

图书在版编目 (CIP) 数据

读懂碳中和 / 中国长期低碳发展战略与转型路径研究课题组, 清华大学气候变化与可持续发展研究院著. -- 北京: 中信出版社, 2021.8 (2021.11 重印)

ISBN 978-7-5217-3234-4

I. ①读… II. ①中… ②清… III. ①中国经济—低碳经济—经济发展—研究 IV. ①F124.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第114174号

读懂碳中和

著者: 中国长期低碳发展战略与转型路径研究课题组 清华大学气候变化与可持续发展研究院

出版发行: 中信出版集团股份有限公司

(北京市朝阳区惠新东街甲4号富盛大厦2座 邮编 100029)

承印者: 北京尚唐印刷包装有限公司

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 37.75 字数: 570千字

版次: 2021年8月第1版 印次: 2021年11月第5次印刷

书号: ISBN 978-7-5217-3234-4

定价: 168.00元

版权所有·侵权必究

如有印刷、装订问题, 本公司负责调换。

服务热线: 400-600-8099

投稿邮箱: author@citicpub.com

撰写组作者名单

| | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 第一章: | 祝宝良 | 李继峰 | 肖宏伟 | | | |
| 第二章: | 潘家华 | 葛全胜 | 张丽峰 | 娄伟 | 李萌 | 崔惠娟 |
| | 孙丽丽 | 李曼琪 | 刘敏 | 张兴 | | |
| 第三章: | 顾学明 | 张威 | 程慧 | 陈曦 | | |
| 第四章: | 王仲颖 | 赵勇强 | 郑雅楠 | 韩雪 | | |
| 第五章: | 李政 | 董文娟 | 陈思源 | 刘培 | 杜尔顺 | 麻林巍 |
| | 张宁 | 程耀华 | 李广胜 | | | |
| 第六章: | 戴彦德 | 田智宇 | 谷立静 | 符冠云 | 伊文婧 | 裴庆冰 |
| 第七章: | 王灿 | 蔡闻佳 | 聂耀昱 | 赵一冰 | 张雅欣 | 李明煜 |
| | 宋欣珂 | 翁宇威 | 李晋 | 丛建辉 | 郑馨竺 | 仲平 |
| | 张贤 | 刘家琰 | | | | |
| 第八章: | 熊华文 | 符冠云 | 白泉 | | | |
| 第九章: | 江亿 | 燕达 | 胡姗 | 郭偲悦 | 张洋 | |
| 第十章: | 欧阳斌 | 凤振华 | 王雪成 | 毕清华 | 周亚林 | 李忠奎 |
| | 郭杰 | 张海颖 | 曹子龙 | 张毅 | 王双 | 陈书雪 |
| 第十一章: | 康艳兵 | 姚明涛 | 王恬子 | 付毕安 | | |
| 第十二章: | 贾峰 | 杨珂 | 栾雪菲 | | | |
| 第十三章: | 滕飞 | 顾阿伦 | 佟庆 | 周胜 | 陈敏鹏 | 高庆先 |
| | 马占云 | 王国胜 | | | | |
| 第十四章: | 贺克斌 | 张强 | 同丹 | 程静 | 刘洋 | |
| 第十五章: | 王毅 | 谭显春 | 傅志华 | 陈少强 | 顾佰和 | 于智媛 |
| | 杨东 | 郭建新 | 王溥 | 牛苗苗 | 张倩倩 | 李辉 |
| | 涂唐奇 | 朱开伟 | 黄晨 | 李璇 | | |
| 第十六章: | 徐华清 | 柴麒敏 | 高翔 | 祁悦 | 樊星 | 温新元 |
| | 梁媚聪 | 高启慧 | | | | |
| 第十七章: | 张希良 | 周丽 | 欧训民 | 郭偲悦 | 黄晓丹 | 张鸿宇 |

