



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



Views & Comments

碳中和背景下中国碳达峰路径分析

“碳达峰、碳中和战略及路径”项目组

Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China

1. 引言

气候变化是当今人类发展所面临的非传统安全挑战，减少温室气体排放以应对气候变化已成为全球共识[1–2]。中国是全球第二大经济体，同时也是全球能源消费和碳排放大国，在全球气候治理中发挥着重要的建设性作用[3]。目前，全球已经有50多个国家实现碳达峰。其中，美国于2007年实现碳达峰；欧盟各成员国碳达峰时间不一，整体于1990年实现碳达峰；日本于2013年实现碳达峰。此外，全球已有130多个国家和地区提出“零碳”或“碳中和”气候目标。以美国、欧盟、日本为代表的发达国家和地区提出拟在2050年前实现碳中和。以英国、瑞典为代表的6个国家已将碳中和列入实质性立法[4]。

2020年9月22日，中国正式宣布将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，力争于2030年前使二氧化碳排放达到峰值，努力争取于2060年前实现碳中和[5]（以下称为“双碳”目标）。与欧美等发达国家和地区不同的是，中国目前仍处在碳排放上升阶段，尚未实现碳达峰。因此，本文在充分考虑中国经济社会发展、技术可达性、措施可行性等因素下，通过反复优化和论证，提出碳中和目标下中国碳达峰的路径及举措。

2. 中国“双碳”目标的内涵及认识

中国的“双碳”目标实质都是低碳转型。2030年前碳达峰是近期目标，是迈向碳中和的基础和前提；2060

年前碳中和是长期目标，碳达峰后需要更有力的减排才能实现碳中和。碳达峰是以碳中和为目标的达峰，是保证经济高质量发展同时的达峰，是产业结构优化和技术进步促进碳强度逐步降低的达峰，而不是碳排放攀高峰，更不是冲高峰。碳中和是为中国经济社会发展开创的一条兼具成本效益、经济效益和社会效益的新的新发展路径，与实现国家第二个百年目标同步，是实现经济社会低碳转型和深刻进步的里程碑。

实现“双碳”目标首先需要二者有清晰的认识：第一，“双碳”目标将引领中国实施低碳转型，以低碳创新推动可持续发展，实现社会文明形态逐步由工业文明步入生态文明。第二，“双碳”目标倒逼产业结构调整，可有效抑制发展高耗能产业的冲动，同时推动战略性新兴产业、高技术产业、现代服务业进步，拉动巨量的绿色金融投资，带来新经济增长点和新就业机会。第三，“双碳”目标是能源革命的两个里程碑，将大幅推动节能和提高能效，同时大力发展非化石能源，稳步减少化石能源，构建以非化石能源为主体的新型电力体系。第四，实现“双碳”目标，需要重新认识中国的能源资源禀赋。我国已开发的风能、太阳能资源等可再生能源，均未达到技术可开发量的1/10，能源低碳转型的资源基础是丰厚的。第五，中国提出的“双碳”目标既体现了应对气候变化的“共区原则”和基于发展阶段的原则，又彰显了一个负责任大国应对气候变化的积极态度。第六，实现“双碳”目标需要克服产业偏重、能源偏煤、效率偏低、对高碳发展路径依赖性大等巨大困难，这有助于补齐中国发展短板、落实

2095-8099/© 2021 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

英文原文: *Engineering*, 2021, 7(12): 1673–1677

引用本文: Project Team on the Strategy and Pathway for Peaked Carbon Emissions and Carbon Neutrality. Analysis of a Peaked Carbon Emission Pathway in China Toward Carbon Neutrality. *Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.10.003>

新发展理念。第七，实现“双碳”目标是复杂的系统工程，是一个科学转型过程，需要把握好节奏、积极稳妥推进，既要防止“一刀切”简单化，又要防止转型不力带来落后和无效投资等问题。第八，充分认识碳汇以及碳捕集、利用与封存（CCUS）等碳移除和碳利用技术在实现碳中和中的作用，发展并利用好碳汇增长空间，在不易脱碳的工业环节，积极发展碳捕集、利用与封存。

