

基于 DEA 的美国 PJM 市场发电厂效率评价

万维宏¹, 袁文嘉², 王玥³

(1. 广东电网公司佛山供电局, 广东 佛山 528000; 2. 河南许昌供电公司, 河南 许昌 461000;
3. 中石油吉林石化公司电石厂, 吉林 吉林 132022)

摘要: 采用 DEA 方法的 CCR 模型和超效率模型, 比较了美国 PJM 市场在有竞争市场的情况与假定无竞争市场情况下的发电厂效率, 并通过投入冗余度来衡量影响发电厂效率的资源配置是否合理。根据计算结果来科学、客观地评估电力改革所带来的影响并分析原因, 从而概括出 PJM 市场对我国电力工业改革的启示。

关键词: 发电厂效率; CCR 模型; 超效率模型; 投入冗余度

Evaluation for the efficiency of generation companies in PJM market based on DEA

WAN Wei-hong¹, YUAN Wen-jia², WANG Yue³

(1. Foshan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Foshan 528000, China; 2. Xuchang Power Supply Bureau, Xuchang 461000, China; 3. Calcium Carbide Factory, Jilin Petrochemical Co., Ltd, Jilin 132022, China)

Abstract: This paper selects some models that are appropriate for the evaluation of power plant, such as technology efficiency model (CCR) and super efficiency model and compares the power plant efficiency in electric market with competition to without competition. It also introduces the input redundancy rate to find out weather the resources allocation is reasonable. According to these evaluations, we can assess the affection of electric power restructure objectively and scientifically and analyse the reason to find out the enlightening to power electric industry in China.

Key words: efficiency of power plant; technology efficiency model (CCR); super efficiency model; input redundancy rate

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)18-0046-05

0 引言

随着电力体制改革的不断深化, 电力市场对电力行业产生了巨大的影响。尤其在竞争市场模式下, 电力改革对发电厂效率产生了不可估量的影响, 评价改革前后发电厂效率变化变得尤为迫切。

目前电力行业越来越多采用 DEA 方法来评价效率, 如文献[1]采用 DEA 方法对当前配电市场中配电商的生产效率进行了评价和分析, 文献[2, 3]采用超效率模型对电力公司的效率进行了评价, 文献[4]采用 C²R 和 C²GS² 模型对中国电力改革绩效相对有效性进行评价, 文献[5]采用 DEA 中的 C²R 和 C²GS² 模型对火力发电厂及机组的生产效率相对有效性进行评价, 文献[6]采用 AHP 约束锥的 DEA 模型对发电企业技术效率进行评价, 文献[7]用 DEA 最基本的模型评价了江苏省 19 个主要发电厂的生产经营效率等等。

从目前采用 DEA 方法研究效率的文献来看, 普

遍存在以下不足: 这种方法将大量决策单元分为有效和非有效两大类, 在使用这种方法进行有效性分析时容易出现大量的、甚至全部决策单元都有效的情形; 只能提供决策单元间相对性的效率评估, 不能衡量具体的投入产出不合理量。针对以上不足, 本文在发电厂效率评价中选用了改进后的超效率模型, 可以将决策单元效率高低进行比较排序。通过投入冗余度来计算发电厂投入和产出的不合理量。

1 数据包络分析 (DEA) 模型

数据包络分析 (DEA) 法是使用数学规划 (包括线性规划、多目标规划、半无限规划等) 模型来评价具有不同量纲的多投入、多产出的同类决策单元 DMU (Decision Making Units) 之间的相对有效性问题。根据各决策单元的观测值来判断 DMU 是否有效, 实质上是判断 DMU 是否位于生产可能集的“生产前沿面”上。以下为 CCR 模型、超效率模型、投入冗余度。

1.1 CCR 模型

CCR 模型是 1978 年由 Charnes、Cooper 与 Rhodes 提出的, 用来研究具有多个输入, 特别是具有多个输出的部门“规模有效”与“技术有效”的卓有成效的方法。假定被评估单元有 n 个相互独立的决策单元 $DMU_j (j=1, 2, \dots, n)$, 每个决策单元有 m 种投入资源 $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$, s 种输出 $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$ 。CCR 模型的对偶规划形式:

$$\begin{aligned} \theta &= \min h_j \\ \text{s.t.} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \theta x_k, i=1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_k, r=1, 2, \dots, s \\ \lambda_j &\geq 0, j=1, 2, \dots, n \\ s^- &\geq 0, s^+ \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

