

OECD国家碳排放达峰过程 及对我国的借鉴意义*

唐杰 温照傑 王东 孙静宇

(哈尔滨工业大学(深圳)经济管理学院, 广东 深圳 518000)

[摘要] 本文对经济增长与碳排放关系相关研究进行了梳理, 当前碳排放达峰理论分析基础主要包括Kaya恒等式、环境库兹涅茨曲线及以诺德豪斯为代表的资源最优配置动态均衡方法等, 相关分解方法主要分为基于指标的分解法、自下而上方法和基于系统优化的模拟等。本文归纳已有碳排放达峰的相关研究, 总结相关研究的实证结论, 认为碳排放水平与经济增长方式密切相关, 决定于人均收入和城市化水平但并非简单的线性关系; 此外, 经过研究表明, 能源产出效率提高与产业结构升级互动, 有为政府是解决市场机制失灵的关键, 碳排放达峰和碳中和目标的实现是技术创新和体制创新的结果。文章进一步对OECD碳排放达峰过程进行了实证分析, 量化了工业化、城市化、产业技术和体制机制创新在碳排放达峰过程中的作用。结果显示, 在技术条件不变的前提下, 人口增长带动碳排放总量增长, 人均GDP带动资源消耗上升的收入效应递减, 城市化与碳排放之间存在显著的倒U关系, 能源强度的下降能够有效降低碳排放总量和人均碳排放, 其中制造业占比与碳排放的关系不确定。碳排放达峰与碳中和不仅是气候变化问题, 而且是与产业升级、技术创新等密切相关的经济高质量发展问题, 为完成这一历史性的转换, 完善的市场导向的创新激励与合理有效的政府干预是不可或缺的。

[关键词] 碳排放达峰 增长方式转换 OECD

[中图分类号] F830.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-983X(2021)04-0028-10

一、碳排放达峰研究的理论方法和实证结果

过去数十年, 经济学家和科学家提出了若干碳排放达峰研究理论框架和技术分析方

法。本文概要评价三个基础模型和三类因素分解方法。三个基础模型, 一是Kaya提出的Kaya恒等式, 为其后开展的碳排放因素分解提供了简捷的可以扩展的理论分析思路^[1]; 二是Grossman和Krueger提出的, 以结构升级、

收稿日期: 2021-04-15

***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年第二批扶持计划项目“深圳低碳城市大数据工程实验室”(深发改[2017]1089号文件); 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: 唐杰, 教授, 博士研究生导师, 博士, 主要从事宏观经济学、空间(区域)经济学、低碳经济学、创新经济学等研究; 温照傑, 硕士研究生, 主要从事产业经济学研究; 王东, 教授, 博士研究生导师, 博士, 主要从事低碳经济、区域经济、战略管理、跨国公司与国际投资等研究; 孙静宇, 硕士研究生, 主要从事产业经济学研究。通讯作者: 王东, Clayton_wang@163.com。

技术创新和环境偏好解释人均收入提高与环境污染的倒U关系,即“污染在低收入水平上随人均GDP增加而上升,高收入水平上随GDP增长而下降”,被称作环境库兹涅茨曲线(EKC);^[2-3] 三是以诺德豪斯为代表的资源最优配置的动态均衡方法。^[4-8] 碳排放是经济增长的对偶因素,在增加当期产出的同时,碳排放的累积效应会减少经济增长的收益。动态跨期的碳排放分析打破了传统的“父债子偿”的行为方式,将碳排放产生的长期经济社会损失,贴现为当期的负收益,形成了当期经济增长与碳排放负效应的动态收益比较。三类分解方法,第一类是基于指标分解法。主要是IPAT和STIRPAT模型。IPAT恒等式将碳排放分解为人口、富裕程度与技术水平三个因素,更进一步是生产单位产出所需要的原材料投入,产业结构,生产单位产品的原材料消耗,以及社会组织、制度、文化及消费习惯等。第二类是自下而上方法,以LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning System)为代表。第三类是基于系统优化模拟,主要包括MARKAL-MACRO模型、IESOCEM模型和中国能源环境综合政策评价模型(IPAC)等。有关碳排放达峰研究的实证结论可归纳为如下几个方面。

