

“十二五”
国家重点图书



21世纪可持续能源丛书

能源与气候变化

段茂盛 周胜 主编



化学工业出版社

“十二五”
国家重点图书



21世纪可持续能源丛书

能源与气候变化

段茂盛 周胜 主编



化学工业出版社

·北京·

本书是《21世纪可持续能源丛书》之一。

本书首先介绍了气候变化的基本概念以及世界上主要国家,包括我国温室气体排放的主要特点,并对气候变化对能源消费和生产的可能影响进行了简单分析。

为了深入了解能源消费和温室气体排放的关联,本书对全球以及我国的能源消费以及由其引起的温室气体排放进行了综述,包括近三十年以来主要年份的情况。同时,比较详细地分析了全球和我国能源供应、建筑、交通和工业等领域的温室气体排放状况。

本书可作为从事气候变化和能源政策领域研究的研究人员的入门读物,也可作为高校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

能源与气候变化/段茂盛,周胜主编. —北京:化学工业出版社,2014.5
(21世纪可持续能源丛书)
ISBN 978-7-122-19951-5

I. ①能… II. ①段…②周… III. ①能源-研究②气候变化-研究 IV. ①TK01②P467

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第041538号

责任编辑:戴燕红

文字编辑:丁建华

责任校对:宋夏

装帧设计:韩

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张11 $\frac{1}{4}$ 字数190千字 2014年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

第二版序

20 世纪末，随着人类社会发展对能源可持续供应的迫切需要，出现了“可持续能源”的理念，并受到全世界人们的关注。

21 世纪以来，能源更是渗透到了人们生活的每个角落，成为影响全球社会和经济发展的第一要素。目前中国已经成为全球能源生产与消费的第一大国，能源与经济的关系、能源与环境的矛盾、能源与国家安全等问题日显突出。因此，寻找新型的、清洁的、安全可靠并可可持续发展的能源系统是广大能源工作者的历史使命。

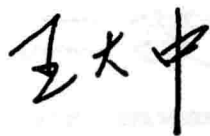
2005 年，化学工业出版社出版了“21 世纪可持续能源丛书”，受到我国能源工作者的广泛好评；时隔 8 年，考虑到能源形势的变化和新技术的出现，又准备出版“21 世纪可持续能源丛书”（第二版），的确是令人高兴的事情。

“21 世纪可持续能源丛书”（第二版）共 12 册，仍然以每一个能源品种为一个分册，除对原有的内容做了更新，补充了最新的政策、技术和数据等外，增加了《储能技术》、《节能与能效》、《能源与气候变化》3 个分册。丛书第二版包括了未来能源与可持续发展的概念、政策和机制，各能源品种的资源评价、新工艺技术及特性以及开发和利用等；新增加的 3 个分册介绍了最新的储能技术，能源对环境与气候的影响以及提高能源效率等，使得丛书内容更加广泛、丰富和充实。

由于内容的广泛性和丰富性，以及参加编写的专家的权威性，本套丛书在

深度和广度上依然保持了较高的学术水平和实用价值，是能源工作者了解能源政策及信息，学习先进的能源技术和广大读者普及能源科技知识的不可多得的好书。

让我们期待这套丛书的出版发行，能为我国 21 世纪可持续能源的发展作出贡献。

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '王大中' (Wang Dazhong). The characters are written in a cursive, calligraphic style.

中国科学院院士
2013 年 11 月 6 日

前 言

随着极端气候事件的增多及其负面影响的加剧，气候变化问题越来越受到国际社会以及普通民众的关注。大气中的温室气体主要是化石燃料燃烧产生的二氧化碳，因此，应对气候变化必须清晰了解能源领域温室气体排放的主要来源以及控制能源领域温室气体排放的可能技术和政策选择等。本书尝试着从多个视角对能源和气候变化之间的关系进行了阐述。

本书首先介绍了气候变化的基本概念以及世界上主要国家，包括我国温室气体排放的主要特点，并对气候变化对能源消费和生产的可能影响进行了简单分析。

为了深入了解能源消费和温室气体排放的关联，本书对全球以及我国的能源消费以及由其引起的温室气体排放进行了综述，包括近三十年以来主要年份的情况。同时，比较详细地分析了能源供应、建筑、交通和工业等领域全球和我国的温室气体排放状况。

