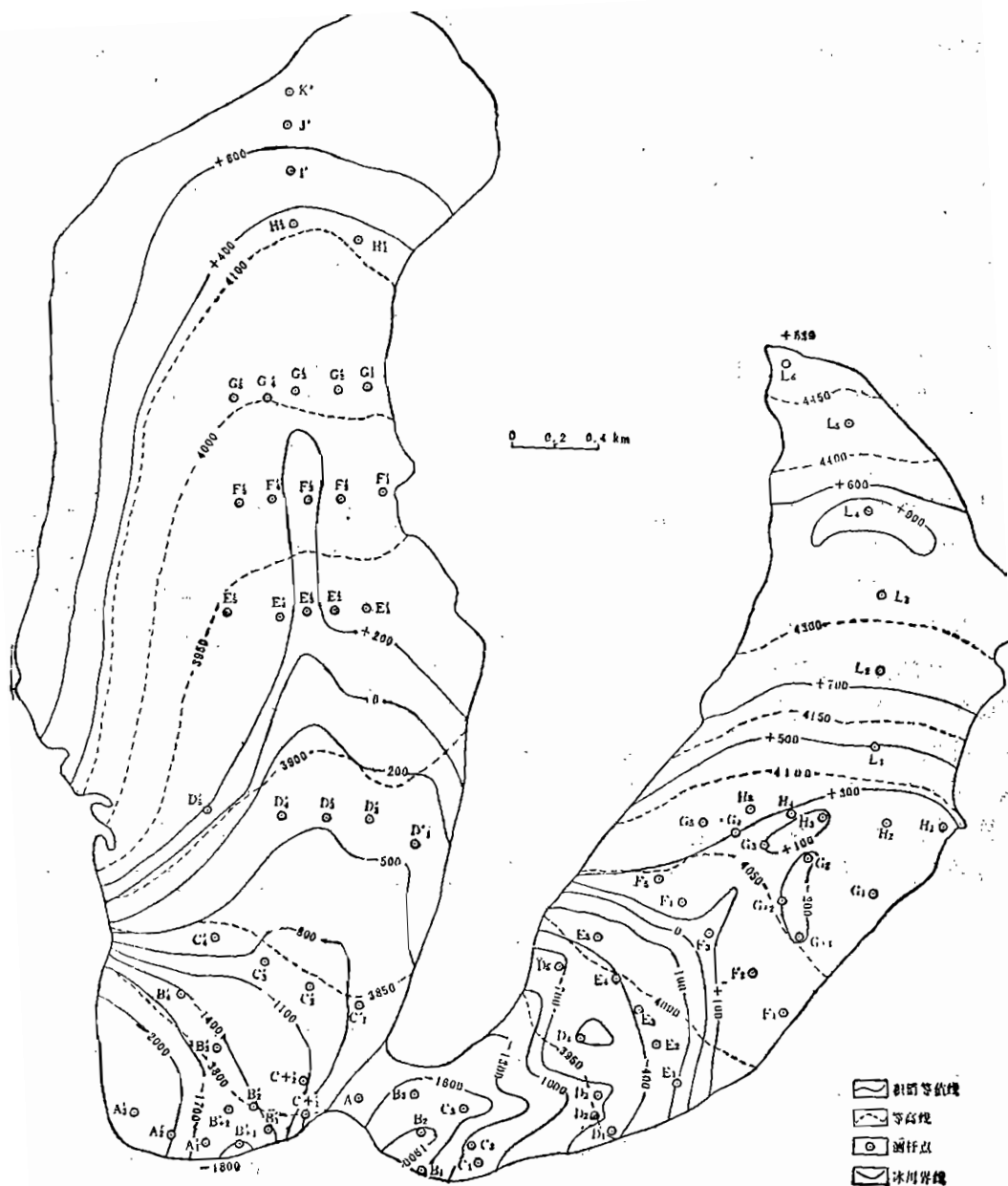


图1: 1号冰川1989—1990年物质平衡等值线

4 影响1989—1990年度物质平衡的主要因素分析

影响冰川物质平衡状态不仅是夏季气温和年降水的平均状况，而它们随时间的分配具有更重要的影响。分析1989—1990年度大西沟站(3 539 m) 夏季各月份的平均气温

和降水量，并与其它年份相应值比较（表7）后可以看出，1989—1990年夏季平均气温和1987—1988年相当接近，但是后者7月份的气温高于前者1.5℃。在夏季各月份中，7月份的气温高低是影响冰川消融和物质平衡状态的关键月份。6月份，冰川由于冬春

表7 天山大西沟站夏季平均气温 (T , °C) 和降水量 (P , mm)

年 \ 月	6		7		8		6—8		物质平衡 (mm)	零平衡线 (m)
	\bar{T}	P	\bar{T}	P	\bar{T}	P	\bar{T}	P		
1985—1986	1.9	124.2	6.5	74.2	5.1	52.4	4.5	250.8	-669	4130
1987—1988	3.0	29.8	5.8	105.4	4.2	145.0	4.3	280.2	-642	4080
1989—1990	4.6	117.5	4.3	107.6	4.3	62.0	4.4	287.1	52	3395

季节所形成的瞬时雪盖还没有完全融化，而雪盖又有抑制冰川消融的作用，因而此月的温度状况只主要是对季节雪的消融有促进或抑制作用，而对冰川冰的消融（纯消融）影响不大。7月份的情况则完全不同。按气温的年内分布状况，7月份是一年中气温最高者，相应地也是物质平衡年度中消融量最大者。在该月内，冰川消融区大部分冰面出露，污化的冰面较其瞬时雪盖能吸收更多的热量，因此该月气温的微小变化就能使冰川消融和物质产生较大的变化。与气温变化相适应，夏季消融最强的7月份的降水量的多少，特别是降水强度和频率的大小不仅影响冰川表面的温度状况，而且由于瞬时雪盖形成和保持时间的长短而直接有抑制或增强冰川消融的作用。基于上述分析，1989—1990年度的夏季平均气温和年降水量接近1987—1988年度，但由于前者7月份气温偏低，降水量偏丰，致使该年度物质平衡出现正值，而1987—1988年度则出现较强的负平衡值。

表4 1号冰川东支物质平衡观测记录表

剖面 (位置)	花杆 (No.)	高度 (m)	纯 积 消 量 (mm)								合 计 (mm)	附 注	
			1989.8.30 -1990.5.3	1990.5.3 -5.15	1990.5.15 -6.2	1990.6.2 -6.15	1990.6.15 -7.)	1990.7.1 -7.15	1990.7.15 -7.31	1990.7.31 -8.14			1990.8.14 -8.30
A'	1		+170.5	-67.0	-112.0	-232.5	-334.5	-180.0	-189.0	-265.5	-229.5	-1439.5	
	2	3765.7	+257.3	-38.8	-77.5	-321.0	-396.0	-378.0	-405.0	-433.5	-304.5	-2097.0	
	3	3754.4	+181.8	-33.8	-142.0	-471.0	-471.0	-486.0	-450.0	-577.5	-412.5	-2862.0	
	平均	3760.1	+203.2	-46.4	-110.5	-341.5	-400.5	-348.0	-348.0	-425.5	-315.5	-2132.7	
	+1		+435.6	-131.6	0.0	-242.0	-296.0	-423.0	-360.0	-477.0	-315.0	-1809.0	
B'	+2	3787.4	+475.2	-53.4	-2.3	-187.3	-232.0	-279.0	-297.0	-486.0	-342.0	-1403.8	
	1	3791.7	+405.9	-53.8	+49.2	-257.0	-261.5	-279.0	-324.0	-483.0	-282.0	-1485.0	
	2	3798.8	+356.4	-52.4	+23.5	-183.5	-279.0	-225.0	-342.0	-469.0	-260.0	-1431.0	
	3	3799.8	+287.0	-2.0	-9.5	-230.0	-180.5	-288.0	-360.0	-417.0	-276.0	-1476.0	
	4	3809.8	+313.5	-74.0	+0.1	-165.0	-209.0	-315.0	-405.0	-414.0	-207.0	-1475.4	
	平均	3797.5	+378.9	-61.2	+10.2	-210.8	-243.0	-301.6	-348.0	-457.7	-280.1	-1513.4	
	+1	3823.6	+349.8	+202.6	+25.6	-212.7	-87.8	-241.5	-171.0	-418.5	-220.5	-774.0	
	+2	3824.8	+323.4	+84.0	-80.4	-165.8	-189.2	-288.0	-279.0	-385.5	-243.0	-1213.5	
C'	1	3849.0	+389.4	-39.8	+31.4	-144.6	-91.4	-145.0	-162.0	-399.0	-141.0	-702.0	
	2	3845.0	+349.8	-11.8	+39.0	-122.9	-151.6	-246.5	-306.0	-438.0	-93.0	-981.0	
	3	3840.4	+393.8	+22.4	+28.0	-159.3	-175.0	-184.5	-279.0	-459.0	-99.0	-910.8	
	4	3839.0	+475.2	-1.5	+59.3	-159.7	-200.0	-189.0	-128.0	-282.0	-96.0	-519.7	
	平均	3837.0	+380.2	+42.7	+17.3	-159.2	-149.2	-215.8	-220.5	-397.0	-148.8	-850.2	
D'	1	3890.6	+388.6	+69.9	-2.5	-153.4	-32.1	-70.0	-119.5	-273.5	-118.5	-311.0	
	2	3892.1	+330.6	+25.5	+4.0	-101.1	-17.4	-151.0	-102.0	-256.5	-94.5	-362.4	
	3	3892.8	+284.0	+3.9	+24.3	-95.4	-62.0	-103.2	-195.4	-177.0	-147.0	-467.8	
	4	3892.7	+292.9	+23.2	+32.9	-139.3	-23.2	-118.5	-131.0	-283.5	-112.5	-459.0	

剖面 (位置)	花 样 (No.)	高 度 (m)	纯 积 (mm)									合 计 (mm)	附 注
			1989.8.30 -90.5.3	1990.5.3 -5.15	1990.5.15 -8.2	1990.6.2 -6.15	1990.6.15 -7.1	1990.7.1 -7.15	1990.7.15 -7.31	1990.7.31 -8.14	1990.8.14 -8.30		
东支	平均	3 892.1	+324.0	+30.6	+14.7	-122.3	-33.7	-110.7	-137.0	-247.6	-118.1	-400.1	
	1	3 929.0	+561.3	+24.0	+27.9	-63.7	+11.1	-95.6	-14.0	-174.0	-21.0	+256.0	
	2	3 928.0	+548.0	+72.3	+9.3	-25.3	+4.5	-88.4	-38.0	-204.0	-26.0	+252.4	
E'	3	3 929.6	+371.0	+28.7	+12.8	-32.3	+2.0	-85.0	-9.9	-160.1	-31.0	+96.2	
	4	3 931.9	+529.4	+27.1	+58.5	-28.6	+2.6	-108.0	-10.1	-135.9	-36.5	+298.5	
	平均	3 929.6	+502.4	+38.0	+27.1	-37.5	+5.1	-94.3	-18.0	-168.5	-28.6	+225.8	
F'	1	3 970.1	+670.4	+46.6	-2.0	-39.0	+47.0	-69.0	-10.0	-244.0	-34.0	+366.0	
	2	3 970.0	+591.4	+0.1	+17.6	-17.5	+35.7	-87.3	-14.2	-192.3	-31.0	+302.5	
	3	3 967.0	+380.7	+7.7	+1.2	-47.4	+33.5	-93.6	-26.4	-156.8	-20.1	+79.0	
G'	平均	4 969.0	+547.6	+18.1	+5.6	-34.6	+38.7	-83.3	-16.9	-197.6	-28.4	+249.1	
	1	4 011.1	+508.7	-0.2	+11.0	-10.4	+64.2	-71.9	-6.6	-175.6	-1.5	+330.9	
	2	4 007.7	+545.2	+1.6	+43.1	-12.0	+25.4	-74.8	-18.2	-199.3	0.0	+311.0	
H'	3	4 003.0	+365.0	-0.7	+89.7	-41.5	+77.0	-65.7	-12.2	-155.0	0.0	+256.6	
	平均	4 007.3	+473.0	+0.2	+47.9	-21.3	+55.5	-70.8	-7.9	-176.6	-0.5	+299.5	
	1	4 053.0	+527.8	+50.2	+38.0	-81.2	+88.4	-47.2	-2.0	-214.0	-84.9	+275.1	
I*	2		+456.8	+20.2	+20.3	-64.4	+110.4	-32.6	-3.8	-148.8	-15.6	+350.1	
	平均	4 053.0	+492.3	+35.2	+29.2	-72.8	+99.4	-39.9	+0.9	-161.4	-50.3	+312.6	
	I*				+497.8		+60.9		+14.6		-61.6	+511.7	I*, J*, K 位于 1 号冰 川 东 支 后 壁, 积、消 变化幅度微 弱, 故每月 一 次 性 观 测。
J*				+583.8		+120.2		-23.5		-25.1	+655.4		
K*				+612.0		+171.0		+4.5		-52.2	+735.3		
平均				+564.5		+117.4		-1.5		-46.3	+634.1		

观测: 王纯足 刘时银

统计: 王纯足

校对: 刘潮海

表5 1号次川西支物质平衡观测记录表

剖面 花杆 高度	(位置) (No.)	(m)	纯 积 消 量 (mm)												合 计 (mm)																								
			A	B	平均	1	2	3	C	平均	1	2	3	D		平均	1	2	3	E	平均	1	2	3	4	5													
1889.8.31		+328.9	+69.6	-109.5	-253.8	-289.2	-306.0	-234.0	-409.5	-292.5	-1496.0	-1496.0	-1496.0	-1811.0	-1908.0	-1587.5	-1650.6	-1112.6	-1147.5	-1740.0	-1333.4	-544.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0					
1990.5.4		+396.0	-189.0	-50.5	-127.7	-333.0	-234.0	-466.5	-253.5	-1811.0	-1908.0	-1587.5	-1650.6	-1112.6	-1147.5	-1740.0	-1333.4	-544.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4								
1990.5.4		+245.8	+40.2	-184.0	-280.2	-343.8	-405.0	-288.0	-319.5	-208.5	-1908.0	-1587.5	-1650.6	-1112.6	-1147.5	-1740.0	-1333.4	-544.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4								
1989.8.31		+307.5	+4.1	-171.8	-277.5	-165.0	-207.0	-460.5	-208.5	-1908.0	-1587.5	-1650.6	-1112.6	-1147.5	-1740.0	-1333.4	-544.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4									
1990.5.4		+300.8	+33.2	-108.4	-174.0	-306.0	-189.0	-309.0	-354.0	-228.0	-1650.6	-1112.6	-1147.5	-1740.0	-1333.4	-544.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4										
1990.5.4		+341.5	+77.3	-105.2	-100.9	-176.7	-342.0	-198.0	-354.0	-228.0	-1650.6	-1112.6	-1147.5	-1740.0	-1333.4	-544.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4										
1990.5.4		+272.0	-14.5	-142.5	-268.2	-301.3	-373.5	-180.0	-457.5	-274.5	-1740.0	-1333.4	-544.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4					
1990.5.4		+304.8	+32.0	-118.7	-181.0	-203.4	-340.5	-189.0	-373.5	-264.0	-1740.0	-1333.4	-544.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4				
1990.5.4		+380.4	-18.6	-39.7	-72.0	-135.1	-323.0	-180.0	-325.5	-235.5	-939.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4			
1990.5.4		+320.4	+50.1	-40.1	-76.9	-69.5	-258.0	-162.0	-348.0	-222.0	-806.0	-122.1	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4		
1990.5.4		+521.0	+110.4	-42.8	-97.6	-44.9	-189.5	-61.0	-283.0	-124.5	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4		
1990.5.4		+345.6	+34.7	-13.5	-124.2	-89.6	-207.0	-135.0	-397.5	-250.5	-837.0	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4		
1990.5.4		+402.5	+54.8	-37.9	-88.2	-63.6	-226.7	-127.4	-346.9	-216.3	-649.7	-87.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	
1990.5.4		+356.5	+98.0	-123.4	-28.5	-45.1	-114.0	-74.5	-264.0	-96.0	-291.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	
1990.5.4		+337.4	+56.4	-40.6	-38.0	-47.5	-142.5	-66.0	-260.5	-126.0	-329.6	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	
1990.5.4		+344.1	+21.5	-6.2	-25.2	-47.5	-242.5	-56.5	-252.5	-166.5	-366.5	-214.4	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4
1990.5.4		+360.7	+62.8	-56.4	-35.7	-12.9	-160.8	-58.2	-239.0	-118.2	-257.7	+250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4
1990.5.4		+476.8	+90.2	-7.4	-51.3	-66.7	-132.0	+32.0	-172.0	-50.0	-250.0	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4	-1990.5.4

表 5 (续)

剖面 (位置)	花 杆 (No.)	高 度 (m)	地 积						合 计 (mm)	附 注			
			1989.8.31 -90.6.4	1990.5.4 -6.16	1990.5.16 -8.8	1990.6.3 -6.16	1990.6.16 -7.2	1990.7.2 -7.16			(mm)		
F	2	4 024.4	+441.6	+62.4	+7.5	-50.8	+58.3	-205.0	+30.0	-182.5	-80.0	+81.5	
	3	4 025.9	+408.4	+107.6	-32.5	-3.7	+48.2	-146.0	+89.0	-206.0	-55.5	+209.5	
	4	4 028.9	+398.7	+98.9	-4.9	-38.5	+59.9	-121.0	+44.0	-162.5	-36.0	+231.5	
	平均	4 026.6	+430.1	+89.3	-9.3	-36.1	+57.5	-151.0	+48.8	-180.8	-55.4	+193.1	
	+1	4 053.1	+333.3	+86.7	-97.7	-27.2	+24.6	-133.1	+13.5	-212.5	-99.5	-111.9	
	+2	4 048.2	+310.2	+89.8	-81.3	-51.8	+3.9	-136.8	+12.0	-225.5	-117.0	-196.5	
G	1	4 069.1	+356.4	+108.6	-103.1	-10.0	+84.0	-151.4	+45.0	-118.5	-37.5	+173.5	
	2	4 062.3	+300.3	+49.7	-66.5	-15.8	-20.5	-136.9	+11.5	-216.0	-47.5	-141.7	
	3	4 055.5	+405.3	+75.7	-119.4	+6.9	+59.2	-146.2	+26.0	-129.0	-58.5	+120.0	
	平均	4 057.7	+341.1	+82.1	-93.6	-19.6	+30.3	-140.9	+21.6	-180.3	-72.0	-31.3	
	2	4 079.0	+375.1	+80.7	-43.5	-13.8	+73.5	-134.5	+66.0	-146.0	-74.0	+183.5	
	3	4 075.5	+350.6	+83.4	-45.7	-13.3	+18.0	-157.0	+43.0	-125.5	-64.0	+89.5	
H	4	4 058.9	+444.0	+137.9	-44.4	-42.6	+99.0	-135.9	+119.0	-195.0	-86.5	+295.5	
	平均	4 074.5	+389.9	+100.7	-44.5	-23.2	+63.5	-142.5	+78.0	-155.5	-74.8	+89.5	
	L ₁	+500.3	-22.3	+55.0	-22.2	+82.6	-105.4	+140.8	-97.8	-29.4	+501.6	未测高度	
	L ₂	+647.6	+105.0	+647.6	+105.0	+105.0	+99.1	+99.1	+99.1	-89.1	+760.5	未测高度	
	L ₃	+492.5	+178.3	+492.5	+178.3	+178.3	+79.0	+79.0	+79.0	-89.8	+660.0	未测高度	
	L ₄	+665.0	+216.5	+665.0	+216.5	+216.5	+102.9	+102.9	+102.9	-112.4	+872.0	未测高度	
L ₅	+318.0	+142.1	+318.0	+142.1	+142.1	+137.9	+137.9	+137.9	-34.0	+564.0	未测高度		
L ₆	+318.5	+103.0	+318.5	+103.0	+103.0	+93.9	+93.9	+93.9	-31.2	+539.2	未测高度		
平均												+649.5	未测高度

观测: 王纯足 刘时振

统计: 王纯足

校对: 刘时振

乌鲁木齐河源高山区冬季积雪温度 观测研究*

杨大庆 王纯足 张志忠 张寅生

1 概 述

乌鲁木齐河发源于天山北坡的天格尔山。据河源大西沟气象站(43°06'N, 85°50'E 3 539 m)记录,年平均气温为-5.4℃,年降水量420 mm,修正观测误差之后的年降水量约为557 mm(杨大庆 *et al.*, 1988; Yang *et al.*, 1989)。乌鲁木齐河源10—4月的气温低于0℃,观测降水量合计约为50 mm。稳定积雪通常于10月下旬形成,由于冬季降水量较小,1—2月份平地和向阳坡的积雪深度约为20 cm,4月底5月初随着降水量较大幅度地增加,积雪深度达到最大值,平坦地面的雪深为30—70 cm,背风的阴坡、洼地、河谷的积雪深达1.0—2.0 m,属于浅薄积雪区。5月中旬气温逐渐升高,积雪融化,5月底至6月初稳定积雪消失逸尽。

60年代中期以来,黄茂恒等(1965)、任贾文(1985)和蔡保林等(1987)①等曾先后测量和描述乌鲁木齐河源1号冰川活动层及较大深度的温度状况,其中很少涉及冬季积雪的温度特征。1989年10月至1990年5月间,我们在河源空冰斗小流域(43°07'—08'N, 36°49'—50'E, 3 820—4 360 m, 面积1.62 km²)和1号冰川(43°06'—07'N, 86°48'—49'E, 3 740—4 300 m, 面积1.24 km²)开展高山积雪物理性质及其水文作用的实验研究,观测项目包括气温、湿度、降水量、太阳辐射、积雪深度、密度、粒径、温度、雪面升华和水化学采样等。其中积雪层温度用精度为0.1℃的铜电阻温度计测量,测点分别位于空冰斗C₃雪尺(3 835 m)和1号冰川东支C₂花杆(3 845 m)。测温的位置为地面(冰面)之上0, 10, 20, 30, 40和50 cm。积雪温度测量从1990年1月中旬持续至6月中旬积雪融化时期,大约每7—10天测量一次,施测时间多在13:00—16:00(地方时11:00—14:00)之间。

2 实测积雪层温度剖面及温度梯度计算

空冰斗C₃测点的实测温度剖面(图1)表明,积雪温度随雪深的变化有4种基本

* 国家自然科学基金资助项目。

①张金华 *et al.*, 1984, 乌鲁木齐河1号冰川冰层温度, 天山冰川站年报, 124—194。

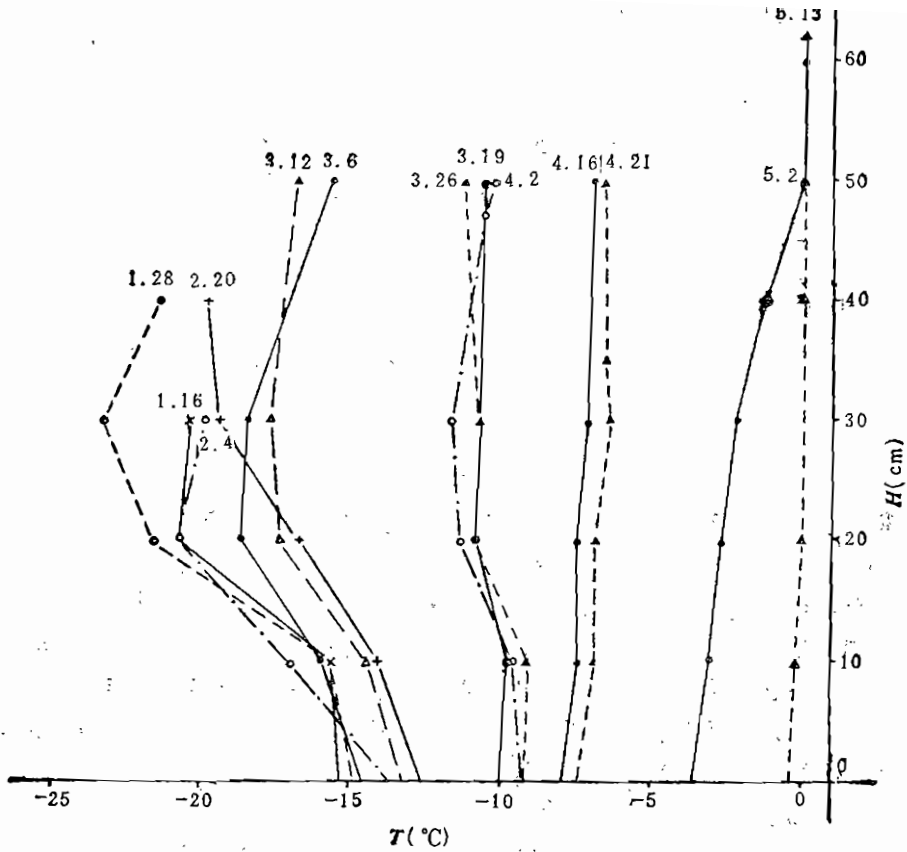


图1 空冰斗C₃测点积雪温度剖面

类型。A型为雪层底部冷、中部最冷、上部较冷，主要出现于1月至4月初。原因是积雪底部地下热流向上覆雪层传递，而积雪上部通过表面吸收太阳辐射而升温；B型温度分布的特征是自积雪层底部向上持续降温，出现的次数不多，成因为强冷空气过境，气温骤然下降（如1990年2月20日空冰斗最低气温降至 -28.8°C ，日平均温度为 -23.5°C ，而2月19日和18日的日平均气温分别为 -17.6°C 和 -11.8°C ），冷波由雪层表面向下部传递并逐渐衰减；C型温度分布基本为一条垂直直线，即雪层温度趋于同一数值。该型是A型的转化，4月中旬气温逐渐升高的时期，空气中的暖波自积雪上部向下传播，抵消积雪层中部的冷储，因此雪层中部的增温幅度明显大于上部和下部；D型温度分布与B型相反，积雪温度由底部向中部及上部而持续升高，及至表面接近 0°C ，发生融化，该型为4月下旬和5月上旬积雪融化初期的典型分布。D型进一步发展于5月中旬和下旬回转到C型。此时，积雪各层位均达到或接近 0°C ，为积雪强烈融化的标志。

1号冰川C₂测点积雪层的温度剖面同样具有上述4种类型（图2）。其中B型温度分布不及C₃测点典型。3月上旬和中旬，C₂和C₃两测点积雪底部的温度均为 -13°C — -15°C ，表层温度前者比后者高 1.5°C 左右，3月下旬及4月上旬，C₃测点积雪层底部的温度由 -13°C 明显升高至 -9°C — -10°C ，此时1号冰川C₂测点冰面的温度为 -10°C —

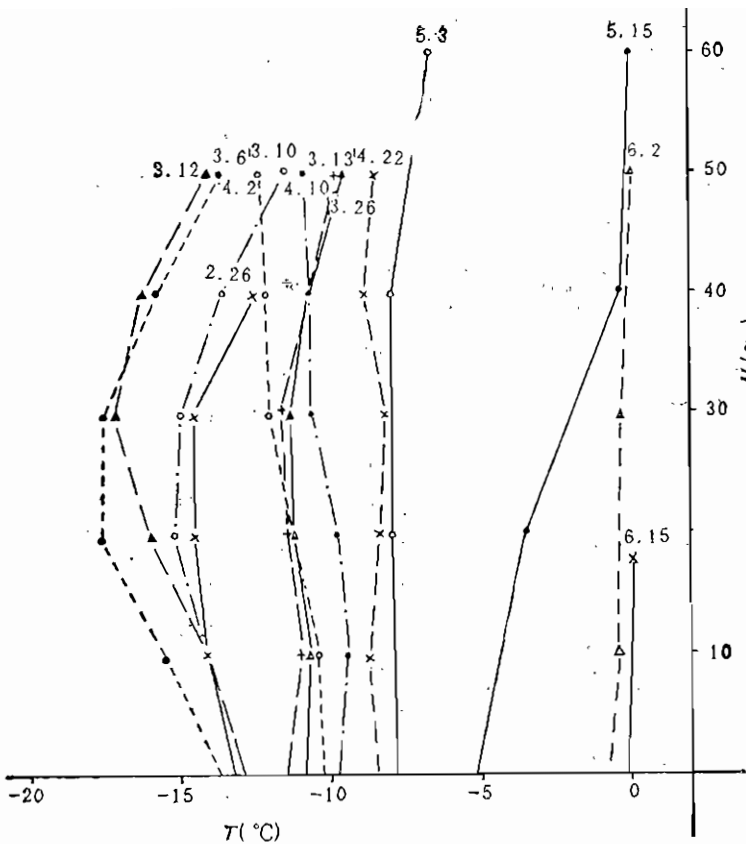


图2 1号冰川东支C₂测点积雪温度剖面

-11℃, 积雪层上部的温度比C₃测点约高1.5℃。4月中旬和下旬, C₃测点积雪层上部和下部的温度又分别上升5和2℃。5月上旬, C₃测点积雪层底部温度为-3.5℃, 上下部温度接近于0℃, 而1号冰川C₂测点积雪层底部和上部的温度分别为-8.0和-8.5℃, 显示积雪层底部温度的差异由严冬向春季增大的趋势。1号冰川朝向北, 空冰斗基本上向南, 在冬春季节两地的受热状况和下垫面热学性质均有差异, 尤其在春季的差异较大。因此, 1号冰川C₂测点积雪的温度变化过程比空冰斗C₃测点落后近10天。

空冰斗C₃测点1月中、下旬和2月上旬的积雪深度为35—55 cm, 地面以上20—30 cm处的实测最低积雪温度介于-20—-30℃, 积雪层底部地面温度约为-15℃。天山西部巩乃斯河谷1月底的积雪深度为40—60 cm, 地面以上40 cm处的最低雪温为-16—-17℃, 地面温度介于-2—-8℃(张志忠, 1987)。滇北白茫雪山12—2月的积雪深度约为70 cm, 积雪底部地面的温度介于0—-1℃, 积雪表面以下20 cm处的温度约为-5℃(王彦龙, 1987)。比较可见, 大陆性气候山区的积雪是冷性的。乌鲁木齐河源海拔较高, 冬季气候干燥而寒冷(1月份的温度为-16.0℃, 降水量仅3.4 mm), 因此积雪温度特别低, 与南极洛多姆冰帽粒雪层1 m深处的实测最低温度接近(秦大河 *et al.*, 1988)。

