

# 青藏高原东南部岗日嘎布地区冰川严重损耗与退缩

杨威, 姚檀栋\*, 徐柏青, 邬光剑, 马凌龙, 辛晓冬

中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085;  
中国科学院冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000;  
中国科学院研究生院, 北京 100049

\* 联系人, E-mail: [tdyao@itpcas.ac.cn](mailto:tdyao@itpcas.ac.cn)

2007-10-30 收稿, 2008-05-26 接受

国家重点基础研究发展计划(编号: 2005CB422004)和国家自然科学基金(批准号: 40571039, 40121101)资助项目

**摘要** 海洋性冰川由于所处位置降水量大、气温高, 因而对气候变化的响应更为显著. 针对藏东南海洋性冰川, 通过冰川表面物质平衡监测、GPS 冰川末端位置测定、冰川雷达测厚以及地形图与卫星遥感图片相结合的方法, 对岗日嘎布地区冰川变化进行了研究. 研究发现, 从 20 世纪 70 年代以来, 本区冰川经历了严重的物质损耗与退缩. 南坡的阿扎冰川冰舌末端由于表面强烈消融而形成约 6 km 的冰碛覆盖区, 冰川末端呈现出加速退缩的态势. 北坡的四条冰川物质平衡观测数据显示, 2006 年 5~2007 年 5 月冰川表面出现较大亏损, 冰川退缩速度为 15~19 m. 此外, 与面积较大的冰川相比, 小冰川呈现出更为明显的退缩状态. 气温升高造成的本区冰川强烈物质损耗及占本区冰川数量众多的小冰川的“消失”将可能会对本区水资源、生态环境、局地气候及人类可持续发展等造成相当大的影响.

**关键词**  
冰川萎缩  
物质平衡  
气候变化  
岗日嘎布山脉

中国海洋性冰川主要集中分布在青藏高原的东南部, 约占中国冰川数量的 18.6%或面积的 22.2%<sup>[1]</sup>. 在全球变暖的大背景下, 青藏高原冰川出现了急剧退缩的趋势<sup>[2~8]</sup>. 由于海洋性冰川对于气候变化极为敏感<sup>[9,10]</sup>, 且发育在南亚暖湿气流进入青藏高原的重要水汽通道之上, 所以研究本区海洋性冰川的变化有利于了解冰川与西南季风之间的关系. 同时, 冰川变化与本区水资源变化及与此相关的地质灾害息息相关, 对于本区的可持续发展有着相当大的影响. 从 20 世纪 80 年代以来, 此类地质灾害, 如冰川湖泊溃决、冰川泥石流的发生变得越来越严重. 而 20 世纪 70 年代中国科学院青藏高原考察队对藏东南海洋性冰川进行了实地调查研究之后, 本区没有进行此类冰川考察. 从 2006 年 5 月起, 中国科学院青藏高原研究所在藏东南岗日嘎布山区对本区海洋性冰川进行高山气象和冰川观测. 本文报道考察所取得的冰川变化最新进展并且讨论气候变化对于本区冰川的影响.

## 1 观测结果

岗日嘎布山脉位于念青唐古拉山的东部边缘, 发育有大量的冰川. 根据中国冰川编目的记录<sup>[11]</sup>, 本区共发育有 1320 条冰川, 面积 2655.2 km<sup>2</sup>, 其中有面积最大的来古冰川和冰川末端延伸较低的阿扎冰川(图 1). 阿扎冰川(冰川编号: 50291B0181, 长 16.7 km, 面积 13.75 km<sup>2</sup>), 位于岗日嘎布山的南坡. Ward<sup>[12]</sup>曾在 1933 年对该冰川进行了考察, 1973 年中国科学院青藏高原大规模科考时把这条冰川作为重点考察对象, 对本区气象、冰川变化等进行了研究, 1980 年张文敬再次考察了这条冰川<sup>[13]</sup>. 根据李吉均等人<sup>[13]</sup>的报道, 除冰舌末端 2 km 左右为厚厚的冰碛所覆盖外, 基本上为白色的冰川冰, 说明当时冰川正处于活跃状态. 但是, 2007 年我们再次考察时发现冰川末端及冰川表面都发生了强烈的变化, 约 6 km 长的冰舌末端被厚厚的冰碛所覆盖, 末端支离破碎且有大型的冰下融水通道, 冰川融水从中咆哮而出, 末端还发育有小型冰碛湖. 根据 20 世纪 70 年代帮助过青藏高原

科考的老人及经常上山采药打猎的藏民的描述,近年来阿扎冰川末端及冰川表面变化极大,近期冰川退缩量巨大,而且呈现加速退缩的态势.同时,对比20世纪30年代,70年代、80年代及2007年的野外实地照片可以发现,冰川无论是体积还是冰川表面的状况都发生了很大的变化(图2).这些变化都与近期喜马拉雅山和青藏高原其他地区冰川的物质严重损失及与20世纪80年代末期以来的冰川加速后退相一致[2-8,14].

