



全球变化热门话题丛书

主编 秦大河

温室气体 与温室效应

GLOBAL CHANGE



吴兑 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

温室气体 与温室效应

Whenshi Qiti yu Wenshi Xiaoying

吴兑 编著

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

温室气体与温室效应/吴兑编著. —北京:气象出版社, 2003. 7

(全球变化热门话题/秦大河主编)

ISBN 7-5029-3580-0

I. 温... II. 吴... III. 温室效应-普及读物
IV. X16-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 060089 号

气象出版社出版

(北京市中关村南大街 46 号 邮编:100081)

责任编辑:李太宇 俞卫平 终审:周诗健

封面设计:新视窗工作室 责任技编:都平

*

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:6.75 字数:175千字

2003年7月第一版 2006年8月第二次印刷

印数:5001~6500 定价:16.00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 $0.6 \pm 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

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 0.4~0.5℃,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 1.4~5.8℃。这一增温值将是 20 世纪内增温值(0.6℃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 0.09~0.88 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℃;到 2050 年,全国平均气温将上升 2.2℃。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;二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

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '秦大河' (Qin Dajun) in a cursive style.

2003年3月23日

目 录

第一章 气候变化与人类活动	(1)
气候变暖的事实	(1)
近百年来全球变暖的趋势	(2)
全球变暖可能产生的影响	(6)
全球变暖的原因	(10)
影响气候变化的因素	(11)
气候变化和天气变化不是一回事	(11)
气候系统	(13)
气候变化的预测	(15)
人类活动排放温室气体	(18)
对人类活动影响气候变化的认识过程	(19)
温室效应与温室效应增强	(20)
哪些温室气体更重要	(23)
第二章 温室气体	(29)
对气候影响最重要的温室气体	(29)
大气化学成分的变化会引起气候变化	(29)
温室气体吸收长波辐射	(31)
地球大气中的温室气体	(33)
二氧化碳(CO₂)	(35)
CO ₂ 的基本性质	(35)
CO ₂ 的变化趋势	(38)

2 · 温室气体与温室效应

CO ₂ 的来源	(43)
CO ₂ 的转化和清除	(46)
甲烷(CH₄)	(48)
CH ₄ 的基本性质	(48)
CH ₄ 的变化趋势	(51)
CH ₄ 的来源	(58)
CH ₄ 的转化和清除	(66)
氧化亚氮(N₂O)	(68)
N ₂ O 的基本性质	(68)
N ₂ O 的变化趋势	(69)
N ₂ O 的来源	(71)
N ₂ O 的转化和清除	(72)
臭氧(O₃)	(73)
O ₃ 的基本性质	(73)
O ₃ 的变化趋势	(76)
O ₃ 的来源	(80)
O ₃ 的转化和清除	(81)
氯氟碳化物(CFCs)	(83)
CFCs 的基本性质	(83)
CFCs 的变化趋势	(84)
CFCs 的来源	(87)
CFCs 的转化和清除	(87)
其他温室气体	(87)
氢代氯氟碳化物	(88)
氢氟碳化物(HFCs)	(88)
全氟碳化物(PFCs)	(90)
六氟化硫(SF ₆)	(91)
碳循环的简单描述	(95)
碳的储存库	(96)

碳的通量	(97)
人类活动对碳循环的影响	(100)
第三章 温室效应	(103)
地气系统的辐射平衡	(106)
辐射平衡	(107)
气体分子的选择性吸收特性	(111)
H ₂ O 的吸收特性	(114)
CO ₂ 的吸收特性	(115)
O ₃ 的吸收特性	(116)
CH ₄ 的吸收特性	(117)
N ₂ O 的吸收特性	(118)
其他气体的吸收特性	(118)
温室效应是如何产生的	(119)
地球大气的温室效应	(119)
温室效应的功与过	(120)
失控的温室效应	(123)
人类活动使温室效应在增强	(127)
温室气体的辐射强迫	(127)
温室气体的增温潜势	(134)
水汽的反馈作用	(138)
云辐射的反馈作用	(140)
海洋环流和冰雪的反馈作用	(141)
其他的反馈作用	(142)
大气中温室气体排放量和浓度的预测	(144)
辐射强迫和温度变化的预测	(147)
气溶胶的气候效应	(150)
气溶胶的冷却效应	(151)
黑碳气溶胶的增温效应	(155)
温室效应对人类环境的影响	(157)

