



# 产业集聚、空间溢出与城市能源效率

纪玉俊 王芳

**Industrial Agglomeration, Spatial Spillover and Urban Energy Efficiency**

JI Yujun WANG Fang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.4401>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

[环境规制、空间溢出与区域生态效率——基于空间杜宾面板模型的实证分析](#)

Environmental Regulation, Spatial Spillover and Regional Ecological Efficiency—An Empirical Analysis of Douban Panel Model based on Space  
北京理工大学学报(社会科学版). 2018(6): 27 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2018.5179>

[产业集聚对制造业绿色全要素生产率的影响——基于长短期行业异质性视角的经验分析](#)

The Influence of Industry Agglomeration on Manufacturing Green Total Factor Productivity –Empirical Analysis based on Short and Long Term  
Industrial Heterogeneity

北京理工大学学报(社会科学版). 2019(1): 27 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2019.5632>

[中国省际能源效率指数\(2010—2018\)](#)

Regional Energy Efficiency Index in China (2010—2018)

北京理工大学学报(社会科学版). 2021, 23(3): 9 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.7426>

[中国信息服务业集聚及其影响因素](#)

Information Services Agglomeration and Its Influencing Factors

北京理工大学学报(社会科学版). 2017(3): 83 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2017.1786>

[产业协同集聚对资源型城市可持续发展的影响](#)

The Impact of Industrial Co-agglomeration on Sustainable Development of Resource

北京理工大学学报(社会科学版). 2021, 23(4): 60 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.3999>

[房价波动、银行信贷与产业升级——基于银行信贷中介效应检验及区域差异对比分析](#)

House Price Fluctuation, Bank Credit and Industrial Upgrading—The Test of the Intermediary Effect of Bank Credit and the Comparative Analysis of  
Regional Differences

北京理工大学学报(社会科学版). 2018(6): 84 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2018.3562>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.4401

# 产业集聚、空间溢出与城市能源效率

纪玉俊, 王芳

(中国海洋大学 经济学院, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 经济高速增长和能源供需之间的矛盾制约着城市绿色发展, 考虑到上述背景以及经济行为存在空间交互影响的事实, 在相关机理阐释的基础上, 利用2005—2017年269个城市数据, 构建动态空间杜宾模型和中介效应模型, 探讨产业集聚对能源效率的影响机制及空间溢出效应。研究发现: 产业集聚在短期内对能源效率具有显著的空间外溢效应, 长期内总效应明显; 城市创新水平对产业集聚和能源效率的关系具有明显的部分中介效应; 进一步检验发现, 能源政策会影响到地方产业集聚模式, 短期内对能源效率产生较大影响; 城市规模异质性和经济发展分层下, 产业集聚对能源效率的空间溢出效应显著。因此, 应充分激发产业集聚短期内空间溢出效应, 进一步提高城市创新水平, 尤其关注中小城市发展, 从而更好地提高能源效率。

**关键词:** 产业集聚; 能源效率; 空间溢出; 动态空间杜宾模型; 中介效应

中图分类号: F206; X24

文献标志码: A

文章编号: 1009-3307(2021)06-0013-14

随着中国工业化和城市化进程的快速推进, 能源需求不断增加, 2019年全球能源消费净增长中, 中国占比在四分之三以上; 同时中国能源消费总量10年间增长近45%<sup>①</sup>。能源消耗不断上升不仅对中国能源安全带来威胁, 也破坏了生态环境, 制约经济社会绿色发展。党的十九大报告指出“推进能源生产和消费革命, 构建清洁低碳、安全高效的能源体系”<sup>②</sup>, 为中国能源发展指明了方向。在能源供需矛盾和环境问题的双重压力下, 提高能源效率成为实现节能减排的重要途径。

研究能源效率影响因素的文献大多沿用了Hu和Wang<sup>[1]</sup>提出的全要素能源效率指标, 并基于此展开研究, 主要涉及产业结构升级<sup>[2-3]</sup>、技术进步<sup>[4-5]</sup>、对外开放程度<sup>[6]</sup>、能源消费结构<sup>[7-8]</sup>、政府行为<sup>[9-10]</sup>等, 产业集聚这一重要因素近年来也逐渐被纳入影响能源效率的框架。产业是城市发展的“生命线”, 串联起城市的人口和经济活动, 其集聚和分散本质上也推动着城市这个综合集聚体的发展<sup>[11]</sup>。因此, 探究产业集聚对城市能源效率的影响尤为必要。国内外学者对产业集聚与能源效率的关系研究取得了一定成果, 相关文献主要分为两类, 第一类是关注集聚效应对能源效率的影响效果: 一是促进论, 部分学者认为产业集聚有利于能源效率提升, 主要通过集聚的正外部性实现<sup>[12-14]</sup>; 二是抑制论, 乔海曙等<sup>[15]</sup>利用制造业数据发现多样化集聚更容易对能源效率产生“拥挤效应”; 三是不确定论, 部分文献关注到产业集聚与能源效率的非线性关系, 如潘雅茹等<sup>[16]</sup>、Zhao和Lin<sup>[17]</sup>以产业集聚为门槛变量, 发现产业集聚与能源效率之间存在“倒U形”的非线性关系。第二类文献引入第三个变量, 研究产业集聚对能源效率的影响: 师博和沈坤荣<sup>[18]</sup>研究发现政府干预会抑制产业集聚节能减排的潜力; 熊欢欢和邓文涛<sup>[19]</sup>引入环境规制, 发现重度污染产业的产业集聚效应发挥了促进作用。

尽管已有文献证实产业集聚对能源效率具有影响效应, 但仍存在深化改进的空间: 首先, 大多数文献缺乏结合产业与城市异质性的综合分析; 其次, 同时关注产业集聚效应对能源效率的长短期影响和空间溢出影响的文献较为鲜见; 再次, 对于除集聚外部性之外影响能源效率的路径, 现有文献较少进行实证方面的分析。因此本文尝试在以下三个方面做出努力: 其一, 将制造业集聚、生产性服务业集聚及协

收稿日期: 2020-09-18

基金项目: 国家社科基金一般项目(16BJL069)

作者简介: 纪玉俊(1975—), 男, 博士, 中国海洋大学经济学院教授, 教育部人文社会科学重点研究基地中国海洋大学海洋发展研究院研究员, E-mail: jyj@ouc.edu.cn

① 数据来自《BP世界能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》。

② <https://http://cpc.people.com.cn/n1/2017/1028/c64094-2913660.html>。

同集聚共同置于空间经济分析框架下,关注集聚的长短期效应,体现行业异质性的同时反映“产业—空间”双重属性;其二,利用城市层面数据,考虑产业集聚影响能源效率的路径选择,以城市创新作为中介变量进一步探讨其内在机制;其三,基于能源效率“时间惯性”和“空间溢出”的特点,研究政策影响异质、城市规模差异、经济发展分层下产业集聚影响能源效率的分异特征。基于此,本文以2005—2017年中国269个城市的面板数据为样本,构建动态空间计量模型,并结合集聚理论探究产业集聚对能源效率的内在影响机制及空间效应。

## 一、产业集聚影响能源效率的机理分析与研究假设

同类产业间的专业化集聚会形成马歇尔外部性(MAR外部性),而异质性产业间关联带来的多样化集聚会形成雅各布斯外部性(Jacobs外部性),上述两种外部性对城市发展都会产生重要影响。基于城市产业多样化集聚与专业化集聚并存的复杂性,而且不同类型产业集聚对能源效率的影响存在差别,有必要分行业而论。因此,本文将制造业集聚、生产性服务业集聚和两者协同集聚作为研究对象,结合政策影响、城市规模以及城市经济发展的异质性,同时将空间联动性和创新的中介效应置于理论框架中,既分析产业集聚对能源效率的直接影响,又分析由集聚带来的创新效应对能源效率的间接影响。

