



全球变化热门话题丛书

主编 秦大河

冰川

GLOBAL CHANGE



沈永平 编著



气象出版社



全球变化热门话题丛书

主 编 秦大河
副主编 丁一汇 毛耀顺

冰 川

Bingchuan

沈永平 编著

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

冰川/沈永平编著. —北京:气象出版社, 2003. 6

(全球变化热门话题/秦大河主编)

ISBN 7-5029-3583-5

I. 冰… II. ①沈… III. 冰川-普及读物 IV. P343.6-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 046937 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮政编码:100081)

责任编辑:林雨晨 终审:周诗健

封面设计:新视窗工作室 责任技编:王丽梅 责任校对:王丽梅

*

北京京科印刷有限公司印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本: 889×1194 1/32 印张: 5.25 字数: 136 千字

2003 年 3 月第一版 2003 年 3 月第一次印刷

印数: 1~5000 定价: 14.00 元

序 言

全球变化科学是从 20 世纪 80 年代发展起来的一个新兴的科学领域。其研究对象是气候系统(包括岩石圈、大气圈、水圈、冰冻圈和生物圈)、各子系统内部以及各子系统之间的相互作用。它的科学目标是描述和理解人类赖以生存的气候系统运行的机制、变化规律以及人类活动在其中所起的作用与影响,从而提高对未来环境变化及其对人类社会影响影响的预测和评估能力。近 20 年来,全球变化的研究方向经历了重大调整。首先是从认识气候系统基本规律的纯基础研究为主,发展到与人类社会可持续发展密切相关的一系列生存环境实际问题的研究;其次是从研究人类活动对环境变化的影响,扩展到研究人类如何适应和减缓全球环境的变化。全球变化的研究已经取得了重大的进展。

气候变化是全球变化研究的核心问题和重要内容。科学研究表明,近百年来,地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化。近 50 年的气候变暖主要是人类使用矿物燃料排放的大量二氧化碳等温室气体的增温效应造成的。现有的预测表明,未来 50~100 年全球的气候将继续向变暖的方向发展。这一增温对全球自然生态系统和各国社会经济已经产生并将继续产生重大而深刻的影响,使人类的生存和发展面临巨大挑战。

自工业革命(1750 年)以来,大气中温室气体浓度明显增加。大气中二氧化碳的浓度目前已达到 368 ppmv(百万分之一体积),这可能是过去 42 万年中的最高值。增强的温室效应使得自 1860 年有气象仪器观测记录以来,全球平均温度升高了 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

最暖的 14 个年份均出现在 1983 年以后。20 世纪北半球温度的增幅可能是过去 1 000 年中最高的。降水分布也发生了变化。大陆地区尤其是中高纬地区降水增加,非洲等一些地区降水减少。有些地区极端天气气候事件(厄尔尼诺、干旱、洪涝、雷暴、冰雹、风暴、高温天气和沙尘暴等)的出现频率与强度增加。近百年我国气候也在变暖,气温上升了 $0.4\sim 0.5^{\circ}\text{C}$,以冬季和西北、华北、东北最为明显。1985 年以来,我国已连续出现了 17 个全国大范围暖冬。降水自 20 世纪 50 年代以后逐渐减少,华北地区出现了暖干化趋势。

对于未来 100 年的全球气候变化,国内外科学家也进行了预测。结果表明:(1)到 2100 年时,地球平均地表气温将比 1990 年上升 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 。这一增温值将是 20 世纪内增温值(0.6°C 左右)的 2~10 倍,可能是近 10 000 年中增温最显著的速率。21 世纪全球平均降水将会增加,北半球雪盖和海冰范围将进一步缩小。到 2100 年时,全球平均海平面将比 1990 年上升 $0.09\sim 0.88\text{ m}$ 。一些极端事件(如高温天气、强降水、热带气旋强风等)发生的频率会增加。(2)我国气候将继续变暖。到 2020~2030 年,全国平均气温将上升 1.7°C ;到 2050 年,全国平均气温将上升 2.2°C 。我国气候变暖的幅度由南向北增加。不少地区降水出现增加趋势,但华北和东北南部等一些地区将出现继续变干的趋势。

气候变化的影响是多尺度、全方位、多层次的,正面和负面影响并存,但它的负面影响更受关注。全球气候变暖对全球许多地区的自然生态系统已经产生了影响,如海平面升高、冰川退缩、湖泊水位下降、湖泊面积萎缩、冻土融化、河(湖)冰迟冻与早融、中高纬生长季节延长、动植物分布范围向极区和高海拔区延伸、某些动植物数量减少、一些植物开花期提前等等。自然生态系统由于适应能力有限,容易受到严重的、甚至不可恢复的破坏。正面临这种危险的系统包括:冰川、珊瑚礁岛、红树林、热带雨林、极地和高山生态系统、草原湿地、残余天然草地和海岸带生态系统等。随着气候变化频率和幅度的增加,遭受破坏的自然生态系统在数目上会有所

