

中美经济增长与碳减排比较分析*

张致鹏¹ 张进鹏¹ 唐杰²

(1.哈尔滨工业大学(深圳)经济管理学院, 广东 深圳 518055;
2.香港中文大学(深圳), 广东 深圳 518172)

[摘要] 碳减排工作是我国进入新发展阶段, 破解资源环境约束问题, 实现可持续发展, 推动经济结构转型升级与技术进步的重要抓手。环境库兹涅兹假说总结了碳排放与经济发展之间的倒U型关系。当前, 我国人均GDP刚迈过1万美元大关, 与发达国家实现碳达峰时人均GDP为2万-5万美元仍有差距, 实现碳达峰碳中和目标的难度更高。本文通过LMDI因素分解模型对比分析中美两国碳排放结构与能源结构, 总结实现碳达峰碳中和目标的必要条件, 希望为准确理解、全面贯彻我国碳达峰碳中和工作, 推动经济社会进行广泛而深刻的变革提供有益参考。研究发现: (1) 中美两国由收入和人口规模构成经济发展水平效应对碳排放增长拉动作用均具有先上升后下降的趋势; (2) 能源强度持续下降是中美两国遏制碳排放增长最重要的因素, 中国能源强度下降速度远快于美国, 对碳减排的贡献量高于美国, 但当前单位GDP能耗仍落后美国近50年; (3) 自然资源禀赋与能源技术是降低能源碳强度的主要因素, 相比美国, 我国以煤炭主体的能源结构面临着客观的能源高碳的劣势, 对我国加快可再生能源发展提出了更高的要求; (4) 能源结构调整和能源效率提高是减少经济增长负外部性的重要因素, 碳排放强度下降和清洁能源发展是新能源革命的重要标志。总体来看, 碳达峰碳中和目标是我国实现高质量和可持续发展的内在需要, 碳减排工作不仅是气候环境问题, 也是国家能源安全问题, 更是产业升级变革的契机与经济可持续增长的新动能。

[关键词] 碳排放差异 碳达峰 LMDI模型 驱动因素

[中图分类号] F205; F206 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-983X(2023)03-0069-10

一、引言

2020年9月, 习近平总书记在第七十五届联合国大会上郑重宣布我国力争于2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和的目标,

标志着我国碳减排工作进入新篇章。2021年9月《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》(以下简称《意见》)提出, 深入贯彻习近平生态文明思想, 立足新发展阶段, 贯彻新发展理念, 构建

收稿日期: 2022-07-01; 修回日期: 2023-03-01

*基金项目: 深圳市战略性新兴产业和未来产业发展专项资金2017年第三批扶持计划项目“应对气候变化与低碳经济学科建设”(深发改[2018]725号文件)

作者简介: 张致鹏, 博士研究生, 主要从事公共政策、低碳经济与政策研究; 张进鹏, 硕士研究生, 主要从事低碳经济与政策研究; 唐杰(通讯作者), 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事低碳经济与政策、创新经济学、空间经济学研究。

新发展格局,坚持系统观念,处理好发展和减排、整体和局部、短期和中长期的关系,把碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局,以经济社会发展全面绿色转型为引领,以能源绿色低碳发展为关键,加快形成节约资源和保护环境的产业结构、生产方式、生活方式、空间格局,坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路,确保如期实现碳达峰和碳中和。能源是国民经济发展的命脉,能源消费、生产的能力和水平是一国综合国力的反映。化石能源是温室气体排放的主要来源,使能源具有鲜明的负外部性。如何实现能源的可持续发展、减缓气候变化和促进经济增长是未来各国面临的主要挑战。2021年11月,第26届联合国气候变化大会在英国的苏格兰格拉斯哥召开,确立了全球碳中和共识。在此次会议上,中国、美国、欧盟、日本、印度、俄罗斯等重要经济体向联合国提交了各自到本世纪中叶或面向本世纪中叶的国家低排放发展战略,如印度提出到2070年碳中和,俄罗斯提出到2060年碳中和,美国、欧盟、日本等则是到2050年碳中和。中国不仅提出了到2060年碳中和的目标,同时提出了到2060年非化石能源占比提高到80%以上的技术支撑。因此,碳中和的重要发展方向是推动能源的转型,需正确认识碳达峰碳中和的目标与能源转型之间关系。换句话说,能源转型是靠应对气候变化的碳中和的目标所推动的。本研究期望对中美碳排放总量与结构进行分解比较,得出有益我国实现碳排放达峰和走向碳中和的认识。

本文结构安排如下:第一部分采用LMDI对数分解方法对中美两国碳排放因素进行分析对比;第二部分重点分析中美两国能源结构差异对碳排放达峰以及走向碳中和的影响;最后进行总结与展望。

