

DOI:10.13216/j.cnki.upcjess.2016.05.0002

# 基于 DEA-Tobit 模型的山东省全要素能源效率研究

范秋芳, 李 苏, 崔 珊

(中国石油大学 经济管理学院, 山东 青岛 266580)

**摘要:** 能源是经济发展的驱动力,提高能源效率有利于保障经济持续健康发展。利用 DEA 模型下的 BCC 模型和 Malmquist 指数法对山东省的全要素能源效率进行测算,运用 Tobit 模型对山东省能源效率的影响因素进行实证分析。结果表明,山东省全要素能源效率整体呈上升趋势。山东省能源效率主要受六种因素的影响,其中技术进步、能源相对价格、能源消费结构、市场化程度为正向影响,产业结构、对外贸易为反向影响。提高科技转化率、优化产业配置效率、调整能源相对价格、强化能源替代性等有助于山东省能源效率的提高。

**关键词:** 全要素能源效率;能源经济;DEA-Tobit 模型;技术进步

**中图分类号:** F124;F207 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5595(2016)05-0006-07

## 一、前言

山东省是能源消费大省,能源在带动山东省迅速发展的同时,也带来了能耗高、环境污染等问题,这成为山东省经济长期可持续发展的障碍。2015年,山东省能耗强度为0.75,比全国平均水平高出9个百分点,能源效率偏低;终端能源供需存在较大缺口,对外依存度强;能源生产、消费中环境治理不到位,环境污染问题突出。因此,提高山东省能源效率对保障山东省环境安全、经济可持续发展具有重要意义。

近年来国内外专家学者从不同角度对能源效率进行了广泛的研究。夏玲、Karen Fisher、司江伟等利用 Tobit 模型、格兰杰检验、灰色关联分析等方法研究了能源消耗与经济增长、就业等的关系<sup>[1-3]</sup>;Hu、魏楚等在资源约束背景下,运用数据包络分析法(DEA)测算了不同决策单元的相对效率,并从技术效率、规模效率及综合效率三个角度对能源效率问题进行了深入分析<sup>[4-5]</sup>;Watanabe、杨红亮、张伟等对全要素能源效率的测量指标进行了改进、完善,由单要素发展到劳动力、资本、能源三要素,并将土地、环境污染、技术进步等要素纳入模型中,使能源效率相关指标的考量

更加全面<sup>[6-8]</sup>;韩一杰、范秋芳等在选择能源效率研究对象时逐渐聚焦,从国家层面延伸到区域层面,研究的产业囊括了制造业、电力产业、石油工业等<sup>[9-10]</sup>。

随着经济、社会环境的变化,环境保护、技术创新对生产过程的影响愈加明显,能源效率的测量尺度也将更加严格,单要素能源效率(能耗强度、能源消费弹性系数、能源生产率等)已不能全面反映某个地区能源的利用效率,由于要素具有替代性与互补性,因此本文选择全要素能源效率综合反映山东省的能源利用效率,在测算全要素能源效率时更重视环境保护和技术创新的影响。本文利用 DEA 模型下的 BCC 模型(可变收益模式下的数据包络分析法)和 Malmquist 指数(全要素生产率指数)法对山东省的全要素能源效率进行测算,并运用 Tobit 模型(样本选择模型)对山东省能源效率的影响因素进行实证分析,提出提升山东省能源效率的对策建议,以促进山东省经济的可持续发展。

## 二、DEA-Tobit 模型介绍

### (一)DEA 模型

数据包络分析法(DEA)以不改变决策单元

收稿日期:2016-03-22

基金项目:山东省软科学项目(2015RKE28014);山东省社会科学规划项目(14CJJ09);青岛市社会科学规划项目(QDSKL140414);山东省高校人文社会科学项目(J13WF58);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(15CX04103B)

