

碳中和目标下的美丽中国低碳发展路径研究

方昆升¹, 汪彪^{2*}

¹广州天权信息科技有限公司, 广东 广州

²南京大学教育部中尺度灾害性天气重点试验室, 江苏 南京

收稿日期: 2023年2月14日; 录用日期: 2023年3月13日; 发布日期: 2023年3月20日

摘要

“碳达峰-碳中和”正式成为国家战略。本文主要从“碳中和”事件汇总、全球气候变化加剧, 世界各国碳减排进程进一步加速以及中国低碳发展路径研究等三个方面进行研究。得到的主要结论有: 1) 要达到碳中和, 一般有两种方法: 一是通过特殊的方式去除温室气体, 二是使用可再生能源, 减少碳排放。碳达峰是要求碳排放在设定时间后不再增长; 2) 中国、欧盟的碳减排政策同样处于深化过程中, 全球碳减排进程加速是必然趋势; 3) 为减少碳排放, 可以采取加大清洁能源结构占比; 加速各部门电气化进程; 减少非必要的能源消费量和碳汇集或移除技术。中国当前采取的行动对于成功实施低碳转型战略就显得尤为重要。各经济部门均具有加速转型的机会与潜力。

关键词

碳中和, 气候变化, 达峰, CO₂排放量

Study on the Low Carbon Development Path of Beautiful China under the Carbon Neutrality Target

Kunsheng Fang¹, Biao Wang^{2*}

¹Guangzhou Tianquan Information Science & Technology Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

²Key Laboratory for Mesoscale Severe Weather of Ministry of Education, Nanjing University, Nanjing Jiangsu

Received: Feb. 14th, 2023; accepted: Mar. 13th, 2023; published: Mar. 20th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 方昆升, 汪彪. 碳中和目标下的美丽中国低碳发展路径研究[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(2): 352-360.
DOI: 10.12677/ccrl.2023.122037

Abstract

Carbon peak-carbon neutralization officially has become the national strategy. This paper mainly from the “carbon neutralization” event summary, global climate change intensified, the world’s carbon emission reduction process further accelerated and China’s low-carbon development path research and other three aspects. The main conclusions are as follows: 1) To achieve carbon neutralization, there are generally two methods: one is to remove greenhouse gases in a special way, the other is to use renewable energy to reduce carbon emissions. Carbon peak is required that carbon emissions no longer increase after the set time. 2) China and EU carbon reduction policies are also in the process of deepening, the global carbon reduction process accelerated is an inevitable trend. 3) To reduce carbon emissions, a greater share of clean energy structures could be adopted; the electrification process in all sectors could be accelerated; and non-essential energy consumption could be reduced and carbon pooling or removal technologies used. China’s current action is particularly important for the successful implementation of the low-carbon transformation strategy. Economic sectors have the opportunity and potential to accelerate transformation.

Keywords

Carbon Neutrality, Climate Change, Peak, CO₂ Emission

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球气候变暖问题造成自然灾害频发, 必须得到全人类的重视。全球温度的持续上升带来更高的降水量、更频繁的极端天气和生态平衡的不可逆破坏。近年来, 受温室效应加剧影响, 全球多地自然灾害频发, 气候变暖问题愈发严重。而一旦到达气候临界点, 生态环境变化将不可逆转, 造成人类赖以生存的环境发生不可预知且颠覆性的改变。解决气候变暖问题需要各国一同行动。为应对全球变暖问题, 联合国多次召开气候变化大会[1] [2]。全球变暖问题需要各国联合一同面对。自 1995 年起, 联合国气候变化大会每年在世界不同地区轮换举行。在《巴黎协定》中, 对 2020 年后全球应对气候变化的行动作出了相应的安排, 明确了将升温控制在 2°C 乃至努力控制在 1.5°C 的目标, 近 200 个缔约方共同签署了该项协定。目前, 第 26 届联合国气候变化大会已定于 2021 年 11 月 1~12 日在英国格拉斯哥举行。表 1 列出了历史上的气候变化大会。