一是碳排放水平与经济增长方式关系密切。Green和Stern、Liu等、He认为,经济增长转向更有质量、更可持续和更具包容性的新发展模式,经济规模扩张从与碳排放脱钩转换为带动碳排放量下降。^[9-11] 碳排放强度差异与经济发展阶段决定的经济增长方式关系密切。^[12-13] 涂正革和谌仁俊运用LMDI两层分解法分析了工业化、城镇化对碳排放的动态边际净影响。^[14]

二是能源产出效率提高与产业结构升级互动。Jiang等、Wang等观察发现,我国能源密

集型产业,水泥、钢铁和电力行业,空间分布高度不平衡,造成碳排放与城市化,碳排放与产业和能源结构之间的双向正因果关系^[15-16]。郭朝先、Li和Wei、Zheng等证实,碳排放强度主要受产业结构和资源禀赋差异影响显著,推进产业技术创新,减少过度依赖资源禀赋会获得可持续发展和碳减排的多重收益^[17-19],以可再生能源和天然气替代煤炭是遏制碳排放的突破性选择。^[20]

三是碳排放决定于人均收入和城市化水平但不是简单线性关系。Sharma使用69个国家1985-2005年面板数据,对碳排放量与国际贸易,人均GDP,城市化和一次能源消费量的关系进行了实证分解分析,其中,人均GDP和城市化是全球碳排放增长的关键因素。按照人均GDP进行高中低分组,高收入国家对应高人均碳排放水平和低碳排放增长率^[21]。现代城市起源于工业空间集聚,环境污染与碳排放因此与城市化过程息息相关(Li等,2017;Wang等,2018;Bilgili等,2016)^[22-24]。后工业化时期,创新聚集成为城市的主要功能,城市化从碳排放的驱动力量,转换为碳排放达峰的驱动力量。^[25-26] Li和Lin(2015)将73个国家面板数据划分为四个收入水平组。低收入组,城市化增加了碳排放量;中低收入和中高收入组,工业化提高了能源效率,碳排放量依然增加;高收入组,能源消耗上升,碳排放量不增长。^[27]

四是有为政府是解决市场机制失灵的关键。气候变化是有史以来最严重的市场失灵。^[28] Acemoglu等给出了如下论证过程,若经济中有两个生产部门,后发的清洁生产部门与先行的环境污染的肮脏生产部门。肮脏生产部门因具有先行的规模优势,会吸引创新和生产资源更多进入获利,加剧了负外部性,生态环境恶化。若通过合理的政策设计,调整不同技术间成本收益关系,肮脏部门企业获利降低,清洁

①Stern(2004)认为,EKC本质上是经验现象,多数EKC文献在计量经济学上是薄弱的。

②Nordhaus的DICE模型把温室气体浓度当作负自然资本,把排放量减少当作是提升自然资本质量的投资(减少负资本),通过减少排放防止气候变化的经济危害,增加未来消费的可能性。RICE是DICE模型的区域化版本。

部门有利可图,政府干预就有可能克服市场失败。在清洁技术成长为主导技术后,政府退出干预,实现长期增长和良好环境生态之间的平衡。^[29]Lemoine讨论了这样一种状况,若创新与能源投入互补,经济增长会从依赖传统技术转向新能源技术。^[30]Zhang发现,推进高耗能行业的碳减排具有明显的比较优势,相对于一刀切的减排方式,所付出的短期经济增长代价要小。^[31]

