



中国2050： 一个全面实现现代化国家的零碳图景 执行摘要



关于能源转型委员会

能源转型委员会（Energy Transitions Commission, ETC）是一个由全球性能源企业、非政府机构创立的联盟型组织。ETC汇集了能源领域中各团体的领导者，其中包括来自发达国家和发展中国家的能源供应方、高耗能工业企业、设备供应商、投资者、非营利组织和学术机构等，旨在识别推动全球能源系统朝着既能保障经济稳定发展又能帮助应对气候变化的清洁低碳方向转型，将全球气温上升限制在2°C以内，尽可能趋近1.5°C。在上述目标的导向下，ETC的工作既包含了相关分析研究工作，也包括了与公共政策制定者、行业、企业等关键利益相关方的紧密联系，以为能源转型目标的实现和行动的落实注入活力。

ETC由Adair Turner勋爵和Ajay Mathur博士共同担任主席。委员的名单如后一页所示。

落基山研究所（Rocky Mountain Institute, RMI）是能源转型委员会的主要成员单位之一，也是其在中国开展工作的秘书处和主要实施机构。落基山研究所是一家专业、独立、以市场为导向的智库，与政府、企业、科研机构及创业者等协作，致力于推动全球能源变革，以创造清洁、安全、繁荣的低碳能源未来。借助经济可行的市场化解决方案加速全球范围内能效和可再生能源取代化石燃料的能源结构转变。

能源转型委员会与落基山研究所，以及其他成员单位和理事会成员进行了密切的合作，共同开展研究，并形成这份报告——《中国2050：一个全面实现现代化国家的零碳图景》。本报告以能源转型委员会已有研究以及其他相关研究为基础，并在几轮的咨询中广泛吸取了具有代表性的中国企业、学术机构以及在中国开展业务的跨国企业和组织的专家建议。我们也在此向他们致以衷心的感谢。

本报告仅代表能源转型委员会的总体观点。各成员单位对本报告的整体结论达成共识，但并不代表他们同意本报告提出的每一个观点和建议，也不代表各理事会成员所在单位正式承认本报告的结论。

能源转型委员会及其理事会成员一致认为，中国是推动全球能源转型的重中之重，中国的零碳能源转型是全世界在本世纪中叶实现净零碳排放和实现巴黎协定目标的关键；同时，中国的零碳能源转型是技术可行且经济可行的，并将促进中国经济的发展。这一观点是能源系统中来自不同背景、具有不同关注点的企业和组织的共识，也给予了中国更大的信心，在清晰目标的指引下，刻不容缓地采取相应措施，在实现经济发展的同时，将温度上升控制在2°C以下。

