



应对气候变化研究 模型与方法学

何建坤 陈文颖 等 著

清华大学能源环境经济研究所



科学出版社

应对气候变化研究 模型与方法学

何建坤 陈文颖 等 著

清华大学能源环境经济研究所

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是清华大学能源环境经济研究所 20 多年来在应对气候变化领域理论研究和模型开发成果基础上撰写而成的,主要介绍了全球范围和国家层面应对气候变化的能源/经济/环境综合评价模型、宏观经济与能源系统的耦合模型、能源技术全生命周期综合评价模型等模型体系,以及全球应对气候变化公平性、二氧化碳排放峰值等系统分析和综合评价方法学,并介绍了当前气候变化国际谈判与国内低碳发展热点问题的相关理论与分析方法,同时也给出了各类模型和方法学的实际应用案例。

本书可供能源系统分析、资源环境经济学、低碳经济与低碳城市建设、应对气候变化战略和政策等领域的科研人员和管理部门参考,特别是可作为大专院校相关专业高年级学生和研究生系统提升理论知识和实践能力的辅助教材和重要参考书。

图书在编目(CIP)数据

应对气候变化研究模型与方法 / 何建坤等著. —北京: 科学出版社, 2015
ISBN 978-7-03-043540-8
I. ①何… II. ①何… III. ①气候变化—对策—研究—中国 IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 041252 号

责任编辑: 马 跃 徐 倩 / 责任校对: 马显杰
责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 8 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015 年 8 月第一次印刷 印张: 27 1/4

字数: 550 000

定价: 126.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

各章作者

第1章 应对气候变化研究内容与方法学综述

齐天宇、张达、张希良、何建坤

第2章 气候变化阈值及排放路径的不确定性分析

滕飞

第3章 气候变化责任义务分担的公平性评价方法学

陈文颖、何建坤、滕飞

第4章 减排技术评价方法学

欧训民

第5章 部门减排评价模型与方法学

周胜、王宇、佟庆、周丽、王海林、欧训民、魏庆芄、肖贺、胡广平

第6章 能源系统模型与经济模型

陈文颖、鲁传一

第7章 应对气候变化宏观评价模型与方法

齐天宇、张达、张希良、何建坤

第8章 全球应对气候变化长期目标及情景分析模型与方法

柴麒敏、何建坤

第9章 国际燃料舱温室气体排放减排机制

刘滨、周剑

第10章 清洁发展机制(CDM)项目的评价方法学

段茂盛

第11章 应对气候变化经济学分析方法

鲁传一

第12章 CO₂ 减排相关指标之间的数学关系及经济学解释

何建坤

第13章 GDP 碳强度下降的途径分解与贡献率分析方法学

周丽、张希良

第14章 进出口产品隐含能源与碳转移排放分析方法学

顾阿伦、刘滨、周玲玲

第15章 温室气体减排的协同效应分析方法学

顾阿伦、杨曦、滕飞

第16章 中国低碳发展的战略选择

周剑、何建坤

前 言

气候变化危害人类生存和发展，全球已开展了应对气候变化的合作进程。应对气候变化将在世界范围内引发经济社会发展方式和社会形态的根本性变革，也将引起世界科技创新和经济、贸易竞争格局的深刻变动，需要创新的理论和方法学进行研究和引导。

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第五次评估报告在进一步强化人为活动温室气体(greenhouse gas, GHG)排放是造成当前气候变化主要原因的科学结论基础上，强调了实现全球地表温升不超过 2°C 目标下的减排路径。全球碳排放到2020年左右要达到峰值，2030年与2010年相比持平到减排40%，到2050年减排40%~70%，而到21世纪末要实现近零排放。按照当前各国的减排承诺和发展趋势，到2020年尚有50亿~100亿吨二氧化碳(CO_2)的减排缺口，到2030年全球碳排放还会比2010年增长约30%，到21世纪末温升将达 $3.7\sim 4.8^{\circ}\text{C}$ ，这会给全球带来不可逆转的灾难性影响。因此，世界各国都必须加大碳减排力度，同时经济社会持续发展也将面临碳排放空间制约的挑战。

