

# 工业集聚对绿色经济效率的作用

## 机理与影响效应研究

马彦瑞 刘强<sup>1</sup>

(首都经济贸易大学 统计学院, 北京 100070)

**【摘要】:** 发展绿色经济, 提高绿色经济效率是当今中国经济高质量发展的主题。本文探讨了工业集聚对绿色经济效率的作用机理, 运用超效率 SBM 模型测算了中国 285 个地级及以上城市的绿色经济效率, 同时从生产函数角度出发构建动态面板模型, 实证考察了工业集聚对绿色经济效率的影响效应; 进一步采用中介效应模型就政府干预视角下工业集聚对绿色经济效率的影响进行了研究。结果表明: 整体上, 2004-2018 年中国绿色经济效率处于波动上升的态势, 且沿海和内陆地区波动趋势与全国基本保持一致, 但沿海高于内陆地区; 从影响效应看, 工业集聚对绿色经济效率具有促进作用, 但这种促进效应并非持续有效呈倒“U”型的曲线关系; 进一步研究发现, 工业集聚除了直接对绿色经济效率发挥促进效应, 还可以通过政府干预的途径来提升绿色经济效率。因此, 绿色经济效率的提升, 需要政府动态调整相关的产业政策, 避免工业过度集聚所带来的拥挤效应, 以此来推动绿色发展。

**【关键词】:** 绿色经济效率 工业集聚 政府干预 超效率 SBM 模型

**【中图分类号】:** F062.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1006-2912(2021)07-0101-11

### 一、引言

改革开放以来, 以市场化为导向的中国经济体制改革极大地促进了工业集聚, 而这种集聚又通过规模经济、知识溢出等正外部效应实现了自我强化, 成为推动国民经济增长的重要引擎。但是, 和大多数发展中国家类似, 工业生产规模扩张的同时不仅会加大煤炭等能源的消耗, 还会增加 SO<sub>2</sub> 等工业三废的产生<sup>[1]</sup>。如果工业集聚单纯依靠市场引导, 可能会面临集聚发展结构不科学、恶性竞争等问题。政府部门对严峻的环境形势高度重视, 对环境问题治理相继出台了多种产业政策和环境政策。“绿色发展”作为五大发展理念之一, 在党的十八届五中全会中被提出, 并被提升为国家发展战略之一。绿色经济效率的提升是绿色发展的关键, 而绿色经济效率的提升与工业密切相关<sup>[2]</sup>。传统经济效率主要考虑了劳动和资本投入的产出效率, 而绿色经济效率将经济、环境以及能源进行综合考虑, 弥补了传统经济效率评价只依赖投入规模扩张和期望产出增长的缺陷, 综合反映了经济增长、环境保护和资源节约的三方演化关系<sup>[3]</sup>。在新常态和绿色转型的背景下, 工业集聚在绿色发展中扮演着什么样的角色? 实证研究绿色经济效率如何随着工业集聚的变化而演变具有重要的现实意义。因此, 本文在对绿色经济效率科学评价与测度的基础上, 试图回答以下几个问题: 第一, 工业集聚对绿色经济效率有着怎样的影响? 第二, 这种影响是否存在地理区位、城市规模 and 经济发展阶段的异质性? 第三, 政府干预在工业集聚对绿色经济效率的影响中存在怎样的传导路径?

### 二、文献综述与作用机理

**作者简介:** 马彦瑞(1990-), 女, 河南郑州人, 首都经济贸易大学统计学院博士研究生, 研究方向: 社会经济统计;

刘强(1976-), 男, 山东潍坊人, 首都经济贸易大学统计学院教授、博士生导师, 研究方向: 社会经济统计。

**基金项目:** 北京市社会科学基金重大项目“京津冀产业协同发展效果测度与对策研究”(20ZDA12), 项目负责人: 刘强; 首都经济贸易大学博士研究生学术新人计划项目(2021XSXR06), 项目负责人: 马彦瑞

现有文献对绿色经济效率的研究主要集中在三个方面：(1)内涵诠释。相较于传统经济效率，绿色经济效率综合考虑了经济生产过程中所涉及到的多投入多产出，将资源要素投入和非期望产出考虑进去<sup>[4]</sup>。一般而言，包含两方面的内涵：一是衡量经济发展过程中投入要素的利用效率，反映了单位投入成本上经济产出的能力；二是表征了在原有传统要素投入(资本、劳动)的基础上，将资源要素和非期望产出考虑进去，反映了经济发展过程中资源环境的消耗<sup>[5]</sup>。由此可见，绿色经济效率是在产出既定的条件下，投入要素最小化的能力，反映了要素投入以及经济产出和非期望产出的效率<sup>[6]</sup>。(2)研究内容与测度方法。国外学者多运用 DEA 模型<sup>[7]</sup>、RAM 模型<sup>[8]</sup>、四阶段 DEA 模型<sup>[9]</sup>等方法对欧盟、马来西亚、土耳其等国家的绿色经济效率进行研究；国内学者则多运用 SFA 方法<sup>[10]</sup>、MinDS-Malmquist<sup>[11]</sup>、多 DEA-Gini 准则<sup>[12]</sup>、超效率 SBM 模型<sup>[13]</sup>等方法，分析单个省份、黄河流域省份、长江经济带省份、中国省域农村绿色发展绩效和绿色经济效率。可见，学者们基于不同的时间范围和地域尺度对绿色经济效率展开了丰富的研究，研究方法和地域尺度更加多元化和多维化。(3)影响因素。多种因素对绿色经济效率产生影响，从内生增长理论来分析，技术创新对推动绿色经济效率有着重要的作用，而要素投入可为绿色经济效率的提升提供充足的资金支持。同样，政府的宏观调控由于在资源配置和要素流动方面占据主导地位，从而对绿色经济效率产生直接影响<sup>[14]</sup>。实证研究发现，绿色经济效率受到环境规制<sup>[15]</sup>、技术创新<sup>[16]</sup>和财政分权<sup>[17]</sup>等因素的影响。

