

乌鲁木齐河源1号冰川年物质平衡量的 预报方法与资料插补^①

纪忠萍 汤懋苍

(中国科学院兰州高原大气物理研究所, 730000)

提 要 本文利用乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡量实测资料、天山大西沟温度与降水、乌鲁木齐地温资料, 讨论了该冰川物质平衡与某些气候要素的关系: 7月气温、夏季5—7月降水及3—4月地温是控制当年物质平衡量的主要气象要素; 通过寻找最佳因子, 利用多元线性回归方法, 建立了该冰川年物质平衡量的预报公式, 同时讨论了资料插补问题。

关键词 冰川物质平衡 气温与降水 地温 预报公式

冰川的物质平衡是冰川上各种相态水的收入(积累)和支出(消融)之间的数量关系, 它是联系冰川进退与气候变化的重要环节。

天山乌鲁木齐河源1号冰川的物质平衡观测在我国开始得最早, 资料年代最长, 计算精度最高。对它的研究已经取得了一批成果^②(姜彤, 1988; 张金华等, 1984), 在物质平衡与冰川零平衡线高度的定量关系、零平衡线高度变化对气候波动的响应等方面作出了分析。“文革”期间, 1号冰川中断观测达13年, 这就提出了一个问题, 如何利用其它资料对年物质平衡进行插补? 张金华(1981)在7年实测资料的基础上, 根据年降水量—冰川零平衡线—冰川系数—消融区面积—纯消融量和年降水量、年平均气温—纯积累量之间的关系, 统计得到了1965/1966—1973/1974年的物质收支差额。张金华等(1984)又增加了3年资料, 用气象资料重新统计冰川零平衡线与物质平衡年内气温、降水的关系, 得到了它们之间的线性关系式, 然后对1974—1979年的冰川零平衡线进行了插补, 所得相关系数为 $-0.903[N(\text{样本数})=10]$ 。本文增加了最近10年的资料, 再用此式进行拟合, 得到的相关系数变为 $-0.567(N=20)$ 。看来有必要寻找另外的公式对物质平衡进行插补与延长。多元逐步回归分析是一种常用的方法, 如陈吉阳等(1988)通过多元逐步回归模式, 建立了阿尔卑斯山冰川物质平衡与大气条件(主要是大气环流)参数变化的关系; Anne Letrégilly(1988), 建立了加拿大3条冰川物质平衡与气象要素(气温、降水)之间的定量关系。本文亦在多元逐步回归方法的基础上, 利用天山乌鲁木齐河源1号冰川实测物质平衡资料, 建立了该冰川年物质平衡量的插补与预报公式。

^①本文于1993年4月26日收到, 10月28日改回; 属中国科学院天山冰川观测实验站基金资助项目。

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

1 冰川的年物质平衡与气象要素的关系

天山大西沟气象站位于 1 号冰川脚下(距该冰川仅 2.5 km), 海拔 3 539.9 m。从 1958 年 6 月至今有连续不断的气象观测, 给冰川与气候的研究提供了很好的条件。1 号冰川的物质平衡观测自 1959 年开始, 但由于 1966—1978 年观测曾经中断, 本文只能用实测值来讨论物质平衡与气象要素之间的关系。

表 1 对该冰川 20 年实测的年物质平衡量、平衡线高度进行了简单的统计分析。可见: 1) 从平均值看, 纯消融量(B_a)大于纯积累量(B_c), 说明这 20 年以纯消融为主, 使

表 1 冰川年物质平衡与平衡线高度之间的相互关系

Table 1 Relationship between annual mass balance and equilibrium-line altitude (ELA)