二、中美经济增长与碳排放因素分解比较

根据世界银行的数据,中美两国是世界上

排名第一和第二的二氧化碳(CO₂)排放国,两国近年来年均碳排放总量之和约占世界总量的46%。^[1]21世纪以来,中美两国碳排放总量变化明显,从2000年美国碳排放总量为中国的1.6倍,到2019年美国为中国的50%左右。其中,美国于2007年实现碳排放达峰。当前,美国单位产出的碳排放(碳强度)约为我国的三分之一,人均碳排放约为中国的两倍。^[2]人均碳排放是决定碳排放总量变化的先行指标,也是经济发展和技术水平变化的重要标志。美国人均碳排放和二氧化碳排放总量先后在2000年和2005年前后完成了达峰过程。在环境库兹涅兹曲线假说下,一国碳排放水平与经济发展水平呈倒U型关系,碳排在达到特定经济发展水平之前呈持续上升态势,并在该节点后稳步下降。^[3-5]图2展示了美国碳达峰的倒U型曲线并不平滑,具有明显的驼峰形状平台期。从时间上看,20世纪80代,美国人均碳排放和二氧化碳排放总量曾分别下降至19吨/人/年和到45亿吨的水平。事实上,这是技术条件下不变时,经济下行所产生的衰退效应。而后,信息技术革命推动美国进入长期经济繁荣期,人均碳排放再度回到19~20吨/年。2007年美国碳排放总量为60亿吨,达到峰值。目前,美国人均碳排放已经下降到15吨/年左右,相当于20世纪60年代初的水平,碳排放总量稳定回落到了20世纪90年代中期的水平。从人均GDP水平看,美国人均碳排在22吨/人/年达到第一个峰值时的人均GDP约28000美元,人均GDP超过45000美元时,第二次达峰。与此同时,美国碳排放强度持续下降,从1960年为1千克/美元,已经下降至2019年的0.24千克/美元(2015年购买力平价美元)。作为赶超型发展中大国,2018年我国人均GDP达到7612美元,对应的人均碳排放上升至6.8吨/人/年,是美国同期人均水平的45%(见图1)。显而易见的是,中美两国经济发展阶段不同,面临碳达峰和碳中和目标的制约因素不同,实现碳达峰和碳中和的路径会有明显差异。

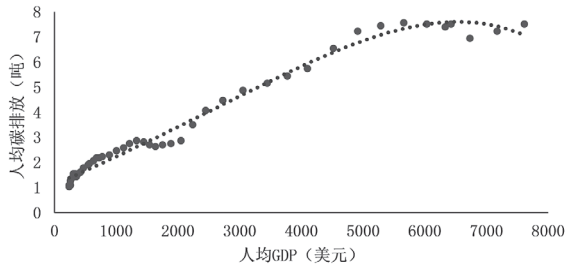


图1 中国人均GDP与人均碳排放

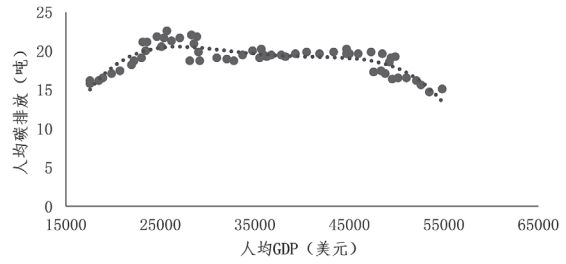


图2 美国人均GDP与人均碳排放

基于1993—2018年中美两国的经济、人口、能源、碳排放数据,在扩展的kaya恒等式上建立LMDI因素分解模型,^[6]主要变量见表1。

表1 变量定义

变量	单位	定义
C	百万吨	二氧化碳排放量
F	百万吨	煤炭、石油、天然气消费量
E	百万吨	一次能源消费量
GDP	2010年不变价美元	国内生产总值
POP	千人	人口

本文选取碳排放量的五个驱动因子:CF为能源碳强度,即单位化石能源消费碳排放量;FE为能耗结构效应,即化石能源消费占一次能源消费比,若能源消耗中对化石能源的依赖程度越高,则FE值高,可再生能源装机和发电量高,则FE值低;EG为能源强度效应,即单位GDP一次能源消费量,EG越大,能源使用效率越低,反之亦然;GP为人均GDP,称为收入效应,收入增加,则人均能源消费需求增加,反之亦然;P表示人口规模。

$$CF = \frac{C}{F}, \quad FE = \frac{F}{E}, \quad EG = \frac{E}{GDP}, \quad GP = \frac{GDP}{POP}, \quad P = POP$$

假设技术条件不变,能源碳强度(CF)、能源结构(FE)以及能源强度(EG)不变,碳排放水平将随人均GDP和人口规模增长而增长。^[7]若出现技术进步,碳排放增长将会慢于经济增长,持续的技术进步最终会使碳排放与经济增长脱钩,实现经济增长下的碳达峰和碳中和。我们可以将经济增长中碳达峰和碳中和的因素定义为,收入效应或是发展水平因素,以及结构效应或是高质量发展因素。在此条件下,经济增长与碳减排并不是零和博弈。切实贯彻新发展理念,经济发展水平的持续提升与绿色低碳生产生活方

