

乌鲁木齐河源1号冰川积累、消融及物质平衡

王纯足 刘潮海

1 观测方法及计算结果

1990年8月—1991年8月,我们在1号冰川上进行了一个整年度的物质平衡观测,该年度的观测资料较之历年来的资料可谓是最全面、最系统的一次,包括观测周期(15天为一周期)、花杆测点、断面均无一缺测或中断现象,这无疑可以提高年物质平衡量的精度。1号冰川共布设花杆81根,东支为12个断面41个测点,西支为40个测点14个断面。从冰舌末端3740m处至天格尔Ⅱ峰4486m,系统地观测冰川积累与消融,同时挖雪坑进行了雪层结构演变的描述。观测读数精确至厘米,各测杆的纯平衡量(b)为冰川冰(b_i),积雪(b_s)和附加冰(b_{si}),各纯平衡分量之代数和,即:

$$b = b_i + b_s + b_{si} \quad (1)$$

$$b_i = d_i [(h_1 + m_1 + n_1) - (h_2 + m_2 + n_2)] \quad (2)$$

$$b_s = d_{s2} m_2 - d_{s1} m_1 \quad (3)$$

$$b_{si} = d_{si} (n_2 - n_1) \quad (4)$$

式中: h_1, h_2 分别为前后2次观测的测杆读数; m_1, m_2 分别为2次观测的积雪厚度; n_1, n_2 分别为2次观测的附加冰的厚度; d_i 为冰川冰的密度,取 0.9g/cm^3 ; d_{s1}, d_{s2} 分别为2次观测的积雪密度, d_{si} 为附加冰的平均密度,取 0.85g/cm^3 。

积累区的花杆,则采用不同于消融区的方法来计算单点的物质平衡值。在花杆处于负平衡状态下,不仅要考虑积雪厚度的变化,而且还应考虑因污化面下降而亏损的物质,计算方法为:

$$b_i = [(h_1 + m_1) - (h_2 + m_2)] \cdot d_{si} + (d_{s2} m_2 - d_{s1} m_1) \quad (5)$$

花杆若处于正平衡状态时,则采用下式计算: $d_s = m_2 d_{s2} - m_1 d_{s1} \quad (6)$

依据上述计算方法,将1990—1991年度单点物质平衡值资料整理归纳为表1。

冰川物质平衡采用等值线法计算,即将花杆和雪坑所测得单点物质平衡量点绘在1986年8月测量的比例尺为1:5000的乌鲁木齐河源1号冰川地形图上,绘制积消等值线(图1),以相邻等值线之间的投影面积(s_{ci}, s_{ai})分别乘以平均积、消深度(c_i, a_i),累计得到纯积、消总量(B):

$$B = \sum c_i s_{ci} + \sum a_i s_{ai} \quad (7)$$

利用式(7)算出1990—1991年物质平衡量为负值,即-706mm水柱(图1,表2)。

为了测量冬季积、消状况,我们将上一物质平衡年度末到本年度5月初作为冬平衡期,计算结果为+54mm,而1988/1989和1989/1990年的冬平衡值分别为+161mm和+324mm。1990/1991年冬季期间,消融量大,积累量小,从而导致冬平衡在有观测资料以来

表1 1号冰川东支物质平衡观测数据总表 (1990—1991)

剖面 花杆	No.	高度 (m)	系统											
			冰			积			消			合		
A'	1	3765.7	-173.8	-114.2	-83.4	-186.6	-270.0	-221.5	-291.5	-261.0	-144.0	-1746.0	-1746.0	
	2	3765.7	-652.2	-162.3	-41.9	-119.3	-457.0	-374.0	-688.0	-423.0	-287.0	-3105.0	-3105.0	
3	3764.4	-912.0	-564.0	-58.6	-127.4	-565.0	-496.0	-701.0	-558.0	-234.0	-3789.0	-3789.0		
平均	3761.9						-363.8	-560.2	-414.0	-225.0		-2880.0		
B'	+1	3784.4	-312.2	-87.8	-44.0	-161.0	-475.0	-351.0	-621.0	-432.0	-306.0	-2790.0	-2790.0	
	+2	3787.4	-294.2	-112.8	-31.0	-177.0	-555.0	-362.5	-600.5	-396.0	-293.0	-2822.0	-2822.0	
	1	3791.7	-172.0	-91.0	-21.0	-83.0	-353.0	-385.5	-658.5	-351.0	-251.0	-2366.0	-2366.0	
	2	3798.8	-324.0	-55.5	-33.0	-69.5	-265.0	-374.0	-598.0	-378.0	-302.0	-2099.0	-2099.0	
	3	3799.8	-320.0	-72.0	-25.0	-38.0	-427.0	-338.0	-616.0	-360.0	-239.0	-2465.0	-2465.0	
4	3809.8	-315.0	-38.5	-58.0	-29.0	-450.0	-297.0	-675.0	-441.0	-329.0	-2633.0	-2633.0		
平均	3795.3						-351.3	-628.2	-393.0	-286.7		-2374.2		
C'	+1	3823.6	-67.5	-97.0	+51.2	+63.7	-400.4	-285.5	-569.5	-360.0	-202.0	-1867.0	-1867.0	
	+2	3824.8	-349.2	-65.3	+4.5	-13.1	-377.9	-349.5	-622.5	-369.0	-216.0	-2367.0	-2367.0	
	1	3849.0	-148.5	-51.5	+55.5	+46.4	-297.9	-296.0	-523.0	-306.0	-112.0	-1693.0	-1693.0	
	2	3845.0	-264.6	-39.9	+39.5	+14.9	-352.9	-368.0	-496.0	-309.0	-149.0	-1841.0	-1841.0	
	3	3840.4	-243.0	-57.5	+3.0	+70.3	-321.8	-308.5	-555.5	-270.0	-121.0	-1804.0	-1804.0	
4	3839.0	-157.5	-53.5	+84.0	+39.6	-225.1	-312.0	-495.0	-216.0	-159.0	-1500.5	-1500.5		
平均	3837.0						-319.9	-543.6	-219.0	-159.8		-1835.4		
D'	1	3890.6	-22.0	-53.5	+31.0	+98.0	-205.0	-164.0	-458.5	-315.0	-76.0	-1165.0	-1165.0	
	2	3892.1	-16.6	-39.9	-4.3	+44.7	-344.0	-144.0	-558.0	-306.0	-86.0	-1454.1	-1454.1	
	3	3892.8	-6.4	-64.6	+31.5	+46.0	-186.5	-227.5	-492.5	-25.0	-130.0	-1255.0	-1255.0	
	4	3892.7	-132.2	-70.3	+22.9	+55.1	-253.5	-292.0	-518.0	-234.0	-68.0	-1490.0	-1490.0	
	5	3899.8	-80.0	-47.0	+10.0	+127.5	-18.5	-103.0	-281.0	-162.0	-6.0	-664.0	-664.0	
平均	3893.6						-186.1	-461.6	-248.4	-73.0		-1185.6		

表1 (续1)

剖面 (位置)	花杆 No.	高度 (m)	纯 积 消 量 (mm)									合 计
			1990.8.30 —1991.5.3	1991.5.3 —91.5.15	1991.5.15 —5.29	1991.5.29 —6.15	1991.6.15 —6.30	1991.6.30 —7.15	1991.7.15 —7.29	1991.7.29 —8.15	1991.8.15 —8.29	
E'	1	3 929.0	+126.9	-32.4	+71.3	+53.7	-183.5	-55.7	-367.3	-199.0	-53.0	-639.0
	2	3 928.0	+128.7	-15.8	+33.1	+35.8	-164.8	-156.8	-355.2	-169.0	-75.0	-739.0
	3	3 929.6	+80.1	-19.3	+29.9	+79.6	-125.8	-97.4	-397.1	-194.0	-81.0	-725.0
	4	3 931.9	+107.1	-0.2	+37.7	+30.4	-166.4	-169.9	-298.1	-159.0	-80.0	-698.0
	5	3 938.0	+108.0	+55.5	+65.7	+84.9	-248.6	-106.1	-175.4	-63.0	-26.0	-305.0
	平均	3 931.3	+110.2	-2.4	+47.5	+56.9	-177.8	-117.2	-318.6	-156.8	-63.0	-621.2
F'	1	3 970.1	+184.5	-29.8	+29.6	+102.1	-199.0	-69.8	-251.6	-130.5	-10.5	-375.0
	2	3 970.0	+99.9	-16.8	+48.4	+51.4	-153.4	-60.0	-347.5	-171.0	-38.0	-587.0
	3	3 967.0	+79.2	-47.0	+59.2	+79.9	-183.8	-74.8	-254.7	-180.0	-40.0	-562.0
	4	3 968.4	+174.6	-19.5	+45.0	+84.6	-93.2	-46.6	-352.0	-49.5	-7.5	-264.1
	5	3 970.2	+40.5	-23.3	+79.2	+71.8	-187.2	-59.1	-164.7	-58.5	-8.5	-309.8
	平均	3 959.1	+115.7	-27.3	+52.3	+78.0	-163.3	-62.1	-274.1	-117.9	-20.9	-419.6
G'	1	4 011.1	+95.4	+16.1	+16.9	+49.4	-248.0	-78.1	-400.1	-211.5	-46.5	-806.4
	2	4 007.7	+110.7	-48.1	+15.8	+72.6	-169.2	-75.9	-355.9	-148.5	-36.5	-635.0
	3	4 003.0	+51.5	-26.9	+35.5	+74.8	-184.9	-77.5	-340.5	-99.0	-39.0	-606.0
	4	4 002.8	+107.1	-48.5	+19.5	+102.6	-214.9	-81.5	-226.3	-72.0	-30.0	-444.0
	5	4 003.1	+134.1	-19.3	-9.3	+50.8	-112.8	-48.6	-197.7	-139.5	-61.5	-403.8
	平均	4 005.5	+99.8	-25.3	+15.7	+70.0	-186.0	-72.3	-304.1	-134.1	-42.7	-579.0
H'	1	4 053.0	+216.0	+38.6	-51.1	+13.5	-125.0	-47.2	-168.0	-48.0	-24.0	-195.2
	2	4 051.0	+179.2	+28.8	-52.8	+27.2	-111.8	-49.8	-278.4	0.0	-20.0	-277.6
	平均	4 052.0	+197.6	+33.7	-52.0	+20.4	-118.4	-48.5	-223.2	-24.0	-22.0	-236.4
I J K L 平均			+177.3	+12.3	-13.8	+44.2	-119.5	-32.2	-239.5	+28.0	-8.0	-151.2
			+274.2	+73.4	-63.3	+71.9	-111.1	-23.5	-196.8	-45.8	+57.8	+36.8
			+171.2	+130.4	-32.4	+104.7	-129.5	-25.1	-184.2	+60.0	+40.0	+135.1
			+123.4	+64.0	-8.9	+68.3	-149.0	-13.8	-185.0	+80.5	+67.5	+47.0
	平均		+186.5	+70.0	-29.6	+72.3	-127.3	-23.7	-201.4	+30.7	+39.3	+16.9

表1 (续2)

剖面 (位置)	花 杆 No.	高 度 (m)	纯 积 消 量 (mm)									合 计
			1991.8.30 1991.5.2	1991.5.2 -5.14	1991.5.14 -5.28	1991.5.28 -6.14	1991.6.14 -6.29	1991.6.29 -7.15	1991.7.15 -7.28	1991.7.28 -8.14	1991.8.14 -8.28	
A			-173.6	-44.4	-62.5	-101.5	-275.0	-391.0	536.0	-378.0	-194.0	-2156.0
B	1	3864.9	-836.0	-54.1	-115.8	-105.1	-347.0	-397.0	-557.0	-414.0	-257.0	-3083.0
	2	3862.8	-793.0	-37.1	-134.3	-99.1	-403.5	-383.0	-481.0	-396.0	-230.0	-2957.0
	3	3859.9	-545.0	-108.3	-122.1	-81.6	-385.0	-286.0	-533.0	-486.0	-257.0	-2804.0
	平均		-586.9	-61.0	-108.7	-98.8	-352.6	-364.2	-526.8	-418.5	-234.5	-2750.0
C	1	3579.0	-283.9	-76.1	-107.2	+23.5	-348.3	-311.0	-400.0	-351.0	-187.0	-1991.0
	2	3885.0	-359.3	-36.7	-95.1	+46.6	-347.3	-375.0	-300.0	-369.0	-123.0	-1958.8
	3	3872.9	-516.6	-36.1	-165.7	-11.3	-431.4	-416.0	-574.0	-360.0	-186.0	-2896.1
	平均	3579.3	-386.6	-40.6	-122.7	+19.6	-375.7	-367.3	-424.7	-360.0	-143.3	-2215.3
D	1	3950.9	-362.8	+28.8	-111.5	+69.9	-281.4	-294.5	-488.5	-247.5	-78.5	-1766.0
	2	3950.1	-497.2	+18.7	-131.0	+2.4	-369.9	-336.0	-510.0	-297.0	-109.0	-2224.0
	3	3947.0	-562.0	+16.6	-129.6	-12.3	-336.7	-316.0	-505.0	-293.0	-142.5	-2280.5
	4	3951.4	-89.4	+68.8	-233.7	+36.2	-205.0	-265.0	-446.0	-252.0	-55.0	-1441.1
	5	3992.5	-762.2	-40.8	-218.5	-42.5	-304.0	-312.5	-461.5	-270.0	-196.0	-2608.0
	平均	3958.4	-455.1	+18.0	-164.9	+10.7	-297.6	-304.8	-482.2	-271.9	-116.2	-2064.0
E	1	3985.5	-149.6	-40.8	-54.8	+97.7	-172.5	-144.5	-426.5	-238.5	-41.5	-1171.0
	2	3896.1	-229.6	-34.8	-49.0	+97.8	-153.6	-189.5	-408.5	-153.0	-95.0	-1215.2
	3	3990.7	-103.6	-49.1	-46.5	+73.8	-117.6	-233.0	-424.0	-171.0	-89.0	-1160.0
	4	3995.8	-93.2	-45.2	-46.6	+182.9	-117.4	-252.5	-411.0	-112.5	-41.5	-937.0
	5	4007.1	-86.8	-54.6	-44.6	+64.9	-137.4	-335.0	-442.0	-292.5	-57.6	-1385.5
	平均	3993.2	-132.6	-44.9	-48.3	+103.4	-139.7	-230.9	-422.4	-193.5	-64.9	-1173.7
F	1	4028.1	+116.0	-21.2	+0.5	+64.0	-92.4	-105.2	-348.6	-144.0	-10.0	-540.9
	2	4024.4	-10.0	-14.3	+13.4	+58.0	-152.4	-125.4	-390.4	-189.0	-55.0	-866.1
	3	4025.9	+180.0	+3.8	-20.9	+30.1	-84.0	-62.1	-200.9	-157.5	-77.5	-379.0
	4	4029.9	+166.0	-9.3	-20.6	+22.3	-87.3	-63.8	-231.3	-135.0	-33.0	-402.0

表1 (续3)

剖面 (位置)	花杆 No.	高度 (m)	纯			积			消			量			合 计
			积			消			量			(mm)			
			1991.5.2 -5.14	1991.5.28 -6.14	1991.6.14 -6.29	1991.6.29 -7.15	1991.7.15 -7.28	1991.7.28 -8.14	1991.8.14 -8.18						
F	5 平均	4 032.8 4 027.8	+105.0 +111.4	+47.2 +1.2	-73.7 -20.3	+38.7 +42.6	-103.6 -103.9	-127.0 -96.7	-273.7 -289.0	-111.0 -159.3	-39.0 -20.1	-578.1 -553.0			
G	+1	4 053.1	-48.6	-32.4	+14.4	+42.6	-151.8	-121.8	-242.5	-238.5	-75.0	-853.6			
	+2	4 048.2	-240.0	-27.6	+14.0	+67.1	-192.5	-135.4	-232.0	-465.5	-59.5	-1 072.0			
	1	4 069.1	+95.8	+34.8	-27.5	+131.4	-141.0	-83.0	-252.5	-198.0	-71.0	-521.0			
	2	4 062.3	-115.2	0.0	-32.3	+68.8	-171.7	-128.1	-359.5	-157.5	-74.5	-970.0			
	3	4 055.5	+14.5	-10.9	+45.3	+83.1	-191.0	-141.0	-178.0	-90.0	-46.0	-532.0			
	4		-101.4	+106.8	-107.6	+133.9	-109.2	-98.0	-187.5	-141.0	+26.0	-530.0			
H	5		+145.6	+58.8	-99.2	+153.8	-185.0	-29.7	-115.5	-11.5	-55.5	-27.2			
	平均		-37.1	+18.5	-27.6	+94.4	-163.2	-105.3	-223.6	-157.4	-42.4	-643.7			
	1		+16.2	-1.6	-47.4	+130.2	-142.8	-113.2	-210.5	-89.0	-35.0	-503.0			
	2	4 079.0	+138.6	-20.9	+19.6	+79.8	-93.2	-121.2	-210.0	-94.5	-25.5	-327.3			
	3	4 075.5	+30.0	-37.1	+20.8	+27.3	-143.0	-59.5	-279.5	-121.5	-57.5	-620.0			
	4	4 068.9	+188.4	-7.5	-10.3	+154.3	-153.2	-137.2	-132.5	-81.0	-30.0	-214.0			
L	5		+184.8	+16.5	-89.6	+85.2	-120.9	-24.2	-107.0	+22.0	+30.0	-3.2			
	平均		+107.6	-10.1	-17.4	+95.4	-131.6	-91.1	-187.9	-74.8	-23.6	-333.5			
	L ₁		+204.3	-20.0	-24.8	+41.8	-127.0	+11.5	-164.5	+90.0	+30.0	+41.3			
	L ₂		+199.0	+0.2	-35.5	+51.8	-116.0	+21.0	-234.5	+100.0	+20.0	+6.0			
	L ₃		+203.3	+10.1	-45.4	-26.1	-84.5	+21.0	-179.2	+108.0	+36.0	+43.2			
	L ₄		+128.5	-13.1	-1.4	+99.9	-84.8	+34.9	-116.4	+84.0	+40.0	+171.6			
L ₅	L ₅		+83.4	+17.8	+9.1	+39.8	-80.0	+68.1	-73.1	+124.0	+76.0	+265.1			
	L ₆		+30.4	+9.2	+52.0	+66.0	-68.5	+60.7	-100.2	+48.0	+44.0	+141.6			
	平均		+141.5	+0.7	-7.7	+45.5	-93.5	+36.2	-144.7	+92.3	+41.0	+111.5			

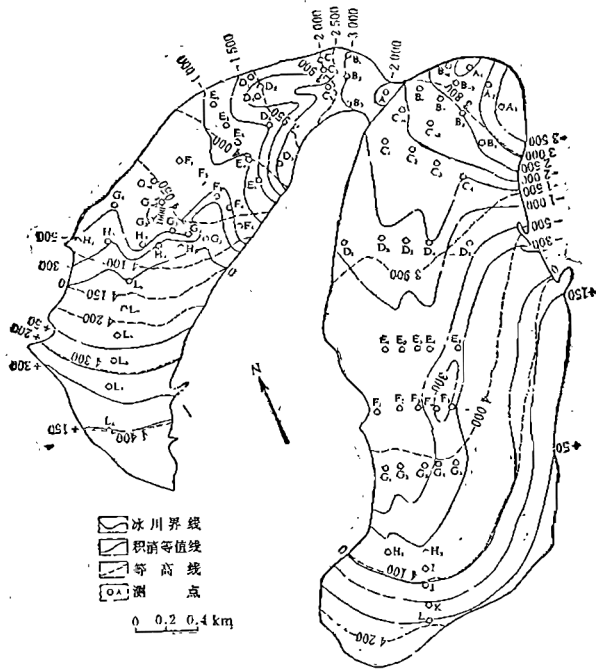


图1 乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡等值线图

表2 乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡观测计算结果

冰川	雪线高度 (m)	纯积累			纯消融			纯平衡	
		积累区面积 (km ²)	纯积累深度 (mm)	纯积累 (10 ⁴ m ³)	消融区面积 (km ²)	纯消融深度 (mm)	纯消融 (10 ⁴ m ³)	总量 (10 ⁴ m ³)	平衡量 (mm)
东支	4110	0.290	79.0	2.29	0.873	1004.6	87.70	-85.4	-734.8
西支	4160	0.279	114.7	3.20	0.398	1198.5	47.70	-44.5	-657.3
合计	4130	0.569	96.5	5.49	1.271	1065.3	135.40	-129.9	-706.0

的年份里是最小的一年 (图2, 表3)。

近年来我们又用等高线区间法, 计算瞬时物质平衡和年平衡量。各高度区间 (间隔为50m) 的纯平衡值为该区间所有测点的平均值, 累积得到冰川的瞬时物质平衡或年平衡量。由于测点在各区间的分布不均匀, 从而影响计算精度。尽管如此, 其计算结果与

表3 1号冰川冬平衡观测计算结果 (1990.8.31—1991.5.1)

冰川	雪线高度 (m)	纯积累			纯消融			纯平衡	
		积累区面积 (km ²)	纯积累深度 (mm)	纯积累 (10 ⁴ m ³)	消融区面积 (km ²)	纯消融深度 (mm)	纯消融 (10 ⁴ m ³)	总量 (10 ⁴ m ³)	平衡值 (mm)
东支	3895	0.8786	120.6	10.6	0.2844	256.7	7.3	+3.3	+28.4
西支	4025	0.4630	123.1	5.7	0.2140	373.8	8.0	-2.3	-34.0
合计	3960	1.3416	121.5	16.3	0.4984	307.0	15.3	+1.0	+5.4

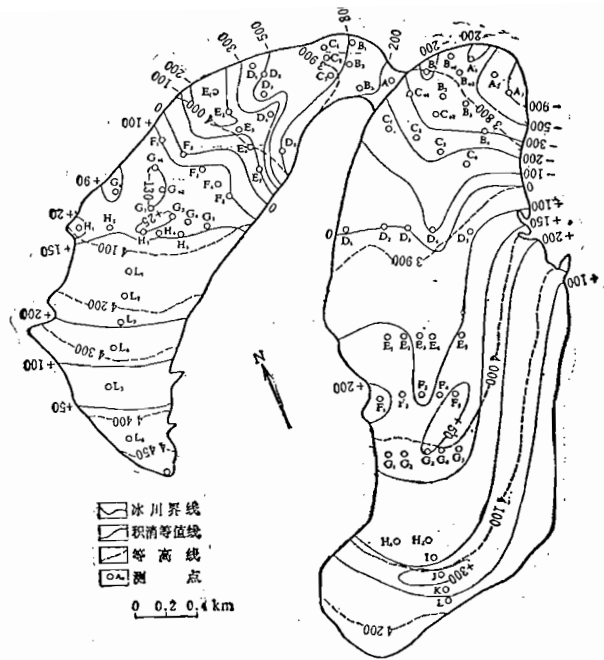


图2 1号冰川冬平衡等值线图 (1990.8.31—1991.5.1)

等值线法结果相近似。表4和表5为分析物质平衡间年内变化过程和随其高度的变化提供了最基本的资料。

表4 1号冰川西支各高度带物质平衡 (1990.8.30—1991.8.28) 过程

高度区间 (m)	面积 (km ²)	时 间								
		5.2	5.14	5.28	6.14	6.29	7.15	7.28	8.14	8.28
3 810—3 850	0.018	-353.9	-435.7	-528.0	-619.5	-949.5	-1286.5	-1822.5	-2254.5	-2480.0
3 850—3 900	0.024	-555.6	-613.7	-737.1	-774.9	-1152.0	-1512.8	-1987.7	-2383.5	-2581.7
3 900—3 950	0.047	-378.4	-345.6	-497.1	-473.1	-769.0	-1062.9	-1559.3	-1831.7	-1927.9
3 950—4 000	0.073	-237.9	-261.6	-369.8	-295.5	-473.8	-706.6	-1136.2	-1335.7	-1422.1
4 000—4 050	0.107	+22.6	+9.1	-5.6	+42.9	-82.3	-216.8	-511.9	-711.1	-759.5
4 050—4 100	0.116	+29.7	+39.8	+13.1	+112.6	-37.2	-134.6	-340.2	-452.7	-483.6
4 100—4 150	0.055	+204.3	+184.3	+151.5	+201.3	+74.3	+85.8	-78.7	+11.3	+41.3
4 150—4 200	0.044	+199.0	+199.2	+163.7	+215.5	+99.6	+120.5	-114.0	-14.0	+6.0
4 200—4 250	0.037	+203.9	+214.0	+168.0	+141.9	+57.4	+78.4	-100.8	+7.2	+43.2
4 250—4 300	0.037	+128.5	+115.4	+114.0	+213.9	+129.4	+164.0	+47.6	+131.6	+171.6
4 300—4 350	0.041	+83.4	+101.2	+110.3	+150.1	+70.1	+138.2	+65.1	+189.1	+265.1
4 350—4 400	0.040	+30.4	+39.6	+91.6	+157.6	+89.1	+149.8	+49.6	+97.6	+141.6
>4 400	0.038	+30.4	+39.6	+91.6	+157.6	+89.1	+149.8	+49.6	+97.6	+141.9
3 810—4 486	0.677	-16.1	-207.7	-56.2	-5.5	-152.7	-241.9	-495.9	-575.3	-599.7

表5 1号冰川东支各高度带物质平衡(1990.8.30—1991.8.29)过程

高度区间 (m)	时 间									
	5.3	5.15	5.29	6.15	6.30	7.15	7.29	8.15	8.29	
3 740—3 750	0.004	-546.0	-741.8	-886.3	-1 317.0	-1 680.8	-2 241.0	-2 655.0	-2 880.0	
3 750—3 800	0.055	-289.6	-401.3	-494.2	-915.0	-1 266.4	-1 894.5	-2 287.5	-2 574.2	
3 800—3 850	0.097	-220.6	-278.4	-277.4	-573.9	-890.6	-1 452.9	-1 765.4	-1 949.4	
3 850—3 900	0.155	-19.4	-74.5	+56.3	+18.0	-402.4	-864.0	-1 112.4	-1 185.0	
3 900—3 950	0.194	+150.1	+95.3	+133.6	+205.3	-91.0	-400.5	-558.2	-611.7	
3 950—4 000	0.138	+108.9	+80.0	+118.4	+185.7	-16.5	-302.1	-432.2	-444.0	
4 000—4 050	0.147	+114.2	+105.1	+160.5	-10.3	-70.8	-385.4	-505.1	-545.8	
4 050—4 100	0.115	+211.7	+250.0	+204.7	+243.9	+88.7	-132.0	-148.5	-146.8	
4 100—4 150	0.112	+227.7	+324.6	+276.8	+365.1	+220.1	+29.6	+36.7	+86.0	
>4 150	0.146	+123.4	+187.4	+178.5	+246.8	+87.8	+84.0	-20.5	+47.0	
4 740—4 269	1.163	+74.2	+65.4	+68.8	+123.8	-66.8	-179.2	-507.9	-676.3	

2 年物质平衡量的比较

众所周知,冰川积、消和零平衡线的变化完全受气温、降水及年内过程的影响。表6列

表6 1号冰川水文点气温、降水对冰川积雪线的影响

年 度	气 温 t ($^{\circ}\text{C}$)	降 水 p (mm)	平 均								
			5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合 计	零平衡线 高 度 (m)	纯平衡值 (mm)	
1989	-1.6	46.5	0.4	3.6	3.6	3.3	-2.0	+3.7	0.74	3 976	+108
1990	-0.6	35.3	135.4	121.1	79.3	50.5	432.8	86.6	1.74	3 959	+52
1991	-2.0	44.6	73.8	117.7	51.0	24.4	349.7	69.9	2.04	4 130	-708
				4.6	3.6	0.4	+10.2	82.4			
				146.7	119.4	27.6	412.1				

出了1988/1989, 1989/1990, 1990/1991 3个年度5—9月的气温和相应月份的降水量、零平衡线高度和纯平衡值, 而比较气温与降水对物质平衡和零平衡线高度的影响程度。

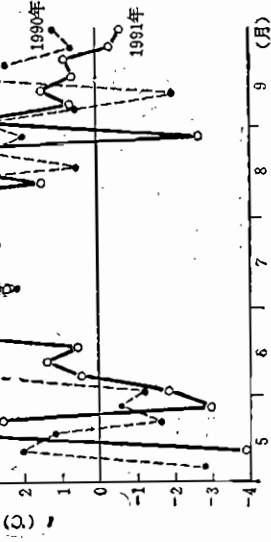


图3 1号冰川水文点候气温过程线(1990.5—9, 1991.5—9)

从表6中可以看出, 1990/1991年夏季6, 7, 8月气温均高出前2个物质平衡年度, 相应月份的候气温过程线(图3)也表明, 6—8月的高温持续时间长, 出现了连续的峰值, 从而导致1990/1991年物质平衡亏损量大, 零平衡线高度升高, 是80年代以来物质平衡负值最大、零平衡线高度最高的一年。

表 7 和表 8 是 1989, 1990, 1991 年物质平衡、积消面积以及零平衡线等指标的比较。

表 7 1 号冰川物质平衡结果对比

年 度	纯 消 融 (10^4m^3)	纯积累 (10^4m^3)	消融区 季节积雪 (10^4m^3)	积累区 季节积雪 (10^4m^3)	总积累 (10^4m^3)	总消融 (10^4m^3)	物质平衡差额	
							(10^4m^3)	(mm)
1988—1989	30.7577	50.2471	40.0382	36.3188	126.6041	107.1147	19.4894	106
1989—1990	44.0174	54.4475	37.6174	43.9448	135.5846	126.0147	9.5699	52
1990—1991	135.4000	5.4000	87.5411	43.0579	136.0890	265.9990	-129.9000	-706

表 8 1 号冰川积、消面积与零平衡线之比

年 度	零平衡线变化对比值			积、消面积变化对比值		
	东 支 (m)	西 支 (m)	平 均 (m)	积累区面积 (km^2)	消融区面积 (km^2)	冰川系数
1989	3 916	4 036	3 976	1.221	0.619	1.97
1990	3 908	4 010	3 959	1.296	0.544	2.38
1991	4 110	4 150	4 130	0.569	1.271	0.45

1990/1991年5—9月的降水量较1989/1990年度多, 接近多年平均状态, 但由于夏季月份气温高, 致使部分降水以液态形式降到冰川面上, 不仅减少了雪面的反射率, 而且也加大了雨水的冲刷作用, 有利于冰川冰的消融。1991年7—8月在冰舌区冰面河道两侧所形成的一系列蚂蚁堆是多年来未见到的现象, 从另一个侧面反映了1991年冰面消融较强烈。

从年内物质平衡形成过程及其组成分析, 1990/1991年冬季雪的积累量或冬平衡值都很小, 在冰舌区出现较强的负平衡值, 甚至整个冰川(西支)出现负平衡, 都是历年来没有过的。导致冬季积累量小的原因是, 1990年9月气温较高, 1号冰川水文点9月气温高达 3°C 之多, 冰舌区仍在继续消融, 消融冰川厚度达50—60cm。另外1990年9月—1991年4月底之间, 冬季降雪量很小, 粒雪盆仅有30—40cm的积雪, 而历年均为150cm左右。再者, 以前在粒雪盆后壁所看到的因雪层厚度大而生成雪流或雪崩现象在1991年冬季未曾见到。该年的深霜层几乎没有。

综上所述, 1990/1991年度物质平衡从冬季积累小和夏季气温高而导致消融增大的两个方面, 使其该年度物质平衡负值增大, 零平衡线升高, 是80年代以来负物质平衡最大的一年, 仅次于有观测资料以来的1972/1973。

3 结 论

1990/1991年1号冰川物质平衡观测可以得出如下结论:

(1) 1990/1991年物质平衡为负值, 总量为 $-129.9 \times 10^4 \text{m}^3$, 单位物质平衡值为 -706mm , 是80年代以来负物质平衡最大的一年。

(2) 1990/1991物质平衡年度1, 号冰川东、西支零平衡线高度分别为4110m和4150m, 1号冰川平均为4130m, 也是80年代以来最高的一年。

(3) 造成1990/1991年物质平衡负值增大的主要原因是冬季积累量小, 夏季气温高而导致的冰川消融增大。

乌鲁木齐河源气候和冰雪融水特性

杨新元

冰雪融水是乌鲁木齐河重要的水源。根据冰川目录统计,在出山口英雄桥以上共有冰川 37.95km^2 。笔者采用近10年资料计算得出山口以上冰川多年平均融水径流量为 $1.825 \times 10^4 \text{m}^3$,冰川融水可占河流径流总量的7.8%。为进一步对乌鲁木齐河源冰川径流及气候进行分析,本文以1991年资料为例,寻找它们之间的内在联系。

1 水文点布设

在乌鲁木齐河源冰川作用区共设有3个基本水文点进行水文、气象常规观测,在后峡口基本营地设有气象场,观测项目齐全。

1号冰川水文点设在离1号冰川冰舌约300m处河道上,海拔为3693m,控制面积为 3.34km^2 (其中冰川为 1.84km^2 ,非冰川为 1.50km^2),测流断面为矩形($1\text{m} \times 1\text{m}$),整个断面由浆砌块石而成,气象场设在左岸山坡上。

空冰斗水文点设在与1号冰川相邻的空冰斗的斗口处,海拔为3804m,控制面积为 1.68km^2 ,测流断面为矩形($1\text{m} \times 1.5\text{m}$),由浆砌块石而成,气象场设在右岸山坡上。该水文点主要是观测积雪径流。

总控制水文点设在大西沟与罗布道沟汇合处,海拔为3404m。该水文点主要观测研究区7条冰川及冰川周围山坡积雪降水径流。断面由浆砌块石而成,在断面上设有工作桥,便于测流,气象场设在左岸山坡上。

所有水文点都装有水尺和自记水位计,测流均采用流速仪。

2 气候特征

根据1991年观测资料,1—5月上旬为寒冷天气,气温均在摄氏零下,5月中旬出现了短时期的较高温度,但仅维持了10多天,气温的稳定上升是从6月上旬开始,气温最高发生在7月中下旬,从8月下旬开始逐渐转为负值。

