

影响我国碳排放的因素分解

——基于省级面板数据的实证分析

潘喜莲 侯宇恒

摘要：我国实现碳达峰、碳中和的任务目标存在诸多的困难与挑战，研究不同地区碳排放的主要影响因素对制定差异化政策有重要的意义。基于 1997—2019 年我国的 30 个省级面板数据，采用混合回归模型（PRM）和固定效应模型（FEM）分别对我国人均碳排放的影响因素以及东中西部的人均碳排放因素进行实证分析，研究发现不同地区差异化的禀赋条件，影响碳排放的主要因素也是不同的。从全国范围来看，人均能源消费、能源结构、清洁发电量比重、城镇化率、人均国内生产总值均通过显著性检验，且符合环境库兹涅兹倒“U”型曲线。但东中西部碳排放量的主要影响因素却各不相同，东部地区只有人均国内生产总值通过了显著性检验，而中部地区的人均碳排放量主要受人均能源消费的影响，西部地区清洁发电对减少碳排放有积极的影响。针对不同地区对碳排放量影响的异质性，从加快技术进步、推动产业结构调整、提供政策保障等方面提出了相应的政策建议。

关键词：碳排放；面板数据；能源消费；绿色电力

DOI: 10.3773/j.issn.1006-4885.2021.12.084

中图分类号：F062 文献标识码：A 文章编码：1002-9753（2021）12-0084-11

工业革命以来，气候变化造成的生态危机使人类的发展面临着巨大的挑战，引起了国际社会的高度重视。IPCC（2007）^[1]在第四次评估报告中明确指出：全球气候变化主要是由于人类活动的结果，其中二氧化碳作为最重要的人为温室气体，更多的是因为化石燃料的使用。在此基础上，IPCC（2014）^[2]第五次评估报告评估了不同治理水平和不同经济条件下的缓解方案，但最终根据实际情况并不推荐任何特定的缓解方案。依据《巴黎协定》（2015）设定的全球“努力将升温控制在 1.5℃ 范围内的目标”和《全球升温 1.5℃ 特别报告》（2018）提出的目标对应着更为严格的碳预算，中国作为全球二氧化碳排放大国，想要在 30 多年去实现任务比较艰巨。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 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和；2021 年，在全国两会上，碳达峰、碳中和被首次写入政府工作报告；同年，中央财经委员会第九次会议明确提出实现碳达峰、碳中和的基本思路及主要举措。这些重大宣示不仅体现了我国

作者简介：潘喜莲（1988—），河南永城人，上海师范大学马克思主义学院博士研究生，研究方向：绿色发展、马克思主义理论与中国经济社会发展研究。

侯宇恒（1987—），山西太原人，中国社会科学院大学（研究生院）数量经济与技术经济系博士研究生，研究方向：资源与环境经济学、大数据与经济模型。

对节能减排、推动构建人类命运共同体、加强生态文明建设的重视程度,更为我国二氧化碳排放路径的研究确定了关键性的节点。

中国作为世界上最大的发展中国家,目前仍处于社会主义初级阶段,处于工业化后期,经济发展在很大程度上依赖能源消耗,在规定时间内完成全球温升控制目标相对于发达国家而言需要加大节能减排的速度和力度。尤其是在有效推进“3060”碳目标中,主要面临着四个方面的挑战:从碳排放总量来看,我国的温室气体碳排放量还处于逐步上升趋势,其上升斜率在逐步减缓,同时碳排放总量与能源消费总量趋势相同;从能源结构上来看,我国仍以煤炭为主,约占60%,其所产生的二氧化碳排放要比石油高,更是无法与清洁能源相比,需要克服科学技术、产业结构等各方面的的问题;从能源强度来看,我国每单位的GDP所消耗的能源在逐年减少,一定程度上反映了能源使用率的逐年提升,于2019年能源强度为0.49吨标煤/万元,虽然有了显著下降,但与世界平均水平0.349吨标煤/万元仍有较大的差距,需要技术创新的可持续加持;加之我国尚未完成新型城镇化战略,来自建筑行业的碳排放量也是不利于“3060”碳目标实现的重要因素之一。因此,研究能源消费、清洁能源发展、城镇化与GDP对二氧化碳排放影响效应,有助于针对经济发展不平衡的东中西部地区对碳排放量影响的异质性以及主要影响因素制定差异化的现实路径,以实现制定节能减排政策的科学性和可操作性,加快推动绿色生产生活方式的形成。

1 国内外研究现状

在内容覆盖范围广泛、主题细化多变、涉及学科众多的二氧化碳排放因素的研究中,国内外学者对于能源消费、能源结构、绿色发电量比重、城镇化率、GDP与人均二氧化碳排放之间关系的研究呈现出交叉状态,并未全部覆盖所有变量,主要研究内容分为以下三个方面:

