

乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡过程研究*

刘 潮 海 M.Б.久尔盖洛夫

1989年,中国科学院兰州冰川冻土研究所和苏联科学院地理研究所在天山乌鲁木齐河源1号冰川进行了以物质平衡形成过程为主要内容的全面冰川研究工作。

研究目的:研究降水主要集中在夏季条件下瞬时物质随时间的变化过程及其高度结构,冰川积累、消融和成冰作用动态,探讨物质平衡模式(Джургеков,1988)用于极大大陆气候条件下的冰川的可能性。

研究方法:从1989年4月中旬开始,在冰川上进行积雪测量,研究冬季积累状况及其随高度的变化。此后,每隔5—10天进行冰川物质平衡观测,研究物质平衡形成过程及其高度结构。在西支冰川的冰舌中部选择4根花杆进行冰川的日积累、消融及物质平衡过程的观测,研究冰川积累、消融和物质平衡动态。在进行上述观测的同时,在冰川上进行雪线和零平衡线的动态监测。为了研究夏季降水对冰川积、消状态的影响及其随高度的变化规律,在每次降雪,特别是较大降雪后进行大面积的测雪工作。

1 研究冰川区的基本情况

1号冰川位于天山天格尔山脉的北坡,乌鲁木齐河源区,距新疆乌鲁木齐市约120km。1号冰川的上界是天格尔第二峰,海拔4486m,冰川垂直高差近750m,为冰斗-山谷冰川,面积1.84km²(据1986年地面立体摄影测量图量算),是乌鲁木齐河流域最大的一条冰川。

1号冰川由东、西两支组成,面积分别为1.163km²和0.677km²,它们的上、下界分别为3740—4269m和3810—4486m。两支冰川有着各自的补给区和占据着不同的高度区间,虽然两支冰川在其末端处汇流,形成了统一的冰舌,但近年来在其汇流处形成了深切的水道,有些地方下切至冰床,西支冰川末端高出冰舌,即在东支冰川上面形成了高数十米的冰坎,实际上已和东支相脱离。可以认为,1号冰川由完全独立的两支冰川组成,在冰川积消、物质平衡过程、运动速度、以及冰川对外界气候条件的反应等方面都有其各自的特点。因此,1989年在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。为了和以往的资料相衔接,同时也列出了1号冰川物质平衡及其分量的研究成果。

自1959年起,中国科学院在乌鲁木齐河源1号冰川建立了定位观测站,进行了冰川

* 该报告由中国科学院兰州冰川冻土研究所刘潮海和苏联科学院地理研究所久尔盖洛夫(М.Б.Джургеков)执笔。该工作得到天山站基金资助,在此表示感谢。参加此项工作的研究人员:苏联科学院地理研究所М.Б.Джургеков, А.Л.Волощина, В.Н.Михаленко;中国科学院兰州冰川冻土研究所刘潮海、康尔泗、王纯足、韩添丁、张万昌。

物质平衡、运动速度、成冰作用和冰雪物理特征的研究。在冰川站附近建有大西沟气象站(3539.3m),至今已观测了30余年。在1号冰川下方(3693m),空冰斗(3805m)、罗卜道沟与大西沟汇流处(3408m)建有水文、气象观测点,进行了冰川水文、气候综合研究。30多年来,已积累了大量的资料,开展了多学科的综合研究,乌鲁木齐河源区已成为中国唯一的高山冰川、气候、水文综合研究区。

2 日积累、消融和物质平衡过程研究

自1989年6月29日至9月5日,每天日出前在1号冰川西支3815—3860m处,对4根测杆进行雪积累、消融和物质平衡测量,其结果列入表1,并绘制成冰川积、消和物质平衡日过程图(图1)。由图表可以获得以下主要结论。

夏季期间,冰川上同时发生积累和消融。据大西沟气象站的资料,观测期间降水天数达49天,占观测总天数的73%。雪的积累量达391mm,大于同期降水量(257.5mm)133.3mm。造成这种差别的主要原因是,大西沟站标准雨量筒所观测的降雪值因动力损失、湿润损失和蒸发损失而小于实际观测值。据杨大庆等(1988)的研究,上述三项损失的总修正值为26.6%,降水梯度为22mm/100m。按此修正值和梯度推算,观测点的降水值应为390mm,和我们测量的积雪值基本一致。但是,从降雪到观测时,部分雪已融化,特别是在降雪量小时,致使测量的积雪值小于大西沟站的降水值。

在降雪的同时,冰川还继续消融。无降雪时,气温高,冰川冰出露,消融非常强烈,最大日消融量可达50—60mm,消融曲线递增较快。降雪时,气温相应降低,消融量减弱。特别是强降水过程出现时(一般大于10mm),气温最低不是出现在降雪时,而是出现在晴朗的次日。如7月30日,大西沟站的降水量达12.1mm,冰川上的积累量达15mm,次日的日平均气温出现观测期间最低的温度(-1.6℃)。这种降温现象持续到降雪后的第三天,直到季节雪被融化冰川冰出露时气温才明显回升。由于新雪反射高,在辐射冷却作用下,气湿低,空气湿度增大,大大抑制了冰川的消融,消融曲线递增缓慢,甚至出现消融短时停止的现象。

冰川消融在很大程度上取决于下垫面的状况,特别在夏季补给为主的大陆性冰川上,降水频繁,冰面状况经常处在变化中。在冰面被新雪覆盖时,消融缓慢,而在冰川冰出露时,消融非常强烈。日消融量和日平均气温的关系较差,但是在观测时段内,累积日正积温($\sum t$)和累积消融量(A)则有很好的相关关系:

$$A = 21.59 + 6.13 \sum t \quad (1)$$

该式的相关系数高达0.998,在5%的信度下,通过方差比和相关系数检验合格。据此公式计算,日正积温升高1℃,消融量增大6.1mm。

观测点的日物质平衡主要受日消融过程控制,其曲线和消融日过程线大体相平行。7月中旬以前,物质平衡曲线靠近消融曲线,随着消融增强和累积积累量的增大,物质平衡曲线和消融曲线之间的距离增大。进入9月份,随着消融减缓和有效积累量增大,物质平衡开始转正,其曲线向积累曲线靠近。

表1 1号冰川西支3815—3860m处4根花杆日平均积累(C)、消融(A)
和物质平衡(bt)观测结果(1989)

日期	t (°C)	P (mm)	A (mm)	ΣA (mm)	C (mm)	ΣC (mm)	bt (mm)	Σbt (mm)
6.29	4.5	9.4						
6.30	1.7	13.1	5.0	5.0	55.0	55.0	+59.0	50.1
7.1	1.3	2.1	15.5	20.5	0.0	55.0	-15.5	34.1
7.2	1.7	1.5	11.0	31.5	1.0	56.0	-10.0	24.1
7.3	1.4	5.6	16.2	47.7	15.0	71.0	-1.2	23.3
7.4	1.3	0.0	17.8	65.5	0.0	71.0	-17.8	5.5
7.5	3.7	0.0	16.0	81.5	0.0	71.0	-16.0	-10.5
7.6	4.2	0.5	9.0	90.5	0.0	71.0	-9.0	-19.5
7.7	5.5	7.7	10.0	100.5	3.6	74.6	-6.4	-25.9
7.8	2.9	6.5	4.4	104.9	9.4	84.0	+5.0	-20.9
7.9	3.9	5.5	28.0	132.9	6.6	90.6	-21.4	-42.3
7.10	4.0	0.6	31.0	163.9	6.6	97.2	-24.4	-66.7
7.11	5.2	0.9	37.0	200.9	3.8	101.0	-33.2	-99.9
7.12	4.4	3.5	30.0	230.9	0.0	101.0	-30.0	-129.9
7.13	2.7	6.3	16.1	247.0	8.1	109.1	-8.0	-137.9
7.14	4.1	4.0	35.2	282.2	1.2	110.3	-34.0	-171.9
7.15	3.7	0.4	46.2	328.4	1.2	111.5	-45.0	-216.9
7.16	5.6	0.6	34.0	362.4	0.0	111.5	-34.0	-250.9
7.17	4.6	6.3	31.5	393.9	4.5	116.0	-27.0	-277.9
7.18	5.8	15.0	34.0	427.9	0.0	116.0	-34.0	-311.9
7.19	4.2	9.5	0.0	427.9	26.6	142.6	+26.6	-285.3
7.20	2.9	4.5	26.6	454.5	4.8	147.4	-21.8	-307.1
7.21	4.1	0.0	15.8	470.3	0.0	147.4	-15.8	-322.9
7.22	5.9	0.7	15.8	486.1	0.0	147.4	-15.8	-338.7
7.23	5.1	8.5	27.0	513.1	9.0	156.4	-18.0	-356.7
7.24	8.4	0.0	36.0	549.1	0.0	156.4	-36.0	-392.7
7.25	10.8	0.0	33.8	582.9	0.0	156.4	-33.8	-426.5
7.26	10.1	3.6	49.5	632.9	4.2	160.6	-45.3	-471.8
7.27	10.2	0.0	53.7	686.1	0.0	160.6	-53.7	-525.5
7.28	6.8	1.0	63.0	749.1	1.5	162.1	-61.5	-587.0
7.29	7.0	0.0	16.0	765.1	0.0	162.1	-16.0	-603.0
7.30	5.1	7.1	21.0	786.1	7.5	169.6	-13.5	-616.5
7.31	0.9	12.1	28.5	814.6	15.0	184.6	-13.5	-630.0
8.1	-1.6	0.2	45.0	859.6	1.2	185.8	-43.8	-673.8
8.2	1.3	0.0	45.0	904.6	18.0	203.8	-27.0	-700.8
8.3	3.9	0.0	18.0	922.6	0.0	203.8	-18.0	-718.8
8.4	6.4	0.0	27.0	949.6	0.0	203.8	-27.0	-745.8
8.5	8.8	0.3	29.3	978.9	1.5	205.3	-27.8	-773.6
8.6	8.8	0.0	29.3	1008.2	0.0	205.3	-29.3	-802.9
8.7	4.7	6.5	30.6	1038.8	7.2	212.5	-23.4	-826.3

表 1 (续)

日期	t ($^{\circ}\text{C}$)	P (mm)	A (mm)	ΣA (mm)	C (mm)	ΣC (mm)	b_f (mm)	Σb_f (mm)
8.8	2.1	2.7	12.6	1 051.4	4.2	216.7	-8.4	-834.7
8.9	3.3	3.2	27.0	1 078.4	4.8	221.5	-22.2	-856.9
8.10	4.1	2.1	29.3	1 107.7	3.6	225.1	-25.7	-882.6
8.11	5.5	0.0	12.8	1 120.2	1.5	226.6	-11.3	-893.9
8.12	5.1	16.2	27.0	1 147.5	15.0	241.6	-12.0	-905.9
8.13	1.6	0.0	16.8	1 164.3	1.5	243.1	-15.3	-921.2
8.14	1.8	3.0	9.0	1 173.3	4.2	247.3	-4.8	-926.0
8.15	4.4	0.0	37.4	1 210.7	4.8	252.1	-32.6	-958.6
8.16	3.0	3.4	26.3	1 237.0	4.2	256.3	-22.1	-980.7
8.17	2.0	0.3	16.5	1 253.5	0.0	256.3	-16.5	-997.2
8.18	5.1	0.0	22.5	1 276.0	0.0	256.3	-22.5	-1 019.7
8.19	9.2	0.0	27.0	1 303.0	0.0	256.3	-27.0	-1 046.7
8.20	8.3	4.2	38.3	1 341.3	4.5	260.8	-33.8	-1 080.5
8.21	4.0	0.0	35.3	1 376.6	1.8	262.6	-33.5	-1 114.0
8.22	4.6	0.0	32.2	1 408.8	3.0	265.6	-29.2	-1 143.2
8.23	6.3	1.3	30.4	1 439.2	1.5	267.1	-28.9	-1 172.1
8.24	5.0	4.5	34.0	1 473.2	6.0	273.1	-28.0	-1 200.1
8.25	4.9	0.0	29.3	1 502.5	1.6	274.7	-27.7	-1 227.8
8.26	4.0	6.6	22.5	1 525.0	7.5	282.2	-15.0	-1 242.8
8.27	3.3	3.9	15.2	1 540.2	6.0	288.2	-9.2	-1 252.0
8.28	2.3	3.0	18.0	1 558.2	4.2	292.4	-13.8	-1 265.8
8.29	1.4	6.6	20.4	1 578.6	7.0	299.4	-13.4	-1 279.2
8.30	3.0	2.2	22.5	1 601.1	3.2	302.6	-19.3	-1 298.5
8.31	4.3	8.1	18.0	1 619.1	9.0	311.6	-9.0	-1 307.5
9.1	2.3	19.3	9.0	1 628.1	18.0	329.6	+9.0	-1 298.5
9.2	1.6	7.5	2.0	1 630.1	19.8	349.4	+17.8	-1 280.7
9.3	2.7	0.0	9.0	1 639.1	23.4	372.8	+14.4	-1 266.3
9.4	4.4	2.3	9.0	1 648.1	3.0	375.8	-6.0	-1 272.3
9.5	1.8	13.6	0.0	1 648.1	15.0	390.8	+15.0	-1 257.3
总计	297.4	257.5						
平均	4.3	3.7						

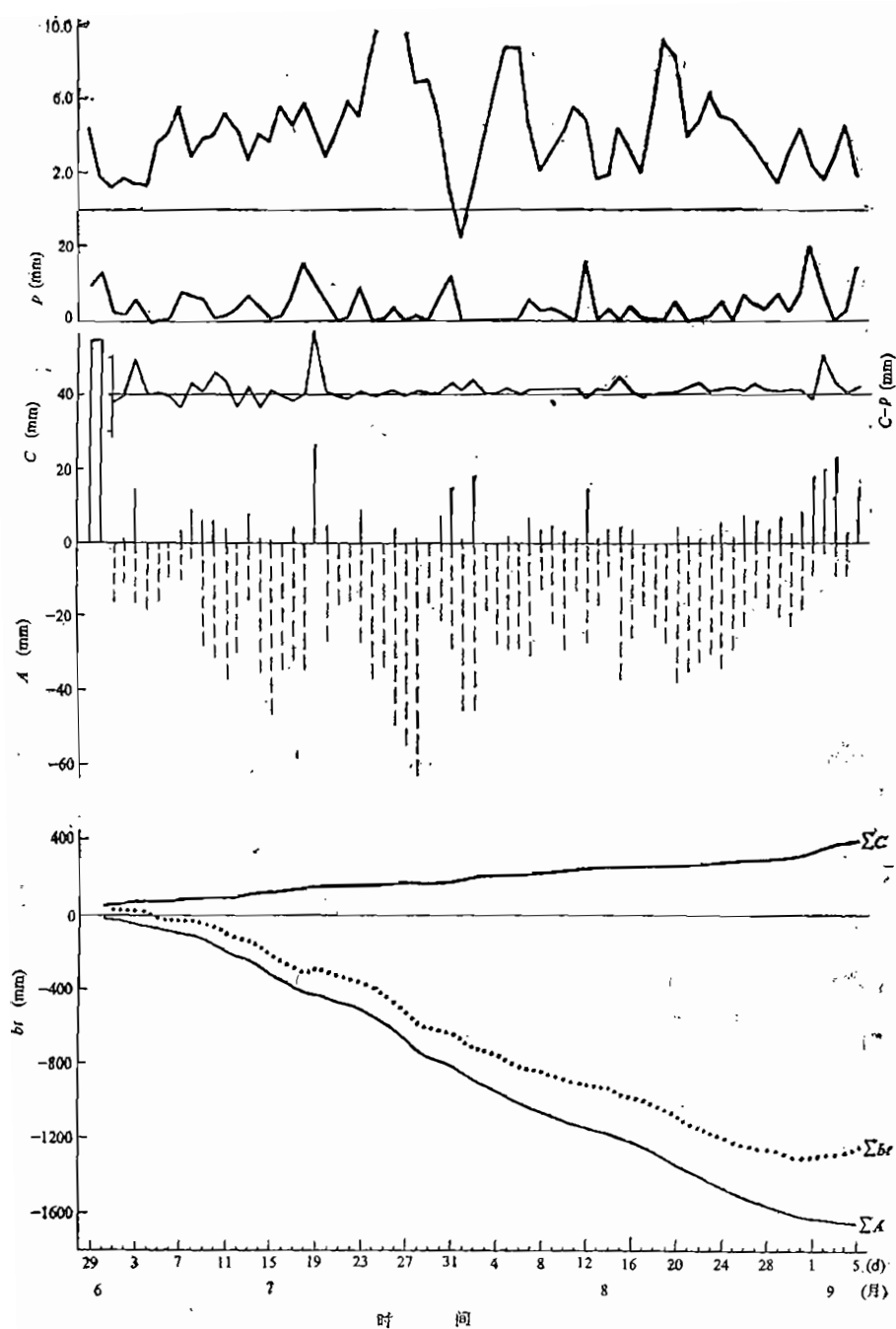


图1 1号冰川西支冰舌下部日积消和物质平衡过程

3 冰川积、消和物质平衡随时间的变化

1989年4月17—18日开始第一次观测。根据花杆和雪坑测量资料,1988年8月31日以后各测点的物质平衡为冰川冰(b_i)、积雪(b_s)和附加冰(b_{ai})各平衡分量的代数之和。考虑到上一物质平衡年度未到消融完全终止时结束观测,因而1988年8月31日到1989年第一次观测时,冰舌下部的冰川冰有较大的消融。据计算,东、西支冰川分别有 $1.777 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $1.890 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的冰川冰得到消融,消融高度分别达到3850m和3950m。这些冰川冰体的消融值应作为1987—1988物质平衡年度的消融分量。1988—1989年度,冬平衡应等于积雪和附加冰平衡分量的代数之和。1989年初物质平衡测量仅在冰舌区和补给区下部进行。从7月初开始,测量在冰川各高度区间进行。利用已观测的资料和降水梯度插补补给区上部各高度区间缺测的资料(表2, 3)。

4月后半月,整个冰川上为积累期,积累量增大很快,两周内物质几乎增大了两倍,到5月初,东、西支的冬季积累量分别达到314mm和339mm,分别相当于 $37.5792 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $22.9707 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的水当量,这可用该冰川在4月下旬降水量开始增大,存在着春—夏积累期加以解释(图2, 3)。我们把1989年5月初的积累量作为1988—1989物质平衡年度的冬平衡。1号冰川冬季期间降雪量很小,据大西沟站的降水资料推算,该年度冬季降水量仅占年降水量的25%,因而冬平衡在年平衡中所占的份额相对较小,这是与冬季补给为主的海洋性冰川的显著区别。

1989年5月冰川开始较强烈的消融,特别是冰舌下部。最下一个高度带到5月20日左右,冰川冰开始出露和消融,随着高度的增大,冰川冰开始消融的时间依次推后。在冰舌下部开始较强消融的同时,冰川积累区各高度带也开始季节雪的消融,表现在雪坑的雪层结构中出现冰夹层或冰透镜体,这是融水下渗遇到冷储冻结而形成的,但是冰川径流只是在冰舌下部形成。这些事实都表明,5月份为持续温暖和降水少的时期(图4)。

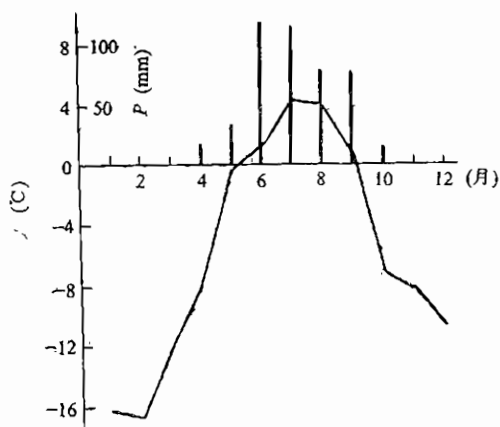


图4 大西沟站气温和降水的年内分配(1989年)

表 2 1号冰川东支各高度带物质平衡 (1988.8.31—1989.9.29) 过程

高度区间 (m)	面 积 (km ²)	时 间												
		4.17	5.1	5.14	5.30	6.15	6.29	7.15	7.30	8.10	8.20	8.30	9.10	9.29
3 740—3 750	0.004	68	131	44	-73	-190	-244	-584	-998	-1 142	-1 277	-1 457	-1 368	-1 381
3 750—3 800	0.055	133	209	169	22	2	-22	-284	-777	-968	-1 138	-1 363	-1 302	-1 320
3 800—3 850	0.097	96	201	169	71	136	142	53	-521	-652	-758	-918	-797	-773
3 850—3 900	0.155	117	207	176	166	233	340	250	-53	-91	-115	-199	-72	-37
3 900—3 950	0.194	178	312	274	348	323	437	309	85	93	73	41	235	278
3 950—4 000	0.138	162	302	255	338	289	369	299	189	178	162	172	360	391
4 000—4 050	0.147	179	280	271	370	359	510	408	312	262	247	258	445	482
4 050—4 100	0.115	291	398	391	394	444	554	505	406	421	410	417	619	657
4 100—4 150	0.112	320	408	410	421	480	596	553	462	450	439	446	639	670
4 150—4 200	0.099	356	447	457	463	530	651	607	523	518	510	522	206	748
4 200—4 250	0.048	388	481	492	505	574	689	639	568	563	554	590	765	821
4 250—4 269	0.001	281	382	389	399	438	550	501	434	428	425	459	529	580
3 740—4 269	1.163	208	314	293	313	334	432	341	137	105	74	39	209	243

表 3 1号冰川西支各高度带物质平衡 (1988.8.31—1989.9.30) 过程

高度区间 (m)	面 积 (km ²)	时 间														
		4.18	5.2	5.15	5.31	6.16	7.1	7.5	7.10	7.16	7.31	8.11	8.21	8.31	9.11	9.30
3 810—3 850	0.018	56	146	59	-139	-119	-189	-176	-224	-367	-877	-1 071	-1 260	-1 429	-1 373	-1 394
3 850—3 900	0.024	135	223	177	2	38	-41	-22	-77	-172	-627	-837	-981	-1 146	-1 077	-1 090
3 900—3 950	0.047	151	243	173	77	125	55	78	26	-54	-417	-570	-691	-825	-732	-727
3 950—4 000	0.073	183	241	210	196	284	267	294	250	207	-41	-103	-138	-204	-101	-41
4 000—4 050	0.107	165	242	231	189	279	284	314	277	266	66	18	16	10	150	210
4 050—4 100	0.116	223	320	326	324	386	383	415	384	394	210	202	217	225	395	450
4 100—4 150	0.055	329	358	365	362	421	544	558	561	543	506	498	518	540	668	730
4 150—4 200	0.044	354	385	394	392	466	622	578	557	568	536	527	554	597	753	830
4 200—4 250	0.037	402	440	461	467	548	657	718	714	207	678	671	706	776	917	955
4 250—4 300	0.037	430	471	480	493	582	708	714	724	206	698	690	728	813	940	988
4 300—4 350	0.041	383	420	431	442	538	649	612	623	613	601	609	648	773	894	933
4 350—4 400	0.040	508	550	563	581	676	855	862	920	900	894	908	958	1 080	1 159	1 210
4 400—4 450	0.027	561	603	616	645	732	886	924	935	980	974	992	1 038	1 154	1 268	1 323
4 450—4 486	0.011	303	351	363	396	461	522	540	552	538	579	540	620	726	823	873
3 810—4 486	0.677	276	339	331	308	383	429	447	428	409	255	217	212	220	346	394

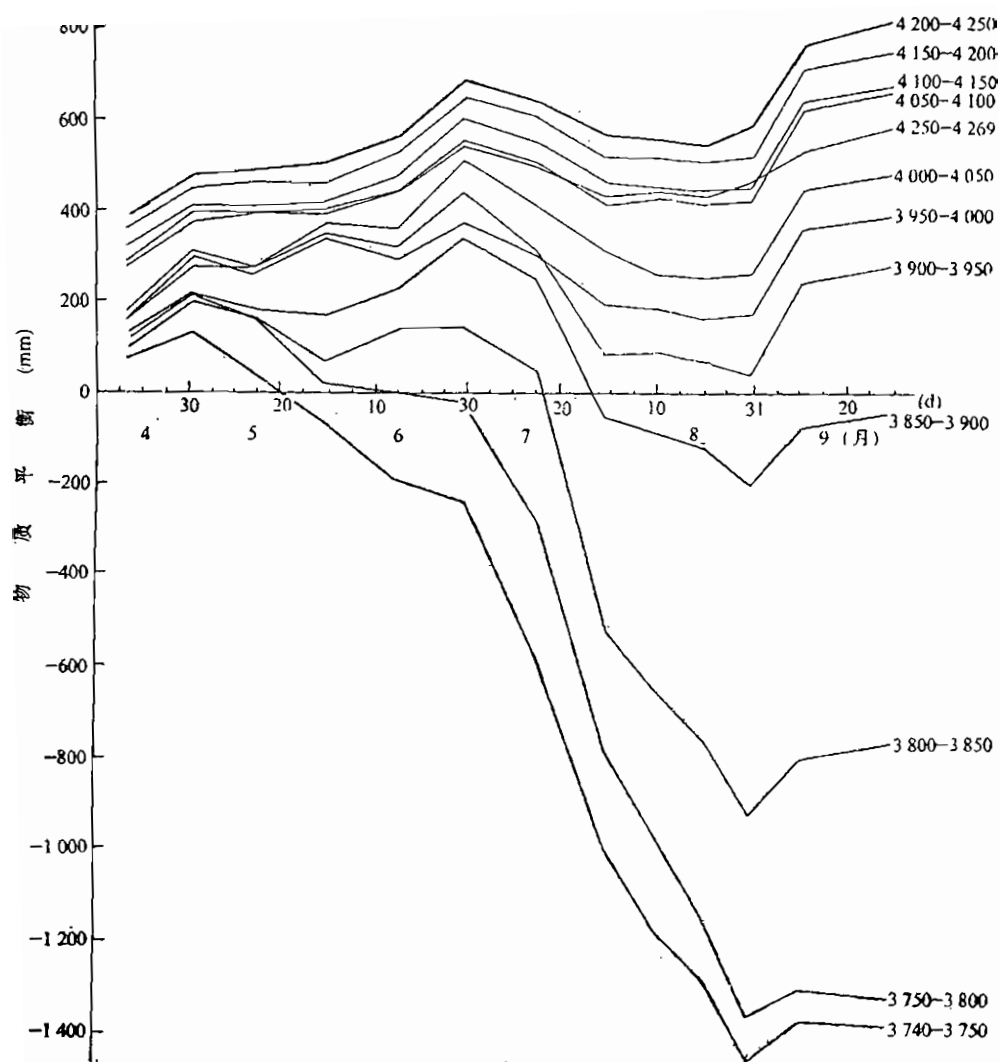


图2 1号冰川东支各高度带物质平衡随时间的变化

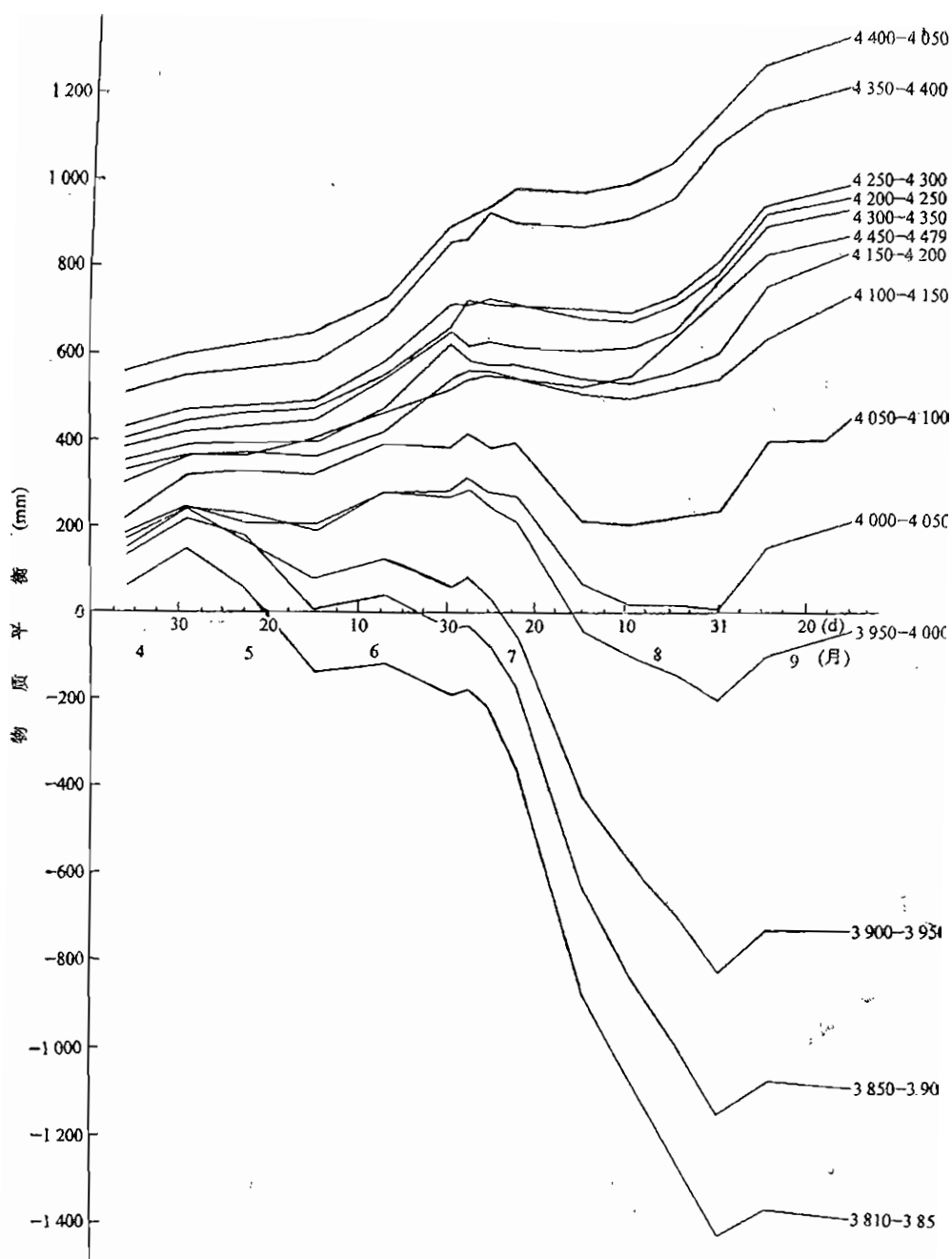


图 3 1号冰川西支各高度带物质平衡随时间的变化

6 月份进入了伴随有温暖期的主要积累期，到 6 月底，冰川物质平衡达到最大值，东西支分别为 432mm 和 429mm，接近 1988—1989 年度最大的雪储量值。与此同时，冰川消融减缓，冰舌下部物质平衡曲线趋于平缓。7 月初开始，冰舌部分的冰川冰才有较强的消融，雪线依次上升，直到 8 月底，冰川消融减缓或终止。在冰舌开始强烈消融的同时，冰舌上部和补给区下部的雪层也有较强的消融，物质平衡曲线向下弯曲。据 9 月 11 日观测，冰川下部物质平衡开始转正，表明冰川消融期终止的时间在 8 月 31 日—9 月 11 日间。若 1989 年 8 月底作为物质平衡年终止的时间，则年平衡东西支分别为 39mm 和 220mm，分别相当于 $4.5819 \times 10^4 \text{m}^3$ 和 $14.9075 \times 10^4 \text{m}^3$ 的水量积累在冰川上。冰川在夏季期间的物质平衡为夏平衡，东西支分别为 -275mm 和 -119mm（表 4）。