更多信息：

www.energy-transitions.org

www.facebook.com/EnergyTransitionsCommission

www.twitter.com/ETC_energy

www.linkedin.com/company/energy-transitions-commission



能源转型委员会理事会成员

Gregory Barker, EN+集团董事长

Pierre-André de Chalendar, 圣戈班 (Saint-Gobain) 集团董事长及首席执行官

Dominic Emery, 英国石油公司 (BP) 战略规划副总裁

Will Gardiner, DRAX集团首席执行官

Chad Holliday, 荷兰皇家壳牌 (Shell) 集团董事长

Hubert Keller, 瑞士隆奥银行 (Lombard Odier Group) 管理合伙人

Badar Khan, 英国国家电网集团 (National Grid) 风险投资公司总裁

Zoe Knight, 汇丰控股全球可持续金融中心负责人及执行董事

Jules Kortenhorst, 落基山研究所首席执行官

Rachel Kyte, 前联合国秘书长特别代表及 Sustainable Energy For All 前首席执行官

Mark Laabs, Modern Energy 执行董事

Richard Lancaster, 中电集团首席执行官

Alex Laskey, OPower 创始人及前董事长

Auke Lont, 挪威国家电网公司 (Statnett) 董事长及首席执行官

Ajay Mathur, 印度能源与资源研究所总干事, 能源转型委员会联合主席

Aditya Mittal, 阿赛洛-米塔尔 (ArcelorMittal) 董事长及首席财务官

Philip New, Catapult 能源系统公司 (Catapult Energy Systems) 首席执行官

Nandita Parshad, 欧洲复兴开发银行能源和自然资源部执行董事

Andreas Regnell, 瑞典大瀑布电力公司 (Vattenfall) 战略发展高级副总裁

Siddharth Sharma, 塔塔之子公司 (Tata Sons) 首席可持续发展官

Mahendra Singhi, 达尔米亚水泥巴拉特 (Dalmia Cement Bharat) 有限公司执行董事及首席执行官

Andrew Steer, 世界资源研究所主席及首席执行官

Nicholas Stern, 伦敦政治经济学院教授

Simon Thompson, 力拓集团 (Rio Tinto) 主席

Nigel Topping, We Mean Business 首席执行官

