

科技部应对气候变化科技专项资助
中国气象局气候变化专项资助



中国科协科普专项资助

气候变化

——我们身边的科学问题

秦大河/主编

气候变化与低碳发展·知识读本 

孙鸿烈/总主编

学苑出版社

气候变化与低碳发展·知识读本

总主编 孙鸿烈



气候变化

——我们身边的科学问题



主 编 秦大河
副主编 戴晓苏 董文杰



学苑出版社

气候变化与低碳发展·知识读本

编委会

主 任：孙鸿烈

副主任：秦大河 陈宜瑜

委 员：（按姓氏笔画排序）

丁一汇 任阵海 吴国雄 何建坤 林而达 周大地

郑 度 胡敦欣 姚檀栋 巢纪平 葛全胜 蒋有绪

童庆禧 潘家华

序 一

石钢

(全国政协副主席、科技部部长)

气候条件是万物赖以生存的关键因素之一，全球气候变化影响到人类社会的方方面面。应对气候变化事关人类的生存环境和各国的繁荣发展，是国际社会共同面临的任务和挑战。目前这个问题已上升到一个史无前例的战略高度，成为影响国际政治、经济 and 发展的重大问题，成为国际社会关注的焦点。

我国现正处于工业化、城市化加速发展的关键阶段，面临着生产力水平总体还不高，产业结构不合理，城乡、区域发展不平衡，长期形成的结构性矛盾和粗放型增长方式尚未根本改变，经济社会发展与资源、环境有限承载能力的矛盾日益尖锐等问题。同时现有研究表明，气候变化已经对中国产生了一定的影响，造成了沿海海平面上升、冰川面积减少、春季物候期提前等情况。近年来发生的极端气候灾害给国民经济造成的损失巨大，而且未来气候变化将继续对中国自然生态系统和经济社会系统产生重要影响。这些情况使我国应对气候变化面临的困难更加严峻。

科学技术是应对全球气候变化问题的基础和根本手段之一，科技进步和科技创新是减缓温室气体排放，提高气候变化适应能力的有效途径。深入研究应对气候变化相关的科学技术问题，依靠科技进步大力发展低碳技术和战略性新兴产业，培育新的经济增长点，促进发展方式转变和经济结构调整，充分发挥科技进步在减缓和适应气候变化中的先导性和基础性作用，为应对气候变化、增强可持续发展能力提供强有力的科技支撑，是我们应对气候变化的必然选择。

我国政府一直高度重视并不断促进应对气候变化的科技支撑能力的提高。首先是加大投入力度，推进技术研发。重点围绕节能和提高能效、可再生能源和新能源的开发利用、清洁能源汽车、清洁生产、资源综合利用、环境保护以及二氧化碳

捕集、封存和再利用等方面，组织有一批重大项目；“十一五”以来，投入科研经费达 130 多亿元。二是组织实施重大科技示范工程。推动节能减排和新能源技术在北京奥运会和上海世博会期间的示范应用，会同相关部门实施推动了高效半导体照明的“十城万盏”，电动汽车规模应用的“十城千辆”，推动太阳能并网发电应用的“金太阳”等节能和新能源示范工程，有力地促进了太阳能、风能、新能源汽车、半导体照明等技术的规模化应用和产业化。示范工程使社会大众能够了解新的技术、新的产品，为他们带来新的服务和新的经济发展方向。三是组织实施应对气候变化科技专项和全球变化研究重大科学研究计划。重点围绕全球气候变化科学问题，加强基础研究，特别是人类适应气候变化的战略与对策等方面的研究，强化科技支撑，为政府决策提供科学依据。四是大力开展应对气候变化国际科技合作。应对气候变化与绿色发展是全球共同面临的重大选择，需要世界各国共同努力。目前，中国科技部已与 97 个国家签署了 103 个科技合作协定，将气候变化和环境保护等领域列为双边科技合作的优先合作领域，一系列合作研究课题正在有效实施之中。五是营造良好政策环境。科技部联合有关部门制定并发布了《节能减排全民科技行动实施方案》《节能减排科技专项行动》《中国应对气候变化科技专项行动》等一系列促进应对气候变化技术发展的政策和措施。这些科技工作既提高了应对气候变化方面的创新能力，又为低碳绿色发展提供了有力科技支持，取得了显著成效。

