

文章编号: 1001-148X (2015) 05-0017-07

节能减排约束下的工业全要素生产率

刘海英¹, 修 静¹, 李淑华²

(1. 吉林大学 数量经济研究中心, 长春 130012;

2. 延边大学 经济管理学院, 吉林 延吉 133002)

摘要: 本文运用基于熵的 USBM 模型建立了包含能源、环境因素的曼氏指数, 对我国 30 个省际 1992-2011 年的工业节能减排生产率及其分解进行测度, 结果发现: 传统的忽略节能减排因素的生产率测度会高估我国工业的全要素生产率; 中部地区在节能减排约束下的工业生产率增长最快, 且全部来自于技术进步; 生产前沿面几乎都来自东部地区, 它们是节能减排技术的引领者; 全国省际工业效率水平与前沿面的差异性正在扩大, 未考虑节能减排约束的省际工业效率测度低估了这一差异的严重性。

关键词: 节能减排; 环境规制; 熵; 全要素生产率

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A

一、引言

我国能源资源有限, 煤炭和水力资源人均拥有量相当于世界平均水平的 50%, 石油、天然气拥有量仅为世界水平的 1/15 左右, 但能源等资源的消耗量却十分巨大。英国石油 (BP)《世界能源统计年鉴》显示, 我国已经超过美国, 成为了世界第一能源消费者^①。作为能源消费大户的工业, 虽然贡献了一半的 GDP, 却消耗了 70% 的能源并制造了 70% 的污染。因此, 合理测度节能、减排约束下的工业全要素生产率, 对于推动我国产业转型升级具有十分重要的意义。

国内外对于环境规制及中国工业绩效评价的文献众多, 大都涉及了能源、环境对我国工业发展

的约束。Guang-Ming Shi 等^[1]运用 2000-2006 年的数据, 发现中国部分地区的工业仍然依赖能源的大量投入。陈诗一^[2]运用改革开放以来的数据, 发现能源是驱动工业增长的源泉之一。陈军等^[3]运用 30 个省的数据, 发现能源效率的改进有利于我国工业化水平的提高。李世祥和成金华^[4]运用 1990-2006 年的数据, 发现我国 13 个工业省区能源效率差异较大。唐玲和杨正林^[5]运用 1998-2007 年的数据, 发现中国工业能源效率的总体水平较低, 具有较大的节能和提升空间。邵军和管驰名^[6]运用 1999-2005 年的工业数据, 发现我国工业能源效率在 50%-60% 之间, 效率不高。王少平和杨继生^[7]运用 1985-2002 年的时序数据, 发现中国工业大多数行业对能源具有高消费和强依

收稿日期: 2015-01-12

作者简介: 刘海英 (1972-), 男, 吉林松原人, 吉林大学数量经济研究中心教授, 博士生导师, 管理学博士, 研究方向: 数量经济学; 修静 (1981-), 女, 山东海阳人, 吉林大学数量经济研究中心博士研究生, 研究方向: 数量经济学; 李淑华 (1976-), 本文通讯作者, 女 (朝鲜族), 辽宁丹东人, 延边大学经济管理学院副教授, 研究方向: 区域信息化。

基金项目: 国家社科基金项目“全要素生产率下的环境敏感性和中国环境规制实施效果评估研究”, 项目编号: 12CJL057; 国家自然科学基金项目“绿色全要素生产率下的环境规制选择问题研究”, 项目编号: 71373101; 教育部重点研究基地重大项目, 项目编号: 13JJD790010; 教育部人文社会科学重点研究基地自设项目“绿色信贷对节能减排工业增长的面板门槛效应研究”, 项目编号: J1UCQE14005。

赖的特点。可见,能源作为工业的重要投入,在工业 TFP 测算中必须加以重视。与此同时,还有一些学者将研究重点放在了工业的产出上,即纳入了影响环境的污染排放因素。涂正革^[8]的研究发现,区域间环境、工业协调性极不平衡。吴军^[9]的研究发现各地区 TFP 增长均主要来源于技术进步,且东部地区是推动环境技术创新的主要地区。杨俊和邵汉华^[10]运用 1998 - 2009 年的地区工业数据,发现忽略环境因素会高估我国工业全要素生产率的增长。

综上所述,我国工业受能源和环境的双重约束。为此,本文将运用基于熵的非径向、非角度、无方向的数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)模型分别建立及包含能源、环境的工业 TFP 生产率模型,并在此基础上对测度出的生产率进行分解,以便更为准确地测度我国工业的全要素生产率。

