

中国各地区火电行业经营能力与 环境能力的评价与比较^{*}

章贵军

内容提要: 本文分别利用结合管理策略的自然可处置和管理可处置径向 DEA 方法测度了中国 29 个省、直辖市和自治区火电行业 2001 - 2011 年期间的合成效率和曼奎斯特合成指数。研究结果表明: 东部地区火电行业的经营能力和环境能力均高于其他两个地区, 中部地区经营能力不如西部地区而环境能力强于西部地区; 各地区火电行业经营能力和环境能力整体处于改进状态。“十一五”期间, 东部地区经营能力和环境能力改进情况均好于中部和西部地区, 西部地区经营能力提升情况好于中部地区, 而在环境能力的提升方面则不如中部地区。“十一五”期间更严格的环境管制规则并没有抑制三个地区火电行业的经营能力和环境能力的改进。

关键词: 径向 DEA; 经营能力; 环境能力; 曼奎斯特合成指数

中图分类号: C812 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002 - 4565(2014)06 - 0075 - 08

Evaluation and Comparison on Operational and Environmental Performance of Chinese Regional Coal-fired Power Industry

Zhang Guijun

Abstract: This study measures the unified efficiency and Malmquist unified index of coal-fired power industry of 29 administrative regions in China during the period of 2001 - 2011 used radial DEA methodology under natural disposability and managerial disposability based on corporate strategy. The measurement of the unified efficiency scores under natural and managerial disposability show that both of the operational performance and environmental of coal-fired power industry of the east are better than the other two regions and the central is second in operational performance while it ranks last in environmental performance. The measurement of Malmquist unified indices show that both the improvement of operational performance and environmental performance of coal-fired power industry in the east are better than the other two regions and the west is superior to the central in the operational performance progress while is inferior to the central in the environmental performance improvement during “11th five-year” Plan period. In addition, this study shows that more stringent environment regulation during “11th five-year” Plan period has not suppressed the improvement of operational performance and environment performance.

Key words: Radial DEA; Operational Performance; Environmental Performance; Malmquist Unified Index

一、引言

近年来, 持续的雾霾天气迫使政府对高污染、高耗能的行业和企业监控管理愈加严格, 火电行业毫无疑问地成为环境保护单位重点监控和管理的对象。在新的形势下, 对于中国火电行业的发展而言, 不得不转变管理策略。传统的经营环境使得火电企业在相对宽松的环境管制规则下生产, 其生产的策略是尽可能以最小的投入获得最大的产出。而新的

经营环境要求火电企业必须在更严格的环境规则下进行生产, 决策者在进行生产时不得不考虑节能减排的问题。由于火电行业的发展关系国计民生, 为了保证火电行业的持续经营和中国经济社会健康发展, 决策者需要从新的角度考虑经营利润和环境保

^{*} 本文获国家自然科学基金重大项目(13&ZD148)、国家统计局重点项目(2013516)和国家自然科学基金项目(71201139, 71303200)的资助。

护问题。

二、文献回顾

中国的能源利用和环境保护问题越来越受到学者们的关注,测度中国能源和环境效率的相关研究也越来越多。由于 DEA 方法能处理多投入和多产出的问题,并且该方法不需要任何有关投入和产出之间关系的先验信息,因而被越来越多的学者所接受。近年来,利用 DEA 方法分析中国环境效率的研究主要有: Hu 和 Wang(2006)^[1]提出了全要素能源效率指数并应用其测度了中国 29 个省、直辖市、自治区(下文均称省)的能源效率; Shi 等学者(2010)^[2]通过将非期望产品作为生产过程中的投入品,提出一种拓展的 DEA 模型以测度中国 28 个省的总技术效率、纯技术效率和规模效率; Bian 和 Yang(2010)^[3]采用沙龙熵方法将很多 DEA 模型加总以测度中国 30 个省的能源效率和环境效率; Li 等学者(2013)^[4]利用非期望产出的 Super-SBM 模型测度了中国 30 个省份 1991-2010 年的环境效率; Wang 等学者(2013a)^[5]利用非期望产品的 DEA 方法测度了中国 30 个省份 2000-2008 的环境效率。

Hu 和 Wang(2006)^[1]分析的一个缺陷是其模型中没有考虑二氧化硫和二氧化碳等非期望产品。Zhou 和 Ang(2008)^[6]及 Mandal(2010)^[7]等的研究表明,测度能源效率不考虑非期望产品可能会导致计算的效率得分产生偏误。目前,针对中国各地区能源效率或环境效率测度的文献中,考虑非期望产品的相对比较少,而那些考虑非期望产品的研究都是在强可处置或弱可处置 DEA 框架下进行的。Zhou 等学者(2008)^[8]认为,非期望产品的强可处置对生产企业意味着非期望产品减少的成本巨大,而这在生产过程中很多时候是不真实的;弱可处置意味着按比例减少非期望产品是可行的,那么消除非期望产品的方法就是不生产期望产品,但这并不是生产者或消费者所希望的。Sueyoshi 和 Goto(2012a)^[9]的研究则认为,尽管弱可处置也能识别期望产品的拥堵情况,但因为弱可处置模型对偶变量是非负的,故其不能测度非期望产品拥堵情况。并且,对于很多生产型企业而言,他们经常会面对环境管制的制约,为了遵守更严格的环境管制规则,他们通常不得不减少期望产品产量以达到减少有害物质排放的要求。新的管理策略表明,生产企业在应

