

乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡 过程观测研究(1991 / 1992 年)

刘 潮 海 王 纯 足

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

1 号冰川位于天山天格尔山脉北坡、乌鲁木齐河源区,距乌鲁木齐市约 120 km。1 号冰川的上界是天格尔第二峰,海拔 4 486 m,垂直高差近 750 m,为一双冰斗-山谷冰川,面积 1.84 km²^①,是乌鲁木齐河源区最大的一条冰川。

1 号冰川由东、西两支组成,面积分别为 1.163 km² 和 0.677 km²,它们的上、下界分别为 4 269—3 740 m 和 4 486—3 810 m。东、西支冰川有着各自的补给区,并占据着不同高度区间,虽然它们曾在其末端汇流,形成统一的冰舌,但近年来在汇流处形成了深切的水道,有些地方下切至冰床。西支冰川末端在东支冰川上面形成了高数十米的冰坎,实际已和东支相脱离。因此,近年在观测研究冰川物质平衡形成过程时,分别对东、西支冰川进行观测和计算。为了和以往资料相衔接,同时也列出了 1 号冰川物质平衡及其分量的研究结果。

1 号冰川东、西支物质平衡观测分别布设了 8 条横断面和一条纵断面,共计 69 个测点,是我国目前单位面积测点最多的冰川之一。

自 1959 年起,中国科学院兰州冰川冻土研究所在乌鲁木齐河源 1 号冰川建立了定位观测站,进行冰川物质平衡、运动速度、成冰作用、冰川水文气候和冰雪物理特征等多项观测研究。在冰川站夏季营地附近建有大西沟气象站(3 539 m),至今已观测了 35 年。在 1 号冰川下方(3 693 m)、空冰斗(3 805 m)、萝卜道沟与大西沟汇流处(3 408 m)建有水文气象观测点,进行冰川、积雪、降水径流和气候综合观测研究。30 多年来,已积累了大量的资料,开展了多学科的综合研究,已成为我国研究得最详细的冰川区。

1 观测研究方法

位于亚洲内陆腹地的 1 号冰川温度较低,冬季积雪少,春季和秋季雪面融水迅速浸润至冰面,并在冰面上冻结形成附加冰,广泛分布于冰川消融区和平衡线附近。为了充分估计附加冰的作用,减少物质平衡观测中的误差,在采用测杆观测消融区物质平衡时,还用观测雪层剖面的方法测量附加冰的厚度。这样以来,某时段的单点物质平衡(b_n)由冰川冰的平衡(b_i)、积雪的平衡(b_s)和附加冰的平衡(b_{si})三部分组成:

^①据 1986 年地面立体摄影测量图量算。

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

$$b_i = \rho_i [(h_1 + h_{s1} + h_{s11}) - (h_2 + h_{s2} + h_{s21})] \quad (2)$$

$$b_s = \rho_{s2} h_{s2} - \rho_{s1} h_{s1} \quad (3)$$

$$b_{si} = \rho_{si} (h_{si2} - h_{si1}) \quad (4)$$

式中: h_1 、 h_2 分别为前后两次观测的测杆顶至雪面或冰面的高度; h_{s1} 、 h_{s2} 分别为前后两次观测的积雪厚度; ρ_{s1} 、 ρ_{s2} 分别为前后两次观测的积雪层的平均密度; ρ_i 、 ρ_{si} 分别为冰川冰和附加冰的平均密度, 分别取 0.90 g/cm^3 和 0.85 g/cm^3 。

在冰川积累区, 除利用测杆外, 还利用雪坑观测积雪量。单点净平衡由剩余粒雪年层的净平衡(b_f)与渗透到前一年层以下的融水再冻结形成的渗透-冻结冰的净平衡, 或称内补给(b_{in})组成:

$$b_n = b_f + b_{in} \quad (5)$$

$$b_{in} = h_{f2} \rho_{f2} - h_{f1} \rho_{f1} \quad (6)$$

$$b_f = h \bar{\rho} \quad (7)$$

式中: h 为雪-粒雪年层总厚度; ρ 为该年层的平均密度; h_{f1} 、 h_{f2} 分别为前后两次观测的整个雪-粒雪层的厚度; ρ_{f1} 、 ρ_{f2} 分别为前后两次观测的整个雪-粒雪层的平均密度。

1号冰川通常采用等值线法计算整个冰川的净平衡, 即将单点平衡值点绘在大比例尺地形图上, 绘制积消等值线, 以相邻等值线之间的投影面积(s_i)分别乘以相应区间的平均净平衡量(b_i), 累积得到整个冰川的净平衡(B_n):

$$B_n = \sum_{i=1}^{i=n} b_i s_i \quad (8)$$

另外, 利用等高线区间法计算瞬时物质平衡量。这种方法所计算的结果近似于等值线法。由于它较简便迅速, 被用来研究物质平衡形成过程。为了和以往的资料相衔接仍用等值线法计算冬平衡和年平衡。

2 物质平衡形成过程

冬平衡(b_w)是在5月份冰川开始消融前的第一次测量时确定的(图1, 表1), 代表了冷季期间冰川的最大积累量。

此后, 每15天进行一次物质平衡观测, 并按等高线法分别计算了东、西支各时段的瞬时物质平衡(b_t), 其结果列入表2和表3。

将单点物质平衡(表4, 5)点绘在大比例尺地形图上, 绘制积、消等值线, 分别计算出1991—1992年度东、西支和1号冰川物质平衡值(表6, 图2)。

分析上述观测资料和计算结果, 该年度物质平衡具有以下主要特征。

(1) 1号冰川冬平衡变率很大。1991—1992年1号冰川冬平衡为173 mm, 明显大于1990—1991年的5.2 mm, 小于1989—1990年的340 mm, 接近于多年平均值。在

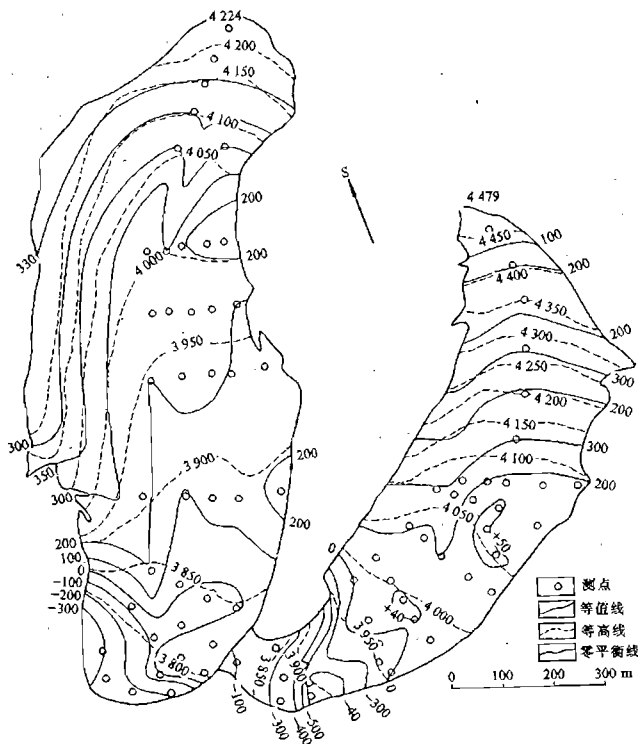


图1 1号冰川冬平衡等值线(1991.9—1992.5)

表1 乌鲁木齐河源1号冰川冬平衡观测计算结果(1991.8.30—1992.5.15)

冰川	平衡线高度 (m)	纯积累			纯消融			纯平衡	
		积累区面积 (km ²)	积累深度 (mm)	积累量 (10 ⁴ m ³)	消融区面积 (km ²)	消融深 (mm)	消融量 (10 ⁴ m ³)	总量 (10 ⁴ m ³)	平衡值
东支	3827	1.064	240	25.57	0.099	144	1.43	24.14	208 = 207.6
西支	3962	0.571	177	10.10	0.106	222	2.34	7.76	115 = 114.6
1号冰川	3895	1.635	218	35.67	0.205	174	3.77	31.80	173

多数年份，冬平衡接近于冬季积累，根据多年观测资料证实，无论冬平衡值多大，冰舌下部的物质平衡总是处在负的状态下，并随着冬平衡值的减小而消融强度增大，零平衡线不是低于冰舌末端，而是出现在冰舌区某一高度处。例如，1991—1992年冬季，1号冰川冰舌下部的消融面积达0.205 km²，消融量达3.8 × 10⁴ m³，平均消融深为

表 2 1号冰川东支各高度带物质平衡(1991.8.29—1992.8.31)

高度区间 (m)	面积 (km ²)	时 间								
		5.15	6.1	6.15	7.1	7.16	8.2	8.16	8.31	
3 740—3 750	0.004	-275	-366	-552	-791	-978	-1 494	-1 905	-2 202	-1977
3 750—3 800	0.055	-17	36	-80	-148	-287	-850	-1 229	-1 492	-1075.0
3 800—3 850	0.097	27	136	62	35	-35	-253	-639	-870	877.0
3 850—3 900	0.155	164	257	198	234	250	82	-56	-148	-32.0
3 900—3 950	0.194	208	351	313	372	430	281	105	161	-47.0
3 900—4 000	0.138	238	254	312	385	434	292	245	196	-0.0
4 000—4 050	0.147	222	240	272	373	402	249	213	155	-87.0
4 050—4 100	0.115	334	384	446	580	671	544	505	474	146.0
4 100—4 150	0.112	315	370	477	601	773	678	630	618	303.0
> 4 150	0.146	315	392	508	623	785	695	642	616	301.0
3 740—4 269	1.163	208	277	286	348	397	218	90	83	

207.6

146

-197.0

表 3 1号冰川西支各高度带物质平衡(1991.8.28—1992.8.30)

高度区间 (m)	面积 (km ²)	时 间									
		5.1	5.14	5.30	6.14	6.30	7.15	8.1	8.15	8.30	
3 810—3 850	0.018	-146	-172	-188	-305	-298	-472	-990	-1 354	-1 684	-1537.0
3 850—3 900	0.024	-266	-252	-260	-355	-399	-534	-1 029	-1 378	-1 682	-1016.0
3 900—3 950	0.047	-39	-41	-16	-70	-30	-59	-370	-599	-777	-738.0
3 950—4 000	0.073	97	94	126	124	161	186	-60	-196	-333	-470.0
4 000—4 050	0.107	140	143	187	220	264	317	142	51	32	-102.0
4 050—4 100	0.116	166	197	224	254	342	396	158	84	90	-76.0
4 100—4 150	0.055	300	315	336	388	554	634	513	493	558	205.0
4 150—4 200	0.044	226	245	282	342	486	552	528	515	590	364.0
4 200—4 250	0.037	289	311	396	476	648	813	816	804	883	442.0
4 250—4 300	0.037	162	244	345	418	572	687	673	665	706	444.0
4 300—4 400	0.040	32	155	170	213	323	418	443	444	504	473.0
74 400	0.038	32	155	170	213	323	418	443	444	504	473.0
3 810—4 486	0.677	125	154	185	211	299	352	193	109	87	

1146

369

-77.0

表 4 1号冰川东支 1991/1992年单点物质平衡观测值

剖面 编号	测杆号	高度 (m)	纯 积 消 量 (mm)							
			5.15	6.1	6.15	7.1	7.16	8.2	8.16	8.31
A'	1	3 750.0	-221.0	-116.4 ⁰ -351.0	-17.4 ⁰ -521.4	-234.6 ⁰ -756.0	-115.0 ⁰ -891.0	-288.0 ⁰ -1 179.0	-252.0 ⁰ -1 431.0	-188.0 ⁰ -1 611.0
	2	3 765.7	-268.7	-279.5	-488.8	-738.0	-936.0	-1 521.0	-2 016.0	-2 376.0
	3	3 757.4	-335.4	-468.0	-646.8	-878.0	-1 107.0	-1 782.0	-2 268.0	-2 619.0
	平均	3 757.7	-275.0	-366.2	-552.3	-790.7	-978.0	-1 494.0	-12 905.0	-2 202.0
B'	+1	3 790.0	-197.0	-206.1	-340.7	-477.0	-756.0	-1 341.0	-1 827.0	-2 142.0
	+2	3 787.4	20.8	145.9	-48	-39.0	-124	-730.0	-1 108.0	-1 405.0
	1	3 791.7	92.0	136.7	28.7	-27.5	-145.0	-685.0	-1 027.0	-1 342.0
	2	3 798.8	40.2	87.7	-35.5	-61.0	-128.5	-679.0	-1 012.0	-1 219.0
	3	3 799.8	-24.5	13.8	-76.6	-154.6	-327.6	-894.6	-1 254.6	-1 488.6
	4	3 809.8	-35.0	37.7	-43.5	-126.0	-238.0	-769.0	-1 147.0	-1 354.0
	平均	3 796.3	-17.3	36.0	-78.7	-147.5	-286.5	-89.8	-1 229.3	-1 491.8
C'	+1	3 823.6	102.7	269.6	137.8	155.5	128.0	-213.0	-510.0	-793.0
	+2	3 824.8	-44.3	-1.9	-6.5	-17.5	-105.0	-486.0	-810.0	-1 044.0
	1	3 849.0	-23.5	150.8	85.0	48.5	-6.5	-174.5	-410.0	-68.5
	2	3 845.0	-29.8	20.2	-19.9	-70.5	-232.0	-465.0	-769.0	-998.0
	3	3 840.4	19.2	127.4	10.9	-26.0	-49.5	-421.0	-716.0	-92.0
	4	3 829.0	196.0	346.1	271.7	281.0	258.5	60.5	-111.0	-318.0
	平均	3 837.0	36.8	15.0	79.8	61.8	-1.1	-283.2	-554.3	-789.1
D'	1	3 890.6	218.1	296.0	230.7	290.5	285.5	98.0	-50.0	-158.0
	2	3 892.1	145.2	186.1	139.1	150.0	154.0	-35.0	-247.0	-382.0
	3	3 892.8	145.8	182.7	165.0	190.0	160.5	-39.0	-140.0	-275.0
	4	3 892.7	88.9	129.4	94.5	103.0	71.5	-107.0	-211.0	-292.0
	5	3 905.0	223.0	491.8	362.1	438.0	576.0	495.0	368.5	366.0
	平均	3 894.6	164.4	257.2	198.2	234.3	249.5	82.4	-55.9	-148.2

表 4 (续)

剖面 编号	测杆号	高度 (m)	纯 积 消 量 (mm)							
			5.15	6.1	6.15	7.1	7.16	8.2	8.16	8.31
E'	1	3 929.0	156.8	259.0	232.7	288.5	333.0	172.0	64.5	41.5
	2	3 928.0	194.2	299.0	256.9	316.9	349.0	167.5	24.0	35.5
	3	3 929.6	219.1	315.0	321.8	383.3	42.5	261.0	129.5	124.5
	4	3 931.9	251.1	378.5	373.8	398.0	436.5	255.0	138.0	184.0
	5	3 945.0	201.3	360.0	329.4	406.2	452.0	332.5	266.0	211.5
	平均	3 932.7	204.5	322.3	302.9	358.6	400.6	237.6	124.5	119.4
F'	1	3 970.1	204.9	220.6	288.5	337.5	378.0	284.0	193.0	150.5
	2	3 970.7	235.7	251.6	267.0	313.0	379.5	217.0	122.5	87.0
	3	3 967.0	226.3	261.4	357.0	421.6	426.5	263.5	210.0	184.0
	4	3 970.0	267.2	284.3	359.5	420.7	483.5	365.5	354.5	310.0
	5	3 975.0	254.8	272.2	365.0	427.6	492.5	417.0	375.5	320.5
	平均	3 970.4	237.8	258.0	237.4	384.1	432.0	309.4	251.1	210.4
G'	1	4 011.1	181.1	205.3	224.0	313.3	306.5	180.0	155.5	70.0
	2	4 007.7	177.9	191.2	198.5	284.5	322.5	123.0	66.5	1.5
	3	4 003.0	212.6	208.6	306.5	407.3	472.0	252.5	210.0	151.5
	4	4 002.0	312.8	344.6	345.5	471.0	551.0	343.5	351.5	270.5
	5	4 005.0	188.3	187.0	206.5	280.3	285.1	195.1	145.1	92.1
	平均	4 005.8	214.5	227.3	256.2	351.3	387.4	218.8	185.7	117.1
H'	I	4 055.0	349.7	353.6	359.7	494.0	504.9	335.0	280.0	225.0
	J	4 053.0	349.7	408.0	422.4	579.5	622.2	495.0	490.0	459.0
	K	4 085.0	305.9	389.2	501.6	608.0	759.9	640.0	594.0	548.0
	L	4 140.0	331.2	386.4	498.3	639.6	795.6	705.0	657.0	664.0
	M	4 170.0	299.0	352.8	456.2	574.0	749.7	650.0	602.8	572.0
	N	4 205.0	315.0	392.0	508.2	623.2	785.4	695.0	642.4	616.0

表 5 1号冰川西支 1991/1992年单点物质平衡观测值

剖面 编号	测杆号	高度 (m)	纯 积 消 量 (mm)								
			5.1	5.15	5.30	6.14	6.30	7.15	8.1	8.15	8.30
A	1	3 825.0	-51.0	-99.0	-105.2	-242.5	-227.0	-391.0	-1 048.0	-1 435.0	-1 797.0
	1	3 869.5	-381.6	-365.3	-408.8	-553.0	-625.0	-823.0	-1 453.0	-1 813.0	-2 139.0
B	2	3 862.8	-348.4	-360.2	-367.0	-495.0	-530.0	-670.0	-1 120.0	-1 525.0	-1 888.0
	3	3 859.3	-240.9	-245.7	-270.5	-367.6	-368.0	-553.0	-931.0	-1 273.0	-1 570.0
	平均	3 862.5	-323.6	-323.7	-348.8	-471.9	-507.7	-682.0	-1 168.0	-1 537.0	-1 865.7
C	1	3 879.0	-96.8	-55.1	-66.0	-116.2	-201.0	-245.5	-691.0	-1 006.0	-1 234.0
	2	3 886.0	-90.4	-53.8	-36.1	-99.5	-147.5	-222.0	-705.0	-948.0	-1 230.0
	3	3 872.9	-438.8	-432.0	-411.9	-496.4	-522.0	-688.0	-1 273.0	-1 705.0	-2 031.0
	平均	3 879.3	-208.7	-180.3	-171.3	-237.4	-290.2	-385.2	-889.7	-1 219.7	-1 498.3
D	1	3 950.9	-19.1	-12.2	5.5	-50.3	-22.0	-59.0	-281.5	-538.0	-724.0
	2	3 950.1	-168.4	-146.8	-146.9	-173.1	-141.9	-192.4	-547.9	-907.9	-1 131.9
	3	3 947.0	-169.5	-190.5	-171.0	-250.8	-184.0	-261.5	-645.0	-879.0	-1 084.0
	4	3 951.4	119.1	187.1	249.5	196.1	226.0	277.5	-7.5	-73.0	-169.0
	5	3 992.5	21.0	1.3	32.5	9.2	26.5	5.5	-308.0	-614.0	-824.0
	平均	3 958.4	-27.4	-32.2	-6.1	-53.8	-19.1	-46.0	-358.0	-602.4	-786.6
E	1	3 985.5	105.3	111.6	111.1	125.7	196.7	218.6	29.6	-95.9	-244.9
	2	3 986.1	55.7	62.5	95.5	100.9	119.0	157.5	-52.5	-237.5	-424.5
	3	3 990.7	55.6	68.3	95.0	143.6	168.3	188.5	-42.0	-103.0	-202.0
	4	3 996.8	147.6	131.5	169.0	167.7	230.9	268.0	23.0	-51.5	-132.5
	5	4 007.1	103.6	119.9	147.6	162.5	212.0	251.1	59.6	-28.9	-100.9
	平均	3 993.2	93.6	98.8	124.6	140.1	185.4	261.7	3.5	-103.4	
F	1	4 002.1	154.0	153.6	180.5	231.5	257.6	307.0	149.0	15.0	41.0
	2	4 024.4	130.0	116.1	136.5	159.5	234.7	289.0	100.0	23.5	6.5

表 5 (续)

剖面 编号	测杆号	高度 (m)	纯 积 消 量 (mm)								
			5.1	5.15	5.30	6.14	6.30	7.15	8.1	8.15	8.30
F	3	4 025.9	222.0	200.0	288.5	301.0	354.1	421.0	275.0	154.0	215.0
	4	4 029.9	158.0	148.6	241.5	302.0	334.0	392.0	223.5	152.0	158.5
	5	4 035.3	224.0	221.4	305.5	346.5	370.7	461.0	327.0	243.5	190.0
	平均	4 028.3	177.6	167.9	230.4	268.1	310.2	374.0	214.9	117.6	122.2
G	+1	4 053.1	60.4	80.1	74.0	121.7	149.3	188.9	0.5	-35.0	-108.0
	+2	4 048.2	64.5	101.3	125.5	135.5	197.3	228.3	-0.9	-113.4	-146.9
	1	4 069.1	133.3	187.4	207.1	236.6	325.2	369.4	201.7	34.2	47.2
	2	4 062.3	-2.8	-28.6	-38.1	99.6	121.0	147.5	-38.4	-149.9	-159.9
	3	4 055.5	126.0	227.2	224.0	278.6	376.3	399.1	203.5	178.0	165.0
	4	4 055.8	263.3	287.1	299.5	361.2	450.0	520.2	396.5	314.5	398.0
	5	4 065.0	299.6	322.6	342.1	393.7	492.7	650.5	159.2	149.2	169.7
	平均	4 058.4	140.0	176.3	187.2	232.4	261.7	257.7	131.7	53.9	52.2
H	1	4 090.5	148.5	180.5	181.7	235.7	314.7	347.2	179.9	105.4	75.4
	2	4 079.0	188.5	209.1	236.6	269.3	370.7	399.6	240.0	133.0	173.5
	3	4 075.5	142.5	154.9	229.7	205.3	284.4	358.6	123.3	87.3	87.8
	4	4 068.9	194.0	233.8	298.3	321.7	399.6	420.7	94.0	31.0	-1.5
	5	4 095.0	228.0	235.6	281.3	258.2	430.4	519.6	180.0	160.0	184.0
	平均	4 081.8	180.3	202.8	245.5	258.0	360.0	409.1	163.4	103.3	103.8
L	1	4 125.0	299.8	315.1	336.1	387.7	553.6	534.1	512.8	492.6	558.2
	2	4 200.0	225.5	245.0	282.0	343.4	486.0	551.8	527.5	515.3	589.5
	3	4 275.0	288.8	311.3	396.1	476.1	648.1	813.2	816.2	803.7	883.3
	4	4 350.0	161.7	244.0	345.0	418.2	571.5	687.3	693.1	665.0	705.6
	5	4 400.0	200.6	226.6	219.5	292.3	418.4	522.6	492.8	489.9	537.5
	6	4 450.0	32.4	155.1	169.9	213.3	323.2	418.0	442.8	444.0	504.0

表 6 1号冰川年物质平衡观测计算结果(1991.8.29—1992.8.31)

冰川名称	平衡线高度 (m)	消融区面积 (km ²)	积累区面积 (km ²)	纯消融 (10 ⁴ m ³)	纯积累 (10 ⁴ m ³)	消融区季节积雪 (10 ⁴ m ³)	积累区消融 (10 ⁴ m ³)	总消融 (10 ⁴ m ³)	总积累 (10 ⁴ m ³)	物质平衡	
										总量 (10 ⁴ m ³)	单位值 (mm)
东支	3918	0.361	0.802	27.7	29.4	21.8	16.6	66.1	67.8	1.7	15 = 14.6
西支	4032	0.222	0.455	17.8	20.3	13.9	9.4	41.1	43.6	2.5	37 = 36.9
1号冰川	3975	0.583	1.257	45.5	49.7	35.7	26.0	107.2	111.4	4.2	23 = 22.8