空冰斗C₃测点积雪各层位的温度梯度具有明显的差异(表1)。1月中旬至4月上

旬期间积雪层底部(0—10cm)的温度梯度通常为负值,其中在1月下旬和2月上旬的最大温度梯度曾经达到 -0.36 — -0.22 °C/cm,为大量的水汽迁移,从而为深霜和胶结深霜的发育提供热力条件。4月中旬后,随着积雪层温度的升高,温度梯度转为微小的正值。积雪层中下部(10—20 cm)4月中旬之前的负温度梯度值比底部大2—10倍,4月中旬之后的梯度值小于 ± 0.01 °C/cm。其中1和2月的负梯度高达 -0.37 — -0.58 °C/cm,远远超过深霜发育的临界值 -0.2 °C/cm(王彦龙,1987)。雪坑资料表明,该层位粒径为8—11 mm的杯状粗大深霜十分发育^①。积雪层中上部(20—30 cm)

表1 空冰斗C₃雪尺积雪温度梯度(°C/cm)

雪深(cm)	0—10	10—20	20—30	30—50
日期1990.				
1.16	-0.04	-0.50	0.04	—
1.28	-0.36	-0.58	-0.16	—
2.04	-0.22	-0.38	0.08	—
2.20	0.08	-0.37	-0.37	—
2.26	0.01	-0.08	0.01	0.07
3.06	-0.15	-0.26	0.02	0.14
3.12	-0.12	-0.29	0.04	0.05
3.19	0.02	-0.10	0.01	0.01
3.26	0.0	-0.17	0.01	-0.03
4.02	-0.04	-0.17	-0.03	0.07
4.08	-0.03	-0.21	-0.09	0.02
4.16	0.05	-0.01	0.04	0.01
4.21	0.05	0.0	0.05	-0.01
5.13	0.02	0.01	0.0	0.0

的温度梯度在2月底之前以负值居多,3月份之后转以正值为主,但数值很少超过 ± 0.05 °C/cm。因此,我们认为该层次是同温的。积雪表面接受太阳直接辐射、山坡反射和长波放射,因此积雪层上部(30—50 cm)的温度梯度通常为正,实际测量的最大值为 0.14 °C/cm。

积雪层整体的温度梯度在1—2月份为负值,3月份有所减小,4月中下旬温度梯度趋于消失,乃至5月初出现明显的正梯度,5月中旬表层融化雪水向中层和下层渗透,整个积雪层的温度接近 0 °C,正温度梯度消失(图1)。

1号冰川东支C₂测点积雪层底部(0—10 cm)的温度梯度多数情形为负值,偶而出现正值,但不及负值突出。统计分析表明,C₂和C₃测点积雪层底部的温度梯度有显著的正相关(图3)。平均而言,C₃测点积雪底部的温度梯度大于C₂测点,原因是空冰斗地下热流向地面传递,冬季地面温度比冰面略高。C₂测点积雪层中下部(10—20 cm)的温度梯度在4月下旬之前多为负值,最大值为 -0.21 °C/cm,4月下旬转化为正值。

^①杨大庆 *et al.*, 1991, 天山乌鲁木齐河源密度观测研究。

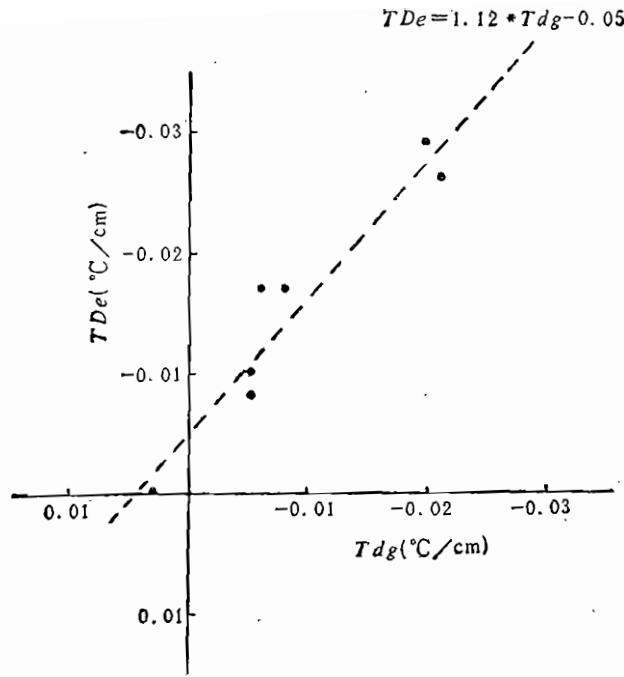


图3 C₂和C₃测点积雪层底部(0—10 cm)温度梯度的关系

C₂测点积雪层中上部(20—30 cm)的温度梯度在2月底至3月上旬接近于0或为小正值,3月中旬至4月中旬期间变为负,4月下旬又回转为正梯度。相对而言,该层次的温度梯度最小,一般不超过 ± 0.10 °C/cm。C₂测点积雪温度变化的时相落后于C₃测点,两地同一时刻的温度差异由积雪表层向中部和底部而增大,在春季表现的更加明

表2 1号冰川东支C₂雪尺积雪温度梯度(°C/cm)

时 期	雪深(cm)			
	0—10	10—20	20—30	30—50
1990. 2.26	-0.09	-0.05	0	—
3.06	-0.19	-0.21	0	0.20
3.10	-0.09	0.08	0.02	0.18
3.12	-0.11	-0.20	-0.12	0.16
3.19	0.05	-0.05	-0.02	0.10
3.26	0.02	-0.06	-0.01	0.09
4.02	-0.02	-0.08	-0.07	0.02
4.10	0.03	-0.04	-0.06	-0.02
4.22	-0.02	0.03	0.02	-0.04
5.03	0.50	0.01	0.0	0.04
5.15	0.08	0.80	0.16	0.09
6.02	0.03	0.0	0.01	0.01
6.15	0.02	—	—	—

显。因此C₃测点3月份积雪层上部的正温度梯度比C₂测点高出1倍,进入4月份,温度梯度转变为负值,该值比前期的正值小一个数量级。表明温度梯度趋于消失的倾向(表2)。

1号冰川C₂测点积雪层整体温度梯度的分布特征与空冰斗C₃测点相似,其时间变化过程(时相)比C₃测点落后10天左右(图2)。

3 空冰斗积雪层温度与气温的关系及日平均雪温的估算

积雪层上边界的空气温度在1日之内随时间的明显变化(称为日变化)致使积雪自表面向下至一定深度范围内(活动层)的温度亦有日变化。据张志忠(1987)观测,积雪表面温度的日振幅与气温的日振幅比较接近。积雪温度日变化的幅度由积雪表面向下呈指数规律递减,位相亦相应滞后(Paterson,1981; Langham, 1981; 黄茂恒*et al.*, 1965)。

天山西部巩乃斯河谷积雪层上部温度的日振幅介于11—16℃(张志忠,1987)。乌鲁木齐河源冬季气温日较差的月平均值约为9℃,4月中旬冰川积雪表面以下10cm处温度的日振幅接近9℃(黄茂恒*et al.*, 1965)。如此大幅度的温度日变化,致使不同时刻积雪层(尤其是上部)温度的测量值及温度梯度的计算结果难以相互对比和印证。因此认识积雪温度的日变化规律并在计算积雪温度梯度中消除日变化的影响作用,对揭示积雪层(特别是浅薄积雪层)的温度和热状况具有重要性。

空冰斗C₃测点北面60m处有连续的气温记录。统计分析表明,C₃测点积雪各层位温度的实测值与当日2:00, 8:00和14:00(北京时)的气温均呈显著的线性关系(表3)。

表3 空冰斗C₃测点积雪温度(ST)与气温(AT)的相关系数(N=26)

相关系数 深度(cm)	时 间		
	2:00	8:00	14:00
50	0.82	0.84	0.79
30	0.83	0.80	0.78
20	0.78	0.75	0.68
10	0.76	0.68	0.63
0	0.65	0.64	0.59

比较而言,积雪温度与气温的相关程度由表面向深层次而递减。另外,积雪层上部50cm的雪温与当日8时气温的联系最密切,而地面0—30cm雪层的温度与当日2时气温的相关最佳。上述事实表明积雪温度对气温变化响应的程度由上层向下层而逐渐下降,响应时间亦逐渐落后,这与热传导理论和观测实况是一致的。

基于上述相关方程,计算1990年1月1日至5月31日2, 8, 14, 20时C₃测点积雪各层位的温度,从而确定相应的日平均积雪温度(图4)。

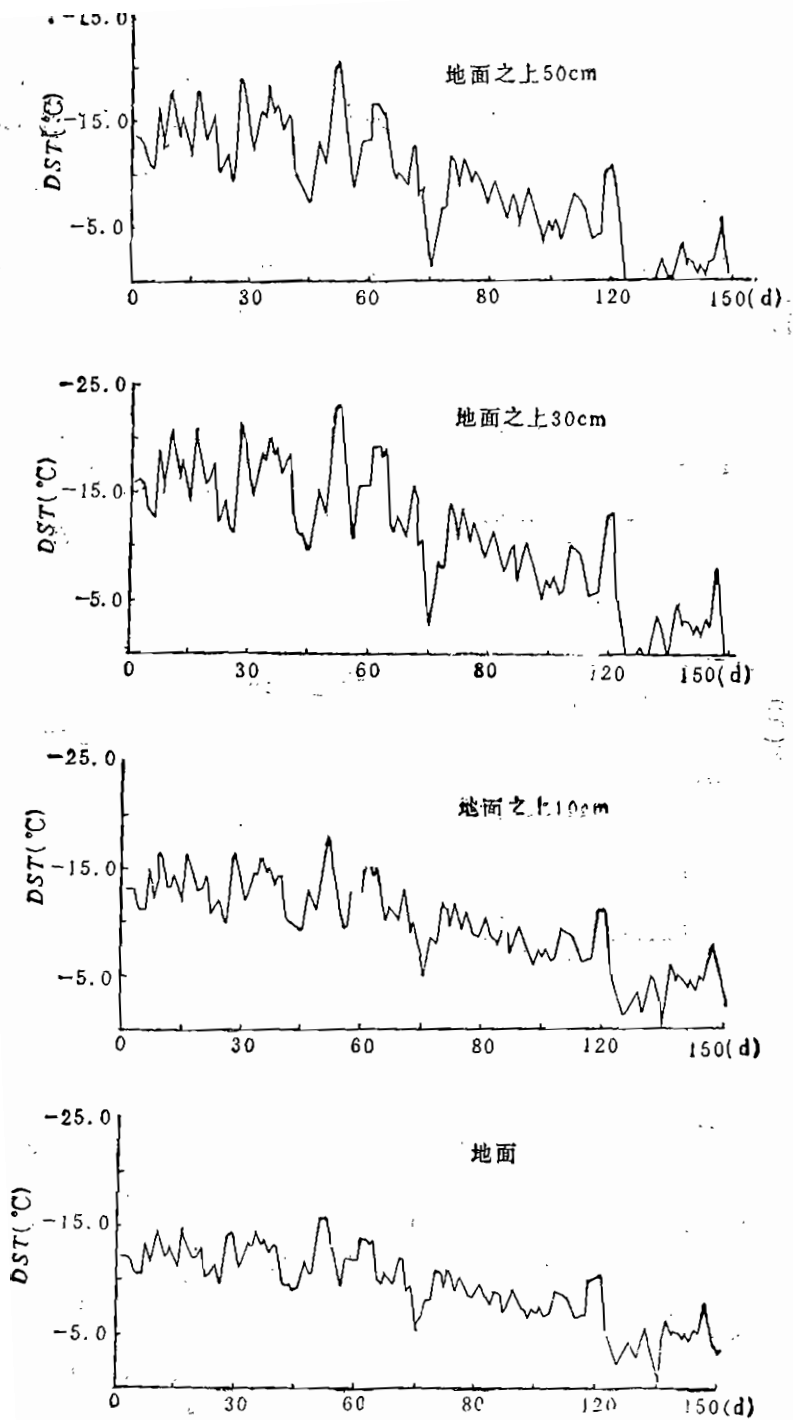


图4 C₃测点日平均积雪温度(DST)的时间变化

图4表明，积雪层上、中和下部日平均温度的变化过程完全一致‘无时相的落后，这是我们期望的结果。另外，积雪表面直接接受太阳辐射，当日平均气温较高时，积雪层上部的温度与气温相近，气温降低时，雪温比气温高1—5℃；积雪层中部的温度变化与气温过程的峰谷点几乎重合，而底部的温度在1，2月份明显高于气温（图5）。因此，积雪层中部日平均温度的日际变化幅度最大、上部次之、底部最小。

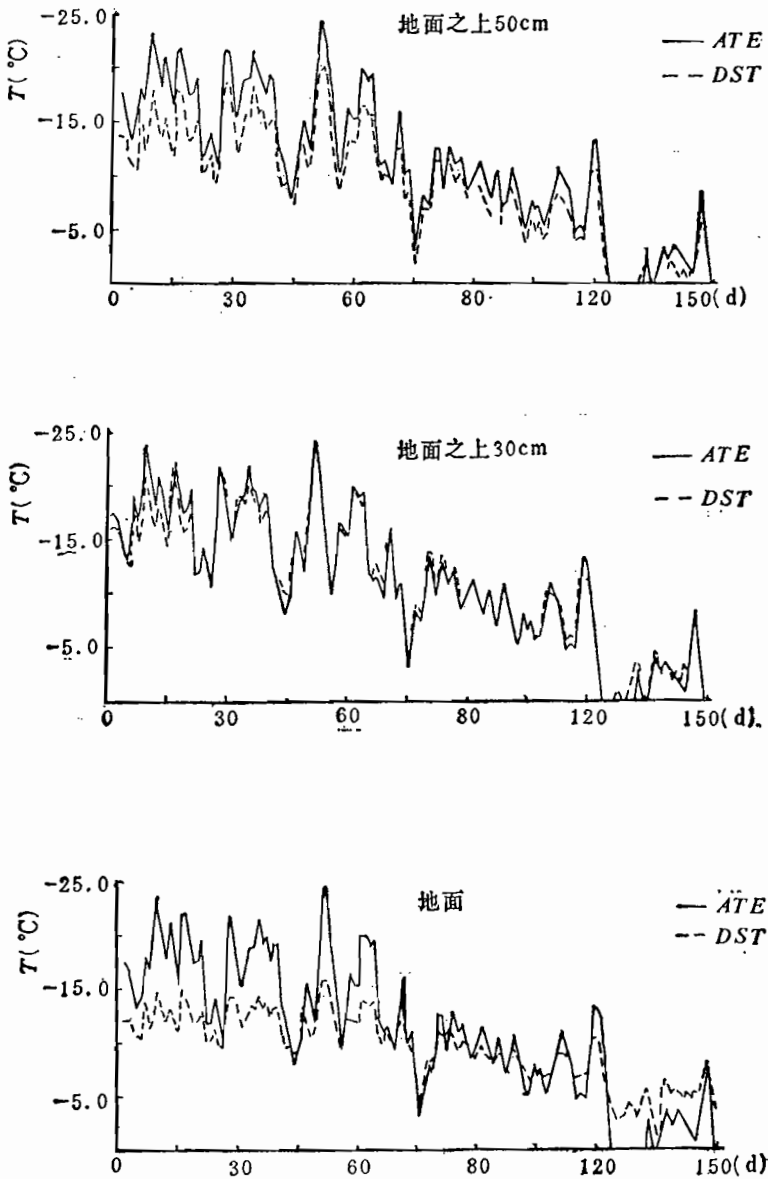


图5 C₃测点日平均气温 (ATE) 与日平均积雪温度 (DST) 的对应

就月平均温度而言；1—2月积雪温度较低，为冷期。温度剖面为积雪层中部；(极端值为-23.1℃)，上部次之，底部温度比上部高1.2—1.4℃。在此阶段，空

斗的月平均气温低于积雪层的温度，积雪层上部的温度比气温高 8°C 左右。3—4 月积雪各层位的温度均显著升高，为升温期，温度剖面未发生根本的变化。值得注意的是，积雪层下部的温度与气温接近，上部的温度比气温高 $2—3^{\circ}\text{C}$ ，而中部由于前期冷波的储存，雪温反而比气温低 0.5°C 。5 月份积雪温度由地面向上而升高，气温高于雪温，积雪层上部的温度首先达到最高值 0°C ，并向下层扩展，为积雪融化的暖期（图 6）。

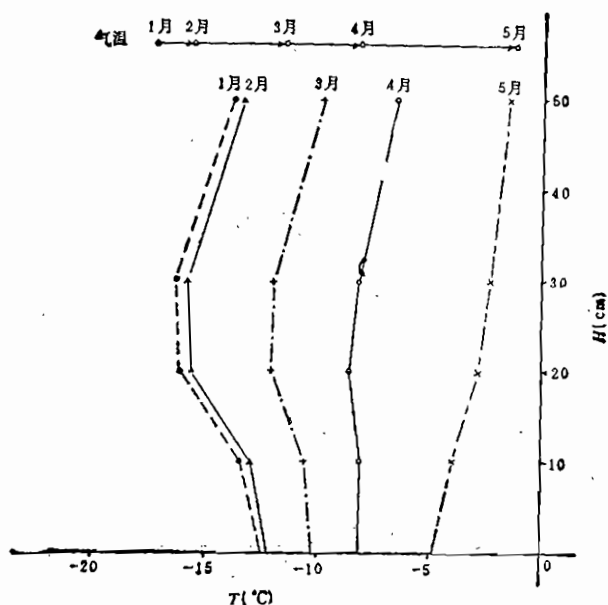


图 6 空冰斗 C_2 测点月平均积雪温度剖面

积雪层日平均温度梯度的分布及时间变化（图 7）与实际测量的结果基本一致，通常日平均温度梯度值小于实际测量值。

1 号冰川区无连续的气温资料，因此以 1 号冰川水文点 ($43^{\circ}06'N$, $87^{\circ}15'E$, 3 693 m) 的气温与 C_2 测点实测雪温建立相关，其显著性满足统计检查，但是计算所得 1—5 月日平均雪温剖面由雪层底部向上部持续升温，与实际测量雪温分布出入较大。尤其是地面以上 20 cm 处雪温的计算值明显偏高。究其原因，也许是 1 号冰川水文点地处冰川前沿东西向的冰碛谷地之底部，地形比较狭窄，加之海拔比 C_2 测点低 150 m，因此冬季和春初其温度过程对冰川 C_2 测点的代表性较差。白重瑗 (1989) 指出，由于夏季冰川对上覆气层的冷却作用，乌鲁木齐河源冰碛谷地至冰舌末端的气温直减率高达 $1.18^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

综上所述，得到如下主要结论：

(1) 乌鲁木齐河源冬季气候寒冷，积雪温度很低，实测最低瞬时温度和计算所得最低日平均雪温分别为 -23.4 和 -23.1°C 。

(2) 乌鲁木齐河源冬季地面积雪层中下部 (10—20 cm) 的负温梯度相当大。1—2 月份温度梯度的月平均值分别为 $-0.28^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 和 $-0.26^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ，实测最大瞬时值

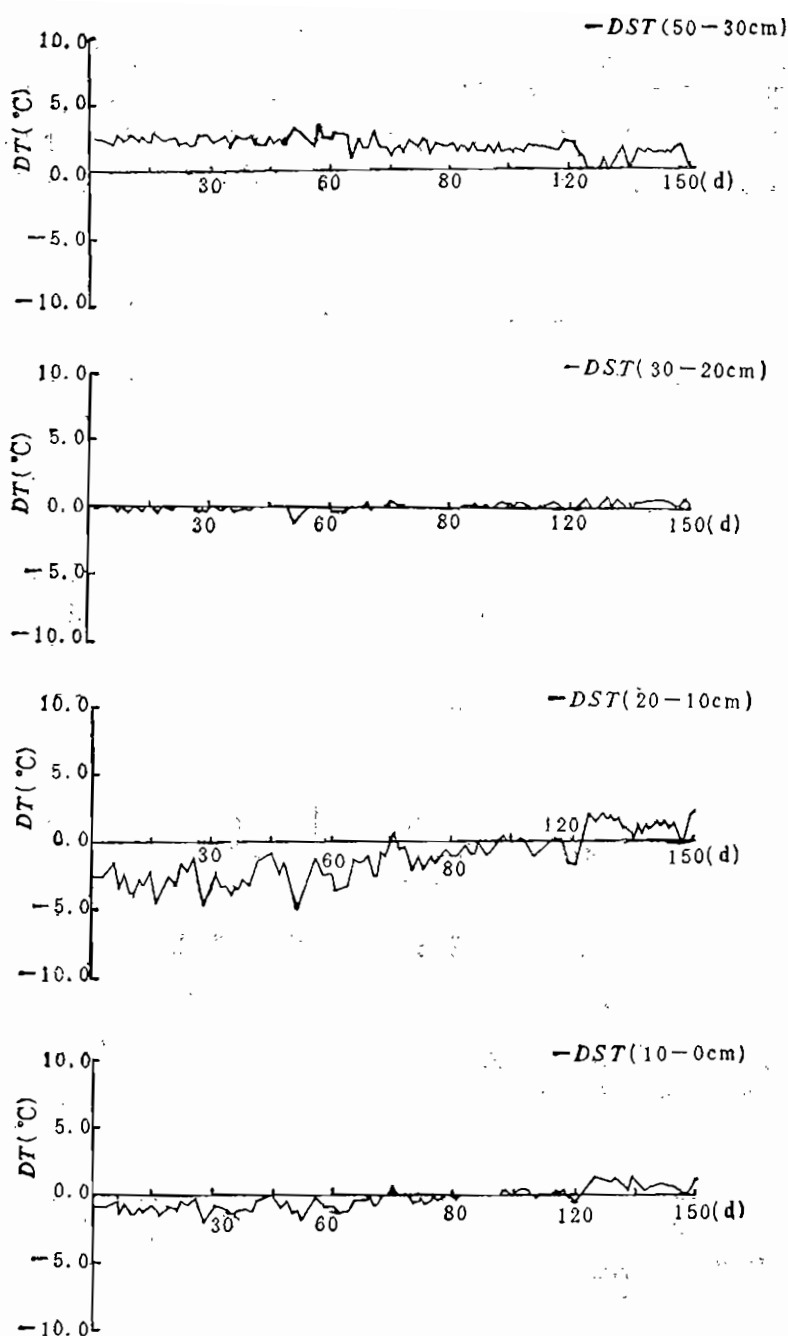


图7 C₃测点日平均积雪温度差(DT)的时间变化

分别为 -0.37 和 -0.58 $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 。

(3) 乌鲁木齐河源地面和冰面积雪的温度状况在严冬季节相差不大, 春季冰面积雪底部的温度明显低于地面积雪。地面积雪的温度变化过程比冰面积雪超前10天左右。

(4) 乌鲁木齐河源地面积雪的温度与气温之间的关系密切, 依此可估算积雪的日平均温度。

积雪表面融化之前,干雪层的热传递以传导方式为主。积雪表面融化后,融水向下渗透,到达温度低于 0°C 的深度时发生再冻结。 1g 水再冻结释放的潜热足以使 160g 雪的温度升高 1°C 。显然这对积雪层温度的升高是非常重要的。另一方面,水的导热系数($0.05\text{ w/m}\cdot\text{k}$)是空气($0.025\text{ w/m}\cdot\text{k}$)的20倍之多,融水充填干雪期雪粒间为空气所占据的空隙,使得湿雪的导热系数大幅度上升。由此可知,融化雪层的导热过程比干雪要复杂的多。本文依据的实测雪温资料多为干雪期,5月份积雪融化期的实测资料较少。因此,依据气温与雪温的相关关系计算5月份积雪温度是较粗略的,有待进一步验证和修正。

在积雪能量平均方程式中,地热流项比净辐射、对流和潜热交换都要小得多。然而,由于地热通量的符号通常在整个冬季不发生变化(Male *et al.*, 1981),因此它对积雪层底部温度的分布和变化的累积影响也许不小。乌鲁木齐河源积雪深度通常不超过 60 cm ,属于浅积雪类。实际观测表明,冬季地面和冰面测点积雪层底部和上部的温度均比较接近,春季两测点积雪底部的温度差异逐渐增大,上部温度的差别较小。因此我们认为冬季地面热状况对积雪温度分布和变化的影响范围主要在地面之上 $10\text{--}15\text{ cm}$ 的底部,而积雪层中部、上部和表层的温度状况主要受气温变化的制约。基于这种认识和资料条件,本文较多地分析了气温与积雪温度的关系。为了揭示地下热流对积雪温度的影响及其在积雪融化中的贡献,我们计划测量地温剖面,估计冻土中自由水含量和含冰量,确定冻土导热系数(K),用热传导方程计算地下热流,并与热流板的实际测量结果比较。

致谢:天山冰川观测实验站提供野外观测和生活条件,黄茂恒教授在计算和总结中给予热情指导,谨致谢意。

参 考 文 献

- 王彦龙, 1987. 滇北和天山西部季节性积雪的若干物理特征. 中国地理学会第二届全国冰川学术会议论文集, 兰州: 甘肃人民出版社, 173—176
- 白重璠, 1989. 冰川与气候关系的研究. 冰川冻土, 11(4), 287—297
- 任贾文, 1985. 天山乌鲁木齐河源1号冰川温度研究. 冰川冻土, 7(2): 145—152
- 张志忠, 1987. 天山巩乃斯河谷季节性积雪的温度及其与冻土深的关系. 冰川冻土, 9(1): 69—79
- 杨大庆 *et al.*, 1988. 天山乌鲁木齐河源降水观测误差分析及其改正. 冰川冻土, 10(4): 384—399
- 秦大河 *et al.*, 1988. 南极洛多姆冰帽表面活动层内的温度特征和热学性质. 南极考察论文集, 第5集(冰川学), 北京: 科学出版社, 84—92
- 黄茂恒 *et al.*, 1985. 天山乌鲁木齐河源1号冰川冰雪表面温度状况. 天山乌鲁木齐河冰川与水文研究, 北京: 科学出版社, 25—30
- 蔡保林 *et al.*, 1987. 冰川温度的深钻孔研究. 科学通报, 32(22): 1732—1733
- Langham E J, 1981. Physics and properties of snowcover, Handbook of snow. Toronto, Pergamon Press, 295—298
- Male. D H, *et al.* 1981. Snowcover ablation and runoff Handbook of snow. Toronto, Pergamon Press, 395—396
- Paterson W S B, 1981. The physics of glaciers. 2nd edition, Oxford, Pergamon Press, 172—175
- Yang Daqing *et al.*, 1989. Research on analysis and correction of systematic errors in precipitation measurement in Urumqi River Basin. Tianshan, Proc. International Workshop on Precipitation Measurement, St. Moritz, Switzerland, 173—179

乌鲁木齐河流域的积雪*

张志忠 杨大庆

1 研究区的基本情况

乌鲁木齐河源位于天山中段,天格尔峰北坡的现代冰川区。流经高山荒漠草甸、中山林峡谷和山前平原,经青年渠引入乌拉泊水库。青年渠首以上的流域面积约 $1\ 084\text{km}^2$,该河的主要集水区域。流域积雪状况及其分布对于正确分析、评价河流径流量的变化其规律性具有重要的作用。自1987年起笔者对流域内(包括河源区1号冰川、空冰斗、山带和山前带)的积雪进行了比较系统地观测。先后在空冰斗内设立测量积雪深度的尺53根,用以测量不同地形和朝向部位的积雪积累规律。利用1号冰川物质平衡花杆量冬季积雪深度,以便于和空冰斗积雪进行比较。通过线路考察和不定期测量积雪密和积雪形成条件分析,对流域内冬季积雪状况有了初步认识。

2 乌鲁木齐河流域积雪的形成条件

积雪是大气降水以固态形式落在地面逐渐累积而形成的雪层,它是地表面气温低于 0°C 以下地区或寒冷季节的一种自然景观和天气现象,受气温和降水量的控制(李培基 *et al.*, 1983)。考察观测发现,乌鲁木齐河流域由于特殊的位置和冬季稀少的降雪,积雪形式大致可分为:1) 季节瞬时积雪,即降落到地表面的雪层在气温、降水量、朝向、下垫面性质综合因素作用下,仅在降雪天或降雪停止以后的1—2天内消失,故称为时积雪现象;2) 季节不稳定积雪和稳定积雪,即降落到地表面的雪层,能够维持1个月以上的称为稳定积雪,不足1个月的为不稳定积雪;3) 永久积雪,即积雪日数以5天为界。乌鲁木齐河源区冰川粒雪线以上的积雪都是永久积雪,它是冰川赖以存在物质基础。粒雪线以下的广大范围内的积雪都是季节稳定积雪。不稳定积雪和瞬时积雪现象,是本文讨论的主要对象。

降雪量是积雪的物质基础,气温是积雪能否持久的条件,地形朝向、地表面性质和海拔等是影响积雪的因素。现分别讨论如下。

乌鲁木齐河流域自下游向上游月平均气温低于 0°C 的出现时间具有明显的差异(表1)。

由表1可见,作为积雪能否存在的条件是小于 0°C 的月平均气温一般维持时间都在1个月以上,并且随海拔升高而延长,到3 800 m以上积雪期可延长到9个月以上。

*天山冰川观测试验站基金资助项目。

表1 乌鲁木齐河流域各站月平均气温低于0℃的值(℃)

