



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

世界低碳发展的 进展和趋势

SHIJIE DITAN FAZHAN DE JINZHAN HE QUSHI

周大地 高翔 朱松丽 王克等/著

中国环境出版集团



中国低碳发展丛书

主编/解振华 杜祥琬

“十二五”国家重点图书出版规划项目

世界低碳发展的 进展和趋势

SHIJIE DITAN FAZHAN DE JINZHAN HE QUSHI

周大地 高翔 朱松丽 王克等/著

图书在版编目(CIP)数据

世界低碳发展的进展和趋势/周大地等著. —北京: 中国环境出版集团, 2018.3

(中国低碳发展丛书)

ISBN 978-7-5111-3552-0

I. ①世… II. ①周… III. ①世界经济—低碳经济—经济发展—研究 IV. ①F113.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 045192 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 3 月第 1 版
印 次 2018 年 3 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 15.75
字 数 270 千字
定 价 68.00 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

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”已成为全球发展大势、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，希望本丛书能对他们有所助益。

本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。

本丛书的问世是绿色发展、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，书中难免有不足和差错，诚望读者批评指正。

杜祥琬

2015年12月

序 言

《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》)得到缔约国一致通过至今已经整整 25 年了。为推动《公约》的有效实施,1997 年联合国又通过了《京都议定书》,开创了由发达国家带头定量减排温室气体的低碳转型之路。全球应对气候变化开始了艰巨的减排历程。发展中国家也开始加强应对气候变化的能力建设,逐步把绿色低碳发展纳入经济社会的发展中来。2015 年,经过各国历时四年谈判达成的气候变化《巴黎协定》,又开创了各国根据自己的能力和政治意愿制定应对气候变化国家行动目标和方案,以“自下而上”的方式形成有国际约束力的承诺,从而合作应对气候变化的新阶段。“共同但有区别的责任”这一原则继续指导全球合作努力应对气候变化,更多的国家具体承诺减排或限排温室气体,发达国家承担更多义务,发展中大国也力所能及地做出更多贡献,各国不断加强行动力度,力争把全球温升控制在明显低于 2℃ 以内。这些进展体现了当今世界可以通过有效合作机制共同应对全球面临的重大生态环境挑战的新形势以及生态文明的进步。

但是各国已经作出的减排承诺与实现将温升控制在 2℃ 以内的目标所需的减排努力尚有明显差距,加之美国现政府坚持退出《巴黎协定》,从原来已经不够积极的减排目标进一步后撤,又为世界能否实现一致同意的



温升控制目标增加了不确定性。尽管全球只有美国一个国家提出要退出《巴黎协定》，但美国政府的反向行动仍然给各国不同人群的气候变化认知带来了一些冲击。一些原来就对全球变暖问题有质疑的人似乎得到了某种鼓励，少数认为气候变化问题的政治因素大于科学依据的人，也加大了对积极应对气候变化必要性和紧迫性的怀疑。“政治阴谋论”的说法在一些场合有所抬头。

支撑当今世界发展的能源体系仍然以化石能源为主，煤、石油、天然气仍占全球商品能源的近九成。尽管现代可再生能源的发展速度远远高于传统的化石能源，但总量还小。实现 2°C 温升控制目标需要在21世纪内，并尽可能早地实现温室气体的零排放。难度之大，时间之紧迫，也使很多人感到心中底气不足。

我们还来得及完成减缓气候变化的伟大任务吗？世界绿色低碳转型的进程究竟进展如何了？真是需要大家认真环视世界，看看世界各国究竟做了哪些努力，看看先进国家做出了什么样的实践榜样，看看我们有没有足够的低碳技术进步作为支撑，看看经济发展可不可以与低碳转型有效结合，看看各国只是政治博弈还是真的认真努力。这就是本书想给读者展现的基本内容。