从气温的日变化过程看,极端最高值发生在14时左右,极端最低值发生在4—8时。气温的日变化高低之差较大,一般都在 10°C 左右。

在冰川作用区,冬季降水甚微,以1号冰川水文点1991年观测值为例,5—8月降水占全年降水的80%,而其它月份仅占20%,降水高大的月份为7月,其次是8月。该地区降水冬季以雪为主,夏季(5—8月)即以雨夹雪为主,常有冰雹和小暴雨出现,降水常出现在16时以后,尤以夜间最多。该区湿度以6—8时最大,12—14时最小,

5—8月平均湿度在65%左右。

从较长的资料分析，乌鲁木齐河上游，80年代初，气温稍偏低，降水较多。进入年代中期，属于干燥气候。近几年，降水有所增加，夏季气温偏高，属于温湿气候（1）。

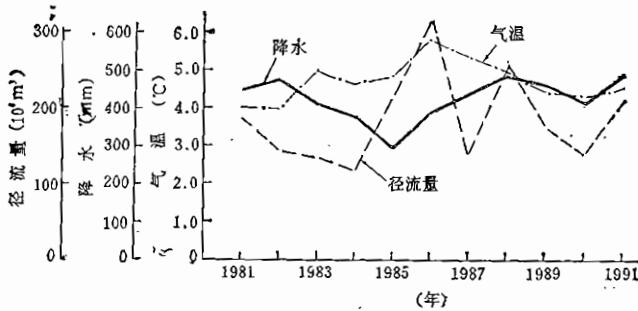


图1 历年大西沟站年降水、7—8月平均气温和1号冰川径流过程线

3 径流的变化过程

3.1 1号冰川径流

一般说来，冰川区冬季积雪在5月份开始融化，根据1991年观测，积雪的消融及河冰解冻从5月10日左右开始，由于气温突然升高，河道一度出现小洪峰，这种小洪峰过程一直维持10天左右。5月下旬气温下降到负值时，河道又重新冻结。从6月初开始，气温才逐渐而且较稳定的回升，河川径流也相应增大，这时径流完全由冰川和附近高山积雪的融水组成。1号冰川周围高山冬季积雪一般在5月底可全部融完，而冰川中下部的冬季积雪在6月初也可融完。7—8月份为冰川最强烈的消融期，也是乌鲁木齐河上游的雨季，这时径流组成一部分为降水，另一部分为冰川冰（老冰）。7—8月径流量占全年总径流量的85%。根据水量平衡估算，1991年1号冰川水文断面总径流量中，冰川冰（老冰）融水为总径流中的39%，冰川上降水（积雪）径流占32%，冰川周围裸露山坡降水（积雪）径流占29%。

1号冰川径流深度与冰川消融深度有较好的相互关系，可用下式表示

$$y = 0.7098h - 106.94 \quad (r = 0.806)$$

式中： y 为冰川径流深度（mm）； h 为冰川消融深度（mm）。

通过多年资料分析，日平均气温与日平均流量关系不甚密切，这主要是气温升高或降低后，冰雪融水还存在一个汇流过程才能进入河道，同时气温本身也存在一个积温过程，因而径流量往往与候或旬气温关系较好。

1号冰川1991年气温、降水、流量的相应关系及过程可从图2看出。

应该说，1991年气温接近多年平均值，而降水为较多的年份。根据1980年以后的资料分析，1号冰川水文点1991年径流频率为31%，属于丰水年。

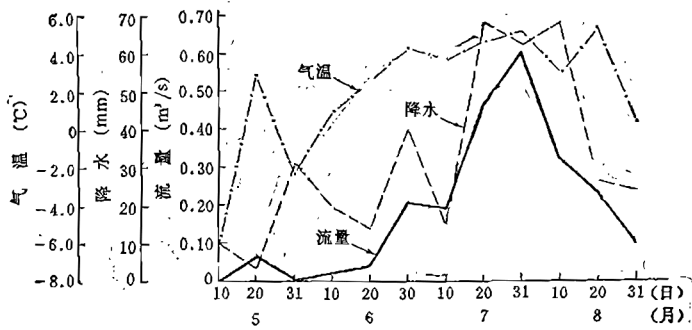


图2 1991年1号冰川气温、降水和流量过程线

3.2 空冰斗积雪径流

空冰斗的径流来源主要依赖于冰斗内冬季积雪和夏季降水，即取决于积雪的厚度和降水量的大小。与此同时，气温的高低也影响径流的年内分配过程。冰斗上积雪在5月初出现微弱融水，但一般不产生径流。5月中旬由于气温增高，河道才出现小的洪峰过程，到6月份以后，随着降水季节的到来以及气温的稳定上升，水文断面出现较大的融水过程，但水位过程线仍较平缓。空冰斗的积雪消融一般在9月初停止。

空冰斗径流、气温、降水关系可用表1中资料进行比较。

表1 1991年空冰斗气温、降水、流量一览表

月份	5	6	7	8	9
气温(℃)	-2.9	1.7	3.9	1.8	-0.1
降水量(mm)	40.0	80.8	154.7	115.2	23.6
平均流量(m ³ /s)	0.031	0.067	0.092	0.054	0.011

3.3 总控制水文点径流特性

总控制水文断面主要控制上游5.60km²冰川融水径流和23.3km²的非冰川区降水(积雪)径流。根据资料推算，1991年冰川径流占总径流的29%。该水文点断面流量过程与冰川径流及降水量都呈较好相应关系(图3)，这也是受冰川影响的河流径流变化的一个基本特性。

在没有降水情况下，如果气温较高，由于冰川消融强烈，该水文断面将产生较大洪峰；若降水较大时，即使冰川消融较弱，水文断面也将出现较大洪峰。只有当气温较高，同时出现暴雨或大的阵雨，这时河道才出现最大的洪峰流量。

总控制水文断面由于控制面积较1号冰川水文点和空冰斗水文点大，所以水位较这两个水文点的水位平缓，一般涨水在15时左右，18—20时为最高，8时为最低水位。

从表2看出径流和降水的年内变化以及两者的相互关系，同时也看出，6—8月的径流量可占消融期总量的92%。

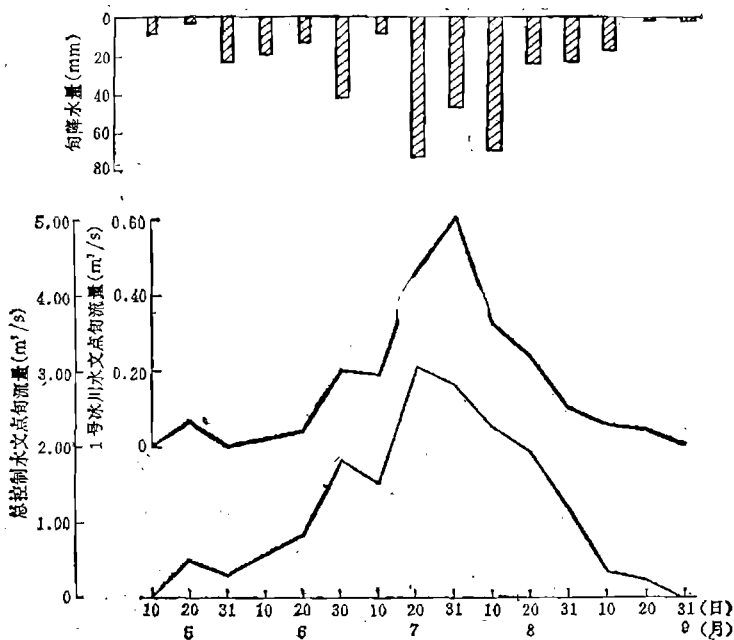


图3 总控制水文点和1号冰川水文点流量降水量过程线

表2 总控制水文断面流量与1号冰川流量、降水量相应关系表

月 份	5	6	7	8	9
降水量(mm)	34.0	75.0	127.0	117.5	22.1
1号冰川水文点流量(m ³ /s)	0.020	0.087	0.424	0.215	0.035
总控制水文点流量(m ³ /s)	0.268	1.07	2.48	1.78	0.209

4 径流的年际变化 (Cv值分析)

冰川径流主要决定于气温和降水、湿度等诸因素，由于冰川径流影响因素较多（表3），而且不同年份的日变化及月变化也相差较大，所以乌鲁木齐河上游的冰雪径流年际变化较大，变差系数Cv值为0.33（1号冰川水文点）。在出山口英雄桥水文断面，它的径流来源主要为降水，冰川对它的补给量仅占7.8%，所以气温、湿度对它的影响

表3 1号冰川水文点历年气温、降水、湿度、径流一览表

年 份	1986	1987	1988	1989	1990	1991
7月份气温(℃)	4.5	4.5	4.9	3.6	3.3	4.6
8月份气温(℃)	3.8	4.4	3.3	3.3	3.4	2.6
年降水量(mm)	389	400	464	461	409	482
消融期平均湿度(%)	68	65	65	67	62	65
年径流量(10 ⁴ m ³)	319	137	253	176	141	208

甚微，同时，在乌鲁木齐河上游大的暴雨较少，这就使得英雄桥的径流年际变化相应要小，变差系数 C_v 值为0.13。

综上所述，可以得到：

(1) 1991年属于降水较多，径流较大的丰水年份。

(2) 冰雪融水径流大小不完全在于消融期月平均气温的高低，而在于7—8月某些时段所出现的较高温度，从而导致形成数次大的洪峰过程。

(3) 根据冰川径流量的测量，1号冰川仍在减薄。

附表：表1 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1991年逐日平均流量表；表2 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1991年逐日平均流量表；表3 乌鲁木齐河源总控制水文点1991年逐日平均流量表；表4 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1991年逐日平均气温表；表5 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1991年逐日平均气温表；表6 乌鲁木齐河源总控制水文点1991年逐日平均气温表；表7 天山冰川观测试验站基本营地1991年逐日平均气温表；表8 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1991年逐日降水量表；表9 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1991年逐日降水量表；表10 乌鲁木齐河源总控制水文点1991年逐日降水量表；表11 天山冰川观测试验站基本营地1991年逐日降水量表；表12 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1991年逐日平均相对湿度表；表13 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1991年逐日平均相对湿度表；表14 乌鲁木齐河源总控制水文点1991年逐日平均相对湿度表；表15 天山冰川观测试验站基本营地1991年逐日平均相对湿度表。

附表 15 乌鲁木齐河源 1 号冰川水文点 1991 年逐日平均流量表

集水面积: 3.34km²; 流量 m³/s

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.011	0.087	0.577	0.057			
2					0	0.011	0.067	0.411	0.050			
3					0	0.011	0.027	0.577	0.044			
4					0	0.011	0.138	0.316	0.037			
5					0	0.011	0.222	0.284	0.076			
6					0	0.027	0.222	0.411	0.057			
7					0	0.027	0.253	0.284	0.050			
8					0	0.027	0.192	0.138	0.070			
9					0	0.027	0.378	0.112	0.070			
10					0	0.027	0.316	0.112	0.070			
旬总数					0	0.190	1.899	3.222	0.581			
旬平均					0	0.019	0.190	0.322	0.058			
11					0.011	0.027	0.347	0.087	0.112			
12					0.046	0.011	0.444	0.112	0.087			
13					0.046	0.011	0.284	0.163	0.052			
14					0.046	0.011	0.192	0.192	0.027			
15					0.064	0.027	0.316	0.316	0.002			
16					0.064	0.027	0.477	0.284	0.002			
17					0.046	0.064	0.543	0.192	0.040			
18					0.087	0.027	0.680	0.284	0.060			
19					0.163	0.064	0.680	0.444	0.040			
20					0.046	0.112	0.680	0.253	0.020			
旬总数					0.619	0.381	4.643	2.327	0.442			
旬平均					0.062	0.038	0.464	0.233	0.044			
21					0	0.192	0.444	0.112	0.010			
22					0	0.192	0.378	0.112	0.005			
23					0	0.192	0.477	0.087	0			
24					0	0.253	0.611	0.064				
25					0	0.192	0.820	0.112				
26					0	0.192	0.577	0.112				
27					0	0.284	0.680	0.112				
28					0	0.253	0.856	0.112				
29					0	0.253	0.577	0.138				
30					0	0.046	0.646	0.087				
31					0		0.543	0.064				
旬总数					0	2.049	6.609	1.112	0.015			
旬平均					0	0.205	0.601	0.101	0.002			
月 统 计	总数				0.619	2.620	13.151	6.661	1.038			
	平均				0.020	0.087	0.424	0.215	0.035			
	最大				0.222	0.967	1.88	1.74	0.112			
	日期				19	27	20	1	11			
	最小				0	0.011	0.027	0.064	0			
日期				1—10	1—5	3	24	23				
					21—31	12—14						
年统计	年总数 24.089				最大流量 1.88 7月20日			最小流量 0 5月 ^{1—10} 日 _{21—31}			平均流量 0.156	
	径流量 208.1 × 10 ⁴ m ³				径流模数 46.7 L/s·km ²			径流深度 623mm				

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表2 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1991年逐日平均流量表

集水面积: 1.68km², 流量: m³/s

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.034	0.104	0.047	0.028			
2					0	0.034	0.094	0.083	0.026			
3					0	0.047	0.073	0.073	0.023			
4					0	0.047	0.047	0.047	0.021			
5					0	0.047	0.047	0.047	0.019			
6					0	0.047	0.055	0.034	0.017			
7					0	0.047	0.063	0.063	0.033			
8					0	0.034	0.073	0.073	0.062			
9					0	0.083	0.104	0.047	0.031			
10					0.047	0.063	0.126	0.055	0.030			
旬总数					0.047	0.483	0.786	0.569	0.260			
旬平均					0.005	0.048	0.079	0.057	0.026			
11					0.083	0.047	0.139	0.034	0.029			
12					0.063	0.047	0.126	0.073	0.028			
13					0.063	0.034	0.238	0.063	0			
14					0.063	0.023	0.178	0.047				
15					0.104	0.063	0.210	0.034				
16					0.126	0.063	0.165	0.047				
17					0.063	0.063	0.083	0.034				
18					0.034	0.083	0.063	0.034				
19					0.064	0.063	0.083	0.034				
20					0.023	0.073	0.073	0.034				
旬总数					0.656	0.599	1.358	0.434	0.057			
旬平均					0.066	0.056	0.136	0.043	0.006			
21					0.013	0.073	0.047	0.104				
22					0.013	0.094	0.094	0.104				
23					0	0.094	0.083	0.063				
24					0.023	0.104	0.083	0.083				
25					0.023	0.115	0.063	0.034				
26					0.023	0.126	0.041	0.047				
27					0.023	0.083	0.047	0.047				
28					0.034	0.083	0.104	0.063				
29					0.023	0.126	0.034	0.047				
30					0.034	0.083	0.063	0.034				
31		—		—	0.034	—	0.063	0.034	—		—	
旬总数					0.243	0.981	0.722	0.660				
旬平均					0.022	0.098	0.066	0.060				
月 统 计	总数				0.946	2.023	2.866	1.663	0.317			
	平均				0.031	0.067	0.092	0.054	0.011			
	最大				0.178	0.178	0.328	0.126	0.033			
	日期				16	25	15	12	7			
	最小				0	0.023	0.023	0.023	0			
日期				1—9 22	14	29	18	13				
年统计	年总数7.815			最大流量0.328 7月15日			最小流量0.05月 ¹⁻⁹ ₂₂ 日			平均流量0.51		
	径流量67.5×10 ⁴ m ³				径流模数30.4L/s·km ²				径流深度402mm			

制表: 杨新元

校核: 刘湖海

附表3 乌鲁木齐河源总控制水文点1997年逐日平均流量表

集水面积: 2.98km²; 流量: m³/s

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.270	2.27	2.52	0.342			
2					0	0.340	1.77	3.35	0.300			
3					0	0.160	1.29	2.65	0.264			
4					0	0.340	0.750	1.89	0.222			
5					0	0.340	0.848	1.89	0.456			
6					0	0.340	1.17	2.39	0.842			
7					0	0.580	1.41	2.52	0.300			
8					0	1.05	1.53	2.14	0.420			
9					0	1.17	2.14	1.65	0.420			
10					0	0.950	2.14	1.29	0.420			
旬总数					0	5.54	15.318	22.49	3.486			
旬平均					0	0.554	1.53	2.25	0.349			
11					0.270	0.580	2.14	1.65	0.672			
12					0.410	0.750	3.15	2.02	0.522			
13					0.410	0.580	3.55	2.02	0.312			
14					0.410	0.410	2.90	2.14	0.162			
15					0.490	0.848	3.95	2.27	0.012			
16					0.490	0.848	3.81	2.02	0.012			
17					0.410	1.05	2.65	1.65	0.240			
18					0.580	1.05	2.65	1.77	0.360			
19					0.950	0.950	3.15	2.02	0.240			
20					0.490	1.17	2.52	2.02	0.120			
旬总数					4.910	8.236	3.047	19.58	2.652			
旬平均					0.491	0.824	3.65	1.96	0.265			
21					0.490	1.53	1.89	2.27	0.060			
22					0.270	1.77	2.90	1.29	0.030			
23					0.220	1.77	2.52	1.41	0.030			
24					0.220	1.89	2.65	1.05	0			
25					0.120	1.77	3.28	0.848				
26					0.080	2.14	2.65	0.780				
27					0.120	1.89	2.77	1.17				
28					0.410	1.77	3.81	1.41				
29					0.660	2.27	2.77	1.29				
30					0.410	1.53	3.02	0.950				
31					0.410	—	2.90	0.580	—			—
旬总数					3.410	18.83	31.16	13.018	0.120			
旬平均					0.310	1.83	2.83	1.18	0.012			
月 统计	总数				8.32	32.106	76.948	55.088	6.258			
	平均				0.268	1.07	2.48	1.78	0.209			
	最大				2.02	3.68	5.83	4.81	0.672			
	日期				19	26	15	6	11			
	最小				0	0.080	0.340	0.410	0			
	日期				1—10	3	5	31	24			
年统计	年总数178.72	最大流量5.83 7月15日					最小流量0 5月1—10日			平均流量1.16		
	径流量1544.1×10 ⁴ m ³				径流模数40.1 L/s·km ²				径流深度534mm			

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表4 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1991年逐日平均气温表

气温: °C

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-16.1	-14.9	-9.6	-3.6	-8.3	0.7	1.6	4.9	-0.5	-8.3	-3.0	-16.9	
2	-17.4	-14.0	-6.4	-3.7	-5.9	-0.1	3.1	3.6	0.5	-3.6	-5.8	-10.8	
3	-17.2	-17.2	-9.3	-4.5	-4.9	1.2	2.7	5.9	-0.9	-2.6	-6.1	-7.8	
4	-15.2	-17.4	-1.01	-4.1	-10.7	-0.2	0.3	4.0	1.4	-2.2	-10.7	-10.2	
5	-13.7	-17.6	-13.8	-2.3	-14.8	0.2	3.7	4.9	2.7	-4.7	-13.9	-12.6	
6	-10.2	-12.0	-17.4	-5.9	-10.3	2.3	5.0	4.3	-0.4	-3.2	-10.3	-11.4	
7	-13.0	-16.0	-15.9	-6.1	-5.9	3.1	4.5	4.0	1.9	-4.5	-10.4	-9.1	
8	-14.3	-19.5	-11.2	-6.8	-7.9	-1.0	4.5	0.5	1.8	-3.8	-10.6	-12.8	
9	-20.6	-18.8	-13.6	-10.1	-1.1	0.5	6.6	-1.6	1.8	-4.8	-10.6	-15.3	
10	-18.2	-14.0	-15.4	-11.0	0.8	1.7	5.8	-0.4	1.8	-6.9	-12.6	-14.6	
旬总数	-155.9	-161.4	-122.7	-58.1	-64.0	8.4	37.8	30.1	10.1	-44.6	-93.6	-121.5	
旬平均	-15.6	-16.1	-12.3	-5.8	-6.4	0.8	3.8	3.0	1.0	-4.5	-9.4	-12.2	
11	-16.4	-15.5	-13.8	-9.5	1.8	2.4	5.6	2.3	4.1	-4.4	-11.0	-11.6	
12	-19.1	-16.2	-9.2	-8.1	3.2	0.6	4.6	3.3	3.6	-6.8	-11.4	-10.1	
13	-17.9	-16.8	-14.4	-5.2	2.6	-1.4	0.6	6.0	-1.5	-8.4	-11.0	-9.1	
14	-12.8	-16.9	-14.6	-4.7	4.1	0.2	1.1	5.1	-1.2	-9.6	-10.6	-7.7	
15	-12.3	-19.5	-7.2	-7.4	4.6	0.9	2.6	6.5	-2.1	-5.2	-11.2	-9.8	
16	-10.1	-24.4	-5.0	-8.0	5.0	1.9	5.3	6.0	0.1	-5.2	-10.0	-5.4	
17	-13.6	-29.4	-2.6	-7.8	5.7	4.1	7.3	4.5	0.8	-5.0	-9.8	-6.6	
18	-14.8	-28.9	-4.8	-6.7	3.4	4.5	8.2	6.8	1.6	-5.7	-9.3	-10.9	
19	-17.2	-25.4	-8.8	-7.3	0.2	5.1	5.3	7.4	-1.0	-6.6	-9.7	-12.5	
20	-18.1	-22.7	-5.8	-7.0	-1.9	6.8	6.3	4.9	1.4	-11.1	-10.3	-11.5	
旬总数	-152.3	-215.7	-86.2	-71.7	28.7	25.1	46.9	52.8	5.8	-68.0	-105.3	-95.1	
旬平均	-15.2	-21.6	-8.6	-7.2	2.9	2.5	4.7	5.3	0.6	-6.8	-10.5	-9.5	
21	-23.3	-12.4	-7.3	-5.8	-0.8	6.8	3.0	0.1	0.6	-10.5	-11.3	-18.5	
22	-23.6	-8.0	-9.9	-2.4	-3.8	7.4	2.9	-0.7	-0.3	-8.4	-10.6	-16.2	
23	-22.1	-7.4	-11.6	-1.3	-4.9	7.7	3.5	-2.7	-1.1	-4.7	-10.7	-16.0	
24	-19.9	-8.0	-9.1	-2.9	-3.5	2.9	6.3	-5.1	-1.3	-3.8	-12.9	-19.3	
25	-15.7	-9.3	-12.6	-2.8	-2.7	0.8	6.5	-5.2	0.1	-3.2	-13.4	-19.7	
26	-17.7	-13.9	-15.9	-2.7	-2.1	1.5	6.3	-0.4	0.9	-1.8	-11.5	-18.0	
27	-6.3	-13.0	-15.1	-5.4	-1.2	3.4	6.3	3.9	1.6	-2.1	-13.2	-18.1	
28	-7.8	-12.1	-12.8	-2.3	-2.5	4.7	5.8	5.2	1.3	-2.8	-13.1	-18.7	
29	-12.3		-9.3	-3.7	-1.8	4.0	5.4	5.3	-2.6	-3.2	-14.4	-18.5	
30	-15.3		-4.3	-6.3	-1.2	3.9	5.4	3.1	-4.6	-3.5	-14.2	-13.9	
31	-15.1		-5.5		-2.3		5.2	1.2		-5.7		-16.1	
旬总数	-179.1	-84.1	-113.4	-35.6	-26.3	43.1	57.1	4.7	-5.4	-49.7	-125.3	-198.0	
旬平均	-16.3	-10.5	-10.3	-3.6	-2.4	4.3	5.2	0.4	-0.5	-4.5	-12.5	-18.0	
月 统 计	总数	-487.3	-461.2	-322.3	-165.4	-61.6	76.6	141.8	87.6	10.5	-162.6	-324.2	-414.6
	平均	-15.7	-16.5	-10.4	-5.5	-2.0	2.6	4.6	2.6	0.4	5.2	-10.8	-13.4
	最高	-1.5	-1.5	2.5	3.8	13.9	11.7	13.6	12.2	10.5	4.0	0.0	-2.2
	日期	27	22	17	28	18	13	13	15	12	25	1	16
	最低	-26.0	-33.4	-21.0	-17.2	-17.9	-4.6	-1.9	-9.9	-6.1	-15.0	-20.0	-23.7
日期	22	18	6	10	5	9	14	25	30	20	5	25	
年统计	最高气温	13.6	7月18日	最低气温	-33.4	2月18日	平均气温	-5.8					
附注													

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表5 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1991年逐日平均气温表

气温: °C

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-17.1	-14.2	-11.9	-6.4	-9.2	0.3	0.5	4.7	-1.3	-8.7	-4.8	-18.0	
2	-18.0	-15.3	-8.3	-5.8	-6.7	-0.7	2.4	2.5	-0.2	-3.2	-5.5	-11.1	
3	-19.0	-17.7	-11.5	-6.6	-6.8	0.2	1.1	4.8	-1.3	-2.0	-5.5	-8.1	
4	-16.7	-19.0	-11.6	-6.6	-12.5	-0.7	-0.5	3.4	0.5	-1.7	-11.7	-11.3	
5	-15.2	-18.4	-16.0	-5.1	-15.5	-0.4	1.2	4.3	2.2	-1.9	-15.0	-14.1	
6	-12.0	-13.6	-19.7	-7.7	-11.4	1.3	2.2	3.3	-1.3	-3.1	-10.0	-12.5	
7	-12.9	-16.7	-18.8	-7.8	-7.0	1.6	4.1	2.9	1.3	-4.5	-10.9	-11.0	
8	-15.1	-20.2	-12.6	-9.5	-3.8	-1.7	4.3	-0.4	0.6	-6.7	-10.4	-14.3	
9	-21.7	-19.9	-15.9	-12.0	-2.1	-1.1	6.8	-2.8	0.3	-6.0	-10.5	-15.5	
10	-18.8	-15.0	-18.1	-14.3	-0.1	0.8	5.7	-2.1	0.0	-7.6	-12.1	-15.6	
旬总数	-166.5	-170.0	-144.4	-81.8	-75.1	-0.4	27.6	20.6	0.8	-45.4	-96.4	-131.5	
旬平均	-16.7	-17.0	-14.4	-8.2	-7.5	0.0	2.8	2.1	0.1	-4.5	-9.6	-13.2	
11	-17.4	-15.8	-16.0	-11.8	0.8	1.6	5.3	0.1	2.5	-4.9	-10.6	-12.5	
12	-20.4	-17.0	-11.8	-10.8	1.7	0.0	3.9	2.4	3.0	-6.0	-10.0	-11.4	
13	-19.0	-17.4	-17.0	-7.7	1.8	-2.5	0.4	5.2	-3.1	-8.8	-10.1	-10.3	
14	-14.2	-18.0	-17.6	-6.7	3.1	-0.4	1.5	4.5	-2.7	-9.9	-10.2	-8.7	
15	-19.7	-19.0	-9.5	-10.0	3.7	-0.2	2.3	5.5	-1.0	-10.0	-10.9	-10.9	
16	-11.3	-25.2	-6.7	-9.6	4.6	0.8	4.9	5.7	0.3	-3.6	-9.9	-9.3	
17	-14.6	-29.9	-3.7	-10.5	4.6	3.6	6.6	3.5	1.1	-3.8	-8.7	-6.9	
18	-16.3	-29.8	-6.7	-9.4	1.8	2.7	7.3	5.6	1.5	-5.4	-7.7	-9.4	
19	-18.9	-26.5	-10.9	-10.0	0.5	3.4	4.7	6.2	-0.6	-6.3	-8.5	-13.9	
20	-19.8	-24.1	-8.4	-10.0	-1.8	6.3	5.6	4.2	-0.1	-11.3	-10.4	-12.7	
旬总数	-166.6	-222.7	-108.3	-96.5	20.8	15.3	42.5	42.9	0.9	-70.0	-97.0	-106.0	
旬平均	-16.6	-22.3	-10.8	-9.7	2.1	1.5	4.3	4.3	0.1	-7.0	-9.7	-10.6	
21	-25.1	-14.6	-9.4	-8.0	-0.4	5.8	3.0	-0.6	0.3	-11.3	-11.4	-20.0	
22	-24.8	-9.6	-12.2	-4.2	-3.2	6.6	2.8	-3.1	-0.1	-8.7	-10.5	-16.8	
23	-23.4	-9.2	-13.8	-3.8	-5.2	6.8	2.8	-4.2	-1.3	-4.7	-11.2	-16.5	
24	-21.3	-10.3	-11.5	-4.9	-4.0	2.0	5.9	-6.2	-1.3	-2.6	-13.8	-19.7	
25	-16.6	-11.2	-15.0	-5.2	-4.5	0.2	5.9	-5.9	0.7	-3.1	-14.8	-20.5	
26	-14.1	-15.6	-18.6	-4.8	-3.9	1.8	5.4	0.3	1.1	-3.2	-12.8	-18.7	
27	-7.2	-16.1	-18.1	-7.8	-3.1	3.3	5.1	3.1	1.6	-3.9	-14.4	-19.6	
28	-8.0	-14.5	-16.1	-4.5	-3.5	3.7	5.2	4.4	1.4	-4.6	-14.5	-19.2	
29	-13.9		-11.8	-6.5	-2.8	3.0	4.2	3.3	-2.4	-4.6	-15.5	-18.4	
30	-16.8		-6.9	-8.6	-2.6	2.6	4.5	0.6	-4.8	-4.1	-15.3	-18.7	
31	-15.3		-7.3		-3.7		4.7	-0.5		-7.2		-16.9	
旬总数	-186.5	-101.1	-140.7	-58.3	-36.9	35.8	49.5	-8.8	-4.8	-58.0	-134.2	-205.0	
旬平均	-17.0	-12.6	-12.8	-5.8	-3.4	3.6	4.5	-0.8	-0.5	-5.3	-13.4	-18.6	
月 统 计	总数	-918.6	-493.8	-393.4	-236.6	-91.2	50.7	119.6	54.7	-9.1	-173.4	-327.6	-442.5
	平均	-16.7	-17.6	-12.8	-7.9	-2.9	1.7	3.9	1.8	-0.1	-5.6	-10.9	-14.3
	最高 日期	-2.5	-6.0	0.0	1.0	9.4	10.7	11.5	11.5	8.5	2.6	-1.5	-1.0
	最低 日期	27	22	17	22	17	23	18	15	12	2	1	6
	最低 日期	-27.3	-33.5	-23.0	-20.5	-19.2	-5.8	-3.4	-9.3	-6.9	-14.1	-20.0	-24.0
22	18	6	10	5	9	5	25	30	15	5	21		
年统计	最高气温		11.5		7月18日	最低气温	-33.5		2月18日	平均气温	-6.8		
附 注													

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表6 乌鲁木齐河源总控制水文点1991年逐日平均气温表

气温: °C

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	-17.5	-17.0	-10.6	-2.4	-6.7	2.7	3.6	7.2	-0.8	-11.0	-6.4	-16.3			
2	-18.9	-14.8	-6.9	-3.0	-5.1	1.4	5.5	4.5	0.3	-6.7	-5.9	-10.9			
3	-17.1	-18.2	-10.7	-4.4	-4.3	3.3	3.7	8.0	-0.5	-5.3	-5.4	-8.4			
4	-13.1	-17.5	-11.0	-2.8	-9.9	0.7	3.1	6.1	1.5	-5.5	-12.2	-9.9			
5	-14.6	-18.1	-14.2	-0.8	-12.8	0.4	5.1	7.2	2.1	-4.3	-15.8	-11.9			
6	-12.9	-11.5	-19.0	-5.2	-8.9	2.6	6.3	5.9	-0.2	-5.9	-10.8	-13.9			
7	-11.6	-15.8	-15.4	-7.9	-6.4	3.9	6.9	6.5	0.2	-6.8	-10.5	-11.4			
8	-15.1	-18.7	-9.9	-6.2	-1.9	0.4	6.5	1.2	-1.6	-6.5	-10.9	-11.7			
9	-20.4	-19.4	-15.7	-9.8	-0.1	3.2	8.5	-1.6	-1.5	-7.6	-9.6	-15.8			
10	-19.6	-14.7	-14.7	-10.0	2.9	5.1	8.5	0.1	-1.8	-9.0	-12.0	-14.9			
旬总数	-160.8	-165.7	-128.1	-52.5	-53.2	23.7	57.7	45.1	-1.7	-68.6	-99.5	-125.1			
旬平均	-16.1	-16.6	-12.8	-5.3	-5.3	2.4	5.8	4.5	-0.2	-6.9	-10.0	-12.5			
11	-17.8	-16.4	-12.9	-10.4	2.9	5.0	5.7	3.3	0.4	-6.8	-13.0	-12.6			
12	-18.6	-15.9	-10.0	-7.2	4.0	3.3	6.1	5.1	0.9	-8.4	-12.5	-9.6			
13	-19.3	-16.3	-15.6	-4.5	4.6	1.1	1.9	7.0	-5.3	-7.5	-12.1	-6.1			
14	-14.1	-17.2	-15.2	-4.4	5.9	3.3	1.5	6.6	-5.5	-9.6	-12.0	-8.6			
15	-13.8	-21.2	-8.6	-7.1	6.8	4.1	4.0	7.3	-3.1	-8.8	-12.9	-8.3			
16	-9.9	-23.4	-6.7	-7.7	7.4	4.2	6.9	6.9	-2.8	-5.9	-11.3	-3.2			
17	-13.5	-29.5	-3.7	-8.1	6.3	5.4	9.5	5.3	-1.8	-4.9	-11.8	-6.6			
18	-14.5	-28.4	-7.4	-6.9	3.2	5.6	10.3	7.8	-0.4	-4.8	-10.8	-11.6			
19	-17.0	-23.5	-9.5	-8.4	0.6	6.6	6.3	9.2	-3.9	-5.2	-11.2	-12.0			
20	-18.7	-23.2	-5.8	-6.4	0.0	8.6	6.5	6.2	-2.1	-7.9	-11.3	-10.6			
旬总数	-157.2	-215.0	-95.4	-71.1	41.7	47.2	58.7	64.7	-23.6	-69.8	-118.9	-89.1			
旬平均	-15.7	-21.5	-9.5	-7.1	4.2	4.7	5.9	6.5	-2.4	-7.0	-11.9	-8.9			
21	-23.2	-14.6	-9.9	-5.2	0.0	6.8	5.0	0.1	-3.5	-9.9	-12.2	-18.0			
22	-24.8	-10.9	-9.9	-1.8	-2.7	9.2	5.1	-0.5	-2.7	-7.5	-12.0	-18.5			
23	-23.9	-9.3	-12.8	-0.8	-3.3	6.9	5.0	-2.3	-2.5	-4.1	-10.0	-17.5			
24	-21.2	-9.9	-10.1	-1.5	-1.4	4.1	7.8	-3.4	-3.2	-3.9	-13.5	-20.7			
25	-16.1	-9.7	-13.7	-3.4	-1.4	2.6	9.0	-3.2	-1.5	-4.3	-15.5	-22.9			
26	-13.0	-15.0	-15.7	-2.7	0.2	2.9	8.5	2.0	-1.2	-4.0	-11.2	-18.6			
27	-6.2	-15.7	-13.9	-3.9	0.7	5.7	7.9	6.4	-1.3	-5.0	-12.9	-16.6			
28	-9.1	-13.4	-12.7	-1.6	-0.4	6.6	6.8	6.5	-1.3	-6.2	-13.7	-20.0			
29	-12.4		-9.1	-3.7	-0.5	6.8	6.6	6.9	-4.8	-6.0	-14.0	-19.4			
30	-17.3		-4.7	-5.9	0.2	6.7	7.3	4.5	-7.8	-6.5	-13.6	-19.4			
31	-17.3		-4.6		-1.1		7.0	2.8		-6.8		-16.3			
旬总数	-184.5	-98.5	-117.1	-30.5	-9.7	58.3	76.0	19.8	-29.8	-64.2	-128.6	-207.9			
旬平均	-16.8	-12.3	-10.6	-3.1	-0.9	5.8	6.9	1.8	-3.0	-5.8	-12.9	-18.9			
月 统 计	总数	-502.5	-479.2	-340.6	-154.1	-21.2	129.2	192.4	129.6	-55.1	-242.6	-347.0	-422.1		
	平均	-16.2	-17.1	-11.0	-5.1	-0.7	4.3	6.2	4.2	-1.8	-6.5	-11.6	-13.6		
	最高	-1.1	-1.9	2.9	4.5	13.5	15.0	17.5	15.7	9.0	2.5	1.0	-1.0		
	日期	27	22	17	28	16	22	18	15	5	1	1	14		
	最低	-27.1	-33.9	-22.0	-18.9	-16.2	-2.9	-0.8	-10.0	-10.0	-18.0	-21.1	-23.6		
日期	22	18	6	10	5	1	14	25	14	25	5	22			
年统计	最高气温		17.5			7月 18日		最低气温		-33.9		2月18日		平均气温	-5.7
附注															

