

中国各省火电行业的技术效率及其提升方向 ——基于三阶段 DEA 模型的分析

白雪洁, 宋莹

(南开大学 经济与社会发展研究院, 天津 300071)

摘要:文章利用 DEA 三阶段分析法对 2004 年中国 30 个省(自治区、直辖市)火电行业进行了排除环境变量和统计噪音影响的技术效率分析,结果表明很多省份火电行业效率水平的确受到地区经济发展水平、资源禀赋等环境变量和好坏运气的影响,在同质经营环境下规模效率不高的问题更为突出。根据纯技术效率和规模效率的水平,文章将中国各省火电行业的发展分为四种类型,并针对 13 个纯技术效率并非完全有效的省,提出资金节约型、资源节约型、劳动力节约型和环境友好型四种提升模式,最后得出上大压小、严格资源的集约利用标准等宏观政策建议。

关键词:火电行业;三阶段 DEA;技术效率;规模效率;纯技术效率

中图分类号:F407.61 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9952(2008)10-0015-11

一、引言

中国以火电为主的电力供给结构,一方面消耗大量能源,另一方面排放的二氧化硫、氮氧化物、烟尘等造成环境污染,与现阶段中国建设“资源节约型、环境友好型”社会的要求并不相符。火电作为中国传统和基本的电力供给方式,其生产效率如何,发展与改善的方向和空间在哪里,是本文要讨论的核心问题。

电力产业是生产力与效率研究的主要领域之一。从国际文献来看,主要围绕几方面内容展开,一是以发电企业为对象,进行生产效率和全要素生产力评估,如 Alexander Vaninsky(2006),Kemal Sarica 和 Ilhan Or(2007),Antonio Estachea 和 Beatriz Tovar 等(2008)、Carlos Pestana Barros(2008)分别对美国、土耳其、南非的发电厂效率进行评估。二是利用 DEA 方法针对特定主题的研究,如 Kaoru Tone 和 Miki Tsutsui(2007),Pablo Arocena(2008)。三是利用两阶段的 DEA 模型分析环境变量对电力行业效率的影响。如 Pun-Lee Lam 和 Alice Shiu(2001),Carlos Pestana Barros 和 Nicolas

收稿日期:2008-08-04

作者简介:白雪洁(1971—),女,内蒙古通辽人,南开大学经济与社会发展研究院副教授,经济学博士;

宋莹(1983—),女,天津人,南开大学经济与社会发展研究院。

Peypoch(2008)。此外, Pekka J. Korhonen 和 Mikulas Luptacik(2004)利用两种非期望产出的处理方法,分析了欧洲国家 24 个电厂的效率。

国内对电力行业生产力与效率研究的文献相对较少。罗道平等(1996)、滕飞等(2003)、吴育华等(2004)和楼旭明等(2006)分别针对八大电网和不同电力企业等做了效率分析。王金祥等(2004)做过超效率模型分析。谢洪军等(2006)的 DEA 拓展分析模型基本停留在初级阶段,几乎没有同时考虑环境和非期望产出等变量对电力行业效率的影响。

二、研究方法 with 工具

自 Charnes、Cooper 和 Rhodese (1978)创立基本的 DEA 模型后,为测度环境变量对决策单元效率的影响程度,Coelli(1998)提出了 DEA 的两阶段模型,但由于该模型存在技术上的缺陷,并且在实际应用中会忽略被包括在投入松弛或产出剩余里的信息,因此, H. O. FRIED 等(2002)提出了 DEA 三阶段模型。它的模型构建和运用经历三个阶段。

1. 第一阶段 DEA 模型

该阶段使用投入产出数据进行一般 DEA 分析,本文采用投入导向的规模报酬可变的 BCC 模型。所以采用投入导向,是因为本着资源节约和环境友好的要求,尽量减少投入和降低负产出是必要的。由于 BCC 作为一个成熟的 DEA 模型,其数学原理已经非常清晰,这里不再赘述。^①

