

创新驱动：“双碳”目标实现的科技行动思路与对策

邵超峰, 战雪松, 车贝贝

南开大学环境科学与工程学院, 天津 300350

摘要 科技创新是同时实现“双碳”目标和经济社会高质量发展的关键。基于科技创新对实现“双碳”目标的支撑作用,立足推动能耗“双控”向碳排放“双控”转变的现实需求,讨论了德国、英国、美国、日本及欧盟等主要发达国家和地区的碳中和科技行动和经验;立足中国国情,从加强顶层设计、传统产业转型升级、能源结构优化、生态系统固碳等方面提出了“双碳”科技行动思路;以降低能源消费总量和提升碳绩效为导向,提出了中国“十四五”时期科学布局“双碳”科技创新行动的政策建议。

关键词 创新驱动;“双碳”目标;科技行动;节能提效;协同技术

碳达峰、碳中和(简称“双碳”)目标是党中央新发展阶段推进新发展理念、构建新发展格局做出的重大战略决策,不仅是一个应对气候变化的目标,更是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革,已经纳入生态文明建设整体布局,体现了中国未来发展的价值方向,对构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局意义深远重大。2020年9月,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上郑重宣布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,逐步推动能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变,完善减污降碳协同激励及约束政策,“双

控”考核机制转变迈出了重要一步。党的二十大报告进一步提出要立足能源资源禀赋,坚持先立后破,有计划分步骤实施碳达峰行动,完善能源消耗总量和强度调控,明确了碳排放总量和强度“双控”制度建设的方向和任务;同时提出,要站在人与自然和谐的角度系统谋划减污降碳协同增效方案、实现绿色可持续发展。2023年7月11日,习近平总书记主持召开中央全面深化改革委员会第二次会议,会议审议通过了《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》等重要能源领域文件,为完善能源消耗总量和强度调控,推动中国能耗“双控”向碳排放“双控”转变提供了政策依据和制度保障。2023

收稿日期:2023-08-30;修回日期:2023-12-15

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3802902)

作者简介:邵超峰,教授,研究方向为可持续发展目标中国本土化、生态环境政策,电子信箱:shaochaofeng@163.com

引用格式:邵超峰,战雪松,车贝贝. 创新驱动:“双碳”目标实现的科技行动思路与对策[J]. 科技导报, 2024, 42(7): 15-24;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.08.01292

年7月17—18日在全国生态环境保护大会上,习近平总书记系统部署了全面推进美丽中国建设的战略任务和重大举措,再次指出要积极稳妥推进碳达峰、碳中和。当前中国生态文明建设已进入以降碳为重点战略方向的关键时期,随着碳达峰、碳中和目标的提出,以及从能耗“双控”逐步转向碳排放总量和强度“双控”制度,为中国低碳/脱碳发展明确了新方向,也对科技创新和技术发展提出了新要求。

“双碳”目标涉及经济、社会、环境、能源、就业、安全等可持续发展问题的系统性协调规划,将带来一场由科技革命引起的经济社会环境的重大变革,在国内外均具有重要战略意义^[1]。科技创新行动则是指国家、企业或组织针对关键科学问题或技术发展需求而采取的一系列行动。在“双碳”领域,国内外主要通过行政命令、政策引导、理论研究、技术开发、应用示范、成果推广、人才培养、国际合作等方面实施科技创新行动。国际能源署(IEA)的研究表明^[2],到2050年,45%的减排将来自尚未进入市场的技术,目前正在使用的能源技术有75%将在2060年前被淘汰。中国是全球二氧化碳排放大国,从碳排放总量看,根据国际能源署发布的《2022年二氧化碳排放报告》,2022年中国二氧化碳排放量约为114.8亿t,碳排放量相较2021年下降了2300万t。中国碳排放基数大,能源结构中煤炭占比高,是全球实现碳中和目标难度最大的国家之一,从碳达峰到碳中和,中国面临着科技创新与能耗“双控”结合不紧密,科技创新对能源结构改善效果不及预期^[3],关键领域基础科学创新供给不足,原始创新能力不强^[4],技术水平总体落后且储备不足^[5],节能减排与低碳科技成果没有得到有效转化,现有减排技术难以支撑中国实现碳中和目标^[6]等问题。

在新时代征程中,中国应积极稳妥推进“双碳”目标,强化顶层设计,全面加强相关脱碳、零碳、负排放技术发展的全局性部署,加快开展研发示范,更好地推动面向碳中和愿景的科技发展。本文基于当前中国实现“双碳”目标的科技需求,整理国外先进经验,梳理中国创新驱动“双碳”目标实现的科技行动路径并提出中国“十四五”时期及后期科技创新行动的政策建议。