积极应对气候变化的核心是减少人为活动的温室气体排放，其中主要是化石能源消费的 CO_2 排放，这将引起世界范围内能源体系的革命性变革。一方面是大力节能，提高能源效率，减少化石能源消费；另一方面是大力发展水电、风电、太阳能发电和热利用、生物质能及核能等非化石能源，降低化石能源在一次能源构成中的比重，促进能源结构的低碳化。新型能源体系的变革将由当前以化石能源为支柱的传统能源体系向未来以新能源和可再生能源为主体的新型能源体系过渡。伴随这一过程，人类社会形态也将由当前工业文明向未来生态文明过渡。

应对气候变化，建设生态文明，需要发展理念和消费观念的创新。它将由片面追求经济产出和生产效率为核心的工业文明的发展理念转变到人与自然、经济

与环境、人与社会和谐和可持续发展的生态文明的发展理念。它将由过度追求物质享受的福利最大化消费理念转变为更加注重精神文明和文化文明的健康、适度的消费理念。它将不再片面地追求国内生产总值(GDP)增长的数量、个人财富的积累和物质享受,而是全面权衡协调经济发展、社会进步和环境保护,注重经济和社会发展的效益和质量,不再盲目向地球摄取资源,排放废物。在满足基本物质生活需要的前提下,清洁的空气、干净的饮水、宜居的环境已变得比个人物质享受更为重要。高水平的生活质量是大家的共同体验和共同利益,这将促进社会公共财富的积累和共享,促进世界各国和社会各阶层的合作与共赢。因此,支撑传统工业文明的发展理论和评价方法学已不能适应生态文明建设的发展理念和目标,因此,需要有理论和方法学的创新。

经济发展、社会进步、环境保护是可持续发展的三大支柱,并且互相依存。在保障经济社会持续发展的同时,应对气候变化,保护地球生态环境,全球都将面临碳排放空间不足的严峻形势。碳排放空间将成为越来越紧缺的资源,将成为比劳动力、资金、土地和其他稀缺资源更重要的生产要素。全球在可持续发展框架下应对气候变化,核心在于大幅度提高碳生产率。碳生产率定义为当年 GDP 总量与 CO₂ 排放量的比值,反映单位 CO₂ 排放的产出效益。实现控制温升 2℃ 目标,2010~2030 年全球碳生产率要提高到 2.5~3.0 倍,年提高率平均高达 4.5%~5.5%,远高于工业革命以来劳动生产率提高的速度。而 1990~2011 年,全球碳生产率年提高率平均仅为 0.7%,附件 I 国家平均也只有 2.0%,中国为 4.4%。因此,必须寻求大幅度提高碳生产率的措施和途径,研究不同发展阶段提升碳生产率的规律,分析提高碳生产率的途径和路线图,探索低碳发展的路径,实现经济社会与资源环境的协调和可持续发展。相应地对先进能源技术的选择评价方法也由传统的技术经济评价扩展到环境影响和减排效果的评价。先进技术推广的全球环境效益也将使国际技术转让和合作出现新的动力和新的形式,先进技术研发和扩散的规律也会有新的变化。这都需要在系统的理论、方法学和模型体系支撑下进行研究和分析。

世界各国合作应对气候变化,减缓碳排放,涉及全人类的根本利益。《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》)奠定了世界各国合作应对气候变化的原则和制度基础。但在当前国际谈判中,不同国家责任和义务的分担仍然是矛盾的焦点,反映了发达国家和发展中国家不同的利益关切。核心问题如下:一是如何体现“公平”的原则,二是如何实现合作共赢。这是在共同目标下不同利益集团的合作博弈。一方面,工业革命以来发达国家以无节制地消耗化石能源,支撑其完成工业化和现代化进程的同时,大量 CO₂ 等温室气体的排放累积也造成了当前气候变暖的全球生态危机,对全球气候变化负有历史责任。因此,发达国家要率先实现大幅度减排,并对发展中国家提供资金、技术和能力建设的支持。这是其

