# 中国工业集聚对能源生态效率的门槛效应*

关 伟[1,2], 李丹阳[1**]

(1. 辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁 大连 116029; 2. 辽宁师范大学海洋可持续发展研究院, 辽宁 大连 116029)

**摘要**:提高能源利用效率、改善生态环境是紧扣时代主题的全球性问题,研究工业集聚与能源生态效率的关系对促进生态与经济协调发展具有重要意义.本研究利用2001—2016年中国不同工业行业的数据,通过空间基尼系数测算各行业的集聚水平;基于超效率SBM模型测度各行业的能源生态效率值;借助面板门槛回归模型,分析工业集聚与能源生态效率的非线性关系.结果显示:2001—2016年中国工业总体发展态势良好,工业集聚水平呈波动式上升状态,各行业集聚程度稳定,中度和高度集聚行业比例高.2001—2016年中国能源生态效率整体呈上升趋势,但行业差异性显著,高效率值多为技术密集型行业,低效率值多为资源密集型行业.行业集聚指数对能源生态效率表现出双门槛特征,科技水平和环境规制对能源生态效率表现出单门槛特征.行业规模、国企所占比例和外商投资等控制因素对能源生态效率均表现出不同程度的影响,深化企业间的分工与合作,解放国有企业生产力,完善外商投资环境将增强对能源生态效率的促进作用.

**关键词**:能源生态效率;工业集聚;门槛效应

**中图分类号**:F426 **DOI**:10.19789/j.1004-9398.2021.06.008

## 0 引 言

能源是人类社会赖以生存和发展的物质基础,在国民经济发展中占有重要战略地位.能源与气候、环境问题已经成为当今人类社会面临的共同挑战.在工业发展过程中,随着行业设施的完善和企业规模的扩张,势必会出现工业集聚,即若干工业企业或同类生产集中于一定地域或地点.工业集聚作为能源消耗的重要组成部分,直接影响能源生态效率的提高[1],研究工业集聚与能源生态效率的关系是提升能源生态效率的新切入点.

能源生态效率是着重考虑生态要素的能源投入与有效经济产业的比率,兼顾生产活动中的经济效益与生态效益,要求将环境影响和资源利用的强度适配于地球的承载力水平[2-3].目前关于工业集聚与能源生态效率关系的研究较少,但对产业集聚与能源生态效率的关系已有相关研究,产业集聚是指同一产业资本要素在某个特定地理区域内不断汇聚的过程.如:韩峰等[4]运用城市面板数据检验了经济活动空间集聚对能源效率的影响;汪丽娟和孔群喜[5]研究表明中国产业集聚对能源效率的影响存在贸易开放三门槛效应;王海宁和陈媛媛[6]、张雪梅和罗文利[7]、王啸峰等[8]认为产业集聚对能源生态效率具有正向推动作用;程中华等[9]研究表明制造业集聚抑制能源生态效率的提升;纪玉俊和赵娜[10]、师博和任保平[11]、潘雅茹等[12]发现产业集聚与能源生态效率的关系具有复杂性;乔海曙等[13]认为制造业专业化产业集聚相对多样化产业集聚更有利于能源效率的提升.总体来看,现有研究阐释了产业集聚与能源生态效率的关系,但很少考虑到外部因素对产业集聚和能源生态效率关系的影响.

研究工业集聚与能源生态效率的关系,有助于促进技术创新,加快产业结构调整步伐;有助于节能减排,提高能源利用效率,改善生态环境;有助于推动经济社会转型发展,协调经济与环境关系.中国工业生产缓中趋稳,工业集聚化程度高,工业增长继续向中高速调整,将中国工业分行业作为研究对象,测度工业集聚和能源生态效率具有科学性和可行性.本文引入经济、社会和生态因素,实证分析

收稿日期:2021-01-20

* 国家自然科学基金项目(41771132)

** 通信作者:lidy2020@sina.com

工业集聚对能源生态效率的门槛效应:首先,通过空间基尼系数的方法测算中国工业的集聚度,采用超效率SBM(slack based measure)模型来测度中国工业的能源生态效率;其次,基于Hansen面板门槛模型[14],利用中国的面板数据进行实证分析,检验工业集聚对能源生态效率是否存在非线性门槛效应,进一步剖析产业集聚的影响因素;最后,提出提高能源生态效率的可行性建议,优化中国工业产业结构,改善中国生态环境,推动中国经济稳步发展.

## 1　数据来源与研究方法

### 1.1　数据来源

本文以省级层面为研究尺度,选取2001—2016年中国25个工业行业作为研究对象.数据来自2002—2017年《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国环境统计年鉴》,对于部分缺失数据,采用插值法进行补充.考虑到数据分析的针对性和准确性,根据工业类型,将工业分为3类行业:采矿业,制造业,以及电力、热力、燃气及水生产和供应业,具体分类如表1所示.

**表1　工业行业分类及其行业代码**

| 工业分类 | 行业分类(代码) |
|---|---|
| 采矿业 | 煤炭开采和洗选业($B_{06}$),石油和天然气开采业($B_{07}$),黑色金属矿采选业($B_{08}$),有色金属矿采选业($B_{09}$) |
| 制造业 | 农副食品加工业($C_{13}$),食品制造业($C_{14}$),酒、饮料和精制茶制造业($C_{15}$),烟草制品业($C_{16}$),纺织业($C_{17}$),造纸和纸制品业($C_{22}$),石油加工、炼焦和核燃料加工业($C_{25}$),化学原料和化学制品制造业($C_{26}$),医药制造业($C_{27}$),化学纤维制造业($C_{28}$),非金属矿物制品业($C_{30}$),黑色金属冶炼和压延加工业($C_{31}$),有色金属冶炼和压延加工业($C_{32}$),金属制品业($C_{33}$),通用设备制造业($C_{34}$),专用设备制造业($C_{35}$),交通运输设备制造业($C_{36}$),电气机械和器材制造业($C_{38}$),计算机、通信和其他电子设备制造业($C_{39}$),仪器仪表制造业($C_{40}$) |
| 电力、热力、燃气及水生产和供应业 | 电力、热力生产和供应业($D_{44}$) |

注:行业代码划分参照《国民经济行业分类与代码》(GB/T 4754-2017).

