

乌鲁木齐河源 1 号冰川的积消 特征及成冰过程

王晓军 王仲祥 王纯足

1985—1986年，我们在 1 号冰川上进行了物质平衡观测，并对该冰川成冰作用的某些特征进行了初步分析，现将资料及分析简述如下。

1 物质平衡计算

1 号冰川物质平衡观测采用固定日期法与平衡年大致相对应的日期，并辅以层位法进行。1986年，1 号冰川共布设花杆70根，其中东支36根，西支34根，积累区 3 根，消融区67根，花杆布置密度为38根/km²。观测时间为1985年 8 月30日至1986年 8 月30日，每月观测一次。每次均进行雪层剖面，积雪厚度、密度、硬度以及附加冰生长过程观测。根据单点物质平衡值（表 1）绘制成1985—1986年度 1 号冰川物质平衡等值线图，进而求得该年度冰川积消面积，雪线高度以及各项年物质平衡值（表 2，3，4）。

表 1 乌鲁木齐河源 1 号冰川花杆观测的积累消融资料（1985—1986）

剖面 (位置)	花杆 (No.)	纯 积 消 量 (mm)					
		1985.8.31— 1986.5.2	1986.5.2— 1986.6.1	1986.6.1— 1986.6.30	1986.6.30— 1986.7.30	1986.7.30— 1986.8.30	合 计
	A	-712.9	-603.1	-248.2	-1081.8	-693.0	-3339.1
西 支	1	-516.6	-286.4	-182.4	-1084.6	-823.2	-2893.2
B	2	-68.5	-136.2	-80.0	-993.3	-761.6	-2039.6
	平 均	-292.6	-211.3	-131.2	-1039.0	-792.4	-2466.6
西 支	1	+36.8	-115.6	-47.2	-774.0	-629.0	-1529.0
C	2	+21.8	-87.4	-34.9	-1024.5	-671.6	-1796.6
	3	-97.9	-150.1	-132.6	-1095.4	-778.2	-2254.2
	平 均	-13.1	-117.7	-71.6	-964.6	-692.9	-1859.9

表 1 (续 1)

剖 面 (位 置)	花 杆 (No.)	纯 积 消 量 (mm)					
		1985. 8. 31—	1986. 5. 2—	1986. 6. 1—	1986. 6. 30—	1986. 7. 30—	合 计
		1986. 5. 2	1986. 6. 1	1986. 6. 30	1986. 7. 30	1986. 8. 30	
西 支 D	1	- 58.8	- 129.5	- 15.8	- 737.9	- 757.8	- 1699.8
	2	- 99.2	- 81.9	- 29.2	- 938.5	- 705.4	- 1854.2
	3	+ 8.3	- 108.4	+ 21.6	- 953.5	- 777.4	- 1808.4
	4	+ 114.7	+ 45.0	+ 89.0	- 705.7	- 567.	- 1024.0
	5	- 251.3	- 39.6	+ 89.0	- 893.0	- 577.0	- 1671.9
	平 均	- 57.0	- 62.9	+ 30.9	- 845.72	- 676.9	- 1611.7
西 支 E	1	+ 66.3	+ 9.8	+ 82.0	- 650.1	- 574.6	- 1066.6
	2	+ 35.7	+ 38.8	+ 74.0	- 669.5	- 614.6	- 1135.6
	3	+ 5.0	+ 51.6	+ 86.8	- 671.4	- 653.0	- 1181.0
	4	- 11.7	- 2.0	+ 52.3	- 698.0	- 616.4	- 1252.4
	5	+ 21.9	+ 108.5	+ 97.6	- 604.2	- 457.0	- 877.0
	平 均	+ 19.4	+ 41.4	+ 68.5	- 658.6	- 583.1	- 1102.5
西 支 F	1	+ 68.0	- 22.9	+ 67.4	- 559.5	- 534.4	- 981.4
	2	+ 59.0	+ 91.4	+ 111.5	- 447.4	- 610.0	- 795.5
	3	+ 116.0	+ 129.5	+ 14.3	- 391.8	- 439.0	- 571.0
	4	+ 126.8	+ 57.7	+ 80.8	- 521.2	- 402.4	- 658.3
	平 均	+ 92.5	+ 63.9	+ 68.5	- 480.0	- 496.5	- 751.6
西 支 G	+ 1	- 37.4	+ 53.9	- 8.5	- 608.2	- 556.6	- 1156.8
	+ 2	+ 163.4	+ 18.0	+ 98.6	- 574.0	- 583.6	- 877.6
	1	- 11.0	+ 10.8	+ 104.5	- 560.3	- 442.2	- 898.2
	2	+ 72.5	+ 44.4	+ 75.4	- 504.3	- 534.8	- 846.8
	3	+ 49.4	- 184.5	+ 75.8	- 422.7	- 304.6	- 786.6
	4	+ 53.5	+ 25.3	+ 91.7	- 597.5	- 552.4	- 979.4
	5	+ 307.2	+ 217.4	+ 35.7	- 560.8	- 656.5	- 656.5
	平 均	+ 85.4	+ 26.5	+ 67.6	- 546.8	- 518.7	- 886.0
西 支 H	2	+ 47.0	+ 31.9	+ 185.7	- 571.7	- 423.0	- 730.1
	3	+ 24.1	+ 41.7	+ 108.5	- 548.3	- 456.0	- 830.0
	4	+ 90.7	+ 121.4	+ 110.7	- 499.3	- 369.5	- 546.0
	5	+ 173.2	+ 145.4	+ 89.2	- 520.3	- 481.5	- 594.6
	平 均	+ 83.8	+ 85.1	+ 123.5	- 534.9	- 432.5	- 675.2

表 1 (续 2)

剖面 (位置)	花 杆 (No.)	纯 积 消 量 (mm)					合 计
		1985.8.30— 1986.5.1	1986.5.1— 1986.5.31	1986.5.31— 1986.6.29	1986.6.29— 1986.7.29	1986.7.29— 1986.8.29	
	A's	-296.7	-199.3	-427.8	-1074.5	-927.0	-2925.3
东 支	+ 1	+ 30.7	-159.0	-229.9	-1054.8	-846.0	-2259.0
	+ 2	+136.6	-157.0	-142.0	-872.6	-612.0	-1647.0
	1	-360.1	-317.3	-97.5	-1061.1	-576.0	-2412.0
	2	+ 53.0	-135.6	-85.4	-1038.0	-873.0	-2079.0
B'	3	-92.6	-110.3	-66.7	-1045.4	-756.0	-2070.0
	4	-136.3	-88.5	-82.9	-1018.3	-957.0	-2283.0
	平 均	-61.5	-161.3	-117.2	-1015.0	-770.0	-2125.0
东 支	+ 1	0	+ 70.6	-84.0	-913.2	-771.8	-1698.4
	+ 2	-184.4	-135.8	-98.6	-805.2	-645.8	-1869.8
	1	+ 23.2	-19.0	-14.8	-871.4	-804.0	-1686.0
	2	-32.6	-51.5	-21.3	-884.6	-741.0	-1731.0
C'	3	+ 90.8	-104.7	-63.9	-939.2	-780.0	-1397.0
	4	-152.2	+106.3	+297.4	-801.4	-681.0	-1210.9
	平 均	-42.5	-22.4	+ 2.5	-869.2	-733.9	-1665.5
东 支	1	+175.5	-74.2	+ 54.2	-623.5	-720.0	-1188.0
	2	-80.9	-68.2	+ 46.7	-666.4	-610.4	-1379.2
	3	-74.1	-7.7	+ 82.3	-609.1	-736.0	-1344.6
	4	-79.3	+ 21.4	-4.3	-639.8	-783.8	-1485.8
D'	5	-3.2	+149.7	+139.7	-517.6	-394.6	-619.6
	平 均	-12.4	+ 4.2	+ 63.7	-611.3	-649.0	-1203.4
东 支	1	+ 55.5	+ 49.6	+ 55.0	-454.1	-579.0	-873.0
	2	+ 10.3	-34.8	+101.7	-600.9	-453.0	-976.7
	3	+ 33.8	-3.9	+196.0	-537.9	-471.0	-783.0
	4	+ 43.0	+ 29.8	+ 82.9	-444.2	-348.0	-636.7
E'	5	-18.8	-8.0	+ 88.1	-400.3	-362.0	-701.0
	平 均	+ 24.8	+ 6.5	+104.7	-487.5	-442.6	-794.1
东 支	1	+ 67.8	+ 88.0	+ 12.3	-399.1	-611.0	-842.0
	2	-23.7	+ 29.7	+ 45.9	-507.4	-472.4	-927.9
	3	+ 36.6	+ 71.5	-3.2	-472.3	-427.0	-784.0
	4	+153.0	+ 76.6	+ 36.5	-332.6	-374.1	-440.6
F'	5	18.8	+ 65.4	+ 48.4	-369.2	-217.1	-453.7
	平 均	+ 50.5	+ 66.2	+ 28.0	-416.1	-420.3	-691.6

消融期气温、降水的变化,直接关系到冰川物质平衡的年际变化。自1984年以来,消融期降水减少更加明显。1986年消融期7、8两月气温是进入80年代后温度最高月份,比前5年消融期同期平均气温升高1.1°C,导致了继1985年后又一次大的消融高峰。从表5中可看出,1984—1986年冰川纯消融量比前期平均增长 $20.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

2 冰川积消特征

年 度	纯积累 (10^4m^3)	纯消融 (10^4m^3)	消融区季 节积累 (10^4m^3)	消融区消 融 (10^4m^3)	总积累 (10^4m^3)	总消融 (10^4m^3)	物质收支差额 mm水柱
	(10^4m^3)	(10^4m^3)	(10^4m^3)	(10^4m^3)	(10^4m^3)	(10^4m^3)	(10^4m^3)

表4 1985—1986年1号冰川物质平衡计算结果

年 度	积 累 区 面 积 (km^2)	消 融 区 面 积 (km^2)	冰川稳定性系数 (K)
1984—1985	0.56	1.28	0.44
1985—1986	0.50	1.34	0.32

表3 1号冰川积消面积变化

年 度	东 支 (m)	西 支 (m)	平 均 (m)
1984—1985	4081	4112	4097
1985—1986	4110	4150	4130

表2 1号冰川零平衡线变化

剖 面 (位 置)	花 杆 (No.)	纯 积 消 量 (mm)					合 计
		1985.8.31— 1986.5.1	1986.5.1— 1986.5.31	1986.5.31— 1986.6.29	1986.6.29— 1986.7.29	1986.7.29— 1986.8.29	
东 支	1	+185.9	+56.6	+140.8	-473.3	-561.6	-651.6
	2	-62.9	+108.0	+89.0	-398.4	-503.0	-767.3
	3	+58.8	+38.8	+143.2	-368.8	-480.2	-608.2
	4	+91.7	+61.0	+126.0	-510.0	-384.7	-616.0
	5	+18.5	+92.6	+152.8	-521.9	-273.0	-531.0
平 均	H ²	+176.4	+257.0	+132.6	-478.6	-307.5	-220.1
	I ¹	+171.4	+191.2	+90.8	-233.4	-202.0	+18.0
	J ¹	+147.0	+204.1	+38.9	-206.7	-217.3	-34.0

表1 (续3)

表5 1号冰川消融期降水、气温、纯消融量多年平均值

年 度	消 融 期 降 水 (5—8月) (mm)	消 融 期 气 温 (5—8月) (°C)	纯 消 融 量 ($10^4 m^3$)
1980—1983	321.2	3.1	83.7
1984—1986	271.0	3.0	104.2

为了解粒雪盆后壁的积消变化情况,我们在1号冰川东、西支粒雪盆后壁不同高度上各布设三根花杆,每月观测一次花杆的积消情况。7月中旬,由于一场风暴将西支粒雪盆后壁的花杆吹断,使该处观测中断,我们只好以东支的花杆资料进行分析。结果表明,冰川的积累随高度变化而递增,但到一定高度上,其积累量趋于稳定并有随高度增加明显减弱的趋势。这一特征与我们1986年多次过程降水的实测情况相一致。积累随高度的这种变化,在一定程度上反映了高山区降水的垂直分布规律。根据消融期多次测雪表明,冰川积累量最大值出现在4090m左右。将东支粒雪盆后壁的H₂'、I'、J'、K'点的观测值列入表6。1986年粒雪盆后壁的纯积累量平均为50mm左右。据表6资料,综合降水、气温资料分析认为,自1980年以来,粒雪盆后壁最大纯积累量不超过300mm。以往在物质平衡计算时,由于粒雪盆后壁观测点少,观测时间间隔较长,加之污化面随融水的渗浸而消失的情况,导致对该处的积累量估算偏高。

表6 1号冰川东支粒雪盆后壁各高度积消变化值

位 置 积累厚度 (cm) 观测日期	H ₂ 4058m	I 4090m	J 4120m	K 4150m	备 注
86.5.1	67	69	61	46	
5.31	82	103	91	67	
6.29	129	126	118	93	
7.29	17	44	56		
8.29	-35*	10	-6*		

*消融下伏老年层。

3 成冰作用

近期的观测资料表明,1号冰川的成冰过程有如下特征:

(1) 1号冰川积累区除表层3—5m为雪-粒雪层外,下伏25m为融水渗浸冻结作用下的粒雪-冰层,且以渗浸冰为主。1986年11月和1987年6月,我们先后在1号冰川西支粒雪盆后壁4310m至冰舌中上部4030m之间690m区段内钻孔13个,并对粒雪盆后壁冰崖、裂隙各一处进行了观测。因岩芯孔较浅,我们以深度较大的冰崖、裂隙来说明其层状结构特征(图1)。冰崖和裂隙处的粒雪-冰层除表层为粒雪外,完全由融水渗浸-冻结作用后的粒雪和渗浸冰相间组成。随深度增大,渗浸冰厚度不断增加,而粒雪层愈来愈薄。5—10m处渗浸冰尤为发育,厚度可达2.5m左右。渗浸冰层状结构明显,

通常为乳白色(粒雪结构清晰可见)多气泡的渗浸冰和半透明状的渗浸冰相间组成。反映出融水渗浸作用的强弱过程。

(2)粒雪-冰层的形成及演变主要依赖于夏季表面融

水的直接渗浸和冬季雪层内部相变潜热,且后者影响深度大,持续时间长。根据1号冰川积累区1982、1983年雪温资料,消融期5—7月,表面融水的热量主要用于表层3m内粒雪的改造,8月初,下伏粒雪才开始缓慢增温。9月底以后,当表层3m内积雪在温度梯度作用下,产生深霜时,而下伏5—10m的粒雪-冰层却在“较暖”的状态下发生变质。所不同的是,粒雪成冰的热量来源于融水冻结后的相变潜热,而不是表面融水渗浸的直接热效应。

相变潜热融化的水,缓慢地充填在粒雪的孔隙中冻结起来,渗浸冰的厚度不断增大,这一过程可延续到12月初,其影响深度可达20m左右。1986年11月,笔者与秦大河等在1号冰川西支粒雪盆H₁测杆处,用岩芯取样钻探至4m左右时,在很冷的粒雪层下部突然出现了含大量液相水的粒雪层,且一直下伸至5m(由于钻头脱落工作被迫停止)。温度资料表明,距表面以下5—10m为暖变质作用最活跃层位。8月中旬至12月初,此处冰温在0.0—0.4℃间波动。大气负温条件下,粒雪-冰层的这种“暖”状态是我们以往不曾注意或未加详细描述

的。

(3)粒雪-冰层在拉伸、挤压作用下逐步具备动力变质的特征,而渗浸冰夹层中的粒雪则在同一作用下以尖灭的方式最终成冰。研究表明,在中国大陆性冰川上,由于外界的夏季正温条件和内部的融水渗浸-冻结作用,不仅使粒雪转变成冰的过程异常迅速,而且是高原内陆小而薄的冰川得以长期生存的重要条件。

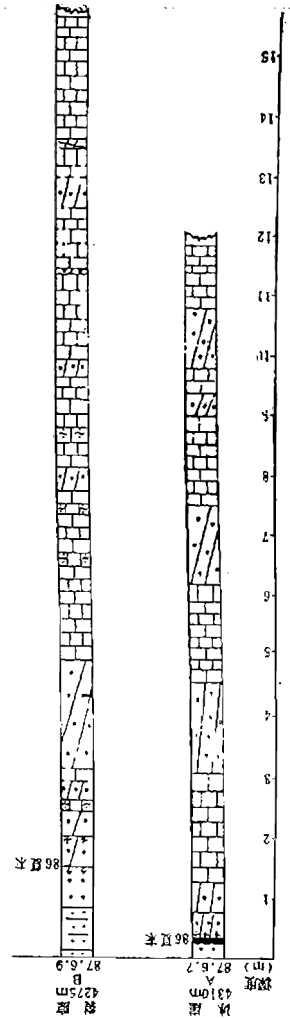


图1 1号冰川西支粒雪盆后

壁冰层裂隙柱状图

1号冰川粒雪盆中的冰雪沉积物按其成冰方式自上而下可分为三层:1)不断降落在积雪表面,经过沉积的新粒雪部分;2)在融水渗浸-冻结和运动中拉伸、挤压作用下逐步具备动力变质特征的粒雪-冰物质;3)在垂直压力下,某一深度中形成的冰川冰物质。降落在积雪表面的雪不断消融,以融水的形式补给到下伏雪层,其积雪变化同时又有效地保护了下伏粒雪层的相对稳定状态。由于夏季的正温条件,表面融化强烈,冰川内部冷储大,导致其渗浸-冻结过程明显的异常活跃,渗浸冰多且厚。粒雪的成冰受制于两个过程,一是融水的渗浸冻结以及相变潜热的改造过程,二是运动中的拉伸挤压过程。在1号冰川粒雪盆内,厚达25m左右的粒雪-冰层,依靠其垂直压力成冰的可能性不大,它只有通过第二种作用使其逐步具备动力变质的特征,因而在积累区不大深度内研究成冰深度和年限意义不大。

1986年11月,笔者等在1号冰川西支粒雪线以下4.065m、4.063m两处1.8、4.05m

深的冰层下重新打出厚10—20cm的粒雪层，且这两处表面冰层从1980—1986年被消融纯冰1.2m左右。（图2）渗浸冰夹层中粒雪的长期存在与其不能获得足够的压力以及渗浸冰透水性的限制有关。冰夹层中粒雪的成冰过程十分缓慢，它可以随冰层一直运动到粒雪线以下，最终以尖灭的方式成冰。

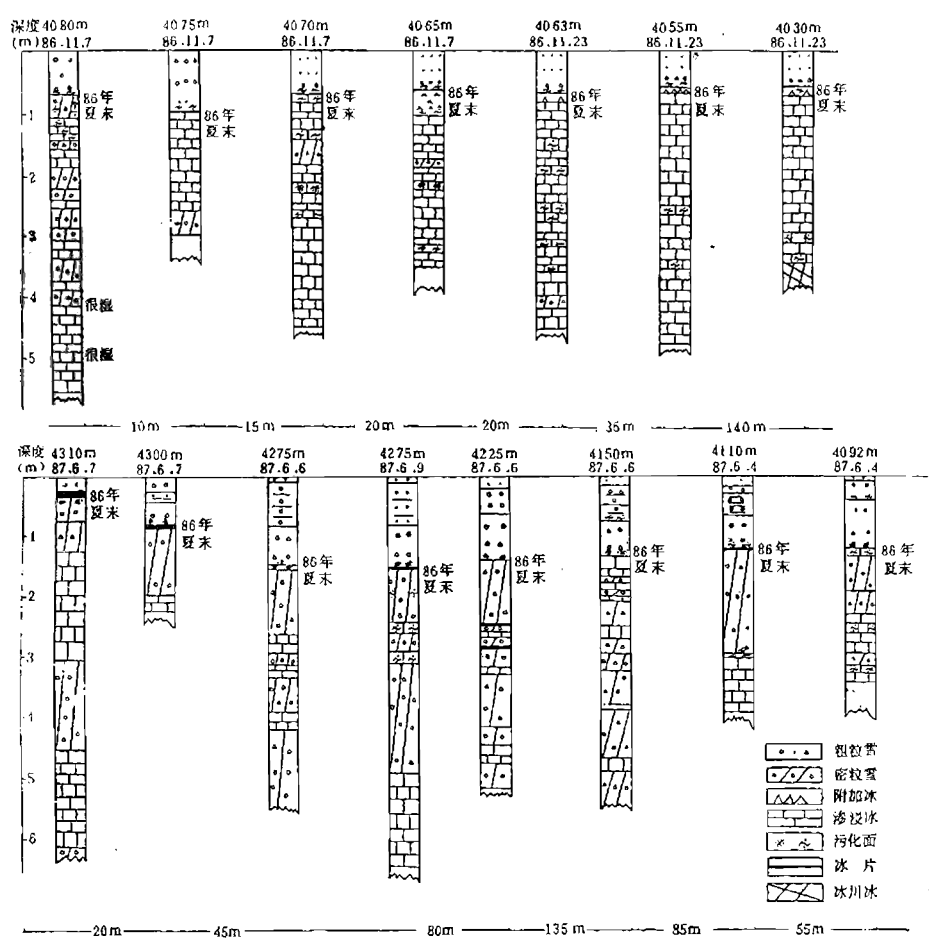


图2 1号冰川西支粒雪盆自上而下粒雪-冰岩芯粒柱图

（4）成冰年限。1号冰川成冰深度估计在25—30m，成冰历时40—50年。1986年夏季，笔者在1号冰川东支I'点（4100m）用蒸汽钻探深26m，仅需16分钟，且孔中无水。而在冰舌中、上部钻探25m，最快也需要90分钟，钻孔中充满了水。根据钻探中的快慢速度，记录26m深的粒雪层中有18层厚约50—60cm的渗浸冰层。这与西支粒雪盆裂隙中的实测值大致相同。表7列出了1982年夏末，张金华等在1号冰川西支粒雪盆后壁取冰岩芯而划分的年纯积累厚度值。结果表明，各点的多年平均纯积累厚度分别为H₅59.3，I₅6.4，J₆3.8cm。若以平均年纯积累50—60cm计，成冰年限在40—50年。

粒雪的成冰除压力作用外，还有随运动拉伸、挤压成冰的时间问题。粒雪-冰层在向下游运动时，由于年内降水的积消变化有效地保护了它的稳定状态，使它有可能长期

表7 1965—1980年1号冰川积累区纯积累量*

年 度	H ₅	I		J	
	纯积累(cm)	年 度	纯积累(cm)	年 度	纯积累(cm)
1980—1979	60	1982—1981	75	1982—1981	87
1979—1978	92	1981	11	1981	22
1978—1977	72	1979—1978	45	1979—1978	68.5
1977—1976	75	1978—1977	59	1978—1977	59.5
1976—1975	62	1977—1976	42.5	1977—1976	84
		1976—1975	68	1976—1975	70
1975—1974	49.5	1975—1974	38.5	1975—1974	60
1974—1973	64.5	1974—1973	66	1974—1973	42
1973—1972	40	1973—1972	24.5	1973—1972	46
1972—1971	66	1972—1971	85	1972—1971	40
1971—1970	35	1971—1970	40	1971—1970	29
1970—1969	43	1970—1969	55	1970—1969	31
1969—1968	41	1969—1968	84.5	1969—1968	87
		1968—1967	59	1968—1967	55
		1967—1966	56.5	1967—1966	52
				1966—1965	27

* 据张金华岩芯钻孔资料

表8 1980—1986 1号冰川H₅, H'₂点纯积消变化值

年 代	H ₅			H' ₂		
	消融期初积累 (cm)	消融期末消融 (cm)	积 消 差 (cm)	消融期初积累 (cm)	消融期末消融 (cm)	积 消 差 (cm)
80	+ 91	- 59	+ 31	+ 74	- 59	+ 15
81	+ 80	- 139	- 28	+ 88	- 155	- 67
82	+ 81	- 133	- 17	+ 107	- 106	+ 1
83	+ 81	- 34	+ 47	+ 90	- 48	+ 42
84	+ 77	- 21	+ 56	+ 96	- 16	+ 80
85	+ 100	- 184	- 64	+ 79	- 144	- 65
86	+ 58	- 145	- 87	+ 55	- 102	- 47
合 计	+ 603	- 665	- 62	+ 589	- 630	- 41

参与冰舌的运动。从表8中可以看出, 1980—1986年东、西支雪线附近分别消融下伏老年层-0.41, -0.62m, 年消融量仅为6.8—10.3cm。冰夹层中的粒雪全部演变成冰, 需要运动到粒雪线以下。若以粒雪盆表面运动最快速度10.49m/a计, 从4300m运动到4065m(图3)也需要近50a时间。

致谢: 参加工作的还有姜彤、王新中、陈克恭等同志, 在此一并致谢。

中瑞乌鲁木齐河源1号冰川热量 平衡合作观测研究

康 尔 泗

1986年6月至8月,中国科学院天山冰川观测试验站和瑞士联邦理工学院合作,在1号冰川东支表面3 903m处进行了热量平衡观测。使用的仪器为EKO ModelMR-21反射率表,观测总辐射和反射辐射;Swissteco净辐射表;2 m梯度观测架分别于2 m、1 m、0.5m和0.25m高度安装VAISALA系统气温、湿度和风速传感器。所有观测资料自动记录在Microdata M1600数据采集仪。风速为累积频率,资料提取时间间隔为2分钟,其它要素资料提取间隔为10分钟。经处理,得到时间间隔为半小时的观测资料。该项观测拟于1987年继续进行,由于篇幅有限,本年报仅整编刊登其全天连续观测资料的日热量平衡组成计算结果,有关研究成果将陆续予以发表。

冰面热量平衡方程为

$$Q_N + Q_S + Q_L + Q_M = 0$$

式中, Q_N 为净辐射; Q_S 为感热; Q_L 为潜热; Q_M 为融解热。

表1表明,冰川消融期冰面热量收入项为净辐射,占热量收入项的75%;其次为感热,占25%。热量支出项主要为冰川消融,占77%;其次为蒸发耗热,占23%。

表1 乌鲁木齐河源1号冰川表面热量平衡组成
(1986年,海拔3 903m)

月	日	热 量 收 入		热 量 支 出	
		净 辐 射 (W/m^2)	感 热 (W/m^2)	潜 热 (W/m^2)	消 融 热 (W/m^2)
6	3	23.1	21.9	13.0	32.0
	8	10.0	15.9	15.8	10.1
	9	41.3	10.5	16.2	35.6
	13	12.5	27.8	15.0	25.3
	14	9.6	17.9	22.6	4.9
	17	6.4	24.7	20.6	10.5
	18	43.1	23.4	17.8	48.7
7	7	43.2	24.0	6.3	60.9
	9	54.9	17.1	40.5	31.5
	10	9.3	15.4	2.9	21.8

表 1 (续)

月	日	热 量 收 入		热 量 支 出	
		净 辐 射 (W/m^2)	感 热 (W/m^2)	潜 热 (W/m^2)	消 融 热 (W/m^2)
8	11	32.5	11.2	1.0	42.7
	12	16.4	11.9	3.9	24.4
	15	25.8	30.5	46.6	9.7
	19	132.3	51.6	30.8	153.1
	20	113.7	63.9	33.7	143.9
	21	107.6	29.9	11.4	126.1
	22	47.3	31.0	9.3	69.0
	23	105.4	18.3	5.2	118.5
	25	97.7	11.2	4.2	104.7
	27	104.2	15.2	8.0	114.4
	30	72.9	16.5	11.0	78.4
	31	27.8	16.7	6.5	38.0
	1	-0.2	18.1	12.3	6.0
	2	1.8	35.6	22.7	14.7
	3	78.2	34.2	36.3	76.1
	4	135.3	32.5	30.1	137.7
	5	82.0	27.4	19.6	89.8
	6	118.5	21.0	16.4	123.1
	7	10.1	18.1	11.7	16.5
	9	63.9	20.7	17.6	67.0
	13	90.2	20.9	24.7	86.4
	14	98.9	32.8	42.0	89.7
	15	52.5	33.7	44.0	42.2
	16	109.7	26.7	29.4	107.0
	17	149.8	37.1	41.9	145.0
	19	154.1	38.2	43.8	148.5
	20	71.1	19.3	19.1	71.3
	21	193.5	25.3	48.4	170.4
	22	225.5	28.6	47.8	206.5
	24	194.1	37.3	43.5	191.4
	25	89.1	20.4	23.3	86.4
	26	28.5	6.2	10.2	24.5
	27	49.6	5.5	7.5	47.6
	28	61.7	8.9	12.7	57.9
	29	60.3	5.7	27.9	38.1
	30	35.2	10.6	8.1	37.7
平 均		71.5 (75.4%)	23.3 (24.6%)	21.4 (22.6%)	73.6 (77.4%)

乌鲁木齐河源高山草甸区热量 平衡观测计算

康尔泗 张寅生 杨大庆

1986年夏,张寅生等在乌鲁木齐河源高山草甸区进行了蒸发和热量平衡观测试验研究。观测场布设在大西沟气象站观测场(3 539 m)旁,安装日产EKO Model MR-21反射率表一台,观测总辐射和反射辐射;瑞士产Swissteco净辐射表一台,观测辐射平衡;日产EKO Model CN-81热流板三块,观测地表面和下层的热通量。辐射和热流板观测资料记录在EKO MP-040小型记录器。另外,设2 m梯度观测架,用阿斯曼通风干湿表、轻便风速表作2,1,0.5和0.25m高度的梯度观测,时间间隔为2 h。现就上述观测资料,对乌鲁木齐河源高山草甸地面的热量平衡作一初步计算。

