

冰川物质平衡、零平衡线及气候间的关系

——以天山乌鲁木齐河源1号冰川为例

姚檀栋

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

内 容 提 要

根据1号冰川资料分析发现,冰川零平衡线的升降不仅反映物质平衡的增减,而且反映冰川形状与冰面反射率在不同过程中不同的反馈作用,正反馈伴随着零平衡线的下降,负反馈伴随着零平衡线的上升。大陆性冰川比海洋性冰川更为稳定。类似1号冰川的大陆性冰川对降水的反应敏感,而对温度的反应较为迟钝,并随向海洋性发展,这种特征会相对减弱。

天山乌鲁木齐河源1号冰川(以下简称1号冰川)在冰川物质平衡方面已取得许多研究成果^[1-3]。但根据已有的冰川物质平衡、零平衡线及气候资料,揭示冰川的固有特征,是一个随观测资料的积累不断深入的课题。本文将根据1982年以前1号冰川的物质平衡及零平衡线的实测和插补资料,参照1号冰川附近天山大西沟气象站观测资料,分析冰川物质平衡、零平衡线及气候间的关系以及对冰川特征的响应,并讨论其定量描述方程。

一、冰川特征过程及其同气候因子的关系

冰川变化,通常指冰川长度、面积、体积的变化,是冰川物质平衡变化的响应,而物质平衡的变化则是通过冰川的某些特征过程和特征参数来体现的。

冰川积消变化是冰川物质平衡变化的一个重要特征。根据1959年至1982年的观测资料^[3],1号冰川积消变化与物质平衡变化密切相关,但其相关量在正物质平衡年和负物质平衡年各不相同(表1)。在正物质平衡年,正物质平衡增加量与积累面积增大值的比率为 $118 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (或 $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2$);在负物质平衡年,负物质平衡净增量与消融面积增大值的比率为 $289 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (或 $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2$)。这说明,积累面积对正物质平衡的增加比较敏感,微小的正物质平衡增加即可引起积累面积的大幅度扩展,但消融面积对负物质平衡增加的反应则较迟钝,消融面积的扩展需要负物质平衡的大幅度增加(图1)。图2所示进一步证实了这种关系。以冰川系数为1(积累与消融面积相等),

本文于1986年1月20日收到,11月1日改回。

表 1 积消面积与物质平衡变化的关系

Table 1 The relationship between accumulation, ablation area and mass balance

年 份	消融面积		积累面积		物质平衡 (10^4m^3)	积累正距平面积 物质平衡	消融正距平面积 物质平衡
	面积 (km^2)	距平 (km^2)	面积 (km^2)	距平 (km^2)			
1958—1959	0.78	-0.21	1.17	+0.23	+16.9	73.5	
1959—1960	1.09	+0.1	0.86	-0.07	-36.6		366
1960—1961	1.04	+0.05	0.91	-0.02	-6.4		128
1961—1962	1.09	+0.1	0.86	-0.07	-32.4		326
1962—1963	0.60	-0.39	1.35	+0.42	+45.7	108.9	
1963—1964	1.02	+0.03	0.93	0	+0.4		346.7
1964—1965	0.42	-0.57	1.53	+0.60	+73.0	121.7	
1965—1966	1.24	+0.25	0.71	-0.22	-72.9		291.6
1966—1967	1.06	+0.07	0.89	-0.04	-13.6		194.3
1967—1968	1.27	+0.28	0.68	-0.25	-89.0		317.9
1968—1969	0.8	-0.19	1.15	+0.22	+28.8	130.9	
1969—1970	1.22	+0.23	0.73	-0.20	-61.0		256.2
1970—1971	0.84	-0.15	1.11	+0.18	+19.9	110.6	
1971—1972	0.64	-0.35	1.31	+0.38	+51.1	134.5	
1972—1973	1.35	+0.36	0.60	-0.33	-138.0		383.3
1973—1974	1.11	+0.12	0.84	-0.09	-24.3		202.5
1974—1975	0.6	-0.39	1.27	+0.34	+53.8	140.0	
1975—1976	1.02	+0.03	0.85	-0.08	+5.4	—	—
1976—1977	0.66	-0.33	1.20	+0.27	+33.4	123.7	
1977—1978	1.34	+0.35	0.52	-0.41	-20.3	—	—
1978—1979	1.24	+0.25	0.61	-0.32	-15.5	—	—
1979—1980	0.96	-0.03	0.88	-0.05	-61.7	—	—
1980—1981	1.30	+0.31	0.54	-0.39	-119.9		386.8
1981—1982	0.96	-0.03	0.83	-0.05	-8.2		273.3
平均	0.99		0.93		-15.5	118.0	289.4