表 4 1 号冰川东、西支物质平衡组成

地 点		消融区 面 积 (km^2)	积累区 面 积 (km^2)	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 消 融 (10^4m^3)	总消融 (10^4m^3)	总积累 (10^4m^3)	物质平衡	
										总 量 (10^4m^3)	单位值 (mm)
年 平 衡	东 支	0.359	0.804	20.0684	24.6503	22.9042	31.3560	74.3286	78.9105	4.5819	39
	西 支	0.260	0.417	10.6893	25.5968	17.1340	4.9628	32.7861	47.6936	14.9075	220
	1号冰川	0.619	1.221	30.7577	50.2471	40.0382	36.3188	107.1147	126.6041	19.4894	106
冬 平 衡	东 支									36.5792	314
	西 支									22.9707	339
	1号冰川									59.5499	324
夏 平 衡	东 支									-31.9373	-275
	西 支									-8.0632	-119
	1号冰川									-40.0004	-217

1988—1989 平衡年度，据冰川积累和消融的强度可以分为下列几个阶段：

冬季（10—4 月）弱积累、弱消融期 冰川以积累为主，但积累量不大，日积累速率仅为 1.3—1.4mm，积累和消融曲线增加缓慢，冬平衡接近冬季积累；

夏季（5—8 月）高积累、强消融期 冰川积累和消融过程都主要发生在这一时期。据纯积累和纯消融速率的大小又可以分为下列几个时期：

弱积累和中等消融期（5 月）冰川积累较冬季增加较快，平均积累速率为 1 mm/d。冰川消融主要表现在季节雪的消融上，到 5 月下旬，冰舌下部才开始冰川冰的消融，各高度的日平均消融速率为 5.1mm。

强积累和弱消融期（6 月） 消融明显小于 5 月份，其平均速率仅为 1.3mm/d，消融高度下降至 3 950m 左右。在此高度带以上，为冰川强持续积累期，其日平均积累速率达 5.7mm，是夏季月份最高的时期。

弱积累和强消融期（7—8 月） 7 月初开始，冰舌区大部分冰面出露，冰川冰消融非常强烈，物质平衡曲线下降很快，其平均日消融速率达 10.4—11.0mm，是夏季期间

消融最强的时期，雪线和物质零平衡线上升很快，在8月底达最大高度。在冰舌强烈消融的同时，冰川补给区仍为持续积累期，但积累量不大。积累曲线从7月初开始下降，到8月20日前处于较平稳的阶段，日平均积累速率变化在1.5—3.8mm。此后，随着气温下降，纯积累开始增大，并向冷季过渡。

上述分析可以看出，同一冰川物质同时积累和消融，是暖季补给型大陆冰川的典型特征，这是与海洋性冰川又一显著区别。

4 物质平衡的高度结构

1989年瞬时物质平衡 (b_t) 随海拔 (H) 的变化表示在图5，6中。由于冰川测点处的坡度、坡向的差异，物质平衡梯度呈现出多重性结构，即不同高度带的梯度是不均一的。为了便于表示，将冰川上部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、西支早春到消融期和夏季最大降雪前，物质平衡垂直梯度 ($\frac{db_t}{dH}$) 很小 (图5，6中的1，2，3曲线)，其平均值仅为0.6—0.8mm/m。在5月底冰舌末端冰川冰出露到7月中开始强烈消融以前，物质平衡梯度的增大主要依赖于冰舌上部和积累区物质积累量的迅速增大，而冰川下部的消融量的增加则非常缓慢。在这一时期，物质平衡垂直梯度为1.6mm/m (图5中的4，5，6；图6中的4，5，6，7，8曲线) 7月中到8月底为冰川强烈的消融期，同时又是冰川的主要补给期，从消融增大和积累增加两个方向上同时加大了物质平衡梯度，其平均值为3.3—3.4mm/m。物质平衡曲线

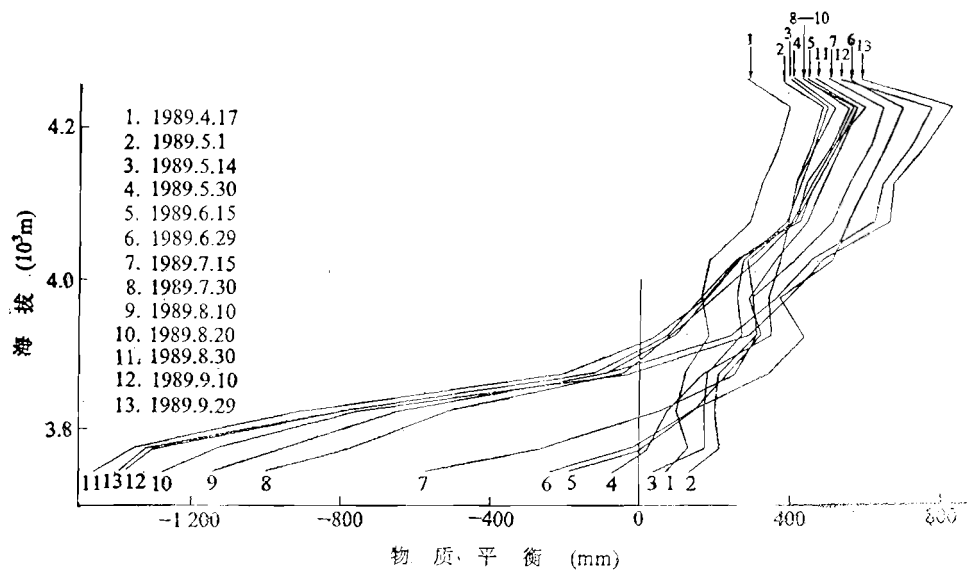


图5 1号冰川东支物质平衡的高度结构

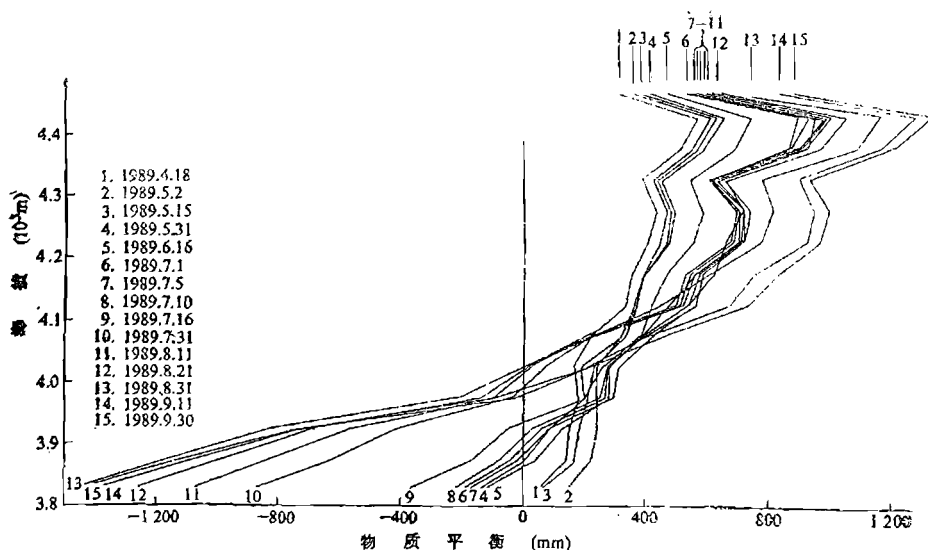


图6 1号冰川西支物质平衡的高度结构

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平行移动。进入9月份,冰舌下部消融减缓或终止,但冰川上部由于气温降低,冰川有效积累量增加很快,物质平衡梯度仍呈增大趋势,其平均值约为4.1mm/m。

1号冰川东、西支物质平衡随高度变化曲线非常相似,也有大体相同的高度结构。物质平衡总的趋势是随海拔升高而增大,只是东支在4250—4269m,两支在4450—4486m的山顶附近的高度间,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物质平衡曲线。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,最大的积累量和最强的消融量均出现在夏末,即出现在物质平衡年度末,夏物质平衡接近年平衡值。海洋补给型冰川,物质的积累主要发生在冬春季节,而消融主要发生在夏季,前者近似等于物质的积累量,后者接近冰川的消融量。暖季补给型的大陆性冰川和冷季补给型的海洋性冰川物质平衡高度结构的本质差别,影响着冰川对外部气候条件反应的敏感程度。

东天山地区,冰川物质平衡主要形成于夏季。因此,夏季降水的多寡和随时间的分配在冰川积累、消融、物质平衡和冰川径流的形成中起着决定性的作用。所以在1989年冰川观测期间,进行了夏季降雪测量。每次较大的降雪后,立即在花杆处对新降雪的厚度和密度进行测量。新降雪厚度是在每一测点处重复测量2—3次,计算出平均值。雪的密度采用兰州冰川冻土研究所自制的密度计测量。1989年7月份,我们在冰川上进行了2次较大积雪和3次较小的降雪的测量,其结果表示在图7上。

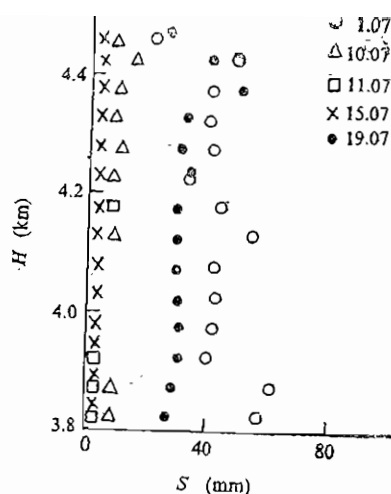


图7 1号冰川西支新雪积累量随高度的分布

观测结果表明,新雪的积累,即用测雪方法所获得的1号冰川的降水梯度很小。1号冰川夏季期间的降水主要是固态降雪,但在冰舌下部有时也出现液态降水的情况。由于在冰川上没有进行液态降水的测量,特别在白天降雪开始的几个小时,因而影响到降水梯度的正确估算。降水随高度的变化,反映了新雪的平衡,也反映了降水形态随高度的变化。例如,7月11日后半天在流域所有高度区间(3.5—4.5km)均为降雨,到了夜间,冰川上部气温高于零度时转为降雪。据研究(杨大庆*et al.*, 1988),乌鲁木齐河上游地区,降水梯度为22mm/100m,而实测的新雪的积累梯度在大多数情况下大于降水梯度。造成这种差别的原因是冰川下部的液态降水未进行测量,而冰川上部又因地形、坡度等因素的影响,风吹雪附加补给量估计不足。在分析物质平衡的高度曲线时也表明,冬、春的积累的高度梯度平均为60—80mm/100m,也大于同期的降水梯度。1号冰川流域降水高度梯度实际上是很小的,这是由于该区山脉高度小,山体较为平坦,缺少气团的地形抬升作用,即缺少降水增大的因素。

表5 大西沟站和西天山、内天山夏季降水量的分配

观测站	所在山脉	海拔 (m)	年降水量 (mm)	夏季(6—8)降水量 (mm)	占年降水量 (%)	观测年份
大西沟站	东天山	3 539	427	281	66	1959—1987
天山气象站	内天山	3 610	310	162	52	1959—1987
图尤克苏Ⅱ站	西天山	3 680	1 143	509	45	1959—1987

据大西沟气象站的资料, 乌鲁木齐河上游冰川区夏季(5—8月)降水较西天山图尤克苏冰川流域, 甚至比内天更为集中(表5)。降水的这种分配, 使冬平衡在年平衡中的份额, 或者使冬季积累在年总积累中的份额由西天山向东天山逐步减小, 即物质平衡的形成更趋集中于夏季, 从而使冰川对外部气候条件的反应更趋迟钝。

5 雪线和零平衡线的动态

1989年观测期间, 对雪线和零平衡线进行动态监测。冰川零平衡线(ELA)随着冰川的消融而有规律地上升, 而雪线(H_s)则处在剧烈波动中。在夏季降雪频繁发生的条件下, 雪线在每次降雪后降低, 然后随着新雪的消融而抬升。在晴朗的天气时, 雪线赶上了零平衡线高度, 有时甚至超过了零平衡线高度(表6), 为准确监测雪线的动态带来了很大的困难。因此, 在夏季降水集中的大陆性冰川需要采用新的方法跟踪雪线的变化。

零平衡线高度是物质平衡为零的等高线高度, 按把各测点的物质平衡点绘在冰川图上加以确定。其观测结果列入表7, 并绘制成零平衡线随时间变化图(图8)。根据观测资料的分析, 零平衡线的变化有以下主要规律。

表6 瞬时雪线的变化(1989)

日期	降雪量 (mm)	雪线高度(m)		说明
		东支	西支	
6.29	5.5	低于冰川末端	低于冰川末端	
7.2	1.0	低于冰川末端	低于冰川末端	
7.3	1.5	低于冰川末端	低于冰川末端	
7.7	3.6	低于冰川末端	低于冰川末端	
7.8	9.4	3 740	低于冰川末端	降雪前的高度
7.9	6.6	3 770	3 860	
7.10	6.6	3 770	3 860	
7.11	3.8	3 775	3 880	零平衡线低于雪线20m
7.13	8.1	低于冰川末端	低于冰川末端	早8:00开始降雪
7.14	1.2	3 785	3 885	
7.15	1.2	3 800	3 890	零平衡线高度分别为 3 720m和3 880m
7.19	26.6	3 810	3 900	降雪前的雪线高度
7.20	4.8	低于冰川末端	低于冰川末端	

在5月中旬以前, 季节积雪覆盖整个冰川, 东、西支零平衡线高度均低于冰川末端, 到5月底, 零平衡线高度才在冰舌下部出现。6月中旬, 零平衡线由于物质平衡量增大而上升幅度较小。在进入强消融期以前, 零平衡线缓慢上升。冰川末端在消融的同时, 冰川上部出现较强的积累期, 物质平衡呈增大趋势, 零平衡线没有随物质平衡增大而降低的趋势, 即瞬时物质平衡和零平衡线的关系不好。

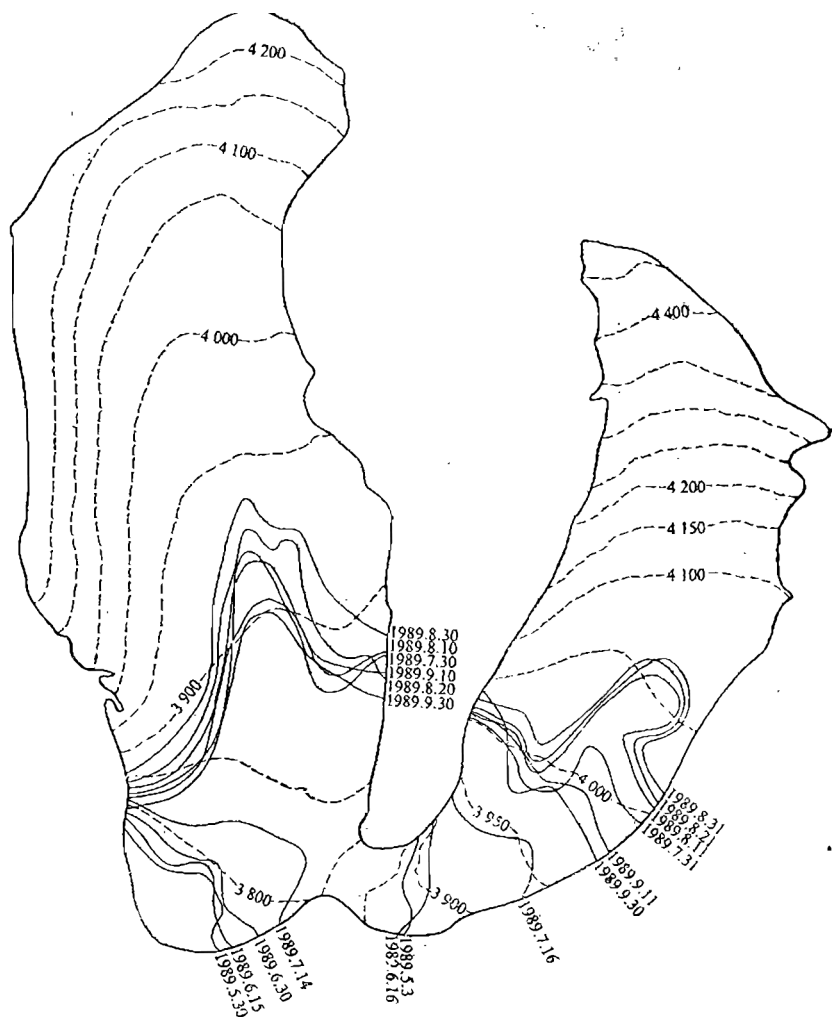


图 8 1号冰川东西支零平衡线高度随时间变化过程

表 7 1号冰川东、西支瞬时物质平衡和零平衡线高度的变化 (1989)

东 支				西 支			
日 期	b_t (mm)	ELA (m)	P (mm)	日 期	b_t (mm)	ELA (m)	P (mm)
4.17	208	低于冰川末端	112.9	4.18	276	低于冰川末端	116.7
5.1	314	低于冰川末端	118.6	5.2	339	低于冰川末端	118.6
5.14	293	低于冰川末端	132.4	5.15	331	低于冰川末端	135.1
5.30	313	3 755	155.9	5.31	308	3 833	157.2
6.16	334	3 768	216.8	6.16	383	3 888	220.3
7.17	341	3 815	329.7	7.16	409	3 927	330.3
7.30	137	3 888	380.2	7.31	255	4 003	392.3
8.10	105	3 896	407.3	8.11	217	4 014	407.3
8.20	74	3 902	434.4	8.21	212	4 035	434.4
8.30	39	3 916	462.5	8.31	220	4 036	470.6
9.10	09	3 889	526.4	9.11	346	3 997	526.4
9.30	243	3 886	547.5	9.30	394	3 987	547.5

7月中旬以后,随着冰川的强烈消融,零平衡线高度迅速升高,在8月底达最大高度。瞬时物质平衡和零平衡线高度有较好的关系:

$$ELA = 3929.8 - 0.33b_i \quad R = 0.997 \quad (2)$$

$$ELA = 4140.7 - 0.52b_i \quad R = 0.979 \quad (3)$$

式(2)是1号冰川东支;式(3)是1号冰川西支。式中ELA为零平衡线海拔, b_i 为瞬时物质平衡值(mm)。

进入冷季(9月),零平衡线高度随着物质平衡值的增大而降低。当零平衡线降低至冰川末端以下,整个冰川则开始进入稳定的积累期。

研究发现,零平衡线高度恰好落在冰川面积随高度分布曲线上(图9)。在分析1号冰川以往的资料也同样发现,年物质零平衡线也较好地落入这条曲线上。这就为模拟物质平衡和零平衡线、冰川径流之间的定量关系奠定了基础。

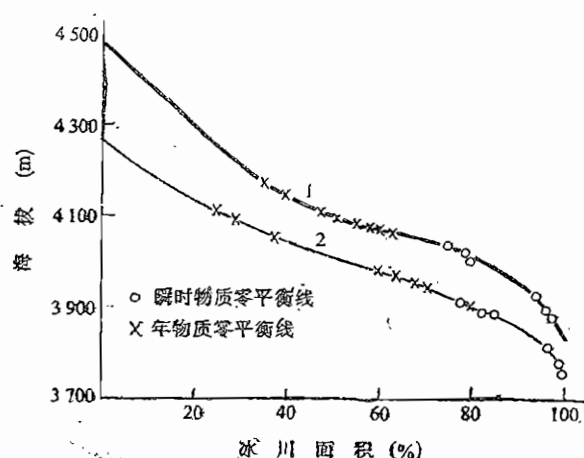


图9 零平衡线高度和冰川面积随海拔分布曲线的关系

6 雪变质过程和成冰作用动态

表8.9列出了1989年1号冰川东、西支季节雪盖的厚度(Σh)以及平均密度($\bar{\rho}$)、附加冰的形成和破坏结果,由此可以得到一些有意义的结论。

季节雪开始消融(5月1日)以前,雪的密度很小,约在 0.27g/cm^3 。虽然雪层厚度随高度升高而增大,(45—110mm),但其平均密度随高度没有多大的变化。在整个冬季期间,新降雪在恒定的负温条件下,经过沉陷、再结晶和退化变质等作用,形成了各种变质程度的雪,在雪层剖面中,深霜的普遍发育是这一时期雪变质作用的最典型特征。

5月初到5月底,雪层上部正、负温交替出现,雪层下部仍保持冷状态。表层雪由于气温升高而产生融水。雪层在融水参与下迅速演变各种粒雪,并在雪层中形成少量的渗浸冰片,雪体的密度迅速增大。这一时期属于雪变质作用的春季期,是冷、暖变质作用的过渡时期。

表8 1号冰川东支各高度区间雪积累厚度 ($\Sigma \bar{h}$, cm)、
平均密度 ($\bar{\rho}$, g/cm³) 和附加冰 (S_i , cm) 的变化 (1989)

高度区间 (m)	4.17			5.1			5.15			5.30			6.15			6.29			7.5		
	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$
3 740—3 750	45	0.23	0	36	0.45	4	14	0.53	9	5	0.36	0	18	0.41	0	0	0	0	5	0.40	0
3 750—3 800	57	0.27	0	54	0.44	0	44	0.45	7	6	0.62	12	18	0.49	8	27	0.45	6	0	0	0
3 800—3 850	54	0.28	0	56	0.38	3	45	0.47	8	28	0.64	15	30	0.58	19	32	0.56	19	11	0.29	15
3 850—3 900	—	—	—	—	—	—	52	0.40	11	38	0.57	15	58	0.49	18	52	0.53	20	24	0.37	25
3 900—3 950	89	0.30	1.2	94	0.43	1.2	88	0.43	11	61	0.60	15	75	0.50	21	82	0.53	23	67	0.46	26
3 950—4 000	90	0.29	0	96	0.43	0	99	0.36	2	74	0.58	15	80	0.47	20	84	0.51	28	75	0.46	25
4 000—4 050	85	0.29	0	34	0.41	0	83	0.37	3	72	0.58	17	75	0.47	19	80	0.49	21	71	0.44	27
4 050—4 100	107	0.27	0	116	0.46	0	113	0.35	0	96	0.56	0	111	0.40	0	128	0.40	0	113	0.59	18

高度区间 (m)	7.30			8.10			8.20			8.30			9.10			9.29		
	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$
3 740—3 750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0.38	0	10	0.35	0
3 750—3 800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.40	0	31	0.38	0	28	0.37	0
3 800—3 850	3	0.40	0	0	0	0	0	0	0	8	0.40	0	43	0.37	0	45	0.35	0
3 850—3 900	14	0.40	10	11	0.32	0	0	0	0	13	0.33	0	45	0.36	0	51	0.40	5
3 900—3 950	18	0.40	26	17	0.36	28	14	0.39	26	17	0.33	23	59	0.38	24	62	0.39	25
3 950—4 000	42	0.40	32	37	0.33	33	34	0.38	33	35	0.39	34	60	0.35	38	62	0.42	38
4 000—4 050	44	0.40	32	40	0.38	31	33	0.38	33	34	0.40	33	58	0.37	34	58	0.37	34
4 050—4 100	76	0.40	23	47	0.42	17	57	0.46	5	60	0.45	6	101	0.47	10	113	0.45	11

表9 1号冰西川支各高度带雪积累厚度 ($\Sigma \bar{h}$, cm)
平均密度 ($\bar{\rho}$, g/cm³) 和附加冰 ($\bar{S}_i$, cm) 的变化(1989)

高度区间 (m)	4.18			5.2			5.16			5.31			6.16			7.16		
	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$
3 810—3 850	42	0.29	0	28	0.55	3	10	0.37	11	11	0.45	0	28	0.35	0	0	0	0
3 850—3 900	66	0.26	0	54	0.45	5	38	0.38	10	13	0.45	11	32	0.35	7	7	0.35	0
3 900—3 950	77	0.25	0	63	0.43	2	47	0.30	9	14	0.38	13	38	0.37	13	7	0.36	13
3 950—4 000	97	0.29	0	85	0.41	3	63	0.31	12	34	0.40	17	53	0.39	19	36	0.37	22
4 000—4 050	83	0.29	0	78	0.43	4	69	0.34	12	43	0.40	16	64	0.36	22	51	0.36	27
4 050—4 100	111	0.29	0	103	0.42	0	97	0.35	15	76	0.41	21	83	0.37	24	67	0.36	32
4 150—4 200	—	—	—	89	0.40	0	97	0.29	0	86	0.36	0	—	—	—	121	0.36	0
高度区间 (m)	7.31			8.11			8.21			8.31			9.11			9.30		
	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$	$\Sigma \bar{h}$	$\bar{\rho}$	$\bar{S}_i$
3 810—3 850	7	0.25	0	0	0	0	0	0	0	5	0.32	0	27	0.35	0	19	0.40	0
3 850—3 900	7	0.25	0	0	0	0	0	0	0	5	0.28	0	31	0.36	0	25	0.40	0
3 900—3 950	9	0.25	0	0	0	0	0	0	0	7	0.28	0	34	0.36	0	28	0.40	0
3 950—4 000	15	0.28	14	10	0.34	0	7	0.14	0	8	0.34	0	40	0.36	0	52	0.40	0
4 000—4 050	21	0.29	17	17	0.35	14	13	0.28	17	14	0.35	14	46	0.38	19	54	0.39	22
4 050—4 100	38	0.33	24	31	0.34	25	28	0.31	29	26	0.36	30	62	0.39	32	67	0.39	33
4 150—4 200	78	0.34	0	76	0.35	0	84	0.35	0	96	0.40	0	—	—	—	—	—	—

进入6月份,降水量明显增大,开始了伴随温暖期的主要积累期,雪盖的厚度增大,季节雪层的密度增加,而雪沿高度区间的变质作用变缓。在冰川上部,雪层下部的温度仍保持较大的负温。

7—8月,雪层中由于融水渗浸作用增强,整个雪层变暖,开始了夏季暖型变质作用期。在积累区中部的雪坑(4170m)中,只有7月5日为负温,7月10日后,整个雪层剖面的温度等于零度(表10)。在这一高度处,物质同时发生着积累和消融过程,雪的密度随着其中的含水量的增加而有所增大。在季节雪层中没有观测到渗浸冰片,雪的变质作用是通过雪粒的分解和融化而实现的,而成冰作用是在下伏雪层中发生。在补给区的上部(4390m)发现了强烈的积累过程。在季节雪层变暖的同时,整个雪层也相应变暖(表11,图10)。在雪层中形成了渗浸冰片,在剖面中部,雪的密度增大,变质作用加速。在天格尔Ⅱ峰附近,由于风的吹蚀作用,雪层厚度减小。在夏季期间无降雪时,消融非常强烈,形成了渗浸冻结带。

表10 1号冰川西支补给区中部(4170m)的雪层温度

时 间	深 度(cm)	温 度(℃)
7.5	100	-0.2
	135	-1.0
	160	-1.2

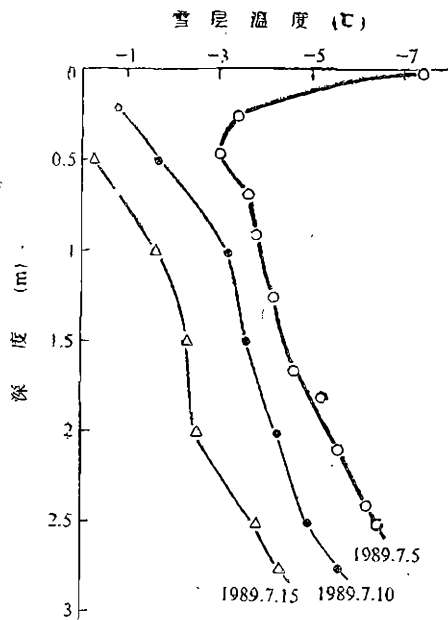


图10 1号冰川西支补给区上部(4390m)雪层温度的变化

表11 1号冰川西支4390m处雪层温度的分布(1989)

