



# 零碳之路： “十四五”开启中国 绿色发展新篇章

ACCELERATING THE NET-ZERO TRANSITION:  
STRATEGIC ACTION FOR CHINA'S 14<sup>TH</sup> FIVE-YEAR PLAN





# Vision 愿景 2050

世界资源研究所于 2019 年启动了“愿景 2050”项目，致力于推动中国深度脱碳，实现经济高质量发展。项目聚焦国家中长期气候战略和京津冀、长三角、粤港澳等关键经济区域，以低碳、高质量发展为主线，以协同发展为视角，深入探索中国实现碳中和路径。

校对：谢亮  
[hippie@163.com](mailto:hippie@163.com)

设计与排版：张烨  
[harryzy5204@gmail.com](mailto:harryzy5204@gmail.com)



# 目录

## V 序

## VII 执行摘要

## XII English Highlights

### 1 第1章 变革中的中国：

“十四五”带来的绿色发展机遇

2 “十四五”——中国发展史上的关键五年

3 应对气候变化的中国力量

4 绿色低碳引领中国未来经济高质量发展

### 5 第2章 提升国家自主贡献推动2050年深度脱碳

6 实现深度减排，国家任重道远

14 国家自主贡献目标的强化方案选择

15 中国“十四五”的低碳绿色政策选择

### 21 第3章 区域协调发展引领中国低碳转型

23 绿色低碳成为三大区域战略的重要组成部分

23 三大经济区低碳转型的瓶颈与需求

27 优先开发区域率先达峰——以长三角绿色转型为例

32 区域层面上的“十四五”政策选择

### 37 第4章 地方行动支持国家目标实现

38 浙江省的碳排放特征

41 浙江省2050年深度脱碳路径

52 启示与“十四五”建议

### 57 第5章 结论——战略与政策选择

## 59 注释

## 61 参考文献

## 图目录

图1	中国政府已确定的关键节点年	3
图2	中国中长期二氧化碳及温室气体排放路径	7
图3	强化行动情景下分行业二氧化碳排放	7
图4	一次能源消费构成	8
图5	强化行动路径的经济成本与效益	9
图6	实现深度减排的总成本效益(与现有政策相比的年度差异)	9
图7	强化行动路径政策效果	10
图8	强化行动路径减排成本曲线	11
图9	工业减排效果分解(2050年示例)	12
图10	不同情景下的发电结构	12
图11	交通领域相关政策减排效果	13
图12	试点碳市场2018、2019年度成交均价	19
图13	绿色低碳发展理念在三大区域发展规划纲要中的体现	23
图14	高耗能行业和高科技行业占各区域第二产业总产值比重	25
图15	三大区域各省能耗强度比较	26
图16	2015年三大区域分部门能源消费构成(徐健等, 2018)	26
图17	2015年三大区域各省市一次能源消费结构	27
图18	GEM模型的原理机制以及系统动力学因果关系图	28
图19	长三角地区温室气体排放总量——基线情景(BAU)、绿色经济情景(GE)	30
图20	长三角地区能源与电力行业二氧化碳排放量——基线情景(BAU)、绿色经济情景(GE)	30
图21	长三角地区能源与电力行业二氧化碳排放强度——基线情景(BAU)、绿色经济情景(GE)	30
图22	长三角地区实际GDP总量及GDP增长率——基线情景(BAU)、绿色经济情景(GE)	31
图23	长三角地区能源消费总量——基线情景(BAU)、绿色经济情景(GE)	32
图24	浙江省化石燃料燃烧二氧化碳排放及增速	39
图25	浙江省碳排放脱钩指数	39
图26	2017年浙江省碳排放构成	39
图27	浙江省规上工业分行业能源消费量占比示意图	39
图28	浙江省2050年温室气体排放情景分析	41
图29	参考情景下浙江省重大石化项目对排放的影响	42
图30	各情景下一次能源消费预测结果	43
图31	各参考情景下浙江省重大石化项目对能源需求的影响	44
图32	不同情景下一次能源消费结构	44
图33	参考情景和近零情景下各行业温室气体排放预测结果	45

---

图 34	低碳情景政策减排潜力	46
图 35	近零情景相近政策合并后减排潜力	46
图 36	参考情景和近零情景下火电发电量	47
图 37	近零情景下浙江省电力供应结构	47
图 38	近零情景下的成本、收益和净收益	48
图 39	不同情景下避免的年过早死亡人数	48
图 40	城市达峰目标	49
图 41	苏州市六大高耗能行业产值和能耗占比	50
图 42	苏州市2010—2017年分品种能源消费情况	50
图 43	苏州市2005—2017年碳排放总量及变化情况	51
图 44	苏州市二氧化碳排放总量预测结果	51

## 表目录

---

表 1	国家部分应对气候变化相关政策及其核心内容	3
表 2	交通领域相关政策减排效果	16
表 3	部分国家和地区碳税施行情况列表	19
表 4	中国三大区域主要经济社会情况	22
表 5	三大经济区绿色发展目标	24
表 6	三大经济区域内中心城市和其他城市经济结构(2016年)	24
表 7	三个经济区行业区位商排名	25
表 8	GEM干预政策、描述及设置	29
表 9	三大区域中已宣布达峰年份的城市及其GDP	33
表 10	第三批低碳城市试点长三角城市名单及达峰年份、创新重点	34
表 11	2017年江浙沪皖碳排放量情况	39
表 12	不同情景下的排放情况	41
表 13	不同情景下能源领域碳排放及碳强度情况	42
表 14	不同情景下能耗信息	43



资料来源于互联网，版权归作者所有

# 序

世界各国要实现《巴黎协定》设定的目标、避免全球变暖的后果，所剩时间已经不多。如果各国政府不能迅速将升温幅度稳定在1.5摄氏度（2.7华氏度）及以下，全球变暖的影响将持续恶化。届时许多自然系统将跨越危险临界点，造成永久性转变。

作为全球最大的温室气体排放国之一，中国在全球气候治理中扮演着至关重要的角色。幸运的是，中国领导人正在认真对待这一挑战。这可以从中国已经实现其2020年既定气候目标和习近平主席今年九月在第75届联合国大会上宣布的碳中和承诺中所见。

要实现这些雄伟的目标，中国必须采取根本性的变革，从高碳、高消耗的经济发展模式向低碳、高效转型。《零碳之路：“十四五”开启中国低碳高质量发展新篇章》报告为中国未来向零碳发展这一过程中最为关键的五年时期指出了路线。本报告的主要发现给人以希望。从“十四五”时期(2021-2025)开始采取更加雄心勃勃的气候和能源政策将为中国带来显著的经济效益。在国家层面可在2050年单年实现人民币6.5万亿元净社会收益。同时，空气质量的改善在2050年单年就能挽救近200万人的生命。在区域层面，长江三角洲、粤港澳大湾区和京津冀等重点经济区，可在中国碳排放达峰和迈向碳中和的过程中发挥引领作用，尽早实现气候目标并同时实现新增就业和其他经济效益。

除这项世界资源研究所的新研究以外，越来越多的证据显示：全球气候行动在经济上是明智的选择。

《新气候经济学》一文指出，这其中蕴含26万亿美元的巨大机遇。技术进步和可再生能源成本下降，使得低碳、可持续投资较之基于化石能源的传统技术更具有成本竞争力。此外，气候行动的附带优势也颇具吸引力：环境污染得到改善，城市变得更为宜居；供电供水系统更加稳定；房屋能抵御日益频发、严重的极端气候事件；生态系统也能得到更好的保护，变得更高产。

本报告的主要受众是中国的政策制定者，他们肩负重任，为14亿人民快速实现低碳、高效转型绘制蓝图。这项任务不仅对中国而且对整个世界都有巨大影响。我们希望本研究的发现及分析能为此重任出一份力。另一重要受众是世界各地寻求了解中国在可持续发展、实现气候韧性发展的经济学家、政策制定者和社会团体。我邀请您们阅读报告，并与作者分享意见与建议。



安德鲁·斯蒂尔  
主席兼首席执行官  
世界资源研究所



更多資料請到[天壯公司](http://www.tianzhong.com)網站觀看  
本文版權归原作者所有

# 执行摘要

中国正处于一个深度变革的时代。过去四十年，中国的经济发展取得了举世瞩目的成就，GDP总量快速增长，城镇化进程加速，贫困人口显著减少。但是，传统的粗放型经济增长模式也导致了资源和能源消耗、污染物和碳排放的成倍增长，给社会带来了巨大的环境与气候风险。中国2019年能源消费总量为48.6亿吨标准煤，相比1980年增长约706%<sup>1</sup>。中国能源相关二氧化碳排放（以下或简称“碳排放”）也快速增加，2019年总量达到98亿吨，位居全球第一<sup>2</sup>。展望未来，中国经济正处于高速发展向高质量发展的转换期；同时，习近平主席于2020年9月22日对全世界做出了中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和的承诺。根据中国“两步走”的战略安排，从2020年到2035年，基本实现社会主义现代化；从2035年到本世纪中叶，建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国。中国应发挥好应对气候变化对经济发展的引领作用，确保未来的发展道路是绿色、低碳、循环和可持续的。

面对新冠肺炎疫情后种种不确定因素和最新的2030年前达峰及2060年前碳中和的气候目标，中国必须在“十四五”（2021—2025年）初期提出一个更具韧性、低碳、可持续的中长期经济发展计划，更新的国家自主贡献（Nationally Determined Contribution，简称NDC）和长期温室气体低排放发展战略（Long-term low greenhouse gas emission development strategy，简称LTS），布局中长期低碳发展蓝图，为中国生态文明建设、全球应对气候变化目标做出贡献。在此背景下，世界资源研究所协同有关研究机构描绘了一幅中国在2050年实现深度脱碳的愿景，并着重讨论正在筹划的国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要（以下简称“十四五”规划）中的低碳转型政策选择以及更新的国家自主贡献，希望该报告能够为国家及地方政府决策提供科学参考与智力支持。

## 中国有望在“十五五”初期实现二氧化碳排放达峰，提前实现NDC目标

中国于2009年提出到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放相比2005年下降40%~45%，并于2015年进一步提出在2030年左右二氧化碳排放达到峰值并争取尽早达峰，2030年碳强度比2005年下降60%~65%。数据显示，中国2019年碳强度相比2005年下降48.1%，提前超额实现2020年目标。这一良好的进展为中国提出和实现更有雄心的气候目标打下了坚实的基础。

根据能源政策模拟模型（Energy Policy Solutions，以下或简称“EPS模型”）分析结果，中国有潜力实现更具雄心的NDC目标，包括提前实现二氧化碳排放达峰、增加非化石能源占一次能源消费比重及提高碳排放强度下降率（表ES-1）。其他可提高的具体目标包括：继续控制煤炭消费总量并维持下降趋势，到2030年不超过24亿吨标准煤；提升终端能源消耗中电力的占比，到2030年达到30%；提升各类交通工具的能源利用效率，到2030年道路交通工具中新能源（纯电动、混合动力、氢燃料等）车辆占比达20%。中国应重点关注并尽早提出中长期低碳发展的关键减排指标及举措，包括但不限于提升工业产品利用率、创新工业用能技术，优化电力生产结构、减少煤电机组应用，提升交通工具能效、推广高效清洁交通，大力开展碳去除手段等，从而实现深度减排，并逐步实现净零排放发展目标。

## 未来三十年应推动关键行业和区域减排

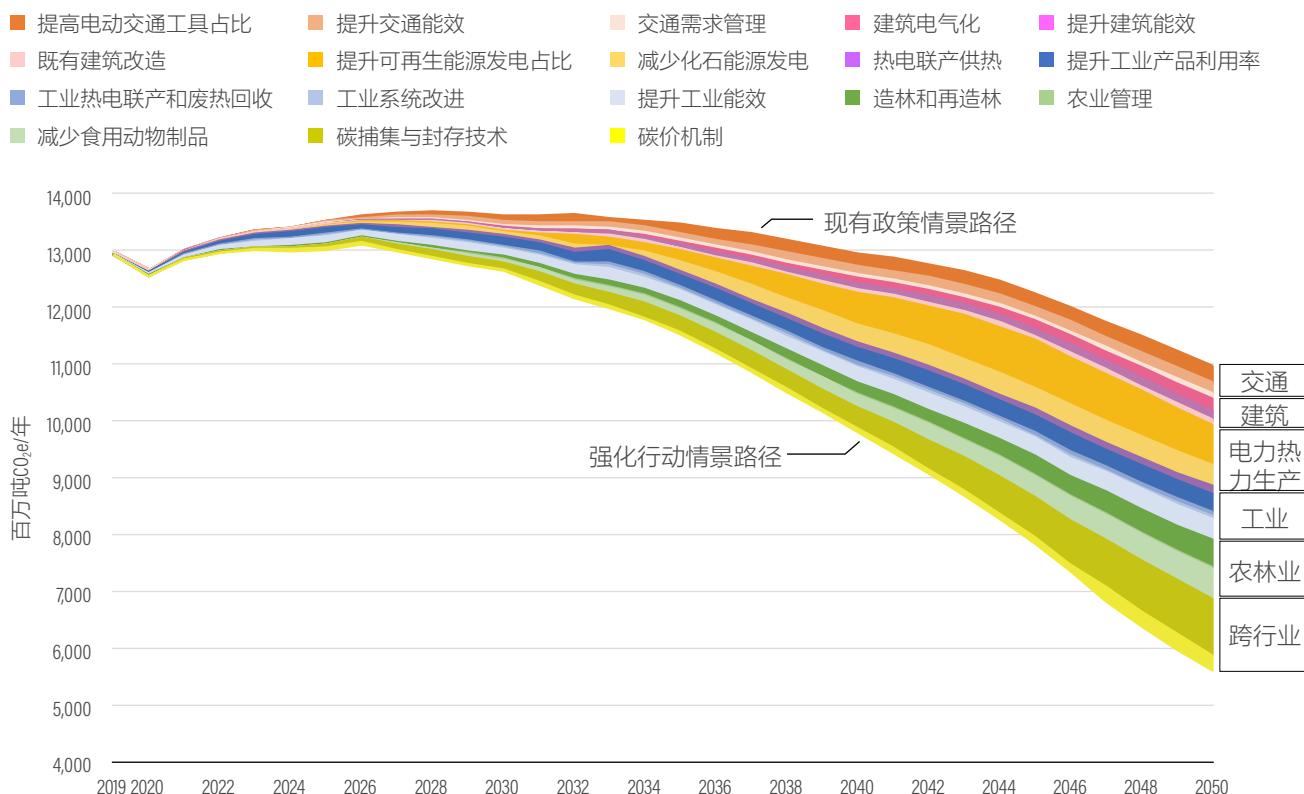
“十三五”（2016—2020年）以来，中国在气候变化领域采取了一系列政策措施，包括控制温室气体排放、推进碳排放权交易市场（以下简称碳市场）建设、加快适应气候变化和提高公众应对气候变化的意识等。为了推动2030年和2060年气候目标的有效落实，中国政府应在未来重点关注电力、工业、交通和负排放技术等关键领域减排（如图ES-1所示），鼓励关键经济区域尽早达峰和尽早零碳。

在正常退役安排之外每年额外强制淘汰1500MW的煤电装机容量，同时优化电力调度机制，到2050年化石能源发电占比将小于10%，单年减少约8亿吨的温室气体排放，贡献高达15%的减排潜力，30年间累计减排约124亿吨二氧化碳当量。电力生产是中国二氧化碳排放的最大贡献部门。在现有政策下，虽然煤电发电量将呈现下降趋势，但因煤电具有稳定性及成本优势，始终在电力生产中占据重要的地位。同时，随着可再生能源发电技术的进步，发电成本逐渐下降，预计风电和太阳能发电可在“十四五”初期实现平价上网。在EPS强化行动情景下，电力部门脱碳的首要任务是减少化石能源发电量，特别是缩减煤电发电量，具体措施包括控制新上燃煤电厂、及早退役煤电机组等。未来，利用市场机制实现电力调度策略的优化，即优先调度成本更优的可再生能源电力，是实现电力部门深度脱碳的关键。

表 ES-1 | 现有国家自主贡献目标以及更具雄心与潜力的目标

考核指标	2030 年目标	
	现有NDC目标	基于强化行动情景所提出的目标
二氧化碳排放达峰	2030年左右并争取尽早达峰	2026年左右
2030年非化石能源占一次能源消费比重	20%	25%
2030年森林蓄积量增长量	比2005年增加45亿立方米左右	比2005年增加60亿立方米左右
碳排放强度相比2005年下降率	60%~65%	73%
非二氧化碳温室气体排放达峰	未涉及	2020—2025年
温室气体排放涵盖范围	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> 及非CO <sub>2</sub> 温室气体

图 ES-1 | 强化行动路径政策效果



**提高工业产品利用率和工业能效将可在未来30年累计减排约123亿吨二氧化碳当量，2050年单年也将减排6.8亿吨二氧化碳当量，贡献13%的减排潜力。**工业部门是当前中国温室气体的最大排放源。一方面，减少工业排放的有效手段之一是减少工业产品（钢铁、水泥、塑料、化工产品等）的需求，发展工业产品替代物，减少工业产能，进而降低排放。发展循环经济、提高工业产品的利用效率、延长产品使用年限，以及回收利用相关产品和材料，是减少工业排放的主要途径。另一方面，推动工业用能结构调整和能效改进可从源头有效减少工业排放。在现有技术发展路径下，推进工业中煤改气和煤改电、引入氢能源利用将面临较高的成本及技术挑战，提高工业部门能源回收利用水平、提高工业能效以减少整体能源消耗则相对技术成熟并且成本可控，对于实现深度减排路径而言更加切实可行。

**提升交通工具能效将可在未来30年累计额外减排32亿吨二氧化碳当量；另外，发展电动交通、设置电动车最小销售占比所带来的减排潜力更加显著，同期可累计减排45亿吨二氧化碳当量。**随着未来经济结构转型升级和城市化进程加快，中国交通需求将高速增长。在此背景下，为了实

现交通领域二氧化碳深度减排，提升交通工具能效是交通领域近期最优先开展的工作，而在中远期则应大力发展电动交通工具。

**大力发展战略性新兴产业，创造行业发展空间。**碳去除手段包括传统的植树造林、恢复湿地等基于自然的增加碳汇的方式，以及新兴技术，即利用碳捕集与封存（CCS）技术、直接空气捕获（DAC）技术进行人为固碳。在深度减排路径下，应大力推进CCS技术在工业和电力生产行业的应用，并充分发挥碳汇的潜力。这两项政策将在2050年单年带来14亿吨碳吸收量，并在30年内累计减排171亿吨二氧化碳当量。

**鼓励京津冀、长三角和粤港澳等先进区域在“十四五”期间提前实现二氧化碳达峰，并引领全国低碳转型。**研究发现若加大绿色投入，长三角地区温室气体总排放（包括土地利用、土地利用变化和林业，即LULUCF）有望在“十四五”末期达峰，峰值为18亿吨二氧化碳当量，并在“十五五”期间开始下降。中国近年来提出的京津冀协同发展、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展等区域协调发展战略为实现这一目标打下了坚实的政治基础。

## 绿色增长模式将带来气候和经济的双赢

在国家层面，若实施强化行动下的深度减排路径，中国不仅能够大幅减少温室气体排放，助力《巴黎协定》温控目标的实现，还可以规避气候变化所导致的自然灾害，如减缓海平面上升、水资源短缺等，到2050年单年将产生2.9万亿元（2018年不变价）的直接气候效益<sup>3</sup>。同时，控制碳排放将提升空气质量、改善生活环境、促进人体健康，相比现有政策路径，到2050年深度减排路径将可以额外避免高达单年189万人的过早死亡，创造1.6万亿元（2018年不变价）的货币化效益<sup>4</sup>。选择深度减排路径，其减排成本（包括设备投资、运行维护成本等）也将在后期逐渐减少，并能在“十四五”中后期实现正向的经济收益。因此，综合来看，该路径将为中国未来30年的经济与社会发展带来持续的收益，2050年单年将可产生高达6.5万亿元（2018年不变价）的全社会收益，切实推动气候与经济发展的共赢。

在区域层面，本研究以中国经济引擎——长江三角洲作为研究对象（图ES-2），开发搭建了长三角绿色经济模

型（GEM-Yangtze River Delta），结合国家最新区域发展战略和新冠肺炎疫情对经济社会的影响，模拟了长三角地区绿色发展的前景。在绿色经济情景下，长三角地区温室气体总排放（包括土地利用、土地利用变化和林业）将在“十四五”末期达峰，并在“十五五”期间开始下降；即使按现有政策手段，长三角地区也能在“十五五”中期以19亿吨二氧化碳当量的排放达到峰值（图ES-3）。

通过提高科技创新能力、增加新能源利用比例、提升能源效率等绿色政策，绿色低碳型道路可以在长三角地区引领强劲的经济增长，同时带来包括新增就业岗位、财政增收等一系列经济社会效益。绿色经济情景到2050年当年能为长三角地区创造173万亿元的名义GDP。这一结果显示，中国的经济发达地区已具备实现率先达峰的潜力，同时也具有经济效益。至2050年，绿色经济情景将帮助长三角地区政府实现财政收入较2020年增长6倍，达到38.1万亿元。不仅如此，相较于基线情景（BAU），2025年起绿色经济情景每年将为长三角地区平均多创造近380万个工作岗位。基于劳动力增长与GDP增长之间的正向关系，越来越多的劳动者会在绿色岗位中获得更多收入并积累更多社会财富。不断扩大的经济体量持续刺激工作岗位的扩张，劳动力水平将不断促进GDP增长，中国经济将形成可持续发展的正向循环。

图 ES-2 | 长江三角洲区域概况（《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》）

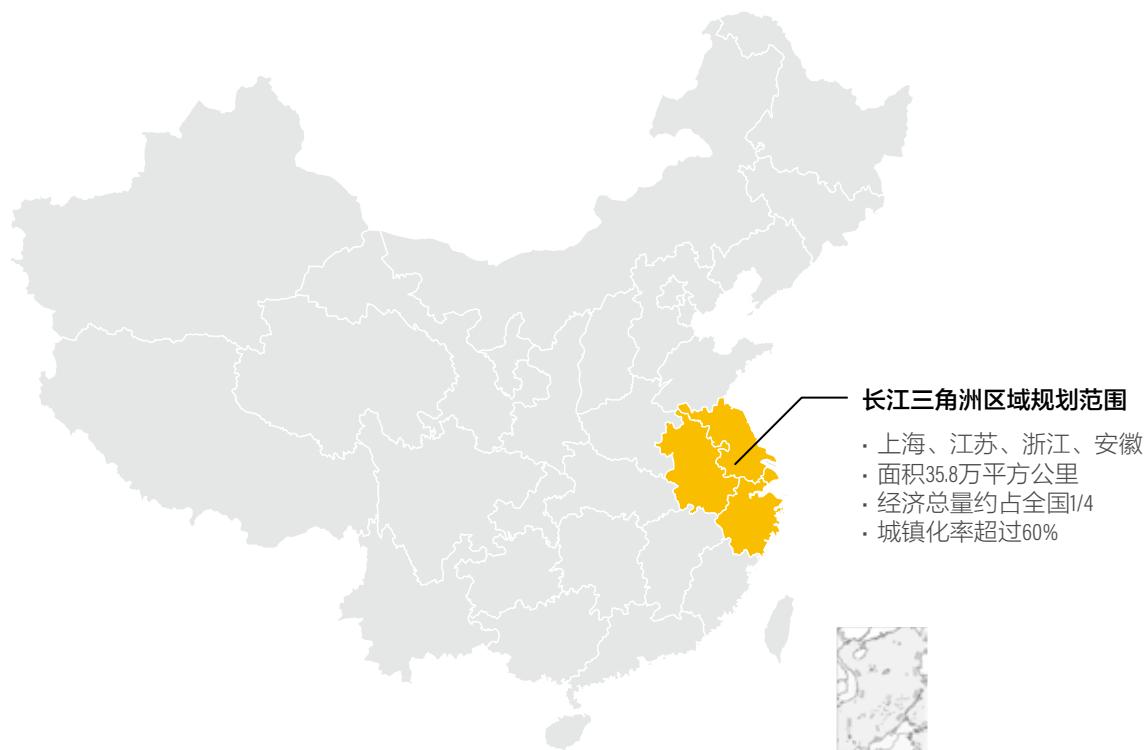
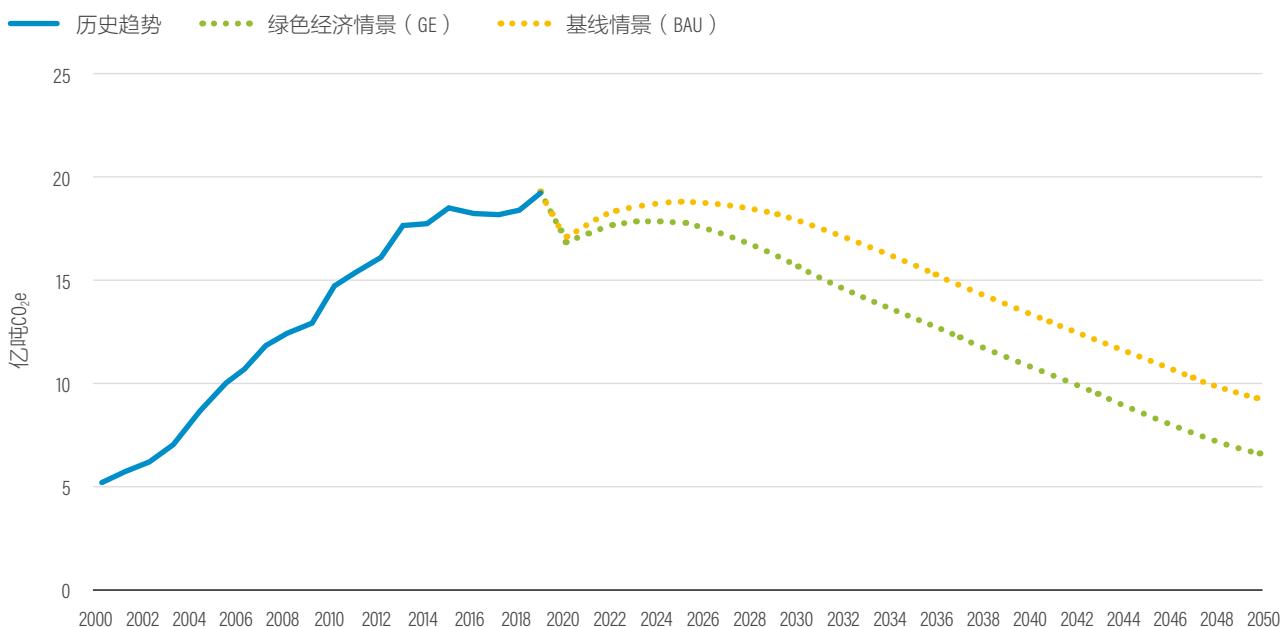


图 ES-3 | 长三角地区温室气体 (CO<sub>2</sub>e) 排放总量



## “十四五”政策建议

### 全面纳入气候变化相关目标，协同推进绿色低碳转型

**与经济社会发展目标。**“十四五”期间，建议中国进一步将应对气候变化的任务目标纳入整体的经济社会发展规划、专项工作计划和政府工作报告，制定应对温室气体排放的长期路线图和具体工作方案，与中长期社会发展战略保持一致。根据EPS模型结果，“十四五”期间，中国二氧化碳排放应控制在103亿吨左右，单位GDP二氧化碳排放应比2020年下降22%左右，非化石能源占一次能源消费比重应达到约20%。

### 推动能源消耗总量和强度双控向化石能源总量和能耗

**强度双控的转变。**在供给侧，多措并举促进可再生能源并网消纳，强化落实可再生能源最低保障收购年利用小时数；在负荷集中的中东部地区，优先发展分布式可再生能源。在消费侧，坚持“节能优先”，充分挖掘需求侧管理和能效提升的潜力；激励用户对可再生能源的需求；创新交易机制，为企业/机构及个人的可再生能源采购开辟灵活的市场渠道。

**推动市场化减排机制。**在“十四五”期间，逐步建成制度完善的全国碳排放权交易市场，探索碳市场合理且更有效力的价格区间，并逐步将电力以外的行业纳入碳市

场。同时统筹推动电力市场，将用能权交易市场与碳交易市场深度融合，发挥市场高效配置资源优势，倒逼能源结构优化，挖掘减排空间。

### 加强自下而上地方行动，鼓励先进区域、省市率先达峰。

一是探索区域低碳发展考核机制，建立新的符合国家区域战略的应对气候变化工作考核机制，推进整体达峰。二是开展区域层面的试点示范，推动区域整体“十四五”期间提前达峰，同时从不同地区的实际情况出发，确定区内一体化但有差异的低碳目标，建立统领性的指导和监管部门。三是探索跨区域低碳示范试点工作，包括用能权交易市场，加快低碳或者节能资金与技术在区域间的流动。四是鼓励部分省市尽早制定2050年长期战略、阶段性目标和行动计划。

### 加快疫后绿色经济重建。

尽管为应对新冠肺炎疫情的社会封锁和生产活动停滞将导致2020年温室气体排放下降，但现在经济政策选择、基础设施建设都将“锁定”未来全球排放的走向。“十四五”规划中，我们建议中国不仅将新基建作为短期经济刺激措施，更要利用好新基建带来的数字化和智能化，在能源、交通、建筑与消费等领域发力数字经济与绿色转型，并贡献到国家自主减排、空气污染改善和生态环境保护中。特别需要注意的是，在经济重建中必须限制高耗能、高排放的大型基础设施项目投资，避免煤电机组等高耗能基础设施的持续扩张带来的锁定效应。



# ENGLISH HIGHLIGHTS

## HIGHLIGHTS

- New analysis by World Resources Institute (WRI) indicates that China can generate nearly **US\$1 trillion (¥6.5 trillion)** in net economic and social benefits in the year 2050 by pursuing more ambitious net-zero climate action. These benefits include **cost savings of \$295 billion** in fuel, operation and maintenance expenditures; the avoidance of **1.89 million premature deaths**; and the reduction of **4.7 gigatons (Gt) of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions**.
- China's policy choices now, both in terms of economic recovery efforts following the COVID-19 crisis and in its 14th Five-Year Plan, will lock in the future global emissions trend for many years. Stronger climate and air pollution control measures, strengthened by provisions in the 14th Five-Year Plan, can put China on track to a healthier, cleaner future and help to realize President Xi Jinping's vision for carbon neutrality by 2060. It will be particularly critical to avoid the development of carbon- and energy-intensive infrastructure, such as coal-fired power plants and coal-to-chemicals facilities, as a means to spur economic recovery.
- Advanced economic regions, such as Beijing-Tianjin-Hebei, Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and the Yangtze River Delta, can lead the way by peaking carbon emissions as soon as 2025 while creating millions of green jobs per year throughout the next two decades.
- Prioritizing actions in the renewable energy, industry, transportation and carbon removal sectors will put China in a good position to reach its vision of net-zero emissions by 2060 while creating a stronger, more resilient and prosperous society.

## Background

China is experiencing profound changes. Over the past four decades, as the nation's economic development has taken off, its gross domestic product (GDP) has grown rapidly, urbanization has advanced and the percentage of people living in extreme poverty has dropped significantly. However, traditional economic growth models have also led to rapid increases in resource and energy consumption, pollutants and CO<sub>2</sub> emissions, creating increasingly costly environmental and climate risks. China's total energy consumption in 2019 was 4.86 billion tons of coal equivalent, an increase of more than 700 percent compared with 1980 (NBS 2020). In 2018, China's total energy-related CO<sub>2</sub> emissions reached 9.8 Gt—the largest in the world (IEA 2020).

Looking to the future, China is initiating a transition from high-speed to high-quality economic growth (Xinhua News Agency 2020). Its top leadership has proposed a “two-step” development strategy with the goal of realizing socialist modernization in 2035 and building a prosperous and sustainable “ecological civilization” by the middle of this century. On September 22, 2020, in remarks delivered before the United Nations General Assembly, President Xi announced that China aims to achieve carbon neutrality before 2060 and to peak carbon emissions before 2030. This marks the first time that Chinese leadership has declared a goal to reach net-zero emissions, in line with its commitment to the Paris Agreement on climate change. Xi's announcement is an important step towards alignment with the latest recommendations (IPCC 2019) from the world's leading climate scientists, which state that global emissions must be cut in half by 2030 and reach net zero by midcentury to avoid catastrophic environmental impacts.

This is a pivotal moment for China, which is currently facing national and international upheaval from the global COVID-19 pandemic. To comply with President Xi's 2060 carbon-neutral target, China must now propose a more resilient, low-carbon and sustainable mid- to long-term economic reconstruction plan. In addition, it must update its nationally

determined contribution (NDC) to align with the 2060 target as well as its detailed low-carbon development strategy.

As our report shows, building a net-zero climate future presents an unparalleled opportunity for the nation to institute approaches that will drive growth, innovation and prosperity for its citizens in the coming decades. China can jump-start this new growth trajectory by using its COVID economic stimulus package, valued as of November 2020 at \$7 trillion (¥50 trillion), to accelerate green investment. Building on this, China can use the framework of its 14th Five-Year Plan to lock in steady declines in emissions and lead the way in realizing global climate goals.

WRI collaborated with a number of relevant research institutions to create a vision for China to achieve deep decarbonization by 2050. We focused on low-carbon transition policy choices in the 14th Five-Year Plan and potential opportunities to enhance the NDC. The resulting report is the first in a series of studies for the WRI Vision 2050 project for China. It is our hope that it will provide a scientific foundation and intellectual support for national and local government decision-making in China.

## Methodology and Scenario Description

WRI experts synthesized earlier WRI research and conducted new modeling exercises to understand the wide-ranging effects of China's climate policies at national and subnational levels.

At the national level, the report's authors adapted the Energy Policy Simulator (EPS), an open-source system dynamics computer model, to estimate the impact of various policies on climate, society and the economy. The national EPS focuses on CO<sub>2</sub> emissions. The authors also drew on existing research (Song 2019) to provide insights into China's non-CO<sub>2</sub> emissions and opportunities to reduce these. There are two scenarios under the national EPS. The **Stated Policy Scenario (SPS)** represents existing policy frameworks and announced intentions, including implemented policies, targets from the

13th Five-Year Plan, the current NDC targets and other existing measures. The **Strengthened Ambition Scenario (SAS)** reflects a policy package that goes beyond stated policies in terms of climate ambition. The analysis finds that the SAS would not only create a range of social and environmental benefits but also deliver a net economic benefit as soon as 2023 when compared with the SPS. It represents a better pathway for China's economy and people. It would also put China on an emissions trajectory compatible with limiting global warming to less than 2°C, based on benchmarks provided by the Climate Action Tracker (CAT 2020).

Neither the SPS nor the SAS incorporates China's 2060 carbon-neutral target, which was announced after the analysis was completed. However, CO<sub>2</sub> emissions trends under SAS are potentially compatible with the 2060 target.

## Summary of Findings

**With its 2020 climate targets met, China is on track to exceed the NDC targets it set in 2015, and even more ambitious action is feasible.** China has achieved its 2020 climate targets. In 2009, China proposed that by 2020, CO<sub>2</sub> emissions per unit of GDP should be reduced by 40–45 percent compared with 2005. In 2015, it further proposed that CO<sub>2</sub> emissions peak around 2030 and that carbon intensity decrease by 60–65 percent compared with 2005. Data show that China's carbon intensity dropped by 48.1 percent in 2019 compared with 2005, exceeding the 2020 target (40–45 percent) ahead of schedule. This progress laid a strong foundation for China to propose and achieve more ambitious climate goals.

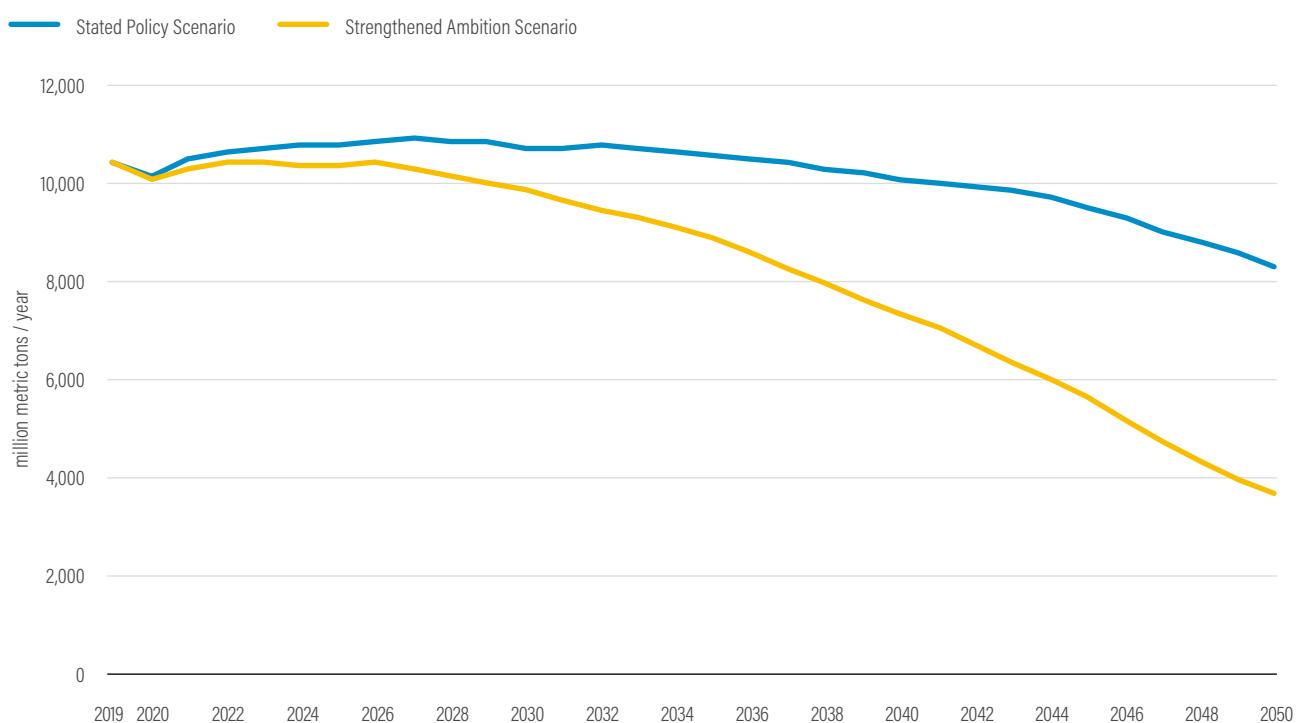
Our analysis shows that China's stated policies will enable it to meet and even exceed the 2030

Table ES-1 | Comparison of China's Current NDC Targets and WRI Studies

	China's Current NDC	Stated Policy Scenario	Strengthened Ambition Scenario
<b>CO<sub>2</sub> emissions trends</b>	Peak around 2030	Peak before 2030 but remain stable until 2032; modest decline thereafter	Peak in 2026 at around 10.3 gigatons of annual CO <sub>2</sub> emissions
<b>Share of nonfossil energy in 2030</b>	20%	24.6%	25%
<b>Forest stock in 2030 (compared to 2005 level)</b>	Increase forest stock by 4.5 billion cubic meters (m <sup>3</sup> )	Increase forest stock by 6 billion m <sup>3</sup>	Increase forest stock by 6 billion m <sup>3</sup>
<b>Carbon intensity reduction in 2030 (below 2005 level)</b>	60–65%	70.7%	72.9%
<b>Non-CO<sub>2</sub> GHG emissions trends</b>	Not included in top-line targets	Grow modestly in 2020s, stabilize in 2030 and decline after 2040	Add target, stabilize in 2020–2025, and start phase out

Note: CO<sub>2</sub> = carbon dioxide; GHG = greenhouse gas; NDC = nationally determined contribution; WRI = World Resources Institute.