各个国家由于能源禀赋、消费结构以及文化等的差异，在控制能源领域的温室气体排放方面采取的措施各有特点。本书对可能的主要政策选择类型进行了分析，并综述了主要国家的政策实践，包括我国，美国、日本和欧盟等发达国家，以及巴西、南非和印度等发展中国家。书中也简单分析了各国进行政策选择的主要考虑以及各国相关政策在温室气体减排方面所取得的成效。

碳市场是一种基于市场的温室气体排放控制政策，越来越受到各国的重视。本文也对国际上碳市场的发展进行了比较系统的综述，包括配额交易市

场、基于项目的减排量市场以及自愿减排市场等。

除了从源头控制温室气体的排放之外，减少温室气体排放影响的另一种具有巨大潜力的技术手段是对已经产生的二氧化碳进行捕集和封存。本书介绍了碳捕集和封存技术的基本原理、减排潜力和成本、对能源系统的可能影响、推广和应用面临的主要障碍以及推动其发展的可能机制等。

能源和气候变化之间存在着各个方面的密不可分的相互影响，本书的分析难免挂一漏万。对于书中存在的不足和疏漏之处，欢迎读者批评指正。

编者

2014年3月5日

目 录

第 1 章 气候变化与能源的消费和生产	1
1.1 气候变化与温室气体排放	1
1.1.1 气候变化及其影响	2
1.1.2 温室效应与辐射强迫	3
1.1.3 主要温室气体浓度及其排放来源	5
1.2 全球温室气体排放的历史与现状	6
1.2.1 世界主要国家温室气体排放总量	6
1.2.2 世界主要国家温室气体人均排放量	8
1.2.3 我国温室气体排放	8
1.2.4 各国温室气体排放趋势	9
1.3 气候变化对能源生产、消费以及安全的影响	10
1.3.1 能源生产、消费以及能源安全	10
1.3.2 气候变化对全球的能源生产、消费和安全的影响	14
1.3.3 气候变化对我国的能源生产、消费和安全的影响	15
参考文献	16
第 2 章 能源温室气体排放	18
2.1 全球能源温室气体排放	18

2.2 我国能源温室气体排放	20
2.3 能源供应部门温室气体排放	24
2.4 交通领域温室气体排放	25
2.4.1 交通领域能源消费	26
2.4.2 世界交通领域温室气体排放	26
2.4.3 我国交通领域温室气体排放	28
2.5 建筑领域温室气体排放	29
2.5.1 建筑领域能源消费	29
2.5.2 我国建筑领域温室气体排放	31
2.6 工业领域温室气体排放	31
2.6.1 工业领域能源消费	31
2.6.2 工业领域温室气体排放	32
2.6.3 主要工业部门温室气体排放	33
参考文献	34

第3章 控制能源消费温室气体排放的政策 36

3.1 控制能源消费温室气体排放的主要政策选择	38
3.1.1 控制能源消费温室气体排放工具的理论分类	38
3.1.2 几种减少能源消费温室气体排放的政策方式	40
3.1.3 《京都议定书》规定的补充机制	43
3.2 中国控制能源消费温室气体排放的主要政策选择	43
3.2.1 中国的能源与温室气体排放现状	44
3.2.2 “十一五”期间中国控制能源消费温室气体排放政策与成效	46
3.2.3 “十二五”期间中国控制能源消费温室气体排放政策与成效	49
3.3 美国控制能源消费温室气体排放的主要政策选择	51
3.3.1 美国的能源政策与控制能源消费政策概述	53
3.3.2 20世纪下半叶的能源政策	54
3.3.3 小布什政府时期的美国能源战略	56
3.3.4 奥巴马能源环境新政与节能减排	57
3.3.5 区域性减排协定简介	60
3.4 日本控制能源消费温室气体排放的主要政策选择	62
3.4.1 日本的减排目标与现状	64

3.4.2 日本的能源政策概述	65
3.4.3 日本控制温室气体排放的政策体系	68
3.5 欧盟控制能源消费温室气体排放的主要政策选择	69
3.5.1 欧盟能源消费与温室气体排放情况	70
3.5.2 欧盟的能源战略概述	73
3.5.3 欧盟排放交易体系	74
3.5.4 欧盟控制能源消费的常规经济政策	76
3.6 主要发展中国家控制能源消费温室气体排放的主要政策选择	79
3.6.1 巴西与巴西生物质能源	79
3.6.2 南非与南非碳税	83
3.6.3 印度与印度 PAT 计划	86
参考文献	89