时 间	深 度 (cm)	温 度 (℃)	时 间	深 度 (cm)	温 度 (℃)	时 间	深 度 (cm)	温 度 (℃)
7.7	0	-7.4	7.10			7.15		
	25	-3.4		20	-0.8			
	45	-3.0		50	-1.7		50	-0.2
	67	-3.6						
	90	-3.8		100	-3.2		100	-1.6
	125	-4.2						
	160	-4.6		150	-3.4		150	-2.3
	180	-5.2						
	210	-5.6		200	-4.3		200	-2.5
	238	-6.2						
	250	-6.4		250	-5.0		250	-3.8
				275	-5.6		275	-4.3

9月份期间,雪层上部又出现正、负温交替,而下部雪层仍保持 0°C ,属于暖型变质作用向冷型变质作用的过渡时期。这一时期雪的密度依赖于渗浸冻结作用的增强而增大。

在补给区粒雪层中形成渗浸冰片(或冰透镜体)和在零平衡线-粒雪线之间形成附加冰带,是夏季补给型极大陆性冰川的主要特点。依据夏季形成的雪盖厚度和其结构沿高度分布,可以划分为下列成冰作用带。

(1) 消融带 在冰川开始消融后,季节降雪在冰川上保留的时间不长,随着气温的回升而消融,物质亏损主要表现在冰川冰的消融上。依据有无附加冰的形成,又可以分为:1) 消融下带:夏末在冰面上没有附加冰保留,其上界高度东、西支分别为3880m和3980m;2) 消融上带:夏末在消融下带的上限和零平衡线之间形成了附加冰带,其垂直高度东、西分别为50m和60m,厚度分别为14cm和23cm,即相当于 $2.716 \times 10^4 \text{m}^3$ 和 $2.461 \times 10^4 \text{m}^3$ 的冰体参与了冰川的补给。

(2) 渗浸冻结(附加冰)带 东、西支的垂直高度分别为150m(海拔3925—4075m)和94m(海拔4036m—4130m),东支明显大于西支。按这一高度计算,东、西支分别有 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 和 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的冰体保留在冰川上。由此可以看出,1号冰川附加冰对冰川的补给作用是相当大的,这也是夏季补给型极大陆性冰川的显著特征。在接近东、西支源头区(东、西支分别在4200m和4450m以上)由于风的吹蚀作用,季节雪层厚度减小,加上强烈的太阳辐射作用,冰川消融非常强烈,在渗浸成冰作用带的上部又形成了渗浸冻结成冰作用带。

冻结成冰作用带的上部界线随着消融的增强和雪线的升高而抬升,同时冰舌下部随着冰川冰的出露和消融,附加冰不断遭到破坏,其下界逐次上升。在冰舌上部,附加冰的厚度随着融雪界线的上移而增大。据1989年4月中旬的观测,雪层下没有发现附加冰

层，其主要原因是1988年夏末，冰面上的季节雪层厚度小，冰舌区大部分冰面出露，零平衡线上升到1989年夏末粒雪线的高度，当年形成的附加冰在7月底到8月初全部消融，附加冰带缺失。1989年5月初在1号冰川东、西支冰舌下部随着季节雪的融化和雪层中冷储的释放，在冰面上形成了厚度仅为2—5 cm的斑状附加冰。在5月中旬以后，随着消融的增强，在冰舌区各高度区间形成了连续的附加冰带，并一直保持到6月底。进入到7月份，随着冰舌下部冰川冰的出露和强烈消融，原来形成的附加冰遭到破坏，并随着冰川冰消融界线的上移，附加冰带的下界依次升高，到冰川消融期末达最高位置（图11，12）。

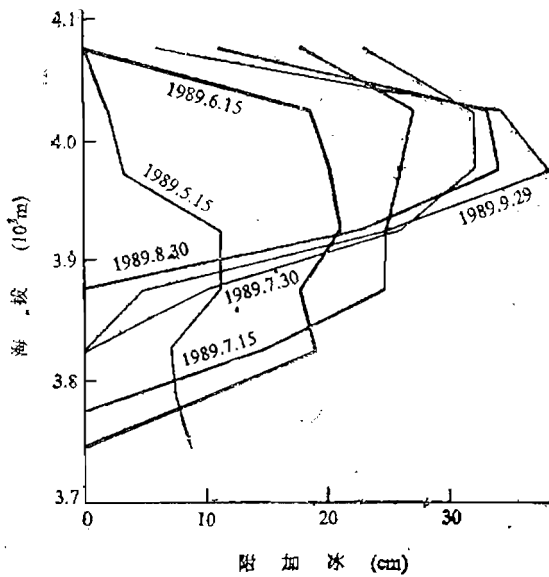


图11 1号冰川东支附加冰形成和破坏过程

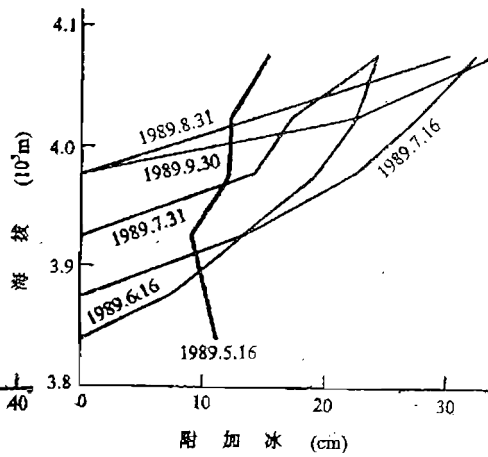


图12 1号冰川西支附加冰形成和破坏过程

（3）渗浸带 在补给区下部渗浸冻结带的上界到山顶渗浸冻结带下界之间，形成了渗浸成冰作用带。东、西支的垂直高度分别为125m和320m，是1号冰川主要的成冰作用带。在这一成冰作用带中，雪层结构的主要特征是在各种变质程度的粒雪中夹有渗浸冰片或冰透镜体。

7 主要结论

1989年冰川物质平衡过程、雪线和零平衡线动态监测和成冰作用过程研究可以获得以下初步结论：

- （1）在夏季频繁降雪条件下的大陆性冰川上，冰面经常处在变化中。无降雪时，气温高，消融强烈，降雪时或以后气温随之降低，消融减缓或终止。累积日正积温和累积消融量关系很好，日正积温升高1℃，消融量增大6.1mm。
- （2）1号冰川东、西支具有不同的物质平衡形成过程，其主要差别是东支物质平衡的高度梯度在暖季期间的变化小于西支冰川，这与两支冰川的形态不同和占据着不同高度区间有关。1号冰川实际上已退化为各具独立形态的东、西两支冰川。因此，可以

预料, 两支冰川物质平衡形成过程和高度结构, 以及对外部气候条件反应的差异将会继续增大。

(3) 1号冰川冬季积累量(或冬平衡值)很小, 仅占年总积累量的25%左右。冰川物质平衡主要形成于夏季, 在冰舌区消融的同时, 补给区中、上部为持续积累期, 冰川物质平衡高度梯度从消融增大和积累增加两个方向上得到增大, 与物质平衡高度梯度在全年期间很少变化的海洋性冰川形成明显的对照。

(4) 1号冰川雪积累的高度梯度很小, 不同强度的降雪的梯度也是较稳定的。可以认为, 冰川带的年积累和降水的高度梯度, 不仅与高度升高、降水量增大有关, 而且主要与固态降水在总降水量中的份额随高度升高而增大有关。乌鲁木齐河源区降水高度梯度小的主要原因是缺少湿润气团的地形抬升作用。

(5) 1号冰川零平衡线随着冰川消融增大而有规律地上升, 而雪线的变化则处在剧烈波动中。在夏季降雪频繁发生的条件下, 雪线在每次降雪后降低, 然后随着新雪的消融而抬升, 在晴朗的天气, 雪线赶上或超过零平衡线高度。

(6) 瞬时零平衡线或年物质零平衡线恰好落在冰川面积随高度分布的曲线上。瞬时零平衡线随着物质平衡的增大而降低, 反之升高。由此可以建立瞬时物质零平衡线和其物质平衡、径流变化的模式。

(7) 1号冰川成冰作用主要发生在夏季。在冰舌区上部和补给区下部普遍发育着渗浸冻结成冰作用带, 以及在补给区中、上部雪层中形成渗浸冻结冰片或冰透镜体是夏季补给型大陆性冰川成冰作用的主要特点。

8 今后研究工作的建议

(1) 1号冰川物质平衡形成过程的研究, 要据统一大纲按一定的时间间隔(5—10天)在冰川各高度区间进行。这个大纲要考虑夏季降雪对雪线、瞬时物质平衡和零平衡线的影响。为此要改进现有的观测方法。

(2) 进行乌鲁木齐河源区和乌鲁木齐河流域冰川系统物质平衡的研究, 要采用在苏联外伊犁阿拉套山北坡和阿尔卑斯山冰川作用区已经采用的计算方法。

(3) 进一步研究瞬时物质平衡与临近气象站气象参数和水文站冰川径流的关系, 预测冰川变化(包括物质平衡的变化等)对冰川径流及其过程的影响。

(4) 研究个别冰川和整个冰川系统物质平衡测量精度的评价和独立的验证方法。

(5) 进一步研究夏季重复成冰作用对物质平衡和冰川径流的影响, 提出定量的计算方法。

参 考 文 献

王大庆, et al. 1988. 天山乌鲁木齐河源降水观测误差分析及改正. 冰川冻土 10 (4): 398

Юргеров М. Б., 1988. Программа наблюдений за колебаниями внешнего массообмена и баланса масск
ледников с основами методики, МГН, вып. 64, 153—163

An Approach to Estimate Annual Evaporation Amount on "Continental Type" Glaciers (Preliminary Report)

Hiroyuki OHNO^①

1 Introduction

Number of glaciers are spread over various areas between polar region and subtropics now on earth. Glaciers have their own features in such as snow line altitude, heat balance and mass balance, reflecting the characteristics of circumference climatic condition (Shi Yafeng *et al.* 1964; Xie Zichu, 1980). The climate over north border of Tibetan Plateau such as Qilianshan and Xi-Kunlunshan, and middle eastern part of Tianshan mountain range are to be characterized as scarce precipitation and strong solar radiation on account that mountain ranges are adjacent to intercontinental arid area. This leads high annual snow line altitude there. And in general, the term of net radiation occupies the largest part (more than 80%) in energy gain, and evaporation holds higher rate (more than 15%) in energy loss on glaciers there in summer energy budget. Chinese scientists group them as "continental type glacier" and distinguish them from "maritime type glaciers". (Kou Youguan *et al.*, 1982a,b)

A glacier which evaporation term occupies 15% in energy loss loses about 10% less snow or ice mass than that which it occupies 5% at same energy gain because heat of vaporization is 7.3 times as large as heat of fusion in water. This shows the process of evaporation is favorable for glaciers to survive in summer. But the mass loss through this process conversely becomes unfavorable in other seasons. This amount possibly have some importance in annual mass balance as fine weather is frequent there through a year except summer. Nevertheless, there are few works about evaporation on the glaciers except summer season. Li Nianjie (1985) estimates this value on Gl. No. 1 at headwater of Urumqi River Tianshan as 60mm water equivalent for the necessity to calculate the discharge of that area according to the result of a field

^①Water Research Institute, Nagoya Univ., Nagoya, 464 Japan

observation done by Xie *et al.* (1965) in summer. This is almost unique estimation ever done.

Meanwhile, in most part of this region, glaciers are comparatively small in scale and their accumulation areas are mainly formed on north to northwest faced slopes. Considering that the intensity of solar radiation in winter season is able to compare to this in summer on south faced slopes, the evaporation loss could be one of the factors which decide the distribution of them. Xie *et al.* (1982 a,b) minutely examined the relationship between net radiation and fusion of snow, and conclude that net radiation in summer deeply influence distribution of "continental type" glaciers. They neglect the influence of solar radiation in winter because daily net radiation is negative. However, since water vapor in the process of evaporation is not kept around snow such like that melt water is, net radiation should be integrated over positive period for the purpose of evaluate this.

In consideration of the fact that glaciers there function as quite important reservoirs which constantly supply good quality fresh water to adjoining arid lowlands, it should be make clear on the basis of field observation that the amount of evaporation and the relationship between it and solar radiation in these high mountainous areas.

From this point of view, field observations have been done on Glacier No. 1 Urumqi river headwater region Tianshan China from summer in 1987 through winter in 1988. This preliminary report presents a elementary evaluation of the above-mentioned basic idea on the basis of evaporation (sublimation) intensity measured by evaporation pan method and global radiation record.

2 Observation

The field campaign was carried out at 4010m a.s.l. in the accumulation area of Glacier No. 1, Tianshan. The study area is indicated in Figure 1.

In order to determine the evaporation intensity, two methods are applied: profile method and evaporation-pan method. For the former, relative humidity and wind velocity at 30cm and 150cm above surface were measured. Air temperature, global radiation and net radiation were also measured. Every datum was recorded on chart paper by dot-plotting type recorder. This series of observation was carried out following four periods; 12 July-29 July 1987, 20 October-8 November 1987,

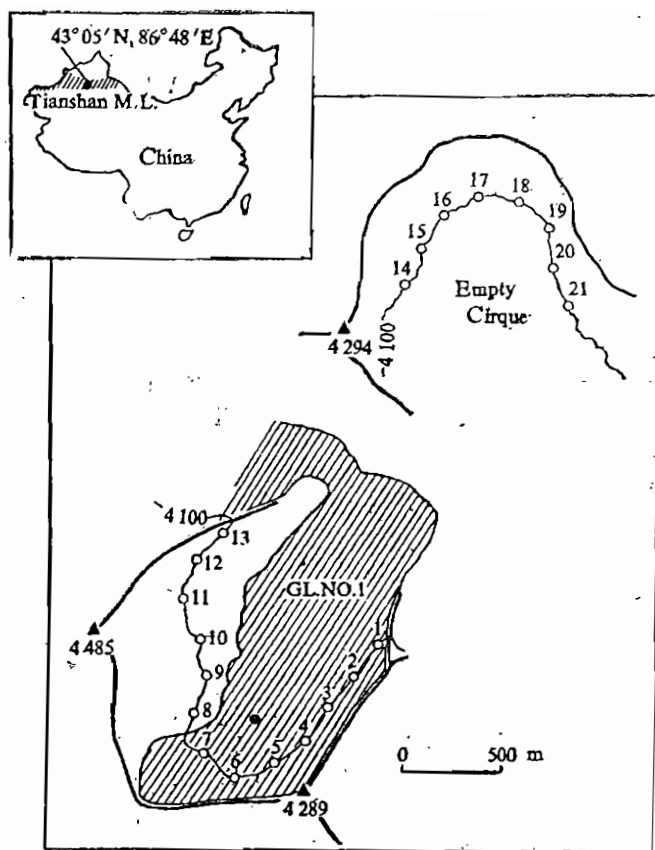


Fig. 1 The observation point on Glacier No.1 (black spot) and the points at which global radiation is calculated (white spots with number). 4100 m contour line is drawn in broken line. Bold line indicates the ridge

23 January -9 February 1988 and 6 April-22 April 1988. For the later, aluminum containers, 5cm in depth and 242cm² in cross sectional area, were prepared as evaporation pans. The snow in the container was weighted and changed around 10, 12, 14, 16, 18 and 20 o'clock Beijing Summer Time unless precipitation occurred or the snow heavily melted in the container. A balance which is graduated till 0.1g was used to weight the containers. The instruments and sensors listed in Table 1 and 2 are used during the observations.

Table 1 The list of instrumentation for summer observation in 1987

Objective	Device	Specification
net radiation	net radiometer, EKO, type CN2, no. N7316	22.0mV/calcm ⁻² min ⁻¹
global radiation	pyranometer, EKO, type MS-41, no. A75049	7.92mV/k Wm ⁻²
wind speed 3 levels: 30, 60, 150 cm above surface	anemometer, MAKINO, type AC750P	1.0mV/ms ⁻¹ (with converter, GCS202)
air temperature 3 levels: 30, 60, 150 cm above surface	homemade thermister bridge	-13.3 to +20.0°C
relative humidity 1 level, 150cm above surface	relative humidity sensor, AANDERAA, type 2820, no. 600	5 to 100% RH + 3% (-30 to 50°C)
wind direction 1 level, 200cm above surface	wind direction indicator, MAKINO, type VR036, no. 343	
h	6 aluminium lunch boxes	5 cm depth, 242cm cross section
evaporation	balance, OHAUS SCALE type DIAL-0-GRAM	1600g capacity 0.1g resolution

Table 2 The list of instrumentation for spring observation in 1988

Objective	Device	Specification
net radiation	net radiometer, EKO, type CN2, no. N7316	22.0mV/calcm ⁻² min ⁻¹
global radiation	arbedo meter, EKO, type MR-21 no. W85001(U)(L)	6.99mV/k Wm ⁻¹ (U) 6.94mV/k Wm ⁻¹ (L)
wind speed 2 levels: 30, 150cm above surface	anemometer, MAKINO type AC750P	1.0mV/ms ⁻¹ (with converter, GCS202)
air temperature 3 levels: 30, 60, 150 cm above surface	homemade thermister bridge	-25.0 to 0.0°C
relative humidity 2 levels: 30, 150 cm above surface	relative humidity sensor, AANDERAA, type 2820, no. 478, 600	5 to 100% RH + 3% (-30 to 50°C)
recording	2 recorders, CHINO type ES800-06BK	0 to 10 mV input, 6 channels, 60mm chart paper width
evaporation	4 aluminium lunch boxes balance, OHAUS SCALE type DIAL-0-GRAM	5cm depth, 242cm cross section 1600g capacity 0.1g resolution

3 Discussion

3.1 The characteristics of global radiation

The glaciers around study area, as well as other intercontinental glacierized area in China, are mainly spread on north-faced slopes. But their accumulation area seems apt not to be formed on true north but to be formed on the slopes which facing direction shifts 20-30 degrees to the west away from the north. Glacier No.1 is one of such glaciers; although as it were laying in northwest direction from its shape, the accumulation area is evidently on northwest faced slope. Unfortunately author is not able to show actual statistics in this report on account of lack in available material.

This "westward shift" could not be explained by snow drift because wind dominantly blows from the west though the year in this region. One possibility which cause it is characteristics of global radiation. The averaged diurnal course of global radiation at the observation point in summer campaign is indicated in Figure 2. On comparison with the course averaged only over clear days, it is found that the global radiation

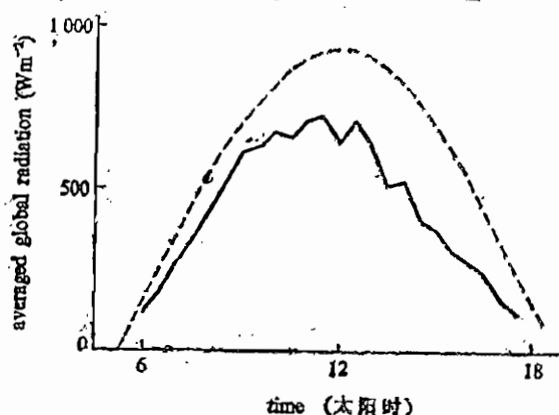


Fig. 2 Averaged Daily succession of global radiation at hydrological station in Empty Cirque (solid line). The average is got over the period from July, 17 through August, 31, 1987. The succession averaged over clear-sky days is indicated in broken line

intensity in the afternoon is more weakened than it in the morning. This depression is caused by the development of local convective cloud. This phenomenon may lead the "westward shift".

In order to evaluate the efficiency of it, daily amount of global ra-

diation which irradiates on imaginary cone is calculated. The imaginary cone is supposed as upward-opened, 4300m a. s. l. in height and 40 degree in angle of incline; these actual values are taken as representative values of landscape of cirque around Glacier No.1. The daily amount is estimated along the contour of 4100m a.s.l. Solar loci are fixed the loci on 20 July 1987 for summer and on 20 January 1988 for winter. For example, the outline of the cone, solar loci and slope angle in celestial globe at northwest-facing surface are drawn in figure 3 in summer season.

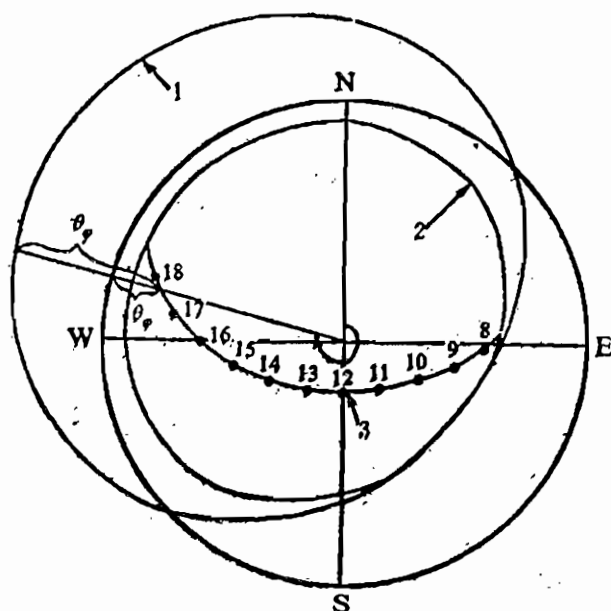


Fig. 3 Solar locus on July, 20, 1987, the angle of slope and the ridge line of imaginary cone at northwest-facing point
1. angle of slope; 2. profile of cone; 3. Solar pass

Observed global radiation, $S(\phi)$ at solar direction, ϕ consists of two parts: direct radiation, I_ϕ and diffusive radiation, D_ϕ . This can be written in following formula:

$$S(\phi) = I_\phi \sin \theta_\phi + D_\phi \quad (1)$$

where, θ_ϕ is the angle between the sun and the horizon. Direction angle, ϕ is taken to right-handed rotation from the north. Global adiation on the inclined surface, $S'(\phi)$ is written in similar form:

$$S'(\phi) = I \sin \theta'_\phi + D_\phi \quad (2)$$

where, θ'_ϕ is the angle between the sun and the surface. Using 2eq. 1), eq. (2) becomes

$$S'(\phi) = S(\phi) \frac{\sin \theta_{\phi'}}{\sin \theta_{\phi}} + \left(1 - \frac{\sin \theta_{\phi'}}{\sin \theta_{\phi}}\right) D_{\phi} \quad (3)$$

Difusive radiation, D_{ϕ} is assumed as following:

$$D_{\phi} \begin{cases} = S(\phi) & \left(\frac{S(\phi)}{S_f(\phi)} < 0.5\right) \\ = 1.9S(\phi) - 1.8 \frac{S(\phi')}{S_f(\phi)} & \left(0.5 < \frac{S(\phi)}{S_f(\phi)} < 1\right) \\ = S(\phi) - 0.9S_f(\phi) & \left(1 < \frac{S(\phi)}{S_f(\phi)}\right) \end{cases} \quad (4)$$

where, $S_f(\phi)$ is global radiation averaged over clear-sky days.

$S'(\phi)$ is integrated for one day used this formula:

$$S = \sum \left\{ S' \left(\frac{i}{24} \pi \right) \times \left(t \left(\frac{i}{24} \pi \right) - t \left(\frac{i-1}{24} \pi \right) \right) \right\} \quad (5)$$

where, $t(\phi)$ means the time the sun arrives at direction. Then $2 S$ is averaged over the period of observation.

The result is shown in Figure 4. The direction which gives the minimum is apart about 30 degrees to the west from the north. The calculated shift angle gives good agreement with actual angle. This explain that the global radiation in summer has strong influence on formation of accumulation area in "continental type" glaciers. On the other hand, it is found that the radiative energy which the slope receives widely changes with facing direction in winter, and its maximum which appears at south-facing slope is not far off to summer value.

The next, same calculation is applied to Glacier No. 1 Cirque and Empty Cirque. 21 points on the 4100 m contour are picked up, and the outline of ridge, the angle of slope and the facing direction are determined by reading a map. the result is indicated in Figure 5. The glacierized section (No. 1-6) is indicated by banking in the graph. Although

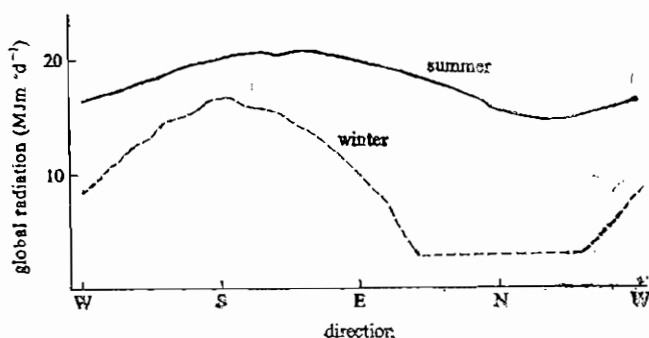


Fig. 4 Calculated daily amount of global radiation on different facing portion on a imaginary cone. Calculation is based on observed global radiation

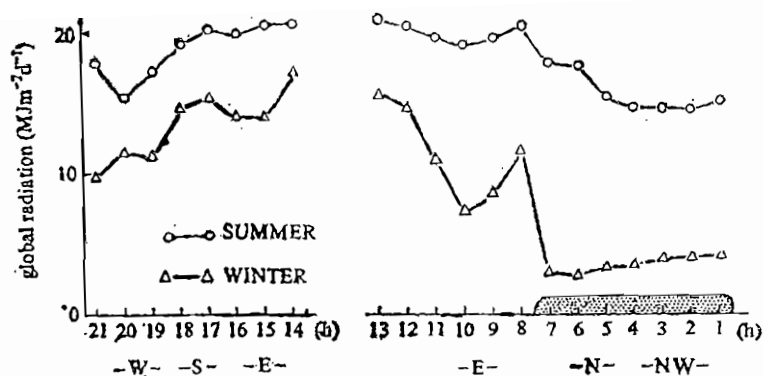


Fig. 5 Calculated daily amount of global radiation on the points put on 4100 m contour line over Glacier No. 1 and Empty Cirque. The glacierized area is indicated by banking (No.1-7)

the accumulation area is formed on the section where receive the least energy in summer without fail, there is no perennial snow cover on the section between No. 19 through No. 21, where also receives little energy as well as the glacierized section receives. This means The global radiation in summer is not unique factor to decide the distribution of the accumulation area. One of other important factors is considered the mass loss by evaporation (sublimation) in other seasons. Figure 5 indicates large difference of global radiation amount between these two sections in winter; the section between No.19 and No.21 receives $11 \text{ MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ whereas the section between No. 1 and No.6 gets only $4 \text{ MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$. Assuming that the long wave radiation balance and the heat conduction are same, using the albedo of 0.75 which is derived in winter observation, the difference in energy income reaches $1.8 \text{ MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$; this energy can evaporate (sublimate) 700 gm^{-2} (0.7mm) of snow everyday.

3.2 The evaporation intensity at the measurement point

Here author shows only the result of evaporation-pan method as the profile method is under calculation now. The results are listed in Table 3 and graphed in Figure 6. As the container were not weighted in during the night, we can only know nocturnal amount from this observation

It is found that evaporation takes place both in the daytime and in

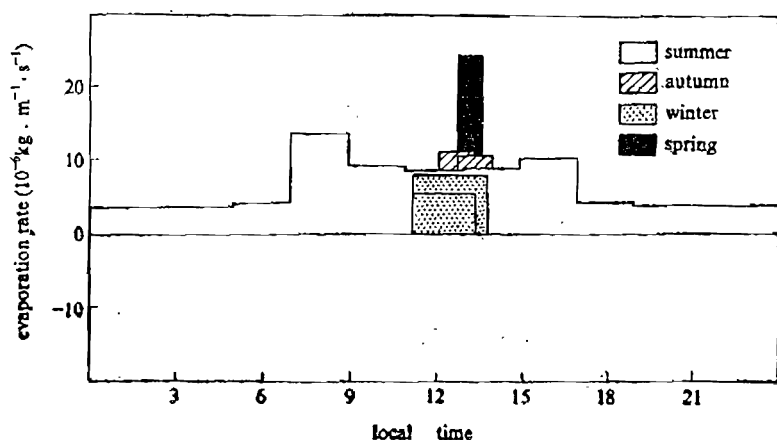


Fig. 6 The mass flux caused by evaporation (sublimation) at the observation point. This flux is determined by evaporation-pan method. Vessels are normally weighted 10, 12, 14, 16 and 18 o'clock Beijing Summer Time in summer; data are averaged

the nighttime in summer; their amount reaches 400 gm^{-2} (0.40mm) and 160 gm^{-2} (0.16mm) respectively. It is only one case that the condensation is observed in the night. Additionally, although observation was occasionally discontinued by precipitation, condensation was not detected just before and after of it. Comparatively intense evaporation is recorded early in the morning; the reason is considered that the sunshine, just started, more quickly sets up saturated mixing ratio over snow surface than the mixing ratio in the atmosphere.

Only two measurement was successful in the autumn and winter observation because the snow drift commonly obstructed. Available data were observed in calm period while the wind speed was less than 2ms^{-1} . In windy condition, the snow surface is kept on lower temperature; this suppress conductive heat loss.

Considering this, on comparison to the same or little more intense evaporation is able to be expected in other seasons. However this does not immediately means that the daily amount is larger because the hours of sunlight is shorter in these seasons, it have been clear that the loss caused by evaporation in these seasons is not negligible.

Table 3 The list of measured evaporation intensity.

Time is explained in Beijing Summer Time

Evaporation rate determined by lysimeter.

