

文章编号: 1000-0240(2000)03-0223-07

# 小冰期以来中国季风温冰川对全球变暖的响应<sup>①</sup>

苏 珍, 施雅风

(中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 中国的季风温冰川主要分布在青藏高原东南部, 冰川覆盖面积为 13 203.2 km<sup>2</sup>, 占我国冰川总面积的 22.2%。由于这类冰川的特性, 对气候变暖极为敏感。自小冰期最盛时(17 世纪)以来, 温冰川区平均升温 0.8℃, 冰川面积减小相当现代面积的 30%, 为 3 921.2 km<sup>2</sup>。预估中国季风温冰川区 2100 年的升温值 2.1℃, 届时冰川面积将减少 75%, 达 9 900 km<sup>2</sup> 左右, 考虑到降水增加趋势等因素, 实际冰川退缩比例不大于 80%, 但这已足以说明温冰川的大规模衰退, 其后果将对当地水资源和环境产生重大影响。

**关键词:** 季风温冰川; 小冰期; 全球变暖

**中图分类号:** P343.6 **文献标识码:** A

山地冰川对气候变化最为敏感, 冰川的进退变化就是对气候变化的响应。从小冰期以来, 随着全球气候的变暖, 中国西部冰川也随之发生变化。冰舌后退, 冰川面积减少, 雪线上升等, 特别是发育在中国季风区的温型冰川(或称海洋型)更是如此。由于冰川是重要的淡水资源又是众多江河和湖泊源区, 所以人们更加关注其变化的情况。我们根据野外考察观测取得的一些实测资料, 结合冰川编目统计, 以及利用航片、大比例尺地形图的对比量算, 对中国季风温冰川从小冰期以来冰川萎缩情况进行了统计分析, 并在此基础上对未来变化趋势情景进行了讨论。

## 1 中国季风温冰川及其发育特征

中国的季风温冰川主要分布在青藏高原东南部的横断山、喜马拉雅山东段和南坡, 以及念青唐古拉山的东段和中段(图 1)。根据中国冰川编目统计, 我国境内有季风温冰川 8 607 条, 冰川覆盖面积 13 203.2 km<sup>2</sup>, 分别占我国冰川总条数和面积的 18.6% 和 22.2%, 冰川平均面积 1.53 km<sup>2</sup>。其中, 念青唐古拉山东段和中段有冰川 4 273 条, 冰川面积 7 888.8 km<sup>2</sup>, 冰川平均面积 1.85 km<sup>2</sup>, 为最

多; 喜马拉雅山东段和南坡有冰川 2 609 条, 冰川面积 3 734.9 km<sup>2</sup>, 冰川平均面积 1.43 km<sup>2</sup>, 为次多; 横断山只有冰川 1 725 条, 冰川面积 1 579.5 km<sup>2</sup>, 冰川平均面积 0.92 km<sup>2</sup>, 冰川相对较少。

季风温冰川区的天气系统主要受两大环流的影响, 其一是北半球的西风环流, 携带水汽较少; 其二是南亚季风环流, 它是主要的降水来源。从环流形势变化来说, 基本可分为冬季环流形势和夏季环流形势, 春、秋为两种环流形势的过渡和转变时期, 比较短暂。11 至翌年 3 月, 主要受西风环流南支急流控制, 降水少, 天气多晴好。4 月南支急流减弱, 湿热的南亚季风北上进入本区南部开始雨季, 5 月南支西风急流撤到北纬 30℃ 以北地区, 南亚季风环流控制全区进入雨季, 晴天较少, 降水可延续至 10 月。4~10 月的降水占全年总量的 60%~90%。夏季冰川下部有较多的液态降水虽然对冰川发育不利, 但经常降落的新雪增强了冰雪面的反射率则对冰川发育有利。

中国季风温冰川的主要特点是: 冰川区降水丰沛, 年降水量达 1 000~3 000 mm; 平衡线高度(ELA)较低, 一般在海拔 4 200~5 200 m 之间, 比

①收稿日期: 2000-05-18; 修订日期: 2000-06-27

**基金项目:** 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新项目(210010); 中国科学院“九五”重大项目“西部冰川资源变化及其对社会经济发展的影响”(KZ951-B1-212)资助

