

【生态文明与区域发展】

我国区域城镇化的碳排放效率时空动态效应研究*

吴旭晓

摘要:发挥城镇化在碳排放效率提升中的积极效应是我国在实现“双碳”目标条件下保持中高速增长必然选择。以2011—2020年我国30个省份的面板数据为研究样本,利用NCSE—EBM模型测度碳排放效率,并运用动态GMM模型实证检验城镇化的碳排放时空效应,结果显示:我国碳排放效率整体上处于比较低的水平,碳排放效率均值呈现先下降后上升的斜“√”型演变态势;2012年起我国省域碳排放效率在空间上逐步收敛;虽然我国城镇化整体上对碳排放效率提升存在显著性促进效果,但城镇化的碳排放效应随着区域城镇化水平上升而下降;数字化、产业结构、技术创新分别是低度、中度和高度城镇化地区碳排放效率提升的重要短板,环境规制是所有地区的主要制约瓶颈。

关键词:城镇化;碳排放效率;动态效应;NCSE—EBM模型;动态GMM模型

中图分类号:F299 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2023)01-0139-10 **收稿日期:**2022-06-19

***基金项目:**2022年度河南省哲学社会科学规划项目“河南省新型城镇化高质量发展的创新与开放‘双强引擎’构建及协同效应研究”(2022BJJ055)。

作者简介:吴旭晓,男,河南省社会科学院统计与管理科学研究所研究员(郑州 451464)。

一、问题提出及文献评述

城镇化是驱动我国区域高质量发展的重要动力,城镇化率每提高1个百分点,可促使GDP增加0.671个百分点(林美顺,2016)。同时,城镇化在我国碳排放影响因素中处于主导地位,城镇化率每提升1个百分点,二氧化碳排放量增加1.44—1.8个百分点(张馨,2011;关海玲,2013;胡雷,2016)。我国城镇地区能源消耗量占全国总能耗的75.15%,碳排放增量占全球碳排放增量的四分之三(OUYANG X L, 2017)。根据前瞻产业研究院数据,目前我国是全球最大的二氧化碳排放国,2019年我国碳排放强度为0.712千克/美元,分别是美国、英国、韩国、日

本、德国、法国、巴西的2.89倍、5.44倍、1.92倍、3.27倍、3.91倍、5.98倍、2.87倍。《BP世界能源统计年鉴(2022)》的数据显示,2020年我国碳排放量占全球比重达到30.7%,是美国碳排放量的2.22倍,是整个欧洲碳排放量的2.77倍。面对巨大的碳减排压力,自2020年9月以来,习近平总书记多次提出,我国将力争于2030年前实现碳达峰,努力争取于2060年前实现碳中和。《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》提出,2035年我国经济将再迈上新的台阶,人均国内生产总值也将达到中等发达国家水平。碳排放效率是指一定时段内投入各种生产要素开展经济活动所产生的碳排放量,其核心是以较少资源投入,获得尽可能多的经济产出和实现尽可能少的碳排放量。在城镇化进程中提升碳排放效

率是我国在实现“双碳”目标条件下保持中高速增长必然选择的必然选择。

近年来,国内外学者对碳排放效率的研究主要是运用数据包络分析法(DEA)或随机前沿分析(SFA)模型从多指标的投入与产出视角进行分析。金娜等(2018)采用SBM模型分析了2002—2015年江苏碳排放效率空间格局及其驱动因素,研究表明,江苏碳排放效率区域差异在时间上呈现先增后减演变态势,在空间上表现为南高北低分布格局,城镇化和技术创新对江苏省碳排放效率的影响作用逐步增强。王鑫静和周保华(2018)运用扩展的STIRPAT模型探究了2010—2016年金砖国家碳排放效率的影响因素,发现科技创新、人均GDP及城镇化对金砖国家碳排放效率提升产生促进作用,影响因素的促进作用由大到小依次为城镇化、人均GDP、科技创新。Zhang Caiqing 和 Chen Panyu (2021)运用随机前沿分析(SFA)模型测度和分析了2008—2017年中国长江经济带碳排放效率及其影响因素,结果显示,长江经济带碳排放效率整体较低,但呈上升趋势,工业化和城镇化对碳排放效率的影响表现为先下降后上升的“U”型关系;在回弹效应的作用下,技术进步对碳排放效率带来轻微负面影响。刘林杰和杨树旺(2022)运用动态面板GMM模型实证检验我国城镇化进程中人口城镇化和土地城镇化对区域全要素碳排放效率的异质性影响,结果表明,在不同空间尺度下,人口和土地城镇化对全要素碳排放效率的影响效应均呈现出较大差异,城镇化可以通过产业结构、技术创新等中介效应间接影响全要素碳排放效率。徐英启等(2022)运用Super—SBM模型测度和分析了2003—2018年我国68个低碳试点城市的碳排放效率及其影响因素,结果显示,低碳试点城市碳排放效率虽然在时间上整体呈上升趋势,效率值从0.169上升至0.423,但效率值整体偏低,并在空间上形成“东中西”递减分布格局,经济水平、产业结构、城镇化、绿色技术创新与试点城市碳排放效率呈显著正相关关系。

由于研究对象和研究时间段的差异,国内外学者对城镇化与碳排放效率之间关系的研究得到不同结论。一是城镇化抑制碳排放效率提升。宋杰鲲等(2018)对2005—2014年山东省17个地市的研究显示,城镇化对碳排放效率存在负向影响;丁绪辉等(2019)基于2006—2016年中国30个省份面板

