

面向绿色发展的碳中和政策创新与发展

白雨鑫^{1,2}, 董战峰^{2*}

1. 清华大学环境学院, 北京 100084

2. 生态环境部环境规划院, 北京 100012

摘要 碳中和是中国绿色发展的阶段性战略任务, 而政策驱动是实现碳中和愿景的重要抓手。在绿色发展的框架下, 从政策体系与学术研究2方面回顾了中国碳中和发展进程及研究热点, 探讨了实现碳中和愿景的政策需求。提出应以更高站位推进碳中和政策协同, 以更宽视野研究应对气候变化核心技术与减排路径, 以更灵活方式引导碳中和绿色发展资金支持, 以更大力度增强碳中和目标下绿色发展能力建设。

关键词 碳中和; 绿色发展; 低碳转型; 环境政策

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宣布中国将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。以《中共中央 国务院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》《2030年前碳达峰行动方案》为顶层设计, 以行业政策、地方行动方案等为支撑的碳达峰碳中和“1+N”政策体系已经形成。2023年7月, 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时强调, 完善能源消耗总量和强度调控, 逐步转向碳排放总量和强度“双控”制度, 增强了中国实现碳中和愿景的顶层设计, 也为能源结构和产业结构的调整树立了鲜明方向。绿色发展是全球追求碳中和的共同目标^[1], 中国走绿

色发展的道路就是要求从根本上转变过去的发展理念和政策机制模式, 将环境因素纳入经济发展进程, 通过有效的政策设计和实施调控经济体的环境行为^[2]。

碳中和是一项系统工程, 是经济结构、能源结构、生产生活方式的优化调整, 对应经济系统-能源系统-环境系统-社会系统的协调耦合, 也对应政府-企业-社会的战略方向-技术应用-行为偏好的绿色低碳转型。中国的绿色发展涵盖绿色生产、绿色消费、绿色生活、绿色金融等领域^[3], 开展了法律法规、市场机制、绿色产业发展与绿色发展测度等实践^[4]。碳中和愿景下的中国绿色发展, 是在生态环境容量和资源承载力的约束条件下, 将生态环境保护作为内生动力的可持续发展模式, 与传统发

收稿日期: 2023-06-04; 修回日期: 2023-10-30

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(20&ZD092)

作者简介: 白雨鑫, 博士后, 研究方向为环境经济学、绿色发展, 电子信箱: byxinn@163.com; 董战峰(通信作者), 研究员, 研究方向为生态环境管理与政策, 电子信箱: dongzf@caep.org.cn

引用格式: 白雨鑫, 董战峰. 面向绿色发展的碳中和政策创新与发展[J]. 科技导报, 2024, 42(7): 6-14;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.08.01296

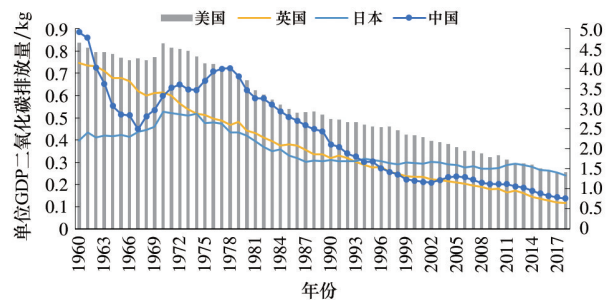
展模式相比,经济增长路径方向更为明确、发展意义更为深远。学界对碳中和基本理论^[5-7]、技术路径^[8-11]、政策需求^[12]、碳市场建设^[13-14]等方面开展了大量研究,促进了中国碳达峰碳中和“1+N”系列政策出台。综上,本文在绿色发展的框架下探索碳中和的制度完善与政策创新的路径与方式。

1 碳中和与中国绿色发展

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)报告《气候变化2021:自然科学基础》^[15]指出,人类活动所带来的影响使气候系统变暖,提高了全球地表温度,并且二氧化碳浓度增速加快。目前中国出台的碳中和相关法律法规、政策等文件中暂未明确定义碳中和的内涵,国际上对碳中和的表述主要包括“净零排放”“气候中性”等,脱碳路径主要包括自然削减(natural reduction)与碳捕集利用和封存(carbon capture, utilization and storage, CCUS) 2类。截至2023年6月,根据净零追踪(Net Zero Tracker)统计,已有150个国家向联合国气候变化框架公约(UFCCC)提交净零排放承诺,覆盖全球88%的温室气体排放、92%的国内生产总值(GDP)和89%的人口。中国能源相关排放占温室气体排放总量的90%(包括电力与热力占45%,工业即制造业、建筑业和工业加工行业的排放量总和占33%,交通运输占8%,建筑物占5%),而农业和土地使用相关排放占6%(包括林业和生态系统服务)^[16]。2022年中国二氧化碳排放量占全球排放量30.7%,为第一大碳排放国。重煤能源使用结构问题依然突出,煤、石油、天然气分别占比55.5%、17.7%、8.5%,核能、水电、新能源使用占比分别为2.4%、7.7%、8.2%^[17]。

