

综合报告

中国 长期低碳发展战略与 转型路径研究

CHINA'S LONG-TERM
LOW-CARBON DEVELOPMENT
STRATEGIES AND PATHWAYS
COMPREHENSIVE REPORT

清华大学气候变化与可持续发展研究院 等 / 著

中国环境出版集团 · 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

中国长期低碳发展战略与转型路径研究: 综合报告/清华大学气候变化与可持续发展研究院等著. —北京: 中国环境出版集团, 2021.5

ISBN 978-7-5111-4692-2

I. ①中… II. ①清… III. ①中国经济—低碳经济—经济发展战略—研究报告 IV. ①F124.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 056289 号

出版人 武德凯
责任编辑 丁莞歆
责任校对 任 丽
封面设计 宋 瑞

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)
010-67147349 (第四分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2021 年 5 月第 1 版
印 次 2021 年 5 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 19.5
字 数 350 千字
定 价 118.00 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，请寄回本集团更换

中国环境出版集团郑重承诺：

中国环境出版集团合作的印刷单位、材料单位均具有中国环境标志产品认证；
中国环境出版集团所有图书“禁塑”。

综合报告撰写组

China's Long-term Low-carbon Development
Strategies and Pathways
Comprehensive Report

总指导

解振华

领衔作者

何建坤 李 政 张希良

撰写组成员（以姓氏笔画为序）

王 灿 王海林 王雪成 田智宇 白 泉
丛建辉 杜尔顺 李 政 杨 秀 何建坤
张希良 张 强 陈思源 欧阳斌
周 丽 赵小凡 姚明涛 袁志逸 顾阿伦
郭恩悦 常世彦 董文娟 滕 飞

研究项目设置

China's Long-term Low-carbon Development
Strategies and Pathways
Comprehensive Report

研究项目名称

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

研究项目总指导

解振华

研究项目负责人

何建坤 李 政

课题设置、牵头单位及负责人

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. 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。
17. 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。
18. 中国低碳发展战略与转型路径研究综合报告：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绿色发展与气候变化专项基金和能源基金会的资助，特此感谢。

序言

China's Long-term Low-carbon Development
Strategies and Pathways
Comprehensive Report

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、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。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生存和健康，危害到陆地和海洋生态系统，带来生物多样性的丧失。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，愈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，走绿色低碳循环发展道路；同时，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，确保人类的长期健康和安

2020年的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 月的“世界地球日”上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 多个国家承诺在 2050 年实现碳中和。其中，欧盟于 2019 年年底发布了《欧洲绿色协议》，承诺于 2050 年以前实现碳中和，并出台了关于能源、工业、建筑、交通、食品、生态、环保共 7 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，要为全球升温 1.5°C 目标努力，将应对气候变化作为国家的首要任务，实现 2050 年温室气体排放比 2010 年减少 88%、CO₂ 净零排放目标，并从经济、就业、基础设施建设、公共健康、投资等各个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”起以单位 GDP 的 CO₂ 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，并于 2015 年提出了碳排放在 2030 年前后达峰并尽早达峰等国家自主决定贡献（NDC）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、发展非化石能源和循环经济、增加森林碳汇、建立并运行碳市场、开展南南合作等政策措施，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 的 CO₂ 排放量下降了 48%，相当于减少 CO₂ 排放约 56.2 亿 t，相应减少 SO₂ 约 1 192 万 t、NO_x 约 1 130 万 t。同期，中国的 GDP 增长超过 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的比重从 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，可以扩大就业、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，我们还应看到，中国的低碳发展转型还存在巨大的发展空间和发展潜力，也面临着巨大的挑战：①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，增加值率低，经济结构调整和产业升级任务艰巨；②煤炭消费占比较高，仍超过 50%，单位能源的 CO₂ 排放强度比世界平均水平高约 30%，能源结构优化任务艰巨；③单位 GDP 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，而是我们自己做。展望未来，中国特色社会主义现代化建设已进入新时代，需要解决发展不平衡、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，要实现到 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目标，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，习近平总书记在党的十九大报告中指出，中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，是中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 NDC 目标，并努力做得更好。站在当前的历史方位上，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》的原则履行符合本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。

自 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 20 多家研究机构合作，在清华大学教育基金会全球绿色发展与气候变化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，并基于中国国情，针对实现 2050 年建成社会主义现代化强国和美丽中国目标、实现《巴黎协定》全球温升控制目标以及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、

技术和政策建议。

本书即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撑，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。