增加,其地理范围也将增加。

气候变化对国民经济的影响可能以负面为主。农业可能是对气候变化反应最为敏感的部门之一。气候变化将使我国未来农业生产的不稳定性增加,产量波动大;农业生产布局和结构将出现变动;农业生产条件改变,农业成本和投资大幅度增加。气候变暖将导致地表径流、旱涝灾害频率和一些地区的水质等发生变化,特别是水资源供需矛盾将更为突出。对气候变化敏感的传染性疾病(如疟疾和登革热)的传播范围可能增加;与高温热浪天气有关的疾病和死亡率增加。气候变化将影响人类居住环境,尤其是江河流域和海岸带低地地区以及迅速发展的城镇,最直接的威胁是洪涝和山体滑坡。人类目前所面临的水和能源短缺、垃圾处理和交通等环境问题,也可能因高温、多雨而加剧。

由于全球增暖将导致地球气候系统的深刻变化,使人类与生态环境系统之间业已建立起来的相互适应关系受到显著影响和扰动,因此全球变化特别是气候变化问题得到各国政府与公众的极大关注。

1979 年的第一次世界气候大会(主要由科学家参加)宣言提出:如果大气中的二氧化碳含量今后仍像现在这样不断增加,则气温的上升到 20 世纪末将达到可测量的程度,到 21 世纪中叶将会出现显著的增温现象。1990 年 11 月,第二次世界气候大会(由科学家和部长参加)通过了《科学技术会议声明》和《部长宣言》,认为已有一些技术上可行、经济上有效的方法,可供各国减少二氧化碳的排放,并提出制定气候变化公约的问题。1991 年 2 月联合国组成气候公约谈判工作组,并于 1992 年 5 月完成了公约的谈判工作。1992 年 6 月联合国环境与发展大会期间,153 个国家和区域一体化组织正式签署了《联合国气候变化框架公约》。1994 年 3 月 21 日公约正式生效。截止到 2001 年 12 月共有 187 个国家和区域一体化组织成为缔约方。公约缔约方第一次大会于 1995 年 3 月在德国柏林召开。经过两年的艰苦谈判,1997 年 12 月在日本京都召开

的公约第三次缔约方大会上通过了《京都议定书》，为发达国家规定了到 2008~2012 年的具体的温室气体减排义务。

1988 年 11 月世界气象组织和联合国环境规划署建立了“政府间气候变化专门委员会(IPCC)”，其主要任务是定期对气候变化科学知识的现状、气候变化对社会和经济的潜在影响，以及适应和减缓气候变化的可能对策进行评估，为各国政府和国际社会提供权威的科学信息。自成立以来，IPCC 已组织世界上数以千计的不同领域的科学家完成了三次评估报告及“综合报告”。目前，IPCC 正在准备编写第四次评估报告，将于 2007 年完成。此外，还组织编写了许多特别报告、技术报告。IPCC 组织编写的这些评估报告，作为制定气候变化政策和对策的科学依据提交给国际社会和各国政府。它不仅为各国政府部门制定气候变化对策提供了科学信息，而且也直接影响着《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》的实施进程，并在荒漠化、湿地等其他国际环境公约的活动中发挥着越来越大的作用。

全球气候变化问题，不仅是科学问题、环境问题，而且是能源问题、经济问题和政治问题。全球气候变化问题将给我国带来许多挑战、压力和机遇。

国际上要求我国减排温室气体的压力越来越大。目前我国二氧化碳排放量已位居世界第二，甲烷、氧化亚氮等温室气体的排放量也居世界前列。预测表明，到 2025~2030 年间，我国的二氧化碳排放总量很可能超过美国，居世界第一位；目前低于世界平均水平的我国人均二氧化碳排放量可能达到世界平均水平。由于技术和设备相对落后、陈旧，能源消费强度大，我国单位国内生产总值的温室气体排放量比较高。

我国减排温室气体的潜力受到能源结构、技术和资金的制约。煤是我国的主要能源，在我国一次能源消费中，煤炭约占 70%。受能源结构的制约，我国通过调整能源结构来减少二氧化碳排放量的潜力有限。如果近期就承担温室气体控制义务，我国的能源供应

