

碳中和路径选择与行为分析： 基于美中德俄印五国的比较研究

李健旋

(河海大学商学院, 江苏 南京 211100)

摘要:碳中和路径选择对于经济增长与减碳降耗协同、降低能源转型成本、防控碳中和战略决策风险极为重要。从自然资源禀赋与能源结构、工业化与城镇化进程、目标承诺与实现路径3个维度构建碳中和路径选择与实践行为的分析框架,并对美中德俄印五个国家进行比较研究,探讨基础因素、发展因素与行为因素对碳中和路径选择的影响,提出基于人类命运共同体理念的推进全球碳中和进程的对策建议。

关键词:碳中和;资源禀赋;能源结构;工业化进程;目标路径;行为特征

中图分类号:F260 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2023)06-0191-11

Driving mechanism of carbon neutrality pathway selection: A comparative study of America, China, Germany, Russia and India

LI Jianxuan

(Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: Carbon neutrality pathway selection is important for the coordination of economic growth and carbon reduction and energy consumption reduction, reducing energy transition costs, and preventing and controlling the strategic decision-making risks of carbon neutrality. This paper constructs an analytical framework for the choice and practice of carbon neutrality path from three dimensions: natural resource endowment and energy structure, industrialization and urbanization process, goal commitment and realization path, a comparative study of the United States, China, Germany, Russia and India, which is carried out to explore the effects of basic factors, development factors and behavioral factors on the choice of carbon neutrality pathway, based on the concept of community of human destiny, the countermeasures and suggestions of leading global carbon neutrality process in our country are put forward.

Key words: carbon neutrality; resource endowment; energy structure; industrialization process; driving mechanism; goal path

1972年,联合国人类环境大会通过了《人类环境宣言》,提出“只有一个地球”的著名口号,倡导全球各国共同保护地球环境,至今已经50余年。自1988年联合国“政府间气候变化专门委员会”

(IPCC)成立以来,已经发布6次全球气候变化评估报告,认为人类活动引起的碳排放造成了全球温度升高,引发并正在加剧灾难性后果。2015年,由178个国家签署的《巴黎气候协定》,确立了控

收稿日期:2023-01-10 修回日期:2023-05-21

基金项目:国家自然科学基金青年项目“基于数据融合的中国制造业智能化转型升级研究”(72102061)。

作者简介:李健旋(1985—),女,江苏南京人,河海大学商学院副教授,博士,研究方向为制造业创新、绿色发展、碳中和等。

制全球气温升高不超过 2℃ 的目标,提出了碳中和(温室气体净零排放)的愿景。目前,已有 130 多个国家作出了碳中和承诺,欧盟、美国、日本等发达国家宣称 2050 年前实现碳中和,俄罗斯、墨西哥等国家承诺 2060 年前实现碳中和,中国、印度等国表示争取 2070 年前实现碳中和,而导致各国承诺碳中和目标与路径差异的根本原因在于不同国家资源禀赋、能源结构与所处发展阶段的不同。因而,分析典型国家在碳中和目标与实现路径方面的异同点,可以深刻理解各国的相关立场和行为策略,有助于更好地理解全球碳中和的演化进程及预期前景。

一、文献述评

目前,针对碳中和的路径选择与实践行为的研究,主要围绕碳中和路径选择的机制、政策组合影响碳中和、典型国家碳中和路径等方面展开。

(一)碳中和路径选择的约束或推进机制

近年来,全球新冠病毒感染疫情暴发,国际经济增速放缓,保护主义、单边主义加剧,国际大宗商品价格大幅波动;国内新冠病毒感染疫情反复散发、消费增速减慢,有效投资增长乏力。但全球气候变化和碳中和问题仍然得到广泛关注,经济增长对碳中和愿景的相关性研究持续深入。相当一部分观点指出,经济增长目标的设定不利于碳中和愿景的实现。如 Adjei 等^[1]分析了 1990—2018 年非洲十大经济体的碳中和目标,研究得出的结论是经济增长将促进碳排放,对碳中和目标产生不利影响。这一结论在中国也得到了验证^[2-4]。Yang 等^[5]认为经济增长抑制了碳脱钩;唐葆君等^[6]基于 APEC 中的 17 个国家(或地区)的分析表明,随着经济的不断增长,并不能保证碳排放必然下降;Ren 等^[7]以 26 个欧盟国家为样本进行空间动态面板分析,研究发现经济增长提高了碳排放水平。与以上观点相反,有学者强调,经济水平的提高将有助于推动相关技术的进步,进而应用先进技术可以更好地促进碳减排,实现碳中和^[8];经济发展水平成为经济增长能否与碳排放脱钩的关键^[9]。基于碳中和与经济增长的关系,相关研究对碳中和路径选择进行了情景分析,

具体包括自顶向下模型^[10]、自底向上模型^[11-13]、混合能源模型等^[14-15]。

(二)政策组合影响碳中和的行为方式与着力点

除了经济增长和技术进步外,政策组合可能影响碳中和路径选择与行为方式。基于低碳转型时序的研究认为,政策干预力度不同,导致主要减排措施在不同时期的减排贡献度有所差异^[16]。针对少数高耗能产业的研究表明,多时序的碳中和路径研究确定了关键性锚点,为决策者建立可科学计算、可精准研判和可落地分析的措施提供了重要支撑^[17]。针对技术进步,包括高效循环利用技术、零碳能源技术与负排放技术以及数字技术等,王灿等^[18]、陈晓红等^[19]指出,政策是助力碳中和目标的重要工具,差异化的碳中和政策组合对碳排放产生显著不同的影响^[20]。

