

产业集聚、城市规模与碳排放

王桂新 武俊奎

(复旦大学, 上海 200433)

〔摘要〕 本文利用2005年全国直辖市、副省级城市、地级市等283个城市市辖区的统计数据建立计量经济学模型研究城市规模扩张过程中产业集聚对碳排放的影响。研究发现:(1)产业集聚对碳排放具有“反弹效应”和“节能效应”,产业集聚程度提高1%,城市碳排放下降8.33%~10.57%;(2)不同规模的城市,产业集聚对碳排放的影响是不同的,人口规模在300~1000万的特大城市相对其他规模等级的城市更适合中国的低碳城市化进程。

〔关键词〕 产业集聚 城市规模 碳排放

DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2012.06.010

〔中图分类号〕 F269.23 〔文献标识码〕 A

引言

新经济地理学认为,地区专业化水平提高有利于提高地区生产率从而促进经济增长。由于城市经济增长得益于产业集聚带来的规模效应,而市场经济中产业集聚具有自组织特点,产业集聚程度越高越有利于通过共享信息、共享劳动力市场、共享基础设施等途径降低企业的生产成本,从而提高企业在市场上的竞争力。而且,企业成本降低程度与产业集聚程度成非线性关系,这主要是因为产业集聚的外部经济收益随经济规模而增大。因此,产业集聚程度越高,企业的市场竞争力越大,企业规模扩大的同时吸引城市内更多的资本和劳动从其他产业转移出来进入该产业,那么城市的专业化程度必然提高。可见城市规模扩大既有利于促进产业集聚,同时也能提高经济的专业化程度。那么,专业化程度提高是否可以提高地区能源利用效率,从而达到节能减排的目的呢?

利用我国2002~2010年285个城市各行业就

业人口数据,我们可以计算每个行业内部的空间分布基尼系数^①,即每个产业的空间集聚度。聚集效应是指因社会经济活动及相关要素的空间集中而产生的效应,一直被视为城市形成、存在和发展的动力与依托。人口和产业等要素因聚集效应不断向城市集中,推动城市规模扩大,并反作用于产业集聚。产业的地理空间集聚度提高可以实现劳动力市场共享,降低对熟练劳动的搜寻成本;同时,同一产业在某一地理区域的高度集中能够通过学习效应,加快新技术、新知识的扩散,从而实现生产技术的改进、生产效率的提高,从而提高能源利用率,达到节能减排的最优目标。产业的空间集聚也可以通过共享城市交通、建筑等基础设施实现能源节约。而且产业的空间集聚度提高往往伴随着劳动力就业的集聚度提高,因此提高城市空间的紧凑度,实现空间效率的提高,进而降低能源消耗。为了从行业层面考察产业集聚与能源消耗之间的关系,我们分别对各行业的

收稿日期:2012-03-30

基金项目:国家社科基金重大项目“中国人口城市化低碳发展战略研究”(项目编号:10ZD&032)、复旦大学研究生创新项目基金(项目编号:EZH3548301)。

作者简介:王桂新,复旦大学社会发展与公共政策学院人口研究所所长,城市与区域发展研究中心主任,经济学教授,博士,博士生导师。研究方向:城市经济、区域经济。武俊奎,复旦大学社会发展与公共政策学院人口研究所人口、资源与环境经济学博士研究生。研究方向:城市经济、低碳经济。

2002~2010年数据取平均值,如图1所示,制造业空间集聚度与各行业的能源利用效率之间成同步变动,空间集聚度较高的行业能源利用效率也相应较高,空间集聚度较低的行业能源利用效率也较低,尤其是烟草制造业和通讯设备、计算机及其他电子设备制造业在地理空间呈高度集中状

态,而且这两个行业的能源效率也远远高于其他行业。造纸及纸制品业、化学原料及化学制品业的空间集中程度较其他行业最低,同时能源效率也非常低。这说明,产业的空间集聚程度影响产业的能源利用效率,集聚度高则可以提高能源利用效率,反之则降低能源利用效率。

