碳中和愿景的科技需求与技术路径

张贤[1]，郭偲悦[2]，孔慧[3]，赵伟辰[4]，贾莉[1]，刘家琰[1]，仲平[1*]

（1. 中国21世纪议程管理中心，北京100038；2. 清华大学能源环境经济研究所，北京100084；3. 北京理工大学机械与车辆学院，北京100081；4. 清华大学地球系统科学系，北京100084）

【摘　要】碳达峰与碳中和愿景的提出为我国低碳/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。世界各国均将科技创新作为碳中和目标实现的重要保障。我国实现碳中和目标，归根结底也需要依靠科技进步。我国碳排放总量大、强度高，实现碳中和目标的时间周期短，现有技术尚存在不足，科技发展需要付出更多努力并提前部署。我国碳中和技术发展需要为保障我国碳排放高质量达峰和实现碳中和目标提供技术可行、经济可承受的科技支撑。各部门需要结合自身特点制定技术发展路径。“十四五”是碳达峰与碳中和目标实现的关键时期，应全面加强相关脱碳、零碳、负排放技术发展的全局性部署，加快开展研发示范。为了更好地推动面向碳中和愿景的科技发展，需要强化顶层设计、完善保障机制与加强国际合作。

【关键词】碳中和；科技需求；技术路径

【中图分类号】F113.3

【文献标识码】A

【文章编号】1674-6252（2021）01-0065-06

【DOI】10.16868/j.cnki.1674-6252.2021.01.065

引言

气候变化是全球面临的重大挑战，应对气候变化事关我国国内国际两个大局，事关发展全局和长远，既是推动经济高质量发展和生态文明建设的重要抓手，也是参与全球治理和坚持多边主义的重要领域。2020年9月22日，习近平主席在第七十五届联合国大会提出了我国力争2030年前二氧化碳排放达峰和2060年前实现碳中和愿景，并在国内外重要会议上多次强调该目标落实的重要性[1]。2020年中央经济工作会议首次决定将“做好碳达峰、碳中和工作”列入年度重点任务之一[2]，“制定2030年前碳排放达峰行动方案”将写入“十四五”经济和社会发展五年规划[3]，进一步凸显了我国实现碳达峰与碳中和愿景的决心和信心，以及重信守诺的责任担当。

碳达峰与碳中和目标的确立对科技创新，特别是整体技术布局与技术发展方向提出了全新的要求。一是碳中和愿景的提出预示着未来减排力度将发生深刻变化。国家自主贡献目标要求相对排放基准线的碳强度降低，碳中和目标需要实现整体经济活动的源汇相抵，对能实现深度减排的脱碳、零碳和负排放技术需求明显增强。二是碳中和愿景的提出将对能源供给侧和消费侧产生巨大影响。不仅需要工业、交通、建筑等消费侧部门积极响应，而且需要电力、燃料等能源供给侧部门做出主动调整，负碳电力系统的重构、零碳能源体系的建立，以及近零排放工业流程的重塑亟需科技支撑。三是碳中和愿景的提出将给经济社会发展模式带来颠覆性改变，需要兼顾减排目标实现、能源资源安全和经济社会可持续发展的多重需求，亟需区域、行业和整体的系统优化集成提供支撑。

科技创新是碳达峰与碳中和目标实现的重要保障，国务院各部门密集出台应对气候变化有关政策，都对科技支撑提出明确需求。生态环境部2021年1月发布《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》，指出要“积极推动重大科技创新和工程示范”，要加强气候变化领域科技创新的能力建设、支持力度等[4]。地方政府及相关企业纷纷制定碳达峰与碳中和背景下的发展规划，把促进应对气候变化科技创新作为支撑碳中和目标实现的重要组成部分。深入分析科技需求、明确技术发展路径，对我国实现高质量达峰和碳中和目标具有重要意义。

作者简介：张贤（1981—），男，研究员，博士，主要从事应对气候变化、可持续发展、科技发展、低碳技术评估等相关研究，E-mail：zhangxian@acca21.org.cn。