二、熵权背景下 SBM 节能减排技术效率测度模型的设定

(一) 非参数 DEA 生产系统中投入产出要素熵权的引入

本部分在现有的非参数 DEA 中引入了包含能源、环境因素的节能减排技术模型。该模型可以测度在能源、环境的双重约束下我国地区工业的相对效率及生产率。

区别于传统径向的 DEA 方法,为了充分反映节能减排工业生产中各能源投入、污染排放的比例关系,本文引入了熵来为能源、非合意产出加

权。熵加权是一种精度更高、客观性更强,能够反映各要素变异程度的赋权方法。现有文献^[11-12]对于熵的运用大多是代替主成分分析,以免出现负值的情况,本文则运用在对于能源、非合意产出的加权上。某一要素的变异程度越大,提供的信息就越多,在整个生产过程中起的作用也就越大,其权重应该越大;反之,某一要素的变异程度越小,其提供的信息量越少,在整个生产过程中的作用也就越小,其权重也应越小。

(二) 省际工业投入产出系统生产可能性集性质的确定

本文以省为决策单元,以 n 代表省的个数,其中有 m 个投入要素 $x \in R_+^m$, 生产了 s^1 个合意产出 $y^d \in R_+^{s^1}$ 和 s^2 个非合意产出(污染排放) $y^u \in R_+^{s^2}$ 。关于规模报酬方面,我们认为,规模报酬可变更符合我国工业现状,故本文选择规模报酬可变,其生产可能性集可定义为:

$$P = \{ (x^e, x^n, y^d, y^u) \mid x^e \geq X\lambda, x^n \geq X\lambda, y^d \leq Y^d\lambda, y^u \geq Y^u\lambda, e\lambda = 1, \lambda \geq 0 \} \quad (1)$$

其中, $X^e = [x_1^e, \dots, x_n^e] \in R_+^{m \times n}$, $X^n = [x_1^n, \dots, x_n^n] \in R_+^{m \times n}$ 。 $x^e \geq X^e\lambda$ 和 $x^n \geq X^n\lambda$ 代表实际的能源和非能源投入大于生产前沿面的水平。 $Y^d = [y_1^d, \dots, y_n^d] \in R_+^{s^1 \times n}$ 和 $y^d \leq Y^d\lambda$ 代表实际的合意产出少于前沿面水平。 $Y^u = [y_1^u, \dots, y_n^u] \in R_+^{s^2 \times n}$ 和 $y^u \geq Y^u\lambda$ 代表实际的非合意产出多于前沿面水平。 $e = (1, \dots, 1) \in R^n$ 。 $\lambda = [\lambda_1, \dots, \lambda_n] \in R^n$ 是非负密度向量。而 $e\lambda = 1$ 代表了规模报酬可变。

表 1 两种规模报酬的差异性检验

原假设	Mann - Whitney U 检验		Kolmogorov - Smirnov Z 检验		Jonckheer - Terpstra 检验	
	统计量	结果	统计量	结果	统计量	结果
两种效率来自同一总体	4.521	拒绝原假设	2.281	拒绝原假设	4.521	拒绝原假设

注:以上结果均在 5% 的显著性水平上计算所得。

(三) 节能减排技术模型的构建

公式(1)技术条件下的相对效率可由包含非合意产出的 SBM^[13]求得。定义松弛变量 $s^{e-} \in R^{m_1}$ 、 $s^{n-} \in R^{m_2}$ 、 $s^u \in R^{s_2}$ 分别为能源投入、非能源投入、非合意产出可能压缩的量。定义松弛变量 $s^d \in R^{s_1}$ 为合意产出可能扩张的量。这些松弛变量都大于或等于零。定义 $\gamma \in R^{s_1}$ 、 $\delta \in R^{s_2}$ 分别为能源投入和