1.1 城市化与二氧化碳排放的关系研究

国内外学者关于城市化对二氧化碳排放的影响结果差异较大:一是成正相关;Jones (1991)^[3]在研究发展中国家城市化对能源消费的影响时,对1980年的59个发展中国家进行了回归分析,指出在保持人均收入和工业化不变的情况下,居住在城市的人口比例增加10%,现代人均能源消费将增加4.5-4.8%,这直接影响了二氧化碳排放量;孙辉煌(2012)^[4]、周葵和戴小文(2013)^[5]、王薇(2014)^[6]、张中杰等(2020)^[7]也认为城镇化率的提升会造成人均能源消费碳排放量的增加,即二者成正向影响。二是成负相关或倒U型关系,以及线性递增关系、倒N型关系;Dong Xiangyang和Yuan Guiqiu(2011)^[8]、束克东和李影(2020)^[9]的研究结果认为城镇化与二氧化碳排放存在负相关或者呈倒U型关系;许士春和龙如银(2014)^[10]通过实证更进一步地发现这种倒U型关系存在于除了我国东部地区的其他地区,东部地区呈现的是线性递增关系;王小斌和邵燕斐(2014)^[11]在对我国1995-2011年30个省级面板数据研究中也得出了与其相似的结论;李佳佳(2020)^[12]的实证分析结果则是全国、东部、西部与中部差异较大,分别出现了倒N型和U型;杨晓军和陈浩(2013)^[13]的研究又出现了新的结果,即全国和东部、西部地区两者之间也呈现倒N型关系,但与中部地区却呈现N型关系。除此之外,还出现了第三种结论,曾德珩和王霞(2015)^[14]通过研究发现城市化与二氧化碳排放之间可能并无必然的因果关系,但是发达国家的人均碳排放的增长却成为加速城市化的原因,且在一些国家中的结果与此相反,由此说明两者存在一定的因果关系。由此可见,城市化与二氧化碳排放之间的关系因不同国家的发展程度、同一国家不同地区的发展水平以及通过不同的方法和影响因素进行实证分析而产生不同的结果。

1.2 城市化、人口、能源消费强度或效率与二氧化碳排放的关系研究

关于城市化、人口与能源消费强度或者效率与二氧化碳排放之间的关系,国内外学者最终的研究结果在因素、异质性上有所不同:一是人口、城市化率和能源强度与二氧化碳排放成正相关,这是Cole等(2004)^[15]对1975-1998年期间的86个国家进行了二氧化碳排放的样本分析结果。二是不同发展程度的国家其研究结果存在异质性,Martínez-Zarzoso等(2011)^[16]通过对1975-2003年的88个国家进行面板数据分析,发现不仅城市化与二氧化碳排放量呈倒U形关系,收入、人口、能源效率、工业活动和城市化等对中低、低收入国家的二氧化碳排放都起了作用;而且一旦城市化达到一定水平对碳排放的影响就是负面的,有助于减少环境

污染。三是在各因素中能源强度对二氧化碳排放的影响最大,卫平和周亚细(2014)^[17]利用亚太经合组织中17个国家1986-2010年的相关数据实证分析认为,在变量因素中能源强度对二氧化碳排放的影响最大,甚至大于城市人口比重和工业增加值比重对碳排放量变化的影响程度之和;除此之外还有城市人口、能源消费量等。由此可以看出,降低能源强度、提高能源效率有助于减少二氧化碳的排放,在城市化进程中实现减排是可能的。

1.3 城市化、能源消费、能源结构、人均GDP等与二氧化碳排放的关系研究

目前国内外学者还未将城市化、能源消费、能源结构、人均GDP等全部作为解释变量与二氧化碳排放做直接的关联,而是呈现出交叉的状态,主要表现为:一是城市化与能源消费、人均GDP、能源结构等作为多项但不是全部要素对于二氧化碳排放的影响;孙作人和周德群(2013)^[18]认为城市化对碳排放增量的贡献明显高于产业比重,且减排在能源结构方面主要依赖于煤炭消费比例的下降;束克东和李影(2020)^[9]认为除城市化因素外,人均收入、能源强度、产业结构、能源消费都和二氧化碳排放存在显著性相关;林伯强和蒋竺均(2009)^[19]的研究结果指出这其中每一项对其影响并不相同且差异较大;王永哲等(2015)^[20]将这些因素对二氧化碳排放的影响进行了差异排列,发现除了产业能源强度为抑制因素外,其余的均为拉动因素;朱勤等(2009)^[21]在此基础上还增加了经济产出规模对二氧化碳排放的影响研究,且影响较大。二是能源消费和二氧化碳排放之间存在双向因果关系;肖德和张媛(2016)^[22]对1990-2011年全球61个国家的面板数据进行分析,明确指出能源消费对二氧化碳排放有着决定性的影响,且世界整体样本、高等收入国家和低等收入国家均存在经济增长和能源消费、能源消费和二氧化碳排放之间的双向因果关系。三是可再生能源消费(清洁能源)、人均GDP对二氧化碳的影响研究;肖德和张媛(2019)^[23]考察了1994—2016年33个发达国家可再生能源消费和二氧化碳排放间的非线性关系,其中当金融发展处于中、高等水平时,可再生能源的消费可以减少二氧化碳的排放;这一结论与陈玉龙等(2017)^[24]的实证分析两者呈负相关吻合,但这与Poumanyong等(2010)^[25]的研究结果相反;Dogan等(2016)^[26]和Zoundi(2017)^[27]指出清洁能源与二氧化碳排放之间的关系为双向因果关系;而徐斌等(2019)^[28]基于中国30个省市区1979—2016年的真实数据和2017—2030年的预测数据构成的面板数据研究却发现,清洁能源发展并没有起到显著减少二氧化碳排放的作用;齐绍洲和李扬(2018)^[29]则以可再生能源补贴、能源消费强度和人均GDP为门槛变量进行研究,结果表明当可再生能源补贴和能源消费强度高于门槛值以及人均GDP低于门槛值时,推动可再生能源消费的经济代价比较大,并不是节能减排的最优路径;姚树洁和张帅(2019)^[30]则使用1990-2014年17个国家和全球6大经济地理区域面板数据,发现人均碳排放与人均GDP及其平方项皆呈现正相关关系,与可再生能源使用率呈现负相关关系,而可再生能源使用率与人均GDP之间也存在着显著的U型关系,且发展中国家与发达国家的EKC具有不同特征;肖容和李阳阳(2013)^[31]在对我国的实证研究中发现,西部地区人均GDP与人均碳排放呈现正U型关系;这一结果与李湘梅和姚智爽(2014)^[32]对我国的整体研究、Li等(2011)^[33]对于我国东部和西部的研究相一致;也有学者得出另一种结论,即人均GDP和二氧化碳排放量不相关(Lantz et al, 2006^[34])。