工业集聚是指多个工业企业高度集中在一定地理区域内形成优势发展的过程，是一种以分工深化为基础的空间组织形式<sup>[18]</sup>。理论来讲，工业集聚对绿色经济效率存在两方面的影响。当工业集聚程度达到适度规模，工业在地理空间上逐渐集聚，产生集聚正外部性特征。主要表现为：适度的工业集聚可以加强企业与企业、企业与客户之间的信息交流与合作，深化产业间的分工，实现生产全过程的生态循环，降低运输成本和能源消耗，发挥知识溢出效应，从而扩大区域生产能力和改善环境质量，进而促进绿色经济效率的提升<sup>[19]</sup>。但是，随着一个地区经济增长从规模经济向外部经济发展时，工业集聚程度越来越高，当集聚导致产业空间极化时，对绿色经济效率产生抑制作用。具体而言，工业集聚通过扩大经济规模影响环境质量，导致市场饱和、资源短缺、交通拥堵严重、生活成本上升。这种“拥堵效应”会导致企业生产投入的快速增加，并引发负面的反弹效应(如企业之间因争夺公共物品而产生恶性竞争)，从而导致区域环境质量恶化，能源消耗增加，环境治理成本上升。工业在有限的资源空间内无法正常运转，从而产生环境污染问题<sup>[20]</sup>。因此，当工业出现过度集聚时，政府要适时引导，发挥宏观调控职能的作用，将工业集聚调整到与资源环境协调发展的过程中。基于这种深层次的理解，图 1 展示了政府干预视角下工业集聚对绿色发展的作用机理。同时，政府是工业发展和环境质量改善的“守夜人”，影响着工业集聚和扩散。工业集聚通过促进生产要素向成本低和资源节约的部门流动，选择最佳区位发展，实现生产要素的最优配置，改变资源消耗强度和能源转换，从而实现绿色发展。

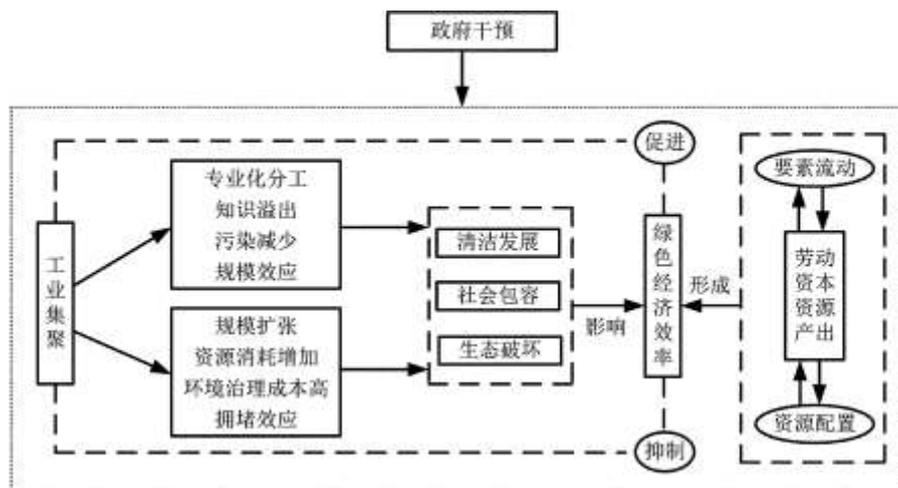


图 1 政府干预视角下工业集聚对绿色经济效率的作用机理

综上所述，现阶段学界对绿色经济效率进行了较为系统地研究，但仍存在一些不足：一是样本选择方面，已有研究对绿色经济效率的测算主要集中在全国及省级层面，缺乏对地级市的分析，同时忽略了对能源消耗及环境污染的考虑，无法全面反映

绿色经济效率的特点；二是研究区间方面，绿色经济效率的测算在已有研究中多截至 2016 年，研究区间过短无法呈现其最新特点。目前中国经济进入新常态，环境承载能力已达到或接近上限，必须推动形成绿色低碳循环发展的新方式，研究区间过于狭窄不能准确反映新常态前后绿色经济效率的差异，将绿色经济效率的测算时间延至最近年份很有必要；三是研究内容方面，有关工业集聚对绿色经济效率的研究较少，主要集中在高技术产业<sup>[21]</sup>和金融业<sup>[22]</sup>展开研究。众所周知，工业是经济增长的重要推动力，同时也是造成环境污染的主要来源，忽略工业集聚对绿色经济效率的影响可能会导致研究结论不全面，同时缺乏对地理区位、城市规模及时间阶段异质性的详细分析。基于此，本文试图从以下三个方面进行拓展：第一，将研究视角从省级扩展到市域，综合考虑了环境保护、经济增长和能源节约三个维度构建绿色经济效率指标，将超效率 SBM 模型从期望产出扩充到非期望产出，利用中国 285 个地级及以上城市的面板数据对绿色经济效率进行测度；第二，系统梳理工业集聚影响绿色经济效率的作用机理，从地理区位、城市规模 and 经济发展三个层面采用动态面板模型实证探究工业集聚对绿色经济效率的影响效应；第三，从政府干预视角出发，采用中介效应模型探究政府干预在工业集聚和绿色经济效率之间的作用，丰富和发展了对绿色经济效率影响因素及作用机理的研究。