2020 年 9 月 22 日, 我国在联合国大会上提出, 二氧化碳排放力争于 2030 年前“达峰”, 力争在 2060 年前实现碳中和, 为我国下一阶段的绿色发展和能源转型指明了方向。“碳中和”是我国能源安全和经济转型的内在需求, 也是世界各国利益对立和统一。其中对立体现在“碳排放权”背后发展权的博弈, 统一体现在全球应对气候变化政策的一致。2020 年 12 月召开的中央经济工作会议将碳达峰、碳中和列为 2021 年八项重点任务之一。中国主动顺应全球绿色低碳发展潮流, 提出有力度的碳中和目标, 释放了清晰、明确的信号, 彰显了大国的责任与担当。2021 年 4 月 22 日, 习主席在共同构建人与自然生命共同体——在“领导人气候峰会”上的讲话中指出, 中国承诺实现从碳达峰到碳中和的时间, 远远短于发达国家所用时间, 需要中方付出艰苦努力。中国将碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局, 正在制

定碳达峰行动计划, 广泛深入开展碳达峰行动, 支持有条件的地方和重点行业、重点企业率先达峰。

碳中和(Carbon neutrality)是指企业、团体或个人测算在一定时间内, 直接或间接产生的温室气体排放总量, 通过植树造林、节能减排等形式, 抵消自身产生的二氧化碳排放量, 实现二氧化碳“零排放”。在国际上, 气候中性(Climate neutrality)和净零CO₂排放量(Net-zero CO₂ emissions)的定义与碳中和(Carbon neutrality)一致。要达到碳中和, 一般有两种方法: 一是通过特殊的方式去除温室气体, 二是使用可再生能源, 减少碳排放。碳达峰是要求碳排放在设定时间后不再增长。

Table 1. Historical climate change conference (Source: Xinhua News Agency, Anxin Securities Research Center)
表 1. 历史上的气候变化大会(资料来源: 新华社, 安信证券研究中心)

时间	地点	会议	主要成果
1992	里约	地球首脑会议	通过《气候变化框架公约》, 世界上第一个应对全球气候变暖的国际公约
1995	柏林	第 1 次缔约方会议	通过《柏林授权书》
1997	京都	第 3 次缔约方会议	通过《京都议定书》, 规划 05~20 年人类减排总体计划。05~12 年为第一承诺期, 12~20 年是第二承诺期, 是人类社会第一次正面做出减排承诺
2001	马拉喀什	第 7 次缔约方会议	通过《马拉喀什协定》
2005	巴厘岛	第 13 次缔约方会议	通过《巴厘岛路线图》
2009	哥本哈根	第 15 次缔约方会议	达成无法律约束力的《哥本哈根协议》, 明确了各国京都议定书第二承诺期的减排责任
2011	德班	第 17 次缔约方会议	与会方同意延长 5 年《京都议定书》的法律效力(原议定书于 2012 年失效)
2012	多哈	第 18 次缔约方会议	通过了对《京都议定书》的《多哈修正》
2015	巴黎	第 21 次缔约方会议	近 200 个缔约方一致同意通过《巴黎协定》, 为 2020 年后全球应对气候变化行动做出安排
2021	格拉斯哥	第 26 次缔约方会议	

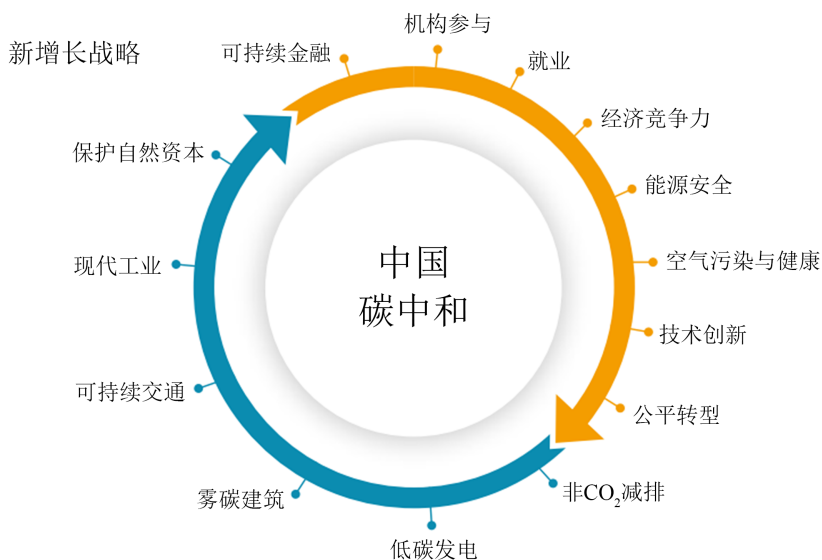


Figure 1. China's new growth strategy and carbon neutral vision
图 1. 中国的新增长战略与碳中和愿景