式是可以兼得也应当兼得的可持续发展目标。

在现实经济活动中,要实现不以牺牲经济增长为代价的碳减排,核心是要推动能源结构和产业结构转型,走高质量发展的绿色低碳的道路。要在经济不断增长、人均GDP持续提高的过程中,通过持续降低能源碳强度与能源强度,提升能源结构效应,遏制碳排放的增长。只要高质量发展的结构效应对碳排放增长的遏制作用大于经济增长收入效应对碳排放的拉动作用,就可实现经济持续增长下的碳排放拐点。

《意见》中就此明确指出,到2030年,单位国内生产总值能耗大幅下降;单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降65%以上;非化石能源消费比重达到25%左右,风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上;森林覆盖率达到25%左右,森林蓄积量达到190亿立方米,二氧化碳排放量达到峰值并实现稳中有降。

本文采用LMDI加法分解对上述Kaya模型进行碳排放驱动因素分解,定义第*t*期和基期的能源消费碳排放量为*C_t*和*C₀*,第*t*期和基期的碳排放增量可以表示为Δ*C*:

$$C_t = \frac{C_t}{F_t} \times \frac{F_t}{E_t} \times \frac{E_t}{GDP_t} \times \frac{GDP_t}{POP_t} \times POP_t \quad (1)$$

$$\Delta C = C_t - C_0 \quad (2)$$

$$\Delta C = \Delta C_{CF} + \Delta C_{FE} + \Delta C_{EG} + \Delta C_{GP} + \Delta C_P \quad (3)$$

$$\Delta C_{CF} = L(C_t, C_0) \times \ln \left(\frac{CF_t}{CF_0} \right) \quad (4)$$

$$\Delta C_{FE} = L(C_t, C_0) \times \ln \left(\frac{FE_t}{FE_0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta C_{EG} = L(C_t, C_0) \times \ln \left(\frac{EG_t}{EG_0} \right) \quad (6)$$

$$\Delta C_{GP} = L(C_t, C_0) \times \ln \left(\frac{GP_t}{GP_0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta C_P = L(C_t, C_0) \times \ln \left(\frac{P_t}{P_0} \right) \quad (8)$$

$$L(C_t, C_0) = \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t) - \ln(C_0)} \quad (9)$$

本文数据依据BP世界能源统计年鉴、世界银行及IEA数据库整理而得。国内生产总值(GDP, 2010年不变价美元)、人口总量(POP)数据来自世界银行数据库。二氧化碳排放量、一次能源消费量(TPES)、化石能源(煤炭、石油、天然气)消费量数据来自IEA数据库。

一是美国碳排放达峰因素分解。为分析简便, 本文划分为五个时间段, 来考察美国碳排放总量的达峰进程, 即1993—1997、1998—2002、2003—2007、2008—2012、2013—2018年。前十年是碳达峰过渡期(1993—1997年和1998—2002年), 美国碳排放持续增长, 但增量放缓, 结构性减排效应日渐突出。

第一个五年(1993—1997年), 人均GDP增加和人口规模的发展水平效应拉动碳排放量增长合计为10亿吨。结构效应引起碳排放减少合计超过4亿吨, 进一步分解, 能源碳强度效应(CF)使碳排放量增长1.58亿吨; 能源结构调整贡献了1000万吨的碳排放减排量; 能源效率的提升引起能源强度(EG)效应下降, 碳排放量贡献了5.53亿吨, 合计碳排放总量增加5.9亿吨。

第二个五年(1998—2002年), 美国碳排放

总量增加0.654亿吨。人均GDP和人口规模的发展效应使碳排放量增加7.97亿吨; 结构效应中, 能源碳强度变化的碳减排贡献1.16亿吨, 能源结构的贡献依然微弱, 能源强度效应(EG)十分突出, 碳排放量贡献量达到6.05亿吨。

第三个五年(2003—2007年)是美国碳排放达峰的平台期, 2007年美国碳排放总量达到峰值, 五年期限美国碳排放减少了0.98亿吨。虽然发展因素对碳排放拉动减弱, 仍然达到6.64亿吨。结构性因素中, 能源碳强度的减排贡献稳定, 能耗结构效应明显上升, 能源强度(EG)效应对碳排放的影响为-6.14亿吨, 减排效应贡献达到历史最高值。

在达峰前的15年中, 美国碳排放量累计增长了15%, 收入效应占比约为65%, 其余为人口规模扩大的贡献。结构性效应中, 能源碳强度、能源结构、能源强度的减排贡献分别为0.67亿吨、0.6亿吨和17.72亿吨。能源强度下降, 使单位美元GDP所使用的能源下降了26%。不难看出, 实现碳减排的关键是靠产业的提质增效, 单位能源消耗创造更多GDP, 能源效率提高使能源强度下降。