3. 中国二氧化碳排放趋势及碳达峰预判

2020年，中国一次能源消费量为49.8亿吨标煤，二氧化碳排放量（以下简称为“碳排放”）为100亿吨左右（图1）。1980—2020年间，中国能源消费和碳排放总体呈现三个阶段：①缓坡期（1980—2001年）。能源消费和碳排放缓慢增长，能源消费年均新增0.45亿吨标煤，碳排放年均新增0.98亿吨。②陡坡期（2002—2013年）。能源消费和碳排放快速上升。能源消费年均新增2.18亿吨标煤，碳排放年均新增4.77亿吨。③趋缓期（2014—2020年）。能源消费和碳排放进入趋缓期，能源消费年均新增1.16亿吨标煤，碳排放年均新增0.94亿吨。

未来10年是中国基本实现现代化的关键阶段，工业化、城镇化、信息化等多重发展将带来碳排放增长刚性压力。如图2所示，基于行业/领域核算结果，在采取积极措施情况下，中国能源活动和工业过程的直接碳排放有望于“十五五”中后期达峰，较2020年增加5亿~7亿吨左右，

由于行业达峰不同步，达峰后碳排放将保持3~4年的峰值平台期。

为确保中国2030前实现碳达峰，需要推动不同行业/领域梯次达峰。其中，工业领域在“十四五”期间整体达峰，达峰后碳排放实现稳定下降，电力、交通、建筑领域在“十五五”期间实现达峰。需要指出的是，由于电力、石化、交通等行业/领域对能源的刚性需求在未来一段时间内仍将居高不下，“十四五”将是“控增量、促转型”的关键时期，这几个行业/领域的达峰进程决定了2030年前中国碳达峰的态势。

4. 碳中和背景下碳达峰的路径与举措

据测算，2020年电力、钢铁、水泥、有色金属、石油化工、煤化工，以及交通、建筑领域的碳排放占比较大，合计约占90%以上。因此，应将电力、钢铁、水泥、有色金属、石油化工、煤化工6个行业，以及交通、建筑两个领域确定为重点行业/领域，并采取不同的路径及策略促进目标达成。

4.1. 构建高效低碳循环工业体系，推进工业领域节能降耗

2020年，工业领域能源活动碳排放高达37亿吨，通过努力，碳排放有望在“十四五”期间达峰。为实现这一目标，工业领域的工作重点在于构建高效低碳循环工业体系，具体举措包括：①**坚决遏制“两高”项目盲目扩张。**