### 三、模型构建及变量设计、数据说明

#### (一) 模型构建

本文在 Miller 等<sup>[23]</sup>的基础上，对 Cobb-Douglas 生产函数进行适度扩展，设定如下生产函数：

$$Y_{it} = A_{it} \cdot F(K_{it}, L_{it}, E_{it}) \quad (1)$$

其中， $Y_{it}$  表示产出， $K_{it}$ 、 $L_{it}$ 、 $E_{it}$  分别表示资本、劳动力和能源要素投入， $i$  表示城市， $t$  表示时间， $A_{it}$  表示希克斯中性技术进步效率函数。具体来说，它指的是技术进步，在任何给定的要素比例下，所有要素的平均产品和边际产品都以相同的比例增长<sup>[24]</sup>。许多研究已经提供理论和经验证据支持产业集聚对技术进步的积极影响<sup>[25]</sup>。基于式 (1)，将工业集聚对绿色经济效率的影响引入，并假设式 (1) 中的希克斯效率函数组成部分是指数的乘积形式，即：

$$A_{it} = g(\text{Agg}_{it}) = A_{i0} \cdot \text{Agg}_{it}^{\beta} \cdot e^{\epsilon_t} \quad (2)$$

其中， $A_{i0}$  表示城市  $i$  的初始技术进步， $\text{Agg}_{it}$  表示  $i$  城市  $t$  年的工业集聚水平， $\beta$  表示集聚弹性，用于刻画集聚外部效应。

考虑到绿色经济效率的变化可能存在时间路径上的依赖性，本期的绿色经济效率可能与经济发展、产业结构、技术创新等因素有关，还会受到上期绿色经济效率的影响，为了更细致地捕捉这种特征，本文将绿色经济效率滞后一期引入建立动态面板回归模型：

$$\ln \text{Gee}_{it} = \beta_0 \ln \text{Gee}_{i,t-1} + \beta_1 \ln \text{Agg}_{it} + \gamma X_{it}^T + v_i + \tau_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

其中， $\text{Gee}_{it}$  表示绿色经济效率， $\text{Gee}_{i,t-1}$  表示滞后一期的绿色经济效率，用来控制和考察绿色经济效率的变化和时间滞后效应， $\text{Agg}_{it}$  表示工业集聚程度， $X_{it}$  为控制变量，包含有能源消费、环境规制、产业结构、人口密度、技术创新、经济发展， $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\gamma$  表示待估系数，其中  $\beta_0$  为绿色经济效率时间滞后系数， $v_i$  和  $\tau_t$  分别表示城市和时间固定效应， $\epsilon_{it}$  表示随机扰动项。

此外，为了检验工业集聚是否存在“拥堵效应”，工业集聚的二次项被引入模型，即：

$$\ln Gee_{it} = \zeta_0 \ln Gee_{i,t-1} + \zeta_1 \ln Agg_{it} + \zeta_2 \ln Agg_{it}^2 + \rho X_{it}^T + v_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中，Agg2itit2 表示工业集聚程度二次项，其它变量解释和式(3)一样。

## (二) 变量设计与数据说明

### 1. 被解释变量

经济新常态下，绿色经济效率是实现经济可持续发展的推动力。本文除了将资本、劳动作为投入要素外，将能源投入也纳入考虑。其中资本投入用资本存量进行衡量，劳动投入用年末就业人数来衡量。对于能源投入，用全社会用电量进行刻画。此外，采用永续盘存法对资本存量进行估算，即  $K_t = I_t / P_t + (1 - \delta) K_{t-1}$ 。估算 t 期资本存量 ( $K_t$ ) 需要知道 t 期名义投资额 ( $I_t$ )、价格指数 ( $P_t$ )、基期资本存量 ( $K_{t-1}$ ) 和折旧率 ( $\delta$ )。全社会固定资产投资和固定资本形成总额在资本存量的计算中表现比较接近<sup>[26]</sup>，考虑到地级市数据的可得性，本文用全社会固定资产投资额表示当期投资额，价格指数进行了 GDP 平减<sup>[27]</sup>，折旧率参照单豪杰<sup>[28]</sup>的做法取 10.96%。基期资本存量常用增长率法进行估计，即  $K_0 = I_0 / g + \delta$ ，其中，g 为资产投资率，取 10%<sup>[29]</sup>。此外，产出变量包括期望产出和非期望产出，期望产出用实际 GDP 来表示，由于地级市 GDP 平减指数没有完全公布，以 2003 年为基期，用该市所属省份的 GDP 平减指数进行平减，采用插值法和均值法对缺失值进行处理。“工业三废”是工业生产过程中的伴随物，是环境污染的主要来源，所以用工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟(粉)尘排放量代表非期望产出。本文将数据缺失严重和行政区划调整的城市排除在外 1, 对中国余下的 285 个地级及以上城市作为决策单元。表 1 为具体的投入产出指标。

表 1 测度绿色经济效率的投入产出指标及解释

一级指标	二级指标	指标解释
投入指标	资本投入	用永续盘存法估算资本存量/万元
	人力投入	年末就业人数/万人
	能源投入	全社会用电量/万千瓦时
期望产出	经济产出	各城市实际 GDP/亿元
非期望产出	工业三废	工业二氧化硫排放量/万吨
		工业废水排放量/万吨
		工业烟(粉)尘排放量/万吨

索罗余值法、随机前沿分析法(SFA)和数据包络分析法(DEA)都可以用来测算绿色经济效率，前两种方法要对随机误差项做较强的假设，另外，还需要设定适合的函数形式，函数形式设定不合理可能会导致估计结果出现较大的偏差，而非参数 DEA 法则可以避免这些情况。绿色经济效率的测算不仅要考虑要素投入和效益产出，还要将环境代价纳入产出，这样才能更好的评价绿色经济效率。部分学者将环境污染作为投入对绿色经济效率进行测算，这样做有失偏颇。环境污染是伴随着工业生产所产生