*** 责任作者**：仲平（1979—），男，研究员，主要从事全球气候变化、可持续发展科技管理等相关研究，E-mail：zhongping@acca21.org.cn。

1 碳达峰与碳中和目标实现亟需科技支撑

1.1 世界各国均将科技创新作为碳中和目标实现的重要保障

据不完全统计，全球已有 100 多个国家或地区以不同形式提出了碳中和目标 [5]，并针对低碳 / 零碳发展技术需求纷纷出台科技发展规划。欧盟为实现 2050 碳中和目标于 2019 年颁布了《欧洲绿色新政》，明确能源、工业、建筑、交通、消费等重点领域的技术需求，围绕需重点突破与推广的核心技术，通过加大“地平线”项目投入等方式支持技术创新 [6]。美国 2020 年发布《清洁能源革命和环境正义计划》，将液体燃料、低碳交通、可再生能源发电、储能等列为重点方向，明确了技术发展目标，并指出要加大研究投入 [7]。日本面向 2050 年碳中和目标于 2020 年 12 月发布《绿色增长战略》，提出了海上风力发电、电动车、氢能源、航运业、航空业、住宅建筑等 14 个重点领域深度减排的详细技术路线图、技术发展目标和主要措施等 [8]。英国气候变化委员会（UKCCC）发布系列报告，围绕实现碳中和的技术需求，提出了供热、工业、交通等领域的技术发展目标和路径，为英国整体实现净零排放提供技术支持 [9]。

多个国际组织的研究报告表明科技创新是实现碳中和目标的重要保障。可持续发展解决方案网络（SDSN）与意大利马特艾基金会（FEEM）在 2019 年共同发布了针对各国到 21 世纪中叶脱碳的路径研究，梳理了电力、交通、建筑与工业的主要技术以及 2025 年、2050 年的发展目标，为各国制定脱碳规划提供支撑 [10]。能源转型委员会（ETC）也发布报告，对实现零碳经济各领域主要技术的发展时间节点进行了综述与规划 [11]。国际能源署（IEA）长期开展减排技术评估，发布了一系列技术路线图，并在 2020 年度的能源技术展望报告（ETP2020）中，针对全球 2070 年实现净零排放情景，对各部门技术的整体情况进行分析，着重讨论了难减排部门并评估了 433 项减排技术的重要性、成熟度等 [12]。

1.2 我国碳中和目标实现归根结底要靠科技进步

从短期看，处理好经济转型发展、疫后复苏与碳约束的矛盾亟需科技支撑。我国经济正处于转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，结构性、体制性、周期性问题相互交织，短期内“三期叠加”的影响将持续深化，加上新冠肺炎疫情蔓延，经济下行压力增大。随着我国经济社会进一步发展，工业化和城市化不断推进，能源资源的消费量将持续增加，温室气体排放量也将越来越大。短期内，过激调整能源结构、产业结构或大幅降低能源供应总量都将影响我国经济发展。为实现碳达峰与碳中和目标和疫情后经济绿色复苏，在不影响人民生活水平提高前提下，亟须依靠科技创新提升可再生能源比重、降低重点排放行业能耗和排放强度、提高能源利用效率、改善制造工艺、推进低碳原料替代等。

从中期看，推动经济持续低碳 / 脱碳发展最终要依靠科技。碳达峰与碳中和目标的提出，意味着未来我国碳排放空间将大幅受限，我国已不可能沿袭发达国家走过的高消耗、高排放的传统工业化道路，必须加快经济发展低碳 / 脱碳转型。未来实现碳中和目标和发展方式的根本性转变需要低碳科技创新的有力支撑。经济转型突破碳约束的产业布局尤为重要，需要大力发展技术密集型的低碳产业，加大对传统高碳产业的技术升级改造力度，关键是发挥好科技在实现经济模式由要素驱动发展向创新驱动发展转变的支撑作用，把科技创新与产业结构转型升级相结合，加速市场导向的技术研发，深入推进应对气候变化与低碳绿色经济发展科技协同创新，逐步避免高碳产业锁定，实现经济低碳 / 脱碳发展。