3960

Net acc 395 mm / 2700
 Net obj. 780 mm / 2700

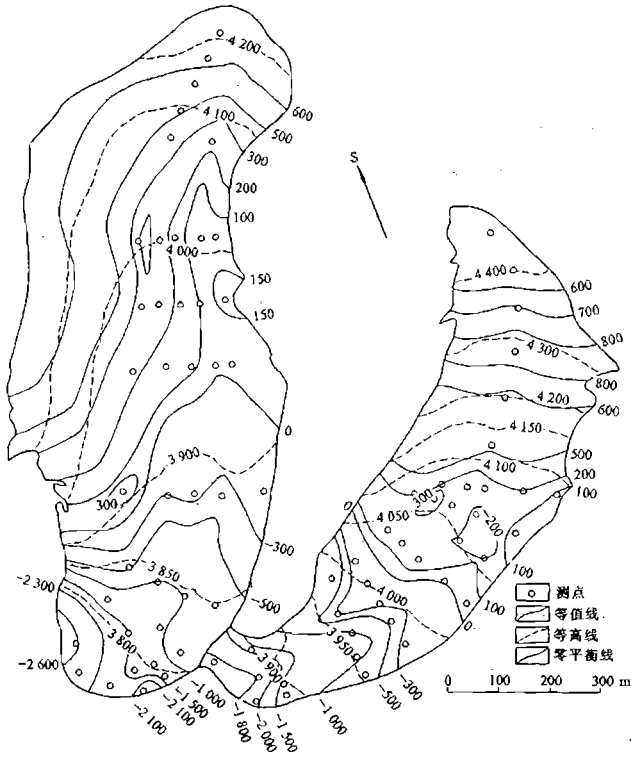


图 2 1号冰川 1991—1992 年物质平衡等值线

173mm, 零平衡线高度平均达到 3 895 m。这一状态反映出, 乌鲁木齐河源区冬季降雪量少, 在太阳辐射作用下, 不仅使新降雪融化, 而且使部分冰川冰消融, 同时冰雪面蒸发损失也是一个不可忽视的因素。

(2) 5月中旬到冰川最强消融期间, 冰舌下部的消融增加得非常缓慢。与此同时, 冰舌中、上部和积累区的物质积累则不断增大, 从而导致物质平衡的正值增大, 在 7 月

中旬达最大值, 1号冰川东、西支分别达 397 mm 和 352 mm。冰川最大积累量东、西支分别出现在 4 100—4 150 m 和 4 200—4 250 m 的高度区间, 在此高度带以上和以下, 物质积累量减小。这一现象说明, 积累量的大小, 不仅取决于降雪量和高度, 而且和雪积累的地形条件有关。一般而言, 地面越陡, 雪的积累量就越小。在冰川后壁的山顶附近, 由于风的吹蚀作用, 物质积累量减少。

7月中旬以后, 冰舌区的冰川冰才开始强烈消融, 物质平衡曲线向下弯曲, 形成明显的拐点(图 3, 4)。与此同时, 冰舌上部和积累区的物质也开始缓慢的消融。

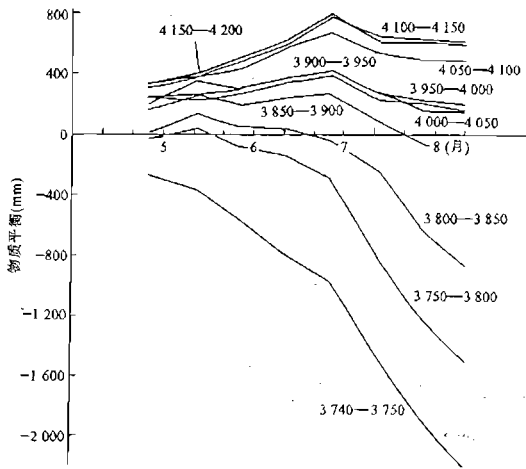


图 3 1号冰川东支各高度带物质平衡随时间的变化

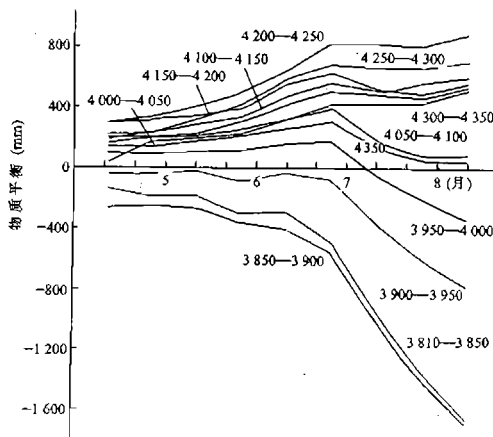


图 4 1号冰川西支各高度带物质平衡随时间的变化

1991—1992年, 根据冰川积累和消融强度可以分为几个主要阶段: 1) 冬季(9—5月)弱积累、弱消融期, 冰川以积累为主, 但积累速率小, 日平均仅为0.8—1 mm, 积累和消融曲线均增加得非常缓慢; 2) 夏季(6—8月)高积累、强消融期, 冰川积累和消融都主要发生在这一时期。据纯积累和纯消融速率又可以分为: 强积累和弱消融阶段(6月初到7月中旬), 冰川积累增加得较快, 日平均积累速率达2.7—3.7 mm, 而消融速率仅为6—7 mm; 弱积累和强消融阶段(7月中旬—8月末)。7月中旬以后, 冰舌区绝大部分冰面出露, 冰川冰消融非常强烈, 物质平衡曲线下降得很快, 其日平均消融速率增大到23—24 mm, 而纯积累仅在个别高度区间上发生, 整个冰川基本均处于消融状态下。

(3) 冬(b_w)、夏(b_s)和年物质平衡的关系可用下式表达:

$$b_n = b_w - b_s \quad (9)$$

计算结果表明, 东、西支冰川夏平衡分别为193 mm和78 mm, 1号冰川平均为150 mm。在冰川正平衡年份, 冬平衡大于夏平衡值。

(4) 分析邻近1号冰川的大西沟气象站(3 539 m)1991—1992年度的气温、降水以及年内分配资料可以看出, 物质平衡年度降水为437 mm(未修正), 接近多年平均值的431 mm, 而夏季(6—8月)的降水量为264 mm, 小于多年平均值(281 mm)。与此同时, 1992年6—8月的平均气温较多年平均值(4.0℃)下降了0.2℃, 特别是消融最强烈的7月份平均气温低, 这是造成物质平衡出现正值的主要原因。另外, 1992年4—5月的春季降水较多年平均值大, 致使冬平衡值增大, 也是年物质平衡出现正值的原因之一。

3 物质平衡随高度的分布

1991—1992年瞬时物质平衡(b)随高度(H)的变化表示在图5, 6中。由于测点处的坡度、坡向等差异, 物质平衡梯度是不均一的。为了便于表示, 将冰川积累量最大的测点和其末端最大消融点的差值作为物质平衡的平均梯度。

1号冰川东、西支在强烈消融阶段以前, 物质平衡梯度(db/dH)很小(图5, 6中的曲线1, 2, 3), 平均为1.5—1.7 mm/m。这一时期, 物质平衡梯度的增大主要依赖于冰川中、上部积累强度的增大, 而冰川下部的消融则非常缓慢。在消融区冰川冰大量出露, 并随之强烈消融时, 冰川积累区物质积累量也随之增大, 从消融增强和积累增加两个方面同时加大了物质平衡梯度, 其平均值为4.0—4.5 mm/m(图5, 6中的曲线4, 5)。这一时期, 物质平衡曲线伸长, 并在零平衡线处聚合, 向下以扇形散开, 向上以一定的距离向横坐标的右侧移动。

1号冰川物质平衡随高度的变化并不是均一的, 特别在积累区。物质积消的大小不仅取决于同期固态降水的多寡, 而且与雪积累的地面陡缓有密切的关系, 从而使物质平衡曲线呈现出多次弯曲的形状。在冰川顶部, 由于风的吹蚀作用, 物质平衡量减小, 形成了向横坐标左侧平行移动的一组曲线。在整个夏季期间, 在冰舌区强烈消融的同时,

冰川补给区在持续积累物质, 夏平衡接近年平衡值, 与物质积累主要发生在冷季, 而消融主要发生在夏季的海洋性冰川有很大的差别。

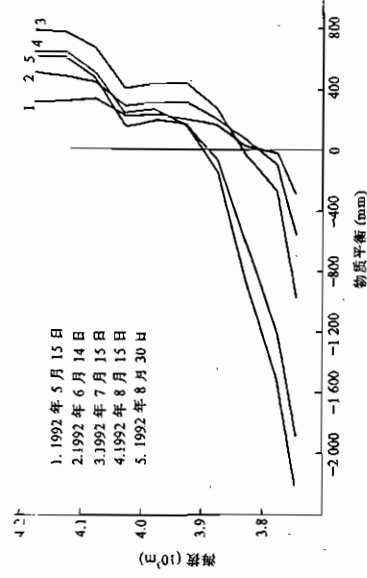


图 5 1号冰川东支物质平衡随高度的分布

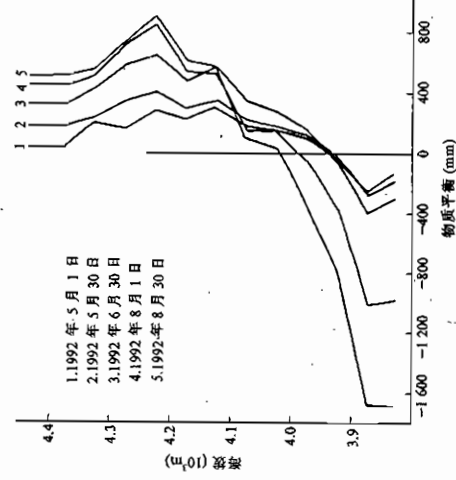


图 6 1号冰川西支物质平衡随高度的分布

1 零平衡线的变化及其与物质平衡的关系

在本物质平衡年度中, 对零平衡线的变化进行动态监测。瞬时零平衡高度是同期物质平衡为零的等高线高度, 按把各测点的物质平衡值点绘在大比例尺(1: 5 000)冰川图上, 绘制成零平衡线随时间变化图(图 7), 并把它瞬时零平衡线(BLA)和其相应的物质平衡(b)列入表 7 中。分析观测资料, 瞬时零平衡线变化有以下主要规律:

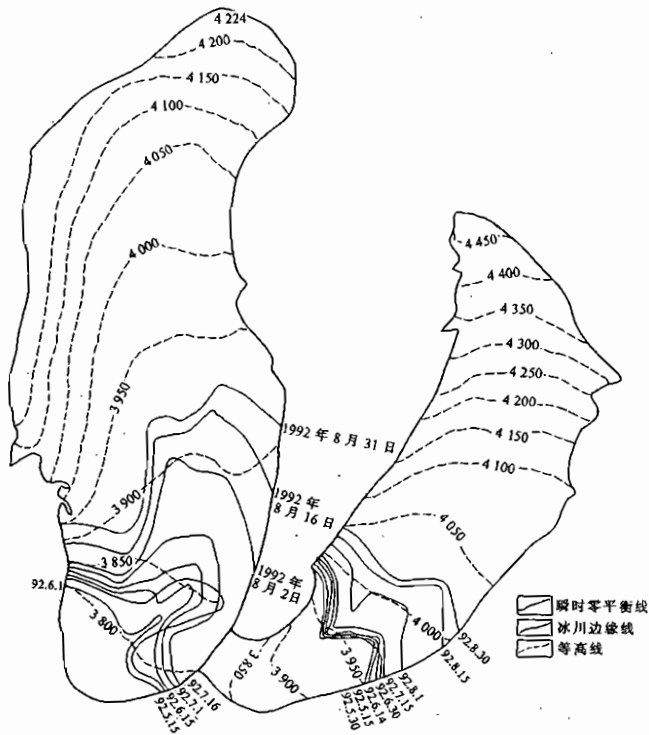


图7 1号冰川东西支零平衡线高度随时间的变化

表7 1号冰川瞬时物质平衡和其零平衡线高度的变化

东 支			西 支		
时 间	b_t (mm)	ELA_t (m)	时 间	b_t (mm)	ELA_t (m)
5.15	208	3 827	5.14	154	3 962
6. 1	277	3 810	5.30	185	3 955
6.15	286	3 820	6.14	211	3 961
7. 1	348	3 834	6.30	299	3 959
7.16	397	3 845	7.15	352	3 964
8. 2	218	3 875	8. 1	193	3 989
8.16	90	3 905	8.15	109	4 010
8.31	15	3 918	8.30	87	4 032

在冰川强烈消融出现以前，零平衡线高度变化很小。位居亚洲内陆的1号冰川，在

冰舌消融增大的同时，冰川中上部出现较强的积累，物质平衡呈增大的趋势，而零平衡线高度没有随物质平衡增大而明显降低的趋势，即瞬时物质平衡和零平衡线高度的关系好。

7月中旬以后，随着冰川消融的增强，零平衡线高度随物质平衡减少而上升，在月底达最大高度，两者具有很好的线性关系。

乌鲁木齐河源 1 号冰川年物质平衡的变化及其预报研究^①

纪 忠 萍

(中国科学院兰州高原大气物理研究所)

1 引 言

冰川的物质平衡是冰川上各种相态水的收入(积累)和支出(消融)之间的数量关系,它是联系冰川进退与气候变化的重要环节。气候变化引起冰川上积累量和消融量的变化,促使冰川流动发生一系列复杂的变化,导致冰川末端位置的前进或后退。

冰川是气候的产物,它受全球范围气候变化的影响,同时也受地方性气候变化的支配(胡汝骥等,1992)。它作为山地生态形成的因素,不仅反映气候变化,而且影响干旱区水源的丰枯。近期由于世界范围的气候异常,出现冰川分离、冰体瓦解、冰舌不断退缩的现象。由于冰川进退对气候变化的响应在时间上是延后的,延期长短取决于气候变化的幅度与冰川伸展规模。一般来说,小冰川比大冰川更敏感(施雅风,1990),往往把冰川作为重要对象来反映气候的变化。

由于冰川物质平衡的变化可以直接反映冰川进退,因此对它的预报研究很重要。天山乌鲁木齐河源 1 号冰川在物质平衡方面已取得很多研究成果:一方面,主要运用统计学方法,分析物质平衡、冰川零平衡线高度与气象要素之间的关系,通过线性回归方程建立它们之间的定量关系。如姜彤^②据 14 年实测物质平衡资料得到平衡线高度(H_0)与平均净平衡(bn)之间存在如下关系:

$$H_0 = 4\ 023 - 0.15bn \quad (1)$$

张金华等(1984)统计 H_0 与天山大西沟气象站气温及降水存在如下关系:

$$H_0 = 4\ 227 + 29.95(T_9 + T_5 + T_3) - 2.88(P_9 + 0.14P_{10-8}) \quad (2)$$

式中: T_9 、 T_5 、 T_3 分别为物质平衡年内 9、5 和 6—8 月的气温($^{\circ}\text{C}$); P_9 、 P_{10-8} 分别为 9、10—8 月的降水(mm)。另一方面,从物质、能量传输角度出发,姜彤(1988)用冰川物质平衡和能量平衡的基本方程,推导出我国大陆型冰川零平衡线气候波动模型,计算和分析了平衡线对气候因子变化的响应值及其敏感性,得出了与传统观点相反的结论。

^①本文为天山冰川观测试验站和中国科学院兰州高原大气研究所合作培养的硕士生论文。

^②姜彤,1987,天山乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡若干问题研究(硕士论文)。

以上两个方面,是在已有资料的基础上,对平衡线高度及其对气候波动的响应作出估计,不能用于预报物质平衡的变化。

利用气象资料对物质平衡进行插补,天山冰川站也作过工作,如张金华(1981)根据年降水量—冰川零平衡线—冰川系数—消融区面积—纯消融量;年降水量、年平均气温—纯积累量的关系得到物质收支差额。张金华(1984)用式(2)对缺测年份的冰川零平衡线进行了插补,得到的相关系数为 0.903($N=10$, N 为样本数),本文增加了最近 8 年的资料,再用式(2)进行拟合,得到的相关系数降为 0.565($N=18$)。看来有必要寻找另一种途径,直接利用气象资料对物质平衡进行插补与延长。多元逐步回归分析是一种常用的方法,如陈吉阳等(1988)通过多元逐步回归模式,建立了阿尔卑斯山冰川物质平衡与大气条件(主是大气环流)参数变化的关系;Anne Lctreguilly(1988),建立了加拿大三条冰川物质平衡与气象要素(气温、降水)之间的定量关系。本文在多元逐步回归方法的基础上,建立了天山乌鲁木齐河 1 号冰川年物质平衡量的预报方法。

本文将从影响物质平衡的多方面因素如气温、降水、地球自转、地震及 El nino 的发生等多方面因素来考虑,立足于大气圈与岩石圈相互作用,利用现有的冰川物质平衡、气候资料,揭示它们之间的关系,然后再提出物质平衡的预报公式^①。

2 1 号冰川的自然条件及冰川状况

天山横亘于新疆中部,海拔一般 4 000—5 000 m,山系由多条大致平行的山脉和谷地组成,共有冰川 8 908 条,面积 9 195.98 km²,冰储量 1 010.67 km³,约占全国冰川总面积的 16.3%,是我国最大的冰川作用地区之一(施雅风等, 1988),也是新疆河川径流的重要源地。

天山乌鲁木齐河源 1 号冰川,位于天山中段喀拉乌成山脊北坡的天格尔第二峰(海拔 4 447.4 m)的东北,系一双支冰斗—山谷冰川,长 2.33 km,面积 1.84 km²,是天山大西沟源头最大的冰川,也是中国物质平衡观测最详细、系列最长的冰川。自 1959 年有观测记录以来,一直处于后退变薄状态(表 1)。它的雪线高度、冰川收支状况以及长度、厚度、面积、冰川运动速度等都发生了显著的变化,反映了天山山区气候变化的一般趋势。

冰川的年物质平衡的观测表明(图 1),1958/1959—1989/1990 年的 32 年间,负平衡占 19 年,特别是自 1977 年以来,除 1982/1983、1988/1989、1989/1990 年表现为较弱的正平衡外,其它年份均为负平衡。经计算,32 年间平均负物质平衡量

^①本文所用 1 号冰川年物质平衡及零平衡线资料,取自文献(施雅风等, 1988)及《天山冰川观测试验站年报》(6—9)1959/1960—1965/1966 年,1979/1980—1989/1990 年的实测及 1958/1959,1966/1967—1978/1979 年的插补资料;气温、降水的月平均资料取自大西沟气象站(该站与 1 号冰川直线距离只有 2 km)和《中国平均气温资料》、《中国降水量资料》(1951—1980)及《中国地面气候记录年报》(1980—1986)的新疆部分。冰舌末端进退资料取自《天山冰川观测试验站年报》(1—9);地温资料取自中国科学院兰州高原大气物理研究所四室整编的中国气象站月平均地温资料;地震资料取自顾功叙主编的《中国地震目录》;地球自转资料取自任振球编的《全球变化》。

表 1 乌鲁木齐河源 1 号冰川冰舌末端的进退

时 间	平均后退距离 (m)	资 料 来 源
1962.9.06—1973.8.30	5.96	(年报 1)
1973.8.30—1980.8.30	3.28	(年报 2)
1980.8.30—1990.8.30	3.73	(年报 5—9)

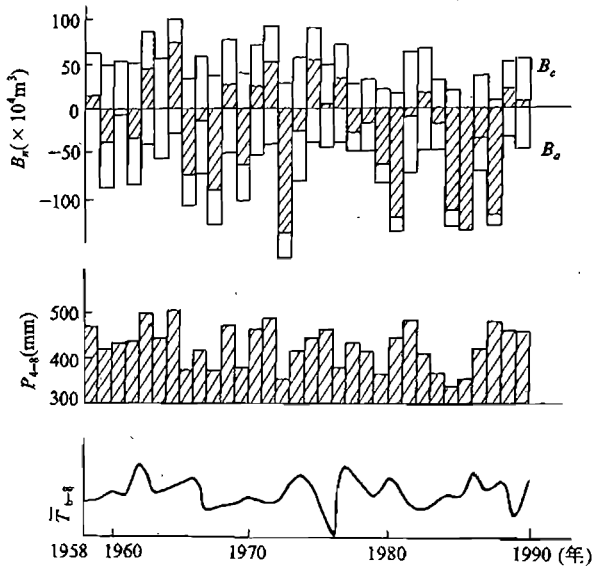


图 1 年物质平衡、年内降水、夏季平均气温的变化

(-370.4 mm/a) 大于平均正物质平衡量 (151.1 mm/a)，导致了冰川的后退变薄。

表 2 对该 18 年实测的年物质平衡量、零平衡线进行了简单的统计分析。可以得出：

(1) 从平均值的大小，纯消融量 (Ba) 大于纯积累量 (Bc)，说明在这 18 年中，以纯消融为主，使得物质平衡亏损 ($-32.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)。

(2) 从相关系数的大小， Ba 比 Bc 与 Bn 、ELA 的相关系数大，说明纯消融量与零平衡线高度的关系最为密切，可用它的变化来反映零平衡线的变化。

3 冰川的年物质平衡与气候变化

3.1 与气象要素的关系

(1) 与夏季平均气温及年降水量的关系 由图 1 可见，夏季平均气温 (\bar{T}_{c-8}) 的升高，促使纯消融量增大；年降水量 (P_{9-8}) 的减少，使纯积累量减少。两者共同作用，导致 Bn 的减少。1958/1959—1973/1974 年的前 16 年的 12 个月的降水总量 (P_{9-8}) 与 Bn 表现出很好的一致性，相关系数高达 0.969；而 1974/1975—1989/1990 年的后 16 年

则表现为滞后一年相关较好, 相关系数达 0.711, 远超过 1% 信度检验。从整个 32 年来看, 它与物质平衡量 B_n 、 B_a 和 B_c 也表现出较高的相关性, 相关系数分别为 0.629、-0.565 和 0.616, 均通过 1% 的信度检验; B_n 、 B_a 、 B_c 与 \bar{T}_{6-8} 的相关系数很小(均无通过 5% 的信度检验), 说明物质平衡主要由年内降水量决定。大西沟夏季(6—8 月)降水占全年(1—12 月)的 65.9%(1959—1991 年)表明, 夏季降水量的多寡是制约物质平衡量的重要因子之一。

表 2 冰川年物质平衡与零平衡线之间的相互关系

年 度	B_n (10^4 m^3)	B_a (10^4 m^3)	B_c (10^4 m^3)	ELA (m)
1959—1960	-36.6	86.2	49.6	4 060
1960—1961	-6.4	60.3	53.9	4 060
1961—1962	-32.6	84.2	51.6	4 075
1962—1963	45.7	39.5	85.2	3 971
1963—1964	0.4	55.5	55.9	4 055
1964—1965	73.0	26.8	99.8	3 948
1965—1966	-72.9	107.5	34.6	4 110
1979—1980	-61.7	82.4	20.7	4 038
1980—1981	-119.9	135.1	15.2	4 122
1981—1982	-8.2	70.3	62.1	4 025
1982—1983	18.4	46.8	65.2	4 005
1983—1984	-15.2	46.0	30.8	4 007
1984—1985	-112.6	132.2	19.6	4 097
1985—1986	-133.0	134.3	1.3	4 114
1986—1987	-32.3	68.8	36.5	4 025
1987—1988	-118.4	129.2	10.8	4 080
1988—1989	19.5	30.8	50.2	3 976
1989—1990	9.6	44.4	54.0	3 959
平 均	-32.4	76.7	44.3	4 040.4
相关系数				
B_n	1	-0.97	0.93	-0.88
B_a		1	-0.81	0.91
B_c			1	-0.74