Robert Trezona, IP Group 清洁科技合伙人兼主管

Jean-Pascal Tricoire, 施耐德电气董事长及首席执行官

Laurence Tubiana, 欧洲气候基金会首席执行官

Adair Turner, 能源转型委员会主席

Timothy Wirth, 联合国基金会副主席

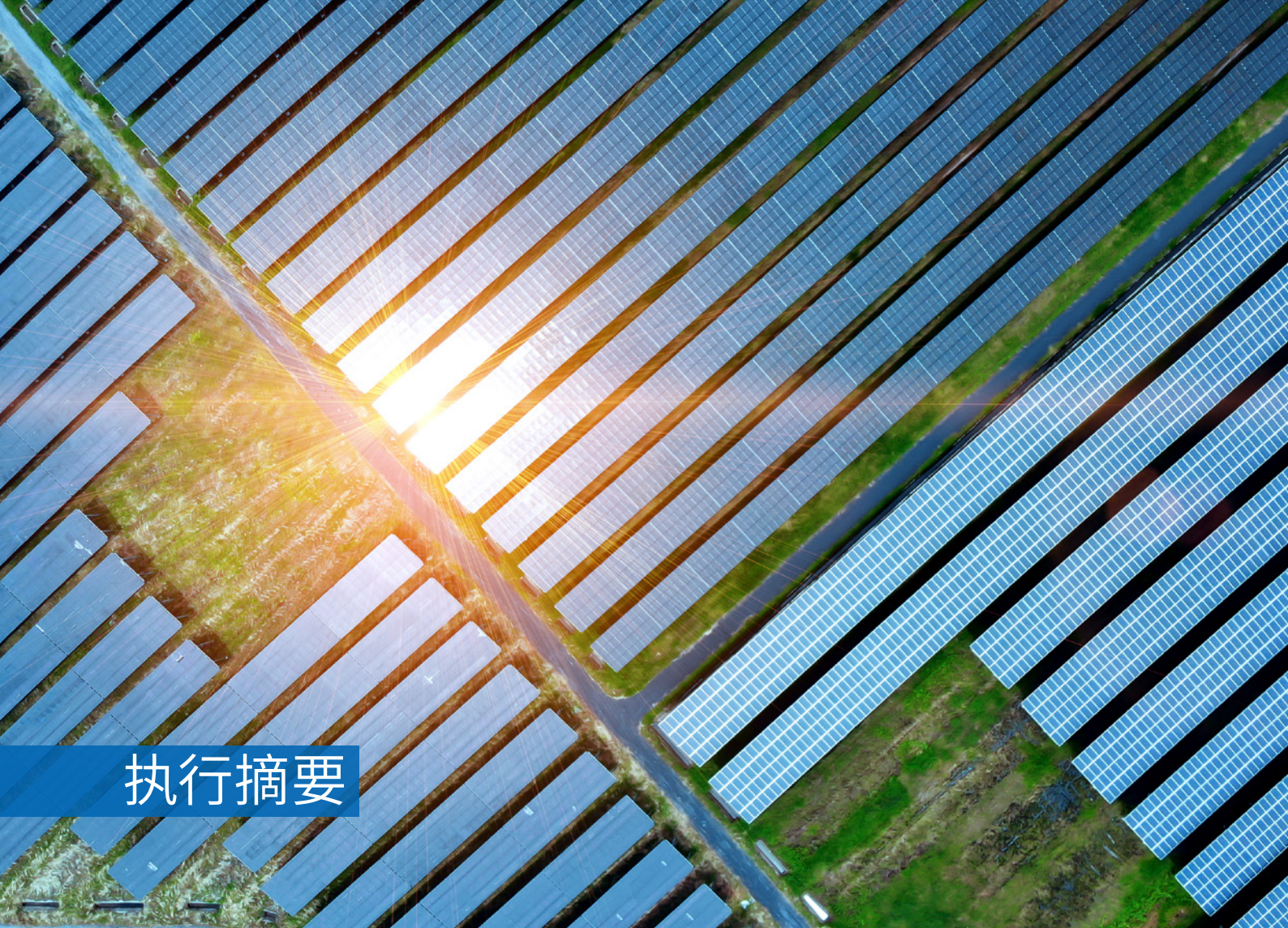
舒印彪, 中国华能集团董事长

张雷, 远景集团首席执行官

赵昌文, 中国国务院发展研究中心产业经济研究部部长

李政, 清华大学气候变化与可持续发展研究院常务副院长

Cathy Zoi, EVgo 首席执行官



执行摘要

中国 2050——一个全面实现现代化国家的零碳图景

全球气候变化对全球人类社会构成重大威胁。政府间气候变化专门委员会（IPCC）2018年11月发布的报告认为¹，为了避免极端危害，世界必须将全球变暖幅度控制在1.5摄氏度以内。只有全球都在本世纪中叶实现温室气体净零排放，才有可能实现这一目标。

全球能源转型委员会在其发布的两份报告——《更好的能源，更大的繁荣》（2017）及《可完成的任务》（2018）——中认为，世界范围内现有的技术可以实现这一目标，并且对经济发展和消费者生活水平的影响很小。这一观点甚至也适用于那些“难脱碳”的经济部门，如重工业和重型/长途运输行业。这些行业的脱碳成本可以被控制在GDP总量的0.6%以下，对面向消费者的商品价格也仅有极小的影响。

与其他国家一样，中国也将受到气候变化的威胁。中国在经济高速发展的过程中也成为了全球主要温室气体排放国。从人均排放水平看，中国与富裕的欧洲发达经济体相当，虽然只有美国极高人均排放水平的45%。不过中国的绝对规模使其成为了全球最大的温室气体排放国，每年98亿吨的二氧化碳排放占全球排放总量的28%。因此，无论对于整个世界还是对于中国自身而言，中国探索到本世纪中叶实现净零碳排放的战略路径意义重大。

本报告显示，实现这一目标在技术上和经济上都是可行的。考虑到中国的高储蓄率和投资率，中国有实现该目标所需投资能力，并且对2050年中国人均GDP的影响也将是非常有限的。追求到2050年实现零碳排放将刺激投资和创新，从而进一步加速零碳发展，这不仅不会阻碍中国实现到2050年实现现代化强国这一目标，还将大幅改善地方空气质量，并为中国在多个行业的技术领先地位创造巨大机遇。

1. IPCC指出，2018年，全球升温幅度1.5摄氏度。

要实现净零碳排放，需要发电部门的完全脱碳，并大规模扩大电力使用，在尽可能多的经济部门实现电气化，还需要氢的生产和使用增加到三倍，以及在增加生物能开发和碳捕集、利用与封存方面发挥重要但有限的作用。中国的自然资源、制造业水平、储蓄和投资率使这些不同的技术路线有可能实现并推动零碳经济发展，同时保证中国的交通、建筑供暖和制冷等以能源为基础的服务部门继续快速发展。