表2 1993—2018年美国碳排放LMDI五个时间段分解(单位: 百万吨)

年份	ΔC	ΔCCF	ΔCFE	ΔCEG	ΔCGP	ΔCP
1993—1997	593	158	-10	-553	687	310
1998—2002	65	-116	-11	-605	514	283
2003—2007	-98	-108	-39	-614	398	266
2008—2012	-474	-263	-95	-395	81	198
2013—2018	-117	-62	-121	-535	436	164

美国碳排放达峰后的第一个五年, 2008—2012年, 美国出现了典型的经济衰退引发的碳排放量大幅下降, 2012年比2007年降低了13.8%。发展效应引起的碳排放增长仅相当于上一个五年的42%。结构效应的贡献值得关注, 能源强度的影响依然是最显著的, 却也是整个观察期内最低的。页岩气技术取得突破, 低碳天然气的广泛使用降低了能源碳强度, 美国能源碳强度效应因此达到了历史最高值。在达峰的第

二个五年里, 2013—2018年美国已经经济已经从全球经济衰退中复苏, 发展效应对碳排放的拉动恢复到2007年水平。但在此期间, 能源结构调整的碳减排效应达到了最高值。美国煤炭发电占比下降4.4%, 天然气发电所占比重上升8%。

总之, 能源碳强度(CF)、能源结构(FE)与能源强度(EG)的变化是美国低碳化转型的主要支撑。美国产业结构与能源结构持续高级化, 使美国经济增长与碳排放长期脱钩, 且表现

出了一定程度的加速趋势。由此,形成了到2050年结构调整中产业结构(表现为能源强度)、能源结构(EF,去化石能源化)与能源技术革命突破引发碳中和的乐观预期。

二是中国碳排放因素趋势分解。为了便于比较,本文同样选取了1993—2018年中国经济增长与碳排放总量的变化数据。与美国成熟的发达经济特征不同,在此期间我国经济经历了经济起飞转向加速增长,也经历了从高速增长向高质量经济增长转型的过程。在四分之一世纪里,中国不变价GDP总量上升了9.24倍,人均GDP提高7.76倍,折合为标准石油当量的能源消耗上升了3.54倍,同期碳排放量上升了3.3倍,这是中国经济发展带动碳排放量大幅增长的基础,也是中国经济发展转型带动单位产出能源消耗下降过程,特别是,中国经济结构调整及向高质量发展转型已经引起了碳排放总量增长率的下降。同样采取5个五年的分段方式,我们可以发现,加入WTO带动了中国经济的加速,也产生出强烈的碳排放增长效应。

第一个五年,1993—1997年期间,发展水平效应对中国碳排放增长的带动并不强烈,经能源强度下降抵消后,碳排放量净增长了5.2亿吨。第二个五年,1998—2002年,中国经济的发展水平效应对碳排放增长拉动效应增长,但能源效率提高放缓,能源强度下降对碳排放增长的遏制作用明显减弱,尽管中国政府鼓励能源效率提高,能源碳强度下降贡献了近两亿吨的减排量,但五年累计碳排放仍然增长了10.5亿吨。

在第三和第四个五年,2003—2012年的十年里,中国经济加速增长,受基数效应影响,经济总量规模扩张巨大,GDP总量从13.5万亿骤然扩大52万亿,相当于上一个十年GDP增量的4倍以上,由此产生的经济发展水平对碳排放增长拉动效应超过了61亿吨。在此期间,我国合计碳排放量净增长51.2亿吨。能源效率的提高,贡献了约18亿吨的碳减排量;能源结构调整有了比较明显进步,贡献了3亿吨碳减排量。但粗放式的增长加大高碳能源的占比,能源碳

强度增加了近7亿吨碳排放量。

第五个五年,2013—2018年,高质量发展的三大结构性因素在遏制碳排放方面发挥了重要作用,总计产生了27亿吨碳减排的贡献量,其中,能源强度的贡献超过20亿吨,我国经济开始了以高质量经济增长为标志的碳排放增长率放缓的新时期。

以上对中美两国25年间经济增长和碳排放关系的对比分析表明,尽管两国经济发展阶段不同,但在实现绿色低碳增长方面具有相当多的一致性。

首先,中美两国由收入和人口规模构成经济发展水平效应对碳排放增长拉动作用均具有先上升后下降的趋势。20世纪90年代到21世纪前10年,中国产业结构从传统劳动密集型轻工业向重化工业发展,客观上提高了中国单位GDP的能源消耗水平。2013年后,随着中国经济增长步入高质量的轨道,大规模采用节能技术在我国能源效率可持续的大幅提升中发挥了重要作用。高产出、低能耗的新兴产业占国民经济比重提高不仅成为高质量增长的基本结构特征,更是加快了GDP能源强度的下降,以更少的能源消耗创造出了更多产出,为2030年实现碳排放达峰奠定了重要基础。2013年以来,中国经济高质量增长突出表现为,供给侧结构性改革,深度调整产业结构,推动产业结构优化升级。大力发展绿色低碳产业。加快发展新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车、绿色环保以及航空航天、海洋装备等战略性新兴产业。建设绿色制造体系。推动互联网、大数据、人工智能、第五代移动通信(5G)等新兴技术与绿色低碳产业深度融合。加快推进农业绿色发展。以节能降碳为导向,巩固钢铁、煤炭去产能成果。加快推进低碳工艺革新和数字化,遏制高耗能高排放项目盲目发展。