作者简介:范秋芳(1965—),女,山东昌邑人,中国石油大学(华东)经济管理学院教授,博士,研究方向为产业经济与区域发展、能源经济与管理。

(DMU)输出或者输入稳定为前提,以统计数据与线性规划为工具,以衡量相对有效性为目标,其基本原理是通过投影的方式计算所选决策单元偏离生产前沿面的距离,从实践层面上来讲其有效性很强。本文主要利用 DEA 模型下的 BCC 模型和 Malmquist 指数法研究山东省全要素能源效率。

假设有  $k$  个被评价的决策单元 DMU,每个决策单元  $j$  有  $m$  个投入变量、 $n$  个产出变量,输入输出矩阵分别为  $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{mj})^T$  与  $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, y_{3j}, \dots, y_{nj})^T$ ,与其相对应的一组权重系数分别为: $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T, u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$ 。各单元 DMU $_j$  的效率评价指数为:

$$h_j = \frac{u^T y_j}{v^T x_j} = \frac{\sum_{r=1}^n u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, j=1, 2, \dots, k \quad (1)$$

BCC 模型假设规模报酬可变,基于这一前提得到的纯技术效率可以独立出来,在测度时避免了规模效率的影响。面向投入的 BCC 模型如式(2)所示,每个决策单元的效率值为  $V_D$ ,其中  $\mu$  表示投入相对于产出的有效利用程度。

$$V_D = \min \mu \quad (2)$$

$$s. t. \begin{cases} \mu x_{ij_0} \geq \sum_{j=1}^k x_{ij} \lambda_j, & i=1, 2, \dots, m \\ y_{rj_0} \leq \sum_{j=1}^k y_{rj} \lambda_j, & r=1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^k \lambda_j = 1, & j=1, 2, 3, \dots, k \\ \lambda_j \geq 0, & j=1, 2, \dots, k \end{cases}$$

Malmquist 生产率指数相对而言动态性更强,可以衡量不同时期的生产效率,其计算公式如下:

$$m_0(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \left[ \frac{d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^t(x_t, y_t)} \times \frac{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

以 BCC 模型测算的效率为基础,以 Malmquist 指数为变动比例进行测算,突破了效率为 1 的限制,便于对有效决策单元进行分析比较。

### (二)Tobit 模型

Tobit 模型(样本选择模型,又称受限因变量模型、审查模型)通过最大似然函数估计参数,要求变量服从正态分布,其基本公式表示为:

$$y_i^* = X_i \beta + \varepsilon_i \\ y_i = \begin{cases} y_i^*, & \text{if } y_i^* > 0 \\ 0, & \text{if } y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\varepsilon_i = \text{Normal}(0, \sigma^2)$$

当  $y_i > 0$  时,取值不受限制;当  $y_i \leq 0$  时,取值受

限制,均为 0。

Tobit 模型主要有以下优越性:(1)数据维度较大,随着样本容量的增加,影响因素之间的相关性会减弱,因此能尽可能地消除多重共线性;(2)具有动态性。

### 三、山东省全要素能源效率测算分析

#### (一)指标选取与数据来源

根据山东省能源利用中对技术和环境要求及有关专家的研究成果,遵循指标体系构建的科学性、可操作性、完备性原则,构建山东省全要素能源效率指标体系,其包括投入指标和产出指标两类,主要指标见表 1。

表 1 指标体系

指标类型	指标名称
投入指标	劳动投入
	资本存量
	能源投入
产出指标	各市实际 GDP
	环境污染产出

#### 1. 投入指标

劳动投入,用劳动力质量的人力资本存量表示,单位为万人,由历年山东省各市按城乡分的平均就业人员数乘以平均受教育程度得到<sup>[11]</sup>。

资本存量,用固定资本存量衡量,单位为亿元,由山东省统计年鉴获取山东省历年固定资产投资完成额,采用 Goldsmith 的永续盘存法进行运算。具体计算公式如下:

$$K_{i,t+1} = (1 - \delta_{i,t+1}) K_{i,t} + I_{i,t+1} \quad (5)$$

式中, $K_{i,t+1}$  表示第  $i$  市第  $t+1$  年的固定资本存量, $\delta_{i,t+1}$  表示第  $i$  市第  $t+1$  年的固定资产折旧率, $I_{i,t+1}$  表示第  $i$  市第  $t+1$  年固定资产的新增投资额。