的一种副产品，不同于劳动、资本、能源等具有经济价值的要素，因此，将环境污染纳入非期望产出更贴合实际。DEA 模型未考虑投入产出变量的松弛问题，无法准确测算包含非期望产出的绿色经济效率值，而基于 DEA 的非径向 SBM 模型可以有效解决其不足<sup>[30]</sup>。此外，考虑到传统 SBM 模型不能有效对前沿面上的效率进行比较，本文将超效率 SBM 模型扩展到非期望产出，利用 MaxDea 对绿色经济效率进行测算，提升了绿色经济效率的可比性。图 2 显示了中国 285 个地级及以上城市和分区域绿色经济效率年平均变化趋势。

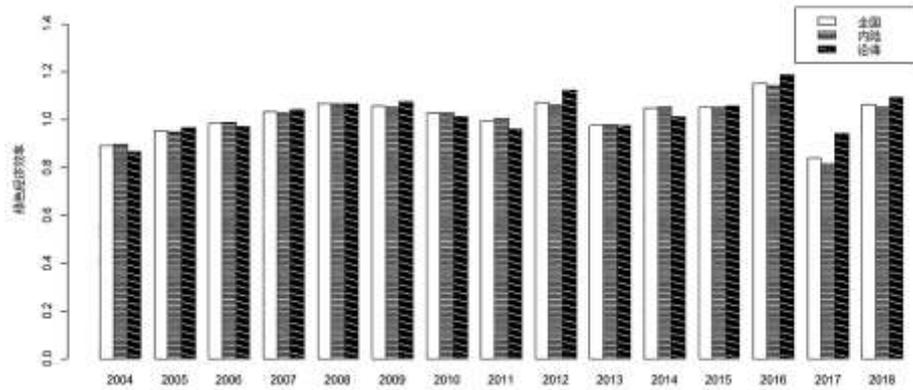


图 2 2004-2018 年中国绿色经济效率年平均变化

由图 2 可知，中国绿色经济效率的变动呈现两个显著的特征。第一，整体上，2004-2018 年中国绿色经济效率处于波动上升的态势，增长幅度差异明显。其中，2004-2008 年处于平稳上升期，随着经济迈入新常态，经济发展的主要趋势是绿色发展，2013-2016 年处于快速上升期。第二，分区域来看，沿海和内陆地区绿色经济效率波动趋势与全国基本保持一致，但内陆地区下降幅度最大，从 2016 年的 1.142 下降到 2017 年的 0.813，随之又迅速上升。高绿色经济效率区主要分布在沿海地区，低效率区主要分布在内陆，相较于内陆，沿海地区区位优势明显，便于推动经济发展。

## 2. 核心解释变量

工业集聚(Agg)。已有研究常用 EG 指数、HHI 指数和区位熵指数测算产业集聚程度，相比较前两者，区位熵能消除地区规模之间的差异，较真实的反映工业集聚的空间分布。因此，本文借鉴 Donoghue 等<sup>[31]</sup>的做法，采用区位熵指数对工业集聚 2 程度进行衡量，具体计算公式如下：

$$Agg_{it} = \left[ \frac{S_{ijt}}{\sum_i S_{ijt}} \right] / \left[ \frac{\sum_j S_{ijt}}{\sum_i \sum_j S_{ijt}} \right] \quad (5)$$

其中， $Agg_{it}$  表示 i 城市第 t 年工业集聚水平， $S_{ijt}$  表示 i 城市 j 产业第 t 年就业人数。

政府干预(Gov)。“守夜人”是政府在经济发展中常扮演的角色，发展中国家为了实现对经济的赶超，往往会基于比较优势理论，通过政府干预的途径优先发展重工业<sup>[32]</sup>。地方政府一般通过财政扶持的手段对产业集聚创造条件，但越位、缺位、错位的现象在政府行使职能的过程中不断出现，这将会导致资源要素配置扭曲，不利于节能减排和绿色经济效率的提升。因此，本文用政府财政支出占 GDP 比重衡量政府干预对绿色经济效率的影响。

## 3. 控制变量

为准确分析工业集聚对绿色经济效率的影响，减少遗漏变量造成的估计误差，结合理论分析并参照以往文献研究，本文进一步选取其他控制变量来分析对绿色经济效率的影响。

环境规制(Env)。环境规制对绿色经济效率有着重要作用，环境规制合理状态下能够促进企业的创新活动，进而提高绿色经济效率。部分学者一般采用工业污染治理投资额衡量环境规制强度，但中国市级工业污染治理投资额的数据尚未公布，故本文借鉴林伯强等<sup>[33]</sup>的做法，采用工业固体废物综合利用率对环境规制强度进行表征。

人口密度(Den)。人口增长不仅增加了资源和能源的需求，而且可能由于人口活动和发展格局的不合理进一步对环境造成破坏。本文用各城市单位行政区划面积上的年末总人口进行表征。

技术创新(Tec)。根据内生增长理论，技术创新是经济增长的关键动力，是环境保护的重要途径，提高绿色经济效率离不开研发投入。同样，企业节能减排绿色技术越高，越有利于促进绿色经济效率的提高。本文用各城市财政经费中的科技支出占国内生产总值的比重来衡量技术创新水平。

能源消费(Enc)。中国产业消费结构过度依赖于化石燃料(尤其是煤)，煤炭燃烧是环境污染的主要来源，其对经济转型和污染治理都产生了重要的影响。由于中国尚未公布城市能源消费水平数据，本文用工业用电量占全社会用电量的比例来估算能源消费结构对绿色经济效率的影响。

产业结构(Sec)。不同行业、不同规模的企业在生产过程中对环境的消耗程度也不一样。第二产业生产中使用的化石燃料所产生的排放是环境污染的主要来源，且中国以重工业为主导的工业化进程进一步加剧了能源消耗和污染排放。产业结构的非合理化会导致资源错配及抑制绿色经济效率的提升，本文采用第三产业产值与第二产业产值之比作为产业结构的代理变量，若比值小于1，说明第二产业相较于第三产业可能会对环境产生更大的污染。