五是碳排放达峰及走向碳中和是技术创新和体制创新结果。Levin和Rich回顾并展望了全球碳排放达峰的进程,1990年有19个国家达到峰值,占当期全球碳排放量的21%;2000年有33个国家达到峰值,占当期全球排放量的18%(基于2000年碳排放量);2010年达到峰值国家增至49个,占全球排放量的36%(基于2010年碳排放量);2020年占全球排放量40%的53个国家(基于2010年排放数据)将达到峰值;2030年可能增长到57个国家,占全球排放量的60%。^[32]创新是经济增长核心驱动力,新产业和新技术的创新爆发期往往伴随着投资浪潮,这有利于经济增长,也应防止可能形成的经济泡沫或是大规模的公共和私人债务(Mercure等,2019)。^[33]2019年12月欧盟公布了“欧洲绿色协议”,提出应对气候和环境挑战与实现欧盟经济可持续发展,标志着从碳减排转向碳中和的重大步骤。2050年实现碳中和的行动路线图几乎涉及了所有经济领域,清洁能源、循环经济、生物多样性、减少污染的核心在于提高资源利用效率。欧盟能源供给将向主要依赖可再生能源转变,同时终结煤炭作为燃烧能源的历史。欧盟企业要成为全球清洁生产和技术的领军者,欧盟要以应对气候变化引导创新、增加就业,实现可持续健康经济增长。^[34]

二、OECD碳排放达峰的实证分析

经过几十年的发展,经济合作组织

(OECD)从20个国家扩展到36个国家,近13亿人口,占世界经济总量超过60%,有高收入国家,也有墨西哥和土耳其等中高收入国家,实现了人均碳排放和碳排放总量达峰。实证检验OECD达峰过程阶段性特征,以及经济发展、结构变化、技术创新过程,有助于我们以更宽的视野,从推动我国经济增长方式转变的角度审视碳排放达峰和碳中和的意义。一般说来,计量经济学方法可以解决实证数据存在的技术问题,但研究者要解决合理使用数据的风险,可得统计数据往往不是理论模型的合理代理变量。为避免望文生义,简单化运用统计指标得到肯定与否定的实证检验,我们首先从更加宽广的范围对OECD经济社会、创新与产业和技术结构变化以及政府管制能力进行概览性的综述,而后运用可获得的统计数据进行可比照的实证检验。

(一) OECD经济社会发展概览

依据世界银行发展数据库,我们提炼汇总了过去20年间,OECD国家的经济社会科技及体制方面的代表性变量,形成了概览性的分析。2017年OECD经济总量接近50万亿美元,人口约13亿,人均GDP3.8万美元,碳排放总量和人均碳排放量均已达峰。1996-2017年间,OECD经济总量接近翻番,人均GDP提高1.68倍,2005年碳排放达到峰值132亿吨,2017年下降为114亿吨。人口从11.2亿上升为13亿,人均碳排放从10.9吨下降为8.7吨。期间人口结构发生显著变化,城市化率超过80%,高等教育入学率从46%上升为76%。创新能力主要指标中,研发经费占GDP比重提高到2.57%,总量和人均研发经费均翻了一番。千人研发人员数量从2.5上升为4.1,创新成果,商标、专利、科学论文和工业设计等,表现突出。产业结构变化方面,制造业增加值占比稳步下降,持续向创新性无重量生产方式转变。数字经济发展迅速,计算机、通信占服务贸易出口比例从60%上升为94%,传统的旅游、交通与金融服务占比下降。环境气候领域专利

申请增长很快,可再生能源替代传统能源成为趋势,风能和太阳能等可再生能源发电占比已经与燃煤发电占比接近,1996年可再生能源与煤炭发电比例为43.9%,2017年上升为83.6%,产业结构向更高能源效率和更低碳排放转型的路径越来越清晰。过去20年,OECD国家综合营商环境显著改善,企业总体税负下降,政府效率提升明显。

(二) OECD碳达峰的计量模型设计

为保证统计数据连续可比较,我们统一采用了世界银行发展指数中的数据,1971-2014年OECD国别数据中,人口、人均GDP、工业增加值占比、人口城镇化率、能源强度、清洁能源占比等是连续的,可以支持以面板数据方式对OECD碳排放达峰和经济发展质量提高,产业结构升级,城市化转型以及可再生能源发展所代表的能源革命性转型的综合分析,见表1。

表1 模型中各变量含义及符号

变量	符号	单位	含义
碳排放总量	C	千吨	二氧化碳排放总量
人均碳排放	PC	吨/人	碳排放总量与总人口之比
人口	Pop	人	人口总数
人均GDP	Pgdp	2010不变价美元	人均国内生产总值
能源强度	Ei	石油消费当量/美元	能源消耗与国内生产总值之比
工业占比	Ins	%	工业增加值占GDP的比重
城市化率	Ur	%	城市人口占总人口的比率
可再生能源占比	Eq	%	可再生能源占能源使用总量比重

