

文章编号: 1000-0240(2004)03-0253-08

42 a 来天山乌鲁木齐河源 1 号冰川 变化及趋势预测

焦克勤, 井哲帆, 韩添丁, 杨惠安, 叶柏生, 李忠勤

(中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 1959—2000 年间天山乌鲁木齐河源 1 号冰川发生了显著变化, 冰川物质平衡累计达 $-7\,976.0\text{ mm}$, 冰川末端退缩 171.06 m , 冰川面积缩小 0.217 km^2 , 冰川厚度平均减薄 8.86 m , 冰储量减小 $21.9 \times 10^6\text{ m}^3$, 冰川运动速度平均减小 39.3% , 冰川成冰带谱上移, 冷渗浸-重结晶带消失. 从冰川物质平衡反映的气候变化趋势推测, 1 号冰川要扭亏为盈, 改变已有的巨大的物质亏损 ($-7\,976.0\text{ mm}$), 除非要连续 21 a 出现 42 a 来最大正平衡 ($+374.0\text{ mm}$). 已有的观测研究表明, 这种情况不大可能出现, 1 号冰川目前的退缩趋势还将持续相当一段时间, 至少在未来 20~30 a 内不会出现明显的前进. 从树木年轮反映的冷暖气候变化周期性推测, 目前正处小冰期以来第三个温暖期. 若这次温暖期重现 62~67 a 周期的情况, 则温暖气候还将持续 20~30a 左右. 可见 1 号冰川至少还将持续退缩 20~30 a.

关键词: 1 号冰川变化; 趋势预测; 乌鲁木齐河; 天山

中图分类号: P343.6 **文献标识码:** A

1 引言

现代冰川发育地区气温和降水的年际或周期变化, 直接影响着冰川物质平衡的增减和雪线的升降. 如果气候波动具有某一变化趋势, 则冰川就将通过自身速度的调整, 改变冰川的规模以适应改变了的气候环境. 已有观测研究结果表明, 较小的冰川对气候变化的响应敏感, 且易于观测研究. 因此, 在全球性或区域性气候变化研究的国际计划中把冰川作为监测气候变化的重要对象.

天山乌鲁木齐河源 1 号冰川(以下简称 1 号冰川)原为一条双冰斗-山谷冰川. 由于全球气候变暖引起的冰川退缩, 1 号冰川末端汇合的东、西支于 1993 年完全分离, 并成为各自独立的冰川. 冰川长度和面积由 1962 年的 2.40 km 和 1.950 km^2 分别减小到 2000 年的 2.20 km 和 1.733 km^2 .

自 1959 年建立天山冰川观测试验站(以下简称天山冰川站)并有观测、试验和研究记录以来, 1 号

冰川的物质平衡、冰川规模(冰川长度、面积和体积)、冰川厚度和运动速度以及成冰类型均发生了明显的变化, 反映了 1 号冰川乃至天山冰川 42 a 来对气候变化的响应. 42 a 来的观测研究结果表明, 对反映气候变化的冰川监测应引起人们的高度重视.

2 气候的基本特征

天山冰川站和大西沟气象站(海拔 $3\,539\text{ m}$) 1959—2000 年的气象记录统计结果表明, 乌鲁木齐河源区年平均气温 -5.2 , 负温月长达 7~8 个月, 最冷月(1 月)平均气温 -15.6 , 最热月(7 月)为 4.9 . 年平均降水量 441.1 mm . 杨大庆等^[1]对乌鲁木齐河源区不同雨量计观测降水对比, 以及普通雨量计动力损失、湿润损失和蒸发损失的观测实验表明, 普通雨量计观测降水中的动力、湿润和蒸发损失 3 项之和为 26.0% , 从而得到天山冰川站和大西沟气象站修正后的多年平均降水量为 524.2 mm . 以 $22.0\text{ mm} \cdot (100\text{ m})^{-1}$ 的年降水梯度, 推算出 1 号冰

收稿日期: 2003-08-10; 修订日期: 2003-10-12

基金项目: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所引进国外杰出人才基金项目(CACX2003101; 冻土水文过程及其环境相互作用研究); 国家自然科学基金项目(40371028); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目(CACX210091)资助

作者简介: 焦克勤(1954—), 男, 甘肃会宁人, 副研究员, 1978 年毕业于兰州大学地质地理系, 现主要从事冰川与环境变化研究.