经济发展(Pgdp)。经济增长是影响绿色发展的重要因素之一，采用人均GDP对城市的经济发展水平予以表征。

#### 4. 数据来源

考虑到2000年前后中国许多城市进行了大规模的行政区划调整，为保持统计口径的一致性，本文剔除拉萨、巢湖、日喀则、三沙、林芝、儋州、毕节、铜仁、昌都、山南、那曲、海东、吐鲁番和哈密这些城市，最终选取了2004-2018年中国285个地级及以上城市为研究样本进行分析。数据均来自《中国能源统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》以及各市统计年鉴，采用三步移动平均和插值法对个别缺失数据进行补充。

## 四、实证结果及分析

### (一) 工业集聚对绿色经济效率的结果分析

由于在模型中加入了绿色经济效率的滞后项，若直接对式(3)和式(4)进行回归，所得的结果可能存在有偏且非一致的，再加上绿色经济效率和工业集聚可能存在反向因果关系，直接采用OLS估计可能造成回归结果有偏。因此，本文采用系统GMM估计来估计工业集聚和绿色经济效率之间的关系。从模型估计结果来看，AR(1)检验结果表明模型扰动项的一阶差分存在序列相关，而AR(2)表明不存在二阶或更高阶的相关，说明GMM估计方法适用。

表2 工业集聚对绿色经济效率的影响效应分析

变量	全样本		沿海城市		内陆城市	
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
L. Gee	0.467*** (0.061)	0.458*** (0.055)	0.191 (0.128)	0.184 (0.133)	0.493*** (0.052)	0.477*** (0.042)
Agg	0.388* (0.199)	0.389* (0.189)	-0.986* (0.494)	-0.893* (0.460)	0.194 (0.150)	0.230 (0.155)
Agg <sup>2</sup>	-0.344** (0.119)	-0.336** (0.111)	0.196 (0.262)	0.195 (0.241)	-0.213* (0.090)	-0.222* (0.090)
Env		-0.004 (0.028)		-0.081 (0.085)		0.001 (0.030)
Den		0.153 (0.212)		-0.388 (0.420)		0.342* (0.267)
Tec		0.002 (0.002)		0.016** (0.006)		0.001 (0.002)
Enc		-0.132* (0.154)		-0.096 (0.131)		-0.140* (0.059)
Sec		0.091* (0.072)		0.079** (0.054)		0.112 (0.090)
Pgdp		0.097* (0.052)		0.011* (0.048)		0.128* (0.067)
AR(1)	0.007	0.006		0.033	0.031	0.027
AR(2)	0.284	0.281		0.465	0.233	0.229
样本量	4560	4560	848	848	3712	3712

表 2 报告了动态面板估计结果。其中，列(2)仅考察核心解释变量工业集聚对绿色经济效率的影响，结果显示：工业集聚对绿色经济效率的影响显著为正，二次项系数显著为负，说明工业集聚与绿色经济效率呈现倒“U”型关系。在把各个控制变量加入模型进行 GMM 回归发现，工业集聚估计系数符号及显著性均未发生变化，说明回归结果具有较好的稳健性。按照经济学理论，在工业集聚程度处于合理的范围内，集聚所带来的正外部性(如运输成本降低、劳动搜寻成本降低及企业间知识溢出)使得该地区经济生产率提高，同时，能源使用效率的改善也使得该地污染物排放量减少，因此对绿色经济效率具有一定促进作用；当工业集聚程度超过门限值，工业集聚程度过高，当地基础设施无法适应大规模的生产，无法满足大量劳动力需求，这样一来会造成当地经济和资源承载力超负荷，主要表现为交通拥堵、土地资源紧张和市场饱和，企业之间因资源紧张引起恶性竞争，进而会降低生产率和能源利用率，污染物排放也会不断加剧，因此对绿色经济效率具有一定的阻碍作用，此时工业集聚的拥堵效应大于其正外部性，也就是说集聚程度过高可能会出现集聚不经济。此外，绿色经济效率的滞后项系数在 1%的水平上显著为正，这表明绿色经济效率存在时间上路径依赖特征，且前一期的绿色经济效率对当期具有显著的推动作用，分析工业集聚对绿色经济效率问题应用动态面板回归模型是合适的。

在全样本的基础上,划分为沿海和内陆两类子样本进行估计。表 2 列(4)~(7)估计结果显示:沿海城市工业集聚一次项系数显著为负,而内陆城市工业集聚一次项系数为正但不显著,表明沿海城市工业集聚对绿色经济效率起到抑制作用。改革开放以来,许多工业企业集中在东部沿海地区,沿海城市依靠便于吸引外商投资和近邻国际市场的地理优势获得优先发展,具备了工业集聚发展的初始条件<sup>[34]</sup>。此外,随着中国经济市场的发展,劳动力区域市场流动壁垒被打破,大量劳动力涌入沿海城市,为工业发展提供了充足的劳动力供给,而人口规模集聚又引致市场需求的扩大,消费者购买能力逐渐增强,从而形成沿海城市工业集聚循环发展。但是,由于沿海城市工业优先发展和生产规模不断扩张,导致工业集聚的拥挤效应在沿海城市出现,表现为沿海城市工业企业数量达到饱和,用水、用地等公共资源紧张造成恶性竞争,进而降低企业生产率和资源利用率,对绿色经济效率的提升具有一定的抑制作用。而内陆城市属于政府主导型,加之工业集聚水平相对较低,相较于沿海城市会产生较少的污染排放,从而促进绿色经济效率的提升。

