碳中和愿景的实现路径与政策体系

王灿[1,2]*，张雅欣[1]

（1. 清华大学环境学院，北京 100084；2. 清华大学国家治理与全球治理研究院，北京 100084）

【摘　要】 习近平主席在第七十五届联合国大会上郑重承诺中国将努力争取2060年实现碳中和目标，为中国未来低碳转型促进经济高质量发展、生态文明建设指明了方向、明确了目标，也提振了全球应对气候变化的信心。作为排放量全球最大的发展中国家，在2030年前达峰后用三十年左右的时间很快地实现碳中和愿景，任务异常艰巨，但总体上排放路径必然呈现尽早达峰、稳中有降、快速降低、趋稳中和的过程。支撑碳中和的技术几乎涉及所有的产业和经济活动，从控制碳排放途径的角度可以分为高能效循环利用技术、零碳能源技术、负排放技术。政府、企业、个人在迈向碳中和愿景进程中具有至关重要而又各有侧重的作用，需要科学的政策体系以形成系统有效的激励机制，促进资本和人才朝着碳中和技术创新和市场化推广应用方向快速汇集。

【关键词】 碳中和；技术路径；社会路径；政策体系

【中图分类号】F113.3　　【文章编号】1674-6252（2020）06-0058-07

【文献标识码】A　　【DOI】10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.06.058

引言

2020年9月22日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话。习主席提出："中国将提高国家自主贡献力度，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。"在新冠肺炎疫情后复杂的国际政治经济格局中，中国的碳中和承诺彰显了我国构建人类命运共同体的大国责任与担当，体现了我国在应对气候变化问题上的决心和雄心，为疫后实现全球绿色复苏注入新的活力，对全球气候行动起到重要推动作用[1,2]。

政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的《全球温控1.5℃特别报告》[3]指出，实现1.5℃温控目标有望避免气候变化给人类社会和自然生态系统造成不可逆转的负面影响，而这需要各国共同努力在2030年实现全球净人为CO_2排放量比2010年减少约45%，在2050年左右达到净零。已有研究指出，中国2060年碳中和目标的达成将有效缓解全球温升趋势，使得全球温度比预期降低0.2～0.3℃左右[4]。

目前已有大量国家做出碳中和承诺。截至2020年10月，碳中和承诺国达到127个，这些国家的温室气体排放总量已占到全球排放的50%，经济总量在全球的占比超过40%①，并且全球十大煤电国家中的5个已做出相应承诺（表1），这些国家的煤电发电量在全球的占比超过60%。作为碳排放大国和煤电大国，中国的碳中和承诺无疑为提升碳中和行动影响力，提振全球气候行动信心做出了重要贡献。

从碳中和目标和战略文件来看，各国尚未就碳中和目标表述达成共识，已有表述主要包括"气候中性""碳中和""净零排放"，以及"净零碳排放"。目前，除个别国家②使用"气候中和"，以及少数国家③明确将实现"非二氧化碳温室气体中和"外，多数国家以"碳中和"为目标，或并未明确将实现"非二氧化碳温室气体的净零排放"[7]。根据IPCC《全球1.5℃温升特别报告》[3]，以上表述的内涵存在较大差异。其中，"碳中和"是指在规定时期内人为二氧化碳（CO_2）移除在全球范围抵消人为CO_2排放时，可实现CO_2净零排放，也称之为"CO_2净零排放"。因此，本文以实现"CO_2净零排放"为首要目标讨论中国碳中和愿景下的实现路径和政策需求。

资助项目：国家社科基金重大项目"联合国可持续发展议程评估体系建设及实现路径"（17ZDA077）；生态环境部应对气候变化委托项目"2050年碳中和目标国际动态及影响研究"（201901）。

作者简介：王灿（1974—），男，教授，博导，主要从事全球气候变化经济学与政策、能源环境经济系统模拟与分析、低碳经济与低碳城市等相关研究，E-mail: canwang@tsinghua.edu.cn。

① 根据2019年全球温室气体排放和GDP计算，数据来自WorldBank[5]，European Commission[6]。

② 挪威、丹麦、斯洛伐克和匈牙利等国。

③ 丹麦、斯洛伐克、匈牙利、智利和葡萄牙等国。

表1　全球10大煤电国家的碳中和承诺情况[8]

