

# 中国省际能源效率及其影响因素研究

## ——基于 Shephard 能源距离函数的 SFA 模型

刘争黄浩

(云南财经大学 经济学院,云南 昆明 650000)

**摘要:**能源效率的测度评价对于我国加强生态文明建设、实现经济可持续与高质量发展具有重要意义。对2000—2016年中国30个省市(不包括西藏和港澳台地区)的能源消费进行了测算,并把能源消费作为投入指标纳入能源效率的测算中。然后,基于 Shephard 能源距离函数的 SFA 模型,对2000—2016年中国30个省市的能源效率及其影响因素进行了实证分析。结果显示:第一,中国能源消费总量在2000—2016年整体呈现出递增的趋势;第二,在研究期间,东、中、西部地区能源效率均值分别为0.696、0.451和0.339,呈现出典型的“东高西低”的区域分布特征;第三,经济发展水平、能源结构、外资的规模和技术进步对能源效率有正向作用,所有制结构、环境规制、产业结构对能源效率有显著的负向作用。为了提高地区的能源效率,可对地方政府提出以下四个方面的政策建议:提高区域劳动力素质,提升区域创新能力;促进产业转型升级,发展现代服务业与“环境友好型”工业;相机抉择节能减排战略;积极引进外资的同时要注重外资质量。

**关键词:**能源消费;能源效率;Shephard 能源距离函数;随机前沿分析

中图分类号:F224 文献标识码:A 文章编号:1672-6049(2019)01-0099-10

### 一、引言与文献综述

中国自从加入世界贸易组织后,对外贸易高速增长,带动了经济的高速增长,同时也面临着能源消费的增加、环境污染的加剧以及全球气候变化等问题,这也是世界经济发展面临的共性问题。因此,中国依据全球大环境提出了生态文明建设的基本战略,这也是中国经济能够进入“新常态”的必然要求。在2014年国务院办公厅印发的《能源发展战略行动计划(2014—2020年)》中提出了坚持“节约、清洁、安全”的战略方针,加快构建清洁、高效、安全、可持续的现代能源体系。在经济发展过程中,在保持经济可持续增长的前提下,要尽量减少资源消耗,提高资源的利用效率,进而减少污染,改善生态环境。因此,对我国能源效率进行客观有效评价,明确能源效率的影响因素与作用机理,对于我国生态文明建设,实现经济可持续与高质量发展具有重要意义。

能源效率增长可以通过增长效应和结构变迁效应进而促进经济增长<sup>[1]</sup>,但是中国作为发展中国家,能源效率的提高伴随着能源需求量的增加,环境压力加剧,所以,我国能源效率问题成为了学界广泛关注的热点之一。

收稿日期:2018-11-24;修回日期:2019-01-07

基金项目:国家自然科学基金项目(71563060)

作者简介:刘争(1973—),女,云南昆明人,云南财经大学经济学院特聘教授,研究方向为资源环境经济学;黄浩(1994—),男,安徽合肥人,云南财经大学经济学院硕士研究生,研究方向为产业经济学、空间计量经济学。

世界能源委员会把能源效率定义为“减少提供同等能源服务源投入”。从经济学角度来看,能源效率是单位服务或产出的能源投入,但是现实中影响能源投入量和产出的因素有很多,所以我国学者利用不同方法从不同视角对能源效率进行研究。张少华和蒋伟杰<sup>[2]</sup>对能源效率测度方法的演变进行了研究,认为能源效率测度的演进过程为单要素能源效率测度、全要素能源效率测度以及随机前沿分析法测度能源效率。无论是单要素还是全要素能源效率测算基本上采用的是非参数的 DEA 方法。陈海跃<sup>[3]</sup>基于 DEA 模型和 Malmquist 指数法,对中国各省(市、自治区)能源效率进行测度。解文华等<sup>[4]</sup>基于 SBM-DEA 模型,利用 2010 年到 2015 年能源投入与能源产出的相关数据,对中国和欧盟共 16 家航空运输企业能源利用情况进行分析研究。随机前沿分析法是参数分析法,采用极大似然估计法,对模型进行参数估计,进一步把随机因素的影响分离出。李坤明和方丽婷<sup>[5]</sup>利用面板随机前沿模型估计了我国 30 个省份<sup>①</sup>的区域能源效率。唐安宝和李凤云<sup>[6]</sup>利用异质性双边随机前沿模型定量估计融资约束和政府补贴对新能源企业投资效率的双边效应。

通过梳理已有的研究,发现如果采用非参数的 DEA 方法进行单要素或者全要素能源效率测算存在以下几点不足:第一,衡量的生产函数边界是确定性的,忽略了测量带来的误差与其他统计噪声造成的误差;第二,在全要素能源效率研究方面,只是把能源投入加入到原本的生产理论框架,在 DEA 模型中实行的是同比例径向缩减,即资本、劳动和能源三种投入同比例同方向缩减,在现实中是不可能的;第三,在采用两阶段 DEA 模型中,第二步回归模型中解释变量可能存在内生性,误差项可能存在序列相关,会导致参数估计有偏。本文采用 Shephard 能源距离函数来定义能源效率,建立能源效率的随机前沿分析(SFA)模型对中国地区能源效率及其影响因素进行分析。

