

科技创新是实现“双碳”目标的关键支撑

◇朱承亮 吴滨

自从向国际社会作出碳达峰碳中和承诺的“3060”目标后，中国政府就在积极行动，并做出一系列政策安排。《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》和《2030年前碳达峰行动方案》的颁布，成为指导“双碳”工作的重要依据和基本遵循。

在这项艰巨的工作中，无论从经济发展阶段、碳排放总量、人均碳排放量、碳中和实现周期，还是从碳减排技术储备来看，与欧美发达国家相比，我国实现碳达峰尤其是碳中和目标需要付出更大努力。实现“双碳”目标，科技创新是关键。

科技创新是实现“双碳”目标的关键支撑

1. 发达国家积极部署碳中和和科技创新工作。纵观全球，世界主要地区、发达国家和国际组织都高度重视科技创新对实现碳中和目标的支撑作用，都基于碳中和目标对重点领域的碳减排技术路线进行了系统研究和战略部署。2019年欧盟颁布的《欧洲绿色新政》明确了能源、工业、建筑、交通、粮食、生态和环境等7个重点领域的行动路线图，旨在使欧洲到2050年成为全球首个碳中和大陆；2020年美国发布的《清洁能源革命和环境正义计划》将低碳交通、新能源、储能

等列为重点研发方向并明确了技术发展目标，旨在确保美国实现100%清洁能源经济，并在2050年前达到净零碳排放；2020年日本发布的《绿色增长战略》确定了海上风电、燃料电池、氢能、核能、交通物流和建筑等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，构建“零碳社会”；国际能源署长期开展减排技术评估并发布减排技术路线图，在《能源技术展望2020》中系统分析了解决能源行业各领域排放问题所需的清洁技术，如电气、氢能、生物能源以及碳捕获、利用和储存（CCUS）技术等，强调要大力开发和部署清洁能源技术，才能在确保能源系统弹性和安全性的同时于2050年左右实现净零排放。

2. 我国高度重视碳达峰碳中和和科技创新工作。我国作为全球最大的发展中国家和碳排放大国，在积极主动承担碳减排责任的过程中，也一直在探索实现低碳转型的有效手段和政策。实践证明，科技创新是应对气候变化的重要手段，应对气候变化关键技术的研发和创新是有效减缓或适应气候变化的重要途径。近年来，我国积极参与全球气候变化治理进程，通过实施应对气候变化国家战略、优化能源结构、提高能源效率、加大科技投入等方式，使得我国温室气体排放得到了较好控制。根据生态

环境部发布的《2020中国生态环境状况公报》，2020年我国单位GDP二氧化碳排放比2019年下降约1.0%，比2015年下降18.8%，超额完成“十三五”下降18%的目标。目前国家科技部已经成立了碳达峰与碳中和科技工作领导小组，正在抓紧研制“碳达峰碳中和科技创新行动方案”，加快推进“碳中和技术发展路线图”编制工作以及推动设立“碳中和关键技术与示范”重点专项。科技界也在积极行动，如中国科学院正在抓紧研制“中国碳中和框架路线图”。总体来讲，虽然我国重要行业和关键部门均已有了较为成熟的低碳技术作为应对气候变化目标的支撑，且多部门协作推广气候友好型技术的体系已经建立并发挥了积极作用（王灿等，2021），但是我国碳中和和科技创新体系还不够完善，市场导向的绿色技术创新体系尚未建成，尤其是自主创新能力较为薄弱，实现碳中和关键核心技术储备不足，存在“卡脖子”风险。

3. 科技创新是实现碳达峰碳中和目标的关键支撑。习近平总书记指出，生态文明发展面临日益严峻的环境污染，需要依靠更多的科技创新建设天蓝、地绿、水清的美丽中国。这一论断，强调了科技创新对环境保护和生态文明建设的重要性，也说明在实现碳达峰碳中和目标过程中，科技创新的作用不可替代。实现碳达峰碳中和目标，

意味着当前及今后一段时间内,我国既要兼顾经济社会高质量发展、资源能源安全、生态环境高水平保护等多重目标需求,又要协调好短期经济复苏、中期结构调整、长期发展转型之间的矛盾,意味着我国在产业结构、能源结构、技术变革、环境政策等方面要同时进一步深化改革。科技创新是同时实现经济社会高质量发展和实现碳达峰碳中和目标的关键,实现碳达峰碳中和目标将加速技术生态化创新发展,对我国科技创新体系而言,既是一次重大机遇,更是一次重大挑战(胡志坚等,2021)。