本文的测算以 2006 年为基期,初始资本存量即为 2006 年的固定资本存量。初始资本存量的计算采用 Young 的计算方法<sup>[12]</sup>,由山东省各市 2006 年的固定资产投资完成额除以 10% 得到。

能源投入,由山东省各市能源消费总量表示,单位为万吨标准煤。从山东省统计年鉴中获取各市万元 GDP 能耗,再乘以地区生产总值后得到各市能源消耗总量。

#### 2. 产出指标

各市实际生产总值,用各市实际 GDP 表示,单位为亿元。GDP 越大,能源效率越高。

环境污染产出,本文主要对废水排放量(万吨)、氨氮排放量(吨)、SO<sub>2</sub> 排放量(万吨)、固体废物排放量(万吨)四种污染物指标进行标准化处

理,处理方法选用测算指标权重的熵值法(Entropy Method)计算得到环境污染产出指标。环境污染产出越低,能源效率越高。

## (二) 测算结果及分析评价

本文以山东省 17 地市作为 17 个生产决策单元,选择以规模报酬可变为前提的 BCC 模型测算 2014 年山东省 17 市的能源效率并进行横向比较分析。其后运用 Malmquist 指数法测算各市能源效率的全要素生产率变化(TFPCH),对 2007—2014 年 17 市全要素能源效率的平均变动情况进行纵向比较分析。

### 1. BCC 模型下能源效率测算分析

将测算的 2014 年山东省 17 市能源效率的相关投入产出数据带入 BCC 矩阵模型中,利用数据包络分析 DEA P2.1 软件进行测算,其结果如表 2 所示。

表 2 BCC 模型下测算结果

评价单元	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
济南市	0.802	1.000	0.802	递减
青岛市	0.996	1.000	0.996	递减
淄博市	0.556	0.891	0.623	递减
枣庄市	0.937	1.000	0.937	递减
东营市	1.000	1.000	1.000	不变
烟台市	1.000	1.000	1.000	不变
潍坊市	0.773	0.882	0.831	递减
济宁市	0.817	0.819	0.998	递减
泰安市	0.880	0.881	0.999	递减
威海市	0.948	0.949	0.998	递减
日照市	0.845	0.849	0.995	递减
莱芜市	1.000	1.000	1.000	不变
临沂市	0.816	0.907	0.899	递减
德州市	0.982	1.000	0.982	递减
聊城市	1.000	1.000	1.000	不变
滨州市	0.937	0.972	0.964	递增
菏泽市	1.000	1.000	1.000	不变
均值	0.897	0.950	0.943	递减

表 2 显示,山东省 17 市中东营市、烟台市、莱芜市、聊城市和菏泽市的综合效率、纯技术效率和规模效率均实现了 DEA 有效(即效率值为 1),实现了效益最大化的配置,其他各市均没有实现要素的最优配置,存在改进空间。

在非有效的 12 个市中,有 4 个市表现为纯技术效率有效而规模效率小于 1,分别是济南市、青岛市、枣庄市和德州市。纯技术效率有效表明,在当前技术水平下对评价单元而言投入与产出之间的比例是有效的,即投入与产出的冗余量和松弛量均为零,不需要进行增减。

