

乌鲁木齐河源 1 号冰川积累、消融 和物质平衡研究

刘潮海 王纯足 韩添丁 杨惠安

积累、消融和物质平衡观测是天山冰川站开展的传统项目之一。本文以1987—1988年度冰川积累、消融和物质平衡观测资料为基础,着重分析冰川物质平衡状态及其与气候因素的关系,并对物质平衡研究现状和存在问题提出若干改进建议。

1 观测方法及计算结果

用花杆观测冰川消融,同时挖雪坑记录雪层结构。1987—1988年度,在冰川消融区布设了8个观测断面,共计57个测杆。测杆分别在5月初和6,7,8月末进行观测,读数精确至厘米。各测杆的纯平衡量(b)为冰川冰(b_i)、积雪(b_s)和附加冰(b_{si})各纯平衡分量之代数和,即:

$$b = b_i + b_s + b_{si} \quad (1)$$

$$b_i = d_i [(h_1 + m_1 + n_1) - (h_2 + m_2 + n_2)] \quad (2)$$

$$b_s = d_{s2}m_2 - d_{s1}m_1 \quad (3)$$

$$b_{si} = d_{si}(n_2 - n_1) \quad (4)$$

式中: h_1, h_2 分别为前后两次观测的测杆读数; m_1, m_2 分别为两次观测的积雪厚度; n_1, n_2 分别为两次观测的附加冰的厚度; d_i 为冰川冰的密度,一般取 0.90g/cm^3 ; d_{s1}, d_{s2} 分别为两次观测的积雪密度; d_{si} 为附加冰的平均密度,取 0.85g/cm^3 。

在1号冰川东、西支消融积累区的过渡地带布设了3—6个测杆。这些测杆处污化面以下均为粒雪层结构,采用不同于消融区的方法来计算单点的物质平衡值。在花杆处于负平衡状态时,不仅考虑积雪厚度的变化,而且还应考虑因污化面下降而亏损的物质,计算方法为:

$$b_i = [(h_1 + m_1) - (h_2 + m_2)] d_{si} + (d_{s2}m_2 - d_{s1}m_1) \quad (5)$$

在花杆处于正平衡状态时,采用下式计算:

$$d_1 = m_2 d_{2,2} - m_1 d_{2,1}$$

(6)

在冰川积累区布设了少量测杆。但在某些干、暖年份，物质零平衡线上升，这些测杆完全落入消融区，积累区则完全缺失资料。为了解冰川的积累状况和较精确地计算物质平衡量，在物质平衡年度末，我们在东、西支冰川的积累区分别挖了5和7个雪坑。雪坑挖到前一平衡年末所形成的污化面，分层量测雪、粒雪的厚度 (m) 和密度 (d)，累计得到全年度的纯积累量 (C)：

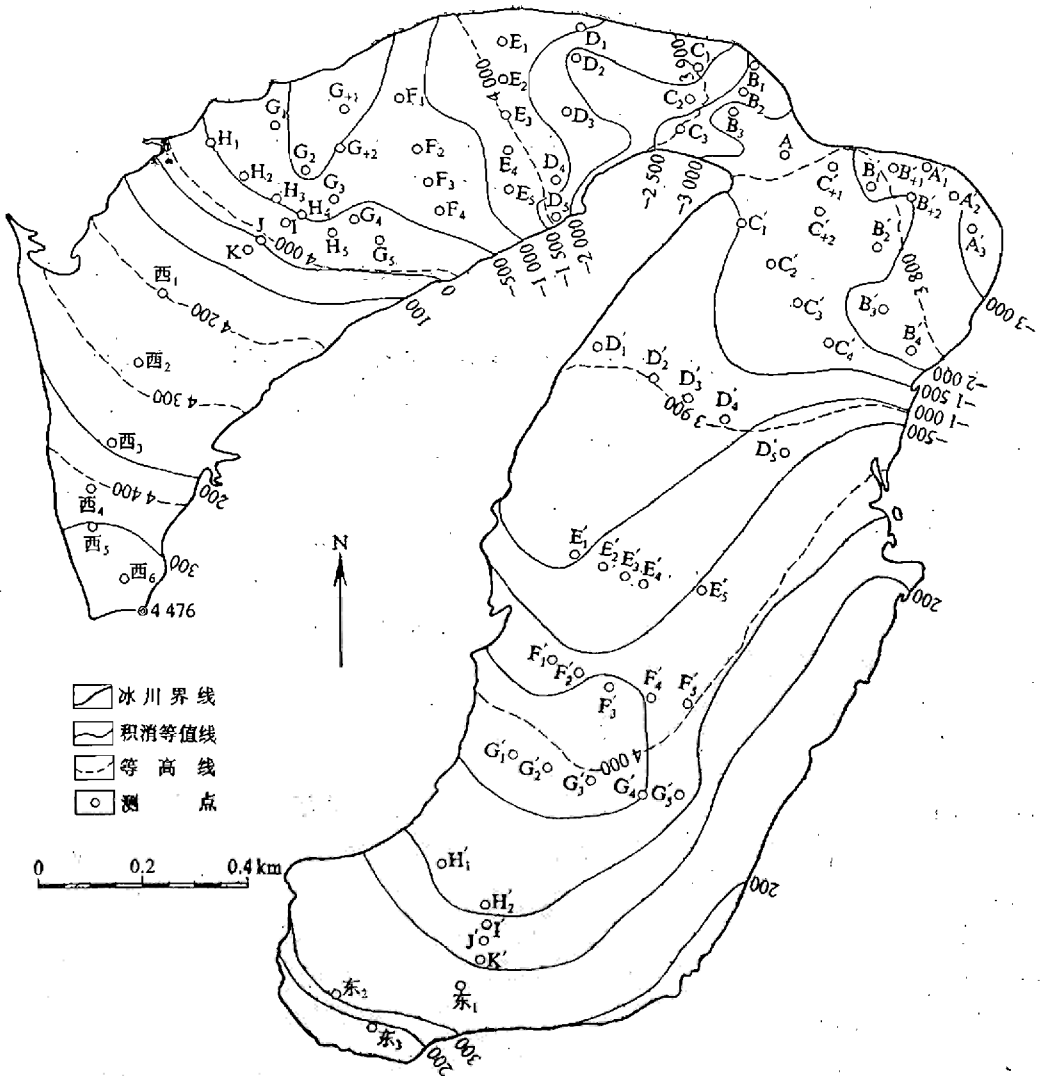


图1 1号冰川物质平衡 (1987—1988) 等值线图

$$\bar{C} = \sum dm \quad (7)$$

冰川物质平衡采用等值线法计算，即将花杆和雪坑所测得的单点物质平衡量点绘在1980年测量的比例尺为1:5000的天山站1号冰川地形图上，绘制积消等值线。以相邻等值线之间的投影面积(s_{ci} , s_{ai})分别乘以平均积、消深度(c_i , a_i)，累计得到纯积、消总量和纯平衡量(B)：

$$B = \sum c_i S_{ci} + \sum a_i S_{ai} \quad (8)$$

利用上述观测和计算方法，1987—1988年平衡总量为 $-118.444 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，平衡值为 -644 mm (表1, 2和图1)。把上年度末至5月初作为冬平衡期，计算结果见表3和图2。

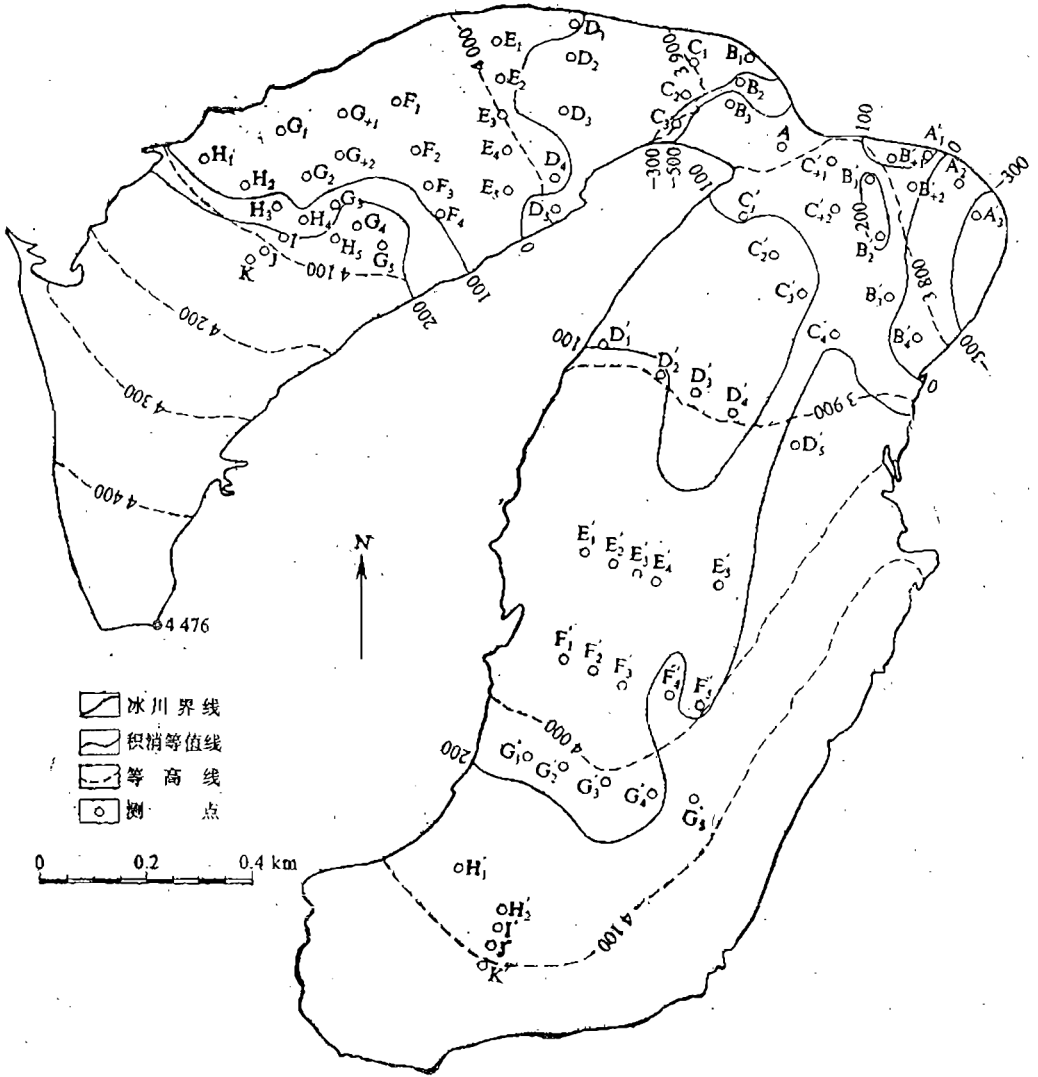


图2 1号冰川物质冬平衡(1987.8.31—1988.5.1)等值线图

表1 1号冰川东、西支的积累和消融(1987—1988)

剖面 (m) (位置)	(No) 花杆	1987.8.30					1988.5.2					1988.6.30					合计													
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5														
东支 3 770.0	A'	1	+73.1	-136.0	-450.0	-174.0	+136.4	+120.0	+38.2	+147.5	+133.8	+136.4	+136.4	+120.0	+190.1	+161.5	+104.0	+108.6	+160.3	+178.5	+125.5	+116.8	+22.5	+93.0	+251.2	+105.4	平均			
		2	-136.0	-136.0	-450.0	-174.0	+136.4	+120.0	+38.2	+147.5	+133.8	+136.4	+136.4	+120.0	+190.1	+161.5	+104.0	+108.6	+160.3	+178.5	+125.5	+116.8	+22.5	+93.0	+251.2	+105.4	平均			
		3	-450.0	-450.0	-450.0	-174.0	+136.4	+120.0	+38.2	+147.5	+133.8	+136.4	+136.4	+120.0	+190.1	+161.5	+104.0	+108.6	+160.3	+178.5	+125.5	+116.8	+22.5	+93.0	+251.2	+105.4	平均			
	B'	+1	+38.2	+120.0	+133.8	+136.4	-793.5	-793.5	-793.5	-372.0	-580.6	-657.0	-954.0	-445.4	-523.3	-1152.0	-711.6	-764.0	-764.0	-1044.0	-1044.0	-445.4	-523.3	-1152.0	-711.6	-764.0	-764.0	平均		
		+2	+120.0	+120.0	+133.8	+136.4	-793.5	-793.5	-793.5	-372.0	-580.6	-657.0	-954.0	-445.4	-523.3	-1152.0	-711.6	-764.0	-764.0	-1044.0	-1044.0	-445.4	-523.3	-1152.0	-711.6	-764.0	-764.0	平均		
		+3	+133.8	+133.8	+133.8	+136.4	-793.5	-793.5	-793.5	-372.0	-580.6	-657.0	-954.0	-445.4	-523.3	-1152.0	-711.6	-764.0	-764.0	-1044.0	-1044.0	-445.4	-523.3	-1152.0	-711.6	-764.0	-764.0	平均		
	3 790	C'	+1	+161.5	+190.1	-16.9	+148.5	+112.7	-483.4	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	平均	
			+2	+190.1	+190.1	-16.9	+148.5	+112.7	-483.4	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	平均	
			+3	-16.9	-16.9	-16.9	+148.5	+112.7	-483.4	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	-962.2	平均	
	3 828.2	D'	1	+104.0	+104.0	+33.5	+121.3	+121.3	-401.0	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	平均	
			2	+33.5	+33.5	+33.5	+121.3	+121.3	-401.0	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	平均	
			3	+104.0	+104.0	+33.5	+121.3	+121.3	-401.0	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	-1022.8	平均	
		3 884.0	D'	1	+1173.3	-1173.3	-420.2	-738.0	-266.4	-338.1	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	平均
				2	-1173.3	-1173.3	-420.2	-738.0	-266.4	-338.1	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	平均
				3	-420.2	-420.2	-420.2	-738.0	-266.4	-338.1	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	-378.8	平均

合计

1987.8.30

1988.5.2

1988.5.31

1988.6.30

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

1988.7.31

+176.0

+277.0

+219.0

+194.0

+182.0

+116.0

+160.1

-172.0

-148.2

-533.5

-115.9

-520.2

-649.0

-712.5

-670.0

-375.7

-67.7

-348.0

-615.1

+176.0

+277.0

+219.0

+194.0

+182.0

+116.0

+160.1

-172.0

-148.2

-533.5

-115.9

-520.2

-649.0

-712.5

-670.0

-375.7

-67.7

-348.0

-615.1

剖面 (m)	(No)	堆积消费量(mm)						剖面 (m)	(No)	堆积消费量(mm)													
		1	2	3	平均	4	5			1	2	3	平均	4	5								
西文	A	+57.0	+84.3	+255.5	-803.0	-503.0	-255.5	B	1	-255.5	+42.8	+84.3	-683.8	-1026.0	-685.6	-913.0	G	平均	+108.4	+171.9	-219.7	-530.0	-295.8
	1	-255.5	+335.0	-335.0	-508.8	+40.0	+93.0	2	-335.0	+42.8	-724.5	-742.5	-795.1	-184.9	+138.0	+171.9	1	+108.4	+0.5	+184.9	-184.9	-795.1	-184.9
	2	-335.0	+35.0	-335.0	-841.5	-25.9	-25.9	3	-841.5	+42.8	-724.5	-742.5	-795.1	-184.9	+138.0	+171.9	2	+78.5	+191.0	+40.8	-210.4	-742.5	-287.0
	3	-841.5	+35.0	-335.0	-508.8	+40.0	+93.0	平均	-841.5	+42.8	-724.5	-742.5	-795.1	-184.9	+138.0	+171.9	3	+40.8	+191.0	+40.8	-210.4	-742.5	-287.0
	平均	-841.5	+35.0	-335.0	-508.8	+40.0	+93.0	1	-841.5	+42.8	-724.5	-742.5	-795.1	-184.9	+138.0	+171.9	4	+140.2	+119.3	+140.2	-133.2	-601.7	-222.1
3 906.0	2	+113.0	-131.7	-71.4	+124.8	+104.5	+46.7	3	+113.0	-131.7	-71.4	+124.8	+104.5	+46.7	+119.3	+176.8	5	+297.2	-78.4	+297.2	-78.4	-350.8	-80.0
	3	-71.4	-131.7	-71.4	+124.8	+104.5	+46.7	4	-71.4	-131.7	-71.4	+124.8	+104.5	+46.7	+119.3	+176.8	4	+233.0	-106.8	+233.0	-106.8	-439.5	-127.0
	4	+124.8	-131.7	-71.4	+124.8	+104.5	+46.7	5	+124.8	-131.7	-71.4	+124.8	+104.5	+46.7	+119.3	+176.8	5	+142.0	-106.8	+142.0	-106.8	-439.5	-127.0
	5	-131.0	-113.0	-113.0	+124.8	+104.5	+46.7	平均	-131.0	-113.0	-113.0	+124.8	+104.5	+46.7	+119.3	+176.8	平均	+142.0	-106.8	+142.0	-106.8	-439.5	-127.0
3 954.0	1	+88.0	+25.5	+42.8	+92.1	+139.1	+108.8	1	+88.0	+25.5	+42.8	+92.1	+139.1	+108.8	+119.3	+176.8	1	+191.0	-214.0	+191.0	-214.0	-557.5	-259.0
	2	+25.5	+42.8	+92.1	+139.1	+108.8	+108.8	2	+25.5	+42.8	+92.1	+139.1	+108.8	+108.8	+119.3	+176.8	2	+76.5	-214.0	+76.5	-214.0	-557.5	-259.0
	3	+42.8	+92.1	+139.1	+108.8	+108.8	+108.8	3	+42.8	+92.1	+139.1	+108.8	+108.8	+108.8	+119.3	+176.8	3	+191.0	-214.0	+191.0	-214.0	-557.5	-259.0
	4	+92.1	+139.1	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	4	+92.1	+139.1	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+119.3	+176.8	4	+191.0	-214.0	+191.0	-214.0	-557.5	-259.0
	5	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	5	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+119.3	+176.8	5	+142.0	-106.8	+142.0	-106.8	-439.5	-127.0
3 989.0	平均	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	平均	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+108.8	+119.3	+176.8	平均	+142.0	-106.8	+142.0	-106.8	-439.5	-127.0
	1	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	1	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	+119.3	+176.8	1	+191.0	-214.0	+191.0	-214.0	-557.5	-259.0
	2	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	2	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	+119.3	+176.8	2	+76.5	-214.0	+76.5	-214.0	-557.5	-259.0
	3	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	3	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	+119.3	+176.8	3	+191.0	-214.0	+191.0	-214.0	-557.5	-259.0
	4	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	4	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	+119.3	+176.8	4	+191.0	-214.0	+191.0	-214.0	-557.5	-259.0
	5	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	5	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	+119.3	+176.8	5	+142.0	-106.8	+142.0	-106.8	-439.5	-127.0
	平均	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	平均	+50.4	+72.8	+50.4	+65.5	+139.1	+108.8	+119.3	+176.8	平均	+142.0	-106.8	+142.0	-106.8	-439.5	-127.0
B	3 989.0	1	+176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	1	+176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	1	+176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8
	2	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	2	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	2	+176.8	-176.8	+176.8	-176.8	-176.8	-176.8
	3	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	3	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	3	+176.8	-176.8	+176.8	-176.8	-176.8	-176.8
	4	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	4	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	4	+176.8	-176.8	+176.8	-176.8	-176.8	-176.8
	5	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	5	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	5	+176.8	-176.8	+176.8	-176.8	-176.8	-176.8
	平均	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	平均	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	-176.8	平均	+176.8	-176.8	+176.8	-176.8	-176.8	-176.8
F	3 989.0	1	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	1	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	1	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1
	2	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	2	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	2	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1
	3	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	3	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	3	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1
	4	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	4	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	4	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1
	5	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	5	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	5	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1
	平均	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	平均	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	-287.1	平均	-312.8	-301.9	-283.9	-287.1	-287.1	-287.1

表 1 (续)

表 2 1号冰川1987—1988年物质平衡观测结果

冰川	零平衡线高度 (m)	积累区面积 (km ²)	消融区面积 (km ²)	纯积累 (10 ⁴ m ³)	纯消融 (10 ⁴ m ³)	积累区消融 (10 ⁴ m ³)	消融区季节积雪 (10 ⁴ m ³)	总积累 (10 ⁴ m ³)	总消融 (10 ⁴ m ³)	物质收支差额	
										(10 ⁴ m ³)	mm
东支	4 050	0.369	0.794	6.056	81.225	14.3	60.0	203.5	85.1	-75.169	-646
西支	4 110	0.291	0.386	4.725	48.000					-43.275	-639
合计	4 080	0.660	1.180	10.781	129.225					-118.444	-644

表 3 1号冰川冬平衡观测结果 (1987.8.31—1988.5.1)

冰川	雪线高度 (m)	纯 积 累			纯 消 融			纯 平 衡	
		积累区面积 (km ²)	纯积累深度 (mm)	纯积累总量 (10 ⁴ m ³)	消融区面积 (km ²)	纯消融深度 (mm)	纯消融总量 (10 ⁴ m ³)	总 量 (10 ⁴ m ³)	平衡值 (mm)
东支	3 810	1.116	202	22.510	0.052	199	1.035	+21.475	+184
西支	3 980	0.550	202	11.140	0.122	242	2.955	+8.185	+122
合计	3 895	1.666	202	33.650	0.174	229	3.990	+29.660	+161

2 主要研究结果

1987—1988年物质平衡在历年物质平衡系列中的状态。

自1958/1959—1979/1980年的21年中，累积负平衡值为-2 628 mm，累积正平衡值1 706 mm，累积平衡差额为-922 mm。在21年中，物质以负平衡状态为主，但其变化幅度小。80年代以来，除1982/1983年为较弱的正平衡外，其余7年均均为较强的负平衡状态，累积负平衡为-2 879 mm。1987/1988年度，负平衡为-642 mm，仅次于1985/1986年度的-669 mm，零平衡线高度为4 080m，也是80年代以来较高的一年。

1988年大西沟气象站的夏季(6—8月)平均气温为4.3℃，仅低于最高的1985/1986年(4.5℃)0.2℃，但由于该年度降水量(500.5mm)是80年代以来最多的一年，因而负平衡量小于最大的1985/1986年。

2.1 1987—1988年物质平衡的时空分布

冰川消融随高度升高而减小，其梯度东支为12mm/m，西支为13mm/m，平均为12.5mm/m，接近于该冰川的多年平均值。纯积累随高度升高而增大，梯度为0.8mm/m，大大小于消融梯度。

1987/1988年度，物质平衡在5月初开始观测，此后每月观测一次，共计有5次观测资料。由时段的物质平衡随高度和时间的变化(图3, 4)可以看出以下规律。

1987年物质平衡年末至1988年5月初，在1号冰川东、西两支冰舌下部均出现较大的负平衡值。东支在3 800m，西支在3 960m以上转为积累，分别代表该时段东、西支的季节雪线。造成这种物质平衡状态的主要原因是，1号冰川固定日期法所确定的消融期末是在8月底或9月初，但实际上此后一段时间冰舌下部仍继续消融。根据非冰川表面的气温递减梯度和由非冰川表面过渡到冰川表面的气温跃动值，建立了计算冰面任一高度的日或月平均气温的公式：

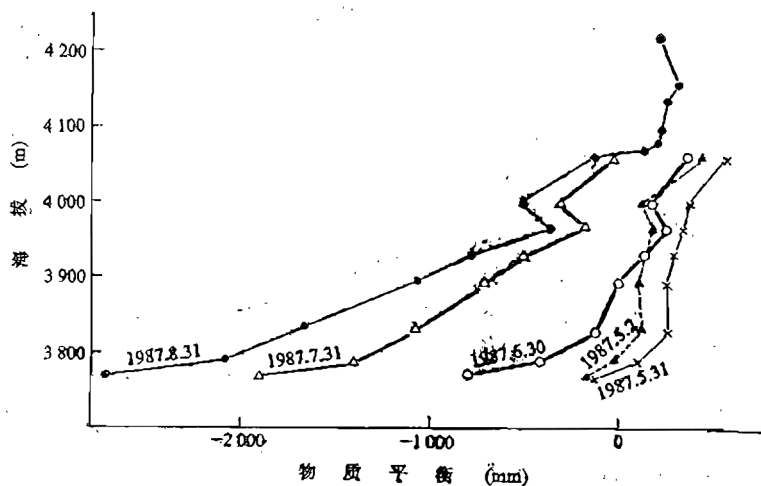


图3 1号冰川东支时段物质平衡随高度的变化

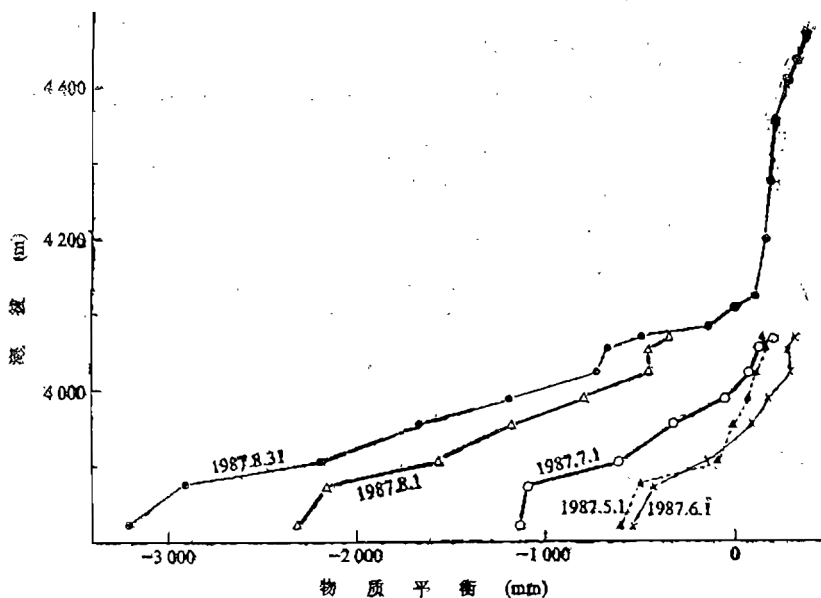


图4 1号冰川西支时段物质平衡随高度的变化

$$t_G = 0.80t_B - 0.45 \left(\frac{H_G - H_B}{100} \right) - 0.58 \quad (9)$$

式中： t_G 为冰川各高度面上的气温（ $^{\circ}\text{C}$ ）； t_B 为大西沟站的气温（ $^{\circ}\text{C}$ ）； H_G 和 H_B 分别为冰川带的高度和大西沟站的海拔（m）。以冰舌末端日平均气温低于 0°C 作为冰川消融的终止时间，那末根据式（9）的计算，1988年消融期大约在9月中旬结束，比固定日期法所确定的消融期大约推迟了15d。另一个原因是，在1988年4月底至5月初，约有7天连续出现较高的气温，冰川末端的日平均气温可达 2°C 左右，加速了冰川的消融，冰面上形成了明显的融水径流。

1988年5月份，1号冰川东、西两支从冰舌末端起到冰川上部同时发生积累，物质

平衡均为正值。根据大西沟气象站的资料，该时段的降水为71.3mm，平均气温低（月平均为-3.2°C），是冰川主要的春-夏积累期。根据图3, 4的曲线1可以看出，积累即物质平衡梯度很小。

6月份，由于降水量减少，仅为5月份的42%，与此同时，气温升高，大西沟站的月平均气温达3.0°C，加速了冰川的消融过程，物质零平衡线高度升高，1号冰川东、西两支分别在4 050和4 070m。在此高度以下，冰川均处在消融状态中，物质平衡为负值，是冰川的主要消融月份。

7月份，气温继续升高。大西沟站月平均气温达5.8°C，是该年度气温最高的月份。与此同时，降水量达105.4mm。在冰川中、下部继续发生强烈消融，是该年度冰川消融最强的月份。与此同时，在冰川上部物质积累。同一冰川上物质同时积累和消融是以夏季降水补给为主的大陆性冰川的典型特征。

进入8月份，随着气温下降，冰川消融开始减弱，但仍高于6月份的消融量。与此同时，冰川上部仍为物质积累期。消融高度东、西支分别达4 080m和4 170m，略高于该年度的物质零平衡线高度。

2.2 物质平衡分量与气候因素的关系

冰川消融随海拔升高而减小的关系，本质上是反映了消融随气温下降而减弱的关系。以1号冰川西支为例，利用式(9)外推各冰川高度带的夏季(6—8月)平均气温(\bar{t})，并和相应高度带上的纯消融量(A)相关(表4, 图5)，发现两者的关系相当密切：

$$A = -2763.5 + 2445.2\bar{t} \quad (10)$$

该公式在夏季平均气温大于1°C时，夏季平均气温和相应的纯消融量为线性关系，相关系数达0.988。如果夏季平均气温小于1°C，则该公式将为其它形式。

冰川纯消融量和大西沟站的降水呈离散状态，其主要原因是，纯积累量不仅和该时段的降水量有关，而且和同期的气温有关。

2.3 附加冰的形成和破坏过程

1988年4月底或5月初，1号冰川东、西支的冰舌部分，由于雪层厚度小，冻结成冰作用仅在冰面较低洼处雪层较厚的地段发生，呈现出斑状的不连续分布。5月份进入了主要的积累期，降雪频繁发生，季节雪层厚度增大，当其融化时，在冷的冰面上形成了附加冰。在1号冰川东、西支的冰舌部分普遍发生了冻结成冰作用过程，从冰川末端到海拔4 000m（东支）和4 071m（西支）的高度区间形成了连续的附加冰带，最大厚度出现在冰舌中部，达23cm。

6月份，随着气温的继续升高，附加冰带的下界上移，东、西支冰川分别在3 900和3 970m处。在此高度以上形成了连续的附加冰带。与此同

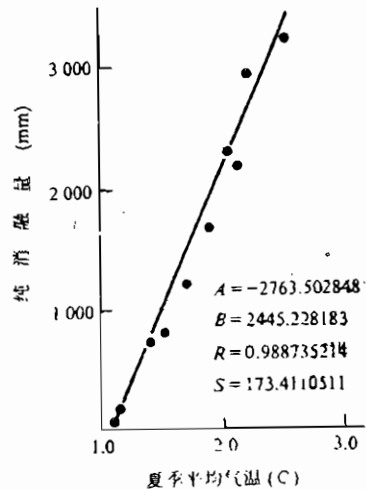


图5 夏季平均气温和年纯消融量的关系

表 4 1号冰川西支1987/1988年纯消融量随高度的变化

断面号	平均海拔 (m)	纯消融量 (mm)	夏季平均气温 (°C)
A	3 820	3 226	2.46
B	3 880	2 919	2.20
C	3 910	2 195	2.07
D	3 954	1 676	1.85
E	3 989	1 204	1.69
F	4 026	765	1.35
G	4 056	737	1.39
H	4 071	511	1.33
J	4 110	152	1.15

时，在附加冰带的下界高度以下的冰舌下部，5月份在冰川上所形成的附加冰全部遭到破坏。在积累区的雪层中，同时也发生了渗浸成冰作用过程，雪在融水参与下迅速变质，并有渗浸冰片或冰透镜体的形成。

7月份，气温进一步升高，在冰面上出现了明显的径流。6月份在冰舌上部所形成的附加冰消融殆尽，冰川冰出露。8月份冰舌区由于冰川冰全部出露而完全没有附加冰的形成，冻结成冰作用仅在冰川积累区的雪层中发生（图6，7）。

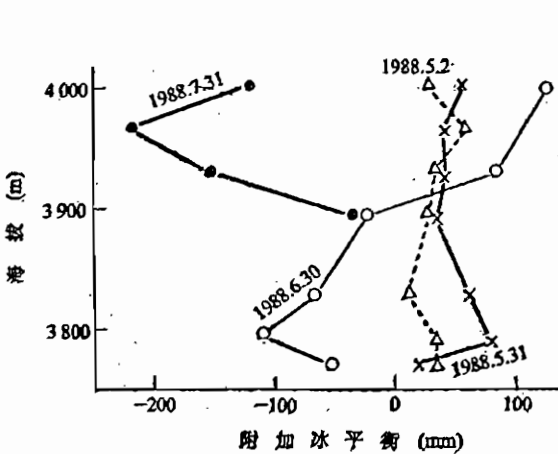


图 6 1号冰川东支附加冰的形成和破坏过程

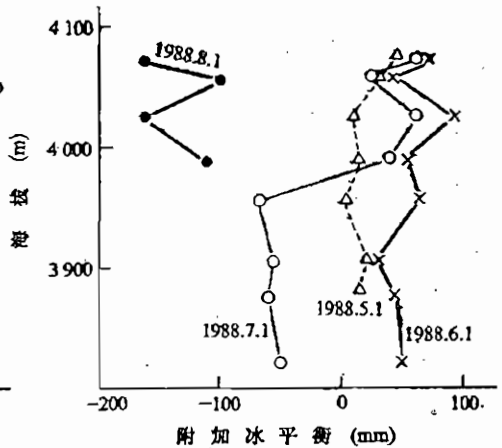


图 7 1号冰川西支附加冰的形成和破坏过程

以上的分析可以看出，附加冰形成的速度随着季节雪的消融和冰舌处冰层中冷储的释放而增大，同时也随着气温升高和冰川冰面的出露而消失。附加冰的形成和破坏的交替出现是夏季补给型的大陆性冰川的典型特征。1号冰川的冰舌部分，夏季期间附加冰处在不断形成和破坏过程中，对冰川没有实际补给意义，只是起着阻滞部分冰川融水的作用。1号冰川东、西支分别在3 900和3 970m高度以下，上一月形成的附加冰在下一月全部融化，即附加冰在冰川上保留的时间大约为1个月，而在此高度以上，附加冰可以保留到7月份才遭到破坏。

冻结成冰作用的上部界线随着消融的增强和雪线的升高而抬升，同时冰舌下部的附加冰遭到破坏，而在冰舌上部，附加冰的厚度随融雪界线的上移而增大。

在消融期末，气温回落，雪盖又在冰舌上重新形成。季节雪的消融和其融水在冰面上的重新冻结作用又复开始，由冰舌上部向下逐渐形成附加冰带。这种现象在祁连山“七一”冰川表现非常明显。1号冰川由于我们采用固定日期法在消融完全终止前已结束了观测，因而未能观测到这种现象。

3 物质平衡观测研究存在的主要问题及其改进建议

1号冰川冰舌部分，测杆密度大，布设较为合理，而在冰川积累区基本上没有测杆，影响了物质平衡的观测和计算精度。因此，除了继续保留冰舌部分的测杆外，应在冰川区各高度带合理布设测杆；

在春末夏初，应在1号冰川上进行冬平衡观测，即应在冰川上进行大面积的测雪工作；

1号冰川每月的物质平衡观测仅在冰舌区进行，而没有观测整个冰川的物质平衡过程。这样，就不能确定冰川物质平衡的高度结构，也不能准确确定冰川零平衡线的变化过程；

物质平衡观测的时间应加密，最好在5—10d进行一次，以便研究物质平衡随时间和空间的变化过程；

每次降雪，特别是在较大降雪后，应立即在冰川上进行测雪工作，以便确定降水的性质及其随高度的变化规律。

积雪双向反射率

K. 斯蒂芬^①

摘 要

作者在乌鲁木齐河源1号冰川对粉雪、新雪和旧雪在不同太阳天顶角时对500—600nm波长辐射的双向反射率进行了观测。文中举例说明了三种类型积雪的双方反射性质及其随太阳天顶角(SZA)的变化。粉雪在颗粒半径为0.15mm时具有接近各向同性的均匀反射性。然而,在反射角为75°时,大于1.2的向前散射(以各项异性反射函数单位量测)产生于不同的太阳天顶角。新雪的各向异性反射发展较好,而在旧雪则发展得最好。对于旧雪颗粒半径变化于1—3mm时,在反射角为75°和所有不同太阳天顶角的情况下,发现最大各向异性反射函数的值均大于2.0。

^①作者完成此文时为美国科罗拉多大学联合环境研究所访问学者。现在瑞士联邦理工学院地理研究所。

Bidirectional Reflectance of Snow

Konrad Steffen*

1 Introduction

The variation of solar radiation absorbed and reflected by the earth is a key factor in the understanding of climate change. If solar radiation reflected by the earth were to increase, a trend toward the extension of the winter season will result, as can be shown in a simple energy feedback mechanism (Budyko, 1974). The snow cover is one of the most reflective naturally occurring materials, and therefore, an understanding of its visible solar reflectance is of great importance.