**作者简介:** 苏珍(1938~), 男, 甘肃临洮人, 研究员, 1960年毕业于西北师范大学地理系, 现主要从事冰川与环境变化研究。

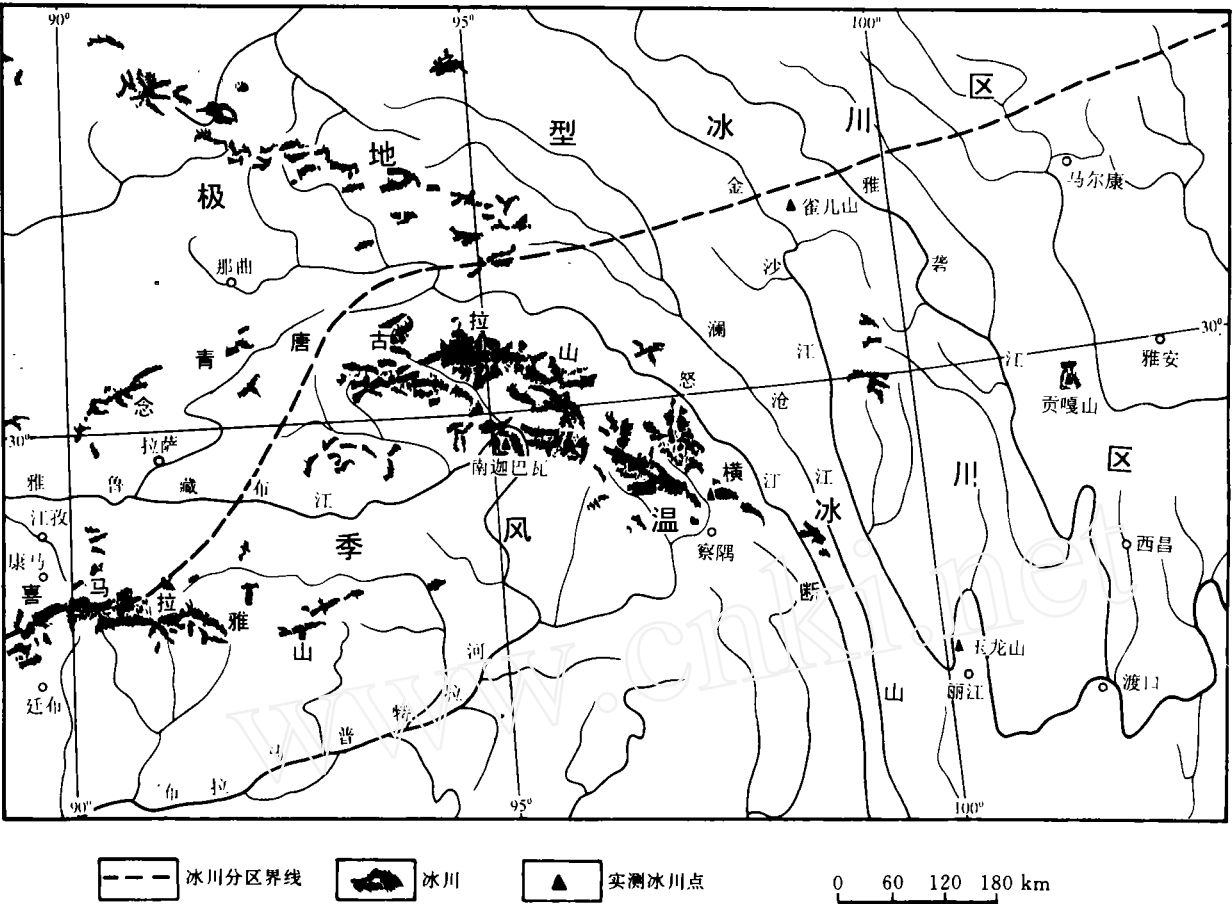


图 1 季风温冰川分布图

Fig. 1 Monsoonal temperate glaciers located in the southeast Tibetan Plateau

表 1 若干温冰川雪线附近的水热状况

Table 1 Heat and water state near the ELA of some monsoonal temperate glaciers

冰川名称	冰川类型	雪线高度 / m	年降水量 / mm	年平均温度 / °C	夏季(6~8月) 平均温度 / °C	资料来源
阿扎冰川	山谷冰川	4 500	3 000	-2.6	5	文献〔1〕
珠西沟冰川	山谷冰川	4 200	2 889	-2.7		
若果冰川	山谷冰川	4 715	2 700	-2.6		
古乡 3 号冰川	雪崩冰川	4 600	2 980	-4	4	
海螺沟冰川	山谷冰川	4 900	3 000	-4.4	3.6	文献〔2〕
贡巴冰川	山谷冰川	4 900~5 100	1 800	-4.1~-5		
白水 1 号冰川	冰斗-山谷冰川	4 800	2 000	-3.3		文献〔3〕
雪宝顶 7 号冰川	冰斗冰川	5 000	1 500	-5.7		

