



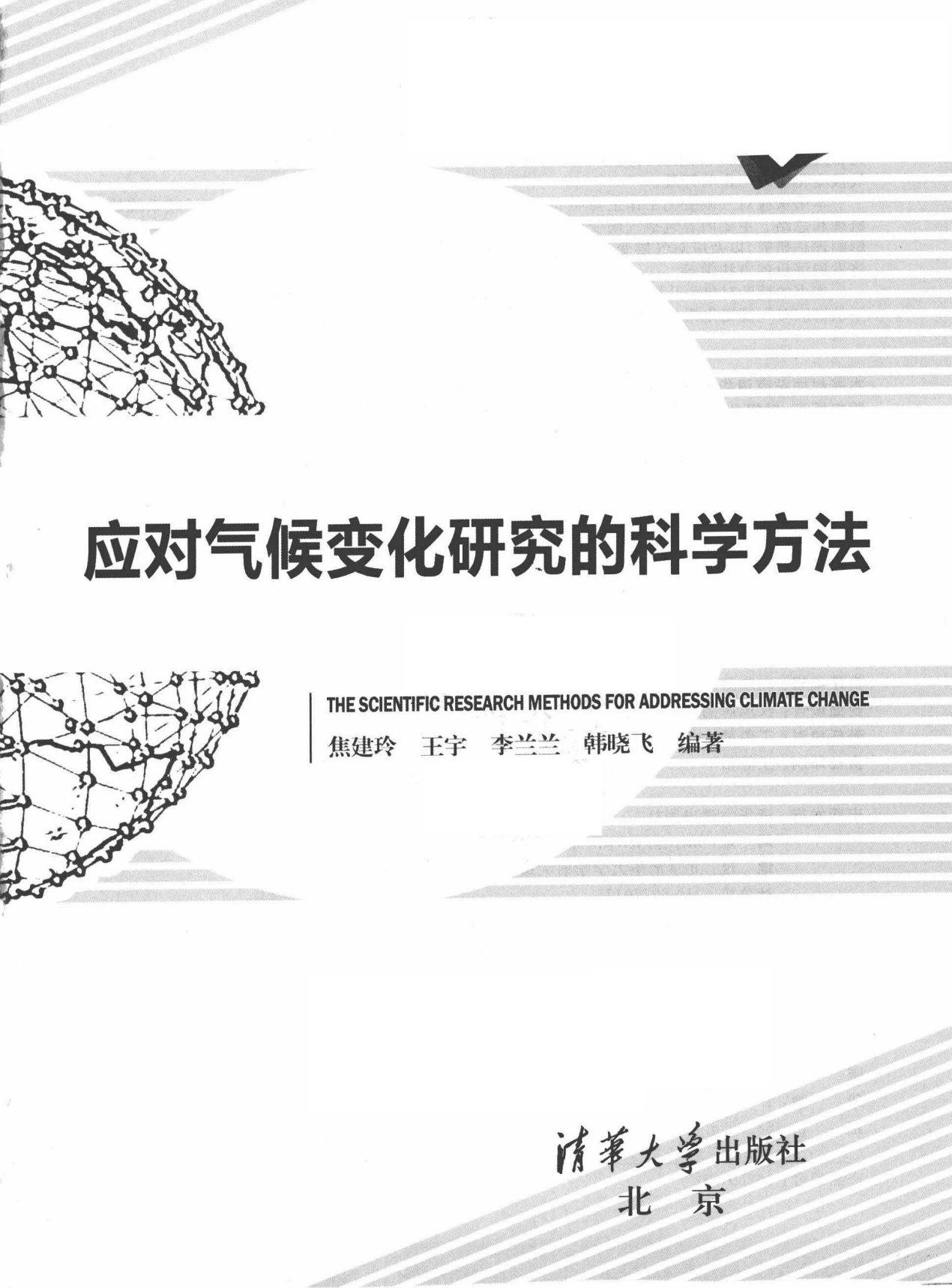
应对气候变化研究的科学方法

THE SCIENTIFIC RESEARCH METHODS FOR ADDRESSING CLIMATE CHANGE

焦建玲 王宇 李兰兰 韩晓飞 编著

清华大学出版社





应对气候变化研究的科学方法

THE SCIENTIFIC RESEARCH METHODS FOR ADDRESSING CLIMATE CHANGE

焦建玲 王宇 李兰兰 韩晓飞 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

应对气候变化、走可持续发展道路正逐步成为全球共同关注的重大问题。由于气候变化的复杂性,有关全球气候变化科学性、应对气候变化的技术政策措施研究正处于快速发展和不断完善过程中,对该领域主要研究方法的梳理总结有利于推动该领域理论发展,并进而推动应对气候变化实践工作的开展。

本书从应对气候变化工作主要环节入手,对应对气候变化的科学研究方法进行了较系统的梳理和总结。主要内容包括气候变化科学研究体系,气候变化不确定性研究方法学,气候变化影响评估研究,以及应对气候变化的技术、政策措施,应对气候变化的国际谈判与合作,低碳经济发展评价的方法学等。

本书的读者对象为从事应对气候变化有关工作或对应对气候变化感兴趣的人士,特别是有志于从事应对气候变化相关领域研究的高校教师、研究生、科研人员及相关机构的决策者和工作者。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

应对气候变化研究的科学方法/焦建玲等编著. --北京:清华大学出版社,2015
(清华汇智文库)

ISBN 978-7-302-40302-9

I. ①应… II. ①焦… III. ①气候变化-研究方法 IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 113999 号