站名	高度	统计年代	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
乌鲁木齐	917.9	1976—1980			-4.2	-11.6	-15.4	-12.1	-0.4		
英雄桥	1920	1984—1989			-6.3	-9.9	-12.3	-11.4	-5.3		
后峡口	2130	1985—1989			-6.4	-9.8	-13.0	-11.8	-6.0		
跃进桥	2400	1984—1989			-5.7	-9.8	-11.7	-10.6	-5.1		
总控制水文点	3400	1985—1989		-5.7	-12.3	-13.1	-16.5	-15.9	-12.1	-6.1	-1.0
大西沟	3539	1985—1989		-5.6	-10.9	-11.8	-15.2	-15.1	-11.9	-5.7	-1.3
空冰斗水文点	3805	1985—1989	-1.0	-7.0	-12.2	-13.9	-17.5	-17.2	-13.7	-6.6	-3.1

降水量是月平均气温小于0℃时期内积雪的物质基础。乌鲁木齐河流域的降水量分布差异很大(表2)。由表2可见,该流域在月平均气温小于0℃时,其月降水量随海拔升高而减少。在总控制水文点以上能够形成积雪的降水量多出现在9—10月和第二年4—5月。乌鲁木齐则多出现在11—12月和第二年的2—3月。积雪观测也证明,空冰斗内

表2 月平均气温小于0℃时的月降水量表(mm)

站名	高度(m)	统计年代	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
乌鲁木齐	917.8	1976—1980			18.6	14.6	10.6	21.3	34.1		
英雄桥	1920	1984—1989			10.1	8.0	4.2	7.4	16.5		
后峡口	2130	1986—1989			6.0	2.4	1.0	4.2	6.3		
跃进桥	2400	1985—1989			3.0	2.6	2.0	4.1	6.3		
总控制水文点	3408	1985—1989		16.0	2.3	2.3	1.5	3.4	3.6	11.8	44.0
大西沟	3539	1985—1989		17.5	2.5	3.1	3.3	5.9	8.5	18.0	45.4
空冰斗水文点	3805	1985—1989	23.6	25.3	1.6	1.7	1.9	3.9	6.1	12.0	48.2

一般在9—10月形成积雪,由于太阳辐射,风及蒸发等因素影响,到11月初,除背阴和低洼处外,基本无积雪现象。空冰斗内的积雪一般从4月开始稳定并达到最大值,这是空冰斗内径流形成的物质基础。与空冰斗同高度的1号冰川则从9—10月形成稳定积雪,到第二年5月初雪线以下冰面积雪达到最大值。乌鲁木齐和山前地带一般11和12月形成积雪,2—3月也常出现积雪。英雄桥以上至空冰斗的广大范围内,由于这一时期降水量十分稀少,每次出现降水现象时仅有积雪现象,降水过后,只有背阴的山坡和迎风坡在10月下旬至11月上旬有不稳定积雪和少数森林带内形成深度不超过15cm的稳定积雪外,均属于瞬时积雪地带。

该流域降水量的这种分布规律受下列因素的影响:流域内冬季大气降水的水汽来源大致与河流流向呈平行或具较小的夹角。大气水汽的优势风向决定了流域内降水具有迎风坡多于背风坡,山前地带多于山脉腹地的特征。迎风坡降水增加,并且在山地边缘地

区表现特别明显，而在背风坡由于空气湿度减少（迎风坡卸载）气流发育逐渐减弱，降水随之减少（Северский *et al.*, 1983）。所以，冬季降水气流沿高度向山区内部移动过程中，在出山口附近的南台子一带首遇山体屏障，仅有少量一股冷湿气流沿峡谷乘势上行。大范围的受阻气流首先在迎风坡卸载，所以山前地带的降雪量大，积雪深度也大。考察发现，在永丰乡至南台子段积雪常比中山带大。例如，1989年10月27—29日一次连续降雪过程过后，在11月2日进行线路考察发现，永丰乡（1 140 m）雪深为15 cm，海拔1 240 m的四大队附近雪深为10 cm，海拔1 640 m处为6 cm，南台子（1 770 m）雪深仅为2 cm，达坂沟附近（1 960 m）为3 cm，后峡口（2 310 m）为8 cm。跃进桥以上为无明显积雪地带（冰川带例外）。积雪的这种分布充分证明，大气水汽在迁移途中遇有山体阻滞，迎风坡卸载后的微弱气流在前进中不断上抬，不断卸载，空气水汽含量逐渐减少。所以，在翻越达坂沟北侧的山脊后，水汽突然到达达坂沟—后峡口段的开阔山间谷地，风速加大，在后峡口遇山体阻滞，再次卸载，出现了达坂沟—后峡段降水十分稀少，无稳定积雪现象。而后峡口附近的宰尔德沟，哈熊沟迎风坡和河谷地带降水增加，出现不稳定积雪和稳定积雪。经过两次大规模卸载后的气流湿度明显减弱，所以后峡口以上至冰川带以下的高度范围内降水十分稀少，不具备积雪形成的条件，仅有零星的瞬时雪集聚现象。山区除了绝对高度对区域降水（雪）的分布有决定性作用外，斜坡的朝向对优势方向的大气水汽的迁移比例也产生很大的影响。

流域冬季降水量的分布还受准噶尔盆地冬季逆温层的影响（王德辉 *et al.*, 1985）。乌鲁木齐河流域的逆温层高度大致在2 000—2 500m 范围内。它在一定程度上限制冷湿气流的抬升，即使是强冷空气也难冲破逆温层而上升，所以，在2 000m以上的高度带内冬季降水十分稀少。不具备形成积雪的降水。

坡向和下垫面性质对积雪的形成和积累也有十分明显的影响，在同一高度带内，降水量和气温的变化受坡向的严格控制，下垫面性质则对冬季降水和气温共同作用下的积雪产生明显地影响。坡向不仅对优势方向的大气水汽迁移有影响，同时由于坡向对太阳辐射能量的吸收量也产生大的影响。正因为如此，冰川区的辐射亏损随着太阳高度角的降低而明显增大。空冰斗则出现截然不同的情况，随太阳高度角的降低，辐射亏损反而减少，并在冬季为负值。这表明，在秋分点以后，这里不仅没有亏损，反而比平坦地面多

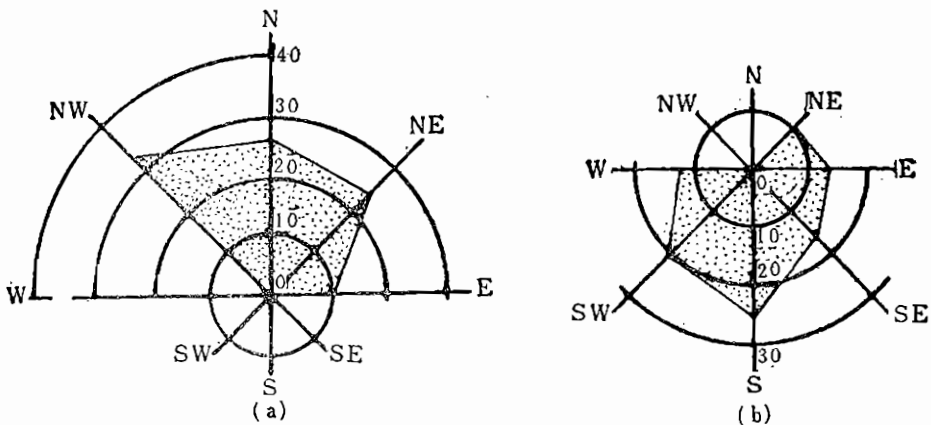


图1 1号冰川东支 (a) 和空冰斗 (b) 坡向分布频率图 (白重媛 *et al.*, 1989)

吸收太阳辐射能9.5%和16.1%。白重瑗等(1989)的研究证明,在秋分以后的冬半年,冰川区辐射接收能量明显下降。当太阳偏角由 0° 降低至 -23.5° 时,其相应地接收能量由59.7%减少到40.6%,从而造成有利于冰雪积累的条件。而在空冰斗内接收的辐射能量反而随太阳偏角值的降低而增加,其相应百分率由80.5%增大到95.2%。因此形成不利于冰雪积累的热量条件。

由图1明显看出,1号冰川和空冰斗坡向分布频率有明显的差异,从而形成了目前这一高度带不同的下垫面,1号冰川以现代冰川占据,而空冰斗则为无冰分布的高山永冻土为主的荒漠草甸下垫面这样的分布格局。正因为如此,冰川面和永冻土面上的积雪深度分布也有十分明显的差异(图2,3)。从图2和图3上可以看出,空冰斗最大积雪

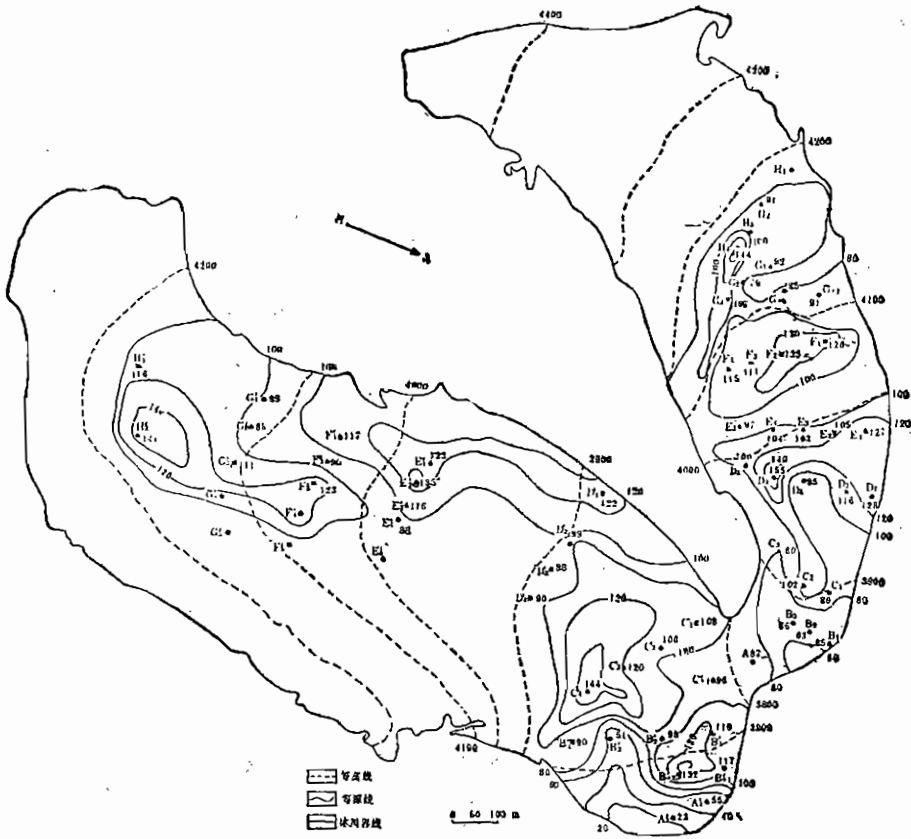


图2 1号冰川1989—1990年最大积雪深度等值线图

深度比1号冰川小,而且分布范围也比1号冰川小,并且具有明显的不对称性。这除了山坡朝向对优势风的影响外,坡向对积雪的影响也被明显地表现出来。同时从图上也可以看出,风的再搬运作用是造成山坡积雪深度差异的原因之一。例如,空冰斗A排测雪尺位于冰斗口的突出部位,当上升气流爬至冰斗口时,遇平坦开阔地形后即加速前进,并携带A排地面雪粒前进,在低洼、背风处风速减弱,雪粒沉积,所以,低洼背风处的

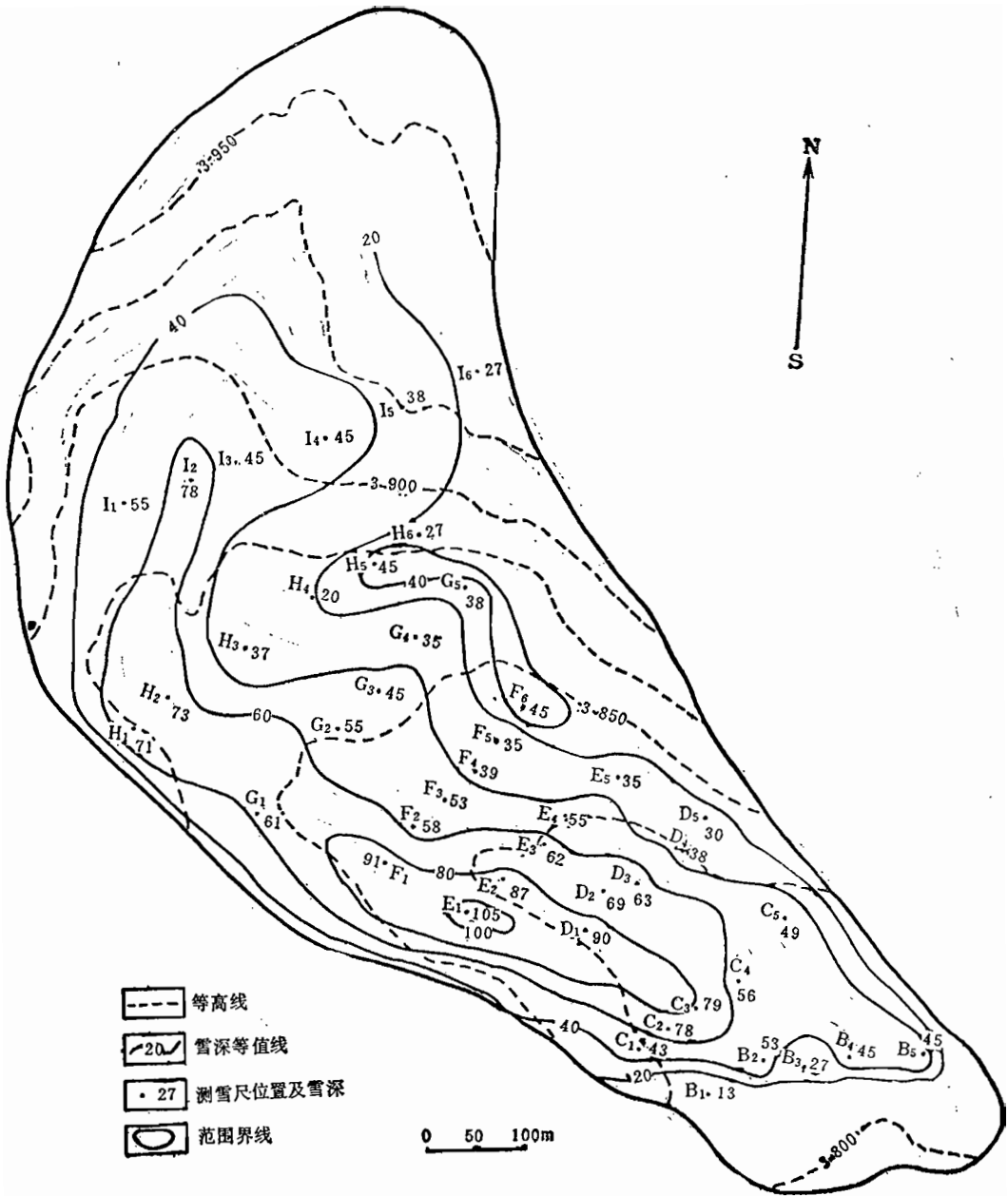


图3 空冰斗1989—1990年最大积雪深度等值线图

积雪深度比凸起迎风处大。图3不仅反映出风的作用，而且雪崩使冰川带粒雪线附近积雪深度大于非雪崩补给的冰面。

3 积雪的时-空变化规律

考察观测发现，乌鲁木齐河流域积雪具有明显的时-空变化规律。冰川带雪线以上

为常年永久积雪带，其分布高度下限变化在 4 000—4 200m 之间。雪线以下至 3 000 m 高度带内能够保证积雪形成的负温期长达 9 个月左右，即从 9 月开始到第二年 5 月中下旬。但是由于受降水量小的限制，加上坡向和风的影响，仅有积雪现象，除迎风背阴的斜坡有较薄的不稳定积雪外，绝大部分山坡只有瞬时积雪。中山森林带积雪一般形成于 11 月下旬至第二年 3 月下旬终至，是瞬时积雪、不稳定积雪和稳定积雪并存的地带。山前地带及平原区 11 月下旬至 12 月上旬出现积雪，第二年 2 月下旬或 3 月初终至。随降水量的年际变化，常有不稳定积雪和稳定积雪交替出现的现象。

流域内的季节积雪现象随海拔有规律地变化。秋末冬初季节积雪现象的分布界限随海拔降低而下移。冬末春初，则随海拔上升，积雪现象的分布界限逐渐上移，至 7 月中旬或下旬，季节积雪的分布下限移到雪线附近。8 月下旬到 9 月初季节积雪下限开始下移。直到 11 月下旬可移至海拔 1 000 m 左右的平原区。

4 流域积雪的密度和密实化过程

流域内除高山冰川带永久积雪外，积雪深度都不大，最大积雪深度很少超过 20 cm，而且季节不稳定积雪和局地的稳定积雪多分布在迎风背阴的斜坡，积雪密度和密实化过程的观测试验难度很大，目前还没有进行过系统观测。文中所指密度及密实化过程，仅仅是指新雪的密度变化及新雪的自然沉降现象。新雪密度随时间变化及自然沉降量列于表 3。

表 3 乌鲁木齐河流域新雪密度随时间变化

观测时间 (11:00 - 12:00)	雪深 (cm)	气温 (℃)	雪温 (℃)	平均密度 (g/cm ³)
1989.10.28	10	-4.4	-2.0	0.075
1989.10.29	8	-13.2	-5.8	0.104
1989.10.30	6	-4.2	-4.0	0.159

由表 3 可见，积雪密度随时间变化而增加，积雪自然沉降量在降雪停止以后的 3 天内由 10cm 降到 6cm，沉降率为 40%。雪的密度随雪的“年龄”而增加是密实化作用的结果。

由于该流域内的积雪多属季节不稳定积雪，积雪的密实化和变质作用过程常被雪的融化-再冻结作用所代替。一般在积雪稳定 3 天以后，雪层表面常因局部融化、太阳辐射和风的作用而出现较硬的融-冻冰壳，所以无法进行密度和密实化的观测。加之积雪深度不大，积雪的变质作用常被融水渗浸和冻结，晶体的变质作用难以进行彻底而消亡。

参 考 文 献

- 王德辉、张丕远、1985. 天山乌鲁木齐河谷的气候特征. 冰川冻土, 7 (3): 239
 白重琰 *et al.*, 1989. 天山乌鲁木齐河源冰川与空冰斗辐射气候的计算结果. 冰川冻土, 11 (4): 340
 李培基、米德生, 1983. 中国积雪的分布. 冰川冻土, 5 (4): 11
 Северский, И, В Блазовещенский В П, 1983. Оценка Главной опасности горной мерзлоты.
 Издательство Наука Казахской ССР. Алма-Ата С. 79—80

The Chemical Content of Snow and Water in the Daxigou Valley, Tianshan, PRC

Mark W. Williams[ⓐ]

1 Introduction

The glaciochemical record contained in the glaciers of central Asia represents a valuable resource that can be used to document the atmospheric deposition of this region and to reconstruct past regional climate. Recovering representative long-term glaciochemical records from central Asia requires understanding the processes which control the chemical content of snow and the local-to-regional scale complexities (Wake *et al.*, 1990). Understanding the representativeness of individual snow samples is imperative when interpreting regional atmospheric deposition or reconstructing past regional climate from glaciochemical records. Chemical inputs to mountain basins can vary spatially and temporally in a complex and interactive manner. Knowledge of the source of solutes is also essential to interpret the atmospheric deposition of the region. The solute content of snowpacks in central Asia may provide background measurements of deposition unaffected by anthropogenic emissions.

Interpretation of glaciochemical data recovered from snow pits in central Asia also necessitates understanding the processes that control the chemical content of the snowpack after deposition. Aeolian deposits from the arid regions of central Asia have been shown to be an important source of solutes in the snowpack of central Asia (Jenkins *et al.*, 1987; Wake *et al.*, 1990). Dissolution of aeolian dust in central Asia may change the ionic content of snow and increase the difficulty of interpreting the glaciochemical record.

Snowpack runoff from glaciers is the major source of solutes in stream waters of many alpine basins. However, the relative contributions of snowpack runoff and catchments to the solute content of stream waters is unknown in western China. In this report I investigate the processes

[ⓐ] Computer Systems Laboratory, University of California, Santa Barbara, CA, USA 93106.

that determine the glaciochemical record in the headwaters of the Urūmq River. I also investigate the relative contributions of snowpack runoff and catchment processes to the solute content of headwater streams in the basin of the Urumqi River.

2 Methods

I investigated four headwater basins, three with active glaciers (Glacier 2, west and east branches of Glacier 1) and one basin free of glacial ice. The research was conducted in May of 1990, about two weeks after maximum accumulation of the winter snowpack. Snow samples were collected from four pits in each of the four headwater basins. Four replicate snowcores were sampled at each pit; snowcores were separated by a horizontal distance of one meter. Vertical, contiguous cores were collected, in increments of 400mm, from the snow-air interface to either the snow-firn or snow-ground interface. Snow was transferred from the cores into new polyethylene bags. Pit sites within each basin were located at high-, mid-, and low-elevations along the center line of the basin, and on a north-facing slope at mid-elevation; elevations ranged from 3 775m to 4 300 m. Sampling strategy was designed such that analysis of variance (ANOVA) statistical tests could be used to evaluate the presence or absence of spatial variation in the chemical content of accumulated snow. Snow temperatures were taken every 100mm and were the mean of three dial-stem thermometers ($\pm 1.0^\circ$). Event samples from new snow were collected in bulk containers that were opened to the atmosphere at the start of snowfall. Samples of new snow were transferred to new polyethylene bags after collection. Each snow sample was analyzed for pH, conductance ($\mu\text{S cm}^{-1}$), and solute concentrations ($\mu\text{eq L}^{-1}$ or $\mu\text{mol L}^{-1}$); a subset of samples was analyzed for acid neutralizing capacity (ANC).

Snow samples were melted in the collection bags the night after collection; air temperatures ranged from 0°C to 10°C . Air-equilibrated pH, specific conductance, and ANC were measured on unfiltered samples immediately after samples were melted. Subsamples were filtered through pre-rinsed, 47mm Gelman A/E glass fiber filters with ca. $1\text{-}\mu\text{m}$ pore size into 125ml polyethylene bottles. These samples were hand-carried back to the United States for the analysis of major inorganic ions and reactive silica at my analytical laboratory at the University of California, Santa Barbara.

Grab samples of stream water were collected at the Dry Cirque

gauging station, Upper Station bridge, Glacier 6 bridge, and at the Total Control gauging station. Samples were collected daily from 13 May to 19 May, between the hours of 17.00 and 21.00. Water samples were treated the same as melted snow samples.

The pH measurements were made with a Ross 8104 combination electrode and Orion pH meter. For each series of measurements the electrode was calibrated with pH 7.00 and pH 4.00 reference buffers. The electrode was rinsed with an aliquot of sample, and the temperature compensated pH determination made on a fresh, quiescent sample after five minutes. Conductance was measured with a YEW field meter and glass electrode with a 1.0 cell constant. Simultaneous temperature measurements were made, and conductance was standardized to 25°C using a coefficient of 2 % per °C. Calcium, magnesium, sodium, and potassium were analyzed with a Varian AA6 atomic absorption spectrophotometer. Chloride, nitrate, and sulfate were measured by ion chromatography (Dionex Model 2010 i) employing chemical ion suppression and conductivity detection. Reactive silica (Si) was measured by the silica-molybdate method. Acid neutralizing capacity (ANC) was measured using the Gran titration method. Analytical techniques, detection limits and measurement precision for the various solutes are similar to those published in Williams and McLack (1991).

3 Results and discussion

Snow depths for all sixteen pits ranged from 0.47 to 1.51m. Snowpack temperatures were 0°C and free water was observed in all snowpits. Distinctive layers of dust were observed in each snowpit in the Tian Shan. These dust layers were often twenty to thirty mm in thickness and occurred about every 200 to 300mm. Fifty-nine snowpack samples were usable; three samples were opened in transit and only two samples were taken at the high-elevation snowpit on the west lobe of Glacier 1 due to the steepness of the site. Seven samples of new snow were collected.

The solute content of all snow samples are listed in Appendix 1. The mean pH of the snowpack was near neutral, 6.91. The specific conductance of the snowpack varied from 3.7 to 13.9 $\mu\text{S cm}^{-1}$, with a mean of 8.9 $\mu\text{S cm}^{-1}$. The mean ANC concentration of 50.2 $\mu\text{eq L}^{-1}$ composed 61% of the total anionic charge (Σ^-) of the snowpack (Figure 1). Sulfate had an average concentration of 16.2 $\mu\text{eq L}^{-1}$ and represented

20% of Σ^- . The mean Ca^{2+} concentration of $52.5 \mu\text{eq L}^{-1}$ represented 64% of the total cationic charge (Σ^+) of the snowpack (Figure 1). Sodium, Mg^{2+} , and K^+ represented 20% of Σ^+ . Ammonium, calculated as Σ^- minus Σ^+ , was $12.7 \mu\text{eq L}^{-1}$. Concentrations of Si ranged from 0.1 to $1.1 \mu\text{mol L}^{-1}$, with a mean of $0.4 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Spatial variation of solutes within an individual snowpit was small, but there was significant spatial variation among snowpits. The standard deviation within each pit was about 10 percent of the mean, illustrated here for concentrations of SO_4^{2-} and Ca^{2+} (Figure 2). Snowpits were segregated into groups of high-, mid-, and low-elevation and north-facing aspect, on the east branch of Glacier 1. Concentrations of solutes were generally highest on north-facing aspects and lowest at the snowpits located on sites at low-elevation. Results of the ANOVA test show that the solute content of snowpits within the east branch of Glacier 1 varied significantly at the $p < 0.05$ level.

However, there was no significant variation among basins for most solutes, using a one-way ANOVA and $\alpha = 0.05$. Using Ca^{2+} as an example, there was little variation in the mean concentrations of Ca^{2+} among the east branch of Glacier 1, the west branch of Glacier 1, Glacier 2, and the Dry Cirque (Figure 3). Mean concentrations of Ca^{2+} ranged from about 50 to $55 \mu\text{eq L}^{-1}$. The standard deviations among basins were high relative to the standard deviations within an individual snowpit, about 30 percent of the mean. The probability value of 0.59 indicates that there was no significant variation in concentrations of Ca^{2+} among basins.

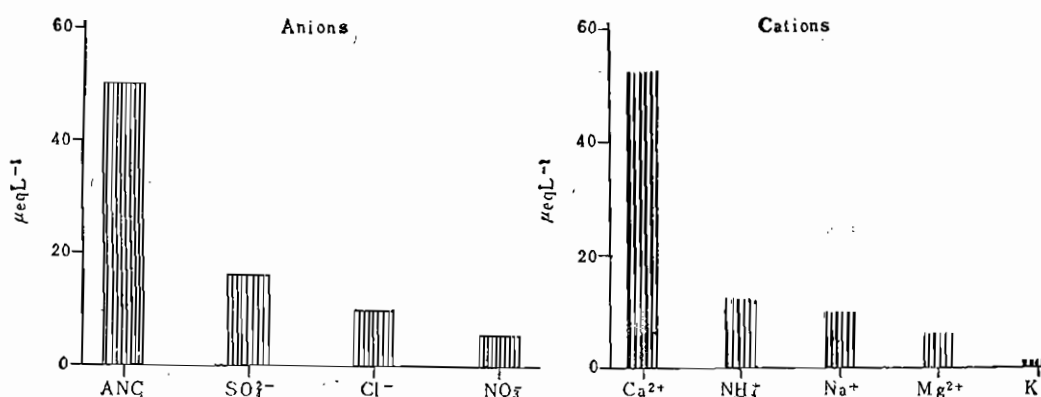


Fig. 1 Mean concentrations of individual solutes ($\mu\text{eq L}^{-1}$) in the snowpack of the Daxigou Valley ($n=59$).

Anions are shown in the upper panel
and cations in the lower panel

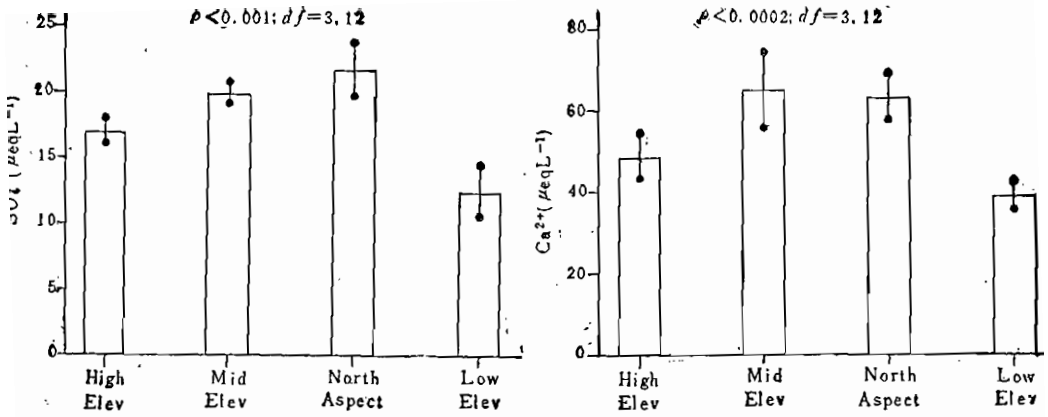


Fig. 2 Mean concentrations of each of four snow pits located at high-, mid-, and low-elevations, and a north-facing aspect, on the east branch of Glacier 1. Lines are one standard deviation from the mean value. Sulfate is shown in the upper panel and Ca^{2+} in the lowerpanel.