对更严格的环境管制时可以通过改善自身管理水平达到既增加期望产品产量又减少有害物质排放的要求。用于测度生产企业经营效率和环境效率的传统 DEA 模型都没有很好地兼顾到上述两种管理思想。考虑到强可处置和弱可处置 DEA 方法的缺陷, Sueyoshi 和 Goto(2011, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b)^[10-13]根据 Färe 和 Grosskopf(2000)^[14]等生产经济学家提出的生产“拥堵”概念开发了一系列基于现代环境和能源管理策略的 DEA 模型,也称为自然可处置和管理可处置 DEA 方法,该模型不仅能测度期望拥堵的情况,而且可以测度非期望拥堵阶段的情况,能从现代环境管理和能源管理策略角度评价企业经营能力和环境能力。

本文以下各部分内容安排如下:第三部分分别介绍了自然可处置合成效率和管理可处置合成效率径向 DEA 测度方法以及自然可处置曼奎斯特合成指数和管理可处置曼奎斯特合成指数径向 DEA 测度方法;第四部分介绍了数据来源、指标选择原则,以及描述性统计;第五部分先是根据各地区火电行业自然可处置合成效率得分和管理可处置合成效率得分对其经营能力和环境能力进行比较和分析,然后是根据各地区火电行业自然可处置曼奎斯特合成指数和管理可处置曼奎斯特合成指数计算结果比较和评价各地区火电行业经营能力和环境能力的改进情况;第六部分是对全文的总结。

三、研究方法

(一) 自然可处置和管理可处置

自然可处置指的是在技术水平和管理水平相对落后时,企业为了应对政府加强对非期望产品的管制(譬如,为了保护环境而要求企业制定减少有害气体排放的政策)必须减少要素投入。这种必须通过减少要素投入才能实现减少非期望产品生产目的的生产技术集可以表述如下:

$$P^n(X) = \left\{ (Y, X, \mu) : y_m \leq \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{mk}, \sum_{k=1}^K \lambda_k u_{jk} \leq u_j, \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{nk} \leq x_n, \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1, \lambda_k \geq 0 \right\} \quad (1)$$

由式(1)可以看出,在一定的非期望产品产量限制下,企业减少要素投入时会尽可能增加期望产品产量。显然,自然可处置技术集可以反映企业在非期望拥堵阶段的生产情况,这同时意味着企业在

面对环境管制时,提高环境能力必须以牺牲经营能力为代价。

管理可处置指的是当企业技术和管理水平提升到一定程度时,企业为了应对政府加强对非期望产品的管制而采取与自然可处置截然不同的管理策略。此时,企业可以通过增加要素投入达到减少非期望产品的生产要求。这种可以通过增加要素投入达到减少非期望产品产量生产要求的生产技术集可以表述如下:

$$P^m(X) = \left\{ (Y, X, \mu) : y_m \leq \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{mk}, \sum_{k=1}^K \lambda_k u_{jk} \leq u_j, \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{nk} \geq x_n, \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1, \lambda_k \geq 0 \right\} \quad (2)$$

由式(2)可以看出,在达到期望产品产量目标的同时,企业增加要素投入时会尽可能减少非期望产品产量。显然,管理可处置可以反映企业在期望拥堵阶段的生产情况,这意味着企业增加投入既可提高经营能力又可提高环境能力。

合成效率:将自然可处置的生产技术集和管理可处置的生产技术集合并,产生如下生产技术集: $P^u(X) = P^n(X) \cup P^m(X)$,称 $P^u(X)$ 为合成技术集。合成技术集 $P^u(X)$ 为自然可处置下的生产技术集和管理可处置下的生产技术集二者的并集,从自然可处置技术集 $P^n(X)$ 和管理可处置技术集 $P^m(X)$ 构成分析来看,二者均考虑了期望产品与非期望产品的生产技术情况。根据 Sueyoshi 和 Goto (2010, 2013a) [15][12] 关于经营能力和环境能力的描述,自然可处置合成效率和管理可处置合成效率评价的内容分别为:自然可处置合成效率评价企业在非期望产品管制下的经营能力,此时生产型企业优先考虑提升经营效率,侧重于在非期望产品产量一定时增加期望产品的能力;管理可处置合成效率评价企业在期望产品产量一定时的环境能力,此时生产型企业优先考虑提升环境效率,侧重于在期望产品一定时减少非期望产品的能力。

(二) 合成效率测度方法

本文采用自然可处置径向 DEA 方法及管理可处置径向 DEA 方法测度中国各地火电行业的合成效率。DEA 方法通常分为径向方法和非径向方法两类,径向 DEA 和非径向 DEA 基于不同的经济视角:径向 DEA 方法(例如 CCR, BBC 等模型)是基于 Debreu-Farrell 经济理论提出的效率测度方法;非径