系统总结我国近年来应对气候变化科学研究成果，服务于政府决策和专家学者的进一步研究，促进相关研究成果在各个层面的广泛应用，是一项艰巨而又十分重要的任务。感谢孙鸿烈院士挑起了这一重担，组织专家学者编写的这套关于“气候变化与低碳发展”的知识读本，介绍了应对气候变化的科学技术问题及相关进展，总结分析了应对气候变化所面临的严峻挑战和战略机遇以及相应的政策选择。我相信这套知识读本的出版，在当前的形势下具有里程碑意义；将有助于全社会对气候变化问题有更加系统、全面的认识，将进一步推动我国应对气候变化的科学决策以及相关研究和公众意识的提高。

序 二



(国家环境咨询委员会副主任、国家气候变化专家委员会首届主任)

1990 年以来, IPCC (联合国政府间气候变化专门委员会) 相继发布了四次评估报告, 全面介绍了应对气候变化的研究进展, 为国际社会提供了比较权威的科学信息。IPCC 评估报告表明, 气候变化的方式, 尤其是变率已经超出了自然变化的幅度, 人类活动是气候变暖的主要驱动因素。IPCC 的这一结论得到了国际社会的认可。尽管气候变化的科学认知尚存在不确定性, 但减少人类活动对气候系统的干预、应对气候变化应该是我们今后的重要行动。

应对气候变化需要从不同角度和层面推动。为了增进社会认知, 需要一套全面系统、深入浅出、通俗易懂的书籍, 阐述气候变化的历史、现在和未来趋势, 以及气候变化的成因、影响和对策。为此, 国家气候变化专家委员会组织国内从事气候变化相关领域研究的专家学者, 编撰了由 5 个分册组成的“气候变化与低碳发展”知识读本。有关气候变化观测、评估、影响与适应等内容, 主要反映在《气候变化——我们身边的科学问题》和《气候变化与人类——事实、影响和适应》中; 与社会发展、协同减排相关的发展路径选择以及关键技术应用等内容, 在《低碳发展——应对气候变化的必由之路》和《公民行动——气候变化中的人类自觉》中进行了论述。为了帮助读者扼要了解气候变化研究所涉及的相关问题, 我们编撰了综合卷《低碳转型——践行可持续发展的根本途径》。

为了确保编写质量, 来自不同学科的 17 位院士和专家组成了编委会。该套知识读本在编写、出版过程中, 获得了科技部、中国科学技术协会、中国科学院和中国气象局的指导和帮助, 在此, 表示衷心的感谢。

我们希望这套知识读本的出版发行, 能有助社会各界对气候变化问题的进一步了解, 引导气候友善的生产和消费行为, 加速低碳发展进程, 为促进人类社会可持续发展作出贡献。

前 言

2007 年 10 月 12 日，挪威诺贝尔委员会宣布，将 2007 年度诺贝尔和平奖授予政府间气候变化专门委员会（IPCC）与美国前副总统戈尔，表彰他们在传播气候变化知识方面所付出的努力及在寻找应对气候变化措施方面所做出的贡献。

2007 年 12 月 10 日，挪威诺贝尔委员会在奥斯陆举行诺贝尔和平奖颁奖仪式。IPCC 主席拉金德拉·帕乔里和戈尔出席了颁奖仪式。帕乔里说，人类的饮水、食品、卫生条件、生态资源以及生存安全都因气候变化而受到严重影响，现在不仅需要科学界采取跨国界的集体行动，全世界都要采取及时和适当的行动，以避免气候变化给人类带来的威胁。戈尔在演讲中说，地球已“发烧”，而且热度还在上升，这一气候变化是对整个人类文明的威胁，我们必须行动起来，进行世界范围的动员。挪威诺贝尔委员会主席姆乔斯感谢 IPCC 和戈尔为唤醒人们对气候变化的关注所作出的努力，并分别向该组织和戈尔颁发了诺贝尔和平奖证书、金质奖章和 1000 万瑞典克朗（约合 153 万美元）的奖金。

