

考虑环境效应的 中国省际全要素能源效率研究

汪克亮^{1,2}, 杨宝臣¹, 杨力²

1 天津大学 管理学院, 天津 300072

2 安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001

摘要:从系统论的角度出发,将能源利用的环境影响纳入全要素能源效率研究框架。运用2000年~2007年中国省际面板数据,以资本存量、从业人员总数和能源消费为投入指标,各省份GDP、CO₂和SO₂排放量为好和坏的产出指标,选取基于投入导向的BC²-DEA模型,测算包含环境效应的中国省际全要素能源效率,并分析比较全国整体、各省份和三大地区的能效差异;给出2000年~2007年中国省际能源利用效率的4类模式,并采用Tobit模型检验中国全要素能源效率的影响因素。实证分析结果表明,中国全要素能源效率整体水平偏低,各省份、三大地区的能源效率差异显著,节能减排潜力巨大;技术进步、经济结构和能源消费结构的优化对提高能源效率有显著促进作用,市场化水平和能源价格的提升对提高能源效率有积极影响,但是目前这两种机制作用尚未充分发挥。

关键词:全要素能源效率;环境效应;数据包络分析;Tobit模型

中图分类号:F124.5

文献标识码:A

文章编号:1672-0334(2010)06-0100-12

1 引言

长期以来,中国能源消费结构以煤炭为主,其所占比重始终在70%左右波动。全国CO₂排放量的85%、SO₂排放量的90%、烟尘排放量的73%都来自于燃煤^[1]。当前,CO₂过度排放所导致的温室效应以及SO₂、烟尘等有害物排放形成的环境污染已经成为国际社会普遍关心的重大问题,关系到人类的生存和发展。因此,在保持经济快速增长的同时,充分重视能源环境问题已经变得极其紧迫而严峻。为此,中国政府做出了巨大的努力,在国家“十一五”规划中明确规定未来五年内单位GDP能耗降低20%、主要污染物的排放总量减少10%的约束性指标;在应对全球气候变化方面,中国政府也积极推进减缓气候变化的政策和行动,显示了中国政府建设资源节约型、环境友好型社会的决心。为缓解能源供需矛盾,减轻环境保护压力,采取能源节约、提高能源利用效率的能源战略是当前最现实、也是最有效的途径。为

此,探讨中国各地区能源利用效率的时空差异,并在此基础上制定有针对性的节能减排政策,对保障国家能源安全、保护生态环境以及实现中国经济和社会可持续发展都具有重大的现实意义。

2 相关研究评述

国内外对于中国能源效率问题的研究已经取得了丰硕的研究成果。众多学者就中国能源效率的测度方法、影响因素和提升策略等方面进行有益的探讨,得到一系列具有重要参考价值的结论和政策建议。王庆一采用能源强度指标测算中国能源效率并进行国际比较,结果表明中国能源效率与世界水平之间存在巨大差距^[2];Fisher等通过对1997年~1999年中国工业企业数据的分析,得出1996年以来中国能源绝对使用水平及能源强度下降的主要原因来自于能源价格上调、研发投入加大和企业所有制改革的结论^[3];史丹运用洛仑兹曲线、佛罗伦斯系数以及

收稿日期:2010-05-04 修返日期:2010-09-06

基金项目:国家自然科学基金(71071003);安徽省自然科学基金(KJ2009A59)

作者简介:汪克亮(1980-),男,安徽枞阳人,天津大学管理学院博士研究生,安徽理工大学经济与管理学院讲师,研究方向:能源与环境系统管理等。E-mail:klwang@163.com

基尼系数分析中国能源效率的地区差异和节能潜力,并认为可以通过改变地区能源配置方式来提高能源效率^[4];齐志新等利用因素分解方法研究中国能源强度下降的原因,发现技术进步是中国能源效率提高的决定因素^[5]。类似的研究还包括韩智勇、高振宇和邱灵等^[6-8]。上述文献的共同特点是以能源强度作为能源效率的测度指标,属于传统的能效测度方法,即单要素能源效率研究范畴。该方法以其直观、计算简单和可操作性强等优点一直受到众多研究者的青睐,至今仍被广泛使用;但是其主要缺点在于,只能衡量能源投入与产出之间的一个比例关系,没有考虑到经济主体生产过程中其他投入要素的影响,不能反映诸如产业结构变动、资本和劳动等投入要素或者不同能源要素之间的相互替代对能源消耗强度的影响,所以无法准确度量潜在的能源技术效率^[9]。近年来,一种新的能效研究方法得到广泛应用,即基于数据包络分析的全要素能源效率,已经成为国内外研究能源效率问题的主流方法。该方法基于全要素生产率理论,考虑到经济主体各种投入要素之间的相互作用对能源效率的影响,有效克服了传统单要素能源效率的缺陷,为研究中国能源效率问题提供了全新的思路和方法。Hu等选择劳动力、资本、能源消费量和农作物的种植面积作为投入指标,以地区GDP作为产出指标,利用C²R-DEA模型对1995年~2002年中国省际全要素能源效率进行研究^[10],这是首次运用DEA方法研究中国省际能源效率的探索之作,对后续研究具有很大的启示和借鉴作用。魏楚、李世祥和杨红亮等基本上延续了Hu等的研究框架,就中国省际能源效率的差异和影响因素进行实证检验,在一定程度上证实全要素能源效率方法在研究中国能源效率问题上具有不可替代的优势^[11-13]。师博等在投入要素中加入非物质形态的知识存量,运用超效率C²R-DEA模型测算1995年~2005年中国省际全要素能源效率,并检验省际全要素能源效率的影响因素,认为市场分割是造成中国全要素能源效率损失的主要原因^[14];王群伟等采用Malmquist指数对1993年~2005年中国28个省份的全要素能源效率变动进行分解,首次从动态视角研究中国全要素能源效率并分析其演变的根源,结果表明技术效率比技术进步更有助于能源效率的改善^[15];屈小娥基于超效率DEA-Malmquist指数,实证测算1990年~2006年中国30个省份的全要素能源效率变动指数,验证结构调整、技术进步和能源价格提升对中国全要素能源效率提高的显著促进作用^[16]。然而,上述研究基本上都停留在能源经济效率研究阶段,关注的是能源经济产出最大化,没有考虑能源利用的环境影响,重节能而轻减排,有悖于中国宏观经济发展现状,从而无法全面、客观反映中国全要素能源效率的高低。随着全社会对能源环境问题关注度的不断加大,一些学者开始在研究中引入环境因素的作用,使中国全要素能源效率的研究体系更趋科学化,研究结论也更具现实指导意义。袁