责任编辑:高晓蔚

封面设计:汉风唐韵

责任校对:王荣静

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×230mm 印 张:19 插 页:1 字 数:328 千字

版 次:2015 年 6 月第 1 版

印 次:2015 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:58.00 元

产品编号:062591-01

气候变化对自然生态和人类社会产生了深远的影响,引起了国际社会的广泛关注。气候变化问题是一个复杂的巨系统问题,涉及领域从最初大气科学问题逐步拓宽到整个地球科学问题,并进一步扩展到与人类社会的作用与反馈,以及气候变化的减缓与适应、全球治理等方面。随着人类对气候变化科学研究领域的认识不断拓宽,研究方法也日益丰富和复杂。

由于气候变化问题的复杂性,要系统梳理应对气候变化科学研究方法难度较大。本书以应对气候变化问题的变化发展过程为主线,将其分解为“气候变化的影响评估→应对气候变化的关键技术评估→应对气候变化的政策评估与选择→应对气候变化的协同效应分析→应对气候变化的国际谈判与合作→低碳可持续发展”6个阶段,围绕着这6个阶段,进行相关研究方法的梳理和总结。

本书共9章,焦建玲负责本书的总策划,焦建玲、王宇、李兰兰和韩晓飞为主要研究人员和撰写人员,焦建玲和韩晓飞统稿,此外,陈晓红、刘晓凡、左菲菲、李清亮、李玮、汪耘欣、庞婕、吴指鸣等人也参与编写。具体分工如下:庞婕参与了第二章、第九章的编写;李玮参与了第三章的编写;陈晓红参与了第四章的编写;汪耘欣参与了第四章、第五章的编写;李清亮参与了第六章的编写;刘晓凡、吴指鸣参与了第七章的编写;左菲菲参与了第八章的编写。

本书是科技部创新方法专项“应对气候变化的科学方法研究与知识智能加工工具开发及应用(No:2012IM010300)”的研究成果,编写过程中受到中国21世纪议程管理中心彭斯震、张九天等人的大力支持,在此一并表示感谢!