2020年7月于清华园

前言

China's Long-term Low-carbon Development
Strategies and Pathways
Comprehensive Report

当前，全球气候治理已进入全面落实《巴黎协定》的实施阶段。《巴黎协定》提出了控制全球温升在工业化前水平基础上不超过 2°C 并努力控制在 1.5°C 以内的目标，确立了通过各国自主决定贡献（NDC）“自下而上”地提出各自减排目标和行动计划的新机制。综合各国的自主减排承诺，距离全球实现 2°C 温升控制目标下的减排路径尚有较大缺口，因此《巴黎协定》要求各缔约方于 2020 年通报并强化各自 2030 年的 NDC 目标和行动，并提交各自到 21 世纪中叶的温室气体低排放发展战略。

党的十九大提出了新时代中国特色社会主义建设的目标、基本方略和主要任务，到 21 世纪中叶要建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国，同时也要为地球生态安全和全人类进步事业做出新的更大的贡献，构建人类命运共同体。党的十九届五中全会提出了到 2035 年基本实现现代化的更加清晰的愿景和导向，并针对“十四五”发展蓝图的制定专门提出要促进经济社会发展的全面绿色转型，加快推动绿色低碳发展。因此，未来的发展要统筹国际国内两个大局，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，实施应对气候变化国家战略，顺应并引领全球能源与经济的低碳转型。到 21 世纪中叶，在确保中国社会主义现代化建设第二个百年奋斗目标实现的同时，也要以《巴黎协定》所确定的全球应对气候变化长期目标为导向，实现与全球 2°C 温升控制目标相契合的深度脱碳发展路径。当前，中国还需要研究和制定中长期应对气候变化、实现低碳排放的发展战略，并将其纳入新时代中国特色社会主义建设总体战略之中。

当前，世界各国都在制定或已经提交了各自的中长期低碳发展战略。欧盟、英国等部分发达国家和地区，以及智利、埃塞俄比亚、斐济等发展中国家都提出到 2050 年实现净零碳排放的目标，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 NDC 目标。各种行业、企业、社会团体的气候联盟和行动倡议组织也在蓬勃发展，促进低碳发展转型的新国际规则、行业准则及社会行为规范层出不穷，从而推进了全球和各国应对气候变化的雄心与行动。

中国正在实施应对气候变化国家战略，把节能、减排、降碳的各项指标纳入国民经济和社会发展五年规划，落实制度和政策保障措施，并已取得举世瞩目的成效。中国在《巴黎协定》下提出了有力度的 NDC 目标和行动计划，需在今后的两个五年规划中加以分解落实，并强化措施和行动，以保障 NDC 目标的实现。在迈向全面建设社会主义现代化国家新征程中需坚持新发展理念，以创新驱动转换发展动力，以绿色发展转变发展方式，建立并形成绿色低碳循环发展的产业体系和清洁低碳、安全高效的能源体系，加强生态文明制度建设，打造经济、能源、环境与应对气候变化协同治理和多方共赢的局面，促进经济高质量发展，这些都为中国兑现 2030 年自主减排承诺以及努力实现长期深度脱碳目标创造了良好的制度环境和政策环境。

中国以习近平生态文明思想和构建人类命运共同体理念为指导，积极参与并引导应对气候变化的国际合作，促进公平合理、合作共赢的国际气候治理制度建设，成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者。中国的低碳发展转型实践和成功案例将为全球实现气候适宜型低碳经济发展路径贡献中国智慧和方案。

当前，新冠肺炎疫情重创了世界经济，加剧了世界政治、经济、科技竞争格局的变动和全球治理制度的重构，全球应对气候变化合作进程面临较大的不确定性。国际社会对疫情后实现绿色经济复苏、加快低碳发展转型、共同应对气候变化这一更深层次的全球危机的呼声十分强烈，这一呼声正在成为世界范围的广泛共识，也将深刻影响疫情后各国经济复苏和发展的政策与趋向。应对气候变化领域是大国必争的人类道义制高点，相互竞争和博弈的形势将更加尖锐复杂。中国研究和制定到 21 世纪中叶的长期低碳发展战略顺应和引领了世界能源与经济低碳转型的趋势和潮流，为地球生态安全和全人类生存发展做出了与自身不断上升的综合国力和国际影响力相一致的贡献，打造出了自身经济、贸易、科技的竞争优势，实现了可持续发展，提升了自身的国际竞争力和影响力。