The probability value from a one-way analysis of variance test indicates that concentrations of SO_4^{2-} and Ca^{2+} varied significantly among sites within the basin

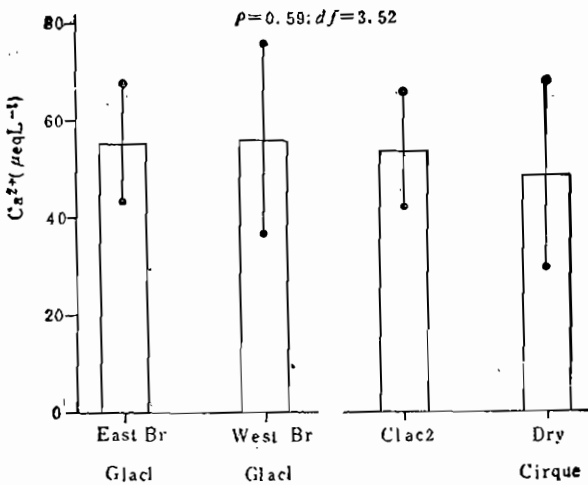


Fig. 3 Mean concentrations of Ca^{2+} in each of the four basins. Lines are one standard deviation from the mean value. The probability value from a one-way analysis of variance test indicates that concentrations of Ca^{2+} did not vary significantly among basins

Sources of solutes were investigated by looking at associations among ions. A parametric correlation analysis for all ions in the snowpack indicates that ANC was highly correlated with Ca^{2+} ($r=0.82$, $n=32$) and inversely correlated with H^+ ($r=-0.63$, $n=32$). Specific conductance was negatively correlated with H^+ ($r=-0.76$, $n=59$). Sodium was highly correlated with K^+ ($r=0.75$, $n=59$) and with Cl^- ($r=0.90$, $n=59$), and not with any other ions. The Na:Cl molar ratio of 0.98 was slightly higher than the sea salt ratio of 0.85. Analysis of linear regression shows that SO_4^{2-} was significantly correlated with Ca^{2+} ($\text{SO}_4^{2-}=1.74+0.27\text{Ca}^{2+}$, $r^2=0.70$, $n=59$). Adding Mg^{2+} in a multiple regression increased the r^2 to 0.80; adding Na^+ did not increase the r^2 . Multiple regression analysis also shows that Ca^{2+} was significantly correlated with ANC and SO_4^{2-} ($\text{Ca}^{2+}=2.14+0.47\text{ANC}+1.60\text{SO}_4^{2-}$, $r^2=0.82$, $n=32$).

Anthropogenic sources appear to contribute about 70% of the SO_4^{2-} in the snowpack of the Tian Shan. Mean SO_4^{2-} concentrations in snow from three areas in the central Himalayas varied from 4.8–7.7 $\mu\text{eq L}^{-1}$ (Wake and others, 1990). Sulfate concentrations in precipitation from remote areas of the world is around 4 $\mu\text{eq L}^{-1}$ (Galloway and others, 1987), similar to the SO_4^{2-} concentrations in the Himalayas. The mean SO_4^{2-} concentration in the snowpack of 16.2 $\mu\text{eq L}^{-1}$ is about 3-fold higher than SO_4^{2-} concentrations reported for the central Himalayas and remote areas of the world. However, SO_4^{2-} concentrations in the Tian Shan are many times lower than SO_4^{2-} concentrations reported for other areas of China. Galloway *et al.* (1987) report SO_4^{2-} concentrations of rural areas in southern China that varied from 77–147 $\mu\text{eq L}^{-1}$; Zhao and Sun (1986) report SO_4^{2-} concentrations from urban areas of China that ranged from 273–345 $\mu\text{eq L}^{-1}$. The relative contributions of anthropogenic SO_4^{2-} to the Tianshan from regional sources and from local sources, such as the steel mill located down canyon, cannot be separated using our data set.

Much of the SO_4^{2-} appears to be deposited to the Tian Shan in association with basic cations. Calcium and Mg^{2+} accounted for 80% of the SO_4^{2-} in the snowpack. Deposition of SO_4^{2-} in association with basic cations may also contribute to the relatively high pH of 6.34 for new snow. Sea salts appear to be the main source of Na^+ and Cl^- , and perhaps K^+ , in the snowpack of the Tian Shan. Sea salt as a source of Na^+ and Cl^- is indicated by both the high correlation between Na^+ and Cl^- and by the congruency of the Na:Cl molar ratio with that of sea salt. Assuming that all Cl^- comes from sea salt, about

12% of the solute content in snow has a maritime component.

The solute content of new snow was at times different than that of the snowpack. The pH of new snow was 6.39 and had a conductance of $4.7 \mu\text{S cm}^{-1}$. Calcium and ANC concentrations in new snow of $21.6 \mu\text{eq L}^{-1}$ and $15.6 \mu\text{eq L}^{-1}$ were 41% and 33% of Σ^+ and Σ^- in new snow, respectively. Correlation analysis shows that there was a small inverse correlation between conductance and H^+ ($r = -0.22$). Acid neutralizing capacity was not correlated with H^+ ($r = 0.07$). Using a two-tailed t-test, the solute content of the snowpack and new snow differed significantly at the $\alpha = 0.005$ confidence level for the following parameters. Total ionic charge of the snowpack ($n = 59$) was $164 \mu\text{eq L}^{-1}$ and total ionic charge of the new snow ($n = 7$) was $65 \mu\text{eq L}^{-1}$. Conductance, pH, ANC and Ca^{2+} were significantly higher in the snowpack than in new snow. In contrast, SO_4^{2-} concentrations did not differ significantly between the snowpack and new snow ($p = 0.40$). Furthermore, SO_4^{2-} concentrations accounted for 37 % of the Σ^- of new snow and for only 20% of the Σ^- in the snowpack.

Post-depositional alterations of the solute content of snowpacks is indicated by the significant differences between solute concentrations in the snowpack and new snow. Seasonal differences in deposition may account for the observed differences in the solute content of the snowpack and new snow. However, the similarity in concentrations of SO_4^{2-} in the snowpack and in new snow indicates that the solute content of snowfall was similar for the snowpack and new snow, for all ions. Furthermore, an additional source of anions after deposition is indicated by the decrease in the ratio of SO_4^{2-} ; Σ^- in the snowpack relative to new snow. Dissolution of dust in the snowpack may be responsible for the increase in solute content of the snowpack relative to new snow. Wake *et al.* (1991) also report that the dissolution of dust increases the solute content of the snowpack in the Tianshan. Moreover, dust from western China has been shown to change the chemical content of snow in areas as distant as the Canadian Arctic (Welch *et al.*, 1991).

The *in situ* production of ANC and Ca^{2+} may be from weathering of carbonates contained in the dust. Dissolution of CaCO_3 in Saharan dust has been shown to significantly increase the pH and Ca^{2+} content of rain in Corsica (Loÿe-Pilot *et al.*, 1986). Weathering of CaCO_3 to Ca^{2+} and HCO_3^- in meltwater can explain the high correlation between concentrations of ANC and Ca^{2+} in the snowpack, and

the inverse relationship between ANC and H^+ . Furthermore, dissolution of carbonates can explain the increase in the ratio of ANC: Σ^- and Ca^{2+} in the snowpack relative to new snow. The low concentrations of Si in the snowpack indicate that weathering of silicate minerals was not an important source of solutes in the snowpack.

The solute content of all water samples are listed in Appendix 2. The mean pH of stream waters was slightly basic, 7.67. The specific conductance of stream waters varied from 25.7 to 104 $\mu S\ cm^{-1}$, with a mean of 65.3 $\mu S\ cm^{-1}$. The mean ANC concentration of 546 $\mu eq\ L^{-1}$ composed 66% of the total anionic charge (Σ^-) of the snowpack (Figure 4). Sulfate had an average concentration of 196 $\mu eq\ L^{-1}$ and represented 23% of Σ^- . The mean Ca^{2+} concentration of 676 $\mu eq\ L^{-1}$ represented 75% of the total cationic charge (Σ^+) of the snowpack (Figure 4). Sodium, Mg^{2+} , and K^+ represented 25% of Σ^+ .

The watershed supplied most of the solute content of stream waters. Concentrations of all individual ions in stream waters were 5 to 20-fold greater than in the snowpack. Acid neutralizing capacity and SO_4^{2-} in stream waters were about 11-fold greater than in the snowpack (Figure 5). The basin was also the source of most of the Cl^- and NO_3^- in stream waters. Cations showed a similar trend. The catchment supplied 8 to 20 times more basic cations than did snowpack runoff to the basic cation content of stream waters.

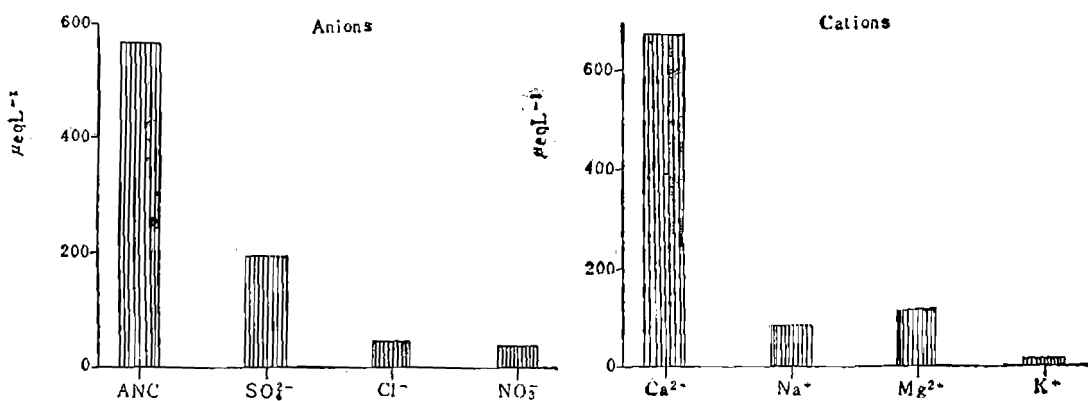


Fig. 4 Mean concentrations of individual solutes ($\mu eq\ L^{-1}$) in stream waters of the Daxigou Valley ($n=28$). Anions are shown in the upper panel and cations in the lower panel

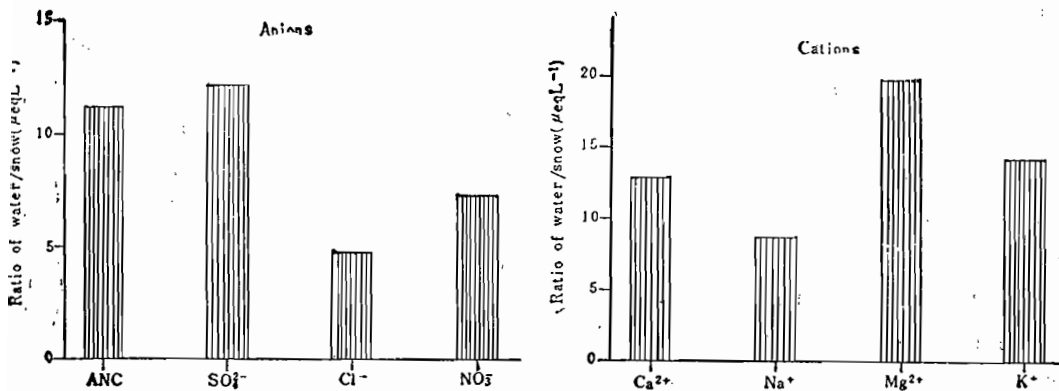


Fig. 5 Ratio of mean ionic concentrations in streamwaters ($n=28$) to mean ionic concentrations of the snowpack ($n=59$), all units in μeqL^{-1} . Anions are shown in the upper panel and cations in the lower panel

References

- Galloway J N, Zhao Dianwu, Xiong Jiling and Likens G E, 1987. Acid rain: China, United States, and a remote area. *Science*, 236, 1559—1562
- Jenkins M D, Drever J I, Reider R G and Buchanan T, 1987. Chemical composition of fresh snow on Mt. Everest. *J. Geophys. Res.*, 92, 10 999—11 002
- Loye-Pilot M D, Martin J M and Morelli J, 1986. Influence of Saharan dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean. *Nature*, 321, 427—428
- Wake C P, Mayewski, P A, Wang Ping and Yang Qinzhaoh, 1991. Anthropogenic sulfate signals in fresh snow from Tian Shan, Xinjiang, China. *Ann. Glaciol.*, in press
- Wake C P, Mayewski P A and Spencer M J, 1990. A review of central Asian glaciochemical data. *Ann. Glaciol.*, 14, 301—306
- Welch H E, Muir D C G, Billeck B N, Lockhart W L, Brunskill G J, Kling H J, Olson M P and Lemoine R M, 1991. Brown snow: a long-range transport event in the Canadian Arctic. *Environ. Sci. Technol.*, 25, 280—286
- Williams M W and Melack J M, 1991. Precipitation chemistry in and ionic loading to an alpine basin. *Sierra Nevada, Water Resour. Res.*, 27, 1 563—1 574
- Zhao D and Sun B, 1986. Air pollution and acid rain in China. *Ambio*, 15, 2—5

Appendix 1

Snow samples: major ions

ID	Location	pH	Cond	ANC	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ ⁺	Σ ⁻	$\frac{\Sigma^+ - \Sigma^-}{\Sigma^+ + \Sigma^-}$
1	New Snowfall	6.22	5.29	20.5	0.60	9.6	1.7	5.0	1.7	3.0	3.1	9.4	18.6	38.6	-0.30
2	New Snowfall	6.41	4.41	14.0	0.39	9.0	1.1	4.7	1.9	4.6	4.7	10.9	17.1	35.3	-0.33
3	New Snowfall	6.49	3.10	1.5	0.32	4.2	0.1	3.3	1.8	3.6	2.7	6.9	9.7	19.8	-0.17
4	New Snowfall	6.49	NA	18.8	0.32	5.0	0.3	2.6	0.6	2.4	3.0	6.6	8.8	36.2	-0.43
5.5	New Snowfall	6.47	3.55	22.6	0.34	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
21	New Snowfall	NA	NA	NA	NA	83.9	12.2	12.7	2.9	16.9	7.5	26.0	111.7	35.8	0.42
22	New Snowfall	6.46	7.61	20.5	0.35	30.5	3.3	5.3	2.1	3.8	4.8	28.8	41.5	41.1	-0.17
23	New Snowfall	5.99	4.05	11.3	1.02	8.8	1.1	2.7	2.0	1.7	4.0	6.1	15.6	29.0	-0.17
9.1	Dry Cirque	6.89	5.88	38.0	0.13	27.3	3.5	4.7	0.8	5.6	2.2	7.6	38.4	57.8	-0.18
9.2	Dry Cirque	6.45	3.89	18.3	0.35	18.6	2.5	2.5	0.4	3.2	1.6	4.9	24.4	35.1	-0.06
9.3	Dry Cirque	6.44	3.67	NA	0.36	18.6	2.3	7.6	0.4	3.0	1.7	5.7	29.3	16.7	0.41
9.4	Dry Cirque	6.51	3.93	NA	0.31	21.8	2.9	2.7	0.0	3.8	2.6	6.1	27.7	18.4	0.33
10.1	Dry Cirque	6.80	3.87	NA	0.16	20.9	3.3	2.5	0.4	2.9	3.4	3.2	27.3	18.3	0.39
10.1	Dry Cirque	6.98	8.43	46.5	0.10	60.0	7.5	10.3	1.2	8.2	6.9	15.8	79.1	73.6	0.01
10.3	Dry Cirque	7.03	8.82	34.9	0.09	56.0	5.0	6.8	1.0	7.4	7.5	14.4	68.9	61.8	0.04
10.4	Dry Cirque	6.99	9.65	NA	0.10	56.8	5.0	8.8	0.8	9.0	7.6	16.9	71.5	28.8	0.38
11.1	Dry Cirque	7.11	11.54	68.7	0.08	75.2	6.7	18.1	2.2	16.2	6.3	20.8	102.3	103.2	-0.05
11.2	Dry Cirque	6.67	10.01	60.1	0.21	62.4	8.4	9.8	1.4	9.9	6.4	16.7	82.2	88.4	-0.06
11.3	Dry Cirque	6.92	9.55	NA	0.12	62.4	7.6	10.2	0.8	9.9	5.9	15.9	81.1	27.8	0.45
11.4	Dry Cirque	6.96	9.68	NA	0.11	60.8	7.0	11.6	1.2	11.7	6.6	17.8	80.7	30.3	0.40
12.1	Dry Cirque	6.93	6.63	44.9	0.12	42.5	6.9	7.9	2.1	8.4	3.6	8.9	59.5	68.9	-0.05
12.2	Dry Cirque	6.84	7.90	48.5	0.14	48.9	6.9	7.5	0.8	9.1	4.7	10.6	64.2	74.3	-0.06
12.3	Dry Cirque	6.84	9.40	NA	0.14	64.8	9.3	7.8	0.8	8.7	5.3	13.9	82.8	26.0	0.50
12.4	Dry Cirque	6.90	8.89	NA	0.13	57.6	7.6	7.0	0.8	7.9	4.9	12.3	73.1	24.8	0.49

Appendix 1 (Continual 1)

ID	Location	pH	Cond	ANC	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ	Σ -	$\frac{\Sigma^{++}\Sigma^{--}}{\Sigma^{++}\Sigma^{--}}$
13.1	Glacier*1(Lower)	6.92	10.32	60.4	0.12	52.0	6.1	11.6	1.2	12.3	5.5	17.8	71.0	90.2	-0.15
13.2	Glacier*1(Lower)	7.10	9.50	42.1	0.08	52.8	6.0	14.1	1.7	15.4	5.0	17.3	74.7	74.5	-0.03
13.3	Glacier*1(Lower)	6.83	7.71	NA	0.15	40.9	5.5	10.4	1.9	9.8	3.9	17.0	58.8	25.7	0.33
13.4	Glacier*1(Lower)	6.88	8.22	NA	0.13	47.3	6.0	9.8	1.4	10.5	4.9	15.6	64.6	27.4	0.37
14.1	Glacier*1(Lower)	7.01	9.46	62.4	0.10	52.8	5.0	10.6	0.8	10.1	6.2	19.3	69.3	90.7	-0.18
14.2	Glacier*1(Lower)	6.80	10.49	71.1	0.16	64.0	8.3	12.2	1.0	12.3	6.7	19.0	85.7	102.1	-0.12
14.3	Glacier*1(Lower)	7.26	11.70	NA	0.06	75.2	6.3	12.8	1.2	18.1	6.6	20.5	95.6	31.7	0.44
14.4	Glacier*1(Lower)	7.21	10.89	NA	0.06	65.6	6.5	5.7	0.8	11.3	6.4	20.5	78.7	29.7	0.37
15.1	Glacier*1(Lower)	7.34	11.57	71.6	0.05	66.4	7.0	14.3	1.0	13.9	6.6	22.7	88.8	104.1	-0.14
15.2	Glacier*1(Lower)	7.14	11.33	70.0	0.07	68.4	6.7	13.9	1.2	12.9	6.9	23.3	88.3	101.8	-0.13
15.3	Glacier*1(Lower)	6.79	9.07	NA	0.16	54.6	7.4	9.1	1.2	8.4	6.1	18.8	72.5	26.5	0.40
15.4	Glacier*1(Lower)	7.08	10.14	NA	0.08	62.4	7.0	8.7	1.0	10.5	6.8	21.4	79.2	29.3	0.37
16.1	Glacier*1(Lower)	6.90	6.01	NA	0.13	33.8	6.7	7.5	1.9	8.1	2.7	10.0	50.0	22.8	0.40
16.2	Glacier*1(Lower)	6.67	7.41	46.6	0.21	39.3	4.7	3.8	0.4	5.2	4.7	11.9	48.4	68.5	-0.17
16.3	Glacier*1(Lower)	6.69	6.54	40.8	0.20	40.1	4.6	5.0	0.4	6.2	5.6	14.2	50.3	64.6	-0.14
16.4	Glacier*1(Lower)	6.75	6.66	NA	0.18	41.7	4.7	5.4	0.8	6.8	5.5	13.6	52.8	24.3	0.35
17.1	Glacier*1(Upper)	7.26	9.40	59.6	0.06	46.5	5.8	7.1	0.8	7.2	5.9	15.8	60.3	84.6	-0.19
17.2	Glacier*1(Upper)	6.89	8.19	50.2	0.13	44.1	5.2	8.3	1.2	8.7	4.7	11.9	58.9	75.0	-0.12
17.3	Glacier*1(Upper)	6.86	9.18	NA	0.14	53.6	5.6	13.5	2.1	12.7	5.7	16.1	74.9	30.4	0.38
17.4	Glacier*1(Upper)	6.75	8.35	NA	0.18	48.1	6.3	13.5	2.7	14.9	5.4	13.7	70.8	32.3	0.36
18.1	Glacier*1(Upper)	6.99	11.04	64.2	0.10	70.4	8.1	12.4	1.0	13.5	7.4	21.7	92.0	97.1	-0.08
18.2	Glacier*1(Upper)	7.06	12.85	79.6	0.09	92.7	11.8	14.3	1.0	15.2	7.8	23.2	119.9	114.6	-0.03
18.3	Glacier*1(Upper)	7.19	13.93	NA	0.07	63.2	7.7	9.9	1.0	10.0	6.8	17.9	81.9	29.4	0.42
18.4	Glacier*1(Upper)	6.95	9.81	NA	0.11	96.7	10.0	16.4	1.4	15.5	8.4	25.9	124.6	35.9	0.47

Appendix 1 (continual 2)

ID	Location	pH	Cond	ANC	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ ⁺	Σ ⁻	$\frac{\Sigma^+ - \Sigma^-}{\Sigma^+ + \Sigma^-}$
19.1	Glacier*1 (Uper)	6.83	7.59	34.3	0.15	42.5	4.1	7.5	1.0	7.7	5.5	15.1	55.3	59.5	-0.06
19.2	Glacier*1 (Uper)	6.73	7.97	35.8	0.19	48.9	5.3	8.0	1.0	8.4	6.9	18.4	63.4	63.1	-0.05
19.3	Glacier*1 (Uper)	6.76	7.96	NA	0.17	46.5	4.3	8.2	1.0	8.3	5.9	16.2	60.2	23.2	0.34
19.4	Glacier*1 (Uper)	6.84	9.07	NA	0.14	59.2	5.6	11.6	1.9	11.5	6.4	18.3	78.4	29.9	0.39
20.1	Glacier*1 (Uper)	6.78	8.46	32.8	0.17	40.1	4.0	14.8	2.9	18.3	7.1	19.3	62.0	70.2	-0.12
20.2	Glacier*1 (Uper)	6.60	8.18	34.5	0.25	28.1	3.6	26.9	5.2	21.2	3.5	8.8	64.0	71.2	-0.03
24.1	Glacier*2	6.84	8.54	29.5	0.14	51.3	4.4	8.2	1.9	8.2	6.3	18.4	65.9	56.0	0.03
24.2	Glacier*2	6.72	8.26	40.1	0.19	43.3	4.8	5.9	0.6	8.4	6.6	17.8	54.3	67.1	-0.15
24.3	Glacier*2	6.89	8.32	NA	0.13	46.5	4.1	9.1	1.0	9.6	6.5	20.2	60.8	28.1	0.28
24.4	Glacier*2	6.86	9.23	NA	0.14	53.6	4.6	9.9	0.8	9.9	6.0	18.4	69.0	27.9	0.36
25.1	Glacier*2	7.00	7.98	53.6	0.10	48.9	5.5	8.3	0.6	8.9	4.1	13.3	63.4	78.6	-0.12
25.2	Glacier*2	6.87	8.26	43.0	0.13	50.5	4.7	6.6	1.2	7.5	5.4	14.1	63.1	67.9	-0.05
25.3	Glacier*2	6.74	6.41	NA	0.18	37.7	3.3	4.9	0.8	6.6	4.7	11.3	46.9	23.3	0.35
25.4	Glacier*2	7.10	8.21	NA	0.08	51.3	4.6	9.2	0.8	9.6	4.8	16.1	66.0	26.4	0.38
26.1	Glacier*2	7.15	11.68	62.3	0.07	69.8	6.5	11.2	1.2	11.7	8.1	23.8	88.8	94.1	-0.09
26.2	Glacier*2	7.13	12.61	67.7	0.07	77.6	6.3	13.2	1.2	12.9	8.6	26.8	98.4	101.2	-0.09
26.3	Glacier*2	7.08	12.03	NA	0.08	72.8	6.1	10.8	1.0	11.4	8.8	25.5	90.8	32.2	0.37
26.4	Glacier*2	7.13	11.36	NA	0.07	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	12.0	0.01
27.1	Glacier*2	NA	NA	NA	NA	34.5	8.8	5.8	1.0	4.4	2.1	3.6	50.1	18.5	0.58
27.2	Glacier*2	6.89	8.36	45.5	0.13	51.3	5.6	13.6	1.0	7.5	5.7	15.0	71.6	70.7	-0.02
27.3	Glacier*2	6.87	7.98	48.0	0.13	45.7	5.0	5.9	0.6	6.5	7.0	16.3	57.3	73.5	-0.16
27.4	Glacier*2	6.91	8.08	NA	0.12	47.3	4.6	6.8	0.6	7.8	6.6	16.1	59.4	26.4	0.34

Appendix Z

Water samples: Major ions

Site-Date	ID	pH	Cond	Temp	ANC	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ ⁺	Σ ⁻	$\frac{\Sigma^+ - \Sigma^-}{\Sigma^+ + \Sigma^-}$
DC900513	509	7.53	62.17	0.3	410.2	0.03	477	73.8	39.7	5.1	44.7	63.3	88.1	596	606	-0.01
DC900514	513	7.59	43.49	0.3	385.2	0.03	451	67	34.9	4.1	35.6	55.2	99.8	557	576	-0.02
DC900515	518	7.45	25.74	1.9	235.5	0.04	214	41.0	21.0	5.8	22.9	20.7	44.4	282	323	-0.07
DC900516	522	7.47	29.19	0.5	254.5	0.03	269	47.2	24.8	5.0	19.9	27.3	62.1	346	364	-0.03
DC900517	526	7.48	37.31	0.4	311.1	0.03	348	60.0	31.3	4.9	37.1	40.3	79.5	442	468	-0.03
DC900518	530	7.48	37.56	1.2	333.3	0.03	368	61.5	34.3	5.0	38.8	43.1	51.8	469	467	0.00
DC900519	534	7.49	38.25	0.2	322.8	0.03	380	59.0	30.9	4.6	29.4	54.1	76.5	475	483	-0.01
GG900513	512	7.66	72.33	2.9	642.9	0.02	732	146	61.6	9.9	82.5	39.5	165	950	930	0.01
GG900514	516	7.70	54.86	2.1	509.9	0.02	544	87.0	42.0	8.3	37.6	39.4	102	681	689	-0.01
GG900515	520	7.44	45.74	2.5	409.3	0.04	438	72.9	30.6	7.0	22.5	30.9	84.6	549	547	0.00
GG900516	524	7.78	65.19	0.2	601.3	0.02	701	128	49.8	7.1	34.8	46.7	158	886	841	0.02
GG900517	529	7.70	63.85	0.6	598.9	0.02	640	113	50.5	7.9	40.5	41.3	140	811	821	-0.01
GG900518	532	7.78	71.77	3.3	648.5	0.02	707	137	55.8	7.9	41.8	39.4	150	908	880	0.02
GG900519	536	7.94	71.02	2.1	659.3	0.01	723	138	57.7	7.9	39.7	44.5	148	927	892	0.02
TC900513	511	7.82	103.92	6.4	889.8	0.02	997	261	94.2	27.5	129	31.4	237	1380	1287	0.04
TC900514	515	7.86	83.38	7.4	724.6	0.01	859	170	66.4	24.2	88.5	42.5	266	1120	1122	0.00
TC900515	519	7.64	54.91	3.2	492.3	0.02	520	80.4	43.2	20.9	34.5	29.4	109	665	665	0.00
TC900516	523	7.80	NA	0.3	606.9	0.02	728	118	47.5	18.8	40.1	41.0	198	910	886	0.01
TC900517	528	7.84	86.68	1.1	725.6	0.01	883	210	79.7	27.1	128	27.6	190	1200	1070	0.06
TC900518	531	7.85	94.79	4.9	776.1	0.01	882	187	68.4	24.2	69.2	41.9	251	1162	1138	0.01
TC900519	535	8.12	96.46	3.2	802.5	0.01	942	200	68.0	24.4	58.5	44.1	290	1234	1195	0.02
US900512	508	7.84	76.76	0.6	583.1	0.01	797	111	49.9	25.6	45.8	44.9	298	984	972	0.01
US900513	510	7.73	90.06	0.4	713.3	0.02	915	142	54.4	30.8	44.9	44.4	376	1142	1179	-0.02
US900514	517	7.76	80.62	0.5	611.2	0.02	815	113	45.7	27.9	33.7	36.5	339	1002	1020	-0.01
US900515	521	7.63	59.04	0.7	463.2	0.02	617	76.8	40.7	25.2	29.2	31.4	214	760	738	0.02
US900516	525	7.78	78.48	0.3	604.7	0.02	827	108	42.7	25.0	29.1	43.5	315	1003	892	0.01
US900517	527	7.73	81.28	1.0	621.4	0.02	863	115	44.8	27.4	34.3	40.5	325	1048	1021	0.01
US900518	533	7.80	94.67	0.9	698.0	0.02	975	147	50.8	32.8	33.2	46.2	404	1208	1181	0.01
US900519	537	8.11	96.05	0.4	730.4	0.01	999	147	48.5	29.1	31.2	49.1	413	1224	1224	0.00

DC : Dry Cirque; GG : Glacier ; Tributary ; TC : Total Control; US : Upper Station

水文与气象资料整编说明

杨新元

1 水文点布设概述

乌鲁木齐河源冰川作用区共设有3个基本水文点进行流量测量,同时在各水文点旁布设了气象观测场,进行气温、降水、湿度等观测;在天山冰川站营地后峡口设有一基本气象场,观测项目齐全。

天山1号冰川是研究的主要对象,冰川面积为 1.84 km^2 。为了研究冰雪融水径流变化过程,在离冰舌300 m、海拔3693m处的河道设有1号冰川水文点,控制面积为 3.34 km^2 ,测流断面为矩形,断面尺寸宽1 m、高1 m,整个断面由浆砌块石而成,气象场设在左岸山坡。