2. 第二阶段构建相似 SFA 模型

Fried 等人认为,第一阶段 DEA 分析得出的投入/产出松弛变量由环境影响,管理无效率和统计噪音三因素构成。通过构建 SFA 模型可分别观测出以上三个因素的影响。本文以投入导向为例,分别对 N 个投入松弛变量进行 SFA 分析。

首先建立松弛变量:

$$s_{ni} = x_{ni} - X_n \lambda \geq 0, n=1, 2, \dots, N, i=1, 2, \dots, I \quad (1)$$

其中: S_{ni} 是第一阶段第 i 个厂商在使用第 n 个投入的松弛变量(射线上的加上非射线的), X_n 是 X 的第 n 行, $X_n \lambda$ 是 x_{ni} 对应产出向量 y_i 在投入效率子集上的最优映射。

其次建立松弛变量与环境解释变量的理论模型:

$$s_{ni} = f^n(z_i; \beta^n) + v_{ni} + u_{ni}, n=1, 2, \dots, N, i=1, 2, \dots, I \quad (2)$$

其中: $z_i = [z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ki}]$, $i=1, 2, \dots, I$, 为 K 个可观测的环境变量, $f^n(z_i; \beta^n)$ 是确定可行的松弛前沿, 参数向量 β^n 将被估计, $v_{ni} + u_{ni}$ 为混合误差项。与随机成本前沿公式一样, 我们假设 $v_{ni} \sim N(0, \sigma_{vn}^2)$ 反映统计噪音, $u_{ni} \geq 0$ 反映管理无效率。

最后调整投入变量:

为进行下一步的投入调整,首先必须从 SFA 回归模型的混合误差中把统计噪音从管理无效率中分离出来。通过管理无效率的条件估计 $\hat{E}[u_{ni} | v_{ni} + u_{ni}]$, 可通过以下方式得到统计噪音的估计:

$$\hat{E}[v_{ni} | v_{ni} + u_{ni}] = s_{ni} - z_i \hat{\beta}^n - \hat{E}[u_{ni} | v_{ni}], n=1, 2, \dots, N, i=1, 2, \dots, I, \quad (3)$$

为排除不同运营环境和统计噪音的影响,对于那些处于相对有利的运营环境或相对好运的 DMU 的投入进行向上调整,如(4)式:

$$x_{ni}^A = x_{ni} + [\max_i \{z_i, \hat{\beta}^n\} - z_i \hat{\beta}^n] + [\max_i \{\hat{v}_{ni}\} - \hat{v}_{ni}], n=1, \dots, N, i=1, 2, \dots, I, \quad (4)$$

其中 x_{ni}^A 和 x_{ni} 分别是调整后和所观察到的投入数量。(4)式右边的第一步的调整使所有厂商处于共同的运营环境,即样本中所观测的最差的环境。第二步调整使所有厂商处于共同的自然状态,即样本中遇到的最不幸的状态。以致使每个 DMU 均面对相同的运营环境和经营运气。

3. 第三阶段调整后的 DEA 模型

用调整后的投入数据 x_{ni}^A 代替原始投入数据 x_{ni} , 再次运用 BCC 模型计算效率值。第三阶段输出的 DMU 效率值,排除了运营环境和统计噪音的影响,客观体现了技术效率,更能反映事实。

三、投入产出变量选取和数据分析

1. 样本及资料来源

鉴于数据的可得性和完整性,本文选取 2004 年中国 30 个省(自治区、直辖市,以下简称省)的火电行业为样本(西藏因数据不完整,故被排除)。文中数据分别来源于《中国电力年鉴 2005》、《中国环境年鉴 2005》、《中国劳动统计年鉴 2005》、《中国能源统计年鉴 2005》、《2004 年中国国民经济核算年鉴》和《中国民族统计年鉴 2005》。

2. 投入与产出指标的选取

综合 DEA 方法对投入和产出指标的基本要求,本文首先选取两项产出指标,即期望产出发电量和非期望产出 SO_2 排放量,但因为 SO_2 排放量属于非期望的负产出,借鉴 Korhonen 对负产出的处理方法之一,即将其作为投入变量,希望其越少越好,本文事实上将其作为投入变量,因此产出只有发电量一项。而投入有四项,即装机容量,这是代表火电厂投资规模的重要指标;燃料煤消耗量,这是火电厂运行的重要可变成本投入;劳动力,由于无法获得各省纯粹的火电行业的就业人数,本文利用与火电行业高度相关的热电生产与供应的劳动力人数来替代; SO_2 排放量。

