



中国碳中和综合报告2020

# 中国现代化的新征程

## “十四五”到碳中和的新增长故事

决策者摘要

## 致谢

本报告是能源基金会与多个研究团队共同努力的成果。研究由能源基金会牵头，由马里兰大学全球可持续发展中心负责协调，国内国际多个研究机构参与。

能源基金会和研究团队向能源基金会中国中长期低碳发展战略综合工作组的国际咨询圆桌会专家、相关机构和报告评阅人表示感谢，他们为改进本报告的框架和具体研究内容提供了宝贵建议：

### 评阅人（按姓氏字母顺序排列）

Sonia Aggarwal	能源创新政策与技术公司副总裁
白荣春	全国能源基础与管理标准化技术委员会副主任
Richard Baron	2050 路径平台（2050 Pathways Platform）执行主任
Jae Edmonds	西北太平洋国家实验室（PNNL）全球变化联合研究所首席科学家
Michael Greenstone	芝加哥大学哈里斯公共政策学院米尔顿·弗里德曼讲席经济学教授
Cameron Hepburn	牛津大学史密斯学院院长，环境经济学教授
Frank Jotzo	克劳福德公共政策学院教授，气候与能源政策中心主任
姜克隽	国家发展与改革委员会能源研究所高级研究员
Elmar Kriegler	德国波茨坦气候影响研究所“转型途径”研究部代理主任
Amory Lovins	落基山研究所联合创始人兼荣誉主席
李俊峰	国家应对气候变化战略研究和国际合作中心首任主任和学术委员会主任
李晓江	中国城市规划设计研究院原院长
刘强	儿童投资基金（英国）北京代表处项目总监
Bert Metz	IPCC 第三次和第四次评估报告缓解气候变化联合主席，气候政策专家
Artur Runge-Metzger	欧盟委员会环境部国际谈判和欧盟行动监测部门气候战略主管
Nicholas Stern勋爵	伦敦政治经济学院格兰瑟姆气候变化与环境研究所所长
Ronan Palmer	第三代环保主义组织（E3G）项目负责人
Jonathan Pershing	威廉与弗洛拉·休利特基金会环境项目主任，原美国气候变化特使
Jim Skea	伦敦帝国理工学院研究委员会英国能源战略研究员，教授，IPCC 第三工作组联合主席
Antonio Soria	欧盟委员会联合研究中心气候变化，能源与交通经济学主任
Robert Stowe	哈佛大学环境经济学项目执行主任，哈佛大学气候协定项目联席主任
Massimo Tavoni	米兰理工大学气候变化经济学教授，经济与环境欧洲研究所所长
Adair Turner勋爵	能源转型委员会主席，新经济思维研究所高级研究员
王毅	中国科学院科技战略咨询研究院副院长，全国人大常委会委员
王志轩	中国电力企业联合会常务副理事长
John Ward	Pengwern Associates 咨询公司常务董事
Matthias Weitzel	欧盟委员会联合研究中心项目官员
Harald Winkler	开普敦大学能源研究中心教授，IPCC 第六次评估报告第三工作组主要协调作者
谢春萍	伦敦政治经济学院格兰瑟姆气候变化与环境研究所政策研究员
周大地	中国能源研究会常务副理事长，国家发展与改革委员会能源研究所原所长，国家“十四五”规划专家委员会委员，国家“十四五”能源规划专家组副组长
周嵘	国际金融公司绿色金融专家

此外，感谢能源基金会徐薇、余嵒和卢伊楚在该报告校对和制作过程中给予的支持。

# 中国现代化的新征程

## “十四五”到碳中和的新增长故事

决策者摘要

2020年12月

---

### 研究和作者团队

#### 主要协调作者

- 能源基金会：傅莎，杜譞
- 美国马里兰大学：Leon Clarke，余莎

#### 主要作者（按照单位和作者字母顺序排列）

- 交通运输部科学研究院：凤振华，王雪成
- 能源基金会：陈灵艳，杨卓翔
- 哈尔滨工业大学（深圳）：刘俊伶
- 绿色创新发展中心：杨鶴
- 国际应用系统分析研究所：Nicklas Forsell，郭非，Volker Krey
- 中国人民大学：陈敏鹏，王克
- 清华大学：柴麒敏，张强
- 美国马里兰大学：崔宜筠，Nathan Hultman，楼洁红，宋嘉玮

---

### 建议引文

能源基金会（2020）. “中国碳中和综合报告 2020：中国现代化的新征程：“十四五”到碳中和的新增长故事”. 能源基金会，北京，中国. <https://www.efchina.org/Reports-en/report-lceg-20201210-en>.