实现“双碳”目标提出新的科技需求

1.与发达国家相比,我国实现碳中和目标需要付出更大努力。目前,提出碳中和目标并付诸实践的国家大多是欧美发达国家,这些国家都已经实现了碳达峰目标,其中英国、法国、德国等国家在20世纪80年代左右就已实现了碳达峰目标,美国、加拿大、意大利等国家在2007年左右也实现了碳达峰目标。欧美发达国家的实践经验表明,实现碳达峰是经济发展和技术进步良性互动后的自然过程,碳达峰一般出现在基本完成工业化和城镇化之后。在当前经济发展阶段,我国碳排放总量大,人均碳排放量低,碳中和实现周期短,技术储备不足。因此,无论从经济发展阶段、碳排放总量、人均碳排放量、碳中和实现周期,还是从碳减排技术储备来看,与欧美发达国家相比,我国实现碳达峰碳中和目标需要付出更大的努力。

从经济发展阶段来看,当前我国经济发展与碳排放尚未完全脱钩,正处于工业化后期增长阶段和城镇化高质量发展关键阶段,尚处于产业结构调整升级期、经济增长新常态发展期和碳排放量“平台期”,生态环保任重道远。从碳排放总量来看,二氧化碳排放主要来源于化石燃料利用,受我国能源资源禀赋的影响,煤炭在我国能源消费结构中仍占到接近60%,这意味着,我国实现碳中和目标要下大力气调整能源结构。从人均碳排放量来看,经济发展史表明一个国家的发展程度同人均碳排放量密切相关,当前我国人均GDP突破1万美元,已转向高质量发展阶段,但仍属于发展中国家,人均碳排放量远低于主要欧美发达国家,也低于世界平均水平,实现碳中和目标难度远高于欧美发达国家。从碳中和实现周期来看,欧美发达国家已经实现了碳达峰目标,距离2050年实现碳中和拥有40—70年左右的窗口期,而我国从2030年实现碳达峰到2060年实现碳中和仅有30年左右时间,在经济结构、技术条件没有明显改善的条件下,强化二氧化碳减排约束将显著压缩我国经济的增长空间。

从碳中和技术储备来看,我国一直在积极研发推广节能减排技术,在一些关键技术领域也取得了快速发展,但是现有减排技术依然供给不足,尚难以支撑我国如期实现碳中和目标。研究表明,如果延续当前政策、标准、投资方向和碳减排目标,基于现有技术水平在2030年左右可以实现碳达峰目标,但是在2060年左右实现碳中和目标有困难。中国社会科学院

数量经济与技术经济研究所“能源转型与能源安全研究”课题组(2021)指出,目前实现碳中和目标有三大难点,当前实现碳中和的各种技术成本居高不下是难点之一,亟待实现技术突破。课题组运用中国能源模型系统,通过多种新能源和碳中和方案的技术路径情境模拟发现,只有高能源效率、高可再生能源比例、绿色甲醇、终端煤炭替代相结合的转型路径才可以实现2060年前碳中和的目标。这意味着,我国在2035年基本实现社会主义现代化之后,必须实现深度碳减排,也就意味着当前我国亟待加强碳减排技术体系的研究部署,为实现碳中和目标提供必要的技术储备和科技支撑。

2.实现碳达峰碳中和目标提出了重大科技需求。实现未来经济社会发展愿景需要科技支撑,也就意味着实现国家重大发展战略对科技发展提出了需求。日本、英国、德国等发达国家开展技术预见的实践经验表明,基于未来经济社会发展愿景的科技需求分析是制定科技发展战略的重要参考,国家未来科技发展主要是为了实现国家重大战略和国民重要期盼。国家重大发展战略对科技需求的传导路径可以归纳为:提出国家重大发展战略→描绘未来经济社会发展愿景→确定未来经济社会发展需求清单→提出支撑需求的科学技术(朱承亮,2020)。而“双碳”目标这一国家重大发展战略描绘了我国未来10—40年的经济、社会和生态发展愿景,倒逼碳达峰水平和碳排放路径,对我国科技创新提出了新要求,亟待加强碳减排技术的研发和推广。就碳减排技术而

言,可以分为渐进性碳减排技术和颠覆性碳减排技术,其中颠覆性碳减排技术对实现碳达峰碳中和目标具有重要意义。颠覆性碳减排技术不仅可以降低减排成本,更会通过改变技术路径以实现碳达峰碳中和目标。相对于渐进性碳减排技术,颠覆性碳减排技术能够重新设定技术轨道,并激发一系列后续与相关领域的创新,形成新的技术与生产体系,从而促进碳减排的大幅减少(卢娜等,2019)。

