



低碳发展蓝皮书

BLUE BOOK OF LOW-CARBON DEVELOPMENT

中国低碳发展报告

(2017)

《中国低碳发展报告》编写组

主编/张希良 齐晔

ANNUAL REVIEW OF LOW-CARBON DEVELOPMENT

IN CHINA (2017)



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

2017
版



低碳发展蓝皮书

BLUE BOOK OF

LOW-CARBON DEVELOPMENT

中国低碳发展报告 (2017)

ANNUAL REVIEW OF LOW-CARBON DEVELOPMENT
IN CHINA (2017)

《中国低碳发展报告》编写组
主 编 / 张希良 齐 晔



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

图书在版编目(CIP)数据

中国低碳发展报告. 2017 / 张希良, 齐晔主编. --
北京: 社会科学文献出版社, 2017. 6
(低碳发展蓝皮书)
ISBN 978 - 7 - 5201 - 0915 - 4

I. ①中… II. ①张… ②齐… III. ①二氧化碳 - 排
气 - 研究报告 - 中国 - 2017 IV. ①X511 ②F120

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 103165 号

低碳发展蓝皮书 中国低碳发展报告 (2017)

编 者 / 《中国低碳发展报告》编写组
主 编 / 张希良 齐 晔

出 版 人 / 谢寿光
项目统筹 / 恽 薇
责任编辑 / 刘宇轩 王婧怡

出 版 / 社会科学文献出版社·经济与管理分社 (010) 59367226
地址: 北京市北三环中路甲 29 号院华龙大厦 邮编: 100029
网址: www.ssap.com.cn

发 行 / 市场营销中心 (010) 59367081 59367018
印 装 / 三河市东方印刷有限公司

规 格 / 开 本: 787mm × 1092mm 1/16
印 张: 15.25 字 数: 199 千字

版 次 / 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷
书 号 / ISBN 978 - 7 - 5201 - 0915 - 4
定 价 / 79.00 元

皮书序列号 / PSN B - 2011 - 223 - 1/1

本书如有印装质量问题, 请与读者服务中心 (010 - 59367028) 联系

▲ 版权所有 翻印必究



权威·前沿·原创

皮书系列为
“十二五”“十三五”国家重点图书出版规划项目

低碳发展蓝皮书编辑委员会

主 任:

何建坤 清华大学教授、清华大学低碳经济研究院学术委员会主任、国家气候变化专家委员会副主任、清华大学原常务副校长

成 员:

倪维斗 清华大学教授、中国工程院院士、清华大学原副校长

江 亿 清华大学教授、中国工程院院士、清华大学建筑节能研究中心主任

刘世锦 国务院发展研究中心研究员、原副主任

魏建国 中国国际经济交流中心副理事长，商务部原副部长

冯 飞 浙江省人民政府副省长，工信部原副部长、国务院发展研究中心产业经济研究部原部长

周大地 国家发展和改革委员会能源研究所研究员、原所长

薛 澜 清华大学教授、清华大学公共管理学院院长

齐 晔 清华大学教授、清华-布鲁金斯公共政策研究中心主任

研究编写组及评审专家

研究编写组 (按姓氏拼音排序)

主 编 张希良 齐 晔

副 主 编 董文娟

成 员 董长贵 董文娟 段茂盛 郭施宏 何建坤
李东雅 李惠民 李梦宇 刘天乐 齐天宇
齐 晔 宋祺佼 王崑暘 翁玉艳 张希良
赵小凡

特约评审专家 (按姓氏拼音排序)

柴麒敏 戴彦德 胡 敏 姜克隽 滕 飞
王庆一 杨 秀

主要编撰者简介

何建坤 清华大学低碳经济研究院学术委员会主任、国家气候变化专家委员会副主任。曾担任清华大学常务副校长、校务委员会副主任、低碳能源实验室主任，并曾兼任清华大学经济管理学院院长等职务。主要研究领域包括能源系统分析与模型、全球气候变化应对战略、资源管理与可持续发展等。