## 二、研究方法

### (一) Shephard 能源距离函数

为了构造距离函数,首先要定义一个生产技术集。本文假设  $k = 1, 2, 3, \dots, 30$  个省份的决策单元,考虑三要素总量生产函数框架,以资本( $K$ )、劳动( $L$ )和能源( $E$ )作为投入要素,地区生产总值( $Y$ )作为产出,生产技术集定义为:

$$P(K, L, E) = \{(K, L, E, Y) : (K, L, E) \text{ 能生产 } Y\} \quad (1)$$

在保持投入资本、劳动以及产出地区生产总值不变的条件下,构造出寻求减少能源投入的 Shephard 能源距离函数,本文构建的 Shephard 能源距离函数为:

$$DE(K, L, E, Y) = \sup\{\alpha : (K, L, E/\alpha, Y) \in P(K, L, E)\} \quad (2)$$

式中  $P(K, L, E)$  表示在一定的生产技术条件下,资本( $K$ )、劳动( $L$ )和能源( $E$ )的投入组合所能生产的产出的可能集合;距离函数  $D_E(K, L, E, Y)$  表示保持产出不变,能源投入的最大收缩比  $\alpha$ ,它的倒数为能源效率。当  $D_E(K, L, E, Y) = 1$  表示此时位于生产前沿上,能源效率的值为 1。

### (二) Shephard 能源距离函数

考虑到超越对数生产函数是一种易估计且包容性强的变弹性生产函数模型,在形式上比一般的柯布—道格拉斯函数更灵活,受到的限制少,还能够减少因函数形式假设的不同所带来的估计偏差,因此本文采用超越对数生产函数形式:

$$\ln D_E(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}) = \beta_0 + \beta_k \ln K_{it} + \beta_l \ln L_{it} + \beta_e \ln E_{it} + \beta_y \ln Y_{it} + \beta_{kl} \ln K_{it} \ln L_{it} + \beta_{ke} \ln K_{it} \ln E_{it} + \beta_{ly} \ln L_{it} \ln Y_{it} + \beta_{le} \ln L_{it} \ln E_{it} + \beta_{lye} \ln L_{it} \ln Y_{it} + \beta_{ley} \ln L_{it} \ln E_{it} + v_{it} \quad (3)$$

式中  $v_{it}$  是经典白噪声项  $v_{it} \sim \text{iidN}(0, \sigma_v^2)$ , 主要包括函数中的设定、测量误差和各种不可控的随机因素。能源距离函数,在能源  $E$  中是线性齐次的,得到以下公式:

$$\ln D_E(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}) = \ln E_{it} + \ln D_E(K_{it}, L_{it}, 1, Y_{it}) \quad (4)$$

把式(3)代入式(4)中,可以得到以下公式:

<sup>①</sup>指各类省级行政区域,包括省、直辖市、自治区。

$$\beta_{k_e} \ln K_{it} + \beta_{l_e} \ln L_{it} + \beta_{y_e} \ln Y_{it} = 1 - \beta_e \quad (5)$$

再把式(5)回代到式(3)中,并加入资本(K)、劳动(L)和产出(Y)的平方项与时间趋势,得到公式(6):

$$\ln l/E_{it} = \beta_0 + \beta_k \ln K_{it} + \beta_l \ln L_{it} + \beta_y \ln Y_{it} + \beta_{kk} (\ln K_{it})^2 + \beta_{ll} (\ln L_{it})^2 + \beta_{yy} (\ln Y_{it})^2 + \beta_{kl} \ln K_{it} \ln L_{it} + \beta_{ky} \ln K_{it} \ln Y_{it} + \beta_{ly} \ln L_{it} \ln Y_{it} + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_{1k} t \ln K_{it} + \beta_{1l} t \ln L_{it} + \beta_{1y} t \ln Y_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (6)$$

式中*i*和*t*分别表示地区和年份,作为解释变量时*t*为年份减去1999;*v<sub>it</sub>* - *u<sub>it</sub>*构成复合误差,*v<sub>it</sub>* ~ iidN(0, σ<sub>v</sub><sup>2</sup>),且独立于*u<sub>it</sub>*; *u<sub>it</sub>* = lnD<sub>E</sub>(*K<sub>it</sub>*, *L<sub>it</sub>*, *E<sub>it</sub>*, *Y<sub>it</sub>*)是非负随机变量,假设它可以解释生产中的技术低效,并且假设它服从iidN(*m<sub>it</sub>*, σ<sub>u</sub><sup>2</sup>)分布的零处的截断独立分布。根据已有文献关于能源利用技术效率影响因素的分析,本文估计的技术无效函数为:

$$m_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln PCY_{it} + \delta_2 second_{it} + \delta_3 third_{it} + \delta_4 ES_{it} + \delta_5 OS_{it} + \delta_6 FDI_{it} + \delta_7 \ln SEC_{it} + \omega_{it} \quad (7)$$

我们参考 Battese and Corra<sup>[7]</sup>的参数化方法,σ<sup>2</sup> = σ<sub>v</sub><sup>2</sup> + σ<sub>u</sub><sup>2</sup>,表示复合误差项复合方差;γ = σ<sub>u</sub><sup>2</sup> / (σ<sub>v</sub><sup>2</sup> + σ<sub>u</sub><sup>2</sup>)表示复合方差中技术无效率项方差所占的比率。