任何新的事物在初始阶段都是弱小的，世界在从过去的高碳经济转向低碳经济并实现低碳发展的过程中，当然要经历许多艰难曲折。但是已经有那么多国家开始了具体行动，整合了政治意愿，形成了相关法律法规支撑，并且在许多重要领域已经取得了很大的进展。近期的成绩和远期的目标已经很好地衔接，实现目标可以预期。低碳发展的前途逐渐光明起来。

就在本书已经成稿以后，新的进展仍然在不断出现。一些国家开始认

真讨论在一二十年内禁止销售燃油汽车的问题，几乎所有的主要汽车制造商都纷纷表示这是他们汽车技术发展的方向，并提出更积极的转型目标。美国一大批经济大州和重要城市的州长、市长们，以及知名大企业的领袖人物们，在 2017 年波恩气候变化大会上和美国联邦政府大唱对台戏，自己掏钱搞了专门的会场和展示场所，强力展示继续积极应对气候变化的决心。我们相信今后还有更多的内容可以补充到本书当中。

党的十九大报告高度强调生态文明建设的重大意义，并把气候变化问题作为人类共同面临的重大挑战，明确提出要积极参与全球环境治理，落实减排承诺。中国已经在节能减排、控制温室气体方面作出了巨大的努力，成绩显著，获得了世界各国的一致认可。中国在全球应对气候变化的国际进程中，从参与、贡献已经走到引领的地位了。中国的绿色低碳转型必将对世界的低碳发展作出更重大的贡献。在今后进一步高质量的改革开放进程中，中国和世界各国也将在低碳发展中相互鼓励、相互促进、相互帮助，共同有效应对这一人类面临的重大挑战。希望本书可以有飧有志中国低碳发展、关心世界低碳进展的读者。

本书分为三章十二节。第一章介绍低碳发展的科学基础与政治共识，为读者理解为什么要低碳发展、如何实现低碳发展提供了自然科学、经济学和国际政治角度的解读。第二章为全球低碳发展的实践，从人类对低碳发展问题的思考、全球在低碳发展方面的政策和技术创新与实践的角度，为读者勾画出低碳发展在全球的思想与实践全貌。第三章研究分析了美国、欧盟、英国、德国、日本、印度等主要经济体在低碳发展方面的实践，希望给读者呈现一个坚定共识、目标明确、路径有别的全球低碳发展进展图像。最后是结语，归纳了作者对低碳发展这一全球必然趋势和共同努力

的看法。全书由周大地总体负责，其中序言和结语部分由其执笔；第一章第一至第三节由高翔执笔；第二章第一节由朱松丽执笔，第二节由高翔与朱松丽共同执笔，第三节由朱松丽与胡姗共同执笔；第三章第一节由王克执笔，第二节由高翔执笔，第三节由高翔与郭敏晓共同执笔，第四节由高翔与李佳倩共同执笔，第五节由崔成执笔，第六节由高翔与朱秦汉共同执笔。全书由周大地和高翔统稿。



2017年12月26日

目 录

引言	1
第一章 科学基础与政治共识	4
第一节 低碳发展的自然科学基础	4
一、气候系统超常变暖	5
二、人类活动是近 50 年气候系统超常变暖的主要原因	6
三、人类必须通过减缓与适应共同应对气候变化	8
第二节 低碳发展的经济学基础	10
一、环境经济学对气候变化问题的一般性解释	10
二、气候变化经济学的三大核心问题	14
三、低碳发展体现了经济发展阶段从投资驱动向效率驱动的转变	23
第三节 低碳发展的政治共识	29
一、《联合国气候变化框架公约》的科学基础	30
二、科学评估不断促进应对气候变化的政治共识	33
三、全球 2℃ 温升控制目标的演进	39
第二章 全球低碳发展的实践	48
第一节 全球低碳发展的思想实践	48
一、应对气候变化的社会理论	48
二、案例：德国能源转型背后的社会思潮	52
第二节 全球低碳发展的政策实践	53
一、立法保障	53