第4章 促进区域温室气体减排的市场机制

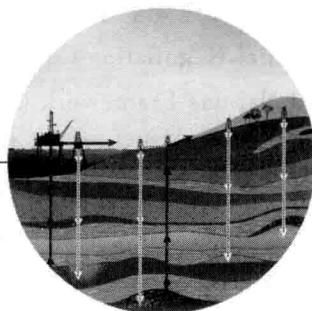
4.1 促进温室气体减排的主要市场机制	92
4.1.1 配额交易市场	93
4.1.2 基于项目的减排量交易市场	93
4.1.3 自愿碳减排交易市场	94
4.2 国际碳市场的发展	94
4.2.1 《联合国气候变化框架公约》与《京都议定书》	95
4.2.2 清洁发展机制	97
4.2.3 自愿碳减排交易	99
4.3 各国碳市场的发展	104
4.3.1 中国碳市场的发展	104
4.3.2 欧盟排放交易体系	109
4.3.3 澳大利亚碳定价机制	112
4.3.4 美国区域温室气体减排行动	112
4.3.5 新西兰排放交易体系	113
4.3.6 英国排放交易体系	113
4.3.7 加拿大阿尔伯塔省排放交易体系	114
4.3.8 日本碳市场	114
4.3.9 加州碳市场	114

4.3.10 西部气候倡议	115
4.3.11 印度执行、实现与贸易计划	115
参考文献	116
第5章 碳捕集与封存技术	119
5.1 碳捕集与封存技术的开发与应用	119
5.1.1 碳捕获技术	119
5.1.2 碳运输技术	123
5.1.3 碳封存技术	124
5.1.4 CCS 技术的主要应用领域	133
5.2 碳捕集与封存技术对温室气体减排的作用	135
5.2.1 CCS 对 CO ₂ 减排的作用机理	136
5.2.2 CCS 排放、封存地点分布对 CO ₂ 减排的影响	139
5.2.3 CCS 对温室气体减排的容量预期	140
5.2.4 CCS 与其他减排技术的比较	142
5.2.5 CCS 在减排技术组合中的重要作用	143
5.3 碳捕集与封存技术对能源系统的影响	144
5.3.1 能源部门分析	144
5.3.2 能源需求量、能源价格	147
5.3.3 能源相关技术	150
5.4 碳捕集与封存技术推广应用的障碍	151
5.4.1 技术成本高	151
5.4.2 融资、成本转嫁困难	154
5.4.3 CO ₂ 净减排量计算困难	155
5.4.4 泄漏风险及其对环境的影响	156
5.4.5 除泄漏外对环境的影响	158
5.4.6 法律和规章不明确	159
5.4.7 公众的怀疑态度	160
5.4.8 缺乏国际合作机制和跨行业合作	161
5.4.9 技术不成熟	161
5.5 推动碳捕集与封存技术研发和应用的机制	162
5.5.1 推动机构及其政策	162

5.5.2 法律法规·····	164
5.5.3 融资机制·····	167
5.5.4 监管机制·····	171
参考文献·····	171

第 1 章

气候变化与能源的 消费和生产



地球是人类生命的摇篮，但是人类在改造自然的过程中对地球造成了一定破坏。尤其是人类活动中产生的温室气体（GHG），导致了全球气候变暖，并由此产生了一系列负面影响，如极地冰盖融化加速、海平面上升、全球降水分布发生变化、极端天气增加等，对人类社会赖以生存的环境带来了巨大的威胁。

气候变化被认为是人类面临的最严峻的挑战之一。全球气候变化的主要原因是大气中温室气体浓度的增加，而温室气体浓度的增加主要来自于人类活动中能源特别是化石能源的生产和消费。因此，要减少温室气体排放，也就需要减少全球化石能源的生产和消费。由此带来的一系列问题都与世界各国的政治、经济、社会发展息息相关，其影响范围之广使人们认识到，气候变化不仅仅是一个环境问题，而且变成了一个与经济、贸易和安全有关的综合性问题。