从长期看，未来提升我国在全球低碳市场竞争力的关键在科技创新。在应对气候变化、全球低碳转型的大趋势下，低碳核心技术储备和技术发展能力，以及产业结构绿色转型是现代化的标志和核心竞争力的体现。欧美等发达国家和地区在不断提升减排力度的同时，积极部署碳中和有关科技研发，提高全球贸易市场准入门槛。例如，欧盟在提出 2050 年实现碳中和目标后，很快将 2030 年碳排放减排目标从比 1990 年减少 40% 提高到 60%[13]；通过公布《欧洲绿色新政》加紧部署绿色低碳技术研发，并明确 2022 年开始实施碳边境调节税（碳关税），将进口产品成本核算加入碳关税。我国需要紧紧把握全球经济发展的新特点，超前谋划部署碳中和实现路径，在更高起点上推进科技创新，确保在未来国际市场上的竞争力。

2 碳中和愿景的提出对应对气候变化技术发展提出了更高要求

2.1 我国碳排放总量大、强度高，科技支撑碳中和目标需要付出更多努力

从碳排放现状来看，我国碳排放总量为美国两倍

多、欧盟三倍多，是世界第一大排放国，实现碳中和目标所需的碳排放减量远高于其他经济体，需要大力发展减排技术。2019 年，我国二氧化碳排放总量约 115 亿吨，约占全球的 30%；人均碳排放约为 8.1 吨二氧化碳 / 人，超过欧盟①水平 25%，比全球水平高出 65%[14]。此外我国非二氧化碳温室气体（以下简称非二气体）排放约 24 亿吨二氧化碳当量，碳汇约 10 亿吨 [15,16]。我国碳强度近年来迅速下降，已经提前完成比2005年下降40%～45%的减排目标[17]，约为0.51 吨二氧化碳 / 千美元，但仍明显高于大部分发达国家，在二十国集团中仅次于南非 [14]。我国碳强度较高主要是由于能源结构中煤炭占比高、产业结构中重工业占比大。我国煤炭占一次能源比例约为 58%，高于全球平均水平（33%），也显著高于美国（12%）与欧盟（11%）[18]。我国工业比重，尤其是重工业比重显著高于绝大部分发达国家。作为“世界工厂”，我国生产了全球约 56.5% 的钢铁（2020 年）[19] 与 55.7% 的水泥（2019 年）[20]，这些行业都较难实现净零排放。

2.2 我国碳中和目标实现周期短、难度大，快速深度减排需提前做好技术储备

从碳中和实现时间周期看，我国需要用比发达国家更短的时间完成深度减排，科技需要发挥重大作用。我国计划从 2030 年前二氧化碳排放达峰到 2060 年实现碳中和的时间仅为 30 年左右，远远少于欧美（45 年左右或更长）。研究表明，我国需尽可能提早达峰并尽可能降低峰值，达峰时间越靠前、峰值越小，从碳达峰到碳中和的减排压力越小、转型所需时间越短 [21]。与大部分发达国家不同，我国经济发展与碳排放尚未完全脱钩，在考虑低碳 / 脱碳转型的同时，还要兼顾经济转型，处理好碳排放约束和社会经济发展需求的矛盾，并把矛盾转变为新动能。我国需要提前部署碳中和实施路径和技术研发，以缓解未来的减排压力，在加快推广成熟技术以支撑高质量达峰的同时，提前部署深度减排需要的各项技术以匹配快速减排需求。

2.3 现有减排技术供给不足，难以支撑我国实现碳中和目标

我国一直积极推动节能减排和绿色低碳发展技术，近年来通过加大科技投入、出台激励政策及规划、部署科技计划项目和开展国际合作等措施，大力推动了相关技术进步，在关键技术突破、先进技术示范、颠覆性技术超前理论研究等方面取得了快速发展。但是如果仅延续当前政策、投资和碳减排目标等，现有低碳、零碳和负排放技术难以支撑我国到 2060 年实现碳中和 [17]。文献计量分析显示，在零碳及负排放关键技术领域，我国发文量位于全球第二，但篇均被引频次在全球发文量前十的国家中是最低的，约为美国的三分之一，且从关键词看，国际研究对于负排放技术的研究热度高于我国 [22]。针对脱碳、零碳、负排放技术供给不足的现状，需要提前做好技术研发供给侧结构调整，进一步明确碳中和技术需求，优化应对气候变化技术研发布局。