研究项目设置

项目名称

中国长期低碳发展战略与转型路径研究

项目主持单位

清华大学气候变化与可持续发展研究院

项目总指导

解振华

项目负责人

何建坤、李政

课题设置、牵头单位及负责人

- | | |
|-----|--|
| 课题一 | 中国经济社会发展的中长期目标、战略与路径 国家信息中心 祝宝良 |
| 课题二 | 中国东、中、西部经济协调发展及城市化进程中的低碳战略及实现路径 中国社会科学院城市发展与环境研究所 潘家华 |
| 课题三 | 全球化背景下国际贸易和产业转移对我国低碳发展的影响及对策 商务部国际贸易经济合作研究院 顾学明 |
| 课题四 | 中国能源系统转型的中长期战略与途径 国家发展和改革委员会能源研究所 王仲颖 |
| 课题五 | 中国低碳排放目标下电源及电网优化构成及技术路线图 清华大学能源与动力工程系 李政 |
| 课题六 | 中国中长期节能潜力、目标、政策及成本效益分析 国家发展和改革委员会能源研究所 戴彦德 |

- 课题七 中国中长期减排技术评价、成本效益分析及技术发展路线图
清华大学环境学院 | 王灿
- 课题八 中国工业部门转型升级与低碳排放战略与途径
国家发展和改革委员会能源研究所 | 白泉
- 课题九 中国建筑部门低碳排放战略与途径
清华大学建筑学院 | 江亿
- 课题十 中国交通部门低碳排放战略与途径
交通运输部科学研究院 | 欧阳斌
- 课题十一 中国中长期能源基础设施转型发展投资战略研究
国家发展和改革委员会能源研究所 | 康艳兵
- 课题十二 中国消费方式转型和低碳社会建设的对策与途径
生态环境部宣传教育中心 | 贾峰
- 课题十三 中国非能源相关二氧化碳及其他温室气体与农林业及土地利用
低排放增汇战略、措施与路径
清华大学能源环境经济研究所 | 滕飞
- 课题十四 中国温室气体减排与环境治理的协同对策与效果分析
清华大学环境学院 | 贺克斌
- 课题十五 中国实现低碳发展的政策保障体系建设
中国科学院科技战略咨询研究院 | 王毅
- 课题十六 中国推动全球气候治理和国际合作的思想 and 对策
国家应对气候变化战略研究和国际合作中心 | 徐华清
- 课题十七 中国中长期低碳排放的情景分析与实施路径
清华大学能源环境经济研究所 | 张希良
- 课题十八 中国低碳发展转型战略和路径的综合报告
清华大学气候变化与可持续发展研究院 | 何建坤
- 研究项目管理办公室 麻林巍 孔庚 洪毅

注：本研究项目得到清华大学教育基金会全球气候变化与绿色发展专项基金和能源基金会的资助，特此感谢。

2020年是一个特殊的年份，新冠肺炎疫情肆虐、席卷全球，对各国的公共卫生系统、公众健康、经济活动和居民生活造成了严重冲击，也深刻影响并将重塑世界政治经济贸易格局。

与新冠肺炎疫情相似，气候变化也是人类面临的重大而紧迫的全球性挑战。新冠肺炎疫情是突发的、紧迫的危机，影响人类的健康和生命；而气候变化是更为长期、深层次的挑战，威胁人类的生存和发展。我们看到，过去几十年间，随着温室气体浓度的不断增加，气候变化和日益频发的极端气候事件越来越多地威胁到人类的生存和健康，危害到陆地和海洋生态系统，带来了生物多样性的丧失。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）报告阐述了气候变化带来的八大灾难性风险，并提出气候变化已经不是未来的挑战，而是眼前的威胁。联合国秘书长古特雷斯指出，人类已经站在了事关存亡的十字路口，并呼吁世界各国努力应对气候变化这一人类最为重大和紧迫的问题。

面对新冠肺炎疫情、气候变化等重大危机，人类开始重新思考人与自然的关系，越发认识到人与自然是一个休戚与共的命运共同体，我们要更加尊重自然、顺应自然和保护自然，更加重视人与自然和谐共生，统筹当前和长

远，未雨绸缪地应对全球性挑战。这就意味着我们必须从根本上转变传统的生产方式、生活方式和消费模式，推动转型和创新，走绿色、低碳、循环的发展道路，不能就气候谈气候，就发展谈发展，就环境谈环境，而要将气候行动与经济、社会、环境、健康、就业、稳定、安全等问题作为一个大系统，实现协同发展，通过走可持续发展的道路来应对气候变化，保护环境，扭转生物多样性丧失趋势，确保人类长期健康和安