碳排放总量方程写为:

$$\ln(C_{it}) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(pop_{it}) + \beta_2 \ln(pgdp_{it}) + \beta_3 \ln(pgdp_{it})^2 + \beta_4 \ln(ei_{it}) + \beta_5 \ln(ins_{it}) + \beta_6 \ln(ur_{it}) + \beta_7 \ln(ur_{it})^2 + \beta_8 \ln(eq_{it}) + \epsilon_{it} \quad (1)$$

人均碳排放方程写为:

$$\ln(PC_{it}) = \ln(\gamma_0) + \gamma_1 \ln(pgdp_{it}) + \gamma_2 \ln(pgdp_{it})^2 + \gamma_3 \ln(ei_{it}) + \gamma_4 \ln(ins_{it}) + \gamma_5 \ln(ur_{it}) + \gamma_6 \ln(ur_{it})^2 + \gamma_7 \ln(eq_{it}) + \epsilon_{it} \quad (2)$$

- 式中
- C —— 碳排放总量
 - PC —— 人均碳排放
 - β_i —— 碳排放总量模型中变量系数值
 - γ_i —— 人均碳排放模型中变量系数值
 - ϵ, ϵ —— 随机误差项
 - i —— 第i个国家
 - t —— 第t年 (t=1971, ..., 2014)

对OECD国家面板数据进行统计分析及检验,以下为检验结果。表2为模型中引入统计变量的描述性分析。为防止回归结果出现“伪回归”现象,本文分别采用LLC、ADF及IPS方法,对各变量进行了平稳性检验,表3为单位根检验结果,显示各变量均通过LLC检验,说明本文模

型中变量是平稳的。由于方程变量个数比较多,需对变量间的协整性进行检验,本文对变量间协整关系进行Kao检验,结果如表4所示。结果表明在1%的显著性水平下拒绝存在单位根,说明可以认为被解释变量碳排放总量、人均碳排放与其他解释变量之间存在协整关系。

表2 OECD国家变量描述性统计分析^①

变量	观测值	均值	标准差	变异系数	最小值	最大值
ln(C)	1,757	11.36	1.58	7.19	7.00	15.57
ln(PC)	1,757	1.97	0.63	3.11	-0.69	3.70
ln(pgdg)	1,631	9.99	0.76	13.23	6.85	11.63
[ln(pgdg)] ²	1,631	100.41	14.66	6.85	46.93	135.16
ln(pop)	1,980	16.19	1.52	10.66	12.08	19.58
ln(ur)	1,980	4.24	0.21	19.87	3.32	4.58
[ln(ur)] ²	1,980	18.02	1.75	10.28	11.03	21.01
ln(ei)	1,587	-1.99	0.46	-4.38	-3.22	-0.66
ln(eq)	1,769	1.57	1.85	0.85	-7.36	4.27
ln(ins)	1,055	3.28	0.21	15.43	2.37	3.89

表3 各变量单位根检验

变量	LLC		ADF		IPS	
ln(C)	-14.09***	平稳	235.82***	平稳	-7.39***	平稳
ln(PC)	-10.00***	平稳	168.92***	平稳	-4.04***	平稳
ln(pgdg)	-12.26***	平稳	138.14***	平稳	-3.48***	平稳
[ln(pgdg)] ²	-10.97***	平稳	119.16***	平稳	-2.39***	平稳
ln(pop)	-0.88***	平稳	147.64***	平稳	-2.85***	平稳
ln(ur)	-5.09***	平稳	163.13***	平稳	-4.69***	平稳
[ln(ur)] ²	-5.63***	平稳	159.16***	平稳	-4.52***	平稳
ln(ei)	-1.59*	平稳	78.4	不平稳	0.14	不平稳
ln(eq)	-3.32***	平稳	90.08*	平稳	-0.37	不平稳
ln(ins)	-5.63***	平稳	159.16***	平稳	-4.52***	平稳

