

城市化对碳生产率的阶段性效应 及其区域分异特征研究

——来自中国地级市的证据

王巧然

(云南大学 经济学院, 昆明 650091)

摘要:城市是人类生产与生活的集中地和重要载体,因而也是能源消费和碳排放的关键主体,在建设低碳城市和发展绿色经济的政策工具箱中,提高碳生产率是最重要的抓手。基于此,本文在Cobb-Douglas成本函数基础上构建了城市化与城市碳生产率关系的理论模型,并运用门槛回归检验了我国地级市层面人口城市化、土地城市化与城市碳生产率的动态关系。实证结果表明:人口城市化与土地城市化对城市碳生产率具有不同的阶段性效应,其中人口城市化与城市碳生产率呈现“强促进-弱促进”的关系,拐点位于非农就业人口占比5.36%处;而土地城市化与城市碳生产率呈现“促进-脱钩”的关系,拐点位于建成区面积占比1.09%处。分地区的实证结果从区域层面证明了该阶段性效应的稳健。该结论表明,当前我国大多数地级市均已越过以上两个门槛值,意味着低碳式城市化和科学合理的城市规划将是我国经济绿色低碳发展的必由之路。

关键词:城市碳生产率;人口城市化;土地城市化;低碳城市化

中图分类号:F293 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2021)12—0061—13

一、引言

诺贝尔经济学奖得主 Joseph E Stiglitz 曾将中国的城市化和美国的新技术革命称为影响 21 世纪人类社会进程的两大关键事件。改革开放以来,随着大规模的工业化和持续快速的经济增长,中国经历了全球范围内速度最快、规模最大的城市化进程。截至 2019 年底,中国城镇人口占总人口比重达到 60.6%^①,已经提前达到《国家新型城镇化规划(2014—2020)》确定的 2020 年常住人口城镇化率达到 60% 左右的发展目标。中国大规模的城市化带动了作为生产和生活重要投入要素的能源消费的急剧攀升(王小斌和邵燕斐,2014)。从 1978 年到 2019 年,中国能源消费总量增长 8 倍之多^②。以煤炭为主的能源结构迅速推高了中国的碳排放:1978 年到 2018 年,中国碳排放总量年平均增长率接近 5%;占全球碳排放总量的比重也由 1978 年的 7.5% 增长到 2017 年的 27.6%^③,自 2008 年中国碳排放总量超过美国以来,中国已经连续十年成为全球碳排放第一大国。中国的碳排放还呈现出“排放高,效率低”的局面,虽然近年来中国能源效率和碳生产率不断提升,但与发达国家的距离还是不小。根据世界银行的数据,截至 2014 年,中国能源效率约为 5.70 美元/kg 标准油,仍然低于主要发达国家和世界平均水平。

根据诺瑟姆城市化阶段理论和发达国家城市化发展的规律,当前中国仍处于城市化率 30%~70% 的快速发展区间,中国城市化的进程还远未结束,还有 20% 以上的提升空间,广大的中西部地区更是有巨大的城市化潜力。而能源和碳排放是经济社会发展的重要投入要素和关键约束条件,在我国城市化持续推进的背景下,能源的刚性需求不会改变,以煤为主的能源结构在短期内也难以彻底转型,简言之,中国碳排放总量在很

收稿日期:2020—12—23

基金项目:国家自然科学基金“城市群层级结构对经济绿色转型的影响:机制解析、效应评估与调控策略”(72064044);云南省哲学社会科学规划课题“云南省能源产业数字化转型路径与对策研究”(QN202008);云南省科技厅基础研究专项项目“绿色发展视域下城市群层级结构优化研究:格局、机理与调控”(202101AU070074);云南省哲学社会科学创新团队科研项目“当前绿色发展理念的认知偏差及问题研究”(2020tdxmy04);云南省教育厅科学研究“集聚经济视角下城市化的绿色发展效应研究”(2020J0023)

作者简介:王巧然,博士,云南大学经济学院讲师,研究方向:区域经济、低碳经济、绿色发展。

① 数据来源:中国国家统计局网站。

② 数据来源:中国国家统计局网站。

③ 数据来源:《2019 年 BP 世界能源统计年鉴》。

大程度上仍将继续增长。因此,建设低碳城市、发展绿色经济已成为中国经济可持续发展的必然选择。而在建设低碳城市和发展绿色经济的政策工具箱中,提高碳生产率是最重要的抓手,中国城市化的低碳式推进只能从提高碳生产率入手,简单的说,就是提高单位碳排放的经济产出,让城市化进程中每单位的碳排放释放出更多的经济价值。

在当前城市化继续推进和减排压力持续上升的背景下,城市化对碳生产率的效应将会显示出很强的示范意义,并且,由于中国城市化发展存在地区差异,城市化对碳生产率作用的区域差异也会对不同地区的低碳城市建设产生重要参考价值。在经济结构转型和严峻的碳减排压力前,中国急需在城市化发展和碳生产率提升之间寻找一条协调发展的路径。正是基于上述原因,本文研究城市化对碳生产率的阶段性效应及其区域分异特征,从时间和空间两个角度探寻城市化进程中提升碳生产率的可行路径,以期为我国实现城市化低碳式推进和绿色可持续发展提供理论支撑和政策依据。

二、文献回顾

碳生产率是总产出与碳排放量之比,是单位碳排放的经济产出。本质上讲,碳生产率是碳排放的经济效率(Kaya 和 Yokobori, 1997),是将碳排放视为生产中隐含的投入要素,并基于“帕累托最优”的思想,寻求一定生产条件下以最小的碳排放获取最大的产出。碳生产率与能源效率密切相关,能源效率是单位能源消费的经济产出,在能源结构和减排技术不变的前提下,能源效率越高,碳生产率就越高。但是,碳生产率受能源结构和减排技术的影响,两个具有不同能源结构和技术水平的经济体,即使具有相同的能源效率,其碳生产率也是有差异的。能源效率没有从投入要素的角度隐含社会经济发展所面临的新约束性条件——碳排放,碳生产率则能直接反映在经济增长过程中稳定碳排放量的目标。相比于能源效率,碳生产率不仅体现一个经济社会的能源生产效率,还反映了能源结构优化程度和减排技术水平。因此,碳生产率将低碳经济的两大目标——控制碳排放(低碳)和促进经济增长(经济)融为一体(Beinhocker et al, 2008),是评价一个国家或地区经济发展模式的重要标准(Mielnik 和 Goldemberg, 1999)。提高碳生产率是发展低碳经济的关键(Mielnik 和 Goldemberg, 1999;何建坤和苏明山, 2009;谌伟等, 2010;段庆锋, 2012)。

近二十年来,碳生产率逐渐进入学者们的研究视野并出现了很多研究成果,目前国内外有关碳生产率的研究,主要集中于碳生产率的空间格局和变化趋势上。一方面,由于我国各地区经济发展、技术水平、能源结构等存在差异,碳生产率也必然存在差异。当前大部分研究都证实了我国碳排放和碳生产率存在明显的区域差异,总体而言,经济发达地区的碳生产率较高,欠发达地区和落后地区的碳生产率较低,东中西三大地区碳生产率依次递减(胡玉莹, 2010;潘家华和张丽峰, 2011;Du et al, 2014);另一方面,对碳生产率空间差异问题的研究也启发学者们展开了对碳排放和碳生产率变化趋势和收敛性问题的研究。一些学者的研究表明,虽然当前我国各地区碳生产率差异较大,但各个地区碳生产率的差异性随着时间推进有所下降(王群伟等, 2010)。在对碳生产率的收敛性问题上,学者们持有不同的看法。一些学者认为我国碳生产率显示出收敛性特征(周五七和聂鸣, 2012;彭文强和赵凯, 2012),但各地区碳生产率的收敛速度存在差异(Dong et al, 2013)。另一些学者则得出截然不同的结论,认为我国碳生产率不存在收敛(魏梅等, 2010;杜克锐和邹楚沅, 2011),由此,他们得出我国碳生产率的地区差距不会自动消除的结论。