其中: $x_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{mk})$, $y_k = (y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{sk})$; h_j 为第 j 个决策单元的效率评价指数; λ_j 为各决策单元的权重系数; s^- , s^+ 为松弛变量; 该模型中被考察决策单元的总效率值满足 $0 \leq \theta \leq 1$ 。 θ 称为效率测度值^[8]。

1.2 超效率模型

用 DEA 方法评价发电厂的相对效率时, 最后的结果很可能出现多个单元同时相对有效, CCR 模型对这些有效单元却无法作出进一步的评价与比较。为了弥补这一缺陷, 1993 年 Andersen 和 Prtersen 提出了一种 DEA 的超效率模型, 使有效决策单元之间也能进行效率高低的比较^[9]。其基本思路反映在模型上, 有以下线性规划模型:

$$\begin{aligned} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \lambda_j x_{ij} &\leq \theta x_k, i=1, 2, \dots, m \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \lambda_j y_{rj} &\geq y_k, r=1, 2, \dots, s \\ \lambda_j &\geq 0, j=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

由上可以看出, 超效率模型的主要改进在于评价决策单元 j 时, 把该评价单元与其他所有的评价单元的线性组合做比较, 使决策单元 j 的投入和产出被其它所有的决策单元投入产出的线性组合替代, 而将第 j 个决策单元排除在外。一个有效的决策单

元可以使其投入按比例的增加, 而效率值保持不变, 投入增加比例即其超效率评价价值。

1.3 投入冗余度

计算投入冗余度可以得到资源利用和资源配合理性方面更详细的信息, 指导我们更准确地评估, 找出决策单元各因素的影响大小, 从而提出切实可行的改进措施。

在 CCR 对偶模型中, 投入冗余度 a_{ij} 可以根据松弛变量 s_{ij}^- 和各决策单元的投入指标 X_{ij} 来计算。其计算公式:

$$a_{ij} = \frac{s_{ij}^-}{X_{ij}} \quad (3)$$

投入冗余度表示在保持原投入不变的情况下, j 决策单元的第 i 个投入指标可节省的比例, 也即投入 X_{ij} 的利用率^[10]。

2 DEA 模型在发电厂效率评价中的应用

发电厂效率由多个投入和多个产出决定, 这些投入产出之间具有不同特性, 但联系比较紧密, 要建立一个明确地函数关系比较复杂。然而采用 DEA 方法能很好地满足发电厂效率评价的要求。因此本文将采用超效率模型对发电厂效率高低进行比较排序, 通过投入冗余度来衡量发电厂投入的不合理量, 比较分析美国 PJM 市场电力改革后有竞争市场情况与假定无市场情况的发电厂效率, 从而分析发电厂效率变化的原因。

3 发电厂效率评价实证研究

国外电力改革后大多采用的市场模式为批发竞争和零售竞争市场模式。以下结合竞争市场的特征, 对发电厂效率进行分析。

3.1 变量选取

决策单元: 以年份为决策单元, 采用 1999~2004 年美国 PJM 市场中发电厂的运营数据与假定无市场情况的模拟运营数据来分析改革对发电厂效率的影响。改革后有竞争市场的数据是指 PJM 市场中所有 1999 年以前建成的火力发电厂以及 1999~2003 年期间新建容量的运行数据, 从现有批发市场中获得。假定无市场情况的数据是指 PJM 市场 1999 年以前所有建成的电厂以及为满足最小备用裕度和用户的能量需求而新增的容量, 由模拟软件模拟无改革的运营状态得到^[11]。

投入指标: 考虑到数据的可获得性与模拟电力市场的实际, 选取了如下投入指标: 运行维护成本、

热效率(热效率是表征发电厂效率的单位)、燃料费、经营费用(经营费用包含燃料开支、从该竞争市场部门购买的能源和容量、可变的运行和维护费用、固定的运行维护费用、折旧、税收和营业收入),这些指标直接影响发电成本,从而影响发电厂效率。