12 个市的综合效率和规模效率没有达到最优,说明这些地市的规模与其投入、产出之间没有达到最优配置,即规模效率偏低。例如,青岛市的规

模效率为 0.996,整体趋势表现为规模报酬递减,这表明青岛市的投入产出比相对于生产规模来说较高,即增加的要投入没有得到对应份额的产出,呈现出不平衡的状态。

### 2. Malmquist 指数法下能源效率测算分析

以 2006 年的综合效率为基数,运用 DEA P2.1 软件测算 2007—2014 年山东省全要素能源效率的平均变化,具体结果如表 3 所示。

表 3 山东省 17 市全要素能源效率的平均变化

评价单元	综合效率变化	技术进步变化	纯技术效率变化	规模效率变化	全要素生产率变化
济南市	1.009	1.054	1.000	1.009	1.064
青岛市	1.005	1.059	1.000	1.005	1.064
淄博市	1.008	1.064	1.016	0.993	1.073
枣庄市	1.010	1.056	1.018	0.992	1.067
东营市	1.000	1.011	1.000	1.000	1.011
烟台市	1.000	1.054	1.000	1.000	1.054
潍坊市	0.996	1.053	0.984	1.011	1.049
济宁市	1.029	1.062	1.011	1.017	1.092
泰安市	1.020	0.951	1.020	1.000	0.971
威海市	0.993	1.005	0.994	1.000	0.998
日照市	0.979	0.970	0.980	0.999	0.950
莱芜市	1.000	1.005	1.000	1.000	1.005
临沂市	0.999	1.067	0.988	1.011	1.066
德州市	1.047	0.955	1.400	1.007	1.000
聊城市	1.021	1.036	1.021	1.000	1.058
滨州市	1.028	0.914	1.016	1.012	0.940
菏泽市	1.002	0.916	1.000	1.002	0.917
均值	1.009	1.012	1.005	1.003	1.021

由表 3 可以看出,以 2006 年效率值为基数,山东省 17 市的年均全要素能源效率以每年 2.1% 的速度提高,其中综合效率贡献了 0.9%,技术进步贡献了 1.2%。从地市来看,17 市中有 11 个市的全要素能源效率有所提高,其中济南市、青岛市、淄博市、枣庄市、济宁市、聊城市全要素能源效率的提高来自于综合效率和技术进步的双重贡献;东营市、烟台市、潍坊市、莱芜市和临沂市全要素能源效率的提高主要来自于技术进步的贡献。

根据上述分析结果,以 2006 年综合效率值为初始全要素能源效率值,历年 TFPCH 值为变动比例,计算得到 2006—2014 年山东省 17 市全要素能源效率,结果如表 4 所示。

通过上述方法,对 BCC 模型中“效率值为 1”的相对有效地区的效率值做进一步精确处理,可以将效率相对有效地市的效率值进行排序比较。

2006—2014 年,济南市、青岛市、烟台市、济宁市、临沂市的全要素能源效率持续上升,2014 年这 5 个市的全要素能源效率均大于 1,均实现了最优利用,其中青岛市的全要素能源效率值最高,为

1.574。东营市、枣庄市、莱芜市、聊城市的全要素生产率基本在 1 的水平以上呈现波动变动趋势,其他 9 个城市基本在 1 的水平以下呈现波动变动趋势,波动的主要原因是不同市区、不同年份的技术进步、纯技术效率、规模效率的贡献程度存在差异,各市对科技水平和资源的配置能力有所不同,无法实现资源与技术的最优利用。2014 年,17 市中济南市、青

州市、枣庄市、东营市、烟台市、潍坊市、济宁市、莱芜市、临沂市、聊城市实现了 DEA 有效。其余 7 个城市中,淄博市、威海市的效率水平在 0.8 以上,能源利用水平比较高;而泰安市、日照市、德州市、滨州市、菏泽市的效率水平均在 0.7 以下,全要素能源效率偏低。