实现零碳经济的关键部门行动包括：

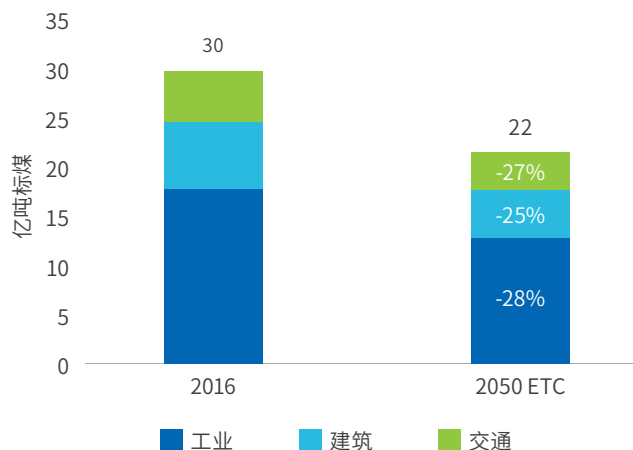
- **路面运输（公路和铁路服务）全面电气化，同时支持将运输使用量增加到至少三倍。**在轻型车领域（汽车和城市货运），电动车将很快在经济性上超过内燃机车，而氢燃料电池电动车（FCEV）将最终主导重型公路运输。中国庞大的高铁网络和广泛的地铁系统将在一定程度上帮助控制道路交通的增长，并对国内航空交通增长有一定的抑制作用。所有的铁路出行都可在远早于2050年前完成电气化。因为电动发动机与内燃机相比具有更高的能效，这些地面运输部门的电气化将导致终端能源需求的下降。同时，由于电动车固有的长期成本优势，这些行业的脱碳将增加而不是降低人均GDP水平。

- **使用生物燃料、合成燃料、氢能或氨来推动长途国际航空和海运部门脱碳，同时在短途运输中使用电池电动氢能和混合动力等选项。**这些燃料可能比现有的化石燃料成本更高，意味着国际运费和机票价格可能会更高。然而，随着时间的推移，技术进步和规模经济可能会推动成本的显著下降。

- **向循环经济转型，并显著提高关键材料的利用率和回收率，**包括钢铁、水泥、肥料和塑料等。随着中国人口趋于稳定并开始下降，以及城市化进程接近尾声，支撑建筑业的初级钢铁和水泥生产总需求将会不可避免地出现下降。因此，产自回收废钢的钢铁产量占总产量的比例将从现在的不到10%上升到60%。在水泥方面，回收的潜力比较有限，但改进的建筑设计 and 材料质量可以使总需求量在照常发展情景基础上减少近50%。通过以可行方式大幅提高肥料利用率，肥料需求可减少三分之一。随着物理和化学回收技术的广泛发展，中国52%的塑料用量可能来自回收塑料。

- **利用电气化、氢能、碳捕集和封存以及生物能源来实现重工业领域的完全脱碳，**包括钢铁、水泥和化工（合成氨、甲醇、高价值化学品即HVC）等部门。直接电气化最适用于中低温度要求的工业领域，而氢能和生物能可用于满足高温

本研究认为，中国到2050年的能耗总量为22亿吨标煤（64EJ），比2016年水平低近30%。



图表A: 中国各部门终端能源需求（工业、建筑和交通）

数据来源：中国统计年鉴；能源转型委员会中国项目，落基山研究所分析

要求。氢气还可以作为钢铁的还原剂和化学生产的原料。生物质可能成为另一种重要的化工原料。碳捕集与封存将在处理工业过程碳排放和剩余的化石燃料相关碳排放方面发挥作用。

● 更广泛地采用先进热泵技术和最先进的建筑保温材料，以零碳方式为住宅和办公室提供供暖和制冷，并在建筑部门的有关领域发挥长距离工业废热运输和生物质的作用。到2050年，中国建筑领域的能效将显著提高，以确保在服务水平不断提高的情况下经济有效地使用能源。到那时，75%的建筑供暖和制冷将由电力提供。由于热泵技术固有的能效优势，电气化与热泵相结合能够降低终端能源需求。即使在今天，热泵技术都可以将每千瓦时电力输入转变为4千瓦时热力输出，并且这一“性能系数（COP）”随着时间的推移可能还会得到进一步的大幅提高。