注：表内消融、积累面积、物质平衡资料引自文献 [3]，1967—1979年为插补值。

积消系数（定义为总积累与总消融比值的平方根）为 1 的交点处为一临界点，临界点以上主要为受冰川正物质平衡影响的积累面积增大过程，临界点以下主要为受冰川负物质平衡影响的消融面积增大过程。由于图 2 所示是一幂函数曲线，这就决定了临界点上下

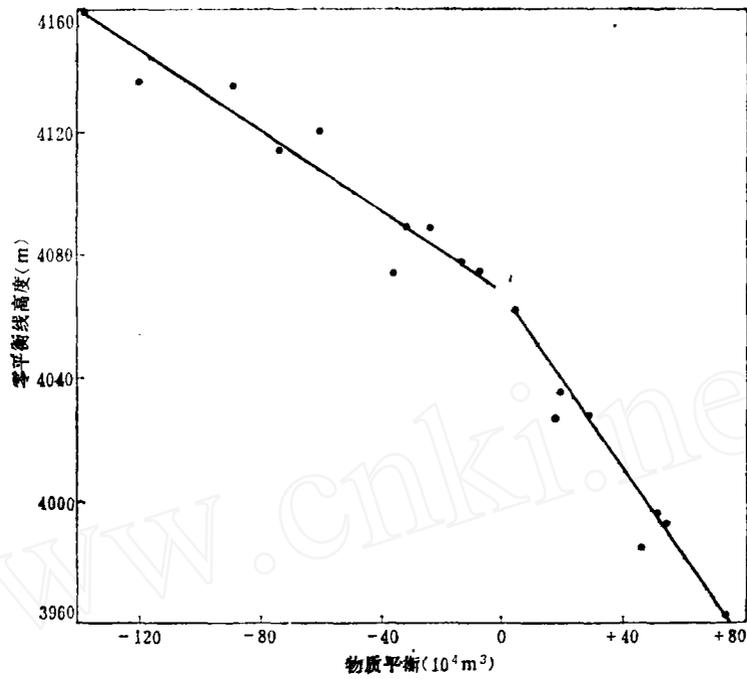


图 1 乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡与零平衡线的关系

Fig. 1 The relationship between the mass balance and equilibrium line in glacier No. 1 in the Urumqi River

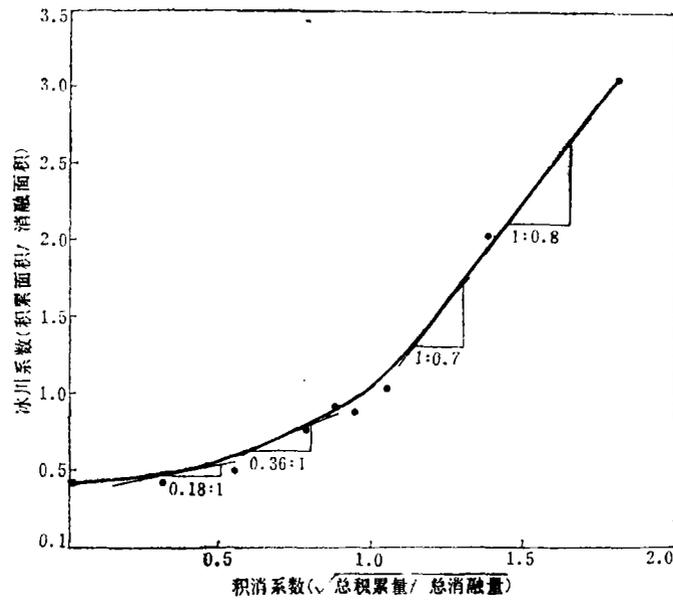


图 2 冰川积消面积与积消量的关系

Fig. 2 The relationship between accumulation, ablation area and mass balance

两段所代表的过程差异很大。值得指出的是,冰川系数接近0.4时,尽管冰川负物质平衡大幅度增加,但冰川消融面积几乎不怎么增加。这种现象似乎表明,冰川有一种“自我保护”机制,当零平衡线的上升达到一定的临界值时,这种机制便抑制其上升,使冰川暂时处于相对稳定状态。这种状态最后必然要打破而向两个方向发展:若冰川逐渐向正物质平衡过渡,则冰川的“自我保护”实现,零平衡线下降,积累面积增大;若这种极端负物质平衡状态具有进一步加剧的趋势,则零平衡线将进一步上升,冰川全面崩溃的时刻随即到来。