### (一)产业集聚影响能源效率的作用机理

产业集聚对能源效率的直接影响主要表现在由集聚而生成的集聚效应层面。第一,产业集聚带来的信息共享,企业在地理上的临近性使得企业间正式或非正式交流更加广泛,同行业的市场竞争倒逼企业进行技术创新,有助于企业能源效率的提高;企业的技术创新会激励替代企业为保有市场份额展开模仿学习,这种竞争激励的存在有助于促进产业结构升级,催生和壮大节能环保产业,有利于城市能源效率改善。第二,产业集聚提供了专业化本土中间产品,降低了信息不对称现象,利用便利的交通设施,节约了中间投入品获得的运输成本和搜寻成本<sup>[20]</sup>,降低运输过程中的能源消耗。第三,产业集聚强化了投入产出联系,形成密切的社会关系网络,促使相关产业间的人才交流学习、信息沟通共享成为必然,扩大了企业间技术交流,利于企业将先进的技术、专业的知识信息、成熟的创新成果投入到生产制造、治污排污等环节中,推动污染治理水平的提高和能源效率的改善。

然而,产业集聚也会产生负向集聚效应,一是随着集聚水平的提高、企业在特定区域内规模扩大和数量增加的发展态势以及由于产业间多样化而业务往来的增加都会加剧能源消耗,致使污染物排放增多,不利于城市能源效率的提升;二是近年来,东部地区产业集聚与结构升级互动效应明显<sup>[21]</sup>,开始逐渐淘汰或转移能源消耗高、污染排放多的企业,但对于承接高污染企业的地区,这将抑制能源效率的提升;三是尽管长期来看,产业集聚的竞争激励机制会促进产业不断创新,但产业集聚初期,部分企业为追逐利益和规模而忽略了环境效益,进而造成能源效率下降。基于此,本文提出以下假设:

假设1.产业集聚对能源效率的影响是正、负集聚效应综合作用的结果。

### (二)产业集聚对能源效率影响的“扩展”作用

由于地域邻近带来的经济活动空间联动性和要素空间流动性的存在,产业集聚会突破地理距离限制,在更大范围内对能源效率产生空间外溢效应。第一,信息通信技术、交通设施高速发展背景下,产业活动范围变广,区域互联互通格局逐渐形成,能源效率的空间相关性不容忽视。第二,产业集聚吸引了大量生产要素,技术人员、知识信息等要素的区际流动促进了技术外溢;产业的前后双向关联效应可在产业内集聚和产业间协同集聚中产生空间溢出效应<sup>[22]</sup>。第三,本地区的能源效率也会受到周围城市经济行为的影响,这种“示范效应”在区域竞争和政治晋升压力下会激励能源效率较低的地区主动学习模仿,“示范—模仿”机制的传导带来了显著的空间溢出效应。

除产业集聚的空间溢出效应,城市创新的中介效应在产业集聚对能源效率的影响中也非常重要。创新的概念可追溯到熊彼特创新理论,创新是经济发展的动力,是生产要素的重组<sup>[23]</sup>。企业在空间上的集中,同时也是生产要素在部门和地区之间流动的过程,也是创新资源在空间再配置的过程,必然会对城市的创新产出带来影响。各种正式与非正式交流、要素或服务共享、竞争倒逼机制对城市创新有重要作

用,能促进新技术、新思想的产生;因集聚而形成的规模经济有利于企业降低生产成本,利于研发创新活动的开展和创新产出。城市创新水平提高可以带来绿色技术革新、生产设备改良、优化生产要素配置等,对能源效率的提升有重要影响。基于此,本文提出以下假设:

假设 2.产业集聚对能源效率的影响具有显著的空间外溢效应;

假设 3.城市创新水平在产业集聚与能源效率的关系中发挥着中介效应。

### (三)产业集聚影响能源效率的分异特征

政策影响异质、城市规模差异、经济发展分层使得产业集聚模式发生改变,会对能源效率的影响呈现出鲜明的分异特征。第一,除市场机制的影响外,产业集聚也与政府行为有着密切的关系。政府政策作为政府干预的一种手段,与产业集聚的形成具有很强的相关性,也会扭曲市场资源配置,成为产业分散的推手<sup>[24]</sup>。第二,城市作为产业发展的依托,产业集聚对城市规模具有较强的依赖性。城市规模差异不仅仅表现在人口数量上的不同,更是基础设施服务、市场规模、信息化水平、人力资本等要素之间的较量,引导和约束着城市的产业集聚<sup>[25]</sup>。第三,分层的城市经济发展水平也会影响产业集聚。增长极理论<sup>①</sup>阐释了产业在特定区域集聚会吸引要素流入,要素重新配置带来的高效率 and 强吸引力对区域经济增长产生极化效应<sup>[26]</sup>,主导产业的不断集聚将成为区域经济发展水平提高的强大拉动力,成为经济增长极的城市依托自身的区位要素禀赋,具备吸引产业集聚的强大优势。但当出现资源枯竭、市场萎缩、地租提高时,产业集聚活动也会发生空间转移。基于此,本文提出以下假设:

假设 4.异质性要素会影响产业集聚和能源效率的关系。

## 二、变量选取、计量模型与数据来源

### (一)变量选取

1.被解释变量:EE,对能源效率的测算采用基于SBM方向性距离函数的ML指数法,在考虑期望产出的同时更能科学地处理非期望产出和动态变化。由于各期的ML指数是以上一期作为固定前沿,所以当*t*期与*t+1*期相比能源效率提高时,ML指数大于1,同时指数的传递性便于累乘计算<sup>[27-28]</sup>。ML指数测算数据选取处理如下:投入包括资本投入、劳动投入和能源投入,资本投入借鉴张军等<sup>[29]</sup>永续盘存法的方法测算城市的资本存量,并折算到以2004年为基期;劳动投入以各城市年末就业人数衡量;能源投入采用各城市全年用电量代理<sup>[30]②</sup>。期望产出以各城市的GDP来表示,并以2005年为基期进行平减;非期望产出包括各城市SO<sub>2</sub>排放量、废水排放量、粉尘排放量。

2.核心解释变量:产业集聚水平的测度方法有多种,考虑到数据的可获得性和城市差异,采用区位熵反映产业集聚程度,计算公式如下

$$\text{agg} = \frac{(E_{ij} / \sum_j E_{ij})}{(\sum_i E_{ij} / \sum_i \sum_j E_{ij})} \quad (1)$$

其中,agg可具体化为制造业集聚(magg)和生产性服务业集聚(sagg); $E_{ij}$ 表示*j*产业在城市*i*的就业人口; $\sum_j E_{ij}$ 表示城市*i*中所有产业就业人口; $\sum_i E_{ij}$ 表示所有*j*产业在所有城市中的就业人口; $\sum_i \sum_j E_{ij}$ 则表示就业人口总和。协同集聚(coagg)以制造业和生产性服务业集聚的相对接近程度表示,参考杨仁发<sup>[31]</sup>的研究思路,其计算公式为

$$\text{coagg} = 1 - \frac{|\text{magg} - \text{sagg}|}{(\text{magg} + \text{sagg})} \quad (2)$$

3.控制变量:财政分权(fd),将其表示为fd=地级市人均财政支出/(地级市人均财政支出+所在省

① 增长极理论是由法国经济学家佩鲁在1950年首次提出,该理论被认为是西方区域经济学中经济区域观念的基石,是不平衡发展论的依据之一。增长极理论认为:一个国家要实现平衡发展只是一种理想,在现实中是不可能的,经济增长通常是从一个或数个“增长中心”逐渐向其他部门或地区传导。因此,应选择特定的地理空间作为增长极,以带动经济发展。

② 参考于斌斌<sup>[30]35</sup>等人的做法。

份省级人均财政支出+人均中央财政支出)<sup>[32]</sup>①;科技水平 (tech), 用地方财政科技支出占一般预算支出的比重表示<sup>[33]</sup>; 产业结构 (ind), 使用第二产业所占 GDP 比重表示; 对外开放 (fdi), 使用外商直接投资额占 GDP 的比重来表示; ln employ、ln perroad、ln popden 分别表示年末总就业人数、人均道路面积、人口密度, 采用取对数的形式以减少异方差和数据的波动性。