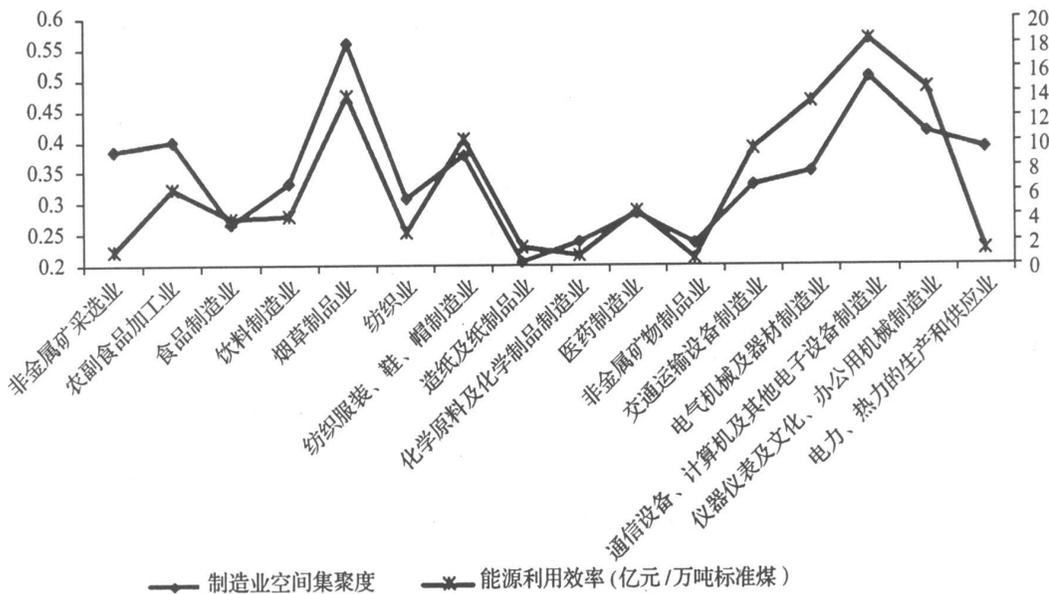


图1 产业集聚与能源效率

数据来源:根据《中国城市统计年鉴》数据计算整理而来

由于城市化是人口在城市空间聚集的结果,因此城市存在的基础与聚集效应密切相关。城市借助规模优势和区域核心地位不断吸纳第二产业和第三产业集聚,进而引起人口集中和城市规模扩大。由于城市是人口、产业等聚集的结果,城市经济规模扩大为经济集聚提供劳动、资本、信息等要素,使经济集聚的优势越来越明显。因此,城市化的进程在很大程度上就是一个最优的城市经济增长的过程,降低碳排放的约束对城市化发展的影响问题就可以转化为节能减排、建立低碳城市的条件下实现城市经济可持续增长问题。由于能源的消耗量和能源利用效率共同决定城市碳排放,那么,在城市规模扩张的同时,产业集聚对碳排放的影响是否存在稳健的统计关系?本文利用2005年全国直辖市、副省级城市、地级市等283个城市市辖区的统计数据建立计量经济学模

型对这一问题进行深入研究。

1 文献综述

自马歇尔首次提出产业集聚以及空间外部性的概念以来,Ohlin (1933)、Hoover (1937)^[1]、Henderson (1974)^[2]、Rahman (1995、1996)^[3-4]等经济学家对集聚经济的理论研究进行了拓展和模型化。20世纪50年代之前,产业集聚理论主要应用静态微观方法,胡佛(Hoover, 1937)将集聚经济分解为内部规模经济、区域化经济和城市化经济3种类型:内部规模化经济指的是厂商水平上的规模经济,即随着定位于某一区位生产厂商规模的扩大,其单位生产成本也随之下降;区域化经济也称为地方化经济(localization economy),其特点是一个区域内含有同一行业的许多企业,该区域内共享基础设施、知识外溢、信息交流和具有完善的熟练劳动力市场,由此降低了单个企

业产品的平均成本,这类规模经济对厂商来说是外部的,对行业来说体现为内部规模经济,随着行业规模的扩大而降低了单位产品的平均成本;城市化经济(urbanization economy)指的是在城市层面的规模经济,它对企业 and 产业而言都是外部经济(Jacobs, 1969)^[5],能使城市中所有的企业都受益。

20世纪70~80年代,经济学家和地理学家对城市规模与产业集聚的研究试图解释城市规模与产业集聚间的关系及其对经济增长的作用机制。Segal (1976)利用城市总体数据对城市规模与生产率之间关系进行检验,发现人口规模超过200万标准都市统计区的生产率要比人口规模介于25~200万之间的标准都市统计区高6%^[6]。Moomaw (1998)给出了一个控制资本存量影响的检验模型,并利用新的检验模型对美国1967年的数据进行了重新分析,结果显示城市规模对生产效率的影响要大大低于Segal (1976)的估计,城市人口翻番、城市生产率提高仅2.7%。城市规模与生产率之间具有坚实的理论基础,并且大部分的实证研究结论都证实了城市规模对生产率有正向作用的理论假说^[7]。

城市人口规模和空间规模扩大能够促进城市经济规模扩大,城市生产与消费水平提高能够拓展城市市场交易的广度和深度。集中的、有规模的市场会由于企业和人口的集中而在技术、知识、信息传递、人力资本贡献等方面形成溢出效应,因而会产生较高的经济效益。城市规模越大越有利于城市内部企业进行专业化生产,规模越大的城市,其分工也必然更详细。集聚在同一区域的企业之间通过学习效应提高生产技术、可以有效地分担研发费用等。随着产量的增加,工人可以提高生产技术的熟练程度,提高效率。城市规模扩大、基础设施改善使企业的物流运输、订购原材料等方面存在规模经济性,从而降低企业生产

成本,提高企业的产品竞争能力。城市经济增长为当地政府财政收入提供充足的税源,政府有能力改善基础设施条件。城市经济规模扩大和基础设施改善可以为生产、金融、信息、技术服务提供进一步发展的条件。

规模越大的城市越有利于相同和相关产业通过产业集聚共享基础设施、信息、劳动力市场等方式提高生产效率,产业内各企业的生产率水平对城市发展的依赖程度越高。在城市发展过程中,城市规模与集聚经济呈现正向关系。城市规模随城市经济竞争力水平、产业生产效率、企业竞争优势以及技术进步而发生变化。制造业为主的第二产业是城市经济的支柱产业,对城市规模与经济发展的贡献甚大,城市产业结构由农业(第一产业)、工业(第二产业)至服务业(第三产业)逐渐升级为对城市规模和集聚经济产生不可忽略的影响。规模较大的城市便于知识创新、技术研发,因此,产业升级速度快于规模较小的城市。城市规模越大越便于产业集聚效应发挥优势,促进城市经济增长。

人口和产业聚集推动下城市规模扩张的过程,也造成经济系统能源利用效率和资源消耗方式发生显著改变。城市集聚经济的生产方式和能源利用方式对能源利用产生两种影响:(1)能源消费总量上升效应,城市经济增长、居民消费水平提高都会促使城市能源消费总量上升。以第二产业为主的城生产方式比农业生产方式将消耗更多的资源和能源,排放更多的废物和污染物,随着环境承载能力的下降,严重的环境污染可能会使经济社会发展走向倒退或前功尽弃。(2)能源效率提高效应,城市化通过产业集聚和人口集聚促进能源集中利用,能源利用技术也通过学习效应而提高,因此能提高城市能源利用效率。随着中国大规模的城市化进程加快,大量的农村人口将进入城市,导致城市人口数量剧增,城市能源消