将受到制约。同时,因缺少相应的技术支撑,我国的经济的发展将受到严重影响。因此,我国的能源结构和减排成本决定了我国不可能过早地承诺减排义务。在相当一段时期内,我国应坚持“节约能源、优化能源结构、提高能源利用效率”的能源政策,但是需要相当的技术和资金作为保证。目前发达国家希望通过“清洁发展机制(CDM)”项目,从发展中国家获得减排抵消额。这将为发展中国家获得新的投资和技术转让带来机遇。

我国党和政府对气候变化问题一直非常重视,早在1986年就成立了国家气候委员会,其职责是参加国际有关组织相应的活动,并在开展气候研究、预报、服务等工作中,负责对外的国际合作、交流,对内起到组织协调的作用,并与各有关部门共同协商、配合工作,充分发挥各有关单位的积极性,使气候科学更好地为国家建设服务。1995年成立了国家气候中心,专门从事气候监测、预测和评价等工作,为我国经济建设和社会发展提供了卓有成效的服务。目前,气候变化与生态环境问题已引起党和政府的高度关注。但是总体来看,迄今为止我国还未把适应与减缓气候变化影响的问题真正提上议事日程,这方面的研究仍十分薄弱和不足。由于全球气候变暖可能给我国自然生态系统和社会经济部门带来难以承受的、不可逆转的、持久的严重影响。因此,应对全球气候变暖的影响,趋利避害,应成为我国实施可持续发展时必须重视的问题之一。需要全面深入研究气候变化对我国自然生态系统和国民经济各部门的影响后果、可采取的适应与减缓措施,并在对其进行成本-效益分析的基础上,提出我国适应与减缓气候变化影响的规划和行动计划。

为了宣传和普及气候和气候变化方面的科学知识,提高公众在全球变化问题上的科学认识,我们组织编撰出版这套《全球变化热门话题》丛书。本套丛书一共18册,由国内相关领域的知名专家撰稿,内容包括以下三方面:一是以大量监测数据为基础,揭示全球变化的若干事实及其在各个分系统中的表现形式;二是以太阳

辐射、大气化学、大气物理、环境和生态演变等多学科交叉理论为基础,深入浅出地阐述气候变化的成因;三是以可持续发展理论为指导,提出人类适应和减缓全球变化的各种对策、途径和方法。该丛书的出版,旨在使人们对全球变化有清醒而全面的科学认识,从而更加关注全球变化,并且在更高的层次上、更广泛的范围内认识我国在全球变化中的地位和作用,自觉参与人类社会的共同决策,保护人类赖以生存的地球环境。

国家气候委员会主任

中国气象局局长

秦大河

2003年3月23日

目 录

序言

第一章 冰川系统	(1)
冰川与冰冻圈	(1)
冰川	(2)
冰冻圈	(3)
作为系统的冰川	(4)
冰川与冰盖	(4)
冰川系统	(5)
冰川与地球其它圈层的关系	(7)
地球表层系统	(8)
地球系统的五圈	(9)
冰川的功能与主要作用	(11)
冰川的功能	(12)
冰川的主要作用	(12)
第二章 冰川的形成与演化	(17)
冰川的形成过程	(17)
冰川的类型	(21)
大陆冰盖	(21)
山岳冰川	(21)
冰川的运动	(23)
冰川的变形	(23)

冰川的底面滑动	(24)
冰床变形	(25)
冰川的地貌过程与形态	(26)
冰蚀地貌	(28)
冰碛地貌	(29)
冰水堆积地貌	(29)
冰川的波动	(30)
地质历史时期的冰川变化	(34)
第三章 雪冰与气候的关系	(37)
作为气候产物的雪冰	(37)
影响雪线高度的主要因素	(38)
积雪的分布及其作用	(39)
雪冰形成过程中的气候影响因子	(40)
雪冰纪录的物理、化学及生物地球化学信息	(45)
温室气体 CO_2 和 CH_4	(46)
低分子量可溶性有机酸	(47)
人为有机污染物	(49)
高碳数有机质	(50)
雪冰中气候信息恢复	(51)
空间分布	(52)
季节变化	(54)
雪冰界面的地气相互作用	(57)
冰雪表面的辐射性质	(59)
冰雪-大气间的能量交换和水分交换特性	(59)
雪冰中的能量交换过程	(61)
第四章 冰川融水与全球水循环	(67)
冰川为固体水库	(67)
冰川——人类重要的淡水资源	(72)