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表7 天山冰川观测试验站基本营地1997年逐日平均气温表

气温: °C

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-15.1	-13.5	-5.0	2.9	2.8	8.7	12.1	14.4	10.5	2.5	-0.3	-9.3	
2	-15.1	-11.7	-4.3	3.9	4.0	10.6	12.3	12.4	10.3	2.4	0.4	-9.8	
3	-15.4	-10.3	-3.7	3.3	2.9	11.1	9.3	13.2	10.0	3.1	0.4	-6.1	
4	-13.7	-9.7	-3.1	3.7	-3.0	9.7	9.9	12.0	11.2	2.9	-6.4	-7.0	
5	-13.4	-10.2	-6.8	2.8	-2.7	7.8	11.3	13.3	11.2	4.1	-7.9	-7.4	
6	-10.2	-7.9	-10.1	1.4	1.3	9.8	13.5	13.4	10.3	4.4	-7.2	-8.7	
7	-11.1	-8.7	-9.1	1.7	5.0	11.0	15.2	12.9	9.5	4.4	-4.8	-6.5	
8	-13.7	-12.0	-8.8	1.5	6.3	9.1	15.3	9.6	10.1	4.0	-5.7	-5.4	
9	-12.1	-13.5	-9.8	0.2	7.3	10.2	16.2	6.4	10.1	3.9	-5.7	-8.8	
10	-16.4	-11.0	-11.2	-2.7	9.1	8.8	15.6	8.9	9.9	2.1	-4.1	-10.5	
旬总数	-136.2	-108.5	-71.9	18.7	33.0	96.8	130.7	116.7	103.1	33.8	-41.3	-79.5	
旬平均	-13.6	-10.9	-7.2	1.9	3.3	9.7	13.1	11.7	10.3	3.4	-4.1	-8.0	
11	-11.5	-10.0	-8.5	-3.0	10.3	11.3	14.2	11.5	10.5	2.7	-5.3	-9.8	
12	-13.8	-9.9	-4.3	-0.3	11.4	10.8	14.4	12.1	11.3	0.1	-4.9	-7.2	
13	-15.0	-11.9	-9.4	2.8	12.6	8.8	8.8	14.1	6.4	0.6	-5.7	-3.2	
14	-10.7	-12.9	-11.1	1.3	12.9	9.7	8.8	13.6	5.1	-0.2	-5.0	-3.5	
15	-12.0	-15.6	-5.1	1.6	13.9	11.0	12.1	14.2	6.1	-0.7	-5.1	-7.8	
16	-9.8	-15.9	-0.6	1.0	14.6	12.4	14.6	13.3	7.7	-0.3	-5.5	-6.8	
17	-10.2	-21.5	0.9	1.2	13.6	13.0	13.3	13.5	8.6	0.5	-5.4	-6.9	
18	-13.2	-25.0	-1.4	0.9	9.5	14.7	15.1	14.3	8.6	1.7	-5.7	-6.2	
19	-12.8	-19.5	-1.3	0.9	7.1	14.2	13.6	15.2	7.1	0.4	-5.1	-9.4	
20	-12.5	-15.6	0.7	2.7	8.1	15.0	13.6	12.6	8.8	0.5	-5.2	-11.4	
旬总数	-121.5	-157.8	-40.1	9.1	114.0	120.9	127.9	134.4	80.2	5.3	-43.1	-72.2	
旬平均	-12.2	-15.8	-4.0	0.9	11.4	12.1	12.8	13.4	8.0	0.5	-4.3	-7.2	
21	-15.0	-11.4	-4.8	4.3	7.0	14.8	13.5	7.4	9.0	-1.0	-6.4	-14.3	
22	-19.5	-8.1	-5.7	6.0	6.8	15.4	12.7	6.4	8.9	-0.4	-6.1	-18.2	
23	-17.7	-5.1	-5.0	7.0	6.1	13.0	12.0	5.8	8.9	2.7	-5.2	-16.0	
24	-16.7	-4.3	-4.5	7.1	7.2	10.5	14.6	4.2	8.5	2.5	-5.7	-16.1	
25	-13.9	-4.1	-3.4	6.2	6.9	10.0	15.0	5.9	9.1	2.3	-6.5	-18.1	
26	-11.9	-7.1	-5.8	5.3	6.1	11.3	15.0	8.2	9.6	2.1	-6.0	-18.6	
27	-8.2	-8.0	-6.3	5.2	7.5	12.8	15.4	10.8	8.9	1.7	-5.9	-13.5	
28	-4.7	-7.2	-4.7	5.7	8.4	14.6	15.4	12.4	6.7	1.3	-7.6	-14.1	
29	-4.5		-2.5	3.3	8.9	15.8	13.7	11.0	4.0	0.9	-9.2	-15.1	
30	-5.9		-0.6	1.9	9.0	13.3	14.3	12.0	3.0	0.3	-8.6	-14.8	
31	-13.2		1.8		7.2		14.3	10.2		-0.2		-13.6	
旬总数	-131.2	-55.3	-41.5	52.0	81.1	131.3	156.0	95.2	76.6	12.2	-67.2	-172.4	
旬平均	-11.9	-6.9	-3.8	5.2	7.4	13.1	14.2	8.7	7.7	1.1	-6.7	-15.7	
月 统 计	总数	-388.9	-321.6	-163.4	79.8	228.1	349.0	414.6	346.3	259.9	51.3	-151.0	-324.1
	平均	-12.5	-11.5	-4.9	2.7	7.3	11.6	13.4	11.2	8.7	1.7	-5.1	-10.5
	最高	3.6	7.0	124	18.0	25.5	23.9	25.3	24.5	21.6	15.7	12.3	11.0
	日期	16	23	17	23	16	20	11	19	12	5	3	14
	最低	-24.7	-27.0	-18.3	-11.0	-7.1	-3.7	1.5	-1.2	-0.4	-6.8	-14.5	-23.8
	日期	22	19	10	11	5	5	20	25	30	15	25	26
年统计	最高气温	25.5 5月16日				最低气温	-27.0 2月19日				平均气温	1.0	
附注													

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表8 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1991年逐日降水量表

降水量: mm

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1							3.3	11.8				
2					1.0	1.5		1.3				
3					7.8	0.0						
4					1.1	0.2	0.3	4.3				
5					0.1	6.1	0.0	2.3				
6						1.6		11.2				
7						6.8	0.0	0.3				
8						3.1	3.0	23.6				
9						0.5		13.4				
10							8.6					
11							4.0					
12						4.8	12.1					
13						4.9	40.3	0.6				
14						2.9	4.3	0.2				
15						1.1	2.8	8.7				
16								0.6				
17								0.7				
18						0.2	5.4	0.1				
19					3.2			1.6				
20								14.0				
21					11.6		12.2	5.2				
22					3.1	0.2	3.0	9.5				
23					1.9	1.5	8.3	3.0				
24					0.9	3.3	3.6	6.5				
25						10.3						
26					0.7		1.3					
27					7.9	2.2	11.3					
28					3.7	4.5	4.4					
29					1.3	4.2	8.8	0.5				
30					0.3	13.9	7.4					
31							2.4					
总 量	9.5	3.3	8.4	33.9	44.6	73.8	146.7	119.4	27.6	13.4	1.0	0.3
降水日数					14	21	22	21				
最大日降水量					11.6	13.9	40.3	23.6				
日 期					21	30	13	8				
年统计	降水量 481.9			降水日数								
附 注	因1—4月和9—12月为一星期观测一次,故只计月降水总量。											

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表9 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1991年逐日降水量表

降水量: mm

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1							2.0	11.2				
2					1.2	0.5		1.8				
3					6.4	0.1	0.0					
4					0.6	0.3		4.3				
5					0.7	6.1		2.1				
6						1.2		12.1				
7						5.3	0.4	0.4				
8						6.0	3.7	23.5				
9								13.4				
10						0.6	11.9					
11							4.9					
12						4.0	12.1					
13						4.7	44.3					
14						3.3	2.4	3.0				
15						1.6	2.1	4.0				
16								1.5				
17												
18							0.3	4.7	0.1			
19					2.8			1.6				
20					0.2		1.4	14.2				
21					9.8		15.2	3.2				
22					2.2	0.3	1.4	6.7				
23					2.0	1.2	9.6	4.0				
24					0.8	3.5	3.7	7.6				
25					0.4	10.5						
26							1.1					
27					8.7	3.4	12.4					
28					3.2	7.1	3.4					
29					0.9	5.9	8.5	0.5				
30					0.1	14.9	8.0					
31							1.5					
总量	9.3	3.4	7.3	24.4	40.0	30.8	154.7	115.2	23.6	12.0	1.0	0
降水日数					15	21	22	19				
最大日降水量					9.8	14.9	44.3	23.5				
日期					21	30	13	8				
年统计	降水量 471.7				降水日数							
附注	因1—4月和9—12月一星期观测一次,故只计月降水总量。											

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表10 乌鲁木齐河源总控制水文点1991年逐日降水量表

降水量: mm

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1							1.5	11.6				
2					0.8	0.0		0.6				
3					7.8	0.0	0.0					
4					0.4	0.8	0.6	6.0				
5					0.0	5.5	0.0	2.9				
6						1.2	0.0	12.4				
7						5.4	0.0	0.5				
8						6.1	0.9	25.2				
9							0.3	11.6				
10						0.6	4.8					
11						0.2	5.0					
12						4.6	13.4					
13						5.1	44.7	0.1				
14						2.0	2.0	3.0				
15						1.2	2.9	6.2				
16												
17								2.1				
18							4.3					
19					2.4			0.9				
20								11.5				
21					6.4		13.0	4.4				
22					2.1	0.0	1.5	9.0				
23					1.0	1.3		4.2				
24					1.8	5.0	2.1	5.0				
25					0.8	6.6						
26						2.0	0.5					
27					7.7	5.7	8.8					
28					2.4	5.3	3.1					
29					0.6	4.2	9.3	0.3				
30						12.2	7.4					
31							0.9					
总量	9.8	3.3	9.5	24.7	34.0	75.0	127.0	117.5	22.1	12.6	0	0.7
降水日数					13	22	24	19				
最大日降水量					7.8	12.2	44.7	25.2				
日期					2	30	13	8				
年统计	降水量 436.2				降水日数							
附注	因1—4月和9—12月一星期观测一次,故只计月降水总量。											

制表: 杨新元

校核: 刘瀚海

附表11 天山冰川观测试验站基本营地1991年逐日降水量表

降水量: mm

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					1.5		5.4	2.1		0.1		0.
2							0.6	18.9				
3				0.0	2.7		3.6					
4			0.4		5.9	1.0		2.1			1.4	
5			4.6			1.8						
6			0.2	0.0		3.3		1.8		0.0		
7		0.5				6.6		2.7		0.3		
8		0.7		0.0		6.4	2.1	5.2	0.0	0.0		
9	0.6					1.7	0.0	18.9	9.5	1.6		
10	0.1						1.6	2.5	0.6	5.0	0.4	
11							14.5					
12						0.3	1.8			3.2		
13			4.2			8.9	36.7		3.2	2.6		
14		0.3				2.7	8.7	2.6		0.0		
15		0.0				2.0	0.3	0.2		0.7		
16		0.5						0.3				
17				0.4				0.4				
18				0.5								0.7
19			0.3	0.0	0.7		2.8			0.0		0.0
20	0.4			0.0				1.2		2.9		0.4
21	1.2		0.2				1.5	11.9	0.0	0.8		
22					0.4	0.0	10.2	0.8	0.0			
23						0.2	2.3	11.1	1.4			
24					1.7	2.2	1.2	7.5	1.0		0.5	
25			0.9			0.6	0.8	0.2				
26			0.1	7.8		2.8						
27			0.1	2.6			3.1					
28					5.0		3.3					
29	8.8			2.3	0.4	0.4	12.5	1.8	0.0			
30	0.6			8.0			2.1	0.2	0.2			
31							2.8					
总量	11.7	2.0	11.0	21.6	18.3	41.5	117.9	92.4	15.9	17.2	2.3	1.5
降水日数	6	5	9	11	8	16	22	20	10	13	3	4
最大日降水量	8.8	0.7	4.6	8.0	5.9	8.9	36.7	18.9	9.5	5.0	1.4	0.7
日期	29	8	5	30	4	13	13	2	9	10	3	18
年统计	降水量 353.3				降水日数 127							
附注												

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

附表12 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1991年逐日平均相对湿度表

相对湿度：%

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					84	16	84	79				
2					46	46	67	81				
3					77	36	63	30				
4					83	62	61	83				
5					57	72	44	72				
6					63	63	59	91				
7					43	63	52	67				
8					43	93	73	100				
9					38	68	59	100				
10					37	69	68	61				
旬总数					571	588	630	754				
旬平均					57	59	63	75				
11					37	59	71	56				
12					35	89	86	44				
13					41	85	97	43				
14					31	69	95	73				
15					25	70	82	58				
16					19	65	46	72				
17					28	61	49	80				
18					64	67	61	44				
19					80	60	70	49				
20					83	40	48	75				
旬总数					449	665	705	594				
旬平均					45	67	71	59				
21					76	56	79	98				
22					77	57	84	91				
23					48	63	73	97				
24					54	99	57	94				
25					62	98	67	57				
26					32	96	66	36				
27					68	71	77	37				
28					85	63	79	37				
29					83	75	79	56				
30					69	70	73	68				
31					41		67	76				
旬总数					696	748	801	747				
旬平均					63	75	73	68				
月	总数				1716	2001	2136	2095				
统	平均				55	67	69	68				
计	最小				6	10	16	3				
	日期				16	1	5	3				

附注 相对湿度仅在冰川消融期观测。

制表：杨新元

校核：刘潮海

附表13 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1991年逐日平均相对湿度表

相对湿度：%

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日												
1					85	23	37	72				
2					49	64	63	87				
3					79	47	62	37				
4					92	71	65	78				
5					60	69	54	67				
5					65	63	61	80				
7					47	70	61	55				
8					53	83	78	99				
9					38	73	65	97				
10					39	73	71	67				
旬总数					607	636	670	739				
旬平均					61	64	67	74				
11					30	89	77	62				
12					42	96	89	48				
13					45	88	95	42				
14					36	70	85	73				
15					31	76	84	61				
16					27	72	49	64				
17					32	62	53	78				
18					58	73	63	56				
19					73	59	68	63				
20					81	45	51	76				
旬总数					455	710	714	623				
旬平均					46	71	71	62				
21					73	58	79	91				
22					69	54	83	91				
23					39	58	72	95				
24					65	99	65	83				
25					60	98	72	61				
26					27	96	60	40				
27					60	72	80	49				
28					86	72	87	33				
29					79	78	79	54				
30					73	74	76	67				
31					48		61	75				
旬总数					679	769	814	739				
旬平均					62	76	74	67				
月	总数				1733	2105	2198	2101				
统	平均				56	70	71	68				
计	最小				8	17	24	17				
	日期				23	1	20	3				

附注 相对湿度仅在冰川消融期观测。

制表：杨新元

校核：刘瀚海

附表14 乌鲁木齐河源总控制水文点1991年逐日平均相对湿度表

相对湿度：%

日	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1						74	20	92	75				
2						48	65	73	91				
3						72	45	70	48				
4						86	72	62	73				
5						58	84	53	61				
6						54	69	67	74				
7						53	66	63	63				
8						58	84	74	95				
9						56	61	65	89				
10						45	68	66	58				
旬总数						599	634	685	727				
旬平均						60	63	69	73				
11						49	64	75	56				
12						50	90	90	53				
13						54	82	97	61				
14						42	67	88	78				
15						30	66	90	66				
16						28	61	57	78				
17						45	74	50	81				
18						73	70	65	81				
19						79	65	87	54				
20						82	47	76	81				
旬总数						532	686	775	669				
旬平均						53	69	78	67				
21						80	66	79	99				
22						84	50	83	96				
23						55	78	78	95				
24						81	87	69	88				
25						67	96	65	62				
26						36	95	71	50				
27						54	78	77	49				
28						71	76	83	57				
29						64	71	73	65				
30						60	63	70	72				
31						40		65	72				
旬总数						692	760	813	805				
旬平均						63	76	74	73				
月	总数					1823	2080	2273	2210				
统	平均					59	69	73	71				
计	最小					15	8	25	16				
	日期					15	1	17	7				

附注 相对湿度仅在冰川消融期观测。

制表：杨新元

校核：刘潮海

附表15 天山冰川观测试验站基本营地1991年逐日平均相对湿度表

相对湿度: %

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	77	81	54	50	71	38	72	73	65	63	57	78	
2	65	74	52	62	55	34	67	83	62	52	60	70	
3	67	71	63	58	72	34	78	72	63	54	50	48	
4	65	71	77	63	82	59	68	76	57	51	73	55	
5	73	59	83	83	52	70	59	71	60	55	68	69	
6	61	63	74	77	67	68	17	80	59	61	65	66	
7	69	78	58	59	54	73	50	71	60	66	64	47	
8	78	80	61	65	57	78	52	79	60	64	62	69	
9	84	74	59	63	55	65	56	86	75	72	58	78	
10	78	66	66	64	50	84	64	69	68	80	71	69	
旬总数	717	717	647	625	615	603	583	760	629	618	628	639	
旬平均	72	72	65	63	62	60	58	76	63	62	63	64	
11	63	63	59	48	47	69	68	62	62	68	60	59	
12	73	68	58	47	44	75	78	62	58	84	54	49	
13	74	82	72	42	39	82	92	61	73	78	55	45	
14	58	78	70	42	43	74	71	69	65	73	55	57	
15	61	80	61	59	37	71	78	70	63	63	60	83	
16	54	80	51	57	33	60	64	78	56	56	57	67	
17	71	74	52	62	31	62	58	73	54	59	57	78	
18	81	72	69	65	74	59	62	66	61	56	52	80	
19	70	64	74	78	74	72	67	67	70	68	49	82	
21	73	64	61	62	60	57	63	81	65	76	54	79	
旬总数	678	725	627	562	480	681	701	689	625	681	556	679	
旬平均	68	73	63	56	48	68	70	69	63	68	58	78	
21	81	60	73	54	49	65	64	87	64	69	67	78	
22	80	60	61	52	59	60	83	82	62	53	58	85	
23	68	62	51	40	56	68	76	76	64	54	54	65	
24	63	59	55	46	63	86	73	89	54	61	70	61	
25	64	61	66	53	61	69	76	68	48	57	55	62	
26	67	77	69	71	42	70	69	66	48	62	53	62	
27	60	72	72	59	44	62	73	67	52	64	52	47	
28	66	69	68	45	66	54	76	64	67	56	63	57	
29	90		61	61	66	53	79	71	82	51	72	58	
30	85		61	86	51	61	75	63	72	48	64	56	
31	87		52		45		74	66		53		52	
旬总数	811	520	689	567	602	648	818	799	613	633	608	673	
旬平均	74	65	63	57	55	65	74	73	61	58	61	61	
月 究 计	总数	2206	1962	1963	1754	1699	1932	2102	2248	1867	1932	1792	1991
	平均	71	70	63	58	55	64	68	73	62	62	60	64
	最小	23	16	2	7	6	6	17	25	13	7	15	16
	日期	6	28	15	13	31	1	2	7	25	2	36	13

制表: 杨新元

校核: 刘潮海

乌鲁木齐河源1号冰川表面运动速度 和冰舌进退变化

陈要武 孙作哲

1 基本情况

(1) 测量方法 1990—1991年采用的测量方法和往年相同(孙作哲等, 1985)。从控制点基Ⅶ至基Ⅴ对东支冰川d'排以下点及西支a点观测; 从控制点基Ⅴ至基Ⅷ对西支冰川d排以下点观测; 其余各点从控制点基东至基西观测。这样的观测布局, 可以使前方交会的三角形更趋合理, 从而提高测量精度, 同时还可以缩短一条基线上的观测时间, 避免了因非同步观测所造成的误差。

经过分析得到, 插入冰体内的运动速度花杆, 因不直而造成瞄准误差较大, 是降低运动速度准确性的主要原因之一(孙作哲等, 1979)。在积累区, 为了防止因冬季积雪致使第二年春季花杆被埋, 造成缺测, 应在花杆上绑接一节花杆, 以保证春末的观测。夏季, 气温升高, 积雪不断消融, 连接的花杆全部露出雪面, 易被风吹断, 又需将其去掉。在以上过程中, 往往因捆扎不牢, 使两截花杆不在一条竖直线上, 或花杆倾斜, 造成瞄准误差, 降低运动速度精度。同理, 在冰舌区, 花杆因冰川冰不断消融会倒塌。为了保持观测的连续性, 必须在花杆倒掉之前重栽。当不能完全恢复原位时, 便造成运动速度不准。因此, 在今后工作中, 无论是秋末的绑接花杆还是夏季的重栽花杆, 都必须十分谨慎, 做到绑接牢固和重栽到原位置上。

(2) 资料整编 继1990年8月底之观测, 于1991年5月底和9月中, 从三条基线对东、西支冰川各8排共68个流速点作了观测。经计算整理, 删去了由于各种因素造成偏差的10个点, 有效流速点为58个。我们将其整理汇编成表1和表2。表1中的年流速(m/a)是2次观测间的运动距离与时间之比得出的日流速, 再乘以365天而得到。

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

2 对本年度运动速度的粗略分析

通过对运动速度空间和时程变化的初步分析, 得到如下结果:

(1) 该冰川本测量年内速度的空间分布与往年相比,没有大的变化。西支冰川的最大流速点仍是 d_3 (8.32m/a),其运动速度几乎与上年度一样^①。与上年度的差别表现东支的最大流速点由上年度的 e' (5.66m/a)变化到本年度的 d' (5.69m/a)。与上年度年流速比较,速度的时程变化显示出,东支冰川 d' 排以下各点速度略有增加,其中多数点增加幅度仅几个厘米。唯 b'_2 点年流速增加0.5cm。 e' 排以上速度明显减少,而且愈向冰川源头减少幅度愈大。减速幅度的分布情况大致如下,各点速度降低数值与年流速降低百分率分别为: e' 排约0.11m/a,6%; f' 排约0.7m/a,17%; g' 排约1.25m/a,40%; h' 排1.0m/a,47%。西支冰川 d 排以下各点速度减小,减小数值由几厘米到三十多厘米。 e 排以上速度明显增加。各点速度的增加数值与年流速增加百分率分别为: e 排约0.15m/a,2%; f 排约0.9m/a,5%; g 排约0.48m/a,9%; h 排约0.52m/a,8%。

(2) 表2中列出了每个点夏季流速与冬季流速之比的数值(即 K 值)。经分析得到, K 值变化情况有如下规律:东支冰川 b' 排除 b'_1 外, K 值大于1; c' 排除 c'_2 外值小于1; d' 和 e' 排 K 值大于1; f' 排无以上规律性。西支冰川有23个点值大于1, K 小于1的10个点其 K 值也接近1。以上情况表明,西支冰川仍显示出夏季流速大于冬季流速的特征。东支冰川的 K 值分布,从冰舌到 e' 排则无明显规律性。

(3) 表1中 z 栏表示两次测量流速点的花杆顶的高程变化。从表1中可见,本年度其值基本为负,不同于上年度。说明该冰川显出流作用年际变化明显。

3 冰川末端进退

冰舌末端的进退状况由其运动速度和消融强度决定。1号冰川末端进退观测,仍然采用以往惯用方法,从三个固定点和6个标志点上进行观测。继1990年8月27日之观测,分别于1991年5月30日,9月16日重复观测,其结果见表3。从表3中可见冰川末端该年度平均后退6.51m/a,此值不但比上年度退缩速度增加2.35m/a,而且比退缩速度最快的1988—1989年度还增加1.38m/a。其主要原因是本年度冰舌末端消融强烈所致。

^①陈要武等,1989.乌鲁木齐河源1号冰川表面运动速度.天山冰川观测试验站年报,(8):97—103.

表 1 年运动速度

点 名	观测时段: 1990.8.30—1991.9.15					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	z (m)	α (° , ')	U_{xy} (m/a)
a'₂	0.735	3.521	3.997	-0.09	78 12	3.43
b'₁	0.464	0.495	0.679	+0.02	46 53	0.66
b'₂	1.670	3.923	3.782	-0.24	63 47	3.61
b'₃	1.254	4.933	5.090		75 44	4.89
b'₄	1.797	4.557	4.898	-0.26	68 28	4.71
c'₊₁	0.748	0.896	1.167	-0.02	50 07	1.13
c'₊₂	2.112	3.992	4.516	-0.12	62 07	4.34
c'₁	1.434	1.642	2.180	+0.12	48 52	2.08
c'₂	3.415	4.423	5.588	-0.47	54 19	5.37
c'₃	3.230	3.451	5.500		54 01	5.26
c'₄	2.875	4.451	4.492	-1.07	50 12	4.31
d'₁	2.171	1.113	2.440	-0.48	27 08	2.34
d'₂	4.866	2.424	5.436	-0.22	26 28	5.22
d'₃	5.424	2.447	5.951	-0.21	24 17	5.69
d'₄	4.982	2.246	5.465	+0.10	24 16	5.22
d'₅	2.802	0.735	2.897	1.39	14 41	2.77
a	-1.165	1.581	1.964	-0.10	126 24	1.90
b₂	-2.521	4.228	4.923	-0.99	120 49	4.75
c₁	-0.565	3.199	3.248	-2.43	100 02	3.10
c₂	-1.312	7.745	7.855	-2.72	99 37	7.52
d₁	-0.074	0.911	0.914	+0.07	94 37	0.88
d₂	0.344	6.685	6.693	-0.95	87 03	6.42
d₃	0.350	8.683	8.690	-1.57	87 39	8.32
d₄	1.112	8.091	8.167	-2.30	82 10	7.81

表 1 (续)

点 名	观测时段: 1990.8.28—1991.9.14					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	z (m)	α (° ')	U_{xy} (m/a)
e'1	3.006	0.647	3.075	-0.68	12 08	2.92
e'2	5.536	0.895	5.608	-0.72	9 10	5.37
e'3	5.594	0.796	5.651	-1.10	8 06	5.40
e'4	5.558	0.641	5.595	-0.94	6 34	5.33
e'5	4.608	0.035	4.609	-0.41	0 26	4.42
f'1	2.320	0.464	2.366	-0.72	11 19	2.25
f'2	4.420	0.934	4.518	-1.10	11 55	4.31
f'3	4.976	0.883	5.054	-1.06	10 03	4.82
f'4	5.182	0.862	5.253	-0.24	9 26	5.04
g'1	0.554	0.266	0.615	-0.22	25 37	0.58
g'2	3.496	1.242	3.710	-0.84	19 33	3.54
g'3	3.883	1.291	4.092	-0.68	18 23	3.91
g'4	4.092	1.244	4.277	+1.66	16 55	4.09
h'1	1.628	1.489	2.206	-0.99	42 26	2.12
h'2	0.052	0.383	0.386	-0.47	82 15	0.37
e1	0.578	2.601	2.664	-0.28	77 28	2.56
e2	2.145	7.749	8.040	-1.34	74 31	7.67
e3	2.770	7.757	8.236	-1.89	70 21	7.88
e4	2.903	7.189	7.753	-1.84	68 00	7.41
e5	2.265	4.712	5.228	+0.42	64 19	5.00
f1	2.081	4.416	4.882	-0.60	64 46	4.67
f2	3.109	6.207	6.942	-1.15	63 23	6.64
f3	3.623	6.237	6.949	-1.19	63 51	6.64
f4	3.054	5.944	6.683	-1.06	62 48	6.53
f5	2.653	4.774	5.462	-0.40	60 56	5.22
g+1	1.820	4.496	4.851	-0.74	67 57	4.64
g+2	2.769	6.044	6.648	-0.94	65 23	6.35
g1	1.422	2.984	3.305	-0.21	64 31	3.18
g2	3.018	6.218	6.911	-0.67	64 06	6.61
g3	3.198	6.243	7.014	-1.19	62 52	6.72
g4	2.834	5.312	6.020	-0.16	61 55	5.77
h2	3.714	5.559	6.686	-1.07	56 15	6.39
h3	3.565	5.857	6.856	-1.26	58 40	6.57
h4	3.215	5.411	6.294	-1.58	59 17	6.02

表2 冬季和夏季流速表

点 名	观测时段		观测时段		夏、冬季流速比 K
	1990.8.30—1991.5.31		1991.5.31—1991.9.15		
	运动距离 S (m)	流 速 U(cm/d)	运动距离 S (m)	流 速 U(cm/d)	
a' ₂	2.63	0.96	0.97	0.90	0.94
b' ₊₂	2.26	0.82	1.88	1.76	2.15
b' ₁	0.51	0.19	0.17	0.16	0.84
b' ₂	2.50	0.91	1.28	1.20	1.32
b' ₃	3.59	1.31	1.52	1.42	1.08
b' ₄	3.60	1.28	1.40	1.31	1.02
c' ₊₁	0.96	0.35	0.21	0.20	0.57
c' ₊₂	3.31	1.21	1.20	1.13	0.93
c' ₁	1.64	0.60	0.54	0.50	0.83
c' ₂	3.94	1.44	1.66	1.55	1.08
c' ₃	6.77	2.43	1.54	1.44	0.59
c' ₄	3.30	1.21	1.19	1.11	0.92
d' ₁	1.60	0.59	0.84	0.78	1.32
d' ₂	3.61	1.32	1.84	1.72	1.30
d' ₃	4.12	1.51	1.83	1.71	1.13
d' ₄	3.75	1.37	1.71	1.60	1.17
d' ₅	1.89	0.69	1.01	0.94	1.36
a	1.37	0.50	0.60	0.56	1.12
b ₂	3.52	1.29	1.40	1.31	1.02
b ₃	7.63	2.79	2.00	1.87	0.67
c ₁	2.40	0.87	0.86	0.80	0.92
c ₂	5.49	2.00	2.36	2.21	1.11
c ₃	5.99	2.19	2.51	2.34	1.07
d ₁	0.88	0.36	0.17	0.16	0.44
d ₂	4.78	1.75	1.91	1.79	1.02
d ₃	6.04	2.20	2.65	2.48	1.13
d ₄	5.77	2.11	2.39	2.24	1.06

表 2 (续)