为了定量地研究近期冰川的物质收支状况,从2006年5月起开始对北坡帕隆藏布江源头的4条大小不同冰川的物质平衡及冰川末端变化进行了观测,4条冰川分别命名为帕隆No.4, No.10, No.12和No.94冰川(图1和表1).在整个观测期间4条冰川都经历了强烈的物质损耗.2006年5~2007年5月间4条冰川末端冰体分别减薄了5.2, 4.15, 2.9和3.75 m,冰川末端退缩速度介于15~19 m之间(表1),与近期报道的其他地区冰川退缩速度相比[6,7],此区冰川后退速度较大.从消融强度来看,帕隆No.4冰川末端7月份的日平均消融量达到了47 mm/d.苏珍等对玉龙山白水河一号冰川4600 m处7~8月消融观测为日消融45 mm/d[15];而蒲健辰等对慕士塔格洋布拉克冰川7~8月海拔4460~4600 m处的消融量仅为26~39.6 mm/d[16].而相比深处内陆的大陆性冰川(如煤矿冰川

和小冬克玛底冰川),本区冰川末端消融要强烈得多[17,18].

同时,对比1980年航空摄影绘制的1:5万地形图和2005年9月8日中巴资源卫星资料可以看出,20多年来,帕隆No.12冰川经历了强烈的冰川萎缩(图3).与1980年相比,2005年帕隆No.12冰川已经分为两支,而且在两支冰川的末端分别形成面积大小不同的高位冰碛湖(大湖面积,0.21 km<sup>2</sup>;小湖面积,0.14 km<sup>2</sup>).No.12冰川末端已经退缩了约700 m,冰川面积约减少了55.3%.2007年利用100 MHz探地雷达对帕隆No.12冰川的右支的厚度进行了测量.冰川厚度剖面图显示:实际上该冰川已经分为两部分,一部分为位于冰斗外围的下覆死冰,另一部分则为保留在冰斗里的暴露冰体,其中冰川最厚处约为40 m(图4).基于2006年以来冰体物质损耗及2007年冰体厚度数据估算,若维持现在气候变化趋势,帕隆No.12冰川可能在未来的几十年内从藏东南消失.但在相同的气候下,较大的冰川仍将继续生存.虽然通过地形图、卫星资料及野外观测也发现,面积相对较大的冰川1980年以来也经历了强烈的萎缩,但其面积减少比例相对要小.如帕隆No.4冰川退缩约390 m且冰川末端宽度收缩,但其冰川面积仅减少11%左右.从冰川面积变化、物质平衡水平及末端后退都可以看出,在相同的气候变暖情景下,小型山谷冰川的物质损失

