

# 天山乌鲁木齐河源1号冰川的运动特征

孙作哲 陈要武 尤根祥 韩建康

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

天山乌鲁木齐河源1号冰川位于天山中部喀拉乌成山脉北坡的乌鲁木齐河源,是一条冰斗-山谷冰川。全长2.33公里,面积1.84平方公里,由东、西两支冰川组成。冰斗后壁最高峰海拔4483.6米,冰舌末端3734米。冰面较为平整、洁白,裂隙不甚发育。

1号冰川的运动观测开始于1959年。1962年张长庆对前三年的运动资料进行了总结<sup>[1]</sup>。1973年8—9月王文颖对该冰川的15个流速点作了短期观测,并和1962年的运动状况作了对比<sup>[2]</sup>。本文在1980年以来两年多的冰川运动进行观测的基础上,应用冰川学的基本理论,对所得资料进行分析研究,以期对1号冰川的运动特征有较为深刻的认识。

## 一、测量方法和取得的主要资料

### (一) 测量方法

在东、西两支冰川上,沿横切冰川方向分别布置了9个和10个测速断面(图1),且以埋设在冰川表面冰内的测量花杆作为流速点标志。

在每年消融开始的5月和消融基本结束的8月底,对运动速度各作一次观测,便得到冰川夏季、冬季及全年的运动速度资料。

冰川运动的测量方法,是用020光学经纬仪对冰川上的流速点进行重复前方交会,得到两次观测时流速点所处空间坐标( $x, y, z$ ),经过计算相对位移,求得运动速度。

### (二) 主要资料

1. 运动速度分量表。坐标系规定以 $x$ 为纵坐标, $y$ 轴为横坐标, $z$ 轴为竖直向上的坐标。流动速度用如下分量描述:

$U_x, U_y, W$ ——分别平行于 $x, y, z$ 轴的速度分量;

$U_{xy}$ ——速度的水平分量,  $U_{xy} = (U_x^2 + U_y^2)^{1/2}$ ;

$\phi$ ——水平速度分量的方位角;

$\theta$ ——速度矢量对水平面的夹角;

$\alpha$ ——冰面坡度;

$W_E = W + U_{xy} \cdot \operatorname{tg} \alpha$ ——上升流(显出流)分量。

从前方交会求得速度的误差分析方法<sup>[3]</sup>可知,水平分量 $U_{xy}$ 最大误差为 $\pm 0.14$ 米/年,垂直分量 $W$ 最大误差为 $\pm 0.17$ 米/年, $W_E$ 含0.2—0.4米/年的误差。

2. 运动速度等值线图。图 1 采用 1981—1982 年流速资料绘成。由于流速点未能布设到冰斗壁部分, 这里的等值线未能完全绘出。另外, 冰舌末端部分等值线, 是根据图中未标示出的 8 个加密点的半年实测资料绘出的。

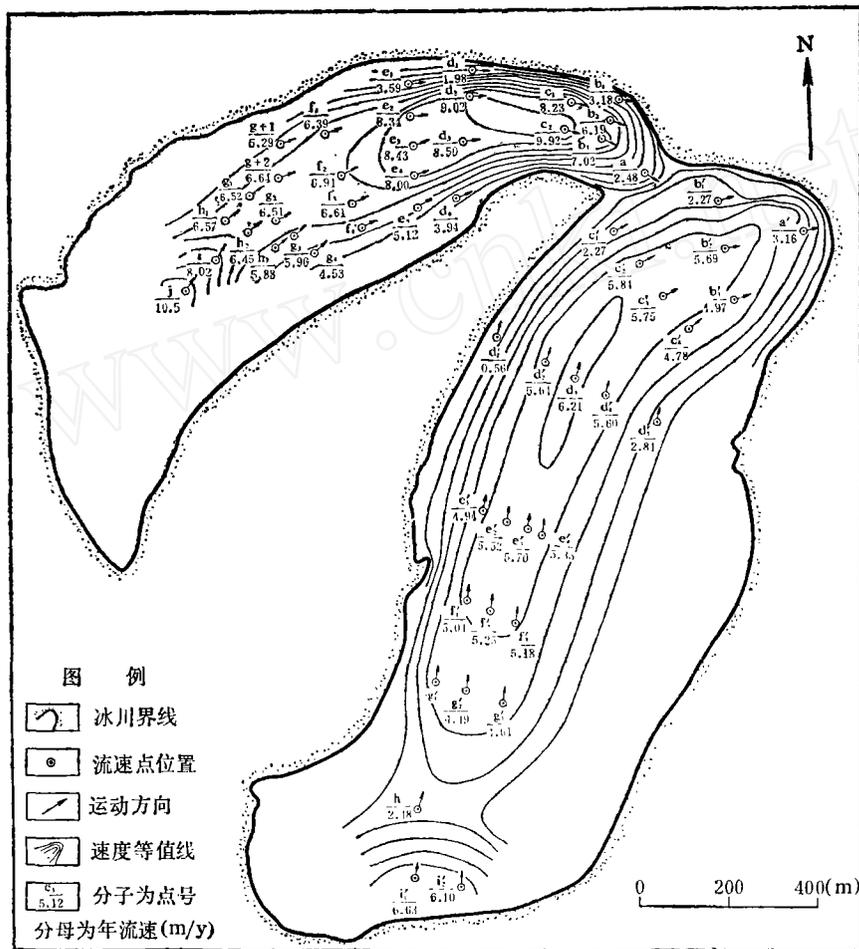


图 1 1 号冰川 1981—1982 年运动速度等值线

Fig.1. Isoleth of moving velocity of Glacier No.1 for 1981—1982

## 二、速度场的空间分布规律

### (一) 速度标量的空间分布规律

表 1 已列出运动速度在直角坐标系中的三个分量:  $U_x$ ,  $U_y$  和  $W$ 。由于速度的垂直分量  $W$  或  $W_E$  (上升流速度) 相对较小, 故可直接用速度分量  $U_{x,y}$  代替相应的速度标量。