数据的研究表明,城镇化水平与碳排放效率呈现反向关系;王鑫静和程钰(2020)对2009—2016年全球118个国家的研究显示,城镇化水平对碳排放效率提升具有显著抑制作用。二是城镇化促进碳排放效率提升。李建豹等(2020)的研究显示,1995—2017年长三角地区城镇化对碳排放效率具有明显的正向作用;张济建等(2021)对2000—2018年长江经济带11个省市的研究显示,城镇化水平与碳解锁效率呈显著正相关。三是城镇化对碳排放效率影响呈非线性关系。刘婕和魏玮(2014)的研究显示,1995—2010年我国城镇化率与全要素碳减排效率存在非线性关系,随着城镇化水平提高,碳减排效率呈现先降后升的演变趋势。

文献梳理显示,现有研究尚存在以下有待完善和补充之处:现有研究多数是把城镇化作为碳排放效率外在影响要素之一进行实证分析,缺乏对城镇化影响碳排放效率内在机理的全面深入探讨;即使极少数文献分析了我国城镇化与碳排放效率之间的关系,但在区域评价上只是简单地按照东部、中部、西部、东北地区进行实证分析,而不是按照城镇化水平进行区域划分,导致效应评价结果与实际情况存在较大偏差;此外,现有研究没有充分考虑城镇化的碳排放效应时空异质性和动态性。本文在系统分析城镇化影响碳排放效率内在机理基础上,基于2011—2020年我国省域面板数据,运用NCSE—EBM模型和动态GMM模型,实证分析我国区域城镇化的碳排放效应。与以往研究相比,本文的边际贡献主要体现在:采用NCSE—EBM模型对碳排放效率进行评价,提升评价结果的准确性和科学性;运用动态GMM模型分析了我国城镇化影响碳排放效率的时间异质性;根据城镇化水平将我国不同省份划分为高度城镇化地区、中度城镇化地区和低度城镇化地区等3类区域,探讨区域城镇化影响碳排放效率的空间异质性,为在我国现代化新征程上有效发挥城镇化的节能降碳和维持经济健康持续发展作用找准政策着力点。

二、城镇化影响碳排放效率机理

城镇化主要是通过技术、人口、产业和政策等因素,影响区域碳排放绩效系统的投入和产出指标来促进或者阻碍碳排放效率升降。城镇化是人口

从农村向城镇转移的过程,区域城镇人口占比的持续提高促进了高素质人力资本加速在城市集聚和累积,有利于技术创新的产生及扩散(程开明,2010),形成“创新—外溢(扩散)—再创新”良性循环(仇怡,2013),而技术进步是促进能源使用效率提高和碳排放强度下降的主要原因(Stern H,2008)。

城镇化进程带来人口在城镇地区高度集聚,一方面促使城市规模不断扩大,客观上要求市政公用设施和医疗、教育、交通等基本公共服务供给相应增加,导致对土地、住房及其生活配套设施的需求也加剧增长,这些设施、服务和建筑使得能源需求总量急剧增加,从而带来了碳排放量的快速增加(林伯强,2010; Reinhard Madlener, 2011; Brian, 2012);另一方面城镇地区人口和经济活动的高度集中容易形成能源消费规模效应,提升公共基础设施利用效率,降低单位GDP能耗和人均能源需求,减少能源使用和污染物排放(Isabelle Larivière, 1999; David Satterthwaite, 2009; David Dodman, 2009)。

城镇化进程是农业富余劳动力流向城镇第二、第三产业的过程,劳动力在城乡产业间转移必然促使区域产业结构发生变化,从而影响生产要素产业间合理配置,进而影响能源消耗、经济增长和二氧化碳排放。在城镇化初期,根据生产资料生产优先增长规律,城市工业尤其是重化工业在区域中的比重不断增加,城镇化的人口规模效应和产业集聚效应尚未有效发挥作用,城镇化水平的提高在促进经济增长的同时也引起碳排放量快速增加。在城镇化中期,伴随着工业化持续推进,带动生产性服务业迅速发展,催生出产业集群和产业链,产业集聚效应逐步增强,碳排放总量持续增加但碳排放强度开始下降。在城镇化后期,城镇体系向城市群和都市圈升级,加速了以服务业为主体的第三产业发展壮大,并成为区域的主导产业,叠加上数字产业化和产业数字化耦合联动效应,推动产业结构优化升级,促使技术扩散效应由弱变强,部分区域碳排放实现达峰后开始进入下降通道。

我国城镇化总体上属于政府主导型城镇化,政府主要是通过产业政策、环保政策、节能政策、财税政策等手段引导城镇化绿色、节能、低碳、健康发展,其中,环境规制是政府最常用的政策工具。环境规制不仅可以直接抑制区域碳排放(王康,2020),

而且可以通过影响外商投资(尹庆民,2020)、产业结构升级(庞庆华,2020)、技术创新(李菁,2021)和碳排放权交易(张修凡,2021)等路径间接对区域碳排放产生“倒退效应”或者“倒逼效应”(张先锋,2014)。环境规制的碳减排效果不仅与环境规制的强度有关,而且与环境规制的类型有关。因此,城镇化进程中采取适度的环境规制方能实现经济可持续发展与碳减排的“双赢”。

三、碳排放效率的量化分析

立足积极稳妥实现“双碳”目标,综合考量经济持续发展成本和碳排放总量及强度“双控”要求,着眼于有效处理非期望产出问题,合理构建碳排放效率投入产出指标体系,选取非导向规模报酬不变的超效率模型(Nonradial Constant Super Efficiency Epsilon-Based Measure, NCSE—EBM)对区域碳排放绩效进行评价分析。