## (二) 计量模型构建与数据来源

### 1. 空间自相关检验

空间计量模型的建立离不开空间权重矩阵, 它体现了地理要素之间的影响方式。为充分考虑各地区经济属性的现实情况, 本文通过构建反经济距离矩阵以反映城市单元之间的空间经济关系, 权重矩阵的

构建公式为  $w_{ij} = \frac{1}{1 - \left| \frac{(\text{gdp}_j - \text{gdp}_i)}{(\text{gdp}_j + \text{gdp}_i)} \right|}$ , 其中, gdp 表示城市人均 GDP 水平。

作为空间计量模型的首要步骤, 空间自相关检验可以分析相应变量在地理空间中的分布特征, 实证研究中一般采用莫兰指数反映空间自相关性。本文使用全局莫兰指数反映空间单元能源效率的整体集聚情况

$$I = \frac{\frac{1}{S^2} \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

其中,  $w_{ij}$  表示空间权重因素;  $y$  表示能源效率;  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$  为样本方差。

由表 1 可以看出, 2005—2017 年中国 269 个城市能源效率的莫兰指数均大于零, 且在 1% 的显著性水平上显著为正, 表明所研究的城市能源效率的空间溢出性较强, 能源效率的高值与高值集聚, 低值与低值邻近, 具有空间正相关性。

上述全局莫兰指数表明, 整体上中国的能源效率存在空间正相关, 为进一步分析各城市的空间关联模式, 采用局部莫兰指数散点图和 LISA 集聚图来检验能源效率集聚情况。局部莫兰指数的公式为

表 1 能源效率的 Moran's I 值

年份	Moran's I	年份	Moran's I
2005	0.105***	2012	0.085***
2006	0.109***	2013	0.092***
2007	0.152***	2014	0.100***
2008	0.114***	2015	0.113***
2009	0.136***	2016	0.116***
2010	0.133***	2017	0.139***
2011	0.138***		

注: \*, \*\*, \*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 显著性水平下显著。

$$I_i = Z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} Z_j \quad (4)$$

其中,  $Z_i$ 、 $Z_j$  分别为观测值能源效率的标准化形式, 其余变量含义与式 (3) 一致。

根据局部莫兰指数的相关原理, 基于反经济距离权重矩阵分别绘制了 2005 年和 2017 年的局部莫兰指数散点图和 LISA 集聚图。散点图的四个象限分别对应高—高型集聚、低—高型集聚、低—低型集聚和高—低型集聚四种空间联系形式, 与之对应的 LISA 集聚图可以更清晰地描述能源效率的局部变化情况。由图 1 所示, 多数城市位于第一、第三象限, 表明城市能源效率集聚具有显著空间正相关的特点; 时间维度上, 低—低型集聚城市数量逐渐减少, 而高—高型城市数量有所增加, 表明城市能源效率不断向优化改善演变。从图 2 可以看出, 到 2017 年, 高—高型城市主要集中在东部和小部分中西部区域, 但比率相对低—低型集聚城市较少, 且高—低型和低—高型集聚占比仍较大。

### 2. 空间计量模型选择与构建

由于经济现象间存在一定的空间相关性, 本文采用空间计量模型研究产业集聚对能源效率的影响机

① 参考郭庆旺和贾俊雪<sup>[32]</sup>的方法, 对财政分权指标进行人均化处理。

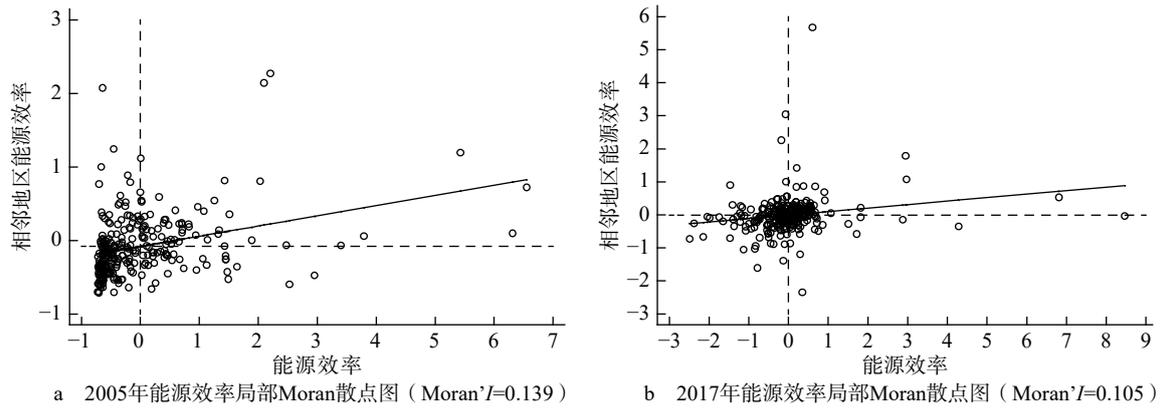
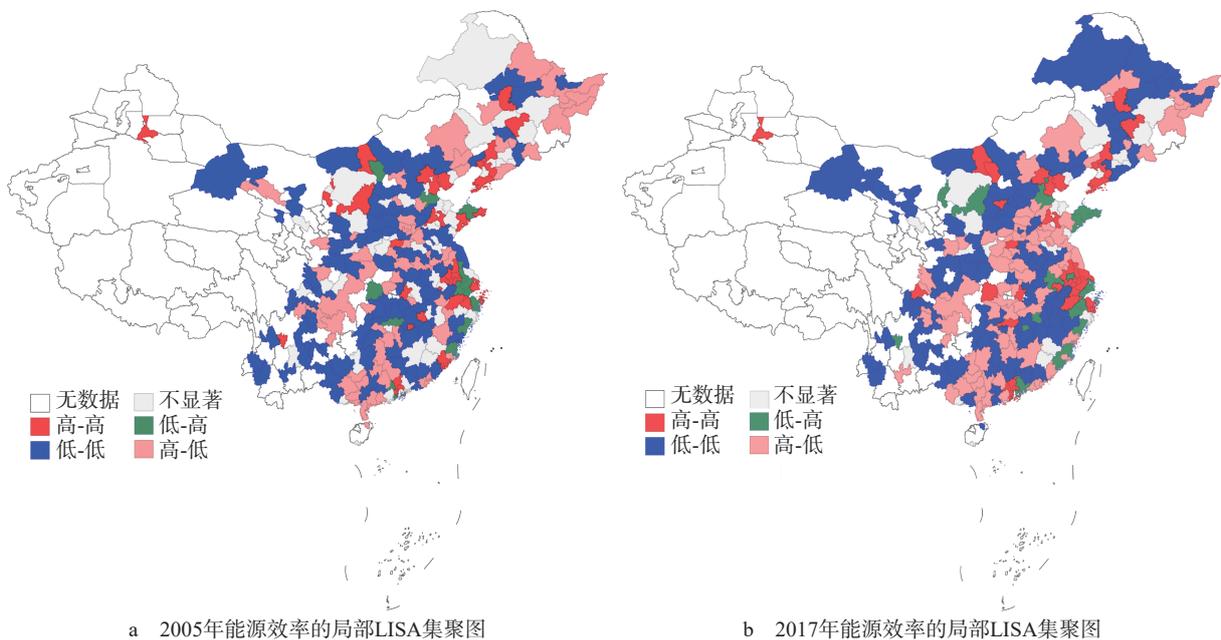


图1 2005年和2017年能源效率的局部Moran散点图



注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作，底图无修改。

图2 能源效率的局部LISA集聚图

制。常用的空间计量模型主要包括空间自回归模型 (SLM)，用于研究被解释变量的空间外溢效应；空间误差模型 (SEM) 关注随机扰动项对被解释变量的空间影响；空间杜宾模型 (SDM) 可看作前两种模型的一般形式，能更全面地研究被解释变量和解释变量的空间相关性。

