

# 环境约束下中国省际 全要素能源效率实证研究

王 兵 张技辉 张 华\*

摘要: 本文运用基于 DEA 的方向性距离函数方法测算了 1998 - 2007 年环境约束下的中国省际全要素能源效率, 并对影响环境约束下全要素能源效率的因素进行了实证检验。研究发现: 我国全要素能源效率在样本期间整体处于持续下滑状态, 其中西部地区下降的幅度最大; 东部地区全要素能源效率最高, 其次是中部地区, 西部地区最低; 广东、辽宁、上海、北京、天津和海南 6 省市均在生产边界上, 而云南、新疆、河北和贵州具有低水平的全要素能源效率; 人均 GRP、外商直接投资、要素禀赋结构、产业结构、所有制结构、能源结构、企业的环境管理能力以及能源价格都对全要素能源效率有显著影响。因此, 全面提升经济发展的水平和质量, 均衡地区经济发展, 弱化当前我国经济高能耗高产出的特点, 是提高我国全要素能源效率的重要手段。

关键词: 环境约束 方向性距离函数 全要素能源效率

## 一、引言

节能减排, 提高能源利用效率, 减少污染物排放, 加大环境保护力度, 是我国应对当前严峻的能源、环境形势的需要, 是实现全面建设小康社会奋斗目标的需要, 也是保障能源安全和保护环境的需要。所以, 我国在“十一五”发展规划中提出了万元 GDP 能耗比 2005 年降低 20% 和主要污染物排放总量降低 10% 的约束性指标。“十一五”前四年, 经过各地区、各部门共同努力, 节能减排工作取得重要进展, 全国单位国内生产总值能耗累计下降 14.38%。但与“十一五”降低 20% 左右的目标仍有较大差距, 特别是 2010 年三季度以来, 高耗能、高排放行业快速增长, 一些淘汰的落后产能死灰复燃, 能耗强度下降趋势减缓甚至由降转升, 节能减排形势十分严峻。面对日益紧张的减排压力和能源状况, 既要维持我们的发展, 又要实现节能减排的任务, 能源效率的提高就成了我们解决问题的重要出路。事实上, 单位能源的节约比单位能源的生产更重要。因为单位能源在转换到生产的过程中还会有损失, 进而不能带来单位能源应有的产出水平。鉴于此, 对能源效率的准确测度也就显得格外重要。

对于能源效率的衡量有很多不同的指标, Patterson(1996)对能源效率的定义和各种指标进行了详细的阐述。我们也可以根据研究的需要简单地将它们分成单要素指标和全要素指标。单要素能源效率指标是反映经济活动中能源消费与有效产出关系的偏要素指标。在国际上使用较多的单要素能源效率指标是能源消耗强度(或称之为单位 GDP 能耗)。史丹(2006)将能源消耗强度的倒数作为能源效率, 研究了中国能源效率的地区差异和节能潜力, 并比较了能源效率同产业结构、人均 GDP、能源消费结构、对外开放度以及能源

\* 王兵, 暨南大学经济学院, 邮政编码: 510632, 电子信箱: twangb@jnu.edu.cn; 张技辉, 暨南大学经济学院, 邮政编码: 510632, 电子信箱: zhangjihui2019@163.com; 张华, 暨南大学经济学院特区港澳经济研究所, 邮政编码: 510632, 电子信箱: unique19850514@163.com。

本文为教育部人文社科项目“节能减排约束下中国经济绩效研究: 基于全要素生产率的视角”(08JC790047)的阶段性成果; 并获得国家社会科学重大项目(09&ZD021)、国家自然科学基金(70873051)、中央高校基本科研业务费专项资金(10JYB2025)及广东省自然科学基金(No. 10451063201005492)的资助。本文入选第十届中国经济学年会, 感谢与会专家和学者的意见和建议。作者感谢匿名审稿人的建设性修改意见, 当然, 文责自负。

资源禀赋之间的关系。国内还有一些学者,以单要素能源效率值作为因变量,从国内外能效差距、FDI、人力资本、技术研发、相对价格、技术变化、经济周期及重化工工业化、内生创新与人文发展、经济结构以及进出口贸易等方面考察了这些因素对能源效率的影响(齐绍洲 2010;蒋金荷 2004;杭雷鸣、屠梅曾 2004;尹宗成等 2008;吴巧生、成金华 2005;樊茂清等 2009;齐志新等 2007;杨中东 2010;陈军、成金华 2010;杨继生, 2009;夏炎等 2010;张炎治、聂锐 2009;王霞、淳伟德 2010;刘立涛、沈镭 2010)<sup>①</sup>。采用单要素能源效率指标虽然计算较为简便,但却夸大了能源效率,且无法反映劳动力和资本等生产要素对能源的替代作用。毕竟能源自身是不能带来任何产出的,它必须和其他投入要素一起使用才能生产出产品(Hu and Wang 2006)。而且,能源消耗强度更多的是反映经济的结构,无法反映决策主体的要素禀赋及其变动。杨红亮和史丹(2008)对单要素能源效率和多要素能源效率进行了对比,结果表明多要素能效指标在揭示一个地区资源禀赋对能效的影响方面有着单要素方法无法替代的优势。

基于此,目前一些学者在研究中采用了全要素能源效率指标。Hu和Wang(2006)率先使用全要素能源效率指标研究了中国能源效率问题。随后,国内一批学者在对能效测度问题上借鉴这种方法,对中国全要素能源效率进行了深入探讨,并对影响全要素能源效率的各种因素进行了实证分析(魏楚、沈满洪 2007、2008;曾胜、黄登仕 2009;李国璋、霍宗杰 2009 2010)。但是,这些研究大多数是把能源作为生产要素的一种直接加入到数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)模型中计算,却没有同劳动和资本两种生产要素进行区分。在这种情况下,测算出的全要素效率值并没有凸显出能源的特征,只是在传统的全要素框架下加入了能源投入。从而测度出决策单元(Decision Making Units, DMU)在综合利用多种要素进行生产以实现产出最大化的能力与程度(魏楚、沈满洪 2009)。或者说,在这种情况下我们既可以将求得的效率值称为能源效率,也可以称为资本效率或劳动效率。

另外,在能源效率问题上,国内外学者大多数还是集中使用传统的DEA方法,却没有考虑非合意产出。然而,在节能减排、经济可持续发展的要求下忽略污染去考察能源效率不仅意义不大,而且会使能源效率的估计有偏(Watanabe and Tanaka 2007)。对此,国内外一些学者把污染物纳入到DEA模型,通过对模型的适当调整计算了包含非合意产出的能源效率,这样就在能源效率的评价中显得更加科学(袁晓玲等 2009;何文强、汪明星 2009; Yeh et al. 2010; 吴琦 2010; 汪克亮等 2010; 徐盈之、管建伟 2011)。但这些研究都是建立在传统的谢泼德距离函数(Shephard Distance Function)上,这种距离函数要么将污染物作为一种投入,要么将污染物通过取其倒数或者乘以-1转换成“合意的产出”。污染物作投入处理法违背了实际的生产过程,数据转换处理法<sup>②</sup>可能会破坏模型的凸性要求。

Chung等(1997)发展了一种新的函数——方向性距离函数(Directional Distance Function),这种函数可以把污染物作为对环境的负产出纳入到效率的分析框架中,同时考虑了合意产出的提高和非合意产出的减少。目前国内外已经有很多学者运用它来测度环境效率和生产率(Weber and Domazlicky 2001; Jeon et al., 2004; Arcelus and Arocena 2005; Watanabe and Tanaka 2007; 王兵等 2008; 涂正革 2008; 胡鞍钢等 2008; 吴军 2009; 陈茹等 2010; 王兵等 2010)。但是,目前还没有学者运用方向性距离函数将污染纳入到全要素能源效率分析框架中。<sup>③</sup>另外,虽然有大量的学者运用方向性距离函数进行环境效率和生产率的研究,但是他们主要是在规模报酬不变(Constant Returns to Scale, CRS)假设下进行。虽然有学者在可变规模报酬(Variable Returns to Scale, VRS)下进行研究,但是仅简单的将约束权重的和为1的条件加到CRS模型中,从而没有考虑到产出的弱可处置性问题(Färe and Grosskopf 2009)。

本文试图从以下两个方面对现有文献进行拓展:(1)运用修正的VRS下基于DEA的方向性距离函数测算1998-2007年环境约束下的中国省际全要素能源效率;(2)对影响中国全要素能源效率的因素进行实证分析。