注：*、**、*** 分别代表变量在10%、5%及1%的显著性水平下显著。

表4 协整关系检验表

变量	Kao检验		协整关系
碳排放总量	-4.24***	平稳	存在协整关系
人均碳排放	-3.76***	平稳	存在协整关系

注：*、**、*** 分别代表变量在10%、5%及1%的显著性水平下显著。

(三) OECD国家面板回归结果与分析

表5为OECD碳排放总量和人均碳排放量面板数据回归结果，其中，OLS、FE、RE分别为最小二乘回归模型、固定效应模型和随机效

应模型。根据Hausman检验结果，选择随机效应模型解释解释碳排放总量，选择固定效应模型解释人均碳排放。得到的实证回归结果如表5所示。

①本文数据来源：温照杰. 中国与OECD国家碳排放达峰进程分析[D]. 哈尔滨工业大学, 2019.

表5 OECD国家碳排放总量/人均碳排放面板回归结果

变量	国家碳排放总量			人均碳排放		
	OLS	FE	RE	OLS	FE	RE
ln_(pop)	1.029*** (277.89)	1.098*** (26.10)	0.999*** (61.21)			
ln_(pgdp)	1.541*** (10.88)	1.553*** (10.42)	1.586*** (10.84)	1.637*** (11.39)	1.606*** (10.69)	1.621*** (11.02)
[ln_(pgdp)] ²	-0.0317*** (-4.40)	-0.0442*** (-5.74)	-0.0437*** (-5.79)	-0.0380*** (-5.21)	-0.0460*** (-5.92)	-0.0457*** (-6.01)
ln_(ins)	0.00215 (0.12)	0.0171 (0.68)	-0.0140 (-0.61)	-0.0122 (-0.66)	-0.00978 (-0.41)	-0.0190 (-0.82)
ln_(ur)	4.277*** (4.55)	5.155*** (5.66)	5.372*** (5.94)	5.495*** (5.82)	5.273*** (5.74)	5.499*** (6.06)
[ln_(ur)] ²	-0.516*** (-4.62)	-0.599*** (-5.36)	-0.624*** (-5.65)	-0.658*** (-5.86)	-0.607*** (-5.39)	-0.639*** (-5.76)
Ln_(ei)	0.941*** (61.96)	0.876*** (31.29)	0.886*** (33.20)	0.934*** (59.86)	0.861*** (30.14)	0.869*** (31.95)
ln_eq	-0.118*** (-34.56)	-0.0464*** (-11.23)	-0.0510*** (-12.67)	-0.110*** (-32.57)	-0.0483*** (-11.65)	-0.0511*** (-12.52)
_cons	-24.36*** (-12.73)	-26.82*** (-13.19)	-26.05*** (-13.62)	-19.96*** (-10.43)	-19.07*** (-9.74)	-19.62*** (-10.25)
N	1125	1125	1125			
adj. R ²	0.988	0.904				
r ²	0.989	0.907		0.930	0.841	
Hausman		143.83			33.33	

注：括号中为t统计值，* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

1. 实证结果显示，人口数量每增加1%，碳排放增加约1.1%，表明技术条件不变时，人口增长带动碳排放总量增长。

2. 经济发展水平提高，人均GDP带动资源消耗上升的收入效应递减。在所考察的时间内，OECD人口增长率从期初平均1.2%下降到2014年0.64%；人口净增长约1.8亿，碳排放总量却达到了峰值。人均GDP平方值对碳排放总量和人均碳排放量年度影响系数分别

为-0.044和-0.046。看似较低，但从基期到报告期累计的碳减排影响已经是收入效应带动碳排放增长量的三倍以上，人均收入提高不再是碳排放增长因素。其中包含的动态最优的含义是，人均GDP提高与劳动边际成本上升和劳动生产率边际增长持续同步上升，更高的生产率使经济增长从带动碳排放增长，转向脱钩并最终转身负向带动，高质量经济增长减少碳排放，这也是未来实现碳中和的内存逻辑。