随着对碳生产率空间差异和收敛特征分析的深入,一些学者也开始从不同角度研究碳生产率的影响因素。总体来看,碳生产率受到经济因素、技术因素、政策因素和能源因素的影响。在经济因素中,一些学者已经注意到城市化对碳生产率的作用,然而相关研究的结论并不一致。

一些学者认为城市化对碳生产率具有负向影响,城市化水平的提升会降低碳生产率(李卓霖, 2014)。这类文献研究的出发点是城市化进程中新城市的建立和原有城市的扩张带来的能源消费和碳排放增加,新城市建立和旧城市扩张的过程中,需要建设大量的交通、建筑和公共基础设施,因而城市化过程必然导致对建筑材料和钢铁、水泥等重化工业产品需求的大幅增加,这类产品的生产需要投入大量能源,引起碳排放量的上升,从而对碳生产率带来负面影响(胡玉莹, 2010)。另一些学者则得出了截然相反的结论,例如杜克锐和邹楚沅(2011)的研究发现城市化对碳生产率具有显著的正向影响。张腾飞(2016)则通过将碳生产率引入STIRPAT(stochastic impacts by regression on population, affluence, and technology)模型,从经济增长、产业结构调整 and 消费升级三个角度剖析了城市化对碳生产率的影响,并实证检验了二者关系,结果表明,户籍人口城市化对碳生产率影响为正,而常住人口城市化对碳生产率影响为负,门槛面板模型检验的结果表明随着暂住

人口比例增长,户籍人口城市化对碳生产率的正向影响逐渐增强,常住人口城市化对碳生产率的负向影响逐渐减弱。也有一些研究认为城市化与碳生产率之间存在非线性关系,或二者关系存在地区差异,例如任阳军和汪传旭(2017)的研究结论表明城市化水平与区域绿色经济效率之间存在U形关系,其中东部地区的绿色经济效率与城市化的关系已处于U形曲线的上升阶段,中、西部地区大部分省市仍处于U形曲线的下降阶段。出现以上分歧的原因可能在于碳生产率和城市化的测算方法、样本区间及代理变量选择上的不同。例如,在胡玉莹(2010)一文中,2000—2004年城市化率采用非农业人口占总人口的比重来反映,而2005—2007年该指标用城镇人口占总人口的比重来反映,同一指标用不同衡量标准必然导致实证结果的偏差。此外,单要素和全要素碳生产率指标、全要素碳生产率中不同测算方法的选择,也会引起结论的差异。

当前相关领域的研究为论文下一步的进展提供了分析基础和逻辑思路,但仍然存在一定不足,对城市化与碳生产率关系的一些关键问题仍然未能给出较好的解释。其一,排除碳生产率的测算方法、样本数据及变量度量方式等差异对研究结果的影响,当前相关研究存在分歧的另一个原因可能在于城市化对碳生产率具有双重作用。一方面,正如胡玉莹(2010)指出的,城市化过程中需要进行大规模的基础设施建设,消耗大量的能源,从而产生大量碳排放。已有大量文献指出,城市化进程中不论是居民碳排放量(冯玲等,2011)、工业化碳排放(陈诗一,2010)还是城市交通碳排放(周银香,2012)都将显著增加,城市化是促进碳排放总量增加的重要原因(York,2007);另一方面,城市化是集聚经济的外在体现,经济集聚的马歇尔外部性和雅各布斯外部性会促使单位工业增加值的碳排放强度下降(陆铭和冯皓,2014)和能源效率的提升(李思慧,2011;沈能等,2014)。此外,城市化可以产生规模经济,有利于降低交易成本和扩大市场规模,从而提升能源效率(Sadorsky,2013)。因此城市化也有可能改善碳生产率,其总效应还需进一步的考察。其二,对我国城市化和碳生产率区域差异的认识有待挖掘。我国经济发展的现实背景是:地域广袤,不同区域经济发展水平不一、资源禀赋差距也很大,不同地区城市化水平、城市化推进模式存在巨大差异,并且,由于各地区能源禀赋、产业结构、技术水平和环保意识的差距,我国各地间碳生产率必然也存在很大差距。这样的现实背景说明对城市化和碳生产率的研究不能一概而论,而应充分考虑地区差异。尽管当前研究已经注意到碳生产率的地区差异,一些研究还分析了这种差异的收敛性,但是目前仍然少有研究从城市化的角度分析碳生产率地区差异存在的原因和破解路径。其三,研究样本和研究数据还需细化。从既有文献看,尽管关于城市化和碳生产率的研究越来越多,但总体而言,现有国内研究多集中于全国层面或省级层面,样本空间尺度过大,尤其缺少来自城市层面的经验证据。以往在城市层面的碳生产率研究仅测算到单要素碳生产率(刘习平等,2017),对全要素碳生产率的测算则都停留在省级层面(胡玉莹,2010;魏梅等,2010;王群伟等,2010;杜克锐和邹楚沅,2011;吴晓华和李磊,2014;张成等,2015;李博等,2016;张腾飞,2016)。由于城市化的结果是城市的形成,城市化是经济集聚在区域层面的体现,加上中国城市化对能源消费的依赖。因此城市是衡量城市化问题最合适的研究尺度,从城市层面研究碳生产率的空间分布、趋势及城市化、经济集聚与碳生产率的关系机制,将更具研究价值。

三、理论模型

借鉴Fisher-Vanden et al(2004)的研究思路,并在此基础上引入碳生产率的概念,构建城市化与碳生产率的关系模型。首先考虑一个Cobb-Douglas成本函数,假设生产需要资本(K)、劳动力(L)和能源(E)的投入。因此有:

$$C(P_K, P_L, P_E, Q) = A^{-1} U^{-1} P_K^{\alpha_K} P_L^{\alpha_L} P_E^{\alpha_E} Q \quad (1)$$

其中: C 表示Cobb-Douglas成本函数; A 表示全要素生产率; U 表示城市化水平; Q 表示产出水平; P_K, P_L, P_E 分别表示资本、劳动力和能源的名义价格; $\alpha_K, \alpha_L, \alpha_E$ 分别表示资本、劳动力和能源的产出弹性。一般来说,全要素生产率由制度、技术和结构等因素共同决定,市场化水平是体现一个地区制度安排的重要指标,外商直接投资是发展中国家的技术进步的重要来源,经济结构变迁也会对全要素生产率产生影响。因此将全要素生产率表示为

$$A = f(Mar_i, FDI_i, Str_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

其中: Mar_i 表示市场化水平; FDI_i 表示外商直接投资规模; Str_i 表示经济结构。

式(1)中, A^{-1} 表示全要素生产率与生产成本的负相关。城市化的本质是要素在一定空间内的集聚,城市

化能够通过集聚外部性降低平均成本。因此用 U^{-1} 反映城市化与成本之间的负相关关系。为了保证能够得到唯一的内点解,经济学理论往往假定生产函数是拟凹的,在既定产量水平下,成本最小化即是利润最大化,即成本函数与生产函数具有对偶性,故而 Cobb-Douglas 成本函数必然对应一个 Cobb-Douglas 生产函数。生产函数是产量和要素投入量的函数,而成本函数表征的是要素价格和产出水平的关系。在现实中,生产函数往往难以观测,而成本函数中的变量易于获取。因此利用成本函数分析企业的要素需求决策。

根据谢泼德引理,在给定支出函数 $E(P, U)$ 的情况下,对价格 P 求偏导数可得到希克斯需求函数 $X_h(P, U)$ 。因此,能源需求等于成本函数对能源投入价格求偏导:

$$E = (\alpha_E A^{-1} U^{-1} P_K^{\alpha_K} P_L^{\alpha_L} P_E^{\alpha_E} Q) / P_E \quad (3)$$