中国提出在 2060 年前实现碳中和的愿景，不仅展现中国在全球气候治理领域发挥领导作用的决心，也将为中国在瞬息万变的全球背景下实现经济增长和普惠繁荣奠定基础。由 2060 年碳中和愿景所引领的一系列转型工作，将提升中国在新兴的绿色经济领域的领导地位和竞争力，为结构性工业改革提供支持，逐步淘汰高污染能源与行业，加强能源安全，在持续显著提升人民健康和福祉的同时，全方位改善生态环境。2060 年碳中和愿景的实现颇具挑战，

需要中国在制定强劲的长期战略的同时，有效识别电力、建筑、工业、交通、农业、林业和土地利用等关键部门的近期行动，从政策、金融和技术等多角度实现跨行业合作。本报告全面阐述了中国脱碳战略，有效识别战略中整个经济体系以及各经济部门的关键要素，为后续研究工作指明方向，以支持中国成功实现包括碳中和、绿色增长、生态文明以及可持续发展在内的长期目标。

## 中国在瞬息万变的全球背景下提出碳中和愿景

全球环境瞬息万变。科技革命以及信息革命，极大地推动了互联互通以及生产力的重大变革。人工智能、大数据和量子信息等信息通讯技术的发展，正在改变我们的生活、工作以及彼此互动的方式。电池、光伏和新能源汽车等清洁能源技术的飞速发展，甚至超过了十年前所有人的预期。这些趋势催生了全新的行业和商业模式，从根本上改变了全球发展。未来几十年至关重要，因为新增长动能将全面取代旧动能。

中国发展日新月异。自 1978 年改革开放以来，中国 GDP 每年以近 10% 的速度增长，超过 8.5 亿人摆脱了贫困（世界银行，2020 年）。中国目前是全球第二大经济体，全球影响力不断扩大。事实证明，高度依赖资源密集型高污染制造业、出口和投资以及廉价劳动力驱动下实现的高增长，是不可持续的。不断下降的生产力和劳动力等结构性限制已经使中国经济增速放缓。与此同时，中国日益增长的中等收入人群带来日益增长的商品和服务需求，及其对更安全、更健康、更幸福和更平等生活的向往。

展望未来，本世纪中叶的中国将完全迥异于今日的中国，这意味着长期的挑战与机遇。届时，中国人民的生活水平将接近当前的大多数发达经济体，如 65 岁以上人口的比例将从 2019 年的 11.5% 增长到接近 30%（UN-DESA，2019 年）。因此，中国低排放发展路径并非只按照中国现状来设计，而是必须以未来实现全面现代化为前提来考虑其战略内涵。

在乘风破浪同时放眼未来的征途中，中国在重点改善民生和福祉的基础上，与时俱进地推行新的发展观（见以下专栏）。例如，中国共产党第十九次全国代表大会报告重申了“两个百年目标”：到 2021 年全面建成小康社会；以及到 2049 年把我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国。上述愿景着眼于建设更高质量、更开放包容和具有凝聚力的经济、政治和社会体系。新发展观的基础是：以更为绿色、高效和可持续的消费与生产为主要特征的可持续发展模式，帮助改善人民的生活水平和建立更健康的生态系统，共同谱写“生态文明”。

2020 年 9 月，中国宣布了“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”的目标。尽管总体碳中和与碳达峰目标很明确，但实现这些目标的途径仍有待进一步探索和论证，中国也尚未提交本世纪中叶温室气体低排放发展战略。中国的转型将为中国和世界带来重大且普惠的利益，与此同时，中国面临的挑战是如何在不断变化的环境中以快速有序的方式向新经济模式转型。有鉴于此，本报告全面阐述了如何支持中国同时实现碳中和目标以及现代化远景目标的新增长路径，为中国在 2060 年之前实现碳中和所需的长期部门战略和近期行动提供借鉴。

## 构建与碳中和目标相一致的2035年目标

中国现有目标和政策将服务于碳中和目标所必须的新增长路径，近期政策也反映了中国新发展目标与整体技术环境和增长战略的衔接。2020年通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中，概述了中国未来15年的主要发展目标。这些目标的主要特征如下：

- ▶ 关键核心技术实现重大突破，进入创新型国家前列；
- ▶ 基本实现新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化，建成现代化经济体系；
- ▶ 广泛形成绿色生产生活方式；

- ▶ 碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国建设目标基本实现；
- ▶ 人民生活更加美好，人的全面发展、全体人民共同富裕取得更为明显的实质性进展；
- ▶ 加强各个领域的发展，包括但不限于经济、卫生、人均GDP、区域公平和技术。

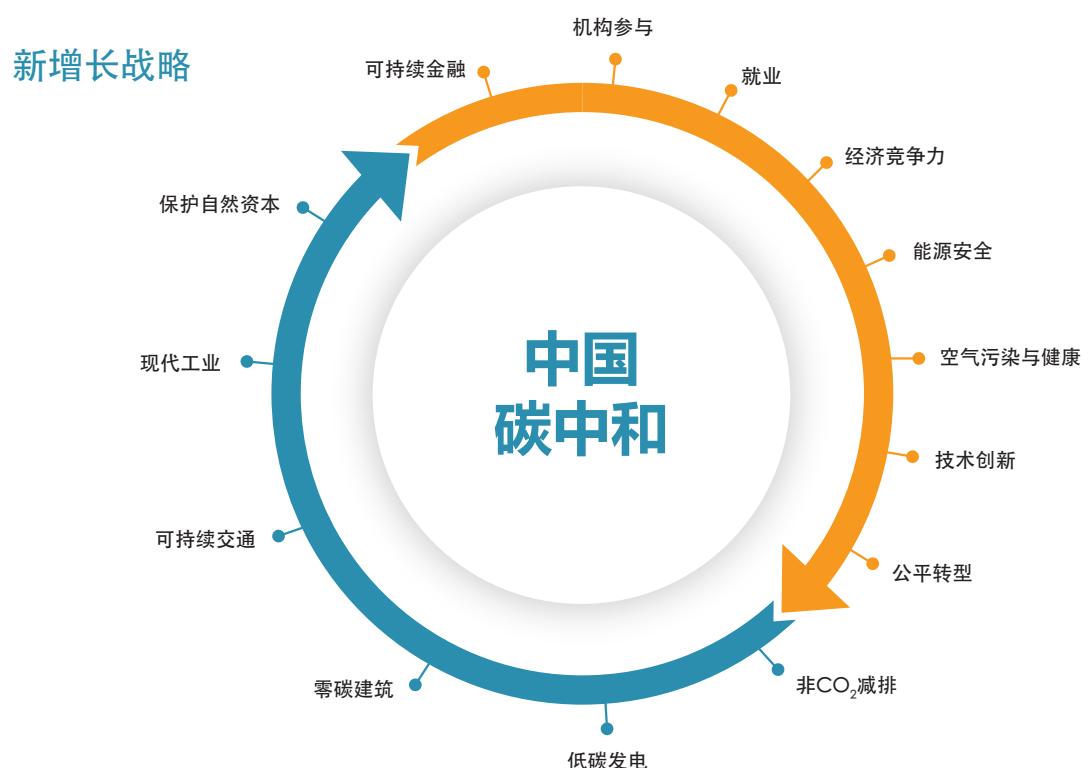
总体而言，以上2035年目标显然与2060年前实现碳中和战略一致。中国下一阶段的讨论和规划重点应放在制定相应的政策和行动上，推动当前政策与2035年目标相衔接，并保证转型方向与2060年长远目标相一致。