高山带地面热量平衡方程可表示为

$$Q_N + Q_S + Q_L + Q_b + Q_M = 0$$

式中: Q_N 为净辐射; Q_S 为感热通量; Q_L 为潜热通量; Q_b 为地表层与下层之间热通量; Q_M 为积雪消融热。

其中感热和潜热通量按通量-梯度法加气层稳定性修正计算(Ohmura,1982)。消融热根据观测期降雪情况估算。

(1) 日热量平衡计算结果(表1): 乌鲁木齐河源日热量平衡各分量变化较大,但净辐射均为正值,为热量收入项,潜热基本均为负值,为热量支出项。感热和传导热则是有正有负,数量相对不大。

(2) 热量平衡平均日变化过程(图1): 夜间总辐射为零;从地方时6时起出现正值,最大在正午12时,以后依次减少至18时。反射辐射变化和总辐射一致,但量较小,反射率平均为0.17。

日热量平衡的变化过程和总辐射基本一致。地表至下层的热通量地方时18—6时为正,热流流至表面,但量较小,而8—16时为负,由表面传至下层,12时最大。净辐射夜间为负,日间为正;感热夜间为正,日间为负;潜热日间为负,且量较大。热量交换过程主要发生在日间8—16时。净辐射是热量的主要收入项,潜热是主要支出项。

(3) 热量平衡组成(表2): 在观测期,按有净辐射观测的日数计算,其平均热量平衡组成的收入项为净辐射,支出项中蒸发潜热占80.9%,感热为5.7%,传导热为2.5%,而积雪消融占4.3%。闭合差为6.6%,其形成原因主要是梯度观测不是连续的,人工观测两小时一次,又受到仪器限制,因此存在一定误差。

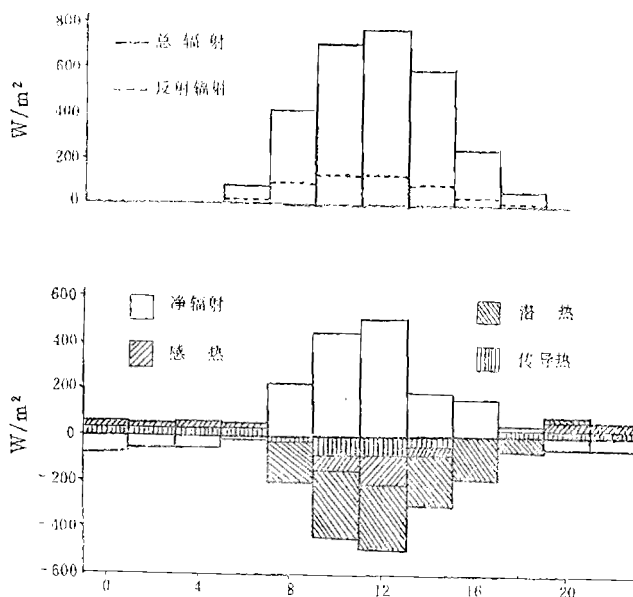


图1 乌鲁木齐河源高山草甸热量平衡平均日变化过程 (1986.7.6—8.19)

表1 乌鲁木齐河源高山草甸日热量平衡计算结果 (1986)

月	日	感 热 (W/m^2)	潜 热 (W/m^2)	净 辐 射 (W/m^2)	总 辐 射 (W/m^2)	反射辐射 (W/m^2)	反 射 率	传 导 热 (W/m^2)
6	25	10.77	-128.43	99.90	290.40	50.12	0.08	5.16
6	26	6.03	-126.89	99.90	220.80	41.76	0.08	-2.78
6	27	23.61	-47.73	99.90	126.00	31.03	0.19	-1.98
6	28	-17.49	-152.82	99.90	207.60	64.44	0.13	5.95
6	29	-36.53	-131.88	99.90	136.80	34.60	0.15	3.97
6	30	-20.16	-91.73	99.90	212.10	27.46	0.05	12.30
7	1	-38.49	-152.48	99.90	331.20	53.70	0.10	25.00
7	2	-46.56	-204.66	99.90	156.00	21.48	0.06	10.32
7	3	-29.40	-187.21	99.90	345.60	62.05	0.10	24.60
7	4	47.16	-126.41	99.90	180.80	21.48	0.09	-11.91
7	5	-17.10	-61.30	99.90	255.60	51.31	0.17	4.76
7	6	-56.71	-119.41	165.36	295.80	71.60	0.17	11.51
7	7	-48.90	-111.22	267.61	105.60	66.82	0.11	4.76
7	8	-16.71	-94.07	126.22	232.80	42.96	0.08	5.56
7	9	11.20	-179.20	161.36	302.40	45.34	0.09	9.13
7	10	3.20	-92.53	99.94	86.40	13.13	0.07	-3.17
7	11	-93.31	-95.92	173.34	268.00	50.12	0.06	1.98
7	12	-40.50	-141.66	171.75	343.20	59.66	0.09	20.14

表 1 (續 1)

月	日	感 热 (W/m ²)	潜 热 (W/m ²)	净 辐 射 (W/m ²)	总 辐 射 (W/m ²)	反射辐射 (W/m ²)	反 射 率	传 导 热 (W/m ²)
7	13	8.46	-154.94	150.13	303.40	48.92	0.07	4.76
7	14	-55.65	-201.04	183.73	349.20	57.23	0.10	6.35
7	15	5.82	-51.93	64.71	148.30	19.09	0.05	-11.51
7	16	-6.46	-86.02	139.80	278.40	45.35	0.09	7.94
7	17	1.05	-121.56	131.01	271.20	48.92	0.10	5.16
7	18	-37.67	-127.84	202.90	354.00	64.44	0.11	17.86
7	19	3.14	-142.39	160.57	320.40	56.08	0.09	7.54
7	20	12.28	-109.19	91.87	204.00	35.80	0.08	2.78
7	21	27.30	-87.25	151.78	256.20	41.76	0.06	15.48
7	22	-26.72	-120.33	135.00	256.80	44.15	0.07	13.09
7	23	18.16	-118.09	139.80	261.00	48.92	0.10	8.33
7	24	-29.83	-101.00	164.56	280.00	50.12	0.10	11.51
7	25	-2.84	-42.27	77.49	148.80	27.45	0.10	1.99
7	26	9.09	-66.60	30.35	80.40	10.74	0.06	-3.17
7	27	21.23	-124.29	163.76	246.00	39.38	0.06	7.14
7	28	-18.91	-68.68	83.88	190.30	27.45	0.06	-1.99
7	29	15.98	-113.99	119.82	279.60	52.50	0.08	9.52
7	30	13.50	-105.88	87.07	158.40	26.25	0.07	0.40
7	31	46.68	-152.19	83.08	139.20	27.45	0.06	-21.43
8	1	-13.12	-78.12	99.90	306.00	94.27	0.24	-3.97
8	2	-72.72	-100.20	99.90	340.80	62.05	0.13	5.16
8	3	-5.59	-181.61	99.90	351.60	64.44	0.12	7.54
8	4	-6.70	-101.49	131.81	273.60	54.89	0.12	9.92
8	5	-60.98	-76.84	186.93	325.20	58.47	0.09	12.80
8	6	-22.22	-137.09	146.19	289.20	52.50	0.09	10.71
8	7	15.75	-59.93	57.52	127.20	20.29	0.06	-6.75
8	8	-4.10	-34.92	71.89	154.80	23.87	0.07	0.40
8	9	-0.40	-36.47	50.33	90.60	14.32	0.06	-1.19
8	10	3.33	-15.81	17.58	38.40	3.58	0.03	-18.65
8	11	-33.67	-80.14	143.79	285.60	56.08	0.09	1.19
8	12	10.14	-74.81	83.08	193.00	28.64	0.06	-6.75
8	13	-10.89	-116.41	127.01	255.60	45.34	0.11	0.00
8	14	24.38	-110.01	79.08	186.00	32.22	0.10	-9.52
8	15	-22.88	-68.00	141.39	315.60	107.39	0.20	-5.16
8	16	-26.82	-24.01	114.23	273.60	54.89	0.18	-2.38

表 1 (续 2)

月	日	感 热 (W/m ²)	潜 热 (W/m ²)	净 辐 射 (W/m ²)	总 辐 射 (W/m ²)	反射辐射 (W/m ²)	反 射 率	传 导 热 (W/m ²)
8	17	23.88	-125.39	103.05	261.60	52.50	0.12	1.19
8	18	2.39	-78.80	76.69	213.20	39.38	0.11	0.00
8	19	35.57	-24.21	176.38	295.80	54.89	0.10	10.32
8	20	-59.54	-100.57	99.90	124.80	19.09	0.06	-12.70
8	21	-29.20	-87.48	99.90	322.60	51.31	0.07	-8.73
8	22	39.13	14.04	99.90	291.60	56.08	0.13	-1.19
8	23	1.73	-122.68	99.90	288.00	56.08	0.13	5.95
8	24	20.84	-175.90	99.90	201.60	36.99	0.12	0.79
8	25	34.36	-90.27	99.90	165.60	31.02	0.05	-9.92
8	26	31.28	0.66	99.90	157.20	41.76	0.16	-8.33
8	27	22.53	6.87	99.90	172.80	46.54	0.17	-6.75
8	28	26.68	-75.55	99.90	111.60	16.71	0.06	-9.13
8	29	-11.17	-130.25	99.90	301.20	48.92	0.07	-1.19
8	30	2.91	-55.13	99.90	286.80	65.63	0.17	-0.40
8	31	-7.16	-37.39	99.90	270.00	48.92	0.12	-1.98

注：99.90表示无观测资料。

表 2 乌鲁木齐河源高山草甸热量平衡组成
(1986.7—8.19)

单 位	热量收支	支 出				闭 合 差
	收 入 净 辐 射	感 热	潜 热	传 导	消 融	
W/m ²	122.3	7.0	98.9	3.0	5.3	3.1
%	100.0	5.7	80.9	2.5	4.3	6.6

致谢：施雅风教授大力支持该项研究工作，瑞士联邦理工学院A. Ohmura教授对观测工作提出具体建议，并提供净辐射表一台，K. Schrott工程师帮助野外仪器安装。姜彤和天山站同志帮助了野外观测工作，特此致谢。

参 考 文 献

Ohmura A, 1982. Climate and energy balance on the Arctic Tundra. Journal of Climatology.

2, 65—84

降水观测对比实验

杨大庆 康尔泗 张寅生 姜 彤

流域(区域)平均降水量是水量平衡计算的关键要素之一,其精度取决于计算方法、观测站网的代表性及单站(点)降水观测资料的可靠性。据国外研究,现行雨量器观测降水存在风对雨量器承受降水的干扰(动力损失、 ΔP_d)、雨量器承水器和储水瓶(筒)内壁吸附部分降水(湿润损失、 ΔP_w)以及降水停止到观测时刻和降水间歇期内雨量器储水瓶(筒)中水分的蒸发(蒸发损失、 ΔP_e)等三项系统误差,其中动力损失可使固态降水观测值比实际降水量最大偏小50%,甚至达到100%,湿润损失和蒸发蒸失的量级分别约为实际降水量的10%和4%(Sevruk,1985;WMO,1985)。因此,雨量器的观测值(P_m)系统偏低于实际降水量(P_t),即

$$P_m = P_t - (\Delta P_d + \Delta P_w + \Delta P_e) \quad (1)$$

为了修正上述误差,英国、瑞士、美国、苏联和加拿大等国家先后开展雨量器观测降水误差分析的实验研究,取得丰硕的成果(Sevruk,1985)。国内学者陆续注意到降水观测值比实际降水量系统偏小问题(谢自楚等,1965;张海仑,1982;林之光,1983,1985)。1985年施雅风教授从降水量观测值偏低严重影响水资源计算和评价的高度认识这一问题,将其列入他主持的“乌鲁木齐地区水资源若干问题研究”课题,当年夏季在博格达山南坡黑沟和乌鲁木齐河源1号冰川开始观测工作,取得初步成果^{①②}。1986年1月,笔者在天山冰川站基本营地和乌鲁木齐河源系统地开始雨量器观测降水对比实验研究,目的在于确定并修正流域降水观测中动力损失、湿润损失和蒸发损失,为研究流域降水量的地区和时间变化规律、提高水文模型的精度以及分析和模拟水资源和气候变化提供较准确的降水量资料。

1 方法和仪器

根据误差理论,只有改变实验条件才能发现系统误差。雨量器观测降水对比实验(简称为降水对比观测)用不同的雨量器在某一地点观测降水,实现实验条件的变化,从而确定降水观测中的系统误差及其影响因素,评价各种雨量器和防风圈的优劣,选择出最能反映实际降水量的观测方法和仪器类型,为修正降水观测中的动力损失提供依据。

1986年我们在乌鲁木齐河流域天山冰川站基本营地(2 130 m)和大西沟气象站(3 540 m)开展降水对比观测实验,使用的仪器如下:

(1) 国内普通雨量器:口径为20 cm,器口高度为0.0, 0.7和2.0m,其中0.7 m

^①王宗太,1989,博格达南坡高山区降水量的测算。

^②姜彤等,1988,乌鲁木齐河源降水分布规律初步探讨,天山冰川站年报,第4期。

为标准高度, 0.0 m为地面雨量器。

(2) Belfort自记雨量计: 口径为20.3cm的称重式周记雨量计, 可记录降水(雨和雪)时间、降水强度和降水量, 精度为0.25 mm。

(3) 瑞士总雨量器。口径为16.0 cm, 储水筒直径为50 cm, 器口面积与储水筒横截面之比为1:10, 储水筒中放置防冻液(氯化钙水溶液)上覆厚度为7 mm的防冻机油、防止溶液蒸发。每月用测针观测一次, 记录储水筒中溶液面的变化, 计算月降水量。

(4) 测雪板: 由90×60 cm的胶合板制作, 为白色。水平放置在观测场地, 降雪前或每次观测之后清扫干净, 降雪停止后用雪尺多点量测板上雪深, 求取平均雪深。同时用雪秤确定新雪密度, 计算雪水当量(降水量)。

(5) Nipher和Tretyakov防风圈: Nipher防风圈为倒钟形, 上沿与雨量器器口平齐, 最外沿水平。Tretyakov防风圈是苏联标准防风圈, 密度为50%, 以避免降雪堆积。其上沿与雨量器器口平齐, 直径为1.05 m, 下沿直径为0.7 m。50年代国内普通雨量器曾配带此防风圈观测降雪, 以后取消。

降水对比观测场雨量器之间的距离为5—9m, 器口位于同一高度的一组雨量器配带不同类型的防风圈或不带防风圈, 旨在认识防风圈的防风作用并评价之, 另一组雨量器不带防风圈, 器口位于不同高度, 以便确定捕捉率(观测降水量/实际降水量)与雨量器器口高度的关系。降水对比观测为非定时观测, 即每次降水停止后观测一次, 观测方法和精度依照《地面气象观测规范》执行。天山冰川站基本营地和大西沟气象站的对比观测实验分别从1986年1月15日和5月1日开始, 截止到8月31日, 共观测降水74次和78次, 包括雨、雨夹雪和雪三种降水形态(附表1, 2)。

2 主要结论

雨量器观测降水中的动力损失依降水形态而变化。因此, 依降水形态分别统计不同雨量器观测降水量的合计值, 并以器口高度为0.7m的普通雨量器的观测值为标准(100%)计算其相对值(相对捕捉率)(表1, 2), 得到如下结论。

表1 大西沟气象站降水对比观测结果

防风圈	无	无	无	无	Tretyakov	Nipher	降水形态
雨量器器口高度(m)	0.0	0.3	0.7	2.0	2.0	2.0	
合计值(mm)	60.9	57.5	57.1	54.1	55.9	55.7	雨
相对值(%)	106.7	100.7	100.0	94.7	98.0	97.5	
合计值(mm)	35.3	32.5	30.8	29.4	31.6	33.9	雨夹雪
相对值(%)	114.6	105.4	100.0	95.3	102.4	109.9	
合计值(mm)	106.5	94.5	91.9	86.3	98.7	92.8	雪
相对值(%)	115.8	102.7	100.0	93.8	107.3	101.0	
总计(mm)	202.7	184.4	179.8	169.7	186.1	182.3	
相对值(%)	112.7	102.6	100.0	94.3	103.5	101.4	

表2 冰川站基地降水对比观测结果

防风圈	无	无	无	无	Tretyakov	Nipher	降水形态
雨量器器口高度(mm)	0.0	0.3	0.7	2.0	2.0	2.0	
合计值(mm)	110.4	100.4	97.4	83.9	93.9	105.1	雨
相对值(%)	113.3	103.0	100.0	91.3	96.4	107.9	
合计值(mm)		9.1	8.8	8.7	9.3	9.2	雨夹雪
相对值(%)		104.0	100.0	99.0	105.6	105.1	
合计值(mm)		21.0	18.9	16.5	21.5	19.7	雪
相对值(%)		110.8	100.0	87.0	113.5	104.0	
总计(mm)		130.5	125.1	114.1	124.7	134.0	
相对值(%)		104.3	100.0	91.2	99.6	107.1	

(1) 防风圈的效用。配带Tretyakov和Nipher防风圈雨量器的相对值高于未带防风圈者,表明防风圈能够提高雨量器的捕捉降水率。由于雨量器的动力损失量随降雪比例上升而增大,配带防风圈的雨量器能够相对稳定地捕捉降水。因此,防风圈的防风作用随降水形态而变化,一般在降雪时最明显,雨夹雪时次之,降雨时最小。

(2) 捕捉率与雨量器器口高度的关系。雨量器的捕捉率随器口高度的升高而下降,器口平齐于地面和器口高度为0.3m的雨量器分别比器口位于0.7 m的标准雨量器多捕捉降水3%和13%,而器口位于2.0 m的普通雨量器比标准雨量器少捕捉降水5%左右。

地面雨量器受风的影响小,捕捉降水能力强。但高强度降雨时,可能接受雨滴溅入补充,致使观测值偏大。另外在冬季地面积雪条件下,地面雨量器易受风吹雪的严重干扰,观测精度很低。器口高度为0.3 m的雨量器很少受雨滴溅入干扰。因此,在冬季无积雪或积雪深度不大的地区,应当用它取代器口高度为0.7 m的标准雨量器。

(3) 降水时段平均风速与捕捉率的关系。乌鲁木齐河源高山区夏季降水以湿雪和雨夹雪为主,地面基本无积雪,器口平齐于地面的雨量器很少接受雨滴溅入补充,也不受风吹雪的影响。因此其观测值接近实际降水量,在计算捕捉率时可视为降水量的相对真值。

雨量器的捕捉率(R)随降水时段平均风速(W)的增大而呈指数下降。在器口高度同样为2.0m的三只雨量器中,Tretyakov防风圈雨量器的 R - W 关系曲线略高于Nipher防风圈雨量器,而不带防风圈雨量器的 R - W 关系曲线远远低于带防风圈者,尤其在大风条件下相差较大。例如,当观测场10.8 m高度降水时段平均风速为5.0 m/s时,Tretyakov和Nipher防风圈雨量器的捕捉率分别为87.5%和86.5%,而不带防风圈雨量器的捕捉率仅为76.5%,由此可见防风圈的防风作用(图1)。

雨量器的 R - W 关系曲线随器口高度上升而变陡,表明当降水时段平均风速一定时,雨量器器口越高,捕捉率越低,反之亦然。如前述,雨量器的动力损失由雨、雨夹雪向雪依次增大,因此对同一雨量器而言, R - W 关系曲线由雨、雨夹雪向雪而显著变陡。

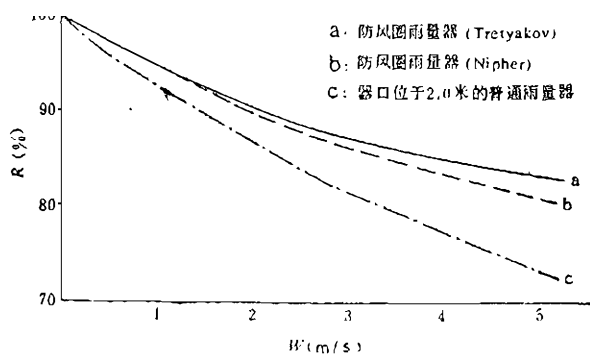


图1 大西沟气象站降水时段平均风速($\bar{W}$)与捕捉率(R)的关系

(4) 测雪板观测降雪。乌鲁木齐河源测雪板共观测8次降水过程,其中5月和6月各占4次。7月和8月因气温升高,雪降至地面迅速融化而无法使用。5月测雪板观测降雪值比标准雨量器高8.3%,与Tretyakov防风圈雨量器的相对捕捉率相近。6月测雪板观测值比标准雨量器偏小2.0%,原因是气温较高、有时降水开始为雨,后转雨夹雪或雪,融化较快,影响雪深和密度的观测精度。

(5) 总雨量器观测降水。1986年夏季我们在乌鲁木齐河源大西沟气象站附近(3 540 m)、空冰斗中部(3 870 m)、1号冰川冰舌(3 840 m)及其末端(3 720 m)和东支粒雪盆(4 030 m)布设5只总雨量器,它们附近放置按常规观测的普通雨量器。观测资料表明,总雨量器观测的月降水量比普通雨量器多0.2—80%,尤其在冰川上2种雨量器观测值相差较大(表3)。原因是总雨量器带有防风圈,捕捉降水能力强。另外,总雨量器储水筒中防冻液之上覆盖一层防蒸发油、防止蒸发损失。而冰川上的普通雨量器不带防风圈,储水筒中放细口铁皮小筒,一个月观测一次降水量,蒸发损失量相当大,6月份在冰舌上实际观测到蒸发损失32.3 mm,相当于同期观测降水量(71.4 mm)的45.2%。

表3 乌鲁木齐河源总雨量器(Tol)和普通雨量器(Csg)观测降水量(mm)

站 点	大西沟气象站		1号冰川冰舌末端		1号冰川东支冰舌		空 冰 斗		1号冰川东支粒雪盆	
海 拔(m)	3 540		3 720		3 840		3 870		4 030	
月份	Tol	Csg	Tol	Csg	Tol	Csg	Tol	Csg	Tol	Csg
5	50	45.9	70	51.8	80	18.9*	70	46.0		42.4
6	130	124.2	150	133.4	130	71.4	160	127.0		59.0
7	80	74.2	80	82.5	80	57.7	80	72.5		
8	80	52.4	80	49.0	60	59.1	80	47.2	50	52.5
合 计	340	296.7	380	316.7	350	207.1	390	292.7		223.8

*雨量器曾被大风吹倒。

参 考 文 献

- 林之光, 1983. 降水观测误差及其对研究山区降水分布的影响. 气象, 第12期
- 林之光, 1985. 中国气候 上海科学技术出版社
- 张海仑, 1982. 近代水文和水资源主要研究方向. 水文 (水资源专辑)
- 谢自楚, 葛光文, 1985. 天山乌鲁木齐河源1号冰川的积累消融与物质平衡. 天山乌鲁木齐河源冰川与水文研究, 北京: 科学出版社
- Sevruk, B. 1985, Correction of Precipitation Measurements: Summary Report, Instruments and Observing Methods Reports, No. 25, WMO
- WMO, 1986. International Organizing Committee for WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison, Final Report

附表1 天山冰川站基地降水对比观测资料 (mm)

防风圈器口高度 (m)	无 0.0	无 0.3	无 0.7	无 2.0	Trtyakov 2.0	Nipher 2.0	降水形态	备 注
								S——雪 R——雨
1.18, 13+00		0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	S	RS——雨
1.19, 8+00		0.6	0.5	0.6	0.7	0.7	S	夹雪
2.7, 8+00		1.3	1.3	1.2	1.4	1.3	S	
2.14, 14+00		0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	S	
3.6, 11+00		0.9	1.1	0.6	1.4	1.1	S	
3.5, 20+00		1.9	1.9	1.8	2.0	2.0	S	
3.17, 21+00		0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	S	
3.26, 22+00		1.1	1.2	1.1	1.3	1.2	S	
4.1, 8+00		2.7	2.7	2.4	2.9	2.8	S	
4.2, 22+00		1.6	1.6	1.3	1.8	1.6	S	
4.6, 21+30		1.5	1.4	1.5	1.8	1.6	S	
4.9, 8+00		2.3	2.2	2.2	2.6	2.4	S	
4.19, 15+40		1.9	1.8	1.8	2.0	1.9	S	
4.19, 20+30		2.2	2.1	2.0	2.3	2.6	RS	
4.20, 20+00		3.9	3.7	3.6	3.8	3.8	RS	
4.21, 8+00		0.6	0.6	0.5	0.7	0.8	S	
4.23, 16+00		3.5	3.5	2.8	4.2	3.8	S	
5.2, 20+00		0.9	1.1	1.1	1.0	1.1	R	
5.4, 19+00		4.0	4.3	4.1	3.9	4.4	R	
5.8, 14+00		2.3	2.3	2.1	1.9	2.0	R	
5.9, 8+00		5.7	5.8	5.0	5.5	5.8	R	
5.10, 18+20		3.2	3.2	3.0	3.1	3.2	R	
5.14, 12+30		1.8	1.8	1.7	1.9	1.8	R	

附表 1 (续 1)

防风圆器口 高度(m)	无 0.0	无 0.3	无 0.7	无 2.0	Tretyakov 2.0	Nipher 2.0	降水形态	备 注
5.16,17:10		5.0	5.1	4.8	5.2	5.3	R	
5.17,22:00		0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	R	
5.20,17:50		14.5	14.4	14.0	14.0	14.6	R	
5.22,19:20		0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	R	
5.24,18:02		1.1	1.0	0.6	1.0	1.0	R	
5.27, 8:00		5.0	5.0	4.7	4.8	5.1	R	
5.28,22:00		5.0	5.1	4.8	5.0	5.1	R	
5.30,14:05		3.3	3.2	3.0	3.2	3.3	R	
6.6 , 8:00		13.9	11.1	11.8	13.6	14.6	R	
6.9 ,22:00		7.2	7.2	6.9	7.3	8.0	R	
6.10,12:38		12.5	12.0	11.4	12.3	13.5	R	
6.11,23:06		5.0	4.7	4.6	5.1	5.2	R	
6.15,16:55		1.5	1.2	1.4	1.4	1.5	R	
6.16,23:07		4.4	4.7	4.4	4.4	5.2	R	
6.19,19:30		0.6	0.4	0.6	0.6	0.6	R	
6.21,19:00		0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	R	
6.23,11:30	14.1	14.0	13.9	12.1	12.6	13.2	R	
6.24,22:00	5.1	4.5	5.1	5.1	5.1	5.7	R	
6.26,19:37	—	2.5	2.2	2.1	2.4	2.7	R	
6.27,15:00	3.3	3.8	3.5	3.6	3.8	3.9	R	
6.28,20:00	—	14.0	9.8	10.4	13.8	14.4	R	
6.29,15:20	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	R	
6.30,20:00	2.5	2.5	2.5	1.6	2.5	2.6	R	
7.1 ,20:00	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	R	
7.2 ,22:22	8.2	8.5	8.2	8.1	8.4	9.1	R	
7.3 ,18:38	1.5	1.8	1.5	1.3	1.5	1.5	R	
7.4 ,18:56	9.3	8.9	7.8	7.8	8.4	9.4	R	
7.5 ,23:00	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.6	R	
7.6 ,20:00	4.8	4.8	4.7	4.7	4.6	5.2	R	
7.8 ,20:00	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	R	
7.9 , 8:00	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	R	
7.11,10:05	10.1	10.3	9.1	7.5	10.0	10.3	R	
7.15,16:47	—	10.7	10.6	9.7	9.1	12.2	R	
7.16,14:20	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	R	
7.17,17:28	5.8	5.3	5.7	3.9	5.3	5.1	R	

附表 1 (续 2)

防风圆器口 高度(m)	无 0.0	无 0.3	无 0.7	无 2.0	Tretyakov 2.0	Nipher 2.0	降水形态	备 注
7.18, 8:00	1.0	1.1	1.1	0.8	0.9	1.1	R	
7.27, 8:00	1.9	2.1	2.1	1.8	2.0	2.1	R	
7.31, 19:50	3.8	3.8	3.6	3.8	3.5	3.7	R	
8.1, 8:00	1.9	1.9	1.7	1.7	1.7	1.9	R	
8.5, 10:15	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	2.0	R	
8.7, 20:00	3.5	3.3	3.4	3.1	3.3	3.5	R	
8.11, 8:00	7.1	7.2	7.2	6.9	7.0	7.2	R	
8.12, 19:35	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	R	
8.14, 23:00	7.6	7.6	7.5	7.3	7.3	8.4	R	
8.20, 20:00	4.8	4.9	4.9	4.6	4.8	5.0	R	
8.28, 24:00	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	R	
8.28, 16:35	3.0	2.8	2.8	2.4	2.7	3.2	R	
8.29, 22:06	10.0	9.5	9.6	8.2	7.8	10.0	R	

附表 2 大西沟气象站降水对比观测资料 (mm)