随着我国逐步走向全球气候治理的“舞台中心”，长期低碳发展转型战略顺应时代潮流应运而生，该战略应是统筹国内经济社会可持续发展与全球应对气候变化协同共赢的战略。随着经济的发展，国内生态环境根本好转和国际影响力的提升，强化深度 CO₂ 减排的目标导向将占越来越为重要的地位，主要分为两个阶段：一是 2030 年和 2035 年，以国内现代化建设第一阶段基本实现现代化、生态环境根本好转、美丽中国建设目标基本实现的目标为指引，强化低碳发展政策导向，落实和强化国家自主贡献(NDCs)目标，构建“政策情景”和“强化减排情景”；二是 2050 年，在保障建成社会主义现代化强国和美丽中国目标实现的同时，以 2°C 目标和 1.5°C 目标下全球减排路径为导向，研究并形成与全球控制温升目标一致的减情景。本文主要进行碳中和目标下的 2035 美丽中国低碳发展路径探讨和研究。图 1 为中国的新增长战略与碳中和愿景。

2. “碳中和”事件整理

“碳达峰 - 碳中和”正式成为国家战略。2020 年 9 月，我国在第 75 届联合国大会上提出“二氧化碳力争于 2030 年前达到峰值，2060 年前实现碳中和”；在 2020 年 12 月份联合国气候雄心峰会和中央经济工作会议上，“30-60”的目标被反复提及，标志着“碳达峰 - 碳中和”已成为国家战略。2020 年 4 月 22 日在“领导人气候峰会”上的讲话中，习主席指出，中国将碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，正在制定碳达峰计划，广泛深入开展碳达峰行动计划，支持有条件的地方和重点行业、重点企业率先达峰。表 2 对“碳中和”事件进行了整理和归纳。

Table 2. Carbon neutrality event

表 2. “碳中和”事件整理

	时间	政策	部门
	2020.9.22	二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，2060 年前实现碳中和	第 75 届联合国大会
	2020.12.12	实现“30-60”目标，2030 年非化石能源占一次能源消费比重达 25%左右	习近平(联合国气候雄心峰会)
中央	2020.12.16	加快建设全国碳交易市场，做好碳达峰，碳中和工作	习近平(中央经济工作会议)
	2021.1.25	力争于 2030 年前二氧化碳排放达到峰值，2060 年前实现碳中和	习近平(世界经济议程)
	2021.1.25	中国正在编制(国家适应气候变化战略 2035)	韩正(首届气候适应峰会)
	2021.4.22	中国将碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局	习近平(领导人气候峰会)
	2020.11.2	《全国碳排放权交易管理办法(试行)》(征求意见稿)	生态环境部
	2020.11.2	《全国碳排放权登记交易估算管理办法(试行)》(征求意见稿)	生态环境部
	2020.12.30	《2019-2020 年全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案(发电行业)》	生态环境部
	2020.12.30	《纳入 2019-2020 年全国碳排放交易配额管理的重点排放单位名单》	生态环境部
部委	2020.12.30	《关于做好发电行业配额预分配工作的通知》	生态环境部
	2021.1.5	《碳排放权交易管理办法(试行)》	生态环境部
	2021.1.6	工信部将制定钢铁、水泥等重点行业碳达峰行动方案和路线图	工信部
	2021.1.11	《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》	生态环境部
	2021.1.25	黄润秋部长出席首届加速适应部长级对话会议	生态环境部

3. 全球气候变化加剧, 碳减排进程进一步加速

3.1. 全球碳减排进程不断提速

在特朗普执政期间, 全面放松了美国石油与天然气开采、运输的相关法规, 美国于 2020 年 11 月 4 日正式退出了《巴黎协定》。作为全球最大的碳排放国之一, 美国对全球气候变化问题不作为的态度引发了巨大的争议。然而, 拜登当选, 他的《清洁能源革命和环境正义计划》贯穿了其解决就业问题、刺激经济等一系列执政政策。在该计划中, 拜登拟在未来十年内投入 4000 亿美元用于能源、气候的研究与创新, 以及清洁能源的基础设施建设, 力争在 2035 年前实现无碳发电, 并确保美国在 2050 年之前达到碳净零排放, 实现 100% 的清洁能源经济。同时, 拜登的能源计划还将加快电动车的推广, 拟在 2030 年底部署超过 500,000 个新的公共充电网点。并且, 拜登表示, 上任第一天就会使美国重返《巴黎协定》。基于拜登的新能源政策, 美国各级州、市政府也纷纷进行表态, 超过 35 个城市设定了到 2050 年减排 80% 的目标, 超过 400 个市长表示将遵守《巴黎协定》。在强有力的新能源政策推动下, 美国可再生能源及电动汽车领域将重获快速发展。