Figure ES-2 | CO<sub>2</sub> Emissions under the SPS and SAS



Note: CO<sub>2</sub> = carbon dioxide; SAS = Strengthened Ambition Scenario; SPS = Stated Policy Scenario.

NDC targets it set in 2015 for every measure, including carbon emissions peaking, nonfossil fuel energy share, forest stock and carbon intensity. This suggests that China could achieve even more ambitious emissions reductions for 2030. (Table 1 and Figure 2.)

Implementing policies with the SAS will reduce China's CO<sub>2</sub> emissions significantly—to around 4.7 Gt in 2050—and help realize the 2°C target of the Paris Agreement (Figure ES-2). This is critical in order to mitigate natural disasters caused by climate change, such as sea level rise, increasing and more severe tropical storms and droughts, and diminished water resources. If the SAS emissions trend holds after 2050, China could achieve its carbon-neutral vision by 2060 with the help of negative-emissions technologies.

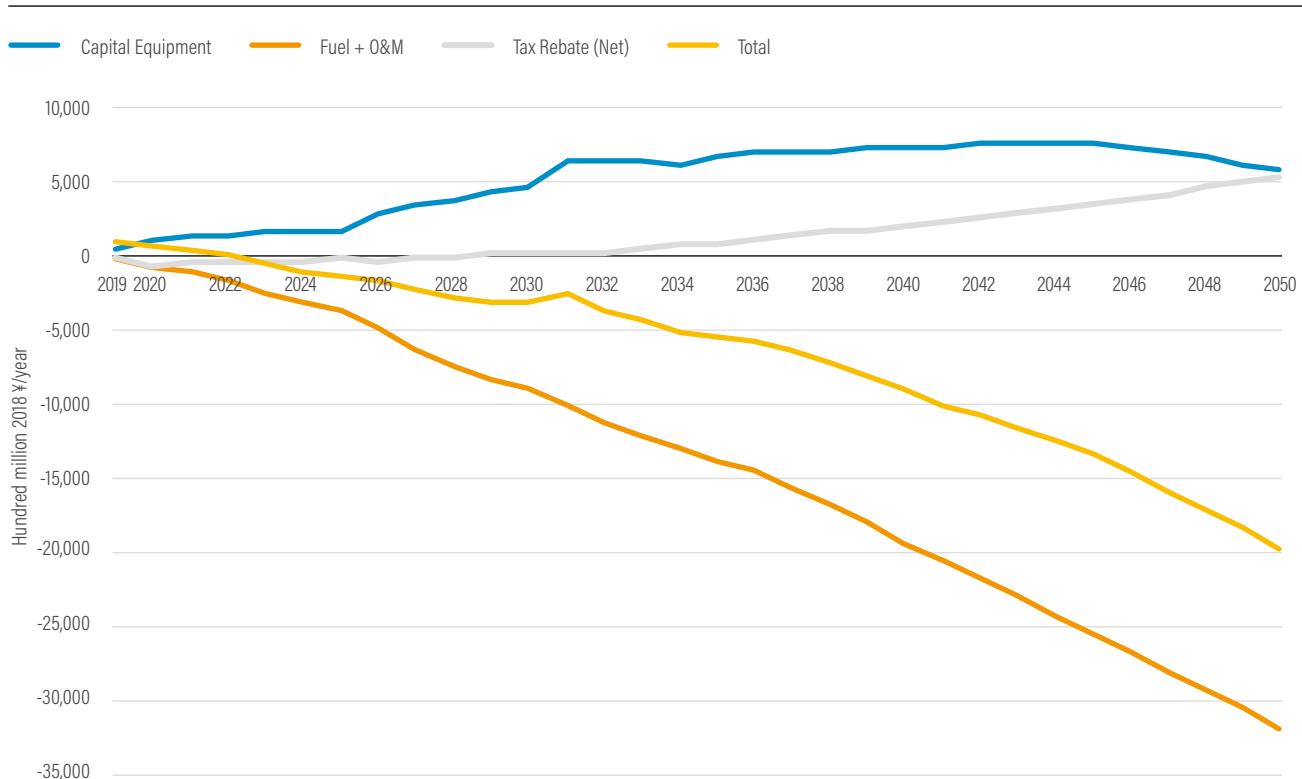
**Policies that follow the SAS can yield tremendous economic and health benefits for China.** Our analysis indicates that by implementing policies aligned with strengthened climate action, China could see a substantial

economic windfall. By 2050, under the SAS, its total economic gain could be as high as \$980 billion (¥6.5 trillion in constant 2018 valuation). These substantial sums could power robust growth and development across China as well as improved health for millions of its citizens.

Although the SAS requires significant investment in capital equipment compared to the SPS, the costs would be more than offset by savings on fuel as well as operation and maintenance costs. The net cost of an SAS path (including capital equipment, fuel, operation and maintenance expenditures) will become negative as early as 2023 and will continue to decline thereafter (Figure ES-3), leading to a net savings of \$295 billion (¥2 trillion in constant 2018 valuation) in the year 2050 and a cumulative net savings of \$530 billion (¥3.5 trillion in constant 2018 valuation) during the modeled period (assuming an 8 percent discount rate).

More ambitious climate policies would also reduce particulate emissions, such as PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>,

Figure ES-3 | The Change of Financial Costs and Benefits from the SPS to the SAS  
(Assumed Revenue Neutral Taxes)



Note: O&M = operations and maintenance; SAS = Strengthened Ambition Scenario; SPS = Stated Policy Scenario.

black carbon, nitrogen oxides, sulfur oxides and volatile organic compounds, which would improve air quality and could help avoid the premature deaths of up to 1.89 million people before 2050, representing a benefit of \$240 billion (¥1.6 trillion) in avoided health impacts.<sup>4</sup>

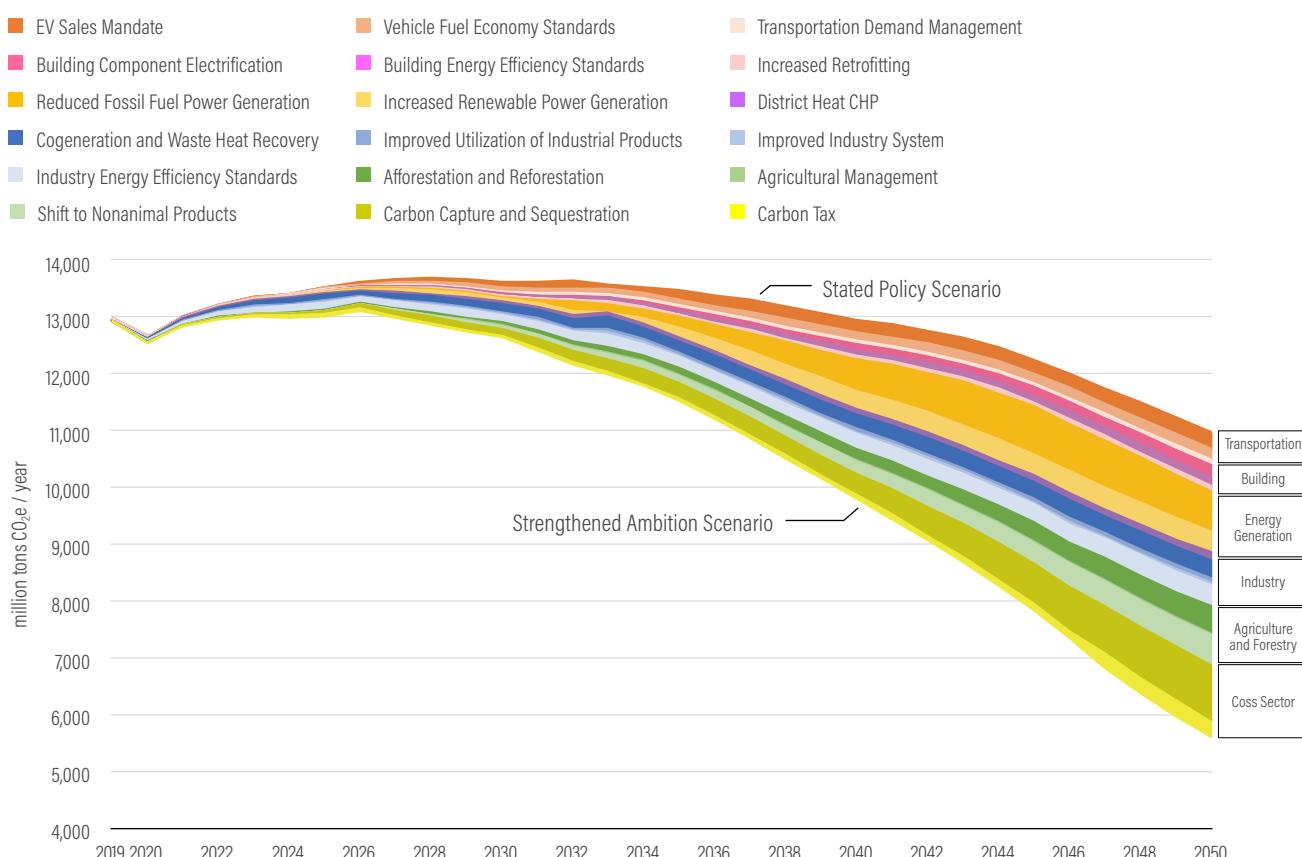
Last but not least, policies under the SAS will reduce around 4.7 Gt of CO<sub>2</sub> emissions in 2050. This will help save \$445 billion (¥2.9 trillion) from avoided climate damages.<sup>3</sup>

**China can take action now to peak its emissions early.** To achieve its climate vision, China should focus on key emissions reduction opportunities and implement measures for mid- and long-term low-carbon development as soon as possible. Our report identifies specific areas that China can improve now to meet its climate goals. Among these are continuing to maintain a downward trend in coal consumption, with a maximum of 2.4 billion tons of standard coal

burned annually by 2030; increasing the proportion of electricity in the end-use energy consumption to 30 percent by 2030 and increasing the energy efficiency of various transportation vehicles and the proportion of new energy (pure electric, hybrid, hydrogen fuel, etc.) vehicles in road transportation by 20 percent as of 2030.

**The 14th Five-Year Plan period will be critical for early peaking and long-term deep decarbonization.** During the 13th Five-Year Plan period (2016–20), China adopted a series of policy measures focused on climate, including establishing targets to reduce carbon intensity, advancing the establishment of a carbon market, accelerating climate adaptation and raising public awareness of climate change. Our study shows that during the 14th Five-Year Plan period (2021–25), China can build on these actions to achieve its carbon emissions peak and transition to a deep emissions reduction path as soon as possible. Following this path, China's CO<sub>2</sub>

Figure ES-4 | The Effects of Deep Carbon Reduction Policies



Note: CHP = combined heat and power; CO<sub>2</sub> = carbon dioxide; EV = electric vehicle.

emissions can be restricted to around 10.3 Gt by 2025, and the carbon emissions per unit of GDP can be expected to drop 22 percent. In addition, the share of nonfossil fuels in China's primary energy consumption could increase to about 20 percent. To realize these goals, power generation, industry, transportation and carbon removal should be on the front lines of climate mitigation.

### Reducing emissions in China will rely on changing how electricity is generated.

Electricity production is the largest contributor to China's CO<sub>2</sub> emissions. Under the current policies, although coal power generation shows a downward trend, it has occupied an important position in the energy system due to its stability and cost advantages.

Achieving China's climate goals requires that the proportion of power generated by fossil fuel be less than 10 percent by 2050. This will reduce approximately 820 million tons of greenhouse gas

(GHG) emissions annually and contribute up to 15 percent of the total emissions reduction potential. At the same time, with advances in renewable energy technology and the continuous decline of generating costs, it is expected that wind and solar power can achieve cost parity on the grid by the end of the 14th Five-Year Plan period.

To realize the SAS, the primary task is to reduce fossil fuel power generation, especially coal power. Specific measures include limiting new coal-fired power plants and retiring existing coal-fired power plants early. In the future, applying market mechanisms to optimize the power dispatch strategy (i.e., prioritizing the delivery of more cost-effective renewable energy) will be key to deep decarbonization in the power sector. Under the SAS, in addition to the normal decommissioning process, an additional 1,500 megawatts of coal-fired power installed capacity is forcibly retired annually from the dispatch mechanism.

**Improving China's industrial energy efficiency can substantially reduce emissions.** Industry is currently the largest source of GHG emissions and the main source of CO<sub>2</sub> emissions in China. To reduce industrial emissions, the country must find ways to lower the demand for industrial products (steel, cement, plastics, chemicals, etc.), develop alternatives for industrial products and reduce industrial production capacity. Improving the utilization of industrial products, extending the service life of products and recycling related products and materials are possible approaches. Promoting adjustments in industrial energy structure and improving energy efficiency can also effectively reduce source emissions.

Two options from China's current technological development path—promoting the conversion of coal to gas or electricity and increasing research and development of hydrogen energy technology—are important but will entail high costs and technical challenges. In contrast, improving energy recovery and utilization in the industrial sector and improving industrial energy efficiency to reduce energy consumption are both technically possible and cost controllable; thus, they are important choices for achieving deep emissions reductions.

**China's transportation sector will play a vital role in decarbonization.** With the transformation of its economic structure and the acceleration of urbanization, China's transportation

demand will grow rapidly. In order to achieve deep emissions reductions in the transportation sector, improved energy efficiency for vehicles is a top priority. In mid- and long-term planning, electric vehicles should be developed vigorously. Developing electric transportation and setting a minimum sales share for electric vehicles can reduce 4.5 Gt of CO<sub>2</sub> equivalent (CO<sub>2</sub>e) from 2020 to 2050. Increasing energy efficiency requirements for roads, railways, waterways and civil aviation will reduce an additional 3.2 Gt of CO<sub>2</sub>e in the same period.

**Carbon capture methods will accelerate carbon removal.** The promotion of carbon capture and storage (CCS) technology in China's industrial and power sectors can increase carbon absorption by 1.4 Gt in the single year of 2050 and reduce 17.1 Gt of CO<sub>2</sub>e over the next 30 years. Carbon removal methods include traditional afforestation, wetland restoration and other nature-based solutions to increase carbon sinks as well as emerging technologies, including CCS and direct air capture for artificial carbon sequestration.

**Key economic regions can lead China's emissions peaking, accelerate long-term carbon neutrality and stimulate job creation and economic benefits.** In recent years, China proposed the coordinated development of the Beijing-Tianjin-Hebei region, the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and the Yangtze River Delta region (YRD)

Figure ES-5 | China's Three Key Economic Regions

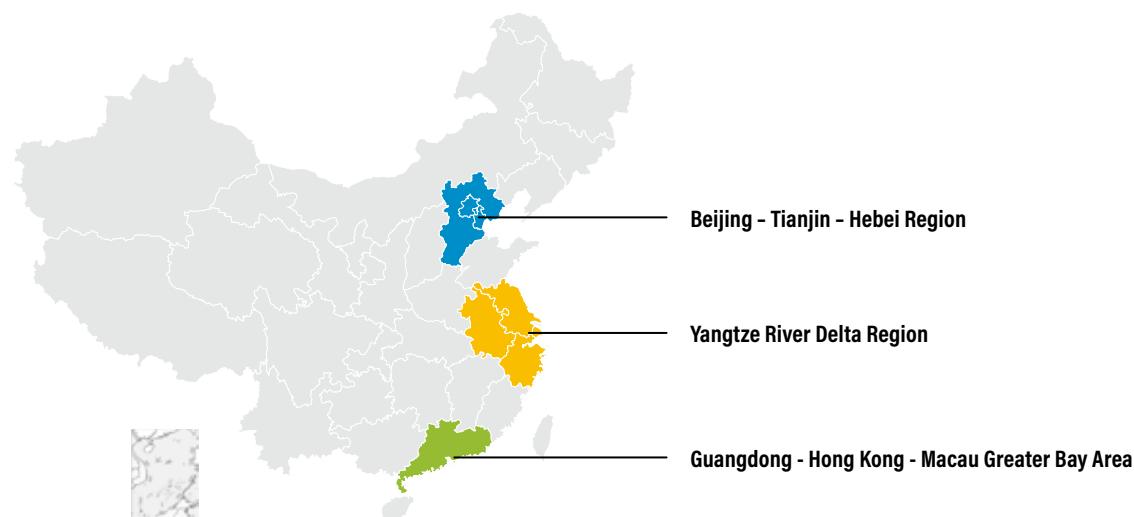
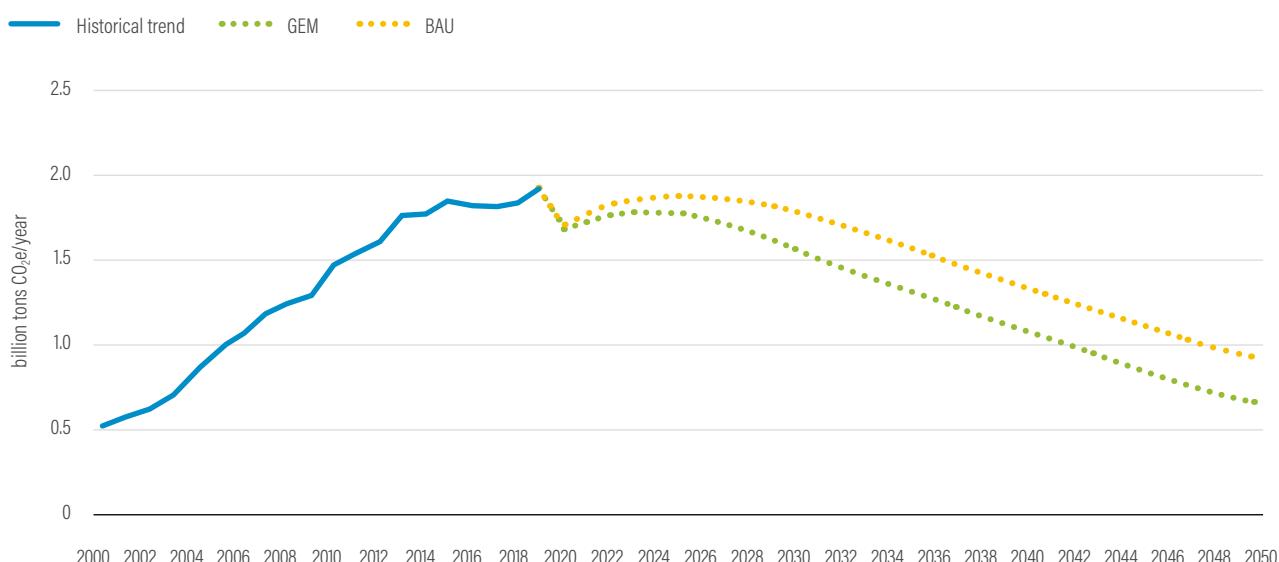


Figure ES-6 | Projected CO<sub>2</sub>e Emissions in the YRD



Note: BAU = business as usual; CO<sub>2</sub>e = carbon dioxide equivalent; GE =Green Economy Model.

with the goal of creating a new impetus for the high-quality development of China's economy. These new initiatives take green and low-carbon development as their main principles. The regions are already China's most developed, and they are well positioned for low-carbon, high-quality growth over the next five years.

Using our Green Economy Model for the YRD region, we find that it can peak GHG emissions by the end of the 14th Five-Year Plan period at 1.8 Gt of CO<sub>2</sub>e and put the region on track for the net-zero target, with more green policy actions (Figure ES-6).

In addition, implementing more ambitious climate actions in the region can lead to strong economic gains in terms of GDP growth, government revenues and additional employment. Our study indicates that the green economy can raise the government's revenue in the YRD to \$6 trillion (¥38 trillion) per year by 2050, six times greater than its revenue in 2020. It will also create nearly 3.8 million additional jobs in the region annually, beginning in 2025, compared to business as usual, and the cumulative increase will reach 98.07 million additional jobs from a green economy by 2050.

## Next Steps: Six Recommended Actions for the 14th Five-Year Plan Period

On October 29, 2020, China's top leadership adopted the proposals for formulating "the 14th Five-Year Plan (2021-2025) for National Economic and Social Development and the Long-Range Objectives Through the Year 2035" at an important historical meeting (XinhuaNet 2020). This document proposes that in the 14th Five-Year Plan period, China will continue to reduce its carbon intensity, encourage developed regions to take the lead in emissions peaking and formulate a national action plan for the 2030 target (Xinhua News Agency 2020). We recommend that China consider the following measures for a better low-carbon development in its 14th Five-Year Plan: establishing more ambitious climate and energy targets, formulating a long-term road map with an action plan to achieve 2030/2060 climate targets, push developed areas to peak their emissions within the next five years and accelerate green investment.

**Incorporate more ambitious climate and energy targets in line with the 2030/2060 targets.** Our report recommends that during the 14th Five-Year Plan period, China should

incorporate climate change targets in its economic and social development plans as well as its special sector plans.

**Formulate a long-term road map and specific work plan to achieve 2030/2060 climate targets, in line with the country's mid- and long-term socioeconomic development strategy.** Market-oriented emissions reduction mechanisms, such as the highly anticipated national carbon market, need to be fully implemented and eventually enhanced.

**Encourage early peaking in key economic regions.** China should encourage more-developed regions, such as the YRD, Beijing-Tianjin-Hebei region, and Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, to peak their GHG emissions by the end of the 14th Five-Year Plan (2025).

**Enhance bottom-up actions and continue to support low-carbon pilots.** Provinces and cities should be required to formulate long-term climate strategies and establish short- and middle-range goals and action plans, including achieving emissions peaks as early as possible.

**Accelerate renewable energy development.** In China's energy sector, the cap mechanism should switch from energy consumption to fossil energy consumption. On the demand side, the government should take multiple measures to promote the consumption of renewable energy and strengthen the regulations for minimum guarantee purchases. On the supply side, the governments need to continue to promote distributed energy systems during the 14th Five-Year Plan period, especially in the eastern and central regions with concentrated loads.

**Build back better.** China should not only embrace a new 5G-based infrastructure campaign as a short-term economic stimulus measure, but it should also use it to accelerate emissions reductions in industry, energy, transport and other fields. It will be particularly critical to avoid the development of carbon- and energy-intensive infrastructure projects, such as coal-fired power plants and coal-to-chemicals facilities, as part of the economic recovery.

## Conclusion

As China looks to develop its 14th Five-Year Plan, it has an opportunity to attain economic prosperity and an improved environment while meeting President Xi's stated 2030/2060 targets. At the national level, WRI supports China's efforts to strengthen its long-term low GHG emissions development strategy and align its short- and medium-term sectoral, economic and national development plan with this strategy. At the subnational level, WRI endorses deep decarbonization in China's key economic regions, including the Beijing-Tianjin-Hebei region, YRD, and Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. China's low-carbon transformation will not only advance much-needed global climate action but also create economic and social benefits for the nation.



## 第一章

# 变革中的中国： 十四五带来的 绿色发展机遇

过去的四十年，中国以年均10%的增长速度经历了世界瞩目的经济腾飞，取得了举世公认的成就。2019年，中国名义GDP达到14.34万亿美元，占世界GDP总量的16%；至2018年，中国已实现7亿人口脱贫，约占全球脱贫人口的70%<sup>5</sup>。中国的经济社会发展为世界发展做出了杰出贡献。但与此同时，中国高投入高消耗的经济增长模式使得一次能源消费不断增加，占世界一次能源消耗的22%（2018年）。大量化石能源消费随之带来了高碳排放和环境破坏等严重后果：2018年中国二氧化碳排放量占全球总排放量的29%，成为全球第一大二氧化碳排放国。随着传统的经济增长动力逐渐消失，中国经济的未来取决于能否实现技术进步和提升经济效率，并减少对资源环境的消耗和破坏。能否实现经济的高质量发展，也将决定中国是否能顺利通过“两个一百年”的承接期，在2020年全面建成小康社会后，再在本世纪中叶建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化国家<sup>7</sup>。

与此同时，中国在全球环境治理中的角色越来越重要。习近平主席2020年9月在第七十五届联合国大会一般性辩论上郑重宣布，“中国将提高国家自主贡献力量，采取更加有力的政策和措施，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。”这一重要宣示明确指明了中国要通过加快经济发展方式转变和经

济结构调整推进低碳转型，更好地参与、引领包括气候变化在内的全球治理。而“十四五”时期将是中国经济发展中一个非常重要的转折点，需要各方倍加关注。

## 1.1 “十四五”——中国发展史上的关键五年

2020年是中国发展史上关键的节点年，而“十四五”（2021—2025年）规划将是中国向第二个百年目标冲刺的首个五年计划。中国在2020年全面建成小康社会，实现国内生产总值和城乡居民人均收入比2010年翻一番。2020年也是十九大报告提出的打赢三大攻坚战的最后一年，风险隐患得到有效控制，脱贫攻坚任务全面完成，生态环境质量总体改善。在规划层面，2020年是“十三五”规划收官之年和“十四五”规划编制工作的关键节点。作为两个百年目标的承接期，中国势必将在“十四五”时进一步转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力，而这将为中国经济的深度低碳转型提供充分的条件。2020年这场突如其来的新冠肺炎疫情也为中国经济的未来走向带来了新的挑战。受疫情冲击，中国2020年前三季度GDP比上年同期增长0.7%<sup>8</sup>。政策制定者面对种种不确定因素，必须在“十四五”时期提出一个更好更快的中长期经济复苏计划。

图 1 | 中国政府已确定的关键节点年



表 1 | 国家部分应对气候变化相关政策及其核心内容

政策文件	发布年份	主要内容
《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》	2010年	统筹考虑各地方的工作基础和试点布局的代表性，经沟通和研究，确定首先在广东、辽宁、湖北、陕西、云南五省和天津、重庆、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳、保定八市开展试点工作
《大气污染防治行动计划》	2013年	进一步强化控制煤炭消费总量、加快清洁能源替代利用的目标和要求，大幅提升控制化石燃料消耗、发展清洁能源的工作力度
《碳排放权交易管理暂行办法》	2014年	明确全国碳市场建设思路。强化基础能力，研究出台24个重点行业温室气体排放核算方法与报告指南，构建企业温室气体排放数据直接报告体系，备案第三方核查机构和交易机构
《国家应对气候变化规划（2014—2020年）》	2014年	提出了中国2020年前应对气候变化主要目标和重点任务，推动将应对气候变化内容纳入国民经济发展规划
《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》	2015年	明确提出于2030年左右二氧化碳排放达到峰值，到2030年非化石能源占一次能源消费比重提高到20%左右，2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%，森林蓄积量比2005年增加45亿立方米左右，全面提高适应气候变化能力等强化行动目标
《“十三五”控制温室气体排放工作方案》	2016年	加快推进绿色低碳发展，确保完成“十三五”规划纲要确定的低碳发展目标任务，推动我国二氧化碳排放2030年左右达到峰值并争取尽早达峰
《工业绿色发展规划（2016—2020年）》	2016年	推动构建绿色制造体系，加快工业低碳转型发展
《全国碳排放权交易市场建设方案（发电行业）》	2017年	部署全国碳市场建设任务，要求以“稳中求进”为总基调，以发电行业为突破口，分阶段、有步骤地建立归属清晰、保护严格、流转顺畅、监管有效、公开透明的全国碳市场
《国家重点节能低碳技术推广目录》（2017年本低碳部分）	2017年	涵盖非化石能源、燃料及原材料替代、工业过程等非二氧化碳减排、碳捕集、利用与封存、碳汇等领域，共27项国家重点推广的低碳技术

中国的人均GDP按照市场汇率计算，将在2020年达到1万美元左右；按照购买力平价计算，将达到美国的30%左右；2035年中国的人均GDP能达到2.5万到3万美元（按2011年不变价计算）；到2050年，中国将建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国，按照购买力平价计算的人均生活水平应该能达到美国的70%左右<sup>9</sup>。从人均GDP1万美元到3万美元再到4万美元，中国还有一段很长的道路要走。在这条路上，中国越早开启经济发展和温室气体排放脱钩的低碳转型，越有可能帮助全球实现既定的气候目标。

## 1.2 应对气候变化的中国力量

“十二五”以来，中国政府对气候变化问题的重视程度越来越高，在《“十二五”控制温室气体排放工作方案》中提出到2015年全国单位国内生产总值二氧化碳排放比2010年下降17%，并相继出台多项应对气候变化政策（表1），发布产业转型升级、加快技术创新、调整能源结构等多项综合治理措施。在2014年中美应对气候变化和清洁能源合作的联合声明中，中国首次正式提出2030年左

右碳排放达到峰值，计划到2030年将非化石能源在一次能源中的比重提升到20%，并将此目标写进了2015年提交的国家自主贡献里。近年来，一系列应对气候变化政策、行动的制定和落实展现了中国在应对气候变化领域取得的积极进展。

2020—2021年将是中国提出更有雄心的气候目标的重要契机。按计划，各国将在2021年《联合国气候变化框架公约》第26次缔约方会议（COP26）之前提交长期气候战略并更新其国家自主贡献，确保实现《巴黎协定》的目标。虽然因为新冠肺炎疫情的影响COP26将延期举办，但由于2019年联合国气候变化马德里大会未能就《巴黎协定》的一些核心细则达成一致，这也让COP26暨格拉斯哥气候大会推向了一个更为重要的位置。中国可以结合“十四五”规划进一步加强国家自主贡献并确定更具雄心的长期气候战略。

## 1.3 绿色低碳引领中国未来经济高质量发展

本研究报告表明，中国有可能在完成2050年经济社会发展目标的同时实现深度脱碳，而且一个更具雄心的应对气候变化目标将更好地帮助中国经济高质量发展。在国家层面，我们的能源政策模拟模型分析了重点行业领域到2050年的最大减排潜力和政策路径。如果维持现有政策及行动的发展，中国将可以于“十四五”中后期（2023年左右）进入排放平台期，且在“十五五”初期（2026年左右）达到不超过109亿吨二氧化碳排放的峰值，实现了国家自主贡献承诺的2030年左右达到峰值并争取尽早达峰的目标。同时，2030年单位GDP二氧化碳排放将降至0.89吨/万元（2005年价），比2005年下降73%左右，也将超额完成60%~65%下降率的目标。在加强各领域的节能减排措施力度后，即强化行动情景下，中国在保障各类生产生活需求的前提下，二氧化碳排放平台期大幅缩短，可以于“十五五”初期就开始呈现快速下降的趋势，且至2050年大幅下降至37亿吨左右，并有望于2060年前实现净零排放，助力完成《巴黎协定》的温控目标。

本报告另一个亮点是结合国家最新区域发展战略，考虑了新冠肺炎疫情对经济社会的影响，使用联合国环境规划署（UNEP）的绿色经济模型（Green Economy Model, GEM）模拟了长三角地区发展绿色经济的前景。该模型考虑了七种不同的干预措施，包括技术进步、土地生产力、能源效率、新能源发展、污水处理、交通基础设施和森林覆盖，结果显示在中国像长三角这样的发达区域有可能实现绿色和经济的共赢。在绿色经济情景下，长三角地区将在“十四五”末实现温室气体达峰，峰值约为18亿吨二氧

化碳当量，并在“十五五”末期开始下降。长期来看，到2050年，绿色经济情景能为长三角地区带来年173万亿元的名义GDP。

但不管是在国家层面的EPS研究还是区域层面的GEM研究，均表明中国要在2060年实现碳中和需要长期不懈努力。未来5年到10年将是中国实现碳排放达峰目标和长期低碳转型的关键时期，需要从产业结构调整、能效提升、强化低碳能源利用水平等方面整体推进，同时还要从制度、体制机制、政策等多方面进行强化，为低碳转型创造良好的基础条件和政策环境。

考虑到实现国家目标需要自上而下和自下而上的合力，本研究在国家、区域、省市层面分别展开，并根据不同层面的特点设计了研究的侧重点。在国家层面，我们重点关注气候中期达峰和长期战略，并结合国家的宏观经济走势判断了2050年实现深度脱碳的重点领域和行业；在区域层面，我们基于国家最新的区域协调发展战略，探索了中国最发达的区域是否能同时实现经济繁荣和温室气体区域整体达峰；在省市层面，我们研究了具体省市2050年的低碳路径和手段，并在案例中总结了经验和教训。

报告按照以下章节进行了论述：

第一章从2020年的国际国内历史背景出发阐述了本研究的必要性，论证了2020年对中国发展和国际气候治理的重要性，最后呈现了本研究的关键信息。

基于我们的能源政策模拟模型，第二章分析了中国2050年实现减排的路径和重点行业的减排潜力，并为“十四五”规划中国家层面应重点关注的低碳工作提出了相关建议。

第三章探讨了中国发达经济区优先达峰的可能性，利用我们建立的绿色经济模型探索了在长三角地区实现经济繁荣和低碳绿色的可能性。最后结合国家区域发展战略，为“十四五”期间区域层面的相关工作提出了政策建议。

第四章聚焦省市层面，深入介绍了浙江省、苏州市和成都市三个案例的未来碳排放轨迹预测、减排潜力和主要驱动因素，并为省市层面“十四五”绿色低碳发展提供了建议。

第五章总结了本报告前四章给出的关键政策建议。



更多资料关注公众号 碳视角  
本文版权归原作者所有

## 第二章

# 提升国家自主贡献 推动2050年深度脱碳

当前各国提出的减排政策及承诺并不能满足《巴黎协定》的 $2^{\circ}\text{C}$ 或 $1.5^{\circ}\text{C}$ 温控目标的要求，截至2020年9月，各国提出的包括国家自主贡献目标在内的承诺仅能保证温升控制在 $2.7^{\circ}\text{C}$ 左右（区间为 $2.4\sim3.1^{\circ}\text{C}$ ）<sup>10</sup>。因此，各国均需要提升气候行动力度。按照中国目前现有的气候战略及相关政策，未来排放路径如何？能否实现国家提出的相关目标？本章将结合EPS模型研究结果探讨中国未来低碳发展之路，并提出深度减排的关键驱动力，即关键政策、措施，以期中国能有效部署“十四五”规划、提升2030年气候行动雄心，以支撑中长期深度减排气候战略。

## 2.1 实现深度减排， 国家任重道远

### 2.1.1 现有政策可实现NDC目标， 强化行动助力深度减排

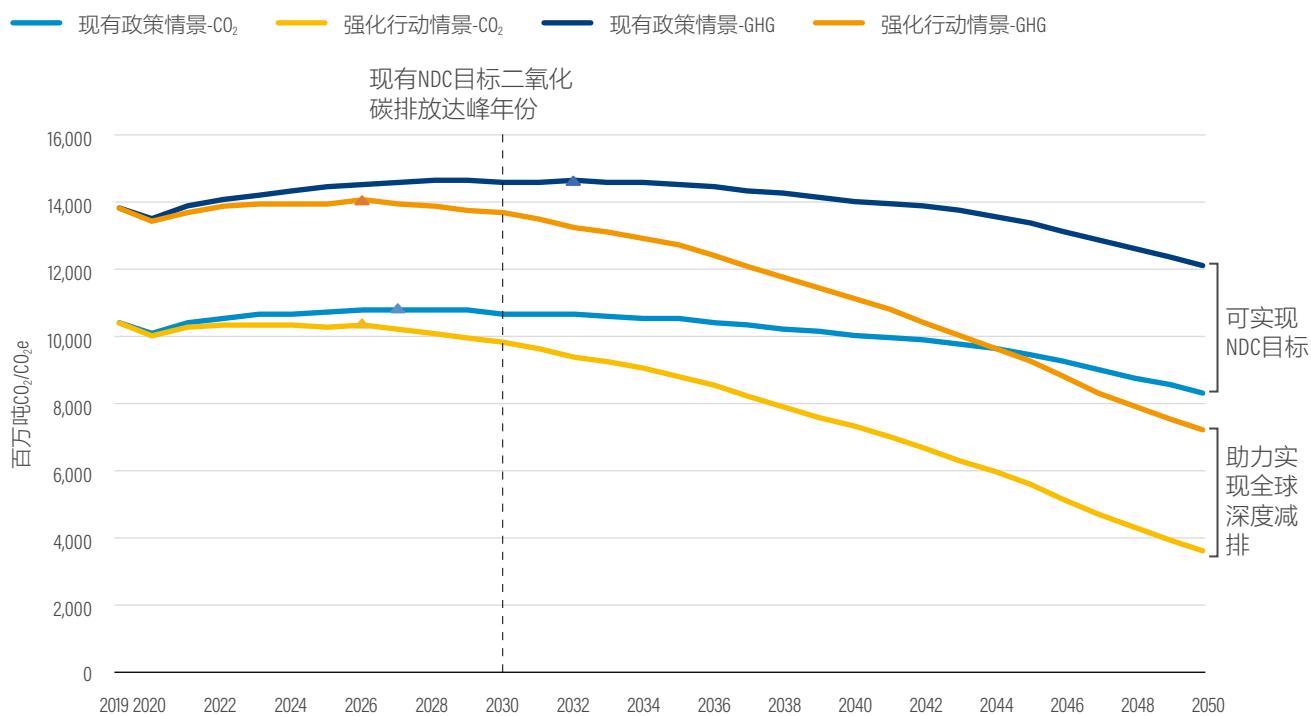
中国正在积极践行低碳发展之路，然而在现有政策、措施的支持下，未来的能耗排放路径到底如何？是否可以实现NDC目标？是否可以对《巴黎协定》的全球目标有所贡献并实现深度脱碳？为了更加科学地帮助决策者制定政策，本研究采用了EPS模型<sup>11</sup>开展中国未来至2050年的碳排放路径分析，评估了与气候变化相关的各项政策对各个领域产生的潜在影响。以政策的节能减排效果评估为基石，EPS模型覆盖了工农业、建筑、交通、能源生产及土地利用五大行业，并可以提供各行业成本效益、