张希良 清华大学核能与新能源技术研究院教授、清华大学能源环境经济研究所所长、中国能源研究会常务理事兼新能源专业委员会秘书长、中国可持续发展研究会理事、中国农业工程学会理事。主要研究领域包括能源经济学、能源经济系统建模、绿色低碳发展政策与机制设计等。

齐 晔 清华大学公共管理学院“长江学者”特聘教授、清华大学苏世民书院“大众汽车”讲席教授，美国布鲁金斯学会资深研究员，清华-布鲁金斯公共政策研究中心主任。曾执教于加州大学伯克利分校和北京师范大学。主要研究领域包括资源环境政策与管理、全球气候变化与生物多样性、可持续发展治理理论与政策等。

《巴黎协定》确立了2020年后全球气候治理新机制，其顺利通过并快速生效体现了世界各国合作应对气候变化的高度共识和强烈的政治意愿。当前，如何落实《巴黎协定》所提出的目标和政策仍然面临艰巨的任务。

《巴黎协定》提出控制全球升温不超过 2°C 并努力控制在 1.5°C 以下的长期目标，但目前各国国家自主决定贡献（INDC）距实现该目标尚有较大差距，到2030年仍存在约150亿吨 CO_2 当量的减排缺口，需要各国自觉加大减排力度，加快能源体系的革命性变革和经济发展方式的低碳转型，才能在21世纪下半叶实现全球温室气体净零排放的长期目标。

《巴黎协定》后全球应对气候变化的紧迫形势，使中国也面临巨大挑战和艰巨任务。中国实施应对气候变化战略，“十二五”期间制定了GDP的能源强度下降16%、 CO_2 强度下降17%的目标，截至2015年年底已分别实现18%和21%的降幅，超额完成了既定目标。“十三五”期间，又制定了GDP的能源强度下降15%、 CO_2 强度下降18%的目标，如该目标顺利完成，到2020年单位GDP的 CO_2 强度可比2005年下降约50%，超额完成我国在哥本哈根气候大会上承诺的下降40%~45%的目标。为实现我国在《巴黎协定》下提出的到2030年单位GDP的 CO_2 强度比2005年下降60%~65%、非化石能源比例提升到20%左右以及2030年左右 CO_2 排放达到峰值的国家自主贡献目标，尚需做出更大努力，单位GDP的 CO_2 强度年下降率需持续维持在4%以上。我国在大幅度降低GDP的能源强度和碳强度、提



高单位能源消费和碳排放的经济产出效益方面已经处于国际领先地位。持续保持单位 GDP 的 CO₂ 强度的快速下降态势，也将使我国可以在 GDP 年均 4% ~ 5% 较高增速情况下实现 CO₂ 排放达到峰值并开始下降，从而打造经济增长与减排 CO₂ 的双赢局面。

当前，我国积极推动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，以能源体系的革命性变革促进经济发展方式向低碳转型。我国大力促进能源技术创新，在新能源和可再生能源的发展规模、年增长量、新增投资方面都居于世界前列，风电、太阳能发电、核电的技术和设备在国际市场上也具有竞争优势，新能源技术产业已经成为我国新的经济增长点和新增就业领域。绿色、低碳投资导向将促进产业结构的调整，促进经济发展方式的低碳转型。未来我国在高比例可再生能源发展形势下，对能源转换、输送、存储、上网等先进技术创新和智能化能源互联网发展都有强劲的需求，也将带动信息、新材料、先进制造等高科技产业的创新和发展，低碳技术创新和产业发展将成为推动经济持续健康增长的强大引擎，并在全球低碳经济发展潮流中打造竞争优势，为 21 世纪下半叶形成以新能源和可再生能源为主体的近零排放的可持续能源体系奠定基础。