进一步假定完全竞争的市场结构,市场上产品完全同质,企业长期经济利润为零,即总收益等于总成本, $C = P_Q Q$, 其中 P_Q 为产品的价格,如果忽略全要素生产率和城市化的影响,则需要假定:

$$P_Q = P_K^{\alpha_K} P_L^{\alpha_L} P_E^{\alpha_E} \quad (4)$$

产品的价格 P_Q 取决于三种投入要素的价格,其中, $\alpha_K + \alpha_L + \alpha_E = 1$, 在完全竞争市场条件下,式(4)中的 P_Q 代表了一般物价水平。如果考虑全要素生产率和城市化,企业会借助集聚外部性产生的劳动力蓄水池效应、中间投入品规模经济和技术外溢获得超额利润,即企业的总收益大于总成本,从而保证了价格假设条件的合理性。

将式(4)代入式(3),可得:

$$E = \frac{\alpha_E A^{-1} U^{-1} P_Q Q}{P_E} \quad (5)$$

将式(5)进一步变化得到:

$$\frac{Q}{E} = \alpha_E^{-1} A U \frac{P_E}{P_Q} \quad (6)$$

式(6)左边是能源效率,能源效率取决于全要素生产率、城市化水平和实际能源价格 $\frac{P_E}{P_Q}$ 。生产过程中的能源消费会产生碳排放,能源消费与碳排放之间存在以下关系:

$$CB = \lambda E \quad (7)$$

其中: CB 为能源消费产生的碳排放, λ 为碳排放系数。

将式(7)代入式(6),可得:

$$\frac{Q}{CB} = \lambda^{-1} \alpha_E^{-1} A U \frac{P_E}{P_Q} \quad (8)$$

式(8)左边是碳生产率,碳生产率取决于全要素生产率、城市化水平、碳排放系数和实际能源价格。

将式(2)代入式(8)可得:

$$CE = \lambda^{-1} \alpha_E^{-1} U \frac{P_E}{P_Q} f(Mar_i, FDI_i, Str_i) + \varepsilon_i \quad (9)$$

据此,可以构建碳生产率影响因素的模型为

$$CE_{it} = a URB_{it}^{\beta_1} Pri_{it}^{\beta_2} Mar_{it}^{\beta_3} FDI_{it}^{\beta_4} Str_{it}^{\beta_5} e_{it} \quad (10)$$

其中: i 和 t 分别表示个体和时间; URB 、 Pri 、 Mar 、 FDI 、 Str 分别代表城市化、能源价格、市场化水平、经济开放程度、经济结构,这些因素均会影响碳生产率, e 表示随机干扰因素; α 表示常数项。

式(10)两边同时取对数后,模型可以表示为

$$\ln CE_{it} = \ln a + \beta_1 \ln URB_{it} + \beta_2 \ln Pri_{it} + \beta_3 \ln Mar_{it} + \beta_4 \ln FDI_{it} + \beta_5 \ln Str_{it} + e_{it} \quad (11)$$

式(11)是标准的线性模型,但当前对碳生产率和城市化关系的研究结论并不一致,最主要的原因在于城市化对碳生产率具有双重作用,二者之间可能存在非线性关系。

城市化引发的碳生产率改变取决于两种效应的权衡,如图1所示,第一种效应推动了碳生产率的上升,称之为“驱动效应”,驱动效应主要是集聚经济和规模经济的结果;一方面,城市化的本质是集聚,集聚将改变地区产业发展的要素构成、组织结构和发展模式,经济集聚的马歇尔外部性和雅各布斯外部性会促使单位工业增加值的碳排放强度下降(陆铭和冯皓,2014;张翠菊和张宗益,2016)和能源效率的提升(李思慧,2011;沈

能等,2014),从而推动碳生产率的提升;另一方面,城市化可以产生规模经济,有利于降低交易成本和扩大市场规模,从而提升能源效率(Sadorsky,2013),并且,城市化可以引发市场化进程,有利于技术进步、碳排放市场化定价和碳生产率改善(郑云鹤,2006)。第二种效应则阻碍了碳生产率的上升,称之为“制动效应”,制动效应是集聚不经济和规模不经济的结果。一方面,城市化过程中需要进行大规模的基础设施建设,消耗大量的能源,从而产生大量碳排放(胡玉莹,2010;冯玲等,2011;陈诗一,2010;周

银香,2012;York,2007)。此外,城市化过程中,生产从能源强度低的农业转向能源强度高的制造业,并且由于大量人口涌入城市,为了提供就业,我国城市化进程中的工业化特征体现为劳动密集型高耗能高排放产业迅速发展(林伯强和刘希颖,2010);另一方面,由于拥挤效应的存在,过度的集聚将导致集聚不经济,从而阻碍碳生产率的提升,例如城市拥堵导致的城市通勤能耗和碳排放量上升(Parikh和Shukla,1995;洪丽璇等,2011;武俊奎,2012),可能引发碳生产率的下降。

由以上分析可知,城市化与碳生产率之间并不存在稳定的线性关系,城市化一方面通过生产和消费的高度集中增加经济活动的碳排放量;另一方面产生规模经济、促进技术进步,为碳生产率的提高提供可能性。集聚经济和集聚不经济、规模经济和规模不经济的力量大小决定了二者关系的方向。考虑到影响碳生产率的因素是随着城市化阶段的推进而改变的。因此可以从城市化阶段的角度思考城市化和碳生产率的关系。根据诺瑟姆城市阶段理论(Northam,1979)等城市阶段理论,城市化发展会经历不同的阶段,不同阶段的城市化在经济水平、产业结构、能源消费、居民收入、环保意识等方面存在较大差异,这些差异造成了影响碳生产率的因素的阶段性差异。因此,在城市化的不同阶段,城市化对碳生产率的作用可能不同。我国自改革开放以来的40年,经历了城市化突飞猛进的超常规发展,跨越了城市化发展的多个阶段,据发达国家经验,经济增长与碳排放之间存在非线性关系。

为了识别城市化阶段对碳生产率的非线性作用,可将城市化水平按一定标准分组,并在各组中研究两者之间的关系,然而,人为地根据城市化水平来划分样本区间往往带来估计偏误。因此,本文从数据驱动的角度出发,运用Hansen(1999)面板门槛模型来检验不同城市化水平下城市化对碳生产率的影响,该模型根据数据本身的特点来内生地划分区间并找出门槛值,主旨思想是将门槛值作为一个未知变量纳入一般的计算模型中,构建分段函数,并对门槛值及门槛效应进行估计和检验。根据这一思想,用城市化水平作为门槛变量,在式(11)的基础上构建初始的单门槛模型为

$$\ln CE_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln URB_{it} + \beta_2 \ln URB_{it} I(\ln URB_{it} \leq \gamma) + \beta_3 \ln URB_{it} I(\ln URB_{it} > \gamma) + \beta_4 \ln Pri_{it} + \beta_5 \ln Mar_{it} + \beta_6 \ln FDI_{it} + \beta_7 \ln Str_{it} + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

其中: URB_{it} 表示城市化水平和门槛变量; $I(\cdot)$ 为示性函数, γ 为门槛值,当城市化水平低于 γ 时, $I(\cdot) = 0$,当城市化水平高于 γ 时, $I(\cdot) = 1$; β_1 、 β_2 分别为门槛变量 $URB_{it} \leq \gamma$ 、 $URB_{it} > \gamma$ 两个区间内城市化水平对碳生产率的影响系数。