3. 环境变量的选取

环境变量指的是那些影响火电厂效率但不在样本主观可控范围内的因

素。考虑到火电行业的发展特性,本文主要考虑以下几个因素作为环境变量。反映一个地区经济发展水平的地区生产总值,它既是影响电力行业发展的需求因素,又可能从技术和管理等方面对供给产生影响;反映居民生活用电水平的地区总人口;反映一个地区资源禀赋状况的地区原煤生产量;反映一个地区火电行业市场结构和规模经济状态的火电厂个数;以及反映一个地区其他发电方式重要程度的其他发电方式所占比例。

以上五个变量不受 DMU 管理控制的约束,并可满足 Simar 和 Wilson (2007)提出的分离假设。所以本文选取它们来反映不同经营环境对 DMU 效率的影响。

DEA 方法要求投入与产出之间需满足等幅扩张性,即随着投入的增加产出不减少。由于投入产出数据无法确定是否符合正态分布,因此本文采用非参数的“Kendall's tau b”秩方法对 30 个省的投入产出指标进行了相关性分析,投入产出指标具有显著的正相关性。

四、实证结果分析

1. 第一阶段传统 DEA 的实证结果

第一阶段运用 Deap 2.1 软件对中国 30 个省火电行业的效率水平与规模报酬所处的状态进行了分析。结果如表 1 所示,在不考虑外在环境变量和随机因素影响时,中国火电行业的平均技术效率为 0.862,平均纯技术效率为 0.889,平均规模效率为 0.971。其中 6 个省(内蒙古、上海、江苏、安徽、青海、宁夏)处于技术效率前沿,其他各省则面临不同的技术效率改进空间。除天津、

表 1 2004 年中国 30 个省火电行业的效率结果

地区	TE _i	PTE _i	SE _i	规模报酬	地区	TE _i	PTE _i	SE _i	规模报酬
北京	0.814	0.815	0.999	drs	河南	0.765	0.798	0.959	drs
天津	0.935	1.000	0.935	irs	湖北	0.685	0.693	0.988	drs
河北	0.967	1.000	0.967	drs	湖南	0.81	0.829	0.977	drs
山西	0.944	0.974	0.969	drs	广东	0.914	1.000	0.914	drs
内蒙古	1.000	1.000	1.000	—	广西	0.69	0.695	0.992	drs
辽宁	0.87	0.894	0.974	drs	海南	0.679	1.000	0.679	irs
吉林	0.857	0.858	0.999	drs	重庆	0.745	0.751	0.991	drs
黑龙江	0.732	0.738	0.992	drs	四川	0.745	0.756	0.985	drs
上海	1.000	1.000	1.000	—	贵州	0.981	0.999	0.983	drs
江苏	1.000	1.000	1.000	—	云南	0.822	0.842	0.976	drs
浙江	0.781	0.791	0.988	drs	陕西	0.871	0.893	0.975	drs
安徽	1.000	1.000	1.000	—	甘肃	0.998	1.000	0.998	drs
福建	0.942	0.943	1.000	—	青海	1.000	1.000	1.000	—
江西	0.804	0.82	0.981	drs	宁夏	1.000	1.000	1.000	—
山东	0.804	0.865	0.931	drs	新疆	0.711	0.715	0.994	irs

注:TE:技术效率;PTE:纯技术效率;SE:规模效率;TE=PTE×SE;drs:规模报酬递减;irs:规模报酬递增;—:规模报酬不变。以下各表均相同。

资料来源:本研究整理。

河北、山西、广东、海南、贵州和甘肃以外,其他各省的纯技术效率均低于规模效率,也就是说代表决策与管理水平的纯技术效率不高是制约中国大多数省份火电行业效率提升的主要因素。