青藏高原西部的极地型(或称极大陆型)冰川平衡线高度低 800~1 200 m, 平衡线处年平均气温高于-6 °C, 夏季(6~8 月)平均温度在 1~5 °C 之间(表 1). 冰川冰层温度在 0~-4 °C 之间, 经常高于-1 °C, 因而冰川消融强度大. 据 1974~1975 年考察观测, 若果冰川冰舌中部海拔 4 000 m 处的裸露冰面 5 号点, 年消融冰层深达 15.3 m, 折合 13 770 mm 水当

量, 冰面平均年消融冰层深 10.5 m, 折合 9 450 mm 水深<sup>〔1〕</sup>; 海螺沟冰川冰舌中段冰面海拔 3 600 m 处, 1992~1993 年冰层消融深 9.36 m, 折合 8 424 mm 水深<sup>〔4〕</sup>. 温冰川的运动速度也很大, 多有底部滑动, 如阿扎冰川海拔 3 482 m 处年运动速度高达 438 m; 梅里雪山明永冰川平均年运动速度达 533 m<sup>〔5〕</sup>, 在同等规模冰川的情况下, 由于补

给丰富, 冰层温度高的温冰川要比其它类型冰川的运动速度大得多. 季风温冰川对气候变暖的反映, 比其它类型冰川敏感, 小量气温升高可导致平衡线较大幅度升高和冰川面积明显萎缩.

2 小冰期以来冰川退缩面积的估算

小冰期是指 15~19 世纪全球气候相对寒冷的时期. 其中有 3 次较强冷期, 导致很多冰川发生前进, 在冰舌末端一般分布有 3 道明显的终碛垄, 可在大比例尺地形图和航空相片上看到, 由此可据以判定“小冰期”的冰川规模, 进而估算小冰期以来冰川退缩量的大小.

由于我国季风温冰川地域分布广, 冰川数量多, 全面量算小冰期以来冰川退缩面积是困难的.

因此, 目前只能用一定的实测资料放大外延进行估算. 其办法是: 首先选一些代表性地区的冰川, 按不同冰川规模分级实测其冰川面积减少量, 得出不同规模冰川面积减少的百分比; 然后使用实测冰川退缩面积减少比例, 将现存冰川面积也按不同冰川规模分级统计, 即获得中国季风温冰川从小冰期以来冰川面积减小的数据.

本次共实测冰川 1 139 条, 冰川面积 1 862.0 km<sup>2</sup>, 占应统计季风温冰川条数的 13.2%, 总冰川面积的 14.1%. 冰川规模包括 0.01~100 km<sup>2</sup> 的各个等级. 分布地区有: 1) 横断山, 统计了玉龙山(图 2)、贡嘎山和部分雀儿山冰川, 共 216 条, 面积 372.8 km<sup>2</sup>; 2) 喜马拉雅山东段的南迦巴瓦峰冰川(图 3)360 条, 面积 515.4 km<sup>2</sup>; 3) 念青唐古拉山东段和中段察