### 1.2　研究方法

#### 1.2.1　空间基尼系数

空间基尼系数是由Krugman[15]提出的衡量产业空间集聚程度的指标,其公式为

$$G = \sum_{i=1}^{n}(S_i - X_i)^2, \tag{1}$$

式中$G$为空间基尼系数,即$i$地区的某行业相关指标与全国该行业相关指标的比;$n$表示地区数量;$S_i$是$i$地区某行业就业人数与全国该行业就业人数的比;$X_i$是该地区就业人数与全国总就业人数的比.$G$为0~1,当$G$=0时,表明该行业的空间分布是均匀的,$G$值越大,表明该地区该行业的集聚水平越高.$G$<0.02时,属于低度集聚;$G$为0.02~0.05时,属于中度集聚;$G$>0.05时,属于高度集聚.

#### 1.2.2　超效率SBM模型

数据包络分析(data envelopment analysis,DEA)模型不需要假定函数关系,依据决策单元投入产出要素构建生产前沿,预估相对效率的线性分析方法[16-17].由于DEA模型没有考虑效率中的松弛变量而产生误差,Tone[18]提出了基于松弛变量的非径向、非角度的SBM模型,在此基础上,又定义了结合超效率DEA模型和SBM模型的超效率SBM模型.模型表达式[19]为:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} \boldsymbol{s}_n^x / x_{k'n}^{t'}}{1 + \frac{1}{M+I}\left(\sum_{m=1}^{M} \boldsymbol{s}_m^y / y_{k'm}^{t'} + \sum_{i=1}^{I} \boldsymbol{s}_i^b / b_{k'i}^{t'}\right)},$$

$$\text{s.t. } x_{k'n}^{t'} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K} z_k^t x_{kn}^t + \boldsymbol{s}_n^x,\ n = 1, 2, 3, \cdots, N, \tag{2}$$

$$y_{k'm}^{t'} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K} z_k^t y_{km}^t - \boldsymbol{s}_m^y,\ m = 1, 2, 3, \cdots, M,$$

$$b_{k'i}^{t'} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K} z_k^t b_{ki}^t + \boldsymbol{s}_i^b,\ i = 1, 2, 3, \cdots, I,$$

$$z_k^t \geqslant 0, \boldsymbol{s}_n^x \geqslant 0, \boldsymbol{s}_m^y \geqslant 0, \boldsymbol{s}_i^b \geqslant 0, k = 1, 2, 3, \cdots, K,$$

式中$\rho$代表能源生态效率值;$\boldsymbol{s}$代表投入产出的松弛向量;$N$、$M$和$I$分别表示投入、期望产出和非期望产出的个数;$x$、$y$和$b$分别代表投入、期望产出和非期望产出值;$t$和$k$分别代表时间和地区,$t'$和$k'$指第$t'$年和第$k'$地区,$T$为总时长,$K$为总地区数;$z$代表决策单元的权重.该模型不仅解决了松弛变量的问题,还避免了径向、角度选择带来的误差[20-21].该模型的详细介绍详见文献[22].

#### 1.2.3　门槛模型

门槛模型能够挖掘变量之间跳跃性或者突变性的变化规律,准确拟合不同分组中自变量与因变量之间的非线性发展关系[23-26].本文根据Hansen[14]的面板门槛模型探讨中国工业集聚对能源生态效率的影响,模型设定为

$$\begin{aligned}\ln T_{FEEit} = {} & \alpha_1 + \beta_1 T_{it} \times I(T_{it} \leqslant \gamma) + \\ & \beta_2 T_{it} \times I(T_{it} > \gamma) + C + \varepsilon_{it},\end{aligned} \tag{3}$$

式中$T_{FEEit}$表示能源生态效率即被解释变量;$i$表示地区;$t$表示时间;$T_{it}$在该式中表示门槛变量;$\beta$表示门槛变量对被解释变量的影响系数;$I(\cdot)$为定性函数;$\gamma$为门槛值;$C$为常系数;$\varepsilon_{it}$为随机扰动项.模型(3)只针对单门槛情况,双门槛或多门槛可由此扩展得出.

### 1.3 变量选择

在使用空间基尼系数计算工业集聚方面,选择中国工业分行业年末从业人数作为集聚测度的数据指标.在使用超效率SBM模型计算能源生态效率方面,根据全要素效率框架选取测评要素指标,投入要素分为能源、资本、劳动力与工业总产值4个部分,分别用历年工业分行业能源消费总量、永续盘存法计算的资本存量、历年规模以上工业分行业年末从业人数、工业销售产值来表示.产出指标为利用工业分行业能源消费总量数据,结合IPCC提供的指数与方法计算出的二氧化碳排放量[27].

门槛面板模型中,能源生态效率为被解释变量,工业集聚为核心解释变量,行业集聚指数、科技水平、环境规制为门槛变量.此外,行业规模的大小引起工业行业经济效益的不同、国企所占比例的变动、外商投资的双向性等均是影响能源生态效率的重要因素,因此选其作为此次门槛模型的控制变量,如表2所示.