1 国际经验:典型发达国家和地区科技创新探索行动

积极应对气候变化是当今世界大势所趋,在联合国气候变化框架公约下,主要发达国家和地区不断强化温室气体减排目标,普遍制定并发布碳中和行动方案,明确了实现碳中和目标的产业支持政策和科技行动举措,引领全球减排进程^[7]。新冠疫情以来,科技创新在应对气候变化进程中日益得到各国高度重视,并通过政策、法规和办法以及具体措施大力推进。这些国家把碳中和技术作为促进经济复苏、创造就业和把握未来科技产业竞争制高点的重要抓手,推动碳中和行动不断升级。德国、日本、瑞典、英国等部分发达国家和地区制定了科技创新相关战略并实施相应探索行动(表1),碳中和愿景正在推动科技和产业变革。

1.1 以科技创新为主线,推进能源转型

科技创新是能源转型的内驱动力,更是解决转型问题的根本出路。当前全球温室气体排放量的73%源于能源消耗^[8],能源系统转型对实现“双碳”目标至关重要,科技创新主要从以下方面推动能源转型。一是利用技术创新降低煤电供应。为实现碳中和目标,全球多个国家已采取措施降低对煤炭的依赖,制定适合本国国情的能源转型战略行动。德国采取弃核、弃煤行动,推进光伏、电力市场2.0、数字化能源(E-Energy)、氢能等低碳能源技术的开发应用;2017年,瑞典公布本国的节能减排计划,提出航空燃料温室气体减排目标,在2045年成为一个完全没有化石燃料的福利国家^[9];同年,英国和加拿大共同成立“弃用煤炭发电联盟”(The Powering Past Coal Alliance),已有32个国家和22个地区政府加入,联盟成员承诺未来5~12年内彻底淘汰燃煤发电^[10]。二是推进能源结构低碳化技术革命。积极发展清洁能源,开发储能技术,提高能源利用率。可再生能源因分布广、潜力大、可永续利用等特点,成为各国应对气候变化的重要选择。德国是欧洲可再生能源发展规模最大的国家,2020年德国制定的《国家氢能战略》将氢能作为替代能源促进航空、重型运输、海上运输等领域脱碳,通过氢气

表1 主要发达国家和地区碳达峰、碳中和科技创新探索行动

国家和地区	科技创新相关战略	主要探索行动	行动维度
德国	《气候保护计划 2030》《国家氢能战略》等	(1) 加大对能源技术领域投资的力度 (2) 加大对气候保护研究的研发投入	政策引导、技术研发、应用示范等
日本	《能源基本计划》《氢能及燃料电池发展路线图》《革新环境技术创新新战略》《2050 年碳中和绿色增长战略》等	(1) 围绕重点绿色技术,全面提升前沿碳排放技术水平 (2) 持续加大新能源开发利用的财政补贴力度 (3) 持续进行新能源技术、储能技术研发工作,确定重点领域深度减排技术路线图和发展目标	政策引导、技术研发等
瑞典	《气候政策框架》《循环经济国家战略》《绿色复苏国家计划》《生命科学国家战略》《瑞典减少温室气体排放长期战略》等	(1) “战略创新计划”推动可持续科研项目产业化 (2) 确立气候中和行业为“创新伙伴关系计划”四大主题之一 (3) 实施“气候飞跃”和“绿色工业飞跃”计划 (4) 启动“无化石瑞典行动计划”	政策引导、技术研发、应用示范、成果推广等
英国	《绿色工业革命十点计划》《英国清洁增长战略》《英国绿色工业革命》《净零排放:重建绿色环境》《2023 年能源法》等	(1) 从“咨询建议—战略决策—战略执行—外部评估”4 阶段螺旋式推进碳中和政策体系 (2) 系统制定经济全领域的发展路线图,指导各排放部门和具体产业领域中长期行动计划的出台 (3) 发布 10 亿英镑投资组合、净零研究与创新框架等一系列研发计划	政策引导、技术研发、应用示范、成果推广等
美国	《关于应对国内外气候危机的行政命令》《能源研究与创新法案》《清洁经济、就业和创新法案》《联邦可持续计划——促进美国清洁能源产业和就业》《通货膨胀削减法案》等	(1) 启动“净零变革者倡议”,提出 5 项优先研发事项 (2) 成立联邦绿色银行,为低碳或零碳技术、创业和基础设施提供资金 (3) 建立清洁氢区域中心和电解技术研发 (4) 启动优先购买低碳、清洁技术与产品的联邦政府“Buy Clean”采购行动 (5) 开展低碳清洁供应链建设	政策引导、技术研发、成果推广、人才培养、国际合作等
欧盟	《欧盟 2050 战略性长期愿景》《欧洲绿色新政》《欧洲气候法》《欧洲新工业战略》《欧盟能源系统集成战略》《欧洲氢能战略》《生物多样性战略》《欧盟适应气候变化战略》《Fit for 55》计划等	(1) 将技术研发提升至核心高度,全方位保障低碳技术研发 (2) 继续推进能源税、绿色金融、新兴低碳技术投资等举措,支持重点领域的低碳科技研发与示范工作 (3) 聚焦能源、建筑、交通行业,深化碳排放权交易、财政配套政策等举措,推动企业自发性加大对重点技术的研发力度	行政命令、政策引导、技术研发、应用示范、成果推广等