注: B_n 为年净平衡; B_a 为纯消融; B_c 为纯积累; ELA 为零平衡线。

为了弄青年物质平衡量与夏季气温、降水之间的滞后关系, 以寻求物质平衡对夏季气候变化滞后的时间, 对 32 年物质平衡量 B_n 、 B_a 、 B_c 与大西沟夏季气温(\bar{T}_{6-8})及降水量(P_{6-8})作了滞后相关分析, 结果表 3:

由表 3 可见 B_n 、 B_a 与夏季降水量只有同期相关最高(信度超过 0.01), 而与夏季气温则表现为滞后 8 年有较高的相关性。说明物质平衡量 B_n 、 B_a 主要受本年度的降水量

影响，且与8年前的夏季平均气温有关。而 Bc 主要受本年度的夏季降水量影响。

(2) 与暖季温度、降水的关系 经计算，暖季(5—9月)降水占全年的 87.7%(195—1991)，决定了乌鲁木齐 1 号冰川是一种暖季补给型冰川。夏季既是主要的消融期又是主要的积累期。表 4 是实测 Bn 、 Ba 、 Bc 与暖季温度、降水的相关分析结果。由表 4 可见，5—7 月的降水及 7 月的温度与物质平衡相关最好，从而说明它们是

表 3 物质平衡与夏季气温、降水的滞后相关分析($N=32$)

因子		n	r									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_{6-8}	Bn	-0.29	-0.01	0.00	0.20	-0.07	0.21	-0.07	-0.28	-0.54*	0.25	0.33
	Ba	0.28	-0.03	-0.01	-0.18	0.05	-0.22	0.00	0.27	0.63*	-0.20	-0.29
	Bc	-0.26	-0.08	-0.01	0.19	-0.08	0.15	-0.16	-0.23	-0.27	0.29	0.34
P_{6-8}	Bn	0.61*	0.30	0.14	0.12	-0.13	-0.17	0.07	0.14	0.39 Δ	-0.16	-0.24
	Ba	-0.53*	-0.26	-0.13	-0.06	0.20	0.17	0.04	-0.12	-0.37 Δ	0.16	0.31
	Bc	0.61*	0.31	0.12	0.19	0.004	-0.14	0.23	0.14	0.36 Δ	-0.12	-0.08

注： n 为滞后年数； r 为相关系数； T_{6-8} 为夏季平均气温； P_{6-8} 为夏季降水量；* 为通过 $\alpha=0.01$ 的信度检验； Δ 为通过 $\alpha=0.05$ 的信度检验。

表 4 年物质平衡量与暖季温度、降水的相关系数

因子		r	月											
			5-6	5-7	5-8	5-9	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9	6	7
降水量	Bn	0.44	0.58	0.50	0.43	0.57	0.54	0.47				0.41	0.42	
	Ba	-0.46	-0.53			-0.54	-0.41					-0.46		
	Bc		0.59	0.64	0.51	0.55	0.67	0.53	0.41				0.50	
气温	Bn					-0.42							-0.51	
	Ba					0.48							0.49	
	Bc												-0.48	

注：表中空缺为未通过 10% 的信度检验。

消融期内控制物质平衡变化的主要气象因子，且降水的作用大于温度。经计算它们 Bn 、 Ba 和 Bc 的相关系数分别为 0.697、0.651 和 0.685，然而最好的组合却是 6—8 的降水与 7 月的温度，复相关系数分别为 0.734、0.631 和 0.812。用最小二乘法所建元回归方程如下：

$$y_{Bn} = -38.89 + 2.31P_{6-8} - 42.42T_7$$

$$y_{Ba} = 52.38 - 1.08P_{6-8} + 25.44T_7$$

$$y_{Bc} = 13.49 + 1.23P_{6-8} + 16.99T_7$$

上述方程的拟合方差比分别为 0.539、0.399 和 0.660, 说明纯积累量与夏季温度、降水的线性关系较好, 而纯消融量却较差。使得年净平衡与当年消融期内气象因子的线性关系并不十分密切。

3.2 与地球内部因素的关系

(1) 与地球自转和 EL niño 的关系 通过计算实测 B_n 与地球自转速度年变化 ($\Delta(\Delta\omega/\omega_0)$, 单位为 10^{-10}) 的相关系数为 -0.65 , 通过 1% 的信度检验。说明地球自转速度年变量与 B_n 反相关显著。通过计算它与大西沟降水量、温度的相关系数分别为 -0.46 、 -0.15 , 说明地球自转对大西沟降水量影响较大, 而对温度的影响较小。

自 1958—1990 年的 32 年间, 共出现 7 次 El Niño, 图 2 中所示的点线是这 7 次 El Niño 的发生与结束的年、月。

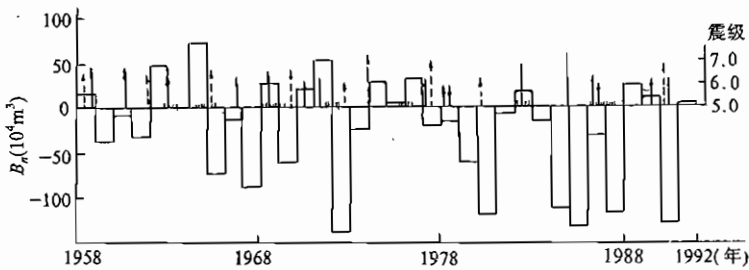


图 2 1 号冰川年净平衡量(B_n)的逐年变化

图中起止年、月(一心, 1992)以物质平衡年的开始与结束为准; 实箭头为南天山强震; 虚箭头为北天山强震; ... 为 El niño 的发生

表 5 El Niño 开始年与非 El Niño 年的冰川年净平衡和大西沟温度、降水的对比表

	年净平衡 (B_n) (10^4 m^3)	年降水量 P_{9-8} (mm)	夏季平均气温 P_{6-8} ($^{\circ}\text{C}$)
El Niño 年	27.2	465.1	3.8
非 El Niño 年	-37.0	418.1	4.1
1958 / 1959—1989 / 1990 年均	-23.0	428.4	4.0

表 6 强震的发生与大西沟温度、降水的变化

	年物质平衡量 (10^4 m^3)	年降水量 P_{6-8} (mm)	夏季平均气温 P_{6-8} ($^{\circ}\text{C}$)
南天山强震年	14.5	302.2	3.9
北天山强震年	-84.9	256.9	4.2
1958 / 1959—1989 / 1990 年均	-23.0	282.7	4.0

注: ①统计结果不计南、北天山同有强震发生的 6 次及 1985 年 8 月发生在乌恰的一次。

②夏季降水量、平均气温的年均值为 1958—1990 年内平均。

由图 2 可明显地看出, 凡 El niño 发生年, 物质平衡一般为正值或较小的负值, 对持续一年以上的 El niño, 其结束年一般为负值。表 5 是据已有资料统计的 El niño 开

始年与非 El niño 年的冰川年净平衡、年降水量、夏季气温的对比。

可见, El niño 的发生与天山大西沟降水量的增加和气温的降低相关较好, 从而导致该冰川的正平衡。

(2) 与天山内外地震的关系 根据天山地区构造带的分布, 统计了 1958—1992 年发生在 $39^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $73^{\circ}\text{--}88^{\circ}\text{E}$ 区域内 $M_s > 6$ 的南、北天山地震(以下称为强震; 若同一年内、同一地区有两次以上强震, 仅统计震级最大的一次)与年净平衡 Bn 的关系(图 2)。可见, 在 25 次震例中, 南、北天山均有强震发生的共 3 年 6 次(每年南、北各 1 次), 其中有 2 年当年 Bn 为负值; 发生在天山以北的有 5 次, 当年 Bn 均为负值; 而发生在天山以南 14 次震例中, 除 1985 年发生在乌恰的一次外, 其余当年 Bn 一般为正值或较小的负值。

表 6 是南、北天山强震年与冰川物质平衡和大西沟温度、降水的变化关系(南天山为 11 年的平均, 北天山为 5 年的平均)。可见南天山地震可引起天山大西沟降水的增多与气温的降低, 而北天山恰好相反, 从而导致不同的物质平衡现象。

一般来说, 强震之后, 地温升高, 降水系统将增强。由于大西沟位于天山山区, 具有山区气候的特点, 且夏季山区热力对流作用所引起的垂直环流圈也有年际变化, 由此引起的热力对流性降水是山区降水的主要部分。若大尺度背景为干暖年份, 此垂直环流圈增强。若地震发生在山内, 则山内上升运动增强, 降水系统将增强, 温度也随之降低。山外则相反; 若大尺度背景为冷湿年份, 则发生相反的情况(汤懋苍等, 1989)。但为何发生在天山山脊线以北的强震会使得乌鲁木齐河源区少雨高温? 这是值得继续研究的。

表 7 乌鲁木齐季平均气温、0—3.2 m 地温之间的相关系数

	0	20	40	80	160	320
T_a	0.996	0.989	0.983	0.928	0.750	0.355
0	1	0.984	0.977	0.911	0.719	0.310
20		1	0.996	0.964	0.818	0.454
40			1	0.976	0.846	0.495
80				1	0.940	0.667
160					1	0.881

3.3 与乌鲁木齐地温的关系

(1) 浅层地温场的特点 为了了解浅层地温场的特点, 对乌鲁木齐 1980—1991 年共 11 年的气温及 0 和 320 cm 各层地温的季平均值进行了相关分析。首先求出各季气温及地温的平均值, 再用 11 年的每年 4 个季度值作为一个长时间序列计算各层之间的相关系数(表 7)。可见, 气温和 0 cm 地温与 80 cm 以上各层地温相关极高(信度可达 0.001), 它们与 1.6 m 地温的相关系数亦较大(可通过 5% 的信度检验), 而与 3.2 m 地温的相关性显著减弱。说明从气温到 1.6 m 各层地温密切相关, 更深层的地温受气温影响较小。

为了对地温的持续性有所了解, 分析了气温、各层地温的各季之间的相关性。结果

表明, 愈往深层, 各季之间的相关系数愈高, 说明愈往深层, 地温的持续性愈好, 即其变化愈小。从而说明土壤是一个很好的滤波器, 大气中的短周期波动只能影响到浅层, 长周期波动才可影响到深层, 存在一个“最大信息深度”, 该深度的地温对降水预报起着关键作用(汤懋苍等, 1989)。据理论结果及经验, 下面将取 1.6 和 3.2 m 的地温来分析地震的发生引起地温场及降水场的变化。由于新疆长时间地温资料很少, 仅能取乌鲁木齐的资料来分析。

(2) 乌鲁木齐地温的季际变化与地震、降水的关系 图 3 是乌鲁木齐 1958—1991 年 1.6 和 3.2 m 地温距平的四季滑动平均(曲线 a、b)、两者之差(曲线 c)、年降水量(曲

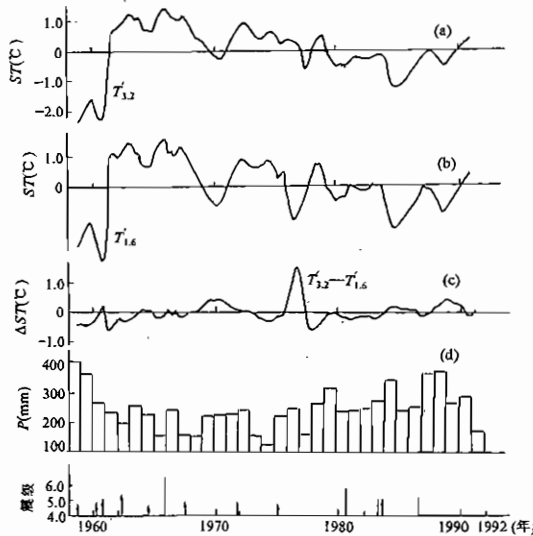


图 3 乌鲁木齐地温的季际变化与地震、降水的关系

线 d)与它附近地震(对于 $4 < M_s < 5$ 的地震, 仅统计 100 km 以内的; $5 < M_s < 6$, 仅统计 200 km 以内的; $6 < M_s$ 仅统计 300 km 以内的)的关系。

由图 3a、b 曲线可见, 在 13 例地震中, 仅有 2 例未引起 1.6, 3.2 m 地温的升高, 但它们均引起 3.2 和 1.6 m 之差的升高(图 c); 9 例引起年降水量的增多。从而说明地震的发生引起地温的异常, 影响降水场的变化。

综上所述, 冰川物质平衡与地球内部因素之间存在一定的关系, 地球自转的减慢, El Nino 发生以及南天山的地震与该冰川较大的物质平衡量相一致。

4 天山内外气候变化关系

为了寻求山里山外气候变化关系, 探求影响物质平衡的气候背景, 对新疆 34 个站 1959—1986 年各月的平均温度、降水量, 以大西沟为基点求点相关。

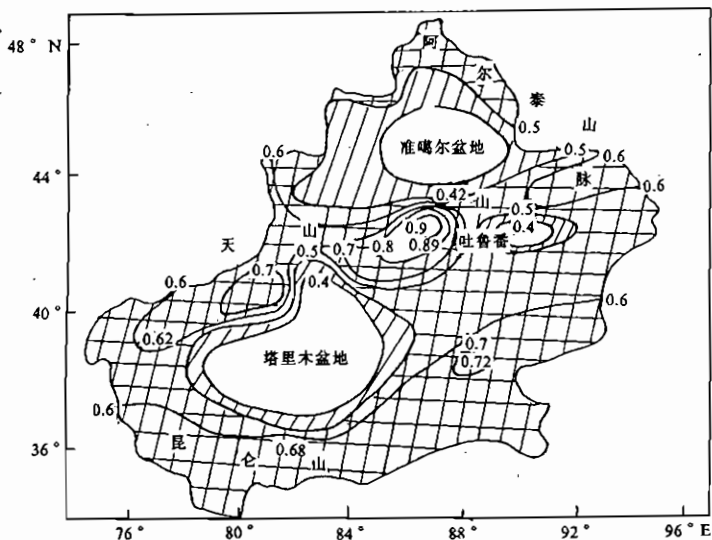


图 4 大西沟与其周围台站年平均温度相关系数分布图

图中斜线为通过 $\alpha=0.05$ 信度检验，小方格为通过 $\alpha=0.01$ 信度检验

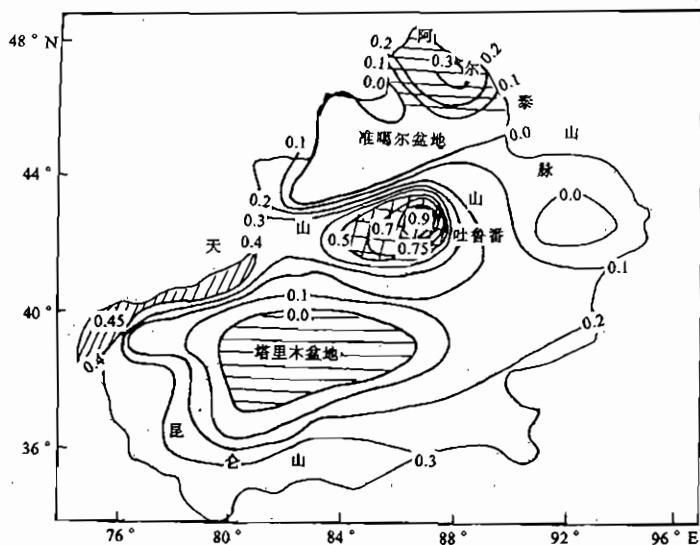


图 5 大西沟与其周围台站夏季(6—8月)降水相关系数分布图

图中横线表示负相关区，斜线表示通过 $\alpha=0.05$ 的信度检验，小方格表示通过 $\alpha=0.01$ 的信度检验

图 4 是年平均温度的相关系数分布图。可见相关系数全为正值，最低亦在 0.4 左右，但三个盆地，即准噶尔盆地、吐鲁番盆地及塔里木盆地各是一低值中心区。这表明天山内部高山区与山外盆地气候变化不一致。值得指出的是大西沟与乌鲁木齐的相关系数仅为 0.42，而与巴仑台的相关系数高达 0.89，故想用乌鲁木齐的气温记录来推断乌鲁木齐河源区的冷、暖变化，其结果必然不会太好，甚至若羌、和田、喀什三站与大西

沟的年温度相关系数都在 0.6 以上，显著高于乌鲁木齐。

图 5、6 分别是夏季(6—8 月)、冬季(12—2 月)降水量的相关系数分布图，可见无论冬、夏三个盆地都是一小的负相关区。这就是说大西沟与三个盆地的降水量有相反变化的趋势。这亦意味着天山内部降水自成一系统，其南、北宽度在夏季约为 200—300

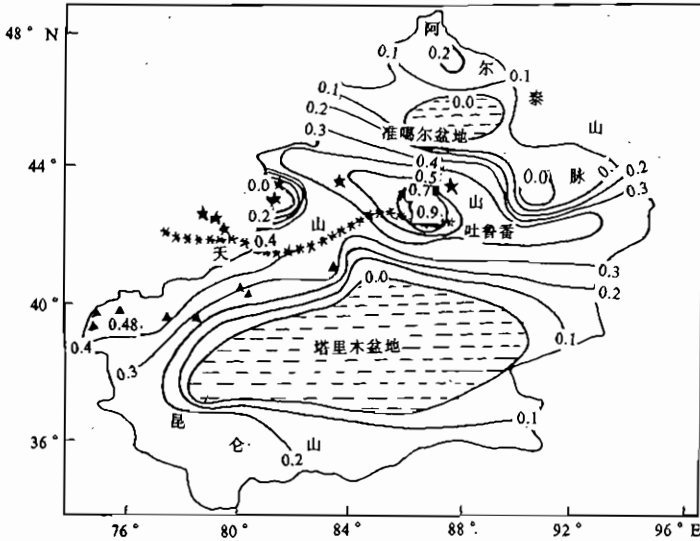


图 6 大西沟与其周围台站冬季(12—2 月)降水相关系数分布图
图中横线为负相关区，★为北天山地震，▲为南天山地震

km，与天山山体宽度相当。它是受下垫面热力差异引起的垂直环流圈制约。冬季时(图 6)高相关区偏向天山北麓。且呈东西向长条形，这表明冷空气活动是引起冬季降水的主要因子；从图 5、6 还可以看到，大西沟与位于西天山内部水平距离超过 1 000 km 的乌恰降水量的相关系数无论冬夏均大于 0.45，表明东、西天山内部降水的年际变化具有一定的一致性，而与山外盆地基本趋势相反，仅用山外盆地的资料来推断山内气候变化是靠不住的。

5 回归模拟

5.1 计算方法(黄嘉佑, 1990)

利用多元线性回归模型

$$\tilde{y} = x\beta + e \quad (1)$$

得多元线性回归方程

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^r b_j x_j \quad (J = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

式中: b_0 、 b_j 是采用最小二乘法确定的系数。

该方程与 j 个因子的复相关系数为

$$R = \sqrt{\frac{U}{S_{yy}}} \quad (1)$$

其中, $U = \sum_{i=1}^n (\tilde{y} - \tilde{y})^2$, $y = \sum_{i=1}^n y_i$, $S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2$

利用

$$F = \frac{\frac{R^2}{P}}{(1 - R^2)(n - p - 1)} \quad (2)$$

作回归方程的显著性检验, 其中 P 为逐步回归选入方程中的因子个数。

5.2 最佳因子的选择及拟合结果

(1) 为了符合实际情况, 采用 18 年(1959 / 1960—1965 / 1966, 1979 / 1980—1989 / 1990)实测物质平衡资料作 y 序列, 逐月气象资料分别作 x 序列, 分别计算它们之间的相关系数, 对通过 5% 信度检验的因子予以考虑。

据黄嘉佑(1990) $r_c = \sqrt{t_\alpha^2 / (n - 2 - t_\alpha^2)}$, r_c 为刚好通过信度检验的相关系数临界值, 对 $n=18$: $\alpha=10\%$, $r_c=0.400$; $\alpha=5\%$, $r_c=0.468$; $\alpha=1\%$, $r_c=0.590$ 。

表 8 年物质平衡量与月降水量的相关分析

因子	6 ₋₂	7 ₋₂	8 ₋₂	(7+8) ₋₂	8 ₋₁	9	11	8 ₋₁ +9	8 ₋₁ +9+11	6	7	6+7
Bn	-0.71		0.63	0.68	0.63		-0.41	0.68	0.65	0.41	0.42	0.57
Ba	0.73	-0.42	-0.55	-0.68	-0.61		0.42	-0.67	-0.63	-0.46		-0.54
Bc	-0.60		0.67	0.61	0.60			0.63	0.60		0.50	0.59

表 9 年物质平衡量与月平均气温的相关分析

因子 \ 月	8 ₋₂	3 ₋₁	8 ₋₁	3	7
Bn	-0.55				-0.51
Ba	0.57				0.49
Bc	-0.46	0.53	-0.40	0.49	-0.48

表 8, 9, 10 是年物质平衡量与本年内(9—8 月)及年前大西沟月平均降水量、气温、乌鲁木齐地温的相关分析结果(仅给出通过 10% 信度检验的)。

由表 7, 8, 9 可见: 1) 物质平衡量与上述三因子具有较好的关系, 且与降水的相关系数普遍大于与气温、地温的, 说明降水对该冰川具有较大的影响; 2) 物质平衡量主要受前两年 7—8 月、前一年 8 月及本年 9 月、6—7 月降水的影响, 且与年前的相关均大

于年内的，说明该冰川的积累除靠大气直接降水外，吹雪及雪崩的补给具有一定的作用(谢自楚，1980)；3)物质平衡量与本年内7月气温、降水相关显著，说明7月既是主要

表 10 年物质平衡量与月平均地温的相关分析

r 因子	月*	3 ₋₂	4 ₋₂	(3-4) ₋₂	(3-5) ₋₂	(3-6) ₋₂	4 ₋₁	12	3	4	5	6	7	3-4	3-5	3-6	4-5	4-6
0.8 m	Bn			0.40	0.40			0.46	0.59	0.50				0.58	0.52	0.50	0.45	
	Ba							-0.44	-0.45									
	Bc	0.45		0.43	0.40			0.43	0.73	0.63	0.46	0.45	0.40	0.72	0.65	0.61	0.56	0.46
1.6 m	Bn	0.49	0.43	0.50	0.45	0.42			0.46	0.53	0.41	0.42		0.54	0.51	0.49	0.48	0.42
	Ba	-0.45		-0.45	-0.41					-0.40				-0.40				
	Bc	0.49	0.46	0.52	0.46	0.43	0.40		0.60	0.66	0.52	0.49	0.48	0.68	0.64	0.61	0.60	0.51
3.2 m	Bn									0.54	0.47	0.44	0.41	0.49	0.51	0.50	0.51	0.46
	Ba									-0.43				-0.40	-0.40		-0.40	
	Bc								0.42	0.64	0.57	0.53	0.50	0.57	0.60	0.63	0.61	0.55

注：表中 8,9,10 空缺为通过 10% 信度检验；* 为下标 -2, -1 分别为物质平衡年前 2, 1 年，无下标为当年；
Bn, Ba, Bc 分别为年物质平衡差额、纯消融量、纯积累量。

的消融期，又是主要的积累期。与前两年 8 月的温度也具有较高的相关，且与 Ba 的相关系数大于年内 7 月的。这说明该冰川对气温存在一定滞后性；4)物质平衡量与本年内 3—4 月乌鲁木齐 0.8 m 地温相关显著，其次是 1.6 m 的，说明浅层地温对物质平衡量具有一定的影响。由于消融一般发生在冰面，冰下消融可以忽略(施雅风等，1988)，且纯消融是以融水径流和蒸发的形式而损失，说明乌鲁木齐地温对该冰川物质平衡量的影响不是通过地壳不断向冰川底面输送热量而引起冰下消融，而是通过影响后期降水产生作用(汤懋苍等，1984)。