冰川系数和积累面积比率是描述冰川状态比较适用的指标。1959年以来,1号冰川的冰川系数平均为1.14,相当冰川积累面积比率0.49。其中,所有负物质平衡年的冰川系数0.67,相当冰川积累面积比率0.39;所有正物质平衡年的冰川系数1.79,相当冰川积累面积比率0.62(表2)。如果以1959年来多年平均物质平衡($-15.5 \times 10^4 \text{m}^3$)和同期所有正物质平衡年平均物质平衡($+32.8 \times 10^4 \text{m}^3$)代表冰川前进状态(相当24年中有20年物质平衡为正,多年平均物质平衡为 $+8.7 \times 10^4 \text{m}^3$),那么,相应的冰川系数和冰川积累面积比率为1.47和0.56。即使取连续多年为正物质平衡的冰川积累面积比率,其值也只有0.62。实际上,这种状况是极少可能出现的。

表 2 不同物质平衡状态下冰川系数与积累面积比率变化

Table 2 The variations of glacial coefficient and accumulation area ratio under different mass balance state

负物质平衡状态				正物质平衡状态			
年 份	冰川系数	冰川积累 面积比率	物质平衡	年 份	冰川系数	冰川积累 面积比率	物质平衡
1959—1960	0.79	0.44	-36.6	1958—1959	1.50	0.60	+16.9
1960—1961	0.88	0.47	-6.4	1962—1963	2.25	0.69	+45.7
1961—1962	0.79	0.44	-32.6	1963—1964	0.91	0.48	+0.4
1965—1966	0.57	0.36	-72.9	1964—1965	3.64	0.79	+73.0
1966—1967	0.84	0.46	-13.6	1968—1969	1.44	0.59	+28.8
1967—1968	0.54	0.35	-89.0	1971—1972	2.05	0.67	+51.1
1969—1970	0.60	0.37	-61.0	1974—1975	2.12	0.68	+53.8
1972—1973	0.44	0.31	-138.0	1975—1976	0.83	0.46	+5.4
1973—1974	0.76	0.43	-24.3	1976—1977	1.82	0.65	+33.4
1977—1978	0.39	0.28	-20.3	1970—1971	1.32	0.57	+19.9
1978—1979	0.49	0.33	-15.5				
1979—1980	0.92	0.48	-61.7				
1980—1981	0.42	0.29	-119.9				
1981—1982	0.92	0.48	-8.2				
平均	0.67	0.39	-50.0	平均	1.79	0.62	+32.84

根据其它地区一些温冰川的研究结果, 前进冰川的积累面积比率一般在0.65—0.70之间。这就是说, 海洋性冰川获得稳定时, 所需的冰川积累面积比大陆性冰川大, 或者说, 大陆性冰川比海洋性冰川稳定。因此不同冰川在其处于稳定状态时积累面积比率的大小, 是冰川稳定程度(或冰川对气候变化反映敏感程度)的表现。不同性质冰川的稳定系数^[4]的变化也说明这了这一点。

无论物质平衡变化还是积消面积变化, 其冰面特征都是通过零平衡线的变化实现的。根据表3, 零平衡线下降1 m, 物质平衡增加 $0.61 \times 10^4 \text{m}^3$, 零平衡线上升1 m, 物

