

电力工业与火电行业生态效率实证分析

王艳红,叶文明

(四川理工学院 经济与管理学院,四川 自贡 643000)

摘要:电力工业具有高消耗、高污染、高排放的特点,是导致大气污染的主要因素之一,因此提升电力工业生态效率是我国节能减排与应对气候变化的有效途径,也是整个电力工业特别是火电行业持续健康发展的基础。本文利用 2001-2011 年全国电力工业及火电行业的发电量、装机容量、从业人员、原料投入以及 SO₂、CO₂ 排放数据,采用数据包络分析方法计算了整个电力工业和火电行业的生态效率,结果表明,火电行业虽然经过了一系列的节能减排改造,但是火电为主的行业结构特点是直接影响电力工业生态效率偏低的主要因素。根据统计结果,对改进电力工业和火电行业生态效率进行了分析,并建议我国电力工业要从国家层面、行业主管部门和电力企业共同挖掘节能减排空间,实现电力工业低碳、绿色发展。

关键词:生态效率;电力工业;火电行业;DEA 方法;节能减排

中图分类号:X196 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-8580(2014)04-0043-09

电力工业是国民经济发展的动力基础,也是密切关系人民生活的公共事业。截至 2012 年底,我国发电装机总容量为 11.45 亿千瓦,其中火电为 8.20 亿千瓦,占 71.5%;总发电量 4.98 万亿千瓦时,其中火电为 3.91 万亿千瓦时,占 78.6%。我国长期以煤电为主的格局在短期内难以改变。根据 2012 年环境统计年报,全国 SO₂ 排放总量为 2117.6 万吨,其中火电排放 797.0 万吨,占 37.64%;NO_x 排放总量 2337.8 万吨,其中火电排放 1018.7 万吨,占 43.58%;烟(粉)尘排放量 1234.3 万吨,其中火电排放 222.8 万吨,占 18.05%^[1]。以燃煤为主的火电工业污染物排放是造成大气污染的主要因素之一。另一方面,根据国际能源署报告,2012 年全球 CO₂ 排放量达 316 亿吨,中国排放量占全球总排放量的四分之一,是 CO₂ 排放最大国^[2];当年中国电力工业的 CO₂ 排放量为 38 亿吨(约占全国 50%),以燃煤为主的电力工业作为主要的温室气体排放源之一,肩负着节能减排的义务和社会责任,是中国发展低碳经济应对气候变化的主要领域之一^[3-4]。

基金项目:四川省哲学社会科学重点研究基地课题(XHJJ-0905)

作者简介:王艳红,讲师,博士研究生(E-mail:510028184@qq.com)

叶文明,教授(E-mail:846602473@qq.com)

Stefan Schaltegger 和 Andreas Sturm^[5]于 1990 年提出生态效率(Eco-efficiency, EE)的概念,即增加的价值与增加的环境影响的比值。之后,世界可持续发展工商业委员会(WBCSD, 1992)、经济合作与发展组织(OECD, 1998)等从不同角度提出了生态效率的解释^[6-7],而以澳大利亚环境部提出的“用更少的能源和自然资源提供更多的产品和服务”得到更多的认同^[8]。众多的文献已将生态效率应用于区域、工业、园区等领域^[9-14]。针对高消耗、高污染、高排放的电力工业,采用生态效率的理念进行资源环境管理,应用生态效率指标进行评估,提出电力工业提高生态效率进而实现资源节约、减少污染排放、控制温室气体排放,应对气候变化的对策,在理论上和实践中都具有重要的价值。

一、文献综述

国外学者早期对于电力工业特别是火电工业绩效的研究通常是不考虑环境因素的,例如 Färe 等利用 DEA 方法,对电厂绩效进行了比较和分析^[15-16]。随后国外学者逐渐将环境因素引入火电行业效率分析。Yaisawang 等评价了美国 1985-1989 年 61 个燃煤发电厂的生产率变化,1985-1989 年期间,在考虑 SO₂ 排放计算得到的生产率增长比不考虑 SO₂ 排放下的提高了 1%^[17-18]。Vaninsky 把化石能源利用作为输出,CO₂ 排放率和能源损失作为投入,利用 DEA 方法分析了美国 1990-2006 年电力工业环境效率,结果表明美国电力工业的环境效率是从 1995 年开始好转的^[19]。Sueyoshi 等运用 DEA 方法评价美国燃煤电厂规模效益和规模损失,其研究的一个重要特征是引入 CO₂ 量作为非期望产出^[20]。