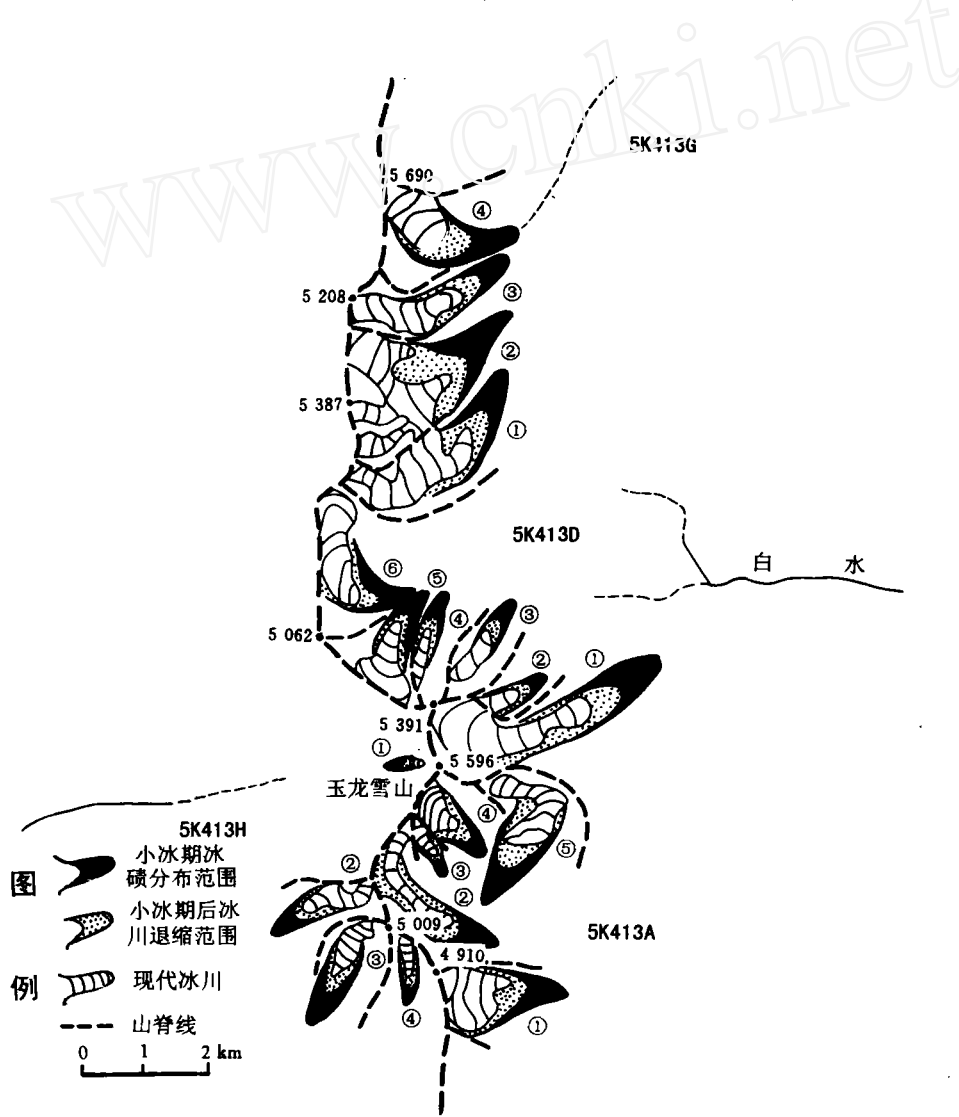


图 2 玉龙山小冰期冰碛分布  
Fig. 2 Moraine distributed in the Mount Yulong in the LIA

表 2 小冰期以来不同规模冰川面积减小百分比

Table 2 Area reduction in percentage for different scale glaciers since the LIA

冰川规模分级	< 1 km <sup>2</sup>			1.01~5 km <sup>2</sup>			5.01~10 km <sup>2</sup>			10.01~100 km <sup>2</sup>			总 计		
	小冰期面积 / km <sup>2</sup>	现存面积 / km <sup>2</sup>	%	小冰期面积 / km <sup>2</sup>	现存面积 / km <sup>2</sup>	%	小冰期面积 / km <sup>2</sup>	现存面积 / km <sup>2</sup>	%	小冰期面积 / km <sup>2</sup>	现存面积 / km <sup>2</sup>	%	小冰期面积 / km <sup>2</sup>	现存面积 / km <sup>2</sup>	%
南迦巴瓦峰	155.8	91.1	71	214.1	154.5	39	61.6	51.3	20	242.5	218.5	11	674.0	515.4	31
帕龙藏布	154.1	90.3	70	114.1	79.5	43	68.3	57.9	18	291.1	259.0	12	627.6	486.7	29
察隅河	134.9	80.8	67	270.1	198.3	36	99.7	82.4	21	137.1	125.6	9	641.8	487.1	32
玉龙山	12.1	7.0	73	6.5	4.6	41	~	~	~	~	~	~	18.6	11.6	60
贡嘎山	66.0	38.3	72	107.9	77.7	39	50.2	42.8	17	145.9	132.0	10.5	370.0	290.8	27
雀儿山	26.2	16.7	57	26.0	20.7	26	18.2	16.0	14	18.2	17.0	7	88.6	70.4	26
总 计	549.1	324.2	69	738.7	535.3	38	298.0	250.4	19	834.8	752.1	11	2 420.6	1 862.0	30

表 3 中国季风温冰川区小冰期以来冰川变化估算

Table 3 Estimated variation of monsoonal temperate glaciers in China since the LIA

冰川规模分级 / km <sup>2</sup>	小冰期冰川面积 / km <sup>2</sup>	现存冰川面积 / km <sup>2</sup>	小冰期以来冰川减少面积	
			km <sup>2</sup>	%
< 1	3 645.0	2 156.8	1 488.2	69
1.01~5	5 667.0	4 106.5	1 560.5	38
5.01~10	2 058.5	1 729.8	328.7	19
10.01~100	3 241.4	4 722.0	519.4	11
> 100	512.5	488.1	24.4	5
总 计	17 124.4	13 203.2	3 921.2	30