## 中国碳中和愿景是高质量增长与发展的基础

未来几十年，受到国内外因素的共同影响，中国生态文明理念、美丽中国及碳中和目标所引领的经济

转型，将被视为新的增长路径——多目标协同发展的蓝图（见图1）。

图1：中国的新增长战略与碳中和愿景



**国际领导力、产业升级与竞争力：**中国已成为新兴的全球绿色经济技术的领导者，并正在逐步成为5G技术和人工智能领域的领先国家。这些技术在全球范围内的需求旺盛，将为绿色经济提供有力支撑。如果合理布局，这种新的增长路径将加快上述产业及其他新兴产业的创新和发展，有助于巩固中国作为21世纪科技领域国际领先者的地位，有助于撬动国内良性产业转型并提高长期的经济竞争力。

**就业与繁荣：**从以化石燃料为基础的经济过渡到绿色经济，将面临一些近期挑战（见以下专栏）。然而，在全球绿色经济不断发展的背景下，碳中和目标所体现的经济转型，最终将促进强劲的就业增长并达成普惠的经济繁荣。2010-2019年间，中国可再生能源领域的投资额达到8180亿美元，成为全球最大的太阳能光伏和光热市场。2020年，中国可再生能源领域的就业人数超过400万，占全球这一领域就业总人数的近40%（IRENA, 2020年）。中国在实现碳中和目标的过程中，将进一步扩大绿色经济领域的就业机会，包括电池生产、可再生能源、建筑（如有建筑改造）等领域，相关服务（如共享出行），以及数字化等基础技术。

**结构性改革：**碳中和目标将促进中国产业结构改革，实现从污染严重的碳密集型产业向低碳产业转变。

低碳转型将有助于中国提高工业全要素生产率，改变生产方式，培育新的商业模式，从而实现结构调整、优化和升级的整体目标。

**改善空气质量和人体健康：**中国的碳中和目标有助于减少对煤炭和其他污染资源的依赖，加速新一代低污染车辆的应用。这些转变将显著减少细颗粒物( $PM_{2.5}$ )、二氧化硫( $SO_2$ )和氮氧化物( $NO_x$ )排放带来的健康风险。尽管中国在大气污染防治领域取得了长足进展，但现行的空气质量标准并不足以实现保障健康的长期目标。如果将中国空气质量目标与碳中和目标所隐含的绿色发展要求相结合，必将促进中国制订与世卫组织PM2.5标准同样严格的空气质量标准。

**加强能源安全：**作为全球最大的原油消费国之一，中国在2018年超过美国成为全球最大的原油进口国（IEA, 2020年）。中国是全球最大的煤炭消费国和进口国，2019年煤炭消费量高达28.7亿吨标准煤，占全球煤炭消费总量的53%，煤炭进口量占全球煤炭进口总量的21%（IEA, 2020年）。对进口化石燃料的严重依赖削弱了中国的能源安全。碳中和目标的实现，有助于提高国内可再生能源的装机容量，减少对进口化石燃料的依赖，从而提升国家能源安全水平。



## 逐步淘汰能源系统中的煤炭

作为世界上最大的煤炭消费国和生产国，煤炭已深深植根于中国的能源体系及经济体系。2019年煤炭占中国一次能源消费总量的近58%，广泛用于发电、钢铁和水泥生产、建筑材料、化学制品和建筑领域。