全。2020年新冠肺炎疫情暴发后，通过绿色低碳发展实现经济复苏成为国际社会的普遍共识。联合国秘书长古特雷斯在2020年4月“世界地球日”提出绿色高质量复苏的倡议，号召世界各国确保气候行动处于经济复苏举措的核心。截至目前，全球已有100多个国家提出2050年实现碳中和。其中，欧盟2019年年底发布《欧洲绿色协议》，承诺于2050年前实现碳中和，并出台了能源、工业、建筑、交通、食品、生态、环保等七个方面的政策和措施路线图，坚持绿色复苏。新任欧盟理事会主席国的德国在提议的新冠肺炎疫情复苏计划中提出大力支持绿色增长，并将应对气候变化列为三大优先事项之一。英国2020年实现了两个多月的“无煤发电”运行。美国众议院在2020年6月发布的《气候危机行动计划》报告中也提出要为全球1.5℃温升控制目标努力，将应对气候变化作为国家的首要任务，要实现2050年温室气体排放比2010年减少88%、二氧化碳净零排放目标，并从经济、就业、基础设施建设、公共健康、投资等领域详细阐述了未来拟采取的措施，该计划得到了当时民主党总统候选人拜登的赞赏和支持。

中国始终高度重视应对气候变化，坚持绿色发展、循环发展、低碳发展，一直将其作为促进高质量可持续发展的重要战略举措。中国将应对气候变化融入社会经济发展全局，从“十二五”时期起，以单位GDP碳排放强度下降这一系统性、约束性目标为抓手，促进低碳发展，2015年提出了碳排放2030年前后达峰并尽早达峰等自主贡献目标，采取了调整产业结构、节约能源和资源、提高能源资源利用效率、优化能源结构、发展非化石能

源、发展循环经济、增加森林碳汇、建立运行碳市场、开展南南合作等各方面政策措施，推动全社会加速向绿色低碳转型。与2005年相比，2019年中国单位GDP二氧化碳排放下降了48%，相当于减少二氧化碳排放约56.2亿吨，相应减少二氧化硫排放约1192万吨、氮氧化物排放约1130万吨。同期，GDP增长超4倍，实现95%的贫困人口脱贫，第三产业占比从41.3%增长到53.9%，煤炭消费比重从72.4%下降到57.7%，非化石能源占一次能源比重从7.4%提高到15.3%，居民人均预期寿命由72.9岁提高到77.3岁。由此可见，应对气候变化的政策行动不但不会阻碍经济发展，而且有利于提高经济增长的质量，培育带动新的产业和市场，扩大就业，改善民生，保护环境，提高人们的健康水平，发挥协同增效的综合效益。

然而，我们应当看到，中国的低碳发展转型还存在巨大的发展空间和发展潜力，面临巨大挑战：一是制造业在国际产业价值链中仍处于中低端，产品能耗、物耗高，增值率低，经济结构调整和产业升级任务艰巨；二是煤炭消费占比较高，仍超过50%，单位能源的二氧化碳排放强度比世界平均水平高约30%，能源结构优化任务艰巨；三是单位GDP的能耗仍然较高，为世界平均水平的1.5倍、发达国家的2~3倍，建立绿色低碳的经济体系任务艰巨。

气候变化是中国可持续发展的内在需要。习近平总书记多次强调，应对气候变化不是别人要我们做，而是我们自己要做。展望未来，中国特色社会主义现代化建设进入新时代，要解决发展不平衡、不充分的问题，协同推进发展经济、改善民生、消除贫困、防治污染等工作任务，实现到2020年年底全面建成小康社会、到2035年基本实现社会主义现代化、到2050年建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国，绿色低碳转型发展是根本的解决之道。

应对气候变化是人类共同的事业。2017年10月18日，习近平总书记在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告中指出，我国积极引导应对气

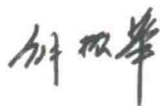
候变化国际合作，是全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者。放眼全球，绿色低碳已成为各国经济体系、能源体系、技术体系、治理体系不可逆转的发展潮流，是应对人类共同危机的根本途径。以习近平生态文明思想为指导，推动世界范围内的绿色低碳转型，努力构建人类命运共同体，是我国作为发展中大国的责任担当。