控制变量的回归结果中 3,技术创新、人口密度、产业结构和经济发展对绿色经济效率有一定的促进作用,其中,技术创新和人口密度未通过统计上的显著性检验,这可能与现阶段中国研发激励机制不健全、人口规模扩张的惯性、研发效率低有关;企业可以通过去除高能耗、高排放的产业来优化产业结构,进而提高绿色经济效率;中国已进入高质量发展阶段,在推动经济增长的同时注重环境的保护,优化资源配置,从而提高绿色效率。环境规制对绿色经济效率的表现为负向影响效应,但未通过显著性检验,中国虽然加强了企业排污的监管,实施了较高的监管标准,但这些措施并没有促进绿色经济效率的提高。此外,能源消费估计系数为负,并在 10%的水平上显著,中国能源消费以煤炭为主,其燃烧过程中产生的二氧化硫等污染物是造成环境污染的重要组成部分,同时用电量的增多也会导致能源消耗,对绿色经济效率产生不利影响。

## (二)工业集聚对绿色经济效率的异质性分析

考虑到中国各城市规模差异性和工业集聚水平发展的非均衡性,基于总样本分析可能会掩盖城市特性,因而分析不同城市规模下工业集聚对绿色经济效率的影响非常必要。基于此,本文将研究样本分为中小型城市、大型城市和特大型城市 4。同时,十八大以来国家对绿色发展日益重视,为了验证工业集聚对绿色经济效率的影响可能存在经济发展阶段性特征,本文以 2012 年为节点,将分析时间划分为两段。回归结果如表 3 所示。

表 3 工业集聚对绿色经济效率异质性回归结果

变量	城市规模			时间阶段	
	中小型	大型	特大型	2004—2012 年	2013—2018 年
L. Gee	0.499*** (0.040)	0.186** (0.069)	0.356*** (0.065)	0.228*** (0.024)	0.532*** (0.158)
Agg	-0.291** (0.095)	0.797* (0.371)	0.098 (0.837)	-0.408*** (0.442)	0.175*** (0.236)
Agg <sup>2</sup>	0.032* (0.049)	-0.397* (0.182)	-0.273 (0.358)	0.170** (0.231)	-0.115** (0.131)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
AR(1)	0.056	0.065	0.003	0.070	0.008
AR(2)	0.293	0.449	0.619	0.300	0.752

样本量	2784	1088	688	2850	1710
-----	------	------	-----	------	------

由表 3 可以看出,绿色经济效率滞后项在不同的城市规模下均通过了 1%的显著性水平,且前一期绿色经济效率对当期起到了显著的推动作用。工业集聚对绿色经济效率的影响在不同的城市规模下呈现出不同的结果,说明我们划分城市规模是有必要的。工业集聚对中小城市绿色经济效率起到抑制作用,而在大型和特大型城市中相反。表 3 列(2)~(4)结果显示,中小型城市的工业集聚一次项系数显著为负,而大型和特大型城市工业集聚系数为正,但特大型城市工业集聚系数未通过显著性检验。这表明大型城市工业集聚对绿色经济效率有更大的促进作用,而中小型城市却未对其发挥提升作用。这一看似异常结果背后的经济解释和逻辑却非常直观:中小型城市的工业处于起步和发展阶段,工业集聚效应不足,产业链发展不成熟,基础设施配套不完善,公共治污设备不齐全,资源配置未达到最优,企业生产成本较高,不利于绿色经济效率的提高。虽然大型城市和特大型城市对绿色经济效率的提升均起到推动作用,但可以看出特大型城市的推动强度较弱,仅为 0.098,随着城市规模的蔓延,未来特大型城市工业集聚的“拥挤效应”很有可能大于正外部效应,对绿色经济效率的提升具有一定的抑制作用。从表 3 列(5)~(6)时间异质性回归结果可以看出,2013-2018 年工业集聚系数显著为正,与 2004-2012 年相反,表明工业集聚在这个时间阶段对绿色经济效率产生积极影响,表明在经济新常态时期,政府不断加强环境治理强度,对经济发展既重视“数量”又重“绿色”,污染减排卓有成效。

### (三)稳健性检验

为检验工业集聚对绿色经济效率倒“U”型影响的结果是否稳健,本文进行如下几种检验:①由于资源型城市产业发展政策与其他城市可能存在差异,本文依照国务院颁布的《全国资源型城市可持续发展规划(2013 年-2020 年)》,将样本中 115 个资源型城市删除后进行回归,由表 4 列(2)可知,核心解释变量估计系数符号及显著性均未发生变化,唯一不同的是系数大小发生变化。②替换核心解释变量。本文工业集聚是在不包含第二产业中的建筑业进行测度的,考虑到建筑业在施工过程中产生的扬尘对环境同样造成了影响,因此本文用第二产业集聚代替工业集聚来考察其对绿色经济效率的影响。与表 2 列(3)相比,替代变量对绿色经济效率的影响存在一定的高估,但回归系数的符号和显著性均未发生太大变化,这表明估计结果不会因核心解释变量的衡量方法改变而发生较大变化,回归结果在总体上是稳健的。③剔除直辖市和副省级市的影响。由于四个直辖市受中央人民政府直接管辖,经济政策和其它待遇可能与地级市有所差别,导致直辖市和普通地级市不可比<sup>[35]</sup>。同样,副省级市行政区域政策也比较特殊,为了排除行政差异对回归结果造成的干扰,本文将北京、上海等 4 个直辖市和武汉、广州等 15 个副省级市剔除后再进行回归,结果见表 4 列(4),发现回归结果依然稳健。

表 4 稳健性检验结果

变量	去除资源型城市	替换核心解释变量	剔除直辖市和副省级市
L. Gee	0.474*** (0.053)	0.477*** (0.056)	0.465*** (0.062)
Agg	0.467* (0.281)	0.975*** (0.285)	0.359* (0.203)
Agg <sup>2</sup>	-0.426** (0.164)	-0.541** (0.192)	-0.325** (0.122)
控制变量	控制	控制	控制