为了研究高山积雪融水与气候关系,在与1号冰川相邻的空冰斗斗口设有空冰斗水文点,海拔为3804.6 m,控制面积 1.68 km^2 ,测流断面为矩形,断面尺寸高1 m,宽1.5 m,整个断面由浆砌块石而成,气象场设在右岸山坡。

在大西沟与罗布道沟汇合处,海拔3404 m的河道上设有总控制水文点,控制面积为 28.9 km^2 。该水文点主要观测研究区7条冰川及冰川周围山坡冰雪融水及降水径流,测流断面为浆砌块石,在断面上建有一工作桥,便于施测流量,气象场设在左岸山坡。

在3个水文断面上,均装有月记水位计。测流方法为流速仪法,误差范围为5%。所有水文气象资料均按规范整编。

2 1990年与历年气温、降水、径流比较情况

为了说明1990年与历年气温、降水、径流的差异,这里列表(表1—15)予以说明。

表1 1990年与历年平均气温比较表

单位: $^{\circ}\text{C}$

水文点或气象场 年份	1号冰川	空冰斗	总控制	后峡冰川站
1986	-7.0	-6.6	-5.7	
1987	-6.4	-7.2	-5.2	
1988	-8.3	-7.4	-5.8	0.8
1989	-7.4	-7.6	-6.1	0.4
平均	-7.3	-7.2	-5.7	
1990	-5.6	-6.1	-4.8	1.0

表2 1990年与历年降水比较表

单位: mm

水文点或气象场 年 份	1 号 冰 川	空 冰 斗	总 控 制	后 峡 冰 川 站
1986	389	382	354	
1987	400	382	370	
1988	464	448	401	393
1989	461	449	460	411
平均	429	415	396	
1990	409	354	387	475

表3 1990年与历年径流量比较表

单位: $10^4 m^3$

水 文 点 年 份	1 号 冰 川	空 冰 斗	总 控 制
1986	318.7	60.8	1 604.7
1987	137.2	85.6	1 338.0
1988	253.0	76.1	1 598.0
1989	175.7	60.8	1 048.2
平均	221.2	70.8	1 397.2
1990	140.8	64.2	1 173.9

表1 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1990年逐日平均流量表

集水面积: 3.34 km² 流量以m³/s计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.037	0.313	0.251				
2					0	0.114	0.251	0.454				
3					0	0.166	0.139	0.573				
4					0	0.192	0.092	0.092				
5					0.021	0.092	0.222	0.092				
6					0.021	0.092	0.313	0.192				
7					0.021	0.222	0.491	0.192				
8					0.021	0.251	0.573	0.282				
9					0.021	0.114	0.251	0.222				
10					0.021	0.139	0.072	0.114				
旬总数					0.126	1.419	2.717	2.464				
旬平均					0.013	0.142	0.272	0.246				
11					0.021	0.222	0.092	0.011				
12					0	0.282	0.072	0.011				
13					0	0.282	0.166	0.021				
14					0.021	0.454	0.222	0.011				
15					0.052	0.222	0.114	0.037				
16					0.021	0.114	0.092	0.037				
17					0.011	0.114	0.139	0.037				
18					0.011	0.114	0.072	0.037				
19					0	0.192	0.021	0.092				
20					0	0.313	0.114	0.092				
旬总数					0.137	2.309	1.104	0.386				
旬平均					0.014	0.231	0.110	0.039				
21					0	0.347	0.282	0.114				
22					0	0.282	0.379	0.114				
23					0.021	0.282	0.251	0.037				
24					0.021	0.313	0.251	0.021				
25					0.052	0.313	0.251	0.005				
26					0	0.282	0.222	0				
27					0	0.661	0.222	0				
28					0	0.192	0.139	0.005				
29					0.021	0.222	0.139	0.005				
30					0.052	0.282	0.072	0.037				
31					0.037	—	0.166	0.037				
旬总数					0.204	2.681	2.374	0.375				
旬平均					0.019	0.268	0.216	0.034				
月 统 计	总数				0.467	6.409	6.195	3.225				
	平均				0.015	0.214	0.200	0.104				
	最大 日期				0.052	0.610	1.31	1.57				
	最小 日期				15	14	8	3				
年 统 计	年总数	16.296										
	径流量	140.8 × 10 ⁴ m ³										
	最大流量	1.57	8月3日									
	径流模数	39.9 L/s·km ²										
	最小流量	0	月	日								
	平均流量	0.133										
	径流深度	422 mm										

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

表2 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1990年逐日平均流量表

集水面积: 1.68km² 流量以m³/s计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.047	0.023	0.083				
2					0	0.104	0.047	0.083				
3					0	0.055	0.034	0.104				
4					0.034	0.034	0.023	0.139				
5					0.034	0.034	0.047	0.104				
6					0.034	0.034	0.063	0.073				
7					0.034	0.034	0.083	0.041				
8					0.034	0.047	0.083	0.047				
9					0.034	0.047	0.083	0.063				
10					0.034	0.047	0.063	0.063				
旬总数					0.238	0.483	0.549	0.800				
旬平均					0.024	0.048	0.055	0.080				
11					0.047	0.047	0.083	0.073				
12					0.047	0.083	0.094	0.063				
13					0.023	0.063	0.083	0.063				
14					0.047	0.104	0.083	0.083				
15					0.104	0.063	0.063	0.104				
16					0.104	0.063	0.083	0.104				
17					0.047	0.047	0.104	0.055				
18					0.047	0.047	0.083	0.034				
19					0.063	0.063	0.041	0.047				
20					0.023	0.047	0.047	0.047				
旬总数					0.552	0.627	0.764	0.673				
旬平均					0.055	0.063	0.076	0.067				
21					0.023	0.063	0.063	0.047				
22					0.034	0.063	0.104	0.047				
23					0.034	0.104	0.115	0.063				
24					0.063	0.104	0.126	0.063				
25					0.047	0.083	0.104	0.063				
26					0.023	0.083	0.104	0.034				
27					0.023	0.104	0.083	0.055				
28					0	0.083	0.083	0.047				
29					0.023	0.034	0.055	0.047				
30					0.083	0.023	0.083	0.047				
31					0.083	—	0.083	0.047				
旬总数					0.436	0.744	1.003	0.560				
旬平均					0.040	0.074	0.091	0.051				
月 统 计	总数				1.226	1.854	2.316	2.033				
	平均				0.040	0.062	0.075	0.065				
	最大 日期				0.176	0.176	0.151	0.151				
	最小 日期				15	12	12	4				
	日期				0	0.014	0.023	0.023				
年统计	年总数7.429			最大流量0.176 8月15日			最小流量0 月 日			平均流量0.061		
	径流量64.2×10 ⁴ m ³				径流模数36.3 L/s·km ²				径流深度382 mm			

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

表3 乌鲁木齐河源总控制水文点1990年逐日平均流量表

集水面积: 28.9 km²

流量以m³/s计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.470	1.29	1.85				
2					0	0.812	1.57	2.45				
3					0	1.29	1.05	2.95				
4					0	1.57	0.700	1.98				
5					0	0.932	0.932	1.44				
6					0	0.700	1.71	1.44				
7					0	1.16	2.45	1.29				
8					0.020	1.44	2.28	1.44				
9					0.020	1.05	2.13	1.57				
10					0.042	1.16	1.16	1.16				
旬总数					0.082	10.584	15.272	17.57				
旬平均					0.008	1.06	1.53	1.76				
11					0.206	1.29	2.78	0.580				
12					0.470	2.28	1.71	0.470				
13					0.470	1.71	1.44	0.700				
14					0.372	3.41	1.57	0.812				
15					0.932	3.10	1.29	1.29				
16					0.700	1.44	1.16	0.932				
17					0.372	1.16	1.71	0.580				
18					0.372	0.700	1.57	0.580				
19					0.088	1.29	1.29	0.812				
20					0.042	1.57	1.29	0.812				
旬总数					4.024	17.95	15.81	7.568				
旬平均					0.402	1.80	1.58	0.757				
21					0	1.85	1.98	1.05				
22					0	1.85	3.10	1.29				
23					0	2.28	3.10	1.29				
24					0	1.71	2.78	0.932				
25					0.283	1.98	2.13	0.470				
26					0.283	1.44	1.85	0.283				
27					0.283	1.71	1.57	0.283				
28					0.088	1.57	1.29	0.283				
29					0.042	1.16	1.16	0.372				
30					0.206	1.29	1.05	0.470				
31					0.372		1.44	0.470				
旬总数					1.557	16.81	21.45	7.195				
旬平均					0.142	1.68	1.95	0.654				
月 统 计	总数				5.663	45.344	52.532	32.331				
	平均				0.183	1.51	1.69	1.04				
	最大				2.28	5.26	4.50	5.24				
	日期				15	14	11	3				
日 期	最小				0	0.206	0.580	0.206				
	日期				1	1	10	26				
年 统 计	年总数	135.87										
	径流量	1173.9 × 10 ⁴ m ³										
		最大流量	5.24		8月3日							
		最小流量	0									
		径流深度	406									
		径模流数	38.4									
		平均流量	1.11									

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

表4 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1990年逐日平均气温表

气温以℃计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-15.3	-18.1	-15.7	-11.9	-11.8	1.6	4.9	10.9	-0.2	2.4	-6.2	-14.9	
2	-15.6	-19.2	-20.1	-10.5	-5.8	5.4	2.4	11.0	1.2	2.0	-3.9	-12.7	
3	-15.4	-18.9	-20.0	-9.6	-1.2	5.5	0.4	9.3	2.9	0.6	-2.5	-10.4	
4	-13.8	-21.8	-19.5	-8.3	0.6	3.3	1.2	2.7	0.7	-0.6	-8.2	-5.8	
5	-12.0	-19.2	-20.2	-10.8	3.4	-0.1	2.3	4.0	-2.7	-0.6	-6.1	-8.0	
6	-12.2	-19.6	-13.7	-8.6	3.6	1.7	4.4	4.6	-3.3	0.9	-10.9	-11.3	
7	-16.8	-16.6	-11.6	-7.1	2.0	8.2	5.7	5.1	-3.2	0.8	-14.5	-10.8	
8	-15.8	-18.7	-12.2	-7.9	0.7	2.3	6.8	6.9	-1.7	0.9	-3.5	-7.7	
9	-18.5	-18.3	-11.7	-10.7	0.5	3.0	2.3	6.2	-1.0	-1.4	-2.6	-9.7	
10	-21.9	-13.0	-10.0	-9.5	3.1	2.3	0.7	0.1	-1.3	6.3	-4.7	-8.1	
旬总数	-157.1	-183.4	-154.7	-94.9	-4.9	31.2	31.1	60.8	-8.6	11.3	-63.1	-99.4	
旬平均	-15.7	-18.3	-15.5	-9.5	-0.5	3.1	3.1	6.1	-0.9	1.1	-6.3	-9.9	
11	-18.8	-11.3	-14.0	-6.9	-0.3	5.0	1.4	-2.7	-0.8	-2.6	-4.3	-9.4	
12	-16.6	-10.2	-16.5	-4.5	-2.5	3.4	1.7	-0.2	-1.2	-1.1	-4.7	-13.2	
13	-19.0	-8.2	-9.2	-5.3	-3.2	4.4	3.7	2.9	-0.9	-0.6	-2.0	-14.2	
14	-16.9	-9.9	-10.2	-6.8	-3.5	4.1	4.6	1.4	0.8	-1.5	-1.3	-14.8	
15	-14.0	-13.4	-7.9	-6.5	8.4	-1.2	2.7	1.1	2.1	-3.3	-8.4	-15.0	
16	-19.9	-15.6	-2.7	-7.9	-0.7	2.1	3.6	2.3	4.2	-4.7	-11.4	-12.0	
17	-20.7	-12.6	-6.3	-4.9	-3.5	0.9	3.6	3.1	4.6	-6.4	-10.8	-12.6	
18	-17.3	-13.0	-9.1	-6.1	0.2	3.1	0.9	2.5	2.1	-4.2	-14.1	-14.6	
19	-15.9	-19.2	-7.8	-7.7	-2.0	7.1	1.0	3.1	0.3	-6.4	-11.6	-11.8	
20	-16.6	-24.7	-9.0	-10.1	-2.7	5.3	3.7	3.6	0.4	-13.5	-9.7	-13.0	
旬总数	-175.5	-138.1	-92.6	-66.7	-2.8	34.2	26.9	17.1	11.6	-44.3	-78.2	-130.6	
旬平均	-17.6	-13.8	-9.3	-6.7	-0.3	3.4	2.7	1.7	1.2	-4.4	-7.8	-13.1	
21	-19.2	-25.1	-13.3	-7.8	-1.2	4.0	6.7	6.3	0.7	-11.2	-11.8	-10.2	
22	-12.6	-21.3	-12.9	-8.7	-1.4	2.6	5.3	4.7	1.5	-14.0	-8.9	-9.0	
23	-12.4	-16.2	-10.2	-7.9	-0.2	1.2	1.2	-0.5	1.4	-9.8	-9.3	-9.1	
24	-14.5	-13.4	-13.9	-6.0	0.1	4.4	2.0	-1.2	0.8	-6.7	-11.5	-8.7	
25	-12.0	-11.4	-12.6	-4.6	-0.1	3.4	2.8	0.1	-1.4	-4.7	-9.2	-11.4	
26	-10.2	-14.7	-11.7	-4.9	-4.9	3.2	4.9	-1.1	1.4	-4.5	-8.1	-11.5	
27	-20.2	-16.7	-13.1	-5.9	-5.9	2.2	1.9	2.1	1.3	-3.9	-10.8	-7.7	
28	-22.0	-15.7	-11.4	-10.3	-3.0	4.4	4.5	2.7	1.7	-4.2	-20.5	-13.0	
29	-20.7		-9.5	-12.4	1.8	3.6	4.1	3.6	0.1	-5.4	-16.6	-18.0	
30	-15.9		-9.5	-13.4	3.1	5.2	4.9	5.5	0.8	-7.4	-12.8	-18.7	
31	-14.6		-10.8		1.5		7.0	4.4		-6.8		-16.7	
旬总数	-174.1	-134.5	-128.9	-81.9	-10.2	34.2	45.3	26.6	8.3	-78.6	-119.5	-134.0	
旬平均	-15.8	-16.8	-11.7	-8.2	-0.9	3.4	4.1	2.4	0.8	-7.1	-12.0	-12.2	
月 统 计	总数	-506.7	-456.0	-376.2	-343.5	-17.9	99.6	103.3	104.5	11.3	-111.6	-260.9	-364.0
	平均	-16.3	-16.3	-12.1	-8.1	-0.6	3.3	3.3	3.4	0.4	-3.6	-8.7	-11.7
	最高	-7.8	-4.0	1.8	1.0	13.8	13.0	14.4	17.1	9.9	6.0	3.4	-0.8
	日期	26	13	16	24	15	7	31	2	16	1	14	4
	最低	-25.2	-28.5	-25.0	-17.0	-13.4	-4.1	-2.7	-6.0	-6.0	-18.3	-29.9	-22.4
日期	29	20	12	29	2	6	27	24	6	22	28	30	
年统计	最高17.1	8月2日			最低-29.9	11月28日			平均-5.6				

制表：杨新元、韩添丁

校核：刘潮海

表5 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1990年逐日平均气温表

气温以℃计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-17.4	-18.4	-15.4	-11.5	-11.4	0.2	4.3	9.7	0.8	1.7	-8.2	-15.3	
2	-17.6	-19.0	-19.9	-9.7	-6.1	3.4	2.3	10.7	2.6	1.7	-6.0	-13.0	
3	-16.7	-19.1	-19.8	-9.2	-1.2	4.3	1.3	8.6	4.5	0.2	-4.5	-9.8	
4	-14.5	-21.8	-18.9	-7.8	0.1	2.4	2.7	1.6	3.3	-0.8	-10.5	-6.0	
5	-13.3	-19.1	-19.4	-10.4	2.3	-0.6	1.9	2.5	0.5	-1.1	-7.9	-8.8	
6	-14.3	-19.5	-12.3	-9.6	2.1	0.4	3.3	3.4	-0.6	-0.1	-12.7	-11.3	
7	-18.2	-17.4	-11.1	-7.2	0.8	4.0	4.9	4.1	-0.2	-1.3	-16.8	-11.0	
8	-16.9	-19.4	-11.4	-7.6	-0.3	2.0	6.1	5.9	0.7	-1.8	-5.1	-8.9	
9	-20.5	-18.3	-10.8	-10.9	0.5	2.0	3.1	4.7	1.8	-2.4	-3.3	-9.8	
10	-23.9	-12.3	-9.3	-10.4	1.9	2.5	2.1	0.5	1.2	-7.0	-5.9	-9.2	
旬总数	-173.0	-184.3	-148.2	-94.3	-11.3	20.0	32.0	51.7	14.6	-10.9	-80.9	-103.1	
旬平均	-17.3	-18.4	-14.8	-9.4	-1.1	2.1	3.2	5.2	1.5	-1.1	-8.1	-10.3	
11	-20.6	-10.9	-13.9	-7.8	-0.1	4.8	2.8	-2.6	1.9	-2.1	-5.2	-9.4	
12	-17.8	-10.2	-16.1	-5.3	1.0	2.7	3.3	0.0	1.4	-0.3	-5.9	-13.5	
13	-21.0	-8.0	-9.3	-5.2	-3.2	3.8	3.8	1.2	0.6	0.3	-4.0	-15.8	
14	-19.0	-9.5	-10.8	-8.1	3.9	4.0	4.4	0.0	1.6	-0.9	-1.0	-16.7	
15	-15.4	-12.7	-8.4	-6.8	7.4	1.2	2.4	-0.1	2.6	-3.0	-10.2	-16.5	
16	-21.0	-15.3	-2.9	-7.4	-2.3	3.8	2.6	0.6	5.1	-4.1	-13.7	-12.2	
17	-22.2	-13.9	-5.6	-5.2	-4.1	0.3	3.4	1.3	5.7	-5.8	-12.5	-14.1	
18	-19.4	-11.8	-8.3	-5.9	-2.3	1.6	0.6	2.2	2.5	-4.1	-16.3	-16.0	
19	-17.4	-17.6	-7.3	-7.7	-3.2	5.0	0.8	2.5	1.6	-6.0	-12.7	-12.9	
20	-17.6	-23.5	-8.2	-9.7	-3.5	4.7	2.8	2.7	0.8	-15.3	-11.4	-14.5	
旬总数	-191.4	-155.7	-90.6	-69.1	-64	31.9	26.9	7.8	23.8	-41.3	-92.9	-141.1	
旬平均	-19.1	-15.6	-9.1	-6.9	-0.6	3.2	2.7	0.8	2.4	-4.1	-9.3	-14.1	
21	-19.5	-24.3	-12.7	-11.0	-2.5	4.8	5.4	5.3	0.1	-11.5	-13.4	-11.8	
22	-11.8	-20.6	-12.4	-9.2	-2.2	2.8	4.8	4.0	0.7	-14.8	-9.0	-10.3	
23	-14.9	-15.2	-8.9	-8.7	-1.8	1.9	1.5	-0.2	0.5	-10.5	-10.5	-10.4	
24	-14.1	-12.3	-13.2	-7.1	-0.7	5.0	0.9	-0.6	-1.4	-5.9	-13.1	-10.6	
25	-12.7	-9.7	-11.8	-4.7	-1.7	3.8	2.0	0.0	-1.7	-5.4	-11.4	-12.7	
26	-10.0	-14.1	-11.0	-5.2	-6.3	3.6	3.7	-1.2	1.6	-6.0	-10.8	-12.6	
27	-19.5	-16.4	-11.7	-4.5	-8.3	1.8	0.8	1.1	1.3	-5.3	-13.0	-8.6	
28	-21.8	-15.3	-10.3	-9.8	-4.8	3.9	2.0	0.9	1.4	-4.8	-23.4	-14.0	
29	-20.8		-8.6	-13.4	-0.1	3.9	2.6	2.1	-0.3	-7.1	-17.0	-19.8	
30	-15.4		-9.2	-12.9	0.9	4.8	2.7	3.7	0.6	-8.9	-14.0	-20.8	
31	-15.2		-10.4		-0.9		5.5	3.7		-7.8		-17.6	
旬总数	-172.6	-127.9	-120.2	-86.5	-28.4	36.2	31.9	18.8	2.8	-88.0	-135.6	-149.2	
旬平均	-15.7	-16.0	-10.9	-8.7	-2.6	3.6	2.9	1.7	0.3	-8.0	-13.6	-13.6	
月 统计	总数	-537.0	-467.9	-359.0	-249.9	-46.1	88.7	90.8	28.3	41.2	-140.2	-309.4	-393.4
	平均	-17.3	-16.7	-11.6	-8.3	-1.5	3.0	2.9	2.5	1.4	-4.5	-10.3	-12.7
	最高	-6.9	-4.2	2.8	-0.8	12.2	11.0	12.1	16.1	10.0	5.7	2.0	-1.0
	日期	26	13	16	17	15	24	31	2	16	1	14	4
	最低	-27.0	-28.8	-24.9	-16.8	-14.8	-4.6	-3.9	-4.8	-6.9	-19.6	-31.9	-24.0
	日期	10	20	12	10	1	6	5	11	25	22	28	29
年统计	最高	16.1	8月2日			最低	-31.9	11月28日		平均	-6.1		

制表：杨新元、韩添丁

校核：刘渤海

表6 乌鲁木齐河源总控制水文点1990年逐日平均气温表

气温以℃计

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-18.3	-17.8	-16.2	-11.9	-9.4	3.0	5.9	11.0	2.1	3.8	-8.6	-14.5	
2	-16.8	-17.1	-19.0	-11.2	-4.1	5.5	4.4	10.9	4.0	3.4	-0.5	-13.2	
3	-18.0	-19.6	-18.3	-9.3	1.5	6.1	2.4	10.4	5.5	1.9	-0.5	-10.6	
4	-16.4	-18.6	-17.2	-8.5	0.9	5.2	3.6	4.0	4.5	1.3	-6.2	-6.1	
5	-14.9	-17.6	-19.4	-11.0	4.1	0.4	4.0	4.8	0.5	1.5	-3.6	-8.4	
6	-15.9	-18.1	-14.7	-12.7	3.0	3.8	5.9	5.7	-0.5	2.3	-7.6	-9.6	
7	-21.1	-16.7	-9.7	-7.6	3.1	6.6	8.1	5.2	0.4	0.2	-15.0	-10.1	
8	-15.0	-17.0	-10.8	-6.8	1.6	3.4	8.0	6.8	1.4	2.0	-5.0	-8.8	
9	-18.5	-17.6	-11.1	-8.4	2.9	4.5	4.1	7.3	2.2	0.4	-8.5	-9.0	
10	-24.3	-18.0	-9.9	-8.4	3.5	4.4	3.1	2.0	1.9	-4.2	-4.7	-9.0	
旬总数	-179.1	-173.1	-145.8	-95.8	7.1	42.9	49.5	68.1	22.0	12.6	-50.2	-99.2	
旬平均	-17.9	-17.3	-14.6	-9.6	0.7	4.3	5.0	6.8	2.2	1.3	-5.0	-9.9	
11	-20.0	-9.4	-13.7	-4.4	1.6	6.6	3.6	0.1	2.2	-2.6	-4.2	-8.2	
12	-19.3	-10.9	-17.0	-2.9	-2.4	5.9	4.0	1.4	1.8	0.9	-2.8	-14.2	
13	-20.1	-9.8	-10.1	-3.2	-3.3	5.8	4.2	2.9	1.9	1.7	-0.6	-15.9	
14	-16.8	-10.9	-10.9	-5.4	4.9	5.4	4.7	2.5	2.6	1.8	0.4	-17.3	
15	-13.8	-12.3	-7.6	-3.9	8.8	2.5	4.5	3.0	3.8	0.2	-7.6	-17.9	
16	-20.3	-14.4	-2.3	-5.5	0.2	2.7	4.9	2.5	5.8	-1.5	-9.5	-14.5	
17	-23.4	-12.5	-6.3	-1.8	-2.5	3.8	5.2	4.1	6.4	-4.0	-7.6	-15.0	
18	-19.5	-11.5	-8.3	-2.9	-1.1	5.3	2.3	3.9	2.8	-3.9	-11.7	-16.3	
19	-16.3	-16.7	-7.0	-4.7	-1.9	7.0	2.3	4.9	-0.8	-1.7	-9.5	-15.0	
20	-18.3	-22.9	-10.0	-7.4	-1.1	6.9	4.9	5.7	0.6	-11.6	-7.8	-13.5	
旬总数	-137.8	-131.3	-92.9	-42.1	3.2	51.9	40.6	31.0	27.1	-20.7	-60.9	-145.8	
旬平均	-18.8	-13.1	-9.3	-4.2	0.3	5.2	4.1	3.1	2.7	-2.1	-6.1	-14.6	
21	-19.8	-23.5	-13.2	-6.3	0.9	5.6	6.9	6.4	2.9	-7.9	-9.1	-12.6	
22	-16.8	-21.0	-14.0	-8.0	-0.4	4.9	6.6	5.6	2.6	-10.5	-8.9	-10.7	
23	-14.3	-15.4	-10.9	-5.3	0.8	4.3	3.3	1.8	2.2	-7.9	-9.4	-11.2	
24	-17.5	-13.1	-14.1	-4.3	1.8	6.5	3.7	2.2	0.7	-4.8	-10.4	-9.5	
25	-13.8	-11.1	-12.6	-3.7	0.4	6.0	3.9	1.7	0.7	-3.1	-7.1	-11.4	
26	-11.3	-14.4	-10.7	-3.8	-3.4	5.1	5.3	0.4	3.3	-2.5	-5.7	-10.8	
27	-21.9	-15.6	-11.6	-2.7	-5.0	4.3	2.6	2.4	2.4	-0.9	-7.7	-7.4	
28	-24.7	-16.0	-11.0	-6.7	-2.6	5.1	4.7	2.9	3.4	-0.8	-16.9	-16.0	
29	-21.1		-9.7	-11.4	2.4	4.1	4.7	4.7	1.9	-1.5	-10.9	-20.8	
30	-16.4		-8.5	-11.2	3.3	6.0	5.0	6.3	2.3	-5.3	-22.5	-21.3	
31	-15.9		-10.5		2.6		7.8	6.4		-4.3		-18.7	
旬总数	-192.8	-130.1	-126.8	-63.4	0.8	51.9	54.5	40.8	22.4	-49.5	-108.6	-160.4	
旬平均	-17.5	-16.3	-11.5	-6.3	0.1	5.2	5.0	3.7	2.2	-4.5	-10.9	-13.7	
月 统 计	总数	-559.7	-434.5	-365.5	-201.3	11.1	146.7	144.6	139.9	71.5	-57.6	-219.7	-395.4
	平均	-18.1	-15.5	-11.8	-6.7	0.4	4.9	4.7	4.5	2.3	-1.9	-7.3	-12.8
	最高	-7.3	-3.1	3.8	3.2	16.0	13.4	17.0	18.2	13.6	9.1	4.9	0.5
	日期	26	13	16	13	15	7	31	2	16	1	14	4
	最低	-30.0	-28.0	-27.0	-17.3	-17.2	-3.0	-2.5	-4.2	-5.3	-16.4	-28.7	-24.1
日期	10	21	12	2	1	5	5	27	19	22	30	30	
年统计	最高13.2			8月2日		最低30.0			1月10日		平均-4.8		

制表：杨新元、韩添丁

校核：刘潮海

表7 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1990年逐日降水量表

降水量以mm计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1						0.1	6.7*.*					
2												
3							3.8*.*	6.7*.*				
4						3.6*.*	4.6*.*	3.0*.*				
5						1.2*.*						
6							10.3*.*					
7					0.5*			0.1*.*				
8					0.2*	9.5*	3.7*.*	0.1*.*				
9					0.0		0.5*.*	0.4*.*				
10					0.6*	2.0*	19.7*.*	6.8*.*				
11					1.6*	9.4*△	2.7*.*	4.0*.*				
12					1.9*	6.8*△	1.9*.*	4.2*.*				
13					6.6*	10.5*△		5.9*.*				
14						20.5*.*	0.5*.*					
15						2.5△*	3.1*.*					
16					6.7*	2.7*	5.0*.*					
17					4.1*	3.6*	3.6*.*			2.0*.*		
18							9.6*.*					
19					2.4*		0.4*.*					
20					0.4*	4.9*.*						
21						6.0*.*	6.4*.*					
22					3.7*	14.9*.*	12.8*.*	6.6*.*				
23						4.5*.*	7.6*.*	4.5*.*				
24					2.7*	5.9*.*	2.4*.*					
25					1.4*	2.4*.*	3.0*.*	1.2*.*				
26					1.6	0.5*.*	4.6*.*	4.2△*				
27					0.2	8.5*.*		0.6*.*				
28						0.9*.*	0.4*.*					
29								0.2*.*				
30					0.5	1.0*	4.4*.*	0.5*.*				
31					0.2							
总 量	0.5	2.4	7.6	39.1	35.3	121.3	117.7	51.0	24.4	6.6	3.2	0.2
降水日数					18	22	23	17				
大日降水量					6.7	20.5	19.7	6.8				
日 期					16	14	10	10				
年 统 计	降水量: 409.3 日最大降水量: 20.5 日最大降水日期: 6月14日											
备 注	1—4月和9—12月因每星期观测1次, 故只计月降水总量。 *: 降雪 .: 降雨 △: 降冰雹											