《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》提出,到2030年中国单位GDP二氧化碳排放比2005年下降65%以上,2022年中国单位GDP排放比2005年下降50.8%。从历史数据看,中国碳排放强度整体呈显著下降趋势,但单位GDP二氧化碳排放量始终高于美国、英国和日本(如图1所示,中国数据适用于右侧坐标轴,

其他国家数据适用左侧坐标轴,单位相同),中国碳排放强度与发达经济体仍有一定差距。1960—2018年中国单位GDP二氧化碳排放量由4.91 kg下降至0.76 kg,下降幅度达84.52%,同期美国、英国和日本单位GDP二氧化碳排放量下降幅度为54.24%、84%和40%。2018年美国、英国和日本单位GDP二氧化碳排放量分别为0.25、0.12和0.24 kg。



数据来源:世界银行

图1 1960—2018年中国与世界主要发达经济体单位GDP二氧化碳排放量对比

联合国开发计划署(The United Nations Development Programme, UNDP)于2002年提出绿色发展的概念,认为绿色发展的本质是强调经济增长与生态环境保护的统一^[4]。2015年10月中国共产党第十八届中央委员会第五次全体会议上首次提出“绿色发展”理念,党的二十大报告提出“推动绿色发展,促进人与自然和谐共生”“积极稳妥推进碳达峰碳中和”。2023年4月,习近平总书记在参加首都义务植树活动时强调,当前和今后一个时期,绿色发展是中国发展的重大战略。绿色发展的本质是解决好经济发展与环境保护的协调发展问题,环境经济政策有利于构建形成绿色发展的长效机制^[2]。传统经济增长模式下,资源约束被视为经济增长的阻碍,而碳中和不仅不是经济增长的阻力,而且还是高质量发展的动能源泉^[6],碳中和目标牵引下,绿色发展的内涵与范式日益丰富。

碳中和相关研究热度持续升高,基于Web of Science核心数据库以“carbon neutrality”为关键词索引发现,2020年不仅为中国的“碳中和元年”也为世界碳中和研究的转折年。2022年相关研究文献达到3070篇,较2020年增长18.3倍。从检索结果

看,研究方向主要为环境科学与生态学(environmental science ecology)、工程学(engineering)、能源燃料(energy fuels)以及商业经济学(business economics)等,热点研究词则集中于碳、碳排放、中国以及经济发展。《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》明确2030年前实现碳达峰目标,碳达峰分为自然达峰和政策驱动达峰,一些发达国家达峰过程都是在经济发展过程中因产业结构变化、能源结构变化、城市化完成而自然形成的,基于中国工业化、城镇化等进程远未结束背景^[18],政策驱动是实现碳达峰碳中和愿景的重要抓手。

2 绿色发展战略下碳中和政策发展状况

绿色发展战略下的碳中和政策主要包含法律法规、市场机制、绿色产业发展分类以及能力建设4个方面^[4],分析绿色发展战略下碳中和愿景相关政策的发展趋势具有以下主要特征。

2.1 碳中和法律法规建设步入快速发展阶段

中国暂未出台碳中和或应对气候变化专项法律法规。在中央层面,碳中和目标提出后中国制定或修订了《中央企业节能减排监督管理暂行办法》《高耗能特种设备节能监督管理办法》,《碳排放权交易管理暂行条例》即将颁布。最高人民法院出台首部涉“双碳”规范性文件《最高人民法院关于完整准确全面贯彻新发展理念为积极稳妥推进碳达峰碳中和提供司法服务的意见》并发布11个配套典型案例。最高人民检察院推动治理非法排放温室气体问题,探索适用认购碳汇方式履行生态损害赔偿责任,积极稳妥开展涉碳领域办案工作^[19],发布10个检察机关服务保障碳达峰、碳中和典型案例,涉及非法排放温室气体、非法篡改环境监测设备数据等内容。在地方层面,天津市率先发布《天津市碳达峰碳中和促进条例》,对绿色转型、降碳增汇、科技创新、激励措施等方面做出部署;深圳市制定出台的《特区生态环境保护条例》设置“应对气候变化”章和“碳排放达峰和碳中和”节,提出科学编制碳排放达峰行动方案 and 碳中和路线图,并制定年度