(一) 指标体系构建

借鉴李琳(2021)的研究成果,选择资本、劳动力和能源为投入指标,以各省份国内生产总值为期望产出指标,以各省份二氧化碳排放总量为非期望产出指标,构建出区域碳排放效率评价指标体系。由于目前学术界尚未就固定资产折旧率的取值达成一致意见,本文参考孙秀梅(2016)的研究成果,选取各省份全社会固定资产投资(亿元)作为资本投入。采用各省份年末从业人数(万人)作为劳动力投入。用各省份能源消费总量(万吨标准煤)反映能源投入。根据IPCC(2006)提供的各种能源消耗碳排放系数,通过对各省份焦炭、汽油、煤油等各种能源终端消费量与其对应的碳排放系数进行加总求和,得到各省份二氧化碳排放总量(万吨)。

(二) 量化模型选取

TONE K(2010)提出的EBM模型有两个突出优点:一是能够较好地处理非期望产出的问题。二是与径向BC²模型与非径向SBM模型相比,EBM模型充分考虑到不同投入指标的替代效应,更加符合现实情况。本研究采用非导向规模报酬不变的超效率EBM(Nonradial Constant Super Efficiency Epsilon-Based Measure, NCSE—EBM)模型来测度省域碳排放效率,主要是出于以下考虑:一是保持EBM模型的已有优点;二是NCSE—EBM模型的效率值介于

BC²模型与SBM模型的效率值之间,能够克服这两种模型内在固有缺陷,可以有效兼容径向与非径向松弛变量,较好地反映出实际值与目标值之间的比例信息。三是在EBM模型中引入ANDERSEN P (1993)提出的超效率DEA模型功能,能够对DEA有效决策单元的效率值进行排序与比较分析。NCSE—EBM模型计算公式如下:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi = \min \frac{\theta - \varepsilon \sum_{i=1}^m w_i^- s_i^- / x_{ik}}{\varphi + \varepsilon^+ (\sum_{r=1}^s w_r^+ s_i^+ / y_{rk} + \sum_{p=1}^q w_p^- s_p^- / z_{pk})} \\ s.t. \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j x_{ij} - s_i^- = \theta x_{ik} & (i=1, 2, \dots, m) \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j y_{rj} + s_r^+ = \varphi y_{rk} & (r=1, 2, \dots, s) \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j z_{pj} + s_p^- = \varphi z_{pk} & (p=1, 2, \dots, q) \\ s^-, s^+ \geq 0; \lambda_j \geq 0; j=1, 2, \dots, n \quad (j \neq k) \end{cases} \end{array} \right. \quad (1)$$

式(1)中, ψ 为NCSE—EBM模型计算得到的综合效率值; n 为决策单元个数, x 、 y 和 z 分别是投入、期望产出和非期望产出向量, m 、 s 、 q 分别表示投入、期望产出和非期望产出指标个数; θ 为径向条件时的效率值; s^- 、 s^+ 为投入、产出的松弛变量; λ 为各指标权重; w 为松弛变量线性组合系数。 ε 是效率值计算中非径向部分的重要性系数,取值范围为(0,1); $\varepsilon=0$ 时,EBM模型退化为径向模型,测算得到的效率值偏高,有效决策单元的效率值均等于1,不能进行排名比较; $\varepsilon=1$ 时,EBM模型相当于非径向SBM模型,计算出来的效率值偏低,有效决策单元效率值也均是1,不能进行排名比较; $0 < \varepsilon < 1$,作为NCSE—EBM模型,有效兼顾了径向和非径向问题,测算结果介于径向BC²模型和非径向SBM模型之间,有效决策单元效率值大于或等于1,可以进行排序分析。

(三)结果分析

2011—2020年我国区域碳排放效率特征统计情况见表1。我国碳排放效率整体上处于比较低水平:一方面,从决策单元DEA有效情况来看,2019年只有北京和上海碳排放效率达到DEA有效,2020年仅北京碳排放效率达到DEA有效,其余年份没有一个省份碳排放效率达到DEA有效,2011—2020年碳排放效率达到DEA有效的决策单元占总数的比例只有1%;另一方面,从全国碳排放效率平均水平来看,中国碳排放效率均值呈现先下降后上升的斜“√”型演变态势,2011—2020年全国碳排放效率

平均值只有0.398,即使是在2020年达到峰值,也仅有0.516,距离DEA有效的决策前沿面存在较大差距。2011—2020年区域碳排放效率均值最高的是上海,达到0.926;其次是北京,达到0.810;广东、江苏、福建、辽宁、浙江、天津碳排放效率均值分别只有0.585、0.547、0.488、0.487、0.481、0.477;其余省份碳排放效率均值在0.4以下(见图1)。我国区域碳排放效率比较低的原因主要有两个方面,一是能源结构尚未实现根本性改变,太阳能、风能、水能等清洁能源占比虽然有所上升,高碳能源仍然是碳排放主要来源,在消耗高碳能源来推动经济发展(期望产出)的同时,也伴随着巨大的二氧化碳排放量(非期望产出);二是受技术创新水平不高的制约,资本、人力和能源等投入要素之间的替代作用较低。从表1可以看出,2012年以后我国省域碳排放效率在空间上呈现逐步收敛状态,变异系数由2012年的0.453逐年下降到2020年的0.377。

表1 2011—2020年我国区域碳排放效率特征统计

年份	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数	DEA有效的省份个数
2011	0.850	0.201	0.347	0.142	0.408	0
2012	0.878	0.174	0.331	0.150	0.453	0
2013	0.866	0.19	0.330	0.147	0.447	0
2014	0.886	0.18	0.340	0.152	0.446	0
2015	0.892	0.17	0.350	0.153	0.438	0
2016	0.933	0.18	0.389	0.169	0.434	0
2017	0.958	0.236	0.429	0.169	0.394	0
2018	0.996	0.258	0.464	0.179	0.386	0
2019	1.017	0.266	0.488	0.187	0.384	2
2020	1.109	0.299	0.516	0.195	0.377	1

数据来源:根据2012—2021年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和各省份统计年鉴数据计算。