费量也急剧上升。我国现阶段能源结构仍然以石油、煤炭、天然气等不可再生能源为主, 这种情况下我国能源供给的安全性问题面临严峻挑战。此外, 化石燃料燃烧产生大量二氧化碳等温室气体对全球生态可持续性造成严重威胁, 降低碳排放是各国政府共同面临的难题。因此, 降低化石能源消费建立低碳城市已成为我国未来城市化模式选择面临的又一重要约束。

产业集聚能促进静态的成本节约和动态的学习与创新能力的增强, 进而提升企业的能源效率。业务关联企业和上下游产业在空间上的集聚, 必然会带来资金、技术、设备和资源等要素的相对集中, 通过生产运营的专业化、集中化和规模化以及要素资源、基础设施、市场网络与信息的共享性, 可以有效地降低各个环节的生产成本。一方面具有投入产出关系的上下游的产业和企业集聚在一起, 能减少中间投入品的在途损耗, 减少运输成本, 从而降低中间投入品的价格, 有利于同一区域内企业分工与协作; 另一方面, 关联企业和产业在空间上的集聚, 使得公共基础设施的大规模建造和共同使用成为可能, 比如公共基础设施的集约化规模建造与使用可以降低使用成本

或分摊费用, 从而导致集群减少能源消耗, 提高能源的利用效率, 同时, 同质(或相近)废弃物的集聚还可以降低污染物治理成本, 提高废弃物回收利用价值(徐海燕, 2010)^[8]。可见, 城市规模扩大促进产业集聚, 这种集聚可以提高能源利用效率降低碳排放。但是, 城市规模扩大引发的能源需求增长效应与产业集聚产生的能源利用效率提高效应是交织在一起的, 两种效应对城市碳排放分别产生多大影响? 其他因素对这两种效应产生何种影响? 这些问题对城市化推动下如何建立低碳城市至关重要。本研究通过对我国 287 个城市进行实证研究试图回答这些问题。

2 模型与数据描述

2.1 模型

城市规模与产业集聚之间存在互相推动作用, 同时二者之间的相互作用又对城市能源消耗量和能源利用效率产生影响。因此, 不同规模的城市其产业集聚程度不同, 对能源需求和利用效率的影响差异巨大, 城市碳排放量也大相径庭。通过第一部分, 可以将城市规模与产业集聚对碳排放的作用机制总结如下:

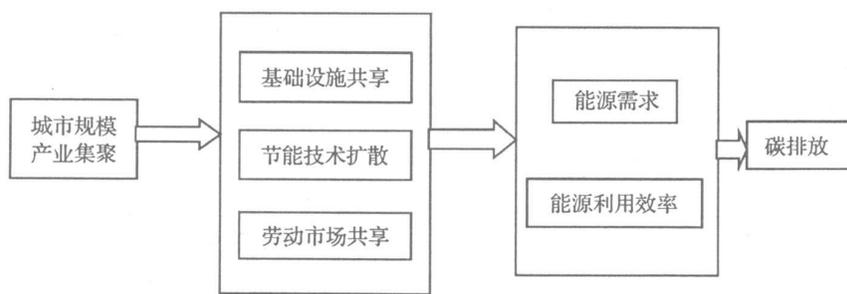


图2 城市规模与产业集聚对碳排放影响机制分析

城市规模扩大后城市人口集聚度提高, 同样的城市基础设施可以服务更多人口, 提高城市基础设施利用率。人口集中在城市中可以实现能源的集中利用, 比分散利用的方式更能节约能源。城市经济发展离不开城市规模扩大, 经济增长能够为政府提供足够的税源, 政府有足够的财力和

物力进行技术研发, 提高城市能源利用效率。从事相同或者相关产业的企业集聚在某一区域更方便新技术新方法在企业之间传播。产业集聚的学习效应有利于节能技术的普及, 企业生产成本下降, 城市产品竞争能力提高。城市经济增长的同时, 居民收入水平提高、消费方式改变, 会增加

对能源的需求。城市规模扩张和产业集聚都会推动城市经济增长,提高居民消费水平,从而使得城市对能源的需求量上升。因此,城市规模扩大和产业集聚对城市碳排放的影响是双面的,能源需求上升会导致碳排放量上升,而能源利用效率提高有助于节约能源降低城市碳排放。为了验证上述两种机制是否存在,我们建立如下基本模型:

$$\text{urbanemission}_i = \alpha + \beta_1 \text{urbanscale}_i + \beta_2 \text{agglo}_i + \sum_{j=1}^4 \rho_j \text{citysize}_{e_j} - \text{urbanscale}_i + \gamma Z + \epsilon \quad (1)$$

其中,urbanemission表示城市碳排放总量,urbanscale表示城市规模,agglo表示城市产业集聚程度,citysize表示城市规模分类,Z代表其他控制变量。按照《中小城市绿皮书》分类标准:市区常住人口50万以下的为小城市,50~100万的为中等城市,100~300万的为大城市,300~1000万的为特大城市,1000万以上的为巨大型城市,将城市规模分为5个档次,引入4个虚拟变量,以此考察不同等级城市对碳排放影响的非线性作用。通过引入城市规模级别的虚拟变量可以验证城市化促进人口集聚、能源集约利用有利于降低碳排放的作用机制。如果 ρ_j 不显著,则表示城市规模变大引发人口聚集和能源集约利用从而降低碳排放的作用机制是不明显的,反之,则显示不同规模级别的城市人口集聚带来的规模效应不同,说明人口集聚引发的能源利用效率不同。