综上所述,城市化、人均GDP、清洁能源发展或者可再生能源消费与二氧化碳排放之间关系随着不同国家的发展水平、同一国家的区域差异或者行业差异有关,还与其研究方法、变量选择以及变量之间的交互作用有很大的关系。但是可以肯定的是能源消费、能源结构的调整对二氧化碳排放有着显著的影响,特别是对发展中国家。在我国应对气候变化新理念和促进能源高质量发展的推动下,如何从全局、全面的有效推进实现“3060”碳目标,需要从我国的实际情况出发,结合东中西部经济发展水平和资源禀赋差异等视角来研究碳排放的影响因素。基于此,本文的理论或者实证分析的边际贡献在于:依据我国“3060”碳目标的主要挑战,重点对碳排放的影响因素作差异性分析,如深入考察人均GDP、清洁能源消费占比、清洁电力占比、城镇化率等因素与碳排放的关系,有助于分析各个变量对于全国以及各地区碳排放的关系,并结合各自的禀赋差异,从区域层面甚至全国共同因素层面提出针对性的政策建议,对我国绿色、高质量发展就具有重要的现实意义。

2 模型设定与数据说明

2.1 模型设定

为实证分析影响我国碳达峰的主要因素，首先本文考虑二氧化碳排放存在拐点，利用环境库兹涅兹曲线描述人均二氧化碳排放与人均收入的二次函数关系，构建基准模型方程：

$$C_{it} = \alpha_i + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDP_{it}^2 + \varepsilon_i \quad (1)$$

其中，被解释变量 C_{it} 表示人均碳排放量， GDP_{it} 表示人均国内生产总值。结合我国多煤少油少气能源结构以及能源强度较高的实际情况，在能源消费作为解释变量的同时，也将能源结构纳入解释变量中，进一步刻画能源结构对碳排放的影响，将方程扩展为：

$$C_{it} = \alpha_i + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDP_{it}^2 + \beta_3 En_{it} + \beta_4 PCE_{it} + \varepsilon_i \quad (2)$$

其中， En_{it} 表示人均能源使用量， PCE_{it} 表示清洁能源消费占总能源消费的比例。在能源消费中电力生产占较大的比重，且火力发电所消费的能源占原煤生产中较大的比重，因此在建模过程中本文将绿色电力生产结构也作为解释变量考虑进来。城镇化从能源强度、碳强度、规模效应等方面都会影响碳排放量，且我国还处于新型城镇化进程中，因此也将城镇化纳入方程中，最终将模型设定如下：

$$C_{it} = \alpha_i + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDP_{it}^2 + \beta_3 En_{it} + \beta_4 PCE_{it} + \beta_5 PCP_{it} + \beta_6 PUR_{it} + \varepsilon_i \quad (3)$$

其中， PCP_{it} 表示清洁能源发电量占总发电量的比例， PUR_{it} 表示城镇化率。 α_i 表示常数项， β 表示各解释变量对被解释变量的影响系数， ε_i 为随机扰动项。下标 i 、 t 分别表示为选取的观测样本和观测时间。