国家	煤电发电量	碳中和承诺	目标年
中国	50.20%	是	2060
印度	11.00%	—	—
美国	10.60%	—	—
日本	3.10%	是	2050
韩国	2.50%	是	2050
南非	2.20%	是	2050
德国	1.90%	是	2050
俄罗斯	1.80%	—	—
印度尼西亚	1.80%	—	—
澳大利亚	1.60%	—	—

1 碳中和愿景的实现路径

如何实现碳中和目标，迈向碳中和愿景是我国当前亟待回答的问题。已有大量国内外学者、团队对碳中和目标下的社会经济路径进行了探索和评估，其中尤其关注中国承诺的路径和影响[9–14]。例如，清华大学气候变化与可持续发展研究院[10]提出，中国的2060年碳中和目标符合1.5℃温升控制目标的要求。未来应力争2030年前实现CO_2排放达峰，其后加速向2℃目标和1.5℃目标减排路径过渡；在2050年实现CO_2净零排放，全部温室气体减排90%；2050年后进一步全方位加大减排力度，推进零排放或负排放技术突破，加强碳汇吸收和碳移除技术，尽快实现全部温室气体净零排放。Hector Pollitt[11]应用E3ME（Energy-Environment-Economy Global Macro-Economic）宏观经济模型分析了中国碳中和承诺的影响，指出中国要实现2060年净零排放需要建立完备的碳市场以及避免新增煤电装机，而实现减排所需的巨额投资，有望在未来十年内拉动中国国内生产总值（GDP）上涨5%，同时为其他国家创造积极的“溢出”效应。Adair Turner等人[12]对中国零碳社会图景进行了综合评估，指出中国碳中和愿景的实现需要发电部门完全脱碳，尽可能实现全经济部门电气化，并且需要氢能，生物质能，以及碳捕集、利用与封存（CCUS）等技术的大规模应用。已有研究为中国碳中和愿景的实现提供了多种视角、路径和政策意见，为研判未来的排放路径提供了丰富的基于技术可行的参考结果。

1.1 排放路径

排放路径即对于未来碳排放时间演变的基本预判[3]。综合已有研究结论[15–17]，碳中和愿景下的排放路径可以分为4个阶段（图1），即2020—2030年的达峰期、2030—2035年的平台期，2035—2050年的下降期和2050—2060年的中和期。首先，面向2030年碳达峰目标的关键10年需要尽快、尽早实现碳排放达峰，并且严控排放峰值，为高质量达峰后到碳中和的碳排放下降过程留出更多缓冲时间，使政策制定、能源结构改革部署、生产生活方式转变更为游刃有余。在实现达峰目标后，我国将经历5年左右的缓冲平台期，以前期经济向低碳高质量发展转型的努力为基础，这一时期内我国碳排放将呈现趋缓趋稳、稳中有降的趋势。随后依托以可再生能源为主的低碳能源系统、交通系统全面电气化、负排放技术的应用推广等，我国将进入15年左右的快速减排期。在即将迎来碳中和目标的10年左右时间里，中国需要以深度脱碳为首要任务，通过负排放技术和碳汇的应用为能源系统提供灵活性，从而兼顾经济发展与减排行动，最终实现碳中和目标。

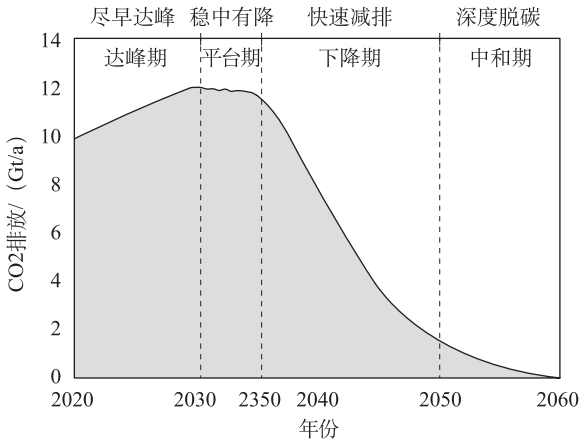
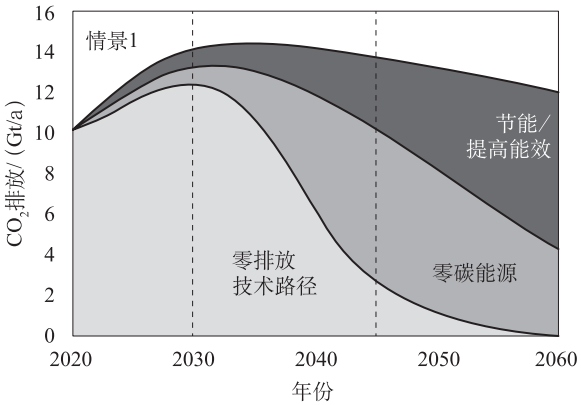


