

天山乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡 变化与气候相互关系的研究

张金华 王晓军 李 军

(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(下称为1号冰川)物质平衡,谢自楚、张金华等先后作过研究^[1、2]。本文在上述研究的基础上,结合最近三年(1979—1982年)的资料,并利用距1号冰川2.5公里,海拔高度3588.6米的天山气象站资料(1958年9月—1982年8月),试图讨论二十四年来1号冰川的物质平衡变化与气候的相互关系。

一、冰川物质平衡观测及资料计算

1965年前,1号冰川物质平衡观测时段及资料整理采用固定日期系统,即参照水文年度(从前一年的9月1日至本年度的8月31日)来划分物质平衡年度的方法。但仅仅人为固定日期进行观测的结果不能准确反映冰川上各点的实际情况,因为冰川下部消融期长,而冰川上部则相反。为解决这一问题,自1965年起,我们又辅以层位观测法(即以夏季污化面为基准来计算两相邻污化面的年物质平衡量)进行观测研究。

(一) 冰川物质平衡观测

冰川物质平衡观测采用花杆法进行。1980年在1号冰川上共布设58根花杆,1982年7月又增加21根,达到每平方公里42.9个测点的测量密度。测杆观测内容有:

1.测杆读数(m):测定测杆顶部至冰面的距离,精度至1厘米。

2.积雪及附加冰厚度:在测定测杆的同时,须测定测杆处各种雪型的厚度(h_{sn})和密度(ρ_{sn})及附加冰的厚度(h_{si}),其总深度达到老的冰川冰污化面为止,精度为1厘米。对附加冰和冰川冰的密度我们取其平均值,前者为0.85克/立方厘米,后者为0.90克/立方厘米。当有消融壳时,还应测定其厚度,其平均密度(ρ_{ab})取0.40克/立方厘米。

(二) 资料计算

当上述观测完成后,每根测杆的时段净平衡量可按下式计算:

$$b = 10 \cdot \{0.9[(m_1 + h_{sn1} + h_{si1}) - (m_2 + h_{sn2} + h_{si2})] + (h_{sn2} \cdot \rho_{sn2} - h_{sn1} \cdot \rho_{sn1}) + 0.85(h_{si2} - h_{si1})\}, \quad (1)$$

表 1 乌鲁木齐河源 1 号冰川花杆观测的积累与消融资料 (1979—1982 年)

Table 1. Data of accumulation and ablation of glacier No. 1 at the headwater region of Urumqi River (1979—1982)

剖面 (位置)	花杆 (No)	纯 积 消 量 (mm)			剖面 (位置)	花杆 (No)	纯 积 消 量 (mm)		
		1979/1980	1980/1981	1981/1982			1979/1980	1980/1981	1981/1982
西支B	A	-1724.0	-2619	-2126	东支B'	A'	-2574	-2764	-2031
	1	-1767	-2781	-2232		1	-1359	-3229	-1139
	2	-1694	-1903	-1534		2	-1611	-2105	-1488
	3	-1622	-2420	-2354		3	-1548	-1256	-1292
	平 均	-1694	-2368	-2040		平 均	-1506	-2197	-1306
西支C	1	-1529	-1931	-1128	东支C'	1	-1261	-1369	-874
	2	-1888	-2545	-2459		2	-874	-1734	-1105
	平 均	-1709	-2238	-1794		3	-1167	-1610	-1101
	1	-812	-1447	-561		4	-603	-1240	-551
	2	-1123	-1690	-857		平 均	-976	-1984	-908
西支D	3	-632	-1119	-472	东支D'	1	-819	-1906	-1033
	4	-1296	-1762	-1514		2	-982	-1207	-712
	平 均	-966	-1505	-853		3	-1035	-1339	-645
	1	-625	-1093	-853		4	-1049	-1423	-758
	2	-1031	-1173	-453		5	-218	-732	+5
西支E	3	-656	-1176	-666	东支E'	平 均	-821	-1321	-629
	4	-1123	-1405	-651		1	-524	-831	-374
	5	-999	-1153	-661		2	-483	-855	-386
	平 均	-887	-1200	-657		3	-350	-755	-163
									-423

表 1 (续)

