

# 中国工业能源效率及其影响因素研究

## ——基于空间计量分析

赵春玲<sup>1</sup> 孙悦<sup>1</sup> 杨桐彬<sup>2</sup>

(1. 南京财经大学 经济学院, 江苏 南京 210023; 2. 南京理工大学 经济管理学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 利用空间动态面板模型,以2000—2016年省级面板数据为样本,分析了中国工业能源效率及其影响因素。实证结果表明,我国整体及各区域工业能源效率处于上升趋势,但2014年以来存在下降趋势,并且区域工业能源效率表现出与其经济发展水平相似的区域递进关系。我国工业能源效率存在空间溢出效应,各省份与其临近省份之间的工业能源效率具有正向关联性。区域经济持续发展、产业结构优化升级以及市场化程度的提高有利于工业能源效率的提升,而煤炭在能源消费结构中占比过高以及低质量的外资引进阻碍了工业能源效率的提升。为此,我国应努力推进市场化进程,通过价格机制优化能源消费结构,大力发展新兴产业,加快淘汰落后产能,提高环境保护标准和外资引进标准,注重经济效益与环境效益的统一。

**关键词:** 工业能源效率; 空间计量模型; 影响因素

中图分类号: F062.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-6049(2019)03-0099-10

### 一、引言与文献综述

我国经济增长已经步入结构性减速阶段,并将成为一种“新常态”,我国工业欲实现可持续发展,必然要主动适应经济新常态,从单纯追求GDP高速增长转变为经济、社会、生态协调发展,而提升工业部门能源效率正是实现节能减排和工业可持续发展的关键所在<sup>[1]</sup>。由于我国幅员辽阔,区域经济发展不均衡,致使各地区能源效率存在较大差异,探索区域间的能源效率差异以及能源效率的提升路径,将有助于我国工业部门能源效率的整体提高。

目前对于能源效率的研究主要从能源效率测度、影响因素分析和区域差异研究等方面来展开。能源效率的衡量方法一般有两种:全要素能源效率和单要素能源效率。全要素能源效率是将能源作为要素投入的一种,以能源投入的目标值与实际值之间的比例作为效率指标。Hu and Wang<sup>[2]</sup>利用DEA方法测算了我国各省的全要素能源效率。Huang and Wang<sup>[3]</sup>使用DEA-SBM模型测算出中国2000—2012年能源效率,发现区域能源效率发展不平衡且处于较低水平,节能潜力可达34%—46%。全要素能源效率的计算较为复杂,它考虑了要素之间的相互作用机制,但也混淆了各要素的边际贡

收稿日期: 2019-02-25; 修回日期: 2019-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(71774077)

作者简介: 赵春玲(1960—),女,山西太原人,南京财经大学经济学院教授,研究方向为货币政策理论及新制度经济学理论; 孙悦(1994—),女,江苏泰兴人,南京财经大学经济学院硕士研究生,研究方向为资源与环境经济学; 杨桐彬(1993—),男,江苏连云港人,南京理工大学经济管理学院博士研究生,研究方向为产业经济管理。

献,没有凸显能源的作用。单要素能源效率则只考虑能源投入与最终产出之间的关系,未能考虑要素之间的替代作用。相较于全要素能源效率的复杂性,单要素能源效率的计算更为简便,同时能够直观地反映经济发展对能源的依赖程度。Cornillie and Fankhauser<sup>[4]</sup>将人均国内生产总值的能源使用量定义为能源强度,研究了中东欧国家能源强度变动趋势。另小明和康继军<sup>[5]</sup>将各行业的能源消耗量除以该行业的增加值表示制造业能源效率,研究了我国制造业对外开放与能源效率之间的非线性关系。对于能源效率的影响因素,国内外学者主要从政府规制、经济结构和技术进步等方面展开研究。国内外学者普遍认为政府规制行为显著促进了部分工业行业能源效率的提升<sup>[6-8]</sup>。余泳泽和杜晓芬<sup>[9]</sup>研究了全要素生产率、产业结构与能源效率的关系,发现全要素生产率提高对能源效率贡献明显高于产业结构变化。李世祥和成金华<sup>[10]</sup>认为,从长期来看,技术进步和能源价格对提高工业行业的能源效率具有正向作用。

通过上述文献梳理,可发现目前有关我国能源效率区域差异的研究成果对于空间相关性的关注较少,而我国工业经济发展呈现明显的区域性特点,工业能源效率存在较强的空间依赖性。因此,本文以省际工业部门为研究对象,对我国工业能源效率的时空差异进行分析,并且利用空间计量模型分析工业能源效率的影响因素,进而提出促进我国整体及区域能源效率提升的对策建议。