按照传统的东部、东北、中部和西部地区进行区域划分,区域碳排放效率的规律性特征并不明显。按照我国区域城镇化水平由高到低排列,并与我国30个省份碳排放效率均值进行对照,结果见图1。由于我国在2011年常住人口城镇化率(Urbanization rate, Ur)就突破了50%,借鉴美国经济地理学者诺瑟姆(Ray M. Northam)的城镇化阶段划分理念,按照2020年城镇化水平,将我国不同省份类聚为3种区域:70 ≤ Ur,为高度城镇化地区,包括上海、北京、天津、广东、江苏、浙江、辽宁;60 ≤ Ur < 70,为中度城镇化地区,包括重庆、福建、内蒙

古、黑龙江、宁夏、山东、湖北、陕西、吉林、山西、江西、海南、青海、河北; $Ur < 60$, 为低度城镇化地区, 包括湖南、安徽、四川、新疆、河南、广西、贵州、甘肃、云南。由图1可以看出, 我国高度城镇化地区碳

排放效率相对较高, 而低度城镇化地区的碳排放效率大部分比较低, 从两者的线性渐近线可以看出, 它们之间相关性较高, 城镇化水平与碳排放效率之间的关联性为后续研究奠定了基础。

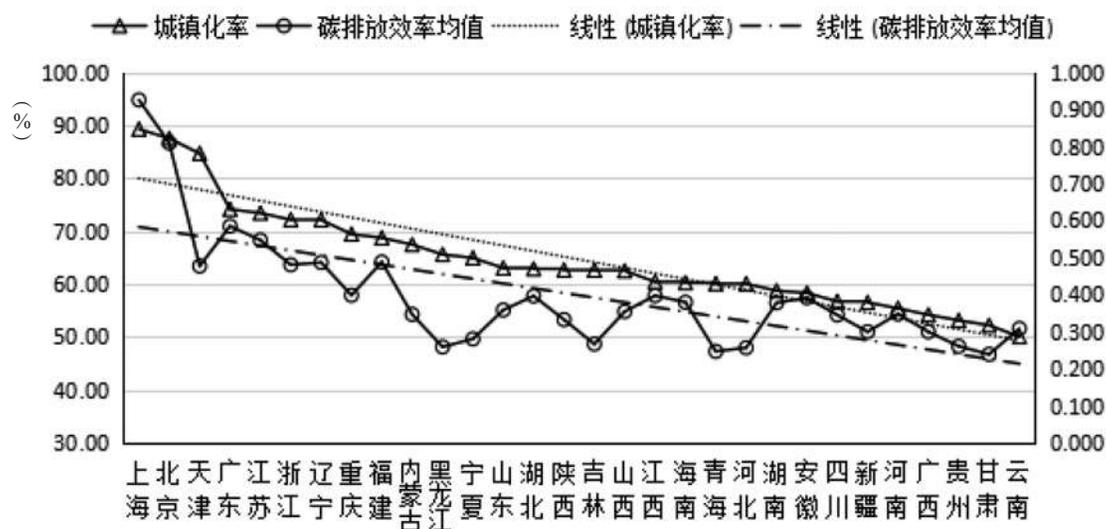


图1 中国区域碳排放效率均值与城镇化水平

数据来源: 根据2012—2021年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和各省份统计年鉴数据计算。

四、碳排放时空效应的实证检验

考虑到城镇化对碳排放效率的影响是一个动态变化过程, 为了避免对扰动变量的过度识别, 减少量化模型的内生性, 确保研究结论的稳健性, 运用动态GMM模型从全样本、时间异质性和空间异质性等维度系统分析我国区域城镇化的碳排放效率动态效应。

(一) 模型构建

为了考察城镇化与碳排放效率之间的关联性, 并减少量化模型的内生性, 采用动态GMM模型实证分析城镇化的碳排放效应, 具体模型如下:

$$\psi_{it} = \alpha_0 + a_1 Ur_{it} + \delta_i Control_{it} + e_{it} \quad (2)$$

式(2)中, 下标 i 表示省份, t 表示年份; 碳排放效率 ψ 是被解释变量, 城镇化 (Ur) 是解释变量; $Control_{it}$ 为控制变量; e_{it} 为随机扰动项。模型中 α_0 为常数项, a_1 为解释变量的回归系数, δ_i 为控制变量系数。

(二) 变量选取及数据来源

根据上文分析的城镇化影响碳排放效率内在机理选取相应变量。被解释变量 (ψ): 以计算得到的各省份碳排放效率作为碳排放绩效水平变量。核

心解释变量: 城镇化率 (Ur), 它是城镇人口数量与地区总人口数量的比值。控制变量包括产业结构、环境规制、数字化和科技创新等。

产业结构用产业结构升级系数 (*Industrial structure upgrading coefficient, Isuc*) (徐德云, 2008) 表示, 其计算式子如下:

$$Isuc = \sum_{i=1}^3 \frac{Iav_i}{GDP} \quad (3)$$

式(3)中, Iav_i (*Industrial added value*) ($i=1,2,3$) 表示各省份第 i 产业增加值。GDP 代表各省国内生产总值。产业结构升级系数 ($Isuc$) 较好地反映了不同省份产业发展所处阶段, $Isuc$ 的取值区间为 $[1, 3]$; $Isuc=1$ 或接近 1, 表明该省经济以第一产业农业为主, 产业结构层次较低; $Isuc=2$ 或接近 2, 意味着该省以工业为主; $Isuc=3$ 或接近 3, 表明该省第三产业较为发达, 经济服务化特征明显。