注：冰川编号数据由米德生、蒲健辰、刘宗香提供。

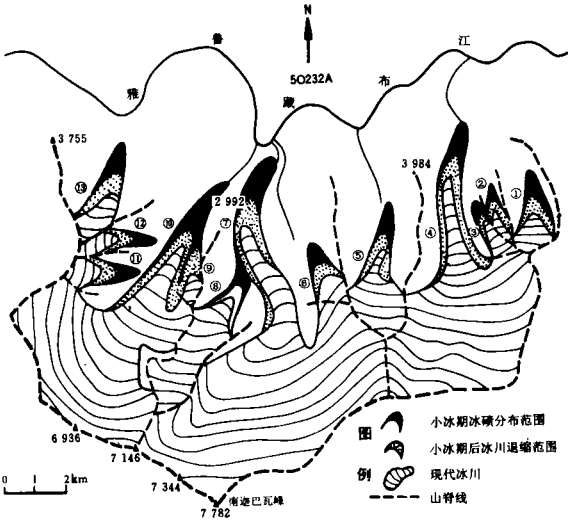


图 3 南迦巴瓦峰北坡小冰期冰碛分布

Fig. 3 Moraine distributed in the northern slopes of the Mount Nanjiabarwa in the LIA

隅河流域的冰川和帕龙藏布江流域的部分冰川(图 4)共 563 条, 面积 973.7 km<sup>2</sup>. 其实测结果列入表 2.

根据表 2 实测的不同规模冰川面积减小百分

比, 对中国季风温冰川按不同规模分级进行统计, 然后加权得出中国季风温冰川区小冰期以来冰川的变化数据(表 3).

从上述统计看出: 1)小冰期以来中国季风温冰川区的冰川面积已经减少相当现代面积的 30%, 约 3 921.2 km<sup>2</sup>. 据此推算, 小冰期时的冰川面积约 17 124.4 km<sup>2</sup>, 大约是现存冰川面积 13 203.2 km<sup>2</sup> 的 1.3 倍. 2)不同规模的冰川面积减小的比例不同, 规模越小的冰川面积减小的比例越大, 而规模越大的冰川面积减小的比例反而小. 3)冰川面积的减小, 虽都在温冰川区, 但也具有明显的地区差异. 从表 2 中大致可以看出, 南部地区要比向北地区冰川面积减小的比例要大, 如南部的玉龙山、南迦巴瓦峰和察隅河流域冰川面积减小的比例分别为 60%、31.0% 和 33%、北面的贡嘎山和最北面的雀儿山冰川面积减小分别为 27% 和 26%. 4)在同一山区, 冰川面积减小比例也有一定的差异, 如同为贡嘎山 10 km<sup>2</sup> 以上面积的海螺沟冰川和贡巴冰川, 由于海螺沟冰川分布在迎风坡的东坡, 冰川面积的减小比例为 10%, 而贡巴冰川分布在西坡, 冰川面积的减小比例仅为 5%.

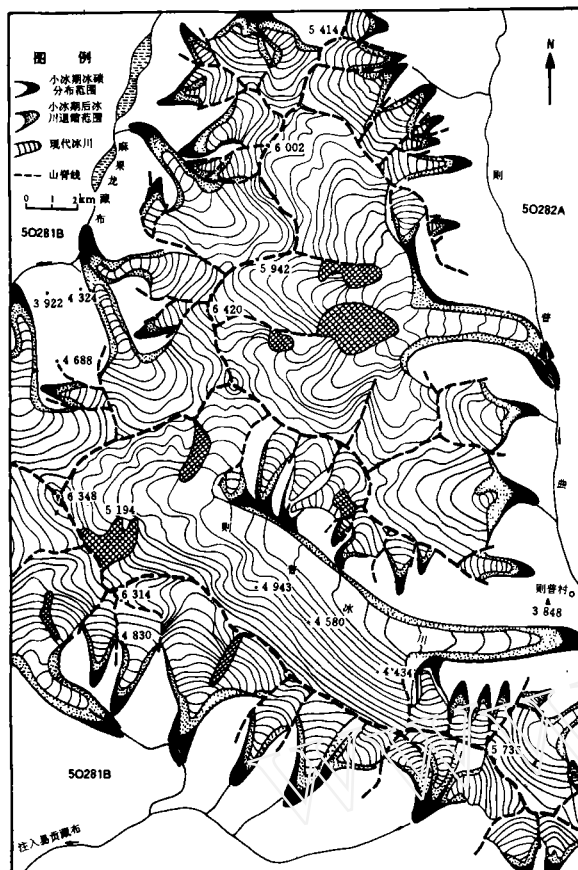


图 4 念青唐古拉则普附近小冰期冰碛分布

Fig. 4 Moraine Distribution in Mts. Nyainqentanglha and Zepu Adjacent Area Since LIA