向方法(例如可加模型, RAM 模型和 SBM 等模型) [1] 是基于 Pareto-Koopmans 经济理论提出的效率测度方法。Sueyoshi 和 Goto (2012b) [11] 的研究认为,非径向 DEA 方法与径向方法相比并没有明显的差别。目前对于应该用哪一种方法,并没有统一的结论。径向 DEA 方法产生最早(CCR 和 BBC),应用也最广泛。Zhou 等学者(2008) [8] 的研究表明基于 DEA 方法效率的研究中大约有 3/4 采用径向方法。鉴于目前国内外关于能源效率及环境效率测度的研究大多采用径向方法,本文采用该方法以便于与其他文献比较。

1. 测度自然可处置合成效率的径向 DEA 方法。

Sueyoshi 和 Goto (2012a, 2012b) [9][11] 提出的测度第 s 个决策单元自然可处置合成效率径向 DEA 模型为:

$$\begin{aligned} \text{MAX} \quad & \xi + \varepsilon \left[\sum_{n=1}^N R_n^x d_n^x + \sum_{m=1}^M R_m^y d_m^y + \sum_{j=1}^J R_j^u d_j^u \right] \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{nk} + d_n^x = x_{ns} \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{nk} - d_m^y - \xi y_{ms} = y_{ms} \sum_{k=1}^K \lambda_k u_{jk} \\ & + d_j^u + \xi u_{js} = u_{js} d_n^x \geq 0, d_m^y \geq 0, d_j^u \geq 0, \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1, \\ & \lambda_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, K, m = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, \xi: \text{无约束}. \end{aligned} \quad (3)$$

$(x_{1s}, x_{2s}, \dots, x_{Ns})$ 表示生产过程中第 s ($s = 1, 2, \dots, K$) 个决策单元进行生产时的投入品, $(y_{1s}, y_{2s}, \dots, y_{Ms})$ 为期望产品, $(u_{1s}, u_{2s}, \dots, u_{Js})$ 为非期望产品。式(3)中 d_n^x, d_m^y 和 d_j^u 是分别与要素投入、期望产品和非期望产品相关的松弛变量,所有松弛变量表示生产的无效率水平, ξ 表示无效率得分,其测度的是期望产品和非期望产品向量到效率前沿的距离, ξ 随着方向向量 (Y_k, μ_k) 的增加而增加, ε 是一个比较小的数,本研究计算时取值为 10^{-6} 。求解式(1)的最优解,则无效率得分为式(4):

$$\theta^* = \xi^* + \varepsilon \left[\sum_{n=1}^N R_n^x d_n^{x*} + \sum_{m=1}^M R_m^y d_m^{y*} + \sum_{j=1}^J R_j^u d_j^{u*} \right] \quad (4)$$

自然可处置径向方法测度的第 s 个决策单元的合成效率得分为式(5):

$$\theta^* = 1 - \theta^* \quad (5)$$

① 括号中列出的径向和非径向模型是这两类方法中的部分有代表性的模型,并不是所有模型。

R_n^x, R_m^y 和 R_j^u 分别由投入品、期望产品和非期望产品的上界及下界确定。

$$R_n^x = \frac{(Max_k\{x_{nk}\} - Min_k\{x_{nk}\})^{-1}}{(N + M + J)} \quad (6)$$

$$R_m^y = \frac{(Max_k\{y_{mk}\} - Min_k\{y_{mk}\})^{-1}}{(N + M + J)} \quad (7)$$

$$R_j^u = \frac{(Max_k\{u_{jk}\} - Min_k\{u_{jk}\})^{-1}}{(N + M + J)} \quad (8)$$

2. 测度管理可处置合成效率的径向 DEA 方法。

Sueyoshi 和 Goto(2012a, 2012b)^{[9][11]} 提出的测度第 s 个决策单元管理可处置合成效率的径向 DEA 模型为:

$$\begin{aligned}
 & MAX \quad \xi + \varepsilon \left[\sum_{n=1}^N R_n^x d_n^x + \sum_{m=1}^M R_m^y d_m^y + \sum_{j=1}^J R_j^u d_j^u \right] \\
 s.t. \quad & \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{nkt} - d_n^x = x_{nst} \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{mkt} - d_m^y - \xi y_{mst} = y_{mst} \sum_{k=1}^K \lambda_k u_{jkt} \\
 & + d_j^u + \xi u_{jst} = u_{jst} \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1, \lambda_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, K, m = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, \xi: \text{无约束}. \quad (9)
 \end{aligned}$$

求解式(9)的最优解,则管理可处置下无效率得分分为:

$$\theta^* = \xi^* + \varepsilon \left[\sum_{n=1}^N R_n^x d_n^{x*} + \sum_{m=1}^M R_m^y d_m^{y*} + \sum_{j=1}^J R_j^u d_j^{u*} \right] \quad (10)$$