Tianshan Gl. No. 1 (43°05'N, 86°48'E, 4 010m a. s. 1)

No.	Date (1987)	Bigg. M. S. T.	End M. S. T.	Evaporation mg/m ² s	No.	Date (1987)	Bigg. M. S. T.	End M. S. T.	Evapora mg/m ²
1	8.15	06:58	09:50	-5.6	40	8.16	16:02	17:15	-6.6
2	8.15	07:02	09:54	-9.2	41	8.16	14:50	16:42	-9.9
3	8.15	07:06	09:57	-6.9	42	8.16	14:56	16:48	-7.4
4	8.15	07:11	10:02	-7.3	43	8.16	15:01	16:53	-9.2
5	8.15	10:17	11:45	-12.5	44	8.16	15:06	16:58	-5.5
6	8.15	10:24	11:48	-12.3	45	8.16	15:12	17:04	-5.5
7	8.15	10:34	11:51	-10.7	46	8.16	15:17	17:10	-6.7
8	8.15	11:59	14:46	-4.1	47	8.16	16:45	06:41	-3.
9	8.15	12:04	14:49	-9.2	48	8.16	16:50	06:46	-2
10	8.15	12:08	14:53	-2.5	49	8.16	16:56	06:49	-2.
11	8.15	12:24	14:55	-11.4	50	8.16	17:01	06:54	-2.6
12	8.15	15:11	17:24	-8.3	51	8.16	17:07	06:58	-1.8
13	8.15	15:15	17:27	-7.3	52	8.16	17:13	07:03	-1.7
14	8.15	15:19	17:30	-6.8	53	8.17	06:49	08:52	-31.4
15	8.15	15:23	17:32	-10.2	54	8.17	06:54	08:55	-37.6
16	8.15	17:24	06:49	-14.7	55	8.17	06:58	08:57	-36.5
17	8.15	17:27	06:55	-14.8	56	8.17	07:03	09:00	-31.2
18	8.15	17:30	06:59	-15.7	57	8.17	09:14	10:50	-2.9
19	8.15	17:32	07:02	-12.1	58	8.17	09:17	10:59	-8.1
20	8.16	06:49	08:54	-20.4	59	8.17	09:22	11:06	-6.6
21	8.16	06:55	09:06	-18.4	60	8.17	09:26	11:12	-8.5
22	8.16	06:59	09:13	-21.1	61	8.17	09:29	11:16	-10.3
23	8.16	07:02	09:18	-15.7	62	8.17	09:32	11:21	-8.2
24	8.16	09:00	10:50	-11.9	63	8.17	10:57	12:49	-16
25	8.16	09:09	10:55	-14.3	64	8.17	11:03	12:54	-9.9
26	8.16	09:15	11:00	-12.5	65	8.17	11:08	13:00	-11.7
27	8.16	09:21	11:06	-14.4	66	8.17	11:14	13:09	-13.2
28	8.16	11:03	12:46	-8	67	8.17	11:19	13:15	-12.5
29	8.16	11:08	12:48	-6.9	68	8.17	11:24	13:20	-11.9
30	8.16	11:13	12:51	-8.4	69	8.17	12:52	14:49	-14.1
31	8.16	11:17	12:53	-1.8	70	8.17	12:57	14:57	-11.5
32	8.16	06:41	08:48	-32	71	8.17	13:12	15:09	-14.7
33	8.16	06:46	08:50	-30.6	72	8.17	13:17	15:15	-15.8
34	8.16	13:10	14:48	-12	73	8.17	13:23	15:23	-14.9
35	8.16	13:14	14:53	-10.4	74	8.17	14:53	16:52	-20.3
36	8.16	13:18	14:59	-21.2	75	8.17	15:00	16:59	-19.1
37	8.16	13:22	15:03	-10.9	76	8.17	15:06	17:05	-16.8
38	8.16	13:25	15:09	-11.3	77	8.17	15:13	17:11	-22.2
39	8.16	13:28	15:15	-17.4	78	8.17	15:19	17:17	-17.5

Table 3 (续1)

Evaporation rate determined by lysimeter
Tianshan Gl. No. 1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a. s. l.)

No.	Date (1987)	Bigg. M. S. T	End M. S. T	Evaporation mg/m ² s	No.	Date (1987)	Bigg. M.S. T	End M.S.T.	Evaporat. mg/m ² s
79	8.17	15:27	17:22	-22.8	119	8.20	07:14	09:35	-12.2
80	8.17	16:54	06:54	-3.9	120	8.20	10:49	12:28	-10.4
81	8.17	17:03	06:58	-3.6	121	8.20	10:53	12:30	-10
82	8.17	17:08	07:03	-3.8	122	8.20	10:57	12:32	-5.1
83	8.17	17:14	07:07	-3.6	123	8.20	11:00	12:33	-8.2
84	8.17	17:19	07:10	-3.3	124	8.20	11:04	12:35	-3.8
85	8.17	17:25	07:14	-3.2	125	8.20	11:07	12:36	-3.1
86	8.18	06:54	09:05	-10	126	8.20	14:23	15:30	-7.2
87	8.18	06:58	09:10	-9.4	127	8.20	14:28	15:31	-7.7
88	8.18	07:03	09:15	-9.4	128	8.20	14:32	15:37	-4.2
89	8.18	07:07	09:23	-9.1	129	8.20	14:35	15:38	-6.6
90	8.18	07:10	09:29	-8.9	130	8.20	14:37	15:40	-5.5
91	8.18	09:08	10:50	-8.8	131	8.21	06:53	08:52	-10.4
92	8.18	09:13	10:55	-5.4	132	8.21	06:57	08:57	-10.9
93	8.18	09:20	10:59	-10.4	133	8.21	07:01	09:01	-9.2
94	8.18	09:26	11:05	-6.3	134	8.21	07:04	09:06	-9.6
95	8.18	09:32	11:10	-5.6	135	8.21	07:08	09:11	-7.8
96	8.18	09:38	11:15	-6.4	136	8.21	07:11	09:23	-10.4
97	8.18	10:52	12:52	-5.2	137	8.21	08:55	10:51	-7.1
98	8.18	10:57	12:58	-4.6	138	8.21	08:59	10:57	-8.8
99	8.18	11:02	13:04	-8.5	139	8.21	09:04	11:00	-8.3
100	8.18	11:07	13:09	-7.9	140	8.21	09:09	11:06	-8.3
101	8.18	11:12	13:15	-5.6	141	8.21	09:14	11:11	-6.5
102	8.18	11:18	13:20	-5.7	142	8.21	09:26	11:18	-6.8
103	8.19	14:48	16:50	-9	143	8.21	10:54	12:49	-7.3
104	8.19	14:51	16:55	-11.7	144	8.21	11:00	12:54	-7.3
105	8.19	14:54	17:01	-12.5	145	8.21	11:04	12:59	-9.6
106	8.19	14:56	17:07	-16.8	146	8.21	11:09	13:04	-6
107	8.19	14:59	17:12	-12.4	147	8.21	11:16	13:11	-12
108	8.19	15:02	17:16	-13.4	148	8.21	11:21	13:17	-11.3
109	8.19	16:53	06:51	0.5	149	8.21	12:52	14:50	-8.2
110	8.19	16:58	06:55	1.2	150	8.21	12:57	14:56	-8.7
111	8.19	17:04	07:01	0.7	151	8.21	13:02	15:01	-7.5
112	8.19	17:10	07:06	1.1	152	8.21	13:07	15:06	-8.1
113	8.19	17:14	07:11	1.1	153	8.21	13:14	15:12	-6.4
114	8.20	06:51	08:49	-13.4	154	8.21	13:20	15:19	-8.1
115	8.20	06:55	08:55	-11.5	155	8.21	14:53	16:52	-14.5
116	8.20	07:01	09:01	-13.8	156	8.21	14:59	16:57	-15.2
117	8.20	07:06	09:09	-9.5	157	8.21	15:04	17:02	-16.9
118	8.20	07:11	9:18	-13	158	8.21	15:10	17:08	-18.1

Table 3 (续2)

Evaporation rate determined by lysimeter
Tianshan Gl. No. 1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a. s. l.)

No.	Date (1987)	Bigg. M. S. T.	End M. S. T.	Evaporation mg/m ² s	No.	Date (1987)	Bigg. M. S. T.	End M. S. T.	Evaporation mg/m ² s
159	8.21	15 : 16	17 : 13	-18.3	186	8.23	07 : 14	09 : 03	-4.4
160	8.21	15 : 22	17 : 19	-17.1	197	8.23	08 : 52	10 : 58	-11.1
161	8.21	16 : 55	06 : 53	-11	188	8.23	08 : 54	11 : 01	-10.3
162	8.21	17 : 00	06 : 59	-7.4	199	8.23	08 : 56	11 : 06	-11.1
163	8.21	17 : 06	07 : 03	-9.6	200	8.23	08 : 58	11 : 11	-8.3
164	8.21	17 : 11	07 : 07	-7.5	201	8.23	09 : 00	11 : 16	-8.1
165	8.21	17 : 17	07 : 11	-6.5	202	8.23	09 : 03	11 : 22	-7.9
166	8.21	17 : 22	07 : 15	-5.8	203	8.23	10 : 59	12 : 54	-12.6
167	8.22	06 : 53	08 : 53	-15.5	204	8.23	11 : 04	12 : 58	-12.7
168	8.22	06 : 59	08 : 58	-16.8	205	8.23	11 : 09	13 : 02	-12.2
169	8.22	07 : 03	09 : 04	-14.8	206	8.23	11 : 14	13 : 06	-12.9
170	8.22	07 : 07	09 : 09	-17	207	8.23	11 : 21	13 : 11	-15
171	8.22	07 : 11	09 : 15	-15.8	208	8.23	12 : 56	14 : 34	-10.6
172	8.22	07 : 15	09 : 20	-16.5	209	8.23	13 : 00	14 : 38	-7.7
173	8.22	08 : 56	10 : 52	-11.3	210	8.23	13 : 05	14 : 44	-8.4
174	8.22	09 : 02	10 : 57	-14.4	211	8.23	13 : 09	14 : 48	-8.4
175	8.22	09 : 07	11 : 01	-10.3	212	8.23	13 : 14	14 : 55	-8.2
176	8.22	09 : 13	11 : 08	-11.4	213	8.23	13 : 20	15 : 06	-8.6
177	8.22	09 : 18	11 : 14	-12.5	214	10.19	11 : 59	13 : 14	-7.4
178	8.22	09 : 24	11 : 21	-11.8	215	10.19	12 : 02	13 : 19	-15.2
179	8.22	10 : 54	12 : 53	-4.6	216	10.19	12 : 05	13 : 20	-10.1
180	8.22	10 : 59	12 : 57	-5.8	217	10.19	12 : 07	13 : 21	-12.1
181	8.22	11 : 05	13 : 01	-5.3	218	11.03	12 : 41	13 : 53	-11.5
182	8.22	11 : 10	13 : 06	-6.5	219	11.03	12 : 44	13 : 54	-9.9
183	8.22	11 : 17	13 : 10	-5.5	220	11.03	12 : 47	13 : 56	-13
184	8.22	11 : 23	13 : 15	-9.2	221	11.03	12 : 51	13 : 58	-9.3
185	8.22	12 : 55	14 : 51	-7.1	222	1.31	11 : 07	13 : 49	-9.4
186	8.22	12 : 59	14 : 54	-9	223	1.31	11 : 10	13 : 46	-8.8
187	8.22	13 : 04	14 : 58	-8.5	224	1.31	11 : 12	13 : 44	-6.4
188	8.22	13 : 08	15 : 02	-5.4	225	1.31	11 : 07	13 : 21	-4.6
189	8.22	13 : 13	15 : 07	-7.9	226	1.31	11 : 10	13 : 22	-6.8
190	8.22	13 : 17	15 : 11	-7.3	227	1.31	11 : 12	13 : 23	-5.3
191	8.23	06 : 53	08 : 52	-8.7	228	4.20	12 : 42	13 : 34	-26.5
192	8.23	06 : 58	08 : 54	-8.9	229	4.20	12 : 45	13 : 35	-26.2
193	8.23	07 : 03	08 : 56	-9.2	230	4.20	12 : 46	13 : 37	-23
194	8.23	07 : 06	08 : 58	-6.8	231	4.20	12 : 48	13 : 38	-22.1
195	8.23	07 : 10	09 : 00	-7.5					

References

- Kou Youguan, Xie Weirong, Xiao Shu et al. , 1982a. The heat balance on glacial surface in China, *Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Academia Sinica*, no. 3, 91-101. (in Chinese with English abstract)
- Kou Youguan, Xie Weirong, Zhang Yongliang, 1982b. The potential of solar energy for melting ice and snow at high mountains in China, *Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Academia Sinica*, No. 3, 102-108. (in Chinese)
- Li J. n jie, 1935. Characteristics of runoff in the Glacier No.1 region at headwater of Urumqi River Tianshan, *Journal of Glaciology and Geocryology*, Vol. 7, No. 2 163-170. (in Chinese with English abstract)
- Shi Y F, Sieh T C 1964. The basic characteristic sof existing glaciersin China, *Acta Grographica Sinica*, Vol. 30. No.3, 183-213. (in Chinese with Russian abstract)
- Xie Weirong, Cao Meisheng, 1965 A preliminary observation of the snow surface evaporation on Glacier No. 1 at the head Urumqi River in Tianshan Mountains, *A study on glaciers and hydology in Urumqi River basin of Tianshan Mounatins*, 70-73. (in Chinese)
- Xie Weirong, Kou Youguan, Xie Yingqin, 1982. Investigation on solar radiation at alpine ice-snow zone in northwest China, *Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Academia Sinica*, No. 3, 60-66. (in Chinese)
- Xie Weirong, Kou Youguan, Zeng Qunzhu, Xiao Shu, 1982. The effect of heat regime of different slopes on accumulation and ablation of glacier, *Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Academia Sinica*, No. 3, 67-77. (in Chinese)
- Xie Zichu, 1980. Mass balance of glaciers and its relationship with characteristics of glaciers, *Journal of Glaciology and Cryopedology*, Vol. 2, No. 4, 1-10. (in Chinese with English abstra

Characteristics of Evaporation on Continental Type Glaciers in Melting and Non-Melting Season

Hiroyuki OHNO^①

1 Introduction

Number of glaciers are spread over various areas between polar region and subtropics on earth. Glaciers have their own features in such as snow line altitude, heat balance and mass balance, reflecting the characteristics of local climatic condition (Shi *et al.*, 1964, Xie, 1980). The climate over north border of Tibetan plateau such as Qilian Mountains and western Kunlun Mountains, and middle eastern part of Tianshan Mountains are to be characterized as scarce precipitation and strong solar radiation on account that mountain ranges are adjacent to mid-latitude innercontinental arid area. This condition leads to high annual snow line altitude. According to Kou *et al.* (1982a), in general, the term of net radiation occupies the largest part (more than 85%) in energy gain, and latent heat by evaporation holds higher rate (more than 15%) in energy loss on these glaciers in summer energy budget. Chinese scientists group them as "mid-latitude continental type glacier" and distinguish them from "maritime type glaciers".

As the ablation caused by evaporation takes more than 7 times as large energy away from the glacier surface as that by melting, the process of evaporation has a function to suppress total ablation amount in summer. But the ablation caused by evaporation in other seasons possibly have some importance in annual mass balance as fine days are frequent there through a year except summer. Nevertheless, there are few works about evaporation on the glaciers except summer season. Li (1985) estimated this value on No. 1 Glacier at headwater of Urumqi River Tianshan as 60 mm water equivalent for the necessity to calculate the discharge of that area according to the result of a field observation done by Xie and Cao (1965) in summer. This is the only estimation ever done on the annual amount of evaporation on glacier in this reason. The intensity

^①Water Research Institute, Nagoya Univ, 464 Nagoya Japan.

of solar radiation in winter season has high contrast between south facing slopes and north facing slopes. Therefore, the intensity is comparable to that in summer on south facing glaciers. Considering this, the ablation by evaporation could be one of the factors which determine the distribution of glaciers. Kou *et al.* (1982 b) and Xie *et al.* (1982a, b) examined the relationship between net radiation and fusion of snow in detail, and conclude that net radiation deeply influence distribution of continental type glaciers. But these studies does not consider evaporation.

As a first step to investigate the influence of evaporation to the mass balance on continental type glaciers, this paper compares the characteristics of evaporation on a continental type glacier in melting and non-melting season on the basis of field observation. Detail result is published in OhNO(1990 a).

2 Observation

Meteorological observation and lysimeter measurement were carried out at Site-A, 4010m a. s. l. in the accumulation area of No. 1 Glacier ($43^{\circ}05'N$, $86^{\circ}48'E$), at the headwater of Urumqi River, Tianshan, China. The study area is shown in Fig. 1.

3 Method of calculating evaporation rate

The aerodynamical method and the lysimeter method were applied in melting season, and the energy budget method was used in non-melting season.

For applying the aerodynamical method, the meteorological data set at 150 cm above the firn and saturated vapor pressure calculated from the surface temperature measured by a thermistor sensor were used. The roughness length was assumed to be 1 mm. The effect of atmospheric stability was considered by means of integrating general function(Businger *et al.* 1971) after calculating Monin-Obukov length. Calculation was executed every 30-minute interval.

6 aluminum containers, 5cm in depth and 242cm^2 in cross sectional area, were prepared for the lysimeter measurement. Snow in the containers was weighted by a balance graduated to 0.1g after about two hour's exposition and changed. when the snow melted quickly or when a precipitating clouds were approaching, time interval of measurement was shortened.

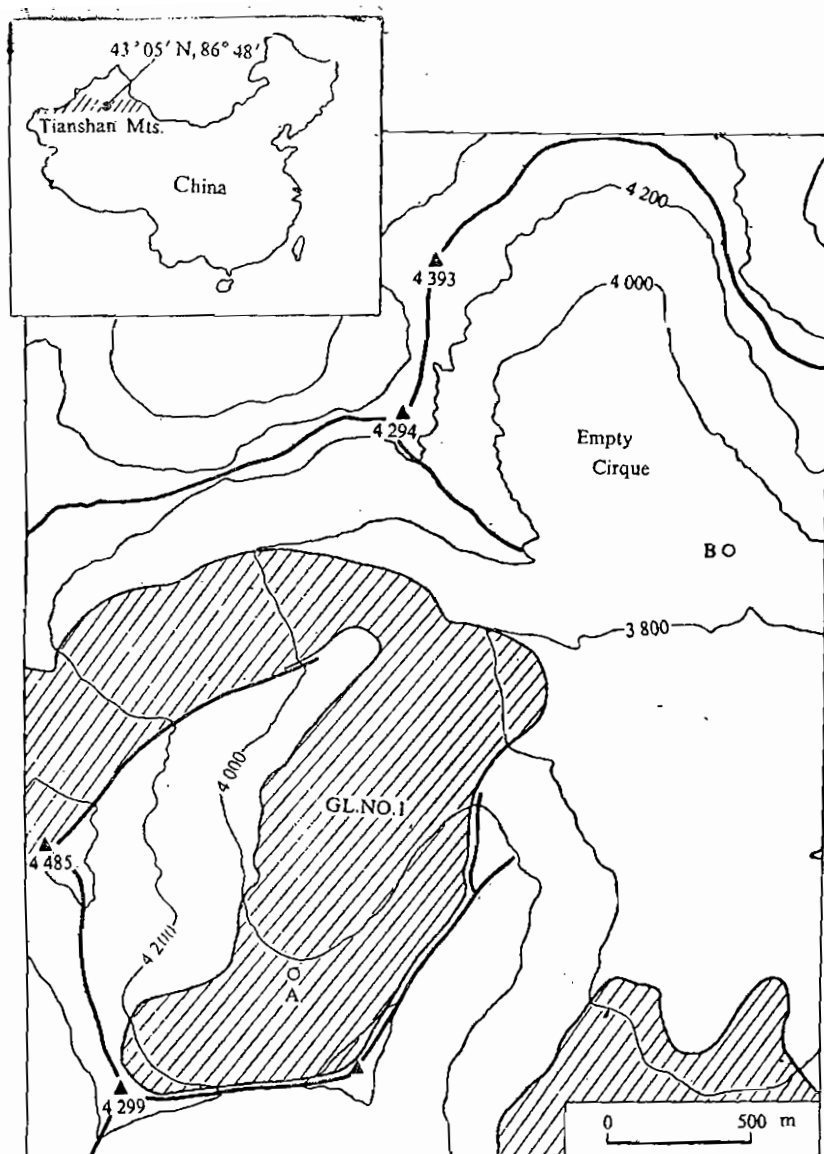


Fig. 1 The map of the study area. The hatched area indicates glaciers. Observations were made at Site -A which is indicated as a circle with A

Because it is very difficult to determine the difference in vapor pressure directly and to avoid the influence of snow drift, the energy budget method was applied in non-melting season. Following equation is assumed;

$$LE + NR + H + C = 0 \quad (1)$$

here, LE: latent heat flux, NR: net radiation, H: sensible heat flux and

C: the heat conducted from firn layer. The signs have been taken such as the direction toward the surface becomes positive. The sensible heat flux was calculated by similar aerodynamical method which is mentioned above; using the air Meteorological elements were observed from 12 July through 29 July 1987 and 6 April through 22 April 1988. Vertical distribution of temperature in snow was measured at 5, 10, 15 and 25cm below the surface from 22 through 24 April. Evaporation rate was also directly observed by lysimeter weighing. Lysimeters were continuously maintained from 15 August through 23 August 1987. This observation was also done in April and obtained a set of data 12:40 to 13:40 on 20 April. The data and used instruments have been summarized in a data report (OHNO, 1990b). Temperature gradient between at 30 cm and 150cm above the surface, and the wind speed at 150 cm with assuming roughness length of 1 mm. The effect from atmospheric stability was also considered. As C was not simultaneously measured, an averaged daily change which had been calculated from the observation from April 22 through April 24 1988, have been substituted to the energy balance equation (1) for the whole period. It was not more than 10% in energy balance for the whole period.

4 Evaporation in melting season

The time series of vapor flux from 12 July to 29 July on Site A determined by means of the aerodynamical method is shown in Fig. 2. This shows that condensation is dominant in this period. Mean daily condensation was 0.21 kgm^{-2} . But this feature does not seem to be lasting through whole melting season. In fact, high evaporation rate was observed in August. Fig. 3 shows the result of lysimeter measurement carried out from 15 August through 23 August. There is only one case that the condensation was observed in the night. The mean diurnal evaporation amounted to 0.40 kgm^{-2} in August. As lysimeters were not weighted in the nighttime, only a mean vapor flux was known for the nighttime from this observation. The evaporation lasted to even in nighttime on average. Nocturnal mean reached 0.16 kgm^{-2} of water. The large difference in vapor flux between in July and in August was observed.

Fig. 4 shows the atmospheric vapor pressure from June 1987 to May 1988 at Tianshan Meteorological Station (3540m a. s. l., at about 2 km east of the glacier). Atmospheric vapor pressure is higher

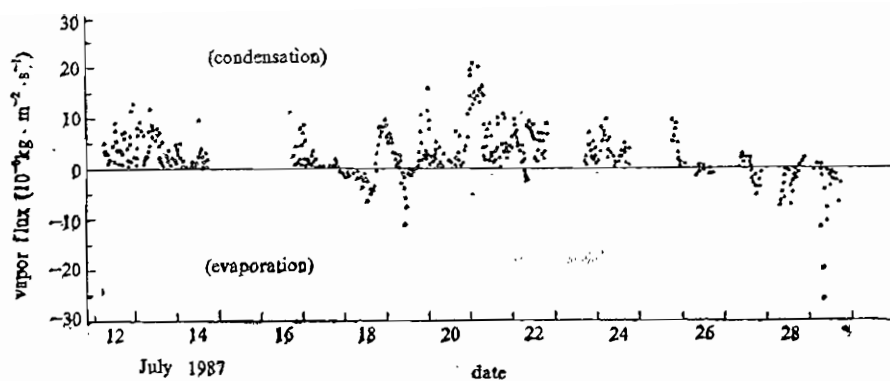


Fig. 2 The vapor flux from 12 through 29 July 1987 calculated by the aerodynamical method

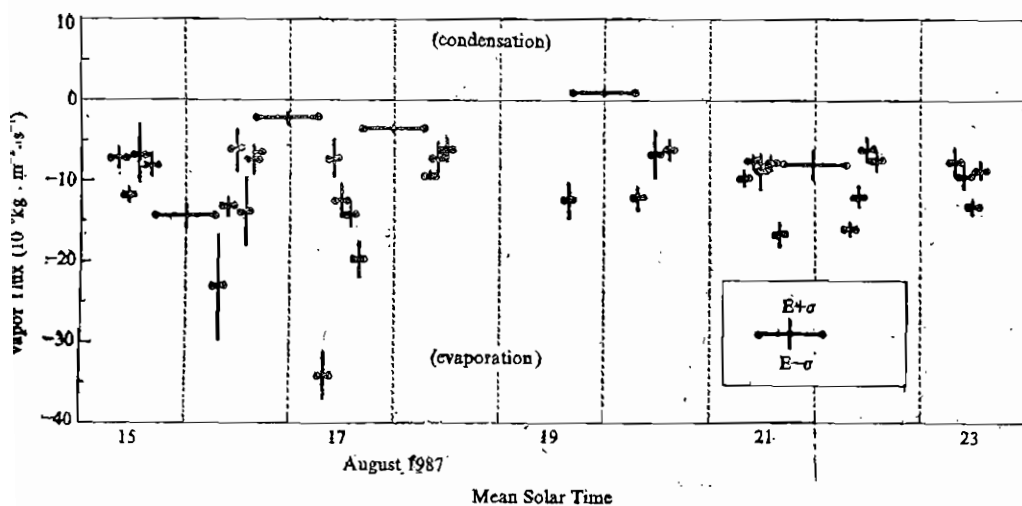


Fig. 3 The vapor flux from 15 through 23 August 1987 measured by the lysimeter method. Horizontal lines indicate the flux and exposing interval. A vertical line on a horizontal one shows the standard deviation caused by averaging 6 lysimeters

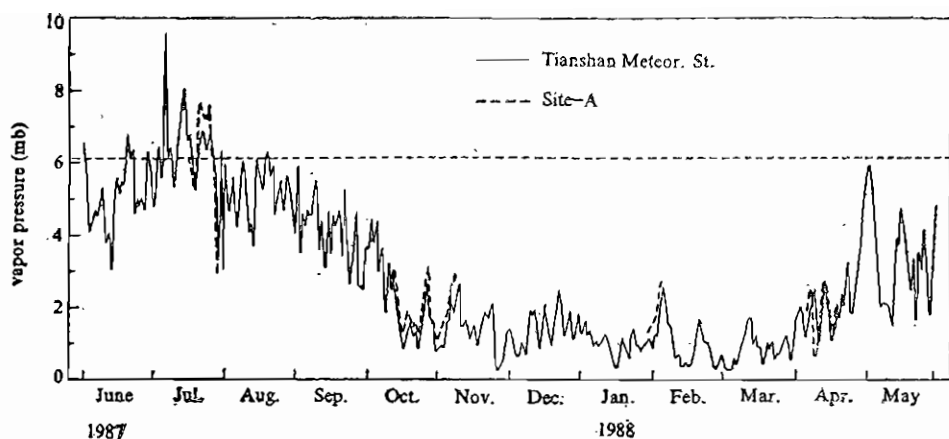


Fig. 4 Annual trend of atmospheric vapor pressure observed at Tianshan Meteorological Station, 3540 m a. s. l. (solid line) and at Site-A, 4010 m a. s. l. (dashed line). The saturated water vapor pressure for 0°C (6.11 mb) is indicated in fine dashed line

han saturated vapor pressure for melting ice (6.11 mb) only around ly. This is the reason for the fact that condensation is dominant ily on Glacier No. 1 in melting season.

5 Evaporation in non-melting season

As mentioned above, the evaporation rate in non-melting season wa

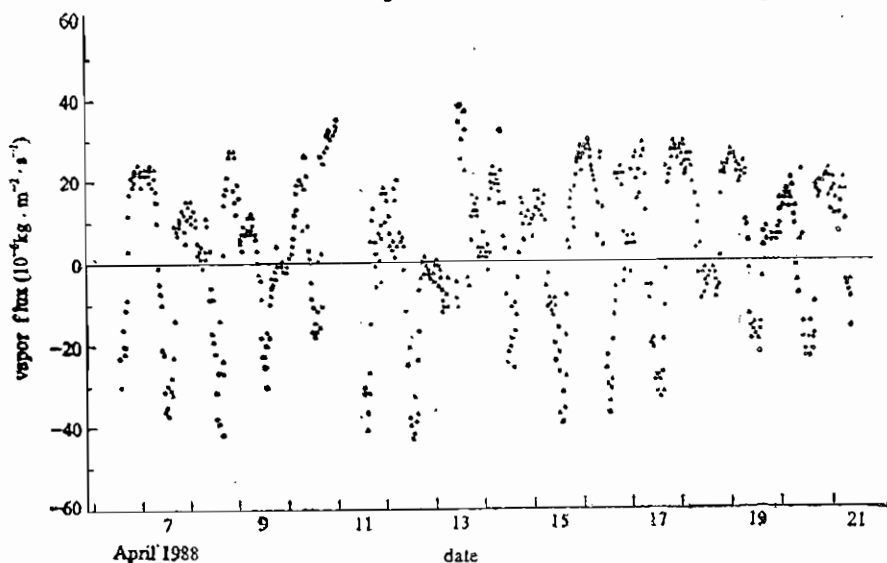


Fig. 5 The vapor flux from 6 through 21 April 1988 calculated by the energy budget method

calculated as the residual term. The vapor flux from 6 April to 2 April 1988 are shown in Fig. 5. Clear and strong daily change in vapor flux is found. The daily amplitude is more than 3 times as large as that in melting season (Fig. 2). The strong diurnal evaporation is also detected by lysimeter observation; measured vapor flux was $-24.5 \pm 1.9 \times 10^{-6} \text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ from 12:40 through 13:40 on 20 April, while the energy budget method indicates $-20.9 \times 10^{-6} \text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$. The evaporation rate increased in the morning and maximum appeared around the noon. Then, decreased towards the sunset. Though the mean diurnal evaporation was 0.40kgm^{-2} , this intense evaporation was compensated with nocturnal condensation of 0.73kgm^{-2} , and daily net was 0.33kgm^{-2} of condensation. In contrast to the melting season, the firn did not evaporate in the nighttime even though the atmospheric vapor pressure was sufficiently low. This is because the surface could not get the energy for vaporization on account that the radiative cooling overcomes the heating by sensible heat transfer, and the latent heat by refreezing was never released from firn.

