

生物质利用碳减排项目 开发理论与方法

陈浩波 余伟俊 刘尚余 舒杰◎著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

生物质利用碳减排项目 开发理论与方法

陈浩波 余伟俊 刘尚余 舒杰◎著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质利用碳减排项目开发理论与方法/陈浩波, 余伟俊, 刘尚余等著. —广州: 华南理工大学出版社, 2018. 12

ISBN 978 - 7 - 5623 - 4565 - 7

I. ①生… II. ①陈… ②余… ③刘… III. ①二氧化碳 - 减量化 - 排气 - 研究 - 中国 ②生物能源 - 能源利用 - 研究 - 中国 IV. ①X511 ②TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 268164 号

Shengwuzhi Liyong Tanjianpai Xiangmu Kaifa Lilun Yu Fangfa

生物质利用碳减排项目开发理论与方法

陈浩波 余伟俊 刘尚余 舒杰 著

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

http: //www. scutpress. com. cn E-mail: scute13@scut. edu. cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 吴兆强

印 刷 者: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 12 字数: 251 千

版 次: 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

前言

P r e f a c e

气候变化是当今人类共同面临的巨大挑战。人类对气候系统的影响是明确的，由人为活动引起的全球气候变暖将引发气候系统难以预测的变化，对地球生态安全和人类生存与发展带来严重威胁。积极参与国际合作，应对气候变化、减少温室气体排放日益成为世界各国的广泛共识和实际行动。

清洁发展机制是《京都议定书》确定的三个灵活市场机制之一，基于“共同但有区别的责任”原则和公平原则通过项目级的合作方式实现多方共赢，发达国家以较低成本实现减排目标，发展中国家获得资金和技术促进其可持续发展。我国作为负责任大国坚定不移地采取积极行动应对气候变化，在推动《巴黎气候协定》的达成和生效中担当了重要角色，并承诺到 2030 年单位 GDP 的 CO₂ 强度比 2005 年下降 60%~65%，2030 年左右 CO₂ 排放达到峰值并争取努力早日达峰。为实现这一承诺，我国将做出巨大努力和贡献，更需要强有力的制度和政策体系的保障。2017 年 12 月我国政府发布《全国碳排放权交易市场建设方案（发电行业）》，标志着全国碳排放权交易市场正式启动，成为推动绿色低碳发展的一项重大创新实践。中国自愿减排交易机制作为我国碳排放权交易体系的必要补充，不仅为中国控排企业完成履约任务提供了更优的减排策略选择，更为推动中国新能源和可再生能源产业、节能环保行业、碳汇造林事业等的蓬勃发展注入了新

动力。

生物质作为一种绿色、清洁、可再生和数量丰富的资源，其开发利用可实现CO₂零排放，是减少温室气体排放的有效途径之一，在解决未来能源需求、全球变暖、生态环境保护方面有着极其重要地位。“十三五”是实现能源转型升级的重要时期，是新型城镇化建设、生态文明建设、全面建成小康社会的关键时期，生物质的利用面临产业化发展的重要机遇。要把生物质作为优化能源结构、改善生态环境、发展循环经济的重要内容，立足于分布式开发利用，扩大市场规模，加快技术进步，完善产业体系，加强政策支持，推进生物质利用规模化、专业化、产业化和多元化发展，促进新型城镇化和生态文明建设。

为确保清洁发展机制和中国自愿减排交易机制下项目减排量交易的环境效益完整性，即确保碳减排项目能带来长期实际可测量和额外的减排量，需要建立一套有效、透明和可操作的方法学，并在实践应用过程中不断修改和完善。生物质沼气利用、生物质发电和供热、生物柴油生产、垃圾填埋气利用、生物质燃气生产、植物油生产、生物质废弃物利用作为生产原料使用都涉及生物质利用。开发生物质利用碳减排项目还存在新方法学开发及方法学应用上的障碍，使项目的推广受到限制。对此应该加强开发各种类型的生物质利用项目工作，只有通过不断的项目开发，有了实际项目作为依据，才能进一步完善各个方法学，使碳减排方法学与我国不断发展的碳减排市场相适应。

本书的完成得到了广东丰溪现代林业发展有限公司在文献资料、项目资源和研究经费等方面所给予的大力支持。根据作者团队多年参与清洁发展机制和中国自愿减排交易机制的方法学研究及项目开发工作的体会、与本领域专家的学习交流，以及与同行研讨过程中得到的启发思考，详细梳理了碳减排项目开发现状，全面解析碳减排方法学理论，重点研究生物质能源化利用和原料化利用情景下温室气体减排效果，系统地探讨与分析其基准线方法学与相应的监测方法学，提出一个可量化的评估碳减排项目的标准方法，为在我国大规模开展生物质利用项目提供理论依据，同时为项目开发和审批提供了可供参考的量化工具，对能源战略规划决策具有一定的借鉴意义。在此衷心感谢为本书的完成给予指导的中国科学院广州地球化学研究所匡耀求研究员、清华大学韦志洪教授、四川大学蒋文举教授、青岛中科煜成安全技术有限公司张培栋博士以及提供帮助和支持的各位老师、朋友和伙伴们。