管理可处置径向方法测度的第 s 个决策单元的合成效率得分分为:

$$\theta^* = 1 - \theta^* \quad (11)$$

(三) 曼奎斯特合成指数测度方法

为测度决策单元在时间水平上经营能力和环境能力变化情况,本文采用 Sueyoshi 和 Goto(2013a, 2013b)^{[12][13]} 提出的无交互效应的自然可处置曼奎斯特合成指数(Malmquist unified index under natural disposability, MUIN)和管理可处置曼奎斯特合成指数(Malmquist unified index under managerial disposability, MUIM)。

1. 自然可处置曼奎斯特合成指数。

$$MUIN = \left[\frac{IUIN_{t \rightarrow t-1}}{UEN_{t-1}} \times \frac{UEN_t}{IUIN_{t-1 \rightarrow t}} \right]^{1/2} \quad (12)$$

式(12)为自然可处置曼奎斯特合成指数表达式。在自然可处置时,由于在非期望产品管制条件下优先关注决策单元的经营能力,故当曼奎斯特合

成指数大于1时,本期决策单元经营能力相对于上一期有所提升;如果合成指数等于1,本期决策单元能力相对于上一期没有变化;如果合成指数小于1时,本期决策单元经营能力相对于上一期有所下降。

其中,第 s 个决策单元第 t 期的自然可处置合成效率得分 UEN_t 可由式(13)计算得出:

$$\begin{aligned}
 MIN \quad UEN_t = & 1 - [\xi + \varepsilon \left(\sum_{n=1}^N R_n^x d_n^x + \sum_{m=1}^M R_m^y d_m^y \right. \\
 & \left. + \sum_{j=1}^J R_j^u d_j^u \right)] \\
 & \sum_{k=1}^{K_t} \lambda_{kt} x_{nkt} + d_n^x = x_{nst} \quad (\forall s \in K_t \& n = 1, \dots, N) \\
 & \sum_{k=1}^{K_t} \lambda_{kt} y_{mkt} - d_m^y - \xi y_{mst} = y_{mst} \\
 & (\forall s \in K_t \& m = 1, \dots, M) \quad (8) \\
 & \sum_{k=1}^{K_t} \lambda_{kt} u_{jkt} + d_j^u + \xi u_{jst} = u_{jst} \\
 & (\forall s \in K_t \& j = 1, \dots, J)
 \end{aligned}$$

$$\lambda_{kt} \geq 0, d_n^x \geq 0, d_m^y \geq 0, d_j^u \geq 0, t = 1, \dots, T.$$

其中,

$$R_n^x = \frac{(Max_k\{x_{nk} | k \in K_{t-1} \cup K_t\} - Min_k\{x_{nk} | k \in K_{t-1} \cup K_t\})^{-1}}{(N + M + J)}$$

$$R_m^y = \frac{(Max_k\{y_{mk} | k \in K_{t-1} \cup K_t\} - Min_k\{y_{mk} | k \in K_{t-1} \cup K_t\})^{-1}}{(N + M + J)}$$

$$R_j^u = \frac{(Max_k\{u_{jk} | k \in K_{t-1} \cup K_t\} - Min_k\{u_{jk} | k \in K_{t-1} \cup K_t\})^{-1}}{(N + M + J)}$$

K_t 代表第 t 期的所有决策单元数目。

第 s 个决策单元第 $t-1$ 期的自然可处置合成效率得分 UEN_{t-1} 可由式(13)对应的 $t-1$ 期计算得出。第 s 个决策单元第 $t-1$ 期到第 t 期的自然可处置合成指数 $IUIN_{t-1 \rightarrow t}$ 可由式(14)计算得出,其第 t 期到第 $t-1$ 期的自然可处置合成指数 $IUIN_{t \rightarrow t-1}$ 可由式(14)对应的第 t 期到第 $t-1$ 期计算得出。

$$\begin{aligned}
 MIN \quad IUIN_{t-1 \rightarrow t} = & 1 - [\xi + \varepsilon \left(\sum_{n=1}^N R_n^x d_n^x + \sum_{m=1}^M R_m^y d_m^y \right. \\
 & \left. + \sum_{j=1}^J R_j^u d_j^u \right)] \\
 & \sum_{k \in K_t} \lambda_{kt} x_{nkt} + d_n^x = x_{nst-1} \quad (\forall s \in K_{t-1} \& n = 1, \dots, N) \\
 & \sum_{k \in K_t} \lambda_{kt} y_{mkt} - d_m^y - \xi y_{mst-1} = y_{mst-1} \\
 & (\forall s \in K_{t-1} \& m = 1, \dots, M) \quad (14)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{k \in K_t} \lambda_{kt} u_{jkt} + d_m^u + \xi u_{jst-1} = u_{jst-1}$$

$$(\forall s \in K_{t-1} \& j = 1, \dots, J)$$

$$\lambda_{kt} \geq 0, d_n^x \geq 0, d_m^y \geq 0, d_j^u \geq 0, t = 1, \dots, T.$$