1.1 气候变化与温室气体排放

气候问题是一个全球性的问题，需要全球所有国家共同努力。1979 年第一次世界气候大会召开，科学家警告说，大气中二氧化碳浓度增加将导致地球表面温度升高，气候问题第一次出现在公众视野。1988 年，联合国环境规划署（United Nations Environment Programme, UNEP）和世界气象组织（World Meteorological Organization, WMO）联合建立了政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）。IPCC 的主要职责是评估有关气候变化问题的科学信息以及评价气候变化的环境和社会经济后果，并提交应对策略^[1]。1990 年，IPCC 发布了第一次评估报告，认为持

续的人为温室气体排放将导致气候变化，并在同年举行的第二次世界气候大会上，呼吁建立全球性的应对策略。1991年，政府间谈判委员会（Intergovernmental Negotiating Committee, INC）就《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC，简称《公约》）开始了多边国际谈判，并于1992年达成一致意见。《公约》的最终目标是“将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上”。这是世界上第一个为全面控制温室气体排放，应对全球气候变暖给人类经济和社会带来不利影响的具有法律约束力的国际公约。1994年《公约》正式生效。自1995年起，每年召开一次缔约方会议（Conferences of the Parties, COP），以讨论和评估全球气候变化的进展。其中1997年在日本京都召开的第三次缔约方大会上通过了《京都议定书》（Kyoto Protocol, KP），规定了附件一国家在2008~2012年期间的二氧化碳等6种温室气体减排指标，成为《公约》之下具有法律约束力的“具体实施方案”。迄今为止，《公约》共有195个缔约方，《京都议定书》共有192个缔约方，中国是最早的缔约方之一。

1.1.1 气候变化及其影响

多种迹象表明，全球气候系统确实在发生着变化。根据观测资料记录，自1850年以来，全球地表温度逐渐变暖，并出现加速趋势。其中1995~2006年的12年中，有11年位列最暖的12个年份之中。而1906~2005年这100年间的温度上升为 0.74°C ($0.56\sim 0.92^{\circ}\text{C}$)^①，该数字大于《第三次评估报告》（Third Assessment Report, TAR）给出的1901~2000年 0.6°C ($0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$)的温升估计。最近50年间（1956~2005）的温升速度为每10年 0.13°C ($0.10\sim 0.16^{\circ}\text{C}$)，几乎是近100年间（1906~2005年）温升速度的两倍。

需要指出的是，IPCC定义气候变化为气候随时间发生的任何变化，既包括自然变化，也包括人类活动引起的变化。该定义不同于《公约》中的气候变化含义。在《公约》中，气候变化是指在可比时期内所观测到的自然气候变化之外的直接或间接归因于人类活动的因改变全球大气成分所导致的气候变化。

气候变化带来了诸多的负面影响。IPCC报告指出，气候变化带来全球温

① 括号内的数字表示某个最佳估值的可能性为90%的不确定性区间，即：该值可能大于括号内给出范围的可能性估计为5%，而该值低于这一范围的可能性为5%。不确定性区间并不一定是对应于某个最佳估值的前后对称值。

度普遍升高，北半球较高纬度地区温度升幅较大。同时观察到，海平面上升、冰雪和冻土面积减少等也都与变暖趋势相一致。此外，降水与干旱状况的显著变化也是气候变化带来的又一影响。另外，气温升高将导致某些地区雨量增加，某些地区出现干旱，飓风力量增强，出现频率也将增加，自然灾害加剧等。

1.1.2 温室效应与辐射强迫

气候变化的主要原因是大气中温室气体（二氧化碳、甲烷等）浓度增加所导致的“温室效应”。大气中温室气体浓度升高，其对地球表面、大气自身和云反射等辐射能量的吸收得到加强，从而导致地球表面温度升高。

温室效应对地球-大气系统的影响程度采用“辐射强迫”（Radiation Force）来衡量。其中“辐射”表示地球大气中入射的太阳辐射和向外反射的红外辐射，这种辐射平衡调节着地球表面的温度。“强迫”表示地球的辐射平衡偏离正常状态的程度，即相对于工业化前（定义为 1750 年）的差值。辐射强迫常常用“在大气层顶测度的全球每单位面积的能量变化率”来表示，单位是“ W/m^2 ”。如果辐射强迫为正值，地球-大气系统的能量平衡最终将增加，导致系统变暖。反之，如果辐射强迫为负值，能量平衡将最终减少，导致系统变冷。