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

表8 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1990年逐日降水量表
降水量以mm计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1
1							8.2**					
2												
3							4.8**	3.2**				
4						3.0**	4.2**	4.5**				
5						1.3**						
6							5.2**					
7								0.0				
8					0.4*	8.5**	2.6					
9								0.5*				
10					0.2*		10.4**	7.2**				
11					1.5*	8.5**	3.4**	4.0**				
12					2.4*	4.2△						
13					3.3*	7.4△*		4.6**				
14						20.3**	0.5*	5.9**				
15						1.9△*	0.7**	1.0*				
16					5.6*	1.8△*	5.4	0.6*				
17					4.2*	2.2*	4.3	0.4*				
18							13.7**	0.3*				
19					1.4*							
20					0.2*	3.3△*						
21						4.5*	5.3					
22					3.5*	12.0**	14.2**	4.2**				
23						4.6**	13.7**	4.2**				
24					2.7*	4.8△*	7.8**					
25					1.3*	3.4**	3.2	1.2*				
26					1.6*	2.4*	6.4*	4.8△*				
27					0.5*	5.2**						
28						0.4*		0.4*				
29												
30					0.2*		0.0	0.2*				
31					0.2*							
总量	0	2.3	2.7	32.9	29.2	99.7	114.0	46.3	24.3	0.0	1.6	1.
降水日数					16	19	19	18				
最大日降水量					5.6	20.3	14.2	7.2				
日期					16	14	22	10				
年统计	降水量: 353.9			日最大降水量: 20.3			日最大降水日期: 6月14日					
备注	1—4月和9—12月因每星期观测1次, 故只计月降水总量。 *: 降雪 *: 降雨 △: 降冰雹											

制表: 杨新元

校核: 刘渤海

表9 乌鲁木齐河源总控制水文点1990年逐日降水量表

降水量以mm计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1							7.0*△					
2												
3							4.0*△	7.4**				
4						2.5**	3.6**	5.7**				
5						0.9*						
6					0.2*		4.8*△					
7								0.3*				
8					0.6*	8.2**	3.4	0.3*				
9					0.4*		0.3	1.0**				
10					1.8*	0.6**	15.2**	4.9**				
11					1.8*	6.8**	1.5**	6.2**				
12					2.4*	5.1*△	1.6**					
13						8.0*△		5.0**				
14						20.0**	0.3**	5.1**				
15						3.9**	2.7**					
16					5.2*	0.8**	3.6**	0.5*				
17					4.8*	1.8**	2.0**	1.1*				
18							11.2**	1.8**				
19					3.2*		0.3**					
20					0.0*	4.4**						
21						5.5**	6.9					
22					3.2*	13.7**	11.2**	5.6**				
23						5.5**	6.4**	5.0**				
24					4.4*	5.2**	5.1*△					
25					0.7*	2.7**	3.1*△	0.8*				
26					0.9*	0.1**	4.5**	3.7△*				
27					0.2*	11.7**						
28						0.5*	1.6*	0.4*				
29								0.2*				
30					0.1*	0.9△*	3.1**	1.1**				
31												
总量	0	2.8	8.9	40.5	29.9	106.8	103.4	56.1	27.0	7.7	3.4	0
降水日数					16	21	23	19				
最大日降水量					5.2	20.0	15.2	7.4				
日期					16	14	10	3				
年统计	降水量: 386.5 日最大降水量: 20.0 日最大降水日期: 6月14日											
备注	1—4月和9—12月因每星期观测1次, 故只计月降水总量。 * : 降雪 * : 降雨 △ : 降冰雹											

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

表10 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1990年逐日平均相对湿度表①

相对湿度以%计

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					47	70	60	39				
2					41	40	64	39				
3					59	50	77	58				
4					60	59	69	76				
5					29	72	73	58				
6					45	47	62	42				
7					46	37	60	50				
8					67	72	60	36				
9					83	63	88	53				
10					59	80	88	93				
旬总数					536	590	701	545				
旬平均					54	59	70	55				
11					75	63	82	82				
12					75	74	78	58				
13					38	59	74	50				
14					19	79	69	78				
15					26	92	83	84				
16					84	32	80	58				
17					88	65	78	52				
18					34	45	93	64				
19					61	36	88	45				
20					56	55	86	56				
旬总数					556	600	793	636				
旬平均					56	60	79	64				
21					45	55	60	37				
22					65	67	77	56				
23					52	67	93	80				
24					49	53	83	70				
25					80	65	77	65				
26					87	39	63	77				
27					53	84	71	44				
28					57	67	44	58				
29					38	65	56	58				
30					62	55	56	62				
31					69		52	66				
旬总数					657	617	732	673				
旬平均					60	62	67	61				
月统计	总数				1749	1807	2226	1854				
	平均				56	60	72	60				
	最小				9	14	15	18				
	日期				1	16	31	6				

①相对湿度仅在冰川消融期进行观测

制表：杨新元、韩添丁

校核：刘潮海

表11 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1990年逐日平均相对湿度表①

相对湿度以%计

日 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					57	79	78	39				
2					48	42	84	41				
3					41	52	96	65				
4					48	66	90	74				
5					41	82	76	59				
6					54	58	78	48				
7					71	43	80	53				
8					75	72	69	41				
9					82	69	96	58				
10					65	87	99	88				
旬总数					582	650	846	566				
旬平均					58	65	85	57				
11					84	65	91	81				
12					83	82	93	52				
13					46	72	81	50				
14					23	84	71	83				
15					26	97	89	87				
16					90	49	87	64				
17					93	76	86	61				
18					39	56	97	69				
19					66	49	88	65				
20					61	70	79	60				
旬总数					611	700	862	672				
旬平均					61	70	86	67				
21					46	60	69	38				
22					71	79	76	62				
23					60	74	90	90				
24					53	63	82	84				
25					86	79	84	77				
26					88	55	83	88				
27					49	91	79	47				
28					65	73	60	69				
29					47	75	65	67				
30					73	69	68	70				
31					78		58	68				
旬总数					716	718	814	760				
旬平均					65	72	74	69				
月 统计	总数				1909	2068	2522	1998				
	平均				62	69	81	64				
	最小				9	20	19	21				
	日期				27	7	31	2				

①相对湿度仅在冰川消融期进行

制表：杨新元、韩添丁

校核：刘潮海

表12 乌鲁木齐河源总控制水文点1990年逐日平均相对湿度表①

相对湿度以%计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					62	73	62	41				
2					37	46	59	47				
3					56	61	72	67				
4					61	64	66	85				
5					51	79	71	75				
6					65	52	64	38				
7					50	33	55	57				
8					76	70	63	51				
9					65	64	89	50				
10					76	81	94	95				
旬总数					599	623	695	606				
旬平均					60	62	70	61				
11					82	63	88	74				
12					92	72	81	54				
13					53	65	79	43				
14					20	91	78	81				
15					38	83	80	83				
16					92	43	78	70				
17					92	63	79	60				
18					43	40	88	75				
19					86	40	93	68				
20					66	63	69	53				
旬总数					664	623	813	661				
旬平均					66	62	81	66				
21					45	63	66	58				
22					80	73	78	74				
23					58	71	87	85				
24					55	62	73	64				
25					86	70	77	70				
26					94	58	66	78				
27					52	78	64	42				
28					71	74	46	60				
29					50	73	58	57				
30					63	68	70	63				
31					70		59	62				
旬总数					724	680	744	713				
旬平均					66	68	68	65				
月 统 计	总数				1987	1926	2552	1980				
	平均				64	64	73	64				
	最小				1	5	19	5				
	日期				7	16	29	6				

①相对湿度仅在冰川消融期进行

制表：杨新元、韩添丁

校核：刘潮海

表13 天山冰川观测试验站基本营地1990年逐日平均气温表

气温以℃计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-13.0	-11.6	-9.0	-2.9	1.6	11.9	13.8	15.9	11.6	8.2	-0.8	-9.6
2	-10.7	-14.2	-9.3	-1.2	4.8	11.6	11.8	18.4	11.6	9.3	-0.4	-10.9
3	-14.4	-14.2	-13.5	0.8	8.7	15.4	10.3	15.4	11.3	10.2	0.7	-9.4
4	-12.7	-13.4	-10.2	-0.5	9.4	12.0	10.7	12.5	9.9	7.8	-1.1	-6.0
5	-8.9	-13.4	-10.9	-0.7	11.7	10.3	11.2	12.5	8.9	7.6	-2.1	-7.7
6	-9.3	-9.4	-7.7	1.1	9.5	9.3	13.3	11.7	8.4	8.1	-3.3	-6.6
7	-14.0	-12.3	-1.2	5.6	9.1	12.2	13.3	12.4	6.9	4.8	-9.4	-7.3
8	-15.0	-12.1	-4.3	2.7	7.8	15.1	14.4	14.2	7.3	6.2	-5.7	-6.2
9	-13.5	-14.5	-4.5	1.4	9.7	12.6	12.4	12.7	10.2	5.4	-1.0	-6.4
10	-18.4	-10.5	-3.9	2.2	8.3	11.2	12.6	9.3	8.7	3.0	-1.7	-8.3
旬总数	-130.9	-125.6	-74.5	8.5	80.6	121.6	121.8	135.0	94.8	70.6	-24.7	-78.4
旬平均	-13.1	-12.6	-7.5	0.9	8.1	12.2	12.2	13.5	9.5	7.1	-2.5	-7.8
11	-17.8	-8.2	-5.0	1.6	8.3	13.4	10.9	7.6	9.0	3.3	-1.6	-9.2
12	-14.6	-7.3	-10.9	3.9	5.4	13.8	11.3	8.8	9.9	4.7	-0.7	-11.4
13	-13.2	-5.5	-6.5	3.5	4.6	11.6	12.2	9.4	9.2	4.8	-0.7	-13.2
14	-12.7	-6.2	-3.3	3.1	10.0	11.4	12.6	10.6	9.1	4.9	2.0	-12.7
15	-12.3	-7.2	-2.6	0.8	12.7	8.9	14.1	9.9	9.7	5.2	-2.0	-12.2
16	-15.9	-8.2	-2.1	2.8	6.4	10.1	13.5	9.7	11.3	2.4	-4.0	-12.7
17	-18.9	-8.3	-1.3	3.2	4.9	10.3	13.6	10.7	12.9	0.8	-4.0	-10.4
18	-16.6	-7.7	-2.0	3.6	6.5	11.8	9.6	10.2	8.7	1.5	-9.5	-9.9
19	-12.9	-12.5	-2.6	1.0	8.4	13.6	9.8	12.3	6.8	0.6	-9.9	-9.5
20	-11.8	-16.7	-2.0	-0.6	7.7	10.9	12.1	12.3	6.0	-6.1	-7.1	-10.1
旬总数	-146.7	-87.8	-34.1	22.9	74.9	115.8	119.5	101.4	92.6	22.1	-37.5	-111.3
旬平均	-14.7	-8.8	-3.4	2.3	7.5	11.6	12.0	10.1	9.3	2.2	-3.8	-11.1
21	-11.7	-17.9	-4.4	0.6	8.0	15.8	13.4	10.8	6.7	-5.0	-5.6	-9.7
22	-14.3	-14.6	-4.8	1.8	8.2	13.8	13.3	10.2	7.9	-4.8	-5.5	-8.1
23	-10.2	-15.2	-3.9	0.7	8.1	10.1	12.0	8.8	10.1	-5.7	-5.5	-8.2
24	-12.1	-11.9	-4.1	3.6	6.2	14.2	10.8	7.8	7.7	-1.8	-8.1	-9.7
25	-10.7	-9.0	-4.5	4.7	6.7	11.9	11.5	8.7	7.4	-1.8	-5.9	-9.7
26	-8.3	-8.3	-1.5	4.9	4.0	13.5	11.3	8.0	8.3	-0.1	-5.4	-10.4
27	-11.9	-8.5	-1.1	2.9	3.2	12.2	11.6	7.1	7.0	0.1	-8.9	-7.0
28	-17.9	-7.0	-0.6	-0.9	6.3	12.8	11.4	10.7	6.3	3.8	-17.7	-7.8
29	-17.4		0.1	3.0	8.3	11.1	12.6	11.8	6.8	2.2	-16.2	-9.6
30	-15.6		-0.4	-0.9	9.9	13.4	12.0	12.3	7.5	0.4	-8.5	-13.9
31	-11.6		-3.3		10.3		13.5	11.2		-1.5	-8.5	-18.1
旬总数	-141.7	-92.4	-28.5	14.4	79.2	128.8	133.4	107.4	75.7	-14.7	-87.3	-117.8
旬平均	-12.9	-11.6	-2.6	1.4	7.2	12.9	12.1	9.8	7.6	-1.3	-8.7	-10.7
总数	-419.3	-305.8	-137.1	45.8	234.7	366.2	374.7	343.8	263.1	78.0	-149.5	-307.5
平均	-13.5	-10.9	-4.4	1.5	7.6	12.2	12.1	11.1	8.8	2.5	-5.0	-9.9
最高	5.7	6.0	12.9	14.0	24.2	24.6	23.7	27.5	24.3	21.1	13.1	4.4
日期	6	12	16	13	15	24	1	2	16	2	3	4
最低	-23.4	-24.4	-19.4	-10.8	-4.7	1.5	3.6	0.9	-2.0	-11.4	-22.9	-22.5
日期	10	23	3	1	1	6	5	27	20	23	29	30
年统计	最高	27.5		8月2日	最低	-24.4	2月23日	平均	1.0			

制表：杨新元、韩添丁

校核：刘潮海

表14 天山冰川观测试验站基本营地1990年逐日降水量表
降水量以mm计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1						0.4						
2		0.2*	1.1*				6.4		4.2			
3		0.6*					0.5	0.3				
4						3.2	0.7	3.1	13.6			
5							12.8		3.7		0.2*	
6					0.3		0.7	0.3	5.6		5.7*	
7	0.3*				1.3		0.2	0.3			1.3*	
8					1.4							
9				0.5*	0.2	0.9	10.6					
10	0.5*				5.5	1.6	2.4	8.3		1.3*		
11			1.7*		16.3	1.9	12.0	11.8				0.0*
12			0.2*		2.8*	2.7						
13						0.9	14.5	5.1				
14						26.0		8.6				
16		1.5*				24.9					0.3*	
16		0.7*			7.8		3.1				3.1*	
17			0.0*	1.7	0.5	2.5						
18			0.2*	2.4			14.9	1.4			0.1*	
19		0.0*		13.6			9.6			0.4*		
20				2.4*		0.5				6.9*		
21	1.5*			1.0*								
22				0.3*	0.3	4.2	9.4	5.3		0.9*		
23				3.0	0.4	4.3	7.9	9.7				
24			1.0*	0.4*	3.4		16.2	1.8				
25					2.0	10.7	4.3	4.3				
26				3.6	1.4		5.8	6.0				
27	1.8*			6.0	0.4		6.1				0.2*	
28				17.2		5.6	1.1				0.2*	0.4*
29				0.0		9.5	3.1			0.1*		0.7*
30				5.0				0.9		1.0*		
31								2.2				
总量	4.1	3.0	4.2	57.1	44.0	99.8	143.3	69.4	27.1	10.6	11.1	1.1
降水日数	4	5	6	14	15	16	21	16	4	6	8	3
最大日降水量	1.8	1.6	1.7	13.6	16.3	26.0	16.2	11.8	13.6	6.9	5.7	0.7
日期	27	15	11	19	12	14	24	11	4	20	6	29
年统计	降水量: 474.8 降水日数: 118 日最大降水量: 26.0 日最大降水日期: 6月14日											
备注	*: 降雪 •: 降雨 △: 降冰雹											

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

表15 天山冰川观测试验站基本营地1990年逐日平均相对湿度表

相对湿度以%计

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	70	61	65	56	58	60	58	66	66	45	77	52	
2	59	66	81	49	52	56	75	56	65	40	66	53	
3	72	73	76	46	62	59	76	75	64	40	64	49	
4	68	73	67	50	55	66	77	73	83	52	77	50	
5	67	63	58	50	52	46	72	73	84	49	79	55	
6	63	69	47	36	68	53	73	70	72	52	85	62	
7	78	72	48	21	71	50	76	70	81	70	80	66	
8	74	80	75	40	77	58	77	62	69	61	73	73	
9	75	71	68	78	67	65	82	70	61	62	55	78	
10	94	63	70	53	77	75	87	82	70	76	48	81	
旬总数	719	691	655	479	639	588	753	697	715	547	703	619	
旬平均	72	69	66	48	64	59	75	70	72	55	70	62	
11	84	57	83	33	83	71	81	78	62	59	49	82	
12	63	55	60	28	85	64	75	71	66	51	59	89	
13	70	49	59	41	69	77	73	73	65	48	68	82	
14	63	62	60	44	61	88	73	78	63	47	65	79	
15	57	80	55	87	54	89	63	81	55	52	81	77	
16	78	81	54	66	83	69	73	74	52	63	79	76	
17	61	64	79	75	81	66	75	73	46	67	56	68	
18	61	79	81	77	58	58	91	79	55	58	71	68	
19	61	80	82	91	52	57	87	69	60	80	69	59	
20	75	56	81	84	60	58	75	66	54	82	69	70	
旬总数	673	663	694	606	690	697	766	742	578	608	666	750	
旬平均	67	66	69	61	69	70	77	74	58	61	67	75	
21	87	57	78	84	70	41	76	73	54	80	72	70	
22	85	52	61	66	70	60	81	83	57	78	52	65	
23	67	63	75	78	70	77	82	88	47	58	58	59	
24	68	66	82	60	82	57	83	81	55	56	69	62	
25	57	63	70	65	81	79	78	76	54	56	69	71	
26	63	64	58	72	81	60	81	80	61	58	61	45	
27	76	65	54	88	67	69	73	71	56	53	84	60	
28	71	66	63	88	63	78	75	66	56	61	64	77	
29	76		56	80	56	74	71	68	51	77	66	79	
30	63		56	80	46	70	77	73	44	78	52	84	
31	65		77		61		68	66		83		76	
旬总数	778	496	730	759	747	665	843	825	525	736	647	748	
旬平均	71	62	66	76	68	67	77	75	53	67	65	68	
月统计	总数	2170	1850	2079	1844	2076	1950	2362	2264	1818	1891	2016	2117
	平均	70	66	67	61	67	65	76	73	61	61	67	68
	最小	18	13	10	3	9	19	25	10	5	5	12	16
	日期	2	13	26	6	5	7	1	27	30	6	30	26
年统计	平均	67		最小	3	4月6日							

制表：杨新元、韩添丁

校核：刘潮海

乌鲁木齐河源1号冰川表面运动速度和冰舌 进退变化(1989—1990)

陈要武 孙作哲

1 基本情况

(1) 测量方法 1号冰川表面运动速度是用精密光学经纬仪,从控制点上对布设在冰内的花杆进行重复前方交会,以座标法计算,求出花杆(冰体)单位时间内的空间位移。控制点布设原则主要考虑两点:1)控制点尽量少,以便在搬移时缩短时间;2)前方交会的三角形合理,交会角小于 20° 。根据这些原则我们建立了5个控制点,组成3条基线。基东至基西基线观测东西支冰川E排以上流速点,基Ⅶ至基Ⅴ基线观测东支冰川D'排以下流速点,基Ⅴ至基Ⅷ基线观测西支冰川D排以下流速点。

(2) 资料整编 继1989年8月底的观测,于1990年5月底和8月底,对东、西支冰川各8排横剖面共55个流速点作了观测,整理出表1,2(附文后)。表1中的 U_{xy} (m)表示两次观测期间的运动距离, U_{xy} (m/a)表示年流速,是两次观测间的运动距离与时间之比得出的日流速,再乘365d而得到。

(3) 主要资料说明 座标系统规定以 x 为纵座标; y 为横座标; z 为竖直方向上的座标, U_x , U_y , U_z 分别为平行于 x , y , z 轴的速度分量; U_{xy} 为速度的水平分量[$U_{xy} = (U_x + U_y)^{\frac{1}{2}}$ (误差一般不超过其本身数量的10%)]; α 为运动速度的方向(误差一般不超过 $\pm 2^\circ$); U_{xy} (m/a)为直接或经过计算而获得的年流速。

2 本年度运动速度的分析

(1) 通过对速度场的空间、时程变化分析,测量1号冰川本年度内速度的空间分布与前几年相比,没有大的变化。这主要是该冰川为常态型冰川,运动速度缓慢,而且空间分布严格受到槽谷形态的制约。将本年度的速度与1982—1983年速度比较得到,东支冰川末端速度略有增加;B'—D'排速度减小,幅度为0.5—0.8m/a;E'排流速变化不明显;F'排以上速度增加,幅度为0.3—0.5m/a;其中G'排更为明显,速度增加0.8m/a。西支冰川本年度速度与80年代初期相比普遍减小,平均降低0.8m/a左右,冰舌部分更为明显,平均降低1.3m/a左右。

(2) 从表2中可以看出,1号冰川本年度夏季和冬季速度有一定变化。夏季流

速与冬季流速之比,称为 K 值。经过统计,西支冰川除两个点外(很可能数据有误,略去),其余25个点 K 值均大于1。平均为1.20,说明西支冰川夏季流速大于冬季流速,这和以前得到的结果一致。东支冰川D'排以下除2个点外(很可能数据有误,略去),其余15个点 K 值均小于1,平均为0.68。E'排以上 K 值均大于1,其中F'可能数据有误略去外,平均为1.38。东支冰川下部夏季流速小于冬季流速,这种情况与去年测量结果相反,其原因不明,有待今后进一步考证。

(3)表1中 U_i 表示两次测量流速点花杆顶的高度变化。西支冰川除C, D, E三排和冰川右侧几个点,因冰面坡度大, U_i 为负值外,其它点的 U_i 均为正值。东支冰川除C'排和冰川右侧几个点,同样因冰面坡度大, U_i 为负值外,其它点的 U_i 均为正值。这说明1号冰川显出流作用明显。

3 冰川末端进退变化监测

1号冰川末端进退观测,仍然采用前几年惯用的方法。从三个固定点和六个标志点,分别于1990年5月28日和8月27日对冰舌末端进行重复观测。其结果见表3。从表3可以看出,冰川末端年平均后退速度为3.57m/a。此值比1989年度后退速度降低1.56m/a,是近十年来退缩速度较小的1年。另外,从表3还可以看出,冬季冰舌前进2.85m,说明冬季冰舌虽然有一定消融,但它抵消不了冰舌末端因冰川运动的前进量。

表3 冰舌进退资料

点 名	观测时间	观测时间	观测时间
	1989.9.5—1990.5.28	1990.5.28—1990.8.27	1989.9.5—1990.8.27
固定点 I	+2.20	-5.60	-3.40
固定点 II	+2.85	-8.10	-5.25
固定点 III	+5.30	-3.80	+1.50
标志点 1	+5.55	-7.90	-2.35
标志点 2	+9.10	-11.60	-2.50
标志点 3	+1.19	-6.10	-4.91
标志点 4	+0.90	-6.60	-5.70
标志点 5	+2.00	-5.90	-3.90
标志点 6	-3.40	-2.20	-5.60
平 均	+2.85	-6.42	-3.57

表1 年运动速度

点 名	观测时间: 1989. 8. 31—1990. 8. 30					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	U_z (m)	α	U_{xy} (m/a)
a'₂	0.853	3.310	3.418	0.181	75°32'	3.42
a'₃	-0.064	3.822	3.822	0.119	90°57'	3.82
b'₊₂	1.052	2.638	2.835	-0.192	68°13'	2.84
b'₁	0.162	0.515	0.539	0.457	72°34'	0.55
b'₂	1.338	2.820	3.122	0.061	64°37'	3.13
b'₃	1.272	4.661	4.831	0.004	74°44'	4.84
b'₄	1.030	4.596	4.710	-0.165	77°22'	4.70
c'₊₁	0.755	0.839	1.129	0.024	48°00'	1.13
c'₊₂	1.963	3.787	4.266	-0.024	62°35'	4.26
c'₁	1.400	1.500	2.052	0.166	46°58'	2.04
c'₂	3.211	4.309	5.373	-0.394	53°18'	5.39
c'₃	3.086	4.257	5.257	-0.722	54°03'	5.24
c'₄	2.363	3.227	4.000	-0.292	53°47'	4.00
d'₁	1.943	0.881	2.133	1.397	24°23'	2.15
d'₂	4.743	2.207	5.231	1.390	24°57'	5.24
d'₃	4.921	2.099	5.349	0.789	23°06'	5.35
d'₄	4.696	2.050	5.124	0.815	23°35'	5.13
d'₅	2.344	0.540	2.406	-0.782	12°58'	2.40
b₁	-0.411	1.677	1.726	0.513	103°47'	1.71
b₂	-2.498	4.184	4.873	-0.074	120°51'	4.88
b₃	-3.648	5.202	6.354	0.231	125°03'	6.37
c₁	-0.550	3.251	3.297	0.582	99°37'	3.31
c₂	-0.971	7.520	7.582	-1.307	97°22'	7.57
c₃	-3.130	6.848	7.529	-0.541	114°34'	7.53
d₁	0.027	1.242	1.243	0.108	88°45'	1.24
d₂	0.330	6.541	6.541	-0.773	37°06'	6.55
d₃	0.355	8.295	8.302	-1.368	87°33'	8.30
d₄	1.230	7.765	7.861	-0.400	81°00'	7.86
d₅	1.327	3.696	3.927	-0.125	70°15'	3.93

表 1 (续)

点 名	观测时间: 1989. 9. 4—1990. 8. 28					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	U_z (m)	α	U_{xy} (m/a)
e'1	3.339	0.702	3.412	0.920	11°52'	3.40
e'2	5.213	0.956	5.293	0.341	09°57'	5.30
e'3	5.601	0.863	5.667	0.002	08°45'	5.67
e'4	5.404	0.739	5.455	0.763	07°47'	5.44
c'5	4.652	0.079	4.653	-0.911	0°58'	4.65
f'1	2.978	0.981	3.135	0.872	18°14'	3.15
f'2	4.998	1.103	5.118	0.557	12°26'	5.12
f'3	5.316	1.127	5.434	0.752	11°58'	5.44
f'4	5.526	0.916	5.601	-1.176	09°25'	5.58
g'1	1.534	0.666	1.673	0.986	23°28'	1.68
g'2	4.331	1.379	4.546	0.706	17°39'	4.55
g'3	5.022	1.546	5.254	0.782	17°06'	5.26
g'4	5.441	1.502	5.644	-0.903	15°26'	5.66
h'1	2.531	1.837	3.128	0.286	35°53'	3.11
e1	0.504	2.514	2.564	0.177	78°39'	2.58
e2	2.094	7.221	7.519	-0.797	73°49'	7.52
e3	2.443	7.177	7.581	-0.789	71°12'	7.59
e4	2.648	6.711	7.214	-0.564	68°28'	7.23
e5	2.114	4.369	4.854	0.150	64°10'	4.87
f1	1.931	4.058	4.494	0.196	64°32'	4.51
f2	2.690	5.746	6.345	-0.423	64°54'	6.34
f3	2.787	5.664	6.312	0.569	63°48'	6.30
f4	2.754	5.478	6.131	0.545	63°18'	6.12
f5	2.266	4.359	4.912	-1.113	62°31'	4.90
g1	1.085	2.224	2.475	1.231	64°00'	2.47
g2	2.483	5.521	6.053	-0.042	65°46'	6.05
g3	2.606	5.368	5.968	-0.173	64°06'	5.98
g4	2.657	5.067	5.721	-1.240	62°19'	5.73
g+1	1.368	3.617	3.867	0.540	69°16'	3.87
g+2	2.566	5.767	6.312	-0.216	66°01'	6.30
h2	3.222	4.961	5.916	0.380	57°00'	5.91
h3	3.093	5.141	6.000	0.322	58°58'	6.01
h4	3.585	5.884	6.890	0.127	58°39'	6.87

表2 冬季和夏季流速

点 名	观测时间		观测时间		夏、冬季
	1989.8.31—1990.5.28		1990.5.28—1990.8.30		流速比
	运动距离 S (m)	流速 U (cm/d)	运动距离 S (m)	流速 U (cm/d)	K
a'_2	2.749	0.0103	0.762	0.0031	0.79
a'_3	2.980	0.0112	0.846	0.0090	0.80
b'_{+2}	2.343	0.0088	0.496	0.0053	0.60
b'_1	0.471	0.0018	0.206	0.0022	1.22
b'_2	2.429	0.0091	0.694	0.0074	0.81
b'_3	3.627	0.0136	1.220	0.0130	0.96
b'_4	3.517	0.0132	1.267	0.0135	1.02
c'_{+1}	1.038	0.0039	0.091	0.0010	0.26
c'_{+2}	3.312	0.0124	0.957	0.0102	0.82
c'_1	1.813	0.0068	0.254	0.0027	0.40
c'_2	4.136	0.0155	1.238	0.0132	0.85
c'_3	4.041	0.0152	1.281	0.0130	0.86
c'_4	3.341	0.0126	0.679	0.0072	0.57
d'_1	1.964	0.0074	0.263	0.0028	0.39
d'_2	4.178	0.0157	1.056	0.0122	0.78
d'_3	4.437	0.0167	0.922	0.0098	0.59
d'_4	4.118	0.0155	1.010	0.0107	0.69
b_2	3.597	0.0132	1.292	0.0139	1.05
b_3	4.514	0.0166	1.843	0.0200	1.20
c_1	2.550	0.0094	0.750	0.0081	0.86
c_2	5.494	0.0202	2.089	0.0225	1.11
c_3	5.490	0.0202	2.041	0.0220	1.09
d_1	1.181	0.0043	0.174	0.0019	0.44
d_2	4.763	0.0175	1.778	0.0189	1.08
d_3	5.953	0.0219	2.350	0.0253	1.16
d_4	5.748	0.0211	2.119	0.0228	1.08
d_5	2.899	0.0107	1.029	0.0111	1.04

表 2 (续)