具体而言,实现碳达峰碳中和目标对低碳零碳负碳技术提出了重大需求。第一类是低碳技术,主要包括油气煤炭方面的颠覆性技术,如深度脱碳技术,节能减排技术等,该类技术目前总体上研发和推广的效果良好,需要进一步加强颠覆性技术的创新。第二类是零碳技术,主要包括:(1)生物质能、风能、太阳能、核能、氢能等能源技术,二氧化碳捕获和封存技术(CCS)等,该类技术已经达成共识,主要考虑技术的综合成本收益以及发展优先次序的问题;(2)工业、建筑、交通等领域的零碳炼钢、零碳水泥、零碳建筑、新能源汽车等技术虽已得到运用,但离减碳目标还存在一定差距,需要进一步研究部署;(3)信息技术、新装备制造技术、新材料制造技术等,该类技术主要是通过与其他技术融合发展实现减排目标。比如大数据、人工智能、区块链、物联网等信息技术与碳中和技术的交叉融合,能够通过生产过程管理、监控、信息传递以及优化资源和节约成本等方式,提高碳减排效果。第三类是负碳技术,该类技术旨在通过技术手段将已经

排放的二氧化碳从大气中移除,并将其重新带回地质储层和陆地生态系统(沈维萍、陈迎,2020),主要技术包括生物质能碳捕获和封存(BECCS)、造林和再造林(AR)、土壤碳固存和生物炭、增强风化和海洋碱化、直接空气二氧化碳捕获和储存(DACCS)、海洋施肥技术等(王灿等,2021)。欧美发达国家的部分负碳技术已经实现了商业化,但是我国总体重视程度和研发投入仍显不足,亟待超前布局,重点谋划。

从技术成熟度来看,一项技术从萌芽到成熟需要经过技术萌芽期、期望膨胀期、泡沫破裂期、稳步复苏期和产业成熟期等多个生命周期。就目前的碳减排技术成熟度而言,光伏技术和风电技术已经进入产业成熟期,锂电池、高耗能行业的产品再生、废弃物的能源化利用、电力系统运营优化等技术处于稳步复苏期,氢燃料电池等技术处于期望膨胀期,而工业电加热、工业直接用氢、直接空气二氧化碳捕获和储存(DACCS)等技术仍处于技术萌芽期。对于处于不同生命周期内的碳减排技术,要充分发挥政府和市场的作用。对于处于稳步复苏期和产业成熟期的碳减排技术,要充分发挥市场在降低成本、优化产品和辅助服务等决定性作用。对于处于技术萌芽期和期望膨胀期的碳减排技术,要充分发挥政府在科研和示范项目、产业政策、行业标准等方面的服务作用。

加强碳达峰碳中和科技创新工作的对策建议

实现碳达峰碳中和目标,任

重道远。在此过程中,关键是要着力加强碳达峰碳中和的科技创新工作。

一是在尊重碳达峰规律基础上高度重视碳中和科技创新工作。经济发展史表明,碳达峰具有自身规律,其与一国经济发展阶段等因素息息相关。当前,我国应在充分尊重碳达峰规律基础上,紧抓实现碳中和战略机遇,提高防止被别人“卡脖子”的危机意识,高度重视碳达峰碳中和科技创新工作,加快制定和落实科技创新支撑碳达峰碳中和目标实现的专项规划、行动方案和路线图,充分发挥科技创新的战略支撑作用,全面提升我国碳中和技术创新水平和能力。

二是加快碳中和关键核心技术研发攻关和项目部署。坚持问题导向,加快碳中和前沿引领技术、关键共性技术、颠覆性技术的研发攻关,在工业、交通、建筑等领域,加快突破一批碳中和关键核心技术,如工业领域的低碳关键共性技术和减少高碳排放的低碳产品替代技术、交通领域的绿色运输与交通装备技术、建筑领域的围护结构材料的保温隔热技术以及设施的节能技术等。研发成功一批处于国际科技制高点的低碳零碳负碳技术。前瞻部署一批战略性、储备性碳中和科技研发项目,瞄准未来碳中和产业发展制高点。

三是强化国家战略科技力量的功能定位和使命担当。强化国家实验室、国家科研机构、高水平研究型大学、中央企业等国家战略科技力量在实现碳达峰碳中和目标中的使命担当,实现碳中和科技自立自强。(下转10页)