冰川融水对河流的补给	(75)
冰川融水对海洋的补给	(78)
冰川在全球水循环中的作用与功能	(81)
冰川水资源对气候变化的响应	(83)
第五章 冰川在全球变化中的功能与作用	(89)
全球冰雪分布的特点	(89)
雪冰——气候变化的敏感区	(92)
雪冰变化——气候变化的驱动器和放大器	(95)
全球变化的雪冰信息记录	(98)
米兰可维奇循环	(98)
急剧的气候变化	(99)
温室气体含量的变化	(99)
南北半球气候变化的差异	(100)
高纬度与高海拔的气温变化幅度	(101)
大气尘埃含量变化	(101)
太阳活动	(102)
地磁场强度变化	(103)
火山活动	(103)
生物地球化学循环	(104)
超新星爆炸	(105)
微生物及其 DNA	(106)
人类活动	(107)
第六章 冰川对古气候和大气环境变化的纪录	(109)
氧同位素与古气候	(109)
冰芯记录能够告诉什么	(111)
气溶胶	(113)
大气微量气体	(114)
硝酸根和硫酸根	(115)

同位素温度记录·····	(116)
42 万年来南极东方站冰芯纪录的气候与大气变化 ···	(117)
温度变化·····	(119)
温室气体·····	(119)
古里雅冰芯纪录的末次间冰期以来气候变化·····	(120)
中国西部全新世冰川波动反映的气候变化·····	(122)
小冰期的气候变化·····	(124)
冰芯揭示的南极地区近 100 年来气候变化·····	(127)
气候突变的纪录·····	(130)
冰芯记录所揭示的青藏高原近年来的增温·····	(131)
第七章 冰川与人类的关系·····	133
冰川的进退与人类演化发展·····	133
冰川融水与绿洲发展·····	136
冰川与人类健康·····	138
冰川与灾害·····	142
我国冰雪灾害类型·····	142
我国冰雪灾害的特点·····	143
冰川——人类宝贵的财富·····	146
冰川与水资源·····	146
冰川与能源·····	148
冰川与旅游·····	148
冰川与饮用水·····	148
冰川资源的保护·····	149

参考文献

第一章

冰川系统

冰川与冰冻圈

冰川学是研究地球表面各种自然冰体的学科。自然冰体包括山岳冰川、大陆冰盖、海冰、河冰、湖冰、地下水、季节性结冰以及积雪和运动中的雪等。早期只研究冰川,现已扩展到研究地表一切形态的自然冰体。

冰川学以冰川物理为主体,冰川水文气候和冰川地质地貌为两翼发展着,冰川物理学研究冰的内部结构、力学、热学、电学性质和化学成分,其中冰力学研究冰的流变,各种天然冰体的应力分布和运动状态,冰川、雪崩、风吹雪的动力学问题,冰川的跃动等。冰热学研究天然冰体内部温度变化,冰的热学和辐射性质,相组成和相态转换等。冰地球化学研究分析冰内杂质和痕量元素,氢、氧同位素和某些组成的变化。

随着近年来深钻孔冰芯分析技术的发展,冰川化学已成为分辨率高、保真性强的重建古气候、古环境的重要手段,促进了冰川化学研究的突飞猛进。冰川水文和气候研究冰

川与大气相互作用,热量和物质收支,消融与产生径流过程,冰川对河流的补给作用,冰川洪水,冰川泥石流以及冰川对气候变化的响应等。冰川地质和地貌研究冰川对冰床的侵蚀、岩屑搬运和堆积过程、形态、沉积特征以及在古地理、古气候变化中的作用和对环境指示的意义等,这里有相当部分称为第四纪冰川研究。从冰芯钻探分析取得万年以至 10 万年尺度记录后,冰川地质和冰芯研究资料的汇合,显著提高了第四纪冰川研究水平,成为古气候全球变化研究的重要内容。

冰 川 和 雪 线

冰川冰是由降落到地面的雪转变而来的。雪的晶体逐步圆化变为粒雪,并使积雪的密度逐渐增加。这一过程在温度接近融点和存在液态水时进行得最快。其后,占优势的重结晶作用的平均粒径增大。当集合体的密度达到约 0.84g/cm^3 时,颗粒之间便没有空隙,而变得不可渗透。这标志着从粒雪到冰川冰的转化。

冰川是一种由多年降雪不断积累变质形成的,具有一定形状和运动着的、较长时间存在于地球寒冷地区的天然冰体。冰川不同于一般天然或人工冻结的冰,它能够在自身重力的作用下,沿着一定的地形向下滑动。