应尽的义务，是对发展中国家因气候变化造成损失和损害的补偿。另一方面，发达国家历史和当前过度的碳排放，已过多地占用了发展中国家未来的碳排放空间，发展中国家不可能再沿袭发达国家以化石能源为支撑的高碳发展路径，在工业化过程中必须加快向低碳路径转型。这既需要加强自身的技术创新，也需要国际技术合作和技术转移的支持。

当前世界范围内已出现新气候经济学的研究趋势，其新意旨在研究和平衡促进经济社会发展与管控气候风险的关系。其一，它不仅关注气候变化的影响和损失、减排成本与代价，更关注把应对气候变化视为发展的机遇，成为新的经济增长点和驱动力；其二，在国际制度建设上，不仅关注各国减排责任和义务的分担，更关注世界发展机遇的共享，促进各国的合作共赢。新气候经济学的研究为全球应对气候变化合作行动开拓了新的视角和努力方向。应对气候变化的国际制度，一方面要注重全人类的永续发展，全球实现大幅度减排以为后代留有必要的排放空间和发展机遇，实现代际公平。另一方面更要关注发展中国家当前发展经济和消除贫困的迫切要求，为发展中国家提供公平实现可持续发展的空间和机会，促进发展中国家不再沿袭发达国家以资源环境为代价的高碳发展模式，帮助发展中国家走上新型低碳发展路径，使应对气候变化成为其实现跨越式发展，走上可持续发展道路的机遇。当前体现国别公平和人际公平的国际制度建设将会促进世界各国在共同目标下实现合作共赢，扩大经济、贸易和技术等领域合作互惠的空间和机会，使发达国家和发展中国家都能获得更大收益。

全球应对气候变化是对人类社会进程中的风险控制和风险管理，气候变化使人类面临不可逆转的生态灾难的风险，而这种风险的概率和后果及当前适应和减缓行动的效果也有很大不确定性。国际社会对于减排目标的确立和国际制度的建设是在科学不确定情况下的政治决策。因此，需要系统研究当前减缓气候变化成本与其长期效益之间的权衡和分析方法，研究气候变化影响、适应与减缓的损失、投入与效果之间的评价方法和模型手段，研究不同发展阶段国家碳排放的规律及减缓的途径、潜力与成本，研究经济社会发展与气候变化风险管控的关系和平衡点，以及研究各国合作共赢的途径和评价各自的收益。当前各国研究机构所采用的分析模型结构上大体类似，但各自的主观理念和对不同类型国家发展现状和规律的理解、判断和把握的差异，对模型运转的机理、参数的选择和计算结果影响很大。比对先进技术扩散规律、贴现率的选取、成本的估计等方面，当前仍以发达国家研究机构为主导的研究结论，往往会忽略发展中国家的发展需求，高估发展中国的减排潜力而低估其减排的障碍和成本，从而过多地向发展中国家转移减排责任和义务。因此，我国必须发展和形成自主模型体系，从全球的视野研究主要国家和集团的减排路径及碳排放空间的公平分配，研究各国实现合作共赢的途径和机制。在实现全球紧迫的减排目标下，使国际先进技术的转移和合

作为双方都能创造更大的收益,使各国共同创造和分享可持续发展的机遇,为世界各国向低碳发展转型提供新的国际机制和驱动力。因此,新型国际制度的建立和机制设计需要研究如何体现各国公平与合作共赢的原则和评价方法,发展和完善评价各国减排潜力、减排成本和减排贡献的综合系统模型和评价方法学的研究平台。