6 Concluding remarks

Through the result of observation and calculation based on meteorological elements, some important characteristics of evaporation on continental type glaciers became clear. Because atmospheric vapor pressure changes throughout the melting season, the vapor flux differs quite much even in one season. This means that only a short field observation, just like as the most of previous heat balance studies, is not enough to estimate the amount of evaporation in melting season. More intensive evaporation must be occurring in the beginning and end of the melting season than middle of the season (July). It is necessary for estimating seasonal amount to carry out much long term field work or to develop some extrapolation procedure using meteorological data observed at permanent stations. As long as melting occurs, the surface vapor pressure is kept constant over glacier, so spatial difference in vapor flux may be small in melting season.

In non-melting season, evaporation rate varies with large amplitude. The mean daily trend of the terms of heat balance from 6 through 21 April 1988 is shown in Fig. 6. It is clear from this figure that the dominant factor controlling the vapor flux in this season is net radiation. This means that the amount of evaporation in non-melting season may

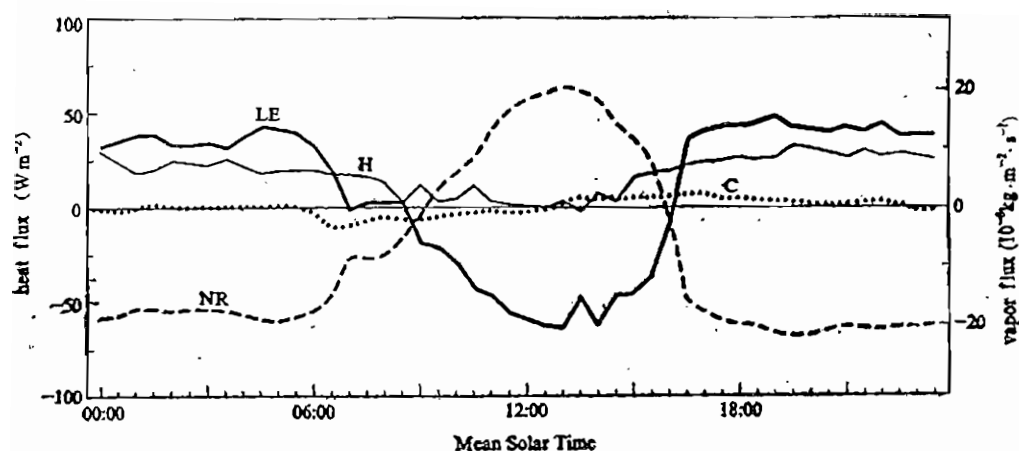


Fig.6 The mean daily trend of the terms of energy balance. In the figure, RN: net radiation, H: sensible heat flux, LE: latent heatflux (calculated as the residual term) and C: the heat conducted from the firn layer. The scale for vapor flux is indicated on the left side. The scale for vapor flux is fixed in the right side

vary widely depending on the topography of firn surface such as facing direction, inclination and shading condition. Most of continental type glaciers are comparatively small in size and mainly exist on north faced slope. Considering that the solar pass is low in non-melting season, evaporation amount in non-melting season may be negligible or the phase of condensation over them. From another point of view, it can be also said that there is a possibility that the radiation condition might determine the glacierized area through the process of evaporation in non-melting season.

References

- Businger J A, Wyngaard J C., Izumi Y *et al.*, 1971. Flux-profile relationship in the atmospheric surface layer. *J. Atm. Sci.*, Vol. (28), 181—189
- Kou Youguan, Xie Weirong, Xiao Shu *et al.*, 1982a. The heat balance on glacial surface in China, *Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Academia Sinica*, No. 3, 91—101. (in Chinese with English abstract)
- Kou Youguan, Xie Weirong, Zhang Yongliang, 1982b. The potential of solar energy for melting ice and snow at high mountains in China, *Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Academia Sinica*, No. 3, 102—108. (in Chinese)
- Li Nianjie, 1985. Characteristics of runoff in the Glacier No. 1 region at headwater of Urumuqi

- River Tianshan, Journal of Glaciology and Geocryology, Vol. 7, No. 2 163—170. (in Chinese with English abstract)
- OHNO, Hiroyuki, 1990a. Measurement of annual ablation caused by evaporation on a continental type glacier. (This is going to be submitted to Journal of Glaciology)
- OHNO, Hiroyuki (1990 b), Basic meteorological elements in boundary layer on Glacier No. 1 Tianshan in melting and non-melting season (in print)
- Shih Y F, Sieh T C 1984. The basic characteristics of existing glaciers in China, Acta Geographica Sinica, Vol. 30, No. 3, 183—213. (in Chinese with Russian abstract and reprinted in English)
- Xie Weirong, Cao Meisheng 1985. A preliminary observation of the snow surface evaporation on Glacier No. 1 at the head Urumqi River in Tianshan Mountains, A study on glaciers and hydrology in Urumqi River basin of Tianshan Mountains, 70—73. (in Chinese)
- Xie Weirong Kou Youguan, Xie Yingqin, 1982 a. Investigation on solar radiation at alpine ice-snow zone in northwest China, Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Academia Sinica, No. 3, 60—66 (in Chinese)
- Xie Weirong, Kou Youguan, Zeng Qunzhu, Xiao Shu, 1982 b. The effect of heat regime of different slopes on accumulation and ablation of glacier, Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology Academia Sinica, No. 3, 67-77. (in Chinese)
- Xie Zichu, 1980. Mass balance of glaciers and its relationship with characteristics of glaciers, Journal of Glaciology and Cryopedology, Vol. 2, No. 4, 1—10 (in Chinese with English abstract)

乌鲁木齐河源1号冰川径流投盐 示踪试验

康 尔 泗

我国冰川发育于大陆性季风气候环境，一些冰川已观察到发育的冰内、冰下水系，如中国天山西部的台兰冰川，融水多流于冰内冰下，并以冰下河道径流的形式流出冰川。为探讨我国冰川的冰内、冰下水系特征，作者于1989年夏季在乌鲁木齐河源1号冰川进行了盐溶液示踪试验。1号冰川冰面水系发育，但可见冰面融水流入冰裂隙，冰面沟道流水流入冰川洞穴、冰侧流水流入冰下，冰侧天然冰隧道，融水从冰内冰下流出等现象。以盐(NaCl)作为示踪剂进行冰川排水系统探测试验是在冰川的不同部位投放盐溶液，然后在水文断面观测盐份到达时间，流经的过程和数量。冰川形成于大气降水，而大气降水本身含有一定数量的可溶性盐类，因而冰川融水本身有一定的粒子浓度。溶液中的粒子数愈多，其导电性愈强，因而其电导率愈大。冰川融水具有一定的背景电导率，因为它具有一定的背景粒子浓度。选择盐作为示踪剂，一是其溶解度受温度影响较小，二是其不污染水 and 环境。当冰川融水中投入盐溶液后，由于其粒子浓度增加，其电导率增加。在冰川水文断面设量电导仪，可得出投盐后冰川径流电导率随时间变化的曲线，根据流量，即可求出水文断面处的过盐量，或称为盐的回收量。

我们的试验是在1号冰川东支消融区进行，其投盐点和观测点的位置如图1所示。试验时间为1989年8月11日—24日，此时整个冰川的排水系统已发育健全。我们进行了7次投盐试验，各投盐点如下所述。

IJ-1，位于1号冰川东支冰舌末端前融水径流流出冰川处，3730m a.s.l.，融水径流流经发育于冰碛物上的冰前河道。这里冻土活动层厚度最大约为1m，在我们的研究中，这段河道的渗漏影响不予以考虑。河道较顺直，此点的投盐试验为和冰面和冰内水道进行对比。

IJ-2，位于1号冰川东西支交汇处的下端，3800m a.s.l.，融水在此处部分流入冰下，部分沿冰侧水道流动，至东支冰川冰舌前端汇入冰前河道。

IJ-3，位于1号冰川东、西支交汇处的上端，3840m a.s.l.，融水在这里部分流入冰下，部分沿深邃的冰面沟道流动。

IJ-4，位于1号冰川东支冰面主水道，3840m a.s.l.，在此以下，融水沿冰面沟道流动，在沟道中分布着冰融洞，因此部分融水流入冰内，沟道有分叉，并有支沟道汇入。

IJ-5，位于1号冰川东支冰面主水道，3890m a.s.l.，沟道特征和IJ-4以下类似。

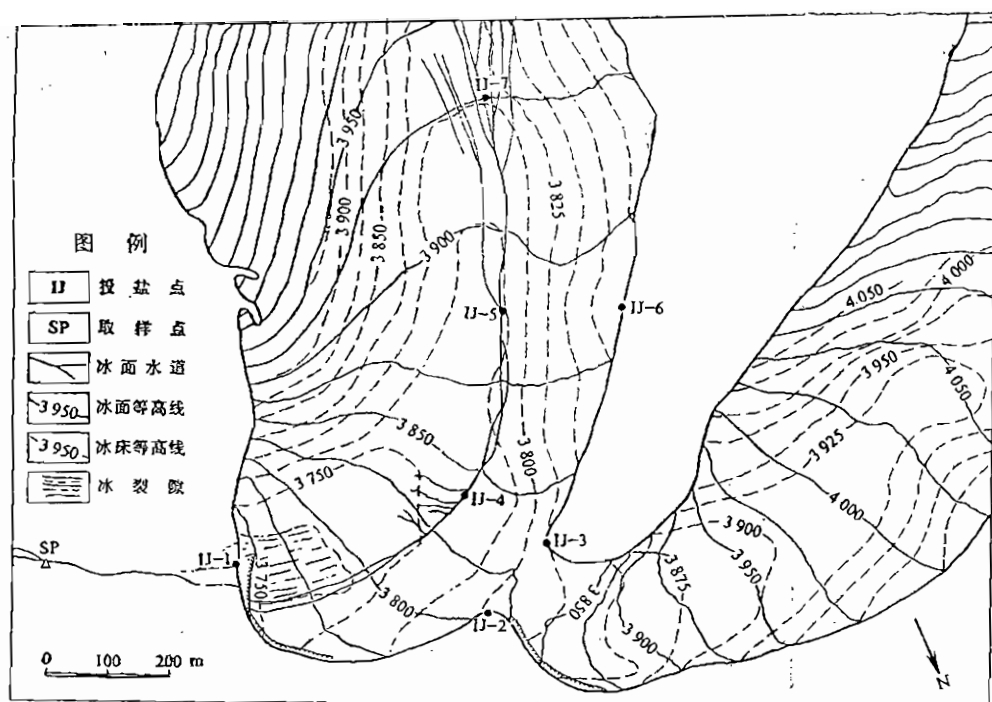


图1 乌鲁木齐河源1号冰川消融区投盐示踪试验位置图

IJ-6，位于1号冰川东支西侧侧沟，3888m a.s.l.，融水部分流入冰下，部分沿侧沟流向下游。

IJ-7，位于1号冰川东支物质平衡线3916m a.s.l.（1989年实测）以上，3925m a.s.l.处。这里冰面覆盖着10—20cm厚粗粒雪层，附加冰厚20—30cm。冰面沟道被粒雪层和雪层覆盖，流水时而部分流入冰内。

上述投盐点基本控制了1号冰川东支消融区的冰面和冰内、冰下的排水系统。投盐后的观测点SP在1号冰川水文断面，那里有系统的水位和流量观测。投盐后，在此进行连续的径流电导率观测，直至电导率恢复到原来的背景值而再不会出现新的增加为止。

上述试验的结果另有文章论述，本年报刊印基本观测试验数据的整编结果（表1）。表中的“相对盐浓度”系指除去径流背景盐浓度后的含盐浓度变化。

致谢：黄茂桓对本工作予以热情的帮助和支持，杨新元、王新忠等天山站同志协助进行野外观测，特此致谢。

表 1 1号冰川径流投盐示踪试验及水文点观测结果

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 时 间 (地方时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相对盐浓度 (mg/L)
IJ-1	2 000.0	1989年8月11日 14 : 00	14 : 04	0.0
			05	0.0
			06	0.0
			07	0.0
			08	0.0
			09	5.8
			10	28.8
			11	13.6
			12	11.2
			13	2.4
			14	0.8
			15	0.8
			16	0.0
			14 : 59	0.0
			15 : 00	8.0
IJ-2	2 000.0	8月11日 14 : 37	01	11.2
			02	10.9
			03	8.8
			04	7.2
			05	4.0
			06	1.9
			07	1.9
			08	1.9
			09	1.6
			10	1.6
			11	1.6
			12	0.8
			13	0.8

表 1 (续 1)

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 时 间 (地 方 时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相对盐浓度 (mg/L)
II-3	3 000.0	8 月 15 日 14 : 27	15 : 14	0.0
			15	0.0
			16	2.4
			17	5.6
			18	6.4
			19	9.6
			20	12.8
			21	16.3
			22	18.2
			23	19.4
			24	18.1
			25	16.5
			26	14.6
			27	12.8
			28	9.6
			29	8.0
			30	7.2
			31	5.8
			32	5.1
			33	4.6
			34	4.3
			35	3.4
			36	3.2
			37	3.0
			38	3.2
			39	3.2
			40	3.2
			41	2.9
			42	2.6
			43	2.6

表 1 (续 2)

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 时 间 (地 方 时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相 对 盐 浓 度 (mg/L)
			15 : 44	2.2
			45	1.9
			46	1.3
			47	0.8
			48	0.5
			49	0.2
			50	0.0
IJ-4	3 000.0	8 月 18 日	11 : 48	0.0
			49	0.8
		11 : 17	50	3.5
			51	6.4
			52	9.6
			53	12.8
			54	15.7
			55	17.6
			56	18.4
			57	18.4
			58	17.3
			59	16.3
			60	14.4
			12 : 01	13.0
			02	12.0
			03	9.9
			04	8.8
			05	7.2
			06	6.4
			07	5.6
			08	4.0
			09	3.5
			10	3.2

表 1 (续 3)

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 时 间 (地 方 时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相对盐浓度 (mg/L)
			12 : 11	2.4
			12	1.6
			13	0.8
			14	0.5
			15	0.0
IJ-5	3 000.0	8 月 18 日 12 : 17	12 : 55	0.0
			56	0.8
			57	2.4
			58	3.4
			59	6.1
			13 : 00	8.5
			01	10.4
			02	12.3
			03	13.9
			04	14.4
			05	14.9
			06	14.4
			07	13.6
			08	12.3
			09	11.7
			10	10.4
			11	8.8
			12	7.5
			13	5.9
			14	4.8
			15	4.0
			16	2.9
			17	2.4
			18	1.4
			19	0.5

表 1 (续 4)

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 时 间 (地 方 时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相 对 盐 浓 度 (mg/L)
			13 : 20	2.4
			21	2.1
			22	1.8
			23	1.1
			24	0.5
			25	0.0
IJ-6	3 000.0	8 月 18 日 14 : 46	15 : 32	0.0
			33	0.8
			34	3.2
			35	5.6
			36	8.5
			37	11.2
			38	13.3
			39	13.3
			40	12.8
			41	10.9
			42	9.6
			43	7.5
			44	6.4
			45	4.8
			46	4.2
			47	3.7
			48	3.2
			49	2.1
			50	1.1
			51	1.0
			52	0.5
			53	0.5
			54	0.5
			55	0.5

表 1 (续 5)

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 时 间 (地 方 时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相 对 盐 浓 度 (mg/L)
			15 : 56	0.5
			57	0.0
IJ-7	4 000.0	8 月 24 日 13 : 42	14 : 10	0.0
			11	0.5
			12	1.2
			13	1.4
			14	1.9
			15	2.2
			16	2.4
			17	2.5
			18	2.6
			19	3.1
			20	3.3
			21	3.1
			22	3.1
			23	3.3
			24	3.2
			25	2.9
			26	2.6
			27	2.5
			28	2.5
			29	2.4
			30	2.4
			31	2.4
			32	2.4
			33	2.3
			34	2.2
			35	2.2
			36	2.1
			37	2.1

表 1 (续 6)

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 时 间 (地 方 时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相 对 盐 浓 度 (mg/L)
			14 : 38	1.8
			39	1.7
			40	1.7
			41	1.6
			42	1.6
			43	1.4
			44	1.4
			45	1.4
			46	1.3
			47	1.3
			48	1.3
			49	1.2
			50	1.2
			51	1.2
			52	1.2
			53	1.2
			54	1.2
			55	1.3
			56	1.3
			57	1.3
			58	1.3
			59	1.3
			15 : 00	1.3
			01	1.3
			02	1.3
			03	1.3
			04	1.3
			05	1.3
			06	1.3
			07	1.3

表 1 (续 7)

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 时 间 (地 方 时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相 对 盐 浓 度 (mg/L)
			15 + 08	1.3
			09	1.3
			10	1.3
			11	1.4
			12	1.4
			13	1.4
			14	1.4
			15	1.4
			16	1.4
			17	1.4
			18	1.4
			19	1.4
			20	1.5
			21	1.5
			22	1.5
			23	1.5
			24	1.5
			25	1.5
			26	1.5
			27	1.5
			28	1.5
			29	1.5
			30	1.5
			31	1.5
			32	1.5
			33	1.4
			34	1.4
			35	1.4
			36	1.5
			37	1.5
			38	1.5
			39	1.5

表 1 (续 8)

投 盐 点	投 盐 量 (g)	投 盐 日 间 (地 方 时)	观 测 时 间 (地 方 时)	相 对 盐 浓 度 (mg/L)
			15 : 40	1.3
			41	1.2
			42	1.2
			43	1.1
			44	1.0
			45	1.0
			46	0.7
			47	0.6
			48	0.6
			49	0.6
			50	0.5
			51	0.5
			52	0.5
			53	0.5
			54	0.5
			55	0.4
			56	0.3
			57	0.3
			58	0.3
			59	0.3
			16 : 00	0.2
			01	0.2
			02	0.2
			03	0.2
			04	0.1
			05	0.1
			06	0.1
			07	0.1
			08	0.0
			09	0.0
			10	0.0

水文与气象观测资料整编说明

杨新元

天山冰川观测试验站的常规水文气象观测在乌鲁木齐河源区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观测场地进行。本年报刊印1989年度的资料整编结果。

1号冰川水文点设在离1号冰川冰舌315m处的河道上,海拔为3695m,流域面积 3.34km^2 ,其中冰川面积 1.84km^2 ,测流断面为矩形,由混凝土浇筑而成,断面高1m,宽1.6m,在断面左岸设有气象观测场。

空冰斗位于乌鲁木齐河源区左侧,斗口朝向南,为研究裸露山坡径流,在此设一水文观测点,海拔3805m,流域面积 1.68km^2 ,测流断面为矩形,高1m,宽1.5m,由混凝土浇筑而成,气象观测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支流罗布道沟汇合处,海拔3408m的河道上设总控制水文点,流域面积 28.9km^2 ,控制本站观测研究区七条冰川及裸露山坡总冰雪融水径流。冰川覆盖率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,为施测流量用。气象观测场设在左岸冰碛丘上。

在三个水文断面上,均装有自记水位计,测流主要用流速仪法。气象场主要观测项目有气温、降水、湿度等。

基本营地气象观测场位于乌鲁木齐河谷海拔2130m处,进行常规气象要素观测。

所有水文与气象资料,均按规范进行整编。

表 1 乌鲁木齐河源 1 号冰川水文点 1989 年逐日平均流量表

集水面积: 3.34km² 流量以 m³/s 计

日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	日 月
1					0	0.131	0.131	0.045	0.131				1
2					0	0.045	0.158	0.106	0.082				2
3					0	0.019	0.106	0.082	0.215				3
4					0	0.011	0.131	0.241	0.184				4
5					0	0.002	0.045	0.448	0.106				5
6					0	0	0.082	0.534	0.062				6
7					0	0	0.106	0.215	0.062				7
8					0	0.002	0.158	0.131	0.158				8
9					0	0.002	0.131	0.184	0.062				9
10					0	0	0.184	0.215	0.045				10
旬总数 旬平均					0 0	0.212 0.021	1.232 0.123	2.201 0.220	1.106 0.111				旬总数 旬平均
11					0	0.011	0.241	0.241	0.106				11
12					0	0.002	0.241	0.334	0.106				12
13					0	0.019	0.131	0.241	0.082				13
14					0	0.011	0.215	0.131	0.106				14
15					0	0.019	0.271	0.131	0.082				15
16					0	0.011	0.306	0.082	0.062				16
17					0	0.045	0.271	0.045	0.106				17
18					0.002	0.019	0.241	0.158	0.062				18
19					0.002	0.062	0.306	0.306	0.062				19
20					0.002	0.106	0.215	0.448	0.062				20

月	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	日
旬总数 旬平均					0.006 0.001	0.805 0.031	2.438 0.244	2.117 0.212	0.856 0.088				旬总数 旬平均
21					0.002	0.131	0.241	0.334					21
22					0.011	0.131	0.410	0.334					22
23					0.011	0.106	0.241	0.306					23
24					0.030	0.158	0.410	0.271					24
25					0.062	0.131	0.675	0.215					25
26					0.082	0.082	0.448	0.184					26
27					0.082	0.184	0.820	0.131					27
28					0.062	0.131	0.534	0.131					28
29					0.062	0.158	0.720	0.158					29
30					0.045	0.082	0.720	0.184					30
31					0.106		0.306	0.241					31
旬总数 旬平均					0.555 0.050	1.294 0.129	5.525 0.502	2.489 0.226	0 0				旬总数 旬平均
月													总 数
平 均													平 均
最 大													最 大
日 期													日 期
最 小													最 小
日 期													日 期
年统计	年总数	20.338		最大流量	1.96	7月27日	最小流量	0	5月1日			平均流量	0.132
	径流量	175.7	$10^4 m^3$	径流模数	39.5	$L/s \cdot km^2$	径流深度	528	mm				

制表：杨新元 校核：康尔河

表 2 乌鲁木齐河源区冰斗水文点 1989 年逐日平均流量表

日 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
1	0	0	0	0	0	0.019	0.127	0.091	0.061				1
2	0	0	0	0	0	0.006	0.127	0.091	0.061				2
3	0	0	0	0	0	0.006	0.037	0.075	0.061				3
4	0	0	0	0	0.006	0.091	0.091	0.061	0.019				4
5	0	0	0	0	0	0.049	0.049	0.091	0.006				5
6	0	0	0	0	0	0	0.037	0.091	0.006				6
7	0	0	0	0	0	0.049	0.167	0.075	0.006				7
8	0	0	0	0	0	0	0.127	0.075	0.006				8
9	0	0	0	0	0	0.028	0.108	0.075	0.006				9
10	0	0	0	0	0	0.093	0.819	0.816	0.238	0.024			旬总数
旬平均	0	0	0	0	0	0.009	0.092	0.082	0.024				旬平均
11	0.006	0.006	0.006	0.019	0.019	0.108	0.108	0.075	0.006				11
12	0.006	0.028	0.028	0.028	0.028	0.091	0.091	0.091	0.006				12
13	0.006	0.006	0.049	0.049	0.049	0.091	0.091	0.091	0.006				13
14	0.019	0.019	0.028	0.028	0.037	0.108	0.108	0.091	0				14
15	0.006	0.006	0.037	0.037	0.108	0.091	0.108	0.091	0				15
16	0.006	0.006	0.019	0.019	0.091	0.049	0.049	0	0				16
17	0	0	0.019	0.019	0.091	0.049	0.049	0	0				17
18	0.037	0.037	0.037	0.037	0.091	0.037	0.037	0.006	0.006				18
19	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.148	0.148	0.061	0.006				19
20	0.019	0.049	0.127	0.049	0			0	0				20

集水面积: 1.68km²

流量以 m³/s 计

表3 乌鲁木齐河源总控制水文点1989年逐日平均流量表

集水面积: 28.9km² 流量以m³/s计

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 \ 日
1					0	1.33	1.46	0.890	1.21				1
2					0	0.782	1.60	0.310	1.33				2
3					0	0.590	0.590	0.405	0.992				3
4					0	0.490	0.490	0.782	0.782				4
5					0	0.070	0.890	0.992	0.405				5
6					0	0.008	0.782	1.33	0.405				6
7					0	0.008	1.21	1.10	0.310				7
8					0	0.008	1.60	0.782	0.310				8
9					0	0.230	0.992	0.490	0.310				9
10					0	0.405	1.46	0.590	0.310				10
旬总数					0	3.921	11.074	7.671	6.364				旬总数
旬平均					0	0.392	1.11	0.767	0.636				旬平均
11					0.070	0.490	1.46	0.590	0.310				11
12					0.070	0.685	1.46	0.782	0.310				12
13					0.070	0.890	1.21	1.33	0.150				13
14					0.150	0.992	1.10	0.782	0.150				14
15					0.150	1.10	1.60	0.405	0.150				15
16					0.230	1.21	1.60	0.490	0.150				16
17					0.230	1.74	1.60	0.310	0.150				17
18					0.150	1.33	1.60	0.310	0.150				18
19					0.150	0.992	4.98	0.685	0.150				19
20					0.310	1.21	2.20	0.992	0.150				20

日	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
旬总数 旬平均						1.580 0.158	10.639 1.06	18.81 1.88	6.672 0.668	1.82 0.182				旬总数 旬平均	
21						0.405	1.46	1.33	1.10					21	
22						0.782	1.21	1.33	0.782					22	
23						1.10	0.685	2.87	0.685					23	
24						1.46	0.992	1.89	0.685					24	
25						1.33	0.890	2.20	0.890					25	
26						1.21	0.480	2.20	0.685					26	
27						1.33	0.782	2.68	0.685					27	
28						1.10	1.10	1.89	0.890					28	
29						0.992	1.33	1.46	0.992					29	
30						0.885	1.60	1.60	1.21					30	
31						0.992		1.89	0.890					31	
旬总数 旬平均						11.386 1.04	10.539 1.05	21.34 1.94	9.494 0.863	0 0				旬总数 旬平均	
总 数	月					12.966	25.099	51.224	23.841	8.184				总 数	月
平 均	统					0.418	0.837	1.65	0.769	0.273				平 均	统
最 大	计					2.51	3.65	7.10	2.68	1.89				最 大	计
日 期						24	15	19	20	2				日 期	
最 小						0	0.008	0.008	0.230	0				最 小	
日 期						1—10	6—8	3	4	21				日 期	
年统计		年总数121.314	最大流量7.10	7月19日	最小流量0	5月1日	平均流量	0.789							
		径流量1048.2	10 ⁴ m ³	径流模数27.3	L/s·km ²	径流深度363	mm								

制表：杨新元 校核：康尔泗

表4 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1989年逐日平均气温表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月
1	-13.2	-13.1	-15.5	-14.1	-20.3	-4.9	-4.2	2.5	0.2	-2.3	1.7	-3.9	-7.2
2	-13.1	-13.2	-14.9	-17.3	-27.3	-6.4	-3.8	1.2	1.0	0.7	0.6	-2.2	-15.7
3	-13.2	-13.2	-14.9	-28.6	-7.6	-1.0	0.3	0.2	3.3	1.6	-4.0	-16.1	-7.2
4	-13.3	-13.3	-17.3	-24.2	-10.4	-3.0	-1.8	0.5	6.0	3.3	-4.0	-16.7	-8.5
5	-11.8	-11.8	-21.7	-27.2	-11.1	-5.5	-3.2	3.2	8.3	0.7	-4.0	-18.3	-10.2
6	-12.3	-12.3	-20.5	-20.1	-9.4	-4.7	-4.2	3.1	7.1	-2.4	-2.8	-17.5	-4.1
7	-21.2	-21.2	-20.7	-16.6	-9.6	-2.6	-2.4	3.3	2.8	-4.7	-3.4	-14.3	-5.5
8	-22.1	-22.1	-21.7	-16.1	-6.6	-3.0	-1.0	1.2	0.7	-7.6	-4.4	-11.8	-6.8
9	-21.4	-21.4	-20.9	-15.3	-8.8	-3.2	-2.9	2.8	2.1	-3.7	-2.8	-11.1	-8.8
10	-23.8	-23.8	-15.9	-15.4	-11.9	-4.8	-0.3	2.7	3.0	-1.4	-2.0	-15.1	-13.2
旬总数	-165.4	-183.2	-206.1	-84.7	-35.9	-11.6	18.2	31.7	-11.9	-33.5	-143.8	-73.6	旬平均
旬平均	-16.5	-18.3	-20.6	-8.5	-3.6	-1.2	1.8	3.2	-1.2	-3.4	-14.4	-7.4	旬平均
11	-20.8	-19.7	-10.1	-13.1	-14.5	-2.9	-0.6	3.5	4.3	-1.2	-3.7	-10.8	-10.8
12	-19.7	-19.7	-10.1	-15.3	-15.3	-1.8	-2.0	3.4	4.0	-0.4	-6.1	-11.9	-11.9
13	-18.7	-18.7	-15.3	-16.8	-15.0	-2.6	-0.2	1.5	0.8	-0.1	-12.4	-11.7	-11.7
14	-17.5	-17.5	-16.8	-13.8	-13.8	-3.4	0.5	2.7	1.4	-0.3	-15.3	-12.6	-12.6
15	-17.4	-17.4	-18.5	-12.8	-12.8	-2.0	1.2	2.3	3.7	0.2	-13.1	-9.2	-9.2
16	-17.4	-17.4	-21.4	-12.4	-12.4	-2.3	0.9	3.9	1.7	1.4	-11.8	-10.9	-10.9
17	-18.1	-18.1	-24.3	-14.0	-14.0	-3.5	1.8	3.3	0.7	2.5	-9.8	-13.0	-13.0
18	-17.0	-17.0	-24.4	-13.6	-13.6	-2.6	1.1	4.9	3.8	0.3	-7.8	-10.7	-10.7
19	-15.7	-15.7	-21.8	-10.2	-10.2	-2.8	0.8	3.5	1.7	-6.4	-13.7	-14.7	-14.7
20	-18.7	-18.7	-20.0	-9.0	-9.0	-14.1	-3.8	0.8	2.0	7.2	-8.5	-16.6	-16.6