年度	B_n (10^4m^3)	B_a (10^4m^3)	B_c (10^4m^3)	ELA (m)
1959—1960	-36.6	86.2	49.6	4 060
1960—1961	-6.4	60.3	53.9	4 060
1961—1962	-32.6	84.2	51.6	4 075
1962—1963	45.7	39.5	85.2	3 971
1963—1964	0.4	55.5	55.9	4 055
1964—1965	73.0	26.8	99.8	3 948
1965—1966	-72.9	107.5	34.6	4 110
1979—1980	-61.7	82.4	20.7	4 038
1980—1981	-119.9	135.1	15.2	4 122
1981—1982	-8.2	70.3	62.1	4 025
1982—1983	18.4	46.8	65.2	4 005
1983—1984	-15.2	46.0	30.8	4 007
1984—1985	-112.6	132.2	19.6	4 097
1985—1986	-133.0	134.3	1.3	4 114
1986—1987	-32.3	68.8	36.5	4 025
1987—1988	-118.4	129.2	10.8	4 080
1988—1989	19.5	30.8	50.2	3 976
1989—1990	9.6	44.4	54.0	3 959
1990—1991	-129.9	135.4	5.5	4 130
1991—1992	4.2	45.5	49.7	3 979
平均	-35.4	78.1	42.6	4 041.6
相关系数				
B_n (10^4m^3)	1	-0.97	0.94	-0.89
B_a (10^4m^3)		1	-0.83	0.92
B_c (10^4m^3)			1	-0.76

注: B_n 为年净平衡; B_a 为纯消融; B_c 为纯积累; ELA 为平衡线高度。

得物质平衡亏损($-35.4 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$); 2) ELA 与 B_n 的相关系数大, 表明可用纯消融来反映平衡线高度的变化。

大西沟站暖季(5—9月)降水占全年的 87.7%(1959—1991年), 这决定了乌鲁木齐河源 1 号冰川是一种暖季补给型冰川。表 2 是实测的 1 号冰川年净平衡(B_n)、纯消融量

表 2 年物质平衡量与暖季温度、降水的相关系数($N=20$)

Table 2 Correlation coefficient between monthly mean air temperature, precipitation in warm seasons and measured annual mass balance ($N=20$)

因子		月									
		5	6	7	8	5—6	5—7	5—8	6—7	6—8	7—8
降水量	B_n		0.46			0.51	0.52			0.49	
	B_a		-0.49			-0.53	-0.48			-0.46	
	B_c					0.43	0.52	0.50	0.48	0.49	
气温	B_n			-0.54					-0.49	-0.38	
	B_a			0.53					0.53	0.40	
	B_c			-0.51							

注: 表中空缺为未通过 10% 的信度检验; r 为相关系数。

(B_n)、纯积累量(B_c)与大西沟站暖季温度、降水的相关分析结果。可见 5—7 月降水及 7 月温度与物质平衡相关最好, 说明它们是消融期内控制物质平衡变化的重要气象因子, 经计算它们与 B_n 、 B_a 、 B_c 的复相关系数分别为 0.683, 0.648, 0.663, 然而与 B_c 复相关最高的却是 6—8 月的降水与 7 月的温度, 其复相关系数分别为 0.661, 0.587, 0.722。用最小二乘法所建二元回归方程如下:

$$y_{B_n} = -57.46 + 0.56P_{6-8} - 50.99T_7$$

$$y_{B_a} = -4.03 - 0.24P_{6-8} + 30.48T_7$$

$$y_{B_c} = 53.43 + 0.32P_{6-8} - 20.51T_7$$

式中: P 为降水量(mm), T 为气温($^{\circ}\text{C}$); B_n 、 B_a 、 B_c 分别为年净平衡、纯消融、纯积累(10^4m^3), 下标为月份。

上述方程的拟合方差比分别为 0.437, 0.344, 0.522, 说明纯积累量与夏季温度、降水的线性关系较好, 而纯消融量却较差, 使得年净平衡与当年消融期内气象因子的线性关系并不十分密切。

大西沟站夏季(6—8月)降水占全年的 65.9%, 为了弄青年物质平衡量与夏季气温、降水之间的滞后关系, 以寻求物质平衡对夏季气候变化滞后的时间, 用 20 年实测及本文所得的 14 年插补值(详见后述), 对 34 年物质平衡量 B_n 、 B_a 、 B_c 与大西沟夏季气温(\bar{T}_{6-8})及降水量(P_{6-8})作了滞后相关分析(表 3)。可见, B_n 、 B_c 与夏季降水量, B_a 与夏季气温只有同期相关最高(信度均超过 0.01), 而夏季气温与 B_n 、 B_c 又表现为滞后 8 年