在本书编写过程中查阅了大量文献,并尽可能对引用的文献逐一加以标注,在此向引文中的作者表示感谢!由于疏忽,若有遗漏的,谨向作者表达最诚挚的歉



意！此外，由于“应对气候变化”学科边界不明确造成科学研究方法体系的模糊性，“应对气候变化”科学问题与自然、人文学科的广泛交叉引致的科学研究方法体系的复杂性，以及“应对气候变化”科学问题本身正处于快速发展和完善阶段带来的科学研究方法体系的动态不确定性等诸多困难，加上作者水平和时间所限，书中难免有不妥甚至错误之处，敬请批评指正。

编 者

2015 年 2 月

绪论	1
1. 气候变化的若干概念	1
2. 应对气候变化科学研究方法体系	4
第 1 章 气候变化科学研究体系	7
1.1 气候变化研究阶段	7
1.1.1 萌芽阶段	8
1.1.2 形成阶段	8
1.1.3 发展阶段	10
1.2 气候变化研究学科体系	11
1.2.1 自然科学	12
1.2.2 社会科学	16
1.3 本章小结	18
第 2 章 气候变化不确定性研究方法学	19
2.1 概述	19
2.2 不确定性的描述	22
2.2.1 情景分析法的特点与框架	22
2.2.2 气候变化情景	23
2.2.3 情景生成技术	24
2.2.4 气候变化研究情景设置	28
2.2.5 研究结论不确定性描述	32
2.3 不确定性的度量方法	33



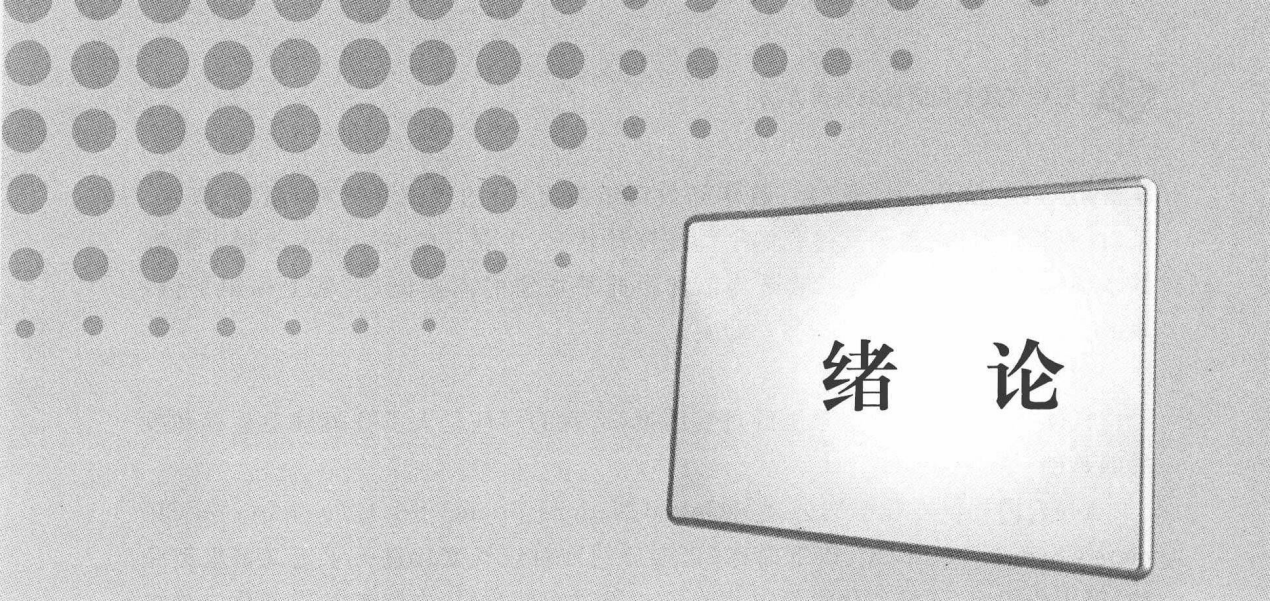
2.3.1 随机数学方法	33
2.3.2 模糊数学方法	35
2.3.3 灰色系统方法	36
2.4 不确定性具体评估技术	38
2.4.1 蒙特卡洛模拟	38
2.4.2 敏感性分析	40
2.4.3 极值分析	42
2.4.4 贝叶斯方法	44
2.5 本章小结	45
第3章 气候变化影响评估研究	47
3.1 气候模拟	47
3.1.1 全球气候模式	49
3.1.2 区域气候模式	50
3.2 自然系统影响评估方法	53
3.2.1 趋势外推法	53
3.2.2 专家判断法	54
3.2.3 统计分析方法	55
3.2.4 Meta-analysis(整合分析)方法	58
3.3 经济社会系统影响评估方法	60
3.3.1 微观经济学方法	60
3.3.2 计量经济学方法	64
3.4 气候变化脆弱性评估	69
3.4.1 易损性/脆弱性成因	70
3.4.2 定性评估方法	72
3.4.3 定量评估方法	73
3.5 本章小结	78
第4章 应对气候变化的技术评估方法	79
4.1 生命周期评价	79
4.1.1 生命周期评价概述	80

