

# 基于 DEA 的中国能源产业生产效率及 生产率变动分析

杨钟馥, 杨俊, 胡玮

(重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400030)

**摘要:**本文基于 DEA,对 1997—2007 年间我国 29 个主要能源生产省份的能源生产效率及生产率变动进行了实证分析。结果表明,我国能源产业生产效率的地区差异显著、平均水平较低,相对来说常规能源的生产效率发挥比较充分;总体看来,生产率增长主要是技术进步的结果,规模效率的贡献较少;大多数省份的生产率水平有一定程度的提高,但引起各地变化的原因却不尽相同。

**关键词:**能源产业;生产效率;生产率;DEA

**中图分类号:**F426 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-980X(2009)10-0038-06

能源产业是国民经济的基础产业。经过 20 余年的发展,我国能源产业取得了长足的进步。2007 年我国能源总产量比 1978 年翻了两番多,我国在煤炭生产、石油天然气的勘探开发、大型水电站建设、核电发展以及可再生能源的发展方面都取得了巨大的成就。另一方面,中国也是一个能源消费大国。到 2007 年,我国能源消费总量已经达到 26.6 亿吨标准煤,成为世界上生产和消费能源最多的国家之一。尽管目前中国人均能源消费仅为世界平均水平的一半左右,但中国正处在重化工业拉动工业增长的阶段,城市人口的持续增加和居民消费结构的升级都对能源生产与消耗提出了更高的要求。近年来,中国经济高速发展,这使其提供基础保障的能源领域出现“休克”现象,缺煤、缺电、缺油的情况频频出现,而国际能源市场风云变幻,使得对能源增长的依赖性体现得更加明显。能源产出的低效和能源需求的日益增加,以及由此带来的能源投入对资源的无限吸纳,一方面加大了社会对能源产品需求的缺口,“瓶颈”制约愈加严重,另一方面产业资金积累变得困难,在政府投资相对不变或稍有增加的情况下,能源产业发展难免滞后。早在 1942 年,简·丁柏根就将经济增长的原因分为投入增加和生产率提高。由于生产率增长是经济增长的重要源泉,因此国内外学者一直潜心于生产率的研究,整个研究过程经历了从单要素生产率到全要素生产率的过渡。在中国目前能源供给短缺而资源投入又紧张的情况

下,大力提高能源产业的效率并促进生产率增长具有重要的现实意义。

## 1 文献回顾

综观国内外有关能源效率的研究,实质上都是关于能源的利用效率的研究。Hu、Wang<sup>[1]</sup>最先利用 DEA 方法对 1995—2002 年间中国各地区的全要素能源利用效率做了比较研究,发现我国东部的能源利用效率最高,而中部的能源利用效率最低。魏楚、沈满洪<sup>[2]</sup>基本上延续采用了 Hu 和 Wang 的研究方法,利用 1995—2004 年的分省数据对我国各地区的能源利用效率做了计算,并根据计算结果对能源利用效率的影响因素的贡献进行了计量,得到的结论是,中国能源效率的演变呈倒 U 型,并且能源效率按东北老工业基地、东部、中部和西部逐级递减。师博、沈坤荣<sup>[3]</sup>继续沿用 Hu 和 Wang 的研究思路,在生产投入中加入知识存量的前提下,使用规模报酬不变的超效率 DEA 模型测算了 1995—2005 年中国全要素能源利用效率,并基于市场分割的视角借助 Tobit 模型检验社会环境因素对全要素能源利用效率的影响。结果显示,东部地区的全要素能源利用效率最高,且其发展较为平坦,但中、西部地区的全要素能源利用效率却呈现出螺旋型演进态势。

能源利用效率的地区差异被众多实证所检验,之后的研究主要集中在对能源利用效率收敛性的检

收稿日期:2009-08-14

作者简介:杨钟馥(1968—),重庆人,重庆大学经济与工商管理学院数量经济学博士研究生,研究方向:产业经济;杨俊(1972—),重庆人,重庆大学经济与工商管理学院教授、副院长,博士生导师,博士,重庆市产业经济学学术技术带头人,研究方向:能源技术经济、数量经济,中国技术经济研究会会员登记号:1030300647S;胡玮(1985—),女,浙江人,重庆大学经济与工商管理学院产业经济专业硕士研究生,研究方向:产业经济。

