

# 低碳经济背景下我国工业能源利用效率分析

——基于协整理论和 DEA 模型

包江山,关 峻

(北京工业大学 经济与管理学院,北京 100124)

**摘 要:**根据我国内地 30 个省(市/区)(因数据不全,不含西藏)1990—2009 年工业能源利用效率的相关投入与产出数据,运用协整理论选取投入变量、产出变量,并利用误差修正模型(ECM)和 VAR 脉冲响应函数,从短期和长期两个方面,研究能源效率及其影响因素的互动机制。基于 DEA 模型,综合测度了各个地区的工业能源利用技术效率、规模效率。结果表明:工业总产值对石油和煤炭的弹性高达 2.509 和 2.263,石油和煤炭是工业总产值提高的内在驱动力;我国内地 30 个省市的工业能源利用效率存在不平衡性,出现技术效率和规模效率的“高低型”和“低高型”,西部地区存在巨大提升空间。

**关键词:**能源效率;协整理论;DEA;技术效率;规模效率

**DOI:**10.6049/kjbydc.2011090718

**中图分类号:**F403.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-7348(2012)20-0124-07

## 0 引言

随着能源问题与环境问题的日益突出,能源效率越来越受到国际国内的广泛重视。国内许多学者都从不同角度研究了能源利用效率的改进和节能潜力,认为提高能源利用效率是减少能源消耗强度、缓解当前和今后能源供求结构矛盾、促进经济持续稳定增长的重要途径<sup>[1]</sup>。十七大报告指出,要加快转变经济发展方式,由主要依靠增加资源消耗向主要依靠科技进步、劳动者素质提高、管理创新方向转变。科学发展五年规划也指出:第一个五年(2006—2010年)是首次依据“科学发展观”制定的第十一个五年规划,引入和强化了“节能减排”约束性指标;第二个五年(2011—2015年)将“十二五”规划定位为“绿色发展”规划,进一步强化绿色发展指标,特别是引入可再生能源消费比例、单位 GDP 二氧化碳排放量减少率、森林蓄积量及碳汇能力等指标;第三个五年(2016—2020年)将制定“十三五”规划,要求进一步加大节能减排力度,使我国二氧化碳排放在 2020 年前后达到最高峰,与世界减排路线图基本一致。

基于此,国家出台了相关节能环保政策,制定了中国 2005—2020 年减排目标计划。这是一个比较完整和全面的减排路线图,包括六大目标:第一个是节能目标,从“十一五”规划算起,每一个五年规划期间单位 GDP 能耗减少 20%,2005—2020 年累计减少 50%左右;第二个是清洁能源目标,2005—2020 年可再生能源和核能比例从 7.7%提高到 17.7%;第三个是清洁煤炭使用目标,2010—2020 年清洁煤使用比例累计提高 15 个百分点;第四个是二氧化碳排放减缓排放目标,从“十二五”规划算起,每一个五年规划期间单位 GDP 二氧化碳排放量下降 20%,2010 年—2020 年累计下降 36%,比 2005 年下降 40%—45%;第五个目标是主要污染物减排目标,从“十一五”规划算起,每一个五年规划期间主要污染物减少 10%,2005—2020 年累计减少 1/4 以上;第六个是提高森林碳汇能力目标,2005—2020 年森林覆盖率从 18.2%提高到 22%,森林蓄积量累计增加 13 万—15 亿 m<sup>3</sup>。可见,如何提高能源利用效率,降低能源消耗程度,对于我国经济持续稳定发展意义重大。

收稿日期:2011-12-08

基金项目:北京工业大学科技基金项目(ykj-2011-5698);北京工业大学科技创新平台项目(0110005466009);北京市创新环境与服务体系建设项目(Z111108055011019)

作者简介:包江山(1986—),男,湖北随州人,北京工业大学经管学院硕士研究生,研究方向为数量经济、技术经济;关峻(1967—),男,博士后,湖北武汉人,北京工业大学经管学院副院长、教授,研究方向为企业创新、项目管理与优化。