图 2 和图 3 分别为纵、横、垂直三个方向的速度标量分布图。

表 1 1 号冰川运动速度分量表

Table 1. Table showing vector of moving velocity of Glacier No. 1

点号	$U_x$ (m/y)	$U_y$ (m/y)	$W$ (m/y)	$U_{xy}$ (m/y)	$\phi$ ( $^{\circ}'$ )	$\theta$ ( $^{\circ}'$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}'$ )	$W_E$ (m/y)
a	-1.57	+2.34	+0.41	2.82	123 52	+8 14	-14 02	+1.11
	-1.33	+2.09	+0.21	2.47	122 30	+4 51		+0.83
b <sub>1</sub>	—	—	—	—	—	—	-14 02	—
	-0.41	+3.16	+0.97	3.178	97 24	+16 58		+1.76
b <sub>2</sub>	-3.36	+5.99	-0.19	6.87	119 17	-1 35	-19 17	+2.19
	-2.97	+5.45	-0.04	6.19	118 35	0 22		+2.10
b <sub>3</sub>	-4.02	+6.72	-0.57	7.83	120 53	-4 10	-19 17	+2.17
	-3.73	+5.95	+1.50	7.02	122 04	+12 04		+3.96
c <sub>1</sub>	-1.35	+8.80	-1.20	8.90	98 43	-7 40	-17 45	+1.65
	-0.67	+8.22	—	8.25	85 20	—		—
c <sub>2</sub>	-2.86	+10.36	-0.82	10.75	105 26	-4 20	-17 13	+2.52
	-2.76	+9.65	+1.29	9.92	106 13	+7 25		+4.36
d <sub>1</sub>	+0.23	+2.07	+0.06	2.08	83 40	+1 37	-14 34	+0.60
	+0.10	+1.98	-0.08	1.98	87 07	-2 19		+0.43
d <sub>2</sub>	+0.89	+10.45	+0.40	10.48	85 11	+2 12	-14 02	+3.02
	+0.58	+9.03	-1.58	9.02	86 19	-9 56		+0.68
d <sub>3</sub>	+1.61	+8.55	-2.58	8.70	79 20	-16 32	-16 42	+0.03
	+1.43	+8.40	-2.35	8.50	80 21	-15 27		+0.20
d <sub>4</sub>	+1.22	+4.19	-0.11	4.36	73 46	-1 30	-20 18	+1.50
	+0.86	+3.86	+0.13	3.94	77 26	+1 53		+1.59
e <sub>1</sub>	+0.70	+3.65	-0.26	3.72	79 09	-4 02	-10 12	+0.41
	+0.67	+3.54	-0.24	3.59	79 17	-3 49		+0.41
e <sub>2</sub>	+2.03	+8.02	-1.45	8.27	75 48	-9 58	-12 24	+0.36
	+2.02	+8.12	-1.43	8.34	76 02	-9 43		+0.40
e <sub>3</sub>	+2.81	+8.01	-1.87	8.49	70 40	-12 23	-14 02	+0.26
	+2.65	+8.03	-1.90	8.43	71 44	-12 42		+0.21
e <sub>4</sub>	3.11	7.24	-1.46	7.88	66 45	-10 30	-12 57	+0.35
	3.09	7.40	-1.42	8.00	67 20	-10 04		+0.42
e <sub>5</sub>	2.30	4.69	-0.65	5.22	63 53	-7 06	-12 57	+0.55
	2.26	4.59	-0.43	5.12	63 48	-4 48		+0.75
f <sub>1</sub>	2.81	5.80	-1.32	6.44	64 09	-11 33	-10 45	-0.10
	2.73	5.80	-1.28	6.39	64 48	-11 19		+0.07

表 1 (续)