2. 管理可处置曼奎斯特合成指数。

$$MUIM = \left[\frac{IUIM_{t \rightarrow t-1}}{UEM_{t-1}} \times \frac{UEM_t}{IUIM_{t-1 \rightarrow t}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

式(15)为管理可处置曼奎斯特合成指数表达式。在管理可处置时,由于生产企业优先关注的是环境能力,故当曼奎斯特合成指数大于1时,本期决策单元环境能力相对于上一期有所提升;如果曼奎斯特合成指数等于1时,本期决策单元环境能力相对于上一期没有变化;如果曼奎斯特合成指数小于1时,本期决策单元环境能力相对于上一期有所下降。

其中,第s个决策单元第t期的管理可处置合成效率得分 UEM_t 可由式(16)计算得出。

$$MIN \ UEM_t = 1 - [\xi + \varepsilon (\sum_{n=1}^N R_n^x d_n^x + \sum_{m=1}^M R_m^y d_m^y + \sum_{j=1}^J R_j^u d_j^u)]$$

$$\sum_{k=1}^{K_t} \lambda_{kt} x_{nkt} - d_n^x = x_{nst} \quad (\forall s \in K_t \& n = 1, \dots, N)$$

$$\sum_{k=1}^{K_t} \lambda_{kt} y_{mkt} - d_m^y - \xi y_{mst} = y_{mst} \quad (\forall s \in K_t \& m = 1, \dots, M)$$

$$(16)$$

$$\sum_{k=1}^{K_t} \lambda_{kt} u_{jkt} + d_m^u + \xi u_{jst} = u_{jst} \quad (\forall s \in K_t \& j = 1, \dots, J)$$

$$\lambda_{kt} \geq 0, d_n^x \geq 0, d_m^y \geq 0, d_j^u \geq 0, t = 1, \dots, T.$$

第s个决策单元第t-1期的管理可处置合成效率得分 UEM_{t-1} 可由式(16)对应的t-1期计算得出。第s个决策单元第t-1期到第t期的管理可处置合成指数 $IUIM_{t-1 \rightarrow t}$ 可由式(17)计算得出;其第t期到第t-1期的管理可处置合成指数 $IUIM_{t \rightarrow t-1}$ 可由式(17)对应的第t期到第t-1期计算得出。

$$MIN \ IUIM_{t-1 \rightarrow t} = 1 - [\xi + \varepsilon (\sum_{n=1}^N R_n^x d_n^x + \sum_{m=1}^M R_m^y d_m^y + \sum_{j=1}^J R_j^u d_j^u)]$$

$$\sum_{k \in K_t} \lambda_{kt} x_{nkt} - d_n^x = x_{nst-1} \quad (\forall s \in K_{t-1} \& n = 1, \dots, N)$$

$$\sum_{k \in K_t} \lambda_{kt} y_{mkt} - d_m^y - \xi y_{mst-1} = y_{mst-1} \quad (\forall s \in K_{t-1} \& m = 1, \dots, M)$$

$$(17)$$

$$\sum_{k \in K_t} \lambda_{kt} u_{jkt} + d_m^u + \xi u_{jst-1} = u_{jst-1} \quad (\forall s \in K_{t-1} \& j = 1, \dots, J)$$

$$\lambda_{kt} \geq 0, d_n^x \geq 0, d_m^y \geq 0, d_j^u \geq 0, t = 1, \dots, T.$$

四、数据来源及说明

参考的 Rasche 效率测度理论,本文选取中国各省份火电行业总资产、就业人数和燃料消费量为投入变量,发电量为期望产品变量,二氧化碳和二氧化硫排放量为非期望产品变量。其中火电行业总资产、就业人数来自于中国统计数据应用支持系统,二氧化硫排放量数据来源于《中国环境统计年报(2001—2011)》,燃料消费量、发电量数据来源于《中国能源统计年鉴(2002—2012)》,二氧化碳的数据则根据 IPCC(2006) 准则公式计算获得,具体公式为:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \beta_i) E_i \eta_i \times \frac{44}{12} \quad (18)$$

其中,i表示生产产业中第i个部门,n表示部门总数,E表示燃料消费量,其中用于计算的各种燃料消费数据来源于《中国能源统计年鉴(2002—2012)》各年能源平衡表, α 为碳排放因子, β 为碳存储因子, η 为碳氧化比例。鉴于数据的可得性,本文采用的数据包括中国大陆地区除西藏和宁夏以外29个省份火电行业11年(2001—2011)的数据。

五、经营能力和环境能力比较

(一) 经营能力比较

参考 Wang 等学者(2013)^[5]及 Zou 等学者(2013)^[16]的划分标准,本文将中国大陆29个省划分为三个地区,即东部地区、中部地区和西部地区。表1反映了采用自然可处置径向方法测度的中国东中西部地区火电行业合成效率得分情况。表1第3列为各省份或地区2001年自然可处置合成效率平均得分,第4~8列反映了相邻两年合成效率的平均得分,第9列是所有年份的平均得分,最后1列为各省份或地区根据平均得分的排名情况。从表中计算的天然可处置合成效率得分情况我们可以看出,三个地区得分都比较高,平均得分最高的为东部地区,其次为西部地区,排名最差的中部地区也达到了86%。