非合意产出的熵权重。因此包含能源、环境因素的节能减排相对效率测度模型可通过构建下面的优化问题来解决。

$$\min \eta = \frac{1 - \frac{1}{m_1 + m_2} \left(\sum_{i=1}^{m_1} \frac{\gamma_i s_i^{e-}}{x_{i0}^e} + \sum_{i=1}^{m_2} \frac{s_i^{n-}}{x_{i0}^n} \right)}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^d}{y_{r0}^d} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{\delta_r s_r^u}{y_{r0}^u} \right)}$$

$$s. t. \begin{cases} C1: x_0^e = X^e \lambda + s^{e-} \\ C2: x_0^n = X^n \lambda + s^{n-} \\ C3: y_0^d = Y^d \lambda - s^d \\ C4: y_0^u = Y^u \lambda + s^u \\ C5: e\lambda = 1 \\ C6: s^{e-} \geq 0, s^{n-} \geq 0, s^d \geq 0, \\ s^u \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ 和 $C4$ 描述了一个决策单元 (Decision Making Unit, DMU) $(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u)$ 。

定义一个 t 时期的 DMU 为 $(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)$, 在 s 技术条件下的相对相率为 $\eta_s(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)$ 。运用公式 (2) 所计算出的相对效率, 就可以求出从 t 期到 $t+1$ 期的基于 Malmquist 指数的生产率 (以下简称 $EEUSM_{t,t+1}$):

$$EEUSM_{t,t+1} = \sqrt{\frac{\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)}{\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)} \times \frac{\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)}{\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)}} \quad (3)$$

其中, $\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)$ 和 $\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)$ 分别测度了 t 和 $t+1$ 时期内的相对效率; $\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)$ 和 $\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)$ 则测度了跨期情况下的比较。 $\frac{\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)}{\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)}$ 和 $\frac{\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)}{\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)}$ 分别表示了 t 和 $t+1$ 时期的效率变化, $EEUSM_{t,t+1}$ 反映了合意产出的扩张及能源、非能源投入、非合意产出的压缩, 可以表述从 t 到 $t+1$ 时期生产率的增长、停滞和衰退。如果 $EEUSM_{t,t+1} > 1$, 代表了 DMU 从 t 到 $t+1$ 时期的生产率的增长; 如果 $EEUSM_{t,t+1} = 1$ 或者 $EEUSM_{t,t+1} < 1$, 则代表了生产率的停滞或退步。需特别指出的是: $EEUSM_{t,t+1} - 1$ 代表了生产率的增长率。简言之, $EEUSM_{t,t+1}$ 是一个比较静态分析工具。 $EEUSM_{t,t+1}$ 可以分解为技术效率 (以下简称 $EEUSM_C_{t,t+1}$) 和技术进步 (以下简称 $EEUSM_F_{t,t+1}$) 两部分。第一部分表示技术效率的变化, 可以用以下公式表示:

$$EEUSM_C_{t,t+1} = \frac{\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)}{\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)} \quad (4)$$

当 $EEUSM_C_{t,t+1} > 1$ 时, 表示从 t 到 $t+1$ 时期技术效率的增加; 否则, 当 $EEUSM_C_{t,t+1} = 1$ 或

$EEUSM_C_{t,t+1} < 1$ 时, 则分别代表了技术效率无变化或技术效率退步。类似的, $EEUSM_C_{t,t+1} - 1$ 表示一个 DMU 从 t 到 $t+1$ 时期效率的变化率。第二部分则代表了两个时期前沿面的变化, 即技术进步, 公式如下:

$$EEUSM_F_{t,t+1} = \sqrt{\frac{\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)}{\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t)} \times \frac{\eta_t(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)}{\eta_{t+1}(x_0^e, x_0^n, y_0^d, y_0^u, t+1)}} \quad (5)$$

当 $EEUSM_F_{t,t+1} > 1$ 时, 表示从 t 到 $t+1$ 时期生产前沿面向有更多的合意产出、更少的能源、非能源投入和污染排放的方向移动, 即技术的进步; 否则, 当 $EEUSM_F_{t,t+1} = 1$ 或 $EEUSM_F_{t,t+1} < 1$ 时, 则分别代表了技术的停滞或生产前沿面向有更少的合意产出、更多的能源、非能源投入和污染排放的方向移动, 即技术退步。

三、实证分析

(一) 数据

文中的投入产出原始数据主要来源于《中国统计年鉴》、《中国工业经济统计年鉴》以及《中国能源统计年鉴》等。其中, 能源投入为各地区能源总消耗量, 非能源投入包括劳动投入和资本投入, 劳动为从业人员数, 资本为实际固定资产净值, 产出的合意部分是实际工业增加值 (IAV), 产出的非合意部分为 SO_2 和 COD。