钢铁和水泥需求的降低、更多的资源（尤其是塑料资源）循环利用以及因地面交通和建筑供热领域的电气化实现的相关能效进步，可以推动中国人均GDP和生活质量标准达到

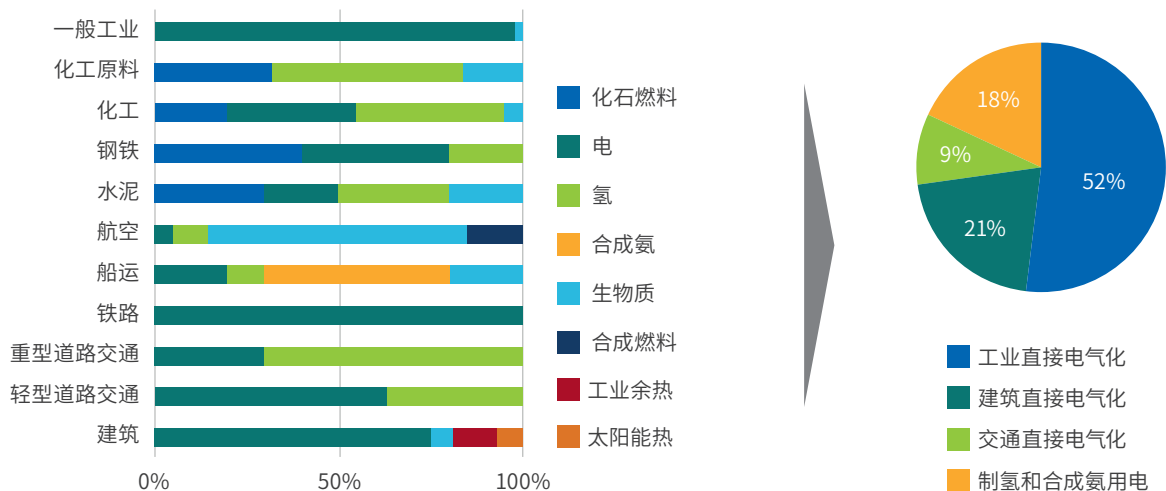
当前水平的三倍，同时将终端能源需求总量从当今的30亿吨标煤（88EJ或24万亿千瓦时）降低到2050年的22亿吨标煤（64EJ或17.8万亿千瓦时）。其中，工业总终端能源需求将经历最大降幅（30%），但其在2050年占终端能源需求总量的比例仍将高达60%（图表A）。

这些能源需求可以通过四个方面的零碳技术措施来实现：电力 - 完全利用可再生能源、核能等非化石能源发电实现零碳电力；氢能 - 利用零碳电力电解水制氢，也可以用氢制氨用于终端能源消费；生物能 - 可作为零碳燃料和原料使用；以及在与碳捕集、利用与封存技术相结合的前提下，继续使用一些化石燃料。图表B列出了2050年可用于各经济部门的不同能源组合。

电力将在其中扮演最重要的角色，可以直接使用，也可以用来生产氢气、氨气或其他合成燃料。总的来说，要实现零碳经济，中国需要将发电量从目前的7万亿千瓦时增加到2050年的15万亿千瓦时左右（图表C）。此外，氢气的用量需要从目前的每年2500万吨增加到8100万吨以上。