点 号	$U_x$ (m/y)	$U_y$ (m/y)	$W$ (m/y)	$U_{xy}$ (m/y)	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	$W_E$ (m/y)
f <sub>2</sub>	2.89	6.21	-1.10	6.85	65 03	-9 08	-9 39	+0.06
	3.01	6.28	-1.12	6.94	64 23	-9 09		+0.06
f <sub>3</sub>	2.95	5.96	-0.67	6.65	63 40	-5 46	-9 05	+0.39
	2.89	5.96	-1.16	6.61	64 08	-9 58		-0.10
f <sub>4</sub>	2.27	4.41	-1.46	4.96	62 46	-16 22	-12 57	-0.32
	—	—	—	—	—	—		—
g <sub>1</sub>	2.06	4.85	-0.72	5.27	66 59	-7 46	-9 39	+0.18
	1.96	4.93	-0.52	5.29	63 19	-5 37		+0.48
g <sub>2</sub>	2.63	6.05	-0.95	6.60	66 30	-8 09	-10 12	+0.24
	2.62	6.12	-0.68	6.64	66 49	-5 51		+0.52
g <sub>3</sub>	2.36	9.43	-1.44	9.72	75 57	-8 27	-9 05	+0.11
	2.83	5.89	-0.80	6.52	61 20	-6 59		+0.24
g <sub>3</sub>	3.16	5.82	-1.14	6.62	61 30	-9 46	-9 30	-0.01
	2.91	5.84	-1.24	6.51	63 31	-10 47		-0.13
g <sub>3</sub>	2.93	5.36	-1.78	6.11	61 20	-16 15	-12 24	-0.44
	2.79	5.28	-1.36	5.96	62 09	-12 52		-0.05
g <sub>4</sub>	2.55	3.38	-1.94	4.23	52 58	-24 38	-18 16	-0.54
	2.84	3.53	-1.33	4.53	51 07	-16 22		+0.17
h <sub>1</sub>	3.41	5.47	-1.37	6.45	58 04	-11 59	-12 24	+0.05
	3.42	5.63	-1.11	6.57	58 43	-9 35		+0.33
h <sub>2</sub>	3.08	5.30	-1.66	6.13	59 59	-15 07	-13 30	-0.19
	3.17	5.64	-1.49	6.45	60 40	-13 00		+0.06
h <sub>3</sub>	2.96	4.96	-2.43	5.75	59 01	-22 57	-18 16	-0.53
	3.07	5.02	-0.66	5.88	58 34	-6 24		+1.28
i	—	—	—	—	—	—	-20 28	—
	5.04	6.22	-4.81	8.02	39 01	-30 57		-1.82
j	—	—	—	—	—	—	-26 33	—
	6.05	8.53	-5.63	10.48	35 22	-28 14		-0.39
a'	0.34	3.71	—	3.73	84 46	—	-12 57	—
	0.77	3.07	—	3.16	75 55	—		—
b' <sub>1</sub>	0.59	1.17	-0.17	1.31	63 26	-7 21	-11 52	+0.11
	0.78	2.14	+0.11	2.27	69 58	+2 46		+0.59

表1(续)

点号	$U_x$ (m/y)	$U_y$ (m/y)	$W$ (m/y)	$U_{xy}$ (m/y)	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	$W_E$ (m/y)
b <sub>2</sub>	1.17	5.50	-0.01	5.69	75 02	-0 05	-10 12	+1.91
	1.04	5.61	+0.40	5.89	79 30	+1 01		+1.12
b <sub>3</sub>	1.59	4.78	-0.90	5.04	71 36	-10 01	-14 31	+0.41
	1.76	4.66	-0.33	4.97	69 19	-3 48		+0.96
c <sub>1</sub>	1.48	1.73	+0.13	2.28	49 27	+3 14	-8 32	+0.47
	1.46	1.75	+0.16	2.27	50 10	+4 02		+0.50
c <sub>2</sub>	2.99	5.00	-0.42	5.83	59 07	-4 07	-10 45	+0.69
	3.12	4.96	-0.21	5.84	57 50	-2 03		+0.90
c <sub>3</sub>	3.19	4.71	-0.78	5.69	55 53	-7 48	-11 19	+0.36
	3.49	4.59	-0.94	5.75	52 45	-9 17		+0.21
c <sub>4</sub>	2.62	3.98	-1.16	4.76	56 39	-13 40	-15 39	+0.17
	2.99	3.74	-1.16	4.78	51 52	-13 39		+0.18
d <sub>1</sub>	0.54	0.13	0	0.56	13 32	0	-7 24	+0.07
	—	—	—	—	—	—		—
d <sub>2</sub>	4.32	2.37	-0.30	4.93	28 45	-3 31	-6 17	+0.24
	5.11	2.43	-0.26	5.64	25 26	-2 38		+0.36
d <sub>3</sub>	5.07	2.39	-0.12	5.61	25 14	-1 14	-6 17	+0.50
	5.64	2.64	+0.02	6.21	25 05	+0 11		+0.70
d <sub>4</sub>	4.73	2.27	-0.03	5.25	25 38	-0 18	-6 51	+0.60
	5.14	2.26	+0.08	5.60	23 42	+0 49		+0.75
d <sub>5</sub>	2.39	0.49	-0.98	2.40	11 47	-22 16	-14 02	-0.38
	2.80	0.53	-0.77	2.84	10 43	-15 10		-0.06
e <sub>1</sub>	4.69	0.82	-0.80	4.76	9 55	-9 32	-10 12	+0.06
	4.86	0.98	-0.77	4.94	11 24	-8 51		+0.12
e <sub>2</sub>	5.08	0.79	-1.04	5.14	8 50	-11 28	-10 45	-0.07
	5.46	0.92	-0.85	5.52	9 34	-8 45		+0.20
c <sub>1</sub>	6.59	0.77	-0.99	6.63	6 40	-8 29	-9 05	+0.07
	5.32	0.71	-0.85	5.35	7 36	-9 01		0
f <sub>1</sub>	4.32	0.94	-0.97	4.42	12 17	-12 23	-11 19	-0.08
	4.93	1.10	-0.89	5.04	12 35	-10 01		+0.12
f <sub>2</sub>	4.39	0.85	-1.08	4.47	10 57	-13 37	-11 52	-0.14
	5.16	1.05	-0.87	5.25	11 30	-9 24		+0.23

表 1 (续)