The albedo of natural surfaces is composed of a diffuse and a specular component. Some surfaces, like many plant formations and soils, reflect the shortwave solar and sky radiation almost entirely as diffuse radiation, while others, like water, snow and ice contribute a varying percentage of the albedo by specular reflection. Radiation reflected by a snow cover is therefore not isotropic but prefers certain directions. The reflectance is influenced by a large number of variables, including grain size, snow depth, impurities in snow, illumination conditions such as solar zenith and azimuth angles, and corresponding viewing geometry. The influence of these effects on the reflective properties is of prime interest for satellite and aircraft measurements which are of frequent use in climate research. Satellite detectors with a narrow field-of-view measure bidirectional reflectance at only one or a few angles. In order to obtain the planetary albedo from individual satellite measurements, it is thus necessary to have prior knowledge of the bidirectional reflectance. Ground-based, as compared to spaceborne, determination of the reflective properties has the advantage of not being perturbed by atmospheric effects, including aerosols and molecular backscattering (Tandre' *et al.*, 1979), and the angular dependence of the atmospheric reflectance (Tandre' *et al.*, 1983) need not be taken into account.

*Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Boulder, CO 80309 USA.

There have been only a few studies of directional reflectance of snow measured at the ground (Dirmhirn *et al.*, 1975; Kuhn, 1985), from low-flying aircraft (Salomonson *et al.*, 1968), or from satellite (Taylor *et al.*, 1984). The present paper discusses the bidirectional reflectance distribution function of high altitude snow for different solar zenith angles in the spectral range 500–600 nm.

2 Bidirectional reflectance

In order to describe the incident and reflected rays, four angles are needed (Fig.1): a) solar zenith angle θ_0 , b) solar azimuth angle ϕ_0 , c) reflection zenith angle θ' , and d) reflection azimuth angle ϕ' .

The reflected radiation of snow is not diffuse and, therefore, must be expressed according to the bidirectional reflectance distribution function (Warren, 1982). This function R has the units sr^{-1} :

$$R(\theta_0, \theta', \phi, \lambda) = \frac{dI(\theta', \phi, \lambda)}{\mu_0 dF(\theta_0, \phi, \lambda)} \quad (1)$$

where $\mu_0 = \cos \theta_0$, λ the wavelength, F the incident flux (on a surface normal to the beam), and I the reflected intensity.

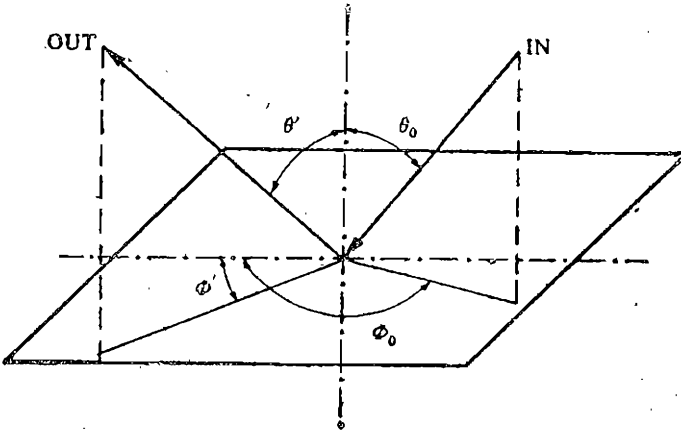


Fig. 1 Reflection geometry of an incident (IN) and reflected (RE) ray. θ_0 , θ' zenith angle; ϕ_0 , ϕ' azimuth angle of the incident and reflected ray, respectively

The snow surface encountered during the measurements presented in this paper was homogeneous. Therefore, the azimuth dependence of incident and reflected ray reduces to the relative azimuth $\phi = \phi_0 - \phi'$, as given in Formula 1.

It is often convenient to normalize the bidirectional reflectance relative to the albedo which is defined as the anisotropic reflection function:

$$f(\theta_0, \theta', \phi) = \pi R(\theta_0, \theta', \phi) / a_s(\theta_0), \quad (2)$$

whereas the spectral directional-hemispheric reflectance $a_s(\theta_0)$ can be written as:

$$a_s(\theta_0) = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta_0=0}^{\pi/2} R(\theta_0, \phi) \sin\theta_0 \cos\theta_0 d\theta_0 d\phi \quad (3)$$

3 Instruments and methods

The measurements were carried out as part of the Swiss/Chinese high altitude energy flux experiment on Urumqi Glacier No.1 in Tianshan, northwestern China during July and August 1986. In the upper part of Glacier No. 1, at the equilibrium line (4250 m a.s.l.), the surface is sufficiently flat for bidirectional reflectance measurements. Due to the high altitude of the area, new snow was encountered several times during summer. This was a good opportunity to study reflectance of several metamorphic stages of the snow cover.

The instrumentation for the bidirectional reflectance measurements was developed at ETH-Z (Swiss Federal Institute of Technology, Zurich), and consisted of the following three sensors:

a) An instrument with 10° FOV for reflection measurements at 24 azimuth angles and 4 zenith reflectance angles, mounted 1.6m above the snow surface on a tripod; b) an instrument with 3° FOV for direct solar radiation measurements, mounted on a Kipp & Zonen pyrheliometer for accurate solar zenith angle readings; c) an instrument with 10° FOV for hemispheric incident and reflected radiation measurements, equipped with a diffuser made of white acrylic plastic.

The photovoltaic detectors of the sensors had a spectral sensitivity between 300 and 1200 nm. The instruments sensitivity, however, was cut by interference filters to 500-600 nm. The instrumentation, including power supply designed for use in high altitude, had a total weight of only 7 kg. More technical details about the newly developed instrumentation will be published elsewhere.

The scanning of the reflection measurements was done manually for azimuthal angles between 0° and 360° (15° steps) for each of the three zenith reflection angles 75°, 60° and 45°. One set of measurements could be completed in 10 minutes. Hemispheric measurements were carried out for direct and diffuse incident radiation and for reflected radiation. The direct solar radiation measured with 3° FOV was used to calibrate the diffuser disc. All measurements were repeated hourly for solar inci-

dent angles between 85° and 28° .

The instruments were calibrated against the sun between the hourly measurements, using the Langley plot method (Jackson *et al.*, 1968). A graph of the logarithm of the instrument voltage versus the secant of the solar zenith angle yields the spectral-extinction optical thickness (τ) of the atmosphere as a slope. The logarithm of the exoatmospheric irradiance (E) divided by the calibration factor is given by the intercept with $x=0$. It is assumed that τ remains constant during the measurement period, and that the instrument output signal is linear with respect to input radiant energy. If the graph of $\ln(\text{volt})$ versus $\sec(\theta^\circ)$ will be linear, the assumptions are sufficiently met. Fig.2 shows a set of measurements (3° FOV-instrument) for solar zenith angles between 76° and 33° . The extinction optical thickness τ was 0.097 in the spectral range 500 to 600 nm.

With this absolute calibration of the sensors, small spectral shifts between the interference filters could be eliminated. The directional and hemispheric reflectance values obtained were used to calculate the bidirectional reflection distribution function discussed in the following section.

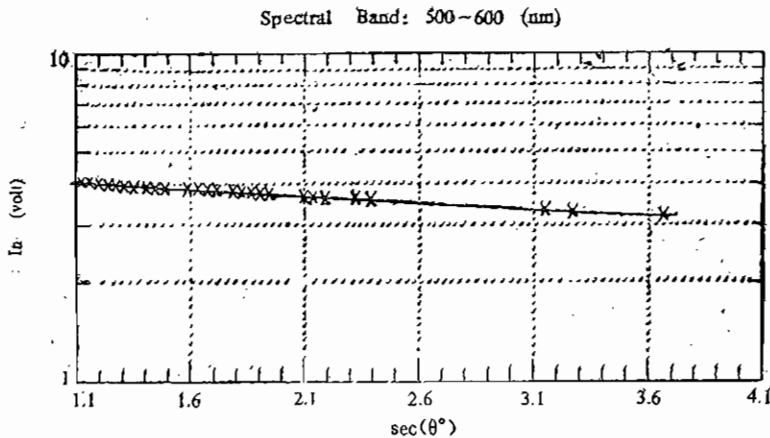


Fig.2 Langley plot for 3° FOV-instruments in the spectral band 500 to 600 nm. The linear regression $y=1.507-0.097x$ has a correlation coefficient of 0.995

4 Results

The bidirectional reflectance of powder snow, new snow and old snow is discussed in detail. The snow parameters encountered during this study are summarized in Table 1 for the three data sets.

Impurities in the snowpack affect reflectance characteristics in the

Table 1 Snow parameters

Parameters	Data A	Data B	Data C
Snow type	powder snow	new snow	old snow
Age	5h	1 d	3 d
Grain radius (mm)	0.15	0.5-1.0	1-3
Form of crystals	facet	facet/rounded	rounded
Density (kgm^{-3})	0.175	0.25	0.35
Snow depth (cm) *	25	10	20
Surface homogeneity	good	fair *	good
Impurities	not visible	not visible	some@
Sky condition	clear	clear	clear

* snow depth of top layer only is given.

• because of the thin new snow cover, some surface undulation of the old snow cover could be seen.

@ no quantitative measurements were made.

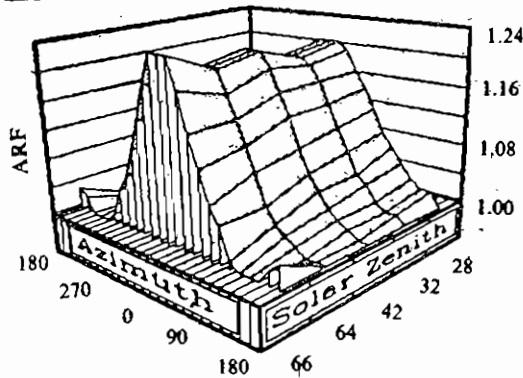
visible wavelength (Warren, 1985). A quantitative analysis was not carried out, however, industrial pollutants such as soot are not expected to occur in large concentrations in the high altitude region of the Tianshan. Dust particles, on the other hand, may well be found due to the surrounding desert and semi-arid areas.

Reflectance measurements were carried out during clear sky condition only, to avoid unpredictable changes of the incident flux during one set of measurements. The bidirectional reflectance R was calculated based on the measurements according to Formula 1, and normalized relative to the hemispheric reflectance (Formula 2). The anisotropic reflectance function (ARF) so obtained was plotted versus the azimuth angle with the sun along the 0° azimuth for different solar zenith angles (SZA). The values in the vicinity of 0° azimuth represent forward scatter as compared to backscatter near 180° azimuth. Any departure of the ARF value from 1.0 represents the fractional error that would result if the radiance at that location were used to estimate total outgoing flux by applying the isotropic assumption. For example, an ARF value of 1.5 would overestimate total outgoing flux by 50% if isotropy were assumed. Griggs & Marggraf (1967) have found that the bidirectional reflectance function is independent of wave length, at least for $440 \leq \lambda \leq 960$ nm. If this holds true, the ARF values measured between 500 and 600 nm should be valid for the larger part of the visible spectrum. Because the snow surface to the left of the sun was disturbed by other instruments, the reflectance values to the right of the sun were used instead for the ARF calculation. Reflectance zenith angles (RZAs) are given with respect to 0° equals zenith, and SZAs with respect to 0° equals zenith,

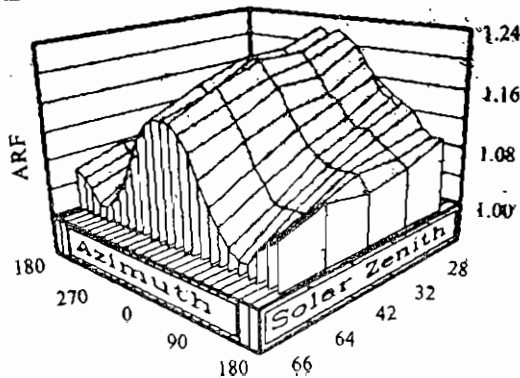
Figs 3 a,b,c show the ARF values for powder snow with $\theta' = 75^\circ$, $\theta' = 60^\circ$ and $\theta' = 45^\circ$ respectively. The relative reflectance increases as the powder snow surface is viewed at larger SZAs. The largest ARF value is found for low sun angle and large reflectance angle. The maximum of 1.26 for this data set is in direction of the sun (forward scattering) for $\theta' = 75^\circ$ and $\theta_0 = 65^\circ$. At this reflectance angle, the ARF values are decreasing with decreasing SZAs. The decrease is, however, only 7% between $\theta_{0, \max}(65^\circ)$ and $\theta_{0, \min}(28^\circ)$. For $\theta' = 60^\circ$ and $\theta' = 45^\circ$, the ARF values are increasing for decreasing SZAs in contrary to $\theta' = 75^\circ$. The forward scattering in the direction of the sun is well established for large SZAs.

In Fig 4 the situation for new snow (fine grained) is shown. The ARF graphs are less smooth than in Fig 3 due to inhomogeneities of the snow cover (Table 1). The largest ARF values are observed in the direction of the sun at $\theta_0 = 72^\circ$ for all three RZAs. For large SZAs, the ARF values decrease for azimuth angles $>30^\circ$ (resp. $<330^\circ$), and they become minimal at $\theta' = 60^\circ$ for $\phi > 90^\circ$ (resp. $\phi < 270^\circ$) (Fig 4b), and at $\theta' = 45^\circ$ for $\phi > 60^\circ$ (resp. $\phi < 300^\circ$) (Fig 4c). Compared to powder snow, the ARF values of new snow are approximately 50% larger for $\theta_0 > 70^\circ$, $\theta' = 75^\circ$ and $\phi = 0^\circ$.

(a) RZA = 75 deg.



(b) RZA = 60 deg.



(c) RZA = 45 deg.

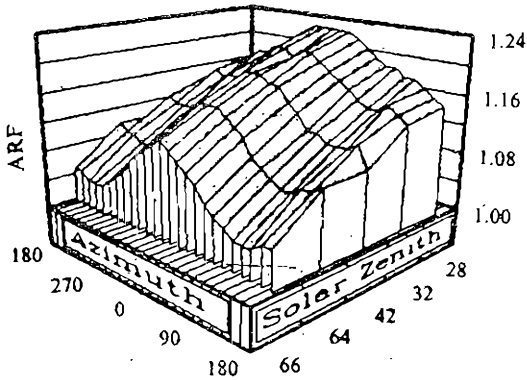
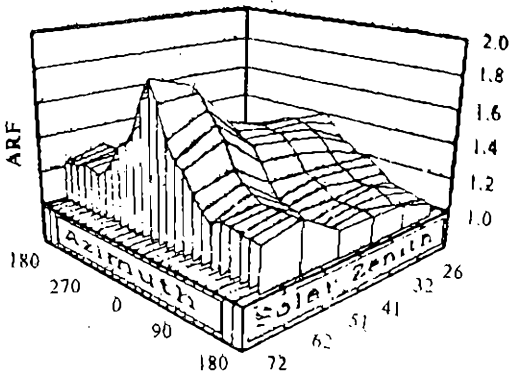


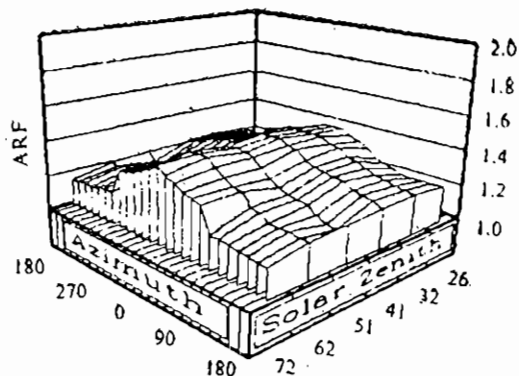
Fig.3 Anisotropic reflectance function of powder snow (Table 1) for 5 solar zenith angles (SZA) and 3 reflectance zenith angles: (a) 75°; (b) 60°; (c) 45°. The sun is in the direction of azimuth = 0°

Large grained snow (old snow, Table 1) has a predominant forward scattering for all SZAs in the direction of the sun (Figs 5a, b,c). With increasing viewing angle from 45° to 75°, the ARF values increase by as much as 90%, respectively 50% for a viewing angle change from 60° to 75°. It is also interesting to note, that for the reflected zenith angle $\theta' = 45^\circ$ (Fig. 5c), the ARF value decreases for a change in SZAs of 76° to 65°, and then increases again with decreasing SZAs. For the reflected zenith angle $\theta' = 75^\circ$, the ARF values of old snow (Fig. 5a) exceed those of powder snow (Fig. 3a) by 0.75 at $\phi = 0^\circ$; this difference decreases linearly with increasing azimuth angle $\phi < 90^\circ$ ($\phi > 270^\circ$).

(a) RZA = 75 deg.



(b) RZA = 60 deg.



(c) RZA = 45 deg.

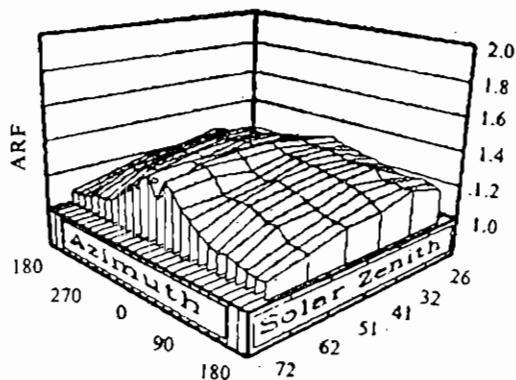
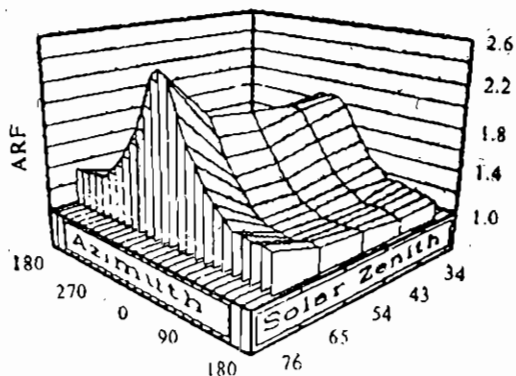
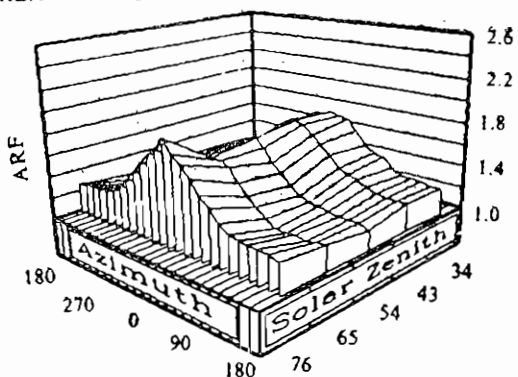


Fig.4 Anisotropic reflectance function of new snow (Table 1) or 5 solar zenith angles (SZA) and 3 reflectance zenith angles: (a) 75°, (b) 60°, (c) 45°. The sun is in the direction of azimuth = 0°

(a) RZA = 75 deg



(b) RZA = 60 deg.



(c) RZA = 45 deg.

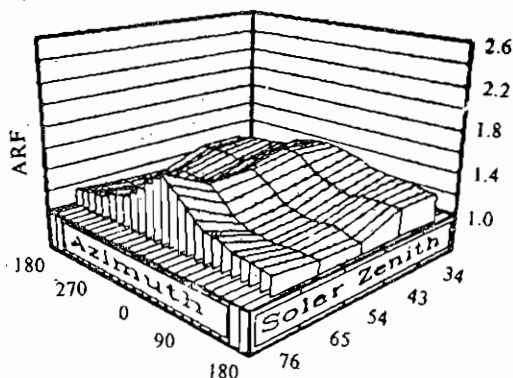


Fig.5 Anisotropic reflectance function of old snow (Table-1) or 5 solar zenith angles(SZA)and 3 reflectance zenith angles:(a) 75°; (b) 60°; (c) 45°. The sun is in the direction of azimuth=0°

5 Conclusion

The bidirectional reflectance of different snow cover types can be determined by field measurements with small aperture instruments. Powder snow with grain radii of 0.15mm shows the least forward scattering compared to new snow (grain radii 0.5-1.0) and old snow (grain radii 1-3mm), and has a nearly isotropic uniform reflectance pattern. The ARF values for reflectance angles of 75° and 60° are almost identical; however, with decreasing SZAs they decrease for $\theta' = 75^\circ$, and increase for $\theta' = 60^\circ$, respectively. The overestimation of the total outgoing flux, derived from a single reflectance measurement with a reflectance zenith angle $> 60^\circ$ will be at least 15% for powder snow in the direction of the sun for all SZAs. For new snow, the overestimation will be larger than 10%, and for old snow larger than 60%. More precise values can be de-

rived from Figs. 4,5,6 for different RZAs and SZAs. The presented ARF values were measured in the spectral band 500-600nm. Whether they can be applied to the larger part of the visible spectrum, as suggested by Griggs & Marggraf (1967), will be investigated in future.

The only data set available for comparing ARF values of snow is the Nimbus-7 satellite study from the earth radiation budget experiment (Taylor *et al*, 1984). The measurements were made, however, for $200 \text{ nm} < \lambda < 4500 \text{ nm}$. The snow surfaces observed were from the Antarctic and Greenland icecaps. In those regions, mostly dry, fine grained snow is expected, comparable to powder snow and/or new snow of the data presented in this paper. The satellite derived ARF value of 1.5 for $\theta' = 75$, $\theta_0 = 60-66^\circ$ in the direction of the sun lies between the ARF values of powder snow and new snow surfaces found in this study. The plot of ARF versus azimuth of the satellite data has the same graph-form as the ones obtained for powder snow (Fig.3). The offset of the satellite data, compared with the ground based measurements, can be explained by aerosol and molecular backscattering of the intervening atmosphere.

Acknowledgement: This work was supported by the Swiss Federal Institute of Technology, Zuerich. The author wishes to acknowledge support from Karl Schroff, Hans-Juerg Frei and Aleggs Biber (ETHZ) for their substantial help in the workshop during the instrument development, and especially the excellent field assistance of Pier-Luigi Calanca (ETHZ). My thanks go also to Xie Zichu, Director of the Institute of Glaciology and Cryopedology, Lanzhou, and to Kang Ersi, scientific manager of the Tianshan research station, for their support during the field season.

References

- Budyko M T 1974. *Climate and Life*, Academic Press, New York and London
- Dirmhirn I, Eaton F D, 1975. Some characteristics of the albedo of snow. *J. App. Met.* 14, 375-379
- Griggs M , Marggraf W A, 1937. Measurement of cloud reflectance properties and the atmosphere attenuation of solar and infrared energy. Rep. AFCLR-68-0003, Air Force Cambridge Res. Lab. , Bedford, Mass
- Jackson R D, Slater P N, 1986. Absolute calibration of field reflectance radiometers. *Photogramm. Engng. Remote Sens.* , 52 (2) , 189-196
- Kuhn M, 1985. Bidirectional reflectance of polar and alpine snow surfaces. *Annals of Glaciol.* 6 , 164-167
- Salomonson V V, Marlatt W E, 1968. Anisotropic solar reflectance over white sand, snow and stratus clouds. *J. App. Met.* 7 , 475-483
- Tandr'e D, Hermann M, Deschamps P Y, De Leffe A, 1979. Atmospheric modeling for space measurements of ground reflectance, including bidirectional properties. *Appl. Optics*, 18 (21) 3 587-3 594

- Tandré D, Hermann M, Deschamps P Y, 1983. Influence of the atmosphere on space measurements of directional properties. *Appl. Optics*, 21, 733-741
- Taylor V R, Stowe L L, 1984. Reflectance characteristics of uniform earth and cloud surfaces derived from Nimbus-7 ERB. *J. Geophys. Res.* 89 (D4) , 4 937-4 996
- Warren S G, 1982. Optical properties of snow. *Rev. Geophysics and Space Physics*, 20(1), 67-89
- Warren S G, Wiscombe W J, 1985. Dirty snow after nuclear war. *Nature* 313, 467-470

Basic Meteorological Elements in Boundary Layer on Glacier No.1, Tianshan in Melting and Non-melting Season

Hiroyuki OHNO*

1 Introduction

One of the characteristics of the environment surrounding a continental type glacier is aridity of the environment. In general, latent heat loss by evaporation is estimated as more than 15% of the total heat loss at the surface of these glacier surface during summer (Kou Youguan *et al.*, 1982). Since high evaporation rate reduces melting of ice, it makes favorable condition to preserve glacier masses in summer. However the fine weather with low vapor pressure in the atmosphere during winter season may cause intense mass loss of the glaciers by evaporation. Therefore in order to evaluate the influence of evaporation to annual mass balance of continental type glaciers, it is necessary to know the evaporation rate during the both periods of melting and of non-melting.

Nevertheless, very few meteorological observational data sets which are suitable for the purpose of studying evaporation are available for non-summer seasons. Therefore this paper is very important as the first report which presents four fundamental meteorological data sets of boundary layer on a continental type glacier in Chinese Tianshan in all four-seasons.

2 Observation

The observation points were at 4 010m a.s.l. (Site-A) in the accumulation area of Tianshan No.1 Glacier ($43^{\circ}05'N$, $86^{\circ}48'E$) located in the Tianshan mountain range and at 3 825m a.s.l. (Site-B) in the empty cirque located north of this glacier, in the north western part of China. The study area is indicated in Figure 1. Air temperature, relative humidity, wind speed, wind direction, global solar radiation and net radiation were measured at Site-A in following four periods;

* Water Research Institute, Nagoya University, Nagoya, Japan

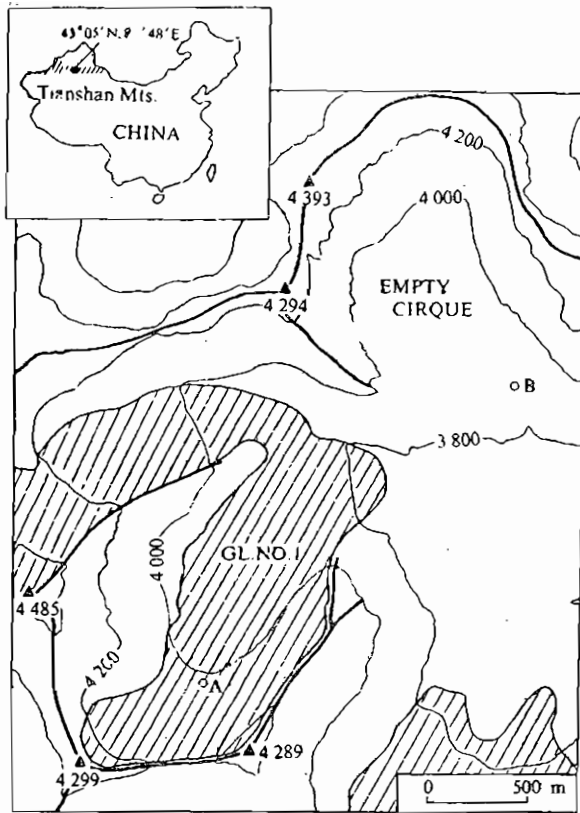


Fig. 1 Location of observation sites. Ridges are indicated in bold line and glacierized area is hatched

(1) 10 July-30 July 1987; (2) 11 October-8 November 1989; (3) 23 January-9 February 1988; (4) 6 April-21 April 1988.

Additionally, occasional measurement of evaporation by use of lysimeters was also carried out mainly in August. At Site-B (3 825m a.s.l.), only global solar radiation was measured. The list of measured elements for every periods are shown in Table 1. The detail in used instruments and its specifications are tabulated in Table 2. Continuously observed data were recorded on chart paper by two dot-plotting type recorders. The data were digitized and averaged for every 15 minutes in the period (1) and for every 30 minutes in the other periods, and both data sets are average value of more than 10 measurements. Aluminum containers, 5cm in depth and 242cm² 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 shored. Results of successful measurements are listed in Table 4.

Table 1 The list of measured meteorological elements

Period*	Site	Elements (height in cm)	Symbol	Unit	Aver-interval
(1)	A	air temperature (30,60,150)	AT	°C	15 minutes
		relative humidity (150)	RH	%	
		wind speed (30,60,150)	WS	ms ⁻¹	
		wind direction (200)	WD	degree	
		downward global solar radiation	S(D)GL1	Wm ⁻²	
		net radiation	RN	Wm ⁻²	
.....					
B					
(2)	A	air temperature (30,60,150)	AT	°C	30 minutes
		relative humidity (150)	RH	%	
		wind speed (30,150)	WS	ms ⁻¹	
		downward global solar radiation	S(D)GL1	Wm ⁻²	
		net radiation	RN	Wm ⁻²	
				
B	downward global solar radiation	S(D)ECQ	Wm ⁻²	30 minutes	
	upward global solar radiation	S(U)ECQ	Wm ⁻²		
.....					
(3)	A	air temperature (30,60,150)	AT	°C	30 minutes
		relative humidity (150)	RH	%	
		wind speed (30,150)	WS	ms ⁻¹	
		downward global solar radiation	S(D)GL1	Wm ⁻²	
		upward global solar radiation	S(U)ECQ	Wm ⁻²	
		net radiation	RN	Wm ⁻²	
.....					
B	downward global solar radiation	S(D)ECQ	Wm ⁻²	30 minutes	
.....					
(4)	A	air temperature (30,60,150)	AT	°C	30 minutes
		relative humidity (150)	RH	%	
		wind speed (30,150)	WS	ms ⁻¹	
		downward global solar radiation	S(D)GL1	Wm ⁻²	
		upward global solar radiation	S(U)GL1	Wm ⁻²	
		net radiation	RN	Wm ⁻²	
.....					
B	downward global solar radiation	S(D)ECQ	Wm ⁻²	30 minutes	

* (1) 10 July-30 July 1987; (2) 11 October-8 November 1987;
(3) 23 January-9 February 1988; (4) 8 April-21 April 1988.

Table 2 The list of instrument

Elements	Sensor	Sensitivity	Accuracy	Manufacturer
air and snow temperature	thermistor type, with homemade bridge	3.33mV/°C	± 0.1°C	(home made)
relative humidity	hair hygrometer 282C, no.600 and no.425 with home made bridge	0.1mV/%	± 3 %	AANDERAA Co
wind speed	switching type anemometer, AC750P with converter GCS202	1.0mV/ms ⁻¹	± 0.1m/s	MAKINO Co.
wind direction	potentiometer type VR036,no.343 with converter GCS202	0.185mV/deg	± 3 °	MAKINO Co.
global solar radiation	pyranometer, MS-41,no.A75049	7.92mV/kwm ⁻²	± 2 % at 45°	EKO Co.
	MR-21,no.W85001(U)	6.99mV/kwm ⁻²	± 3 % at 45°	EKO Co.
	(L)	6.94mV/kwm ⁻²	± 3 % at 45°	
net radiation	net radiometer, CN-2,no,N7316	22.0mV/calcm ⁻² min ⁻¹	± 3 %	EKO Co.

3 Notation

The averaged meteorological data are listed in Table 3 every three hours. The time in second column indicates ending time of the averaging interval in local mean solar time (GMT + 5 :48). AT, RH, WS, WD, S and RN indicate air temperature, relative humidity, wind speed, wind direction, short wave radiation and net radiation, respectively. A value in the parentheses behind the symbols T, RH and U show the elevation of the sensors from glacier surface in cm. "D" or "U" in the parentheses with S specifies downward or upward radiation component, respectively. The letters "GLI" and "ECQ" are used to indicate the measurement site Site-A, and Site-B, respectively.

Acknowledgment: Author thanks prof. Xie Zichu, Dr. Kang Ersi in Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, and many persons worked in Tianshan Glaciological Station for kind arranging of this series of field observations.