从东中西部地区火电行业天然可处置合成效率2001—2011年期间平均得分走势和比较情况

表1 各地区火电行业自然可处置合成效率得分情况^①

省/市	地区	2001	2002 - 2003	2004 - 2005	2006 - 2007	2008 - 2009	2010 - 2011	平均得分	排名
北京	东	0.999	0.779	0.951	1.000	1.000	1.000	0.955	6
天津	东	0.993	1.000	1.000	1.000	0.956	0.968	0.986	4
河北	东	0.896	0.883	0.993	0.957	0.928	1.000	0.943	7
山西	中	0.903	0.875	0.944	0.924	0.942	0.998	0.931	11
内蒙古	中	0.768	0.634	0.794	0.902	0.776	0.736	0.768	28
辽宁	东	0.984	0.810	0.883	0.892	0.880	0.856	0.884	18
吉林	中	1.000	0.895	0.810	0.902	0.691	0.725	0.837	24
黑龙江	中	0.996	0.817	0.823	0.799	0.790	0.776	0.834	25
上海	东	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
江苏	东	0.880	0.891	0.928	0.955	0.949	0.955	0.926	12
浙江	东	0.887	0.841	0.923	0.917	0.915	1.000	0.914	17
安徽	中	1.000	1.000	1.000	0.926	0.933	1.000	0.977	5
福建	东	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2
江西	中	0.790	0.816	0.901	0.842	0.850	0.904	0.851	21
山东	东	1.000	0.805	0.875	0.959	0.953	0.942	0.922	15
河南	中	0.847	0.660	0.916	0.868	0.852	0.851	0.832	26
湖北	中	0.909	0.756	0.802	0.822	0.870	0.933	0.849	22
湖南	中	1.000	0.676	0.888	0.882	0.862	0.923	0.872	19
广东	东	0.997	1.000	0.998	0.964	1.000	0.966	0.988	3
广西	西	0.803	0.682	0.761	0.841	0.851	0.995	0.822	27
海南	东	0.884	0.743	1.000	1.000	1.000	1.000	0.938	8
重庆	西	1.000	0.919	0.876	0.848	0.918	0.988	0.925	14
四川	西	0.878	0.946	0.836	0.792	0.788	0.915	0.859	20
贵州	西	1.000	0.911	0.952	0.865	0.930	0.963	0.937	9
云南	西	0.730	0.435	0.938	0.733	0.848	0.785	0.745	29
陕西	西	0.908	0.607	0.874	0.866	0.857	0.930	0.840	23
甘肃	西	0.924	0.846	0.987	0.955	0.976	0.868	0.926	13
宁夏	西	1.000	0.934	0.981	0.994	0.854	0.846	0.935	10
新疆	西	0.832	0.832	0.946	0.951	0.930	0.999	0.915	16
中国大陆		0.924	0.827	0.917	0.909	0.900	0.925	0.900	
东部	东	0.943	0.870	0.943	0.957	0.953	0.974	0.940	1
中部	中	0.913	0.792	0.875	0.874	0.841	0.872	0.861	3
西部	西	0.909	0.804	0.924	0.876	0.888	0.912	0.885	2

注:表中最后四行数据为各省合成效率得分按地区划分后计算的平均值,以下各表均如此。

来看,平均而言,2001-2011年期间东部地区自然可处置合成效率得分高于中部地区和西部地区,西部地区合成效率得分略高于中部地区。同时,三个地区效率得分在2002年急剧下降,主要原因是由于上海、天津、福建、广东等地火电行业经营效率提升比较快,这些省份火电行业的迅速发展拉大了与其他地区的相对效率,从而造成了其较低的平均效率得分。2003年后三个地区火电行业自然可处置合成效率得分上升明显,其中东部地区延续上涨趋势到2011年,“十一五”期间合成效率得分明显高于“十五”期间;中部地区合成效率得分在2003年后表现不稳定,基本围绕85%上下波动;西部地区上涨趋势持续到2005年,2006-

2008年期间合成效率得分震荡下降,而在2009年后回升;中、西部地区“十一五”期间经营效率得分略高于“十五”期间。显然,东部地区火电行业由于拥有人力资源的优势和先进的技术管理水平,相对强势的发展动力并没有受到“十一五”期间更严格的环境管制规则影响,虽然中、西部地区火电行业管理水平和技术水平落后,但“十一五”期间经营能力水平仍好于“十五”期间。

(二) 环境能力比较

本文采用管理可处置径向方法测度了东中西部地区的火电行业合成效率得分情况,分析其2001-2011年期间平均得分走势可以看出,平均而言,东部地区管理可处置合成效率得分略高于中部地区,而中部地区得分又略高于西部地区。三个地区除2002年合成效率得分大幅下降外,其他年份表现相对平稳。东部地区得分基本维持在95%左右,中部地区得分则在90%左右,西部地区合成效率得分维持缓慢上涨的趋势,与东部和中部地区差距逐渐缩小,并在2011年得分达到93%,达到相对较高的水平。因此,平均而言,三个地区火电行业“十一五”期间管理可处置合成效率得分均高于“十五”期间,三个地区的环境能力均没有受到“十一五”期间更严格的环境管制规则的影响。