关于中国电力工业效率或生产率研究得比较多。例如 Lam 和 Shui 运用 DEA 方法评价了中国 1995-2000 年火电行业的技术效率,发现东部沿海地区具有明显的技术优势^[21],但是其研究却没有将环境因素纳入考虑范畴。白雪洁、张各兴等对 2004 年中国 30 个省份火电行业的环境规制进行分析,利用三阶段 DEA 模型排除了经营环境与统计噪声对中国火电行业效率的影响,然后从非规制、弱规制、强规制三个层次分析环境规制程度与中国火电行业效率的关系,结果表明环境规制可以提高中国火电行业整体的效率水平,总体上存在技术创新激励效应,但它并不适用所有地区^[22-23]。谢百臣等应用在 DEA 模型基础上发展起来的基于动态效率的投入型 Malmquist 指数对我国 1997-2007 年 30 个省市发电部门运行状况进行低碳经济评价,将 CO₂ 排放作为投入指标,突破了传统效率评价重竞技效益轻可持续发展能力的局限^[24]。王兵等在考虑环境因素 SO₂ 情况下,运用方向性距离函数分析了 2001-2007 年中国 30 个省(西藏除外)火电行业的技术效率,并对技术效率影响因素进行了实证分析,但该研究也未将 CO₂ 纳入考虑因素^[25]。曲茜茜等采用考虑非理想产出的 SBM-DEA 模型,以就业人员数、发电设备容量、燃料消耗为投入指标,以发电量、厂用电量、二氧化碳排放量为产出指标,分析 2005-2009 年中国 30 个省市火电行业运行效率差异,但该研究也未将 SO₂ 纳入考虑因素^[26]。

现有关于电力工业特别是火电工业的效率或生产率研究总体上已经涵盖了经济绩效、生产效率,并把 CO₂ 或 SO₂ 这两种非理想产出纳入投入或非期望产出指标体系。但是,从生态效率定义本身出发去研究考虑碳排放与污染排放的中国电力工业特别是火电工业的生态效率问题,尚未触及,特别是系统的比较单纯的火电工业与整个电力工业的生态效率问题,需要进一步研究。

二、模型与方法

(一)生态效率模型

虽然生态效率的定义各不相同,但是都包括经济价值和环境影响^[9]。在具体计算中,目前普遍接受的计算公式由 WBCSD 提出^[27],即以经济价值与环境影响比值的方式表达:

$$\text{生态效率} = \frac{\text{产品或服务的价值}}{\text{环境影响}} \quad (1)$$

WBCSD 把产品或服务的生产或提供总量和净销售量作为一般性经济指标,增加值作为备选指标;同时,WBCSD 给出 5 个一般性环境影响指标,包括 3 个消耗指标(能源、原材料、水)和 2 个排放指标(温室气体、破坏臭氧层物质),以及 2 个备选环境排放指标(酸化气体、废物总量)^[27-28]。结合本文研究,生态效率(EE)的投入产出指标为:①投入指标,装机容量、从业人员数、原料投入、SO₂ 排放量、CO₂ 排放量;②产出指标,发电量。

(二)数据包络分析方法

数据包络分析(DEA)由 Charnes 等学者于 1978 年提出,是一种应用广泛的非参数绩效评估方法;DEA 主要的模型为 CCR 模型与 BCC 模型,其中 CCR 模型对决策单元规模有效性和技术性同时进行评价,即 CCR 模型中的 DEA 有效的决策单元既是规模适当又是技术管理水平高的评价方法;BCC 模型用于专门评价决策单元技术有效性^[29-31]。另外,CCR 模型可分为投入导向及产出导向,投入导向是指在既有的产出水平下,应减少多少的投入,才有效率;产出导向则为在既有的投入下,应增加多少产出,才是有效率的。基于减量化投入的基本原则,本文使用“投入导向”的 CCR 模型进行效率分析。

$$\begin{aligned} \min & [\theta - \delta(\hat{e}^T s^- + e^T s^+)] = V_D \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \sum \lambda_j x_j + s^- = \theta \cdot x_{j_0} \\ \sum \lambda_j y_j - s^+ = y_{j_0} \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n; s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

若线性规划的最优解 θ^* 、 λ^* 、 s^* 、 s^{*+} , 则: $\theta^*=1$ 且 $s^*=s^{*+}=0$, 决策单元为 DEA 有效; $\theta^*=1$ 但 s^- 或 $s^{*+} \neq 0$, 决策单元为 DEA 弱有效; $\theta^* < 1$, 决策单元 DEA 无效。