剖面 (位置)	花 杆 (No)	纯 积 消 量(mm)			剖面 (位置)	花 杆 (No)	纯 积 消 量(mm)			平 均
		1979/1980	1980/1981	1981/1982			1979/1980	1980/1981	1981/1982	
西支F	1	-503	-996	-417	东支E'	4	-379	-654	-234	-422
	2	-245	-671	-368	平 均		-434	-774	-289	-499
	3	-85	-916	-149	1		-180	-774	-41	-322
	4	+128	-644	+155	2		-248	-679	-42	-323
	平 均	-176	-807	-195	3		+36	-239	-132	-128
					平 均		-131	-581	-72	-258
西支G	+1	-775	-777	-487	东支F'	1	-369	-704	-101	-391
	+2	-694	-850	-363	2		-784	-515	-211	-503
	1	-395	-904	-367	3		+211	-335	+60	-21
	2	+27	-688	-1	平 均		-314	-518	-84	-305
	3	-274	-68	+2	H'		+324	-335	+140	+43
	4	+259	-230	+165	1			+141	+305	+223
西支H	平 均	-309	-586	-165	2			+184	+446	+315
	1	-78	-597	-53	3			+241	+520	+381
	2	-16	-299	-126	平 均			+189	+424	+306
	3	+255	-296	+181	东支I'					
	平 均	+54	-397	+1	1					
					2					
西支	I		-300	+259	3					
	J		-74	+290	平 均					
	K		+354	+322						

式中: m_1 、 m_2 ; h_{sn1} 、 h_{sn2} ; h_{si1} 、 h_{si2} 和 ρ_{sn1} 、 ρ_{sn2} 分别表示积-消年度始末的测杆读数(厘米)、积雪厚度(厘米)、附加冰厚度(厘米)和积雪密度(克/立方厘米); 10为换算系数(毫米·平方厘米/克)。

在积累区其净平衡值即为两相邻夏末消融面之间的粒雪和渗浸冰片的储水量。

在层位观测中,最困难的是确定夏末粒雪表面的位置。1980年前,我们将夏季自然污化当作此面;1980年后,每年消融期末,在测杆附近及易识别的典型地区的粒雪表面作人工标志面,这样得到的数据是可靠的。

在确定了两相邻人工标志面后,须观察、测定各种雪型及渗浸冰片的厚度和密度,即可获得本年度新年层的储水量,其式如下:

$$b_r = 10 \sum_{i=1}^n (h_{sn} \cdot \rho_{sn} + h_f \cdot \rho_f) \quad (2)$$

式中: 1……n为各层编号;

h_{sn} 和 ρ_{sn} 分别为各种雪型的厚度(厘米)和密度(克/立方厘米);

h_f 和 ρ_f 分别为渗浸冰片的厚度(厘米)和密度(0.85克/立方厘米);

10为换算系数(毫米·平方厘米/克)。

用(1)、(2)式求得的年纯消融量或年纯积累量结果见表1,它们分别以“-”、“+”符号表示。

1980年夏,孙作哲等用地面立体摄影测量方法重新测绘了1号冰川1:5000地形图。经在该图量算,1号冰川面积为1.84平方公里,与1962年由王文颖等^[3]用平板仪方法绘制的1号冰川1:10000地形图相比,十八年来1号冰川面积缩小了约0.11平方公里,平均每年0.006平方公里。为此,我们在计算延长1974—1979年度1号冰川的总净平衡时,将按上述退缩率冰川面积作了修正。

二、冰川零平衡线的年际变化与气候因素的关系

据表1资料,我们点绘了1979—1982年三年的物质平衡图(图1),用二点法或多点法可求得年度零平衡线高度。

为探讨零平衡线与气候因素的相互关系,我们把自1958年以来实测得到的10个1号冰川零平衡线高度和其相应年份的天山气象站气候资料列于表2。

从表2可看到,1959—1966年七年间零平衡线高度随天山气象站年降水量的增多而降低的关系十分明显。1981年张金华根据上述关系,提出用年降水量来计算零平衡线的经验公式,并据此恢复了1966—1974年的零平衡线高度^[2]。从表2还可看到,1979—1980年度是天山气象站历年降水量最少的年份之一,仅为366.8毫米,而零平衡线却不高,为4038米;1980—1981年度的年降水量较多,达448.5毫米,但零平衡线却高达4122米,出现了零平衡线不完全受年降水量制约的现象,其原因在于决定零平衡线的另一个主要因素气温。1980—1981年度尽管降水较多,但正积温和年平均温度高且持续时