晓玲等利用熵值法将工业废水、废气排放量等6项环境污染指标综合为污染排放指数,选取基于投入导向的C²R-DEA模型测算包含环境污染的中国省际全要素能源效率,并发现全要素能源效率与产业结构、能源消费结构以及资源禀赋关系密切^[17];吴琦等分别以经济产出和环境污染作为产出指标,利用DEA方法测算2006年中国30个省份的能源经济效率和环境效率,并对能源系统经济产出和环境影响进行综合分析^[18]。考虑环境要素的能效测度将中国全要素能源效率研究提升到一个新的阶段,但是其尚处于研究起始阶段,相关文献较少,还有待于进一步深入研究。

能源是国民经济发展和社会活动的基础,同时也是导致环境污染的主要原因。中国的资源禀赋条件决定了以煤炭为主的能源结构在未来相当长时期内难以根本改变,因此能源利用过程中产生的环境问题将会随着能源生产和消费的增长越来越严峻,势必会威胁到中国经济和社会的可持续发展。所以,环境保护必将成为中国中长期能源发展所必须考虑的重要因素。为此,本研究延续和拓展袁晓玲和吴琦等^[17,18]的研究,力求更加全面、系统地考察包括环境效应在内的中国全要素能源效率的时空演变特征,并提出一些切实可行的政策建议。考虑到CO₂排放量占整个温室气体排放量的80%以上,是导致全球气候变暖的罪魁祸首;而SO₂作为大气中的主要污染物之一,是酸雨形成的主要因素,对人类健康和生态环境的危害无法估量。所以,本研究将CO₂排放量、SO₂排放量作为能源利用的环境影响代理指标,运用数据包络分析方法建立全要素能源效率测度模型,分析比较2000年~2007年中国29个省份、全国整体和三大地区的全要素能源效率,并将其分解为纯技术效率和规模效率;其次,研究中国省际能源利用方式及其与经济、环境之间的内在联系,给出中国省际能源利用效率的4种模式;最后,利用两阶段法和Tobit模型检验中国能源效率的影响因素,以期为中国各省份节能减排政策的制定提供科学的决策依据。

3 研究模型和方法

3.1 DEA模型

本研究采用Charnes等于1978年提出的数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)方法^[19]构造中国能源效率生产前沿面和相关指数。DEA是一种用于评价具有相同类型投入和产出的若干决策单元(decision making unit, DMU)相对效率的一种方法,该方法以样本投入产出数据为基础,旨在寻找一个包揽所有决策单元的分段性生产曲面,该曲面的边界即所谓的最佳实践生产前沿面,通过计算所有决策单元实际生产点与最佳前沿面的距离,得到各自效率的测度,该效率值度量的是决策单元相对于生产前沿面的最佳投入或产出比率,本质上即为经济学中的帕累托最优。

DEA方法特别适合于分析多输入、多输出情形

下的投入产出效率,并且具有无需提供先验权重信息的优点,因而被广泛用于各类经济体效率和生产率的测度之中。在众多 DEA 模型中,最具代表性的是 C²R 模型和 BC² 模型。C²R 模型测算的是决策单元整体有效性的效率值,隐含了固定规模报酬(CRS)的假设,但这一假设相当严格,导致很多决策单元并不能在这种假设下运行。因此,Banker 等对传统 C²R 模型进行改进,提出 BC² 模型,考虑可变规模报酬(VRS)的情况^[20]。为了能够有效区分中国能源利用的技术有效性和规模有效性,进而探讨全要素能源效率提升的制约因素,本研究选择基于投入导向的 BC²-DEA 模型。

在本研究中,将中国每个省份(包括省、自治区和直辖市,以下统称省份)作为一个 DMU_j(j = 1, 2, ..., 29),每个 DMU_j 使用 m 种投入,得到 s 种产出,即投入、产出向量分别为 $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$, $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$, 其对应的权向量分别记为 v 和 u , $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T$, $u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$ 。于是第 j₀(j₀ = 1, 2, ..., 29) 个决策单元 DMU_{j₀} 的全要素能源效率计算可以转化为如下分式规划问题,即

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \\ \text{s. t. } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1, j = 1, 2, \dots, 29 \end{aligned} \quad (1)$$

$$v_i, u_r \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s$$

其中, h_{j_0} 为 DMU_{j₀} 在 VRS 条件下的相对效率值, h_{j_0} 越大,表明 DMU_{j₀} 的效率越高; u_0 不受条件约束,它反映 DMU_{j₀} 的规模报酬状态特征。当 $u_0 = 0$ 时表示该单元处于最佳生产规模状态,属于不变规模报酬;当 $u_0 > 0$ 时表示 DMU_{j₀} 处于规模递减状态;当 $u_0 < 0$ 时表示该决策单元处于规模递增。

需要指出的是, C²R 模型所求的效率值即为 BC² 模型中的整体效率值 (TE), 而 BC² 模型中所求的效率值为纯技术效率 (PTE) 和规模效率 (SE), 三者之间满足下列关系式, 即

$$TE = PTE \cdot SE \quad (2)$$

3.2 坏产出的处理

能源利用过程中产生的温室气体和各类有害物会导致环境质量恶化,在现实技术条件下,这种生态环境的破坏是不可避免的,可以认为其是经济增长的副产品。所以,本研究决策单元的产出应该包括两大类,即好产出(如 GDP, 也称为期望产出)和坏产出(即生产过程中产生的负外部性物品,主要包括温室气体和各类环境污染物,如 CO₂、SO₂、烟尘等,也称为非期望产出)。已有关于中国能源效率的研究文献绝大多数只考虑好产出,忽视坏产出,是不符合经济现实的。为此,本研究将能源利用的环境效应

视为坏产出,在绿色 GDP 框架下研究中国省际全要素能源效率。在已有文献中,处理坏产出的方法较多,包括曲线测度评价^[21]、污染物作投入处理法^[22,23]、数据转换处理法^[24,25]和方向性距离函数法^[26,27],这几种方法各有利弊^[28]。本研究遵循 Liang 和 Yeh 等的做法^[24,25],该方法的主要思想是,因为坏产出表现为负的社会效应,是一种环境成本,其值越小越好,这与好产出越大越好有所不同,所以有必要对其进行合理变换。对坏产出向量乘以 -1,这样就可以满足减少坏产出的要求,但 DEA 模型中要求产出向量不能为负,因此在上述基础上,可以使用一个较大的数值加在已经变换的坏产出向量上,以保证产出向量为正。令 y^b 为变换前的坏产出, y^{*b} 为变换后的坏产出, $y_j^{*b} = -y_j^b + \zeta$, 取 $\zeta = \max(y_j^b) + 1$, 所以 $y_j^{*b} \geq 1$ 。这是一种应用较为广泛的坏产出的处理方法。