实施计划,加快推动工业、交通、建筑等重点领域绿色低碳转型发展。

在标准建设方面,2022年10月,国家市场监督管理总局等9部门印发《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》明确重点任务、重点工程和行动,提出制定碳排放基础通用、碳减排、碳清除、市场化机制标准,建立计量技术、管理、服务体系。2023年4月,国家标准化管理委员会等11部门印发《碳达峰碳中和标准体系建设指南》,优化政府颁布标准和市场自主制定标准二元结构,提出“到2025年,制修订不少于1000项国家标准和行业标准(包括外文版本),与国际标准一致性程度显著提高,主要行业碳核算核查实现标准全覆盖,重点行业和产品能效标准指标稳步提升。实质性参与绿色低碳相关国际标准不少于30项,绿色低碳国际标准化水平明显提升。”

2.2 碳中和市场机制建设日益完善

在碳市场建设方面,作为碳减排的重要交易机制,中国碳市场由配额交易与自愿碳减排交易构成。2021年,在2013年碳排放权交易试点工作基础上,生态环境部出台《碳排放权交易管理办法(暂行)》规范碳排放权交易并启动全国碳排放权交易市场。目前已纳入发电行业重点排放单位2162家,截至2023年7月14日,全国碳市场碳排放配额(CEA)累计成交量2.399亿t,累计成交金额110.3亿元人民币。国家核证自愿减排量(China certified emission reduction, CCER)是碳配额市场的重要补充,有助于碳市场的价格发现,也有助于碳金融市场的多元化发展^[4]。生态环境部、市场监管总局联合发布了《温室气体自愿减排交易管理办法(试行)》,明确了项目业主、审定与核查机构等内容,标志着中国碳交易体系由全国温室气体自愿减排交易市场与全国碳排放权交易市场共同组成。

在绿色金融方面,该项政策工具被认为是降低环境污染的重要政策手段^[20],2022年海通证券在上海证券交易所成功发行首单碳中和绿色债券,发行规模27亿元,募集资金在扣除发行费用后,全部用于偿还绿色项目贷款。2021年人民银行制定《银行业金融机构绿色金融评价方案》,2022年5月,中

银保监会发布《银行业保险业绿色金融指引》，在2012年银行机构《绿色信贷指引》的基础上纳入保险业，进一步为碳中和背景下绿色发展提供资金保障与保险支持。2022年11月，G20领导人峰会发布《G20转型金融框架》提出界定标准、披露要求、金融工具、政策激励、公正转型5项支柱内容以及22项原则，湖州市在全国率先推出《湖州市转型金融支持目录(2022年版)》助推经济绿色低碳转型。2022年中国启动气候投融资试点并制定了试点地方气候投融资项目入库参考标准，为资金引流与气候适应型城市建设建立纽带。

在创新机制方面，中国积极开展生态产品价值实现与生态补偿机制，基于自然的解决方案持续为气候治理提供新途径。2021年，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》，提出健全碳排放权交易机制，探索碳汇权益交易试点。碳汇是指从大气中吸收并储存二氧化碳的一系列机制和活动，一般包括生态系统碳汇和人工碳汇2类，具有碳固定与碳蓄积的功能^[21]。森林碳汇、耕地碳汇、湿地碳汇和海洋碳汇等可被视为一项生态产品，经过人力开发形成碳汇项目，可通过开展现货、期货等形式交易碳排放指标^[22]助力碳中和愿景的实现。将全国碳排放空间看作一种稀缺资源，碳盈余和碳赤字省域间横向碳生态补偿对于中国各省经济、环境、生态的协调发展具有重要意义^[23]。

2.3 碳中和产业发展绿色导向显著

在绿色技术应用方面，碳中和愿景提出后，中国绿色发明数量显著上升。中国研究数据服务平台(CNRDS)显示，2022年当年获得的绿色发明数量为64410件，达到2020年当年新增量的2.3倍。随着绿色低碳技术研发与应用推进，技术成本呈下降趋势。据估计，到2030年，陆上风能成本将减少27%，到2050年成本将减少37%^[24]，随着低碳转型成本降低，更高的技术研发投资将在2050年使全球GDP增加0.2%。中国是受益最多的国家之一，原因是中国动力电池和电动汽车的生产变得更具竞争力，从而增加了对国内和国际市场的供应^[25]。

在能源绿色转型方面，基于中国富煤、贫油、少

气的能源禀赋，能源绿色低碳转型一直是学术界广泛研究的重点之一。《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》指出，能源生产和消费相关活动是最主要的二氧化碳排放源，大力推动能源领域碳减排是做好碳达峰碳中和工作，以及加快构建现代能源体系的重要举措。中国大力发展太阳能、风能、生物质能等研究与应用，并在技术成本等方面取得积极进展。以太阳能光伏产业为例，2022年光伏的使用避免了约13.99亿t二氧化碳排放^[26]，中国为全球第一大光伏产业市场，2023年中国太阳能装机量首次成为继煤电后的第二大电源，2023年1~5月太阳能装机量同比增长38.4%^[27]。而全球化的光伏组件市场有助于成本的降低，在美国为光伏安装商节省了约240亿美元，在中国节省了约360亿美元^[28]。