图1　碳中和愿景的排放路径

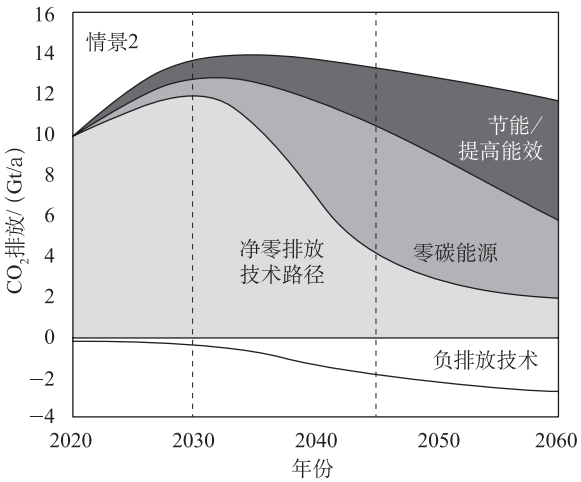
1.2 技术路径

根据2060年能否实现零排放，碳中和愿景的技术路径可以分为两类。图2（a）是2060年完全零排放情景，此情景下的技术路径主要由能效提高和零碳能源技术组成，预计通过这两大类技术可以大幅削减碳排放，并且最终在2060年实现碳中和目标。但全社会经济系统零排放能否实现受到关键技术突破、技术经济性等诸多不确定因素影响。如图2（b）所示，在2060年仍然存在难以完全零排放的情景下，负排放技术成为技术路径的重要组成，通过此类技术的大规模应用，可以在深度脱碳期保障碳中和目标的最终实现。

高能效循环利用技术往往集中于减排成本曲线最



（a）零排放技术路径



（b）净零排放技术路径

图2　碳中和愿景的技术路径

左端，具有减排成效显著，减排成本较低，甚至可以带来显著减排收益等特点。能效提高技术主要包括在生产侧采用工业通用节能设备、能源梯次利用、实现循环经济等，在消费侧使用节能家电、进行垃圾分类、选择低碳出行方式等。根据已有研究测算，目前各应用领域的能源效率仍有较大提升空间，例如交通部门能效仍有可能提高 50%，工业部门能效提高潜力可达到 10%～20% 左右 [18]。

能源系统的快速零碳化是实现碳中和愿景的必要条件之一，这需要以全面电气化为基础，全经济部门普及使用零碳能源技术与工艺流程，完成从碳密集型化石燃料向清洁能源的重要转变 [18]。零碳能源主要包括成本有望持续下降的可再生能源电力（光伏、风能、水力）、核能、零碳氢能、可持续生物能，以及零碳能源综合利用服务（智能电网、电动汽车、储能）等，从而完成能源利用方式的零碳化。

负排放技术可为以可再生能源为主的电力系统增加灵活性，这类技术主要包括农林碳汇，碳捕集、利用与封存应用（CCUS），生物质能碳捕集与封存（BECCS），以及直接空气碳捕集（DAC），其经济性将取决于各地区可行且安全的碳封存有效容量的大小 [18]。