## 二、中国工业能源效率的测度

本文参考史丹等<sup>[11]</sup>的方法,选用单要素能源效率测度方法,将能源效率定义为地区工业增加值与工业能源消费总量的比率。用 $EP$ 表示工业能源效率, $IV$ 表示地区工业增加值, $EC$ 表示地区工业能源消费总量,可得能源效率为:

$$EP_{it} = \frac{IV_{it}}{EC_{it}} \quad (1)$$

(1)式中 $EP_{it}$ 表示省份 $i$ 第 $t$ 期的能源效率,数值越大代表单位能源所能支撑的产出规模越大,能源效率水平越高。能源效率作为反映技术水平的变量,是一个实际变量,因此,在能源效率定义中所使用的地区工业增加值是经过指数平减后的实际值,本文选取2000年作为基年对各省份进行平减,这就保证了能源效率指标的跨期可比性。

表1是代表性年份中国各省份能源效率数据,从中可以看出,在考察期内,我国绝大部分省份的工业能源效率处于显著增长阶段,个别省份(例如河南)出现了略微的下降。同时,地区间工业能源效率的差异较大。例如,2015年北京的工业能源效率为2.3434,宁夏的工业能源效率为0.3055,后者仅约为前者的1/8。为了进行更为直观的分析,本文进一步计算了东部、中部和西部三大区域的工业能源效率。其中,按照国家统计局的划分,东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆。具体见图1。

图1反映了我国上述三大区域以及全国的工业能源效率变动情况。从中可以看出,2000—2014年,我国整体及各区域工业能源效率整体处于上升

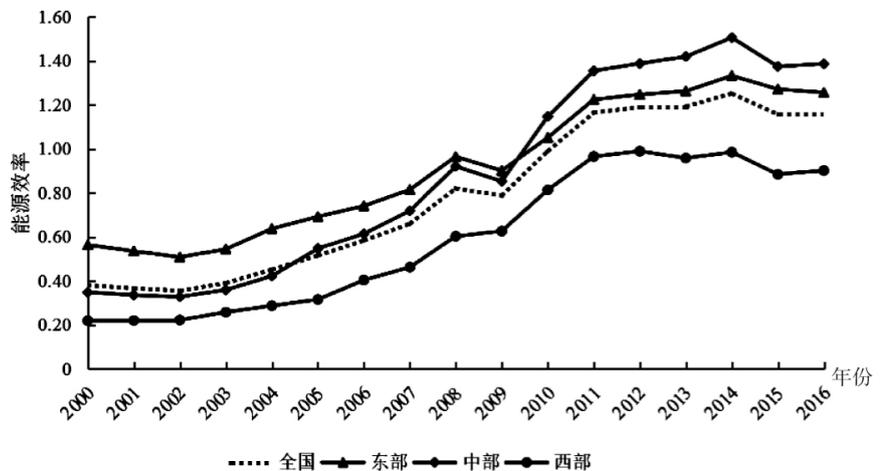


图1 中国各地区能源效率变动

趋势,但是从2015年开始下降,表明我国工业经济已经步入“新常态”,工业部门产出方式效率降低,亟待调整传统工业结构,提升技术创新水平,促进能源效率持续增长。区域工业能源效率表现出与其经济发展水平相似的区域递进关系,东部地区在2009年以前处于较高水平,但是2010年以后,中部地区逐步崛起,并且实现反超,近年来保持领先地位。西部地区工业能源效率一直处于最低水平。东部地区工业能源效率始终高于全国平均水平,中部地区2004年以前低于全国平均水平,2005年工业能源效率增长明显,并且超过全国平均水平,而西部地区工业能源效率则始终低于全国平均水平。

表1 2000—2016年中国各地区工业能源效率

省份	2000	2005	2010	2016	省份	2000	2005	2010	2016
北京	0.352 2	0.707 7	1.185 3	2.648 8	河南	0.132 8	0.566 0	1.163 7	1.584 0
天津	0.544 6	0.765 5	0.990 8	1.078 5	湖北	0.271 8	0.405 1	0.864 9	1.535 0
河北	0.269 2	0.400 5	0.708 9	0.719 5	湖南	0.251 1	0.436 6	0.941 1	1.808 0
山西	0.142 9	0.306 0	0.697 2	0.384 9	广东	0.826 8	0.925 9	1.300 3	1.824 8
内蒙古	0.156 0	0.197 1	0.752 7	0.671 6	广西	0.270 8	0.455 0	1.053 2	1.512 1
辽宁	0.399 5	0.627 8	1.096 6	0.762 4	海南	0.615 8	0.387 3	0.631 1	0.470 6
吉林	0.394 4	0.376 9	0.881 8	1.449 1	重庆	0.141 0	0.177 2	1.352 3	1.648 6
黑龙江	0.918 4	1.191 1	1.996 6	1.088 5	四川	0.231 2	0.349 6	0.824 9	1.096 8
上海	0.567 2	0.841 9	1.090 3	1.181 9	贵州	0.131 7	0.219 1	0.501 3	1.150 7
江苏	0.907 2	0.775 3	1.160 9	1.429 9	云南	0.319 7	0.301 0	0.544 3	0.683 6
浙江	0.445 0	0.702 3	1.036 1	1.168 4	陕西	0.487 8	0.652 0	1.521 3	1.517 2
安徽	0.267 4	0.449 9	1.026 3	1.477 4	甘肃	0.202 5	0.310 0	0.663 1	0.516 4
福建	0.876 1	0.641 5	0.974 8	1.322 9	青海	0.128 5	0.198 3	0.426 0	0.360 2
江西	0.400 6	0.639 2	1.595 7	1.761 2	宁夏	0.082 5	0.137 0	0.346 6	0.314 7
山东	0.385 4	0.827 7	1.382 2	1.205 7	新疆	0.248 2	0.465 9	0.954 2	0.437 6