表 2 是本研究对相关数据的描述性统计。就传统投入、产出而言, 劳动的平均增长率只有东部地区在增加 (2.239), 中、西部都在降低; 三大地区的资本平均增长率都超过了 10%; 工业增加值的平均增长率则是东部最高 (15.522%), 中部最低 (13.308%)。就能源、污染排放而言: 能源消耗的平均增长率西部最高 (8.730%), 中部最低 (6.766%); SO_2 的平均增长率中部最高 (4.348%), 东部最低 (1.861%); COD 的平均增长率除西部以外均为负值。

(二) 实证结果及其分析

本文运用 Matlab 软件编程计算出了节能减排模型及传统模型。

1. 熵权的结果

各省际的能源、 SO_2 、COD 熵权的结果如表 3 所示。

表 2 变量的描述性统计(1992-2011)

地区	变量	最小值	最大值	均值	标准差
东部	劳动增长率(%)	-16.121	17.406	2.239	7.880
	资本增长率(%)	-2.378	27.699	11.351	7.074
	能源消耗增长率(%)	0.685	17.271	7.940	4.414
	工业增加值增长率(%)	-3.819	31.374	15.522	9.514
	SO ₂ 增长率(%)	-11.804	16.053	1.861	8.744
	COD 增长率	-21.932	19.250	-3.785	11.509
中部	劳动增长率(%)	-26.951	12.805	-0.438	8.481
	资本增长率(%)	-4.442	28.695	10.251	7.566
	能源消耗增长率(%)	-4.047	17.097	6.766	5.569
	工业增加值增长率(%)	-10.428	34.219	13.308	12.321
	SO ₂ 增长率(%)	-13.502	26.430	4.348	10.796
	COD 增长率	-33.808	31.809	-4.029	15.161
西部	劳动增长率(%)	-26.878	11.679	-0.805	9.103
	资本增长率(%)	-4.288	38.304	11.259	9.300
	能源消耗增长率(%)	-6.759	24.664	8.730	7.329
	工业增加值增长率(%)	-6.461	30.809	14.030	11.430
	SO ₂ 增长率(%)	-20.952	37.232	3.610	13.278
	COD 增长率	-27.059	49.391	0.673	16.852

注:表中的数值为变量 1992-1993 到 2010-2011 的年均变动百分比。

表 3 省际熵权

权重	能源	SO ₂	COD	权重	能源	SO ₂	COD
北京市	0.010795	0.050022	0.125901	河南省	0.035392	0.048578	0.012115
天津市	0.025227	0.00623	0.029089	湖北省	0.026076	0.011585	0.014664
河北省	0.03306	0.0089	0.017745	湖南省	0.034815	0.010969	0.00613
山西省	0.026636	0.024194	0.064481	广东省	0.041894	0.031243	0.005239
内蒙古	0.075928	0.053818	0.060647	广西	0.040978	0.018115	0.007484
辽宁省	0.016233	0.007507	0.011901	海南省	0.048423	0.004899	0.062964
吉林省	0.015862	0.020485	0.013746	重庆市	0.045255	0.14143	0.02912
黑龙江省	0.009314	0.029866	0.01289	四川省	0.029083	0.051623	0.013745
上海市	0.020218	0.015098	0.064315	贵州省	0.020767	0.033155	0.052248
江苏省	0.038633	0.003829	0.007194	云南省	0.033589	0.02656	0.026038
浙江省	0.037072	0.018775	0.004629	陕西省	0.035193	0.033711	0.043494
安徽省	0.018031	0.011424	0.025726	甘肃省	0.016414	0.009213	0.017759
福建省	0.052305	0.066127	0.020054	青海省	0.046974	0.012612	0.007641
江西省	0.029813	0.037628	0.013021	宁夏	0.060931	0.178726	0.14946
山东省	0.044952	0.003939	0.041757	新疆	0.030138	0.029739	0.038805

2. 效率

全国省际工业的效率如图 1 所示。总体来说, 1992-2011 年这 20 年中, 无论是否考虑能源、污染排放因素, 全国工业平均效率值都在下降。而且, 节能减排约束下的效率值下降更为明显。这说明, 全国省际工业效率水平与前沿面的差异性正在扩大, 且未考虑节能减排约束的省际工业效率测度低估了这一差异的严重性。从趋势看, 新世纪