因此，我们更要保持战略定力，在“十四五”“十五五”以及未来更长的一段时期内，始终坚持绿色低碳的发展理念，推动生态文明建设，继续采取积极应对气候变化的政策和行动，百分之百落实已经提出的国家自主贡献目标，并要努力做得更好。站在当前的历史方位，面对日益复杂的国际形势，中国如何在新时代社会主义现代化建设的宏伟蓝图中规划低碳发展的战略、路径和措施，如何根据《巴黎协定》的原则履行符合我国国情和能力的国际责任和义务，如何推动和引领全球气候治理进程，是我们必须深入研究和思考的课题。

2019年年初到2020年6月，针对以上课题，我作为创始院长的清华大学气候变化与可持续发展研究院与国家应对气候变化战略研究和国际合作中心、国家信息中心、中国社会科学院城市发展与环境研究所、中国科学院科技战略咨询研究院、国家发展和改革委员会能源研究所、生态环境部宣传教育中心、商务部国际贸易经济合作研究院、交通运输部科学研究院和清华大学的能源与动力工程系、能源环境经济研究所、环境学院、建筑学院等24家研究机构合作，在清华大学教育基金会全球气候变化与绿色发展专项基金和能源基金会的大力支持下，开展了“中国长期低碳发展战略与转型路径”项目研究。项目团队本着对国家负责、对时代负责、对全人类负责的精神，开展了扎实、全面、深入的研究，基于中国国情，针对实现2050年建成社会主义现代化强国、建成美丽中国目标，以及实现《巴黎协定》全球温升控制目标和全球可持续发展目标，综合考虑社会经济、政策和能源等宏观发展趋势与需求，提出了中国到2050年的低碳发展战略、路径、技术

和政策的建议。

本书即是对该项目的梳理和总结，希望我们的研究成果能够为社会各界开展相关研究提供参考，为制定和实施国家低碳发展战略和各项政策提供支持，也为未来书写全球绿色低碳发展大趋势中的“中国故事”贡献力量。

Handwritten signature in black ink, consisting of the characters '解俊' (Xie Jun) in a cursive style.

2020年7月

气候变化是人类社会面临的共同挑战。2015年，全球近200个国家和地区达成了应对气候变化的《巴黎协定》，该协定于2016年11月4日正式生效。《巴黎协定》确立了全球应对气候变化的长期目标：到21世纪末将全球平均气温升幅控制在工业化前水平 2°C 以内，并努力将气温升幅控制在工业化前水平 1.5°C 以内；全球尽快实现温室气体排放达峰，并在21世纪下半叶实现温室气体净零排放。《巴黎协定》邀请各缔约方在2020年通报或更新2030年的国家自主贡献，并不晚于2020年向《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）秘书处通报面向21世纪中叶的长期低排放发展战略。截至目前，各缔约方都在制定或已提交各自的中长期低排放发展战略，全球已有121个国家提出到21世纪中叶实现碳中和，114个国家提出将更新2030年自主贡献目标。

党的十九大报告提出了新时代中国特色社会主义现代化的目标、基本方略和宏伟蓝图，同时也把气候变化列为全球重要的非传统安全威胁，并指出中国要“引导应对气候变化国际合作，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者”。在这一宏伟蓝图之下，需要尽快研究和制定与我国现代化建设目标相契合的应对气候变化的目标和战略。一方面，作为《巴

《巴黎协定》的签署国，中国政府需要制定并提交满足《巴黎协定》下 2℃ 温升控制目标的长期低排放发展战略，更新 2030 年的国家自主贡献目标。另一方面，实现《巴黎协定》所倡导的气候适宜型低碳发展路径也是我国顺应和引领世界能源变革和经济转型的潮流，打造经济、贸易、科技领域竞争优势，提升国际影响和竞争力的重要战略选择。

清华大学气候变化与可持续发展研究院联合国内 24 家研究机构，从 2019 年年初起，针对以上研究目标开展了“中国长期低碳发展战略与转型路径”项目研究。该项目聚焦于在实现 2050 年建成社会主义现代化强国、建设美丽中国、全球温升控制 2℃ 目标以及全球可持续发展目标下，到 2050 年我国低碳转型的发展路径，以及资金、技术和政策需求；在满足全球温升控制 1.5℃ 目标下，研究论证我国在 2050 年实现碳中和的可能性，并评价相应技术路径、成本、障碍以及对经济和社会的影响。