输出指标:发电收入能体现发电厂发电量多少、销售收入情况等。

假定无市场的模拟运营数据如表1、2所示。

表1 假定无市场的模拟运营数据

Tab.1 Data of operation in no market assumed

投入指标	2004	2003	2002	2001	2000
运行维护成本 / (\$/MWh)	3.29	3.89	4.27	4.32	3.54
热效率 / (Btu/kWh)	10,885	11,470	11,249	11,136	11,312
燃料费 / 百万美元	36,367	32,634	31,592	31,577	28,808
经营费用 / 百万美元	47,394	42,782	40,967	39,282	34,917
发电收入 / 十亿美元	2,385	2,081	1,823	1,144	827

表2 改革后有市场的运营数据

Tab.2 Data of operation in market after reform

投入指标	2004	2003	2002	2001	2000
运行维护成本 / (\$/MWh)	3.43	3.98	3.88	4.58	3.49
热效率 / (Btu/kWh)	11,717	11,067	14,343	13,269	12,599
燃料费 / 百万美元	33,627	31,188	31,600	31,651	28,905
经营费用 / 百万美元	42,980	39,328	38,050	36,851	32,992
发电收入 / 十亿美元	2,969	2,679	1,647	1,166	834

注:以上数据来源于《全球能源》

3.2 效率分析

美国 PJM 市场发电企业运营效率如表 3 所示。

由表3数据可以看出,2004年超效率在改革后为1.758 4,在没有改革的情况下为1.393 4,说明发电厂效率在改革后有市场的情况下明显提高。由于市场化后,体现发电厂效率的技术指标变化较大,如热效率提高,发电收入提高,运营管理指标经营费用和燃料费降低。2000~2003年技术效率相对无效,但效率值逐年递增,2003年明显高于2000年。

2004年发电厂相对有效。由于市场改革初期,资源配置及管理相对比较落后,技术没得到及时更新,发电厂处于转型中,技改、管理、上网交易都需要投入大量成本,因此效率比假定无市场的情况更低。但随着技术和管理的持续改进,电厂运行人员、运行流程和运行维护的标准化,以及联合购买燃料设备,改进了电厂成本和性能;此外,容量因子和运行稳定性的改善在节约成本、提高能源效能的同时使得发电厂效率大大提高。

表3 两种情况的运营效率

Tab.3 Efficiency of operation in two cases

年份	假定无市场的情况		改革后有市场的情况	
	技术效率	超效率	技术效率	超效率
2004	1	1.393 4	1	1.758 4
2003	0.972 3	0.972 3	0.861 9	0.861 9
2002	0.884 3	0.884 3	0.374 4	0.374 4
2001	0.578 7	0.578 7	0.283 4	0.283 4
2000	0.299 9	0.299 9	0.113 8	0.113 8

3.3 投入冗余度分析

投入冗余度计算结果如表 4、5 所示。

表4 假定无市场的投入冗余度

Tab.4 Input redundancy rate in no market assumed

投入/输出指标	2004	2003	2002	2001	2000
运行维护成本 / (\$/MWh)	0	9.46%	29.53%	21.34%	23.44%
热效率 / (Btu/kWh)	0	8.73%	14.46%	10.99%	14.43%
燃料费 / 百万美元	0	2.1%	0.44%	2.63%	0
经营费用 / 百万美元	0	9.46%	29.53%	21.34%	23.44%

表5 改革后有市场的投入冗余度

Tab.5 Input redundancy rate in market after reform

投入/输出指标	2004	2003	2002	2001	2000
运行维护成本 (\$/MWh)	0	2.79%	8.14%	10.77%	29.32%
热效率 (Btu/kWh)	0	3.26%	10.36%	7.62%	16.33%
燃料费 / 百万美元	0	1.22%	2.17%	3.41%	15.04%
经营费用 (百万美元)	0	0	0	0.97%	14.08%

表 4、表 5 反映了电力改革后有市场与假定无市场情况下的发电厂对各项投入的利用程度。假定无市场情况下,经营费用投入冗余度比改革后高很多,2000~2003年分别为 23.44%, 21.34%, 29.53%,