E-mail: kqjiao@ns.lzb.ac.cn

川零平衡线(海拔4 050 m)处的多年平均降水量为645.8 mm. 王德辉等^[2]对乌鲁木齐河谷气候特征研究表明, 温度梯度最大出现在海拔3 500 m到山顶, 为 $0.56 \sim 1.24 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (100\text{m})^{-1}$, 取其平均值 $0.88 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (100\text{m})^{-1}$, 按此推算1号冰川零平衡线处年平均气温为 $-9.7 \text{ } ^\circ\text{C}$.

气候的季节变化, 按月平均气温是否处于0可划分为冬、夏两个季节. 冬季自10月至翌年4月, 月平均气温均在0以下, 消融很微弱, 河水断流. 冬季降水量仅占年降水量的10%左右, 基本上为纯积累期. 5月和9月为夏、冬季节的更替时期, 它们是决定夏半年消融期长短的关键月份. 5~9月的降水量约占年降水量的90%, 降水量最多的时候也是消融最强的时期. 因此, 夏季月气温的高低和降水量的多寡直接关系到冰川的物质平衡, 进而导致冰川发生一系列复杂的变化.

3 1号冰川的近期变化

3.1 物质平衡变化

冰川物质平衡是联系冰川与气候变化过程的一个重要环节, 表1给出了1号冰川1958/1959—1999/2000年间的物质平衡值. 42 a中有27 a为负平衡年份, 负物质平衡量达 $-1\,839.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($-10\,002 \text{ mm}$ 水当量); 15 a为正平衡年份, 正物质平衡量仅为 $+387.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($2\,026 \text{ mm}$), 累计物质平衡差额为 $-1\,452.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($-7\,976 \text{ mm}$). 尤其在1980年以后的20 a间, 仅有5 a为正平衡年份, 正物质平衡量只有 $58.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ (320 mm), 而负平衡年份占到75%, 负物质平衡量达 $-1\,267.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($-7\,039 \text{ mm}$), 物质平衡差额为 $-1\,208.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($-6\,719 \text{ mm}$). 20世纪60年代, 1号冰川负物质平衡量为 $-147.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ (-756 mm); 70年代为 $-96.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ (-501 mm); 80年代为 $-492.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($-2\,679 \text{ mm}$); 90年代猛增至 $-716.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($-4\,040 \text{ mm}$). 最近20 a来1号冰川物质亏损量占总冰川物质亏损量的85%, 而最近10 a则占到51%. 可见1号冰川的物质亏损不仅持续进行, 而且不断加剧. 在本属积累区的粒雪盆内, 不仅当年的积累物质被全部融化, 而且原有下伏粒雪或冰层也在不断的被融蚀, 整个冰川处于吃老本的状态.

3.2 冰川规模变化

自20世纪60年代以来, 首先, 应用平板仪(1962年)和地面立体摄影(1973、1980、1986、1994

年)以及GPS(2001年)测量方法对1号冰川共进行过6次较正规的大比例尺(1:10 000和1:5 000)地形测量制图. 另外, 在1964年、1992年和2002年对乌鲁木齐河流域冰川进行了重复航空摄影测量. 冰川末端位置和运动速度测量除1962年和1973年的两次外, 从1980年开始, 每年进行测量, 这都为1号冰川规模变化研究提供了可靠依据. 在1962—2000年期间, 1号冰川末端位置累计退缩了171.06 m, 年平均退缩量为 4.07 m (表2). 由表2结果表明, 20世纪60年代1号冰川后退速度为 $5.96 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$, 70年代为 $3.28 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$, 80年代为 $3.63 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$, 90年为 $4.61 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$. 可见1号冰川不仅持续处于退缩状态, 而且从70年代以来, 其退缩速度逐渐加大, 并以90年代最为明显. 故使原来在末端汇合的东、西支, 于1993年已分离为两条各自独立的冰川. 1号冰川分离解体后, 西支的退缩速率明显大于东支. 造成这种差异的原因有: 1) 西支小于东支, 冰川变化对气候变化的响应更敏感; 2) 西支粒雪盆(积累区)较小, 即冰川补给少; 3) 西支冰舌末端下伏地形为一陡峻冰坎, 不但冰川厚度变小, 而且亦造成冰体崩解, 从而使冰面高低起伏, 接受太阳照射面积增大, 进而促使冰川消融强烈和退缩速率加大.

根据历次大比例尺地形测量制图, 可量算出1号冰川面积的变化(表3). 由表3可以看出, 1962—2000年间1号冰川面积缩小了 0.217 km^2 , 平均缩小率为11.1%, 与陈建明等^[3]通过两次(1964年和1992年)航空摄影测量成图对比获取的冰川变化值基本一致. 此外, 据1号冰川物质平衡值估算, 冰川厚度平均减薄8.86 m, 相应的冰川储量减小量达 $17.3 \times 10^6 \text{ m}^3$, 减小的冰川储量占1964年相应冰川储量的16.2%.