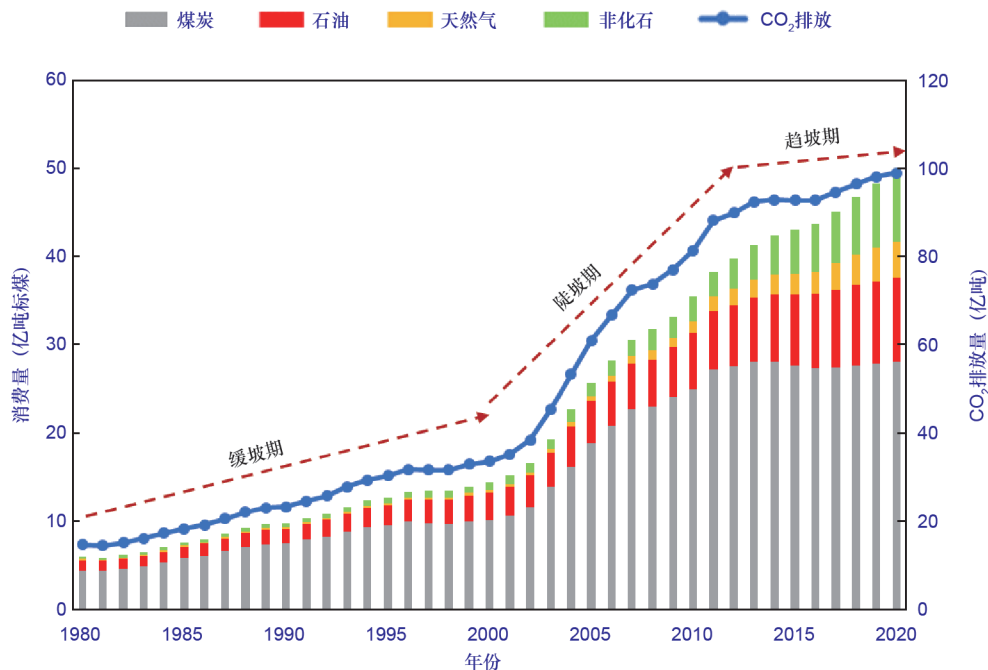


图1. 1980—2020年中国能源消费及碳排放变化趋势。

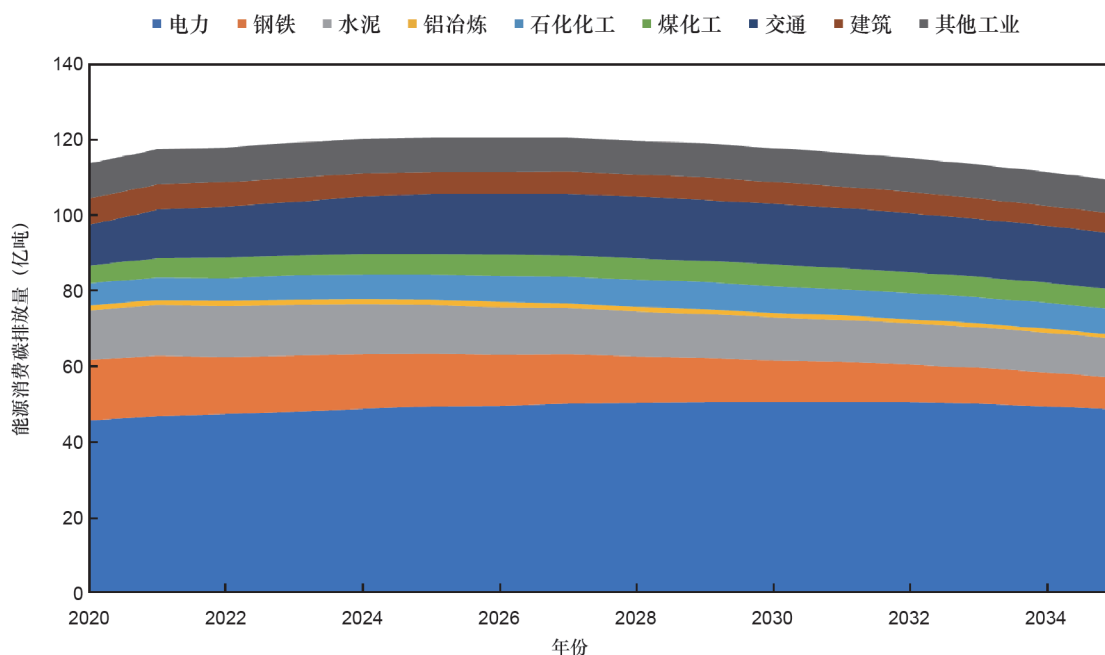


图2. 基于重点行业/领域的中国能源活动和工业过程碳排放预测。

新建项目除“以热定电”燃煤热电厂外，原则上禁止配套自备燃煤电厂。将传统煤化工、炼油行业纳入产能置换管理，大力淘汰落后产能，控制高耗能低附加值产品出口规模，原则上不再审批未纳入国家规划的现代煤化工项目。

②**大力推进工业领域节能降耗**。严控钢铁、水泥、电解铝、石化、化工、煤化工等重点行业单位能耗限额标准。力争到2025年，主要工业产品单位能耗达到世界先进水平。