在产业政策指引方面，“双碳”目标提出后，《“十四五”现代能源体系规划》《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》《农业农村减排固碳实施方案》《有色金属行业碳达峰实施方案的通知》《建材行业碳达峰实施方案的通知》《煤炭清洁高效利用重点领域标杆水平和基准水平(2022年版)》等若干政策在行业指引、农业部门碳减排、氢能发展等方面提供了重要支持。以太阳能产业为例，中国太阳能产业的发展，是典型的从追赶到领先的过程，产业政策有助于产能的提升与规模的壮大^[29]。此外，低碳消费是全民参与气候变化应对的最直接途径^[30]，《“十四五”扩大内需战略实施方案》明确提出大力倡导绿色低碳消费，从消费端激发碳中和对产业的引领激励作用。

2.4 碳中和能力建设深入开展

碳排放具有较强的负外部性特征，在环境公共物品日益稀缺的趋势下，全球共同应对气候变化的挑战需求较为突出。在监测能力建设方面，碳监测制度日益完善，为降低碳排放信息不对称提供基础。国家层面积极推动碳排放相关标准、制度出台，相关监测能力需求随之提升。2021年中国开始在区域、城市和重点行业3个层面，聚焦唐山、太原、上海等16个城市，火电、钢铁等5大行业，国家能源集团、中国宝武等11个集团公司，开展碳监测

评估试点。目标是到2022年底探索建立碳监测评估技术方法体系,发挥示范效应,为应对气候变化工作提供监测支撑。

在科技支撑与资金支持方面,中国在“十一五”时期已高度重视应对气候变化工作。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》把能源和环境确定为科学技术发展的优先领域,把全球环境变化监测与对策明确列为环境领域的优先主题之一。2007年科学技术部等14部门即联合发布《中国应对气候变化科技专项行动》,为实施《中国应对气候变化国家方案》提供科技支撑。“双碳”目标提出后,科学技术部等9部门印发《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》,财政部印发《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》,教育部印发《加强碳达峰碳中和高等教育人才培养体系建设工作方案》,通过财税政策、建立管理决策支撑技术体系、创新项目、基地、人才协同增效行动等方式支撑碳中和目标有序推进。

在国际合作方面,气候治理不仅需要中国做出积极响应,也需要通过国际合作解决因大气跨区域传输带来的环境问题。中国认真履行《联合国气候变化框架公约》及其《巴黎协定》,开展应对气候变化南南合作物资援助项目,推进绿色“一带一路”建设,在绿色基建、绿色能源、绿色交通、绿色金融等领域积极开展气候治理国际合作。通过法律增强国际合作绿色发展理念,《中华人民共和国对外关系法》第二十五条提出“中华人民共和国积极参与全球环境气候治理,加强绿色低碳国际合作,共谋全球生态文明建设,推动构建公平合理、合作共赢的全球环境气候治理体系。”

3 中国实现碳中和面临的主要挑战

气候变化是导致经济和金融体系结构性变化的重大因素之一,具有“长期性、结构性、全局性”特征^[31]。联合国环境署发布的《2021排放差距报告》^[32]指出,为了在21世纪末实现《巴黎协定》的理想目标将全球变暖控制在1.5℃以下,世界需要在未来8年内将每年的温室气体排放量减半,中国面临巨大降

碳目标与经济转型挑战。

3.1 碳中和政策机制亟待建立

目前中国尚未形成法律法规层面的碳中和顶层设计,尽管明确碳达峰对象为二氧化碳但缺少碳中和对象的明确划定,气候变化对社会经济活动、能源供应、粮食生产、地缘政治等诸多方面的影响需要在明确目标与法律约束下实现政策协同推进。在经济、产业、环境政策协同方面,传统产业与新兴产业具有政策扶持、激励机制、产业布局等异质性,政策间协同需求较高。例如,地方政府通过财政补贴、税收优惠、明确地方政府责任、国有资产注入等加速了中国太阳能与光伏产业发展,然而由于对新兴产业市场低估产业风险、误判产品市场和原材料市场、形成技术投资失误等^[29]导致太阳能光伏产业出现大量萎缩现象。在区域政策协同方面,区域间碳排放与经济发展协同性较弱。区域人均二氧化碳排放量与经济发展并不一定具有强耦合关联性,欠发达地区经济更加依赖能源密集型产业和基础设施建设导致部分欠发达地区的人均二氧化碳排放量更高^[33]。中国能源供应和消费的地理分布为西部生产能源,大部分能源被输送到中国东部消费^[34],区域内部与区域间污染与发展的关系亟需协同政策统筹推进。