“十三五”规划中提出要全面推进创新发展、协调发展、绿色发展、开放发展、共享发展的新发展理念。其中创新发展指的是转换发展驱动力，而绿色发展指的是转变发展路径，既包括国内节约资源、保护环境，走生产发展、生活富裕、生态良好的可持续发展道路，也包括应对全球气候变化的生态危机，减缓碳排放，实现气候友好型的低碳发展路径。所以绿色发展是统筹国内国际两个大局的创新理念和发展路径，经济发展要由传统的以高能源消费、高污染和高碳排放为支撑的粗放发展方式转变为新型的低能耗、低污染和低碳排放的可持续发展路径，实现经济增长、社会进步和环境保护

的协调发展。绿色发展的核心是以尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念为指引，形成人与自然和谐发展的现代化建设新格局，推进美丽中国建设，实现“两个百年”奋斗目标和中华民族的永续发展，同时为应对气候变化这一人类面临的重大威胁和保护地球生态安全做出新的贡献。

为加速经济的绿色低碳转型，“十三五”规划在继续“十二五”期间实施 GDP 能源强度和 CO₂ 强度下降幅度的约束性指标的同时，又提出了能源消费总量的控制目标，进而实施“强度”和“总量”的双控机制，将进一步控制和减缓能源消费和 CO₂ 排放的增长速度。“十三五”期间在支撑 GDP 仍以年均 6.5% ~ 7.0% 较高速度增长的同时，GDP 的 CO₂ 强度年下降率将保持在 4% 以上，远高于世界约 2% 的平均水平，也高于欧盟、日本、美国等发达国家的下降速度。“十三五”期间能源需求增速将放缓至 2% 以下，在新能源和可再生能源加速发展情况下，新增能源需求将主要依靠非化石能源的增长来满足，使 CO₂ 排放量逐渐趋于稳定，化石能源消费总体趋于饱和。再加上减少煤炭终端利用的比例和各项减排技术措施，国内常规污染物排放也将有较大幅度下降，这将进一步加快绿色低碳转型的步伐。“十三五”之后，随着能源体系变革和产业转型升级的进展，在保障经济持续增长的同时，能源需求增速还将进一步下降，能源结构低碳化转型加速，为实现 CO₂ 排放尽快达到峰值创造条件，并为全球控制和减缓 CO₂ 排放增长做出重要贡献。

在经济新常态下，我国应转换发展动能，转变增长方式，调整经济结构，使产业转型升级、企业提质增效，在促进经济持续健康和较快速增长的同时，加快推进绿色低碳转型。“十三五”规划中加强供给侧结构性改革，将着眼于破除体制机制障碍、优化资源配置、提高全要素生产率、降低成本、提高效益，从而将促进产业转型升级，带动技术改造和革新，提高能源利用的技术效率和经济产出效益，促进



GDP 能源强度和 CO₂ 强度较大幅度地下降。供给侧改革将增加有效供给，满足社会和人民日益增长的物质和文化需求，从而增强最终消费拉动经济增长的基础性作用，走上创新驱动型内涵提高的绿色低碳发展路径。因此，坚持创新驱动和绿色低碳发展，必将成为我国突破资源环境制约，实现可持续发展的成功之路，从而打造经济增长、环境改善、CO₂ 减排的共赢局面。这也是我国由经济大国转变为经济强国，增强国际竞争力，在全球环境治理中发挥引领性作用，体现发展中大国责任担当的战略选择。

本期《中国低碳发展报告（2017）》分析了《巴黎协定》后我国经济新常态下低碳发展的形势与任务，对“十二五”规划期间的节能降碳和低碳转型成果进行了分析评价，并对典型城市进行了案例分析。同时对我国在《巴黎协定》下长期低碳发展路径进行了情景研究，以期与社会各界交流共享，共同为促进我国打造经济发展、环境保护和应对气候变化共赢局面出谋划策、贡献力量。