为了验证城市规模与产业集聚通过能源需求与能源利用效率影响城市碳排放,我们在模型中放入城市规模与需求的交叉项和产业集聚与能源效率的交叉项,建立如下模型:

$$\text{urbanemission} = \alpha + \beta_1 \text{urbanscale} + \beta_2 \text{agglo} + \rho_1 \text{agglo} * \text{energyeffi} + \rho_2 \text{urbanscale} * \text{energyde} + \sum_{i=1}^4 \rho_i \text{citysize}_i + \gamma Z + \epsilon \quad (2)$$

其中,energyeffi表示能源利用效率,energyde表示能源需求。由上述分析,城市规模扩大和产

业集聚可以直接带动城市经济增长并导致碳排放上升,因此, β_1 和 β_2 预计是正值。产业集聚有助于提高能源利用效率,能源利用效率提高可以节约能源降低城市碳排放,因此,预计 ρ_1 是负值。城市规模扩张后经济增长带动居民消费水平提高,对能源的消费量上升,导致城市碳排放上升,因此, ρ_2 预计是正值。

2.2 数据来源与主要指标描述

2.2.1 城市规模

城市规模有3个衡量角度:经济规模、人口规模和用地规模。其中,经济规模是衡量城市经济产出能力,可以用地区生产总值来表示;人口规模是指城市人口的数量,用年末城市人口总数表示;用地规模是指城市建成区的土地面积。

2.2.2 产业集聚度

产业集聚是相同或者相关联的上下游产业在某一区域的空间集中现象。产业集聚度是衡量产业集聚程度的指标,表示产业分布的空间异质性和区域不平衡性。

Ciccone等(1996)研究认为,相对于城市规模而言,城市内部的经济密度即每单位面积土地上的产出更能衡量经济活动的集聚程度^[9]。因此Ciccone等(1996)和Ciccone(2002)^[10]用经济密度反映城市的产业集聚程度。国内学者范剑勇(2006)将产业集聚界定为单位土地面积的非农产业就业数量,这种方法粗略地表示非农产业、特别是第二产业在空间上分布的不平衡^[11]。其含义是某一地区非农就业密度越大,其规模报酬递增的地方化、产业间交流或外部性越明显。基于以上分析,我们采用经济密度与就业密度两个指标表示城市的产业集聚程度。

2.2.3 能源利用效率

能源利用效率反映城市经济的投入产出转化程度,相同单位的能源投入如果生产的经济产出越大,则表示能源利用效率越高。因此,我们用

地区生产总值除以城市能源消费量来衡量城市的能源利用效率。城市能源消费量分为城市总用电量、煤气家庭用量和液化气家庭用量³种,通过相关的换算因子转换为标准煤消费量。城市一单位能源生产的经济产出越高,那么城市经济系统的能源利用效率就越高。城市经济系统能源利用效率提高可以以更少的能源投入生产更多的经济产出,因此可以实现节约化石燃料能源和降低城市碳排放的目的。

2.2.4 城市能源需求

城市能源需求反映城市的能源消费规模。城

市能源需求量上升主要是经济增长推动和家庭消费水平提高引起的。城市规模扩大促进城市经济增长和家庭消费水平提高,那么城市的能源需求量会上升,城市能源消费量上升会直接导致城市碳排放上升。城市能源需求与城市消费水平密切相关,因此,社会消费品零售总额表示城市消费水平,我们用来代表城市的能源需求的高低。

本文的数据主要通过中经网统计数据库收集2005年全国直辖市、副省级城市、地级市等283个城市市辖区的统计数据,关键变量的基本统计情况如下:

表1 数据描述

Variable	均值	标准误	最小值	最大值	
城市碳排放(吨)	1740357	3167127	32761.69	3.34E+07	
经济规模	地区生产总值(亿元)	399.8037	881.1347	14.2185	9058.456
空间规模	建成区面积(平方公里)	87.67491	122.4946	6	1182
人口规模	年末总人口数(万人)	127.6952	154.1802	14.62	1290.14
产业集聚程度	经济密度(亿元/平方公里)	3.797536	4.044467	0.536442	51.94344
	就业密度(万人/平方公里)	0.249166	0.129625	0.055733	1.343684
消费水平	社会消费品零售总额(万元)	1443478	3087841	24329	2.83E+07
对外开放度	实际利用外资(万美元)	21842.01	63722.05	12	684235
城市人口密度(人/平方公里)		1040.879	1197.125	13.15	14052.41

数据来源:中经网统计数据库

3 实证结果分析

3.1 基本回归模型

本节主题是研究城市规模与产业集聚对城市

碳排放的影响,我们首先考察在控制城市开放度,城市空间结构等因素的影响下,城市规模与产业集聚程度对城市碳排放的影响。回归结果如下表:

表2 基本模型回归结果

Variable	模型 I	模型 II	模型 III	模型 IV	模型 V
经济规模	4747.415 *** 315.3335			5389.8 *** 288.5082	5013.4 *** 301.5959
空间规模		5076.186 *** 1757.368		624.812 1204.342	981.8248 1249.225
人口规模			2815.776 *** 957.4301	5153.876 *** 671.403	4576.028 *** 677.1499
经济密度	68850.54 *** 13841.85	146888.1 *** 18909.39	115745.9 *** 18091.67		50426.41 *** 14424.02