1.3 社会路径

碳中和目标的实现离不开社会的良性互动，政府、企业、个人分别在迈向碳中和愿景进程中具有至关重要而又各有侧重的作用（图 3）。

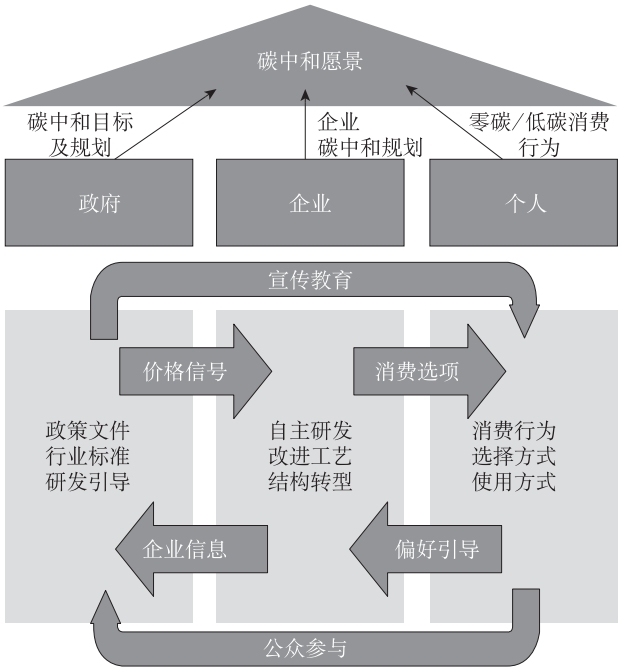


图3　碳中和愿景的社会路径

由于节能减排与企业逐利行为以及个人消费自主性之间存在矛盾，高耗能、高碳排放企业和消费人群较难自主、自觉地参与碳中和愿景建设。政府作为碳中和行动中的主导者、监督者和政策制定者，首先需要将碳中和目标纳入国民经济和社会发展规划，组织编制和实施相关的中长期专项规划和年度计划。其次，通过制定减排政策、确立行业标准、支持研发等，政府可以为企业深度减排、探索零碳技术提供价格信号和激励，引导企业为零碳 / 低碳转型采取减排措施。政府还需充分发挥对全社会节能减排的宣传教育职能，加深个人对碳中和愿景的认识和理解，促使其自愿开展绿色零碳行动，积极履行节能减排社会责任。

企业作为碳中和的行动主体，应积极响应政府政策，自觉履行企业社会责任，将碳中和目标纳入企业长期发展战略，为深度脱碳转型做出充分准备。进一步地，企业需要加大研究开发投入力度，为科技创新

提供基础支撑，并通过工艺改进、供应链管理等措施提高整体效率，实现低碳 / 零碳生产，形成碳中和愿景下新的市场竞争力。这些行动也将有力促进企业向市场和消费者提供零碳 / 低碳高效的产品选项，这一过程可提升消费者体验感和经济效益，潜移默化地影响其使用习惯和行为，进而促使个人由原有的高碳消费模式转向零碳 / 低碳消费。与此同时，由于具有减排量、技术、投入减排成本和收益等信息优势，企业可以在国家制定减排政策期间，积极参与讨论并提供必要的信息和建议，这将有利于提高政策的全面性和可操作性，也有利于企业对政策走向有更充分的了解 [19]。

面向公众的低碳政策和碳中和宣传活动，以及企业低碳产品有助于在全社会范围内营造零碳消费的氛围。由此，消费者将会形成以零碳 / 低碳为导向的新的价值衡量标准，这意味着企业是否零碳发展将直接影响个人对企业商品的接受度和选择偏好 [19]。在这一层面上，个人的消费需求将反过来影响企业市场竞争力，进而促使企业更多地参与碳中和行动。此外，公众参与是政策制定的重要环节，个人也可以广泛参与零碳 / 低碳政策的制定，发挥公众的监督作用，为构建高效的碳中和政策体系建言献策。

此外，政府与企业、个人的联系为减少范围一[①]、范围二的碳排放（即直接碳排放和使用外购电力产生的碳排放）提供了有效途径。受限于核算体系和管理难度，政府减排目标和政策往往难以将范围三的排放（即其他相关但非直接的活动产生的碳排放）纳入约束范围；而企业和个人之间的互动关系依托于选择行为和使用行为，与产品的全生命周期碳排放紧密联系，是约束范围三碳排放的重要途径，为实现全社会深度脱碳提供了关键补充。

2 碳中和愿景的政策体系

2.1 法律法规

通过立法手段，为碳中和愿景提供法律保障。碳中和愿景下的长期深度减排是我国未来发展的必然趋势，有必要通过立法手段为减排政策的长效实施提供法律基础、增强执行力度。当前，气候立法正逐渐成为国际碳中和行动的重要组分，尤其是一些国家如瑞典、丹麦、新西兰等以立法形式承诺了碳中和目标。通过立法来保障减排政策的法律基础和效力，可以把碳中和的长期愿景转换为全社会的行动共识，全面促进低碳转型的个人行为、企业行动、资金流动、技术研发。