作为全球公共政治事务的一个导向性奖项，诺贝尔和平奖被授予与气候有关的组织和个人，这在诺贝尔和平奖的历史上可谓是前所未有，说明气候变化已经引起了相当高的关注度。诺贝尔委员会在声明中说，广泛的气候变化可能改变并威胁人们的生活条件，造成大规模的移民，增加对自然资源的竞争，而这一切将对脆弱国家造成特别巨大的影响，国家内部或国家之间可能会增加暴力冲突与战争的危险。由此看来，在当今世界格局之中，环保与和平已融为一体，这也是诺贝尔委员会将“和平”奖授予了带有“环保”色彩的组织和人士的根本原因。

气候是人类最重要的自然资源之一，是人类生存和发展所依托的外在环境的一个重要组成部分。地球上的生命本身和人类的存在都依赖于一个适宜的气

候环境，地球气候以各种各样的方式支配并影响着人类为生存和发展所开展的各项活动，包括影响人类对食物和水的获取以及对居所和衣物的选择，气候在我们的文化、休闲和社会福利中起着重要的作用。另一方面，人类活动又反过来影响到地球气候的长期演变，这种相互作用是探寻人类可持续发展所必须考虑的重要因素之一。尤其是，近百年来，地球气候正经历着一次以全球变暖为主要特征的显著变化。人们愈来愈认识到人类活动是气候系统发生变化的原因之一，也愈来愈认识到气候系统对于社会经济发展具有显著影响。在过去 100 多年里，人类在与气候相关的科学和技术领域取得了巨大成就和重大进展，这也成为我们得以开展气候变化科学评估的基础。随着人类对气候系统认识的不断深化，人类社会也必将具有更大的能力来应对气候异常和气候变化给社会经济的可持续发展所带来的挑战。

正因为如此，可以说气候变化科学具备清晰的前瞻特色、广泛的科技内涵、极强的使用价值和鲜明的时代特点。IPCC 自 1988 年成立以来发布的四次气候变化科学评估报告，不断地深化了对人类活动影响气候系统变化的科学认识，极大地丰富和扩展了气候变化科学的内涵，推进了科学界和全社会对气候变化科学认知的广度和深度，推动了应对气候变化的科学技术的发展，促进了大气科学及相关领域的国际合作和交流。

现在，气候变化科学已经成为一门集自然科学、技术、社会、经济、外交乃至政治之大成的系统科学，融会并贯穿了自然科学和社会科学，在科学研究方面属国际前沿，在应用方面又是社会亟需。本书从气候变化科学的基本概念谈起，涉及气候系统的组成和内涵、全球气候研究与系统观测的概况、观测到的全球气候变化和中国气候变化、未来气候变化预估、气候变化的科学不确定性、IPCC 的科学评估活动等等，旨在普及气候及气候变化的科学知识，提高社会公众的气候变化意识，促进全社会采取行动，适应和减缓气候变化。



目 录

序一/万 钢

序二/孙鸿烈

前 言	1
-----------	---

天气、气候和气候系统

一、天气和气候.....	1
二、气候系统.....	4
三、全球气候研究与系统观测.....	6
四、全球气候变化科学评估	11

观测到的全球气候变化

一、全球气候变化的事实	13
二、温室气体和温室效应	16
三、辐射强迫与气候系统变化	20
四、极端事件	23



未来气候变化预估

一、预估气候变化的方法	26
(一) 气候模式的发展历程	26
(二) 气候敏感性	28
(三) 温室气体排放情景	30
(四) 全球气候模式和区域气候模式	33
二、未来的气候变化	36
三、气候系统的其他可能变化	40