二、行政和规划手段	60
三、财税手段	61
四、排放权交易手段	63
第三节 全球低碳发展的技术实践	65
一、电力生产与传输技术	65
二、替代燃料技术	75
三、交通减排技术	78
四、节能技术	81
第三章 主要国家和地区低碳发展实践	88
第一节 美国低碳发展的实践与进展	88
一、美国温室气体排放现状	89
二、美国应对气候变化的主要政策行动	91
三、美国电力部门排放现状及主要政策行动	96
四、美国交通部门排放现状及主要政策行动	99
五、美国能源效率方面的主要政策行动	100
六、美国技术研发领域的主要政策行动	103
七、美国区域层面应对气候变化的主要政策行动	105
八、美国应对气候变化的主要问题	107
第二节 欧盟低碳发展的实践与进展	109
一、欧盟经济增长与温室气体排放趋势	109
二、西、北欧国家的低碳转型	114
三、东、中欧国家的经济和排放反弹	119
四、南欧国家的经济和排放同步变化	124
五、欧盟低碳发展的主要政策措施	129
六、欧盟低碳发展所具备的条件	138
七、欧盟低碳发展面临的挑战	142
第三节 英国低碳发展的实践与进展	144
一、英国经济增长与温室气体排放趋势	144
二、英国低碳转型的主要政策	149

第四节 德国低碳发展的实践与进展·····	156
一、德国经济增长与温室气体排放趋势·····	156
二、德国低碳发展的主要政策与经验·····	162
第五节 日本低碳发展的实践与进展·····	182
一、日本与能源利用相关的二氧化碳排放状况及 2030 年减排目标·····	182
二、日本低碳发展的主要政策措施·····	185
第六节 印度低碳发展的实践与进展·····	215
一、印度经济增长与温室气体排放·····	216
二、印度应对气候变化的政策出发点·····	219
三、印度《气候变化国家行动计划》及进展·····	220
四、印度应对气候变化行动的政策取向·····	222
结语·····	226
参考文献·····	228

引言

“低碳发展”(Low-carbon Development)是近年来主要国家和国际社会随着全球应对气候变化进程的发展而主动提出的新型发展战略,其核心是大幅度提高社会生产力和经济整体的效率,减少发展过程对物质资源、能源的消耗和温室气体排放,实现经济社会发展与减缓气候变化的长期、稳定双赢。2015年年底达成的《巴黎协定》是全球气候治理继《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》)和《京都议定书》之后的又一个里程碑,它传递了全球向绿色低碳转型的积极信号,为2020年后全球合作应对气候变化指明了方向和目标,也为世界各国实现低碳转型的发展战略提供了国内政策指导和国际合作框架。

气候变化是具有科学支撑的事实,积极应对气候变化是科学的要求。政府间气候变化专门委员会(IPCC)为世界各国在《公约》下的谈判提供了科学支撑。无论从古气候研究、古代文献分析,还是从近代气象和气候观测、气候模式分析等的研究结果看,气候变化都是不争的事实。人类活动排放的温室气体被逐步证明是导致1951年以来气候变化的主要原因。过去三个10年地表温度依次升高,比1850年以来的任何一个10年都偏暖;全球冰川继续退缩,北半球春季积雪面积继续缩小;1901—2010年,全球平均海平面上升了0.19 m,这些现象都表明,近年来地球气候系统以极高的速率变化给人类社会和地球系统带来了巨大的风险。这就要求人类社会积极应对气候变化,从减排温室气体入手,减缓气候变化,同时积极采取适应气候变化的措施。

《巴黎协定》的达成表明,低碳发展是基于科学认知形成的全球政治共识。全球确定将温升控制在 2°C 或者 1.5°C 是一个重要的政治决策选择,是世界各国在力图尽可能减少人为因素对全球气候系统的干扰和经济社会发展的现实可能性



之间的一种权衡结果。各国在应对气候变化，尤其是减缓温室气体排放和提供实施手段方面的责任承诺，也反映了全球在气候变化问题上的政治经济博弈结果。但无论是目标设定，还是承担责任，其核心目的都是为了加快控制温室气体排放，相互鼓励与促进实施减缓政策与技术革新，通过真实的减排成效，使全球建立起合作应对气候变化、实现低碳发展的决心和信心，而绝不是寻求借口置身事外。