点 号	$U_x$ (m/y)	$U_y$ (m/y)	$W$ (m/y)	$U_{xy}$ (m/y)	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	$W_E$ (m/y)
f <sub>3</sub>	4.89	0.80	-1.35	4.96	9 17	-15 12	- 9 39	-0.51
	5.11	0.91	-1.02	5.18	10 06	-11 09		-0.14
g <sub>1</sub>	2.98	1.22	-0.71	3.22	22 16	-12 24	-11 19	-0.07
	—	—	—	—	—	—		—
g <sub>2</sub>	3.82	1.26	-0.93	4.02	18 15	-13 05	-11 19	-0.13
	4.28	1.41	-0.60	4.49	18 14	-7 36		+0.30
g <sub>3</sub>	4.13	0.98	-1.27	4.24	13 21	-16 41	-12 24	-0.34
	4.50	1.07	-1.08	4.61	13 23	-13 11		-0.07
h	2.31	1.27	-1.43	2.64	28 48	-28 30	-16 42	-0.64
	2.26	1.03	-1.14	2.48	24 30	-24 43		-0.40
i <sub>1</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—
	2.17	6.25	-3.06	6.63	19 09	-24 47		-29 00
i <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.08	6.08	-3.28	6.10	0 42	-28 16		-28 49

## 1. 速度标量的纵向分布

由图 2 可以看出, 西支冰川第一个高速区位于冰舌下部 c 断面, 流速在这里加快的主要原因是槽谷的明显变窄造成纵向坡度变陡。f—h 断面位于雪线附近, 但流速相比为低, 这里是冰陡坡的下缘, 冰面坡度变缓, 为局部压缩区, 流速必然减慢。i 断面以上

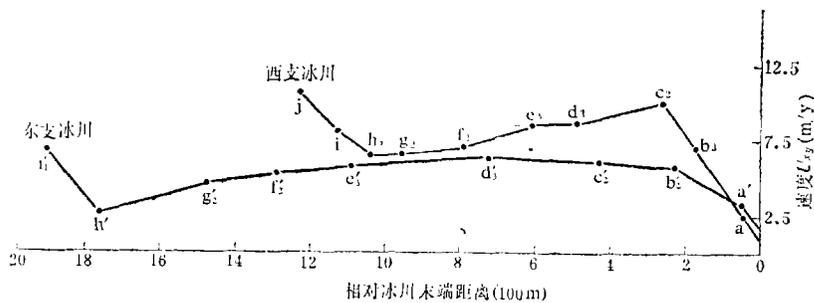


图 2 1号冰川东、西支主流线运动速度纵剖面图(1981—1982)

Fig.2. Longitudinal profile of the moving velocity of the main flow line of the eastern and the western branches of Glacier No. 1 for 1981—1982