续 表

Variable	模型 I	模型 II	模型 III	模型 IV	模型 V
就业密度				159477.1 402467.6	
消费水平	0.34 *** 0.069518	0.34 *** 0.090023	0.43 *** 0.064635	0.68 *** 0.089448	0.65 *** 0.086854
对外开放度	4.08 * 2.231679	18.84 *** 2.34136	18.02 *** 2.294424	5.3 *** 2.169877	3.92 ** 2.160301
城市结构	72.21 * 43.20687	31.11 57.37422	21.93 57.50669	63.77 41.92624	51.56 40.1926
常数项	87994.71 81024.54	-195462 133134.7	-95535.3 115835.2	-30526.6 127181.7	-158184 97699.99

注: ***, **, * 分别表示在 1%, 5%, 10% 的置信水平上显著

由回归结果可以发现, 城市规模对城市碳排放的影响非常显著。用城市地区生产总值表示的城市经济规模增长 1 亿元, 那么城市碳排放上升 4747~5389 吨。城市空间规模扩大对城市碳排放的影响在不同的模型中显著程度不同, 但是其作用方向是一致的。城市建成区面积增长 1 平方公里, 城市碳排放最低增长 624 吨, 最高增长 5076 吨。人口规模对城市碳排放的作用非常显著并稳定。年末人口总数增长 1 万人, 城市碳排放上升 2815~5153 吨。城市规模扩大带来经济增长、空间蔓延、人口集聚等因素, 在这些因素的共同作用下, 城市碳排放显著上升。用经济密度衡量的产业集聚程度对城市碳排放的影响也非常显著。产业集聚对城市碳排放的净影响表现为, 单位土地面积的经济产出增长会消耗更多能源, 因此碳排放上升。产业集聚的同时需要投入更多能源以支撑经济的持续增长。用就业密度表示的产业集聚程度对城市碳排放的影响并不显著, 但是其作用方向与经济密度是相同的, 都会促进城市碳排放上升。由此可见, 建立低碳城市并不能过度追求城市规模的不断扩展, 而是应当寻求低碳约束下合理的城市规模。城市产业集聚的同时应该改变产业的能源消费结构, 以太阳能、风能、热能、

核能等新型能源替代煤炭、石油、天然气等化石燃料能源。只有这样才能在城市经济集聚的同时既实现经济增长又能够降低城市碳排放。

3.2 城市规模作用机制研究

基本回归模型证实城市规模与产业集聚对城市碳排放存在显著促进作用。为了揭示城市规模与产业集聚对城市碳排放的影响机制, 我们将城市按人口数量分为巨型城市、特大城市、大城市、中等城市、小城市, 引入城市规模等级对不同规模等级的城市进行比较, 分析城市规模对城市碳排放的影响。

对模型 (1) 的各变量取对数形式建立如下模型:

$$\log(\text{urbanemission}_i) = \alpha + \beta_1 \log(\text{urbanscale}_i) + \beta_2(\text{aggl}_i) = \sum_{j=1}^4 \varphi_j \text{citysize}_{e_j} \cdot \log(\text{urbanscale}_i) + \gamma Z + \epsilon$$

由基本模型回归结果可知, 城市人口规模与经济规模都可以对城市规模进行合理描述, 本部分我们选择人口规模作为城市规模的衡量指标。回归结果 model1~model4 是在不同的控制变量下城市规模与产业集聚对城市碳排放的影响模型实证结果。模型 model3、model4 是在不控制城市能源利用效率与城市能源需求的条件下城市规模与

产业集聚对城市碳排放影响的模型。由实证结果可见,在其他条件不变的情况下,城市人口规模扩大10%会引起城市碳排放上升8.13%,用经济密度衡量的产业集聚度上升也会显著引起碳排放上升,但是作用力较人口规模扩大小,单位面积的经济产出增长10%城市碳排放上升3.2%~5.7%。城市对外开放程度用实际利用外资额衡量,城市开放度提高也会对城市碳排放产生显著影响。控制和不控制城市开放度不会影响城市规模对碳排放的作用力,城市规模对城市碳排放具有稳健的(robust)影响。

在模型 model2、model5 中,城市人口规模等级对城市规模与碳排放之间的作用基本是显著的。在其他模型中,城市人口规模等级虽然不显著,但是系数符号基本是一致的。相对于参照组——人口规模小于50万的小城市,城市人口规模等级越大,城市规模对碳排放的影响 $\beta_1 + \varphi_i$ 越小。人口规模在50万以下的小城市,人口规模增长10%,城市碳排放上升8.13%;人口规模在50~100万之间的中等城市,城市人口上升10%,碳排放上升7.97% (即8.13%~0.16%);人口规模在100~300万之间的大城市,城市人口上升10%,碳排放上升7.4% (即8.13%~0.73%);人口规模在300~1000万的特大城市,城市人口上升10%,碳排放上升7.05% (即8.13%~1.08%);人口规模在1000万以上的巨大型城市,城市人口上升10%,碳排放上升7.68% (即8.13%~0.45%)。同样数量的人口增长,人口规模在300~1000万的特大城市引起的碳排放上升幅度最小。可见,人口在不同规模的城市集聚对碳排放的影响是不同的,人口规模在300~1000万的特大城市相对其他规模等级的城市更适合中国的低碳城市化进程。