Reference

Kou Y, Xie W, Zhang Y, 1982. The heat balance on glacial surface in China. Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica, 3, 91-108

Table 3 meteorological data on Tianshan No. 1 Glacier, China

MD8707E3

Date (1987)	Time M.S.T	AT(30) °C	AT(60) °C	AT(150) °C	RN(150) %	WS(30) m/s	WS(60) m/s	WS(150) m/s	WD deg.	S(D) GL ₁ W/m ²	RN W/m
7.10	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.10	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.10	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.10	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.10	15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.10	18:00	-	5.3	5.7	99	-	-	-	-	-	-2
7.10	21:00	-	2.7	3.5	95	-	-	-	-	-	-15
7.11	00:00	-	3.6	4.0	99	-	-	-	-	-	-82
7.11	03:00	-	2.9	3.2	98	-	-	-	-	-	-84
7.11	09:00	-	3.3	3.9	95	-	-	-	-	-	-17
7.11	09:00	8.6	6.3	7.3	71	-	-	-	-	-	270
7.11	12:00	-	8.1	8.5	69	-	-	-	-	-	332
7.11	15:00	1.6	1.6	1.7	99	-	-	-	-	-	24
7.11	18:00	3.0	3.1	3.1	99	-	-	-	-	-	-6
7.11	21:00	0.7	1.9	2.5	97	-	-	-	-	-	0
7.12	00:00	1.3	2.9	3.3	97	-	-	-	-	-	0
7.12	03:00	1.8	3.3	4.0	93	-	-	-	-	-	0
7.12	06:00	3.2	3.4	3.8	94	-	-	-	-	-	0
7.12	09:00	8.3	5.5	6.9	78	-	1.7	1.9	225	694	254
7.12	12:00	5.9	5.2	5.7	85	-	1.6	1.8	357	178	74
7.12	15:00	5.3	3.9	3.7	100	-	1.2	1.2	299	528	209
7.12	18:00	3.1	3.1	3.2	99	-	-	3.2	19	141	31
7.12	21:00	-0.1	1.0	1.2	100	-	1.4	1.7	332	0	-78
7.13	00:00	-1.4	-0.4	0.0	99	-	1.0	1.2	320	0	-71
7.13	03:00	0.5	1.2	1.3	99	-	2.5	3.0	6	0	-83
7.13	06:00	0.7	1.1	1.4	99	-	1.9	2.3	12	185	-40
7.13	09:00	4.4	2.9	3.5	98	-	3.5	4.2	36	612	223
7.13	12:00	7.8	5.0	5.5	90	-	2.4	2.8	23	496	267
7.13	15:00	5.6	4.5	5.0	94	-	2.0	2.4	21	153	88
7.13	18:00	-	3.9	4.1	100	-	1.6	1.9	71	54	39
7.13	21:00	-	2.9	2.9	98	-	1.5	1.6	301	0	0
7.14	00:00	-	1.7	3.9	98	-	1.9	2.1	16	0	0
7.14	03:00	-	0.0	1.6	96	-	0.4	0.3	53	0	0
7.14	06:00	-	0.4	2.5	96	-	0.5	0.3	193	64	-17
7.14	09:00	-	2.6	2.8	99	-	1.2	1.1	183	359	112
7.14	12:00	-	4.5	4.7	91	-	2.1	2.1	296	342	236
7.14	15:00	-	1.8	1.8	97	-	0.6	0.7	229	66	428
7.14	18:00	-	-	-	-	-	0.9	1.2	193	10	-
7.14	21:00	-	-	-	-	-	0.8	0.9	178	0	-
7.15	00:00	-	-	-	-	-	1.4	1.6	248	0	-
7.15	03:00	-	-	-	-	-	4.7	5.2	236	0	-
7.15	06:00	-	-	-	-	-	3.3	3.6	173	0	-
7.15	09:00	-	-	-	-	-	2.4	2.7	196	146	-
7.15	12:00	-	-	-	-	-	3.8	4.0	178	588	-
7.15	15:00	-	-	-	-	-	3.3	3.6	221	158	-
7.15	18:00	-	-	-	-	-	2.5	2.6	260	73	-
7.15	21:00	-	-	-	-	-	4.2	-	47	0	-
7.16	00:00	-	-	-	-	-	4.8	-	53	0	-

Table 3 (续1)

Tianshan GL-No. 1 (43°05'N, 48°86'E, 4010m a.s.l.)										MD8707E3	
Date	Time	AT(30)	TA(60)	AT(150)	RH(150)	WS(30)	WS(60)	WS(150)	WD	S(D) GL ₁	RN
(1987)	M-S-T	℃	℃	℃	%	m/s	m/s	m/s	deg.	W/m ²	W/n
7.16	03:00	-	-	-	-	-	4.1	-	31	-0	-
7.16	06:00	-	-	-	-	-	1.5	-	7	76	-
7.16	09:00	-	-	-	-	-	4.6	-	48	279	-
7.16	12:00	-	-	-	-	-	2.2	2.4	44	424	-
7.16	15:00	-	-	-	-	-	1.9	2.1	40	662	-
7.16	18:00	1.9	1.9	2.0	94	1.8	1.9	2.0	339	30	-85
7.16	21:00	-1.6	-0.5	-0.1	97	1.3	1.4	1.3	241	0	-82
7.17	00:00	-1.2	-0.3	-0.3	100	2.9	3.1	3.5	18	0	-82
7.17	03:00	-3.2	-1.8	-1.3	100	1.5	1.6	1.6	192	0	-25
7.17	06:00	-0.5	-0.5	0.0	96	1.4	1.5	1.5	134	102	-22
7.17	09:00	9.6	4.1	4.5	74	0.9	1.0	1.0	257	459	121
7.17	12:00	7.6	4.4	5.6	85	0.8	0.6	0.6	227	367	93
7.17	15:00	-	-	-	-	0.4	0.6	0.6	321	33	-
7.17	18:00	0.2	0.5	0.5	99	1.9	2.3	2.6	185	49	-18
7.17	21:00	0.0	0.0	-0.4	95	-	-	-	43	0	-6
7.18	00:00	-3.1	-0.8	-0.9	77	-	-	-	71	0	-26
7.18	03:00	-2.5	-2.5	-2.5	96	-	-	-	65	0	0
7.18	06:00	-1.1	-1.6	-1.8	96	-	-	-	60	0	0
7.18	09:00	0.0	-0.4	-0.3	99	-	2.7	3.5	44	378	4
7.18	12:00	0.5	0.6	-0.3	100	-	4.6	5.6	51	612	24
7.18	15:00	-0.1	-0.1	-1.1	100	-	4.2	5.2	57	389	3
7.18	18:00	-0.1	0.2	0.2	93	3.6	3.7	4.1	279	111	-58
7.18	21:00	-0.9	-0.7	-0.6	96	4.2	4.5	5.1	296	0	-70
7.19	00:00	-0.5	-0.3	-0.2	99	4.0	4.2	4.8	47	0	-15
7.19	03:00	-1.0	-0.7	-0.6	98	2.4	2.6	2.8	37	0	-24
7.19	06:00	-4.5	-2.9	-2.0	98	1.7	1.8	0.3	205	101	-83
7.19	09:00	6.9	8.7	6.4	27	1.5	1.7	1.6	216	783	-1
7.19	12:00	10.7	12.2	10.5	28	1.1	1.4	1.5	15	1025	147
7.19	15:00	12.6	14.2	12.9	33	0.6	0.7	1.0	22	804	175
7.19	18:00	3.8	4.2	4.5	96	1.2	1.5	2.0	326	49	-71
7.19	21:00	-1.0	0.0	1.0	99	2.0	2.3	1.9	254	0	-83
7.20	00:00	0.8	1.3	1.6	100	2.5	2.5	2.9	13	0	-93
7.20	03:00	-0.4	0.3	0.9	100	2.2	2.3	2.3	157	0	-78
7.20	06:00	-3.6	-1.9	-0.4	100	2.0	1.9	0.3	143	89	-53
7.20	09:00	6.4	7.7	7.0	81	2.0	2.1	2.1	147	760	-
7.20	12:00	8.1	10.3	9.6	66	1.4	1.7	1.6	188	749	156
7.20	15:00	4.8	5.3	5.6	82	1.9	2.1	2.1	210	78	94
7.20	18:00	3.5	4.3	4.6	97	0.6	0.7	0.6	213	72	-28
7.20	21:00	-0.5	0.3	1.2	100	2.3	2.3	2.4	172	0	-71
7.21	00:00	3.1	3.5	3.8	98	4.4	4.5	4.9	201	0	-88
7.21	03:00	2.0	2.6	3.1	100	2.8	2.9	3.2	202	0	-79
7.21	06:00	2.6	3.2	3.6	96	3.5	3.6	3.9	180	57	-64
7.21	09:00	5.0	5.6	5.1	91	2.3	2.5	2.8	272	279	2
7.21	12:00	7.1	8.2	7.7	76	2.0	2.2	2.4	245	432	95
7.21	15:00	4.5	5.2	4.8	87	2.7	2.9	3.3	258	197	48
7.21	18:00	-	1.9	2.0	100	4.4	4.5	5.0	229	25	-5
7.21	21:00	-	3.6	3.9	89	1.9	2.1	1.8	240	0	-60
7.22	00:00	-	4.3	4.4	89	3.2	3.3	3.6	221	0	-54

Table 3 (续2)

Tianshan GL.No. 1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a.s.l.)

MD8707E3

Date (1987)	Time M.S.T	AT(30) ℃	AT(60) ℃	AT(150) ℃	RN(150) %	WS(30) m/s	WS(60) m/s	WS(150) m/s	WD deg.	S(D) GL ¹ W/m ²	RN W/m
7.22	03:00	3.1	3.7	3.8	89	2.2	2.4	2.6	232	0	-48
7.22	06:00	0.2	0.6	0.5	99	4.0	4.1	4.4	235	10	-5
7.22	09:00	~	2.2	1.7	99	5.1	5.2	5.7	220	253	29
7.22	12:00	1.6	3.7	2.9	100	2.1	2.3	2.5	230	442	114
7.22	15:00	4.1	5.2	4.5	91	1.8	2.0	2.3	30	270	48
7.22	18:00	4.2	5.0	5.1	92	-	-	-	-	-	-15
7.22	21:00	2.1	2.5	-	99	1.4	1.6	1.9	8	0	-85
7.23	00:00	2.7	3.1	-	95	2.7	2.9	3.2	322	0	-79
7.23	03:00	2.2	2.5	-	92	2.5	2.6	2.9	326	0	-87
7.23	06:00	2.3	2.8	-	96	1.8	2.0	2.2	277	69	-56
7.23	09:00	6.7	7.9	-	72	1.4	1.6	1.9	11	699	149
7.23	12:00	7.1	8.4	-	70	1.2	1.4	1.3	120	470	186
7.23	15:00	3.8	4.0	-	94	3.2	3.3	3.7	233	30	20
7.23	18:00	2.9	2.9	3.1	100	2.6	2.7	2.9	357	64	-14
7.23	21:00	3.4	3.7	3.9	97	1.8	2.0	2.2	357	0	-53
7.24	00:00	1.1	1.7	2.5	98	1.2	1.2	1.2	278	0	-74
7.24	03:00	-1.3	-0.6	0.7	100	2.3	2.4	2.5	229	0	-75
7.24	06:00	0.5	1.0	1.3	94	1.4	1.5	1.7	181	48	-60
7.24	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	687	-
7.24	12:00	6.2	8.0	8.8	69	1.5	2.6	1.7	170	429	160
7.24	15:00	6.8	7.6	7.1	85	2.4	1.6	2.8	252	374	206
7.24	18:00	1.3	1.3	1.4	100	2.8	3.0	3.1	18	20	-
7.24	21:00	0.0	0.4	1.4	97	-	1.4	1.4	204	0	-
7.25	00:00	2.7	2.9	3.2	92	1.8	1.9	2.4	354	0	-
7.25	03:00	-0.8	0.2	1.2	100	1.5	1.5	1.5	222	0	-
7.25	06:00	2.3	2.8	3.0	98	3.1	3.2	3.5	182	48	-
7.25	09:00	5.9	6.9	6.0	88	2.2	2.4	2.5	243	631	-
7.25	12:00	5.1	6.0	6.0	94	1.5	1.8	1.9	262	627	-
7.25	15:00	4.9	5.2	6.1	96	3.6	3.7	4.2	272	191	-
7.25	18:00	-	3.5	3.6	100	3.4	3.6	4.1	263	41	36
7.25	21:00	-	3.7	3.9	100	1.6	1.8	1.9	192	0	-13
7.26	00:00	-	1.5	1.2	95	1.0	1.1	1.6	38	0	0
7.26	03:00	~	-	-	95	0.0	0.3	0.6	348	0	-
7.26	06:00	-	-	-	95	0.7	1.1	1.3	350	11	-
7.26	09:00	0.4	0.2	-0.3	95	1.2	1.5	1.8	354	132	35
7.26	12:00	1.1	0.8	-0.1	99	0.0	0.7	0.9	19	138	-57
7.26	15:00	0.0	-0.4	-0.6	100	0.1	0.4	0.5	20	69	-11
7.26	18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.26	21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.27	00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.27	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.27	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.27	09:00	6.8	1.9	1.6	99	1.6	1.7	2.2	25	605	54
7.27	12:00	8.0	2.2	1.1	97	2.1	2.4	2.6	349	736	58
7.27	15:00	1.3	1.0	0.9	98	2.5	2.7	3.1	12	523	53
7.27	18:00	-1.0	-1.0	-1.3	100	4.0	4.2	4.9	51	135	7
7.27	21:00	-2.1	-2.0	-2.1	99	2.5	2.7	-	42	0	-17
7.28	00:00	-2.2	-2.0	-2.2	99	3.2	3.5	-	44	0	-10

Table 3 (续4)

Tianshan GL.No.1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a.s.l.)										MD8710E3	
Date (1987)	Time M.S.T	AT(30) ℃	AT(60) ℃	AT(150) ℃	RH(150) %	WS(30) m/s	WS(150) m/s	RN W/m ²	S(D) GL W/m ²	S(D) ECQ W/m ²	S(U) ECQ W/m ²
10.11	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.11	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.11	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.11	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.11	15:00	-5.3	-	-6.5	85	-	-	-	-	-	-
10.11	18:00	-12.0	-	-11.9	00	-	-	-	-	-	-
10.11	21:00	-12.1	-	-12.1	98	-	-	-	-	-	-
10.12	00:00	-10.8	-	-10.5	99	-	-	-	-	-	-
10.12	03:00	-10.2	-	-10.1	97	-	-	-	-	-	-
10.12	06:00	-10.2	-	-10.1	98	-	-	-	-	-	-
10.12	09:00	-9.4	-	-9.6	99	-	-	-	-	-	-
10.12	12:00	-7.7	-	-8.5	100	-	-	-	-	660	469
10.12	15:00	-7.7	-	-8.1	100	-	-	-	-	141	97
10.12	18:00	-9.1	-	-8.9	99	-	-	-	-	0	0
10.12	21:00	-12.4	-	-10.8	99	-	-	-	-	0	0
10.13	00:00	-9.2	-	-8.1	99	-	-	-	-	0	0
10.13	03:00	-9.1	-	-9.0	99	-	-	-	-	0	0
10.13	06:00	-9.0	-	-9.0	99	-	-	-	-	0	0
10.13	09:00	-8.7	-	-9.2	100	-	-	-	-	122	211
10.13	12:00	-5.2	-	-6.9	97	-	-	-	-	609	556
10.13	15:00	-7.2	-	-8.2	97	-	-	-	-	200	166
10.13	18:00	-13.5	-	-13.5	100	-	-	-	-	0	0
10.13	21:00	-11.9	-	-11.5	99	-	-	-	-	0	0
10.14	00:00	-12.2	-	-12.2	99	-	-	-	-	0	0
10.14	03:00	-12.8	-	-12.8	99	-	-	-	-	0	0
10.14	06:00	-13.2	-	-13.2	99	-	-	-	-	0	0
10.14	09:00	-12.3	-	-12.6	99	-	-	-	-	386	320
10.14	12:00	-11.2	-	-11.8	100	-	-	-	-	469	463
10.14	15:00	-10.3	-	-10.9	100	-	-	-	-	324	190
10.14	18:00	-11.6	-	-11.7	100	-	-	-	-	0	0
10.14	21:00	-12.1	-	-12.1	100	-	-	-	-	0	0
10.15	00:00	-13.0	-	-13.1	100	-	-	-	-	0	0
10.15	03:00	-16.1	-	-16.1	99	-	-	-	-	0	0
10.15	06:00	-17.4	-	-17.3	99	-	-	-	-	0	0
10.15	09:00	-12.9	-	-13.9	100	-	-	-	-	182	231
10.15	12:00	-10.9	-	-11.9	98	-	-	-	-	269	379
10.15	15:00	-11.9	-	-12.7	98	-	-	-	-	114	182
10.15	18:00	-19.8	-	-19.8	100	-	-	-	-	0	0
10.15	21:00	-20.5	-	-20.5	100	-	-	-	-	0	0
10.16	00:00	-21.6	-	-21.6	100	-	-	-	-	0	0
10.16	03:00	-	-	-	100	-	-	-	-	0	0
10.16	06:00	-	-	-	99	-	-	-	-	0	0
10.16	09:00	-	-	-	98	-	-	-	-	481	473
10.16	12:00	-	-	-17.7	96	-	-	-	-	709	637
10.16	15:00	-16.5	-	-17.1	99	-	-	-	-	243	219
10.16	18:00	-19.7	-	-19.7	100	-	-	-	-	0	0
10.16	21:00	-20.5	-	-20.5	100	-	-	-	-	0	0
10.17	00:00	-	-	-20.4	97	-	-	-	-	0	0

Table 3 (续5)

Tianshan GL-No.1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a.s.l.)										MD8710E3	
Date (1987)	Time M.S.T	AT(30) ℃	AT(60) ℃	AT(150) ℃	RH(150) %	WS(30) m/s	WS(150) m/s	RN W/m ²	S(D) GLI W/m ²	S(D) ECQ W/m ²	S(U) ECC W/m ²
10.17	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
10.17	06:00	-	-	-	56	-	-	-	-	0	0
10.17	09:00	-	-	-	55	-	-	-	-	471	456
10.17	12:00	-10.3	-	-10.4	61	-	-	-	-	716	628
10.17	15:00	-12.2	-	-11.0	62	-	-	-	-	41	38
10.17	18:00	-17.2	-	-15.3	81	-	-	-	-	0	0
10.17	21:00	-	-	-	77	-	-	-	-	0	0
10.18	00:00	-	-	-	77	-	-	-	-	0	0
10.18	03:00	-	-	-	76	-	-	-	-	0	0
10.18	06:00	-	-	-	75	-	-	-	-	0	0
10.18	09:00	-	-	-	78	-	-	-	-	449	419
10.18	12:00	-9.3	-	-10.2	69	-	-	-	-	709	609
10.18	15:00	-13.7	-	-11.6	68	-	-	-	-	48	35
10.18	18:00	-18.9	-	-	88	-	-	-	-	0	0
10.18	21:00	-	-	-	87	-	-	-	-	0	0
10.19	00:00	-	-	-	87	-	-	-	-	0	0
10.19	03:00	-	-	-	83	-	-	-	-	0	0
10.19	06:00	-	-	-	87	-	-	-	-	0	0
10.19	09:00	-	-	-	85	-	-	-	-	432	406
10.19	12:00	-6.0	-	-7.2	85	-	-	-	-	695	591
10.19	15:00	-13.3	-13.0	-13.0	80	-	-	-	-	68	57
10.19	18:00	-15.4	-14.6	-14.5	80	-	-	-	-	0	0
10.19	21:00	-19.3	-15.3	-15.4	83	-	-	-	-	0	0
10.20	00:00	-16.4	-15.3	-15.3	77	-	-	-	-	0	0
10.20	03:00	-19.1	-18.1	-17.1	90	-	-	-	-	0	0
10.20	06:00	-20.9	-19.2	-18.8	94	-	-	-	-	0	0
10.20	09:00	-19.8	-18.7	-17.0	92	-	-	-	-	378	360
10.20	12:00	-11.5	-13.2	-13.3	84	1.9	2.2	59	644	670	558
10.20	15:00	-14.8	-15.2	-15.7	99	3.3	3.6	-11	371	190	161
10.20	18:00	-19.5	-18.5	-17.8	100	1.9	2.1	-39	0	0	0
10.20	21:00	-18.9	-18.1	-18.0	100	1.8	2.2	-47	0	0	0
10.21	00:00	-17.4	-16.6	-16.7	95	3.9	4.6	-75	0	0	0
10.21	03:00	-16.9	-16.1	-16.2	88	2.7	2.9	-90	0	0	0
10.21	06:00	-16.6	-15.8	-15.7	70	2.9	3.3	-95	0	0	0
10.21	09:00	-14.4	-14.2	-14.1	64	3.0	3.4	-47	179	347	324
10.21	12:00	-8.6	-10.7	-10.2	57	1.8	2.1	48	603	621	542
10.21	15:00	-14.8	-14.4	-13.8	71	1.6	1.7	-30	206	161	132
10.21	18:00	-20.7	-19.2	-18.3	90	2.1	2.0	-72	0	0	0
10.21	21:00	-19.4	-17.8	-17.0	97	2.4	2.5	-81	0	0	0
10.22	00:00	-18.0	-16.6	-16.2	95	2.3	2.7	-78	0	0	0
10.22	03:00	-17.6	-16.6	-16.3	89	2.2	2.5	-91	0	0	0
10.22	06:00	-16.2	-15.2	-14.9	80	3.1	3.6	-93	0	0	0
10.22	09:00	-14.3	-14.0	-13.7	76	2.5	2.9	-75	69	420	400
10.22	12:00	-9.1	-10.5	-10.1	64	2.3	2.8	61	657	664	582
10.22	15:00	-14.1	-13.5	-13.3	70	2.3	2.6	-72	127	41	38
10.22	18:00	-16.3	-14.7	-14.3	78	2.7	2.9	-88	0	0	0
10.22	21:00	-16.8	-14.5	-13.4	75	1.7	1.5	-86	0	0	0
10.23	00:00	-17.3	-15.4	-14.3	66	3.8	3.9	-108	0	0	0

Table 3 (續6)

Tianshan GL.No.1(43°05'N, 86°48'E, 4010m a.s.l.)										MD8710E3	
Date	Time	AT(30)	AT(60)	AT(150)	RH(150)	WS(30)	WS(150)	RN	S(D) GLI	S(D) ECQ	S(U) ECQ
(1987)	M.S.T	°C	°C	°C	%	m/s	m/s	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²
10.23	03:00	-16.9	-14.7	-12.7	55	3.7	3.9	-94	0	0	0
10.23	06:00	-18.0	-16.1	-13.8	58	3.8	4.2	-96	0	0	0
10.23	09:00	-15.6	-13.0	-11.3	53	3.9	4.1	-55	63	433	410
10.23	12:00	-8.2	-8.5	-8.5	34	2.5	2.8	89	652	666	572
10.23	15:00	-12.1	-11.2	-10.7	39	2.2	2.5	-69	100	37	32
10.23	18:00	-17.7	-15.7	-13.5	57	3.7	4.2	-97	0	0	0
10.23	21:00	-14.0	-13.0	-12.8	62	3.3	3.7	-104	0	0	0
10.24	00:00	-15.5	-14.1	-14.0	76	2.3	2.5	-91	0	0	0
10.24	03:00	-16.1	-14.6	-14.0	77	2.6	2.8	-86	0	0	0
10.24	06:00	-16.5	-14.9	-13.7	80	3.0	3.4	-80	0	0	0
10.24	09:00	-13.5	-12.4	-12.3	84	2.4	2.5	-49	60	395	373
10.24	12:00	-8.5	-9.0	-9.0	76	3.5	3.5	67	619	643	581
10.24	15:00	-9.7	-9.2	-9.1	74	3.0	3.6	-62	136	70	61
10.24	18:00	-10.3	-9.9	-10.0	84	3.8	4.3	-18	0	0	0
10.24	21:00	-13.9	-13.7	-14.0	100	2.0	2.5	-13	0	0	0
10.25	00:00	-16.0	-15.4	-16.0	100	2.6	3.0	-4	0	0	0
10.25	03:00	-17.0	-15.9	-15.8	98	2.8	3.3	-62	0	0	0
10.25	06:00	-17.0	-15.8	-15.7	72	2.9	3.5	-88	0	0	0
10.25	09:00	-14.7	-13.9	-13.8	76	3.8	4.4	-57	93	356	376
10.25	12:00	-15.1	-14.9	-15.1	67	5.7	6.4	14	588	589	557
10.25	15:00	-11.0	-10.5	-10.4	78	4.7	5.3	-63	139	86	80
10.25	18:00	-11.6	-10.6	-10.8	83	5.9	7.0	-96	0	0	0
10.25	21:00	-11.8	-11.0	-11.1	92	4.4	5.1	-57	0	0	0
10.26	00:00	-17.3	-17.2	-17.2	88	4.1	4.7	-133	0	0	0
10.26	03:00	-14.7	-14.1	-14.0	95	5.8	6.8	-89	0	0	0
10.26	06:00	-14.9	-14.4	-14.6	96	4.7	5.6	-83	0	0	0
10.26	09:00	-13.7	-13.4	-13.5	91	4.4	4.9	-35	137	368	361
10.26	12:00	-7.3	-7.5	-7.5	88	7.8	9.5	42	546	575	520
10.26	15:00	-10.0	-9.8	-9.9	91	6.3	7.3	-47	108	75	69
10.26	18:00	-7.1	-6.2	-6.3	92	7.5	8.2	-58	0	0	0
10.26	21:00	-6.0	-5.4	-5.4	88	6.1	7.0	-86	0	0	0
10.27	00:00	-7.0	-6.8	-7.0	93	6.2	6.8	-74	0	0	0
10.27	03:00	-6.3	-5.8	-6.0	92	6.6	7.6	-12	9	0	0
10.27	06:00	-6.8	-5.9	-6.0	96	6.3	6.8	-91	14	0	0
10.27	09:00	-6.9	-6.8	-6.6	95	5.2	5.9	-6	253	363	307
10.27	12:00	-7.7	-8.1	-8.0	94	6.5	6.8	3	294	245	198
10.27	15:00	-9.3	-9.1	-9.7	91	6.2	6.6	-19	162	149	113
10.27	18:00	-10.3	-9.7	-9.8	87	5.5	6.0	-41	1	0	0
10.27	21:00	-11.9	-11.4	-10.9	87	5.2	5.8	-84	1	0	0
10.28	00:00	-11.6	-11.6	-11.7	89	5.5	5.9	-39	4	0	0
10.28	03:00	-12.6	-12.2	-13.0	94	4.8	5.2	-26	4	0	0
10.28	06:00	-13.5	-12.5	-12.9	93	5.4	5.9	-29	2	0	0
10.28	09:00	-15.6	-15.7	-15.4	99	2.7	3.0	-4	156	142	105
10.28	12:00	-16.1	-16.5	-16.9	100	4.3	4.6	15	305	313	242
10.28	15:00	-14.7	-14.8	-15.8	98	2.3	2.4	-10	165	159	121
10.28	18:00	-18.7	-18.0	-18.3	100	4.4	4.7	-51	-3	0	0
10.28	21:00	-16.3	-15.7	-15.3	97	3.8	4.1	-85	0	0	0
10.29	00:00	-15.6	-15.3	-15.4	92	4.7	5.3	-94	1	0	0

Table 3 (续7)

Tianshan GL No.1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a.s.l.)										MD8710E3	
Date	Time	AT(30)	AT(60)	AT(150)	RH(150)	WS(30)	WS(150)	RN	S(D) GLI	S(D) ECQ	S(U) ECQ
(1987)	M.S.T	℃	℃	℃	%	m/s	m/s	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²
10.29	03:00	-16.9	-15.9	-16.3	91	2.0	2.1	-75	-3	0	0
10.29	06:00	-17.1	-16.2	-16.2	98	1.9	2.1	-50	-1	0	0
10.29	09:00	-16.9	-16.2	-15.6	99	3.4	3.5	-64	70	253	230
10.29	12:00	-12.9	-14.1	-14.1	97	2.6	2.7	45	478	484	395
10.29	15:00	-14.8	-15.0	-15.9	96	1.1	1.2	-2	123	116	89
10.29	18:00	-18.5	-17.9	-18.4	99	0.9	1.0	-8	-3	0	0
10.29	21:00	-19.2	-18.8	-18.8	100	1.1	1.4	-3	-4	0	0
10.30	00:00	-18.5	-18.3	-18.7	100	4.2	4.6	-15	0	0	0
10.30	03:00	-18.5	-18.1	-19.0	100	5.4	5.6	-9	-6	0	0
10.30	06:00	-19.9	-19.3	-19.7	100	3.7	3.9	-20	1	0	0
10.30	09:00	-21.2	-21.2	-21.1	100	3.7	3.8	-34	165	374	371
10.30	12:00	-17.8	-19.0	-19.2	100	3.4	3.6	65	613	604	602
10.30	15:00	-21.3	-20.9	-21.8	98	5.3	5.8	-66	93	57	52
10.30	18:00	-23.1	-21.9	-22.0	96	3.9	4.0	-92	1	0	0
10.30	21:00	-23.7	-22.1	-20.9	83	3.4	3.5	-78	2	0	0
10.31	00:00	-22.0	-20.7	-20.1	81	3.0	3.1	-79	4	0	0
10.31	03:00	-22.7	-21.6	-21.0	79	2.5	2.4	-72	0	0	0
10.31	06:00	-22.8	-21.3	-21.1	82	2.1	2.1	-73	4	0	0
10.31	09:00	-24.8	-23.3	-21.8	86	2.8	2.6	-64	60	408	416
10.31	12:00	-10.3	-13.1	-12.6	72	1.5	1.6	74	579	583	529
10.31	15:00	-21.1	-20.6	-20.8	100	3.8	3.9	-55	89	46	39
10.31	18:00	-23.0	-22.4	-22.8	100	3.7	3.9	-29	-2	0	0
10.31	21:00	-23.5	-22.7	-22.9	100	3.9	4.2	-22	2	0	0
11.01	00:00	-21.2	-20.0	-20.0	96	4.1	4.3	-79	1	0	0
11.01	03:00	-19.4	-18.4	-18.2	91	2.7	2.9	-74	0	0	0
11.01	06:00	-17.8	-16.7	-16.7	93	2.8	3.0	-83	1	0	0
11.01	09:00	-17.4	-16.5	-16.4	89	3.0	3.2	-77	61	369	374
11.01	12:00	-16.3	-16.2	-16.2	80	4.4	4.5	75	615	614	558
11.01	15:00	-16.7	-15.7	-15.9	81	4.2	4.5	-88	52	47	49
11.01	18:00	-14.8	-14.1	-14.2	74	3.8	4.1	-86	0	0	0
11.01	21:00	-15.8	-14.6	-14.7	77	3.4	3.8	-84	0	0	0
11.02	00:00	-17.0	-15.9	-15.8	76	3.6	3.9	-90	3	0	0
11.02	03:00	-17.7	-16.5	-16.9	82	4.2	4.5	-79	-3	0	0
11.02	06:00	-17.7	-16.7	-16.8	86	2.9	3.1	-80	-2	0	0
11.02	09:00	-18.1	-17.2	-17.0	87	4.2	4.5	-78	54	345	355
11.02	12:00	-	-14.7	-14.8	91	3.8	4.0	75	599	605	551
11.02	15:00	-	-16.2	-16.3	90	4.7	5.1	-88	45	44	35
11.02	18:00	-	-16.2	-16.0	86	2.8	3.1	-79	-2	0	0
11.02	21:00	-	-17.5	-17.2	85	2.0	2.0	-81	-2	0	0
11.03	00:00	-	-15.6	-15.6	83	2.9	3.3	-88	2	0	0
11.03	03:00	-	-17.8	-17.1	81	2.8	2.8	-85	3	0	-
11.03	06:00	-	-17.4	-17.0	80	2.7	2.8	-87	3	0	-
11.03	09:00	-	-16.6	-15.0	79	2.8	2.8	-65	53	350	-
11.03	12:00	-	-11.7	-11.3	73	2.6	2.9	79	599	598	-
11.03	15:00	-	-14.5	-13.9	77	2.3	2.6	-84	42	38	-
11.03	18:00	-	-14.0	-13.6	80	2.6	2.7	-73	3	0	-
11.03	21:00	-	-11.7	-12.0	79	4.3	4.7	-34	0	0	-
11.04	00:00	-	-13.1	-13.4	83	5.3	5.8	-94	2	0	-

Table 3 (续8)

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

MD8710E3

Date (1987)	Time M.S.T	AT(30) ℃	AT(60) ℃	AT(150) ℃	RH(150) %	WS(30) m/s	WS(150) m/s	RN W/m ²	S(D) GLI W/m ²	S(D) ECQ W/m ²	S(U) ECQ W/m ²
11.04	03:00	-	-	-	-	3.9	4.5	-93	-2	0	-
11.04	06:00	-	-	-	-	5.7	6.2	-80	-1	0	-
11.04	09:00	-	-	-	-	3.7	4.1	-43	140	280	-
11.04	12:00	-	-	-	-	5.5	6.0	81	584	579	-
11.04	15:00	-	-	-	-	4.3	4.7	-66	85	84	-
11.04	18:00	-	-	-	-	3.1	3.4	-88	-3	0	-
11.04	21:00	-	-	-	-	1.8	1.9	-90	-2	0	-
11.05	00:00	-	-	-	-	2.2	2.6	-96	-2	0	-
11.05	03:00	-	-15.0	-14.4	84	2.0	2.2	-76	-1	0	-
11.05	06:00	-	-14.5	-14.2	86	3.0	3.2	-84	1	0	-
11.05	09:00	-	-12.0	-11.6	74	2.5	2.7	-69	56	312	-
11.05	12:00	-	-10.7	-10.8	92	2.7	3.0	72	489	575	-
11.05	15:00	-	-12.0	-12.1	96	2.5	2.9	-84	42	38	-
11.05	18:00	-	-12.8	-13.1	100	1.9	2.1	-43	1	0	-
11.05	21:00	-	-12.0	-11.9	100	2.9	3.1	-56	-1	0	-
11.06	00:00	-	-12.6	-11.9	99	3.2	3.5	-78	0	0	-
11.06	03:00	-	-11.5	-11.2	97	2.7	2.9	-64	-1	0	-
11.06	06:00	-	-12.4	-11.8	96	3.4	3.9	-45	-1	0	-
11.06	09:00	-	-10.0	-10.0	98	2.7	2.9	-36	141	211	-
11.06	12:00	-	-9.4	-9.5	99	3.6	3.8	16	312	549	-
11.06	15:00	-	-8.9	-9.2	98	2.9	3.2	9	130	106	-
11.06	18:00	-	-11.2	-11.5	100	4.0	4.5	-3	-2	0	-
11.06	21:00	-	-11.1	-11.3	98	3.3	3.8	-62	-2	0	-
11.07	00:00	-	-13.8	-13.0	95	3.1	3.3	-84	6	0	-
11.07	03:00	-	-12.9	-12.4	75	2.1	2.3	-75	1	0	-
11.07	06:00	-	-11.3	-10.9	80	3.2	3.5	-74	2	0	-
11.07	09:00	-	-9.9	-10.1	90	2.5	2.8	-24	161	288	-
11.07	12:00	-	-8.3	-8.4	88	3.2	3.6	68	556	544	-
11.07	15:00	-	-10.0	-10.2	98	3.1	3.3	-57	94	54	-
11.07	18:00	-	-10.5	-10.6	99	2.4	2.7	-75	0	0	-
11.07	21:00	-	-10.7	-10.7	97	2.6	2.9	-71	0	0	-
11.08	00:00	-	-10.1	-10.0	95	2.6	2.9	-78	3	0	-
11.08	03:00	-	-8.6	-8.4	87	3.1	3.7	-76	-1	0	-
11.08	06:00	-	-7.2	-7.1	84	5.3	5.7	-87	-4	0	-
11.08	09:00	-	-5.3	-5.2	79	6.4	6.6	-25	164	295	-
11.08	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	503	-
11.08	15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.08	18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.08	21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.09	00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 3 (续9)