为选择更适合本文研究的空间计量模型，本文借鉴 Elhorst<sup>[34]</sup> 的思路，先进行拉格朗日乘数 (Lagrange Multiplier, LM) 检验、稳健拉格朗日乘数检验。当 LM-lag 和 LM-error 仅有一个通过显著性检验的时候，表明非空间的传统面板模型不再适用，需在空间模型中进行选择；若两者都通过显著性检验，则观察 Robust LM-lag 和 Robust LM-error 的显著性；若四者都通过显著性检验，SLM 和 SEM 都是可适用的，这时需进一步利用 LR 和 Wald 检验对 SDM 模型的适配性进行验证。最后利用 Hausman 检验，判断固定效应模型和随机效应模型的选择问题。

结合上文对空间计量模型选择的阐释，本文构建了以下四种非空间的普通面板模型，通过 LM 检验和 Robust-LM 检验来判断是否可以构建空间模型。初步查看表 2 中 LM 检验及显著性，模型拒绝了非空间面板模型，应该选择具有空间因素的面板模型。

进一步分析表 2 的检验结果可以看出，模型的 LM-lag 值、LM-error 值和 Robust LM-error 值都在 1% 的显著性水平下通过了检验，说明 SEM 模型可以选择。在此种情况下，需对 SDM 模型的适用性进行检

表2 普通面板模型的LM检验

检验	混合OLS	空间固定	时间固定	时空双固定
LM-lag	270.449 7***	267.306 2***	226.871 0***	218.076 7***
robust LM-lag	10.219 9***	10.036 6***	2.020 8	1.880 2
LM-error	383.149 4***	378.923 0***	292.698 4***	284.690 1***
robust LM-error	122.919 6***	121.653 3***	71.745 3***	68.493 6***

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著。

验，通过Wald和LR检验其是否可以弱化为SEM模型。表3结果证明检验依旧显著，因而SDM模型无法退化成SEM模型。同时空间杜宾模型的Hausman检验拒绝了随机效应，所以选用空间固定效应的SDM模型。

综合考虑上述LM检验、Wald检验和LR检验，以及Hausman检验结果，本文采用固定效应的空间杜宾模型

表3 空间杜宾模型的Wald检验和LR检验

Wald_lag	76.583 6***(0.000 0)
LR_lag	77.493 3***(0.000 0)
Wald_error	21.733 0**(0.016 5)
LR_error	22.372 3**(0.013 3)

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著；括号内为统计量p值。

$$\begin{aligned}
 EE_{it} = & \rho \sum_{j \neq i}^n w_{ij} EE_{jt} + \lambda_1 magg_{it} + \lambda_2 sagg_{it} + \lambda_3 coagg_{it} + \lambda_4 fd_{it} + \lambda_5 tech_{it} + \lambda_6 fdi_{it} + \lambda_7 ind_{it} + \\
 & \lambda_8 \ln employ_{it} + \lambda_9 \ln perroad_{it} + \lambda_{10} \ln popden_{it} + \gamma_1 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} magg_{jt} + \gamma_2 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} sagg_{jt} + \gamma_3 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} coagg_{jt} + \\
 & \gamma_4 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} fd_{jt} + \gamma_5 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} tech_{jt} + \gamma_6 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} fdi_{jt} + \gamma_7 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} ind_{jt} + \gamma_8 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} \ln employ_{jt} + \gamma_9 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} \ln perroad_{jt} + \\
 & \gamma_{10} \sum_{j \neq i}^n w_{ij} \ln popden_{jt} + \mu_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{5}$$

其中， $i$ 和 $t$ 分别表示城市和年份，其中， $i=1, \dots, 10$ ； $t=1, \dots, T$ ； $w_{ij}$ 表示反经济距离矩阵； $\lambda_1, \dots, \lambda_{10}$ 为解释变量的估计系数； $\rho$ 和 $\lambda_1, \dots, \lambda_{10}$ 为相应变量空间滞后项的估计系数，表示相邻城市的经济活动对本地区能源效率的影响效应； $u_i$ 为空间固定效应； $\varepsilon_{it}$ 为随机误差项。进一步，从经济发展的现实情况分析，某地区的能源效率可能受到其上期能源效率的影响，存在“时间惯性”，即时间滞后效应，故在式(5)的基础上引入能源效率的滞后一期，构建动态空间杜宾模型，如式(6)所示

$$\begin{aligned}
 EE_{it} = & \tau EE_{it-1} + \rho \sum_{j \neq i}^n w_{ij} EE_{jt} + \lambda_1 magg_{it} + \lambda_2 sagg_{it} + \lambda_3 coagg_{it} + \lambda_4 fd_{it} + \lambda_5 tech_{it} + \lambda_6 fdi_{it} + \lambda_7 ind_{it} + \\
 & \lambda_8 \ln employ_{it} + \lambda_9 \ln perroad_{it} + \lambda_{10} \ln popden_{it} + \gamma_1 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} magg_{jt} + \gamma_2 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} sagg_{jt} + \gamma_3 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} coagg_{jt} + \\
 & \gamma_4 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} fd_{jt} + \gamma_5 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} tech_{jt} + \gamma_6 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} fdi_{jt} + \gamma_7 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} ind_{jt} + \gamma_8 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} \ln employ_{jt} + \gamma_9 \sum_{j \neq i}^n w_{ij} \ln perroad_{jt} + \\
 & \gamma_{10} \sum_{j \neq i}^n w_{ij} \ln popden_{jt} + \mu_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{6}$$

其中， $t=2, \dots, T$ ； $\tau$ 表示时间滞后系数，反映上一期的能源效率对当期能源效率的影响效应。

上述所提到的变量数据均来自于《中国城市统计年鉴》。选取2005—2017年的城市层面数据，对数据缺失的部分城市进行删减或插值法补充，最终从年鉴中选取269个城市作为研究样本。

### 三、空间计量检验结果分析

#### (一) 空间计量基准回归结果

对于动态空间杜宾模型，本文采用Yu等<sup>[35]</sup>提出的拟极大似然估计法(QML)对模型参数进行一致

估计。同时为比较引入能源效率滞后一期的合理性，表4同时列出了具有空间固定效应的静态SDM模型和动态SDM模型的估计结果。

与静态空间杜宾模型相比，动态空间杜宾模型包含能源效率滞后一期，且系数显著为正，表明若上一期的能源效率提高，当期能源效率也会提高，具有明显的同向作用趋势，存在时间维度的路径依赖效应。由此可见，若不考虑被解释变量的时间滞后效应，模型估计结果可能会出现偏误。

由于空间杜宾模型中同时包含了被解释变量和解释变量的空间滞后项，Anselin和Gallo<sup>[36]</sup>认为，这时的模型估计结果用于分析解释变量对被解释变量的边际影响效应存在偏误，故表4结果仅可作为初步判断。Lesage和Pace<sup>[37]</sup>也指出，空间杜宾模型估计存在同样的问题，并发现偏微分方法可以弥补这一缺陷。就本文而言，通过这一方法进行效应分解，可以相对正确测算产业集聚对能源效率的影响效应。另外，本文采用的动态空间杜宾模型中包含能源效率的时间滞后项，各解释变量对能源效率的影响需要考虑包含时间滞后因素的长期效应，即模型估计有短期效应和长期效应之分，分别反映产业集聚对能源效率的短期影响和长期影响。参考邵师等<sup>[38]</sup>的做法，长期效应和短期效应的度量公式如表5所示。

综上，进一步效应分解的结果如表6所示<sup>①</sup>。

由表6的总效应来看，无论短期还是长期，制造业集聚、生产性服务业集聚以及协同集聚对能源效率的提升都有显著的促进或抑制作用。这说明：第一，产业集聚对能源效率的显著性影响并不会因行业属性的不同而有所减弱，这为通过集聚方式实现能

表4 空间计量基准回归结果

变量	静态SDM模型	动态SDM模型
L.EE		1.031***
magg	-0.837***	0.164
sagg	-0.265	0.242
coagg	-0.341*	-0.227*
fd	1.176	0.574
tech	6.141**	0.046
fdi	-3.781	-0.235
ln employ	0.433***	-0.066
ln perroad	-0.032	0.041
ln popden	2.908***	-0.058
ind	-1.187**	0.152
w×magg	1.086***	0.686***
w×sagg	0.661**	1.506***
w×coagg	-0.745***	-0.571***
w×fd	2.347*	-1.761*
w×tech	-14.944***	-1.933
w×fdi	-39.186***	5.078
w×ln employ	0.045	-0.108
w×ln perroad	0.293**	0.367***
w×ln popden	-1.069	-0.543
w×ind	-2.383***	1.851***
ρ	0.244***	0.108***
R <sup>2</sup>	0.218	0.911
log-L	-5 875.571	-4 173.100