经过以上分析及组合因子的相关计算，可选下列较佳因子进行多元逐步回归分析：

1) 仅考虑较前期因子：

$$X_{11} \text{---} P(7+8)_{-2} + P(8)_{-1} + P(9)$$

$$X_{21} \text{---} T(8)_{-2}$$

$$X_{31} \text{---} ST(3+4)_{-2} \text{ (1.6m)}$$

2) 考虑所有最佳因子：

$$X_{12} \text{---} P(7+8)_{-2} + P(8)_{-1} + P(9+6+7)$$

$$X_{22} \text{---} T(8)_{-2} + T(7)$$

$$X_{32} \text{---} ST(3+4) \text{ (0.8m 或 1.6m)}$$

其中：P, T 和 ST 分别为月降水量、气温和地温，下标“-2”，“-1”分别为物质平衡年前 2, 1 年之值，无下标为当年之值。

用上述因子进行多元逐步回归分析，可知 X_{12} , X_{22} , X_{32} (1.6 m) 是最佳的组合因子。多元逐步回归结果见表 11。

由图 7 可见, 对 Bn 实测值除 1959 / 1960, 1980 / 1981, 1981 / 1982, 1988 / 1989 年内有较大的误差外(其误差绝对值大于 $25 \times 10^4 m^3$), (表 12), 其余的拟合较好。而对于 1966 / 1967—1978 / 1979 期间的插补结果, 拟合值相差较大, 实际上, 用此三因子与 91 年内(1959 / 1960—1989 / 1990)物质平衡量进行多元逐步回归分析, 所得与 Bn , Ba , Bc 的复相关系数分别为 0.784, 0.749, 0.777; 拟合方差比分别为 0.615, 0.561, 0.603, 均小于用实测值计算所得到的, 说明该方程对于该冰川 32 年物质平衡量的拟合并不太适用。

表 11 用组合因子所得的多元逐步回归结果

名称		b_0	b_1	b_2	b_3	R	F	A	
18	最佳因子	Bn	-160.52	0.34	-12.56	15.82	0.911	22.76*	0.830
		Ba	220.85	-0.28			0.797	27.93*	0.636
		Bc	-81.60	0.15		1.85	0.904	33.60*	0.818
	前期因子	Bn	-290.5	0.52		19.61	0.870	23.29*	0.756
		Ba	192.84	-0.35			0.766	22.78*	0.587
		Bc	-71.46	0.19		11.96	0.896	30.69	0.804
	当年因子	Bn	-129.37	0.51	-28.56	15.10	0.898	19.52*	0.807
		Ba	101.71	-0.35	18.38		0.817	15.08*	0.668
		Bc	-10.43	0.19	-10.89	10.26	0.923	26.80*	0.852
31	最佳因子	Bn	-3.14	0.44	-2.70		0.805	25.78*	0.648
		Ba	45.96	-0.24	14.52		0.749	17.92	0.561
		Bc	19.90	16.05	-6.74	4.86	0.817	18.07	0.668

注: b_0, b_1, b_2, b_3 为用式(2)对物质平衡量和所选参数作逐步回归计算确定的系数, R 为复相关系数; N 为样本数; A 为拟合方差与原方差之比; F 为按式(4)计算的 F 检验值。* 为通过 5% 信度检验。

如果假设(1966 / 1967—1978 / 1979)的插补结果完全符合客观实际情况, 则有必要对此 32 年的时间序列重新进行最佳因子的选择, 找到适合于它的回归方程。

若为了提高预报时效, 仅考虑前期因子, 则取:

$$X_1 \text{——} P(7+8)_{-2} + P(8)_{-1} + P(9)$$

$$X_2 \text{——} ST(3+4)_{-2} (1.6m)$$

是最佳的组合。其多元逐步回归分析结果见表 11。

该回归方程的拟合结果(表 12)不是太好, 有必要寻找更好的前期因子。

若仅考虑当年因子, 则 $X_1 \text{——} P(8)_{-1} + P(9+6+7)$; $X_2 \text{——} T(7)$; $X_3 \text{——} ST(3+4) (1.6m)$ 。组合最佳。用此进行多元逐步回归分析结果见表 11。该方程的拟合结果(表 12)比仅考虑前期因子的稍好。

(2) 运用 32 年实测与插补资料, 通过类似上述中选择最佳因子的方法, 可选最佳因子 X_1 : $X_1 \text{——} P(8)_{-2} + P(8)_{-1} + P(6+7+8)$; $X_{21} \text{——} T(8)_{-2} + T(7)$; $X_{31} \text{——} ST(3+4) (0.8m)$ 。

用此三因子进行多元逐步回归分析, 则结果见表 11。该方程的拟合结果见表 12。

可见, 对于 18 年实测值的拟合除有 7 年误差绝对值大于 $25 \times 10^4 \text{m}^3$ 外, 其余的稍好。

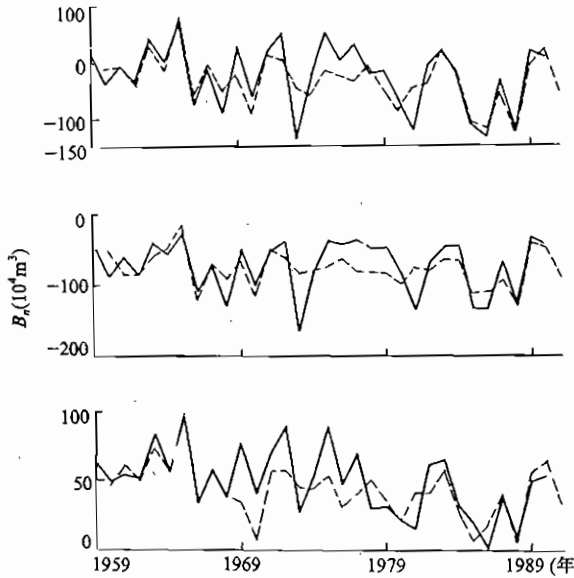


图 7 多元逐步回归拟合结果(虚线)和实测值(实线)
其中(1966/1967—1978/1979)为插补结果

综上所述, 可得出如下结论:

(1) 物质平衡量 B_n 、 B_a 、 B_c 主要受本年度降水量的影响, 控制物质平衡变化的主要气象要素为当年夏季 5—7 月降水、7 月的温度, 且降水的作用大于温度。

(2) 地球自转的减慢、El Niño 的出现、南天山地震的发生与该冰川较大的物质平衡相一致, 它们主要通过影响大西沟的温度、降水而起作用。

(3) 大西沟与三大盆地的气温相关性不好, 与降水甚至表现为负相关, 不能用盆地测站的数据来推断大西沟的气候变化。

(4) 物质平衡年前、年内大西沟的温度、降水及乌鲁木齐地温是对该冰川进行预报的最佳因子; 多元线性逐步回归是一种行之有效的方法。

值得说明的是, 首先, 据现有气候资料序列建立起来的简单回归方程具有显著的不稳定性, 再考虑到冰川测量的精度(一定误差), 只有 18 年或 32 年的时间序列就限制了统计方法的应用。只有当时间序列达 50 年才能假设这种关系可靠(Anne Letrégilly, 1988), 因此很有必要继续冰川观测; 其次, 本文的研究方法只是通过多元逐步回归分析建立了 1 号冰川的物质平衡与大西沟温度、降水、乌鲁木齐地温的关系式, 虽然这样的分析对进行预测很有价值, 但毫不涉及冰川进退的物理过程, 因而也就忽略了气候变化对冰温度及冰川对其本身的影响(佩特森, 1987), 这也是本文的缺点, 有待于进一步研究。

表 12 多元逐步回归拟合结果与原值的比较

年 度	原值	N=18						N=31	
		最佳因子		前期因子		当年因子		最佳因子	
		拟合值	误差	拟合值	误差	拟合值	误差	拟合值	误差
1958—1959	16.9					-20.1	-37.0		
1959—1960	-36.6	-10.1	26.5	-20.6	16.0	-23.6	13.0	7.4	44.0
1960—1961	-6.4	-5.2	1.2	-2.2	8.6	-18.7	-12.3	-20.3	-13.9
1961—1962	-32.6	-38.2	-5.6	-12.9	19.7	-34.1	-1.5	-36.1	-3.5
1962—1963	45.7	25.3	-20.4	-12.9	19.7	-34.1	-1.5	-36.1	3.5
1963—1964	0.4	-11.8	-12.2	14.0	13.6	-11.0	-11.4	20.2	19.8
1964—1965	73.0	81.1	8.1	64.4	-8.6	69.3	-3.7	52.1	-20.1
1965—1966	-72.9	-58.4	14.5	-67.7	5.0	-51.9	21.0	-44.4	28.5
1966—1967	-13.6	-4.3	9.3	3.4	17.0	7.4	21.0	-47.5	33.9
1967—1968	-89.0	-50.1	38.9	-59.4	29.6	-40.1	48.9	-45.1	43.9
1968—1969	28.8	-24.2	-53.0	-105.5	-134.3	-11.3	-40.1	23.7	-5.1
1969—1970	-61.0	-90.1	-29.1	-112.1	-51.1	-100.0	-39.0	-53.3	7.7
1970—1971	19.9	13.6	-6.3	-17.6	-37.5	7.9	-12.0	-0.9	-20.8
1971—1972	51.1	6.7	-44.4	-2.7	-53.8	36.3	-14.8	-6.1	-57.2
1972—1973	-138.0	-44.2	93.8	-1.4	136.6	-89.7	48.3	-81.1	56.9
1973—1974	-24.3	-59.0	-34.7	-16.3	8.0	-101.1	-76.8	-61.0	-36.7
1974—1975	53.8	-13.2	-67.0	-39.4	-93.2	25.5	-28.3	22.5	-31.3
1975—1976	5.4	-23.8	-29.2	-64.1	-69.5	-29.9	-35.3	45.3	39.9
1976—1977	33.4	-34.1	-67.5	-37.9	-71.3	-17.2	-50.6	-37.3	-70.7
1977—1978	-20.3	-7.0	13.3	-40.3	-20.0	-26.0	-5.7	-12.7	7.6
1978—1979	-15.5	-51.1	-35.6	85.5	-70.0	-5.2	10.3	-40.8	-25.3
1979—1980	-61.7	-84.5	-22.8	-53.6	8.1	-107.4	-45.7	-96.0	-34.3
1980—1981	-119.9	-45.3	74.6	-41.2	78.7	-37.4	-82.5	-39.5	80.4
1981—1982	-8.2	-39.8	-31.6	-57.2	-49.1	-3.0	5.2	2.9	11.1
1982—1983	18.4	20.7	2.3	5.0	-13.4	2.6	-15.8	31.8	13.4
1983—1984	-15.2	-24.1	-8.9	-56.6	-41.4	-40.4	-25.2	7.7	22.9
1984—1985	-112.6	-109.9	2.7	-102.3	10.3	-100.2	12.4	-101.5	11.1
1985—1986	-133.0	-117.3	15.7	-112.1	20.9	-116.7	16.3	-125.7	7.3
1986—1987	-32.3	-53.8	-21.5	-80.2	-47.9	-39.5	-7.2	-65.9	-33.1
1987—1988	-118.4	-127.0	-8.6	-115.4	3.0	-131.7	-13.3	-90.9	27.5
1988—1989	19.5	-6.7	-26.2	0.0	-19.5	21.7	2.2	-21.6	-41.1
1989—1990	9.6	21.8	12.2	12.8	3.2	12.8	3.2	14.4	4.8
1990—1991		-53.3		-74.5		-73.1		-27.0	

参 考 文 献

- 一心, 1992. 再谈厄尼诺与我国严重的特大洪涝灾害. 世界科学, (1): 35
- 汤懋苍、许曼春, 1984. 祁连山区的气候变化. 高原气象, 3(4):21—33
- 汤懋苍等, 1989. 理论气候学概论. 北京: 气象出版社, 241—245, 21—23
- 张金华等, 1984. 天山乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡变化与气候相互关系的研究. 冰川冻土, 6(4): 25—36
- 张金华, 1981. 天山乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡研究. 冰川冻土, 3(2):
- 陈吉阳等, 1988. 大气条件与阿尔卑斯山冰川的物质平衡. 见: 第四届全国冰川冻土学术会议论文选集(冰川学), 北京: 科学出版社, 103—111
- 佩特森 W S B, 1987. 冰川物理学. 北京: 科学出版社, 189—190, 152
- 胡汝骥、马虹, 1992. 天山冰川的现状与未来气候趋势. 干旱区地理, 15(3): 22—29
- 施雅风等, 1988. 中国冰川概论. 北京: 科学出版社
- 施雅风, 1990. 山地冰川与湖泊萎缩所指示的亚洲中部气候于暖化趋势与未来展望. 地理学报, 45(1): 1—11
- 姜彤, 1988. 冰川零平衡线气候波动模型及其应用. 见: 第四届全国冰川冻土学术会议论文选集(冰川学), 北京: 科学出版社, 65—74
- 黄嘉佑编著, 1990. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 37—115
- 谢自楚, 1980. 冰川物质平衡与冰川特征的关系. 2(4): 1—8
- Anne Letréguilly, 1988. Relationship between the mass balance of western Canadian Mountain glacier and meteorological data, Journal of Glaciology, 34(116): 11—18

乌鲁木齐河源空冰斗 1991—1992 年度 季节积雪观测结果的初步分析

张 志 忠

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

乌鲁木齐河源空冰斗季节积雪的分布及其变化特征对于正确分析评价高山融雪径流具有非常重要的作用。该小流域的季节积雪系统观测始于 1988 年冬, 到 1989 年测雪尺的布设才趋于正规。在冰斗底约 1 km^2 左右的范围内共布设量雪尺 9 排 44 根。该年度观测仍然采用不定期逐个雪尺测量积雪深度, 在 1992 年春季还进行了积雪层雪的密度、温度、积雪层结构和含水率的测量。

1 积雪的分布特征

积雪厚度的观测结果列于表 1。由表 1 可见, 1991—1992 年度空冰斗季节积雪

表 1 1991—1992 年空冰斗积雪深度一览表 (cm)

测点	日期	1991						1992										
		10.18	11.1	11.15	11.29	12.13	12.27	1.10	1.24	2.10	2.24	3.8	3.22	4.5	4.13	5.1	5.18	5.13
B ₁		3	4	2	4	5	3	8	7	8	6	9	8	19	11	16	34	24
B ₂		7	6	4	8	10	5	10	9	10	8	10	19	31	20	25	54	45
B ₃		4	7	4	5	10	6	9	7	8	6	13	15	25	28	24	55	44
B ₄		11	8	7	10	10	6	12	10	12	9	18	21	27	30	34	62	46
B ₅		7	7	4	7	2	3	5	3	4	2	11	15	18	25	15	37	28
B ₆														27	4	21	9	
C ₁		6	5	3	7	5	5	8	5	5	4	10	13	29	32	33	43	30
C ₂		5	3	4	12	10	10	12	10	11	9	15	23	35	30	34	60	50
C ₃		7	6	6	8	8	7	11	8	10	9	13	17	39	26	30	57	50
C ₄		7	8	10	10	12	10	12	11	12	9	18	26	35	40	36	50	42
C ₅		6	4	6	12	10	10	15	13	14	11	20	28	33	35	18	52	30
D ₁		13	10	11	8	6	10	15	11	12	10	15	26	37	35	30	63	49
D ₂		3	2	4	9	5	5	3	3	4	3	10	14	30	30	22	45	48
D ₃		7	4	4	6	2	2	6	5	6	4	11	15	32	24	18	47	34
D ₄		0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	6	10	11	17	7	25	8
D ₅		0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	5	8	9	10	0	20	0
E ₁		14	15	10	9	5	12	16	14	15	13	15	24	33	30	45	72	61

表 1 (续)

测点	日期	1991						1992										
		10.18	11.1	11.15	11.29	12.13	12.27	1.10	1.24	2.10	2.24	3.8	3.22	4.5	4.13	5.1	5.18	5.13
E ₂		10	8	7	10	10	10	12	11	11	9	20	25	35	39	31	61	51
E ₃		5	3	1	7	2	2	5	3	3	1	10	13	21	25	21	47	35
E ₄		6	3	1	6	4	3	10	8	9	6	10	16	28	23	17	43	30
E ₅		0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	8	10	20	20	5	21	12
F ₁		9	11	11	10	5	5	7	5	6	4	10	14	23	23	20	52	40
F ₂		4	6	4	1	1	0	0	0	2	0	6	4	15	24	15	40	35
F ₃		2	0	1	1	1	1	5	1	1	0	5	7	17	18	13	38	26
F ₄		2	1	2	4	1	1	7	1	5	1	15	22	21	32	22	42	38
F ₅		0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	8	9	16	16	7	25	13
F ₆		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8	8	17	11	4	20	9
G ₁		15	4	10	7	10	5	3	1	1	0	10	10	23	20	18	45	34
G ₂		0	0	4	1	0	0	1	0	1	0	5	5	11	15	1	20	15
G ₃		2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	5	8	16	5	4	32	16
G ₄		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	7	10	13	5	25	17
G ₅		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	7	11	9	4	15	7
H ₁		4	1	3	1	1	1	2	0	1	0	9	7	16	14	28	51	47
H ₂		3	1	1	13	6	5	1	0	1	0	15	17	24	20	25	57	46
H ₃		0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	2	4	11	15	11	30	23
H ₄		0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	2	2	10	8	7	30	17
H ₅		0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	6	17	14	10	32	12
H ₆		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2	9	0	0	12	4
I ₁		0	0	0	8	6	5	4	3	3	2	8	11	22	20	12	38	27
I ₂		0	0	0	1	0	0	2	1	1	0	5	7	17	18	20	43	37
I ₃		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	11	9	4	20	7
I ₄		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8	18	16	8	15	14
I ₅		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	14	13	7	20	8
K		0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	6	9	17	15	12	34	26

出现于 1991 年 10 月中旬, 但分布极不均匀, 属不稳定积雪类型。而真正的稳定积雪则出现 1992 年 3 月上旬并延续到 5 月上旬, 积雪深度达到最大值(1992 年 5 月 8 日)。随

着气温的回升，积雪消融的加强，到5月底或6月上、中旬稳定积雪破坏并随之消亡。累计积雪期长达8个月左右，而真正的稳定积雪时间约3个月左右。

2 空冰斗积雪的结构特征

1992年4月13日也即稳定积雪形成一个月以后，在C₄处观测积雪结构和各类雪型的密度，分层测量雪层温度，至积雪层深度达到最大值的5月13日共进行3次这样的观测，观测结果见图1。

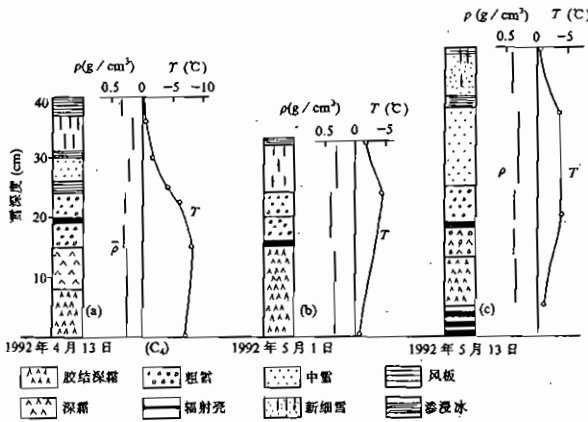


图1 空冰斗雪层柱状剖面图

由图1a可知，深霜层系10月中旬到2月下旬数次降雪沉积形成的雪粒演变而成。深霜层的上限也是雪层温度最低的分界面，在此界面以上雪层温度出现了表层高于下部的现象，说明积雪层内水汽自下而上的迁移开始起变化，雪层内部温度梯度变质作用将被融化再冻结变质作用过程所取代。图1b、c剖面结构特征正是这种转变的真实反映。雪层间的辐射壳或风板不仅反映出降雪间隔，而且反映了雪层在强太阳辐射和风的作用下形成的微密层结，在雪层变质作用尤其是温度梯度变质作用过程中对水汽迁移的阻滞作用，积雪变质作用变得缓慢。空冰斗在温度梯度作用下的深霜厚度始终不足积雪总厚度的三分之一，而天山西部雪崩站区(1776 m)由温度梯度变质作用而形成的深霜层到2月中旬左右可达到积雪总厚度的三分之二以上。

3 积雪的温度和温度梯度以及密度

从雪层柱状剖面图上可以看出，4月中旬随着气温回升，降雪量增加，积雪层的厚

度增加很快。层内最低气温出现在雪面以下 25 cm 处，为 -8.2°C ，雪层底部温度为 -7.3°C ，自下而上至少还有升华现象存在，因为这个层阶内仍有 $-0.06^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 的温度梯度存在。但是，在这个层阶以上至雪面，雪层温度是升高的，特别是地面以上 30 cm 至雪面仅仅 10 cm 的厚度内，温度自下而上由 -1.6°C 升至 0°C ，其温度梯度改变符号，达到 $0.16^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 。温度梯度方向的逆转，使雪层内水汽迁移的方向由下往上和由上往下两个方向进行，而且表层以渗浸为主并伴有早晚的冻结，以温度梯度变质作用为主的变质作用过程即告结束。从 4 月 13 日到 5 月 13 日，由于雪层温度出现较大变化，在垂直剖面上温度曲线由 4 月 13 日的近似于“B”型而表现为 5 月 13 日的“D”型，这种温度曲线充分说明积雪层内的温度梯度变质作用已从 4 月中旬开始逐渐被融化-冻结和渗浸变质作用所代替。表现在雪层结构上，渗浸-再冻结的粗粒雪晶占据整个剖面的绝对优势，雪层中的辐射壳或风板的结构也随着融水下渗变得松软，正因为如此，所以在地表面以上 19—25 cm 处出现 6 cm 厚的较为坚硬的融化渗浸冻结层，这是融水下渗到该层位遇低温停滞并渗浸雪粒的结果。

积雪层内雪的密度受雪层结构和层内温度制约。从 4 月 13 日剖面可见，辐射壳或风板的密度最大，为 $0.339\text{ g}/\text{cm}^3$ ，粗雪次之，而较新的细雪密度最小，为 $0.165\text{ g}/\text{cm}^3$ ，深霜的密度为 $0.27\text{ g}/\text{cm}^3$ 。到 5 月 13 日，最大的密度出现在雪层近表面的融冻渗浸粒雪内，达到 $0.40\text{ g}/\text{cm}^3$ ，胶结深霜夹冰透镜体次之，为 $0.383\text{ g}/\text{cm}^3$ ，中粒雪最小，也达到 $0.319\text{ g}/\text{cm}^3$ ，这是雪层内自由水含量增大所致。

4 关于积雪消融特征的观测结果

在气温和雪温回升的时期，积雪层内自由水含量也随之增加。4 月下旬至 5 月中旬，为了观测雪的消融特征，首先对雪的自由水含量进行了测定。先后对不同温度的雪的含水率测量了 28 个试样，测量结果整理成图 2。由图 2 可见，积雪含水率与雪温度关系非常密切，并且当雪温度达到 0°C 时，其自由含水率也达到最大为 21.8% (5 月 14 日 14 时左右雪温度 0°C)，出现在近表面层 0—10 cm 范围内。这些过饱和的自由水在重力作用下会出现下渗并逐渐加速雪的消融。自由水下渗特征可用下面的试验方法观测：5 月 14 日 10 时 30 分在微冻的雪面撒粉质红色颜料，在阳光照射下，表面雪开始融化，出现蜂窝状粗糙面，到 11 时 20 分，被染红的厚 2.0 cm 的雪层中出现下渗的小孔，孔径在 0.5 cm 左右，剖开雪层，发现若干垂直向下的红色柱体，在其入渗深度为 12 cm 处出现向水平方向左右延伸现象，到 11 时 32 分时，水平方向的红色体穿透其界面而下渗的红色柱体深度为 22 cm，其向水平方向延伸长度为 5.5 cm。很快红色垂直柱体穿过水平条带下渗 2.7 cm 后，又向水平方向延伸 5 cm，便又从中穿透下渗 1 cm 后向水平方向再度延伸 9 cm，到 11 时 45 分其向左右的延伸长度达到 16 cm。由于雪温度低，融水还来不及穿透较为稠密的辐射壳或风板，所以向水平方向的延伸距离增加，到 12 时 25 分，穿透夹层下渗的红色水柱入渗深度为 27 cm，在观测剖面上几次水平延伸的红色条带与垂直下渗的红色水柱形成并排的类“王”字型景象。