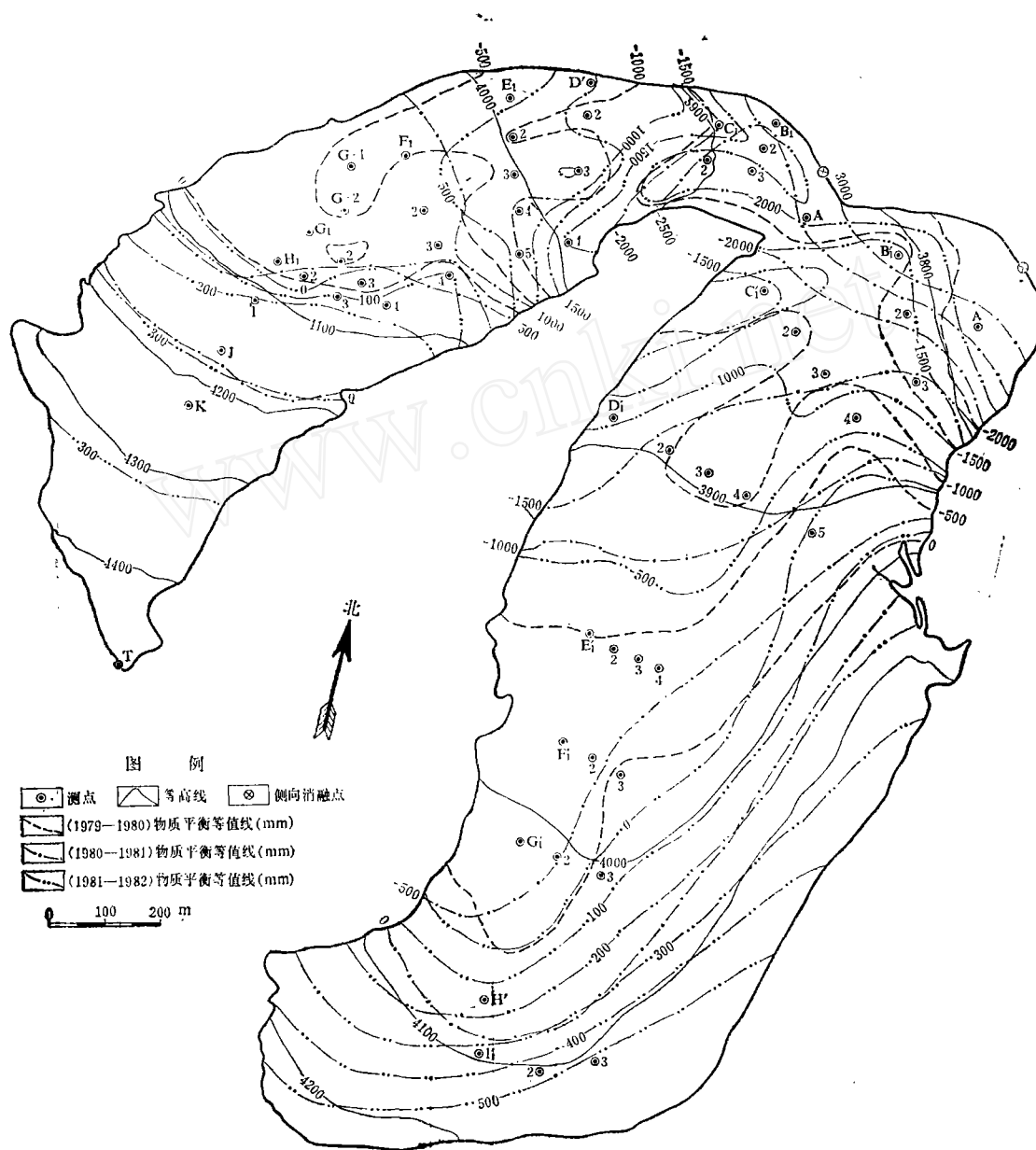


图1 乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡等值线图

Fig. 1. Contour map of mass balance of glacier No.1 at the headwater of Urumqi River
(a) 1979—1980年; (b) 1980—1981年; (c) 1981—1982年