4.1.2	清单分析	86
4.1.3	影响评价	89
4.2	技术经济评价方法	96
4.2.1	指标评价法	96
4.2.2	评价指标中量的核算方法	101
4.2.3	技术经济评价法的案例分析	104
4.3	本章小结	107
第5章	减排成本与减排潜力评估	108
5.1	减排成本评估	108
5.1.1	减排成本的含义	108
5.1.2	减排成本评估方法	109
5.1.3	减排成本评估方法比较	119
5.1.4	我国减排成本评估	120
5.2	减排潜力评估	126
5.2.1	减排潜力的含义	126
5.2.2	减排潜力评估方法	126
5.2.3	减排潜力评估方法比较	133
5.2.4	我国减排潜力评估	134
5.3	本章小结	137
第6章	应对气候变化的政策选择	139
6.1	成本效益评价方法	139
6.1.1	成本效益评价方法概述	139
6.1.2	成本效益的界定与估算方法	142
6.1.3	影响成本效益分析方法评价结果的因素	148
6.1.4	成本效益评价的局限性	151
6.2	政策评估模型法	152
6.2.1	自下而上模型	152
6.2.2	自上而下模型	155
6.2.3	混合模型	158



6.2.4	综合评估模型	160
6.3	模型方法评价	162
6.3.1	效用函数	162
6.3.2	损失函数	164
6.3.3	技术处理	164
6.3.4	模型比较	166
6.4	本章小结	167
第7章	气候变化协同效应分析方法	169
7.1	气候变化协同效应概述	169
7.1.1	气候变化协同效应的含义	169
7.1.2	气候变化协同效应研究问题识别	170
7.2	协同效应评价标准	172
7.3	气候变化协同效应分析方法	173
7.3.1	GAINS 模型	174
7.3.2	AIM/CGE 模型	175
7.3.3	LEAP 模型	175
7.3.4	AIM-LOCAL 模型	177
7.3.5	坐标系分析法	180
7.3.6	“拉网式”和“分类式”评价方法	184
7.4	协同效应分析方法总结及评价	186
7.5	本章小结	188
第8章	应对气候变化的国际谈判与合作	189
8.1	公平与责任	189
8.1.1	公平	189
8.1.2	责任	192
8.1.3	碳排放权分配	195
8.2	贴现率影响与选取方法学	207
8.2.1	贴现率内涵及其争议	208
8.2.2	贴现率的选取与贴现方式	212