环境规制 (*Environmental regulation, Er*) 用各省份节能环保财政支出占 GDP 比重来表示。数字化水平 (*Digital level, Dl*) 用各省份互联网宽带接入端口数与总人数的比值表示。技术创新 (*Technological innovation, Ti*) 采用各省份专利申请授权数表示, 借鉴白俊红 (2010) 的研究成果, 综合考虑专利的数量和质量, 根据技术创新程度的差

异,对发明专利、实用新型以及外观设计3种不同专利分别赋权0.5、0.3和0.2,通过线性加总得到各省份技术创新指数。

基于2011—2020年我国30个省份的面板数据进行实证研究,相关指标原始数据主要来自2012—2021年《中国统计年鉴》以及各省份统计年鉴。各

变量属性及描述性统计见表2,从Pearson系数可以看出,核心解释变量城镇化水平在0.01水平(双侧)上与碳排放效率显著正相关,控制变量环境规制在0.01水平(双侧)上与碳排放效率显著负相关,其余控制变量在0.01水平(双侧)上与碳排放效率显著正相关。

表2 各变量属性及描述性统计

变量属性	变量名称	符号	单位	Pearson系数	样本数	MAX	MIN	MEAN	STDEV
被解释变量	碳排放效率	ψ	—	—	300	1.109	0.170	0.398	0.176
核心解释变量	城镇化水平	Ur	%	0.810 ^{###}	300	89.600	35.030	59.006	12.218
控制变量	产业结构	$Isuc$	—	0.821 ^{###}	300	2.836	2.166	2.374	0.129
	环境规制	Er	%	-0.329 ^{###}	300	4.344	0.212	0.820	0.559
	数字化水平	Dl	个/人	0.636 ^{###}	300	0.986	0.096	0.447	0.218
	技术创新	Ti	万件	0.500 ^{###}	300	20.124	0.014	1.773	2.613

注:##表示该变量与被解释变量在0.01水平(双侧)上显著相关。

数据来源:根据2012—2021年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和各省份统计年鉴数据计算。

(三)实证结果分析

1.全样本回归结果

在表3中,模型(1)是城镇化对碳排放效率的GMM模型基准回归,模型(2)—(5)是逐步加入控制变量后城镇化对碳排放效率的GMM模型估计结果。表4显示,无论是核心解释变量还是各控制变量,均与碳排放效率显著相关,并且它们的显著性方向保持不变,表明模型具有较好的稳健性。模型(5)显示,城镇化在1%的显著性水平上对碳排放效率具有正向促进作用,与前文理论分析相吻合,且城镇化的回归系数为0.292,仅小于产业结构升级作用系数,表明城镇化对碳排放效率提升存在比较大的促进效果。产业结构对碳排放效率产生正向积极影响,在1%的显著性水平上产业结构的回归系数达到0.465。环境规制对区域碳排放效率具有

较强的负面影响,在1%的显著性水平上环境规制的回归系数为-0.211,这表明仅靠政府主导碳减排工作难以收到预期效果,主要原因可能存在两个方面:一是节能环保财政支出与GPD相比显得过低,不足以降低碳排放强度;二是当前碳排放权交易的市场机制有待完善,单靠行政命令型环境规制独木难支,无法有效发挥降能减碳作用。数字化在5%的显著性水平上对我国碳排放效率具有积极影响,但促进作用比较微弱,主要原因在于我国数字产业化、产业数字化及数字化治理的水平都不高。技术创新也是在5%的显著性水平上对区域碳排放效率具有积极影响,促进作用比数字化还弱,原因在于虽然我国各级政府重视技术创新,创新投入力度也不断增强,但目前无论是创新质量还是创新效率均不高,具体表现在专利申请授权中,技术含量相对

表3 全样本GMM估计结果

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)
Ur	0.81 ^{***} (0.049)	0.399 ^{***} (0.085)	0.32 ^{***} (0.079)	0.296 ^{***} (0.079)	0.292 ^{***} (0.079)
$Isuc$		0.481 ^{***} (0.081)	0.528 ^{***} (0.074)	0.476 ^{***} (0.078)	0.465 ^{***} (0.078)
Er			-0.227 ^{***} (0.009)	-0.23 ^{***} (0.009)	-0.211 ^{***} (0.009)
Dl				0.106 ^{***} (0.031)	0.087 ^{**} (0.032)
Ti					0.067 ^{**} (0.002)
Constant	-0.29 ^{***} (0.03)	-1.495 ^{***} (0.151)	-1.522 ^{***} (0.138)	-1.37 ^{***} (0.147)	-1.338 ^{***} (0.147)
Observations	300	300	300	300	300
R-squared	0.654	0.716	0.765	0.77	0.772

注:括号内数值为对应的标准误差,***、**、*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著,下表4、表5同。

数据来源:根据2012—2021年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和各省份统计年鉴数据计算。

较低的实用新型和外观设计的专利总数远高于发明专利数量。

2. 时间异质性分析

2011年我国城镇化率突破50%，标志着我国农村社会历史的终结，开始步入城市社会。2011年3月国务院印发的“十二五”发展规划提出，要“积极稳妥推进城镇化”“促进城镇化健康发展”。2016年3月国务院印发的“十三五”发展规划明确提出，要“推进新型城镇化”。显然国家城镇化政策导向和着力点发生了明显变化。因此，将全样本划分为2011—2015年和2016—2020年两个时间段，考察不同时段城镇化对碳排放效率影响情况。

表4列出了分时段城镇化影响碳排放效率的估计结果。在1%的显著性水平上，城镇化的回归系数由2011—2015年的0.351下滑到2016—2020年的0.331。产业结构升级对碳排放效率的提升虽然保持着显著性促进作用，但产业结构升级的作用系数由0.489下降到0.45，表明经济新旧动能转换和产业升级新引擎培育还有待加速。环境规制的制约作用愈发显著，回归系数由-0.207下降到-0.28。