点 名	观 测 时 段		观 测 时 段		夏、冬季流速比 K
	1990.8.28—1991.6.1		1991.6.1—1991.9.14		
	运动距离 S (m)	流 速 U (cm/d)	运动距离 S (m)	流 速 U (cm/d)	
e'1	1.99	0.72	1.11	1.05	1.46
e'2	3.69	1.33	1.91	1.82	1.37
e'3	3.59	1.30	2.07	1.97	1.52
e'4	3.86	1.39	1.74	1.66	1.19
e'5	2.83	1.02	1.78	1.70	1.67
f'1	1.80	0.65	0.57	0.55	0.85
f'2	3.21	1.16	1.31	1.24	1.07
f'3	3.53	1.27	1.53	1.45	1.14
f'4	4.18	1.51	1.07	1.02	0.68
g'1	1.11	0.40	0.51	0.49	1.23
g'2	2.91	1.05	0.80	0.76	0.72
g'3	5.73	2.07	0.80	0.77	0.37
g'4	2.90	1.06	1.38	1.32	1.25
h1	2.47	0.89	0.39	0.37	0.42
e1	2.04	0.74	0.62	0.59	0.80
e2	5.67	2.05	2.38	2.26	1.10
e3	5.87	2.12	2.37	2.26	1.07
e4	5.55	2.00	2.20	2.10	1.05
e5	3.81	1.38	1.42	1.35	0.98
f1	3.43	1.26	1.41	1.34	1.06
f2	4.94	1.73	2.00	1.90	1.07
f3	5.09	1.84	1.76	1.77	0.96
f4	4.81	1.74	1.88	1.79	1.03
f5	3.87	1.40	1.59	1.51	1.08
g+1	3.46	1.25	1.39	1.32	1.06
g+2	4.69	1.69	1.95	1.86	1.10
g1	2.31	0.83	1.00	0.96	1.16
g2	4.78	1.73	2.13	2.03	1.17
g3	4.92	1.78	2.09	1.99	1.12
g4	4.17	1.51	1.85	1.76	1.17
h2	4.65	1.68	1.92	1.83	1.09
h3	4.88	1.76	1.97	1.88	1.07
h4	4.45	1.61	1.84	1.75	1.09

表3 冰舌进退资料

点 号	1990.8.27—1991.5.30	1991.5.30—1991.9.16	1990.8.27—1991.9.16
固定点 I	-1.66	-4.39	-6.05
固定点 II	-0.75	-6.65	-7.40
固定点 III	+1.30	-8.80	-7.50
1	+0.55	-7.00	-6.45
2	+0.45	-6.35	-5.90
3	-1.65	-6.75	-8.40
4	-0.20	-6.25	-6.45
5	+0.77	-7.12	-6.35
6	+0.45	-4.50	-4.05
平均	-0.08	-6.42	-6.51

注：前进以“+”表示，后退以“-”表示。

参 考 文 献

孙作哲等, 1985. 天山乌鲁木齐河源1号冰川的运动特征. 冰川冻土, 7(1): 27—40

孙作哲等, 1979. 喀拉昆仑山区的冰川运动速度测量. 冰川冻土, 2(2): 33—38

乌鲁木齐河流域季节积雪观测结果 的一些说明

张志忠 杨大庆

乌鲁木齐河流域季节积雪的系统观测始于1987年冬。目的在于通过积雪分布特征的观测，为该流域融雪径流对河流的补给作用提供计算依据。为此，观测重点放在河源区空冰斗一个具体小流域内进行。在空冰斗小流域内依据地形特征，1987年仅布设了9根量雪尺，雪尺布设位置示于图1。观测方法采用每次降雪以后第三天进行。测量结果示于表1。

从表1可见，在空冰斗小流域内布设9根量雪尺测量结果，很难从客观上反映出该小流域内的积雪分布规律及其特征。所以，为克服测点布设不均匀，和使观测资料更能客观地反映出空冰斗小流域季节积雪的变化规律，于1989年冬布设量雪尺9排共47根雪尺（图1）。由于位于冰斗出口处的A排雪尺共3根受强风影响，多数当年冬季即被刮倒，未能测得资料。

由表2和表3明显地看出，空冰斗小流域季节积雪深度分布具有明显的时间-空间变化规律。即从10月积雪形成到翌年3月底之前，积雪分布具有间断和不连续性的特征。3月底到5月上中旬，积雪深度增加很快，

5月初达到最大值，而且积雪呈连片分布。稳定积雪期长达8个月左右。

从表中还清楚地发现，季节积雪深度分布具有明显的空间变化，自冰斗口到冰斗后麓，积雪深度的分布大致呈东南-西北向的条带状分布，最大积雪深度分布在冰斗底的靠丘西和西北一侧，而朝向东南方向的积雪深度最小，局地还无积雪覆盖。



图1 空冰斗量雪尺位置图

表1 1987—1988年度空冰斗积雪深度观测资料 (雪深H: cm)

No.	时 间		1987				1988								
	10.31	11.7	11.21	11.28	2.11	2.24	3.17	3.24	4.13	4.20	5.5	5.6	5.17		
A ₁	11	9	9	8	9	10	12	13	11	10	7	39	29		
A ₂	12	9	9	9	9	11	11	12	10	9	7	39	29		
A ₃	14	11	15	10	12	12	13	13	10	10	7	40	30		
B ₁	12	11	11	11	12	13	13	24	20	19	7	46	36		
B ₂	11	9	9	8	9	20	10	25	23	22	8	54	39		
B ₃	11	11	11	10	12	13	13	14	25	23	7	52	41		
C ₁	7	7	7	6	7	8	9	10	1	1	6	40	24		
C ₂	5	5	5	5	6	8	10	10	1	1	6	37	21		
C ₃	6	7	7	6	7	7	9	9	2	1	7	37	21		

乌鲁木齐河流域(自白杨沟口以上)季节积雪的分布极不均匀。从积雪类型上,流域大致可分为永久积雪和季节积雪两大类。而从在地表面存在时间看,季节积雪可以划分为稳定积雪和不稳定积雪。该流域积雪类型分布状况示于图2。

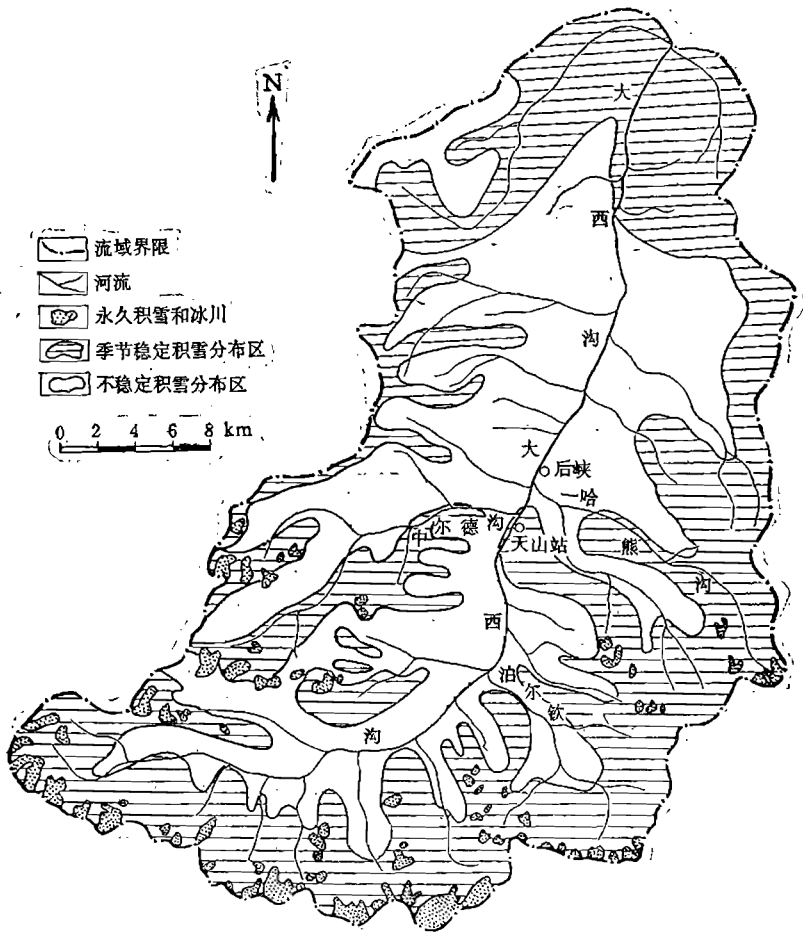


图2 乌鲁木齐河流域积雪类型分布图

表 2 1985—1990年度空冰斗积雪深度观测资料 (积雪深度: cm)

No.	日期				1990 1/1															
	10.6	10.16	10.30	12.23		1.12	1.28	2.4	2.14	2.20	2.26	3.5	3.12	3.19	3.26	4.8	4.22	5.4		
B ₁	0	8	0	1	1	0	1	0	0	1	0	2	1	1	6	0	9	13		
B ₂	0	10	1	2	2	0	1	1	0	2	0	4	4	3	8	6	18	53		
B ₃	0	9	1	6	6	2	7	6	2	4	5	6	6	6	9	4	18	27		
B ₄	0	8	1	2	2	0	2	1	0	1	0	3	1	1	7	5	19	40		
B ₅	0	7	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	15	45		
C ₁	9	14	17	19	21	16	19	15	15	16	15	22	20	29	25	21	33	43		
C ₂	10	15	18	17	18	18	23	18	19	18	20	24	27	26	32	34	44	78		
C ₃	8	26	14	18	25	22	27	22	21	19	26	33	28	28	34	30	43	79		
C ₄	18	27	36	20	24	24	26	23	24	25	20	26	23	22	35	27	62	56		
C ₅	0	8	5	2	2	2	3	2	2	4	4	7	6	8	17	12	25	49		
D ₁	26	43	28	29	30	33	37	31	30	34	35	37	36	32	48	46	54	90		
D ₂	0	9	3	4	10	3	10	6	6	8	7	13	12	12	24	14	34	69		
D ₃	0	11	5	2	2	1	2	1	0	2	0	2	3	2	11	5	27	63		
D ₄	0	5	0	0	2	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	10	38		
D ₅	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	16		
E ₁	14	32	29	34	38	37	44	40	37	32	42	48	54	54	59	61	71	105		
E ₂	6	18	28	20	24	24	25	26	25	20	31	33	34	33	47	31	55	87		
E ₃	0	8	2	0	2	0	1	1	0	1	0	4	3	3	11	6	30	62		
E ₄	0	8	1	1	3	0	1	0	0	2	0	3	4	0	6	0	11	55		
E ₅	0	5	1	0	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	14	35		
F ₁	11	34	18	18	19	17	21	17	16	14	22	14	23	22	28	22	45	91		
F ₂	0	8	2	0	2	0	1	0	0	6	0	2	3	1	14	3	25	58		
F ₃	0	10	1	0	1	0	1	1	0	3	0	2	3	0	12	0	10	10		
F ₄	0	9	2	1	0	0	0	0	0	2	0	2	2	0	7	0	8	39		
F ₅	0	5	0	0	2	0	1	1	0	1	0	1	0	0	3	0	12	35		
F ₆	0	7	0	0	1	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	12	45		
G ₁	23	28	22	18	21	20	20	20	19	16	14	21	15	14	21	18	40	61		
G ₂	0	8	0	0	6	0	0	0	0	1	0	2	0	0	7	0	19	55		
G ₃	0	8	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7	0	15	45		
G ₄	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	5	35		
G ₅	0	9	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	7	38		
H ₁	10	23	16	17	19	15	18	16	15	14	12	16	15	14	26	17	60	71		
H ₂	7	19	13	13	16	14	16	13	12	10	14	20	17	17	31	20	38	73		
H ₃	0	5	2	0	3	0	0	0	0	1	0	2	1	0	9	0	10	20		
H ₄	0	9	2	0	2	0	0	0	0	5	0	3	2	0	11	0	13	20		
H ₅	0	7	0	0	3	0	0	0	0	2	0	1	0	0	6	0	10	45		
H ₆	0	5	0	0	2	0	0	0	0	1	0	2	0	0	2	0	8	27		
I ₁	0	9	5	2	5	2	0	1	0	3	6	5	4	2	7	6	28	55		
I ₂	0	3	2	2	3	6	8	7	5	6	12	17	19	21	24	14	42	78		
I ₃	0	8	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	19	45		
I ₄	0	8	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	14	45		
I ₅	0	5	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	10	38		
I ₆	0	5	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	11	27		

表3 1990—1991年度空冰斗量雪尺测量资料 (雪深H: cm)

H 期 No.	1990—1991年度空冰斗量雪尺测量资料 (雪深H: cm)														
	1990	10.25	1991	2.31	2.7	2.14	2.26	3.7	3.19	4.2	4.9	4.23	5.1	5.7	
B ₁		3		14	10										
B ₂		4													
B ₃		0													
B ₄		3		9	8	5	6	13	13	10	25	14	32	28	
B ₅		0		6	7	6	5	16	15	8	12	3	11	34	
C ₁		0		10	5	5	2	11	5	1	17	15	30	21	
C ₂		4		10	5	8	6	17	9	11	30	17	33		
C ₃		4		10	9	9	9	12	5	12	26	24	36	26	
C ₄		8		10	9	9	11	19	15	14	29	21	48	34	
C ₅															
D ₁		10		11	5	12	9	21	4	11	27	28	50	55	
D ₂		4		6	4	6	4	12	12	9	18	20	39	38	
D ₃		4		5	4	6	5	15	11	17	21	14	36	37	
D ₄		3		4	2	4	0	10	0	0	4	0	16	30	
D ₅		0		3	2	2	2	2	9	0	5	0	18	9	
E ₁		6		15	8	9	10	15	13	13	24	27	54	60	
E ₂		10		12	9	15	13	22	22	17	35	32	50	58	
E ₃		5						15	10	0					
E ₄		7		7	7	8	8	10	9	9	20	14	33	28	
E ₅		10		10	9	8	7	12	11	0	6	0	18	7	
F ₁		8					6	0	0	15	15	30	25	0	
F ₂		0		5		1	0	0	0	7	7	28	25	1	
F ₃		3		6	3	4	0	0	0	8	3	24	16	0	
F ₄		0		9	8	7	6	4	0	7	0		4	0	
F ₅		0		10	9	8	7	5	0	5	0	19	5	0	
G ₁		12		2	3	0	0	0	0	0	25	21		22	
G ₂		0		10	7	7	7	6	4	0	3		20	22	
G ₃		0		2	2	2	0	3	0	0	6		15	4	
G ₄		0		1	1	3	3	10	9	0	8		20	13	
G ₅		0		1	1	2	0	4	0	0	6		12	5	
H ₁		3		1	10	1	0	2	0	0	15	16	45	40	
H ₂		4		7	10	12	11	9	5	19	20	25	55	48	
H ₃		0		3	4	3	0	2	0	0	8	0	28	14	
H ₄		0		4	3	2	0	1	0	0	9	0	39	13	
H ₅		0		2	2	1	0	3	0	0	6	0	13	4	
H ₆		0		3	1	3	0	4	0	0	7	0	13	4	
I ₁		5		9	5	6	4	11	8	4	3	0	26	14	
I ₂		0		2	1	0	0	0	0	0	3	0	14	8	
I ₃		0		1	0	0	0	0	0	0	6	0	20	17	
I ₄		0		1	0	0	0	1	0	0	5	0	13	5	
I ₅		0		2	1	1	0	0	0	0	7	0	12	2	

注: 空档未测量。

乌鲁木齐河河冰观测点河冰厚度发展 过程资料说明

张志忠

(1) 乌鲁木齐河流域河冰系统观测始于1985年冬季。定位站设在中山带海拔2130m的天山站基地附近。每年冬初在河流横断面设立测量花杆,进行河冰厚度和河冰温度的观测。观测时间从河流初冰开始逐日观测直到第2年开河、终冰为止,历时约6个月(附表1)。

(2) 通过对河冰连续6年的观测,把冰厚度的逐日变化绘制成图1的过程线,明

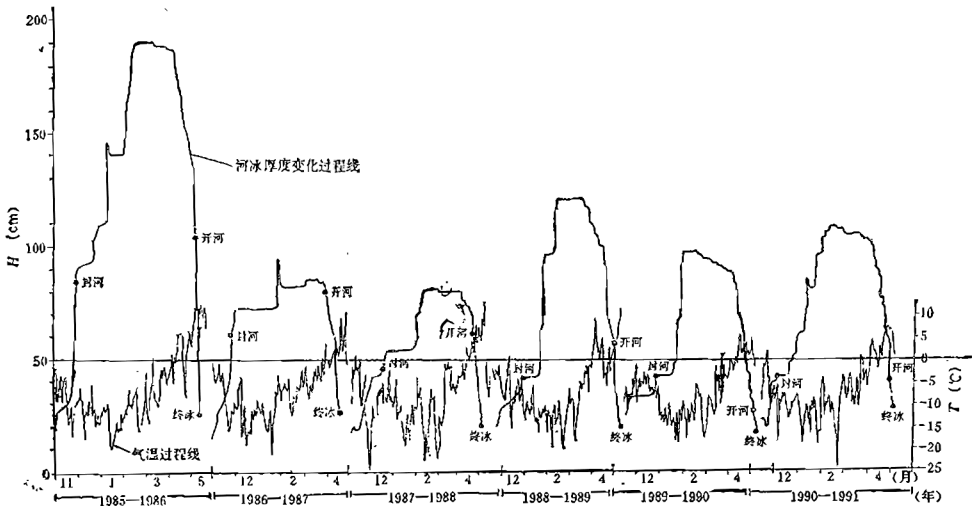


图1 乌鲁木齐河河冰发育(H)与气温(T)关系年际变化过程线

显看出河冰的发育不仅与气温有明显的关系,而且具有明显的年际变化规律。即出现高峰(1985—1986)、低谷(1987—1988)、低峰(1988—1989)、谷(1989—1990)、低峰(1990—1991)。分析认为,其原因可能有二。1) 地下水的补给量减少。乌鲁木齐河流域自60年代到80年代泉水减少70%左右(范锡朋,1990)。实际考察也发现,距河冰观测点仅2 km的二营南端一泉水,1985年冬季可以正常供水,近几年冬季水量很小,甚至出现干枯;2) 与河流径流系数有关。杨新元计算乌鲁木齐河英雄桥以上流域夏季径流系数:1985年为0.28,1986年为0.89,1987年为0.98。说明1985年夏季降水的绝大部分渗入地中,逐渐转化为地下水径流。尽管1985年夏季降水是近几十年最少的年份,仍出现1986年春河冰厚度的最高峰。1987年仅有极少量的雨水渗入地中,才出现1988年河冰厚度的最低值。

由于河水发育的年际变化原因尚未找出科学的论据，所以通过多年观测资料，找出水变化的客观原因，为河流径流组成分析计算提供依据。

附表1 乌鲁木齐河河冰观测点、冰厚度逐日变化资料一览表
(1985—1986年)

月 日 H(cm)	月						
	11	12	1	2	3	4	5
1		90	109	139	190	187	143
2	17	91	109	139	190	187	140
3	17	91	109	153	190	187	138
4	17	91	109	163	190	186	136
5	26	91	109	163	190	186	133
6	26	91	109	164	190	186	117
7	26	91	109	164	189	186	104 ^①
8	26	91	146	168	187	179	98
9	26	92	139	174	187	179	72
10	26	92	139	174	187	177	65
11	26	92	139	176	187	176	50
12	26	92	139	177	186	175	26
13	26	92	139	179	186	174	8
14	30	92	139	187	188	172	0 ^②
15	30	92	139	188	188	170	
16	30	92	139	188	188	168	
17	30	93	139	188	188	164	
18	30	93	139	190	188	162	
19	30	93	139	190	188	161	
20	33	93	139	190	188	159	
21	33	93	139	190	188	158	
22	33	93	139	190	188	157	
23	33	93	139	190	188	155	
24	50	93	139	190	188	155	
25	52	102	139	190	188	154	
26	52	109	139	190	188	152	
27	82	109	139	190	188	151	
28	82	109	139	190	188	150	
29	84	109	139		188	148	
30	84	109	139		187	146	
31		109	139		187		

注：①开河；②终冰。

附表 1 (续 1)

(1986—1987年)

H(3m) 日	月					
	11	12	1	2	3	4
1		72	72	82	82	80
2		72	72	82	82	75
3		72	72	82	82	74
4		72	72	82	85	72
5		72	72	82	85	70
6		72	72	82	85	68
7		72	72	82	85	64
8		72	72	82	85	63
9		72	72	82	85	63
10		72	72	82	85	60
11		72	72	82	85	58
12		72	72	82	85	57
13		72	72	82	85	55
14		72	72	82	84	51
15		72	72	82	84	49
16		72	72	82	84	46
17		72	72	82	84	45
18		72	72	82	84	44
19		72	72	82	84	42
20		72	72	82	83	30
21		72	72	82	84	26
22		72	72	82	84	10 ^②
23		72	72	82	84	
24		72	72	82	84	
25	64	72	72	82	84	
26	64	72	72	82	84	
27	64	72	72	82	83	
28	64	72	95	82	83 ^①	
29	64	72	82		83	
30	70	72	82		80	
31		72	82		80	

注：①开河；②终冰。

附表1 (续2)

(1987—1988年)

月 日 H(cm)	11	12	1	2	3	4
1	17	41	53	70	80	76
2	17	42	53	70	80	76
3	18	42	53	70	80	76
4	18	42	53	75	80	74
5	20	42	53	80	80	78
6	20	42	53	80	80	71
7	20	42	53	80	80	71
8	19	42	53	80	80	70
9	19	42	53	80	80	70
10	19	42	53	80	80	70
11	18	42	53	80	80	70
12	18	42	53	80	80	68
13	18	44	53	81	80	62
14	18	44	53	81	80	62 ^①
15	18	46	53	81	80	61
16	18	49	53	81	80	60
17	20	53	53	81	80	58
18	25	54	53	81	80	54
19	32	54	53	81	80	50
20	35	54	53	81	80	47
21	35	54	53	81	80	45
22	35	54	53	81	80	40
23	35	54	53	81	80	36
24	35	54	53	81	80	34
25	35	54	53	81	80	32
26	36	53	53	81	80	28
27	36	53	53	81	80	24
28	33	53	68	81	80	18 ^②
29	40	53	70	80	80	
30	40	53	70		80	
31		53	70		80	

注：①开河；②终冰。

(表 3) 「素樹」
(1988-1989年)

日	H (cm)		11	12	1	2	3	4	5
	上	下							
1					45	30	150	102	18
2					45	30	150	102	12
3					45	30	150	104	⑤ 7
4					45	30	150	104	
5					45	30	150	103	
6					45	30	150	103	
7					45	31	150	103	
8					45	31	150	100	
9					45	31	150	100	
10					45	31	150	100	
11					45	32	150	100	
12					45	32	150	100	
13					45	34	150	117	
14					45	34	150	88	
15					45	34	150	88	
16					45	34	150	70	
17					44	34	150	70	
18					44	34	150	70	
19					44	40	150	62	
20					33	40	150	62	
21					36	40	150	62	
22					32	45	150	28	
23					36	45	150	28	
24					36	45	150	28	
25			30		36	45	150	20	①
26			30		36	45	150	20	
27			30		36	45	150	27	
28			30		36	45	150	37	
29			30		36	45	150	35	
30			30		36	45	150	35	
31					36	45			

注: ① 同表 2。 ⑤ 同表 1。

附表 1 (续 4)

(1989—1990年)

H(cm) 日	月						
	11	12	1	2	3	4	5
1		33	43	97	94	84	20
2		33	43	97	94	84	16
3		33	43	97	93	83	12
4		33	43	97	93	81	10 ^②
5		33	43	97	93	78	
6		33	43	97	93	77	
7	25	33	43	97	93	75	
8	25	33	43	97	93	75	
9	25	33	43	97	92	75	
10	25	33	43	97	92	75	
11	26	33	43	97	92	74	
12	26	33	43	96	92	67	
13	31	33	43	96	92	65	
14	33	33	49	96	92	62	
15	33	33	49	96	92	60	
16	33	33	49	96	92	60	
17	33	33	49	96	91	57	
18	33	33	68	96	90	52	
19	33	33	68	94	89	48	
20	33	33	68	94	89	45	
21	33	43	90	94	89	43	
22	33	43	90	94	89	42	
23	33	43	97	94	88	41	
24	33	43	97	94	88	40	
25	33	43	97	94	88	38	
26	33	43	97	94	88	36	
27	33	43	97	94	88	34	
28	33	43	97	94	88	31	
29	33	43	97		88	30	
30	33	43	97		86	27 ^①	
31		43	97		86		

注：①开河；②终冰。

附表 1 (续 5)

(1990—1991年)

月 日	H(cm)						
	11	12	1	2	3	4	5
1		42	62	105	106	101	20
2		42	62	106	106	100	14
3		42	62	106	106	97	10 ^②
4		42	62	106	106	96	
5		42	62	106	106	94	
6		42	63	107	106	93	
7		42	73	107	106	91	
8		42	73	107	106	90	
9		42	86	107	106	89	
10	23	42	82	107	106	88	
11	23	42	82	107	106	87	
12	23	42	81	107	106	87	
13	23	42	81	108	106	83	
14	18	42	81	108	106	81	
15	19	42	81	108	106	79	
16	21	49	81	108	106	77	
17	20	49	81	108	106	77	
18	20	49	81	107	105	77	
19	26	49	83	107	105	74	
20	34	51	92	107	105	73	
21	37	51	96	107	105	70	
22	40	51	96	107	105	64	
23	40	51	96	107	104	60	
24	40	51	96	107	104	57	
25	40	60	96	106	104	52	
26	40	61	96	106	104	49	
27	40	61	96	106	104	46	
28	40	62	96	106	104	41 ^①	
29	42	62	104		104	35	
30	42	62	104		103	28	
31		62	104		103		

①开河, ②终冰。

乌鲁木齐河源冰川侵蚀和沉积 观测报告

崔之久 刘耕年 熊黑纲 李英奎 刘岳峰^①

1 冰川地貌

1.1 冰 坎

空冰斗以及罗卜道沟都有 3 个较大规模的冰坎, 详见表 1 和图 1, 2 和 3。

冰坎的坡坎上有许多冰川拔蚀作用形成的拔蚀面, 在气象站的冰坎, 对这些拔蚀面的产状做了一些测量(表 2 和图 4)。

1.2 羊背石

本区羊背石分布广泛, 1 号冰川末端、大西沟内的许多地方都有。从石背面在沟谷内的分布情况来看, 都在两沟谷交汇处上游的内侧发育, 在两沟谷规模相似时更加明显。

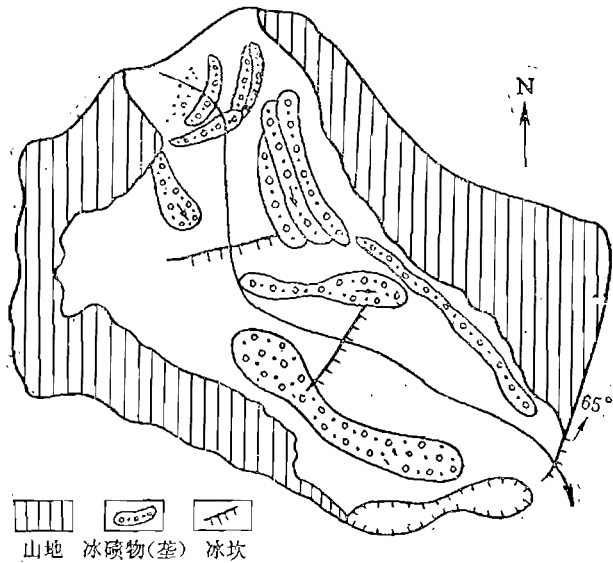


图 1 空冰斗地貌略图

^①作者均在北京大学地理系。

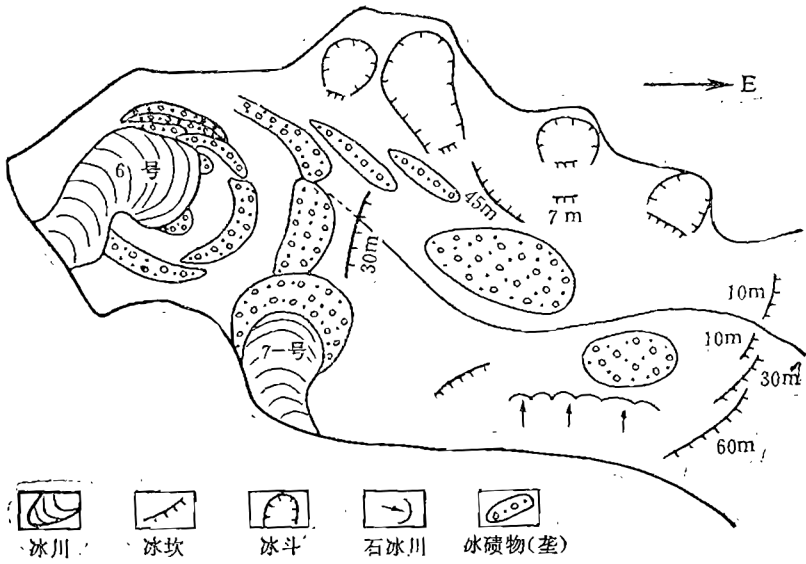


图2 罗卜道沟冰川冰缘地貌略图(倒石堆略)

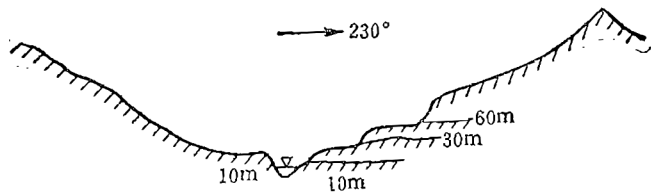


图3 罗卜道沟口冰坎剖面示意图(1号冰坎)

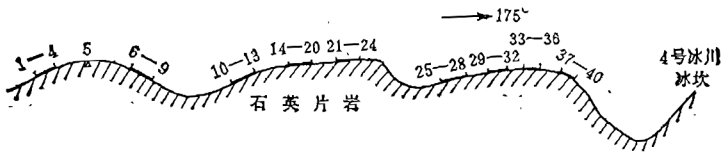


图4 气象站冰坎拔蚀产状统计点位置示意图

表1 乌鲁木齐河源空冰斗及罗卜道沟冰坎一览表

名称	高(m)	走向(°)	岩性	备注
空冰斗1号冰坎		65	石英岩、片岩等	反倾
空冰斗2号冰坎	约15	40	闪长玢岩、正长岩等	上覆冰碛物
空冰斗3号冰坎	20—30	155	辉绿岩、闪长玢岩	
罗卜道沟1号冰坎	50—60	150		阶梯状
罗卜道沟2号冰坎	约45	165	石英岩、硅质岩、辉绿岩等	
罗卜道沟3号冰坎	约30	225	碳质页岩、砂岩互层	有倒转褶皱

表 2 气象站冰坎拔蚀面产状统计表

序号	产 状 (°)	序号	产 状 (°)
1	110/68	21	101/81
2	110/70	22	92/74
3	100/69	23	96/71
4	96/70	24	95/69
5	95/61	25	110/76
6	96/71	26	87/72
7	110/73	27	98/66
8	103/80	28	105/70
9	100/76	29	110/77
10	97/73	30	95/75
11	99/76	31	92/86
12	91/71.5	32	94/78
13	94/72.5	33	95/68
14	106/86	34	115/78
15	101/59.5	35	94/77
16	111/63	36	120/77
17	103/85	37	115/65
18	105/68	38	107/79
19	110/87	39	103/68
20	120/67	40	130/77

这些现象可能是由于冰川汇流时相互顶托而造成的 (图 5, 6, 7)。

本区的羊背石大都发育为磨蚀区较大, 磨拔相间等特点的亚羊背石。

1号冰川东支末端的羊背石其岩性为眼球状片麻岩见表 3 和图 8。

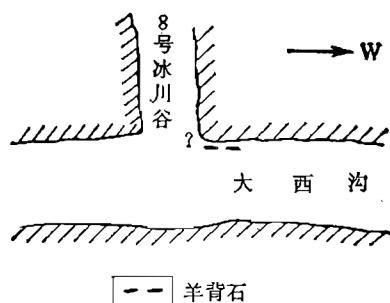
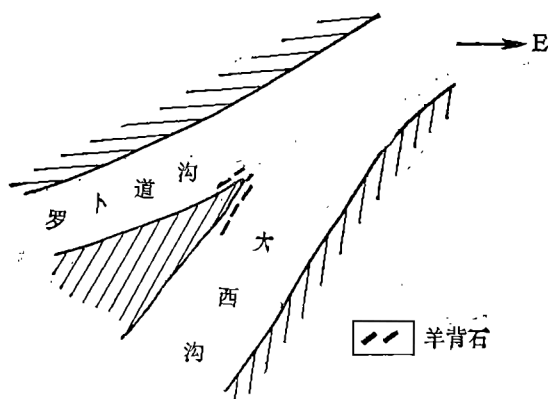


图 5 罗卜道沟、大西沟交汇处羊背石分布示意图

图 6 大西沟、8号冰川谷羊背石分布示意图

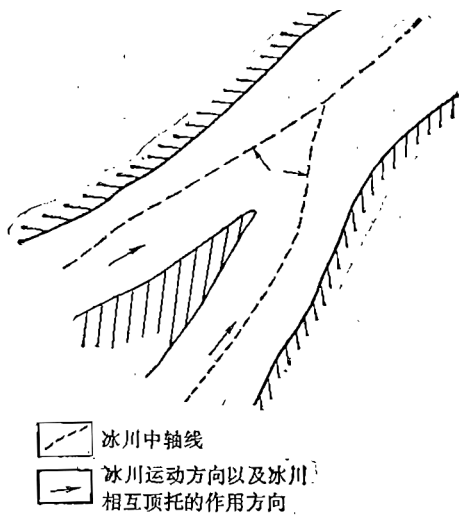


图7 冰川相互顶托作用示意图

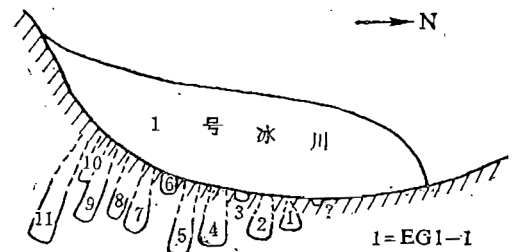


图8 1号冰川东支羊背石分布示意图

表3 1号冰川东支末端羊背石一览表

名称	可见长 (m)	可见宽 (m)	可见高 (m)	拔蚀长 (m)	磨蚀长 (m)	岩性
EG1-1羊背石	约8	6	1.12	2.4	5.6	眼球状片麻岩
EG1-2羊背石	9.3	6.4	1.26	7.1		眼球状片麻岩
EG1-3羊背石	2	5	1.5			眼球状片麻岩
EG1-4羊背石	28.8	13.4	2.05			眼球状片麻岩
EG1-5羊背石	14.4	6.5	1.0			眼球状片麻岩
EG1-6羊背石	5	5	2.0			眼球状片麻岩
EG1-7羊背石	14.4	5.5	1.75			眼球状片麻岩
EG1-8羊背石	20.5	7.5	2.2	19.9		眼球状片麻岩
EG1-9羊背石	39.2	14.5	4			眼球状片麻岩
EG1-10羊背石	21	5	0.80			眼球状片麻岩
EG1-11羊背石	55	25	7			眼球状片麻岩