由于近地面层的雪温高，所以，当融水渗入到这一层后，其下渗速度很快，到 12

时 42 分红色水柱已入渗到 42 cm 处，其下渗速度为 0.9 cm/min ，比平均入渗速度 0.3 cm/min 快近 3 倍。入渗的融水在地表遇冻土阻滞后即饱和底层深霜粒子，经再冻结后，形成厚约 5 cm 的冰体。由此可见，积雪在初始消融阶段都是以柱状形式入渗，遇

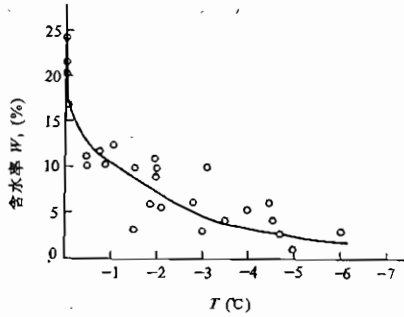


图 2 积雪含水率与雪温度曲线图

较坚硬致密层结后下渗速度受阻并左右水平渗浸。当入渗水足以穿透阻滞层结时即出现再次下渗现象。积雪消融的这个特征可以用加拿大著名冰雪水文学家胡鸣高教授的“指头流”术语概括。积雪层内指头流是积雪自由水含量达到一定临界值时在重力作用下出现下渗的一种特征。所以，积雪层含水率的观测研究对于了解融雪径流形成过程和预报融雪径流具有很重要的作用。

1991—1992 年度乌鲁木齐河冰情 观测资料的整编说明

张 志 忠

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

(1) 乌鲁木齐河冰情的系统观测始于 1985 年。本年度的冰情观测仍在以往观测断面设立花杆, 逐日观测记录冰的厚度变化和不同深度处的冰温。冰的厚度资料 and 不同深度处的冰温分别示于表 1 和表 2。

(2) 河冰的厚度, 与过去 6 年的观测资料比较, 该年度最大冰厚与 1988—1989 年度的最大冰厚 120 cm 相同, 是有资料记录以来第 3 个丰冰年 (1985—1986 年度最大冰厚为 190 cm)。开河和终冰比 1985—1986 年度分别提前半个月左右, 这不仅受冰厚度的制约, 而且与气温变化有关。

表 1 观测断面(2 130 m)冰盖厚度变化一览表 (单位: cm)

日	月		1991					1992					日	月		1991					1992				
	11	12	1	2	3	4	5	11	12	1	2	3		4	5	11	12	1	2	3	4	5			
1		80	86	100	120	115	残余 岸 冰 终 冰	16	56	86	100	100	118	86											
2		82	86	100	120	113		17	58	86	100	100	118	78											
3		85	86	100	120	113		18	58	86	100	100	118	72											
4		87	86	100	120	110		19	58	86	100	100	118	65 [△]											
5		87	86	100	120	110		20	57	86	100	100	118	60											
6		87	86	100	120	110		21	57	86	100	100	118	54											
7		86	86	100	120	110		22	57	86	100	100	118	50											
8		86	86	100	120	110		23	57	86	100	105	118	48											
9	42	86	100	100	119	110		24	57	86	100	111	118	42											
10	43	86	100	100	120	108		25	57	86	100	111	118	40											
11	43	86	100	100	120	106		26	57*	86	100	111	118	34											
12	50	86	100	100	120	103		27	61	86	100	111	117	30											
13	50	86	100	100	120	100		28	75	86	100	111	117	28											
14	50	86	100	100	120	97		29	75	86	100		117												
15	50	86	100	100	118	93		30	76	86	100		117												
							31		86	100		117													

注: * 封河; △: 开河

(3) 河冰层内温度观测中, 由于观测人员使用仪器的熟练程度原因, 曾出现两次较长时间因仪器故障得不到及时排除而缺测问题。但冰层内温度只有近表面约 20—30 cm 厚度内与气温变化趋势相吻合外, 底部由于冰的不良导热性能, 温度相对比较稳定, 冰

内温度自下而上的温度梯度明显。在气温和冰温明显持续回升时，即预示着开河和由河冰强消融而引起的首次洪峰流量的到来，故对春季洪水预报将有一定的参考作用。

表2 观测断面自下而上各深度(h)冰温(°C)一览表

1991 12	h			1992 1	h				1992 2	h				1991 3	h			
	0 (cm)	30 (cm)	60 (cm)		0 (cm)	30 (cm)	60 (cm)	90 (cm)		0 (cm)	30 (cm)	60 (cm)	90 (cm)		0 (cm)	30 (cm)	60 (cm)	90 (cm)
1	0.0	0.0	0.0	1	-1.0	-1.5	-7.2		1	-1.9	-2.1	-4.8	-9.0	3				
2	0.1	0.0	0.0	2	-1.1	-1.8	-7.1		2	-2.2	-2.5	-5.2	-0.8					
3	0.1	0.1	0.0	3	-1.1	-1.8	-7.0		3	-2.2	-2.6	-5.4	-2.0					
4	0.1	0.0	0.0	4	-1.2	-2.7	-7.6		4	-2.4	-2.8	-5.4	-3.4					
5	0.1	0.0	0.0	5	-1.4	-1.9	-6.8		5	-2.8	-3.0	-5.6	-4.7					
6	0.1	0.0	0.0						6	-3.0	-3.5	-6.0	-7.1					
7	0.1	0.0	-1.1						7	-3.0	-3.5	-6.0	-6.8					
8	-0.1	-0.2	-0.1						8	-3.0	-3.2	-5.6	-7.2					
9	-0.2	-0.2	-0.6						9	-3.0	-3.3	-5.6	-8.8					
10	-0.2	0.0	-0.8						10	-2.9	-3.0	-5.3	-9.2					
11	-0.2	0.0	-0.4						11	-2.8	-3.0	-5.3	-7.8					
12	-0.2	0.0	0.0						12	-2.7	-3.0	-5.1	-8.1					
13	-0.2	0.0	-0.4						13	-2.8	-3.0	-5.0	-8.1	13	-0.2	-0.4	-0.8	-2.2
14	-0.2	0.0	-0.1						14	-2.7	-2.9	-4.7	-7.2	14	-0.6	-0.9	-0.8	-2.6
15	-0.2	0.0	0.0						15	-2.7	-2.9	-4.8	-6.9	15	-0.8	-0.9	-1.7	-3.3
16	-0.2	0.0	-0.6						16	-2.7	-2.9	-4.9	-6.5	16	-0.8	-0.9	-1.9	-3.5
17	-0.2	0.0	-1.3						17	-2.7	-2.9	-4.9	-6.3	17	-0.9	-1.1	-2.0	-3.6
18	-0.2	0.0	-1.5						18	-2.7	-2.9	-4.6	-7.0	18	-1.2	-1.2	-2.0	-2.7
19	-0.2	-0.1	-2.2						19	-2.5	-2.9	-4.5	-7.6	19	-1.0	-1.1	-1.8	-2.4
20	-0.2	-0.1	-3.1						20	-2.8	-3.0	-4.9	-9.4	20	-1.1	-1.1	-2.0	-3.8
21	-0.2	-0.1	-3.1	21	-1.1	-1.3	-3.8	-7.6	21	-2.7	-3.0	-5.0	-7.8	21	-1.4	-1.4	-2.8	-5.0
22	-0.2	-0.1	-5.0	22	-1.1	-1.5	-4.1	-8.4	22	-2.9	-3.1	-5.0	-7.8	22	-1.4	-1.8	-2.8	-5.0
23	-0.2	-0.5	-5.9	23	-1.3	-1.5	-4.6	-8.0	23	-2.9	-3.1	-4.8	-7.1	23	-2.3	-2.5	-4.1	-6.1
24	-0.2	-0.6	-6.1	24	-1.5	-1.8	-7.3	-7.4	24	-2.9	-3.0	-4.5	-6.3	24	-3.2	-2.4	-3.7	-4.5
25	-0.3	-0.7	-6.4	25	-1.4	-1.7	-4.3	-8.2	25	-2.1	-3.2	-1.9	-1.3	25	-2.0	-2.1	-2.7	-2.3
26	-0.3	-0.9	-7.0	26	-1.5	-1.8	-4.6	-8.8	26	-1.3	-1.4	-0.7	0.3		-1.0	-1.2	-1.5	-0.3
37	-0.5	-1.0	-7.1	37	-1.5	-1.8	-4.5	-8.3	37	-0.8	-0.8	-0.4	0.1					
38	-0.6	-1.0	-6.9	38	-1.6	-1.8	-4.4	-7.3	38	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1					
29	-0.8	-1.2	-7.3	29	-1.7	-2.0	-4.9	-9.4						29	-0.4	-0.4	-0.1	0.3
30	-0.9	-1.4	-7.6	30	-1.9	-2.1	-4.7	-7.6						30	0.0	-0.2	-0.2	-0.7
31	-1.0	-1.5	-7.4	31	-2.1	-2.4	-4.4	-5.4						31	0.0	-0.2	-0.2	-0.7

注：表中空格为仪器故障缺测。

水文气候观测资料整编说明

杨新元 韩添丁

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

天山冰川观测试验站的常规水文气象观测设在河源区1号冰川水文点,空冰斗水文点、总控制水文点以及基本营地气象场进行。

1号冰川水文点设在离1号冰川冰舌300m处的河道上,海拔3695m,流域面积 3.34 km^2 ,其中冰川面积为 1.84 km^2 。测流断面为矩形,由混凝土浇筑而成,断面高1m,宽1.6m,在断面左岸山坡设有气象场。

空冰斗位于河源区左侧,斗口朝南,为研究高山融雪径流,在此设一水文点,海拔3805m,流域面积为 1.68 km^2 。测流断面为矩形,高1m,宽1.5m,由混凝土浇筑而成。气象场设在右岸冰斗口中部,古冰川终碛堤上。

在乌鲁木齐河源区大西沟与罗布道沟汇合处,海拔3408m的河道上设有总控制水文点,流域面积 28.9 km^2 ,控制着本站观测研究区7条冰川及裸露山坡冰雪融水总径流,其中冰川覆盖率为20%。测流断面由浆砌块石及混凝土浇筑而成,在断面上建有工作桥为测流使用,气象场设在左岸冰碛丘上。

在3个水文断面上均装有自记水位计,测流主要用流速仪法,气象观测项目有气温、湿度、降水等。

基本营地气象观测位于乌鲁木齐河谷海拔2130m处,观测项目齐全。

所有水文气象观测资料(表1—15),均按规范进行整编。

表1 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1992年逐日平均流量表

集水面积: 3.34 km²; 流量: m³/s

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.011	0.253	0.192	0.138			
2					0	0.011	0.222	0.046	0.222			
3					0	0.011	0.163	0.112	0.112			
4					0	0.011	0.064	0.192	0.138			
5					0	0.011	0.087	0.222	0.222			
6					0	0.027	0.112	0.163	0.138			
7					0	0.138	0.112	0.138	0.060			
8					0	0.087	0.138	0.087	0.079			
9					0	0.046	0.192	0.138	0.068			
10					0	0.046	0.222	0.112	0.064			
旬总数					0	0.399	1.565	1.402	1.241			
旬平均					0	0.040	0.157	0.140	0.124			
11					0.011	0.087	0.163	0.138	0.046			
12					0.011	0.027	0.138	0.163	0.027			
13					0.011	0.064	0.163	0.222	0.027			
14					0.011	0.064	0.253	0.378	0.027			
15					0.027	0.064	0.284	0.192	0.027			
16					0.027	0.087	0.680	0.192	0.027			
17					0.027	0.064	0.611	0.192				
18					0.027	0.046	0.347	0.112				
19					0.027	0.138	0.316	0.046				
20					0.027	0.064	0.253	0.087				

表 1 (续)

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		旬总数					0.026	0.705	3.208	1.722	0.181		
旬平均						0.021	0.071	0.321	0.172	0.018			
21						0.027	0.046	0.222	0.138				
22						0.027	0.046	0.253	0.163				
23						0.027	0.046	0.192	0.163				
24						0.011	0.046	0.138	0.163				
25						0.027	0.027	0.163	0.064				
26						0.027	0.046	0.253	0.046				
27						0.027	0.064	0.138	0.087				
28						0.011	0.087	0.222	0.112				
29						0.011	0.163	0.284	0.046				
30						0.027	0.192	0.253	0.087				
31						0.011		0.192	0.138				
旬总数						0.233	0.763	2.31	1.207	0			
旬平均						0.021	0.076	0.210	0.110	0			
月统计	总数					0.439	1.867	7.083	4.331	1.422			
	平均					0.014	0.062	0.225	0.140	0.047			
	最大					0.046	0.316	1.54	1.19	0.479			
	日期					15	30	16	14	2			
	最小					0	0	0.046	0.027	0			
日期					1—10	1	4	2	17—30				
年统计	年总数	15.142			最大流量	1.54 (7月16日)		最小流量 0 5月1日—10日			平均流量 0.098		
	径流量	$1.308 \times 10^6 \text{ m}^3$			径流模数	29.4 L/s · km ²			径流深度 392 mm				

表2 乌鲁木齐河源空冰斗水文点 1992年逐日平均流量表

集水面积: 1.68 km²; 流量: m³/s

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.093	0.047	0.083				
2					0	0.063	0.063	0.055				
3					0	0.083	0.083	0.083				
4					0	0.073	0.047	0.063				
5					0	0.104	0.034	0.063				
6					0	0.139	0.063	0.104				
7					0	0.151	0.126	0.083				
8					0	0.083	0.115	0.104				
9					0	0.055	0.203	0.083				
10					0	0.063	0.126	0.083				
旬总数					0	0.907	0.907	0.804				
旬平均					0	0.091	0.091	0.080				
11					0.023	0.083	0.047	0.104				
12					0.023	0.034	0.047	0.104				
13					0.034	0.083	0.083	0.073				
14					0.034	0.047	0.094	0.083				
15					0.034	0.055	0.063	0.083				
16					0.034	0.083	0.094	0.073				
17					0.047	0.083	0.104	0.063				
18					0.047	0.083	0.083	0.063				
19					0.047	0.083	0.083	0.047				
20					0.063	0.083	0.047	0.073				

表 2 (续)

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		旬总数					0.386	0.717	0.745	0.766				
旬平均						0.039	0.072	0.075	0.076					
21						0.083	0.063	0.047	0.055					
22						0.083	0.073	0.047	0.063					
23						0.104	0.047	0.063	0.034					
24						0.083	0.047	0.063	0.034					
25						0.063	0.083	0.047	0.023					
26						0.063	0.083	0.063	0.023					
27						0.083	0.104	0.063	0.023					
28						0.063	0.073	0.047	0.023					
29						0.047	0.063	0.063	0.063					
30						0.083	0.063	0.073	0.055					
31						0.047		0.083	0.034					
旬总数						0.802	0.699	0.659	0.430					
旬平均						0.073	0.070	0.066	0.039					
月统计	总数					1.188	2.323	2.311	2.00					
	平均					0.038	0.077	0.075	0.065					
	最大					0.178	0.203	0.250	0.227					
	日期					23	9	9	11					
	最小					0	0.013	0.013	0.013					
	日期					1—10	6	4	26					
年统计	年总数	7.822			最大流量	0.250 7月9日		最小流量	0 (5月1日—10日)			平均流量	0.064	
	径流量	$6.76 \times 10^5 \text{ m}^3$			径流模数	38.2 L/s · km ²			径流深度	402 mm				

表3 乌鲁木齐河源总控制水文点 1992年逐日平均流量表

集水面积: 28.9 km²; 流量: m³/s

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0	0.410	0.750	0.490	0.270			
2					0	0.410	0.848	0.220	0.490			
3					0	0.660	1.53	0.270	0.660			
4					0	0.660	0.490	0.580	0.848			
5					0	1.05	0.270	0.660	0.750			
6					0	2.02	0.848	1.29	0.75			
7					0	2.39	1.29	0.75	0.660			
8					0	2.14	1.53	0.220	0.580			
9					0	1.41	1.53	0.410	0.410			
10					0	0.950	1.17	0.580	0.410			
旬总数					0	12.10	10.256	5.47	5.828			
旬平均					0	1.21	1.03	0.547	0.583			
11					0.220	1.17	0.750	0.160	0.340			
12					0.340	1.89	0.340	0.660	0.270			
13					0.580	1.53	0.660	0.270	0.220			
14					0.660	1.65	0.950	0.410	0.220			
15					0.750	2.14	1.05	0.580	0.220			
16					0.750	1.41	1.77	0.410	0.220			
17					0.660	0.950	1.77	0.580				
18					0.580	0.410	1.53	0.950				
19					0.660	0.220	0.848	1.17				
20					0.848	0.490	0.750	1.17				

表3 (续)

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日													
旬总数						6.048	11.86	10.418	6.36	1.490			
旬平均						0.605	1.19	1.04	0.636	0.149			
21						1.17	1.05	0.750	0.848				
22						0.950	0.950	0.660	0.950				
23						0.660	0.750	0.490	0.750				
24						0.580	1.05	0.220	0.660				
25						1.41	0.848	0.340	1.05				
26						1.41	0.848	0.580	1.29				
27						1.41	0.580	0.580	1.17				
28						0.848	0.580	0.580	1.17				
29						0.848	0.580	1.05	0.750				
30						0.950	0.660	1.05	0.340				
31						0.410		0.848	1.05				
旬总数						10.646	7.896	7.148	10.028	0			
旬平均						0.968	0.790	0.650	0.912	0			
月统计	总数					16.694	31.856	27.822	21.858	7.318			
	平均					0.539	1.06	0.897	0.705	0.244			
	最大					2.39	3.81	3.55	2.39	1.05			
	日期					25	7	16	6	4			
	最小					0	0.120	0.080	0	0			
日期					1—10	19	24	11	17—30				
年统计		年总数 105.548			最大流量 3.81 (6月7日)			最小流量 0 (5月1日—10日)			平均流量 0.689		
		径流量 $9.119 \times 10^6 \text{ m}^3$			径流模数 23.8 L/s · km ²			径流深度 316 mm					

表4 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1992年逐日平均气温表(℃)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-16.6	-16.7	-12.8	-6.0	-2.1	-0.4	6.4	0.8	8.4	-12.0	-12.5	-6.7
2	-14.8	-17.1	-15.5	-4.4	-3.1	-1.3	5.6	0.7	5.5	-12.9	-8.2	-7.9
3	-18.0	-17.9	-15.2	-4.5	-8.4	-1.2	0.7	3.7	0.8	-7.5	-5.5	-9.6
4	-15.6	-19.4	-13.9	-5.0	-12.0	1.3	0.9	5.7	1.9	-7.0	-9.5	-16.2
5	-14.1	-19.5	-14.9	-7.0	-8.8	5.6	-1.0	5.1	2.0	-6.2	-17.4	-13.6
6	-17.4	-16.0	-16.1	-10.4	-4.1	5.8	0.0	3.0	3.1	-1.4	-20.8	-13.9
7	-12.1	-16.6	-13.8	-10.2	-4.1	5.6	1.8	1.8	1.9	-2.5	-10.2	-15.6
8	-14.0	-17.7	-13.6	-7.9	-7.2	1.6	1.1	1.0	2.6	-4.5	-10.4	-10.1
9	-14.7	-16.8	-13.4	-12.3	-5.1	0.2	3.7	2.3	2.3	-1.1	-10.4	-10.1
10	-15.3	-18.5	-12.4	-8.3	-5.7	1.9	2.3	3.5	2.4	-3.0	-7.1	-9.3
旬总数	-152.6	-176.2	-141.6	-76.0	-60.6	24.1	19.7	27.6	20.1	-58.1	-112.0	-113.0
旬平均	-15.3	-17.6	-14.2	-7.6	-6.1	2.4	2.0	2.8	2.0	-5.8	-11.2	-11.3
11	-20.0	-15.9	-9.3	-5.7	-5.7	2.7	2.6	3.0	-4.4	-3.8	-7.2	-10.5
12	-17.4	-14.3	-14.0	-5.5	-6.7	2.1	2.9	4.2	-2.8	-2.5	-6.9	-14.3
13	-15.9	-12.9	-17.3	-3.4	-3.2	1.8	4.5	8.1	-3.9	-2.7	-9.3	-16.0
14	-13.6	-15.2	-15.6	-2.1	-1.5	4.4	6.7	8.6	-1.5	-2.0	-9.9	-13.2
15	-13.2	-16.3	-15.9	-1.1	-3.1	2.3	7.2	4.0	0.4	-2.1	-8.4	-12.0
16	-14.1	-18.0	-14.7	-1.4	-3.6	2.2	7.9	4.5	-0.8	-4.0	-8.0	-12.5
17	-13.9	-17.7	-13.3	-0.4	-3.2	-0.8	7.4	2.7	-0.9	-6.8	-14.9	-14.0
18	-13.1	-16.9	-14.2	-2.6	-2.5	-3.3	4.8	-0.7	-0.1	-10.8	-16.6	-12.5
19	-11.2	-17.0	-16.3	-5.1	0.2	-4.9	3.9	0.1	-0.8	-13.0	-10.6	-15.8
20	-12.0	-16.1	-18.1	-5.9	2.0	0.4	5.8	2.7	1.5	-8.1	-11.2	-12.4

表 4 (续)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
旬总数	-144.4	-160.3	-148.7	-33.2	-27.3	6.9	53.7	37.2	-13.3	-55.8	-103.0	-133.2	
旬平均	-14.4	-16.0	-14.9	-3.3	-2.7	0.7	5.4	3.7	-1.3	-5.6	-10.3	-13.3	
21	-13.0	-14.3	-19.3	-6.3	1.7	1.0	4.4	4.8	-0.9	-3.9	-10.8	-13.0	
22	-12.4	-11.4	-16.5	-3.1	0.7	-0.5	4.3	3.8	-3.2	-4.4	-10.9	-10.3	
23	-10.2	-12.3	-12.2	-3.0	1.3	-0.6	1.3	4.5	-3.8	-5.9	-9.4	-7.2	
24	-9.8	-11.6	-9.7	-0.9	0.0	0.3	1.3	3.6	-2.5	-8.4	-6.5	-9.3	
25	25	-9.3	-10.7	-0.8	1.5	2.6	4.6	2.1	-2.0	-11.1	-8.1	-15.8	
26	-10.1	-5.6	-7.7	-3.4	2.1	2.7	4.8	1.4	-3.4	5.9	-7.9	-15.5	
27	-11.4	-7.5	-8.3	-4.3	3.4	3.4	3.0	2.8	-0.9	-6.5	-4.2	-16.4	
28	-13.8	-14.1	-9.4	-4.3	-3.6	5.4	5.6	2.8	0.6	-3.6	-6.7	-15.8	
29	-13.5	-14.0	-8.8	-1.0	-2.0	5.6	5.4	3.5	-3.7	-4.2	-9.5	-11.7	
30	-8.5		-10.9	-2.8	-2.9	5.6	4.5	6.2	-8.0	-3.9	-8.5	-15.7	
31	-14.4		-8.0		-1.1		2.5	6.7		-7.1		-10.9	
旬总数	-126.4	-99.8	-121.5	-29.9	1.1	25.5	41.7	42.2	-27.8	-64.9	-82.5	-141.6	
旬平均	-11.5	-11.1	-11.0	-3.0	0.1	2.6	3.8	3.8	-2.8	-5.9	-8.3	-12.9	
月 统 计	总数	-423.4	-436.3	-411.8	-139.1	-86.4	56.5	115.1	107.0	-21.0	-178.8	-297.5	-387.8
	平均	-13.7	-15.0	-13.3	-4.6	-2.8	1.9	3.7	3.5	-0.7	-5.8	-9.9	-12.5
	最高	-5.0	-1.5	-3.0	5.8	8.0	12.0	13.3	13.3	11.2	3.0	0.2	-3.0
	日期	24	26	31	17	25	6	17	13	2	9	3	1
	最低	-23.0	-22.0	-25.7	-16.0	-14.8	-6.8	-3.2	-6.0	-10.0	-16.1	-26.0	-19.9
	日期	11	5	20	10	5	19	4	19	30	19	6	7
年统计	最高气温 13.3 (7月17日; 8月13日)						最低气温 -26.0 (11月6日)				平均气温 -5.8		