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著；L为时间滞后符号。

表5 长短期效应表达式

短期直接效应	短期间接效应	长期直接效应	长期间接效应
$[(I-\rho w)^{-1}(\beta_k I)]^{\bar{d}}$	$[(I-\rho w)^{-1}(\beta_k I)]^{\text{rsum}}$	$[(1-\tau)I-(\rho+\psi)w]^{-1}(\beta_k I)^{\bar{d}}$	$[(1-\tau)I-(\rho+\psi)w]^{-1}(\beta_k I)^{\text{rsum}}$

注：I为单位矩阵； $\bar{d}$ 表示计算矩阵对角线元素均值运算符；rsum表示计算矩阵非对角线元素求行平均的运算符； $\beta_k$ 为各影响因素对应的系数向量； $\psi$ 、 $\tau$ 和 $\rho$ 分别为时空滞后效应系数、时间滞后系数和空间滞后系数，这里相应地为 $\psi=0$ 、 $\tau=1.031$ 、 $\rho=0.108$ 。

表6 基础回归的效应分解

变量	短期			长期		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
magg	0.175	0.788***	0.963***	-7.607	1.274	-6.333***
sagg	0.285**	1.674***	1.959***	16.497	-29.343	-12.846***
coagg	-0.242**	-0.649***	-0.891***	39.613	-33.734	5.879***
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著。

① 本文重点关注产业集聚这一变量对能源效率的影响。

源的高效利用提供了一定的佐证;第二,产业集聚对能源效率的影响具有空间外溢效应,鉴于中国城市间的发展水平存在较大差异,这种空间外溢对提升周边城市能源效率具有较大启发;第三,从回归结果来看,集聚的行业属性、作用的长短期以及总效应的显著性等方面存在不同,这说明产业集聚对能源效率的影响差异性需要从直接效应和间接效应角度进行深入分析。

从直接效应来看,表6所示的模型估计结果显示,短期内制造业集聚对本地区能源效率的作用效果为正但不显著,生产性服务业集聚对能源效率有显著正向提升作用,协同集聚对能源效率的提升有抑制作用。尽管制造业集聚和生产性服务业集聚正向作用于本地能源效率,协同集聚却显著不利于本地能源效率改善,根据陆凤芝和杨浩昌<sup>[39]</sup>的研究,短期内产业协同集聚下,制造业和生产性服务业的发展通常表现为单一集中在某一空间地理位置,这容易造成产业空间错配,集聚优势不能充分显现;随着协同集聚程度的不断加深,垂直相连的产业链深化,集聚的正外部性显现,但相应地出现过度竞争和知识同化<sup>[40]</sup>,表现为长期内协同集聚直接效应系数为正但不显著。

就间接效应而言,短期内制造业集聚、生产性服务业集聚具有显著为正的空间外溢效应,能有效改善周边城市的能源效率,而协同集聚对相邻地区的能源效率有显著的抑制作用。本地制造业集聚和生产性服务业集聚正向的直接效应通过“示范—模仿”机制间接带动了周围城市能源效率的改善。产业协同集聚初期集聚结构单一、资源错配等问题带来本地区能源效率下降,相邻地区间的模仿行为不利于周边地区能源效率的提升。然而延伸至长期来看,产业集聚对周边城市能源效率的影响并不显著,可能的原因是在长期内伴随着产业集聚水平的不断提高,各种干扰因素的不断出现使得集聚不经济开始日益显现,在与集聚经济的“博弈”中占据优势而导致长期效应不明显。

另外,对比短期和长期内各变量的直接效应和间接效应发现,尽管长期内各效应系数的绝对值大于各短期效应系数,但根据显著性,短期内产业集聚对能源效率的作用更为有效。原因可能是因为产业在地理空间上的集聚短期内不会发生迁移变动,经济活动对本地和周边地区的影响具有持续性连贯性,不断积累会增强对城市能源效率的影响;长期内集聚区内企业数量的增多带来资源紧缺,知识同化的倾向也削弱知识外部性<sup>[39]</sup>,同时污染转移、企业竞争、政治锦标赛等的动态变化对当地和邻近地区的能源效率影响呈现出复杂化特征,从而导致长期效应系数缺乏显著性。综上,验证了研究假设1和假设2。

## (二) 稳健性检验

### 1. 变换空间权重矩阵

以上实证结果是在以经济距离为主的反经济距离矩阵下进行的分析,本文使用经济兼地理空间距离的嵌套权重矩阵进行稳健性检验,嵌套权重矩阵的公式为 $w_{ij}^s = (\text{gdp}_i \times \text{gdp}_j) / d_{ij}^2, i \neq j$ ,  $d_{ij}^2$ 为城市*i*和城市*j*地理直线距离平方数。对比表6与表7中的结果,除却生产性服务业集聚和协同集聚在短期内的直接效应不显著,其他变量的符号与显著性和基础回归模型基本一致,表明产业集聚对能源效率的影响效果是稳健的。

表7 嵌套矩阵下空间效应分解

变量	短期			长期		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
magg	0.002	3.007**	3.009**	-0.660	-3.396	-4.056**
sagg	-0.210	4.147***	3.937***	2.188	-7.538	-5.350***
coagg	-0.017	-0.714***	-0.731***	-0.100	1.171	1.070**
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著。

### 2. 内生性问题分析

动态空间杜宾模型虽然可以解决遗漏变量导致的内生性问题,但是产业集聚和能源效率互为因果的内生性问题无法解决。在运用动态空间杜宾模型的基础上,本文进一步通过系统GMM方法,参考韩峰和阳立高<sup>[41]88</sup>的研究,将被解释变量及其空间滞后项的滞后二阶、三阶,以及制造业集聚、生产性服务业

集聚、协同集聚以及各自空间滞后项的滞后二阶、三阶作为工具变量。另外,根据林伯强和谭睿鹏<sup>[42]</sup>的研究,将地形起伏度也作为工具变量之一,地形起伏度作为自然地理中形成、客观存在的外生变量,也会对交通运输、基础设施建设以及人口密度产生影响,与产业集聚之间存在相关性,是一个较为合适的工具变量。

由表8结果所示,Sargan检验在10%的显著性水平下接受原假设,故上文选择的工具变量是有效的;另外,AR(1)检验显著,AR(2)检验不显著,表明扰动项无自相关,可见,本文利用系统GMM方法解决内生性的估计结果是合理的。表4与表8估计结果相比,即使制造业集聚系数符号发生改变,但都不显著;其余集聚变量的估计结果基本保持一致,表明基础回归结果的稳健性。同时能源效率的滞后项和空间滞后项都显著为正,验证了能源效率存在时间维度上的路径依赖和显著的空间示范效应。

表8 系统GMM估计结果

变量	系数	z值	统计量	统计值	概率
magg	-0.373 0	-1.34	Sargan-test	259.562	0.279 0
sagg	0.240 0	0.54	AR(1)	-3.4700	0.000 5
coagg	-0.567 0**	-2.08	AR(2)	-0.069 0	0.945 0
w×magg	1.094 0***	2.73			
w×sagg	1.584 0***	3.43			
w×coagg	-0.476 0**	-2.43			
L.EE	0.786 0***	384.57			
w×EE	0.160 0***	38.87			