拜登的能源政策将对我国造成更大的碳减排压力, 并推动全球碳减排进程。清洁能源发展渗透在美国工业、交通运输、建筑等方方面面, 成本较为高昂, 技术实现难度也较大。若清洁能源计划得以成功实施, 拜登表示, 将不允许其他国家不顾环境污染的发展经济, 将对未能履行气候和环境义务的国家的碳排放水平高的产品征收碳调整费或配额。同时, 美国还将根据合作伙伴在气候保护方面所做的承诺来制定未来的双边贸易协议。美国将利用其世界大国地位和强大的国际影响力, 促进各国与美国一同消除化石燃料补贴, 发展清洁能源, 在低碳排放的基础上发展经济。

中国、欧盟的碳减排政策同样处于深化过程中, 全球碳减排进程加速是必然趋势。2020 年 9 月 11 日, 欧盟再次加大节能减排政策力度, 发布《2030 年气候目标计划》, 将 2030 年温室气体减排目标由原有的 40% 提升至 55%, 具体措施包括提升可再生能源发电份额、进一步部署新能源汽车等。欧盟长期依赖化石能源进口, 资源稀缺, 发展绿色经济不但有助于经济发展, 还能够提升国际地位。第一, 欧盟在发展绿色经济方面长期处于全球领先的水平, 有足够的动力持续推动低碳经济的发展。第二, 除自身一直坚持发展可再生能源、碳排放交易体系、低碳创新战略外, 欧盟还极力推动世界各国发展低碳经济, 旨在成为全球节能领域的主导者, 打造欧洲一体化后的重要政绩。

中国同样面临石油对外依赖度高的问题, 且前期粗放式的高耗能经济增长模式对资源及环境的耗用过大, 未来发展低碳经济不但有助于维持可持续发展目标, 也能够进一步加速我国产业结构转型升级和相关高新技术的发展。9 月 22 日, 在 2020 年 75 届联合国大会一般性辩论上, 习近平总书记提出了我国碳减排的新目标, 即争取在 2060 年前实现碳中和(碳净零排放)。作为世界第二大经济体, 中国强调大国担当, 将会继续坚定不移的承担起控制全球气候变暖的重任。随着中国、欧盟、美国三大经济体碳减排政策的强化, 全球碳减排进程将进一步提速[3]。表 3 为各国碳中和目标达成时间汇总。

Table 3. Summary of time taken to achieve national carbon neutral goals (Source: ClimateNews, Anxin Securities Research Center)

表 3. 各国碳中和目标达成时间汇总(资料来源: ClimateNews, 安信证券研究中心)

国家/地区	碳中和目标日期	国家/地区	碳中和目标日期
芬兰	2035 年	日本	2050 年
奥地利	2040 年	韩国	2050 年
冰岛	2040 年	斐济	2050 年
瑞典	2045 年	丹麦	2050 年

Continued

美国(拜登当选场景)	2050 年	匈牙利	2050 年
加拿大	2050 年	爱尔兰	2050 年
欧盟	2050 年	新西兰	2050 年
英国	2050 年	葡萄牙	2050 年
法国	2050 年	南非	2050 年
德国	2050 年	瑞士	2050 年
智利	2050 年	西班牙	2050 年
哥斯达黎加	2050 年	中国	2060 年

另一方面, 碳减排进程的加速意味着全球化石能源需求很快将迎来峰值。如果全球按照 1.5°C 的温升目标制定政策, 根据国际能源署此前的估算, 预计全球碳排放将在 2020~2030 年间达到峰值, 石油需求将在 2020~2030 年间达到峰值, 煤炭需求在 2020 年前就达到峰值, 天然气将在 2025~2040 年间达到峰值。