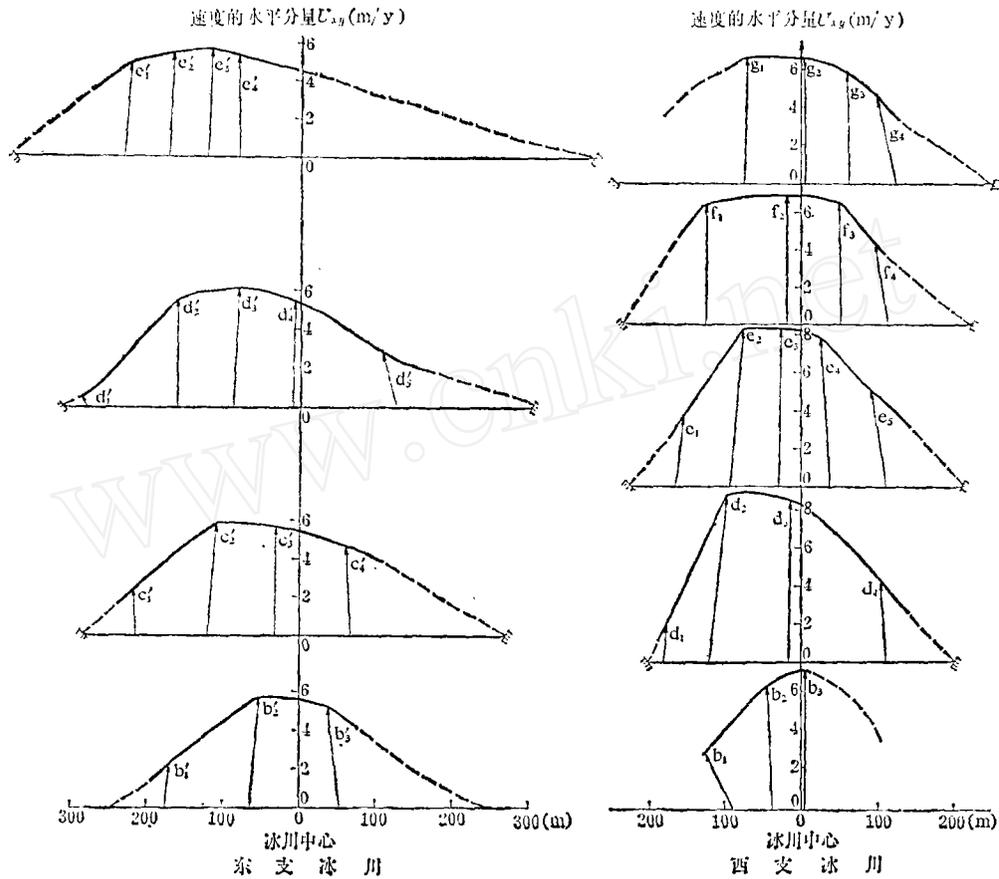


图 3 1 号冰川运动速度横剖面图

Fig. 3. Cross profile of the moving velocity of Glacier No.1

速度回升，出现第二个相对高速区，冰面坡度的加大无疑是造成这种流动形势的主要因素。

东支速度的纵剖面的差异不及西支剧烈。i'排受冰斗后壁控制，冰面坡度变陡流速加快。除a'排外其余断面速度差别不大，而d'排相对较高。

## 2. 速度标量的横向分布

由图 1 可以看出，在同一横断面上，中央的运动速度标量大于两侧，这主要是由于中央冰的厚度大于两侧，而两侧冰又受到侧壁较大的摩擦拖曳所致。

## (二) 速度矢量的空间分布规律

图 3 中速度  $U_{xy}$  为平面上的矢量，即不仅按比例示其大小，且以几何轴线为准表示其相对方位。

由图 3 可见，除西支 b 排以外，运动矢量均向主流线幅合。消融区出现的这种异常，

是由于1号冰川槽谷在消融区变窄造成的矢量会聚抵消了矢量发散的缘故。由矢量分布图可以看出,多数断面上的速度左右并不对称,尤其东支冰川更甚,这是槽谷不对称及补给和消融条件的差别共同造成的。这种影响还造成了冰川运动最大速度线离开冰川几何轴线而向左岸的明显偏移。

图4中速度矢量根据主流线上各测点相应水平流速 $U_{xy}$ 和速度矢量对水平面的夹角 $\theta$ 绘制而成。很明显,速度矢量在雪线附近和冰面坡度相平行,在积累区斜指向冰内,在冰舌区从冰内斜指向冰面,这完全符合通常的矢量分布规律。

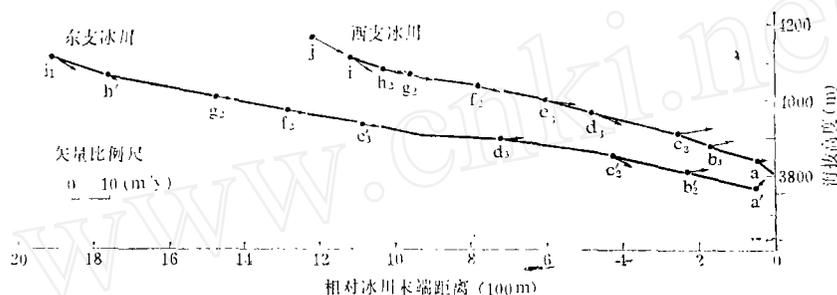


图4 1号冰川东、西支流动矢量对冰面坡度的倾伏

Fig. 4. Inclination of motion vector to ice surface slope of the eastern and the western branches of Glacier No.1

### (三) 冰舌末端速度场的特点及有关融出冰碛的讨论

由东、西支冰川交界的山脊延伸至冰舌末端的冰碛垅,究竟是中碛还是融出碛?为从冰川运动角度认识这一问题,1981年5月9日至8月31日,我们在这里观测了八个点的流速分布,发现冰碛垅南北侧的冰运动速度相差悬殊,证明冰体的运动状况不同,因此,我们同意这里有一个剪切面存在的观点<sup>[4]</sup>,冰碛物中也必有一部分是从冰床挤压带来的物质。但是我们同时认为不能一概否认这条冰碛垅与中碛无关的看法,事实上呈流线型的冰碛垅不仅与两支冰川之间的山脊相连,而且与东支冰川边缘相平行,直达3925米的高度,形成和山坡上的山脊明显对应,这里呈现出的正是中碛的形态。因此,我们认为1号冰川末端冰面冰碛带是中碛和剪切面造成的融出碛的共同产物,用这一观点解释冰舌末端,与冰川运动方向平行的三条冰碛垄的形成,是有说服力的。冰碛物北面的冰是西支冰川的一部分,而其南面的冰理所当然地属于东支冰川。不妨设想这样一个模式:东、西支冰川交会时各自的运动方向略有改变后,两支冰流合并前进,两冰流之间便形成中碛,与此同时东支借巨大的动能,形成对西支强大的剪切“抗衡”,造成基本由相交界规定的剪切面。所谓冰碛带,乃是经剪切面改造过的中碛与剪切携带上来的底碛的混合体。

## 三、速度场的时程变化

冰川运动呈不规则的“脉动”,因此,观测时间间隔越短,速度随时间的变化越大<sup>[10]</sup>。

我们用横尺法（用精密光学经纬仪对安在冰川上的横尺读数）在西支冰川c断面进行了昼夜对比观测，其昼夜流速比值在1980年7月11日至15日为2.26，1981年8月5日至8日为2.57。经观察发现，位于其上游的d—e断面横裂隙明显发育，因此造成这里昼夜流速差的主要原因可能是由于融水下渗造成的冰体“滑动”。

1号冰川运动速度年际变化十分明显。就 $U_{xy}$ 来讲，西支大多数测点1980—1981年比1981—1982年低0.3—1.2米/年。东支冰川两个测量年相比，仅有a'在降低，其他均不同程度地增加，上升幅度为0.3—0.9米/年。比较两个测量年数据可知，西支冰川在雪线略上部分流速增加，冰舌部分速度降低；东支冰川除末端速度降低（末端两年相比降低16%）外，冰舌部分流速在增速，但雪线以上速度在减慢。可见，东、西支冰川情况有相当大的差别。

纵观二十余年的冰川流速变化，可知1号冰川自1959年以来，流速在逐年降低。例如，1973年夏季日流速比1959—1962年平均日流速明显下降〔<sup>2</sup>〕，1980年5—8月的日流速又比1973年8—9月的日流速低30%（图5），1980年5月—1981年5月的年流速比1959—1962年平均年流速降低了31—73%（图6）。