防风圆器 口高度(m)	无 0.0	无 0.3	无 0.7	Belfort 雨量计 0.9	无 2.0	Tretyakov 2.0	Nipher 2.0	降水形态	备 注
5.9, 20:00		—	3.0	2.8	2.8	—	3.7	S	S——雪
5.10, 8:00		—	0.5	0.2	0.3	0.4	0.4	S	RS——雨夹雪
5.14, 12:00		2.3	2.3	1.6	2.0	2.7	3.9	S	R——雨
5.15, 8:00		1.1	0.9	0.6	0.8	1.0	1.1	S	
5.16, 13:35		0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S	
5.18, 8:00		2.6	2.2	2.0	1.8	3.0	3.2	S	
5.19, 8:00		6.4	6.1	5.0	5.3	6.4	5.9	S	
5.21, 8:00		9.8	8.5	6.0	5.1	6.9	10.8	S	
5.22, 13:15		0.6	0.7	0.5	0.8	0.8	1.2	S	
5.23, 11:10		0.3	0.2	—	0.2	0.2	0.5	S	
5.24, 9:30		3.9	3.3	—	2.8	3.3	4.8	S	
5.29, 12:30		3.1	3.2	—	3.0	3.0	3.6	S	
5.30, 9:30		6.6	7.3	5.0	6.0	6.5	6.5	S	
5.30, 2:05		4.1	3.8	4.8	3.6	4.3	4.1	S	
5.31, 7:45		0.5	0.6	—	0.4	0.5	0.6	S	
5.1, 19:00		1.6	1.5	2.0	1.6	1.5	1.5	S	
6.2, 18:30		0.3	0.2	0.0	0.3	0.4	0.4	S	
6.3, 16:00		1.1	1.1	1.1	0.9	1.0	1.2	S	
6.5, 8:00		17.3	17.2	14.8	16.8	18.5	17.7	S	

附表 2 (续 1)

防风圈雨量 器器口高度 m)	无 0.0	无 0.3	无 0.7	Belfort 雨量计 0.9	无 2.0	Tretyakov 2.0	Nipher 2.0	降 水 形 态	备 注
6.5, 20*00		4.6	4.2	4.6	4.1	4.6	4.5	S	
6.6, 9*00		16.5	16.0	14.4	15.5	16.1	16.6	S	
6.6, 18*00		2.3	1.9	2.0	1.2	2.0	1.8	S	
6.9, 10*00		13.1	11.9	11.2	11.3	12.5	12.4	S	
6.10, 14*00		16.0	15.1	13.7	13.4	16.4	16.7	S	
6.16, 8*00		6.3	5.9	5.5	5.4	5.9	5.8	S	
6.16, 15*00		0.6	0.6	0.2	0.5	0.7	0.7	S	
6.18, 21*30	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.5	S	
6.19, 20*30	5.1	3.5	3.2	1.5	3.0	3.4	3.5	S	
6.20, 9*00	1.5	0.9	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9	S	
6.20, 17*00	0.6	0.6	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	S	
6.20, 20*00	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	S	
6.21, 9*00	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6	1.7	1.6	S	
6.21, 22*00	3.7	3.6	2.9	3.0	2.8	3.2	3.2	S	
6.22, 20*00	3.5	3.5	2.4	3.5	2.9	3.3	3.3	S	
6.23, 22*00	2.7	2.4	2.3	1.9	2.4	2.5	2.5	S	
6.24, 20*00	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	S	
6.27, 15*00	5.9	5.5	5.2	4.8	5.0	5.3	5.3	S	
6.28, 3*00	6.3	6.3	6.1	4.0	5.8	6.2	6.4	S	
6.28, 22*00	10.6	10.1	10.1	10.0	9.9	9.8	9.9	S	
6.29, 10*00	12.3	12.0	11.9	10.5	11.1	12.0	12.3	S	
6.30, 4*00	0.8	0.8	0.8	—	0.7	0.7	0.8	S	
7. 2, 8*00	2.6	2.6	2.4	2.0	2.5	2.6	2.5	R	
7. 2, 18*00	2.4	2.3	2.0	2.0	2.0	2.2	1.9	RS	
7. 4, 20*00	7.2	6.7	6.5	6.0	6.2	6.7	6.6	RS	
7. 5, 20*00	7.5	6.8	6.5	5.8	6.4	7.4	6.9	RS	
7. 5, 22*00	1.2	0.8	0.8	1.0	0.6	0.8	0.8	S	
7. 6, 17*30	0.9	0.6	0.5	0.8	0.5	0.7	0.8	S	
7. 8, 19*00	2.8	2.5	2.6	2.4	2.5	2.5	2.5	S	
7. 9, 23*00	6.9	6.6	6.7	5.5	6.6	6.7	6.8	R	
7.10, 22*00	7.4	7.1	6.6	7.0	6.1	6.5	6.5	R	
7.11 10*00	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	S	
7.12, 8*00	4.3	3.9	3.5	4.1	3.5	3.9	4.0	RS	
7.15, 19*20	12.4	12.2	13.0	9.5	11.8	11.2	12.2	R	
7.15, 24*00	1.0	1.0	1.1	2.5	0.8	1.1	0.8	R	

附表 2 (续 2)

防风圈雨量 器器口高度 (m)	无 0.0	无 6.3	无 0.7	Belfort 雨量计 0.9	无 2.0	Tretyakov 2.0	Nipher 2.0	降 水 形 态	备 注
7.17,22*00	0.6	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	R	
7.18, 8*00	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	S	
7.20,19*20	0.4	0.2	0.1	—	0.1	0.1	0.2	R	
7.21,21*00	2.9	2.6	2.4	1.9	2.4	2.6	2.5	R	
7.27, 6*00	5.5	5.1	4.9	4.2	4.9	5.0	5.0	R	
7.30,23*00	0.3	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	R	
7.31, 8*00	4.4	4.2	4.2	4.1	4.1	4.2	4.2	R	
7.31,16*00	6.1	5.8	5.6	4.7	5.6	5.8	5.5	R	
8.1, 8*00	15.5	12.3	12.7	12.7	11.2	12.4	12.4	S	
8.5, 9*30	4.6	4.4	3.9	3.6	4.0	4.1	4.0	R	
8.7, 20*00	5.0	4.7	5.0	4.6	4.5	4.8	4.7	R	
8.9, 14*00	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	R	
8.10,20*00	12.5	11.4	10.8	12.1	10.2	12.3	11.1	RS	
8.11, 8*00	0.7	0.6	0.6	—	0.3	0.7	0.5	RS	
8.12,20*00	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	RS	
8.15,11*00	10.5	9.0	9.0	8.7	8.7	8.9	8.9	S	
8.20,17*00	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	R	
8.20,24*00	0.4	0.3	0.4	0.2	0.3	0.5	0.4	R	
8.26, 1*00	8.6	7.8	7.3	7.8	7.8	7.9	8.0	S	
8.27, 6*30	3.4	3.1	3.1	2.9	2.0	3.0	3.1	S	
8.27,20*00	1.8	1.7	1.6	1.1	1.4	1.6	1.6	S	
8.28,14*20	1.0	0.8	0.9	0.4	0.9	0.8	0.8	S	
8.29,22*30	2.0	1.2	1.2	0.6	1.0	1.2	1.3	S	

乌鲁木齐河源高山草甸蒸发量 观测试验研究结果

张寅生 康尔泗 杨大庆

在参加“乌鲁木齐水资源若干问题”的课题研究中，我们于1986年6月13日至8月31日在乌鲁木齐河源高山草甸区进行了80天的地面蒸发量的连续观测试验研究。

观测场位于N43°06′，E87°15′，紧邻大西沟气象站观测场。设有两个Lysimeter（渗漏蒸发仪），净辐射表、总辐射表各一只，梯度观测杆一架。由以上各仪器测得要素利用称重法，空气动力学和能量平衡法三种方法分别计算出观测时段的蒸发量（王中隆等，1982）（表1）。

由计算结果，结合仪器精度与天气状况分析了所用三种应用于高山地区的精度（Ohmura, 1982）。并利用分析结果修正计算结果而得出观测时段内乌鲁木齐河源高山草甸蒸发量（表2），合计为231.2 mm。

利用以上计算结果推算乌鲁木齐河源区高山草甸年蒸发量为270.3mm。

表1 计算结果对比表

单位: mm

时 间 (日)	6月 13	14	15	16	17	18*	19	20*	21	22	23	24	25	26	27	28	29*
称重法	3.57	3.53	4.56	0.00	3.55	3.55	3.79	2.79	3.80	1.94	2.45	2.06	4.36	2.84	0.92	1.91	2.53
动 力 学 方 法	—	—	—	0.01	2.96	3.35	3.29	2.01	3.70	2.97	2.95	3.80	4.72	2.54	1.12	1.95	1.84
热量法	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

时 间 (日)	30	6月 均值	7月 1日*	2	3	4	5*	6*	7*	8*	9*	10	11*	12	13	14	15
称重法	3.37	2.86	3.28	2.07	3.51	1.94	3.68	3.26	4.09	4.05	3.61	0.00	4.19	2.76	4.59	3.78	1.75
动 力 学 方 法	2.73	2.73	3.02	4.32	3.91	2.39	2.71	2.67	4.63	4.83	4.49	0.33	3.68	2.37	3.98	4.19	3.43
热量法	—	—	—	—	—	—	—	4.38	4.31	4.56	4.63	0.22	4.36	2.96	4.67	4.03	1.92

时 间 (日)	16*	17	18	19*	20	21	22	23	24	25	26	27*	28	29*	30	31*	7月 平均
称重法	3.05	3.82	3.02	3.91	3.42	4.00	3.80	3.96	4.09	2.21	1.58	2.48	3.06	4.41	3.84	0.62	3.17
动 力 学 方 法	4.72	3.20	2.64	4.38	2.73	3.23	2.70	3.69	4.88	2.27	1.59	3.02	2.33	3.25	1.65	0.36	3.21
热量法	3.40	4.36	2.81	4.54	3.30	4.82	3.68	3.61	5.20	3.00	1.37	3.49	3.14	3.45	2.74	0.69	3.47

表1 (续)

时 间 (日)	8月 1日*	2	3	4	5*	6	7*	8	9	10	11	12	13	14*	15	16	17*
称重法	0.05	4.32	4.99	4.63	4.06	4.06	0.62	2.31	1.23	0.02	2.34	2.56	3.28	2.52	3.58	3.32	3.15
动学 力 法	0.00	3.61	4.97	3.97	3.93	4.71	1.52	1.95	1.48	0.09	3.38	2.54	4.14	2.96	3.76	2.71	4.12
热量法	—	—	—	4.66	4.33	4.96	0.57	1.85	1.22	0.08	3.17	2.83	3.46	1.91	3.75	2.29	3.13

时 间 (日)	18	19	20	21*	22	23	24*	25	26	27	28	29	30	31	8月 均值	总均 值
称重法	3.55	3.46	1.47	2.73	3.24	2.88	2.52	0.91	2.02	1.20	1.22	3.15	2.40	2.70	2.56	2.86
动学 力 法	2.98	3.71	1.66	1.94	2.85	2.65	2.22	0.92	1.55	0.82	1.60	2.55	2.04	3.32	2.63	2.88
热量法	3.53	3.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.74

* 降水记号

表2 计算结果修正表

时 间 (日)	6月 13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
蒸发量	3.57	3.53	4.56	0.01	3.55	3.79	2.79	3.80	2.97	2.95	2.08	4.38	2.84	0.92	1.91	1.84	3.37	2.37

时 间 (日)	7月 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
蒸发量	3.82	4.32	3.51	1.84	2.71	3.49	4.09	4.05	3.61	0.00	4.22	2.76	4.59	3.78	1.75	3.05	3.82	3.02

时 间 (日)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					总计
蒸发量	3.91	3.42	4.00	3.80	3.96	4.99	2.21	1.53	3.46	3.06	2.91	2.84	0.88					99.54

时 间 (日)	8月 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
蒸发量	0.02	4.31	4.97	4.63	4.06	4.09	1.00	2.31	1.23	0.02	3.27	2.56	3.28	2.44	3.58	2.32	3.15	3.55

时 间 (日)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					总计
蒸发量	3.47	1.47	2.73	3.24	2.88	2.52	0.91	1.65	1.20	1.22	2.53	2.04	2.70					79.27

参 考 文 献

- 王中隆、谢维军, 1982. 祁连山东部山地草甸蒸发研究. 中国科学院兰州冰川冻土所集刊, 第3号, 82
- Ohmura A, 1982. Objective Criterion for rejecting Data for Bowen ratio flux calculation. Applied Meteorology, Vol. 21, No. 4

冰雪径流特征及水量平衡计算

杨新元 汪安泰

乌鲁木齐河水量来源主要为降水及高山冰雪融水,由于高山区降水及气温等气候因素的影响,径流年际变化很大,冰雪融水对乌鲁木齐河水量的调节起着十分重要作用。本文以1986年乌鲁木齐河上游三个冰川水文点径流及气象资料为主,分析气温-降水-冰雪消融三者之间关系以及冰雪径流特性,并对1号冰川水量平衡进行分析计算。

1号冰川水文点设在离1号冰川末端约300m处的河道上,完全控制着该冰川的消融水量,集雨面积为 3.34km^2 (其中1号冰川面积为 1.84km^2)。

空冰斗水文点设在1号冰川对侧的空冰斗下面的河道上,集雨面积为 1.68km^2 ,该水文点主要掌握其高山积雪融水过程及融雪径流特性。

总控制水文点设在大西沟与罗布道沟的汇合处,总集雨面积为 28.9km^2 ,该水文断面径流来源于冰雪融水及高山区降水,通过该水文点径流量的测验可分析其受冰川补给的河流的径流变化规律。

1 1号冰川水文点径流与气候关系

冰川融水径流的大小变化,应该说,气温为主要影响因素,而降水的影响次之(降水多寡本身改变着气温的变化),所以在分析1986年1号冰川径流特性时主要以气温为依据,并从降水多寡说明气候干燥性而影响冰川消融径流。

根据现已掌握的水文资料,从1980—1987年之中,1986年为1号冰川消融最强烈的一年,冰川水文断面年径流量达到最大值,以下分析其原因:

冰川消融一般从五月初开始,但这时仅仅是气温的回升阶段,日平均气温仍然是负温,只是从五月中旬开始,日平均气温才有出现正温的可能,但夜间大都还是负温,所以,五月份冰川消融极微,融水径流组成主要是冬季积雪。六月份冰川刚刚进入强烈消融期,月平均气温已回升到正温,但是这时日气温变化大,如果将冰川整个消融期径流过程看成一个大的洪水过程的话,那么六月份就是这洪水过程的一个拐点,应该说,七月初开始至八月中旬才是冰川消融期最强时期,如1986年7—8月1号冰川融水径流占整个消融期总径流量的93%(一般年份占80%左右),所以说冰川径流量的年际变化关键决定7—8月气温高低(表1)。

表1 天山大西沟气象站历年7—8月气温与1号冰川径流量关系表

年 份	82	83	84	85	86	87
7月气温($^{\circ}\text{C}$)	4.5	4.2	3.7	4.7	6.5	5.4
8月气温($^{\circ}\text{C}$)	3.4	5.5	5.6	4.8	5.1	5.3
年径流量(10^4m^3)	144	134	117	214	319	137

注:大西沟气象站位于离1号冰川约4 km的海拔3 540m处。

从表（1）可看出：1986年7月气温最高，（高出其它年份同期气温2℃左右），这是1986年年径流量最大的主要原因。应该说明一点的是，1986年7月气温仅仅高出其它年份2℃左右，而年径流量却增加那么大；我们说，气温与径流的关系线呈一抛物线形，气温的增高与径流量的增大并不是成比例的，假设我们用 Δt 表示气温的增量， ΔQ 表示径流量的增量，那么，气温越高时， Δt 即使变化很小，而 ΔQ 变化却很大，为了解释这个问题，这里采用1986年1号冰川水文点候平均气温—候平均流量关系线予以说明，从关系线上可得到表2

表2 1号冰川水文点 $t-Q$ 关系表（2）

气温 $t(^{\circ}\text{C})$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$	0.036	0.081	0.134	0.203	0.273	0.344	0.416	0.500	0.585	0.674	0.765	0.865	0.967	1.07	1.18	1.30
流量增量 $\Delta Q(\text{m}^3/\text{s})$	0.045	0.053	0.068	0.070	0.071	0.072	0.084	0.085	0.089	0.091	0.100	0.102	0.103	0.110	0.120	

从表（2）可看出，气温增量 Δt 为一固定值0.5℃，而流量增量 ΔQ 是一个变化值，并且 ΔQ 随着气温的增高而变大，所以1986年7月气温虽比往年同期气温只增高2℃，而年径流量却成倍增加。

从表1中可看出，1987年消融期7—8月平均气温也较高，但年径流量却很小，一般说来，冰川区较高的气温如果持续时间长，才能出现较大的径流，1987年7月20日以前气温较高，但是7月20日以后出现较长时间的低温（比1986年同期气温低2—3℃），直到8月中旬才回升到较高的温度，故虽然月平均气温较高，但低温的影响造成了径流量明显减小，同时低温过程也削弱了后期冰川消融。

根据大西沟气象站降水资料，多年平均降水量在420mm左右，但从1984年起降水减少幅度较大，造成冰川区的干燥气候，在干燥气候影响下（即使气温不太高），同样加强了冰川消融，如果说1986年由于气温偏高而造成冰川融水径流增大的话，那么1985年则是干燥气候而使得冰川消融加强所导致径流量增大，该年降水总量仅294mm，是历年来降水最少的一年。

根据以上气候对冰川融水径流的影响分析，可以归纳以下几点：

- （1）决定径流量的年际变化原因主要在于冰川强烈消融期7—8月气温。
- （2）前期气温影响着后期冰川消融，如果前期有较长时间的低温，即使后期出现较高温度，冰川消融径流也不可能马上增大。
- （3）干燥气候能促使冰川消融加强。

2 空冰斗的融雪径流

空冰斗为一古冰斗，冰斗上长年有积雪，积雪厚度完全决定降水量的大小，积雪消融期每年从五月初开始至八月底。

夏季的降水及冬季积雪多寡决定了空冰斗径流量大小。从表3中也可看出，年降水量与年径流量基本是对应的（1986年降水量在1985—1987年三年中居第二位，径流量也居第二位）。气温对空冰斗径流仍有影响，往往降水较多的年份，由于气温偏低，积雪不可能在当年全部融化。

表3 空冰斗水文断面气温-降水-径流关系表

年 份	月 份	气 温 ($^{\circ}\text{C}$)	月降水量 (mm)	头一年9月至当 年8月降水量 (mm)	月平均流量 (m^3/s)	年径流量 (10^4m^3)
1985	5	-3.3	29.9	273.4	0.009	21.2
	6	0.4	66.2		0.035	
	7	2.9	58.7		0.021	
	8	3.0	70.3		0.015	
1986	5	-1.8	46.0	381.6	0.030	66.8
	6	0.0	127.0		0.064	
	7	4.0	72.5		0.087	
	8	2.6	47.2		0.062	
1987	5	-3.5	37.4	393.8	0.042	85.6
	6	-0.3	80.4		0.081	
	7	3.3	162.3		0.111	
	8	3.4	31.9		0.057	

空冰斗的径流特性关键在于确定它的径流系数，但是径流系数的年际变化也较大，下面以1986—1987年为例。

考虑到空冰斗降水受风吹雪等诸方面因素影响，观测值显然偏小，并考虑到空冰斗降雪受风吹雪等影响较大西沟气象站大，此处根据“乌鲁木齐河上游不同雨量计观测降水对比实验结果的初步分析”方法（杨大庆等，1988），先将大西沟气象站1—4月和9—12月降水加15.8%的损失值和5—8月的降水加26.0%损失值，再按照所实验得到冰川区域降水梯度 $22\text{mm}/100\text{m}$ ，求得空冰斗降水海拔中心高度4000m处的降水量。

应该说明，空冰斗的径流量由于与冬季积雪有关，所以采用水文年度的降水量，（头一年9月至当年8月降水）。

大西沟气象站1985年9月—1986年4月降水观测值为57.1mm，加修正值后为66.1mm，1986年5月—1986年8月大西沟气象站降水观测值为290.6mm，加修正值后为366.2mm，故85年9月—1986年8月大西沟气象站修正后的降水量为432mm，再根据以上所述按冰川区降水梯度 $22\text{mm}/100\text{m}$ ，推算得大西沟至空冰斗梯度降水增加量101mm，将大西沟气象站修正后降水加上梯度降水增加量，得到空冰斗1985年9月—1986年8月修正后降水量为533mm。

大西沟气象站1986年9月至1987年4月降水观测值为103.5mm，加修正值后为119.9mm，1987年5月至1987年8月大西沟气象站降水观测值为316.8mm，加修正值后为399.2mm，故大西沟气象站1986年9月至1987年8月修正后的降水量为519.1mm，同样加上降水梯度增加量101mm，得到空冰斗1986年9月至1987年8月修正后降水量为620.1mm。

根据空冰斗降水及径流量计算得到表4，径流系数的年际变化主要与降水（雪）的多寡和降水强度有关，如1987年7月23日至27日一次降水过程达58.8mm，其中7月26日降水达41.5mm，而且降水形态为液体，形成大洪峰，应该说，降水越多，而且集中在

一个较短时期（即强度大），那么径流系数越大，反之，干旱年份的径流系数则小。

表 4 空冰斗1986年—1987年径流系数计算

年 份	降 水 量 (mm)	径 流 量 ($10^4 m^3$)	径 流 系 数
1985年 9 月至1986年 8 月	533.3	66.8	0.746
1986年 9 月至1987年 8 月	620.1	85.6	0.821

3 总控制水文点的径流特性

总控制水文点由于在它集雨面积以上冰川面积占27%，所以它的径流组成部分主要为冰川融水，其次为降水或积雪融水，1986年是近年来冰川消融最强烈的一年，同时在近三年属于降水较多的一年，其年径流量达到最大值，1987年冰川消融很小，但降水为三年中最多的一年，径流量也达到较大值，当然，在特殊干旱年份，即使冰川消融强烈，总控水文点径流量仍会偏小，显然，该水文断面径流年际变化较为复杂，但是，可以认为径流组成中，冰川融水占主要，降水或积雪径流次之。

表 5 总控制水文点冰川融水-降水-径流关系表

年 份	1985	1986	1987
降水量(mm)	308	348	420
1 号冰川径流量($10^4 m^3$)	214	319	137
总控制径流量 ($10^4 m^3$)	1 024	1 605	1 338

4 1 号冰川1986年水量平衡计算

冰川的状态取决于冰川的物质积累和支出之间的关系，其关系式为 $x = y + z \pm v$ ，其中， x 为降水； y 为径流量； z 为蒸发量； v 为冰川储量变化。

从上式看出，冰川的收入为降水，而支出则是冰川融水径流及冰面蒸发。

4.1 冰川收入部分的降水量计算

上面已说过，由于冰川区降水受风吹雪等诸方面因素影响，并且这种影响较大西沟气象站大，所以采用大西沟气象站资料，上面已计算出大西沟站1985年 9 月—1986年 8 月修正后的降水量为432.3mm，并按照降水梯度22mm/100m推算出 1 号冰川平均降水海拔3 950m的降水量为523mm。

4.2 冰川支出部分的径流量与蒸发量计算

(1) 径流量计算：1 号冰川水文点集雨面积为 $3.34 km^2$ ，其中冰川为 $1.84 km^2$ ，还有 $1.50 km^2$ 裸露山坡，所以在计算 1 号冰川径流量时，需扣除裸露山坡径流量，扣除的方法是利用空冰斗多年平均径流系数以及1985年 9 月—1986年 8 月裸露山坡降水量计算其裸露山坡径流量。

空冰斗(裸露山坡)径流系数多年平均值为 0.65; 1 号冰川周围裸露山坡平均海拔与 1 号冰川平均海拔差不多, 故取 1 号冰川平均降水高度 3 950m 的降水量代替冰川周围裸露山坡降水量, 即降水量为 523mm; 根据径流系数 0.65 及降水 523mm 可得到号冰川水文点以上裸露山坡 1986 年径流量为 $51.0 \times 10^4 \text{ m}^3$; 1986 年 1 号水文点总径流量为 $318.7 \times 10^4 \text{ m}^3$, 扣除裸露山坡径流得到 1 号冰川实际年径流量为 $267.7 \times 10^4 \text{ m}^3$, 折合径流深 1 455mm。

(2) 蒸发量计算: 根据 1962 年在 1 号冰川进行的蒸发实验得到晴天日蒸发量为 0.7mm, 云天日蒸发量为 0.25mm (杨针娘等, 1987), 冬季由于蒸发很小, 此处不予考虑, 根据 1986 年资料统计, 夏季晴天 55 天, 云(雨)天 98 天, 由此得到夏季冰面总蒸发量为 63mm。

4.3 水量平衡计算结果

综合以上所计算的冰川收入与支出情况, 归纳于表 6。

表 6 1986 年 1 号冰川水量平衡计算

收入部分	支出部分		冰川储量变化
降水量 (mm)	径流深度 (mm)	蒸发量 (mm)	冰川纯消融 (mm)
523	1455	63	995

根据上表计算, 1986 年 1 号冰川属于负平衡, 冰川平均消融厚度为 0.995m, 即冰川体积减小 $183 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

综上所述, 可归纳以下几点:

- (1) 冰川的消融径流大小关键在于强烈消融气温。
- (2) 干旱气候促使冰川消融加强。
- (3) 前期气温高低影响后期冰川消融, 如果前期有较长时间低温, 即使后期出现较高温度, 冰川消融径流也不可能马上增大。
- (4) 积雪径流系数大小主要决定于降水多寡, 降水强度以及气温高低。
- (5) 1986 年 1 号冰川为负平衡, 冰川平均减薄 0.954m。

参 考 文 献

- 杨大庆等, 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
- 杨针娘等, 1987. 乌鲁木齐河山区水量平衡的初步分析. 第二届全国冰川学术会议论文选集, 248—258

乌鲁木齐河源水文与气候观测 资料整编结果

杨 新 元

天山冰川观测试验站设水文点三个。1号冰川水文点位于离冰舌280m处，海拔3695m，集水面积为 3.34km^2 ，冰川面积 1.84km^2 。测流断面为一矩形，整个断面由混凝土浇筑而成，断面尺寸高1m，宽1.6m。在断面左岸冰碛垅上装有百叶箱和雨量筒，进行气象观测。

空冰斗水文点海拔3805m，集水面积为 1.73km^2 。测流断面为矩形，由混凝土浇筑而成，高1m，宽1.5m。气象观测场设于右岸冰斗口中部。

高山观测研究区总控制水文点海拔3408m，设于大西沟与支流罗布道沟汇合处，集水面积 28.9km^2 ，冰川面积 5.7km^2 。该水文点主要观测研究控制流域内的7条冰川及裸露山坡上形成的高山带总径流。测流断面由浆砌块石和混凝土浇筑而成，在断面上建有一座工作桥，便于施测流量。气象观测场设在左岸新冰期冰碛上。

基本营地气象观测场海拔2130m。所有水文和气象观测资料，均按规范进行整编，刊印于下列表1—15。

表 1 乌鲁木齐河源 1 号冰川水文点 1986 年逐日平均流量表

集水面积 3.34 km^2 流量以 m^3/s 计

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.017	0.223	0.339	0.058			
2					0	0.058	0.526	0.461	0.080			
3					0	0.045	0.461	0.591	0.045			
4					0	0.017	0.194	0.770	0.045			
5					0	0	0.123	1.05	0.045			
6					0	0	0.123	0.929	0.045			
7					0	0.017	0.194	1.17	0.034			
8					0	0.045	0.251	1.33	0.034			
9					0	0.080	0.223	1.17	0.034			
10					0	0.045	0.166	1.21	0.034			
旬总数					0	0.324	2.484	9.02	0.454			
旬平均					0	0.032	0.248	0.902	0.045			
11					0	0.015	0.101	0.848	0.025			
12					0.011	0.013	0.144	0.369	0.025			
13					0.013	0.034	0.339	0.369	0.025			
14					0.013	0.025	0.526	0.369	0.020			
15					0.009	0.034	0.400	0.223	0.020			
16					0.009	0.015	0.400	0.369	0.017			
17					0.013	0.017	0.493	0.430	0.017			
18					0.012	0.080	0.461	0.733	0.015			
19					0.011	0.144	0.623	0.969	0.015			
20					0	0.144	0.733	0.733	0.013			
旬总数					0.092	0.521	4.22	5.412	0.192			
旬平均					0.009	0.052	0.422	0.541	0.019			
21					0	0.166	1.01	0.493	0.011			
22					0	0.080	0.591	0.526	0			
23					0	0.025	0.929	0.591				
24					0	0.025	1.09	0.461				
25					0	0.101	1.05	0.339				
26					0	0.123	0.848	0.194				
27					0.011	0.045	1.25	0.123				
28					0.011	0.144	0.929	0.045				
29					0.011	0.123	0.01	0.045				
30					0	0.045	0.929	0.045				
31					0.009		0.660	0.080				
旬总数					0.042	0.877	10.296	2.942	0.011			
旬平均					0.004	0.088	0.936	0.267	0.001			
月统计	总数				0.134	1.722	17.00	17.374	0.657			
	平均				0.004	0.057	0.548	0.560	0.022			
	最大				0.034	0.526	2.57	2.45	0.080			
	日期				17	21	24	7	2			
	最小				0	0	0.017	0.020	0			
	日期				1	5	1	23	22			
年统计	年总数	36.887		最大流量 2.57 7月24日			最小流量 0 5月1日		平均流量 0.238			
	径流量	$318.7 \times 10^4 \text{ m}^3$			径流模数 71.3		$\text{L/s} \cdot \text{km}^2$		径流深度 954 mm			