气温以℃计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬总数	-182.0	-191.7	-130.6	-146.4	-27.7	4.3	31.0	34.9	4.8	-94.9	-143.4	-121.1	旬总数
旬平均	-18.2	-19.2	-13.1	-14.6	-2.8	0.4	3.1	3.5	0.5	-9.5	-14.3	-12.2	旬平均
21	-16.5	-20.4	-10.6	-11.6	1.4	1.4	3.8	2.1	-3.8	-5.1	-12.8	-14.4	21
22	-15.7	-19.9	-10.0	-7.2	2.2	0.0	5.6	3.9	-8.1	-6.3	-10.5	-15.1	22
23	-19.4	-18.5	-8.9	-9.7	1.2	0.5	4.3	5.2	-4.8	-6.4	-10.8	-19.1	23
24	-22.2	-12.6	-8.1	-6.4	1.2	2.3	7.2	3.5	-6.4	-8.4	-15.6	-18.8	24
25	-17.1	-13.7	-7.6	-6.6	1.7	1.4	9.6	4.0	-11.1	-8.4	-12.5	-17.5	25
26	-14.5	-17.2	-8.4	-9.4	2.0	1.6	8.0	3.6	-7.6	-11.4	-10.6	-20.1	26
27	-14.3	-13.2	-6.4	-11.7	1.8	3.1	9.2	3.1	-2.6	-5.8	-11.5	-21.0	27
28	-19.1	-14.3	-4.5	-8.8	2.4	3.5	5.8	2.4	-2.9	-14.9	-11.9	-20.1	28
29	-22.7		-5.3	-8.4	0.7	3.5	5.9	1.4	-2.4	-9.5	-11.1	-18.5	29
30	-20.0		-5.3	-4.2	1.2	0.7	4.3	2.9	-1.7	-7.6	-8.6	-18.7	30
31	-18.2		-4.3		4.5		0.1	4.5		-8.2		-17.2	31
旬总数	-197.7	-128.9	-79.4	-84.5	20.1	18.0	63.8	36.6	-51.4	-92.0	-115.9	-200.5	旬总数
旬平均	-18.0	-16.2	-7.2	-8.5	1.8	1.8	5.8	3.3	-5.1	-8.4	-11.6	-18.2	旬平均
总数	-545.1	-504.7	-416.1	-315.6	-43.5	10.5	113.0	103.2	-58.5	-220.4	-403.1	-396.2	总数
平均	-17.6	-18.0	-13.4	-10.5	-1.4	0.4	3.6	3.3	-2.0	-7.1	-13.4	-12.9	平均
最高	-8.0	-8.5	1.5	0.0	9.1	9.1	15.6	13.8	9.5	2.5	-3.0	0.0	最高
日期	3	11	31	30	31	27	27	5	4	9	1	1	日期
最低	-25.5	-28.1	-33.4	-27.0	-10.0	-6.3	-3.5	-5.5	-15.6	-18.9	-21.0	-23.0	最低
日期	10	18	3	13	11	7	1	2	26	14	6	27	日期
年统计	最高气温	15.6	7月27日	最低气温	-33.4	3月3日	平均气温	-7.4					

制表：杨新元 审核：康尔泗

PDD May 20.1 Jul. 113 Sept. 14.7
 Jan 23.1 Aug 105.5

表5 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1989年逐日平均气温表

气温以℃计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
1	-13.3	-15.0	-21.9	-4.7	-2.7	2.2	-0.4	-3.6	1.2	-2.8	-6.5	-3.6	1
2	-14.2	-17.1	-28.6	-6.6	-3.1	1.0	-0.3	-0.2	1.5	-0.6	-15.3	-4.8	2
3	-13.4	-15.5	-29.5	-7.4	0.8	-0.6	-0.2	2.9	1.7	-1.8	-14.7	-7.2	3
4	-13.0	-18.2	-25.6	-10.8	-3.2	-2.5	0.1	5.0	2.0	-3.3	-15.5	-8.9	4
5	-11.6	-22.3	-23.7	-11.6	-5.9	-4.2	1.9	8.0	0.8	-2.1	-17.0	-11.3	5
6	-12.8	-20.6	-21.9	-9.3	-3.0	-5.6	2.7	7.0	-1.6	-1.2	-16.6	-4.4	6
7	-21.5	-22.6	-17.2	-8.7	-3.6	-3.1	3.9	2.5	-3.9	-1.5	-13.5	-5.5	7
8	-22.4	-22.2	-16.6	-6.5	-4.1	-1.7	0.5	0.2	-4.5	-2.8	-12.2	-6.8	8
9	-22.7	-22.3	-16.6	-7.0	-3.5	-3.2	1.8	1.9	-2.1	-0.6	-12.9	-9.2	9
10	-24.1	-16.9	-16.3	-12.8	-4.6	-1.6	1.8	2.2	-1.1	-0.5	-16.8	-12.5	10
旬总数	-169.0	-192.1	-217.9	-85.2	-32.9	-19.3	11.8	25.9	-6.0	-17.2	-140.8	-74.2	旬总数
旬平均	-16.9	-19.2	-21.8	-8.5	-3.3	-1.9	1.2	2.6	-0.6	-1.7	-14.1	-7.4	旬平均
11	-21.1	-14.7	-15.5	-14.2	-3.8	-2.0	3.0	4.3	0.0	-2.1	-17.1	-11.3	11
12	-20.4	-18.4	-16.7	-16.4	-1.5	-3.0	2.8	3.3	0.6	-4.1	-16.7	-12.1	12
13	-18.8	-17.0	-15.4	-18.9	-3.3	-1.5	0.8	-0.3	0.3	-10.9	-18.6	-12.3	13
14	-18.8	-19.9	-14.0	-14.2	-4.3	-1.1	2.2	0.3	0.6	-12.9	-17.2	-12.6	14
15	-19.2	-21.3	-13.0	-11.1	-3.2	0.0	2.1	2.7	1.4	-10.5	-15.5	-9.9	15
16	-18.5	-24.1	-13.2	-8.7	-2.6	-0.4	3.5	1.3	2.4	-9.2	-13.4	-11.8	16
17	-19.7	-27.4	-13.9	-9.1	-3.5	1.1	2.4	0.0	4.2	-7.8	-10.7	-13.6	17
18	-17.8	-26.6	-13.6	-8.6	-2.9	-0.3	4.5	3.8	2.0	-5.7	-10.4	-11.8	18
19	-15.5	-23.1	-9.8	-13.8	-3.6	0.1	2.5	8.6	-0.5	-4.7	-13.1	-16.7	19
20	-20.3	-21.3	-9.6	-15.0	-3.5	-0.3	1.0	8.3	2.1	-6.4	-14.4	-17.1	20

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬总数	-190.1	-218.8	-184.7	-128.0	-32.2	-7.4	24.8	32.3	13.1	-74.3	-147.1	-129.2	旬总数
旬平均	-19.0	-21.4	-13.5	-12.8	-3.2	-0.7	2.5	3.2	1.3	-7.4	-14.7	-12.9	旬平均
21	-18.8	-22.1	-10.5	-13.1	1.3	0.2	3.1	2.5	-2.1	-3.9	-11.7	-14.6	21
22	-18.7	-21.4	-10.0	-8.5	1.8	-0.7	4.1	4.4	-5.7	-5.3	-9.6	-16.1	22
23	-24.8	-19.3	-8.7	-8.1	0.7	-0.1	3.3	5.3	-2.9	-5.1	-12.0	-19.3	23
24	-25.0	-13.5	-8.1	-6.5	1.1	1.5	6.6	3.7	-4.2	-6.9	-14.9	-18.1	24
25	-20.2	-14.4	-8.8	-5.6	1.3	0.3	9.8	2.7	-8.8	-7.0	-11.3	-16.6	25
26	-16.2	-17.4	-8.9	-9.1	1.8	0.6	9.1	2.8	-6.4	-9.6	-11.0	-20.0	26
27	-14.8	-15.2	-7.0	-11.1	1.1	2.5	8.8	1.6	-1.9	-3.6	-11.5	-20.8	27
28	-20.3	-15.8	-4.7	-8.4	1.7	2.9	6.1	0.8	-1.4	-12.5	-11.9	-22.4	28
29	-24.2		-5.7	-7.3	0.2	3.0	5.9	-0.7	-0.6	-7.8	-10.8	-20.1	29
30	-21.7		-6.3	-3.2	0.9	-0.2	3.5	0.2	-0.6	-5.7	-8.3	-20.6	30
31	-17.1		-4.2		4.4		-0.8	2.4		-6.7		-18.8	31
旬总数	-221.8	-189.1	-82.9	-82.5	16.3	10.0	59.5	25.7	-34.0	-74.1	-113.0	-207.4	旬总数
旬平均	-20.2	-17.4	-7.5	-8.3	1.5	1.0	5.4	2.3	-3.5	-6.7	-11.3	-18.9	旬平均
总数	-580.9	-545.0	-435.5	-295.7	-48.0	-16.7	96.1	83.9	-27.5	-165.6	-400.9	-410.8	总数
平均	-18.7	-19.5	-14.0	-9.9	-1.6	-0.6	3.1	2.7	-0.9	-5.3	-13.4	-13.3	平均
最高	-7.4	-10.4	-0.3	1.0	9.8	9.1	14.9	14.6	7.5	3.6	-3.0	1.4	最高
日期	3	24	28	30	31	27	27	19	17	9	1	1	日期
最低	-26.8	-29.5	-33.6	-23.0	-11.7	-7.2	-3.7	-6.6	-13.2	-17.0	-32.2	-24.2	最低
日期	29	18	3	13	11	6	1	2	26	29	10	28	日期
年统计	最高气温	14.9		7月26日		最低气温	-33.6		3月3日		平均气温	-7.6	

制表：杨新元 校核：康尔泗

表 6 乌鲁木齐河源总控制水文点1989年逐日平均气温表

气温以℃计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	日
1	-11.9	-14.3	-19.0	-3.7	-2.6	4.1	2.3	-1.5	3.2	0.2	-6.0	-5.6	1
2	-14.0	-15.8	-25.7	-5.9	-4.3	2.8	2.4	1.4	3.2	1.1	-14.8	-7.7	2
3	-13.5	-16.3	-25.8	-4.5	-0.6	1.0	2.1	3.8	5.0	-0.3	-14.6	-7.9	3
4	-12.4	-16.0	-23.1	-8.2	-2.7	-0.2	2.4	6.9	5.9	1.1	-15.0	-8.9	4
5	-11.2	-22.5	-22.2	-8.8	-4.8	-1.2	4.1	9.0	3.6	-0.2	-17.0	-8.4	5
6	-11.5	-21.9	-19.5	-7.7	-2.7	-2.0	4.2	8.8	0.4	1.7	-15.5	-5.1	6
7	-21.4	-21.6	-16.1	-7.2	-1.9	-0.7	5.5	5.8	-1.0	1.7	-12.9	-5.1	7
8	-20.8	-20.7	-15.3	-4.9	-1.8	-0.5	3.7	3.4	-0.9	0.5	-11.3	-7.2	8
9	-19.9	-20.5	-14.4	-5.4	-1.9	-0.2	4.5	4.4	0.8	1.0	-12.5	-8.7	9
10	-24.5	-14.9	-13.9	-10.5	-2.4	2.3	2.7	4.7	2.2	2.4	-19.0	-13.8	10
旬总数	-161.1	-184.5	-195.0	-65.8	-25.7	5.4	33.9	46.7	22.4	9.2	-138.6	-78.5	旬总数
旬平均	-16.1	-18.5	-19.5	-6.6	-2.6	0.5	3.4	4.7	2.2	0.9	-13.9	-7.9	旬平均
11	-23.4	-14.0	-14.5	-12.3	-1.4	1.1	4.5	5.6	3.2	0.6	-20.4	-12.6	11
12	-20.8	-16.1	-15.6	-13.9	-0.4	-0.8	5.4	5.3	3.8	-4.0	-18.6	-11.7	12
13	-19.9	-16.8	-14.4	-17.4	-0.5	1.9	3.7	1.4	3.9	-7.9	-20.2	-12.1	13
14	-18.3	-18.7	-16.0	-12.2	-1.9	2.1	3.7	2.5	4.1	-9.9	-18.6	-14.3	14
15	-19.0	-17.9	-11.9	-8.0	-1.0	3.1	4.4	4.9	4.1	-10.4	-17.5	-12.1	15
16	-19.8	-19.1	-11.2	-6.7	0.3	2.5	5.4	3.9	5.2	-7.7	-15.4	-11.4	16
17	-18.4	-23.5	-10.9	-6.3	-2.4	3.1	4.6	2.8	6.2	-6.9	-12.0	-13.3	17
18	-17.8	-23.9	-11.7	-4.2	-1.1	1.4	5.1	4.8	4.8	-4.6	-12.0	-12.7	18
19	-18.8	-21.9	-9.2	-10.7	-1.1	2.7	4.0	8.0	3.4	-4.4	-12.4	-13.1	19
20	-19.8	-18.8	-7.6	-11.2	-1.2	1.8	3.5	8.1	4.9	-4.4	-14.0	-14.8	20

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	日	
旬		总 数	总 数	总 数	总 数	总 数	总 数	总 数	总 数	总 数	总 数	总 数	总 数	旬 平均	
1		-106.0	-190.7	-123.0	-102.9	-10.7	18.9	44.3	47.3	43.6	-59.6	-161.1	-128.1	旬 总 数	
2		-19.6	-19.1	-12.3	-10.3	-1.1	1.9	4.4	4.7	4.4	-6.0	-16.1	-12.8	旬 平 均	
3		-16.3	-19.4	-9.4	-9.1	3.1	1.4	4.0	4.9	-0.9	-1.8	-11.6	-16.0	21	
4		-13.4	-19.0	-9.3	-5.8	3.3	1.6	5.9	5.9	-3.8	-3.9	-9.5	-17.0	22	
5		-18.6	-16.4	-7.8	-8.0	2.6	2.2	5.0	7.1	-0.8	-2.1	-11.4	-20.3	23	
6		-19.4	-10.1	-7.5	-2.2	2.7	3.3	7.9	5.9	-0.8	-3.4	-17.9	-19.7	24	
7		-19.3	-14.7	-6.3	-3.1	3.1	2.8	11.1	5.8	-5.8	-4.4	-15.2	-18.7	25	
8		-15.9	-18.5	-7.4	-8.0	3.6	2.4	10.9	3.8	-4.9	-6.5	-11.2	-19.6	26	
9		-14.9	-12.8	-5.2	-8.0	3.2	3.6	9.9	4.0	0.8	-2.0	-14.0	-20.7	27	
10		-19.8	-12.9	-3.5	-4.5	4.3	4.1	7.3	4.1	0.9	-11.9	-12.3	-21.1	28	
11		-21.3	-3.9	-3.9	-2.8	2.6	4.0	7.6	2.6	1.6	-6.0	-12.5	-19.9	29	
12		-21.8	-3.2	-3.2	-1.1	2.9	1.5	5.7	3.4	1.0	-2.9	-9.7	-19.7	30	
13		-17.9	-2.7	-2.7		6.7		1.2	3.8		-3.0		-20.1	31	
14		-198.6	-123.8	-66.2	-48.4	38.0	26.9	76.5	51.3	-12.7	-47.9	-125.3	-212.8	旬 总 数	
15		-18.1	-15.5	-6.0	-4.6	3.5	2.7	7.0	4.7	-1.3	-4.4	-12.5	-19.3	旬 平 均	
16		-555.7	-499.0	-384.2	-215.1	1.6	51.2	154.7	145.3	53.3	-98.3	-425.0	-419.4	总 数	
17		-17.9	-17.8	-12.4	-7.2	0.1	1.7	5.0	4.7	1.8	-3.2	-14.2	-13.5	平 均	
18		-6.0	-6.5	55	4.6	11.2	10.2	16.6	15.6	12.5	7.2	-0.3	-0.2	最 高	
19		6	24	31	30	31	24	27	20	4	9	1	1	日 期	
20		-25.5	-28.2	-33.0	-24.5	-9.0	-5.0	-1.8	-3.0	-10.5	-17.0	-24.3	-25.0	最 低	
21		11	18	3	13	5	8	1	2	26	27	11	31	日 期	
22		年 统计										平均气温		-6.1	

制表：杨新元 校核：康尔泗

表 7 乌鲁木齐河源 1 号冰川水文点 1989 年逐日降水量表

日 月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
1	1						8.1△	1.6*	0.4*						1
2	2						4.3△	1.6*							2
3	3						1.7△	6.7**							3
4	4					3.0*	1.8*								4
5	5						1.1*		1.5						5
6	6					2.9*	0.9*	1.3**	0.5						6
7	7						2.8*	8.4**	7.5**						7
8	8					4.0*	13.9*	4.4**	2.0						8
9	9					0.2	2.4*	5.0**	2.6**						9
10	10					0.1	0.0*	1.4**	2.6**						10
11	11						9.4*	1.3**	0.5						11
12	12						2.2*	2.6**	15.8**						12
13	13					6.1*	4.9*	6.4**							13
14	14					1.8*	3.7*	2.6△	4.5**						14
15	15					1.9*	9.2*	0.9△							15
16	16					3.4*	5.3*	2.7	3.8**						16
17	17					0.8*	1.0*	5.8							17
18	18					0.5*	8.5*	19.8**							18
19	19					8.9*	10.4*	7.9**							19
20	20						6.2*	5.3**	2.5**						20
21	21						4.2*								21

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
22					6.2•	0.5•							22
23						1.0•	7.5••	2.3••					23
24						3.4•		6.4••					24
25						1.6•							25
26						1.9•	3.2	5.3••					26
27					1.6•			7.1••					27
28					0.1•	0.5•	1.5	2.8••					28
29					3.9△•			8.6••					29
30						11.1•	9.2••	2.6••					30
31					1.1•	12.4•	14.2••						31
总 量	2.5	1.5	2.8	7.4	46.5	135.4	121.1	79.3	50.5	8.0	1.9	3.6	总 量
降水日数					17	29	23	19					降水日数
最大日降水量					8.9	13.9	19.8	15.8					最大日降水量
日 期					19	8	18	12					日 期
年 降 水 量	460.5												
附 注	1—4月和9—12月因1星期观测1次故只计月降水总量 •, 降雨 •, 降雪 △, 降冰雹												

制表：杨新元

校核：康尔泗

表 8 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1989年逐日降水量表

降水量以mm计

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
1	1					4.2*	1.6**	1.4**						1
2	2					9.2*△	1.2*							2
3	3					4.2*△	6.2*							3
4	4					2.1*								4
5	5					2.6*		1.4△						5
6	6					2.9*	10.1							6
7	7					3.6*	7.6**	5.5△*						7
8	8					14.8*	4.6**	0.9						8
9	9					3.2*	4.4**							9
10	10					0.1*	1.6**	1.4*						10
11	11					5.1*	0.9**							11
12	12					4.8*	1.4**	21.6**△						12
13	13					6.2*	4.8*	5.4**						13
14	14					1.8*	0.8**	2.4*	3.6*					14
15	15					2.4*	9.3△*							15
16	16					4.5*	5.6△*	2.4	2.8△					16
17	17					1.9*	1.3*△	6.8**						17
18	18					2.4*	8.6*△	17.7**						18
19	19					5.2*	7.1**	7.2*						19
20	20						5.1**	6.6**	6.9**					20
21	21						3.6*							21

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月
22					5.2*	0.3*	0.3						22
23						1.4*	7.5	2.1*△					23
24						3.5*		6.4*△					24
25						2.1*							25
26						1.4*	4.4	4.6*△					26
27					1.2*			5.4*△					27
28					0.4*	0.4*	2.2	4.2*△					28
29					4.3△*	8.3*		6.6*△					29
30						13.4*△	10.2**	1.9*△					30
31					2.1*		13.6**						31
总 量	1.9	0.9	2.8	6.9	46.4	133.7	126.3	76.7	44.9	4.6	1.1	2.6	总 量
降 水 日 数					17	28	23	16					降 水 日 数
最大日降水量					5.2	14.8	17.7	21.6					最大日降水量
日 期					19	8	18	12					日 期
年 降 水 量	448.8												
附 注	1—4月和9—12月因1星期观测1次故只计月降水总量												
	*: 降雪 *: 降雨 △: 降冰雹												

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表9 乌鲁木齐河源总控制水文点1989年逐日降水量表

降水量以mm计

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日	
1	1						3.6**	1.6**	2.4**						1
2	2						4.4**	2.9**							2
3	3						2.0*	6.7**							3
4	4					3.0*	1.3*								4
5	5						1.0*		0.0△						5
6	6					2.2*	2.0*	1.0**	0.0△						6
7	7						3.2*	8.7**	5.4**						7
8	8					2.6*	14.7*	6.7**	1.4**						8
9	9					0.4*	4.0*	5.9**	5.2*						9
10	10					0.2*		1.2**	0.5						10
11	11						10.5*		0.1						11
12	12						2.0*	2.0	23.4**						12
13	13					1.7*	5.6*	5.9**							13
14	14					1.6*	0.8*	3.6	4.3*						14
15	15					2.9*	10.3*								15
16	16					4.4*	3.8*	0.3*	5.2**						16
17	17					0.4*	2.4**	8.5	1.6**						17
18	18					0.8*	7.5*	16.4**							18
19	19					9.2*	8.5*	9.7							19
20	20						5.2*	4.5**	2.5						20
21	21						2.4*								21

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
22					3.0*	0.6*	0.3						22
23						1.2*	7.5	2.1					23
24						2.0*		4.8					24
25						0.2*							25
26							2.1	5.2					26
27					1.4*			9.2					27
28							22 (2.0)	4.2					28
29					3.9△	10.0*		12.0**					29
30						20.0*	4.5**	1.6					30
31					1.2*		14.2**						31
总 量	2.4	1.5	1.2	9.7	38.9	130.2	115.6	91.1	59.0	5.8	2.0	2.0	总 数
降水日数					16	28	22	20					降水日数
最大日降水量					9.2	20.0	15.4	23.4					最大日降水量
日期					19	30	18	12					日期

年降水量 459.4

1—4月和9—12月因1星期观测1次故只计月降水总量

●: 降雪 ○: 降雨 △: 降冰雹

制表: 杨新元

校核: 康尔泗

表10 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1989年逐日平均相对湿度表

相对湿度以%计

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
1	1					57	71	78	99						1
2	2					62	68	80	59						2
3	3					46	67	83	31						3
4	4					68	77	69	60						4
5	5					72	70	40	49						5
6	6					59	67	57	61						6
7	7					74	55	81	80						7
8	8					70	55	87	83						8
9	9					63	78	75	73						9
10	10					74	57	69	50						10
旬总 旬平均						645	665	719	645						旬总 旬平均
11	11					29	77	65	52						11
12	12					25	71	71	67						12
13	13					68	75	89	59						13
14	14					63	80	70	50						14
15	15					63	82	76	46						15
16	16					81	81	61	72						16
17	17					62	73	82	73						17
18	18					76	81	70	48						18
19	19					87	68	86	29						19
20	20					50	75	91	38						20

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬总 数					592	773	761	534					旬总 数
旬平 均					59	77	76	53					旬平 均
21					42	73	50	67					21
22					64	80	49	36					22
23					77	73	82	43					23
24					71	55	64	74					24
25					67	74	52	66					25
26					53	63	66	63					26
27					71	63	62	77					27
28					67	56	90	91					28
29					76	68	77	88					29
30					52	85	83	87					30
31					52		93	68					31
旬总 数					692	690	768	771					旬总 数
旬平 均					63	69	70	70					旬平 均
总 数					1929	2128	2248	1950					总 数
平 均					62	71	73	63					平 均
月 统 计													月 统 计
最小 值					10	20	22	9					最小 值
日 期					11	7	21	3					日 期

附注 相对湿度仅在冰川消融期进行观测

制表：杨新元 核校：康尔泗

表11 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1989年逐日平均相对湿度表

相对湿度以%计

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日	
1						47	72	95	86						1
2						70	73	86	48						2
3						46	64	86	33						3
4						69	78	70	60						4
5						72	75	44	47						5
6						62	71	63	66						6
7						76	64	78	86						7
8						64	66	85	84						8
9						61	81	75	76						9
10						74	67	72	63						10
旬总 旬平均						641 64	711 71	754 74	649 65						旬总 旬平均
11						30	81	64	61						11
12						24	73	76	68						12
13						58	77	90	64						13
14						66	86	73	54						14
15						66	85	80	51						15
16						83	89	64	75						16
17						68	73	82	75						17
18						80	86	66	49						18
19						87	79	81	28						19
20						53	80	87	32						20

月 / 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 / 日
旬总数						815	809	763	557					旬总数
旬平均						62	81	76	56					旬平均
21						55	79	58	66					21
22						71	77	49	38					22
23						79	78	82	52					23
24						68	58	68	77					24
25						65	75	53	75					25
26						56	62	58	67					26
27						77	64	60	78					27
28						69	55	83	93					28
29						78	71	66	96					29
30						54	87	82	89					30
31						54		90	68					31
旬总数						726	706	749	709					旬总数
旬平均						66	71	68	73					旬平均
总 数						1982	2226	2266	2005					总 数
平 均						64	74	73	65					平 均
统 计														统 计
最小值						12	28	29	10					最小值
日 期						11	10	22	3					日 期

附注 相对湿度仅在冰川消融期进行观测

制表：杨新元 校核：康尔泗

表12 乌鲁木齐河源总控水文点1989年逐日平均相对湿度表

相对湿度以%计

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	
日															日
1						85	67	62	96						1
2						95	69	72	70						2
3						86	72	87	29						3
4						83	79	68	53						4
5						81	72	47	54						5
6						84	62	78	61						6
7						80	57	71	72						7
8						75	63	80	84						8
9						62	78	69	87						9
10						74	56	66	51						10
旬总数						805	675	700	673						旬总数
旬平均						81	68	70	64						旬平均
11						38	78	61	58						11
12						37	81	66	61						12
13						63	71	85	85						13
14						68	87	73	61						14
15						67	78	76	48						15
16						82	80	66	73						16
17						75	67	76	67						17
18						82	84	75	50						18
19						79	67	85	34						19
20						48	73	93	44						20

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日	
旬 总 数						839	776	756	581					旬 总 数	
旬 平 均						84	78	76	58					旬 平 均	
21						53	75	60	71						22
22						71	80	46	46						23
23						82	70	81	45						24
24						75	44	80	72						25
25						76	60	53	69						26
26						67	49	56	72						27
27						74	48	62	86						28
28						68	49	88	86						29
29						74	62	67	93						30
30						51	74	81	81						31
31						47		90	68						
旬 总 数						738	611	764	709					旬 总 数	
旬 平 均						67	61	69	73					旬 平 均	
月 统 计	总 数					2182	2062	2220	2017					总 数	月 统 计
	平 均					70	69	72	65					平 均	
	最 小 值					19	9	22	3					最 小 值	
	日 期					11	24	22	3					日 期	

附注 相对湿度仅在冰川消融期进行观测

制表：杨新元 校核：康尔泗

表13 天山冰川观测试验站基本数据1989年逐日平均气温表

气温以℃计

日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 均
1	-11.7	-12.9	-14.7	3.8	1.9	11.3	8.7	7.6	10.3	4.1	-5.2	-2.7	1
2	-10.8	-12.9	-15.5	2.7	2.0	8.4	9.9	9.7	9.3	4.3	-6.8	-3.0	2
3	-11.4	-11.0	-18.4	2.5	2.3	8.7	9.4	10.5	9.9	5.2	-6.2	-3.8	3
4	-5.2	-10.7	-14.4	0.7	1.9	6.9	10.1	12.6	11.1	5.0	-9.1	-6.0	4
5	-11.7	-14.8	-13.7	-0.2	4.3	7.0	10.9	14.8	10.0	4.9	-9.4	-6.2	5
6	-11.2	-13.9	-11.4	1.7	5.0	7.2	11.7	15.8	6.2	5.8	-9.2	-4.5	6
7	-13.5	-13.3	-10.9	2.6	7.3	7.2	11.9	15.3	6.0	5.6	-7.5	-3.0	7
8	-14.3	-14.0	-9.0	5.1	6.0	9.3	12.6	11.1	6.5	5.3	-6.1	-4.0	8
9	-12.7	-11.9	-6.8	-0.8	6.1	9.6	13.8	12.8	6.8	7.7	-5.8	-4.4	9
10	-16.2	-10.5	-5.6	-4.2	6.3	9.1	14.2	12.2	7.7	7.1	-8.1	-7.0	10
旬总 旬平均	-118.7 -11.9	-125.9 -12.6	-120.4 -12.0	13.9 1.4	43.1 4.3	84.7 8.5	113.2 11.3	122.4 12.2	83.7 8.4	55.0 5.5	-73.4 -7.3	-44.6 -4.5	旬总 旬平均
11	-17.4	-8.7	-7.4	-3.9	6.7	8.7	14.9	15.8	8.9	5.0	-11.7	-7.9	11
12	-16.4	-9.1	-7.0	-4.8	7.6	7.7	13.5	8.7	9.1	-0.7	-9.7	-7.8	12
13	-14.2	-10.8	-5.5	-5.8	6.9	8.4	12.0	8.1	9.4	-2.2	-9.4	-7.5	13
14	-12.4	-15.2	-3.7	-2.1	6.9	10.4	11.9	8.7	9.8	-2.7	-10.0	-8.5	14
15	-12.5	-17.4	-2.0	0.0	7.2	9.8	12.0	11.1	9.9	-3.3	-8.4	-7.6	15
16	-13.1	-17.8	-1.8	0.6	6.6	9.3	11.4	9.2	10.2	-1.9	-8.2	-6.0	16
17	-13.4	-19.3	-6.4	3.1	6.3	11.5	13.5	11.2	11.7	-0.6	-7.4	-7.4	17
18	-11.0	-17.9	-8.5	1.6	8.6	9.6	14.2	11.6	9.4	0.5	-6.0	-8.5	18
19	-12.3	-15.8	-3.0	-2.1	6.3	10.0	12.9	13.7	8.4	1.1	-4.3	-6.8	19
20	-12.5	-13.2	-1.6	3.7	8.2	7.7	11.9	14.5	9.8	1.6	-6.1	-6.3	20