3.2. 中国 2060 年碳中和目标意味着更陡峭的节能减排路径

2060 年碳中和目标政策意味着更陡峭的节能减排路径, 实现难度较大。欧美早在 2010 年前就已实现了碳达峰, 而我国仍处于经济快速发展阶段, 二氧化碳排放量仍持续上行中, 未来碳减排任务艰巨。相较于欧、美从碳达峰到碳中和的 50~70 年过渡期, 我国碳中和目标隐含的过渡时长仅为 30 年。基于目前我国碳排放情况, 清华大学气候变化与可持续发展研究院的研究显示, 我国 2060 年的碳中和目标等价于努力实现巴黎协定中以 1.5°C 温升目标为导向的长期深度脱碳转型路径。为此, 中国应在 2050 年实现二氧化碳的净零排放, 全部温室气体应在 2020 年基础上减排 90%。并且, 政府应强化 2030 年的自主行动目标, 新目标应更改为, 2030 年单位 GDP 碳排放强度比 2005 年下降大于 65% (此前为 60%~65%), 非化石能源占一次能源消费比重达到 25% (此前为 20%)。可预见的是, 在节能、清洁能源替代、电气化进程加速以及碳汇集技术发展四个最主要的碳减排举措方面, 后期相关政策的力度相较之前均会有进一步的加强。

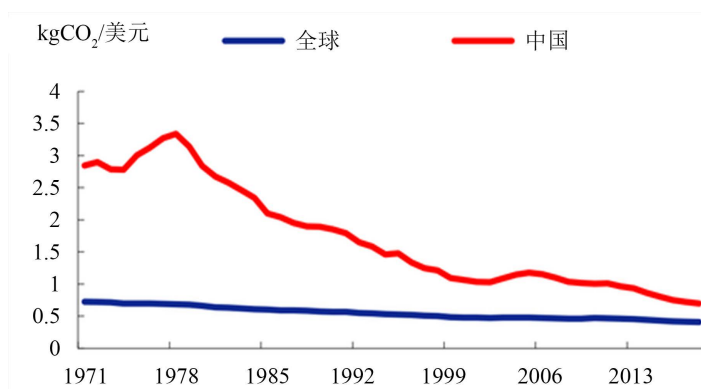


Figure 2. The reduction rate of carbon dioxide emissions per unit of GDP in China is far higher than that in the world

图 2. 我国单位 GDP 二氧化碳排放量降速远高于全球降速

一直以来, 我国政府节能减排的决心大, 目标完成度高。从我国 2009 年提出第一个碳减排目标开始, 到 2015 年的巴黎协定自主行动目标, 再到新提出的 2060 年碳中和新目标, 可以看出, 政策对节能减排的

支持力度在不断强化。一直以来,我国均能超额完成碳减排目标。2017年,我国提前实现2015年设定的碳减排目标——2020年单位GDP二氧化碳排放量比2005年降低40%~45%;2019年,我国非化石能源占能源消费比重达15.3%,提前一年完成2009年提出的碳减排目标以及“十三五”规划目标。可以预计,后期我国政府会继续大力推进各项节能减排工作。图2表明我国单位GDP二氧化碳排放量降速远高于全球降速。

3.3. 实现碳中和目标, 关注清洁能源、电气化、节能以及碳捕获技术四大方向

目前我国的能源结构中,为碳排放主要来源的化石能源(煤、石油、天然气)仍占多数。根据IEA数据显示,2018年我国能源供应结构中(图3),原煤占比61.9%,原油占比19.1%,天然气占比7.2%,而可实现碳零排放的清洁能源,如水能、核能、太阳能、风能等,占比仅为11.8%。

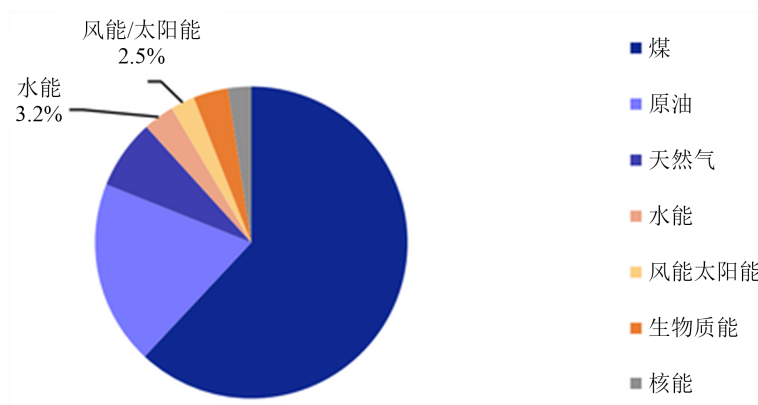


Figure 3. China's energy consumption structure in 2018 (Source: International Energy Agency [4], Anxin Securities Research Center)
图 3. 2018 年中国能源耗用结构(资料来源:国际能源署[4],安信证券研究中心)