表 4 2006—2014 年山东省 17 市全要素能源效率

评价单元	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	均值
济南市	0.743	0.771	0.811	0.867	0.917	0.957	1.041	1.094	1.221	0.936
青岛市	0.959	1.003	1.057	1.127	1.189	1.237	1.339	1.409	1.574	1.210
淄博市	0.520	0.580	0.692	0.733	0.788	0.861	0.916	0.931	0.913	0.770
枣庄市	0.864	0.956	1.073	1.178	1.281	1.401	1.267	1.255	1.450	1.192
东营市	1.000	1.057	1.168	1.239	1.276	1.293	1.116	1.133	1.087	1.152
烟台市	1.000	1.037	1.081	1.149	1.213	1.264	1.293	1.350	1.519	1.212
潍坊市	0.758	0.718	0.739	0.785	0.857	0.929	0.951	1.001	1.133	0.875
济宁市	0.652	0.743	0.849	0.938	0.986	1.075	1.099	1.159	1.317	0.980
泰安市	0.749	0.787	0.726	0.739	0.728	0.673	0.447	0.469	0.590	0.656
威海市	1.000	0.915	0.926	0.852	0.871	0.906	0.830	0.863	0.983	0.905
日照市	1.000	0.692	0.781	0.710	0.556	0.593	0.530	0.562	0.662	0.676
莱芜市	1.000	1.071	1.125	1.181	1.229	1.157	0.923	0.957	1.039	1.076
临沂市	0.825	0.899	0.907	0.959	1.011	1.104	1.145	1.256	1.370	1.053
德州市	0.679	0.672	0.691	0.746	0.746	0.689	0.479	0.468	0.677	0.650
聊城市	0.844	0.916	0.976	1.045	1.045	1.147	0.915	1.059	1.337	1.032
滨州市	0.750	0.675	0.653	0.708	0.640	0.640	0.424	0.407	0.457	0.595
菏泽市	0.987	0.954	0.890	0.789	0.727	0.679	0.415	0.384	0.494	0.702
均值	0.843	0.850	0.891	0.926	0.945	0.977	0.890	0.927	1.048	0.922

与 BCC 模型下得到的不包含技术进步在内的综合效率(见表 2)相比, Malmquist 指数法考虑了技术进步的影响,因此得到的不同城市之间的能源效率差距或增大或缩小,效率排名也发生了较大变动。其中东营市、烟台市、莱芜市、聊城市的能源效率仍处于最优水平,济南市、青岛市、枣庄市、潍坊市、济宁市、临沂市的全要素能源效率相比 BCC 模型下有显著提高,都实现了效率最优,主要原因是技术进步对一定规模下的生产存在促进作用,从而提高了能源利用效率。全要素能源效率最低的是滨州市,主要原因在于技术进步带来的影响与滨州市当前的生产规模和要素投入没有实现最优配置。

#### 四、山东省能源效率影响因素实证分析

##### (一) 变量选取与处理

本文对能源效率的影响因素进行实证分析。将运用 Malmquist 指数法测算得出的 2006—2014 年山东省 17 市的全要素能源效率作为被解释变量,记为 TFEE;根据前人的研究成果和山东省能源利用的实际情况,选择以下几项指标作为解释变量:产业结构(第二、三产业比重,记为 Ind2、Ind3)、技术进步(专利授权数,记为 Tech)、能源相对价格(总能源价格/产品出厂价格,记为 Price)、能源消费结构(电力消

耗占终端能源消耗的比重,记为 Struc)、对外贸易(各市进出口总值占 GDP 比重,记为 Trade)、市场化进程(非国有单位职工数比重,记为 Marp)、经济发展水平(实际人均 GDP,记为 Pergdp)、城镇化水平(各市非农业人口比重,记为 Urb)、环境治理水平(工业固体废弃物的综合利用率,记为 Eg)。

以上数据为 2006—2014 年的面板数据,其中解释变量数据主要来源于山东省统计年鉴(2006—2014)、《中国城市统计年鉴(2012)》、《山东科技统计年鉴(2011)》及各市统计年鉴。为了便于解释分析,对用百分比表示的数据进行处理,用被解释变量前的系数来表示变动 1 个百分点所引起的平均变动值。

为消除截面数据之间的异质性,对变量进行均值处理,用调整后的数据进行分析<sup>[13]</sup>。各变量依据以下公式处理:  $\widetilde{TFEE} = TFEE - \overline{TFEE}$ ;  $\widetilde{Ind2} = Ind2 - \overline{Ind2}$ ;  $\widetilde{Ind3} = Ind3 - \overline{Ind3}$ ;  $\widetilde{Tech} = Tech - \overline{Tech}$ ;  $\widetilde{Price} = Price - \overline{Price}$ ;  $\widetilde{Struc} = Struc - \overline{Struc}$ ;  $\widetilde{Trade} = Trade - \overline{Trade}$ ;  $\widetilde{Marp} = Marp - \overline{Marp}$ ;  $\widetilde{Pergdp} = Pergdp - \overline{Pergdp}$ ;  $\widetilde{Urb} = Urb - \overline{Urb}$ ;  $\widetilde{Eg} = Eg - \overline{Eg}$ 。