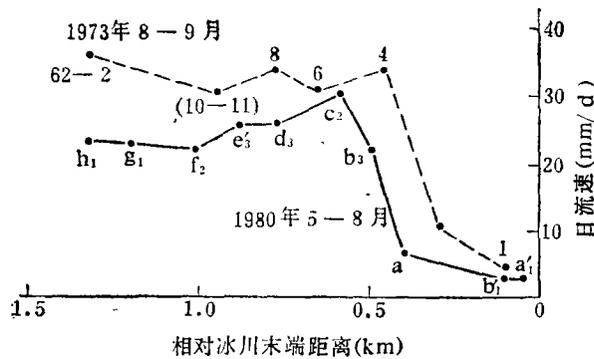


图5 日流速比较曲线

Fig.5. Comparative curve of daily flow velocity

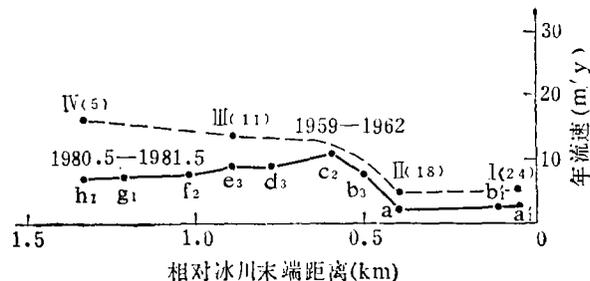


图6 年流速比较曲线

Fig.6. Comparative curve of annual flow velocity

跨年度速度变化一般受多年气候变化制约,并直接受到由积、消物质平衡所造成的冰厚度变化及冰面坡度变化的影响,图7所示是1973—1980年冰厚度变化情况,可以

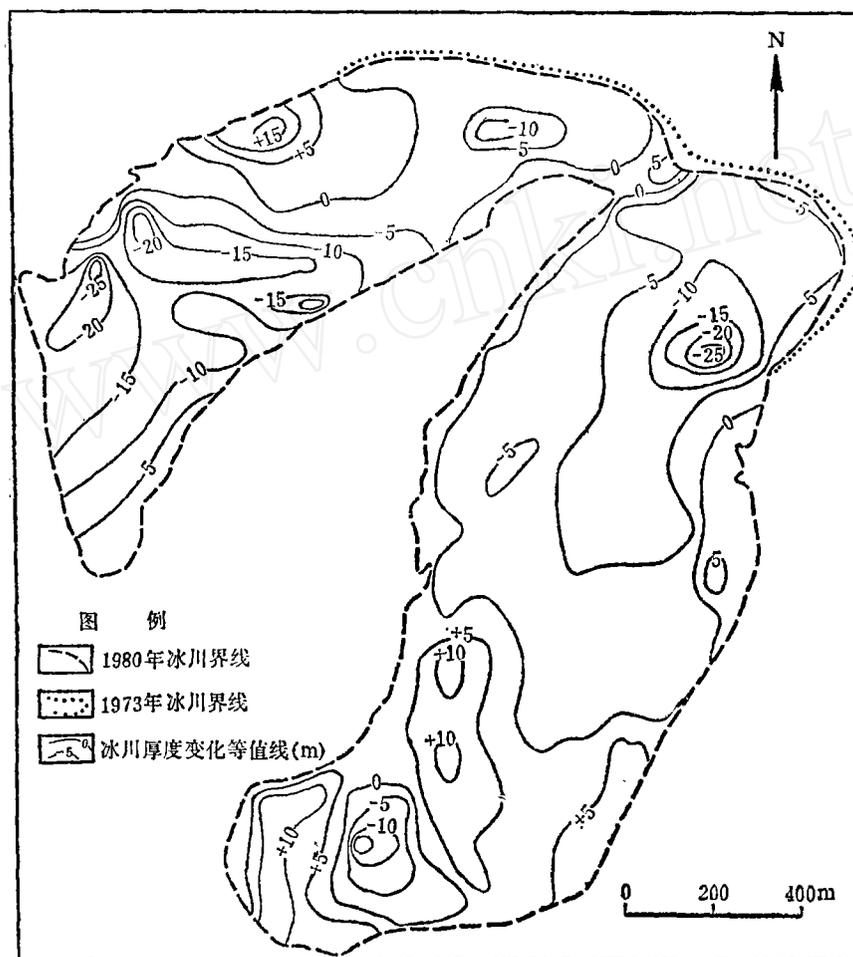


图7 1号冰川1973—1980年冰川厚度变化等值线图

Fig.7. Isopleth of variation of ice thickness of Glacier No. 1 for 1973—1980

看出,除少数几个点外,1号冰川七年来一直在减薄,但减薄的程度有差异,消融区东支比西支减薄强烈,积累区则是西支比东支强烈。由于冰面运动速度同冰厚的4次方及冰面坡度的3次方成正比,根据理论分析,冰厚减少1米,速度降低0.7—1.4米/年,坡度减少 $0.05^\circ$ ,速度降低1—2米/年<sup>[6]</sup>。某些冰川的实测亦证明,冰厚度增大25%,运动速度增加10倍<sup>[7]</sup>。由此不难推知,东支冰川七年来速度减慢主要为冰厚度减薄所致,西支速度减慢则是由冰厚减薄与冰面坡度减小共同造成的。因此,西支冰川雪线附近1982年比1973年夏季流速降低67%(8米/年)的原因,亦就不言而喻。

表 2 1 号冰川流速点  $a$  和  $\Delta h$  之计算Table 2. Calculation of  $a$  and  $\Delta h$  of flow velocity points on Glacier No.1