表 2 1958—1982年乌鲁木齐河源 1 号冰川零平衡线与气候变化关系表
 Table 2. Relationship between the zero equilibrium line of glacier No.1 at the headwater of Urumqi River
 (1958—1982) and climatic change

年 度	零平衡线高度(m)		年降水量 P (mm)	年平均气温 t (°C)	9月降水量 P_9 (mm)	5月降水量 P_5 (mm)	9月平均温度 t_9 (°C)	5月平均温度 t_5 (°C)	6—8月平均温度 t_{6-8} (°C)	资 料 来 源
	实测值	计算值								
1958—1959		4005	472.8	-5.2	40.2	51.5	1.5	-3.0	3.8	[2]
1959—1960	4060	4069	422.4	-4.9	54.2	24.2	2.6	-1.6	4.0	[1]
1960—1961	4060	4079	434.5	-5.4	58.0	19.7	0.8	1.1	3.9	[1]
1961—1962	4075	4096	444.2	-5.3	48.0	45.1	0.6	0.5	4.6	[1]
1962—1963	3971	4001	495.5	-4.9	64.5	59.2	0.6	0.0	4.0	[2]
1963—1964	4055	4038	444.2	-5.2	35.0	56.7	0.3	-1.7	4.1	[2]
1964—1965	3948	3973	502.3	-5.0	61.1	58.7	-0.7	0.9	4.2	[2]
1965—1966	4110	4100	373.8	-5.0	16.9	67.2	0.9	-2.9	4.3	[2]
1966—1967		4063	428.0	-5.9	65.1	58.2	1.0	-0.2	3.6	[2]
1967—1968		4121	377.6	-5.7	21.0	65.1	0.4	-0.6	3.7	[2]
1968—1969		4008	471.0	-5.5	17.3	51.5	-0.1	0.9	3.7	[2]
1969—1970		4106	380.5	-5.6	37.7	55.7	-0.8	-0.7	3.9	[2]

表 2 (续)

年 度	零平衡线高度(m)		年降水量 P (mm)	年平均气温 t (°C)	9月降水量 P_9 (mm)	5月降水量 P_5 (mm)	9月平均温度 t_9 (°C)	5月平均温度 t_5 (°C)	6—8月平均温度 t_{6-8} (°C)	资 料 来 源
	实测值	计算值								
1970—1971		4015	465.5	-5.3	43.2	44.0	0.1	-0.5	3.8	[2]
1971—1972		3981	490.3	-5.4	92.3	46.2	-1.4	1.0	3.8	[2]
1972—1973		4146	354.0	-4.9	44.9	37.8	0.2	-1.7	4.3	[2]
1973—1974		4075	418.4	-4.9	45.7	33.2	1.0	1.3	4.4	[2]
1974—1975		3982	446.2	-6.1	34.7	40.3	-1.0	-2.6	4.4	作者
1975—1976		4066	462.5	-4.8	25.8	73.1	-0.2	-0.6	3.9	"
1976—1977		4001	382.9	-5.9	44.6	37.6	0.4	-2.0	3.0	"
1977—1978		4155	433.1	-4.8	50.3	68.5	2.4	0.7	4.6	"
1978—1979		4120	418.7	-4.7	27.1	37.9	1.2	-1.1	4.3	"
1979—1980	4038	3993	366.8	-5.3	83.2	41.8	-1.2	1.4	3.9	"
1980—1981	4122	4117	448.5	-4.3	50.0	37.0	0.9	1.3	4.4	"
1981—1982	4025	4003	486.0	-5.8	46.2	48.9	-0.7	-0.3	4.0	"
平 均	4046	4005	434.2	-5.2	46.1	48.5	0.4	-0.5	4.0	"

间长,故零平衡线高;而1979—1980年则反之,故零平衡线低。

由此可见,零平衡线高度并不单一地依赖于年降水量的变化,还取决于年平均气温、正温期的持续时间及降水量的季节分布。

根据上述关系,我们令:

$$X = (P_9 + A \cdot P_{10-8}) - B(t_9 + t_5 + t_{6-8}) \quad (3)$$

式中: A 、 B 为经验系数,分别为0.14和10.4。

我们根据式(3)和表2的10个实测零平衡线值,并用最小二乘法列线性回归方程为:

$$h = 4227 - 2.88X \quad (4)$$

上式的相关系数为0.902, X 的标准差 $\sigma = 16.22$ 。将 X 值代入式(4),就可得出零平衡线与降水、气温的关系式:

$$h = 4227 + 29.95(t_9 + t_5 + t_{6-8}) - 2.88(P_9 + 0.14P_{10-8}) \quad (5)$$

式中: h 为零平衡线高度(米);