本文余下结构为:第二部分是研究方法介绍;第三部分是数据处理及实证结果分析;第四部分对影响能源效率的因素进行实证研究;第五部分是结论。

<sup>①</sup>魏楚和沈满洪(2009)对能源效率研究的现状和发展趋势进行了详细的综述。

<sup>②</sup>曾贤刚(2010)运用此处理方法测算了包含CO<sub>2</sub>的综合能源效率。

<sup>③</sup>Mukherjee(2010)虽然运用方向性距离函数对印度制造业的能源效率进行了测度,但是没有考虑污染排放。

## 二、研究方法

### (一) 环境技术

在本文中 我们把每一个省份看作一个 DMU 来构造每一个时期能源的最佳实践边界。在能源使用过程中  $SO_2$ 、 $CO_2$  等废气的排放 我们称之为非合意产出; 将正常产出 (GRP) 称为合意产出。为了将环境问题纳入到我们的分析框架中 我们需要先构造一个既包括合意产出 又包括非合意产出的生产可能性集合 Färe 等 (2007) 将这种生产可能性集合称为环境技术 (The Environmental Technology)。假设每一个省份使用  $N$  种投入  $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_N^+$  生产出  $M$  种合意产出  $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_M^+$  以及排放  $I$  种非合意产出  $b = (b_1, \dots, b_I) \in R_I^+$ 。用产出集合模拟环境技术:

$$P(x) = \{(y, b) : x \text{ 可以生产 } (y, b)\} \quad x \in R_N^+ \quad (1)$$

衡量包含环境技术的产出集合  $P(x)$  具有以下四个性质:

- (1) 如果  $(y, b) \in P(x)$  且  $b = 0$  那么  $y = 0$ 。
- (2) 如果  $(y, b) \in P(x)$  且  $0 \leq \theta \leq 1$  那么  $(\theta y, \theta b) \in P(x)$ 。
- (3) 如果  $(y, b) \in P(x)$  且  $y' \leq y$  那么  $(y', b) \in P(x)$ 。
- (4) 如果  $x' \geq x$  那么  $P(x') \supseteq P(x)$ 。

性质 (1) 称为零结合性 (Null - jointness) 即没有非合意产出就没有合意产出。性质 (2) 是联合弱可处置性 (Jointly Weak Disposability) 即合意产出与非合意产出在一定的技术条件下具有同比例增减特性 也就是说减少污染是有成本的。性质 (3) 是强可处置性 (Strong or Free Disposability) 它的涵义是 在投入和污染规模不变的条件下 正常产出可以无成本的减少。性质 (4) 说明投入要素  $x$  具有自由可处置性 (Free Disposability)。

假定在每一个时期  $t = 1, 2, \dots, T$  第  $j = 1, \dots, J$  个 DMU 的投入和产出值为  $(x_{CJ \times N}^t, y_{CJ \times M}^t, b_{CJ \times I}^t)$ 。Färe 等 (2004) 对生产技术集进行了以下定义:

$$P^t(x^t) = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^J z_j y_{j,m}^t \geq \delta y_{j,m}^t \quad m = 1, \dots, M; \quad \sum_{j=1}^J z_j b_{j,i}^t = \delta b_{j,i}^t \quad i = 1, \dots, I; \\ \sum_{j=1}^J z_j x_{j,n}^t \leq x_{j,n}^t \quad n = 1, \dots, N; \quad \sum_{j=1}^J z_j = 1 \quad z_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, J. \end{array} \right\} \quad (2)$$

$z_k^t$  表示每一个横截面观察值的权重 非负的权重变量之和等于 1 表示生产规模报酬是可变的。在方程组 (2) 中 合意产出和投入变量的不等式约束意味着合意产出与投入可自由处置。而非合意产出的等式约束 则表示非合意产出是不能自由处置的。另外 在没有引入非合意产出的情况下 合意产出是强可处置的。在这里 根据 Shephard (1974) 对产出弱可处置性的定义 即性质 (2) 我们可知: 减少非合意产出的一个可行办法就是减少合意产出。因此 加入  $\delta$  就是为了强调加入非合意产出以后的模型 合意产出和非合意产出是联合弱可处置的且二者可以等比例缩减。若不加入  $\delta$  则无法满足产出的弱可处置性 (Färe and Grosskopf 2009)。

### (二) 方向性距离函数与能源效率

环境技术的构造是衡量效率的基础 为了计算环境管制下的能源效率 我们还需要引入方向性距离函数。在 Chung 等 (1997) 的基础上 我们引入非角度方向性距离函数定义如下: ①

$$\vec{D}_0(x, y, b; g) = \sup\{(\beta : (y + \beta g_y; b - \beta g_b; x - \beta g_x) \in P(x))\} \quad (3)$$

其中  $g_y, g_b, g_x$  是产出和投入变化的方向向量。 $\beta$  越大 效率越低。若  $\beta = 0$  则说明样本观察值已经在生产的边界上 在所有 DMU 中已经实现了产出和投入的最有效水平。为了将全要素能源效率值变为区间  $[0, 1]$  方向性距离函数下的全要素能源效率可以用下面的表达式表示:

$$TE(x_j^t, y_j^t, b_j^t; g) = 1 - \vec{D}_0^t(x_j^t, y_j^t, b_j^t; g) \quad (4)$$

Picazo - Tadeo 等 (2005) 对 VRS 下考虑非合意产出弱可处置性的方向性距离函数进行了改进:

① Chung 等 (1997) 介绍的是一个基于产出的方向性距离函数 即在投入既定的情况下 产出发生变化。我们在本文中运用的方向性距离函数 产出和投入均可以变化。

$$\begin{aligned} \vec{D}_0(x, y, b; g) &= \text{Max}\beta \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^J \Phi \lambda_j y'_{j,m} &\geq (1 + \beta) y'_{j,m} \quad m = 1, \dots, M; \sum_{j=1}^J \Phi \lambda_j b'_{j,i} = (1 - \beta) b'_{j,i}, \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j x'_{j,n} &\leq (1 - \beta) x'_{j,n} \quad n = 1, \dots, N; \sum_{j=1}^J \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, J. \end{aligned} \quad (5)$$

在这里,我们将  $\Phi$  称之为消减因子(abatement factors),它的内涵相当于式(2)中的  $\delta$ 。根据方向性距离函数的性质,我们可知式(5)测度的是合意产出增加,同时非合意产出与投入减少的情况。而且,由于  $\Phi$  和  $\lambda_j$  都是模型中的变量,所以式(5)是非线性的。Kuosmanen(2005)放松了模型好产出和坏产出同比例缩减的假设,他令  $\lambda_j = z_j + u_j$ ,其中  $z_j = \Phi \lambda_j$ ,  $u_j = (1 - \Phi) \lambda_j$ 。将基于方向性距离函数的 VRS 下的环境技术进一步完善为(6)式:

$$\begin{aligned} \vec{D}_0(x, y, b; g) &= \text{Max}\beta \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^J z_j y'_{j,m} &\geq (1 + \beta) y'_{j,m} \quad m = 1, \dots, M; \sum_{j=1}^J z_j b'_{j,i} = (1 - \beta) b'_{j,i} \quad i = 1, \dots, I; \\ \sum_{j=1}^J (z_j + u_j) x'_{j,n} &\leq (1 - \beta) x'_{j,n} \quad n = 1, \dots, N; \sum_{j=1}^J (z_j + u_j) = 1 \quad z_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, J. \end{aligned} \quad (6)$$

其中,产出权重  $z_j$  表示  $\lambda_j$  中不能自由处置的部分;投入的权重则由可自由处置和非可自由处置两部分之和组成。对于 CRS 模型,相当于  $z_j = \lambda_j$ ,且  $u_j = 0$ 。

我们根据研究的需要和投入产出可处置性的特点,通过对方向向量的设置,选取下面的模型计算能源效率。我们用下面的表达式代表模型。其中  $K$  代表资本投入,  $L$  代表劳动投入,  $E$  代表能源投入,  $Y$  表示 GRP。首先,  $\sum_{j=1}^J (z_j + u_j) = 1$  表明这是基于 VRS 的模型。与 CRS 相比, VRS 更接近于现实情形(Beede et al., 1993)。在这个模型中,我们可测度经济增长条件下满足节能减排要求的能源技术效率。它要求经济在持续增长的情况下,能源投入和污染排放同时减少,反映了节能减排和经济可持续发展的要求。而  $\eta$  在这里就代表了能源的无效水平。模型具体表达如下:①

$$\begin{aligned} \vec{D}_0^t(x^t, Y^t, b^t; g^t) &= \text{Max}\eta \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^J z_j^t Y_{j,m}^t &\geq (1 + \eta) Y_{j,m}^t \quad m = 1, \dots, M; \sum_{j=1}^J (z_j^t + u_j^t) K_{j,n}^t \leq K_{j,n}^t; \\ \sum_{j=1}^J (z_j^t + u_j^t) L_{j,n}^t &\leq L_{j,n}^t; \sum_{j=1}^J (z_j^t + u_j^t) E_{j,n}^t \leq (1 - \eta) E_{j,n}^t; \sum_{j=1}^J z_j^t b_{j,i}^t = (1 - \eta) b_{j,i}^t \\ \sum_{j=1}^J (z_j + u_j) &= 1 \quad 0 \leq \Phi \leq 1. \end{aligned} \quad (7)$$