9.46%, 而改革后的经营费用冗余度只有 2000 年较高为 14.08%, 其它年份差不多为 0; 2000~2003 年假定无市场情况下运行维护成本投入冗余度比改革后高。由此可见, 改革后, 发电厂经营费用利用率明显提高, 运行维护成本明显减少, 但其冗余度仍然较高, 改革情况下 2003 年达到 29.32%, 体现了发电厂在运行维护及经营管理上面有明显的提高, 但运行维护水平还有待改进。改革后的燃料费冗余度比假定无市场情况高, 假定无市场的情况燃料费冗余度最高只有 2.63%, 而改革后燃料费冗余度最高达到 15.04%。热效率冗余度在有无市场情况差别不是很大, 体现了改革后技术水平没有明显改进, 在以后的改革进程中, 技术水平还有待提高。

4 原因分析

PJM 电力市场环境下, 发电企业效率提高, 这与 PJM 市场机制以及市场竞争密切相关。从市场机制来看: 第一, PJM 市场建立了董事会制度, 经营权与所有权分离, 将整个区域电网的运营置于董事会监督之下^[12], 同时又设立了各类委员会, 可及时发现和研究各类问题, 并形成相应的咨询报告, 供董事会参考, 使市场监督更到位; 第二, PJM 市场提供了灵活的交易机制和多样化的交易种类^[13]。其中 PJM 容量市场的建立, 保证所有电力供应商, 无论其规模大小, 都能够平等地参与电力零售市场竞争; 第三, PJM 通过市场规则的规定减少市场操纵力, 并通过市场价格反映各种服务的成本及其对系统运行的作用, 鼓励市场成员为系统提供服务, 促进了公平竞争, 保证系统安全运行^[14]; 第四, 美国 PJM 电力市场的组织结构和规模类似于我国的大区域电力市场, 有利于资源优化配置。

市场竞争对发电厂效率的影响概括为以下几个方面: 在竞争市场环境下, 发电投资多元化, 市场集中化程度大幅度下降; 大量资金投入支持高效率的发电容量建设; 电力交易对发电商的影响主要通过电力供给、需求与管制等因素对成本变动的影 响来间接传递; 需求侧的参与会增加售电商之间的激烈竞争, 引发售电商把具有革新性质的合同提供给用户, 导致用户互相争着购电, 转而对发电商施加更大的竞争压力。

5 PJM 市场发电厂效率评价对我国电力改革的启示

美国 PJM 市场发电厂效率评价对我国电力工业改革有着极其重要的借鉴意义和深刻的启示。概括起来主要有以下几个方面:

1) 建立相对独立的市场监督管理机构。在 PJM 市场运行中有独立的市场监督管理部门^[15], 能够引导发电厂健康投资, 减少市场风险, 防止市场成员滥用市场力行为, 保障电力市场公平、健康、有序地发展, 对我国电力市场的建立具有一定借鉴意义。

2) 交易种类多样。我国在建立电力市场的过程中应考虑逐步实现交易种类多样化, 尤其是辅助服务的市场化在建立市场初期就应作为一个重要问题来考虑。

3) 建立市场化的运行机制或市场配套机制。我国的电力市场化改革, 机制建设是亟待解决的问题, 需要加快建立与市场化相适应的电力规划机制、电力投资机制、电价机制等。与此同时需要加快政府职能的转变, 建立与电力市场相适应的政府宏观调控和监管体系。

4) 电力市场建设应该符合资源优化配置需要。美国 PJM 批发竞争市场打破了原有的行政州和电力企业边界, 推进更大范围的资源优化配置, 从而使发电企业效率提高。

6 结论

通过对美国 PJM 批发竞争市场与假定无市场情况的发电厂效率评估, 我们发现竞争电力市场对发电行业效率的提高具有重要作用。通过该评价体系也可以用来指导国内发电行业, 当前如何提高发电行业的效率已经成为各发电商关注的焦点。因此, 我们可以运用该评价体系来指导国内的发电行业, 进行一系列的改革。当然改革可能会带来新的问题, 针对改革后还存在的一些问题, 提出如下建议: 在竞争市场环境下, 要提高发电企业的竞争力, 首先要改进发电厂的生产效率和经营管理效率。其中运行维护成本冗余是改革后制约效率的主要原因之一, 热效率和燃料费的冗余度也需要进一步改善。可以放宽准入, 允许更多的市场主体加入到互联市场, 从而增大参与竞争市场的发电企业规模; 加强燃料管理, 控制燃料成本。