注:\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著。

### (三) 产业集聚影响能源效率的中介效应检验

如理论机制所述,产业集聚能够促进城市创新产出,降低创新风险,进而推动能源效率改善。为检验这一机制,本文选用城市创新水平( $\ln P$ )作为产业集聚影响能源效率的中介变量。借鉴韩峰和阳立高<sup>[41]</sup>的中介效应检验方法,通过构建递归模型,利用系数的显著性判断创新水平在产业集聚与能源效率关系中的作用。城市创新水平采用专利申请量来衡量<sup>[43]</sup>,专利申请数据来自CNRDS数据库,考虑数据可能存在的异方差问题,进行对数化处理。中介效应模型表达式如下

$$EE_{it} = \alpha + \beta EE_{i,t-1} + \theta_0 \text{magg}_{it} + \theta_0' \text{sagg}_{it} + \theta_0'' \text{coagg}_{it} + q_v \sum_{v=1}^o Z_{jit} + \xi_{it} \quad (7)$$

$$\ln P_{it} = \omega + \theta_1 \text{magg}_{it} + \theta_1' \text{sagg}_{it} + \theta_1'' \text{coagg}_{it} + q_v \sum_{v=0}^o Z_{v,it} + \zeta_{it} \quad (8)$$

$$EE_{it} = \bar{\alpha} + \bar{\beta} EE_{i,t-1} + \theta_2 \text{magg}_{it} + \theta_2' \text{sagg}_{it} + \theta_2'' \text{coagg}_{it} + c \ln P_{it} + q_v \sum_{v=1}^o Z_{jit} + \xi_{it} \quad (9)$$

其中, $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $\bar{\alpha}$ 为常数项; $\beta$ 、 $\bar{\beta}$ 为能源效率滞后项系数; $Z$ 表示各控制变量; $\xi_{it}$ 、 $\zeta_{it}$ 为模型中的误差项。根据中介检验机制,首先,对式(7)进行空间杜宾回归,关注产业集聚变量系数 $\theta_0$ 、 $\theta_0'$ 、 $\theta_0''$ ,检验产业集聚对能源效率的影响,无论系数是否显著继续进行后续检验;进而对式(8)、式(9)进行回归,关注系数 $\theta_1$ 、 $\theta_1'$ 、 $\theta_1''$ 和 $c$ 的显著性,若都显著,则表明产业集聚对能源效率的影响中至少有一部分是通过中介变量实现的;最后观察式(9)中系数 $\theta_2$ 、 $\theta_2'$ 、 $\theta_2''$ 的显著性,若显著,说明是部分中介效应,即产业集聚对能源效率的影响只有一部分是通过中介变量 $\ln P$ 起作用的;若不显著,则说明是完全中介效应,即产业集聚是通过中介变量 $\ln P$ 影响能源效率。表9提供出产业集聚对能源效率的中介效应检验结果。

表9中式(7)估计结果与前文基础回归效应分解结果一致,此处不再赘述。式(8)检验产业集聚对城市创新的影响结果显示,产业集聚的总效应都显著,其中制造业集聚短期直接效应和间接效应显著为负,不利于本地和周边城市的创新水平提高;生产性服务业集聚仅在短期间接效应通过了显著性检验,对周边城市有显著为正的溢出效应;协同集聚仅短期直接效应显著为正,能提升本地区的城市

表9 基于城市创新的中介效应检验

变量	效应类型	式(7)	式(8)	式(9)
ln P	短期直接效应			-0.015
	短期间接效应			-0.165***
	短期总效应			-0.179***
	长期直接效应			0.951
	长期间接效应			0.055
	长期总效应			1.006***
magg	短期直接效应	0.175***	-0.080**	0.167
	短期间接效应	0.788***	-0.479***	0.779***
	短期总效应	0.963***	-0.559***	0.946***
	长期直接效应	-7.607	0.191	-8.041
	长期间接效应	1.274	1.238	2.726
	长期总效应	-6.333***	1.429***	-5.315***
sagg	短期直接效应	0.285**	0.046	0.212
	短期间接效应	1.674***	0.457***	1.514***
	短期总效应	1.959***	0.503***	1.726***
	长期直接效应	16.497	-0.265	-14.412
	长期间接效应	-29.343	-1.015	4.703
	长期总效应	-12.846***	-1.280***	-9.709***
coagg	短期直接效应	-0.242	0.079***	-0.249**
	短期间接效应	-0.649***	0.013	-0.741***
	短期总效应	-0.891***	0.092**	-0.990***
	长期直接效应	39.613	0.189	9.094
	长期间接效应	-33.734	-0.423	-3.509
	长期总效应	5.879***	-0.234**	5.585***
控制变量	控制	控制	控制	控制

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著。

创新水平。在式(9)中城市创新水平的总效应显著,且在短期内对周边城市能源效率提高具有显著的抑制作用。除此之外,产业集聚变量的短期和长期总效应也都显著,其中制造业集聚、生产性服务业集聚短期间接效应显著为正,协同集聚短期直接效应和间接效应显著为负。综上所述,在产业集聚影响能源效率的过程中,城市创新水平起到部分中介效应的作用,表明产业集聚影响能源效率的传导机制中城市创新水平扮演着重要角色,验证了假设3。

#### (四)异质性要素分析

##### 1. 基于不同时段的分样本考察

能源问题一直以来都受到高度关注,“十二五”规划期间,能源发展思路调整,着眼于提高能源利用效率,首次提出一次能源消费总量的控制目标。为进一步检验能源政策实施对产业集聚和能源效率关系的影响,把样本从2011年为界划分为两个时段进行探究。表9报告了相应的估计结果。

由表10所示,2005—2011年制造业集聚、生产性服务业集聚以及协同集聚的短期总效应和长期各效应均在1%水平上通过显著性检验。就长期来看,制造业集聚和生产性服务业集聚仅对本地能源效率有促进作用,协同集聚可以显著提升本地和周边城市的能源效率。在2011年能源政策做出调整之后,产业集聚对能源效率的即期效果显著,生产性服务业集聚和协同集聚显著影响本地能源效率,制造业集聚和生产性服务业集聚具有明显的空间溢出效应。总体来看,能源政策未作调整之前,产业集聚对能源效率的影响基本局限于本地提升的长期效应;能源发展政策调整后,地方政府的有意模仿跟进使得产业集聚模式发生改变,短期内对能源效率的空间溢出效应显著。控制能源消费目标以及政治晋升和增长竞争

表 10 异质性要素下产业集聚影响能源效率的估计结果

变量	效应类型	按时段划分		按城市规模划分			按城市发展水平划分		
		2005—2011年	2011—2017年	I类	II类	III类	高	中	低
magg	短期直接效应	-7.591	0.129	-0.299	-0.239	8.996***	2.764***	0.440*	0.530**
	短期间接效应	-13.091	-1.687**	2.204***	1.224***	-15.405***	8.341***	0.835**	0.843**
	短期总效应	-20.682***	-1.558*	1.905***	0.985***	-6.409***	11.104***	1.275***	1.373***
	长期直接效应	1.370***	0.492	-10.638	-1.571	0.444	-94.08	5.509	3.311***
	长期间接效应	-8.536***	-9.723*	-27.047	-38.923	-4.34	100.676	8.500	7.288**
	长期总效应	-7.166***	-9.231	-37.685	-40.494	-3.896**	6.596***	14.009	10.599***
sagg	短期直接效应	-3.023	0.458*	-0.540	0.376	-8.993***	-10.271***	0.582**	0.336*
	短期间接效应	-6.012	0.702**	3.489***	1.726***	12.009***	1.746***	1.099***	1.258***
	短期总效应	-9.035***	1.160***	2.949***	2.102***	3.016***	-8.525***	1.681***	1.594***
	长期直接效应	0.379***	2.442*	-13.825	-6.363	-5.244	-283.341	7.061	2.395**
	长期间接效应	-3.510***	4.324*	-34.883	-90.866	7.077	278.277	12.024	10.000***
	长期总效应	-3.131***	6.766***	-48.708	-97.229	1.833***	-5.064***	19.086	12.395***
coagg	短期直接效应	0.672	-0.596**	0.006	0.056	3.531***	2.403***	-0.453**	-0.447***
	短期间接效应	4.181	-0.329	-1.913***	-0.988***	-1.965***	-5.282***	-0.562***	-0.459**
	短期总效应	4.853***	-0.925***	-1.907***	-0.932***	1.566***	-2.879***	-1.015***	-0.906***
	长期直接效应	0.487***	-3.118***	8.192	2.153	5.958	159.775	-5.170	-2.694***
	长期间接效应	1.195***	-2.235	23.765	41.746	-5.006	-161.485	-5.921	-4.300***
	长期总效应	1.682***	-5.353***	31.957	43.899	0.952**	-1.710***	-11.091	-6.994***
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著。