3.2 核心科学与减排技术路径研究仍需深入

碳达峰与碳中和涉及诸多亟待解决的重要科学问题,例如,全球地表温度与累计二氧化碳间的关系具有不确定性,全球性气候指标数据依然被欧美国家的政府机构或研究团体主导,中国的贡献甚少;有关全球碳汇格局、时间尺度、演化趋势及其与气候系统互馈机理等方面的科学认识尚存在重大缺失;中国不同研究间区域陆地碳汇强度估算值、森林生态系统的碳汇功能存在较大差异等^[35]。在技术路径方面,碳中和技术大规模部署存在短期内引发自然系统和社会经济系统的跨系统风险,例如可再生能源的使用引发关键金属和矿产资源的需求上升,而不同技术路径带来的风险和/或效益在时空叠加下还有可能产生新的风险和效益(又称级联效应)^[36],因此碳中和技术路径的选择需要建立在大量跨学科的理论推导、演化模拟、情景分析、科

学论证、技术优化等基础之上。

3.3 绿色低碳转型资金缺口巨大

已有研究结果显示,要实现2℃(1.5℃)内的升温目标,到21世纪中叶,全球低碳研发投入投资累计需要比参考情景增加18%(64%)^[25]。2021年中国在能源转型方面投资2660亿美元,投资额名列世界第一,然而由于缺乏支持性政策叠加资本获取的挑战,未来私营部门市场份额处于持续萎缩^[6]。中国在人口总量庞大、人们对美好生活的物质需求日益增高的背景下,低碳转型资金缺口加大。利用中国的工企数据发现,气温与企业全要素生产率之间存在倒U型关系。劳动密集型企业与资本密集型企业对高温都很敏感。到21世纪中期,如果不采取额外的适应措施,预计气候变化将使中国制造业产出每年减少12%^[37]。此外,气候变化的趋势正在对全球的人群健康造成巨大的威胁,2018年化石燃料使用导致的PM_{2.5}空气污染所造成的损失已经高达107亿美元^[38]。随着高温热浪、极端天气等气候事件的发生,碳排放的负外部性造成的损失仍有一定上升空间,气候变化对人体健康造成的影响同样需要纳入相关规划政策当中。

3.4 碳中和能力建设有待提升

碳监测与核算相关能力体系有待深入,在不同行业、部门间核算方法学建设尚不成熟,监测与核算的数据应用受到一定局限。应对气候变化的适应与减缓行动基础能力建设处于初期阶段。在适应气候变化方面,城市更新领域政策相对匮乏,省级适应气候变化行动方案仍在编制阶段,适应能力与基础设施建设有待提升。在减缓气候变化方面,关键技术研发及应用与发达国家相比仍有一定距离,减缓气候变化的综合研究仍需进一步深入。风险处置机制需求增加。气候变化问题引发的宏观风险一般可分为物理风险和转型风险^[31]。一方面,气候灾害所造成的物理损失可能导致抵押物价值下跌、银行体系因资本损失而减少授信、改变群众风险偏好而降低资产流动性,进而影响金融市场的稳定。另一方面,在低碳转型的情景下,实现2℃以下目标所需的产业变化速度过快,导致化石燃料相关的夕阳产业的迅速“退役”将带来重大的转型风险^[39]。

4 碳中和政策完善重点方向

2023年7月,习近平总书记在全国生态环境保护大会上强调,“要站在人与自然和谐共生的高度谋划发展,通过高水平环境保护,不断塑造发展的新动能、新优势,着力构建绿色低碳循环经济体系,有效降低发展的资源环境代价,持续增强发展的潜力和后劲”“要积极稳妥推进碳达峰碳中和,坚持全国统筹、节约优先、双轮驱动、内外畅通、防范风险的原则,落实好碳达峰碳中和‘1+N’政策体系”。中国经济发展的要素条件、组合方式、配置效率发生改变,面临的硬约束明显增多,资源环境的约束越来越接近上限,碳达峰、碳中和成为中国中长期发展的重要框架,高质量发展 and 科技创新成为多重约束下求最优解的过程^[40]。在此背景下,推动面向碳中和的绿色发展需要通过以下路径解决当前面临的主要挑战。

4.1 以更高站位推进碳中和政策协同

一是从立法和执法层面提升碳中和愿景的规制强度。明确碳中和涵盖的温室气体种类名录,推动应对气候变化法制建设。在执法层面,由于碳排放权交易等专业性较高,需进一步加强监管体系能力建设。