给定生态效率的投入与产出指标,求解 DEA 模型式(2),可以分别得到电力工业的生态效率 EE。同时,由式(2)计算得到的效率值 θ^* 、投入冗余 s^* 和产出冗余 s^{*+} ,可以由式(3)计算出 DEA 无效的决策单元(DMU_s)的目标值,以作为效率改进的依据。

$$\begin{cases} \hat{x}_j = \theta \cdot x_0 - s_j^- \\ \hat{y}_j = y_0 + s_j^+ \end{cases} \quad (3)$$

三、实证分析

(一)样本选择及数据来源

CO₂ 排放数据根据 IPCC 指导目录和其他方法可估算出电力工业 CO₂ 排放的数据;本文

根据火电发电量、供电煤耗以及碳排放强度 3 个驱动因子的变化来估算^[32-33],其中涉及到的各类能源 CO₂ 排放系数参考陈诗一的做法^[34]。SO₂ 排放量由《中国环境统计年报》(2002-2012)和获取。

装机容量、从业人员数、原料投入数据产出指标发电量的数据来源于《中国能源统计年鉴》(2002-2012)、《中国电力年鉴》(2002-2012)、《中国工业经济统计年鉴》(2002-2012)和《中国经济普查年鉴》(2004)。整个电力工业和火电行业的投入产出数据统计如表 1 所示,其中原料投入为发电用煤炭消耗数据。

表 1 投入与产出数据描述统计(2001-2011)

变量	发电量 (亿千瓦时)	装机容量 (万千瓦)	从业人员 (万人)	原料投入 (万吨)	CO ₂ 排放 (万吨)	SO ₂ 排放 (万吨)
电力	均值	29076.48	64398.65	253.66	81973.88	229874.53
	标准差	10646.05	25622.53	15.39	27710.49	69797.79
工业	最大值	47130.20	106253.22	277.62	132845.35	348493.86
	最小值	14838.56	33861.19	229.51	42667.62	128126.95
火电	均值	23515.81	48192.85	190.19	81973.88	229874.53
行业	标准差	8415.51	18712.33	12.38	27710.49	69797.79
	最大值	38337.02	76833.97	206.79	132845.35	348493.86
	最小值	12044.78	25313.70	171.58	42667.62	128126.95

(二)实证结果分析

由于 DEA 方法要求投入和产出指标之间满足等幅扩张性,即随着投入的增加产出不减少^[11]。从表 2 可以看出关于整个电力工业和火电行业生态效率的投入和产出指标均呈现正相关关系,说明本文所选取的投入与产出指标均符合等幅扩张性,因此能够反映中国电力工业相应的投入与产出关系。

表 2 电力工业投入与产出指标的相关系数

	装机容量	从业人员	原料投入	SO ₂ 排放	CO ₂ 排放
总发电量	0.996	0.762	0.979	0.067	0.993
火电发电量	0.989	0.621	0.987	0.083	0.997

根据上述我国电力工业生态效率评价指标体系,利用 DEAP2.1 软件对我国整个电力工业和火电行业生态效率进行分析,其结果如表 3 所示。

1.从整个电力工业来看,有 6 年时间的生态效率、技术效率和规模效率都为 1,处于生产前沿面,即 54.55%的年份相对于其他年份效率最优,其余 5 年的综合效率值都在 0.943-1.00 之间,属于 DEA 无效,说明这 5 年投入的资源未得到充分有效利用,要提高电力工业效率,就必须提高资源有效利用率。此外,2001、2002 和 2009 年规模效率值都小于 1,但是其处于规模收益递增阶段,即如果继续加大投入虽然会增加一定的污染和温室气体排放,但能够获得规模报酬。2009 年规模效率值小于技术效率值,说明电力工业在资源利率较高,但是投入规模存在不足。

2.从火电行业来看,表 3 可以看出,火电行业 2003、2004、2008 和 2011 年 4 个年份的生态效率、技术效率和规模效率值均为 1,即 36.36%的年份相对于其他年份最优效率,表明这 4 年

我国火电行业生态效率为 DEA 有效,但是对于整个电力工业整体的规模有效与技术有效并不理想。其他年份 2001、2002、2005、2006、2007、2009 以及 2010 年的生态效率都没有达到最优。从近 11 年的技术效率和规模效率来看,有 7 年的生态效率值都在 0.949-1.000 之间,说明这 7 年在技术上是有效的,但投入的资源未得到充分有效利用,要提高火电行业效率,就必须提高资源有效利用率。此外,2001、2002、2005、2006、2007、2009 和 2010 年规模效率值都小于 1; 2006 和 2007 年处于规模收益递减阶段,增加投入不能带来相应的更高收益,即使继续增加投入,产出的增加会小于投入的增加,不但不能提高资源的配置效率,也会造成资源的极大浪费。而 2001、2002、2005、2009 和 2010 年处于规模收益递增阶段,如果继续加大投入,能够获得规模报酬。2005、2006 和 2007 年规模效率值大于技术效率值,说明火电行业资源投入规模较高,但是在技术资源利用率方面存在不足;2009 和 2010 年规模效率值小于技术效率值,说明电力工业在技术资源利用率较高,但是资源投入规模存在不足。总的看来,2001-2011 年火电行业规模效率无效,就是说依靠能源投入、环境投入及技术投入来增加火电工业生产规模都是一种粗放的生产方式。