以零碳方式满足这些能源需求意味着能源供给组合的重大转变,包括大量的直接或间接电气化,生物质和CCS技术的应用,以及化石燃料使用的大幅缩减

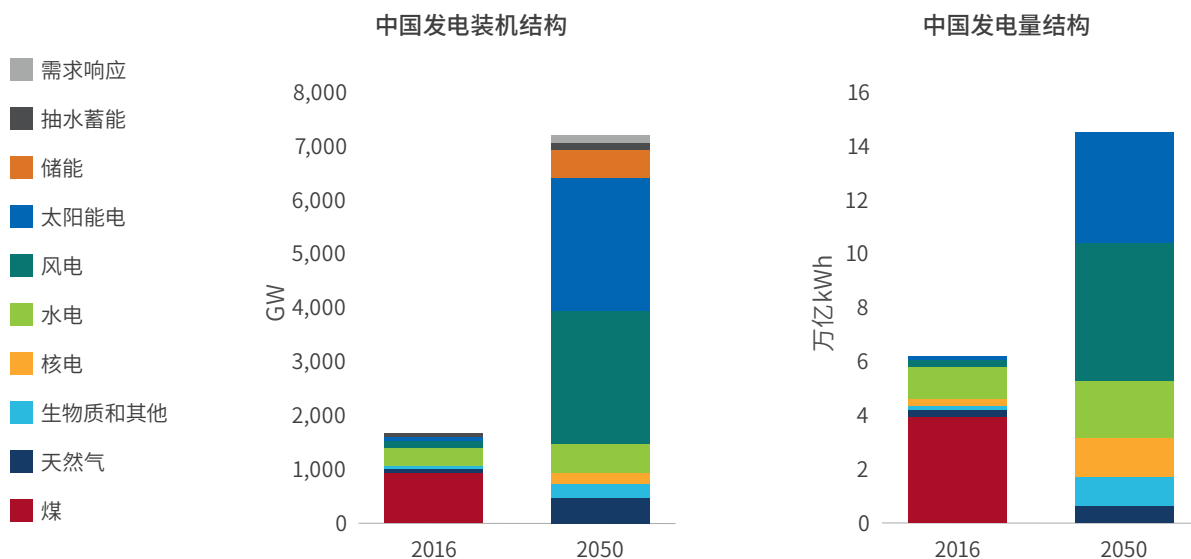
2050年的总发电量将达到近15万亿度



图表B: 中国2050年各部门终端能源消耗和能源载体组合

数据来源: 能源转型委员会/落基山研究所项目组

要实现零碳经济,总计需要将发电量从2016年的6万亿千瓦时增加到2050年的15万亿千瓦时左右。



图表C: 中国的发电装机量和发电组合

数据来源: 中国统计年鉴; 能源转型委员会/落基山研究所项目组

要通过零碳方式生产这些电力,将需要 2500GW 光伏、2400GW 风电、230GW 核电和 550GW 水电装机。考虑到中国的风能、太阳能和水力资源,以及已经确定的适合建造核电站的沿海地区数量,这一组合在技术上是可行的。

考虑到太阳能资源丰富的地区面积占国土面积的三分之二,中国将需要投入不到1%的土地面积来提供所需的2500GW 太阳能发电装机;而中国的风能资源估计可达3400GW 陆上装机和500GW 海上装机,已超过了所需的容量。

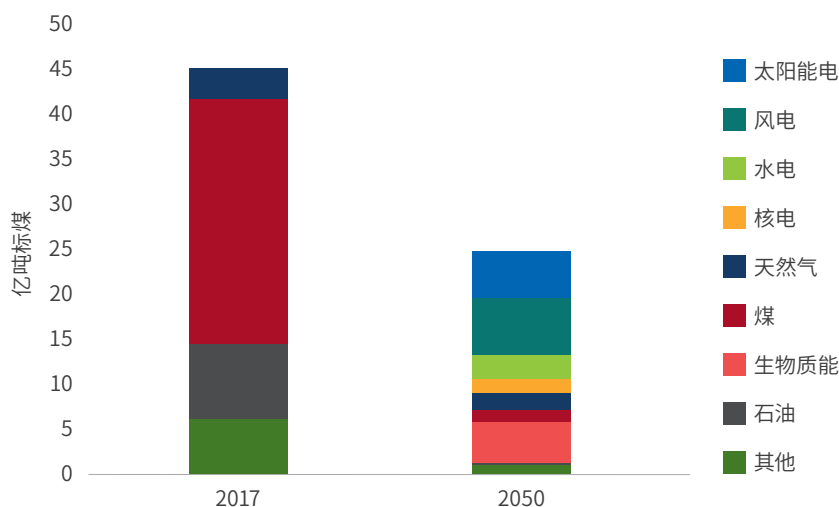
建设所需的可再生发电装机需要大幅提高年度投资力度(光伏投资达到现在的两倍,风电投资达到现在的3-4倍),但投资的财务成本仍不到中国GDP的0.4%。这在经济上显然是可行的,因为中国目前的投资占GDP的40%以上,其中一些投资浪费在了空置的房地产上,随着人口数量趋于稳定和城市化进程接近完成,房地产和非能源基础设施投资需求将不断下降。

如图表C所示,电力系统中接近70%的发电量将来自于随天气条件变化的风能和太阳能资源,但通过部署储能技

术规模化应用、加大输电基础设施投入、推进需求侧管理等措施提升电力系统灵活性实现电网的供需平衡。此外,140GW的抽水蓄能容量还可以提供更长期的季节性补充。随着成本的持续下降,电池储能的容量将会从目前微不足道的水平增长到2050年的510GW。利用过剩电力生产氢气可以作为一种有效的需求响应机制,提供至少100GW的容量。只要具备适当的软件系统和到位的市场激励措施,工业和住宅部门的各种需求响应技术都可以发挥关键作用。以生物质或化石能源为燃料并采用碳捕集技术的火电厂每年将只运行少量时间以提供短期的备用电力,其作用将十分有限但仍然非常关键。