3. 制造业占比与碳排放的关系不确定和不显著。制造业一直曾经是碳排放量增长主要推动力量,待检验的假设是,制造业占GDP比率下降会引起OECD碳排放总量下降。面板数据回归结果为,制造业增加值占GDP比重与碳排放总量下降方向相同,有些意外的是二者关系不具有显著性。这是令人生疑却似乎合理的结论。在统计样本时间内,OECD制造业占比持续下降,制造业产出绝对量的增长幅度依然很大。故合理的解释应当是,碳排放达峰并非是简单化的去工业化过程。未来研究中,需要深入理解新技术引入如何改变了工业内部技术结构,提升了制造业的要素投入效率和能源效率。

4. 城市化与碳排放存在着显著的倒U关系。中低级城市化水平,城市化率提高对碳排放量上升存在显著正向带动作用。随着城市化比例持续上升后,对碳排放总量的贡献由正转负。其中的内在原因是城市功能发生变化。过往四十年,计算机革命、互联网革命、移动通讯为主的信息革命演化成一浪高过一浪数字革命。高端创新过程向城市聚集,高水平大学和研究开发机构云集使城市转型成为创新中心。^[35]在人口结构(如,高等教育入学率)和产业技术和组织创新支持下,传统的城市生产方式和生活方式正在发生深刻变化,使城市化与碳排放之间出现倒U关系是理论与实证检验相一致的内在逻辑。

5. 能源强度(ei)每降低1%,碳排放总量和人均碳排放可分别下降0.88%和0.86%。能源强度是碳排放量下降的决定性因素,是能源效率、能源结构以及经济高质量增长综合反映。值得关注的是,可再生能源发电比例(eq,为扣除水电后可再生能源发电占比)每提高1%,碳排放总量和人均碳排放减少约0.05%,弹性系数似乎不高,但是影响与潜力均较大。推算的结果是,过去20年OECD太阳能及风能等可再生能源占比(eq值)从1.5%提高至11.5%,对OECD碳排放总量下降的贡献约为0.5%。未来,可再生能源成为主导能源过程就是碳排放

量持续下降和碳中和的过程。

三、OECD国家碳排放达峰对我国的借鉴意义

一是我国与OECD经济增长动态具有明显相似性。我国经济要素投入由低向高的动态再配置、创新能力、结构变化与OECD同方向变化,经济发展水平差距还较大,但提升速度更快。我国人口总量略高于OECD,碳排放总量和人均碳排放水平均为OECD的90%左右,经济总量与人均GDP约是OECD的1/4。我国实现人均GDP超过一万美元,临近高收入国家门槛后,经济增长方式转换的紧迫性空前提高。抓住新能源革命机遇对加快经济增长方式转型具有极其重要的意义。

二是我国城市化率和高等教育入学率与OECD平均水平有20年差距。经济高质量发展,城市化水平和人口质量的提升将构成新的重要的发展红利。我国城市化率上升过程中,创新驱动的贡献会持续上升,城市化对碳排放量的拉动作用转为脱钩和推动碳排放达峰。要广泛引入新能源技术,推动能源革命,积极推动能源结构调整,从高碳能源转向低碳能源和可再生能源发展。

三是研究开发费用占比已与OECD相当,持续的创新投入增长表现为商标、专利与工业设计量已经赶上或是超过了OECD的总和。科学期刊论文发表2017年即已经接近OECD总和的30%。数量型要素投入驱动型增长已经让位于创新驱动增长。

四是我国制造业占比是OECD平均数的二倍,无重量的数字经济发展速度和占GDP的比重已经高于OECD的平均水平。创新能力增长与产业结构,技术结构的变化亮点纷呈,以营商便利性衡量的我国政府绩效进步很快,以专利申请衡量的能源与环境领域的创新进展与OECD大致相当。