由模型 model1~model4 回归结果可见,城市人口规模等级上升过程中城市规模对碳排放的作

用是非线性的,存在逐渐递减的过程。由于不同等级城市的居民能源消费水平不同,特大型城市居民消费结构与中小城市居民消费结构存在显著差异。不同等级城市的经济发展水平差距悬殊,居民平均收入水平差距也非常大。收入水平的变化会引起居民当前和未来的消费结构发生变化,因此,家庭消费水平在不同等级的城市不同。高收入高消费的巨大城市,比如北京、上海、广州、武汉这种城市的居民对能源有更大的需求和支付能力,相对于小城市而言,由于消费水平的差距,同样的人口增量造成的碳排放增长程度不同。为了实证检验这种差异,我们引入城市人口规模、城市等级与居民消费水平三者的交互项,构建模型 model5:

$$\log(\text{urbanemission}_i) = \alpha + \beta_1 \log(\text{urbanscale}_i) + \beta_2(\text{aggl}_i) + \sum_{j=1}^4 \varphi_j \text{citysize}_{ji} \cdot \log(\text{urbanscale}_i) + \sum_{j=1}^4 \tau_j \text{citysize}_{ji} \cdot \log(\text{urbanscale}_i) \cdot \ln(\text{consumption}_i) + \gamma Z + \varepsilon$$

在此模型中,城市人口规模对碳排放的影响是 $\beta_1 + \gamma_i + \tau_i$ 三项之和。由模型 model5 的回归结果,在其他条件不变的情况下,人口规模在50万以下的小城市的城市人口规模对城市碳排放的影响作用相对于基准模型 model4 稍有下降。如果城市居民消费水平相同且都保持不变,人口数量上升10%可以引起小型城市碳排放上升7.91%,分别导致中等型城市、大型城市、特大型城市、巨大型城市碳排放下降17.44%、12.03%、11.85%、8.4%。不同等级的城市通过社会消费水平的变化引起碳排放上升是不同的,最终导致人口规模对城市碳排放的作用力有差距。因此,当城市人口规模上升10%,社会消费水平上升13.5%后,小型城市的碳排放上升8.72%,中等型城市、大型城市、特大型城市、巨大型城市碳排放下降15.36%、10.42%、10.34%、7.1%。

表3 城市规模、产业集聚影响机制回归结果

Variable	model1	model2	model3	model4	model5
人口规模	0.207** 0.117	0.951*** 0.146	0.813*** 0.219	0.813*** 0.247	0.791*** 0.205
经济密度	0.038*** 0.006	0.04*** 0.008	0.032*** 0.013	0.057*** 0.014	0.035*** 0.011
能源效率	-1.016*** 0.043	-1.082*** 0.058			
消费水平	0.725*** 0.047				
城市等级1*人口规模	-0.018 0.061	-0.074 0.084	-0.045 0.126	0.124 0.140	-1.631 1.737
城市等级2*人口规模	-0.056 0.049	-0.104* 0.067	-0.108 0.100	0.024 0.112	-1.976** 1.128
城市等级3*人口规模	-0.019 0.034	-0.074** 0.046	-0.073 0.069	-0.001 0.077	-1.994*** 0.210
城市等级4*人口规模	-0.005 0.023	-0.047* 0.031	-0.016 0.046	0.015 0.052	-2.535*** 0.305
人口密度	-0.063*** 0.026	-0.015 0.036	0.076 0.053	0.256*** 0.056	0.126*** 0.045
对外开放度	0.077*** 0.018	0.255*** 0.019	0.25*** 0.029		0.081*** 0.025
城市等级1*人口规模*消费水平					0.130 0.104
城市等级2*人口规模*消费水平					0.151** 0.071
城市等级3*人口规模*消费水平					0.161*** 0.016
城市等级4*人口规模*消费水平					0.208*** 0.024
常数项	-4.89*** 0.563	-0.633 0.673	7.526*** 0.765	8.008*** 0.860	11.761*** 0.734

注：***，**，*分别表示在1%，5%，10%的置信水平上显著

当城市居民消费水平由于城市规模扩大而上升时，小城市居民的消费产品更可能是高碳排的。比如人口规模小于50万的一些城市煤炭消费比例较高，而大城市家庭天然气和电力消费消费比重较高，这种能源结构的差异导致消费水平相同的上升会引起碳排放的变化。此外，城市规模等级

不同公共交通的发达程度也不同，大城市、特大城市、巨型城市的公共交通和出租车更多以电力为主，而小型城市的公共汽车主要以柴油、汽油为燃料。因此，在城市消费水平随城市人口规模变化后，对大城市来说人口增长带动能源集约利用的效果会更加明显，因此大城市节能减排的效

果好于小城市，碳排放会有不同程度的下降。但是人口规模增长在不同等级的城市引起的碳排放下降程度也是不同的。家庭消费水平不变情况下，人口向中等城市和大城市集聚引起的碳排放上升量小于向小城市、特大型城市、巨大型城市。当家庭消费水平随人口规模变化时，人口向中等城市和大城市集聚引起的碳排放下降幅度大于向小城市、特大型城市、巨大型城市。综合而言，人口规模在50~100万之间的中等城市和人口规模在100~300万之间的大城市节能减排的效果好于其他规模等级的城市。

3.3 产业集聚的作用机制

城市产业集聚程度与城市专业化水平是一个问题的两个不同表现方式，我们用城市专业化水平衡量城市产业集聚程度。产业集聚主要表现为城市主导性支柱产业及其相关产业在空间的集中。城市主导性支柱产业规模越大对城市其他产业的影响就越大，因此城市专业化程度高。由于经济密度表示的是城市单位空间的产出，经济密度提高的原因可能是由于产业集聚带来的经济增长，

$$\log(\text{urbanemission}) = \alpha + \beta_1 \log(\text{urbanscale}) + \beta_2 \text{agglo} + \rho_1 \text{agglo} * \log(\text{energyeffi}) + \rho_2 \text{agglo} * \log(\text{energyeffi}) * \log(\text{infrastructure}) + \sum_{i=1}^4 \varphi_i \text{citysize}_i + \gamma Z + \epsilon$$