2. 第二阶段 SFA 回归分析结果

由第一阶段可得出样本各投入变量的松弛量(射线加上非射线的),将其作为函数的被解释变量,将地区生产总值、总人口、产煤量、火电厂个数和其他发电方式比例作为解释变量进行 SFA 回归分析。结果如表 2 所示。

表 2 第二阶段 SFA 估计结果

因变量 自变量	装机容量 松弛变量	燃料煤消耗量 松弛变量	劳动力松弛 变量	SO ₂ 排放量 松弛变量
常数项	-1312.1954*** (0.9955)	-24495.2530*** (1.0000)	-2463.3992*** (0.9987)	-2479.9444*** (0.9993)
地区生产总值	112.0235*** (0.6284)	-233.4541*** (1.0018)	-23.4385*** (0.9029)	-25.4940*** (0.9496)
地区总人口	35.6277*** (1.3011)	1635.9512*** (1.0078)	163.3863*** (0.4728)	165.3251*** (0.8250)
地区产煤量	0.0984*** (0.0146)	0.9992** (0.3927)	0.0984*** (0.0002)	0.0985*** (0.0013)
火电厂个数	-9.9590*** (0.9484)	48.6878*** (1.0003)	4.3670*** (1.0127)	5.0790*** (1.0026)
其他发电比率	0.0238 (0.5840)	-0.0654 (0.9999)	-0.0004 (0.0018)	-0.0019 (0.0019)
σ^2	478390.73*** (1.0000)	433923.48*** (1.0000)	457323.45*** (1.0000)	458738.41*** (1.0000)
γ	0.9999*** (0.0003)	0.9999*** (0.0047)	0.9999*** (0.0000)	0.9999*** (0.0000)
Log - likelihood function	-217.0566	-285.1908	-215.4450	-215.5246
LR test of the one-sided error	15.5186**	15.5294**	17.3906**	17.3241**

注：*** 显著水平达 1%；** 显著水平达 5%；* 显著水平达 10%；括号内为标准差。

资料来源：本研究整理。

由表 2 可知,每个似然比 LR 都通过 5%的显著性检验,即表明混合误差项中存在技术非效率,因此,使用 SFA 分析十分必要。而且 $\lambda = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}$ 表示技术无效率方差占总方差的比率,每个回归分析都显示 $\gamma \rightarrow 1$,且显著水平均达到 1%,这说明技术效率存在差异,采用 SFA 分析是适宜的,并且表明技术无效率对松弛变量的产生具有很大的影响,而随机因素影响很小。

由于环境变量是对各投入松弛变量的回归,所以当回归系数为负时,表示增加环境变量有利于投入松弛变量的减少,即有利于减少各投入变量的浪费或降低负产出。

(1)地区生产总值:地区生产总值对于耗煤量、劳动力和 SO₂ 的松弛变量来讲都属有利因素,即当地区生产总值增加时,有利于降低耗煤量和劳动力投入的浪费,也会减少 SO₂ 的排放量。但对装机容量松弛变量来讲是不利的。

以上各项的 t 值均在 1% 的显著水平下通过检验,说明影响显著。

(2)人口:人口的增加对于装机容量、耗煤量、劳动力、 SO_2 的松弛变量来说都是不利的,会增加它们的投入浪费或增加负产出。其 t 值也均通过 1% 的显著性检验。

(3)产煤量:与人口的影响作用类似,当地产煤量的增加也都不利于装机容量、耗煤量、劳动力投入的减少以及降低 SO_2 的排放量,其 t 值也均通过显著性检验。这可能是由于当地资源禀赋越丰富,对投入要素的利用越粗放,并且导致环境污染越严重。

(4)工厂个数:工厂个数的增加有利于减少装机容量的浪费但会增加耗煤量、劳动力的浪费并增加 SO_2 的排放量。这可能由于工厂个数越多,以小火电厂为主的可能性增加,会导致资源浪费和污染物的过度排放。其 t 值也均通过 1% 的显著性检验。

(5)其他发电方式的占有率:当其他方式发电率提升时,有利于减少耗煤量、劳动力的投入浪费并且降低 SO_2 的排放量。这可能是由于为了增强与其他发电方式竞争的能力,火电企业会提升资源利用率,降低污染等。但对于装机容量松弛变量来说由于 t 值均未通过显著性检验,上述影响只是方向性的。