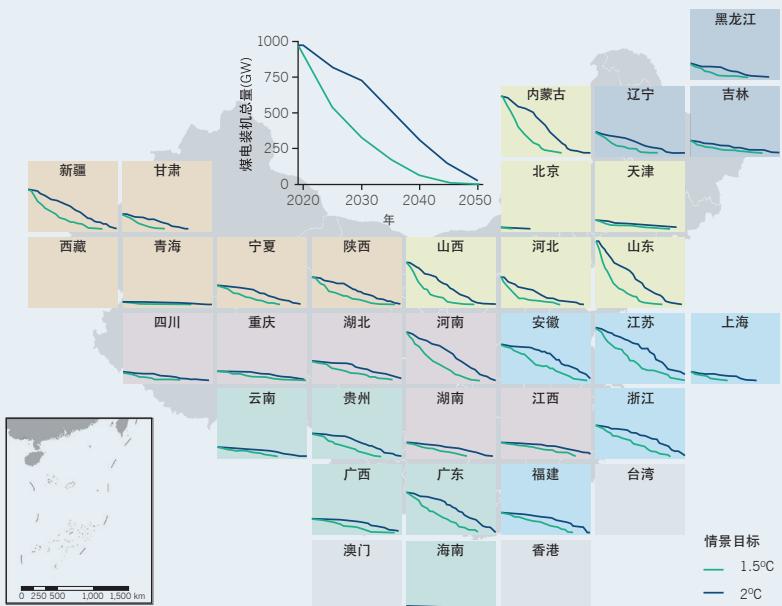
为实现碳中和目标，中国需要加速淘汰未采用碳捕捉、利用和封存技术（CCUS）的煤炭在整个经济系统中的使用。在“十四五”规划（2021-2025年）期间，应淘汰小型工业窑炉和锅炉，以及农村供热和炊事散煤燃烧。2040年至2045年左右，应淘汰未采取CCUS技术的燃煤发电。2055至2060年，淘汰未采取CCUS技术的燃煤在难以实现脱碳的工业部门的

使用（如将焦炭作为钢铁生产的原料）。

电力行业占中国煤炭消费总量的54%，逐步淘汰电力行业的煤炭使用尤为重要。通过尽快停止新建燃煤电厂，近期迅速淘汰一小部分老旧的、高污染和低效燃煤电厂，并逐步减少对剩余大多数燃煤电厂的利用，中国可在2040-2045年左右淘汰未采用CCUS技术的燃煤电厂，届时大部分存量燃煤电厂已经达到30年寿命。通过提高能效、电气化、低碳燃料替代（即替代为零碳氢能或先进的生物质能）以及可减少煤炭需求的结构化变革等措施，中国可以逐步减少工业和建筑等终端部门的直接煤炭消费。

### 1.5°C情景（绿色）和2°C情景（蓝色）下的国家和省级燃煤发电淘汰路径

（来源：Cui等，2020年）



逐步淘汰煤炭将在以下几方面为中国发展议程的实现提供支持：改善空气质量、人类健康，提供低成本可再生能源以提高能源独立性和能源可获得性，以绿色经济模式创造新的就业和增长机会。

与此同时，逐步淘汰煤炭使用也会在短期内遭遇一些挑战。许多地区的经济严重依赖煤炭来促进就业和经济活动。煤炭的逐步淘汰需要采用综合方

法降低对依赖煤炭的经济的影响。可能的方法包括：老年职工的安置和退休政策，青年职工的再培训和教育计划，为个人和企业提供补偿和资金支持的财政政策，以及为地方经济创造新业态和发展机会的经济激励措施。在有效的转型管理措施基础上进行的煤炭淘汰工作，可为数百万煤炭工人和中国未来的能源行业从业人员提供更好的生活质量。

# 全球气候治理进程中中国的碳中和愿景

《巴黎协定》的主要目标之一是“把全球平均气温升幅控制在工业化前水平以上低于 $2^{\circ}\text{C}$ 之内，并努力将气温升幅限制在工业化前水平以上 $1.5^{\circ}\text{C}$ 之内”。根据最新研究，政府间气候变化专门委员会（IPCC）得出结论，到本世纪中叶，必须将温室气体排放量减少到净零，这样才有可能将全球升温幅度控制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 之内。

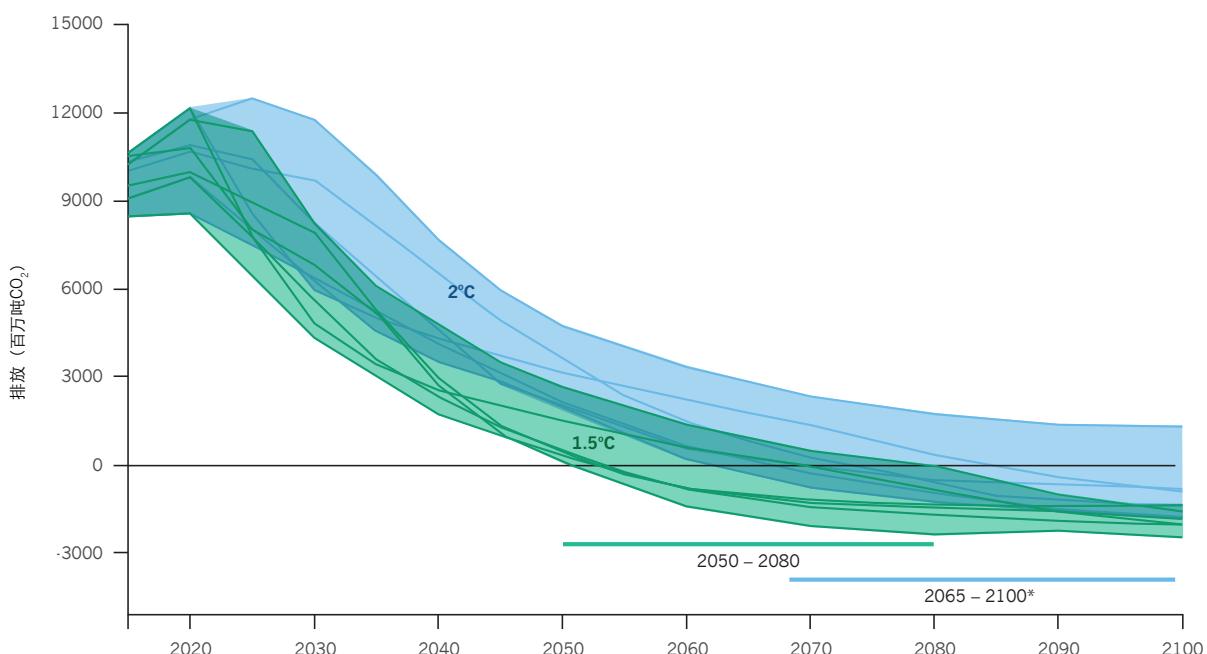
从这个角度来看，中国的碳中和目标，将对全球升温幅度控制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 之内的国际进程做出重大贡献。这一目标可视为与最近的全球建模研究大体一致，后者试图确定全球范围内实现 $1.5^{\circ}\text{C}$ 温控目标的最“经济有效”的路径（见图2）。此外，中国越早将排放量减少到零或接近零，将升温限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 的机会就越大。