四、估计方法和数据来源

(一)估计方法说明

本文根据Hansen(1999)的面板门槛技术来评估模型(12)。

首先,对计量方程进行参数估计,求得门槛值 γ ;其次,检验门槛系数的显著性。原假设为不存在门槛效应,即, $H_0: \beta_1 = \beta_2$ 。

Hansen(1999)建议采用“自抽样法”(Bootstrap)来模拟似然比检验的渐进分布。在不存在门槛效应的原假设下,似然比检验基于以下统计量:

$$F_1 = \frac{S_0 - S_1(\hat{\gamma})}{\sigma_\varepsilon^2} \quad (13)$$

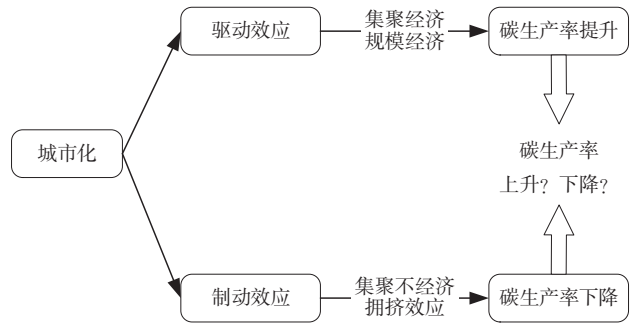


图1 城市化对碳生产率的两种效应

其中: S_0 表示原假设成立下不存在门槛效应时的残差平方和; S_1 表示原假设不成立下存在门槛效应的残差平方和; σ_ε^2 表示扰动项的方差,Hansen(1999)研究表明,采用自体抽样法(Bootstrap)可以获得其一阶渐进分布,基于此构造的 P 值也将是渐进有效的,如果得到的 P 值小于设定的临界值,那么拒绝原假设,认为存在门槛效应。接着进行多门槛效应的检验,以确定模型是否存在多个门槛值。最后,对面板门槛模型的真实性的真实性进行检验,其原假设 H_0 是 $\gamma = \gamma_0$,相应的统计量为

$$LR_1(\gamma) = \frac{S_1(\gamma) - S_1(\hat{\gamma})}{\hat{\sigma}^2} \quad (14)$$

LR_1 的分布也是非标准的,Hansen提出了非拒绝域的概念,在 $1 - \alpha$ 的置信水平上,非拒绝域是指一系列满足 $LR_1 \leq c(\alpha)$ 的 γ 值,其中 $c(\alpha) = -2\ln\left[1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{2}}\right]$, α 为显著性水平。如果接受原假设,则说明面板门槛的参数估计是准确的。

(二)变量度量与数据来源

1. 地级市碳生产率的测算

测算碳生产率,首先需要知晓地级市层面的碳排放,碳排放测算边界的确定会造成测算结果较大的差异(蔡博峰,2013)。因此,在测算碳排放之前,首先对本文的研究范围做一个明确界定。本文研究的对象是城市生产生活中产生的能源消费的碳排放的经济效率。因此,本文测算的城市碳排放仅包含各城市生产生活中因能源消费而导致的碳排放,不包括农业、林业、土地利用等非能源消费产生的碳排放,也不包括消费品、食品生产和污水固废处理导致的碳排放。

鉴于我国地级市层面能源消费统计数据的可得性,本文参考了吴建新和郭智勇(2016)的方法,将城市能源消费碳排放分为三类:一是煤气和液化石油气等直接能源消费产生的碳排放;二是电能、热能等能源消费产生的碳排放;三是交通运输能源消费产生的碳排放。本文分别核算三种能源消费的碳排放,加总得到城市能源消费总的碳排放。计算城市碳排放所需的数据主要来自历年《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》和《中国区域统计年鉴》等统计资料。根据数据可得性,本文测算了我国281个城市2003—2016年期间14年的碳排放。

根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)编写的《2006年IPCC国家温室气体清单指南》,估算化石燃料燃烧产生的碳排放的通用方法是:二氧化碳排放量=化石能源燃烧数量×排放因子。各类能源的碳排放因子利用《2006年IPCC国家温室气体清单指南》提供的相关转化因子和我国燃料发热系数计算,其中我国燃料发热系数采用自国家发展和改革委员会资源节约和环境保护司、国家标准化管理委员会工业标准一部提出的《GB/T 2589—2008 综合能耗计算通则》^④,对于含碳量只提供区间值的能源,取其中位数进行测算。碳排放系数的计算公式为

$$\text{碳排放系数} = \text{IPCC2006的含碳量系数} \times \text{我国发热系数} \times \text{IPCC2006的碳氧化因子} \quad (15)$$

根据式(15),可算得各类能源的碳排放系数,见表1。

表1 部分能源的碳排放系数

能源类型	含碳量	我国低位发热系数	碳氧化因子	碳排放系数
原煤	94600kgCO ₂ /TJ	5000kcal/kg	1	1.98kgCO ₂ /kg
煤气	44400kgCO ₂ /TJ	4150kcal/M ³	1	0.77kgCO ₂ /m ³
液化石油气	63100kgCO ₂ /TJ	12000kcal/kg	1	3.17kgCO ₂ /kg
原油	73300kgCO ₂ /TJ	10000kcal/kg	1	3.07kgCO ₂ /kg

资料来源:《2006年IPCC国家温室气体清单指南》《GB/T 2589—2008 综合能耗计算通则》。

碳排放量的计算公式为

$$\text{CO}_2\text{排放量} = \text{碳排放系数} \times \text{排放源活动强度(城市能源消费标准量)} \quad (16)$$

第一类能源的碳排放,即煤气和液化石油气的碳排放可以直接由式(16)计算得出。第二类能源消费的碳排放分为电能和热能消费产生的碳排放。其中电能消耗产生的碳排放为城市电能消费量与电网基准线排放因子的乘积。国家发改委气候司发布了全国六大区域电网的基准线排放因子,本文取其均值进行测算。见表2。

④ 由国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会于2003年2月3日联合发布并于2003年6月1日实施。

表2 我国各区域电网基准线排放因子

电网名称	覆盖省市	平均排放因子
		(tCO ₂ /MWh)
华北区域电网	北京、天津、河北、山西、山东、内蒙古	0.7253
东北区域电网	辽宁、吉林、黑龙江	0.7798
华东区域电网	上海、江苏、浙江、安徽、福建	0.67845
华中区域电网	河南、湖北、湖南、江西、四川、重庆	0.615
西北区域电网	陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	0.63915
南方区域电网	广东、广西、云南、贵州、海南	0.58735

资料来源:国家发改委气候司《2016中国区域电网基准线排放因子》。

借鉴 Glaeser 和 Resseger(2010)的做法,每个区域电网只有一个排放因子,采用以下公式计算各城市电能消费产生的碳排放,即

$$\text{电能消费产生的碳排放} = \text{城市电能消费量} \times \text{各区域电网基准线排放因子} \quad (17)$$

在热能消耗产生的碳排放方面,我国城市热能主要有锅炉房供热和热电厂供热两种,集中供热的热源以原煤为主。根据国家质量监督检验检疫总局和国家标准化委员会提出的《GB/T 15317——2009燃煤工业锅炉节能监测》^⑤,我国燃煤工业锅炉热效率最低标准介于65%~78%,考虑到目前我国集中供热锅炉以中小型燃煤锅炉为主。因此采用70%的热效率值。原煤的平均低位发热量为20908kJ/kg。利用供热量、热效率、原煤发热系数、折标准煤系数和IPCC2006发布的碳排放因子就可以计算出各个城市热能消费的碳排放量。计算公式如下:

$$\text{热能消费碳排放量} = \text{供热量} / \text{热效率} / \text{原煤发热系数} \times \text{折标准煤系数} \times \text{碳排放因子} \quad (18)$$

第三类碳排放是交通能源消费的碳排放,借鉴 Li et al(2013)的方法,假设各类运输方式的能源消耗强度和碳排放强度成比例,先根据全国运输部门能源消费量计算出单位客运量和单位货运量的能源消费,再用各城市客运量和货运量计算出各城市的交通运输能源消费的碳排放量。

最后,将煤气、液化石油气、电能、热能和交通运输能源消费产生的碳排放加总,就得到各城市能源消费的总碳排放。本文沿用 Kaya 和 Yokobori(1997)提出的碳生产率测算方法,以各个地级市当年国内生产总值与同期生产中的碳排放量之比衡量碳生产率,这个指标反映了单位碳排放的经济效益。碳排放由前文所述方法测算得到,各个地级市实际GDP以2003年的价格作为基期进行缩减得到。

2. 其他变量的度量和数据来源

本文使用地级市数据对城市化和碳生产率的阶段性作用模型进行估计。考虑到我国地级市行政区划变动较大及部分地级市数据的缺失,最终选取2003—2016年14年间281个地级市的面板数据,总计3934个样本。变量度量及数据收集过程如下:

(1)城市化水平 *URB*。考虑到我国人口城市化和土地城市化进程存在差异,本文用人口城市化和土地城市化两个指标衡量我国的城市化水平。在人口城市化方面,我国部分地级市的城镇人口与农村人口数量可从各省统计年鉴中获得,但由于已公布的数据质量较差,各省统计口径不一致,并且存在大量的数据缺失。因此直接用城镇人口/总人口来衡量地级市的城市化水平误差较大。本文借鉴孙久文和周玉龙(2015)的做法,采用非农就业人口(总就业人口减去农林牧渔业就业人口)占总人口的比重来间接体现地级市城市化水平。在土地城市化方面,采用地级市建成区面积与全市土地面积之比表示土地城市化水平。数据来源于《中国城市统计年鉴》。

(2)其他控制变量:①市场化水平 *Mar*。用政府财政支出占GDP的比重来衡量,比值越低表明政府干预越少,市场化水平越高。②外商直接投资规模 *FDI*。用当年实际使用外资额占城市GDP的比重来衡量。③经济结构 *Str*。经济结构升级和变动的一个重要特征是第三产业的增长率要快于第二产业的增长率。因此借鉴干春晖等(2011)的做法,用第三产业产值与第二产业产值之比来表示经济结构的高级化。④实际能源价格 *Pri*。借鉴师博和沈坤荣(2013)和刘习平等(2017)的方法,用原材料、燃料、动力购进价格指数作为能源价格的代理变量,以2003年为基期,将各省市区燃料、动力价格指数分解到下属城市。为了减少数据异方差,计量分析前对数据进行了对数化处理。各变量的描述性统计见表3。

⑤ 由国家质量监督检验检疫总局和国家标准化委员会于2009年10月发布并于2010年5月实施。

表 3 各变量的描述性统计(地级市)

变量说明	变量	均值	标准差	最小值	最大值
碳生产率	<i>CP</i>	0.572	0.420	0.009	2.769
人口城市化(%)	<i>URB1</i>	18.262	11.065	1.811	100.000
土地城市化(%)	<i>URB2</i>	8.327	9.664	0.091	95.305
市场化程度(%)	<i>Mar</i>	0.157	0.096	0.015	1.575
外资规模(%)	<i>FDI</i>	0.003	0.004	0.000	0.045
产业结构高级化(%)	<i>Str</i>	0.824	0.414	0.094	9.482
能源价格	<i>Pri</i>	2.014	0.446	1.090	2.751

五、实证分析

(一)门槛模型估计结果

本文用软件 Stata15 估计面板模型,在模型估计之前,首先要检验面板门槛模型并确定门槛值。表 4 列出了模型的门槛检验结果,在人口城市化模型中,单一门槛模型的门槛值为 1.6783,在 1% 的水平上显著,代表非农就业人口比为 5.36%;在土地城市化模型中,单一门槛模型的门槛值为 0.0892,在 1% 的水平上显著,代表地级市建成区面积与全市土地面积之比为 1.09%。由于两个模型双门槛检验结果显示第一个门槛值与第二个门槛值一样。因此本文分析单门槛模型。

计量分析结果见表 5,其中模型 FE-robust 表示采用稳健标准误的固定效应模型,THRESH 为面板门槛模型,FE-robust(1)与 FE-robust(2)分别估计了人口城市化与土地城市化对碳生产率的线性影响。在模型 FE-robust(1)中,人口城市化的估计系数为正且显著($\beta=0.069, t=2.78$),说明非农就业人口比越高,碳生产率也越高,模型 FE-robust(1)中碳生产率关于人口城市化水平的弹性为 0.069,说明当非农就业人口比重上升 1% 时,碳生产率将提升 0.069%。在模型 FE-robust(2)中,土地城市化的估计系数为负但不显著($\beta=-0.015, t=-1.26$),说明建成区面积比重的上升对碳生产率并无显著影响。

模型 THRESH(1)与 THRESH(2)分别估计了人口城市化与土地城市化对碳生产率的非线性影响。估计结果显示人口城市化、土地城市化与碳生产率之间均存在非线性关系,这一结果符合前文的预期,即城市化对碳生产率的作用受城市化阶段的影响。

表 4 门槛估计值和自抽样检验结果

模型	门槛估计值	95% 置信区间	<i>F</i>	<i>P</i>	临界值		
					1%	5%	10%
人口城市化	1.6783(5.36%)	[1.6381, 1.6979]	26.16	0.010	42.340	33.287	28.078
土地城市化	0.0892(1.09%)	[0.0847, 0.0918]	23.90	0.003	52.752	37.296	32.945

注:*P* 值和临界值采用 300 次 bootstrap 得到。

表 5 门槛模型回归结果

被解释变量:碳生产率					
模型		人口城市化模型		土地城市化模型	
		FE-robust(1)	THRESH(1)	FE-robust(2)	THRESH(2)
人口城市化对碳生产率的作用	<i>URB1</i>	0.069*** (2.78)			
	<i>URB1</i> < thr		0.699*** (5.37)		
	<i>URB1</i> > thr		0.068*** (6.52)		
土地城市化对碳生产率的作用	<i>URB2</i>			-0.015(-1.26)	
	<i>URB2</i> < thr				0.035*** (2.90)
	<i>URB2</i> > thr				-0.007(-1.08)
其他因素对碳生产率的作用	<i>Mar</i>	-.226***(-3.25)	-0.210***(-5.44)	-0.236***(-3.34)	-0.221***(-5.76)
	<i>FDI</i>	-2.955***(-2.04)	-2.773***(-4.34)	-2.371(-1.61)	-2.563***(-4.03)
	<i>Str</i>	0.049(1.58)	0.051*** (3.64)	0.071** (2.23)	0.076*** (5.28)
	<i>Pri</i>	0.265*** (12.29)	0.263*** (23.34)	0.228*** (9.63)	0.232*** (19.65)
	<i>_cons</i>	0.245*** (5.98)	0.223*** (10.93)	0.213*** (7.24)	0.208*** (15.47)
	<i>obs</i>	3934	3934	3934	3934
	<i>F</i>	38.761	128.896	39.782	136.300
	<i>RMSE</i>	0.079	0.082	0.079	0.081

注:*, **, *** 分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平上显著;括号内为 *t* 值;*URB1* 代表人口城市化水平;*URB2* 代表土地城市化水平。

其中,人口城市化门槛模型 THRESH(1)的门槛值 1.6783(非农就业人口比重为 5.36%)将人口城市化水平划分为两个区间:①当非农就业人口比低于 5.36% 时,人口城市化 $URB1$ 的系数显著为正($\beta=0.699, t=5.37$),说明在这一区间,人口城市化的发展促进了碳生产率的提升,其弹性为 0.699;②当非农就业人口比高于 5.36% 时,模型 THRESH(1)中人口城市化的系数依然为正且显著,但相比于第一阶段,这一阶段人口城市化对碳生产率的边际作用变小了($0.068 < 0.699$)。可见人口城市化对碳生产率的正向促进作用随着人口城市化程度的加深而减弱,即人口城市化对碳生产率具有阶段性效应,这一结论符合前文推论。

另外,土地城市化门槛模型 THRESH(2)的门槛值 0.0892(建成区面积占全市土地面积的比重为 1.09%)将土地城市化水平划分为两个区间:①当建成区面积占全市土地面积的比重低于 1.09% 时,土地城市化 $URB2$ 的系数显著为正($\beta=0.035, t=2.90$),说明在这一区间,土地城市化的发展促进了碳生产率的提升,弹性为 0.035;②当建成区面积占全市土地面积的比重高于 1.09% 时,模型 THRESH(2)中土地城市化的系数为负且不显著($\beta=-0.007, t=-1.08$),这意味着当建成区面积占全市土地面积的比重高于 1.09% 时,土地城市化的发展与碳生产率之间并不存在显著关系。可见土地城市化对碳生产率的正向促进作用在土地城市化到达一定水平后消失了,即土地城市化对碳生产率具有阶段性效应,这一结论也符合前文推论。