的驱动，地方政府会加大吸引节能环保、新能源等产业到当地投资，有利于提升本地能源效率，集聚进一步多样化，更容易形成产业间前后向关联机制，集聚效应辐射范围扩至周边城市，产生空间外溢效应。

## 2. 基于城市规模的分样本考察

工业化和服务经济的快速推进，城镇化进程不断加快，使得中国城市数量和规模增长迅速，城市规模差异带来的产业集聚异质性特征，对城市能源效率的影响也不同。因此，本文参考国务院2014年印发的《关于调整城市规模划分标准的通知》和于斌斌<sup>[30]38</sup>等的研究并作出一定调整，将样本按城市规模划分为三类：I类城市：人口数 $\geq 500$ 万；II类城市：300万 $\leq$ 人口数 $< 500$ 万；III类城市：人口数 $< 300$ 万。

表10中的估计结果表现为短期效应显著，规模较大的I类、II类城市中制造业集聚、生产性服务业集聚和协同集聚的间接效应和总效应显著。其中，制造业集聚和生产性服务业集聚具有显著为正的空间外溢效应，协同集聚则不利于周围城市的能源效率提升，这与基础回归结果的短期间接效应估计一致，表明城市规模差异对I类、II类城市的空间溢出效应没有产生变化。短期内III类城市的产业集聚各效应均显著，制造业集聚和协同集聚的发展会显著提升本地城市的能源效率，但降低了周边城市能源效率，生产性服务业集聚则相反。规模较小的III类城市发展潜力大，地租较低，易受政府相关政策影响，城市规模扩大所带来的边际集聚效应大，在吸引外部产业形成集聚的过程中可以改善本地能源效率；但受“选择效应”影响，生产率优势小<sup>[44]</sup>，阻碍了对周围城市能源效率改善的传导机制。

## 3. 基于城市经济发展水平的分样本考察

城市发展是一个动态的过程，鉴于产业与城市融合发展下城市经济发展水平与产业集聚相伴而生的关系，本文以2005—2017年各城市的人均GDP为依据，结合本文研究特点及参考杨成凤等<sup>[45]</sup>的研究，将城市分为高发展水平：人均地区总产值 $\geq 5$ 万；中等发展水平：3万 $\leq$ 人均地区总产值 $< 5$ 万；低发展水平：人均总产值 $< 3$ 万。回归结果如表10所示。

表10的估计结果中,高、中等发展水平城市的产业集聚对能源效率存在短期效应,较低发展水平城市的产业集聚存在短期长期双驱动效应。首先,高发展水平城市中制造业集聚短期直接效应和间接效应均显著为正;生产性服务集聚短期内不利于本地能源效率提升,但是具有显著为正的空間外溢效应;协同集聚则与生产性服务业集聚估计结果相反。其次,对于中、低等发展水平城市而言,制造业集聚和生产性服务业集聚对本地和周边城市的能源效率都有显著的改善提升作用;协同集聚则抑制了本地和周边城市能源效率的提升。而且,低发展水平城市短期产业集聚效应扩散至长期,对本地和相邻城市的能源效率产生显著影响。对于高发展水平城市,贸易、投资活动频繁,技术扩散、技术革新和竞争压力迫使企业不断提高能源利用效率来保持市场竞争力,产业结构转型升级释放的“结构红利”也有利于产生显著的空间外溢效应。中、低等发展水平城市,较多地承接了来自发达地区的产业,依靠集聚活动的技术外部性、创新补偿效应提高科技水平,可显著提升本市及相邻城市的能源效率,且这种拉动效应呈现边际递增的规律。但工业化进程的滞后、不完善的服务体系容易造成制造业和生产性服务业不匹配,导致资源的空间错配,协同集聚效应不显著。以上验证了假设4。

#### 四、结论与启示

本文主要研究产业集聚对城市能源效率影响机制的复杂性特征,在理论机理阐释的基础上,通过中国269个城市2005—2017年的数据,采用动态空间杜宾模型多角度探讨产业集聚对能源效率的影响。结果显示:(1)产业集聚对能源效率短期驱动效应更明显,其中制造业集聚具有显著的空间溢出效应,“本地化”效应不显著;生产性服务集聚对本地和周边地区的能源效率都有正向的促进作用,而协同集聚则相反,表现为抑制作用。(2)中介检验发现,产业集聚通过提高城市创新水平对能源效率起作用,城市创新水平具有明显的部分中介效应。(3)能源政策会影响到地方产业集聚模式,短期内对能源效率产生较大影响。(4)规模差异城市中,规模较大城市产业集聚突出表现为显著的空间溢出效应,对周边城市能源效率辐射影响较大,相比较而言,规模较小城市产业集聚的本地效应更为突出。(5)不同经济发展水平城市的产业集聚对本地和周边城市的能源效率都具有显著的影响效用,但经济发展水平较低城市对能源效率的影响更具连续性,长期效应也显著。

结合以上研究结论,得出以下政策建议:(1)利用产业集聚显著的短期效应,发展高水平的制造业和生产性服务业,合理控制制造业集聚规模,拒绝低质量、盲目扎堆现象,注重其与生产性服务业的匹配发展,使短期效应过渡到长期效应,实现能源效率的长效提升。(2)充分发挥制造业集聚和生产性服务业集聚对能源效率提升的空间溢出效应,削弱地方保护、市场分割等限制生产要素流动的壁垒。各地区应加强基础设施共享、人才信息流动,扩大集聚溢出区域边界;同时构建产业内部转型升级的有效机制,加强产业融合,促进产业间协同共进,降低协同集聚对能源效率的抑制作用。(3)注重提高城市创新水平,搭建区域创新协作平台,重视创新在产业集聚提升能源效率过程中的中介作用,推动城市创新活动的开展,尤其是企业的绿色创新活动,提高城市能源效率。(4)在政策影响异质、城市规模差异和经济发展分层下,应充分考虑各城市的经济基础,尤其是注重发展中小城市 and 经济发展水平较低的城市,遵循中央政策或制定产业发展战略,结合市场需求和要素供给共同推进制造业、生产性服务业及协同集聚,充分发挥集聚效应。(5)对于存在规模差异、经济发展差异的城市,加强互动交流,完善区域配套设施,实现地区之间的资源共享与优势互补,通过建立有效的合作机制,推动高端制造业和现代生产性服务业集聚发展,促进产业结构优化升级,带动城市能源效率提高。

#### 参考文献:

- [1] HU J L, WANG S C. Total factor energy efficiency of regions in China[J]. *Energy Policy*, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [2] 于斌斌. 产业结构调整如何提高地区能源效率: 基于幅度与质量双维度的实证考察[J]. *财经研究*, 2017, 43(1): 86-97.
- [3] 吴文洁, 王晓娟, 何艳桃. 产业结构变迁对全要素能源效率的影响研究[J]. *生态经济*, 2018, 34(4): 119-124.
- [4] 姜磊, 季民河. 技术进步、产业结构、能源消费结构与中国能源效率: 基于岭回归的分析[J]. *当代经济管理*, 2011, 33(5): 13-16.