### 三、中国工业能源效率的影响因素分析

#### (一) 空间因素的引进

改革开放以来,中国工业经济的发展呈现明显的区域性特点,加上区域间经济发展水平以及资源禀赋方面的差异,使得区域间经济发展、产业结构、技术水平以及能源效率等方面存在较强的空间依赖性。在对中国工业能源效率进行研究时,如果不考虑空间相关性,其结果会存在较大偏差<sup>[12]</sup>。杨骞等<sup>[33]</sup>、关伟等<sup>[14]</sup>利用空间计量模型的分析表明,中国的区域能源效率存在明显的空间依赖性和空间异质性。为此,本文引入空间因素,利用空间计量模型分析工业能源效率的时空差异。

空间滞后动态面板估计模型(SAR)如下:

$$d\ln ep_{it} = \rho W [d\ln ep_{it}] + \beta \ln ep_{i,t-1} + \delta X_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

空间误差动态面板估计模型(SEM)如下:

$$d\ln ep_{it} = \beta \ln ep_{i,t-1} + \delta X_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{it} = \rho W \varepsilon_{it} + v_{it} \quad (4)$$

$$d\ln ep_{it} = \ln ep_{it} - \ln ep_{it-1} \quad (5)$$

其中  $d\ln ep_{it}$  为能源效率增长率,  $\ln ep_{it-1}$  为能源效率的一阶滞后, 即时间的滞后项,  $W$  为空间权重矩阵,  $[d\ln ep_{it}]$  为各省份能源效率增长率组成的矩阵,  $\rho W[d\ln ep_{it}]$  即空间滞后项,  $\rho$  为空间自回归系数, 可用于度量空间外溢效应的方向和大小。  $u_{it}$  为各省的个体效应,  $\varepsilon_{it}$  和  $v_{it}$  为随机误差项, 满足基本设定。  $X_{it}$  为控制变量, 包括经济发展水平、市场化程度等,  $\ln ep_{it-1}$  为滞后一期的能源效率的对数值。

### 1. 空间权重设置

进行空间计量分析的前提是度量区域间的空间距离。常用的空间权重矩阵有(0,1)邻接权重矩阵、地理距离权重矩阵以及经济空间权重矩阵,前两种又称为地理空间权重矩阵。地理空间权重仅仅考虑了相邻地区间的相互影响,而忽视了经济影响。通常经济水平更接近的省份,其经济影响可能会更明显。比如,江苏与安徽、上海以及山东相邻,但是江苏与上海的联系很显著要强于其他省份。因此,本文在设置空间权重矩阵时,引入经济因素,构建经济空间权重矩阵。

首先,构造地理空间权重矩阵。地理距离权重矩阵形式如(6)式所示。

$$W_{ij}^d = e^{-\alpha d_{ij}} \cdot W_{ij}^{*d} = \frac{W_{ij}^d}{\sum_j W_{ij}^d}, i \neq j \quad (6)$$

(6)式中,  $W_{ij}^d$  为地理距离权重矩阵,代表矩阵第  $i$  行第  $j$  列的矩阵元素,  $d_{ij}$  为省份  $i$  与省份  $j$  之间的地理距离,这里采用各省省会城市之间的公路里程(高速公路优先)来表示,具体数据来源于高德地图。 $\alpha$  为系数,这里采用省会城市之间最短距离的倒数来代替。 $W_{ij}^{*d}$  为标准化处理后的地理距离权重。

然后,构造经济空间权重矩阵。经济特征的空间权重矩阵形式如(7)式所示。

$$W_{ij}^e = W_{ij}^d \text{diag}(\bar{Y}_1/Y, \bar{Y}_2/Y, \dots, \bar{Y}_n/Y); W_{ij}^{*e} = \frac{W_{ij}^d}{\sum_j W_{ij}^e}, i \neq j \quad (7)$$

(7)式中,  $W_{ij}^e$  为经济空间权重矩阵,  $W_{ij}^{*e}$  为行标准化后的经济空间权重矩阵,后续的分析同样采用标准化后的权重矩阵。 $\bar{Y}_i$  为省份  $i$  考察期实际工业增加值的平均值,  $\bar{Y}$  为考察期内所有省份的实际工业增加值的平均值。 $\text{diag}$  为对角矩阵,对角线上的元素为各省工业增加值的平均值与所有省份工业增加值的平均值的比重。