社会效益的深入分析。该研究设置了两个情景，分别为现有政策情景和强化行动情景。现有政策情景包含了当前国家已公布的政策导向和目标，具体而言，中国已提出的NDC承诺、能源革命战略、“十三五”规划和其他政策文件中提出的目标<sup>12</sup>，都被认为在现有政策情景中会实现；到2050年，该情景会考虑对各相关的现有政策手段进行延续。强化行动情景是在现有政策的基础上，进一步增强主要政策的实施力度，并实施新的节能减排政策与技术措施，以期至2050年实现深度减排；根据气候行动追踪组织的研究数据<sup>13</sup>，到2050年中国温室气体排放（除林业碳汇外）控制在55亿~83亿吨二氧化碳当量可以实现《巴黎协定》 $2^{\circ}\text{C}$ 的温控目标，进一步控制在4亿~55亿吨二氧化碳当量可以实现 $1.5^{\circ}\text{C}$ 的温控目标。该情景将探索有效实现 $2^{\circ}\text{C}$ 甚至 $1.5^{\circ}\text{C}$ 温控目标的排放路径。

根据研究，如果维持**现有政策及行动**的发展，中国将可以于“十四五”中后期（2023年左右）进入排放平台期，且在“十五五”中期（2027年左右）达到不超过109亿吨二氧化碳排放的峰值，实现NDC承诺的2030年左右达到峰值并争取尽早达峰的目标（见图2）。同时，2030年单位GDP二氧化碳排放<sup>14</sup>达到0.89吨/万元（2005年价），比2005年下降71%左右，也将超额完成60%~65%下降率的目标。

然而，在现有政策及行动的情景下，中国在排放达峰以后仍将有5年左右的平台期，直至2032年左右才出现明显的排放下降趋势。平台期共持

图 2 | 中国中长期二氧化碳及温室气体排放路径



注：图中三角形标注为峰值；2020年的下降趋势反映了新冠肺炎疫情对中国能耗及排放的影响；为了更好地与气候行动追踪组织数据对比，温室气体排放数据剔除了林业碳汇量，而二氧化碳为全口径排放量（含林业碳汇）。

图 3 | 强化行动情景下分行业二氧化碳排放

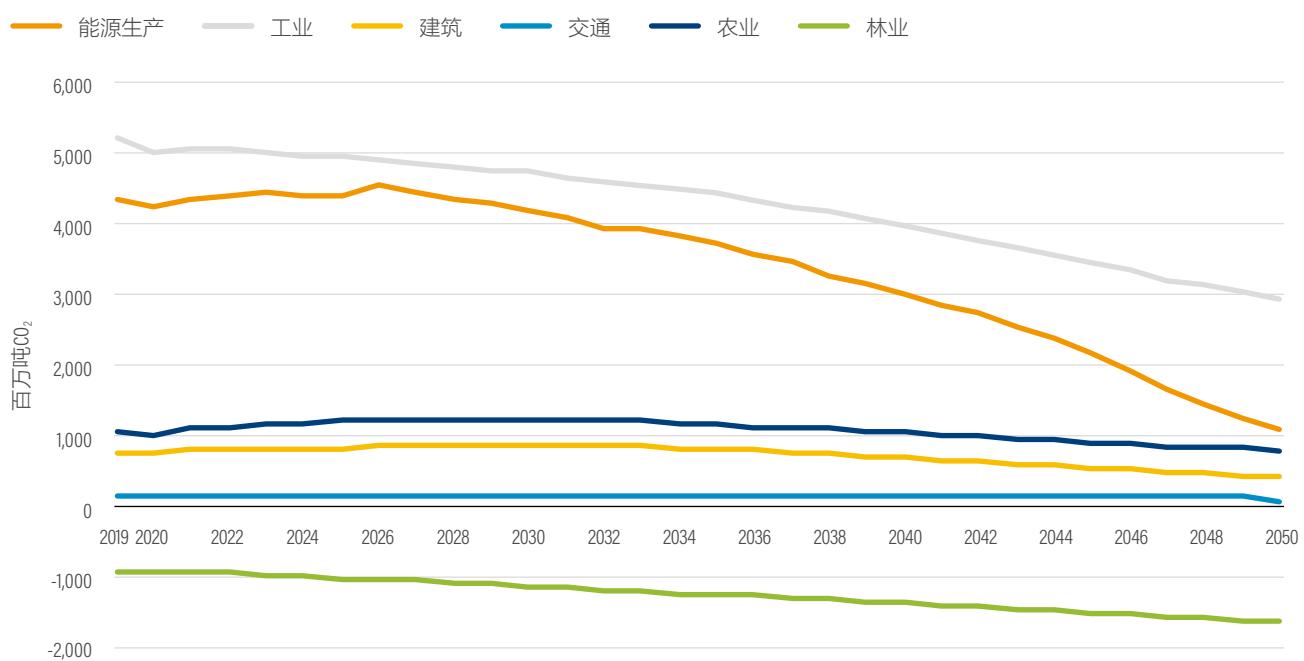
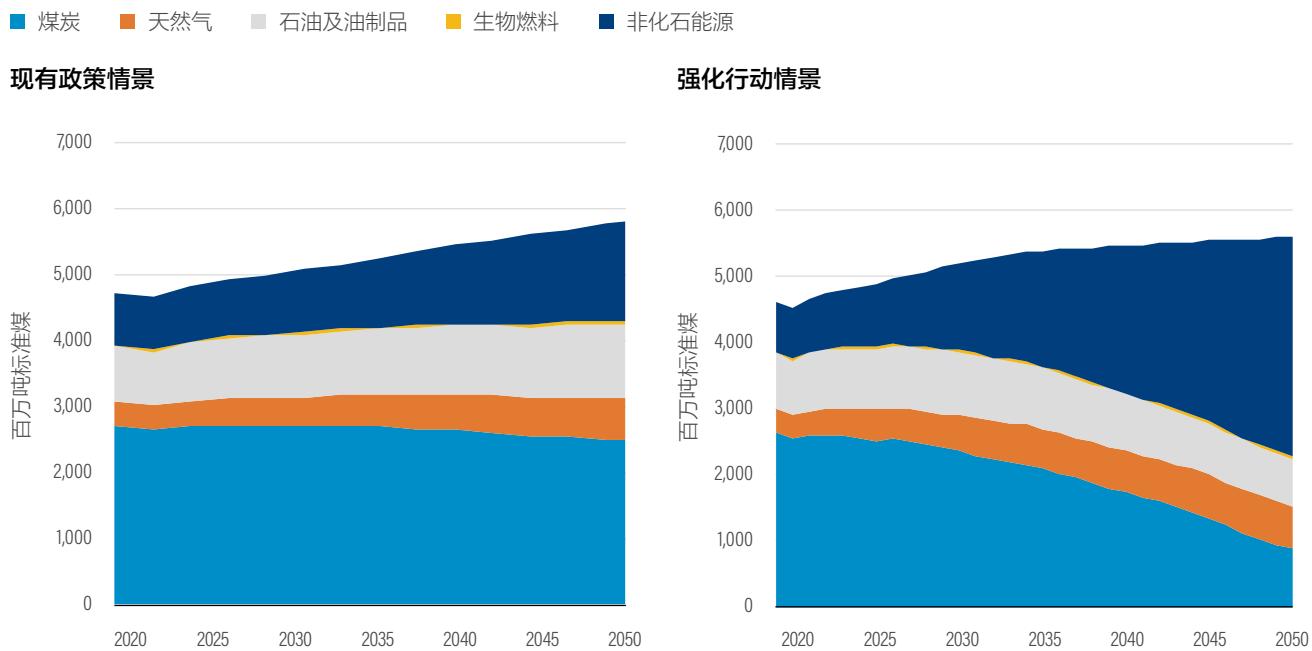


图 4 | 一次能源消费构成



续10年左右，二氧化碳排放稳定在不超过109亿吨的水平。到2050年，二氧化碳排放还将有约83亿吨，温室气体排放约有121亿吨二氧化碳当量，相比当前排放水平降幅较小。

而在**强化行动情景**下，在保障各类生产生活需求以及控制减排成本的前提下，通过加强各领域的节能减排措施力度，尤其是大幅减少高耗能、高排放的工业和电力行业排放（见图3），中国二氧化碳及温室气体排放将呈现显著的下降趋势，且排放平台期大幅缩短。二氧化碳排放提前至2022年左右进入平台期，并于2026年达峰，四年平台期稳定在104亿吨左右的排放水平，随后将实现快速下降，到2050年约有36亿吨。同时，按此下降趋势发展，中国也有望于2060年前实现既定的“碳中和”愿景，助力实现《巴黎协定》温控目标。此外，该情景下中国2030年单位GDP二氧化碳排放相比2005年下降73%左右，相比现有政策情景得到了进一步提升。

控制排放并不等于抑制能源消费，优化能源消费结构、提升能源使用效率将促使能源得到更加有效的利用。按照现有政策趋势发展，2030年中国能源消耗将达到55亿吨标准煤左右，其中煤炭消耗约25亿吨标准煤，仍然占据能源消费的主要份额，而非化石能源消费也逐年增长，

2030年达到约14亿吨标准煤，占一次能源消费的25%左右，超额实现NDC目标的承诺。如进一步调整社会经济结构、完善能源系统，在不影响经济生活产出的前提下，中国整体能源需求增长态势将放缓，煤炭消费将大幅下降，同时大部分新增能源需求将由非化石能源供给替代（见图4）。2050年非化石能源占一次能源消费的比例由现有政策情景下的45%提升到强化行动情景下的59%，提高了清洁能源利用的比例、实现了《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》中2050年非化石能源占比超过一半的愿景。

## 2.1.2 中长期深度减排创造经济与社会双重效益

实现中长期深度减排，不仅有助于减缓气候变化，更能带来经济与社会双重收益。随着新能源发电站、新能源汽车充电桩等基础设施的新建及老旧建筑设施改造，设备投资、建造成本将有所增加（见图5中蓝线）。然而，随着能效提升类政策的实施，以及各行业不必要支出的减少，燃料费用、运行维护费用将在后期大幅降低，相比现有政策组合能实现成本节余（见图5中橘线）。由于各类补贴将逐渐退坡，而设置实施的工业过程排放碳税政策将增加收入，初期整体税费支出将相比现有政策组合有所减少；但是后期随着CCS技术的大力推

图 5 | 强化行动路径的经济成本与效益

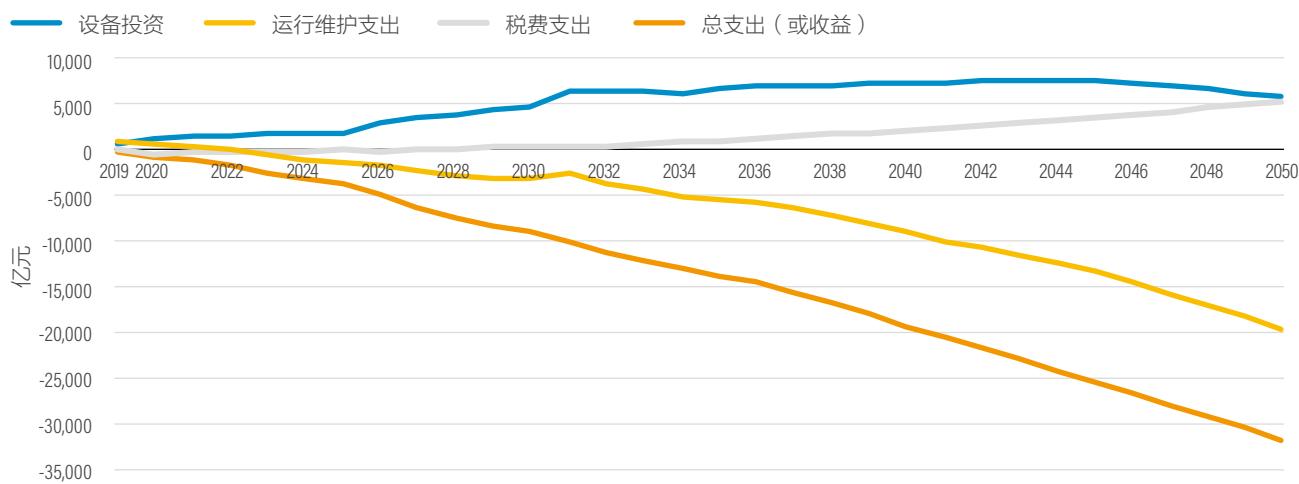
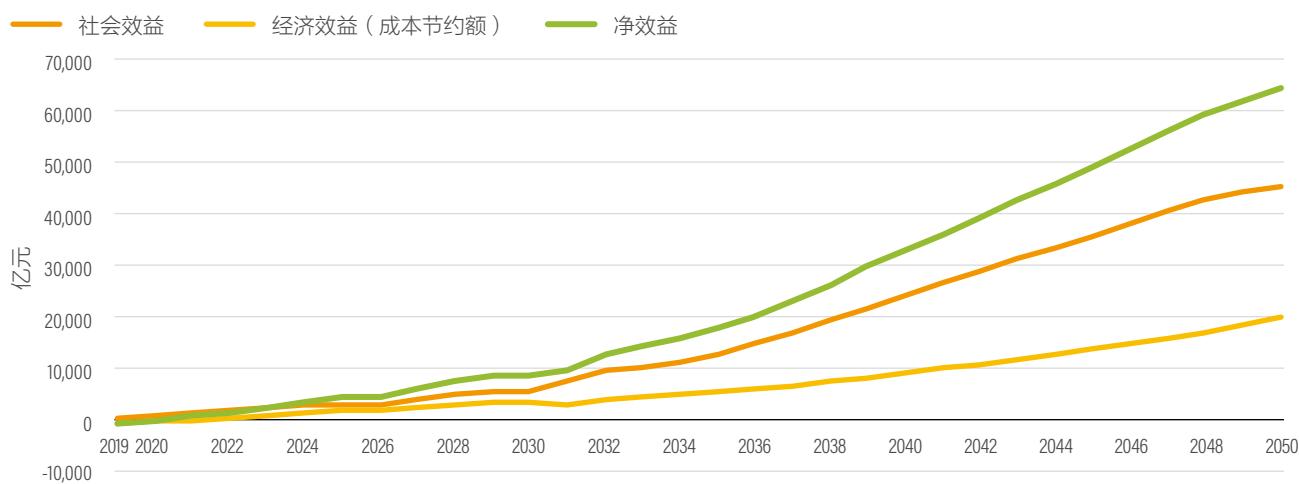


图 6 | 实现深度减排的总成本效益（与现有政策相比的年度差异）



广，CCS项目的退税或补贴机制将增加一定的税费支出（见图5中灰线）。综合来看，选择强化行动路径，后期成本将逐渐减少，并能在2023年之后实现正向的经济收益<sup>15</sup>（见图5中黄线）。

通过控制碳排放所带动的空气质量提升（VOCs、SOx、PM等常规污染物排放减少）也有益于人体健康。相比现有政策路径，到2050年强化行动路径将可以额外避免高达单年189万人的过早死亡<sup>16</sup>。如乘以中国人的统计生命价值<sup>17</sup>，避免早亡可带来1.6万亿元（2018年不变价）的货币化效益。

同时，强化行动路径还可以规避气候变化影响所带来的

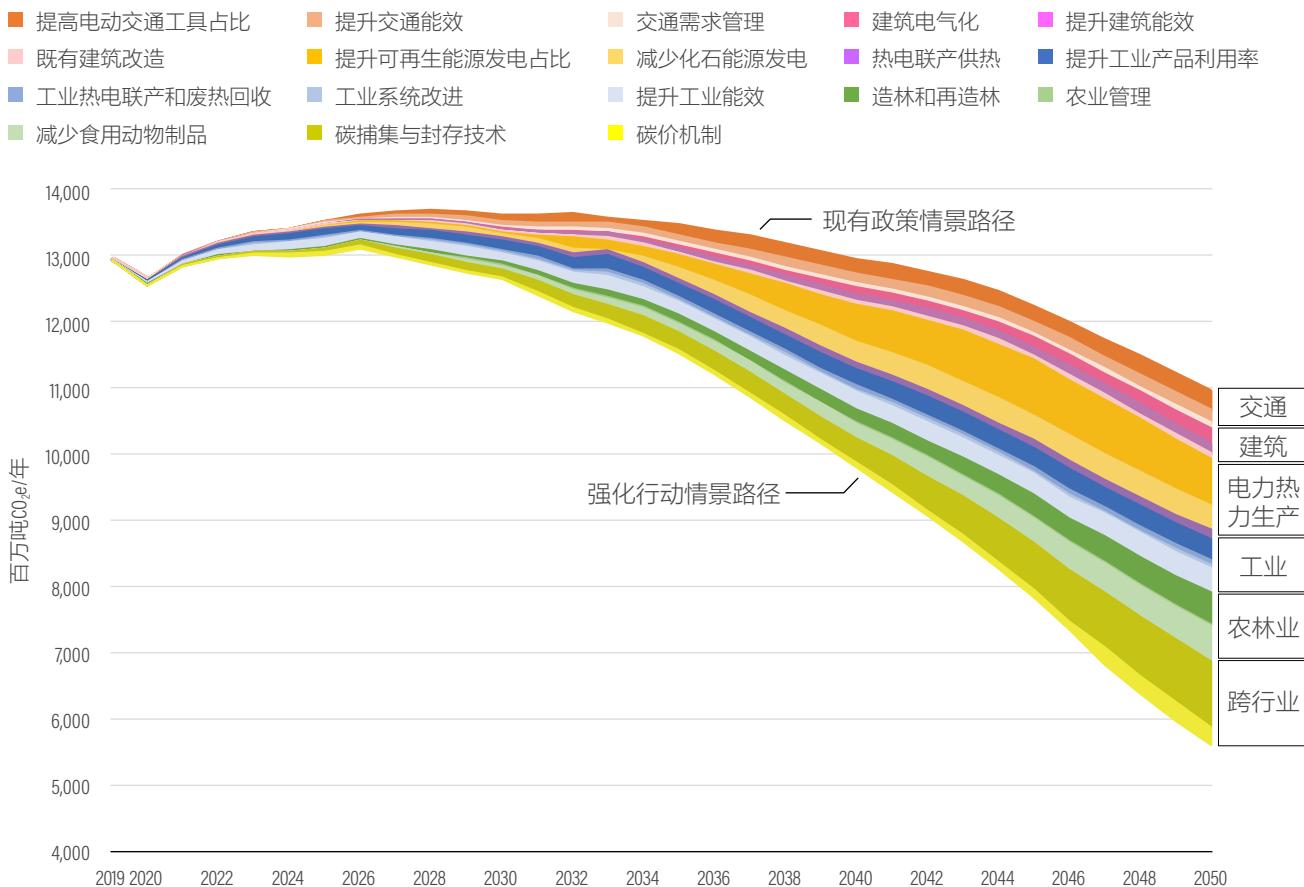
自然灾害，如减缓海平面上升、水资源短缺，其所带来的气候效益也将大幅增长，基于碳排放的全球社会成本<sup>18</sup>测算，到2050年将产生2.9万亿元（2018年不变价）的货币化气候效益。综合以上多重社会效益（见图6中橘线）并考虑设备投资、运行维护费用等经济支出（见图6中黄线），相比现有政策情景，强化行动路径将可以在2021年之后持续实现正向的净效益（见图6中绿线），2050年单年将产生高达6.5万亿元（2018年不变价）的全社会收益，而在近期（“十四五”期间）则可累计产生近8千亿元<sup>19</sup>（2018年不变价）的社会价值。因此，在现有低碳发展路径的基础上，进一步提升中国的减排控温行动、尽早制定并实施中长期发展战略将创造巨大的效益，对国家、社会及个人均具有重要的意义。

## 2.1.3 尽早落实四大关键驱动力，加速实现深度减排

中国已经开展了富有成效的低碳发展工作，然而如何进一步挖掘减排潜力？应实施哪些技术可行、成本可行的政策以实现深度减排？在多领域、跨部门的各类政策中，本课题通过EPS模型帮助识别了实现深度减排的关键驱动力。EPS模型提供了近80项涉及优化生产生活水平、提升能源利用效率、调整能源结构以及促进科技研发的节能减排相关政策，最终通过研究评估及敏感性分析筛选出了具有减排效果且成本相对最低的包含23项技术措施的政策组合（见图7），主要包括工业、能源生产、建筑、交通领域的直接控排手段以及碳去除手段与市场手段。

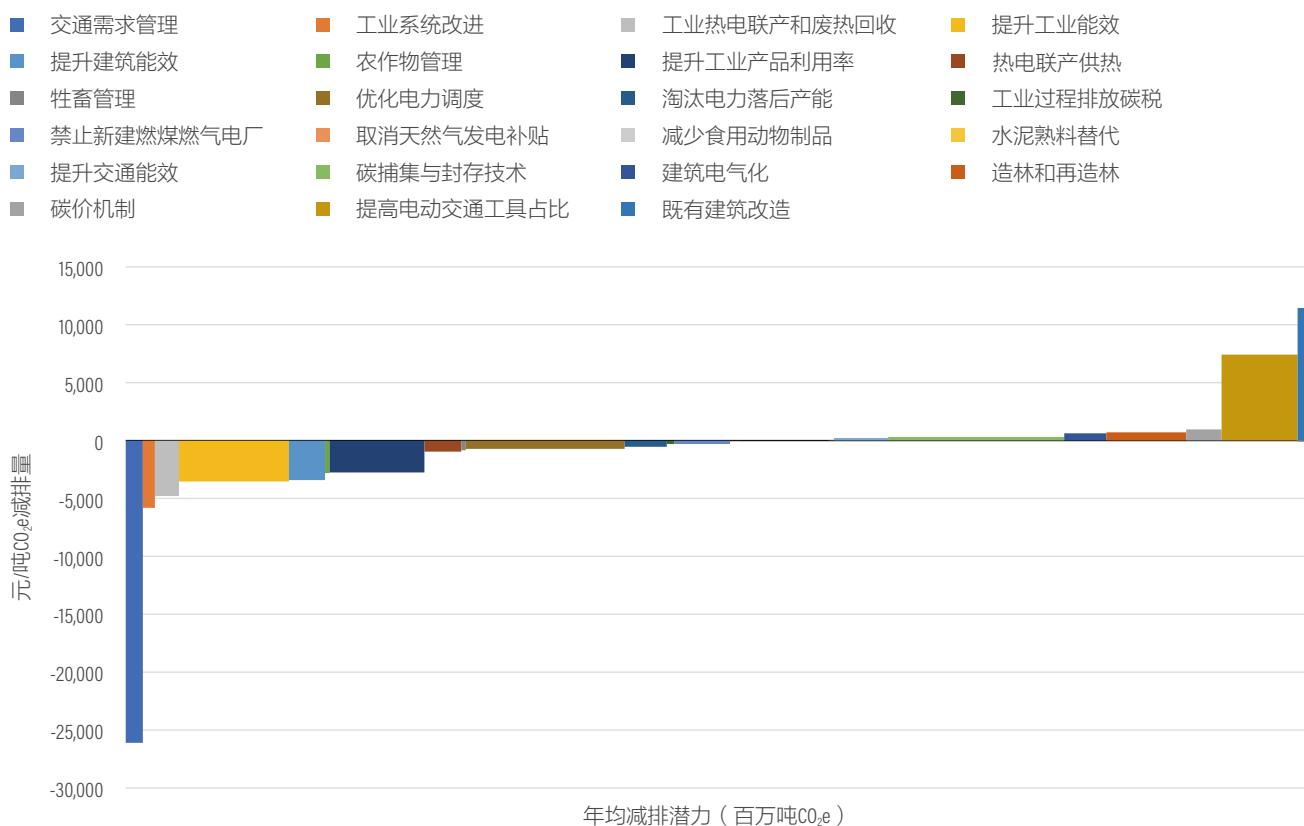
在评估各项政策减排潜力及减排成本两种维度下，可以进一步识别出优选政策。实施图8中左侧的相关政策则具有较好的收益，而右侧的政策将面临较高的单位减排成本；同时，如果政策横跨幅度较高，则说明其减排效果显著。例如，一方面，实施交通需求管理政策（图8中最左侧的蓝柱）主要为行政命令型手段，不需要较高的资金投入，但是其减排效果相对有限，而同样具有负成本的优化电力调度机制的减排效果则最为显著；另一方面，最右侧的提高电动交通工具占比和建筑节能改造两项政策均需要较高的设备投资和运行维护费用，因此实施此类政策的单位减排成本较高，但同时可以看到推广电动交通工具可以带来较高的减排潜力。

图 7 | 强化行动路径政策效果



注：为了较清晰地展示政策减排效果，设置纵坐标轴起始值不为0；同时，合并部分同类型技术措施，例如提升可再生能源发电占比政策具体包括优化电力调度（优先可再生能源电力调度）、取消天然气发电补贴、设置可再生能源发电目标，减少化石能源发电包括禁止新上燃煤燃气电厂、淘汰煤电落后产能，农业管理包括农作物管理和牲畜管理等，最终合并为18项政策。

图 8 | 强化行动路径减排成本曲线



注：横坐标显示各项政策的年均减排潜力，横跨幅度越大则代表减排潜力越高；纵坐标显示各项政策单位减排量的成本，正向高度越大，则代表实施该政策单位减排量的成本越高，负向高度越大，则代表实施该政策的收益越高。

尽早实施减排潜力高且减排成本低的政策，则能够以较小的代价获取较大的减排收益，这是中国实现中长期至2050年深度脱碳的关键驱动力，也应是“十四五”时期关注的重点。根据图11和图12，可识别出以下关键驱动力：

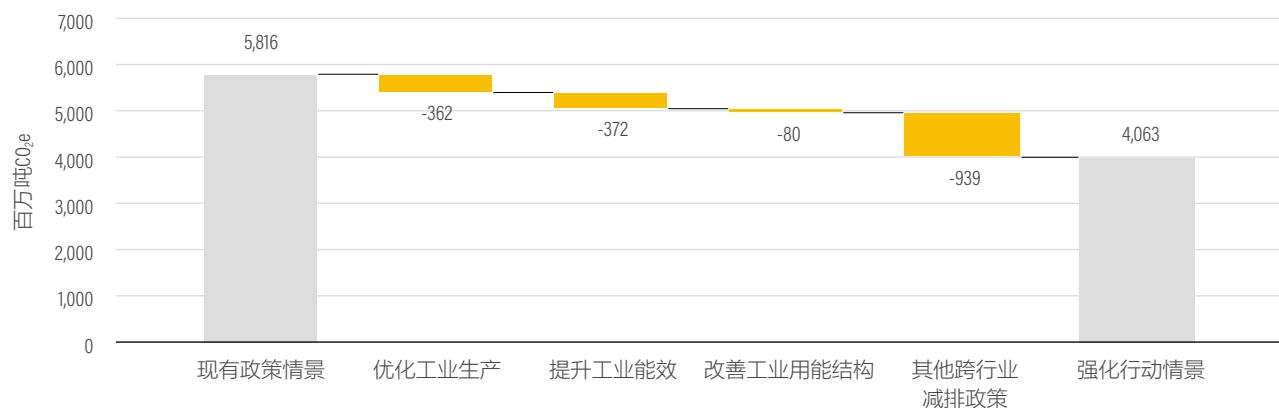
**工业领域自身的减排潜力主要来自循环经济的大力发展与工业能效的有效提升。**工业部门是当前中国温室气体的最大排放源。一方面，减少工业排放的有效手段之一即是减少工业产品（钢铁、水泥、塑料、化工产品等）的需求，或发展工业产品替代物，继而缩减工业产能、降低排放，且该手段并不需要额外的成本。减少工业产品需求，并不意味着降低当前及未来的生产生活需求，而是通过发展循环经济，提高工业产品的利用效率、延长产品使用年限、回收利用相关产品及材料，进而减少不必要的新的工业投入与产出。例如，根据Allwood和Cullen ( 2015 ) 的研究，混凝土建筑的使用寿命可以达到200年，利用优化的模具可以减少高达40%的混凝土用量。因此，通过提升工业产品利用水平，强化行动路径将大幅减少工业领域的温

室气体排放，到2050年可以累计减排59亿吨二氧化碳当量。

另一方面，当前工业用能结构中仍然以煤炭为主，电力及生物质等不纳入排放的能耗占比约为25%。推动工业用能结构调整可以有效减少工业领域的排放，但是通过政策评估及敏感性分析则发现，在目前的技术发展路径下，推进工业中煤改气、煤改电，并加大技术研发引入氢能源利用将面临较高的成本及技术挑战，每吨温室气体减排量的成本约为3万元。而提升工业中的能源回收利用水平、提高工业能效以减少整体能源消耗则相对技术可行并且成本可控（图8中成本为负），使得现阶段发展深度减排路径更加切实可行。如图9所示，提升工业能效也是工业领域政策中减排效果最为明显的，2050年单年可减少3.7亿吨温室气体排放，30年间累计减排近65亿吨二氧化碳当量。

虽然大幅提升工业领域的电气化水平、实现氢能终端利用还存在困难，但是如若为了实现更高的减排雄心，这是工业领域需要面对的挑战，也是未来发展

图 9 | 工业减排效果分解（2050年示例）

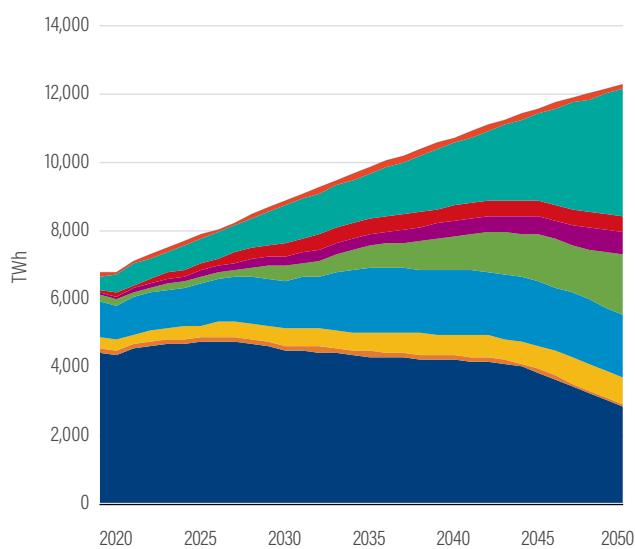


注：其他跨行业减排政策包括提升非化石能源发电占比、实施碳价机制、应用碳捕集与封存技术等，均会有效减少工业领域的排放。

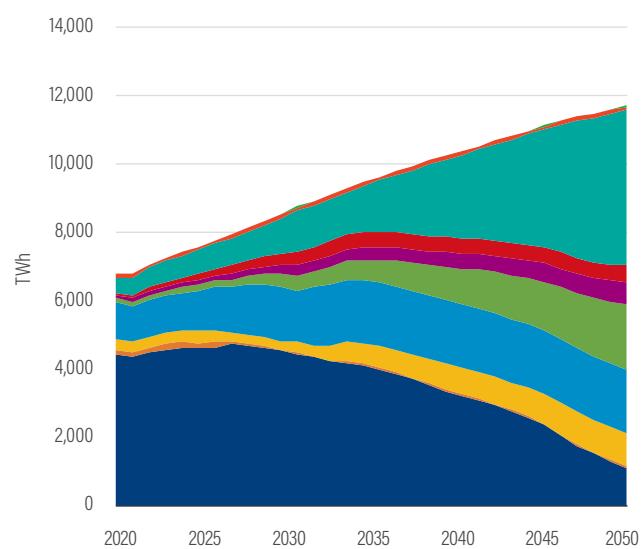
图 10 | 不同情景下的发电结构

■ 燃煤 ■ 燃气 ■ 燃油 ■ 核电 ■ 水电 ■ 太阳能 ■ 分布式光伏发电 ■ 其他分布式发电 ■ 风电  
 ■ 生物质发电 ■ 地热发电

现有政策情景



强化行动情景



的必经之路。政府、行业及企业应抢占先机、尽早开展技术攻关与创新，实现产业可持续发展及节能减排的双赢。

#### 电力生产的低碳化主要依赖于电力生产结构的优化。

能源生产所产生的二氧化碳排放尤其是电力生产排放是中国二氧化碳排放结构中的最大贡献者。而在发电机组中，如按现有政策发展（图10），虽然煤电生产量将

呈现下降趋势、非化石能源发电得到了迅猛的增长，但煤电因为其稳定性及成本优势始终占据重要的地位，并造成电力行业较高的排放水平。因此，在强化行动情景下，首要任务即减少化石能源发电，特别是降低煤电发电水平，这可以通过控制新上燃煤电厂、及早退役煤电机组等能够产生经济收益的方式来实现。中国燃煤发电机组的寿命周期平均约有40年，而近年仍然有不少新上的煤电机组，到2050年煤电仍可维持较高的装机水

平。因此，如果要全面调整发电结构，实现电力的清洁化，为非化石能源发展提供空间，则需要尽早淘汰煤电落后产能，减少煤电发电小时数。同时，随着可再生能源发电技术不断成熟，可再生能源发电成本将逐渐下降，预计风电和太阳能发电可在“十四五”实现平价上网。后期需要依托市场机制实现电力调度策略的优化，即优先调度成本更优的可再生能源电力，才能充分发挥可再生能源电力的优势，电力行业的减排潜力也将进一步扩大。在强化行动情景下，如果在正常退役安排之外每年额外强制淘汰1500MW的煤电装机容量，同时优化电力调度机制，到2050年化石能源发电量占比将小于10%，单年可减少约8亿吨的温室气体排放，贡献高达15%的减排潜力，30年间将累计减排约124亿吨二氧化碳当量。

**推广高效及清洁的交通将是中后期减排的重点。**随着未来经济结构的转型升级、城市化进程的加快，交通需求将高速增长。而在此背景下，为了实现交通领域二氧化碳深度减排，正如《城市的交通“净零”排放》（奚文怡等，2020）研究报告中提出，提升交通工具能效应是交通领域近期内最优先开展的工作，而在中后期，减排潜力则主要依靠大力发展电动交通工具。提升交通工具运行能效应由交通行业主管单位主导、交通工具制造商改进工艺流程、交通运输单位完善管理并提升交通运行效率共同实现。中国目前已出台相关规划，例如，2020年发布的《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》直接对交通工具的能效水平进行了硬性约束。在现有政策发展的基础上，如对2050年的道路（50%）、铁路（10%）、水路（10%）及民航（15%）运输设置相应的额

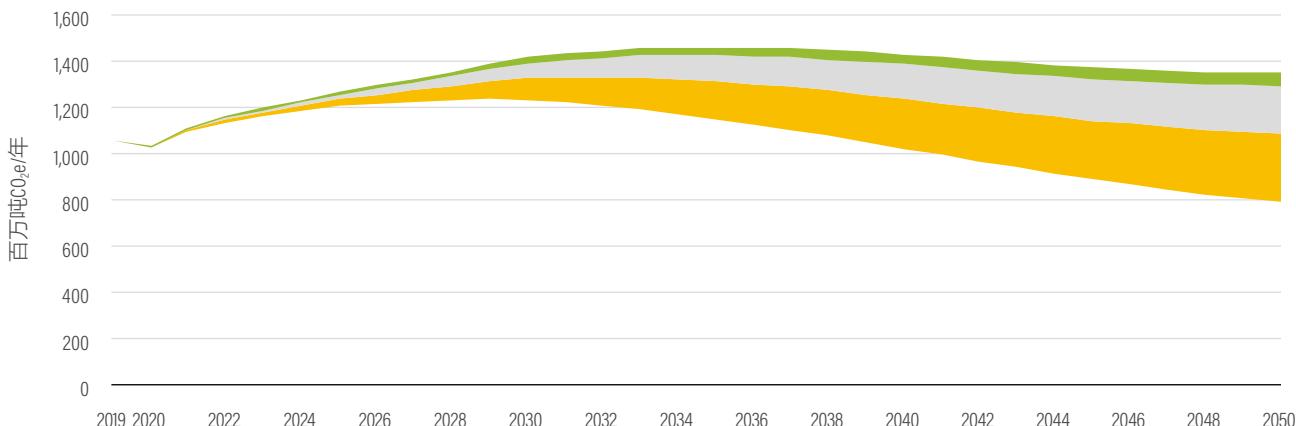
外能效提升比例，到2050年将累计额外减排32亿吨二氧化碳当量，减排潜力不容忽视。而发展电动交通工具、设置电动车最小销售占比所带来的减排潜力更加显著（见图11），30年间可累计减排45亿吨二氧化碳当量。然而，由于推广电动交通工具不仅需要交通工具自身的资本投入，还需要配套发展充电装置等基础设施，该政策手段的减排成本则相对较高，每吨温室气体的减排成本约为7500元。但综合其产生的社会效益，尤其是电动交通工具所减少的大气污染物排放，适当的减排成本也是可以接受的。大力推广电动交通工具将是交通领域深度减排路径上必不可少的手段之一。

**实现深度减排离不开碳去除手段的应用。**碳去除手段包括传统手段和新兴手段，传统手段包括植树造林、恢复湿地以增加自然生态系统的碳汇，新兴手段即利用碳捕集与封存（CCS）技术、直接空气捕获（DAC）技术进行人为固碳。中国目前人工林面积已居全球第一，并开展了大量的工作以开发自然生态系统的碳汇潜能，而CCS技术虽然已得到较多的关注，但是由于其高额的实施成本及技术自身较高的能耗需求，当前其发展水平仍较为缓慢。然而，根据国际能源署和联合国工业发展组织（2011）关于CCS技术在工业领域应用的技术路径研究，预计中国到2050年可以实现较高的CCS技术利用水平，可吸收工业20%的二氧化碳排放量。因此，在实施强化行动的深度减排路径下，大力推进CCS技术在工业和电力生产行业的应用，2050年单年将可以减少约10亿吨二氧化碳当量的温室气体排放。同时，如果在2020年的基础上再累计新增5800万公顷的森林面积，两项政策将

图 11 | 交通领域相关政策减排效果

■ 提高电动交通工具占比 ■ 提升交通能效 ■ 交通需求管理

#### 强化行动情景



在2050年共同带来14亿吨碳吸收量，并在30年期间累计减排171亿吨二氧化碳当量，相当于每年约6亿吨的碳减排贡献。中国应持续重视林业碳汇的显著作用，并大力突破CCS技术瓶颈、降低成本，以落实技术的全面推广，从而消纳各行业的剩余排放，为高耗能行业发展创造空间。