表2 门槛模型变量说明

| 变量类型 | 指标名称 | 指标代码 | 指标说明 |
|---|---|---|---|
| 被解释变量 | 能源生态效率 | TFEE | 数据由超效率SBM模型,结合2001—2016年中国工业行业投入产出数据测算得出 |
| 核心解释变量 | 工业行业集聚水平 | GC | 中国工业行业空间基尼系数指标 |
| 门槛变量 | 行业集聚指数 | LQ | 中国工业行业就业人数区位熵指数,指某省级行政区的某工业分行业的就业人数占该省就业人数的比例与全国工业分行业就业人数占全国就业人数的比例的比值的各省平均值 |
| | 科技水平 | TECH | 单位科技人员内部科技活动费用 |
| | 环境规制 | ECRE | 废水和废气治理费用支出 |
| 控制变量 | 行业规模 | SCAL | 企业个数与工业行业总产值之比 |
| | 国企所占比例 | SOE | 国有及国有控股企业总产值在工业销售总产值中所占比例 |
| | 外商投资 | FDI | 三资企业销售总产值在工业销售总产值中所占比例 |

作为门槛变量的行业集聚指数用区位熵指数表示,是分析工业集聚对能源生态效率有何影响的直接因素.科技水平主要体现在科技投资和科技人员对工业行业的贡献度上,科技消费内部支出反映科技活动的资本支持,科技人员的数量代表高素质劳动力的科研贡献,故采用单位科技人员内部科技活动费用来衡量工业行业的科技水平.我国现行的环境治理政策多以强制型为主,以节能减排为导向,由于固体废弃物相关数据的缺失,本文选取工业废水和废气的处理费用作为环境规制指标.行业规模是指该行业的产出或经营规模,一般用生产总值表示,为减小数据误差,本文采用企业个数与工业行业总产值之比表示.国企所占比例,即国有企业和国有控股企业生产总值在工业销售总值中的比例.外商投资企业,不仅包含外资企业即独资企业,还包括中外合资经营企业、中外合作经营企业,故外商投资指标选择使用三资企业销售总产值在工业销售总值中的比例.

## 2 研究结果

### 2.1 中国工业分行业集聚分析

通过原始数据的收集和整理,对2001—2016年中国工业分行业进行空间基尼系数计算,进而分析中国工业25个分行业集聚水平.

#### 2.1.1 中国工业集聚时间变化特征及其原因分析

2001—2016年中国工业分行业空间基尼系数变化趋势见图1.总体来看:采矿业和制造业在2001—2016年空间基尼系数变化趋势一致,2012年空间基尼系数达到最大值;除2005年外,采矿业的空间基尼系数均高于制造业;电力、热力、燃气及水生产和供应业的空间基尼系数稳定在较低水平,2004年达到最大值.

具体分析上述特征的原因,采矿业和制造业相互依赖性强,采矿业位于工业产业链的上游,为制造业提供原材料,二者相互依存、共同进退,故发展趋势相似,空间基尼系数变化趋势大体一致.2012年,“十二五”规划进入投资项目集中建设阶段,资源、劳动力和资本大量聚集,使采矿业和制造业得到飞

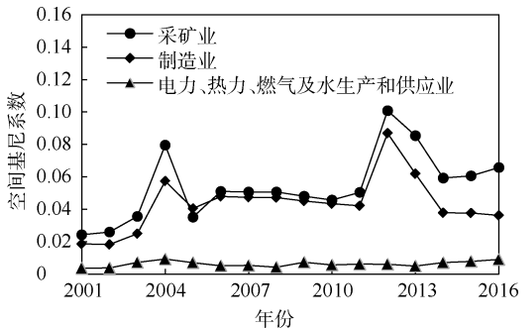



**图1　2001—2016年中国工业分行业空间基尼系数变化趋势**

速发展.采矿业是通过开采和采伐获取自然资源的传统重工业产业,类型多样、范围广泛,因其固有的工业特征,劳动力廉价且集中,故采矿业的空间基尼系数高于制造业.电力、热力、燃气及水生产和供应业属于生产生活必需的工业类型,需求量稳定变化幅度小,下属的行业种类少,就业人数相对较少,空间基尼系数处于较低水平.

2001—2016年中国采矿业和制造业空间基尼系数变化趋势一致,均呈现出2个倒V形起伏发展阶段和1个稳定曲线形平稳发展阶段.第1个倒V形对应2001—2005年,正值世纪之交,是国家"十五"计划时期,其中2004年是中国工业发展史上的重要一年,党中央、国务院加强和改善宏观调控,经济发展的质量与结构稳步改善[28],采矿业和制造业规模扩大,集聚作用明显,专业化程度高.2004—2005年,传统工业推进技术改造,压缩部分行业过剩生产力,采矿业和制造业就业人数相对减少,空间基尼系数开始下降.稳定曲线形对应2005—2011年国家"十一五"规划时期,工业化带来的资源消耗和粗放型增长方式导致可持续发展的资源和环境压力日益增大,国家推进工业结构优化升级,采矿业和制造业发展进程稳定且缓慢.第2个倒V形对应2011—2016年,其中2011—2012年采矿业和制造业加快改造发展步伐,提升行业竞争力,空间基尼系数有所提高.2012年之后,重化工业高速增长周期基本结束[29],采矿业和制造业集聚水平相对下降,需要注意的是,采矿业的空间基尼系数在2016年后有提高趋势,而制造业则出现下降趋势.

### 2.1.2　中国工业集聚分行业特征

中国工业分行业空间基尼系数均值如图2所示,中国工业行业集聚现象较为明显,且集聚程度相对稳定,部分工业行业高度集聚.2001—2016年中国工业空间基尼系数平均水平为0.043 6,根据集聚程度来看,中度和高度集聚的行业所占百分比之和为64.0%.

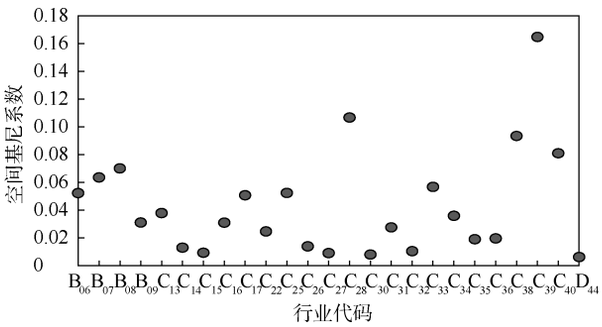



**图2　中国工业分行业空间基尼系数均值**

集聚优势最为明显的4个行业均为制造业,分别是计算机、通信和其他电子设备制造业,化学纤维制造业,电气机械和器材制造业,以及仪器仪表制造业.这些行业多为技术密集型和资本密集型制造业,地理空间分布更为集中,产业专业化程度高,集聚优势较其他行业更为明显.最缺乏集聚优势的行业有酒、饮料和精制茶制造业,医药制造业,非金属矿物制品业,以及电力、热力生产和供应业,这些行业多为满足日常生活需要或是与地区资源禀赋相关的行业,与其他行业相比,生产规模小,产业链短,就业人口不集中,导致空间基尼系数为最低值.