何建坤

2017 年 1 月

前 言

排放达峰与能源转型：中国 低碳发展的逻辑

2014年11月11日，中国国家主席习近平与来京参加APEC峰会并进行国事访问的美国总统奥巴马在中南海进行了“瀛台夜话”，共话中美在一系列全球和双边关系重大问题的合作领域与前景。次日，中美两国发布了关于气候变化合作的联合声明。该声明一经发布，举世瞩目，原因之一在于当今全球最大的碳排放国首次明确了达峰时间表：在2030年左右中国的二氧化碳排放将达到峰值。在此声明发布之前的15年，中国的碳排放量在以年均约8%的速度增长。达峰，意味着要在接下来的15年里，把增速逐渐降到0。显而易见，中国政府的这项声明无论对国内的低碳发展，还是全球应对气候变化，特别是对次年将要召开的被赋予众望的联合国巴黎气候大会都有着特别重大的意义。当世界为此兴高采烈欢呼雀跃之时，一些冷静的头脑却在思索着另一个问题：这个雄心勃勃的目标有可能实现吗？更有人担忧，这是否意味着中国将不得不自缚手脚，甚至于自废武功，影响经济增长呢？

而如今，似乎很少有人仍抱有当时的疑问。是的，当年设定的碳排放目标完全可以实现。现在的问题是，中国的碳排放峰值到底能够提前几年实现？

最为有趣的是，该目标宣布一年之后，中国的碳排放量开始应声下降。按照我们《中国低碳发展报告》团队的估计，2015年中国能



源相关的碳排放下降 0.6%。国际能源署和美国能源部也做出类似结论。2016 年，中国能源相关的碳排放进一步下降 0.35%。此时，一些激进的头脑中可能会盘旋着这样一个疑问：中国的碳排放峰值会不会已经到来？

提出这样的问题并非偶然，亦非异想天开。毕竟在过去几年中发生在经济、能源和技术领域的许多现象，似乎都在暗示中国的低碳发展正孕育着重大转折和突破。2016 年出版的《中国低碳发展报告（2015~2016）》以“中国低碳发展深刻变革新阶段”为题开篇，我们当时的判断反映在开头的第一句话：“十二五”以来，中国经济进入新常态，中国低碳发展迎来深刻变革新阶段。过去一年的发展为这一判断提供了新的佐证。

首先，煤炭消费达峰。我们的研究团队与英国伦敦政治经济学院斯特恩勋爵的研究团队一起，于 2016 年 7 月以“中国的后煤炭增长”为题在《自然·地球科学》发文，宣称中国煤炭消费峰值已经出现。按照实物量计算，2013 年中国煤炭消费量为 42 亿吨，后逐年下降。按照热值计算，2014 年中国煤炭消费亦已达峰。如果说之前，中国煤炭消费是否能够达峰这一问题在学界、政界和商界仍是一个仁者见仁、智者见智的问题，那么在今天看来，共识已经远远多于分歧。《中国的后煤炭增长》刚刚发表之时，国家能源局原局长张国宝先生即撰文表示支持该文的基本判断和结论。他进一步提出政府应在专家科学研究基础上公开宣布煤炭消费已经达峰。2016 年底，国际能源署调整了其延续多年的判断，转而支持中国煤炭消费达峰的结论。即便是最不愿看到煤炭消费达峰的煤炭行业也慢慢接受了这一现实，并以此安排相关行业和相关企业的发展战略。

从发达国家的经历来看，煤炭消费达峰是碳排放达峰的基本前提。这是因为煤炭不仅是世界上最早开发利用的化石能源，同时也是碳密度和污染物含量最高的化石能源。这注定其会最早被更为清洁、

更为低碳的能源所替代。英国是世界工业革命的策源地，也是世界能源革命的肇始国，正是以煤炭为基础推动了其工业化和现代化过程。20世纪中叶，英国的煤炭消耗量达到顶峰，后逐渐下降。能源的需求由快速增加的石油和天然气提供。法国及德国的煤炭消费也分别在20世纪50年代和60年代达到峰值。美国的煤炭消费也在2005年达峰。