## 2.2 国家自主贡献目标的强化方案选择

研究2050年中长期低碳发展战略，主要目的是鼓励国家尽早开展减排的关键行动，避免贻误减排契机、错失减排潜力。而相应的，中国应保证近期所提出的目标、规划、措施与中长期发展战略保持一致、相辅相成。NDC所提出的2030年目标、即将出台的“十四五”规划2025年目标都应符合、顺应中长期战略的发展思路。2020年和2021年是各国气候行动方案的更新之年，中国也应适时更新相应的目标与政策，提出实现深度减排的新举措。

历史证明，从过去的政策实施进展来看，中国有能力通过强大的执行力完成每一次提出的目标。例如，2009年提出2020年森林蓄积量比2005年增加13亿立方米的目标，2013年就实现了14亿立方米的增量；碳强度比2005年下降40%~45%的目标也于2018年提前实现，下降力度达到45.8%，且2019年进一步下降至48.1%。

根据以上EPS研究可以发现，按照现有政策发展，中国也将可以提前或超额实现2015年提出的NDC目标，即二氧化碳排放总量将可以于“十五五”中期达峰，2030年单位GDP二氧化碳排放比2005年下降71%，非化石能源占一次能源消费比例达25%左右。另外，中国的森林蓄积量如果按照2001—2015年期间每年0.2亿立方米的增长水平，2030年将达到195亿立方米，相比2005年增加60亿立方米。这也高于NDC中45亿立方米的目标，且与实现国家林业和草原局提出的2035年达到210亿立方米的愿景所需增长的速度相吻合<sup>20</sup>。这些都为中国进一步提高国家自主贡献目标奠定了基础，也增加了中国提高现有目标约束力的紧迫性和必要性。

然而，随着2060年前“碳中和”愿景的提出，中国需要快速步入深度减排路径，以进一步推动全球2℃和1.5℃温控目标的实现。在强化行动情景下，中国二氧化碳排放将可以于“十五五”初期实现排放拐点，并大幅缩短排放平台期，2030年单位GDP能源活动二氧化碳排放比2005年下降73%，非化石能源占比可达到25%以上。如前文所述，深度减排路径不仅能够大幅减少温室气体排放，更能

为中国未来30年的经济与社会发展带来持续的收益，切实推动气候与经济发展的共赢。因此，中国应尽早开展深度减排行动。

中国可提出的强化目标有：

### 二氧化碳排放：

- 尽早进入二氧化碳排放平台期并实现排放达峰，争取在2026年左右初期实现达峰并在中后期快速下降
- 增强二氧化碳排放强度下降目标，到2030年比2005年下降73%左右
- 建议2030年二氧化碳排放总量控制在103亿吨左右

### 非化石能源：

- 增强非化石能源占比目标，到2030年非化石能源占一次能源消费比例达到25%左右

### 森林：

- 增加森林蓄积量增量目标，到2030年比2005年增加60亿立方米

### 行动政策和措施：

- 强化煤炭消费总量控制，尤其在发电行业，要严格控制新增煤电规模，加速煤电落后产能的退出。到2030年，煤炭消费总量控制在24亿吨以内
- 构建循环型工业体系，提升工业产品利用效率，到2030年钢铁、有色、建材、化工等产品新增需求减少5%
- 提升终端能源消耗中电力消费占比，到2030年达到30%以上，尤其应开发工业、交通领域的电力应用潜能
- 提升各类交通工具的能源利用效率和新能源使用比例，到2030年道路交通工具中新能源（纯电动、混合动力、氢燃料）车辆占比达20%以上
- 大力发展碳去除技术，最大规模利用可封存的空间，到2030年开发单年1亿吨二氧化碳吸收潜力

此外，更新内容不仅可以包括以上提出的增强NDC中已涵盖的量化目标，也可以扩大目标范围，涵盖NDC主要目标中未涉及的非二氧化碳温室气体减排目标或提出将二氧化碳和非二氧化碳结合在一起的全口径温室气体排放目标等。根据中国2019年发布的2014年温室气体排放清单，中国的非二氧化碳排放相当于全球第七大温室气体排放国，减排潜力巨大。课题组前期已经开展了关于非二氧化碳排放路径的研究（宋然平，2019），尽管现有政策的减

排效果显著，但2020—2030年间其排放仍将增长约16%，且到2030—2040年之间才可保持稳定。该研究也指出，中国有能力可以提升非二氧化碳温室气体减排行动，到2030年比2014年可减少7%~21%的甲烷排放、7%~11%的氧化亚氮排放，氢氟烃的累计排放可低于《基加利修正案》要求的排放限额。因此，基于以上减排空间，NDC中可考虑包括：

#### 非二氧化碳温室气体排放：

- 纳入非二氧化碳温室气体排放控制目标，提出2020年以后排放将逐步达峰并稳定，争取尽早实现深度减排

#### 全口径温室气体排放：

- 争取全口径、包括二氧化碳和非二氧化碳温室气体排放的总量控制

对外承诺提升国家自主贡献需要中国强有力的领导层的重视，这一行动不仅对国内低碳发展实践起到更好的约束与引导，也对增强全球其他主要的排放者的行动雄心和信心起到了重要的作用。更关键的是，这将对中国国内的社会经济发展、人民健康福祉、环境改善形成深远的正向效益。例如，15亿立方米的森林目标提升将通过更多的森林产品、休闲娱乐功能、生态功能带来价值近7400亿美元（2015年不变价）的经济产出及社会效益<sup>21</sup>。因此，建议中国提升国家自主贡献方案，助力中长期气候发展战略。

## 2.3 中国“十四五”的低碳绿色政策选择

中国第十四个五年计划的发展是中国在经济发展中建设低碳生态文明之路的重要契机。在“十四五”期间，建议中国进一步将应对气候变化的任务目标纳入整体的经济社会发展规划、专项工作计划和政府工作报告，制定应对温室气体排放的路线图和具体工作方案，与中长期发展战略保持一致。根据EPS模型结果，为尽快实现碳排放达峰并顺利转向深度减排路径，“十四五”期间，二氧化碳排放应控制在103亿吨左右，单位GDP二氧化碳排放下降幅度控制在22%左右，非化石能源占一次能源消费比重达到约20%。

为了推动以上目标的有效落实，结合文献研究及实地调研，我们提出了“十四五”政策选择中应对气候变化工作的一些初步建议。我们认为通过持续提高能效标准、优化产业和能源结构、推进全国市场减排机制为核心的制度及措施的创新深化，可以为后期低碳绿色发展创造更大的空间。

### 2.3.1 建立健全绿色低碳发展的经济体系

#### 2.3.1.1 优化经济产业结构，推动服务业比重对标发达国家水平

本报告研究表明，长期来看优化中国的经济结构，尤其是产业结构，仍是中国实现深度脱碳最重要的路径。

中国在“十三五”规划中制定了2020年服务业增加值和战略性新兴产业增加值占全国生产比值分别达到56%和15%的目标。在此基础上，建议在“十四五”期间进一步优化国家第一产业、第二产业和第三产业结构，支持低碳服务业，如金融、旅游、现代物流业的创新与发展，进一步提高服务业增加值占国内生产总值的比重。放眼全球碳排放已达峰的国家，绝大多数国家的服务业占GDP比重均在60%以上。通过对部分碳达峰国家进行深入分析，在其达峰年份服务业增加值占GDP的平均值达62%左右，到2018年达到68%左右（表2）。2019年中国服务业增加值占GDP比重为53.9%，与之相比，中国服务业增加值占GDP比重还有可能伴随着人均收入的增长而提高。

#### 2.3.1.2 布局优化为产业低碳转型提供支持

“十四五”期间可以继续推动生态环境部“三线一单”工作，在“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”的基础上应关注“低碳的底线”，对重点区域、重点流域、重点行业和产业布局开展规划环评，调整优化不符合生态环境功能定位或者温室气体高排放的产业布局、规模和结构。

首先，产业布局政策应为先进制造业发展和传统产业转型升级提供支持。美国自2009年以来三度发布《国家创新战略》，持续支持新材料发展。纵观美国新材料产业布局，企业和工厂主要分布在东部太平洋沿岸和五大湖等经济发达、科技实力雄厚、水陆交通便利的区域。中国的长三角、京津冀和粤港澳大湾区等区域享有优质资源禀赋和先行开发基础，其中心城市，如北京市、上海市、深圳市等，建议应明确优先开发、重点开发、限制开发、禁止开发的产业，合理规划电子信息、生物医药、新材料、新能源等高技术产业的布局。对于能源需求较多、环境风险较大的传统制造业，建议优化产业链空间布局，推动其向具有资源能源优势及环境承载能力的地区转移，特别是清洁能源和可再生能源丰富的地区。

其次，结合国家正落实推进的区域协调发展战略，加大区域产业布局环评、能评、碳评等多方位评价体系及调整力度。建议省（市、区）政府，及重点区域、流域加快对辖区内重点行业企业进行环境、排放、规划等系统的科学评价，如火电、钢铁、水泥、电解铝、煤炭、冶金、化

表 2 | 中国与全球部分碳达峰国家服务业增加值占GDP比重

国家	达峰年份	服务业增加值占GDP比重（达峰年份）	服务业增加值占GDP比重（2018年）
法国	1991年	62.8%	70.3%
瑞典	1993年	59.8%	64.7%
芬兰	1994年	55.1%	59.4%
荷兰	1996年	63.8%	69.9%
瑞士	2000年	68.9%	71.4%
奥地利	2003年	60.4%	62.5%
巴西	2004年	54.9%	62.6%
葡萄牙	2005年	63.0%	65.3%
澳大利亚	2006年	63.7%	66.6%
美国	2007年	73.9%	77.4%
中国	未达峰	-	52.2%

注：数据来源于世界银行数据库（<https://data.worldbank.org/indicator/NV.SRV.TOTL.ZS>）。

工、石化、建材、造纸等重污染行业。根据统一科学的评价指标，对建成区不合格的重污染企业采取改造、搬迁或关闭退出等措施。特别是优化开发区域等国家希望能率先实现达峰的区域，钢铁、水泥等高耗能高污染企业应采取彻底关停并转等措施，推动转型升级。

### 2.3.1.3 科技创新为低碳经济提供核心驱动力

从产业内部来看，中国应持续加大科技创新投入，推动战略性新兴产业、高端制造业、绿色服务业等高附加值、低排放产业的发展。

美国近年来发起了以新能源为驱动力，推动工业、制造业和服务业发展的新经济革命。自2005年起，美国通过建立政府牵头、市场拉动和科技推动的市场环境，一方面不断加大对新能源技术和新能源效率技术的投资规模，发展高效电池、智能电网、CCS技术，以及风能、太阳能等重点的可再生能源；另一方面借助税收补贴等手段刺激社会资本在新能源领域的创新投资，保持新兴产业的活力。以新能源装备制造业、新能源汽车为代表的新能源产业持续为美国贡献创新活力和经济增长。数据表明，新能源行业在2016年为世界经济贡献1.4万亿美元<sup>22</sup>。研究预测

纯电动汽车的发展可为美国在2015至2040年期间每年增加200亿美元经济产出，创造多达147000个工作岗位<sup>23</sup>。

早在2016年，中国已经发布《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》，并要求到2020年战略性新兴产业增加值占国内生产总值比重达到15%的目标。新能源汽车作为中国战略性新兴行业之一，2018年年销量占全世界销量的50%以上<sup>24</sup>，在拉动中国GDP增长的同时为全球低碳减排做出贡献。但随着新能源汽车的蓬勃发展，安全、效率、成本等问题日益突出。例如，如何在安全的基础上提高运行效率、缩短充电时间，如何在降低车辆制造和使用成本的同时提高车辆使用寿命。未来，通过技术创新、中外合作，中国将有望成为新能源汽车行业的领军者，为全球带来示范效应。

因此，建议中国立足国情，以科技创新为核心，在“十四五”期间做出发展战略性新兴产业的深度选择，培育和发展低耗能、低排放、高能效产业，进一步加大气候友好型产业在国民经济中的比重。

### 2.3.1.4 绿色新基建应该成为中国疫后经济重建的原则之一

为对冲新冠肺炎疫情带来的经济衰退，中国采取了具

有长期影响的投资措施，加快了以信息技术为基础的新基础设施建设（简称“新基建”）。根据2020年《政府工作报告》，中国财政预算规模或达到4.8万亿元，相当于GDP的4.8%；其中，地方政府专项债达3.75亿元（较去年新增1.6万亿元），将主要用于地方新基建、新型城镇化、交通等重点工程的投资。本轮财政支出规模与2008—2009年的刺激规模相比更谨慎，也更加注重投资的效益与回报。而鉴于基础设施具有长生命周期的特点且对碳排放有锁定效应，我们建议新基建的规划与投资不仅需兼顾短期经济复苏需要，更要兼顾长远可持续发展的需要，如绿色生态保护、减缓气候变化与提高韧性。我们建议结合欧洲“绿色新政”的相关经验，为有关政府部门制定“十四五”规划提供决策参考。

第一，建议扩展新基建的绿色应用场景，明确目标与评价标准，通过发展一批示范项目做出绿色转型的表率，完善法律政策等保障机制，为相对落后地区提供转型资金。目前新基建所调动的公共与私营投资额将不断增加，而各级政府、不同行业对新基建的解读不同。欧洲“绿色新政”的启示说明，提升新基建经济带动作用，需完成顶层设计，包括加强“绿色”目标，提供配套政策、投融资机制与法律保障。第二，形成一批地方新基建的示范项目，为绿色转型做出表率。各地发展基础不同，应通过示范项目因地制宜地探索发展新基建的路径。第三，完善新基建相关的法律、政策保障机制，全面促进要素、资本和就业的在新、老行业的再分配。第四，在投融资机制上，针对面临淘汰的行业或相对落后的地区，建立专项转型资金，支持公平的转型。完善绿色投融资机制，要求将一定比例的公共、私营基础设施投资投向绿色项目。

### 2.3.2 加大工业领域减排和推动循环经济

中国经济发展总体上处于工业化率仍在提升且工业部门主导的阶段。根据世界银行统计数据，2018年，中国工业化率为40.7%，远高于德国（27.5%）、日本（29.1%）、美国（18.2%）等发达国家的水平。同时，工业部门也是中国最主要的二氧化碳排放源，其排放将持续对中国实现零碳愿景产生极大的挑战。因此，工业领域减排的决心、手段、力度决定工业是否可以率先达到排放碳峰值。工业行业的达峰及减排结果对中国实现碳排放尽早达峰及净零排放都至关重要。

#### 2.3.2.1 节能低碳技术助力工业能效提升

中国需持续创新和推广低碳节能技术，提高工业能效。重视节能不仅能帮助减少二氧化碳排放，还可以降低原料使用成本，实现更大限度的经济效益。近年来，中国在钢铁、水泥等行业的生产能源效率已经得到显著提高。

根据“十三五”规划，钢铁工业的单位能耗在“十三五”末期将降低至每吨钢铁560千克标准煤。同时，国家也在充分开展集中回收利用工业等行业低品位余热资源，目标是在2020年替代燃煤供热20亿平方米以上，由此减少供热用原煤5000万吨<sup>25</sup>。虽然中国当前整体的工业能效水平已经较高，但放眼中长期，中国工业还具有节能技术推广和升级的空间，能效还可以进一步提升。根据EPS模型给出的结果，提高工业能效将可以在未来30年累计减排约65亿吨二氧化碳当量，因此，应注重加强该政策在近期“十四五”期间的大力实施。

同时，建议中国刺激政府和社会资本投入，推进重大节能技术与装备的创新与研发，攻克电气化提升瓶颈和氢能终端利用难题，以提升钢铁、建材、有色、化工和石化等高能耗行业中氢能源及电气化等清洁用能的使用比例。在工业生产过程中坚持脱碳技术路线，利用CCS技术尽可能吸收生产过程中各环节排放的二氧化碳，实现工业行业的深度减排目标。

#### 2.3.2.2 循环经济布局工业低碳核心

坚持进一步推广循环经济，系统性地解决环境和社会外部性问题。如前文所述，提高工业产品的利用效率、发展循环型工业体系是EPS研究中深度减排路径下卓有成效的政策。循环经济的有效施行可解决工业部门重度排放问题，并且帮助中国向深度低碳甚至净零经济转型。中国通过2300多个试点和示范项目的经验积累，已经形成“企业一小循环、区域一中循环、社会一大循环”的执行体系。

在“十四五”期间，建议中国持续增加循环技术创新的投资，完善可持续的商业模式提升循环经济园区建设和改造的达标率。在工业生产中鼓励企业设计并使用低碳或可再生原料，施行易于脱碳的生产活动，建立产品回收及再利用的循环体系，特别是实现大宗废弃物循环综合利用，推动关键行业实现超低排放甚至净零排放。同时，鼓励工业部门建立大数据平台，促进产业链上下游及城镇需求的大数据融合，智能化实现“供给侧改革”。我们认为，循环经济在“十四五”期间的深入探索和落实必将对中国中长期经济的发展核心产生质的影响。

#### 2.3.2.3 机制创新刺激低碳转型

通过分析芬兰的低碳发展路径发现，芬兰逐步建立了完善的碳排放运行管理机制：芬兰政府鼓励企业申请可再生能源项目，企业可获得25%~40%的资金补贴，再用于研发可再生能源在企业生产链的应用，而资金应用的整个过程将被政府严格监管。与此同时，芬兰自1991年起向燃料应用企业征收碳税，并通过不断改革，采用全生命周期

碳排放核算方法。因此，建议中国在“十四五”期间设立顶层研发、监管和示范机构，合理运用政府和市场联合的奖惩机制，落实能源和排放企业责任制度，对产品生产、运输、销售等环节的碳排放施行全生命周期管理。全面而有力的管理制度将有助于进一步降低高耗能产品单位产品碳排放，帮助中国工业部门实现无反弹的碳排放路径。

### 2.3.3 持续推进能源结构优化

总体来看，中国能源消费总量持续增长，单位GDP能耗下降幅度收窄，能源消费增速放缓。预计“十四五”期间，我国终端能源需求保持 $1.2\% \sim 1.5\%$ 的增长速度，2025年达到38.0亿~39.6亿吨标准煤<sup>26</sup>。

#### 2.3.3.1 促进化石能源清洁高效利用，通过发展分布式能源提高可再生能源比例

传统能源方面，进一步促进煤炭等传统化石能源的清洁高效利用，尽早实现煤炭消费达峰。加快优质调峰机组（如抽水蓄能和燃气调峰电站）的建设和改造，实现老（火电）机组到新（风光电）机组的平稳更替过渡。

随着可再生能源平价时代的到来，“十四五”期间是可再生能源由增量补充到增量主体的关键时期。一方面，可再生能源补贴正在加速退坡；另一方面，可再生能源全额消纳机制并未得到很好的落实，大大削弱了可再生能源项目的经济性。“十四五”期间迫切需要灵活多样的市场机制来保证可再生能源项目的合理收益。

负荷集中地区通过开发分布式可再生能源项目，实现电从远方来和身边来的结合。新能源智能化分布式发展，从过去的基地式大发展转向户用分布式发展，形成大规模集中利用与分布式生产、就地消纳有机结合的局面；在能源消费中心发展更多分布式能源，多能互补，梯级利用。“十四五”期间应鼓励中东部地区进行分布式光伏发电建设，将光伏建筑一体化列入建筑标准，大力开发东部沿海地区的海上风电资源；将分布式发电与储能技术相结合，在企业、学校、社区等场所建设多能互补能源体系。基础设施融合发展，电、热、冷、气等能源系统之间相互耦合增多，电-热协同互补潜力较大；能源与交通在电动汽车充电设施、交通系统方面将继续协同发展<sup>27</sup>。

#### 2.3.3.2 优化“双控”机制，从能耗总量和强度双控向化石能源总量和强度双控转变

能源消费总量控制在“十二五”期间首次提出，《2014—2015年节能减排低碳发展行动方案》将2014—2015年能耗增量（增速）控制目标分解到各地区。

“十三五”期间，国家在“十一五”、“十二五”节能工作基础上，实施能耗总量和强度“双控”行动，按照行动要求，到2020年，单位GDP能耗强度比2015年降低15%，能源消费总量控制在50亿吨标准煤以内。实行能源消耗总量和强度“双控”行动，旨在节约能源资源，从源头上减少污染物和温室气体排放，从而倒逼经济发展方式转变，提高中国经济绿色发展水平，以尽可能少的能源消耗支撑经济社会持续健康发展。

尽管从全国范围来看，完成“十三五”能耗强度和能源消费总量目标相对容易，但对于部分地区而言，要完成“双控”目标任务艰巨。用能权与经济发展密切相关，对于经济相对欠发达地区来说，更需要能源消费增量指标，以便给未来经济增长提供空间。对于经济发达的地区来说，能源消费总量基数大，以原有的产业形态和经济结构难以实现“双控”目标完成和经济发展的平衡，产业转型升级、经济结构优化压力大。以江苏省为例，2017年该省能源消耗总量控制目标这一项中，徐州、连云港、盐城、镇江和宿迁5市2017年度能源消费增量符合要求，其他8市能源消费增量均未达到要求。

面对上述现状，我们建议将现行的能耗总量控制转变为化石能源总量控制，同时，为了兼顾能效，现行的能耗强度考核依然保留。这样对于“双控”机制的优化可以在充分发挥可再生能源对环境友好优势的同时支持经济发展，尽可能减少对地方经济发展的制约，同时对可再生能源生产和消费也是一种激励。

### 2.3.4 推进建立市场化的减排机制

#### 2.3.4.1 完善碳定价机制

EPS研究显示，设定中国到2050年电力、工业碳价水平达到420元/吨（折合约60美元/吨），其减排效果并不显著。Carbon Pricing Corridors Initiative的研究表明，要实现《巴黎协定》温控目标，到2035年，化工行业和电力行业碳价分别需达到50~100美元/吨和38~100美元/吨<sup>28</sup>。因此，设置合理且有效力的碳价水平对于实现深度减排至关重要。

放眼世界，多数国家和地区持续将碳定价作为实现气候目标的关键政策。根据世界银行发布的《2019年碳定价现状与趋势》报告<sup>29</sup>，截至2019年，全球共有57种不同的碳定价机制。2011年，中国在北京市、天津市等8地启动碳交易试点工作，在2017年正式启动了碳权排放交易体系，但从覆盖行业、市场规模来看仍处于初期阶段。在“十四五”期间，建议中国持续加强市场对资源配置的决定作用，建议进一步完善碳定价机制，实现更高性价比的减排。

第一，通过市场机制探索合理碳市场价格，是碳定价机制是否能有效运行的关键因素。合理碳价在督促企业进行低碳转型的同时，也可以吸引更多社会资本进入碳市场，提升碳市场活力。综合北京、上海等八个省市的碳排放权交易市场试点，各省市碳价在4~80元每吨不等（图12），与前文所述有效价格区间存在较大差异。因此，建议对全国碳市场的交易活动机制进行整体梳理并合理定价。

第二，加快建成全国碳市场，实现全国碳排放权交易机制（ETS）市场的有效运行。EPS研究结果表明，电力及工业行业减排对碳定价浮动表现最为敏感。因此，我们认为中国在电力行业率先开启碳排放权交易的基础上，进一步将碳市场的行业覆盖拓展至钢铁、水泥、化工等工业及重点行业，并积极拓展交易主体和交易品种。

种。不断完善碳交易市场的检测、报告和核查能力。在体制机制上，完善全国碳交易平台和市场的法律规范、运行机制、监管制度等（董战峰等，2020）。

第三，在中国现行环保框架下，探索开设二氧化碳税目及碳税开征的可能性。在全球57种不同的碳定价机制中，29种为碳税机制，主要在国家层面。表3展现了部分国家和地区碳税机制的施行情况，为中国碳税的制定提供实施范围、税率制定等方面借鉴。特别是针对碳排放权交易机制暂未纳入的碳排放源，探索引入碳税作为补充手段的可行性及有效性，适时启动试点与全国性实施。同时，探索碳市场和碳税的组合方案，实现对不同碳排放源的全面覆盖和双头监管。并行举措可借鉴法国的经验：2014年，法国宣布对天然气、石油和煤炭等化石能源排

图 12 | 试点碳市场2018、2019年度成交均价

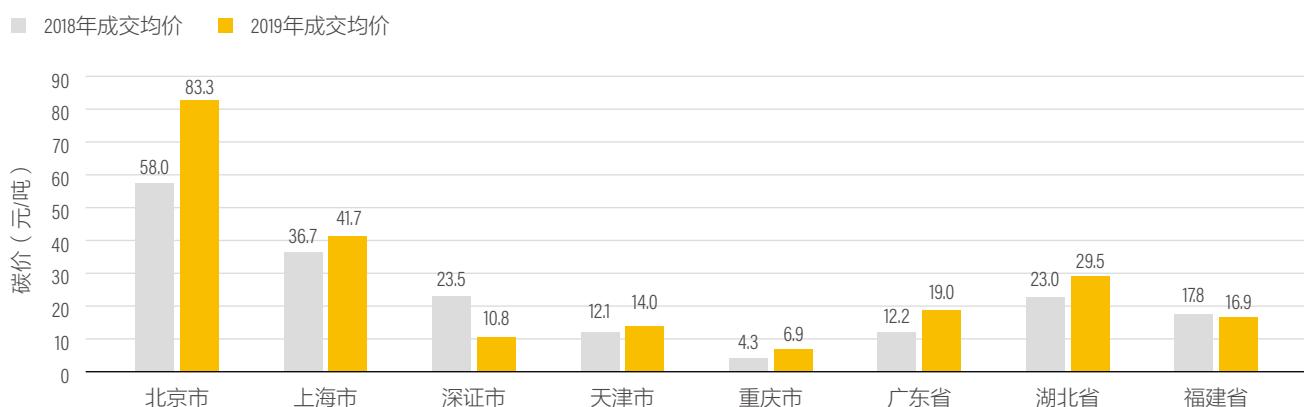


表 3 | 部分国家和地区碳税施行情况列表<sup>31</sup>

国家/地区	级别	实施时间	碳税内容
芬兰	国家	1990年	对燃料征收53欧元/tCO <sub>2</sub> e（60美元/tCO <sub>2</sub> e）或62欧元/tCO <sub>2</sub> e（70美元/tCO <sub>2</sub> e）的碳税
瑞典	国家	1991年	征收127美元/tCO <sub>2</sub> e的碳税
丹麦	国家	1992年	对燃料征收26美元/tCO <sub>2</sub> e的碳税
瑞士	国家	2008年	征收85美元/tCO <sub>2</sub> e的碳税
法国	国家	2014年	征收44.6欧元/tCO <sub>2</sub> e（50美元/tCO <sub>2</sub> e）的碳税
乌克兰	国家	2011年	对二氧化碳排放超过500吨的部分征收约0.4美元/tCO <sub>2</sub> e的碳税
阿根廷	国家	2019年	对燃油、煤炭、石油焦炭等燃料征收10美元/tCO <sub>2</sub> e的碳税
南非	国家	2019年	征收约8美元/tCO <sub>2</sub> e的碳税
新加坡	国家	2019年	对温室气体排放超过2.5万吨的单位征收碳税
加拿大纽芬兰和拉布拉多省	地区	2019年	对应用于交通、建筑物取暖和发电的燃料征收15美元/tCO <sub>2</sub> e的碳税

注：数据来源于世界银行数据库（<https://data.worldbank.org/indicator/NV.SRV.TOTL.ZS>）。

放的温室气体（约占35%）征收碳税，与欧盟碳交易（EU ETS）覆盖的工业企业、发电行业交叉<sup>30</sup>。

#### 2.3.4.2 构建气候投融资机制

中国已经在绿色金融体系构建中取得显著成效，例如到2019年末，中国最主要的21家银行绿色贷款的余额已经达到10万多亿元，相比年初增长了约15%<sup>32</sup>。与此同时，中国境内绿色债券存量规模已经接近6000亿元，位居世界前列<sup>33</sup>。但在绿色金融体系中的“气候投融资”体系尚不完善，融资渠道狭窄，融资来源不确定，这些问题都需要在“十四五”期间寻求新的突破。

在此背景下，建议中国在“十四五”期间制定气候投融资政策时应考虑如下几点。第一，构建国家统一的气候金融标准体系。第二，进一步完善气候金融发展的制度环境。建议中国人民银行、中国银行保险监督管理委员会等国家金融监管机构将气候金融纳入评估体系，鼓励国有银行等金融机构将气候债券和气候信贷深度纳入各评估体系，由此激励和引导商业银行和其他金融机构发展绿色金融及其衍生品。第三，深化气候金融改革创新试验，尤其在粤港澳、长三角、京津冀地区，并推动成果在全国内分享和复制。建立多层次的金融组织体系、多元化的产品服务体系、多层级的征信保障体系和高效灵活的市场运作机制。

实现中长期深度减排，不仅有助于减缓气候变化，更能带来经济与社会双重收益。到2050年当年，相比现有政策路径，中国实施强化行动路径、构建低绿色低碳经济将带来：



单年

**47亿吨**

二氧化碳减排量



避免单年

**189万人**

的过早死亡



共计

**6.5万亿元**

的全社会收益



节约

**2万亿元**

(2018年不变价)的设备投资、运行维护等减排成本



约

**1.6万亿元**

(2018年不变价)

的货币化健康效益



约

**2.9万亿元**

(2018年不变价)

的货币化气候效益



更多资料关注公众号 碳视角  
本文版权归原作者所有

### 第三章

# 区域协调发展引领 中国低碳转型

国家在《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中明确提出“支持优化开发区域碳排放率先达到峰值”。党的十八大以来，中国相继提出了京津冀协同发展、长江经济带发展、共建“一带一路”、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展等新的区域发展战略，并于2015年和2019年分别发布了《京津冀协同发展规划纲要》、《粤港澳大湾区发展规划纲要》和《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》（表4）。包括了北京、天津、河北、江苏、浙江、上海、安徽和广东的京津冀、长三角和粤港澳地区以约42%的全国GDP贡

献了34%的排放。这些先进地区率先开启低碳转型，不仅能真正帮助国家实现长期减排目标，而且对其他经济相对落后地区有模范借鉴作用<sup>34</sup>。在新常态和中国经济面临下行压力的情况下，我们认为中国的区域一体化战略有望继续充当中国经济增长引擎，更有可能引领全国低碳转型，成为国家绿色发展的样板。本章从经济、产业、能源结构出发总结了三大区域低碳转型的瓶颈与需求，并通过“绿色经济模型”探索了长三角地区实现绿色经济的可能性，最后为先进经济区域率先达峰及深度脱碳提出了政策建议。

表4 | 中国三大区域主要经济社会情况

城市群	京津冀	长三角	粤港澳
城市数	13	27	11
面积（万平方千米）	21.55	22.5	5.62
2018年人口（万人）	10999.79	16423.67	6669.53（含港澳）
2018年GDP（万亿元）	8.3	18.5	10.9
2018年GDP占全国份额（%）	9%	21%	12%
2018年人均GDP（万元/人）	7.6	13.5	16.3
一次能源消费全国占比（%）	10%	17%	7%
煤炭占本地区一次能源消费比例（%）	76%	68%	52%
关键政策	《京津冀协同发展规划纲要》， 中共中央，2015年	《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》， 中共中央，国务院，2019年	《粤港澳大湾区发展规划纲要》， 中共中央，国务院，2019年

注：GDP为城市级别数据，一次能源数据和煤炭消费数据为省级层面数据；数据来源于国家和地方统计年鉴。

### 3.1 绿色低碳成为三大区域战略的重要组成部分

绿色发展已经成为三大区域发展规划纲要的核心原则（图13）。《京津冀协同发展规划纲要》中设定的中期目标是到2020年，区域一体化交通网络基本形成，生态环境质量得到有效改善，产业联动发展取得重大进展。《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》中不仅将生态环境独立成章，而且重点指出到2025年，细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）平均浓度总体达标，地级及以上城市空气质量优良天数比例达到80%以上，跨界河流断面水质达标率达到80%，单位GDP能耗较2017年下降10%，更是单独出版了《长三角生态绿色一体化发展示范区总体方案》<sup>35</sup>。《粤港澳大湾区发展规划纲要》中直接提出确立绿色智慧节能低碳的生产生活方式和城市建设运营模式作为区域协调发展的主要目标<sup>36</sup>（表5）。未来，中国将以三大区域为战略辐射中心，将低碳绿色的概念延伸至整个版图，从而实现经济健康、持续发展的终极图景。

### 3.2 三大经济区低碳转型的瓶颈与需求

京津冀、长三角、粤港澳三个区域助力了中国经济过去

四十年的腾飞，至今仍是中国经济分量最重的区域。就2019年全年的经济数据来看，处于三大区域中的广东GDP总量高居榜首，江苏、浙江、河北均位列前十，上海、安徽、北京分列第十一、十二和十三位。尽管三大区域已将推动低碳转型列为区域发展的重要内容，但其经济结构、产业布局、能源结构等方面仍面临深度脱碳的瓶颈和挑战。

#### 3.2.1 京津冀产业偏重低碳转型困难大，长三角和粤港澳动能转换加速

从具体的经济结构来看，三大区域中的中心城市和其他城市呈现截然不同的情况，甚至非中心城市的第二产业占比远远大于全国水平，说明三个区域的整体经济仍以工业为主。自2000年开始，京津冀地区的第三产业比重就超过了第二产业。但将数据分解到地方层面看，第三产业在北京GDP总量中的比重为80.6%，在天津为58.2%，在河北为44.2%，由此可见产业结构在京津冀地区内部具有很大的差异性。2017年长三角城市群第一、第二、第三产业占比为4.5%：42.5%：53.0%，但非中心城市的第二产业占比高达59%。就广东省的经济结构而言，产业结构与长三角相似，第一、第二、第三产业占比为4.0%：41.8%：54.2%，香港和澳门以服务业为主（表6）。

图13 | 绿色低碳发展理念在三大区域发展规划纲要中的体现

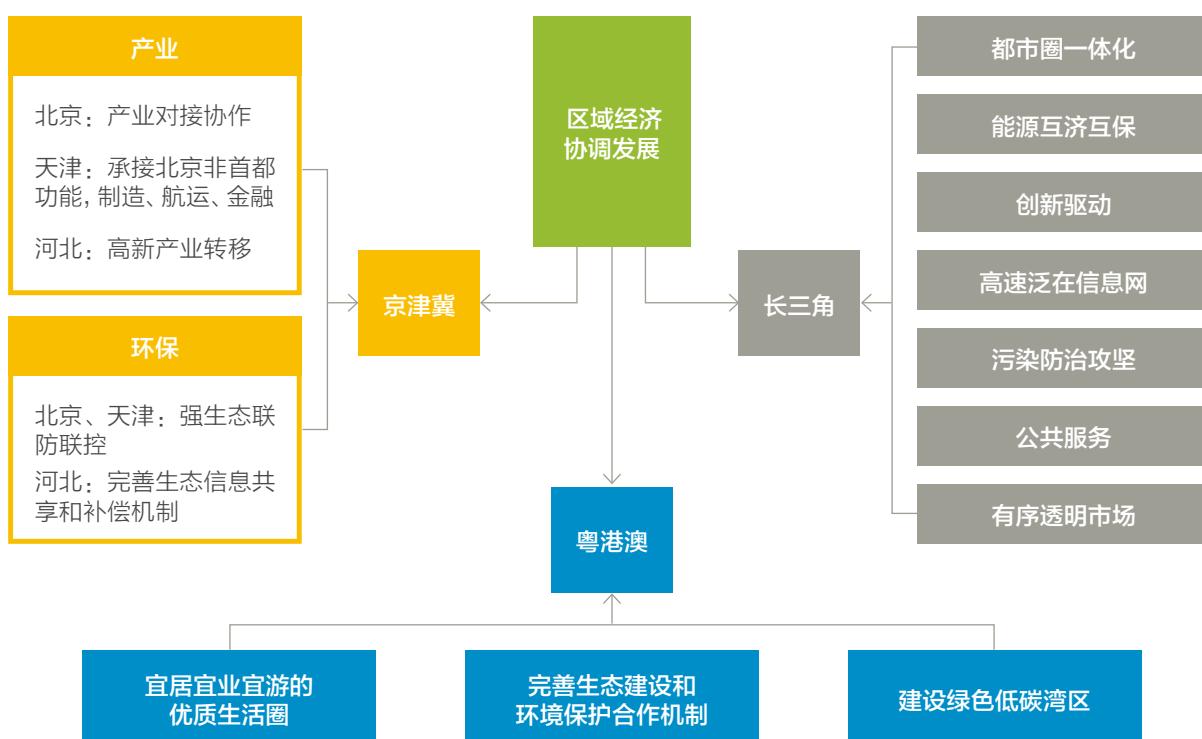


表 5 | 三大经济区绿色发展目标

绿色发展目标		京津冀	粤港澳	长三角
关键目标	工业	天津淘汰落后产能，航空航天、电子信息、生物医药等八大优势产业增加值占全市工业总产值的87%，服务业占全市经济比重超过50%（《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》）	服务业增加值比重达到60%，先进制造业增加值占工业增加值的比重超过50%，高技术制造业增加值占工业增加值的比重达到30%（《珠江三角洲全域空间规划（2016—2020）》）	规模以上企业单位工业增加值能耗下降18%，单位工业增加值用水量下降25%（《长江三角洲城市群发展规划》）
	能源	河北省缩减钢铁产能1400万吨、焦炭产能300万吨（《京津冀及周边地区2019—2020年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》）	地区煤炭消费总量控制在7006万吨以内，单位GDP碳排放强度降至0.457吨二氧化碳/万元，非化石能源占能源消费总量比重提高到26%，新能源公交车保有量占比超85%（《珠三角城市群绿色低碳发展2020年愿景目标》）	培育500家绿色示范工厂、50家绿色示范园区，推广5000种以上绿色产品，绿色制造产业产值达到50000亿元（《长江三角洲城市群发展规划》）
	污染排放	PM2.5平均浓度同比下降5.5%，重度及以上污染天数同比减少8%（《京津冀及周边地区2019—2020年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》）	PM2.5年均浓度不高于34微克/立方米（《珠三角城市群绿色低碳发展2020年愿景目标》），工业用水重复率达到80%，城镇污水处理率达到90%以上，城镇生活垃圾无害化处理率达到100%，工业废水排放完全达标（《珠江三角洲全域空间规划（2016—2020）》）	到2025年，细颗粒物（PM2.5）平均浓度总体达标，地级以上城市空气质量优良天数比例达到80%以上，跨界河流断面水质达标率达到80%，单位GDP能耗较2017年下降10%（《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》）