我国当前经济快速发展,不断增长的能源消费和相应 CO_2 的排放,不仅使国际社会减排压力日益增加,而且也给国家带来资源环境制约日趋强化的严峻形势。转变经济发展方式,推进能源体系变革,大力节约能源,改善能源结构,具有缓解国内资源环境压力和减排 CO_2 的协同效应,是我们统筹国际国内两个大局的战略选择。我国当前 CO_2 排放约占世界的 $1/4$,近年来,每年新增排放量约占世界增量的 60% ,我国未来的减排目标和峰值目标对全球实现控制温升不超过 2°C 目标下的减排路径有至关重要的影响,也受到世界范围的广泛关注。我国当前工业化阶段的产业特征,使我国单位 GDP 的能源强度和 CO_2 强度很高,2010 年约为世界平均水平的两倍,发达国家的 $3\sim 4$ 倍,提高单位能源消费和单位 CO_2 排放的产出效益,仍有较大空间和潜力,因此,大幅度降低单位 GDP 的能源强度和 CO_2 强度是我国当前工业化阶段减缓碳排放的重要目标和途径。未来随工业化、城镇化阶段的初步完成,经济增速放缓,产业结构调整加速,能源消费弹性下降,我国也将逐渐具备控制能源消费和 CO_2 排放过快增长的时机和条件。需要进一步确立化石能源(主要是煤炭)消费总量和 CO_2 排放总量的控制目标和峰值目标,作为突破国内资源环境制约和应对全球气候变化的综合指标和关键着力点,形成促进经济发展方式转变的倒逼机制,以尽快实现 CO_2 的绝对减排,适应全球应对气候变化的紧迫进程。对科研工作而言,如何定量评价减排 CO_2 对节约资源、保护环境的协同效益;如何科学确立我国每个五年规划期间单位 GDP 能源强度和 CO_2 强度下降幅度;如何将国家目标分解到各个省(自治区、直辖市),强化节能减碳的目标责任制;如何分析发达国家 CO_2 排放达峰值的规律,从而确定我国 CO_2 排放达峰值的目标并规划其实现路径,这都需要理论指导,需要分析计算方法学和综合模型体系的支撑。

在全球应对气候变化日趋紧迫的形势下,低碳发展已经成为世界潮流,推动并加速大国能源体系向低碳化的变革,正在引发新的经济技术竞争。先进能源技术越来越成为国际技术竞争的前沿和热点领域,成为世界大国战略必争的高新科技产业,也将带来新的经济增长点、新的市场和新的就业机会。低碳技术和低碳发展能力正在成为一个国家的核心竞争力。我国必须以科学发展观为指导,创新发展理念和发展路径,实施创新驱动战略,加大先进能源技术的研发和产业化力度,努力实现发展方式向低碳转型,才能从根本上在全球低碳发展竞争中占据优势,在国际谈判中占据主动和引导地位。我国也需要在理论和方法学的研究领域

走在前列，在国际上发挥积极的引领作用。

综上所述，当前我国面临对外积极促进国际应对气候变化进程，争取合理碳排放空间，促进公平与合作共赢的国际制度建设，对内发挥能源变革对缓解资源环境制约与减排 CO₂ 的协同效应，努力向低碳发展转型的双重艰巨任务，需要加强相应理论和方法学研究平台的支撑。当前全球应对气候变化的德班平台谈判将确定 2020 年后适用于所有国家的新的减排机制，各国都必须加大减排力度。国际学术界新气候经济学创新的分析方法，不仅着眼于气候变化影响、适应、减缓之间经济成本效益的分析及不同国家责任和义务分担的准则和指标，更是进一步研究和探索应对气候变化与经济持续发展双赢的低碳发展经济学理论和分析工具，研究促进各国合作共赢、共同创造和分享实现可持续发展机遇的分析框架及新的国际制度和机制的设计与评价方法。当前我国在该领域的研究总体上还比较薄弱，远不能支撑国际国内形势快速发展的需求。这需要国内同行共同努力，加强应对气候变化领域的理论和方法学创新，发展面向生态文明的新气候经济学和低碳发展评价方法学；发展和完善能源环境经济耦合模型体系，支撑国内低碳发展目标和路径的研究；发展并完善体现中国国情，反映发展中国家发展阶段的特征和利益诉求的全球应对气候变化综合评价模型体系，研究并提出实现全球减排目标下体现公平的不同类型国家的减排路径和合作共赢的实施机制。当前国际气候谈判出现新的转折和国内经济发展进入新的转型期的形势，都对理论方法学和模型体系的研究有进一步紧迫的需求和新的驱动力，也将出现百家共鸣、繁荣发展的新局面。全球新气候经济学研究的趋势和进展也将对我国相关学科的发展带来新的机遇。

