



中国低碳发展丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

主编/解振华 杜祥琬

能源革命与 低碳发展

NENGYUAN GEMING YU DITAN FAZHAN

何建坤 周 剑 欧训民 等 / 著

中国环境出版集团



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国低碳发展丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

主编/解振华 杜祥琬

能源革命与 低碳发展

ENERGY REVOLUTION AND
LOW CARBON DEVELOPMENT

何建坤 周 剑 欧训民 等/著

清华大学低碳经济研究院、清华大学现代管理研究中心
(教育部人文社科重点研究基地)

本书在研究过程中得到了国家自然科学基金重大项目“国际气候治理与合作机制研究(71690243)”课题、教育部人文社科重点研究基地重大项目“城市低碳发展峰值和碳定价机制研究(15JJD630006)”的支持

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

能源革命与低碳发展/何建坤等著. —北京: 中国环境出版集团, 2018.6

(中国低碳发展丛书)

ISBN 978-7-5111-3700-5

I. ①能… II. ①何… III. ① IV. ①

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 128789 号

出版人 武德凯
责任编辑 张秋辰 丁莞歆 周煜
责任校对 任丽
封面设计 彭杉

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67175507 (环境科学分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 6 月第 1 版
印 次 2018 年 6 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 26.75
字 数 480 千字
定 价 88.00 元



【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

《中国低碳发展丛书》编委会

主 编：解振华 杜祥琬

编 委：（按姓氏笔画排序）

丁一汇 田成川 刘功臣 齐 晔 江 亿

苏 伟 何建坤 林而达 周大地 温宗国

《能源革命与低碳发展》

各章作者

总 论 何建坤

第一章 周剑、王海林、何晓宜

第二章 欧训民、佟庆、周丽、王海林、袁志逸、杨玺

第三章 欧训民、周丽、王宇、袁杰辉、袁志逸、杨玺

第四章 常世彦、周胜、欧训民、刘汉思、袁志逸、付萌

第五章 欧训民、陈菡、袁杰辉、彭天铎、袁志逸、陈文颖

第六章 顾阿伦、欧训民、袁杰辉、唐松林、林宝、彭天铎、袁志逸

第七章 何建坤

第八章 张达、齐天宇、张希良

第九章 周剑、段茂盛

总 序

党的十八大报告提出，要“着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式，从源头上扭转生态环境恶化趋势，为人民创造良好生产生活环境，为全球生态安全作出贡献”。2015年4月25日《中共中央 国务院关于加快推进生态文明建设的意见》发布，再次明确了“绿色发展、循环发展、低碳发展”的发展路径。实际上，低碳发展与绿色发展、循环发展有着本质上的相通性和工作方向上的一致性。低碳发展既是应对气候变化的战略，也是全球可持续发展的必由之路，对我国更有着紧迫的现实意义和长远的战略意义。

在我国，社会各界对“绿色发展”“循环发展”的理解比较清晰，相对而言，对“低碳发展”的认识仍有待提高。在“低碳发展”已成全球发展大势、党和国家高度重视低碳发展的今天，有必要普及和传播有关知识，凝聚共识，强化行动，让我们的国家在这场绿色、低碳的国际比赛中力争走在世界的前列，也为人类的文明进步作出更大的贡献。

在这样的背景下，中国环境出版社策划并出版了《中国低碳发展丛书》，得到了相关政府部门和专家学者的支持和响应。

本套丛书定位为高级科普丛书，读者对象是各级公务员、企业负责人、科技和教育工作者、大学生、研究生及对低碳知识感兴趣的公众，他们是我国低碳发展道路的创造者和实践者，希望这套书能对他们有所助益。



这套丛书由有关领域的著名专家、学者组成编委会并主持丛书及各分册的设计与撰写。丛书的结构包括低碳发展总论、气候变化科学知识、低碳产业、低碳交通、低碳建筑、低碳城市、低碳农林业、低碳能源、低碳发展的国际借鉴等相关内容，力求全套丛书具有科学性、系统性、新颖性、可读性。

本套丛书的问世是绿色、低碳发展客观需求呼唤的产物，是众多专家、学者和中国环境出版社编辑辛勤付出的结果。由于时间仓促、作者水平有限，书中难免有各种不足和差错，诚望读者批评指正。

杜祥琬

2015年12月

序 言

气候变化危及地球生态安全 and 人类社会的生存与发展，是当前人类面临的₁最大威胁，合作应对气候变化已成为世界各国的普遍共识和强烈的政治意愿。2016 年 11 月 4 日生效的《巴黎协定》确立了 2020 年后新的全球气候治理机制，形成了以全球控制温升不超过 2℃（并努力控制在 1.5℃）目标为指引、以各国自主确定减排贡献目标和行动计划为基础、以定期全球集体盘点为激励的制度框架，极大地促进了全球应对气候变化国际合作行动，将在世界范围内加速经济发展方式的低碳转型。