本书各章的研究得到了清华大学教育基金会全球气候变化与绿色发展专项基金和能源基金会的大力支持，特此致谢。

序言 XI

前言 XVII

第一章

中国经济社会发展的中长期目标、战略与路径

中国经济社会发展目标 3

国际经济环境 4

中长期宏观经济预测 6

经济增长前景展望 8

产业结构变化趋势 10

人口及社会发展趋势 12

新时期发展路径 13

第二章

中国不同区域低碳协同发展战略及实现路径

五大区域重新划分 21

各区域碳排放达峰预测 23

各区域近零碳建设及协调低碳发展 32

政策建议 39

第三章

中国国际贸易、产业转移与低碳发展

| | |
|---------------|----|
| 背景分析 | 47 |
| 关于碳排放水平的定性判断 | 48 |
| 关于碳排放水平的定量计算 | 49 |
| 对碳排放影响机制的理论模型 | 50 |
| 对碳排放影响机制的计量检验 | 62 |
| 政策建议 | 63 |
| 结语 | 65 |

第四章

中国能源系统转型的中长期战略与途径

| | |
|------------------|-----|
| 中国能源发展回顾与形势 | 69 |
| 中国能源低碳转型情景设计 | 72 |
| 终端能源消费低碳化 | 81 |
| 电力低碳转型路径分析 | 84 |
| 供热低碳转型路径分析 | 92 |
| 一次能源需求及供给变化趋势与特征 | 95 |
| 政策建议 | 101 |

第五章

中国电源及电网优化构成及技术路线图

| | |
|-----------|-----|
| 未来电力需求预测 | 105 |
| 情景和边界条件设置 | 106 |
| 主要研究结果 | 111 |
| 政策建议 | 137 |

第六章

节能提效：潜力、路径和成本效益分析

- 中国的节能进展与挑战 145
- 中长期节能潜力与目标分析 146
- 工业部门节能提效 151
- 建筑部门节能提效 155
- 交通运输部门节能提效 160
- 政策建议 163

第七章

中长期减排技术：成本效益分析及发展路线图

- 综合成本效益分析 169
- 风电、光伏发电等可再生能源 175
- 生物质能 183
- 碳捕集与封存（CCS） 191
- 氢能 198
- 核能 205
- 结论与建议 212

第八章

工业部门：转型升级和低碳发展战略

- 重大战略意义 223
- 研究框架及方法 225
- 参数设定及模型分析结果 230
- 工业部门低碳发展四大途径 241
- 碳减排效果和贡献度分析 247

第九章

建筑部门：低碳转型战略及路径研究

- 背景分析 257
- 建筑运行部门的能耗及排放 264
 - 低碳发展路径分析 271
 - 建造相关的节能减排 281
 - 运行相关的节能路径 284
 - 能源转型 289
 - 政策建议 300

第十章

交通运输部门：低碳排放战略与途径研究

- 低碳发展现状与形势 307
- 碳排放情景分析 320
- 战略思路与目标 327
- 战略重点与路径 329
- 政策建议 344

第十一章

中国能源基础设施转型与投资战略研究

- 能源基础设施的内涵 349
- 投资分析方法学 356
 - 低碳情景分析 363
 - 投资需求分析 376

投资思路与建议 380

第十二章

中国消费方式转型和低碳社会建设

低碳消费的深远意义 387

居民消费的碳排放空间 390

居民消费的碳减排量潜力预测 392

低碳消费的制约因素 398

重点路径和方向性建议 400

创新引导手段 409

设计低碳消费行为指南 414

第十三章

非二氧化碳气体减排与农林业的减排增汇技术

非二氧化碳温室气体的排放现状 417

非二氧化碳气体的未来排放情景 420

非二氧化碳气体的减排技术与减排潜力 426

非二氧化碳气体的减排成本 433

研究结论与政策建议 435

第十四章

中国未来排放情景：温室气体减排与环境治理

大气污染防治 441

清洁空气总体目标设计 446

减排路径探究 449

未来污染物排放和空气质量演变 452