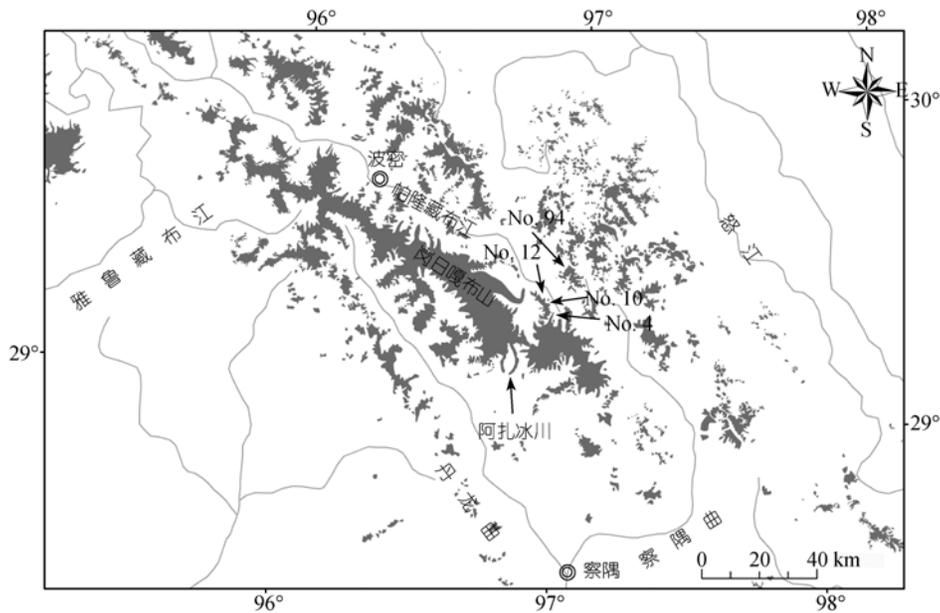


图1 藏东南岗日嘎布山区冰川分布及5条监测冰川所处的位置

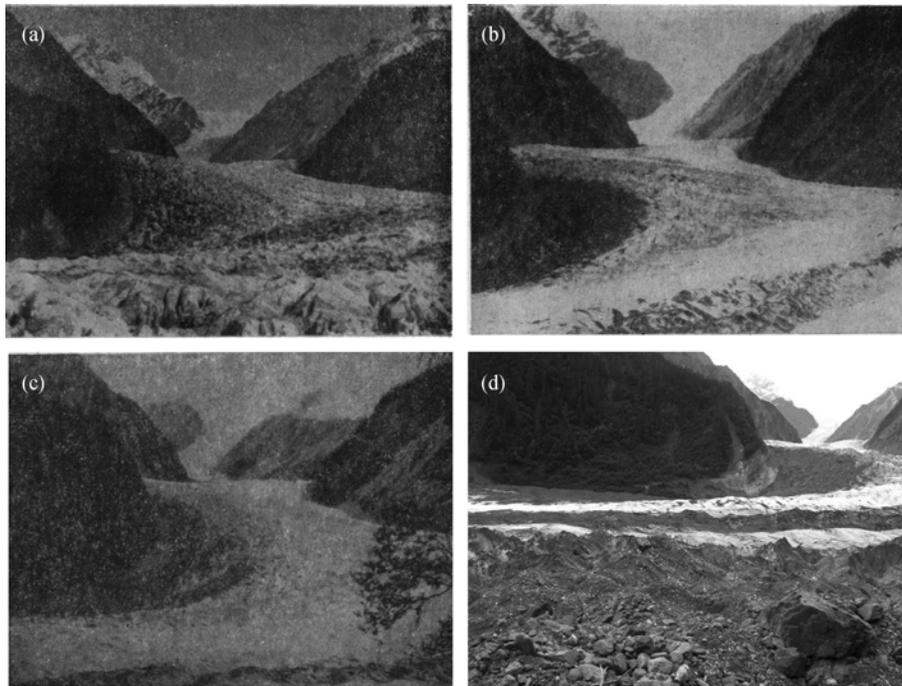


图 2 不同时期阿扎冰川表面变化

(a) Ward 1933 年摄<sup>[12]</sup>; (b) 张祥松 1973 年摄<sup>[13]</sup>; (c) 张文敬 1980 年摄<sup>[13]</sup>; (d) 2007 年摄

表 1 藏东南岗日嘎布北坡 2006 年 5~2007 年 5 月间四条冰川物质平衡及冰川末端变化

冰川编号	纬度/N	经度/E	面积/km <sup>2</sup>	长度/km	末端海拔/m a.s.l.	冰川后退/m	末端减薄/m	夏季物质平 衡/m w.e.	冬季物质平 衡/m w.e.
No.4	29°13'	96°55'	12.75	8.0	4650	15.0	5.20	-1.44	+0.73
No.10	29°17'	96°54'	5.10	3.5	4900	14.6	4.15	-1.46	+0.63
No.12	29°18'	96°54'	0.95	1.8	5100	-	2.90	-2.13	+0.55
No.94	29°23'	96°58'	3.08	2.9	5000	19.0	3.75	-1.34	+0.58