总体来看,采矿业集聚水平较高且相对稳定,空间基尼系数为0.054 3,其对地区资源依赖性较强,行业分布较为集中,具有一定的空间集聚态势和专业化水平.制造业内部种类丰富,重、轻工业集聚程度差异大,整体空间基尼系数为0.043 3,低于采矿业.电力、热力、燃气及水生产和供应业的空间基尼系数为0.006 2,是工业分行业中的最低集聚水平.

## 2.2　中国能源生态效率分析

利用超效率SBM模型,借助MAXDEA软件,测算2001—2016年中国能源生态效率值,从时间和行业2个角度,深入分析能源生态效率的变化趋势.

### 2.2.1　中国能源生态效率时间变化特征

中国能源生态效率的时间变化特征如图3所示,2001—2016年中国能源生态效率整体呈上升趋势,上升分为2001—2009和2010—2016年2个阶段.2001—2009年在国家"十五"计划和"十一五"规划政策引领下,能源生态效率逐步提高.2009年受国际金融危机影响的工业经济逐步回暖,继续贯彻"可持续发展"理念,生态环境得到保护,能源生态

效率大幅提高.2010年节能减排措施虽取得一定进展,但能源生态效率与2009年相比有所下降,资源环境压力日益凸显.2010—2016年能源生态效率呈上升趋势,推测可能是因为“十二五”规划提出要推动绿色发展,加大资源节约管理和生态环境保护的力度,“十三五”规划在此基础上推进传统制造业绿色改造,建立绿色低碳循环发展产业体系,为提高能源生态效率提供政策支持.

中国能源生态效率的标准差和变异系数变化趋势一致,主要有2个起伏阶段和3个平稳阶段.起伏阶段是2008—2010和2012—2014年.在经历国际金融危机的重创后,工业各行业的经济恢复能力不同,发展速度不一,导致2009年能源生态效率标准差和变异系数提高.2013年正值“十二五”规划发展中期,工业化得到快速发展,工业各行业能源消耗量大,高能效产业和低能效产业差距增大.平稳阶段为2001—2008、2010—2012和2014—2016年,但这3个阶段的标准差和变异系数逐渐增大,表明各行业能源生态效率差异显著且出现持续增大的趋势.

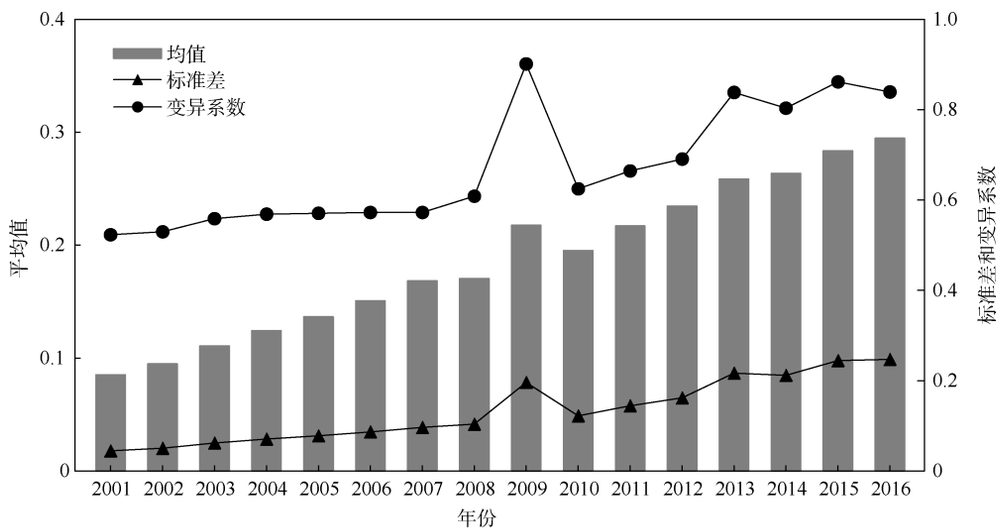



**图3 2001—2016年中国能源生态效率平均值、标准差和变异系数**

**2.2.2** 中国能源生态效率工业分行业特征

关于能源生态效率的行业特征,由于测度结果所占篇幅较大,故选择工业分行业能源生态效率平均值、标准差和变异系数进行分析探讨(图4).中国能源生态效率行业间差异性显著:能源生态效率最高的5个行业多为技术密集型产业,这些产业科研费用多,劳动者专业化水平高,为提高能源生态效率提供了技术支持;而能源生态效率最低的5个行业中有4个为资源密集型的采矿业,这些行业资源开采量大,能源消耗多,能源生态效率低.

2001—2016年中国能源生态效率整体变动幅度小,基本保持稳定.烟草制品业,计算机、通信和其他电子设备制造业,以及黑色金属冶炼和压延加工业3个行业的能源生态效率波动最大.其中,计算机、通信和其他电子设备制造业以及烟草制品业的能源生态效率平均值在研究样本中最高,属于高能效的工业行业,政府应加大财政投入,调整产业结构,推动2个行业保持高能效稳定状态.

整体来讲,制造业能源生态效率平均值为0.218 0,高于电力、热力、燃气及水生产和供应业的0.082 4和采矿业的0.062 5,但制造业中的高耗能行业能源生态效率值仍较低,需加大绿色技术投入,提高能源利用率,推动清洁生产发展.

## 3 工业集聚对能源生态效率的门槛分析

根据Hausman检验结果显示,卡方值为52.200 0,$P<0.000\ 1$,说明拒绝使用随机效应模型,应使用固定效应模型.在固定效应模型的基础上,对各个门槛变量进行检验和分析.