由于以上各环境变量对于不同的 DMU 的影响是不同的,可能导致一些面临较好的经营环境或运气较好的省份的火电行业具有较佳的效率表现,反之则反是。因此,必须调整原投入变量,使所有的省份在面对同样的经营环境及运气下,考察其真实的效率水平。

3. 第三阶段投入调整后的实证结果

根据(4)式进行投入变量的调整,利用 Deap2.1 再次进行 BCC 模型运行,可获得第三阶段的各效率值以及规模报酬的状态,运行结果见表 3。

表 3 2004 年中国 30 个省火电行业同质环境下的效率结果

地区	TE_3	PTE_3	SE_3	规模报酬	地区	TE_3	PTE_3	SE_3	规模报酬
北京	0.611	1.000	0.611	irs	河南	0.902	0.923	0.978	irs
天津	0.787	1.000	0.787	irs	湖北	0.691	0.858	0.805	irs
河北	0.835	0.846	0.987	drs	湖南	0.727	0.953	0.762	irs
山西	1.000	1.000	1.000	—	广东	0.948	1.000	0.948	drs
内蒙古	0.718	0.778	0.924	irs	广西	0.511	0.967	0.529	irs
辽宁	1.000	1.000	1.000	—	海南	0.597	1.000	0.579	irs
吉林	0.811	0.972	0.834	irs	重庆	0.497	1.000	0.497	irs
黑龙江	0.828	0.845	0.980	irs	四川	0.668	0.916	0.729	irs
上海	1.000	1.000	1.000	—	贵州	0.748	1.000	0.748	irs
江苏	1.000	1.000	1.000	—	云南	0.622	1.000	0.622	irs
浙江	1.000	1.000	1.000	—	陕西	0.801	0.978	0.819	irs
安徽	1.000	1.000	1.000	—	甘肃	0.531	0.711	0.746	irs
福建	1.000	1.000	1.000	—	青海	0.341	1.000	0.341	irs
江西	0.670	0.969	0.692	irs	宁夏	0.475	0.930	0.511	irs
山东	1.000	1.000	1.000	—	新疆	0.603	1.000	0.603	irs

资料来源:本研究整理。

本文采用 Wilcoxon 符号等级检验对第一阶段与第三阶段 DEA 的各效率值进行显著性差异分析^③。从中可知,第一阶段的效率值与第三阶段的效率值均存有显著性差异,表明本文所选的环境变量及统计噪音确实会对效率值产生影响,因此调整投入变量是必要的。

对比表 1 与表 3 可看出,排除环境变量和统计噪音的影响后,处于技术效率前沿的地区由 6 个上升到 8 个,且在第一阶段的 6 个中依然处于效率前沿的仅剩 3 个,而上海、江苏和安徽,内蒙古、青海、宁夏的效率水平大幅下滑,特别是后两者。晋升至效率前沿的则有山西、辽宁、浙江、福建、山东 5 省,说明这 5 个地区的火电行业在剥离环境因素和统计噪音的同质环境下经营是高效的。火电行业的平均技术效率由 0.862 下降为 0.764,平均规模效率从 0.971 下降到 0.801,而平均纯技术效率由 0.889 提升到 0.955。大多数地区的综合技术效率出现大幅下降,且除去内蒙古、黑龙江和河南外,其他地区的技术效率下降主要是由于规模效率下降导致的。也就是说,客观上规模效率不高是制约中国大多数省份火电行业效率提升的主要因素,这从调整之后的各省火电行业的规模报酬由递减为主转为递增为主也可以看出。