和以清洁能源为主体的能源转化(Power-to-X)途径推动排放密集型工业过程脱碳,不断推动可再生能源发电量占总用电量的比重将逐年上升;2022年8月美国通过了《通货膨胀削减法案》,在能源领域指出通过激励太阳能、风能、碳捕获和清洁氢等清洁能源技术的国内生产,建立美国清洁能源供应链,并通过有针对性的税收优惠支持美国工人,旨在优化美国制造的产品,如电池、太阳能和海上风电组件以及碳捕集与封存(CCS)等技术;欧盟自2018年共发布10项政策,2020年7月发布了《欧盟能源系统集成战略》和《欧盟氢能战略》,明确了能源、工业、建筑、交通、消费等重点领域的技术需求^[11],确保所有政策都围绕绿色技术投资、保护自然环境展开^[12]。

1.2 以关键领域节能降碳为重点,全过程推动碳效率提升

实现“双碳”目标,推进高耗能行业重点领域节能降碳是关键。基于碳排放来源贡献,法国、德国等从国家层面建立碳预算制度,推进交通、建筑、工业等各领域源头上向低碳转型,末端推进碳捕获碳储存及利用技术,建立全过程碳排放管控体系。具体来看,一是发展生物质能碳捕集与封存(BECCS)技术。2018年,英国启动了欧洲第一个生物能源碳捕获和储存试点。根据国际能源机构估计,至少需要6000个这类项目,且每个项目每年在地下存储100万t二氧化碳,才能实现2050年碳中和目标。二是发展循环经济,提升材料利用率。欧盟委员会通过新版《循环经济行动计划》,贯穿了产品整个周期,特别是针对电子产品、电池和汽车、包装、塑料以及食品,旨在提升产品循环使用率,减少欧盟的“碳足迹”。三是加大建筑节能技术创新,对公共和私人建筑进行大规模节能改造,减少建筑物碳排放,打造绿色建筑。在评价体系方面,英国出台了世界上第一个绿色建筑评估方法《英国建筑研究院环境评估方法》(BREEAM),德国推出了第二代绿色建筑评价体系《德国可持续建筑评价标准》(DGNB),新加坡在《建筑控制法》中加入了最低绿色标准、出台了绿色建筑标志(green mark),这些评价技术标准或规范对新建建筑、既有建筑及社区的

节能标准做出了规定,有效推动了绿色建筑的发展。在绿色能效标识方面,大多数发达国家推行公共碳标签和私有碳标签组成的碳标签制度体系,如英国碳减排标签,美国气候意识标签、食品碳标签和无碳认证标签,法国碳指数(indice carbone)标签,加拿大碳计数(carbon counted)标签,瑞典气候标志(climate marking in Sweden)等^[13]。针对建筑领域,美国和德国分别实行了“能源之星”和“建筑物能源合格证明”,标记建筑和设备的能源效率及耗材等级;同时推动老旧建筑改造,新建建筑绿色化,法国设立了翻新工程补助金,推动传统高能耗住房进行符合低能耗建筑标准的改造;英国推出“绿色账单”计划,以退税、补贴等方式鼓励民众为老建筑安装减排设施,对新建绿色建筑实行“前置式管理”^[14]。四是布局新能源交通工具,推广新能源汽车等碳中性交通工具及相关基础设施,减少交通运输业碳排放。美国出台《能源政策法案》,建立低碳燃料标准并进行税收抵免;日本、智利、秘鲁、南非、阿根廷、哥斯达黎加等政府发布绿色交通战略或交通法令,统一购车标准,鼓励使用电动或零排放车辆。

1.3 以科技发展战略和政策优化调整为抓手,注重新型低碳技术研发及应用

聚焦碳中和目标,围绕碳效率提升的现实需求明确重大关键技术的路线,设定符合国情的科技发展战略和政策。法国将能源环境设为优先发展领域,高度重视核电技术研发^[15]。美国将气候变化作为四大优先事项之一,强调加大对液体燃料、低碳交通、可再生能源发电、储能等低碳技术的研究投入及支持。德国建立能源转型实验室(living labs for the energy transition),将其作为德国在该领域技术研发的核心支柱,重点围绕氢能利用、储能系统等开展科技创新。英国《绿色工业革命十点计划》中提出将投入120亿英镑,加强海上风电、低碳氢、先进核电、零排放汽车、绿色建筑、碳捕集利用与封存(CCUS)等技术研发。2020年9月,澳大利亚发布国家首个《低排放技术声明》,明确指出重点发展清洁氢、能源储存、低碳材料(将钢和铝的生产过程低碳化)、碳捕集与封存和土壤碳测量5项低