AR(1)	0.001	0.005	0.012
AR(2)	0.114	0.286	0.281
样本量	2720	4560	2416

#### (四) 政府干预视角下工业集聚对绿色经济效率的影响

经济高质量发展与政府行为息息相关，工业集聚对绿色经济效率的影响是否会受到政府干预的作用，本文借鉴温忠麟等<sup>[36]</sup>提出的中介效应方法，构建中介效应模型探究工业集聚影响绿色经济效率的途径：

$$\ln Gee_{it} = \alpha_1 \ln Agg_{it} + \alpha_2 \ln Agg_{it}^2 + \theta X_{it}^T + v_i + \tau_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$Gov_{it} = \zeta_1 \ln Agg_{it} + \zeta_2 \ln Agg_{it}^2 + \varphi X_{it}^T + v_i + \tau_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$\ln Gee_{it} = \lambda_1 \ln Agg_{it} + \lambda_2 \ln Agg_{it}^2 + \lambda_3 Gov_{it} + \kappa X_{it}^T + v_i + \tau_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

其中，式(6)表示工业集聚对绿色经济效率的总效应， $\alpha_1$ 是总效应的大小；式(7)表示工业集聚对中介变量的影响， $Gov_{it}$ 为中介变量，用政府干预程度衡量；式(8)表示工业集聚和政府干预对绿色经济效应的共同影响， $\lambda_1$ 为直接效应， $\zeta_1 \cdot \lambda_3$ 为间接效应，根据中介效应模型的原理，若系数 $\zeta_1$ 、 $\lambda_1$ 均显著，则表明中介效应存在。需要说明的是， $X_{it}$ 为控制变量，包括前面所阐述的产业结构、能源消费、人口密度、经济发展、科技创新和环境规制。

表5报告了中介效应估计结果。列(2)检验了工业集聚对绿色经济效率的总体影响，工业集聚估计系数显著为正，表明工业集聚对绿色经济效率的提升起到了促进作用；从列(3)可以看出，工业集聚对政府干预的影响在1%水平上显著为负，表明随着工业集聚程度的降低，政府对产业干预程度逐渐增加，可通过政府补贴等途径引导工业向规模经济方向发展。列(4)结果显示，当控制了政府干预时，工业集聚对绿色经济效率的影响依旧在1%的水平上显著，且工业集聚的估计系数(值为0.872)小于列(2)中的估计系数(值为0.891)，这表明政府干预对工业集聚存在部分中介效应，从中介效应大小来看，政府干预中介效应为0.019，工业集聚可以通过转变政府职能，改进环境政策等因素对绿色经济效率产生提升效应。

表5 中介效应模型的回归结果

变量	Gee	Gov	Gee
Agg	0.891*** (0.098)	-0.119*** (0.031)	0.872*** (0.098)
Agg <sup>2</sup>	-0.441*** (0.050)	0.069*** (0.015)	-0.429*** (0.050)
Gov			-0.158** (0.048)

控制变量	是	是	是
R <sup>2</sup>	0.684	0.489	0.686
样本量	4560	4560	4560

## 五、结论与启示

本文基于中国 2004–2018 年 285 个地级及以上城市的面板数据，运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型对综合考虑环境保护、资源节约及经济增长的绿色经济效率进行测算，从地理区位、城市规模 and 经济发展阶段三方面实证分析了工业集聚对绿色经济效率的影响，并进行了稳健性检验；进一步采用中介效应模型就政府干预视角下工业集聚对绿色经济效率的影响效应进行了研究。结果表明：

整体上，2004–2018 年中国绿色经济效率处于波动上升的态势，增长幅度差异明显；分区域来看，沿海和内陆地区绿色经济效率波动趋势与全国基本保持一致，但高绿色经济效率区主要分布在沿海地区，低效率区主要分布在内陆。

从地理区位来看，工业集聚对绿色经济效率的影响呈倒“U”型曲线关系，即在工业集聚程度处于合理范围内，工业集聚对绿色经济效率具有一定的促进效应，当工业集聚程度过高时，其对绿色经济效率具有一定的抑制作用。与内陆城市相比，工业集聚对沿海城市绿色经济效率的促进作用并不明显。

就城市规模而言，中小型城市工业集聚对绿色经济效率存在抑制作用，而大型城市工业集聚对绿色经济效率提升效果好于特大城市。因此，在工业化和城市化的进程中，政府应该制定差异化政策来引导工业集聚和扩散。一方面，要积极发展大型城市，进一步增强工业集聚对绿色经济效率的促进作用，政府应在空间上促进工业的适度集聚，以此来实现规模经济的发展和绿色经济效率的提高；另一方面，要合理控制特大城市工业规模和人口规模，同时要重视中小城市的发展，加快产业结构调整与升级，淘汰高耗能、高污染的企业。

从经济发展阶段来看，工业集聚对绿色经济效率的影响方向在 2012 年前后发生了改变。在中国经济迈入新常态，工业集聚对绿色经济效率表现为促进作用，表明在经济新常态时期，政府对经济发展既重视“数量”又重“绿色”，污染减排卓有成效。

此外，工业集聚除了直接对绿色经济效率发挥促进作用，还可以通过政府干预的途径来提升绿色经济效率。绿色经济的发展，需要政府对工业集聚实施一定的措施，当集聚程度过高时，政府要进行适时引导。同时，政府也要结合企业发展状况和生产规模，制定相关的环境标准提高环境准入和污染物排放的门槛。

### 参考文献：

[1]Hu M, Li R, You W, et al. Spatiotemporal evolution of decoupling and driving forces of CO2 emissionson economic growth along the Belt and Road[J]. Journal of cleaner production, 2020, 277:123272.