### 2. 空间自相关检验

在确定是否使用空间计量方法时,首先要对中国省际工业能源效率进行空间相关性检验,考察数据是否存在空间依赖性。如果存在,则可使用空间计量方法。本文采用“莫兰指数  $I$ ”(Moran's  $I$ )度量空间自相关,公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (8)$$

(8)式中,  $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$  为样本方差,  $w_{ij}$  为空间权重矩阵的  $(i, j)$  元素(用来度量区域  $i$  与

区域  $j$  之间的距离),  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$  为空间权重矩阵所有元素之和。

莫兰指数  $I$  的取值一般介于  $-1$  到  $1$  之间,大于  $0$  表示正自相关,即高值与高值相邻、低值与低值相邻;小于  $0$  表示负自相关,即高值与低值相邻。一般来说,正相关比负相关更为常见。如果莫兰指数  $I$  接近于  $0$ ,则表明空间分布是随机的,不存在空间自相关。因此,在考察是否使用空间计量方法进行能源效率分析之前,首先需要测量其空间相关性。本文分别采用(0,1)邻接权重矩阵与经济空间权重矩阵来考察,具体结果见表2。

表2 中国省际工业能源效率空间相关性的 Moran' I 指数

Moran I			Moran I			Moran I		
年份	邻接	经济	年份	邻接	经济	年份	邻接	经济
2000	0.248 0*** (2.359 1)	0.251 0** (1.978 1)	2006	0.305 0*** (3.023 0)	0.370 1*** (2.777 0)	2012	0.244 0*** (2.499 0)	1.889 0** (1.889 0)
2001	0.285 0*** (2.862 0)	0.296 0** (2.280 1)	2007	0.326 0*** (3.212 0)	0.387 0*** (2.894 0)	2013	0.232 0*** (2.428 0)	1.840 1** (1.840 1)
2002	0.308 0*** (3.056 0)	0.319 0*** (2.426 0)	2008	0.293 0*** (2.927 0)	0.362 0*** (2.724 0)	2014	0.202 0** (2.253 0)	1.762 0** (1.762 0)
2003	0.176 0** (1.865 0)	0.188 0** (1.518 0)	2009	0.242 0*** (2.453 0)	0.253 0** (1.961 0)	2015	0.214 0*** (2.357 0)	1.817 0** (1.817 0)
2004	0.283 0*** (2.828 0)	0.274 0** (2.114 0)	2010	0.244 0*** (2.470 1)	0.252 0** (1.955 0)	2016	0.202 0** (2.307 0)	1.430 1* (1.430 1)
2005	0.328 0*** (3.221 0)	0.386 0*** (2.877 0)	2011	0.240 1*** (2.450 1)	0.234 0** (1.843 0)			

注: 括号中为  $z$  统计量; \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著。

从表 2 的两种空间权重的检验结果可看出 2000—2016 年我国省际工业能源效率存在空间正自相关,而且所有年份都通过了显著性检验。这表明我国地区工业能源效率存在空间依赖性,一定程度上受到空间相关区域的影响。因此,有必要将空间效应引入模型中<sup>[15-16]</sup>。

同时,对比两种空间权重下的莫兰指数可以发现,经济空间权重下的莫兰指数要大于邻接权重下的莫兰指数,这说明考虑了地区之间的经济联系之后,地区能源效率的空间相关性得到了提升。随着经济的发展,地区之间的技术交流、产业转移以及要素流动日益频繁,经济联系也日益紧密,如果忽略了这种联系,可能会造成估计结果的偏差。因此,有必要引入经济空间权重矩阵。

## (二) 数据来源与说明

本文采用 2000—2016 年中国大陆 30 个省市(除西藏和港澳台地区)的面板数据作为样本。所有数据都是根据《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》以及各省统计年鉴整理计算得到。在此对模型的主要变量说明如下。

1. 工业能源效率 ( $EP$ )。采用工业增加值与工业能源消费量的比值表示,其中工业增加值通过指数平减为 2000 年的价格水平。

2. 经济发展水平 ( $PGDP$ )。采用人均地区生产总值的对数形式来衡量,其中人均地区生产总值通过指数平减为 2000 年的价格水平。通常认为,随着经济的发展,技术水平逐步提高,经济结构趋于优化,将显著促进工业能源效率的提升。

3. 政府对市场的控制程度 ( $CONTROL$ )。本文选用财政支出占地区生产总值的比重作为政府对市场的控制程度的代理变量。汪克亮等<sup>[17]</sup>认为,政府对市场控制程度的降低有利于增强企业之间的竞争,进而促进企业创新,提高技术水平,进一步提高工业能源效率。