### 三、数据处理及实证结果分析

#### (一) 数据处理

按照上述研究方法,我们需要中国各个省份 1998 - 2007 年的合意产出、非合意产出和投入要素数据。根据数据的可得性,我们选择了除西藏外的其他 30 个大陆省份。合意产出、非合意产出和投入的基础数据主要来源于历年《中国统计年鉴》、《中国环境年鉴》和《中国能源统计年鉴》。

1. 合意产出。合意产出选用各个省份(直辖市)以 2000 年为基期的实际地区生产总值(GRP)。由于国家统计局仅仅公布了 2000 年以来经济普查后修订的 GRP 和 GRP 指数的数据,所以本文以 2000 年为基期计算实际 GRP,就降低了 1998 年和 1999 年两年实际 GRP 的误差。

2. 非合意产出。关于非合意产出的选择,不同的学者采用的指标也不相同,何文强和汪明星(2009)把废气作为非合意产出,袁晓玲等(2009)把工业废水、废气、烟尘、粉尘、SO<sub>2</sub> 以及固体废弃物 6 种排放量综合成一个污染物排放指数;吴琦和武春友(2009)把 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、烟尘、工业粉尘、COD、氨氮、工业固体废弃物七种污染物排放量折合成一个污染物指标,引入到模型中测度能源效率。由于与能源相关的大气污染物主要是

①Mukherjee(2010)也运用该模型测算了印度制造业的能源效率,但没有考虑环境约束。

SO<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>,因此我们选取SO<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>这两个指标作为非合意产出。其中SO<sub>2</sub>是各个地区的排放总量,数据来源于《中国环境年鉴》;CO<sub>2</sub>数据是根据IPCC《国家温室气体排放清单指南》中能源部分所提供的基准方法<sup>①</sup>计算得来的。我们根据我国各地区能源综合平衡表选取了其中最主要的14种能源(原煤、洗精煤、其他洗煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、原油、汽油、柴油、煤油、燃料油、液化石油、炼厂干气和天然气),舍弃了另一些投入使用量非常小的能源种类来计算CO<sub>2</sub>排放量。其中,由于海南省2002年和宁夏自治区2000-2002年的能源数据缺失,所以其CO<sub>2</sub>排放量是根据前后年份的增长率估算的。

3. 能源投入。由于各个评价单元当期的能源消费结构有很大的不同,为了统一口径,我们利用各种能源折标准煤参考系数,将各个省市的各种一次能源消费量通过折标算出能源消费总量。其中,海南省2002年和宁夏自治区2000-2002年的能源数据是根据其前后年份的增长率估算的。

4. 劳动投入。衡量劳动在生产中贡献的最好指标应当是劳动时间,但是由于数据的不可得性,我们使用各省市历年从业人员数作为劳动投入量指标。另外,有些学者用劳动力的受教育年限来衡量劳动力素质差异(傅晓霞、吴利学,2006;杨文举,2008;李国璋、霍宗杰,2009,2010)。由于各行业平均利润率相差不大,从而使得劳动在行业间的分布具有均质性的假定是合理的,所以我们没有采用这种方法。

5. 资本投入。估算按可比价格计算的资本存量最常用的方法是“永续盘存法”。根据张军等(2004)的研究,我们选择固定资本形成总额作为当年投资指标,并利用他们的方法构造了1952-2006年的投资品价格指数,从而得到以2000年为不变价格的各省的实际投资序列数据。利用式(8)得到资本存量:

$$K_t = I_t + (1 - \delta) K_{t-1} \quad (8)$$

$K_t$ 是 $t$ 期的资本存量, $\delta$ 是折旧率, $I_t$ 是 $t$ 期投资额。我们利用得到的1952-2007年各个省份的,并且通过对现有各个省份的投资数据序列的对数与时间之间的回归,从而模拟出1900-1951年各个省份的投资序列。而式(8)可以通过迭代变为:<sup>②</sup>

$$K_t = \sum_{k=0}^{t-1900} (1 - \delta)^k I_{t-k} + (1 - \delta)^{t-1900} K_{1900} \quad (9)$$

式(9)意味着,只要得到1900年的资本存量以及合适的折旧率,便可以得到历年的资本存量。我们假设1900年的资本存量为0,这个假定主要是基于1900年的资本存量到了1952年将折旧完毕的事实。关于折旧率的选择,相关研究文献有较大出入。在最新的研究中,吴延瑞(2008)首次使用各个地区不同的折旧率进行了研究。作者也认为不同的经济体应当有不同的折旧率。所以,本文选择了吴延瑞(2008)研究中所采用的各个省份不同的折旧率(见表1)。

表1 各省份折旧率

省份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西	山东
折旧率(%)	3.4	3.7	4.3	4	4.3	5.8	5.1	6	3.4	4.2	4	5	4.5	3.7	5
省份	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南	重庆	四川	贵州	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
折旧率(%)	4.1	4.5	4.5	6.9	3.3	2.2	4.6	4.6	2.8	2.7	3.3	2.7	2.4	2.8	2.6

资料来源:吴延瑞,2008《生产率对中国经济增长的贡献:新的估计》,《经济学(季刊)》第3期。

表2是我们对得到的数据进行的描述。本文不仅按照传统的东中西部地区划分对数据进行了描述,而且按照能耗强度由高到低将全国分成了三个地区。<sup>③</sup>通过这样的分类会有利于分析能源问题。

首先,从根据能耗强度分成的三个地区投入产出的份额来看,三个地区的资本投入与合意产出的比例是一致的,都接近于1,说明我国经济的特征仍属于粗放式投资拉动型;高能耗地区的污染排放量与合意产出

<sup>①</sup>化石燃料消费产生CO<sub>2</sub>排放量的计算公式为:CO<sub>2</sub>排放量=化石燃料消耗量×CO<sub>2</sub>排放系数;CO<sub>2</sub>排放系数=低位发热量×碳排放因子×碳氧化率×碳转换系数。

<sup>②</sup>本文研究的初期为1998年,从1900年开始主要是为了降低初始资本存量的影响。

<sup>③</sup>高能耗地区指的是能耗强度排序前十名的省份(依次为宁夏、贵州、山西、青海、内蒙古、甘肃、新疆、河北、辽宁、吉林),中等能耗地区指的是排序中间十名的省份(依次为云南、四川、湖北、陕西、黑龙江、河南、重庆、安徽、湖南、山东),低能耗地区指的是排序后十名的省份(依次为天津、广西、江西、北京、浙江、上海、江苏、海南、福建、广东);东部地区包括:北京、天津、辽宁、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南11省市;中部地区包括:山西、河南、湖北、湖南、安徽、吉林、黑龙江和江西8个省份;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11省区。

之比较高,低能耗地区的污染排放量与合意产出之比较低,意味着我国地区间在污染治理上存在着一定的技术差距;另外,高能耗地区的劳均 GRP 为 1.96,高于中等能耗地区的 1.54,低于低能耗地区的 3.16。高能耗地区的劳均 GRP 之所以高于中等能耗地区,主要是该地区的能源投入对劳动要素起到了一定的替代作用,所以劳均 GRP 高于中等能耗地区;而低能耗地区较高的劳均 GRP 则源于技术上的优势。其次,从东中西部地区的划分来看,三种要素的投入产出比由东往西逐步升高,污染排放与合意产出比却由东往西逐渐下降。东部地区资本较为充裕,虽然能源投入多,但是劳动投入比重较低,这说明资本和能源对劳动起到了一定的替代作用。相反,中西部地区与东部地区相比,劳动投入比更大,单位能源投入排放的污染物也更多。而且,与高能耗地区相比,东部地区的污染排放与合意产出比重也更低,这也说明东部地区在技术上更有优势。结合两种不同地区划分方式来看,除中部地区的山西及东部地区的河北和辽宁之外,高能耗地区多集中在西部地区;而低能耗地区除集中了东部地区的多数省份外,还包括西部的广西和中部的江西两个省区;中部省份的能耗强度则多处于中等水平。这两种划分方式也在一定程度上反映了我国东中西部的地区差异。