验上。孙立成等<sup>[4]</sup>首先应用 DEA-Malmquist 方法测算了 1997—2006 年 12 个国家的能源利用效率及变动指数,然后采用绝对收敛来分析中外能源利用效率的动态变化趋势。结果发现:能源利用技术进步增长率的下降是中国能源利用效率未得到提高的主要原因;在长期中能源利用效率存在趋同的收敛性,但在短期内这种趋势不明显。杨正林、方齐云<sup>[5]</sup>对 1986—2006 年中国地区间全要素能源效率的差异进行收敛和收敛分析。研究表明,中国地区间全要素能源效率的总体差异并没有呈现出显著的收敛,而是表现为不同的阶段性特征,且东、中、西部地区全要素能源效率的收敛特征各异。绝对收敛检验和条件收敛检验都表明,中国地区间全要素能源效率总体差异正在逐步缩小。史丹等<sup>[6]</sup>提出了基于随机前沿生产函数的地区能源效率差异分析框架,并采用方差分解方法测算了 1980—2005 年中国能源效率地区差异中各因素作用的大小。结果发现,全要素生产率、资本-能源比率和劳动-能源比率差异的平均贡献份额分别为 36.54%、45.67%和 17.89%;且全要素生产率差异不断扩大,是中国能源效率地区差异扩大的主要原因;增长方式趋同的东部地区能源效率也存在显著收敛趋势,而中、西部地区能源效率的内部差异呈现波动性变化。

除了计算基于技术效率模型的能源利用效率外,Mukherjee<sup>[7]</sup>在假定能源与其他投入要素分别呈替代和互补关系的基础上,在产能利用率和成本最小化等不同目标情景下提出了衡量能源效率的四种模型,并考察了 1970—2001 年美国制造业中 6 个高耗能部门的能源效率。研究发现,造纸业的能源利用最具效率,而冶金部门的能源效率水平最低。沿袭他们的思想,李世祥、成金华<sup>[8]</sup>在应用 DEA 的基础上,利用 1990—2006 年间省级面板数据和工业行业面板数据评价了中国的能源利用效率状况,并利用“两步法”估计了其影响因素。结果显示,中国能源利用效率的总体水平仍然很低,且省际、区际之间差异较大,工业部门及 6 个主要耗能行业的能源利用效率都不高。

关于能源产业生产效率方面的研究,Mudit Kulshreshtha 和 Jyoti K Parikh<sup>[9]</sup>用 DEA 对比分析了印度露天煤矿与地下煤矿的开采效率及生产率;国内学者刘珺和张平<sup>[10]</sup>、闫彦<sup>[11]</sup>、杨淑云和于良春<sup>[12]</sup>对我国电力产业效率和生产率变动进行了测定。本文尝试用 DEA-Malmquist 方法对 1997—2007 年我国 29 个省市整个能源产业的生产效率及生产率变动进行分析。

## 2 能源生产效率与生产率变动的实证分析

### 2.1 研究方法模型

近年来能源价格不断上涨,实物指标能较好地排除价格因素对能源产出的影响。数据包络分析(DEA)运用一组输入-输出数据估计相对有效生产前沿面,其不受投入-产出之间的价值量关系所制约,可直接采用实物指标进行分析。同时,Malmquist 指数能清晰反映出我国能源产业 TFP 的变化状况,对其进行分解,能进一步探讨 TFP 变化的原因。本文将采用 DEA 模型和 Malmquist 生产率指数对中国能源产业的生产效率及生产率变动进行分析。

Farrell<sup>[13]</sup>早在 1957 年就提出了生产效率的概念,定义在生产前沿面上的生产单元为有效,处于生产前沿面之下的为无效,此时实际观察值与前沿面存在一定距离。基于 Farrell 的思想,A. Charnes<sup>[14]</sup>于 1978 年提出数据包络分析法。DEA 不要求假定具体的生产函数形式,根据实际的生产边界确定效率水平,已被广泛用于测定各种效率与计算各种距离函数。