表4 分时段回归估计结果

变量	“十二五”时期 (2011—2015年)	“十三五”时期 (2016—2020年)
<i>Ur</i>	0.351*** (0.096)	0.331*** (0.134)
<i>Isuc</i>	0.489*** (0.097)	0.45*** (0.111)
<i>Er</i>	-0.207*** (0.011)	-0.28*** (0.014)
<i>Dl</i>	-0.107 (0.073)	0.122** (0.064)
<i>Ti</i>	0.121** (0.005)	-0.021 (0.002)
Constant	-1.161*** (0.186)	-1.671*** (0.21)
Observations	150	150
R-squared	0.731	0.812

数据来源：根据2012—2021年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和各省份统计年鉴数据计算。

令人欣喜的是，“十二五”时期还是碳排放效率阻碍因素数字化，“十三五”时期在5%的显著性水平上成为碳排放效率提升的重要促进因素。必须引起高度重视的是，“十二五”时期在5%的显著性水平上是碳排放效率提升的重要促进因素的科技创新，在“十三五”时期不仅没有通过显著性检验，而且回归系数由正数变为负数，成为碳排放效率提升的制约因素，其原因是多方面的，除“十三五”时期中美冲突由传统贸易战升级为技术战带来的外部冲击外，国内在能源消费和供给领域的低碳技术创新相对不足也是不可忽视的重要原因。

3. 空间异质性分析

按照上文的区域划分方法，运用动态GMM模型考察我国三种不同类型区域城镇化的碳排放效应，结果如表5所示。

由表5可以看出，随着城镇化水平由低到高演变，区域城镇化碳排放效应呈现逐步下降态势；低度城镇化地区的回归系数为0.446，在1%的显著性水平上城镇化对碳排放效率产生积极影响；中度城镇化地区的城镇化在5%的显著性水平下促进碳排放效率提升；高度城镇化地区的城镇化不仅对碳排放效率的影响较小，而且没有通过显著性检验。其原因可以从两个方面进行查找。一方面可以从关注重点的不同做出分析。低度城镇化地区处于城镇化加速推进期，比较注重产业空间布局和城市形态优化；中度城镇化地区处于城镇化水平和质量攀升期，关注的重点是产城融合和城市综合承载能力的提升；高度城镇化地区步入城市群和都市圈建设期，关注的重点是如何有效缩小城乡差距，实现城乡融合和一体化发展。另一方面也可以从控制变量的区域差异给予适当解释。低度城镇化地区主要属于经济较不发达地区，处于工业化中期，技术

表5 分地区检验估计结果

变量	低度城镇化地区	中度城镇化地区	高度城镇化地区
<i>Ur</i>	0.446*** (0.002)	0.219** (0.002)	0.156 (0.003)
<i>Isuc</i>	0.256*** (0.088)	0.059 (0.124)	0.68*** (0.244)
<i>Er</i>	-0.209*** (0.018)	-0.329*** (0.009)	-0.311*** (0.059)
<i>Dl</i>	-0.205* (0.047)	0.341*** (0.055)	0.273*** (0.077)
<i>Ti</i>	0.408*** (0.006)	0.143** (0.006)	-0.013 (0.004)
Constant	-0.478** (0.188)	-0.13 (0.272)	-2.151*** (0.386)
Observations	90	140	70
R-squared	0.769	0.582	0.701

数据来源：根据2012—2021年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和各省份统计年鉴数据计算。

创新和产业结构对碳排放效率发挥显著促进作用,回归系数分别为0.408和0.256;由于节能环保财政支出相对不足和产业数字化水平较低,环境规制和数字化是碳排放效率提升的主要制约因素,作用系数分别为-0.209和-0.205。中度城镇化地区处于工业化中后期,既是产业结构升级的攻坚期和高碳产业低碳转型的关键期,也是产业数字化改造和节能减排技术推广应用的活跃期,节能环保财政支出不足缺点尤为显著,环境规制的作用系数达到-0.329,数字化和技术创新成为碳排放效率提高的显著促进因素。高度城镇化地区第三产业比较发达,数字产业化和产业数字化水平都处于全国领先地位,产业结构和数字化是碳排放效率提升的显著驱动力,回归系数分别为0.68和0.273;节能环保支出增长速度滞后于经济规模扩张带动的碳排放数量效应,导致环境规制成为阻碍碳排放效率提高的主要消极因素;技术创新供给与经济低碳发展的需求不匹配,没有体现出技术创新应有的推动作用。

五、结论与政策建议

随着我国步入城市社会,城镇地区作为区域财富核心涌现地和节能减排主战场的功能进一步凸显。碳排放效率强调环境效益和经济效益的统一,碳排放效率的提高意味着以较少资源投入、较低二氧化碳排放获得较高经济产出。因此,发挥城镇化在碳排放效率提升中的积极效应,既是我国按时实现“双碳”目标的重要途径,也是推动经济发展和环境保护和谐共生的必然要求。

(一)结论

本文以我国30个省份2011—2020年的面板数据作为研究样本,利用NCSE—EBM模型测度碳排放效率,并运用动态GMM模型实证检验城镇化的碳排放时空效应。主要结论如下:

(1)我国碳排放效率整体上处于比较低的水平,碳排放效率均值呈现先下降后上升的斜“√”型演变态势;2012年起我国省域碳排放效率在空间上表现出逐步收敛趋势。

(2)2011—2020年我国城镇化整体上对碳排放效率提升存在显著性促进效果,产业结构、数字化和技术创新是碳排放效率提升的正向促进因素,而环境规制是显著性阻碍因素。

(3)虽然“十三五”时期与“十二五”时期情况类似,城镇化在1%的显著性水平上促进碳排放效率提高,但作用系数有所下降,而且产业结构、环境规制、数字化及技术创新的作用也存在差异。