《巴黎协定》的达成还表明，绿色低碳发展已成为世界经济的新趋势。发展模式向低碳发展转型是人类文明进入生态文明阶段，使人类发展活动尊重自然、顺应自然、保护自然，维护人与自然的共生关系所必需的。低碳发展是在主动寻求更加高效地利用资源，降低经济社会发展对环境的不利影响，加速实现整个经济社会的低碳转型，这体现了全社会整体经济效率的提高。全球各国的决策者在科学认知的逐步深入与普及中，加深了对气候变化的科学问题、人为活动归因、自然和社会系统影响、适应和减缓策略响应的认知，确认了低碳发展是以消费更少的含碳资源来满足人类社会发展需求，是世界经济发展和技术变革的必然方向，同时人类活动对地球气候系统的影响必须通过积极、全面、快速、有力的合作行动来应对，尤其是必须从整个经济社会发展的角度，系统性地控制温室气体排放。这就要求人类社会必须走低碳发展的道路，而不能仅仅依赖于某项或某些具体的技术去实现减排。

低碳发展具有现实的、动态发展的技术支撑。实现低碳发展的系统性工程，需要在能源、交通、建筑、工业、农业、管理等领域实现技术突破来支撑。当前世界各国在数字化智能管理、可再生能源技术、节能技术等方面都投入了大量资源，也在不断取得成果，有力支撑了全球低碳转型的进程。

低碳发展是一个综合性的系统工程。低碳发展需要决策层、科学界、企业、公众的全面参与，需要多学科、跨领域的全面合作和系统整合。低碳发展也需要组合型的低碳政策，如碳排放控制目标分解、节能目标责任制等行政控制政策，碳排放权交易、碳税等环境经济政策，可再生能源配额、标杆电价、能效和碳排放标准等技术支持政策，电力市场改革、油价形成机制改革等体制机制完善政策，碳排放统计报告与第三方核查、碳排放信息披露等公共管理政策，低碳发展公众宣传、教育与培训等能力建设政策等，而不能仅从经济学理论出发，将所有政策聚焦到碳定价的环境经济政策上。低碳政策必须直面更广泛的社会经济影响，解

决企业竞争性、产业结构调整、能源安全、能源贫乏、支付能力等问题，展示更多的协同效益，否则政策效果会受到限制和质疑。

当前世界主要国家都在转向低碳发展，各国选择的路径各有特点，其中欧洲走在了前列。这首先是因为低碳发展需要坚定的政治意愿和社会共识以及法律基础，而在德国、英国、法国、丹麦等欧洲的中坚国家，这种社会和政治基础已经基本形成，绿色低碳发展转化为强劲的内部驱动力。实际上，主要大国都制定了低碳发展的整体规划，许多国家以法律形式明确了低碳发展和控制温室气体排放的地位，但各国由于政治体制、经济组织方式、资源禀赋、发展阶段、民族文化等的不同，选择的路径也有所不同。欧盟和许多欧洲国家在行政体系、经济结构、能源结构、技术研发、公众意识等方面都开展了积极探索，并且取得了显著成效，为其他地区树立了榜样。然而从全球和国别而言，低碳发展仍需要基于深入研究，包括进一步开展技术经济分析和综合宏观模型评估，以建立和完善低碳战略路线图，确定经济和技术可行的脱碳方向与速率。

《巴黎协定》在达成不到一年的时间内生效，成为历史上生效最快的全球环境条约，标志着各国议会和政府以严肃的态度参与全球气候治理，履行法律义务。尽管当前由共和党执政的美国新一届政府对其表示了疑义，质疑其对美国的公平性，并宣称要退出这一条约，但美国各界包括民主党、加利福尼亚等许多州、微软等行业巨头、彭博基金会等民间组织都坚决反对联邦政府的决定，表示将继续积极应对气候变化，帮助美国实现其在《巴黎协定》中的承诺。这表明全球气候治理进入了新的历史时期，全球应对气候变化合作进入了共同目标、各尽所能、合作促进的新阶段。各国都需要严肃认真地应对气候变化，促进发展模式的低碳转型，以实现经济增长与环境保护双赢的可持续发展。