点	观测时间		1989.9.4—1990.5.30		1990.5.30—1990.8.28	
	观测时间	观测时间	流速 U (cm/d)	运动距离 S (m)	流速 U (cm/d)	运动距离 S (m)
e'1	2.413	0.0090	0.0090	0.0098	0.0111	0.0111
e'2	3.817	0.0142	0.0142	1.477	0.0164	0.0164
e'3	3.701	0.0138	0.0138	1.967	0.0210	0.0210
e'4	3.880	0.0145	0.0145	1.576	0.0175	0.0175
f'1	1.710	0.0054	0.0054	1.425	0.0158	0.0158
f'2	3.617	0.0135	0.0135	1.505	0.0167	0.0167
f'3	3.262	0.0122	0.0122	2.173	0.0241	0.0241
e'1	1.211	0.0045	0.0045	0.484	0.0054	0.0054
e'2	3.183	0.0119	0.0119	1.567	0.0174	0.0174
e'3	3.684	0.0137	0.0137	1.592	0.0177	0.0177
h'1	2.189	0.0082	0.0082	1.033	0.0115	0.0115
e1	1.768	0.0088	0.0088	0.796	0.0088	0.0088
e2	5.906	0.0198	0.0198	2.220	0.0247	0.0247
e3	5.567	0.0200	0.0200	2.220	0.0247	0.0247
e4	5.125	0.0191	0.0191	2.094	0.0233	0.0233
e5	3.465	0.0129	0.0129	1.596	0.0155	0.0155
f1	3.088	0.0115	0.0115	1.406	0.0156	0.0156
f2	4.442	0.0166	0.0166	1.903	0.0211	0.0211
f3	4.561	0.0170	0.0170	1.753	0.0195	0.0195
f4	4.390	0.0164	0.0164	1.740	0.0193	0.0193
e1	1.674	0.0062	0.0062	0.801	0.0089	0.0089
e2	4.112	0.0153	0.0153	1.943	0.0216	0.0216
e3	4.353	0.0162	0.0162	1.622	0.0180	0.0180
e'1	2.601	0.0097	0.0097	1.266	0.0141	0.0141
e'2	4.505	0.0168	0.0168	1.810	0.0201	0.0201
h2	4.349	0.0162	0.0162	1.571	0.0175	0.0175
h3	4.294	0.0160	0.0160	1.707	0.0190	0.0190
h4	4.977	0.0186	0.0186	1.914	0.0213	0.0213

1990年天山冰缘地貌考察报告

崔之久^① 刘耕年^① 熊黑钢^① 张兵^①

研究地区包括乌鲁木齐河源区和独库公路拉尔墩达坂—哈希勒根达坂一带。主要研究、观测现象有石冰川、冰川泥石流、泥流舌、冰缘倒石堆、石溜坡、构造土和基岩风化。布置了定位和半定位观测场、点。

1 被寒冻风化碎屑覆盖的坡地

在冰缘带中坡度比较大或植物生长上限以上基石坡地多为寒冻风化碎屑覆盖，形成石溜坡；在比较陡峻地段，出现倒石堆。在乌鲁木齐河源地区海拔3 600—3 700m以上的山坡，由于岩性、坡向、地形起伏的差异，坡面发育特征不同。按照碎屑覆盖程度可以将其分为三种类型：1)几乎全部被风化碎屑覆盖的坡地；2)石溜坡和倒石堆较发育的坡地，碎屑物盖覆坡地表面三分之一至三分之二；3)少量碎屑物覆盖的坡地，以裸露的基岩为主，在坡脚发育落石型倒石堆。第一类如乌鲁木齐河源3, 4号冰川谷阴坡，山南大部分阳坡；第二类如河源主槽谷两侧谷坡，3, 4号冰川半阴坡；第三类如空冰斗的后壁、沿主槽谷的冰蚀三角面。地形条件和坡向是主要的影响因素。石溜主要分布在山南海拔3 800m以上，山北3 700m以上，坡度40°以下的山坡上。坡度较大的山坡部分地段基岩裸露，坡底发育落石型倒石堆、雪崩型倒石堆和石冰川(朱诚 *et al.*, 1988)。

2 倒石堆和石冰川的形态特征

在乌鲁木齐河源空冰斗后壁坡脚处发育大量倒石堆。倒石堆的底部相接，组成了倒石堆裙(群)。倒石堆高40—90m，宽30—200m。后壁的高度和石堆大小成正比。另外构造破碎岩性软弱地区倒石堆的规模也较大，阳坡由于寒冻过程相对频繁，规模较大。空冰斗和6号，7号冰川相邻的山脊受其影响，夏季雪冰消融，融冰水携带大量风化碎屑流下，补给下方的倒石堆。在强烈的消融季节，流水和碎屑下流，形成小股的泥石流，可以在倒石堆上形成长数十米，宽数米的泥石流堆积体。5号冰川下方的倒石堆发育中有这种过程的强烈参与。

乌鲁木齐河源地区有许多倒石堆已演化成了石冰川。它在形态上与倒石堆的区别在于，石冰川纵剖面底部有一平台，有些还有一反倾的坡，前缘坡比较陡，大于40°。而倒石堆纵剖面平直。平面上，石冰川呈“蒜形”，而倒石堆呈扇形。石冰川是永久冻土环境中的特征和冰缘地貌现象，在乌鲁木齐河源区出现的海拔在3 400m以上，大部分出现在西北坡，可以有大量的物质补给。石冰川在运动中不但有向坡下的运动，而且有少量

^①北京大学地理系。

侧向运动,使石冰川呈宽尾的扇形“蒜形”。

倒石堆和由倒石堆演化的石冰川的物质来源一致,即来自源区的寒冻风化碎屑在重力作用下,在雪崩的触发下,在融雪水、融冰水的作用下搬运来的碎屑。

在乌鲁木齐河源,有一部分石冰川系由老冰碛构成。如2号冰川末端的终碛垅,现在已演化成了石冰川。另外,5号冰川以东主槽谷下游北坡的石冰川群。

乌鲁木齐河源4号冰川槽谷西坡底发育一系列石冰川。石冰川的规模由沟口向内逐渐变小,最后过渡为倒石堆。石冰川的宽度在沟口处为100m、高为25m,向内逐渐变小,在距沟口500m处石冰川宽30m,高10—15m。再向内过渡为倒石堆。这种有规律的变化反映沟口石冰川发育时间长,规模大。向内由于4号冰川退缩之后山坡遭受寒冻风化的时间相对短,故大部分倒石堆的规模还没有大到演化为石冰川。4号冰川槽谷西坡石冰川出现的高度为3600m。东坡也发育数个石冰川,规模呈类似的特征。但总的来说东坡的石冰川规模远不及西坡,也未连成一群。分布在海拔3600—3750m高度上,略比西坡高。西坡的石冰川均已到达槽谷底部,而东坡的石冰川除沟口一个到达谷底之外,其余均位于山坡之上,形态上则具石冰川的雏形。雏形石冰川前缘坡度比较陡,近 40° ,但舌面无反倾坡。这种分布特点强烈地反映出,在海拔位于永久冻土上限以上地区,石冰川的发育强烈地受碎屑补给量的制约。在同等条件下,碎屑补给量越大,石冰川的规模也越大。

在乌鲁木齐河源地区主要发育叶状石冰川,规模比较小,宽度大于长度。在独库公路所在地区的高海拔地段,出现舌状石冰川。石冰川的物质多为老冰碛物,部分石冰川流入主谷,沿谷底运动,表面有横向的沟和脊(崔之久 *et al.*, 1989)。

3 构造土 (Emblefon, 1975)

在空冰斗的底部分布着多种形态的构造土(图1),它们一般分布在地形比较平坦的碎屑地表,坡度小于 10° 。在坡地较大的部位,石环和石多边形呈石网或石条形态。构造土按形态又分为高中心和低中心两种,直径2—3m。高中心的构造土出现在空冰斗后壁附近,平面形态呈圆形或椭圆形。边缘由粗大砾石构成,中心物质较细。部分高中心的石环呈盾形突出地表,石环之间由平坦未受扰动的地表分开。这种呈小丘状突起的构造土呈圆形和椭圆形,长1—10m不等,宽1—4m,高出地表4—35cm。大部分长宽比不超过2:1,个别为3:1。出现的地貌部位为平坦而地下水丰富的沟底。物质相对细,主要由10cm以下的细碎屑构成。在坡度平缓,小于 5° 的部位,石环沿坡向纵剖面对称分布,但在坡度 5° — 10° 的地方,石环的前缘较陡,后缘较缓,纵剖面形态不对称。由扁平砾石构成的石环,扁平面向石环中心倾斜,构成一环状构造。在不对称石环中,前缘扁平砾石向上游高角度倾斜,后缘的扁平砾石定向不明显,或大多数平行地表分布。

由2号冰川下方主槽谷底部到空冰斗后壁发育一系列不同形态和规模的石环。在海拔3600—3700m的主槽谷中冰碛物上见大量停止活动的多边形。直径2—4m,边缘由粗大砾石组成,砾石直径20cm至1m以上。中心为细物质,表面生长植被,标明此类石环已基本不动。边缘砾石高出中心,为低中心石环。在空冰斗冰坎上发育大量低中心石环,直径1.5至2m。中心细物质顶部部分生长植物,部分有小片解翻浆现象,出现大石环中套小石环的有趣现象。此处海拔3820m,石环活动性较弱。在空冰斗中部西侧发

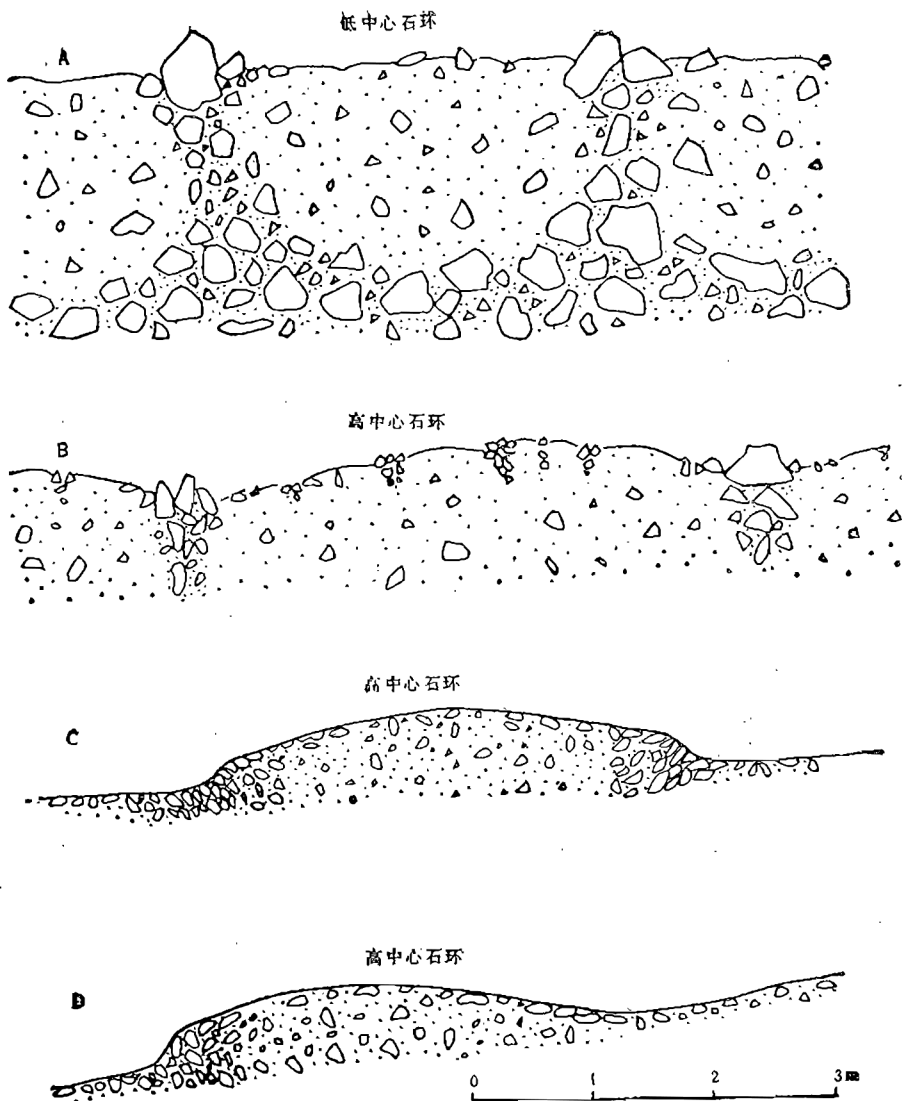


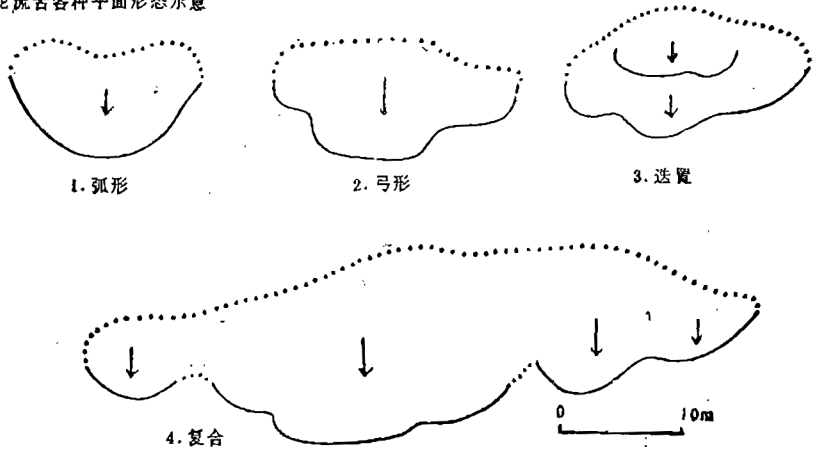
图1 空冰斗构造土剖面形态

育一群低-高中心的石环，海拔3880m。靠近冰斗后壁处规模较小，直径2m以下；靠近谷底直径3—4m。规模较大的石环呈长条形，可能与地表物质缓慢向下游蠕动拉长有关。在冰斗后壁下方（海拔3940m）发育高中心的盾形石环（石丘），颗粒分异不明显，系石环发育的雏形阶段。

4 拉尔墩达坂泥流舌

拉尔墩达坂位于独山子-库车公路中间那拉提南30km处，海拔2750m。在公路西侧海拔2750m以上的山坡上发育大量表面被植物覆盖的泥流舌（图2）。泥流舌出现的高度2750—2900m，坡向北、北东。

A. 泥石流舌各种平面形态示意



B. 泥石流舌剖面形态示意

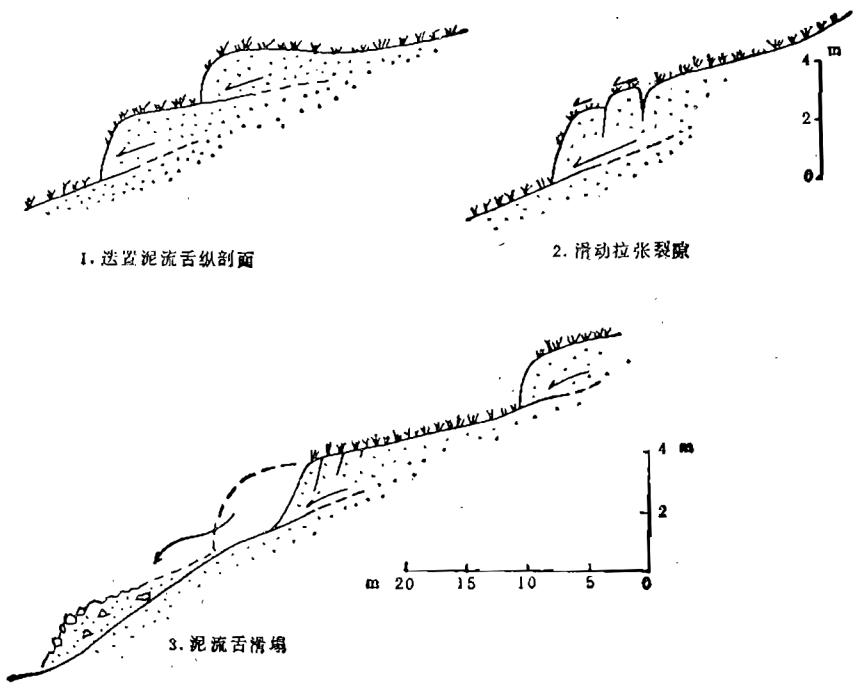


图2 泥石流舌形态示意图

1990年8月在泥石流舌上设定位观测点。目前尚无观测到泥石流舌运动结果。初步工作资料如下。

在海拔2780m—泥石流舌顶部挖坑，观察冻土深度和泥石流舌结构，并进行了含水量的粗略测定（表1）。

坑探总深125cm。在106cm深度见0.5—1.0mm厚脉冰，呈薄层透镜状产出，层面与地

表1 含水量的测定数据

坑探剖面	厚度 (cm)
表层腐殖质	9
淋滤层	12
褐色亚粘土	32
褐色含砾亚砂土	36
腐殖层	3
含砾砂土	14
含细脉冰亚粘土 (未见底)	19

层平行。估计此处活动层的层度在120cm左右。坑探所在泥流舌坡向N13°E，坡度21°，泥流舌前缘坡度45°（表2）。表层腐殖质中含水量最高75.2%，淋滤层含水量少，亚粘土层含水量高，含砾亚粘土含水量又变小，到底部的冻结层含水量稳定。

表2 泥流舌剖面含水量

剖面厚度 (cm)	含水量 (%)
0—9	75.2
15—20	16.6
30—33	37.1
40—45	33.5
60—65	10.0
75—77	9.7
95—101	33.1
110—125	35.5

拉尔墩达坂处所见大部分泥流舌，宽度大多大于长度。即滑动体顺坡向的距离小于侧向延伸宽度，称之为叶状泥流舌（表3）。

发育泥流舌的坡度15—25°；泥石舌本身有一个陡峭的前缘，坡度48—70°；较平的舌面，坡度10—29°。有少数泥流舌前缘发生了滑塌，在滑塌泥流舌上有横向拉伸裂隙，反映泥流舌前缘运动快，而且有滑动运动机制。

5 乌鲁木齐河源冰达坂废弃公路寒冻风化碎屑堆积量统计 (李树德 *et al.*, 1981)

量测废弃公路总长10 473m，海拔介于3 589—4 010m。山南的废弃公路位于南坡，山北的废弃公路位于东坡，分别属阳坡和半阴坡。山南废弃公路量测始于海拔3 600m，到海拔4 010m的分水岭止，垂直高差410m，全长6 166m。山北废弃公路下限海拔3 589m，上限亦是4 010m，高差421m，全长4 307m。

量测的内容有：路长，指寒冻风化碎屑运移在废弃公路上出现的总长度；原路宽、现在路宽、风化碎屑占据一定路面后留下来的路面宽；堆积物宽，指风化碎屑在路面上

表3 泥流舌形态参数量测结果

编号	长 (m)	宽 (m)	高 (m)	坡度(°)			
				舌面	前缘	坡面	
1	18.30	25.70	西侧	2.00	19	59	23
			中部	2.50	10	52	20
			东侧	1.50	17.5	54	24
2	18.55	17.50	西侧	0.85	7	48	31
			中部	1.55	29	54.5	12
			东侧	1.15	22	58	14
3	28.40	30.00	西侧	1.50	25	65	22
			中部	2.00	27	61	17.5
			东部	1.00	20	70	21
4	15.70	10.4	西侧	1.20			
			中部	1.65	16	60	20.5
			东部	1.05			
5	6.5	20.00	西侧	0.45			
			中部	1.67	22	61	13
			东部	0.56			

占据的宽度；受寒冻风化作用，提供风化碎屑的坡长；坡度，提供碎屑山坡坡度；坡向，废弃公路所在山坡坡向；风化碎屑堆积物的坡度；风化碎屑堆积物厚（高）度。另外还记录了当地的岩性、产状、岩石构造特征，如节理密度和产状。试图通过已知的公路废弃年代（1959—1990年），以堆积量的统计，推出该区风化剥蚀量及主要影响因素（表3，4）在量测时分段进行。按分水岭为界，分为山南部分和山北部分（图3）。山南部分：AB段 总长2185m，海拔3600—3760m；BC段 总长1062m，海拔3760—3800m；CD段 总长713m，海拔3800—3880m；DE段 总长536m，海拔3880m；FG段 总长1670m，海拔3920—4010m。

表4 分水岭南侧（阳坡）由上向下量测资料
(统计段介于海拔3510—3400m)

地段	路长 (m)	原路宽 (m)	现路宽 (m)	碎屑宽 (m)	坡长 (m)	坡度 (°)	坡向
顶段	58	5.3	3.4	1.9	8	34	152
		4.8	1.6	3.2	30	39	205
中段	200	4.6	1.8	2.8	30	39	205
		4.6	1.8	2.8	30	39	205
底段	60	4.5	1.9	2.6	86	39	205

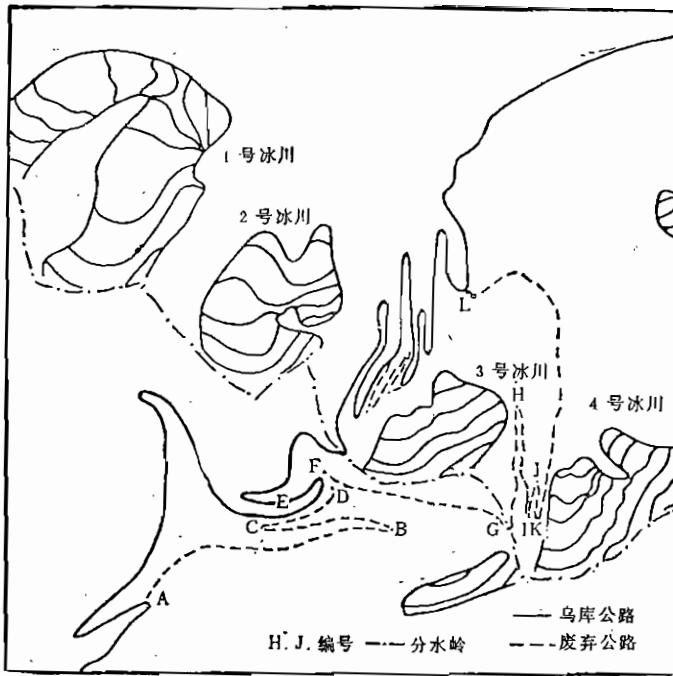


图3 乌鲁木齐河源废弃公路

表5 分水岭北侧由下向上逐段量测资料

地段	路长 (m)	原路宽 (m)	现路宽 (m)	碎屑宽 (m)	坡长 (m)	坡度 (°)	坡向 (°)	碎屑高 (m)
第一段	217	4.8	0.5	4.3	110	40	0	
第二段	30	5.7	3.5	2.2	90	10	340	0.35
	100	5.3	1.5	3.8	90	34	340	0.65
	87	4.9	0.5	4.4	90	39	340	0.40
	50	4.0	3.5	0.5	90	39	340	0.10
第三段	65	5.2	2.9	2.3	25	37	218	1.50
第四段	60	4.9	2.1	2.8	50	36	330	1.30
	40	4.5	0.5	4.0	50	39	330	1.41
	90	4.5	0	4.5	50	39	330	1.50

注:第一段:海拔3385—3400m;第二段:3400—3480m;第三段:3480—3500m;第四段:3500—3570m。

山北部分:GH段 总长1270m,海拔3960—4010m;HI段 总长1110m,海拔3900—3960m;IJ段 总长280m,海拔3880—3900m;JK段 总长170m,海拔3850—3880m;KL段 总长2080m,海拔3589—3850m

独(山子)、库(车)公路哈希勒根达坂废弃公路寒冻风化碎屑堆积量原始统计资料见表4,5,6

表6 玉希莫勒盖达坂(海拔: 3540m)隧道(3280m)风化碎屑在公路上的堆积量(山南部分1981年—1990年)

碎屑堆积长 (m)	碎屑高 (m)	碎屑宽 (m)	碎屑坡度 (°)	基岩风化面高 (m)	坡度 (°)	坡向 (°)
22.60	1.4	2.2	31	7.0	50	70
30.50	1.2	2.1	36	6.0	46	
58.40	0.9	1.6	34	14.0	71	
50.30	12.5	2.3	38	15.5	60	
85.0	09.5	1.5	35	6.0	58	68
73.5	09.5	1.45	34	8.0	58	
20.0	—	—	—	—	—	
106.6	0.85	1.20	34	9.0	68	
45.0	—	—	—	—	—	
60.0	1.45	2.1	34	12.0	72	54
100.0	0.9	1.4	38	5	72	
90.0	1.45	1.95	34	45	78	150
47.2	1.55	2.05	37	5.5	37	
60.0	0.75	1.1	39	4.5	58	
250.0	—	—	—	—	—	
83.0	1.55	2.5	41	8.0	61	118
40.0	—	—	—	—	—	
53.3	3.3	3.5	35	10	60	165
179.0	2.1	1.5	37	12	61	85
46.0	1.9	1.3	47	7	47	61
225.0	3.1	3.3	37	7	58	165
143.1	2.0	1.35	44	3.5	54	148
57.0	2.4	2.7	36	7	66	252
21	1.05	1.4	31	11	68	305
60	0.95	1.9	22	8	3	50
193.5	0.8	1.53	37	11	671	25

6 各种冰缘地貌过程和现象的分布特点及其对公路的危害

(1) 石冰川 石冰川在乌鲁木齐河源地区的北坡分布海拔3200—3900m, 南坡的分布海拔3600—3850m, 石冰川对公路形成危害的主要地段是3500—3700m。如位于3号冰川槽谷东废弃公路上海拔3600m的石冰川把公路推挤变形, 向前运动了1.5m以上。独山子—库车公路玉希莫勒盖达坂和哈希勒根达坂一带山脉海拔达5300—4150m, 寒冻风化作用强烈, 还有大量的新老冰碛。在海拔3600m以上发育石冰川, 而且规模比乌鲁木齐河源区要大。这与中天山西部山势较高、降水较充沛、寒冻风化作用强烈有关。而且古冰川和冰缘加积于沟床中的松散物质也较多。

(2) 冰川融水泥石流 由冰川融水引发的泥石流对人类活动造成的危害已有很多报道。在天山、阿尔泰山、祁连山、喜马拉雅山等地现代冰川下游都有这种灾害。在天山独库公路、乌库公路等地每隔几年就有一次灾害性过程。如独库公路海拔2255m和2860m经常发生冰川融水泥石流。冰川融水泥石流的形成区多在现代冰川末端以下。夏季的高温天气是引发泥石流的气候原因。比如独库公路85km+600m处的泥石流在1984—1987年暴发的10次泥石流中只有一次和暴雨时间相关, 而其余9次为当地气温超

过25℃的高温天气所引起。冰川融水泥石流暴发区在中天山大致分布在海拔3 000—3800m,形成危害的高度可以降得很低,如海拔2 000m或更低。在天山段所见泥石流的危害主要发生在堆积区。这与公路多建在主山谷中有关。来自支谷的泥石流进入主谷后由于坡度降低,床面展宽而堆积下来。

(3) 泥流舌 在天山,泥流舌多分布在多年冻土下限附近。如乌鲁木齐河源区泥流舌分布在2 780—3 500m之间,独库公路拉尔墩达坂泥流舌出现在2 750m以上。对公路的危害限于分布区。

(4) 倒石堆 由风化碎屑崩落而形成的倒石堆虽然对公路的危害最常见、最频繁,量也最大,但它是一种非地带性的地貌现象。我们这里主要讨论冰缘倒石堆,也就是在冰缘环境中,主要由寒冻风化碎屑供给的倒石堆。它对公路等人为设施的影响主要取决于所在地的地形坡度、岩性、构造、朝向等,海拔相对来说不太重要。最重要的是风化面的坡角和长度(高度)、岩石的构造破碎程度。一般来说坡度陡,基岩破碎地段的倒石堆大,对公路等的危害也严重。如乌库公路由乌鲁木齐出发一入天山即受倒石堆的危害,一直达海拔4 000m的冰达坂。不同类型的倒石堆危害程度也不一样。落石型倒石堆崩落比较集中在春天融化季节和秋天的封冻季节。这期间冻融过程频繁有利于岩石崩解。冲积型倒石堆一般具有比较大的补给范围,在春天的消融季节和夏天的降雨天形成阵性的补给,堆积量较大,危害也较大。如乌库公路在春夏经常有这种作用使运输短时中断。雪崩型倒石堆主要出现在冬季和初春,对公路的危害最大。

(5) 冰缘石溜坡 完全由寒冻风化碎屑覆盖,坡度大于10°的山坡。冰缘石溜坡出现在寒冻作用比较强烈的冰缘带上部。如天山乌鲁木齐河源区石溜坡主要分布在3 600m以上。石溜坡上的碎屑向坡下的缓慢蠕动会对位于石溜坡上的设施造成危害。冰达坂废弃公路大部分位于石溜坡之上,近30年来蠕动下移的碎屑在部分地段已将废弃公路全部覆盖。

(6) 热融喀斯特 热融喀斯特出现在永久冻土分布区。它的出现与地表水和地下水的活动有关。有时由于人类活动的影响破坏了永久冻土的热量平衡,也会引起冻土的消融而出现塌陷现象。乌鲁木齐河源出现的海拔为3 550m。

(7) 构造土 地表物质的冻融胀缩和分选是冰缘环境中常见的现象。这种过程可以形成石环、石多边形、石条等。它们在乌鲁木齐河源区出现的海拔介于3 560—3 940m。主要出现在地势比较平坦、细物质比较多的地方。这种过程引起路面物质升降、翻浆等,对公路有一定的危害。

致谢: 本研究是在中国科学院天山冰川观测站科研基金的资助下完成的。参加野外工作的有北京大学刘耕年、熊黑钢、张兵、易朝路和严竞浮,河南地矿局关保德,新疆地理研究所李靖。野外工作得到天山冰川观测站领导和同事的大力协助。在野外工作期间得到加拿大卡尔加里大学地理系哈里斯教授热情帮助。在此一并致射。

参 考 文 献

- 朱诚 *et al.*, 1988. 天山乌鲁木齐河源区倒石堆浅论. 山地研究, 6 (4): 203—309
李树德 *et al.*, 1981. , 天山乌鲁木齐河源胜利达坂岩石风化剥蚀速率初探. 冰川冻土, 3 (增刊): 117—118
崔之久 *et al.*, 1989. 天山乌鲁木齐河源区石冰川的温度结构类型与运动机制. 科学通报, (2): 134—137
Embleton C, 1975. Periglacial geomorphology. Arnold, 67—95