在此基础上，我国可以进一步考虑完善应对气候变化相关制度建设。一方面，持续推进以《碳排放权交易管理暂行条例》为代表的国家碳交易制度建设，将行业覆盖范围由高耗能行业扩展到未来具有较大排放增长潜力的行业，如建筑排放、交通排放等，通过碳市场形成稳定的、不断提升的碳价格市场信号和不断加严的碳排放总量控制预期。另一方面，将创新性低碳和负排放技术的长期发展纳入我国关键技术发展战略，加快关键核心技术研发和创新。技术创新和进步是实现碳中和目标与经济高质量发展协同的关键。在全面提高能效、推动能源系统脱碳等技术的基础上，发展关键负排放技术，如基于自然的减排措施（如植树造林）、碳捕集利用与封存、生物质能结合碳捕集封存（CCS/BECCS）等。持续支持氢能、核能、储能等战略性技术方面的研发创新，同时关注电池全产业链、新兴数字技术等的减排潜力。

2.2 地方行动方案

地方自主探索碳中和方案是实现碳中和愿景的必然途径。一方面，碳中和愿景指引下的发展需要各地结合各自的资源禀赋、发展阶段、产业结构等方面特点探索合适的转型路径。另一方面，开展碳中和行动，有利于地方因地制宜推动能源生产和消费革命、经济高质量发展和生态环境高水平保护。因此，尽管碳中和是面向 2060 年的远期愿景，近期我国仍然可以而且应当考虑鼓励达峰积极的省份率先自主探索碳中和路径，通过制定地方战略、规划等方式将未来 40 年的碳中和目标纳入未来 10 年的碳达峰行动中，从而实现碳达峰目标与碳中和路径的协调一致。地方需要研究提出实现碳中和的重大政策与行动，包括经济结构、产业结构、能源结构如何实现低碳化转型，建筑、交通、农业等部门如何实现低碳发展等。此外，地方还需要探索实施碳排放总量控制、行业碳排放标准、项目碳排放评价、碳排放准入与退出等相关制度、标准和机制。

2.3 行业和企业碳中和约束与激励

实现碳中和最终要靠技术，而企业既是技术创新的主体，又是碳排放的直接来源。因此，能否让企业

① 文中范围一、范围二、范围三的界定均来源于世界可持续发展工商理事会温室气体核算体系：企业核算与报告标准 [M]. 经济科学出版社 . 2012。

采取切实可行的创新和行动是实现碳中和的关键。首先，对于企业而言，碳中和路径意味着越来越严格的碳排放标准，或者越来越高昂的碳排放成本。能否成功实现脱碳跨越，将成为决定企业未来市场竞争力的重要因素。因此，碳中和将通过产品市场的竞争实质性地构成行业标准。事实上，在一些行业已经出现了类似的苗头。例如，逐渐成型的欧盟钢铁碳关税方案和逐步成熟的欧洲新型零碳钢铁技术被认为很可能推动全球钢铁行业的零碳化标准。其次，消费者的低碳偏好、商业伙伴的碳中和行动将改变商业格局，通过消费市场和生产链将碳中和的行动传递至更多行业、企业。例如，苹果公司将推动供应链使用清洁能源作为减少其范围三碳排放的重要举措，由此将促使其上游配件供应企业探索碳中和发展，以获取市场竞争力。此外，碳中和愿景将对高排放、长寿命期的投资建设项目带来政策性风险，降低这类项目的商业吸引力和融资能力，间接为低碳技术的研发和推广创造有利条件。目前，不少跨国企业纷纷响应国际碳中和行动，将碳中和目标纳入企业未来发展战略，其中互联网、零售、金融等现代服务业企业提出的碳中和承诺普遍早于其母公司所在国家的碳中和目标年，从一个侧面反映了碳中和目标对形成企业新型竞争力的作用和影响。

为推动企业层面的碳中和行动，首先，我国应充分利用市场化工具，降低企业零碳化发展成本，如加快全国碳市场启动进程，推动碳价进入企业生产决策，通过碳价信号来引导企业以最小成本实现碳减排。目前，我国的《全国碳排放权交易管理办法（试行）》（征求意见稿）已进入公开征求社会意见的阶段，接下来应加快制定相关细则，完善硬件设施，实现全国碳市场的实质性运营。其次，利用气候投融资工具，降低企业零碳创新成本和风险。目前我国已发布《关于促进应对气候变化投融资的指导意见》，旨在引导和促进更多资金投向应对气候变化领域的投资和融资活动，接下来需加快构建相关政策体系，完善气候投融资标准，通过地方试点和创新气候投融资模式，来为企业自主探索碳中和发展路径开辟融资渠道，降低低碳投资风险。最后，需要加强对低碳 / 零碳技术保护和扶持，通过完善低碳 / 零碳知识产权保护，对于新技术给予税收抵免，进行政府采购以及技术授权等，提高企业碳中和发展收益。