清华大学能源环境经济研究所在“十五”“十一五”“十二五”国家科技支撑项目和“973”专项相关课题、国家发展和改革委员会(以下简称国家发改委)低碳发展宏观战略专项课题及国家自然科学基金委员会(以下简称国家自然科学基金委)、教育部人文社会科学基地和相关国际合作等项目的研究成果基础上，在科学技术部(以下简称科技部)创新方法工作专项课题项目(2012IM011300)支持下，对相关研究方法学和系统模型进行了梳理、归纳和总结，大家分头执笔完成，并由何建坤、陈文颖统稿，最终完成本书。在其研究和写作期间，得到了国家发改委、科技部、21 世纪中心相关领导和同仁的大力支持，清华大学能源环境经济研究所广大师生为本书提供了科研成果，在此一并表示感谢。虽然本书介绍的方法学仍是初步的，很多方面还不成熟，尚缺乏系统性和完整性，有待进一步扩展和深化，但这也是一个积极的探索，旨在与同行专家开展交流，为相关研究工作提供参考，以期相互启发，共同推进相关研究的进展。

目 录

第 1 章 应对气候变化研究内容与方法学综述	1
1.1 研究背景	1
1.2 文献调研综述	3
1.3 国内外相关研究计划综述	11
参考文献	17
第 2 章 气候变化阈值及排放路径的不确定性分析	20
2.1 2℃温升阈值的确定方法及其不确定性	21
2.2 温升与累积排放	22
2.3 气候敏感度及温升与累积排放的不确定性	23
2.4 累积排放与排放路径	25
2.5 排放路径与各国的减排努力	26
2.6 对气候谈判的影响	26
2.7 结论	28
参考文献	28
第 3 章 气候变化责任义务分担的公平性评价方法学	31
3.1 气候变化公平性准则	31
3.2 碳排放权分配方法综述与评价	33
3.3 碳排放权分配的公平性评价	39
3.4 基于人均累计排放的碳基尼系数评价方法	40
3.5 全球减排法律框架的改进与公平性的体现	46
参考文献	47

第4章 减排技术评价方法学	49
4.1 项目经济技术评价方法和增量减排成本测算方法	49
4.2 全生命周期分析方法	54
参考文献	69
第5章 部门减排评价模型与方法学	70
5.1 电力部门	70
5.2 工业部门	75
5.3 建筑部门	81
5.4 交通部门	89
参考文献	97
第6章 能源系统模型与经济模型	101
6.1 温室气体减排综合评价模型综述	101
6.2 能源系统优化模型	102
6.3 可计算一般均衡模型	111
参考文献	129
第7章 应对气候变化宏观评价模型与方法	133
7.1 应对气候变化宏观评估模型与发展	133
7.2 中国-全球能源模型(C-GEM)开发	135
7.3 中国分区能源经济模型(C-REM)开发	153
7.4 应对气候变化宏观评估模型未来工作方向	165
参考文献	167
第8章 全球应对气候变化长期目标及情景分析模型与方法	173
8.1 全球气候变化评估方法及模型构建	173
8.2 全球应对气候变化长期目标情景研究	180
8.3 全球长期目标设定与温控 2℃ 相关问题分析	205
参考文献	230
第9章 国际燃料舱温室气体排放减排机制	232
9.1 基本背景	232
9.2 国际航空温室气体排放减排机制与方法学	233

9.3 国际海运温室气体排放减排机制与方法学	242
参考文献	261
第 10 章 清洁发展机制(CDM)项目的评价方法学	263
10.1 CDM 的概念和发展	263
10.2 CDM 项目评估的方法学	266
10.3 CDM 方法学的框架和内容	272
10.4 额外性论证和基准线情景识别方法	276
10.5 CDM 方法学的修改和澄清	279
10.6 标准化的基准线	281
参考文献	283
第 11 章 应对气候变化经济学分析方法	285
11.1 气候变化经济学的分析框架	285
11.2 气候经济综合模型与气候适应	303
11.3 中国气候经济综合评价模型构建及应用	309
参考文献	318
第 12 章 CO₂ 减排相关指标之间的数学关系及经济学解释	321
12.1 CO ₂ 减排相关因素间数学关系分析	321
12.2 节能和减缓 CO ₂ 排放的贡献率分析及碳生产率分析	328
12.3 CO ₂ 排放峰值分析	333
12.4 中国 2030 年前后 CO ₂ 排放达峰值的情景分析	336
参考文献	339
第 13 章 GDP 碳强度下降的途径分解与贡献率分析方法学	341
13.1 GDP 碳强度目标地方分解原则	341
13.2 GDP 碳强度下降因素分析	341
13.3 GDP 碳强度下降途径分析法	343
13.4 GDP 碳强度均值调整法	347
13.5 GDP 碳强度趋势预测分析法	351
参考文献	361