[2]杨志江，文超祥. 中国绿色发展效率的评价与区域差异[J]. 经济地理，2017, 37(03):10–18.

[3]Amigues J P, Moreaux M. Competing land uses and fossil fuel, and optimal energy conversion rates during the transition toward a green economy under a pollution stock constraint[J]. Journal of environmental economics and management, 2019, 97:92–115.

- 
- [4]杨龙, 胡晓珍. 基于 DEA 的中国绿色经济效率地区差异与收敛分析[J]. 经济学家, 2010(02):46-54.
- [5]辛龙, 孙慧, 王慧, 等. 基于地理探测器的绿色经济效率时空分异及驱动力研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020(09):128-138.
- [6]钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(07):104-109.
- [7]Kortelainen M. Dynamic environmental performance analysis:A Malmquist index approach[J]. Ecological economics, 2008, 64(4):701-715.
- [8]Ramli N A, Munisamy S. Eco-efficiency in greenhouse emissions among manufacturing industries:A range adjusted measure[J]. Economic modelling, 2015, 47:219-227.
- [9]Ozkara Y, Atak M. Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in Turkey[J]. Energy, 2015, 93:495-510.
- [10]肖黎明, 张仙鹏. 强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征[J]. 自然资源学报, 2019, 34(02):312-324.
- [11]刘华军, 曲惠敏. 黄河流域绿色全要素生产率增长的空间格局及动态演进[J]. 中国人口科学, 2019(06):59-70, 127.
- [12]谢里, 王瑾瑾. 中国农村绿色发展绩效的空间差异[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(06):20-26.
- [13]吴传清, 周西一敏. 长江经济带绿色经济效率的时空格局演变及其影响因素研究[J]. 宏观质量研究, 2020, 8(03):120-128.
- [14]郑洁, 付才辉, 张彩虹. 财政分权与环境污染——基于新结构经济学视角[J]. 财政研究, 2018(03):57-70.
- [15]郭建斌, 陈富良. 地方政府竞争、环境规制与城市群绿色发展[J]. 经济问题探索, 2021(01):113-123.
- [16]刘云强, 权泉, 朱佳玲, 等. 绿色技术创新、产业集聚与生态效率——以长江经济带城市群为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(11):2395-2406.
- [17]方杏村, 田淑英, 王晓玲. 财政分权、产业集聚与绿色经济效率——基于 270 个地级及以上城市面板数据的实证分析[J]. 经济问题探索, 2019(11):164-172.
- [18]Zheng Q Y, Lin B Q. Impact of industrial agglomeration on energy efficiency in China's paper industry[J]. Journal of cleaner production, 2018, 184(20):1072-1080.
- [19]Fan C C, Scott A J. Industrial agglomeration and development:a survey of spatial economic issues in East Asia and a statistical analysis of Chinese regions[J]. Economic geography, 2003, 79(3):295-319.
- [20]Brakman S, Garretsen H, Gigengack R, et al. Negative feedbacks in the economy and industrial location[J]. Journal

---

of regional science, 1996, 36(4):631-651.

[21]胡安军, 郭爱君, 钟方雷, 等. 高新技术产业集聚能够提高地区绿色经济效率吗?[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(09):93-101.

[22]袁华锡, 刘耀彬, 封亦代. 金融集聚如何影响绿色发展效率?——基于时空双固定的 SPDM 与 PTR 模型的实证分析[J]. 中国管理科学, 2019, 27(11):61-75.

[23]Miller S M, Upadhyay M P. The effects of openness, trade orientation, and human capital on total factor productivity[J]. Journal of development economics, 2000, 63(2):399-423.

[24]Blackorby C, Lovell C A K, Thursby M C. Extended Hicks neutral technical change[J]. The economic journal, 1976, 86(344):845-852.

[25]Martin P, Mayer T, Mayneris F. Spatial concentration and plant-level productivity in France[J]. Journal of urban economics, 2011, 69(2):182-195.

[26]李宾. 我国资本存量估算的比较分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2011, 28(12):21-36, 54.

[27]徐生霞, 刘强, 姜玉英. 全要素生产率与区域经济发展不平衡——基于资本存量再测算的视角[J]. 经济与管理研究, 2020, 41(05):64-78.

[28]单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952~2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(10):17-31.

[29]孙静, 徐映梅. SNA 视角下企业研发资本化核算及主要变量调整[J]. 统计研究, 2018, 35(12):16-25.

[30]Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European journal of operational research, 2001, 130(3):498-509.

[31]O' Donoghue D, Gleave B. A note on methods for measuring industrial agglomeration[J]. Regional studies, 2004, 38(4):419-427.

[32]林毅夫, 李永军. 比较优势、竞争优势与发展中国家的经济发展[J]. 管理世界, 2003(07):21-28, 66-155.

[33]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(02):119-132.

[34]文玫. 中国工业在区域上的重新定位和聚集[J]. 经济研究, 2004(02):84-94.

[35]Démurger S. Infrastructure development and economic growth: an explanation for regional disparities in China?[J]. Journal of Comparative economics, 2001, 29(1):95-117.

[36]温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 等. 中介效应检验程序及其应用[J]. 心理学报, 2004(05):614-620.

---

**注释:**

1 绿色经济效率测算剔除的城市有拉萨、巢湖、日喀则、三沙、林芝、儋州、毕节、铜仁、昌都、山南、那曲、海东、吐鲁番、哈密。

2 依据 2017 年国民经济行业分类(GB/T4754—2017),工业包含采矿业,制造业,电力、热力、燃气及水生产和供应业三大行业。

3 限于篇幅,仅分析全样本。

4 划分标准:《中华人民共和国城市规划法》。