表 2 1998 - 2007 年各变量平均投入产出份额、劳均 GRP 及能耗强度

省份	e	l	k	y	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	劳均 GRP	能耗强度
北京	2.35	1.21	4.07	3.22	0.94	1.70	5.63	1.09
天津	1.67	0.64	2.26	1.84	1.19	1.68	6.04	1.35
河北	7.37	5.26	5.11	5.00	6.45	7.82	2.01	2.20
山西	4.83	2.23	1.93	1.94	6.19	7.79	1.84	3.72
内蒙古	3.21	1.57	1.80	1.82	4.79	4.06	2.44	2.63
辽宁	5.97	2.91	4.05	4.66	4.53	6.75	3.39	1.91
吉林	2.45	1.67	1.90	1.93	1.45	2.55	2.44	1.89
黑龙江	3.43	2.52	2.69	3.08	1.72	3.92	2.58	1.66
上海	3.35	1.17	5.8	4.83	2.18	3.19	8.73	1.03
江苏	6.05	5.70	8.75	8.95	5.57	6.06	3.32	1.01
浙江	4.48	4.56	6.54	6.46	3.30	3.92	3.00	1.04
安徽	2.79	5.25	2.69	2.83	2.16	3.21	1.14	1.47
福建	2.29	2.70	3.36	3.72	1.37	1.73	2.92	0.92
江西	1.61	3.10	2.09	2.00	2.00	1.64	1.37	1.20
山东	8.20	7.47	8.33	8.76	8.64	8.04	2.48	1.40
河南	5.46	8.44	4.93	5.06	5.38	5.95	1.27	1.61
湖北	3.91	3.97	3.15	3.44	2.88	3.54	1.84	1.69
湖南	3.26	5.45	3.16	3.44	3.80	2.79	1.33	1.41
广东	6.61	6.51	7.68	11.35	4.71	5.43	3.69	0.87
广西	1.84	3.99	2.04	2.05	3.83	1.45	1.09	1.33
海南	0.32	0.55	0.73	0.51	0.10	0.21	1.98	0.94
重庆	1.62	2.57	1.94	1.59	3.67	1.37	1.31	1.53
四川	4.48	6.94	3.93	3.92	5.50	3.12	1.19	1.71
贵州	2.64	3.24	1.53	0.99	6.64	2.74	0.65	3.96
云南	2.30	3.65	2.46	1.88	2.00	2.08	1.09	1.82
陕西	2.06	2.84	2.65	1.82	3.50	2.28	1.35	1.69
甘肃	1.77	1.95	1.13	1.03	2.06	1.74	1.12	2.56
青海	0.62	0.39	0.52	0.27	0.31	0.32	1.47	3.42
宁夏	0.92	0.44	0.57	0.29	1.26	0.89	1.41	4.67
新疆	2.15	1.10	2.22	1.31	1.86	2.03	2.50	2.45
地区 1	31.92	20.77	20.76	19.24	35.56	36.69	1.96	2.47
地区 2	37.51	49.11	35.94	35.82	39.26	36.30	1.54	1.56
地区 3	30.57	30.12	43.31	44.95	25.19	27.01	3.16	1.01
东部地区	48.66	38.67	56.67	59.30	38.99	46.52	3.24	1.22
中部地区	26.13	29.55	20.45	21.72	23.58	29.75	1.54	1.74
西部地区	23.60	28.68	20.80	16.97	35.44	22.08	1.25	2.07

注:(1) e 表示能源投入份额;l 表示劳动投入份额;k 表示资本投入份额,y 表示 GRP 份额。(2) 投入产出份额单位为%, 劳均 GRP 单位为万元,能耗强度单位为吨标准煤/万元。(3) 由于数据只保留了小数点后两位,可能加总之和会不等于 100; (4) 地区 1 为高能耗地区,地区 2 为中等能耗地区,地区 3 为低能耗地区。

## (二) 实证结果分析

我们根据前述修正的 VRS 方向性距离函数以及得到的样本数据,运用非参数的 DEA 方法测算了

1998 - 2007 年中国各省份的全要素能源效率。<sup>①</sup>图 1 是 1998 - 2007 年全国及各个区域的全要素能源效率，表 3 是 1998 - 2007 年中国各省份的全要素能源效率。

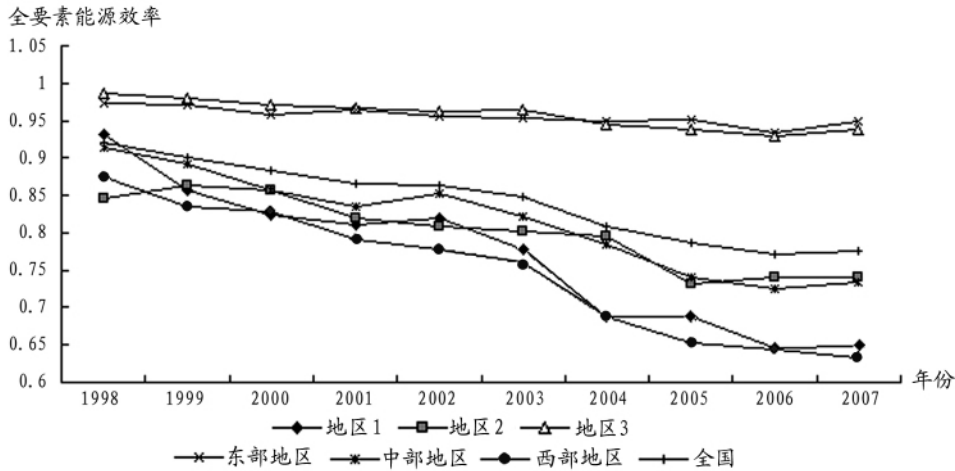


图 1 1998 - 2007 年全国及各个区域的全要素能源效率

表 3 1998 - 2007 年中国各省份的全要素能源效率

省份	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	均值
北京	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
天津	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
河北	0.737	0.7127	0.6842	0.6626	0.6255	0.6003	0.5909	0.7019	0.5461	0.5466	0.6408
山西	1	0.9085	0.8361	0.7611	1	1	0.7935	0.665	0.5838	0.6184	0.8166
内蒙古	1	0.9591	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9959
辽宁	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
吉林	1	0.9204	0.8149	0.876	0.8032	0.778	0.8329	0.7792	0.696	0.7605	0.8261
黑龙江	1	1	1	1	1	1	1	0.8798	0.9538	1	0.9834
上海	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
江苏	0.9784	0.9778	0.9952	1	0.9863	1	0.968	0.975	0.934	0.9946	0.9809
浙江	0.9865	0.9895	0.8685	0.9363	0.9038	0.9261	0.9025	0.9068	0.8966	0.9767	0.9293
安徽	0.7373	0.7313	0.7113	0.6995	0.7199	0.6876	0.6995	0.7155	0.7171	0.7094	0.7128
福建	1	1	1	1	1	0.9715	0.9773	0.8843	0.895	0.9141	0.9642
江西	0.8938	0.8664	0.8481	0.8195	0.799	0.7875	0.755	0.7925	0.7568	0.721	0.804
山东	1	0.9987	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9999
河南	0.8233	0.8039	0.7882	0.7765	0.7538	0.7393	0.6927	0.6913	0.6902	0.6798	0.7439
湖北	1	0.9272	0.8672	0.7823	0.8291	0.6917	0.6831	0.6747	0.6635	0.6508	0.777
湖南	0.8538	0.9783	0.9875	0.965	0.9075	0.8946	0.8259	0.7222	0.7319	0.7287	0.8595
广东	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
广西	1	0.9607	1	0.9194	0.935	0.9498	0.8399	0.8239	0.8018	0.7759	0.9006
海南	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
重庆	0.7769	0.8045	0.7416	0.7531	0.7314	0.9084	0.8667	0.7075	0.7058	0.7072	0.7703
四川	0.8794	0.8134	0.8865	0.8763	0.8297	0.8122	0.7679	0.8038	0.7915	0.7835	0.8244
贵州	1	0.6805	0.5691	0.5357	0.4991	0.3775	0.34	0.3554	0.3479	0.3404	0.5046
云南	0.6996	0.7453	0.7753	0.7056	0.6273	0.5818	0.8094	0.4959	0.4987	0.522	0.6461
陕西	0.6814	0.8328	0.8028	0.6375	0.6787	0.7122	0.6138	0.6346	0.6518	0.6233	0.6869
甘肃	1	0.7807	0.7696	0.7243	0.6801	0.6197	0.588	0.5575	0.5261	0.5192	0.6765
青海	1	1	1	1	1	0.8342	0.7361	0.8282	0.7713	0.734	0.8904
宁夏	1	1	1	1	1	1	0.4601	0.4608	0.4357	0.4075	0.7764
新疆	0.5747	0.6062	0.5688	0.5551	0.5794	0.5624	0.5369	0.521	0.5434	0.5499	0.5598
地区 1	0.9312	0.8568	0.8243	0.8115	0.8187	0.7772	0.6878	0.6869	0.645	0.6477	0.7687
地区 2	0.8452	0.8635	0.856	0.8196	0.8077	0.8028	0.7959	0.7325	0.7404	0.7405	0.8004
地区 3	0.9859	0.9794	0.9712	0.9675	0.9624	0.9635	0.9443	0.9383	0.9284	0.9382	0.9579
东部地区	0.9729	0.9708	0.9589	0.9635	0.956	0.9544	0.949	0.9516	0.9338	0.9484	0.9559
中部地区	0.9135	0.892	0.8567	0.835	0.8516	0.8223	0.7853	0.74	0.7241	0.7336	0.8154
西部地区	0.8738	0.8348	0.8285	0.7915	0.7782	0.7598	0.6872	0.6535	0.6431	0.633	0.7483
全国	0.9207	0.8999	0.8838	0.8662	0.863	0.8478	0.8093	0.7859	0.7713	0.7755	0.8423