### 三、变量选取与数据说明

#### (一) 变量选取与数据说明

1. 能源投入。用各省每年主要能源消费量转化成标准煤总量(*E*)来表示,单位为万吨标准煤,计算方法如下:

$$E = \sum_{i=1}^n (e_i \times c_i) \quad (8)$$

其中*E*为最后换算的标准煤消费量求和,*n*为能源产品的种类,*e<sub>i</sub>*为不同种类能源产品消费量,*c<sub>i</sub>*为折标准煤系数。不同种类能源产品的折标准煤系数整理在表1里。

表1 中国现行的各种能源折标准煤参考系数国家标准

能源名称	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力
煤转换系数	0.7143	0.9714	1.4286	1.4714	1.4714	1.4571	1.4286	13.3	1.229

注:天然气的煤转换系数单位为 kgce/m<sup>3</sup>,电力的煤转换系数单位为 kgce/(kW·h),其余的单位都为 kgce/kg。

2. 资本投入。依照张军等<sup>[8]</sup>的测算方法,采用永续盘存法得到,计算公式如下:

$$K_{it} = I_{it} + (1 - \delta_{it}) K_{it-1} \quad (9)$$

其中*i*和*t*分别表示省份和年份,*K*表示资本存量,*I*表示实际固定资本形成总额(使用各地区固定资产投资价格平减指数将历年名义固定资本形成总额转换成以2000年为基期的价格),*δ*表示折旧率,本文取10.96%。2000年的资本存量*K*采用的计算方法是用2001年的资本形成总额比上折旧率与1953—1957年固定资产投资形成平均增长率之和。

3. 劳动投入。用各省每年就业人数与平均受教育年限的乘积(*L*)来表示,单位为万/人/年,平均受教育年限的计算方法按照6岁及6岁以上未上过学(0年)、小学(6年)、初中(9年)、高中(12年)、大专及以上(16年)人口数占6岁及6岁以上总人口数的比例与受教育年数加权比来表示。

4. 经济产出指标。以各省的地区生产总值(*Y*)表示。为了保证各变量统计口径的一致性,对各省地区生产总值数据也使用平减指数转化为2000年不变价格。

#### (二) 影响因素指标及其数据说明

1. 经济发展水平(*PCY*)。采用人均地区生产总值来表示,常作为发展经济学中衡量经济发展状况的指标,是最重要的宏观经济指标之一。陈媛媛等<sup>[9]</sup>的研究认为,随着经济发展水平的提高,人们不会倾向于使用利用效率低、燃烧过程还会产生大量二氧化硫等污染物的煤炭,而会倾向于使用电力等高效清洁能源。为了保证各变量统计口径的一致性,对各省人均地区生产总值数据也使用平减指数转化为2000年不变价格。

2. 环境规制(ER)。《中华人民共和国环境保护税法》于2018年1月1日开始施行,由于环境税才开始征收,最新的数据无法获得,所以我们采用与环境税有相似功能的准环境税,包括地方财政资源税、城市维护建设税、城镇土地使用税、车船税和耕地占用税。本文采用准环境税占地区生产总值的比例来表示环境规制。

3. 产业结构(IS)。用第二产业增加值占地区生产总值比重(second)和第三产业增加值占地区生产总值比重(third)来表示。

4. 能源结构(ES)。电力是一种高效清洁能源,其使用的增加能够提高能源效率,本文用能源消费总量中电力消费换算的标准煤的比重来表示能源结构。

5. 所有制结构(OS)。所有制结构是指各种不同所有制形式在一定社会形态中的地位、作用及其相互关系,本文采用国有及集体控股企业总资产占规模以上工业企业总资产的比重来表示。

6. 外商直接投资(FDI)。用外商投资企业投资总额占地区生产总值比重来表示。

7. 技术创新(SEC)。可以表示技术创新的指标有很多,如R&D人员全时当量、R&D经费、专利申请授权量等,通过数据可得性,本文采用专利申请授权量来表示技术创新。

本文选取2000—2016年中国30个省份(不包括西藏和港、澳、台)数据作为研究样本。由于30个省份存在极少部分年份解释变量指标数据的缺失,本文将采用线性插补法补全数据。本文所用原始数据均来自于《中国统计年鉴》、各省市统计年鉴及其他相关统计年鉴。

#### 四、实证研究

##### (一) 中国省域能源消费测度结果

通过公式(1)我们计算出了2000—2016年中国30个省份能源消费转化成标准煤总量,中国能源消费总量和年增长率变化趋势展示在图1中。中国30个省份能源消费平均值和年均增长率展示在图2中。

通过图1可知,中国能源消费总量在2000—2016年整体呈现出递增的趋势,仅仅在2001年出现了能源消费的下降,之后能源消费量大幅增加,可能是加入世贸组织后,对外贸易高速增长,带动了能源消费的增加。通过图2可知,2000—2016年中国30个省份能源消费平均值较小的两个省份是青海省和海南省,最大的省份是山东省;增速最慢的是北京市,最快的是海南省。