除了电力和氢能,实现零碳经济还需要每年生产大约4.4亿吨标煤(13EJ)的生物能源(当前每年仅3400万吨标煤或1EJ)。以可持续的方式实现这些生物能的供应将是一个重大挑战,但理论上,中国有能力开发4.0-8.5亿吨标煤(12-25EJ)可持续生物能源。鉴于生物能源资源的稀缺,中国的生物能需要在那些没有其他脱碳选择的行业优先应用,例如,航空可能是其中的一个优先应用领域,但货运不是。

一次能源结构将发生巨大变化,其中化石燃料需求降幅超过90%,风能、太阳能和生物质能将成为主要能源。



图D: 中国一次能源需求,按能源品种划分

数据来源: 中国统计年鉴; 能源转型委员会/落基山研究所项目组

在一些工业过程中还需要应用碳捕集技术,并将二氧化碳运输和地质封存,或运用二氧化碳混凝土固化等碳利用技术永久性储存所捕集的二氧化碳。这一需求虽然有限,但仍然十分关键。在考虑250公里内进行碳排放源汇匹配的情况下,中国碳封存能力远远超过每年储存10亿吨的需求量。

总之,中国一次能源需求总量可能会从目前的45亿吨标煤(132 EJ)下降到2050年的25亿吨标煤(73EJ),降幅达到45%。一次能源需求的降幅大于终端能源需求的降幅(30%),这在很大程度上是由于避免了当今火力发电系统所涉及的能源损失。在能源需求总量降低的同时,能源的来源还将发生巨大的转变,化石燃料的需求将下降90%以上,而非化石能源的需求将增加3.4倍(图表D)。

技术和经济的不断发展将持续推动形成脱碳路线与能源供给方式之间的平衡。但本文展示的情景表明,以极低的成本实现零排放是可能的,对2050年中国人均GDP和生活水平的影响不太可能超过1%。

如果考虑到对零碳排放目标的承诺对技术进步和成本下降的促进作用,这一成本甚至会更低甚至是负值。但本文的计算并未考虑这种因素。

如要实现这一可行的零碳经济路径,必须制定清晰的目标,并推行强有力的公共政策。首先,国家层面明确的零碳排放目标将提供指导行动和制定路径框架的方向,引导国有企业和私营部门进行科学投资战略决策。长期目标必须和短期目标以及投资计划相结合,例如与即将出台的国家、地方和部门等层面“十四五”相关规划和落实规划的一系列政策措施及机制安排,具体政策领域包括:

- 推动在发电、输电、配电和储能等领域制定加大零碳电力系统建设力度的政策。
- 加快全国碳市场的建设,以支持全社会尤其是重工业领域的脱碳。



- 设立相关法律法规以推动路面交通和建筑供暖的全面电气化,同时不断加强相关标准以提升建筑能效水平。
- 继续深入发展循环经济,强化法律法规体系和政策激励机制建设,尤其在塑料行业。
- 建立支持技术进步尤其是早期阶段技术突破的相关政策,以助推零碳技术和产业生态体系的构建。

中国的政治体制和经济发展水平使中国具备“集中力量办大事”的体制、资金和技术优势,能够在确定了长期战略目标后制定和实施长期、大规模投资和持续行动,这为中国推动到2050年实现零碳排放奠定了坚实基础。事实上,中国在实现零碳排放的过程中,也将持续不断的挖掘经济增长和环境改善的潜力,为其实现2050年其他经济社会发展目标作出贡献。