<sup>①</sup>方向性距离函数既可以运用非参数的 DEA 方法计算,也可以运用参数的线性规划和 SFA(随机边界分析)方法计算(Färe et al. 2005)。本文按照大多数文献选择非参数的 DEA 方法。

从国家层面来看,中国 1998 - 2007 年的全要素能源效率平均为 0.8423,这意味着在既定的劳动和资本投入下,中国平均每年可以分别节约能源、减少污染排放和增加产出 15.77%。从历年变化来看,中国全要素能源效率除了 2007 年略有回升之外,整体上处于持续下滑状态,从 1998 年的 0.9207 降到 2007 年的 0.7755。这主要是由于我国近些年经济发展过热,高耗能、高排放行业快速增长,大批淘汰的落后产能屡禁不止并不断扩张,导致整体能源效率持续下滑。“十一五”规划出台后,在国家相关打压政策下,2007 年效率值才有所回升。若分阶段来看,2003 年之后全要素能源效率有一个明显的下降,从 0.8478 降到 2004 年的 0.8093。这主要是 2003 年后,中国的重工业化趋势再度显现,房地产和汽车工业的快速发展,基础设施投资的持续加大,机电和化工等产品出口份额的增加,所有这些都带动了采掘业、石油和金属加工业、建材及非金属矿物制品业、化工和机械设备制造等重工业行业的急剧膨胀,中国的能耗和排放再次大幅增长(陈诗一, 2009)。

从区域层面来看,低能耗地区 1998 - 2007 年全要素能源效率的平均值为 0.9579,其变化趋势与全国水平趋于一致。高能耗地区 1998 - 2007 年全要素能源效率的平均值为 0.7687,除 2001 - 2002 年有所上升以外,其他年份处于大幅下滑状态。中等能耗地区 1998 - 2007 年全要素能源效率的平均值为 0.8004,在 1998 年效率值低于高能耗地区,但由于下降幅度较小,在 2004 年以后效率值开始高于高能耗地区。再从东中西部地区的传统划分来看,东部地区、中部地区和西部地区 1998 - 2007 年全要素能源效率的平均值依次为 0.9559、0.8154 和 0.7483。这不同于 Hu 和 Wang(2006)以及袁晓玲等(2009)“东部最高,西部次之,中部最差”的结果,可能是因为研究方法和指标选取的不同所造成的。Hu 和 Wang(2006)虽然使用了全要素能源效率指标,但他们没有加入非合意产出的考量。袁晓玲等(2009)虽然在全要素能源效率的基础上考虑了非合意产出,但在模型的设计上,却没有区分能源同资本和劳动两种要素,在这种情况下测算的效率值,可以说是全要素效率值,但不是全要素能源效率值。从变化趋势上看,东部地区和中部地区虽然整体上是下降态势,但在 2007 年出现回转,这与国家整体趋势一致,说明中央“十一五规划”中对污染和能耗的政策开始发挥作用。但西部地区情况却未好转,在 2005 年以后仍处于下降趋势。说明应当在西部地区进一步强化落实中央“十一五规划”中的能源环境政策。而且,在下降的幅度上,西部地区最大(0.2408),中部地区次之(0.1799),东部地区最小(0.0245)。另外,由于高能耗地区多分布在西部地区,中等能耗地区多在中部地区,低能耗地区多在东部地区的原因,低能耗地区效率值与东部地区较为接近,中等能耗地区效率值与中部地区较为接近,而西部地区则与高能耗地区相似。上述情况,说明了我国高能耗低效率的经济特点。

从省级层面来看,我们发现在 1998 年有 18 个省份在生产边界上,而 2007 年仅仅有 9 个省份在生产边界上,这也进一步说明中国在研究的样本期间全要素能源效率的下降。辽宁、北京、天津、上海、海南和广东 6 省市表现最好,历年均处在生产边界上,这一结果与曾贤刚(2010)的不完全一致,可能是因为对 VRS 的分解处理的缘故。另外,山东、内蒙古、福建、黑龙江和江苏 5 省区的部分年份也在生产边界上,而且其效率均值也在 0.98 以上,属于全要素能源效率较高地区;而贵州省则表现最差,全要素能源效率平均值为 0.5046,并且其效率值的下降幅度最大(0.6596),贵州省之所以表现最差,不仅是因为它超低的劳均 GRP(0.65),而且还受较高的污染排放水平所影响。对于能耗强度最大的宁夏省,效率均值则达到 0.7764。另外两个高能耗的省份山西和青海,其效率均值分别为 0.8166 和 0.8904。这也从侧面反映出单要素能源效率指标——能耗强度并不能准确衡量能源效率情况。另外,效率值最高的前七个省份均在东部,在排名前十位中还有西部的内蒙古自治区和中部的黑龙江省。在排名的最后六位中,除河北省外,均属于西部省份。为了考察在样本期间各省的全要素能源效率的差距是否变大,我们计算了全要素能源效率的变异系数发现,省际全要素能源效率趋于发散,变异系数由 1998 年的 0.1355 增加到 2007 年的 0.2632,这与师博和张良悦(2008)的研究结论一致。

#### 四、影响全要素能源效率的因素分析

前文分析了中国各省市在具体约束条件下的能源效率,这一部分将分析影响全要素能源效率的因素。本文的研究主要是根据相关的经济理论、前人的研究以及自己的思考来确定这些因素。在某些情况下,这些因素的选择还受数据可得性的限制。本文主要考察以下因素对全要素能源效率的影响:

1. 发展水平,用不变价格的人均 GRP 的对数( $GRPPC$ )表示。该指标主要影响能源的消费结构。一般



来说,经济越发达的地区,居民越倾向于使用清洁型和高效率能源,如电力。由于煤炭的使用效率较低,另外燃烧过程中还会产生大量的SO<sub>2</sub>等污染物,因此人们不会倾向使用煤炭。当经济发展程度较高时,会转而使用其他高效、清洁能源,进而使得总能源消耗下降(陈媛媛、王海宁,2010)。

2. 外商直接投资,用外商直接投资占GRP的比重(FDI)表示。外商直接投资是技术进步的重要来源,一方面,相对于内资企业,外资本身采取的先进能源使用技术会直接造成行业能源效率的提高;另一方面,外资企业对内资企业技术的溢出也可能造成行业能源效率的提高(姜磊、吴玉鸣,2009)。

3. 结构因素。对于结构调整,尤其是产业结构调整目前成为各级政府在短期内实现节能降耗的重要手段(魏楚、沈满洪,2008)。本文需要对结构调整是否能够改善全要素能源效率进行检验。我们选择的结构因素主要包括禀赋结构(由资本-劳动比的对数表示,ln(K/L))、产业结构(由第二产业增加值占GRP的份额表示,GYH)、所有制结构(由国有及国有控股企业总产值与工业总产值的比重表示,GYHBZ)、以及能源结构(由折合为标准煤以后的煤炭消费量占能源消费总量的比重表示,NYJG)。

4. 价格指数,用以2000年为基期原材料、燃料、动力购进价格指数对能源价格作近似替代(JGZS)。Newell等(1999)运用产品特性框架为能源价格诱发技术进步提供了证据,他们发现能源价格对电气设备的能源效率有正的影响。