3.3 两阶段法和 Tobit 模型

为了进一步寻找影响中国全要素能源效率的主要因素,本研究采用 Coelli 等提出的两阶段法^[29]。该方法第一步是采用 DEA 模型求解得到中国各省份全要素能源效率值;第二步则以各影响因素为自变量、各省份全要素能源效率值为因变量建立面板数据回归模型。由于本研究因变量的值均处于 0 ~ 1 之间,属于受限因变量,所以采用 Tobit 模型,该模型是对部分连续分布和部分离散分布的因变量提出的一种计量经济学模型,可用于解决受限或截断因变量建模问题,其具体形式为

$$Y_k = \begin{cases} X_k' \beta + \mu_k, & \text{当 } X_k' \beta + \mu_k > 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中, Y_k 为受限因变量, X_k 为解释变量, β 为未知参数向量, $\mu_k \sim N(0, \sigma^2)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ 。可以证明,当采用极大似然法对 Tobit 模型进行估计时,得到 $\hat{\beta}$ 和 $\hat{\sigma}^2$ 是一致估计量^[30]。

4 样本、数据和变量选取

本研究以 2000 年 ~ 2007 年中国 29 个省份为基本研究单元(为了便于资料整理,重庆、西藏、台湾、香港、澳门不包括在分析范围之内),选取资本、劳动和能源为投入变量,CO₂ 和 SO₂ 排放量作为坏产出,各省份 GDP 为好产出,利用 BC²-DEA 模型测算中国省际全要素能源效率。投入产出变量的界定如下。

(1) 好产出。本研究选择中国各省份 GDP 作为产出指标,并利用 GDP 平减指数以 2000 年不变价格进行缩减。

(2) 坏产出。以 CO₂、SO₂ 排放量作为能源利用的环境影响代理指标。各省份 SO₂ 排放量数据可以直接从中国统计年鉴上获得,而历年统计年鉴上并没有 CO₂ 排放数据。由于 CO₂ 排放与各种化石能源的排放是密切相关的,所以本研究利用化石能源消费量对中国各省份 CO₂ 排放量进行测算^[31]。

$$\text{CO}_2 \text{ 排放量} = \text{含碳能源消费量} \times \text{碳折算系数} \times \text{CO}_2 \text{ 气化系数}$$

其中,含碳能源主要包括煤炭、石油和天然气;碳折算系数遵循国家发改委能源研究所制定的系数,为0.67;CO₂ 气化系数是指碳完全氧化成为二氧化碳之后与之前的质量之比,是一个标准量3.67(即44:12)。

(3) 资本投入。大多数研究认为资本存量是资本投入较好的代理指标,本研究也遵循这一做法。由于中国统计年鉴中无法获得资本存量数据,所以本研究利用 Glodsmith 提出的永续盘存法估算各省份资本存量^[32],计算公式为

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

其中, K_t 为 t 期的资本存量, I_t 为 t 期投资额, δ 为折旧率。本研究资本存量数据直接来源于张军等的研究结果^[33],并利用其方法更新至2007年。

(4) 劳动投入。本研究延续多数研究所采用的方法,各省份劳动投入的具体指标采用当期从业人数,没有考虑劳动种类和劳动质量的差别,计算公式为

$$\text{当期从业} = \frac{\text{当期末} + \text{上期末}}{\text{人员总数} + \text{从业人数}}$$

(5) 能源消耗。以各省份的能源消费量表示能源投入,主要由煤炭、石油、天然气和水电等4种主要一次能源消费转换为统一单位加总而成,单位为万吨标准煤。

投入产出数据的特征如表1所示。

利用 DEA 方法建立效率测度模型必须满足一个条件,即在决策单元各项投入增加的情况下,各项产出也应该相应增加,这种性质被称为等张性^[19]。可以利用 Pearson 相关分析验证投入与产出之间是否满足这种性质,得到的结果如表2所示。

由表2可知,样本所有产出变量与各投入变量在5%水平下均存在显著的正相关关系,满足 DEA 建模所必须具备的等张性条件。其中,能源消费与好产出、坏产出都显著正相关,它们的 Pearson 相关系数分别为0.826、0.997、0.801。所以,利用此样本建立的 DEA 能效测度模型是可靠的,研究结果的可信度是有保证的。

5 实证分析

5.1 考虑环境效应的中国全要素能源效率测度结果及分析

本研究利用2000年~2007年中国省际面板数据,选择基于投入导向的 BC²-DEA 模型,运用 DEAP2.1 软件测算考虑环境效应的中国省际全要素能源效率,并分解得到纯技术效率和规模效率,2000年~2007年中国各省份全要素能源效率及其分解结果见表3,图1给出了考察期内中国平均全要素能源效率的变动趋势及其变异系数。

表1 样本投入产出变量描述统计(2000年~2007年)

Table 1 Descriptive Statistics of Samples' Input and Output Variables (2000~2007)

变量	资本存量 (亿元)	劳动力 (万人)	能源消费 (万吨标准煤)	经济产出 (亿元)	CO ₂ 排放量 (万吨)	SO ₂ 排放量 (万吨)
最小值	174.402	73.050	479.950	263.680	1 052.531	2.000
最大值	15 938.536	2 250.331	28 554.402	25 675.353	62 367.180	200.300
平均值	3 117.925	693.647	7 539.750	5 091.379	16 314.547	73.700
标准差	2 998.981	427.228	5 152.036	4 403.163	11 092.602	47.700

注:面板数据包括中国29个省份在8年内的时间序列数据,样本观测点共232个;数据根据相应年份《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》和中国各省份统计年鉴整理得到。

表2 投入、产出变量之间的 Pearson 相关系数

Table 2 Pearson Correlation Coefficient between Input and Output Variables

变量	资本存量	劳动力	能源消费	经济产出	CO ₂ 排放量	SO ₂ 排放量
资本存量	1.000					
劳动力	0.757**	1.000				
能源消费	0.706**	0.871**	1.000			
经济产出	0.819**	0.932**	0.826**	1.000		
CO ₂ 排放量	0.681**	0.848**	0.997**	0.789**	1.000	
SO ₂ 排放量	0.499**	0.604**	0.801**	0.804**	0.546**	1.000

注:**为5%的显著性水平。下同。

表3 考虑环境效应的中国省际全要素能源效率及其分解

Table 3 China's Provincial Total-factor Energy Efficiency and Decomposition Considering Environmental Effects