天山乌鲁木齐河源区现代冰碛堆积速率及 倒石堆表面砾石运动速率观测

崔之久^① 熊黑钢^①

1 概 述

冰碛堆积速率一直是人们很感兴趣的课题。但人们仅赋予一般的沉积学上的意义，故皆以年沉积厚度计之，视其如同河、湖、海沉积速率一样。然而冰川沉积环境极为复杂，而且极不均匀。无论山地冰川或大陆冰盖皆在其外侧形成堤状物。本文针对上述特点，在观测和计算冰碛沉积速率时以重量和体积计，同时对已知天山乌鲁木齐河源1号冰川小冰期三道终碛垄形成所需全部时间进行换算，即通过沉积速率对冰碛进行年代测定，获得了良好的结果。

前人报道，冰碛沉积速率视不同沉积类型有较大差别。一般而言，流碛沉积速率最快，一年数米。其次是融出碛，一年20cm或更多。其中冰上融出碛之多少取决于冰面受热融化的程度，冰下融出碛则要慢得多。Sugden等(1976)计算阿拉斯加Burroughs冰川沉积速率为5—28mm/a。Boulton在1975年谈到Svalbard现代的滞碛也有类似的速率。但1971年Goldthwait认为末次冰期时冰盖冰碛沉积速率高于20cm/a。如Flint 1971年提到，在斯匹斯卑尔根的Sefstnom冰川10年内沉积了30 m。我们之所以选择天山1号冰川冰面剪切碛作观测对象，是考虑到它是冰上融出碛之一亚类，具中等沉积速率。由于该冰川规模小，又是大陆性冰川，故其沉积速率要小。实际情况也是海洋性冰川沉积速率高于大陆性冰川，低纬山地冰川高于中、高纬山地冰川。

2 现代冰碛堆积速率

从1986年起我们在天山乌鲁木齐河源1号冰川表面、3号冰川表面以及6号冰川前死冰区布设了3个现代冰碛堆积速率观测场，量测从冰川剪切面上升到冰面的剪切碛碎屑堆积量及死冰融化时上覆冰碛下卸量。1号冰川及3号冰川冰面剪切碎屑堆积量的观测主要方法是清理老的冰面剪切碎屑；直到全部为干净的冰川冰为止，向下挖深度为0.5m，长为2m的长条形槽，在槽内的剪切面两侧铺设塑料布(图1)。在6号冰川死冰区的死冰侧部利用塑料布和钢筋设置观测场。定期去上述两类观测场称重冰川碎屑的堆积量，并重新清理观测场以备下次再测。

^①北京大学地理系。

1号冰川和3号冰川的冰面剪切碎屑的堆积量观测了4年(1986—1989年)。6冰川前死冰处上覆冰碛下卸量观测了3年(1986—1988年)。各观测场及观测时间,见冰碛堆积速率情况表(表1, 2, 3)。

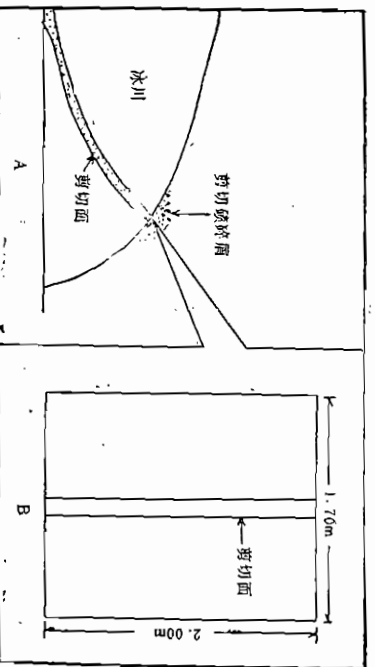


图1 1号冰川剪切面(A)及剪切破屑堆积量观测场(B)

表1 1号冰川剪切堆积速率*

时 间	堆 积 量 (kg)	堆 积 速 率 (kg/d)	堆 积 场 面 积 (m ²)	经 历 天 数 (d)
1986.6.24—8.18	678	12.33	3.40	55
1986.8.19—1987.7.23	60	0.18	3.40	339
1987.7.24—8.24	377	12.16	3.40	31
1987.8.25—1988.8.12	233	0.66	3.40	352
1988.8.13—1989.8.18	217	0.59	3.40	370

注: *据1986年6月24日测量, 1号冰川冰面剪切破屑长, 4.89m; 面积, 8.190.76m²; 体积, 1122.13m³。

表2 3号冰川剪切堆积速率*

时 间	堆 积 量 (kg)	堆 积 速 率 (kg/d)	堆 积 场 面 积 (m ²)	经 历 天 数 (d)
1986.6.26—8.13	523	10.90	1.60	48
1986.8.14—1987.7.18	50	0.15	1.60	336
1987.7.17—8.15	250	8.62	1.60	29
1987.8.16—1988.8.13	128.8	0.35	1.60	362
1988.8.14—1989.8.19	110	0.30	1.60	370

注: *据1986年6月26日测量, 3号冰川冰面单股剪切破屑长, 67m; 面积, 589.6m²; 体积, 80.19m³。

从表中可以看出冰川剪切碎屑堆积速率有以下几个特点:

(1) 夏季堆积多, 冬季堆积少。1986年夏季55天的堆积量占1986年夏—1987年夏全

表3 6号冰川前死冰区冰碛堆积速率

时 间	堆 积 量 (kg)	堆 积 率 (kg/d)	观 测 场 面 积 (m ²)	经 历 天 数 (d)
1986.7.18—8.16	1 334	46.00	6.63	29
1986.8.17—1987.7.26	1 617	4.73	6.63	342
1987.7.27—8.16	180	9.00	6.63	20
1987.8.17—1988.8.23	1 235	3.33	6.63	370

年的92%。1987年夏季的31天堆积量占1987年夏—1988年夏全年的62%。上述特点可能同下列因素有关：1)与冰川消融有关。夏季冰川消融强烈，冰层消融后剪切碎屑融出堆积量大，冬季积累多消融少，情况反之；2)与冰川运动有关。夏季冰川运动快，剪切面滑动快，堆积速率大。据1号冰川表面速度的实际观测①夏季日流速大于全年平均日流速的季节变化。

(2)若以全年平均计算，剪切碎屑堆积速率逐年降低。1986—1987年夏的堆积量比1987—1988年夏的堆积量大1.2倍，比1988—1989年夏的堆积量大3.4倍。这可能同冰川厚度逐渐减薄，运动速率逐年降低有关(孙作哲 *et al.*, 1985)。

死冰区冰碛堆积速率主要与气候有关。1986年气温高，5月上旬气温就在0℃以上，死冰融化强烈，冰碛堆积量大。而1988年气温最低，6月份后气温才上升至0℃以上，因而冰碛堆积量最小。

同时我们对1号冰川末端主要由剪切碎屑堆积的几道小垄的体积进行了统计，1981—1989年平均堆积量为410m³/a。

3 小冰期各冰碛垄所需堆积时间的推算

(1)利用大比例尺地形图(1:10 000)和野外调查确定出小冰期3道冰碛垄所在位置(图2)求出它们的面积、体积(表4)

表4 小冰期各冰碛垄情况统计表

小冰期 各垄名	面 积 (m ²)	平均厚度 (m)	体 积 (m ³)	各垄中碛 所占体积 (m ³)	用现代堆积推算 时各垄中碛体积 (m ³)	各垄堆积所 需的时间 (a)
第一道垄	96 000	15.1	1 449 600	144 960	101 472	247
第二道垄	64 500	10.7	690 150	69 015	55 212	134
第三道垄	25 000	7.3	182 500	18 250	16 425	40

(2)在大比例尺地形图(1:10 000)的1号冰川前小冰期堆积地区不同部位分

①孙作哲、张金华、陈要武，1982，乌鲁木齐河源1号冰川地形图测量和冰舌末端近期变化。天山冰川站年报，(1)，1—2。

别绘出各冰碛垄的表面形态，并用右侧槽谷形态推测出左侧槽谷底部形态(图3)。从图3可知各垄的平均厚度(表4)。这同我们野外实际观测数据基本符合。

(3)通过各垄的面积和厚度得出各自体积(表4)。

(4)若要以目前1号冰川末端主要由剪切碎屑堆积的冰碛体积推算小冰期的年代，则必须考虑其整个冰碛垄体积中所占的比例。孙作哲等(1985)和李世杰(1985)认为，1号冰川末端的剪切冰碛，早期曾是中冰碛。小冰期冰碛垄主要由侧冰碛和终冰碛组成，后者由冰面碎屑、冰内碎屑、冰下碎屑，以及老冰碛堆积而成。中冰碛体积仅占全部冰碛垄体积的10%。由此可推得，小冰期堆积的3道冰碛垄中由中冰碛堆积量见表4。

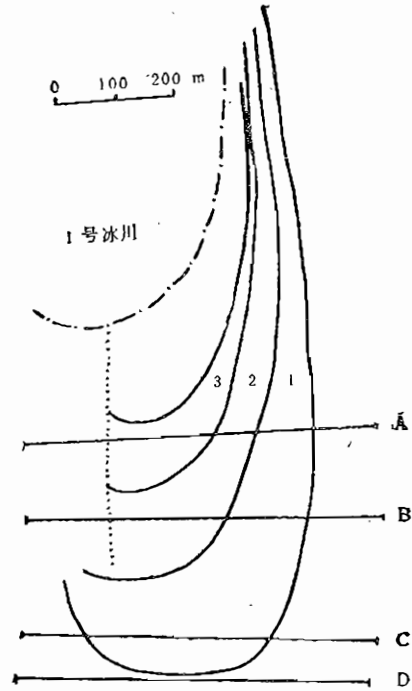


图2 小冰期各冰碛垄所占面积和横剖面观测线

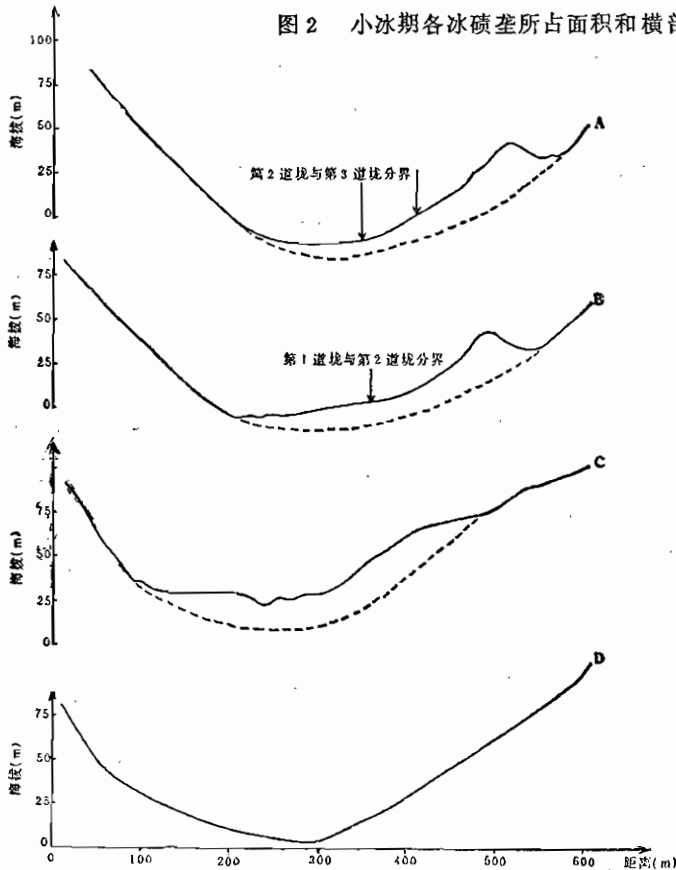


图3 小冰期各冰碛垄表面形态与推测的底部形态(虚线)(各横剖面位置见图1)

(5)小冰期3个阶段的冰川长度比现代冰川长度分别长27.8%，21.6%和13.1%。而小冰期各阶段冰川面积分别为2.48，2.41和2.15km²，比现代分别大27%，24%和10%（秦大河 *ed al.*，1984）。早期冰川规模大，中碛垄体积大，堆积得多。若以现代冰川末端堆积的冰碛堆积估算小冰期各垄堆积时间，还需考虑冰碛堆积变化速率和冰川规模变化速率之间的关系。一般冰川的规模与冰碛沉积量成正比，即冰川规模愈大，沉积量也愈大。设其关系符合下列方程：

$$y = ax$$

式中， y 为冰川规模（面积或长度）； x 为沉积量， a 为系数，随冰川不同而变化。若冰川规模的变化速率与沉积量变化速率一致，则 a 等于1。由上述分析和小冰期各阶段冰川规模（面积或长度）变化的数据可知，在考虑了冰碛堆积量逐渐减小的情况后，第1道垄需乘以0.7，第2道垄需乘以0.8，第3道垄需乘以0.9，这样才能使利用现代冰川堆积估算小冰期各垄堆积所需时间更准确。各垄换算后的体积见表1。

(6)现代冰川末端的剪切碎屑堆积由两部分组成，即由第1道剪切碛垄（部分老中碛垄）和第2，3道剪切碛。1981—1989年由第1道剪切碛垄在1号冰川末端的堆积量年平均为410m³/a。

(7)据堆积体积和年平均堆积量计算所得的小冰期3道冰碛垄堆积的时间见表1。

表5 1号冰川冰舌末端退缩表

时 间	平均后退速度 (m/a)	资 料 来 源
1962.9.6—1973.8.30	5.96	王文颖等，1974
1973.8.30—1980.8.30	3.28	孙作哲等，1985
1980.8.30—1981.8.31	4.83	孙作哲等，1985
1981.8.31—1982.8.30	2.06	孙作哲等，1985
1982.8.30—1983.8.30	2.94	孙作哲等，1985

(8)从小冰期最末一道冰碛垄后缘到现代冰川末端约有200m距离(图2)。据1962—1983年1号冰川冰舌末端退缩测量数据(表5)，其总平均后退速度为3.8m。若以此值计算，小冰期后冰川退缩到目前位置需52年。

(9)根据小冰期各冰碛垄堆积所需年代和其后冰川退缩的年代(图4)可知小冰期各冰碛垄开始年代分别为473，226和92年前，代表3次小的寒冷期开始时间。张祥松等(1984)据树木年轮推测小冰期各阶段开始与其垄形成时间分别差60，25，25年。据此得各垄形成年代。

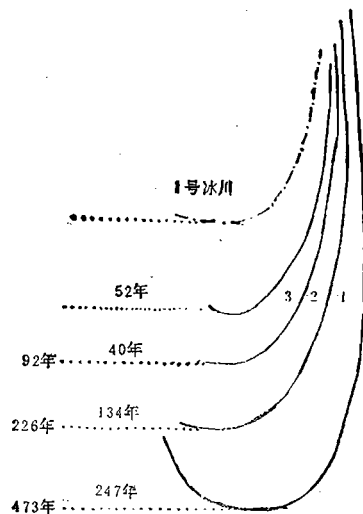


图4 小冰期各冰碛垄堆积所需年代

我们采用上述方法所测得的小冰期各冰碛垄形成的年代大致和用树木年轮地衣测定的年代相同(表6)。

表6 1号冰川小冰期各冰碛垄形成年代对比表

第一道垄年代	第二道垄年代	第三道垄年代	备注
413	201	67	作者
396—341	226—196	171—91	张祥松等, 1984
403 1581	208 1776	74	陈吉阳, 1987

利用冰碛堆积速率计算老冰碛垄堆积所需年代和其形成年代, 还是首次尝试。有待今后工作中进一步修改和完善。

4 倒石堆表面砾石运动观测

在5号冰川下缘和空冰斗等地布设了倒石堆表面砾石运动速率观测场, 其观测资料列入表7, 8, 9, 10(附图后)。从表中可以看出以下主要特点:

(1)夏季运动快, 冬季运动慢。5号冰川下倒石堆, 1986年夏季运动速率比1986—1987年的冬季运动速率快1.5倍。因为冬季冻结, 砾石不易运动。6月份以后气温上升, 冰雪融化, 砾石之间的冻结力、摩擦阻力减弱, 砾石运动加快。

(2)小倒石堆(5号冰川右侧倒石堆)比大倒石堆(5号冰川下倒石堆)的表面砾石运动得快。5号冰川下的倒石堆虽然有5号冰川给它提供大量岩屑, 但它发育时间长, 较为稳定, 而小倒石堆处在正发育的阶段, 表面砾石容易运动。

(3)阴坡倒石堆(5号冰川下以及右侧的倒石堆)表面砾石比阳坡倒石堆(空冰斗后壁倒石堆)表面砾石运动快, 因为阴坡冻融作用频繁, 风化强烈。

参 考 文 献

- 孙作哲、陈要武、尤根祥、韩建康, 1985。天山乌鲁木齐河源1号冰川的运动特征。冰川冻土, 7(1), 27—31
- 李世杰, 1985。天山乌鲁木齐河源1号冰川表面第一道垄状冰碛成因的初步分析。冰川冻土, 7(4), 353—358
- 陈吉阳, 1987。天山天格尔第二峰地区全新世中后期冰川变化的初步研究。冰川冻土, 9(4), 347—352
- 张祥松、孙作哲、张金华、康兴成, 1984。天山乌鲁木齐河源1号冰川的变化及其与气候的若干关系。冰川冻土, 6(4), 6—9
- 康大河、冯兆东、李吉均, 1984。天山乌鲁木齐河源地区主玉木冰期以来冰川变化和发育环境研究。冰川冻土, 6(3), 51—60
- Sugden E, John B S, 1976. Glaciers and landscape Edward Arnold. From and London, 227

1986. 6. 19布点, 量测间距为50cm

表7 5号冰川下倒石堆运动距离 (cm) 及速率

时 间	编 号		距																					平均速率 (cm/a)	最大速率 (cm/a)		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21				
1986. 8. 19	上	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	3.7	59.8
	中	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	3.1	47.9
	下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	2.9	65.8
1987. 6. 25	上	7	8	3	9	0	0	0	2	1	0	0	3	3	0	0	5	0	2	0	0	1	0	24	0	1.9	16.5
	中	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	2.7	2.4
	下	0	4	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	2.0	10.6
1987. 8. 17	上	10	9	5	10	2	2	3	1	2	0	6	3	9	1	3	0	2	0	0	0	0	0	25	0	8.2	6.9
	中	0	4	8	4	0	0	5	2	6	0	8	0	8	9	5	0	3	6	3	0	0	0	66	0	2.6	385.7
	下	2	4	13	4	0	0	2	6	0	3	0	2	0	2	1	0	3	3	3	0	6	0	24	0	6.9	27.6
1988. 8. 25	上	15	20	12	17	9	3	3	1	2	0	7	5	10	3	6	0	2	1	1	3	0	31	0	2.3	5.9	
	中	7	4	6	8	6	6	5	4	4	5	0	10	10	13	7	0	1	0	2	0	0	80	0	1.5	13.7	
	下	2	4	15	4	0	4	0	6	7	4	0	3	0	1	0	3	6	4	4	8	0	35	0	0.5	10.8	
1989. 8. 21	上	24	23	19	21	17	4	3	1	2	0	12	5	12	15	16	0	3	1	2	5	0	45	0	0.1	14.2	
	中	9	7	7	10	7	8	5	7	6	7	0	11	13	14	8	0	2	0	3	0	0	91	0	1.3	11.1	
	下	2	4	16	5	0	4	6	7	5	0	4	0	2	1	0	4	9	8	8	11	0	57	0	0.9	22.2	

表8 5号冰川右侧倒石堆运动距离 (cm) 及速率

1986. 8. 18布点, 基测间距为50cm

时 间	编 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	最 大 (cm)	最 小 (cm)	经 历 天 数 (d)	平 均 速 率 (cm/a)	最 大 速 率 (cm/a)
	段 号																	
1986. 8. 19	上		0	0	4	0	0	0	0	3	0	0	0	27	0		3.8	159.0
	中		0	0	3	0	0	0	0	0	0	5	0	37	0	62	4.3	217.8
	下		0	3	4	0	0	0	0	0	4	0	0	10	0		5.9	58.9
1987. 6. 25	上		5	10	12	5	15	17	28	5	5	25	16	53	0		14.6	30.6
	中		13	16	17	0	10	6	10	20	12	7	17	59	0	310	12.9	25.9
	下		0	6	7	9	12	0	2	4	8	10	0	31	0		5.0	24.7
1987. 8. 17	上		10	11	13	7	18	20	37	7	9	27	21	59	5		23.2	41.3
	中		15	18	18	0	12	7	13	23	15	9	19	68	0	53	13.2	62.0
	下		3	7	11	17	13	2	6	8	5	12	0	48	3		18.8	117.1
1988. 8. 25	上		12	16	14	7	19	28	40	8	28	30	30	63	7		4.6	3.9
	中		16	36	25	27	20	15	30	29	50	20	28	73	11	373	13.1	4.9
	下		9	14	36	36	20	14	28	19	13	16	7	69	7		11.0	20.5
1989. 8. 21	上		12	17	15	7	21	30	42	11	85	30	36	74	10		2.2	11.1
	中		30	40	31	28	20	19	37	29	52	34	35	91	14	361	5.4	18.2
	下		9	19	39	50	24	76	30	20	13	18	10	75	9		8.8	6.1

表9 空冰斗后壁倒石堆运动距离 (cm) 及速率

1986. 6. 23布点, 量测间距为50cm

时间	编号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	最大 (cm)	最小 (cm)	经历天数 (d)	平均速率 (cm/a)	最大速率 (cm/a)	
	线号																												
1986. 8. 17	上		0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	7	0	0		2.8	46.5
	中		0	0	4	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	15	0	0	55	2.5	99.6
	下		0	0	5	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	24	0	0		3.8	159.3
1987. 6. 27	上		0	0	0	8	0	0	0	0	9	0	0	0	0	7	0	6	0	0	0	13	0	18	0	0		1.9	12.8
	中		0	0	15	0	0	3	2	0	0	3	0	0	0	0	7	0	0	0	4	0	7	23	0	0	314	1.8	9.3
	下		5	0	10	0	0	0	0	0	9	0	1	0	4	0	0	0	0	0	9	0	3	37	0	0		1.6	15.1
1987. 8. 17	上		0	0	0	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	7	0	6	0	0	0	13	0	21	0	0		1.0	21.5
	中		0	0	17	0	0	4	3	0	0	6	0	0	0	0	12	0	0	0	4	0	7	27	0	0	51	3.8	28.6
	下		8	0	10	0	0	0	0	0	10	0	1	0	4	0	0	0	0	0	11	0	3	52	0	0		2.1	107.4
1988. 8. 23	上		0	0	0	11	0	0	0	0	10	0	0	0	0	9	0	6	0	0	0	13	0	28	0	0		0.14	6.9
	中		0	0	17	0	0	4	4	0	0	6	0	0	0	0	12	0	0	0	4	0	7	44	0	0	371	0.1	18.7
	下		8	0	10	0	0	0	0	0	10	0	1	0	4	0	0	0	0	0	13	0	3	67	0	0		0.1	14.8
1989. 8. 20	上		0	0	0	13	0	0	2	0	11	0	0	0	0	9	0	6	0	0	0	13	0	38	0	0		0.24	5.0
	中		0	2	17	0	0	6	5	0	2	6	0	0	1	2	12	2	0	2	4	0	8	58	0	0	362	0.6	14.1
	下		8	0	10	0	0	1	2	0	10	0	1	0	4	0	0	1	2	15	0	3	0	90	0	0		0.4	23.2

表10 空冰斗左侧倒石堆运动距离 (cm) 及速率

1988. 6. 23布点, 观测间距为50cm

时 间	编 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	最 大 (cm)	最 小 (cm)	经 历 天 数 (d)	平 均 速 率 (cm/a)	最 大 速 率 (cm/a)
	上	中	下																	
1986.8.17	上	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	17	0		3.1	112.8
	中	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	21	0	55	1.5	139.4
	下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	3	0	10	0		3.6	66.4
1987.6.27	上	0	2	10	3	2	0	0	0	0	7	0	0	0	0	39	0		1.6	25.3
	中	2	1	2	1	1	0	0	0	0	2	3	0	0	0	36	0	314	0.8	17.4
	下	0	2	3	4	1	0	0	0	8	3	2	6	0	1	27	0		2.1	19.8
1987.8.17	上	0	2	14	3	4	0	0	0	0	7	0	0	0	5	41	0		6.1	14.5
	中	2	4	2	4	1	0	0	0	0	2	3	0	0	0	54	0	51	5.5	128.8
	下	0	2	3	4	4	0	0	0	8	3	2	8	2	4	37	0		5.5	429.4
1988.8.23	上	0	7	17	4	4	0	0	0	0	10	6	7	5	7	56	0		2.4	14.8
	中	4	5	4	4	2	0	0	0	0	2	3	2	0	4	72	0	371	0.6	17.7
	下	0	2	3	5	6	0	0	0	11	5	2	8	3	7	110	0		0.9	22.6
1988.8.20	上	0	7	23	4	4	0	0	0	0	11	6	7	5	9	60	0		0.7	4.0
	中	5	5	7	6	4	2	0	0	3	6	8	5	0	7	89	0	362	2.2	17.1
	下	0	4	3	5	8	2	2	6	13	5	2	9	3	7	128	0		1.2	18.2

中苏联合在天山冰川站开展冻土研究

邱国庆

自1990年起,中国科学院兰州冰川冻土研究所与苏联科学院西伯利亚分院冻土研究所联合进行中高山冻土研究,工作重点在本站及苏联大阿里玛钦卡-科斯莫冻土站。苏方参加工作的有A·II·戈诺尔布夫、E·Д·叶尔莫林、С·Н·提特科夫等,中方参加工作的有邱国庆、曾仲琨、王淑娟、赵林、金会军等。本站为该项研究提供了基金资助。

苏方钻机在站区钻了两个浅孔,发现这里冰碛物厚度较小。如夏季营地附近,基岩埋藏深度只有16.4 m(去年电探解释为13.6 m);在罗卜道沟口与总水文断面间的T₃孔,基岩埋深为12.3m。T₃孔还发现在0.3—10.9m分布着不含片麻岩碎屑的冰水沉积物,10.9—12.3m为含片麻岩碎块石的冰碛物。这为研究乌鲁木齐河源区的沉积顺序,提供了一方面的佐证。

通过坑探,进一步肯定了乌鲁木齐河源区较广泛地分布着埋藏的腐殖质土。这些在距今4300—560年前形成的腐殖质土,已有若干层处于多年冻结状态,说明第四纪晚期存在着共生冻结环境。

通过一系列电探工作,再次确认本站多年冻土分布的最低海拔为3250m(阳坡)及2900m(阴坡)。通过调查,对站区冰缘现象有了更多的发现。通过对比考察,认为中国天山冰川站与苏联大阿里玛钦卡-科斯莫冻土站在冻土分布特征上有较大差别,可能与两地的降水及其年内分配以及大陆度的差异有关。

本项研究工作将继续进行。计划于1991年内举行小型学术讨论会以审定第一个文集的13篇论文,并在本站进一步开展勘探和地温监测工作。

天山空冰斗山坡水文过程研究

——1990年野外工作进展

杨针娘

1990年是本课题执行的第一年,主要任务在空冰斗流域内进行野外布点,为明年正式开展观测实验研究打好基础。

8月间胡鸣高教授由杨针娘、王强陪同到天山冰川站。在进行流域踏勘、了解流域内现有积雪、流量和冻土最大融化深度等资料的基础上布设了以下观测点:

(1) 地下水位及冻土观测断面。从下游到源头共布设地下水位、冻土观测断面4个。每个断面埋设观测地下水位管2个和冻土器1个。

(2) 测雪断面。在杨大庆布设的7个测雪断面(B, C, D, E, F, G, H)的基础上,上游增设3个测雪断面(I, J, K),并在D, E, G断面设4个测雪含水量点。

(3) 两个基本点和一个最高气象点。第一个基本点(WM);由本课题负责观测降水、气温、

湿度、净辐射、风速、气压、蒸发和地温；第二个基本点（MM）：为杨大庆原有的观测点，包括降水、气温、湿度、净辐射、短波辐射和长波辐射；最高气象点：观测降水、气温、湿度。

(4) 测流断面。在原测流断面（MH）的上游（UH）和下游（LH）增设测流堰各一个，作为流量对比观测。

今年已完成埋设冻土器3套和地下水位管8根。

加拿大卡尔加里大学哈里斯教授 及夫人来站进行工作访问

刘耕年

应国家自然科学基金委员会的邀请，加拿大卡尔加里（Calgary）大学S.A.哈里斯教授及夫人（Mr. and Mrs. Harris）于1990年7月12—17日在天山冰川站进行工作访问。

哈里斯教授是国际知名冻土和冰缘地貌学家，曾于1988年对天山冰川站进行过一次短暂访问。在天山乌鲁木齐河源，哈里斯教授对各种冰缘地貌现象进行了观测，并与中国同行谢自楚、邱国庆先生等及苏联学者就冰川、冰缘问题进行了有益的交流和研讨。对空冰斗中的石环、石冰川、冻土特征进行了比较详细的观察和讨论。另外，对2号和3号冰川外缘的石冰川进行了观察，并在3号冰川外石冰川上安放了一套气温观测仪器。哈里斯教授认为天山冰缘现象丰富，发育条件和形态具有独特之处，代表了中纬干旱带高山冰缘类型，值得进行深入研究。

此外，哈里斯教授对天山冰川站进行的各项研究极为称赞，为国内和国际合作研究提供了方便条件。另外还特别感谢天山冰川站领导及工作人员的热情接待和各种帮助。

哈里斯教授离开天山冰川站后，前往昆仑山垭口进行野外考察，受到格尔木冻土站的热情接待。返回北京途中顺访了兰州冰川冻土研究所。