尽管全球目标是在本世纪中叶左右实现碳中和，但不同国家将在不同的时间实现碳中和，从而为全球范围内实现 $1.5^{\circ}\text{C}$ 温控目标提供良机。在《巴黎协定》背景下，各国需要根据本国具体情况（如国内低碳资源、增长与发展战略以及固碳能力，以及争取实现净零排放所需的最终减排量），根据何时实现碳中和做出国内政策决定。各国看待公正和平等的不同方式，也会影响各国对何时实现碳中和的看法。例如，从全球经济效率与公平的角度（如以人均排放量或历史责任来衡量）研究的同一问题，所形成的观点也是不同的。对于任何国家，这些不同的观点都无法统一为单一的温控目标数字。但是，这些观点对于确认可能的温控范围提供了基础认知。

图2： $1.5^{\circ}\text{C}$ 和 $2.0^{\circ}\text{C}$ 情景下，使用特定模型预测中国 $\text{CO}_2$ 排放量

资料来源：CD-LINKS 全球情景（McCollum 等，2018 年；Roelfsema 等，2020 年）和 GCAM-China 排放路径。<sup>\*</sup>注：一个 $2.0^{\circ}\text{C}$ 情景在 2100 年前未达到零碳排放。

中国 $\text{CO}_2$ 排放量



中国计划在 2060 年前实现碳中和。无论具体到哪一年实现这一目标，中国尽快达峰以及在与其他国

家的共同努力下到本世纪中叶左右实现二氧化碳近零排放是至关重要的。碳中和概念是全球气候治理中的

重要指标，但最终影响温控目标实现的是随时间累积的总排放量（即“累积排放量”），而不仅仅是本世纪中叶时的排放量。提前达到峰值并加快长期减排将有助于控制中国的二氧化碳累积排放量。事实上，无论是全球性研究还是国家研究，都一致要求中国尽早实现排放达峰，以将全球升温幅度控制在1.5°C之内。将全球升温幅度控制在2°C的情景，要求中国尽可能在2030年前实现排放达峰。

如果中国的碳排放未尽快达峰，那么这不仅意味着其累积排放量会更高，而且将为2060年前实现碳中和目标以及控制累积排放量带来巨大挑战。因为中国经济将被“锁定”在难以转移的高碳排放资产（如新建燃煤电厂）上；延迟达峰还将挤占为控制累积排放量而进行更广泛的社会、经济和能源系统转型的时间。换句话说，延迟达峰将阻碍碳中和目标的实现。

## 各部门脱碳战略

碳中和目标是整体经济的挑战。只有通过大规模减少各经济部门（包括建筑、工业、交通、电力、炼油、农业、林业）的排放量，才可能将中国的二氧化碳排放量降至为零。中国必须在保持经济增长的同时，将二氧化碳排放量降为净零。每个部门都将面临自己的挑战和机遇，并将遵循各自的时间表（表1）。尽管如此，现有研究和支持本报告的新研究至少都提出了两个战略性的问题。首先，由于许多替代选择以及

风电和光电经济竞争力的不断提高，相对于其他部门，电力部门存在更大的近期大幅减排机会，但这并不意味着其他部门不需要立即采取减排行动。其次，许多设施和工艺目前还没有低成本减排方案，例如：航空运输和工业过程以及高温热。据研究这些领域将最后实现脱碳，或者可能永远无法实现完全脱碳。与此同时，减排技术发展日新月异，几十年后的减排机会可能与今天截然不同。

**表1：相对于2015年不同模型下各部门CO<sub>2</sub>减排量**

请注意：以下百分比是根据不同情景下2015年数值（而不是中国清单）计算，以考虑基准年数值的差异。基准年数字因模型之间部门统计方法不同而呈现差异。负值表示增加。此外，方案的子集用于计算每个部门中的范围。下表中使用的模型包括：ERI-Industry、GCAM-China、ICCS3-LaMLoG、IPAC-AIM/technology、MESSAGEix-GLOBIOM、PECE\_LIU\_2019、PECE\_V2.0、POLES-JRC 2019 和 Transportation-CATS。