点号	$W_E$ (m/y)	$a$ (m/y)	$\Delta h$		点号	$W_E$ (m/y)	$a$ (m/y)	$\Delta h$	
			1980.8—1981.8	1981.8—1982.8				1980.8—1981.8 (m/y)	1981.8—1982.8 (m/y)
a	+1.11	-2.91	-1.80		e <sub>4</sub>	+0.35	-1.56	-1.21	
	+0.83	-2.36		-1.53		+0.42	-0.73		-0.31
b <sub>1</sub>	—	-3.09	—		e <sub>5</sub>	+0.55	-1.28	-0.73	
	+1.76	-2.48		-0.72		+0.75	-0.67		+0.08
b <sub>2</sub>	+2.19	-2.11	+0.08		f <sub>1</sub>	-0.10	-1.11	-1.21	
	+2.10	-1.70		+0.40		+0.07	-0.46		-0.39
b <sub>3</sub>	+2.17	-2.69	-0.52		f <sub>2</sub>	+0.06	-0.74	-0.68	
	+3.96	-2.62		+1.34		+0.06	-0.41		-0.35
c <sub>1</sub>	+1.65	-2.15	-0.50		f <sub>3</sub>	+0.39	-1.02	-0.63	
	—	-1.25		—		-0.10	-0.17		-0.27
c <sub>2</sub>	+2.52	-2.83	-0.31		f <sub>4</sub>	-0.32	-0.72	-1.04	
	+4.36	-2.73		+1.63		—	+0.17		—
d <sub>1</sub>	+0.60	-1.61	-1.01		g <sub>1</sub>	+0.11	-1.00	-0.89	
	+0.43	-0.62		-0.19		+0.24	-0.34		-0.10
d <sub>2</sub>	+3.02	-1.88	+1.14		g <sub>2</sub>	-0.01	-0.76	-0.75	
	+0.68	-0.95		-0.27		-0.13	0		-0.13
d <sub>3</sub>	+0.03	-1.24	-1.21		g <sub>3</sub>	-0.44	-0.08	-0.52	
	+0.20	-0.53		-0.33		-0.05	+0.13		+0.08
d <sub>4</sub>	+1.50	-1.96	-0.46		g <sub>4</sub>	-0.54	-0.26	-0.80	
	+1.59	-1.68		-0.09		+0.17	+0.18		+0.35
e <sub>1</sub>	+0.41	-1.21	-0.80		h <sub>1</sub>	+0.05	-0.66	-0.61	
	+0.41	-0.50		-0.09		+0.33	-0.06		+0.27
e <sub>2</sub>	+0.36	-1.30	-0.94		h <sub>2</sub>	-0.19	-0.33	-0.52	
	+0.40	-0.74		-0.34		+0.06	-0.14		-0.08
e <sub>3</sub>	+0.26	-1.31	-1.05		h <sub>3</sub>	-0.53	-0.33	-0.86	
	+0.21	-0.72		-0.51		+1.28	+0.20		-1.48
g <sub>1</sub>	+0.18	-0.80	-0.62		g <sub>2</sub>	+0.24	-0.77	-0.53	
	+0.48	-0.54		-0.06		+0.52	-0.40		+0.12
a'	—	-3.07	—		e <sub>2</sub>	-0.07	-0.95	-1.02	
	—	-2.26		—		+0.20	-0.43		-0.23
b <sub>1</sub>	+0.11	-3.59	-3.48		e <sub>2</sub>	—	-0.84	—	
	+0.59	-1.27		-0.68		—	-0.18		—

表 2 (续)

点号	$W_E$ (m/y)	$a$ (m/y)	$\Delta h$		点号	$W_E$ (m/y)	$a$ (m/y)	$\Delta h$	
			1980.8—1981.8 (m/y)	1981.8—1982.8 (m/y)				1980.8—1981.8 (m/y)	1981.8—1982.8 (m/y)
b <sub>2</sub>	+1.01	-2.34	-1.33		c <sub>4</sub>	+0.07	-0.73	-0.66	
	+1.42	-1.65				0	-0.26		
b <sub>3</sub>	+0.41	-1.40	-0.99		f <sub>1</sub>	-0.08	-0.86	-0.94	
	+0.96	-1.44				+0.12	-0.04		
c <sub>1</sub>	+0.47	-1.52	-1.05		f <sub>2</sub>	-0.14	-0.75	-0.89	
	+0.50	-0.97				+0.23	-0.05		
c <sub>2</sub>	+0.69	-1.93	-1.24		f <sub>3</sub>	-0.51	-0.32	-0.83	
	+0.90	-1.23				-0.14	-0.15		
c <sub>3</sub>	+0.36	-1.79	-1.43		g <sub>1</sub>	-0.07	-0.78	-0.85	
	+0.21	-1.22				—	-0.11		
c <sub>4</sub>	+0.17	-1.38	-1.21		g <sub>2</sub>	-0.13	-0.57	-0.70	
	+0.18	-0.61				+0.30	-0.23		
d <sub>1</sub>	+0.07	-2.12	-2.05		g <sub>3</sub>	—	-0.37	—	
	—	-1.15				-0.07	-0.07		
d <sub>2</sub>	+0.24	-1.34	-1.10		h'	-0.64	-0.37	-1.01	
	+0.36	-0.79				-0.40	-0.16		
d <sub>3</sub>	+0.50	-1.49	-0.99		i <sub>1</sub>	—	+0.16	—	
	+0.70	-0.72				+0.62	+0.34		
d <sub>4</sub>	+0.60	-1.58	-0.98		i <sub>2</sub>	—	+0.20	—	
	+0.75	-0.84				+0.08	+0.50		
d <sub>5</sub>	-0.38	-0.81	-1.19		i <sub>1</sub>	—	-0.33	—	
	-0.06	+0.01				-1.82	+0.29		
e <sub>1</sub>	+0.06	-0.92	-0.86		j	—	-0.08	—	
	+0.12	-0.42				-0.39	+0.32		

