

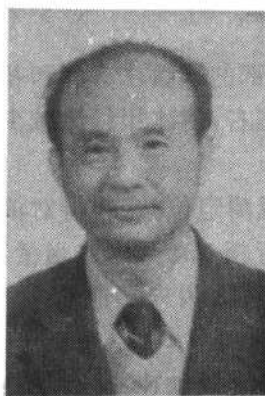
\* 学科发展 \*

# 高亚洲冰川物质平衡研究

谢自楚

(兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

**提要** 冰川对全球水循环特别是淡水资源平衡有着举足轻重的作用,对全球变化研究有重要影响。本文简述了冰川在水循环和全球变化中的地位,高亚洲冰川及其近期变化,介绍了冰川物质平衡的全球监测计划以及我国在高亚洲冰川物质平衡研究方面的进展。



## 一、冰川在水循环和全球变化中的地位

由于人们对温室效应引起的全球气候、生态和环境的变化日益关注,故在全球水循环特别是淡水资源平衡中有着举足轻重地位的冰川愈来愈受到重视。如由国际科联主持的地圈—生物圈计划(IGBP),由联合国教科文组织主持的国际水文计划(IHP)等大型国际研究计划都将冰川(冰盖)作为重要的研究对象,这是因为:

1. 冰川发生、生存和演变对气候环境及其变化的反应极为敏锐。如在比较稳定的海陆分布和山势格局条件下,气温的上升或降水的减少,使冰川的物质收入减少而支出增大,出现物质平衡的亏损,雪线(平衡线)便要上升,进而使冰川的体积减小。反之,冰川的积累增多,雪线下降,冰量增加。在第四纪地质史上,冰期与间冰期的交替成为气候与环境变迁的主要标志。

2. 冰川是气候和环境变化记录的可靠信息库。多年来,人们将冰川的扩大(前进)和缩小(退缩)所遗留的特有的地貌形态,第四纪沉积以及由此引起的冰川外围地区的生物种群、土壤、景观的变迁作为恢复古气候环境的重要依据。最近 20 余年来,随着物质成分分析技术的迅速发展,对大陆冰盖和山地冰川的冰芯研究又重新掘起而成为恢复古气候与环境记录的新的有力手段。因为大气及环境乃至太空的许多信息,如气温、降水,尘埃、大气成分(如气溶胶、生物—化学痕量元素)等均随着降雪沉积在冰川上,再经过雪的变质和成冰作用而长期保存下来。冰芯中的气候环境信息是连续的,分辨率极高系列也可达数万乃至数十万年,这是其他沉积物所不及的。因此,近年来,冰芯研究出现前所未有的热潮。

3. 冰川对全球水循环和环境变化的反馈作用十分明显。地表水体中约 1.7% 储存在冰川和冰盖中,而淡水资源的 85% 是冰。在极地冰盖中,水的循环期以  $10^4$ — $10^5$  年计,在中低纬度的山岳冰川以  $10^2$ — $10^3$  年计,冰川在水的长周期循环中的作用显然可见。冰川对环境变化的最明显影响是海平面的升降。在第四纪史中,海平面的重大升降无不与冰期和间冰期的交替有

关。美国冰川学家 M. F. Meier 估计,从 1884—1975 年,观测到的海平面的上升量中  $1/3-1/2$  是由于两极大冰盖以外的“小冰体”的加速融化所造成的。假设大气中  $\text{CO}_2$  真的将增加一倍,那么在今后的 100 年中由于“小冰体”的加速融化可使海平面最高可升高 0.25 米(Meier, 1984)。更使人忧虑的是,全球转暖可能导至极地大冰盖边缘冰架和快速冰流分裂冰山的速度加快,导致冰盖基底大部分在海平面以下的西南极冰盖的解体。如果发生那种情况,有人预言,在下个世纪中叶,将使海平面上升 5—7 米,(Kotlyakov 等,1991)。

## 二、高亚洲冰川及其近期变化

所谓高亚洲是指亚洲中部的高山及高原地区。它的北界为阿尔泰山脉,南至喜马拉雅山,西起西天山和帕米尔,东至横断山及岷山,它的核心是号称世界屋脊的青藏高原,面积约 400 万平方公里,形成了仅次于两极地区的以冰川和冻土带为主体的世界上第三大冰冻圈。

在这个广阔的区域内,现代冰川总面积约 11 万平方公里,淡水资源储量约 1.1 万立方公里,每年融水量约 110 立方公里,其中一半补给了亚洲的大江大河,最后入海。近百年来高亚洲冰川的退缩对于海平面升高的贡献达 10%。另一半融水流入干旱的内陆盆地,是河川径流补给量的 30%左右,是内陆干旱区的宝贵而相对稳定的水源,千百年来,正是冰川的存在维系着这一地区绿洲和丝绸之路的兴衰。