中国的气候变化

一、20 世纪的气候变化	44
(一) 温度的变化	44
(二) 降水的变化	49
(三) 气候系统的其他变化	52
(四) 中国气候变化的特点	53
二、中国的气候变化研究与气候观测系统	54
(一) 古气候研究	54
(二) 历史气候研究	55
(三) 现代气候研究	57
(四) 中国气候观测系统计划	59
(五) 气候观象台的建设	61
(六) 气候系统模式的发展	62
三、未来的气候变化	64
(一) 温度的变化	64
(二) 降水的变化	67
(三) 气候系统的其他变化	69



气候变化的科学不确定性与未来研究优先领域

一、科学界对气候变化的认知与科学不确定性	79
(一) 气候变化的原因是什么?	83
(二) 人类活动和太阳活动在近百年的全球变暖中贡献有多大?	83
(三) 计算机气候模式可信吗?	85
(四) 全球变暖是否造成了海平面的加速上升?	87
(五) 气候变化对中国极端天气气候事件有什么影响?	88
二、有待进一步探索和深化的科学领域	89
部分参考文献	92



天气、气候和气候系统

一、天气和气候

在我们的日常生活中，天气和气候应该是出现频率很高的两个词汇。每天早晨起来，一定会不自觉地望向窗外，看看天气怎么样，以便决定当天的出行。当我们准备旅行去一个陌生的国家或者城市时，也一定会查询一下那里的气候条件，以便整理我们的行装。与气候的定义不同，天气是指短时间（几分钟到几天）发生的气象现象，如雷雨、冰雹、台风、寒潮、大风等。

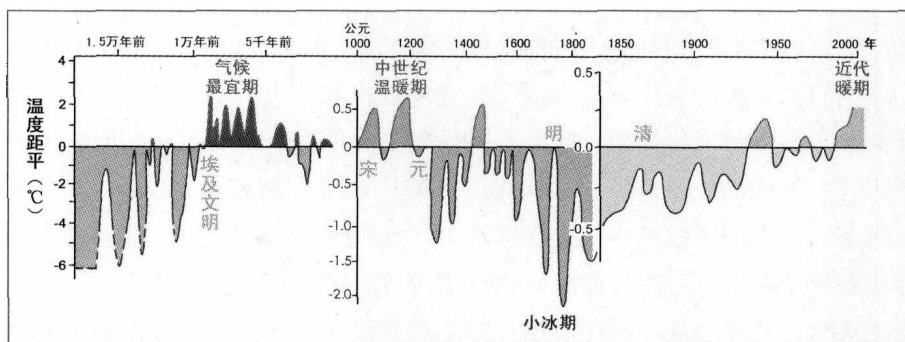
那么，什么是气候呢？气候被定义为“天气的平均状态”。气候通常被描述为从数月到数百万年的一段时间内（通常采用 30 年的时间段）天气的平均或统计状况，通常由某一时段温度、降水和风等的平均值及变率来表征，主要反映一个地区的冷、暖、干、湿等基本特征。从本质上说，气候是全球性的。正所谓“蝴蝶效应”：“亚洲蝴蝶拍拍翅膀，将使美洲几个月后出现比狂风还厉害的龙卷风！”气候震荡是我们日常生活的一部分，相距遥远的各种气候因子之间的作用是产生各种各样气候震荡的根源。而人类活动与气候的相互作用已成为全球尺度上气候研究的主要焦点。

气候是人类最重要的资源之一，地球上的生命本身和人类的存在都依赖于一个适宜的气候环境。人们也许很容易忽视我们的生活在多大程度上受到当地气候条件的制约，并因之形成了相对固定的习惯方式。比如北方人习惯了严寒的冬季和厚厚的冰雪，而南方沿海的人们则习惯了台风的肆虐和暴雨的袭击。对于人类社会来说，小到衣食住行基础设施，大到社会经济各行各业发展，无一能够完全超脱气候条件的限制，气候异常一直是人类生命和财产损失的重要