3.3 冰川厚度和运动速度变化

1962—2000年间, 1号冰川厚度平均减薄8.86 m. 由于冰川运动速度与冰川厚度变化成指数变化, 因此, 厚度的变化必然引起速度的急剧变化(表4). 从表4可以看出, 近42 a来冰川表面运动速度不断衰减, 特别是进入80年代后, 其衰减趋势更加明显. 1980—2000年冰川运动速度仅是1959—1973年的46.7%. 可以推测, 今后一段时间内1号冰川平均运动速度不会超过 $5.0 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$.

3.4 冰川成冰带谱变化

冰川成冰带谱是根据冰雪融水参与的程度与由此而引起的积雪晶体的变化情况划分的. 在20世

表 1 1 号冰川物质平衡记录

Table 1 Mass balance record of the Glacier No. 1

年度	零平衡 线海拔 / m	积累区 面积 / km ²	消融区 面积 / km ²	纯积 累量 / 10 ⁴ m ³	纯消 融量 / 10 ⁴ m ³	纯物质平衡		资料来源
						总量 / 10 ⁴ m ³	平衡值 / mm	
1958/ 1959	4 005	1. 17	0. 78	63. 9	47. 0	+ 16. 9	+ 87	文献[4]
1959/ 1960	4 060	0. 86	1. 09	49. 6	86. 2	- 36. 6	- 188	
1960/ 1961	4 060	0. 91	1. 04	53. 9	60. 3	- 6. 4	- 33	
1961/ 1962	4 075	0. 86	1. 09	51. 6	84. 2	- 32. 6	- 167	文献[5]
1962/ 1963	3 971	1. 35	0. 60	85. 2	39. 5	+ 45. 7	+ 234	
1963/ 1964	4 055	0. 93	1. 02	55. 9	55. 5	+ 0. 4	+ 2	
1964/ 1965	3 948	1. 53	0. 42	99. 8	26. 8	+ 73. 0	+ 374	
1965/ 1966	4 110	0. 71	1. 24	34. 6	107. 5	- 72. 9	- 374	
1966/ 1967	4 063	0. 89	1. 06	58. 4	72. 0	- 13. 6	- 70	
1967/ 1968	4 121	0. 68	1. 27	38. 0	127. 0	- 89. 0	- 456	
1968/ 1969	4 008	1. 15	0. 80	77. 4	48. 6	+ 28. 8	+ 148	
1969/ 1970	4 106	0. 73	1. 22	41. 0	102. 0	- 61. 0	- 313	
1970/ 1971	4 015	1. 11	0. 84	71. 1	51. 2	+ 19. 9	+ 102	
1971/ 1972	3 981	1. 31	0. 64	90. 1	39. 0	+ 51. 1	+ 262	
1972/ 1973	4 146	0. 60	1. 35	27. 0	165. 0	- 138. 0	- 708	
1973/ 1974	4 075	0. 84	1. 11	55. 7	80. 0	- 24. 3	- 125	文献[6]
1974/ 1975	3 982	1. 27	0. 60	89. 8	36. 0	+ 53. 8	+ 288	
1975/ 1976	4 066	0. 85	1. 02	48. 4	43. 0	+ 5. 4	+ 29	
1976/ 1977	4 001	1. 20	0. 67	70. 4	37. 0	+ 33. 4	+ 180	
1977/ 1978	4 155	0. 52	1. 35	28. 1	48. 4	- 20. 3	- 110	
1978/ 1979	4 120	0. 61	1. 26	31. 2	46. 7	- 15. 5	- 84	
1979/ 1980	4 038	0. 88	0. 96	20. 7	82. 4	- 61. 7	- 335	
1980/ 1981	4 122	0. 54	1. 30	15. 2	135. 1	- 119. 9	- 652	
1981/ 1982	4 025	0. 88	0. 96	62. 1	70. 3	- 8. 2	- 45	
1982/ 1983	4 005	1. 04	0. 80	65. 2	46. 8	+ 18. 4	+ 100	文献[7]
1983/ 1984	4 007	1. 07	0. 77	30. 8	46. 0	- 15. 2	- 83	
1984/ 1985	4 097	0. 56	1. 28	19. 6	132. 2	- 112. 6	- 611	
1985/ 1986	4 130	0. 50	1. 34	1. 3	134. 3	- 133. 0	- 723	文献[7]
1986/ 1987	4 025	0. 91	0. 93	36. 5	68. 8	- 32. 3	- 176	
1987/ 1988	4 080	0. 66	1. 18	10. 8	129. 2	- 118. 4	- 644	
1988/ 1989	3 980	1. 29	0. 55	59. 8	40. 8	+ 19. 0	+ 103	文献[7]
1989/ 1990	3 959	1. 30	0. 54	54. 0	44. 5	+ 9. 5	+ 52	文献[7]
1990/ 1991	4 130	0. 57	1. 27	5. 5	135. 4	- 129. 9	- 706	文献[7]
1991/ 1992	3 975	1. 26	0. 58	49. 7	45. 5	+ 4. 2	+ 23	
1992/ 1993	3 980	1. 27	0. 57	46. 1	51. 5	- 5. 4	- 29	
1993/ 1994	4 058	0. 74	1. 10	25. 7	95. 2	- 69. 5	- 378	
1994/ 1995	4 035	0. 92	0. 92	19. 1	61. 1	- 42. 0	- 228	
1995/ 1996	3 986	1. 23	0. 61	24. 6	16. 8	+ 7. 8	+ 42	
1996/ 1997	4 160	0. 426	1. 316	10. 1	158. 7	- 148. 6	- 853	文献[8]
1997/ 1998	4 096	0. 570	1. 172	9. 9	147. 5	- 137. 6	- 790	文献[7]
1998/ 1999	4 122	0. 539	1. 203	8. 2	145. 9	- 137. 7	- 791	
1999/ 2000	4 063	0. 867	0. 875	17. 2	74. 6	- 57. 4	- 330	