第 14 章	进出口产品隐含能源与碳转移排放分析方法学	362
14.1	进出口贸易隐含能源与碳排放的方法学	362
14.2	我国近年来进出口贸易碳转移排放方法学	371
14.3	边境碳调节对我国进出口贸易的影响	378
	参考文献	384
第 15 章	温室气体减排的协同效应分析方法学	386
15.1	协同效应内涵	386
15.2	协同效应评价标准	387
15.3	研究方法	388
	参考文献	402
第 16 章	中国低碳发展的战略选择	404
16.1	低碳发展是我国在全球气候变化新格局下的积极应对	404
16.2	低碳发展是国内可持续发展的内在要求	409
16.3	国内外统筹下我国关于 CO ₂ 减排目标和排放峰值目标的探索 ...	410
16.4	抓好低碳省区试点工作，积极推动我国低碳城市建设	412
16.5	全面深化改革，完善促进低碳发展的体制机制和政策体系	415
	参考文献	417
附录	计量单位统一规范	419

第 1 章

应对气候变化研究内容与方法学综述

1.1 研究背景

应对气候变化与能源发展的战略管理以复杂的能源、气候、经济、社会系统为研究对象。在世界能源体系、能源供应安全形势与全球应对气候变化国际制度不断演变,国内大力推进生态文明建设、推动能源生产与消费革命的大背景下,探索和发展应对全球气候变化与新型能源体系革命战略研究与管理理论体系、创新方法学和支撑平台,能够为我国应对气候变化和国际谈判与国内新型能源体系变革和低碳发展提供决策支持和政策咨询建议。

应对气候变化与能源发展的战略管理研究需要统筹安排与系统设计,需要着眼全球性、综合性和前瞻性三个重要方向。第一,研究的内容是全球性的课题,既要应对错综复杂的国际形势,又要与国内发展方向高度保持一致。第二,研究的特点是综合性的分析,既要深入理解能源系统的运行规律,又要清晰判断经济系统的演变趋势;既要详细讨论低碳发展的路径设计,又要充分兼顾绿色发展的协同一致;既要全面评价先进技术的发展方向,又要综合考量政策制度的实际影响。第三,研究的要求是前瞻性的判断,既要支撑近期的国际谈判进程与国内政策评价,又要制订中长期的战略目标与规划方案。因此,研究必须有效地统筹国际与国内、能源与经济、低碳与环保、技术与制度、近期与远期之间的辩证关系,充分借鉴国际国内研究经验,建立起科学合理的研究体系,实现创新成果的突破。

国际能源供需格局出现新动向。各国能源供应来源、运输方式和能源结构出现多元化发展趋势,能源产供中心逐渐向美洲和非洲转移,而需求消费中心向亚洲转移。发达国家能源需求基本趋于稳定,化石能源消费甚至呈下降趋势。美国非常重视非常规油气开发技术的突破,能源自给率大幅度提升,从 2001 年的

69%提高到2011年的78%，相应的石油对外依存度从68%下降到45%，其石油进口区域也转向美洲和非洲地区。发展中国家，特别是新兴发展中大国和亚洲地区的能源需求呈较快上升趋势，越来越成为世界特别是中东石油出口的主要地区。2011年，我国石油进口2.7亿吨，比2005年增长了1倍，对外依存度达56%，煤炭净进口2.5亿吨，天然气进口269亿立方米，对外依存度达21%。相关预测表明，2020年我国石油和天然气对外依存度将分别超过70%和50%。尽管全球能源资源在较长时期内仍然可以满足需求，但资源民族主义的上升与能源出口国地缘政治的不稳定，导致国际能源价格将长期呈现高位波动态势，我国能源供应面临日益增加的安全挑战。