- [5] 赵楠, 贾丽静, 张军桥. 技术进步对中国能源利用效率影响机制研究[J]. *统计研究*, 2013, 30(4): 63-69.
- [6] 李未无. 对外开放与能源利用效率: 基于35个工业行业的实证研究[J]. *国际贸易问题*, 2008(6): 7-15.
- [7] CASLER S, HANNON B. Readjustment potentials in industrial energy efficiency and structure[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1989, 17(1): 93-108.
- [8] 周四军, 孔晓琳. 能源消费结构影响能源效率的面板分位回归研究[J]. *工业技术经济*, 2018, 37(6): 145-153.
- [9] DIRCKINCK-HOLMFELD K. The options of local authorities for addressing climate change and energy efficiency through environmental regulation of companies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 98(1): 175-184.
- [10] 魏楚, 郑新业. 能源效率提升的新视角: 基于市场分割的检验[J]. *中国社会科学*, 2017(10): 90-111+206.
- [11] 张治栋, 秦淑悦. 产业集聚对城市绿色效率的影响: 以长江经济带108个城市为例[J]. *城市问题*, 2018(7): 48-54.
- [12] NAGESHA N. Role of energy efficiency in sustainable development of small-scale industry clusters: an empirical study[J]. *Energy for Sustainable Development*, 2008, 12(3): 34-39.
- [13] 王海宁, 陈媛媛. 产业集聚效应与工业能源效率研究: 基于中国25个工业行业的实证分析[J]. *财经研究*, 2010, 36(9): 69-79.
- [14] OTSUKA A, GOTO M, SUEYOSHI T. Energy efficiency and agglomeration economies: the case of Japanese manufacturing industries[J]. *Regional Science Policy & Practice*, 2014, 6(2): 195-212.
- [15] 乔海曙, 胡文艳, 钟为亚. 专业化、多样化产业集聚与能源效率: 基于中国省域制造业面板数据的实证研究[J]. *经济经纬*, 2015, 32(5): 85-90.
- [16] 潘雅茹, 陈崢, 罗良文. 产业集聚影响全要素能源效率的非线性特征研究: 基于中国能源行业数据的实证分析[J]. *华东经济管理*, 2017, 31(11): 121-126.
- [17] ZHAO H L, LIN B Q. Will agglomeration improve the energy efficiency in China's textile industry: evidence and policy implications[J]. *Applied Energy*, 2019, 237(MAR.1): 326-337.
- [18] 师博, 沈坤荣. 政府干预、经济集聚与能源效率[J]. *管理世界*, 2013(10): 6-18+187.
- [19] 熊欢欢, 邓文涛. 环境规制、产业集聚与能源效率关系的实证分析[J]. *统计与决策*, 2017(21): 117-121.
- [20] 韩峰, 秦杰, 龚世豪. 生产性服务业集聚促进能源利用结构优化了吗: 基于动态空间杜宾模型的实证分析[J]. *南京审计大学学报*, 2018, 15(4): 81-93.
- [21] 段瑞君. 技术进步、技术效率与产业结构升级: 基于中国285个城市的空间计量检验[J]. *研究与发展管理*, 2018, 30(6): 106-116.
- [22] 张虎, 韩爱华, 杨青龙. 中国制造业与生产性服务业协同集聚的空间效应分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2017, 34(2): 3-20.
- [23] SCHUMPETER J A. *The theory of economic development*[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1934.
- [24] 杨继东, 罗路宝. 产业政策、地区竞争与资源空间配置扭曲[J]. *中国工业经济*, 2018(12): 5-22.
- [25] 于斌斌. 生产性服务业集聚如何促进产业结构升级: 基于集聚外部性与城市规模约束的实证分析[J]. *经济社会体制比较*, 2019(2): 30-43.
- [26] 王晓轩, 张璞, 李文龙. 佩鲁的增长极理论与产业区位聚集探析[J]. *科技管理研究*, 2012, 32(19): 145-147+157.
- [27] 李占风, 郭小雪. 城市全要素生产效率的测度: 基于275个城市的实证[J]. *统计与决策*, 2019, 35(10): 111-115.
- [28] 李斌, 彭星, 欧阳铭珂. 环境规制、绿色全要素生产率与中国工业发展方式转变: 基于36个工业行业数据的实证研究[J]. *中国工业经济*, 2013(4): 56-68.
- [29] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. *经济研究*, 2004(10): 35-44.
- [30] 于斌斌. 生产性服务业集聚与能源效率提升[J]. *统计研究*, 2018, 35(4): 30-40.
- [31] 杨仁发. 产业集聚与地区工资差距: 基于中国269个城市的实证研究[J]. *管理世界*, 2013(8): 41-52.
- [32] 郭庆旺, 贾俊雪. 财政分权、政府组织结构与地方政府支出规模[J]. *经济研究*, 2010, 45(11): 59-72+87.
- [33] 谢荣辉, 原毅军. 产业集聚动态演化的污染减排效应研究: 基于中国地级市面板数据的实证检验[J]. *经济评论*, 2016(2): 18-28.
- [34] ELHORST J P. Matlab software for spatial panels[J]. *International Regional Science Review*, 2014, 37(3): 389-405.
- [35] YU J, JONG R D, LEE L F. Quasi-maximum likelihood estimators for spatial dynamic panel data with fixed effects when both  $n$  and  $t$  are large[J]. *Journal of Econometrics*, 2008, 146(1): 118-134.
- [36] ANSELI L, GALLO J L. Interpolation of air quality measures in hedonic house price models: spatial aspects[J]. *Spatial Economic Analysis*, 2006, 1(1): 31-52.
- [37] LESAGE J P, PACE R K. *Introduction to spatial econometrics*[M]. Boca Raton, FL.: Chapman & Hall CRC Press, 2009: 51-56.
- [38] 邵帅, 李欣, 曹建华, 等. 中国雾霾污染治理的经济政策选择: 基于空间溢出效应的视角[J]. *经济研究*, 2016, 51(9): 73-88.
- [39] 陆凤芝, 杨浩昌. 产业协同集聚与环境污染治理: 助力还是阻力[J]. *广东财经大学学报*, 2020, 35(1): 16-29.

- [40] 原毅军, 谢荣辉. 产业集聚、技术创新与环境污染的内在联系 [J]. *科学学研究*, 2015, 33 ( 9 ): 1340–1347.
- [41] 韩峰, 阳立高. 生产性服务业集聚如何影响制造业结构升级: 一个集聚经济与熊彼特内生增长理论的综合框架 [J]. *管理世界*, 2020, 36 ( 2 ): 72–94.
- [42] 林伯强, 谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率 [J]. *经济研究*, 2019, 54 ( 2 ): 119–132.
- [43] 马静, 邓宏兵, 蔡爱新. 中国城市创新产出空间格局及影响因素: 来自 285 个城市面板数据的检验 [J]. *科学学与科学技术管理*, 2017, 38 ( 10 ): 12–25.
- [44] 余壮雄, 杨扬. 大城市的生产率优势: 集聚与选择 [J]. *世界经济*, 2014, 37 ( 10 ): 31–51.
- [45] 杨成凤, 柏广言, 韩会然. 流动人口的城市定居意愿及影响因素: 以安徽省为例 [J]. *世界地理研究*, 2020, 29 ( 6 ): 1136–1147.

## Industrial Agglomeration, Spatial Spillover and Urban Energy Efficiency

JI Yujun, WANG Fang

( School of Economics, Ocean University of China, Qingdao Shandong 266100, China )

**Abstract:** The contradiction between our country's rapid economic growth and energy supply and demand restricts urban green development. In consideration of this issue and the fact that economic behavior has spatial interaction, this paper used the data from 2005 to 2017 of 269 cities to construct a dynamic spatial Durbin model and an intermediary effect model to explore the complex mechanism and spatial spillover effect of industrial agglomeration on energy efficiency on the basis of the explanation of the relevant mechanism. The empirical results indicate that industrial agglomeration has a significant spatial spillover effect on energy efficiency in the short term and a significant total effect in the long term. The level of urban innovation has an obvious partial intermediary effect on the relationship between industrial agglomeration and energy efficiency. In addition, further examination shows that the energy policy will affect the local industrial agglomeration mode, and has a greater impact on energy efficiency in the short term; on the condition of the heterogeneity of urban scale and economic development stratification, the spatial spillover effect of industrial agglomeration on energy efficiency is significant. Therefore, it is necessary to fully stimulate the short-term spatial spillover effect of industrial agglomeration, further improve the level of urban innovation and specially pay attention to the development of small and medium-sized cities, so as to promote energy efficiency better.

**Keywords:** industrial agglomeration; energy efficiency; spatial spillover; dynamic spatial Durbin model; intermediary effect

[ 责任编辑: 孟青 ]