均值处理后的变量仍能反映各原始变量对山东省能源效率的影响。为了便于对变量进行表述和分析,仍使用原始变量名称进行阐述,称之为变量的相对变化程度,即相对各变量平均值的变化程度。

由于变量存在多重共线性问题,本文采用逐步回归法对山东省整体变量数据进行共线性检验,将

存在共线性的变量剔除。通过对各变量间的相关性测算,得到如表5所示的结果。根据分析结果需要将第三产业比重(Ind3)、人均GDP(Pergdp)、城镇化水平(Urb)三个变量剔除,选择 $|r| < 0.3$ 的弱相关变量( $r$ 为相关系数)进行分析。

表5 变量相关性统计结果

	Ind2	Ind3	Tech	Price	Struc	Trade	Marp	Pergdp	Urb	Eg
Ind2	1									
Ind3	-0.72	1								
Tech	-0.22	0.68	1							
Price	-0.15	0.34	0.21	1						
Struc	-0.11	0.49	0.25	0.1	1					
Trade	0.24	-0.06	-0.15	0.05	0.18	1				
Marp	-0.26	0.39	0.04	0.13	0.13	-0.07	1			
Pergdp	-0.72	0.85	0.69	0.17	0.28	0.07	0.43	1		
Urb	-0.46	0.62	0.61	0.23	-0.11	-0.01	0.37	0.51	1	
Eg	0.03	-0.02	0.03	-0.1	-0.24	0.04	0.09	0.04	-0.11	1

剔除共线性变量后,利用第二产业比重(Ind2)、技术进步(Tech)、能源价格(Price)、能源消费结构(Struc)、对外贸易(Trade)、市场化进程(Marp)、环境治理水平(Eg)作为解释变量进行实证分析。

## (二) 结果分析

对筛选后的变量进行Tobit回归分析,第一次回归分析结果为:模型的拟合优度(调整后)为0.8243,F统计量为28.5360,回归方程成立;但变量环境治理水平的概率值为0.2894,大于10%的显著性水平,对山东省整体能源效率的影响不显著,应该将其剔除并重新进行回归分析,直到所有变量全部显著为止。最终的回归结果如表6所示。

表6 回归结果

变量	系数	标准差	T统计量	概率
截距项	$3.11 \times 10^{-18}$	0.0071	12.0873*	0.0000
第二产业比重	-0.0134	0.0052	-2.5507*	0.0121
技术进步	0.0182	0.0035	5.2007*	0.0000
能源价格	0.3002	0.6230	4.8189*	0.0000
能源消费结构	0.0135	0.0121	-1.7564***	0.0817
对外贸易	-0.0024	0.0005	-4.4293*	0.0000
市场化进程	0.0285	0.0159	1.7933***	0.0756
拟合优度R <sup>2</sup>	0.8550	F统计量	30.2806	
调整后R <sup>2</sup>	0.8267	概率	0.0000	

注: \*、\*\*\* 分别表示变量在 $\alpha$ 为1%、10%的水平下显著。

回归方程可以表示为:

$$\widehat{TFEE} = 3.11 \times 10^{-18} - 0.0134 \times \widehat{Ind2} + 0.0182 \times \widehat{Tech} + 0.3002 \times \widehat{Price} + 0.0135 \times \widehat{Struc} - 0.0024 \times \widehat{Trade} + 0.0285 \times \widehat{Marp} \quad (6)$$

以上结果表示的是各因素对山东省全要素能源效率的影响,其中各变量的影响均显著,方程可以通过拟合优度检验、F检验,因此模型成立。从以上结果中可以看出:

(1) 增加第二产业比重会使山东省全要素能源效率降低。目前山东省的产业布局中第二产业占比最高,其中东营市的第二产业占比达70%以上,为全省最高。第二产业对能源的需求很高,山东省是能源生产大省,为第二产业的能源消费提供了支持,使得第二产业快速发展。二者反向变动的关系表明,山东省第二产业处于规模报酬递减阶段,生产资料的配置已超过最优组合,因而该产业能源效率下降,进而使得总体能源效率降低。