本书主要编写人员有陈浩波、余伟俊、刘尚余、舒杰。本书内容仅代表作者对生物质利用领域碳减排项目开发方法的理解，由于水平有限，难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

陈浩波

2018年10月16日

写作团队成员

陈浩波 中国科学院广州地球化学研究所博士研究生，中国科学院广州能源研究所助理研究员，主要从事低碳、能源、环境与可持续发展等领域的研究，在碳减排项目计量和监测方法学方面开展了大量研究工作，有丰富的碳减排项目开发经验。

余伟俊 工商管理硕士，中国科学院广州能源研究所高级会计师，注册会计师，主要从事森林碳汇、工业节能、建筑节能和污泥处理技术等研究与开发工作。

刘尚余 工学博士，中国科学院广州能源研究所副研究员，主要从事环保节能技术研究、中国温室气体自愿减排项目方法学研究及项目开发、清洁发展机制项目开发。

舒 杰 理学博士，中国科学院广州能源研究所研究员，分布式发电微电网技术研究室主任，主要从事太阳能光伏发电理论与技术、可再生能源分布式发电微网技术、新能源发电电力变换控制技术、太阳能利用与建筑集成技术和节能减排技术等研究与开发工作。

目 录

C o n t e n t s

第一章 绪论 / 1

- 第一节 应对气候变化刻不容缓 / 1
- 第二节 应对气候变化的努力 / 9
- 第三节 生物质利用对减缓全球气候变化意义重大 / 12
- 第四节 生物质利用项目碳减排方法学应用前景广阔 / 15

第二章 碳减排机制政策剖析与实践运行 / 19

- 第一节 CDM 政策剖析 / 19
- 第二节 CDM 项目开发现状分析 / 24
- 第三节 中国碳交易市场和自愿减排机制 / 27

第三章 碳减排项目方法学理论基础 / 31

- 第一节 CDM 基准线方法学 / 31
- 第二节 CDM 监测方法学 / 35
- 第三节 中国自愿减排方法学概述 / 36

第四章 农村户用沼气项目碳减排方法学研究 / 39

第一节 沼气利用项目方法学概述 / 39

第二节 农村户用沼气工程项目 / 45

第三节 农村户用沼气工程项目方法学问题 / 48

第五章 生物质废弃物热电联产项目开发关键问题分析 / 55

第一节 生物质能开发和利用情况 / 55

第二节 生物质废弃物能源利用方法学进展 / 62

第三节 生物质废弃物热电联产项目案例分析 / 71

第四节 生物质热电联产碳减排项目开发要点 / 81

第六章 利用农作物秸秆生产人造板项目碳减排方法学研究 / 83

第一节 我国人造板产业发展现状分析 / 83

第二节 我国农作物秸秆利用现状分析 / 86

第三节 利用农作物秸秆生产人造板项目碳减排方法学 / 89

第四节 农作物秸秆生产人造板项目碳减排方法学应用 / 112

第七章 CDM 项目评估标准体系的构建 / 120

第一节 CDM 项目额外性评估工具 / 120

第二节 拟议的 CDM 项目评估体系的构建 / 123

第三节 可再生能源领域 CDM 项目标准评估体系的构建 / 131

主要参考文献 / 144

附录 / 150

附录一 巴黎协定 / 150

附录二 京都议定书 / 164

附录三 温室气体自愿减排交易管理暂行办法 / 178

第一章 绪论

第一节 应对气候变化刻不容缓

国际社会关注的气候变化，主要是指由于人为活动排放温室气体造成大气组分改变，引起以变暖为主要特征的全球气候变化。《联合国政府间气候变化专门委员会第五次评估报告》指出：人类对气候系统的影响是明确的，温室气体排放以及其他人为排放已成为自 20 世纪中期以来气候变暖的主要原因。当前不仅需要适应气候变化，而且要大幅和持续减少温室气体排放才能限制气候变化风险（IPCC，2014）。人类必须行动起来，携手共进，减少温室气体排放和应对气候变化。