五是加快产业结构高级化过程对我国实现

2030年碳排放达峰具有决定性意义。首先是加快工业结构调整和新技术使用,降低单位产出的能耗水平。实施工业去过剩产能、落后产能、限制高能耗和高碳排放技术发展,优化行业内部技术与产品结构,提高能源效率,实现我国工业部门化石能源消耗和碳排放量达到峰值。其次是我国化石能源占比仍然较高,高碳排放的燃煤发电占比与OECD差距持续扩大。要坚定地推动能源革命,促进低碳能源发展,限制煤炭生产和消费,有效降低单位能耗的碳排放水平。在电力需求仍将高速增长情况下,推动电力行业脱碳,实现更快的碳排放强度下降。^[36-37]第三是可再生能源是未来能源革命的主战场,能源革命与数字技术融合发展是各国产业技术创新的制高点。大力发展以可再生能源为支点的新能源技术对创新驱动具有重要意义。

六是,碳排放达峰是一个跨学科的问题,不仅是应对气候变化议题,也不仅是环境污染问题,碳排放是经济增长过程中要素投入的负的边际产出。从提高社会净产出的长期动态视野看问题,所有企业应用环境和气候友好型的新技术,全社会的创新能力就会增强,环境生态破坏就会减少,低资源消耗的新兴产业部门就会有较快增长,环境生态和气候变化的社会成本就会降低,人民群众就能从绿水青山中获得更多的幸福感。

七是强有力的政府干预有助于打破传统技术先入为主的市场规模效应,让新技术的效率超越传统技术,创造出超过传统技术市场份额的新市场。更高的能源产出效率,更低的能源消费的碳排放,要求降低产业结构的能源密度。这种变化内生于动态经济过程,自然而然地包括了聪明政府的作用。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。

参考文献:

[1]Kaya Y. Impact of carbon dioxide emission on GNP growth: interpretation of proposed

scenarios[R]. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989: 1-25.

[2]Stern D I. The rise and fall of the environmental Kuznets curve[J]. World Development, 2004, 32(8): 1419-1439.

[3]Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement[J]. National Bureau of Economic Research Working Paper, 1991(3914): 1-57.

[4]Nordhaus, W. D. To slow or not to slow: The economics of the greenhouse effect[J]. The Economic Journal, 1991, 101(407): 920-937.

[5]Nordhaus, W. D. An optimal transition path for controlling greenhouse gases[J]. Science, 1992, 258(5086): 1315-1319.

[6]Yang N Z. A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies[J]. American Economic Review, 1996, 86(4): 741-765.

[7]Nordhaus W D. Estimates of the social cost of carbon: background and results from the RICE-2011 model[R]. National Bureau of Economic Research, 2011.

[8]Nordhaus, William D. Revisiting the social cost of carbon[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(7): 1518-1523.

[9]Stern, Nicholas, Green, et al. China's changing economy: Implications for its carbon dioxide emissions[J]. Climate Policy, 2017, 17(4): 423-442.

[10]Liu Z, Guan D, Moore S, et al. Steps to China's carbon peak[J]. Nature, 2015, 522(7556): 279-281.

[11]Jian-Kun H E. An analysis of China's CO₂ emission peaking target and pathways[J]. Advances in Climate Change Research, 2014: 155-161.

[12]Xin Tian, Fuli Bai, Jinhu Jia, Yang Liu, Feng Shi. Realizing low-carbon development in a developing and industrializing region: Impacts of industrial structure change on CO₂ emissions in southwest China[J]. Journal of Environmental Management, 2019 (233) : 728-738.

[13]Yuan J, Xu Y, Hu Z, et al. Peak energy consumption and CO₂ emissions in China[J]. Energy Policy, 2014 (68) : 508-523.