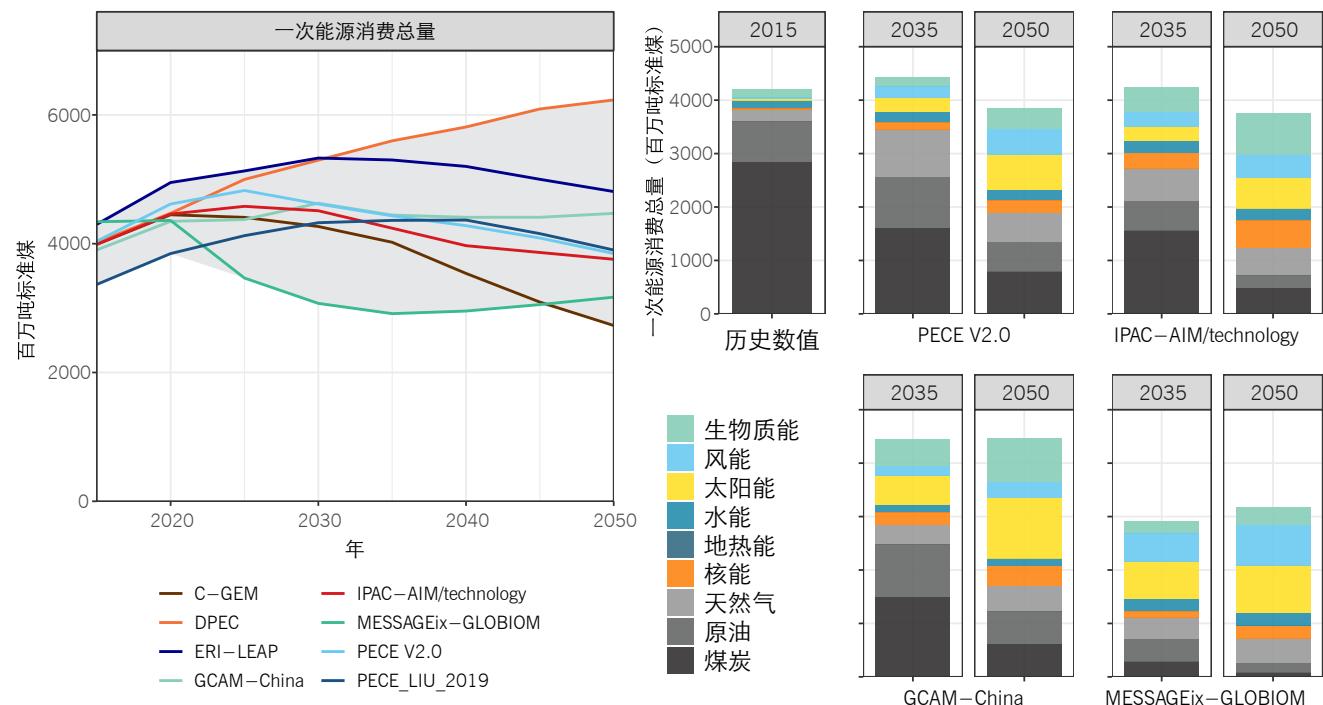
部门	2035年		2050年	
	1.5°C	2°C	1.5°C	2°C
电力	20%~60%	0%~45%	100%~120%	80%~100%
建筑	0%~70%	0%~50%	50%~95%	20%~80%
工业	30%~70%	20%~35%	75%~95%	50%~80%
交通	-45%~25%	-60%~-5%	40%~90%	25%~65%

中国碳中和目标的实现，意味着需要快速大规模地推广低碳能源（图3）。本研究考虑的情景发现，低碳能源在一次能源消费总量中的占比，应从2015年约6%增加到2035年的35-65%，以及2050年的70-85%，以达到 $1.5^{\circ}\text{C}$ 的温控目标。这些脱碳战略的

实施还将导致建筑、工业和交通领域使用的能源载体发生变化。所有脱碳战略的根本在于各部门逐步淘汰未采用CCUS技术的煤炭使用。这意味着电力和工业部门将首当其冲，因为目前煤炭占据了这些部门燃料供给的很大比例。

### 图3： $1.5^{\circ}\text{C}$ 情景下的一次能源

左图显示了多个模型的时间路径；右图显示了使用四个特定模型建模的2035年和2050年一次能源分布情况。本报告采用电热当量法计算一次能源，未使用中国官方的发电煤耗法。



此处汇总的整个经济系统情景以及其他深度脱碳研究，提出了几种跨部门脱碳战略。这些跨部门脱碳战略对不同部门设定了不同的侧重点（表2）。为了将全球升温幅度控制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $2^{\circ}\text{C}$ 之内，这些脱碳战略还要求采取类似措施来减少非二氧化碳排放。跨部门脱碳战略涉及以下方面：

- ▶ **促进可持续需求：**在所有终端部门通过能源高效利用、结构调整、城市规划和生活方式的转变在脱碳同时保证较高的生活水平；
- ▶ **电力部门脱碳：**逐步淘汰未采取CCUS技术的燃煤发电，快速增加以可再生能源为主，以核能、碳捕集、利用和存储为辅的多种技术组合发电；