制表: 杨新元

校对: 康尔泗

表 2 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1986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	0.094	0.094	0.132	0.024			
2					0	0.042	0.132	0.094	0.024			
3					0	0.042	0.132	0.064	0.024			
4					0	0.042	0.132	0.094	0.024			
5					0	0.024	0.064	0.064	0.024			
6					0	0.010	0.042	0.064	0.024			
7					0	0.042	0.064	0.064	0.024			
8					0	0.024	0.042	0.094	0.024			
9					0	0.064	0.042	0.064	0.010			
10					0.042	0.042	0.132	0.132	0.010			
旬总数					0.042	0.426	0.876	0.866	0.212			
旬平均					0.004	0.043	0.088	0.087	0.021			
11					0.024	0.042	0.064	0.094	0.010			
12					0.064	0.024	0.132	0.064	0.010			
13					0.132	0.064	0.094	0.042	0.010			
14					0.064	0.132	0.094	0.042	0.010			
15					0.064	0.132	0.094	0.094	0.010			
16					0.064	0.064	0.132	0.094	0.010			
17					0.024	0.064	0.064	0.064	0			
18					0.064	0.132	0.094	0.064	0			
19					0.064	0.094	0.094	0.042				
20					0	0.094	0.064	0.042				
旬总数					0.564	0.842	0.926	0.642	0.060			
旬平均					0.056	0.084	0.098	0.064	0.006			
21					0	0.094	0.064	0.042				
22					0	0.094	0.094	0.042				
23					0	0.042	0.094	0.042				
24					0.010	0.042	0.094	0.042				
25					0.042	0.042	0.064	0.042				
26					0.024	0.042	0.064	0.042				
27					0.024	0.064	0.094	0.042				
28					0.010	0.094	0.094	0.042				
29					0.024	0.064	0.064	0.042				
30					0.094	0.064	0.064	0.024				
31					0.094		0.094	0.426				
旬总数					0.322	0.642	0.884	0.426	0			
旬平均					0.029	0.064	0.080	0.039	0			
月 统 计	总数				0.928	1.910	2.686	1.934	0.272			
	平均				0.030	0.064	0.087	0.062	0.009			
	最大				0.132	0.132	0.399	0.221	0.024			
	日期				13	14	12	10	1			
	最小				0	0.01	0.042	0.024	0			
	日期				1	6	6	30	17			
年统计	年总数 7.73				最大流量0.399 7月12日			最小流量0 5月1日		平均流量 0.050		
	径流量 66.79×10 ⁴ m ³				径流模数 29.8 L/s·km ²				径流深度 398 mm			

制表: 杨新元

校对: 康尔泗

表3 乌鲁木齐河源总控制水文点1983年逐日平均流量表

集水面积23.9km² 流量以m³/s计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.571	2.09	2.56	0.619			
2					0	0.571	2.56	2.21	0.619			
3					0	0.475	2.32	2.32	0.619			
4					0	0.440	2.09	2.44	0.571			
5					0	0.475	1.18	3.44	0.571			
6					0	0.405	1.09	3.44	0.571			
7					0.667	0.994	0.994	3.31	0.523			
8					0.523	1.09	1.18	3.44	0.523			
9					0.475	1.98	1.64	3.31	0.475			
10					0.475	1.75	2.21	3.18	0.475			
旬总数					2.140	8.75	17.354	29.65	5.566			
旬平均					0.214	0.875	1.74	2.97	0.557			
11					0.380	0.808	1.52	2.56	0.475			
12					0.405	0.715	1.29	1.93	0.440			
13					0.667	0.994	1.86	1.75	0.440			
14					0.440	0.808	2.56	1.52	0.405			
15					0.380	0.994	2.92	1.75	0.380			
16					0.475	0.715	2.21	1.86	0.320			
17					0.475	0.619	1.98	1.75	0.305			
18					0.571	1.18	2.09	1.86	0.305			
19					0.523	1.18	2.44	2.09	0.290			
20					0.305	1.09	2.80	1.86	0.280			
旬总数					4.621	9.103	21.67	18.98	3.64			
旬平均					0.462	0.910	2.17	1.90	0.364			
21					0.280	1.09	3.44	1.64	0			
22					0.305	1.29	3.71	1.52	0			
23					0.280	0.715	3.71	1.75				
24					0.350	0.440	3.71	1.86				
25					0.350	0.619	3.71	1.75				
26					0.320	0.619	2.66	1.29				
27					0.475	0.901	3.57	1.18				
28					0.440	1.52	2.68	0.901				
29					0.405	2.21	2.44	0.715				
30					0.619	1.64	2.56	0.715				
31					0.440		2.92	0.619				
旬总数					4.264	11.044	35.01	13.94	0			
旬平均					0.388	1.10	3.18	1.27	0			
月 总 数					11.025	23.898	74.034	62.57	9.206			
平 均					0.356	0.963	2.39	2.02	0.307			
最 大					0.901	4.82	9.10	6.36	0.619			
日 期					18	9	25	6	1			
最 小					0	0.350	0.619	0.619	0			
日 期					1	4	7	30	21			
年统计	年总数 185.733			最大流量9.10 7月25日			最小流量0 5月1日			平均流量 1.21		
	径流量 1 605×10 ⁴ m ³				径流模数 41.9 L/s·km ²				径流深度 555 mm			

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表4 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1986年逐日平均气温表

日 月	统计		月		年统计	
	总 数	平 均	总 数	平 均	总 数	平 均
1	-19.2	-19.8	-14.1	-13.8	-6.3	0.3
2	-21.0	-19.5	-11.2	-14.8	-6.0	1.6
3	-20.2	-18.7	-7.7	-12.0	-3.5	2.4
4	-19.9	-19.9	-11.2	-12.0	-3.2	-0.9
5	-18.0	-15.7	-10.9	-7.7	-1.6	2.2
6	-14.1	-16.8	-20.7	-9.4	3.0	-1.7
7	-16.4	-16.8	-18.7	-10.0	4.4	-1.8
8	-12.8	-14.5	-15.3	-11.0	-0.4	0.1
9	-12.6	-6.4	-14.0	-11.0	-0.7	0.0
10	-14.1	-6.8	-7.1	-9.8	-1.7	-3.9
11	-15.2	-11.1	-6.2	-10.2	1.0	-5.0
12	-15.5	-9.5	-7.4	-9.8	3.7	-1.5
13	-15.4	-9.6	-6.5	-7.4	2.1	1.6
14	-15.4	-15.2	-6.8	-6.4	-1.4	2.2
15	-13.0	-17.6	-10.1	-6.6	2.0	2.0
16	-14.3	-16.1	-14.5	-4.2	0.7	-1.0
17	-14.0	-16.9	-14.1	-5.9	1.8	1.3
18	-18.6	-16.0	-17.2	-4.1	1.4	1.9
19	-23.9	-15.8	-17.8	-4.4	-1.5	1.7
20	-21.6	-15.9	-17.1	-4.8	-7.0	2.0
旬 总 数	-168.1	-153.2	-131.9	-110.6	-16.0	-6.2
旬 平 均	-16.8	-15.3	-13.2	-11.1	-1.6	-0.6
1	-19.8	-169.8	-123.3	-12.3	-15.6	-164.3
2	-22.5	-11.3	-12.9	-3.7	-7.2	2.0
3	-19.6	-19.2	-13.9	-11.4	-6.5	-1.0
4	-16.4	-24.8	-12.4	-15.4	-5.4	0.1
5	-14.2	-21.2	-11.5	-13.6	-4.0	1.5
6	-14.8	-21.5	-9.8	-11.3	-0.3	1.4
7	-18.5	-22.2	-11.9	-11.3	0.7	-0.2
8	-20.4	-18.0	-12.1	-11.4	-1.3	-0.1
9	-21.4	-21.4	-10.3	-7.9	-2.2	1.2
10	-19.3		-12.2		-1.9	
旬 总 数	-212.2	-153.9	-134.4	-97.1	-35.7	7.6
旬 平 均	-19.3	-15.3	-13.4	-9.7	-3.2	0.8
1	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
2	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
3	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
4	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
5	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
6	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
7	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
8	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
9	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
10	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
11	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
12	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
13	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
14	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
15	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
16	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
17	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
18	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
19	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
20	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
21	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
22	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
23	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
24	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
25	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
26	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
27	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
28	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
29	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
30	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
31	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
总 数	-546.9	-450.3	-384.0	-271.3	-48.9	6.6
平 均	-17.6	-16.1	-12.4	-9.0	-1.6	0.2
最 高	9	9	3	18	7	18
最 低	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19	24	6	24	1	11
日 期	19					

制表：杨新元 校核：康尔泗

表5 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1985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	-18.9	-21.1	-14.9	-14.2	-6.1	-0.5	2.5	1.1	1.0	-0.8	-9.8	-17.3
2	-20.9	-20.3	-11.5	-14.5	-5.6	1.0	4.0	2.8	-8.1	-4.7	-6.7	-12.5
3	-19.6	-19.3	-7.3	-12.8	-4.3	1.1	4.6	4.8	-6.0	-6.5	-4.0	-6.9
4	-20.3	-18.4	-11.0	-11.8	-3.7	-1.4	1.9	5.5	-8.9	-3.1	-7.2	-9.1
5	-17.6	-15.5	-11.3	-9.3	-1.6	-1.6	0.4	5.0	-2.7	-6.2	-9.3	-6.3
6	-13.4	-16.7	-21.1	-10.2	3.3	-1.5	1.3	6.6	0.3	-2.2	-10.5	-5.7
7	-15.6	-18.2	-19.5	-11.0	4.6	-0.6	2.3	6.0	-3.5	-1.4	-7.5	-10.8
8	-11.0	-15.2	-13.4	-11.5	0.0	0.0	3.0	8.4	-4.4	0.5	-4.8	-17.9
9	-9.6	-7.5	-12.7	-11.6	-0.7	1.7	2.1	7.7	-1.3	-1.4	-6.1	-9.8
10	-12.2	-6.6	-5.8	-10.3	-1.6	-3.9	0.8	0.9	-0.6	-2.5	-6.3	-10.1
旬总数	-159.1	-158.8	-128.5	-117.2	-15.7	-5.7	22.9	46.6	-34.2	-29.3	-72.2	-106.4
旬平均	-15.9	-15.9	-12.9	-11.7	1.6	-0.6	2.3	4.7	-3.4	-2.9	-7.2	-10.6
11	-14.9	-10.9	-4.3	-10.4	0.5	-6.3	-1.1	2.1	-1.1	-4.4	-3.1	-14.0
12	-15.3	-10.1	-5.9	-10.2	3.1	-2.4	1.3	1.8	-2.5	-2.5	-8.7	-18.2
13	-15.0	-10.1	-5.2	-6.4	2.3	0.5	4.2	1.6	-2.3	-2.3	-9.8	-13.7
14	-14.8	-15.3	-6.3	-5.5	-1.2	2.0	5.1	1.4	-3.0	-1.5	-8.3	-12.7
15	-13.3	-17.9	-10.5	-5.2	1.8	2.4	2.5	0.5	-0.8	-2.9	-7.9	-20.4
16	-14.1	-16.7	-15.3	-2.7	-0.1	-1.3	3.6	2.0	-0.4	-9.1	-11.0	-20.2
17	-13.6	-16.9	-14.2	-4.9	1.7	0.3	3.8	4.1	-1.5	-11.3	-12.7	-15.9
18	-19.6	-15.0	-17.6	-3.1	0.8	1.4	4.2	4.4	-0.5	-9.9	-13.1	-16.1
19	-24.8	-14.8	-19.2	-3.5	-2.1	1.1	6.6	4.7	0.9	-7.0	-12.1	-18.1
20	-21.9	-14.2	-19.1	-3.8	-7.9	1.7	6.2	2.4	0.6	-8.0	-13.9	-17.4
旬总数	-167.1	-143.9	-117.6	-55.7	-1.1	-0.6	36.4	25.0	-10.6	-57.5	-105.6	-166.7
旬平均	-16.7	-14.4	-11.8	-5.6	-0.1	-0.1	3.6	2.5	-1.1	-5.8	-10.6	-16.4
21	-22.8	-15.6	-16.2	-1.8	-8.6	3.3	6.6	-0.5	-0.1	-11.0	-13.3	-17.2
22	-22.7	-10.8	-13.0	-3.0	-7.6	1.9	8.3	0.4	-1.8	-12.6	-20.2	-17.0
23	-19.9	-19.4	-14.4	-10.8	-6.2	-1.5	8.7	2.6	-2.1	-11.0	-20.4	-16.8
24	-16.7	-25.3	-11.9	-15.1	-4.6	-0.5	8.3	3.9	-1.9	-11.0	-16.5	-16.8
25	-14.6	-20.9	-11.1	-13.0	-2.8	1.3	7.2	0.5	-1.0	-11.5	-16.4	-21.7
26	-15.4	-21.6	-9.4	-10.3	-0.4	0.5	6.5	0.4	-0.3	-7.3	-15.2	-16.1
27	-19.1	-22.3	-11.9	-10.3	0.3	-0.3	4.9	-0.8	1.4	-6.8	-14.0	-12.9
28	-21.8	-17.7	-13.0	-10.8	-1.6	1.1	3.8	0.1	0.9	-6.3	-13.5	-11.3
29	-23.2		-12.5	-8.9	-1.1	-0.7	4.7	-0.6	0.4	-6.9	-14.3	-13.1
30	-22.7		-10.6	-7.7	-3.4	-0.1	4.9	-0.1	0.6	-8.3	-15.5	-14.5
31	-20.4		-12.3		-3.3		1.1	1.6		-8.2		-16.4
旬总数	-219.1	-153.6	-136.3	-91.5	-39.2	5.0	65.0	7.5	-3.6	-101.0	-159.3	-173.8
旬平均	-19.9	-19.2	-12.4	-9.2	-3.6	0.5	9.9	0.7	-3.4	-9.2	-15.9	-15.8
月 统 计	总数 -545.3 平均 -17.6 最高 -5.5 日期 9 最低 -28.0 日期 19	-456.3 -16.3 -2.5 9 -27.0 24	-382.4 -12.3 -1.0 11 -28.2 7	-264.4 -8.8 2.2 16 -19.0 1	-56.1 -1.8 10.0 7 -10.6 21	-1.3 0.0 7.8 21 -12.6 11	124.3 4.0 13.1 24 -3.6 12	79.1 2.6 10.5 6 -4.3 22	-48.4 -1.6 5.7 19 -13.5 4	-187.8 -6.1 4.4 8 -16.5 22	-337.1 -11.2 -0.3 3 -24.9 23	-446.9 -14.4 -2.9 3 -26.3 8
年统计	最高气温 13.1 7月24日			最低气温 -28.2 3月7日			平均气温 -7.0					

制表：杨新元

校核：康尔泗

表 6 乌鲁木齐河源总控制水文点1986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	-17.2	-21.1	-13.4	-12.9	-3.8	-0.8	6.3	3.3	4.4	-1.4	-9.4	-17.6	
2	-19.5	-21.2	-11.8	-12.8	-3.7	0.7	7.0	6.2	-6.0	-3.3	-10.0	-13.7	
3	-17.6	-18.3	-6.8	-12.6	-1.8	2.2	7.8	4.5	-5.6	-5.5	-5.7	-5.9	
4	-19.6	-19.5	-10.9	-10.3	-0.7	-0.3	5.1	10.3	-6.7	-2.2	-9.6	-10.0	
5	-18.0	-16.4	-8.2	-6.6	0.2	-0.7	4.2	9.2	-0.6	-5.1	-10.9	-6.3	
6	-14.6	-16.1	-20.5	-7.1	4.6	-0.2	4.6	9.1	2.0	-1.3	-11.9	-2.7	
7	-14.6	-14.5	-17.2	-8.5	4.9	2.5	4.8	7.3	-1.6	-0.2	-11.1	-8.9	
8	-12.4	-14.5	-13.8	-9.2	0.1	2.8	6.4	11.6	-2.6	0.7	-8.0	-16.9	
9	-13.0	-8.1	-10.9	-9.7	0.4	2.3	5.0	7.7	1.0	0.3	-8.8	-11.6	
10	-14.8	-6.2	-7.3	-7.5	-0.2	-2.9	3.1	3.1	2.4	0.7	-7.7	-9.8	
旬总数	~161.3	~155.9	~120.8	~97.2	0.0	5.6	54.3	72.4	~13.3	~17.2	~93.1	~103.7	
旬平均	~16.1	~15.6	~12.1	~9.7	0.0	0.6	5.4	7.2	~1.3	~1.7	~9.3	~10.4	
11	-16.9	-9.9	-3.9	-7.5	3.3	-3.9	1.0	4.0	1.1	-2.1	-8.1	-15.6	
12	-15.9	-8.6	-6.0	-7.4	6.4	1.2	4.7	5.6	-0.2	-0.6	-9.8	-19.1	
13	-16.3	-9.2	-5.6	-5.3	4.0	3.5	7.3	5.1	0.4	0.2	-12.2	-13.4	
14	-15.8	-13.7	-7.3	-3.9	0.1	5.7	7.8	6.2	-0.9	-0.5	-10.7	-12.8	
15	-15.0	-15.7	-11.0	-4.4	3.6	5.0	5.2	5.0	1.0	-0.6	-9.1	-19.1	
16	-14.9	-14.6	-14.0	-2.3	2.1	1.1	7.6	4.3	2.2	-9.8	-12.4	-21.1	
17	-13.6	-14.0	-14.7	-4.4	3.1	2.2	6.5	4.7	0.7	-12.1	-13.4	-17.9	
18	-17.9	-15.3	-16.6	-3.7	2.4	5.6	7.5	5.7	-0.1	-10.9	-13.3	-16.6	
19	-23.6	-13.3	-10.9	-2.2	-0.6	3.4	9.9	6.7	4.0	-8.8	-12.5	-18.9	
20	-21.7	-14.2	-15.3	-1.3	-5.5	4.9	9.6	4.2	3.3	-7.5	-10.0	-16.5	
旬总数	~171.6	~128.5	~111.3	~42.4	18.9	28.7	67.1	51.5	11.5	~52.5	~111.5	~171.0	
旬平均	~17.2	~12.9	~11.1	~4.2	1.9	2.9	6.7	5.2	1.2	~5.3	~11.2	~17.1	
21	-23.2	-14.1	-13.6	0.9	-6.0	5.8	9.6	0.6	3.6	-8.5	-9.5	-15.4	
22	-23.3	-11.6	-13.1	-2.0	-5.3	3.5	11.1	2.8	2.1	-10.9	-22.4	-16.7	
23	-19.2	-19.1	-13.3	-8.9	-4.2	-0.4	11.4	5.5	-0.8	-9.9	-20.5	-18.1	
24	-16.2	-24.1	-11.5	-16.5	-3.1	2.1	10.0	7.7	-0.4	-13.0	-17.5	-16.7	
25	-16.2	-20.2	-9.5	-15.0	0.0	3.6	9.0	4.5	1.7	-11.9	-17.9	-19.0	
26	-15.6	-19.9	-10.2	-8.8	1.4	4.1	9.9	4.3	2.4	-7.2	-16.7	-16.6	
27	-18.8	-21.8	-11.7	-8.5	2.1	2.3	8.3	3.0	4.4	-6.5	-16.2	-12.7	
28	-18.7	-17.2	-12.7	-8.3	0.0	2.0	8.1	3.4	2.9	-6.2	-13.9	-11.2	
29	-21.1		-11.7	-6.4	-0.3	1.9	9.4	1.9	3.2	-6.7	-14.2	-13.8	
30	-21.2		-9.4	-5.7	-2.1	4.5	9.7	2.3	4.7	-8.0	-15.7	-13.9	
31	-19.1		-11.6		-0.3		4.5	4.9		-6.7		-15.2	
旬总数	~212.6	~148.0	~128.3	~79.6	~17.8	29.4	101.1	40.9	24.0	~95.5	~164.5	~169.9	
旬平均	~19.3	~18.5	~11.7	~8.0	~1.6	2.9	9.2	3.7	2.4	~8.7	~16.5	~15.4	
月统计	总数	-545.5	-432.4	-360.4	-219.2	1.1	63.7	222.4	164.8	22.2	-165.2	-369.1	-444.0
	平均	-17.6	-15.4	-11.6	-7.3	0.0	2.1	7.2	5.3	0.7	-5.3	-12.3	-14.3
	最高	-5.7	-0.4	0.0	4.9	13.0	11.5	17.8	16.7	10.5	8.3	-0.2	-0.4
	日期	8	9	3	16	12	2	24	8	20	8	8	3
	最低	-26.8	-28.0	-28.2	-20.1	-8.2	-9.8	-1.2	-3.3	-12.2	-17.0	-25.1	24.9
日期	30	24	6	25	1	11	11	21	4	17	22	16	
年统计	最高气温 17.8 7月24日			最低气温 -28.2 3月6日			平均气温 -5.7						

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表7 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1986年逐日降水量表

单位: mm

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0.0	1.4	3.7	2.7				
2					0.1	0.1	0.3					
3						0.0	0.0					
4					5.2	18.2	5.3	2.7				
5						21.5	7.3	1.3				
6						1.3	0.6					
7					0.0	0.0	0.0	4.5				
8					4.6	15.3	2.9					
9					0.6	10.8	6.4	2.1				
10						1.7	11.8	10.5				
11							5.0					
12								0.4				
13					0.7	0.3						
14					2.2	0.0		8.6				
15					0.1	6.2	10.8					
16					2.9	1.2	0.0					
17					4.3		2.1					
18						1.5						
19					3.1	2.5	0.0					
20					4.7	1.9	0.0	0.0				
21					1.3	3.0	0.3	0.4				
22					0.3	4.0						
23						2.4						
24					3.3	0.2						
25					0.6	0.0		8.9				
26					0.1	2.1	5.8	3.3				
27					0.0	7.5	0.0	1.5				
28					2.0	17.5	0.0	1.1				
29					8.4	6.8	0.0	1.0				
30					6.6	0.0	3.9					
31					0.7		16.3					
总 量	1.7	3.3	6.4	13.7	51.8	133.4	82.5	49.0	17.1	24.8	2.6	3.1
降水日数					23	27	23	15				
最大日降水量					8.4	21.5	16.3	10.5				
日 期					29	5	31	10				
年统计	降水量 389.4			降水日数			最大日降水量 21.5 6月 5日					

附 注 1—4月及9—12月因一星期观测一次,故只记月降水总量

制表: 杨新元

校核: 康尔酒

表 8 乌鲁木齐河源空冰斗水文点 1986 年逐日降水量表

单位: mm

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0.0	1.0	4.4	1.5				
2					0.2	0.4	0.9					
3						0.0	0.0					
4					4.5	16.5	3.1	3.5				
5						20.4	6.2	1.7				
6						1.5	0.6					
7						0.3	0.0	4.3				
8					3.8	12.9	2.4					
9					0.4	16.8	6.3	1.6				
10						2.0	7.0	10.2				
11							5.2					
12								0.5				
13					0.6	0.4						
14					2.9	0.0		7.5				
15						5.0	10.7					
16					2.3	1.4	0.1					
17					4.7		2.2					
18						1.6						
19					2.7	4.0	0.0					
20					1.0	2.4	0.0	0.0				
21					3.2	2.0	1.3	0.5				
22					0.3	3.6						
23					3.1	2.3						
24					1.2	0.4						
25						0.0		8.7				
26					0.2	2.9	5.4	3.2				
27						6.9	0.0	1.6				
28					3.0	16.2		1.4				
29					5.6	6.1		1.0				
30					5.9	0.0	4.3					
31					0.4		12.4					
总 量	1.1	3.3	7.8	18.2	46.0	127.0	72.5	47.2	31.7	22.8	1.5	2
降水日数					20	27	21	15				
最大日降水量					5.9	20.4	12.4	10.2				
日 期					30	5	31	10				
年 统 计	降水量 381.6				降水日数			最大日降水量 20.4 6月5日				
附 注	1—4月及9—12月因一星期观测一次,故只记月降水总量											

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表 9 乌鲁木齐河源总控制水文点1986年逐日降水量表

单位: mm

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			—		0.0	1.5	2.0	1.5				
2						2.0	0.5					
3					0.1		0.0					
4					5.9	16.3	6.1	1.9				
5						18.8	4.4	2.1				
6						0.8	0.4					
7							0.0	4.5				
8					4.8	12.1	2.6					
9					0.2	11.7	7.1	1.6				
10						4.2	5.5	8.2				
11							3.2					
12								0.9				
13					0.4							
14					0.8			10.2				
15					0.0	8.6	9.5					
16					1.5	1.0	0.0					
17					3.6		2.4					
18						1.2						
19					3.0	3.9	0.0					
20					3.0	1.5	0.0	0.0				
21					0.8	2.3	2.7	0.4				
22					0.8	3.5						
23					5.0	2.2						
24					0.8	0.4						
25						0.0		6.6				
26						3.1	5.6	3.0				
27						5.5	0.0	1.5				
28					3.7	15.0	0.0	0.1				
29					3.7	6.0	0.0	1.9				
30					5.3		2.4					
31							11.7					
总 量	0.7	2.7	7.1	16.0	43.4	116.5	66.1	44.4	28.3	23.2	1.9	3.9
降水日数					19	22	23	15				
最大日降水量					5.9	18.8	11.7	10.2				
日 期					4	5	31	14				
年 统 计	降水量 354.2				降水日数				最大日降水量 18.8 6月5日			
附 注	1—4月及9—12月因一星期观测一次,故只记月降水总量											

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表10 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1986年逐日平均相对湿度表

单位：%

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					52	61	80	77				
2					55	64	88	66				
3					39	73	74	32				
4					55	96	79	49				
5					39	96	65	77				
6					89	82	52	66				
7					47	40	67	78				
8					93	60	58	53				
9					49	74	76	77				
10					81	96	97	97				
旬总数					548	742	736	672				
旬平均					55	74	74	67				
11					44	43	89	80				
12					51	43	50	70				
13					68	46	62	66				
14					97	76	73	65				
15					45	73	95	60				
16					76	88	62	68				
17					73	41	64	40				
18					64	55	81	41				
19					81	67	38	44				
20					89	83	61	82				
旬总数					688	615	655	616				
旬平均					69	62	66	62				
21					91	70	66	81				
22					82	74	65	22				
23					86	79	72	34				
24					94	60	69	45				
25					47	72	75	82				
26					49	76	70	78				
27					87	95	81	94				
28					86	84	57	89				
29					56	97	55	81				
30					88	88	65	63				
31					70		97	39				
旬总数					836	795	772	708				
旬平均					76	80	70	64				
月统计	总数				2 072	2 152	2 163	1 996				
	平均				67	72	70	64				
	最大日期											
	最小日期				12	6	9	5				
					29	11	12	12				
附注	相对湿度仅在冰川消融期进行观测											

制表：杨新元

校核：康尔泗

表11 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1986年逐日平均相对湿度表

单位: %

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					54	77	84	88				
2					61	80	93	64				
3					49	63	75	39				
4					66	92	80	51				
5					50	97	75	82				
6					47	93	62	69				
7					53	56	65	75				
8					92	74	63	54				
9					52	86	81	62				
10					78	100	100	100				
旬总数					602	818	778	684				
旬平均					60	82	79	68				
11					35	54	97	76				
12					39	39	54	69				
13					61	50	70	69				
14					89	71	71	67				
15					40	88	96	66				
16					78	91	65	67				
17					68	34	63	41				
18					62	56	62	41				
19					82	71	44	43				
20					91	83	64	81				
旬总数					645	637	686	620				
旬平均					65	64	69	62				
21					87	72	72	79				
22					86	77	68	28				
23					90	85	72	28				
24					93	65	64	39				
25					42	67	80	50				
26					52	73	73	70				
27					75	100	84	96				
28					84	92	65	82				
29					48	100	57	83				
30					87	92	67	62				
31					74		99	45				
旬总数					818	823	801	662				
旬平均					74	82	73	60				
月 统 计	总数				2065	2278	2265	1566				
	平均				67	76	73	63				
	最大 日期											
	最小 日期				15	15	22	1				
					12	11	12	22				
附 注	相对湿度仅在冰川消融期进行观测											

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表12 乌鲁木齐河源总控制水文点1986年逐日平均相对湿度表

单位: %

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					72	57	68	68				
2					81	43	73	60				
3					44	57	62	41				
4					59	83	68	46				
5					43	93	60	68				
6					44	67	54	60				
7					55	43	66	80				
8					95	54	60	55				
9					57	83	60	92				
10					80	90	90	97				
旬总数					630	670	661	667				
旬平均					63	67	66	67				
11					37	55	88	77				
12					28	34	61	66				
13					60	32	63	64				
14					90	42	71	60				
15					46	47	81	52				
16					67	61	54	37				
17					65	28	59	35				
18					62	38	62	46				
19					90	46	47	48				
20					97	60	58	73				
旬总数					640	443	644	558				
旬平均					64	44	64	56				
21					92	71	71	73				
22					83	70	71	29				
23					86	81	67	36				
24					87	64	81	41				
25					47	64	87	62				
26					56	69	67	63				
27					77	84	78	81				
28					84	82	54	67				
29					60	93	47	73				
30					95	79	59	66				
31					69		85	42				
旬总数					835	757	767	633				
旬平均					76	76	70	58				
月统计	总数				2 108	1 870	2 072	1 858				
	平均				68	62	67	60				
	最大日期											
	最小日期				4	3	21	9				
					29	17	12	22				
附注	相对湿度仅在冰川消融期进行观测											

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表13 天山冰川观测试验站基本营地1986年逐日平均气温表