从行业结构上来看,2018年,我国二氧化碳排放则主要源自于电力/热力生产业(占比51%)、工业(占比28%)和交通运输业(占比10%),三者合计占比89%。目前我国发电仍以燃煤为主(2019年占比65%,图4);交通运输业则主要依靠汽油/柴油燃烧提供动力,新能源车渗透率不足5%;而工业高能耗产品的制造过程中,煤、原油、天然气仍是主要动力来源。

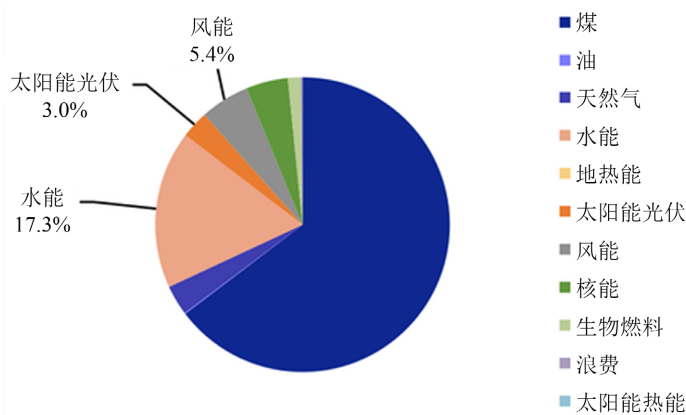


Figure 4. Energy consumption structure of China's power generation in 2019 (International Energy Agency, Anxin Securities Research Center)
图 4. 2019 年中国发电能源耗用结构(国际能源署,安信证券研究中心)

4. 中国低碳发展路径研究

我国 2060 年碳中和目标政策意味着更陡峭的节能减排路径, 实现难度较大。欧美早在 2010 年前就已实现了碳达峰, 而我国仍处于经济快速发展阶段, 二氧化碳排放量仍持续上行中, 未来碳减排任务艰巨。近些年来, 已有许多研究利用不同模型对 CO₂ 的排放进行分析[5] [6]。相较于欧、美从碳达峰到碳中和的 50~70 年过渡期, 我国碳中和目标隐含的过渡时长仅为 30 年。为实现碳中和目标, 预计在节能、清洁能源替代、电气化进程加速以及碳捕获技术发展四个最主要的碳减排举措方面, 后期相关政策的力度相较之前均会有进一步的加强。实现“双碳”目标, 确保中国经济在“零碳经济”时代处于引领地位, 需要从能源和产业结构、技术和标准、配套政策等多方面构建绿色低碳循环发展经济体系。

为减少碳排放, 通常可采取的四大措施有: 1) 加大清洁能源结构占比; 2) 加速各部门电气化进程; 3) 减少非必要的能源消费量; 4) 使用碳汇集或移除技术[7] [8] [9]。

4.1. 加大清洁能源结构占比

未来以低碳电力为主体的能源消费结构是多家研究机构的共识。实现“双碳”目标, 一方面需要大幅降低化石能源在一次能源消费中的比重, 并通过碳捕捉等技术进一步降低碳排放。另一方面, 需要大力发展风电、光伏发电、氢能等清洁能源, 加快建设多元清洁的能源结构。同时, 考虑到风电、光伏发电的周期性特点, 还需要加速发展相应的新型储能技术, 尽快实现规模化应用。

4.2. 加速各部门电气化进程

为实现碳中和目标, 电力供给端, 各国需要改变目前以化石能源燃烧为主的发电结构, 提升清洁能源发电的占比; 电力需求端, 则需要加速利用零碳电源实现电气化。

4.3. 减少非必要的能源消费量

各能源需求部门还需要结合使用氢气、生物质能等清洁能源, 以实现低碳排放目标。而除了清洁能源替代, 节能为碳减排的贡献也不容小觑。主要受能效提升推动, 2012~2018 年, 我国工业碳排放量下降了 14%, 为整体碳减排目标做出极大贡献。未来, 在节能方面, 可以继续通过减少电力运输损耗、减少工业耗能浪费以及提升交通运输效率等措施得以实现。