当前世界各国自主减排贡献目标与实现全球控制温升 2℃目标的减排路径之间尚有较大缺口，到 2030 年这一缺口将达约 150 亿 t 二氧化碳当量。因此，各国都必须进一步加大减排力度。世界各国经济社会持续发展都将面临越来越紧迫的碳排放空间的制约，各国都必须加快经济发展方式的低碳转型，走上气候适宜型的低碳经济发展路径。我国也将面临加快经济发展方式转变的紧迫形势。

能源消费的二氧化碳排放约占全部温室气体排放的 2/3，因此全球低碳化发展的核心在于推动能源体系的革命性变革，要大力节能，提高能源效率，控制能源消费量；同时，加强以新能源和可再生能源取代化石能源，在保障能源供给的同时减少二氧化碳排放。《巴黎协定》中提出到 21 世纪下半叶实现净零排放，即意味着到 21 世纪中叶之后，要逐渐建成以新能源和可再生能源为主体的低碳甚至零碳能源体系，也意味着化石能源时代的终结。我国积极推进能源生产和消费革命，努力构建高效、安全、清洁、

低碳的能源供应体系和消费体系，以能源变革促进经济发展方式的低碳转型，为 21 世纪下半叶建成近零排放的可持续能源体系奠定基础，以适应全球应对气候变化的紧迫进程，并发挥积极的引领作用。世界范围内能源转型将使先进能源技术的创新和产业化发展成为战略性新兴产业以及新的经济增长点和就业机会，也是大国间技术竞争和相互合作的重点领域，是国家核心竞争力的体现。我国当前积极推动能源生产和消费革命，促进经济发展方式向绿色低碳转型，也是顺应世界能源变革趋势、提升我国全球竞争力的战略选择。

我国作为最大的发展中国家和排放大国，在《巴黎协定》的达成和生效过程中发挥了积极的引领作用，体现了大国的责任担当。在国内也积极实施应对气候变化的国家战略，把减缓二氧化碳排放目标作为约束性目标纳入国家经济与社会发展规划，采取强有力的措施和行动，并取得了举世瞩目的成效。我国在 2009 年哥本哈根气候大会上提出了到 2020 年 GDP 的二氧化碳排放强度比 2005 年下降 40%~45% 的目标。截至 2017 年已下降 45%， “十三五” 再实现下降 18% 的目标后，到 2020 年可比 2005 年下降约 50%，超额完成 40%~45% 的预定目标。我国在《巴黎协定》下又提出有雄心、有力度的国家自主贡献目标。到 2030 年 GDP 的二氧化碳强度比 2005 年下降 60%~65%，非化石能源比重达 20% 左右，二氧化碳排放到 2030 年左右达峰并努力早日达峰，这都需要比实现 2020 年承诺目标付出更大的努力。当前在转换发展动力、改变发展方式、产业转型升级的经济新常态下，我国将以有雄心的二氧化碳减排目标为导向，发挥二氧化碳减排与国家节约资源、保护环境和可持续发展目标的协同效应，促进国内能源变革和经济低碳转型，统筹协调、超前部署，实现经济发展、环境改善、节能降碳的多方共赢。

实现经济发展方式的低碳转型，既是一个长期努力的过程，又面临十

分紧迫的形势；既需要有前瞻性的战略部署，又要有分阶段的目标和任务；既需要开展切实的行动，又需要不断研究和总结经验。制定并实施低碳发展战略，涉及经济、社会、能源、环境、技术创新等多个领域和产业、交通、建筑、居民等多个部门，需要跨学科的综合研究和相互交流，也需要研究思路和方法学的不断创新，需要以生态文明的理念为指引，研究和探索中国特色的绿色低碳发展模式和路径，实现经济发展、环境保护与应对气候变化的共赢，并为保护地球生态安全和全人类可持续发展作出中国的贡献。

本书由清华大学低碳经济研究院和清华大学现代管理研究中心（教育部人文社科重点研究基地）在国家自然科学基金重大项目“国际气候治理与合作机制研究（71690243）”课题、教育部人文社科重点研究基地重大项目“城市低碳发展峰值和碳定价机制研究（15JJD630006）”的支持下，分头执笔完成，并由何建坤、周剑、欧训民统稿，最终完成。在此对各章负责执笔的广大师生所付出的努力和贡献一并表示感谢。本书内容涵盖了应对气候变化战略、能源革命、中长期低碳发展路径、低碳政策与制度等多个领域，也介绍了相关研究的模型体系和方法学，以期与社会各界进行交流与共享。