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬 总 数	旬 平 均	-135.2	-105.2	-46.9	-17.2	71.3	93.2	128.2	112.6	96.3	-3.2	-80.5	-74.3	旬 总 数
		-13.5	-10.5	-4.7	-1.7	7.1	9.3	12.8	11.3	9.6	-0.3	-8.1	-7.4	
21		-12.7	-13.3	-2.4	-0.1	10.0	9.9	12.2	11.7	5.1	2.4	-6.3	-12.4	21
22		-10.4	-11.2	-1.1	2.2	10.4	9.8	13.5	11.1	3.3	1.8	-3.0	-11.3	22
23		-12.0	-8.3	-0.6	2.2	10.5	11.1	12.1	12.5	4.0	2.0	-3.9	-13.5	23
24		-15.3	-7.0	0.3	3.5	11.2	10.8	11.2	12.8	4.0	2.2	-6.5	-11.6	24
25		-15.6	-8.8	2.6	2.7	11.5	13.9	15.5	10.2	2.1	2.2	-9.1	-13.2	25
26		-12.8	-10.2	2.6	0.0	11.3	11.8	14.4	12.0	2.7	1.3	-6.1	-12.2	26
27		-11.8	-8.4	2.8	-0.9	10.7	11.5	16.9	8.7	5.8	1.6	-4.6	-11.8	27
28		-13.5	-9.1	3.2	2.6	11.0	12.7	15.0	8.8	7.3	-4.3	-6.7	-15.8	28
29		-17.7		4.2	4.6	7.2	11.7	14.0	10.4	7.1	-6.8	-6.6	-15.1	29
30		-18.7		9.5	11.2	10.0	9.6	12.3	11.1	4.6	-2.7	-5.6	-14.7	30
31		-15.1		5.8	12.7	12.7		9.1	11.1		-0.6		-15.1	31
旬 总 数	旬 平 均	-155.6	-76.3	26.9	28.0	116.5	112.8	146.2	120.4	45.0	-0.9	-58.2	-146.2	旬 总 数
		-14.1	-9.5	2.4	2.8	10.6	11.3	14.6	10.9	4.6	-0.1	-5.8	-13.3	
总 数	总 平 均	-409.5	-347.4	-140.4	24.7	230.9	290.7	387.6	355.1	226.0	50.9	-212.1	-265.5	总 数
		-13.2	-12.4	-4.5	0.8	7.4	9.7	12.5	11.5	7.5	1.6	-7.1	-8.6	
最 高 日 期	最 高 日 期	6.1	3.7	17.3	17.5	22.4	21.5	24.9	24.8	22.4	18.1	10.0	7.7	最 高 日 期
		4	11	31	3	31	27	27	19	17	10	22	1	
最 低 日 期	最 低 日 期	-24.8	-25.5	-25.5	-13.4	-3.5	0.7	3.3	2.5	-4.6	-13.9	-17.7	-20.0	最 低 日 期
		30	18	3	13	2	6	1	14	26	29	11	31	
年 统 计	最高气温	24.9	7月27日	最低气温	-25.5	2月18日	平均气温	0.4						

制表：杨新元 校核：康尔泗

表14 天山冰川观测试验站基本营地1988年逐日降水量表

降水量以mm计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
1			0.4*			4.4		5.5	11.2					1
2						6.3	3.3		0.0					2
3						4.1	2.4			0.2				3
4		1.0*		0.3*	0.4	2.5	4.3		0.2					4
5		0.0*					2.8		6.3					5
6					0.5		0.2		16.6					6
7	0.9*					2.3		0.2	8.5					7
8					0.7		3.6	2.9	1.1					8
9					0.2	10.5	2.5					0.0*		9
10				2.4	1.9		1.0	0.0			0.3*			10
11				1.8*			3.3	0.2						11
12				0.4		0.6	0.0	6.1	2.0*					12
13							2.3	8.3	3.5*					13
14					1.3	4.8			2.3*					14
15		0.0*			1.3	5.2	2.5		2.5					15
16		0.1*	1.3*		5.2	1.6	4.5	0.6						16
17			0.8	1.1*	5.4	5.4	0.6							17
18				0.9*	2.9	9.9			0.0					18
19				9.2*	7.3	4.2	17.0		0.9			0.4*		19
20						18.0	7.9							20
21						6.0	0.8	7.2	4.1					21

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
22						7.6			0.2				22
23	0.3*					0.3	2.1				0.2*		23
24	0.3*							8.9	7.6				24
25			0.7					5.1	9.5				25
26		0.1*					3.4			1.0*			26
27				5.0*	1.8	0.3		0.7					27
28	0.9*	1.2*			4.9	0.2				6.3*			28
29					0.9	8.1	5.5	1.8					29
30					8.2	17.9	5.9	1.5					30
31					0.4		5.8						31
总 量	2.4	2.4		23.7	43.3	120.2	81.7	49.0	68.7	15.3	0.5	0.4	总 量
降水日数	4	6		10	16	21	22	14	14	6	2	2	降水日数
最大日降水量	0.9	1.2		9.2	8.2	17.9	17.0	8.9	16.6	6.3	0.3	0.4	最大日降水量
日 期	7	28		19	30	30	19	24	6	28	10	19	日 期
年 统 计	降水量 410.8				降水日数 121								

制表：杨新元 校核：康尔泗

表15 天山冰川观测试验站基本营地1989年逐日平均相对湿度表

相对湿度以%计

月 日		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日	
1		70	71	84	37	61	72	87	83	88	80	82	62	1	
2		72	73	61	64	64	87	79	70	89	74	73	58	2	
3		72	70	57	63	55	76	83	72	75	72	72	57	3	
4		39	80	53	76	64	77	80	69	71	69	72	74	4	
5		72	85	58	56	61	70	78	65	84	68	69	85	5	
6		75	70	52	41	59	61	70	62	88	65	51	76	6	
7		87	73	53	52	65	61	77	56	85	70	66	81	7	
8		79	77	53	45	66	57	75	80	78	73	61	77	8	
9		78	73	51	70	65	61	67	68	74	63	68	87	9	
10		81	66	37	87	61	67	57	65	72	65	84	76	10	
旬 总 数		725	736	559	591	621	688	753	690	800	699	698	733	旬 总 数	
旬 平 均		73	74	56	59	62	69	75	69	80	70	70	73	旬 平 均	
11		68	67	41	75	48	71	55	49	64	78	76	59	11	
12		61	64	42	70	37	74	66	88	67	90	65	68	12	
13		60	67	35	53	51	70	81	83	63	89	72	64	13	
14		56	86	38	39	59	71	80	71	64	76	74	53	14	
15		51	85	39	54	62	80	77	63	66	76	64	51	15	
16		57	81	33	72	77	77	79	75	65	76	60	63	16	
17		62	73	62	60	67	73	72	69	57	74	57	70	17	
18		47	53	65	64	70	86	72	62	65	68	65	70	18	
19		49	43	43	77	83	80	77	59	75	64	68	86	19	
20		80	50	52	78	63	79	80	58	65	65	61	90	20	

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬 总 数	591	689	450	639	615	761	737	677	651	756	688	674	旬 总 数
旬 平 均	59	67	45	64	62	76	74	68	65	76	67	67	旬 平 均
21	66	61	63	52	56	78	76	77	80	67	55	85	21
22	67	62	62	51	65	76	65	71	71	79	54	77	22
23	66	44	57	58	69	73	80	59	73	72	71	70	23
24	81	55	49	55	64	65	76	69	76	73	76	77	24
25	70	65	67	72	58	62	72	73	86	76	65	71	25
26	60	77	52	76	57	61	78	68	70	78	59	78	26
27	58	65	61	52	62	85	69	66	84	63	58	86	27
28	85	60	55	53	78	63	75	82	60	88	60	79	28
29	85		46	52	89	78	80	83	68	85	55	65	29
30	77		18	26	67	83	86	85	79	89	58	78	30
31	76		34		58		90	70		72		76	31
旬 总 数	791	489	564	547	723	704	847	802	727	842	612	842	旬 总 数
旬 平 均	72	61	51	55	66	70	77	73	73	77	61	77	旬 平 均
总 数	2 107	1 894	1 573	1 777	1 959	2,153	2 337	2 169	2 178	2 297	1 978	2 249	总 数
月 平 均	68	68	51	59	63	72	75	70	73	74	66	73	月 平 均
统 计													统 计
最小值	6	7	7	1	12	21	26	22	21	13	10	17	最小值
日期	4	22	15	5	11	28	10	19	13	19	22	15	日期

制表：杨新元

校核：康尔泗

乌鲁木齐河源1号冰川冰内岩屑和新冰碛 细粒组分的若干特征*

周尚哲**

本文研究1号冰川冰内岩屑和新冰碛细粒组分的粒度特征,矿物特征和未冻水含量特征,为“大陆性冰川运动机理”这一课题中岩屑物质在冰川运动中力学作用研究的前提部分。

1 冰川概况及采样说明

乌鲁木齐河源1号冰川位于天山中部天格尔峰(4 483.6m)的北坡,地理坐标是 $43^{\circ}7'N$, $86^{\circ}49'E$ 。该冰川长2.3km,面积 $1.84km^2$,冰川末端高度3 800m,现代雪线高约4 050m,雪线附近多年年平均气温 $-8.5^{\circ}C$,年降水量500mm,属较典型的大陆性冰川,分为东、西两支。

1号冰川前端分布有近年冰川退缩后遗留的冰碛物,冰川中也夹有丰富的岩屑层。1988年夏,我们在上述冰碛物和岩屑层中采集了10个样品(图1,表1),作了一些项目

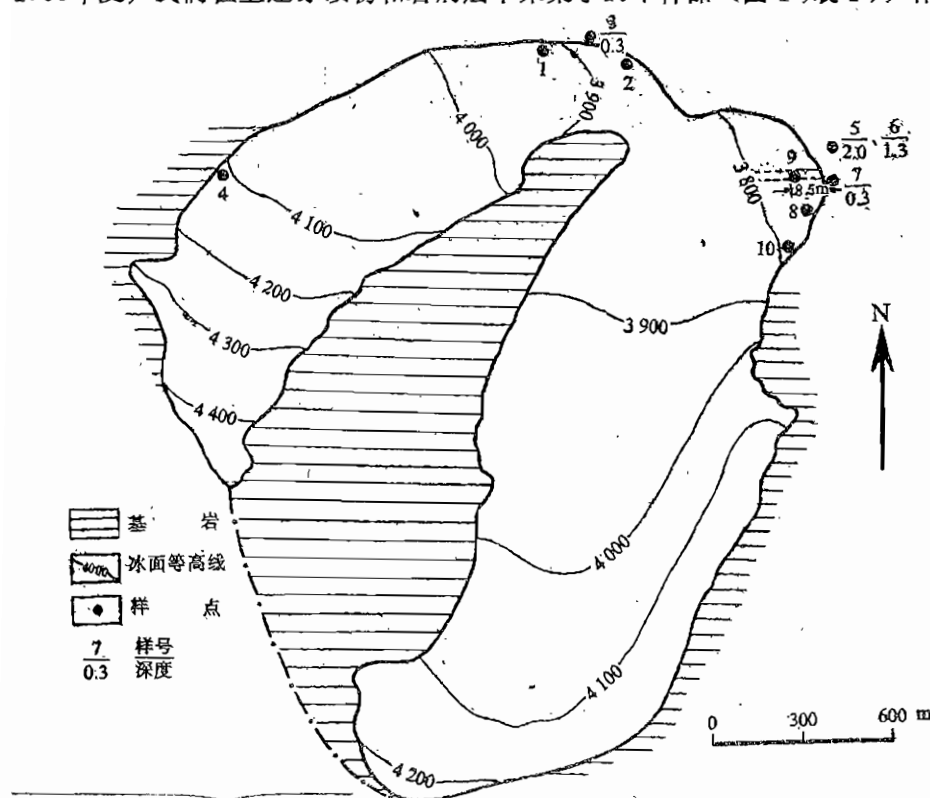
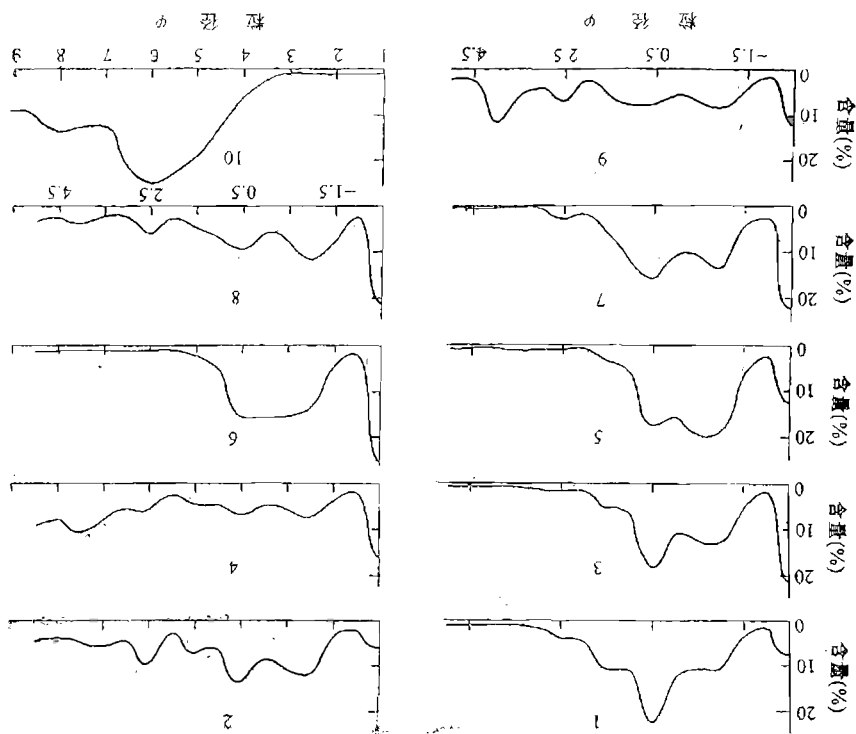


图1 样品位置示意图

*国家自然科学基金资助课题。

**现在兰州大学地理系。

图 2 粒度频率曲线图



冰碛与冰内岩屑总的特点是大小混杂，分选差。我们将其较细部分进行了粒度分析（附表1），绘成了频率曲线图（图2），计算了粒度参数（表2）。表中 M_z 为平均粒

2 粒度特征

的室内分析。我们之所以选定采集这样一些样品而不选其它，这是因为最新的未经改造的冰碛物，甚至尚处于冰内的岩屑对本课题显得更为重要。

编 号	类 别
1	富岩屑带岩屑
2	富岩屑带岩屑
3	新融出碛
4	冰内岩屑
5	新老融出碛
6	新老融出碛
7	新融出碛
8	富岩屑带岩屑
9	富岩屑带岩屑
10	风尘粉砂粘土

表1 样品说明

表2 粒度参数值

样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M_z	-0.07	0.57	-0.80	1.07	-0.57	-1.07	-0.80	-0.20	0.77	3.70
σ_1	1.28	2.13	1.46	2.69	1.07	1.04	1.50	2.23	2.43	0.96
SK_i	-0.08	0.28	-0.13	-0.1	0.04	-0.23	-0.07	0.28	0.04	0.29
K_g	1.15	0.90	0.91	0.66	1.14	0.80	0.89	1.32	0.78	0.87

径; σ_1 为标准偏差; SK_i 为偏度和 K_g 为尖度。所根据的公式即:

$$M_z = \frac{\varphi_{1.6} + \varphi_{5.0} + \varphi_{8.4}}{3} \quad (1)$$

$$\sigma_1 = \frac{\varphi_{8.4} - \varphi_{1.6}}{4} + \frac{\varphi_{9.5} - \varphi_5}{6.6} \quad (2)$$

$$SK_i = \frac{\varphi_{1.6} + \varphi_{8.4} - 2\varphi_{5.0}}{2(\varphi_{8.4} - \varphi_{1.6})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{9.5} - 2\varphi_{5.0}}{2(\varphi_{9.5} - \varphi_5)} \quad (3)$$

$$K_g = \frac{\varphi_{9.5} - \varphi_5}{2.44(\varphi_{7.5} - \varphi_{2.5})} \quad (4)$$

需要说明的是, 频率曲线图中的 -2.5φ 处高含量并不是 -2.5φ , 而是小于 -2.5φ (即大于 6 mm) 的样品部分总含量, 由于筛孔所限, 未作分析。粒度参数计算要求含量为 5% 时的 φ 值, 对此, 我们根据通行的处理办法在概率曲线图上将曲线作了自然延伸。

由图 2 可见, 1—9 号样品的曲线呈双峰或不明显的多峰态, 主要组分集中在 -1.5φ 至 1.5φ 之间, 其中 2, 4, 8, 9 号样品的 1.5φ 以下的细粒部分稍多, 但却很少或几乎不存在粘土。这表明冰川环境下机械碾磨和寒冻风化在岩石破坏过程中占主导作用, 化学风化作用确实是很微弱的, 10 号样品为采自冰面的风尘粉砂粘土, 其主要组分在 $4-10\varphi$ 之间。

由表 2 可见, 表示平均粒径的 M_z 值变化于 -1.07 和 0.77 之间; 10 号样为 3.70 。表示分选程度的标准偏差 σ_1 变化于 1.07 和 2.69 之间, 均属分选差 ($1-2\varphi$) 和很差 ($2-4\varphi$) 的范围; 10 号样为 0.96 , 属分选中等 ($0.5-1\varphi$) 的范围。关于表示曲线峰对称程度的偏差 SK_i , 3, 4, 6 号样属负偏态; 1, 5, 7, 9 号样接近于对称; 2, 8, 10 号样属正偏态范围。尖度 K_g 是衡量频率曲线两尾端的分选与中央部分分选的比率的参数, 表 2 中 4, 9, 10 三个样品的 K_g 值属平坦范围, 2, 3 为中等尖锐, 其余均属尖锐范围。

王靖泰等 (1981a) 在本区采集了 50 多个冰碛物样品作了粒度分析, 力图归纳出冰碛物粒度特征的一般规律, 其中包括 1 号冰川末端的十多个样品。本文分析结果基本与之吻合。

值得注意的是, 采自冰内岩屑带的 2, 4, 8, 9 号样品在级配上和冰川前缘冰碛样品有所不同, 由图 2 可见, 其细粒组分较多, 且标准偏差均大, 属于“很差”范围。这似乎表明, 在冰内尚处于搬运过程的岩屑能够更为有效地代表冰碛粒度组合的本来面貌。研究冰碛物质对冰川运动的作用时, 应对这种状态下的物质予以更多的重视。停留在冰川前端的冰碛, 其细粒部分可能为随之而来的冰川融水带走, 故虽为冰川最新沉积物, 实际可能已为流水所改造。

需要指出的是, 冰碛既受冰川运动碾磨作用, 那么其平均粒径即与搬运距离为反比

表3 a 天山站冰碛碎屑矿物含量对比表 (重矿物比重>2.86)

样号	不稳定矿物						较稳定矿物						稳定矿物				极稳定矿物								
	重矿物含量(%)	普通辉石	普通闪石	铁闪石	钠闪石	黑云母	符山石	合计	透辉石	阳起石	透闪石	绿帘石	黝帘石	绿泥石	石英	合计	黑色金属矿	白云母	风化白云母	合计	褐铁矿	白钛矿	电气石	石榴石	合计
1	0.50	0.75	0.50			0.75		2.00		0.75		0.25	0.25	0.25		1.50	87.50	4.75		92.25	1.75		0.50	1.75	4.25
2	0.75		0.75			2.00		2.75		0.50	0.25	1.00		0.75	0.50	2.75	46.25	8.75	15.25	70.25	21.25	0.25		2.25	92.50
3	0.75		0.75			1.00		1.75			0.25	1.25		0.75	0.25	3.00	62.50	14.25	5.00	81.75	11.25			2.00	93.00
4	4.00	1.50				2.50	1.00	5.00	0.25	1.75		1.75	0.50	0.50		4.75	18.75	9.50	8.25	34.50	47.75			7.50	55.75
5	0.75		19.75			14.25	0.50	34.50	0.25	1.50	1.50	4.25	0.75	1.00	0.50	9.75	23.75	17.50	4.50	45.75	3.00			3.25	50.00
6	0.75		10.00			18.75		28.75		0.50		6.75	1.75	0.25		9.25	35.00	15.00	3.00	53.00	5.00			2.50	58.00
7	2.50	0.50	6.00			5.25		11.75	0.25	0.75		5.00	0.50	0.50		7.00	75.00	3.00		78.00	0.75			0.50	79.25
8	2.00		14.50			19.00		34.25		0.75	1.25	6.75	0.50	1.00		9.25	28.60	9.60	2.25	38.25	16.25			0.75	44.50
9	2.00		14.00			12.40	0.60	27.40		1.00	0.80	5.20	0.40	0.20		7.60	42.60	18.00	0.40	61.00	0.80			1.20	62.80
10	1.00	0.80	17.00			7.20		26.80		7.20	1.80	4.00	1.60			14.60	38.80	13.80		52.60	0.60			1.20	54.40

关系。乌鲁木齐河源 1 号冰川长仅 2.3km，其冰碛平均粒径是不能代表所有大陆性冰川冰碛的。其它参数受搬运距离影响不大。

3 矿物特征

据李树德等(1981)对大于 20cm 的岩石进行统计鉴定，本区岩石主要为眼球状片麻岩、石英片岩、闪长岩、花岗岩、花岗闪长岩、辉绿岩和脉石英等。我们对所采样品 0.25—0.01mm 粒级部分进行了矿物分析（表 3a,b）。发现有如下特征。

表 3 b 天山站冰碛碎屑矿物含量对比表（轻矿物，比重<2.86）

样号	石英	正长石	斜长石	风化斜长石	合计	玉髓	白云母	绿泥石	碳酸盐	粘土团粒	岩屑	合计
1	18.75	4.75	16.50	4.75	26.00						55.25	55.25
2	22.50	1.75	15.75	4.25	21.75		1.50				54.25	55.75
3	19.50	3.00	11.25	3.75	18.00	0.75	0.75				61.00	62.50
4	12.50	5.50	8.25	1.25	15.00		2.00	0.25			70.25	72.50
5	19.75	5.00	16.25	2.25	23.50		1.75				55.00	56.75
6	32.50	3.00	19.00	4.25	26.25		2.50		0.75		38.00	41.25
7	27.50	6.25	13.00	9.75	29.00		0.50		0.25		42.75	43.50
8	28.75	7.50	18.00	2.50	28.00		2.50		0.75		40.00	43.25
9	28.75	3.75	24.00	2.50	30.25		0.50		0.50		40.00	41.00
10	17.50	1.75	10.00	1.25	13.00	0.25	0.50			53.75	15.00	69.50

- (1)重矿物在整个矿物中所占比例很低，其重量百分比仅为 0.5—4.0%。
- (2)在重矿物中，稳定矿物颗粒含量最高，极稳定矿物次之，不稳定和较稳定矿物含量很低。
- (3)在作为主要组分的轻矿物中，总的看长石类含量与石英基本相当。就一个样品来说，二者大体成反比。此外，岩屑团粒含量很高，在 40% 以上。
- (4)10 号样的粘土团粒达 53.75% 之多，不同于其它样品。

以前也有研究者对本区冰碛物作过矿物鉴定。其中李世杰(1983)对东、西支冰川间的中碛垅 9 个样品的矿物鉴定结果与本文各项雷同。王靖泰等 (1981b) 对本区冰碛物的矿物成分作过鉴定，和本文的主要区别是重矿物含量很高，占 40—50%。这是因为王靖泰等的样品采自冰川外围，多属于较老的冰碛，轻矿物流失比较多，重矿物的含量相对增加。再看一下本文表 3，属于冰内岩屑的 4,8,9 号样的重矿物含量略多，似乎也说明已沉积在冰川前端的冰碛物，轻矿物已有相对多的流失。

4 未冻水含量与温度、粒度和矿物成分的关系

未冻水含量是冻土学中的一个概念，其涵义是在任何温度下的冻土中均存在未冻水，其含量随温度升高而增加；随温度降低而减少。纯冰同样含有未冻水。从冻土学的角

度看，冰川中含岩屑的冰层，也是一种冻土。它在冰川运动中起什么作用，应该说与它的未冻水含量很有关系。

将采回的样品在室内加上一定比例的水，拌匀后进行冻结，用核磁共振仪测定其冻结状态下的未冻水含量。本次测定温度范围取 -20.4°C 至 -0.25°C 之间，测值为9个。由于温度升高时，未冻水含量加速增多，故在接近 -0.25°C 时，测试温度间隔加密，所测曲线如图3所示（数据见附表2）。图中除了10个冰碛与岩屑样品曲线外，还有所测1

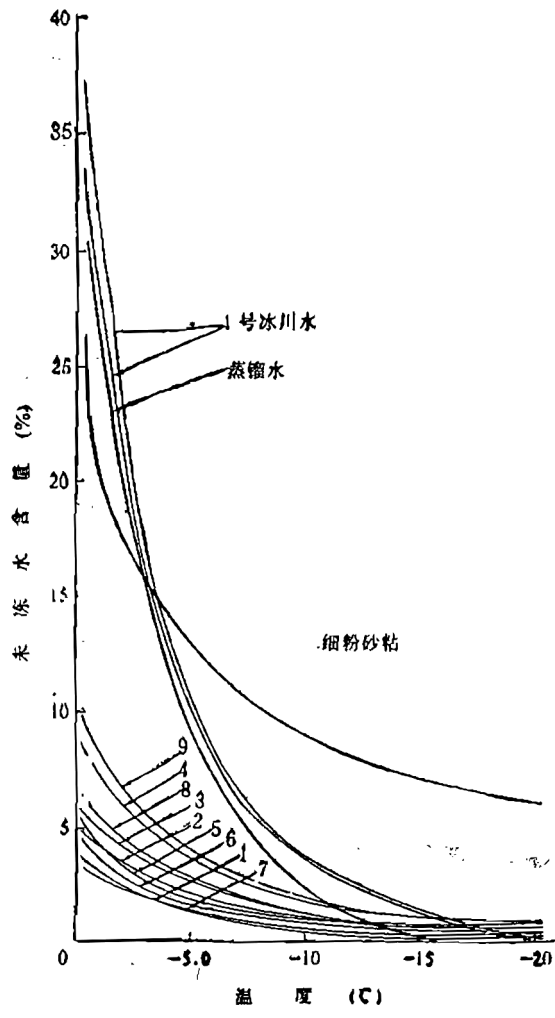


图3 未冻水含量与温度间的关系（核磁共振法，曲线除注明外，其余为岩屑）

号冰川冰融水(A, B)和蒸馏水(C)冻结状态下的未冻水含量曲线（数据见附表3）。从该图可以看出：

- (1) 1—9号样品当温度由 -20.4°C 向 -0.25°C 递增时，未冻水含量从百分之零点几逐渐增加，9号样达到9.93%。
- (2) 这种增加，在 -10°C 以下基本上是线性的；以上则加速增加，变为曲线关系。
- (3) 1—9号样品曲线互相平行而不交叉，表明一个样品若低温时未冻水含量较其它样品的未冻水含量多，则高温时亦相应地多。

但是在同温下,各样品的未冻水含量又不同,这表明未冻水含量并不是温度的一元函数,决定它的还有其它因素,如矿物颗粒和水溶液的成分和性质。徐敦祖等(1985)曾介绍过D·M·安斗生和A·R·泰斯1973年提出的描述未冻水含量与温度关系的方程($W_u = CT^{-D}$,式中, W_u 为未冻水含量; T 为负温; C, D 为土的性质所决定的两项常数)。并指出在粘土中,初始含水量的多少对未冻水含量的影响不大。

在10个样品中,10号样同温下的未冻水含量最高。因为它是取自冰面的风尘粉砂粘土。在矿物分析中它含有53.75%的粘土团粒(表3)。它的主要组分在 $3-10\phi$ 之间(图2)。1—9号样品粒度组分集中在 $-1.5-1.5\phi$ 之间,未冻水含量少。但其中采自冰内岩屑层的3,4,8,9号样尚含有 $1.5-5\phi$ 的较多组分,故在图3上所显示的未冻水含量多些。

这里还不能解释的是2,4号样的细粒部分别比3,9号的多些,但同温下的未冻水含量却分别在后者之下,如果不是分析误差,则可能是其它原因所造成。矿物成分(表3)明显的差别是2,4号含有较多的褐铁矿(分别为21.25%和47.75%),这种磁性物质在用核磁共振技术测定其未冻水含量时要造成一定程度的干扰而出现误差(徐敦祖面谈),这也可能是其未冻水含量略微降低的原因。