其次,从中美两国碳排放结构分解结果的对比看,过去25年,能源强度持续下降是中美两国遏制碳排放增长最重要的因素,中国能源

强度下降速度远快于美国,对碳减排的贡献量高于美国。中国能源强度下降对碳减排的贡献量合计为48.7亿吨,占全部结构减排因素的比重超过91.2%。同期,美国能源强度下降对减排的贡献占比为80.2%。可以说,无论中国还是美国,大规模推广节能技术,推动产业结构升级对提高能源效率都具有决定性作用,是经济高质量发展的重要内容,也都是实现绿色发展的最主要的抓手。但截止2018年,我国单位GDP能耗仍是美国的2.34倍,我国单位GDP能耗仍高于美国20世纪70年代的水平。因此,未来我国在推动产业结构升级,采用更多的节能技术方

面还有很大的潜力。

第三是美国自然资源禀赋及页岩气技术突破,对降低能源碳强度发挥了积极作用^[8]。相比美国,我国以煤炭为主体的能源结构则面临着客观的能源高碳的劣势,这是2018年我国单位GDP产生的碳排放是美国1.56倍,明显高于单位GDP能耗比例的重要原因。这对于我国加快可再生能源发展提出了更高的要求。从2000年到2018年,煤炭的份额从70%降至59%,石油的份额从22%降至19.6%,天然气的份额从2%增加到7.4%,能源结构调整在遏制碳排放增长方面的作用不断放大。

表 3 1993—2018年中国碳排放LMDI五个时间段分解 (单位:百万吨)

	ΔC	ΔCCF	ΔCFE	ΔCEG	ΔCGP	ΔCP
1993-1997	520	144	-25	-951	1205	147
1998-2002	1047	-197	-7	-126	1258	119
2003-2007	2601	98	-128	-451	2929	154
2008-2012	2519	591	-188	-1338	3258	196
2013-2018	340	-205	-554	-2005	2868	236

三、中美能源消费与供给结构比较

人均能源消费总量上升曾经是经济发展水平提高的重要标志,从能源消费结构看,一次能源消费占比下降,电力作为二次能源占比上升则始终是一国工业化水平的重要标志。可以预见,随着我国经济发展水平的提高,能源需求特别是电力消费量仍将持续上升。在此条件下,我国实现碳排放达峰与碳中和的“3060”目标需要高度关注能源结构升级。在大规模采用节能技术和深化产业结构调整,降低能源强度的同时,采取更大的力度调整能源结构。从需求侧看,发展效应作为经济发展阶段的函数,会随着工业化和城市化水平的变化而变化,同样存在着倒U型曲线的形式,即在工业化与城市化达到一定水平时形成人均能源消费的拐点。实现减缓居民能源消费增长、提高电力消费占比的目

标,从供给结构看,要不断降低电力生产中高碳能源(如煤电)比例,提高低碳能源(如可再生能源)比例。

一是从需求侧角度发力,遏制由于发展水平的提高对能源消费的拉动效应,尽早实现人均能源消费动态变化的拐点,使收入提高与人口规模扩大的引起能源消费增长脱钩。从图3对中美两国人均能耗的比较中,可以看到中美经济发展阶段与人均能源和电力消费的变化。20世纪70年代,美国人均能源使用量达到了8000千克/年石油当量的高峰,此后稳定在7700千克/年左右。美国人均耗电量从8600千瓦时/年上升至14000千瓦时/年,而后稳定在13000千瓦时/年,尽管人均能源消费和人均电力消费下降速度缓慢,还是出现了人均能源与电力消费的双拐点。同期,中国从极低的人均能源使用量和人均耗电量起步。目前,中国人均能源和电力消费仍远低于美国。2018年中国人均能源使用

量是美国的30%，人均耗电是美国的27%。值得注意的是，中国居民人均用电量仅为美国的15-16%。一般说来，一国居民人均用电量在扣除了地理气候因素后，主要决定于消费习惯，包括住房面积、家用电器、住宅基础设施等因素，也受能源管理体系和单位电价等影响。由于美国能源基础设施发达、能源供给过剩、管理相对粗放等因素，美国居民人均电力消费不仅远高于