5. 企业的环境管理能力,用工业SO<sub>2</sub>去除率(工业SO<sub>2</sub>去除量比上去除量与排放量之和,SQCL)表示。企业是能源使用和污染排放的微观主体,所以企业的环境管理能力对环境约束下的能源绩效有显著的影响。

由于中国省际和区域能源效率值大于0小于1,为了检验能源效率和影响其因素的关系,我们把全要素能源效率作为因变量,运用处理限值因变量的Tobit模型进行分析。模型构建如下:

$$TE_{i,t}^* = C + \beta_1 GRPPC_{i,t} + \beta_2 FDI + \beta_3 \ln(K/L)_{i,t} + \beta_4 GYH_{i,t} + \beta_5 GYHBZ_{i,t} + \beta_6 NYJG_{i,t} + \beta_7 JGZS_{i,t} + \beta_8 SQCL_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (10)$$

$$TE_{i,t} = \text{Max}(0, TE_{i,t}^*) \quad (11)$$

其中*i*和*t*分别表示不同省份和不同年份的对应值,TE<sub>*i,t*</sub><sup>\*</sup>为潜变量,TE<sub>*i,t*</sub>为本文计算的不同时期不同地区的全要素能源效率,ε<sub>*i,t*</sub>为随机误差项。

为了考察各影响因素在不同区域的影响,我们不仅对全国进行了回归分析,而且还分区域进行了检验,表4给出了回归结果。首先,人均GRP对全要素能源效率有重要的影响,随着人均GRP的增加,全要素能源效率也显著增长。陈媛媛和王海宁(2010)认为人均实际收入越高,人们越偏向使用清洁、高效能源如电力、天然气来代替“肮脏”、低效的能源如煤炭,因此会导致能源消耗总量下降,能源效率提高。各个区域随着经济的发展,也会提高全要素能源效率,而且人均GRP的增加对西部地区影响最大。因此,促进西部地区经济发展对全要素能源效率的改进也就具有更重要的意义。

表4 全要素能源效率的影响因素分析

变量	全国		东部地区		中部地区		西部地区	
	系数	Z-Stat	系数	Z-Stat	系数	Z-Stat	系数	Z-Stat
C	-3.7955	-7.0166**	-3.5788	-1.8495 <sup>‡</sup>	-3.2902	-2.6387	-4.259	-3.7928**
GRPPC	0.6048	9.3429**	0.4695	2.1943*	0.4854	3.0985**	0.6918	5.3085**
FDI	5.857	8.5645**	5.5499	5.7675**	4.9914	5.1475**	9.7189	4.8185**
LN(K/L)	-0.3543	-7.3522**	-0.2272	-1.5722 <sup>‡</sup>	-0.4026	-4.2457**	-0.4001	-4.4899**
GYH	-0.5156	-3.2163**	3.6975	3.8347**	-0.0127	-0.0948	-1.2195	-2.2141*
GYHBZ	0.5339	6.2559**	2.2237	4.2568**	0.6432	6.3496**	0.3693	1.9615*
NYJG	0.0915	1.5306 <sup>‡</sup>	-2.1325	-4.1066**	0.1001	1.7121 <sup>‡</sup>	0.3346	2.4737**
JGZS	-0.4503	-6.2272**	-0.8588	-4.6139**	-0.1566	-1.1605	-0.5165	-3.2906**
SQCL	-0.2671	-4.6232**	0.7318	2.3696*	-0.2478	-3.478**	-0.3118	-2.7845**
Sigma	0.1375	18.4442**	0.0958	7.8148**	0.0726	11.2588**	0.1577	12.4248**

注:\*\*表示估计系数在1%水平上显著,\*代表估计系数在5%水平上显著,‡表示估计系数在10%水平上显著,+表示估计系数在15%水平上显著;Sigma是Tobit回归的规模参数。

关于FDI对于全要素能源效率的影响,这将涉及到“污染天堂”假说。我们的研究结果显示,FDI对全要素能源效率具有显著的正向作用。说明“污染天堂”假说并不成立,加强引进外资对我们改善全要素能源效率依然有进步意义。这主要是因为外商直接投资是技术进步的重要来源,一方面,外资本身采取的先进能源使用技术会直接造成行业能源效率的提高;另一方面,外资企业对内资企业技术的溢出也会造成行业能源

效率的提高(姜磊、吴玉鸣 2009)。在 FDI 对区域全要素能源效率的影响上,东中西部地区都很显著,而且对西部地区影响最大。事实上,FDI 不仅在时间上影响能源效率,在空间上也具有外溢效应(张贤、周勇,2007)。这也与徐盈之和管建伟(2011)等多数学者的结论一致。因此,加强西部地区对外资的引进能更加显著地提高我国的全要素能源效率水平。

结构因素中,反映禀赋结构的资本-劳动比对全要素能源效率有显著的负作用,这与我们的预期并不一致。但是魏楚和沈满洪(2008)在研究禀赋结构对全要素能源效率的影响时也得出同样的结论。一般认为,资本的深化可以替代其他投入要素,会促进全要素能源效率的提高,应该表现为正的影响。我们的研究结果显示,资本在目前应该处于还没有对能源形成很好替代的阶段。其次,由于近些年各地区之间的竞争加剧,为了争夺资本,出现的过度资本深化现象偏离了中国的劳动力资源优势(林毅夫、刘培林 2004),过快的资本深化代替了相对富裕的劳动力,最终导致整体能源效率下滑。从东中西部地区的影响大小来看,东部地区影响系数较小,且不如中部地区和西部地区显著。

产业结构对我国整体以及中西部地区全要素能源效率有显著的负影响,但是对我国东部地区的影响却为正。目前关于产业结构对能源效率的影响方向并没有形成一致的结论。一般认为,第二产业作为能源的主要消费行业,其比重的增加会降低能源效率。比如魏楚和沈满洪(2008)、董利(2008)、吴琦和武春友(2009)、汪克亮等(2010)用传统 DEA 模型计算的能源效率作为因变量的研究显示,第二产业对全国及其他地区的能源效率影响为负。成金华和李世祥(2010)的研究结果虽然也证明第二产业对全国及部分地区能源效率的影响为负,但是对东北老工业基地的能源效率影响为正,因为在振兴东北老工业基地的战略下,这一地区的工业结构出现了高端化趋势。我们认为,第二产业是我国能源消费的主体,能源使用的密集性很高,所以第二产业的发展有利于集中改善全要素能源效率,而且由于其在 GDP 中所占的比重较大,第二产业全要素能源效率的提高对全国整体水平影响重大。东部地区由于经济发展水平较高,全要素能源水平也较高,能源使用技术更为先进,所以东部地区第二产业的发展对全要素能源效率有正的影响;西部地区第二产业经济发展水平不高,工业化水平较低,第二产业发展较慢,市场发育程度不完善,产业配套条件差(韦苇,2005),所以导致中西部地区第二产业对全要素能源效率的影响为负。这也说明产业结构本身对全要素能源效率并没有必然的影响,主要是产业发展状况以及技术水平影响着全要素能源效率。吴巧生等(2005)的研究也认为,从长期来看工业发展对全要素能源效率的改进是有利的。所以,加强西部地区的经济发展,加快西部地区先进技术的引进,提高其工业化的质量才是改善全要素能源效率的关键。

国有及国有控股企业总产值占工业总产值比重的增加对全要素能源效率的影响为正。近些年,随着国有企业改革的推进,国有企业组织结构明显优化,技术装备水平大幅提高,技术创新能力明显增强,现代企业制度初步建立,企业管理体制和经营机制发生了深刻变化(李融荣 2009)。也正是国有企业市场化改革取得的这些显著成绩,使得国有及国有控股的企业总产值与工业总产值的比重增加与全要素能源效率的提高成正相关。这个结论之所以与魏楚和沈满洪(2008)用国有企业职工占就业总人口的比重作为代理变量的研究结果并不一致,一方面可能是因为指标选取的不同,另一方面可能是研究方法的差异。

一般来说,作为非清洁能源,煤炭的使用既不如电力、风能、水能和天然气等清洁能源高效,又会带来较多污染,所以增加它的使用将会降低全要素能源效率。但是我们的研究结果显示:煤炭在能源消费总量中的比重增加对全国以及中西部地区全要素能源效率有正的作用,对东部地区有负的作用。近些年来,中国工业部门的扩张并不是由自身的技术结构升级引起的,而是由重型化的高能耗产业投资膨胀引起的,这导致能源密集型工业结构与生产技术结构的特性具有刚性。这种刚性的高能耗结构使得煤炭的使用与全要素能源效率之间呈现出正的相关性(李世祥、成金华 2009;董利 2008)。但是由于我国东中西部区域经济发展水平差距较大,东部经济发展的质量和层次明显高于中西部地区,东部地区的经济模式已经适应了市场化的要求。在这种情况下,增加东部地区非清洁能源煤炭的使用则与全要素能源效率呈现负相关性。魏楚和沈满洪(2008)、汪克亮等(2010)用传统 DEA 模型计算的能源效率作为因变量的研究发现能源结构的影响为负,这个结果与本文对东部地区的发现一致。尽管在理论上我们也期待这种结果,但是对局部地区的深入分析可能会有更清楚的认识。而且,刘立涛和沈镭(2010)的研究也发现能源结构与能源效率正相关。