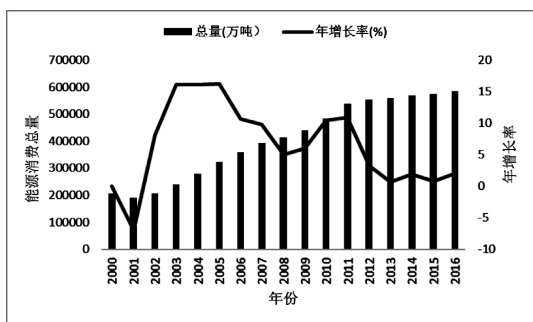


图1 中国能源消费总量和年增长率变化趋势

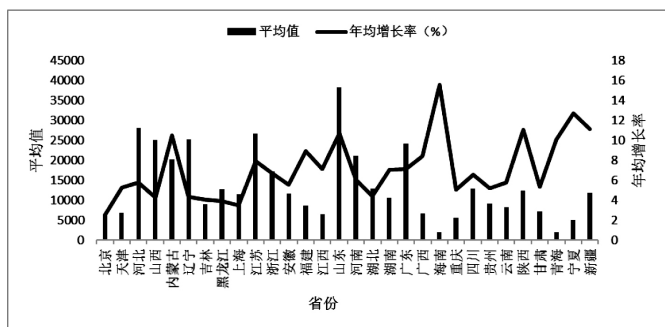


图2 中国省份能源消费平均值和年均增长率

##### (二) 随机前沿回归结果分析

利用Frontier4.1软件,使用最大似然估计法进行模型的参数估计,估计结果整理在表2中。

1. 模型可行性分析。通过表2可以看出,模型1中技术无效率项方差占复合方差的比例 $\gamma = 0.7296$ ,接近1,在1%水平上显著,说明技术非效率项 $\mu$ 对产出具有显著影响,技术无效率项方差与复合方差的比例 $\gamma$ 也为正,这一估计结果也表明,我国能源消费存在着技术无效性,LR检验统计值也通过1%显著性检验,设定成随机前沿函数是合理的。模型2在模型1的基础上没有引入超越对数生产函数和前沿技术进步水平变化的时间特征 $t$ ,模型3在模型1的基础上仅仅没有引入时间特征 $t$ 。与模型1相比,模型2与模型3的 $\gamma$ 都接近0,说明技术非效率相对随机扰动项不显著,表明对模型2

和模型 3 的估计不适合采用随机前沿回归估计,采用 OLS 估计即可。本文主要是对模型 1 的估计结果进行理论分析。

表 2 能源效率随机前沿生产函数最大似然估计结果

变量	模型 1		模型 2		模型 3	
	系数	t 值	系数	t 值	系数	t 值
前沿生产函数						
C	-9.393 0***	-3.699 1	1.799 0***	6.954 1	-1.358 3	-1.130 8
lnK	4.449 6***	6.134 3	-0.586 1***	-21.152 9	-0.280 1	-0.966 8
lnL	0.614 5	0.814 6	0.356 8***	4.696 6	-1.496 9***	-2.795 7
lnY	-3.465 4***	-4.134 5	-0.993 3***	-13.011 8	1.386 8***	2.625 2
lnK* lnK	-0.338 4***	-3.714 9			-0.010 6	-0.395 6
lnL* lnL	0.015 3	0.185 6			0.106 1*	1.500 7
lnY* lnY	0.165 0	1.144 2			-0.023 4	-0.218 9
lnK* lnL	-0.002 2	-0.021 0			0.028 0	0.420 7
lnK* lnY	0.086 4	0.443 2			-0.013 9	-0.175 8
lnL* lnY	-0.097 3	-0.572 4			-0.133 5	-0.900 6
t	-0.737 8***	-3.751 5				
t* t	0.001 2	0.160 3				
t* lnK	0.070 4**	1.760 1				
t* lnL	-0.000 6	-0.820 6				
t* lnY	0.001 9	0.784 5				
技术无效函数						
C	3.801 5***	3.412 6	6.548 2***	9.099 6	-1.530 3*	-2.012 7
lnPCY	-0.497 9***	-3.737 8	-0.677 8***	-7.878 6	-0.027 6	-0.300 5
ER	0.272 2***	6.702 3	0.333 9***	8.446 9	0.409 8***	8.650 2
second	0.046 8***	11.596 5	0.040 3***	14.949 5	0.046 7***	16.476 9
third	0.036 4***	7.012 6	0.026 7***	7.379 5	0.030 7***	7.383 6
ES	-0.041 1***	-29.696 7	-0.031 1***	-24.637 5	-0.032 7***	-18.798 5
OS	0.008 0***	5.689 1	0.002 8***	2.766 7	0.004 1***	2.588 4
FDI	-0.000 1	-0.365 4	0.000 0	-0.105 1	-0.001 8***	-7.230 6
lnSEC	-0.276 6***	-9.706 1	-0.293 7***	-14.667 5	-0.162 2***	-6.645 5
残差估计						
$\sigma^2$	0.066 7***	15.377 9	0.068 5***	17.568 6	0.064 8***	13.418 0
$\gamma$	0.729 6***	32.422 4	0.125 9***	5.894 2	0.173 1	5.202 1
Log 似然值		28.168 4		-40.706 6		-45.943 9
LR 检验		606.752 2***		571.952 9***		513.367 3***
截面数		30		30		30
年数		17		17		17
样本数		510		510		510