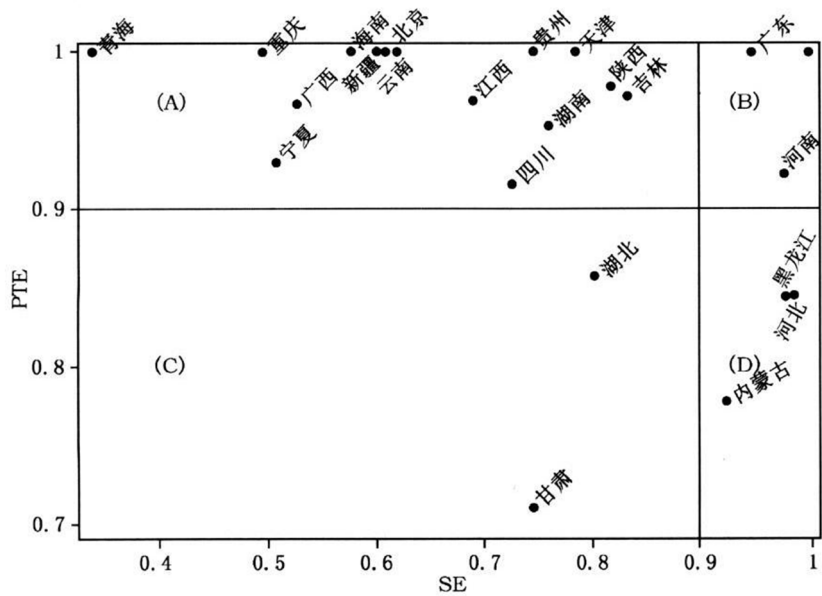
一些省份,如北京、辽宁、吉林、黑龙江、浙江、江西、山东、河南、湖北、湖南、广西、重庆、四川、云南、新疆的纯技术效率值大幅上升,说明这些地区之前较低的技术效率确实有部分是由于比较差的环境或不好的运气所致,而非它们的技术管理水平差。而部分地区,如河北、内蒙古、甘肃的纯技术效率值大幅下降,表明它们之前的高效率与它们所处的有利环境和好运密切相关,它们的技术管理水平并没有看上去那么高。

五、中国各省火电行业的发展模式和纯技术效率提升方向

以上实证结果显示,在混合环境变量和统计噪音的第一阶段,中国火电行业完全有效率的地区有 6 个,平均技术效率、纯技术效率和规模效率分别为 0.862、0.889 和 0.971,纯技术效率不高是制约大多数省份火电行业效率提升的主要因素。但去除了环境因素和统计噪音的影响后,完全有效率的省份达到 8 个,在平均纯技术效率提升到 0.955 的高水平下,由于平均规模效率大幅下降至 0.801,使得平均技术效率也下降到 0.764。

因为第三阶段的效率值更趋客观真实,效率改善也应以此为基础,本文以 0.9 的效率值为临界点把中国 30 个省火电行业的效率水平分为四种类型,其空间折射图如图 1 所示。如北京、天津等大多数地区处于高纯技术效率与低规模效率的 A 型,它们的效率改善方向应以提升规模效率为主;内蒙古、黑龙江等处于高规模效率与低纯技术效率的 D 型,它们的效率改善方向应以提升其纯技术效率为主;甘肃和湖北属于规模效率与纯技术效率双低的 C 型,效率改善需同时提高其管理水平和规模,难度相对较大;而广东等效率双高地区

则属于 B 型。



资料来源：作者根据实证结果整理。

图 1 30 个省份纯技术效率与规模效率分布图

针对纯技术效率的改善空间，本文通过三阶段的各投入松弛变量占原有投入量的百分比得出各地区每个投入变量的松弛程度，即冗余状态。除北京、天津等 17 个省份各投入变量均不存在冗余外，余下的都存在纯技术效率的改善空间。具体如表 4 所示。

表 4 2004 年中国纯技术非有效地区火电行业各投入变量的松弛程度（%）

地区	装机容量 量松弛	燃料煤消 耗量松弛	劳动力 松弛	SO ₂ 排放量 松弛	地区	装机容量 量松弛	燃料煤消 耗量松弛	劳动力 松弛	SO ₂ 排放量 松弛
河北	0.15	0.46	0.15	0.15	湖南	0.05	0.05	0.32	0.52
内蒙古	0.22	0.22	0.22	0.40	广西	0.03	0.03	0.29	0.67
吉林	0.03	0.10	0.03	0.03	四川	0.08	0.08	0.52	0.79
黑龙江	0.16	0.16	0.39	0.28	陕西	0.02	0.03	0.10	0.75
江西	0.03	0.03	0.26	0.60	甘肃	0.29	0.42	0.29	0.29
河南	0.08	0.08	0.40	0.29	宁夏	0.07	0.12	0.07	0.48
湖北	0.14	0.14	0.33	0.58					