表3 物质平衡与零平衡线间的关系

Table 3 The relationship between mass balance and equilibrium line

年 份	零平衡线 (m)	零平衡线距平 (m)	物质平衡差额 (10^4m^3)	零平衡线负距平	零平衡线正距平
				物质平衡差额	物质平衡差额
1958—1959	4005	-41	+16.9	0.41	
1959—1960	4060	+14	-36.6		2.57
1960—1961	4060	+14	-6.4		0.46
1961—1962	4075	+29	-32.6		1.12
1962—1963	3971	-75	+45.7	0.61	
1963—1964	4055	-5	+0.4	0.08	
1964—1965	3948	-98	+73.0	0.75	
1965—1966	4110	+54	-72.9		1.35
1966—1967	4063	+17	-13.6		0.83
1967—1968	4121	+75	-89.0		1.19
1968—1969	4008	-33	+28.8	0.76	
1969—1970	4160	+60	-61.0		1.02
1970—1971	4015	-31	+19.9	0.54	
1971—1972	3978	-65	+51.1	0.79	
1972—1973	4146	+100	-138.0		1.33
1973—1974	4075	+29	-24.3		0.84
1974—1975	3942	-66	+53.8	0.82	
1975—1976	4066	+20	+5.4	—	—
1976—1977	4001	-45	+33.4	0.74	
1977—1978	4155	+109	-20.3		0.19
1978—1979	4120	+74	-15.5		0.21
1979—1980	4038	-8	-61.7	—	—
1980—1981	4122	+76	-119.9		1.6
1981—1982	4025	-21	-8.2		0.39
平 均	4046		-15.5	0.62	1.01

质平衡减少 $1.33 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，反映出物质平衡绝对量的等量变化对零平衡线上升和下降的影响差异很大。这种悬殊差异可由两方面的因素来解释。1号冰川东西两支平衡线附近都具有上宽下窄的形态特征，平衡线上下波动同样量值时，向上游波动导致的消融面积的增大比向下游波动导致的积累面积的增大更甚。因此零平衡线上下波动量值相等时，负物质平衡的增值更大。另一重要原因是冰川反射率的反馈作用。在正物质平衡年，零平衡线下降。由于冰、雪反射率相差很大（一般冰川冰0.2—0.4，新雪0.7—0.9，粒雪0.4—0.6），所以当零平衡线下降，原来裸露冰面代之以新雪或粒雪时，冰面反射率陡增，冰面吸收热量的能力急剧下降，如污化冰面吸收热量的能力为 $48 \times 4.1868 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{h}$ ，而新雪吸收热量的能力只有 $12 \times 4.1868 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{h}$ ^[5]，这样就遏制了冰面融化。因此冰面反射率对零平衡线下降是一种正反馈作用过程。在负物质平衡年，冰川零平衡线上升，平衡线新抬升的位置主要是其抬升以前的雪（粒雪）区，反射率大。因此，在零平衡线上升的年份，虽然因气温升高，裸露冰面产生强烈融化，但零平衡线上升则较缓慢。所以冰面反射率对零平衡线上升相对是一种负反馈作用。

冰川积消过程、物质平衡变化直接受温度和降水的影响。表4分别列出了降水和正积温同物质平衡变化的关系。可以看出，在正积温一定的条件下，物质平衡与降水相关

表4 降水、正积温变化与物质平衡变化的关系

Table 4 The relationship between precipitation, positive accumulative temperature and mass balance

	当年降水	降水距平	当年正积温	正积温距平	当年物质平衡	物质平衡 / 正积温	年 份
正积温与物质平衡	434.5	- 2.1	494.4	+ 19.4	- 6.4	0.33	1961
	433.1	- 3.5	540.6	+ 65.6	- 20.3	0.31	1978
	444.2	+ 7.6	432.4	- 42.6	+ 0.4	0.01	1964
	423.4	- 13.2	450.9	- 24.1	- 36.6	1.53	1960
降水与物质平衡	354.0	- 82.2	472.3	- 2.7	- 138.0	1.68	1973
	386.1	- 49.5	474.6	- 0.4	+ 51.1	1.03	1972
	370.7	- 65.9	472.1	- 2.9	- 72.9	1.11	1966
	502.7	+ 66.1	466.8	- 8.2	+ 73	1.10	1965

注：1)正积温取4—9月份；2)正积温多年平均为475.0℃；3)降水量多年平均为436.6mm。

很好。同样，在降水一定的条件下，物质平衡与正积温密切相关。因此在降水距平和正积温距平分别为零的年份，可以直接计算出正积温变化和降水变化对物质平衡的独立贡献。但迄今已有的实际观测资料中，没有出现这样的典型年份，只有1961年的降水距平和1972年的正积温距平分别接近于零（表4）。由此近似估计出降水变化1mm、正积温变化1℃所对应的物质平衡变化分别为 $1.03 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $0.33 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。以此结果基本可以拟合1959年以来物质平衡观测结果，因此作为一种冰川变化特征的评价指标，是可用的。

从上述关于零平衡线与物质平衡的变化关系, 可以大致估计降水和正积温对零平衡线变化的影响: 降水增加100mm, 可使零平衡线下降169m; 减少100mm, 可使零平衡线上升77m; 正积温上升100°C, 零平衡线上升25m; 正积温下降100°C, 零平衡线下降54m。