2.4 面向社区和个人的鼓励政策

社区是连接个人与碳中和目标的重要平台，社区层面的减排行动是个人参与碳中和进程的关键环节。因此，可鼓励社区以削减排放总量、控制居民人均碳排放量为目标，自主制定零碳社区规划，并且在规划中注重提高零碳生活方式的需求满足程度，提升个人对零碳生活的接受度。具体来说，就是鼓励社区着重发展零碳分布式能源、实施零碳建筑改造、打造零碳出行系统、推行生活垃圾分类、利用碳普惠平台践行低碳行为，以及加大零碳生活宣传推广等。

其中，在零碳出行方面，可考虑在社区中增加新能源汽车停车位，加装公用充电桩以及进行电网增容。通过建立服务便利的充换电网络，增加个人对于新能源汽车的接受度，进而选择更加低碳的出行方式。社区碳普惠制度可通过经济激励等，引导个人自愿参与并持续采用节能减排行为，其中规范合理的激励信号在促进个人低碳行为可持续性方面起到关键作用。因此，我国应建立规范的社区碳普惠制度标准，实现碳普惠行为数据处理、收益量化算法及收益分发等环节的标准化与统一化，引导碳普惠平台与碳市场逐步对接。此外，还应鼓励社区通过建立碳普惠平台，为个人提供低碳激励机制，引导社会广泛采取减少碳排放及增加碳汇的行为。

个人通过响应政策和影响企业等方式深度参与碳中和愿景的实现进程，对约束范围三的碳排放起到了重要作用。因此可以考虑利用多种政策手段，平衡个人的低碳付出与回报预期，最大化需求侧减排潜力。我国可考虑充分运用市场机制，引导个人选择零碳生活方式。例如，实行阶梯电价制度，加大峰谷电价差，可增加节能减排的经济利益，引导个人合理用电；加大对低碳产品的直接补贴力度，降低低碳产品的实际价格，提高低碳产品价格竞争力。此外，还需要加大零碳生活的宣传教育活动，增强个人减碳意识，提升个人对零碳生活的认可度。

2.5 政策体系梳理

面向不同主体的政策需求强调了碳中和社会路径中政府、企业与个人的减排作用，而社会路径与技术路径高度融合，从政策需求中可进一步梳理出基于技术路径的政策体系。由 1.2 节可知，碳中和愿景下排放路径依赖于高能效循环利用、零碳能源以及颠覆性负排放三大领域的技术支撑，图 4 反映了面向三类技术的政策体系。

能效提升技术已相对成熟，减排成本较低，甚至具有显著经济效益。其在应用层面的阻碍主要来自于时间成本、激励错位、行为因素等方面。在鼓励成熟

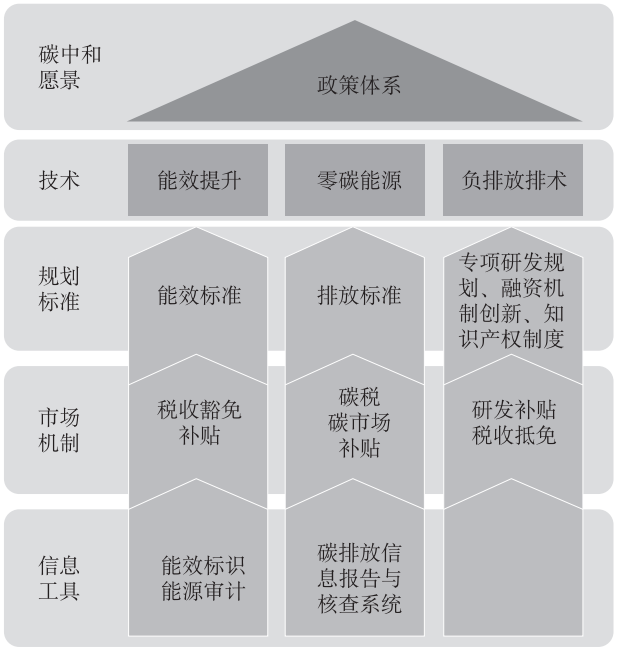


图4　碳中和愿景下基于技术的政策体系

能效提升技术扩散时，恰当的法规标准、信息工具等可以培育更明智的能源消费选择，其中主要包括能效标准、能效审计及管理、能效标识等。这从生产侧强化了对于企业的能效要求和管理，而在需求侧则利用信息引导消费者提高节能意识、激励和促进更好的选择。