其他控制变量中,不论是线性模型还是非线性模型,市场化程度 Mar 的估计系数都显著为负,本文市场化程度是用财政支出占 GDP 的比重衡量的,比值越大说明市场化程度越低、政府干预程度越高。 Mar 的估计系数显著为负,说明政府财政干预程度越高,碳生产率反而越低,这意味着市场化程度与碳生产率之间存在正向相关,政府干预在提高碳生产率方面力不从心,政府过多干预反而导致了碳生产率的下降。除了模型 3,其余模型中开放化程度 FDI 的估计系数都显著为负,说明 FDI 水平的提升不利于碳生产率的改善,这一估计结果也从侧面说明了经济开放与碳生产率提升之间的矛盾。除了模型 1,其余模型中产业结构高级化程度 Str 的估计系数均显著为正,说明第三产业比重的提高有利于碳生产率的提升。能源价格 Pri 的估计系数显著为正,说明能源价格提升对碳生产率有正向影响,这一结果也证实了诱致性技术变迁理论,即能源价格变迁能够激发节能技术进步,能源价格提升提高了能源投入成本,会引发资本和劳动力对能源的替代,为了减少投入成本,能源价格提升还会加速节能技术扩散,从而提高能源效率(Mulder et al, 2003; Popp, 2002)。

(二)门槛区间的构成和变化

根据人口城市化门槛模型计算出的人口城市化门槛值 1.6783(非农就业人口比为 5.36%),可以将各地级市 2003—2016 年人口城市化水平划分为两个区间,如图 2 所示(其中横线代表人口城市化门槛值,圆点代表各地级市人口城市化水平):①第一区间的非农就业人口比低于 5.36%,这一区间内人口城市化发展对碳生产率具有促进作用,非农就业人口比提升 1%,碳生产率将提升 0.699%;②第二区间的非农就业人口比高于 5.36%,这一区间内人口城市化发展对碳生产率依然具有促进作用,但是相比于第一区间,这一区间作用变小了,在这一区间内,非农就业人口比提升 1%,碳生产率将提升 0.068%。截至 2016 年,全国 281 个地级市中,仅有 8 个地级市的非农就业人口占比低于 5.36%,这意味着对全国而言,绝大多数地级市的人口城市化水平已经跃过门槛值,到达第二区间,即对全国大部分城市而言,非农就业人口比重的提升对碳生产率的促进作用减弱了,但是依然显著。这是一个有利的信号,说明伴随着人口城市化进程,我国大部分地级市的碳生产率在未来还有提升空间。但是如果城市化过程中单纯为了提高城市化率而不顾环境质量大肆引入污染企业,或者不经合理规划布局就盲目扩张,那么这种低质量的城市化极有可能降低城市化与碳生产率作用的门槛值,迫使这些低质量城市化的地区提前进入碳生产率与城市化发展脱钩的阶段,甚至对碳生产率产生负面影响。

类似的,根据土地城市化门槛模型计算出的土地城市化门槛值 0.0892(地级市建成区面积与全市土地面积之比为 1.09%),可以将各地级市 2003—2016 年土地城市化水平划分为两个区间,如图 3 所示(其中横线代表土地城市化门槛值,圆点代表各地级市土地城市化水平):①第一区间

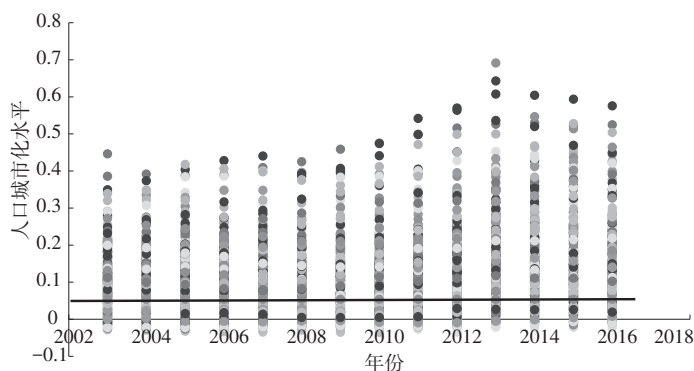


图2 2003—2016年全国各地级市人口城市化水平

的建成区面积与全市土地面积之比低于1.09%，这一区间内土地城市化发展对碳生产率具有一定促进作用，建成区面积占比提升1%，碳生产率将提升0.035%；②第二区间的建成区面积与全市土地面积之比高于1.09%，这一区间内土地城市化发展对碳生产率不再具有影响。截至2016年，全国281个地级市中，仅有13个地级市的建成区面积与全市土地面积之比低于1.09%，这意味着对全国而言，绝大多数地级市的土地城市化水平已经跃过门槛值，到达第二区间，即对全国大部分城市而言，建成区面积比重的提升不再能提升碳生产率。

总体而言，无论是对人口城市化还是土地城市化，在门槛值之前，城市化进程都将促进碳生产率的提升，随着城市化进程的继续推进，人口城市化对碳生产率的作用逐渐衰减，而土地城市化对碳生产率的促进作用渐渐消失。当前，全国大部分地级市的人口城市化和土地城市化都已跃过门槛值，可以预见的是，随着我国城市化的持续发展，未来将会有越来越多的省份跨过人口城市化和土地城市化的门槛值，在当前或今后相当长的一段时期内，城市化发展对碳生产率的拉动作用将逐渐减缓。因此，我国急需探索一条低碳城市化发展道路。

(三) 区域分异分析

上文的实证表明城市化对碳生产率具有阶段性影响，考虑到我国区域发展不平衡，各地区城市化在同一时期呈现出多种发展阶段并存的特点(秦佳和李建民, 2013)，所以，我国不同地区的城市化差异实质上体现了城市化不同的发展阶段。为此，本文分析城市化与碳生产率关系的地区差异，实质上也是对城市化过程中碳生产率的阶段性效应的进一步分析。本节分东中西三个区域对模型做进一步分析，估计结果见表6。

模型E1、C1和W1分别是对东部、中部和西部地区人口城市化对碳生产率影响的固定效应回归模型，E2、C2和W2分别是对东部、中部和西部地区土地城市化对碳生产率影响的固定效应回归模型。

在模型E1和C1中，人口城市化 $URB1$ 的系数均为正且显著，这意味着对于所有地区而言，非农就业人口比重的上升对碳生产率具有显著的提升作用，这一结果与全国层面的门槛模型估计结果一致。进一步地，中部地区 $URB1$ 的系数为0.102，高于东部地区0.067和西部地区0.056，说明三个地区中，中部地区人口城市化发展对碳生产率的拉动作用最大，东部次之，西部地区最小。在模型E2和C2中，土地城市化 $URB2$ 的系数为负但不显著，在模型W2中，土地城市化的系数显著为正，这意味着在东部和中部，建成区面积比重的上升对碳生产率并无显著影响，但是在西部地区，建成区面积比重的上升将促进地级市碳生产率的提升。前文对全国样本的回归结果表明，土地城市化对碳生产率的影响将随着土地城市化进程的推进实现从正向促进到逐步脱钩。西部地区是三个地区中土地城市化率最低的地区， $URB2$ 的系数在中部和东部不显著，在西部显著，表明随着土地城市化率的提高，土地城市化对碳生产率的影响从显著变为不显著，这一结果与全国层面的门槛模型估计结果一致。分地区回归结果也说明，西部地区土地城市化水平仍处于有利于碳生产率提升的区间，中部和东部地区则已跨越门槛值，土地城市化与碳生产率不再相关。