中国，也远高于其他发达国家。相对于美国居民人均用电约为4370千瓦时的水平，日本仅为其50%，德国仅为其37%。因此，即使是参照日本和德国水平，在可见的未来，随着经济发展水平提高，我国居民人均能源消费和人均电力消费需求还有相当大的上升空间。^①这将对我国通过能源结构调整遏制碳排放增长提出更高要求。

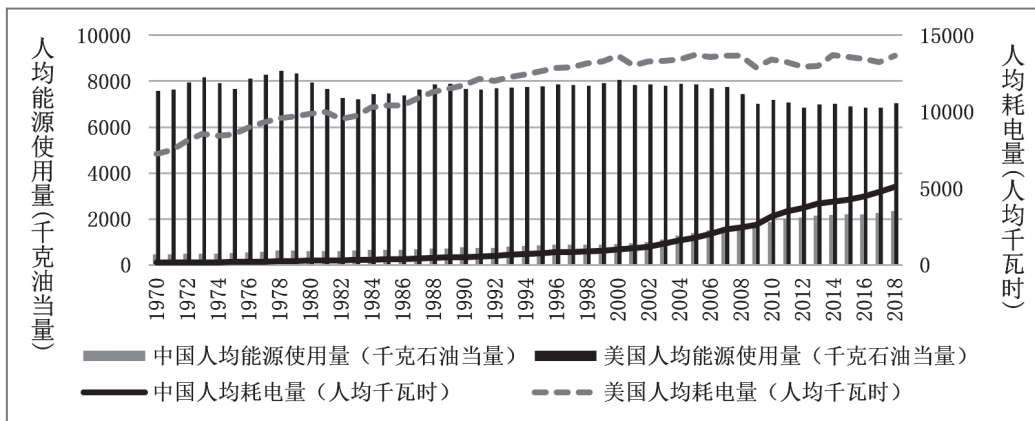


图3 中美人均能耗与电耗比较

二是能源供给结构与电力结构调整是实现稳定碳达峰和碳中和的关键。根据世界能源统计年鉴，2018年中国能源消费总量达到32.7亿吨石油当量，美国能源消费总量为23亿吨石油当量，总量低于中国，人均量则是中国的3倍。

表4 美国能源供给结构 (单位: %)

年份	燃煤发电	油气发电	核能发电	可再生能源	不含水电
1971	44.8	37.3	2.4	15.5	0.0
1980	51.2	26.1	11.0	11.5	0.0
1990	53.1	16.0	19.1	11.5	3.0
2000	52.9	18.7	19.8	8.2	1.9
2010	45.8	24.5	19.3	10.1	4.1
2015	39.8	27.8	19.3	13.2	6.6
2018	28.0	36.0	19.1	16.8	10.3

其中：不含水电为可再生能源占比减去水力发电占比。

表5 中国能源供给结构 (单位: %)

年份	燃煤发电	油气发电	核能发电	可再生能源	不含水电
1971	70.1	8.3	0.0	21.6	0.0
1980	53.0	27.6	0.0	19.4	0.0
1990	71.0	8.6	0.0	20.4	0.0
2000	78.2	3.9	1.2	16.6	1.2
2010	77.4	2.0	1.8	18.8	1.8
2015	70.3	2.7	3.1	23.9	3.1
2018	66.7	3.3	4.1	25.9	4.1

表4、表5描述了中美两国能源供给结构的演化过程。首先，美国燃煤发电占比始终低于中国，1970年代至1990年代，美国煤电占比有过明显上升，主要因素是当时国际政治经济形势不稳定与国际油气价格大幅上升。进入21世

①预计到2025年中国的电力需求将达8.9万亿千瓦时左右，到2030年电力需求将达10.4万亿千瓦时左右；而后用电量不断增长至2060年的15.1万亿千瓦时。达到碳中和时，电力占终端用能的比重达到70%以上。对于电力在终端用能中的作用，欧盟在1.5℃温控研究中也进行了分析 (European Union, 2018)：欧盟在2050年实现碳中和，电力直接用在终端用能比重为50%，电制气、电制液体燃料约占10%，氢气约占终端用能的10%，其他燃料占30%。^[9]

纪以来,美国页岩气开采技术取得突破后,丰富且廉价的国内天然气供应,推动美国电力企业快速以气电取代煤电,成长为最主要的电力生产方式,实现了能源结构大调整。2000年以来,美国煤电占比下降了近25%,油气电占比接近翻番,提高了17个百分点以上。自1990年以来,核电在美国发电总量中份额持续在高位徘徊,占比维持在约20%。可再生能源成为继气电之后驱动能源结构转型的第二大驱动因素,1990年可再生能源发电占比11.5%,2000年下降为8.2%后再度上升,到2018年占比接近17%。2000年扣除水电后的光伏和风能等可再生能源占比低于2%,到2018年已经超过10%,上升了5倍,超过了水电的占比,成为举足轻重的高成长性新型能源。从整体看,美国能源结构调整中,低碳和零碳能源的发展为美国碳排放达峰以及在碳达峰后持续下降提供了强有力的支撑。