8.2.3 涉及贴现率的气候变化模型	218
8.2.4 模型比较	223
8.3 气候谈判研究中的博弈论方法	224
8.3.1 气候谈判中的博弈策略	226
8.3.2 基于博弈的国际环境协议稳定性	231
8.4 本章小结	233
 第9章 低碳经济评价方法	 235
9.1 EKC 曲线	235
9.2 脱钩分析方法	237
9.2.1 脱钩指数法	238
9.2.2 基于完全分解技术的脱钩分析方法	239
9.2.3 IPAT 模型法	241
9.2.4 差分回归系数法	242
9.3 碳排放驱动因素分解法	243
9.3.1 对数平均权重分解法	244
9.3.2 STIRPAT 模型	246
9.3.3 KAYA 模型	248
9.4 低碳经济发展水平评价	249
9.4.1 评价方法	250
9.4.2 赋权方法	255
9.5 本章小结	260
 参考文献	 262



绪 论

1. 气候变化的若干概念

气候变化关注的是较长时间跨度内的气候现象。联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的第五次评估报告提出:自 1950 年以来,气候系统观测到的许多变化是过去几十年甚至千年以来史无前例的,从 1880 年到 2012 年,全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势,升高了 0.85°C ;2003 年到 2012 年平均温度比 1850 年到 1900 年平均温度上升了 0.78°C 。与之相对应的天气是短时间发生的气候现象,且气候要素通常用长时间跨度内天气的平均状态统计值描述,如平均气温。

为了便于本书的阅读,本绪论简要介绍与本书主要内容密切相关的几个重要概念,以及这些概念之间的相互关系。这几个概念是天气与气候、气候变化、温室效应与温室气体、气候变化的归因以及应对气候变化。

(1) 天气与气候

介绍天气与气候离不开气象,气象是指发生在大气中的物理现象。天气是指短时间内(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。气



候指某一长时期内(月、季、年、数年到数百年或更长)的气象要素(如温度、降水、风、日照和辐射等)和天气过程的平均或统计状况,主要反映某一地区冷暖干湿等基本特征,通常由某一时期的平均值和距此平均值的离差值(气象上称距平值)表征。

(2) 气候变化

气候是构成地球环境系统的重要因素,适宜的气候是人类在地球上生存和发展的基础。

《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, 以下简称《框架公约》)对气候变化进行了定义,《框架公约》第1条规定:气候变化指经过相当长一段时间的观察,在自然气候变化之外由人类活动直接或间接地改变全球大气组成所导致的气候改变。UNFCCC 因此将因人类活动而改变大气组成的气候变化与归因于自然原因的气候变率区分开来。本书的气候变化主要指:自18世纪工业革命以来,由于大气中所含温室气体增加,导致温室效应加剧而引起的气候变迁。

由温室效应加剧而导致的全球气候变化的一个显著特征是气温上升,因此,很多时候全球气候变化被全球气候变暖所代替,但气候变化并不仅仅指气温上升,还包括气候变异而导致的极端气候事件的增多。因此,IPCC 在对全球气候变化分析的结论时称,全球正经历着以气温上升或气温/降水时空变异加剧为主要特征的气候变化。

(3) 温室效应与温室气体

大气层中二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)和氮氧化合物等气体,可以让阳光中的可见光透过,但对地球向宇宙释放的红外线起阻碍作用,并吸收转化为热量,使地球表面温度升高。这种现象称为温室效应。形成温室效应的气体即为温室气体。《京都议定书》(Kyoto Protocol, 1997)中控制的温室气体有6种,分别为二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(N_2O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF_6)。温室气体以 CO_2 为主,约占60%。

全球大气中 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 和 CFCs(氯氟烃)的浓度显著增加,目前已经远远超出根据冰芯记录得到的工业化前几千年来的浓度值。

IPCC 第四次评估报告(2007)显示,工业化前大气层中的 CO_2 浓度约为 280ppm(1ppm 为百万分之一),到20世纪90年代时上升到 353ppm。随着全球经济社会的发展,大气中的 CO_2 浓度近年来呈加速上升的趋势,2005年时已上升到