能源价格与全要素能源效率负相关,这一结果并不符合我们的预期。一般认为提高能源价格会促使经济研发使用新的节能技术,改善经营和管理,提高能源使用的效率。刘红玫和陶全(2002)、杭雷鸣和屠梅

曾(2004) 杨洋等(2008)对能源价格同能耗强度的回归结果显示,能源价格上升会带来能耗强度的下降;汪克亮等(2010)也认为能源价格对能源效率影响为负;而成金华和李世祥(2010)用DEA-CCR模型计算的能源效率显示,能源价格对全国及其他地区的能源效率影响为负,但是对东北老工业基地及13个主要省市的影响为正。事实上,当能源价格上涨时,如果其他投入要素价格没有相似幅度的增长,理性条件下就会要求减少能源投入。可是,如果实际能源投入不能立即尽可能得到消减,所测得的全要素能源效率就会下降。相反,当能源价格下降时,最优解要求增加能源使用。这时,如果实际能源投入也不能立即尽可能增加,所测得的全要素能源效率值就会上升。负的相关系数表明,从整体上看,我国刚性的能源需求结构很难对能源价格波动做出及时反应以迅速调整投入要素比例(李世祥、成金华,2009)。另一个可能的解释就是,在中国经济发展现阶段,市场机制发展还不成熟,再加上能源的管制和垄断,最终使得要素的价格不能充分反映市场的需求。

SO<sub>2</sub>去除率在全国以及中西部地区与全要素能源效率呈负相关,在东部地区与全要素能源效率呈正相关。首先,SO<sub>2</sub>的去除虽然减少了污染物排放,但是由于减排需要投入成本,也会减少合意产出量,进而会影响到全要素能源效率,而这种影响程度的大小就体现在对全要素能源效率的影响方向上。若减排的技术成本对企业来说很高,强制提高SO<sub>2</sub>去除率就会导致全要素能源效率的下降;若企业的减排技术能够适应这种环境管制,强制提高SO<sub>2</sub>去除率就不会导致全要素能源效率的下降。因此,东部地区与中西部地区不同的影响方向就说明了东部地区企业能够承受环境管制的影响,而中西部地区企业在当前技术水平下,在不阻碍全要素能源效率的情况下还无力承担环境管制的压力。

## 五、结论

由于大量的全要素能源效率的文献是在CRS下测算,并且没有考虑环境污染,从而使得测算结果存在偏差。本文运用修正的VRS下基于DEA的方向性距离函数测算了1998-2007年环境约束下的中国省际全要素能源效率,并对影响中国全要素能源效率的因素进行了实证分析。

我们发现,在样本期间,全国全要素能源效率整体处于持续下滑状态,但从2006年开始,由于中央“十一五规划”中对污染和能耗的政策已开始发挥作用,各地区全要素能源效率值有所回升。从东中西部地区划分来看,东部地区效率最高,其次是中部地区,西部地区效率最低。而且,在下降的幅度上,西部地区最大,中部地区次之,东部地区最小。从各个省份看,广东、辽宁、上海、北京、天津和海南6省市表现最好;山东、江苏、黑龙江、内蒙古和福建5省区效率值也较高,属于能源高效地区;云南、新疆、河北和贵州属于能源低效地区,其中贵州效率均值全国最低。

我们也考察了影响全要素能源效率的因素。人均GRP和FDI对全要素能源效率有显著的正影响。一方面,说明加快经济发展和引进外资是提升我国全要素能源效率的重要手段;另一方面,引进外资对西部地区的影响明显大于对东部地区和中部地区的影响,因此若在外资引进上对西部地区有所倾斜的话,将会对我国全要素能源效率的提高更加有利。禀赋结构对全要素能源效率的影响为负,资本的过度深化偏离了目前我国经济发展的现实特点。因此,结合我国经济的资源禀赋制定适宜我国当前经济现状的政策才更加合理。由于我国地区经济发展的不平衡性,东部地区在产业结构、能源结构以及企业环境管制能力等方面对全要素能源效率的影响上都表现出与中西部地区不同的特点。根据这种状况出现的原因,提高中西部地区技术水平,加快中西部地区市场化推进,进而提升其经济发展的水平和质量是改善中西部地区全要素能源效率的关键。受我国经济发展阶段和特点的限制,价格的市场化在当前还不宜推进,而首先应当弱化当前我国经济高能耗高产出的特点。

当然,本文研究的时期相对较短,没有考虑其他的污染排放物,选取影响因素指标的主观性等,这些研究的不足都可能影响到评价各个省份全要素能源效率的准确性,以及某些结论的说服力,这也将是我們下一步研究的方向。

### 参考文献:

1. 陈茹、王兵、卢金勇,2010,《环境管制与工业生产率增长:东部地区的实证研究》,《产经评论》第2期。
2. 陈诗一,2009,《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》,《经济研究》第4期。
3. 陈媛媛、王海宁,2010,《FDI对省际工业能源效率的影响》,《当代财经》第7期。