二是立足以煤为主的资源禀赋,以碳排放总量和强度“双控”为目标促进经济、产业、环境政策协同,采用政策工具组合应用。从全产业链视角,加强经济政策中生态环境要素的资源配置。产业发展阶段是政策布局的重要参考因素,同时行业间的相互作用与反馈机制不应被忽视,应综合考虑多个行业的互动影响^[41],例如绿色环保战略性新兴产业发展等。建立与排放源相适应的政策衔接制度,依据移动源和固定源、点源与面源、分布集中程度等维度,增强相关政策的匹配程度与适应性。

三是统筹兼顾区域间政策协同。在国内层面,依据碳足迹促进商贸流通绿色化发展,结合《省级适应气候变化行动方案编制指南》指导地方强化敏感产业适应气候变化和国土空间气候韧性提升,加强区域间要素配置的公平性与有效性。在国际层面,协同国内国际双循环,降低出口贸易碳足迹,加

强产业链、供应链绿色低碳国际合作,统筹国内国际政策与标准协同。

4.2 以更宽视野研究应对气候变化核心技术与减排路径

一是突破应对气候变化关键核心技术。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,聚焦电力与终端能源使用,着力解决经济系统-能源系统-社会系统-环境系统关键问题,促进核电、氢能、电化学储能逐步实现规模化发展,提升风能和太阳能发电的上网占比、稳定供应程度、规模储能承载力。通过近零能耗建筑、近零碳排放、碳捕集利用与封存等重大示范项目加强科学成果应用性。同时,由于气候技术经济评估模型与研究者的主观预期高度关联^[42],未来气候技术经济综合评估方法学建设仍需突破。

二是加强减排路径成本效益分析。更加积极的脱碳路径直观上会增加减排成本,但是实际将导致更低的边际减排成本和更高的净碳减排效益^[41]。因此,需要综合考虑成本与效率,以更宽视野整合政策目标,整合气候变化损害、健康影响、适应成本,综合评价减排路径成本效益,识别实现碳中和愿景的最优路径。

三是促进产学研宣融合互动发展。建立人才流动机制,鼓励高校、科研机构、企业、社会组织等单位专业技术人员交流合作,与新闻媒介等宣传引导相配合,深化产业、科学、研究的桥梁纽带建设,增强低碳减排等相关技术储备转化与推广应用。创新成果转化服务体系建设,在管理制度、评价机制、激励措施等方面充分激发科研主体创造活力。

4.3 以更灵活方式引导碳中和绿色发展资金投入

一是进一步激发碳中和市场要素配置活力。习近平总书记在2023年生态环境保护大会上指出“将碳排放权、用能权、用水权、排污权等资源环境要素一体纳入要素市场化配置改革总盘子,支持出让、转让、抵押、入股等市场交易行为”。深化资源环境要素理论研究,将碳中和目标纳入市场化改革各项政策当中,在绿色发展框架下,综合资本、劳动、土地、技术与资源环境要素的优化配置,以绿色增长为目标,深化市场化机制建设提升资源环境要

素对绿色经济转型的推动作用。在碳市场平稳运行的基础上,提升CCER、林业碳汇、海洋碳汇等方法学建设能力,丰富市场化政策工具包。

二是发挥绿色金融对碳中和绿色发展的支撑作用。党的二十大提出,“坚持以推动高质量发展为主题,把实施扩大内需战略同深化供给侧结构性改革有机结合起来”,发展绿色金融是投资供给侧结构性改革的主要内容^[43]。一方面,在投资与消费端纳入绿色发展要素激活市场主体活力,推动环境、社会和公司治理(ESG)资产整合配置,以绿色融资激励政策助力金融机构与重点单位加速脱碳。另一方面,运用清洁发展框架等机制增强绿色发展资金的流入,发挥气候投融资对应对气候变化的积极作用,与绿色金融试验区建设进行横向比较,阶段性评估气候投融资试点成果。增强碳账户数据库建设,提升环境信息披露强度,增强资金联动与高碳行业脱碳路径的匹配性。

4.4 以更大力度增强碳中和目标下绿色发展能力建设

一是以数字治理驱动碳中和能力建设。《计量发展规划(2021—2035)》提出支撑碳达峰、碳中和目标实现规划,在城市和园区开展低碳计量试点,在碳排放、能源、生态环境监测、应对气候变化、自然资源领域服务绿色低碳可持续发展。大数据治理改变了传统管理模式,促进了科学化分工,提高了治理能力^[44],应充分运用数字化手段完成基础计量与监测评估体系建设,识别环境风险的复杂性,提升相关预测的准确性。