379ppm。CO₂是导致温室效应最主要的气体,增温效应高达50%,且在大气中的寿命期长达100年左右。主要温室气体的特点详见表1。

表1 主要温室气体的特点

温室气体	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFCs
工业化前1750—1800年的浓度/ppm	280	0.715	0.270	0
20世纪90年代的浓度/ppm	353	1.732	0.309	0.0002~0.0003
2005年的浓度/ppm	379	1.774	0.319	0.0004~0.0005
每年平均增长速度/%	0.5	0.9	0.25	4
在大气中的寿命期/年	100	10	150	65~130
加热率比值R(相对于CO ₂)	1	21	206	>10000
增温效应/%	50	15	6	20

数据来源:IPCC第四次评估报告。

(4) 气候变化的归因

自然变化产生的温室效应和气候变化一般不会对人类造成恶劣影响,但工业革命以来,由于人为活动,主要是大量燃烧化石燃料,排放了大量的温室气体,使得大气中温室气体的浓度急剧上升,从而导致了地球温室效应的增强,由此可能引起全球气候变化。IPCC(2013)第五次评估报告认为,1951—2010年间,温室气体造成的全球平均地表增温为0.5℃~1.3℃,极有可能的是(95%以上的可能性)观测到的1951—2010年全球平均地表温度升高的一半以上是由温室气体浓度的人为增加和其他人为强迫共同导致的。

根据IPCC(2013)对气候变化归因评估的结果显示,在一系列情景模式下,相对于1986年至2005年,全球地表平均气温在2016年至2035年将升高0.3℃~0.7℃,2081年至2100年将升高0.3℃~4.8℃。到2100年地球温度可能上升超过2℃,这是各国政府承诺保持的临界值。这表明,全球应对气候变化的压力可能将更大。

(5) 应对气候变化

应对气候变化包括适应和减缓两大对策,二者相辅相成,缺一不可。

开展应对气候变化工作,首先要回答以下关键问题:气候发生了什么变化;受体系统发生了什么变化;气候变化对系统产生了什么影响及如何影响;系统对气候变化(不同变率、不同程度等)的适应机理是什么。搞清楚以上问题才能进一步提出应对气候变化的技术与政策措施和行动方案。图1为应对气候变化的工作路线图。

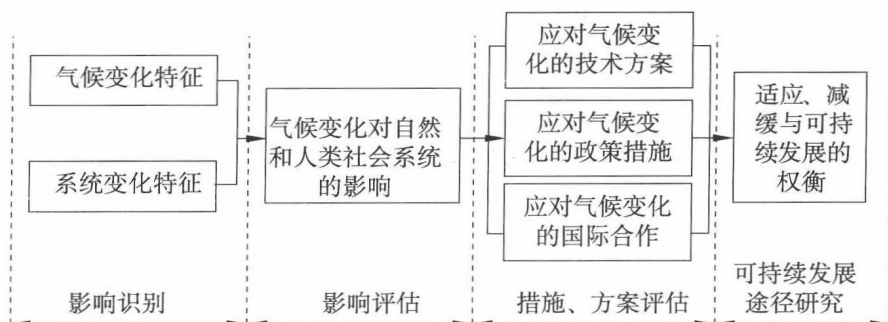


图 1 应对气候变化的工作路线图

① 影响识别研究,这是开展应对气候变化工作的先决条件。只有明确气候发生了变化(变率、程度等),受体系统发生了变化(结构、功能等),才能开展应对工作,否则会造成盲目适应。

② 影响评估研究。针对气候变化及受体系统的变化,开展气候变化对自然生态系统和人类社会系统(结构、功能等)的影响机理及气候变化下系统应对机理(应对机制、适应阈值等)研究,为开展应对工作提供理论支撑。

③ 应对气候变化的技术与政策、国际合作研究。根据基本理论,研究提出气候变化应对的对策与措施,开展实验研究,评估应对方案与措施的效果,在此基础上提出具备可行性与可操作性的应对技术、政策措施以及国际合作框架。