近年来，零碳能源技术成本大幅下降，在价格上相对于化石能源已形成较强的竞争力，具备大规模经济开发的潜力，然而零碳能源技术的进一步发展还需要合理有效的政策为其创造市场空间。主要可通过建立健全碳税制度、碳排放交易机制等基于市场的减排政策，发挥价格的指导作用，增加化石能源技术的应用成本，提升零碳能源技术的经济性和市场优势。一方面有利于促进现有企业以成本最低化的方式实现减排，另一方面也将提高零碳能源技术应用带来的公共收益和私人回报规模，提升零碳能源技术领域进一步投资创新的吸引力。

除了通过常规手段实现能源系统深度减排外，还需全面部署颠覆性减排和碳汇技术。然而，技术创新过程中普遍存在资金成本过高、研发周期长，风险回报存在较大不确定性，技术商业化复杂性较高等问题，需要政策紧密配合，从资金、技术、制度建设等层面保障创新链的生命力。主要可以通过公共资金支持技术及其应用的研发和示范，直接资助技术转化成商业化产品，通过政策的实施为新技术改良下的产品创造价格补贴等，促进颠覆性减排和碳汇技术研发。

3 总结与展望

习近平主席在第七十五届联合国大会上郑重承诺中国将努力争取 2060 年实现碳中和目标。这为中国未来低碳转型促进经济高质量发展、生态文明建设指明了方向、明确了目标，同时也意味着未来异常艰巨的长期深度减排行动。总体上，中国碳中和愿景下的排放路径将呈现尽早达峰、稳中有降、快速降低、趋稳中和的过程。而促使社会经济系统按照预期的排放路径迈向碳中和愿景，需要关键技术路径的支撑和社会路径的保障。从控制碳排放途径的角度，高能效循环利用技术、零碳能源技术、负排放技术形成了实现碳中和目标的三大关键技术领域。政府、企业、个人则在迈向碳中和的社会路径中具有至关重要而又各有侧重的作用。这需要科学的政策体系，充分考虑社会路径与技术路径的高度融合，形成系统有效的激励机制，促进资本和人才朝着碳中和技术创新和市场化推广应用方向快速汇集。

从社会路径来看，政策体系面向不同行为主体产生了不同的政策需求。首先，国家应通过立法手段，为碳中和愿景提供法律保障。其次，可鼓励达峰积极的省份率先自主探索碳中和路径。对于企业，应考虑充分利用市场化工具，降低企业零碳化发展成本，利用气候投融资工具，降低企业零碳创新成本和风险，并且加强低碳 / 零碳技术保护和扶持。最后，对于社区和个人，一方面鼓励自主制定零碳社区规划，一方面加强碳普惠等平台建设，引导个人选择零碳生活方式。而围绕技术发展，政策体系应充分结合市场机制、法规标准、信息工具等方面，鼓励成熟能效技术的扩散，为先进技术创造市场空间以及促进颠覆性技术研发等。

参考文献

[1] 高敬 . 积极应对气候变化坚定走绿色低碳发展之路——专访生态环境部新闻发言人刘友宾 [EB/OL]. (2020-09-25)[2020-11-30]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/25/content_5547252.htm.

[2] 石敏俊 , 林思佳 . 推动经济社会发展全面绿色低碳转型 [EB/OL]. (2020-11-27)[2020-12-01]. https://theory.gmw.cn/2020-11/27/content_34407789.htm.

[3] IPCC. Global Warming of 1.5℃ [R/OL]. [2020-11-30]. https://www.ipcc.ch/sr15/.

[4] Climate Action Tracker. China going carbon neutral before 2060 would lower warming projections by around 0.2 to 0.3 degrees C[EB/OL]. (2020-09-23)[2020-12-01]. https://climateactiontracker.org/press/china-carbon-neutral-before-