排放技术。2020年12月,日本经济产业省发布《绿色增长战略》,针对包括海上风电、核能产业、氢能等在内的14个重点领域深度减排技术路线图和发展目标,旨在确保日本到2050年实现碳中和目标^[6]。2020年12月,韩国政府发布了《2050年碳中和战略》,在能源、工业、交通、建筑、废弃物、农业和碳汇等7个方面设定远期目标,并从政策创新、社会创新、技术创新等3个层面推出具体举措。

在日益严峻的全球气候变化形势下,技术创新和技术突破成为世界各国实现“双碳”目标的重要依托。全球已有超过130个国家和地区提出了“零碳”或“碳中和”的气候目标,多国基于碳中和目标对重点领域的技术需求进行系统研究和战略推进,先后出台了一系列科技发展规划。目前中国还处于起步阶段,碳排放总量和强度“双高”的情况仍将持续,现有技术发展水平不足以支撑碳中和目标实现,不同领域的低碳科技水平参差不齐、跨行业部门的低碳科技创新顶层设计与体制机制建设仍不完善、低碳科技发展的基础理论和关键技术支撑不足,与欧美等发达国家相比整体技术水平仍有明显差距^[7]，“双碳”目标的实现亟需科技创新支撑。通过梳理分析典型发达国家科技创新政策布局与行动策略,中国应大力实施创新驱动发展战略,强化支撑“双碳”目标的科技创新顶层设计,聚焦碳中和关键领域和重大需求,统筹谋划科学研究和技术开发的方向和路径,在能源结构、能源安全等关键领域强化科技创新力量布局,依托科技创新引领能源绿色低碳加速转型,集中力量开展关键核心技术和装备攻关,为实现碳中和目标提供强有力的科技支撑^[8]。

2 行动路径:依托科技创新支撑作用实现碳达峰、碳中和

到2060年实现碳中和,中国碳达峰、碳中和路径将经历碳达峰阶段(2030年前)、碳峰值平台期(碳达峰后5年左右)、迈向碳中和(碳达峰后5年直至碳中和)3个阶段(图1),结合中国现实背景及国际经验,3个阶段针对创新驱动“双碳”目标实现的任务侧重存在差异,相应阶段的科技行动重心也有

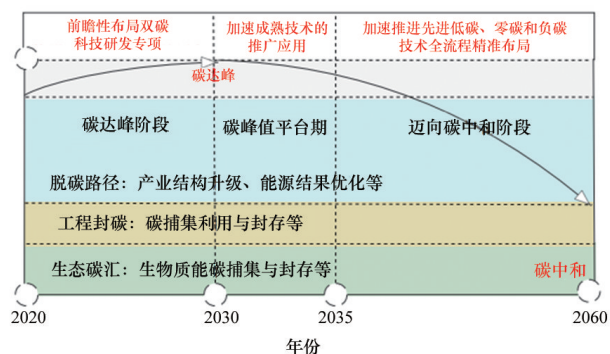


图1 中国碳达峰、碳中和行动各阶段科技重点

所不同。在碳达峰阶段,最紧迫的任务是在兼顾社会经济发展的前提下减少碳排放,需要前瞻性布局碳达峰、碳中和科技研发专项,并开展低碳技术创新与成果转化,实现高质量达峰;在碳峰值平台期,需实现国内经济发展与碳排放完全脱钩,碳排放显著下降,主要任务是巩固碳达峰阶段的减排成效,加速成熟型低碳技术的推广应用;迈向碳中和阶段主要任务则是加速推动先进低碳、零碳和负碳技术全流程精准布局,完成经济社会发展绿色低/脱碳转型,稳步推动碳排放逐渐下降。为了尽快实现二氧化碳排放中和的到来,从强化顶层设计、传统产业转型升级、能源结构优化、生态系统固碳4个方面提出了碳达峰、碳中和科技行动思路。

2.1 立足国情,强化支撑“双碳”目标的科技创新顶层设计

碳中和自2020年提出后,已成为中国长期发展战略规划。党的十八大以来,中国把绿色低碳和节能减排摆在突出位置,建立并实施能源消耗总量和强度双控制度,有力促进了中国能源利用效率大幅提升和二氧化碳排放强度持续下降。为了统筹考虑“双碳”目标需求,在激烈的国际竞争中赢得更多的主动权、优先权,亟需进一步加强中国科技创新的顶层设计,结合短期经济复苏、中期结构调整、长期发展转型的需要,做好碳达峰增量控制、碳中和减排技术储备“两步走”顶层设计,布局近、中、远期关键技术攻关,建立健全美丽中国建设保障体系。首先,紧扣目标分解任务,建立跨部门的合作和交流机制,支撑“双碳”目标下各部门对科技创新及创新成果转化应用;其次,在碳排放、碳交易领域形成较