4. 对外开放程度 ( $OPEN$ )。采用各省份进出口总额占区域生产总值的比重来表示。经济全球化使得越来越多的国家卷入垂直分工体系之中,处于全球价值链低端的国家在生产中往往消耗更多能源,但是产品的增加值却较低,这种国家越是加大对外开放程度,融入全球价值链的程度越深,其能源利用效率可能会越低<sup>[18]</sup>。

5. 产业结构 ( $IS$ )。采用工业增加值占各地区生产总值的比重来衡量。刘畅等<sup>[19]</sup>、关伟等<sup>[20]</sup>认为产业结构对能源效率的变动有着显著的影响。

6. 技术进步 ( $TE$ )。采用工业企业 R&D 经费支出占工业增加值的比值来表示<sup>[21]</sup>。通常认为,技术进步有利于提高资源利用效率,但也可能存在“回弹效应”<sup>[22-23]</sup>,即因技术进步而增加能源使用,进而降低工业能源效率。技术进步的作用效果受经济环境和制度环境影响较大,需要考虑与其他影

响因素的交互作用。

7. 外商直接投资 (FDI)。采用外商直接投资额占地区生产总值的比重来衡量。一方面,外商直接投资具有技术溢出效应,会提高能源效率;另一方面,外商直接投资也有可能把高能耗、高污染的产业转移到东道国,导致能源效率的降低<sup>[24]</sup>。

8. 能源消费结构 (ECS)。参考谭忠富和张金良<sup>[25]</sup>的做法,采用煤炭消费量占能源消费总量的比重来表示。煤炭等传统能源消费占比过高通常表明工业部门能源结构和产业结构水平较低,缺乏技术创新动力,不利于工业能源效率的持续提升。

2000—2016年30个省份相关变量的数据描述性统计如表3所示。

表3 各变量的描述性统计结果

变量	符号	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值
工业能源效率	EP	510	0.541 2	0.377 5	0.073 4	3.096 8
经济发展水平	PGDP	510	9.153 8	0.505 0	7.922 6	10.310 5
政府对市场的控制程度	CONTROL	510	0.194 5	0.089 7	0.068 9	0.626 9
对外开放程度	OPEN	510	0.661 7	0.813 6	0.067 3	3.700 5
产业结构	IS	510	0.895 2	0.523 4	0.135 9	3.593 7
技术进步	TE	510	2.413 6	1.272 7	0.215 5	6.621 4
外商直接投资	FDI	510	0.434 4	0.541 5	0.047 3	5.795 4
能源消费结构	ECS	510	0.963 4	0.362 3	0.121 7	2.299 7

### (三) 空间差异的影响因素分析

基于以上分析,将工业能源效率及其他控制变量纳入空间滞后动态面板估计模型(SAR)和空间误差动态面板估计模型(SEM)分析框架,可得到如表4所示的全样本实证检验结果,具体分析如下。

比较无权重矩阵(即 $\rho=0$ )、空间滞后动态面板模型(SAR)以及空间误差动态面板模型(SEM)的结果,不难发现,两种空间动态面板模型下的空间效应 $\rho$ 均为正,且通过了显著性检验,表明空间溢出效应是存在的,说明各省份及其邻近省份之间的工业能源效率具有正向关联性,即如果某省周围省份的工业能源效率提高,同时该省与周围省份的工业能源效率存在较大差异,那么通过空间溢出效应,该省的工业能源效率也会得到提升。同时可以发现,空间误差动态面板模型(SEM)与空间滞后动态面板模型(SAR)相比,空间效应系数 $\rho$ 较大,反映了某一地区受相邻地区能源效率的误差冲击明显大于相邻地区能源效率的空间溢出程度的影响。

表4 中国省际工业能源效率影响因素实证结果

解释变量	无权重矩阵		SAR		SEM	
	系数	z 值	系数	z 值	系数	z 值
$\ln EP_{it-1}$	0.875 7***	46.67	0.845 5***	22.94	0.893 6***	38.37
PGDP	1.653 2***	3.31	1.284 5**	2.10	1.303 7***	3.53
PGDP <sup>2</sup>	-0.088 9***	-3.30	-0.069 9**	-2.15	-0.070 4***	-3.63
CONTROL	-0.506 8***	-4.98	-0.544 4***	-3.11	-0.426 1***	-3.07
IS	0.054 7***	4.02	0.044 2*	1.78	0.042 9**	2.39
ECS	-0.069 2**	-2.52	-0.063 0*	-1.65	-0.058 1**	-2.21
OPEN	0.036 8**	2.26	0.037 3**	2.48	0.011 3	0.75
TE × FDI	-0.013 4*	-1.91	-0.012 8**	-2.46	-0.002 3***	0.18
$\rho$			0.066 9***	2.35	0.323 6***	7.27
R <sup>2</sup>	0.933 2		0.933 2		0.931 6	
N	510		510		510	