本文使用短面板数据进行模型估计，由于面板数据样本容量大，能够提供更多个体动态行为信息，能有效解决个体不可观测差异性导致的遗漏变量问题。考虑到我国各省各地区经济社会发展的差异性，使用线性回归模型和固定效应模型（FEM）分别对全国以及东中西部进行模型估计。具体模型情况如下：

$$y_{it} = x_{it}' \beta + z_i' \delta + u_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中 y_{it} 为上文中提到的东中西部的人均碳排放量 C_{it} ， x_{it}' 可以随个体和时间而变，在此模型中为上文提到的解释变量， z_i' 为不随时间变化的个体特征。扰动项由 $(u_i + \varepsilon_{it})$ 两部分组成，称为“复合扰动项”， u_i 为个体异质性的截距项， ε_{it} 为随个体与时间而改变的扰动项。如果 u_i 与某个解释变量相关，则称为固定效应模型（FEM），在此情况下若用普通最小二乘法（OLS）所估计得到的结果是不一致的。如果 u_i 与所有解释变量以及不随时间变化的个体特征不相关，则称为随机效应模型（REM）。混合回归模型（PRM）则将个体效应都平均掉。由于不同模型选择会导致估计结果的准确性，因此对面板数据估计要进行模型选择。

2.2 数据说明

本文选取 1997 年至 2019 年 23 年间的相关数据，其中人均 GDP、能源消费数据直接来自《国家统计局》，能源结构、电力结构、城镇化率数据是本文根据《国家统计局》数据自行计算得到，碳排放量来自《中国碳核算数据库》。在数据整理过程中，我国的西藏自治区、香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省有部分数据缺失，因此在用数据进行实证分析过程中将其去除，选取剩余 30 个省（自治区、直辖市）作为样本。数据的描述性统计如下表：

表 1 数据描述性统计

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
VARIABLES	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
energy	690	2.714361	1.69003	-3.088561	10.66667
gdp	690	29712.96	26209.24	2250	161776
clean_pow_r	690	0.2336473	0.2308549	0	0.9185288
urban_r	690	0.4940352	0.1589739	0	0.9413832
carbon	690	6.673204	6.724085	0.1257035	48.61437

从表中可以看出，人均能源消费、人均 GDP、人均碳排放量的方差都很大，最小值与最大值有较大的区别，因此在对模型估计中，有必要对模型的选取进行检验。

3 实证分析

3.1 全国数据的实证分析

全国碳排放影响因素的分析数据采用全国的加总数据，并使用线性回归通过普通最小二乘法（OLS）估计得到全国的回归系数。根据模型（3），在回归方程（1）至（6）中依次增加了人均 GDP、人均 GDP 的平方、清洁能源消费占比、清洁电力占比、城镇化率，从回归结果来看，大多数的系数在 1% 的置信水平下，都通过了显著性检验，并从回归系数来看，模型通过了稳健性检验，其结果有较强的说服力。本文数据采用 stata16.1 软件处理，回归结果如下：

表 2 混合回归估计结果

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
VARIABLES	carbon_p	carbon_p	carbon_p	carbon_p	carbon_p	carbon_p
En	2.078*** (0.039)	2.526*** (0.112)	1.709*** (0.244)	1.840*** (0.171)	1.873*** (0.183)	1.971*** (0.134)
gdp		-0.020*** (0.005)	0.054** (0.021)	0.059*** (0.015)	0.057*** (0.015)	0.095*** (0.013)
gdp2			-0.001*** (0.000)	-0.000*** (0.000)	-0.000*** (0.000)	-0.001*** (0.000)
P_cl_en				-7.851*** (1.328)	-7.796*** (1.347)	-1.955 (1.483)
P_cl_pow					0.720 (1.285)	-2.174* (1.086)
P_urb						-5.857*** (1.115)
Constant	0.300*** (0.083)	-0.098 (0.117)	0.426** (0.175)	0.901*** (0.146)	0.730** (0.339)	2.332*** (0.392)
Observations	36	36	36	36	36	36
R-squared	0.988	0.992	0.994	0.997	0.997	0.999

Standard errors in parentheses; *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

从模型回归结果来看，碳排放量与人均能源消费、人均 GDP 成正相关，与人均 GDP 的平方、清洁能源消费占比、清洁发电量占比、城镇化率成反比，除清洁能源消费占比未通过显著性检验以外，其余变量均通过了显著性检验，在加入清洁发电量占比后，清洁能源消费占比由显著变为不显著，主要原因可能是由于清洁能源消费占比与能源消费、清洁发电量占比存在多重共线性。在 6 个回归方程中，方程（6）的判定系数的值最大为 0.999，说明所选的解释变量在很大程度上解释了碳排放量的相关影响因素，但是从 6 个回归方程的判定系数的变化来看，每增加一个解释变量对判定系数的增加值幅度不大，充分说明能源消费是碳排放量的主要因素。从回归系数的值也进一步可以看出能源消费是碳排放量的主要影响因素，且清洁能源以及绿色发电量对碳排放有着重要的抑制作用。因此，提高能源利用效率，提升清洁能源消费比重，提升清洁电力生产使用率能有效降低二氧化碳排放量。同时，模型回归结果也符合环境库兹涅兹曲线，人均 GDP 的平方项的系数为负，且显著不为 0，说明碳排放量与经济增长呈倒“U”型曲线，虽然人均 GDP 的平方项的系数比较小，但随着经济的增长，碳排放量会达峰并逐渐下降。城镇化率与碳排放量成负相关，城镇化水平有利