(三)典型国家碳中和路径研究

作为自然资源丰裕、高碳排放的发达国家,美国的碳中和路径引人注目。Williams 等^[21]的研究揭示,2050 年美国碳中和的路径选择和能源及工业的二氧化碳净排放量密切相关,依据能源效率、清洁电力、电气化和碳捕获能力而确定。Zhao 等^[22]将中国与欧盟、美国在碳中和方面的差距进行了比较分析,提出了中国碳中和三阶段/四步骤的路径举措;Chen 等^[23]对比了不同情景下实现相同目标的年度成本差异,评估了中国碳中和路径成本。德国的碳中和关注碳减排的技术进展和可能的减排路径^[24],强调了投入替代作用^[25-26]。作为能源大国,俄罗斯的碳中和路径受到极大关注。Safonov 等^[27]评估了俄罗斯的低碳发展路径,预计到 2030 年俄罗斯减排成本将低于 29 美元/t CO₂,到 2040 年将低于 55 美元/t CO₂。不同于中俄,印度的碳中和路径或措施重点在于关注人口增长、森林碳汇^[28]或经济发展^[29],其中突出将气候弹性纳入其经济发展和区域发展计划之中。

综上所述,尽管现有的文献已经围绕碳中和的目标承诺、行为特征和路径(或措施)问题进行大量有益地探索,但尚缺乏针对碳中和路径选择与行为方式的国际比较研究。本文试图弥补这一缺憾,试图从自然资源禀赋与能源结构、工业化与

城镇化进程、目标承诺与实现路径3个维度构建碳中和路径选择的分析框架,并通过比较“基础、发展、行为”3个因素对美中德俄印5个国家碳中和路径选择和目标实现的影响,解析主要国家碳中和策略要点,提出我国应对的相关建议。

二、典型国家资源禀赋与能源结构特征

自然资源禀赋是影响碳中和的基础因素,直接影响着各国的能源结构和经济发展结构,直接关系到各国碳排放数量和排放强度,影响着实现碳中和的进程与路径。自然资源禀赋和能源结构差异,是导致各国碳中和目标与策略差异的重要原因。

表1 2021年典型国家化石资源禀赋特点

变量	煤炭		石油		天然气	
	煤炭储量 (亿t,排名)	状态	石油储量 (亿桶,排名)	状态	天然气储量 (万亿m ³ ,排名)	状态
全球	10 700	-	15 450	-	188.1	-
美国	2 493(1)	出口	690(9)	出口	13.2(5)	出口
中国	1 622(2)	进口	262(13)	进口	6.7(7)	进口
德国	406(6)	进口	3(-)	进口	0.2(-)	进口
俄罗斯	1 570(3)	出口	1 095(6)	出口	44.8(1)	出口
印度	610(4)	进口	46(-)	进口	1.2(25)	进口

注:(1)表中相关数据与排名根据《世界能源统计年鉴2021》《能源部门实现2050净零排放路线图》(IEA)等报告整理得出;(2)表中“-”表示全球排名30名以外。

(一)美国:自然资源丰富,可再生资源条件优越

如表1所示,美国自然资源禀赋优越,煤储量居全球第一位、原油储量居全球第九位,天然气储量居全球第五位。美国曾经是煤炭消费第一大国,但2019年煤炭消费量仅为11.3亿t标煤(是中国的13.9%),其原因是美国页岩气技术创新促进了油气产量大幅增加,可再生资源发展也较为迅速,最终导致美国由石油和天然气进口国变为了净出口国,从而使得煤炭消费量持续减少,碳排放量随之得以明显下降。

从资源禀赋和能源结构看,美国2019年可再生能源发电量首次超越煤电,达到了发电总量的23%(煤电为20%),石油和天然气接近45%,核电占比8%左右,为推进碳中和奠定了良好基础^①。2022年,美国通过了《降低通胀法案》,确定未来10年将提供4300亿美元,用于风能、太阳能、储能、沼气和氢能等可再生能源项目的税收抵免,期望为2035年全国电力脱碳目标助力。然而,从前

10年可再生能源发展速度和现今经济状态看,美国2035年实现电力脱碳是困难的,2050年实现碳中和目标难度较大但存在实现的可能性。

(二)中国:自然资源相对短缺,可再生能源全球领先

在表1中,中国自然资源禀赋较差,煤炭资源丰富,石油与天然气储量匮乏。中国现在是全球最大的能源消费国,是第一大石油、天然气进口国,也是全球煤炭进口最多的国家。显然,能否迅速降低煤炭占能源消费比重,是中国能否顺利实现碳中和目标的关键之一。

从资源禀赋和能源结构看,由于中国高度重视可再生能源的发展,持续加大可再生能源项目投资,中国可再生能源在能源结构中的比重迅速提升,2021年可再生能源总装机规模超过11亿kW,占全球1/3强。在2021年中国能源消费总量中,天然气、水电、核电、风电等清洁能源消费量占比已上升到25.5%(2005年为9.4%)。中国2020年单位GDP二氧化碳排放比2005年已经降低48.4%,圆满完成向国际社会承诺的下降40%至45%的目标。

(三)德国:自然资源严重短缺,可再生能源占比上升

德国自然资源禀赋不好,化石能源(石油、天然气、煤炭等)严重缺乏,90%以上石油依赖进口(全球第二大进口国)、80%以上天然气依赖进口(全球第五大进口国),2020年煤炭进口2555万t(全球第六大进口国),德国是能源消耗大国和生产小国,能源消耗总量居世界第5位(见表1)。

从资源禀赋和能源结构看,先天的自然禀赋不足,迫使德国特别重视开发利用可再生能源,以期摆脱对化石能源的依赖。因此,德国把节约能源和提高能效定为基本国策,2000年就通过了《可再生能源法》,确定了优先发展可再生能源的战略,积极推动风能、太阳能、生物能和地热能等的开发利用。目前,德国能源消费构成大致是煤炭占20%,石油占30%,天然气占24%,核能占6%,可再生能源占