Tianshan GL.No.1 (43°05'N, 86°48'E, 4 010m a.s.l.)										MD8801E3	
Date (1988)	Time M.S.T	AT(30) ℃	AT(60) ℃	AT(150) ℃	RH(150) %	WS(30) m/s	WS(150) m/s	RN W/m ²	S(D) GL ₁ W/m ²	S(U) GL ₁ W/m ²	S(D) ECQ W/m ²
1.23	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.23	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.23	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.23	12:00	-18.7	-18.6	-18.7	100	-	-	-	-	-	-
1.23	15:00	-21.0	-21.1	-20.5	99	-	-	-	-	-	-
1.23	18:00	-22.5	-22.7	-21.6	98	-	-	-	-	-	-
1.23	21:00	-21.7	-21.9	-20.6	100	-	-	-	-	-	-
1.24	00:00	-22.0	-22.0	-20.6	100	-	-	-	-	-	-
1.24	03:00	-21.4	-21.4	-20.5	96	-	-	-	-	-	-
1.24	06:00	-22.0	-22.0	-20.7	97	-	-	-	-	-	-
1.24	09:00	-19.3	-19.0	-18.0	96	-	-	-	-	-	-
1.24	12:00	-17.4	-	-17.4	93	-	-	-	-	-	-
1.24	15:00	-23.0	-21.7	-20.8	100	-	-	-	-	-	-
1.24	18:00	-23.1	-22.4	-21.5	99	-	-	-	-	-	-
1.24	21:00	-22.9	-22.3	-21.5	100	-	-	-	-	-	-
1.25	00:00	-20.9	-20.6	-20.2	100	-	-	-	-	-	-
1.25	03:00	-23.7	-22.4	-21.5	99	-	-	-	-	-	-
1.25	06:00	-23.5	-22.3	-21.7	99	-	-	-	-	-	-
1.25	09:00	-18.7	-18.3	-18.5	99	-	-	-	-	-	-
1.25	12:00	-17.0	-	-17.5	97	-	-	-	-	-	-
1.25	15:00	-19.1	-	-19.1	100	-	-	-	-	-	-
1.25	18:00	-19.6	-	-19.4	99	-	-	-	-	-	-
1.25	21:00	-20.3	-	-20.1	99	-	-	-	-	-	-
1.26	00:00	-22.6	-	-22.0	100	-	-	-	-	-	-
1.26	03:00	-21.4	-	-21.0	92	-	-	-	-	-	-
1.26	06:00	-20.6	-	-20.2	93	-	-	-	-	-	-
1.26	09:00	-19.7	-	-19.6	93	-	-	-	-	-	-
1.26	12:00	-17.4	-16.8	-17.6	91	-	-	-	-	-	461
1.26	15:00	-18.5	-18.0	-18.2	90	-	-	-	-	-	333
1.26	18:00	-18.9	-18.5	-18.9	90	-	-	-	-	-	0
1.26	21:00	-19.1	-18.6	-18.8	91	-	-	-	-	-	0
1.27	00:00	-19.0	-18.5	-18.7	94	-	-	-	-	-	0
1.27	03:00	-18.7	-18.4	-18.6	94	-	-	-	-	-	0
1.27	06:00	-19.1	-18.8	-18.9	95	-	-	-	-	-	0
1.27	09:00	-18.7	-18.2	-18.6	97	-	-	-	-	-	121
1.27	12:00	-18.2	-17.7	-18.3	97	-	-	-	-	-	279
1.27	15:00	-18.7	-18.3	-18.8	98	-	-	-	-	-	161
1.27	18:00	-19.7	-19.4	-19.4	97	-	-	-	-	-	0
1.27	21:00	-21.2	-20.7	-21.1	99	-	-	-	-	-	0
1.28	00:00	-21.7	-21.1	-21.3	99	-	-	-	-	-	0
1.28	03:00	-22.3	-22.0	-21.9	100	-	-	-	-	-	0
1.28	06:00	-19.9	-19.4	-19.3	93	-	-	-	-	-	0
1.28	09:00	-21.1	-20.3	-19.8	93	-	-	-	-	-	201
1.28	12:00	-16.1	-15.7	-16.9	96	-	-	-	-	-	498
1.28	15:00	-18.1	-17.6	-17.8	99	-	-	-	-	-	298
1.28	18:00	-23.1	-22.4	-21.8	100	-	-	-	-	-	0
1.28	21:00	-22.3	-21.8	-21.5	100	-	-	-	-	-	0
1.29	00:00	-20.8	-20.2	-20.0	99	-	-	-	-	-	0

Table 3 (續10)

Tianshan' GL.No.1 (43° 05'N, 86° 48'E, 4 010m a.s.l.)										MD8801E3	
Date (1988)	Time M.S.T	AT(30) ℃	AT(60) ℃	AT(150) ℃	RH(150) %	WS(30) m/s	WS(150) m/s	RN W/m ²	S(D) GL1 W/m ²	S(U) GL1 W/m ²	S(D) ECQ W/m ²
1.29	03:00	-21.6	-21.0	-20.5	99	-	-	-	-	-	0
1.29	06:00	-22.0	-21.2	-20.7	99	-	-	-	-	-	0
1.29	09:00	-22.5	-21.4	-20.9	99	-	-	-	-	-	232
1.29	12:00	-18.7	-18.3	-18.8	100	-	-	-	-	-	520
1.29	15:00	-17.7	-17.3	-17.7	100	2.9	3.3	8	443	133	106
1.29	18:00	-18.2	-17.9	-18.0	100	3.4	3.6	-28	491	5	0
1.29	21:00	-18.3	-17.9	-17.9	99	4.3	5.0	-77	683	3	0
1.30	00:00	-22.1	-21.3	-20.5	100	2.0	2.2	-73	292	2	0
1.30	03:00	-20.6	-19.8	-19.3	100	2.6	3.1	-63	-3	-3	0
1.30	06:00	-19.5	-19.0	-18.7	98	2.8	3.4	-70	-3	-1	0
1.30	09:00	-18.8	-18.3	-18.2	99	2.4	2.8	-62	30	30	201
1.30	12:00	-13.4	-13.0	-14.1	97	2.3	2.7	63	532	363	512
1.30	15:00	-16.3	-15.8	-15.9	97	3.3	3.7	-73	28	26	343
1.30	18:00	-17.8	-16.9	-16.3	92	2.3	2.8	-75	0	2	0
1.30	21:00	-18.5	-17.6	-16.4	83	2.7	3.0	-69	-1	0	0
1.31	00:00	-17.6	-16.6	-15.6	76	2.4	2.8	-74	2	0	0
1.31	03:00	-17.4	-16.4	-15.6	76	2.3	2.3	-85	1	-1	0
1.31	06:00	-13.6	-13.0	-12.7	63	3.3	3.7	-98	2	1	0
1.31	09:00	-14.0	-13.3	-12.7	61	1.6	1.9	-54	43	39	198
1.31	12:00	-	-	-9.5	51	1.7	2.0	71	529	357	504
1.31	15:00	-13.7	-13.2	-13.4	75	2.6	3.2	-23	151	111	213
1.31	18:00	-19.3	-18.6	-18.1	88	1.5	1.5	-59	-2	-1	0
1.31	21:00	-16.0	-15.7	-15.6	89	3.1	3.7	-27	-2	1	0
2.01	00:00	-16.6	-16.3	-16.3	100	4.2	4.9	-70	2	2	0
2.01	03:00	-16.7	-16.4	-16.4	100	3.8	4.3	-69	-1	3	0
2.01	06:00	-17.7	-17.2	-17.0	100	3.1	3.7	-87	2	1	0
2.01	09:00	-16.8	-15.5	-14.3	74	2.3	2.7	-71	27	-2	221
2.01	12:00	-9.6	-8.7	-9.6	61	2.9	3.5	75	552	-1	522
2.01	15:00	-12.4	-11.8	-12.1	66	4.6	5.3	-36	111	83	255
2.01	18:00	-12.6	-12.0	-12.1	72	3.5	4.0	-67	-2	-1	0
2.01	21:00	-15.2	-14.4	-13.8	78	2.2	2.5	-62	1	0	0
2.02	00:00	-13.1	-12.7	-12.7	77	4.2	5.0	-79	0	-1	0
2.02	03:00	-12.3	-11.7	-11.6	76	4.8	5.5	-82	1	1	0
2.02	06:00	-12.0	-11.5	-11.5	77	4.0	4.7	-65	0	0	0
2.02	09:00	-12.3	-11.6	-11.7	76	5.1	5.9	-65	59	44	210
2.02	12:00	-9.7	-9.2	-9.8	70	4.7	5.4	56	532	346	498
2.02	15:00	-10.2	-9.7	-10.0	73	4.5	5.2	-20	221	146	322
2.02	18:00	-12.5	-11.9	-11.9	87	4.3	5.1	-75	68	0	0
2.02	21:00	-12.5	-11.8	-12.0	88	5.1	5.9	-71	77	-1	0
2.03	00:00	-12.0	-11.6	-11.6	87	4.6	5.3	-1	2	1	0
2.03	03:00	-10.0	-9.5	-9.5	82	7.1	8.3	0	0	0	0
2.03	06:00	-10.7	-10.2	-10.2	94	4.7	5.8	0	0	0	0
2.03	09:00	-10.3	-9.7	-9.9	96	5.7	6.7	0	93	61	113
2.03	12:00	-7.3	-6.7	-7.8	91	4.6	5.7	0	494	344	525
2.03	15:00	-	-	-	-	5.1	6.1	7	231	0	278
2.03	18:00	-	-	-	-	4.4	5.3	0	0	0	0
2.03	21:00	-	-	-	-	3.5	4.2	0	0	0	0
2.04	00:00	-	-	-	-	6.4	7.6	0	0	0	0

Table 3 (续11)

Tianshan GL.No.1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a.s.l.)										MD8801E3	
Date	Time	AT(30)	AT(60)	AT(150)	RH(150)	WS(30)	WS(150)	RN	S(D) GL1	S(U) GL1	S(D) ECQ
(1988)	M.S.T	℃	℃	℃	%	m/s	m/s	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²
2.04	03:00	-	-	-	-	4.5	5.4	0	0	0	0
2.04	06:00	-	-	-	-	4.6	5.6	0	0	0	0
2.04	09:00	-	-	-	-	3.5	4.1	0	51	23	242
2.04	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	316	533
2.04	15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	129	168
2.04	18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
2.04	21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
2.05	00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
2.05	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	4
2.05	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
2.05	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	64	94
2.05	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	149	167
2.05	15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	95	82
2.05	18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
2.05	21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
2.06	00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2.06	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2.06	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2.06	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	112	-
2.06	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	320	-
2.06	15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	181	-
2.06	18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
2.06	21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2.07	00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2.07	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2.07	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2.07	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	104	-
2.07	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	433	-
2.07	15:00	-14.2	-	-13.4	-	-	-	-	-	257	-
2.07	18:00	-16.5	-15.1	-14.7	-	-	-	-	-	4	-
2.07	21:00	-15.9	-15.2	-15.2	-	-	-	-	-	0	-
2.08	00:00	-16.3	-15.6	-15.4	-	-	-	-	-	0	-
2.08	03:00	-16.9	-16.2	-16.3	-	-	-	-	-	0	-
2.08	06:00	-17.9	-17.3	-17.2	-	-	-	-	-	0	-
2.08	09:00	-17.3	-16.9	-17.3	-	-	-	-	-	147	-
2.08	12:00	-16.0	-	-16.6	-	-	-	-	-	324	-
2.08	15:00	-17.0	-	-16.9	-	-	-	-	-	238	-
2.08	18:00	-23.5	-22.7	-22.7	-	-	-	-	-	0	-
2.08	21:00	-24.0	-23.4	-23.3	-	-	-	-	-	0	-
2.09	00:00	-23.4	-	-23.3	-	-	-	-	-	0	-
2.09	03:00	-25.2	-	-24.4	-	-	-	-	-	0	-
2.09	06:00	-23.5	-	-22.8	-	-	-	-	-	0	-
2.09	09:00	-21.6	-	-21.7	-	-	-	-	-	124	-
2.09	12:00	-21.0	-	-22.8	-	-	-	-	-	353	-
2.09	15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.09	18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.09	21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.10	00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 3 (续12)

Tianshan GL.No.1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a.s.l.)

MD8804E3

Date (1988)	Time M.S.T	AT(30) ℃	AT(60) ℃	AT(150) ℃	RH(150) %	WS(30) m/s	WS(150) m/s	RN W/m ²	S(D) GL ₁ W/m ²	S(U) GL ₁ W/m ²	S(D) ECQ W/m ²
4.06	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.06	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.06	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.06	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.06	15:00	-	-10.1	-10.6	82	3.9	4.5	44.2	540	469	-
4.06	18:00	-13.3	-12.6	-12.7	85	4.7	5.5	-73.1	27	33	71
4.06	21:00	-13.6	-12.8	-12.8	82	3.5	4.0	-88.9	0	0	0
4.07	00:00	-13.1	-12.1	-12.1	73	3.2	3.8	-84.8	0	0	0
4.07	03:00	-12.6	-11.7	-11.7	79	3.3	4.0	-85.1	0	0	0
4.07	06:00	-12.4	-11.5	-11.4	79	2.8	3.2	-83.4	15	10	5
4.07	09:00	-9.4	-7.6	-7.9	73	3.4	4.1	-26.8	570	455	491
4.07	12:00	-7.2	-5.1	-5.6	69	4.1	4.8	46.8	835	631	682
4.07	15:00	-7.2	-5.3	-5.7	73	3.9	4.6	30.8	568	416	601
4.07	18:00	-8.2	-7.2	-7.4	78	3.1	3.7	-50.6	49	44	87
4.07	21:00	-9.6	-8.5	-8.1	81	2.2	2.7	-53.4	0	0	0
4.08	00:00	-9.0	-7.9	-7.6	77	2.0	2.5	-50.1	0	0	0
4.08	03:00	-11.1	-9.6	-8.6	69	2.3	2.5	-35.7	0	0	0
4.08	06:00	-9.4	-8.4	-8.2	73	1.4	1.7	-14.4	6	5	0
4.08	09:00	-6.0	-3.9	-3.8	67	2.0	2.4	-22.7	491	428	437
4.08	12:00	-4.4	-2.3	-3.2	71	2.6	3.0	45.9	768	594	756
4.08	15:00	-15.3	-14.7	-15.1	27	3.2	4.1	67.9	574	476	631
4.08	18:00	-7.1	-6.2	-6.3	77	2.8	3.3	-78.8	14	16	100
4.08	21:00	-20.6	-20.5	-20.5	10	3.0	3.6	-83.3	0	0	0
4.09	00:00	-15.5	-13.2	-11.5	87	2.0	2.1	-47.5	0	0	0
4.09	03:00	-19.1	-18.7	-18.6	36	2.0	2.4	-21.9	0	0	0
4.09	06:00	-19.9	-19.4	-19.2	33	2.4	2.6	-42.0	8	9	0
4.09	09:00	-	-	-	-	2.9	3.4	-8.9	366	311	329
4.09	12:00	-	-	-	-	4.3	5.2	67.8	850	668	800
4.09	15:00	-	-	-	-	4.2	5.1	27.7	446	364	463
4.09	18:00	-	-	-	-	1.4	1.8	-0.8	53	47	60
4.09	21:00	-	-	-	-	1.6	2.0	-2.7	0	0	0
4.10	00:00	-	-	-	-	1.4	1.7	2.3	0	0	0
4.10	03:00	-	-	-	-	3.3	3.8	-18.1	0	0	0
4.10	06:00	-	-	-	-	2.3	2.7	-53.9	21	18	4
4.10	09:00	-	-	-	-	3.5	4.1	-58.0	675	558	591
4.10	12:00	-	-	-	-	2.8	3.5	31.9	980	745	932
4.10	15:00	-	-	-	-	2.2	2.6	0.4	733	608	740
4.10	18:00	-	-	-	-	3.6	4.0	-84.8	26	13	98
4.10	21:00	-	-	-	-	3.8	4.3	-88.0	0	0	0
4.11	00:00	-	-	-	-	3.5	3.9	-93.5	0	0	0
4.11	03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
4.11	06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
4.11	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	574
4.11	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	828
4.11	15:00	-6.3	-3.5	-5.2	28	3.8	4.7	64.4	720	475	733
4.11	18:00	-9.6	-8.7	-8.3	54	3.7	4.6	-90.4	35	23	98
4.11	21:00	-10.2	-9.5	-8.7	52	4.0	5.0	-78.9	0	0	0
4.12	00:00	-12.4	-11.0	-9.3	45	2.4	2.8	-64.6	0	0	0

Table 3 (续13)

Tianshan GL.No.1 (43°05'N, 86°48'E, 4010m a.s.l.)

MD8804E3

Date 1988)	Time M.S.T	AT(30) ℃	AT(60) ℃	ΔT(150) ℃	RH(150) %	WS(30) m/s	WS(150) m/s	RN W/m ²	S(D) GL1 W/m ²	S(U) GL1 W/m ²	S(D) ECQ W/m ²
4.12	03:00	-10.6	-9.4	-8.3	61	2.2	2.6	-18.1	0	0	0
4.12	06:00	-13.5	-12.2	-10.8	67	3.2	3.8	-55.5	38	28	0
4.12	09:00	-4.4	-1.2	-2.1	54	1.6	2.0	-2.1	520	406	445
4.12	12:00	-4.0	-1.4	-2.9	65	2.9	3.5	90.6	911	679	910
4.12	15:00	-1.8	0.0	-1.4	61	2.0	2.4	98.4	770	546	574
4.12	18:00	-8.6	-7.8	-7.8	80	3.0	3.6	-29.0	48	32	83
4.12	21:00	-11.8	-11.2	-11.2	100	1.0	1.4	3.3	0	0	0
4.13	00:00	-11.1	-10.3	-10.4	98	1.4	1.8	3.7	0	0	0
4.13	03:00	-16.3	-14.9	-13.8	99	1.5	1.8	22.1	0	0	0
4.13	06:00	-13.5	-12.6	-12.4	99	1.7	2.2	5.4	15	14	4
4.13	09:00	-7.0	-6.2	-7.8	90	2.7	3.4	-88.2	541	506	455
4.13	12:00	-4.3	-4.3	-6.1	80	2.6	3.2	45.1	763	623	719
4.13	15:00	-1.7	-1.7	-3.3	78	1.1	1.4	7.3	443	382	472
4.13	18:00	-12.1	-10.8	-10.4	85	1.7	2.2	-61.6	31	28	78
4.13	21:00	-13.4	-12.5	-12.0	99	2.9	3.8	-45.8	0	0	0
4.14	00:00	-13.9	-13.0	-12.5	99	2.4	3.3	-24.2	0	0	0
4.14	03:00	-13.9	-12.2	-10.6	74	2.5	2.9	-61.6	0	0	0
4.14	06:00	-14.1	-12.4	-10.8	65	2.6	2.8	-79.6	32	24	7
4.14	09:00	-4.3	-4.0	-5.4	33	1.9	2.5	-23.3	550	443	526
4.14	12:00	-5.5	-2.5	-4.3	64	2.5	3.1	50.3	914	698	814
4.14	15:00	-3.8	-3.0	-3.3	59	1.9	2.4	39.0	639	497	713
4.14	18:00	-9.0	-8.1	-8.1	76	2.5	3.0	-55.0	60	61	94
4.14	21:00	-14.6	-12.5	-10.8	98	2.5	3.0	-62.3	0	0	0
4.15	00:00	-15.0	-13.3	-12.1	98	3.1	3.9	-65.3	0	0	0
4.15	03:00	-13.8	-12.5	-12.2	99	1.9	2.6	-52.4	0	0	0
4.15	06:00	-12.9	-11.7	-11.2	94	1.5	1.9	-31.8	36	15	13
4.15	09:00	-9.7	-9.5	-9.6	94	4.1	5.3	18.4	535	434	326
4.15	12:00	-9.0	-9.4	-8.7	85	3.6	4.4	35.2	863	801	943
4.15	15:00	-9.0	-8.9	-8.8	76	4.3	5.3	88.7	894	703	650
4.15	18:00	-13.1	-12.3	-12.2	78	3.9	4.8	-79.3	42	53	106
4.15	21:00	-13.7	-12.8	-12.8	65	4.0	4.8	-99.3	0	0	0
4.16	00:00	-13.5	-12.5	-12.5	53	2.4	2.9	-90.9	0	0	0
4.16	03:00	-13.4	-12.3	-12.4	47	1.9	2.3	-85.8	0	0	0
4.16	06:00	-14.8	-13.5	-13.0	50	2.4	3.1	-78.6	26	10	11
4.16	09:00	-6.8	-6.3	-6.1	28	1.8	2.3	-82.6	686	524	603
4.16	12:00	-4.6	-4.6	-4.1	27	1.7	2.1	62.0	982	737	921
4.16	15:00	-4.8	-4.4	-4.7	33	2.7	3.3	51.7	741	548	733
4.16	18:00	-8.6	-8.3	-7.6	46	3.0	3.7	-93.3	25	22	70
4.16	21:00	-12.1	-11.0	-9.0	50	4.3	5.4	-99.2	0	0	0
4.17	00:00	-9.6	-9.0	-8.3	46	4.2	4.8	-105.7	0	0	0
4.17	03:00	-9.9	-8.9	-8.3	43	4.5	5.4	-103.3	0	0	0
4.17	06:00	-5.4	-4.7	-4.4	29	3.3	3.9	-102.9	21	7	13
4.17	09:00	-1.3	-1.2	-0.2	11	2.9	3.7	-9.5	705	515	625
4.17	12:00	-1.2	-1.2	-0.9	11	3.5	4.4	67.2	983	732	939
4.17	15:00	-2.0	-	-1.5	35	4.2	5.0	49.0	723	557	738
4.17	18:00	-3.8	-	-2.6	47	3.8	4.7	-106.8	19	24	69
4.17	21:00	-4.2	-	-2.9	40	1.7	2.1	-89.5	0	0	0
4.18	00:00	-7.7	-	-4.6	34	2.3	2.9	-94.9	0	0	0

Table 4 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
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	-3.1
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	-2.2
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
18	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
19	8.16	13:28	15:15	-17.4	78	8.17	15:19	17:17	-17.5

Table 4 (续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	Evaporation mg/m ² s
79	8.17	15:27	17:22	-22.8	118	8.20	07:11	09:18	-13
80	8.17	16:54	06:54	-3.9	119	8.20	07:14	09:35	-12.2
81	8.17	17:03	06:58	-3.6	120	8.20	10:49	12:28	-10.4
82	8.17	17:08	07:03	-3.8	121	8.20	10:53	12:30	-10
83	8.17	17:14	07:07	-3.6	122	8.20	10:57	12:32	-5.1
84	8.17	17:19	07:10	-3.3	123	8.20	11:00	12:33	-8.2
85	8.17	17:25	07:14	-3.2	124	8.20	11:04	12:35	-3.8
86	8.18	06:54	09:05	-10	125	8.20	11:07	12:36	-3.1
87	8.18	06:58	09:10	-9.4	126	8.20	14:23	15:30	-7.2
88	8.18	07:03	09:15	-9.4	127	8.20	14:28	15:31	-7.7
89	8.18	07:07	09:23	-9.1	128	8.20	14:32	15:37	-4.2
90	8.18	07:10	09:29	-8.9	129	8.20	14:35	15:38	-6.6
91	8.18	09:08	10:50	-8.8	130	8.20	14:37	15:40	-5.5
92	8.18	09:13	10:55	-5.4	131	8.21	06:53	08:52	-10.4
93	8.18	09:20	10:59	-10.4	132	8.21	06:57	08:57	-10.9
94	8.18	09:26	11:05	-6.3	133	8.21	07:01	09:01	-9.2
95	8.18	09:32	11:10	-5.6	134	8.21	07:04	09:06	-9.6
96	8.18	09:38	11:15	-6.4	135	8.21	07:08	09:11	-7.8
97	8.18	10:52	12:52	-5.2	136	8.21	07:11	09:23	-10.4
98	8.18	10:57	12:58	-4.6	137	8.21	08:55	10:51	-7.1
99	8.18	11:02	13:04	-8.5	138	8.21	08:59	10:57	-8.8
100	8.18	11:07	13:09	-7.9	139	8.21	09:04	11:00	-8.3
101	8.18	11:12	13:15	-5.6	140	8.21	09:09	11:06	-8.3
102	8.18	11:18	13:20	-5.7	141	8.21	09:14	11:11	-6.5
103	8.19	14:48	16:50	-9	142	8.21	09:26	11:18	-6.8
104	8.19	14:51	16:55	-11.7	143	8.21	10:54	12:49	-7.3
105	8.19	14:54	17:01	-12.5	144	8.21	11:00	12:54	-7.3
106	8.19	14:56	17:07	-16.8	145	8.21	11:04	12:59	-9.6
107	8.19	14:59	17:12	-12.4	146	8.21	11:09	13:04	-6
108	8.19	15:02	17:16	-13.4	147	8.21	11:16	13:11	-12
109	8.19	16:53	06:51	0.5	148	8.21	11:21	13:17	-11.3
110	8.19	16:58	06:55	1.2	149	8.21	12:52	14:50	-8.2
111	8.19	17:04	07:01	0.7	150	8.21	12:57	14:56	-8.7
112	8.19	17:10	07:06	1.1	151	8.21	13:02	15:01	-7.5
113	8.19	17:14	07:11	1.1	152	8.21	13:07	15:06	-8.1
114	8.20	06:51	08:49	-13.4	153	8.21	13:14	15:12	-6.4
115	8.20	06:55	08:55	-11.5	154	8.21	13:20	15:19	-8.1
116	8.20	07:01	09:01	-13.8	155	8.21	14:53	16:52	-14.5
117	8.20	07:06	09:09	-9.5	156	8.21	14:59	16:57	-15.2

Table 4 (續 2)

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
157	8.21	15:04	17:02	-16.9	195	8.23	07:10	09:00	-7.6
158	8.21	15:10	17:08	-18.1	196	8.23	07:14	09:03	-4.4
159	8.21	15:16	17:13	-18.3	197	8.23	08:52	10:56	-11.1
160	8.21	15:22	17:19	-17.1	198	8.23	08:54	11:01	-10.3
161	8.21	16:55	06:53	-11	199	8.23	08:56	11:06	-11.1
162	8.21	17:00	06:59	-7.4	200	8.23	08:58	11:11	-8.3
163	8.21	17:06	07:03	-9.6	201	8.23	09:00	11:16	-8.1
164	8.21	17:11	07:07	-7.5	202	8.23	09:03	11:22	-7.9
165	8.21	17:17	07:11	-6.5	203	8.23	10:59	12:54	-12.6
166	8.21	17:22	07:16	-5.8	204	8.23	11:04	12:58	-12.7
167	8.22	06:53	08:53	-15.5	205	8.23	11:09	13:02	-12.2
168	8.22	06:59	08:58	-16.8	206	8.23	11:14	13:06	-12.9
169	8.22	07:03	09:04	-14.8	207	8.23	11:21	13:11	-15
170	8.22	07:07	09:09	-17	208	8.23	12:56	14:34	-10.6
171	8.22	07:11	09:15	-15.6	209	8.23	13:00	14:38	-7.7
172	8.22	07:15	09:20	-16.5	210	8.23	13:05	14:44	-8.4
173	8.22	08:56	10:52	-11.3	211	8.23	13:09	14:48	-8.4
174	8.22	09:02	10:57	-14.4	212	8.23	13:14	14:55	-8.2
175	8.22	09:07	11:01	-10.3	213	8.23	13:20	15:06	-8.6
176	8.22	09:13	11:08	-11.4	214	10.19	11:59	13:14	-7.4
177	8.22	09:18	11:14	-12.5	215	10.19	12:02	13:19	-15.2
178	8.22	09:24	11:21	-11.8	216	10.19	12:05	13:20	-10.1
179	8.22	10:54	12:53	-4.6	217	10.19	12:07	13:21	-12.1
180	8.22	10:59	12:57	-5.8	218	11.03	12:41	13:53	-11.5
181	8.22	11:05	13:01	-5.3	219	11.03	12:44	13:54	-9.9
182	8.22	11:10	13:06	-6.5	220	11.03	12:47	13:56	-13
183	8.22	11:17	13:10	-5.5	221	11.03	12:51	13:58	-9.3
184	8.22	11:23	13:15	-9.2	222	1.31	11:07	13:49	-9.4
185	8.22	12:55	14:51	-7.1	223	1.31	11:10	13:46	-8.8
186	8.22	12:59	14:54	-9	224	1.31	11:12	13:44	-6.4
187	8.22	13:04	14:58	-8.5	225	1.31	11:07	13:21	-4.6
188	8.22	13:08	15:02	-5.4	226	1.31	11:10	13:22	-6.8
189	8.22	13:13	15:07	-7.9	227	1.31	11:12	13:23	-5.3
190	8.22	13:17	15:11	-7.3	228	4.20	12:42	13:34	-26.5
191	8.23	06:53	08:52	-8.7	229	4.20	12:45	13:35	-26.2
192	8.23	06:58	08:54	-8.9	230	4.20	12:46	13:37	-23
193	8.23	07:03	08:56	-9.2	231	4.20	12:48	13:38	-22.1
194	8.23	07:06	08:58	-6.8					

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进行。本年报刊印1988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处河道上,海拔为3695m,流域面积 3.34km^2 ,其中冰川面积为 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7条冰川及裸露山坡总冰雪融水径流。冰川覆盖率为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3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,进行常规气候要素观测。

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1988年逐日平均流量表

集水面积3.34km² 流量以m³/s计

日	月												旬总数 旬平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1					0	0.084	0.177	0.664	0.177				1
2					0	0.010	0.209	0.763	0.177				2
3					0	0.010	0.276	0.435	0.149				3
4					0	0.010	0.354	0.663	0.149				4
5					0	0.010	0.276	0.564	0.119				5
6					0	0.010	0.241	1.14	0.094				6
7					0	0.038	0.276	0.663	0.119				7
8					0	0.010	0.354	0.392	0.094				8
9					0	0.010	0.354	0.354	0.094				9
10					0	0.010	0.476	0.177	0.065				10
旬总数					0	0.212	2.993	5.715	1.237				旬总数
旬平均					0	0.021	0.299	0.572	1.24				旬平均
11					0	0.038	0.520	0.276	0.038				11
12					0	0.065	0.564	0.149	0.010				12
13					0	0.038	0.713	0.149	0.010				13
14					0	0.038	0.435	0.316	0.010				14
15					0	0.038	0.663	0.316	0.010				15
16					0	0.094	0.392	0.119	0				16
17					0	0.276	0.613	0.177					17
18					0	0.241	0.435	0.207					18
19					0	0.207	0.476	0.276					19
20					0	0.520	0.564	0.065					20
旬总数					0	1.555	5.375	7.05	0.078				旬总数
旬平均					<0	1.56	0.538	0.205	0.008				旬平均

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
21						0	0.613	0.713	0.085						21
22						0	0.316	0.520	0.094						22
23						0	0.392	0.241	0.119						23
24						0	0.177	0.177	0.149						24
25						0	0.241	0.177	0.241						25
26						0	0.354	0.354	0.241						26
27						0	0.241	0.354	0.276						27
28						0	0.149	0.663	0.241						28
29						0.010	0.119	0.476	0.119						29
30						0.010	0.119	0.713	0.241						30
31						0.038		0.908	0.207						31
旬总数						0.058	2.721	5.296	1.993	0					旬总数
旬平均						0.005	0.272	0.481	0.181	0					旬平均
月						0.058	4.488	13.664	9.758	1.315					总数
平均						0.002	0.150	0.441	0.315	0.044					平均
最大						0.038	1.42	2.74	2.51	0.435					最大
日期						31	20	30	6	1					日期
最小						0	0.010	0.010	0	0					最小
日期						1-28	2	1	15	18					日期
统计															统计
年		年总数29.283	最大流量2.74	7月30日					最小流量0	5月1-28日				平均流量0.190	
统计		径流量 253.10 ⁴ m ³	径流模数 56.9 L/s.km ²	径流深度 757mm											

制表：杨新元

校核：康尔泗

表 2 乌鲁木齐河源空斗水文点1988年逐日平均流量表

集水面积1.68km²

流量以m³/s计

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
1					0	0.034	0.034	0.128	0.128				1
2					0	0.034	0.034	0.213	0.128				2
3					0	0.034	0.034	0.091	0.091				3
4					0	0.060	0.034	0.060	0.091				4
5					0	0.091	0.167	0.091	0.060				5
6					0	0.091	0.128	0.167	0.060				6
7					0	0.060	0.091	0.091	0.060				7
8					0	0.060	0.213	0.060	0.034				8
9					0	0.060	0.167	0.060	0.034				9
10					0	0.060	0.128	0.167	0.034				10
旬总数					0	0.584	1.031	1.128	0.720				旬总数
旬平均					0	0.058	0.103	0.113	0.072				旬平均
11					0	0.060	0.091	0.060	0.014				11
12					0	0.060	0.128	0.060	0.014				12
13					0	0.060	0.128	0.128	0.014				13
14					0	0.060	0.091	0.034					14
15					0	0.060	0.060	0.034					15
16					0	0.060	0.060	0.128					16
17					0	0.060	0.060	0.128					17
18					0	0.091	0.060	0.167					18
19					0	0.091	0.091	0.060					19
20					0	0.060	0.091	0.091					20
旬总数					0	0.662	0.860	0.890	0.042				旬总数
旬平均					0	0.066	0.086	0.089	0.004				旬平均