3 我国碳中和技术发展总体目标路径

3.1 碳中和技术发展总体目标

为保障我国碳排放高质量达峰和实现碳中和目标提供技术可行、经济可承受的科技支撑，是我国碳中和技术发展的总体目标。根据我国力争实现 2030 年前二氧化碳排放达峰和 2060 年前碳中和愿景，以及 2035 年前碳排放稳中有降的有关规划，我国碳排放趋势可分为达峰期、平台期、下降期以及中和期四个阶段 [23]。在不同发展阶段，需要根据碳排放特征、减排需求，针对性地部署符合该阶段目标需求的减排技术。

在达峰期，高质量达峰需要兼顾经济社会可持续发展。减排手段主要集中在节能减排技术广泛推广、可再生能源技术应用占比提升、能效技术潜力进一步释放等，新兴技术如碳捕集利用与封存（CCUS）技术、生物质利用与 CCUS 技术结合（BECCS）等需提前有序部署以减轻未来压力，从而实现我国预期的达峰目标。

在平台期与下降期，需实现国内经济发展与碳排放完全脱钩，碳排放显著下降，核心的碳中和技术取得较大突破，大部分技术实现规模化推广，能源系统逐步实现近零排放。这一阶段能效提升技术的贡献逐渐变小，主要减排手段集中在脱碳零碳技术规模化推广与商业化应用，脱碳燃料、原料和工艺全面替代，负排放技术广泛示范等。

进入中和期，我国将要或者已经全面建成社会主义现代化强国，经济社会发展绿色低碳 / 脱碳转型已经完成，碳中和技术发展处于全球引领位置，脱碳、

① 本文的欧盟指欧盟 27 国与英国。

零碳和负排放技术进一步推广，全面支撑碳中和目标实现。

3.2 碳中和目标下主要行业技术发展需求

电力、工业、建筑和交通等社会经济部门的排放是我国碳排放的主要来源，需结合各部门自身排放结构和发展的异质性，明确推广需要的碳中和技术，同时考虑非二气体排放的削减，以实现全社会的零碳发展。

电力部门是实现 2060 碳中和目标的关键所在。能效进步、可再生能源占比提升是达峰期的主要减排手段，高比例非化石能源电力系统的安全性和灵活性将成为重大难点，电力系统集成优化减排技术与各类需求侧响应技术需开始部署。随着电力系统逐步实现零碳排放，提高能源生产及利用效率技术的贡献将下降，可再生能源及核能发电技术的推广、CCUS 技术和 BECCS 等负排放技术开始进入商业推广阶段并成为电力部门减排的主要贡献技术。电力系统集成优化减排技术需要在全国范围普及应用。到电力系统实现负排放，化石能源发电将全部采用 CCUS 技术，并通过 BECCS 等实现负排放。

工业部门是中国的能耗和碳排放大户，是实现碳中和目标的重点领域。实现工业部门的高质量达峰，主要依靠工业生产节能、减少工业产品需求量以及提升产品利用率的节材技术。工业原料替代、工艺革新与 CCUS 技术大都还在研发阶段，达峰期贡献较少。随着相关技术潜力和技术成熟度的改变，各类技术的贡献占比也将发生较大变化：节能技术的潜力相对下降，节材技术、工业原料替代、工艺革新与 CCUS 技术将随着有关技术的成熟，贡献不断增加，成为工业部门碳中和的主要贡献技术。