上述测度结果与Li等(2013)^[4],Wang等(2013)^[5]及Zou等(2013)^[16]的研究结论基本一致,他们针对中国各地区的效率测度结果表明,东部地区环境能力最强,中部地区其次,西部地区最差。结合管理可处置环境管理策略分析表明,东部地区火电行业拥有相对较高的环境能力主要得益于相对发达的经济水平、人力资源优势、先进的清洁能源技术水平和环境管理水平,该地区进行生产面对更严格的环境管制时拥有更低的机会成本,因此也使得东部地区在保持较高的环境能力时也能维持较高的经营能力;中、西部地区由于清洁能源技术水平和环境管理水平相对比较落后,同时保持相对较高的经营能力水平和环境能力水平的力量相对比较薄弱。

(三) 经营能力改进情况比较

表2反映了自然可处置径向方法测度的中国东中西部地区的曼奎斯特合成指数。基于表2的计算

① 表2~5中计算结果均由软件MatlabR2013a计算给出。

结果,本文分析了三个地区火电行业自然可处置曼奎斯特合成指数走势情况。

本文分析认为,虽然“十五”期间火电行业供电量持续增长,但其经营能力改进情况并不乐观。“十五”期间,三个地区经营能力改进情况明显好于“十五”期间。同时,东部地区除2006-2007年经营能力有所下降外,其余年份均表现良好;中部地区除了2006-2007年及2008-2009年经营能力略有下降外,其余年份经营能力均在提升。显然,分阶段来看,三个地区火电行业在“十一五”期间改进经营能力的年份多于“十五”期间,“十一五”期间更严格的环境管制规则并未降低各地区火电行业改进经营的能力^①。

(四) 环境能力改进情况比较

表3反映了管理可处置径向方法测度的东中西部三个地区曼奎斯特合成指数。根据表3的计算结果,本文分析了三个地区火电行业管理可处置曼奎斯特合成指数2001-2011年期间的大致趋势。分析认为,东部地区管理可处置曼奎斯特合成指数高于中部地区,中部地区略高于西部地区。具体而言,“十五”期间三个地区除2001-2002年环境能力明显提高外,其余年份环境能力均明显下降。“十一五”期间三个地区环境能力除个别年份下降外,其余年份均得到改进。总体来看,“十五”期间三个地区环境能力改进情况不如“十一五”期间,“十一五”期间更严格的环境管制并未导致各地区火电行业环境能力的下降,相反,各地区的环境能力在此期间却得到了改进。“十一五”期间,东部地区和中部地区

相对发达的经济水平和先进的清洁能源技术及环境管理水平,其环境能力得到不断提升。西部地区由于经济水平、清洁能源技术和管理水平相对比较落后,环境能力提升过程相对比较缓慢。

结合我国东中西部地区火电行业自然可处置曼奎斯特合成指数和管理可处置曼奎斯特合成指数的分析可以看出,东部地区火电行业2001-2011年期间经营能力和环境能力改进情况明显好于其他两个地区。结合自然可处置环境管理策略和管理可处置环境管理策略分析表明:东部地区增加的投资用于改善经营能力的同时也能兼顾清洁能源技术水平和环境管理水平的改进,东部地区火电行业进行生产经营过程中面对更严格的环境管制时拥有相对较低的机会成本优势,故东部地区在保持较高的环境能力的同时又能保持较高的经营能力。中、西部地区由于经济水平、环境管理水平和清洁能源技术水平相对落后,其提升环境能力的力量相对比较薄弱。

六、结论

基于径向DEA方法测度的自然可处置合成效率得分表明,平均而言,2001-2011年期间东部地区火电行业经营能力好于西部地区,西部地区略强于中部地区。基于径向DEA方法测度的管理可处置合成效率得分结果表明,东部地区环境能力强于中部地区,中部地区则好于西部地区。自然可处置合成效率得分、管理可处置合成效率得分、自然可处置及管理可处置曼奎斯特合成指数均表明:三个地区的经营能力和环境能力总体向好,东部地区经营

表2 中国东中西部地区火电行业自然可处置曼奎斯特合成指数

地区	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	平均值
中国大陆	1.366	0.930	0.923	1.018	0.995	0.978	1.027	0.986	1.030	1.037	1.029
东部	1.238	0.987	0.924	1.021	1.004	0.993	1.037	1.003	1.042	1.049	1.030
中部	1.314	0.869	0.956	0.984	0.996	0.981	1.022	0.991	1.001	1.014	1.013
西部	1.616	0.914	0.886	1.054	0.982	0.953	1.017	0.955	1.045	1.044	1.047