根据正积温变化估计零平衡线变化, 固然比较精确, 但在许多地区因资料匮乏, 难以实现, 而仅根据夏温或年温估计。为了便于比较, 本文分别分析了1号冰川夏温、年温与零平衡线变化的关系(表5); 夏温变化1°C, 零平衡线变化102m; 年温变化

表5 零平衡线与夏温、年温变化关系

Table 5 The relationship between equilibrium line and summer temperature, annual temperature

年 份	年温距平 (°C)	夏温距平 (°C)	实测平衡线距 平 (m)	降水对零平衡 线贡献(m)	扣除降水贡献 的零平衡线距 平(m)	零平衡线距平	零平衡线距平
						年温距平	夏温距平
1959—1960	+0.1	+0.27	+14	+10	+4	40	15
1960—1961	-0.3	+0.37	+14	+2	+12	—	32
1961—1962	+0.2	+0.5	+29	-11	+40	200	68
1962—1963	0.9	+0.17	-75	-103	+28	31	165
1963—1964	-0.4	-0.17	-5	+3	-8	20	47
1964—1965	+0.6	-0.01	-98	-111	+13	—	—
1965—1966	-0.5	+0.03	+54	+52	+2	—	67
1966—1967	-0.5	-0.07	+17	+8	+9	—	—
1967—1968	-0.2	-0.19	+75	+41	+35	—	—
1968—1969	0	+0.01	-38	-57	+19	—	—
1969—1970	-0.5	-0.35	+60	+47	+13	—	—
1970—1971	+0.1	-0.15	-31	-15	-16	—	107
1971—1972	+0.1	-0.19	-65	-89	+24	—	—
1972—1973	+0.6	-0.07	+100	+71	+29	48	—
1973—1974	-0.5	+0.25	+29	+16	+13	—	52
1974—1975	-0.6	-0.73	-66	-16	-50	83	69
1975—1976	-0.6	-0.71	+20	-34	+14	—	—
1976—1977	+0.2	+0.11	-45	-46	+1	50	91
1977—1978	+0.6	+0.81	+109	+3	+106	177	131
1978—1979	+0.1	+0.25	+74	+15	+59	—	281
1979—1980	+0.5	+0.29	-8	+60	-68	—	—
1980—1981	0	+0.49	+76	-19	+95	—	194
1981—1982	-0.1	-0.33	-21	—	—	—	—
总 计						649	1319
平 均						31	102

1°C, 零平衡线变化81m。

将1号冰川研究结果与世界其它一些冰川的研究结果作一比较,可以得到一些有益结论。在苏联天山中央土尤克苏冰川^[6]的研究发现,降水减少100mm,零平衡线上升56m,该冰川零平衡线处的降水在1100mm左右。库翁(Kuhn)^[7]在其它一些温冰川(降水量在零平衡线处大于1号冰川)的研究发现,年积累减少400kg/m²,零平衡线才上升100m,相当年降水减少100mm,零平衡线上升60m。可见1号冰川零平衡线对降水的反应比这些冰川敏感。仍与上述冰川相比,可以发现1号冰川对温度的反应比这些冰川迟钝:库翁在上述相同冰川的研究发现,夏温上升0.8°C,零平衡线上升100m(相当夏温上升1°C,零平衡线上升120m),而1号冰川夏温上升1°C,零平衡线只上升102m。由于这些冰川都处于海洋性气候或近似海洋性气候的条件下,而1号冰川处于大陆性气候条件下,所以它们对降水、温度反映的差别,可能代表海洋性冰川和大陆性冰川两种不同性质的冰川对气候反映的差异。大陆性气候条件下的冷冰川,位于高海拔山区,零平衡线附近温度很低,一般幅度较小的温度变化对其低温环境影响的不大,而温冰川大多处于“高温环境”,零平衡线处温度高。所以温度的轻微变化就会对零平衡线产生较大影响。降水对两类冰川的影响正好同温度的影响相反。大陆性冷冰川区降水几乎全为固体降水,因此降水的增加大都直接或间接地转化为冰川积累,而温冰川区降水的固体降水比率较低,加之冰温在0°C,一部分降水不但不转化为积累,反而在一定程度上加速消融而失去一部分冰川积累(夏季)。