4 · 温室气体与温室效应

气候变化对农业和森林的影响·····	(157)
气候变暖导致海平面上升·····	(158)
气候变化对水资源的影响·····	(160)
气候变暖导致生物群落的改变·····	(161)
气候变暖对各地区的影响不同·····	(161)
第四章 温室气体的减排与控制·····	(163)
国际社会对温室效应的认识过程·····	(163)
气候变暖引起了社会舆论的普遍关注·····	(163)
气候变化的国际合作背景·····	(166)
人类社会的共识·····	(169)
气候变化公约·····	(171)
减少和控制温室气体排放的技术措施·····	(173)
落实清洁生产措施减少排放·····	(174)
树立综合环境意识减少排放·····	(174)
使用替代能源·····	(177)
CO ₂ 收集技术·····	(179)
CH ₄ 减排方案·····	(184)
清洗剂更新方案·····	(190)
中国政府的减排政策·····	(193)
参考文献·····	(200)
后记·····	(203)

第一章

气候变化与人类活动

气候变暖的事实

人类诞生几十万年以来,一直和自然界和谐相处。因为那时人类的活动能力,也就是生产活动的能力和破坏自然的能力都很弱,最多只能引起局地小气候的改变。自从1750年开始工业革命以来,情况就大不一样了。工业化意味着大量燃烧煤和石油等矿物燃料向地球大气排放巨量的废气。其中的二氧化碳造成大气的温室效应增强,使全球变暖,极地冰盖融化,海平面上升;干旱、暴雨、洪涝等极端气候灾害事件层出不穷;二氧化硫和氮氧化物可以形成酸雨;氯氟碳化物气体能破坏大气臭氧层,造成南极臭氧洞和全球臭氧层的破坏;同时,氯氟碳化物类物质也是重要的温室气体。此外,工业化排放的污染气体和大气气溶胶也使人类聚居的城市成了高浓度的大气污染浑浊岛……人类在发展经济,提高生活质量的同时,无意中闯下了大祸。这些大祸看起来似乎是天灾,实际上却是人类自己造成的人祸。这恰恰是地球大气对人类进行

的可怕的报复,大自然是决不会因为人类的无知而原谅人类的。若不采取措施,人类可能面临着灾难性的后果。

近百年来全球变暖的趋势

气候学的纪录显示,近百年来,全球的平均地面气温呈现明显的上升趋势。总体上来看,1860年以来,地球气候的变化趋势是持续变暖的(图 1.1),从那时起,地球表面的平均温度升高了 0.6°C ,误差是正负 0.2°C 。近百年来最暖的年份均出现在 1983 年以后。20 世纪北半球温度的增幅是过去 1000 年中最高的(图 1.2)。尤其是近 10 年来的全球平均气温升高幅度之大,已创造了 120 年间的最高纪录。在全球范围内,20 世纪 90 年代是最热的 10 年,全球气温居高不下,其中 1998 年又创历史新高,是 20 世纪最热的一年。它比 1860 年至 2000 年间的平均值高出 0.55°C ,成为自 1860 年人类开始记录气温以来平均气温最高的一年。总的变暖趋势越来越明显。这种趋势很可能继续下去,除非采取有效的措施加以控制。

由于今后几十年温室气体增加的速度不会低于目前的水平,全球增温的效应将会更大。科学家因此预测,在未来 30 多年里,全

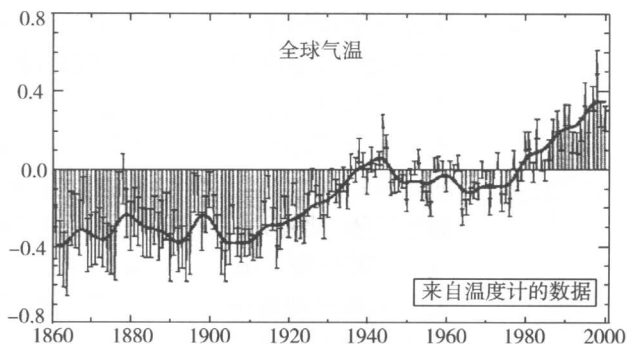


图 1.1 1860 年以来全球气温的变化

横坐标代表年份,纵坐标代表温度距平值,单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。(引自 IPCC, 2001)