## 1 研究方法 with 理论

### 1.1 协整理论

协整理论是 Engle 和 Granger 在 1978 年首先提出来的。所谓协整,是指若两个或多个非平稳的变量序列,其某个线性组合后的序列呈平稳性,就称这些变量序列间有协整关系存在。为了给出协整关系的精确定义,需要先给出单整的概念。如果一个时间序列  $\{y_t\}$  在成为稳定序列之前必须经过  $d$  次差分,则称该时间序列是  $d$  阶单整,记为  $y_t \sim I(d)$ 。根据单整的定义,可以给出协整关系的精确定义,设随机向量  $X_t$  中所含分量均为  $d$  阶单整,记为  $X_t \sim I(d)$ ,如果存在一个非零向量  $\beta$ ,使得随机向量  $Y_t = \beta X_t \sim I(d-b)$ ,  $b > 0$ ,则称随机向量  $X_t$  具有  $d, b$  阶协整关系,记为  $X_t \sim CI(d, b|B)$ ,向量  $\beta$  被称为协整向量。特别地,  $y_t$  和  $x_t$  为随机变量,并且  $y_t, x_t \sim I(1)$ ,当  $y_t = k_0 + k_1 x_t \sim I(0)$ ,则称  $y_t$  和  $x_t$  是协整的,  $(k_0, k_1)$  称为协整系数。关于协整的概念,给出以下说明:首先,协整回归的所有变量必须是同阶单整的,协整关系的这个前提并非意味着所有同阶单整的变量都是协整的,比如假定  $y_t, x_t \sim I(1)$ ,  $y_t$  和  $x_t$  的线性组合仍为  $I(1)$ ,则此时  $y_t$  和  $x_t$  虽然满足同阶单整,但不是协整的;其次,在两变量的协整方程中,协整向量  $(k_0, k_1)$  是唯一的,然而,若系统中含有  $k$  个变量,则可能有  $k-1$  个协整关系。协整检验和估计协整线性系统参数的统计理论构成了协整理论的重要组成部分。如果没有它们,协整在实践中便会失去其应有的作用。常用的协整检验有两种,即 Engle-Granger 两步协整检验法和 Johansen 协整检验法。协整理论衡量了几个变量之间的长期均衡关系,对于变量的选取和变量关系的测定具有重要意义。

### 1.2 DEA 模型

本文使用 DMU 初始投入产出数据进行传统 DEA 分析。BCC 模型用来处理“规模报酬可变 (Variable Returns Scale, VRS)”假设下的决策单元有效性问题。对于任一决策单元 DMU,投入导向下对偶形式的 BCC 模型可表示为:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & [\theta - \epsilon(e's^- + e's^+)] \\ \text{s. t.} & \sum_{i=1}^n \lambda_j y_{ir} - s^+ = y_{0r} \\ & \sum_{i=1}^n \lambda_j x_{ij} + s^- = \theta x_{0j} \\ & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j \neq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \end{aligned}$$

其中,  $\theta$  是效率指数,  $\lambda_j$  是输入和输出系数,  $x_{ij}$  为第  $j$  个评价单元的第  $i$  个输入指标,  $s^-$  和  $s^+$  分别为投入和产出松弛变量。下面进一步说明 DEA 有效性的经

济意义。

如果  $\theta = 1$ ,且  $s^-$  和  $s^+$  都为 0,则 DMU 为 DEA 有效,表明投入和产出没有达到最优效率,其生产活动为技术有效和规模有效。①如果  $\theta = 1$ ,但至少有一个输入或输出松弛变量大于零,则 DMU 为弱 DEA 有效,DMU 不是同时技术有效和规模有效;②如果  $\theta < 1$ ,则 DMU 是 DEA 无效,其生产活动既不为技术有效也不为规模有效;③如果  $\theta > 1$ ,说明投入和产出超过了最优效率。

设决策单元的规模收益指数  $k = \frac{1}{\theta} \sum_{j=1}^n \lambda_j$ ,可依据下式进行判断:①若  $k > 1$ ,则规模收益递减,且该值越大规模收益递减趋势越大;②若  $k < 1$ ,则规模收益递增,且该值越小规模收益递增趋势越大;③若  $k = 1$ ,则规模收益不变,此时 DMU 达到最大产出规模。

## 2 协整与误差修正模型分析

### 2.1 变量设置与数据处理

能源效率包括能源技术效率和能源经济效率<sup>[2]</sup>。能源技术效率主要是指由生产技术、产品生产工艺和技术设备所决定的能源效率。能源技术效率的改进,往往是与生产工艺和路线合理化、先进的技术装备和生产技术以及技术创新和技术发明联系在一起的。国外的能效影响因素研究主要分为以下 3 类:一是行业能效分析。例如,Subrahmanya<sup>[3]</sup>通过分析印度的制砖行业状况,认为劳动效率的提高有助于提高发展中国家的能效;Boyd 和 Pang<sup>[4]</sup>通过分析玻璃制造业的能源使用,认为生产率和能效紧密相关;Komor et al.<sup>[5]</sup>认为技术进步对交通运输业的能效有很大影响等。二是社会经济因素分析,可能的因素包括政策、价格、对外贸易、产业结构等。例如,Geller et al.<sup>[6]</sup>认为设计完善的能源政策可以极大地促进能源节约;Fan et al.<sup>[7]</sup>认为市场经济化会促进能效的提高;Cornillie 和 Fankhauser<sup>[8]</sup>认为能源价格是促进能效提高的重要因素;Farla et al. 和 Schafer<sup>[9]</sup>通过案例分析,认为产业结构调整是能效提高的重要原因等。三是国际比较研究。这一类的研究主要有:Phylipsen et al.<sup>[10]</sup>发现,在进行跨国能效比较时,不可忽视不同国家间的经济结构差异;Levine et al.<sup>[11]</sup>认为合理的产业政策可以加速高能效技术的推广使用,进而促进能效的提高;Therault 和 Sahi.<sup>[12]</sup>发现,如果不考虑制造业的技术要求差异和产品结构差异,在进行国际比较时就可能产生很大的误差等。具体来说,能源技术效率的衡量方法主要有热力学指标、物理热量和经济热量指标,能源经济效率的衡量方法主要是纯经济指标,该指标是根据能源投入价值与产出的市场价值来进行测量的。本文所研究的主要工业能源利用效率指标如表 1 所示。