表3 中国东中西部地区火电行业管理可处置曼奎斯特合成指数

地区	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	平均值
中国大陆	1.927	0.599	1.013	0.928	1.002	1.033	1.055	1.030	1.048	1.004	1.064
东部	1.874	0.617	0.981	0.991	1.053	1.003	1.141	1.011	1.090	0.987	1.075
中部	1.585	0.691	0.996	0.891	0.982	1.060	1.009	1.045	1.038	1.016	1.031
西部	2.390	0.468	1.080	0.873	0.949	1.046	0.977	1.041	0.997	1.018	1.084

① 较高的自然可处置合成效率得分并不一定意味着较高的曼奎斯特合成指数,较高的管理可处置合成效率得分也不一定意味着较高的曼奎斯特合成指数,具体内容可以参看文献 Sueyoshi 和 Goto(2013a)。

能力和环境能力改进情况好于其他两个地区。“十一五”期间三个地区经营能力和环境能力的改进情况好于“十五”期间。显然，“十一五”期间更严格的环境管制并没有造成火电行业经营能力和环境能力大幅下降的情况。

曼奎斯特合成指数计算结果表明,目前东部地区由于经济水平相对比较高,清洁能源技术和环境管理水平相对比较先进,因此,火电行业环境能力的提升主要在东部地区。此外,测度结果表明,火电行业中,西部地区节能空间大,节能减排潜力和节能减排投资的边际收益大,为了保持火电行业经营收益持续增长、经济健康发展及节能减排工作的持续进行,应注重提高中、西部地区清洁能源技术水平和环境管理水平。

参考文献

- [1] J. L. Hu, S. C. Wang. Total-factor energy efficiency of regions in China [J]. *Energy Policy* 2006 (34): 3206 - 3217.
- [2] G. M. Shi, J. Bi, J. N. Wang. Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a DEA model of fixing non-energy inputs [J]. *Energy Policy* 2010 (38): 6172 - 6179.
- [3] Y. Bian, F. Yang. Resource and environmental efficiency analysis of provinces in China: a DEA approach based on Shannon's entropy [J]. *Energy Policy* 2010 (38): 1909 - 1917.
- [4] H. Li, K. N. Fang, W. Yang, et al. Regional environmental efficiency evaluation in China: Analysis based on the Super-SBM model with undesirable outputs [J]. *Mathematical and Computer Modelling* 2013 (58): 1018 - 1031.
- [5] K. Wang, Y. M. Wei, X. Zhang. Energy and emissions efficiency patterns of Chinese regions: A multi-directional efficiency analysis [J]. *Applied Energy* 2013 (104): 105 - 116.
- [6] P. Zhou, B. W. Ang. Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance [J]. *Energy Policy*, 2008 (38): 2911 - 2916.
- [7] S. K. Mandal. Do undesirable output and environmental regulation matter in energy efficiency analysis? Evidence from Indian cement industry [J]. *Energy Policy* 2010 (38): 6076 - 6083.
- [8] P. Zhou, B. W. Ang, K. L. Poh. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies [J]. *European Journal of Operational Research* 2008 (189): 1 - 18.
- [9] T. Sueyoshi, M. Goto. Weak and strong disposability vs. natural and managerial disposability in DEA environmental assessment: Comparison between Japanese electric power industry and manufacturing industries [J]. *Energy Economics* 2012a (34): 686 - 699.
- [10] T. Sueyoshi, M. Goto. Measurement of Returns to Scale and Damages to Scale for operational and environmental assessment: How to manage desirable (good) DEA-based and undesirable (bad) outputs [J]. *European Journal of Operational Research*, 2011 (211): 76 - 89.
- [11] T. Sueyoshi, M. Goto. DEA environmental assessment of coal fired power plants: Methodological comparison between radial and non-radial models [J]. *Energy Economics* 2012b (34): 1854 - 1863.
- [12] T. Sueyoshi, M. Goto. DEA Environmental Assessment in a Time Horizon: Malmquist Index on Fuel Mix, Electricity and CO₂ of Industrial Nations [J]. *Energy Economics* 2013a (40): 370 - 382.
- [13] T. Sueyoshi, M. Goto, M. Sugiyama. DEA Window Analysis for Environmental Assessment in a Dynamic Time Shift: Performance Assessment of U. S. Coal-fired Power Plants [J]. *Energy Economics* 2013b (40): 845 - 857.
- [14] R. Färe, S. Grosskopf. Slacks and congestion: a comment [J]. *Social-Economic Planning Sciences* 2000 (34): 27 - 33.
- [15] T. Sueyoshi, M. Goto. Measurement of a linkage among environmental, operational, and financial performance in Japanese manufacturing firms: A use of Data Envelopment Analysis with strong complementary slackness condition [J]. *European Journal of Operational Research* 2010 (207): 1742 - 1753.
- [16] G. F. Zou, M. Chen, W. Liu, et al. Measurement and evaluation of Chinese regional energy efficiency based on provincial panel data [J]. *Mathematical and Computer Modelling* 2013 (58): 1000 - 1009.

作者简介

章贵军,男,湖北监利人,厦门大学数据挖掘研究中心统计学专业博士研究生。研究方向为数据挖掘、能源与环境效率测度。

(责任编辑:曹麦)