另外,对有些羊背石的拔蚀面以及一些其它指标的测量见图9—15。

大西沟与罗卜道沟交口处,大西沟内的羊背石见表4和图16。

大西沟内乌库115里程处的羊背石见表5和图17和18。

1.3 擦痕及其它微观地貌

冰川侵蚀作用不仅表现为塑造较为大型的地貌,同时也塑造了许多小型和微型的地貌形态。如:擦痕、新月型凿口等。

擦痕分级用等法是不科学的,对于较粗的擦痕,差几个毫米影响不大,而对于细的则有很大的影响,因此分级的指标必须是非线性的。引用几何级数的分级方法,将擦痕

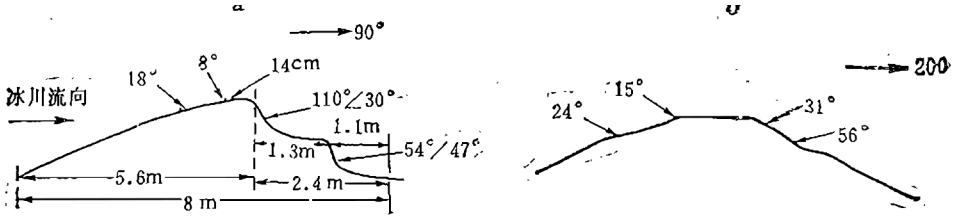


图9 EG1-1号羊背石纵(a)横(b)剖面示意图

(注: 前缘拔蚀后壁产状有: $110^\circ/30^\circ$ $54^\circ/47^\circ$ $110^\circ/50^\circ$ $140^\circ/68^\circ$ $50^\circ/42^\circ$)

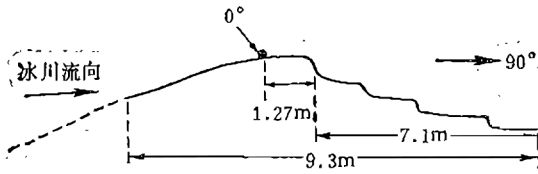


图10 EG1-2号羊背石纵剖面图

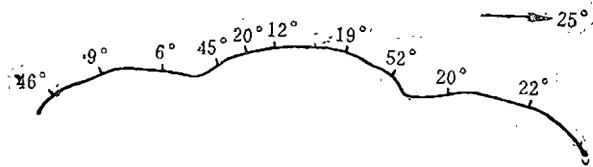


图11 EG1-2号羊背石横剖面图

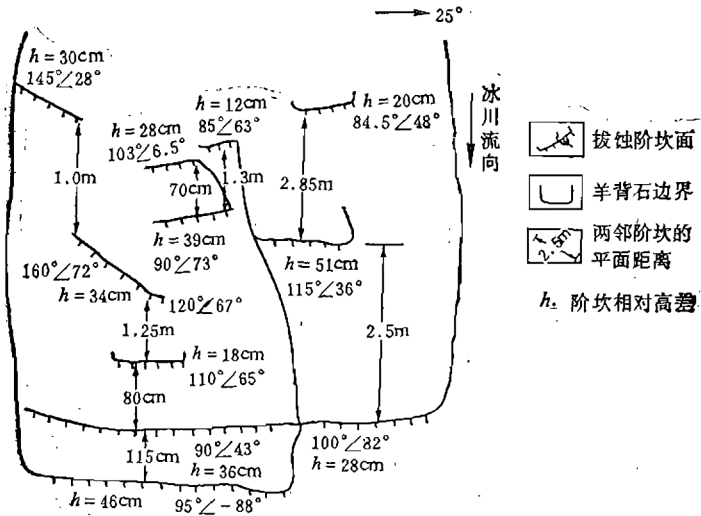


图12 EG1-2号羊背石平面测量数据图

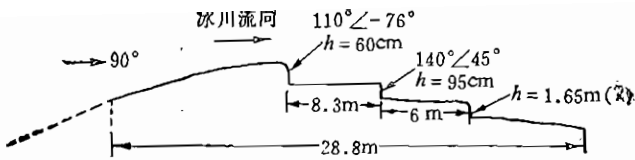


图13 EG1-4号羊背石纵剖面图

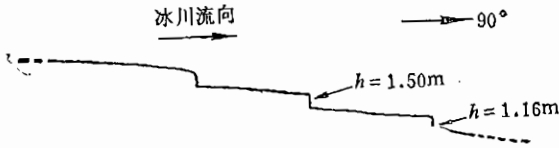


图14 EG1-9号羊背石纵剖面阶坎图

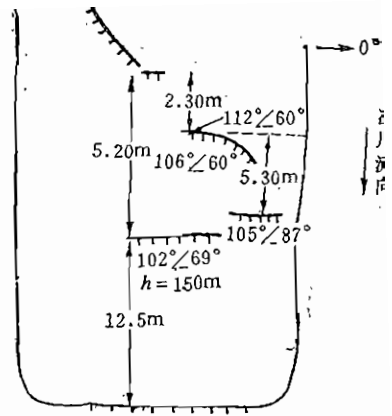


图15 EG1-9号羊背石平面数据图

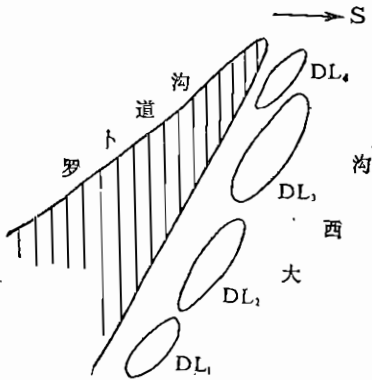


图16 大西沟萝卜道沟交口处羊背石分布图

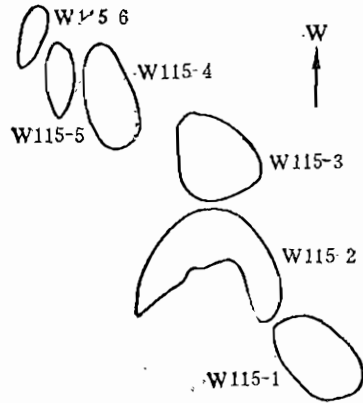


图17 115公里处羊背石分布图

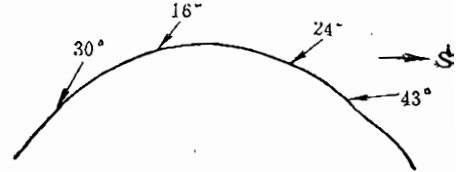
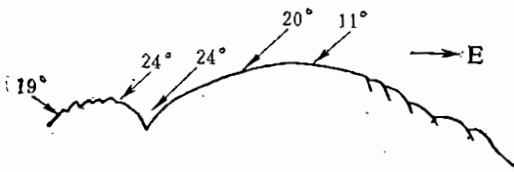


图18 W115-1号羊背石纵横剖面图

(注: 拔蚀面产状: $85^\circ < 44^\circ$ $95^\circ < 58^\circ$ $105^\circ < 56^\circ$ $85^\circ < 51^\circ$
 $85^\circ < 44^\circ$ $25^\circ < 75^\circ$ $30^\circ < 67^\circ$
 岩石节理主要方位: 190° 310° 285° 325°)

级别定义为:

$$\phi = -\log_2 \omega$$

中: ω 为擦痕宽度 (mm); ϕ 为擦痕级别。

用这种分级法对一些羊背石上的擦痕进行了统计。

1号冰川东支末端EG1-7号羊背石擦痕统计见表6。

表4 大西沟内与罗卜道沟交口处羊背石一览表

名称	可见长 (m)	可见宽 (m)	可见高 (m)	岩性	长轴方位 (°)
DL ₁ 羊背石	40	23	15	辉绿岩	70
DL ₂ 羊背石	60	28	15	辉绿岩	70
DL ₃ 羊背石	100	40	30	辉绿岩	70
DL ₄ 羊背石	35	20	10	辉绿岩	70

表5 大西沟内乌库115公里处羊背石一览表

名称	长 (m)	宽 (m)	高 (m)	磨蚀丘长 (m)	方位 (°)	岩性	备注
W115-1羊背石	13.5	9.8	2.25	8.7	85	辉绿岩	冰碛物覆盖未做测量
W115-2羊背石	30	20	2.75	14.8	85	辉绿岩	
W115-3羊背石	25	12	1.5		85	辉绿岩	
W115-4,5,6等羊背石							

在7号冰川末端对擦痕进行了较为系统的量计工作(表7和图19)。

另外,在6号冰川的终碛垄上对在炭质页岩上发育的擦痕进行了擦痕的形态统计(表8)。

在1号冰川对其它的一些微观地貌也做了一些测量。

1号冰川终碛垄上有一典型大熨斗石,岩性为眼球状片麻岩,该石长轴方位114°,上面微型地貌发育,主要对新月形凿口和擦击“V”形痕进行了量计(表9和10)。在不同段进行了砾石岩性百分比统计(表11)。



图19 7号冰川末端擦痕统计位置示意图

表6 1号冰川末端EG1-7羊背石顶部及左侧擦痕分级统计表

量测位置	EG1-7顶部	EG1-7左侧
统计长度(cm)	20	35
分级区间及统计数目		
>64(mm)	2	3
32-64(mm)	3	6
16-32(mm)	8	13
8-16	12	13
4-8	18	25
2-4	35	25
1-2	90	90
.....		

表7 7号冰川末端擦痕分级统计表

量测位置	亚 鲸 左	亚 鲸 左	亚 鲸 近 中	亚 羊 顶	羊 顶	羊 顶	羊 顶	
编 号	1	1'	2	4	6	3	5	
坡 度(°)	14	9	25	7	9	8	15	
量测长度(cm)	40	40	25	20	20	25	20	
分 级 区 间 及 统 计 数 目	<0.5mm	40	120	42	30	40	35	50
	0.5—1	85	94	40				
	1—2	55	45	33	28	18	25	10
	2—4	20	33	17	15	10	15	16
	4—8	10	20	10	7	10	10	14
	8—16	11	15	8	11	7	8	6
	16—32	13	10	6	5	6	8	7
	32—64	4	5	2	3	3	3	3
>64	1	1	2	0	1	1	1	

表8 6号冰川终碛垄炭质页岩冰碛石擦痕形态统计表

编号	长 (mm)	宽 (mm)	编号	长 (mm)	宽 (mm)	编号	长 (mm)	宽 (mm)
1	9	1	19	30 ^v	1.2	37	8•	0.5
2	9	0.5	20	45 ^v	3	38	17•	1.2
3	13	1.3	21	100 ^v	10	39	21•	1
4	10	1	22	19 ^v	0.8	40	26•	0.5
5	13	1	23	11 ^v	0.5	41	8•	0.2
6	11	1	24	14 ^v	1.2	42	9•	0.3
7	23	1.5	25	15 ^v	1.2	43	28•	1.1
8	7	1	26	12 ^v	0.5	44	25•	0.5
9	45	1.5	27	13 ^v	0.5	45	18•	1.8
10	20	1.2	28	15 ^Δ	1	46	16•	1
11	1.2	1	29	16 ^Δ	1	47	15•	0.6
12	17	1.5	30	7 ^Δ	0.8	48	13•	0.8
13	15	1.5	31	14 ^Δ	0.8	49	10•	0.6
14	30*	1	32	7 ^Δ	0.5	50	20•	1.2
15	47*	1.5	33	10 ^Δ	1	51	12•	0.8
16	22 ^v	1	34	5 ^Δ	0.4	52	11•	0.5
17	16 ^v	0.5	35	7.	0.5	53	22•	1.3
18	85 ^v	8	36	6.	0.3	54	13•	0.5

注：“Δ”“•”“v”“.”等表示测自不同的石块。

1.4 槽 碛 垄

1号冰川东支的冰川末端有4—5道槽碛垄，现在已经基本露出，几乎每道槽碛垄都有一羊背石做“后源”。最长的一道发育于EG1-3号羊背石前，长约120—130m，

约5—10m, 高约1—1.5m。

表9 新月形槽口形态量计表

位置		长 (cm)	宽 (cm)	深 (cm)	背冰坡度 (°)	迎冰坡度 (°)	基面坡度 (°)	"↔" 方位 (°)
右后侧	→(	20	8	3	26	4	0	142
顶后侧	→(	20	8	2.4	25	23.5	-7	140
顶中部	→)	49	17	6	31.5	24	0	68
顶中部	→(	9	3	1.1	29	12	0	90
右前侧	→)	20	12	4	(长)4.2cm	(长)8.5cm		
右前侧	→(	14	8	1.5	(长)3.5cm	(长)5cm		

表10 "V" 形坑形态量计表 ($a \geq b \geq c$ $a' \geq b' \geq c'$)

位置	a(cm)	b(cm)	c(cm)	a'(cm)	b'(cm)	c'(cm)	方位 (a' 从内向外指向) (°)
正前	31	25.5	19.5	24	18	10	85
正前	28	25	7.5	24	7	5	105
前顶	25	19	18	18.5	11.5	10	85
前顶	10.5	9.5	5.5	7.2	4.5	4	196
后顶	8.5	7.5	4	7	4	2	284

表11 1号冰川末端槽积砾石百分含量表

统计位置 岩性	距羊背石30m	距羊背石约60m	距羊背石约80m
石英片岩 (sp)(%)	21	23	18
眼球状片麻岩 (yp)(%)	3	17	33

在EG1-3羊背石的这道槽砾石的成因是一个值得讨论的问题。

2 其它

本次考察注意到一些冰川后退的数据:

(1) EG1-4羊背石: 1986年8月15日距冰川末端2m; 1991年8月27日距冰川末端24.4m。

(2) EG1-7羊背石: 1986年8月15日距冰川末端2.5m; 1991年8月13日距冰川末端21.5m。

(3) EG1-9羊背石: 1981年8月7日距冰川末端11m; 1991年8月13日距冰川末端40m。

10年后退29m, 平均后退速率2.9m/a。似乎冰川后退的速率有加快的趋势。

乌鲁木齐河源冰缘地貌考察报告

崔之久 刘耕年 熊黑纲 刘岳峰 李英奎

1 石 环

对石环的观测主要在空冰斗中进行的。它们分布在海拔3 930m, 3 880m和3 820的三个不同的高度。为了叙述方便, 分别称之为上石环、中石环及下石环(图1)。观测中得到以下几点体会:

(1) 不同高度的石环代表了三个不同的发育阶段, 或者说这三处石环有不同的形成时间。由于石环是由冻胀分选作用形成的, 那么表明石环发育阶段的指标就有两个, 一个是外围砾石中, ab面与石环相切的砾石个数占总砾石个数的百分比。这是与冻胀作用相关联的。另一个则是石环分选的程度。为此, 我们对这三处石环分别进行了上述两个指标的统计。其中对分选程度的统计方法如下:

一方面, 考虑石环中心砾石参差不齐的程度, 为此, 在上、中、下三处各选一代表性的石环, 在其中心任取砾石100块, 测量其a轴长度作为粒径并分级(表1)。为了计算简便, 取每一粒级的中值作为该

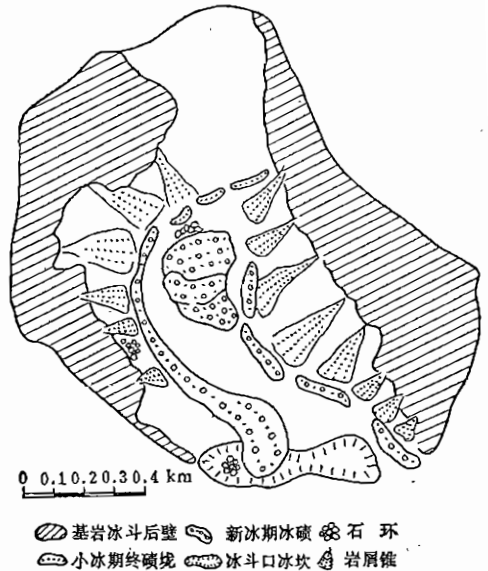


图1 空冰斗冰川冰缘图

表1 石环中心砾石粒径分级

上 石 环		中 石 环		下 石 环	
粒径分级 (mm)	块 数	粒径分级 (mm)	块 数	粒径分级 (mm)	块 数
5—10	16	5—10	5	2—5	30
10—20	43	10—20	31	5—10	49
20—30	27	20—30	34	10—15	13
30—40	9	30—40	20	15—20	6
40—50	2	40—50	6	20—25	2
50—60	3	50—60	4		

级的平均粒径，然后计算出100块砾石的方差 D ，平均值 E ，及 $F = \frac{D}{nE}$ 。例如，对于上石环：

$$E = (7.5 \times 16 + 15 \times 43 + 25 \times 27 + 35 \times 9 + 45 \times 2 + 55 \times 37) / 100 = 20.1(\text{mm})$$

$$D = 16 \times (7.5 - 20.1)^2 + 43 \times (15 - 20.1)^2 + \dots + 3 \times (55 - 20.1)^2 = 11199(\text{mm}^2)$$

$$F = 11199 / 100 \times 20.1 = 5.57$$

式中， F 可以看作是代表分选程度的一个参数，该值越大，表明分选程度越差。

另一方面，考虑石环外围砾石粒径与中心砾石粒径的差别，因为差别越大，表明分选程度越好。故统计了上、中、下石环外围平均粒径(D_r)与中心砾石平均粒径(D_c)的比值 P (表2)。 P 值越大，表明分选程度越好。

通过对上述几个指标的测定，可以得到表3。

表2 石环外围砾石粒径与中心砾石粒径的测量

名称	外围砾石粒径 D_r (cm)	中心砾石粒径 D_c (cm)	$P = D_r/D_c$
上石环	5	2	2.5
中石环	15	2.5	6
下石环	10	0.8	12.5

表3 不同高度的石环发育程度比较

名称	ab面与石环相切的砾石的百分数 (%)	分选程度	
		F	P
上石环	49	5.57	2.5
中石环	60	4.96	6.0
下石环	66	2.31	12.5

从上面的统计数据可以看出，从上至下ab面与石环相切的砾石所占百分比增大，分选程度也逐渐增强，这表明从上至下，石环所处的发育阶段逐渐变老，如按地貌学最为普通的分类方法，上、中、下三个不同阶段的石环分别处于幼年期、壮年期、老年期。

为了进一步说明上述观点，下面将这三处石环的形态特征加以简要叙述。

上石环 发育在小冰期冰碛垅外侧坡度 3° 的缓斜坡上。成片出现，直径1—5m，

多为2m左左。最主要特征是，整个石环要比周围地面高，中心最高，以 $2-3^\circ$ 的坡度向四周降低，到石环边缘处，为 $20-35^\circ$ 的陡坡，形状恰似一馒头(图2)，成为典型的高中心石环，中心一般比周围地面高20cm。该处石环还看不出分选现象，即外围砾石与中心砾石在粒度上没有

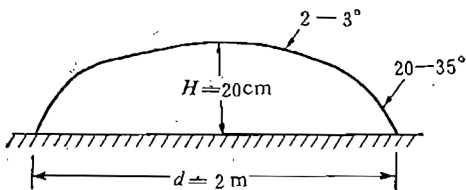


图2 上石环形态剖面图

明显区别，看不出它们之间的明显界限(表4)。

表4 上石环形态统计

石环号	CK ₁₋₁	CK ₁₋₂	CK ₁₋₃	CK ₁₋₄	CK ₁₋₅	CK ₁₋₆	CK ₁₋₇	CK ₁₋₈
形态参数								
直径(长轴)(m)	2.2	4.4	2.4	2.9	2.45	2.1	2.0	2.05
直径(短轴)(m)	1.85	3.06	2.4	2.65	2.15	2.0	1.85	2.05
高差H(cm)	21	19	20.5	22.5	19	15.5	16	20

中石环 发育在倒石堆前缘坡度2°的微斜坡上，亦成片出现，直径多为2.0—5.0m。由于该处石环是一个与另一个紧密相连，很难看出哪是原始地面，故只能把石环中心当作地面。从中心往四周以很微小的坡度降低，降低到一明显界限，该界线以外便是外围粗大砾石，平均粒径约15cm，粗大砾石高度大致与中心一致。在石环中心发育了小型石环及多边形土，两者直径大多为20—40cm（图3）。

下石环 发育在平坦的冰斗口冰坎上，亦成片出现。直径绝大多数为1—3m。石环中间已长有稠密植被，由于冰雪融水的修饰，地表形态已遭受一定程度的破坏。石环边界已不是很清晰，只有少量粗大砾石表明其石环的边界。

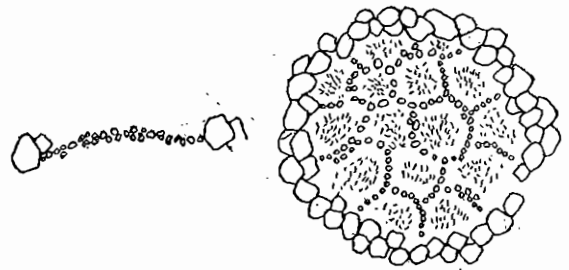


图3 中石环剖面及平面示意图

(2) 同一高度的石环沿着物源方向上，发育程度是一渐变的序列。这种现象在上石环及中石环都存在，尤以中石环典型。即，越靠近物源，石环发育程度越低，越远离物源，发育程度越高。我们在中石环处，沿倒石堆坡向拉一直线，测量了该线上的石环形态（表5）。从表中可以看出，总的趋势是，靠近倒石堆的石环中心砾石粗，外围细，远离倒石堆的石环中心砾石细，外围粗。从图4可以直观地看出，中心砾石随与物源距离增加而逐渐变细，相反，外围砾石逐渐变粗。这表明随着与倒石堆距离的增加，石环逐渐有了分选，且分选程度越来越高。除了砾石粒径的变化外，石环中心与周围地面的高差逐渐减小。这也表明石环发育程度越来越好。同时多边形土与小型石环的出现也说明了上述事实。

表5 中石环处沿直线的石环形态

内 容	1	2	3	4	5	6	7
直径(m)	5.25	4.5	5.5	3.2	3.6	2.8	2.05
外围砾石平均粒径(cm)	3.5	5.3	6	9.0	10.6	11	14.8
中心砾石平均粒径(cm)	11	8.2	7.6	6.4	7.1	7.0	4.3
中心与地面高差(cm)	40	28	25	15	10	0	0
其 它				多边形土	小型石环 多边形土	小型石环 多边形土	小型石环 多边形土

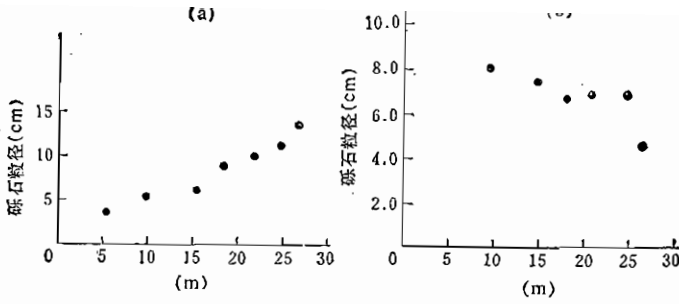


图4 石环砾石粒径变化序列

a. 石环外围砾石粒径与距倒石堆前缘距离的关系; b. 石环中心砾石粒径与距倒石堆前缘距离的关系

2 石 河

石河 (block stream) 在天山海拔3 000m以上的较缓山坡上几乎随处可见, 由于受斜坡重力、流水和冻融多重影响, 故既有块体运动特点, 又有冻融分选特征。

笔者实地调查了气象站西面较缓山坡上的石河群。该地石河一般长几十米, 甚至上百米, 宽2—10m不等。沉积面坡度10—14°, 组成物质为硅质板岩, 砾石大小多为20—40cm, 最大的2 m以上, 末端支进入下方较缓谷地后即演变成坡度 $< 5^\circ$ 的石铺。

(1) 通过对石块组构的统计来说明该处石河既有块体运动特点, 又有冻融分选特征。该处石河是由石环演变而成。石环发育在较陡(10—14°)坡地上, 在重力影响下, 顺坡拉长, 顺坡拉长的石环的两侧便成为石河。而且, 几乎所有石河都是被拉长石环的一支, 被拉长的石环紧密相连(图5)。

沿图5中虚线对6条石河的砾石组构进行了测量。测量点处石河形态、结构见表6。我们所感兴趣的是砾石的倾向, 在每个测量点统计了五十块砾石, 把砾石的倾向分为4个象限, 并以平行坡向与垂直坡向的两条直线为纵轴及横轴。计算出每个象限的砾

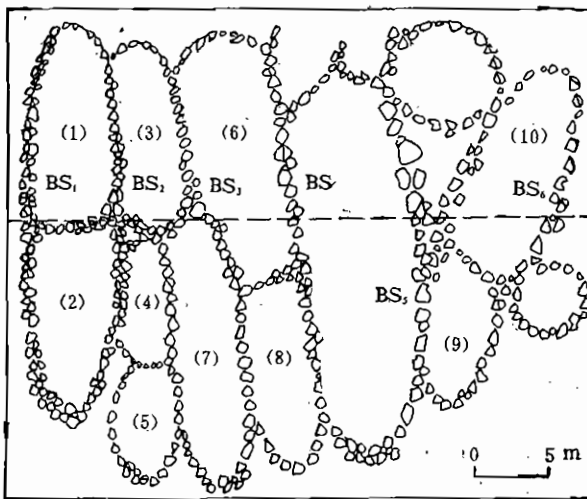


图5 气象站西面斜坡上石河平面示意图

BS_n: 第n号石河, (n): n号被拉长的石环

表 6 石河测量点形态、结构 (砾石统计50块)

测量点序号	1	2	3	4	5	6
坡向(°)	113	115	115	115	115	115
石河宽度(m)	3.0	5.0	3.8	4.5	11.8	5.0
砾石大小 (a,b,c)cm	55.8, 36.4, 14.3	67.7, 47.0, 22.3	46.2, 34.4, 14.6	49.9, 33.2, 11.2	63.4, 37.4, 22.1	41.4, 25.3, 14.

石所占的百分比 (图 6)。

从图 6 可以得到两点认识: 1) 各石河大约 80% 的砾石倾向上游, 这反映了石河块体运动的特征; 2) 在朝上游方向的两个象限中, 有的重点分布在一个象限。出现这种现象的原因可从块体运动及冻融分选两种作用机制来进行探讨。砾石在冻胀作用下往下

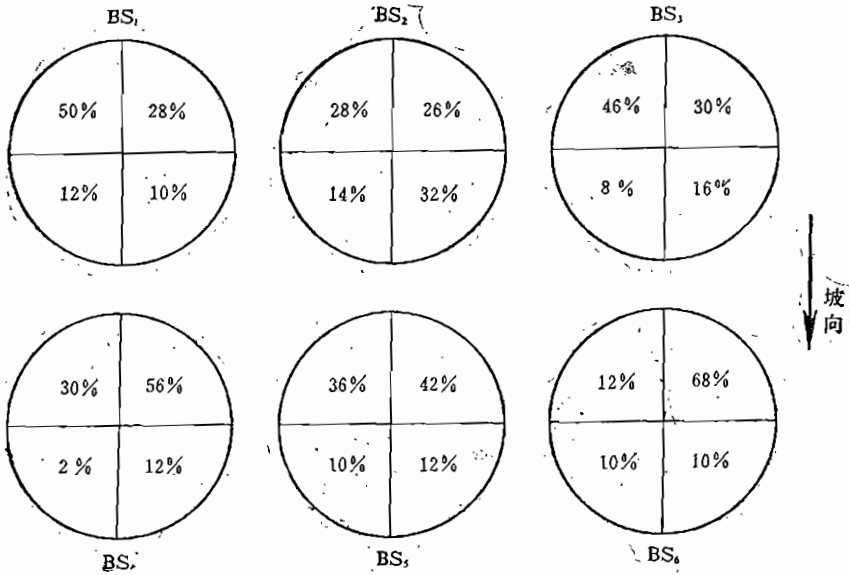


图 6 各石河砾石倾向在各象限的百分比

蠕动时, ab面往往倾向上游, 这是石河作为块体运动的一个特征。而石环在冻融分选作用下, 砾石往往外倾, 呈“离心状”, 石环被拉长后, 形成两条基本平行的石河, 这时可以认为, 该石环的砾石主要垂直于石河流向, 而倾向两个相反的方向 (图 7)。取图中砾石 A, 水平方向的箭头代表“外倾方向”, 它是由冻融分选作用形成的。竖直的箭头代表“反倾方向”, 它由块体运动形成的, 而倾斜的箭头代表上述两种倾向的“合倾向”。这便是砾石倾向重点分布在一个象限的原因。但如果两个规模相似的石环, 紧密相连, 则它们共同形成的石河的砾石倾向就很可能均匀分布在倾向上游的两个象限。

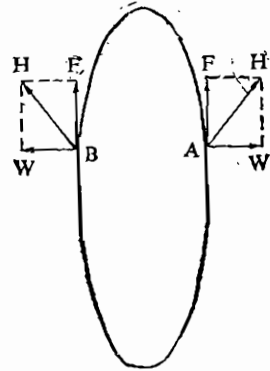


图 7 石河砾石倾向成因示意图

(2) 石环在何种坡度下被拉长。图5中有两个未被拉长的石环,这是因为该处坡度较周围缓。这两个石环的表面坡度,左边的一个为 6.5° ,右边的一个为 4.5° 。同时,测得被拉长石环的最小表面坡度为 8.5° ,因此,笔者认为当坡度达到 $7-8^{\circ}$ 时,石环将被拉长。

(3) 被拉长石环长宽比的测定。石环被拉长的程度当然用长宽比来表示是比较合适的。为此,我们测量了图5所示的10个石环的长与宽(表7)。从表7可以看到各石环长宽比非常接近,主要在 $2.5-4.0$ 之间,尤以 $3.0-3.5$ 居多。

表7 被拉长石环长宽比的测定

石环序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
长a(m)	20	13.2	15.5	9	11.6	14.5	16	15.8	13.2	15
宽b(m)	6.5	3.4	4.8	3.9	3.5	5.6	5	4	4	4.4
长宽比a/b	3.08	3.88	3.23	2.31	3.31	2.59	3.2	3.95	3.85	3.41

3 石冰川

对石冰川的观测主要在大西沟、4号冰川槽谷以及罗卜道沟三处进行的。所观测的石冰川几乎都是倒石堆型的,并且成群出现。分别叙述如下:

(1) 大西沟石冰川群:分布在大西沟南侧,自谷壁向外流。自5号悬冰川末端开始往下游方向紧密排列了约10条石冰川,石冰川群的前缘为冰雪融水汇成的河流。5号悬冰川下方为冰碛物形成的倒石堆。往下游方向,依次测量了9条石冰川的形态(表8)。

表8 大西沟石冰川群形态统计表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
台面长(m)	80	80	80	47	50	113	145	165	37.2
台面宽(m)	200	90	200	53	65	180	120	70	140
前缘坡长(m)	50	40	45	45	29	40	40	35	69.2
前缘坡度($^{\circ}$)	40	45	45	45	37	44	30	18-31	20
叠加次数	0	1	1	0	2	2	1	1	1

为了更进一步说明各条石冰川的形态特征,将它们的纵剖面绘制成图8。

从剖面图看出,越靠近上游的石冰川的形态越简单。相反,越往下游的石冰川形态越复杂。并且有的石冰川上叠加了新的石冰川,甚至在新的石冰川上叠加了更新的石冰川。

(2) 4号冰川槽谷石冰川群:分布在4号冰川终碛垅下游方向,槽谷的东侧。总的特征是石冰川形成的先后顺序表现得非常明显,从上游往下游形成的时间越来越老。最上游是现代形成的倒石堆,往下是具有倒石堆性质的石冰川,我们称之为“锥形石冰川”,再往下便是典型的石冰川群。仅拿典型石冰川来说,越往下游规模越大,使得该石冰川群的平面形态呈楔形(图9)。对于剖面形态的测量见表9。