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	
日														日	
21						0	0.091	0.060	0.128						21
22						0	0.091	0.091	0.128						22
23						0	0.060	0.128	0.091						23
24						0	0.060	0.128	0.091						24
25						0	0.034	0.091	0.034						25
26						0	0.034	0.034	0.034						26
27						0	0.034	0.034	0.060						27
28						0.034	0.034	0.034	0.128						28
29						0.034	0.034	0.034	0.213						29
30						0.034	0.034	0.060	0.213						30
31						0.034		0.268	0.167						31
旬总数						0.136	0.506	0.962	1.287	0					旬总数
旬平均						0.012	0.051	0.087	1.17	0					旬平均
月 统 计	总数					0.136	1.752	2.852	3.305	0.762					总数
	平均					0.004	0.058	0.092	0.107	0.025					平均
	最大					0.034	0.268	0.541	0.762	0.128					最大
	日期					28	19	8	10	1					日期
	最小					0	0.034	0.034	0.034	0					最小
日期					1	1	1	4	14					日期	
年统计		年总数8.807			最大流量0.762 8月10日				最小流量0 5月 日				平均流量0.057		
		径流量76.1 10 ⁴ m ³			径流模数33.9 L/s.km ²				径流深度453 mm						

制表： 杨新元

校核： 康尔泗

表3 乌鲁木齐河源总控制水文点1988年逐日平均流量表

集水面积28.9km² 流量以m³/s计

月 \ 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 \ 日
1					0	1.89	0.992	3.06	1.60				1
2					0	0.685	0.992	4.98	1.60				2
3					0	0.230	0.992	2.68	1.46				3
4					0	0.310	1.21	2.35	1.33				4
5					0	0.782	2.04	2.87	1.21				5
6					0	0.992	1.46	5.63	1.11				6
7					0	1.21	2.04	3.25	0.992				7
8					0	0.690	3.65	2.20	0.890				8
9					0	0.490	2.68	1.74	0.782				9
10					0	0.405	2.87	1.10	0.685				10
旬总数 旬平均					0	7.584	18.926	29.85	11.649				旬总数 旬平均
11					0	1.33	2.68	0.992	0.590				11
12					0	1.10	3.65	0.992	0.490				12
13					0	0.782	3.65	0.890	0.405				13
14					0	1.21	2.35	1.10	0.310				14
15					0.008	1.33	2.51	1.33	0.230				15
16					0.490	1.21	2.31	2.68	0.150				16
17					0.150	1.74	2.68	1.46	0.070				17
18					0.405	1.74	2.51	0.992					18
19					0.008	1.33	2.68	1.21					19
20					0	1.46	2.68	1.60					20
旬总数 旬平均					1.061	13.232	27.74	13.236	2.245				旬总数 旬平均
					0.106	1.32	2.77	1.32	0.225				

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月
日													日
21					0	2.04	3.06	1.33					21
22					0	2.04	2.51	1.33					22
23					0	2.20	2.87	0.992					23
24					0	1.46	1.89	0.782					24
25					0	1.33	1.89	0.992					25
26					0	1.33	1.46	1.21					26
27					0.008	1.60	1.21	1.21					27
28					0.405	0.890	1.46	1.10					28
29					0.782	0.490	1.89	1.89					29
30					0.992	0.590	3.25	2.85					30
31					1.46		5.41	1.74					31
旬总数					3.647	13.970	26.90	14.926	0				旬总数
旬平均					0.332	1.40	2.45	1.36	0				旬平均
月													总数
平均					4.708	34.786	73.566	58.032	13.894				平均
最大					0.152	1.16	2.37	1.87	0.463				最大
日期					2.87	3.86	8.00	6.60	1.60				日期
最小					31	20	23	6	1				最小
日期					0	0	0.230	0.230	0				日期
统计					1	4	26	15	18				统计

年统计	年总数184.986	最大流量8.00	7月23日	最小流量0	5月1日	平均流量1.209
	径流量1 598 10 ⁴ m ³	径流模数51.2 L/s.km ²		径流深度553 mm		

制表: 杨新元 审核: 康尔泗

表4 乌鲁木齐河源1号冰川水文点1988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	-9.7	-14.6	-17.8	-15.1	4.6	1.1	4.7	4.8	4.1	-11.9	-9.3	-8.3	1
2	-11.4	-12.1	-18.7	-13.9	2.7	-3.4	3.7	4.2	4.5	-9.4	-9.8	-7.9	2
3	-11.1	-10.0	-16.8	-12.8	-0.7	-2.6	4.5	3.9	3.6	-8.8	-10.6	-8.3	3
4	-17.0	-10.4	-12.2	-17.0	1.4	-1.5	2.4	6.0	3.8	-7.9	-10.3	-7.2	4
5	-17.6	-10.5	-22.4	-19.1	-4.3	-0.9	0.0	4.9	1.6	-7.4	-9.0	-7.6	5
6	-16.8	-15.6	-13.1	-15.9	-9.4	0.7	2.4	8.2	1.4	-9.9	-8.8	-20.9	6
7	-15.3	-14.0	-7.1	-11.7	-9.8	1.6	2.5	5.3	0.3	-11.6	-16.6	-19.4	7
8	-16.0	-15.5	-6.0	-8.1	-8.8	-0.2	2.8	5.1	-0.2	-9.9	-20.9	-16.4	8
9	-16.1	-19.9	-7.1	-11.2	-9.1	-2.8	6.5	1.5	2.9	-12.5	-20.0	-14.1	9
10	-16.7	-22.5	-7.4	-16.0	-12.2	2.5	7.5	0.7	2.5	-10.6	-17.3	-11.5	10
旬总数	-147.7	-145.1	-128.6	-140.8	-45.6	-5.5	37.0	44.6	24.5	-99.9	-132.6	-121.6	旬总数
旬平均	-14.8	-14.5	-12.9	-14.1	-4.6	-0.6	3.7	4.5	2.5	-10.0	-13.3	-12.2	旬平均
11	-16.1	-22.2	-5.5	-12.0	-11.6	3.4	6.4	3.8	0.7	-11.5	-12.1	-8.5	11
12	-18.1	-23.6	-11.2	-8.4	-5.6	0.8	6.5	2.1	2.6	-10.2	-9.8	-8.0	12
13	-22.5	-21.8	-12.9	-11.2	-2.6	-0.4	4.8	3.9	4.0	-9.3	-12.0	-9.6	13
14	-24.0	-22.0	-13.2	-10.2	-1.3	2.5	5.3	4.3	3.3	-11.0	-14.3	-9.8	14
15	-20.8	-24.4	-14.2	-11.9	-0.7	2.8	5.0	4.1	-0.6	-12.7	-14.1	-10.7	15
16	-17.1	-18.6	-14.9	-11.1	-0.7	2.6	6.1	0.7	0.7	-11.7	-11.0	-12.1	16
17	-15.1	-15.8	-16.9	-4.6	-5.7	2.7	7.4	2.8	1.6	-9.9	-18.6	-14.6	17
18	-16.7	-14.5	-17.9	-5.7	-7.1	3.4	5.5	5.7	1.5	-13.8	-13.5	-11.8	18
19	-19.4	-10.1	-18.6	-8.4	-7.6	4.3	5.3	5.9	1.3	-11.5	-12.2	-13.0	19
20	-21.2	-14.0	-17.3	-7.1	-6.3	5.8	7.3	1.0	-0.1	-11.0	-14.0	-10.8	20

月 日	月												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
旬总数	-191.0	-187.0	-142.6	-90.6	-49.2	27.9	59.6	34.3	15.0	-112.7	-131.6	-108.9	旬总数
旬平均	-19.1	-18.7	-14.3	-9.1	-4.9	2.8	6.0	3.4	1.5	-11.3	-13.2	-10.9	旬平均
21	-15.9	-18.4	-17.6	-6.5	-4.1	6.0	8.7	-1.8	-0.3	-9.1	-12.1	-9.5	21
22	-14.1	-17.9	-17.5	-4.8	-5.2	7.0	6.0	2.0	1.1	-7.0	-9.9	-13.7	22
23	-17.5	-19.1	-19.5	-4.8	-3.5	2.7	2.1	4.3	0.9	-5.5	-9.8	-14.2	23
24	-19.7	-21.8	-19.9	-6.8	-4.5	2.4	-1.1	3.9	1.7	-11.2	-12.3	-15.5	24
25	-19.5	-23.7	-18.5	-3.7	-4.4	3.4	1.8	3.4	1.5	-14.6	-12.0	-15.2	25
26	-19.0	-32.2	-17.9	-3.1	-3.9	6.1	4.5	3.8	-2.5	-12.2	-13.1	-17.5	26
27	-17.3	-29.6	-16.8	-4.8	-4.5	4.3	5.6	2.9	-7.3	-10.9	-14.1	-14.3	27
28	-17.7	-21.9	-15.2	-0.2	-3.5	4.0	6.5	1.4	-7.7	-11.8	-12.8	-13.0	28
29	-18.1	-16.7	-17.3	2.4	-1.7	1.0	8.2	1.7	-9.8	-7.7	-11.4	-9.2	29
30	-16.4		-18.5	3.2	1.3	-0.7	7.0	0.9	-10.7	-11.3	-7.0	-11.7	30
31	-13.5		-16.5		5.2	4.8		1.7		-11.0		-18.5	31
旬总数	-188.7	-201.3	-195.2	-29.1	-28.8	36.2	54.1	24.2	-33.0	-112.3	-114.5	-152.3	旬总数
旬平均	-17.2	-22.4	-17.7	-2.9	-2.6	3.6	4.9	2.2	-3.3	-10.3	-11.5	-13.6	旬平均
月 统 计	总数	-527.4	-533.4	-466.4	-260.5	58.6	150.7	103.1	6.5	-324.9	-378.7	-747.3	总数
	平均	-17.0	-18.4	-15.0	-8.7	-4.0	2.0	4.9	0.2	-10.5	-12.6	-24.1	平均
	最高	-7.4	-6.6	-2.0	8.0	10.6	11.5	15.3	12.3	10.0	-1.5	-3.0	最高
	日期	1	19	11	30	31	26	29	6	3	4	30	日期
	最低	-24.9	-33.8	-22.4	-22.6	-16.2	-6.3	-4.3	-5.3	-15.3	-18.8	-24.5	最低
日期	20	27	24	5	10	9	24	21	30	13	10	日期	
年统计	最高气温	15.3	7月29日	最低气温	-33.8	2月27日	平均气温						-8.3

制表：杨新元 审核：康尔泗

表 5 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1988年逐日平均气温表

气温以℃计

日	月										旬总数 旬平均	旬总数 旬平均	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			11
1	-17.6	-12.0	-22.2	-12.5	1.6	0.3	2.8	3.5	7.1	-11.5	-6.5	-8.2	1
2	-20.2	-9.5	-22.3	-11.1	-0.1	-4.4	2.5	3.4	5.7	-16.8	-8.8	-7.1	2
3	-16.6	-7.5	-19.3	-10.3	-1.2	-3.6	3.1	3.2	4.0	-11.0	-9.6	-8.1	3
4	-24.4	-7.7	-14.3	-14.9	-1.2	-2.4	2.0	4.7	3.9	-6.5	-8.3	-5.9	4
5	-21.1	-7.8	-15.4	-15.0	-5.3	-1.8	-0.2	4.4	1.5	-7.0	-7.8	-7.0	5
6	-14.7	-14.0	-18.2	-12.6	-10.4	-1.0	1.9	7.2	0.5	-8.8	-7.4	-21.5	6
7	-12.1	-12.9	-10.6	-7.1	-12.6	0.2	1.8	4.8	-1.0	-11.0	-13.2	-19.5	7
8	-12.9	-16.1	-8.9	-4.9	-10.9	-1.3	1.9	5.0	-1.9	-9.1	-16.5	-16.0	8
9	-14.3	-23.0	-10.3	-7.9	-10.3	-2.8	4.9	1.6	0.9	-12.5	-16.8	-13.0	9
10	-13.9	-23.1	-11.5	-11.8	-13.9	0.9	5.9	1.1	1.2	-10.6	-13.2	-11.0	10
旬总数	-167.8	-133.6	-153.0	-108.1	-61.9	-15.9	26.6	38.9	21.9	-104.8	-108.1	-117.3	旬总数
旬平均	-16.8	-13.4	-15.3	-10.8	-6.2	-1.6	2.7	3.9	2.2	-10.5	-10.8	-11.7	旬平均
11	-13.6	-23.4	-7.7	-7.2	-12.3	2.1	4.9	2.8	-0.2	-10.5	-7.6	-9.8	11
12	-17.6	-24.6	-11.0	-6.0	-7.2	-0.1	3.9	1.1	1.7	-9.2	-7.0	-8.3	12
13	-23.5	-23.0	-12.3	-9.0	-3.8	-1.3	4.2	2.7	3.7	-8.4	-8.5	-9.6	13
14	-24.6	-24.4	-12.8	-8.3	-2.5	1.1	4.3	3.5	3.8	-10.0	-10.1	-10.7	14
15	-21.0	-26.3	-10.5	-9.9	-2.0	1.0	3.8	2.7	-1.1	-11.4	-8.2	-11.1	15
16	-16.9	-18.4	-13.5	-8.1	-1.5	0.3	4.8	0.5	0.5	-12.3	-5.8	-12.5	16
17	-14.6	-16.7	-15.9	-2.9	-7.0	0.2	5.1	2.5	-0.7	-10.4	-14.0	-16.1	17
18	-16.2	-14.8	-15.1	-4.8	-7.9	0.5	4.2	4.3	1.2	-11.6	-9.8	-13.3	18
19	-21.6	-10.9	-15.6	-9.2	-8.3	3.6	4.3	4.7	0.8	-9.9	-6.8	-14.5	19
20	-23.8	-14.3	-15.0	-7.2	-7.5	5.2	5.9	0.6	-0.7	-9.5	-9.9	-12.1	20

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬总数	-193.4	-196.8	-129.4	-72.6	-60.0	12.0	45.4	25.4	9.0	-103.2	-87.7	-118.0	旬总数
旬平均	19.3	-19.7	-12.9	-7.3	-6.0	1.2	4.5	2.5	0.9	-10.3	-8.8	-11.8	旬平均
21	-16.6	-17.2	-15.0	-6.8	-5.0	5.5	7.3	-1.8	-0.8	-6.9	-9.0	-9.7	21
22	-16.2	-16.8	-14.9	-4.7	-6.7	5.5	4.8	2.0	-0.1	-6.0	-8.8	-14.0	22
23	-20.7	-18.2	-16.2	-4.9	-4.9	2.4	1.5	3.5	0.2	-2.9	-9.3	-15.1	23
24	-22.6	-21.2	-16.9	-7.5	-5.6	1.0	-1.1	2.4	1.1	-9.1	-10.8	-15.8	24
25	-22.1	-23.8	-15.2	-4.5	-3.3	2.0	0.3	2.9	1.3	-10.9	-12.0	-15.7	25
26	-20.1	-32.2	-14.3	-4.0	-4.4	4.6	3.5	3.4	-0.9	-10.5	-11.8	-17.9	26
27	-17.9	-30.2	-13.6	-4.9	-6.1	3.3	4.5	2.3	-5.0	-10.4	-12.7	-13.8	27
28	-19.1	-22.9	-12.2	-0.3	-4.5	2.7	5.3	1.8	-9.7	-10.2	-12.0	-13.2	28
29	-18.8	-20.1	-14.8	1.6	-2.9	0.2	8.4	1.8	-10.0	-9.3	-11.7	-9.0	29
30	-16.5	-15.5	-15.5	4.0	-0.3	-1.9	6.5	1.3	-11.9	-10.8	-6.6	-12.1	30
31	-12.0	-14.2	-14.2	-3.2	-3.2	4.0	4.0	2.3	-9.3	-9.3	-19.3	-19.3	31
旬总数	-202.6	-202.6	-162.8	-32.0	-40.5	25.3	45.0	21.9	-35.8	-97.3	-104.7	-155.6	旬总数
旬平均	-18.4	-22.5	-14.8	-3.2	-3.7	2.5	4.1	2.0	-3.6	-8.8	-10.5	-14.1	旬平均
总数	-563.8	-533.0	-445.2	-212.7	-162.4	21.4	117.0	86.2	-4.9	-305.3	-300.5	-390.9	总数
平均	-18.2	-18.4	-14.4	-7.1	-5.2	0.7	3.8	2.8	-0.2	-9.8	-10.0	-12.6	平均
最高	-7.2	-4.9	-3.0	8.4	7.9	9.9	14.7	11.2	11.5	-0.5	1.7	-3.0	最高
日期	31	3	11	30	31	26	29	6	1	23	30	4	日期
最低	-28.8	-35.0	-27.0	-21.0	-17.2	-6.3	-3.6	-5.4	-15.0	-29.0	-19.8	-24.0	最低
日期	20	26	1	5	10	3	24	21	30	2	9	6	日期
年统计	最高气温	14.7		7月29日		最低气温		-35.0		2月26日	平均气温		-7.4

制表：杨新元

校核：康尔泗

表6 乌鲁木齐河源总控制水文点1988年逐日平均气温表

气温以℃计

月 日	1988年										旬平均			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	旬总数	旬平均
1	-4.2	-12.7	-23.2	-9.2	6.5	2.0	2.7	5.8	5.7	-5.9	-11.1	-7.7	-113.3	-11.3
2	-8.5	-6.9	-23.2	-7.7	3.6	-1.8	4.6	5.2	4.9	-6.0	-9.0	-5.4		
3	-7.5	-4.5	-20.5	-9.2	0.8	-1.0	4.7	4.9	5.3	-5.9	-10.1	-8.2		
4	-15.9	-8.2	-16.5	-12.0	2.6	0.9	4.0	6.6	5.2	-6.1	-8.4	-4.9		
5	-14.0	-9.5	-15.3	-15.1	-4.4	0.5	2.1	6.8	1.6	-5.7	-8.7	-4.8		
6	-16.9	-15.0	-14.8	-10.0	-8.3	1.6	4.1	9.4	1.2	-7.4	-8.0	-18.7		
7	-14.0	-14.2	-9.8	-6.8	-9.3	2.2	3.4	5.7	1.1	-7.5	-12.9	-17.9		
8	-14.1	-17.0	-6.6	-4.4	-6.4	0.0	4.5	5.6	0.2	-7.2	-16.0	-16.4		
9	-13.3	-21.3	-9.5	-7.6	-7.0	-1.4	8.0	2.6	3.5	-10.6	-16.7	-14.8		
10	-13.5	-20.7	-10.0	-11.8	-11.4	2.5	8.7	1.2	3.8	-8.8	-14.0	-14.5		
旬总数	-121.9	-130.0	-149.4	-93.8	-33.3	5.5	46.8	53.8	32.5	-71.1	-114.9	-113.3		
旬平均	-12.2	-13.0	-14.9	-9.4	-3.3	0.6	4.7	5.4	3.3	-7.1	-11.5	-11.3		
11	-11.9	-21.0	-6.2	-10.8	-9.8	3.7	7.5	5.4	0.6	-6.4	-8.5	-10.5		
12	-15.5	-26.0	-9.1	-5.3	-4.9	2.5	7.1	3.2	3.9	-6.0	-6.9	-10.2		
13	-21.5	-22.9	-10.4	-6.9	-2.6	0.9	6.8	6.3	7.9	-4.3	-6.8	-10.9		
14	-25.0	-24.3	-9.3	-5.7	0.5	3.2	6.4	5.5	3.8	-7.9	-8.0	-12.0		
15	-21.7	-25.6	-9.5	-7.1	9.8	3.2	9.5	5.3	-0.3	-9.8	-9.5	-9.2		
16	-17.8	-18.1	-12.1	-5.6	1.7	3.4	6.7	2.3	1.1	-9.4	-7.7	-10.7		
17	-15.2	-17.2	-13.7	-0.5	-4.8	4.4	7.8	3.5	3.1	-8.1	-13.0	-15.2		
18	-15.5	-15.0	-15.2	-4.1	-5.5	4.2	6.7	6.0	3.7	-11.7	-8.9	-12.0		
19	-17.4	-10.1	-15.3	-8.5	-7.0	5.0	6.4	6.0	4.5	-8.9	-8.3	-13.3		
20	-21.5	-14.2	-13.0	-6.0	-4.5	6.9	8.5	3.3	2.7	-9.0	-9.1	-9.8		

日	月												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
旬总数	-183.0	-194.4	-113.8	-60.5	-36.1	37.4	70.1	46.8	31.0	-81.5	-86.7	-113.8	旬总数
旬平均	-18.3	-19.4	-11.4	-6.1	-3.6	3.7	7.0	4.7	3.1	-8.2	-8.7	-11.4	旬平均
21	-12.4	-16.1	-11.4	-4.2	-1.6	6.8	9.6	1.5	1.5	-7.5	-9.1	-10.2	21
22	-9.6	-16.6	-13.0	-2.0	-3.4	7.1	6.7	3.6	1.8	-3.5	-8.8	-13.0	22
23	-14.6	-16.5	-15.8	-2.7	-3.1	4.1	3.7	5.5	2.4	-3.8	-8.2	-14.0	23
24	-18.0	-19.1	-17.5	-4.2	-2.7	4.5	-0.2	5.3	3.5	-9.0	-12.3	-15.5	24
25	-15.6	-21.4	-15.4	-2.2	-2.8	3.7	2.6	4.3	3.2	-13.7	-10.8	-16.6	25
26	-14.5	-31.5	-14.6	0.0	-1.9	6.9	6.1	4.3	2.6	-11.5	-13.5	-16.2	26
27	-14.1	-29.9	-13.9	-2.2	-5.5	6.2	6.2	3.8	-1.6	-10.4	-14.8	-16.3	27
28	-17.5	-23.7	-10.4	3.0	-2.5	5.7	7.3	2.1	-5.3	-9.6	-13.4	-15.1	28
29	-17.5	-20.3	-13.8	4.2	-0.6	1.5	9.5	2.4	-5.2	-5.3	-13.8	-10.8	29
30	-15.3	-14.4	-14.4	6.8	3.1	0.4	6.2	1.4	-8.8	-10.2	-9.3	-10.8	30
31	-13.4		-11.9		5.6		6.8	2.6		-10.9		-17.9	31
旬总数	-162.5	-195.1	-152.1	-3.5	-15.4	46.9	64.5	36.8	-5.9	-95.4	-114.0	-156.4	旬总数
旬平均	-14.8	-21.7	-13.8	-0.4	-1.4	4.7	5.9	3.3	-0.6	-8.7	-11.4	-14.2	旬平均
总数	-467.4	-519.5	-415.3	-157.8	-84.8	89.8	181.4	137.4	57.6	-248.0	-315.6	-383.5	总数
平均	-15.1	-17.9	-13.4	-5.3	-2.7	3.0	5.9	4.4	1.9	-8.0	-10.5	-12.4	平均
最高	-2.0	-2.2	-2.0	12.2	13.5	13.0	17.5	14.0	11.7	1.0	0.2	-0.7	最高
日期	2.3	8	11	30	1	26	29	6	3	1	11	1	日期
最低	-29.0	-35.0	-27.5	-22.5	-18.1	-5.5	-2.8	-3.9	-13.5	-19.8	-22.0	-24.0	最低
日期	14	27	2	5	10	9	24	10	30	25	8	7	日期
年统计	最高气温	17.5	7月29日	最低气温	-35.0	2月27日	平均气温	-5.8					

制表：杨新元 审核：康尔泗

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
23					1.2	5.0	13.1						23
24					2.4	0.6	0.0	2.9					24
25					1.2			0.9					25
26					5.2			6.6					26
27					0.2	2.8	0.0	1.6					27
28						0.3		17.9					28
29						5.2		24.6					29
30							21.0	1.0					30
31							3.7						31
总 量	1.3	8.6	6.6	0.3	77.3	32.6	108.5	158.2	30.2	38.1	0.0	2.7	总 量
降 水 日 数					16	19	20	22					降 水 日 数
最 大 日 降 水 量					22.6	5.2	24.0	24.6					最 大 日 降 水 量
日 期					5	29	7	20					日 期

年降水量 464.4

附注 1—4月及9—12月因1星期观测1次，故只计月降水总量

制表： 杨新元 校核： 康尔泗

表8 乌鲁木齐河源空冰斗水文点1988年逐日降水量表

降水量以mm计

日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
1						2.7								1
2					5.6		1.8	15.6						2
3						0.1		6.2						3
4					6.8		14.9							4
5					23.6	9.2	2.5	3.6						5
6					4.6		2.5	17.7						6
7						1.4	24.3	0.1						7
8						0.8	0.0	0.3						8
9					2.4		0.3	3.6						9
10					1.2		0.2							10
11							5.0	4.2						11
12							5.4	4.6						12
13					0.8	1.2	2.3	0.1						13
14							2.4							14
15						0.8	0.3	23.2						15
16					16.8	0.8		1.7						16
17					1.8									17
18					0.2	0.2	5.2							18
19					4.4		1.2	5.7						19
20						0.1	0.8	7.4						20
21						0.0		0.4						21
22						1.0								22

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
23					1.2	5.0	15.2							23
24					5.1		4.6	0.4						24
25					1.2			3.2						25
26					5.2			4.6						26
27					0.5	1.2		1.1						27
28						0.8		12.8						28
29						4.6		23.7						29
30							20.1	1.2						30
31							4.8							31
总量	3.5	8.3	9.4	1.4	81.4	33.3	113.8	141.4	19.6	33.6	0.0	2.3	总量	
降水日数					16	17	20	22					降水日数	
最大日降水量					23.6	9.2	24.3	23.7					最大日降水量	
日期					5	5	7	29					日期	
年降水量	448.0													
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													

制表：杨新元 校核：康尔泗

表9 乌鲁木齐河源总控制水文点1988年逐日降水量表

月		降水量以mm计												
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
1						5.7		11.7						1
2					5.6	0.2	0.3	10.2						2
3						1.2	0.2							3
4					3.7		11.5	1.5						4
5					22.3	0.2	3.8	13.9						5
6					4.1	0.0	1.5							6
7						0.2	22.8							7
8						0.8		0.5						8
9					0.7		0.0	7.0						9
10					1.5		0.2							10
11							5.1	7.8						11
12						3.9	6.0	1.1						12
13					0.2	0.9	0.1	0.7						13
14						0.0	1.2							14
15						1.1	0.1	20.2						15
16					15.7	0.5		0.5						16
17					3.3									17
18					0.2		6.1							18
19					4.6	0.1	0.9	3.2						19
20							0.2	14.2						20
21						0.0		0.5						21
22						1.4	0.0							22

月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
23						0.3	4.1	13.3							23
24						3.1	0.8	0.7	1.7						24
25						1.4			1.9						25
26						5.0			4.7						26
27						0.3	2.6	0.2	1.2						27
28							2.2		13.8						28
29							5.9		19.0						29
30								18.8	0.7						30
31								3.5							31
总 量		2.5	7.4	5.0	0.2	72.0	31.8	96.5	136.0	14.7	29.0	1.4	4.1	总 量	
降水日数						16	20	22	21					降水日数	
最大日降水量						22.3	5.9	22.8	20.2					最大日降水量	
日 期						5	29	7	15					日 期	
年 降 水 量		400.6													
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													

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1988年逐日平均相对湿度表

相对湿度以%计

日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
1					58	89	21	67						1
2					78	81	52	88						2
3					91	66	58	89						3
4					62	64	74	46						4
5					98	55	80	76						5
6					87	68	73	61						6
7					56	74	75	85						7
8					54	83	75	67						8
9					64	59	54	85						9
10					91	23	53	60						10
旬总数					737	662	615	704						旬总数
旬平均					74	66	62	70						旬平均
11					87	40	58	52						11
12					48	69	61	76						12
13					68	75	70	65						13
14					81	64	80	74						14
15					62	71	70	63						15
16					75	47	55	93						16
17					94	61	43	65						17
18					94	63	56	37						18
19					78	57	71	50						19
20					59	55	61	78						20

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬总 数					746	602	605	659					旬总 数
旬平 均					75	60	61	66					旬平 均
21					71	61	56	75					21
22					39	51	82	57					22
23					74	72	91	39					23
24					71	68	87	67					24
25					62	57	52	79					25
26					86	41	60	74					26
27					59	73	55	87					27
28					30	50	42	92					28
29					45	70	41	88					29
30					48	64	66	79					30
31					45		77	37					31
旬总 数					630	607	709	774					旬总 数
旬平 均					57	61	64	70					旬平 均
月总 数					2113	1871	1929	2137					月总 数
月平 均					68	62	62	69					月平 均
最小 值					8	4	11	16					最小 值
日 期					28	11	2	10					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11 乌鲁木齐河源空斗水文点1988年逐日平均相对湿度表

相对湿度以%计

旬 日	月										旬 总 数	旬 平 均					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			11	12			
1					66	83	30	69									1
2					71	75	51	84									2
3					83	83	61	86									3
4					54	57	76	55									4
5					70	55	78	71									5
6					74	64	71	62									6
7					71	68	76	82									7
8					62	75	75	63									8
9					67	63	60	80									9
10					84	23	64	61									10
旬 总 数					702	626	642	693									
旬 平 均					70	63	64	69									
11					68	38	67	54									11
12					34	77	70	69									12
13					57	73	77	59									13
14					73	59	63	60									14
15					60	62	76	72									15
16					75	52	57	87									16
17					93	64	52	62									17
18					81	63	74	42									18
19					76	60	76	56									19
20					65	53	63	76									20

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬总 数					692	601	675	637					旬总 数
旬平 均					89	60	68	64					旬平 均
21					69	62	57	79					21
22					43	58	81	57					22
23					73	82	91	47					23
24					74	77	82	73					24
25					58	64	53	76					25
26					74	40	64	80					26
27					67	73	59	86					27
28					36	60	43	99					28
29					36	69	35	88					29
30					52	66	57	81					30
31					52		73	29					31
旬总 数					634	651	695	795					旬总 数
旬平 均					58	65	63	72					旬平 均
月总 数					2028	1878	2012	2125					月总 数
月平 均					65	63	65	69					月平 均
最小 值					10	8	8	15					最小 值
日 期					28	10	30	10					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：康尔西

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月 日
旬总 旬平均					854 65	600 60	723 72	671 67					旬总 旬平均
21					55	66	58	82					21
22					25	62	90	67					22
23					78	78	90	49					23
24					73	62	89	70					24
25					61	64	55	72					25
26					80	49	57	94					26
27					74	63	61	85					27
28					48	47	63	97					28
29					57	93	54	92					29
30					45	80	65	85					30
31					50		78	46					31
旬总 旬平均					646 59	664 66	760 69	839 76					旬总 旬平均
月总 月平均 最小 日期					2005 65 6 22	1965 66 6 11	2123 68 13 2	2262 73 19 23					月总 月平均 最小 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 大 山 冰 川 观 测 试 验 站 基 本 管 地 1988 年 逐 日 平 均 气 温 表

月		气温以℃计										旬总数		
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	旬平均
1	-7.6	-7.3	-12.7	-1.3	11.5	9.8	10.1	13.4	10.9	2.7	-3.7	-5.5	1	
2	-4.8	-7.6	-15.9	-2.1	9.3	7.5	12.3	12.7	11.6	2.1	-1.5	-5.3	2	
3	-8.5	-4.3	-14.6	-1.8	8.8	8.3	11.8	10.7	12.5	3.3	-0.9	-3.1	3	
4	-10.3	-8.0	-11.6	-3.2	5.5	9.0	11.9	12.7	12.1	2.8	-0.1	1.0	4	
5	-13.1	-8.3	-10.6	-5.0	2.8	9.2	10.4	14.0	10.9	3.4	-0.7	-1.7	5	
9	-13.8	-7.7	-12.4	-1.4	-0.4	11.1	11.6	16.1	9.3	1.9	-0.5	-10.2	6	
7	-11.6	-9.7	-10.3	-0.1	1.7	10.5	12.7	12.3	10.6	1.1	-6.9	-15.1	7	
8	-11.8	-10.8	-6.2	3.0	3.5	7.4	12.3	10.9	11.9	0.4	-9.9	-8.1	8	
9	-9.8	-13.1	-4.5	0.8	-0.1	6.9	14.3	9.6	10.7	-3.0	-7.5	-9.9	9	
10	-12.0	-17.4	-2.3	-1.3	-1.1	9.3	15.8	8.1	11.1	-2.8	-5.7	-9.0	10	
旬总数	-103.3	-94.2	-101.1	-12.4	41.5	89.0	123.2	120.3	111.5	11.8	-37.4	-66.9		
旬平均	-10.3	-9.4	-10.1	-1.2	4.2	8.9	12.3	12.0	11.2	1.2	-3.7	-6.7		
11	-11.7	-19.8	-1.5	1.2	0.5	11.9	15.2	10.3	10.4	-1.9	-2.2	-7.0	11	
12	-13.8	-22.8	-2.7	2.5	4.7	10.1	13.9	10.9	9.9	-1.5	0.1	-5.5	12	
13	-16.7	-20.5	-1.4	3.4	7.6	9.4	13.7	11.7	11.5	-0.8	0.4	-5.2	13	
14	-17.5	-18.8	-1.3	3.7	8.9	11.2	14.4	13.1	7.4	-0.4	-1.3	-8.1	14	
15	-19.7	-22.1	-2.7	1.4	10.4	11.3	14.2	12.6	6.1	-0.2	-3.1	-4.3	15	
16	-17.2	-18.0	-3.6	2.7	6.4	11.8	13.5	10.9	6.4	1.9	-4.3	-7.1	16	
17	-15.2	-14.4	-5.2	8.5	2.3	15.1	14.9	11.9	8.3	-2.2	-4.2	-6.2	17	
18	-12.7	-12.2	-7.0	2.3	2.2	13.2	12.9	13.0	8.7	-3.3	-4.9	-9.3	18	
19	-15.4	-6.9	-7.2	1.8	2.2	14.0	14.1	12.7	10.4	-2.6	-2.9	-7.7	19	
20	-17.2	-7.1	-6.3	3.3	4.1	14.6	14.1	11.1	9.7	-1.1	-3.8	-8.5	20	