③**加快构建低碳循环工业体系**。全面强化物料循环回收利用体系建设，加大废钢资源回收利用力度，提升废铝资源保级利用水平，提高水泥行业综合利用生活垃圾、电石渣、粉煤灰等固体废物和原料燃料的替代比例。

4.2. 严格控制化石能源消费,加快推进能源结构转型

2020年中国煤炭消费量为40亿吨，化石能源（煤炭、石油、天然气）消费是碳排放的主体。为实现碳达峰，亟需煤炭消费量率先下降，“十四五”期间基本不增，2025年控制在40亿吨以内，“十五五”期间稳定下降到38亿吨以内；石油消费量力争在“十五五”期间达峰，峰值控制在7.3亿吨左右；天然气消费量力争在2035—2040年达峰，峰值控制在6500亿立方米左右。具体举措包括：①**加快推进能源结构低碳化进程**。争取到2030年非化石能源消费占比达到26%以上。②**继续坚持大气污染防治重点区域煤炭消费总量控制**。落实地方政府控煤责任，“十四五”期间京津冀及周边地区、长三角区域煤炭消费量下降10%以上，汾渭平原实现煤炭消费量负增长。③**坚持推进终端用煤的清洁能源替代**。扩大北方地区清洁取暖范

围，2025年清洁取暖比例达到80%，2030年基本实现清洁取暖；推动燃气或电炉替代燃煤工业炉窑。④**落实重点用煤行业碳达峰、碳中和目标任务**。推动“十四五”期间实现钢铁、有色金属、传统煤化工等行业用煤量下降。

4.3. 构建电力体系新格局,推动电源结构转型

电力是中国碳排放最大的行业。在确保电力供应安全的前提下，加快实现低碳转型，是中国2060年碳中和目标能否实现的最关键因素。电力将是未来十年能源增长的主体，增长主要集中在居民生活、信息与通信技术（ICT）产业等方面。通过努力，有望在2030年前实现电力部门（含热电联产）碳排放达峰。应严控煤电项目，“十四五”时期严控煤炭消费增长；“十五五”时期逐步减少，煤炭发电量占比降至42%。着力构建以新能源为主的电力系统。具体举措包括：①**将风电、太阳能发电作为满足电力需求增长的主体**。全面提速风光电源布局，使2030年中国风电和太阳能发电装机总量超过16亿千瓦，新能源发电量持续提升。②**加快建设新型电力系统，增强电力系统平衡调节能力**。推进煤电机组灵活性改造，充分利用现有煤电机组调节能力，推进新型储能技术研发和规模化应用，鼓励发展促进新能源就地消纳的局域电网和微电网，建立适应新能源快速发展的中国统一电力市场，健全绿色低碳电力调度机制。

4.4. 构建低碳高效交通运输体系,持续提高电动化程度

机动车排放占交通碳排放的80%以上，是交通领域

实现碳达峰、碳中和的关键。交通领域碳排放中，铁路部门直接碳排放已经开始下降；水路部门碳排放预计2026—2030年间进入平台期；公路部门碳排放还将增长但增速放缓，力争“十五五”期间达峰；民航部门碳排放还将保持增长。交通领域通过努力有望在2028年左右实现碳达峰。具体举措包括：①**加快提升车辆能效水平，持续更新车辆能耗准入标准**。实施道路运输车辆达标车型制度，加快高能耗老旧车辆淘汰更新。②**加速清洁燃料替代**。力争到2030年新能源乘用车销量占比提高到40%以上，新能源商用车销量占比达到10%，推动各级政府公务用车实现100%新能源替代；适时出台停售燃油车辆的时间表和路线图；提升船舶和铁路电气化比例，提高港口岸电使用率。③**进一步优化调整交通运输结构**。推动中长距离大宗货物“公转铁”“公转水”，提升铁路货运能力和服务水平，建设以绿色运输方式为主的港口集疏运体系；深入推进多式联运和城市绿色货运配送发展。④**持续构建绿色出行体系，优化公共交通结构**。提高公共交通供给，加快城市群轨道交通网络化建设，加强城市步行和自行车等非机动车交通系统建设，力争2025年年底城市绿色出行比例达到70%以上，2030年达到75%以上。⑤**积极推进交通能源融合发展**。开展交通基础设施、交通建筑可再生能源发电潜力和能源自洽研究，推动交通基础设施、交通建筑能源“产消者”项目实施落地。