假定有  $n$  个决策单元 DMU、 $m$  种投入和  $k$  种产出, $X$ 、 $Y$  分别表示  $m$  维和  $k$  维的投入产出向量,每个 DMU 的效率值可通过以下数据包络模型得到:

$$\begin{aligned} & \text{Max } c^t(X_t, Y_t / C) \\ & \text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{jt} & \leq X_t \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{jt} & \geq c Y_t \\ \lambda_j & \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1) \end{aligned}$$

式(1)是一个 DEA 模型——规模报酬不变(CRS)条件下产出角度的  $C^2R$  模型,其中  $\lambda_j$  表示的是各个决策单元的横截面观察值的比重。若  $\lambda_j = 1$ ,说明该生产点在生产前沿面上,生产在技术上是有效;若  $\lambda_j > 1$ ,说明该生产点在生产前沿面的外部,生产在技术上是无效的。

在经济分析中,DEA 除了被直接用于分析各种效率外,还被广泛应用于计算各种距离函数,这为生产率分析中 Malmquist 指数理论的实际应用提供了方便可行的途径。1994 年 Fare 等提出基于 DEA 的 Malmquist 算法,其得以广泛应用。

1) 根据 Fare 的研究,距离函数是技术函数的倒数,从而由式(1)可以得到基于  $t$  期技术的距离函数:

$$[D_0^t(X_t, Y_t / C)]^{-1} = c^t(X_t, Y_t / C). \quad (2)$$

2) 将基于  $t$  期既定投入的产出与基于  $t + 1$  期技术的最大产出相比, 得到的混合距离函数为:

$$[D_0^{t+1}(X_t, Y_t / C)]^{-1} = \text{Max } c$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_{j,t+1} & X_t \\ \sum_{j=1}^n X_{j,t+1} & c X_t \\ j & 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (3)$$

3) Afriat 指出, 若在式(1)中加入条件  $\sum_{j=1}^n j = 1$ , 即可解除对常规模报酬的限制, 得到可变规模报酬条件 (VRS) 下的  $C^2GS^2$  模型, 其距离表示为  $D_0^t(X_t, Y_t / V)$ 。

基于上述距离函数就可以得到 Malmquist 生产率指数及其组成——技术进步 (Tch) 和效率变化 (Ech):

$$M_0(X_t, Y_t, X_{t+1}, Y_{t+1}) = \left[ \frac{D_0^t(X_{t+1}, Y_{t+1} / C)}{D_0^t(X_t, Y_t / C)} \times \frac{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1} / C)}{D_0^{t+1}(X_t, Y_t / C)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1} / C)}{D_0^t(X_t, Y_t / C)} \times \left[ \frac{D_0^t(X_{t+1}, Y_{t+1} / C)}{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1} / C)} \times \frac{D_0^t(X_t, Y_t / C)}{D_0^{t+1}(X_t, Y_t / C)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= Ech \times Tch. \quad (4)$$

其中, 效率变化又可以进一步分解为规模效率变化 (SEch) 和技术效率变化 (TEch):

$$Ech = \frac{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1} / C)}{D_0^t(X_t, Y_t / C)} = \frac{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1} / C) / D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1} / V)}{D_0^t(X_t, Y_t / C) / D_0^t(X_t, Y_t / V)} \times \frac{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1} / V)}{D_0^t(X_t, Y_t / V)} = \frac{SE_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{SE_0^t(X_t, Y_t)} \times \frac{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1} / V)}{D_0^t(X_t, Y_t / V)} = SEch \times TEch. \quad (5)$$

综合式(4)和式(5), 可得:

$$M_0(X_t, Y_t, X_{t+1}, Y_{t+1}) = TFPch = SEch \times TEch \times Tch. \quad (6)$$

## 2.2 指标选取及数据处理

由于我国能源资源分布不均衡, 各省份在能源生产方面的差异比较明显, 同时考虑到数据的完整性和可获得性, 因此本文以北京、广东、浙江等 29 个省市为样本, 对其 1997—2007 年的能源生产效率及生产率变动进行探讨。