2018年4月

编者的话

本书为“中国低碳发展丛书”其中的一个分册，考虑到作者提供的书稿中有大量的彩图，对于辅助读者理解文字的内容有很大帮助，这些彩图如果改用黑白印刷会影响其效果，故而本分册采用彩色印刷，与其他分册略有不同，特此说明。

目 录

总 论 能源革命与应对气候变化	1
第一节 应对气候变化推动了全球能源变革,但仍面临严峻挑战和艰巨任务	1
一、推动能源变革和转型是应对气候变化的核心对策	2
二、实现《巴黎协定》的目标必须加大能源转型的速度和力度	3
第二节 推进能源生产和消费革命,实现我国国家自主贡献减排目标	5
一、促进 GDP 的二氧化碳强度大幅度下降是统筹经济发展与减排 二氧化碳的核心指标	5
二、实现二氧化碳排放达峰是能源和经济转型的重要标志	7
三、经济新常态下新的发展理念有利于加速能源变革和低碳转型	8
第三节 实施能源生产与消费革命战略,强化超前部署和行动措施	9
一、推动能源消费革命,建立高效节能的能源消费体系	10
二、推动能源供给革命,建立清洁低碳能源供应体系	12
三、深化改革,加强技术创新和制度保障	14
第四节 深度参与并积极引领全球气候治理,提升国家影响力和话语权	16
一、准确判断和把握全球气候治理新形势	17
二、努力提升我国在全球气候治理中的影响力、话语权和软实力	18
参考文献	20
 第一章 中国低碳发展的形势与任务	22
第一节 中国国内低碳转型的努力和成效	22
一、政府积极推进节能和减缓二氧化碳排放工作	22
二、GDP 能源强度显著下降	23
三、经济结构趋于优化	25
四、技术进步明显加快	28
五、新能源和可再生能源发展迅速	29



第二节 中国低碳转型的形势与挑战	30
一、二氧化碳排放总量仍呈持续增长趋势	31
二、我国单位 GDP 的能耗和单位能耗的二氧化碳排放仍处于 较高水平	33
三、化石能源消费是造成国内资源环境制约的重要原因	34
四、全球应对气候变化将引起技术领域的新竞争	34
第三节 我国减缓气候变化的目标和任务	35
一、我国 2020 年后自主决定贡献 (NDC) 目标	35
二、我国实现自主贡献目标将比发达国家付出更大努力	36
三、低碳发展必须统筹二氧化碳和大气污染物的协同效应	37
四、我国经济新常态下要以转换发展动力, 转变增长方式推动绿色 低碳发展	38
参考文献	39
 第二章 强化能源节约和高效利用	41
第一节 中国能源消费和利用的形势	41
一、总体形势	41
二、具体情况	42
第二节 工业部门能源利用和节约	54
一、概述	54
二、“十二五”期间的工业能源利用情况	55
三、工业能源利用与二氧化碳排放的关系	58
四、未来关键节能低碳技术分析	60
第三节 建筑部门能源利用和节约	66
一、概述	66
二、我国建筑部门能源消耗现状	69
第四节 交通部门能源利用和节约	82
一、交通部门概况	82
二、交通部门的特点与趋势	84
三、交通节能技术与管理措施	87
四、未来节能潜力研究	90
五、政策建议	91
第五节 转变消费观念、引导合理能源需求	93

一、能源消费观念需求转变	93
二、转变社会公众消费观念	94
三、观念转变将带来显著节能效果	94
参考文献	95
第三章 加速常规化石能源的清洁低碳转型	100
第一节 我国能源消费与二氧化碳排放情况	100
一、我国一次能源消费结构与二氧化碳排放现状	100
二、我国能源结构低碳化发展和二氧化碳排放量趋势	101
第二节 清洁煤技术	103
一、煤化工现状与问题	103
二、中国煤化工发展趋势	106
三、煤化工产业国家相关政策	107
四、煤化工技术进展	110
第三节 煤电清洁高效技术	115
一、概述	115
二、发电装备技术的发展	116
三、循环流化床技术	117
四、整体煤气化联合循环	123
五、中国电力生产的二氧化碳和空气污染物排放分析	129
第四节 中国天然气利用情况	133
一、概述	133
二、我国天然气的资源、利用及规划	134
三、天然气利用的领域及作用	137
参考文献	138
第四章 大力发展可再生能源和新能源	142
第一节 可再生能源	142
一、我国可再生能源情况概述	142
二、我国可再生能源发展水平	143
三、发展趋势	156
四、成本	161
五、障碍与问题	166