表 6 | 三大经济区域内中心城市和其他城市经济结构（2016年）

区域	京津冀		长三角		粤港澳		全国	
	第二产业	第三产业	第二产业	第三产业	第二产业	第三产业	第二产业	第三产业
中心城市	28%	72%	32%	63%	34%	62%		
其他城市	47%	44%	59%	31%	51%	46%	41%	52%

注：世界资源研究所整理，数据来源为国家和地方统计年鉴。

从第二产业的“区位商排名”来看，京津冀以重化工、资本密集型产业为主，中心城市和周边地区产业结构差异明显，前三名为黑色金属矿采选业、开采辅助活动、黑色金属冶炼和压延加工业（表7）。长三角地区以重化工、劳动密集型传统产业为主，前三名为仪器仪表制造业，计算机、通信和其他电子设备制造业，汽车制造业和化学原料及化学制品

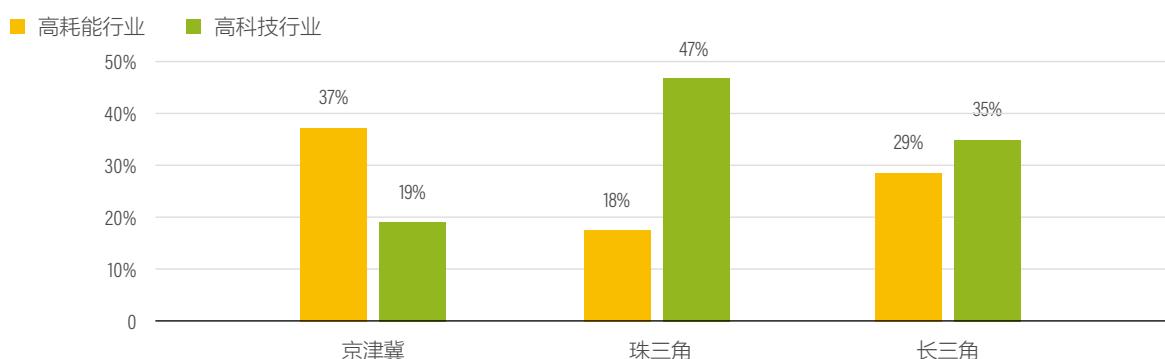
制造业（表7）。粤港澳地区以劳动密集型产业为主，但经济新动能转换加快，先进制造业和高技术制造业发展迅猛，前三名为计算机、通信和其他电子设备制造业，水的生产和供应业和家具制造业（表7）。从高耗能行业和高科技行业的产值来看，珠三角和长三角的高科技行业也开始和高耗能行业拉开了距离，而京津冀相反（图14）。

表7 | 三个经济区行业区位商排名

京津冀		粤港澳（不含港澳地区）		长三角	
黑色金属矿采选业	1	计算机、通信和其他电子设备制造业	1	仪器仪表制造业	1
开采辅助活动	2	水的生产和供应业	2	计算机、通信和其他电子设备制造业	2
黑色金属冶炼和压延加工业	3	家具制造业	3	汽车制造业	3
电力、热力的生产和服务业	4	废弃资源综合利用业	4	烟草制品业	4
食品制造业	5	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	5	化学原料及化学制品制造业	5
金属制品业	6	电气机械及器材制造业	6	石油加工、炼焦和核燃料加工业	6
汽车制造业	7	金属制品、机械和设备修理业	7	铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业	7
燃气生产和供应业	8	电力、热力的生产和服务业	8	纺织服装、服饰业	8
铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业	9	造纸及纸制品业	9	电气机械及器材制造业	9
金属制品、机械和设备修理业	10	金属制品业	10	水的生产和供应业	10
石油和天然气开采业	11	橡胶和塑料制品业	11	通用设备制造业	11

注：本研究团队计算得出，数据来源于国家与地方统计年鉴。区位商是指一个地区特定部门的产值在该地区总产值中所占的比重与该部门产值在全国总产值中所占比重的比，该研究使用2016年珠三角九个城市、长三角26个城市、京津冀地区北京、天津和河北省的41个细分工业。

图14 | 高耗能行业和高科技行业占各区域第二产业总产值比重



注：本研究团队计算得出，珠三角数值不含港澳地区，数据来源于国家与地方统计年鉴。高耗能行业包括黑色金属冶炼和压延加工业，电力、热力的生产和服务业，石油加工、炼焦和核燃料加工业，化学原料及化学制品制造业，有色金属冶炼和压延加工业，以及非金属矿物制品业。高科技行业包括医药制造业，专用设备制造业，铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业，电气机械及器材制造业，以及计算机、通信和其他电子设备制造业。

### 3.2.2 三大区域经济发展仍严重依赖化石能源

京津冀、长三角、粤港澳作为中国城市群的主要代表，在能源消费总量、能源消费强度、能源消费结构及能源自给率等方面有一些共性。具体来说有以下几点。

第一，能源消费总量占全国比例高。京津冀地区2015年能源消费为4.45亿吨标准煤，约占全国能源消费总量的10.34%；长三角地区2015年能源消费为7.36亿吨标准煤，约占全国能源消费总量的17%；粤港澳地区2015年能源消费为3.01亿吨标准煤，占全国能源消费总量的7%。

第二，在能耗强度方面，三大区域总体均处于全国较领先水平，但各区域表现略有差异（图15）。对比三大区域各

省市的能耗强度可以发现，粤港澳区域差异最为悬殊，河北的能耗强度是北京的近3倍，江浙沪的能耗强度趋于一致，安徽比江浙沪均水平约高出1/4，广东的能耗强度略优于江浙沪平均水平。

第三，能源消费结构仍以化石能源为主。2015年京津冀、长三角、粤港澳的煤炭和石油消费总量占各自总能源消费量比重分别为84.6%、80.5%和69.6%。同时由图16可以看出工业是三大区域主要的能源消费部门。

第四，能源自给率普遍低，保障能源安全的需求高。京津冀、长三角、粤港澳地区的能源供应主要依靠外地调入，依赖外部能源输入有很多制约因素，未来能源保障可持续性存在一定风险。

图 15 | 三大区域各省能耗强度比较

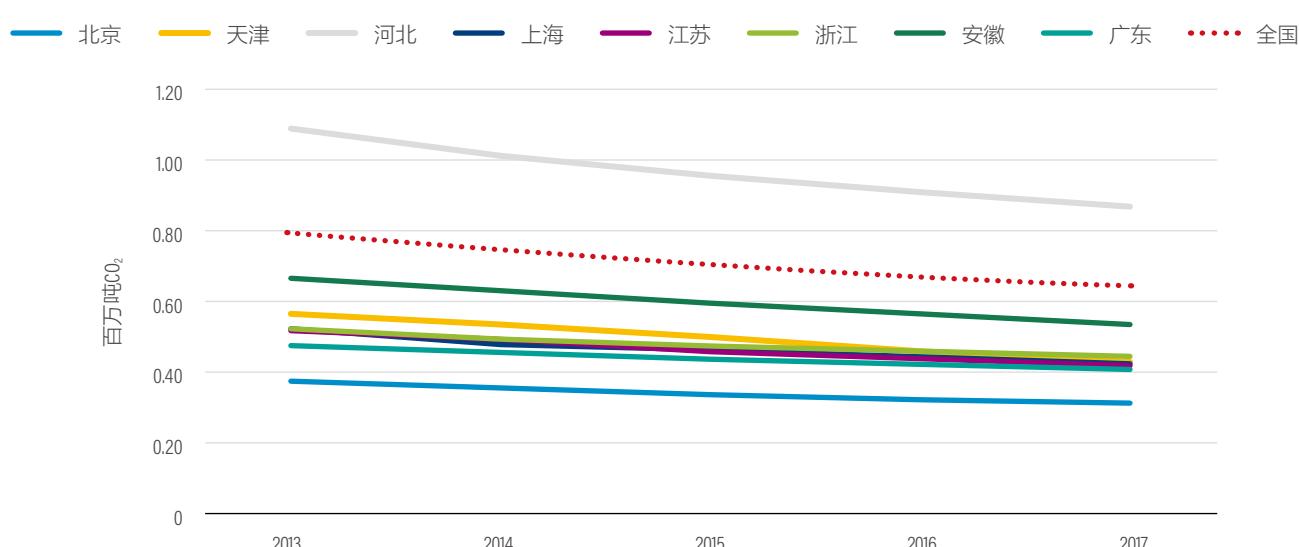
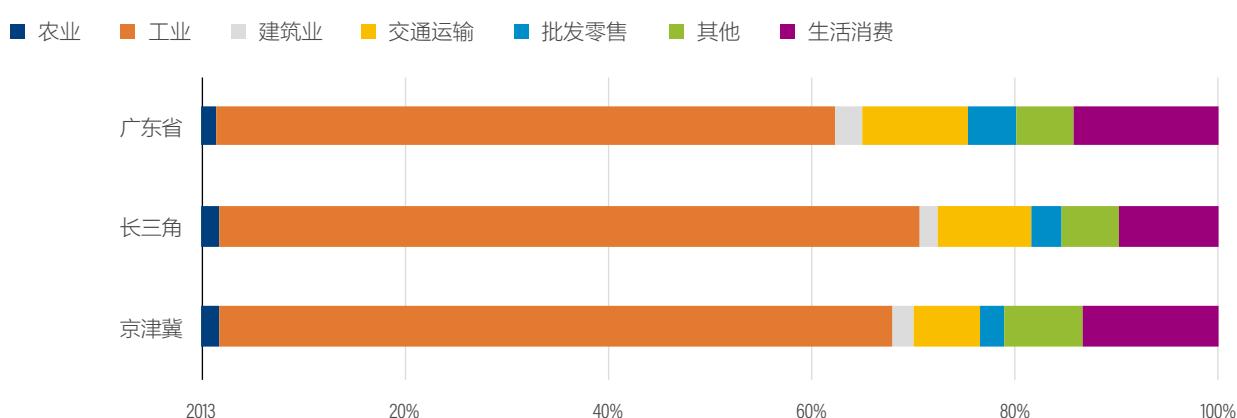


图 16 | 2015年三大区域分部门能源消费构成（徐健等，2018）<sup>37</sup>



同时，由于不同地区产业结构、发展阶段等不同，在能源领域各城市群之间以及同一区域中的城市之间又表现出各自的特点。第一，京津冀地区相较于长三角和粤港澳内部发展更不平衡，节能减排基础差异大。京津冀地区中，河北是主要能源消费地，煤炭消费远高于全国平均水平，产业结构以能源、原材料等重化工业为主<sup>38</sup>（图 17）。第二，长三角地区与京津冀和粤港澳地区一样依赖外地区能源调入，然而同时长三角地区在充分利用当地可再生能源方面有着巨大潜力。长三角是“全国可再生能源产业发展的高地，聚集了全国约三分之一的可再生能源产能，承担着产业研发、高端制造等功能”，在发展可再生能源方面有着一定优势。应利用此产能优势，同时挖掘可再生能源资源潜力，积极发展可再生能源<sup>39</sup>。第三，粤港澳大湾区能耗强度水平领先于京津冀和长三角地区，以较低的能源消费增速支撑了经济的高速增长。“港澳地区能源强度远低于大湾区其他城市，珠三角九市的能源强度整体低于全国平均水平，但距离发达国家水平还有显著差距。大湾区单位GDP能耗、电耗分别约为国际三大湾区平均水平的2倍和3倍。”<sup>40</sup>

基于各个区域在能源转型过程中的现状，仍需要区域内各省市通过协调合作在区域能源规划、跨区域能源基础设施建设、鼓励可再生能源发展、提升可再生能源在区域能源消费中的比重、保障能源的安全稳定等方面推进，实现区域能源转型与深度脱碳的目标。面临中国未来十年能源生产、能源消费革命的大趋势，特别在“十四五”关键时期，三大区域的能源转型将对中国其他城市的能源转型起到引领作用，同时也关系着中国构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系，维护国家能源安全目标的实现。

### 3.3 优先开发区域率先达峰 ——以长三角绿色转型为例

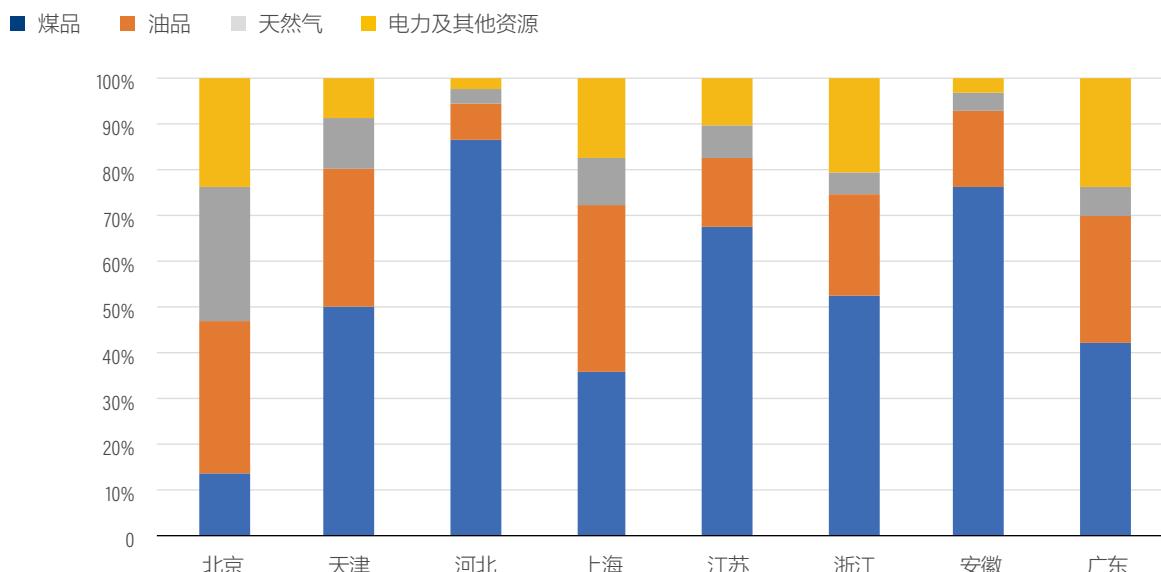
本节以长三角区域为研究目标，以一体化为政策背景，采用我们定制的绿色经济模型（Green Economy Model）为工具，探索以长三角地区在“十四五”（2021—2025年）和“十五五”（2026—2030年）的过渡期中实现二氧化碳排放率先达峰的可行性和长期对社会经济等发展产生的影响。并且期望以长三角区域的研究为基础，因地制宜地将政策建议推广至中国其他经济区域，以多个绿色低碳区域为链绳，带动中国实现2060年国家碳中和的长期愿景。

#### 3.3.1 长三角绿色经济模型

绿色经济模型<sup>41</sup>是一个可以涵盖社会、经济和环境三个维度的系统动力模型，可以通过不同情景下跨部门的模拟，对发展政策进行更广泛、更长期的研究，也使我们能够确定和预测不同战略的潜在协同效应和可持续性。为此，WRI中国与Knowledge SRL团队共同开发了符合中国特点的绿色经济模型，并根据上海市、浙江省、安徽省、江苏省的经济社会发展历史现状及国家新近出台的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》，定制搭建了长三角绿色经济模型（GEM-Yangtze River Delta）。

长三角绿色经济模型以系统动力学（System Dynamic）为基础（图 18），囊括了与发展相关的所有关键领域，包括人口、物质资本、土地利用及覆盖、人力资本、经济活动、

图 17 | 2015年三大区域各省市一次能源消费结构<sup>15</sup>



能源供求、生态资本、污染物排放和水污染，以及气候变化趋势等。外部因素的经济评估也得到有效涵盖，包括碳排放的社会成本、污染物排放、与交通有关的影响，以及生物多样性等因素。

长三角绿色经济模型构建了两个情景，分别为基线情景（BAU）和绿色经济情景（Green Economy）。基线情景以2000—2017年历史趋势为基础，展现经济、社会、气候和环境等历史趋势的延续，并考虑了已经实施或将要确定实施的政策，包括2020年初新冠肺炎疫情爆发以及相应经济刺激

措施出台和落地对社会经济的影响。该情景反映了环境的持续恶化趋势，包括污染、环境商品和服务的稀缺性，以及对社会和经济具体指标的影响。该情景作为政策分析的基准，可以与其他政策情景方案的结果进行比较和评估。绿色经济情景在历史趋势的基础上考虑了以下7项干预政策，报告涵盖了科技发展、土地生产力、能源效率、可再生能源、废水处理、交通基础设施和森林覆盖等7个领域（表8 GEM干预政策、描述及设置）。绿色经济情景以2020年作为政策施加起始年，展现2020—2050年经济、社会、环境等部门在绿色经济路径下的发展情况。

图 18 | GEM模型的原理机制以及系统动力学因果关系图

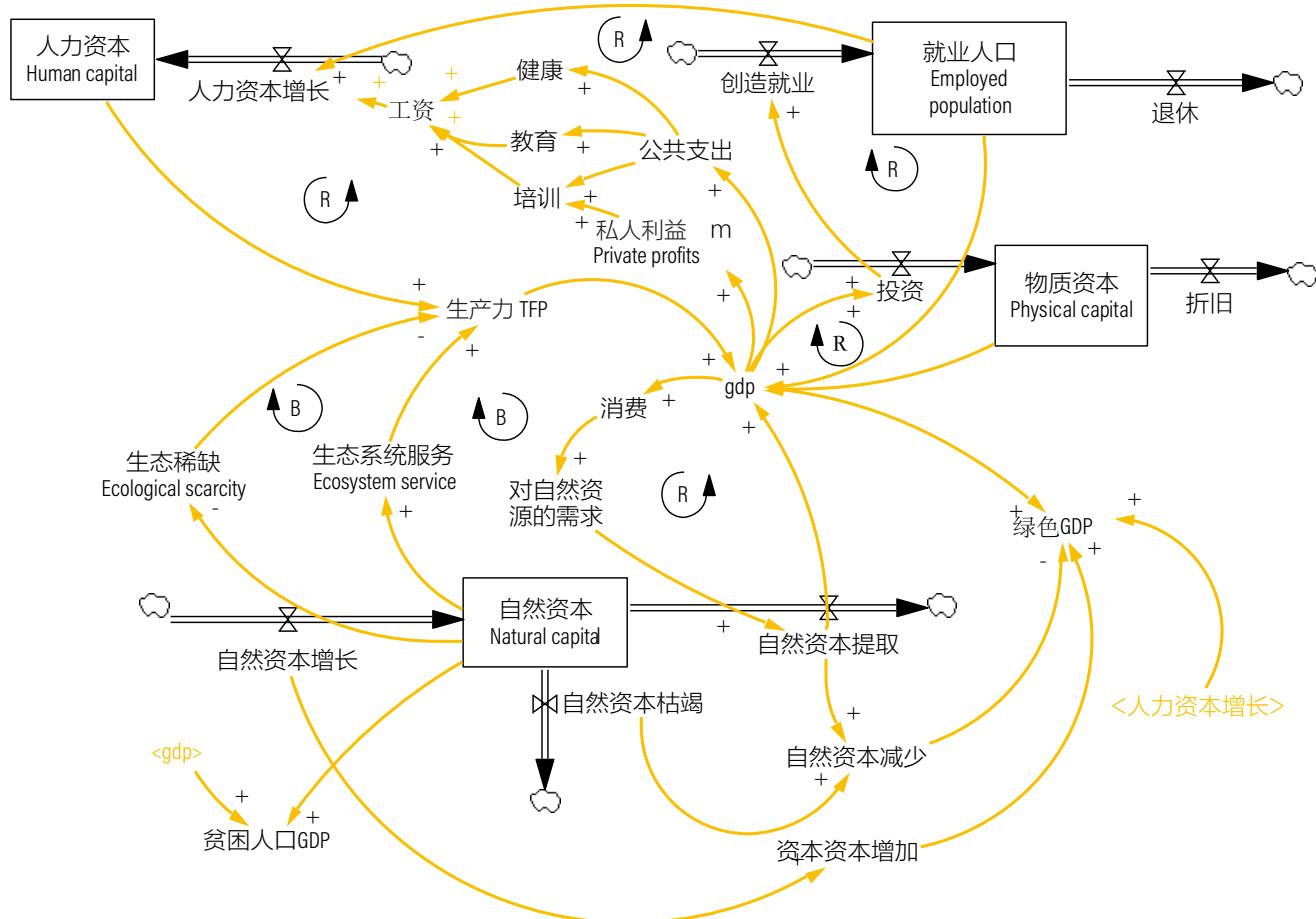


表 8 | GEM干预政策、描述及设置

干预政策	政策描述及考虑因素	预期目标
科技发展	研发投入、科技设施建设、科技政策及平台、高素质劳动力等因素，均对工业和服务业全要素生产率水平产生影响。科技发展提高经济生产力，也将带动工业和服务业GDP的提升	2020年至2025年年均提升1.8%，到2035年年均提升2.0%，到2050年年均提升1.5%
土地生产力	土地生产力考虑农业基础设施的建设和普及，以及高产作物及种植方法的应用和推广。农业用地生产率提高，可增加农业收入、农民收入，缩小城乡收入差距。在满足农业供给条件下，可以促进土地休耕	在2020年水平基础上，到2040年提升6%（上海市）和31%（浙江省），到2050年提升9%（上海市）和45%（浙江省）
能源效率	能源效率考虑到能源结构、产业结构的升级，技术及管理的创新和升级，以及能源资源价格因素的影响。能效提高可减少能源消耗，从而提高经济生产率和温室气体排放。政府及私营部门普遍持续加大投资，节能技术不断研发及普及	2020—2035年年均提升4%；由于能效提高空间越来越小，2036—2050年预计年均提升2%
可再生能源	考虑可再生能源使用及相关基础设施、技术设备等发展和利用。提高可再生资源在能源消费中的占比可进一步减少对煤炭的依赖。预计未来可再生能源占能源消耗比重持续增加	到2030年，可再生能源占总能源消费35%左右，到2040年占比37%~49%，到2050年占比50%~61%
废水处理	污水处理系统覆盖网络和规模的提升将减少污染物进入水体，从而改善水质，进一步影响经济的全要素生产率水平	到2040年，污水处理系统覆盖率达到75%~95%，到2050年达到100%
交通基础设施	主要考虑高速公路的密度。交通基础设施密度增加，一方面会提高企业的经济生产率，另一方面也会影响交通行业对能源的需求，进而影响碳排放水平	到2050年，高速公路密度达到5.08千米/平方千米（江苏省）至14.2千米/平方千米（上海市）
森林覆盖	考虑植树造林、退耕还林、打击非法砍伐森林等措施，提升森林覆盖率，可改善环境质量，提升碳封存能力，提供更好的生态系统服务	到2040年，森林覆盖率达到25%（江苏省）和70%（浙江省），到2050年达到28%（江苏省）和74%（浙江省）

注：更多基线情景和干预情景设置请参见 GEM 技术报告

**GEM显示，在绿色经济情景下，长三角地区温室气体总排放（包括土地利用、土地利用变化和林业）将在“十四五”末期达峰；若按现有已承诺的政策手段，长三角地区也能在“十五五”中期达峰。长三角早于2030年完成碳达峰国家目标，可为中国较落后地区腾出合理发展空间和时间，帮助中国整体完成NDC承诺的达峰目标。**

### 3.3.2 绿色经济情景可支持长三角地区近期率先达峰，长期深度脱碳

#### 3.3.2.1 长三角地区可在全国率先实现碳排放达峰

作为中国经济发展战略中的关键区域，长三角地区是否可以良好协调经济发展与生态环境的关系、是否可以代表国家先行发展区实现碳排放达峰，一定程度上决定了中国是否能够实现整体生态文明建设和国家自主贡献目标。GEM通过对不同政策情景下碳排放路径的模

拟，定量证明了长三角地区率先碳达峰的可及性，并预测了在绿色经济的道路下可实现较低的碳排放峰值。

在2020至2050年期间，长三角地区温室气体排放总量预计呈现先上升、至达峰、后下降的排放趋势。值得关注的是，受2020年初新冠肺炎疫情的影响，经济停摆、工厂停产导致能源需求量随之降低，温室气体在此年度预计较2019年的19.21亿吨二氧化碳当量减少11.11%（基线情景）至11.95%（绿色经济情景）。而经济停滞带来的减排只是暂时的，温室气体排放将在全球疫情结束和经济恢复后出现上升，但预计不会超过2019年排放数量。

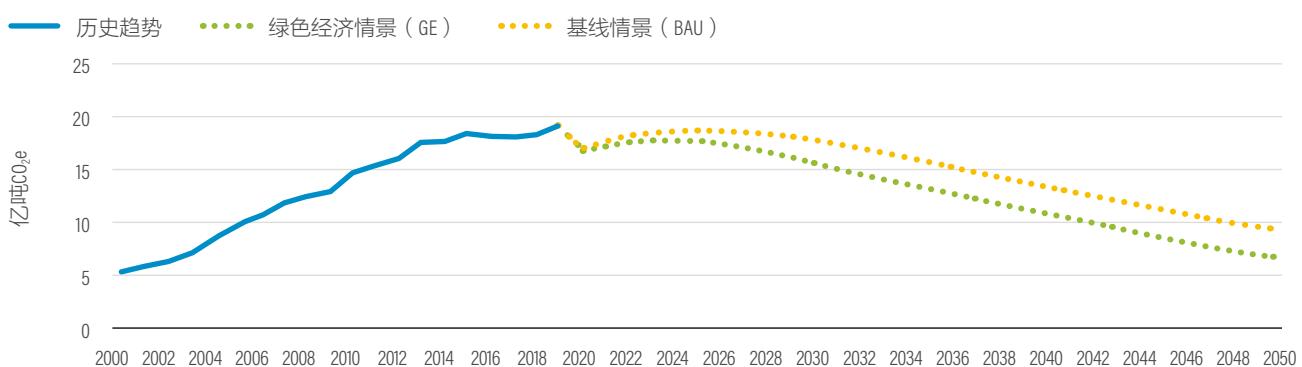
在绿色经济情景下，长三角地区温室气体（包括土地利用、土地利用变化和林业）排放预计在2024年出现峰值，峰值约为17.93亿吨（图 19）。而基线情景下，排放达峰时间晚于绿色经济情景，预计将于2026年以18.83亿吨二氧化碳当量达到峰值，比绿色经济情景多排放0.90亿吨温室气体。通过对不同情景的对比可见，长三角地区绿

色经济发展模式下有能力领先于全国实现中国在NDC中提出的达峰目标，可为中国其他欠发达地区腾出合理的发展空间。

能源与电力行业的二氧化碳排放同温室气体排放趋势相似，由于新冠肺炎疫情影响，2020年的经济停滞导致碳排放出现下降趋势（图20）。但随着2021年后经济逐渐复苏，二氧化碳排放量预计也将随之上升，预计在

绿色经济情景下在2024年以18.95亿吨、基线情景下在2026年以19.84亿吨达到峰值，之后逐年降低。在绿色经济情景下，通过采取优化产业结构、提高能效、发展非化石能源、增加森林碳汇、推动区域污染联防联控等一系列举措，长三角总体单位GDP碳排放强度均低于基线情景水平（图21）。绿色低碳的发展预计将实现2030年碳排放强度较2005年降低85%，到2050年将在2005年基础上降低98%。

图 19 | 长三角地区温室气体排放总量<sup>42</sup>——基线情景（BAU）、绿色经济情景（GE）



注：计算包括土地利用、土地利用变化和林业。

图 20 | 长三角地区能源与电力行业二氧化碳排放量——基线情景（BAU）、绿色经济情景（GE）

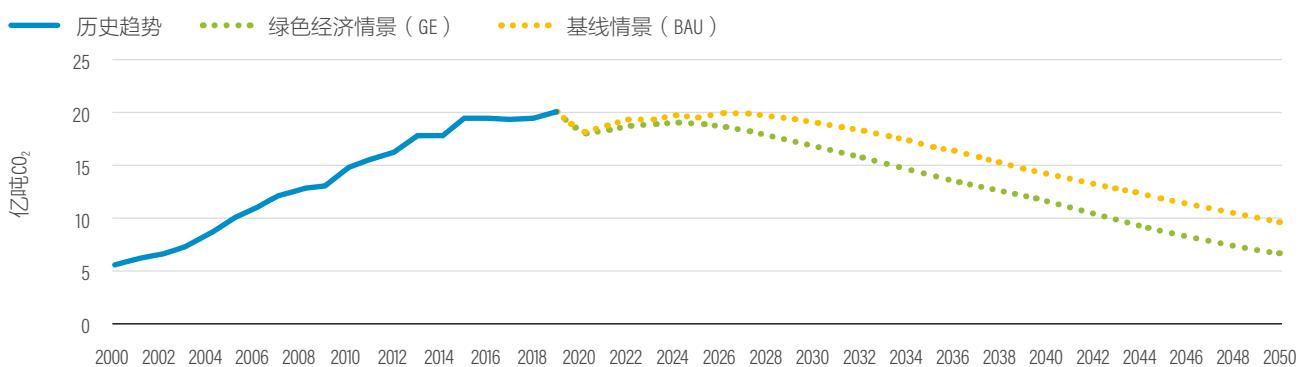
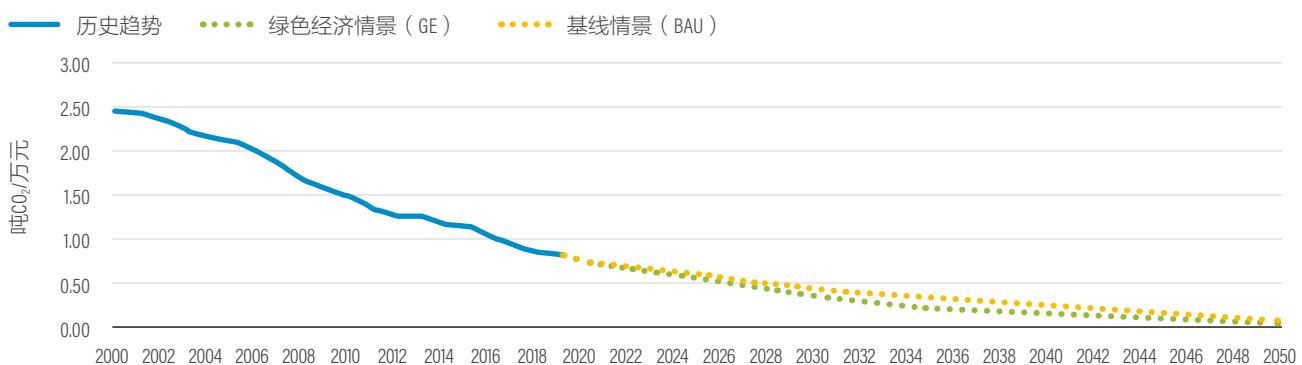


图 21 | 长三角地区能源与电力行业二氧化碳排放强度——基线情景（BAU）、绿色经济情景（GE）



### 3.3.2.2 绿色低碳可促长期经济繁荣，并实现深度脱碳

GEM结果显示，通过提高科技创新能力、增加新能源利用比例、提升能源效率等绿色政策可以在长三角地区引领强劲的经济增长，同时将带来包括财政增收、创造就业岗位等一系列经济社会效益。

受人口红利消失、经济结构及体制机制待改善等问题的影响，中国经济在2020—2050年期间再难以7%或更高的速度增长，已转向高质量增长。GEM结果表明低碳、可持续的绿色经济路径发展，包括使用更多清洁能源、加强科学研发等手段持续提高全要素生产率等政策，在中长期可帮助长三角乃至中国经济实现较历史发展模式下增速更快、质量更高、后劲更强的发展。绿色经济情景下，长三角地区实际GDP<sup>43</sup>在2025年和2050年的年增速分别为4.0%和3.5%，比基准情景相应增长速度分别高出0.9%和1.0%（图22）。到2050年，绿色发展可使长三角地区经济总量当年达到173万亿元，比基准情景下的经济总量高出29%左右。服务业占GDP比例逐年提高，在2050年将达到69%。值得注意的是，2020年受新冠肺炎疫情影响，实际GDP增长率在绿色经济情景和基线情景下分别为-3.16%和-3.06%。由于区域GDP不仅受国家整体及世界疫情严重程度、持续时间、反复次数的动态影响，而且还受长三角明显的外向型经济特征影响，我们认为疫情对长三角地区经济造成的负面影响将大于国家整体水平。因此，模型的模拟结果低于IMF的2020年中国GDP增长1.2%的预测。

到2050年，绿色经济情景还将帮助长三角地区政府总收入较2020年增长6倍，达到38.1万亿元。不仅如此，相较于基线情景，2025年起绿色经济情景每年将为长三角地区平均多创造近380万个工作岗位，至2050年累计多增加9807万个工作岗位。基于劳动力增长与GDP增长之间的正向关系，越来越多的劳动者会在绿色岗位中获得更多收入并积累更多社会财富。不断扩大的经济体量持续刺激工作岗位的扩张，劳动力水平也将不断促进GDP增长，帮助中国经济形成可持续发展的正向循环。

另外，能源是经济生产活动重要的动力来源，强劲的经济增长往往伴随着终端能源消费量的增加。新冠肺炎疫情在2020年造成的终端能源消费量降低将是暂时的，随着生产生活的有序恢复，能源消费量将逐渐恢复到2019年水平。同时考虑到长三角地区高耗能项目不断出台和落地，以及新冠肺炎复苏计划中促进基础设施建设项目的规划，终端能源消费量在2020至2026年期间将出现上升趋势。GEM结果显示，绿色经济情景下长三角地区总体终端能源消费量预计在2026达到5.3亿吨标准煤的峰值，到2030年下降至5.1亿吨标准煤。随后将以年平均3.1%的速度下降，到2050年预计下降至2.7亿吨标准煤，即回到2004年水平（图23）。GEM结果显示，由于国家和区域发展政策引导、地区发展规划目标约束、节能技术创新及节能水平提高，终端能源消费总量在绿色经济情景下比基线情景提前2年达到峰值，峰值较基线情景峰值下降0.16亿吨标准煤。

图 22 | 长三角地区实际GDP总量及GDP增长率——基线情景（BAU）、绿色经济情景（GE）

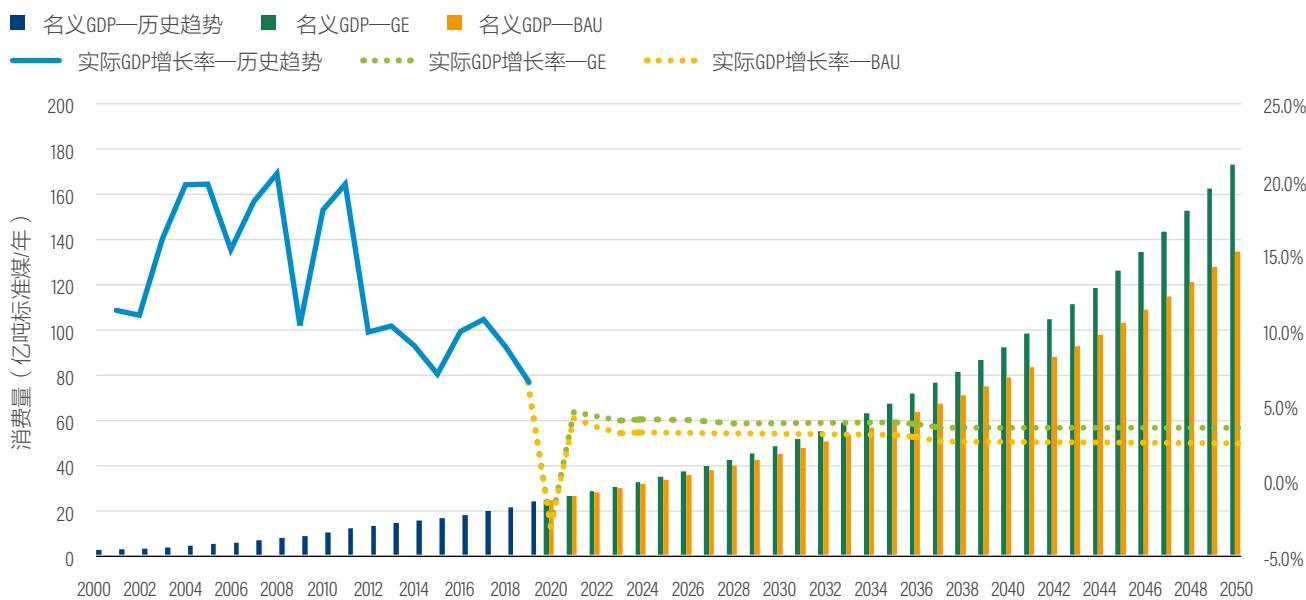
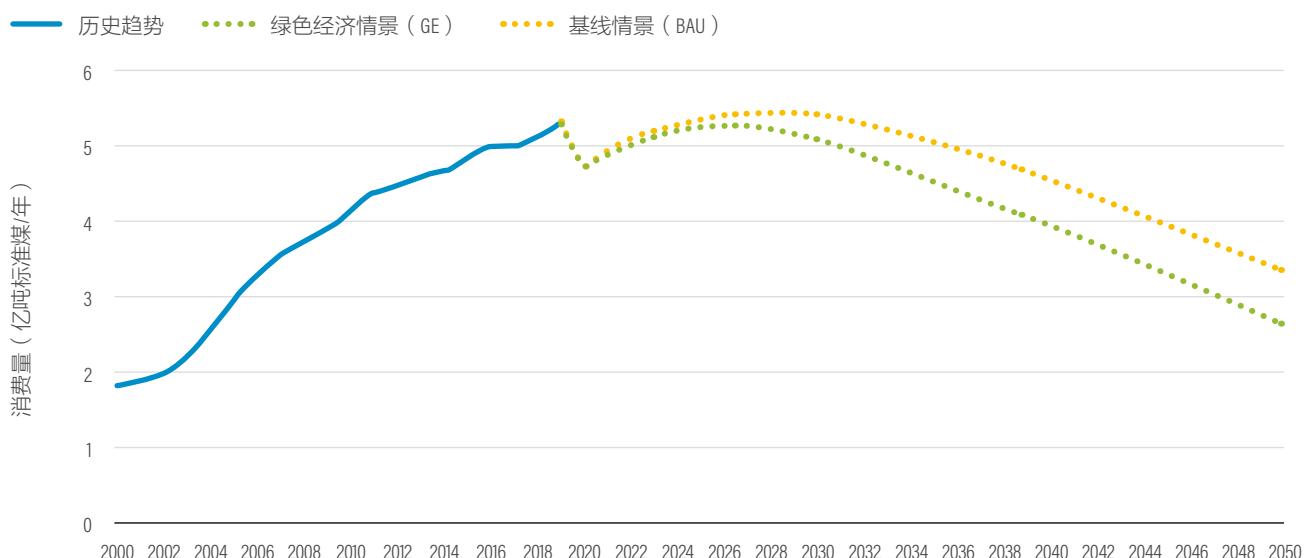