表 3 物质平衡与夏季气温、降水的滞后年数的相关分析($N=34$)

Table 3 Lag correlation coefficient between summer mean air temperature, precipitation and the measured annual mass balance

因子	r^n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		B_n	-0.37 Δ	-0.03	0.20	0.14	-0.08	0.20	0.09	-0.23	-0.51*	0.25
\bar{T}_{6-8}	B_a	0.44*	0.10	-0.22	-0.15	0.10	-0.17	-0.17	0.16	0.58*	-0.23	-0.32
	B_c	-0.28	0.05	0.16	0.11	-0.04	0.22	-0.04	-0.31	-0.35	0.23	0.27
	B_n	0.43*	0.32	0.08	0.14	0.04	-0.21	0.08	0.14	0.43 Δ	-0.26	-0.17
P_{6-8}	B_a	-0.39 Δ	-0.35	-0.06	-0.03	0.01	0.14	-0.02	-0.12	-0.45 Δ	0.29	0.21
	B_c	0.48*	0.27	0.10	0.25	0.13	-0.28	0.17	0.21	0.36	-0.23	-0.11

注: 1) B_n 、 B_a 、 B_c 在 1958/1959, 1966/1967—1978/1979 之值为本文插补值; 2) n 为滞后年数; r 为相关系数; \bar{T}_{6-8} 为夏季平均气温; P_{6-8} 为夏季降水量; * 为通过 $\alpha=0.01$ 的信度检验; Δ 为通过 $\alpha=0.05$ 的信度检验。

具有较高的相关性(信度超过 0.01)。

2 最佳因子的选择

为了符合实际情况, 采用 20 年(1959/1960—1965/1966, 1979/1980—1991/1992)实测物质平衡资料作 y 序列, 逐月气象资料作 x 序列, 分别计算它们之间的相关系数, 对通过 5% 信度检验的因子予以考虑。

据黄嘉佑(1990), $r_c = \sqrt{t_a^2 / n - 2 - t_n^2}$, r_c 为刚好通过信度检验的相关系数临界值, 对 $n=20$: $a=10\%$, $r_c=0.378$; $a=5\%$, $r_c=0.444$; $a=1\%$, $r_c=0.561$ 。

表 4a—c 是年物质平衡量与当年(1 号冰川的物质平衡年为前一年 9 月 1 日至当年 8 月 31 日)、前一年及前两年大西沟月降水量、月平均气温和乌鲁木齐月平均地温的相关分析结果(仅给出通过 10% 信度检验者)。由表 4 可见:

(1) 物质平衡量与上述三因子具有较好的关系, 且与降水的相关系数普遍大于气温和地温, 前两年 7—8 月、前一年 8 月及本年 9 月和 5—7 月的降水与它相关很高, 且与年前的相关均大于年内的, 说明该冰川的积累除靠大气直接降水外, 吹雪及雪崩的补给具有一定的作用(谢自楚, 1980)。

(2) 物质平衡量与本年 7 月气温相关显著, 说明 7 月是主要的消融期。与前两年 8 月的温度也具有较高的相关, 这说明该冰川对气温存在一定滞后性。

(3) 物质平衡量与当年 3—4 月乌鲁木齐 0.8 m 地温相关显著, 其次是 1.6 m。说明浅层地温对物质平衡量具有一定的影响。由于消融一般发生在冰面, 冰下消融可以忽略

表 4a 年物质平衡量与月降水量的相关分析(N=20)

Table 4a Correlation coefficient between monthly precipitation and annual mass balance

因子 \ 月*	6 ₋₂	7 ₋₂	8 ₋₂	(7+8) ₋₂	8 ₋₁	9	11	8 ₋₁ +9	8 ₋₁ +9+11	6	7	6+7	5-6	5-7
B_n	-0.68		0.56	0.61	0.66	0.40	-0.40	0.72	0.69	0.46		0.49	0.51	0.52
B_a	0.68		-0.48	-0.59	-0.65	-0.40	0.41	-0.70	-0.67	-0.49		-0.46	-0.53	-0.48
B_c	-0.61		0.63	0.57	0.62			0.67	0.64			0.48	0.43	0.52