- ▶ **终端部门电气化：**推广电动车，推动电力为工业过程提供低温热，建筑内部使用电热和水暖；
- ▶ **低碳燃料替代：**在无法实现电气化或者电气化经济效益不可行的情况下，在工业（如燃料或原料）和交通（如长途货运、航运和航空）领域改用氢能和生物质能等；
- ▶ **固碳：**对于难以脱碳的设施和工艺（如航空或高温过程）无法实现零排放，可采用自然系统（如森林和土壤）固碳，或利用二氧化碳去除技术来实现碳中和；

表2：中国实现碳中和的减排措施

## 减排措施

部门	可持续需求	低碳发电	电气化	燃料转换	碳封存
 电力		✓			✓
 建筑	✓	✓	✓	✓	
 工业	✓	✓	✓	✓	✓
 交通	✓		✓	✓	
 农业、林业及其他土地利用	✓				✓

中国碳中和目标的实施，不仅需要长期战略目标，也需要明确近期的关键优先措施。本报告在分析和评估的基础上，提出了一套明确的长期战略和近期优先措施。

尽管从各个部门角度讨论脱碳目标颇有成效，但碳中和目标也需要采取跨部门行动。例如，交通电气化有助于减少车辆排放，但是需要同时解决电力脱碳与生产和报废车辆的减排问题，以实现整个系统的净减排。同样，能源与土地系统之间也存在重要的交互

作用，特别是考虑到生物质能将在能源和材料应用中替代化石燃料。此外，作为政策组合的一部分，碳价等跨部门政策将发挥重要作用。从更广义的角度考虑，脱碳目标要求投资从化石燃料密集型资产转向脱碳相关资产，需要重新考虑财政和货币政策，并从长期转型的角度重新调整金融体系中的激励机制。同样，对于即将到来的转型，以及中国在新型绿色经济中的经济领导地位，技术将发挥至关重要的作用。因此，技术创新投资应成为中国脱碳战略的重要组成部分，这将有助于支持跨行业行动。

# 部门策略：碳中和路径

## 电力



排放量达到峰值并开始快速下降；到 2050 年实现零排放或负排放。

- ▶ 所有终端部门快速电气化；
- ▶ 到 2040 年或 2045 年，基本淘汰常规燃煤电厂；
- ▶ 到 2050 年，可再生能源发电占总发电量的 70%；
- ▶ 保留 CO<sub>2</sub> 捕集、利用与封存（CCUS）技术及核能作为可再生能源补充的选择；
- ▶ 通过灵活发电、改进电网基础设施、需求侧响应以及部署储能技术提高电网灵活性。

## 建筑



排放量快速达到峰值，到 2050 年排放比 2015 年减少约 90%。

- ▶ 到 2050 年，约 75% 的建筑用能通过电力供应；
- ▶ 到 2050 年，中国北方城市的大多数区域供暖系统实现脱碳；
- ▶ 通过翻新和 / 或使用高质量的建筑材料延长建筑使用寿命，降低建筑的隐含能耗；
- ▶ 在持续提高生活水平的同时，控制建筑存量的规模。

## 工业



排放量尽快达到峰值，到 2050 年实现在 2015 年基础上减少约 90% 的排放量。

- ▶ 限制工业能源需求的总体规模，并降低碳强度；
- ▶ 通过能效提高、材料替代和循环经济途径降低能源需求；
- ▶ 通过数字化转型以及从化石燃料转向电力，持续提高工业电气化水平；
- ▶ 对于难以实现电气化的设施，以绿氢或生物质能替代化石燃料；
- ▶ 在产生高浓度 CO<sub>2</sub> 的设施中应用 CCUS。

## 交通



排放量在 2025-2030 年间达到峰值。到 2050 年，排放量相对于 2015 年减少 80%。

- ▶ 向低碳能源转型，包括电力、可持续生物燃料和氢能；
- ▶ 交通规划实现综合管理，以促进能效提升及低碳交通工具的使用；
- ▶ 在基础设施和交通工具中广泛应用大数据、5G、人工智能、区块链和超级计算机等创新技术，推动构建电气化、智能化和共享的交通系统。

## 农业、林业和其他土地利用 (AFOLU)



非 CO<sub>2</sub> 排放量急剧下降，AFOLU 以碳汇方式抵消排放量。

- ▶ 广泛应用技术性（例如：厌氧发酵）和结构性（例如：改进肥料管理）减排方案；
- ▶ 转向更健康和对环境影响更小的可持续的饮食习惯；
- ▶ 通过持续造林和再造林工作，保持并提高中国的森林碳汇；到 2050 年，中国将在 2015 年基础上增加 3500 万公顷的森林面积。

# 各部门当前需要采取的行动

## 电力



- ▶ 停止新建未应用 CCUS 技术的常规燃煤电厂；
- ▶ 识别并关停燃煤电厂中的一小部分老旧、高污染且低效率的电厂；
- ▶ 继续增加非化石燃料发电的比例（到 2025 年提高至 45% 左右）；
- ▶ 建立电力现货市场；
- ▶ 通过电力市场改革增加跨省绿电交易；
- ▶ 完善 CCUS 政策以促进新的化石燃料电厂采用 CCUS 技术，和 / 或在现有电厂进行 CCUS 改造。