图 23 | 长三角地区能源消费总量——基线情景（BAU）、绿色经济情景（GE）



由此可见，绿色经济的发展道路可以推动长三角实现更高质、更强劲的发展，同时可以引领整个中国实现经济社会可持续发展。不仅如此，在由新冠肺炎疫情所引发的经济衰退的背景下，采取低碳的、更具韧性的绿色经济刺激方案将帮助中国实现经济和社会长期可持续发展，也将避免由更多化石能源等活动导致的空气污染和环境进一步恶化。因此，低碳的经济发展路径不是一种可有可无的选择，而是推动长三角这样的经济发达地区，乃至整个中国实现经济社会可持续发展的必然选择。它势必引领更强劲的GDP、居民可支配收入和政府财政收入的增长，提供高质量的环境商品和公共服务，推动中国社会实现更具包容性、更加可持续和更有获得感的发展。

### 3.4 区域层面上的“十四五”政策选择

中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，需要更强大且持续的科技创新支撑，以及经济、产业结构的不断优化，并通过国家提出的区域协调发展战略等一系列新举措加速推动“现代化强国”的建设进程。长三角一体化、粤港澳大湾区建设、京津冀协同发展的三大国家战略都提出了绿色发展、生态发展的低碳发展模式；设计了空间格局转换、优化区域功能布局、升级产业结构、深度融合产业链的低碳发展路径；辅之以基础设施互联互通、绿色金融等低碳政策措施，以推动要素优化配置，构建共享资源平台，促进科技人才流动，培育创新新动能，并在此过程中实现低碳绿色发展的理

念。这一系列区域发展手段措施都有可能助力这三大区域尽早达峰，并向低碳可持续转型。我们建议国家应该鼓励这些先进城市群“十四五”期间率先实现二氧化碳排放达峰，在机制体制上提出符合区域层面特点的考核机制，并加强在三大经济区的创新型低碳试点示范，优化产业结构和布局。

#### 3.4.1 鼓励长三角、京津冀和粤港澳三大经济区“十四五”期间率先实现区域达峰

我们研究发现，长三角一体化的国家战略是有可能使该地区在“十四五”期间实现二氧化碳达峰并保持经济中速增长的。考虑到国家已经提出“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”，并支持优化开发区域率先实现碳排放达峰，为欠发达地区腾出合理的发展空间。我们建议长三角、京津冀和粤港澳地区力争在“十四五”期间率先达峰，并打造一个经济繁荣和绿色低碳双赢的样板。

首先，三大区域已经在低碳转型领域做了一定的布局。京津冀、长三角、珠三角城市群作为2011年发布的《全国主体功能区规划》划分的优化开发区域，已经开展了相关工作，包括制定严格的碳排放控制目标要求，积极优化产业结构、推动能源结构低碳化，开展各领域低碳试点和行动。其次，三大区域的重点城市均公开承诺率先达峰（表9）。其中，北京市作为京津冀的中心城市，已提出“二氧化碳排放总量在2020年达到峰值并尽早达峰”的目标。广东省“十三五”提出力争珠三

角城市群碳排放在全国率先达峰，虽具体年份不明确，但支持广州、深圳等经济发达城市力争在2020年左右达峰。在长三角地区，已有十一个城市提出在“十四五”期间或之前达峰。《上海市城市总体规划（2017—2035年）》提出“全市碳排放总量与人均碳排放于2025年之前达到峰值”。三大区域已承诺在**“十四五”期间达峰的城市GDP总和都占到该地区经济总量的一半以上**。我们建议结合《全国主体功能区规划》，在现有的区域一体化战略下，设立城市群达峰目标，并以此为抓手，充分考虑体制机制、城市规划、产业体系、技术选择、能源系统等诸多方面因素，平衡不同类型城市实际情况，统筹经济增长、排放达峰等多重目标，推动长三角等优化开发区域“十四五”率先达峰。

### 3.4.2 探索区域低碳发展考核机制，避免政策洼地

在设立“十四五”期间率先达峰目标的同时，应考虑两点：一是要在设立考核目标时考虑到区域的整体性；二是在考核目标体系中加强应对气候变化工作的比重，如单位GDP碳强度和单位GDP能耗等指标。政绩考核制度已成为保障地区生态环境工作的重要手段，国务院2015年发布的《关于加快推进生态文明建设的意见》中不仅将资源消耗、环境损害、生态效益等指标纳入经济社会发展综合评价体系，而且大幅增加了大气考核权重，并着重强调了要根据区域主体功能定位，实行差别化的考核制度。《“十三五”控制温室气体排放工作方案》和《国家应对气候变化规划（2014—

**表 9 | 三大区域中已宣布达峰年份的城市及其GDP**

区域	城市	达峰目标年	2018 年GDP（亿元）
京津冀	北京	2020年	85139
	天津	2025年	30320
	城市总计（占区域比例）		13362
			43682（51%）
长三角	上海	2025年	211479
	苏州	2020年	32700
	南京	2022年	18597
	宁波	2018年	12820
	合肥	2024年	10745
	温州	2019年	7823
	常州	2023年	6006
	嘉兴	2023年	7050
	镇江	2020年	4872
	金华	2020年	4050
	池州	2030年	4100
	宣城	2025年	685
	城市总计（占区域比例）		1317
			110767（52%）
粤港澳（除港澳地区）	广州	2020年	106457
	中山	2023年	22859
	深圳	2022年	3633
	城市总计（占区域比例）		24222
			50714（48%）

注：达峰年份来自文献总结，GDP来源于地方统计年鉴。

2020年)》也强调了目标分解和落实,把应对气候变化工作的目标纳入各地区、各部门经济社会发展综合评价和绩效考核体系,保证规划实施的系统性、连续性和针对性。

《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》已经明确在区域层面上提出了环境能源目标,而且特别提出建立健全长三角一体化发展的指标体系、评价体系、统计体系和绩效考核体系。该规划明确提出到2025年,单位GDP能耗较2017年下降10%,这一目标是针对长三角区域而非某个省市提出来的。对此,我们有如下建议。一是统一制定和分解目标,以整个长三角规划区域作为对象设定总目标,直接将总目标按照统一原则、统一方法分解到地级市,再汇总得出各省市的目标,保证目标分解的统一尺度。二是联合控制力量的协同性。当前碳排放和大气污染物控制都属生态环境部门管理,而能源控制仍属节能主管部门管理,为实现三者的联合控制,需要建立更高层级的联合控制常设机构,对联合控制工作负具体责任。同时注重发挥市场减排作用,推动建立统一的用能权交易市场。三是统一考核和评价,在统一下达目标、统一联合控制的前提下,统一考核和评价也就顺理成章。需要说明的是,由于碳排放总量和能源消费总量、碳排放强度和能耗强度之间都具有较高的相关性,因此联合控制选取的核心指标仍有可能需要进一步探讨研究。我们建议“十四五”期间,以

三大区域规划纲要为引领,建立适合区域层面的应对气候变化相关考核指标体系,从指标体系的建立和实施层面引导区域各行政属地在低碳工作中的合作,用以支持优化开发区域率先达峰,最大程度实现低成本减排。

### 3.4.3 区域层面上政策的试点示范

自2009年以来,中国在地区和行业层面上开展了多层次、多样化的低碳示范试点工作。国家发展和改革委员会在2010年启动了低碳省区和低碳城市的试点工作,建设以低碳排放为特征的产业体系和消费模式。之后,低碳省市试点继续深化,并衍生出了低碳工业园区、低碳社区、低碳城(镇)、低碳重点小城镇试点示范等试点工作。截至2018年,国家发展和改革委员会先后组织三批国家低碳省区和低碳城市试点。87个城市按要求编制了低碳发展规划、建立了控制温室气体排放目标考核制度、探索了创新经验、做法和低碳发展管理能力(表10)。同时,各地区也在工业、建筑、交通等多个行业领域积极探索各具特色的低碳发展路径和创新模式。以循环经济示范试点为开端,各地积极探索创新低碳发展模式、碳排放达峰路径、近零碳排放、气候适应型城市试点建设、节能与新能源汽车试点、低碳产品认证,以及碳捕集、利用与封存技术,建成一批低碳示范社区、低碳产业示范园区和低碳商业区。

表10 | 第三批低碳城市试点长三角城市名单及达峰年份、创新重点

省份	城市	达峰年份	创新重点
江苏	南京市	2022年	1.建立碳排放总量和强度“双控”制度 2.建立碳排放权有偿使用制度 3.建立低碳综合管理体系
	常州市	2023年	1.建立碳排放总量控制制度 2.建立低碳示范企业创建制度 3.建立促进绿色建筑发展及技术推广的机制
	嘉兴市	2023年	探索低碳发展多领域协同制度创新
浙江	金华市	2020年左右	探索重点耗能企业减排目标责任评估制度
	衢州市	2022年	1.建立碳生产力评价考核机制 2.探索区域碳评和项目碳排放准入机制 3.建立光伏扶贫创新模式与机制
安徽	合肥市	2024年	1.建立碳数据管理制度 2.探索低碳产品和技术推广制度
	淮北市	2025年	1.建立新增项目碳核准准入机制 2.建立评估机制和目标考核机制 3.建立节能减碳监督管理机制 4.探索碳金融制度创新 5.推进低碳关键技术创新
	黄山市	2020年	1.实施总量控制和分解落实机制 2.发展“低碳+智慧旅游”特色产业
	六安市	2030年	1.开展低碳发展绩效评价考核 2.健全绿色低碳和生态保护市场体系
		2025年	探索低碳技术和产品推广制度创新

总结中国近年来低碳发展的宏观政策，我们发现种类繁多的示范试点虽取得了显著成效，但也面临诸多挑战。一方面，在各试点地区，相关部门出台了多种类型繁复、体系庞杂、标准不一、期限不同的规划文件，没有及时加以沟通协调，造成同一地区各类示范试点之间难以衔接和协调。另一方面，许多省市开展独立试点工作时忽略了对周边城市的促进作用。因此，随着推进京津冀协同发展、长三角一体化、粤港澳大湾区战略的深入执行，区域层面的综合示范试点必须要成为“十四五”绿色低碳的“创新试验田”。

在规划方面，建议建立完善的区域低碳发展支撑体系。在总结目前低碳省市、低碳社区等试点建设的基础上，从不同地区的实际情况出发，确定区域内一体化但有差异的低碳目标，建立统领性的指导和监管部门。通过自上而下、层次完整的一体化管理、监督及评估体系，研究制定并完善支持试点示范的产业、财税、投资、金融、技术、消费等方面配套政策。理顺区域建设的部门职能分工，明确各级政府部门在低碳工作中的角色和定位。鼓励改革试点经验共享共用，将有助于构建更大范围区域一体的低碳产业链，带动全国城市群实现协同低碳化发展。在形式上，建议探索跨区域性低碳示范试点工作。比如，以建立碳市场或用能权交易市场机制作为契机，建立跨行政区域的碳排放或用能权交易示范区域，打破行政区域藩篱，加快低碳或节能资金与技术在区域间的流动。因此，区域市场机制的示范试点不仅可以为全国碳排放总量控制及分解落实机制积累经验，为将碳排放总量控制目标作为约束性指标纳入生态文明建设目标体系打好基础，也可以在区域低碳转型的同时缩小区域经济差异，实现区域低碳一体化。

### 3.4.4 产业结构和布局在区域层面的进一步优化

区域一体化将打破之前按照经济发展阶段进行产业分工的状况，从而呈现出区域范围内布局产业链的趋势。近年来，核心城市纷纷把制造加工环节转移到发达周边地区，形成了“去工业化”现象，为落后地区承接产业转移创造了条件。与此同时，发达地区的“再工业化”——即把重点放在新能源、节能环保、信息技术等战略性新兴产业上的策略已经成为区域经济发展的必由之路。不管是区域之间的产业承接转移还是该地区的再工业化都已体现出低碳发展的趋势。

以京津冀地区为例，我们研究发现北京、天津对传统、过剩高耗能产业的结构升级体现在对新兴、高附加值、低能耗产业的转移，体现在向产业链上游的战略转移，这种“再工业化”的产业升级无疑可以带动城市经济向绿色低碳发展。河北在承接京津两地产业转移的过程

中，同样需要进行产业升级（如由钢铁向特种钢材产品的转移，由钢铁向装备制造业的产业转移），其中无论是基于承接外来产业的升级还是基于自身经济发展需要进行的产业转移，都将实现新旧动能转换，必然导致区域经济整体向低碳化转型。长三角规划的数字经济产业和粤港澳大湾区打造的信息产业及人工智能产业，同样是区域经济一体化协调发展过程中采取的产业升级策略，同样将为整个区域的节能减排做出巨大贡献。

推动区域经济结构转型升级，优化区域产业结构，对于转变区域经济发展方式具有关键性作用。目前，区域经济一体化进程中面临的主要挑战包括传统重工业化趋势延续、工业空间分布存在低水平扩张和重复建设、产业集中度较低、区域工业增长方式粗放等。区域经济一体化必须要求区域内各城市的经济、产业转型适应新形势，面对日益趋紧的资源和环境约束。因此，传统产业的转型和升级必须注重环境与发展的双赢，政府应积极引导产业转移、淘汰过剩产能、加快推进地区工业转型升级、建立和完善区域合作协调机制及严格的环境保护标准，保证传统产业在区域经济一体化发展进程中的绿色化、低碳化。



在绿色经济情景下，长三角地区温室气体（包括土地利用、土地利用变化和林业）预计在**2024年**出现一个峰值，峰值约为**18亿吨**。



到**2050年**，绿色经济还将帮助长三角地区政府财政收入较**2020年**增长**6倍**，达到年**38万亿元人民币**。



到**2050年**，绿色经济发展可使长三角地区总体当年达到**173万亿元人民币**，比基准情景下的经济总量高出**29%**左右



2025年起至**2050年**，绿色经济为长三角地区累计多增加**9,807万个**工作岗位。



## 第四章

# 地方行动支持 国家目标实现

国家目标必须转化为地方行动，才能切实有效推动目标的实现。省级行政单位在中国发挥着重要的“承上启下”作用，而城市是很多政策行动实施的主体。自2010年以来，国家已经于87个省市开展了低碳试点工作，表明地方行动对于实现国家和全球目标有着至关重要的作用。在明确了国家、区域的低碳经济发展路径后，在“十四五”起航之际，地方省市层面该如何响应？开展哪些行动？以助力国家尽早实现深度减排及经济高质量发展。本章将结合地方行动案例具体阐述省市行动的重要性，并提出“十四五”期间及中长期发展中引领省市低碳高质量发展的关键政策建议。虽然省市达峰、低碳发展路径会受到不同地理区域、不同经济发展阶段的影响，具有各自的特点，但是我们相信，总结先行省市的优良做法及关键行动也将有助于其他地区参考学习。

基于第三章围绕长三角地区低碳转型的研究，本章将以长三角区域中的浙江省为例，进一步探讨省市层面的达峰与中长期气候战略。作为“绿水青山就是金山银山”理念的发源地和率先实践地，浙江省一直走在全国生态文明建设的前列。浙江省是全国第一个推动省一市一县三级温室气体清单编制常态化的省级行政区，具备较好的清单数据基础，并建立了碳强度下降目标分解和评价考核机制，切实推动省内各层级的低碳发展工作。近年来，浙江省也着力加强创新促转型，积极推进供给侧结构性改革，传统产业改造升级明显加快，能源消费中煤炭占比持续降低。然而，浙江省未来发展仍将面临较多挑战：第一，当前传统产业占比仍然较高，以

低碳排放为特征的“三新经济”、数字经济和高端服务业占比有待进一步提高；第二，受资源禀赋现状和能源要素基础的影响，未来一段时期煤炭仍将是浙江省最主要的能源消费品种，后续进一步削减的困难将明显加大；第三，随着后期省内的国家重大战略项目（如舟山绿色石化项目）陆续投产，浙江省控制温室气体排放工作形势严峻。因此，作为先进省份的浙江在面对众多挑战时，如何尽早实现碳排放达峰，并进一步深度脱碳，其经验将对其他省份起到引领、借鉴的作用。本章也将基于EPS模型<sup>44</sup>探索浙江省实现低碳转型的路径，并识别减排效果及社会效益显著的关键政策组合。

## 4.1 浙江省的碳排放特征

**人均GDP、人均碳排放<sup>45</sup>均高于全国平均水平，单位GDP碳排放低于全国平均水平**

2016—2019年，浙江省地区生产总值年度增速分别为7.6%、7.8%、7.1%、6.8%，比同期全国平均水平分别高0.8%、0.5%、0.7%、0.6%，总体保持平稳较快增长趋势。2019年，全省地区生产总值达62352亿元，首次突破6万亿元，仅次于广东、江苏、山东，居全国第4位。人均GDP超过1.6万美元，达到世界银行确定的“高收入经济体”水平。2017年浙江省人均碳排放8吨，高于全国平均水平（6.5吨），单位GDP碳排放0.98吨/万元（2015年价），比全国平均水平（1.15吨/万元，2015年价）低15%。

在长三角地区，浙江的碳排放量仅次于江苏，人均碳排放量低于上海和江苏，“十二五”以来碳排放量累计增幅高于上海。2017年，浙江、上海、江苏和安徽的碳排放量分别为4.6亿吨、2.7亿吨、8.5亿吨和3.9亿吨，人均碳排放量分别8吨、11.1吨、10.6吨和6.2吨。2010—2017年，浙江的碳排放累计增长18.3%，高于上海的同期增幅（10.9%），但远低于江苏（25.5%）和安徽（36.2%）的增幅水平（表11）。

### 碳排放仍然呈增长趋势，但增速放缓、脱钩趋势显现

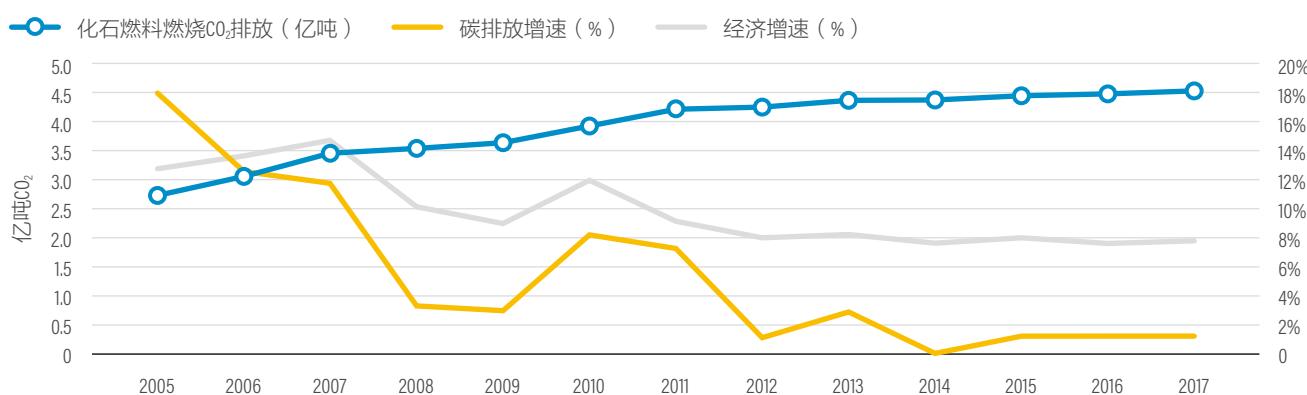
尽管浙江省碳排放仍然呈增长趋势，但近年来增速已经趋缓，2012年以来平均增速为1.3%，远低于7.9%的平均经济增速。碳排放脱钩指数从2005年的1.4（碳排放增速大于经济增速）降至2017年的0.2（碳排放增速远低于经济增速），且近年来一直保持这一水平，碳排放与经济增长已基本实现脱钩（图24、图25）。

表11 | 2017年江浙沪皖碳排放量情况

指标	全国	浙江	上海	江苏	安徽
碳排放量（万吨）	904884	45521	26754	85347	38504
人均碳排放（吨）	6.5	8.0	11.1	10.6	6.2
2010—2017年累计增幅	16.7%	18.3%	10.9%	25.5%	36.2%

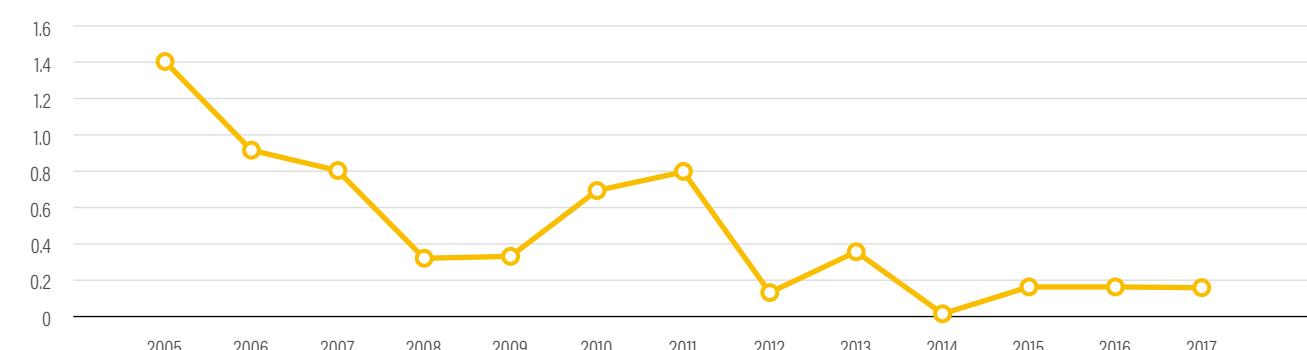
注：WRI根据能源平衡表计算，碳排放口径涵盖本地直接排放和净调入电力、热力所产生的间接排放。

图24 | 浙江省化石燃料燃烧二氧化碳排放及增速



注：GDP来自国家统计局，排放数据为WRI根据能源平衡表计算的化石燃料燃烧二氧化碳排放。

图25 | 浙江省碳排放脱钩指数



注：碳排放脱钩指数 = 碳排放增速 / 经济增速

## 能源生产和工业仍然是最主要排放源

2017年浙江省化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放为4.6亿吨，其中净调入电力相关排放占14%左右。从本地生产侧来看，发电和供热是最大排放源，占总排放的60%，其中发电占46%，主要原因在于浙江省的电力结构仍然以火电为主（图26）。2017年浙江省电力总消费量为4037亿千瓦时，其中63%来自火电（不包括外调火电）。

从消费侧的角度来看，工业是最大排放源，占总排放量的68%，其中制造业占66%。2010—2018年，除了发电供热行业外，规上工业行业中能耗水平占比最高的八个行业始

终为纺织业、造纸及纸制品业、石油加工炼焦及核燃料加工、化学原料及化学制品制造业、化学纤维制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、橡胶和塑料制品业，其中2018年化学原料及化学制品制造业能耗占比大于10%，纺织业、非金属矿物制品业、石油加工炼焦及核燃料加工、黑色金属冶炼及压延加工业4个行业的能耗占比均大于5%（图27）。因此，化工、纺织、水泥、石化、钢铁等行业为浙江省规上工业能耗和碳排放的主要来源。近年来浙江省规上工业能耗已处于缓慢增长阶段，根据浙江省统计数据库的公开数据<sup>46</sup>，2018年，浙江省规上工业能源消费量为11772万吨标准煤，和2010年相比增长16%，和2015年相比增长7.7%，增幅明显放缓。

图 26 | 2017年浙江省碳排放构成

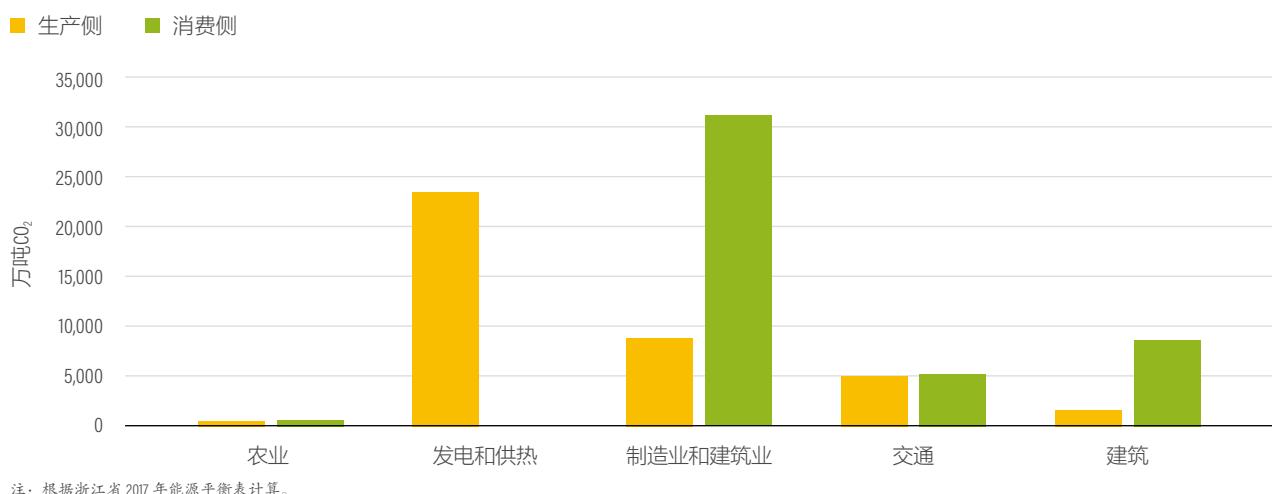
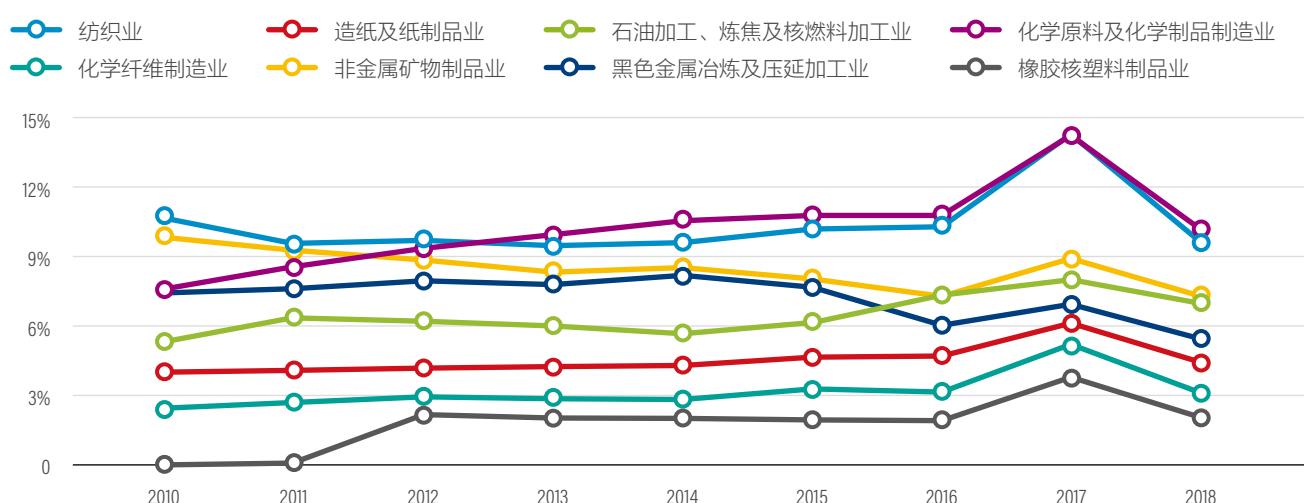


图 27 | 浙江省规上工业分行业能源消费量占比示意图



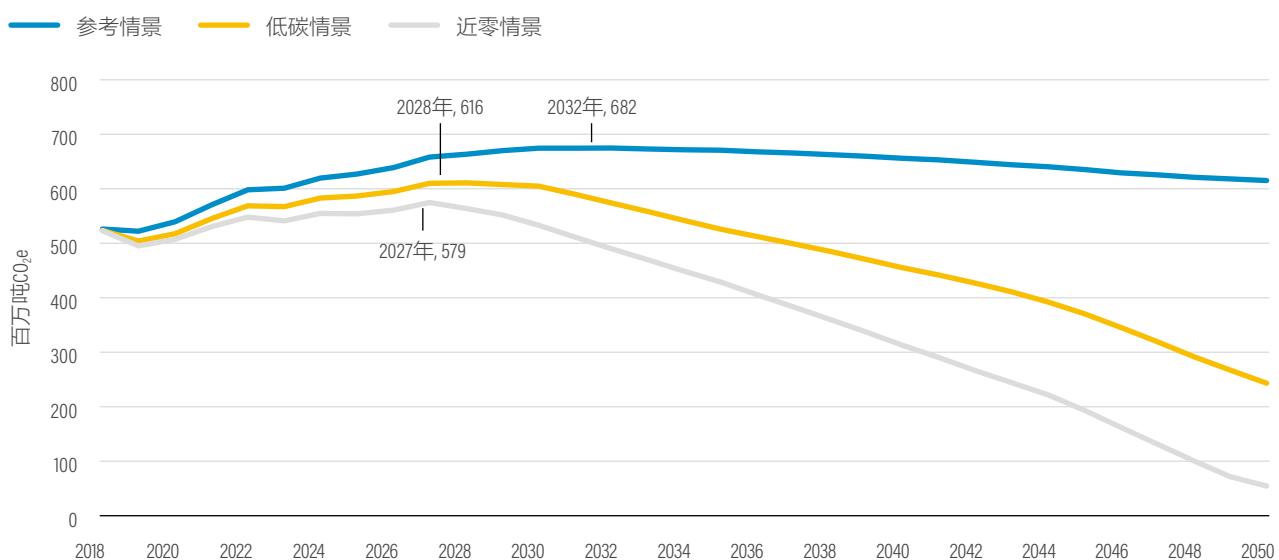
## 4.2 浙江省2050年深度脱碳路径

### 4.2.1 国家重大战略项目布局重塑浙江温室气体排放格局，温室气体排放达峰预计推迟至“十五五”期间，2050年有望实现碳中和

为更好地保障舟山绿色石化基地等国家重大战略项目布局，大力发展战略数字经济，推动全球先进制造业基地建设，满足人民群众对美好生活的需要，浙江省从目前到“十四五”乃至“十五五”基本处于温室气体排放快速增长期。在不同政策力度下，达峰时间以及2050年可实现的减排程度不同（图28及表12）。

参考情景下，浙江省温室气体排放从2018年的5.1亿吨当量（含电力调入调出排放，下同）较快增长至2030年的6.8亿吨当量，随后缓慢增长至2032年左右达峰，后续排放逐年减少，2050年较峰值相比减排9.2%。低碳情景下，浙江省温室气体排放在2028年达峰，2018—2028年间年均增长1.6%；2050年2.4亿吨当量的排放水平较峰值相比减排61.7%，占1.5~2℃温控目标下中国2050年排放的4.3%左右<sup>47</sup>。近零情景下，浙江省温室气体排放在2027年达峰<sup>48</sup>，2050年基本实现碳中和，较峰值相比减排92.7%；能源领域基本实现净零排放，主要排放源为废弃物处理、农业活动、工业生产过程等，能源领域基本实现净零排放。

图 28 | 浙江省2050年温室气体排放情景分析



注：2019年，受煤炭总量控制、非化石能源发电量增长等影响，浙江省温室气体排放量略有下降；本研究已考虑新冠肺炎疫情的影响，2020年前三季度浙江省经济增长和能源消费均呈现“V”形走势，叠加舟山绿色石化基地项目一期产能释放影响，2020年全年温室气体排放仍然呈上升趋势。

表 12 | 不同情景下的排放情况

	参考情景	低碳情景	近零情景
达峰年份	2032年	2028年	2027年
达峰时期排放量（亿吨二氧化碳当量）	6.8	6.2	5.8
2050年排放量（亿吨二氧化碳当量）	6.2	2.4	0.4
2050年人均排放量（吨二氧化碳当量）	10.1	3.9	0.7

如果不考虑重大石化项目影响，浙江省温室气体排放增速明显放缓，2018—2030年年均增长1.1%，而考虑重大石化项目影响后（预计新增重大炼化产能7900万吨/年，新增二氧化碳排放0.9亿吨/年），2018—2030年年均增速则提高到2.2%。图29可以看出，重大石化项目建设对浙江省“十四五”、“十五五”温室气体排放产生显著的影响。

能源领域二氧化碳排放达峰与温室气体总量达峰时间基本相近，参考情景下2032年达峰，峰值约6.0亿吨，2050年碳强度0.34吨/万元（2015年价），较2018年下降58%；低碳情景下2029年达峰，峰值约5.5亿吨，2050年碳强度0.13吨/万元（2015年价），较2018年下降84%；近零情景下2027年达峰，峰值约5.1亿吨，2050年碳强度0.02吨/万元（2015年价），较2018年下降98%（表13）。

图29 | 参考情景下浙江省重大石化项目对排放的影响

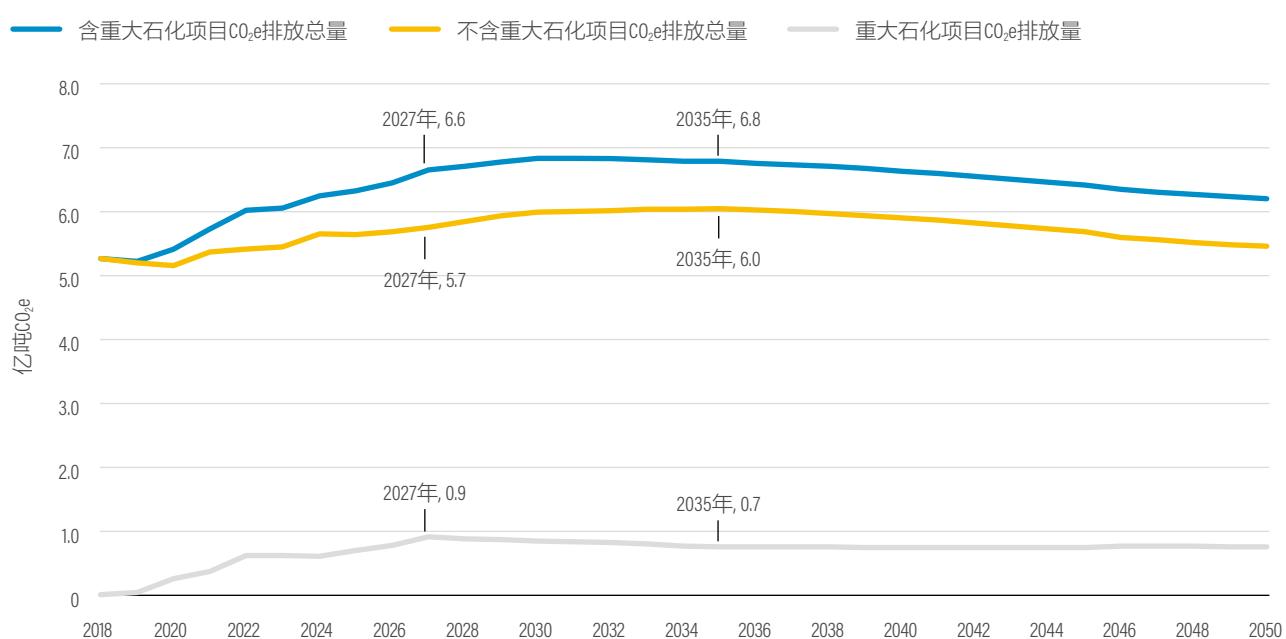


表13 | 不同情景下能源领域碳排放及碳强度情况

能源领域碳排放	2018年	2020年	2025年	2030年	2035年	2050年
参考情景（亿吨）	4.36	4.50	5.43	5.95	5.91	5.34
低碳情景（亿吨）	4.36	4.47	5.21	5.48	4.75	2.11
近零情景（亿吨）	4.36	4.38	4.87	4.65	3.68	0.27
能源领域碳排放强度	2018年	2020年	2025年	2030年	2035年	2050年
参考情景（吨/万元，2015年价）	0.82	0.74	0.67	0.58	0.47	0.34
低碳情景（吨/万元，2015年价）	0.82	0.74	0.64	0.53	0.38	0.13
近零情景（吨/万元，2015年价）	0.82	0.72	0.60	0.45	0.29	0.02

图 30 | 各情景下一次能源消费预测结果

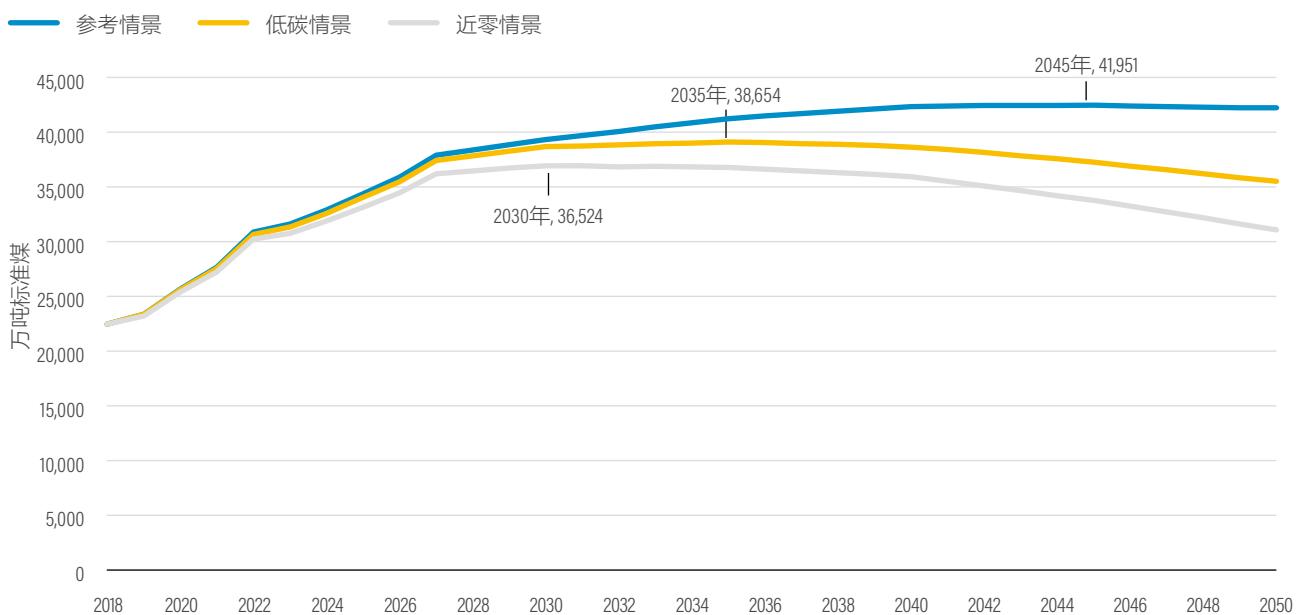


表 14 | 不同情景下能耗信息

	参考情景	低碳情景	近零情景
达峰年份	2045年	2035年	2030年
达峰时期能耗量 (亿吨标准煤)	4.2	3.9	3.6
2050年能耗量 (亿吨标准煤)	4.2	3.5	3.1
2050年人均能耗量 (吨标准煤)	6.8	5.7	5.0