一、大气温室气体浓度持续上升

自 1750 年起的工业化时代以来，不断增长的人口、密集型农业活动、土地利用和毁林的增加、工业化以及化石能源大量使用都促使了大气温室气体含量增加（图 1-1）。

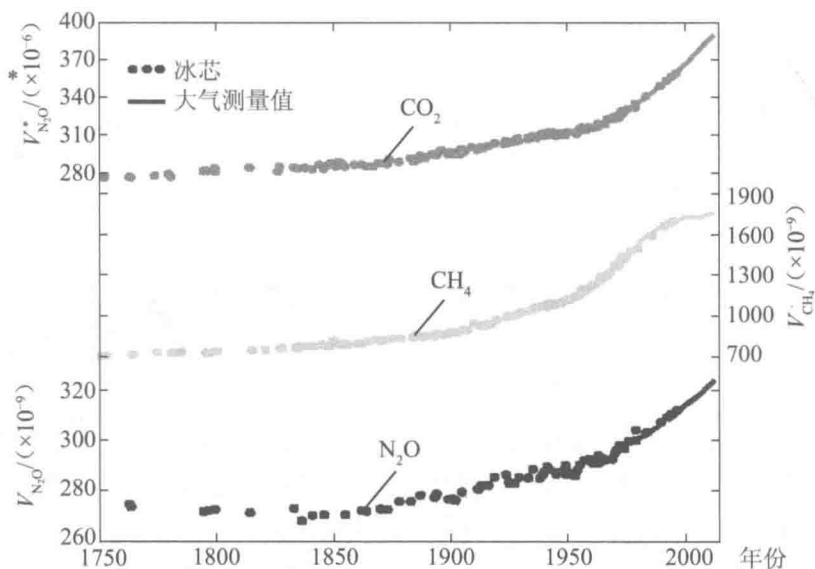


图 1-1 1750 年以来观测到的大气主要温室气体浓度变化

* V 代表摩尔分数。

这些与人类活动有关的温室气体主要包括二氧化碳 (CO_2)、甲烷 (CH_4) 和氧化亚氮 (N_2O)、六氟化硫 (SF_6)、氢氟碳化物 (HFCs) 和全氟碳化物 (PFCs) 等。

人类活动造成的 CO_2 排在 2016 年达到创有记录以来最高水平, 大气中 CO_2 摩尔分数全球平均值达到了 403.3×10^{-6} , 比工业化前增长了 45%。大气中 CH_4 和 N_2O 全球平均浓度在 2016 年也达到了新高, 其中 CH_4 摩尔分数为 1853×10^{-9} , N_2O 摩尔分数为 328.9×10^{-9} 。这些数值分别比工业化前增长了 157% 和 22%。上述三种温室气体浓度增加到了至少是过去 80 万年以来前所未有的水平 (图 1-2, 图 1-3, 图 1-4) (世界气象组织, 2017 年)。

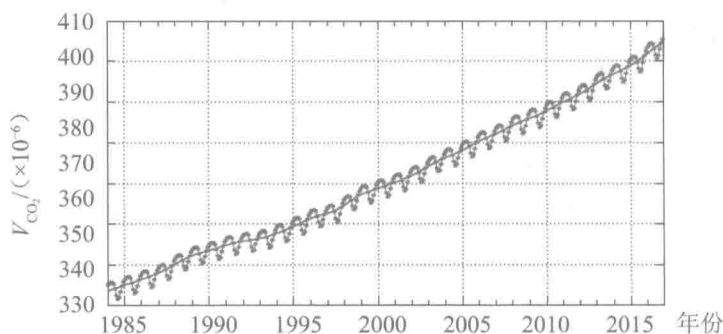


图 1-2 1985—2016 年大气中 CO_2 浓度变化

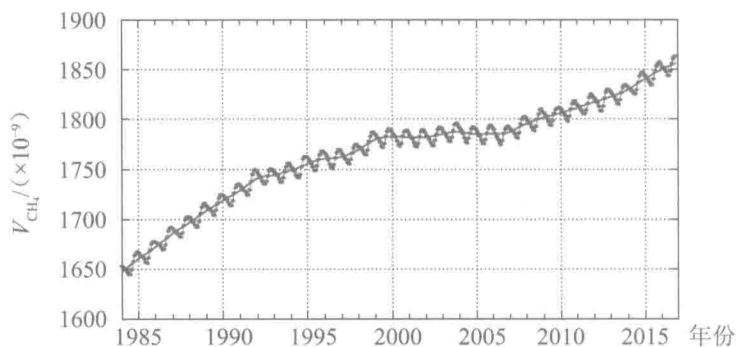
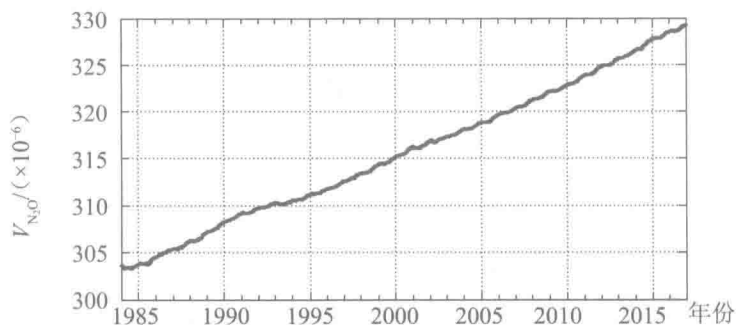
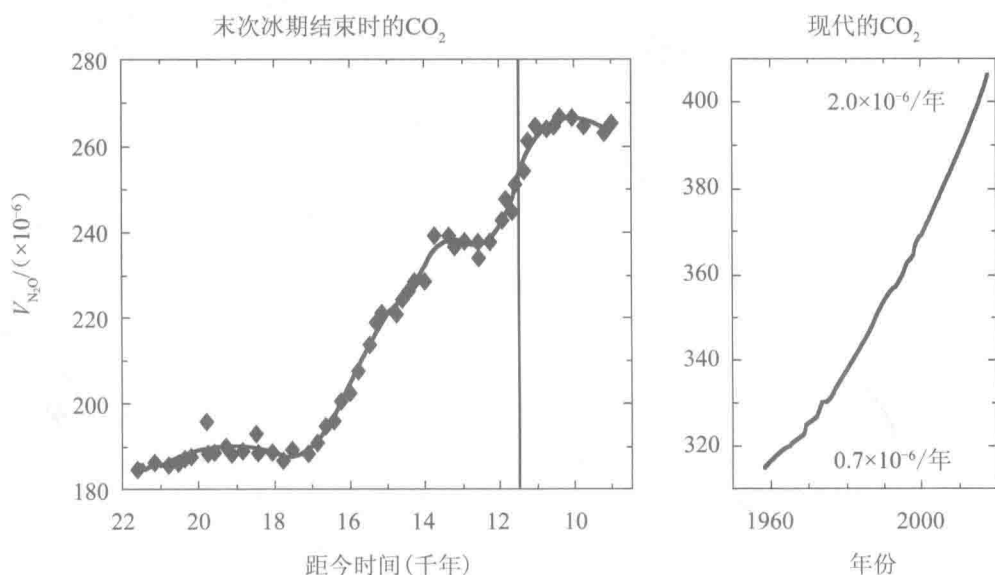