参考文献

- [1] 岳顺民, 余贻鑫. 配电市场价格监管方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (22): 13-18.
YUE Shun-min, YU Yi-xin. Price Regulation of Electricity Distribution Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (22): 13-18.
- [2] 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, 24 (4): 22-25.
WANG Jin-xiang, WU Yu-hua. Research on Efficient

- Evaluation of Electric Power Companies Based on Super-efficiency DEA Model[J]. Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering, 2004, 24 (4): 22-25.
- [3] 解百臣, 吴育华. 基于 SE-DEA 的电力企业效率评估[J]. 电子科技大学学报社科版, 2005, 7 (4): 25-27.
XIE Bai-chen, WU Yu-hua. Evaluation to Power Corporations' Efficiency Based on SE-DEA Model[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2005, 7 (4): 25-27.
- [4] 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.
LOU Xu-ming, DOU Cai-lan, WANG Gui-pu. A Review on the Relative Effectiveness of DEA-based Reform in Electric Power Sector of China[J]. Contemporary Finance & Economics, 2006, (4): 90-93.
- [5] 李从东, 李亚斌, 戴庆辉. DEA 方法在火力发电厂及其机组效率评价中的应用[J]. 现代电力, 2004, 21 (4): 1-5.
LI Cong-dong, LI Ya-bin, DAI Qing-hui. Application of DEA Method in Efficiency Evaluation of Thermal Power Plants and Its Units[J]. Modern Electric Power, 2004, 21 (4): 1-5.
- [6] 刘新梅, 刘博. 发电企业基于 AHP 的 DEA 效率评价[J]. 生产力研究, 2006, (3): 244-245.
LIU Xin-mei, LIU Bo. Evaluation on Efficiency of Power Plants Based on AHP & DEA[J]. Productivity Research, 2006, (3): 244-245
- [7] 王新宇, 王洪欣. 江苏省主要发电厂生产经营效率的评价研究[J]. 预测, 2000, (3): 73-77.
WANG Xin-yu, WANG Hong-xin. Study on the Evaluation of Production Efficiency of the Major Power Plants in Jiangsu Province[J]. Forecasting, 2000, (3): 73-77.
- [8] 盛昭瀚, 朱乔, 吴广谋. DEA 的理论、方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
SHENG Zhao-han, ZHU Qiao, WU Guang-mou. DEA Theory, Idea and Its Applications[M]. Beijing: Science Press, 1996.
- [9] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1998.
- WEI Quan-ling. DEA Method on Evaluation of the Relative Effectiveness[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1998.
- [10] 宁媛媛. 基于数据包络分析法 (DEA) 的商业银行效率研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
NING Yuan-yuan. Research on the Commercial Banks Efficiency Based on Data Envelopment Analysis[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [11] PJM Interconnection 2008, Market Monitoring Unit. 2007 State of the Market Report, Volume 1: Introduction[EB/OL]. www.pjm.com.2008.3-11.
- [12] PJM Interconnection 2008, Market Monitoring Unit. 2007 State of the Market Report, Volume 2: Detailed Analysis[EB/OL]. www.pjm.com.2008.3-11.
- [13] Global Energy decisions, Full Version for Putting Competitive Power Markets to the Test[EB/OL]. www.globalenergy.com/competitivepower/competitivepower-full-version.pdf. 2005.
- [14] Operating Agreement of PJM Interconnection, L L C. PJM Interconnection L L C. First Revised Rate Schedule FERC [EB/OL]. [http:// www. pj m. com, 2000](http://www.pjm.com, 2000)
- [15] 魏玢. 美国 PJM 电力市场及其对我国电力市场化改革的启示[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (8): 32-35.
WEI Bin. Experiences in PJM Market in the United States: a Good Reference for the Power Market Reform in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (8): 32-35.

收稿日期: 2008-11-14; 修回日期: 2009-04-16

作者简介:

万维宏 (1979-), 女, 硕士研究生, 主要从事电力市场方面的研究; E-mail: wanweihong36@yahoo.com.cn

袁文嘉 (1971-), 男, 工程师, 主要从事继电保护调试和设计工作;

王玥 (1972-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事电力系统及其自动化的研究。