^① 相关数据来源于《世界能源统计年鉴2021》,下同。

16%左右。德国提出了 2030 年可再生能源占比 50%、2050 年 80% 以上的奋斗目标,以确保 2050 年前实现碳中和。从资源禀赋特点和能源结构优化进程看,如果德国可再生能源占比达到预期目标,2050 年前实现碳中和目标是完全可能的。

(四)俄罗斯:自然资源极为丰富,可再生能源开发不足

俄罗斯自然资源禀赋很好,是世界上天然气、石油、煤炭、核燃料以及水资源蕴藏极为丰富的国家,是全球能源市场的重要供应者。石油、天然气是俄罗斯的重要能源,也是重要的出口物资,2020 年原油的 45%、天然气的 37% 和煤炭的 50% 用于出口,如果加上成品油出口,俄罗斯化石能源出口比重占出口总额近 70%。

从资源禀赋和能源结构看,俄罗斯大量使用的是成本低廉且排放量较小的天然气能源,2021 年,俄罗斯能源消费量 6.74 亿 t 标准油,其中天然气占 52.2%、石油占 22.0%、煤炭占 13.0%、核能占 6.6%,以水电为主的可再生能源占 6.3% (见表 1)。俄罗斯虽然风电和太阳能资源丰富,但缺乏投资动力,发展相对缓慢。全球范围内的大幅减排肯定会导致对化石能源需求的持续下降,从而影响俄罗斯的能源出口收益。因此,俄罗斯改变依赖传统能源结构的积极性不高,推动全球碳中和的内在动力不足。不过,从资源禀赋特点和能源结构前景看,由于俄罗斯以排放量低的天然气为主要能源,而且森林、草原等吸碳能力强大,可再生能源开发利用潜力大,2060 年前实现碳中和目标还是有可能的。

(五)印度:自然资源比较贫乏,可再生能源占比较低

印度自然资源禀赋较差,煤炭占能源资源总量的 90% 以上,石油和天然气储量较少,而且大多在海盆和页岩中,开发难度高。印度是全球第三大能源消费国,高度依赖化石燃料进口,是世界第二大煤炭消费国和进口国(2020 年煤炭进口 2.2 亿 t),是世界第三大石油进口国和第四大天然气进口国,其进口占比均达到 80% 左右(见表 1)。

从资源禀赋和能源结构看,印度消费的能源中,

煤炭占比 54.8%,石油占 28.2%,天然气占 6.7%,核电、水电、风电、太阳能等合计占 10.2%。2021 年燃煤发电量占全国总发电量 70% 左右,水能、核能、太阳能、风能等非化石燃料发电量占 25% 左右。印度在 20 世纪 50 年代就提出开发和利用风能、太阳能等可再生能源,寻求能源结构转型,但受到经济发展程度和技术创新能力等多方面制约,至今能源结构仍然是以化石能源为主,而且由于经济发展速度较快和经济规模持续扩张,近期内难以改变现有能源结构。

综上所述,从自然资源禀赋看,俄罗斯和美国属于自然资源禀赋丰富的国家,中国和印度拥有较为丰富的煤炭资源但品质不高,德国的自然资源禀赋不好。俄罗斯、美国是化石资源出口大国,中国、印度和德国则是进口大国。从能源生产和消费结构看,俄罗斯和美国是最大的能源生产和出口国,中国、印度和德国均是能源消费大国,化石能源均在能源结构中占据主要地位,而且均大量依赖进口。显然,不同的自然资源禀赋和能源结构,决定了各个国家在全球碳中和进程中的策略差异,影响着实现碳中和的速度和质量。

三、典型国家工业化与城镇化特征

工业、建筑和交通产业是影响碳中和的发展因素。处于工业化和城镇化(建筑和交通)不同阶段的国家,推进碳中和难度不同,其态度和行动方式也有所差异。纵观全球,美国和德国已经完成工业化和城镇化进程,中国和俄罗斯尚在工业化中期向后期过渡阶段,俄罗斯的城镇化进程基本完成,中国的城镇化进程接近完成,而印度尚处于工业化中期和城镇化的初期阶段(见表 2)。显然,上述 5 国在推进碳中和的内在动力和经济利益方面是明显不同的。

表 2 2021 年典型国家工业化和城镇化进程

变量	工业化阶段	城镇化率/%
美国	后工业化(先进制造)	83
中国	工业化中后期(智能制造)	63
德国	后工业化(工业 4.0)	78
俄罗斯	工业化中后期(装备制造)	75
印度	工业化中期(加工制造)	35

注:表中城镇化率数据来源于世界银行网站(<https://data.worldbank.org/cn/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?view=chart>)。

(一) 美国:全球最大最强经济体,城镇化率高

美国 18 世纪末开启工业化进程,1894 年工业产值成为世界第一,是全球工业最发达的国家,在航空航天、电子信息、高端装备、化工制药等领域处于全球领先地位,拥有一批全球著名的优秀公司,如波音、洛克希德·马丁、通用电气、特斯拉、微软、苹果、谷歌、亚马逊、高通、埃克森美孚、杜邦、强生、辉瑞等。美国工业优势:①利润丰厚产业处于全球领导地位,如航天航空、互联网、生物、信息、制约等产业。②产业链中处于附加值最高环节,如苹果公司掌握着价值链分配权,仅凭品牌和设计环节就获得全价值链利润的 70%。③颠覆性创新能力强大,如微软操作系统、苹果智能手机、特斯拉电动汽车等,依靠的都是换技术轨道的颠覆性系统创新实现碾压式超越。当前,美国在人工智能、大数据、云技术、工业软件等方面拥有全球领先优势,占据着世界工业最强国地位。