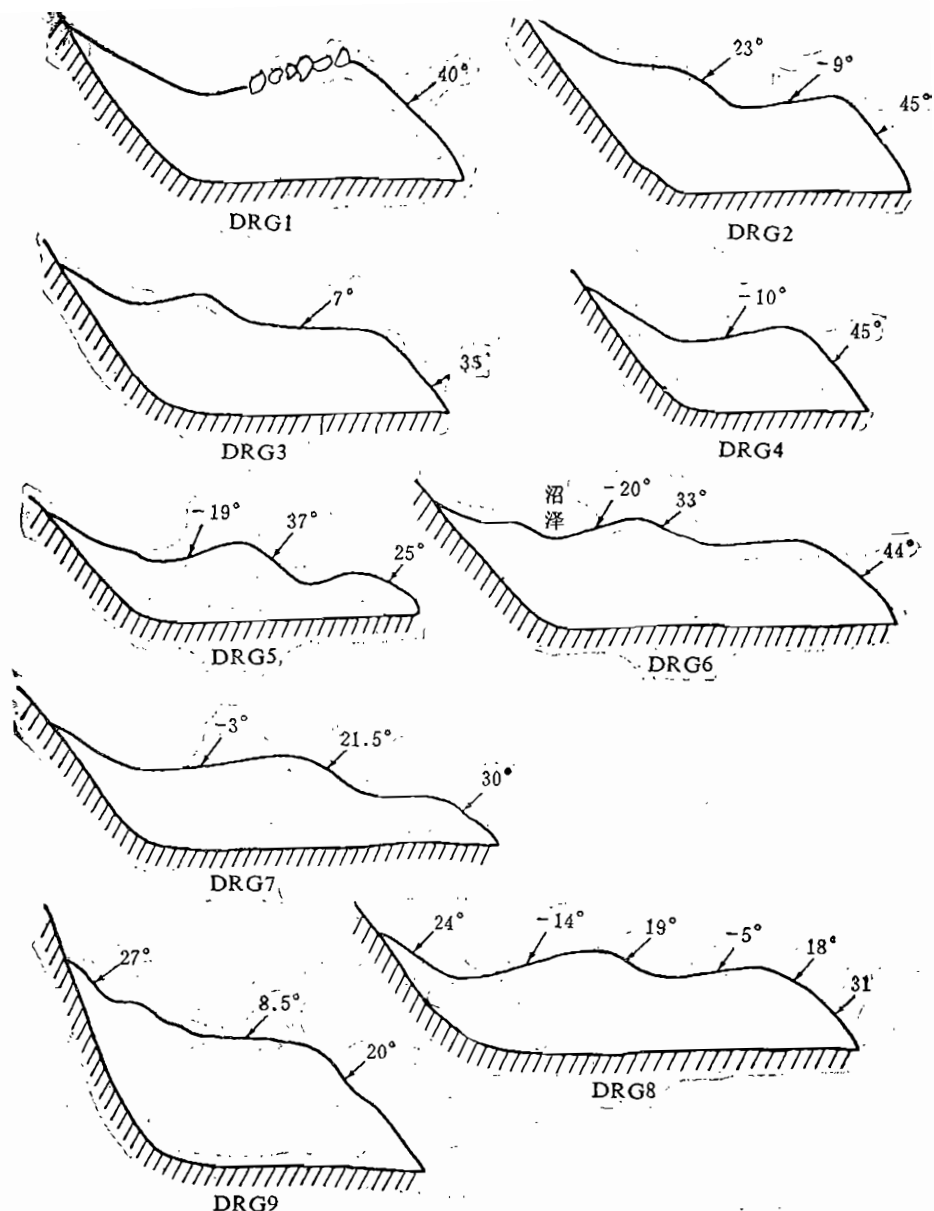


图 8 大西沟石冰川群纵剖面图 (DRG1……n为石冰川编号)

表 9 4号冰川槽谷石冰川群形态剖面统计

剖面号	1	2	3	4	5
台面长 (m)	26	23	52	76	85
剖面所在石冰川台面宽 (m)	34	100	100	90	108
台面坡度 (°)	17	10	-14 (后部) -14 (前部)	10	5 (后部) -10 (前部)
前缘坡长 (m)	67.5	27.5	40	45	52.5
前缘坡度 (°)	52—29	30	30	30	47—38
与冰碛垅距离 (m)	260	315	4.35	600	835

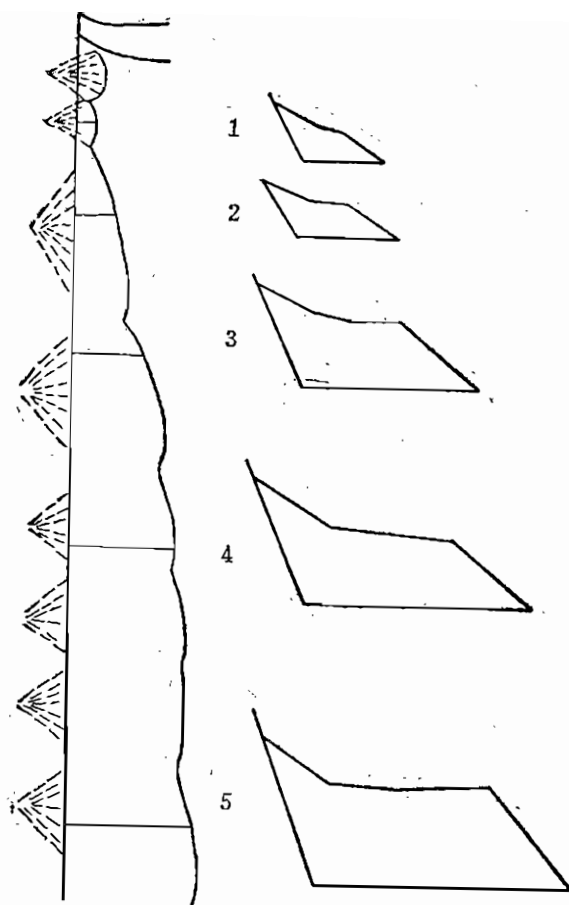


图9 4号冰川槽谷石冰川群平面及剖面图

(3) 罗卜道沟石冰川群，分布在7号冰川下游罗卜道沟的南侧，具体位置见图。该石冰川群与4号冰川槽谷石冰川群非常相似。主要统计数据见表10。

从对上述石冰川群的观测中，可以得到：1) 石冰川群的分布具有明显的规律性。要分布在冰川末端，槽谷的阴坡或半阴坡；2) 从槽谷下游往上游方向、石冰川的

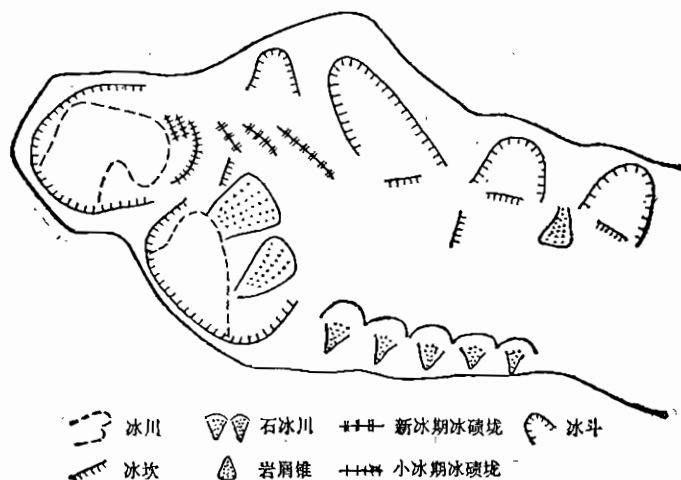


图10 罗卜道沟冰川冰缘地貌图

表10 罗卜道沟石冰川群形态统计 (空白处为没测量或不存在)

内 容	倒 石 堆	锥 形	1	2	3	4
台 面 长(m)			23	36	60	70
台 面 宽(m)			85	140	114	
台面坡度(°)		20	-8	-6	-5	-5
前缘坡长(m)		15	33	18.5	16	10
前缘坡度(°)	35	38	40	40	25	30

育年代越来越新。这反映了冰川的逐渐后退过程。当冰川占据槽谷时，槽谷两壁不能产生。随着冰川后退，一方面冰川的侧蚀作用为石冰川的形成提供了丰富的碎屑，另一方面，形成的石冰川的年代越来越晚。

4 热融沉陷与热融滑塌

在乌库公路115km处，有一线状热融沉陷形成的沟谷，沟深约1.8m，沟谷两边的地面还有往下塌的趋势。揭露的沉积剖面各层情况如下(从上至下)：

- | | |
|-------------------------------------|-----------|
| 1. 地表腐殖质，褐色，生长草本植物 | 0—27cm |
| 2. 大砾石夹灰褐色潜育化粘土，含较多的腐殖质，砾石粒径20—30mm | 27—60cm |
| 3. 含小砾石灰褐色土，含少量腐殖质 | 60—75cm |
| 4. 黑褐色腐殖质，含草本植物叶子，腐殖质层底面有少量被水冲过的细沙层 | 75—84cm |
| 5. 黄棕色粘土层，含草本植物残体 | 84—107cm |
| 6. 黑褐色粘土层，含草本植物残体 | 107—146cm |
| 7. 黑色腐殖质层，底部为1cm厚的细沙层 | 146—150cm |
| 8. 黑褐色粘土层，含腐殖质 | 150—167cm |
| 9. 黑色腐殖质层 | 167—207cm |
| 10. 黄沙层 | 207—212cm |
| 11. 灰沙与(?)互层 | 212—247cm |
| 12. 腐殖质层 | 247—262cm |

在望峰平台上，我们见到一热融滑塌现象，大块土体沿着坡面往下滑，滑动土层由于推挤形成一垄状堆积体。堆积体的上坡方向便为一三角形的坑(图11)。边长分别为30.5m、23.2m、40m，平均深1.5m，地形坡向7°，坡度10°，土体滑动方向为60°。

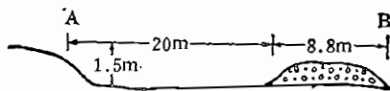
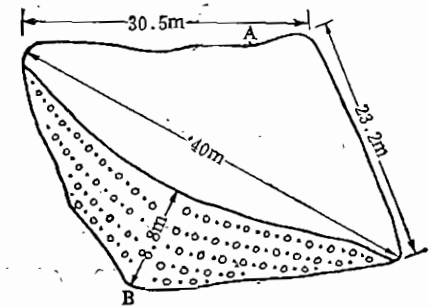


图11 热融滑塌平面剖面图

5 冻融蠕动

在大西沟沟谷，冻融蠕动作用非常明显，设置在这里的电线杆绝大多数发生倾斜。为了了解电线杆的倾斜速度及其与地形坡度的关系，我们测量了50根电线杆的倾斜角度以及每根电线杆所在地的地形坡度(表11)。

表11 电线杆倾斜角度与地形坡度的统计

序号	电线杆倾斜角度(°)	地形坡度(°)	序号	电线杆倾斜角度(°)	地形坡度(°)	序号	电线杆倾斜角度(°)	地形坡度(°)
1	10	9	18	11	7.5	35	0	8.5
2	6	6	19	3.5	5	36	8.5	2.5
3	3	10	20	5	5	37	11.5	12.5
4	7	8.5	21	1	9	38	9	15.5
5	3	9.5	22	1.5	7.5	39	6.5	14
6	5	2	23	0	8	40	5	3.5
7	2	2	24	4	2.5	41	4	6
8	0	3.6	25	3	5	42	6	7
9	0	7	26	4.5	3	43	10.5	6.5
10	8	12	27	6	8	44	4	2
11	6	10	28	3.5	2.5	45	5	3
12	7	8	29	5	8	46	8	10
13	9.5	10	30	7	12	47	6.5	9
14	7	9	31	7.5	8	48	10	15
15	8.5	7	32	0.5	6.5	49	7.5	17.5
16	4.7	4	33	1	7.5	50	3.5	3
17	13	7.5	34	3.5	7.5			

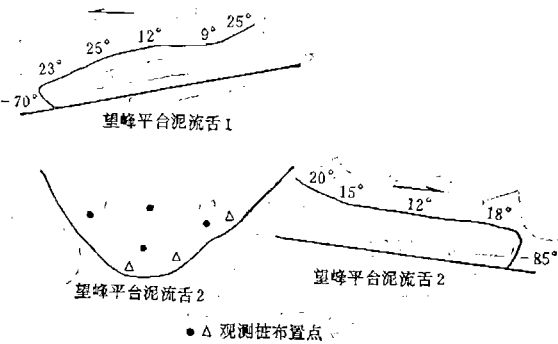


图12 望峰平台泥流舌剖面平面图

在4号冰川槽谷前冰坎处亦观测了3条泥流舌,形态参数见表12。

表12 4号冰川槽谷前冰坎泥流舌形态测量

内容	1	2	3
坡向(°)	275	290	295
长(m)	17	14	10
宽(m)	19	6	8
顶面坡度(°)	15	10.5	20
前缘坡度(°)	37	27.5	33

6 泥流舌

在望峰平台上,观测了两条泥流舌: 1) 泥流舌1,长16.35m,宽18.5m,高0.7m。前缘有一反倾的坡折。主要由泥土夹砾石组成,砾石最大1.0m左右,一般20—30cm; 2) 泥流舌2,长27.60m,宽20.5,高1.13m(图12)。

乌鲁木齐河源1号冰川冰芯钻机试验 及冰芯综合分析研究工作概况

韩建康 朱国才 王晓军

1990年11月,在乌鲁木齐河源1号冰川上,试验小组成员用中国科学院兰州冰川冻土研究所自行设计、制造并加以改进的BZXJ超轻型冰芯钻机,成功地钻取了天山地区第一支透底冰芯,钻孔深度91.64m,钻探累计进尺149.62m。这一记录是中国科学院兰州冰川冻土研究所自成立以来,用自己研制的岩芯钻第一次获得的最大深度。该钻的研制成功,不仅结束了我国在冰川学研究方面没有中深度冰芯钻的历史,而且为我国冰川研究者深入探求冰川内部机制提供了先进的探测手段。

乌鲁木齐河源1号冰川,是我国进行冰川研究历史最长、积累资料最全的一支冰川。我国冰川工作者早在60年代就开始对该冰川进行反复观测研究,特别是对冰川表层基本特征,表层及底部动力学研究以及冰川内部热学研究等方面,取得了丰硕的研究成果,有的已达到国际先进水平。但是囿于条件,对冰川深部进行较为全面的研究工作一直受到限制。从1988年开始,中国科学院兰州冰川冻土研究所在国家南极考察委员会的支持下,开始设计研制我国自己的中等深度(钻探深度在100—500m)的冰芯钻机。BZXJ钻机试制成功后,于1991年11月,在乌鲁木齐河源1号冰川模拟南极条件,进行了实地钻探。克服重重困难,解决了钻探中卡钻、打滑、岩芯破碎等一系技术难关,创造了累计工作29h,钻探进尺90.62m的好成绩。根据底部岩屑实物和钻机工作情况判断,该冰芯已达基岩。钻探结束后,一组90m长的温度探头被设置在钻孔中,用于进行深部冰温的观测。

BZXJ超轻型冰芯钻机总重约130kg,其中动力钻头部分仅重11kg,最大钻探深度可达250m。与国外同类钻机相比,其主要特点是:钻进速度快、岩芯完整、操作简便、取样迅速。它是一种适用于山地冰川野外钻探,便于携带的轻型动力冰芯钻机。

在试验钻探中所获得的大量冰芯除部分在天山站分析研究外,大量冰芯在中国科学院兰州冰川冻土研究所低温实验室内进行进一步分析。由王晓军,阿尔伯特·尤贝拉斯先生主持编写的《WORK and DATA REPORT 1990 DRILLING ACTIVITIES AND ICE CORE ANALYSIS AT THE GLACIER NO. 1, HEADWATER OF THE URUMQI RIVER, TIANSHAN, CHINA》英文版资料报告已分别送往乌拉圭东岸共和国海洋、气象、水文研究所,国家南极考察委员会,中国科学院兰州冰川冻土研究所水文室。在进一步工作的基础上,又分析、整理撰写了冰芯钻探及冰芯综合分析的系列资料报告。这些资料对认识乌鲁木齐河源1号冰川内部的物理性质和动力学特征以及冰川与气候、环境变迁规律,将十分有益。

1 工作时间及概况

整个试验钻探及分析工作可分三个阶段:

第一阶段, 1990年10月20日—11月14日, 在乌鲁木齐河源1号冰川东支粒雪盆花杆H₂附近(4 058m)建立钻探场地, 安置钻具、发电机, 运送必需的防寒装备和物资, 并开始了浅表层的试验钻探。随后开始了正式钻探。除开始阶段钻探中出现许多问题外, 以后的钻探工作很顺利。共钻取两支冰芯, 分别为90.62m和57m, 钻探最快时速可达6.6m。

第二阶段, 11月25—27日, 拆除帐篷、钻机, 并将全部冰芯运回天山站。

第三阶段, 11月28—12月20日, 对全部岩芯进行了详细的地层剖面观测以及部分冰组构的初步分析。1991年1—3月, 在中国科学院兰州冰川冻土研究所低温实验室进行了更深一步的分析工作, 并完成了试验及分析的全部资料报告。另一支57m冰芯(H₂)送往日本长冈雪冰防灾实验研究所进行微粒浓度和化学成分的分析工作。

2 试验与研究项目

- 1) BZXJ超轻型冰芯机械钻机的基本原理和工作性能。
- 2) BZXJ超轻型冰芯钻机的现场模拟试验。
- 3) 1号冰川H₁冰芯地层剖面基本特征分析。
- 4) 1号冰川H₁冰芯的冰组构分析。
- 5) 1号冰川H₁冰芯冰内气泡的基本特征。
- 6) 1号冰川H₂冰芯微粒浓度和化学成分分析。
- 7) 1号冰川H₁钻孔冰温度观测。

3 试验及研究小组成员

韩建康, “南极长城站一万年来环境变迁冰芯研究”课题组长, 试验项目申请人。主要负责课题计划实施, 人员安排及冰芯分析工作; 朱国才, 冰芯钻机试验小组组长。主要负责钻机研制及现场试验工作; 王晓军, 试验小组成员。主要负责冰芯采集、整理、运送及冰芯的分析和资料撰写、整编工作; 高新生, 试验小组成员。主要负责现场钻探; 张永亮, 试验小组成员。主要负责现场钻探。阿尔伯特·尤贝拉斯, 乌拉圭访问学者, 试验小组成员。主要负责冰样收集及分析工作; 梁素云, 试制小组成员。主要负责冰芯钻的试制工作; 张万昌, 参加冰芯分析部分室内工作。

致谢: 此次钻探试验及冰芯分析研究工作得到了天山站的大力协助。感谢黄茂桓研究员的热情指导, 特别是对阿尔伯特·尤贝拉斯先生的悉心指导和帮助, 感谢副研究员张志忠的帮助和支持, 感谢陈要武同志以及天山站全体同志在后勤保障工作中的大力支持。

冰芯钻机试验钻探及冰芯综合分析研究报告的集稿和文字编写工作由王晓军负责。

乌鲁木齐河源1号冰川H₁冰芯地层的某些特征

王晓军 韩建康 A.Lluberas*

1990年11月,我们在乌鲁木齐河源1号冰川上,用中国科学院兰州冰川冻土研究所研制的BZXJ超轻型冰芯钻(朱国才等,1991)进行透底钻探,成功地获得了一支长91.64m的冰芯,这是天山地区首次获得的最大深度。钻孔地点位于1号冰川东支积累区一相对平缓处(4050m)。钻探获得的冰芯在现场记录,装进标有上下端符号的塑料筒袋内,并存放在钻探场地的背阴处。工作结束后,冰芯被运往天山站低温室储藏,并开始整个冰芯的地层记录以及密度的测定。

1 工作方法

1.1 冰芯的采集

冰芯被取出后,首先要确定冰芯的上、下端。工作时,我们将冰芯表面的冰屑清扫干净,然后将其放置在标明上、下端的工作台上,记录冰芯的长度,观测冰芯地层中的明显特征,如污化面、冰的颜色及透明度、裂隙痕、泥粒和岩屑等。简单地记录后,在筒袋上标明冰芯名称上、下端位置,冰芯序号,冰芯上下端深度,冰芯长度等。为保证不致混淆,可用纸条将上述内容复记连同冰芯一起装入塑料筒袋中。搬运时将冰芯分装在纸皮箱内,注入粒雪以防震裂。

1.2 冰芯地层学观测

在-10℃的低温室内,将冰芯置放在透光台上,并用米格纸进行同比例尺观测。真实记录冰芯在不同渗浸-冻结条件下所形成的沉积特征。记录包括:冰芯长度,冰内气泡特征,污化面,裂隙痕,冰内泥粒和岩屑,冰层倾斜,冰的颜色和透明度,冰的分类等。在观测中,特别注意冰芯观测后要及时按原样装入袋中,避免装错袋和丢失记录符号纸。在原始记录的基础上,绘制冰芯剖面柱状图(图1)。

1.3 密度测量

雪-粒雪-冰的密度测量采用体积质量法测得。

* 乌拉圭东岸共和国海军海洋、气象、水文研究所。

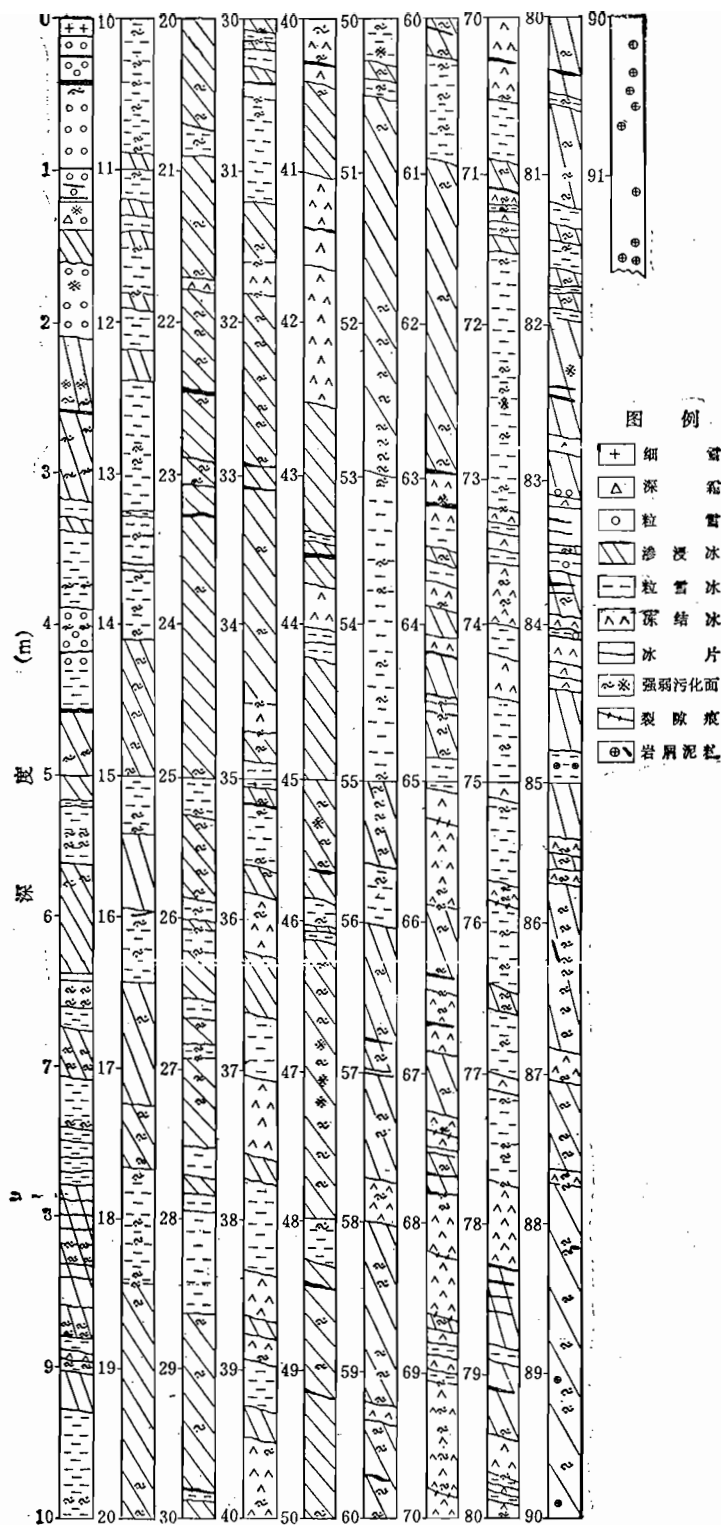


图1 H₁冰芯地层剖面图(0—90m)

表层积雪的密度一般用一标定好体积且便于计算的不锈钢圆筒或其它几何形状的容器。将测量器平缓插入挖开的雪壁中，注意推进时不要用力过猛，以免造成积雪发生挤压，破坏其原始密度。将装积雪的容器放在天平上或弹簧秤上称重，计算后得到积雪密度 (g/cm^3)。

H_1 冰芯密度在低温室 (-10°C) 进行测量。将冰芯分割成 5—10cm 长的冰柱，分 3 次测量冰芯圆直径和长度。注意样品的断面尽可能的保持平直完整。然后在天平上称得冰柱的重量，用下式求得冰柱体的密度。

$$D = \frac{W}{\pi r^2 H}$$

式中： D 为冰密度； r 为冰柱半径； H 为冰柱长度； W 为冰柱重量。

H_1 冰芯共测密度 386 个，冰芯总长度 91.62m。

冰芯的密度值，平均密度值以及对应于深度变化见表 1、表 2 和图 2。

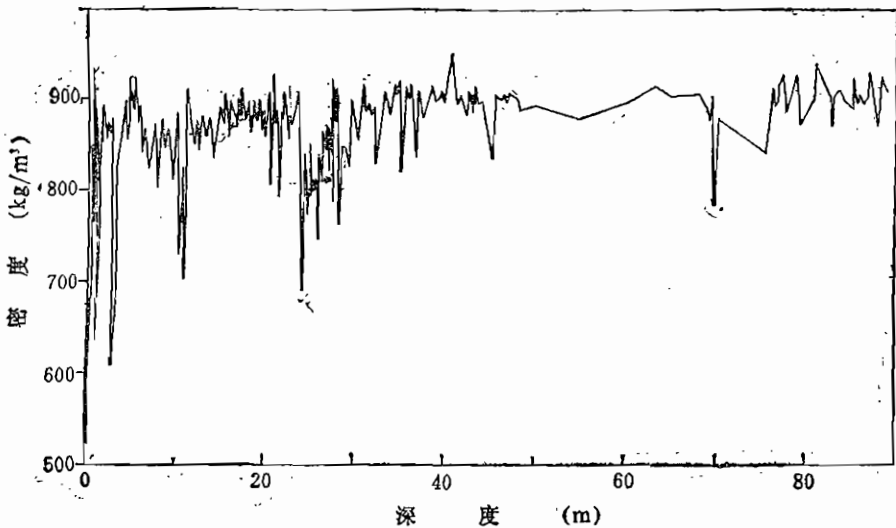


图 2 H_1 冰芯密度随深度的变化

2 H_1 冰芯地层的基本特征

2.1 粒雪冰层的层状特征

对冰层宏观结构的观测分析，可以大致了解冰的初始成因条件以及变质的一般特征。诸如将融水渗浸冻结条件下形成的冰和粒雪被压密后形成的冰区分开来，这可能有助于我们了解过去气候的变化情况。冰层在沉积过程中的倾斜变化以及由运动所导致的拉伸断裂和压缩闭合的痕迹，有助于了解冰川在运动中的某些物理过程。

(1) 雪冰构成 H_1 冰芯最明显的特点是，除表层 5 m 内仍有粒雪外，均由冰组成，且冰的层理清晰。据此，我们将冰大致分为 3 类：渗浸冰（层状的含有冰片、冰透镜体的半透明充满气泡的冰），冻结冰（透明的有极少量气泡的冰），粒雪冰（乳白色，

有冰片、冰透镜体充满细密气泡的冰)。

统计结果表明,以渗浸冰为主,占总冰量的58.6%,粒雪冰次之,25.7%,冻结冰最少,占15.7%(图3)。粒雪-冰层的这种沉积状态是由融水渗浸冻结作用的初始成

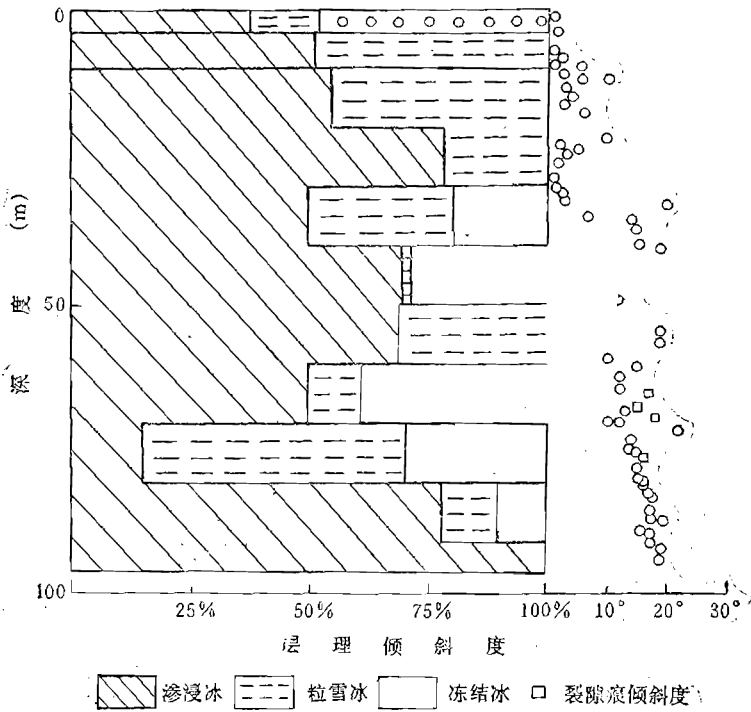


图3 三种冰比率和层理倾斜随深度的变化

因条件所决定的。1号冰川成冰期主要发生在夏季,粒雪3—5m被变质成冰。成冰性质的好坏取决于融水渗浸量的大小,且这种初始条件将长期影响冰层在以后沉积过程中的演变状态。渗浸冰量随深度的变化,反映了1号冰川所处地理位置中的一般气候变化情况。在负平衡时期,表层渗浸冰可厚达1.6m(王晓军等,1988)。H₁冰芯表层4m内的渗浸冰也厚达1.8m。它可以作为上述推理的一个佐证。另外融水的渗浸深度不是无限制的。从图1可以看到,表层中1.8m的渗浸冰下仍有粒雪存在。因而深层中渗浸冰量的变化,可能是一个较暖时期长期作用的结果。

粒雪冰量的变化随深度增加不断减少,接近80m消失。它随深度的变化则反映出,在粒雪-冰体压缩及冰内液相水的浸润过程中逐渐淡化其原有的粒雪特征。当融水渗浸和压力条件受到限制时,这部分物质则以粒雪层或粒雪包裹体的形式长期保留在冰夹层中。H₁冰芯4m处又出现粒雪层,其上为1.8m的渗浸冰和其它粒雪成分。类似情况在1号冰川西支粒雪盆(4075m),粒雪线附近(4063m)也观测到(王晓军等,1986)。深层中的粒雪冰更容易证明沉积物的初始成因条件以及被其它物理因素改造过程的缓慢性。它类似于树木年轮的作用,在冰体中记录某个冷气候时期的变化过程。我们注意到,H₁冰芯50—60m,70—80m层位中粒雪冰量明显增多。如果说,冰层中占主要量的渗浸冰反映气候变化的一般状态的话,那么粒雪冰则可能是一个冷时期的产物,这一问

题有待进一步研究。

冻结冰在30m以下开始出现,且随深度有增加趋势。相应的温度资料(图4)反映出,此处的冰温在 -0.83 — -1.14°C 间波动。接近压融点的60—70m处,冻结冰发育最好,这可能与融化再冻结过程有关。冰体中液相水的冻结可能是增加冰透明度,排除杂质,压缩气泡,增大晶体尺寸,淡化层理的因素。

(2) 层理倾斜和裂隙痕 H_1 冰芯层理随深度增大,逐渐发生倾斜(图3)。0—10m倾斜不明显,一般在 0 — 5° ,10m以下倾斜最大不超过 10° ,30m以下倾斜随深度增加,最高可达 22° ,平均倾斜在 15° 左右。70m以下倾斜度趋于稳定,这种倾斜状态较之Alpine冰川(M. Vallon,1976)和西昆仑崇测冰川(Han Jiankangetal,1989)的层理斜倾小的多,这两条冰川倾斜可达 40 — 60° 。一般认为,倾斜可能与钻孔地点表面坡度有关,但该点表面坡度最大不超过 5° ,而表层10m内的平均倾斜度不到 5° 。我们认为,冰层的倾斜可能与原生冰层不均匀相变形和冰体流动有关。

我们注意到,裂隙痕处的倾斜更明显些。图3符号“□”表示裂隙痕的倾斜度,它通常比相邻冰层的倾斜度高出 3 — 4° ,这可能与裂隙的最初状态有关。 H_1 冰芯中共发现5道裂隙痕,其埋藏深度在65m以下,最深的一道在76m。裂隙痕的特征为,两冰体弥合处分布许多细微的黑色泥粒,气泡呈密集状分布,气泡的长轴大致垂直于裂隙面。1987年笔者曾对发育在西支粒雪盆后壁的一条大裂隙(4275m)进行实地观测,该裂隙长约15m,总深15.2m,裂隙口最宽处1.4m,裂隙下端仅15cm,这与我们在东支看到的裂隙形态一致,后者裂隙更多(至少5条),长度更大,平行于等高线分布。冰芯中分布的这些裂隙痕与粒雪盆后壁分布的大裂隙有关。后壁上的裂隙在随冰体向下游运动时,可能发生从垂直位置旋转到向冰川上部倾斜的位置(Paterson,1981),此时在楔形裂隙的下端,很容易在运动一段距离后闭合,形成现在看到的“裂隙痕”。冰的层理倾斜和裂隙痕观测,将有助于解释积累区冰体的运动方式和流动机制。

2.2 粒雪-冰层的密度和成冰过程

中国大陆性冰川的粒雪密实化过程较之极地冰盖粒雪的密度变化最显著的特征是,密实化程度快且变幅小。粒雪的成冰不完全取决于压力,而取决于融水的渗浸-冻结的强度。密度曲线的波动,往往是由于冰夹层中的粒雪或粒雪冰的出现所致。

在图4中,我们以曲线表示粒雪-冰层的平均密度,以空心圆表示粒雪或粒雪冰的密度,以实心圆点表示冻结冰的密度。结果表明,密度随深度增加呈增长趋势。整个冰芯密度在 0.8 — $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ 间波动。渗浸冰密度自表层开始就很高,且密度随深度变化呈较稳定状态。这反映出,渗浸冰的密度主要取决于初始成因条件,在沉积过程中压力作用对其密实化过程的影响不明显。在平均密度曲线中,出现了4个低峰值区,0—30m有2个低密度区,50m以下又出现2个低峰值区,这4个低值区是由于粒雪冰的存在而形成的。这说明,初始成因状况不佳的沉积物,其密实化过程相当缓慢。粒雪的密实化过程表现出双重性,一方面由于融水参与,粒雪密度很快达到冰的密度,另一方面冰夹层中粒雪的密度由于融水渗浸深度和压力条件的限制,其密实化过程又显得异常缓慢(表1,2)。