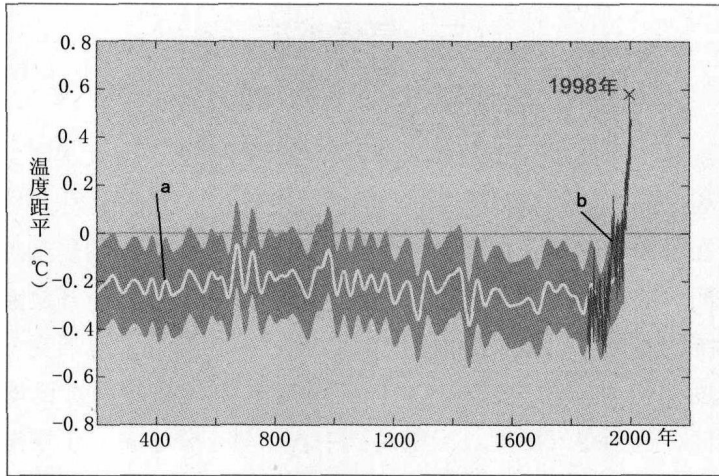
原因之一。气候以各种各样的方式影响着我们的生活，在我们的文化、健康、休闲和社会福利中起着重要作用。回顾过去，我们也能在许多层面上发现气候对人类历史的影响，诸如气候对战争成败的影响，气候对国家兴衰的影响。总之，对气候了解得越多，我们就越能更好地处理气候问题。

许多有关气候变化的知识，都是建立在对末次冰期期间气候剧烈变化的研究上，“以史为鉴”在气候科学上也有着其独特的地位和作用。末次冰期期间（大约 21000 年前），全球近地面平均气温比现在约低 4—5℃，而在北半球的大冰盖上，气温约比现在低 12—14℃，热带地区的气温可能比现在低 3℃ 左右。大约 15000 年前，气温开始戏剧性地升高，并曾发生过各种气候突变。在冰期气候与间冰期气候之间的过渡期之后，开始了一个较为稳定的持续了近 10000 年的时期（图表 1）。



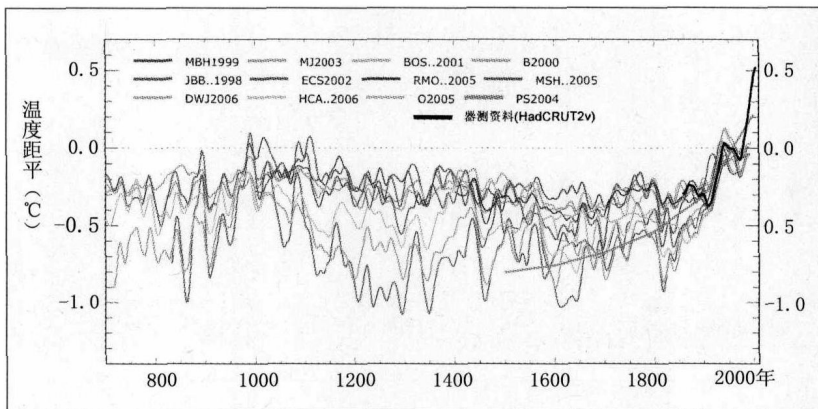
图表 1 近万年来全球温度变化：全球地表温度波动的幅度为 2—3℃，共经历了 3 次暖期：即气候最宜期（距今 8000—3500 年）、中世纪温暖期（10—13 世纪）以及近代暖期（20 世纪中后期至今）。

对历史文献记录的分析和再现，可以帮助我们全面认识过去数千年的气候变化。在大约 6000 多年前，北半球中纬度地区的夏季平均温度比现在高 2—3℃，主要原因是夏季辐射的增强。在大约 5500 年前，在埃及和中东古文明发展的早期，气候开始逐渐变得凉爽而干燥，其中一些变化具有深远的意义，比如，曾经漫步着长颈鹿、大象和羚羊的撒哈拉地区因为气候变干而变成了沙漠。在大约 4000 年前，有证据表明中东和北非的降水量开始减少。在 9 世纪和 10 世纪期间，北欧和北大西洋地区在变暖，大部分地区的气候变暖一直延续到 11—12 世纪。小冰期鼎盛时期在欧洲和中国出现在 17 世纪，在北美洲出现在 19 世纪（图表 2）。