建筑部门的碳排放已开始进入平台期，总体来说各项需求都存在零碳解决方案，应率先进入去峰期并尽早实现近零排放。服务需求减量技术以及效率提升技术为 2030 年之前的主要减排手段；调整能源结构与可再生能源利用技术，包括建筑电气化、光伏建筑一体化等在此阶段需积极部署。对于建筑部门实现近零排放，能源结构优化是主要途径，包括电气化的显著提升、零碳热力的推广等。建筑负荷柔性化技术通过调节建筑负荷曲线实现电网友好，是未来高比例可再生电力发展的重要支撑，应加快技术攻关，在 2035 年以前具备在全国范围推广的能力并在之后持续推广。

交通部门碳减排潜力大、难度高。国际经验表明，发达国家在交通运输规模基本稳定的情况下，实现碳中和亦非常困难。发展公共交通、优化运输结构等需求减量技术和提高能源利用效率技术是尽早达峰的主要减排手段。电动货车、生物柴油燃料技术等燃料替代技术对实现交通部门快速深度减排将起到关键作用，需积极研发部署。同时，交通用能供需匹配技术应在全国普及和应用，以减轻交通部门的供需矛盾。预计航空与远洋航海到中和期还可能有部分排放难以削减，需要颠覆性技术。

现阶段非二气体的管控与减排相关技术还较为薄弱，亟需科技相关部署与支撑。要实现非二气体尽快进入减排期，完全消减需求和替代原有需求为主要减排手段。煤层气回收、工业部门尾气排放催化分解处理等末端回收和处置技术多还处于研究阶段，贡献占比目前相对较小，但伴随技术进步将逐渐增加。预计到 2060 年仍有部分非二气体难以减排，剩余的排放量需要颠覆性技术的研发与应用。

3.3 亟须优先部署的技术突破方向

“十四五”是碳达峰与碳中和目标实现的关键时期，应全面加强相关脱碳、零碳技术发展的全局性部署，加快开展以实现碳中和为目标的零碳、负排放技术研发与示范。

一是重点突破零碳电力技术。围绕能源生产消费方式深度脱碳转型需求，以一次能源结构非化石化为主线，研发推广大规模低成本储能、智能电网、虚拟电厂等技术，构建水、风、光等资源利用—可再生发电—终端用能优化匹配技术体系，发展支撑实现高比例可再生能源电网灵活稳定运行的相关技术，推动工业、交通、建筑电气化进程。

二是加快推进零碳非电能源技术的研发与商业化进程。加快化石能源制氢 +CCUS 等“蓝氢”技术部署，积极推动可再生能源发电制氢规模化等“绿氢”技术研发，超前储备其他氢能制备技术，推动生物质能、氨能等其他零碳非电能源技术发展，探索以上能源形式与工业、交通、建筑等深度融合发展的新模式。

三是继续发展节能节材技术与资源产品循环利用技术。利用新材料、新技术升级现有节能技术和设备，持续挖掘节能潜力提升能效，提高能源精细化管理水平。推动钢铁、水泥等基础材料的高性能化、减量化和绿色化转型，减少钢铁、水泥、化工等产品的需求量与提高材料利用效率。重点推进电能替代、氢基工业、生物燃料等工艺革新技术并推广应用，包括

氢能炼钢、电炉炼钢、生物化工制品工艺等，强化和加速推进以 CO_2 为原料的化学品合成技术研发。

四是超前部署增汇技术和负排放技术。发展 CCUS 关键技术及其与工业、电力等领域的集成技术，重点部署 BECCS 以及直接空气捕集（DAC）技术，探索太阳辐射管理等地球工程技术并开展综合影响评估，发展农业、林业草原减排增汇技术，研究海洋、土壤等碳储技术，发展以红树林、海草床、盐藻为代表的海洋蓝碳等技术。

五是推动耦合集成与优化技术发展并开展工程示范。聚焦能源体系零碳转型升级、工业产品绿色低碳发展、各终端消费部门近零排放等，及时评估相应脱碳、零碳和负排放技术发展进程，促进不同技术单元集成耦合，最大限度地挖掘相应技术的减排潜力，协同温室气体与污染物减排，促进社会经济各部分全链条低碳 / 脱碳绿色转型。融合人工智能、互联网、信息通讯等系统优化技术，开展技术融合优化的工程示范。