单位: °C

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-12.7	-12.2	-10.9	-5.3	6.1	10.5	13.1	12.2	11.6	3.4	0.0	-10.8	
2	-13.8	-14.2	-6.7	-5.2	3.4	11.5	15.3	13.2	1.9	1.4	-1.1	-10.9	
3	-14.7	-13.2	-2.5	-3.8	5.5	8.6	14.9	15.6	1.2	4.8	-0.3	-6.2	
4	-14.1	-13.5	-5.2	-2.1	6.2	6.8	11.6	16.1	-0.5	3.3	-2.6	-5.0	
5	-14.7	-13.0	-7.8	0.5	9.0	8.0	9.6	15.6	5.8	3.8	-3.5	-6.8	
6	-12.1	-11.0	-13.1	0.8	12.7	9.5	12.0	15.8	8.2	4.4	-4.7	-4.3	
7	-10.7	-11.5	-13.8	-0.1	11.1	10.7	12.3	14.6	4.8	6.1	-5.3	-7.3	
8	-11.1	-12.6	-8.5	-3.6	9.1	11.3	11.7	16.1	6.0	7.7	-4.0	-17.6	
9	-10.2	-7.5	-6.8	-5.1	9.9	10.6	12.7	14.2	6.9	6.4	-0.4	-12.4	
10	-10.7	-6.5	-4.2	0.6	9.4	4.4	12.1	10.4	8.4	5.0	-0.8	-10.9	
旬总数	-124.8	-115.2	-79.5	-23.3	82.4	91.9	125.3	143.8	54.3	46.3	-22.7	-92.2	
旬平均	-12.5	-11.5	-8.0	-2.3	8.2	9.2	12.5	14.4	5.4	4.6	-2.3	-9.2	
11	-10.3	-7.0	0.1	-0.7	8.8	5.7	8.8	11.1	8.1	5.7	-1.6	-11.4	
12	-11.2	-10.4	0.2	0.4	12.3	9.5	11.1	11.4	10.1	4.5	-2.1	-14.7	
13	-11.1	-10.0	-1.8	2.5	13.3	11.0	13.8	13.4	7.1	3.7	-3.4	-15.0	
14	-11.1	-9.8	-4.7	3.1	8.6	13.0	14.1	11.2	6.5	3.9	-3.2	-13.2	
15	-9.5	-10.1	-5.2	5.0	10.4	13.1	13.5	12.0	7.4	3.8	-4.8	-12.2	
16	-9.6	-8.9	-6.4	6.0	10.1	8.1	13.8	12.1	9.4	-2.0	-3.6	-18.5	
17	-10.0	-11.0	-7.5	5.1	11.2	9.3	14.6	12.7	8.0	-4.5	-6.6	-16.0	
18	-11.1	-10.8	-8.6	6.0	8.8	12.3	15.1	14.7	9.3	-2.4	-9.3	-15.7	
19	-14.7	-8.8	-8.2	5.2	6.4	13.4	16.2	15.6	9.9	-2.4	-9.3	-15.8	
20	-17.7	-8.3	-10.5	5.1	1.2	13.4	16.0	12.7	11.2	0.0	-9.7	-15.4	
旬总数	-116.8	-94.9	-52.6	37.7	91.1	108.8	137.0	126.9	87.0	10.3	-53.7	-147.9	
旬平均	-11.6	-9.5	-5.3	3.8	9.1	10.9	13.7	12.7	8.7	1.0	-5.4	-14.8	
21	-18.4	-8.1	-8.3	5.5	2.1	13.5	16.8	10.2	11.4	-0.8	-11.7	-10.6	
22	-19.3	-6.5	-5.7	-0.3	4.6	10.1	18.2	9.5	11.2	-1.5	-14.1	-13.4	
23	-17.6	-13.2	-3.5	-2.1	5.1	8.8	18.0	11.7	9.4	-2.2	-16.3	-15.4	
24	-13.7	-16.3	-3.2	-7.7	7.0	8.6	15.1	13.2	7.3	-2.5	-14.3	-15.1	
25	-11.4	-15.7	-2.7	-5.1	8.6	11.9	14.5	11.6	8.3	-3.1	-13.0	-11.5	
26	-13.0	-13.3	-3.8	-0.6	9.9	10.3	13.3	11.9	10.8	0.1	-11.6	-16.0	
27	-14.5	-14.1	-3.5	1.5	8.9	10.0	15.0	12.7	11.0	-0.2	-12.3	-12.6	
28	-16.9	-12.1	-2.4	2.3	7.1	10.6	15.9	10.2	10.1	0.0	-11.7	-9.2	
29	-15.4		-1.7	3.4	9.1	10.8	15.7	7.9	10.4	0.3	-11.8	-9.7	
30	-15.7		-2.7	4.1	9.3	12.8	17.8	9.0	9.9	-0.2	-9.4	-10.8	
31	-13.3		-3.5		8.8		14.5	11.2		-0.1		-10.5	
旬总数	-169.1	-99.3	-41.0	1.0	80.5	107.4	174.8	119.1	99.8	-10.2	-126.1	-134.8	
旬平均	-15.4	-12.4	-3.7	0.1	7.3	10.7	15.9	10.8	10.0	-0.9	-12.6	-12.3	
月统计	总数	-410.2	-309.4	-173.1	15.4	254.0	308.1	437.1	389.8	241.1	46.4	202.5	-374.9
	平均	-13.2	-11.1	-5.6	0.5	8.2	10.3	14.1	12.6	8.0	1.5	-6.8	-12.1
	最高	3.1	6.5	12.4	18.2	24.5	22.5	26.5	26.4	22.4	19.6	18.0	5.6
	日期	25	9	3	16	12	21	13	19	21	8	3	5
	最低	-24.5	-23.9	-22.4	-12.9	-3.4	-0.4	3.4	1.3	-9.1	-9.3	-21.4	-24.1
	日期	22	25	7	1	3	11	36	22	4	25	23	9
年统计	最高气温	26.5			7月13日		最低气温	-24.5		1月22日		平均气温	0.5
附注	1986年度气象观测场工作人员为王仲祥、谢应钦、薛丽华、马建国												

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表 14 天山冰川观测试验站基本营地1986年逐日降水量表

单位: mm

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1				1.4		0.0	0.4	2.0	1.5	2.1	0.3	
2				1.3	0.9	0.0	8.2		22.1	10.5		
3				0.3		0.3	1.5		3.0			
4					4.6	0.0	7.8		5.2		0.2	
5					0.0	7.7	1.5	1.9		0.8		
6			1.1	0.1		3.4	4.7					
7		0.8		1.3			0.0	3.4	4.7			5.8
8		0.5		1.3	2.3		0.4		0.2			0.2
9				0.9	5.8	7.2						
10					3.5	14.1	1.4	7.1				
11						2.5	9.1	0.1	1.4			0.2
12								0.5	1.5		1.3	
13					0.0				1.1			
14		0.3			1.8	0.0		0.5	0.4			
15		0.3	0.5			1.2	10.6	7.0		0.4		0.2
16			1.4		5.1	5.2	0.2			8.5		
17	0.1		0.1		0.0		5.7		0.1			
18	0.6		0.2			0.0	1.1		1.4	0.1		
19				3.9	0.0	0.4						
20				3.9	14.2			2.3				
21				1.2	0.2	0.7		2.6			0.1	
22				0.6	0.3	9.5			0.0	0.2	0.2	
23		0.1		0.8	0.1	5.2			5.1			2.2
24					1.0	4.3			0.0			
25				2.9				0.1				
26						2.2	0.0	0.1	0.7			
27			1.1		4.4	3.7	2.1	1.5				
28				0.0	3.3	3.7		1.0	0.0			
29					2.5	10.1		7.5	0.3			
30				0.0	3.2	2.5		2.4				
31			1.3				3.6					
总 量	0.7	2.0	5.7	19.9	53.2	83.9	58.3	40.0	48.7	22.6	2.1	8.6
降水日数	2	5	7	15	20	23	17	16	18	7	5	5
最大日降水量	0.6	0.8	1.4	3.9	14.2	14.1	10.6	7.5	22.1	10.5	1.3	5.8
日 期	18	7	16	19	20	10	15	29	2	2	12	7
年 统 计	降 水 量 345.7				降 水 日 数 40				最大日降水量 22.1 9月2日			

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表15 天山冰川观测试验站基本营地1986年逐日平均相对湿度

单位: %

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	49	50	41	70	45	59	75	62	57	19	74	62
2	76	53	37	80	61	60	73	58	84	88	57	53
3	66	47	31	62	57	78	68	52	83	57	53	50
4	55	41	51	51	57	87	77	49	69	65	79	66
5	52	42	65	43	53	79	74	67	65	66	64	69
6	42	44	80	55	39	64	62	67	59	55	63	65
7	48	69	51	64	52	57	65	75	84	53	53	80
8	54	70	43	86	81	57	69	69	73	54	56	81
9	38	51	42	77	60	79	60	73	56	58	52	83
10	47	47	51	57	69	90	66	89	59	69	56	75
旬总数	527	514	492	647	574	710	689	661	689	644	607	684
旬平均	53	51	49	65	57	71	69	66	69	64	61	68
11	59	46	41	57	59	65	83	72	65	70	62	82
12	61	62	47	48	47	56	68	69	54	65	82	82
13	67	70	63	42	61	54	61	58	70	63	78	78
14	52	82	75	41	74	56	65	67	69	70	72	73
15	50	76	81	39	57	64	66	65	57	69	63	73
16	54	65	77	30	69	86	67	63	49	88	71	80
17	42	75	79	41	66	68	70	61	60	84	72	64
18	79	64	70	49	58	56	61	50	58	72	69	65
19	81	50	63	60	76	50	57	45	53	69	72	68
20	63	52	69	74	91	58	55	64	47	58	76	67
旬总数	608	642	665	481	658	613	653	614	582	708	717	732
旬平均	61	64	67	48	66	61	65	61	58	71	72	73
21	71	50	52	78	81	68	62	62	47	78	79	47
22	67	40	35	81	63	65	61	58	52	66	69	66
23	56	74	42	63	77	73	59	52	69	67	65	74
24	47	66	50	80	71	71	72	46	74	68	61	69
25	37	53	59	65	55	61	73	53	65	60	60	76
26	46	48	64	52	53	71	78	62	55	47	50	79
27	65	52	74	52	71	82	68	63	53	60	53	74
28	75	44	68	55	90	73	54	67	58	63	52	67
29	62		57	54	71	82	48	81	58	56	54	72
30	68		58	53	64	75	43	67	56	63	52	78
31	57		74		62		62	53		70		83
旬总数	651	427	633	633	758	671	680	664	587	698	595	785
旬平均	59	53	58	63	69	67	62	60	59	63	60	71
月统计	总数 1 786 平均 58 最大日期 最小日期 14 17	1 583 57 17 10	1 790 58 7 3	1 761 59 3 4	1 990 64 5 3	1 994 66 22 8	2 022 65 20 19	1 939 63 15 18	1 858 62 18 15	2 050 66 6 3	1 919 64 10 6	2 201 71 25 21

制表: 杨新元

校核: 康尔西

深钻孔温度观测初步结果

黄茂桓 蔡保林 王纯足

乌鲁木齐河源1号冰川是我国冰川温度研究的基地,60年代初就开始了冰川温度的研究,取得了相当进展(Huang Maohuan等,1982)。但由于技术条件等多方面的限制,最深的温度测量,1978年以前只达到冰川年变化层底部(18m),1982年才达到35m的深度(任贾文等,1985)。冰川温度的研究只在浅层进行得较为深入,而对冰川深处,尤其是冰川底部以及整个冰川的温度状况和造成这种状况的机理,只能根据浅层的研究加以推测。

1986年7月我们利用现有的热水钻设备,在1号冰川东支消融区下部(海拔3854 m)和中部(海拔3928 m),以及平衡线附近(海拔4033 m)处打下三个深钻孔,其编号分别为 T_1 、 T_2 和 T_3 ,用来埋设测温探头,把冰川温度观测范围扩展到冰川底部。所用测温元件为AD-590温度传感器,测量精度为 $\pm 0.05K$ 。

T_1 、 T_2 和 T_3 三个钻孔深度分别为86,102和106 m。根据1981年冰川雷达测厚资料得知(张祥松,1985),东支冰川最大厚度为140 m,此三钻孔处冰川厚度分别为96,138和106 m。由此判断, T_1 孔底接近冰川底部, T_3 孔到了冰川底部,钻进时也感觉到了底,不能再进。

图1示1986年9月27日测得的冰川温度曲线,图中虚线段为估计值。表1列出主要温度和温度梯度。

一般认为冰川温度受气温的支配,随着高度的增加,气温和冰温均下降。但由图1看来,从 T_2 到 T_3 大部分深度不是这样。蔡保林等(1987)解释这是因为 T_3 以上存在湿雪带,夏季其表面融化,大量融水渗入到粒雪层内,遇冷冻结,放出潜热,提高了冰川的温度。我们过去也注意到这一现象的存在,但对其作用的深度和广度估计不足。由此看来,冰川的最低温度不是出现在平衡线附近,而是在消融区上部某一高度。

我们知道冰川消融区有一个向上的冰川运动分速度,把下部较高温的冰向上输送,造成冰川上部的温度梯度大于冰川下部的温度梯度。在平衡线附近,这个分量接近于零,则冰川上下部温度梯度应该接近。 T_3 的测温结果不是这样,蔡保林等(1987)解释这是冰川上游的温度通过水平传热和平流作用对下游的温度有显著影响。一般用

$$\frac{\partial T}{\partial t} - a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - w \frac{\partial T}{\partial z} = f(x, y, z)$$

来描述冰川的温度 T ,式中 t 为时间; a 为冰的导温系数; x 、 y 和 z 分别是水平纵向、

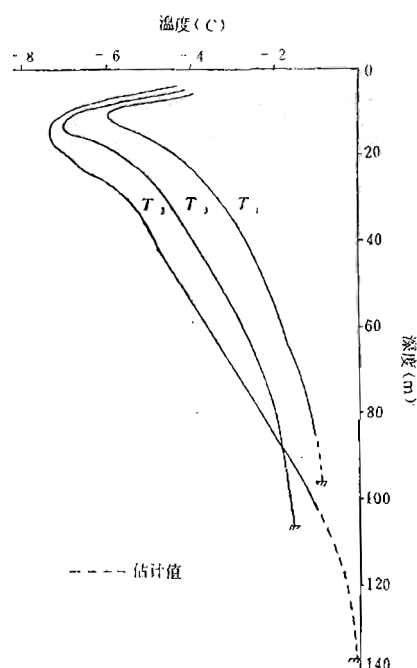


图1 冰川深孔温度曲线 (1986年9月27日测)

表1 实测温度 (T) 和温度梯度 (dT/dz)

孔 号	T_1	T_2	T_3
$T(^{\circ}\text{C})$ 于 20m 深度	-4.8	-6.6	-5.6
于 钻孔底	-0.7	-1.0	-1.8
从 20m 深度到 钻孔底 平均	0.044	0.066	0.047
dT/dz (km^{-1}) 钻孔最深 20m 平均	0.029	0.050	0.028
从 钻孔底到 冰川底		0.027	

竖向和横向坐标, x 向下游为正, y 向上为正, z 按右手系规定; u , v 和 w 是冰川运动速度在 x , y 和 z 三个方向上的分量; $f(x, y, z)$ 是冰川内部变形热效应和粒雪中水分冻结释热, 往往为了解题方便, 式中某些因素被认为作用小而加以忽略。这次深孔观测表明: 反映水平传热的 $a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ 项和反映平流作用的 $u \frac{\partial T}{\partial x}$ 项不容忽视。

表1所列的钻孔底部的温度梯度在 T_2 处较大。只要考虑到孔底到冰川底部尚有36 m, 这36 m的上部为 -1.0°C , 下部设为 0°C , 则其温度梯度为 $0.027/\text{km}$, 与 T_1 和 T_3 孔最深20 m的平均温度梯度相近。这样可以得出结论, 冰川底部温度梯度为 $0.028/\text{km}$ 左右, 相当于 $59\text{mW}/\text{m}^2$ 的热通量。本地区地壳由前寒武纪片麻岩、花岗片麻岩等变质岩系组成, 据此查Sclater等(1980)对地热流研究所得图表的图版II和表7, 得出本

地区的地热流约为 63mW/m^2 ，两者相当接近。由此可以认为冰川底部没有消融或消融甚微。

从上面的分析和图1虚线段所示，我们有理由相信 T_2 处冰川底部达到了融点。而 T_1 处冰川底部接近融点。 T_3 处钻孔抵达冰川底部，实测为 -1.8°C ，说明冰川与冰床冻结在一起。

综上所述：

(1) 湿雪带发生的融水冻结加温作用，提高冰川温度，其影响深度和宽度相当大。

(2) 冰川年变化层下界的最低温度不出现在平衡线处，而出现在消融区上部。

(3) 水平传热和平流作用对冰川温度场的影响不容忽视。

(4) 冰川底部温度梯度为 $0.028/\text{km}$ 左右，接近本地区地热流相应的温度梯度，说明冰川底部没有消融或消融甚微。

(5) 消融区中、下部冰川底部温度接近或等于融点，平衡线附近冰川底部温度则低于融点，冰川与冰床冻结在一起。

致谢：王良玮、谭建玉、吴卫民研制深孔测温装置，张吉利参加野外工作，W.S.B. Paterson 提出宝贵建议，在此谨致谢意。

参 考 文 献

任贾文、张金华、黄茂恒，1985。天山乌鲁木齐河源1号冰川温度研究。冰川冻土，7(2)：141—152

张祥松、朱国才、钱崇林、陈吉阳、沈颖，1985。天山乌鲁木齐河源1号冰川雷达测厚。冰川冻土，7(2)：152—162

蔡保林、黄茂恒、谢自楚，1987。乌鲁木齐河源1号冰川深孔温度的初步研究。科学通报，32(22)：732—733

Huang Maobuan, Wang Zhongxiang, Ren Jiawen, 1982. On the temperature regime of continental type glaciers in China. Journal of Glaciology, 28(98)：117—123

Sclater, J G, Jaupart C, Gaison D, 1980. The heat flow through oceanic and continental crust and the heat loss of the earth. Rev. Geophys. Space Phys. 18(1)：269—311

1986年度1号冰川表面运动 速度和近期变化

尤 根 祥

1 1号冰川运动速度

1986年度1号冰川表面运动速度施测二次, 分别于6月中旬和8月下旬完成观测。6月15日观测东支冰川A'—D'四个断面的流速点, 16和17日两天内观测完E'—H'断面和西支冰川各断面的流速点。第二次观测于8月24和25日两天内完成。实际测量16个断面62个流速点。消融期内观测有效点29个, 冬季(积累期)观测有效点59个。分别计算出夏季和冬季各测点的运动量列入表1和表2中。

表1 1986年消融期1号冰川表面运动速度

点 名	运 动 距 离 (m)	日 流 速 (cm)	日 数 (d)	冰 面 坡 度	8 月 份 高 度 (m)
A'3	—	—	71	17° 21'	3 753.8
B'1	—	—	71	12° 32'	3 791.3
B'2	—	—	71	13° 30'	3 797.6
B'3	—	—	71	12° 32'	3 800.8
B'4	—	—	71	17° 32'	3 808.5
B'+1	—	—	71	11° 06'	3 778.7
B'+2	—	—	71	13° 36'	3 789.1
C'1	—	—	71	8° 32'	3 846.8
C'2	—	—	71	11° 06'	—
C'3	—	—	71	14° 02'	3 835.9
C'4	—	—	71	15° 15'	—
C'+1	—	—	71	13° 30'	3 799.5
C'+2	—	—	71	13° 49'	3 812.4
D'1	—	—	71	6° 46'	—
D'2	0.901	1.27	71	6° 01'	3 891.2
D'3	1.141	1.61	71	5° 07'	3 892.3
D'4	1.276	1.80	71	6° 07'	3 892.8
D'5	—	—	71	17° 32'	3 907.1

表 1 (续 1)

点 名	运 动 距 离 (m)	日 流 速 (cm)	日 数 (d)	冰 面 坡 度	8 月 份 高 度 (m)
E'1	0.822	1.16	69	10° 00'	3 928.0
E'2	1.114	1.57	69	10° 04'	3 926.4
E'3	1.059	1.49	69	10° 00'	3 927.8
E'4	—	—	69	9° 44'	3 930.2
E'5	—	—	69	11° 41'	3 938.7
F'1	—	—	69	11° 41'	3 967.6
F'2	0.985	1.39	69	11° 41'	3 964.9
F'3	—	—	69	11° 41'	3 963.6
F'4	1.048	1.48	69	10° 18'	3 963.3
F'5	0.950	1.34	69	12° 10'	3 969.8
G'1	—	—	69	12° 06'	—
G'2	0.690	0.97	69	10° 57'	—
G'3	0.908	1.28	69	11° 19'	—
G'4	0.808	1.14	69	10° 15'	—
G'5	—	—	69	10° 37'	4 000.4
H'2	0.824	1.16	69	14° 02'	4 051.0
A	—	—	69	19° 26'	—
B1	—	—	69	12° 48'	—
B2	—	—	69	21° 48'	—
B3	—	—	69	20° 06'	—
C1	—	—	69	13° 00'	—
C2	—	—	69	13° 30'	—
C3	—	—	69	23° 12'	—
D1	1.350	1.96	69	14° 02'	3 952.7
D2	—	—	69	14° 02'	3 949.8
D3	—	—	69	15° 31'	3 946.9
D4	1.502	2.18	69	15° 15'	3 951.8
D5	0.646	0.94	69	19° 26'	3 982.5
E1	—	—	69	10° 48'	3 983.6
E2	—	—	69	13° 00'	—
E3	1.620	2.35	69	15° 15'	3 985.9
E4	1.670	2.42	69	15° 15'	3 994.5
E5	1.046	1.52	69	12° 54'	4 006.5
F1	1.248	1.81	69	12° 48'	—
F2	1.255	1.82	69	9° 38'	4 022.1

表1 (续2)

点 名	运 动 距 离 (m)	日 流 速 (cm)	日 数 (d)	冰 面 坡 度	8 月 份 高 度 (m)
F3	—	—	69	11° 03'	4 028.1
F4	—	—	69	13° 00'	4 033.6
G1	0.561	0.81	69	6° 43'	4 068.6
G2	1.364	1.98	69	9° 05'	4 062.8
G3	1.348	1.95	69	10° 18'	—
G4	1.187	1.72	69	12° 32'	4 054.5
G5	—	—	69	23° 12'	—
G+1	1.067	1.55	69	11° 53'	4 046.8
G+2	1.264	1.83	69	11° 41'	4 047.8
H1	0.197	0.29	69	12° 21'	4 091.2
H2	—	—	69	8° 58'	4 081.7
H3	—	—	69	11° 41'	4 073.9
H4	—	—	69	13° 30'	4 067.4
H5	—	—	69	16° 19'	4 065.2

表 2 1号冰川冬季运动速度

点 名	运 动 距 离 (m)	日 流 速 (cm)	间 隔 天 数	运 动 方 向	夏 冬 流 速 比
A'2	2.09	0.70	298	78°52'	—
A'3	2.47	0.83	298	86°41'	—
B'1	0.61	0.20	298	37°48'	—
B'2	2.01	0.67	298	56°59'	—
B'3	4.38	1.47	298	72°20'	—
B'4	4.09	1.37	298	71°12'	—
B'+1	0.86	0.29	298	46°58'	—
B'+2	2.62	0.88	298	66°12'	—
C'1	1.71	0.57	298	50°32'	—
C'2	4.49	1.51	298	57°18'	—
C'3	4.49	1.51	298	56°02'	—
C'4	3.74	1.25	298	53°45'	—
C'+1	0.38	0.13	298	16°18'	—
C'+2	1.73	0.58	298	52°24'	—
D'1	0.24	0.08	298	8°06'	—
D'2	4.17	1.40	298	24°40'	0.91
D'3	4.45	1.49	298	24°40'	1.08

表 2 (续 1)

点 名	运 动 距 离 (m)	日 流 速 (cm)	间 隔 天 数	运 动 方 向	夏 冬 流 速 比
D'4	4.25	1.43	298	25°47'	—
D'5	—	—	298	13°02'	—
E'1	3.73	1.25	298	85°3'	0.93
E'2	4.18	1.40	298	8°01'	1.12
E'3	4.28	1.44	298	7°39'	1.03
E'4	4.66	1.56	298	6°30'	—
F'1	1.69	0.57	298	9°41'	—
F'2	3.82	1.28	298	10°10'	1.09
F'4	4.10	1.38	298	7°38'	1.07
F'5	4.30	1.44	298	4°44'	0.93
G'1	1.28	0.43	298	20°25'	—
G'2	3.21	1.08	298	17°37'	0.90
G'3	3.79	1.27	298	16°15'	1.01
G'4	3.96	1.33	298	13°52'	—
G'5	4.07	1.37	298	8°06'	—
H'2	3.37	1.13	298	19°09'	1.03
B1	1.45	0.49	298	60°31'	—
B2	4.17	1.40	298	121°18'	—
C1	2.98	1.00	298	97°31'	—
C3	6.95	2.33	298	113°48'	—
D1	—	—	298	82°38'	—
D2	—	—	298	83°57'	—
D3	6.70	2.25	298	86°42'	—
D4	6.47	2.16	298	80°49'	1.00
D5	3.05	1.02	298	73°55'	0.92
E1	2.74	0.92	298	75°30'	—
E2	6.45	2.16	298	76°57'	—
E3	6.57	2.20	298	71°35'	1.07
E4	6.19	2.08	298	67°01'	1.16
E5	4.00	1.34	298	63°45'	1.13
F1	5.26	1.77	298	63°42'	1.02
F2	5.59	1.88	298	63°20'	0.97
F3	5.41	1.82	298	62°20'	—
F4	—	—	298	61°15'	—
G1	2.56	0.86	298	62°37'	0.94

表 2 (续 2)

点 名	运 动 距 离 (m)	日 流 速 (cm)	间 隔 天 数	运 动 方 向	夏 冬 流 速 比
G 2	5.54	1.86	298	62°21′	1.06
G 3	5.41	1.82	298	61°52′	1.07
G 4	5.00	1.68	298	60°18′	1.02
G + 1	4.69	1.57	298	65°48′	0.99
G + 2	5.83	1.89	298	65°28′	0.97
H1	0.77	0.26	298	60°13′	1.12
H2	4.54	1.52	298	57°43′	—
H3	5.31	1.78	298	58°24′	—
H4	5.26	1.77	298	60°09′	—
H5	4.96	1.66	298	55°54′	—

表 1 内记录的是 1986 年 6 月 15 和 17 日至 8 月 25 日消融期各流速点的运动量、日流速、间隔日数、冰面坡度和海拔诸项内容。冰面坡度由当年测绘冰川地形图上相邻六条等高线求得，海拔以 8 月 25 日观测资料而定。

表 2 内记录的是 1985 年 8 月 23 日至 1986 年 6 月 17 日积累期的运动量、日流速、间隔日数、运动方向和夏冬流速比值诸项内容。

同上年度运动速度相比较，本年度 1 号冰川运动仍处于减缓趋势，大部分流速点的运动速度比上年度低 0.01—0.5 m。这种减速率 24 年来一直持续着。与此同时，有些断面的测点又出现增速现象，其增速的幅度也是 0.01—0.5 m。这个现象在上年度就已出现。如东支的 C' 断面和西支的 G 断面。这两个断面都位于冰面凸部边缘，冰面坡度较大，易产生裂隙，是冰川运动的活跃部位，会出现这种局部的、短时期内的增速现象。

夏季与冬季的日流速比值，用于衡量冰川运动的季节性变化。这个比值含有较大的误差，引起误差的因素有求平均速度的间隔日数多少和测点是否产生位置变动。夏季间隔日数少所含误差较大，冬季间隔日数多，则所含误差较小。测点的标志倒伏引起点位大变动，由此造成资料中断。本年度冰舌前部的流速点，不同程度地出现了点位变动，以致无法对比分析。从现有的每个测点的比值来看，不论东支还是西支，从 D 断面到 H 断面，夏季与冬季的流速有微小的变化。夏季略大于冬季，但比值都近似于 1，这说明 1 号冰川运动速度季节性变化不十分突出。

冰川消融区处于持续亏损状态，冰川厚度锐减，导致冰川运动速度逐年降低。东支 E' 断面位于东支冰川运动的高速区，平均每年运动量仅为 4.83m。冰舌最前部的 A' 点和粒雪盆边缘的 H' 点，年运动量分别为 2.80 和 2.49m，是自 1962 年以来最低的。西支冰川高速区是 C、D 和 E 断面，平均年运动量为 8.82m，年运动速度最大为 9.14m，比上年度小。在 1980 年 8 月和 1986 年 8 月两次测绘的 1 号冰川地形图上，量取同高度等高线在冰面上的垂直变化数值，就是冰厚减薄值。在这六年中，1 号冰川消融区冰厚减薄 2—8.5 m。仔细计算，整个消融区冰厚平均每年纯亏损 0.9m 深左右。冰厚度的减少，运动速度随之降低。六年内，冰舌前部冰厚减薄了 8.5m，运动速度降低 1m；E 断面冰

厚每减少1 m, 运动速度降低0.5m; 在 G_4 , G_{+1} 和 G_{+2} 这个断面上, 冰厚每减少1m, 运动速度则要降低2.0m以上。

2 1号冰川的近期变化

在1986年8月测绘的《乌鲁木齐河源1号和2号冰川图》上, 用比较先进的ML-FI型电子图形面积量测仪量测得1号冰川面积为 1.856km^2 。用同样测量方法量测得1962年, 1973和1980年三次测量成图1号冰川面积分别为 1.904 ①, 1.893 和 1.877km^2 ②。这种求积仪的量测精度为 $1/2\ 000$, 对每个图形量测二次取中数, 由此可判断四次测图面积的量测结果是准确的。由四次测图所得的四个数字, 反映了冰川面积的变化。从1962年到1986年的24年中, 1号冰川面积减少了 0.048km^2 , 平均年递减率为 $2/1\ 000$ 。从1980年到1986年的6年中, 面积减少 0.021km^2 , 使冰川面积每年减少量由60年代的 $1/1\ 000$ 增加到 $3.5/1\ 000$ 。