图表 2 近 2000 年全球地表平均气温变化：相对于 1961—1990 年 30 年气候平均，a 实线表示公元 200—1980 年，b 实线表示公元 1856—2004 年。

近年来，人们已经积累了大量的气候代用资料，可以使我们对历史时期的气候有更多的了解。树木年轮、冰芯、珊瑚生长、历史文献等资料和一些长期器测资料的综合使用。使我们有可能对北半球从公元 1000 年前后以来的气候变化有一个全面的、合理的认识（图表 3）。



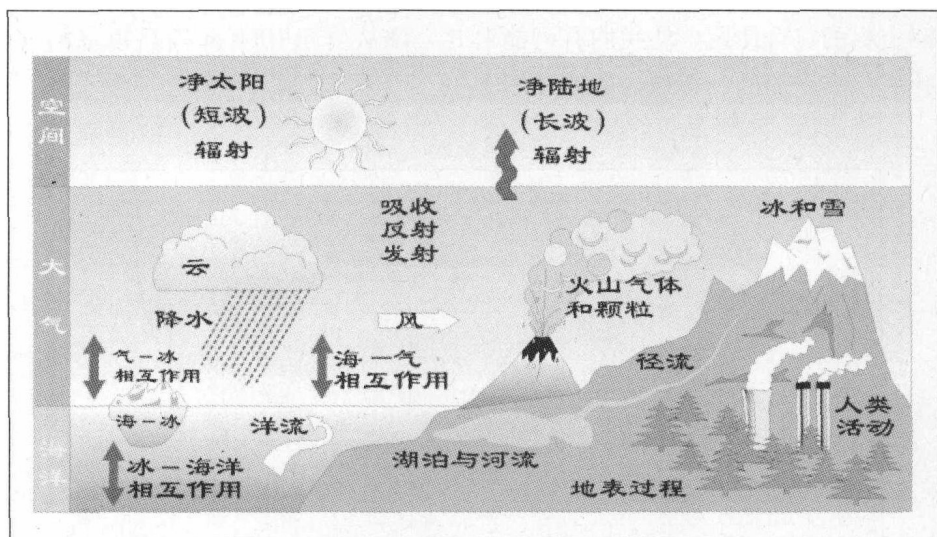
图表 3 过去 1300 年全球地表平均气温变化（相对于 1961—1990 年 30 年气候平均）



二、气候系统

气候系统是一个高度复杂、各部分相互作用的系统，由大气圈、水圈、冰雪圈、陆地表面和生物圈等 5 个部分组成（图表 4）。太阳辐射为气候系统提供了动力。在太阳辐射的作用下，气候系统内部产生一系列的复杂过程，各个组成部分之间，通过物质交换和能量交换，紧密地联结成一个开放系统。

气候系统的属性可以概括为以下 4 个方面：热力属性，包括空气、水、冰和陆地的温度；动力属性，包括风、洋流及与之相联系的垂直运动和冰体移动；水分属性，包括空气湿度、云量及云中含水量、降水量、土壤湿度、河湖水位、冰雪等；静力属性，包括大气和海水的密度和压强、大气的组成成分、大洋盐度及气候系统的几何边界和物理常数等。这些属性在一定的外因条件下通过气候系统内部的物理过程、化学过程和生物过程而互相关联着，并在不同时间尺度内变化着。



图表 4 气候系统示意图



大气是气候系统中最容易变化的部分，包括大气环流和大气成分的变化。例如，当外界热量输入（主要是太阳辐射）发生变化后，通过各种热量输送和交换过程，能在一个月的时间内调整对流层温度的分布。

海洋占地球表面面积的 71% 左右，它能吸收到达地表的大部分太阳辐射能，海水又具有很大的热容量，所以它是气候系统中一个巨大的能量贮存库。海洋的变化主要包括洋流、盐度海平面、生物化学属性等。洋流在热量输送和全球热量平衡中起着巨大的作用，海洋表层在数月数年内与大气或海冰相互发生作用，调节其温度。海洋的深层热量调节时间则需要几百年或更长的时间。