注：计算冰川物质平衡使用的冰川面积以 5 次测图为基础。但由于 1973 和 1994 年的成图滞后，故有 3 年（1973/ 1974 年、1994/ 1995 和 1995/ 1996 年）使用前一次测图的冰川面积。

表 2 1 号冰川末端退缩速度

Table 2 Record of retreat speed at the terminus of the Glacier No. 1

年 度	平均退缩速度 / (m a ⁻¹)		累计退缩距离 / m	资料来源
1962-09 —1973-08	- 5.96		- 65.60	文献[9]
1973-09 —1980-08	- 3.28		- 88.59	文献[7]
1980-09 —1981-08	- 4.83		- 93.42	
1981-09 —1982-08	- 2.06		- 95.48	
1982-09 —1983-08	- 2.94		- 98.42	
1983-09 —1984-08	- 3.39		- 101.81	文献[7]
1984-09 —1985-08	- 3.35		- 105.16	
1985-09 —1986-08	- 3.58		- 108.74	
1986-09 —1987-08	- 3.68		- 112.42	文献[7]
1987-09 —1988-08	- 3.80		- 116.22	文献[7]
1988-09 —1989-08	- 5.13		- 121.35	
1989-09 —1990-08	- 3.57		- 124.92	
1990-09 —1991-08	- 6.51		- 131.43	
1991-09 —1992-08	- 3.44		- 134.87	
1992-09 —1993-08	- 3.84		- 138.71	
	东支		西支	
1993-09 —1994-08	- 4.85	- 5.80	- 6.75	- 144.51
1994-09 —1995-08	- 3.95	- 5.06	- 6.17	- 149.57
1995-09 —1996-08	- 3.40	- 4.00	- 4.60	- 153.57
1996-09 —1997-08	- 3.65	- 4.23	- 4.80	- 157.80
1997-09 —1998-08	- 3.47	- 3.97	- 4.47	- 161.77
1998-09 —1999-08	- 3.41	- 4.13	- 4.85	- 165.90
1999-09 —2000-08	- 3.40	- 5.16	- 6.92	- 171.06
平 均	- 3.73	- 4.17	- 5.51	- 4.07

注：1993 年 1 号冰川完全分离成为 2 条独立的冰川，故列出了东、西支平均后退速度值。

表 3 1 号冰川面积变化

Table 3 Variation in area of the Glacier No. 1

时间	面积 / km ²	面积缩小量 / km ²	面积缩小率 / %	备 注	时间	面积 / km ²	面积缩小量 / km ²	面积缩小率 / %	备 注
1962-08	1.950	0.000	0.0	文献[9]	1986-08	1.840	0.110	5.6	文献[10]
1964-09	1.941	0.009	0.5	陈建明等 ¹⁾	1992-08	1.833	0.117	6.0	陈建明等 ⁴⁾
1973-08	1.870	0.080	4.1	陈建明等 ²⁾	1994-08	1.742	0.208	10.7	焦克勤等 ⁵⁾
1980-08	1.840	0.110	5.6	孙作哲等 ³⁾	2000-08	1.733	0.217	11.1	井哲帆等 ⁶⁾