二、冰川物质平衡、零平衡线及气候间关系的定量描述

由物质平衡变化扰动引起的零平衡线的变化是

$$\Delta H = H - H_0 \quad (1)$$

或

$$H = H_0 - \Delta H \quad (2)$$

式中: ΔH 为零平衡线变化幅度, H 为变化后的高度, H_0 为变化前的高度。 ΔH 的零平衡线变化所对应的物质平衡变化为

$$B(h) - B(h_0) = (\partial b / \partial z) \Delta H + \delta b \quad (3)$$

式中: $B(h)$ 为 h 处的物质平衡, $B(h_0)$ 为 h_0 处的物质平衡, $\partial b / \partial z$ 为物质平衡高度梯度(即冰川作用能或冰川活动指数), δb 为零平衡线从 H_0 到 H 时, h_0 处物质平衡改变量。从式(2)可得

$$\Delta H = \frac{B(h) - B(h_0) - \delta b}{\partial b / \partial z} \quad (4)$$

将式(4)代入式(2),得

$$H = H_0 + \frac{B(h) - B(h_0) - \delta b}{\partial b / \partial z} \quad (5)$$

如果 δb 为正, 则前面负号不变, 说明零平衡线下降; δb 为负, 前面负号变为正, 说明零平衡线上升。在 1 号冰川, 若取 H_0 为零平衡线多年均值, 那么此线以上因冰川反射率增大、冰川变宽等因素, 零平衡线上升所需物质平衡变化量 δb 比零平衡线下降所需物质平衡量大。这就是说, 在 δb 的绝对值已知时, 只有对 $\frac{B(h) - B(h_0)}{\partial b / \partial z}$ 就零平衡

线的上升和下降分别取不同的值, 才能正确地估计零平衡线的上下波动变化所反映的物质平衡的变化。根据前述分析结果, 分别得到零平衡线下降和上升情况下, $\frac{B(h) - B(h_0)}{\partial b / \partial z}$

的值分别为 1.38 和 0.74。因此根据式 (5), 对于零平衡线的上升变化, 有

$$H_{\uparrow} = 4050 + 0.74 (\delta b) . \quad (6)$$

对于零平衡线的下降, 有

$$H_{\downarrow} = 4050 - 1.38 (\delta b) . \quad (7)$$

式中: 4050 为 1 号冰川零平衡线多年平均值, δb 的单位为 $\times 10^4 \text{m}^3$ 。

由于物质平衡是温度 T 和降水 P 的函数, 所以物质平衡变化又可写为

$$\delta b = f(T, P) . \quad (8)$$

因此零平衡线的变化也可通过物质平衡变化表述为温度 T 和降水 P 的函数。如果仅限于讨论 1 号冰川, 则有

$$H_{\uparrow} = 4050 + 0.74 [\delta b(T, P)] , \quad (9)$$

$$H_{\downarrow} = 4050 - 1.38 [\delta b(T, P)] . \quad (10)$$

因为式 (8) 可以近似地分解为

$$\delta b_1 = f(T) , \quad (11)$$

$$\delta b_2 = f(P) . \quad (12)$$

所以, δb 可写为

$$\delta b \approx \delta b_1 + \delta b_2 = f(T) + f(P) . \quad (13)$$

只要求出 δb_1 与 T 、 δb_2 与 P 的对应关系, 那么零平衡线 H 与 T 和 P 的对应关系也就确定了。根据前述 1 号冰川物质平衡变化与正积温和降水的关系, 得到

$$\delta b_1 = 0.33T_{4-9} , \quad (14)$$

$$\delta b_2 = 1.03P , \quad (15)$$

和

$$\delta b \approx \delta b_1 + \delta b_2 = 0.33T_{4-9} + 1.03P . \quad (16)$$

从而得到

$$\begin{aligned} H_{\uparrow} &= 4050 + 0.74 (0.33T_{4-9} + 1.03P) \\ &= 4050 + 0.24T_{4-9} + 0.76P , \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} H_{\downarrow} &= 4050 - 1.38 (0.33T_{4-9} + 1.03P) \\ &= 4050 - 0.46T_{4-9} - 1.42P . \end{aligned} \quad (18)$$

以上式 (17)、(18) 只是考虑了两种情形, 即降水为正距平、年正积温为负距平状态下的零平衡线下降和降水为负距平、年正积温为正距平状态下的零平衡线上升。前一情形一般称之为冷湿, 后一情形一般称之为暖干。因此遇到冷干、暖湿的年份, 这两式的