为完备的法律规范体系,推动科技创新工作规范化法治化;最后,相关科研机构及企业要会同政府相关职能部门加强变革性技术研发和战略性技术储备,坚持自主创新,把应对气候变化、新污染物治理等作为国家基础研究和科技创新重点领域,重视关键核心技术攻关,深化人工智能等数字技术应用,构建美丽中国数字化治理体系,建设绿色智慧的数字生态文明,提升未来中国低碳产业的核心竞争力^[19]。

2.2 以科技创新为引领,促进传统产业转型升级

工业、交通等高排放行业绿色低碳转型是实现碳中和目标的重中之重,技术创新是促进行业以低成本效益实现碳减排的关键。其中,2020年工业部门碳排放约49亿t,占比约44%,预计2025年前后达峰,峰值约55亿t,2060年工业总体碳排放建议控制在3亿~5亿t;2020年中国交通领域碳排放9.3亿t,占全国终端碳排放的15%。争取将于2030年左右达峰,峰值控制在12.5亿~13.5亿t,2060年碳排放将努力降至2亿t以内^[20]。中国碳达峰、碳中和行动3个阶段针对传统产业转型升级的行动思路为:在碳达峰阶段,通过加速淘汰落后工艺,大力推进制造业电气化,在燃料/原料替代、节能增效等技术方面取得突破,大幅削减工业过程原料反应和化石能源使用造成的碳排放;进入碳峰值平台期,需要继续推广降碳技术,同时优化产业能源结构,深化制造业与互联网融合发展,强化能源信息化管控,大幅提高能源利用效率,建立绿色低碳发展的产业体系;迈向碳中和阶段,应当瞄准物质能量循环与再利用技术,包括推进产品全生命周期绿色管理,不断优化产品结构,支持重点行业改造升级,鼓励企业瞄准国际国内同行业标杆全面提高产品技术、工艺装备、能效环保等水平,以及发展碳汇和碳捕集利用与封存等负排放技术,着眼长远还应发展非二氧化碳温室气体减排技术^[21]。

2.3 立足能源结构优化,发展安全有保障的可再生能源体系

能源低碳化转型是应对气候变化危机、实现碳达峰、碳中和的重要途径之一。通过推进绿色低碳技术创新、发展以新能源和可再生能源为主的现代能源体系已成为国际社会的共识。从中国能

源结构分析,降煤、稳油、增气、大力发展可再生能源是未来40年中国能源消费结构的总基调。据国家统计局统计,2020年中国煤炭消费量占能源消费总量的56.8%,对于煤炭消费的压缩和限制首当其冲。天然气、水电、核电、风电等清洁能源消费量占能源消费总量的24.3%,占比较小。根据中共中央、国务院发布的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中的行动规划,到2025年,中国非化石能源消费比例达到20%左右,到2030年,非化石能源消费比例达到25%左右,到2060年,非化石能源消费比例达到80%以上。而截至2020年底,中国非化石能源消费比例仅达15.9%^[22]。中国碳达峰、碳中和行动3个阶段针对传统能源结构优化的行动思路为:在碳达峰阶段,通过积极布局新能源为新型电力系统,支撑煤电实现从基础电源到调节性、支撑性电源的转变^[23],依靠低碳清洁技术提高化石能源利用效率和清洁化水平,减少能源生产消费对生态环境的负外部性;进入碳峰值平台期以后,要显著提高非化石能源在能源结构中的比重,突破储能、智能电网等关键技术,加快推动风电、太阳能等新能源和终端电气化的跨越式发展,推动可再生能源等技术(光伏面板、风机制造)、电网基础设施、充电基础设施、电动车和电池制造等领域的加速增长;进入迈向碳中和阶段,优先发展新一代高效低成本可再生能源,提升安全先进核能占比,大力推进新型电化学反应转化与存储等颠覆性零碳能源技术,加快构建以非化石能源为主的零碳能源结构。

2.4 保护并增强生态系统固碳能力,发展负排放技术

负碳排放通过一些新兴前沿技术固定且利用二氧化碳,整个过程不仅没有二氧化碳排放,还净消耗二氧化碳^[24]。负碳排放关键技术包括生态固碳增汇、CCUS、BECCS与直接空气碳捕集(DAC)等,这些技术重点解决生产活动中无法通过技术手段减排的碳,是中国实现“双碳”目标的重要途径之一^[25]。据联合国粮农组织评估,全球陆地和海洋生态系统年均固碳为35亿t、26亿t。中国陆地生态系统碳汇在10亿~40亿t二氧化碳/a,同时,随着生