从发展程度来看,美国处于后工业化阶段,已经完成了城镇化进程,2007 年实现了碳达峰以后加速了绿色低碳发展力度。然而,随着美国重振制造业战略实施和大量制造业回归,工业减排节奏明显放缓,甚至有排放增加迹象。而且,美国民主与共和两党在应对气候变化方面具有相互矛盾的理念,出现了不少相互矛盾的做法,导致其在全球应对气候变化和推进碳中和进程中经常表现出摇摆不定,甚至采取了退出《巴黎气候协定》的极端举措。因此,随着美国重振制造业战略深入实施和两党争斗加剧,美国推进碳中和的行为可能还会反复,2050 年能否实现碳中和目标是存在着变数的。

(二) 中国:全球第二大经济体,城镇化接近完成

改革开放以来,中国工业化进程迅猛,取得了举世瞩目的成就。中国在全球 500 种主要工业品中有 220 多种规模第一,在高铁、造桥、核电、水电、特高压输电、量子通讯等领域处于世界领先地位,在航天航空、家用电器、通讯设备、信息网络、新能源汽车等领域涌现了许多世界级公司,如中航、海尔、格力、华为、中兴、阿里、腾讯、大

疆、比亚迪等,即便在相对落后的芯片制造领域,中芯、华虹也进入了全球前 10 位。总体上看,中国工业化进程已经走过了以廉价劳动力拼体力、以污染环境为代价等换取发展规模的阶段,进入了创新驱动发展、重塑青山绿水的环境友好发展阶段。而且,改革开放以来,伴随着制造业发展,城镇化率持续提升,已经从 1978 年的 17.9% 提高到 2021 年的 63%,距离发达国家 75% 的平均水平已经不太遥远。

从发展程度来看,中国工业化处于中后期阶段,城镇化 10 年内可以达到发达国家的平均水平,中国由工业化(占排放总量 68%)和城镇化(建筑和交通占排放总量 22.6%)引发的排放量,将会随着中国可再生能源占比的迅速提升、工业高质量发展、城镇化绿色建筑和智慧交通程度提升而逐步明显降低,2030 年的碳达峰目标有望准时实现,2060 年前实现碳中和目标是可以预期的。

(三) 德国:全球第四大经济体,城镇化率高

德国工业革命起步较早,已经进入工业化后期阶段。德国在汽车、电器、机械、化工、制药等领域处于世界先进水平,拥有奔驰、宝马、大众、西门子、博世、蔡司、哈默五轴、巴斯夫、拜耳、默克、英飞凌等众多全球著名企业。而且,德国有许多工业领域隐形冠军,在全球 3 000 家中型头部企业中占比达 45%,处于全球领先地位。总体上看,德国已经进入后工业化时代的智能化发展阶段,是全球率先倡导和实施绿色低碳发展的国家,绿色技术和低碳程度处于全球领先行列。

从发展程度来看,德国工业增加值全球第四,早在 20 世纪 70 年代就实现了碳达峰,并逐步走上绿色低碳发展道路。目前,德国在可再生能源相关产业拥有先发的技术优势和产业创新优势,在推进全球碳中和过程中能够获得巨大的潜在经济利益和低碳发展红利。因此,德国实施碳中和战略态度积极,并在国际范围内积极主导推进,如果不出意外,2050 年前德国实现碳中和目标甚至提前几年实现目标都是可能的。

(四) 俄罗斯:全球重工业强国,城镇化率较高

俄罗斯的前身苏联,工业产值仅次于美国,排

全球第二名,然而现在的俄罗斯(2021 年)GDP 仅列全球第 11 位。俄罗斯工业实力较强,在军工、航天、石油、天然气、汽车等领域拥有全球先进水平,拥有苏霍伊、米格、伏尔加、拉达、联航制造等全球著名公司,俄罗斯是全球重要的天然气、石油、矿产以及先进武器等出口国,但其工业结构不完整,重工业发达,轻工业落后,大量工业品和消费品依赖进口。

从发展程度来看,俄罗斯工业化进程并未完成,总体上处在工业化中后期阶段,城镇化率 75%,基本达到发达国家水平。目前,俄罗斯经济结构仍然以资源产业为主,大量依赖能源出口促进经济增长,尽管拥有发展可再生能源的广袤空间和丰富资源,但缺乏相应的经济实力和内在动力。因此,从工业化进程和经济发展阶段看,尽管俄罗斯大量使用低排放的天然气资源,但如果不能较大幅度发展可再生能源,实现能源结构优化,2060 年实现碳中和目标是有困难的。

(五)印度:全球第 6 大经济体,城镇化尚未完成

印度是世界第六大经济体,在石化与纺织、金属矿业、软件等领域具有世界先进水平,拥有塔塔汽车、信实工业等全球知名公司,但印度工业化进程尚未完成,目前工业占 GDP 比重大约 15% 左右,整体上还处于工业化中期阶段。不过,印度拥有巨大的“人口红利”,有利于承接国际产业链转移,具有大幅提升工业比重潜力。与工业化进程相对缓慢相伴,印度的城镇化进程也较为缓慢,目前城镇化率仅为 35%,远低于发达国家水平。

从发展程度来看,虽然印度已经是全球低端产品、矿产品和化学产品的出口主力,但工业尚不发达,工业体系还不完整,总体处于全球中低端水平,按人均 GDP 衡量仍是全世界最贫穷的国家之一。目前,印度是全球第三大排放国,随着持续扩大工业规模必然带来排放量持续增加,可能会成为全球最大排放国。鉴于工业化和城镇化程度相对滞缓的状态,印度 2070 年前实现碳中和目标的可能性较小。