### 3.1 门槛效应检验

将中国工业的25个分行业集聚水平作为核心解释变量,能源生态效率作为被解释变量,从经济、社会和生态3个角度选取门槛变量,拟合中国工业集聚与能源生态效率之间的内在关系,并对门槛值是否存在,以及存在的个数进行检验.门槛效应检验结果表明(表3),科技水平和环境规制均在10%

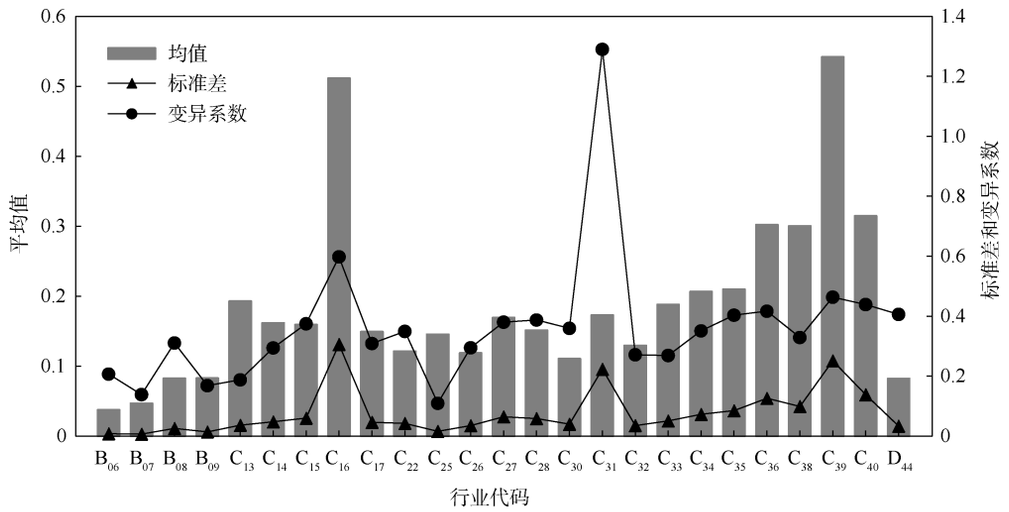



**图4　中国工业分行业能源生态效率平均值、标准差和变异系数**

的显著性水平下通过单门槛检验,行业集聚指数在5%的显著性水平下通过了双门槛检验.

门槛变量似然比函数图如图5所示.横坐标表示门槛变量,纵坐标表示似然比检验统计量(likehood ratio,LR),门槛参数的估计值是指LR=0时门槛变量的取值[30].图形中的虚线是在5%显著性水平下的临界值7.350 0,95%置信区间是所有LR小于临界值所构成的区间.

门槛效应检验结果和似然比函数图表明,在行业集聚指数、科技水平和环境规制作用下,中国工业集聚存在门槛效应,说明工业集聚对能源生态效率的作用是有约束的,二者之间的关系表现出一定的复杂性.当工业集聚水平稳定在一定范围内,能源生态效率会得到有效提高.

### 3.2　门槛回归结果分析

经过门槛效应检验,工业集聚在门槛变量下均通过了显著性检验(表4),表明工业集聚对能源生态效率的影响具有非线性特征.

(1)按照行业集聚指数,工业集聚对能源生态效率的影响分为3个阶段.在不同阶段,其影响系数也有所不同.第1阶段为低门槛值(LQ≤0.703 7)阶段,工业集聚的影响系数为1.861 6,说明在工业集聚的初期阶段,集聚效应大于拥挤效应,对能源生态效率产生了显著的正向作用.首先,相关的工业产业在地理上的集中,可以加强企业间的分工与合作,集聚区内的企业可以共享道路、电网等基础设施,减少资源浪费,获得外部经济效益的同时,产生环保溢出效益,为提高能源生态效率提供更多的可能.其次,工业集聚可以促进信息的交流、人才的流动、技术的发展,有助于各个企业培养创新思维,增加创新灵感,为能源生态效率的提高提供技术支持.最后,工业集聚有助于提高工业行业的竞争意识,使得企业主动或被动提高能源生态效率、改进生产技术、抢占市场份额.第2阶段为高门槛值阶段

**表3　门槛效应检验**

| 门槛变量 | 门槛数 | *F*统计量 | *P*值 | 临界值 | | | 门槛估计值 | 95%置信区间 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 10% | 5% | 1% | | |
| LQ | 单门槛 | 31.160 0 | 0.044 0** | 19.192 6 | 28.990 9 | 53.171 9 | 0.703 7 | [0.695 2,0.706 9] |
| | 双门槛 | 17.590 0 | 0.026 0** | 10.790 2 | 13.373 7 | 25.851 2 | 1.035 0 | [1.024 7,1.037 4] |
| | 三门槛 | 3.210 0 | 0.636 0 | 11.973 2 | 17.258 9 | 26.899 8 | — | — |
| TECH | 单门槛 | 21.040 0 | 0.058 0* | 17.567 1 | 22.239 8 | 44.283 2 | 24.940 0 | [23.551 9,25.015 2] |
| | 双门槛 | 2.240 0 | 0.870 0 | 12.016 2 | 14.130 6 | 20.432 0 | — | — |
| | 三门槛 | 1.680 0 | 0.846 0 | 10.716 7 | 17.316 1 | 32.933 1 | — | — |
| ECRE | 单门槛 | 17.520 0 | 0.070 0* | 15.208 4 | 20.118 6 | 36.681 7 | 36.687 3 | [32.618 1,36.972 2] |
| | 双门槛 | 51.360 0 | 0.022 0 | 21.936 6 | 27.576 2 | 59.837 8 | — | — |
| | 三门槛 | 6.300 0 | 0.602 0 | 45.583 6 | 69.296 5 | 113.675 6 | — | — |

注:*、**分别表示在10%、5%的显著性水平下显著相关;—表示无数据.