分地区的回归结果表明，人口城市化和土地

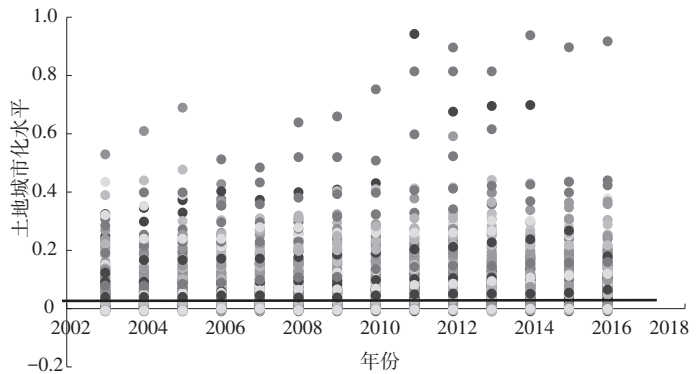


图3 2003—2016年全国各地级市土地城市化水平

表6 模型回归结果(分东中西地区)

变量	被解释变量:碳生产率					
	E1	E2	C1	C2	W1	W2
$URB1$	0.056*** (4.06)		0.102*** (4.76)		0.067*** (2.69)	
$URB2$		-0.005 (-0.51)		-0.013 (-1.24)		0.040*** (2.60)
Mar	-0.148* (-1.94)	-0.169** (-2.22)	-0.366*** (-4.41)	-0.403*** (-4.97)	-0.236*** (-3.86)	-0.251*** (-4.12)
FDI	-1.779** (-2.23)	-1.238 (-1.55)	-5.210*** (-4.42)	-5.701*** (-4.86)	4.373* (1.82)	3.848 (1.61)
Str	0.035 (1.30)	0.002 (0.09)	-0.056** (-2.23)	-0.060** (-2.42)	-0.087*** (-3.31)	-0.097*** (-3.70)
Pri	0.233*** (13.21)	0.204*** (11.65)	0.273*** (13.16)	0.240*** (11.12)	0.307*** (12.63)	0.269*** (10.76)
$_{-}cons$	0.246*** (8.33)	0.233*** (11.01)	0.232*** (6.14)	0.183*** (7.58)	0.247*** (5.76)	0.167*** (5.71)
obs	1372	1372	1400	1400	1162	1162
F	54.392	58.336	54.183	59.284	50.978	51.097
$RMSE$	0.077	0.076	0.075	0.074	0.094	0.094

注: *、**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平上显著;括号内为 t 值; $URB1$ 代表人口城市化水平; $URB2$ 代表土地城市化水平。

城市化对碳生产率的影响均存在区域差异。由于三个地区城市化发展程度呈现阶梯式分布,该差异也再一次印证了城市化发展对碳生产率的阶段性效应。

六、结论

通过实证检验城市化进程对碳生产率的阶段性效应,本文从城市层面论证了人口城市化阶段、土地城市化阶段与碳生产率的总体关系,并分析了该阶段性效应的成因与区域分异,结果表明:

(1)在全国范围内,城市化阶段理论揭示了人口城市化、土地城市化和碳生产率的总体关系。一方面,当非农就业人口比低于5.36%时,人口城市化的发展有助于提升碳生产率,在该阶段,人口城市化水平每提升1%,城市碳生产率将提升0.699%;而当非农就业人口比越过5.36%的门槛值后,人口城市化对碳生产率的提升作用虽然显著但大大缩小了;另一方面,当建成区面积占全市土地面积的比重低于1.09%时,土地城市化的推进有助于提升城市碳生产率,在该阶段,土地城市化水平每提升1%,城市碳生产率将提升0.035%;而当建成区面积占全市土地面积的比重越过1.09%的门槛值后,土地城市化对城市碳生产率的提升作用消失了。

以上结论说明人口城市化和土地城市化均对城市碳生产率具有阶段性效应,结合前人研究,本文认为存在这种阶段性效应的原因在于城市化扩张会给碳生产率带来两种不同的效应,一是推动碳生产率上升的“驱动效应”,主要来源于集聚经济和规模经济,二是“制动效应”,来源于拥挤效应和规模不经济。当城市化率低于门槛值时,驱动效应大于制动效应,城市化发展会促进碳生产率的提升,而当城市化率越过门槛值以后,制动效应超过驱动效应,城市化的发展将不再促进碳生产率的提升。

(2)对门槛区间构成和变化的分析得出,当前我国大部分地级市的人口城市化和土地城市化水平均已越过门槛值,这意味着对全国大部分地级市而言,人口城市化对碳生产率的提升作用减弱了,并且土地城市化对碳生产率的提升作用消失了。

以上结论提醒人们,随着城市化的继续发展,将有越来越多的城市跨过门槛值,伴随着人口城市化进程,我国大部分地级市的碳生产率在未来还有一定提升空间,但是如果城市化过程中单纯为了提高城市化率而不顾环境质量大肆引入污染企业,或者不经合理规划布局就盲目扩张,那么这种低质量的城市化极有可能降低城市化与碳生产率作用的门槛值,迫使这些低质量城市化的地区提前进入碳生产率与城市化发展脱钩的阶段,甚至对碳生产率产生负面影响。这意味着低碳式城市化和科学合理的城市规划布局将是我国经济绿色低碳发展的必由之路。

(3)我国地区发展水平不均衡,城市化水平自东向西呈阶梯式下降,城市化水平与碳生产率关系的地区差异,从侧面反映了城市化对碳生产率的阶段式效应。分地区的实证结果再次证明了人口城市化和碳生产率的非线性关系,这一结果说明:为了促进碳生产率的提升,实现城市化的低碳式推进,我国的城市化政策就不应一概而论,而要根据不同地区、不同阶段的实际情况,推行差异化的城市化发展政策。

随着城市化的推进和经济的持续发展,碳排放总量的增加将是难以避免的。因此我国经济的低碳发展不能以碳排放的“量”作为评价标准,而应更加关注碳排放的“质”,碳生产率就是一个反应碳排放“质量”的综合性指标。以碳生产率为基准,我国不同区域的城市化显示了绿色发展的两个空间方向:一是在城市化发展已经相对成熟的特大城市和超大城市中,城市化继续推进的速度减缓,拥挤效应逐步增加,在这些城市进一步的城市化进程中,需要格外关注城市化的质量,合理规划空间布局,充分发挥公共服务和基础设施的规模经济;而在城市化还将继续快速推进的中小城市和中西部地区,这些城市中城市化水平仍然处于碳生产率的递增区间,保持城市化的继续推进、在城市化推进过程中合理规划、科学扩张,将有利于碳生产率的提升。总体而言,在顺应城市化这一结构性转型的同时,理解如何在城市化推进和集聚效应、城市规模、空间结构与低碳绿色发展之间构建一种新的平衡关系,无疑将推动我国城市化的可持续发展(杨先明和王巧然,2017)。

参考文献

- [1] 蔡博峰, 2013. 国际城市CO₂排放清单研究进展及评述[J]. 中国人口·资源与环境, 23(10): 72-80.
- [2] 陈诗一, 2010. 中国的绿色工业革命: 基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. 经济研究, 45(11): 21-34, 58.
- [3] 湛伟, 诸大建, 白竹岚, 2010. 上海市工业碳排放总量与碳生产率关系[J]. 中国人口·资源与环境, 20(9): 24-29.
- [4] 段庆锋, 2012. 我国省域全要素碳排放绩效比较研究——基于Malmquist指数分解方法[J]. 技术经济, 31(2): 68-74.
- [5] 杜克锐, 邹楚沅, 2011. 我国碳排放效率地区差异、影响因素及收敛性分析——基于随机前沿模型和面板单位根的实