影响辐射强迫变化的因素很多，包括人为因素和自然因素两个方面。实际上，气候变化是所有自然因素和人为因素共同作用的结果。首先，影响气候变化的最主要的因素是大气中二氧化碳浓度的提高，产生升温效应；其次，大气内气溶胶浓度的不断上升，产生降温效应；其他各种人为或者自然因素也发挥了一定的作用；最后体现在净辐射强迫总量为正。1750~2005 年导致气候总体变暖的不同因素的影响见图 1-1。

不同的温室气体具有不同的辐射强迫和大气生命周期，从而对全球气温升高造成不同的影响，并有一个专有名词来表示，即全球变暖潜势（Global Warming Potentials, GWP）。IPCC 对于 GWP 的定义是：在一定的时间段内进行积分，单位质量温室气体所产生的辐射强迫相对于单位质量二氧化碳所产生的辐射强迫的比值。因此，二氧化碳作为参考气体，其 GWP 为 1，其他温室气体可以通过将该温室气体排放量乘以相应的 GWP 值得出其二氧化碳当量（ CO_2e ）值。当某种气体由多种温室气体组成，即混合温室气体，其当量值是每种气体的二氧化碳当量值之和。表 1-1 是几种常见温室气体的 GWP^[2] 值。实际报告采用的通常是 100 年时段的 GWP 值。

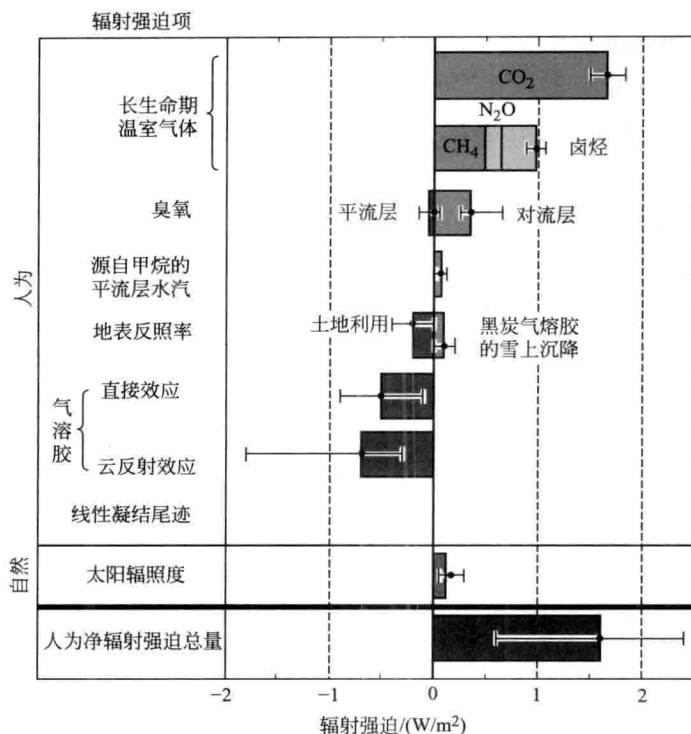


图 1-1 1750~2005 年间的辐射强迫

表 1-1 温室气体的全球变暖潜势 (GWP)

名称	化学分子式	特定时段的全球变暖潜势			
		SAR(100 年)	20 年	100 年	500 年
二氧化碳	CO ₂	1	1	1	1
甲烷	CH ₄	21	72	25	7.6
氧化亚氮	N ₂ O	310	289	298	153
六氟化硫	SF ₆	23900	16300	22800	32600
氢氟碳化合物	HFCs(HFC23 为例)	11700	12000	14800	12200
全氟化碳	PFCs(PFC14 为例)	6500	5210	7390	11200
三氟化氮	NF ₃		12300	17200	20700

注：SAR—Second Assessment Report (《第二次评估报告》)。

温室气体的种类很多，严格来说，温室气体包括大气中那些吸收和重新放出红外辐射的自然的和人为的所有气态成分^[3]。其中，水蒸气 (H₂O)、二氧化碳 (CO₂)、氧化亚氮 (N₂O)、甲烷 (CH₄) 和臭氧 (O₃) 等是大气中自然