日	月												旬总数	旬平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
旬总数	-157.1	-162.6	-38.9	30.5	49.3	122.6	140.9	118.2	88.8	-12.1	-26.2	-66.9	旬总数	
旬平均	-15.7	-16.3	-3.9	3.1	4.9	12.3	14.1	11.8	8.9	-1.2	-2.6	-6.7	旬平均	
21	-16.1	-8.1	-6.7	5.3	2.2	14.4	15.5	10.6	9.3	-0.8	-4.3	-7.3	21	
22	-12.0	-8.1	-6.9	7.8	5.2	15.4	14.7	11.0	8.5	1.3	-2.5	-7.4	22	
23	-10.1	-8.1	-6.0	5.1	4.5	10.9	11.0	12.3	9.2	1.3	-3.4	-7.4	23	
24	-13.4	-13.7	-7.3	3.9	4.5	11.5	6.6	13.1	10.0	0.0	-4.6	-5.8	24	
25	-13.1	-16.9	-7.8	5.9	3.7	10.2	8.8	11.4	11.1	-1.9	-5.5	-11.1	25	
26	-13.0	-22.8	-5.7	8.4	4.2	12.9	10.6	12.3	6.8	-3.1	-7.2	-13.0	26	
27	-14.2	-21.6	-6.3	7.3	2.2	13.7	12.3	11.4	4.5	-2.6	-7.2	-14.5	27	
28	-13.6	-17.3	-4.1	10.5	5.0	12.0	13.6	10.9	2.2	-1.3	-7.6	-11.7	28	
29	-11.2	-13.8	-3.6	11.5	8.3	8.6	14.9	9.2	1.1	0.7	-8.2	-9.3	29	
30	-12.2	-14.5	-3.6	12.8	10.8	8.1	14.4	10.1	2.8	-1.1	-8.2	-9.5	30	
31	-10.4		-3.1		13.0		17.8	9.7		-3.5		-12.8	31	
旬总数	-139.2	-130.2	-61.1	78.5	63.6	117.7	140.2	122.9	66.5	-11.0	-56.7	-109.8	旬总数	
旬平均	-12.7	-14.5	-5.6	7.9	5.8	11.8	12.7	11.1	6.7	-1.0	-5.7	-10.0	旬平均	
月	-399.6	-387.0	-201.1	96.9	154.4	329.3	404.3	360.5	268.8	-11.3	-120.3	-243.6	总数	
平均	-12.9	-13.3	-6.5	3.2	5.0	11.0	13.0	11.6	8.9	-0.4	-4.0	-7.9	平均	
最高	4.2	9.1	7.3	23.8	23.5	24.5	24.8	24.8	21.8	18.2	11.7	10.1	最高	
日期	2	3	11	30	31	20	30	6	2	8	5	5	日期	
最低	-24.7	-29.6	-23.8	-11.3	-3.5	-0.8	1.0	1.0	-1.4	-9.0	-18.2	-19.3	最低	
日期	15	27	2	5	10	10	10	10	16	26	28	7	日期	
年统计	最高气温	24.8	7月30日	最低气温				-29.6	2月27日	平均气温				0.6

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1982年逐日降水量表

降水量以mm计

日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
1						3.3		1.2						1
2					8.1	0.9		2.0						2
3					0.7		1.5	4.7						3
4		0.2			0.7		1.9		2.2					4
5	0.0	3.5			9.5		11.1	2.4	2.0					5
6	0.1	2.6			11.0		0.6	3.0	1.7					6
7							6.1	3.4	2.9	4.9	0.3			7
8		1.0				8.1	2.7		0.7					8
9		1.4		2.2	0.4	3.8		5.7		0.9				9
10				3.0	2.6			0.9	1.6					10
11					1.3		0.8		1.0					11
12	0.1		0.0			4.1	11.9							12
13	0.0		4.8	0.8		3.8	3.7	8.7						13
14											0.2			14
15				2.3		0.3	1.2		0.1					15
16			0.0		1.5	0.8	6.1	8.5						16
17			6.4		20.5					0.4				17
18				0.8			2.8				0.0			18
19					2.8	0.0	2.6							19
20					6.2	1.6		6.1	0.0					20
21					3.4	1.5	0.7							21

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	月	日
22						0.5	1.7							22
23	0.0				1.3	15.8	10.1							23
24					5.1	3.2	2.7			4.0				24
25					0.4			13.3		0.4				25
26					3.5		4.5	3.5	0.1					26
27				9.7	4.5	4.0	7.1	2.1	13.5					27
28			0.0		0.1	1.9		0.8	13.0					28
29			0.0					4.8	7.4					29
30						1.3	1.0	5.4		1.2				30
31							1.7							31
总 量	0.2	8.7	11.2	19.0	83.6	52.9	82.5	76.6	46.2	11.8	0.5	0	总 量	
降水日数	5	5	6	7	19	17	21	17	13	6	3	0	降水日数	
最大日降水量	0.1	3.5	6.4	9.7	20.5	15.8	11.9	13.3	13.5	4.9	0.3	0	最大日降水量	
日 期	0.12	5	17	27	17	23	12	25	27	7	7		日 期	
年 统 计	降水量 393.2												降水日数 119	

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1988年逐日平均相对湿度表

相对湿度以%计

日	月										旬总类		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12
1	63	62	58	66	68	83	65	75	62	70	63	56	1
2	73	56	58	71	80	80	82	84	62	72	65	64	2
3	74	64	53	69	80	80	72	83	61	66	62	67	3
4	79	78	56	80	87	74	77	75	75	69	56	45	4
5	80	84	58	68	89	71	77	77	73	70	58	52	5
6	80	88	62	61	96	62	74	75	79	80	56	80	6
7	64	82	67	54	65	73	65	83	62	78	84	70	7
8	67	88	61	54	64	87	76	81	60	76	72	68	8
9	65	81	64	74	87	70	75	84	65	75	59	59	9
10	70	73	59	70	72	67	74	77	70	68	56	51	10
旬总数	715	756	598	667	788	737	717	794	669	724	631	612	
旬平均	72	76	60	67	79	74	72	79	67	72	63	61	
11	75	76	57	56	72	55	77	71	69	66	50	52	11
12	86	74	66	60	52	70	76	76	83	64	57	59	12
13	84	69	87	73	54	81	59	67	51	64	66	61	13
14	81	64	70	58	59	69	76	61	69	60	89	55	14
15	66	61	82	67	57	69	76	66	76	64	63	59	15
16	60	65	80	48	80	62	78	81	66	54	63	62	16
17	58	63	83	38	89	60	75	73	61	76	83	72	17
18	67	57	65	58	81	60	84	64	55	77	71	68	18
19	80	63	60	66	80	60	75	73	54	70	49	61	19
20	73	70	69	59	65	59	73	78	55	61	58	64	20

旬 日	月													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	旬 总 数	旬 平 均
旬 总 数	730	662	717	583	689	835	749	710	619	656	649	613	613	旬 平 均
旬 平 均	73	66	72	58	69	64	75	71	62	66	65	61	61	旬 平 均
21	60	83	73	52	81	70	75	75	56	55	66	54	54	21
22	57	76	76	42	75	60	82	72	52	58	56	65	65	22
23	75	65	74	62	81	89	86	65	56	62	60	80	80	23
24	79	66	72	48	84	80	80	70	50	94	72	74	74	24
25	67	80	74	47	65	81	76	83	49	81	69	87	87	25
26	72	73	70	45	74	72	81	80	73	71	75	77	77	26
27	81	56	70	66	89	74	79	73	90	72	66	72	72	27
28	78	54	79	51	73	79	69	79	99	57	51	53	53	28
29	68	56	75	51	67	81	67	85	92	59	56	50	50	29
30	66		65	60	63	69	75	77	78	81	48	69	69	30
31	49		71		66		76	68		79		89	89	31
旬 总 数	752	609	799	524	818	755	846	829	695	769	619	770	770	旬 总 数
旬 平 均	68	68	73	52	74	78	77	75	70	70	62	70	70	旬 平 均
月 总 数	2197	2027	8112	1776	2206	2127	2312	2333	1983	2149	1899	1995	1995	月 总 数
月 平 均	71	70	68	59	74	71	75	75	66	69	63	64	64	月 平 均
最 小 值	24	32	24	3	15	22	30	17	14	17	21	31	31	最 小 值
日 期	20	17	3	17	12	10	2	23	17	16	4	21	21	日 期

制表：杨新元 校核：康尔泗

天山拉尔墩达坂-哈希勒根达坂冰缘地貌 观测及大西沟冻土物探报告

朱 诚 姚 增**

1988年7月至8月,我们对天山拉尔墩达坂-哈希勒根达坂(独库公路)及大西沟冻土分布特征和冰缘地貌过程进行了年度性的定位测量和考察。主要工作有:拉尔墩达坂泥流舌运动速率的测量及其内部结构的坑探、哈希勒根达坂石冰川、石流坡运动速率的测量。大西沟气象站附近冻土及总控水文点和空冰斗石冰川的电测深、空冰斗石冰川运动速率测量、空冰斗分层冻胀磁铁活动数据的收集及阶状分层冻胀仪的埋设、空冰斗石流坡、风化裂隙变化数据的收集、后峡冰川站地下水及基岩深度的电测深等。

1 拉尔墩达坂泥流舌测量和坑探

1.1 泥流舌运动速率的测量

拉尔墩达坂位于天山山脉中段那拉特他乌山,海拔3 157.4m(43°10'N,84°15'E)。新疆自治区的重要国防公路-独库公路(独山子-那拉提-巴音布鲁克-库车)在此穿越达

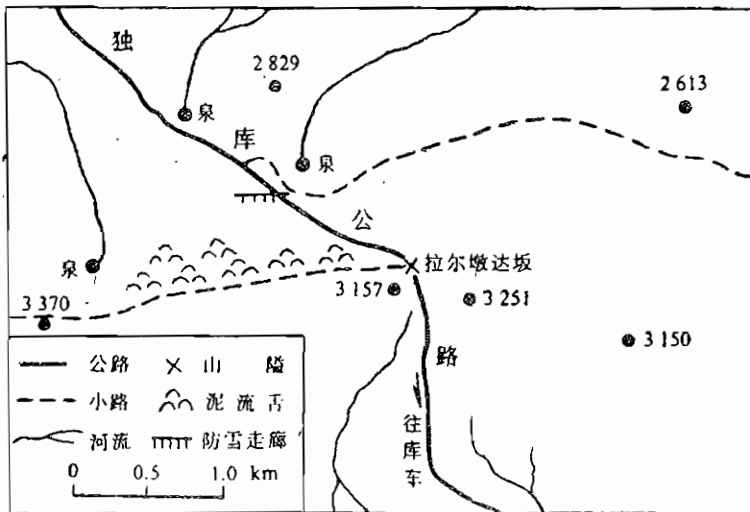


图1 拉尔墩达坂地理位置图

*华东师范大学地理系。

**兰州大学地理系。

坂。在冬季由于风吹雪作用，南坡大量积雪被吹到北坡堆积，使北坡公路受到积雪危害，严重影响公路交通。新疆自治区和中国科学院在此修建许多防雪走廊和防雪障，有效地保障了冬季公路的通行。

在拉尔墩达坂海拔3 000m以上朝北的山坡上发着大量呈阶状的泥流舌。为了与天山大西沟望峰平台泥流舌（已连续观测三个年度）进行运动状况的比较，我们选择了某一泥流舌做了定位测量，共设测桩14根，表1是原始观测数据（比例尺1 : 1 000,仪器高1.48m）。

表1 拉尔墩达坂泥流舌运动速率测量原始数据

测 桩 号	斜距 (m)	竖直夹角	水平距 (m)	高度 (m)
No.1	24.4	17°12'	22.3	6.89
No.2	21.0	14°10'	19.7	4.98
No.3	19.7	9°23'	19.2	3.17
No.4	21.5	8°47'	22	3.39
No.5	24.0	8°18'	23.5	3.42
No.6	27.0	6°02'	26.7	2.71
No.7	30.4	5°50'	30.1	3.06
No.8(桩上20cm)	34.0	6°19'	33.6	3.72
No.9	37.8	7°50'	37.1	5.23
No.10	39.7	7°42'	39.0	5.26
No.11	36.0	13°52'	34.0	8.38
No.12	34.2	13°09'	32.5	7.57
No.13	31.2	12°10'	29.9	6.43
No.14	29.5	11°05'	28.4	5.56

由于此处泥流舌本次测量属于初次布点，其运动速率的获取有待下个年度的继续定位测量。

1.2 泥流舌内部结构的坑探

坑探处的泥流舌位于海拔3080m（海拔仪读数）、坡向正北、坡度29°，其长19.8m、后缘宽17.7m、中部宽15.9m、前缘宽6.50m、前缘突起高度1.4m（图2）。坑探发现整个剖面自上而下可分四层：

（1）多草皮根系腐殖质土层：厚15cm、黑褐色，距地表8cm处土温为8.9°C（根据热电偶测温仪读数。地表气温为15°C）。

（2）含角砾高山草甸土层：厚82cm、黑褐色，距地表80cm处土温为5.4°C。

（3）含砾粗砂土层：厚73cm、黑褐色，距地表1.4m处土温为5.0°C。

（4）含粒状冰构造冻土层：淡褐色，内含有冻结角砾片麻岩，砾石呈棱角状，砾石直径多在1—10cm，夹杂有10—30cm直径的大砾石。距地表1.7m处土温为-0.4°C。由于冻土层难于继续开挖，故未见到基岩；但可推断多年冻土上限应在1.7m以下。

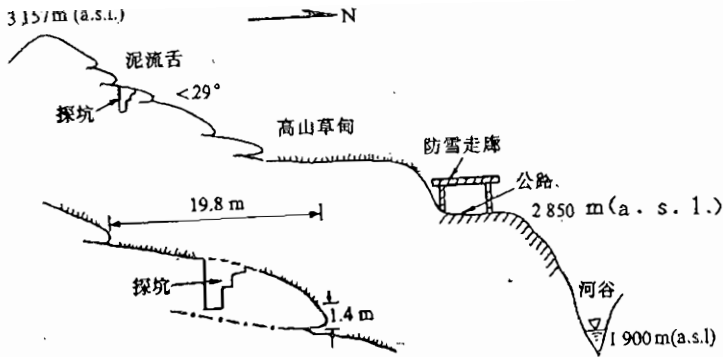


图2 拉尔墩达坂北坡纵剖面及泥流舌探坑示意图

此处冻土层距地表1.7m处土样的含水量根据以烘干土为基数的水分百分数

$$W\% = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0} \times 100 \text{ 计算为 } 29.3\%。$$

2 哈希勒根达坂石冰川和石流坡流速测量

沿独库公路从巩乃斯到独山子全长216km，其间要翻越两个达坂：一是玉希莫勒盖达坂，此处海拔约3920m，寒冻风化作用强烈，基岩出露的山坡岩石破碎顺山坡发育有大量石堤垅、石河、石条、石冰川和倒石堆。石堤垅、石河和石条分布的高度约在海拔3750—3850m之间，其坡向多在 290°NW 左右。石冰川多在海拔3850m以上出现，坡向多在 260°SW 左右。而该处倒石堆主要分布在达坂北坡各较陡山坡上，坡向大都在 175°SE 左右，倒石堆多数呈哑铃状，长度可达200m以上。由于玉希莫勒盖达坂的石堤垅、石河、石条、石冰川和倒石堆距公路远且难以通行，所以这次我们未进行定点观测。二是哈希勒根达坂，此处海拔3900m，距独山子103km。受地势分界影响，南北两侧景色截然不同，达坂南面绿草茵茵一派高山草原风光；达坂北面虽值盛夏却寒风瑟瑟遍布多年积雪和雪斑，由于寒冻风化强烈使得岩石破碎、冰缘块体运动型的地貌如倒石堆、石流坡大量发育。

(1) 石冰川流速测量：距哈希勒根达坂隧道以北400m的公路旁，一条长200余米、宽50多米的舌状石冰川顺着坡向 330°NW 、坡度 17° 的山坡发育，此石冰川前缘已伸展到公路面。由于其前缘卸载的大量砾石已对公路面造成威胁，故为安全起见，独库公路段在石冰川前缘坡下修筑了一道长约80m、高3.5m、厚80cm的水泥挡墙以防止石冰川前缘落石掩埋公路路面。为掌握石冰川运动对公路破坏的第一手资料，我们实测了石冰川目前前缘10块大砾石的准确位置（相对于正前方100m处的公路旁的水泥桩），表2是原始观测数据（比例尺1:1000，仪器高6）。

(2) 石流坡流速测量：在独库公路距独山子约98km处的公路旁，由风化的闪长岩、花岗斑岩等砾石组成的石流坡在坡向 325°NW 、坡度 33° 的山坡上大量发育。陡坡和流水的影响使得石流坡多次冲垮公路挡墙，道班工人在此地段利用粗铁丝筐捆扎石块

表2 哈希勒根达坂石冰川运动速率测量原始数据

测点号	斜距 (m)	垂直夹角	水平距 (m)	高度 (m)
No.1	98.5	17°50'	89.5	28.71
No.2	101.0	18°30'	90.9	30.39
No.3	102.0	18°13'	92.1	30.29
No.4	109.0	18°04'	98.5	32.13
No.5	112.0	17°50'	101.7	32.65
No.6	115.0	17°32'	104.6	33.04
No.7	132.0	15°45'	122.4	34.48
No.8	132.0	15°10'	123.0	33.33
No.9	100.0	18°14'	90.3	29.72
No.10	95.0	18°15'	85.8	28.25

筑成多层挡墙来抵挡石流坡、泥石流对公路造成的危害，为此付出艰辛劳动和巨大代价。为获得石流坡的直接运动数据，我们采用了基岩+涂漆控制线法布置观测场，观测的石流坡位于海拔2900m处，控制线长26m，涂漆标号砾石共16块。其年度速率有待下个年度的量测来获取。

3 大西沟冻土、冰碛物、石冰川的电法勘探测量

冻土的电测深：本次主要采用电阻率法，即以地壳中各种岩石和矿石的导电性能（电阻率）的差异为物质基础，通过观测和研究地下人工电场的变化规律来分析各不同物质的分层和厚度问题。视电阻率 ρ_s 为： $\rho_s = k \frac{\Delta V}{I}$ 式中， ΔV 为电位差； I 为共电电流； R 为装置系数。本次测量剖面法为对称四级法，剖面上排列的装置系数 $K = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$ 。

本次冻土物探主要做了三条剖面线，如图3中A，B，C三条。

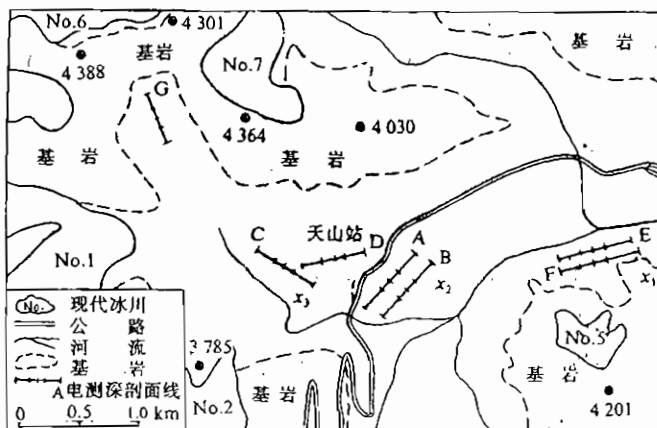


图3 天山站冻土、冰碛物、石冰川电测深位置图

A剖面位于大西沟气象站东南面100m左右，地表面为高山草甸，剖面方位 $30^{\circ}\text{NE}\cdot 210^{\circ}\text{SW}$ ，全长480m，其电阻率曲线如图4所示。根据目视判读并参考坑探资料，可为距地表0—2m深处为季节融化层，2—15m为冻土层，15—80m为冻结基岩层，80—200m由于上覆压力的压融和地热的增温是未冻结基岩层，200m处可能因岩性变化电阻率有所上升。

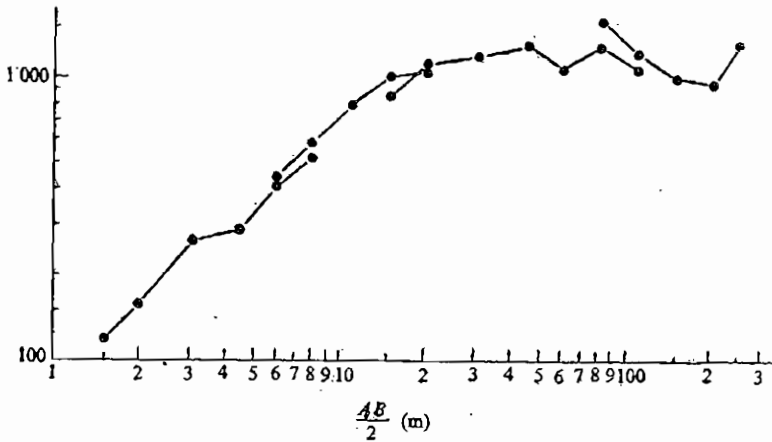


图4 冻土物探A剖面电阻率曲线

B剖面位于A剖面东南80m左右，方位和长度与A剖面相同，其电阻率曲线如图5所示。分析认为此处0—3m为季节融化层，3—8m为冻土层，8—80m为冻结基岩，80m以下为未冻基岩。

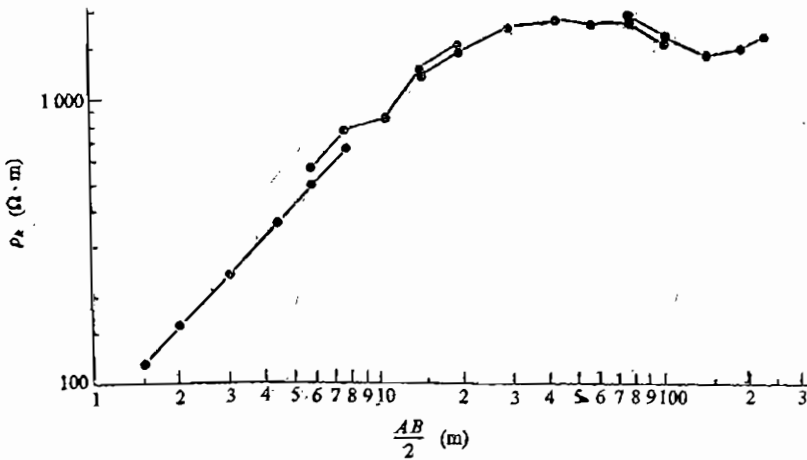


图5 冻土物探B剖面电阻率曲线

剖面C位于气象站以西800m处，全长480m，电阻率曲线如图6所示。分析认为季节融化层与冻土上限的分界应在2m左右，2—8m为冻土层，8—80m为冻结基岩，80m下是未冻基岩。

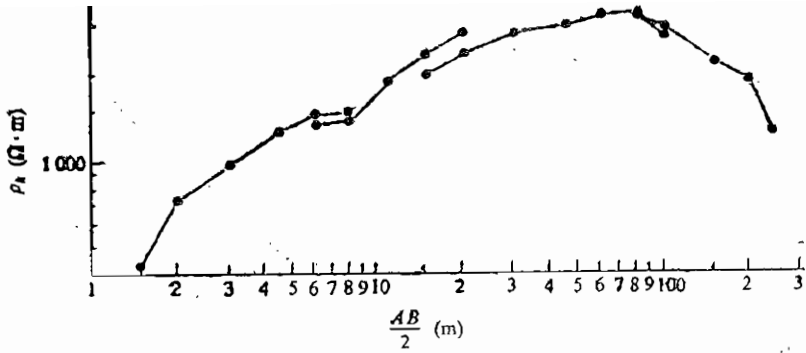


图6 冻土物探C剖面电阻率曲线

剖面D位于气象站后冰碛垅顶部，方位 $73^{\circ}\text{NE}-252^{\circ}\text{SW}$ ，长480m。从曲线看由于斜率大，近于 45° 上升，故可认为含有大量地下冰体。冻土上限约在2m左右，2~60m为含大量冰体的冻土和冻结基岩，60m以下为未冻基岩（图7）。

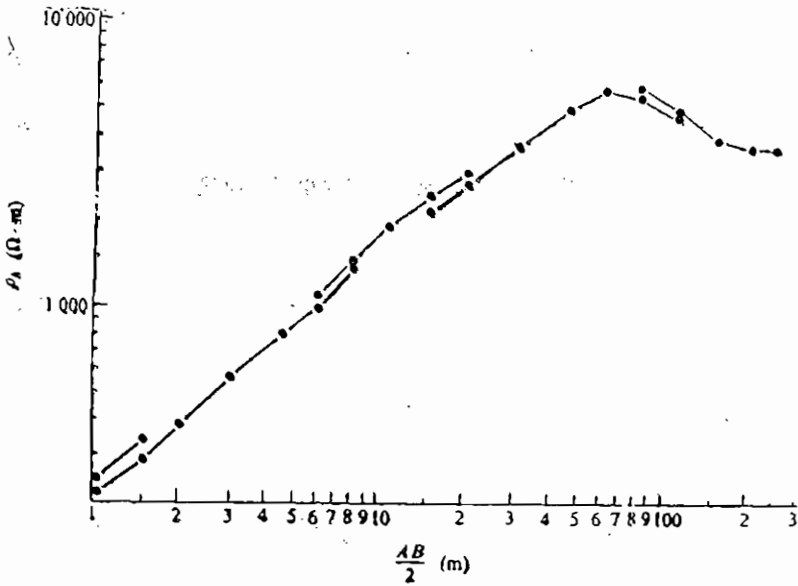


图7 冰碛垅物探D剖面电阻率曲线

剖面E位于总控水文点以南约100m处，剖面F位于E剖面以南约50m处。此两剖面方位为 $85^{\circ}\text{NE}-265^{\circ}\text{SW}$ ，长度均为480m。由于剖面设在石冰川上、而石冰川组成物质粗大、内部含冰量大（已于1986年做过石冰川坑探），所以从图8和图9可以看出石冰川电阻率曲线值要比冻土和冰碛物高一个数量级（即冻土电阻率值最低，其范围在 $1.5 \times 10^3 - 3.2 \times 10^8 \Omega \cdot m$ 之间；冰碛垅电阻率稍高，其范围是 $5.5 \times 10^8 \Omega \cdot m$ ；而石冰川电阻率值高达 $2.6 \times 10^4 - 4.8 \times 10^4 \Omega \cdot m$ 之间）。根据本次物探以及朱诚1986年物探资料综合分析，此处距地0—1.5m为石冰川活动层，1.5—100m为冻结砂砾石层，100—240m为未冻结基岩，240m以下为岩性变化的基岩（从本处基岩露头产状可认为是由电阻率高的花岗岩转变为电阻率稍低的板岩）。

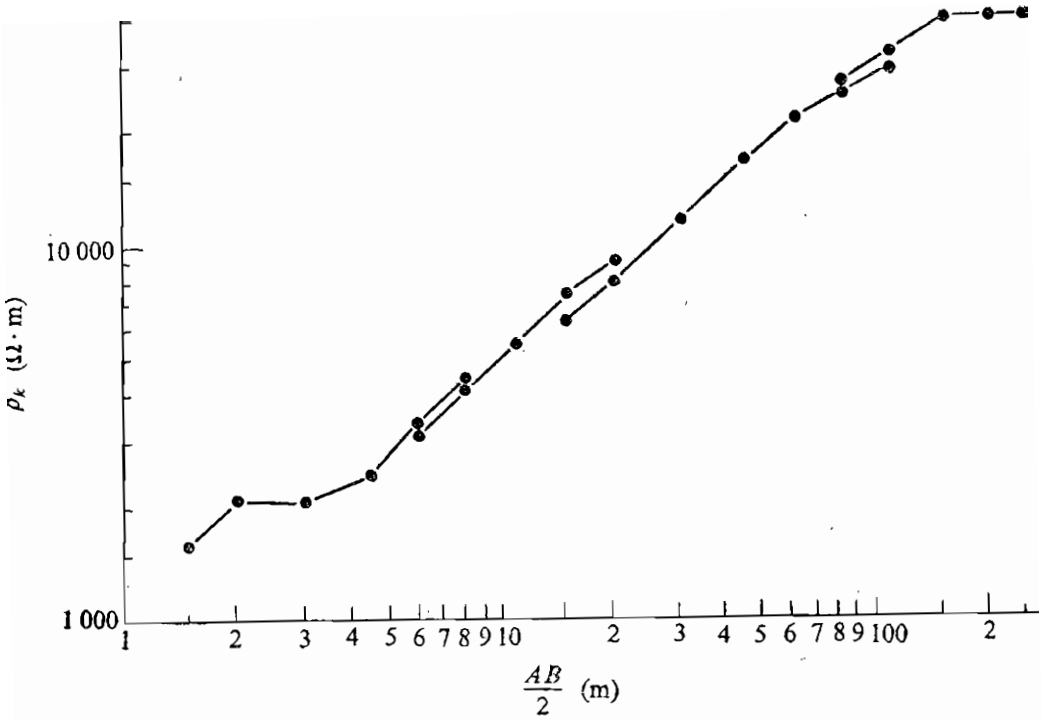


图8 石冰川物探E剖面电阻率曲线

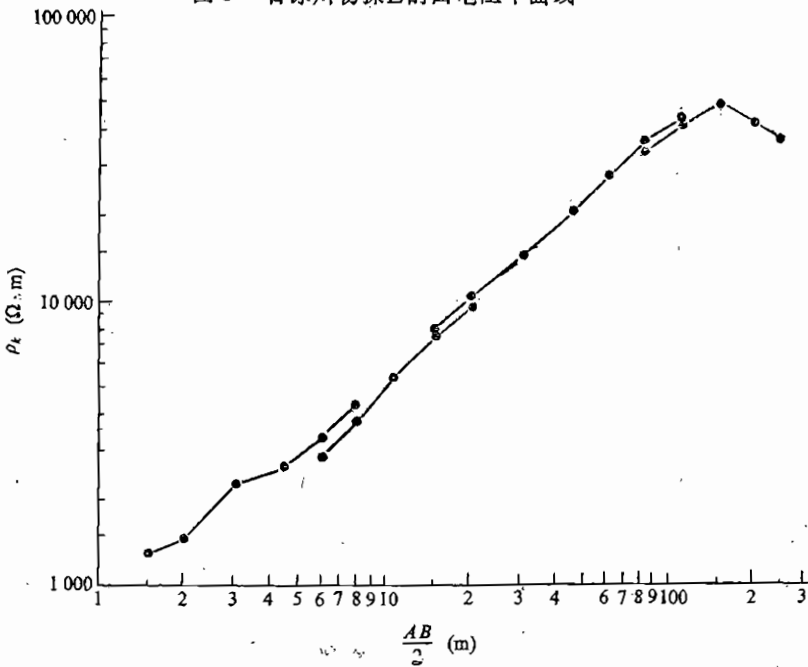


图9 石冰川物探F剖面电阻率曲线

物探G剖面位于空冰斗内由小冰期冰碛垅演变的石冰川上，剖面方位 $125^{\circ}\text{SE}-1^{\circ}\text{NW}$ ，全长 480m。从图 10 判读可认为季节融化层与冻结砾石层的分界在 2 m 处，-6 m 为冻结砂砾石层，6—80m 为冻结基岩，80m 以下是未冻结基岩（图10）。

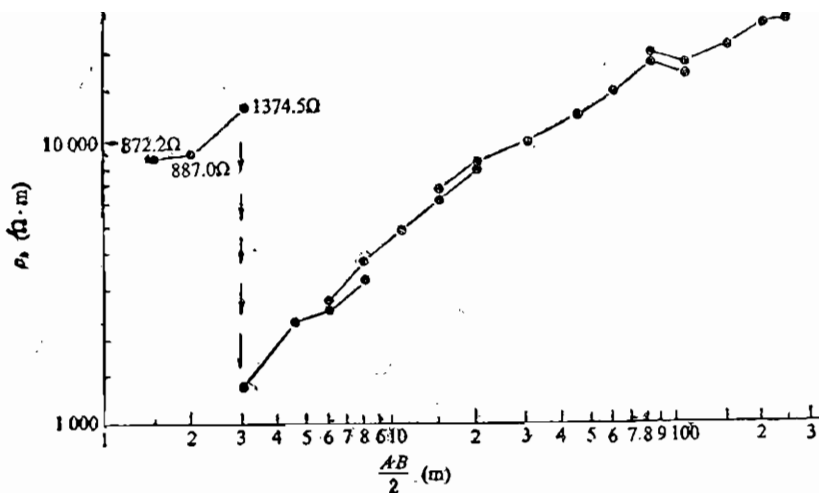


图10 石冰川物探G剖面电阻率曲线

4 后峡冰川站地下水电测深

后峡冰川站由于近年扩建，对地下水需求量增大，原有的水井需要继续加深，现打算在原有的水井井位继续向下深挖5 m，但不知此井位下方的地质条件情况。若在深挖过程中遇到基岩则会给打井带来人力和物力的损失。为此我们在井位旁进行了电法勘探，剖面方位85°NE—265°SW，全长45m，电阻率曲线如图11示。

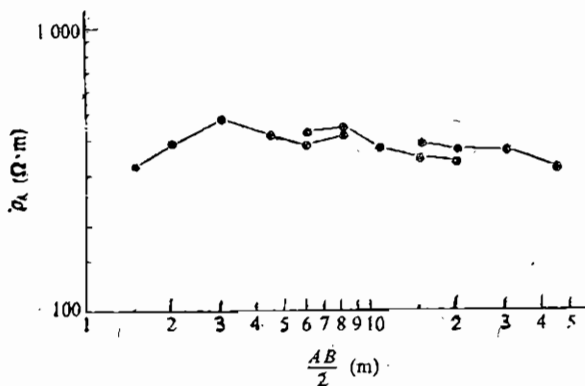


图11 后峡冰川站地下水电测深曲线

从图11可见，自地表下1.5—3 m电阻率上升，根据实地勘探可认为是河流相沉积物以及坡积的混杂堆积物（主要是砂砾石层）；3 m以下电阻率一直下降，至45m处仍在下降，由于电阻率值在 3×10^2 — $4.8 \times 10^2 \Omega \cdot m$ 之间，根据常规物探对比可认为是盐类含量在0.010g/l左右的地下水。从图11曲线可推测，如果在原井位继续深挖至少在45m深处仍不会遇到基岩，因为此处基岩主要是侏罗系砂页岩，而侏罗系砂页岩电阻率值可高达 2×10^3 — $6.4 \times 10^3 \Omega \cdot m$ 。

5 空冰斗分层冻胀仪的埋设、石冰川流速测量 和地貌过程数据的收集

5.1 分层冻胀仪的埋设

1986年7月22日我们在空冰斗口曾埋设过串珠状分层冻胀仪，三个年度的观测表明这种冻胀仪较显著地反映了不同季节的冻胀抬升和融沉下降过程（见下节所述）。但美中不足的是这种冻胀仪的串珠状特点夹杂了下方塑管受切向冻胀力向上抬升时对上方塑管抬升的叠加影响，在融化季节下方塑管则受到上方塑管下沉过程中荷重和自重的叠加影响，使各层的冻胀观测产生误差。而阶状分层冻胀仪可免除各层间的叠加影响造成的观测误差。（图12）。

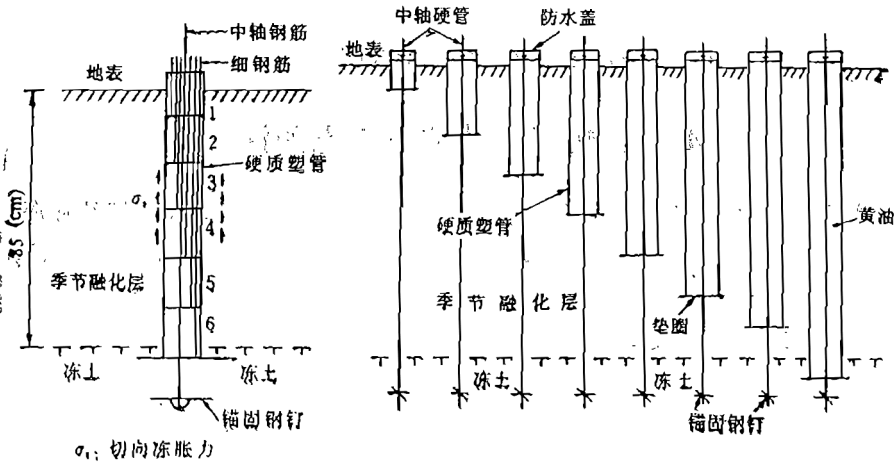


图12 串珠状分层冻胀仪（左）与阶状分层冻胀仪（右）的对比

本次在空冰斗共埋设一组八根分层冻胀仪，此冻胀仪中轴硬管外径2cm、内径1.5cm、管壁厚3mm、管长每根1.97m。每根中轴硬管均由钢钉锚固后埋入冻土层中以此做为参照点。外部硬塑管外径3.7cm、内径3cm、管壁厚3mm。从1—8各粗管（带盖）分别长180.09cm，151.7cm，130.8cm，112cm，91.8cm，70.7cm，50.6cm，30.9cm。埋设仪器坑长轴方位266°SW，埋设后各粗管防水盖距中轴硬管顶端距离分别为（Ⅰ.4.1cm，Ⅱ.14.8cm，Ⅲ.14.2cm，Ⅳ.14.6cm，Ⅴ.14.3cm，Ⅵ.14.6cm，Ⅶ.