中国的经济发展严重依赖煤炭。长期以来，煤炭消耗在全部能源中占比达70%以上。进入新世纪以来，能源多元化趋势明显。非煤能源使用比重逐渐提高。即便如此，目前中国能源消费中，煤炭比重仍然高达61.7%。“十二五”时期，中国每年的煤炭消费均占全球的50%左右。可以说，中国煤炭达峰不仅是中国碳排放达峰的前提，也是世界碳排放达峰的前提。

煤炭达峰标志着中国煤炭驱动型经济增长的终结。煤炭达峰后，每年经济总量仍在持续增长，煤炭消费量却不再增加，甚至有所下降。长期以来经济增长依赖煤炭消费增长的局面被打破，两个增长完成脱钩。从此，中国步入后煤炭增长时代。这是中国经济与能源体系转型的重要节点，其意义不可低估。

需要说明的是，后煤炭增长时代并非不再利用煤炭，而仅是指经济的增量不再依赖煤炭的增量来实现。事实上，中国每年的煤炭消费仍维持在高位，接近40亿吨（2016年消费量为近五年来最低，约为38亿吨；2015年为39.7亿吨）。这种情形仍将持续较长时间。我们预期，到21世纪中叶（2050年前后），煤炭消费量将减半，煤炭占一次能源消费的比重将显著低于50%。

从发达国家的情况来看，进入后煤炭增长时代，能源消费总量仍可能持续增长，甚至化石能源消费的增长仍不停滞；所不同的是，较为清洁低碳的能源增长替代了煤炭的增长。一般情况是，当石油和天然气供给达到一定程度时，就开始发生对煤炭的替代。英国的煤炭替



代发生在 60 年前。而美国大规模的煤炭替代仅有十年历史。2006 年以来由于页岩气革命带来的天然气成本下降，以气代煤迅速普及，煤炭消费在一次能源消费中的比重从 2006 年的 23% 下降到 2015 年的 16%。与此同时，天然气比重提高了 7 个百分点。

中国的情形似乎有其特殊性。煤炭消费比重的下降并未带来石油和天然气消费比重的明显升高，而是带来非化石能源消费比重的迅速上升。2010 年，中国的煤炭消费比重为 70%，非化石能源消费比重不到 8%。2016 年，煤炭消费比重下降到 61.7%，而非化石能源消费比重上升到 13.3%。这一消一长反映了中国能源替代和转型的特征，即以非化石能源，特别是风能和太阳能直接替代煤炭为主。有趣的是，中国的能源替代历程似乎能够迅速跨越发达国家普遍出现的以油气替代煤炭的历史阶段。

中国能源替代和转型的特殊性可反映其资源禀赋特征和经济技术特征。从资源禀赋来看，中国的化石能源资源特征是多煤、贫油、少气。煤炭资源占能源资源储量的绝大多数（97%），而石油和天然气资源总计约占 3%。近年来，尽管探明的页岩气资源丰富，但开采难度很大。除非有廉价油气输入，资源禀赋的差异决定了用石油天然气替代煤炭的难易程度。另外，我国的非化石能源资源丰富。

非化石能源对煤炭的替代在发电领域最为显著。2013 年以来，全社会用电量持续增长，但燃煤发电比重持续下降。甚至在 2014 年和 2015 年两年燃煤发电的总量也在减少，而减少了的煤电和新增的电力需求由非化石能源发电来满足。

非化石能源的发展，特别是风能和太阳能发电，是近十年来中国能源系统最引人注目的变化，也是世界能源转型中的大事。对比 2006 年和 2016 年两个时间点，以煤为主的火力发电量十年间增长了 0.8 倍。然而在此期间，非化石能源发电量却增加了 2.6 倍。其中，水电增长 1.8 倍，核电 2.9 倍，而风能和太阳能更是接近 109 倍，从