为适应国际国内应对气候变化的新形势，清华大学气候变化与可持续发展研究院在国家相关部门的支持下，牵头组织国内 20 多家主流科研机构，通过 18 个课题的设置就“中国长期低碳发展战略与转型路径”开展了多领域、多学科的综合研究。本书是在各课题研究成果的基础上，由综合报告撰写组通过系统整合、总结提升和重新撰写而成的综合报告，共分 12 章：第 1 章由董文娟、何建坤撰写；第 2 章由常世彦、王海林、何建坤撰写；第 3 章由欧训民、田智宇、郭偲悦、白泉、袁志逸、

王雪成、欧阳斌撰写；第4章由董文娟、陈思源、杜尔顺、李政撰写；第5章由周丽、王海林、张强、张希良、何建坤撰写；第6章由顾阿伦、滕飞撰写；第7章由欧训民、常世彦、丛建辉、王灿等撰写；第8章由常世彦、欧训民、姚明涛、田智宇、郭偲悦、董文娟、杜尔顺撰写；第9章由王海林、赵小凡、何建坤撰写；第10章由何建坤、王海林、赵小凡撰写；第11章由王海林、赵小凡、何建坤撰写；第12章由何建坤、李政、张希良、杨秀撰写；最后由何建坤负责统稿。

本书就中国到21世纪中叶的长期低碳发展战略与转型路径进行研究和分析，根据中国实现社会主义现代化建设的“两个阶段”目标，提出了在第一阶段落实和强化自主减排承诺、第二阶段实现与控制全球温升在工业化前水平基础上不超过 2°C 并努力控制在 1.5°C 以内的目标相契合的能源和经济深度脱碳路径的战略要点、政策选择以及实现路径的情景分析与综合评价，以期与社会各界交流并为政府相关部门提供决策参考。

本项目研究得到清华大学教育基金会全球绿色发展与气候变化专项基金和能源基金会的资金支助，特此表示感谢。

作 者

2020年11月

目录

China's Long-term Low-carbon Development
Strategies and Pathways
Comprehensive Report

第1章 引言	1
1.1 全球气候变化的影响及应对	2
1.2 应对气候变化的理论框架	9
1.3 中国低碳转型的政策导向	14
1.4 关于本书	17
参考文献	21
第2章 中国低碳发展的形势与趋向	24
2.1 《巴黎协定》下全球应对气候变化的新形势	24
2.2 中国低碳转型的形势与展望	27
2.3 中国长期经济社会发展展望	33
参考文献	40
第3章 终端能源消费和 CO₂ 排放	41
3.1 工业部门	41
3.2 建筑部门	62
3.3 交通部门	84
参考文献	103

第4章 电力系统能源消费和 CO₂ 排放	106
4.1 电力需求预测与研究方法	107
4.2 电力系统的低碳转型路径	110
4.3 低碳转型中的主要问题及解决途径	120
4.4 结论与政策建议	124
参考文献	126
第5章 一次能源消费与 CO₂ 排放	128
5.1 中国未来一次能源消费分析	128
5.2 能源系统减排的经济分析	138
5.3 深度脱碳与环境质量改善的协同效应	140
5.4 政策建议及措施	143
参考文献	147
第6章 非 CO₂ 温室气体排放	148
6.1 非 CO ₂ 温室气体的范围及排放现状	148
6.2 非 CO ₂ 温室气体排放的情景与结果	151
6.3 非 CO ₂ 温室气体减排的技术与措施	161
参考文献	172
第7章 实现长期深度脱碳的技术支撑	174
7.1 成本效益综合分析	174
7.2 深度脱碳技术评价	182
参考文献	202
第8章 实现低排放战略的投资与成本分析	204
8.1 投资需求分析	204
8.2 能源成本分析	213
8.3 小结	216
参考文献	216

第 9 章 中国长期低碳发展的路径选择	217
9.1 落实和强化 2030 年 NDC 目标与行动	217
9.2 2℃ 温升控制目标导向下的长期低碳转型路径分析	222
9.3 1.5℃ 温升控制目标导向下的 CO ₂ 净零排放路径分析	232
9.4 对策建议	237
参考文献	239
第 10 章 中国长期低碳发展的战略要点与政策保障	240
10.1 中国长期低碳发展的政策和措施	240
10.2 中国长期低碳发展战略的重点内容	243
参考文献	260
第 11 章 全球气候治理与国际合作	263
11.1 全球气候治理的发展历程	263
11.2 全球气候治理的核心和焦点问题	266
11.3 深度参与并积极引领全球气候治理和国际合作	276
参考文献	284
第 12 章 结论与政策建议	285