4227为常数;

29.95为温度系数;

2.88为降水系数;

t_9 、 t_5 、 t_{6-8} 分别为9月、5月和6—8月的月平均气温($^{\circ}\text{C}$);

P_9 、 P_{10-8} 分别为9月、10—8月的降水量(毫米)。

根据式(5)求出1974—1979年的零平衡线高度,为了比较,我们把1958—1974年的相同资料一并列于表2。

表2表明,1959—1966年来实测零平衡线高度变动在3948—4110米之间,平均零平衡线高度为4040米;1979—1982年实测零平衡线高度在4038—4122米之间波动,平均零平衡线高度为4062米,比1959—1966年的零平衡线高度上升了22米,原因是同期消融期平均气温上升了 0.2°C ,年降水量减少了11.9毫米(表3)。

表3 1号冰川实测零平衡线高度变化与气候变化的关系

Table 3. Relationship between the measured zero equilibrium line of glacier No.1 and climatic change

年 份	零平衡线高度(m)	消融期平均气温 (5—8月)($^{\circ}\text{C}$)	年平均降水量(mm)
1959—1966	4040	3.1	445.3
1979—1982	4062	3.3	433.4

三、物质平衡及其年际变化与气候关系的研究

(一) 物质平衡及其变化

根据图1用纯平衡等值线法可分别得到消融区的总消融和积累区的总积累及整个冰

表 4 1974—1982年乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡与正积雪的关系

Table 4. Relationship between the mass balance of glacier No.1 at the headwater Urumqi River and positive accumulated temperature (1974—1982)

年 度	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)	物质收支差额		5—9月正积雪 $\Sigma t(^{\circ}\text{C})$
									10^4m^3	mm水柱	
1974—1975	0.60	1.27	36.0	89.8	43.1	6.7	85.8	139.6	+53.8	+288	446.3
1975—1976	1.02	0.85	43.0	48.4	41.9	6.4	96.7	96.7	+5.4	+29	378.9
1976—1977	0.66	1.20	37.0	70.4	53.4	9.0	99.4	132.8	+33.4	+180	298.4
1977—1978	1.34	0.52	48.4	28.1	46.4	7.6	102.4	82.1	-20.3	-110	493.2
1978—1979	1.24	0.61	46.7	31.2	47.5	6.7	100.9	85.4	-15.5	-84	454.6
1979—1980	0.96	0.88	82.4	20.7	42.4	8.6	133.4	71.7	-61.7	-335	373.1
1980—1981	1.30	0.54	135.1	15.2	69.4	14.0	219.5	98.6	-119.9	-652	465.3
1981—1982	0.96	0.88	70.3	62.1	50.1	8.5	128.9	120.7	-8.2	-451	408.9
计*	23.65	22.38	1690.7	1319.1	1166.6	200.8	3058.1	2686.5	-371.6	-1954	9631.9
均*	0.99	0.93	70.4	55.0	48.6	8.4	127.4	111.94	-15.5	-81.4	401.3

*为1958—1982年的合计和平均值, 1974年前的资料见参考文献[2]。

川的物质平衡(表4)¹⁾,张祥松等根据1958年至现在的全部资料绘制了物质平衡与气候各因子的比较曲线图(见本刊同期张祥松等图2)。1号冰川物质平衡变化相当大,在-708—+374毫米水柱之间波动。在二十四年中有10个年度的物质平衡出现正值,其中1962—1965年和1974—1977年为连续三年为正值的年度,二者出现为期12年的周期;连续二年为正值的出现在1970—1972年度;一年为正值的分别出现在1958—1959年、1968—1969年度,二者出现为期10年的周期。

(二) 物质平衡与气候变化的关系

1975年、1976年美国人造地球卫星探测表明,近年来世界冰雪变化的总趋势是大陆上的积雪量不断增长,尤以欧亚大陆最为明显。最值得注意的是1971年和1976年的积雪量突增,1979—1980年又有回转^[4]。

1号冰川对此亦有明显反映,其结果是1970—1972年、1974—1977年度的冰川物质平衡表现为正值,在冰川后退速度上亦有减缓,从1962—1973年平均后退5.12米/年降为3.29米/年^[5](1973—1980年)。但自1977年以来,1号冰川连续出现五年的负平衡,这将导致1号冰川在八十年代中期开始后退速度的加剧。

另外,在祁连山区冰川物质平衡在相同年份均出现正平衡(表5)。

表5 祁连山冰川物质平衡

Table 5. Mass balance of glaciers in Qilian Mts.