冰川存在于极寒之地。地球上南极和北极是终年严寒的,在其它地区只有高海拔的山上才能形成冰川。我们知道越往高处温度越低,当海拔超过一定高度,温度就会降到 0°C 以下,降落的固态降水才能常年存在。这一海拔高度在冰川学上称之为雪线。

冰川

冰川学是一门跨界科学。它与气象学、水文学、数学、物理学、自然地理学、地貌学、第四纪地质学、测量学、同位素化学、遥感、遥感以及工程技术等都有密切的联系。

冰川是冰冻圈的重要组成部分,是自然界中最宝贵的淡水资源。地球上陆地面积的十分之一被冰覆盖,五分之四的淡水储存于冰川。尽管冰川储量的 96% 位于南极大陆和格陵兰岛,但是其它地区的冰川由于临近人类居住区而更有利用的现实意义,特别是亚洲中部干旱区,历史悠久的灌溉农业一直依赖高山冰雪融水。

冰冻圈

冰雪圈又称冰冻圈,它由在一定低温条件下固态水冰川、冰盖、积雪、海冰、河湖冰等以及地下冰掺杂的多年冻土、季节冻土等组成的特殊圈层。现在,当前多年冰雪覆盖了全球海洋面积的 7%,陆地面积的 11%,多年冻土占有陆地面积的 24%,季节性冰雪在 1 月覆盖陆地面积的 15%,在 7 月覆盖 9%,而季节冻土更为广泛。上述冰、雪、冻土主要分布在高纬度两级地区,在中、低纬高山、高原也广泛分布,特别在以青藏高原为主体的高亚洲冰冻圈在全球变化中有独特的作用。因冰雪圈分布如此广泛,它和大气圈、水圈、岩石圈、生物圈一起组成地壳表层的五大圈层共同对气候作用,构成全球变化的复杂系统。

冰雪圈在气候变化中起了很大的作用,冰雪圈虽是气候的产物,但一经生成,又对气候有重要的反馈作用:

一是通过冰雪的反射率和冰川融化起作用。干净冰雪的反射率比土和水大得多,又由于冰川融化热和水的汽化热分别是同体积液态水升高 1℃ 所需热量的 80 倍和 539 倍,因而冰雪圈在地表热量平衡中有举足轻重的作用。每年到达地面的太阳能大约有 30% 消耗于冰雪圈中,冰雪下垫面的变化主要是冰盖、海冰和积雪的收缩与放大,对能量平衡为基础的气候模式有重要影响。例如青藏高原积雪异常对东亚大气环流、印度降水以及长江中下游梅雨都有相当的影响。

二是通过水循环影响气候。全球变暖、冰川和冰盖融化促使海平面上升,海洋面积扩大,蒸发增加,由海洋上水汽输送到大陆,大

陆降水亦相应增加,如在 2 万年前的末次冰期盛时,水分集中在冰盖上,海面比现在低 140m 左右,现在渤海、黄海、东海等大部分转为陆地,台湾与大陆联成一片,夏季风萎缩,陆地上降水量大幅度减小,从东北到长江流域的降水可能不足现代的一半。

冰冻圈是地球表层和气候系统的重要组成部分,而冰川是冰冻圈系统三大组分之一。以冰雪冻土为重要组分的冰冻圈在全球气候环境变化研究中的重要作用被日益关注。考虑到冰雪界面特有的反射率—气温负反馈机制,区域分布的冰雪冻土变化不仅会引起当地气候环境变化,而且会制约地气系统的质能交换,从而影响大范围甚至全球气候的变化进程。

作为系统的冰川

冰川与冰盖

冰川和冰盖是地球上最为神奇和壮观的现象,占据了地球表面 10% 的面积,锁固了大约 $33 \times 10^6 \text{ km}^3$ 的淡水,如果全部融化可使全球海面上升 70m。在过去 200 万年的第四纪时期,全球冰覆盖曾大幅扩张,当时地球表面的三分之一被冰覆盖。

冰川也是气候变化的敏感指示器,其生长和退缩响应着气温和降雪量的变化,因此,冰川的波动是全球气候系统研究中具重要价值的信息源。另一方面,冰川和冰盖本身也影响着区域和全球气候,改变着大气环流系统。

冰川为什么会形成,在什么地方形成,什么时候形成,它们是如何影响着地表景观、全球气候和海洋的? 要回答这些问题,就要把冰川作为一个系统来看,了解系统的输入和输出,及其与其它系统的相互作用,如大气、海洋、河流和景观。图 1.1 显示了一个简化的冰川系统的基本分量。冰川系统的物质和能量进入包括降水、岩石碎屑、重力、太阳辐射、地热,及其由水汽、水、冰、岩石碎屑和热