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

2. 随机前沿面分析。能源使用倒数的资本要素的产出弹性值为 4.449 6,通过显著性检验;劳动要素的产出弹性值为 0.614 5,未通过显著性检验,不显著,两弹性值和大于 1,表明资本与劳动要素对能源消费具有负向影响,且我国能源消费目前是处于规模递减阶段。资本要素的产出弹性

值大于劳动要素的产出弹性值,说明我国企业正从劳动密集型向资本密集型转化。能源使用倒数的 GDP 产出弹性值为  $-3.4654$ ,通过显著性检验,说明地区生产总值与能源消费呈正相关关系。时间趋势  $t$  的弹性系数值为  $-0.7378$ ,通过显著性检验,说明了我国的能源消费是逐年增加的,与国情相一致。

3. 技术无效面分析。第一,经济发展水平对能源效率的影响。经济发展水平对数( $\ln PCY$ )的系数在 1% 水平上显著为负,说明能源效率与经济发展水平之间呈正相关,随着经济发达程度的提高,能源效率也会提高。与曾胜和黄登仕<sup>[10]</sup>的观点一致,除此之外还能通过能源消费与经济增长之间的内在比例关系,可以测算由能源消费增量所带来的 GDP 增量,从而进行能源效率评价。

第二,环境规制对能源效率的影响。环境规制( $ER$ )的系数在 1% 水平上显著为正,说明能源效率与经济发展水平之间呈负相关,随着环境规制力度的加大,能源效率会下降。与陈玲和赵国春<sup>[11]</sup>、胡本田和皇慧慧<sup>[12]</sup>等观点不一致,他们认为以资源税的征收带来的环境规制对能源效率的提高有促进作用。与尤济红和高志刚<sup>[13]</sup>的观点相一致,认为无论是从单要素能源效率还是全要素能源效率的角度,政府环境规制都不利于能源效率的提高,这种抑制作用还存在滞后期。

第三,产业结构对能源效率的影响。第二产业增加值占地区生产总值比重( $second$ )和第三产业增加值占地区生产总值比重( $third$ )的系数在 1% 水平上均显著为正,说明能源效率与产业结构之间呈负相关。续竞秦和杨永恒<sup>[14]</sup>认为,第二产业比重增加会显著降低能源效率,主要是中部和西部地区在承接东部低端产业转移过程中对能源效率造成了一定的负面影响。江洪和赵宝福<sup>[15]</sup>认为产业结构高级化对能源效率有正向推动作用,说明第三产业比重增加会显著提高能源效率,与本文结论不一致,可能原因是我国各省第三产业发展不均衡,程度比较低,因此,要进一步促进我国产业高级化,进而提高能源效率。

第四,能源结构对能源效率的影响。能源消费总量中清洁高效能源电力消费换算的标准煤的比重( $ES$ )的系数在 1% 水平上均显著为负,说明能源效率与能源结构之间呈正相关,随着清洁能源使用占比提高,能源效率也会提高,可知降低煤炭的使用量,增加电力、天然气的使用量可以大大提高能源效率,同时也验证了“能源效率的惯性”现象<sup>[16]</sup>。

第五,所有制结构对能源效率的影响。国有及集体控股企业总资产占规模以上工业企业总资产的比重( $OS$ )的系数在 1% 水平上均显著为正,说明能源效率与所有制之间正相关,说明了市场化程度越高,能源效率越高。张三峰和吉敏<sup>[17]</sup>也认为市场化至少能显著改善能源效率 0.6%,本文的结论是非市场化至少会降低能源效率 0.8%。

第六,外商直接投资对能源效率的影响。模型 1 中,外商投资企业投资总额占地区生产总值比重( $FDI$ )的系数为负,值接近 0,但不显著。根据模型 3 中,外商投资企业投资总额占地区生产总值比重( $FDI$ )的系数显著为负,说明外商直接投资会显著提高地区的能源效率。外商直接投资缓解了我国资本不足的问题,还带来了先进技术和管理经验,理应促进我国能源效率的提高。外商直接投资未能促进我国能源效率改善这一现象可能的原因是外商直接投资大多被利用到了低技术行业,而非高技术行业。朱彤和刘叶<sup>[18]</sup>认为外商资本在高技术行业中对能源效率的提升具有积极作用,而在低技术行业中对能源效率的提升具有消极作用,我国应该采取适度引进的策略对待外商直接投资这把“双刃剑”。

第七,技术创新对能源效率的影响。技术创新( $SEC$ )的系数在 1% 水平上显著为负,说明能源效率与技术创新之间呈正相关,随着社会技术水平创新能力的提高,能源效率也会提高。

### (三) 能源效率结果分析

用 Frontier4.1 软件,估测出 2000—2016 年中国各地区能源效率,结果整理在表 3 中,限于篇幅,只列出了偶数年份能源效率,同时整理了各地区平均值,东、中、西部以及中国的能源效率。同时,为了研究能源效率的变化趋势和地区分布特点,把中国和东、中、西部地区历年的能源效率在图 3 中展示。