(2) 技术进步与山东省全要素能源效率呈正相关关系。新技术的投入会带来能耗的降低,进而提高能源效率。山东省专利授权数量的平均增长速度为23%,到2013年专利授权量已达76976件。本文用专利授权数来表示技术进步,虽然不能全面反映技术进步的效果,但从上面的测算结果中可以看出技术进步对能源效率影响很大,技术进步对山东省能源效率的提高起着重要作用。

(3) 能源相对价格的上升会提高山东省全要素能源效率水平。具体来看,燃料、动力类资源购进价格的提高或工业产品价格的降低都会提高能源效率水平,主要原因是能源相对价格上涨会使企业利润降低,企业为保持经济效益或竞争优势会采取其他手段,以求在相同能源投入下获得最大产出,尽快实现生产的规模效应,提高能源效率。

(4) 能源消费结构中电力消费比重的上升会提

高山东省全要素能源效率。电力消费在山东省能源消费结构中占比较低(20%以下),而煤炭消费占比很高。调整煤炭、石油、电力等能源的消费比重就是调整各能源利用效率的贡献程度。也就是说,提高电力的消费比重有利于山东省能源效率水平的提升。

(5) 进出口总额占 GDP 的比重上升不利于山东省全要素能源效率的提高。山东省的进出口贸易主要集中在资源密集型产品上,进出口产品多为钢铁、汽车、机械设备、铁矿砂、飞机等,这些产品的生产能耗高且污染重。资源密集型产品的生产和使用会增加能源消耗,降低效率水平。山东省内有不少市区以出口资源密集型和劳动密集型的初级产品或加工类产品为主,为了提高当地的经济水平,这些市区努力增加产品出口量,增加能源投入,这使得规模效率降低,能源效率下降。

(6) 市场化程度的加深会提高山东省全要素能源效率。随着市场化进程的深入,政府对经济的干预会逐渐减少,市场更倾向于自动调节,能源的价格和数量也就更倾向于由供需双方来决定,而能源品种之间的替代性非常明显,低效率的煤炭会逐渐被高效率的电力、天然气等能源替代,因而能源效率会逐渐提升。

## 五、提升山东省能源效率的对策建议

### (一) 调整能源相对价格,强化能源替代性

目前中国能源产业仍处于价格管制状态,难以通过市场供需来调节能源价格,但可以通过调整能源的相对价格(即能源产品出厂价)来增强产品间的竞争,间接发挥市场在能源行业中的调节作用。此外,能源相关政策的主要适用对象是大消费者,因此在能源体制改革中,政府应将工业能源价格与民用能源价格分离,重点调节工业能源价格,以优化能源结构。基于成本最小化原则,工业生产者更愿意选择煤炭、石油等低价格能源,因此适当提高此类能源的价格既可以调节能源供求平衡,也可以充分发挥清洁能源对煤炭、石油的替代作用,优化能源消费结构,提升能源效率。

### (二) 提高科技转化率,优化产业配置效率

虽然山东省的专利授权量逐年递增,但是很多地区技术专利的利用效果不佳,导致技术进步的影响不能完全满足当前生产的需要。因此,一方面应积极鼓励企业进行研发,确立自主创新主导地位;另一方面应根据生产需要进行专门研发,使得“研发—资金”与“成果—生产”紧密链接,提高科研成果转化率,进而提升能源效率。此外,对于能耗高、

产值低的部门,一方面应在满足产品需求的条件下,积极调整要素投入比例;另一方面可在达到当前技术约束下的最高效率水平后,积极调整部门间的要素分配,充分提高要素流动性,实现整个产业的规模效率最大化。