陆地表面具有不同的海拔高度、地形、岩石、沉积物和土壤，以及河、湖、地下水等。河、湖、地下水是水分循环中的重要组成部分，它们也是气候系统中容易变化的部分，包括陆面内部及其表面的变化，如地形、土地利用、植被、生态系统的变化等。陆块位置、高度和地形发生变化的时间尺度，在气候系统的所有组成部分中是最长的。

冰雪圈包括大陆冰原、高山冰川、海冰和积雪等。积雪和海冰有很明显的季节变化，冰川和冰原的变化要缓慢得多。冰川和冰原的体积变化与海平面的变化有密切的联系。冰雪具有很大的反射率，在气候系统中，它是一个致冷因素。

生物圈指的是陆地上和海洋中的植物以及生存在大气、海洋和陆地的动物。生物对于大气和海洋的二氧化碳平衡、气溶胶的产生以及其他气体成分和盐类有关的化学平衡都有很重要的作用。植物可以随着温度、辐射和降水的变化而发生自然变化，其变化的时间尺度为一个季节到数千年不等；而且植物反过来又会改变地面反射率和粗糙度，影响水分的蒸发、蒸腾以及地下水循环。由于动物需要得到适当的食物和栖息地，所以动物群体的变化，也反映了气候的改变。

因此，气候可以定义为气候系统的要素或变量在任一特定时段内的平均统计特征。这一定义指出了气候的物质基础是气候系统，而不仅仅是大气，它和天气系统是有区别的。气候是一个历史的概念，它和特定的时间阶段相联系，而不存在绝对的气候概念；某一时段的气候状态是指这一时段气候系统各属性的平均统计特征，不像天气是指某一瞬时或某一短时间内大气中气象要素和天



气现象的综合。由于其内在动力作用的影响，以及影响气候的外部因子（称为强迫）的变化，气候系统随着时间而逐渐演变。

气候系统中各个部分的变化，如冰盖尺度的变化、植被类型和分布的变化、大气或海洋温度的变化都会影响大气和海洋的大尺度环流特征。气候系统中有许多反馈机制能放大（“正反馈”）或缩小（“负反馈”）气候强迫变化的效应。例如，温室气体浓度的增加使地球气候变暖，雪和冰就会加快融化。雪和冰融化后，原来藏在雪和冰下面的深色的地面和水面露了出来，这些深色的表面吸收更多的太阳热量，就会造成进一步增温，进而又造成更多的雪、冰融化，周而复始，愈演愈烈。这种反馈循环被称为“冰-反照率反馈”，放大了最初由于温室气体的增加而造成的变暖。试图破解复杂的地球气候系统的科学家们一直把探测、认识和精确地量化气候反馈作为其大量研究工作的重点。

所以，气候变化的实质不仅反映了某一单一气象要素如温度、降水等的变化，而是反映了整个气候系统的变化，包括大气环流的改变、海平面的升降、冰雪增减和冰川进退等等。

三、全球气候研究与系统观测

关于人类活动引起的气候变化的研究可以追溯到1827年。从19世纪至20世纪前半叶，一些科学家对此问题进行了零散的研究。例如，1827年，法国科学家傅里叶指出，大气与温室的玻璃具有相同的物理作用。1896年，瑞典科学家阿尔喝尼斯对燃煤可能改变地球气候作出预测，提出当大气二氧化碳浓度加倍时，全球平均气温将增加 $5-6^{\circ}\text{C}$ 。1940年，英国科学家科兰德计算了燃烧化石燃料所增加的二氧化碳可能造成的气候变暖。

随着世界各国对煤、石油等化石燃料利用的快速增加以及人们对环境的日益关注，国际社会增加了对气候变化问题研究的关注。1979年召开的第一次世界气候大会宣言提出，如果大气中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世纪末将达到可测的程度，到21中叶将会出现显著的增温现象。1985年奥地利菲拉赫会议提出，如果大气中二氧化碳等温室气体浓度以现在的趋势继续增加的话，到21世纪30年代二氧化碳的含量可能是工