自小冰期以来,高亚洲的冰川处于强烈的退缩状态。据对中国天山中部的乌鲁木齐河和祁连山东部的石羊河流域的研究,近 400—500 年以来冰川面积减少 45%左右,使冰川径流减少 35—46%(王宗太,1991)。

中国科学院兰州冰川冻土所在天山的乌鲁木齐河上游设立了冰川观测定位站,坚持对该处最大的 1 号冰川的长期监测,发现 1958—1992 年,该冰川每年平均要亏损 134 毫米水当量,34 年来冰川平均减薄 5 米,使冰川面积和储量分别减少 6.2%及 6.3%,冰川末端退缩 117 米,1993 年这条由东西两支冰流组成的冰川已经完全分离为两条独立的冰川。

70 年代中期以来,主要由于高山降水的减少,整个天山山脉的冰川出现加速退缩的趋势。高亚洲的绝大部分冰川,除处于极干寒内陆的祁连山及昆仑山西部的冰川,也都表现为强烈退缩的趋势。据我们近年观测,喜马拉雅山北坡的希夏邦马峰有一条平顶冰川,自 1991 年监测以来,连续两年,平衡线均高达冰川的顶部,即整条冰川均处于负的物质平衡状态。四川西部贡嘎山的海螺沟冰川是一条受季风强烈影响的海洋性冰川,自 1990 年监测以来,已连续 3 年,负平衡量均超过 1000 毫米。

## 三、冰川物质平衡的全球监测计划

冰川对气候变化的响应首先是通过冰川的物质平衡表现的。在国际地球物理和大地测量联合会(IUGG)第 19 次大会期间,日本、中国、前苏联、美国、加拿大、瑞士、奥地利等国冰川学家酝酿提出以冰川物质平衡为中心的全球冰川同步观测研究的建议(简称国际冰川年计划)。1988 年,在国际水文计划(IHP)的政府间会议上,日、中两国代表共同建议将此计划纳入国际水文计划第四阶段的重点课题。1990 年这个计划得到联合国教科文组织正式批准(编号 IHP—IV—H—4—2)。1991 年在第 20 届 IUGG 大会上,又得到国际水文科学协会所属国际雪冰委员会的支持,决定从 1992 年起开展全球性的冰川监测。

早在 1957—1959 年的国际地球物理年 (IGY) 及 1965—1974 年的国际水文十年计划 (IHD) 时,高山冰川便成为国际性的观测研究对象,但当时,代表性冰川均选择在冰川学研究基础好的北美、欧洲和前苏联。而高亚洲主体的中国及南美安底斯山国家没有一条冰川被列入观测计划。因此,在 IHP—IV—H—4—2 计划中,对这两个地区给予了特别的注意。除中欧和北欧早已长期连续观测的代表性冰川外,再确认的 37 条冰川中有 17 条分布在高亚洲,其中 7 条在中国境内。

我国从冰川学开创初期就重视对冰川的长期监测,1958 及 1959 年先后在祁连山西部大雪山和天山乌鲁木齐河流域建立了冰川定位站,前者坚持到 1961 年,后者受文革冲击曾中断数年,1978 年恢复和重建的天山站,该站现已经成为向国内外开放的观测、实验 和研究的综合基地。

我国参加这项国际计划是有充分条件的也是十分必要的。党的十一届三中全会以来,我国冰川学全面发展,冰川考察遍及中国西部高山各个主要的冰川区。中国冰川的编目现已基本完成,除欢迎和吸引国外同行合作研究中国的冰川外,我国冰川学家还考察了高亚洲国外部分的巴基斯坦、尼泊尔、哈萨克、吉尔吉斯、俄罗斯等国的冰川。同时随着我国西部的经济开发和发展的,内陆干旱区矛盾日益尖锐,青藏高原东南部冰川湖溃决、冰川泥石流等灾害趋于频繁,因此,全面研究冰川对气候变化的响应及其对水资源及环境的影响也是十分迫切和必要的。这个计划得到中国政府和学术界的积极支持,国家科委给予了专项资助。

另外,中国科学院、国家自然科学基金委员会以及国际水文计划中国委员会等也给予了积极的支持。因此,从 1992 年开始,冰川物质平衡的同步监测研究已在中国的 5 条冰川上开展。