2060-would-lower-warming-projections-by-around-2-to-3-tenths-of-a-degree/.
[5] The World Bank. World Development Indicators[R/OL].[2020-12-01]. https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD/
[6] European Commission. Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)[R/OL]. [2020-11-30]. Joint Research Centre (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), 2019. https://www.eea.europa.eu/themes/air/links/data-sources/emission-database-for-global-atmospheric.
[7] DARBY M, GERRETSENI. Which countries have a net zero carbon goal?[EB/OL]. (2020-09-17)[2020-12-01]. https://www.climatechangenews.com/2019/06/14/countries-net-zero-climate-goal/.
[8] DAVE JONES, EUAN GRAHAM, PETER TUNBRIDGE, et al. 2020 Global Electricity Review [R/OL]. (2020-03-15). Ember Climate. https://ember-climate. org/wp-content/uploads/2020/03/Ember-2020 Global Electricity Review-Web.pdf.
[9] AMBER MAHONE, IACHARY SUBIN, GABE MANTEGNA, et al. Achieving Cabon Neutrality in California [R/oL]. (2020-10-23). Energy and Environmental Economics. https://ww2.arb.ca.gov/sistes/default/files/2020-10/e3_cn_final_report_oct2020_o.pdf.
[10] 清华大学气候变化与可持续发展研究院 . 中国长期低碳发展战略与转型路径研究 [R/OL]. (2020-10-13). https://mp.weixin.qq.com/s/-pCdHrObCBwTrSlzCJsxgQ.
[11] POLLITTH. 在 2060 年实现“碳中和”可使中国“更富足”[R/OL]. Carbon Brief, 2020(2020-09-29). https://www.carbonbrief.org/https-www-carbonbrief-org-2060-tan-zhong-he-ke-shi-zhong-guo-geng-fu-zu.
[12] TURNER A, DELASALLEF, 陈济 , 等 . 中国 2050: 一个全面实现现代化国家的零碳图景 [R/OL]. (2019-11-22). 能源转型委员会. https://www.rmi-China. com/static/upfile/news/nfiles/zhaiyao.pdf.
[13] SALVIA M, RECKIEN D, PIETRAPERTOSA F, et al. Will climate mitigation ambitions lead to carbon neutrality? An analysis of the local-level plans of 327 cities in the EU[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2021, 135: 110253, doi:10.1016/j.rser.2020.110253.
[14] FUHRMAN J, CLARENS A F, MCJEON H, et al. China's 2060 carbon neutrality goal will require up to 2.5 $GtCO_2$/year of negative emissions technology deployment[J/OL]. arXiv: 2010.06723, 2020. http://arxiv.org/abs/2010.06723.
[15] 林伯强 . 2060 年中国“碳中和”目标的路径、机遇与挑战 [EB/OL]. (2020-11-18)[2020-12-01]. https://www.yicai.com/news/100843313.html.
[16] 李俊峰 . 碳中和 , 中国发展转型的机遇与挑战 [EB/OL]. (2020-11-12) [2020-12–01]. https://www.xindemarinenews.com/topic/yazaishuiguanli/24908.html.
[17] 陈俊武 , 陈香生 . 试论本世纪末全球实现二氧化碳“净零排放”的难度 [EB/OL]. (2016-07-26)[2020-12–01]. http://www.zhgny.org.cn/Detail.aspx?newsId=3402&TId=351.
[18] Energy Transitions Commission. Making Mission Possible: Delivering A Net-zero Economy[R/OL]. Energy Transitions Commission, (2020-09) [2020-12-01]. https://www.energy-transitions.org/publications/making-mission-possible/.
[19] 姜克隽 , 苗韧 , 郑平 , 等 . 气候变化与中国企业 [R]. 格朗 : 世界自然基金会 , 2014.

Implementation Pathway and Policy System of Carbon Neutrality Vision

WANG Can[1,2*], ZHANG Yaxin[1]

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. National and Global Governance Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: At the 75th United Nations General Assembly, President Xi Jinping solemnly pledged that China will strive to achieve the goal of carbon neutrality by 2060. This has indicated the direction and goal of China's future low-carbon transformation to promote the high quality economic development and ecological civilization construction, and boosted global confidence in tackling climate change.As the largest emission developing country in the world, it is extremely difficult to realize the vision of carbon neutrality in about 30 years after emission peaking before 2030. However, the overall emission path inevitably shows the process of ‘‘peaking as soon as possible’’, ‘‘achieving steady and moderate reduction’’, ‘‘rapid reduction’’ and ‘‘stabilizing and neutralizing’’.The technologies supporting carbon neutrality involve almost all industries and economic activities. From the perspective of carbon emission control, they can be divided into efficient recycling technologies, zero-carbon energy technologies and negative emission technologies.The government, enterprises and individuals play vital and different roles in the process of moving towards carbon neutrality vision. Scientific policy system is needed to form a systematic and effective incentive mechanism and promotes the rapid accumulation of capital and talents towards carbon neutrality technology innovation and market promotion and application.

Keywords: carbon neutrality; technical path; social path; policy system