其中，agglo是城市产业集聚度，用主导产业就业比重表示；energyeffi是城市能源利用效率，用单位能源消费的经济产出表示；infrastructure表示城市基础设施，用公共气电车客运总数表示。对数据取对数可以消除数据异方差性对回归结果的影响。假设城市产业集聚度提高城市专业化水平，会通过共享基础设施、物流运输、生产性服务业而提高城市能源利用效率，那么 β_2 是负值，产业集聚会提高能源效率进而降低碳排放，这种

也可能是经济系统单位空间中的生产投入增加推动的产出增长。当产业集聚通过共同分享城市基础设施、物流系统、服务部门等因素实现能源节约和经济增长时，产业集聚会提高城市能源利用效率，即单位能源投入的经济产出增长，那么城市经济增长的同时有利于碳排放下降。如果经济密度提高是投资推动型依靠投入更多能源、材料换取经济的增长时，这种投资推动型的经济密度提高不仅不能实现能源节约反而造成碳排放急剧上升。由于城市的专业化和分工细化可以促进经济增长，引起城市单位面积产出上升，即城市经济密度提高。

我们可以通过城市支柱产业就业量占总就业量的比值衡量城市产业集聚程度。我们通过中经网统计数据库收集到2005年全国283个城市的19个行业^②的就业量，分别计算每个城市就业量前5位行业占该城市总就业量的比重，以此作为城市产业集聚度的代理变量。为了验证城市产业集聚对城市碳排放的作用机制，建立如下实证模型：

机制下产业集聚对碳排放的作用大小是 $\beta_2 + \rho_1 * \log(\text{energyeffi})$ 。为了进一步研究产业集聚如何导致城市能源效率提供的机制，我们加入基础设施、能源效率、产业集聚3项的交互项，验证产业集聚通过提高公共基础设施的利用率提高能源利用效率的过程。这种假设如果成立，产业集聚对城市碳排放的影响大小是：

$$[\beta_2 + \rho_1 \log(\text{energyeffi}) + \rho_2 * \log(\text{energyeffi}) * \log(\text{infrastructure})]$$

表4 产业集聚作用机制分析结果

Variable	模型 I	模型 II	模型 III	模型 IV	模型 V
年末总人口	0.932*** 0.031			0.501*** 0.046	0.885*** 0.034
地区生产总值		0.995*** 0.020	0.995*** 0.023		
产业集聚度	-9.949*** 0.289	-10.483*** 0.194	-10.557*** 0.196	-8.335*** 0.478	-10.116*** 0.285
人均消费水平	0.088*** 0.032	-0.023 0.021	-0.024 0.020	0.383*** 0.050	0.104*** 0.032
固定资产投资额	0.059** 0.031	0.011 0.020	0.024 0.020	0.469*** 0.041	0.074*** 0.030
产业集聚度 * 能源效率	-1.38*** 0.029	-1.425*** 0.020	-1.427*** 0.020	-1.235*** 0.059	-1.383*** 0.035
人口密度	-0.022* 0.012	0.008 0.008	0.006 0.008	-0.015 0.021	-0.023* 0.012
实际利用外资额	0.013*** 0.009	0.005 0.006	0.003 0.006	0.021 0.016	0.009 0.009
人均 GDP	0.9*** 0.039	0.003 0.022			0.815*** 0.043
南北区域虚拟变量	-0.003 0.022	0.021 0.015	0.017 0.015	0.058* 0.037	0.014 0.022
城市等级 1			-0.14* 0.091		
城市等级 2			-0.038 0.055		
城市等级 3			0.009 0.030		
城市等级 4			0.009 0.022		
产业集聚度 * 能源效率 * 公共气电车客运总量				-0.006** 0.004	-0.003** 0.002
经济密度					0.112*** 0.026
常数项	-1.278*** 0.234	8.228*** 0.235	8.157*** 0.229	0.532 0.455	-0.645** 0.310

注: ***, **, * 分别表示在 1%, 5%, 10% 的置信水平上显著

实证结果如上表所示, 在其他条件不变的情况下, 城市专业化水平提高能显著降低城市碳排放。城市支柱性产业就业比率提高 1%, 城市碳

排放下降 8.33%~10.57%。在所有模型中, 城市产业集聚度提高, 会提高城市能源利用率即单位能源的经济产出上升, 从而降低碳排放。能源利

用效率提高1%，减少城市碳排放1.23%~1.42%。城市产业集聚度提高是通过基础设施、物流运输、生产性服务业的共享提高基础设施利用率，实现能源的集约利用，提高城市能源利用效率，降低碳排放。模型Ⅳ、模型Ⅴ在前3个模型基础上产业集聚对城市能源利用效率的作用机制以及对碳排放的影响，结果表明产业集聚程度提高1%会引起城市碳排放下降高达9.576%。提高产业集聚度可以提高能源利用效率达到节能减排的目的。此外，我们也考虑到城市规模等级不同的城市产业集聚程度是不同的，因此引入城市等级虚拟变量控制城市规模等级差异引起的产业集聚作用力的变化。模型Ⅲ实证结果发现，城市等级在产业集聚的作用过程中并不显著。