地区	2001年			2003年			2005年			2007年		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
北京	0.840	0.917	0.916	0.819	1.000	0.819	0.903	1.000	0.903	0.955	1.000	0.955
天津	0.865	0.876	0.988	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
河北	0.503	0.535	0.941	0.683	0.703	0.971	0.798	0.798	1.000	0.858	0.888	0.967
山西	0.478	0.531	0.901	0.510	0.557	0.917	0.569	0.596	0.954	0.572	0.591	0.968
内蒙古	0.483	0.509	0.949	0.564	0.589	0.958	0.780	0.805	0.969	0.849	0.855	0.993
辽宁	0.790	1.000	0.790	0.824	1.000	0.824	0.886	1.000	0.886	0.921	1.000	0.921
吉林	0.624	0.630	0.990	0.677	0.684	0.990	0.728	0.738	0.986	0.843	0.854	0.986
黑龙江	0.626	0.665	0.942	0.712	0.717	0.992	0.778	0.781	0.995	0.824	0.828	0.996
上海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.961	1.000	0.961	1.000	1.000	1.000
江苏	0.881	0.904	0.974	0.943	0.943	1.000	0.917	0.917	1.000	0.890	0.905	0.983
浙江	0.819	0.860	0.953	0.802	0.803	0.999	0.853	0.853	1.000	0.866	0.866	1.000
安徽	0.883	1.000	0.883	0.993	1.000	0.993	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
福建	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
江西	0.778	0.875	0.991	0.751	0.753	0.998	0.768	0.769	0.999	0.766	0.767	0.999
山东	0.794	0.795	0.999	0.803	0.803	1.000	0.886	0.886	1.000	0.886	0.971	0.913
河南	0.613	0.615	0.997	0.652	0.663	0.983	0.735	0.738	0.995	0.788	0.812	0.970
湖北	0.691	0.762	0.906	0.673	0.695	0.968	0.695	0.700	0.993	0.725	0.732	0.990
湖南	0.747	0.764	0.978	0.746	0.747	0.999	0.750	0.754	0.995	0.777	0.782	0.993
广东	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
广西	0.684	0.692	0.988	0.731	0.733	0.998	0.683	0.690	0.989	0.704	0.711	0.990
海南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
四川	0.610	0.620	0.984	0.630	0.643	0.980	0.649	0.649	1.000	0.635	0.644	0.987
贵州	0.593	0.647	0.916	0.598	0.644	0.927	0.608	0.646	0.941	0.633	0.668	0.947
云南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
陕西	0.476	0.480	0.991	0.526	0.529	0.995	0.524	0.526	0.997	0.551	0.558	0.988
甘肃	0.560	0.580	0.965	0.600	0.615	0.975	0.622	0.638	0.975	0.628	0.639	0.982
青海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
宁夏	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.946	0.982	0.964
新疆	0.568	0.583	0.973	0.581	0.596	0.975	0.603	0.623	0.965	0.628	0.648	0.969
平均	0.755	0.785	0.963	0.787	0.808	0.974	0.817	0.831	0.983	0.836	0.852	0.981

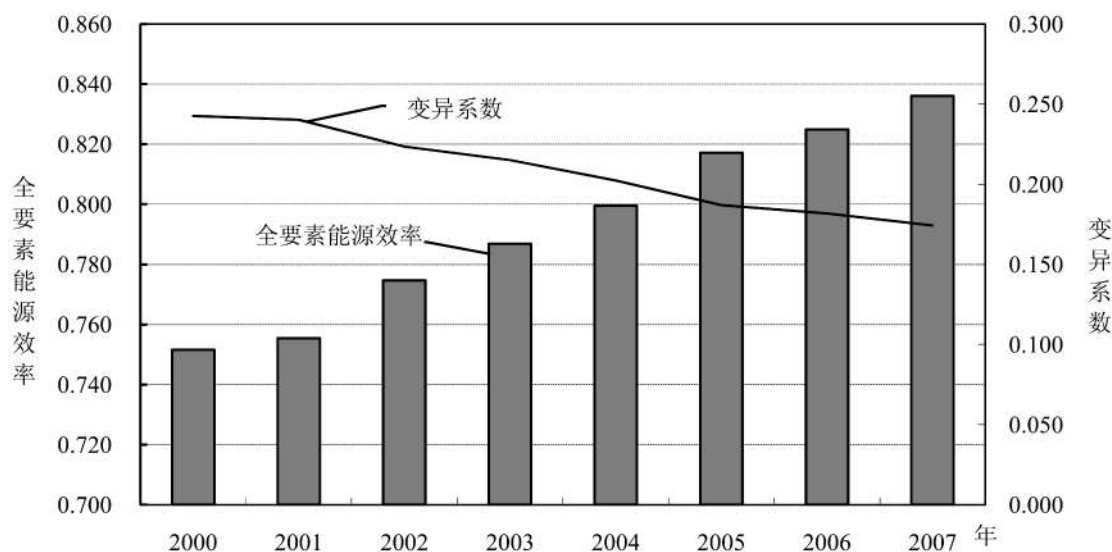


图1 中国平均全要素能源效率与变异系数(2000年~2007年)

Figure 1 China's Average Total-factor Energy Efficiency and Variation Coefficient (2000 ~ 2007)

本研究将能源利用的环境效应作为坏产出引入研究,在绿色GDP框架下探讨中国全要素能源效率,通过分析得出以下结论。①从全国整体看,2000年~2007年,中国29个省份的全要素能源效率、纯技术效率和规模效率的平均值分别为0.793、0.788和0.976。全要素能源效率和纯技术效率偏低,尚具有很大的改进潜力,而规模效率已接近最优水平。②如图1所示,虽然中国能效整体水平较低,但是全要素能源效率指数在考察期内呈现不断上升的趋势,说明中国能源效率一直处于稳固提升的过程。此外,全要素能源效率的变异系数呈现微幅减小的态势,表明全国各省份之间的能效差距在不断缩小,中国省际能源效率存在收敛趋势。③从单个省份看,全要素能源效率存在显著差异。北京、天津、上海、福建、广东、海南、云南、青海、宁夏等省份能源效率较高,能源利用和污染排放都处于相对最优水平。以北京、上海、广东为代表的东部沿海地区省份,开放度高,技术条件优越,为其经济高速增长奠定了坚实的基础,同时也为节能减排提供了良好的技术支撑环境。而海南、云南、青海、宁夏等省份考察期内也同样表现出较高的能效水平,这些省份的技术条件显然劣于东部沿海发达地区省份,但是产业结构在一定程度上却有利于节能减排,其支柱产业以第一产业和第三产业为主,而非高耗能、高污染的第二产业,如海南的房地产业、云南的旅游、青海和宁夏的旅游和农牧业都是其支柱产业^[18],所以结构因素可能是这些省份实现高能效的主要原因。而河北、山西、吉林、江西、河南、广西、四川等省份是非DEA有效的,考察期内全要素能源效率一直都处于较低水平。这些省份的产业结构大多以能源密集型的第二产业为主,且技术水平与东部沿海发达地区

省份相比还存在一定差距,从而导致这些省份经济增长进程中存在资源投入拥挤现象,能源浪费严重,环境保护压力不断增大,是中国节能减排政策关注的重点地区。④全要素能源效率可以分解为纯技术效率和规模效率,通过二者的比较可以考察当前中国能源效率较低的制约因素。如表3所示,考察期间内中国能源利用的纯技术效率远小于规模效率,因此制约中国全要素能源效率低下的原因主要体现在纯技术效率方面。中国能源利用的规模效率已接近最优前沿面,如果继续扩大能源投入规模,效率改善有限甚至适得其反。相比之下,纯技术效率还具有很大的提升空间,对于中国建设资源节约、环境友好型社会意义重大,加强技术创新、合理安排制度、提高管理效率是提升纯技术效率最重要的途径。