表3 1号冰川运动速度断面参数

点 名		1986年断面 平均高度 (m)	至冰舌末端距 离 (m)	断面宽度 (m)	断面测杆数	断面平均冰 厚度 (m)
东 支	A'	3 753	50	200	1	20
	B'	3 796	185	430	4	46
	C'	3 840	410	555	4	71
	D'	3 894	715	630	5	74
	E'	3 931	1 080	775	5	81
	F'	3 963	1 280	620	5	76
	G'	4 000	1 480	600	5	82
	H'	4 050	1 780	580	1	75
西 支	A	3 829	460	160	1	20
	B	3 860	560	200	3	30
	C	3 883	630	220	3	30
	D	3 957	820	305	5	58
	E	3 982	1 000	420	5	70
	F	4 027	1 185	470	4	74
	G	4 060	1 370	475	5	87
	H	4 075	1 435	460	5	82

表3中所列各项是有关1号冰川变化的参数。其中冰川厚度由1981年雷达测厚减近5年的减薄值后得出各断面的平均值。断面海拔、至冰舌末端距离和宽度由1986年测图上量得。同前几次测图比较, 冰舌部分的变化幅度较大。冰舌前端在6年中平均下降8.5m, 最大下降值达10—12m, 东支和西支汇流处冰面下降更多, 退缩最快, 其冰面

①原量测面积为 1.95km^2 , 此值偏大。

②原量测面积为 1.84km^2 , 此值偏小。

宽度由1962年时的326m,减少到1986年的160m,冰厚已不足10m。冰舌末端的退缩是在三个固定标志和几个辅助点上从冰舌的不同位置量得,从1986年新测图上测得6年中平均后退21.2m,平均每年后退3.53m,见表4。表5记录的是1986年6月中旬至8月下旬消融期实地测量的冰舌后退值,平均后退3.90m。表6内记录的是1982年8月至1986年8月实地测量的4年后退值,平均每年后退3.58m。这三个数字表明,进入80年

表4 图上量得6年退缩值

点 名 项 目	I	II	III	平均
退缩距离 (m)	22.5	21.0	20.0	21.2
退缩速度 (m/a)	3.75	3.50	3.33	3.53

表5 1986年夏季退缩值

点 名	I	II	III	4	5	6	平均
退缩距离 (m)	3.0	3.5	4.5	3.2	2.5	6.7	3.90

表6 1982年8月—1986年8月实地测量值

点 名	I	II	III	4	5	6	平均
退缩距离 (m)	12.3	12.9	12.5	11.4	14.2	22.4	14.3
退缩速度 (m/a)	3.1	3.2	3.1	2.9	3.6	5.6	3.58

代后,冰川后退速度达3.50m以上。这个速度小于60年代,大于70年代。但从表6中I、II、III和4号点位的数值看,退缩速度并未增大。只是由于6号点位的数值最大,使得平均值增大了许多。6号点位处于冰面河出水口北,受到北边缘流水的冲刷,冰舌底部的物质被冲走,冰舌处于悬空状态,从1985年以后,每年会产生崩塌,使这个部位退缩加快。

天山乌鲁木齐河源区冰床侵蚀 现象观测报告

崔之久* 刘耕年*

1 问题的提出

冰川物理学家们为了揭示冰川运动的性质和机制,多年来一直从研究冰川冰的物理属性及蠕动和滑动入手,取得了不少进展。人们开凿冰洞并在洞内布置一系列观测设备甚至安装小羊背石等也都是为同一目的而采取的有效手段。作为地貌工作者我们赞赏这些努力并愿向他们学习这方面的基本原理和手段。但同时我们也感到不满足。因为冰川侵蚀、搬运、堆积的全过程都是在冰岩界面上发生的,参与这一界面活动的还有冰下流水和水膜。这二者或三者舍一都不可能得到完全满意的结果。为此,我们应用地质和地貌的方法,结合已有的冰川物理学知识过细地观测研究冰川消退后在底床上留下的各种物理的和化学的遗迹将非常有利于揭示和重建冰下作用的全过程。一方面可应用已有冰川物理知识解释各种各样的冰床现象,同时也可以根据各种各样的冰床现象反推冰下物理和化学过程。恰巧在天山1号冰川区附近,甚至博格达峰三工河、四工河源古班博格达都具备着良好的条件。末次冰期以来冰床上的种种遗迹保存非常完好,即使放眼世界它们也是少见的。除了在指导思想上有上述看法外,在方法上我们也认为研究清楚冰退后冰床上的现象再打冰洞深入冰川内部进行种种力学观测也是会有事半功倍之效的。这就是为什么我们要观测冰床上冰蚀、冰积过程的原因。

2 冰 坎

河源区冰斗之下和槽谷之中多发育冰坎。据观测,本区冰坎发育主要受两个因素的影响,即冰川本身的运动侵蚀性质和基岩。前者主要表现为冰斗和槽谷相接处的冰坎。这种冰坎形态典型,多具反向坡,即从剖面上看为凸形。如1号、2号和6号冰川现代冰川的冰坎即是如此。由于岩性构造的局部影响也可以出现冰坎(王靖泰,1981)。

冰斗与槽谷之间的冰坎一般纯由冰川本身塑造出,是冰川差异性侵蚀作用的产物。根据发生学原理,高山地区气候变冷降雪积累,首先在常态侵蚀的谷首形成多年粒雪斑,随着气温下降就会出现冰斗冰川甚至山谷冰川。图1为随着冰川发育而形成冰斗冰坎的示意图。1)气温下降,积雪形成粒雪斑并逐步扩大;2)冰斗冰川形成,冰川旋转侵蚀作用下,冰斗底部下降,冰斗范围变大,后壁变陡;3)冰斗冰川扩大形成山谷

冰川，在冰斗出口处旋转滑动形成的反向坡使冰川的侵蚀能力降低。冰川越过冰斗冰坎后坡度加大，侵蚀能力增加形成上凸形的冰斗冰坎。因此，冰斗冰坎纯属冰川作用本身的产物，当然，岩性构造也对冰斗冰坎有影响。乌鲁木齐河源地区冰斗冰坎发育的第一个过程可由5号冰川代表。它没有形成围椅状的冰斗后壁，也没有具有反向坡形的冰斗冰坎，冰川之下更没有槽谷生成。第二个过程可由2号冰川代表。冰斗冰川充分发育，具有围椅状的冰斗后壁，冰斗口发育具有反向坡的冰坎。第三个过程可以勉强地由1号冰川代表。粒雪盆下方有冰舌下伸，粒雪盆的出口处有一冰坎。在冰坎之下冰面坡度变陡，横向裂隙发育，在冰川两侧可以看见出露的冰坎。

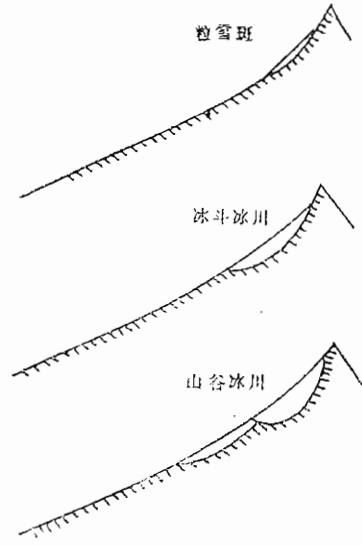


图1 冰坎形成过程

在槽谷中冰坎的发育往往与支冰川汇入主冰川及岩性构造有关。例如在4，6，7号冰川槽谷的出口处发育的冰坎就与支冰川汇入主冰川有关。支冰川汇入主冰川，加强了主冰川的侵蚀能力；而在上游部位形成一个相对阻滞区，降低了主冰川的侵蚀能力，这种部位往往有冰坎生成。由于主槽谷冰量大，下切能也大，槽谷深，使支谷多以悬谷形态出现。悬谷下方在冰退之后也表现为冰坎形态。但其成因和上述冰坎不同。真正的冰坎是指迎冰面以磨蚀作用为主，背冰面以拔蚀作用为主的阶坎状冰蚀地形。而悬谷下的坎为槽谷差异侵蚀作用的产物，有必要区别开来。在乌鲁木齐河源区的许多支谷的谷口都表现为悬谷形态，而且支谷沟底与主谷沟底高差向下游变大，这表明随着向下游汇入主谷的冰量增加，冰川的侵蚀能力增加，悬谷谷口越来越高（王靖泰，1981）

冰斗下方的冰斗一般较平直，多垂直冰斗的长轴方向发育。而槽谷中的冰坎形态不太规则多折线形，冰坎的走向可与槽谷走向斜交。例如气象站下冰坎和113km处冰坎即是如此。冰川谷中冰坎在槽谷两侧较向前突出，谷地主流线部位向上游凹进。反映在冰川槽谷的形成时冰川主流线附近冰坎的退缩要比两侧快。这让我们想到谷中的冰坎也有溯源侵蚀作用，很象河流地貌中的跌水。另外谷中基岩构造不均一也可以引起冰坎变形。例如气象站附近冰坎在基岩节理特别发育的地方溯源作用强，整个冰坎呈折线形，冰坎的背冰面犬牙交错。

冰坎背冰面可以有羊背石发育。例如6，7号冰川下游一冰坎上面发育有十几个羊背石。冰坎背冰面的坡度是 18° ，羊背石背冰面的坡度变化在 21° — 23° — 35° 。这说明冰坎迎冰面受磨蚀作用，背冰面受拔蚀作用的一般说法不能反映冰川侵蚀的真实情况。冰坎背冰面在坡度不大的情况下同时经受冰川的磨蚀和拔蚀作用。而且，在

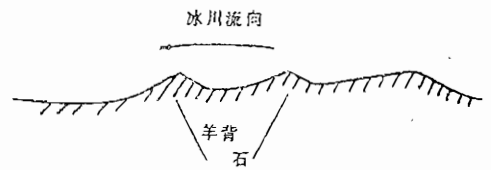


图2 冰坎上羊背石示意

冰坎背冰面发育的羊背石本身迎冰面小背冰面大，略有区别于发育在其它部位的羊背石。这种现象在7号冰川刚退出的现代冰川冰坎背冰面亦有所见。冰坎坡角 45° 以上以拔蚀作用之后锯齿状形态为主，而在坡角小于 20° 的冰坎背冰面上遍布擦痕，显示强烈的冰川磨蚀作用（图2）。

3 羊 背 石

乌鲁木齐河源分布着大量羊背石，为研究冰川侵蚀特征和过程提供了良好的遗证。

1号冰川现代冰川冰坎上和冰川末端发育大量羊背石。7号冰川末端和下方槽谷中也发育大量羊背石。另外，冰川主槽谷中气象站以下至哈依萨鼓丘一带也有大量羊背石发育。现代冰川冰坎和末端刚刚出露的羊背石保存新鲜，未受风化破坏作用的影响，是研究羊背石的成因和冰下过程的良好例证。而槽谷中较早出露的羊背石受后期风化破坏，表面的冰蚀现象已模糊不清，但其发育的地质地貌部位也可以成为我们研究其因的参考现象。

1号冰川西支现代冰川的冰坎在冰川两侧出露。高约20m，走向近南北，和冰川的流向垂直。这里的基岩为片岩，片理近直立，走向和冰坎部位同冰川的流向一致。冰坎呈阶梯状下降。冰坎的迎冰面没有出露，观察到的仅是背冰面特征。冰坎下部见二级阶坎（图3）。虽然位于背冰面，但每个小阶坎又可以相对分出迎冰面和背冰面。两个阶坎表现为羊背石形态。小阶坎迎冰面倾向上游 10° — 15° ，为冰川磨蚀的擦面。由于基岩的片理走向和冰川流向一致，擦面上的擦痕很难辩证。迎冰面光滑擦面与背冰面犬牙交错的形态形成鲜明对比。两个小阶坎背冰坡 70° — 80° ，无乎没有冰川磨蚀的迹象。如图3将小阶坎由下到上标以1，2号。



图3 1号冰川冰坎剖面

1号羊背石长15m，高10m。迎冰面向上游倾角 10° ，为冰川磨蚀作用形成的平滑擦面。背冰面以拔蚀作用为主，为块状剥离后遗留的锯齿形态（图4）。背冰面最前缘表现为纯拔蚀侵蚀特征，基岩块状脱离本体，很少看见冰川磨蚀现象。图中的节理a即这种作用的产物，表现为底部开口大，顶部

开口小。a节理底部开口宽5cm，中部开口宽2cm，顶部开口宽0.5cm。反映出冰川底部拔蚀作用更强的侵蚀特征。羊背石顶部前缘以拔蚀和压碎作用为主，形成上部开口大，向下尖灭的破碎节理。见图中节理b。b节理顶部开口宽0.5cm，底部至0.1cm而消失。节理破碎深达2.4m。c节理顶部开口宽2cm下伸1.5m消失。迎冰

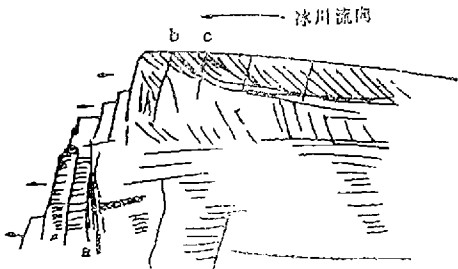


图4 1号冰川冰坎1号羊背石

面以磨蚀作用为主，形成平滑的磨蚀面。由于地形起伏的影响，冰川的侵蚀过程将发

生变化。理论上讲,冰川对下伏基岩的拔蚀作用在任何地方都应存在,只是冰坎及羊背石背冰面的临空面使得这种作用力能搬走大块的基岩,拔蚀作用的迹象表现得特别强烈。迎冰面上的横向节理也是冰川拔蚀作用的产物。

2号羊背石(图5)高3m,长15m。迎冰面向上游倾斜 15° ,为冰川磨蚀作用形成的擦面。背冰面为拔蚀作用之后遗留的阶坎状景观。拔蚀节理a底部开口宽1.5cm,中部0.5cm,顶部0.2cm。b节理底部开口1.0cm,顶部0.1cm。c节理底部开口0.8cm,顶部0.2cm。这种迹象也表明拔蚀

作用在冰川底部要大于上部。即冰川厚度大,拔蚀作用强。还表明羊背石越靠近前缘其拔蚀作用越强,因为由于破碎,基岩抗拔蚀的能力变弱了。裂隙宽度的上小下大,也生动反映出自上而下的冰的压力。在临空的一面,很可能软弱部位的下部先行破裂并张开。

1号冰川西支两边刚刚出露的冰坎给我们提供了研究冰下过程的有利地形。现代冰川的表面在这里发育两组裂隙,一组为横向裂隙,一组为纵向裂隙(图6)横向裂隙带

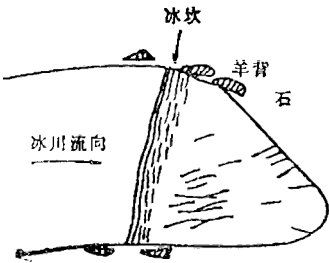


图6 1号冰川西支表面裂隙

宽约4—5m,大约8—9条,裂缝开口很小(不足5cm),裂隙高角度($<60-80^{\circ}$)向上游倾斜,靠近上游的裂隙较大,贯穿性也较好。靠近下游的裂隙呈紧密闭合状态,再向下则裂隙消失。在横向裂隙下方南侧发育一組纵向裂隙。开口达数米,每个裂隙北侧均低于南侧。

1号冰川末端150m范围的槽谷底部出露大量冰川侵蚀现象。大量羊背石形态保留完好,各种冰川侵蚀形态基本上没有受到出露之后的风化破坏。羊背石的纵向分布特征是越接近冰川末端,羊背石越密集,规模也较大。横向分布特征是越靠近槽谷坡脚处羊背石的规模越大。如1号冰川末端最大的羊背石位于冰川末端30余米,槽谷坡脚处。羊背石长20m,高4m,宽约7m。在冰川末端30m之内有5个羊背石,下游100多米的范围内有4个羊背石。

槽谷边缘的羊背石的纵向特征和一般羊背石一致。只是横剖面(图7)表现为内侧陡外侧缓的特征。内侧拔蚀作用的痕迹较明显,反映主流线附近冰川侵蚀能力强,向两侧减小。羊背石纵剖面(图8)上的裂隙开口向后变小,也证明羊背石前缘拔蚀最强,但拔蚀作用存在于

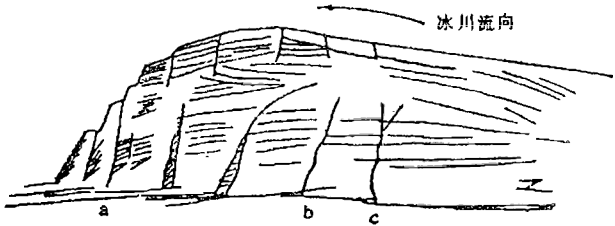


图5 1号冰川冰坎2号羊背石

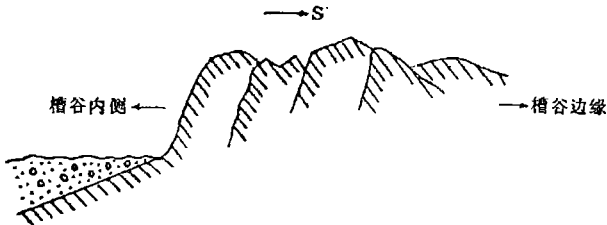


图7 羊背石纵剖面

冰川经过的每一个地方。在羊背石的迎冰面上还发现一种基岩拔蚀翻转磨蚀现象(图9)。形成过程解释为,冰川拔蚀基岩,松动的基岩在冰川压力和前进推磨力的作用下向前倾伏,结果岩块的后角翘起,被冰川重新磨平。在羊背石迎冰面未被移走的破裂基岩块表面形成两个磨蚀面。

在乌鲁木齐河源地区,羊背石发育的地貌部位有:1)冰川槽谷底部和侧缘。发育于槽谷底部的羊背石往往与岩性构造有关。

例如主槽谷底部气象站至哈依萨鼓丘之间几个大羊背石的形成就与坚硬的辉绿岩脉抗侵蚀作用很强有关;2)冰坎顶部和背冰面;3)冰斗底部前缘与冰斗冰坎部位。在3号和6号冰川见到这种部位分布的羊背石。根据各种遗迹判断,作者认为羊背石系侵蚀残留产物。是冰川差异侵蚀作用结果。

前述图近主流线处羊背石一侧被侵蚀更强烈,也在某种程度上证实了约翰逊(1983)所说,在矩形渠道中运动着的宾汉体其剪应力分布在渠中心偏下处最大,而表面及渠形底部两变角处则应力最小,甚至为停滞化。是故中心偏下处,即主流线附近侵蚀最强。

鲸背石(岩)与羊背石的区别是,前者在迎背冰面皆为磨蚀无拔蚀(不排除局部的小块拔蚀)后者迎冰面磨蚀背冰面以拔蚀为主。前者是冰底温性及滑动特别强烈的表征,一般为海洋性冰川所特有。极为典型的鲸背岩曾见于博格达峰区古班博格达多河上游。然在7号冰川离现代冰川末端20m处见一介于羊背石和鲸背石之间的形态(图10),背冰面有两处磨蚀面,而在一破体带处,尽管坡度无突然变化却造成拔蚀带。显示岩性作用亦很重要。

有的地段,冰床上的磨光面及擦痕可以顺着冰川流向在纵断面上转折30°而不中断。亦表明冰底的塑性很强,可以很顺利地适应30°以内的小转折。表现了类似鲸背石的特点。

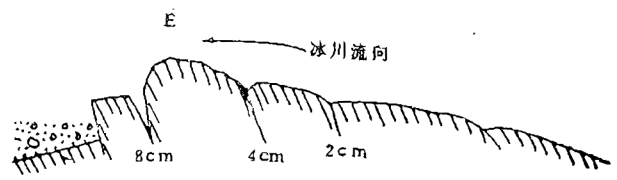


图8 羊背石纵剖面

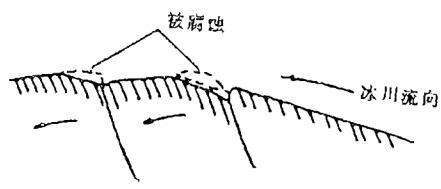


图9 拔蚀翻转磨蚀示意图

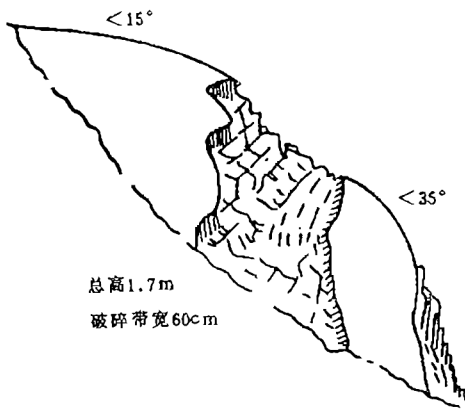


图10 7号冰川末端鲸背石

4 微形冰蚀地貌 (Embleton等, 1985)

1号冰川东支,在距冰川末端100m的下游见长15m,高12m的大片擦面。擦面位于

槽谷南坡。基岩为细粒花岗闪长岩。闪长岩线理走向几乎和槽谷走向一致，即平行于冰川的流向。节理近于直立。岩石坚硬致密整体块状，抗风化和侵蚀能力较强的基岩使得冰川磨蚀得以充分进行，侵蚀痕迹保留良好。擦面在较大的地貌部位上处于一个突出的小嘴之上。

磨擦镜面上密布擦痕。擦痕走向和槽谷走向一致，平行冰川流向。单条擦痕最长可达130cm，最宽可达0.6—1.3cm，深3—4 mm。分布在擦面上的擦痕大部分为直线型（直线状擦痕）。大部分擦痕彼此平行，很少见交角大于15°的擦痕出现。除过擦痕之外，磨光面上还分布着许多其它微形侵蚀现象。如拔蚀凿口新月形凿口和裂纹等。

拔蚀凿口指分布在冰川擦面上的局部拔蚀凹坑。多为三角形凹穴。三角形的长轴顶端一般指向冰川流向，迎冰面缓，背冰面陡。内部没有冰川磨蚀迹象。长度一般12—6 cm，宽6—2 cm，深5—1 cm（图11）。

新月形凿口(Embleton *et al.* 1975)见两种，一种月牙轴平行冰川流向，月牙的两个尖角指向冰川的流向，背冰面陡迎冰面缓。另一种轴垂直冰川流向（擦痕方向）。见两个反向新月形凿口。新月形凿口长30—18 cm，宽11—8 cm，深8—1.5 cm。（图11）

新月形裂纹的轴平行擦痕走向，顶端向冰川下游弯曲。多成对或成组出现。

擦面上最大的微地貌为拔蚀阶坎（见图），其特征为迎冰面缓背冰面陡。背冰面角坡60—90°，迎冰面坡度不超过30°。呈小阶坎状分布在冰川擦面上。阶坎的走向与擦痕的走向（冰川流向）垂直，边缘呈锯齿状。

基岩软弱面对微地貌的发育有影响。拔蚀阶坎的迎冰面多为基岩软弱面。如细石英脉层或节理面。月牙轴垂直擦痕的新月形凿口受制于与擦痕走向一致的节理面。

在光滑的擦面上大量发育拔蚀迹象表明，冰川的拔蚀作用和磨蚀作用在任何时候都是相伴发生的。它们只有遗留形态所表现出的作用不同，即有时磨蚀形态保留，有时拔蚀形态保留。冰坎反向坡上发育磨蚀作用遗迹也证明上述观点。

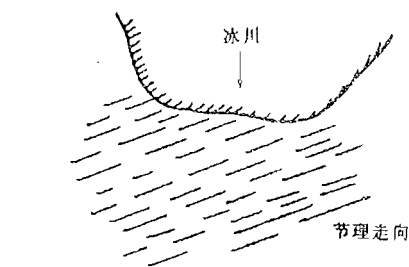


图12 7号冰川流向与基岩节理

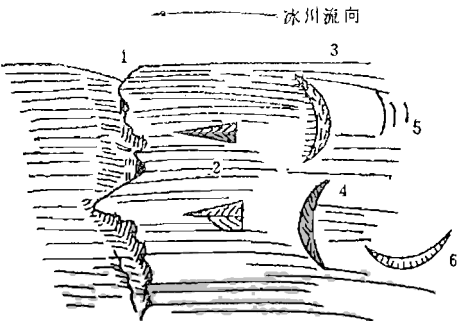


图11 微形冰蚀地貌图

- | | |
|-----------|-------------|
| 1. 拔蚀阶坎； | 2. 拔蚀凿口； |
| 3. 新月形凿口； | 4. 反向新月形凿口； |
| 5. 新月形裂纹； | 6. 新月形凿口 |

7号冰川末端基岩面上出露大片冰蚀遗迹。表现为大片冰川擦面和阶坎状的冰川拔蚀形态。

冰坎下部基岩为辉绿岩夹炭质石英片岩脉。由于基岩易于风化，冰坎下部的擦面已模糊不清。有些擦面的基岩表面已片状剥落。这里擦痕深度不超过2 mm，长度不足50cm。基岩节理的走向和冰川流向斜交（图12）。

冰坎中部的基岩同下部，擦痕的保留程度要好于下部，可能与之经受较短的风化时间有关。单条擦痕沿伸长度可达80—120cm。刻蚀深度2—3mm。有些擦痕组成3—10cm的带，带中每条擦痕彼此绝对平行。带的横剖面（图13）为凹形，中部刻蚀最深，为槽状。长度可达1m。这种形式的条痕带很可能是由一巨砾一次刻蚀而成。砾石在冰川推动下沿底床前进，对底床刻蚀。砾石中较坚硬的矿物形成刻蚀带中的每条擦痕。条痕带上游宽深，下游浅窄。这种条痕带在7号冰川末端多处可见。

在冰坎上部的冰川末端，冰川磨蚀痕迹保留新鲜。靠近冰川主流线中部冰川擦痕较长较深。而横向向两侧延伸，冰川擦痕较短较浅。如两侧边缘冰川擦痕长度一般为30—60cm，深1—2mm。条带状擦痕一般宽4—5cm。在中间部位，单条冰川擦痕的沿伸长度120—150cm。刻蚀深3—4mm。最大的刻痕宽2cm，深0.8cm，长90cm。有些较大擦痕内可见到具有颤痕特征的基岩压碎裂痕。

在基岩地形起伏的地方，冰川擦痕有交叉和弯曲现象。冰川擦痕的长度受限。有长度10—20cm的钉头痕出现。在基岩起伏较大的部位，带状擦痕亦呈弯曲状，延伸长度40—50cm，刻蚀深度0.6—0.8cm。坡角小、地形起伏不大的地貌部位发育的钉头痕多正向，即尖端指向冰川的流向。而在背冰面坡度较大的地方，见反向的钉头痕发育（图14）。



图14 钉头痕

冰川末端5m之内擦痕保存最好。中间部位见长200cm，宽1cm，深0.5cm的擦痕带状擦痕大量分布，其长度可达150cm，宽15cm，深2—4cm，已成为小型刻槽。而规模略大的刻槽亦可见的（图15）。位于7号冰川末端左侧20m处，在一片冰蚀卷毛岩、反阶步、甌穴发育的背景上，在一陡坡坎上见一刻槽长80cm，宽20cm，深4—5cm。内有新月形裂纹，弧顶朝冰川来向。

7号冰川末端的冰川侵蚀地貌特征似乎表明：1)就冰川侵蚀能力和侵蚀地形的表现特征而言，在冰川厚度大，流速快的主流线附近表现的最突出。冰川擦痕的长、宽、深从主流线向两侧逐渐变小。这是磨蚀地形横向分布特征。2)冰川消退之后，由于上、下游冰蚀地形出露时间长短不同，所以基岩上冰蚀形态经受的风化破坏时间的长短也不同。越靠近冰川末端，冰蚀地形保留越好。这是磨蚀地形的纵向分布特征。3)冰川擦痕在平滑的基岩面上，特别是略向上游倾斜而受压力稍大的基岩面上发育最好。

在基岩表面见到六种擦痕，它们是：长直型擦痕、条带状擦

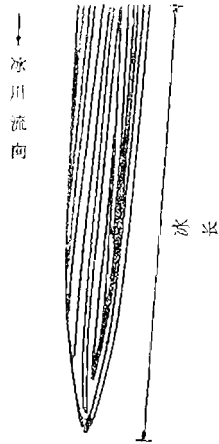
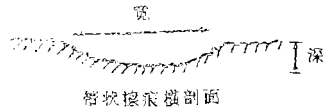


图13 条带痕示意图。



图15 7号冰川末端刻槽

痕、钉头痕（包括反向）、弯曲条痕、帚状条痕和颤痕。

5 冰川底碛和冰床地形

1号冰川西支现代冰坎东侧被消融出露。基岩为眼球状片麻岩。消退的冰川侧壁陡立在出露的基岩冰坎之上，二者的接触关系一目了然。

冰川的中部和上部含砾石较少。在接近冰床的底部有一厚度变化在45cm左右的底碛层。砾石的主要成分为片麻岩，直径最大40cm，以研磨较细的砂和小砾石（<1cm）为主。扁平砾石具有明显的优势方位。砾石的扁平面大部分平行与冰床底面。随着冰床底面的地形起伏，砾石扁平面也跟着起伏变化。砾石的长轴与冰川流动的方向平行（图16）。底碛在冰坎部位纵向厚薄变化不均匀。在冰川前进受阻的地方R，底碛的厚度最大，约40cm厚。向两侧厚度变小，以致逐渐尖灭。这可能表明在冰川前进受阻的地方R，一方面由于冰川的搬运能力降低，另一方面由于在这里冰川压力消融释放冰碛物，形成了底碛相对集中的地段。