4 结论与政策

本文分析了城市化进程中产业集聚对城市规模与碳排放关系的影响机制。正如前文观察到的结果，城市规模扩张过程中，产业集聚程度提高具有提高产业能源利用效率并降低城市碳排放的作用。城市化不仅仅是城市人口规模的改变，而且包括能源消费结构和利用效率的改变。城市产业集聚对城市能源消耗有两种影响：(1) 集聚促进经济增长而增加能源消耗量的“反弹效应”；(2) 集聚提高产业能源利用效率从而实现节能减排的“节能效应”。一般而言，决定城市经济增长的因素包括两个：(1) 投入要素密度；(2) 投入要素使用效率，即要素产出率。投入要素密度取决于生产中投入的资本、劳动。城市规模越大，要素产出率越高，土地需求越大，土地的空间竞争越激烈，导致城市土地竞租曲线随城市规模扩大而向外移动。城市规模扩张的过程中，我国地方政府应当采取措施促进产业的空间集聚，提高要素的空间密度，由于集聚和集聚经济效应之间存在累积循环因果作用关系 (Fujita 和 Thisse, 2002)^[12]，要素投入密度增加，要素产出率会随

的增加。要素产出率的提高能够放大城市规模扩大过程中产业集聚的“节能效应”，这样既能实现经济的持续增长，又能达到降低碳排放的目标。

我们的研究还发现，当家庭消费水平随人口规模变化时，人口向中等城市、大城市、特大型城市集聚引起的碳排放下降幅度大于向小城市、巨大型城市。综合而言，人口规模在50~100万之间的中等城市、在100~300万之间的大城市和300~1000万的特大城市节能减排的效果好于其他规模等级的城市。人口在不同规模城市集聚造成的碳排放影响是非线性的，这与傅十和和洪俊杰(2008)的研究结论有异曲同工之妙。他们利用2004年制造业企业普查数据，检验了不同规模的企业在不同规模的城市中，从集聚经济中享受到的好处^[13]。特别是在控制了人力资本的外部性和城市人口规模效应后，特大和超大城市里跨行业集聚经济效应显著，这为特大和超大城市的存在和发展提供了经验证据。我国未来低碳城市化应该促进人口向人口规模在50~100万之间的中等城市、在100~300万之间的大城市和300~1000万的特大城市集聚。同时，我国应当积极推动城市产业集聚，发展专业化生产型城市，提高城市专业化水平，这样既能促进经济增长，又能有效利用集聚的“节能效应”实现可持续城市化。

注释：

①限于数据可得性，我们计算了如下行业的空间集聚度：石油和天然气开采业、煤炭开采和洗选业、黑色金属矿采选业、有色金属矿采选业、石油加工、炼焦加工业、非金属矿采选业、农副食品加工业、食品制造业、饮料制造业、烟草制品业、纺织业、纺织服装、鞋、帽制造业、造纸及纸制品业、化学原料及化学制品制造业、医药制造业、非金属矿物制品业、交通运输设备制造业、电气机械及器材制造业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业、仪器仪表及文化、办公用机械制造业、电力、热力的生产和供应业。

②19个行业包括：农、林、牧、渔业，采矿业，制

造业, 电力、燃气及水的生产和供应业, 建筑业, 交通运输、仓储和邮政业, 信息传输、计算机服务和软件业, 批发和零售业, 住宿和餐饮业, 金融业, 房地产业, 租赁和商务服务业, 科学研究、技术服务和地质勘查业, 水利、环境和公共设施管理业, 居民服务和其他服务业, 教育业、卫生、社会保障和社会福利业, 文化、体育和娱乐业, 公共管理和社会组织业。

参 考 文 献

1. Hoover EM. Spatial price discrimination [J]. Review of Economic Studies, 1937, 4 (3): 182~191
2. Henderson J V. The Sizes and Types of Cities [J]. The American Economic Review, 1974, 64 (4): 640~656
3. Abdel-Rahman H M, Wang P. Toward a general-equilibrium theory of a core-periphery system of cities [J]. Regional Science and Urban Economics, 1995, 25 (4): 529
4. Abdel-Rahman H M. When do cities specialize in production? [J]. Regional Science and Urban Economics, 1996, 26: 1~22
5. J. J. The Economy of Cities [M]. New York: Random House, 1969
6. Segal D. Are there returns to scale in city size? [J].

The Review of Economics and Statistics, 1976, 58 (3): 339~350

7. Ronald L M. Agglomeration economies: Are they exaggerated by industrial aggregation? [J]. Regional Science and Urban Economics, 1998, 28 (2): 199~211
8. 徐海燕. 基于集群规模资源消耗的实证研究——以温州低压电器产业集群为例 [J]. 北方经贸, 2010, (11): 32~35
9. Ciccone A, Hall R E. Productivity and the Density of Economic Activity [J]. The American Economic Review, 1996, 86 (1): 54~70
10. Ciccone A. Input Chains and Industrialization [J]. Review of Economic Studies, 2002, 69 (3): 565~587
11. 范剑勇. 产业集聚与地区间劳动生产率差异 [J]. 经济研究, 2006, (11): 72~81
12. Fujita M, Thisse J. Economics of Agglomeration [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002
13. 傅十和, 洪俊杰. 企业规模、城市规模与集聚经济——对中国制造业企业普查数据的实证分析 [J]. 经济研究, 2008, (11): 112~125

Study on Industry Agglomeration, Urban Scale and Carbon Emission

Wang Guixin Wu Junkui
(Fudan University, Shanghai 200433, China)

[Abstract] This paper uses the data of 283 cities of China in 2005. We build a model to analyze the relationship and mechanism between industry agglomeration and carbon emission during the expanding of urban scale. We find that (1) industry agglomeration has both “rebounded effect” and “energy-saving effect” on carbon emission, if the rate of industry agglomeration increases 1%, the carbon emission will rise up by 8.33%~10.57%; (2) the effect of industry agglomeration on carbon emission changes with urban scale, agglomeration in the city with 3~10 million population will relatively decrease carbon emission and make China's urbanization low-carbon.

[Key words] industry agglomeration; urban scale; carbon emission

(责任编辑: 史琳)