15.5cm，Ⅷ.15.6cm），位置如图



。各管均涂有蓝漆编号。

埋设过程中我们量测了埋坑剖面不同深度的土温并采了土样。如距地表0.21m土温4.5°C（采样），0.58m为3.6°C（采样），0.8m为3.1°C（采样），1.2m为0°C，1.3m处为-0.1°C（采样）。各样含水量分别为冻土（1.3m处）为12.7%，81cm处为5.0%，58cm处为18.2%，21cm处为12.5%。

5.2 石冰川流速的测量

空冰斗内由小冰期冰碛垅演变的具有反倾坡的石冰川是本区海拔位置最高的石冰川。从气温角度看,此处一年中日气温在 0°C 左右波动的天数可达100多天(据天山站气象资料),但气温对石冰川运动和变化有何影响尚无人知晓,为此我们在此进行了测量。表3是原始数据(比例尺1:1000,仪器高129.5cm)。

表3 空冰斗石冰川运动速率测量原始数据

测点号	斜距(m)	垂直夹角	水平距(m)	高度(m)
No.1	166	$17^{\circ}46'$	150.5	48.24
No.2	160	$18^{\circ}05'$	144.6	47.21
No.3	156	$18^{\circ}19'$	140.6	46.54
No.4	154	$18^{\circ}10'$	139.0	45.62
No.5	168	$17^{\circ}25'$	153	47.98
No.6	170	17°	155.5	47.53
No.7	182	$16^{\circ}16'$	167.6	48.93
No.8	175	$15^{\circ}33'$	162.2	45.20
No.9	68	$8^{\circ}14'$	66.6	9.64
No.10	62	9°	60.5	9.58
No.11	47.5	$9^{\circ}25'$	46.3	7.67
No.12	55	$7^{\circ}30'$	54.05	7.12

5.3 各地貌过程数据的收集

(1) 空冰斗串珠状分层冻胀仪:表4是三个不同年度各埋设套管距地表面的距离。从表4可知6月份本区冻土仍处于冻胀抬升状态,各套管有处抬升为1cm,平均

表4 空冰斗串珠状分层冻胀仪的变化

距地表距离(cm) 套管号	观测时间		
	1986.7.22 (埋设)	1987.6.5	1988.8.6
No.1	5	4	5.4
No.2	5.4	4.5	6
No.3	5.3	4.3	5.8
No.4	4.8	3.9	5.4
No.5	5.4	5.2	6.2
No.6	5	4.8	5.4

抬升0.7cm。而8月在本区属融沉季节,各套管有三处下沉达1.5cm,平均下沉1.3cm。

(2) 基岩裂隙的变化: WRI板岩剥蚀速率观测点位于空冰斗西南角基岩山坡处。从1986, 1987, 1988三个年度的量测结果看, 此处的裂隙是每年在增加(表5)。

表5 空冰斗板岩裂隙变化表

1986年	裂隙序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
	裂隙至基 点距离 (cm)	9.6 9.8	10.9 11.1	11.9 12.5	13.7 13.8	15.5 43.5	50.5 50.7	52.5 52.7	56.6 57	58.8 59	59.7 61.6	61.9 62	64.3 64.4	64.7 64.8	66.6 66.7	67.7 67.8			
	裂隙宽度 (cm)	0.2	0.2	0.6	0.1	28.0	0.2	0.2	0.4	0.2	1.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
1987年	裂隙序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
	裂隙至基 点距离 (cm)	9.5 9.9	11.0 11.2	12.0 12.5	13.9 14.1	15.5 43.4	52.7 52.9	55.4 55.7	56.6 57.1	58.9 59.2	59.8 61.6	61.9 62.1	62.5 62.7	64.3 64.5	64.7 64.8	66.4 66.5	67.7 67.8		
	裂隙宽度 (cm)	0.4	0.2	0.5	0.2	27.9	0.2	0.3	0.5	0.3	1.8	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1		
1988年	裂隙序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	裂隙至基 点距离 (cm)	9.7 10	11 11.2	12.3 12.7	15.5 42.2	43.5 43.9	45.4 45.6	50.5 51	52.7 52.9	56.7 57	57.8 61.7	59.1 59.3	59.8 61.7	61.9 62.1	62.6 62.8	64.4 64.6	64.8 65	66.4 66.7	67.7 67.8
	裂隙宽度 (cm)	0.3	0.2	0.4	26.7	0.4	0.2	0.5	0.2	0.3	3.9	0.2	1.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1

注: 剖面全长69cm。

从表5可见1987年主要增加了序号为12的一处裂隙, 而1988年主要增加了序号为5和6的两处裂隙, 并且各裂隙平均宽度有所增大。

以上是今年野外所做的主要工作, 由于物探资料的最后结论还有待计算机处理分析、冻土取样的分析还有待实验室的实验结果, 今后将逐渐充实和完整本次工作的结论和结果。

后峡天山站附近地区石冰川 的初步观察

丁永建 邓晓峰

天山乌鲁木齐河源是我国现代冰川与地貌学研究的基地，也是古冰川地貌及冰缘环境研究较为详细的地区。但是过去的研究工作主要是在末次冰期下限高度——海拔约3 000m以上的地区。可以想象，在末次冰期作用下限3 000m以下及附近的地区必然发育各种古冰缘现象。1986年6月，我们同西德外宾到后峡天山站附近地区作短暂访问考察时，在该地区发现了石冰川及雪蚀洼地等古冰缘地貌。这一发现尚属首次，对认识天山乌鲁木齐河流域的古冰缘环境具有重要意义，现将一些初步认识整理如下。

1 石冰川及雪蚀洼地的一般特征

石冰川分别分布在天山站以上约2.2km处，公路两侧的科拜来克沟和萨尔克吾斯沟源区（图1），共发现有4条，在两侧沟内各有2条。分布在海拔2 500—3 400m的范围

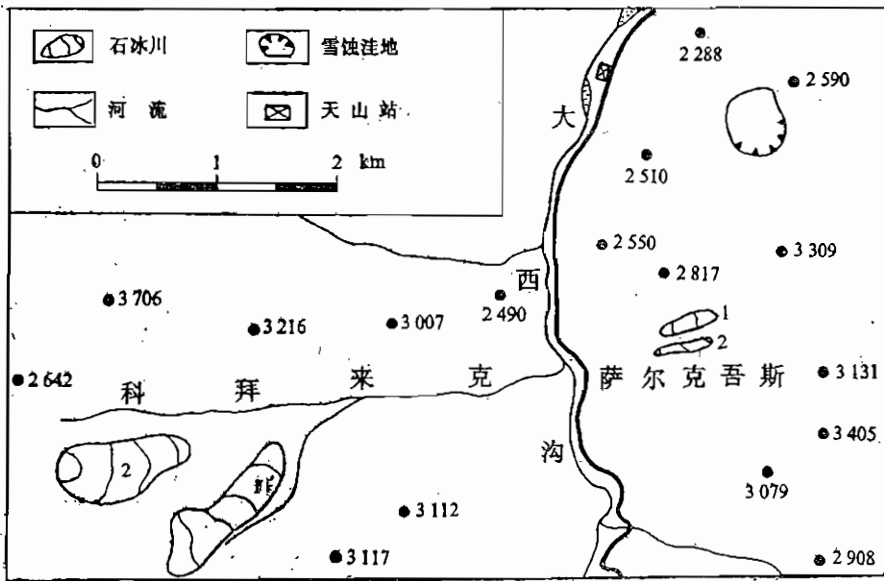


图1 工作区平面示意图

内，长度为0.5—1.4km，面积0.05—0.4km²（表1）。其共同特点是分布在沟源山坡麓地带，舌部前端部分突起陡立，坡度较大，向上逐渐平缓（图2，图3），与冰川纵

表 1 石冰川主要特征数据

位 置	石冰川编号	流域最高点 (m)	末端高度 (m)	顶端高度 (m)	长 度 (km)	面 积 (km ²)
科拜来克	1	3 813	2 920	3 340	1.41	0.368
	2	3 813	3 060	3 425	1.13	0.4
萨尔克吾斯	1	3 309	2 520	2 750	0.52	0.06
	2	3 405	2 460	2 720	0.58	0.053

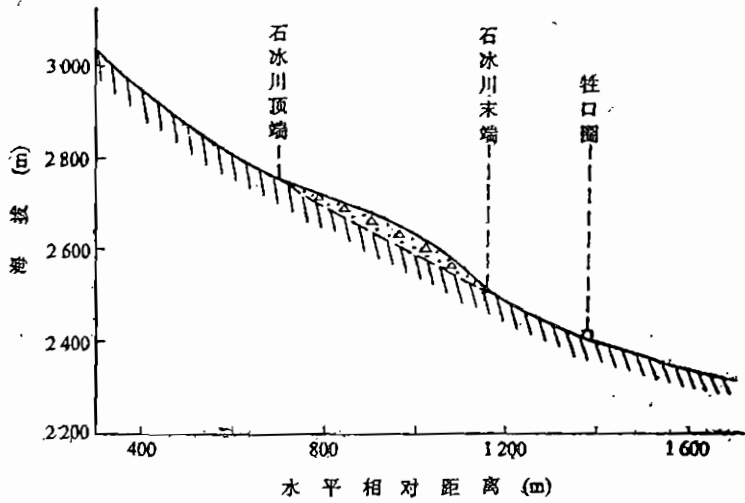


图 2 萨尔克吾斯 1 号石冰川纵剖面示意图

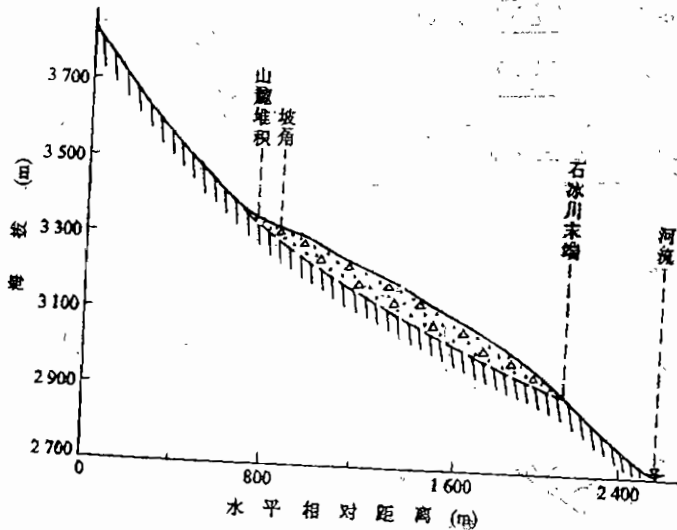


图 3 科拜来克沟 1 号石冰川纵剖面示意图

剖面形状类似。科拜来克沟内的 2 条较大的石冰川体表面还呈起伏状，仍保留着其曾经运动前进的特征（图 3）。

萨尔克吾斯沟流域较小, 沟源区利于石冰川体发育的空间有限, 石冰川前端伸入沟内。1号石冰川主体位于沟源中央地区, 这主要与其补给物质来源于沟源后壁山坡有关。但2号石冰川由于沟源区呈不对称的“V”形, 左侧高而较缓, 右侧低而陡峻, 主要补给物来自于左侧, 因而石冰川主体紧靠沟源右侧发育。主体左侧已被水流部分侵蚀, 露出明显的剖面。其组成物主要为带棱角的碎石、砾石。

科拜来克沟源区面积较大, 且高度较高, 因而其石冰川规模要明显大于萨尔克吾斯的石冰川。在平面上呈舌状, 前部拱起, 后部顶端部分平缓, 被周围突起的山坡包围, 形成一洼地状地形, 与冰斗形态相去无几。石冰川的下伸高度达370—420m, 规模可观, 形态亦很分明。

在天山站对面的山沟源处, 还发现一雪蚀洼地(图1), 洼地底部海拔2540m左右, 朝向北西。洼地后壁呈围椅状, 与冰斗地形相同, 整个洼地面积约0.2km²。

2 石冰川的成因及其气候意义

从表面形态看, 石冰川表面杂草丛生, 表层已被土壤化的土层所覆。从萨尔克吾斯2号石冰川剖面可见其内部干涸, 缺乏水分或冰体存在, 早已处于死亡状态, 为较典型的残留石冰川体。

Johnson (1978) 曾把石冰川分为冰川起源与非冰川起源两大类, 这样区分对正确认识其生成的环境具有实用价值, 尤其是这种古石冰川的正确分类, 对认识古冰川的作用下限乃至古气候环境特征都具有重要意义。从石冰川的分布特征来看, 萨尔克吾斯的两条石冰川可能与雪蚀作用有关, 属于典型的冰缘地貌类型。其后壁坡度为38—45°左右, 对于积雪和岩屑物质均处于不稳定的坡度, 利于雪蚀作用的进行, 山坡岩屑物与雪崩融水混合体在山麓较缓处停积, 并逐渐发育成这种石冰川体。另一方面萨尔克吾斯沟源较狭窄, 流域最高点海拔3400m左右, 当时发育冰川的地形条件欠佳。而其所处的高度正是冰缘作用强烈、冰缘地貌发育的范围。我国天山博格达地区现代冰川末端在海拔3600m左右, 而现代石冰川发育在冰川末端附近的海拔3400—3600m的高度范围内, 可见萨尔克吾斯石冰川很可能是冰缘环境下的产物。属于非冰川成因的山麓雪蚀石冰川类型。

在科拜来克沟源的两处石冰川规模较大, 且其顶端位于类似于冰斗地形的洼地内, 其成因是否与冰川作用有关尚难定论。从地形条件看, 其山脊高度为海拔3600—3800m, 洼地底海拔3300—3400m, 与乌鲁木齐河源区空冰斗底高比较, 被认为属高望峰期(距今约20—30万年)的一级空冰斗底高为3500—3600m, 属于上望峰冰期(距今15000—20000a)的一级底高为3700—3800m(崔之久, 1981)。因此如果科拜来克石冰川上源洼地为古冰斗, 按高度比较, 可能是高望峰冰期的产物, 但是高望峰冰期距今20—30万年, 若科拜来克“冰斗”归属该期, 则石冰川与冰川成因有关。然而与萨尔克吾斯石冰川比较, 这两者无疑是同期的产物, 若萨尔克吾斯石冰川也是高望峰期所形成, 其历经20—30万年之久。位于利于流水侵蚀的部位而保留至今, 似乎值得怀疑。由此看来, 石冰川的形成年代可能属晚更新世。从其分布高度看, 亦很可能是末次冰期的产物。因为在乌鲁木齐河流域末次冰期的下限高度为海拔3000m左右(王景泰, 1981)。

在这一高度上下，当时的冰缘范围内，发育这种较大的石冰川是完全可能的。而这些石冰川分布的下限高度为2 500m左右，上限为3 400m左右，正处于当时冰川下限与冰缘作用的范围内。

据推算，乌鲁木齐河地区末次冰期的雪线为海拔3 600m左右(张振栓，1981)。按此高度推测，科拜来克沟发育冰川的可能性还是存在的。若是如此，则洼地为冰斗地形，该地区雪线当在3 300—3 400m左右，石冰川为冰川成因类型。除冰川成因外，另一最大的可能成因是雪蚀作用及相伴的冰缘作用，但与萨尔克吾斯的雪蚀洼地相比，科拜来克的洼地底高要比其高出800—900m。在这样相邻的地区，相差如此之大，亦存在很大问题，因而确定性的结论，有待更详尽的研究。

从石冰川的规模来看，该地区当时的冰缘作用是十分强烈的，这与冰期气候的恶化和冰川规模的扩大有密切关系。该地区位于后峡天山站附近，交通便利，工作条件优越，弄清该地区的古冰川和冰缘地貌，对把天山站建成完善的科研基地具有重要意义。本文仅根据在天山站短期工作期间的一点观察所得。

致射：天山站领导及工作人员在工作期间给予很大方便，特致谢意。

参 考 文 献

王靖泰，1981. 天山乌鲁木齐河源的古冰川。冰川冻土，3(增刊): 57—63

张振栓，1981. 天山乌鲁木齐河源的雪线变化。冰川冻土，3(增刊): 106—113

霍之久，1981. 论天山乌鲁木齐河源的冰川冰斗。冰川冻土，3(增刊): 24—35

Johnson, P G-1978. Rock glaciers, glacial and non-glacial origins. ZAHS-AZSH No. 126, 285—294

天山乌鲁木齐河源地区沉积物的砾石 形态和构造特征研究

沈永平

1 引言

沉积物的形态和构造特征,反映了沉积物的搬运和沉积过程。沉积物的形态特征主要由搬运距离和动力作用强度所决定,而沉积构造的二维和三维组构主要由沉积过程所控制。1978—1979年,乌鲁木齐河源沉积研究队首先对本区的沉积和地貌进行了系统研究,有关作者对本区的冰碛、冰水冲积砾石等进行了沉积过程、粒度、岩性及形态特征的论述(崔之久,1981;王靖泰等,1981a, b;李树德等,1981)。1988年5—6月,作者与芬兰学者Harry Zilliacus博士在此开展了沉积物圆度及二维、三维组构的测量工作,从而对沉积物的砾石形态和构造特征进行了研究。

2 研究方法

采用了野外测量和室内测量分析相结合的方法,选取不同类型沉积物进行对比。

2.1 圆度指数 (Roundness Index)

这一方法首先由Cailleux (1961)提出,其后在许多国家被广泛应用,Zilliacus (1987)在研究芬兰的De Geer冰碛垅(即过去称之“年轮冰碛垅”)时,成功地应用了这种方法,对了解大冰盖的搬运路径及沉积过程是一种有较的方法。

首先对每一个样点,随机采集砾石(>20mm)50个,在室内进行测量。砾石的圆度特征用圆度指数(I)表示:

$$I = \frac{2r}{L} \times 1000 \quad (0 \leq I \leq 1000)$$

式中, r 为砾石最尖突角的内切圆半径(mm); L 为砾石的最长轴(mm)。

r 值的具体测量方法是,首先找出砾石的最稳定平面,它代表砾石受外力改造时,最稳定的作用面。作法是将所测砾石抛向空中,砾石落在平面上的那一面就是最稳定的平面。然后,在这一平面上找出其最尖突部分,放到由间隔1mm的同心圆组成的模板上,找出与尖角相适应的内切圆,即可读出曲率半径值。

对50个砾石逐个测量计算后,从中找出 I 值的最大值和最小值,其相差值为 I 值的变化值(variation)。然后对所有值总计,求出平均值(mean value),在累积曲线上读出中值(median value),最后把 I 值按50为区间的等级分类统计,算出各自区间

频率, 并找出最大频率区间 (mode class)。

对乌鲁木齐河源各种沉积物进行了圆度指数统计, 其结果如图 1 及表 1 所示。

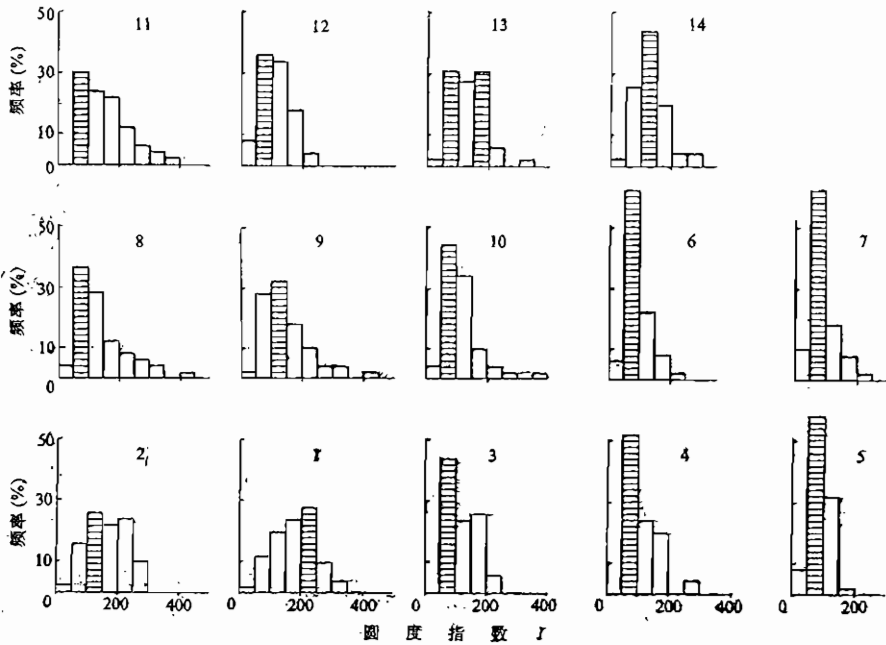


图 1 乌鲁木齐河源地区沉积物砾石物质 (>20mm) 的形态直方图 (图上编号与表 1 序号对应)

表 1 天山乌鲁木齐河源地区不同类型沉积物圆度指数测量结果

序号	沉积物类型及位置	中值	平均值	最大频率区	最大值-最小值 =变化值
1	后峡天山站附近河岸流水沉积物, 海拔2130m	169	173.22	200-249	313-47=266
2	乌鲁木齐河, 110km+800m, 河流中部流水物质	165	167.12	100-149	296-43=253
3	哈萨萨鼓丘, 距河床30m处, 地下0.5m深物质, 3450m	113	116.12	50-99	214-54=160
4	哈萨萨鼓丘靠河边, 近地表物质, 海拔3425m	93	115.26	50-99	258-50=208
6	望峰道班附近108km路标, 海拔3200m之山坡岩屑堆物质	90	85.18	50-99	178-41=137
6	3号冰川边缘之冰碛, 海拔3700m,	69	85.78	50-99	205-43=162
7	1号冰川小冰期冰碛, 表面下3-4m处, 海拔3700m	71	86.94	50-99	200-36=164
8	上望峰冰面融出碛	112	135.46	50-99	421-35=386
9	上望峰冰下融出碛表层下1-2m处, 3140m a.s.l.	120	141.54	100-149	444-40=404
10	下望峰冰碛, 冰下融出碛表层以下1-2m处,	103	113.5	50-99	387-36=351
11	108km+800m附近公路边流碛, 海拔3145m	138	152.8	50-99	381-50=331
12	108km+900m附近之流碛	108	99.3	50-99	240-41=199
13	110km附近乌河右岸的冰丘物质	138	130.92	50-99/ 150-199	300-48=252
14	天池河岸山谷物质, 海拔2200m	125	127.66	100-149	286-47=239

2.2 二维结构 (Two-dimensional orientation)

二维结构，主要反映砾石长轴的排列特征。其测量方法是在一个单位面积内，随意选取大于20mm的砾石50个，就地量测长轴方位，并记录下冰碛垅之垅脊走向及山谷和冰流方向作沉积过程之对比研究。样品测量之后，按10°区间距离进行频率统计，然后作玫瑰图以反映最大优势方位 (Preferred orientation)

在本区选择了几个冰川及冰碛垅进行了测量，其结果如图2及表2所示。

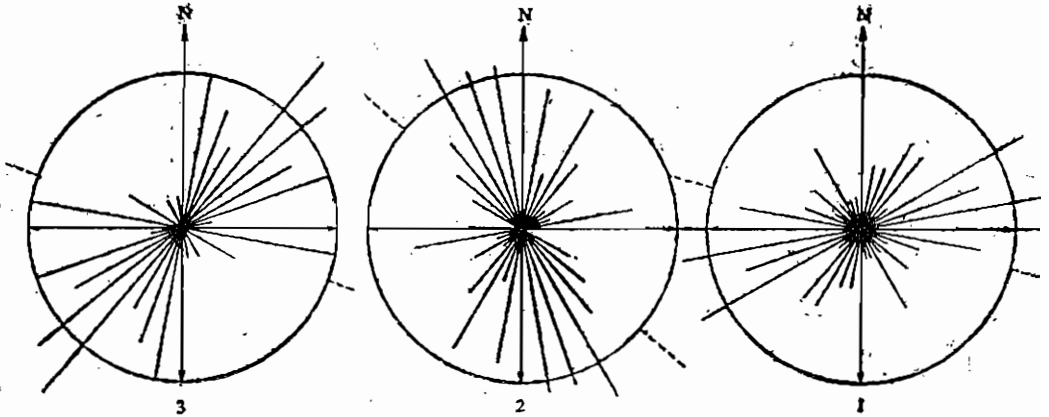


图2 不同冰碛物之二维结构图 (圆圈表示10%组构强度，点线表示冰川主流向，编号与表2序号对应)

表2 冰碛物的砾石二维结构测量结果

序号	沉积物的类型及位置	冰碛垅之走向 (度)	冰碛优势走向 (度)	组构强度 (%)	平均运动方向 (度)	垂直于冰碛垅走向的方向 (度)
1	1号冰川之小冰期冰碛垅的内冰碛垅(3800m)	195	260/270	12	260	285
2	3号冰川冰边缘外围之冰碛 (3700m)	250	330	12.6	330	340
3	望峰108km+900m之外流碛	200	220	16	225	290

2.3 三维结构 (Three-dimensional orientation)

三维结构主要反映砾石的空间排列状况，其测量方法与二维结构相似，但增加了砾石的长轴之倾角测量，并记录砾石倾向与冰川流动方向之关系，即倾向冰水与仅反向冰川 (Up-glacier和Down-glacier)。本区之测量结果如图3及表3

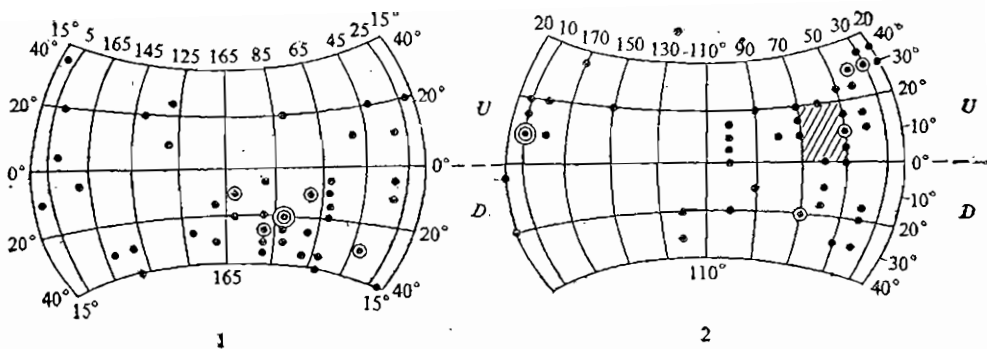


图3 不同冰碛之三维组构图 (编号与表3序号对应)

表3 不同冰碛物之砾石倾角测量结果

序号	采样点位置	倾向冰川方向的倾角 (%)	背向冰川方向的倾角 (%)	无倾角或平行于冰碛砾 (%)	优势倾角方向 U = 倾向冰川 D = 背向冰川	最大倾角区 (度)
1.	1号冰川之小冰期冰碛砾的内冰碛砾外侧(3800m)	22	78	0	D	$20^{\circ} - 25^{\circ}D$
2	望峰108km+900m处的流砾, 地表之下2m深	64	32	4	U	$10^{\circ} - 20^{\circ}U$

2.4 粒度分析 (Grain-size Analysis)

在采样点, 取掉大于20mm的砾石, 采集大约1kg左右的样品。然后, 在室内称取一定数量之样品, 在不同孔径的筛中进行分选, 然后把不同粒级样品进行称重, 与总重量相比求出百分数。对于小于0.005mm的样品进行粘土粒度的吸管法测定。本区部分样品的结果如图4和表4所示。

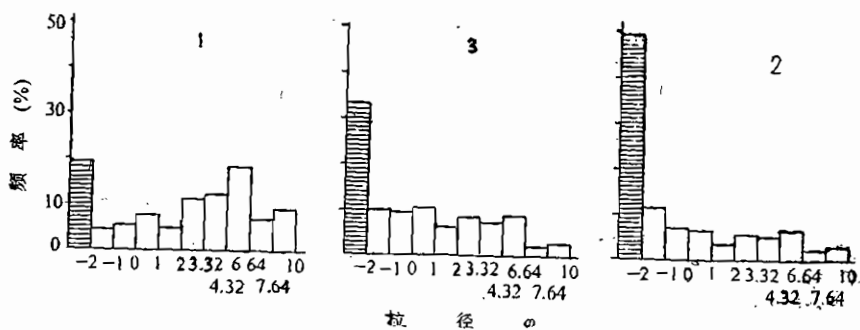


图4 不同冰碛物粒度频率直方图 (编号与表4序号对应)

表 4 粒度分析结果

编 号	采 样 地 点	粒 组 含 量 (%)								
		砾石	极粗砂	粗砂	中砂	细砂	微砂	粗粉砂	细粉砂	粘土
1	天山站鼓丘0.5m深, 海拔3450m、冰碛样	23.34	5.34	7.53	4.98	11.4	12.51	18.49	7.05	9.17
2	天山站、1号冰川小冰期终碛垅中间一道内侧面表层以下3—4m深	60.65	7.00	6.64	3.5	5.77	5.01	6.73	2.06	2.59
3	天山站、鼓丘近表层冰碛样, 海拔3425m	43.7	9.76	10.38	6.24	8.49	7.27	8.95	2.24	2.97

3 测量结果分析

从图 1 和表 1 的圆度指数可以看出, 冰碛物随着搬运距离的增加其圆度指数增大, 反映磨圆程度增大。而动力条件增强, 砾石的圆度指数也将增大, 河流流水作用的砾石比冰碛物的圆度要大的多, 而冰水参与的冰碛物比冰川的抛卸碛及底碛的磨圆度要好。远离冰川区的河流砾石磨圆指数最大频率区在 200—249 之间, 而靠近冰川区的河流砾石, 由于搬运距离较短, 其区间一般在 100—149/150—199 间。磨圆指数的变化值, 就地沉积并直接来源冰川的冰碛, 如底碛、抛卸碛等, 它们的变化值较小, 一般在 120—200 之间, 而有冰水作用参与的冰碛则较大, 在 300 左右, 其区间为 200—400。

冰碛物的二维组构反映、最大长轴优势方位与冰川流向一致, 而流碛的长轴优势方位主要反映当时冰碛流动方向, 地形的控制作用较大。

冰碛物的三维组构 (图 3) 说明, 1 号冰川前的小冰期冰碛垅是冰川长期稳定在该位置, 冰前缘较陡, 具有抛卸碛的特征, 从冰面直接消融后沉积的。砾石倾向于背冰川方向 (Down-glacier), 最大倾角区间在 20—25° 之间, 倾下冰川的砾石占 78%。而在望峰冰碛的流碛, 其砾石倾向于冰川方向 (Up-glacier), 占砾石的 64%, 其倾角较缓, 最大倾角区间在 10—20° 之间。由于向于冰川方向是向南方向, 对于冰川的消融造成差异消融, 南坡先于消融, 因而成为缓坡, 在融水参与下的流碛向南倾向于冰川流动。所以, 流碛的组构主要取决于地形。

粒度分析表明: 1 号冰川外围小冰期终碛垅的冰碛, 由于搬运距离较近, 且从三维组构的分析中可知主要为冰面的抛卸作用沉积, 因而砾石成分较高, 达 60.65%, 且总趋势是粗粒物质多, 而细粒及粘土物质少。在哈依萨鼓丘的冰碛样, 搬运距离较远, 又处于底部磨蚀状态, 其砾石成分相对较低, 而细砂物质含量增高, 粘粒也相对较高。

参 考 文 献

- 王靖泰、张振栓, 1981a. 天山乌鲁木齐河源的冰川沉积. 冰川冻土, 3 (增刊): 49—56
 王靖泰、张振栓, 1981b. 天山乌鲁木齐河源冰碛物的粒度分析. 冰川冻土, 3 (增刊): 64—77
 李树德等, 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): 78—91

之久, 1981. 天山乌鲁木齐河源冰碛垅与冰碛沉积的类型和特征. 冰川冻土, 3 (增刊): 36—48

Cailleux A 1961. Application à la géographie des méthodes d'étude des sables et des galets. C
so de altos estudo geográficos ², Universidade do Brasil, Rio de Janeiro

Zilliacus, Harry 1987. De Geer moraines in Finland and the annual moraine problem, Fennia,
(2): 147—239