综上所述,从经济发展进程看,美国和德国已

经进入后工业化时代,产业结构逐步进入清洁化、智能化阶段,工业排放和城镇建筑及交通排放已经得到比较好的控制,实现碳中和的难度相对较小,而且推进全球碳中和进程可以成为其促进经济发展和获得更高利益的重要路径。中国虽然是工业门类最齐全的国家,但还处于工业化进程中,虽然工业 GDP 单位排放量持续下降,但排放量较大的重化工产业还占相当比重,以燃煤为主要能源的结构还未改变。俄罗斯以天然气为主的能源结构带来的排放量虽然较少,但在化石能源占主体地位的能源结构状态下,实现碳中和的目标还是有困难的。印度是经济发展相对滞后的国家,是未来相当长时期内能源消费会伴随着经济规模持续扩大而不断增长,排放总量会随之而增加,如果没有强大的外部力量支持,2070 年前实现碳中和的目标是相当困难的。

四、典型国家碳中和目标承诺与实现路径

“碳中和”对于全球所有国家来说均意义重大,不但事关各国经济发展和人民生活质量,而且事关潜在的发展机会和重大收益。但纵观全球,虽然“只有一个地球”的理念被广泛接受,共同而有差别的责任也被广泛认可,大多数发达国家和发展中国家均表示方向明确,愿意积极参与全球碳中和进程,然而由于各国自然资源禀赋不同、能耗消费结构不同,用可再生能源替代传统化石能源的能力和难度不同,又由于所处经济发展阶段不同,从而导致了各国对待碳中和的态度存在差异,行为策略也明显不同。

表 3 2021 年典型国家经济发展阶段特点

变量	人口/亿人	GDP/万亿美元	碳排放量/万吨 t (占全球比重/%)
美国	3.342 8	23.03	5.269(14.6)
中国	14.473 0	17.73	9.839(27.2)
德国	0.8387	4.20	0.799(2.2)
俄罗斯	1.458 3	1.77	1.693(4.7)
印度	14.030 1	3.09	2.467(6.8)

注:表中相关数据根据世界银行、《世界能源统计年鉴》的相关资料整理。

(一)美国:碳中和立场摇摆不定

从表 3 可知,美国人口为 3.34 亿人,GDP23.03 万亿美元,碳排放总量 5.27 万 t,占全球比重的 14.6%。从全球推进碳中和的行动看,美国既是积

极因素,也是消极因素,其根源在于民主党和共和党的理念不同,应对气候变化的立场不同。克林顿(民主党)任总统时签署了《京都议定书》,小布什(共和党)任总统时退出,奥巴马(民主党)任总统时签署了《巴黎气候协定》,特朗普(共和党)任总统时退出,拜登(民主党)任总统后又重新加入。奥巴马政府宣布向“绿色气候基金”提供30亿美元帮助发展中国家应对气候变化,特朗普政府直接拒绝继续提供,至今仍欠20亿美元。美国曾是制定《联合国海洋法公约》的发起者,但在正式签署时却成为反对者并至今不肯加入。美国态度周期性摇摆与言而无信,不但是美国实现碳中和目标的不稳定性因素,也已成为影响国际气候治理和全球碳中和进程的不确定因素。

美国2007年实现碳达峰,承诺2050年实现碳中和。拜登政府传承了民主党的积极态度,甚至把应对气候变化提升到事关经济振兴、国家安全和全球领导地位的高度,摆出全力推进碳中和进程的姿态。归纳起来,美国(主要是民主党)行动举措主要是:①成立新的领导协调机构。拜登政府建立了总统和副总统为首领,负责国内与国际政策事务的两支团队,并由白宫办公厅负责沟通协调的应对气候变化领导机构。②制定相关法规。美国围绕能源、空气、水 and 环境等出台了许多法律,主要有《低碳经济法案》《能源政策法》《清洁空气法》《清洁水法》《清洁能源安全法案》《环境政策法》等。总体上看,这些法律覆盖了节能减排、可再生能源研发与应用、低碳技术和环保技术研发与应用等方面,为推进碳中和进程提供了重要的法律约束与保障。③发展可再生能源。近10年来,美国在可再生能源领域的年均投资额近千亿美元,主要用于发展风电、光电、生物乙醇等。同时,政府积极游说大型传统化石能源公司发展转型,承担削减温室气体排放责任,取得一定成效,雪佛龙、埃克森美孚等公司已投资超过100亿美元用于可再生能源项目。④加速绿色体系建设。推进低碳交通、低碳建筑、清洁电力、环保技术等绿色体系建设,通过了1.2万亿美元的《基建投资与就业法案》和3.5万亿美元的社会支出计

划,为低碳绿色发展提供了大额经费支撑。⑤抢占国际话语权。拜登政府重返《巴黎气候协定》后,在国际舞台上相当活跃,期望重回应对气候变化和推进全球碳中和进程的领导地位。然而,由于美国两党长期纷争和不同立场,使得其在国际上形象不佳,领导力和影响力大打折扣。

(二) 中国:积极践行碳中和承诺

如表3所示,2021年,中国GDP为17.73万亿美元,但碳排放总量达到9.84万t,占据了全球碳排放总量的27.2%。然而,从推进碳中和的行动看,中国是积极践行者和促进者。中国是全球最大的发展中国家,不但通过自身主动加压,持续强力推进节能降耗和绿色发展,取得显著成效,而且积极倡导人类命运共同体理念,坚持气候治理的责任区分,担当推进全球碳中和的协同行为。中国实现碳中和的意志是坚定的,推进路径是清晰的,行动方案是可行的,2060年前实现碳中和目标是可以预期的。