计算就不够理想。用上述相似的方法,可以导出其相应的公式。暖湿状态下,有

$$H = 4050 + 0.24T_{4-9} - 1.42P; \quad (19)$$

冷干状态下,有

$$H = 4050 - 0.46T_{4-9} + 0.76P. \quad (20)$$

用式(17) — (20)拟合已有零平衡线观测资料,效果较好。

在零平衡线的变化中,降水和温度对零平衡线独立贡献的比重问题,一直没有很好地解决。关于1号冰川,早已提出降水对零平衡线变化的独立贡献超过温度,本文将进一步定量地探讨这个问题。将方程式(17)和(18)分别对 T 和 P 求偏导数,得

$$\text{对(17):} \quad \frac{\partial H}{\partial T} = +0.24, \quad \frac{\partial H}{\partial P} = +0.76,$$

从而有

$$\frac{\partial H}{\partial P} / \frac{\partial H}{\partial T} = 3.2; \quad (21)$$

$$\text{对(18)} \quad \frac{\partial H}{\partial T} = -0.46, \quad \frac{\partial H}{\partial P} = -1.42,$$

从而有:

$$\frac{\partial H}{\partial P} / \frac{\partial H}{\partial T} = 3.1. \quad (22)$$

从式(21)和(22)可以看出,无论在什么状态下,降水对零平衡线的贡献总是大于正积温。但随着年正积温的下降、降水增加,降水对零平衡线的贡献趋于减小,或温度对零平衡线的贡献相对增大。由于气候的变冷、变湿标志着海洋性的加强,或大陆性的减弱。所以这一结果进一步证实了前述关于大陆性冰川可能对降水的反应比海洋性冰川更灵敏,而对温度的反应比海洋性冰川迟钝的结论。

三、结 论

综上所述,可有如下结论:

1. 至少在与1号冰川类似的大陆性冰川上,正物质平衡对零平衡线下降的影响大于负物质平衡对零平衡线上升的影响。除了冰川的形态特征的影响之外,产生这一特征的重要原因是冰川反射率的反馈作用的影响。

2. 大陆性冰川比海洋性冰川更为稳定。大陆性冰川在比较小的积累面积状态下即可达到自身的平衡。这可通过对冰川积累面积比率的分析进行进一步的研究。

3. 与海洋性冰川相比,类似1号冰川的大陆性冰川对降水的反应敏感,而对温度的反应较为迟钝。随着温度下降、降水增加,即气候朝海洋性方向发展,这种特征会相对减弱。

参 考 文 献

- 〔1〕 谢自楚、葛文光, 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的积累、消融及物质平衡, 天山乌鲁木齐河冰川与水文研究, 科学出版社, 1965。
- 〔2〕 张祥松等, 1984, 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的变化及其与气候变化的若干关系, 冰川冻土, 6 卷 4 期, 1—12 页。
- 〔3〕 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 卷 4 期, 25—36 页。
- 〔4〕 谢自楚, 冰川稳定性系数的初步研究, 冰川冻土学术会议论文选集, 科学出版社, 1982。
- 〔5〕 Paterson, W.S.B., 1969, The Physics of Glaciers, Pergamon Press, London.
- 〔6〕 С.В.Калесник, Очерки гляциологии, Государственное издательство, Географической литературы, Москва, 1963.
- 〔7〕 M.Kuhn, 1981, Climate and Glaciers, Sea Level, Ice and Climatic Change, IAHS Publ. No.131.

The Relationship Between Glacial Mass Balance Equilibrium Line and Climate

Yao Tandong

*(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology,
Chinese Academy of Sciences)*

Abstract

The internal relationship and external characteristics of Glacier No.1 are analysed in the present paper on basis of the measured and interpolated data. It is found from the analysis that the glacial equilibrium line variation (rise and drop) not only indicates the increase and decrease of mass balance, but also reveals different feedback mechanisms of glacial shape and surface albedo with the positive feedback accompanying equilibrium line drop and the negative feedback accompanying the rise. The relationship between the equilibrium line, precipitation and temperature shows that the stability of Glacier No.1 is relatively high, compared with maritime glaciers and that therefore the glacier can reach its stable state with a relatively small accumulation area. That is to say, the glacier is slow in response to climate fluctuations, especially to temperature fluctuations. So equilibrium line equations have been derived for Glacier No.1 under different states, relating to temperature and precipitation.