注：1) 和 4) 据航测地形图量算；2)、3)、5) 据地面立体摄影图量算；6) 据冰川变化图量算。

表 4 1 号冰川不同高度平均运动速度

Table 4 Average flow speed changing with time of the Glacier No. 1

1959—1962 年		1973 年		1980—1990 年		1991—2000 年	
断面海拔	运动速度	断面海拔	运动速度	断面海拔	运动速度	断面海拔	运动速度
/m	/ (m a^{-1})	/m	/ (m a^{-1})	/m	/ (m a^{-1})	/m	/ (m a^{-1})
3 800 (6)	7.09	3 800 (2)	4.39	3 797 (6)	3.83	3 803 (4)	3.87
3 870 (3)	7.13	3 870 (2)	10.92	3 867 (3)	5.26	3 860 (2)	5.04
3 990 (4)	11.41	3 990 (3)	11.63	3 991 (5)	6.55	3 986 (5)	5.92
4 055 (4)	22.15	4 050 (2)	11.12	4 061 (5)	5.45	4 056 (5)	3.96
平均	11.95		9.52		5.27		4.70

注：1) 表中断面高度为平均高度；2) 表中带括号的数为测点数。

纪 60 年代，1 号冰川自下而上依次为消融带、渗侵冻结带、渗侵带、冷渗侵-重结晶带。粒雪盆后壁广泛发育着冷渗侵-重结晶带，其特点为融水不能完全侵入年积雪层而使粒雪得以生存^[11]。但到 80 年代，由于融水的大量渗侵，粒雪在融水作用下发生再冻结，原来的粒雪层已为密实冻结粒雪和渗侵冰所取代^[12]。而到了 90 年代，除新近降雪（一般厚度在 40~50 cm）外，原来的密实冻结粒雪和渗侵冰已变成冰川冰。成冰带谱的显著变化，也反映了冰川水热状况的改变。

4 冰川对气候变化的响应

根据乌鲁木齐河源 42 a 来的气温和降水记录(表 5)，90 年代夏季、冬季和年平均温度比前 3 个 10 a(1959—1970 年、1971—1980 年和 1981—1990 年)分别高出 0.5~0.6、0.6~1.0 和 0.6~0.8；而夏季和年平均降水量分别高出 68.2~93.9 mm 和 61.5~79.1 mm。显然，河源区处于一个最为明显的暖湿阶段，其结果使 1 号冰川物质负平衡、冰川面积和体积、冰川厚度和运动速度以及冰川末端退缩速度的变化量出现 42 a 来的最大值(表 1~4)。这与新疆以天山西部地区为主，乃至西北地区出现的气候转向暖湿，降水量、冰川消融量和河流径流量连续多年增加，导致湖泊水位显著上升、洪水灾害猛烈增加、植被改善和沙尘暴减少相一

致^[13~17]。80 年代的夏季、年平均温度和降水量差别甚小，而冬季温度却比前 2 个 10 a(1959—1970 年和 1971—1980 年)分别高出 0.2 和 0.4，这对于反映 1 号冰川变化的冰川负物质平衡、面积和体积、厚度和运动速度、末端位置，从 80 年代就已开始逐渐增大(表 1~4)。60—70 年代，冰川变化总体受气温和降水量的共同作用，即在变化上与气温呈反相关，与降水呈正相关^[18]。

乌鲁木齐河河源区自 80 年代中期以来气温(尤其是冬季气温)持续升高，造成了冰川冷储的减少，致使冰川对气候变暖的敏感性大大增强。在这一背景下，气温的稍许增加，亦造成冰川消融的非线性加速增加。根据这一推断，在目前全球气候持续变暖的大背景下，1 号冰川可能正经历着一种超出我们估算的速度消融。因此，有必要对 1 号冰川重新进行基本的雪冰物理(冰川温度、冰川结构和成冰过程等)特征的观测研究，有助于对中国西部乃至世界许多地区自 80 年代中期以后，冰川消融速度加快，冰川径流量增大的合理解释。

5 冰川变化的趋势预测

5.1 从物质平衡的变化趋势预测

从冰川物质平衡角度出发，冰川末端可以说是冰川的另一条零平衡线。冰川末端位置变化，取决

表 5 乌鲁木齐河河源区的气温和降水

Table 5 Air temperature and precipitation at the headwaters of the 1st Ürümqi River changing with time