于节能减排，其原因可能是由于研究对象为人均碳排放水平，城镇化带来的规模效应降低了单位用能成本，同时城镇化能提高能源利用效率，有效减少能源强度。由于我国经济发展还存在不均衡的现象，本文进一步考虑东中西部经济发展的异质性，讨论其差异化的影响因素。

3.2 东中西部地区的实证分析

我国东中西部地区的划分是按照地理位置、政策实施、经济发展水平等综合因素来划分的，东部地区是最早执行沿海开放政策且经济发展水平相对较高的省（自治区、直辖市），主要包括北京市、天津市、上海市、广东省、福建省、浙江省、海南省、江苏省、河北省、辽宁省、山东省。中部地区是指经济相对不太发达的地区，其中包括安徽省、河南省、黑龙江省、湖北省、湖南省、吉林省、江西省、内蒙古自治区、山西省、广西壮族自治区。西部地区是指经济欠发达的地区，其中包括甘肃省、贵州省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区、青海省、陕西省、四川省、西藏自治区（在实证过程中由于收集的部分数据缺失，因而未纳入计算）、云南省、重庆市。对于随机效应模型和固定效应模型的选择进行豪斯曼检验，得出的 p 值分别为 0.000、0.013、0.000，拒绝个体特征与解释变量不相关的原假设，在模型估计中，各省（自治区、直辖市）存在异质性，由于个体特征的随机扰动项与解释变量存在相关性，因此本文模型估计采用固定效应模型（FEM）进行估计，同时在估计中去掉存在多重共线性的清洁能源消费占比这一项。

表 3 面板数据固定效应回归估计结果

	(1)	(2)	(3)
	east	midland	west
VARIABLES	carbon_p	carbon_p	carbon_p
energy_p	0.819	4.834***	2.763**
	(0.485)	(0.949)	(0.952)
gdp	0.084**	-0.104	0.030
	(0.034)	(0.105)	(0.068)
gdp2	-0.001**	0.000	-0.000
	(0.000)	(0.001)	(0.001)
urban_r	2.070	11.417	6.097
	(1.477)	(12.428)	(3.884)
clean_pow_r	-0.120	14.760	-9.973***
	(1.642)	(14.039)	(2.855)
Constant	0.269	-10.237	0.115
	(0.846)	(8.454)	(2.836)
F test	45.78	6.68	10.68
Observations	276	207	207
R-squared	0.823	0.671	0.793
Number of province	12	9	9

Robust standard errors in parentheses; *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

从模型回归结果来看，三个模型的 F 值分别为 45.78、6.68、10.68，均通过了 F 检验，拒绝个体扰动项为 0 的原假设，即拒绝混合回归是可接受的假设，说明固定效应回归明显优于混合回归。东部地区只有人均 GDP 以及其平方项通过了 5% 置信水平的显著性检验，其他的解释变量均未通过显著性检验。东部地区的人均碳排放量呈现环境库兹涅兹倒“U”型曲线，说明在经济相对发达的资本密集型的地区，能源消费、能源结构、电力结构对其碳排放量的影响不显著，一定程度上也能反映出东部地区的能源强度和碳强度相对较低。

横向对比来看,在中部和西部地区,人均 GDP 及其平方项未通过显著性检验,其经济发展水平还需进一步提升,也从侧面看出我国经济发展还存在区域发展不平衡;纵向对比来看,东部地区和全国的人均 GDP 系数相差较小,说明东部地区人均碳排放量由达峰到拐点过渡。

中部地区只有人均能源消费量通过了 1% 置信水平的显著性检验,其他的解释变量均未通过显著性检验。中部地区主要以能源、工业制造业为支柱产业,且经济发展还不够充分,因此其碳排放量的影响因素主要为能源消费。提升能源使用效率,提高大型能源消费企业清洁能源使用占比规模,能对节能减排起到重要的作用。横向对比来看,虽然西部地区的人均能源消费水平也通过了显著性检验,但其系数小于中部地区的值,中部地区能源消费对碳排放量占主导作用。三个地区中的城镇化率对碳排放量的影响系数为正,且均未通过显著性检验,这与全国的城镇化率对碳排放量的影响成负相关且通过显著性检验有较大的区别,城镇化水平对我国东中西部地区的碳排放量影响不显著,二者的矛盾关系可能来自于相加进行混合回归从而消除了个体间的异质性;因此,通过固定效应模型得出的结果更具有科学性。

西部地区人均能源消费在 5% 的置信水平下通过了显著性检验,绿色发电量占比在 1% 的置信水平下通过了显著性检验。从横向对比来看,西部地区是绿色电力占比对碳排放有抑制效应的唯一地区,其他地区均未通过显著性检验;且从回归系数来看,绿色发电量占比对抑制碳排放量有着重要的作用,这与我国清洁能源布局有重要关系,西部地区利用其自身禀赋优势,大力发展风力发电、光伏发电等清洁发电方式,对有效降低碳排放量有着重要的作用。从碳排放影响因素的显著性可以看出,依据我国东中西部经济发展、能源结构、以及新能源发展部署的差异性,可以为进一步实现碳中和提出针对性的实现路径和有效的政策方案。