表5 乌鲁木齐河源空冰斗水文点 1992年逐日平均气温表 (°C)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-17.3	-17.2	-14.9	-8.4	-3.6	-1.8	5.4	-1.0	0.7	-12.2	-13.6	-7.0
2	-16.2	-17.4	-17.6	-5.6	-4.3	-0.3	5.2	-0.7	5.0	-11.8	-7.5	-8.3
3	-19.9	-18.9	-16.6	-7.5	-8.2	0.3	1.2	2.6	0.1	-6.8	-5.4	-9.9
4	-16.6	-20.5	-15.8	-8.0	-12.5	0.4	-0.9	4.4	-2.7	-7.2	-9.0	-16.6
5	-15.7	-19.3	-16.0	-9.5	-8.7	4.4	0.8	4.1	1.1	-7.0	-18.1	-14.6
6	-18.2	-16.3	-17.6	-13.0	-4.7	4.4	0.2	1.9	2.1	-3.0	-21.5	-13.8
7	-12.7	-16.6	-13.8	-11.3	-4.8	4.8	2.2	0.9	0.6	-3.5	-9.9	-15.5
8	-14.5	-18.1	-14.4	-10.0	8.9	0.8	1.5	0.0	0.9	-5.3	-11.1	-10.5
9	-15.6	-18.4	-15.0	-13.9	-6.4	-0.6	2.8	0.7	0.9	-3.0	-9.5	-10.1
10	-16.5	-20.2	-13.8	-9.9	-6.6	0.2	1.9	2.4	-3.7	-5.4	-6.4	-9.7
旬总数	-163.2	-182.9	-155.5	-97.1	-68.7	12.6	20.3	15.3	5.0	-65.2	-112.0	-117.0
旬平均	-16.3	-18.3	-15.6	-9.7	-6.9	1.3	2.0	1.5	0.5	-6.5	-11.2	-11.7
11	-20.5	-17.3	-10.7	-6.6	-6.6	1.1	1.9	2.2	-5.8	-5.4	-6.9	-11.0
12	-18.1	-15.7	-15.1	-6.4	-7.7	0.0	2.9	3.1	-3.7	-4.5	-7.2	-15.6
13	-15.2	-13.1	-19.1	-4.1	-4.6	0.4	4.1	7.0	-5.0	-4.3	-9.9	-17.2
14	-13.8	-15.8	-17.7	-2.4	-2.3	-3.1	6.5	7.1	-2.7	-4.1	-10.7	-13.8
15	-14.0	-17.4	-18.1	-0.4	-4.5	0.5	7.3	2.7	0.0	-4.0	-8.5	-12.3
16	-14.2	-18.7	-16.5	-1.9	-5.7	1.0	6.2	2.8	-1.8	-5.5	-8.5	-13.1
17	-14.7	-17.3	-15.0	-1.5	-4.5	-1.0	6.4	1.5	-1.8	-8.7	-15.3	-14.5
18	-13.8	-18.5	-16.1	-3.8	-4.0	-4.4	4.5	-0.8	-2.0	-13.4	-15.8	-13.2
19	-11.8	-19.0	-18.4	-6.4	-1.6	-5.1	3.2	-0.5	-1.9	-14.5	-9.2	-16.4
20	-13.0	-17.7	-22.7	-6.9	0.5	-0.8	5.1	2.0	0.7	-9.5	-9.7	-13.8

表 5 (续)

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
旬总数		-149.1	-172.5	-169.4	-40.4	-41.0	-5.2	48.1	27.0	-24.0	-73.9	-101.7	-140.9
旬平均		-14.9	-17.3	-16.9	-4.0	-4.1	-0.5	4.8	2.7	-2.4	-7.4	-10.2	-14.1
21		-13.4	-14.8	-21.4	-7.8	1.0	0.6	3.6	3.1	-2.1	-4.6	-10.0	-12.4
22		-13.0	-12.8	-19.0	-3.4	-0.1	-0.5	3.2	2.5	-3.8	-4.3	-10.1	-9.5
23		-10.8	-12.8	-14.9	-3.8	0.6	-1.4	-0.1	3.6	-3.9	-6.7	-8.9	-7.5
24		-10.5	-12.9	-11.8	-2.0	-0.7	-0.5	-1.2	2.1	-3.4	-9.4	-6.0	-9.4
25		-9.9	-9.4	-13.0	-1.6	0.9	1.4	2.0	1.1	-2.9	-12.0	-7.4	-15.5
26		-10.9	-6.6	-12.3	-4.8	1.0	2.0	3.7	0.6	-4.3	-8.7	-7.9	-16.1
27		-11.7	-10.0	-10.5	-5.0	1.8	2.8	2.6	1.4	-1.4	-7.9	-4.5	-16.3
28		-14.7	-15.6	-12.3	-5.9	-4.6	4.5	5.3	2.0	0.2	-5.2	-6.2	-16.0
29		-14.1	-14.9	-11.7	-1.1	-3.2	3.5	4.9	2.4	-4.2	-5.5	-8.7	-11.4
30		-9.0		-12.6	-3.5	-4.4	3.9	4.6	5.4	-8.6	-5.6	-8.9	-15.4
31		-15.1		-9.9		-3.2		2.2	5.9		-9.0		-11.0
旬总数		-133.1	-109.8	-149.4	-38.9	-10.9	-16.3	30.8	30.1	-35.4	-78.9	-78.4	-140.5
旬平均		-12.1	-12.2	-13.9	-3.9	-1.0	1.6	2.8	2.7	-3.5	-7.2	-7.8	-12.8
月统计	总数	-445.4	-465.2	-474.3	-176.4	-120.6	23.7	99.2	72.4	-54.4	-218.0	-292.1	-398.4
	平均	-14.4	-16.0	-15.3	-5.9	-3.9	0.8	3.2	2.3	-1.8	-7.0	-9.7	-12.9
	最高	-6.0	-1.5	-6.0	4.0	6.3	10.5	11.9	12.1	10.0	1.6	-0.1	-3.2
	日期	25	26	26	17	25	7	14	13	2	6	27	1
	最低	-24.5	-22.4	-27.1	-17.3	-15.2	-8.3	-4.0	-5.2	-11.0	-17.5	-26.8	-19.9
	日期	11	10	20	10	5	19	24	19	11	19	6	4
年统计		最高气温 12.1 (8月13日)					最低气温 -27.1 (3月20日)					平均气温 -6.7	

表 6 乌鲁木齐河源总控制水文点 1992 年逐日平均气温表 (°C)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-18.2	-16.1	-12.9	-4.8	-0.6	0.8	8.3	2.3	1.8	-10.6	-12.9	-7.9
2	-15.6	-17.6	-14.9	-4.8	-2.1	-3.0	6.4	1.6	4.3	-11.8	-5.7	-9.4
3	-17.8	-17.5	-15.1	-3.4	-6.8	1.5	2.5	4.1	2.3	-7.3	-5.6	-9.0
4	-16.5	-19.8	-13.4	-4.8	-10.8	2.3	0.2	6.1	-1.7	-5.3	-7.6	-15.2
5	-14.2	-19.4	-13.0	-6.5	-7.0	7.5	0.8	5.7	1.5	-5.4	-15.1	-15.3
6	-17.7	-16.9	-15.9	-10.3	-2.8	7.2	1.0	5.0	4.0	-0.5	-20.0	-14.5
7	-13.2	-15.9	-13.8	-9.6	-3.0	6.5	3.7	2.8	1.1	-1.3	-8.5	-14.5
8	-15.0	-16.5	-13.5	-7.4	-6.5	2.0	4.0	1.6	0.3	-4.4	-7.3	-11.4
9	-16.0	-16.6	-12.1	-11.7	-3.6	0.9	5.9	2.6	0.8	1.3	-10.7	-12.7
10	-17.0	-18.3	-11.0	-9.4	-3.8	2.5	3.9	4.8	-5.0	-2.0	-5.2	-10.8
旬总数	-161.2	-174.6	-135.6	-72.7	-47.0	34.2	36.7	36.6	9.4	-47.3	-98.6	-120.7
旬平均	-16.1	-17.5	-13.6	-7.3	-4.7	3.4	3.7	3.7	0.9	-4.7	-10.0	-12.1
11	-20.8	-16.7	-7.6	-5.5	-4.4	3.6	4.3	5.6	-5.8	-2.1	-6.7	-10.8
12	-17.0	-14.5	-14.5	-5.5	-4.9	1.8	5.4	7.3	-4.4	-1.7	-6.2	-13.9
13	-17.7	-13.9	-14.4	-3.0	-2.1	2.4	6.8	10.0	-5.5	-0.6	-7.2	-16.2
14	-14.2	-15.5	-15.0	-0.5	-0.3	6.7	9.0	11.0	-4.2	0.5	-10.0	-11.2
15	-12.5	-15.9	-14.8	0.3	-1.9	3.7	9.8	5.1	-0.3	-0.1	-7.5	-11.0
16	-15.5	-17.3	-14.3	0.4	-2.3	4.8	10.1	4.4	-1.3	-1.9	-5.7	-13.6
17	-14.9	-17.5	-13.8	1.4	-0.5	0.5	9.0	3.8	-0.3	-6.5	-12.4	-16.5
18	-15.1	-15.9	-14.0	-2.7	-0.6	-2.5	4.8	-0.2	0.9	-10.0	-15.1	-11.8
19	-12.0	-15.5	-17.7	-4.3	2.0	-3.6	5.9	-1.1	-0.4	-13.7	-9.8	-19.3
20	-13.2	-16.3	-21.7	-5.5	4.1	4.9	7.2	4.3	2.0	-8.7	-10.2	-15.6

表 6 (续)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	旬总数	-152.9	-159.0	-147.8	-24.9	-10.9	19.3	72.3	50.2	-19.3	-44.8	-90.7	-139.9
旬平均	-15.3	-15.9	-14.8	-2.5	-1.1	1.9	7.2	5.0	-1.9	-4.5	-9.1	-14.0	
21	-14.9	-14.9	-19.7	-9.1	4.8	4.0	6.2	5.0	-0.4	-4.6	-1.1	-15.9	
22	-13.5	-16.9	-16.4	-2.0	3.2	2.0	5.9	5.1	-3.2	-4.1	-11.4	-12.1	
23	-12.2	-12.7	-12.7	-1.5	3.0	1.9	2.1	5.8	-3.0	-5.4	-9.8	-9.1	
24	-9.9	-11.0	-10.1	0.2	1.6	1.2	1.9	4.8	-3.0	-6.6	-7.8	-10.2	
25	-9.5	-10.9	-9.8	0.5	3.1	4.7	5.6	3.4	-1.0	-10.6	-8.2	-15.9	
26	-9.0	-3.4	-7.4	-3.6	3.7	4.3	6.6	2.4	-2.7	-5.4	-8.4	-14.8	
27	-12.1	-8.9	-8.4	-3.5	3.4	6.2	4.8	3.6	-1.0	-4.4	-5.2	-15.6	
28	-12.3	-9.4	-9.1	-2.9	-2.6	7.6	7.4	4.3	0.9	2.9	-8.7	-14.7	
29	-11.3	-12.0	-8.7	1.1	-2.2	7.6	7.6	3.3	-0.7	-1.7	-9.3	-11.8	
30	-6.4		-11.4	-3.0	-1.0	7.4	6.0	7.9	-5.6	-2.7	-9.4	-13.8	
31	-14.1		-9.7		0.3		4.7	8.4		-6.4		-9.3	
旬总数	-125.2	-94.1	-123.4	-20.8	7.3	46.9	58.8	54.0	-19.7	-54.2	-89.2	-143.2	
旬平均	-11.4	-10.5	-11.2	-2.1	1.6	4.7	5.3	4.9	-2.0	-4.9	-8.9	-13.0	
月统计	总数	-439.3	-400.7	-406.8	-118.4	-40.6	100.4	167.8	140.8	-29.6	-146.3	-278.5	-403.8
	平均	-14.2	-13.8	-13.1	-3.9	-1.3	3.3	5.4	4.5	-1.0	-4.7	-9.3	-13.0
	最高	-4.0	-0.9	-2.2	7.2	11.2	16.3	17.4	16.9	12.7	5.5	0.0	-4.0
	日期	25	26	26	17	21	6	14	13	2	6	2	1
	最低	-23.2	-23.1	-28.2	-19.4	-17.5	-6.4	-2.7	-9.2	-10.8	-20.0	-25.9	-26.0
	日期	11	5	20	10	5	19	6	19	11	19	6	19
年统计	最高气温 17.4 (7月14日)					最低气温 -28.2 (3月20日)					平均气温 -5.1		

表7 天山冰川观测试验站基本营地 1992 年逐日平均气温表 (°C)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-12.5	-12.0	-8.4	4.8	4.9	8.5	14.3	9.3	7.9	-2.9	-5.9	-6.3
2	-10.5	-12.7	-5.5	4.3	5.4	9.0	13.4	7.3	7.5	-4.3	-4.0	-5.8
3	-13.9	-10.5	-6.9	4.2	0.1	8.0	9.7	10.2	5.1	-2.4	-1.1	-8.9
4	-14.2	-11.4	-4.5	4.0	-3.0	10.8	5.6	12.3	4.3	0.8	-3.8	-10.3
5	-10.7	-13.3	-8.4	0.4	-0.3	13.1	7.9	13.0	6.1	3.1	-8.6	-13.4
6	-13.6	-12.9	-7.8	-2.4	5.2	14.0	10.3	11.3	7.6	4.2	-14.7	-11.6
7	-13.8	-10.1	-6.3	-1.8	4.8	13.7	10.2	11.1	9.8	2.6	-11.2	-11.0
8	-12.8	-10.3	-5.2	-0.7	1.7	10.4	10.6	9.7	10.3	0.6	-3.4	-9.2
9	-13.0	-9.0	-4.0	-2.9	4.4	9.5	12.3	10.7	10.4	0.8	-5.2	-8.2
10	-11.5	-10.4	-5.9	-3.6	3.2	9.7	10.5	11.3	5.7	2.4	-3.2	-9.6
旬总数	-126.5	-112.6	-62.9	6.3	26.4	106.7	104.8	106.2	74.7	4.9	-61.1	-94.3
旬平均	-12.7	-11.3	-6.3	0.6	2.6	10.7	10.5	10.6	7.5	0.5	-6.1	-9.4
11	-13.9	-9.4	-4.8	2.3	5.9	10.7	10.7	13.3	4.4	2.6	-2.4	-9.0
12	-12.3	-8.3	-6.2	-4.4	1.9	8.9	12.7	12.9	4.9	4.9	0.9	-7.3
13	-13.8	-5.4	-7.7	5.4	5.1	10.4	13.0	14.2	3.5	6.2	-2.5	-10.4
14	-12.0	-9.9	-8.4	7.8	7.4	12.6	14.8	14.2	3.2	3.5	-5.7	-9.9
15	-5.5	-10.9	-7.6	7.7	7.4	10.9	16.5	11.0	5.2	3.7	-4.0	-10.3
16	-10.5	-9.7	-5.1	5.9	6.4	10.3	17.8	11.4	4.9	3.2	-3.1	-9.8
17	-10.4	-9.8	-5.1	8.5	7.7	8.2	15.6	9.4	6.0	-0.5	-7.3	-12.4
18	-10.8	-9.4	-5.2	3.5	8.2	5.2	13.3	7.3	7.5	-4.4	-8.4	-8.7
19	-10.2	-10.0	-9.5	4.0	11.1	6.9	12.5	8.6	10.6	-5.5	-9.4	-15.0
20	-7.9	-8.8	-12.7	1.6	11.0	10.0	13.4	10.0	7.9	-5.2	-6.3	-14.9

表 7 (续)

日	月												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
旬总数	-107.3	-91.6	-72.3	51.1	72.0	94.1	140.3	112.3	58.1	8.5	-48.3	-107.7	
旬平均	-10.7	-9.2	-7.2	-5.1	7.2	9.4	14.0	11.2	5.8	0.9	-4.8	-10.8	
21	-9.5	-7.7	-12.2	3.3	11.4	10.4	12.3	11.4	6.1	-0.9	-8.4	-12.8	
22	-10.3	-6.8	-10.1	6.0	10.9	11.7	11.2	12.7	2.7	0.6	-8.2	-12.3	
23	-9.4	-7.1	-6.5	-5.2	9.6	9.5	10.1	11.2	3.8	0.4	-7.4	-10.1	
24	-8.1	-5.8	-2.7	7.8	8.9	9.3	9.4	9.7	5.1	-0.8	-5.0	-6.0	
25	-5.1	-3.5	-4.3	-5.4	11.8	11.4	12.0	9.7	4.5	-2.0	-4.0	-9.7	
26	-9.7	0.4	-4.0	4.9	11.6	12.6	12.3	8.5	3.0	-2.7	-4.6	-15.1	
27	-9.2	-3.7	-1.4	4.3	7.4	13.7	11.5	10.4	4.8	-0.7	-5.4	-14.9	
28	-11.1	-6.9	-0.6	5.4	5.3	15.3	12.5	10.5	6.6	-0.3	-6.6	-13.9	
29	-11.3	-7.7	-0.9	6.6	7.6	17.2	14.6	9.8	4.4	1.6	-8.9	-12.6	
30	-6.5		-1.5	8.3	7.3	14.6	11.5	12.8	0.5	1.6	-6.6	-9.4	
31	-9.2		0.0		8.2		8.6	11.8		-2.2		-13.2	
旬总数	-99.4	-48.8	-44.2	57.2	100.0	125.7	126.0	118.5	41.5	-5.4	-64.5	-130.0	
旬平均	-9.0	-5.4	-4.0	5.7	9.1	12.6	11.5	10.8	4.2	-0.5	-6.5	-11.8	
月统计	总数	-333.2	-25.3	-179.4	114.6	198.4	326.5	371.1	337.0	174.3	8.0	-173.8	-332.0
	平均	-10.7	-8.7	-5.8	3.8	6.4	10.9	12.0	10.9	5.8	0.3	-5.8	-10.7
	最高	6.7	12.9	11.7	19.6	21.7	25.6	25.9	25.0	23.0	19.4	13.0	6.0
	日期	25	26	31	15	25	7	16	13	1	10	3	1
	最低	-21.6	-20.8	-19.5	13.2	-9.1	0.9	0.5	-0.4	-4.9	-12.2	-20.0	-19.8
	日期	12	7	20	10	5	2	4	28	16	3	6	27
年统计	最高气温 25.9 (7月16日)					最低气温 -20.8 (2月7日)					平均气温 0.7		

表 8 (续)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19							4.0					
20							0.2					
21						2.0	0.1					
22						0.2						
23					1.2	7.7	3.5	1.0				
24					7.0		5.0	1.0				
25												
26					5.5	0.6	3.3	2.1				
27					1.0		4.0					
28					9.3	0.1		8.6				
29						1.1	2.2					
30					0.1		8.0					
31												
总 量	1.2	7.6	8.7	30.9	62.3	79.4	118.7	54.4	9.0	11.1	1.2	3.5
降水日数					18	21	23	17				
最大日降水量					8.3	16.6	35.6	12.9				
日 期					1	11	3	10				
年 统 计	降水量: 388.0; 日最大降水量: 35.6; 日最大降水日期: 7月3日											
备 注	1—4月和9—12月因每星期观测一次, 故只计月降水总量。											

表9 乌鲁木齐河源空冰斗水文点 1992年逐日降水量表 (mm)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					8.8	1.7		4.2				
2					5.8	1.3	11.6					
3					6.8	5.9	38.5					
4					4.1		11.8					
5						2.1	6.6	7.6				
6							0.7					
7					5.9	0.3	7.8	9.2				
8					0.0	20.3	0.8					
9						0.1	1.2					
10					4.4	0.1	4.8	9.9				
11					0.7	13.1	1.4	1.2				
12						4.3		0.0				
13						0.2						
14					1.8	5.5						
15					4.4	4.0	2.4	1.5				
16						1.7	8.6					
17						0.0	0.0	4.5				
18					0.1	13.9	7.2					

表 9 (续)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19							2.0					
20							0.0					
21						2.1	0.9					
22						0.0						
23					1.5	9.4	3.3					
24					9.3		4.0					
25								0.1				
26					6.7	0.5	2.4	2.6				
27					1.6		2.8					
28					13.7			11.5				
29						0.5	0.0					
30					0.2		4.6					
31							0.3					
总 量	0.9	6.7	8.8	33.6	75.8	87.0	123.7	52.3	7.2	9.6	1.0	2.7
降水日数					17	21	24	11				
最大日降水量					13.7	20.3	38.5	11.5				
日 期					28	8	3	28				
年 统 计	降水量: 409.3; 日最大降水量: 38.5; 日最大降水量日期: 7月3日											
备 注	1—4月和9—12月因每星期观测一次, 故只计月降水总量											

表 10 乌鲁木齐河源总控制水文点 1992 年逐日降水量表 (mm)

月 \ 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					9.2	0.5		3.1				
2					4.3	0.5	11.6					
3					4.0	1.8	30.1					
4					6.8	0.0	12.3	0.0				
5							6.4	2.4				
6							1.1					
7					5.7	0.2	5.8	7.6				
8					0.0	13.0	1.0					
9						0.0	1.4	0.0				
10					3.5	0.3	2.6	4.7				
11					0.9	15.5	0.2	0.8				
12						3.6	1.0					
13						0.0						
14					1.4	5.2						
15					1.9	5.5	0.8					
16						0.5	1.0					
17						0.0	3.5					
18						14.0	5.5	6.6				

表 10 (续)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19							1.4					
20							0.0					
21						2.0	0.5	0.0				
22						0.3						
23					0.6	10.0	2.8	0.0				
24					5.3		1.8	0.0				
25					0.0							
26					1.4	0.7	0.0	3.8				
27					1.4							
28					10.5			3.6				
29						0.0						
30						0.0	2.0					
31												
总 量	1.5	4.2	7.7	36.0	56.9	24.3	92.8	32.6	9.2	9.7	1.6	2.3
降 水 日 数					16	22	22	13				
最大日降水量					10.5	14.0	30.1	7.6				
日 期					28	18	3	7				
年 统 计	降水量: 328.8; 日最大降水量: 38.5; 日最大降水日期: 7月3日											
备 注	1—4月和9—12月因每星期观测一次, 故只有月降水总量											

表 11 天山冰川观测试验站基本营地 1992 年逐日降水量表 (mm)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					0.6	4.0	0.3	2.8	1.7	1.7	0.6	
2			0.8		5.4		6.6					
3						4.7	5.7		0.1			
4					4.9	0.3	26.2					0.6
5	0.7		0.2	13.8			4.7	0.0			2.2	
6	0.6	0.0		0.7		2.3	2.1	6.0				
7					0.1	0.2	1.9	4.5				
8				0.0	4.6	15.8	17.5	3.5		0.0		
9				5.2		1.9						
10					0.6		2.0		8.6			
11	0.1					0.2		5.4				
12					5.8	9.9						1.0
13			0.4								2.0	0.8
14			0.6			0.2						
15					4.0	4.7		0.2				
16												0.0
17						4.6	7.6	1.0		0.1		
18			0.0			10.4	4.7	7.5		2.0		