全球能源安全与合作呈现新特点。伴随全球能源市场的统一化，能源安全问题由国别化向全球化发展。全球任何地方能源供应中断都将对全球能源市场造成冲击，威胁全球能源安全，影响世界经济稳定。在全球化的条件下，任何一个国家在能源安全问题上都难以独善其身，需要通过合作保障能源的稳定可靠供应。近年来，随着世界能源贸易量的大幅增加，以及地区冲突、恐怖活动和有组织犯罪等因素的干扰，国际能源运输和安全供应的风险明显增加。进一步加强对话与协商，共同保障能源的正常需求与供给，共同维护能源生产地区的局势稳定，确保国际能源通道安全和畅通，避免地缘政治纷争干扰已成为国际社会的共识。同时，能源危机使国际社会越发意识到，要解决人类未来能源的可持续发展问题，特别是在化石能源资源枯竭前开发出经济清洁的替代能源是当前人类面临的主要任务，能源技术的发展、创新、突破和革命性变化是关键。为应对气候变化和满足日益增长的能源需求，共同研究、共担风险、共享成果已成为国际社会推动能源前沿技术发展的共同理念和追求。

全球正在酝酿以能源体系变革为特征的“第三次工业革命”，将引发世界范围内经济社会发展方式的根本性变革。从人类发展过程来看，历史上发达国家的人口仅约占全球的20%，然而其历史消费的资源占全球的60%~80%，其累积排放的温室气体占全球的75%。发达国家工业化过程的完成是以高资源消费为代价的，但当前广大发展中国家的工业化发展已不具备发达国家当年工业化阶段的国际资源保障和环境容量条件。在全球资源环境制约日趋强化的条件下，发展中国家不可能再走发达国家以高资源和能源消费为支撑的工业化道路。不论对发达国家还是发展中国家，发展绿色经济，实现低碳发展，都是在可持续发展框架下解决资源环境问题的根本途径。全球发展绿色经济，促进低碳发展趋势和潮流将引发世界经济社会发展模式的根本性变革，从而掀起全球范围内在新能源发展带领下的“第三次工业革命”，引起社会形态由“工业文明”向“生态文明”过渡。

在全球能源格局变革的新态势下，需要新的能源发展思路与决策机制的理论和方法创新。在当前全球能源市场一体化、能源安全全球化及新能源迅速发展的

新形势下,全球能源系统正迎来根本性变革,并对世界经济社会发展的未来走向产生深刻影响。新形势下,传统的能源战略思路难以适应新时期和新变革的要求,解决当前格局下的能源问题需要新的发展思路与决策机制。一方面,能源战略要能够同时调控需求,控制能源需求总量的过快增长,促进发展方式的转变;另一方面,要从全球视野研究与解决我国能源安全与发展问题,通过全球资源布局、全球能源技术合作与转移等方式最大化利用全球资源,同时考虑在科学不确定性下政治决策的机制与方法创新。从全球角度研究我国问题,从我国国情研究全球对策,深入分析我国和世界的相互影响。

党的“十八大”突出生态文明建设,提出绿色、循环、低碳发展理念,提出推动能源生产和消费革命。《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》(以下简称“十二五”规划)提出将积极应对气候变化,提高应对气候变化能力,将单位GDP能源消耗降低16%、单位GDP CO₂排放降低17%和非化石能源比重达到11.4%列为“十二五”规划的约束性目标。工业文明的社会观念在于私有制,而生态文明则强调社会公共资源和财富。同时,两种社会形态在发展方式、经济和环境关系等方面的不同,直接导致了两种社会的发展目标、能源管理方式和评价指标的不同。我国在实现工业文明过程中同时向生态文明跨越,史无前例,挑战巨大,已超出当前西方经济学和管理科学理论的范畴,因此,需要基础性的、前瞻性的理论研究及跨学科、跨部门的综合研究。