表 1 工业能源利用效率投入产出变量

变量/指标	定义	符号	变量解释
产出变量	工业总产值	TP	采用规模以上工业总产值来计量,以当年价计算
	工业电力用量	DL	工业电力是工业生产的主要指标之一,主要包含了风电、水电和核电
	工业煤炭用量	MT	工业煤炭包含原煤和焦炭,是工业用碳的主要来源
投入变量	工业石油用量	SY	该指标包括工业原油、汽油、煤油、柴油和燃料油等
	工业能源投资	PC	采用城镇工业能源固定资产投资,以当年价格计算
	人力资本投资	LC	采用工业就业人数衡量,主要包括采矿业、制造业、建筑业、交通运输业等的能源供应

分析数据来自《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国人口和就业统计年鉴》以及《中国固定资产投资统计年鉴》。借助 Eviews6.0 分析软件,利用最小二乘(OLS)进行估计。

2.2 实证检验

协整理论揭示了变量之间的长期稳定关系,存在

协整关系的前提是,变量为同阶单整。下面首先进行单位根平稳性检验,检验结果见表 2。

平稳性检验结果表明:LNTP、LN DL、LNMT、LN-SY、LNPC 和 LNLC 的原时间序列的 ADF 统计值,在含有时间趋势项或常数项和不含时间趋势项或常数项的情况下均大于 10%的临界值,说明变量之间不平稳。

表 2 投入和产出变量的时间序列数据平稳性检验汇总

变量	检验形式	ADF 值	比较	临界值	AIC 值	是否平稳
LNTP	(C,T,1)	-0.860 9	>	-3.297 8*	-	否
	(C,T,0)	0.988 2	>	-2.660 6*	-	否
	(0,0,1)	5.708 1	>	-1.606 6*	-	否
LN DL	(C,T,0)	-1.608 6	>	-3.286 9*	-	否
	(C,0,0)	-0.071 5	>	-2.660 6*	-	否
	(0,0,0)	3.981 3	>	-1.606 6*	-	否
LNMT	(C,T,1)	-2.168 9	>	-3.297 8*	-	否
	(C,0,1)	-0.356 4	>	-2.666 6*	-	否
	(0,0,1)	1.244 5	>	-1.606 1*	-	一
LNSY	(C,T,1)	-2.217 5	>	-3.286 9*	-	否
	(C,0,0)	-0.662 7	>	-2.660 5*	-	否
	(0,0,0)	5.225 6	>	-1.606 6*	-	否
LNLC	(C,T,1)	-4.334 9	<	-3.710 5**	-3.551 5	是
	(C,0,3)	1.301 6	>	-2.681 3*	-	否
	(0,0,3)	2.546 8	>	-1.605 0*	-	否
LNPC	(C,T,1)	-1.506 4	>	-3.286 9*	-	否
	(C,0,0)	0.022 9	>	-2.660 6*	-	否
	(0,0,0)	6.244 5	>	-1.606 6*	-	否
△LNTP	(C,0,0)	-6.148 4	<	-3.886 8***	-1.829 4	是
△ <sup>2</sup> LNTP	(C,0,0)	-9.518 4	<	-3.920 4***	-2.062 2	是
	(0,0,0)	-9.950 8	<	-2.717 5***	-2.158 1	是
△LN DL	(C,T,0)	-3.172 1	>	-3.310 3*	-	否
△ <sup>2</sup> LN DL	(C,0,0)	-3.749 8	<	-3.052 2**	-1.424 9	是
	(0,0,0)	-2.385 2	<	-1.962 8**	-1.185 3	是
△LNMT	(0,0,1)	-1.106 5	>	-1.605 6*	-	否
△ <sup>2</sup> LNMT	(C,0,0)	-3.960 7	<	-3.920 4***	-3.252 9	是
	(0,0,0)	-4.096 3	<	-2.717 5***	-3.376 5	是
△LNSY	(C,T,0)	-3.814 9	<	-3.052 2**	-2.912 9	是
△ <sup>2</sup> LNSY	(C,0,0)	-6.035 2	<	-3.920 4***	-2.429 4	是
	(0,0,0)	-6.257 2	<	-2.717 5***	-2.554 4	是
△LNLC	(C,T,0)	-0.959 9	>	-1.606 1*	-	否
△ <sup>2</sup> LNLC	(C,0,0)	-2.976 1	<	-2.6735*	-2.888 0	是
	(0,0,0)	-3.051 9	<	-2.717 5***	-2.991 3	是
△LNPC	(C,T,0)	-4.040 7	<	-3.886 8***	-1.310 3	是
△ <sup>2</sup> LNPC	(C,0,0)	-7.045 0	<	-3.920 4***	-0.884 6	是
	(0,0,0)	-7.316 6	<	-2.717 5***	-1.008 0	是