## 4.2.2 一次能源需求刚性增长，预计2030年后实现达峰，能源体系有望实现深度脱碳

与温室气体排放趋势一致，浙江省能源需求从目前到“十四五”乃至“十五五”基本处于快速增长期。在不同政策力度下，一次能源需求达峰时间不同（图 30 及表 14）：

参考情景下，浙江省一次能源消费从 2018 年的 2.2 亿吨标准煤，较快增长至 2027 年左右，随后增速放缓并从 2040 年开始进入平台期，维持在 4.2 亿吨标准煤左右。低碳情景和近零情景下，通过用能需求调整、能效提升等方式，一次能源消费均有所下降，分别于 2035 年和 2030 年达峰，到 2050 年能源消费水平进一步降低。

如果不考虑重大石化项目影响，浙江省一次能源消费增速明显放缓，2018—2030 年年均增长 2.3%，而考虑重大石化项目影响后，新增能源消费近 1 亿吨标准煤/年，2018—2030 年年均增速则提高到 4.7%。图 31 可以看出，重大石化项目建设对浙江省“十四五”、“十五五”能源消费影响也非常显著。

参考情景下，非化石能源消费占比持续提高（见图 32），由 2018 年的 19.2% 上升到 2025 年 21.0%，2050 年达到 31.7%。近零情景下，2025 年非化石能源占比达到 23.8%，2050 年进一步达到 83.0%，能源体系有望实现深度脱碳。

图 31 | 参考情景下浙江省重大石化项目对能源需求的影响

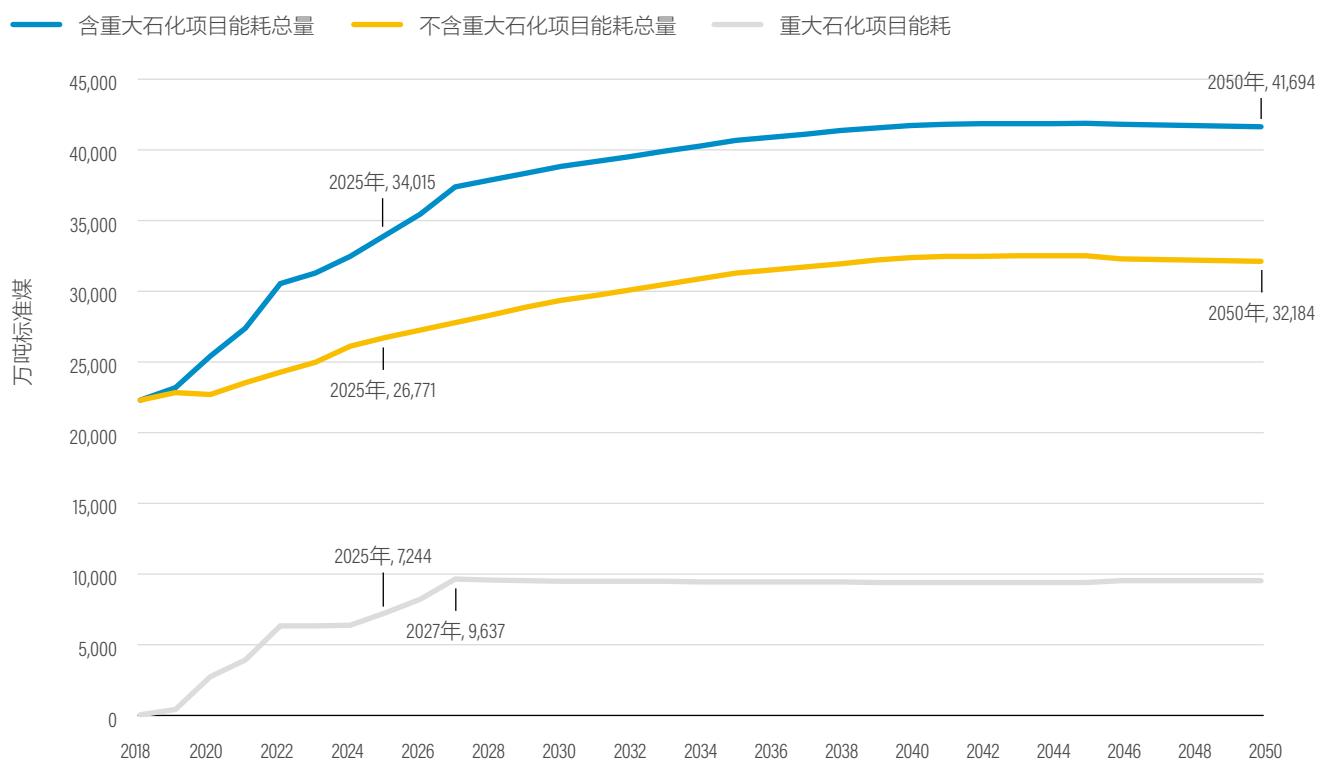
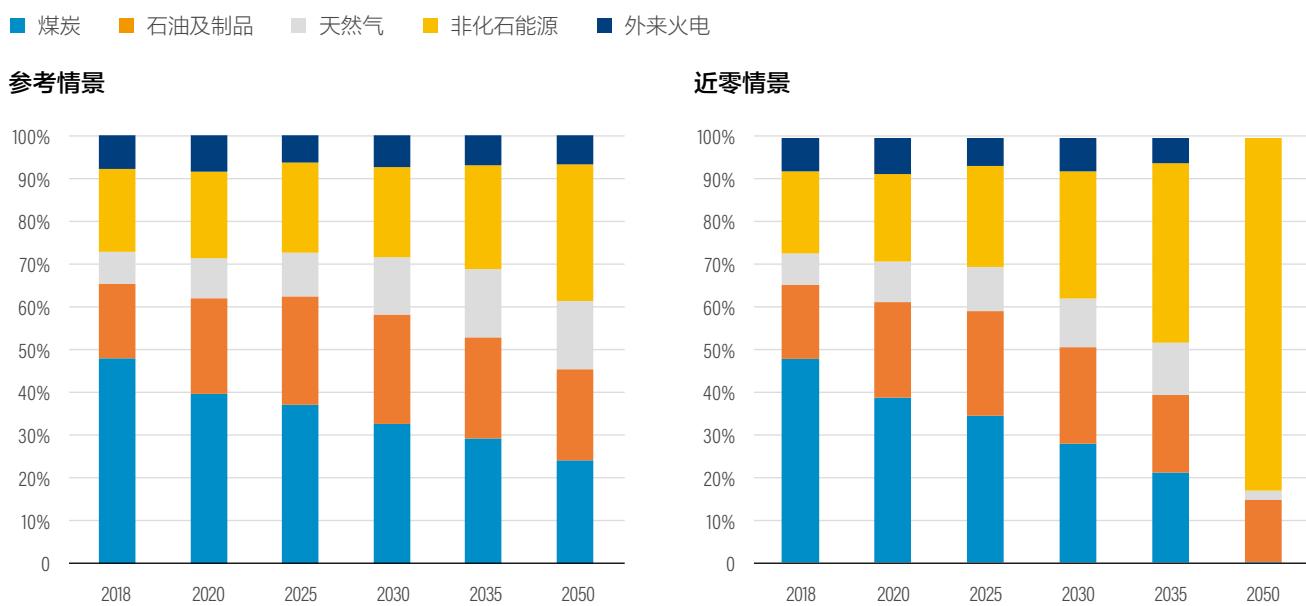


图 32 | 不同情景下一次能源消费结构



### 4.2.3 电力和工业是减排潜力最大的领域，关键政策包括能效提升、能源结构优化等

电力和工业是最大排放源，也是实施减排政策最关键、最有效的行业。电力行业支撑整个社会经济低碳转型，责任重大、角色特殊，是“净零”排放的排头兵。工业行业受减排技术、成本等制约，“净零”挑战较大。如图 33所示，参考情景下，2018年浙江省电力、工业排放占比约44%、33%，2050年电力排放占比维持在43%，工业排放占比提高到37%。受国家重大战略项目布局影响，工业燃料燃烧排放将在2030年前增长较快。工业行业的温室气体总排放和燃料燃烧二氧化碳排放将在2027年左右达峰，电力行业的温室气体总排放和燃料燃烧二氧化碳排放也将在2027年左右达峰。近零情景下，电力减排力度大，2050年电力排放降至1780万吨，较参考情景下降93.8%，排放占比降至21%。工业领域排放降至5940万吨（若扣除农业、废弃物等，纯工业企业排放仅1746万吨），较参考情景下降75.7%，但因工业、

农业、废弃物处理等继续深度减排难度大，工业领域排放占比达到约69%。

浙江EPS模型中考虑了25项政策措施，根据年均减排量占整体减排量的百分比，将所有政策的减排贡献率进行了排序，同时对相似政策进行了归类。低碳情景下，如图 34所示，减排潜力较大的政策有提高零碳电力供应比例的措施（包括可再生能源配额制、加快核电建设、增加外来非化石电力供应、火电提前退役等）、强化工业减排的措施（包括提高工业能效水平、含氟气体处理、工业用能结构低碳化等）、实施管理减排的措施（包括开展碳交易、实施碳捕集和封存等）。近零情景相较低碳情景而言，政策实施力度更大，减排成效较大的政策主要包括建立零碳电力供应和能源体系、进一步强化工业减排（基本实现电力和氢能替代、进一步提高能效水平、进一步降低工业生产过程排放）、加大实施碳捕集和封存力度、推广碳交易、在建筑和交通领域推进能源结构零碳化和能效提升等（见图 35）。

图 33 | 参考情景和近零情景下各行业温室气体排放预测结果

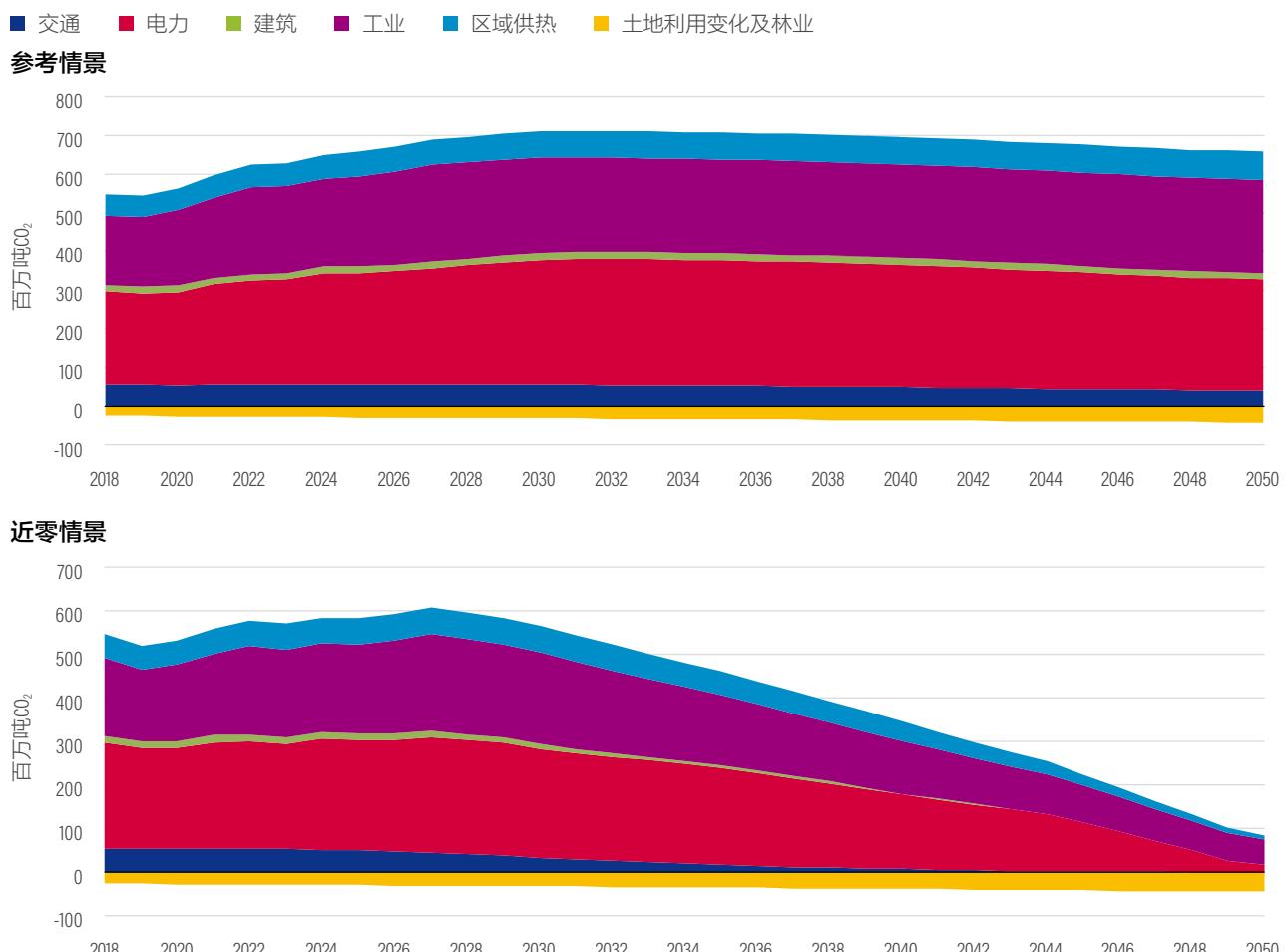


图 34 | 低碳情景政策减排潜力

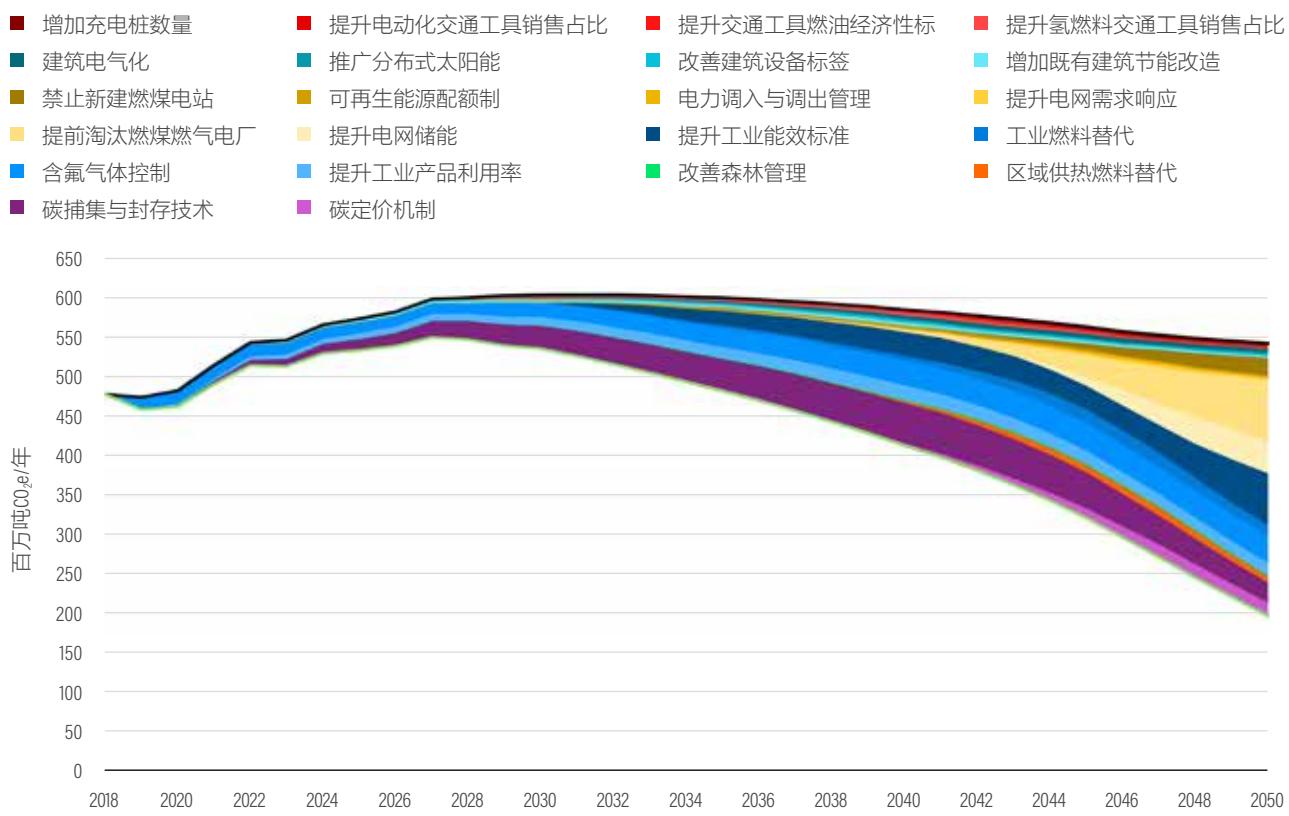
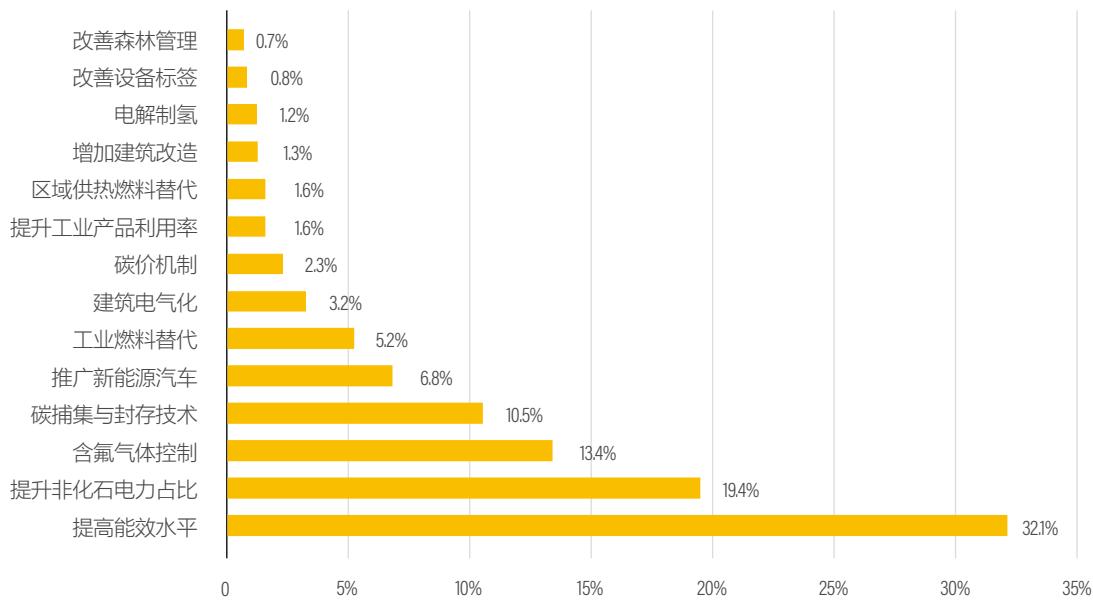


图 35 | 近零情景相近政策合并后减排潜力



清洁零碳电力是驱动深度减排与碳中和的关键因素和举措。随着经济社会高质量发展，电气化水平越来越高，除了传统的工业电气化水平提高，未来建筑电气化和交通电动化同样使得清洁零碳电力变得更加重要。目前浙江的电力供给基本是火电（包括外来火电）占70%左右，核电和可再生电力（包括外来部分）占30%左右，只有控制火电增长，碳排放才有望在“十五五”期间达到峰值。为满足后续较快增长的电力电量需求，在非化石能源成为主力电源之前，模型中采取了提高煤电利用小时、新上部分气电机组等举措，图36可以看到，各情景下电力行业排放在2020年之后有所

反弹，一直到2027年前火力发电都有新增，且参考情景下一直到2030年都会有所增长。近零情景下，部署和引入更多的可再生能源和核电，到2050年核电与可再生能源电量基本实现二分天下，电力行业基本实现净零排放（见图37）。核电供应占比快速升高，由2018年的16.2%提高到2025年的21.5%，并进一步提高到2050年的45.0%。而火电占比由2018年的70.5%下降到2035年的40.6%，零碳电源占主导地位；2035年后可再生能源各方面竞争力明显优于火电，非化石电力开始全面取代火电，到2050年基本实现电力行业零碳化。

图 36 | 参考情景和近零情景下火电发电量

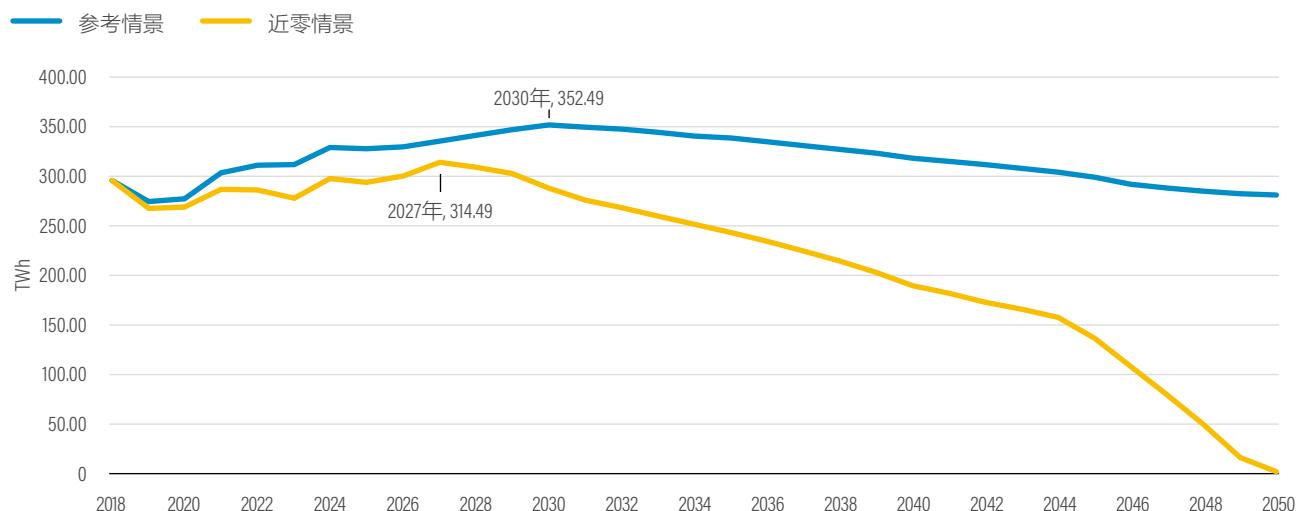
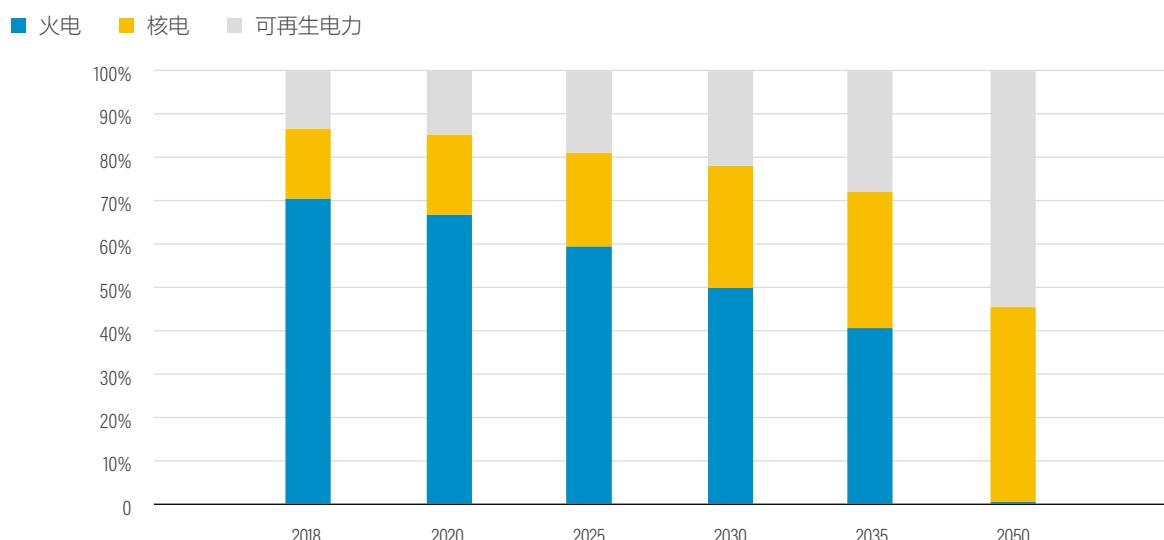


图 37 | 近零情景下浙江省电力供应结构



## 4.2.4 应对气候变化与经济发展、环境保护可以实现多赢<sup>49</sup>

从长远来看，应对气候变化的政策行动不但不会阻碍经济发展，而且可以产生经济效益，提高公共健康水平，提供绿色发展的就业岗位，从而实现多赢。

**减排行动将带来显著的经济效益。**与参考情景相比，一方面，政策情景下避免过早死亡和气候损害会带来经济效益，如因减缓海平面上升、农业种植缺水等问题避免的气候变化损失等。随着减排行动的持续推进，此部分带来的经济效益将逐年提升。另一方面，不同政策情景导致设备投资、燃料成本、运维成本等发生变动，但长远看，运维成本的降低会带来成本的节约。相较于参考情景，近零情景下的最高相对成本达到2000亿元以上，2045年后相对成本由正转负，

意味着此后总成本将低于参考情景，2050年相对成本节约将达到1717亿元。总体来看，相对净效益在初期因为成本的增加而呈现亏损，2034年之前近零情景下减排行动的成本高于直接效益；但随着减排效果不断凸显，2035年之后相对净收益将变得越来越显著，2050年相对净收益将达到9736亿元，占当年地区生产总值的3.4%左右（见图38）。

**现在开始深度减排行动可以累计避免336万人过早死亡<sup>50</sup>。**工业生产过程中排放的SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和VOCs等污染物易引起人体呼吸道疾病，妨碍正常的生理机能，对人体造成直接的伤害。同时，硫氧化物、氮氧化物等排放物易形成酸雨，对植物、建筑物等造成危害，影响公众健康。减排政策可大幅减少这些污染物的排放，进而降低过早死亡率，预计2018—2050年间累计超过336万人将从空气污染物减排中获益（图39）。

图38 | 近零情景下的成本、收益和净收益

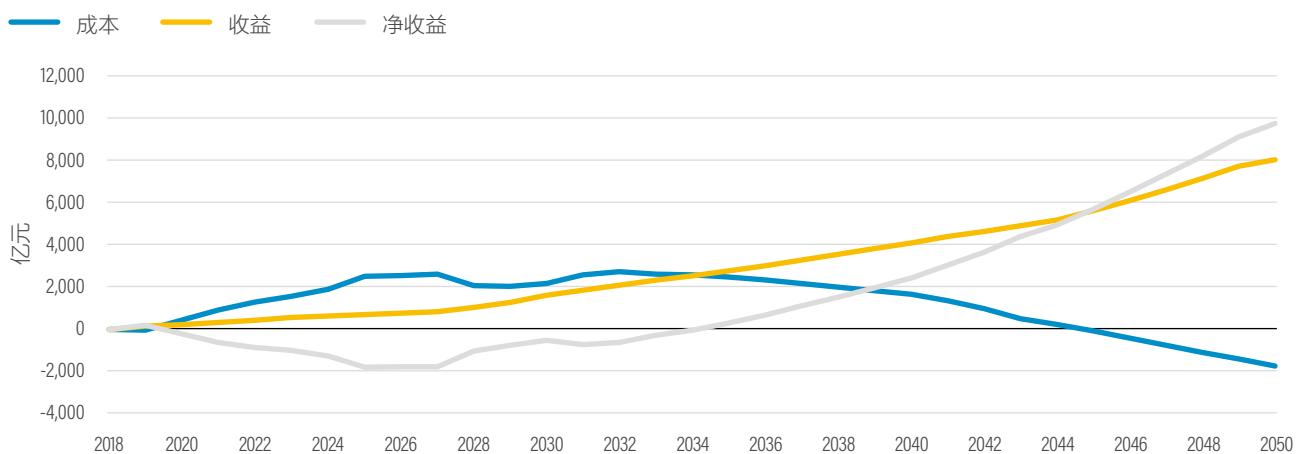
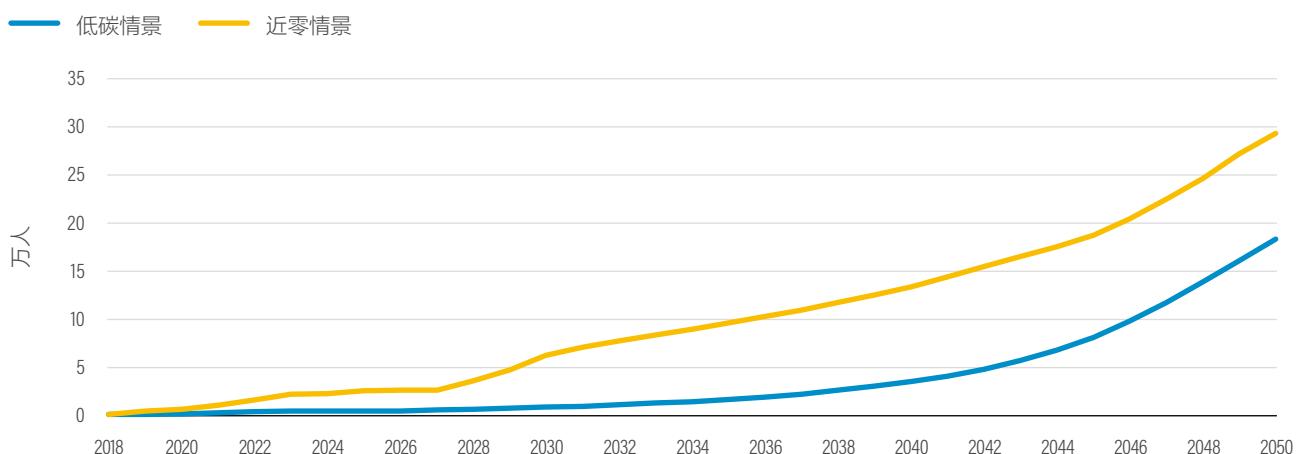


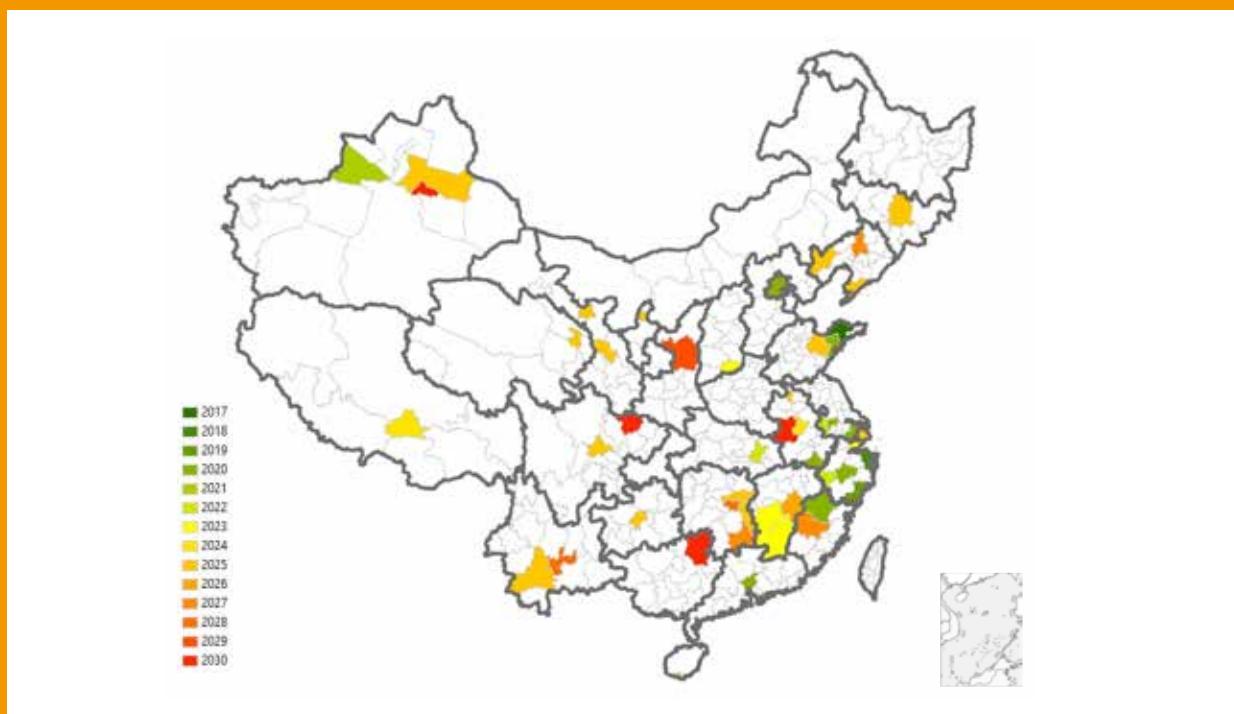
图39 | 不同情景下避免的年过早死亡人数



## 案例 | 城市达峰与深度脱碳

截至目前，中国一共有80多个城市提出了达峰年份目标，最早的是2017年，最晚的和国家目标2030年一致。这些城市主要是2015年和2016年在两届中美气候峰会上加入“达峰先锋城市联盟”（APPC）的城市，以及2013年以来国家确定的三批低碳省市试点中的大部分城市（区、县）。这些城市的人口占中国人口总数的28%<sup>51</sup>，国内生产总值占全国的42%，图40展示了这些城市及其达峰年份目标。

图 40 | 城市达峰目标



来源：根据相关资料整理

然而，以上这些城市目前还仅关注如何实现提出的碳达峰目标，大都未开始考虑开展中长期深度减排的工作。苏州市于2019年开始了深度脱碳方面的研究工作<sup>53</sup>，成为长三角区域乃至全国最早开展长期愿景研究的城市之一。本案例将总结该城市低碳转型之路的主要思考，以期为其他城市的低碳发展提供借鉴。

### ■ 苏州：工业城市的转型之路

中国在《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中提出“支持优化开发区域碳排放率先达到峰值”。苏州作为长三角地区非常重要的工业城市，在低碳工作开展方面一直走在前列，积累了丰富的经验。2014年发布的《苏州市低碳发展规划》中提出“力争2020年二氧化碳排放总量达到峰值，峰值约为1.72亿吨，并经过较短时期（2020—2025年）的波动后稳步下降”，以及苏州市2020年碳排放强度比2005年下降超50%、人均碳排放于2017年实现拐点等具体目标。2014年至今，苏州已经开展了三轮峰值研究，目的是梳理碳排放现状和新阶段低碳发展面临的形势，评估低碳措施及其成效，保证达峰的稳定性，并探索长期深度减排的路径。

苏州的能耗和排放呈现以下特点：

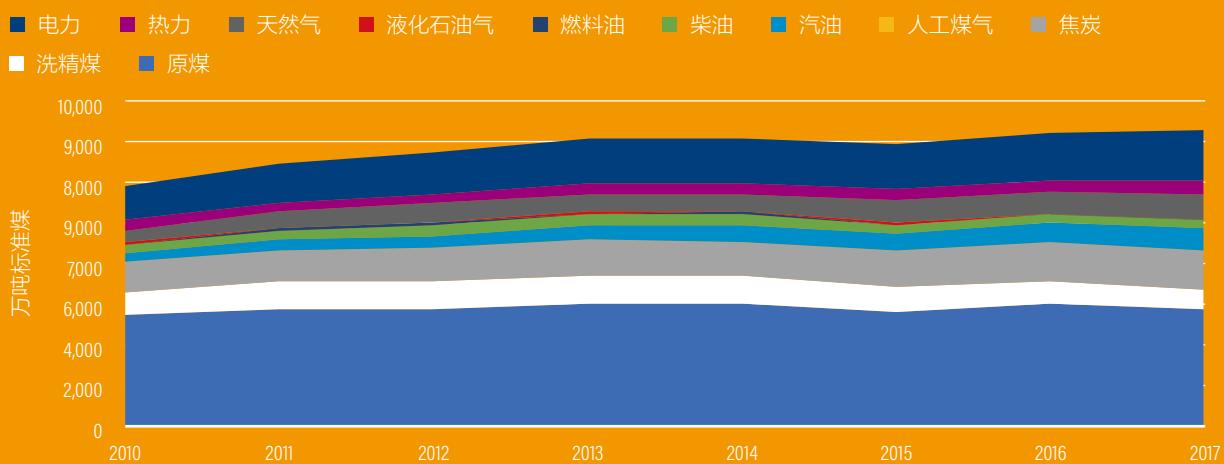
高耗能工业行业能源消费占比高。2017年苏州市规上工业综合能源消耗量为5307万吨标准煤，其中电力、钢铁、纺织、造纸、化工、建材等六大高耗能行业综合能源消费量达4375万吨标准煤，约占规上工业能源消费的82.4%，但产值在规上工业总产值中占比不到四分之一，如图41所示。

图 41 | 苏州市六大高耗能行业产值和能耗占比



能源消费结构依然偏重，煤炭消费占比偏高，化石燃料占主导。在一系列压煤控煤的政策举措下，苏州市煤炭消费量依然保持稳定，2017年苏州市煤炭消费总量约5400万吨标准煤，较2010年增加约348万吨，在总能源消费量中的占比从68%降低至59%，累计下降近10%，但仍然是最主要的一次能源。伴随着快速发展的石化工业，苏州市石油消费总量逐年增加，在总能源消费中的占比呈增长趋势，2010年苏州市石油消费量折合600万吨标准煤，2017年石油消费达1000万吨标准煤，增长率为68%。天然气在总能源消费中的占比呈上升趋势，2017年天然气消费量折合770万吨标准煤，在总能源消费量中占比约8.4%，较2010年的400万吨增长91%左右，年均增长率达9.7%。外调电量占总用电量比例升高，输入清洁电量总体呈上升趋势。其中，2017年电力消费量折合1600万吨标准煤，在总能源消费中占比约17.3%，较2010年增长42%，年均增长率达5%，具体如图42所示。