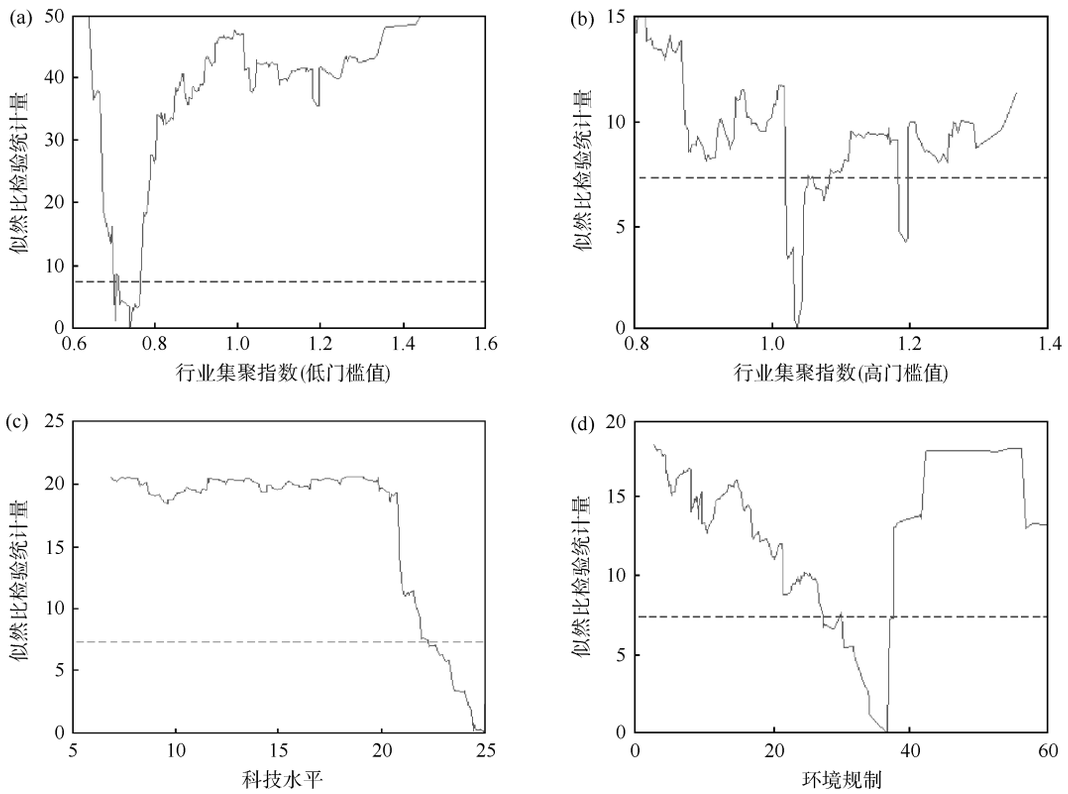



图5　不同门槛变量似然比函数

(a)行业集聚指数(低门槛值);(b)行业集聚指数(高门槛值);(c)科技水平;(d)环境规制

表4　不同门槛变量模型参数估计结果

| 变量 | LQ | | | TECH | | | ECRE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 范围 | 影响系数 | $t$检验值 | 范围 | 影响系数 | $t$检验值 | 范围 | 影响系数 | $t$检验值 |
| SCAL | — | 0.093 5*** | 7.07 | — | 0.086 6*** | 8.60 | — | 0.085 3*** | 6.39 |
| SOE | — | 0.024 5* | 1.66 | — | 0.008 1 | 0.56 | — | 0.003 6 | 0.24 |
| FDI | — | −0.068 2*** | −6.51 | — | −0.056 9*** | −5.13 | — | −0.056 4*** | −5.01 |
| GC | ≤0.703 7 | 1.861 6** | 5.44 | ≤24.940 0 | 0.298 9* | 1.58 | ≤36.687 3 | 0.245 8* | 1.24 |
| | >0.703 7 ~ 1.035 0 | 0.726 0** | 3.94 | >24.940 0 | 1.081 8* | 4.79 | >36.687 3 | 1.015 2* | 4.48 |
| | >1.035 0 | 0.006 2** | 0.04 | — | — | — | — | — | — |

注:*、**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平下显著相关;—表示无数据.

(0.703 7<LQ≤1.035 0),工业集聚的影响系数降低为0.726 0,表明工业集聚的正向作用减弱.这是因为当工业集聚超过一定规模时,集聚优势开始小于工业集聚所带来的拥挤效应,出现要素过度集中,生产效率低下,资源短缺等问题,不利于能源生态效率的提高.第3阶段为跨越高门槛值阶段(LQ>1.035 0),这一阶段工业集聚的影响系数骤降至0.006 2,表明工业集聚几乎不再对能源生态效率起到正向的推动作用.这是因为产业发展到一定阶段,势必投入了大量的物力、财力和人力,不可避免地导致集聚区内生产资料的增加和废弃污染物的增多.2017年中国工业增加值占国内生产总值的40.5%,分别是美国与英国的2.23与2.17倍,追求快速的发展势必会忽视生态环境的保护而导致污染物的汇集.同时,同一区域聚集过多相同行业,会不利于企业自主发展,盲目追求经济利润,忽视生态效益发展.《2019年欧盟工业研发投资记分牌》显示,2018年全球2 500家公司研发投资总额为8 234亿欧元,中国研发投入百分比仅为11.7%,远低于美国的38.0%和欧盟的25.3%.过度的工业集中会导致基础设施承载压力大,企业良性生产循环受限,应对市场竞争能力减弱.当基础设施无法满足企业运行需求时,更无法满足提高能源生态效率的环境需求.总而言之,提高工业生产效率,推动工

业产业转型升级已刻不容缓.