中国专门成立了国家应对气候变化工作领导小组,负责研究制定和协调有关政策,主要行动举措是:①制定政策法规。2000年发布《中国21世纪人口、环境与发展白皮书》,2004年发布《能源中长期发展规划纲要(2004—2020)》,2005年发布《中华人民共和国可再生能源法》,2006年发布《关于加强节能工作的决定》,2007年公布《中国应对气候变化国家方案》,阐明了应对气候变化的具体目标、基本原则、重点领域及其政策措施(发展中国家中第一个),2008年发布《中国应对气候变化的政策与行动》,2013年发布的《国家适应气候变化战略》确立了2030年碳排放强度比2005年下降60%至65%的目标。②推动转型发展。自2005年以来,中国大力推进可再生能源开发利用,取得显著成效,现在中国的风能、太阳能、生物质能等可再生能源装机总量全球第一,而且是全球新能源汽车拥有量最多的国家。③建立市场机制。2010年发布《省级温室气体排放清单编制指南(试行)》,2011年印发《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》,2015年发布《工业企业温室气体排放核算和报告通则》,明确了发电、钢铁、民

航、化工等 10 个重点行业温室气体排放核算标准,2017 年启动中国碳排放交易,引入市场机制减少碳排放,2021 年实施《全国碳排放权交易管理办法(试行)》等,同年碳市场正式上线运行,参与交易的企业数量超过重点排放单位总数的 50%,市场配额履约率超过 99.5%,取得了促进减排的显著效果。(4)推进国际协同。2015 年出资 200 亿元建立了“中国气候变化南南合作基金”,专门用于支持发展中国家应对气候变化,而且在“一带一路”合作过程中,坚持低排放的绿色发展理念,为推动相关国家低碳发展贡献了中国力量。

(三)德国:率先推进碳中和进程

2021 年,德国以占全球 2.2% 的碳排放总量创造了 4.20 万亿美元 GDP(见表 3),这主要依赖于德国历届政府坚持绿色战略,积极发展低碳经济,是全球应对气候变化和推进碳中和进程的先行者,是率先确立低碳经济发展战略和行动计划的国家,是系统制定促进碳中和法律体系的国家。德国不但成立了专门机构,通过立法和制定针对性政策确定了应对气候变化的国家战略、重点领域和关键举措,积极研发低碳技术发展低碳产业,而且积极协调国际合作推进全球碳中和进程。

在应对气候变化方面,德国成立了大气层预防性保护委员会,组建了二氧化碳减排跨部门工作组,主要行动举措是:①制定政策法规。1999 年出台《生态税改革法》,提高燃料油、取暖油和电力价格以鼓励社会转向使用新能源。2000 年实施《可再生能源优先法》,通过保护收购价鼓励社会参与投资新能源发电产业。2002 年实施《节约能源条例》,2004 年实施《碳排放权交易法》,2007 年出台《生物燃料油比例法》,2009 年实施《可再生能源供热法》,2019 年通过《气候保护法》确立了 2030 年温室气体排放比 1990 年减少 55%、2050 年实现净零排放的目标。②明确战略举措。2007 年制定《能源利用和气候保护一揽子方案》,明确了降低温室气体排放、提升可再生能源发电量占比目标,并确定了 29 项具体措施。2008 年通过《德国适应气候变化战略》,确定了环境部牵头的各部门协同工作框架,并明确了各部门协同行动

的具体举措。③强化市场机制。德国是全球率先在国内实施碳排放权分配和交易制度的国家,2002 年就组建专门管理机构开始制定排放权交易的相关法律,之后接连出台《温室气体排放交易许可法》《温室气体排放权分配法》《排放权交易收费规定》等 7 部法律规章,形成了较全面的法律体系和管理制度。2021 年全面启动碳排放交易系统,通过强硬的经济手段压低碳排放量,同时实施碳边界调整机制,针对水泥、化肥、钢铁、铝等碳排放量较大的商品征收进口碳关税,以此降低国外高耗能产业竞争力,促进全球碳减排进程,同时获得可观的经济收益。

(四)俄罗斯:碳中和立场表里有异

2021 年,俄罗斯 GDP 为 1.77 万亿美元,碳排放总量为 1.70 万 t(见表 3)。从推进碳中和的行动看,俄罗斯受 3 个因素的影响很大。其一是能源产业是支柱产业,约占国内生产总值 30%,占外汇收入 60%,大规模地削减化石燃料使用影响到能源产业收益;其二是在全球气温升高情况下,北极区域显现出越来越大的战略价值和经济价值,还可能导致北冰洋航道成为日常的商业航道,从而带来巨大的经济价值;其三是有些科学家认为气候变化是周期性的,影响因子是自然因素而非人为因素,电视台甚至播出过“全球变暖:历史骗局”的纪录片。鉴于此,西方国家常对俄罗斯应对气候变化和推进碳中和的立场、政策与行动的真实性持怀疑态度,也就不难理解了。

在应对气候变化方面,俄罗斯的认知和立场近两年来出现了较为明显的转变,从质疑到关注,从旁观到积极参与^[30],频繁出席全球气候谈判,积极展现负责任大国形象,主要行动举措是:①出台应对战略。2021 年制订出台了《2050 年前俄罗斯联邦低水平温室气体排放长期发展战略》,宣布实施减排和低碳战略,承诺 2060 年前实现碳中和,具体措施是减少化石燃料生产、优化以天然气等为主的低排放能源结构,提升自然生态系统(森林、草原、海洋等)的碳吸收能力,尤其是森林吸碳能力。俄罗斯的国土森林覆盖率 43.2%,占世界森林面积的 22%,CO₂ 吸收量(碳汇)世界第一,俄罗