态文明建设和生态保护与修复工程的不断开展,中国陆地生态系统的碳汇还在稳步提升^[26]。中国碳达峰、碳中和行动3个阶段针对保护并增强生态系统固碳能力的行动思路为:在碳达峰阶段,需完善生态碳储量核算、碳汇能力提升潜力评估等方法体系,持续开展生态保护与修复;进入碳峰值平台期,以二氧化碳规模化减排和资源化利用为重点,有序推进CCUS技术在火电、化工、钢铁等产业的全流程融合示范,加强跨行业、跨领域的技术集成;进入碳中和阶段,在固碳方面要加强森林绿碳、海洋蓝碳等固碳增汇技术的研发与推广工作,利用人工干预生物过程和生态工程技术增加土壤、森林、草原、湿地、海洋等碳汇能力,大幅提升生态系统固碳水平,同时着眼长远前瞻部署BECCS、DAC、矿物碳化、生物炭、地球工程等前沿负排放技术的研发与示范工作^[27]。

3 政策建议:以降低能源消费总量和提升碳绩效为抓手统筹布局科技创新行动

“十四五”是碳达峰碳中和的关键期、窗口期,党的二十大报告在指出完善能源消耗总量和强度调控的同时,又特别强调了控制化石能源消费并推动能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变。对标中国碳达峰碳中和目标任务,统筹推进科技创新支撑引领碳达峰碳中和工作。当前,中国需要着重提升支撑碳中和的高水平科技自立自强能力,通过科技创新在源头上实现能源结构优化、产业结构转型,开展重点行业能效提升以及重点领域绿色消费降低碳排放^[28],提升生态系统碳汇能力,推动重点行业和企业CCUS技术的示范和应用,建立贯穿在碳达峰碳中和的碳监测与碳排放权交易支撑体系,完善绿色低碳技术成果市场化转化机制和创新服务体系,推动“绿色企业”培育和发展。为此,提出以下5点政策建议。

3.1 将实现“双碳”目标作为科技创新顶层设计的落脚点

深化跨技术、跨能源、跨领域的顶层设计。建

立科技部牵头的跨部门协调机制,共同推动支撑碳中和目标下各领域科技创新及技术成果推广应用,发挥政策合力,以更大力度推进减排与经济发展、环境治理协同增效(碳中和愿景的科技需求与技术路径);结合短期经济复苏、中期结构调整、长期发展转型需要,研究制定碳中和科技创新顶层设计,做好二氧化碳达峰增量控制、碳中和减排技术储备“两步走”路径规划,推动相关规划编制,提升未来低碳/零碳产业竞争力。通过科技创新顶层设计,强化统筹布局,加强变革性技术研发和战略性技术储备。

3.2 把深化能源系统全面脱碳作为科技创新的着力点

加强科技领域实现“双碳”目标的能源战略研究,从能源供给端着手,推动能源供给侧的全面脱碳,挖掘需求侧能源灵活性应用潜力,加快构建清洁低碳的能源体系,推进多能融合技术体系突破;聚焦太阳能、风能、生物质能、地热能、潮汐能、核能等重点低碳及可再生能源技术的推广应用,推进储能、热泵技术的研发及工程示范,提高能源利用率、保障能源安全,推动可再生能源发电与储能技术结合,促进各能源系统间资源优势“合并”^[28];综合利用大数据、人工智能、物联网等技术,实现能源的智能化管理和优化调度,健全以电力、石油、天然气、风电、光电、核电等能源为主的能源联网体系,保障上下游产业链畅通,提高能源供应效率,保障安全可靠的能源供应,实现中国能源系统深度脱碳^[29]。

3.3 加强重点行业和领域的关键核心技术攻关及推广应用

坚持以市场为导向,以重点行业和重点领域为抓手,布局碳中和技术创新,稳步推进减排技术研发和工程化应用。加快推进规模化储能、氢能、碳捕集利用与封存等技术发展,构建实现碳中和目标的技术体系;加速民生科技研发推广,减少交通运输业碳排放,布局新能源交通工程,推动建筑可持续,发展“光储直柔”配电系统相关技术,助力实现建筑领域零碳能源的推广应用;加大支持前沿性、颠覆性绿色低碳技术研发;推动数字化、信息化赋能低碳技术,提升数字化技术在低碳技术创新中的