注:检验形式(C,T,N)分别表示含常数项,含常数项和趋势项,滞后阶数。\*表示 10%显著水平,\*\*表示 5%显著水平,\*\*\*表示 1%显著水平,△表示一阶差分,△<sup>2</sup>表示二阶差分

而在其一阶差分中,  $\Delta\text{LNTP}$ 、 $\Delta\text{LNSY}$  和  $\Delta\text{LNPC}$  分别表示在 10%、5%、10% 的显著性水平下是平稳的。二阶差分中,  $\Delta^2\text{LNTP}$ 、 $\Delta^2\text{LNDL}$ 、 $\Delta^2\text{LNMT}$  和  $\Delta^2\text{LNLC}$  在 5% 的显著性水平下都小于相应的临界值, 故二阶差分后平稳。因此,  $\text{LNTP}$  和  $\text{LNSY}$ ,  $\text{LNTP}$  和  $\text{LNPC}$  同时一阶单整, 可以进行协整分析;  $\text{LNTP}$  和  $\text{LNDL}$ ,  $\text{LNTP}$  和  $\text{LNMT}$ ,  $\text{LNTP}$  和  $\text{LNLC}$  同时二阶单整, 同样可以进行协整分析。本文采用 Engle 和 Granger 提出的 EG 两步法, 检验 TFP 和 EC 之间是否存在协整关系。Engle-Granger 两步协整检验法考虑了如何检验零假设为一组变量的无协整关系问题。基本思想是用普通最小二乘法估计这些变量之间的平稳关系系数, 然后用单位根检验来检验残差。拒绝存在单位根的零假设是协整关系存在的证据。检验结果见表 3。

表 3 Engle-Granger 两步法协整检验结果汇总

变量	检验形式	ADF 统计值	比较	临界值	是否平稳
残差(DL)	(0,0,3)	-4.114 8	<	-2.728 3***	是
残差(MT)	(0,0,0)	-5.038 8	<	-2.708 0***	是
残差(SY)	(0,0,0)	-1.897 6	<	-1.606 6*	是
残差(PC)	(0,0,0)	-5.926 0	<	-2.699 8***	是
残差(LC)	(0,0,0)	-5.184 8	<	-2.708 1***	是

由检验结果可知, 残差序列  $et$  的单位根检验统计量都小于 10% 水平下的临界值, 说明投入和产出变量

$$\Delta\text{LNTP}_t = 1.627 * \Delta\text{LNSY}_t - 0.379 * \text{ECM}_t^{\text{sy}},$$

$$(3.518) \quad (-1.932)$$

$$\Delta\text{LNTP}_t = 0.950 * \Delta\text{LNPC}_t - 0.983 * \text{ECM}_t^{\text{pc}},$$

$$(9.786) \quad (-5.502)$$

$$\Delta\text{LNTP}_t = 2.263 * \Delta\text{LNMT}_t - 0.183 * \text{ECM}_t^{\text{mt}},$$

$$(5.574) \quad (-1.270)$$

$$\Delta\text{LNTP}_t = 1.268 * \Delta\text{LNLC}_t - 0.333 * \text{ECM}_t^{\text{lc}},$$

$$(6.254) \quad (-2.305)$$

$$\Delta\text{LNTP}_t = 1.232 * \Delta\text{LNDL}_t - 0.503 * \text{ECM}_t^{\text{dl}},$$

$$(5.343) \quad (-2.635)$$

误差修正模型的估计结果表明: 统计量的值都非常显著, 说明本文包含的解释变量(工业用电量、城镇能源投资、工业用煤量、人力投资和工业用电量)对被解释变量(工业总产值)的解释程度很高。可以解释为: 工业总产值对工业用电量、城镇能源投资、工业用煤量、人力投资和工业用电量的短期弹性, 即工业用电量增加 1%, 短期内工业总产值增加 1.627%, 小于长期收入弹性 2.509%。同理, 其余 4 个变量的短期弹性分别为 0.950、2.263、1.268 和 1.232, 都分别小于长期收入弹性 1.089、2.893、1.621 和 1.869, 说明误差修正模型对投入和产出变量间的非均衡关系进行了调整。另