图 1-3 1985—2016 年大气中 CH_4 浓度变化

SF_6 是一种强效长寿命温室气体, 属于化工产品, 主要作为配电设备的电绝缘材料, 其目前的摩尔分数约为 20 世纪 90 年代中期观测到的水平的两倍。尽管氟氯碳化物 (CFCs) 和大部分哈龙 (一类称为卤代烷的化学品) 在减少, 但有些同为强效温室气体的氢氯氟碳化物 (HCFCs) 和氢氟碳化物 (HFCs) 正在相对快速地增长, 不过它们的含量仍然处于很低水平 (10^{-12} 级)。

自过去约 80 万年来, 在整个冰川期循环时期工业化前的大气 CO_2 摩尔分数保持在低于 280×10^{-6} 的水平 (美国国家海洋和大气管理局, 2016)。过去 70 年来大气 CO_2 的增长率几乎是末次冰期结束时的 100 倍, 大气 CO_2 水平的这种突变前所未见 (图 1-5)。

图 1-4 1985—2016 年大气中 N_2O 浓度变化图 1-5 CO_2 浓度变化对比

注：左图为末次冰期结束时的大气 CO_2 浓度，右图为最近的大气 CO_2 浓度。

根据研究评估，与人类活动有关的温室气体排放的年度增长幅度已经放缓或已达到一个稳定水平（全球碳项目，2016）。这些人为排放与近年厄尔尼诺有关的自然排放促使了大气 CO_2 浓度达到历史最高水平。2015—2016 年 CO_2 摩尔分数上升了 3.3×10^{-6} ，升幅高于 2012—2013 年增幅以及过去 10 年的平均增长率。2015—2016 年的厄尔尼诺事件通过气候变化与碳循环之间复杂的双向相互作用，推动了增长率上升。2015—2016 年 CH_4 的增幅略低于 2014—2015 年的增幅，但高于过去 10 年的平均值。2015—2016 年 N_2O 的增幅也略低于 2014—2015 年的增幅以及过去 10 年的平均增长率。

二、温室效应持续增强

科学家发现自然“温室效应”已经有一个多世纪了。瑞典科学家阿列纽斯（Arrhenius）在法国数学家傅里叶研究的基础上建立了第一个用以计算 CO_2 对地球温度影响的理论模型，其结果于 1896 年发表在论文《大气中 CO_2 对地球温度的影响》中。他的研究模型表明：大气层中 CO_2 含量减少约 40%，温度就会下降 $4 \sim 5^\circ\text{C}$ ，并可引发一个新的冰川期；同理，如果 CO_2 的含量翻番，温度就会上升 $5 \sim 6^\circ\text{C}$ 。

温室效应可表述为：太阳短波辐射可以透过大气射入地面，而地面增暖后放出的长波辐射被大气中的 CO_2 、水蒸气和 CH_4 等温室气体所吸收，并将其中一部分反射回地球，使地表升温。这一自然温室效应使地表保持一定的温度，产生了适于人类和其他生物生存的环境