表 11 (续)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19			3.4			4.4	0.6	1.3	1.5	0.4		0.1
20				5.5			1.5					
21							5.6		2.5			
22						2.1	5.0		0.4			
23					0.6	10.4	6.7	1.0	0.4			
24					2.8	4.4	3.1	2.7				
25			0.0	4.0			2.1	0.3	0.2	1.6		2.8
26				1.9	1.6		2.5	0.3	1.2			
27		0.8		0.5			3.9		0.2			
28	0.0	1.1		3.7	3.8			1.4				
29		1.2			2.0		0.1	7.2	4.3			
30			0.8	10.9			10.8		2.1			0.3
31							1.9			3.2		
总 量	1.4	3.1	6.2	38.4	35.8	81.9	123.1	45.1	23.2	9.0	4.8	5.6
降水日数	4	4	8	10	13	17	23	16	12	7	3	7
最大日降水量	0.7	1.2	3.4	13.8	5.4	15.8	26.2	7.5	8.6	3.2	2.2	2.8
日 期	5	29	19	5	2	2	4	18	10	31	5	25
年 统 计	降水量: 377.6; 降水日数: 124; 日最大降水量: 26.2; 日最大降水量日期: 7月4日											

表 12 乌鲁木齐河源 1 号冰川水文点 1992 年逐日平均相对湿度表 (%)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					79	60	69	62				
2					83	59	80	62				
3					89	82	99	49				
4					85	61	91	54				
5					51	37	91	70				
6					38	56	84	55				
7					75	70	54	82				
8					81	97	64	84				
9					44	84	52	79				
10					74	84	84	71				
旬总数					699	690	768	668				
旬平均					70	69	77	67				
11					59	83	47	69				
12					68	73	59	42				
13					36	70	50	40				
14					52	61	47	62				
15					80	81	58	87				
16					61	72	57	55				
17					50	87	58	68				
18					49	89	75	71				
19					43	73	65	54				
20					43	54	58	46				

表 12 (续)

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
旬	总数					541	763	574	594				
旬	平均					54	76	57	59				
	21					47	67	71	51				
	22					57	76	58	64				
	23					53	85	80	68				
	24					61	77	72	62				
	25					59	52	36	66				
	26					70	69	53	78				
	27					46	58	81	58				
	28					91	50	61	72				
	29					77	62	68	59				
	30					65	67	72	53				
	31					68		64	58				
	旬总数					694	663	716	689				
	旬平均					63	66	65	69				
月统计	总数					1934	2116	2058	1951				
	平均					62	71	66	63				
	最小					17	23	18	27				
	日期					13	5	11	16				
备注		湿度仅在冰川消融期观测											

表 13 乌鲁木齐河源空冰斗水文点 1992 年逐日平均相对湿度表 (%)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					83	64	70	63				
2					86	65	77	58				
3					93	85	97	32				
4					82	62	93	47				
5					42	33	84	65				
6					31	54	85	53				
7					74	51	52	74				
8					87	94	66	85				
9					41	76	50	84				
10					76	72	91	73				
旬总数					695	656	765	634				
旬平均					70	66	77	63				
11					64	62	54	71				
12					69	88	60	37				
13					32	64	58	30				
14					59	64	52	55				
15					76	95	62	80				
16					55	69	64	52				
17					52	88	59	68				
18					46	91	72	67				
19					38	69	61	46				
20					39	43	50	40				

表 13 (续)

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日	旬总数					530	733	592	546				
	旬平均					53	73	59	55				
	21					42	63	67	43				
	22					57	79	51	61				
	23					50	87	76	64				
	24					63	79	71	62				
	25					54	52	37	58				
	26					66	67	44	76				
	27					44	48	73	54				
	28					96	32	50	69				
	29					78	50	60	52				
	30					68	56	66	50				
	31					70		61	55				
	旬总数					688	613	656	644				
	旬平均					63	61	60	59				
月统计	总数					1913	2002	2013	1824				
	平均					62	67	65	59				
	最小					12	18	11	14				
	日期					5	28	26	3				
备注		湿度仅在冰川消融期观测											

表 14 乌鲁木齐河源总控制水文点 1992 年逐日平均相对湿度表 (%)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					79	71	63	63				
2					80	60	81	70				
3					89	87	97	58				
4					85	68	93	57				
5					44	45	89	69				
6					38	63	79	60				
7					69	64	47	85				
8					77	94	58	83				
9					40	79	56	81				
10					81	73	78	66				
旬总数					682	704	741	692				
旬平均					68	70	74	69				
11					61	64	52	69				
12					71	83	65	48				
13					51	64	54	44				
14					66	58	60	54				
15					77	82	68	81				
16					60	69	70	64				
17					55	93	68	67				
18					47	96	91	68				
19					48	75	66	72				
20					51	41	65	46				

表 14 (续)

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		旬总数					587	725	659	613			
旬平均						59	73	66	61				
21						41	55	70	50				
22						53	75	61	54				
23						57	89	82	65				
24						64	82	78	58				
25						53	53	62	61				
26						67	69	62	70				
27						54	53	82	51				
28						91	50	61	62				
29						75	57	71	59				
30						65	61	77	48				
31						70		67	53				
旬总数						690	644	773	631				
旬平均						63	64	70	57				
月统计	总数					1959	2073	2173	1936				
	平均					63	69	70	62				
	最小					14	19	24	26				
	日期					6	25	11	3				
备注	湿度仅在冰川消融期观测												

表 15 天山冰川观测试验站基本营地 1992 年逐日平均相对湿度表 (%)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	48	68	77	43	82	71	71	80	84	83	79	54
2	49	54	65	50	82	70	83	82	65	75	62	56
3	62	48	52	61	85	85	90	65	77	61	47	86
4	62	69	48	68	86	62	89	61	68	58	63	82
5	63	62	73	89	62	57	83	64	64	51	87	76
6	85	49	61	70	61	62	77	72	61	55	71	59
7	80	38	46	59	72	74	74	72	59	62	78	51
8	73	49	41	68	83	84	73	83	61	76	52	59
9	75	60	45	81	64	76	62	73	59	69	56	57
10	69	58	61	63	72	72	76	70	78	64	53	58
旬总数	666	555	569	652	749	713	778	792	676	654	648	648
旬平均	67	56	57	65	75	71	78	79	68	65	65	65
11	82	67	63	51	57	70	67	72	72	61	59	58
12	56	47	77	50	72	76	64	64	71	57	63	68
13	59	30	75	56	55	74	66	59	72	58	86	86
14	56	65	77	51	55	72	61	64	70	67	80	79
15	42	68	65	49	70	82	65	82	61	56	71	71
16	58	52	55	69	63	81	59	68	62	58	73	76
17	54	59	59	61	47	47	70	70	59	82	71	75
18	58	59	67	75	46	84	81	88	57	81	56	52
19	50	53	78	70	34	68	67	72	52	70	63	68
20	52	40	57	82	38	60	68	65	62	65	54	69

表 14 (续)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	旬总数	567	540	673	614	537	744	668	704	638	655	676	702
旬平均	57	54	67	61	54	74	67	70	64	66	68	70	
21	51	31	64	57	39	67	74	57	82	55	55	57	
22	49	28	56	46	53	63	77	54	75	58	61	58	
23	49	35	48	48	69	78	77	71	69	55	58	57	
24	45	46	50	50	74	81	79	84	65	62	53	61	
25	47	33	65	66	59	65	64	72	63	71	56	85	
26	61	33	54	79	60	60	73	80	73	56	59	84	
27	58	68	51	75	81	60	84	69	65	57	47	78	
28	96	78	55	72	82	57	73	73	52	56	56	74	
29	66	78	67	65	64	43	64	78	75	55	78	73	
30	54		66	74	59	62	75	70	85	55	58	71	
31	61		56		56		86	68		70		73	
旬总数	637	430	632	632	696	636	826	776	704	647	583	771	
旬平均	58	48	58	63	63	64	75	71	70	59	58	70	
月统计	总数	1870	1525	1874	1898	1982	2093	2272	2272	2018	1956	1907	2121
	平均	60	53	60	63	64	70	73	73	67	63	64	68
	最小	17	8	10	10	17	19	24	24	18	10	14	21
	日期	12	20	8	14	18	28	16	12	24	5	3	18
年统计	平均: 65; 最小值: 8; 最小值出现日期: 2月20日												

注: 表 1—15 由杨新元、韩添丁制表, 刘潮海校核。

乌鲁木齐河源 1 号冰川表面运动速度和冰舌进退变化(1991—1992)

陈要武 孙作哲

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

冰面流速点分布及其观测情况:东西支冰川自冰舌向粒雪盆各布设 8 排断面。东支冰川 a'—d'排和西支冰川 a 排流速点是从控制点基 V—VI 观测,西支冰川 b—d 排流速点是从控制点基 V—VII 观测,东西支冰川其余流速点均从控制点基东—基西观测。这样布局是从 3 条控制基线上观测,主要是为了保证前方交会的图形强度,使交会角不大于 140° ,也不小于 20° 。从流速点分布情况看,粒雪盆的流速点偏少,主要因为粒雪盆 H 排以上积雪较厚,树立的花杆容易倾斜和倒掉。

根据王纯足本年冰川物质平衡观测结果,零平衡线约在东支冰川 d'—e'排之间,西支冰川在 F 排。了解零平衡的位置对分析运动速度场的分布状况是必要的。

流速点的观测:继 1991 年 9 月中旬观测之后,又于 1992 年 6 月初、8 月底,对插入冰内的以花杆为标志的流速点,进行经纬仪前方交会的重复观测。这样得到冬季、夏季和全年的冰川运动速度。经过计算整理,表 1 为年运动速度,年流速是由 1991 年 9 月中旬至 1992 年 8 月底,两次观测求出的平均日流速乘 365 天而得;表 2 为冬季运动速度;表 3 为夏季运动速度;表 4 为冬季和夏季流速比较。

为了资料完整和以后进一步分析运动速度时方便,我们将当年流速点的座标值编成表 5。表中 Z 为冰面海拔。

主要资料说明:座标系统 x 为纵座标; y 为横座标; z 为竖直方向的座标; U_x 、 U_y 、 U_z 分别为平行于 x 、 y 、 z 轴的速度分量; U_{xy} 为速度水平分量 ($U_{xy} = (U_x^2 + U_y^2)^{1/2}$),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_s/a 为计算后的年流速。

对本年度运动速度的分析:在计算、整编运动速度过程中,经过简单分析和比较,得到以下结果:

(1) 从表 1 中可以看出,东支冰川流速最大值为 f_4 点,年流速为 5.55 m,说明该年度东支冰川雪线以下的速度高速区,由原来的 d 断面、e 断面后移到 f 断面。西支冰川流速最大值为 e_3 点,这和上年度点位相同,年流速为 7.63 m。

(2) 将表 1 中的运动速度和上年度作一比较,可以看出:东支冰川 a'—e'排除 e_4 点外流速都有所降低,其中大多数点降低甚微,只有 d 排流速降低明显,达到 0.5 m 左右;从 f 排以上流速都有增加,且增速幅度明显,尤其 f1 和 h1 年流速分别增加 1.43 m 和 1.35 m。西支冰川全部流速点的年流速都有所降低,冰舌末端 A 点年流速为 0.80

m, 比上年度降低 1.10 m。b3, g1, g+1 比上年度年流速分别降低 1.46, 0.59 和 0.48 m。西支冰川全部流速点速度降低, 而且其中一些点减速幅度较大, 这种现象是几年来所未有的。

(3) 从表 4 明显看出: 东支冰川 d'排以下夏季流速小于冬季, e'排以上夏季流速大于冬季; 西支冰川夏季流速大于冬季流速。

根据以上情况和往年积累资料得到: 1 号冰川夏季和冬季的运动速度不一样, 但并不全是夏季流速大于冬季流速, 年际间有变化。

冰舌末端的运动速度和消融强度决定冰舌末端的进退状况。1 号冰川末端进退仍采用以前的方法, 从 5 个固定点对冰舌末端 9 个部位进行观测, 其结果见表 6。从表 6 看到该年度冰舌末端平均后退 3.44 m/a。此值是近 5 年来冰舌退缩速度较小的一年, 它和当年观测到的冰川物质正平衡一致。这样的退缩速度和 1989—1990 年度的退缩速度基本相同, 也和 1973—1980 年的平均退缩速度近似。

表1 年运动速度

点 名	观测日期: 1991.9.15—1992.8.30					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	U_z (m)	α (° ')	U_s/a (m/a)
a'2	0.679	2.599	2.686	0.20	75 22	2.81
a'3	0.209	3.854	3.860	0.24	86 54	4.02
b'+2	0.995	2.376	2.576	-0.37	67 17	2.70
b'1	0.399	0.403	0.567	0.17	45 14	0.58
b'2	1.368	2.717	3.042	0.05	63 16	3.18
b'3	1.203	4.216	4.481	0.11	74 25	4.67
b'4	1.491	4.064	4.329	-0.13	69 51	5.43
c'+1	0.695	0.796	1.057	0.10	48 52	1.10
c'+2	2.006	3.658	4.172	0.16	61 15	4.34
c'1	1.328	1.417	1.942	0.18	46 52	2.01
c'2	2.866	4.039	4.952	-0.25	54 39	3.15
c'3	2.859	4.039	4.948	-0.63	54 42	5.15
c'4	2.430	3.177	4.000	-0.67	52 35	4.17
d'1	1.623	0.827	1.821	-0.06	26 59	1.90
d'2	4.070	1.857	4.473	-0.24	24 32	4.67
d'3	4.429	2.022	4.868	-0.03	24 32	4.67
d'4	4.216	1.976	4.652	-0.06	25 01	4.85
d'5	2.101	0.540	2.169	-0.86	14 25	2.26
a1	-0.414	0.641	0.763	1.34	122 52	0.80
b1	-0.133	2.059	2.063	0.38	93 43	2.15
b2	-1.862	3.413	3.888	0.19	118 37	4.05
b3	-2.860	4.389	5.238	-0.38	123 05	5.11
c1	-0.347	2.491	2.515	-0.02	97 56	2.63
c2	-1.147	6.375	6.477	-0.92	100 12	6.75
c3	-2.689	5.967	6.545	-1.09	114 16	6.83
d1	0.073	0.985	0.988	0.02	85 47	1.02
d2	0.219	6.084	6.088	-0.61	87 56	6.35
d3	0.470	7.836	7.850	-1.16	86 34	8.18
d4	1.026	7.272	7.344	-1.71	81 58	7.66
d5	1.404	5.754	5.923	-1.54	76 17	6.17
e'1	2.517	0.363	2.543	-0.45	8 12	2.63
e'2	4.695	0.698	4.747	-0.89	8 28	4.93
e'3	5.083	0.715	5.133	-0.97	8 01	5.33
e'4	5.141	0.600	5.176	-0.91	6 39	5.37
e'5	3.948	0.091	3.949	-0.94	1 20	4.09

表 1 (续)

点 名	观测日期: 1991.9.15—1992.8.30					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	U_z (m)	α (° ′)	U_s/a (m/a)
f'1	2.434	0.604	2.507	-0.53	13 56	2.59
f'2	4.345	0.868	4.431	-0.86	11 18	4.60
f'3	4.614	0.895	4.700	-0.89	10 59	4.89
f'4	5.373	0.831	5.337	01.21	8 57	5.55
f'5	4.557	0.451	4.580	-1.43	5 39	4.74
g'1	1.829	0.652	1.942	-0.19	19 37	2.01
g'2	3.706	1.142	3.877	-0.55	17 07	4.02
g'3	4.526	1.346	4.722	-0.80	16 34	4.89
g'4	4.654	1.243	4.817	-0.96	14 57	5.00
g'5	4.508	0.607	4.548	-1.33	7 -40	4.71
h'1	2.747	1.905	3.342	-0.91	34 44	3.47
h'2	6.200	-1.305	6.336	0.13	348 07	6.57
e1	0.637	2.467	2.548	-0.09	75 31	2.63
e2	1.636	6.958	7.148	-1.19	76 46	7.41
e3	2.263	6.992	7.349	-1.68	72 04	7.63
e4	2.575	6.629	7.111	-1.59	68 46	7.37
e5	2.045	4.354	4.810	-0.67	64 50	5.00
f1	1.887	3.870	4.306	-0.93	64 00	4.45
f2	2.662	5.503	6.113	-0.98	64 11	6.35
f3	2.798	5.619	6.277	-0.93	63 31	6.50
f4	2.719	5.402	6.048	-0.95	63 17	6.28
f5	2.361	4.324	4.927	-1.03	61 22	5.11
g+1	1.534	3.712	4.017	-0.33	67 33	4.16
g+2	2.524	5.636	6.175	-0.73	65 53	6.39
g1	1.092	2.252	2.503	-0.09	64 09	2.59
g2	2.461	5.301	5.844	-0.69	65 06	6.06
g3	2.524	5.247	5.822	-0.98	64 19	6.02
g4	2.610	4.875	5.530	-1.22	61 50	5.73
g5	2.503	3.113	3.994	-0.71	51 11	4.12
h1	2.775	4.147	4.990	-0.66	56 12	5.18
h2	3.393	5.327	6.316	-0.86	57 31	6.53
h3	3.265	5.401	6.311	-1.13	58 51	6.53
h4	2.911	5.101	5.877	-1.38	58 51	6.10
h5	3.075	4.771	5.676	-1.63	57 12	5.88

表2 冬季运动速度

点 名	观测日期: 1991. 9. 15—1992. 5. 27				
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	U_z (m)	α (° ')
a'2	0.504	2.145	2.204	-1.88	76 47
a'3	0.368	2.720	2.744	0.14	82 17
b'+2	0.813	1.766	1.994	-0.06	65 18
b'1	0.328	0.290	0.438	0.10	41 27
b'2	0.847	1.840	2.026	0.06	65 18
b'3	1.028	3.042	3.211	0.07	71 20
b'4	1.202	2.972	3.205	-0.13	67 59
c'+1	0.622	0.680	0.922	0.04	47 33
c'+2	1.413	2.692	3.040	0.10	62 18
c'1	1.160	1.150	1.634	0.12	44 45
c'2	2.180	3.103	3.793	-0.19	54 54
c'3	2.170	3.028	3.725	-0.51	54 23
c'4	1.991	2.448	3.155	-0.76	50 53
d'1	1.215	0.561	1.338	-0.07	24 47
d'2	2.246	1.413	3.540	-0.22	23 31
d'3	3.511	1.562	3.843	-0.06	23 59
d'4	3.203	1.464	3.522	0.05	24 33
d'5	1.841	0.535	1.917	-1.09	16 12
西支 a	-0.323	0.496	0.592	-0.03	123 04
b1	-0.367	1.397	1.445	0.32	104 44
b2	-1.295	2.447	2.769	0.13	117 54
b3	-2.099	3.073	3.722	-0.29	124 20
c1	-0.182	1.916	1.925	-0.03	95 26
c2	-0.802	4.617	4.686	-0.69	99 51
c3	-2.006	4.299	4.744	-0.79	115 01
d1	0.261	1.153	1.182	-0.75	77 15
d2	0.164	4.384	4.387	-0.45	87 52
d3	0.273	5.423	5.430	-0.79	87 07
d4	0.808	5.258	5.320	-1.25	81 16
d5	1.198	4.136	4.307	-1.10	73 51
e'1	1.693	0.224	1.708	-0.35	7 35
e'2	3.424	0.548	3.467	-0.66	9 06
e'3	3.164	0.421	3.192	-0.75	7 35
e'4	3.422	0.405	3.446	-0.74	6 45

表 2 (续)

点 名	观测日期: 1991. 9. 14—1992. 6. 1				
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	U_z (m)	α (° ')
e'5	2.749	0.086	2.751	-0.69	1 48
f'1	1.299	0.235	1.320	-0.41	10 15
f'2	2.995	0.615	3.058	-0.63	11 36
f'3	3.247	0.635	3.308	-0.70	11 04
f'4	3.675	0.553	3.716	-0.96	8 33
f'5	2.979	0.221	2.987	-1.08	4 15
g'1	0.832	0.297	0.883	-0.12	19 37
g'2	2.548	0.899	2.702	-0.42	19 25
g'3	2.737	0.836	2.862	-0.69	16 59
g'4	2.948	0.885	3.078	-0.70	16 44
g'5	2.714	0.305	2.731	-0.96	6 24
h'1	1.285	1.297	1.825	-0.64	45 16
e1	0.421	0.788	1.837	-0.12	76 45
e2	0.994	4.989	5.087	-0.88	78 44
e3	1.517	5.118	5.338	-1.22	73 29
e4	1.904	4.873	5.232	01.10	68 40
e5	1.474	3.171	3.497	-0.52	65 04
f1	1.110	2.454	2.693	-0.72	65 40
f2	1.633	3.734	4.075	-0.73	66 23
f3	1.805	3.912	4.308	-0.64	65 14
f4	1.757	3.813	4.198	-0.75	65 16
f5	1.534	3.015	3.383	-0.79	63 02
g+1	0.881	2.200	2.370	-0.24	68 11
g+2	1.562	3.765	4.076	-0.55	67 35
g1	0.832	0.297	0.883	-0.12	19 37
g2	2.548	0.899	2.702	-0.42	19 37
g3	2.737	0.836	2.862	-0.69	16 59
g4	1.660	3.406	3.789	-0.95	64 01
g5	1.517	2.066	2.563	-1.13	53 43
h1	2.018	2.987	3.604	-0.56	55 58
h2	2.357	3.672	4.364	-0.60	57 18
h3	2.259	3.692	4.328	-0.83	58 33
h4	1.980	3.626	4.132	-1.00	61 22
h5	2.043	3.226	3.819	-1.13	57 40

表3 夏季运动速度

点 名	观测日期: 1992. 5. 27—1992. 8. 30				
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	U_z (m)	α ($^{\circ}$ ')
a'2	0.175	0.453	0.486	0.49	68 55
a'3	-0.159	1.134	1.146	0.09	97 59
b'+1	0.183	0.610	0.637	0.02	73 20
b'1	0.071	0.112	0.133	0.07	57 48
b'2	0.522	0.877	1.020	0.00	59 15
b'3	0.175	1.274	1.286	0.04	82 10
b'4	0.290	1.092	1.130	0.01	75 09
c'+1	0.073	0.116	0.137	0.06	57 50
c'+2	0.594	0.966	1.134	0.06	58 26
c'1	0.167	0.267	0.315	0.06	57 58
c'2	0.685	0.936	1.160	-0.06	53 47
c'3	0.689	1.011	1.224	-0.12	55 43
c'4	0.439	0.730	0.852	0.11	58 56
d'1	0.408	0.266	0.487	0.01	33 06
d'2	0.824	0.444	0.936	-0.03	28 20
d'3	0.918	0.460	1.026	0.02	26 37
d'4	1.013	0.503	1.131	0.00	26 25
d'5	0.260	0.006	0.260	0.23	1 13
西支 a	-0.091	1.145	0.171	-0.04	122 09
b1	0.248	0.735	0.776	0.07	71 21
b2	-0.567	0.996	1.120	0.06	120 24
b3	-0.761	1.315	1.519	-0.09	120 03
c1	-0.165	0.575	0.598	0.05	106 02
c2	-0.346	1.758	1.792	-0.23	101 07
c3	-0.683	1.668	1.802	-0.30	112 17
d1	-0.188	-0.168	0.252	0.77	328 20
d2	0.056	1.700	1.701	-0.16	88 08
d3	0.197	2.412	2.420	-0.37	85 20
d4	0.217	2.013	2.025	-0.46	83 50
d5	0.206	1.618	1.631	-0.44	82 44
e'1	0.824	0.138	0.835	-0.10	9 32
e'2	1.272	0.151	1.281	-0.23	6 45
e'3	1.919	0.295	1.942	-0.22	8 44
e'4	1.718	0.195	1.730	-0.17	6 28