间存在长期稳定的关系, 即协整关系。下面继续检验变量间的因果关系, 本文采用 Granger 因果检验, 见表 4。结果表明: 各变量的 F 统计量值都大于 3, 相应的 P 值都小于 0.05, 都拒绝原假设, 通过格兰杰因果检验, 即投入和产出变量间存在长期稳定的因果关系。

表 4 投入和产出变量间的格兰杰因果关系检验结果

检验的原假设	滞后长度	F 检验统计量	P 值	判断结果
DL 不是 TP 的格兰杰原因	2	5.326 5	0.022 4	拒绝
MT 不是 TP 的格兰杰原因	3	17.571 6	0.000 4	拒绝
SY 不是 TP 的格兰杰原因	1	8.634 3	0.010 2	拒绝
PC 不是 TP 的格兰杰原因	2	4.939 4	0.027 2	拒绝
LC 不是 TP 的格兰杰原因	1	7.205 1	0.017 0	拒绝

### 2.3 检验结果分析

(1) 短期分析——误差修正模型。误差修正模型(ECM) 也是由 Engle 和 Granger 于 1987 年提出的, 是一种具有特定形式的计量经济模型。其基本思想是, 如果变量之间存在协整关系, 则表明这些变量之间存在长期均衡关系, 而这种长期均衡关系是在短期波动过程的不断调整下得以实现的。也就是说, 大多数经济时间序列具有长期均衡关系, 是因为有一种调节机制——误差修正机制在起作用, 防止长期均衡关系出现较大的误差。因此, 构建如下误差修正模型:

$$\text{ECM}_t^{\text{sy}} = \text{LNTP} - 2.509 * \text{LNSY} + 14.490$$

$$\text{ECM}_t^{\text{pc}} = \text{LNTP} - 1.089 * \text{LNPC} - 2.459$$

$$\text{ECM}_t^{\text{mt}} = \text{LNTP} - 2.893 * \text{LNMT} + 22.283$$

$$\text{ECM}_t^{\text{lc}} = \text{LNTP} - 1.621 * \text{LNLC} + 2.573$$

$$\text{ECM}_t^{\text{dl}} = \text{LNTP} - 1.869 * \text{LNDL} + 3.737$$

外, 误差修正项 ECM 的系数估计值在 5% 的检验水平下是显著的, 该系数反映了对工业总产值偏离长期均衡关系的调整力度, 其绝对值越大, 则非均衡状态恢复到均衡状态的速度就越快。在本文中, 假如前一期的工业总产值偏离了长期均衡关系, 即  $\text{ECM} \neq 0$ , 为了维持实际工业总产值与工业用电量、城镇能源投资、工业用煤量、人力投资和工业用电量的长期均衡关系, 当期将分别以 0.379、0.983、0.183、0.333 和 0.503 的速度对前一期非均衡状态进行调整。

(2) 长期分析——VAR 脉冲响应。脉冲响应分析是研究变量间动态影响关系的一种方法。它用于衡量

来自随机扰动项的一个标准差冲击对内生变量当前和未来值影响的变动轨迹,能够比较直观地刻画出变量之间的动态交互作用及效应。基于上述 VAR 模型进行脉冲响应分析,可以获得不同阶段煤炭、石油、电力和能源投资对工业总产值冲击的脉冲响应。通过 EViews6.0 软件对非人力资本变量进行脉冲响应分析,结果如图 1—4。