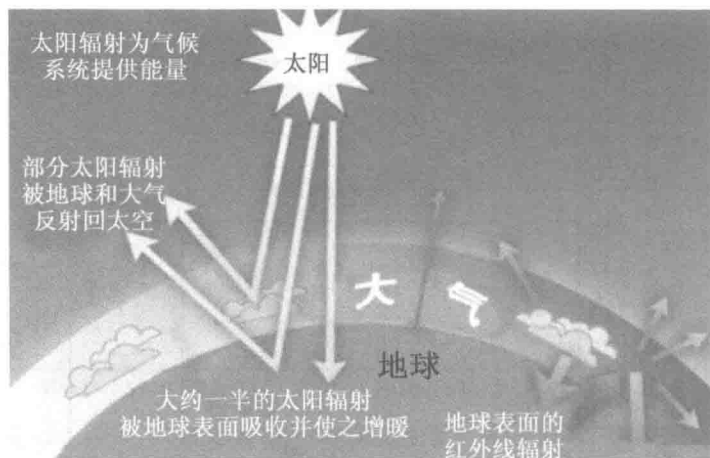


图 1-6 温室效应示意图

(图 1-6)。如果没有大气，地表平均温度就会下降到 -23°C 或更低温度，而如今实际地表平均温度约为 15°C ，这就是说温室效应使地表温度升高了 38°C 。

大气温室气体浓度稳步上升，进一步阻止地球热量的散失，温室效应增强，致使全球地表平均温度上升（世界气象组织，2016）。科学研究显示，1880—2012 年全球地表平均温度升高了 0.85°C ；1901—2010 年期间，全球平均海平面上升了 0.19 m （IPCC，2014）。

改变地球能量收支的自然和人为物质与过程是气候变化的物理驱动因子。辐射强迫用来量化由这些驱动因子引起的进入地球系统的能量扰动。1750—2011 年期间的总人为辐射强迫的变暖效应为 2.3 W/m^2 ，而 CO_2 是最大的驱动因子。 CO_2 是大气中最重要的一种人为温室气体，贡献了约 65% 的长寿命温室气体辐射强迫（美国国家海洋和大气管理局，2016）。1750—2011 年间累计进入大气的人为 CO_2 排放量约为 2040 Gt ，近一半累计排放量发生在过去 40 年。自 1970 年以来，源于化石燃料燃烧、水泥生产和空烧的 CO_2 累积排放量增加了两倍，而来自森林和其他土地利用（FOLU）的 CO_2 累积排放量增加了 40%。2011 年，源于化石燃料燃烧、水泥生产和空烧的 CO_2 排放量约为 34.8 Gt （图 1-7）。自 1750 年以来，这些人为 CO_2 排放中的约 40% 保留在大气中，其余被碳汇从大气中移除或储存在自然碳循环库中，海

洋吸收了约 30%，造成了海洋酸化。在 2006—2015 年人类活动造成的总排放量中，约 44% 累积在大气中、26% 在海洋中、30% 在陆地（Le Quéré 等，2016）。

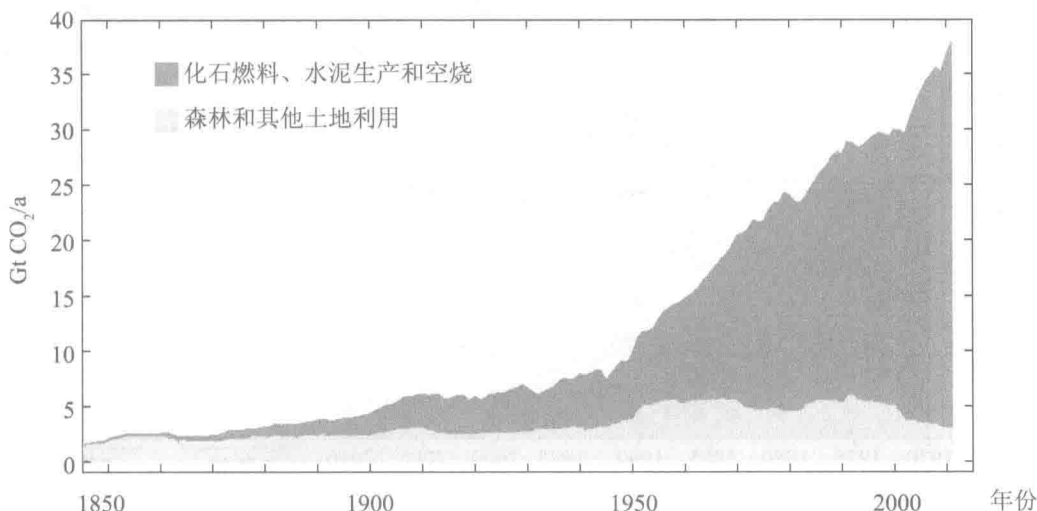


图 1-7 1850—2010 年全球人为 CO₂ 排放变化

数据来源：IPCC 第五次评估报告。

CH₄ 贡献了约 17% 的长寿命温室气体辐射强迫（美国国家海洋和大气管理局，2016）。排入大气中的 CH₄，约 40% 是通过自然源（例如湿地和白蚁），约 60% 来自人为源（例如饲养反刍动物、水稻种植、化石燃料开采、垃圾填埋和生物质燃烧）。CH₄ 年平均增幅从 20 世纪 80 年代初的每年约 13×10^{-12} 减少到 1999—2006 年的接近于零。自 2007 年以来，大气 CH₄ 浓度再次上升，上升的原因可能是热带湿地以及北半球中纬度地区人为源的 CH₄ 排放增加。