地 区	冰 川 名 称	年 度	物质平衡 (mm水柱)	资 料 来 源
大雪山老虎沟	12号	1975—1976	+330	[6]
托 勒 山	“七一”	1974—1975	+35	同上
		1975—1976	+384	
		1976—1977	+350	
走廊南山羊龙河	5号	1976—1977	+496	同上
冷龙岭水管河	4号	1975—1976	+276	同上
		1976—1977	+73	

1号冰川的物质平衡是消融期的正积温和年降水量二者共同制约的结果。物质平衡的年际变化表明,降水和正积温每年所占比重是互为消长的,可以有降水多、正积温低;降水较多、正积温较高的积累型。也有正积温低、降水稀少;正积温较高、降水少或正积温特高、降水略多的消融型。据此,我们根据表2、表4的多年平均降水量和多年平均正积温来划分乌鲁木齐河源地区的气候类型,可得到下述五种类型(表6)。

根据上述气候分类和物质平衡,1号冰川10个年度的物质正平衡中有7个年度分布

1) 1958—1973年的资料见文献[2]。

表 6 乌鲁木齐河源地区的气候分类

Table 6. Climatic classification in the headwater region of Urumqi River

气候类型	年降水量 P (mm)	消融期正积温 t ($^{\circ}\text{C}$)
干冷型	$P < 380$	$\Sigma t < 375$
干温型	$P < 38$	$\Sigma t > 401$
湿冷型	$P > 440$	$\Sigma t < 401$
湿温型	$P > 440$	$\Sigma t > 440$
温湿型	$380 > P > 450$	$401 > \Sigma t > 495$

在湿冷型里, 2 个年度在湿温型里, 唯有 1976—1977 年度例外, 出现在干冷型内。原因是该年度的正积温是二十四年里最低的, 仅为 298.4°C ; 消融期短, 仅 115 天, 平均比温湿型短 15 天以上, 比最长消融期的 1977—1978 年度短 28 天。

由此可见, 1 号冰川物质正平衡主要受降水的制约, 反之, 负平衡则主要受正积温的影响。

参 考 文 献

- 〔1〕 谢自楚、葛光文, 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的积累、消融及物质平衡, 天山乌鲁木齐河源冰川与水文研究, 科学出版社, 1965。
- 〔2〕 张金华, 1981, 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡研究, 冰川冻土, 3 卷 2 期。
- 〔3〕 王文颖等, 1962—1973 年天山乌鲁木齐河 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。
- 〔4〕 曾康民编译, 1982, 地球反射率的人为变化对气候的影响, 知识就是力量, 7 期。
- 〔5〕 孙作哲、张金华, 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川地形图测量和近期变化, 天山冰川站年报, 第 1 期, 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1983。
- 〔6〕 王仲祥等, 祁连山冰川的物质平衡, 祁连山冰川变化及利用研究文集, 待刊。

(本文于 1984 年 5 月 8 日收到)

Study on Relationship Between Mass Balance Change of Glacier No.1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan and Climate

Zhang Jinhua, Wang Xiaojun and Li Jun

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica)

Abstract

The data of the last 24 years are summarized and the relationship between the mass balance changes of glacier No.1 and climate is studied. It is shown that the mass balance of the glacier is controlled by positive accumulated temperature and annual precipitation. The altitude of equilibrium line of this glacier is not only dependent on the annual precipitation but also on the annual mean temperature, the continued time of positive temperature period and the seasonal distribution of precipitation. A regression equation between the altitude of equilibrium line and the above elements is given. Based on annual changes of precipitation and the positive accumulated temperature, the climate in the headwater region of Urumqi River may be divided into five types, i.e. dry-cold, dry-temperate, wet-cold, wet-temperate and temperate-wet patterns.