4 结论与政策建议

本文基于中国 30 个省份 1997-2019 年的面板数据,通过 PRM 和 FEM 模型分别对全国以及东中西部进行模型估计,分析了人均碳排放与能源消费、能源结构、电力生产结构、城镇化率、人均 GDP 及其平方项之间的关系,主要结论如下:(1) 从全国来看,碳排放量与人均能源消费、人均 GDP 成正相关,与人均 GDP 的平方、清洁能源消费占比、清洁发电量占比、城镇化率成反比;说明经济发展、需求的扩张会增加碳排放,而清洁能源的生产和使用、城镇化的能源集中使用可以在一定程度上达到节能减排的效果;因此要从根本上解决碳排放的问题,需要从注重城市化质量和转变能源消费结构两个方面着手。(2) 通过对东中西部的实证分析,能源消费是碳排放量的主要影响因素,其中东部作为经济相对发达地区,科学技术的发展以及产业结构使其对碳排放的影响较小;中部由于经济发展的需要,其自身能源优势及其产业结构凸显出能源消费对碳排放的显著影响;由于西部的资源依赖型发展模式,重工业占比大,在技术、人才方面远不如东部,其能源消费对碳排放的影响比东部大。(3) 清洁能源的使用对抑制碳排放量有着重要的作用,尤其是西部地区蕴藏丰富的水电、风电和太阳能资源,在一定程度上缓解了能源消费产生碳排放。

根据上述结论,为有效推进“3060”碳目标的实现,本文提出以下建议:(1) 立足东中西部的经济发展水平和其自身能源资源禀赋,以“新发展理念”为引领,树立新的能源安全观,因地制宜、梯次有序地推进“碳达峰十大行动”,优化绿色低碳发展区域布局和能源地域空间,对中西部进行差异化政策引导。(2) 重构能源体系,实现我国能源的高质量发展;即在转变能源消费结构和发展高新技术产业的基础上,努力降低化石能源的直接性消耗,充分发挥清洁能源在降低二氧化碳排放和实现经济可持续增长过程中的积极作用,全面推进清洁生产,大力发展风能、太阳能、地热能等,不断提高非化石能源消费比重。(3) 促进产业结构调整升级,构建低碳、可持续能源体系,发展环保产业和,大力挖掘除扩大资源以外的经济增长点,加快深加工、高新技术产业等的发展速度,促进第三产业的现代化升级,将高质量现代服务业与“3060”碳目标有效融合,切实调动新兴企业的积极性,是实现“3060”碳目标的重要途径。(4) 技术创新支持和财政支持、政策和法制保障等方面多维度协同推进实现实现“3060”碳目标:完善政策机制,充分发挥政府投资引导作用,加大对绿色低碳技术研发的投资,健全碳排放交易市场;从立法、管理体制、监管机制、赔偿机制以及公民的参与制度全方位地保障生态文明建设。

参考文献:

References:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC [M] . Cambridge: Cambridge University Press,2007.
- [2] IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M] . Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [3] Donald W. Jones. How Urbanization Affects Energy-use in Developing Countries [J] . Energy Policy,1991,19(7):621-630.
- [4] 孙辉煌. 我国城市化、经济发展水平与二氧化碳排放——基于中国省级面板数据的实证检验 [J] . 华东经济管理,2012, 10: 69-74.
Sun H H. Urbanization, Economic Development Level and Carbon Dioxide Emissions: Empirical Study Based on the Provincial Panel Data [J] . East China Economic Management,2012, 10:69-74.
- [5] 周葵, 戴小文. 中国城市化进程与碳排放量关系的实证研究 [J] . 中国人口·资源与环境, 2013, 4: 41-48.
Zhou K, Dai X W. An Empirical Study on the Relationship Between Urbanization and Carbon Emissions in China [J] . China Population, Resources and Environment,2013, 4:41-48.
- [6] 王薇. 城市化、产业结构与碳排放的动态关系研究——基于 VAR 模型的实证分析 [J] . 生态经济, 2014, 11: 28-35.
Wang W. The Dynamic Relationship among Urbanization, Industrial Structure and Carbon Emission in China: An Empirical Analysis Based on VAR Model [J] . Ecological Economy,2014, 11: 28-35.
- [7] 张忠杰, 李真真, 李宪慧. 金融发展、城镇化对人均能源消费碳排放的影响 [J] . 统计与决策, 2020, 8: 69-74.
Zhang Z J, Li Z Z, Li X H. The Influence of Financial Development and Urbanization on per Capita Energy Consumption Carbon Emissions [J] . Statistics & Decision,2020, 8:69-74.
- [8] Dong X Y, Yuan G Q. China' s Greenhouse Gas Emissions' Dynamic Effects in the Process of Its Urbanization: A Perspective from Shocks Decomposition under Long-term Constraints [J] . Energy Procedia, 2011 (5) :1660-1665.
- [9] 束克东, 李影. 基于城镇化视角的收入不平等对 CO₂ 排放的影响研究 [J] . 经济经纬, 2020, 1: 25-31.
Shu K D, Li Y. A Study on the Impact of Income Inequality on CO₂ Emission from the Viewpoint of Urbanization [J] . Economic Survey, 2020, 1: 25-31.
- [10] 许士春, 龙如银. 经济增长、城市化与二氧化碳排放 [J] . 广东财经大学学报, 2014, 6: 23-31+42.
Xu S C, Long R Y. Economic Growth, Urbanization and CO₂ Emissions [J] . Journal of Guangdong University of Finance & Economics, 2014, 6: 23-31+42.
- [11] 王小斌, 邵燕斐. 城镇化对能源消费和二氧化碳排放的影响——基于 1995—2011 年中国省级面板数据的实证研究 [J] . 技术经济, 2014, 5: 55-63.
Wang X B, Shao Y F. Impact of Urbanization on Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions: Empirical Study Based on China' s Provincial Panel Data during 1995-2011 [J] . Journal of Technology Economics,2014, 5:55-63.
- [12] 李佳佳. 制度安排、城镇化与环境污染 [J] . 经济经纬, 2020, 3: 29-36.
Li J J. The Relationship of Institutional Arrangement Urbanization and Environmental Pollution [J] . Economic Survey,2020, 3:29-36.
- [13] 杨晓军, 陈浩. 中国城镇化对二氧化碳排放的影响效应: 基于省级面板数据的经验分析 [J] . 中国地质大学学报 (社会科学版), 2013, 1: 32-37+138.
Yang X J, Chen H. Effect of Urbanization on CO₂ Emissions in China: Empirical Study Based on Provincial Panel