1号冰川粒雪-冰层达到冰密度在30m左右。冰组构分析表明,这部分冰多呈随机状或弱环状,已具备弱动力变质的特征。1号冰川浅层粒雪的成冰过程较短,深度有

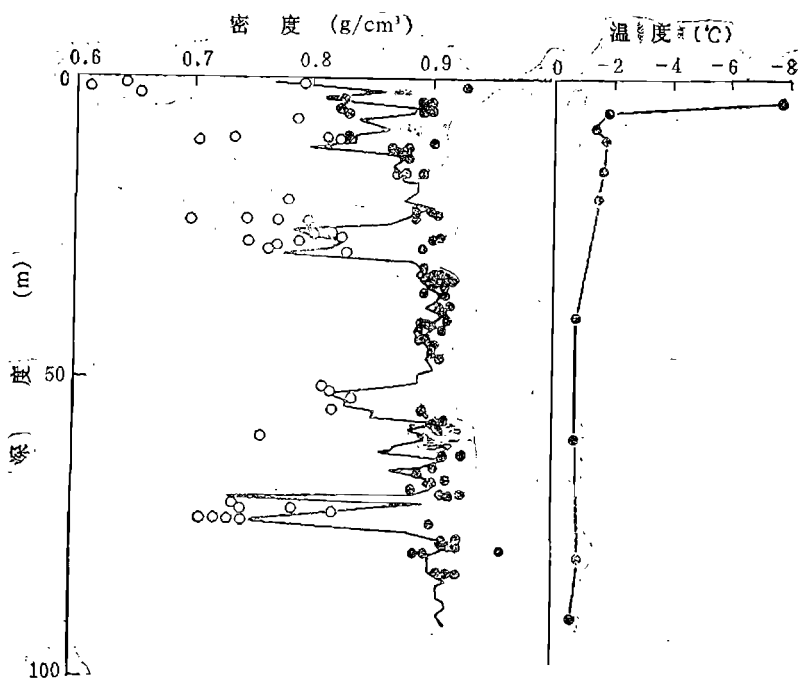


图4 H₁冰芯密度和温度随深度的变化

限，且无明显的粒雪-冰界面。冰夹层中的粒雪或粒雪冰的成冰过程主要依赖于冰体运动中的拉伸、挤压过程，以及冰内液相水不断的浸润再冻结过程，因而其成冰过程显得相当缓慢，粒雪最终以尖灭的方式成冰。

2.3 污化面和冰内岩屑

污化面是粒雪最初沉积时暴露在表面受风尘污化后的一个标志，它是冰川层理中最显著的特征。它不仅反映冰川在过去历史中的逐渐积累过程，而且据此可以确定层理的倾斜，粒雪-冰层的压缩状况以及可能具有对年层确定的意义。

观测表明，1号冰川污化面形成于以下几种情况：

(1) 夏季面，消融期末在冰雪表面有风尘污染而形成的黄色污化面，一般被秋季降雪所覆盖。

(2) 冬季面，由于冬季降雪极少，冰雪面长期暴露，被来自周围山体的风尘所污染呈淡黄色，一般被春季的降雪所覆盖。

(3) 尘暴面，由尘暴所形成的污化面，一般被尘暴后的降雪所覆盖（王晓军等，1987）。

上述3种污化面在冷期高积累年份可保留在雪中，而在暖期低积累年份则完全消失。包括人工污化面亦如此。近年来的观测表明，强污化面一般为多年污化物质的叠加层，在表层厚渗浸冰中很容易找到这个面。融水渗浸是导致年内污化面消失的主要原因。因此以污化面来确定年层，特别在多年负平衡条件确定年层缺乏准确性（王晓军，1988）。

表1 H₁冰芯密度随深度变化数据表

深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)
0.20	437.63	10.51	823.71	20.69	823.73	33.62	901.57	75.68	843.11
0.52	932.87	10.77	705.09	20.74	896.76	34.01	832.97	75.78	868.81
0.77	894.81	10.92	888.73	20.89	883.55	34.21	896.38	76.41	909.16
0.87	640.16	11.23	900.76	20.99	874.68	34.42	914.27	76.91	892.30
0.97	880.00	11.33	907.11	21.19	887.56	34.53	905.65	79.71	890.58
1.06	792.93	11.55	864.64	21.24	881.57	34.82	913.26	76.85	897.15
1.16	821.40	11.81	869.34	21.47	789.67	34.92	917.75	76.96	915.33
1.26	840.06	11.96	851.85	21.52	884.51	35.12	821.16	77.48	925.77
1.31	841.14	12.01	850.98	21.57	879.77	35.24	901.24	77.67	906.30
1.41	869.02	12.12	868.54	21.84	880.05	35.61	913.67	77.77	889.10
1.54	852.46	12.39	846.61	22.14	900.16	35.93	901.14	78.26	895.24
1.64	882.77	12.54	876.62	22.41	857.80	36.15	898.83	78.65	918.89
1.74	884.38	12.64	865.13	22.51	882.26	36.25	515.88	78.85	924.07
1.94	890.71	12.74	877.21	22.80	872.56	36.91	839.86	79.40	873.68
2.09	856.79	12.92	878.21	23.32	889.20	36.92	900.07	80.35	892.61
2.16	873.08	13.24	861.17	23.43	894.29	37.20	908.12	80.92	900.62
2.36	864.29	13.29	859.52	23.68	894.06	37.63	882.53	81.16	937.10
2.69	878.81	13.52	871.61	23.95	907.81	37.97	897.48	81.68	924.28
2.84	609.22	13.77	873.65	24.10	748.45	38.35	901.84	82.79	904.55
3.12	652.69	13.92	868.15	24.18	694.88	38.71	915.87	82.99	872.46
3.22	824.91	14.02	874.24	24.26	838.03	38.99	899.06	82.99	904.83
3.37	821.78	14.13	836.89	24.48	800.61	39.59	901.18	83.33	908.30
3.91	863.64	14.28	866.27	24.63	776.12	39.87	909.22	83.53	911.13
4.06	891.61	14.45	869.83	24.73	799.86	40.14	896.20	84.46	896.57
4.11	890.75	14.70	886.64	24.98	795.89	40.07	913.83	84.66	897.67
4.28	897.76	14.91	891.20	25.22	845.59	41.08	949.53	85.21	891.72
4.33	858.18	15.26	874.42	25.32	799.88	41.36	900.50	85.36	923.40
4.68	873.36	15.31	875.27	25.66	806.83	41.42	895.81	85.60	898.10
4.78	920.48	15.41	901.96	25.85	749.83	41.61	901.83	85.80	906.74
4.83	899.41	15.61	879.38	25.93	837.39	42.04	904.18	86.15	897.71
5.08	890.82	15.74	892.38	26.33	815.30	42.14	896.20	86.58	866.85
5.18	887.77	15.76	861.50	26.48	862.03	42.43	884.40	86.87	922.09
5.33	922.99	15.86	877.85	26.58	844.99	42.63	884.65	86.77	904.59
5.53	880.45	16.22	875.01	26.87	867.78	42.73	916.37	87.20	929.71

表 1 (续)

深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)
5.63	875.00	16.55	878.07	27.02	825.11	43.15	887.66	87.05	10.23
5.73	887.57	16.84	873.93	27.29	822.23	43.40	913.39	87.51	287.46
5.83	883.50	16.94	899.26	27.49	790.07	43.70	895.52	87.71	888.33
5.93	888.81	17.09	882.40	27.66	919.54	44.30	899.77	83.02	874.05
6.06	843.91	17.24	910.13	27.71	872.77	45.49	838.71	88.31	921.64
6.26	866.04	17.56	878.85	27.98	910.37	45.68	889.04	88.41	925.03
6.46	841.73	17.85	891.84	28.08	775.42	45.86	905.11	88.70	915.66
6.73	836.00	18.21	898.82	28.23	765.05	46.29	901.63	88.80	512.44
6.83	827.03	18.42	866.60	28.38	839.23	46.56	908.13	87.24	911.35
7.08	836.66	18.52	878.71	28.57	847.50	46.84	896.78		
7.20	855.16	18.72	896.34	28.93	843.49	46.94	898.70		
7.30	851.66	18.86	876.89	29.33	827.65	47.22	910.40		
7.40	763.73	19.12	880.06	29.68	896.92	48.21	901.88		
7.60	841.59	19.22	831.86	30.26	855.63	48.41	889.56		
7.84	803.93	19.33	897.63	30.26	855.68	50.28	893.91		
7.89	857.85	19.43	884.23	30.41	887.22	55.07	880.38		
8.23	878.08	19.65	858.89	30.66	883.55	60.14	896.75		
8.58	846.34	19.71	889.67	30.92	911.52	63.16	913.96		
8.83	862.10	19.76	883.26	31.02	893.03	65.26	904.76		
9.08	859.99	19.84	861.15	31.31	892.78	63.20	905.23		
9.35	862.91	19.89	869.84	31.61	896.30	69.07	891.47		
9.65	813.78	20.01	860.14	31.91	884.93	69.27	893.18		
9.87	830.21	20.25	907.66	32.11	890.11	69.50	876.44		
10.09	884.10	20.49	901.77	32.38	831.13	69.70	901.63		
10.19	841.62	20.54	807.48	33.18	897.77	70.05	786.57		
10.34	732.49	20.64	908.46	33.28	907.63	70.35	880.05		

H₁冰芯中共有267个污化面,两相邻污化面的平均间距为24.7cm。在冰芯中可以看到许多两相邻污化层间距很小的现象(8—15cm),类似于我们在雪层中观测到的“夏季面”和“冬季面”,冰芯中共有7个强污化面,表层中2个,其余分布在45m以下,在冰芯中还出现两处3m以内没有污化面的现象。这可能与冷期高积累有关,当时周围山体全部被积雪覆盖,没有风尘来源。但与之对应的层理和密度状况不能说明问题(图5)。

H₁冰芯自80m开始出现泥粒和岩屑,且一直延伸到底部。随深度增长,泥粒和岩屑量也在增加。岩屑呈单块分布,棱角分明,其长轴与冰体运动方向一致,这与冰洞观测

表2 H₁ 冰芯每米冰的平均密度值

深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)	深度 (m)	密度 (kg/m ³)
1	428.000	31	886.003	61	896.751
2	773.132	32	894.093	62	872.991
3	852.763	33	890.630	63	857.463
4	816.438	34	893.930	64	913.977
5	810.926	35	897.475	65	898.604
6	889.990	36	909.456	66	869.748
7	887.345	37	905.350	67	904.762
8	841.895	38	904.920	68	898.291
9	859.994	39	896.036	69	905.236
10	861.627	40	933.306	70	886.736
11	835.610	41	905.200	71	898.809
12	798.653	42	931.680	72	792.892
13	871.092	43	914.005	73	751.217
14	875.653	44	891.468	74	752.615
15	868.050	45	901.795	75	748.169
16	875.815	46	899.877	76	883.410
17	877.240	47	897.075	77	913.385
18	885.730	48	901.310	78	912.943
19	885.135	49	906.115	79	916.809
20	886.610	50	891.730	80	905.820
21	878.333	51	893.907	81	904.126
22	899.511	52	871.769	82	937.411
23	882.684	53	829.367	83	903.893
24	878.192	54	835.823	84	912.358
25	866.756	55	833.791	85	917.546
26	784.225	56	857.646	86	911.097
27	798.477	57	851.555	87	912.536
28	827.796	58		88	919.158
29	815.117	59	883.976	89	918.357
30	775.065	60	896.705	90	911.353

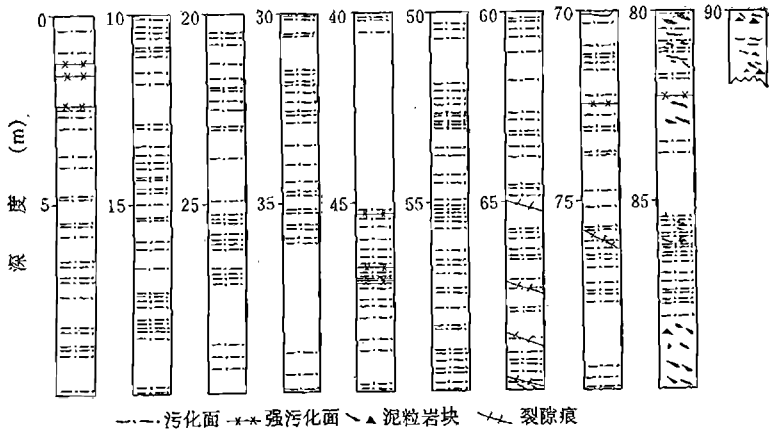


图5 H₁冰芯中的污化面、泥粒岩块裂隙痕的分布情况

基本一致(王仲祥, 1983), 只是数量上小于后者。泥粒的特点是, 呈树根状, 且随冰层理倾斜。接近底部出现泥粒和岩屑可能将作为钻探中快接近底部的一种标志, 同时它也会给钻探带来困难。

冰内的泥粒和岩屑可能来源于后壁山体的岩块、泥砂滚落到裂隙中或是冰川冰冻结在后壁上, 当冰川前进时将其带走。裹挟在冰内的物质长期伴随冰体运动。在运动中通过剪切运动将泥粒拉长, 而将岩块的长轴置于最小阻力面上。

冰内细微的颗粒对冰晶的生长有着明显的作用。观测表明, 夹在大冰晶体中的细碎晶粒出现的地方往往存在许多细微的砂粒, 这些砂粒似乎呈线状分布, 与气泡的伸长方面一致。此处的冰晶体只是相邻晶体的1/10或1/100。这说明砂粒在剪切作用下对晶粒的发育有明显的破坏作用。

参 考 文 献

- 朱国才等, 1991. BZXJ超轻型冰岩芯钻机. 冰川冻土, 13(3): 261—266
- 王晓军等, 1988. 从乌鲁木齐河源1号冰川28年来的变化看天山地区近期气候变化趋势. 科学通报, 33(9): 93—94
- 王晓军等, 1986. 乌鲁木齐河源1号冰川的积消特征及成冰过程. 天山冰川站年报, (5): 5—8
- 王晓军等, 1987. 冰川区降水梯度的观测及分析. 天山冰川站年报, (6): 69—73
- 王仲祥, 1983. 天山乌鲁木齐河源1号冰川人工冰洞初步观测. 冰川冻土, 5(1): 89—91
- Vallon M. et al., 1979. Study of an ice core to the bedrock in accumulation zone of ALPINE glacier, Journal of Glaciology VOL 17, No. 75, 13—26
- Han Jiang Kang et al., 1989. Stratigraphic and Structural features of ice cores from Chongce Ice Cap, West Kulun Mountains, Bulletin of Glacier Research, 7: 21—28
- Paterson W. S. B., 1981. The Physics of Glacier, 北京: 科学出版社, 138

乌鲁木齐河源1号冰川H₁冰芯组构分析

王晓军 韩建康 张万昌 A.Lluberas*

H₁冰芯组构分析工作分2次完成。1990年11月中旬至12月20日,在天山冰川站进行了冰薄片制备、照像及冰晶体观测。1991年1月至3月,在中国科学院兰州冰川冻土研究所低温室内再次进行后期收尾工作,在第一观测的基础上,对部分深度的冰芯进行严密观测。

1 工作方法

(1) 冰薄片制备

为确定冰晶的形状、大小以及冰晶粒方位在空间的分布,气泡的形状及分布,就必须在冰薄片制备过程中,避免冰组构重叠,控制温度以防止破坏冰片的原始状态,确定冰样孔隙中是否有充填物以减少在切样或打磨中冰片的破裂。

操作温度:工作间温度应控制在 -10°C 左右。

切片:首先将冰芯样品固定,分别沿垂直冰芯轴线方向或平行于轴线方向切样,称为垂直冰片和水平冰片。一般厚度为1cm(或更薄),切制时尽量保持切削面不平整。切制设备可采用手锯或专门的机动锯。

研磨:选择切下冰片的底面,然后在全刚砂纸上手工研磨,使整个面光滑、平整。

贴片:首先在常温下将预备好的玻璃片清洗干净。将代号标注在玻璃边缘上或用纸签贴在玻璃片上。使用手携式吹风机将玻璃片加热(40°C),然后拿起冰片对准玻璃片迅速贴紧,稍许移动冰片以排除冰体融化产生的水。

减薄:当冰片与玻璃片完全冻结后,可用刨削设备(一种装有真空吸料装置的标准切片机)或采用木工刨刃,将冰片削至0.4—0.6mm左右,用毛刷清扫冰屑。注意加工过程中温度不应低于 -10°C 。此外,薄片不宜太厚或太薄。太厚则晶界不清晰,太薄则容易升华,干涉色不丰富。制成的冰薄片应封存在塑料袋中。

(2) 摄取照片

气泡照片:将制好的冰片置于万能台或透光台上,打开光源,对好焦距即可拍照。气泡薄片以1—1.5mm的厚度为宜,此时气泡的分布状况较明显。

结构照片:在万能台上,移入偏光镜,确使上、下偏光镜正交,将冰薄片放入二偏光镜之间的托架上,打开光源,从上偏光镜中可看到冰晶结构图形,放上代表比例尺的示记,调整好照相机即可拍照。每拍一张都应做记录,以便以后核查。

(3) 测量晶粒尺寸

*乌拉圭东岸共和国海军海洋、气象、水文研究所。

在冰组构照片上画一矩形，然后数出该矩形内（含与边界相交者）的冰晶粒，其平均面积公式（韩建康，1988）为：

$$\bar{S} = \frac{S}{(\sqrt{n} - 1)^2}$$

式中： \bar{S} 为矩形面积， n 为冰晶个数，分母是考虑到有与边界相交的冰晶得到的冰晶个数校正。冰晶尺寸随深度的变化，以薄片大约100个冰晶的平均截面积求得。观测遇到大冰晶时，应将同一段岩芯同一种冰类 n 个薄片上的测量结果合在一起考虑，以使被测的冰晶总数达到50个左右。

（4）测量C轴方位

在万能台上进行晶体C轴的测量，其主要步骤如下：

将冰薄片放入万能台内圈载物台上固定好，确使二偏光镜正交。置水平轴（ A_2 、 A_4 ）在零位指数上。

选择一晶体测量，旋转 A_1 轴使被测晶体至消光位置。

旋转 A_2 轴检查消光，如果晶体偏离消光位置，再旋转 A_2 轴至零位， A_1 轴旋转 90° 至另一消光位置，再次检查 A_2 旋转后晶体是否仍保持消光。在这一位置上，晶粒保持黑暗表示东—西面包含光轴。

压下 A_4 $18-20^\circ$ （或视需要可多一些以使晶体变亮），然后旋转 A_2 至消光位置。

将 A_4 再回旋到零位，然后旋转 A_4 约 45° ，如晶体保持黑暗则为极向位置，如晶体变亮，则为赤道位置。

分别将被测晶体的 A_2 、 A_1 轴方位数据记录下来，最后将全部数据点绘在Schmidt等面积图上。

2 数据和图表

H₁冰芯组构分析所采集的数据包括：冰晶数测量，冰晶尺寸数据（表1，2），冰晶组构方位图，冰晶尺寸随深度变化图（图1，2）。

3 冰晶方位组构的一般特征

从表层5 m—90 m共分析33张薄片，其一般特征为：

0—20 m，冰晶组构以随机型和弱环状为主要特征，其中5—15 m组构变化趋势较明显。但在19 m和20.6 m组构显得特别，19 m呈弱环状，但环内又有3个点位相对集中的部位。20 m又不同，C轴方位呈条状分布。H₁冰芯组构变化的一个特征是，其变化型态没有典型特征，如似环状，似多极大等。这层冰内气泡呈散乱分布，无排列，无定向。晶体界面不规整，晶粒尺寸小，平均在 0.13 cm^2 左右。但有随深度逐渐增加的趋势。19 m处晶粒变小，20 m处再次增大。冰以原生冰逐渐过渡到弱动力变质冰，表明表层冰晶所受的压力和剪应力较小。这个深度在南极洛多姆冰帽边缘可到50—80 m（谢自楚，1988），而在1号冰川至多不超过30 m。

20—60 m，冰组构继续呈弱环状发展，其间也出现似多极大组构（H₁₂，H₂₅）。

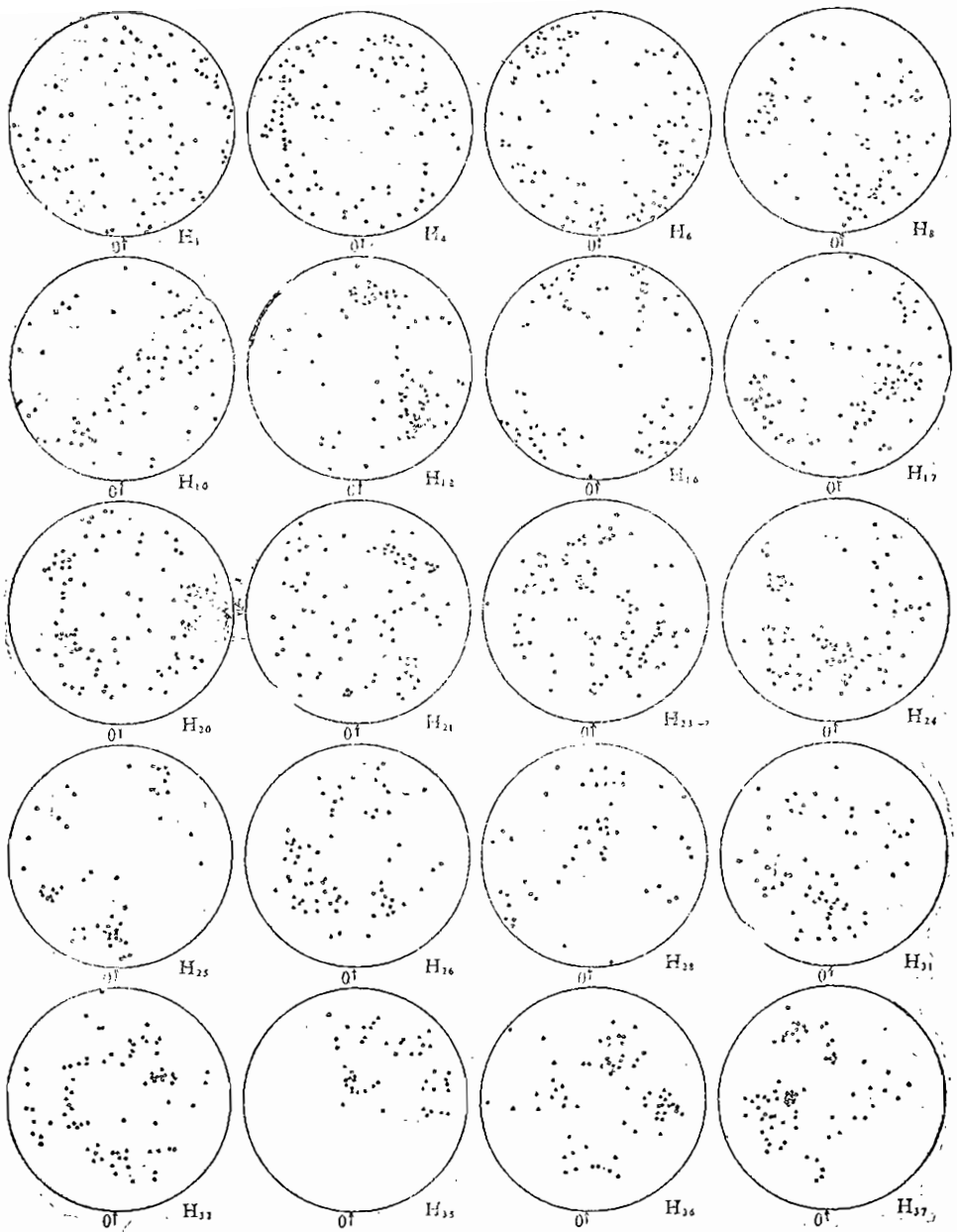


图1 H₁冰芯冰晶方位组构图

其特点是，C轴方位逐渐从边缘向中心靠拢。冰晶尺寸增大且变化明显。50m左右冰晶尺寸增大至 $3.4-3.9\text{cm}^2$ ，而在45m处，冰晶尺寸锐减至 $0.09-0.10\text{cm}^2$ 。晶粒长轴方位有逐渐统一的趋势，晶粒界面基本呈不规则形态。此间气泡变化明显，由弱定向的椭圆形向强定向的伸长形气泡和准球形过渡。表明冰内剪应力逐步加强同时发生再结晶作用。

60—90m，冰晶C轴方位逐渐向某个方向集中，形成类似宝石状组构，但C轴集中程度较低。冰晶尺寸稳定增加。70—75m，晶粒尺寸猛增至 $4.5-5.6\text{cm}^2$ ，达到了整个H₁冰芯中的最高值。但在65.7m和70.45m处，出现大晶粒中加杂许多细小晶粒的现象，分析认为，这可能与冰内微粒存在有关。晶粒界面仍不规整，但其长轴方位基本一致。

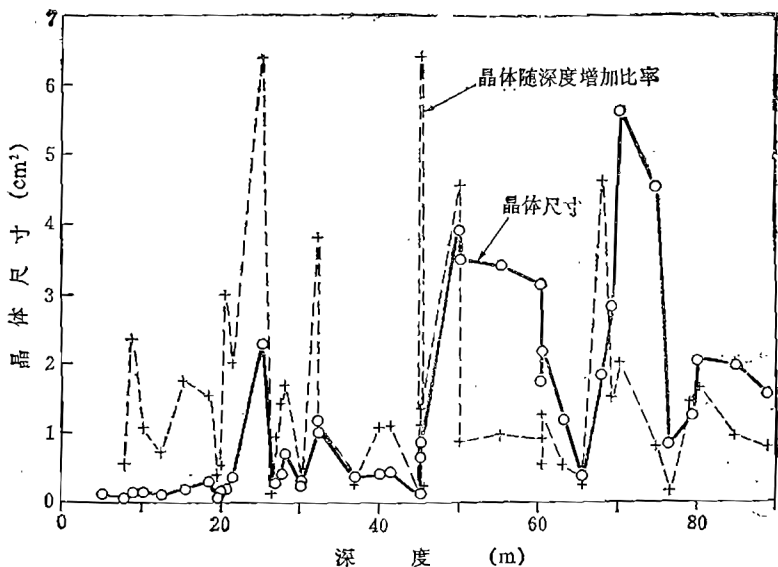


图2 H₁冰芯晶体尺寸随深度的变化

表1 H₁冰芯晶体测量数据

编 号	深度 (m)	晶 体 数	编 号	深度 (m)	晶 体 数
H 1	5.01	104	H25	55.08	24
H 4	10.14	96	H25-1		45
H 6	15.33	110	H26	60.19	22
H 8	19.86	80	H26-1		65
H10	22.59	80	H28	65.31	50
H12	25.27	57	H28-1		7
H12-1		86	H31	70.35	23
H16	27.99	72	H31-1	70.55	55
H20	36.96	84	H32	75.05	26
H21	40.15	82	H32-1		77
H23	45.54	21	H35	80.40	46
H23-1		46	H35-1		13
H23-2		98	H36	85.21	16
H23-3		39	H36-1		55
H24	50.33	23	H37	89.24	15
H24-1		87	H37-1		60

压力、剪应力和再结晶作用同时对冰晶变化发生作用。冰内气泡表现为，伸长形气泡明显减少，基本为位于晶体中的准球形气泡。且气泡愈变愈小，甚至消失。

参 考 文 献

韩建康, 1988. 南极洲洛多姆冰帽BHCI冰岩芯冰晶结构. 气态性质和地层学研究, 南极科学考察论文集(五)冰川学研究, 北京: 科学出版社, 153—163

谢自楚, 1988. 南极洲洛多姆冰帽冰结晶学研究, 南极科学考察论文集(五)冰川学研究, 北京: 科学出版社,

表 2 H₁冰芯冰晶尺寸随深度的变化数据

编 号	深度 (m)	晶体尺寸 (cm ²)
H1	5.010	0.110
H2	7.890	0.060
H3	8.740	0.140
H4	10.140	0.150
H5	12.440	0.110
H6	15.330	0.190
H7	18.470	0.290
H8	19.900	0.150
H9	19.600	0.060
H10	20.600	0.190
H11	21.400	0.360
H12	25.270	2.300
H13	26.500	0.310
H14	26.920	0.290
H15	27.710	0.410
H16	27.990	0.690
H17	30.270	0.470
H18	32.360	1.030
H19	32.170	1.180
H20	36.960	0.380
H21	40.150	0.410
H22	41.470	0.450
H23-1	45.350	0.090
H23-2	45.370	0.100
H23-3	45.390	0.640
H23-4	45.430	0.860
H24-1	50.180	3.920
H24-2	50.270	3.300
H25-1	55.380	3.400
H26-1	60.320	3.130
H26-2	60.560	1.740
H26-4	60.690	2.170
H27	63.160	1.180
H28-1	65.710	0.400
H29	68.250	1.850
H30	69.390	2.800
H31-1	70.400	5.600
H32	75.100	4.520
H33	76.750	0.860
H34	79.430	1.240
H35-1	80.310	2.040
H36-1	84.980	1.950
H37-1	89.100	1.540

乌鲁木齐河源 1 号冰川 H₁ 冰芯气泡分布特征

王晓军 韩建康

在对 H₁ 冰芯进行冰组构分析的同时, 对冰芯内的气泡分布状况, 气泡的形状以及随深度的变化, 气泡在晶粒间的位置, 细粒杂质对气泡生存的影响等做了初步的观测分析。分析情况如下。

1 工作方法

气泡的观测是在正常光照片上直接进行。气泡冰薄片的制备是获取清晰照片的重要步骤。冰薄片厚度在 2—3 mm, 太厚影响透光, 气泡可能发生上下重叠现象, 太薄则容易破坏气泡形状。观测内容包括气泡尺寸、形状、伸长率(长度/宽度, 即 L/W)、气泡在晶粒间的位置以及细粒杂质的出现和分布等。

气泡观测在 37 个薄片上进行。伸长率数据见表 1。

表 1 气泡伸长率数据统计

编 号	深 度 (m)	伸 长 率	编 号	深 度 (m)	伸 长 率
H 1	5.01	1.7	H20	36.95	3.5
H 2	7.88	1.7	H21	40.14	3.3
H 3	8.73	1.2	H22	41.46	11.1
H 4	10.09	1.2	H23	45.53	5.1
H 5	12.34	1.5	H24	50.28	4.1
H 6	15.32	2.0	H25	55.06	4.0
H 7	18.46	2.1	H26	60.18	2.9
H 8	19.85	1.2	H27	63.15	8.6
H 9	19.65	1.7	H28	65.30	9.0
H10	20.58	3.0	H29	68.24	5.3
H11	21.43	1.5	H30	69.38	2.5
H12	25.26	2.2	H31	70.34	8.1
H13	26.49	1.7	H32	75.04	7.7
H14	26.91	3.3	H33	76.74	3.2
H15	27.70	3.4	H34	79.42	1.9
H16	27.98	2.0	H35	80.38	1.1
H17	30.26	2.8	H36	85.20	1.6
H18	32.36	3.2	H37	89.26	1.0
H19	35.16	3.4			

2 气泡分布的基本特征

2.1 气泡的形状

H₁冰芯内分布着许多气泡，我们根据气泡形状随深度的变化，选择几种具有特色的气泡加以描述，以说明气泡在压力和剪切作用下的形变特征。

聚合形和蝌蚪形气泡。这两种气泡一般发育在20m以上。聚合形气泡通常由几个小气泡聚合而成，其形状各异，气泡尺寸很大。蝌蚪形气泡与蝌蚪十分相近，气泡尺寸较之前者要小的多，但比周围其它小气泡要大些。其共性是无定向呈随机分布。

不规则椭圆形气泡。这种气泡多分布于20—40m深度范围内，随深度的增加出现弱定向趋势，此时冰已出现弱动力变质特征。

伸长形气泡。这种气泡多出现在40—70m深度范围内，且随深度增加，伸长形气泡明显减少，而被细小的球形气泡所代替。伸长形气泡定向明显，排列有序。此时冰已受到明显剪切作用的影响。

串珠状气泡。我们注意到，在70m至底部的深度内，分布着少量的串珠状气泡，即原伸长形气泡被拉断，形成若干个小球形气泡，这可能是接近底部伸长形气泡消失的原因。

准球形气泡。70m以下多为球形气泡，其直径不超过0.2mm，呈细密分布，其间加杂有小椭圆形和伸长形气泡。接近底部气泡变的更小，直径仅为0.1mm左右，有的薄片上几乎没有气泡。

综上所述，气泡形状随深度变化的顺序可大致排列为：聚合形、蝌蚪形、不规则椭圆形、伸长形、串珠形、准球形。气泡形状的划分有利于辨认不同的冰晶，如聚合形、蝌蚪形、不规则椭圆形气泡一般生存在原生冰内，而串珠形伸长形气泡等一般生存在动力变质冰内。气泡形状随深度的变化可能与压力、剪切应变，再结晶作用有关。气泡数量的多寡在深度上的变化可能与初始成因条件有关。

2.2 气泡伸长率随深度的变化

气泡除形状发生变化外，其总体分布特征也在发生变化。气泡由最初散乱的无规律分布，逐步具有弱定向特征。随深度的进一步增加，气泡定向明显，排列有序，呈线状分布。其显著特征为，气泡被明显拉长。伸长形气泡不是无限延伸的，到达一定深度后，伸长形气泡明显减少，直至消失，最后完全被准球形气泡所代替。图1展示了气泡伸长率随深度的变化。H₁冰芯气