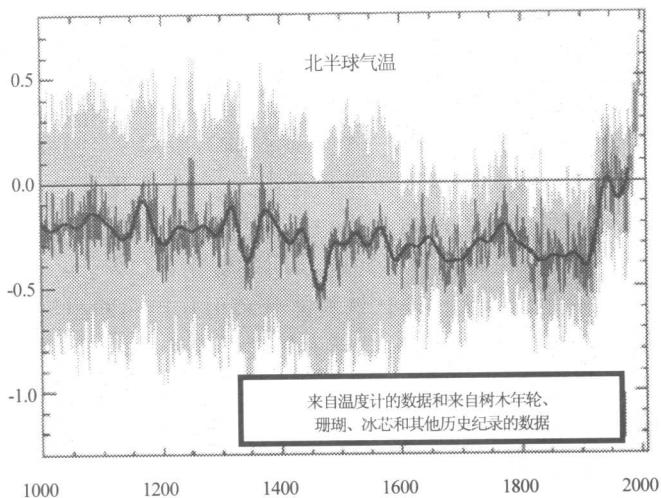


图 1.2 过去 1000 年北半球气候变化的趋势
横坐标代表年份,纵坐标代表温度距平值,单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。(引自 IPCC, 2001)

球将会持续增温,我国也不会例外。

另外,根据科学家们的预测,在自然变化和人类活动的影响下,到 2030 年左右,我国华北地区冬季将比现在增温 $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 。科学家们回顾,公元 1230 年发生的一次气候突变,标志着中世纪温暖期的结束。本世纪初期开始,气候逐渐转暖,但至今还没有达到 1230 年以前的水平。也就是说,至今我国的气候还没有创造新的“历史最高纪录”。从历史对比的角度,科学家们认为,处于唐末到宋末的中世纪温暖期气候,可能是和已经来临的 21 世纪增暖期气候最为接近的一段时期。

我国是世界上气候变化的敏感区和脆弱区之一,气候变暖的影响首当其冲。对于未来全球变暖的趋势,科学家们已经达成共识,但是对于未来全球增暖的幅度有不同的预测结果。比较合理的预测是,到 2050 年,全球平均气温将比现在上升 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,到 2100 年,将上升 $1.5\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 。

气候变化是长时期大气状态变化的一种反映。气候变化主要表现为大气各种时间尺度的冷与暖,或者是干与湿的周期性变化。冷与暖,或者是干与湿相互交替组成了不同的变化周期。但是,这些变化的周期是不严格的,一个周期内前后阶段往往不具有对称性,而且不同周期的长度还可以相差很大。气候变化就是这样一种相当复杂,并且表现为周而复始的准周期性的变化。

气候变化存在着多种不同的周期性变化,气候变化的周期越长,变化的幅度就越大。现代资料能分辨出几年周期的气候变化,是研究气候变率的基本资料。历史气候史料能反映几十至几百年的气候变化,是现代气候变化的重要背景。地质资料能反映上万年的气候变化,给出这一期间气候变化的总趋势。地质资料与史料虽然是古代资料,但是它们所反映的气候变化周期对现代气候变化研究有非常好的指示作用。

世界上的任何事物,要想知道它的未来,必须先要了解它的过去,气候变化也是如此。研究长时期内的气候变化是十分有意义的。长时期尺度的气候是较短时间气候状态的背景和分析依据。不知道过去的气候变化,就弄不清当前气候的来龙去脉,也就不能认识和评价现在的气候与预测未来的气候。

目前,我们比较关心的是近百年来 的气候变化。近百年的气候变化已经可以用现代气象观测数据来表示。近百年来全球气候变化最突出的特征是温度的显著升高。几乎所有的温度观测记录分析都表明,从 19 世纪末期到 20 世纪末期,全球平均温度上升了大约 0.6°C ,增高速率为 $0.5^{\circ}\text{C}/100$ 年。气候的变暖造成世界上相当多的冰川消融,甚至消失,全球平均的冰川物质平衡是负值;近百年来全球海平面平均也已经上升了 $10\sim 20$ cm,其中的一半估计是由于海水的热力膨胀造成的,另一半是由于冰雪融化造成的。20 世纪 70 年代开始的卫星观测表明,北半球春季和夏季的雪盖面积,从 1987 年以来已经减少了 10%。这些间接的证据也都说明了 20 世纪气候在变暖。全球温度在上个世纪初开始显著上升,到 30