应该指出图3中(包括附表2,表3)岩屑和冰的未冻水含量表示方法不一样。岩屑的未冻水含量指实测水重与岩屑重之比;冰的未冻水含量指实测水重与冰重之比。测定时,对岩屑样品加水不多,一般只到饱和状态。故在高温下含岩屑冰的未冻水含量不如冰的那样高。

致谢:本项研究得到天山冰川观测试验站的支持。黄茂桓教授对本项工作和本文写作进行了指导,徐敦祖副教授作未冻水含量的核磁共振分析并对本文提出了宝贵意见,马正海作矿物分析、陈怀录作粒度分析,冰川水样系王仲祥所取。在野外工作中得到了周韬的帮助。最后,李吉均教授惠阅全文,并提出了修改意见,笔者在此一并致谢。

参 考 文 献

王靖泰,张振拴,1981a.天山乌鲁木齐河源冰碛物的粒度特征。冰川冻土,3:增刊

王靖泰,张振拴,1981b.天山乌鲁木齐河源的冰川沉积。冰川冻土,3:增刊

李树德,崔之久,王靖泰,张振拴,1981,天山乌鲁木齐河源冰碛、冰水及冲积砾石的岩性和形态特征。冰川冻土,3:增刊

李世杰,1985.天山乌鲁木齐河源1号冰川冰面第一道垄状冰碛成因的初步分析。冰川冻土,7(4):

徐敦祖,奥利舍特JL,泰斯AR,1985.土水势、未冻水含量和温度。冰川冻土,7(1):

附表1 1号冰川沉积物粒度分析总汇总表

ϕ		-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	>4.5
mm		6	4	3	2.0	1.41	1.00	0.71	0.5	0.35	0.25	0.177	0.125	0.088	0.0625	0.044	<0.044
1	含量	7.36	1.32	3.85	10.47	10.15	12.14	22.75	10.75	10.52	4.22	3.84	1.30	0.21	0.35	0.24	0.50
	累积	7.36	8.68	12.53	23.0	33.15	45.29	68.04	78.79	89.31	93.53	97.37	98.67	98.88	99.23	99.47	99.97
2	含量	5.15	1.31	3.12	11.46	10.13	8.10	13.34	5.71	6.83	2.65	9.16	4.15	5.04	4.90	3.85	4.35
	累积	5.15	6.46	9.58	21.04	31.17	39.27	52.61	58.32	65.15	67.80	76.96	81.11	86.15	91.05	94.90	99.25
3	含量	21.42	1.51	5.82	12.92	12.54	11.0	18.04	6.02	5.52	1.32	1.32	1.25	0.34	0.22	0.22	0.36
	累积	21.42	22.93	28.75	41.71	54.25	65.25	83.29	89.31	94.83	96.15	97.47	98.72	99.06	99.29	99.51	99.87
4	含量	15.34	1.81	3.82	6.91	5.32	4.73	6.64	4.12	4.63	2.16	5.93	5.22	7.34	10.06	7.60	7.99
	累积	15.34	17.15	20.97	27.88	33.20	37.93	44.57	48.69	53.32	54.48	61.41	66.63	73.97	84.03	91.63	99.62
5	含量	7.05	2.52	6.33	18.74	19.22	15.24	17.91	5.42	3.42	0.92	1.01	0.94	0.36	0.24	0.15	0.30
	累积	7.05	9.57	15.9	34.64	53.86	69.28	87.19	92.61	96.03	96.95	97.96	98.90	99.26	99.5	99.65	99.95
6	含量	25.30	1.70	4.72	13.14	14.92	15.02	16.52	4.71	2.12	0.62	0.72	0.18	0.20	0.15	0.33	0.73
	累积	25.30	27.0	31.72	44.86	59.78	74.80	90.32	95.03	97.15	97.77	98.49	98.67	98.87	99.02	99.35	100.08
7	含量	22.01	2.72	4.73	13.76	11.05	10.13	16.14	7.81	6.03	1.95	3.04	0.14	0.18	0.12	0.21	0.05
	累积	22.01	24.73	29.46	43.22	54.27	64.4	80.54	88.35	94.38	96.33	99.37	99.51	99.69	99.81	100.02	100.07
8	含量	20.22	2.0	7.61	11.71	7.52	5.52	9.30	7.01	5.0	2.23	6.0	2.3	2.2	3.8	2.04	3.33
	累积	20.22	22.22	29.83	43.54	51.06	56.58	65.88	72.89	77.89	80.12	86.12	88.42	90.62	94.42	96.46	99.78
9	含量	13.72	1.74	4.52	8.27	7.82	5.94	7.86	7.62	6.61	2.82	7.32	4.11	5.62	11.81	2.02	2.54
	累积	13.72	15.46	19.98	28.25	36.07	42.01	49.87	57.49	64.10	66.92	74.24	78.35	83.97	95.78	97.80	100.34

附表2 1号冰川各岩屑未冻水含量测定结果
(核磁共振法)

样品编号	测 定 结 果									
1	温度 °C	-20.0	-15.39	-10.35	-7.3	-5.22	-3.07	-1.91	-1.01	-0.35
	W _u %	0.29	0.35	0.56	0.81	1.35	1.98	2.32	2.49	3.07
2	温度 °C	-20.4	-15.42	-10.35	-7.28	-5.22	-3.07	-1.91	-1.04	-0.35
	W _u %	0.65	0.71	0.99	1.49	2.01	2.57	3.05	3.75	4.69
3	温度 °C	-20.4	-15.36	-10.38	-7.3	-5.22	-3.04	-1.91	-1.01	-0.38
	W _u %	0.72	0.83	1.43	1.85	2.65	3.14	4.06	4.43	5.76
4	温度 °C	-20.43	-15.42	-10.38	-7.3	-5.19	-3.07	-1.91	-1.0	-0.25
	W _u %	0.85	1.16	1.90	2.57	4.03	4.86	6.25	6.77	8.48
5	温度 °C	-20.4	-15.42	-10.32	-7.28	-5.19	-3.07	-1.94	-1.0	-0.35
	W _u %	0.80	0.91	1.22	1.64	2.38	2.80	3.40	4.00	5.25
6	温度 °C	-20.4	-15.36	-10.35	-7.3	-5.15	-3.04	-1.89	-1.01	-0.35
	W _u %	0.34	0.67	0.91	1.22	1.70	2.40	2.78	3.42	4.63
7	温度 °C	-20.38	-15.39	-10.12	-7.3	-5.19	-3.04	-1.84	-1.07	-0.4
	W _u %	0.16	0.17	0.53	0.86	1.90	2.21	2.60	3.14	3.58
8	温度 °C	-20.38	-15.39	-10.32	-7.3	-5.19	-3.01	-1.89	-1.01	-0.38
	W _u %	0.39	0.41	1.00	1.73	2.60	3.98	4.87	5.56	6.29
9	温度 °C	-20.04	-15.42	-10.32	-7.18	-5.16	-3.07	-1.91	-1.03	-0.38
	W _u %	0.56	0.78	1.58	2.70	4.14	5.22	6.80	8.40	9.93
10	温度 °C	-20.38	-15.42	-10.35	-7.25	-5.16	-3.07	-1.91	-1.01	-0.4
	W _u %	6.03	6.87	8.86	10.76	13.30	15.40	18.12	20.88	26.27

测定者: 邓友生

计算及审核者: 徐敦祖

附表3 1号冰川冰(A, B和蒸馏水C)未冻水含量测定结果

A试样	温度 °C	-0.24	-0.53	-1.04	-2.10	-3.13	-5.24	-10.33	-15.41	-20.39
	未冻水含量 %	33.09	31.45	28.90	22.70	17.68	10.25	2.67	0.49	0.11
B试样	温度 °C	-0.24	-0.53	-1.07	-2.13	-3.16	-5.24	-10.39	-15.47	-20.47
	未冻水含量 %	37.09	32.49	29.97	24.54	18.92	11.24	3.31	0.68	0.10
C试样	温度 °C	-0.4	-1.0	-2.17	-4.14	-7.31	-10.49	-15.49		
	未冻水含量 %	30.31	26.98	21.40	13.07	5.61	2.35	0.62		

测定日期1989.5.20

测定者: 王慧媛

计算及审核者: 徐敦祖

资料提供单位: 中国科学院兰州冰川冻土研究所冻土预报室水分试验室

乌鲁木齐河源1号冰川表面运动速度

陈 要 武 孙 作 哲

1 基 本 情 况

(1) 冰面流速点布置:1980年4月在东、西支冰川各布设8个横断面52个流速点^①,经过两年观测,于1982年8月重新布设流速点,除用交会角将原52个点恢复到1980年4月的原位置外,又增设18个点(孙作哲 *et al.*, 1985)。随着流速点的不断运动,其空间位置也在不断变化,形成名为同名点实为不同点,为流速变化分析增加了困难。为此,1988年8月依据每个流速点6年中移动的距离和运动方向,将流速点恢复到1982年8月时的原位置。这为分析流速时空变化提供了方便。

1988—1989年对东支冰川36个流速点进行观测,获得资料的有32个点,对西支冰川33个流速点进行观测,获得资料的有31个点。

(2) 测量时间:继1988年8月31日,9月1日的观测之后,又于1989年5月30,31日和8月31日,9月4日,对插入冰内的以花杆为标志的流速点,进行重复观测。这样便得到冬、夏季和全年的运动速度,经过计算整理,表1为全年运动速度。表2为冬季(1988年8月31日,9月1日—1989年5月30,31日)和夏季(1989年5月30,31日—1989年8月31日,9月4日)流速比较表。

(3) 主要资料说明:座标系规定以 x 为纵座标; y 为横座标; z 为竖直方向上的座标; U_x, U_y, W 分别为平行于 x, y, z 轴的速度分量; U_{xy} 为速度的水平分量 [$U_{xy} = (U_x^2 + U_y^2)^{\frac{1}{2}}$, 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_s 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认识

在计算、整编运动速度过程中,经过简单分析、比较,得到以下结果

(1) 将1989年6月摄影测量绘制的地形图,与1986年8月以同样方法绘制的地形图比较,发现3900m同名等高线完全重合,这说明这一海拔的冰川厚度保持不变。而以下

^①孙作哲 *et al.*, 1982, 乌鲁木齐河源1号冰川表面运动速度, 天山冰川站年报。

至冰舌末端,同名等高线向雪线方向移动半个基本等高线间距。因此,初步估计3900m以下冰舌区平均减薄2.5m。

(2)从表1中可以看出,西支冰川流速最大值为D₃点,年流速为8.22m,说明该年度西支冰川雪线以下的速度高速区,已经由原来的C剖面后移到D剖面。东支冰川流速最大值为E'₃点,年流速为5.47m/a,这同样说明该年度东支冰川雪线以下的速度高速区,由原来的D'剖面后移到E'剖面。我们认为这一变化是由于该冰川在3900m以下,冰面呈减薄趋势,冰川厚度变小造成冰川流速降低,而3900m以上冰面保持不变,流速降低不明显,因而高速区后移。

(3)如前所述,经过恢复点位工作,各流速点的空间位置和1982—1983年的点位基本一致,为流速变化比较提供了基础。把表1中的运动速度和1982—1983年的运动速度作一比较^①,可以看出:西支冰川除个别点(H₂,C₄,C₁,F₄)外,流速均减小,平均降低0.6m/a,最大值C₃点降低2.0m/a,冰舌下部降速更为明显,平均降低1.0m/a左右。东支冰川A'和B'流速增加0.4—0.7m/a,而C'排以上流速减小,平均降低0.5m/a左右。减速最大的是F₄'点,减小1.0m/a。

(4)从表2中明显看出1号冰川在本年度夏、冬季速度有明显的变化。东支冰川冰舌下部(3825m以下)10个点的资料表明夏季大于冬季流速,比值约为1.07。从流速断面C'排以上19个点的资料表明则是夏季流速小于冬季流速,比值约为0.76,其中D'排这一现象更为明显。西支冰川除F₂,F₅,G₃,G₄,H₂五个点外,其余24个点夏季流速均大于冬季流速,比值约为1.14,其中最大值是B₂点,比值为1.32。

产生上述现象的原因是由多因素造成的,这里不便作深入探讨,但是我们认为可能与该冰川冬、春季积雪量大,增加了冰川的厚度和重量,造成冬季流速加快。东支冰川冰舌下部分和西支冰川夏季流速快与东支冰川D'排有横裂隙,西支冰川横裂隙更多,夏季冰融水由此下渗,起到“润滑”作用有关。

3 冰川末端进退

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号冰川末端进退观测除用自基北至基南直线上的三个固定点测量外,还从冰舌末端自南至北六个部位作了观测,其结果见表3。从表3中看到冰舌末端平均后退速度5.1m/a。此值是从1980年逐年有观测资料以来,退缩速度最大的一年。它虽然比1962年至1973年平均退缩速度还小0.83m/a。但已比1973年至1980年退缩速度大1.85m/a。另外,从表3还可看出,冬季冰舌处于平衡状态,说明冬季冰舌存在一定消融,它抵消了冰舌末端因冰川运动的前进量,这一现象在该冰川有观测记载以来还是首次出现。

参 考 文 献

孙作哲 *et al.*, 1985, 天山乌鲁木齐河源1号冰川的运动特征。冰川冻土, 7 (1),

^①孙作哲 *et al.*, 1984, 乌鲁木齐河源1号冰川1981—1983年表面运动速度。天山冰川站年报。

表 1 年运动速度

点 名	观测时间: 1988.8.31—1989.8.31					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	Z (m)	α (° ')	U_{xy} (m/a)
a'₁	-0.891	3.038	3.166	-0.594	106 21	3.166
a'₂	1.104	3.411	3.585	0.260	72 05	3.585
a'₃	0.220	4.097	4.103	0.106	86 55	4.103
b'₁	1.486	3.360	3.678	-0.355	66 00	3.678
b'₂	0.584	0.574	0.805	0.179	45 29	0.805
b'₃	1.663	3.410	3.794	-0.083	64 00	3.794
b'₄	1.670	4.814	5.095	0.003	70 52	5.095
c'₁	0.938	1.126	1.465	0.083	50 12	1.465
c'₂	2.255	4.192	4.760	-0.022	61 43	4.760
c'₃	1.662	1.662	2.351	0.142	45 00	2.351
c'₄	3.256	4.449	5.512	-0.311	53 48	5.512
c'₅	2.870	3.444	4.483	-1.172	60 11	4.483
d'₁	1.774	0.862	1.972	-0.186	25 55	1.972
d'₂	4.580	1.990	4.994	-0.200	23 28	4.994
d'₃	4.787	2.066	5.214	0.093	23 21	5.214
d'₄	4.559	2.009	4.882	0.089	23 47	4.882
d'₅	2.359	0.544	2.421	-0.831	12 59	2.421
点 名	观测时间: 1988.9.1—1989.9.4					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	Z (m)	α (° ')	U_{xy} (m/a)
e'₁	2.753	0.394	2.781	-0.593	8 09	2.774
e'₂	5.250	0.899	5.327	-0.942	9 43	5.293
e'₃	5.452	0.803	5.511	-0.966	8 23	5.475
e'₄	5.140	0.601	5.175	-0.945	6 40	5.147
e'₅	4.498	-0.013	4.498	-0.981	359 51	4.453
f'₁	2.413	0.431	2.451	-0.597	10 07	2.446
f'₂	4.462	0.798	4.433	-0.921	10 09	4.490
f'₃	4.761	0.869	4.839	-0.994	10 21	4.818
f'₄	5.078	0.808	5.142	-1.209	9 03	5.110
f'₅	4.624	0.420	4.643	-1.462	5 11	4.599
g'₁	1.252	0.549	1.367	-0.204	23 40	1.350
g'₂	3.545	1.280	3.769	-0.710	19 51	3.723
g'₃	3.897	1.255	4.095	-0.742	17 51	4.052
g'₄	3.929	1.102	4.081	-1.049	15 40	4.061
h'₁	1.896	1.573	2.468	-1.047	39 48	2.446

表 1 (续)

点 名	观测时间: 1988.8.31—1989.8.31					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	Z (m)	α (° ')	U_{xy} (m/a)
b ₁	-0.4039	2.1485	-2.2046	-2.064	102 57	2.205
b ₂	-2.3890	4.8170	-5.3769	-2.888	116 23	5.377
b ₃	-3.5637	5.4110	-6.4791	-0.999	123 22	6.479
c ₁	-0.3959	3.7841	-3.805	-1.536	95 58	3.805
c ₂	-0.9383	7.8029	7.8591	-1.204	96 51	7.859
c ₃	-3.1513	7.3252	7.9743	-1.636	113 17	7.974
d ₁	0.2215	1.5513	1.5670	-0.008	81 52	1.567
d ₂	0.2858	6.6663	6.6725	-0.750	87 32	6.672
d ₃	0.5443	8.2084	8.2265	-1.374	86 12	8.226
d ₄	1.3330	7.6917	7.8064	-2.185	80 10	7.806
d ₅	1.4070	3.7124	3.9701	-0.273	69 15	3.970

点 名	观测时间: 1988.9.1—1989.9.4					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	Z (m)	α (° ')	U_{xy} (m/a)
e ₁	0.778	2.834	2.939	-0.228	74 39	2.920
e ₂	1.903	7.338	7.581	-1.237	75 28	7.519
e ₃	2.699	7.541	8.009	-1.533	70 18	7.957
e ₄	2.893	6.972	7.548	-1.416	69 28	7.483
f ₁	2.280	4.572	5.109	-1.049	63 29	5.074
f ₂	2.935	5.913	6.601	-1.125	63 36	6.534
f ₃	2.946	5.972	6.659	-1.080	63 45	6.606
f ₄	2.964	5.764	6.472	-1.081	62 45	6.424
f ₅	2.610	4.574	5.267	-1.225	60 17	5.220
g ₁	1.428	2.769	3.116	-0.144	62 43	3.103
g ₂	2.967	5.808	6.522	-0.685	62 57	6.461
g ₃	2.887	5.676	6.368	-1.130	63 02	6.314
g ₄	2.807	5.072	5.784	-1.384	60 58	5.730
g+1	1.762	4.278	4.627	-0.387	67 37	4.599
g+2	2.620	5.986	6.534	-0.812	66 21	6.497
h ₁	3.224	4.693	5.612	-0.847	54 56	5.548
h ₂	3.616	5.271	6.392	-1.128	55 33	6.351
h ₃	3.611	5.571	6.639	-1.427	57 03	6.570
h ₄	2.770	4.922	5.648	-1.715	60 38	5.585
h ₅	3.244	4.861	5.844	-1.850	56 17	5.804

表 2 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
	1988.8.31—1989.5.30		1989.5.30—1989.8.31		
	运 动 距 离 S(m)	流 速 U(cm/a)	运 动 距 离 S(m)	流 速 U(cm/d)	
a'1	1.171	0.431	0.533	0.57	1.32
a'2	2.724	1.001	0.887	0.95	0.95
a'3	3.066	1.127	1.053	1.13	1.00
b'+2	2.588	0.951	1.092	1.17	1.23
b'1	0.564	0.207	0.230	0.25	1.21
b'2	2.698	0.992	1.096	1.18	1.19
b'3	3.740	1.375	1.356	1.46	1.06
b'4	3.613	1.328	1.208	1.30	0.98
c'+1	1.110	0.408	0.356	0.38	0.93
c'+2	3.494	1.285	1.267	1.36	1.06
c'1	1.837	0.675	0.515	0.55	0.81
c'2	4.210	1.548	1.304	1.40	0.90
d'2	4.180	1.537	0.834	0.90	0.59
d'3	4.209	1.548	1.008	1.08	0.70
d'4	4.207	1.547	0.778	0.84	0.54
d'5	2.067	0.760	0.355	0.38	0.50
e'1	2.260	0.831	0.525	0.55	0.66
e'2	3.911	1.438	1.416	1.47	1.02
e'3	4.157	1.528	1.354	1.41	0.92
e'4	3.913	1.439	1.262	1.31	0.91
e'5	3.439	1.264	1.059	1.10	0.87
f'1	1.985	0.730	0.470	0.50	0.68
f'2	3.666	1.348	0.870	0.91	0.68
f'3	3.747	1.378	1.093	1.14	0.83
f'4	4.107	1.510	1.035	1.08	0.72
f'5	3.614	1.329	1.029	1.07	0.81
g'1	1.190	0.438	0.177	0.18	0.41
g'2	2.895	1.064	0.874	0.91	0.86
g'3	3.305	1.215	0.794	0.83	0.68
g'4	3.394	1.248	0.626	0.65	0.52
h'1	1.707	0.628	0.765	0.50	1.27

表 2 (续)

点 名	观 测 日 期		观 测 日 期		夏、冬季 流速比 K
	1988.8.31—1989.5.30		1989.5.30—1989.8.31		
	运 动 距 离 $S(m)$	流 速 $U(cm/d)$	运 动 距 离 $S(m)$	流 速 $U(cm/d)$	
b_1	1.642	0.604	0.563	0.61	1.01
b_2	3.707	1.363	1.670	1.80	1.32
b_3	4.594	1.689	1.886	2.03	1.20
c_1	2.628	0.966	1.177	1.27	1.31
c_2	5.597	2.058	2.262	2.43	1.18
c_3	5.677	2.087	2.299	2.47	1.18
d_1	1.105	0.406	0.463	0.50	1.23
d_2	4.820	1.772	1.852	1.99	1.12
d_3	5.945	2.186	2.281	2.45	1.12
d_5	2.967	1.091	1.007	1.08	0.99
e_1	2.028	0.746	0.913	0.95	1.27
e_2	5.402	1.986	2.179	2.27	1.14
e_3	5.710	2.099	2.300	2.40	1.14
e_4	5.427	1.995	2.122	2.21	1.11
f_1	3.615	1.329	1.495	1.56	1.17
f_2	4.961	1.824	1.642	1.71	0.94
f_3	4.934	1.814	1.726	1.80	0.99
f_4	4.751	1.747	1.722	1.80	1.03
f_5	3.949	1.452	1.321	1.38	0.95
g_1	2.214	0.814	0.902	0.94	1.15
g_2	4.699	1.728	1.824	1.90	1.10
g_3	4.734	1.740	1.634	1.70	0.98
g_4	4.342	1.596	1.443	1.50	0.94
$g+1$	3.246	1.193	1.384	1.44	1.21
$g+2$	4.682	1.721	1.854	1.93	1.12
h_1	4.045	1.487	1.568	1.63	1.10
h_2	4.844	1.781	1.549	1.61	0.90
h_3	4.819	1.772	1.820	1.90	1.07
h_5	4.149	1.525	1.705	1.78	1.17

表 3 冰舌进退资料 (1988.9.2—1989.9.5)

点 号	1988.9.2—1989.6.1	1989.6.1—1989.9.5	1988.9.2—1989.9.5
固定点 I	退 0.1	退 4.8	退 4.9
固定点 II	退 0.8	退 4.8	退 5.6
固定点 III	进 1.2	退 4.7	退 3.5
1	退 0.4	退 4.2	退 4.6
2	进 1.3	退 7.3	退 6.0
3	进 0.3	退 4.8	退 4.5
4	退 0.4	退 4.6	退 5.0
5	退 0.4	退 2.9	退 3.3
6	退 0.4	退 8.4	退 8.8
平 均	进 0.03	退 5.17	退 5.13

中美天山冰川化学考察

王 平 杨 钦 钊

P.A. Mayewski* and C. Wake*

应我所邀请并根据两方协定, 1989—1995年将对我国西部高山冰川进行联合冰川化学考察, 以便研究冰川区的冰川化学特征, 提供气候变化、环境污染、水汽形成的信息。1989年4月8日至5月3日我们首先在天山乌鲁木齐河源1号冰川、博格达四工河冰川及天池附近的冰川进行了雪冰化学考察和采样工作。

样品采集使用了美方提供的最新技术, 安全可靠、杜绝了污染。样品一分为二, 中美双方都进行了测定, 选用离子色谱、原子吸收分光光度计测定了 NO_3^{-1} , SO_4^{-2} , Cl^{-1} 及Na, K, Ca, Mg。资料见表1。

致谢: 在野外期间, 得到天山冰川站的大力支持和帮助, 使考察工作能够顺利进行。参加此项工作的两国冰川化学家向天山冰川站全体人员深表谢意。

* 美国新罕布什尔大学地球、海洋、空间研究所。

表 1 1989年中美天山雪冰化学考察样品分析

地 点	编号	样 品 号	含 量 ($1 \times 10^{-3} \text{ g/g}$)						
			Na	K	Mg	Ca	Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	SO ₄ ⁻²
天 山 冰 川 站 1 号 冰 川 东 支	6		796	98	107	1 487	370	98	1 850
	7	2	1 402	32	112	2 032	632	284	3 444
	8	3	343	93	61	1 159	436	148	832
	9	4	110	32	36	638	176	104	432
	10	5	298	13	60	1 116	375	131	859
	11	6	124	9	49	724	160	112	532
	12	7	72	33	25	459	84	88	298
	13	8	199	137	33	585	98	96	370
	14								
	15	9	35	8	22	377	518	674	237
	16	10	185	23	69	1 055	246	138	741
	17	11	3 812	88	324	4 654	385	107	1 491
	18	12	7 260	157	497	6 650	636	201	2 787
	19	13	135	31	56	1 539	40	92	140
	20	14	36	60	37	665	31	68	106
	21	15	42	23	27	399	82	260	402
	22	16	13	11	11	221	38	118	206
	23	17	48	15	28	474	124	146	398
	24	18	25	20	32	403	80	106	390
	25	19	49	25	26	361	78	136	432
	26	20	408	71	105	2 210	142	108	421
	27	21	1 210	94	234	4 780	1 956	800	3 416
	28								
	29	22	115	8	55	797	134	150	492
	30	23	4 610	103	328	3 980	2 384	616	8 456
	31	24	3 660	75	254	3 650	1 532	510	7 182
	32	25	176	29	76	1 545	246	510	676
	33	26	124	21	39	796	160	292	488
	34	27	61	47	25	390	48	162	288
	35	28	61	12	27	488	88	126	294
	36	29	53	13	32	580	76	114	390
	37	30	57	18	34	461	144	178	536
	38	31	760	208	191	3 270	1 194	542	1 998
	39	32	46	11	34	232	82	210	118
	40	33	38	10	38	184	80	158	96
	41	34	74	14	55	306	176	128	
	42	35	5 200	105	406	5 570	2 608	660	8 958
	43								
天 公 格 路 尔 大 山 坂 0—4200m)	44	41	34	8	24	456	45	300	496
	45	ch89—42	30	6	25	465	44	333	509
	46	ch89—43	21	5	15	259	27	172	307
	47	ch89—44	21	4	14	247	18	151	286
	48	ch89—45	28	4	20	309	39	212	357

表 1 (续 1)

地 点	编 号	样 品 号	含 量						
			Na	K	Mg	Ca	Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	SO ₄ ⁻²
天 格 尔 山 公 路 大 坂 (100—4200m)	49	ch89-46	31	4	22	330	47	244	365
	50	ch89-47	51	18	28	399	76	219	388
	51	ch89-49	42	5	25	354	39	179	351
	52	ch89-51	42	6	24	366	42	184	375
	53	ch89-52	40	5	24	349	37	185	380
	54	ch89-53	268	200	37	913	400	168	541
	55	ch89-54	46	11	22	350	38	140	320
	56	ch89-55	64	6	34	505	63	158	381
	57	ch89-56	58	6	29	426	54	156	370
	58	ch89-57	96	12	40	544	62	188	467
59	ch89-58	68	6	43	568	55	152	366	
博 格 达 峰 北 坡 (4200m)	61	ch89-81	135	11	46	755	88	266	618
	62	ch89-82	855	33	188	2760	553	275	2076
	63	ch89-83	980	41	190	2915	716	350	2437
	64	ch89-84	10740	112	539	3124	1656	577	17452
	65	ch89-85	1080	52	208	3306	781	856	2491
	66	ch89-86	3330	53	96	1564	701	773	7357
	67	ch89-87	950	46	61	1008	319	589	2542
	68	ch89-88	208	34	49	561	117	558	1032
	69	ch89-89	105	38	109	982	83	255	809
	70	ch89-90	75	26	72	697	72	190	650
	71	ch89-91	10	5	13	162	21	85	239
	72	ch89-92	22	5	9	102	18	75	247
	73	ch89-93	15	8	16	171	33	69	303
	74	ch89-94	21	25	29	304	48	155	920
	75								
	76	ch89-96	28	14	13	235	40	426	415
	77	ch89-97	146	115	18	349	53	589	787
	78	ch89-98	395	34	86	1563	232	166	988
	79	ch89-99	78	42	30	468	63	756	1244
	80	CH89-100	947	50	201	3166	636	321	2246
81	CH89-102	839	61	158	3619	507	283	1956	
82	CH89-103	18	15	8	111	28	305	1093	
83	CH89-104	209	150	9	314	240	371	1241	
84	CH89-105	87	58	14	281	89	464	1175	
85	CH89-106	34	16	15	222	35	435	1144	
86	CH89-107	159	51	45	804	76	839	1524	
87	CH89-108	92	20	33	508	69	400	964	
88	CH89-109	72	20	21	371	53	477	996	
89	CH89-110	64	18	21	352	49	458	947	
90	CH89-111	177	27	52	812	126	332	923	
91	CH89-112	33	25	9	172	42	387	883	
92									
93	ch89-114	41	243	10	162	26.94	178.84	709.54	
94	ch89-115	63	423	19	222	51.394	449.48	1127.84	
95	ch89-116	92	278	25	414	48.576	345.08	645.26	
96	CH89-117	229	172	70	1139	122.84	140.288	640.34	