1) 产出指标。

能源产业的产出种类繁多, 一次性能源产出包

括原煤、焦炭、原油、燃料油、天然气、焦炉煤气、电力等, 其统计口径各不相同: 原煤、原油的统计单位是重量单位, 天然气的统计单位是体积单位, 而电力的统计单位是热量单位。同时, 大多数省份有折合成标准煤的标准统计数据, 而有些省份如浙江、江苏、湖南等则只有实物数据。因此, 本文在选择能源产出数据时将产出折合成年产标准煤吨数来衡量, 以年产的标准煤作为各个省份能源产出的基本指标。

2) 资本投入指标。

度量资本投入最理想的状态是能直接度量并获得资本对经济增长实际提供的服务流量。然而, 资本的服务流量难以获得, 本文选用资本存量指标来衡量资本的投入。目前, 国内外常用的测算资本存量的方法是永续盘存法:

$$K_{it} = K_{i,t-1}(1 - \delta_i) + I_{it}. \quad (7)$$

其基本过程为: 通过普查或根据一定的假定估算出某一基期的资本存量; 取得某年份能源产业的资本投资数据, 并将按当年价格计算的各年投资额分别换算成按可比价格计算的投资额; 估算或假定一个折旧率; 根据上一年资本存量扣除一定折旧值之后加本年的可比价格投资额, 推算出历年资本存量值。

当基于永续盘存法确定一序列的基期资本存量时, 基期的选择越早, 基期资本存量估计的误差对后续年份的影响就会越小。但是考虑到原始数据的可得性, 因此仿照郭庆旺、贾俊雪<sup>[15]</sup>的做法, 将固定资产净值作为基期资本存量, 以 1993 年的固定资产净值作为该序列的基期资本存量。

研究时段内的固定资产投资价格指数可以从相关统计年鉴中直接获得。从历年的《中国固定资产投资年鉴》中查阅各年固定资产投资额, 以 1990 年为基期, 用固定资产投资价格指数对各省每年的固定资产投资进行平减。由于广东省缺乏 2000 年之前的固定资产投资价格指数, 因此本文参照黄勇峰、任若恩、刘晓生<sup>[16]</sup>的方法直接采用商品零售价格指数代替。

折旧率的选取也会较大程度地影响资本存量估算的准确性。已有研究对折旧率的处理方法主要分为两类: 一是利用资产各自的残值率和寿命期间接核算折旧率; 二是假定一个比较合理的折旧率。通过查阅相关统计年鉴可以发现, 国有企业 90 年代的折旧率大部分都在 5% 左右, 同时王小鲁和樊纲<sup>[17]</sup>、颜鹏飞和王兵<sup>[18]</sup>、岳书敬和刘朝明<sup>[19]</sup>都采用这一取值, 因此本文也选择 5% 作为折旧率。

由于海南、西藏的数据不完整, 因此本文暂不考虑这两个省份。

## 3) 劳动投入指标。

就劳动投入指标而言,劳动服务流量是指生产过程中实际投入的劳动量,用标准劳动强度的劳动时间来衡量。在市场经济国家,劳动的质量、时间、强度一般是与收入水平相联系的。在市场机制的调节下,劳动者的工资报酬能够比较合理地反映劳动投入量的变化。而在中国,由于我国正处于计划经济体制向市场经济体制过渡时期,收入分配体制不尽合理、市场调节机制不够完善,因此劳动收入难以准确反映劳动投入的变化,而且我们尚缺乏必要的统计资料。鉴于此,本文采用能源产业各行业的历年年末职工数作为劳动投入量指标(同黄先海、刘毅群<sup>[20]</sup>的做法)。从较长时间看,随着劳动者工作经验的积累,劳动质量会有所提高,劳动时间和劳动强度一般又会减少,两者相抵,用劳动者人数代替劳动投入量的变动,误差估计不会很大。由于能源产业涉及的煤炭采掘业、石油和天然气开采业、石油加工

及炼焦业、电力蒸汽热水生产和供应业、煤气生产和供应业处于不同的行业,不同行业具有不同的行业特性,因此在统计劳动投入时会有一定的困难。本文根据历年的《中国劳动统计年鉴》得到所需的数据。

## 2.3 实证结果分析

选择基于投入角度的 DEA 模型,对各 DMU 在 1997—2007 年间的生产效率进行测量,以明确我国主要省市能源产业的生产效率水平、全要素生产率增长及其构成变化的情况。