5.2 中国全要素能源效率的区域差异分析

中国幅员辽阔,区域经济发展不平衡,全要素能源效率极有可能存在地域差别。因此,本研究按照传统的区域划分方法,将中国分为东部、中部和西部三大地区,以分析全要素能源效率的区域差异。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、海南,中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南,西部地区包括内蒙古、广西、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。分析结果如表4所示。

由表4可知,①三大地区能源效率发展显著不平衡。东部地区的全要素能源效率最高,为0.900,明显高于中部地区(0.728)和西部地区(0.727),这与大多数文献的研究结果保持了很好的一致性。值得注意的是,中部地区和西部地区的平均能源效率非常接近,这与众多文献的研究结果存在一定出入,可能是因为研究选择的年限不同,但是主要原因是大

表4 中国三大地区平均全要素能源效率及其分解(2000年~2007年)

Table 4 Average Total-factor Energy Efficiency and Decomposition of China's Major Areas (2000~2007)

年份	东部地区			中部地区			西部地区			全国		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
2000年	0.843	0.875	0.962	0.684	0.721	0.951	0.705	0.717	0.980	0.752	0.578	0.965
2001年	0.863	0.899	0.960	0.680	0.730	0.949	0.697	0.711	0.977	0.755	0.785	0.963
2002年	0.877	0.899	0.977	0.710	0.726	0.976	0.714	0.724	0.983	0.755	0.791	0.979
2003年	0.898	0.932	0.965	0.714	0.727	0.980	0.723	0.735	0.981	0.787	0.808	0.974
2004年	0.912	0.941	0.970	0.728	0.740	0.983	0.734	0.746	0.981	0.800	0.818	0.977
2005年	0.928	0.950	0.977	0.753	0.760	0.990	0.747	0.758	0.984	0.817	0.831	0.983
2006年	0.933	0.956	0.976	0.770	0.766	0.991	0.749	0.761	0.983	0.825	0.839	0.983
2007年	0.943	0.966	0.976	0.787	0.796	0.988	0.747	0.771	0.982	0.836	0.852	0.981
平均	0.900	0.927	0.971	0.728	0.747	0.976	0.727	0.740	0.981	0.793	0.788	0.976

部分研究都未将环境因素作为能源利用的产出进行分析,从而导致能源效率的测度结果出现偏差。②三大地区能源利用的纯技术效率自西向东逐步提升,分别为0.740、0.747和0.927,主要原因在于三大地区科技进步、创新能力等存在显著差异。一方面,东部地区拥有优越的地理位置、雄厚的经济实力、较高的技术水平以及国家的政策倾斜,为其经济增长创造了良好的条件,同时也为能源的高效利用提供了强有力的保证;另一方面,由于中国长期实行非均衡的区域战略,导致中西部地区技术水平落后,要素配置结构不合理,能源利用效率一直处于较低水平,节能减排潜力巨大。如果中西部地区能够不断模仿、学习先进地区的能源利用模式,那么全国能效整体水平将会得到极大的提高。③三大地区能源利用的规模效率测算结果分别为0.971、0.976和0.981,整体水平较高且地区差异较小,东部地区相对最低,中部地区次之,西部地区最高。东部地区是中国经济最发达、能效最高的地区,但是东部地区很多省份的能源利用已经处于规模收益递减阶段。所以,这些省份应该适当调节能源投入,重点提高能源配置效率,从而实现能源利用的规模经济。而中西部地区众多省份还处于能源利用的规模收益递增阶段,尚存在较大的增产减排潜力,但是现阶段能源投入不足,可以通过追加能源投入来提高能源利用效率。

5.3 中国省际能源利用效率模式分类

为研究中国各省份能源利用方式及其与经济、环境之间的内在联系,本研究分别测算考察期内没有包含环境因素和包含环境因素两种条件下中国省际全要素能源效率。前者可认为是能源经济效率,该效率只关注决策单元的经济产出,没有考虑环境污染;后者则为能源环境效率,不仅关注经济产出,而且兼顾环境因素的作用,是一种综合效率。通过

两种效率测度结果的比较,可以得到2000年~2007年中国省际能源利用效率模式分类矩阵,见图2。

矩阵横向是包含环境因素的全要素能源效率,纵向是不包含环境因素的全要素能源效率;A点和B点分别为两种条件下的2000年~2007年中国能源效率均值点,分别为0.793和0.735。以A点和B点出发的两条直线将矩阵平面划分为4个区域,分别代表中国能源利用效率的4种模式,即高经济效率和低环境效率型、高经济效率和高环境效率型、低经济效率和低环境效率型以及低环境效率和高环境效率型。通过对比两种方法下全要素能源效率测算结果,可以得到2000年~2007年中国29个省份的能源利用效率模式分类,如表5所示。

表5 中国各省份能源利用效率模式的分类(2000年~2007年)

Table 5 Classification of China's Provincial Energy Utilization Efficiency Model (2000~2007)

能源利用效率模式	包括省份
高经济效率 高环境效率	北京、天津、辽宁、上海、江苏、浙江、安徽、福建、山东、广东、海南、云南
高经济效率 低环境效率	江西、湖南
低经济效率 低环境效率	河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、河南、湖北、广西、四川、贵州、陕西、甘肃、新疆
低经济效率 高环境效率	青海、宁夏

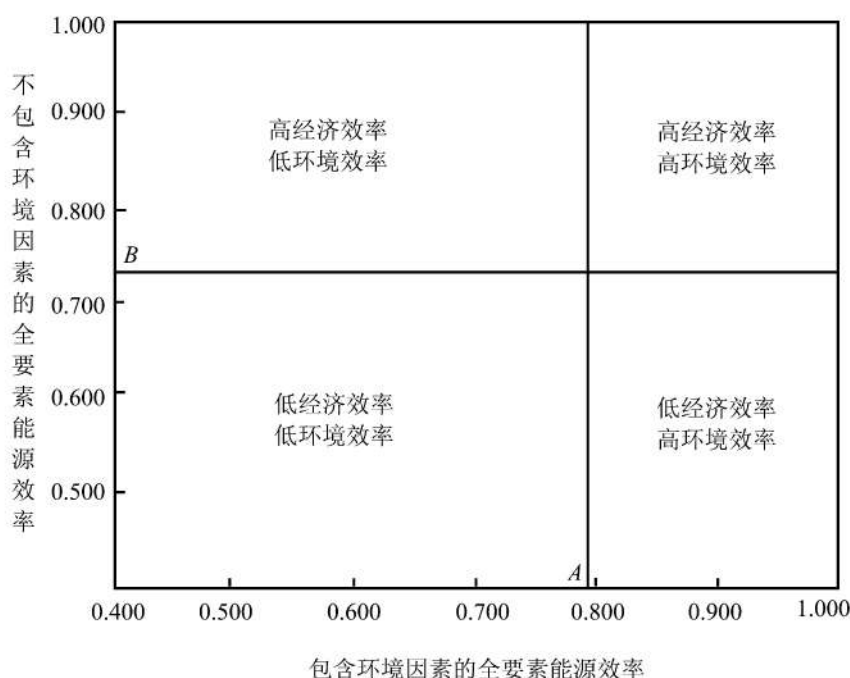


图2 2000年~2007年中国省际能源利用效率模式分类矩阵

Figure 2 Classification Matrix of China's Provincial Energy Utilization Efficiency Model from the Year 2000 to 2007