④ 应对气候变化与可持续发展的权衡研究。系统发展有技术锁定,当代利益与后代利益、穷国与富国利益分配与协调等一系列问题的影响,为保障应对气候变化的对策、措施顺利实施,必须走低碳可持续的发展道路,兼顾发展与适应、减缓气候变化之间的关系(潘志华、郑大玮,2013)。

2. 应对气候变化科学研究方法体系

根据图 1 显示的应对气候变化工作路线,第一阶段为影响识别,由于该阶段涉及太多的自然科学基础方面的方法,专业性很强,不作为本书的研究重点。本书仅从气候变化影响评估、措施方案评估和可持续发展研究三大板块出发,整理相关的

主要研究方法。其中应对气候变化措施方案评估是核心环节,具体包括应对气候变化的技术评估、政策措施和国际谈判与合作。限于时间和知识水平,本书仅对这些环节的一些应用较广泛的方法进行了梳理,具体方法及方法之间的逻辑关系如图2所示。

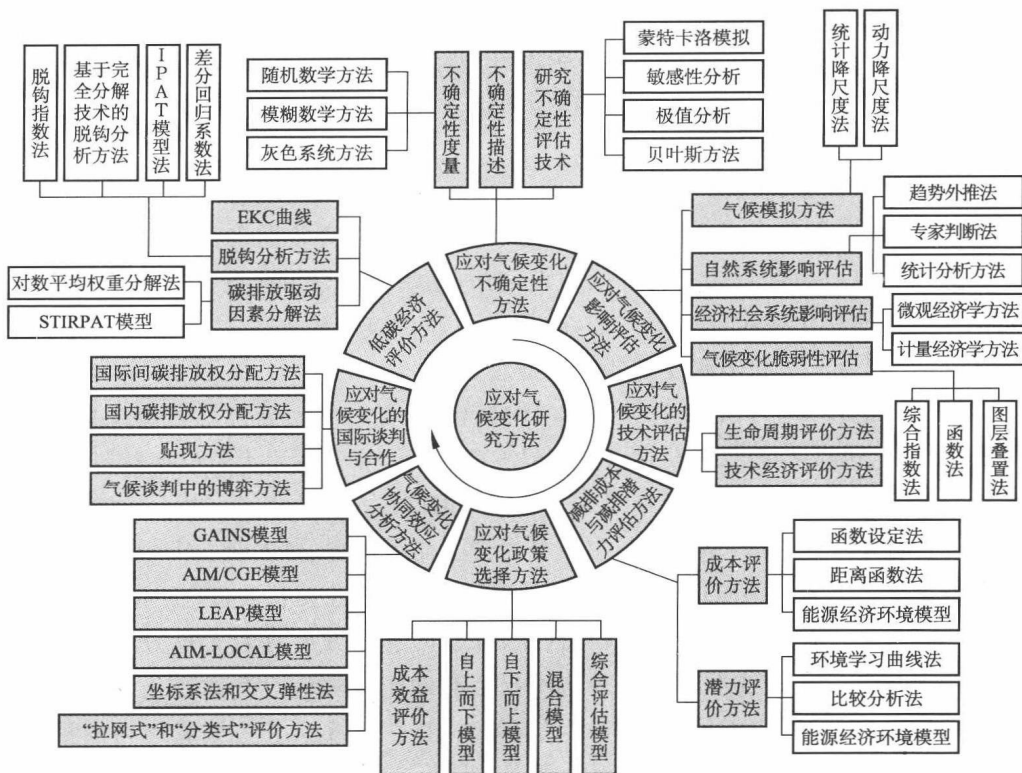


图2 应对气候变化研究方法体系

图2中第二层的八个部分,除应对气候变化不确定性方法外,其余七个部分构成了气候变化影响评估、措施方案评估和可持续发展三大板块的主要内容,并成为第3章至第9章的内容,不确定性存在于三大板块研究中的每个部分,因此在梳理这些方法之前需先行阐述。图2最外层内容即为各个部分梳理的具体方法。下面对体系间的关系进行简要说明。