根据图3可以看出,中国及其东、中、西部能源效率在2000—2002年有上升的趋势,可能的原因是中国刚加入世贸组织,进一步加大了对外贸易和外资引进,进而提高了能源效率。2002—2003年,中国及其东、西部地区能源效率出现了短暂的下降,可能的原因是大量商品的出口和外资的引入,但自身经济水平较低,技术水平落后,资源浪费和环境污染加剧,致使能源效率下降。2003—2006年,中国及其东、西部地区能源效率开始提高,但是

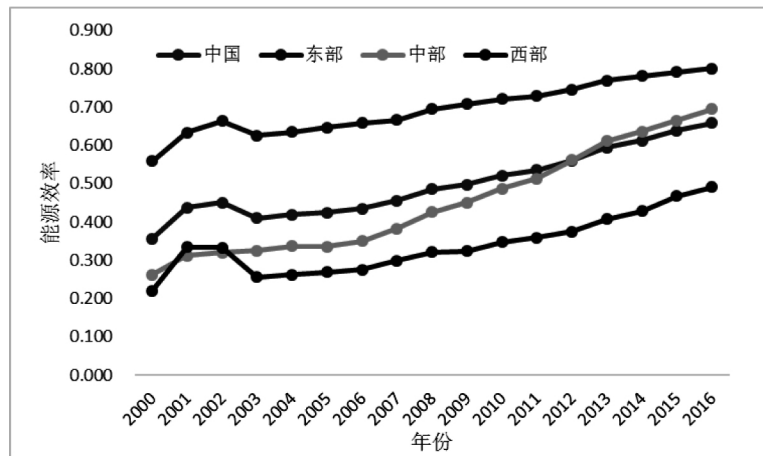


图3 中国及三大地区能源效率

增速缓慢,可能的原因是科学发展观的提出,促进了现代化建设各个环节、各个方面的协调发展,促进了生产关系与生产力、上层建筑与经济基础的协调发展。2007年至今,中国及其东、中、西部地区能源效率保持着增长的趋势,并保持着较高的增速,可能的原因是国家提出生态文明建设,节能降耗政策的推进对我国能源效率的改善起到了积极作用。

通过表3可以看出,我国能源效率总体水平偏低,2001—2016年,全国能源效率均值为0.5,能源利用存在着巨大浪费。能源效率最高的省份是广东(0.934),能源效率高于0.7的省份依次是江苏(0.890)、浙江(0.885)、北京(0.840)、福建(0.830)、上海(0.747),这些省份大多来自东部沿海发达地区,经济发展水平较高、技术创新能力水平高、产业结构合理化和高级化较好。能源效率低于0.3的省份依次是山西(0.151)、内蒙古(0.197)、贵州(0.213)、青海(0.233)、新疆(0.234)、甘肃(0.235)、宁夏(0.248),这些地区大多来自中西部地区,环境资源被过度开发、粗放式的经济增长以及生产技术落后造成了这些地区能源效率低。

表3 2000—2016年中国区域能源效率

地区	2000年	2002年	2004年	2006年	2008年	2010年	2012年	2014年	2016年	均值
北京	0.516	0.682	0.737	0.848	0.889	0.921	0.948	0.964	0.971	0.840
天津	0.279	0.324	0.352	0.410	0.506	0.510	0.595	0.697	0.785	0.492
河北	0.265	0.347	0.364	0.351	0.401	0.442	0.470	0.531	0.576	0.416
辽宁	0.221	0.257	0.273	0.305	0.374	0.409	0.431	0.490	0.481	0.364
上海	0.488	0.602	0.656	0.749	0.802	0.834	0.827	0.865	0.878	0.747
江苏	0.662	0.839	0.860	0.868	0.920	0.946	0.950	0.948	0.940	0.890
浙江	0.665	0.834	0.863	0.881	0.904	0.926	0.941	0.945	0.949	0.885
福建	0.739	0.820	0.780	0.759	0.825	0.827	0.881	0.887	0.948	0.830
山东	0.612	0.689	0.650	0.619	0.661	0.724	0.749	0.764	0.713	0.690
广东	0.863	0.914	0.920	0.927	0.940	0.946	0.954	0.961	0.965	0.934
海南	0.845	1.000	0.536	0.523	0.426	0.443	0.468	0.542	0.606	0.570
东部	0.559	0.664	0.636	0.658	0.695	0.721	0.747	0.781	0.801	0.696
山西	0.076	0.087	0.105	0.112	0.147	0.186	0.204	0.215	0.227	0.151