由表5可知,①2000年~2007年,中国29个省份中有12个省份的能源利用效率模式为高经济效率和高环境效率型,占41.4%。这些省份大多处于东部沿海经济发达地区,优越的地理位置、较高的技术效率为其经济的快速发展和能源的高效利用创造了良好的条件,使这些省份成为中国经济增长、节能减排和环境保护的引领者。但是必须认识到,DEA是一种测度决策单元相对效率的方法,本研究的对象只包括中国大陆各省份,所以这种所谓的高经济效率和高环境效率只是相对于中国大陆各省份而言,一旦研究样本超出中国大陆范围,则可能会得出不同的结论。②有13个省份位于低经济效率和低环境效率模式行列,占44.8%,主要来自东北老工业基地、中西部经济欠发达地区。无论是否包含环境因素,这些省份的能源利用效率都处于较低水平,是典型的高投入、高污染、低效率经济增长模式,不仅浪费大量的能源资源,而且形成严重的环境污染,提高能源利用水平、降低污染排放是其当务之急。③高经济效率和低环境效率模式仅包含江西和湖南两个省份,都来自中部地区。这两个省份虽然具有较高的能源经济效率,但是缺乏环境保护意识,污染排放过多,环境质量严重下降,所以进一步推进减排和环保工作应该成为其今后工作的重点。④青海和宁夏两个省份属于低经济效率和高环境效率模式。这两个省份以旅游业和农牧业为支柱产业,高耗能、高污染的第二产业比重较小,污染排放相对较少,所以对生态环境的破坏程度远比其他工业省份低得多,从而实现了较高的能源环境效率。但是,这两个省份有

限的能源投入与经济产出并没有实现很好的配比,能源经济效率低下,能源浪费严重,节能空间较大,其中技术水平低下是主要原因。

5.4 中国全要素能源效率的影响因素分析

为了更好地解释中国省际全要素能源效率的变化差异,以期为中国各省份节能减排实践提供更完备的决策信息,本研究采用两阶段法和Tobit模型检验中国全要素能源效率的影响因素。影响能源利用效率的因素众多、机理复杂,参考相关文献的研究成果,同时考虑到中国当前正处于经济转型的特殊时期,本研究选取如下变量。①时间趋势(β_0);②经济结构(β_1),以各省份第二产业增加值占GDP的比重来表示,换算成以2000年为不变价格(下同);③市场化水平(β_2),表示政府对市场经济的干预程度,用各省份政府财政支出占GDP比重来表示;④能源消费结构(β_3),以各省份煤炭消费占一次能源消费量的比重来表示;⑤能源价格(β_4),以燃料动力价格指数表示;⑥技术进步(β_5),由于R&D活动是技术进步和技术创新的源泉,是促进技术进步最直接的因素^[34],本研究以各省份的R&D投入占GDP比重作为技术进步的代理变量,该变量在一定程度上可以反映技术进步对提升能源效率的作用。Tobit回归结果如表6所示。

根据表6所给出的Tobit回归结果可知,①全国和三大地区的时间趋势系数在1%的检验水平下显著为正,说明随着时间的推移,中国全要素能源效率在不断提高,其中东部地区提升的速度最快。②经济结构对全要素能源效率的影响显著为负,即第二

表6 中国全要素能源效率影响因素的 Tobit 回归结果(2000年~2007年)

Table 6 Tobit Regression Results of China's Total-factor Energy Efficiency Impact Factors (2000~2007)

系数	东部地区	中部地区	西部地区	全国
β_0	0.945*** (5.713)	0.707*** (7.478)	0.612*** (3.272)	0.670*** (5.454)
β_1	-0.677*** (-4.272)	-0.714*** (-5.413)	-0.729*** (-4.670)	-0.702*** (-3.018)
β_2	-1.088** (-1.977)	-0.990* (-1.433)	-0.854 (-0.951)	-0.980 (-0.832)
β_3	-0.989*** (-3.236)	-1.172*** (-5.465)	-0.875*** (-5.257)	-1.010*** (-4.430)
β_4	0.042*** (3.797)	0.017* (1.520)	0.009 (0.931)	0.035* (1.359)
β_5	1.132*** (5.235)	1.096*** (4.437)	0.972*** (4.030)	1.104*** (7.581)
常数项	0.364*** (2.956)	0.485*** (3.202)	0.203*** (3.197)	0.434*** (5.431)
<i>Adjust-R²</i>	0.928	0.887	0.914	0.905
<i>D. W.</i>	1.946	1.927	1.890	1.842
<i>F</i> 值	97.746	121.254	132.291	76.304

注:***为1%的显著性水平,*为10%的显著性水平;括号中数据为参数估计值的*t*值;表中数据由相关年份《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》和各省份统计年鉴整理得到。

产业比重越大,能源利用效率越低,对生态环境的破坏也越大。这是由于第二产业中包含众多高耗能、高污染的能源密集型行业的缘故,与大多数文献的研究结果保持了很好的一致性。③市场化水平体现政府对经济的干预程度,政府干预度越低,市场化水平越高,与全要素能源效率呈正相关。这是由于政府干预直接影响市场有效配置资源的能力,从而造成能源利用的低效。由于中国当前市场化水平整体不高且存在明显的地区差异,所以从全国整体看,市场化水平对全要素能源效率影响并不显著;东部地区市场化水平较高,政府的干预力较弱,对全要素能源效率的提高有显著促进作用;中西部地区市场化进程滞后,政府干预经济的力度较大,市场机制配置资源的作用有限,所以这两大地区的影响系数在5%检验水平下是不显著的。④能源消费结构与全要素能源效率显著负相关,全国和三大地区的回归结果都得出了一致的结论,即煤炭消费占能源消费的比重越大,能源利用效率越低,节能减排潜力越大。主要原因在于,中国能源资源禀赋条件决定了以煤炭为主要能源的一次性能源结构,而煤炭是一种典型的低质低效能源,利用率低,资源浪费严重,燃煤过

程中产生大量温室气体和有毒污染物质,对生态环境造成恶劣的影响。⑤能源价格的提高有利于提升全要素能源效率,但是对全国及三大地区的影响显著程度不一。由于东部地区的能源价格管制已经放开,所以其系数在1%检验水平下是显著的。而能源价格对中西部地区和全国整体的影响系数在5%检验水平下并不显著,主要原因可能在于中西部地区对能源价格的管制还未彻底放开,能源价格还没有完全采用市场定价的原则,不能有效反映能源的真实供求情况,造成能源价格普遍偏低,过低的能源投入成本催生巨大的能源浪费和严重的环境污染。⑥技术进步对全国和三大地区全要素能源效率的提高均具有明显促进作用,影响系数分别达到1.104、1.132、1.096和0.972,且在1%的检验水平下都是显著的。新技术的发明与创造、新知识的传播与扩散和R&D投资引致的技术创新都显著提高了地区科技实力,为能源利用效率的改进和节能减排提供良好的技术支持。