#### 四、冰川运动与消融的关系

上升流又称显出流，是消融区向上运动速度矢量（积累区为下降流或潜入流），其表达式为：

$$W_E = W + U \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

式中： $\alpha$ 为该点上、下各50米的平均冰面坡度，从冰面地形图上量得； $W_E$ 值已列入表1。

1号冰川消融区的上升流大约补偿消融量的1/4—1/2，从而得知，消融区的冰量能

基本保持平衡，一是靠冰川运动的水平分量，二是靠冰川运动的上升流分量补给。

我们用  $a$  表示年物质平衡值，积累为正，消融为负，则  $W_E$  和  $a$  之间可能存在三种关系：

$$\begin{aligned} W_E + a = 0 & \quad \text{冰面高度不变;} \\ W_E + a > 0 & \quad \text{冰面高度上升;} \\ W_E + a < 0 & \quad \text{冰面高度下降。} \end{aligned}$$

冰川厚度的实际变化为：

$$\Delta h = W_E + a$$

表 2 为应用此式计算的 1 号冰川冰面高度变化值。可以看出，该冰川目前仍处在减薄阶段，1980 年 8 月—1981 年 8 月，48 个流速点平均减薄 0.91 米；1981 年 8 月—1982 年 8 月，50 个流速点平均减薄 0.17 米。这与各自当年反映出的物质平衡情况相一致。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 张长庆，天山乌鲁木齐河源 1 号冰川运动状态及冰川厚度的计算，天山乌鲁木齐河源冰川与水文研究，科学出版社，1965 年。
- [ 2 ] 王文颖等，1962—1963 年天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的后退和运动的对比测量，中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所集刊，第 1 号，科学出版社，1976 年 9 月。
- [ 3 ] 孙作哲，1979，喀喇昆仑山区冰川运动速度的测量，冰川冻土，1 卷 2 期。
- [ 4 ] 崔之久，1981，天山乌鲁木齐河源冰碛垄与冰碛、沉积的类型和特征，冰川冻土，3 卷增刊。
- [ 5 ] Paterson, W.S.B., 1981, The Physics of Glaciers Second Edition, Pergamon Press, pp.58—82.
- [ 6 ] Meier, W.B., Kamb, C.R., Allen, C.R. and Sharp, R.P., 1974, Flow of Blue Glacier Olympic Mountains, Washington, USA, J. Glaciol., Vol.13, No.68, pp.187—212.
- [ 7 ] Калесник С.В. Очерки гляциологии Государственное издательство географической литературы Москва 1963.

( 本文于 1984 年 10 月 11 日收到 )

## Flow Characteristics of Glacier No.1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan

Sun Zuozhe, Chen Yaowu, You Genxiang and Han Jiankang  
(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica)

#### Abstract

The flow measurement of Glacier No. 1 has been taken since 1980 and data have been analysed on the basic theory of glaciology. Following characteristics are noticeable:

1. Both tributaries of Glacier No. 1 have two areas with high speed. At the western one, the first located on c-profile is due to the narrowing of the channel, the second occupies the region beyond i-profile because the cirque back-wall is with steep slope. The variation of the longitudinal velocity profile on the eastern tributary, with high velocity areas occurring near i'- and d'-profile respectively, is less serious than that on the western. The transverse profiles of flow velocity, in general, opposite to the situation of ice motion in valley glacier, show obvious asymmetry which reflects the character of the channel.

2. Velocity vectors near the snow-line run parallel to the slope of ice surface, while in accumulation area they are inclined into the ice and in the glacial tongue area they point from inside the ice to ice surface. This is similar to that found in other cirque and valley glaciers. Velocity vectors in Glacier No.1, with exception of b-profile on western tributary, all converge towards flow centre-line. This anomaly in ablation area is caused by the narrowing of the channel in the lower reaches. Divergence of vectors, which should appear in the glacial tongue area, is offset by the convergence.

3. Velocity on c-profile at western tributary has a day and night variation with a proportion of 2.42: 1. From measurements we see that as a process ice flow contains a series of jerks.

Comparison between the two measurement years, i. e. 1980—1981 and 1981—1982, shows that the velocity on western tributary became lower, while on eastern tributary, in contrast, went up. Daily mean velocity obtained during ablation seasons in 1980 was 30% less than in 1973. And annual velocity in May 1980—May 1981 was lowered 31—73% than the average of 1959—1962. This resulted from the thinning of ice and the flattening of ice slope. Comparison of maps drawn in 1973 and in 1980, shows that thinning of ice mass at different degree took place at both tributaries. In ablation area, the eastern tributary thinned more strongly than the western one, while in accumulation area, conversely. Near the snow-line of the western tributary, ice surface lowered by 8 m, and velocity decreased by 67%.

4. There exists obvious emergence velocity on Glacier No. 1. It can offset ice ablation by 0.25—0.5 or so. Thus, it is reasonable to think that in order to keep the balance in ice mass in ablation area, ice must be continuously transported here, It depends on both horizontal and emergence movement components,