图 42 | 苏州市2010—2017年分品种能源消费情况



数据来源：苏州市历年统计年鉴

注：数据不包括规下工业，且未考虑加工转换。

**碳排放增速放缓。**苏州市2005—2017年二氧化碳总排放和分部门排放趋势见图43，2005年碳排放总量8000万吨，2007年碳排放总量破1亿吨，2017年全市碳排放总量1.5亿吨，2005—2017年碳排放总量年平均增长率为5.4%。可以看到，2014年以前苏州市碳排放呈增长趋势，2014年以后碳排放工作成效开始凸显，再加上经济发展“新常态”的影响，二氧化碳排放出现波动态势，2015年与2017年碳排放出现负增长现象。分阶段来看，“十一五”期间，碳排放总量年平均增长率约9%， “十二五”期间，碳排放总量年平均增长率降至2%，而“十三五”期间的前三年碳排放呈现负增长，碳排放总量年平均增长率分阶段明显降低。

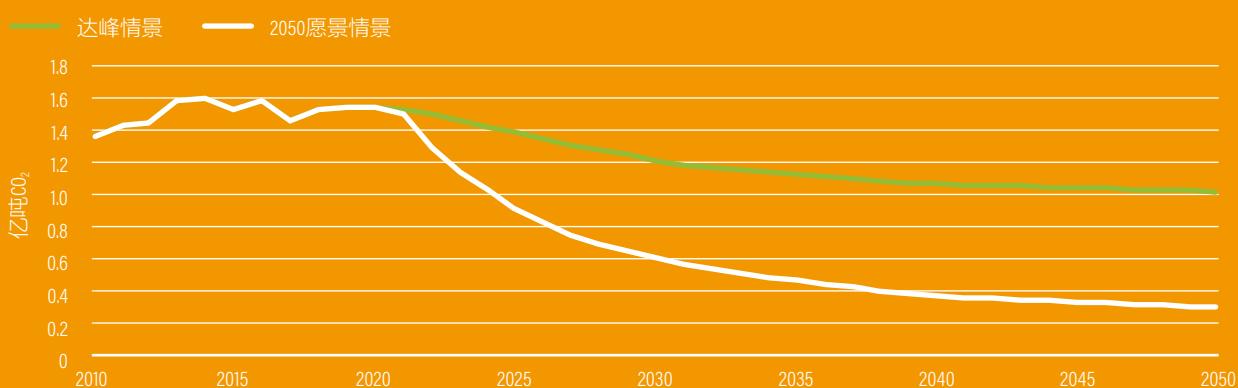
图 43 | 苏州市2005—2017年碳排放总量及变化情况



**工业部门仍是最主要的排放源。**从各个部门的排放贡献来看，工业部门（包括能源工业和制造业）贡献了苏州市二氧化碳排放总量的绝大部分。2013年以前，工业部门碳排放均占碳排放总量的90%以上，但总体呈下降趋势，2017年贡献率降至84%左右，比2005年下降9.3%，比2010年下降6.1%。交通部门成为苏州市仅次于工业部门的第二大碳排放源，排放量及排放占比均逐年上升，2015年之后交通部门碳排放占苏州市碳排放总量的10%以上。服务业及居民建筑没有考虑电力消费造成的间接碳排放，故而占比较低，但如果从消费端考虑，建筑运营碳排放对苏州市碳排放总量的贡献度与交通部门的贡献度相近。

苏州市可于“十四五”初期实现碳排放达峰<sup>54</sup>，2050年人均排放有望降至2.8吨。苏州市二氧化碳排放总量预测结果见图44，达峰情景、2050愿景情景下，2020年碳排放总量分别为1.63亿吨、1.63亿吨，2030年碳排放总量分别为1.32亿吨、0.65亿吨，2040年碳排放总量分别为1.20亿吨、0.41亿吨，2050年碳排放总量分别为1.19亿吨、0.34亿吨。

图 44 | 苏州市二氧化碳排放总量预测结果



苏州的碳排放达峰和深度脱碳关键在于以下两方面，具体政策建议可参见《苏州市碳排放达峰路径优化与2050长周期愿景》研究报告：

**产业结构和工业体系是最主要的减排领域。**调整第三产业结构、优化工业行业内部结构贡献了80%左右的减排潜力，未来的减排潜力不容忽视。加快产业结构转型是低碳发展工作的重点，对2020年实现碳排放达峰具有重要意义和作用，同时也是苏州市实现城市转型、建设现代化先进城市的必经之路。

**清洁能源和去碳技术是长期深度减排的关键。**苏州市仍面临资源禀赋差、可再生能源匮乏且发展难度大等挑战，未来苏州市需要优化传统用能结构、深入推进能源结构改革、加大清洁能源利用、促进能源结构转型。此外，化石燃料的使用可能无法完全避免，要做到深度减排甚至是净零排放，就需要去碳技术，包括利用CCS技术和增加碳汇。

## 4.3 启示与“十四五”建议

### 4.3.1 浙江省“十四五”低碳政策建议

根据以上路径分析，可以识别出浙江省实现中长期深度减排的关键驱动力。特别地，浙江省应在“十四五”时期及早开展以下行动，助力实现绿色低碳发展，努力实现中长期应对气候战略与全省社会经济发展战略相适应。

#### 4.3.1.1 确立积极的应对气候变化发展战略目标，力争于2050年实现碳中和，努力让浙江成为展现中国、贡献中国力量的“重要窗口”

结合浙江省经济社会发展实际和模型预测分析，建议浙江省坚定实施积极的应对气候变化发展战略，即确立“十五五”时期实现碳达峰，并力争于2050年基本实现碳中和的战略目标。确立积极的应对气候变化发展战略，一方面，是浙江省建设“资源节约型、环境友好型社会”的必然要求，也将更好地发挥低碳发展对经济转型的引领作用、对生态文明建设的促进作用、对环境污染治理的协同作用，培育经济发展新动能；另一方面，早于全国实现碳达峰并提前实现碳中和，积极为国家减排承诺做出应有贡献，让低碳转型成为浙江展现中国、贡献中国力量的“重要窗口”。

#### 4.3.1.2 选择近零情景减排路径，实现减排目标与全省社会经济发展相互促进

从目前到排放达峰年为第一阶段，浙江省能源消费需求和温室气体排放仍将保持较快增长，考虑到能源和经济体系惯性，着力控制新增碳排放并尽早实现达峰是这一阶段更为切合实际的选择。达峰以后至2050年为第二阶段，随着浙江经济逐步实现低碳转型，可再生能源得到普遍应用，低碳和零碳技

术将达到经济适用，减排策略应从强化控碳向深度脱碳转变。参考情景路径延续浙江省当前趋势及政策构想难以实现2030年碳达峰目标，低碳情景路径能够实现2030年前碳达峰目标，但与国家2060年前实现碳中和的减排目标任务仍存在较大差距。建议浙江省选择近零情景减排路径，第一阶段以控增量、优存量为主，确保新增用能全部使用非化石能源，尤其确保数字经济下核心的数据中心、5G基站等新型基础设施绿色化、低碳化发展，争取“十五五”时期浙江省实现碳达峰。第二阶段通过大幅提高非化石能源占比、优化能源结构和碳去除技术应用等更加积极的脱碳举措，力争于2050年实现碳中和，实现减排目标与全省社会经济发展相互适应、相互促进。

#### 4.3.1.3 实施关键减排政策举措，推动重点领域实现深度减排

结合近零情景下各行业主要政策的减排贡献，浙江省应着力推动以下关键举措。

**着力提升工业和建筑等领域能效水平。**节能和能效是实现“零碳”的最主要驱动力。根据EPS模型测算，提高能效水平是减排贡献最大的举措，在近零情景下从2018—2050年累计减排约24亿吨二氧化碳当量，累计减排贡献占比达到32.1%。浙江省应持续推动工业领域高标准生产，推进智能化和电气化改造，提升工业能效水平。“十四五”时期重点加强能效技术创新，抓紧出台实施产业能效技术引领的行动方案，探索建立碳排放对标机制，发布重点碳排放行业和主要产品年度平均排放强度，引导平均线以下的企业对标排放。

**大幅提高非化石电力占比。**要在2050年前实现碳中和，必须大力推动可再生能源发展，有序降低火电占比。提高非化石电力占比是减排贡献第二大的政策，在近零情景下从2018—2050年累计减排约14亿吨二氧化碳当量，累计减排贡献占比达到19.4%。浙江省一方面要大力开发省内光伏、海上和陆上风电和生物质等非水可再生能源，有序推进分散式风电、潮流能、地

热能利用；另一方面，要强化电网侧储能应用和健全需求侧响应，提高电网的灵活性，提升可再生能源消纳水平。同时，积极发挥核电作为支撑电源的作用，加快后续核电项目开发。在保证电力稳定供应的前提下，推动老旧低效煤电机组提前淘汰，有序实施煤电机组缓建或停建。“十四五”期间重点加大可再生电力消纳责任权重考核，探索建设“浙江版”绿证交易机制，探索可再生能源补贴退坡后的可持续发展机制，加快推进三门二期、三澳一期等核电项目。

**减少含氟气体等工业过程排放。**浙江省内目前有几家生产规模较大的氟化工企业。含氟气体全球增温潜势大，在浙江省温室气体排放中占比较高。控制含氟气体的排放具有很大的减排潜力，占近零情景累计减排贡献的13.4%。

“十四五”期间重点鼓励企业采取燃烧销毁等方法，有效降低工业生产过程产生的含氟气体排放；减少设备含氟温室气体的泄漏，积极开展废弃设备内的含氟温室气体回收；鼓励使用替代品和替代技术，减少含氟气体的使用。

**推动碳捕集与封存（CCS）技术的示范应用。**目前CCS技术仍处于早期发展阶段，需要大量的研发投入，短期内减排效果有限，但考虑到浙江省现有火电机组较多、工业排放较大，CCS技术是进一步实现碳中和的重要手段。在近零情景下，对工业和电力等重点领域实施CCS技术能够实现大规模减排，累计减排贡献占比为10.5%。CCS技术的示范与商业化应用与政策导向密切相关，建议浙江省制定可行的发展规划与技术路线图，出台鼓励和补贴政策，探索市场化激励机制，完善投融资环境，实现CCS技术的突破式发展和规模化商业利用。“十四五”时期可借鉴广东省华润电力（海丰）有限公司碳捕集测试平台示范经验，通过财税激励、增加发电小时数、提高上网电价等方式，鼓励和支持技术先进的火电机组率先开展CCS技术示范试点。

**推广使用新能源交通工具。**在近零情景下，交通领域使用新能源交通工具替代燃油交通工具，具有较好的减排效应，累计减排贡献占比达6.8%。“十四五”期间着力推动车船用能低碳化，争取城市建成区新增和更新的公交车、出租车，以及港口、机场、铁路货场等新增或更换的作业车辆全部使用新能源或清洁能源汽车，鼓励使用电动汽车、氢燃料电池汽车，推广使用电、天然气等新能源或清洁能源船舶，扩大轨道交通覆盖范围，创新应用生物航空燃料。

**推动工业领域燃料替代。**在近零情景下，工业燃料替代累计减排贡献占比达5.2%。浙江省要全面推行电锅炉、电窑炉、电加热和电驱动等电能替代技术，以及工业智能制造和自动化生产技术，提升工业电气化水平。推动工业领域燃料替代，鼓励石化行业天然气制氢替代煤制氢，推动“煤改气”在钢铁、纺织行业的应用。此外，鼓励重点高碳排放行业技术工艺优化，积极探索炼钢转用氢气、塑料生产使用生物基燃料等清洁能源。

## 4.3.2 省市先行助力国家中长期低碳发展战略

基于以上，我们对省市层级的减排行动积累的经验进行了总结，并提炼出“十四五”期间应关注的关键政策建议，以期省市率先开展行动、推动碳排放达峰与中长期深度脱碳，助力实现国家碳中和愿景。

### 4.3.2.1 尽早开展相关研究识别发展路径

#### ■ 设定科学合理、雄心勃勃的目标，并且定期追踪、调整策略

上文总结的苏州案例主要基于2020年发布的《苏州市碳排放达峰路径优化与2050长期愿景》，而在此之前苏州已开展了两次峰值研究，2014年《苏州市低碳发展规划》和2016年《苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究》均对苏州市到2030年的碳排放进行了趋势预测。对比上述三次研究，可以发现研究结论间存在较大差异，这说明随着经济、社会的不断发展和碳排放工作的不断推进，碳排放状况发生变化的同时，也会影响未来发展趋势，低碳工作的回顾优化对于确保碳排放稳定达峰意义重大。因此，目标设定与追踪应是一个动态、持续的过程。

**峰值目标不仅需要关注达峰时间。**从对发达国家的经验总结及中国规划二氧化碳排放达峰的实际需求出发，城市层面的“排放达峰”不仅应该关注达峰时间，还需要关注峰值总量、行业峰值，以及达峰后的排放轨迹。

**达峰时间：**碳排放达峰的字面意义是在某一年达到最大排放量，但其实反映的是一个过程，碳排放可能先进入平台期并在一定范围内波动，然后进入下降阶段。长期来看，排放最大的某一年是肯定会出现的，但它与所在的平台期的其他年份相比，排放差距可能仅是由随机因素等引起的。对于表征减排进展来说，平台期内的这些年份并无本质的区别。因此，在峰值研究和目标制定的过程中应关注平台期的整体情况，例如平均排放水平、波动范围、时间跨度，而不仅仅关注某一年的排放大小。

**峰值总量：**即使在同一时间段内达峰，也存在高位达峰和低位达峰的可能。而且达峰时的排放量会影响之后的下降趋势，也会影响未来中长期减排目标的实现。因此，制定峰值目标时，不能只关心峰值出现的时间，更应该关注排放总量。

**行业峰值：**城市碳排放来自不同部门，包括农业、工业、建筑和交通等。其中工业、建筑和交通是最主要的贡献因素，在发达国家城市中，通常是三者各占三分之一，或者工业占比更少。根据城市经验，通常是工业领域最先达到碳排放峰值，且时间早于城市总体达峰时间，尤其是服务业较为

发达的城市，这一特征十分明显。根据经济发展特征，建筑和交通领域的服务和用能需求在短期内还会进一步增长，因此这两个部门的达峰时间会晚于城市总体达峰时间。对于很多城市来说，建筑和交通排放达峰是难点，也是城市总体达峰的关键贡献因素。

综上，“十四五”期间，鼓励各省市尽早开展低碳发展路径研究，可以指导本地各行业的行动方向，已经开展过相关研究的城市也应基于新的形势与动态，例如新冠肺炎疫情的影响，及时更新现有研究，不断追踪与调整行动策略。

### ■ 现在就开始考虑长期目标

峰值应该是在改革性因素的驱动下达到的最大排放量，应该注意辨别短期、暂时的“可逆因素”导致排放下降而出现的不稳定“峰值”，如经济下滑、工业暂时衰退导致的排放下降。这种情况下，一旦可逆因素消失或减弱，排放有可能再次回升。此外，峰值是近期目标，城市还应该关注中长期目标。全国碳中和目标的实现，要求在能源、土地、城市与基础建设（包括交通和建筑），以及工业等领域有快速和大规模的转型，即使在大规模依赖二氧化碳清除的情况下，我们必须更早（远早于2030年）实现减排。上述信息表明，为了实现全国碳中和的目标，碳排放达到峰值并不够，省市应尽早识别中长期发展路径，设定相应目标，确保现有行动与未来规划协调一致。

### 4.3.2.2 积极开展行动，把握行业减排契机

综合来看，无论是国家、区域还是地方，近期碳达峰的关键在于结构调整（产业和工业）和能效提升，而长期净零排放的关键在于能源清洁化和去碳技术（尤其是CCS技术）的实施。

但针对不同类型的省市，应采用有所侧重的减排措施，才能更加有效地推动省市实现低碳发展目标。对于工业能耗消费占比较大、能源结构偏重、工业部门为主要排放源的省市，碳排放达峰和深度脱碳的关键在于工业体系内部结构和产业结构的调整。此类工业省市可能面临资源禀赋差、可再生能源匮乏且发展难度大等挑战，应以推进能源利用效率提升、加快产业结构调整为核心的减排措施，在此基础上再考虑交通、消费、生态保护等领域的深度脱碳方法。这也是其实现转型和现代化绿色发展的必经之路。同时，由于化石能源占比仍较高，引进去碳技术抵消一部分碳排放也是各省市当下就应考虑的手段。对于能源结构较为清洁、非化石能源使用率较高、移动源或将成为未来主要碳排放源的省市，碳排放达峰和深度脱碳的关键在于交通、建筑等领域，应着力优化交通运输结构、引进新能源交通工具、提升建筑电气化水平等。同时，这类省市也应关注在居民生活消费领域和生态领域的减排潜力，促进当地生态、经济和社会的可持续发展。



浙江省选择近零情景减排路径，  
将实现减排目标与全省社会经济发展相互促进。  
在近零情景下，浙江省将于



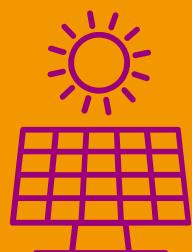
**2027年**

左右实现温室气体排  
放达峰



**2050年**

基本实现碳中和



**2050年**

实现能源体系深度脱碳，非化  
石能源占一次  
能源消费比重达到 **83%**

相较于参考情景，



**2050年**

年相对减排成本  
节约将达到

**1717亿元**



**2050年**

相对净社会经济收益  
将达到

**9736亿元**



**2018—2050年间**

累计超过

**336万人**

将从空气污染物减排中获益

# 浙江省“十四五”低碳政策建议

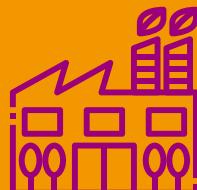
浙江省将确立积极的应对气候变化发展战略目标，实施关键减排政策举措，推动重点领域实现深度减排，努力让浙江成为展现中国、贡献中国力量的“重要窗口”。



着力提升工业和建筑等  
领域能效水平



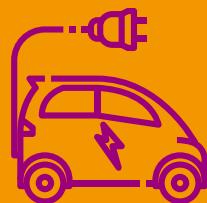
大幅提高非化石  
电力占比



减少含氟气体等工业  
过程排放



推动碳捕集与封存（CCS）  
技术的示范应用



推广使用新能源交通工具



推动工业领域燃料替代



# 第五章

# 结论

2020年是中国历史上不平凡的一年，既承载了中国政府既定的第一个“一百年”的战略目标，又遭遇了一场突如其来的新冠肺炎疫情。风险中酝酿机遇，此次疫情将对中国未来的经济发展和社会治理产生极其深远的影响，不仅将催生新的业态，也将加快中国下一个十年的经济转型升级。中国未来的路该怎么走，是值得在“十四五”规划准备工作中认真思考的问题。习近平主席9月22日在第七十五届联合国大会一般性辩论上指出中国将提高国家自主贡献力度，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。这一目标也为“十四五”各项规划提出了明确的指引和新的要求。

为了实现2060年碳中和目标，中国必须从“十四五”就开启一条绿色、低碳、高质量的发展之路。在这份研究报告里，我们分别从国家和地方层面研究了实现长期深度脱碳和经济繁荣的可行性，并专门针对国家提高自主减排贡献目标和“十四五”应对气候变化相关工作提出了政策建议。需要指出的是，本报并没有针对单个政策做出具体的评估，亦没有罗列所有相关政策，而是选取了我们认为最为有效并最受各界认可的政策手段。我们将在收到此份报告的回馈后聚焦到具体的政策和行业分析。

我们研究显示中国的二氧化碳排放可在“十五五”初期达到峰值，同时，2030年单位GDP二氧化碳排放将比2005年下降73%左右。通过加强减排政策，包括大幅减少高耗能、高排放的工业和电力行业排放，温室气体排放将呈现显著、快速的下降趋势，将可以助力实现2060年碳中和目标。

为此，我们认为“十四五”期间，中国应优先推动以下工作。

■ 确定“十四五”期间低碳相关目标，包括提出二氧化碳排放总量控制目标、提高碳强度下降幅度、开始进行非二氧化碳温室气体目标管理、加大非化石能源占比、执行煤炭消费总量控制等措施。力争通过“十四五”五年的努力，尽早在“十五五”前期达峰，并在2030年前开始逐年下降。

■ 鼓励包括京津冀、长三角、粤港澳等先进区域在“十四五”期间二氧化碳提前达峰。三大区域均为中国经济最活跃、开放程度最高、创新能力最强的区域。在最新国家区域战略的支持下，三大区域将会进一步增强创新能力，转变经济结构，提高经济质量，并有可能早于国家其他地方率先实现碳达峰，引领全国低碳高质量发展。

■ 推动疫情后中国经济绿色复苏，“十四五”规划中，中国不仅将新基建作为短期经济刺激措施，更要利用好新基建带来数字化智能化，在能源、交通、建筑与消费等领域发力数字经济与绿色转型，并贡献到国家自主减排、空气污染改善和生态环境保护中。特别需要注意的是，在经济重建中必须限制高耗能、高排放、大型基础设施项目投资，避免如煤电机组等高耗能基础设施的持续扩张带来的锁定效应。

千里之行，始于足下。实现2060年碳中和这一宏伟目标需要社会各界付出艰苦卓绝的努力，世界资源研究所将携手相关伙伴进一步开展碳中和研究和活动，并重点聚焦国家“十四五”与中长期气候战略落实和规划、发达区域率先达峰和净零排放，打造国际对话交流平台。

## 注释

1. 中国国家统计局, <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>
2. IEA, <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-overview>
3. 基于碳排放的全球社会成本测算。The benefit from avoided climate change is calculated using the global social cost of carbon, which is sourced from the U.S. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon (2015).
4. 避免早亡人数乘以中国人的统计生命价值。The value is calculated using the value of statistical life in China, which is sourced from Wang et al. (2010).
5. China's victory over poverty inspiration to the world, [http://www.china.org.cn/opinion/2019-10/01/content\\_75262598.htm](http://www.china.org.cn/opinion/2019-10/01/content_75262598.htm)
6. IEA, <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-overview>
7. [http://edu.cnr.cn/eduzt/xcgs/kp/20181215/t20181215\\_524450899.shtml](http://edu.cnr.cn/eduzt/xcgs/kp/20181215/t20181215_524450899.shtml)
8. [http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202010/t20201020\\_1794939.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202010/t20201020_1794939.html)
9. <http://www.outlookchina.net/html/news/201712/11450.html>
10. Climate Action Tracker. 2020. <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/>
11. 有关EPS模型的方法学、应用过程等具体介绍，参见《浙江能源政策模拟模型（EPS）的方法介绍及结果示例》技术文件。EPS模型的主要逻辑与方法通用于不同地区，但具体数据收集则需要应用本地数据，中国EPS模型则主要基于公开资料录入中国国家层面或行业层面的相关数据，具体信息详见附录。为了更好地与NDC目标对标，本研究侧重于二氧化碳排放的相关分析。
12. 现有政策情景主要包括截至目前国家已提出的相关目标、行动政策和措施，涵盖社会发展、环境能源、行业发展各个领域。例如，NDC中提出的新建燃煤发电机组平均供电煤耗要降至每千瓦时300克标准煤左右、到2020年城镇新建建筑中绿色建筑占比达到50%、努力实现化肥农药使用量零增长，《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》中提出的2020年能源消费总量不超50亿吨标准煤等。该情景认为以上现有政策目标均可通过各类保障机制有效实现，因此探讨在现有政策作用下的能耗排放路径。
13. Climate Action Tracker. <https://climateactiontracker.org/countries/china/>
14. 该指标为能源活动相关的二氧化碳排放。
15. 需要说明的是，EPS模型测算的为相比现有政策情景，实现强化行动情景路径的总支出（或者收益）的变化量，而非实施该条路径政策组合的总支出。因此，强化行动情景的总支出于2023年后变为负值，是指实施该情景下的政策组合相比现有政策情景可以节约成本。
16. 同理，该数值也仅为两个情景相比的变化值，而非实施强化行动情景总共所避免的早亡人数。因此，该数值的大小取决于政策情景下政策组合的实施力度和减排效果。
17. 采用世界银行的参考值，即每人的统计生命价值为795000元。（<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/3905>）
18. 该碳排放的全球社会成本参考美国碳的社会成本跨部门工作组（IWGSCC，2015）发布的《碳的社会成本监管影响分析技术更新报告》中基于3%的折现率所计算的数据。Ricke等人（2018）提出碳排放的全球社会成本为所有国家层面碳的社会成本加总得出，会高于碳排放仅在中国域内所产生的成本。考虑到碳排放会对全球产生影响，该研究采用全球层面的社会成本数据。
19. 折现率采用8%，参考自国家发展和改革委员会、原建设部发布的《建设项目经济评价方法与参数》。
20. <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/72/content-1063901.html>
21. 参考Chiabai等人研究（2011），WRI内部测算。
22. Jake Richardson Hello. “Renewable Energy Has More Economic Benefits Than You Know.” CleanTechnica, July 11, 2019. <https://cleantechnica.com/2018/03/10/renewable-energy-economic-benefits-know/>.
23. Winebrake, James J., Erin H. Green, and Edward Carr. “Plug-In Electric Vehicles: Economic Impacts and Employment Growth.” (2017).
24. 参考《新能源汽车：全球经济增长新动能——记2019世界新能源汽车大会》<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1638506743149882017&wfr=spider&for=pc>
25. 国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部《余热暖民工程实施方案》
26. 终端能源需求量按电热当量法计算
27. 参考《“十四五”能源电力发展重大问题探讨》，中国电力知库，2019年12月13日，<https://mp.weixin.qq.com/s/gVVcp2RJWtFuYnlusgTGYQ>；何勇健，《我国可再生能源的战略使命与实现路径》，能源研究俱乐部，2020年1月15日，<https://mp.weixin.qq.com/s/38Wxbd3BvAHdqF6nm4YTQ>

28. <http://iigf.cufe.edu.cn/article/content.html?id=2171>
29. The World Bank Group, State and Trends of Carbon Pricing 2019. <http://documents.shihang.org/curated/zh/191801559846379845/pdf/State-and-Trends-of-Carbon-Pricing-2019.pdf>
30. 参考：The World Bank Group, State and Trends of Carbon Pricing 2014. <http://documents.worldbank.org/curated/en/505431468148506727/pdf/828240AROREPLA00EPI2102680Box385232.pdf>
31. <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20200203/1039629.shtml>
32. 参考：2019年金融机构贷款投向统计报告, [https://www.financialnews.com.cn/sj\\_142/jrsj/202001/P020200123591631807394.pdf](https://www.financialnews.com.cn/sj_142/jrsj/202001/P020200123591631807394.pdf)
33. 中国绿色金融居第一方阵 绿色债券存量接近6000亿元, <http://finance.sina.com.cn/roll/2019-05-20/doc-ihvhqax9876717.shtml>
34. 考虑到计算的一致性和可比性，3.2章节所有“粤港澳大湾区”的计算均只考虑广东省。数据来源：GDP来自国家统计局。排放数据为WRI根据能源平衡表计算的化石燃料燃烧二氧化碳排放。
35. 参考《关于加强长江经济带工业绿色发展的指导意见》。
36. 参考《深化粤港澳合作 推进大湾区建设框架协议》。
37. 这里使用广东省数据作粗略代表粤港澳。
38. 参考：国家战略背景下的京津冀区域能源协同发展参考国家战略背景下的京津冀区域能源协同发展 肖宏伟 2016-10-08 <http://www.sic.gov.cn/News/455/6983.htm>
39. 参考：长三角新能源产业如何一体化发展？  
专家：因地制宜，分工合作<https://new.qq.com/omn/20190907/20190907A0HRB100.html>
40. 参考：清洁化、低碳化、智慧化：抓住大湾区能源转型的机会 澎湃2019-12-11 [https://www.thepaper.cn/newsDetail\\_forward\\_5204962](https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_5204962)
41. 模型详细信息请参见《绿色经济之路：长江三角洲绿色经济模型》技术报告。
42. 由于真实数据发布的滞后性，2018—2019年延续2000—2017年历史趋势进行模拟估算。
43. 以2000年价格作为基准。
44. 该案例总结自《浙江省2050深度减排路径研究》，具体研究方法请参见《浙江能源政策模拟模型（EPS）的方法介绍及结果示例》技术文件。
45. 该部分排放仅指化石燃料燃烧所产生的二氧化碳排放，包含本地直接排放和净调入电力、热力所产生的间接排放，由WRI根据浙江省能源平衡表计算得到。
46. <http://data.tjj.zj.gov.cn/>
47. 根据气候研究机构Climate Action Tracker预测，2°C温控目标下中国2050年排放区间为54.6亿~82.1亿吨二氧化碳当量，1.5°C温控目标下中国2050年排放区间为4.5亿~54.6亿吨二氧化碳当量。取1.5~2°C温控目标的临界值54.6亿吨二氧化碳当量对浙江省温室气体占比进行测算。
48. 浙江EPS研究考虑了舟山绿色石化基地等国家重大战略项目的影响，因此相比第三章长三角区域达峰年份有所推迟，但在达峰后浙江省会加大减排力度，有望于2050年前实现碳中和，积极为区域及国家的深度减排战略作出贡献。
49. 这部分内容结论来自GEM和EPS两个不同模型。
50. 该人数为不同情景相比参考情景所避免过早死亡人数的差值，不代表某情景下总共避免的死亡人数。
51. 根据国家和各城市2018年国民经济和社会发展统计公报中的常住人口数据进行计算。
52. 城市GDP来自各城市2018年国民经济和社会发展统计公报，全国GDP来自《中华人民共和国2018年国民经济和社会发展统计公报》，非各省GDP加总。
53. 案例总结自《苏州市碳排放达峰路径优化与2050长期愿景》（刘苗苗，2020）。
54. 如果不考虑新冠肺炎疫情的影响，苏州市可于2020年实现碳达峰，预计疫情影响会使达峰年份推迟1~2年。

## 参考文献

1. CAT (Climate Action Track). 2020. <https://climateactiontracker.org/countries/china/>
2. IEA. 2020. “CO<sub>2</sub> Emissions by Energy Source, People’s Republic of China 1990–2018.” <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=CHINA&fuel=CO2%20emissions&indicator=Total%20CO2%20emissions>.
3. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019. *Global Warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5° C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty.* Edited by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, et al. Geneva: IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf).
4. XinhuaNet. 2020. “CPC Unveils Proposals for Formulating 14th Five-Year Plan, Long-Range Goals.” November 3. [http://www.xinhuanet.com/english/2020-11/03/c\\_139488052.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2020-11/03/c_139488052.htm).
5. Xinhua News Agency. 2020. “Proposals of the Central Committee of the Communist Party of China on Formulating the Fourteenth Five-Year Plan for National Economic and Social Development and the Long-term Goals for 2035.” November 3. [http://www.gov.cn/zhengce/2020-11/03/content\\_5556991.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2020-11/03/content_5556991.htm).
6. Allwood and Cullen. Sustainable Materials Without the Hot Air: Making Buildings, Vehicles and Products Efficiently and with Less New Material. 2015.
7. IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014.
8. Winebrake, James J., Erin H. Green, and Edward Carr. “Plug-In Electric Vehicles: Economic Impacts and Employment Growth.” 2017.
9. Yin, Jianhua, Mingzheng Zheng, and Jian Chen. “The effects of environmental regulation and technical progress on CO<sub>2</sub> Kuznets curve: An evidence from China.” Energy Policy 77:2015: 97-108.
10. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government. Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis. 2015.
11. K. Ricke, L. Drouet, K. Caldeira, M. Tavoni. Country-level Social Cost of Carbon. Nature Climate Change. 2018.
12. 董战峰, 陈金晓, 葛察忠等.国家“十四五”环境经济政策改革路线图[J].中国环境管理,2020,12(1):5-13.  
DOI: 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.01.005.
13. 孔令池, 刘志彪.长三角地区高质量一体化发展水平研究报告(2018年).南京大学长江产业经济研究院,2019,  
<http://www.yangtze-idei.cn/uploadfile/2019/0604/20190604014405978.pdf>
14. 能源转型委员会, 落基山研究所.中国2050:一个全面实现现代化国家的零碳图景.2019.
15. 宋然平.中国减缓气候变化的机遇:非二氧化碳类温室气体.世界资源研究所.2019.
16. 奚文怡, 蒋慧, 鹿璐, 蒋小谦.城市的交通“净零”排放:路径分析方法、关键举措和对策建议.世界资源研究所.2020.
17. 国际能源署, 联合国工业发展组织. Technology Roadmap: Carbon Capture and Storage in Industrial Applications. 2011. [https://www.unido.org/sites/default/files/2011-09/CCS\\_Industry\\_Roadmap\\_WEB\\_2.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2011-09/CCS_Industry_Roadmap_WEB_2.pdf).
18. 徐健, 李莉, 等.中国三大城市群经济能源交通结构对比及其对大气污染的影响分析.2018. [http://www.zghjgl.com/ch/reader/create\\_pdf.aspx?file\\_no=20180110&year\\_id=2018&quarter\\_id=1&falg=1](http://www.zghjgl.com/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=20180110&year_id=2018&quarter_id=1&falg=1).
19. 刘苗苗, 邱言言, 蒋小谦、毕军.苏州市碳排放达峰路径优化与2050长期愿景.世界资源研究所.2020.

## 致谢

作者由衷感谢以下人士，在本文编写及出版的过程中给予了大力支持，提供了诸多宝贵的意见与建议。

包括世界资源研究所的同事：方莉、房伟权、温新元、薛露露、李相宜、刘爽、丁宏宇、葛梦玭、窦瑞云、Helen Mountford、Leonardo Garrido、Juan Carlos Altamirano、Beth Elliott。

外部专家（按专家姓氏拼音排序）：

**曹 颖** 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心

**方婉丽** 世界银行

**洪博文** 国网能源研究院

**姜克隽** 国家发展和改革委员会能源研究所

**赖 力** 江苏省经济信息中心

**刘 佳** 上海经济信息中心

**时璟丽** 国家发展和改革委员会能源研究所

**滕 飞** 清华大学

**余碧莹** 北京理工大学

**袁家海** 华北电力大学

**杨 秀** 清华大学气候变化与可持续发展研究院

**张九天** 北京师范大学中国绿色发展协同创新中心

**张 璐** 北京师范大学中国绿色发展协同创新中心

**朱 源** 生态环境部环境工程评估中心

**Jeffrey Rissman** 美国能源创新

**Megan Mahajan** 美国能源创新

**Robbie Orvis** 美国能源创新

此外感谢实习生吴怡、赵琦、张卓、刘欣羽、范振杰、易文、刘雨苋、杜鸿琳、安康欣对研究工作的支持，感谢谢亮对文章的编辑校对及张烨对文章的排版设计。

最后，感谢MacArthur Foundation对项目提供资助。

## 作者介绍

**杨晓亮**是世界资源研究所中国气候与能源部执行主任。邮件：[xiaoliang.yang@wri.org](mailto:xiaoliang.yang@wri.org)

**寇玥**是前世界资源研究所中国气候与能源部研究分析员；现中国国际金融股份有限公司研究部分析员。邮件：[yue.kou@cicc.com.cn](mailto:yue.kou@cicc.com.cn)

**奚文怡**是世界资源研究所中国气候与能源部副研究员。邮件：[wenyi.xi@wri.org](mailto:wenyi.xi@wri.org)

**蒋小谦**是世界资源研究所中国气候与能源部低碳规划项目总监。邮件：[xqjiang@wri.org](mailto:xqjiang@wri.org)

**何恒**是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所副所长（主持工作），高级工程师。邮件：[heh@zdpi.org.cn](mailto:heh@zdpi.org.cn)

**陈丽君**是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所高级工程师。邮件：[chenlj@zdpi.org.cn](mailto:chenlj@zdpi.org.cn)

**吴君宏**是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所高级工程师。邮件：[wujh@zdpi.org.cn](mailto:wujh@zdpi.org.cn)

**吴加荣**是浙江省发展规划研究院能源与环境研究所助理工程师。邮件：[1204163307@qq.com](mailto:1204163307@qq.com)

**张默凡**是世界资源研究所中国气候与能源部研究分析员。邮件：[mofan.zhang@wri.org](mailto:mofan.zhang@wri.org)

**袁敏**是世界资源研究所中国气候与能源部能源转型项目总监。邮件：[min.yuan@wri.org](mailto:min.yuan@wri.org)

**黄炜**是浙江省经济信息中心能源资源环境处处长。邮件：[huangwei@zgb.com.cn](mailto:huangwei@zgb.com.cn)

**肖相泽**是浙江省经济信息中心能源资源环境处助理研究员。邮件：[xxze0928@126.com](mailto:xxze0928@126.com)

**王诚**是浙江省经济信息中心能源资源环境处助理研究员。邮件：[wangc@zgb.com.cn](mailto:wangc@zgb.com.cn)

**魏丹青**是浙江省经济信息中心能源资源环境处助理研究员。邮件：[wdq@zei.gov.cn](mailto:wdq@zei.gov.cn)

**宋然平**是世界资源研究所全球气候项目发展中国家气候行动经理。邮件：[ranping.song@wri.org](mailto:ranping.song@wri.org)

## 项目组合作方成员

### 浙江省发展规划院研究院

周华富	吴红梅
何恒	陈丽君
吴君宏	廖彦
郑卓联	徐清琳
吴加荣	高轶
林成淼	

### 浙江省经济信息中心

黄炜	肖相泽
王诚	郭江江
魏丹青	

## 关于世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

### 我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

### 我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

### 我们的工作方法

#### 量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

#### 变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

#### 推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过与决策者交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功的标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。

## 图片说明

Cover 摄图网; pg. i 摄图网; pg. iv 摄图网; pg. vi 摄图网;  
pg. xii 摄图网; pg. 5 摄图网; pg. 21 摄图网;  
pg. 37 眼图网; pg. 57 摄图网; pg. 57 Unsplash/Snowscat.

世界资源研究所（WRI）出版物，皆为针对公众关注问题而开展的适时性学术性研究。  
世界资源研究所承担筛选研究课题的责任，并负责保证作者及相关人员的研究自由，同时积极征求和回应咨询  
团队及评审专家的指导意见。若无特别声明，出版物中陈述观点的解释权及研究成果均由其作者专属所有。



Copyright 2020 World Resources Institute. 版权所有  
本产品由创用（Creative Commons）4.0许可授权，许可副本参见<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

更多资料关注公众号 碳视角  
本文版权归原作者所有



世界资源研究所  
WORLD RESOURCES INSTITUTE

世界资源研究所（美国）北京代表处  
北京市东城区东中街9号  
东环广场写字楼A座7层KM室  
邮编：100027  
电话：+86 10 6416 5697  
[WWW.WRI.ORG.CN](http://WWW.WRI.ORG.CN)

更多资料关注公众号 碳视角  
本文版权归原作者所有