### 3 小冰期以来冰川对气候变暖的响应

小冰期时出现的 3 个强冷期的时间, 由冰芯记录 and 树木年轮记录推算, 其中以 17 世纪出现的第 2 强冷期最为寒冷, 这个强冷期的形成和太阳辐射最弱的蒙德(Maunder)极小期(AD1645~1715)相遇有关。这次强冷期导致冰川末端小冰期的 3 道终碛垄的中间一道往往超覆在最外一道终碛垄上。Jones *et al.* 推算全球从 17 至 20 世纪平均升温值为  $0.5 \sim 0.8^{\circ}\text{C}$ <sup>[6]</sup>。我们据中国季风温冰川一些冰川雪线变化数据, 如玉龙山东坡冰川从小冰期以来冰川雪线升高达  $150 \sim 180\text{ m}$ , 察隅河流域冰川雪线升高多在  $100 \sim 150\text{ m}$  之间, 估算本区冰川从小冰期以来冰川雪线升高最低的一般也在  $60 \sim 80\text{ m}$  之间。若用尼泊尔喜马拉雅的 AX010 冰川气温升高  $1^{\circ}\text{C}$ , ELA 将上升  $153\text{ m}$ <sup>[7]</sup> 与各地温度梯度估算, 季风温冰川雪线处 20 世纪温度平均比 17 世纪升高约在  $0.8^{\circ}\text{C}$  ( $0.6 \sim 1.1^{\circ}\text{C}$ )。这一结果略高于全球平均值。

对比我国其它冰川区同期的升温值, 如青藏高原东北部及南缘和天山等处的亚极地型(或称亚大陆型)冰川区升温值为  $1.4^{\circ}\text{C}$ , 青藏高原西部的极地型(或称极大陆型)冰川区的升温为  $2^{\circ}\text{C}$ <sup>[8]</sup>, 均较季风温冰川区同期平均升温要高, 是全球平均升温值的 2 倍左右。

中国季风温冰川区从小冰期盛时至今平均气温升高较我国其它冰川区要小, 但同期冰川面积减小达  $3921.2\text{ km}^2$ , 占现存季风温冰川面积的 30%, 要比我国西部亚极地型冰川和极地型冰川从小冰期以来冰川面积分别减小 23% 和 10% 要大, 说明不同地球物理类型的冰川对气候变化的敏感性差别很大。但和强西风降水补给的欧洲温冰川区的阿尔卑斯山比较, 后者自 19 世纪以来冰川面积减小 50.2%<sup>[9]</sup> 又小得多, 季风温冰川是我国所有冰川类型中对气候变暖反映最为敏感的冰川类型。特别是在全球气候变暖背景下的近几十年, 冰川萎缩现象更加明显, 如贡嘎山东坡的海螺沟冰川, 1990~1997 年间平均物质平衡为  $-470\text{ mm}$ , 而且冰舌末端每年平均以  $17\text{ m}$  的速度在后退, 1990~1997 年间已后退达  $138\text{ m}$ 。

国际政府间气候变化专门委员会(IPCC)1995 年的评估报告, 以温室气体中度排放为准, 考虑了人为排放气溶胶的冷却作用, 认为到 2100 年高出 1961~1990 年的全球平均升温值的“最佳估计”为  $2^{\circ}\text{C}$ , 其不确定性介于  $1 \sim 3.5^{\circ}\text{C}$  间<sup>[10]</sup>。历史资料比较显示, 青藏高原和中国北部气温变化程度都大于平均值, 北半球 80 年代平均温度比 60 年代高  $0.4^{\circ}\text{C}$ <sup>[11]</sup>, 而青藏高原同期上升  $0.5^{\circ}\text{C}$  以上, 如拉萨为  $0.8^{\circ}\text{C}$ , 那曲为  $1.0^{\circ}\text{C}$ <sup>[12]</sup>, 又据唐古拉山和西昆仑山古里雅冰芯记录显示 90 年代比 70 年代分别上升  $1.8^{\circ}\text{C}$  和  $3.3^{\circ}\text{C}$ <sup>[13]</sup>。从以上可以看出, 如果以 IPCC 估计的  $2^{\circ}\text{C}$  来预测青藏高原到 21 世纪的升温值可能偏低。英国 Climatic Research Unit 的气候预测中心(Hadley Centre)发表的二代海气耦合模型 HadCM2, 模拟了 21 世纪全球气温和降水过程, 提出不同地区不同时间的变化数值, 其中青藏高原到 2100 年的升温值接近  $3^{\circ}\text{C}$ 。Shi Yafeng *et al.*<sup>[8]</sup> 引用 HadCM2GSal 模拟数值结合我国 3 类冰川分布区, 提出 2030, 2070 和 2100 年时间的升温估计值和冰川面积减少趋势估计(表 4)。

从表 4 可以看出, 中国季风温冰川区 2030、2070 和 2100 年比现代分别升温  $0.4^{\circ}\text{C}$ 、 $1.2^{\circ}\text{C}$  和

表 4 21 世纪中国冰川区升温预测和冰川面积减少趋势估计<sup>(8)</sup>

Table 4 Predicted temperature rise and estimated shrinking trend of glaciers in China in the 21th century