6 结论

本研究利用2000年~2007年中国29个省份的面

板数据,首先,基于全要素能源效率框架,将能源利用的环境影响纳入能源效率的考核之中,采用BC²-DEA方法建立全要素能源效率测度模型,测算中国各省份全要素能源效率、纯技术效率和规模效率,并分析中国整体和三大地区的效率差异;其次,研究中国能源利用方式及其与经济、环境之间的内在联系,给出2000年~2007年中国各省份能源利用效率的4种模式;最后,利用Tobit回归模型分析检验中国全要素能源效率的影响因素。通过以上研究得出如下结论。

(1)考察期内中国能源效率整体水平较低,中国经济增长仍然没有摆脱高投入、高消耗、高污染、低产出、低效率的粗放型模式。

(2)中国大多数省份能源利用的规模效率已经接近最优前沿面,而纯技术效率是导致中国能效整体水平较低的主要制约因素。

(3)中国各省份、三大地区的全要素能源效率都存在显著的发展不平衡现象,东部沿海地区的省份能源效率相对较高,是其他地区省份的学习标杆,而中西部地区的省份能源效率普遍偏低,是中国节能减排的重点地区。

(4)Tobit模型回归结果表明,结构调整、优质高效能源的利用、技术进步对能源效率的提高作用显著,市场化水平、能源价格的提升对提高能源效率有积极影响,但是这两种因素的作用有待于进一步发挥。

根据以上结论,本研究给出以下政策建议。

(1)继续把加快转变经济增长方式作为中国今后相当长时期的战略重点,努力打破当前经济增长仍然表现为粗放型增长的格局。通过深化改革,扩大开放,建立有利于经济集约型增长的体制机制和政策环境,使中国经济增长建立在高效利用资源、减少环境污染、注重质量效益的基础上。

(2)中国能源利用的规模效率已接近最优水平,改进空间较小,所以应该适度控制能源投入规模,注重能源使用的集约化。相比而言,纯技术效率还有很大的提升潜力,加强能源领域的技术创新、管理创新和制度创新是当前提升中国能源利用效率的主要途径。

(3)东部地区应该进一步发挥区位优势,在推进自主创新的同时继续引进国际能源领域的先进技术和研发,保证自身能源效率得以稳步提高,从而产生辐射作用带动中西部地区能源利用向高效率、低污染方向发展。

(4)中西部地区依靠国家扶持性发展政策,优化经济结构,积极发展高新技术产业和服务业,通过模仿和学习促进先进技术、知识和管理经验的传播与扩散,为全面提高能源利用效率水平创造更好的条件。

(5)政府在大力提倡优质高效能源和可再生能源使用的同时,努力构建高效、经济、清洁且符合低碳经济要求的可持续煤炭供应体系,重视提高煤炭

质量,构建洁净煤技术标准化体系。

(6)深化能源市场化改革,积极进行能源定价机制的制度创新,尽量减少政府干预,建立能够反映资源稀缺程度、市场供求关系和环境成本的价格形成机制,适度提高能源的相对价格和使用成本,利用市场机制优化资源配置。

(7)积极构建涵盖能源消耗、生态环境和经济增长在内的绿色国民经济核算体系,努力实现能源-经济-环境协调发展的3E模式,促进人类与资源、环境的和谐发展。

参考文献:

- [1] 刘兆征. 我国发展低碳经济的必要性及政策建议[J]. 中共中央党校学报, 2009(12):54-57.
Liu Z Z. The Necessity and Policy Suggestion of China's Development of Low-Carbon Economy [J]. Journal of the Party School of the Central Committee of C. P. C, 2009(12):54-57. (in Chinese)
- [2] 王庆一. 我国的能源效率及国际比较(上)[J]. 节能与环保, 2003(8):5-7.
Wang Q Y. China's Energy Efficiency and Its International Comparison (part one) [J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2003(8):5-7. (in Chinese)
- [3] Fisher-Vanden K, Jefferson G H, Liu H M, Tao Q. What Is Driving China's Decline in Energy Intensity? [J]. Resource and Energy Economics, 2004, 26(1):77-97.
- [4] 史丹. 中国能源效率的地区差异与节能潜力分析[J]. 中国工业经济, 2006(10):49-58.
Shi D. Regional Differences in China's Energy Efficiency and Conservation Potentials [J]. China Industrial Economy, 2006(10):49-58. (in Chinese)
- [5] 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.
Qi Z X, Chen W Y. Structure Change or Technical Progress? ——The Factor Analysis of Energy Efficiency Improvement after China's Reform and Open [J]. Shanghai Economic Review, 2006(6):8-16. (in Chinese)
- [6] 韩智勇, 魏一鸣, 范英. 中国能源强度与经济结构变化特征研究[J]. 数理统计与管理, 2004, 23(1):1-6.
Han Z Y, Wei Y M, Fan Y. Research on Change Features of Chinese Energy Intensity and Economic Structure [J]. Application of Statistics and Management, 2004, 23(1):1-6. (in Chinese)
- [7] 高振宇, 王益. 我国能源生产率的地区划分及影响因素分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2006(9):46-57.
Gao Z Y, Wang Y. Classification of China's Provinces