斯提出继续提升森林覆盖率,以更好地实现碳中和目标。②加大天然气供应。天然气的排放量仅为燃煤的1/3,大量使用天然气并大量出口天然气(欧洲许多国家依赖进口俄气),对于自身减排和全球减少碳排放有显著正向贡献。③提高清洁能源使用比例。一是提高核能使用比例,俄罗斯重视核能技术,持续提高核能发电比例(2020年核电占总发电量18%),俄罗斯期望通过增加核电以减少碳排放。二是提升可再生能源利用比例,俄罗斯出台了促进可再生能源发展的政策,简化了可再生能源发电企业的资格审查程序,支持专业从事可再生能源发电的企业创新发展,以促进可再生能源较大幅度地开发利用。

(五)印度:推进碳中和行动迟缓

如表3所示,印度人口达14.03亿人,GDP为3.09万亿美元,碳排放总量为2.47万t。从推进碳中和的行动看,印度坚持碳中和进程必须建立在经济高速发展和民众生活水平大幅提升的基础上,不接受国际社会的约束性排放要求,坚持发达国家应当承担历史责任和现实责任,不会为了达成有关国际协议而牺牲发展利益。印度承诺2070年前实现碳中和,但条件是发达国家提供1万亿美元的财政援助。然而,美国等发达国家表示为清洁能源开发利用提供融资支持,但印度不在拟提供融资支持的国家之中^[31]。显然,从目前印度经济发展程度和民众生活水平看,2070年前实现碳中和的承诺是难以兑现的。

为了响应全球应对气候变化浪潮,展示负责任大国形象,印度成立了“气候变化总理委员会”,负责制定气候变化行动方案和指导国际气候变化谈判等,采取的行动举措主要是:①确立应对原则。应对气候变化的最终目标,是在发展经济的同时保护环境,实现可持续健康发展。应对气候变化,需要保护易受气候变化影响的贫困人群,提升民众生活水平,在实现国家发展目标的同时减排温室气体。②制定政策法规。2007年制定《气候变化国家行动计划》,明确了利用太阳能、水资源和可持续农业、绿色发展等方面的具体举措,但未提及减排目标。制定出台的相关法律主要有

《节能法》《环境法》和《能源法》等。③发展可再生能源。印度在20世纪50年代就成立了非常规能源部,提出发展风电和太阳能发电,但直到最近10年,其风电、太阳能发电的装机容量才得到明显提升。现在印度可再生能源的新增装机容量处于全球第三位。④推行低碳消费。2001年《节能法》确立了能耗标准,明确禁止生产和销售不符合节能标准的设备,2010年开始强制实施能效评级制度,鼓励消费者选择绿色标志产品,强制要求企业利用节能设备。⑤参与国际合作。印度坚守共同但有区别责任原则,坚持抵制发达国家的约束性减排要求,敦促发达国家兑现资金支持和技术转让义务。

综上所述,主要国家应对气候变化措施大致相同,如成立专门机构、制定政策法规、发展可再生能源、推进产业转型、开展国际合作等,不过推进碳中和行为举措也有明显差异。美国由于党派理念不同,应对气候变化和推进碳中和立场经常摇摆不定。中国是积极行动者,不但全面布局节能减排,持续加大可再生能源开发利用,而且积极参与和推进碳中和国际协同。德国是老牌发达国家,是欧洲最大的经济体,在绿色发展和低碳技术研发利用方面处于全球领先水平,是全球碳中和进程的先行者和促进者。俄罗斯依赖天然气和石油出口的经济结构,决定了其应对气候变化和推进碳中和的举措经常犹豫不决,实质性举措不多。印度推进碳中和的态度表现积极,但由于受到经济实力不足和民众较为贫困的限制,坚持要求国际社会给予经济和技术支持,实现碳中和目标的难度极大。

五、结论与展望

“碳中和”并不是单纯的环境问题,各国因资源禀赋、能源结构、工业进程、城市化率等方面的差异,在碳中和目标与路径采用了明显不同的策略(见表4)。然而,全球碳中和目标的实现需要各国协同努力,发达国家有历史责任和现实义务,发展中国家也需要在发展经济和减少贫困人口的同时,做好节能减排和推进碳中和的双重任务。不过,截至2021年年底,尚有近80个国家未向联合

国提交新版气候行动计划,其中包括印度和沙特等全球主要的碳排放国。

表 4 典型国家碳中和相关要素及其策略特点

国家	美国	中国	德国	俄罗斯	印度
资源禀赋	很好	一般	较差	很好	一般
能源结构	较好	较差	一般	较好	较差
工业进程	后期	中后期	后期	中后期	中期
城镇化率	很高	较高	高	高	较低
策略特点	摇摆	积极	激进	消极	拖延

作为碳中和承诺和行动最大的践行者与引领者,中国碳中和的实现同样面临着巨大挑战。能源结构仍以煤炭为主,城镇化进程尚未完成,工业化向高端持续迈进中,中国经济的发展阶段、能源结构、城镇化进程和世界工厂角色等,均会影响碳中和目标的实现进程。不过,中国在可再生能源领域已经是世界第一,推进碳中和不但具有减排的生态收益,还具有巨大经济利益,中国风电、光电、新能源车等相关产业将会持续巩固和提升全球竞争优势。当然,中国只要坚持加强低碳技术创新,不断优化能源结构、提升能源效率,持续加强可再生能源的发展和替代煤炭进程,持续降低碳排放,完全可能在 2060 年前圆满实现碳中和的伟大目标。

参考文献:

[1] ADJEI M, SONG H, CAI X, et al. Globalization and economic complexity in the implementation of carbon neutrality in Africa's largest economies[J]. Sustainable energy technologies and assessments, 2022(52): 102347.