[14]涂正革, 谌仁俊. 工业化、城镇化的动态边际碳排放量研究——基于LMDI“两层完全分解法”的分

- 析框架[J]. 中国工业经济, 2013(9): 31-43.
- [15] Jiang J, Ye B, Liu J. Peak of CO₂ emissions in various sectors and provinces of China: Recent progress and avenues for further research[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, (112): 813-833.
- [16] Wang S, Fang C, Guan X, et al. Urbanisation, energy consumption, and carbon dioxide emissions in China: A panel data analysis of China's provinces[J]. *Applied Energy*, 2014, (136): 738-749.
- [17] 郭朝先. 产业结构变动对中国碳排放的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(7): 15-20.
- [18] Li H, Wei Y M. Is it possible for China to reduce its total CO₂ emissions?[J]. *Energy*, 2015, 83: 438-446.
- [19] Zheng T, Zhu J, Wang S, et al. When will China achieve its carbon emission peak?[J]. *国家科学评论: 英文版*, 2016, 3(1): 8-12.
- [20] International Monetary Fund, 2019. World Economic Outlook, October, 2019: Global Manufacturing Downturn, Rising Trade Barriers [R/OL]. (2019-10-01) [2021-03-01]. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2019/10/01/world-economic-outlook-october-2019>.
- [21] Sharma S S. Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries[J]. *Applied Energy*, 2011, 88(1): 376-382.
- [22] Li W, Wang W, Wang Y, et al. Industrial structure, technological progress and CO₂ emissions in China: Analysis based on the STIRPAT framework[J]. *Natural Hazards*, 2017, 88(3): 1545-1564.
- [23] Qiang, Wang, et al. Toward to economic growth without emission growth: The role of urbanization and industrialization in China and India[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018 (205): 499-511.
- [24] Bilgili F, Koçak E, Bulut, ümit. The dynamic impact of renewable energy consumption on CO₂ emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016 (54): 838-845.
- [25] Chen S, Jin H, Lu Y. Impact of urbanization on CO₂ emissions and energy consumption structure: A panel data analysis for Chinese prefecture-level cities[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2018: 107-119.
- [26] 孙昌龙, 靳诺, 张小雷, 杜宏茹. 城市化不同演化阶段对碳排放的影响差异[J]. *地理科学*, 2013, 33(3): 266-272.
- [27] Li K, Lin B. Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption/CO₂ emissions: Does the level of development matter?[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015(52): 1107-1122.
- [28] Stern, N. *The Economics of Climate Change: The Stern Review* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- [29] Acemoglu D, Aghion P, Bursztyn L, et al. The environment and directed technical change[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(1): 131-66.
- [30] Lemoine D. Innovation-led transitions in energy supply[R]. National Bureau of Economic Research, 2017.
- [31] Zhang T. Which policy is more effective, carbon reduction in all industries or in high energy-consuming industries?—From dual perspectives of welfare effects and economic effects[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019(216): 184-196.
- [32] Levin K, Rich D. Turning point: which countries' GHG emissions have peaked? Which will in the future?[J]. <https://www.wri.org/insights/turning-point-which-countries-ghg-emissions-have-peaked-which-will-future>, 2017.
- [33] Mercure J F, Knobloch F, Pollitt H, et al. Modelling innovation and the macroeconomics of low-carbon transitions: Theory, perspectives and practical use[J]. *Climate Policy*, 2019, 19(8): 1019-1037.
- [34] European Commission, 2019. A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent[R/OL]. (2017-09-02) [2021-03-01]. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
- [35] Davis D R, Dingel J I. The comparative advantage of cities[J]. *Journal of International Economics*, 2020(123): 1-27.
- [36] 韩梦瑶, 刘卫东, 唐志鹏, 夏炎. 世界主要国家碳排放影响因素分析——基于变系数面板模型[J]. *资源科学*, 2017, 39(12): 2420-2429.
- [37] Chen J. An empirical study on china's energy supply-and-demand model considering carbon emission peak constraints in 2030[J]. *Engineering*, 2017, 3(4): 512-517.

The Process of Carbon Emission Peak in OECD and the Reference Significance to China

TANG Jie, WEN Zhaojie, WANG Dong & SUN Jingyu

Abstract: This paper sorts out the relationship between economic growth and carbon emission, and carries out the empirical analysis of OECD 's carbon emission peaking process; it quantifies the influences of industrialization, urbanization, industrial technologies and innovations in system and mechanism in the peaking of carbon emission. This paper thus draws the conclusion that carbon emission peaking and carbon neutrality are not only climate change issues, but high-quality economic development issues that are closely related to industrial upgrading and technological innovation. To complete this historical transition, lay out for comprehensive market-driven innovation incentives and reasonable, effective government intervention.

Keywords: carbon emission peaking, transformation of growth pattern, OECD