- According to Energy Productivity and Analysis for the Differences [J]. *The Journal Quantitative & Technical Economics*, 2006(9):46-57. (in Chinese)
- [8] 邱灵, 申玉铭, 任旺兵, 严婷婷. 中国能源利用效率的区域分异与影响因素分析 [J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5):920-928.
Qiu L, Shen Y M, Ren W B, Yan T T. Analysis on Regional Disparity and Its Influential Factors of Energy Utilization Efficiency in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5):920-928. (in Chinese)
- [9] Wilson B, Trieu L H, Bowen B. Energy Efficiency Trends in Australia [J]. *Energy Policy*, 1994, 22(4):287-295.
- [10] Hu J L, Wang S C. Total-factor Energy Efficiency of Regions in China [J]. *Energy Policy*, 2006, 34(17):3206-3217.
- [11] 魏楚, 沈满洪. 能源效率与能源生产率: 基于 DEA 方法的省际数据比较 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2007(9):110-121.
Wei C, Shen M H. Energy Efficiency and Energy Productivity: A Comparison Based on the Panel Data by Province [J]. *The Journal Quantitative & Technical Economics*, 2007(9):110-121. (in Chinese)
- [12] 李世祥, 成金华. 中国能源效率评价及其影响因素分析 [J]. *统计研究*, 2008, 25(10):18-27.
Li S C, Cheng J H. Study on the Energy Efficiency of China and Its Determinants [J]. *Statistical Research*, 2008, 25(10):18-27. (in Chinese)
- [13] 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.
Yang H L, Shi D. Energy-Efficiency Methods and Comparing the Energy Efficiencies of Different Areas in China [J]. *Economic Theory and Economic Management*, 2008(3):12-20. (in Chinese)
- [14] 师博, 沈坤荣. 市场分割下的中国全要素能源效率: 基于超效率 DEA 方法的经验分析 [J]. *世界经济*, 2008(9):49-59.
Shi B, Shen K R. Energy Efficiency of China under Market Segmentation [J]. *The Journal of World Economy*, 2008(9):49-59. (in Chinese)
- [15] 王群伟, 周德群. 中国全要素能源效率变动的实证研究 [J]. *系统工程*, 2008, 26(7):74-80.
Wang Q W, Zhou D Q. An Empirical Study on the Change of Total Factor Energy Efficiency in China [J]. *Systems Engineering*, 2008, 26(7):74-80. (in Chinese)
- [16] 屈小娥. 中国省际全要素能源效率变动分解——基于 Malmquist 指数的实证研究 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2009(8):29-43.
Qu X E. China's Interprovincial Total Factor Energy Efficiency Change Decomposes [J]. *The Journal Quantitative & Technical Economics*, 2009(8):29-43. (in Chinese)
- [17] 袁晓玲, 张宝山, 杨万平. 基于环境污染的中国全要素能源效率研究 [J]. *中国工业经济*, 2009(2):76-86.
Yuan X L, Zhang B S, Yang W P. The Total Factor Energy Efficiency Measurement of China Based on Environmental Pollution [J]. *China Industrial Economics*, 2009(2):76-86. (in Chinese)
- [18] 吴琦, 武春友. 基于 DEA 的能源效率评价模型研究 [J]. *管理科学*, 2009, 22(1):103-112.
Wu Q, Wu C Y. Research on Evaluation Model of Energy Efficiency Based on DEA [J]. *Journal of Management Science*, 2009, 22(1):103-112. (in Chinese)
- [19] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units [J]. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6):429-444.
- [20] Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis [J]. *Management Science*, 1984, 30(9):1078-1092.
- [21] Fare R, Grosskopf S, Lovell C A K, Pasurka C. Multilateral Productivity Comparisons When Some Output Are Undesirable: A Nonparametric Approach [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1989, 71(1):90-98.
- [22] Hu J L, Lee Y C. Efficient Three Industrial Waste Abatement for Regions in China [J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2008, 15(2):132-144.
- [23] Honma S, Hu J L. Efficient Waste and Pollution Abatement for Regions in Japan [J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2009, 16(4):270-285.
- [24] Liang L, Li Y J, Li S B. Increasing the Discriminatory Power of DEA in the Presence of the Undesirable Outputs and Large Dimensionality of Data Sets with PCA [J]. *Expert System with Applications*, 2009, 36(3):5895-5899.
- [25] Yeh T L, Chen T Y, Lai P Y. A Comparative Study of Energy Utilization Efficiency between Taiwan and China [J]. *Energy Policy*, 2010, 38(5):1-8.
- [26] Färe R, Grosskopf S, Pasurka C A Jr. Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions [J]. *Energy*, 2007, 32(7):1055-1066.
- [27] Watanabe M, Tanaka K. Efficiency Analysis of Chinese Industry: A Directional Distance Function Approach [J]. *Energy Policy*, 2007, 35(12):6323-

- 6331.
- [28] 卞亦文. 基于 DEA 理论的环境效率评价方法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2006.
Bian Y W. Research on Eco-efficiency Evaluation Based on DEA [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2006. (in Chinese)
- [29] Coelli T J, Rao D S, Battese G E. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [30] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模[M]. 第二版. 北京:清华大学出版社,2009.
Gao T M. Econometric Analysis Method and Modeling [M]. the 2th Edition. Beijing: Tsinghua University Press, 2009. (in Chinese)
- [31] 胡鞍钢,郑京海,高宇宁,张宁,许海萍. 考虑环境因素的省际技术效率排名:1999-2005 [J]. 经济学(季刊),2008,4(3):933-960.
Hu A G, Zheng J H, Gao Y N, Zhang N, Xu H P. Provincial Technology Efficiency Ranking with Environmental Factors (1999-2005) [J]. China Economic Quarterly, 2008, 4(3): 933-960. (in Chinese)
- [32] Goldsmith R W. A Perpetual Inventory of National Wealth [J]. Studies in Income and Wealth, 1951, 14(1): 5-61.
- [33] 张军,吴桂荣,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.
Zhang J, Wu G R, Zhang J P. The Estimation of China's Provincial Material Capital Stock: 1952-2000 [J]. Economic Research Journal, 2004(10): 35-44. (in Chinese)
- [34] 徐士元. 技术进步对能源效率影响的实证分析 [J]. 科研管理,2009,30(6):16-24.
Xu S Y. The Empirical Research on the Impact of Technical Progress Against China's Energy Efficiency [J]. Science Research Management, 2009, 30(6): 16-24. (in Chinese)

China's Provincial Total-factor Energy Efficiency Considering Environmental Effects

WANG Ke-liang^{1,2}, YANG Bao-chen¹, YANG Li²

1 School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2 School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China

Abstract: From the standpoint of system theory, using 29 Chinese provinces' panel data from the 2000 to 2007, this paper puts energy utilization's environmental impacts into the study framework of total-factor energy efficiency. Firstly, capital stock, working staff population and energy consumption were considered as input indeices, and that provincial GDP, CO₂ emission and SO₂ emissions were considered as good output index and bad output indeices respectively. Secondly, we measured China's provincial total-factor energy efficiency including environmental effects and compared the efficiency of each province, the whole country and three major areas by utilizing input-oriented BC²-DEA model. Thirdly, four kinds of models of China's provincial energy efficiency were put forward and Tobit model was used to test the influence factors of China's total-factor energy efficiency. The empirical results show the low-level of China's total-factor efficiency and relatively significant differences in energy utilization among all areas and three major regions. Hence, there is large potential of energy conservation and emissions reduction. It is clear that optimizing economic structure and energy consumption structure, as well as technical progress have remarkable facilitation for improving energy efficiency. Enhancing marketization and energy price also have positive influence on improving energy efficiency, but the influence is not remarkable at present.

Keywords: total-factor energy efficiency; environmental effects; data envelopment analysis; Tobit model

Received Date: May 4th, 2010 **Accepted Date:** September 6th, 2010

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China(71071003) and the Natural Science Foundation of Anhui Province(KJ2009A59)

Biography: WANG Ke-liang, an Anhui Zongyang native(1980 -), is a Ph. D. candidate in the School of Management at Tianjin University and is a lecturer in the School of Economics and Management at Anhui University of Science and Technology. His research interests include energy and environmental system management, etc. E-mail: klwang@163.com

□