地区	2000年	2002年	2004年	2006年	2008年	2010年	2012年	2014年	2016年	均值
吉林	0.226	0.274	0.298	0.300	0.379	0.452	0.494	0.581	0.663	0.405
黑龙江	0.210	0.257	0.276	0.292	0.334	0.366	0.438	0.507	0.601	0.363
安徽	0.243	0.309	0.348	0.371	0.407	0.472	0.554	0.575	0.640	0.436
江西	0.311	0.382	0.376	0.425	0.515	0.533	0.604	0.652	0.730	0.500
河南	0.330	0.405	0.402	0.416	0.530	0.657	0.793	0.889	0.924	0.594
湖北	0.287	0.375	0.415	0.428	0.530	0.579	0.653	0.811	0.885	0.550
湖南	0.421	0.476	0.477	0.457	0.564	0.650	0.754	0.867	0.892	0.611
中部	0.263	0.320	0.337	0.350	0.426	0.487	0.562	0.637	0.695	0.451
内蒙古	0.153	0.183	0.169	0.165	0.188	0.210	0.219	0.243	0.238	0.197
广西	0.380	0.491	0.456	0.484	0.592	0.605	0.619	0.719	0.810	0.575
重庆	0.264	0.355	0.475	0.457	0.474	0.501	0.569	0.681	0.766	0.509
四川	0.410	0.472	0.463	0.513	0.568	0.606	0.696	0.722	0.834	0.587
贵州	0.101	0.135	0.129	0.148	0.208	0.234	0.258	0.325	0.383	0.213
云南	0.262	0.307	0.271	0.283	0.341	0.357	0.448	0.606	0.778	0.401
陕西	0.231	0.243	0.246	0.259	0.293	0.328	0.336	0.361	0.417	0.302
甘肃	0.146	0.152	0.166	0.189	0.225	0.262	0.291	0.330	0.387	0.235
青海	0.160	0.160	0.178	0.186	0.237	0.277	0.274	0.298	0.329	0.233
宁夏	0.126	0.972	0.113	0.123	0.166	0.177	0.163	0.180	0.202	0.248
新疆	0.192	0.199	0.226	0.228	0.246	0.260	0.245	0.245	0.256	0.234
西部	0.220	0.334	0.263	0.276	0.322	0.347	0.374	0.428	0.491	0.339
中国	0.356	0.451	0.419	0.436	0.486	0.521	0.561	0.613	0.659	0.500

在研究期间内,东、中、西部地区能源效率均值分别为0.696、0.451和0.339,呈现出典型的“东高西低”的区域分布特征,中国区域能源效率的分布与区域经济发展水平分布大致趋同,但也存在着与上述规律不符的现象。河北省和辽宁省位于经济发达的东部地区,能源效率明显低于周边省份,是东部高能源效率的塌陷地带。河北省能源效率异常可能是受京津地区高耗能、高污染产业转移的影响。辽宁省能源效率异常可能是受东北经济衰落的影响。山西省能源效率也明显低于中部其他地区,也处于能源效率的塌陷地带,可能原因是受“资源诅咒”的影响。四川省和重庆市能源效率明显高于西部其他地区,处于能源效率的隆起地带,也是西部经济发展水平最高的地区。

##### 五、结论与政策建议

本文对2000—2016年中国30个省市(不包括西藏和港澳台地区)的能源消费进行了测算,并把能源消费作为投入指标纳入到能源效率的测算中。然后,基于Shephard能源距离函数的SFA模型,对2000—2016年中国30个省市(不包括西藏和港澳台地区)的能源效率及其影响因素进行了实证分析。得到以下的研究结论:

第一,中国能源消费总量在2000—2016年整体上呈现出递增的趋势,仅仅在2001年出现了能源消费的下降,之后能源消费量大幅增加。2001年能源消费量为191202万吨标准煤,2016年能源消费量为585420万吨标准煤,期间增长了206.16%。在年均增长率方面,2012年之前能源消费增速较快,到了2012年及之后能源消费增速开始放缓。2000—2016年中国30个省份能源消费平均值较小



的两个省份是青海省和海南省,最大的省份是山东省;增速最慢的是北京市,最快的是海南省。

第二,中国及其东、中、西部在 2000—2002 年能源效率有上升了的趋势。2002—2003 年,中国及其东、西部地区能源效率出现了短暂的下降。2003—2006 年,中国及其东、西部地区能源效率开始提高,但是增速缓慢。2007 至今,中国及其东、中、西部地区能源效率保持着增长的趋势,并保持着较高的增速。在研究期间内,东、中、西部地区能源效率均值分别为 0.696、0.451 和 0.339,呈现典型的“东高西低”的区域分布特征。

第三,经济发展水平、能源结构、外资的规模和技术进步对能源效率有正向作用;所有制结构、环境规制、产业结构和对能源效率有显著的负向作用。

根据上述研究得到的结论,提出以下四个方面的政策建议:

第一,提高区域劳动力素质,提升区域创新能力。劳动力素质的提高有利于区域创新能力的提高,区域创新能力的提高有利于新技术、新能源的研发和使用。政府要加大教育科技方面的投入力度,制定适当的人才引进计划,加强与高校、科研院所以及企业的联系,增加高技术人才的储备。

第二,促进产业转型升级,发展现代服务业与“环境友好型”工业。政府应深入落实《中国制造 2025》规划,推进中国制造向中国智造和中国创造的迈进。要大力发展现代服务业,促进服务业的比重与水平的不断提升,加速我国产业高级化进程;大力发展高新技术产业中的低碳环保行业,优化已有的工业结构,严格控制钢铁、采矿等高污染高排放行业的发展,向“环境友好型”工业方向进行转型。