1.2 文献调研综述

为了系统借鉴国内外相关研究的现状及发展趋势,我们展开了全面系统的文献调研综述和国内外研究计划的考察评价工作。

关于文献调研综述工作,我们逐一查看了 *Science* 杂志近5年共5212篇文章,从中选出与应对气候变化和能源发展问题相关的文章共153篇,其中与管理相关的文章共71篇;查看了 *Nature* 与 *Nature Climate Change* 近5年共2000余篇文章,从中选出与应对气候变化和能源发展管理问题相关的文章共167篇;查看了 *Proceedings of National Academy of Science* 近5年与应对气候变化和能源发展相关的文章共531篇,其中与管理相关的文章共48篇;查看了管理科学领域的顶级期刊 *Management Science* 与 *Operation Research* 近5年相关文章共1048篇,其中与应对气候变化和能源发展相关的文章共4篇。同时,利用专业文献管理分析软件和基于共被引方法的分析方法,完成了对 *Renewable & Sustainable Energy Reviews*、*Climate Change*、*Energy Policy*、*Energy Economics*、*Economic Modeling*、*Journal of Policy Modeling*、*Climate Policy*、*Environmental & Resource Economics*、*Energy Journal*、*Environmental Modeling & As-*

essment, 1990~2010 年全部 Article 类共 19 714 篇文章的集成分析, 整理了近 9 000 页文献的摘要、引用及共被引信息, 并形成了数据库, 从而初步探索出最具影响力作者的研究领域关系, 完成了研究问题与研究方法体系图及与之相关的最具影响力文章的简介。

1.2.1 研究问题综述

文献调研综述总结了以下气候变化和能源战略相关研究的关键问题。

(1) 能源技术创新和国际技术合作与转移。先进能源技术的创新与进步是被大多数科学家和政治家寄予厚望的应对气候变化的主要解决方案。对未来先进能源的发展潜力、发展速度及其对未来全球能源与环境的影响的研究与讨论一直是学术界的热点之一。IPCC 在 2011 年发表的可再生能源特别报告中, 对未来全球可再生能源发展规模在 164 个情景下做出研究, 得出 2050 年全球可再生能源比例将达到 30%~80%, 并且规模大小主要受到气候政策严厉程度的影响, 同时也取决于其成本变革趋势及其与传统能源系统整合的程度。其中, 一系列的模型与实证研究表明, 政策是推进可再生能源发展的关键因素, 一方面政策可以帮助可再生能源取得成本优势, 另一方面政策可以推进可再生能源的技术创新。关于可再生能源未来发展速度的观点, 乐观主义者认为, 新能源技术作为当前能源发展的优先选择将在半个世纪内成为主流能源, 而悲观主义者认为, 由于长期的使用习惯、既有基础设施及传统能源的经济与社会力量使新能源与传统能源的替代弹性小于 1, 新能源技术的发展与推广需要一个漫长的过程, 并且需要各国政府出台具体的、有针对性的能源技术促进政策。关于先进能源技术发展的能源环境影响研究国际上出现一些新的动向, 主要集中在对先进能源发展的负面效应的讨论上。一方面, 有研究通过模型分析得到短期内新能源技术的发展可能是额外净消耗能量而非净生产能量(这主要是取决于该技术本身的能源成本、部署路径、维护与维修等方面的要求), 因此, 建议人们不要对新能源在短时间内代替化石能源抱有太大希望; 另一方面, 有学者认为, 一切能源都存在环境成本, 盲目发展新能源技术可能对环境造成更大的危害。

(2) 能源安全和国际能源合作与转移。全球合作下的能源技术转移被认为具有最大的环境经济效应, 并且对全球应对气候变化起到关键作用。有学者对 1988~2008 年超过 100 个国家的风能专利数据进行了统计, 发现清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)对风机技术从发达国家向发展中国家转移发挥了重要作用。同时相关研究对全球石油市场与美国能源安全、伊拉克战争对美国国家安全影响等问题进行了分析, 体现了学术界对能源安全及其对国家发展影响的关注。

(3) 公平性与国际合作机制。气候变化是国际社会普遍关心的重大全球性问