(4)城镇化的碳排放效应随着区域城镇化水平的上升而呈现逐步下滑趋势;数字化水平低下是低度城镇化地区碳排放效率提升的重要短板,产业结构升级是中度城镇化地区碳排放效率提升的工作重点,技术创新质量较低是高度城镇化地区碳排放效率提高的重要制约因素;环境规制是所有地区的主要制约瓶颈。

(二)建议

研究区域城镇化影响碳排放效率的机理及其时空动态效应的目的是为实现区域碳减排和经济稳步可持续增长“双目标”提供政策参考依据。而以上的研究结论有着重要的政策意蕴:我国碳排放效率还有巨大的提升空间,不同城镇化水平地区应该因地制宜,从城镇化影响碳排放效率的时空异质性出发,发挥好城镇化对经济发展的提质增效综合机制和节能降碳长效机制。

一是牢固树立全国发展一盘棋的系统思维,补齐环境规制短板。坚持命令型环境规制和市场型环境规制相统一,规范政策引导和市场推动之间的联动关系。一方面,在城镇化进程中通过政府“有形之手”,以生产、生活、生态“三生”空间绿色低碳发展规划为引领,强化节能减排政策顶层设计,完善低碳财税价格政策,建立二氧化碳排放总量控制制度,加大节能环保财政支出。另一方面,建立全国统一的碳汇交易和碳排放权交易市场,健全市场化碳排放权抵消补偿机制,建立跨区域森林碳汇市场化补偿制度,充分发挥市场机制“无形之手”的生态资源配置作用,降低二氧化碳排放强度。

二是协同提升低度城镇化地区城镇化和数字化的“量”与“质”。低度城镇化地区全部是我国经济发展水平相对落后的中西部省份,需要通过政策倾斜来加快这类地区城镇化进程,增强中心城市生产要素集聚功能和服务功能,提升中小城市产业功能和居住功能,以“产—城—人”融合发展推动城镇化“量”的扩张和“质”的提升,释放城镇化作为区域“财富挖掘机”的潜能。低度城镇化地区均属于数字化水平较低区域,通过专项人才引进工程,壮大特色数字产业,提升数字经济与实体经济融合度,

培育经济新增长极,并在城镇化进程中通过提升数字化治理能力收获区域碳排放效率改善红利。

三是加快推进中度城镇化地区产业结构节能低碳转型升级步伐。中度城镇化地区要在产业转型升级中提升城镇化质量。以能耗双控为切入点,通过对传统产业的数字化和低碳化改造,加快传统产业园区向绿色循环工业示范园区转型,以产业数字化和低碳化推动产业结构高级化,培育经济高质量发展新动能,实现新旧动能精准有序转换,保障经济维持中高速增长。变数字要素为生产要素,化数字优势为发展优势,以数字产业化助推产业结构合理化,加速产业迭代升级。以数字经济和低碳经济重塑价值链,催生新兴产业,形成新型产业生态体系,实现节能降碳与经济增长同频共振,进而提升区域碳排放效率。

四是全面增强高度城镇化地区城镇化的低碳技术创新综合效应。高度城镇化地区要利用好城市群、都市圈的中心城市与外围城市之间经济势能落差,发挥中心城市创新要素集聚优势,提升中心城市自主创新高度,放大中心城市创新示范带动作用和技术扩散外溢功能,把外围城市打造成为技术中试基地和实体产业基地,形成合理的技术扩散空间梯度,增强都市圈、城市群内部创新网络联系强度。加大二氧化碳捕集、回收、利用、封存和储藏等方面技术研发投入,推动区域创新能力向能源供给和消费领域迁移和转化,实现低碳技术创新质量跨越式提升,把碳排放及碳中和产业培育成高度城镇化地区经济中的“第四产业”。

参考文献

- [1]林美顺.中国城市化阶段的碳减排:经济成本与减排策略[J].数量经济技术经济研究,2016(3).
- [2]张馨,牛叔文,赵春升,等.中国城市化进程中的居民家庭能源消费及碳排放研究[J].中国软科学,2011(9).
- [3]关海玲,陈建成,曹文.碳排放与城市化关系的实证[J].中国人口·资源与环境,2013(4).
- [4]胡雷,王军锋.我国城镇化对二氧化碳排放的长期影响和短期波动效应分析[J].干旱区资源与环境,2016(8).
- [5]OUYANG X L, LIN B Q. Carbon Dioxide (CO₂) Emissions during Urbanization: A Comparative Study between China and Japan [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 143: 356—368.
- [6]金娜,仇方道,袁荷.江苏省碳排放效率时空格局及驱动因素[J].地域研究与开发,2018(4).
- [7]王鑫静,周保华.金砖国家碳排放效率的影响因素研究[J].中国环境管理干部学院学报,2018(6).
- [8]Zhang Caiqing, Chen Panyu. Industrialization, Urbanization, and Carbon Emission Efficiency of Yangtze River Economic Belt—empirical Analysis based on Stochastic Frontier Model [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2021, 28(47): 66914—66929.
- [9]刘林杰,杨树旺.中国城镇化进程影响全要素碳排放效率的区域异质性研究[J].云南社会科学,2022(2).
- [10]徐英启,程钰,王晶晶,等.中国低碳试点城市碳排放效率时空演变与影响因素[J].自然资源学报,2022(5).
- [11]宋杰鲲,梁璐璐,牛丹平,等.山东省地市碳排放效率测度、影响因素与提升对策[J].中国石油大学学报(社会科学版),2018(1).
- [12]丁绪辉,张紫璇,吴凤平.双控行动下环境规制对区域碳排放绩效的门槛效应研究[J].华东经济管理,2019(7).
- [13]王鑫静,程钰.城镇化对碳排放效率的影响机制研究:基于全球118个国家面板数据的实证分析[J].世界地理研究,2020(3).
- [14]李建豹,黄贤金,揣小伟,等.长三角地区碳排放效率时空特征及影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2020(7).
- [15]张济建,刘清,丁绪辉.长江经济带碳解锁效率研究:基于SE-DEA-Malmquist指数[J].华东经济管理,2021(6).
- [16]刘婕,魏玮.城镇化率、要素禀赋对全要素碳减排效率的影响[J].中国人口·资源与环境,2014(8).
- [17]程开明.城市化促进技术创新的机制及证据[J].科研管理,2010(2).
- [18]仇怡.城镇化的技术创新效应:基于1990~2010年中国区域面板数据的经验研究[J].中国人口科学,2013(1).
- [19]Stern H. The Accuracy of Weather Forecasts for Melbourne, Australia [J]. Meteorological Applications, 2008, 15(1): 65—71.
- [20]林伯强,刘希颖.中国城市化阶段的碳排放:影响因素和减排策略[J].经济研究,2010(8).
- [21]Reinhard Madlener, Yasin Sunak. Impacts of Urbanization on Urban Structures and Energy Demand: What Can We Learn for Urban Energy Planning and Urbanization Management? [J]. Sustainable Cities and Society, 2011(1): 45—53.
- [22]Brian C O' Neill, Xiaolin Ren, Leiwen Jiang, et al.. The Effect of Urbanization on Energy Use in India and China in the iPETS Model [J]. Energy Economics, 2012, 34(3): 339—345.
- [23]Isabelle Larivière, G aëtan Lafrance. Modelling the Electricity Consumption of Cities: Effect of Urban Density [J]. Energy Economics, 1999, 21(1): 53—66.
- [24]David Satterthwaite. The Implications of Population Growth and Urbanization for Climate Change [J].