第三,政府相机抉择节能减排战略。政府通过财政补贴和税收干预能够在一定程度上改善能源禀赋所引起的“资源诅咒”现象。但同时也会造成国有及集体控股企业不思进取、缺乏危机意识和创新意识,造成资源的浪费,能源效率的下降。因此,政府要相机抉择才能使得节能减排的战略达到应有的效果。

第四,政府要积极引进外资,注重外资质量。外商直接投资缓解了我国资本不足的问题,还带来了先进技术和管理经验,理应会促进我国能源效率的提高,所以各省政府要积极地引进外资。外商资本在高新技术行业对能源效率的提升具有积极作用,而在低技术行业对能源效率的提升具有消极作用,所以引进外资要注重质量,使外资投入到我国高技术行业,进而增加出口、就业并提高自主创新能力。

#### 参考文献:

- [1]余江,叶林.资源约束、结构变动与经济增长——基于新古典经济增长模型的分析[J].经济评论,2008(2):22-24.
- [2]张少华,蒋伟杰.能源效率测度方法:演变、争议与未来[J].数量经济技术经济研究,2016(7):3-24.
- [3]陈海跃.中国区域能源效率及其影响因素分析——基于 DEA-Malmquist 模型[J].贵州财经大学学报,2017(6):32-39.
- [4]解文华,方虹,张军峰,等.基于 SBM-DEA 模型及 Malmquist 指数的中国与欧盟航空运输企业能源效率比较研究[J].数学的实践与认识,2017(17):194-201.
- [5]李坤明,方丽婷.中国区域能源效率及其影响因素——基于面板随机前沿模型的分析[J].资源开发与市场,2017(11):1324-1327.
- [6]唐安宝,李风云.融资约束、政府补贴与新能源企业投资效率——基于异质性双边随机前沿模型[J].工业技术经济,2016(8):145-153.
- [7]BATTESE G E,CORRA G S. Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of eastern australia[J]. Australian journal of agricultural economics,1977,21(3):169-179.
- [8]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.
- [9]陈媛媛,李坤望.FDI 对省际工业能源效率的影响[J].当代财经,2010(7):28-33.
- [10]曾胜,黄登仕.中国能源消费、经济增长与能源效率——基于 1980—2007 年的实证分析[J].数量经济技术经济研究,2009(8):17-28.

- [11]陈玲,赵国春. 地方政府环境规制对全要素能源效率影响——基于新疆面板数据的实证研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014(8): 7-13.
- [12]胡本田,皇慧慧. 政府环境规制对中国能源效率的影响分析[J]. 河北联合大学学报(社会科学版), 2018(2): 17-23.
- [13]尤济红,高志刚. 政府环境规制对能源效率影响的实证研究——以新疆为例[J]. 资源科学, 2013(6): 1211-1219.
- [14]续竞秦,杨永恒. 我国省际能源效率及其影响因素分析——基于2001~2010年面板数据的SFA方法[J]. 山西财经大学学报, 2012(8): 76-83.
- [15]江洪,赵宝福. 低碳视角下能源效率变动与产业结构演进非线性动态关系——基于1990—2012年面板数据[J]. 经济问题探索, 2015(7): 68-76.
- [16]曾胜,靳景玉. 能源消费结构视角下的中国能源效率研究[J]. 经济学动态, 2013(4): 81-88.
- [17]张三峰,吉敏. 市场化能改善环境约束下的能源效率吗——基于2000~2010年省际面板数据的经验研究[J]. 山西财经大学学报, 2014(1): 65-75.
- [18]朱彤,刘叶. FDI对我国工业能源效率的正负效应与适度引进之管见[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2010(7): 70-76.

(责任编辑:王顺善;英文校对:葛秋颖)

## Interprovincial Energy Efficiency and Its Influencing Factors in China: SFA Model Based on Shephard Energy Distance Function

LIU Zheng, HUANG Hao

(School of Economics, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650000, China)

**Abstract:** The measurement and evaluation of energy efficiency is of great significance to ecological civilization construction and realization of sustainable and high-quality economic development in China. This paper calculates energy consumption of 30 provinces and cities in China (excluding Tibet, Hong Kong, Macao and Taiwan) from 2000 to 2016, and takes energy consumption as an input index into the calculation of energy efficiency. Based on the SFA model of Shephard energy distance function, energy efficiency and its influencing factors of 30 provinces and cities in China from 2000 to 2016 are empirically analyzed. The results show the following. Firstly, China's total energy consumption shows an increasing trend from 2000 to 2016. Secondly, during the study period, the average energy efficiency of eastern, central and western regions are 0.696, 0.451 and 0.339 respectively, showing a typical regional distribution characteristics of "high in the east and low in the west". Thirdly, economic development level, energy structure, scale of foreign investment and technological progress have positive effects on energy efficiency, while ownership structure, environmental regulation, industrial structure and energy efficiency have significant negative effects. In order to improve regional energy efficiency, four suggestions are put forward for local governments: improving the quality of regional labor force and enhancing regional innovation ability, promoting industrial transformation and upgrading and developing modern service industry and "environment-friendly" industry, choosing energy-saving and emission reduction strategies accordingly, and actively attracting foreign capital and paying more attention to the quality of foreign capital.

**Key words:** energy consumption; energy efficiency; Shephard energy distance function; stochastic frontier analysis