其次,中国与美国相似,燃煤发电占据重要地位。20世纪70年代以来,中美燃煤发电占比都经历了先上升后下降的过程。20世纪80年代以后,我国燃煤发电占比曾快速上升,到2000年占比已经接近80%,而后开始缓缓下降;2013—2018年中国燃煤发电占比降速加快,2020年已降至63.2%。受资源禀赋和技术条件限制,我国油气发电和核能发电占比显著低于美国,相差约47%,这是我国能源结构调整面临的最大制约。在可再生能源发展方面,我国水力发电占比非常高,目前我国水电占比与核电在美国占比大致相当。但除水电外,光伏和风能等可再生能源的占比明显低于美国,约为其一半水平。

展望未来,我国能源结构调整面临的核心问题是,在核能与油气发电等低碳能源占比不能有明显提高的条件下,要实现可再生能源,特别是光伏和风能电力对煤炭发电的有效替代。《意见》明确要求,加快构建清洁低碳安全高效能源体系。加快煤炭减量步伐,“十四五”时期严控煤炭消费增长,“十五五”时期逐步减少。严控煤电装机规模,严格控制化石能源消费。按照碳中和要求,此消彼长的

数字推论应当是,未来30年到2050年时,煤电占比需要下降到10%以下,在核能及天然气发电占比不能大幅提高时,光伏风能等可再生能源占比需要达到50%以上。表5中可以看到,历史上光伏风能等可再生能源以十年平均的年均发电占比0.2个百分点,最近五年占比上升速度明显加快后,约为1个百分点,这就要求光伏和风能等新型可再生能源在我国能源结构调整中要有超常规发展,年平均占比提高速度要达到1.3~1.5个百分点,这当然会对光伏和风能等可再生能源产业发展的产生巨大的推动,同时也对保障电网的安全可靠运行提出了巨大的技术和制度创新的挑战,需要充分发挥电网配置资源的优势,通过构建具有韧性的智慧电网,实现发电系统、输配系统和电力消费系统的协同融合发展。

四、结论

首先,中美经验表明,能源结构调整和能源效率提高是减少经济增长负外部性的重要因素,碳排放强度下降和清洁能源发展是新能源革命的重要标志。我国实现人均GDP超过1万美元的跨越后,经济增长方式转换的紧迫性空前提高,有如逆水行舟不进则退。在微观层面,经济增长的负外部性体现为,在生产成本持续升高的过程中,高污染、同质化的低效生产无法有效提高企业竞争力。碳达峰和碳中和是我国实现高质量和可持续发展的内在需要,是着力解决资源环境约束的突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择。从能源结构来看,未来要不断提高非化石能源比重,大幅降低煤炭发电占比,实现从传统高污染和高碳排放向低污染和低碳排放的能源结构转变,达成减污降碳、协调增效。从能源效率来看,要坚决遏制高耗能高排放项目盲目发展,大力推动节能减排,全面推进清洁生产,加强产能过剩分析预警和窗口指导,通过加快形成绿色生产生活方式推动我国产业结构、技术结构升级。

其次,克服有史以来最严重的市场失灵——气候变化^[10]需要政府干预。碳达峰碳中和目标是以应对气候变化为目的,通过减少乃至净零碳排放,减缓全球气候变化趋势。碳排放作为典型的经济负外部性行为,无法仅通过市场行为解决。Acemoglu等^[11]提出,通过合理的政策设计,调整不同技术之间成本收益关系,降低高耗能、高排放部门的企业获利,增加低污染、低排放部门的企业获利,政府干预才有可能克服市场失败。政府政策的有效性表现为让传统生产技术付出更高的成本,让新技术获得更大的市场规模,从而大力推动技术转型升级。^[12]目前,欧盟在发展节能技术和提高能源效率,改变能源结构,提高可再生能源比例方面已经形成了领先地位并不断扩大的技术和体制创新优势,值得引起我国重视。此外,能源结构转型也需要有良好的能源价格机制和碳排放配额价格形成机制的支持,这需要我们在加强规划与政府引导的同时,建立更加完善的能源市场和碳排放交易市场,并完善环境污染与碳排放治理的政府管制体系。

第三,以碳达峰碳中和为目标积极推进能源革命不仅是气候环境问题,也是国家能源安全问题,更是产业变革契机。一方面,习近平总书记提出,推动能源消费、能源供给、能源技术及能源体制的革命,全方位加强国际合作的战略构想。我国人均石油、天然气资源不丰富且开采成本高。自2017年起,我国已经超过美国成为世界第一大原油进口国,石油的对外依存度达到70%。大力推动能源革命,发展可再生能源是降低能源对外依存度,保证国家能源安全 and 经济安全的重大措施。另一方面,新能源革命展现出了相关技术与相关产业创新活动的巨大协同性,有可能成长为人类历史上空前的创新产业集群。人类从生物质转向煤炭决定于更高效率的蒸汽机等技术,不是因为木材短缺。从煤炭转向石油决定于发现了更高效的内燃机技术,也不是因为煤炭短缺。面向未来寻找零碳经济增长之路会成为国际经济社会科学竞