冰川类型	主要分布区	2030 年比现代升温 / °C 与冰川面积减少 / %	2070 年比现代升温 / °C 与冰川面积减少 / %	2100 年比现代升温 / °C 与冰川面积减少 / %
季风温冰川	西藏东南部	+0.4	+1.2	+2.1
	横断山区	-14	-43	-75%
亚极地型冰川	天山、青藏高原	+0.9	2.0	3.0
	东北部与南缘	-15%	32%	-48%
极地型冰川	青藏高原西部	+1.2	2.7	+4.0
		-6	-13	-20
总计或平均		+0.8	+2.0	+3.0
		-12	-28	-45

2.1 °C, 亚极地型冰川区和极地型冰川区 2100 年比现代分别升温 3 °C 和 4 °C。全球变暖促进水气循环加强, 降水增加, 但降水与温度变化不同步, 要复杂得多。就 80 年代和前期相比, 青藏高原和中国北部, 除华北外降水有较明显的增加, 北半球高纬地带也显著增加, 但从非洲到印度尼西亚热带和亚热带降水在下降。预期 21 世纪青藏高原和中国北部, 降水也呈上升趋势, 但 HadCM2GSal 模拟中青藏高原南部连同印度北部呈现降水量下降<sup>(10)</sup>。

季风温冰川对气候变暖极为敏感, 气温稍有升高就会导致冰川区液态降水高度的上升和消融面积的增大, 加大冰川后退速度。由此大体推测, 21 世纪中国季风温冰川仍将以较大幅度萎缩。至 21 世纪末期横断山、喜马拉雅山东段和南坡及念青唐古拉山的东段和中段的季风温冰川估计将较现代冰川面积缩减 75%, 约达 9 900 km<sup>2</sup> 左右, 若青藏高原南部按 HadCM2GSal 模拟, 出现降水下降, 冰川后退速度可能更有所加大, 但冰川面积缩小比例不会大于 80%, 此值说明我国季风温冰川面积较今大多已消退, 仅剩现代冰川面积的 25%, 约 3 300 km<sup>2</sup> 左右, 这必将对该区水资源及环境产生重大影响。

#### 参考文献(References):

- (1) Li Jijun, Zheng Benxing, Yan Xijing, *et al.* Glaciers of Xizang (Tibet) [M]. Beijing: Science Press, 1986. 1~99. [李吉均, 郑本兴, 杨锡金, 等. 西藏冰川[M]. 北京: 科学出版社, 1986. 1~99.]
- (2) Su Zhen, Liang Dalan, Hong Ming. Developing conditions, amounts and distributions of glaciers in Gongga Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1993, 15(4): 551~558. [苏珍, 梁大兰, 洪明. 贡嘎山海洋性冰川发育条件及分布特征[J]. 冰川冻土, 1993, 15(4): 551~558.]
- (3) Su Zhen, Pu Jianchen. Development conditions of existing glaciers [A]. The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau, CAS. Glaciers in the Hengduan Mountains [M]. Beijing: Science Press, 1996. 1~8. [苏珍, 蒲健辰. 现代冰川发育条件[A]. 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 横断山冰川[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 1~8.]
- (4) Su Zhen, Song Guoping, Cao Zhenqiang. Maritime characteristics of Hailuoguo Glacier in the Gongga Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(suppl.): 51~59. [苏珍, 宋国平, 曹真堂. 贡嘎山海螺沟冰川的海洋性特征[J]. 冰川冻土, 1996, 18(增刊): 51~59.]
- (5) Zheng Benxing, Zhao Xitao, Li Tiesong, *et al.* Features and fluctuation of the Melang Glacier in the Mainri Mountain [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1999, 21(2): 145~150. [郑本兴, 赵希涛, 李铁松, 等. 梅里雪山明永冰川的特征与变化[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 145~150.]
- (6) Jones P D, New M, Parker D E, *et al.* Surface air temperature and its changes over the past 150 year [J]. Review of Geophysics, 1999, 37(2): 173~199.
- (7) Zhang Yinsheng, Fujita K, Aget, Y, *et al.* The response of glacier ELA to climate fluctuations on High Asia [J]. Bulletin of Glacier Research, 1998, 16: 1~11.
- (8) Shi Yafeng, Liu Shiyin. Estimation on the response of glaciers in China to the global warming in the 21st century [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(4): 668~672.
- (9) Chen Jiyang, Atsumu Ohmura. Estimatin of Alpine glacier water resources and their change since 1870s [A]. Hydrology in Mountainous Regions, I-Hydrological Measurements, the water cycle, IAHS Publ. No. 193 [C], 1990.127~135.]
- (10) Houton J J, Meira Filho L G, Callander B A *et al.* Climate Change 1995 [M]. Cambridge University Press, 1996.
- (11) Lin Zhenyao, Zhao Xinyi. Climatic change in Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and its comparision with nearby areas, Antarctic and Arctic [A]. Contemporary climatic variations over Qingai-Xizang (Tibetan) Plateau and Their Influences on Environments [M]. (Tang Maocang, *et al.*). Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1998. 145~160. [林振耀, 赵所奕. 青藏高原气候变化与毗邻地区和南北极的对比[A]. 汤懋苍等. 青藏高原近代气候变化及其对环境的影响[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998. 145~160.]
- (12) Kang Xingcheng. The Features of the Climate changes in the Qing-Zang Plateau Area During the last 40 years [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(suppl.): 281~288. [康兴成. 青藏高原地区近 40 a 来气候变化的特征[J]. 冰川冻土, 1996, 18(增刊): 281~288.]
- (13) Yao Tandong, Thompson I G, Jiao Keqin, *et al.* Recent warming as recorded in the Qinghai-Tibetan cryosphere [J]. Annals of Glaciology 1995, 21: 196~200.