[2] WU Y, TAM V W Y, SHUAI C, et al. Decoupling China's economic growth from carbon emissions: empirical studies from 30 Chinese provinces (2001—2015) [J]. Science of the total environment, 2019(656): 576-588.

[3] WANG M, FENG C. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China's metal industrial sectors: a technological and efficiency perspective[J]. Science of the total environment, 2019(691): 1173-1181.

[4] 李爱华, 宿洁, 贾传亮. 经济增长与碳排放协调发展及一致性模型研究: 宏观低碳经济的数理分析[J]. 中国管理科学, 2017, 25(4): 1-6.

[5] YANG Z, ABBAS Q, HANIF I, et al. Short-and long-run influence of energy utilization and economic growth on carbon discharge in emerging SREB economies [J]. Renewable energy, 2021(165): 43-51.

[6] 唐葆君, 周慧玲, 曹红, 等. APEC 成员碳排放与经济增长及对中国的政策启示[J]. 管理学报, 2015, 12(12): 1865-1871.

[7] REN X, CHENG C, WANG Z, et al. Spillover and dynamic effects of energy transition and economic growth on carbon dioxide emissions for the European Union: a dynamic spatial panel model[J]. Sustainable development, 2021, 29(1): 228-242.

[8] WANG Q, ZHANG F. Does increasing investment in research and development promote economic growth decoupling from carbon emission growth? an empirical analysis of BRICS countries[J]. Journal of cleaner production, 2020(252): 119853.

[9] WANG Q, SU M. Drivers of decoupling economic growth from carbon emission-an empirical analysis of 192 countries using decoupling model and decomposition method [J]. Environmental impact assessment review, 2020(81): 106356.

[10] LEE S, HE Y, SUK S, et al. Impact on the power mix and economy of Japan under a 2050 carbon-neutral scenario: Analysis using the E3ME macro-econometric model [J]. Climate policy, 2022: 1-11.

[11] 吴郎, 余碧莹, 邹颖, 等. 碳中和愿景下电力部门低碳转型路径研究[J]. 中国环境管理, 2021, 13(3): 48-55.

[12] 董兵兵, 徐慧伦, 谭小芬. 货币政策能够兼顾稳增长与防风险吗: 基于动态随机一般均衡模型的分析[J]. 金融研究, 2021(4): 19-37.

[13] 余碧莹, 赵光普, 安润颖, 等. 碳中和目标下中国碳排放路径研究[J]. 北京理工大学学报: 社会科学版, 2021, 23(2): 17-24.

[14] TIMILSINA GR, PANG J, XI Y. Enhancing the quality of climate policy analysis in China: Linking bottom-up and top-down models[J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2021(151): 111551.

[15] 蔡博峰, 曹丽斌, 雷宇, 等. 中国碳中和目标下的二氧化碳排放路径[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(1): 7.

[16] 张希良, 黄晓丹, 张达, 等. 碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究[J]. 管理世界, 2022, 38(1): 35-66.

[17] WANG X, YU B, AN R, et al. An integrated analysis of China's iron and steel industry towards carbon neutrality[J]. Applied energy, 2022(322): 119453.

[18] 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.

- [19]陈晓红, 胡东滨, 曹文治, 等. 数字技术助推我国能源行业碳中和目标实现的路径探析[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(9): 1019-1029.
- [20]WANG X, HUANG J, LIU H. Can China's carbon trading policy help achieve Carbon Neutrality: a study of policy effects from the Five-sphere Integrated Plan perspective[J]. Journal of environmental management, 2022(305): 114357.
- [21]WILLIAMS JH, JONES RA, HALEY B, et al. Carbon-Neutral Pathways for the United States[J]. AGU advances, 2021, 2(1): e2020AV000284
- [22]ZHAO Y, SU Q, LI B, et al. Have those countries declaring "zero carbon" or "carbon neutral" climate goals achieved carbon emissions-economic growth decoupling? [J]. Journal of cleaner production, 2022(363): 132450.
- [23]CHEN X, LIU Y, WANG Q, et al. Pathway toward carbon-neutral electrical systems in China by mid-century with negative CO₂ abatement costs informed by high-resolution modeling[J]. Joule, 2021, 5(10): 2715-2741.
- [24]PREUSCHMANN S, BLOME T, GORL K, et al. How to develop new digital knowledge transfer products for communicating strategies and new ways towards a carbon-neutral Germany[J]. Advances in science and research, 2022(19): 51-71.
- [25]ALATAS S. Towards a carbon-neutral economy: The dynamics of factor substitution in Germany[J]. environmental science and pollution research, 2020(27): 26554-26569.
- [26]REVERON B, CANDAS BS. Co-optimizing transmission and active distribution grids to assess demand-side flexibilities of a carbon-neutral German energy system[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2022(163): 112422.
- [27]SAFONOV G, POTASHNIKOV V, LUGOVOY O, et al. The low carbon development options for Russia[J]. Climatic change, 2020(162): 1929-1945.
- [28]BADOLE S, ROY D, SINGH L K, DATTA A. Carbon Neutral Roadmap for Green India [M]. Innovations in Agriculture For A Self-reliant India, 2021.
- [29]MARIA SS, LAKSHMY S, NIDHIN DK, et al. Carbon neutral communities: model for integrating climate action into development planning[M]. Sustainable cities and resilience, 2022.
- [30]尚月, 韩奕琛. 应对迈向碳中和时代的挑战: 俄罗斯的绿色低碳新政[J]. 现代国际关系, 2021(10): 18-28.
- [31]叶无极. 印度能源转型的三重挑战[J]. 风能, 2022, 3(3): 48-51.

(本文责编: 海洋)