N₂O 贡献了约 6% 的长寿命温室气体辐射强迫（美国国家海洋和大气管理局，2016）。它是这一总辐射强迫的第三大单个贡献因子。它排入大气是通过自然源（约 60%）和人为源（约 40%），包括海洋、土壤、生物质燃烧、化肥使用和各类工业过程。损耗平流层臭氧的氯氟碳化物（CFC）以及微量卤化气体贡献了约 11% 的长寿命温室气体辐射强迫（美国国家海洋和大气管理局，2016）。

人为温室气体排放量主要受人口规模、经济活动、生活方式、能源利用、土地利用模式、技术和气候政策的驱动。尽管气候变化减缓政策的数量出现了上升，但在 2000—2010 年，温室气体排放还是每年平均增加 1.0 Gt CO₂e，而 1970—2000 年每年平均增加 0.4 Gt CO₂e。2000—2010 年间的总人为温室气体排放在人类历史上是最高的，2008 年的全球经济危机只是暂时减少了排放，2010 年达到了 49 Gt CO₂e（图 1-8），其中化石燃料燃烧和工业过程的 CO₂ 排放量约占温室气体总排放增量的 78%（图 1-9）。

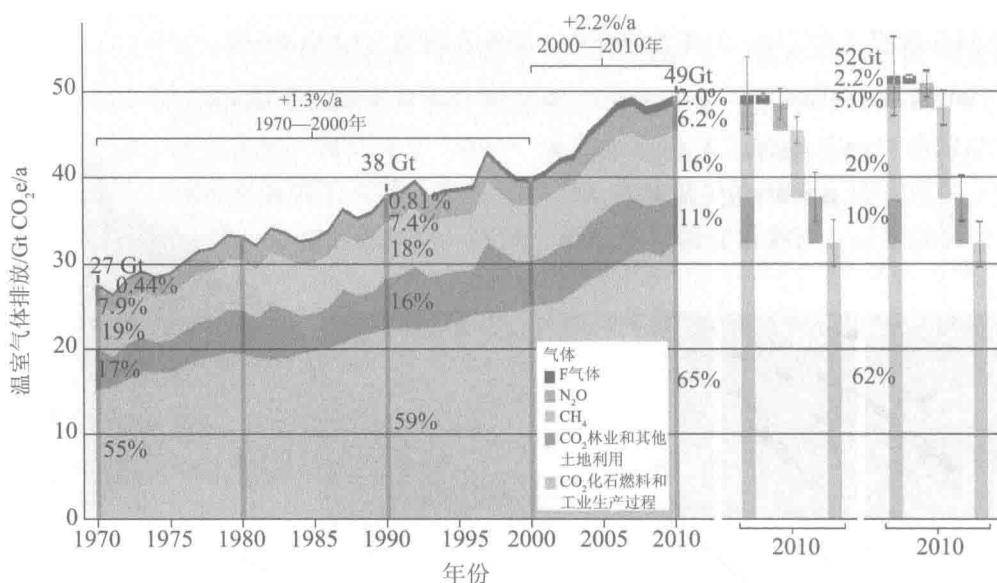


图 1-8 1970—2010 年各人为温室气体年排放总量变化

数据来源：IPCC 第五次评估报告。

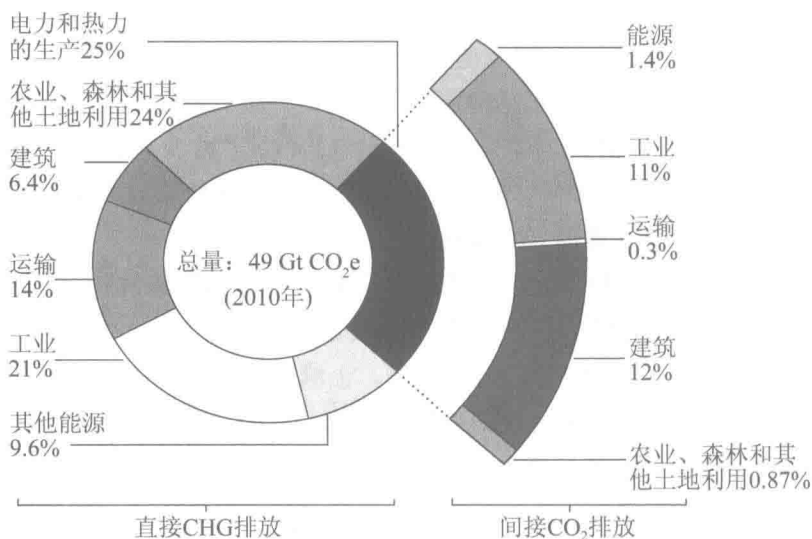


图 1-9 不同经济部门的温室气体排放

数据来源：IPCC 第五次评估报告。

从全球来看，经济发展和人口增长仍然是推动化石燃料燃烧造成 CO₂ 排放量增加的两个最重要因素。2000—2010 年期间，人口增长的贡献率仍然保持与之前 30 年大致相同的水平，但经济发展的贡献率急剧上升。煤炭用量的增加逆转了世界能源供应中逐渐实现脱碳（即降低能源碳强度）的长期趋势。