#### 四、高亚洲冰川物质平衡研究的主要内容和进展

这项研究的主要目标是通过代表性冰川的野外同步观测,相互对比,提高适用于高亚洲几种不同类型冰川对于气候变化响应的最佳模式,计算近期冰川资源的变化量,进而预测其未来变化趋势。

研究的主要问题是:

##### 1. 高亚洲冰川物质平衡的主要特征

通过以往的研究,我们已基本了解到高亚洲占多数的大陆型冰川积累和消融的周转量不大,物质平衡为 300—1000 毫米/年,而青藏高原东南部的海洋性冰川可达 2000—3000 毫米/年。由于季风和内陆效应,高亚洲的大部分冰川的积累主要在夏季,这与欧洲、北美冰川主要在冬季积累的情况有很大的不同,我们称之为夏季(或暖季)补给型冰川。在高亚洲内陆,特别是发育于高峰附近的高差很大的复合型冰川,净积累与净消融在总积累和总消融中所占分量很大,反映这些冰川在水的循环中周期长,因而对气候变化的响应不如海洋性冰川及冰川作用高差小的冰川那样敏锐(谢自楚,1980)。

在国际冰川年间,除要进一步研究以上这些特征在高亚洲不同地区及类型冰川上的反映程度,还要进一步揭示一些新的特征,其中最重要的是物质平衡各要素随海拔高度的变化规律。

##### 2. 冰川物质平衡对气候变化的响应模式

国内外冰川学的多年研究已经阐明,影响冰川物质平衡的主要因素是年固体降水及其在

冰川上的重新分配状态和夏季的平均气温或正积温以及冰川表面的热量平衡状态。出现过按以上指标计算物质平衡及其分量的若干模式(Kotykov, Krenke, 1982; Chen 等, 1990; 刘潮海, 1992)。但是, 这些模式都不是全球性的, 还需要研究出在不同气候环境下, 对于不同冰川类型的具有全球性的最佳模式。在我国, 除天山与祁连山外, 大部分山区的冰川没有系统的物质平衡观测, 广大山区气象台站较少, 观测系列亦不长, 且多位于距冰川区很远的山麓及河谷中, 已有那些模式难以直接应用。因此, 必须寻找一种新的适合于上述情况的模式, 这是本项研究的关键内容。

### 3. 高亚洲冰川物质平衡的恢复

在上述两项研究的基础上, 如何恢复高亚洲冰川物质平衡的多年变化系列是本项研究的另一关键内容。

首先是要利用邻近区域的气象观测记录, 恢复代表性冰川数十年来物质平衡的变化系列。再利用树轮、地衣、地貌, 特别是冰芯记录恢复延长和估算小冰期以来冰川的变化、最后是将点上的研究结果扩大到整个高亚洲冰川。

4. 在完成以上研究的基础上再建立气候—冰川—径流模式, 以便估算近数百年来高亚洲冰川的变化对径流、海平面和高山环境的影响, 进而预测在全球变化的背景下, 冰川变化的未来趋势。

本项研究开展两年来, 主要进展有以下两个方面

1. 通过野外观测, 发现高亚洲冰川的物质平衡并不是同步变化的。如上文所述, 处于高亚洲东南部的两条代表性冰川, 近 2 年来处于强烈的负平衡状态, 而高原中部唐古拉山及东昆仑山的两条代表性冰川却连续两年出现较大的正平衡。天山乌鲁木齐 1 号冰川在连续多年严重亏损之后, 1991 年以来, 物质亏损状态得到缓和, 收入与支出接近于零。作者今年还考察了位于高亚洲最北部的俄罗斯图瓦共和国境内的蒙古——泰加山的冰川, 据圣彼得堡大学的研究, 近十年来冰川物质平衡接近于零, 1993 年春发现冰川末端有明显的前进。

2. 进行了冰川对气候变化响应模式的初步研究, 提出了通过冰川物质平衡线计算整个冰川物质平衡的新思路, 这个方法已初步应用于计算南极乔治王岛柯林斯冰帽物质平衡多年变化的趋势(谢自楚等, 1993)。对应用于高亚洲冰川, 主要问题是要进一步深入研究高山带降水量时空变化规律。因此, 提出的初步模式还有待改进和完善。

谢自楚 毕业于莫斯科大学极地及冰川专业, 研究员, 博士生导师, 中国冰川学带头人之一, 国际著名冰川学家。曾任兰州冰川冻土所所长, 国际雪冰委员会副主席。在中国冰川物质平衡、成冰作用、区域特征、分类和区划、南极冰川学研究、山区冰雪灾害防治、冰川水资源利用等方面成果卓著。曾获国家自然科学一等奖、冰川冻土优秀理论奖, 国家级中青年有突出贡献专家。