4.5. 优化建筑用能结构,推动光储直柔建筑发展

2020年建筑领域直接碳排放约为7亿吨，已呈现缓慢下降趋势。应重点推动建筑电力和热力的低碳转型，降低建筑领域的间接碳排放，实现2030年前建筑领域碳达峰。具体举措包括：①**以标准推动建筑节能低碳发展和用能电气化转型**。尽快修订建筑机电系统的标准与规范，严格新建建筑节能要求和用能电气化要求；重点推进北方采暖地区既有建筑节能改造和城镇供热老旧管网节能安全改造。②**多措并举优化建筑用能结构**。全面实现城乡低碳供热，推进北方城镇集中供热系统中的零碳热源替代，包括核电余热、工业余热等；在农村地区因地制宜采用可再生能源、电力、生物质等方式替代散煤燃烧；到2025年北方地区清洁取暖率达到80%。③**加速推动光储直柔建筑发展，使建筑从能源系统的消费者转为低碳能源系统中的“产消者”**。加快出台建筑节能与可再生能源利用通用规范，将建筑表面光伏安装作为绿色建筑的基本要求；在城镇地区的新建和既有建筑推进光储直柔新型配电系统，通

过柔性用电有效消纳大规模风电光电；在农村大力发展以光伏为基础的新型农村能源体系。

4.6. 发展绿色低碳循环经济,加强固废资源化高效利用

通过发展循环经济，改善固体废物分类资源化利用水平是实现碳减排，助力碳达峰、碳中和的重要途径。具体举措包括：①**减少垃圾填埋、实现高比例资源化**。例如，餐厨垃圾采用厌氧消化的处理工艺，可减少因填埋处置产生的碳排放，同时可回收利用甲烷等温室气体。②**加强固废中再生资源（如金属）的利用**。例如，钢铁行业通过从长流程进步到短流程可大幅降低煤炭消耗及碳排放。③**加强能源转型产生的新型固废资源化利用，解决发展可再生能源对相关矿产资源的依赖问题**。可再生能源发电涉及的风机、太阳能电池等需要大量矿产资源，如将废弃的风机、太阳能电池进行资源循环利用，可为可再生能源的发展提供长期稳定资源供给。

5. 结语

碳达峰、碳中和是基于中国国情和对人类文明进程新觉醒的目标，事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体，是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，将深刻推动中国经济发展和社会进步。要如期实现“双碳”目标，需要在对“双碳”目标正确认识和清醒判断的基础上，精准研判中国未来碳排放趋势，做好顶层设计并提出实现路径与路线图，最终实现经济、能源、环境、气候共赢。

References

- [1] Allen MR, Babiker M, Chen Y, de Coninck H, Connors S, van Diemen R, et al. Summary for policymakers. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner HO, Roberts D, Skea J, Shukla PR, editors. Global warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: The Intergovernmental Panel on Climate Change; 2018.
- [2] United Nations Environment Programme (UNEP), Partnership UNEP DTU. Emissions gap report 2020. Nairobi: UNEP; 2020.
- [3] IEA. Statistical review of world energy 2020. 69th edition. London: IEA; 2020.
- [4] Energy & Climate Intelligence Unit. Net zero emissions race: 2021 scorecard [Internet]. London: Energy & Climate Intelligence Unit; c2021 [cited 2021 Jun 15]. Available from: <https://eciu.net/netzerotracker>.
- [5] Xi J. Statement at the General Debate of the 75th Session of the United Nations General Assembly [Internet]. Beijing: Ministry of Foreign Affairs of the People's Republic of China; 2020 Sep 22 [cited 2021 Jun 15]. Available from: https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/zxxx_662805/t1817098.shtml.