21 世纪末期及以后的全球平均地表升温幅度主要由 CO_2 的累积排放决定。未来各种温室气体排放的预估范围差别很大，具体取决于社会经济发展和气候政策双重因素（图 1-10）。

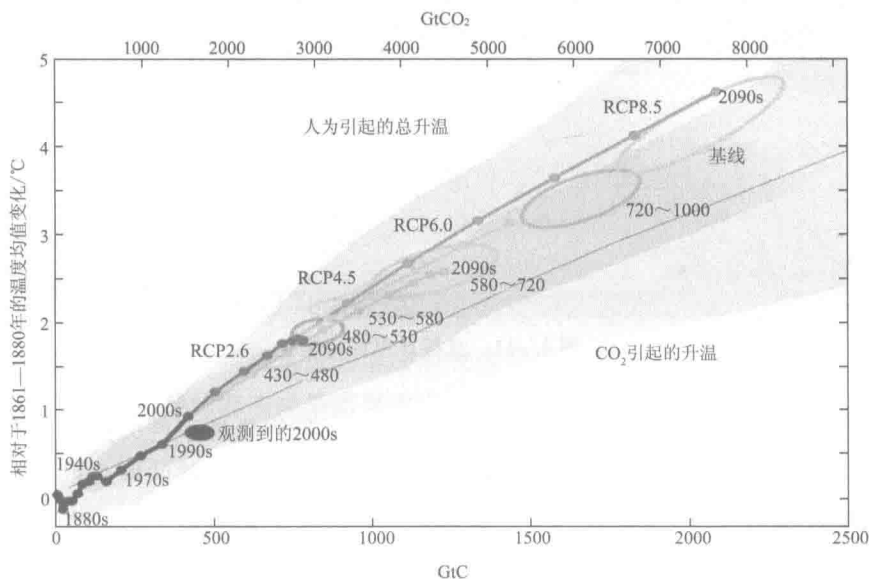


图 1-10 不同情景下累积总人为 CO_2 排放量及温度变化趋势

注：严格减排情景（RCP2.6），中等减排情景（RCP4.5 和 RCP6.0），高排放情景（RCP8.5）。

数据来源：IPCC 第五次评估报告。

三、气候变化影响深远

1. 对全球的影响

持续的温室气体排放将会引发气候系统不可预测的变化，增加对自然生态系统和人类造成严重、普遍和不可逆影响的可能性，会导致严重的生态和经济破坏。最近几十年，气候变化已经对所有大陆上和海洋中的自然生态系统和人类系统造成了重大影响。

气候变化对自然系统的影响是最强、最全面的。许多地区降水量变化或冰雪融化正在改变水文系统，从而影响水资源的数量和质量；极地冰川正加速融化，导致海平面上升，淹没沿海低海拔地区，影响北大西洋的深海对流，从而改变全球洋流活动，更加促使全球气候变暖；气候变暖和构造活动变弱是沙漠化的主要原因，加速了沙漠化的进程；为了应对不断发生的气候变化，许多陆地、淡水和海洋物种已经改变了其地理分布范围、季节活动、迁徙规律、丰度和物种交互；全球海洋酸化加剧，对海洋生物产生负面影响（图 1-11）。

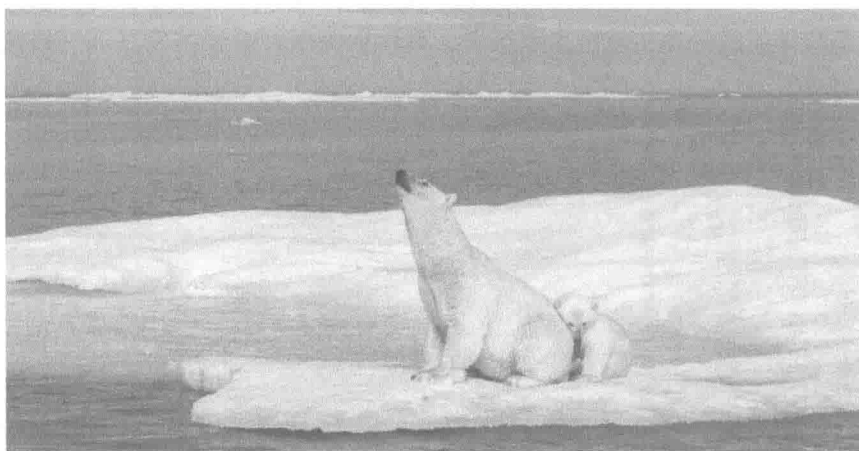


图 1-11 北极冰雪加速融化

许多极端天气和气候事件发生变化,其中包括低温极端事件的减少、高温极端事件的增多、极高海平面事件的增多以及很多区域强降水事件的增多;与气候相关的极端事件如热浪、干旱、洪水、气旋和野火所产生的影响说明一些生态系统和许多人类系统对当前的气候变化存在着显著脆弱性和暴露度。