2006 年的 28 亿千瓦时增长到 2016 年的 3072 亿千瓦时，成为整个电力系统中关键组成部分（这其中尚不包括由于各种原因而弃置不用的约 1300 亿千瓦时的清洁电力）。过去十年间，非化石能源发电量占比以每年超过一个百分点的速度提高，如今接近 30%。非化石能源发电装机容量占全国总装机容量从十年前的不足 1/4 增加到如今超过 1/3；仅风能和太阳能装机容量就占到总装机容量的大约 1/7，并且仍在高速增长。

清洁能源的高速发展得益于技术引进、消化、吸收和创新。但更重要的原因可能在于成套设备和组件的大规模生产和装配利用。规模效应辅之以技术进步有效降低了清洁能源生产成本，进一步催生了风能和太阳能的更大规模化利用，从而形成一个正反馈良性循环。这个良性的正反馈循环正是能源转型和革命的核心特征和必经阶段。

清洁能源的大规模、高速度发展也得益于其他几项关键因素。首先是需求。改革开放以来，中国经济的高速发展导致能源需求的快速增长，其资源禀赋决定了化石能源供给的速度和规模难以满足经济社会对能源需求的增加。其次是能源安全、环境健康和气候变化等因素促进了政府和社会对清洁能源的偏好。地方政府在经济绩效和晋升考核的压力下，大力招商引资，甚至以高额的税收优惠并在土地、资源、环保和劳动力上给企业以支持，从而调动企业的投资冲动。特别是，清洁能源投资项目往往与相关的土地或其他资源的占用紧密挂钩，更可以获得大量额外的企业利益。例如，有的地方将清洁能源投资与煤炭资源开发相挂钩，投资清洁能源项目的同时可以获得煤炭项目的开发权。其结果，在过去十多年间，中国清洁能源投资之旺盛程度是其他任何国家和地区所不能比拟的。十年前，中国在清洁能源上的投资为 112 亿美元，占全球清洁能源投资的 10%。2009 年，中国超过欧洲和美国，清洁能源投资达到 388 亿美元，成为全球最大的投资国。如今在全球清洁能源投资相对疲软的大背景下，中国的投资额



仍达 878 亿美元，占比高达 30%，成为名副其实的清洁能源投资引擎。

近年来，一方面是投资高速增长，产能不断提高，装机容量日益增多；而另一方面是经济新常态以来经济增速放缓，影响到电力需求增长疲软。在其他因素不变的情况下，弃风限电严重了，但同时能源替代也出现了！在雾霾漫天、气候变暖、健康备受重视的大背景下，以清洁能源替代高碳、低效、不清洁的煤炭成为顺理成章的选择。而这种替代正是能源转型和能源革命的重要目标。

中国的能源转型和能源生产以及消费革命要同时解决高效、低碳、清洁三个问题。能源强度、碳排放强度和清洁能源比重是检验能源转型的关键指标。李克强总理在 2017 年全国“两会”的政府工作报告中指出，2016 年，中国的能源强度下降了 5%，清洁能源比重提高了 1.7 个百分点。计算表明，碳排放强度更是下降了 7%。中国能效和碳生产率提高的速度以及清洁能源比重上升的速度，在中外历史上都是罕见的。“十二五”期间，中国超额完成能源强度和碳排放强度的规划目标，同时，清洁能源比重也大幅超过规划目标。“十三五”开局之年延续了能源加速转型的势头，在节能、低碳和清洁化三方面都取得了明显进展。可喜的是煤炭消费无论是数量还是比重都进一步显著下降，使中国经济稳步跨入后煤炭增长时代。在应对全球气候变化上，中国不仅将超额实现《哥本哈根协议》目标，更为实现《巴黎协定》目标打下良好的基础。

《中国低碳发展报告（2017）》继续关注低碳发展热点，从全球气候治理新机制到我国经济低碳转型，从中国碳市场设计到低碳试点的案例分析。本报告重点总结了“十二五”期间中国低碳发展特征，探讨了“十三五”能源转型新趋势。《低碳发展蓝皮书》自 2010 年出版以来，报告中的低碳指标篇广受关注和好评。本次报告，在国家能源数据调整基础上对全部指标进行了重新计算和整理，希望成为中