## 1) 中国能源产业生产效率水平分析。

表 1 中,生产效率水平为 1.000,考察期内全部位于生产前沿面上的只有山西省、青海省、宁夏回族自治区,此时这些省份的能源生产有效。其他如北京、江苏等经济相对发达的省市的能源生产效率水平尚未得到充分发挥。除了位于生产前沿面上的省

表 1 1997—2007 年中国主要省市能源实际产量与前沿产量差异表

省市	年份										
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
北京	0.478	0.498	0.415	0.451	0.478	0.484	0.524	0.552	0.543	0.585	0.599
天津	0.541	0.502	0.452	0.572	0.591	0.729	0.676	0.607	0.618	0.578	0.530
河北	0.487	0.430	0.457	0.623	0.505	0.573	0.504	0.525	0.527	0.498	0.515
山西	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
内蒙古	0.628	0.619	0.644	0.929	0.847	0.924	0.955	1.000	1.000	1.000	1.000
辽宁	0.432	0.459	0.529	0.676	0.578	0.665	0.588	0.504	0.504	0.515	0.492
吉林	0.461	0.498	0.486	0.567	0.557	0.559	0.578	0.567	0.605	0.537	0.514
黑龙江	0.480	0.584	0.691	0.745	0.605	0.666	0.546	0.460	0.455	0.446	0.444
上海	0.938	0.982	1.000	1.000	1.000	0.976	1.000	0.921	0.847	0.734	0.681
江苏	0.384	0.399	0.412	0.622	0.523	0.610	0.519	0.444	0.465	0.521	0.536
浙江	0.665	0.647	0.577	0.639	0.668	0.902	0.901	0.835	0.748	0.711	0.667
安徽	0.374	0.382	0.375	0.504	0.502	0.558	0.583	0.557	0.530	0.495	0.494
福建	0.573	0.524	0.499	0.611	0.698	0.648	0.590	0.596	0.574	0.549	0.532
江西	0.572	0.645	0.596	0.610	0.528	0.589	0.577	0.682	0.655	0.661	0.722
山东	0.421	0.408	0.482	0.541	0.505	0.608	0.617	0.424	0.430	0.429	0.457
河南	0.386	0.355	0.426	0.449	0.430	0.481	0.472	0.490	0.499	0.503	0.512
湖北	0.414	0.390	0.379	0.376	0.414	0.433	0.368	0.424	0.394	0.376	0.409
湖南	0.444	0.485	0.464	0.425	0.538	0.451	0.473	0.618	0.607	0.592	0.583
广东	0.747	0.739	0.850	1.000	0.963	1.000	1.000	0.785	0.699	0.593	0.556
广西	0.801	0.777	0.708	0.590	0.567	0.561	0.578	0.544	0.533	0.503	0.491
重庆	1.000	1.000	1.000	0.771	0.780	0.726	0.747	0.787	0.727	0.666	0.645
四川	0.466	0.476	0.518	0.401	0.539	0.436	0.422	0.503	0.499	0.482	0.480
贵州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.869	0.921	0.900	0.840
云南	0.798	0.761	0.772	0.607	0.796	0.683	0.699	0.892	0.888	0.830	0.641
陕西	0.585	0.481	0.591	0.586	0.801	0.873	0.921	0.985	1.000	1.000	1.000
甘肃	0.482	0.465	0.513	0.585	0.576	0.654	0.659	0.675	0.652	0.617	0.634
青海	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	1.000	1.000
新疆	0.541	0.565	0.592	0.932	0.842	0.845	0.525	0.468	0.501	0.501	0.499
平均	0.624	0.623	0.635	0.683	0.684	0.712	0.690	0.680	0.670	0.649	0.637