时 间	平均气温/ $^{\circ}\text{C}$			平均降水量/mm		
	5~8 月	12 月至翌年 2 月	年均	5~8 月	12 月至翌年 2 月	年均
1959—1970	2.8	- 14.9	- 5.2	343.3	2.3	436.9
1971—1980	2.9	- 15.1	- 5.3	323.0	3.1	424.4
1981—1990	2.9	- 14.7	- 5.4	317.6	3.3	419.3
1991—2000	3.4	- 14.1	- 4.6	411.5	3.5	498.4

于冰川运动向下移动的冰量与当年消融量引起冰川后退之间的对比关系。若前者大于后者则冰川前进,反之则退缩。因此,在讨论冰川未来发展趋势时,不仅要考虑冰川年际平衡值的正负和大小,更应考虑多年累积的物质平衡值。42 a 来 1 号冰川负的累计平衡值高达 7 976.0 mm。若要扭亏为盈,改变已有巨大的物质亏损,除非要连续 21 a 出现 42 a 来最大正平衡(+374.0 mm)。根据已有的观测研究以及目前的气候变化趋势,这种情况不大可能出现。因此,推测 1 号冰川目前的退缩趋势还将持续相当一段时间,至少在 20~30 a。

5.2 从树木年轮反映的冷暖周期性预测

康兴成^[19]对乌鲁木齐河流域上树线附近树木年轮的周期分析计算,获得了反映该流域气温冷暖变化 456 a 序列的方差分析有 55、62~67 a 的主要周期。在谱密度分析中存在 2~3 a 的短周期和 100 a、150 a 和 302 a 的长周期。目前正处于小冰期以来第三个温暖时期,其周期约为 62~67 a,1955—2000 年已经历 45 a。若这次温暖期重现 1650—1710 年的情况,则目前的温暖气候还将持续 20 a 左右。而冰川进退变化反映气候变化存在着滞后现象,一般山谷冰川进退变化滞后气候变化的时间约 10 a 左右。由此推测 1 号冰川至少还将持续退缩 20~30 a。

5.3 应用不同方法的计算值预测

王文悌等^[20]按 J. F. Nye 扰动方程的频率解,把 1959—1981 年作为 1 号冰川扰动的一个周期,计算得出 1 号冰川最终要退缩 338 m,若以平均 4.0 m·a⁻¹的速度后退,则需要后退 80 a 左右。由此可见,1 号冰川还将继续退缩 30~40 a。

曹梅盛等^[21]对稳定状态下冰川纵向断面计算得出,1 号冰川达到稳定状态,总面积比 1980 年减少 0.304 km²。实际上 1 号冰川面积比 1980 年减少 0.107 km²。可见 1 号冰川面积还要继续减少 0.197 km²,方能达到稳定状态。

综合上述,认为 1 号冰川在 2030 年前不会出现稳定或前进,不仅继以持续退缩,而且很可能出现消融和退缩的加速。在中国冰川对 21 世纪全球变暖响应的预估中,施雅风等^[22]引用 HadCM2 Gscl 模拟数值结合中国 3 类冰川分布区,提出了 2030、2070 和 2100 年 3 个时段的升温估计值。其中,2030 年亚大陆型冰川区(包括天山)升温 0.9 的情况下,冰川面积或体积还要减少 15%。可见,在全球气候变暖的大环境下,1 号冰川的持续后退趋势是毫无疑问的。

参考文献(References):