不确定性存在于气候变化研究的各个环节,是气候变化研究面临的最大挑战。本书从不确定性的描述、不确定性的度量和不确定性的具体评估技术三个方面对气候变化研究中不确定性方法进行了总结。



气候变化影响评估的基础首先是认识、描述并度量气候变化,其主要方法为气候模拟;其次,气候变化产生的影响包括对自然系统和人类经济社会系统的影响;最后,为有效应对气候变化,需对自然和人类社会系统对气候变化的脆弱性进行评估。第3章对这三个方面主要方法进行了阐述。

技术进步是人类应对气候变化最主要的措施之一,在第三次工业革命推动下,应对气候变化的技术日新月异、层出不穷,因此必须对各种适应与减缓气候变化的技术有效性进行全面评估。本书梳理的评估方法分为两大类,即生命周期评价法和技术经济评价法。

在应对气候变化技术评估及第6章的政策评估中都会涉及减排成本和减排潜力问题,这两方面是应对气候变化技术和政策评估的主要依据,为此第5章专门对这部分内容进行梳理总结。其中函数设定法、距离函数法和能源经济环境模型法是减排成本研究中应用较广的方法,减排潜力评价应用较多的方法包括环境学习曲线法、比较分析法和能源经济环境模型法。

除技术进步外,为积极、有效应对气候变化,人类开发和设置了多种政策措施,如各种补贴、税收政策、交易机制等。气候变化经济学家开发了大量模型对各种政策进行评价。各种评价方法的基本思想是进行政策措施实施的成本—效益比较。虽然政策评估模型很多,依据建模思想主要分为自上而下模型、自下而上模型、混合模型以及综合评估模型。第6章对这些模型的建模思想以及主要代表进行了阐述。

气候变化不是一个封闭问题,与自然、社会的其他方面有着千丝万缕的联系,因此应对气候变化的技术和政策措施不仅会有助于人类应对气候变化,还会产生其他协同效应,如减少温室气体排放的措施一般也会减少某些氮氧化物的排放。第7章重点对气候变化协同效应评价模型和评价方法进行了梳理总结。

气候变化问题是一个具有最大时空尺度的负外部性问题,需要全球各国的共同努力。第8章就应对气候变化的国际谈判与合作研究中的主要方法,从国际碳排放权分配、国内碳排放权分配、体现代际公平的贴现以及气候谈判中博弈四个方面进行了梳理总结。

低碳可持续发展是人类应对气候变化的必然选择。第9章对描述与分析经济发展和环境承载关系变化的EKC曲线,度量经济发展与环境承载相依程度的脱钩分析方法以及碳排放驱动因素分解方法进行了较系统的阐述。

第 1 章

气候变化科学研究体系

气候作为人类赖以生存的自然资源和环境的重要组成部分,其变化都会对生态系统、社会经济系统以及人们的日常生活产生重大影响,而且这种影响是全方位、多尺度和多层次的。气候变化及其影响,特别是很多不可逆的负面影响越来越受到人们的关注。

气候变化已从最初的一个重要自然现象发展成为一门综合性的复杂科学,而由于气候变化问题的复杂性,使得气候变化问题所涉及的领域非常广泛。气候变化科学与大气科学、地球科学等自然科学,物理、化学、数学等基础科学以及经济学、政治学等社会科学有着密切而广泛的联系,其研究方法构成了一个复杂的学科体系。

本章简要阐述气候变化科学研究的发展阶段,并对气候变化科学研究方法学体系进行简要概括。

1.1 气候变化研究阶段

气候变化主要指自 18 世纪工业革命以来,由于大气中所含温室气体增加,导致温室效应加剧而引起的气候变迁。