第一章 科学基础与政治共识

第一节 低碳发展的自然科学基础

低碳发展源于全球应对气候变化的需求。气候变化是地球系统的一种自然状态。通过仪器直接测量、卫星及其他平台的遥感手段，可以直接证明 19 世纪中叶以来的全球气候变化，而古气候重建则可以使人类对气候变化的认知上溯到几百年甚至几百万年以前（IPCC，2013）。中国气象学先驱竺可桢先生在 1972 年发表了《中国近五千年来气候变迁的初步研究》一文，基于我国古代史学文献和考古学发现，证明了历史上气候变化对中国这片土地造成的影响，同一时期和后续也不断有学者深入细致研究了中国历史上气候变化与社会经济演变的问题（刘昭民，1982；满志敏，2009；葛全胜，2010）；而对世界范围的史学研究也表明，气候变化在全球范围都不断影响着人类社会的发展与变迁。

1992 年达成的《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC，以下简称《公约》）作为全球第一部以应对气候变化为主题的国际法，确立了人类社会应对气候变化的最终目标，即“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。这一水平应当在足以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的时间范围内实现”。作为框架性公约，这一目标只是定性表述了要稳定大气中温室气体的浓度，但并未明确避免“气候系统受到危险的人为干扰”应把浓度控制在何种定量化的水平上。《公约》发布后，如何确定定量的全球应对气候变化长期目标，成为后续气候变化科学评估和国际谈判关注的核心问题之一。

当前气候变化科学问题争论的焦点在于：气候系统是否超常变暖，人类活动是否是气候变暖的主要原因，全球变暖是否对人类的经济社会发展形成现实和未来的重大威胁。对这些争论焦点的认识，是应对气候变化一切政策对策的基本出发点。

一、气候系统超常变暖

近百年来，地球气候系统正经历着一次以变暖为主要特征的显著变化。

政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次评估报告表明，由线性趋势计算的结合陆地和海洋表面温度资料的全球平均值显示，1880—2012 年温度升高了 $0.85 [0.65 \sim 1.06] ^\circ\text{C}$ ^①，过去三个 10 年的地表温度依次升高，比 1850 年以来的任何一个 10 年都偏暖。1901—2012 年，全球几乎所有地区都经历了地表增暖。在北半球高纬度地区温度升幅较大。1983—2012 年这段时期很有可能是北半球过去 800 年里最暖的 30 年。

在全球尺度上，海洋表层温度升幅最大。1971—2010 年海洋上层 75 m 以上深度的海水温度升幅为每 10 年 $0.11 [0.09 \sim 0.13] ^\circ\text{C}$ 。从海洋纵深来看，几乎可以确定的是，海洋上层（0~700 m）在 1971—2010 年已经变暖，甚至可能是在 19 世纪 70 年代至 1971 年就开始变暖了；极有可能的是，1957—2009 年海洋在 700~2 000 m 深度之间已经变暖，1992—2005 年在 3 000 m 到海底之间已经变暖。

海水的理化属性也发生了变化。自 20 世纪 50 年代以来，以蒸发为主的高盐度海区的表水很可能变得更咸，而以降水为主的低盐度海区的表水很可能变得更淡。这些区域性海洋盐度的变化趋势间接表明，海洋上蒸发和降水已发生变化，因此全球水循环也发生了变化。自工业革命伊始，海洋对二氧化碳的吸收造成了海洋酸化；海洋表面海水的 pH 值下降了 0.1，以氢离子浓度来衡量，相当于酸性增高了 26%。自 20 世纪 60 年代以来，变暖导致许多海域的海岸水域和公海温跃层的含氧量下降，热带含氧量最低的海域在近几十年可能已有所扩大。

① 本小节数据除另有标注外，均引自参考文献[6]；中括号内数字表示 90%置信区间，下同。