4 碳中和愿景下科技发展的政策建议

4.1 强化顶层设计

一是建立跨部门协调机制，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，推动资源、环境、能源、工业、建筑、交通、材料、海洋、农林等领域合作，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。二是研究制定碳中和科技创新顶层设计，推动相关规划编制。统筹考虑 2030 年前二氧化碳达峰与 2060 年前碳中和目标，结合短期经济复苏、中期结构调整、长期发展转型需要，做好二氧化碳达峰增量控制、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，提升未来低碳 / 零碳产业竞争力。面向“十四五”，加快编制并发布相关规划以推动脱碳、零碳和负排放重点技术领域和方向的研发及示范任务部署，强化统筹布局，加强变革性技术研发和战略性技术储备。

4.2 完善保障机制

一是制定脱碳、零碳和负排放技术发展路线图，通过制定和更新绿色氢能、高比例可再生能源电网、CCUS 等关键技术发展路线图，明确技术发展路径、关键节点及资金需求，调动行业和市场力量，鼓励产学研等各类创新主体加强协作，推动相关技术研发和示范应用。二是加大对优势科研机构和团队支持力度，建立稳定支持机制，完善技术创新攻关主体布局，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。三是加强创新政策与金融市场工具的协同，结合国家碳市场建设、绿色金融体系构建等工作，以良性机制实现碳减排交易和绿色减排技术应用协同推进，以市场化手段鼓励节能和低碳创新型企业发展。四是推动脱碳、零碳和负排放技术标准的建立与更新，关注与国际主流标准的对比、转化与衔接，避免未来碳关税的潜在负面影响，加强技术成果转化、应用与推广。

4.3 加强国际合作

一是加强与欧美等发达国家的技术交流与合作。碳中和作为全球可持续发展问题的最大共识，是维持和加强与发达国家科技合作的“利益交集”，应充分利用绿色低碳 / 脱碳转型契机，加强技术创新、产业升级、能源转型、气候政策方面的合作。二是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，推动我国应对气候变化技术走出去，解决发展中国家绿色低碳 / 脱碳转型的技术需求，积极树立绿色“一带一路”的国际形象。三是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。

参考文献

[1] 人民网 . 习近平系列重要讲话数据库 [DB/OL]. (2021-02-02) [2021-02-05]. http://jhsjk.people.cn/.

[2] 新华网 . 中央经济工作会议在北京举行 习近平李克强作重要讲话 栗战书汪洋王沪宁赵乐际韩正出席会议 [EB/OL]. (2020-12-18) [2021-02-05]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-12/18/c_1126879325.htm.

[3] 新华网 . 中国共产党第十九届中央委员会第五次全体会议公报 [EB/OL]. (2020-10-29) [2021-02-05]. http://www.xinhuanet.com/politics/2020-10/29/c_1126674147.htm.

[4] 生态环境部 . 关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见 : 环综合［2021］4 号 [A/OL]. (2021-01-11) [2021-02-05]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202101/t20210113_817221.html.

[5] United Nations Secretary-General. Secretary-General's video remarks at Caring for Climate High-Level Meeting[EB/OL]. (2020-12-08) [2021-02-05]. https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2020-12-08/secretary-generals-video-remarks-caring-for-climate-high-level-meeting.