- Data [J]. Journal of China University of Geosciences (Social Science Edition), 2013, 1: 32-37+138.
- [14] 曾德珩, 王霞. 不同国家城市化中期阶段与碳排放关系研究 [J]. 重庆大学学报 (社会科学版), 2015, 1: 46-50.
Zeng D H, Wang X. Comparative Study of Relationship between Carbon Emission and Medium-term Urbanization in Different Countries [J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2015, 1: 46-50.
- [15] Cole, M.a., Neumayer, E. Examining the Impact of Demographic Factors on Air Pollution [J]. Population and Development Review, 2004, 2(1): 5-21.
- [16] Martínez-zarzoso I, Maruotti A. The Impact of Urbanization on CO₂ Emissions: Evidence from Developing Countries [J]. Ecological Economics, 2011, 70(7): 1344-1353.
- [17] 卫平, 周亚细. 城市化、能源消费与碳排放——基于 STIRPAT 模型的跨国面板数据实证研究 [J]. 生态经济, 2014, 9: 14-18.
Wei P, Zhou Y. Urbanization, Energy Consumption and Carbon Emission: An Empirical Study on Transnational Panel Data Based on STIRPAT Model [J]. Ecological Economy, 2014, 9: 14-18.
- [18] 孙作人, 周德群. 基于迪氏指数分解的我国碳排放驱动因素研究——人口、产业、能源结构变动视角下的解释 [J]. 经济动态, 2013, 5: 54-61.
Sun Z R, Zhou D Q. A Study on the Driving Factors of China's Carbon Emissions Based on the Decomposition of Dirichlet Index: An Explanation from the Perspective of Population, Industry and Energy Structure Changes [J]. Economic Perspectives, 2013, 5: 54-61.
- [19] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析 [J]. 管理世界, 2009, 4: 27-36.
Lin B Q, Jiang Z J. Prediction of Environmental Kuznets Curve of Carbon Dioxide in China and Analysis of Influencing Factors [J]. Management World, 2009, 4: 27-36.
- [20] 王永哲, 马立平, 徐宪红. 中国能源消费的碳排放因素分解分析 [J]. 价格理论与实践, 2015, 12: 59-61.
Wang Y Z, Ma L P, Xu X H. Decomposition Analysis of Carbon Emission Factors of Energy Consumption in China [J]. Price: Theory & Practice, 2015, 12: 59-61.
- [21] 朱勤, 彭希哲, 陆志明, 吴开亚. 中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析 [J]. 资源科学, 2009, 12: 2072-2079.
Zhu Q, Peng X Z, Lu Z M, Wu K Y. Factors Decomposition and Empirical Analysis of Variations in Energy Carbon Emission in China [J]. Resources Science, 2009, 12: 2072-2079.
- [22] 肖德, 张媛. 经济增长、能源消费与二氧化碳排放的互动关系——基于动态面板联立方程的估计 [J]. 经济问题探索, 2016, 9: 29-39.
Xiao D, Zhang Y. Interaction among Economic Growth, Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions: Estimation Based on Simultaneous Equation of Dynamic Panel [J]. Inquiry into Economic Issues, 2016, 9: 29-39.
- [23] 肖德, 张媛. 可再生能源消费对二氧化碳排放影响的统计检验 [J]. 统计与决策, 2019, 10: 87-90.
Xiao D, Zhang Y. Statistical Test of Impact of Renewable Energy Consumption on Carbon Dioxide Emission [J]. Statistics & Decision, 2019, 10: 87-90.
- [24] 陈玉龙, 钟章奇, 吴乐英, 赵金彩. 中国可再生能源消费、对外贸易和碳排放的关系 [J]. 软科学, 2017, 9: 49-52.
Chen Y L, Zhong Z Q, Wu L Y, Zhao J C. Renewable Energy Consumption, Foreign Trade, Carbon Emissions in China [J]. Soft Science, 2017, 9: 49-52.
- [25] Poumanyong P, Kaneko S. Does Urbanization Lead to Less Energy Use and Lower CO₂ Emissions? A Cross-country Analysis [J]. Ecological Economics, 2010, 70(2): 434-444.