二是建立健全气候变化风险应对机制。协调政府、企业、社会组织与公众间以“和谐、制衡、稳定、公平、效率”^[45]为标准的现代环境治理体系,深化生态环境监督管理体制改革。在物理风险应对方面,通过数字治理与气候治理双轮驱动提升碳中和效能。推动智能绿色基础设施建设、城市绿色更新和绿色数智园区建设,增强城市气候防御力。在转型风险应对方面,建立多主体风险响应机制,运用政策组合工具包与转型金融框架的支撑能力,加快健全绿色金融风险应对体系。识别气候政策对敏感群体的影响机制,通过生态产品价值实现机制

与生态补偿政策降低气候变化及应对政策对低收入群体的冲击影响。

三是加强公民生活方式的绿色低碳引导。通过全国“低碳日”“环境日”“生态日”“节能日”以及《公民生态环境行为规范十条》等宣教,进一步引领公民践行生态环境保护义务和责任,激发主观能动性。增强环境教育基地与环保基础设施建设,推进绿色低碳理念进校园、入课堂,结合“大思政课”增强学生生态文明思想与环境保护教育意识。鼓励营造绿色清洁的消费环境,促进绿色行为偏好的形成,为面向绿色发展的碳中和进程提供持续动力。

参考文献(References)

- [1] Zou H, Zhang Y J. Does environmental regulatory system drive the green development of China's pollution-intensive industries[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 330: 129832.
- [2] 董战峰, 李红祥, 葛察忠. 基于绿色发展理念的环境经济政策体系构建[J]. *环境保护*, 2016, 44(11): 38-42.
- [3] 董战峰, 冀云卿. 中国绿色发展十年回顾与展望[J]. *科技导报*, 2022, 40(19): 43-52.
- [4] 石敏俊. 中国经济绿色发展: 理念、路径与政策[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2021.
- [5] 张友国. 碳达峰、碳中和工作面临的形势与开局思路[J]. *行政管理改革*, 2021, 139(3): 77-85.
- [6] 潘家华, 孙天弘. 关于碳中和的几个基本问题的分析与思考[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2022, 22(5): 45-59.
- [7] 赵志耘, 李芳. 碳中和技术经济学的理论与实践研究[J]. *中国软科学*, 2021(9): 1-13.
- [8] 魏一鸣, 余碧莹, 唐葆君, 等. 中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2022, 24(4): 13-26.
- [9] 丛建辉, 李锐, 王灿, 等. 中国应对气候变化技术清单研制的方法学比较[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(3): 13-23.
- [10] 项目综合报告编写组. 《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》综合报告[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(11): 1-25.
- [11] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 中国实施绿色低碳转型和实现碳中和目标的路径选择[J]. *中国软科学*, 2022(10): 1-12.
- [12] 王灿, 张雅欣. 碳中和愿景的实现路径与政策体系[J]. *中国环境管理*, 2020, 12(6): 58-64.
- [13] Fu C, Huang Y R, Zheng Y W, et al. The influence and acting pattern of China's national carbon emission trading scheme on regional ecologicalization efficiency of industry[J]. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 11940.
- [14] 鲁政委, 栗晓春, 钱立华, 等. “碳中和”愿景下我国CCER市场发展研究[J]. *西南金融*, 2022, 497(12): 3-16.
- [15] Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al. Summary for Policymakers[R]/IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. London: IPCC, 2021.
- [16] 世界银行. 中国国别气候与发展报告[EB/OL]. (2022-10-12)[2023-05-23]. <https://www.shihang.org/zh/country/china/publication/china-country-climate-and-development-report>.
- [17] Energy Institute. 2023 Statistical Review of World Energy[EB/OL]. [2024-02-25]. <https://www.energyinst.org/statistical-review>.
- [18] 王金南, 蔡博峰. 打好碳达峰碳中和这场硬仗[J]. *中国信息化*, 2022(6): 5-8.
- [19] 中华人民共和国最高人民检察院. 聚焦第四届新时代检察宣传周|高质效办好每一个生态环境检察案件[EB/OL]. (2023-06-06)[2023-10-07]. https://www.spp.gov.cn/zd gz/202306/t20230606_616497.shtml.
- [20] Sun Y, Bao Q, Taghizadeh-Hesary F. Green finance, renewable energy development, and climate change: Evidence from regions of China[J]. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2023, 10(1): 107.
- [21] 方恺, 李程琳, 黄玮, 等. 碳汇生态产品的科学内涵、价值评估与实现路径[J]. *中国环境管理*, 2023, 15(3): 17-23, 61.
- [22] 李宏伟, 薄凡, 崔莉. 生态产品价值实现机制的理论创新与实践探索[J]. *治理研究*, 2020, 36(4): 34-42.
- [23] 刘志华, 徐军委, 张彩虹. 省域横向碳生态补偿的演化博弈分析[J]. *软科学*, 2021, 35(11): 115-122.
- [24] Guo X Y, Chen X Y, Chen X, et al. Grid integration feasibility and investment planning of offshore wind power under carbon-neutral transition in China[J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 2447.
- [25] Aleluia Reis L, Vrontisi Z, Verdolini E, et al. A research and development investment strategy to achieve the Paris climate agreement[J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 3581.
- [26] Iea-Pvps. Snapshot of Global PV Markets: 2023[EB/OL]. (2023-05-30). https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/04/IEA_PVPS_Snapshot_2023.
- [27] 国家能源局. 国家能源局发布1~5月份全国电力工业统计数据[EB/OL]. (2023-06-20)[2023-10-20]. <http://>