中国2050： 一个全面实现现代化国家的零碳图景

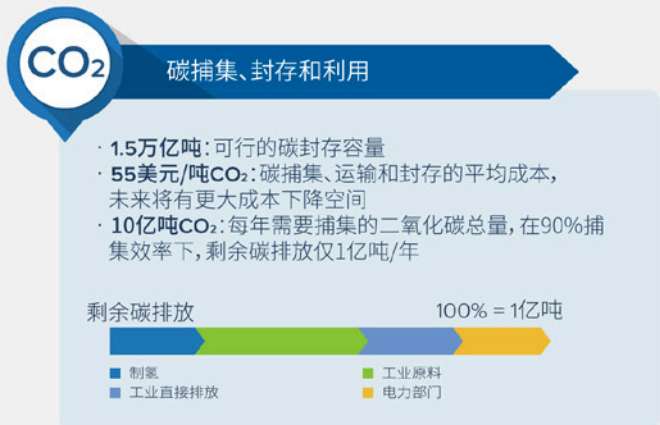
需求侧脱碳

需求减量、能效提高、能源转换



供给侧脱碳

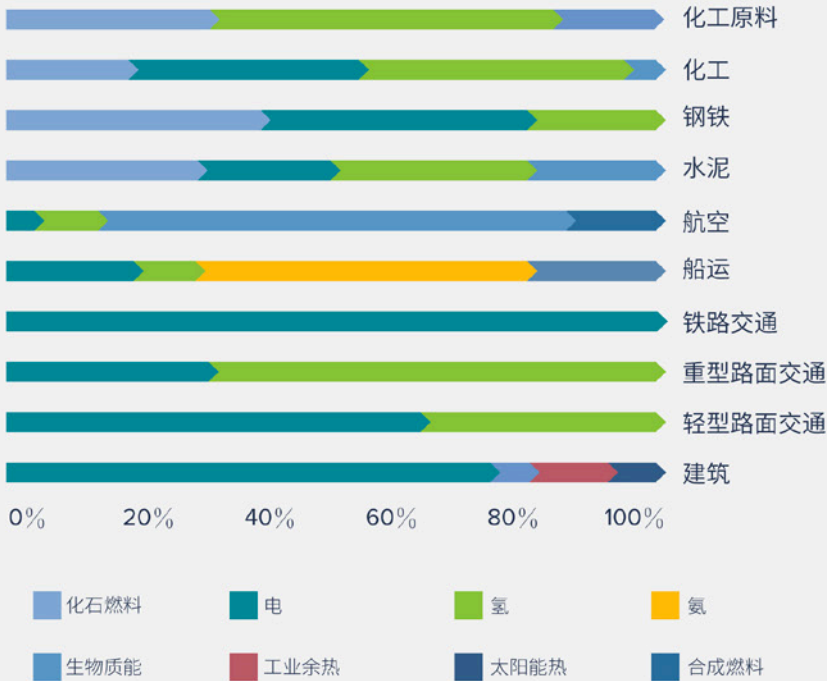
经济可行 & 技术可行



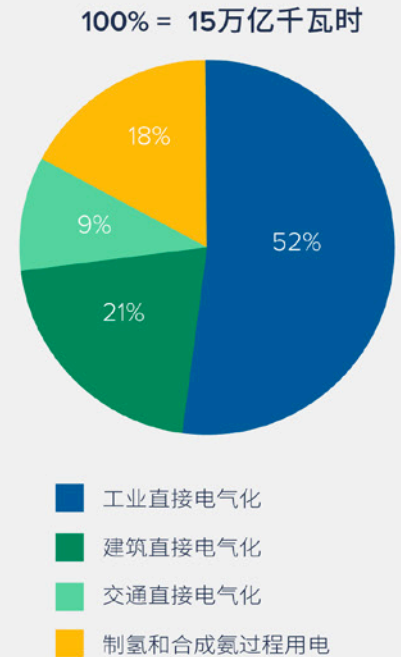
以零碳方式满足这些能源需求意味着能源供给组合的重大转变, 包括大量的直接或间接电气化, 生物质和CCS技术的应用, 以及化石燃料使用的大幅缩减。



中国2050年分部门、分能源品种的能源需求占比



分部门电力需求



总减排成本 < 中国GDP的1%以下
对最终消费者价格影响极小

政策手段

支持储能、制氢和储氢、生物燃料、Power-to-X 等仍处于早期的关键脱碳技术的研发和商业化。

大力发展循环经济, 促进钢铁、塑料和其他材料的回收。

对电网、高铁网络和充电桩等关键基础设施领域进行持续投资。

通过持续推进全国碳市场建设, 激励各行业寻求最低成本的脱碳方法。

引导和激励各级政府 and 国有企业采购低碳产品和服务, 推动形成规模化的市场需求。



更多信息, 请访问: www.energy-transitions.org



www.energy-transitions.org