注：表4a—c中空缺为未通过10%信度检验；* 为下标-2，-1分别表示物质平衡年前2，1年，无下标表示当年。

表 4b 年物质平衡与月平均气温的相关分析(N=20)

Table 4b Correlation coefficient between monthly mean air temperature and annual mass balance

因子 \ 月*	8 ₋₂	3 ₋₁	8 ₋₁	3	7
B_n	-0.47				-0.54
B_a	0.49				0.53
B_c	-0.39	0.49		0.41	-0.51

表 4c 年物质平衡量与月平均地温的相关分析(N=20)

Table 4c Correlation coefficient between monthly mean soil temperature and annual mass balance

因子 \ 月*	3 ₋₂	4 ₋₂	(3-4) ₋₂	(3-5) ₋₂	(3-6) ₋₂	4 ₋₁	12	3	4	5	6	7	3-4	3-5	3-6	3-7	4-5	4-6	4-7
0.8m	B_n	0.43		0.40	0.39			0.38	0.61	0.48			0.58	0.49	0.45	0.41	0.39		
	B_a							-0.38	-0.48				-0.45						
	B_c	0.49		0.43	0.40			0.73	0.60	0.38			0.71	0.62	0.56	0.53	0.51	0.47	0.45
1.6m	B_n	0.53	0.42	0.51	0.46	0.41		0.46	0.53				0.54	0.49	0.46	0.44	0.45	0.43	0.41
	B_a	-0.49		-0.46	-0.42	-0.38			-0.41				-0.41						
	B_c	0.52	0.44	0.52	0.47	0.43		0.58	0.66	0.52	0.49	0.44	0.67	0.62	0.58	0.55	0.58	0.53	0.51
3.2m	B_n								0.52	0.45	0.40	0.38	0.45	0.48	0.46	0.45	0.49	0.46	0.44
	B_a								-0.42				-0.38	-0.39			-0.39		
	B_c								0.42	0.60	0.55	0.49	0.45	0.51	0.56	0.55	0.54	0.58	0.55

(施雅风等, 1988), 且纯消融是以融水径流和蒸发的形式而损失^①, 说明乌鲁木齐地温对该冰川物质平衡量的影响不是通过地壳不断向冰川底面输送热量而引起冰下消融, 而是

①C B 卡列斯尼克著, 1965, 普通冰川学 中国科学院地理研究所冰川冻土研究室翻印。

通过影响后期降水(汤懋苍等, 1989)产生作用。

(4) 从表 4c 可见, 地温与年物质平衡的相关具有很高的稳定性, 它与 B_n 和 B_c 之间通过 10% 信度者均为正相关, 无负相关; 与 B_a 的相关则刚好相反。但降水、气温与 B_n 、 B_a 、 B_c 相关的稳定性很差, 如 B_c 与前两年 6 月的降水呈大的负相关, 与前一年 3 月气温又呈大的正相关。这些在物理直观上是不好解释的。而两层地温(1.6, 3.2 m)与 B_c 的相关从当年 4—7 月连续稳定地超过信度 10%。需提出的是, 降水和气温资料是大西沟的, 距 1 号冰川仅数公里, 而地温资料是乌鲁木齐的, 距 1 号冰川有近 100 km 之遥。我们相信, 若大西沟有地温观测记录, 它与 1 号冰川物质平衡的正相关会更好。

3 回归模拟

3.1 计算方法(黄嘉佑, 1990)

利用多元线性回归方程

$$\bar{y}_i = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j x_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: b_0 、 b_j 是采用最小二乘法确定的系数。该方程与 j 个因子的复相关系数为

$$r = \sqrt{\frac{U}{S_{yy}}} \quad (2)$$

式中: U 、 S_{yy} 分别为回归平方和、总离差平方和。

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

利用

$$F = \frac{R^2 / p}{(1 - R^2)(n - p - 1)} \quad (3)$$

作回归方程的显著性检验, 其中 p 为逐步回归选入方程中的因子个数。

3.2 插补结果

经过以上最佳因子的分析, 进行组合因子的相关计算, 可选下列较佳因子进行多元逐步回归分析:

(1) 考虑所有最佳因子

$$X_{11}: P(7+8)_{-2} + P(8_{-1} + 9) + P(5+6+7)$$

$$X_{12}: T(8)_{-2} + T(7)$$

$$X_{13}: ST(3+4) \quad (1.6\text{m})$$

式中: P 、 T 、 ST 分别为月降水量(mm)、气温($^{\circ}\text{C}$)及地温($^{\circ}\text{C}$); 下标“-2”, “-1”分别为

物质平衡年前 2, 1 年之值, 无下标为当年之值, 如: $P(7+8)_{-2}$ 为前两年 7—8 月降水量, 下同。

(2) 仅考虑当年因子

$$X_{21}: P(8_{-1} + 9) + P(5 + 6 + 7)$$

$$X_{22}: T(7)$$

$$X_{23}: ST(3 + 4) \quad (1.6m)$$

用上述因子进行多元逐步回归分析(表 5)。可知当年因子 X_{21} 、 X_{22} 、 X_{23} 的组合最佳, 用它们所建的多元逐步回归方程如下:

$$\left. \begin{aligned} Y_{B_n} &= -150.67 + 0.54(P_{-8+9} + P_{5+6+7}) - 30.96T_7 + 14.33ST_{3+4} \\ Y_{B_a} &= 117.67 - 0.37(P_{-8+9} + P_{5+6+7}) + 20.10T_7 \\ Y_{B_c} &= 18.85 + 0.198(P_{-8+9} + P_{5+6+7}) - 11.52T_7 + 9.75ST_{3+4} \end{aligned} \right\} (4)$$

式中: 下标-8 为物质平衡前一年; 其余为当年。

其复相关系数分别为 0.898, 0.827, 0.917, 用式(3)分别计算它们的 F 值(表 5), 均远通过信度 $\alpha=5\%$ 的 F 检验值, 说明回归方程是显著的。比张金华等(1984)所得相关系数(-0.57, $N=20$)显然要好。再者由于本文所用实测资料年代长, 代表性也就好, 故

表 5 用组合因子所得的多元逐步回归结果
Table 5 Results of multivariate linear stepwise regression

N		b_0	b_1	b_2	b_3	R	F	A	
20	最佳因子	B_n	-356.85	0.43		16.89	0.867	25.62*	0.751
		B_a	245.67	-0.296			0.781	28.20*	0.610
		B_c	-95.97	0.16		10.66	0.895	34.35*	0.802
	当年因子	B_n	-150.67	0.54	-30.96	14.33	0.898	22.16*	0.806
		B_a	117.67	-0.37	20.10		0.827	18.46*	0.685
		B_c	-18.85	0.198	-11.52	9.75	0.917	28.15*	0.841
	前期因子	B_n	-305.14	0.54		21.0	0.859	23.92*	0.738
		B_a	197.85	-0.37			0.748	22.91*	0.560
		B_c	-76.97	0.20		12.18	0.891	32.61*	0.793

注: b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 为用式(2)对物质平衡量和所选参数作逐步回归计算确定的系数; R 为复相关系数;

N 为样本数; A 为拟合方差与原方差之比; F 为按式(4)计算的 F 检验值, * 为通过 5% 信度检验。

可用此回归方程对缺测年份进行插补, 其拟合结果见图 1。

可见, 对 B_n 实测值(20 年)除 1960/1961、1965/1966、1979/1980、1980/1981 和 1990/1991 等 5 年有较大的误差外(其误差绝对值大于 $25 \times 10^4 \text{ m}^3$, 表 6), 其余均拟合较好。

3.3 预报方程的建立

不考虑当年夏季、仅考虑较前期因子, 可选下列因子进行多元逐步回归分析:

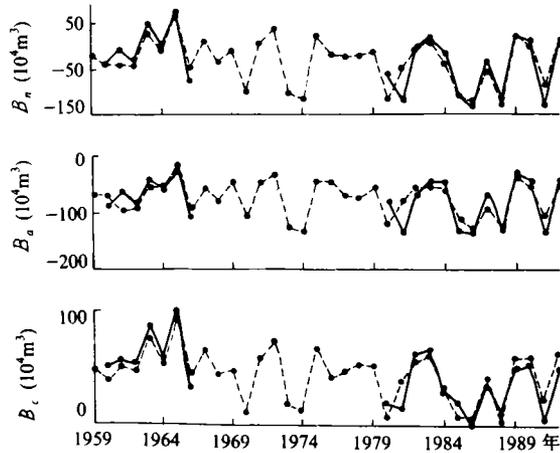


图 1 多元逐步回归拟合结果(虚线)和实测值(实线)

Fig. 1 Interpolation results from (dashed line) and measured data (solid line)

$$X_1: P(7+8)_{-2} + P(8_{-1} + 9)$$

$$X_2: T(8)_{-2}$$

$$X_3: ST(3+4) \quad (1.6m)$$

用其所建多元回归方程如下:

$$\left. \begin{aligned} Y_{B_n} &= -305.14 + 0.54(P_{(7+8)_{-2}} + P_{8_{-1}} + P_9) + 21.00ST_{3+4} \\ Y_{B_a} &= 197.85 - 0.37(P_{(7+8)_{-2}} + P_{8_{-1}} + P_9) \\ Y_{B_c} &= -76.97 + 0.20(P_{(7+8)_{-2}} + P_{8_{-1}} + P_9) + 12.18ST_{3+4} \end{aligned} \right\} (5)$$

上述方程的复相关系数分别为 0.859, 0.748, 0.891, 拟合方差比分别为 0.738, 0.560, 0.794(表 5), 拟合结果见表 6。可见, 20 年拟合结果除有 6 年大于 $25 \times 10^4 \text{ m}^3$ 外, 其余的拟合较好。由于此方程仅考虑到较前期因子, 可以把它作为预报方程。

我们相信, 若资料年代再长些, 通过类似选取最佳因子的方法, 所建立的多元逐步回归方程的拟合结果会更好一些。

通过本文分析, 可得出如下结论:

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

(2) 物质平衡年前、年内大西沟的温度、降水及乌鲁木齐当年 3—4 月地温是对该冰川物质平衡进行预报与插补的最佳因子; 多元线性逐步回归是一种行之有效的方法。

值得说明的是, 据现有气候资料序列建立起来的简单回归方程具有显著的不稳定性, 再考虑到冰川测量的一定误差, 只有 20 年或 34 年的时间序列就限制了统计方法的应用。只有当时间序列达 50 年才能假设这种关系可靠(Anne, 1988), 因此很有必要继续进行冰川观测。另外, 本文的研究方法只是通过多元逐步回归分析建立了该 1 号冰川的

表 6 插补结果、预报结果与实测值的比较

Table 6 Comparison between the interpolated, predicted results with measured data