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著。

区域经济发展对其工业能源效率的影响呈现倒 U 形曲线的关系,表明随着经济的不断增长,将更

加注重经济、社会与生态的协调发展,工业能源效率不断提升。但经济增长对工业能源效率提升的边际贡献逐步降低,当经济增长到一定的水平,工业能源效率进一步提升的空间十分有限,此时需要转变传统增长模式,避免因对能源消费的过度依赖而降低工业能源效率。产业结构对工业能源效率具有正向影响,本文使用工业增加值而非第二产业产值占GDP比重,作为反映产业结构的代理变量,工业增加值占比的提高表明工业部门内部结构趋于优化,发展的质量和效率有所提升,工业部门自身的发展有利于工业能源效率的提升。对外开放程度的增加可以促进能源效率的提高。一方面,对外开放会产生学习效应,国内企业可以学习国外先进的管理经验和科学技术,从而提高能源效率;另一方面,随着进出口贸易额的增加,国内企业产量增加、规模扩大,从而产生规模经济效应,一定的能源投入带来更高的经济产出,从而提高能源效率。再观察技术进步与外商直接投资的交互项,可以发现外商直接投资对我国工业部门存在技术外溢效应,使得技术进步对工业能源效率产生正向影响。

政府对市场的控制程度对工业能源效率呈现负向影响,政府对市场的控制程度较高,会导致市场难以有效配置资源,并且政府对市场过度干预,容易出现权力寻租现象,导致资源配置效率低下,不利于工业能源效率的提升。能源消费结构同样对工业能源效率产生负向影响,由于煤炭资源价格相对较低,煤炭在能源消费结构中占比过高,导致企业长期对之存在依赖性,缺乏提升技术创新能力和减少能源消费的动力,进而阻碍工业能源效率的提升<sup>[26]</sup>。

进一步使用空间误差动态面板模型(SEM)考察工业能源效率影响因素的区域差异。通过表5可以发现,相较于东部和中部地区,西部地区由于其独特的地理位置环境,发展过度依赖于能源消费,因此西部地区的经济发展水平与能源效率呈现显著的倒U形曲线关系。产业结构在东部和中部地区表现出显著正向影响,而在西部地区的影响并不显著,东部和中部地区较好的经济基础为产业结构优化升级提供了条件,进而促进工业能源效率的提升,而西部地区较为落后的产业结构未能显著提升工业能源效率<sup>[27]</sup>。政府对市场的控制程度在三大区域均表现出显著为负的特征,并且在中部地区的影响系数最大,政府对市场的控制程度较为明显地阻碍了工业能源效率提升。能源消费结构在三大区域的负向影响同样显著,并且在东部地区的表现较为明显,工业经济的持续增长与能源效率的提高都需要得到能源消费结构的有力支撑,当前我国工业处于快速转型的关键时期,仍以传统能源为主的消费结构显然难以适应工业部门快速发展的需要。技术进步“回弹效应”在三大区域都有体现,而外商直接投资的技术外溢效应在东部地区显著为正,表明东部地区率先取得较好的外资利用效果,有效促进工业能源效率的提升,而中西部地区仍然主要依靠要素价格优势,依靠外资发展劳动和资源密集型产业,无法将资源优势转化为技术优势,进而阻碍能源效率的提升。

表5 东部、中部、西部工业能源效率影响因素实证结果

解释变量	东部		中部		西部	
	系数	z 值	系数	z 值	系数	z 值
$\ln EP_{it-1}$	0.7621***	7.68	0.8680***	21.62	0.9309***	29.42
$PGDP$	1.0730	1.00	1.1300	0.40	2.5000**	2.33
$PGDP^2$	-0.0543	-1.00	-0.0551	-0.36	-0.1394**	-2.32
$CONTROL$	-0.6327***	-4.65	-2.2744***	-2.83	-0.5817***	-4.50
$IS$	0.0959**	2.36	0.0789**	2.28	0.0241	1.09
$ECS$	-0.3470*	-1.58	-0.0921*	-1.63	-0.0615*	-1.70
$OPEN$	0.0442**	1.66	0.4884	1.62	-0.0318	-0.44
$TE \times FDI$	0.0034*	0.44	-0.0970***	-3.12	-0.0402**	-1.96
$\rho$	0.3218***	4.57	-0.4993***	3.40	0.1160*	2.00
$R^2$	0.9234	0.9582	0.9319			
$N$	176	128	176			

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著。

#### 四、结论与对策建议

##### (一) 结论

本文主要利用空间计量模型,对我国2000—2016年省际工业能源效率的区域差异以及影响因素进行了研究,主要得出了以下结论。

2000—2014年,我国整体及各区域工业能源效率处于上升趋势,但是从2015年开始下降。区域工业能源效率表现出与其经济水平相类似的区域递进关系,东部地区在2009年以前处于较高水平,但是2010年以后,中部地区逐步崛起,并且实现反超,近年来保持领先地位。西部地区工业能源效率一直处于较低水平。东部地区工业能源效率始终高于全国平均水平,中部地区2005年以后超过全国平均水平,而西部地区则始终低于全国平均水平。