争的主战场。新能源革命创新的产业链条还在生长与延伸过程中,智能化、网络化大规模计算是创新基础,也会推动一波又一波创新以能源革命推进产业技术颠覆性革命,有可能创造科技革命推动经济转型的新辉煌,推动传统产业高端化、智能化、绿色化,推动全产业链优化升级,推动我国经济发展质量变革、效率变革、动力变革,从而塑造我国参与国际合作和竞争新优势。

参考文献:

- [1]The World Bank. Data Bank [R/OL]. (2021-06-01) [2021-07-01]. <https://databank.worldbank.org/>.
- [2]IEA. Data and statistics[R/OL]. (2021-06-01) [2021-07-01].<https://www.iea.org/>.
- [3]GALEOTTI M, LANZA A, PAULI F. Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise[J]. Ecological Economics, 2006, 57(1): 152-163.
- [4]LIPFORD J W, YANDLE B. Environmental Kuznets curves, carbon emissions, and public choice[J]. Environment and Development Economics, 2010, 15(4): 417-438.
- [5]余东华, 张明志. “异质性难题”化解与碳排放EKC再检验——基于门限回归的国别分组研究[J]. 中国工业经济, 2016(7): 57-73.
- [6]LIU M, ZHANG X, ZHANG M, et al. Influencing factors of carbon emissions in transportation industry based on C-D function and LMDI decomposition model: China as an example[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2021, 90: 106623.
- [7]SHAO S, YANG L, GAN C, et al. Using an extended LMDI model to explore techno-economic drivers of energy-related industrial CO₂ emission changes: A case study for Shanghai (China)[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 55: 516-536.
- [8]QUAN C, CHENG X, YU S, et al. Analysis on the influencing factors of carbon emission in China's logistics industry based on LMDI method[J]. Science of The Total Environment, 2020, 734: 138473.
- [9]张希良, 黄晓丹, 张达, 耿涌, 田立新, 范英, 陈文颖. 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.
- [10]STERN N. The economics of climate change:

The stern review [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

[11]ACEMOGLU D, AGHION P, BURSZTYN L, et al. The environment and directed technical change[J]. American Economic Review, 2012, 102(1): 131-66.

[12]唐杰, 温照傑, 王东, 孙静宇. OECD国家碳排放达峰过程及对我国的借鉴意义[J]. 深圳社会科学, 2021, 4(4): 28-37.

【责任编辑 许鲁光 张超】

A Comparative Analysis of Economic Growth and Carbon Emission Reduction between China and the United States

ZHANG Zhipeng, ZHANG Jinpeng & TANG Jie

Abstract: The reduction of carbon emission is critical for China entering the New Development Stage. It is not only the key to solve the resources and environmental constraints, but also significant to promote the transformation and upgrading of economic structure and technological progress. The environmental Kuznets hypothesis summarizes the inverted U shape relationship between carbon emissions and economic development. The GDP per capita of China has just passed the mark of ten-thousand USD, which is still far from when typical developed countries achieved carbon emissions peaking, about twenty-thousand to fifty-thousand USD, indicates the difficulty of 3060 target. This study compares and analyzes the carbon emission structure and energy structure of China and the United States through the LMDI factor decomposition model and summarizes the necessary conditions for achieving the carbon emission peaking and neutrality goal, which hopefully will provide useful reference for the extensive and profound changes in the socioeconomic. This study found that: (1) the effect of economic development level, which is composed of income and population size, on carbon emission for both China and the United States has a trend of rising at first and then declining; (2) the continuous decline of energy intensity is the most important factor for both China and the United States to curb the growth of carbon emissions. The energy intensity of China declines much faster than the United States, which indicates higher contribution to carbon emission reduction; (3) natural resource endowment and energy technology are the main factors to reduce the energy carbon intensity. The energy structure dominated by coal in China is objectively facing an disadvantage in energy carbon intensity, which puts forward higher requirements for to accelerate the development of renewable energy; (4) the adjustment of energy structure and the improvement of energy efficiency are important factors to reduce the negative externalities of economic growth, and the reduction of carbon emission intensity and the development of clean energy are important symbols of the new energy revolution. Overall, carbon peaking and carbon neutrality goals are the inherent needs of China to achieve high-quality and sustainable development. The reduction of carbon emission is not only a climate and environmental issue, but also a national energy security issue and opportunity for industrial upgrading reform and economic development.

Keywords: carbon emission difference; carbon peaking; LMDI model; driving factors