4.4. 使用碳汇集或移除技术

国际能源署、彭博新能源财经和清华大学气候变化与可持续发展研究院等多个机构的研究均表明, 依靠节能和能源替代尚不能使得各国实现温升控制的目标, 发展目前尚未成熟的碳捕获、利用和封存技术(CCUS)并加以产业化应用同样也是后期各政府应重点关注的领域。表 4 为中国各部门实现碳中和的路径及其难易程度。

Table 4. The path to carbon neutrality in Chinese departments and its difficulty (Bloomberg New Energy Finance, Anxin Securities Research Center)

表 4. 中国各部门实现碳中和的路径及其难易程度(彭博新能源财经, 安信证券研究中心)

行业	实现碳中和的技术	相对难易程度(1: 最易, 4: 最难)
电力	可再生能源、核电、储能(抽水蓄能和电池)、CCUS 和氢气	1
交通	出行方式变化、电气化、氢能和生物燃料	2
热力	电气化、生物质、低碳区域供暖和 CCUS	3
工业	再利用和回收、电气化、生物质、低碳区域供暖和 CCUS	4

5. 结论与讨论

中国已经做好充分准备, 进一步加快新的增长路径, 实现向清洁、充满活力的普惠经济过渡; 此外, 中国也将提供解决方案, 为应对全球气候变化做出重大贡献并发挥全球领导作用。中国碳中和目标为新增长路径指明了方向, 而中国现有的生态文明愿景及其广泛的发展目标, 也将共同指导碳中和目标的实现。尽管如此, 实现碳中和目标仍然面临诸多挑战, 需要通过重大规划、分析论证和政策措施来设定转型方向, 并需要构建新的经济增长模式以实现这一愿景。在这一背景下, 中国当前采取的行动对于成功实施低碳转型战略就显得尤为重要。各经济部门均具有加速转型的机会与潜力。

为实现“碳达峰 - 碳中和”目标, 我国还需要在以下六个方面不断做出努力: 一是新增长路径达成共识方面: 如果全国上下和各经济部门都能充分认识到中国新增长路径所带来的收益, 那么中国的新增长路径将会成功。二是工业转型方面: 中国新增长路径中工业的转型和减排工作, 将在工业现代化、中国整体经济战略, 以及中国在国际市场上不断提升的角色定位等大背景下进行。三是逐步在全经济范围淘汰煤炭使用: 可抓住新的机会结构性淘汰燃煤电力; 比如在其他行业(如工业)淘汰用煤, 解决整个煤炭供应链的公平转型问题。四是可持续金融方面: 在全国范围内调动新的资金来源对于绿色增长至关重要, 具体取决于能源投资政策、财政和货币政策以及金融政策的制定。五是技术和技术转型方面: 成功的技术研发和推广是缓解气候变化的核心; 许多技术已经在改变排放和经济格局, 而其他技术则即将出现并具有广阔的应用前景。六是非二氧化碳温室气体方面: 中国非二氧化碳温室气体(包括甲烷、一氧化二氮和氢氟碳化物)的减排工作有待关注。

参考文献

- [1] IPCC (2018) Global Warming of 1.5°C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- [2] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2019) Global Warming of 1.5°C. In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., et al., *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*. IPCC, Geneva. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf
- [3] World Bank. Biodiversity, Climate Change and Adaptation: Nature Based Solutions from the World Bank Portfolio. <http://documents.worldbank.org/curated/en/149141468320661795/Biodiversity-climate-change-and-adaptation-nature-based-solutions-from-the-World-Bank-portfolio>
- [4] IEA. World Energy Outlook 2019. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- [5] 蒋含颖, 段祎然, 张哲, 等. 基于统计学的中国典型大城市 CO₂ 排放达峰研究[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(2): 131-139.
- [6] 安岩, 顾佰和, 王毅, 等. 基于自然的解决方案: 中国应对气候变化领域的政策进展、问题与对策[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(2): 184-194.
- [7] 中华人民共和国生态环境部. 中国应对气候变化的政策与行动 2019 年度报告[EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/ywdt/hjnews/201911/W020191127531889208842.pdf>, 2020-04-10.
- [8] 王继龙, 左晓利, 刘觅颖. 北京市碳排放达峰的思考[J]. 理论与现代化, 2017(6): 29-36.
- [9] Energy Foundation (2020) China's New Growth Pathway: From the 14th Five-Year Plan to Carbon Neutrality. <https://www.efchina.org/Reports-en/report-lceg-20201210-en>