六、可再生能源发展减排效益及生物天然气案例分析研究	169
七、可再生能源相关政策	176
第二节 核能	179
一、引言	179
二、历史和现状	179
三、发展趋势	186
四、减排效益	187
五、利用成本	188
六、存在障碍和解决措施	190
参考文献	192
第五章 大力推进新型能源技术发展	196
第一节 开发非常规油气	196
一、范畴和属性	196
二、非常规油气开发和利用现状及规划	199
三、非常规油气开采的环境影响问题	200
第二节 发展新型能源	201
一、突破技术、成本障碍，加快氢燃料电池产业发展	201
二、加强资源勘探，加快可燃冰的开发利用步伐	207
三、大力推动快堆的研发与示范运营	211
第三节 CCS 技术及其应用和发展	218
一、CCS 技术基本概念	218
二、CCS 技术的重要意义	220
三、国际应用和发展现状	221
四、中国 CCS 技术的发展现状	223
五、CCS 技术现状和应用前景评估	228
参考文献	233
第六章 提升先进能源技术的经济、环境综合效益	236
第一节 项目经济技术评价方法和增量减排成本测算方法	236
一、一般项目评价方法	236
二、减排项目增量成本测算	237
第二节 综合效益分析	248

一、可再生能源“综合效益”的内涵	248
二、可再生能源综合效益研究方法学	250
第三节 全生命周期分析方法及电动汽车能源消耗和温室气体排放的 全生命周期分析	262
一、全生命周期分析方法与电动汽车全生命周期分析背景	262
二、国内外电动汽车全生命周期分析研究现状	265
三、主要国家和地区电动汽车能源消耗和温室气体排放的 LCA 研究	267
第四节 能源与水、粮食等的纽带关系研究	279
一、能源与其他要素具有纽带关系	279
二、中国能源与水纽带关系	282
三、中国节能政策的节水效益分析	288
第五节 能源政策的温室气体和大气污染物减排的协同效益分析	300
一、绿色锅炉工程	302
二、煤电“上大压小”行动	303
三、油品加速升级行动	303
四、城乡煤改气行动	304
五、城市公车完全电动化工程	305
六、加速发展天然气汽车行动	306
七、提高农村能源利用集中度	307
附录：投入产出系数的 RAS 过程	308
参考文献	310
 第七章 努力实现二氧化碳排放早日达峰	317
第一节 实现二氧化碳排放达峰值的理论与条件分析	317
一、二氧化碳排放达峰值时单位 GDP 的二氧化碳强度年下降率 与 GDP 年增长率的关系	318
二、二氧化碳排放达峰值时单位能耗的二氧化碳排放强度年下降率 与能源消费年增长率的关系	319
三、二氧化碳排放总量达峰值时人均二氧化碳排放年下降率与人口 年增长率的关系	320
第二节 发达国家二氧化碳排放达峰值的规律分析	321
一、发达国家人均二氧化碳排放峰值出现在基本完成工业化阶段 之后	321

二、发达国家二氧化碳总量达到峰值的时间一般滞后于人均二氧化碳排放峰值时间	322
三、二氧化碳排放总量达峰值时间一般早于能源消费总量达峰值时间	322
四、发达国家工业部门的二氧化碳排放峰值要早于全国二氧化碳排放总量峰值时间	323
五、不同发达国家人均二氧化碳排放达峰值时的水平有较大差别	323
第三节 中国二氧化碳排放趋势及达峰值的情景分析	324
一、中国能源消费和二氧化碳排放的趋势分析	324
二、我国二氧化碳排放早日达峰的情景分析	327
三、我国二氧化碳排放达峰的评价	329
第四节 促进二氧化碳排放尽快达峰值的战略和政策	331
一、坚持新的发展理念，实施经济发展、环境保护和减排二氧化碳多方共赢的协同对策	331
二、统筹协调，制定分阶段、分部门、分地区二氧化碳减排目标和峰值目标	332
三、加强技术创新和国际合作，为推动能源革命提供强有力的支撑和保障	334
四、深化改革，建立和完善低碳发展的政策体系和实施机制	335
参考文献	336

第八章 确立我国中长期低碳发展路径	338
第一节 关于低碳发展的一般均衡模型和国际贸易隐含性碳排放的研究综述	339
一、低碳发展的一般均衡模型	339
二、国际贸易隐含性碳排放	340
第二节 全球能源经济模型与多区域投入产出分析方法	344
一、全球能源经济模型	344
二、多区域投入产出分析方法	348
第三节 未来路径选择和成本效果分析	350
一、“十二五”及十八届三中全会后各项改革措施分析	350
二、贸易政策对于中国的国际贸易隐含性碳排放分析	358
参考文献	363