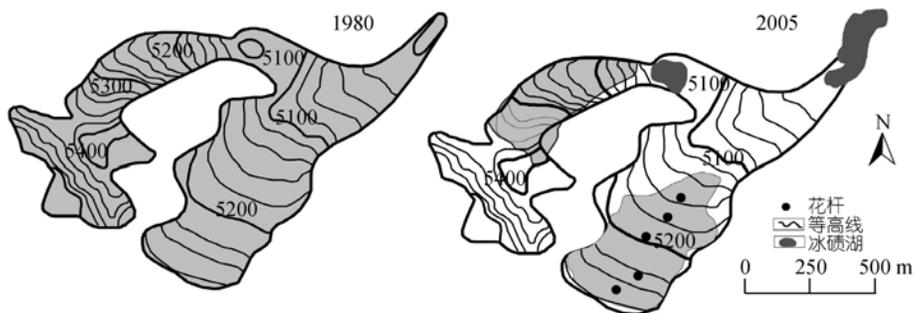


图 3 岗日嘎布地区帕隆 No.12 冰川 1980 和 2005 年冰川面积变化略图

要更容易得多。根据中国冰川编目记录分析<sup>[14]</sup>, 本区约 66% 的冰川面积均介于 0.02~1 km<sup>2</sup>, 其中像帕隆 12 号冰川一样中值高度低于 5200 m 的冰川占小冰川数量的 73%。因此, 未来数十年内, 假使数量众多的小冰川消亡, 可能对本区气候及高海拔水资源造成相当大的影响。

## 2 讨论

由于本区高山自动气象站仅架设一年, 难以对本区气候变化趋势进行解释。而研究区附近的波密县(28°43'N, 99°17'E; 2423 m a.s.l.)和察隅县(29°52'N, 95°46'E; 2736 m a.s.l.)两个站点 1969~2005 年的气象观测资料可以用来讨论本区气候变化对于冰川变化

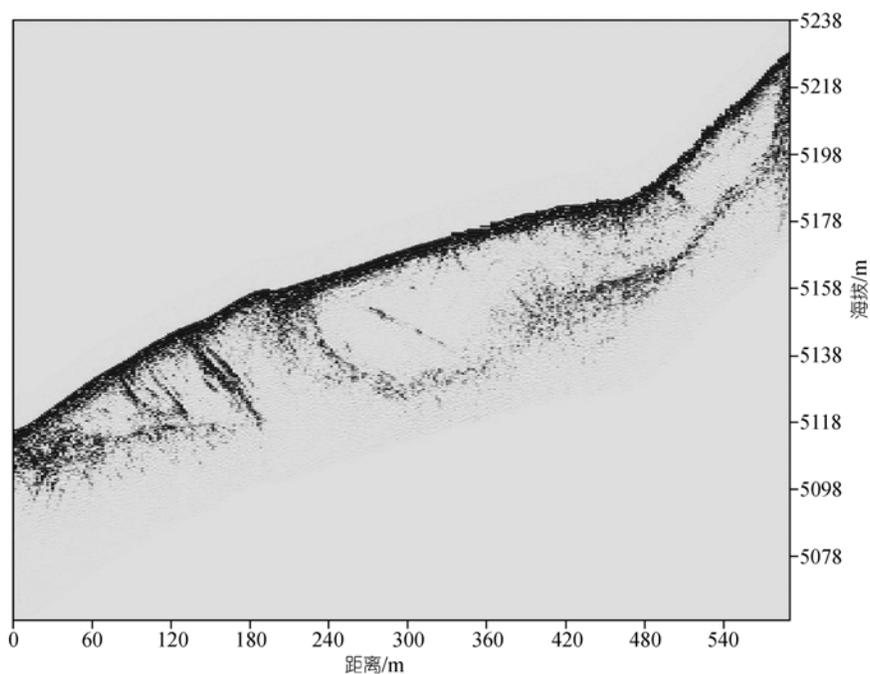


图4 利用100 MHz探地雷达测量的帕隆 No.12 冰川纵向厚度剖面图

的影响。气象资料显示岗日嘎布地区气温升高较为显著，波密和察隅的增温率分别为 0.20 和 0.11 /10 a。就降水变化趋势而言，降水在 20 世纪 80 年代末和 90 年代末有 2 次降水高峰，降水整体呈增加趋势。此外，许多研究都证明气温的增温率幅度随海拔的升高而变大<sup>[19-21]</sup>，所以岗日嘎布地区冰川萎缩及强烈的物质负平衡应归因于气温的快速升高和液态降水的增加两者的作用。

虽然并没有对本区所有冰川进行实地监测，但根据 5 条冰川的研究，可以给出一个关于本区冰川是如何响应气候变暖及其影响冰川消融及水问题的情景梗概。相对于大型冰川在高海拔地区拥有较大比