## 建筑



- ▶ 进一步明确电气化和可再生能源在建筑领域的应用，以持续提高建筑节能设计标准；
- ▶ 继续完善家电能效标准和标签计划，纳入智能技术以实现系统节能；
- ▶ 通过促进就地光伏发电和高效生物质利用，逐步淘汰农村住宅煤炭使用；
- ▶ 通过开发小型商业建筑，减少对大型商业建筑的依赖，鼓励使用自然通风和照明等被动技术；
- ▶ 部署智能技术，以改善需求侧响应和电网灵活性。

## 工业



- ▶ 消除产能过剩，优化工业结构，提高效率和创新能力；
- ▶ 完善环境影响评价和能源技术评价的相关制度和标准，为限制高能耗工业投资提供指导；
- ▶ 采取需求管理措施，控制工业产品产量，降低总能源需求；
- ▶ 优先部署节能技术，控制总能源需求；
- ▶ 提高电气化水平，特别是替代煤炭的使用。

## 交通



- ▶ 发挥铁路和水路的效用，加快长途货运结构的调整；
- ▶ 以“公共交通 + 骑自行车 / 步行”为重点，加快完善绿色出行系统；
- ▶ 以新能源汽车应用为重点，提高交通部门的清洁技术水平；
- ▶ 大力发展智能交通；
- ▶ 显著提高交通能效；
- ▶ 加强交通需求管理（TDM）的政策创新。

## 农业、林业和其他土地利用 (AFOLU)



- ▶ 继续发展可持续农业，促进循环农业，废物循环再利用和提高资源利用效率；
- ▶ 鼓励在农业部门应用包括气候智能型农业和人工智能等在内的新技术和创新措施；
- ▶ 继续实施和加强可持续森林管理，以保持并增强森林碳汇；
- ▶ 采取可带来协同效益的行动，积极考虑农业、水、污染、生物多样性、饮食和温室气体排放之间的联系。

# 展望未来

中国已经做好充分准备，进一步加快新的增长路径，实现向清洁、充满活力的普惠经济过渡；此外，中国也将提供解决方案，为应对全球气候变化做出重大贡献并发挥全球领导作用。中国碳中和目标为新增长路径指明了方向，而中国现有的生态文明愿景及其广泛的发展目标，也将共同指导碳中和目标的实现。尽管如此，实现碳中和目标仍然面临诸多挑战，需要通过重大规划、分析论证和政策措施来设定转型方向，并需要构建新的经济增长模式以实现这一愿景。在这一背景下，中国当前采取的行动对于成功实施低碳转型战略就显得尤为重要。各经济部门均具有加速转型的机会与潜力。

## 未来需要进一步研究的关键问题

- ▶ 新增长路径达成共识：如果全国上下和各经济部门都能充分认识到中国新增长路径所带来的收益，那么中国的新增长路径将会成功。
- ▶ 工业转型：中国新增长路径中工业的转型和减排工作，将在工业现代化、中国整体经济战略，以及中国在国际市场上不断提升的角色定位等大背景下进行。
- ▶ 逐步在全经济范围淘汰煤炭使用：可抓住新的机会结构性淘汰燃煤电力；比如在其他行业（如工业）淘汰用煤，解决整个煤炭供应链的公平转型问题。
- ▶ 可持续金融：在全国范围内调动新的资金来源对于绿色增长至关重要，具体取决于能源投资政策、财政和货币政策以及金融政策的制定。
- ▶ 技术和技术转型：成功的技术研发和推广是缓解气候变化的核心；许多技术已经在改变排放和经济格局，而其他技术则即将出现并具有广阔的应用前景。
- ▶ 非二氧化碳温室气体：中国非二氧化碳温室气体（包括甲烷、一氧化二氮和氢氟碳化物）的减排工作有待关注。
- ▶ 省级战略和行动：上述各角度的综合分析，有助于理解各省在经济转型中的机会、战略和行动。随着中国继续制定向绿色经济转型的政策，各省（区市）将成为实施这些政策的关键环节。

# 参考文献

1. Cui, R., N. Hultman, K. Jiang, H. et al. (2020). A High Ambition Coal Phaseout in China: Feasible Strategies through a Comprehensive Plant-by-Plant Assessment. Center for Global Sustainability: College Park, Maryland. 37 pp.
2. International Energy Agency (IEA). (2020). Coal Information: Overview, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/coal-information-overview>
3. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2020. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2020>
4. McCollum, D. L., Zhou, W., Bertram, C. et al. (2018). Energy Investment Needs for Fulfilling the Paris Agreement and Achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Energy*, 3(7), 589–599. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0179-z>
5. Roelfsema, M., van Soest, H.L., Harmsen, M. et al. (2020). Taking Stock of National Climate Policies to Evaluate Implementation of the Paris Agreement. *Nature Communication* 11, 2096. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15414-6>
6. UN-DESA. (2019). World Population Prospects 2019, Volume II: Demographic Profiles. (ST/ESA/SER.A/427). [https://population.un.org/wpp/graphs/1\\_Demographic%20Profiles/China.pdf](https://population.un.org/wpp/graphs/1_Demographic%20Profiles/China.pdf)
7. World Bank. (2020). China Overview. <https://www.worldbank.org/en/country/china/overview>
8. World Bank. (1981-2016). Poverty & Equity Data Portal. <https://povertydata.worldbank.org/poverty/home/>



环保纸印刷



ENERGY FOUNDATION  
能源基金会

想要了解更多，请访问：  
[www.efchina.org](http://www.efchina.org)