- Environment and Urbanization, 2009, 21(2):545—567.
- [25] David Dodman. Blaming Cities for Climate Change? An Analysis of Urban Greenhouse Gas Emissions Inventories [J]. Environment and Urbanization, 2009, 21(1):185—201.
- [26] 王康,李志学,周嘉.环境规制对碳排放时空格局演变的作用路径研究:基于东北三省地级市实证分析[J].自然资源学报,2020(2).
- [27] 尹庆民,樊梦易.双向FDI对我国碳排放影响的门槛效应分析:基于环境规制视角[J].资源与产业,2020(1).
- [28] 庞庆华,周末沫,杨田田.长江经济带碳排放、产业结构和环境规制的影响机制研究[J].工业技术经济,2020(2).
- [29] 李菁,李小平,郝良峰.技术创新约束下双重环境规制对碳排放强度的影响[J].中国人口·资源与环境,2021(9).
- [30] 张修凡,范德成.碳排放权交易市场对碳减排效率的影响研究:基于双重中介效应的实证分析[J].科学学与科学技术管理,2021(11).
- [31] 张先锋,韩雪,吴椒军.环境规制与碳排放:“倒逼效应”还是“倒退效应”——基于2000~2010年中国省际面板数据分析[J].软科学,2014(7).
- [32] 李琳,赵栢.“两业”融合与碳排放效率关系研究[J].经济经纬,2021(5).
- [33] 孙秀梅,张慧,蔡振法,等.我国东西地区的碳排放效率对比及科技减排路径研究:基于三阶段DEA和超效率SBM模型的分析[J].华东经济管理,2016(4).
- [34] 马海良,张格琳.偏向性技术进步对碳排放效率的影响研究:以长江经济带为例[J].软科学,2021(10).
- [35] TONE K, TSUTSUI M. An Epsilon-Based Measure of Efficiency in DEA: A Third Pole of Technical Efficiency [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(3):1554—1563.
- [36] 李兰冰,刘秉镰.中国高技术产业的效率评价与成因识别[J].经济学动态,2014(9).
- [37] 王伟,温涛.涉农贷款拖累了农村金融机构经营绩效吗[J].农业技术经济,2019(2).
- [38] ANDERSEN P, PETERSEN N C. A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis [J]. Management Science, 1993(39):1261—1264.
- [39] 徐德云.产业结构升级形态决定、测度的一个理论解释及验证[J].财政研究,2008(1).
- [40] 白俊红,蒋伏心.考虑环境因素的区域创新效率研究:基于三阶段DEA方法[J].财贸经济,2011(10).

Study on the Spatiotemporal Dynamic Effect of Carbon Emission Efficiency of Regional Urbanization in China

Wu Xuxiao

Abstract: Giving play to the positive effect of urbanization in improving carbon emission efficiency is the inevitable choice for China to maintain medium and high-speed economic growth under the condition of realizing the “double carbon” goal. Taking the panel data of 30 provinces in China from 2011 to 2020 as research samples, NCSE—EBM model is used to measure carbon emission efficiency, and dynamic GMM model is used to empirically test the temporal and spatial effect of urbanization on carbon emissions. The results show that China’s carbon emission efficiency is at a relatively low level as a whole, and the average carbon emission efficiency shows an oblique “√” evolution trend of first decreasing and then rising. China’s provincial carbon emission efficiency has gradually converged in space since 2012. Although China’s urbanization has a significant promoting effect on the improvement of carbon emission efficiency as a whole, the carbon emission effect of urbanization decreases with the rise of regional urbanization level. Digitization, industrial structure and technological innovation are important weaknesses in improving carbon emission efficiency in low, medium and high urbanization areas respectively. Environmental regulation is the main bottleneck in all regions.

Key Words: Urbanization; Carbon Emission Efficiency; Dynamic Effect; NCSE—EBM Model; Dynamic GMM Model

(责任编辑:柳 阳)