关于天池“冰期”问题的探讨

邓晓峰 丁永建

天池位于博格达峰北坡三工河中上游,坝体高度为1 600—1 980m,长期以来受源头现代冰川的影响被部分学者判为冰川成因,认定天池坝是晚更新世冰期的终碛垄,锅底坑是同期的冰斗形态。但是,有部分学者持中立态度,据我们于1988年6—8月考察研究,认为天池并非冰川成因,则纯属于滑坡堵塞作用,并与冰川论者提出商榷。

1 研究现状

在地学界,对天池成因的认识尚不一致。目前,有冰川成因和冰川与滑坡作用混合成因两个观点。冰川论者在年代划分与对比方面各执其见,使年代造成世、纪之差,如冰川论者景才瑞(1981)认为天池是冰川塑造成的,天池坝是由各种冰碛物混合沉积的产物,是典型的终碛堤。将其时代与后峡和驴尾巴梁冰期相比较,周幕林(1981)认为其时代可与望峰冰期相比较,据 ^{14}C 年代测定所知,驴尾巴梁上覆黄土的年代为 $13\,326 \pm 624\text{a}$ (郑本兴1983),望峰冰碛层的 ^{14}C 年代测定为 $14\,920 \pm 750\text{a}$ (王靖泰,1981),二者的年代相同,属于晚更新世冰期的产物,而后峡与望峰期相比,二者相对高差1 000m左右,距离27km。显然,将天池与望峰和后峡相比是缺乏依据的。另外赵松桥和黄河源亦认为天池是冰川成因,前者将其时代与江西庐山的鄱阳冰期相比较,后者与庐山冰期相比较。天池在我国西部,鄱阳在我国东部,天池坝海拔1 600—1 980 m,所谓的鄱阳冰期分布在鄱阳湖边,部分被湖水淹没,海拔只有30 m左右,所谓庐山冰期的分布高度在900m,这是李四光定的两次不同时期冰碛物(现已被大多数学者所否定,并认为是古气候条件下的泥石流沉积)。由此看来,将东部庐山地区的沉积与博格达峰地区的天池坝沉积相比较,相互引证为第四纪冰川作用,亦缺乏古冰川研究与对比方面的基本依据。前述几位学者的共同点是:没有强调海拔、古气候特点、古雪线高度等与冰期的一致性,将没有黄土覆盖,土壤厚度仅有30cm左右的天池坝与不同高度上的、有黄土或下蜀土覆盖的后峡、驴尾巴梁、鄱阳、庐山等沉积来比较,似乎缺乏科学的对比依据,使“天池冰期”的存在显得模糊难辨,确有重新认识的必要。

冰川与滑坡混合形成论者韩淑堤(1981年)从该区域地质构造活动特征做了较详细的调查研究工作,认为天池是引张扭断裂作用造成的。但并没有否认冰川作用,以中立的观点来判定天池坝是内外营力相互作用混合形成的。另外郑本兴曾于1981年亦认为天池是冰川成因,但又于1983年重新考察和研究后,提出天池坝是滑坡与崩塌造成的,并怀疑坝体下部可能有一冰川岩坎,可见,他们都倾向于天池坝为构造作用下滑坡与冰川混合作用所致。

据我们考察与资料分析,认为天池坝纯属于滑坡成因,且与冰川作用没有任何关(图1)。

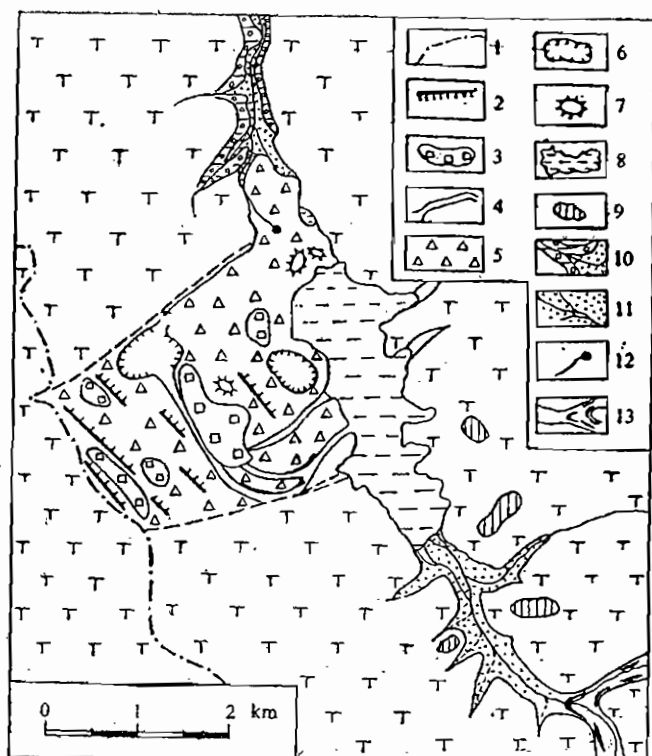


图1 天池附近地貌图

- 1.流域界线; 2.滑坡陡坎; 3.滑坡平台; 4.滑坡沟; 5.滑坡体; 6.滑坡洼地; 7.鼓丘;
8.天池; 9.基岩山丘; 10.阶地; 11.冲积; 12.泉眼; 13.古冰川终碛堤

2 成因讨论

2.1 冰期下限与沉积特征

按冰川论者认为天池坝是冰川侵蚀与堆积作用所形成的话,其下限高度就应以天池坝外坡脚1,600 m高度为准,据我们这次考察,在博格达峰北坡、晚更新世冰川下限的每拔平均值为1988 m(表1)。王树基(1981)考察的下限平均值为1970m。从表1

表1 博格达峰晚更新世冰川下限海拔

河名	三工河	四工河	甘河子	白杨河	平均值 (m)	资料来源			
海拔 (m)	2000	1950	2100	1900	1988	本次考察			
	1900	1860	2000	2120			1970	王树基	
	1980								阎景华
	1900								

可以看出,王树基、阎景华(1981)、景才瑞对三工河这次冰期的下限均定为1 900 m以上,和该区的平均高度基本相同,和坝体外坡脚1 600 m高度相比较,相差了300—400 m,再从本区这四条大沟的纵剖面形态曲线图上可以看出(图2),三工河与相邻的四工河、

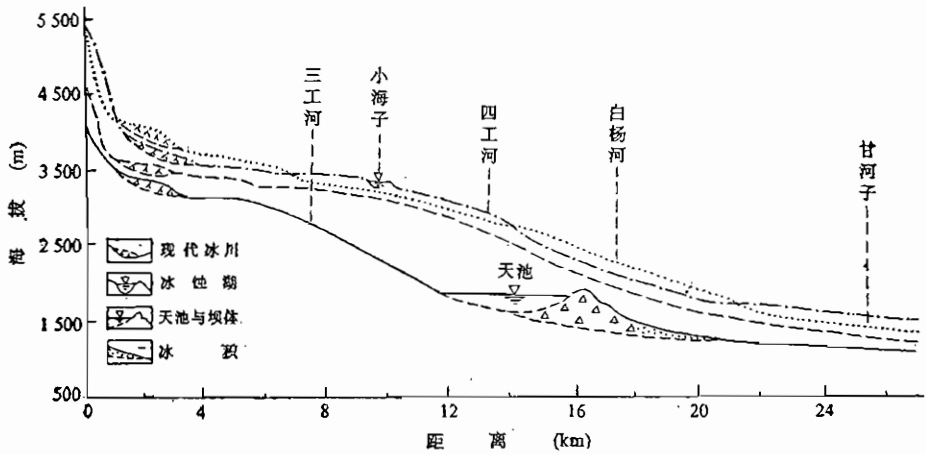


图2 博格达峰北坡河谷纵剖面

甘河子、白杨河三条沟有明显的区别,上面三条沟纵剖面的特点是形态一致,紧靠在一起,同期冰川作用下限之间下伸距离上很相近,反映出古冰川发育的强弱相当,而三工河与此三条沟比较,其曲线形态一致,从该区晚更新世冰川作用的下限1 988 m的高度至源头的距离看,则小于前三条沟6—8 km,说明在三工河古冰川发育程度明显低于相邻的三条沟。还从剖面形态反映出,在博格达峰北坡的这四条大沟的纵剖面中,为独天池是凸出的一块,其既不属于冰川沉积,也不属于河流沉积,而由于不良地质作用引起的滑坡堆积物则是唯一的解释。另外,从滑坡的平面图与纵剖面图还可以看出,在该范围内,所谓锅底坑冰斗(景才瑞1981),则是一滑坡洼地一同组成一个沟壑,或称滑坡沟,并非典型的冰斗,还有相应的滑坡后壁、滑坡平台、陡坎等均保留完整无缺。其堆积体的纵剖面特点亦表明并不是冰川终碛垄的特点(图3),其松散堆积体沿左侧山坡均有所分布,而且呈台阶状,厚度分布特点是下部向上部逐渐减薄,下部可见厚度380 m,最上部的台面宽250 m。再从天池湖的出口部位可看出,自天池形成以来,没

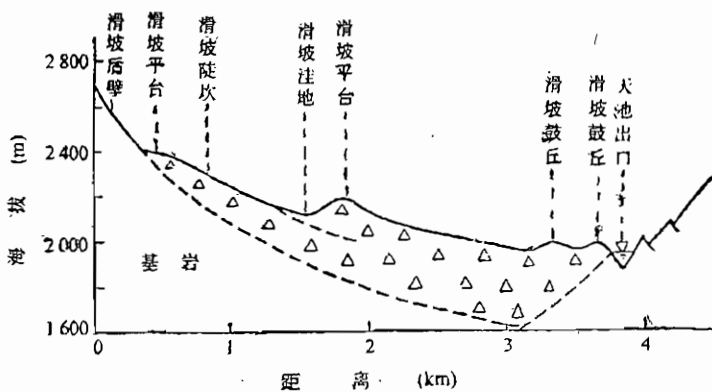


图3 滑坡纵剖面

有下切水面高度一直保持稳定的原因是堆积物堵塞河谷，原被下切与抬升的基岩河床被埋伏，坝体形成后，池水被左岸滑坡体逼向被埋伏的右岸而排出，这种被埋伏的基岩就是被认为的冰蚀岩坎，在这种假岩坎的作用下和池水缺乏很强的侵蚀的条件下，使天池才得以保持碧水清澈、景致格外壮观的今天。

2.2 黄土分布特点

在博格达峰北坡，黄土沉积在分布高度上可达3 400 m，其特点是从山麓向沟内逐渐减薄，厚度在1—20m不等，主要分布在沟道两侧的冰水阶地与谷肩上，据冯先岳（1981）研究，其时代应属于晚更新世冰后期，化学成分也近似于我国晋、陕及陇东地区的马兰黄土。天池冰川论者认为天池的形成时代属于晚更新世冰期和驴尾巴梁，望峰冰期的年代相一致。众所周知，黄土沉积是连续分布的，却恰好在天池范围内缺失冰水阶地黄土沉积，而在坝体以下和上游2 000 m的冰碛物上则有黄土覆盖表明，其形成时代在黄土沉积之后。从古土壤层的发育厚度分布特点也可以看出（表2），天池段沉积物上的土壤发育层厚度较下游阶地和上游冰碛物上的土壤层都小，亦反映出天池形成时代比较晚。另外，从天池坝外坡两侧覆盖在黄土阶地之上的衔接关系仍然表明，在沉积次序上，阶地与黄土在先，天池坝在后。

表2 黄土和土壤层发育厚度分布特点

名称 \ 地点	冰 碛	坝 体	阶 地
黄土 (m)	1—5	没 有	1—20
土壤 (m)	0.3—0.5	0.1—0.3	0.4—0.6

2.3 区域地质与天池的关系

天池形成于三工河中上游，属于现代冰川和古冰川的发育地区，高大的天池坝蒙骗着部分学者，判定天池是冰川侵蚀与堆积作用形成的，偏面的只从冰川成因方面找证据，忽略了构造与区域不良地质作用。

该区海拔在1 600—5 445 m之间，属于山体抬升，新构造运动强烈活动区。据研究（王发运，1981），该区属于天山纬向构造体系，博格达弧形构造带的褶皱隆起带，由一系列呈弧形展布的压扭性断裂和褶皱构成，新构造运动强烈，不但使第三纪地层全部发生褶皱，而且使部分第四纪地层也随之发生褶皱现象，岩层倾角在20—30°，最陡可达50°。

天池形成于背斜轴部（韩淑堤1981），坝体走向垂直于背斜轴向，发育有南西向和北西向两组主要断裂，二者构成典型的网格状构造，控制了天池周围的地质、地貌发育特点，天池坝正是在此构造活动强烈，断裂纵横交织等不良地质条件影响下形成的滑坡沉积，与冰川沉积没有关系。

2.4 天池坝与现代河流地貌

天池坝的形成，改变了三工河河流地貌，与其相邻河流地貌特点有明显差别。该区处

于现代冰川与古冰川发育地区，河流地貌均受冰川季节性融水侵蚀与堆积作用十分突出，如相邻的四工河、甘河子、白杨河等，季节性洪水作用十分明显，特别在河流中游谷床比降变缓，大块砾石沉积下来，河道变宽，辫状特点突出，并随季节性变化而摆动。沟口洪积扇呈重叠状。而在三工河却并非如此，则以天池坝为界，上游与下游表现为不同的两种河流地貌特点，即上游为冰川洪水侵蚀与堆积为特点的河流地貌，天池段为典型的水库特点，在其后部河流出口处，为现代冰川洪水冲淤沉积，呈宽阔平缓的砂砾石滩，向池水中倾入。自坝体以下河流地貌完全不同于其上游与相邻河谷冰川洪水特点，因为天池坝起到了很好的拦挡作用，使下游河床免除了冰川季节性洪水的侵蚀与堆积作用，流水常年保持清澈。水量稳定、河漫滩上的农田不受洪灾，村镇居民生活安定，公路自沟口到天池坝，一直沿河岸分布，也未见到侵蚀与破坏的痕迹，表现为非冰川地区正常河流地貌特点。另外，在三工河沟口缺少相邻沟口洪积扇的重叠现象，除反映该流域侵蚀与堆积次于相邻流域外，还说明，自天池形成后，上游的物质被完全拦堵，沟口就失去了洪积扇的发育条件。

天池虽然居于现代冰川和古冰川地区，并且被冰川论者判定是晚更新世古冰川作用的产物，但是从相邻河谷同期的古冰川侵蚀与堆积形态及下限分布高度极不相称。根据所处的地质构造特点，堆积体的纵剖面特征、及其对河床地貌发育与其相邻河床的不一致性，我们认为天池并非冰川与滑坡混合成因，而是不良地质条件下单一的滑坡成因。

参 考 文 献

- 王增泰, 1981. 天山乌鲁木齐河源的古冰川. 冰川冻土, 3 (增刊), 57—63
- 王发运, 1981. 新疆天山博格达峰北坡新构造运动. 新疆第四纪地质及冰川地质论文集, 232—234
- 王树莲, 1981. 北天山第四纪冰川与冰期划分. 新疆第四纪地质及冰川地质论文集, 107—114
- 冯先岳, 1981. 北疆黄土及黄土状岩石. 新疆第四纪地质及冰川地质论文集, 新疆人民出版社, 67—80
- 周蕃林, 1981. 新疆第四纪地质问题. 新疆第四纪地质及冰川地质论文集, 新疆人民出版社, 32—35
- 郑本兴, 1983. 博格达峰地区第四纪冰期探讨. 冰川冻土, 5 (3), 123—132
- 阎景华, 1981. 新疆东天山博格达峰北麓第四纪冰期划分与地层. 新疆第四纪地质及冰川地质论文集, 新疆人民出版社, 115—126
- 景才瑞, 1981. 天山东段北坡第四纪冰川与冰期. 新疆第四纪地质及冰川地质论文集, 新疆人民出版社, 217—219
- 韩源堤, 1981. 对天池成因的初步认识. 新疆第四纪地质及冰川地质论文集, 新疆人民出版社, 143—147

乌鲁木齐河源1号冰川表面运动速度 和冰舌进退变化

陈要武 孙作哲

1 基本情况

(1) 流速点的观测: 继1987年8月22日和24日的观测之后, 又于1988年5月3日、6月4日、8月31日和9月1日, 对以插入冰内的花杆为标志的流速点, 进行经纬仪前方交会的重复观测。这样便得到冬季、夏季和全年的冰川运动速度。经过计算整理, 表1为全年运动速度, 表2为冬季运动速度, 表3为夏季运动速度。

表1和表3只列出冰舌下部个别点的运动速度, 其它点由于插入冰内的花杆因夏季冰川消融而倒掉。新插入冰内的花杆不是原位置, 造成资料不能使用, 故舍去。

(2) 主要资料说明: 坐标系规定以 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 为分别平行于 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 运动速度变化及其观测时应注意事项

在计算、整编运动速度过程中, 我们对两次观测期间花杆重栽时平面位置改变所造成的不准资料, 全部予以舍去。列入表内的资料是可靠的。经过简单分析和比较, 得到如下粗略认识, 供进一步研究和观测1号冰川运动速度时参考。

(1) 运动速度变化。将该年流速与1983—1984年流速作一比较^①, 流速的变化在东支冰川 c' 排以下是降低, d' 排略有增加, e' 排略有减小, f' 排略有增加, g' 排无明显变化, 似乎呈波浪变化。而西支冰川总的趋势是流速降低。以上流速的变化主要反映冰川流速的时空变化。但也包括了速度场的变化所起的作用。因为这两个年度作比较相隔4年。

(2) 运动速度西支冰川比东支冰川快。这种现象与西支冰川冰面坡度较陡有关。从五千分之一冰面地形图上量得的冰面坡度, 西支比东支平均要大 $3-4^\circ$ (孙作哲等, 1985)。

(3) 运动速度的方向受冰川槽谷方向制约。1号冰川属冰斗山谷冰川, 槽谷也比较平缓, 加之运动速度又十分缓慢, 因此运动速度的方向变化年际应该很小。如果出现运动速度方向突变, 必须是观测错误所致。因此, 用运动速度方向的变化, 判断1号冰

^①尤根祥, 1987, 天山乌鲁木齐河源1号冰川运动速度资料。

表 1 年运动速度

点 名	观 测 时 间 1987.8.22—1988.9.1						
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	Z (m)	α	U (cm/d)	U (m/a)
b' ₄	1.484	4.798	5.022	-0.444	72°49'	1.350	4.928
e' ₂	5.261	0.819	5.325	-1.033	8°51'	1.420	5.183
e' ₃	5.581	0.794	5.637	-2.618	8°06'	1.503	5.486
e' ₅	4.438	-0.018	4.438	-1.056	359°46'	1.184	4.322
f' ₂	4.528	0.896	4.616	-1.259	11°11'	1.231	4.493
f' ₃	5.235	0.843	5.302	-1.119	9°09'	1.414	5.161
f' ₄	5.167	0.696	6.214	-1.264	7°40'	1.890	5.074
f' ₆	5.246	0.504	5.271	-1.566	6°29'	1.405	5.128
g' ₁	1.276	0.664	1.395	-0.813	23°50'	0.372	1.358
g' ₂	3.577	1.140	3.754	-2.080	17°41'	1.001	3.654
g' ₃	4.272	1.263	4.455	-0.971	16°28'	1.188	4.336
g' ₄	4.551	1.131	4.689	-1.005	13°57'	1.250	4.563
g' ₅	4.307	0.630	4.352	-1.242	8°19'	1.161	4.238
b ₂	-2.047	4.376	4.831	+0.427	115°05'	1.299	4.741
c ₁	-0.397	3.656	3.678	+0.249	96°12'	0.989	3.610
d ₃	1.627	3.797	4.131	+0.315	66°48'	1.111	4.055
e ₃	2.618	7.590	8.029	/	70°58'	2.141	7.815
e ₄	3.000	6.585	7.236	-1.720	65°30'	1.930	7.044
f ₁	2.763	5.225	5.911	/	62°08'	1.576	5.752
f ₂	2.875	5.942	6.601	-1.055	64°11'	1.760	6.424
g ₂	2.309	5.737	6.185	-2.321	68°05'	1.649	6.019
g ₃	2.639	5.400	6.010	/	63°58'	1.603	5.861
g ₄	2.616	4.975	5.621	-1.347	62°16'	1.499	5.471
g ₄	2.005	4.731	5.139	-2.230	67°02'	1.370	5.000
h ₂	2.466	4.221	4.889	-0.792	59°42'	1.304	4.760
h ₃	3.297	5.272	6.218	-1.089	57°59'	1.658	6.052
h ₄	3.021	5.432	6.216	/	60°55'	1.658	6.052
h ₅	2.632	4.560	5.266	-1.560	60°00'	1.404	5.125

表 2 冬季运动速度

点 名	观 测 时 间 1987.8.24—1988.5.31						
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	Z (m)	α	U (cm/d)	U (m/a)
a'3	0.272	2.161	2.176	-1.381	82°49'	0.774	2.825
b'+2	1.149	2.130	2.421	-0.038	61°39'	0.861	3.143
b'3	1.047	3.796	3.938	0.851	74°35'	1.401	5.114
b'4	1.285	3.656	3.876	-0.269	70°38'	1.379	5.033
c'+1	0.550	0.079	0.555	0.012	8°12'	0.198	0.723
c'+2	0.945	1.205	1.532	-0.103	51°54'	0.545	1.989
c'1	1.332	1.472	1.985	0.184	47°51'	0.706	2.577
c'2	2.236	3.544	4.190	-1.629	57°45'	1.491	5.442
c'3	2.346	3.540	4.247	-0.519	56°27'	1.511	5.515
c'4	2.130	2.927	3.620	-1.010	53°56'	1.288	4.701
d'2	3.720	1.782	4.125	-0.287	25°36'	1.468	5.358
d'3	3.955	1.970	4.419	-0.124	26°28'	1.572	5.738
g'2	2.830	0.885	2.964	-1.887	17°17'	1.036	3.781
g'3	3.107	0.834	3.218	-0.665	15°02'	1.125	4.106
g'4	3.356	0.687	3.426	-0.714	11°34'	1.198	4.373
g'5	3.735	0.379	3.754	-0.904	5°47'	1.313	4.792
b1	-0.539	1.893	1.969	-1.052	105°53'	0.700	2.555
b2	-1.951	3.233	3.776	0.330	121°07'	1.344	4.906
b3	-2.314	3.536	4.226	-1.659	123°12'	1.504	5.490
c1	-0.394	2.736	2.765	0.128	98°11'	0.984	3.592
c2	-1.086	4.714	4.841	-0.366	102°58'	1.723	6.289
c3	-2.481	5.427	5.968	-1.618	114°34'	2.124	7.753
d1	0.193	1.362	1.375	0.277	81°55'	0.489	1.785
d'4	3.628	1.843	4.069	-0.110	26°56'	1.448	5.286
d'6	2.216	0.522	2.277	-0.731	13°16'	0.810	2.957

表 2 (续)

点 名	观 测 时 间 1987.8.22.—1988.6.4						
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	Z (m)	α	U (cm/d)	U (m/ε)
e'2	4.152	0.727	4.216	-0.760	9°56'	1.474	5.380
e'3	4.298	0.654	4.347	-2.280	8°39'	1.520	5.548
e'4	4.252	0.579	4.291	-0.842	7°45'	1.500	5.475
e'5	3.885	-0.028	3.885	-0.799	359°32'	1.184	4.322
f'2	3.842	0.706	3.906	-1.854	10°25'	1.366	4.986
f'3	4.014	0.669	4.070	-0.841	9°28'	1.423	5.194
f'4	3.974	0.612	4.021	-0.936	8°45'	1.406	5.132
f'5	3.962	0.362	3.978	-1.054	5°13'	1.391	5.077
g'1	0.867	0.262	0.905	-0.249	16°47'	0.317	1.157
d2	0.165	4.784	4.787	-0.246	88°01'	1.704	6.220
d3	0.374	6.182	6.193	-0.643	86°32'	2.204	8.045
d4	0.923	5.919	5.990	-1.066	81°08'	2.132	7.782
d5	1.038	3.009	3.183	0.136	70°57'	1.133	4.135
e2	1.198	5.882	6.106	-1.006	78°40'	2.134	7.789
e3	1.768	5.887	6.164	-2.898	73°17'	2.149	7.844
e4	2.051	5.330	5.711	-1.271	68°57'	1.997	7.289
e5	1.625	3.357	3.730	-0.510	64°09'	1.304	4.760
f1	1.991	4.203	4.651	-0.903	64°39'	1.626	5.935
f2	2.234	4.482	5.010	-0.812	63°28'	1.752	6.395
f4	1.777	3.241	3.696	-0.908	61°16'	1.292	4.716
g2	1.687	3.810	4.167	-1.977	66°06'	1.457	5.318
g2	1.921	4.031	4.465	-2.066	64°31'	1.561	5.698
g3	1.984	4.070	4.528	-2.227	64°01'	1.583	5.778
g4	1.889	3.624	4.087	-1.023	62°28'	1.429	5.216
h2	2.073	3.092	3.723	-0.457	56°10'	1.302	4.752
h4	2.210	4.186	4.734	-2.175	62°10'	1.655	6.041

表 3 夏季运动速度

点 号	观 测 时 间 1988.6.4—1988.9.1					
	U_x (m)	U_y (m)	U_{xy} (m)	Z (m)	α	U (cm/d)
e'_2	1.109	0.092	1.123	-0.272	4°43'	1.264
c'_3	1.283	0.140	1.291	-0.338	6°14'	1.467
e'_5	1.053	0.010	1.054	-0.265	0°53'	1.120
f'_3	1.220	0.174	1.232	-1.728	8°08'	1.401
f'_4	1.193	0.084	1.196	-1.128	4°01'	1.359
f'_5	1.284	0.142	1.292	-0.512	6°18'	1.468
g'_2	0.747	0.260	0.791	-0.193	19°10'	0.899
g'_3	1.164	0.429	1.241	-0.306	20°13'	1.410
f_1	0.771	1.022	1.280	1.778	52°57'	1.455
f_3	0.636	1.459	1.592	-0.257	66°26'	1.809
f_4	0.747	1.247	1.453	-0.216	59°05'	1.652
g_3	0.655	1.330	1.482	-0.918	63°47'	1.684
g_4	0.727	1.351	1.534		61°43'	1.743
$g+1$	0.318	0.921	0.975		70°58'	1.108
h_4	0.811	1.246	1.487		56°56'	1.689

川流速资料是否有误,是一个简易办法。从多年积累资料分析,由于1号冰川槽谷和观测误差综合影响引起运动速度方向变化,应不超过 $1-3^{\circ}$ 。

(4) 为了保证运动速度资料的精度,必须注意如下几点: 1) 必须严格遵守经纬仪观测规范要求,仔细对中,精确瞄准,控制点上树立的花杆必须正确。凡限差超限者,要一律重测; 2) 要正确辨认各流速点,防止错测; 3) 流速点上插入冰内的花杆,因冰川消融必须更换时,一定要重栽在原花杆位置上,尽量避免因更换不及时,花杆消融倒掉,原位置无法找到的现象发生; 4) 由于冰川在不断地运动,为了保证精度,从1号冰川流速和观测误差分析,前方交会必须在1日之内完成,而且每次 α, β 角观测顺序应该一致,以减少非同步观测所引起的误差。

3 冰舌末端进退

冰舌末端前进与后退,是由它的末端运动速度和消融强度共同作用后的结果。1号冰川末端进退观测是在九个标志点上进行的,于春夏之交以及夏秋之交观测的。这样便得到春、秋、冬三季、夏季和全年三个时段的冰舌进退状况,其结果见表4。

冰舌末端平均后退速度为 3.80m/a ,此值略高于上年度,这说明1号冰川仍在持续退缩,并有增大退缩速度的趋势。

表4 冰舌进退资料 (m)

点 号	1987.8.21— 1988.6.5	1988.6.5— 1988.9.2	1987.8.21—1 1988.9.2
固定点 I	进1.6	退4.8	退3.2
固定点 II	进0.6	退4.4	退3.8
固定点 III	/	/	退2.0
1	进1.1	退6.4	退5.3
2	进0.6	退7.6	退7.0
3	进0.8	退5.2	退4.4
4	进2.2	退4.2	退2.0
5	进0.5	退4.3	退3.8
6	进2.1	退4.8	退2.7
平 均	进1.19	退5.21	退3.80

参 考 文 献

[2] 孙作哲等, 1985. 天山乌鲁木齐河源1号冰川的运动特征. 冰川冻土, 7(1): 27-40

附 录

中国科学院天山冰川观测试验站 研究基金项目指南

天山冰川观测试验站（下称天山站）创建于1959年，1967年因“文化革命”而停止工作，1979年恢复重建。自此以来在中国科学院的关怀下，在基本建设、观测研究、实验室建设、人员培训、开展国内国际合作研究等方面均发展较快，已建成为一个固定的野外观测、试验基地，在国内和在国际上具有较大影响。该站设于乌鲁木齐河流域中高山带，对于观测研究我国西部大陆性气候条件下高山冰川、气候、水文、冻土和地貌过程及其与生态、环境的相互作用具有良好的区域代表性。在世界冰川站网中，填补了中亚大陆内部的空白，占据重要位置。

当今，世界冰雪科学的研究进入了定量阶段，理论水平迅速提高。在进行冰雪物理过程研究的同时，加强了冰川和大气物质能量交换的研究；冰川区能量、水量和物质平衡的观测研究；冰雪和气候、环境变化的研究；高寒区冰雪水资源和径流数学模型的研究；以及观测仪器的不断更新和遥测、遥感等新技术的应用，体现了冰雪和高山科学发展的多学科综合性、实验性以及对新科技的引进和吸收的特点。这大大促进了天山站工作的发展，并注入了新的活力。

天山站已形成了独具特色的研究方向和任务。它研究中纬度大陆型高山冰川形成、运动和变化机制；冰川和周围环境的能、水、质交换过程；冰川对气候变化的影响；冰川、季节积雪和冻土在山区水资源形成中的作用以及高山径流的形成过程；并研究山区冰川、气候、水文、冰缘和地貌综合自然过程及其与生态环境和第四纪冰川演变的关系；积累科学观测试验资料，以促进建立我国高山区以冰川为中心的学科体系，为西北山区开发，水资源利用和环境变化预测提供依据。天山站的工作侧重于高山科学研究的基础性和综合性。

天山站正在形成以站为基地，以冰川为重点，以流域为研究对象的高山综合观测研究系统。在这个系统中，包括能量平衡、水量平衡和物质平衡等三个平衡，它们是高山自然过程的物理基础。还包括冰川过程、气候过程、水文过程、冰缘过程、地貌过程、第四纪冰川演变过程和环境生态过程等七个方面，其中冰川过程被视为联系各高山自然过程的纽带，在分别观测研究各种平衡关系和自然过程的同时，以能、水、质综合平衡为基础，进而研究山区综合自然过程，探讨预测气候、水资源和环境变化的方法，在全球变化研究中发挥应有的作用。

为了进一步发展我国的高山冰雪科学研究事业，适应我国西北开发和建设的需要，跟踪世界高山冰雪科学发展的前沿，努力做出世界一流研究水平的成绩，中国科学院已决定天山站向国内外开放，其科研工作实行基金资助制。

一、本基金资助的主要研究方面

1. 冰川过程研究

研究冰川物质积累、冰的形成、运动和消融的物理过程，它是研究现代和古代冰川作用及其和环境关系的理论基础。

- (1) 冰川和大气之间以及冰川内部的能量和物质交换过程。
- (2) 不同海拔的成冰作用。
- (3) 冰川温度、流速时空分布，运动机制和动力地质作用。
- (4) 冰川物质平衡、冰川变化和冰川对气候变化的影响。

2. 高山带能量和水量平衡研究

高山带的能量和水量平衡制约着冰川的生长和发育，同时也制约着高山带的各种自然过程，是地表水热平衡研究中的重要组成部分。

- (1) 冰雪面和地面热量平衡各分量的时空分布。
- (2) 高山带流域水量平衡的组成和特征。
- (3) 山区降水的分布规律和影响因素以及观测系统误差分析。
- (4) 山区不同下垫面蒸发量的观测计算。
- (5) 冰川径流的形成和估算。
- (6) 季节积雪观测场的建立，雪物理性质和河冰的形成、特征及其在径流形成中的作用。
- (7) 气候和水文多年变化趋势和径流预报模式。

3. 冰缘过程和第四纪冰川与环境演变研究

进行冰缘过程的定位观测研究，找出其与冰川发育和环境演变的关系，恢复古冰川作用时期的气候、水文和冰川发育状况，寻找预测未来环境变化的依据。

- (1) 冻土、地下冰和地温分布规律。
- (2) 冰缘过程、冷生作用及其产物与动态。
- (3) 高山生态环境和第四纪冰川（着重末次冰期）演变过程与有关环境重建。
- (4) 大气及冰层中二氧化碳含量变化的监测及其气候指示意义。

4. 冰川和高寒区观测试验技术的研究

- (1) 遥感方法在高山冰雪及冰缘过程研究中应用。
- (2) 高寒和冰川区野外观测的自记、遥测和数据采集系统研制。

二、近期鼓励研究的领域

为迅速提高本站的研究水平，尽快出一批具世界先进水平的成果，近期拟鼓励下述研究项目。

- (1) 冰川变化，水文变化，气候变化及其与全球变化的关系。
- (2) 冰雪物理过程。
- (3) 冰川和大气之间的能量和物质交换。
- (4) 高山带水量平衡的组成及特征。
- (5) 先进观测技术在冰川和高寒区的应用。

三、申请本站基金课题的基本条件

提出申请本站基金的研究课题，应具备下述基本条件：

- (1) 研究内容具创新性和较高学术水平。
- (2) 对本站的建设和发展具有长远意义，或有应用前景。
- (3) 必须在本站进行一定时间的观测、实验研究工作。

四、科研基金的申请、评审与管理

在规定日期前申请人在申请指南范围内提出申请课题，向本站提交申请书，申请者不具备高级专业技术职务或职称，课题组内又无高级科技人员参加者，须由两名同行高级科技人员推荐。站务委员会对申请进行初审。初审合格后，提交站学术委员会评审，确定资助项目和金额，经站长批准后执行。资助年限不超过两年，若需要继续支持，应重新提出申请。

资助项目在站长监督和管理下执行，用车和需要站上提供的条件要逐季度向站长提出，由站长协调解决。逐季向站长口头报告工作进展情况，年终编写年报。期满后申请人应提交总结性报告及研究报告，学术委员会主持进行评审。

资助项目完成的成果归本站和申请人所在单位共有，所取得的资料应在本站归档一份。在发表论文（或鉴定）时应注明系本站基金资助。

资助项目期满后，应在本站年报或以学术论文方式公开发表其研究成果，在国际及国内一级学报发表者将得到奖励。