(2)按照科技水平的门槛估计值,工业集聚对能源生态效率的影响可划分为2个阶段.当TECH≤24.940 0时,工业集聚对能源生态效率产生较小的正向作用,影响系数为0.298 9.这是因为科技水平相对较低行业的科技实力和后备力量低于其他行业,集聚无法发挥更大的科技优势,因此对能源生态效率的作用有限.当TECH>24.940 0时,工业集聚对能源生态效率产生显著的正向作用,影响系数为1.081 8.科技的发展有助于提高产业生产力水平,提高能源资源的利用效率,实现集聚区内科技成果共享.科技水平发展到一定阶段,产业集聚区内资源配置不断优化,集聚带来的技术效益和创新效益为工业能源生态效率的提高提供技术支撑.通过观察样本,煤炭开采和洗选业,纺织业,金属制品业,通用设备制造业,专用设备制造业,仪器仪表制造业,以及电力、热力生产和供应业均未通过科技门槛值,这些行业科研投资少,科技能力相对较弱,工业集聚带来的技术优势较低,对提高能源生态效率的正向作用有限.

(3)按照环境规制的门槛估计值,工业集聚对能源生态效率的影响划分为2个阶段.当ECRE≤36.687 3时,工业集聚对能源生态效率的正向影响较弱,影响系数为0.245 8.在考察前期,环境规制水平低时,环境规制的约束能力弱,治理环境污染资金少,企业生产成本压力大,影响产业结构升级发展.行业的集聚导致污染物的增加,生态环境问题愈发严重,能源生态效率提高速度缓慢.当ECRE>36.687 3时,工业集聚对能源生态效率的正向影响增强,且显著性高,影响系数为1.015 2.这是因为当环境规制达到一定成果后,各地区形成统一的环境治理区,经济环境协调发展理念增强、基础设施配备完善、节能减排监管力度加强.环境规制强度提高,使生态环境治理效果明显,对能源生态效率产生显著的正向效应.

### 3.3　控制变量分析

在控制变量中,行业规模的影响系数>0,外商投资的影响系数<0,均与预期相符,国企所占比例的影响系数>0,对能源生态效率起正向作用,与预期相反.行业规模的影响系数>0,表明行业规模对提高能源生态效率起积极的正向作用.一般而言,行业规模越大,越有利于实现企业的规模经济.从产出角度来看,2017年中国工业增加值为27.832 8万亿元,工业贡献率达到31.8%,行业规模的扩大,带动了工业经济的增长,也为生态环境建设提供坚实的经济基础.此外,大规模企业在市场上更注重社会责任感,为了自身利益和社会发展,有意识地提高劳动生产力,降低能耗,推动能源生态效率的提高.一般认为,国有企业在管理制度、科技创新、市场活跃度等方面存在明显不足,导致企业过度依赖政府,能源消耗强度大,且利用率低.但在本研究中,国企所占比例的增加反而会提高能源生态效率,原因可能为国家不断加大国有企业改革力度,政府加强技术和资金投入,使国有企业生产效率得到提高,这在一定程度上推动能源生态效率的提高.外商投资的影响系数<0,表示在中国境内外商直接投资对能源生态效率产生反向作用.我国的外商投资企业主要集中在高能耗、高污染的制造业,低效投资多,技术消化能力弱.2018年我国外商投资项目有60 533个,实际使用外资总额达9 013亿元,外商通过“搭污染便车”,获得高额利润,忽视生态效益,不再考虑能源效率,导致外商投资与能源生态效率呈负相关关系.总的来说,工业行业应积极推进产业结构优化升级,合理利用外商投资,促进能源生态效率的提升.

## 4　结　论

基于空间基尼系数计算中国25个工业行业的集聚水平,运用超效率SBM模型测度其能源生态效率,并借助STAT软件应用门槛模型,探讨工业集聚对能源生态效率的影响.实证表明:

(1)2001—2016年中国工业空间基尼系数呈波动式上升状态,工业总体发展态势良好.行业集聚程度也相对稳定,平均水平为0.043 6,中度和高度集聚的行业占比之和为64.0%.其中采矿业和制造业的空间基尼系数变化趋势大体一致,且集聚优势明显高于电力、热力、燃气及水生产和供应业.

(2)在生态环境保护规划的政策指导下,中国能源生态效率整体呈上升趋势,上升分为2001—2009和2010—2016年2个阶段.中国能源生态效率行业间差异性显著:高效率行业多为技术密集型行业,技术知识占生产结构百分比较高,拥有科技支持;低效率行业多为资源密集型行业,能源消耗多,节能减排的任务重.

(3)考虑外部因素对产业集聚和能源生态效率关系的影响,除了行业集聚指数外,选择科技水

平和环境规制作为门槛变量,利用面板门槛回归模型实证分析在经济、社会、生态的作用下,工业集聚对能源生态效率的影响,表明行业集聚指数表现出双门槛特征,科技水平和环境规制表现出单门槛特征.工业集聚与能源生态效率之间存在复杂的非线性关系,合理控制工业集聚水平、提升工业集聚质量是提高能源生态效率的有效手段.

(4)选取行业规模、国企所占比例和外商投资作为门槛模型的控制变量,结果表明,除外商投资外,其余影响系数均>0,对能源生态效率产生正向影响.与预期不相符的是国有企业通过改革对能源生态效率产生积极作用,需要注意的是在发挥国有企业作用时,要避免因重复建设、资源浪费等对能源生态效率产生的负面影响.

## 5 建 议

为提高能源生态效率,推动中国工业可持续发展,结合相关研究结果,提出以下建议:加大科学技术的投资力度,提升科技创新的能力和水平,培养高精尖人才,提升科技成果转化率;建立完整、精细、多样的环境规制体系,分区域实施差别化环境政策,协调各方力量、重视市场作用,共同提高环境规制水平;适当扩大行业规模,深化产业分工与合作,充分发挥规模经济效应;深化国有企业改革,提高企业自主性和积极性,增强企业生产力、竞争力和抗风险能力;完善外商投资的市场环境,减少外资引入的环境污染,提高科技融合能力,逐步提升外商投资质量;推进工业转型升级,探索工业发展新模式,提高工业集聚质量,促进工业经济稳步发展;重视环境保护,加强生态文明建设,实现经济效益与生态效益协调统一发展.