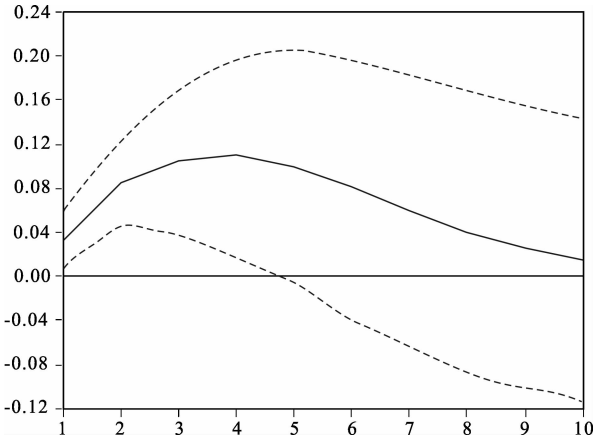


图 1 TP 对 MT 的脉冲响应

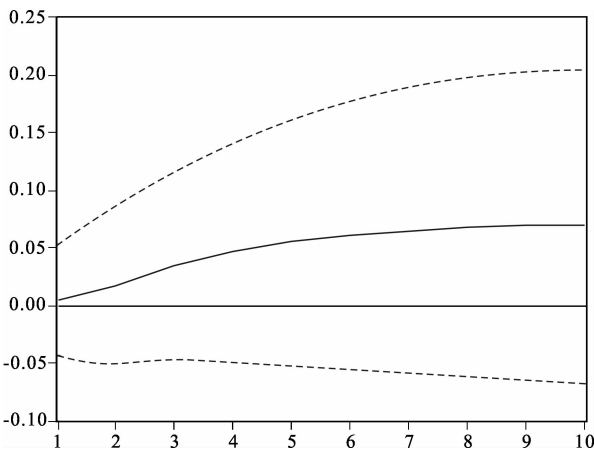


图 2 TP 对 SY 的脉冲响应

横轴表示时期数,纵轴表示脉冲效应函数大小,虚线表示正负两倍的标准偏离带( $\pm 2S.E.$ )。从图 1 可以看到,工业总产值对工业煤炭用量扰动立即作出了响应,第一期的响应大约为 0.03 左右,在第四期达到最大(0.12 左右)且为正向,之后工业总产值对煤炭用量的扰动响应逐渐减小。说明其在前期加大煤炭使用量可以快速提高工业总产值,但由于规模瓶颈效应和技术障碍,贡献度逐渐减小。从图 2 也可以看到,工业总产值对石油扰动冲击的响应先上升后逐渐趋于稳定,短期内加大石油消费量可以提高产值,但从长期角度来看,为了保持工业总产值的平稳增长,必须提高技术和规模效率。从图 3 和图 4 可以得出:工业总产值对能源工业投资和人力投资的扰动响应是负向的,前期逐渐减小,然后趋于平稳。

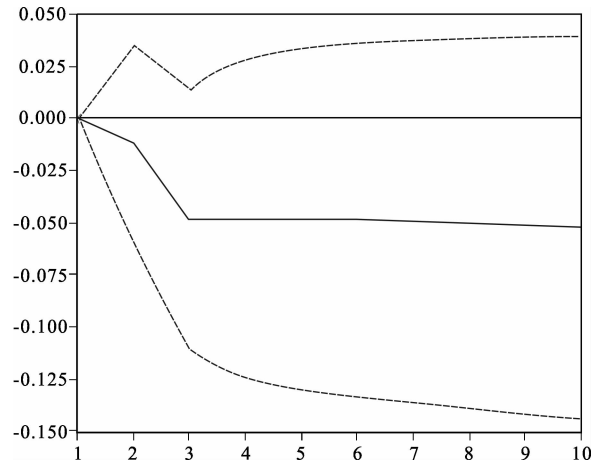


图 3 TP 对 PC 的脉冲响应

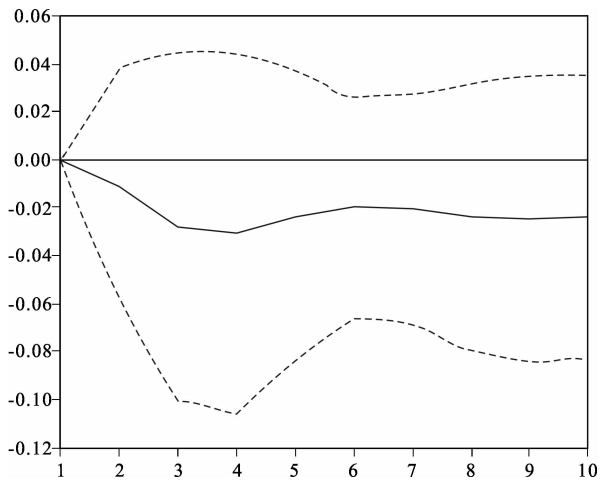


图 4 TP 对 DL 的脉冲响应

### 3 DEA 模型效率分析

DEA(数据包络)分析是一种基于线性规划的用于评价同类型组织(或项目)工作绩效相对有效性的特殊工具手段<sup>[13]</sup>。DEA 分析中最主要的两个模型为  $C^2R$  和  $C^2GS^2$  模型。前者假设决策单元处于最优生产规模下,后者将模型中的固定规模(CRS)假设解除,衡量决策单元在可变规模下的效率。当前我国面临产业结构调整、劳动力转移等形势,有利于扩大工业生产规模,提高工业能源利用效率,缓解我国资源匮乏状况。所以,固定规模效益模型即  $C^2R$  模型不适宜,规模效益可变模型即  $C^2GS^2$  模型较符合实际。效率的高低可分别在投入导向和产出导向两种情况下衡量,投入导向是指在不改变产出数量前提下,减少投入比例;产出导向是指在不改变投入比例的前提下,增加产出。决策单元可自由调整生产要素投入比例,可以选择投入导向进行分析,根据工业能源的效率分析特征,选择投入导向下的  $C^2GS^2$  模型对其效率进行评估分析。利用 DEAP2.1 软件,测算结果如表 5 所示。