- 证研究[J]. 浙江社会科学, 11: 32-43, 156.
- [6] 冯玲, 吝涛, 赵千钧, 2011. 城镇居民生活能耗与碳排放动态特征分析[J]. 中国人口·资源与环境, 21(5): 93-100.
- [7] 干春晖, 郑若谷, 余典范, 2011. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 46(5): 4-16, 31.
- [8] 何建坤, 苏明山, 2009. 应对全球气候变化下的碳生产率分析[J]. 中国软科学, 10: 42-47, 147.
- [9] 洪丽璇, 梁进社, 蔡建明, 等, 2011. 中国地级以上城市工业能源消费的增长——基于2001—2006年的数据分解[J]. 地理研究, 30(1): 83-93.
- [10] 胡玉莹, 2010. 中国能源消耗、二氧化碳排放与经济可持续增长[J]. 当代财经, 2: 29-36.
- [11] 李博, 张文忠, 余建辉, 2016. 服务业发展、信息化水平与全要素碳生产率增长——基于门槛效应的实证研究[J]. 地理研究, 35(5): 953-965.
- [12] 李思慧, 2011. 产业集聚、人力资本与企业能源效率——以高新技术企业为例[J]. 财贸经济, 9: 128-134.
- [13] 李卓霖, 2014. 我国区域碳排放效率测度及影响因素分析[D]. 徐州: 中国矿业大学.
- [14] 林伯强, 刘希颖, 2010. 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, 45(8): 66-78.
- [15] 刘习平, 盛三化, 王珂英, 2017. 经济空间集聚能提高碳生产率吗?[J]. 经济评论, 6: 107-121.
- [16] 陆铭, 冯皓, 2014. 集聚与减排: 城市规模差距影响工业污染强度的经验研究[J]. 世界经济, 37(7): 86-114.
- [17] 潘家华, 张丽峰, 2011. 我国碳生产率区域差异性研究[J]. 中国工业经济, 5: 47-57.
- [18] 彭文强, 赵凯, 2012. 我国碳生产率的收敛性研究[J]. 西安财经学院学报, 25(5): 16-22.
- [19] 秦佳, 李建民, 2013. 中国人口城镇化的空间差异与影响因素[J]. 人口研究, 37(2): 25-40.
- [20] 任阳军, 汪传旭, 2017. 中国城镇化对区域绿色经济效率影响的实证研究[J]. 技术经济, 36(12): 72-78, 98.
- [21] 沈能, 王群伟, 赵增耀, 2014. 贸易关联、空间集聚与碳排放——新经济地理学的分析[J]. 管理世界, 1: 176-177.
- [22] 师傅, 沈坤荣, 2013. 政府干预、经济集聚与能源效率[J]. 管理世界, 10(2): 6-18, 187.
- [23] 孙久文, 周玉龙, 2015. 城乡差距、劳动力迁移与城镇化——基于县域面板数据的经验研究[J]. 经济评论, 2: 29-40, 77.
- [24] 王群伟, 周鹏, 周德群, 2010. 我国二氧化碳排放绩效的动态变化、区域差异及影响因素[J]. 中国工业经济, 1(4): 45-54.
- [25] 王小斌, 邵燕斐, 2014. 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, 33(5): 55-63.
- [26] 魏梅, 曹明福, 江金荣, 2010. 生产中碳排放效率长期决定及其收敛性分析[J]. 数量经济技术经济研究, 27(9): 43-52, 81.
- [27] 吴建新, 郭智勇, 2016. 基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J]. 统计研究, 33(1): 54-60.
- [28] 武俊奎, 2012. 城市规模、结构与碳排放[D]. 上海: 复旦大学.
- [29] 吴晓华, 李磊, 2014. 中国碳生产率与能源效率省际差异及提升潜力[J]. 经济地理, 34(5): 105-108.
- [30] 杨先明, 王巧然, 2017. 城市化进程中居民能源消费的阶段性效应[J]. 经济学动态, 12: 18-33.
- [31] 张成, 史丹, 王俊杰, 2015. 中国碳生产率的潜在改进空间——基于外部环境和内部管理视角[J]. 资源科学, 37(6): 1218-1229.
- [32] 张翠菊, 张宗益, 2016. 产业和人口的空间集聚对中国区域碳排放强度的影响[J]. 技术经济, 35(1): 71-77, 125.
- [33] 张腾飞, 2016. 城镇化对中国碳排放效率的影响[D]. 重庆: 重庆大学.
- [34] 郑云鹤, 2006. 工业化、城市化、市场化与中国的能源消费研究[J]. 北方经济, 10: 11-12.
- [35] 周五七, 聂鸣, 2012. 中国工业碳排放效率的区域差异研究——基于非参数前沿的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 29(9): 58-70, 161.
- [36] 周银香, 2012. 基于系统动力学视角的城市交通能源消耗及碳排放研究——以杭州市为例[J]. 城市发展研究, 19(9): 99-105.
- [37] BEINHOCKER E, OPPENHEIM J, IRONS B, et al, 2008. The carbon productivity challenge: Curbing climate change and sustaining economic growth[R]. Sydney: McKinsey Global Institute, McKinsey & Company.
- [38] DONG F, LI X, LONG R, et al, 2013. Regional carbon emission performance in China according to a stochastic frontier model[J]. Renewable and Sustainable Energy Review, 28: 525-530.
- [39] DU K, LU H, YU K, 2014. Sources of the potential CO₂ emission reduction in China: A nonparametric metafrontier approach[J]. Applied Energy, 115: 491-501.
- [40] FISHER-VANDEN K, JEFFERSON G H, LIU H, et al, 2004. What is driving China's decline in energy intensity?[J]. Resource and Energy Economics, 26(1): 77-97.
- [41] GLAESER E L, RESSEGER M G, 2010. The complementarity between cities and skills[J]. Journal of Regional Science, 50(1): 221-244.
- [42] HANSEN B E, 1999. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference [J]. Journal of

- Econometrics, 93(2): 345-368.
- [43] KAYA Y, YOKOBORI K, 1997. Environment, energy, and economy: Strategies for sustainability [M]. Tokyo: United Nations University Press.
 - [44] LI H, LU Y, ZHANG J, et al, 2013. Trends in road freight transportation carbon dioxide emissions and policies in China [J]. Energy Policy, 57: 99-106.
 - [45] MIELNIK O, GOLDEMBERG J, 1999. Communication the evolution of the “carbonization index” in developing countries [J]. Energy Policy, 27(5): 307-308.
 - [46] MULDER P, DE GROOT H L F, HOFKES M W, 2003. Explaining slow diffusion of energy-saving technologies: A vintage model with returns to diversity and learning-by-using[J]. Resource and Energy Economics, 25(1): 105-126.
 - [47] NORTHAM R M, 1979. Urban geography[M]. New York: John Wiley & Sons.
 - [48] PARIKH J, SHUKLA V, 1995. Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: Results from a cross-national study of developing countries[J]. Global Environmental Change, 5(2): 87-103.
 - [49] POPP D, 2002. Induced innovation and energy prices[J]. American Economic Review, 92(1): 160-180.
 - [50] SADORSKY P, 2013. Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries? [J]. Energy Economics, 37: 52-59.
 - [51] YORK R, 2007. Structural influences on energy production in south and east Asia, 1971—2002 [C]//Sociological Forum. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 22(4): 532-554.

A Study on the Staged Effect of Urbanization on Carbon Productivity and Its Regional Differentiation Characteristics: Evidence from China's Prefecture-level Cities

Wang Qiaoran

(School of Economics, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Cities are the gathering place and essential carrier of human production and life, it is also the main subject of energy consumption and carbon emission. Thus improving carbon productivity is the most important starting point in the policy toolbox of building low-carbon cities and developing green economy. A theoretical model of the relationship between urbanization and urban carbon productivity was built based on the Cobb-Douglas cost function, then the dynamic relationship between population urbanization, land urbanization and urban carbon productivity at the level of China's prefecture-level cities was tested with threshold regression model. The empirical results show that population urbanization and land urbanization have different staged effects on urban carbon productivity. Specifically, the relationship between population urbanization and urban carbon productivity presents a “strong promotion-weak promotion” relationship with the inflection point of 5.36% of population urbanization rate, while the land urbanization and urban carbon productivity showed a “promotion-decoupling” relationship with the inflection point of 1.09% of the land urbanization rate. The regional empirical results prove the robustness of the research conclusions from the regional level. The results reveal that most prefecture-level cities in China have passed the two thresholds, which means that low-carbon urbanization and reasonable urban planning will be the only way to develop green economy in China's cities.

Keywords: urban carbon productivity; population urbanization; land urbanization; low-carbon urbanization