例的积累区，小型冰川(如 12 号冰川)由于所处海拔较低，整个冰川表面在夏季经历强烈消融，同时在冬季接收到较少的物质积累，这都会加剧小冰川的强烈消融与后退。其他加剧冰川退缩趋势的因素还有：由于气候变暖，降水中雪/雨比例在下降；冰川表面积雪消融殆尽以后，冰川表面反照率的下降及由此造成冰体吸收更多的太阳辐射。在未来的几十年内，强烈的冰川物质损耗可能会导致短期河川径流的增加，而由此引发的地质灾害将可能会进一步增加；就冰川本身而言，岗日嘎布山区数量众多的小冰川将可能成为本区气候变暖的第一批“牺牲者”，因而本区冰川变化值得关注。

致谢 衷心感谢审稿专家提出的宝贵的意见与建议。

参考文献

- 1 Su Z, Shi Y F. Response of monsoonal temperate glaciers to global warming since the Little Ice Age. *Quat Int*, 2002, 97-98: 123—131 [\[DOI\]](#)
- 2 Yao T D, Wang Y Q, Liu S Y, et al. Recent glacial retreat in High Asia in China and its impact on water resource in Northwest China. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2004, 47(12): 1065—1075
- 3 Fujita K, Takeuchi N, Seko K. Glaciological observations of Yala Glacier in Langtang Valley, Nepal Himalayas, 1994 and 1996. *Bull Glacier Res*, 1998, 16: 75—81
- 4 Fujita K, Nakawo M, Fujii Y, et al. Change in glaciers in Hidden Valley, Mukut Himal, Nepal Himalayas, from 1974 to 1994. *J Glaciol*, 1997, 43(145): 583—588
- 5 施雅风, 刘时银. 中国冰川对 21 世纪全球变暖响应的预估. *科学通报*, 2000, 45(4): 434—438

- 6 任贾文, 秦大河, 康世昌, 等. 喜马拉雅山中段冰川变化及气候暖干化特征. 科学通报, 2003, 48(23): 2478—2482
- 7 蒲健辰, 姚檀栋, 王宁练, 等. 近百年来青藏高原冰川的进退变化. 冰川冻土, 2004, 26(5): 517—522
- 8 刘时银, 丁永建, 李晶, 等. 中国西部冰川对近期气候变暖的响应. 第四纪研究, 2006, 26(5): 762—771
- 9 Braithwaite R J, Zhang Y. Sensitivity of mass balance of five Swiss glaciers to temperature changes assessed by tuning a degree-day model. *J Glaciol*, 2000, 46 (152): 7—14 [\[DOI\]](#)
- 10 Zhang Y S, Fujita K, Ageta Y, et al. The response of glacier ELA to climate fluctuations in High Asian. *Bull Glaciol Res*, 1998, 16: 1—11
- 11 米德生, 谢自楚, 冯清华, 等. 中国冰川编目 XI-恒河水系. 西安: 西安地图出版社, 2002. 9—437
- 12 Ward F. The Himalaya east of the Tsangpo. *Geogr J*, 1934, 84(5): 369—397
- 13 李吉均, 郑本兴, 杨锡金, 等. 西藏冰川. 北京: 科学出版社, 1986. 140—148
- 14 Dyurgerov M, Meier M. Twentieth century climate change: Evidence from small glaciers. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2000, 97(4): 1406—1411 [\[DOI\]](#)
- 15 苏珍, 王立伦. 横断山冰川消融、冰川水文及水化学特征. 见: 李吉均, 苏珍, 编. 横断山冰川. 北京: 科学出版社, 1995. 70—78
- 16 蒲健辰, 姚檀栋, 段克勤. 慕士塔格峰洋布拉克冰川消融的观测分析. 冰川冻土, 2003, 25(6): 680—684
- 17 蒲健辰, 姚檀栋. 冬克玛底支冰川物质平衡研究. 见: 姚檀栋, 上田丰, 等, 编. 青藏高原冰川气候与环境. 北京: 科学出版社, 1993. 60—68
- 18 蒲健辰, 姚檀栋. 西大滩煤矿冰川的物质平衡观测研究. 见: 姚檀栋, 上田丰, 等, 编. 青藏高原冰川气候与环境. 北京: 科学出版社, 1993. 69—73
- 19 Aizen V B, Aizen E M, Melack J M, et al. Climatic and hydrological change in the Tien Shan, central Asian. *J Climate*, 1997, 10(6): 1393—1404 [\[DOI\]](#)
- 20 Liu X, Chen B. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades. *Int J Climatol*, 2000, 20(14): 1729—1742 [\[DOI\]](#)
- 21 康世昌, 张拥军, 秦大河, 等. 近期青藏高原长江源区急剧升温的冰芯证据. 科学通报, 2007, 52(4): 457—462