4. 陈军、成金华 2010 《内生创新、人文发展与中国能源效率》，《中国人口·资源与环境》第4期。
5. 成金华、李世祥 2010 《结构变动、技术进步以及价格对能源效率的影响》，《中国人口·资源与环境》第4期。
6. 董利 2008 《我国能源效率变化趋势的影响因素分析》，《产业经济研究》第1期。
7. 樊茂清、任若恩、陈高才 2009 《技术变化、要素替代和贸易对能源强度影响的实证研究》，《经济学(季刊)》第1期。
8. 傅晓霞、吴利学 2006 《随机生产前沿方法的发展及其在中国的应用》，《南开经济研究》第2期。
9. 杭雷鸣、屠梅曾 2004 《能源价格对能源强度的影响——以国内制造业为例》，《数量经济技术经济研究》第12期。
10. 何文强、汪明星 2009 《全要素能源效率的 DEA 模型评价——基于中国 1991 - 2007 年数据的实证检验》，《上海商学院学报》第5期。
11. 胡鞍钢、郑京海、高宇宁、张宁、许海萍 2008 《考虑环境因素的省级技术效率排名(1999 - 2005)》，《经济学(季刊)》第3期。
12. 蒋金荷 2004 《提高能源效率与经济结构调整的策略分析》，《数量经济技术经济研究》第10期。
13. 姜磊、吴玉鸣 2009 《外商直接投资与能源效率关系的实证分析》经济发展论坛工作论文。
14. 李国璋、霍宗杰 2009 《中国全要素能源效率、收敛性及其影响因素——基于 1995 - 2006 年省际面板数据的实证分析》，《经济评论》第6期。
15. 李国璋、霍宗杰 2010 《我国全要素能源效率及其收敛性》，《中国人口·资源与环境》第1期。
16. 李融荣 2008 《关于国有企业改革发展的报告》载《学习时报》4月21日。
17. 李世祥、成金华 2009 《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》，《财经研究》第7期。
18. 林毅夫、刘培林, 2004 《地方保护和市场分割: 从发展的战略角度考察》, 北京大学中国经济研究中心讨论稿, No. C2004015。
19. 刘红玫、陶全 2002 《大中型工业企业能源密度下降的动因探析》，《统计研究》第9期。
20. 刘立涛、沈镭 2010 《中国区域能源效率时空演进格局及其影响因素分析》，《自然资源学报》第12期。
21. 齐绍洲 2010 《中欧能源效率差异与合作》，《国际经济评论》第1期。
22. 齐志新、陈文颖、吴宗鑫 2007 《工业轻重结构变化对能源效率的影响》，《中国工业经济》第2期。
23. 师博、张良悦 2008 《区域能源效率收敛性分析》，《当代财经》第2期。
24. 史丹 2006 《中国能源效率的地区差异与节能潜力分析》，《中国工业经济》第10期。
25. 涂正革 2008 《环境、资源与工业增长的协调性》，《经济研究》第2期。
26. 王兵、吴廷瑞、颜鹏飞 2008 《环境管制与全要素生产率增长: APEC 的实证研究》，《经济研究》第5期。
27. 王兵、吴廷瑞、颜鹏飞 2010 《中国区域环境效率与环境全要素生产率增长——基于 SBM 方向性距离函数的实证分析》，《经济研究》第5期。
28. 汪克亮、杨宝臣、杨力 2010 《考虑环境效应的中国省际全要素能源效率研究》，《管理科学》第12期。
29. 王霞、淳伟德 2010 《我国能源强度变化的影响因素分析及其实证研究》，《统计研究》第10期。
30. 魏楚、沈满洪 2007 《能源效率及其影响因素: 基于 DEA 的实证分析》，《管理世界》第8期。
31. 魏楚、沈满洪 2008 《结构调整能否改善能源效率: 基于中国省际数据的研究》，《世界经济》第11期。
32. 魏楚、沈满洪 2009 《能源效率研究发展及趋势: 一个综述》，《浙江大学学报(人文社会科学版)》第3期。
33. 韦苇 2005 《中国西部经济发展报告 2005》，中国社会科学文献出版社 2005 年版。
34. 吴军 2009 《环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛分析》，《数量经济技术经济研究》第11期。
35. 吴琦、武春友 2009 《基于 DEA 的能源效率评价模型研究》，《管理科学》第1期。
36. 吴琦 2010 《中国省域能源效率评价研究》, 大连理工大学博士学位论文。
37. 吴巧生、成金华 2006 《中国工业化中的能源消耗强度变动及因素分析——基于分解模型的实证分析》，《财经研究》第6期。
38. 吴巧生、成金华、王华 2005 《中国工业化进程中的能源消费变动——基于计量模型的实证分析》，《中国工业经济》第4期。
39. 吴廷瑞 2008 《生产率对中国经济增长的贡献: 新的估计》，《经济学(季刊)》第3期。
40. 夏炎、陈锡康、杨翠红 2010 《产出技术的能源效率新指标——生产能耗综合指数》，《管理评论》第2期。
41. 徐盈之、管建伟 2011 《中国区域能源效率趋同性研究: 基于空间经济学视角》，《财经研究》第1期。
42. 杨红亮、史丹 2008 《能效研究方法和中国各地区能源效率的比较》，《经济理论和经济管理》第3期。
43. 杨继生 2009 《国内外能源相对价格与中国的能源效率》，《经济学家》第4期。
44. 杨文举 2008 《适宜技术理论与中国地区经济差距》，《经济评论》第3期。
45. 杨中东 2010 《中国制造业能源效率的影响因素: 经济周期和重化工工业化》，《统计研究》第10期。
46. 杨洋、王非、李国平 2008 《能源价格、产业结构、技术进步与我国能源强度的实证检验》，《统计与决策》第11期。
47. 尹宗成、丁日佳、江瀚宇 2008 《FDI、人力资本、R&D 与中国能源效率》，《财贸研究》第9期。
48. 袁晓玲、张宝山、杨万平 2009 《基于环境污染的中国全要素能源效率研究》，《中国工业经济》第2期。
49. 曾胜、黄登仕 2009 《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》，《数量经济技术经济研究》第8期。
50. 曾贤刚 2010 《我国能源效率、CO<sub>2</sub> 减排潜力及影响因素分析》，《中国环境科学》第10期。
51. 张军、吴桂英、张吉鹏 2004 《中国省际物质资本存量估算: 1952 - 2000》，《经济研究》第10期。
52. 张贤、周勇 2007 《外商直接投资对我国能源强度的空间效应分析》，《数量经济技术经济研究》第1期。

53. 张炎治、聂锐 2009 《我国进出口贸易对能源强度的影响效应》，《中国矿业》第4期。
54. Arcelus ,F. J. ,and P. Arocena. 2005. “Productivity Differences across OECD Countries in the Presence of Environmental Constraints.” *Journal of the Operational Research Society* 56( 12) : 1352 – 1362.
55. Beede ,D. N. ,D. E. Bloom and D. Wheeler. 1993. “Measuring and Explaining Cross – establishment Variation in the Generation and Management of Industrial Waste.” World Bank ,Discussion Paper ,Presented to the American Economic Association.
56. Chung ,Y. H. ,R. Färe ,and S. Grosskopf. 1997. “Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach.” *Journal of Environment Management* 51( 3) : 229 – 240.
57. Färe ,R. and S. Grosskopf. 2004. *New Directions: Efficiency and Productivity*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
58. Färe ,R. ,S. Grosskopf ,D. Noh ,and W. Weber 2005. “Characteristics of a Polluting Technology: Theory and Practice.” *Journal of Econometrics* ,126( 2) : 469 – 492.
59. Färe ,R. ,S. Grosskopf ,and C. A. Pasurka Jr. 2007. “Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions.” *Energy* 32( 7) : 1055 – 1066.
60. Färe ,R. and S. Grosskopf. 2009. “A Comment on Weak Disposability in Nonparametric Production Analysis.” *American Journal of Agricultural Economics* 92( 2) : 535 – 538.
61. Hu J. L. ,and S. C. Wang. 2006. “Total – factor Energy Efficiency of Regions in China.” *Energy Policy* 34( 17) : 3206 – 3217.
62. Jeon ,B. M. ,and R. C. Sickles. 2004. “The Role of Environmental Factors in Growth Accounting.” *Journal of Applied Econometrics* , 19( 5) : 567 – 591.
63. Kuosmanen ,T. 2005. “Weak Disposability in Nonparametric Production Analysis with Undesirable Outputs.” *American Journal of Agricultural Economics* 87( 4) : 1077 – 1082.
64. Mukherjee ,Kankana. 2010. “Measuring Energy Efficiency in the Context of an Emerging Economy: The Case of Indian Manufacturing.” *European Journal of Operational Research* 201( 3) : 933 – 941.
65. Newell ,R. G. ,A. B. Jaffe ,and R. N. Stavins. 1999. “The Induced Innovation Hypothesis and Energy – saving Technological Change.” *Quarterly Journal of Economics* ,114( 3) : 941 – 975.
66. Picazo – Tadeo ,A. J. ,E. Reig – Martinez ,and F. Hernández – Sancho. 2005. “Directional Distance Functions and Environmental Regulation.” *Resource and Energy Economics* 279( 2) : 131 – 142.
67. Shephard ,R. W. 1974. “Indirect Production Functions.” *Mathematical Systems in Economics* ,Vol. 10. Verlag Anton Hain: Meisenheim Am Glan Hain ,Germany.
68. Yeh ,Tsai – lien ,Tser – yieth Chen , and Pei – ying Lai. 2010. “A Comparative Study of Energy Utilization Efficiency between Taiwan and China.” *Energy Policy* 38( 5) : 2386 – 2394.
69. Patterson ,M. 1996. “What is Energy Efficiency? Concepts ,Indicators and Methodological Issues.” *Energy Policy* 24( 5) : 377 – 390.
70. Watanabe ,M. ,and K. Tanaka 2007. “Efficiency Analysis of Chinese Industry: A Directional Distance Function Approach.” *Energy Policy* 35( 12) : 6323 – 6331.
71. Weber ,W. L. ,and B. Domazlicky. 2001. “Productivity Growth and Pollution in State Manufacturing.” *Review of Economics and Statistics* 83( 1) : 195 – 199.

## **Total – Factor Energy Efficiency and Influencing Factors across Provinces in China in the Presence of Environmental Regulation**

Wang Bing Zhang Jihui and Zhang Hua  
( Economics School , Jinan University)

**Abstract:** In this paper ,directional distance function based on the DEA method has been used to calculate the total factor energy efficiency from 1998 to 2007 of China’s provinces in the presence of environmental regulation ,and test the factors affecting energy efficiency. The results of our study show that: Total factor energy efficiency of our sample period continued to decline in the state ,and the western region has the largest decrease; the eastern region is the most efficient ,followed by the central ,and the western is least efficient. Guangdong ,Liaoning ,Shanghai ,Beijing ,Tianjin and Hainan provinces are on the production frontier; Yunnan ,Xinjiang ,Hebei and Guizhou have lower level of total – factor energy efficiency. The total – factor energy efficiency is influenced evidently by per capita GRP ,foreign direct investment ,the structures of factor endowment ,industry ,ownership and the energy ,the capacity of corporate environmental management and prices of energy. Therefore ,to improve the total factor energy efficiency of our country ,the key points include enhancing the level and quality of economic development ,balancing regional economic development and weakening the current economic characteristic of high – yield with high – energy consumption.

**Key Words:** Environmental Regulation; Directional Distance Function; Total – Factor Energy Efficiency

**JEL Classification:** D24 ,O44 ,Q43

( 责任编辑: 陈永清)