以来两种效率的差距有扩大的趋势。直到“十一·五”期间, 国家把节能减排提升到国家层面上来, 这种差距才重新缩小。

从省际工业效率均值来看(见图 2), 上海、江苏、海南、陕西的年度均值为 1, 说明这四个省际的工业一直处于节能减排效率的前沿面上。这其中只有陕西省地处中部地区, 其他三个均为东部省(市)。效率排在前十名同时也是效率值高于

0.7 的省际（上海、江苏、海南、陕西、广东、福建、浙江、云南、北京、天津）基本都来自东部。可见，1992-2011 这 20 年中，能源、环境约束下的工业效率受东部地区引领。

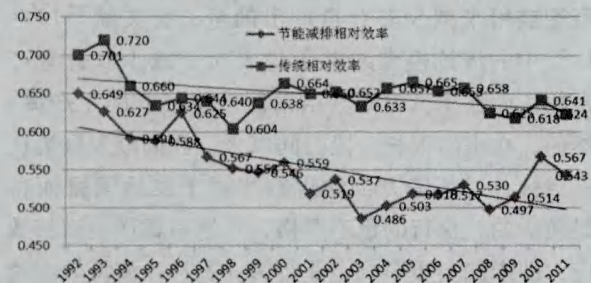


图1 效率对比

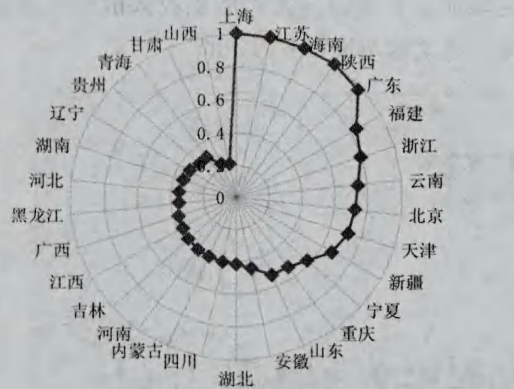


图2 节能减排效率

3. 工业全要素生产率及其分解

根据公式 (2)、(5)、(6)、(7) 可以计算出节能减排技术模型的 M 氏指数及其分解，以下将其结果与传统模型的结果进行对比分析。

传统模型的结果表明，1992-2011 年间全国工业年均增长率为 10.02%。三大地区中中部地区的工业全要素生产率最高 (12.53%)，西部次之 (9.85%)，东部最低 (8.28%)。传统模型的分解表明，1992-2011 年间全国工业技术效率的增速为 -0.03%，技术进步为 10.25%，因此技术进步是工业全要素生产率的主要来源。样本期内，西部地区的工业全要素生产率增速最快 (0.34%)，东部次之 (0.19%)，中部则为负值 (-0.23%)。技术进步方面，中部地区增速最快 (13.35%)，西部次之 (9.88%)，东部最慢 (8.27%)。可见，中部地区工业全要素生产率最高，且全部来源于技术进步。

1992-2011 年间，全国工业节能减排 M 氏指数的年均变化为 13.04%。这其中包括了年均增长 0.18% 的技术效率，以及年均增长 13.90% 的技术

进步。因此，能源、污染排放约束下的工业全要素生产率也主要来源于技术进步。三大地区中，东部地区的工业节能减排技术生产率最高 (30.19%)，中部次之 (7.66%)，西部为负值 (-1.27%)。样本期内，东部地区的技术效率增速最高 (0.88%)，西部次之 (0.31%)，中部为负值 (-0.92%)。技术进步方面，东部最高 (30.00%) (这主要得益于广东地区 348.08% 的超高增速)，中、西部的技术进步分别为 8.90% 和 0.42%。样本期内只有陕西的技术进步为负值 (-55.42%)。省际层面上 (参见图 3)，广东省的节能减排 M 氏指数最高，为 3.4；湖南、安徽、内蒙古、四川、山东、福建、北京的 M 氏指数介于 1.1 到 1.2 之间；黑龙江、江苏、甘肃、重庆、贵州、云南、山西、浙江、海南、广西、江西、河南、天津、辽宁、河北、吉林、湖北的 M 氏指数介于 1.0 到 1.1 之间；陕西、上海、宁夏、青海、新疆的 M 氏指数小于 1.0。