转化应用效能^[2];加快新技术新模式试点示范应用,在试点中形成与推广成熟技术,促进新技术、新工艺、新模式的研发、转化和落地应用。

3.4 加强碳中和人才队伍建设,推动技术创新主题布局

推动碳中和人才队伍的系统和长远布局。针对“双碳”目标组建专门的技术创新和政策研究的人才队伍,加大对优势科研机构 and 团队支持力度,建立稳定支持机制,完善技术创新攻关主体布局;专注于光电、核电等清洁能源领域技术优势,叠加人工智能、大数据分析、云计算等数字化技术方面的优势,加强能源技术创新,以点带线地推动技术进步;着力推动产学研结合,使人才资源贴近市场、紧跟产业、服务战略,推动研究院校、人才链、技术链、产业链、国际链环环相扣、互相促进、深度融合^[29];设立国家重点实验室和技术创新中心,建设科技信息资源平台,深入推进各个领域的交叉融合,特别要加强碳中和青年科技人才培养^[29]。

3.5 加强国际交流合作,推动技术交流合作共赢

促进多边机制与双边合作框架下碳中和科技创新,积极推动将碳中和技术创新纳入与主要国家双边科技合作框架的优先领域。通过企业出海、产品出海、技术出海、扩大辐射范围,提升中国在碳达峰、碳中和领域构建符合国际合作与发展趋势的话语权;维持和加强与欧美等发达国家科技合作的“利益交集”,加强技术创新、产业升级、能源转型、气候政策方面的合作;加强与发展中国家的技术转移交流合作。借助“一带一路”“南南合作”等平台,推动中国应对气候变化技术走出去,解决发展中国家的技术需求,树立绿色“一带一路”的国际形象;坚持和促进多边主义合作,通过联合国气候变化框架公约(UNFCCC)、清洁能源部长级会议(CEM)、创新使命部长级会议(MI)等平台,加强脱碳、零碳和负排放技术创新合作,探索建立碳中和技术创新联合研究和知识共享机制^[29]。

4 结论

当今世界正经历新一轮科技革命和产业变革,

世界各国均将科技创新作为碳中和目标实现的重要保障,中国2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和是重大的战略决策,这不仅是一场经济社会的系统性变革,更是将中国建设成为世界科技强国的必然选择,实现“双碳”目标亟需科技支撑,世界各国均将科技创新作为碳中和目标实现的重要保障,实现碳中和和科技创新领域国际竞争日趋激烈,“技术压制”“技术壁垒”等恶性竞争有日益加剧的趋势,2021年美国国防部负责环境与能源的副部长声称,“不应向中国交出清洁能源技术”^[30]。大力推进实施面向“双碳”目标的科技创新不仅具有重要性,更具紧迫性。本文通过研究得到以下结论。

1) 中国碳排放基数大,化石能源消费占比高、碳排放强度大,同时面临着产业结构约束强、配套技术体系不成熟等诸多现实挑战,是全球实现碳中和目标难度最大的国家之一。实现碳中和必须采取有力手段,选取适合中国的碳中和路径,有计划、有重点、有步骤推进工作。

2) 顶层设计是实现碳中和的重要引擎,是贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的内在要求,是党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策。在实现碳中和的过程中,节能提效是实现碳中和的优先手段,优化能源结构是实现碳中和的关键支撑,负碳技术是实现碳中和的兜底手段。

3) 科技创新是实现碳中和的有力支撑,亟需将实现“双碳”目标作为科技创新顶层设计的落脚点,深化能源系统全面脱碳,加强关键核心技术攻关,建设碳中和人才队伍建设并不断提升中国在碳达峰、碳中和领域的国际话语权。

通过加强顶层设计,建立完善、适用的政策体系,统筹确定支撑“双碳”目标实现的科技创新行动与保障措施,对于中国实现“双碳”目标具有关键性引领作用,对其他国家也具有重要的参考借鉴意义。

参考文献(References)

- [1] 黄晶. 中国2060年实现碳中和目标亟需强化科技支撑[J]. 可持续发展经济导刊, 2020(10): 15-16.
- [2] IEA. Energy technology perspectives 2020[R]. Paris: IEA,