健全法规标准和政策体系。完善投资、金融、财税、价格等政策体系,加大财政对绿色低碳产业发展、技术研发等的支持力度。建立健全碳达峰碳中和标准计量和统计监测评价体系,完善碳排放数据管理和发布制度,并与国际标准衔接。构建绿色低碳循环发展的经济体系,推动产业结构和能源结构的调整优化,保障能源安全和产业链供应链安全,为实现高质量发展注入新动能。发展绿色金融,设立碳减排货币政策工具,有序推进绿色低碳金融产品和服务的开发。统筹推进绿色电力交易、用能权交易、碳排放权交易等市场化机制的建设。

坚持政府和市场两手发力。实现碳达峰碳中和目标,既要充分发挥市场配置资源的决定性作用,以引导发展要素向绿色低碳发展集聚;也要发挥政府的调控

作用,提供更多的公共产品和公共服务,并激发市场主体的绿色低碳转型内生动力和创新活力。深化改革,大力破除制约绿色低碳发展的体制机制障碍,提高管理效能,为绿色低碳经济体系的建立创造公平、公正、公开的市场环境。碳中和是对我国经济社会发展各方面的一次重塑,将深刻改变每一个人的生活。应推动形成绿色低碳生产生活方式,大力倡导勤俭节约,坚决反对不合理的奢侈浪费,鼓励公众低碳出行,重复利用购物袋,积极参与垃圾分类,从而使简约适度、绿色低碳、文明健康的生活方式成为社会时尚和氛围。

推动构建人类命运共同体。坚持发展中国家定位,坚持共同但有区别的责任原则、公平原则和各自能力原则,积极参与应对气候变化国际谈判,主动参与气

候治理国际规则和标准制定,推动建立公平合理、合作共赢的全球气候治理体系。扎扎实实办好自己的事情,加快共建“一带一路”投资合作绿色转型,深化与各国在绿色技术、绿色装备、绿色服务、绿色基础设施建设等方面的交流与合作。讲好中国故事,发出中国声音,贡献中国方案和中国智慧,共同保护地球家园。

在碳达峰过程中,要处理好减污降碳和能源安全、产业链供应链安全、粮食安全和群众正常生活的关系,有效应对可能出现的经济、金融、社会风险,确保安全降碳。中国实现碳达峰碳中和,将为进一步构建人类命运共同体、共建清洁美丽世界做出应有贡献。

作者单位:国务院发展研究中心社会发展研究部

(上接15页)国家实验室要多出战略性、关键性重大碳中和科技成果;国家科研机构要加快建设碳中和原始创新策源地,加快突破关键核心技术;高水平研究型大学要加强基础前沿探索和碳中和关键技术突破,为实现碳中和和培养更多科技人才;中央企业要充分发挥示范引领作用,积极推广低碳零碳负碳技术。

四是加快构建碳中和工程技术创新体系和市场导向的绿色技术创新体系。现代工程和技术科学是科学原理与产业发展、工程研制之间不可缺少的桥梁,在现代科学技术体系中发挥着关键作用。当前,我国要在电力生产与传输、工业生产、建筑行业、交通运输、固废处

置与管理等领域加快建立碳中和工程技术创新体系。此外,还需要加快构建企业为主体、产学研深度融合、基础设施和服务体系完备、资源配置高效、成果转化顺畅的绿色技术创新体系,加快形成研究开发、应用推广、产业发展贯通融合的绿色技术创新局面。

五是加强碳中和国际科技交流与合作。科学技术具有世界性和时代性,是人类共同的财富。气候变化是全人类面临的共同挑战,我国应当努力构建更加开放的创新生态,坚持碳中和科技开放合作,以二十国集团、“一带一路”建设、金砖国家等合作机制为依托,针对气候变化问题,积极参与全球科技治理,加强国际科技交流

合作,加强同各国科研人员的联合研发,深化碳减排技术转移和交流,积极引进、消化、吸收国际先进低碳零碳负碳技术,寻求全球气候治理的最大公约数。【本文获得国家社科基金重大项目“建设人才强国背景下激发科技人才创新活力研究”(21ZDA014)、中国社会科学院登峰战略优势学科建设项目“技术经济学”(CASS2017YSXKJSJJ)和中国社会科学院创新工程项目“新时代动能转换的机制与效果评价”的资助】(参考文献略)

作者单位:中国社会科学院数量经济与技术经济研究所/中国社会科学院战略规划与项目评估研究咨询中心