图3 节能减排 M 指数地图

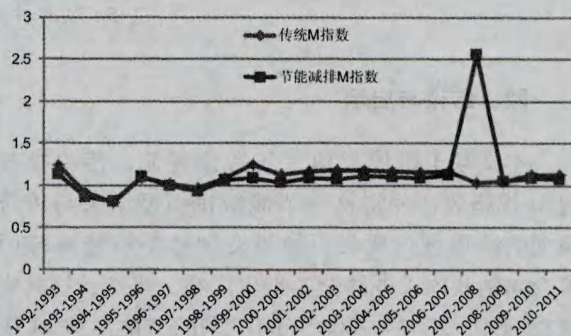


图4 两模型 M 指数趋势

从纵向来看 (参见图 4)，1992-1993 到 2010-2011 的这 19 个区间段全国工业节能减排 M 氏指数基本上总是低于未考虑能源、污染排放的传统 M 氏指数，只是在“十一五”中期的 2007-2008 这一区间段出现了明显地超越现象。但是，如果剔

除广东省的数据,全国工业节能减排 M 氏指数基本上还是低于未考虑能源、污染排放的传统 M 氏指数。

30 个省际 19 个区间的节能减排 M 氏指数和传统的 M 氏指数的箱图如图 5 所示。通过观察,我们可以发现大部分的区间内节能减排 M 氏指数的中位数、上四分位数、下四分位数都低于传统的未考虑能源、污染排放的 M 氏指数。我们可以发现,如果忽略能源消耗与污染排放对环境的污染,会高估我国工业的真实全要素生产率。

以上结果与 Kumar 和 Surender^[14]的研究结论一致。这两位学者发现,如果考虑非合意产出,发展中国家的全要素生产率将会降低。但是这与另一些学者^[15-18]的研究结论相矛盾。在这些研究中,

考虑非合意产出计算出的全要素生产率高于传统的未考虑非合意产出的情况,即不考虑非合意产出会低估真实生产率。这种矛盾的产生是因为:(1) 在环境规制之下,本来用于生产合意产出的资源被用来减少非合意产出的量,而文献 [15-18] 中的传统模型忽略了投入对于减少非合意产出的正面作用,因此其结果低估了真实的生产率。然而,在中国很长一段时间以来,我们以发展为优先目标,对环境方面的规制相对于发达国家而言是较少的,执行的也不严格,自然很难产生波特效应,即未能实质影响企业行为。况且,波特效应的产生也是需要时间的。(2) 本文的节能减排模型还增加了非能源投入对能源投入的替代因素,这是上述文献所没有考虑到的。

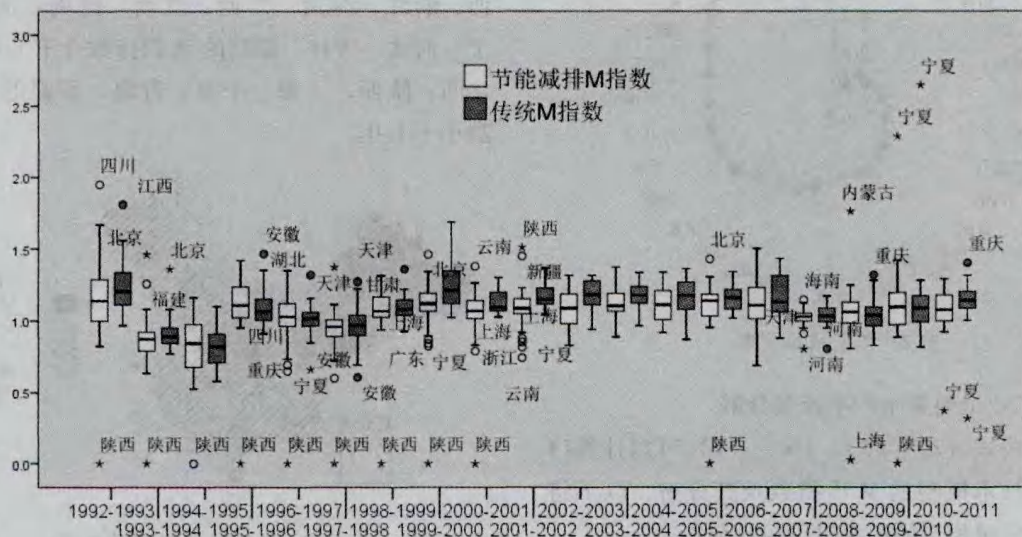


图5 两种模型 M 指数的箱图对比

四、结论与启示

本文基于熵加权建立了考虑能源、污染排放的 M 氏指数,并将这一节能减排模型结果与传统模型的结果进行比较,结果发现忽略节能减排因素会高估我国工业的全要素生产率。当然,这其中也有例外,2007-2008 年间广东的节能减排 M 氏指数达到了 4706.96%,且这一增长全部来自于技术进步。样本期内,中部地区在节能减排约束下的工业生产率增长最快,且全部来自于技术进步。但是生产前沿面几乎都来自东部,可见东部地区是节能减排技术的引领着。同时,全国省际工业效率水平与前沿面的差异性正在扩大,且未考虑节能减排约束的省际工业效率测度低估了这一差异