## 参 考 文 献


[1] 姚小剑,党静.中国制造业集聚对能源强度的门槛效应研究[J].当代经济,2019(2):108-109.

[2] 关伟,许淑婷.中国能源生态效率的空间格局与空间效应[J].地理学报,2015,70(6):980-992.

[3] VERFAILLIE H,BIDWELL R. Measuring eco-efficiency:a guide to reporting company performance[R]. Geneva:World Business Council for Sustainable Development,2000.

[4] 韩峰,冯萍,阳立高.中国城市的空间集聚效应与工业能源效率[J].中国人口·资源与环境,2014,24(5):72-79.

[5] 汪丽娟,孔群喜.集聚、贸易开放与能源效率:基于门槛面板模型检验[J].天津商业大学学报,2014,34(6):28-34.

[6] 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.

[7] 张雪梅,罗文利.产业集聚对区域生态效率的影响研究:基于西部的省际数据[J].南京航空航天大学学报(社会科学版),2016,18(3):23-26.

[8] 王啸峰,王树华,赵锦春,等.产业集聚与能源全要素生产率:基于省际面板数据的实证分析[J].江苏商论,2019(6):94-97.

[9] 程中华,李廉水,刘军.产业集聚有利于能源效率提升吗[J].统计与信息论坛,2017,32(3):70-76.

[10] 纪玉俊,赵娜.产业集聚有利于提高能源效率吗?基于产业集聚度与对外开放水平的门槛回归模型检验[J].北京理工大学学报(社会科学版),2016,18(4):19-27.

[11] 师博,任保平.产业集聚会改进能源效率么?[J].中国经济问题,2019(1):27-39.

[12] 潘雅茹,陈峥,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.

[13] 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.

[14] HANSEN B E. Threshold effects in non-dynamic panels:estimation,testing,and inference[J]. Journal of Econometrics,1999,93(2):345-368.

[15] KRUGMAN P. Increasing returns and economic geography[J]. Journal of Political Economy,1991,99(3):483-499.

[16] 卢红,邓祖涛.中国旅游景区经营效率研究:基于超效率SBM模型[J].湖北经济学院学报(人文社会科学版),2020,17(11):30-34.

[17] 刘晶晶.交通运输行业投资效率研究:基于DEA模型和Malmquist指数的分析[J].北方经贸,2020(11):120-124.

[18] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational

Research,2001,130(3):498-509.
[19] 赵良仕,孙才志,郑德凤.中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J].地理学报,2014,69(1):121-133.
[20] 黄萍,于海翔.基于SBM-Malmquist模型的江苏省绿色经济效率特征分析[J].经营与管理,2020(12):123-127.
[21] 关伟,郭岫垚,许淑婷.辽宁省碳排放量及其效率时空差异研究[J].首都师范大学学报(自然科学版),2020,41(5):66-73.
[22] 关伟,许淑婷,郭岫垚.黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J].资源科学,2020,42(1):150-158.
[23] 严翔,成长春,易高峰,等.长江经济带城镇化对能源消费的经济门槛效应[J].经济地理,2019,39(1):73-81.
[24] 邓晴晴,李二玲,任世鑫.农业集聚对农业面源污染的影响:基于中国地级市面板数据门槛效应分析[J].地理研究,2020,39(4):970-989.
[25] WANG Q. Fixed-effect panel threshold model using Stata[J]. The Stata Journal,2015,15(1):121-134.
[26] 韩增林,郭俊泽,李富祥,等.城镇化水平约束下金融发展对经济增长的门槛效应测度:以东北边境地区为例[J].辽宁师范大学学报(自然科学版),2019,42(2):237-244.
[27] 关伟,魏胜,许淑婷.中国工业分行业能源效率变化及其影响因素[J].生产力研究,2020(6):19-22+67.
[28] 朱宏任.科学发展观引导中国工业阔步前行:2004年的中国工业经济运行与2005年展望[J].当代经济,2005(1):4-6.
[29] 吕铁,贺俊."十三五"中国工业发展的新形势与政策调整[J].学习与探索,2015(6):78-83.
[30] 连玉君,程建.不同成长机会下资本结构与经营绩效之关系研究[J].当代经济科学,2006,28(2):97-103+128.

# Threshold effect of industrial agglomeration on energy eco-efficiency in China

GUAN Wei[1,2], LI Danyang[1]

(1. School of Geography, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning 116029; 2. Institute of Marine Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning 116029)

**Abstract:** Enhancing energy efficiency and improving ecological environment are global issues closely related to the theme of the times. It is of great significance to study the relationship between industrial agglomeration and energy eco-efficiency to promote the coordinated development of ecology and economy. This study uses the data of different industries in China from 2001 to 2016 to measure the agglomeration level of various industries by the spatial Gini coefficient. Based on the super-efficiency SBM model, the energy eco-efficiency of each industry is measured. With the help of panel threshold regression model, this paper analyzes the nonlinear relationship between industrial agglomeration and energy eco-efficiency. The results show that: the overall development trend of China's industry was good from 2001 to 2016, the level of industrial agglomeration showed a fluctuating rise, the degree of industrial agglomeration was stable, and the proportion of medium and high concentration industries was high. From 2001 to 2016, China's energy eco-efficiency showed an overall upward trend, but the differences of various industries were significant. Mostly technology intensive industries had high efficiency value, and mostly resource intensive industries had low efficiency. The industry cluster index showed double threshold characteristics to energy eco-efficiency, while science and technology level and environmental regulation showed single threshold characteristics to energy eco-efficiency. The scale of industries, the proportion of state-owned enterprises and foreign investment had different effects on energy eco-efficiency. Deepening the division of labor and cooperation among enterprises, liberating the productivity of state-owned enterprises and improving the environment for foreign investment will enhance the promotion of energy eco-efficiency.

**Keywords:** energy eco-efficiency; industrial agglomeration; threshold effect

(责任编辑:李拓宇)