对人类系统的一些影响也已被归因于气候变化。涉及多个地区和多种作物研究的结果表明,更多情况下气候变化对作物产量的影响是负面而非正面的;疟疾、登革热、黑热病、血吸虫病等诸多通过昆虫、食物和水传播的疾病对气候变化非常敏感,传播范围将显著增加;被冰封极地冰层十几万年的史前致命病毒可能会重现天日,导致全球陷入疫症恐慌,人类生命将受到严重威胁。

2. 对中国的影响

近年来,我国经济持续高速发展,给能源供应和生态环境带来极大压力,我国的能源结构以煤炭为主,大量化石能源的消耗不仅造成粉尘和酸雨危害,也使我国的温室气体排放量逐年上升,目前已成为世界最大温室气体排放国。气候变化带来的干旱、洪涝和沿海风暴等自然灾害已经严重影响我国的经济发展,是我国可持续发展的主要威胁。未来的气候变暖将会对我国的生态系统、农业、水资源和沿海地区产生重大的不利影响(李学勇,2006)。

(1) 对生态系统的影响

气候变化后中国森林的组成和结构将发生较大变化,落叶阔叶树将逐步成为优势树种;冰川随着气候变化而改变其规模,估计到2050年,中国西部冰川面积将减少27.2%;此外,未来50年,青藏高原多年冻土空间分布格局将发生较大变化,大多数岛状冻土发生退化,季节融化深度增加。高山、高原湖泊中,少数依赖冰川融水补给的小湖可能先因冰川融水增加而扩大,后因冰川缩小、融水减少而缩小。

（2）对农业的影响

气候变暖使我国年平均气温上升，从而导致积温增加、生长期延长，且种植业成片北移；气候变暖将导致农作物不同程度减产，减产的主要原因是生育期缩短和生育期高温的不利影响；同时由于气候变暖，土壤有机质的微生物分解加快，在保持对农作物肥效的情况下将需要增加施肥量，而施肥量的增加不仅使农民投入增加，而且对土壤和环境也不利。

（3）对水资源的影响

气候变暖将导致我国主要流域的年径流量发生变化，水资源的供需状况也将出现变化，产生的缺水量将大大加剧海滦河流域、京津唐地区、黄河流域及淮河流域的缺水状况，并对社会经济产生严重影响，特别是对农业灌溉用水的影响，远远大于对工业用水和生活用水的影响；同时气候变暖将导致全球平均降水量趋于增加，但降水频率可能随着平均降水量的增加而发生变化，蒸发量也会因全球平均温度增加而增大，这可能意味着未来旱涝等灾害的出现频率会增加。气候变暖还可能导致一些地区的水质发生变化，因为气候变暖使一些地区蒸发量加大，河水流量趋于减少，可能会加重河流原有的污染程度，特别是在枯水季节。

（4）对沿海地区的影响

由于风暴潮等极端气候事件是中国沿海致灾的主要原因，其中黄河、长江、珠江三角洲是最脆弱的地区，气候的变化将使中国沿岸海平面上升，导致许多海岸区遭受洪水泛滥的机会增加，遭受风暴潮影响的程度加重，由此引起海岸滩涂湿地、红树林和珊瑚礁等生态群遭到破坏，造成海岸侵蚀、海水入侵沿海地下淡水层、沿海土地盐渍化等。

第二节 应对气候变化的努力

一、国际谈判历程

由于全球气候变化问题涉及各国环境、经济、社会各方面利益，已成为国际环境外交中的热点问题。国际社会对全球气候变化问题的关注始于 20 世纪 70 年代。从 1979 年在日内瓦召开第一届世界气候大会以来，世界气象组织和联合国环境规划署加强了对温室效应的科学研究，于 1988 年成立了政府间气候变化委员会 (IPCC)，专门负责有关气候变化影响评价和对策研究。一系列国际协调委员会会议促成了《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 的签订。1992 年 6 月在巴西召开的联合国环境与发展大会上，包括中国在内的 166 个国家签署了该公约，旨在将大气中的温室气体浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上，使生态系统能够自然地适应气候变化，确保粮食生产免受威胁并使经济发展能够可持续地进行。该公约确立了“共同但有区别的责任”原则和公平原则，要求所有国家都要采