- www.nea.gov.cn/2023-06/20/c_1310728898.htm.
- [28] Helveston J P, He G, Davidson M R. Quantifying the cost savings of global solar photovoltaic supply chains [J]. *Nature*, 2022, 612(7938): 83-87.
- [29] 耿曙. 发展阶段如何影响产业政策: 基于中国太阳能产业的案例研究[J]. *公共行政评论*, 2019, 12(1): 24-50.
- [30] 清华大学气候变化与可持续发展研究院. 读懂碳中和[M]. 北京: 中信出版集团, 2021.
- [31] 陈雨露. 当前全球中央银行研究的若干重点问题[J]. *金融研究*, 2020, 476(2): 1-14.
- [32] UNEP, UNEP Copenhagen Climate Centre(UNEP-CCC). Emissions Gap Report 2021. (2021-10-26) [2023-05-25]. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>.
- [33] Liu Z, Deng Z, He G, et al. Challenges and opportunities for carbon neutrality in China[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2022, 3(2): 141-155.
- [34] Liao Z L, Yao Q. Flexibility is needed in China's national carbon market[J]. *Nature Climate Change*, 2022, 12(2): 106-107.
- [35] 蔡兆男, 成里京, 李婷婷, 等. 碳中和目标下的若干地球系统科学和技术问题分析[J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(5): 602-613.
- [36] 王灿, 蔡闻佳, 郑馨竺, 等. 碳中和目标下气候政策研究的前沿问题[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2022, 24(4): 74-80.
- [37] Zhang P, Deschenes O, Meng K, et al. Temperature effects on productivity and factor reallocation: Evidence from a half million chinese manufacturing plants[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 88: 1-17.
- [38] 蔡闻佳, 张弛, 孙凯平, 等. 因地而异的气候变化健康影响需要因地制宜的应对措施[J]. *科学通报*, 2021, 66(31): 3925-3931.
- [39] Semieniuk G, Holden P B, Mercure J-F, et al. Stranded fossil-fuel assets translate to major losses for investors in advanced economies[J]. *Nature Climate Change*, 2022, 12(6): 532-538.
- [40] 刘鹤. 必须实现高质量发展[N]. *人民日报*, 2021-11-24(1).
- [41] Dong J, Cai B, Zhang S, et al. Closing the gap between carbon neutrality targets and action: Technology solutions for China's key energy-intensive sectors[J]. *Environmental Science & Technology*, 2023, 57(11): 4396-4405.
- [42] Bistline J, Blanford G, Brown M, et al. Emissions and energy impacts of the Inflation Reduction Act[J]. *Science*, 2023, 380(6652): 1324-1327.
- [43] 马中, 刘青扬, 谷晓明, 等. 发展绿色金融, 推进供给侧结构性改革[J]. *环境保护*, 2016, 44(16): 33-37.
- [44] 人民论坛. 数碳经济: 中国式现代化·绿色发展之路[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2023.
- [45] 昌敦虎, 白雨鑫, 马中. 我国环境治理的主体、职能及其关系[J]. *暨南学报(哲学社会科学版)*, 2022, 44(1): 1-12.

Innovation and development of carbon neutral policy for green development

BAI Yuxin^{1,2}, DONG Zhanfeng^{2*}

1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China

Abstract Carbon neutrality is a strategic task at the stage of China's green development, and the driving policy is an important hand to realize the vision of carbon neutrality. Under the framework of green development, the article reviews the development process and research hotspots of carbon neutrality in China from the perspectives of policy system and academic research, and explores the path of institutional and policy innovation to realize the vision of carbon neutrality. It is necessary to promote the coordination of carbon neutral policies from a higher position, study core technologies and emission reduction paths in response to climate change with a broader perspective, guide the financial support for carbon neutral green development in a more flexible way, and strengthen the capacity building of green development toward the goal of carbon neutrality.

Keywords carbon neutrality; green development; low-carbon transition; environmental policy ●



(责任编辑 徐丽娇)