注:表 1 中的数据由 DEAP 计量软件计算得到。

份外,生产效率相对较高的还有内蒙古、上海、重庆、贵州、云南、陕西等省区。这些省区的能源产出以煤、石油、天然气等常规能源为主,是我国常规能源的主要产地。如早在 20 世纪 90 年代宁夏每年的煤产量就达 170 亿吨,石油天然气储备也十分丰富,陕甘宁盆地探明天然气储量 2200 亿立方米以上、石油地质储量 1.6 亿吨。而江苏虽然也是以煤炭为能源生产主体,但由于常规能源资源贫乏,该省在开发传统能源的同时也开发风能、生物能等新能源,并有较大的成就,江苏省 1997—2007 年间能源平均生产效率水平较低,只有 0.494 左右。综观各地区常规能源和新能源的比例以及平均的生产效率,可以发现,相比新能源而言,我国常规能源的生产效率水平相对较高,生产技术有了较充分的运用。

从全国平均水平来看,我国能源生产效率呈倒 U 型发展趋势,由 1997 年的 0.624 上升到 2002 年的顶峰 0.711,之后又下降到 2007 年的 0.637。总的来说,能源产业的生产效率还较低,仍有较大的发展空间。

2) 中国能源产业全要素生产率增长及分解要素的年际变化。

从整体上看,1997—2007 年期间,中国能源产业的平均全要素生产率增长率为 4.1%,主要是因为技术进步率为 4.7%,而效率变动率为 -0.4%,两者促成了全要素生产率的增长;而促使效率变动

的原因是技术效率增长了 0.4%,而规模效率下降了 0.9%。对 TFP 的增长做出贡献的主要是技术进步,这说明我国能源产业在自身技术开发和引进外来先进技术用以提高自身开发能力方面有了较大的进步,能源开发技术的日臻成熟促成了技术进步对 TFP 增长的贡献。

1997—2007 年间,2004 年全要素生产率增长最快,增长率达到 23.1%,增长的主要源泉是技术进步,技术效率和规模效率对生产率的增长都有一定的抵制作用。2002 年之前能源产业 TFP 变动呈波动态势,但此时的效率水平却有所增长,2000 年突破 10% 达到了 13.7%,这与原国家经贸委长期重视总量调控、关闭“五小”、淘汰落后、压缩过剩生产能力的工作息息相关,而取缔和关闭非法及布局不合理的小煤矿、关停小火电机组等措施,在一定程度上都促进了技术效率和规模效率的提高。直到 2004 年,能源产业生产率增长速度加快,增长率达到最高值;2004 年之后也一直保持比较稳定的增长速度。同时,还可以进一步发现,效率变动和技术变化通常成反向变动,效率变动为负时技术往往有较大的进步。多年来,中国 863 能源研究,通过与国际方面进行广泛的合作和交流,在引进先进技术、提升自身开发能力的同时,使得我国的能源高新技术研究向世界水平迈进,在促使能源产量不断增加的同时,更促进了能源产业生产率的增长。

表 2 历年中国能源产业 Malmquist 生产率指数及分解表

年份期间	效率变动(Ech)	技术进步(Tch)	技术效率变化(TEch)	规模效率变化(SEch)	TFP 变化(TFPch)
1997—1998	1.000	0.989	0.998	1.002	0.989
1998—1999	1.039	0.997	1.023	1.015	1.035
1999—2000	1.137	0.799	1.085	1.048	0.909
2000—2001	0.986	1.176	1.006	0.980	1.159
2001—2002	1.044	0.930	1.043	1.001	0.971
2002—2003	0.903	1.234	0.964	0.937	1.114
2003—2004	0.952	1.293	0.986	0.965	1.231
2004—2005	0.967	1.067	0.986	0.980	1.032
2005—2006	0.964	1.044	0.969	0.995	1.007
2006—2007	0.971	1.032	0.984	0.987	1.003
平均	0.994	1.047	1.004	0.991	1.041

3) 中国各地区能源产业生产率及其分解因素的变动。

从区域层面来看,内蒙古、江苏、浙江、青海这 4 个省区 1997—2007 年期间平均 TFP 都有比较显著的增长,其中增长最快的是青海,增长率约为 11.5%,主要是技术进步导致全要素生产率的改善,这与全国平均生产率变动的原因基本一致。其次是内蒙古,增长率约为 11.3%,这是技术进步和技术效率改善共同作用的结果。在科技兴国的大背景