我国工业能源效率存在空间溢出效应,各省份与其临近省份之间的工业能源效率具有正向关联性,同时空间误差动态面板模型(SEM)的空间效应系数较大,反映了某一地区受相邻地区能源效率的误差冲击明显大于相邻地区能源效率的空间溢出程度的影响。

区域经济发展对其工业能源效率的影响呈现倒U形曲线的关系,经济增长对工业能源效率提升的边际贡献逐步降低。工业部门持续发展推动产业结构优化升级,有利于工业能源效率的提升。政府对市场的控制程度较高则难以发挥市场有效配置资源的作用,煤炭在能源消费结构中占比过高,导致企业缺乏提升技术创新能力的动力,都将阻碍工业能源效率的提升。我国工业部门存在能源“回弹效应”,并且技术进步对工业能源效率的阻碍作用通过外商直接投资得到加强。

进一步考察工业能源效率影响因素的区域差异,发现西部地区经济增长对工业能源效率的促进作用较为显著。产业结构在东部和中部地区表现出显著正向影响,而在西部地区的影响并不显著。政府对市场的控制程度阻碍了工业能源效率提升,尤其是中部地区较为明显。能源消费结构在三大区域的负向影响同样显著,并且在东部地区的表现较为明显。外商直接投资的技术外溢效应在东部地区显著为正,表明东部地区率先取得较好的外资利用效果,有效促进了工业能源效率提升。

##### (二) 对策建议

我国工业能源效率体现出总体水平较低、区域差异显著的特征,并且2014年以来存在下降的趋势。为了提高全国整体工业能源效率,缩小地区间工业能源效率的差异,有必要从以下几个方面入手。

发挥工业能源效率的正向空间溢出性,加强地区间的合作交流,缩小东中西部工业能源效率的差异,实现共同发展。从测算结果可以看到,西部地区的工业能源效率低于东中部地区,且地区之间差异较大。政府在努力建设西部地区的同时,不能忽视对环境问题的管理,要加大对西部地区的监管力度,应把握经济快速增长的机遇期,加快产业结构的转型升级,同时参考东中部地区的环境治理经验,提出符合西部地区实际情况的环境规制手段,在保持经济稳定发展的同时,提高工业能源效率。同时,在如今信息化发展迅速的时代,地区之间的联系越来越紧密,政府要发挥高效率企业的带动作用,不仅要促进高新技术产业在本地区内的效率溢出,还要推动其向邻近低效率地区的效率溢出,以达到共同发展的目标。

努力推进市场化进程,优化产业结构,鼓励新技术的开发,改善能源消费结构,提高工业能源效率。应该让市场在资源配置中起决定性作用,减少政府的干预。产业结构的优化能显著提高工业能源效率,这表明“十一五”以来国家大力提倡的节能减排政策对企业起到了一定的促进作用,各工业企业低能耗、高产出、高附加值的技术密集型产品正日益取代低能耗、低产出、低附加值的资源密集型产品,企业内部结构正朝着更健全的方向转型。因此,工业企业要继续努力,响应国家号召,加强技术水平提升,实现产品结构的进一步升级。技术水平的提升能够显著提高工业能源效率,鼓励工业企业对生产技术等的投资,努力提高技术创新水平,推动工业经济发展的质量和效益。煤炭消费量占比过高会抑制工业能源效率的提升,为了改变以煤炭为主的能源消费结构,政府可以加强与高校以及研究所的合作,发展和使用清洁能源,并通过完善煤炭资源税改革,建立合理的能源消费价格机制,通过市场

化手段促进工业能源效率提升<sup>[28]</sup>。外资企业的进入会产生技术外溢效应,但政府也不能盲目引进外资,要在提高环境保护标准和外资引进标准的基础上,引进高质量的外商投资,注重经济效益与环境效益的统一<sup>[29]</sup>。