[6] EUROPEAN COMMISSION. The European Green Deal[A/OL]. (2019-11-12) [2021-02-05]. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
[7] House Select Committee on the Climate Crisis. Solving the Climate Crisis[R/OL]. (2020-06-29) [2021-02-05]. https://climatecrisis.house.gov/sites/climatecrisis.house.gov/files/Climate%20Crisis%20Action%20Plan.pdf.
[8] Ministry of Economy, Trade and Industry. Green Growth Strategy towards 2050 Carbon Neutrality[R/OL]. (2020-12-25) [2021-01-08]. https://www.meti.go.jp/english/press/2020/1225_001.html.
[9] UKCCC. Publications[EB/OL]. (2020-12-9) [2021-02-05]. https://www.theccc.org.uk/.
[10] SDSN and FEEM. Roadmap to 2050: A Manual for Nations to Decarbonize by Mid-Century[R/OL]. (2019-09-27) [2021-02-05]. https://roadmap2050.report/.
[11] ETC. Making Mission Possible: Delivering a Net-Zero Economy[R/OL]. (2020-11-30) [2021-02-05]. https://www.energy-transitions.org/publications/making-mission-possible/.
[12] IEA. Energy Technology Perspectives 2020[R]. Paris: IEA, 2020.
[13] European Parliament. EU climate law: MEPs want to increase 2030 emissions reduction target to 60%[N/OL]. (2020-10-08) [2021-02-05]. https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20201002IPR88431/eu-climate-law-meps-want-to-increase-2030-emissions-reduction-target-to-60.
[14] CRIPPA M, GUIZZARDI D, MUNTEAN M, et al. Fossil CO2 emissions of all world countries - 2020 Report[R]. Luxembourg: EU, 2020.
[15] 生态环境部 . 中国气候变化第三次国家信息通报及第二次两年更新报告核心内容解读 [EB/OL]. (2019-07-01) [2020-11-09]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtkz/201907/t20190701_708248.shtml.
[16] 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.
[17] 国务院新闻办公室 .《新时代的中国能源发展》白皮书 [R/OL]. (2020-12-21) [2021-02-04]. http://www.gov.cn/zhengce/2020-12/21/content_5571916.htm.
[18] BP. Statistical Review of World Energy 2020[R/OL]. (2020-12-28) [2021-01-02]. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf.
[19] 世界钢铁协会 . 2020 年全球粗钢产量同比下降 0.9%[EB/OL]. (2021-01-26) [2021-02-04]. https://www.worldsteel.org/zh/media-centre/press-releases/2021/Global-crude-steel-output-decreases-by-0.9--in-2020.html.
[20] CEMNET. World cement consumption rises by 2.8% in 2019[EB/OL]. (2020-01-24) [2021-02-04]. https://www.cemnet.com/News/story/168163/world-cement-consumption-rises-by-2-8-in-2019.html.
[21] 柴麒敏 , 郭虹宇 , 刘昌义 , 等 . 全球气候变化与中国行动方案——“十四五”规划期间中国气候治理 (笔谈)[J]. 阅江学刊 , 2020, 12(6): 36-58.
[22] 巢清尘 , 曲建升 . 中国应对气候变化科技现状及展望 [M]// 应对气候变化报告 (2020). 北京 : 社会科学文献出版社 , 2020: 303-321.
[23] 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.

Technology Demands and Approach of Carbon Neutrality Vision

ZHANG Xian[1], GUO Siyue[2], KONG Hui[3], ZHAO Weichen[4], JIA Li[1], LIU Jiayan[1], ZHONG Ping[1*]
(1. The Administrative Centre for China's Agenda 21, Beijing 100038, China; 2. Institute for Energy, Environment & Economy, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 4. Department of Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Commitment to have CO_2 emissions peak before 2030 and achieve carbon neutrality before 2060 points out a new direction for China's low-carbon development and raises new requirements on technological innovation. Countries around the world regard technological innovation as the major prerequisite to achieve the carbon neutrality objective. For China, it is also the science and technology that should be depended on to achieve the carbon targets in the final analysis. With the large amount and high intensity of total carbon emissions, China has a shorter cycle to achieve the carbon neutrality objective. Considering the shortcomings of existing technologies, more efforts should be devoted to research and deployment in advance. Technically feasible and economically affordable technological support should be provided to ensure the high-quality fulfillment of carbon emissions peak and carbon neutrality objective. Sectors should formulate specific pathways of technological development regarding their needs and current conditions. The 14th Five-Year Plan period is the critical period for the carbon emissions peak and carbon neutrality objective. The overall deployment favoring low-carbon and zero-carbon technologies should be comprehensively reinforced, and demonstration should be expedited. Strengthening the top-level design, supporting measures and international cooperation are also essentially needed.
Keywords: carbon neutrality; technology demands; technology approach