年 度	实测值	插 补 结 果			预 报 结 果	
		拟合值	误差	原拟合值 Δ	预报值	误差
1958—1959		-19.1		16.9		
1959—1960	-36.6	-36.3	0.3		-21.7	14.9
1960—1961	-6.4	-37.5	-31.1		-3.6	10.0
1961—1962	-32.6	-39.3	-6.7		-12.6	20.0
1962—1963	45.7	30.1	-15.6		41.4	-4.3
1963—1964	0.4	-6.6	-7.0		14.7	14.3
1964—1965	73.0	76.1	3.1		68.5	-4.5
1965—1966	-72.9	-44.9	28.0		-70.0	2.9
1966—1967		12.4*		-13.6	4.3	8.1
1967—1968		-33.2*		-89.0	-61.5	-28.3
1968—1969		-7.8*		28.8	-110.5	-102.7
1969—1970		-98.6*		-61.0	-117.5	-18.9
1970—1971		6.8*		19.9	-18.1	-24.9
1971—1972		37.8*		51.1	-2.2	-40.0
1972—1973		-101.7*		-138.0	-9	100.8
1973—1974		-116.2*		-24.3	-16.6	99.6
1974—1975		21.6*		53.8	-40.4	-62.0
1975—1976		-14.5*		5.4	-67.6	-53.1
1976—1977		-22.7*		33.4	-39.3	-16.6
1977—1978		-18.0*		-20.3	-41.3	-23.3
1978—1979		-9.5*		-15.5	-89.1	-79.6
1979—1980	-61.7	-115.5	-53.8		56.2	5.5
1980—1981	-119.9	-45.2	74.7		-42.8	77.1
1981—1982	-8.2	-2.2	6.0		-59.5	-51.3
1982—1983	18.4	8.0	-10.4		5.8	-12.6
1983—1984	-15.2	-36.8	-21.6		-60.0	44.8
1984—1985	-112.6	-110.9	1.7		-107.3	5.3
1985—1986	-133.0	-124.4	8.6		-117.1	15.9
1986—1987	-32.3	-48.5	-16.2		-83.0	-50.7
1987—1988	-118.4	-125.2	-6.8		-120.6	-2.2
1988—1989	19.5	18.0	-1.5		-0.0	-19.5
1989—1990	9.6	3.7	-5.9		13.8	4.2
1990—1991	-129.9	-82.5	47.4		-77.6	52.3
1991—1992	4.2	11.0	6.8		-28.2	-32.4
绝对误差			17.7		33.4	

注：* 为本文插补结果； Δ 为张金华等(1981、1984)的插补结果。

物质平衡与大西沟温度、降水、乌鲁木齐地温的关系式，虽然这样的分析对进行预测很有价值，但毫不涉及冰川进退的物理过程，如冰面的辐射平衡等，也忽略了气候变化对

冰温度及冰川对其本身的影响(佩特森, 1987), 这也是本文的缺点, 有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 施雅风等, 1988. 中国冰川概论. 北京: 科学出版社
- 汤懋苍等, 1989. 理论气候学概论. 北京: 气象出版社, 241—245, 21—33
- 陈吉阳等, 1988. 大气条件与阿尔卑斯山冰川的物质平衡, 见: 第四届全国冰川冻土学术会议论文选集(冰川学), 北京: 科学出版社, 103—111
- 张金华, 1981. 天山乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡研究, 冰川冻土, 3(2): 32—40
- 张金华等, 1984. 天山乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡变化与气候相互关系的研究, 冰川冻土, 6(4): 25—36
- 姜彤, 1988. 冰川零平衡线气候波动模型及其应用, 见: 第四届全国冰川冻土学术会议论文选集(冰川学), 北京: 科学出版社, 65—74
- 黄嘉佑, 1990. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 37—115
- 谢自楚, 1980. 冰川物质平衡与冰川特征的关系, 2(4): 1—8
- 佩特森 W S B 著, 1987. 冰川物理学. 北京: 科学出版社, 189—190, 152
- Anne Letréguilly, 1988. Relationship between the mass balance of western Canadian Mountain glacier and meteorological data, *Journal of Glaciology*, 34(116): 11—18

A Study on Data Interpolation and Prediction of Annual Mass Balance of Glacier No.1 at the Source

Ji Zhongping and Tang Maocang

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

Through analysis on the measured data of annual mass balance of Glacier No. 1 at the source of Urumqi river, monthly mean air temperature and precipitation observed at Daxigo meteorological station in Tianshan Mountains and monthly mean soil temperature at Urumqi, the relationship between the mass balance and climatic variables is carefully discussed. It is found that air temperature in July, precipitation during May—July and soil temperature during Mar. —Apr. are the major controls of the annual mass balance in a mass balance year. By way of seeking the optimum meteorological factors influencing the annual mass balance and using multivariate linear stepwise regression analysis, a mass balance prediction equation is presented, and an interpolation equation is obtained depending only on factors in the last two mass balance year. The missing mass balance data in 1958/1959, 1966/1967—1978/1979 have been interpolated.

Key words: glacier mass balance, air temperature and precipitation, soil temperature, predictive equation