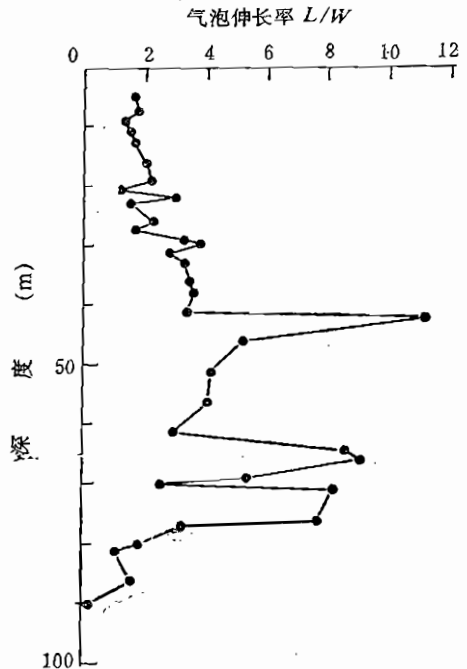


图1 1号冰川H₁冰芯气泡伸长率随深度的变化
气泡伸长率最佳状态在41m，其值可达11.1，且伸长形气泡占多数。在以下的深度内也出现

过峰值,但这种气泡的数量比前者少得多。这种情形在其它冰川上也出现过。如南极洛多姆冰帽,具有伸长形特征的气泡出现在35m以下(李军,1988)。在北极Asgard fonna, Spits bergen冰内,伸长形气泡仅出现在22.8—39.0m(Takao Kameda,1989)。在这些深度范围内,可能是剪切作用对冰内原生气泡改造的最佳深度。

在许多冰川上,伸长率随深度变化逐渐减小,不论剪切作用多强烈,气泡总是以球形为其特征的(Peterson,1987)。那么气泡从伸长演变成球形可能有哪些因素呢?笔者认为可能有两方面的因素。一是外部因素,包括剪切作用,压力和再结晶作用;二是内部因素,即气泡自身的表面张力和扩散作用。剪切作用使得原生气泡变长,从附图照片E.F上可以看到(略),在许多小球形气泡间有少许串珠状气泡,可以肯定它们是由长形气泡而演变成的。这说明,气泡表面的张力和扩散作用是使长形气泡恢复到球形的主要因素。伸长形气泡可能是冰内的原生气泡,不能想象在上述两因素作用下,冰内自生的球形气泡可以重新伸长。因此笔者认为,底部的许多细小球形气泡可能是再结晶作用的产物,这些气泡直径均小于0.2mm,它低于气泡体积的临界值(0.25mm)。在这个意义上讲,外部因素可以改变气泡的形状、伸长率以及使之消亡,内部因素则是改造原生和自生气泡最终成为球形的根本原因。

2.3 气泡在晶界间的位置

气泡在晶界间的位置以及它随深度的变化反映出,压力、剪切作用和再结晶作用直接影响气泡的生存方式。

在原生沉积层内(0—30m),气泡大多位于晶界间。许多气泡沿着晶界间不规则的间隙内,形成了特有的形状,反映出一定深度内晶界面对气泡形状的制约。较大的聚合形气泡位于数个小晶粒的交界处,较小的气泡则挤身于晶界间。此时冰的组构呈随机型或弱环状,气泡数量多,部分气泡还未完全封闭。

随深度增加,冰开始出现动力变质特征,组构呈环状或似多极大型,深度在30—40m,气泡在晶粒中有3种位置,位于晶粒间,位于晶体中,横穿2个晶体。在这个深度内,晶体尺寸已明显增大,剪切作用、压力和再结晶作用可能是改变气泡位置的因素。此外,再结晶作用还导致产生新的气泡。从照片上看到,部分气泡被挤压到重新形成的界面处,部分气泡滞留在增大的晶体内,还有少量气泡可以从一个晶体内横穿到另一个晶体上。

40—60m,晶体尺寸变化频繁,小的晶体尺寸在2—4mm²,大的可达15cm²。表面再结晶作用发生是无疑的。此时气泡大多数位于晶体内,还有少数横穿气泡,而晶界间的气泡已所剩无几了。

60—90m内,气泡几乎全部位于晶体内,且大多数气泡呈球形。随深度增加,不仅晶界间没有气泡,而且晶体内的气泡变得更小(0.1mm),甚至消失。

4) 细微砂粒对气泡的影响

从附图照片(略)上可以看到,细小的砂粒,在剪切作用下将气泡挤破,并集中充填在已破的气泡孔穴内。细小的砂粒容易集中到气泡内的原因,有待进一步研究。

参 考 文 献

- 李军等,1988.南极洲洛多姆冰帽BHQ钻孔冰结构研究,南极考察论文集(五),北京:科学出版社,141—152
Takao Kameda,1989. Shapes and distribution of air bubbles an ice core from Asgard fonna, Spitsbergen, Bulletin of Glacier Research, 7 (1989), 221—226
Paterson W.S.B., 1987, The Physics of Glaciers. 北京:科学出版社,151

乌鲁木齐河源1号冰川冰芯微粒浓度 和化学成分分析

韩建康 中尾正义* 东久美子*

冰芯微粒浓度和化学成份分析在H。冰芯上进行。该冰芯总长57m。冰芯取出后,用于化学成份分析的部分被包裹在两层聚乙烯塑料筒袋中,在负温条件下运往兰州,储存在低温室一段时间后,又在致冷条件下运往日本科技厅防灾科学技术研究所长冈雪冰防灾实验所,在实验室中,由中日两国冰川工作者共同分析。第一阶段的工作仅对顶部6.56m冰芯(含顶部雪样)进行分析。已完成的内容包括: $\delta^{18}\text{O}$,微粒浓度,阴离子(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}),阳离子(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})。计划要进行的工作包括:微粒粒径分布,氢放射性同位素氚的含量以及pH值的测定分析。

1 工作方法和仪器

截取冰样的工作是在长冈雪冰防灾实验所低温室(-20°C)进行。冰芯以5cm左右的间隔用带锯截取,并用经丙酮清洗和超净冻结冰磨砺的刀具对其表层可能造成污染的部分进行刮削,然后装入聚乙烯塑料袋中,在常温下融化后,注入已用超净水清洗9遍的聚乙烯塑料瓶里。在未正式开始分析和分析间歇阶段,样品被置放在 0°C 温冰箱中保存,以减少可能发生的化学反应。

样品融化后,一部分即被装入另一容器中,送往日本名古屋大学水圈研究所进行 $\delta^{18}\text{O}$ 分析,分析仪器为Ma+251。

留在长冈雪冰防灾实验研究所的样品主要进行阴阳离子分析,阴离子分析仪器为离子色谱仪(iou chromatogram)2000i/SP。阳离子分析仪为原子吸光分光光度计(Atomic absorption spectro photometre) SAS7500。微粒粒径分析仪器为Coulter TA II型计数器。

微粒浓度是在对样品称重后(设重量为 W_D),在起净区间一装置上进行过滤。首先确定滤纸的重量(W_1),当微粒杂质被过滤在滤纸上后,将其凉干后再次称重为(W_2),由此可以求出样品微粒浓度为:

$$C = \frac{W_2 - W_1}{W_D}$$

2 数据表格和参数深度变化图

分析得到的数据采取两种方式初步进行归纳，一是数据表格（附表1，2）。二是对应于深度变化的图件（图1，图2）。

3 初步认识和进一步工作的打算

(1) 由钻孔点的强烈渗浸作用，冰芯顶部 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面看不出明显的季节变化，因此不能以此作为断代编年的标准，但可作为地层温度变化的参考。

(2) 微粒浓度峰谷值变化明显，基本上与地层剖面上污化面的记录变化一致（见附件1,2），由此可以得出对污化面的定量描述。

(3) 阴阳离子变化在整体上出现明显的峰谷变化，但类似于其它冰芯分析中（如西昆仑崇测冰帽冰芯）反映的一些元素离子季节变化没有显示出来，这与渗浸作用有关。但我们也注意各离子浓度随深度似乎同步变化。启示着可能有某种因素在对它们的变化共同发生作用。

(4) 冰芯断代是解决上述各化学参数变化的关键所在。目前已通过1号冰川零平衡线的变化历史和大西沟1958年以来积累的气象资料（气温、降水）对钻孔点附近H断面纯积累量变化历史的恢复进行了尝试。还将通过 ^{210}Pb 测定和对氡含量的测定进一步开展工作。

附表1 H₀冰芯化学分析取样区间及 $\delta^{18}\text{O}$ 、微粒、阴离子浓度（ppm）实测结果

样品号	深度(m)		$\delta^{18}\text{O}$	微粒 μg/g	Cl ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ⁻ (ppm)
	顶	底					
+1	0.00	0.05	-20.83	12.04	0.181	0.196	0.565
+2	0.05	0.09	-7.38	65.26	1.477	1.238	2.335
+3	0.09	0.14	-5.90	37.58	0.491	0.774	1.556
+4	0.14	0.22	-8.95	12.67	0.145	0.448	0.522
+5	0.22	0.32	-9.99	338.51	0.131	0.094	0.156
+6	0.32	0.46	-10.51	71.81	0.081	0.061	0.114
+7	0.46	0.52	-13.25	38.48	0.086	0.079	0.116
+8	0.52	0.60					
+9	0.60	0.65					
+10	0.65	0.72	-15.75	26.25	0.088	0.296	0.213
+11	0.72	0.78	-14.91	33.18	0.161	0.166	0.178
+12	0.78	0.84	-12.47	26.65	0.156	0.205	0.164
+13	0.84	0.90	-12.04	38.70	0.240	0.190	0.151
+14	0.90	0.95	-12.28	25.26	0.182	0.150	0.183
+15	0.95	1.02	-12.20	18.56	0.115	0.218	0.330
+16	1.02	1.10					

附表 1 (续 1)

样品号	深度(m)		$\delta^{18}\text{O}$	微粒 μg/g	Cl^- (ppm)	NO_3^- (ppm)	SO_4^{2-} (ppm)
	顶	底					
+17	1.10	1.20	-10.51	109.52	0.185	0.077	0.138
+18	1.20	1.30	-12.40	81.76	0.133	0.059	0.099
+19	1.30	1.40	-12.71	30.74	0.136	0.162	0.163
1	1.40	1.45	-11.73		0.298	0.206	0.331
2	1.45	1.50	-12.35				
3	1.50	1.55	-13.16	50.07	0.117	0.098	0.162
4	1.55	1.60	-13.18	22.73	0.198	0.133	0.172
5	1.60	1.65	-13.01	7.47	0.169	0.161	0.214
6	1.65	1.70	-13.13	12.96	0.168	0.154	0.226
7	1.70	1.75	-13.05	18.55	0.246	0.707	0.344
8	1.75	1.80	-12.31	17.80	1.785	7.571	3.467
9	1.80	1.87	-13.03	30.13	10.867	49.674	26.195
10	1.87	1.93	-12.67	5.18	0.147	0.202	0.470
11	1.93	2.01	-12.73	12.87	0.095	0.083	0.000
12	2.01	2.06	-14.17	9.11	0.486	0.776	0.748
13	2.06	2.11	-12.18	5.48	0.922	1.784	1.877
14	2.11	2.15	-11.92	12.93	0.335	0.165	0.275
15	2.15	2.20	-12.39	15.36	0.532	0.426	0.654
16	2.20	2.26	-13.14	40.64	0.848	0.567	1.261
17	2.26	2.31	-15.40	40.80	0.813	0.300	1.554
18	2.31	2.37	-11.77	181.16	0.837	0.226	2.103
19	2.37	2.43	-11.84	4304.89	1.139	0.453	2.610
20	2.43	2.48	-10.95	113.57	0.901	0.644	1.144
21	2.48	2.53	-11.31	52.27	1.099	0.671	1.283
22	2.53	2.57	-9.72	22.20	0.335	0.157	0.284
23	2.57	2.62	-10.33	114.43	0.447	0.301	0.421
24	2.62	2.67	-10.42	159.36	0.540	0.252	0.481
25	2.67	2.72	-10.61	40.52	0.796	0.408	0.670
26	2.72	2.77	-11.66	68.17	0.601	0.369	0.631
27	2.77	2.82	-10.75	95.75	0.159	0.134	0.174
28	2.82	2.87	-11.15	211.99	0.201	0.108	0.154
29	2.87	2.92	-11.31	108.72	0.256	0.193	0.156
30	2.92	2.97	-11.60	18.47	0.363	0.309	0.192
31	2.97	3.02	-11.07	15.89	1.204	0.999	1.164
32	3.02	3.08	-10.32	6.03	0.422	0.317	0.362

附表 1 (续 2)

样品号	深度 (m)		$\delta^{18}\text{O}$	微粒 ($\mu\text{g/g}$)	Cl^- (ppm)	NO_3^- (ppm)	SO_4^- (ppm)
	顶	底					
33	3.08	3.13	-10.37	8.90	0.489	0.482	0.635
34	3.13	3.18	-10.43	19.02	0.517	0.283	0.384
35	3.18	3.23	-10.17	15.10	0.547	0.434	0.405
36	3.23	3.28	-9.90	9.14	0.423	0.318	0.282
37	3.28	3.33	-9.59	14.67	0.340	0.312	0.270
38	3.33	3.38	-10.02	13.99	0.284	0.299	0.205
39	3.38	3.47	-9.66	21.04	0.306	0.316	0.277
40	3.47	3.52	-11.52	16.55	0.209	0.182	0.191
41	3.52	3.57	-11.46	16.83	0.133	0.194	0.161
42	3.57	3.62	-11.44	15.62	0.284	0.438	0.279
43	3.62	3.67	-9.62	11.46	0.220	0.307	0.297
44	3.67	3.72	-10.22	40.14	0.215	0.178	0.227
45	3.72	3.77	-10.59	22.77	0.252	0.204	0.188
46	3.77	3.82	-12.44	28.76	0.275	0.228	0.201
47	3.82	3.88	-10.01	24.47	0.295	0.225	0.233
48	3.88	3.93	-10.28	27.73	0.566	0.314	0.534
49	3.93	3.98	-9.47	74.79	0.278	0.218	0.254
50	3.98	4.03	-9.40	36.48	0.166	0.140	0.149
51	4.03	4.08	-11.64	28.68	0.228	0.104	0.121
52	4.08	4.13	-11.91	30.47	0.241	0.113	0.148
53	4.13	4.18	-12.77	70.82	0.207	0.215	0.227
54	4.18	4.23	-12.52	54.25	0.228	0.246	0.212
55	4.23	4.28	-11.96	41.64	0.243	0.262	0.230
56	4.28	4.33	-11.64	37.39	0.280	0.294	0.297
57	4.33	4.38	-11.72	43.63	0.516	1.033	0.839
58	4.38	4.43	-11.30	51.98	0.494	0.778	0.652
59	4.43	4.48	-11.27	47.10	0.404	0.503	0.441
60	4.48	4.53	-10.74	39.75	0.420	0.351	0.314
61	4.53	4.58	-10.52	30.36	1.678	6.183	4.096
62	4.58	4.63	-10.37	38.66	0.267	0.597	0.451
63	4.63	4.68	-11.01	226.36	0.464	1.375	1.013
64	4.68	4.73	-10.58	130.47	0.571	1.466	0.948
65	4.73	4.78	-10.29	170.61	0.881	3.115	1.640
66	4.78	4.83	-10.42	34.98	1.097	3.398	2.104
67	4.83	4.88	-10.55	21.48	1.072	3.082	1.938

附表 (续3)

样品号	深度 (m)		$\delta^{18}\text{O}$	微粒 ($\mu\text{g/g}$)	Cl^- (ppm)	NO_3^- (ppm)	SO (ppm)
	顶	底					
68	4.88	4.93	-10.74	10.82	0.946	2.659	1.481
69	4.93	4.98	-11.29	11.73	2.806	10.631	7.435
70	4.98	5.03	-10.41	10.88	2.077	0.617	0.377
71	5.03	5.08	-10.58	13.50	0.469	1.140	0.907
72	5.08	5.13	-11.41	6.54	0.907	1.960	2.157
73	5.13	5.18	-10.71	6.88	0.501	0.944	0.735
74	5.18	5.23	-10.88	10.19	0.489	0.843	0.680
75	5.23	5.28	-10.02	10.19	0.808	0.310	0.162
76	5.28	5.33	-10.39	10.36	0.261	0.221	0.108
77	5.33	5.38	-9.93	13.63	0.209	0.194	0.000
78	5.38	5.43	-10.18	10.57	0.242	0.192	0.000
79	5.43	5.48	-10.65	30.39	0.323	0.232	0.092
80	5.48	5.53	-9.53	861.35	0.236	0.233	0.103
81	5.53	5.58	-9.97	215.68	0.146	0.122	0.000
82	5.58	5.63	-10.19	56.20	0.186	0.122	0.000
83	5.63	5.68	-10.36	72.50	0.308	0.177	0.197
84	5.68	5.73	-9.82	241.85	0.218	0.228	0.126
85	5.73	5.78	-9.96	73.93	0.281	0.340	0.618
86	5.78	5.83	-10.06	40.23	0.204	0.283	0.112
87	5.83	5.88	-9.90	21.24	0.238	0.187	0.000
88	5.88	5.93	-9.79	27.46	0.299	0.222	0.102
89	5.93	5.98	-10.13	24.48	0.395	0.297	0.103
90	5.98	6.03	-10.03	17.93	0.287	0.201	0.093
91	6.03	6.08	-10.38	22.66	0.298	0.232	0.191
92	6.08	6.13	-10.18	21.40	0.241	0.152	0.000
93	6.13	6.18	-10.09	17.49	0.259	0.160	0.136
94	6.18	6.23	-10.14	19.37	0.235	0.149	0.121
95	6.23	6.28	-10.31	17.49	0.248	0.149	0.112
96	6.28	6.33	-10.60	20.28	0.330	0.191	0.205
97	6.33	6.38	-10.27	22.55	0.288	0.152	0.165
98	6.38	6.43	-10.64	28.10	0.315	0.184	0.177
99	6.43	6.48	-10.30	30.52	0.278	0.162	0.119
100	6.48	6.52	-10.29	24.50	0.265	0.133	0.109
101	6.52	6.56	-10.31	43.50	0.286	0.182	0.109
102	6.56	6.60	-9.38	44.90	0.254	0.143	0.000

附表2 H₂O冰芯阳离子浓度(ppm) 实测结果

编 号	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
+1	0.08195	30.80000	0.05242	0.84266
+2	0.83790	118.75000	0.19459	3.32662
+3	0.24218	70.53200	0.14811	1.68831
+4	0.03274	30.15010	0.02223	0.27813
+5	0.03302	36.69030	0.06200	0.26275
+6	0.01235	33.30130	0.01888	0.09885
+7	0.00908	13.13000	0.01075	0.03625
+8				
+9				
+10	0.01178	11.50430	0.02499	0.20217
+11	0.03604	17.93540	0.01410	0.12754
+12	0.04165	20.85610	0.01360	0.13541
+13	0.05783	25.07820	0.01847	0.10148
+14	0.04010	7.10139	0.01779	0.00161
+15	0.01455	16.28090	0.00471	0.05786
+16				
+17	0.04097	15.07200	0.05360	0.18209
+18	0.01867	11.28070	0.02103	0.15671
+19	0.02756	7.68932	0.01232	0.13001
1	0.08185	26.53240	0.06766	0.34097
2				
3	0.03446	50.86910	0.03740	0.24358
4	0.04452	58.15800	0.01510	0.11616
5	0.05746	72.70900	0.01127	0.13892
6	0.05499	30.57830	0.00936	0.10155
7	0.07516	25.89400	0.04969	0.14662
8	0.99637	148.24100	0.69398	2.36922
9	5.70556	907.99000	4.30402	20.03410
10	0.04674	12.22680	0.00337	0.12100
11	0.01999	8.98419		
12	0.21190	39.04430	0.06869	1.43381
13	0.62419	70.34000	0.20595	3.44546
14	0.7069	19.17790	0.02955	1.04022
15	0.19177	31.70710	0.06380	1.60736
16	0.37666	53.47830	0.09207	2.36397
17	0.47856	57.07050	0.08504	1.60455
18	0.67022	106.91100	0.18312	1.18503
19	0.95277	194.61800	0.95237	3.45300
20	0.45816	57.99440	0.10680	4.42890
21	0.62409	63.90620	0.09849	4.88448
22	0.11248	50.62190	0.02187	1.48667

附表 2 (续 1)

编 号	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
23	0.19070	43.22770	0.05469	1.33611
24	0.18578	36.22950	0.06006	1.67920
25	0.39520	93.37070	0.06601	2.68891
26	0.30058	95.95550	0.07960	1.21771
27	0.05171	91.08980	0.03992	0.11341
28	0.04793	50.14260	0.06489	0.19966
29	0.07493	36.02420	0.04848	0.21095
30	0.16321	61.38950	0.04674	0.23271
31	0.68762	61.85370	0.11987	4.76526
32	0.22252	83.06120	0.04199	1.50330
33	0.28898	62.56060	0.06276	2.64509
34	0.18451	24.68360	0.03885	2.63953
35	0.24385	33.38210	0.03675	1.20033
36	0.16546	27.14540	0.01561	0.62163
37	0.14646	31.27480	0.01451	0.63875
38	0.05922	19.42080	0.00774	0.10772
39	0.07393	43.77250	0.01942	0.68511
40	0.03308	17.33570	0.00686	0.49543
41	0.02673	15.14270	0.00318	0.00986
42	0.08148	23.88890	0.01244	0.29375
43	0.07383	43.64090	0.01610	0.50880
44	0.06235	38.02940	0.01650	0.83737
45	0.06236	32.29360	0.00886	0.39790
46	0.07770	41.67950	0.01199	0.21509
47	0.07282	43.76460	0.01280	0.23420
48	0.24427	82.77480	0.03808	3.24907
49	0.09189	28.21450	0.03055	0.41153
50	0.03431	31.12300	0.01170	0.04427
51	0.03501	54.21640	0.01219	0.10904
52	0.05001	66.24590	0.02596	0.37755
53	0.07188	41.91830	0.09160	0.34788
54	0.05907	26.52320	0.04177	0.16826
55	0.05823	30.08910	0.03138	0.13801
56	0.08602	39.85390	0.03358	0.16711
57	0.22020	61.29660	0.09747	0.42240
58	0.22668	87.70770	0.10857	0.51386
59	0.16815	64.03790	0.05914	0.35781
60	0.15148	44.41420	0.03484	0.29707
61	1.02026	208.03200	0.70461	3.88344
62	0.10665	32.19600	0.06288	0.48352
63	0.23643	62.81090	0.27168	1.83328

附表 2 (续 2)

编 号	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
64	0.26561	72.78880	0.20249	1.19961
65	0.48798	89.36840	0.33010	1.36402
66	0.51646	104.64300	0.30990	1.91929
67	0.52194	94.23170	0.27116	2.66787
68	0.42988	99.71790	0.22487	1.48942
69	0.19268	180.07000	1.02014	6.31584
70	0.07728	15.14410	0.03878	0.15393
71	0.21499	39.53060	0.12346	0.63852
72	0.47812	84.48860	0.26310	3.77420
73	0.22855	43.94370	0.08965	0.72907
74	0.22967	44.11830	0.09422	1.21759
75	0.06281	10.92830	0.01223	0.14824
76	0.04856	4.96033	0.00240	0.22251
77	0.03486	3.25441	0.00000	-0.04310
78	0.06003	9.15104	-0.00150	-0.03500
79	0.08715	8.69660	0.00252	0.18731
80	0.06661	35.68650	0.03857	0.34086
81	0.01271	12.83130	0.00968	0.00364
82	0.01707	16.00020	0.00870	0.07416
83	0.06255	46.33550	0.01979	1.04315
84	0.03914	32.24620	0.01803	0.14475
85	0.06767	76.28440	0.01586	0.13693
86	0.06234	73.23490	0.00877	0.02401
87	0.06743	62.76890	0.00312	-0.01030
88	0.09322	32.04900	0.00616	0.06337
89	0.16019	109.18400	0.01003	0.14418
90	0.08151	55.87250	0.00326	0.04598
91	0.06950	16.52660	0.00785	1.41511
92	0.03320	21.81740	0.00041	0.02039
93	0.03928	12.08310	0.00161	0.90985
94	0.03316	16.61540	-0.00050	0.63340
95	0.02347	9.40251	-0.00020	0.44253
96	0.06318	35.53600	0.00564	1.46614
97	0.04006	30.05690	0.00321	1.12651
98	0.04195	19.70820	0.00587	1.28575
99	0.03357	27.63530	0.00434	0.85790
100	0.02354	11.45810	0.00444	0.64907
101	0.02828	12.23090	0.01146	0.36578
102	0.02536	21.50160	0.01705	0.03636

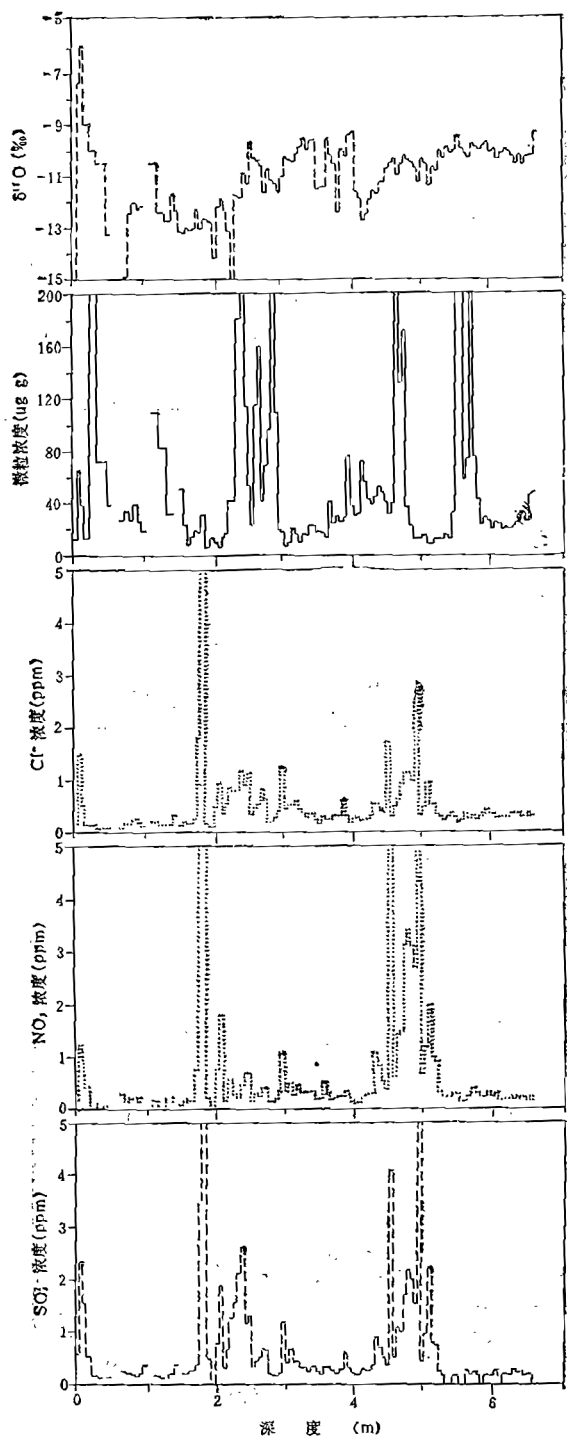


图1 H₂冰芯δ¹⁸O微粒及阴离子浓度随深度变化

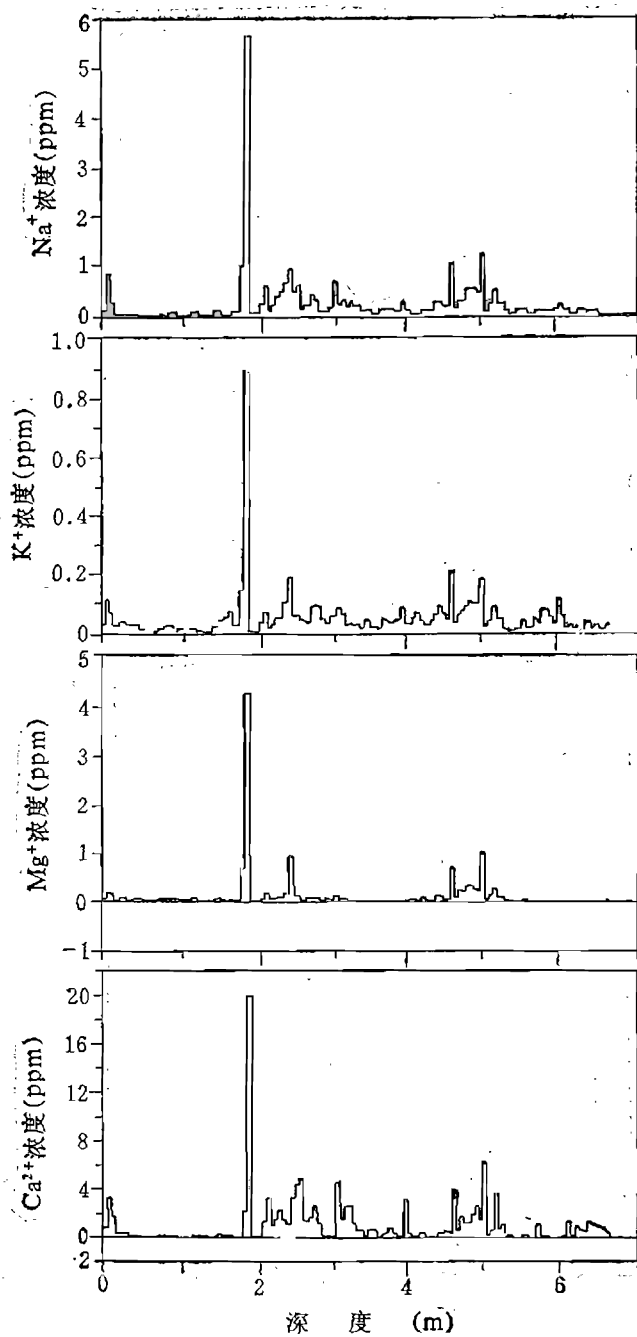


图2 H₂冰芯阳离子浓度(ppm)随深度变化

乌鲁木齐河源1号冰川温度观测资料

王晓军 A.Lluberas*

1990年10月14日,我们在1号冰川H₂花杆附近(4 058m)的透底冰芯钻孔(H₁)中放置了一组温度探头。探头随深度的分布分别为,2.5m, 5m, 7.5m, 10m, 15m, 20m, 40m, 60m, 80m, 90m。温度测量使用中国科学院兰州冰川冻土研究所研制的SBJ-2型热敏电阻温度测试仪进行量测。每个探头在放置前均进行了温度订正值的规定,其精度在±0.05°C。探头放置后,共分3次测量了冰温随深度的变化值(表1),根据表1又绘制了图1。因此可以看出冰温变化具有以下特征:

表1 H₁冰芯孔冰温测量值

日期 深度 (m)	14/11	25/11	12/12
2.5	-4.48	-8.77	-7.95
5	-1.08	-1.73	-2.4
7.5	-1.06	-1.2	-1.35
10	-1.72	-1.84	-1.55
15	-1.7	-1.71	-1.7
20	-1.24	-1.27	-1.3
40	-0.8	-0.89	-0.8
60	-0.89	-0.89	-0.9
80	-1.12	-1.21	-1.1
90	-0.39	-1.1	-1.1

1) 表层10m内冰温随季节变化而波动, 5m以上非常明显, 5m以下变化幅度明显减小。

2) 40—60m段冰温接近压力熔点。在H₀冰芯钻探中,我们发现在43.7m、44.5m、55.08m处分别出现液相水,用吸水纸附上可见明显湿迹。此时钻探场地气温为-11.0—-16.5°C。冰温最高点未出现在底部,这一问题有待研究。

*乌拉圭东岸共和国海军海洋、气象、水文研究所。

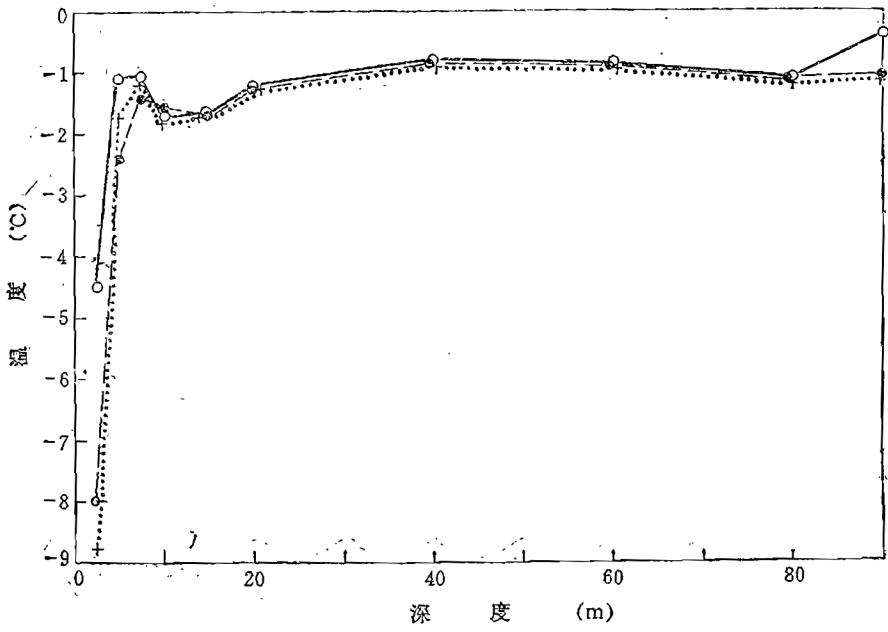


图1 H₁冰芯孔冰温随深度变化曲线图

3) 底部冰温在 -1.1°C ，可能冰与基岩冻结在一起。但在第一次观测中，90m处冰温高达 -0.39°C 。

4) 总体而言，1号冰川粒雪盆内冰温是整个冰川温度最高处，这与表层积雪和融水渗透冻结作用有关。