- [1] Yang Daqing, Jiang Tong, Zhang Yinsheng, et al. Analysis and correction of errors in precipitation measurement at the heat of 1 号冰川 River, Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1988, 10(4): 384 - 399. [杨大庆, 姜彤, 张寅生, 等. 天山乌鲁木齐河源降水观测误差分析及其修正[J]. 冰川冻土, 1988, 10(4): 384 - 399.]
- [2] Wang Dehui, Zhang Peiyuan. On the valley climate of 1 号冰川 River in the Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1985, 7(3): 239 - 248. [王德辉, 张丕远. 天山乌鲁木齐河谷气候特征[J]. 冰川冻土, 1985, 7(3): 239 - 248.]
- [3] Chen Jianming, Liu Chaohai, Jin Mingxie. Application of the repeated aerial photogrammetry to monitoring glacier variation in the drainage area of the 1 号冰川 River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(4): 331 - 336. [陈建明, 刘潮海, 金明侠. 重复航空摄影测量方法在乌鲁木齐河流域冰川变化检测中的应用[J]. 冰川冻土, 1996, 18(4): 331 - 336.]
- [4] Xie Zichu, Ge Guangwen. Study of accumulation, ablation and mass balance of Glacier No. 1 at the headwater of 1 号冰川 River, Tianshan [A]. Studies of Glaciology and Hydrology on the 1 号冰川 River, Tianshan [C]. Beijing: Science Press, 1965. 14 - 24. [谢自楚, 葛光文. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的积累、消融及物质平衡 [A]. 天山乌鲁木齐河冰川与水文研究 [C]. 北京: 科学出版社, 1965. 14 - 24.]
- [5] Zhang Jinhua. Mass balance studies on the No. 1 Glacier of 1 号冰川 River, Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1981, 3(2): 32 - 40. [张金华. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡研究[J]. 冰川冻土, 1981, 3(2): 32 - 40.]
- [6] Zhang Jinhua, Wang Xiaojun, Li Jun. Study of the relationship between Mass balance change of Glacier No. 1 at the headwater of 1 号冰川 River, Tianshan and climate [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1984, 6(4): 25 - 36. [张金华, 王晓军, 李军. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡变化与气候相互关系的研究[J]. 冰川冻土, 1984, 6(4): 25 - 36.]
- [7] Tianshan Glaciological Station. Annual Report of Tianshan Glaciological Station, Vol. 1 - 16 [R]. Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, 1980 - 2002. [天山冰川观测试验站. 天山冰川站年报, 1 - 16 卷[R]. 兰州: 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1980 - 2002.]
- [8] Jiao Keqin, Wang Chunzu, Han Tianding. A strong negative mass balance recently appeared in the Glacier No. 1 at the headwaters of the 1 号冰川 River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22(1): 62 - 64. [焦克勤, 王纯足, 韩添丁. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川新近出现大的物质负平衡[J]. 冰川冻土, 2000, 22(1): 62 - 64.]
- [9] Wang Wenying, Liu Jinghuang, Luo Xiangrui, et al. An retreat in the Glacier No. 1 at the headwaters of the 1 号冰川 River, Tianshan, at the 1962 - 1973 year and contrast survey of the movement [A]. Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology, Geocryology and Desert Research, No. 1 [C]. Beijing: Science Press, 1976. 32 - 35. [王文颖, 刘景璜, 罗祥瑞, 等. 1962 - 1973 年天山乌鲁木齐河 1 号冰川的后退和运动对比测量 [A]. 中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所集刊, 第 1 号 [C]. 北京: 科学出版社, 1976. 32 - 35.]
- [10] You Genxiang. Map of Glacier No. 1 and Glacier No. 2 at the Source of the 1 号冰川 River, Tianshan Mountains [M]. Xi'an: Xi'an Carto-