的严重性。

注释:

- ① 2010 年,我国的能源消耗占世界的 20.3%,而同期美国的能源消耗只占世界的 19%。

参考文献:

- [1] Shi, G., Bi, J. and Wang, J. Chinese Regional Industrial Energy Efficiency Evaluation Based On a DEA Model of Fixing Non - Energy Inputs[J]. Energy Policy, 2010, 38(10): 6172 - 6179.
- [2] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009(4): 41 - 55.
- [3] 陈军,成金华,吴巧生. 工业化水平区域差异与中国

- 能源消费[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(5): 59-64.
- [4] 李世祥, 成金华. 中国主要工业省区能源效率分析: 1990~2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008(10): 32-43.
- [5] 唐玲, 杨正林. 能源效率与工业经济转型——基于中国 1998~2007 年行业数据的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2009(10): 34-48.
- [6] 邵军, 管驰明. 中国工业部门能源使用效率及其影响因素研究[J]. 经济学家, 2009(1): 58-65.
- [7] 王少平, 杨继生. 中国工业能源调整的长期战略与短期措施——基于 12 个主要工业行业能源需求的综列协整分析[J]. 中国社会科学, 2006(4): 88-96.
- [8] 涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性[J]. 经济研究, 2008(2): 93-105.
- [9] 吴军. 环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2009(11): 17-27.
- [10] 杨俊, 邵汉华. 环境约束下的中国工业增长状况研究——基于 Malmquist-Luenberger 指数的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2009(9): 64-78.
- [11] 杨龙, 胡晓珍. 基于 DEA 的中国绿色经济效率地区差异与收敛分析[J]. 经济学家, 2010(2): 46-54.
- [12] 赵立成, 任承雨. 绿色经济视角下环渤海经济圈经济效率的再评价——基于熵权法和 DEA-Malmquist 方法[J]. 资源开发与市场, 2012(1): 45-47.
- [13] Tone, K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks - Based Measure (SBM) Approach, Nippon Opereshonzu, Risachi Gakkai Shunki Kenkyu Happyokai Abusutorakutoshu, 2004: 44-45.
- [14] Kumar, S. Environmentally Sensitive Productivity Growth: A Global Analysis Using Malmquist-Luenberger Index[J]. Ecological Economics, 2006, 56(2): 280-293.
- [15] Färe, R., Grosskopf, S. and Pasurka Jr, C. A. Accounting for Air Pollution Emissions in Measures of State Manufacturing Productivity Growth[J]. Journal of Regional Science, 2001, 41(3): 381-409.
- [16] Chung, Y. H., Färe, R. and Grosskopf, S. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.
- [17] Hailu, A. and Veeman, T. S. Environmentally Sensitive Productivity Analysis of the Canadian Pulp and Paper Industry, 1959-1994: An Input Distance Function Approach[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2000, 40(3): 251-274.
- [18] Porter, M. E. and Van der Linde, C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship[J]. The Journal of Economic Perspectives, 1995a, 9(4): 97-118.

Industrial Total Factor Productivity under the Constraint of Energy Conservation and Emission Reduction

LIU Hai-ying¹, XIU Jing¹, LI Shu-hua²

(1. Centre for Quantitative Economics, Jilin University, Changchun 130012, China;

2. School of Economics and Management, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: This paper uses USBM model based on entropy to construct Malmquist index including energy and environmental factors, to measure industrial energy conservation and emission reduction productivity and decomposition of China's 30 provinces from 1992 to 2011. The results indicate that we overestimate the industrial productivity by ignoring the factors of energy conservation and emission reduction; the central area owns the fastest productivity growth, which is all due to technical efficiency; all the energy conservation and emission reduction technology innovators come from the East; the difference of provincial level industrial efficiency is expanding; ignoring the factors of energy conservation and emission reduction underestimates the difference.

Key words: energy conservation and emission reduction; environmental regulation; entropy; total factor productivity

(责任编辑: 张曦)