资料来源：作者根据实证结果整理。

由表 4 可知，这 13 个省份投入变量的冗余状态不同，如果以存在 20% 的冗余量为限，既有河北、陕西、宁夏这种“一多”型的，前者是燃料煤消耗量过大，后两者是 SO₂ 排放量过多；也有黑龙江、江西、河南、湖北、湖南、广西、四川这种“双多”型，且都是劳动力投入过剩和 SO₂ 排放量过多；还有内蒙古、甘

肃的“四多”型，即所有投入都存在 20% 以上的冗余，此外，吉林是存在冗余的 13 个地区中情况最好的，燃料煤消耗量的投入冗余为 10%，其他三项均为 3%。根据冗余的严重程度和改善的难易程度，本文对上述 13 个存在投入冗余的省份提出提升火电行业纯技术效率的模式，分别为资本节约型、资源节约型、劳动力节约型和环境友好型，而且对应上面的几种状态，有的省份不能采取单一模式，需要双管齐下或是多管齐下，具体如图 2 所示。

I 资本节约型提升模式 (内蒙古、甘肃)	II 资源节约型提升模式 (河北、内蒙古、吉林、甘肃)
III 劳动力节约型提升模式 (内蒙古、黑龙江、江西、河南、湖北、湖南、广西、四川、甘肃)	IV 环境友好型提升模式 (内蒙古、黑龙江、江西、河南、湖北、湖南、广西、四川、陕西、甘肃、宁夏)

资料来源：作者整理。

图 2 中国部分省份火电行业纯技术效率提升模式

标准，降低污染物排放量。黑龙江、江西、河南、湖北、湖南、广西、四川则需双管齐下，将劳动力节约和环境友好并重，在裁减冗员，充分利用人力资源的同时，加强环保标准。面临问题最严重，需要多管齐下的是内蒙古和甘肃，同时面对四种提升模式，为此，内蒙古需要以形成环境友好型模式为突破口，甘肃则需要以形成资源节约型模式为突破口。

从图 2 可以看出，采取单一模式，效率提升相对容易的省份有采取资源节约型的河北和吉林，以提升技术和管理水平降低煤炭的消耗量为主；采取环境友好型的陕西和宁夏，主攻严格排放

六、提升中国火电行业效率的政策建议

除部分省份面临提升纯技术效率的压力外，中国大部分省份的火电行业还受规模效率低的制约，火电行业技术效率的提升除了各省采取相应措施外，也需要一些宏观政策的促进和配合。具体包括如下几个方面：

- 1. 上大压小。现阶段中国应减少各省火电厂的数量，同时扩大火电厂的规模，即所谓的上大压小，通过政策引导火电企业间的合并重组，形成一批大容量、高参数，更能发挥规模经济效应的大型火电厂。
- 2. 鼓励其他发电方式加快发展，提高综合发电水平，优化电力产业结构。水电、风电、太阳能、核电等其他符合资源与环境需求的发电方式在中国由于基础薄弱，以及资源禀赋、投资壁垒等多方面因素的作用，目前的发展水平还非常低，如果没有积极而有效的激励与引导政策，很难在与火电的竞争中取得快速发展。
- 3. 严格资源的集约利用标准。在中国经济发展面临“节能减排”的总体约束下，对火电行业制定严格的资源集约利用标准，如煤耗标准、排放标准等，并随着时间的推移逐步提高标准的水平，以减轻资源禀赋相对充裕地区对资源的粗放浪费使用，同时逐步提高排放标准，增强火电行业的资源友好程度。
- 4. 以形成环境友好型的发展模式为突破口，辅之以劳动力与资源节约。

研究表明,中国大多数省份火电行业事实上已经走上了“先污染后治理”的老路,因此,对火电行业必须把构建环境友好型模式为突破口,同时为改变粗放式发展所带来的劳动力和煤炭资源利用不充分问题,辅之以构建劳动力和资源节约模式。