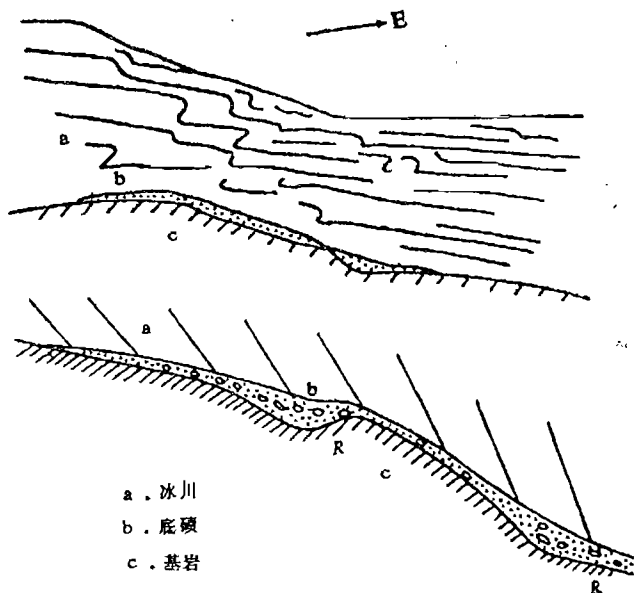


图16 底碛与冰床地形

底碛中的砾石多具擦痕擦面。许多砾石相互接触，为砾石差异运动而相刻蚀形成擦痕提供了可能。但有更大量的砾石与基岩冰床接触。砾石沿底床的运动，在砾石上形成一个擦面，而砾石则使冰床形成一条擦痕或擦痕带。如果砾石在冰床上多次翻转，则使之成为熨斗石（冰碛石）。在底碛（Subglacial debris）中及1号冰川末端的基碛（ground till）中，多见熨斗石。但冰川内碛的砾石大部分棱角分明，砾石表面也很少擦痕。看来内碛砾石相撞的机会是很少的。在1，2和6号冰川表碛中很难找到条痕石。这是因为表碛多来自被消融出露的内碛和冰川侧缘山坡上下落的砾石。1号冰川末端剪切碛中有少量来自底部的条痕石。因此，我们可以认为：条痕石形成于冰川底部，冰川中部和上部很难形成条痕石。

致谢：在一起参加野外工作的还有刘佳田、朱诚、熊黑刚三位同志。在工作中得到冰川站领导，司机，后勤人员的大力支持。天山站工作的研究生提供了许多帮助。在此一并致谢。

参 考 文 献

- 王靖泰，1981。天山乌鲁木齐河源冻蚀地形的形成机制。冰川冻土，3卷增刊
A M 约翰逊，1983。地质学中的物理过程。北京：科学出版社
Embleton C, King C A, 1975. Glacial Geomorphology

天山站冰缘过程定位研究年度报告

崔之久* 朱 诚

1985年6—8月,我们曾在天山乌鲁木齐河源区设置了25个冰缘过程定位观测点,今年除对以上各点进行了观测外,还增加了石河(Rock stream)、石铺(Pavement)等观测点,并对石冰川(Rock glaciers)、石环(Stone polygons)进行了爆破坑探,了解了不同海拔、不同坡向处冻土上限和石冰川活动层的分布状况,而且分别对石河、石冰川(活动层内)、倒石堆、石环进行了表层砾向组构的测量,做了一些分析对比。物探电测深研究石冰川内部结构和冰碛物厚度的工作也取得了较满意的结果。利用地衣测定石冰川年代的工作正在进行之中。此外,还在空冰斗和石冰川前缘顶部分别埋设了分层冻胀仪和冻胀磁铁石块,便于今后对该区冻土的冻胀情况作进一步研究。

1 石冰川(Rock glaciers)

今年仍在原测点对RG3和RG5两条石冰川前缘部分进行了地形测图,并增加了对RG4石冰川的定位测图。从测量结果看, RG3和RG5两石冰川的前缘部分均有明显运动。如RG3石冰川的32个测点中有14个在水平方向上发生了沿主流向的前进变化;高程(相对于仪器设置点)发生下降变化的亦有14个点。其中设在前缘坡砾石上的第20号测点水平位移达7.1m,设在前缘顶部的第1号测点高度下降达2.41m。RG5石冰川10个测点中有6个发生水平前移,最大水平位移为第1测桩达1.8m,高度下降的有6个点,第1测桩下降量最大,为0.7m。

去年7月我们曾在RG2石冰川前缘顶部用直线法在两基岩控制点间的连线上用红漆做了37块横剖面方向砾石卸载标志。时隔一年,发现第20号标志(为一长70cm、宽60cm、厚45cm的石英岩块)向主流线方向运动了1.65m,去年在此石冰川前缘坡上(平均坡度 34° 、前缘顶部坡度 60°),顺坡自上而下设置的100块卸载标志有31块发生运动。其中第27号垂直位移约10m,水平约为7m。50, 51, 52, 55, 56, 57, 59到达60至61之间,(平均垂直位移约4m,水平位移约2m。31, 39, 41, 45, 46, 47, 48几乎平行于横剖面成一直线,垂直位移约3m,水平位移约1.5m。29号垂直位移约0.8m,水平位移约1m。

在3号冰川旁废弃公路处的RG4石冰川前缘麓部,我们曾于去年在此选一长8m、宽2m的 16m^2 的范围,对其中长轴大于25cm的所有石块涂以黄漆标志,以便观察落石量。这次发现增加了17块长轴大于25cm的石块,量算出体积约 0.06m^3 ,由此可推算该

* 北京大学地理系。

处每年大于25cm砾径的倒石量约大于 $0.0037\text{m}^3/\text{m}^2$ （因长轴小于25cm的未计）。

位于罗卜道沟口的RG1舌状石冰川,未见有明显变化,表明此石冰川活动性较其它四条要弱,但因观测时间短,目前还难以确定其是否为非活动石冰川。

总之,观测结果证实:

(1) RG2、RG3、RG4、RG5均为活动性石冰川。

(2) 这些石冰川的活动程度不尽一致。从分析看, RG3和RG5两石冰川海拔及发育的坡向差异并不大(海拔均为3 550m,坡向前者 285°NW 、后者 300°NW),但位于山南的RG3比位于山北的RG5运动变化要大,这表明由于受高大山体阻隔(此处为海拔4 190m以上的冰达坂)的影响,石冰川在山南比在山北冻融蠕动作用更强。

2 石 流 坡 (Block slope)

1号冰川西南侧山坡距冰舌末端约90m处的MM1石流坡上,用直线法设置16块涂漆编号岩屑。这次发现第7块岩屑已滚落消失,其它岩屑也有不同程度的运动,如图1所示:

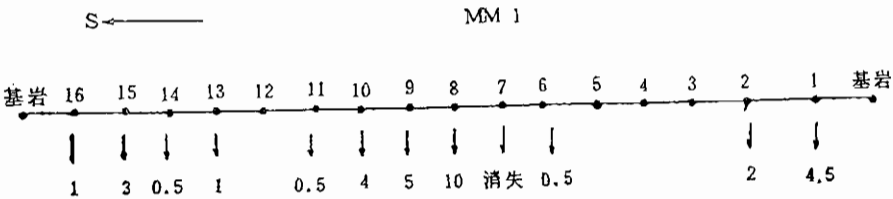
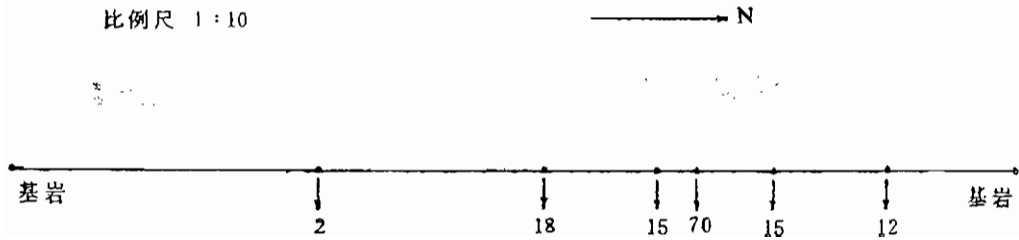


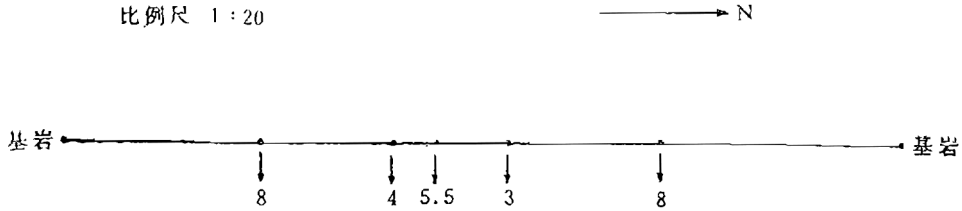
图1 注: “↓”表示岩屑顺坡下移, 单位为cm

位于空冰斗出口南侧基岩山上的MM2石河,海拔3 840m,在此设上、中、下三处横剖面,这次发现各剖面涂红漆岩屑均有不同程度的运动,如图2所示:

MM2-1上剖面(全长1.32m):



MM 2-2 中剖面 (全长2.18m, 距MM 2-1 2.85m) :



MM 2-3 下剖面 (全长3.81m, 距MM 2-2 4.8m)

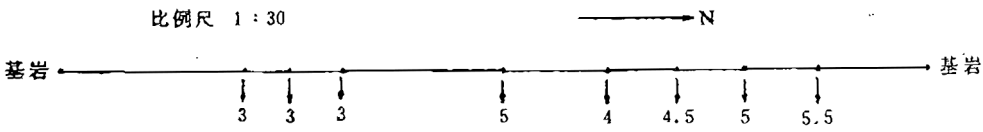
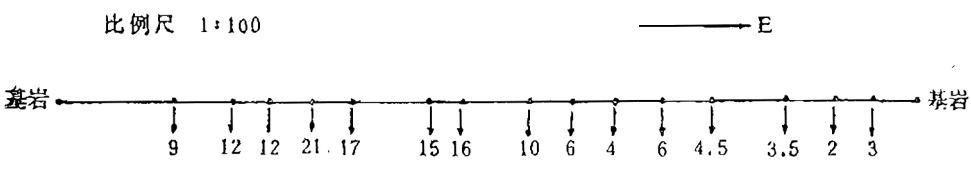


图2 注: “↓”表示岩屑顺坡下移, 单位为cm

位于空冰斗斗坎处的MM 3 石流坡, 海拔3 800m, 设两个观测横剖面。其中位于有流水处的MM 3-1 剖面坡度(11.5°), 虽然小于无流水的MM 3-2 剖面(坡度19°), 但因受流水影响其涂漆岩屑下移量明显大于MM 3-2, 且在流水作用最强的剖面中部下移量最大。如图3所示

①MM 3-1 有流水处剖面, 全长11.2m:



②MM 3-2 无流水处剖面, 全长17.65m:

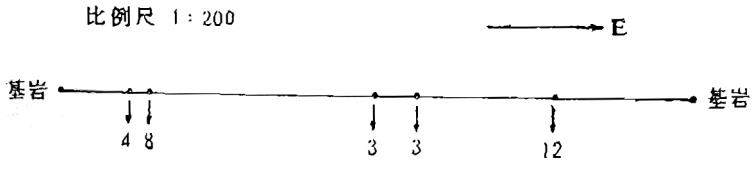
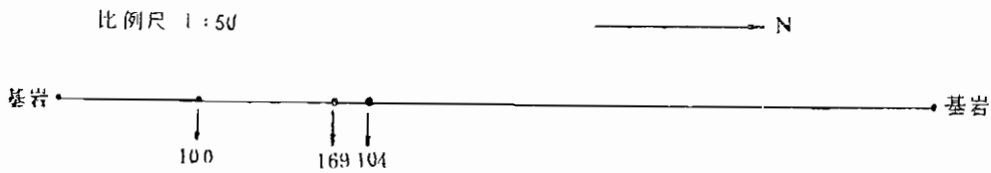


图3 注: “↓”表示岩屑顺坡下移, 单位为cm

MM 4 石流坡位于4 号冰川西侧山坡废弃公路上, 海拔3 950m, 坡向89°NE, 坡度35—45°, 几乎垂直于地层走向。去年所设上、下两横剖面均有较大变化, 上剖面因

坡度 (45°) 大于下剖面 (35°) 故变化量更大, 如下图所示:

MM 4-1 上剖面, 全长5.7m:



MM 4-2 下剖面, 全长5.7m

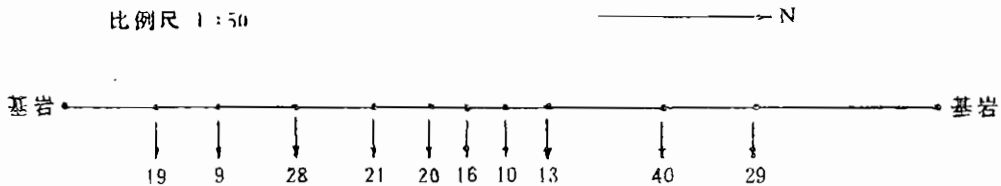


图 4 注: “↓”表示岩屑顺坡下移, 单位为cm

位于南坡废弃公路的MM 5石流坡海拔3 950m, 坡向 216°SW , 坡度 36° 几乎平行于地层走向, 去年所设的全长9.6m的横剖面这次发现亦有较大变化, 如图 5 所示:



图 5

MM 6 因位于活动性很弱的RG 1 石冰川前缘, 故变化不明显。

据以上观测资料和极地、亚极地对地, 即使在坡度相近的条件下, 本区蠕动速率亦大于上述各地, 如MM 1-3, 为 17° 坡度, 蠕动速率为 $3.0-5.5\text{cm/a}$ 。在格陵兰北部 $10^{\circ}-14^{\circ}$ 坡上为 $0.9-3.7\text{cm/a}$ 。从图2还可看到北侧的亦即南坡的 5 块石块平均速率为 4.8cm/a , 而北坡的三块石块平均速率为 3cm/a 。可见坡向也深刻地影响着蠕动速率。

据了解, 石流坡蠕动速率深受坡度、含水量、粒径和基岩深度(有时亦即活动层厚度)及坡向影响。本区MM 3-1 有较多水份, 比MM 3-2 较少水份处速率快 2—3 倍, 且MM 3-2 的坡度更大。显然通过图 4 与图 5 对比表明由于坡度相近, 平行或垂直岩层走向则对蠕动速率有明显影响。总之, 通过比较研究发现, 亚极地的蠕动速率比极地快, 而温带山地则比前二者更快。这是因为前者活动层厚度小且冻融频率亦小之故。

3 融冻泥流舌和坡坎 (Gelifluction lobes and benches)

去年我们曾在罗卜道沟口水文点附近的MM7泥流阶地打下6根木桩(每根长1m), 以此观测纵剖面上木桩倾角的变化。这次发现去年设桩时量测的木桩外缘倾角多发生增大现象, 如图6所示

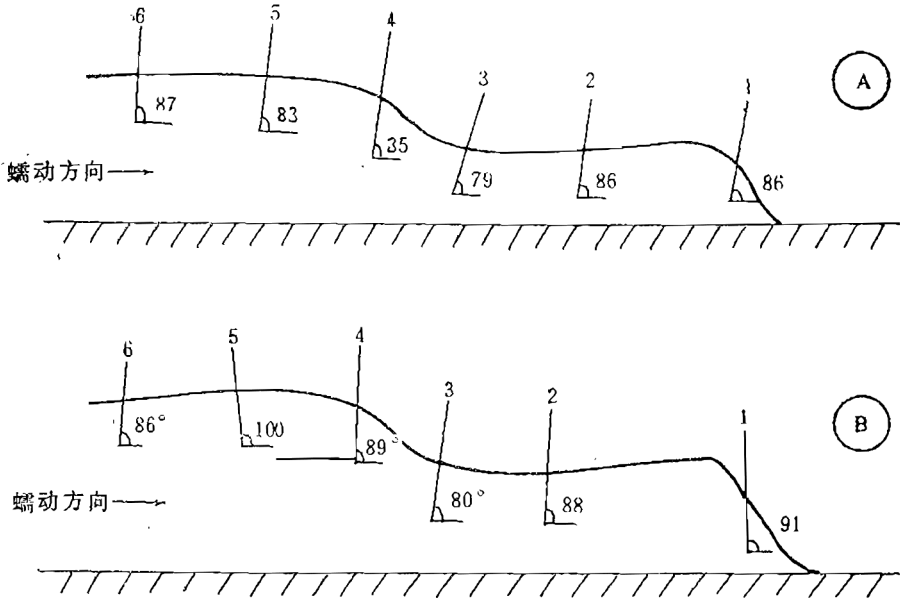


图6 A: 1985年3月木桩外缘倾角
B: 1988年6月木桩外缘倾角

由图6可见, 除木桩6外, 其余木桩倾角均增大, 这表明此泥流阶地下层的蠕动速率大于表面。

经量测, 位于二营冰川站附近山地北坡的MM9和MM10泥流坡木桩外缘倾角亦有增大现象如图7所示:

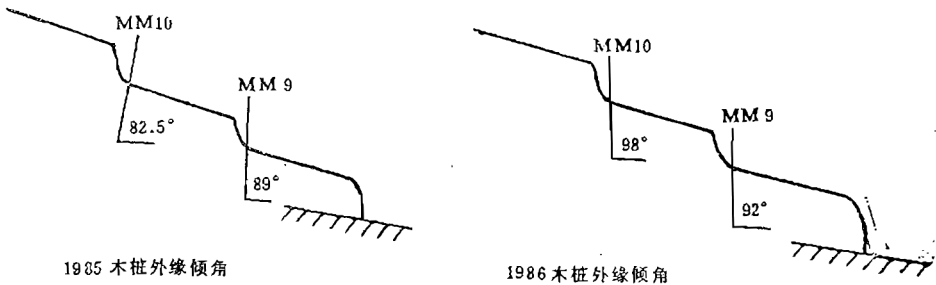


图7

在天山站夏季营地周围山谷的南坡上, 石河发育很普遍。今年我们在位于夏季营地10°NE, 距离1 km, 海拔3610m处的两条石河上设置了四条观测石河运动的横剖面:

① RS 1 横剖面：设有东西两桩，桩间距3.85m，两桩间设有14块涂红漆线的岩屑，东桩顺坡外缘倾角 83° ，西桩为 71° 。

② RS 2 石河前缘交叉剖面：用红漆线设两交叉纵横剖面，纵剖面长0.91m（有5块涂红漆岩屑），横剖面长1.12m（有5块涂红漆岩屑），木桩长50cm，设置后出露地表20.5cm，外缘倾角 87° 。

③ RS 3 横剖面：位于RS 2 以西10m，海拔3 620m。设有东西两桩，桩间距4.06m，两桩间共有23块涂红漆线岩屑，且自剖面起向石河上游用红漆在10块岩屑上标上1—10编号，以此观察石河岩屑蠕动情况。东桩出露地表9cm，外倾 87° ，西桩出露10cm，外倾 87° 。

④ RS 4 横剖面：位于RS 3 上游，海拔3 660m，设东西两桩，桩间距3m，两桩间共有30块涂红漆线岩屑，自西桩往东桩和自剖面线往上分别用红漆在岩屑上标上1—10编号。东、西桩各出露地表10cm，东桩外倾 78° ，西桩外倾 74° 。

用小平板仪对望峰MM 8 泥流舌测1:200地形图发现，在15个测点中有13个测点发生前进变化，最大水平年位移量是第6测桩为0.7m，平均年位移量为0.25m。有11个测点发生高差下降变化，最大下降量是第6测桩为0.22m，年平均下降量为0.09m。此处坡度为 12° 。

表 1 望峰泥流舌1985—1986年各运动测点变化对比

距观测点水平距离 (m)						相对于观测点的高度 (m)					
测点号	1985年	1986年	测点号	1985年	1986年	测点号	1985年	1986年	测点号	1985年	1986年
石控	17.2	17	8	13.2	13.1	1	3.96	3.88	8	2.91	2.88
1	16.8	16.6	9	12.6	12.5	2	3.99	3.95	11	3.27	3.17
3	14.4	14.3	10	12	11.7	3	4.04	3.96	12	3.24	3.16
4	14.5	14.2	11	11.8	11.7	4	4.01	3.89	13	3.85	3.82
5	15.1	14.8	12	12.7	12.4	6	4.02	3.8	14	2.79	2.69
6	16.4	15.7	14	10.8	10.6	7	3.13	3.03			
7	13.9	13.5									

以此泥流舌 (Gelifluction lobe) 和格陵兰东北的坡度类似的 ($10-14^{\circ}$) 对比，发现本区的蠕动速率比其干处 (0.6cm/a) 要快40倍，比其湿处 (6.0cm/a) 要快4倍。格陵兰另一处坡度为 $12.5-10.5^{\circ}$ 和 $12.5-11.5^{\circ}$ 干处蠕动速率为0.9和2.9cm/a，湿处为3.4和3.7cm/a。尽管其坡度十分接近，但速率仍小于本区10—20倍 (干处) 和6倍 (湿处) 左右。造成此种差异的原因与石流坡是类似的①。

4 成型土 (Patterned ground)

去年在海拔3 800m的空冰斗中设置的分选环、分选及非分选冻胀条网观测点，这次发现较大的变化，其中：

FH1石环观测点：去年曾横向设置两根各为1m长的木桩并量取了初始数据 (木桩未

① A L Washburn, 1979, 格陵兰数据。

打进冻层)，这次量测发现FH1-1木桩已由原来出露的43.8cm变为46.3cm；FH1-2木桩已由原来出露的49cm变为52.5cm，两桩间距已由原来的2.8m增大为2.84m；FH1-1桩内夹角由原来的83°变为81°，FH1-2则由88°变为87°（图8）。

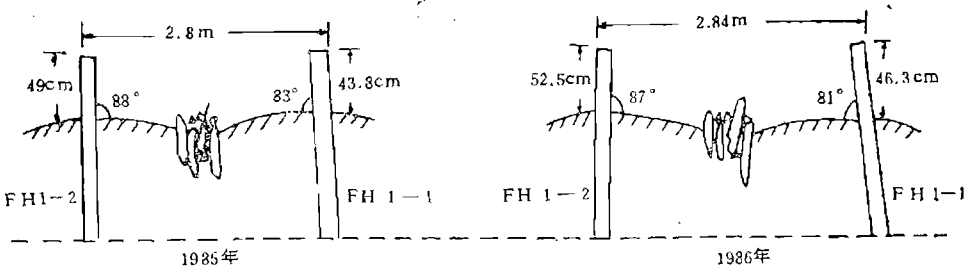
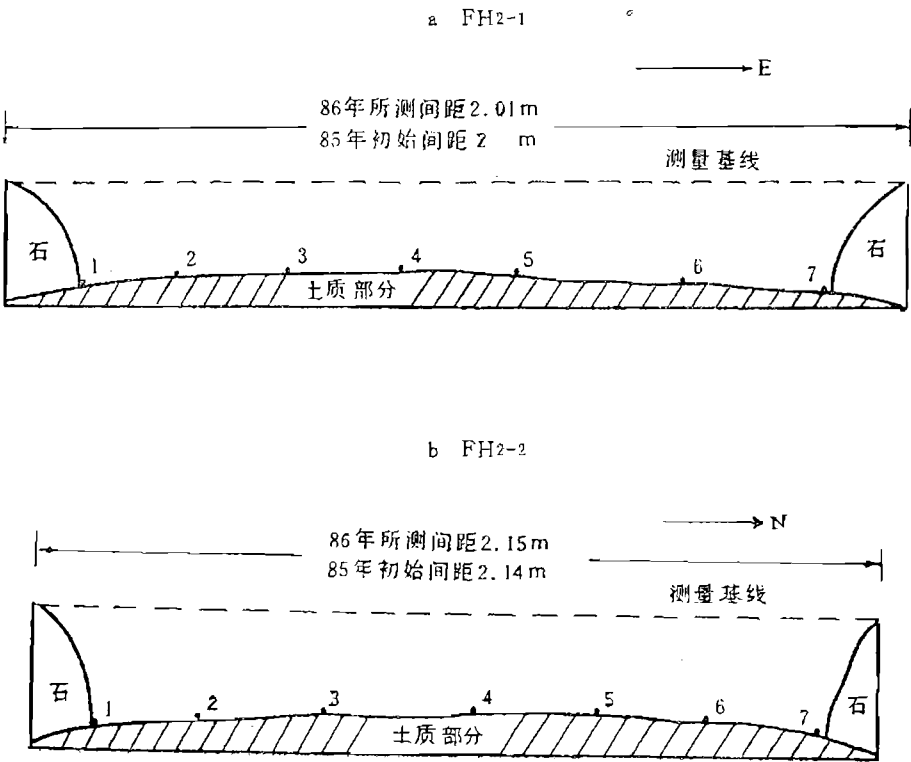


图8 FH1观测点年度变化情况的比较

以上数据表明，此石环受冻胀影响存在着由中心石块部分向两侧土质部分的推挤力和自下向上的冻胀推举力，正是这种推挤力和推举力使得木桩间距增大、木桩内夹角变小且出露部分亦增大。

FH2石环观测点共分三个观测剖面，变化情况由图9（a，b，c）三处横剖面图所示（表2）：



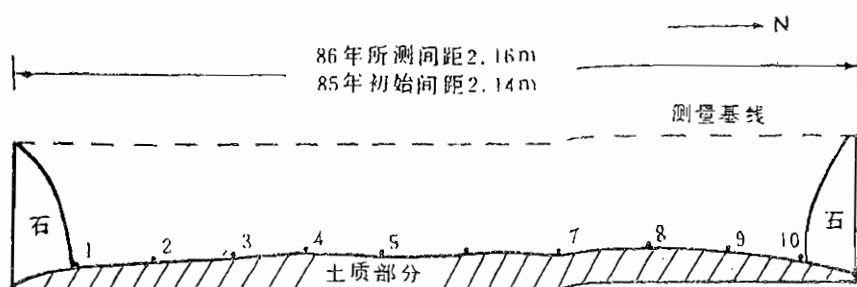


图9 FH2观测点年度变化情况的比较

表2-1 石环间各测点距测量基线距离 (cm)

测点顺序号	1	2	3	4	5	6	7
1985年初始垂距	27.5	23.5	24	27.8	24.8	26.4	26
1986年所测垂距	28	27	26	28	22	25	28

表2-2 石环间各测点距测量基线距离 (cm)

测点顺序号	1	2	3	4	5	6	7
1985年初始垂距	14.2	15.2	14	14	10.2	12	14
1986年所测垂距	16.2	21.7	17.9	17.9	14.7	13	13.5

表2-3 石环间各测点距测量基线距离 (cm)

测点顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1985年初始垂距	16	16	15.2	14.3	12.3	9	8.2	10	14.2	18
1986年所测垂距	18.5	18.3	16.5	16	12.8	10	8.5	11	14.1	8.7

由图9可见：1) 石环横剖面两石块间距均有所增大；2) 石环间各点(土质部分)距测量基线距离除有4处缩小外，其余各点均有所增大；3) 由此可见，石环中部(土质部分)具有向两侧的推挤力，此推挤力使石环四周的石块间距增大；4) 有可能石环中心土质部分冻胀抬举作用不如四周石块显著，故出现具有下沉趋势的“低中心”。但更重要的原因是FH2和FH3两观测点靠近空冰斗排水沟、地下冰受流水影响消退较为强烈。这和崔之久在加拿大极地沿海所见十分相似，即非接近排水沟道处多边形多为“低中心”(Low Center)。冻土含水量不足30%，冻土正处在退化中。相反在远离排水沟道处则皆为“高中心”(High Center)多边形，其地下冰含量可达100%。本区类似的“高中心”多边形则为FH3(图10)。该处位于空冰斗口内一高起平台的顶部，离排水沟较远。据一年来的观测，中心正在上升，亦即表正在生长中。

FH3“高中心”分选环：位于空冰斗冰坎处高平台上，此外与FH2不同的是该分

选环中心部分多为砾径 3—5 cm 的碎石构成，四周土质较多。去年在此分选环处设木桩 4 根，构成两处剖面（图10、表3）

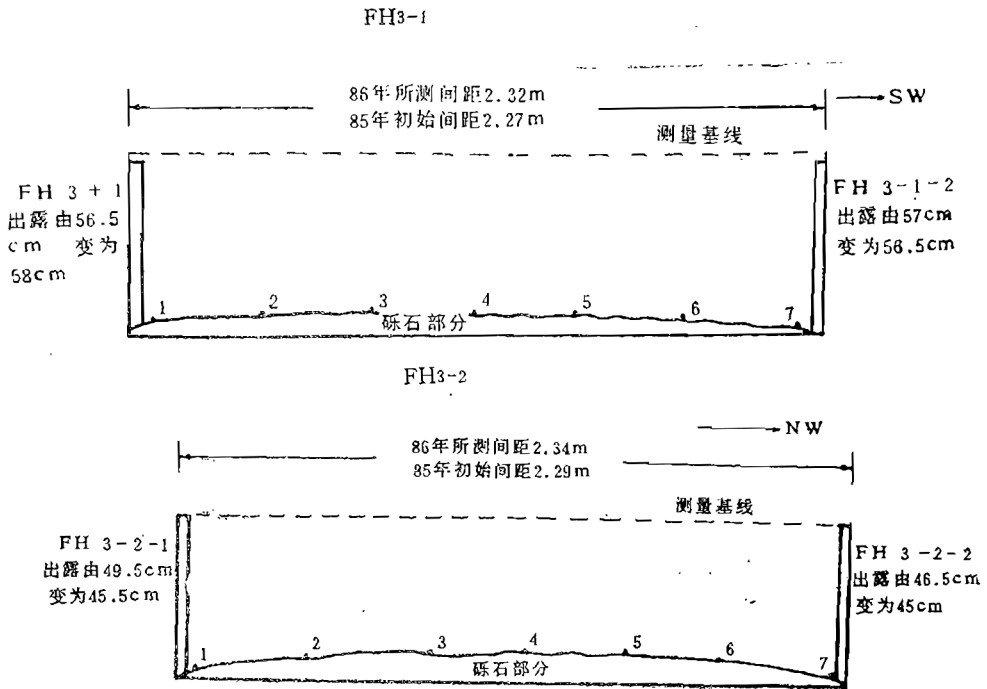


图10 FH3观测点年度变化情况的比较

表3-1 环间各测点距测量基线距离 (cm)