- [26] Dogan E., and Seker F. Determinants of CO₂ Emissions in the European Union: The Role of Renewable and Non-renewable energy [J] . Renewable Energy,2016,94:429-439.
- [27] Zoundi, Z. CO₂ Emissions, Renewable Energy and the Environmental Kuznets Curve, A Panel Cointegration Approach [J] . Renewable and Sustainable Energy Reviews,2017,72(5) :1067-1075.
- [28] 徐斌, 陈宇芳, 沈小波. 清洁能源发展、二氧化碳减排与区域经济增长 [J] . 经济研究, 2019, 7: 188-202.
Xu B, Chen Y F, Shen X B. Clean Energy Development, Carbon Dioxide Emission Reduction and Regional Economic Growth [J] . Economic Research Journal,2019, 7:188-202.
- [29] 齐绍洲, 李杨. 能源转型下可再生能源消费对经济增长的门槛效应 [J] . 中国人口·资源与环境, 2018, 2: 19-27.
Qi S Z, Li Y. Threshold Effects of Renewable Energy Consumption on Economic Growth under Energy Transformation [J] . China Population, Resources and Environment,2018, 2:19-27.
- [30] 姚树洁, 张帅. 可再生能源消费、碳排放与经济增长动态关系研究 [J] . 人文杂志, 2019, 5: 42-53.
Yao S J, Zhang S. Study on the Dynamic Relationship among Renewable Energy Consumption, Carbon Emissions and Economic Growth [J] . The Journal of Humanities,2019, 5:42-53.
- [31] 肖容, 李阳阳. 经济增长、城乡收入差距与碳排放的关系 [J] . 西安财经学院学报, 2013, 1: 16-21.
Xiao R, Li Y Y. The Relationship Between Economic Growth, Urban-Rural Income Gap and Carbon Emissions [J] . Journal of University of Finance and Economics,2013, 1:16-21.
- [32] 李湘梅, 姚智爽. 基于 VAR 模型的中国能源消费碳排放影响因素分析 [J] . 生态经济, 2014, 1: 39-44.
Li X M, Yao Z H. Analysis of Influential Factors of Carbon Emissions for Energy Consumption in China Based on Vector Auto Regression Model [J] . Ecological Economy,2014, 1:39-44.
- [33] Li F, Dong S, Li X, Et Al. Energy Consumption-economic Growth Relationship and Carbon Dioxide Emissions in China [J] . Energy policy,2011,39(2): 568-574.
- [34] Lantz V., Feng Q. Assessing Income, Population, and Technology Impacts on CO₂ Emissions in Canada, Where' s the EKC? [J] .Ecological Economics,2006,2(57):229-238.

(本文责编: 马珞石)

Decomposition of Factors Affecting China' s Carbon Emissions: Empirical Analysis Based on Provincial Panel Data

PAN Xi-lian, HOU Yu-heng

Abstract: There are many difficulties and challenges in achieving the goals and tasks of peak carbon dioxide emissions and carbon neutrality in China. It is of great significance to study the main influencing factors of carbon emissions in different regions for formulating differentiated policies. Based on the panel data of 30 provinces in China from 1997 to 2019, this paper uses mixed regression model (PRM) and fixed effect model (FEM) to analyze the influencing factors of carbon emissions per capita in China and in the eastern, central and western regions, respectively. It is found that different regions have different endowment conditions, and the main factors affecting carbon emissions are also different. From a nationwide perspective, the per capita energy consumption, energy structure, the proportion of clean power generation, urbanization rate and per capita GDP have all passed the significance test, and conform to the inverted "U" curve of environmental Kuznets. However, the main influencing factors of carbon emissions in the eastern, central and western regions are different. Only the per capita GDP in the eastern region has passed the significance test, while the per capita carbon emissions in the central region are mainly affected by per capita energy consumption. Clean power generation in the western region has a positive impact on reducing carbon emissions. In view of the heterogeneity of different regions' impacts on carbon emissions, this paper puts forward corresponding policy suggestions from the aspects of accelerating technological progress, promoting industrial structure adjustment and providing policy guarantee.

Key words: carbon emissions; panel data; energy consumption; green electric power