注释:

①感兴趣者参见 Coelli 等(1998)。

②③限于篇幅,结果省略。

参考文献:

- [1] Alexander Vaninsky. Efficiency of electric power generation in the United States: Analysis and forecast based on data envelopment analysis[J]. Energy Economics, 2006, (28): 326—338.
- [2] Kemal Sarica Ilhan Or. Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis[J]. Energy, 2007, 32: 1484—1499.
- [3] Antonio Estachea, Beatriz Tovar, Lourdes Trujillo. How efficient are African electricity companies? Evidence from the Southern African countries[J]. Energy Policy, 2008, 36: 1969—1979.
- [4] Kaoru Tonea, Miki Tsutsuia. Decomposition of cost efficiency and its application to Japanese-US electric utility comparisons. Socio-Economic Planning Sciences[J], 2007, 41: 91—106.
- [5] Pablo Arocena. Cost and quality gains from diversification and vertical integration in the electricity industry: A DEA approach[J]. Energy Economics, 2008, (30): 39—58.
- [6] Pun-Lee Lam, Alice Shiu. A data envelopment analysis of the efficiency of China's thermal power generation[J]. Utilities Policy, 2001, (2): 75—83.
- [7] Carlos Pestana Barros. Efficiency analysis of hydroelectric generating plants: A case study for Portugal[J]. Energy Economics, 2008, 30: 59—75.
- [8] Toru Hattori. Relative performance of U. S. and Japanese electricity distribution: An application of stochastic frontier analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002, 18: 269—284.
- [9] Pekka J Korhonen, Mikulas Luptacik. Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 154: 437—446.
- [10] H O Fried, C A K Lovell, S S Schmidt, S Yaisawarng. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002, 17: 157—174. 60—66.
- [11] 罗道平, 肖笛. 数据包络分析(DEA)在电力工业的应用[J]. 系统工程与实践, 1996, (4): 60—66.
- [12] 滕飞, 吴宗鑫. 中国电力企业的绩效分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2003, (6): 127—130.

- [13]吴育华,甘世雄. 电力工业效率分析与实证研究[J].武汉理工大学学报,2004,(8):90—92.
- [14]楼旭明,窦彩兰,汪贵浦. 基于 DEA 的中国电力改革绩效相对有效性评价[J].当代财经,2006,(4):90—93.
- [15]王金祥,吴育华. 基于超效率 DEA 模型的电力公司效率评价[J].东北电力学院学报,2004,(4):22—25.
- [16]谢洪军,任玉珑. 中国电力产业市场化与环境绩效——基于 DEA 的分析[J].科技管理研究,2006,(9):53—54.
- [17]Simar L,Wilson P. Estimation and inference in two-stage,semi-parametric models of production processes[J].Journal of Econometrics,2007,136:31—64.

Technical Efficiency and Its Upgrade Orientation of Thermal Power Industry in Provinces of China ——Based on the Analysis of Three-stage DEA Model

BAI Xue-jie, SONG Ying

(*Institute of Industrial Economics at Economic and Social
Development College, Nankai University, Tianjin 30007, China*)

Abstract: The paper evaluates technical efficiency of thermal power industry in 30 provinces of China in 2004 with DEA three-stage model by excluding the effects of environmental variables and statistical noise. The results demonstrate that the technical efficiencies in many regions are really affected by environments and luck, such as local economic level and resource endowment etc. Obviously, scale efficiency is not high in the homogenous operating environment. According to pure technical efficiency and scale efficiency, Chinese thermal power industry is divided into four modes. The special upgrade models against 13 provinces whose pure technical efficiencies are non-complete effective are put forward, including capital-efficiency model, resource-saving model, labor-saving model and environment-friendly model. At the end, some macro-policy implications are proposed, such as encouraging the large thermal power plants and shutting down the small ones, and constituting strict resource intensive utilization standards.

Key words: thermal power industry; three-stage DEA; technical efficiency; scale efficiency; pure technical efficiency

(责任编辑 周一叶)