- graphic Publishing House, 1988. [尤根祥. 乌鲁木齐河源 1 号和 2 号冰川图[M]. 西安: 西安地图出版社, 1988.]
- [11] Xie Zichu, Huang Maohuan. An evolution of the snow - firm layer and ice formation in the Glacier No. 1 at the headwaters of the *Ĥ ĩnqĩ* River, Tianshan [A]. Studies of Gaciology and Hydrology on the *Ĥ ĩnqĩ* River, Tianshan [C]. Beijing: Science Press, 1965. 1 - 14. [谢自楚, 黄茂桓. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川雪 - 粒雪层的演变及成冰作用 [A]. 天山乌鲁木齐河源冰川和水文研究 [C]. 北京: 科学出版社, 1965. 1 - 14.]
- [12] Wang Xiaojun, Wang Zhongxiang, Xie Zichu. Change trend of recent climatic on the Tianshan regions from the change of the past 28 years of the glacier No. 1 at the *Ĥ ĩnqĩ* River Headwater, Tianshan [J]. Chinese Science Bulletin, 1988, 9: 693 - 696. [王晓军, 王仲祥, 谢自楚. 从乌鲁木齐河源 1 号冰川二十八年来变化看天山地区近期气候变化趋势[J]. 科学通报, 1988, 9: 693 - 696.]
- [13] Shi Yafeng, Shen Yǒngping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm - dry to warm-humid in North west China [J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 2002, 24(3): 219 - 226. [施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219 - 226.]
- [14] Guo Ni, Zhang Jie, Liang Yun. Climate change indicated by the recent change of inland lakes in Northwest China [J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 211 - 214. [郭妮, 张杰, 梁芸. 西北地区近年来内陆湖泊变化反映的气候问题[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 211 - 214.]
- [15] Li Yuan, Tan Yuan, Jiang Fenqing, *et al.* Study on hydrological features of the Kaidu River and the Bosten Lake in the Second Half of 20th Century[J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 215 - 218. [李宇安, 谭元, 姜逢清, 等. 20 世纪下半叶开都河与博斯腾湖的水文特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 215 - 218.]
- [16] Su Hongchao, Wei Wenshou, Han Ping. Change in the air temperature and evaporation in Xinjiang during recent 50 years [J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 174 - 178. [苏宏超, 魏文寿, 韩萍. 新疆近 50 a 来的气温和蒸发变化[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 174 - 178.]
- [17] Zhang Guowei, Wu Sufen, Wang Zhijie. The signal of climatic shift in northwest China deduced from river runoff change in Xinjiang region [J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 183 - 187. [张国威, 吴素芬, 王志杰. 西北气候环境转型信号在新疆河川径流变化中的反映[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 183 - 187.]
- [18] Li Zhongqin, Han Tianding, Jing Zhenfan, *et al.* A summary of 40-year observed variation facts of climate and Glacier No. 1 at headwaters of *Ĥ ĩnqĩ* River, Tianshan, China [J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 117 - 123. [李忠勤, 韩添丁, 井哲帆, 等. 乌鲁木齐河源区气候变化和 1 号冰川 40 a 观测事实[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 117 - 123.]
- [19] Kang Xingcheng. A preliminary analysis on the climatic changes in the drainage area of *Ĥ ĩnqĩ* River from tree ring [J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 1985, 7(2): 133 - 140. [康兴成. 天山乌鲁木齐河流域年轮气候的初步分析[J]. 冰川冻土, 1985, 7(2): 133 - 140.]
- [20] Wang Wenti, Liu Zongxiang. Analysis of the frequency response behaviour of the Glacier No. 1 at the *Ĥ ĩnqĩ* River Headwater, Tianshan [J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 1984, 6(4): 13 - 24. [王文梯, 刘宗香. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川频率响应特性的计算与分析[J]. 冰川冻土, 1984, 6(4): 13 - 24.]
- [21] Cao Meisheng, Meier M F. Calculation of glacial longitudinal sections under stable conditions—Glacier No. 1 at the headwater of the *Ĥ ĩnqĩ* River, Tianshan Mt. as an example [J]. Journal of Gaciology and Geocryology, 1987, 9(2): 131 - 138. [曹梅盛, 迈耶 M F. 稳定状态下冰川纵向断面计算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例[J]. 冰川冻土, 1987, 9(2): 131 - 138.]
- [22] Shi Yafeng, Liu Shiyin. The calculation of Chinese glacier's response to the globe climatic warming in the 21th century [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(4): 434 - 438. [施雅风, 刘时银. 中国冰川对 21 世纪全球变暖响应的预估[J]. 科学通报, 2000, 45(4): 434 - 438.]

Variation of the Glacier No. 1 at the Headwaters of the Ür Ünqi River in the Tianshan Mountains during the Past 42 Years and Its Trend Prediction

JIAO Ke-qin, JING Zhe-fan, HAN Tian-ding, YE Bai-sheng,
YANG Hui-an, LI Zhong-qin

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: The Glacier No. 1 at the headwaters of the Ür Ünqi River in the Tianshan Mountains (thereafter called Glacier No. 1) originally was a valley glacier with two cirques. Owing to glacial retreat caused by global warming, the east branch of the glacier separated from the west branch in 1993. The length and area of the glacier decreased from the 2.2 km and 1.950 km² in 1964 to 2.0 km and 1.733 km² in 2000, respectively.

The Glacier No. 1 has remarkably changed during the past 42 years, which can be seen from the following factors: mass balance of -7 976.0 mm, terminus retreat of 171.1 m, area decrease of 11.1%, mean thickness of 8.86 m and flow speed decrease of 39.3%. In addition, owing to the upward shift of ice formation zones, cold percolation-recrystallization zone disappeared. These reflect the general trend of climate change during the past 42 years. The observation for 42 years shows that for those glaciers, through which climate change can be reflected, the observation should be greatly highlighted.

Key words: variation of the Glacier No. 1; trend prediction; Ür Ünqi River; Tianshan Mountains

Based on the variation trend of glacial mass balance, it is predicted that the Glacier No. 1 would not make up the great mass deficits (-7 976.0 mm) and get surpluses unless it keeps continuous accumulation for 21 years with the extent of the biggest positive balance during the past 42 years (+374.0 mm). The previous researches show that the above condition hardly appears. Thus, it is conjectured that the retreating trend of the glacier will continuously go on for quite a long time, at least before the 2030s it is impossible to appear an apparent glacier advance.

Based on the periodic characteristics of cold-warm and dry-wet circles in climate change as derived from tree ring data, it is presumed that it is now in the third warm period since the Little Ice Age. From 1955 up to now, the period lasts 45 years. If the warm period recurs with a periodicity of 62 ~ 67 years, it will last about 20 years from now on. Thus, it is expected that the glacier will keep retreating for more scores of years.