测点顺序号	1	2	3	4	5	6	7
1986年初始距离	61	57.5	57.7	57.5	57.2	56	58.5
1986年所测距离	58.5	55.5	55	56	55.5	55.7	58.5

3-2 环间各测点距测量基线距离 (cm)

测点顺序号	1	2	3	4	5	6	7
1985年初始距离	51.8	50	47.8	47	46.8	48	53
1986年所测距离	15	48	49	46	48	48	49

由图10可见：除上述各点外，1) 此分选环亦具有由中心向四周的推挤力，此力使两侧桩间距增大；2) 除FH3-2剖面两个测点外，其余各点冻胀明显，使得测点距木桩顶端测量基线距离缩小。

5 热融塌陷 (Thaw settlement)

测量发现，乌库公路115km处的热融塌陷过程发展较迅速，去年布置的10个测桩有 8 个发生水平位移，其中第 8 测桩位移量最大为1.1m，平均位移量为0.3m；高差变化明显的有 5 个测桩，其中第 8 测桩下沉量最大为0.38m，平均下沉量为0.12m，如表 4 所示。

表4 TK1热融塌陷各测点年度变化对比

距观测点水平距离 (m)						相对于测点的高度 (m)					
测点号	1985年	1986年	测点号	1985年	1986年	测点号	1985年	1986年	测点号	1985年	1986年
1	34.4	34.3	6	26.4	26.7	1	-2.23	-2.27	9	-2.91	-2.98
3	31	30.9	7	25.2	25.1	4	-3.40	-3.45			
4	29.6	29.8	8	23.0	24.1	6	-3.00	-3.04			
5	28.1	28	9	22.6	22.8	8	-2.94	-3.32			

6 寒冻风化速率 (Weathering rate) 观测

(1) WR1板岩剥蚀速率观测点: 该点位于空冰斗西南侧石坡上, 海拔3 820m, 观测剖面全长为69cm。1985年曾在此片状剥落的剖面处自西向东量得初始豁口一道, 裂隙16处, 今年量测发现裂隙增大了的有15处, 表5是不同年份裂隙发育情况的比较。

表5-1 1985年量测初始情况

裂隙序号	1	2	3	4	豁口	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
裂隙至基点	9.4	10.8	11.9		15.2	43.9	44.8	50	52.7		53.6		54.45			55	
距离 (cm)	9.7	10.95	12.2	13.6	43.5	44	44.85	50.9	53	53.2	53.65		54.2	54.6	54.7	54.9	55.3
裂隙宽度 (cm)	0.3	0.15	0.3	细	28.3	0.1	0.05	0.9	0.3	细	0.05	细	0.05	细	细	0.1	细

表5-2 1986年测得裂隙增加的情况

裂隙序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
裂隙至基点	9.6	10.9	11.9	13.7	15.5	50.5	52.5	56.6	58.8	59.7	61.9	64.3	64.7	66.6	67.7
距离 (cm)	9.8	11.1	12.5	13.8	43.5	50.7	52.7	57	59	61.6	62	64.4	64.8	66.7	67.8
裂隙宽度 (cm)	0.2	0.2	0.6	0.1	28.0	0.2	0.2	0.4	0.2	1.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

注: 1985年量测的裂隙包括1985年所测初始裂隙及其扩大和增加的裂隙

(2) WR2板岩剥蚀速率观测点: 位于WR1以南10m处, 观测剖面全长为91.5cm 1985年在此量得豁口裂隙共3处, 今年发现皆已增大 (表6)。

表6-1 1985年量测的初始情况

裂隙序号	1	2	豁口
裂隙至量测基点距离 (cm)	15.9—16.1	84.3—89.2	48.8—75.6
裂隙宽度 (cm)	0.2	4.9	26.8

表6-2 1986年测得裂隙增大量

裂隙序号	1	豁口	2
裂隙至量测基点距离 (cm)	15.3—15.6	17—81	84.3—89
裂隙宽度 (cm)	0.3	6.4	4.7

(3) FH4基岩冻胀量测点: 该点位于4号冰川西侧废弃公路上, 海拔3900m, 坡度36°, 坡向216°SW, 岩性为辉长岩。该处基岩因冻胀而产生破裂, 个别石块因冻胀而突起。去年我们在此用红漆标出6处裂隙冻胀观测点, 并量取了初始数据, 这次发现6处观测点均有所变化, 表7是年度变化对比情况:

表7 FH4基岩冻胀变化

1985年 基岩突起状况	测点序号	1	2	3	4	5	6
	相对突起状况	①高于②	③高于②	⑤高于③	④高于③	⑥高于⑦	⑦高于⑤
	突起高度 (cm)	1	1	4	3.5	10	
1986年 基岩突起状况	测点序号	1	2	3	4	5	6
	相对突起状况	①高于②	③高于②	⑤高于③	④高于③	⑥高于⑦	⑦高于⑤
	突起高度 (cm)	1.6	0.8	3.9	3.9	10.4	0.7

(4) WR3风化剥蚀速率观测点: 该点位于天山站夏季营地以西400m处, 海拔3600m, 岩性为眼球状片麻岩, 1985年在此量得岩石豁口两侧初始宽度为5.6cm, 这次量得宽度为5.7cm。

(5) WR4风化剥蚀速率观测点: 该点位于WR3以西20m处, 岩性同WR3, 共分两处剖面。1) WR4-1: 1985年量得豁口初始距离为67cm, 1986年量得为64.9cm; 2) WR4-2: 1985年量得豁口初始距离为72.2cm, 1986年量得为71.8cm。表明豁口略有收缩。

(6) WR5风化裂隙速率观测点: 该点位于胜利道班243°SW相距180m的石铺砌(Pavement)处, 是为今年所增设的观测点, 岩性为眼球状片麻岩。图11, 表8是此观测点俯视示意图及量取的各裂隙间的初始距离表。

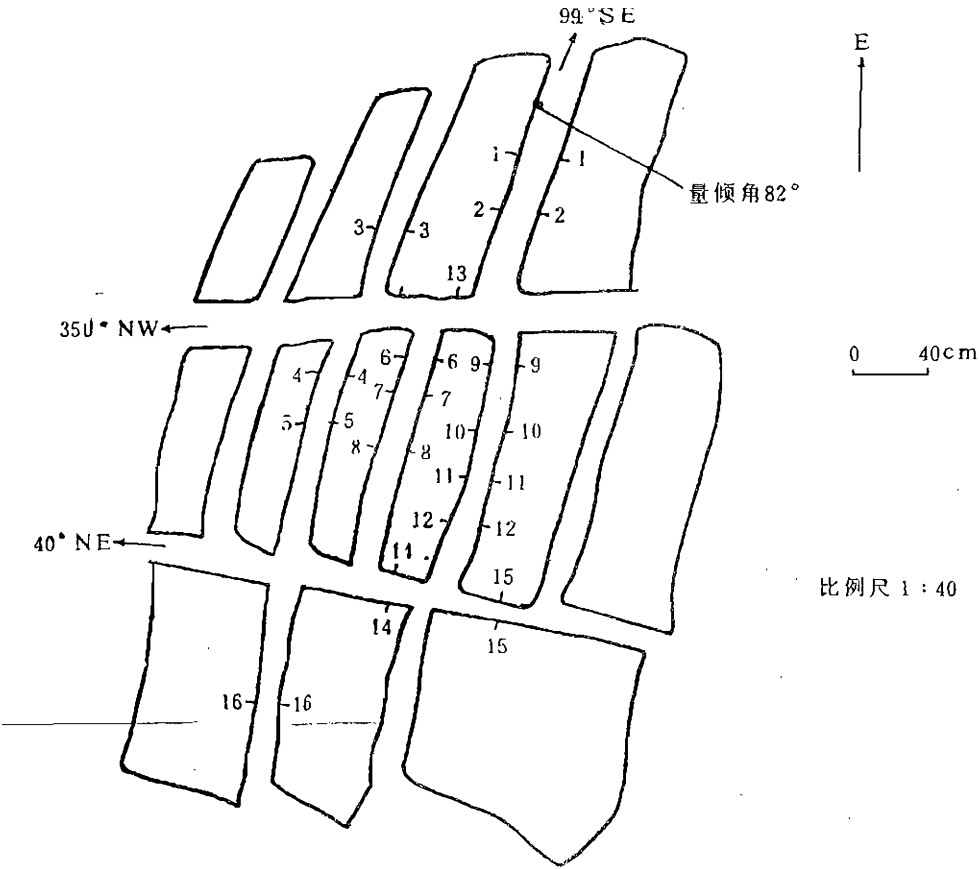


图11 WR 5 观测点俯视示意图

表 8 1986年WR5各裂隙初始距离

裂隙序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
裂隙间距 (mm)	84	78	22	32	44	16	19	20	16	15	17	14	154	22	14	14

注：1) 裂隙间距量取处用红漆做标志；2) 该观测点夏季有流水作用影响。

7 爆破坑探情况

今年我们在邱国庆等^①坑探冻土下界的基础上，分别于6月下旬和7月下旬两次对空冰斗石环、RG3石冰川、RG5石冰川进行了爆破坑探，目的在于了解石环的结构和石冰川活动层厚度情况以及不同海拔、不同坡向冻土上限的情况，表9、10和11是7月下旬坑探结果。

① 邱国庆等，1981.天山冰川站年报。(2)，113—122。

表9 空冰斗石环试坑

层序	深度 (m)	岩性特征	冻土构造	含水量 (%)	温度 (℃)
1	0.17	棕褐色腐殖质土	已融化	21.7	7.1
2	0.17 0.70	含砾石亚砂土, 成份有硅质岩、花岗岩, 砾径3—5cm, 含量约50%砾石多呈碗斗状。剖面呈褐黄色, 疏松。	已融化	15.8	5.0
3	0.70 0.80	含砾石亚粘土, 岩性同上。褐色, 较致密, 砾石多次棱角状, 砾径4—8cm	已融化	14.7	1.5
4	0.85—0.95 (未见底)	含角砾亚粘土, 岩性同上, 粒度待分析	含粒状冰冻土	18.4	0

表10 RG3石冰川试坑

层序	深度 (m)	岩性特征	冻土构造	含水量 (%)	温度 (℃)
1	0 0.22	棕褐色腐殖质土	已融化	16.5	9.3
2	0.22 0.60	褐色含角砾亚砂土, 砾径3—10cm, 砾石含量60%, 岩性为片麻岩硅质岩, 剖面较疏松	已融化	22.2	8.1
3	0.60 1.43	黄褐色含角砾亚砂土, 砾径5—10cm, 砾石含量70% 岩性同上, 剖面稍紧实	已融化	10.6	5.0
4	1.43—1.45 未见底	含角砾亚粘土, 岩性同上	含粒状冰和冰透镜的冻结岩屑	5.3	0

表11 RG5石冰川试坑

层序	深度 (m)	岩性特征	冻土构造	含水量 (%)	温度 (℃)
1	0—0.25	棕褐色腐殖质土	已融化		9.5
2	0.25 0.50	棕褐色角砾土, 岩性有片麻岩、碳质页岩、硅质岩、石英岩, 砾径3—10cm, 砾石含量, 50—60%, 剖面较疏松	已融化	12.3	8.4
3	0.50 1.6	黄褐色角砾土, 岩性同上且有绿泥石片岩	已融化	5.7	5.0
4	1.6 1.9	角砾土, 岩性以绿泥石片岩为主, 砾石含量约70%	已融化	7.1	4.7
5	1.9—1.93 未见底	冻结角砾土, 岩性以绿泥石片岩为主, 砾径2—5cm	含粒状冰多年冻土	8.1	-0.1

8 设置分层冻胀仪器

为观测该区冻土各层冻胀情况,今年我们分别在空冰斗内及山南RG3石冰川上埋设了分冻胀仪。此分层冻胀仪由硬质塑料套管和钢筋构成,塑料套管外径7.6cm,内径6.6cm,管壁厚4mm,每节套管长15cm,中轴实心钢筋直径16mm,另外,在每根塑料套管上固定有直径8mm的细钢筋一根,其长度随套管埋深增大而逐节增长15cm。此分层冻胀仪埋设时将中轴钢筋埋于冻层中,塑料套管成串珠状套在中轴钢筋上,四周用土回填,记下各层塑管上固定的细钢筋与中轴钢筋相对初始距离,便于今后量测变化量,图12是分层冻胀仪埋设后的示意图以及埋设初始记录:

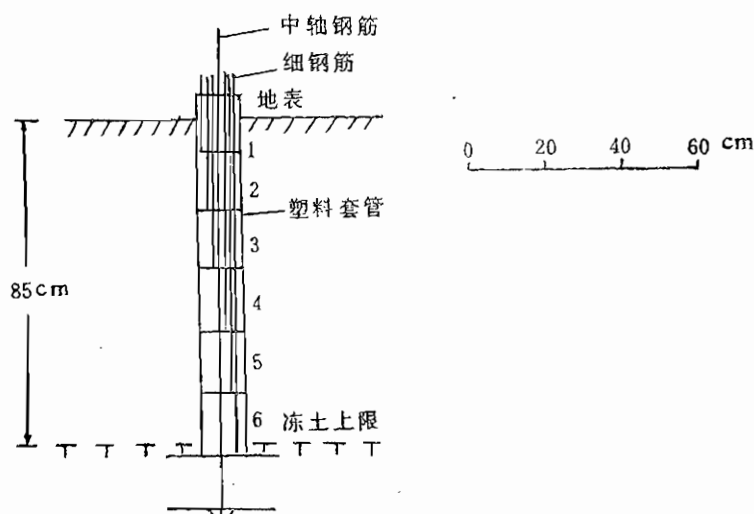


图12 空冰斗分层冻胀仪示意图

(1) 空冰斗分层冻胀仪: 中轴钢筋全长110.9cm, 冻土上限距地表85cm, 中轴钢筋埋入后出露地表高度为17.2cm, 第一套管出露地表高度为7.2cm。各套管细钢筋顶端距中轴钢筋顶端距离为: 第1套管5cm; 第2套管5.4cm; 第3套管5.3cm; 第4套管4.8cm; 第5套管5.4cm; 第6套管5cm。

(2) 山南RG3石冰川分层冻胀仪: 中轴钢筋全长221cm, 冻土上限距地表143cm, 中轴钢筋埋入后出露地表高度为70cm, 未设第1, 2套管, 第3套管出露地表高度为9cm。各套管细钢筋顶端距中轴钢筋顶端距离为第3套管3.3cm; 第4套管4.2cm; 第5套管3.5cm; 第6套管4.8cm; 第7套管2.5cm; 第8套管2.3cm; 第9套管2.7cm; 第10套管1.8cm; 第11套管5.2cm。

(3) 空冰斗分层冻胀磁铁石块(图13): 此法测分层冻胀量,原理如图13所示,先选择若干大小适宜的石块,在各石块较平的一面用502粘合剂粘合环形磁铁一块(磁铁外径4cm,内径1.8cm,厚8mm),然后将一长2.03m的硬质长塑管(内径3.2cm,外径4cm,管壁厚4mm)用钢筋锚固基部后埋于冻层内。再将粘有磁铁的石块分层放置于

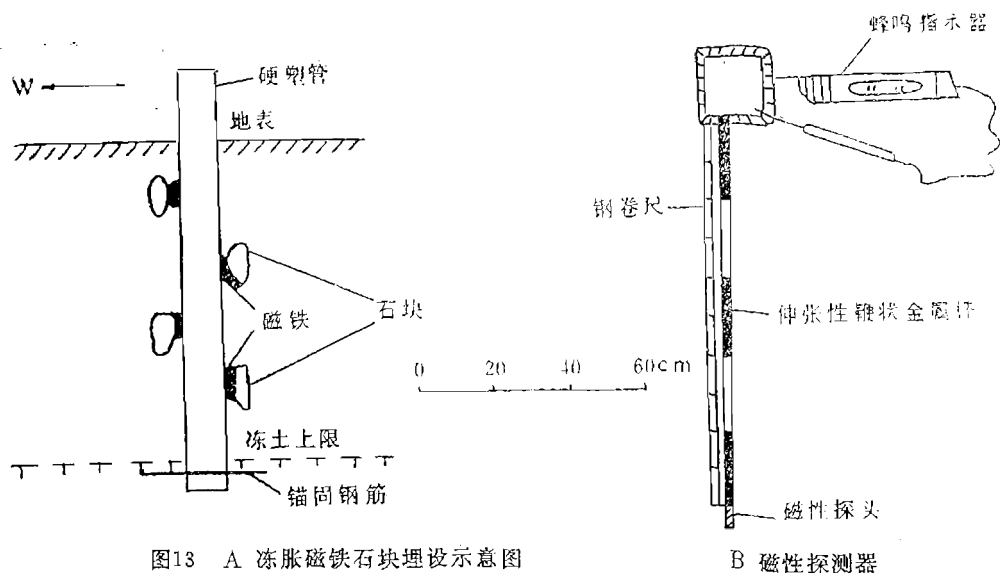


图13 A 冻胀磁铁石块埋设示意图

B 磁性探测器

塑管外侧管壁旁并用土回填，同时记下各石块的大小、岩性及距硬塑管顶端的初始距离和方位（图13-A），次年便可用一磁性探测器插入硬塑管内量取各石块冻胀量。当磁性探头靠近管壁磁铁石块位置时，蜂鸣指示器会发生蜂鸣声，此时从钢卷尺上可读出磁铁石块的深度（图13-B），由此便可得出各层石块的冻胀抬升量。以下是空冰斗内分层冻胀磁铁石块埋设时的初始记录表：

表12 空冰斗冻胀磁铁石块埋设初始纪录

编 号	岩 性	磨 圆 度	a轴长度 (cm)	b轴长度 (cm)	c轴长度 (cm)	磁性中心距硬 塑管顶端距离 (cm)	磁铁埋设方位
1	片麻岩	次棱角	13.5	9	5	177	硬塑管东侧
2	硅质岩	次棱角	9	5	2.2	167	硬塑管西侧
3	石英岩	棱角状	12	8.5	2.8	157	硬塑管东侧
4	片麻岩	次棱角	10	7	4	147	硬塑管西侧
5	石灰岩	次圆状	7.5	5	2.2	137	硬塑管东侧
6	片麻岩	次棱角	9	6.5	4.5	127	硬塑管西侧
7	片麻岩	次圆状	9	8	4.5	117	硬塑管东侧

注：埋设处冻土上限为85cm，硬塑管全长2.03m，埋入后露出地表高度为106.8cm。

9 砾向组构测量及对比

这次我们分别对该区石河、石冰川、倒石堆、石环、泥流舌五种地貌形态进行了砾向组构测量，结果如下（图14）：



图14 组构测量俯视示意图

“a”为整体运动方向，“ab”为ab面倾向

(1)石河：空冰斗坎下方的RS5石河是本区所见规模最大的一条石河，我们在此石河中部、两侧、前缘4个部位，每处测100块，共量测了400块砾石的组构，发现有以下规律：砾石在石河中部ab面与a轴一致，多倾向下游，倾向多在170°SE左右，倾角多在15°左右。在石河两侧ab面与a轴多斜倾向上游，东侧倾向多为250°SW左右，倾角多在35—70°之间；两侧倾向多为15—45°NE之间，倾角多在20—40°之间。在前缘，ab面与a轴多倾向上游，倾向多在300—335°NW之间，倾角多在30—50°之间（图14）。

(2)石冰川：我们在2号冰川东侧RG2石冰川的前缘坡、侧坡、前缘坡顶、石冰川源头5个部位共量测了500块砾石的组构（每处100块），发现有以下特点：在前缘坡和侧坡处，砾石ab面及a轴多与坡向一致，即东侧坡倾向多在75—85°NE，倾角35—40°；西侧坡倾向多在315—335°NW，倾角30—40°；前缘坡倾向约在350°NW左右，倾角30—40°；前缘顶部反向坡倾向在190°SW左右，倾角25—35°；石冰川源头倒石堆倾向345°NW左右，倾角30°（图14）。

(3)倒石堆：5号悬冰川下方有一坡长150m，宽约60m的倒石堆，坡向295°NW，坡度35°。我们在此倒石堆中部共测100块砾石的组构，发现大多数砾石ab面和a轴大都与坡向一致，即倾向多在295°NW左右，倾角多在35°左右（图14）。

(4)石环：在海拔3800m的空冰斗中，石环发育较普遍，爆破坑探发现石环四周砾石分布深度约为0—35cm左右，砾石组构测量发现石环四周砾石的ab面和a轴大致呈莲花状向石环中心倾斜，倾角多在20—50°（图14）。

(5)泥流舌：在高度3420m的上望峰平台有一坡向50°NE，坡度21°的泥流舌，砾石组构测量表明该泥流舌砾石具有ab面多倾向上游，a轴大致倾向上游的总特征，即ab面倾向多在180—220°SW，倾角多为30—40°（图14）。

10 物探电测深

今年我们用国产DDC-2A型电子自动补偿仪分别对新冰期冰碛、石冰川、望峰冰碛、冻土进行电测深。采用的电测形式是什仑贝格尔四极对称装置，线路图如图15。

根据装置系数 $k = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$ 以及电阻率 $\rho_s = k \frac{\Delta V}{I}$ 测出的数据及曲线图来看，天

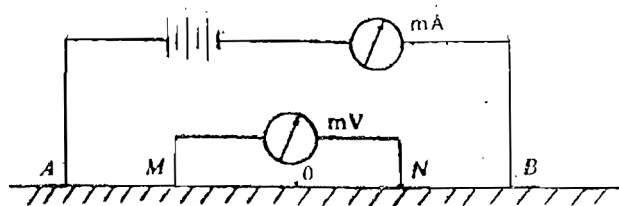


图15 电测深线路图

山乌鲁木齐河源区的石冰川可分为三层结构：第一层为活动层，电阻率为 $10^2-10^4 \Omega m$ ，深度在1—2 m范围内；第二层为冻结沉积物（砂、砾石、冰岩混合体）层，电阻率为 $3 \times 10^4-10^5 \Omega m$ ，深度在几十米范围内；第三层为基岩，该区主要是片麻岩和硅质岩，电阻率在 $2 \times 10^5 \Omega m$ 以上。这与瑞士等阿尔卑斯山区海洋性冰川区的四层结构的石冰川明显不同，由此反映出大陆性冰川区的石冰川特点。

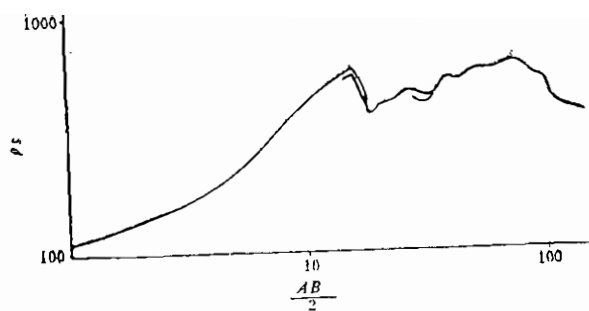
与测量结果来看，望峰冰碛大致可分三层结构，第一层电阻率较低为 $10^2-10^3 \Omega m$ 可能是季节活动层，厚度一至几米；第二层电阻率为 $1 \times 10^3-3 \times 10^3 \Omega m$ ，是为冰碛层，厚度约为100m；第四层电阻率为 $3 \times 10^3 \Omega m$ 以上，是为基岩（主要是绿片岩）。如果细分可将第二层分为三个层次，即电阻率为 $1 \times 10^3-2.9 \times 10^3 \Omega m$ 的上望峰冰碛层， $2.9 \times 10^3-2.8 \times 10^3 \Omega m$ 的低阻层（估计此层土质较多）， $3 \times 10^3-3.3 \times 10^3 \Omega m$ 的下望峰冰碛层。从曲线图看，低阻层层次较薄，此层深度约为40m左右，可能是上、下望峰冰碛的不整合面处的反映。

从电测看，气象站前的冻土（海拔3558m）亦可分三层结构：第一层为季节融化层，电阻率为 $6 \times 10^2-8 \times 10^2 \Omega m$ ，深度1—3 m；第二层为多年冻土层，电阻率为 $9 \times 10^2-2 \times 10^3 \Omega m$ ，厚度约10m左右；第三层为基岩，电阻率为 $2 \times 10^3 \Omega m$ 以上，此处主要是硅质岩和片麻岩。

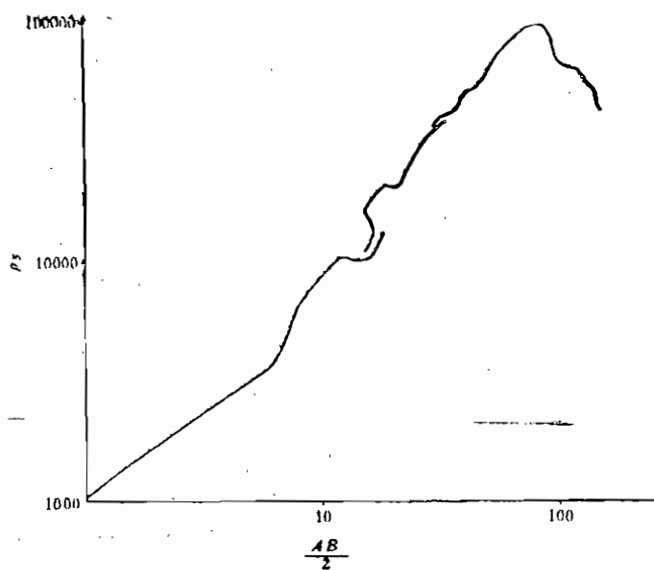
以上4处剖面曲线大体为A型曲线，即电阻率随深度增加而增大， $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ 。但气象站后新冰期冰碛的曲线较复杂，是KH-KH型，即 $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ 转为 $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ 。该曲线可分为6层结构，即第一层电阻率 $10^2-1 \times 10^3 \Omega m$ ，厚度约几米，第二层电阻率 $1 \times 10^3-5 \times 10^3 \Omega m$ ，深度从几米到十几米（可能是冻结的冰碛物质）；第三层电阻率为 $5 \times 10^3-3 \times 10^3 \Omega m$ ，深度在15—20m之间（可能是地下水影响所致）；第四层电阻率 $3 \times 10^3-6 \times 10^3 \Omega m$ ，深度在20—60m；第五层电阻率 $6 \times 10^3-4 \times 10^3 \Omega m$ ，深度60—150m；第六层电阻率在 $4 \times 10^3 \Omega m$ 以上，深度150m以下，可能是基岩，此处为辉长岩。

11 地衣测年法

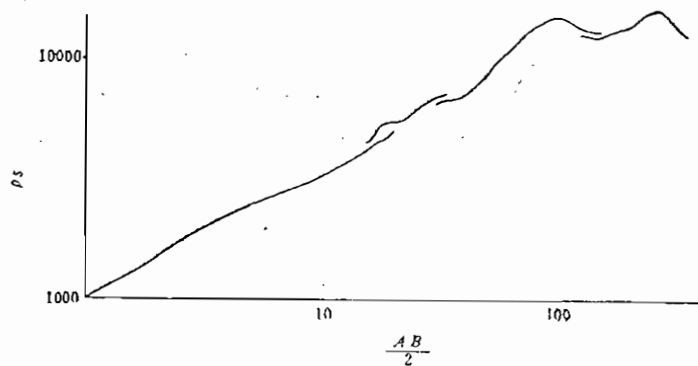
这次我们在陈吉阳等1982年3号冰川小冰期冰碛垅及其岩坎处地衣测量的基础上，分别对RG2石冰川上的黄绿地图衣、石黄衣以及二营冰川站附近墓碑上的石黄衣进行了量测，分析的结果将在与 ^{14}C 测年法比较后另行提出。



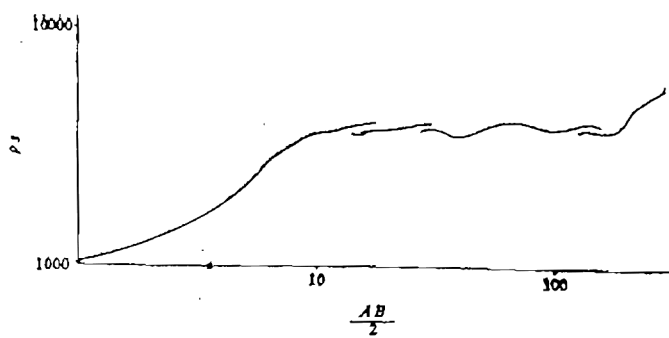
附图 1 气象站3560m处新冰期冰碛电阻率曲线



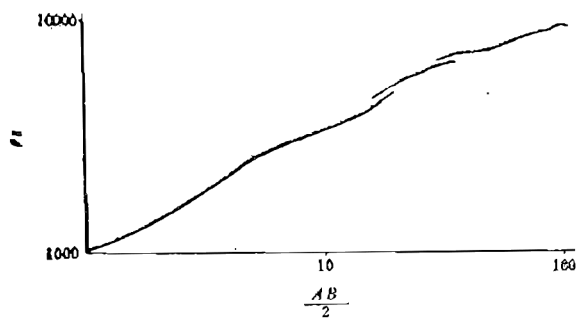
附图 2 山南RG3石冰川(3.560m)电阻率曲线



附图 3 山北石冰川(3.558m)电阻率曲线



附图 4 望峰冰碛3360m电阻率曲线



附图 5 气象站(3558m)冻土电阻率曲线