#### 参考文献:

- [1]金碚. 资源与环境约束下的中国工业发展[J]. 中国工业经济, 2005(4): 5-14.
- [2]HU J L, WANG S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. Energy policy, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [3]HUANG H, WANG T. The total-factor energy efficiency of regions in China: based on three-stage SBM model[J]. Sustainability, 2017, 9: 1664.
- [4]CORNILLIE J, FANKHAUSER S. The energy intensity of transition countries[J]. Energy Economics, 2004, 26(3): 283-295.
- [5]芮小明, 康继军. 中国制造业对外开放与能源效率的非线性关系研究[J]. 经济经纬, 2016, 33(1): 84-89.
- [6]白雪洁, 宋莹. 环境规制、技术创新与中国火电行业的效率提升[J]. 中国工业经济, 2009(8): 68-77.
- [7]李眺. 环境规制、服务业发展与我国的产业结构调整[J]. 经济管理, 2013(8): 1-10.
- [8]李梦洁. 环境规制、行业异质性与就业效应——基于工业行业面板数据的经验分析[J]. 人口与经济, 2016(1): 66-77.
- [9]余泳泽, 杜晓芬. 技术进步、产业结构与能源效率——基于省域数据的空间面板计量分析[J]. 产业经济评论, 2011, 10(4): 36-68.
- [10]李世祥, 成金华. 中国工业行业的能源效率特征及其影响因素——基于非参数前沿的实证分析[J]. 财经研究, 2009, 35(7): 134-143.
- [11]史丹, 吴利学, 傅晓霞, 吴滨. 中国能源效率地区差异及其成因研究——基于随机前沿生产函数的方差分解[J]. 管理世界, 2008(2): 35-43.
- [12]刘立涛, 沈镭. 中国区域能源效率时空演进格局及其影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2142-2153.
- [13]杨骞, 刘华军. 技术进步对全要素能源效率的空间溢出效应及其分解[J]. 经济评论, 2014(6): 54-62.
- [14]关伟, 张华, 许淑婷. 基于 DEA-ESDA 模型的辽宁省能源效率测度及时空格局演化分析[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 764-773.
- [15]郭文, 孙涛, 周鹏. 中国区域全要素能源效率评价及其空间收敛性——基于改进的非期望 SBM 模型[J]. 系统工程, 2015, 33(5): 70-80.
- [16]徐盈之, 管建伟. 中国区域能源效率趋同性研究: 基于空间经济学视角[J]. 财经研究, 2011, 37(1): 112-123.
- [17]汪克亮, 杨宝臣, 杨力. 考虑环境效应的中国省际全要素能源效率研究[J]. 管理科学, 2010, 23(6): 100-111.
- [18]段文斌, 余泳泽. 全要素生产率增长有利于提升我国能源效率吗? ——基于 35 个工业行业面板数据的实证研究[J]. 产业经济研究, 2011(4): 78-88.
- [19]刘畅, 孔宪丽, 高铁梅. 中国能源消耗强度变动机制与价格非对称效应研究——基于结构 VEC 模型的计量分析[J]. 中国工业经济, 2009(3): 59-70.
- [20]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.
- [21]郭存芝, 杨桐彬, 方国昌. 技术进步、效率提升及价格调控的节能效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 106-114.
- [22]李廉水, 周勇. 技术进步能提高能源效率吗? ——基于中国工业部门的实证检验[J]. 管理世界, 2006(10): 82-89.
- [23]国涓, 凌煜, 郭崇慧. 中国工业部门能源消费反弹效应的估算——基于技术进步视角的实证研究[J]. 资源科学, 2010, 32(10): 1839-1845.
- [24]傅京燕, 周浩. 对外贸易与污染排放强度——基于地区面板数据的经验分析(1998—2006)[J]. 财贸研究, 2011, 22(2): 8-14.
- [25]谭忠富, 张金良. 中国能源效率与其影响因素的动态关系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(4): 43-49.
- [26]江洪, 陈亮. 能源价格对能源效率倒逼机制的空间异质性——基于面板门槛模型的实证分析[J]. 价格理论与实

践 2017(2):96-99.

[27] 齐志新 陈文颖. 结构调整还是技术进步? ——改革开放后我国能源效率提高的因素分析[J]. 上海经济研究, 2006(6):8-16.

[28] 杭雷鸣 屠梅曾. 能源价格对能源强度的影响——以国内制造业为例[J]. 数量经济技术经济研究 2006(12):93-100.

[29] 杨桐彬. 异质型环境规制对工业能源效率的影响研究[D]. 南京财经大学 2018.

(责任编辑: 杨青龙; 英文校对: 葛秋颖)

## Spatial Measurement of Industrial Energy Efficiency and Its Influencing Factors in China

ZHAO Chunling<sup>1</sup>, SUN Yue<sup>1</sup>, YANG Tongbin<sup>2</sup>

(1. School of Economics, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China;

2. School of Economics & Management, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Using spatial dynamic panel model, taking provincial panel data from 2000 to 2016 as a sample, the industrial energy efficiency and its influencing factors in China are analyzed. The empirical results show that the industrial energy efficiency of China as a whole and in various regions is on the rise, but there has been a downward trend since 2014, and the regional industrial energy efficiency shows a regional progressive relationship similar to its economic development level. There is a spatial spillover effect on industrial energy efficiency in China, and there is a positive correlation between industrial energy efficiency between provinces and its neighboring provinces. The continuous development of regional economy, the optimization and upgrading of the industrial structure, and the improvement of marketization are conducive to the improvement of industrial energy efficiency, while coal accounts for an excessive proportion of energy consumption structure, and low-quality foreign investment has hindered the improvement of industrial energy efficiency. Therefore, China should strive to promote the marketization process, optimize the energy consumption structure through price mechanism, vigorously develop emerging industries, accelerate the elimination of backward production capacity, raise environmental protection standards and foreign investment introduction standards, and pay attention to the unification of economic benefits and environmental benefits.

**Key words:** industrial energy efficiency; spatial dynamic panel model; influencing factors