下,内蒙古长期以来重视基础效率的发挥,如二连油田通过实施细分开发层系、完善注采井网、老井压裂、对应补孔和井别调整为治理方案,逐步提高了勘探开发的成效。

当然,还有出现负增长的省份,如山西(-4.7%)、重庆(-15.3%)。很明显,这些地区的能源产品主要是原煤、天然气之类的常规能源,效率水平相对较高,受技术水平的束缚,技术效率很难有比较明显的提高。两省的全要素生产率虽然都出现了负

增长,但引起变化的原因却不尽相同。山西 TFP 下降的原因主要是因为并没有显著的技术进步,技术进步率为 -4.7%。而重庆非但没有技术进步,同时管理、制度等方面的原因导致技术的使用效率不够,再加上规模效率不足,导致总体效率水平出现下降趋势。可见,各个省市生产率变化驱动差异较大,通过

比较青海和宁夏两个省份的生产率变动,可以进一步深入分析引起生产率变动的动因。同样出现 TFP 的显著增长,宁夏的 TFP 增长除了由技术进步导致外,规模经济性的提高也起到了很大作用;青海同样出现了较明显的 TFP 增长,而其增长点却主要是在技术进步上。

表 3 1997—2007 年各省市平均 Malmquist 指数及分解表

省市	效率变动 (Ech)	技术进步 (Tch)	技术效率变化 (TEch)	规模效率变化 (SEch)	TFP 变化 (TFPch)
北京	0.933	1.085	1.023	0.912	1.013
天津	0.984	1.094	0.998	0.986	1.076
河北	1.005	1.030	1.006	0.999	1.035
山西	1.000	0.953	1.000	1.000	0.953
内蒙古	1.051	1.059	1.048	1.003	1.113
辽宁	1.009	1.024	1.013	0.996	1.032
吉林	1.000	0.987	1.011	0.989	0.987
黑龙江	0.978	1.020	0.992	0.986	0.998
上海	0.949	1.128	0.969	0.980	1.070
江苏	1.024	1.086	1.034	0.990	1.111
浙江	0.998	1.112	1.000	0.998	1.111
安徽	1.021	0.997	1.028	0.993	1.019
福建	0.981	1.107	0.993	0.988	1.086
江西	1.031	0.994	1.024	1.007	1.025
山东	1.015	1.018	1.008	1.006	1.033
河南	1.023	1.008	1.029	0.994	1.031
湖北	0.980	1.107	0.999	0.981	1.085
湖南	1.016	1.026	1.028	0.988	1.042
广东	0.966	1.120	0.971	0.995	1.082
广西	0.953	1.089	0.952	1.000	1.037
重庆	0.910	0.930	0.957	0.951	0.847
四川	0.997	1.040	1.003	0.994	1.037
贵州	0.971	1.044	0.983	0.988	1.013
云南	0.967	1.108	0.978	0.988	1.071
陕西	1.069	1.019	1.055	1.013	1.089
甘肃	1.018	1.024	1.028	0.991	1.043
青海	0.998	1.118	1.000	0.998	1.115
宁夏	1.028	1.003	1.000	1.028	1.032
新疆	0.982	1.072	0.992	0.990	1.052
平均	0.994	1.047	1.004	0.991	1.041

### 3 结论

本文基于 DEA,测定了 1997—2007 年中国 29 个省市能源产业的生产效率水平、TFP 及其分解成分——技术进步、技术效率和规模效率的变动。实证结果发现,我国各地区能源产业的生产效率存在较大差距,全国平均水平还较低,相对来说常规能源的生产效率发挥得比较充分,也由此可以看出我国能源产业生产效率提高存在比较大的发展潜力。总的来说,我国各地 TFP 有较明显的增长,但各地区引起 TFP 变化的原因不尽相同,总的来说,TFP 的增长主要依赖技术进步,规模效率没有较明显的增长,在规模经济性方面比较薄弱。

因此,要提高我国能源产业的生产效率,仍然应该继续加大对安全清洁能源和新能源研究的投入,促进能源生产的技术进步;要通过取缔和关闭非法及布局不合理的小煤矿、关停小火电机组等措施,提高能源生产的规模效率;同时要促进能源生产新技术的扩散,并在此过程中注意能源生产具有地域性很强的特点,根据不同地区的自然条件有区别地发展能源生产。

#### 参考文献

- [1] HU J L, WANG S. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. Energy Policy, 2006, 17: 3206-3217.