表 3 (续)

点 名	观测日期: 1992. 5. 27—1992. 8. 30				
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	U_z (m)	α (° ')
e'5	1.199	0.005	1.199	-0.25	0 14
f'1	1.135	0.369	1.193	-0.1	18 02
f'2	1.350	0.253	1.373	-0.23	10 38
f'3	1.367	0.261	1.392	-0.20	10 48
f'4	1.597	0.278	1.621	-0.24	9 53
f'5	1.579	0.230	1.595	-0.35	8 18
g'1	0.997	0.356	1.058	-0.07	19 37
g'2	1.157	0.243	1.182	-0.13	11 52
g'3	1.789	0.511	1.860	-0.11	15 57
g'4	1.705	0.358	1.742	-0.25	11 51
g'5	1.793	0.303	1.819	-0.37	9 25
b'1	1.462	0.608	1.583	-0.27	22 35
e1	0.244	0.709	0.749	0.04	71 00
e2	0.642	1.969	2.071	-0.31	71 56
e3	0.746	1.874	2.017	-0.46	68 18
e4	0.671	1.755	1.879	-0.48	69 04
e5	0.571	1.182	1.313	-0.15	64 14
f1	0.778	1.417	1.616	-0.21	61 14
f2	1.079	1.769	2.046	-0.26	59 49
f3	0.994	1.707	1.975	-0.21	59 49
f4	0.962	1.589	1.858	-0.20	58 49
f5	1.270	1.589	2.034	-0.23	51 21
g+1	0.653	1.512	1.647	-0.09	66 38
g+2	0.962	1.871	2.104	-0.18	62 47
g1	0.291	0.772	0.825	-0.02	69 21
g2	0.874	1.709	1.920	-0.20	62 55
g3	0.977	1.682	1.946	-0.22	59 51
g4	0.950	1.470	1.750	-0.26	57 07
g5	0.987	1.046	1.438	0.42	46 41
h1	0.758	1.160	1.386	-0.10	56 51
h2	1.035	1.655	1.952	-0.26	57 59
h3	1.006	1.709	1.983	-0.30	59 31
h4	0.930	1.480	1.748	-0.38	57 51
h5	1.033	1.545	1.858	-0.49	56 14

表 4 冬季和夏季流速比较表

点 名	观测日期		观测日期		夏、冬季 流速比 (K)
	1991.9.15—1992.5.27		1992.5.27—1992.8.30		
	运动距离 S (m)	流 速 U (cm / d)	运动距离 S (m)	流 速 U (cm / d)	
a'2	2.204	0.87	0.486	0.51	0.59
a'3	2.744	1.08	1.146	1.21	1.12
b'+2	1.944	0.77	0.637	0.67	0.87
b'1	0.438	0.17	0.133	0.14	0.82
b'2	2.026	0.80	1.020	1.07	1.34
b'3	3.211	1.26	1.286	1.35	1.07
b'4	3.205	1.26	1.130	1.19	0.94
c'+1	0.922	0.36	0.137	0.14	0.39
c'+2	3.040	1.20	1.134	1.19	0.99
c'1	1.634	0.64	0.315	0.33	0.52
c'2	3.793	1.49	1.160	1.22	0.82
c'3	3.725	1.47	1.224	1.29	0.88
c'4	3.155	1.24	0.852	0.90	0.73
d'1	1.338	0.53	0.487	0.51	0.96
d'2	3.540	1.40	0.936	0.99	0.71
d'3	3.843	1.51	1.026	1.08	0.72
d'4	3.522	1.39	1.131	1.19	0.86
d'5	1.917	0.75	0.260	0.27	0.36
a1	0.592	0.23	0.171	0.18	0.78
b1	1.445	0.57	0.776	0.82	1.44
b2	2.769	1.09	1.120	1.18	1.08
b3	3.722	1.47	1.519	1.60	1.09
c1	1.925	0.76	0.598	0.63	0.83
c2	4.868	1.84	1.792	1.89	1.03
c3	4.744	1.87	1.802	1.90	1.02
d1	1.182	0.47	0.252	0.27	0.57
d2	4.387	1.73	1.701	1.79	1.03
d3	5.430	2.14	2.420	2.55	1.19
d4	5.320	2.10	2.025	2.13	1.01
d5	4.307	1.70	1.631	1.72	1.01
e'1	1.708	0.66	0.835	0.92	1.39
e'2	3.467	1.34	1.281	1.41	1.05
e'3	3.192	1.23	1.942	2.13	1.73
e'4	3.446	1.33	1.730	1.90	1.43

表 4 (续)

点 名	观测日期		观测日期		夏、冬季 流速比 (K)
	1991.9.15—1992.5.27		1992.5.27—1992.8.30		
	运动距离 S (m)	流 速 U (cm/d)	运动距离 S (m)	流 速 U (cm/d)	
e'5	2.751	1.06	1.199	1.32	1.25
f'1	1.320	0.51	1.193	1.31	2.57
f'2	3.058	1.18	1.373	1.51	1.28
f'3	3.308	1.28	1.392	1.53	1.20
f'4	3.716	1.43	1.621	1.78	1.24
f'5	2.987	1.15	1.595	1.75	1.52
g'1	0.883	0.34	1.058	1.16	3.41
g'2	2.702	1.04	1.182	1.30	1.25
g'3	2.862	1.10	1.860	2.04	1.85
g'4	3.078	1.19	1.742	1.91	1.61
g'5	2.731	1.05	1.819	2.00	1.90
h'1	1.825	0.70	1.583	1.74	2.49
e1	1.837	0.71	0.749	0.82	1.15
e2	5.087	1.96	2.071	2.28	1.16
e3	5.338	2.06	2.017	2.22	1.08
e4	5.232	2.02	1.879	2.07	1.02
e5	3.497	1.35	1.313	1.44	1.07
f1	2.693	1.04	1.616	1.78	1.71
f2	4.075	1.57	2.046	2.25	1.43
f3	4.308	1.66	1.975	2.17	1.31
f4	4.198	1.62	1.858	2.04	1.26
f5	3.383	1.31	2.034	2.24	1.71
g+1	2.370	0.91	1.647	1.81	1.99
g+2	4.076	1.57	2.104	2.31	1.47
g1	1.683	0.65	0.825	0.91	1.40
g2	3.927	1.52	1.920	2.11	1.39
g3	3.885	1.50	1.946	2.14	1.43
g4	3.789	1.46	1.750	1.92	1.32
g5	2.563	0.99	1.438	1.58	1.60
h1	3.604	1.39	1.386	1.52	1.09
h2	4.364	1.68	1.952	2.15	1.28
h3	4.328	1.67	1.983	2.18	1.31
h4	4.132	1.60	1.748	1.92	1.20
h5	3.819	1.47	1.858	2.04	1.39

表5 流速点座标

点 名	观测日期: 1991.9.15—1992.8.30		
	座 标		
	x	y	z
a'2	5 148.12	3 790.52	3 264.44
a'3	5 094.30	3 792.31	3 264.93
b'4+2	5 194.26	3 693.73	3 288.01
b'1	5 247.42	3 614.87	3 293.05
b'2	5 193.16	3 644.03	3 299.42
b'3	5 122.07	3 667.00	3 299.91
b'4	4 988.87	3 683.54	3 310.12
c'1	5 197.99	3 484.51	3 325.65
c'2	5 142.38	3 524.23	3 325.26
c'1	5 122.01	3 370.53	3 351.93
c'2	5 072.99	3 455.83	3 345.55
c'3	5 011.30	3 507.94	3 340.14
c'4	4 929.63	3 575.81	3 340.63
d'1	4 887.51	3 164.65	3 393.47
d'2	4 864.90	3 237.68	3 394.17
d'3	4 828.24	3 307.40	3 395.54
d'4	4 793.10	3 371.89	3 395.71
d'5	4 725.13	3 483.34	3 408.67
a	5 282.77	3 457.00	3 387.83
b1	5 424.07	3 423.12	3 857.67
b2	5 398.21	3 414.09	3 857.55
b3	5 357.81	3 396.34	3 856.14
c1	5 460.03	3 342.21	3 874.10
c2	5 427.98	3 333.04	3 881.34
c3	5 384.86	3 369.97	3 868.04
d1	5 514.33	3 086.01	3 949.49
d2	5 464.73	3 105.62	3 944.61
d3	5 424.65	3 110.81	3 940.70
d4	5 359.37	3 980.10	3 946.30
d5	5 280.79	3 086.29	3 964.00
e'1	4 542.05	3 036.05	3 927.51
e'2	4 514.10	3 131.03	3 925.40
e'3	4 494.94	3 179.82	3 926.37
e'4	4 475.24	3 228.66	3 929.38
e'5	4 435.84	3 301.61	3 939.01

表 5 (续)

点 名	观测日期: 1991.9.14—1992.8.31		
	座 标		
	x	y	z
f'1	4 336.16	2 985.36	3 968.15
f'2	4 323.20	3 035.87	3 967.34
f'3	4 307.14	3 086.33	3 964.43
f'4	4 296.57	3 159.50	3 962.51
f'5	4 288.03	3 216.75	3 964.94
g'1	4 154.56	2 920.95	4 009.83
g'2	4 149.21	2 980.74	4 004.92
g'3	4 130.25	3 035.58	4 001.25
g'4	4 111.71	3 084.31	3 997.88
g'5	4 092.82	3 140.27	2 999.09
h'1	3 883.57	2 859.98	4 050.81
h'2	3 873.82	2 936.18	4 047.18
e1	5 490.63	2 934.07	3 983.19
e2	5 419.60	2 959.69	3 981.60
e3	5 360.62	2 965.05	3 985.43
e4	5 307.14	2 967.78	3 992.33
e5	5 219.03	2 965.34	4 004.73
f1	5 413.72	2 748.87	4 022.89
f2	5 340.81	2 778.61	4 021.44
f3	5 284.18	2 802.88	4 022.17
f4	5 235.48	2 818.90	4 026.61
f5	5 181.62	2 842.36	4 029.99
g+1	5 370.27	2 640.78	4 051.41
g+2	5 289.71	2 675.15	4 045.13
g1	5 335.30	2 517.07	4 068.16
g2	5 258.38	2 596.57	4 060.17
g3	5 207.37	2 637.00	4 053.27
g4	5 161.87	2 682.47	4 052.63
g5	5 119.56	2 726.42	4 059.65
h1	5 242.86	2 434.69	4 081.99
h2	5 213.73	2 496.68	4 077.15
h3	5 184.21	2 545.54	4 072.24
h4	5 161.23	2 586.55	4 066.02
h5	5 132.98	2 639.48	4 063.86

表 6 冰舌进退资料(1991.9.16—1992.9.1)

点 名	观 测 日 期		
	1991.9.16—1992.5.26	1992.5.26—1992.9.1	1991.9.16—1992.9.1
固定点 I	+0.25	-3.35	-3.50
固定点 II	+0.45	-5.15	-4.70
固定点 III	+2.40	-5.10	-2.70
1	+2.30	-5.05	-2.75
2	+2.00	-6.40	-4.40
3	0.00	-3.90	-3.90
4	+1.55	-6.00	-4.45
5	+1.55	-1.45	+0.20
6	+0.65	-5.40	-4.75
平 均	+1.24	-4.64	-3.44

天山乌鲁木齐河源冰碛物的粘土矿物组成和化学成分分析

*刘耕年 **熊黑钢 *崔之久 *伍永秋 *王晓晖 *严竞浮

(* 北京大学城市与环境学系; ** 新疆大学地理系)

冰碛物中的粘土矿物组成及其化学成分是反映冰川沉积特征的重要内容之一。乌鲁木齐河源区现代冰碛、小冰期冰碛、新冰期冰碛和末次冰期冰碛为研究原生的冰碛中粘土矿物组合及其化学成分与冰碛沉积之后次生的粘土矿物形成及化学成分的变化提供了理想的条件。

采样说明: TWT-1 和 TWT-2 为 1 号冰川东支现代剪切碛。TWT-3、TWT-4 和 TWT-5 为小冰期第一道冰碛垅, TWT-6、TWT-7 和 TWT-8 采自小冰期第 2 道冰碛垅, TWT-9、TWT-10 和 TWT-11 采自小冰期第 3 道冰碛垅。TWT-12 和 TWT-13 及 TWT-14 采自新冰期第 1 道冰碛垅, TWT-15、TWT-16 和 TWT-17 采自新冰期第 2 道冰碛垅。末次冰期冰碛采样编号为 W-1、W-2、W-3、W-4、W-5、W-6、W-7、W-8、W-9、W-10 和 W-11。相应的粘土矿物的化学成分编号相同。粘土矿物分析结果见表 1, 化学成分分析结果见表 2。

由表 1 可以看出: 现代剪切碛和小冰期冰碛物中粘土矿物伊利石占绝对优势, 占总量的约 83—98%; 少量绿泥石, 含量在 2—17%; 不含高岭石和蒙脱石。新冰期冰碛物中伊利石的含量仍占优势, 占总量的 50—64%; 但蒙脱石和高岭石出现, 其中蒙脱石占 15—29%, 高岭石占 7—10%; 绿泥石的含量 13—18%。末次冰期冰碛物中伊利石的含量为 44—68%, 绿泥石的含量为 17—39%, 蒙脱石的含量为 0—11%, 高岭石的含量为 9—17%。末次冰期冰碛物中高岭石和绿泥石的含量增加, 而伊利石的含量减少。

化学成分分析结果见表 2。粘土矿物主要元素氧化物含量由多到少依次排序为: SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 K_2O 、 CaO 、 Na_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 。化学成分淋溶和富集的总特点是: 由新到老, SiO_2 相对淋失, Al_2O_3 相对淋失, Fe_2O_3 相对富集, FeO 相对氧化, MgO 无系统变化, CaO 相对富集, Na_2O 相对淋失, K_2O 相对淋失, TiO_2 相对富集, P_2O_5 无明显变化, MnO 无明显变化。

表 1 冰碛剖面粘土矿物组成 (%)

样 号	蒙 脱 石	伊 利 石	高 岭 石	绿 泥 石
TWT-1		93		7
TWT-2		90		10
TWT-3		87		13
TWT-4		89		11
TWT-5		98		2
TWT-6		87		13
TWT-7		88		12
TWT-8		90		10
TWT-9		83		17
TWT-10		88		12
TWT-11		86		14
TWT-12	18	58	7	17
TWT-13	24	55	8	13
TWT-14	29	50	8	13
TWT-15	16	61	10	13
TWT-16	17	56	9	18
TWT-17	15	64	7	14
W-1	7	64	9	20
W-2	6	68	9	17
W-3	7	65	11	17
W-4		58	10	32
W-5				
W-6		44	17	39
W-7	11	55	12	22
W-8	4	46	13	37
W-9	6	45	12	36
W-10	7	48	12	33
W-11	5	54	14	27

表 2 冰碛剖面粘粒化学成分 (%)

样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
TWT-1	51.61	21.46	4.97	4.20	3.04	0.95	1.50	5.90	4.48	1.00	0.80	0.23	0.15
TWT-2	51.52	20.78	4.52	4.40	3.01	1.10	1.50	5.88	4.84	0.80	0.81	0.23	0.15
TWT-3	45.41	20.65	7.33	5.20	5.18	1.23	1.25	5.45	5.60	1.48	0.98	0.24	0.18
TWT-4	45.86	20.80	3.80	8.52	5.03	1.40	1.38	5.63	5.15	1.44	1.03	0.20	0.16
TWT-5	46.21	20.89	5.27	7.13	5.11	1.30	1.33	5.38	5.03	1.44	1.01	0.22	0.15
TWT-6	46.56	20.84	6.14	5.65	4.77	1.26	1.25	4.75	5.77	1.56	0.97	0.23	0.20
TWT-7	45.42	21.23	5.59	7.13	5.01	1.36	1.38	5.50	5.07	1.24	1.02	0.23	0.16
TWT-8	45.48	21.16	5.76	7.07	5.04	1.34	1.38	5.50	4.91	1.40	1.02	0.22	0.15
TWT-9	45.32	20.26	6.98	6.15	5.43	1.42	1.25	4.88	5.70	1.60	1.02	0.27	0.20
TWT-10	45.30	20.33	7.25	5.85	5.47	1.45	1.45	5.38	5.19	1.32	1.06	0.22	0.18
TWT-11	44.99	19.98	6.31	6.77	5.54	1.54	1.45	5.38	5.08	1.48	1.03	0.22	0.17
TWT-12	44.02	19.15	6.12	2.58	3.33	1.63	0.88	3.50	13.94	3.92	0.70	0.41	0.18
TWT-13	45.24	19.19	6.65	2.40	3.46	1.59	0.95	3.55	12.40	3.76	0.75	0.35	0.17
TWT-14	44.93	19.48	7.72	2.20	3.79	1.56	0.75	3.50	11.22	3.96	0.78	0.29	0.18
TWT-15	44.04	19.54	5.94	3.02	3.84	1.26	0.75	3.13	13.90	3.56	0.70	0.30	0.09
TWT-16	44.76	19.43	5.61	3.08	3.69	1.21	0.88	3.30	12.87	3.60	0.70	0.28	0.08
TWT-17	44.60	19.02	5.18	3.10	3.60	1.26	0.88	3.25			0.67	0.31	0.09
W-1	39.06	15.87	3.96	2.91	2.99	5.89	0.75	3.00			0.58	0.33	0.16
W-2	40.70	17.86	6.41	1.83	3.24	5.69	0.70	3.38	15.06	4.44	0.64	0.39	0.16
W-3	34.51	14.93	4.48	2.08	3.02	12.70	0.60	2.75	20.46	3.92	0.56	0.24	0.13
W-4	36.25	14.93	4.85	3.23	4.23	13.25	1.00	2.63	16.12	2.08	0.66	0.20	0.12
W-5	39.58	16.26	5.77	4.03	5.08	9.29	1.25	3.00	12.36	2.16	0.75	0.22	0.14
W-6													
W-7	47.21	19.63	6.46	2.55	3.73	1.22	0.88	3.13	10.72	3.76	0.72	0.29	0.09
W-8	42.91	17.14	5.86	4.32	5.03	6.99	1.38	3.25	10.27	2.08	0.84	0.21	0.14
W-9	39.18	15.85	5.67	3.75	4.88	10.39	1.30	2.80	13.42	1.72	0.75	0.21	0.14
W-10	43.33	17.75	6.67	3.15	4.52	6.42	1.00	3.08	10.48	2.80	0.81	0.21	0.14
W-11	42.28	17.53	6.39	3.17	4.39	6.84	1.00	3.13	11.52	2.80	0.77	0.24	0.15

附 录

1992年天山冰川观测试验站发表的专著和文章

专 著

中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站, 新疆维吾尔自治区水利厅水文总站径流实验站、乌鲁木齐地区水资源若干问题研究队, 1992. 乌鲁木齐河山区水资源形成和估算. 北京: 科学出版社

文 章

- Liu Chaohai, Han Tianding, 1992. Relation between recent glacier variations and Climate in the Tian Shan Mountains. *Central Asia. Annals of Glaciology*, **16**: 11—16
- Mark W, Williams, Kathy A Tonnessen, John M melack, Yang Daqing, 1992. Sources and spatial variation of the chemical composition of snow in the Tian Shan, China. *Annals of Glaciology*, **16**: 25—32
- Huang Maohuan, 1992. The movement mechanism of Urumqi Glacier No. 1, Tian Shan mountain, China. *Annals of Glaciology*, **16**: 39—44.
- Kang Ersi, Yang Daqing, Zhang Yinsheng, Yang Xinyuan, Shi Yafeng, 1992. A experimetal study of the water and heat balance in the source area of the Urumqi River in the Tian Shan mountains, *Annals of Glaciology*, **16**: 55—66
- Jing Xiaoping, Huang Maohuan, Chen Jianming, Jin Mingxi, 1992. Basal deformation of Urumqi Glaicer No. 1, Tian Shan Mountains, China. *Annals of Glaciology*, **16**: 123—126
- Dyurgerov M B, Mikhalenko V N, Kunakhovitch M G, Ushnurtsev S N, Liu Chaohai, Xie Zichu, Zhang Wanchang, Wang Chunzu, 1992. Simultaneous monitoring of mass balance fluctuations of and runoff from Tian Shan glacier. *Annals of Glaciology*, **16**: 134
- Dyurgerov M B, Kunakhovitch M G, Mikhalenko V N, Sokalskaya A M, Kuzmichenok V A, 1992. Can the mass balance of the entire glacier area of the Tian Shan be estimated? *Annals of Glaciology*, **16**: 173—179
- Richard Kattelmann, Yang Daqin, 1992. Factors delaying spring runoff in the upper Urumqi River basin. China. *Annals of Glaciology*, **16**: 225—229
- 李纲、王茂海、黄茂桓、王文梯, 1992. 掺粉砂对冰蠕变影响的实验研究. 科学通

- 报. (10): 924—926
- Li Gang, Wang Maohai, Huang Maohuan, Wang Wenti, 1992. Experimental study of the influence of mixing silt on the ice creep. Chinese Science Bulletin, 37(21): 1 827—1 830
- 杨大庆、刘潮海、王纯足等, 1992. 冰川积累量测量和估算方法. 冰川冻土, 14(1): 1—10
- 张国威、刘志辉、商思臣, 1992. 新疆内陆干旱区河流日径流模拟比较分析. 冰川冻土, 14(1): 25—32
- 杨大庆、张寅生, 1992. 乌鲁木齐河流域山区冬季积雪蒸发观测的主要结果. 冰川冻土, 14(2): 122—128
- 张志忠、杨大庆, 1992. 乌鲁木齐河流域季节积雪的基本特征. 冰川冻土, 14(2): 129—133
- 久尔格洛夫 M B、刘潮海等, 1992. 天山冰川物质平衡波动和径流的同步监测. 冰川冻土, 14(3): 226—232
- 杨大庆、康尔泗, Felix Blumer, 1992. 天山乌鲁木齐河源高山区的降水特征. 冰川冻土, 14(3): 258—266
- 张志忠, 1992. 乌鲁木齐河流域河冰的基本特征. 冰川冻土, 14(3): 267—270
- 黄茂桓, 1992. 雪线、平衡线. 冰川冻土, 14(3): 285—286
- 崔之久、宋长青, 1992. 内蒙大青山全新世冰缘现象及环境演变. 冰川冻土, 14(4): 316—324
- 刘耕年、熊黑钢, 1992. 中国天山高山冰缘环境中的寒冻风化剥蚀作用及其影响因素. 冰川冻土, 14(4): 332—341
- 崔之久、易朝路、严竞浮, 1992. 新疆阿尔泰山哈纳河流域及其邻域第四纪冰川作用. 冰川冻土, 14(4): 342—351
- 刘潮海、宋国平、金明燮, 1992. 祁连山冰川的近期变化及趋势预测. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, (7): 1—9
- 刘潮海、谢自楚、杨惠安、韦尧志, 1992. 祁连山“七一”冰川物质平衡的观测、插补及趋势研究. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, (7): 21—33
- 刘潮海, 1992. 祁连山冰面气温的推算和温度跃动值的确定. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, (7): 34—39
- 宋国平、刘潮海、金明燮, 1992. 祁连山“七一”冰川表面运动速度. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, (7): 40—44
- 沈永平、康建成, 1992. 15年来临夏黄土粒度变化的气候记录. 干旱区地理, 15(3): 44—49
- 王宗太, 1992. 天山中段及祁连山东段小冰期以来的冰川及环境. 地理学报, 46(2): 160—167