### (三) 优化对外贸易结构,发展绿色贸易

对外贸易中高能耗、粗加工的产品占比过高会带来巨大的能源消耗与浪费,因此,必须结合生态经济的要求,积极调整进出口结构,发展绿色贸易。在出口方面,要降低高能耗、低附加值产品的比重,提高新材料等战略性新兴产业产品的比重;在进口方面,要努力降低省内能源消耗,增加高能耗、高产值产品的进口,减少生态污染与破坏。山东省沿海城市应积极开发利用海洋资源,建立水产品“养殖—生产—出口”的一体化运作模式,形成“能源—环境—经济”的良性运转,构建绿色贸易体系。

### (四) 推进市场化改革,重视市场运作

在有效控制市场失灵的前提下,政府可以适当减少对经济活动的干预,通过市场运作和自动调节来优化资源配置,提高能源效率:首先要协调政企关系,在市场发挥作用时政府可以降低经济参与程度;其次,对于竞争能力比较强的企业,应适当降低国有资本占总资本的比重,鼓励民营资本的加入,通过加大企业间的竞争来提高企业运行效率;此外,还应制定企业节能减排标准,完善环境保护、能源开发利用的法律法规,为能源市场提供健全的制度环境,保证市场作用的充分发挥。

## 参考文献:

- [1] 夏玲,樊宏,吴万水,等. 基于 DEA-Tobit 模型的中国省际能源效率影响因素分析[J]. 五邑大学学报(自然科学版),2012(11):47-52.
- [2] Karen Fisher, G H Jefferson. Technology Development and Energy Productivity in China [J]. Energy Economics, 2006,28(5):690-705.
- [3] 司江伟,徐红静. 山东省能源效率影响因素的灰色关联分析[J]. 科技管理研究,2012(4):54-57.
- [4] J Hu, S Wang. Total-factor Energy Efficiency of Regions in China[J]. Energy Policy, 2006,34(17):3206-3217.
- [5] 魏楚,沈满洪. 能源效率及其影响因素:基于 DEA 的实证分析[J]. 管理世界,2007(8):66-76.
- [6] Watanabe, Tanaka. Efficiency Analysis of Chinese Industry: A Directional Distance Function Approach[J]. Energy Policy, 2007,35(12):6323-6331.
- [7] 杨红亮,史丹. 能效研究方法和中国各地区能源效率的比较[J]. 经济理论与经济管理,2008(3):12-20.

- [8] 张伟,吴文元. 基于环境绩效的长三角都市圈全要素能源效率研究[J]. 经济研究,2011(10):95-109.
- [9] 韩一杰,刘秀丽. 基于超效率DEA的中国各地钢铁行业能源效率及节能减排分析[J]. 系统科学与数学,2011(3):287-298.
- [10] 范秋芳,刘兰廷. 我国能源利用效率区域差异性研究[J]. 价格理论与实践,2014(4):41-43.
- [11] 李德煌,夏恩君. 人力资本对中国经济增长的影响——基于扩展Solow模型的研究[J]. 中国人口·资源与环境,2013(8):100-106.
- [12] Young. Gold into Base Metals: Productivity Growth in China during the Reform Period [J]. Journal of Political Economy, 2003,28(5):32-55.
- [13] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模[M]. 北京:清华大学出版社,2009:36-75.

责任编辑:张岩林

## Research on Total Factor Energy Efficiency of Shandong Based on DEA-Tobit Model

FAN Qiufang, LI Su, CUI Shan

(School of Economics and Management, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China)

**Abstract:** Energy is the driving force of economic development and improving energy efficiency is beneficial to the sustained and healthy economic development. In this article, BCC model and Malmquist index of DEA model are used to estimate the total factor energy efficiency of Shandong and Tobit model is used to make an empirical analysis of the influence factors. The result shows that the total factor energy efficiency of Shandong province is on the rise, and that among the six influence factors, technological progress, energy prices, energy consumption structure and the degree of market have positive effects, while industrial structure and foreign trade have negative effects. Measures to improve energy efficiency of Shandong include improving the rate of technology transfer, optimizing industrial allocation efficiency, adjusting energy relative price and intensifying energy substitution, etc.

**Key words:** total factor energy efficiency; energy economics; DEA-Tobit model; technological advances