表 5 内地 30 个省市技术效率和规模效率汇总

省市区	技术效率(TE)	规模效率(SE)	规模报酬	省市区	技术效率(TE)	规模效率(SE)	规模报酬
北京	1.000	0.854	irs	河南	1.000	1.000	—
天津	1.000	1.000	—	湖北	0.734	0.784	irs
河北	0.643	0.969	irs	湖南	1.000	0.569	irs
山西	0.667	0.980	irs	广东	1.000	1.000	—
内蒙古	0.494	0.987	irs	广西	0.687	0.708	—
辽宁	0.787	0.977	irs	海南	1.000	0.427	irs
吉林	1.000	0.775	irs	重庆	1.000	0.941	irs
黑龙江	0.464	0.864	irs	四川	0.794	0.867	irs
上海	1.000	1.000	—	贵州	1.000	0.506	irs
江苏	1.000	1.000	—	云南	0.654	0.665	irs
浙江	0.847	0.985	irs	陕西	0.508	0.901	irs
安徽	0.819	0.966	irs	甘肃	0.280	0.847	irs
福建	0.801	0.817	irs	青海	1.000	0.317	irs
江西	1.000	0.749	irs	宁夏	0.354	0.758	irs
山东	1.000	1.000	—	新疆	0.369	0.784	irs

从上表可以得出:各省市区的效率可以分为 3 个等级:北京、天津、上海、江苏、山东、河南、广东、重庆的技术效率和规模效率都很高,达 0.9 以上;其次为河北、山西、辽宁、吉林、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南;效率较低的省区市有内蒙、黑龙江、广西、海南、四川、云南、山西、甘肃、青海、宁夏和新疆。其中几个省区市出现“高低型”和“低高型”,如图 5 所示。“高低型”是指技术效率较高,规模效率较低,包含的省份有湖南、海南、贵州和青海,说明这些地区规模优势没有发挥出来,这些省市变革的重点为扩大工业生产规模、优化内部结构、实现资源集中配置。“低高型”是指技术效率较低,规模效率较高,包含的省区有内蒙、黑龙江、陕西、甘肃、宁夏和新疆,这一类省份在后续发展中要着重进行技术效率改进。

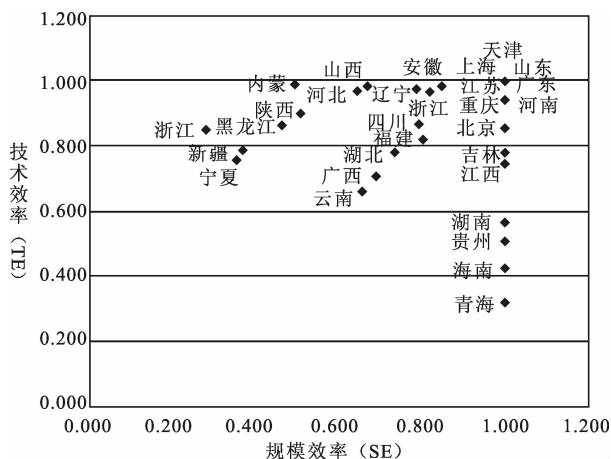


图 5 “高低型”和“低高型”省市

#### 4 结论与建议

本文根据我国内地 30 个省(市/区)1990—2009 年的时间序列数据,首先基于协整理论对影响我国工业能源利用效率的指标进行界定,主要指标包括工业总产值(被解释变量)、工业用电量、工业用煤量、工业用

油量、能源投资和人力投资(解释变量),并进行了 ADF 平稳性检验、协整检验和格兰杰因果关系检验。结果表明,本文所选择的投入变量对产出变量具有重要影响。然后进行回归分析,建立了 VAR 和 ECM 模型,分别从短期和长期角度,动态分析了投入变量对产出变量的均衡影响。最后基于 2009 年度界面数据,依据 DEA 数据包络分析法,借助 DEAP2.1 软件测算了我国内地 30 个省市(不含西藏)的技术效率、规模效率和规模报酬情况。主要结论如下:

(1)工业总产值对工业用电量、城镇能源投资、工业用煤量、人力投资和工业用电量的弹性系数都较高,分别为 2.509、0.950、2.263、1.268 和 1.232,其中对石油和煤炭的弹性最高。上述数据说明,我国工业总产值对石油和煤炭具有高度依赖性,石油和煤炭是工业总产值提高的重要内在驱动力。因而,大力发展科技,促进技术进步,对于提高我国工业能源利用效率具有重要意义。

(2)我国内地 30 个省市的工业能源利用效率存在不平衡性,具有很大差异。其中,北京、天津、上海、江苏、山东、河南、广东、重庆的技术效率和规模效率都高达 0.9,而内蒙、黑龙江、广西、海南、四川、云南、山西、甘肃、青海、宁夏和新疆等地区能源利用效率较低,技术效率和规模效率都较东中部的大部分地区落后,存在巨大发展空间。这种不平衡性表现为技术效率和规模效率的“高低型”和“低高型”,原因在于技术落后和内部结构不合理。对于“高低型”的省市,应该扩大工业生产规模,优化内部结构,实现资源集中配置;对于“低高型”的省市,应该加大力度促进科技创新,充分提高能源利用效率<sup>[14]</sup>。

#### 参考文献:

[1] 史丹.我国经济增长过程中能源利用效率的改进[J].经济研究,2002(9):49-56,94.  
 [2] 刘畅,孔宪丽,高铁梅.中国能源消耗强度变动机制与价格

- 非对称效应研究——基于结构 VEC 模型的计量分析[J]. 中国工业经济, 2009(3):59-70.
- [3] M. H. BALA SUBRAHMANYA. Labor productivity, energy intensity and economic performance in small enterprises: a study of brick enterprises cluster in India[J]. Energy Conversion and Management, 2006, 47(6):763-777.
- [4] GALE A. BOYDA, JOSEPH X. PANGB. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity[J]. Energy Policy, 2000, 28(5):289-296.
- [5] PAUL KOMOR. Renewable energy policy goals, programs, and technologies[J]. Energy Policy, 2005, 33(14):1 873-1 881.
- [6] HOWARD GELLER. Polices for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries[J]. Energy Policy, 2006, 34(5):556-573.
- [7] FAN, T. Y. Optimizing the efficiency and stored energy in quasi-three-level lasers [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1992, 28(12):2 692-2 697.
- [8] JAN CORNILLIE, SAMUEL FANKHAUSER. The energy intensity of transition countries[J]. Energy Economics, 2004, 26(3):283-295.
- [9] ERNST WORRELL<sup>1</sup>, LYNN PRICE<sup>1</sup>, NATHAN MAR-TIN<sup>1</sup>, JACCO FARLA<sup>1</sup>, ROBERTO SCHAEFFER<sup>1</sup>. Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators[J]. Energy Policy, 1997, 25(7-9):727-744.
- [10] G. J. M. PHYLIPSEN, K. BLOK, E. WORRELL. International comparisons of energy efficiency-Methodologies for the manufacturing industry[J]. Energy Policy, 1997, 25(7-9):715-725.
- [11] ROSS LEVINE. Law, Finance, and Economic Growth [J]. Journal of Financial Intermediation, 1999, 8(1-2):8-35.
- [12] LOUIS THERIAULT, RAM SAHI. Energy intensity in the manufacturing sector: Canadian and international perspective[J]. Energy Policy, 1997, 25(7-9):773-779.
- [13] 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.
- [14] 史丹, 吴利学, 傅晓霞, 吴滨. 中国能源效率地区差异及其成因研究——基于随机前沿生产函数的方差分解[J]. 管理世界, 2008(2):35-43.

(责任编辑:侯慧波)

## Efficiency Analysis of Industrial Energy under Context of Low-carbon

——Based on Cointegration Theory and DEA Model

Bao Jiangshan, Guan Jun

(Economics & Management School, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** According to input and output data related to industrial energy use efficiency of China's 30 provinces (cities / regions) (Because the data is not complete, so do not contain Tibet) from 1990 to 2009, first cointegration theory is applied to select input variable and output variable, and its interaction mechanism between energy efficiency and influencing factors is studied, using error correction model (ECM) and the VAR impulse response function, from both the short and long term. Then based on DEA (Data Envelopment Analysis) model, the technical efficiency and scale efficiency of industrial energy use in various regions are measured comprehensively. The results show: the oil and coal elasticity of total industrial output value are as high as 2.509 and 2.263. Oil and coal are the internal driving force of total industrial output value improvement; there is imbalance in the industrial energy use efficiency of China's 30 provinces, the "low-high" and "low-high" of technical efficiency and scale efficiency emerge, and especially there is a huge room for the western region to improve.

**Key Words:** Energy Efficiency; Co-integration Theory; DEA; Technical Efficiency; Scale Efficiency