- 2020.
- [3] 黎友焕, 寿松涛. 当前我国科技创新支撑“双碳”目标存在问题及路径研究[J]. 科技与金融, 2022(5): 15-24.
- [4] 梁鹏. 我国绿色低碳能源技术发展存在的问题和建议[J]. 科技中国, 2023(5): 76-78.
- [5] 田潇潇, 郭克莎. 绿色制造技术创新对制造业绿色发展的影响[J]. 经济理论与经济管理, 2023, 43(8): 4-17.
- [6] 王佳. 张放陶委员: 依靠科技创新走向碳达峰碳中和[N]. 山西经济日报, 2022-01-20(2).
- [7] Jiang R, Liu B C. How to achieve carbon neutrality while maintaining economic vitality: An exploration from the perspective of technological innovation and trade openness[J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 868: 161490.
- [8] 人行国际司青年课题组. 主要国家实现“碳中和”路线图[N]. 第一财经日报, 2021-02-04(A11).
- [9] 王瑜贺. 中国能源转型面临的挑战与建议[J]. 中外能源, 2022, 27(6): 10-16.
- [10] Griffin P W, Hammond G P. Industrial energy use and carbon emissions reduction in the iron and steel sector: A UK perspective[J]. *Applied Energy*, 2019, 249(增刊 1): 109-125.
- [11] 王大伟, 孟浩, 曾文, 等. “双碳”视角下欧美日绿色发展策略研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2022, 37(5): 61-66, 76.
- [12] 崔冰, 马涛, 何颖. 加快完善我国低碳技术创新政策体系: 欧日的经验借鉴[J]. 中国外资, 2023(9): 36-39.
- [13] 兰梓睿. 发达国家碳标签制度的创新模式及对我国启示[J]. 环境保护, 2020, 48(12): 71-73.
- [14] 罗毅. “双碳”目标下绿色建筑的发展方向及技术应用[J]. 中国工程咨询, 2022(5): 74-79.
- [15] Shirizadeh B, Quirion P. Low-carbon options for the French power sector: What role for renewables, nuclear energy and carbon capture and storage?[J]. *Energy Economics*, 2021, 95: 105004.
- [16] Chapman A, Okushima S. Engendering an inclusive low-carbon energy transition in Japan: Considering the perspectives and awareness of the energy poor[J]. *Energy Policy*, 2019, 135: 111017.
- [17] 刘仁厚, 杨洋, 丁明磊, 等. “双碳”目标下我国绿色低碳技术体系构建及创新路径研究[J]. 广西社会科学, 2022(4): 8-15.
- [18] 江亿, 胡姗. 中国城乡能源供给系统的低碳途径[J]. 科技导报, 2023, 41(16): 6-22.
- [19] 贾晋. 中国低碳技术发展的瓶颈与突围[N]. 成都日报, 2021-12-08(6).
- [20] 徐俊. 科技支撑碳中和目标实现的路径选择及政策研究[J]. 中国经济学人, 2022, 17(2): 48-68.
- [21] 索超, 马捷, 赵宁, 等. 化工企业碳达峰、碳中和路径研究[J]. 橡塑技术与装备, 2022, 48(11): 14-20.
- [22] 赵辉. 碳中和目标实现下中国转型发展路径研究[J]. 节能, 2022, 41(9): 74-76.
- [23] 王鹏, 杜瑜铃, 王雁凌, 等. 欧洲战略备用机制对我国发电容量充裕性问题的启示[J]. 电力建设, 2022, 43(10): 16-25.
- [24] 中国致公党四川省委会课题组. 加快布局颠覆性零碳负碳前沿技术促进碳中和目标实现[J]. 中国发展, 2022, 22(5): 9-12.
- [25] 郭楷模, 孙玉玲, 裴惠娟, 等. 趋势观察: 国际碳中和行动关键技术前沿热点与发展趋势[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(9): 1111-1115.
- [26] 周子勋. 我国生态系统碳汇巨大缓解气候变化大有可为[N]. 中国经济时报, 2023-04-27(4).
- [27] 曲建升, 陈伟, 曾静静, 等. 国际碳中和战略行动与科技布局分析及对我国的启示建议[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 444-458.
- [28] 邵超峰. “双碳”背景下推动创新示范区绿色低碳循环发展的思路[J]. 可持续发展经济导刊, 2021(5): 23-26.
- [29] 赵亮, 王耀正. 俄乌冲突对世界能源供需格局的影响及中国的应对之策[J]. 价格月刊, 2023(9): 24-33.
- [30] 黄鲁成, 郭鑫, 苗红, 等. 双碳科技创新: 概念维度、发展路径与政策机制[J]. 科学管理研究, 2023, 41(3): 37-43.

Scientific and technological action ideas and countermeasures to achieve dual carbon goals driven by innovation

SHAO Chaofeng, ZHAN Xuesong, CHE Beibei

College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China

Abstract Scientific and technological innovation is the key to simultaneously realizing the dual-carbon goal and high-quality economic and social development. Based on the supporting role of scientific and technological innovation in realization of the "dual carbon" goal, based on the practical needs of promoting the transformation from "dual control" of energy consumption to "dual control" of carbon emission, the paper discusses the carbon neutral scientific and technological actions and experiences of major developed countries and regions such as Germany, the United Kingdom, the United States, Japan and the European Union. Based on China's national conditions, the paper puts forward the action ideas of dual-carbon science and technology from the aspects of strengthening top-level design, transformation and upgrading of traditional industries, optimization of energy structure and carbon sequestration of ecosystems. To reduce the total energy consumption and improve carbon performance as the guidance, recommendations for China's scientific layout of dual-carbon science and technology innovation action policy during "14th Five-Year Plan" period are put forward as well.

Keywords innovation driven; double carbon target; science and technology action; energy saving and efficiency improvement; collaborative technology ●



(责任编辑 徐丽娇)