(下转第 73 页)

## Study on Priority Method for Maintenance Decision of Electric Apparatus

Huang Ruiping<sup>1</sup>, Xia Ying<sup>2</sup>

(1. Kunming Power Supply Bureau, Kunming 650000, China;

2. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract :** Aiming at the characteristics that the evaluation factors of electric apparatus are fuzzy and grey in the reliability-centered maintenance (RCM), through determining the main factors influencing its importance, this paper proposes a method to analyze the importance of electric apparatus based on the grey fuzzy math. And taking the circuit breaker as an example, it establishes the evaluation system for importance, and expresses the relations between evaluation factors and importance grade by the fuzzy relation, and expresses the unbelievable degree of fuzzy relations by the grey degree. The results show that this method is feasible and effective, and the evaluation results can be used as a scientific basis for further maintenance decisions.

**Key words :** reliability-centered maintenance; importance analysis; grey fuzzy comprehensive evaluation; circuit breaker

(上接第 43 页)

- [2] 魏楚,沈满洪. 结构调整能否改善能源效率:基于中国省级数据的研究[J]. 世界经济, 2008(11):77-85.
- [3] 师博,沈坤荣. 市场分割下得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.
- [4] 孙立成,周德群,李群. 能源利用效率动态变化的中外比较研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2008(8):57-69.
- [5] 杨正林,方齐云. 能源生产率差异与收敛:基于省际面板数据的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2008(9):17-30.
- [6] 史丹,吴利学,傅晓霞,等. 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得方差分解[J]. 管理世界, 2008(2):35-43.
- [7] MUKHERJEE K. Energy use efficiency in US manufacturing: a nonparametric analysis[J]. Energy Economics, 2008(30):76-96.
- [8] 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):18-25.
- [9] KULSHRESHTHA M, PARIKH J K. Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis[J]. Energy Economics, 2002, 24:439-453.
- [10] 刘璐,张平. 我国电力工业增长方式现状研究[J]. 武汉水利电力大学学报:社会科学版[J], 2009, 20(5):14-17.
- [11] 闫彦. 全要素生产率在电力经济可持续发展中的应用研究[J]. 工业技术经济, 2003(2):101-102.
- [12] 杨淑云,于良春. 中国电力产业效率和生产率变动的实证研究[J]. 财经论丛, 2008(3):15-20.
- [13] FARRELL M J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1957:253-281.
- [14] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978:429-444.
- [15] 郭庆旺,贾俊雪. 中国潜在产出与产出缺口的估算[J]. 经济研究, 2004(5):31-39.
- [16] 黄勇峰,任若恩,刘晓生. 中国制造业资本存量永续盘存法估计[J]. 经济学(季刊), 2002, 1(2):377-396.
- [17] 王小鲁,樊纲. 我国经济增长的可持续性[M]. 北京:经济科学出版社, 2000.
- [18] 颜鹏飞,王兵. 技术效率、技术进步与生产率增长:基于 DEA 的实证分析[J]. 经济研究, 2004(12):55-65.
- [19] 岳书敬,刘朝明. 人力资本与区域全要素生产率分析[J]. 经济研究, 2006(4):90-127.
- [20] 黄先海,刘毅群. 物化技术进步与我国工业生产率增长[J]. 数量经济技术经济研究, 2006(4):52-60.

## Analysis on Production Efficiency of Energy Industry and Changes of Its Productivity in China Based on DEA

Yang Zhongkui, Yang Jun, Hu Wei

(School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract :** Based on DEA, this paper empirically analyzes the energy production efficiency and the changes of productivity of 29 provinces and cities in China from 1997 to 2007. The empirical results show that: the differences in efficiency of energy industry among different provinces and cities are obvious, and the average level of productive efficiency is low, and the productive efficiency of traditional energy is more efficient than that of burgeoning energy; the growth of energy productivity is mainly due to technical progress, whereas the scale efficiency contributes less to productivity growth; the productivity level in most provinces are improved in a certain degree, but the reasons for the change are different.

**Key words :** energy industry; production efficiency; productivity; DEA