## Response of Monsoonal Temperate Glaciers in China to Global Warming Since the Little Ice Age

SU Zhen, SHI Ya-feng

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China)

**Abstract:** The monsoonal glaciers with temperate characteristics are mainly distributed over the southeast part of the Tibetan Plateau, i.e., the Hengduan Mountains, the eastern section and southern slopes of the Himalayas and the mid-eastern sections of the Nyainqentanglha Range. These glaciers have an area of about 13 200 km<sup>2</sup> and about 22% of the total glacier area of China at present. Summer monsoon from Indian Ocean carries abundant precipitation to these regions with an annual precipitation of 1 000~3 000 mm. The equilibrium line altitude (ELA) of most glaciers reaches 4 200 m to 5 200 m a.s.l., which is about 800~1 200 m lower than that of polar type glaciers in the western Tibetan Plateau. The annual mean air temperature at the ELA is higher than -6 °C, with the mean air temperature during summer (from June to August) ranging from 1 °C to 5 °C. The ice temperature of all ice layers ranges between 0 °C and -4 °C, and usually higher than -1 °C. Therefore ablation is intense. The ablation depth reaches 15.3 m at the mid-section of the Ruogou Glacier and 9.36 m in the Hailuogou Glacier. The ice movement mainly belongs to basal sliding with a large velocity and a high amplitude of fluctuations. The annual mean velocity was recorded as 438 m · a<sup>-1</sup> at the Azha Glacier and 533 m · a<sup>-1</sup> at the Melang Glacier. These glaciers are more sensitive to climate change, i.e., a small rise in air temperature can result in a large shrinkage in glacier area.

The Little Ice Age (LIA) is referred to a relatively cold period from the 15th to 19th century around the world. There were 3 colder phases in the LIA, which resulted in many glaciers to advance, with clear end moraine appeared at the end of glaciers. The 3 colder phases can be distinguished according to ice core and tree-ring records. The second colder event in the 17th

century was extreme, which was related to the minimum solar irradiance known as Maunder Minimum during 1645~1715, and induced that the second end moraine usually overlapped on the first or the former one. Variation of snowline of the monsoonal temperate glaciers lead to speculate that the mean temperature from the 17th century to the 20th century was about 0.8K (0.6~1.1 K) lower than now. Based on a field surveying of 1139 glaciers, which were located in representative regions with various sizes, accounting for 13.2% of total amount of monsoonal temperate glaciers in the southeast part of the Tibetan Plateau, it was measured that the area of these glaciers was 1 862 km<sup>2</sup>, 14.1% of the total area. However an extension statistics indicated that since the LIA, the reduction of the total glacier area has been 3 921.2 km<sup>2</sup>, equivalent to 30% of the glacier area at present, greater than that of the sub-polar type glaciers and the polar type glaciers in West China, 23% and 10%, but less than that of the westerly temperate glaciers in the Alps, 50%. According to the newest information of the Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC), the average air temperature around the world in 2100 will be higher than that during the late 20th century, with a 2.1 K rise in the monsoonal temperate glacier area. Along with a warming, the area will largely shrink in the monsoonal temperate glacier area. It is predicted that the glacier area will be reduced 75% as compared with the glaciers at present and will reach about 9 900 km<sup>2</sup>. But the shrinkage proportion will not greater than 80%. This is enough to indicate that the most monsoonal temperate glaciers will disappear. The remained glacier area will occupy only 25% of the glacier area at present, about 3 300 km<sup>2</sup>. It will bring enormous infection to the water resources and environment in this area.

**Key words:** monsoonal temperate glacier; Little Ice Age; global warming