表 3 2001-2011 年我国电力工业生态效率值

年份	整个电力工业				火电行业			
	生态效率	技术效率	规模效率	规模收益	生态效率	技术效率	规模效率	规模收益
2001	0.943	1.000	0.943	递增	0.949	1.000	0.949	递增
2002	0.974	1.000	0.974	递增	0.973	1.000	0.973	递增
2003	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2004	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2005	1.000	1.000	1.000	不变	0.972	0.977	0.994	递增
2006	0.983	0.983	1.000	不变	0.967	0.969	0.998	递减
2007	0.990	0.990	1.000	不变	0.973	0.974	0.999	递减
2008	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2009	0.982	0.994	0.988	递增	0.978	0.991	0.987	递增
2010	1.000	1.000	1.000	不变	0.997	1.000	0.997	递增
2011	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
平均值	0.988	0.997	0.991	—	0.983	0.992	0.991	—

3. 对整个电力工业与火电行业的评估结果进行比较,可以发现 2003、2004、2008 和 2011 这 4 年电力工业与火电行业的生态效率、技术效率和规模效率均有效,且规模收益不变。但是,2001-2002 年,不管是整个电力工业还是火电行业都呈现为规模效率小于 1 且规模收益递增; 2005 年火电行业的生态效率、技术效率和规模效率均小于 1 且规模收益递增;2006-2007 整个电力工业和火电行业的生态效率和技术效率小于 1,但电力工业的规模效率为有效且规模收益不变,火电行业的存在规模不足但规模收益递减;2009 年整个电力工业和火电行业的生态效率、技术效率和规模效率均无效,且处于规模收益递增阶段;2010 年的火电行业生态效率和规模效率无效但技术有效,处于规模收益递增的情形。总体上反映出来的结果是火电行业虽然经过了一系列的节能减排改造后,但仍然存在电力工业中的比重太大的问题,影响了整个电力工业的效率。

(三)电力工业生态效率的改进

1.整个电力工业

对非 DEA 有效的年份,需要对其进行适当的调控。调控过程是依据决策单元在生产前沿面上的“投影”以及本文式(3)来实现,计算结果见表 4。

表 4 电力工业生态效率改进

年份	变量	总发电量	装机容量	从业人员	原料投入	SO ₂ 排放	CO ₂ 排放
2006	原始值	28657.30	62369.80	259.11	83974.74	1320.18	240282.72
	投入冗余	0	-1070.75	-4.45	-1441.66	-22.66	-4125.12
	产出不足	0	0	0	0	-244.42	-6841.69
	目标值	28657.30	61299.05	254.66	82533.08	1053.10	229315.91
	调控比例	0	-1.75%	-1.75%	-1.75%	-25.36%	-4.78%
2007	原始值	32815.50	71822.00	256.96	96203.22	1245.48	267834.92
	投入冗余	0	-709.38	-2.54	-950.19	-12.30	-2645.37
	产出不足	0	0	-0.25	0	-225.79	-8180.64
	目标值	32815.50	71112.62	254.17	95253.03	1007.39	257008.90
	调控比例	0	-1.00%	-1.10%	-1.00%	-23.63%	-4.21%
2009	原始值	37146.50	87409.72	277.62	101063.59	1028.11	276000.94
	投入冗余	0	-540.78	-1.72	-625.26	-6.36	-1707.56
	产出不足	0	-1581.68	-8.60	-4.38	-63.80	0
	目标值	37146.50	85287.26	267.30	100433.95	957.95	274293.38
	调控比例	0	-2.49%	-3.86%	-0.63%	-7.32%	-0.62%

对于整个电力工业来说,2006-2007 年除 SO₂ 调控比例不一致外,其他要素指标的调控比例一致。从产出角度分析,在投入保持不变的情况下,2006 年装机容量、从业人员和原料投入减少 1.75%,SO₂ 排放减少 25.36%,CO₂ 排放减少 4.78%,2007 年装机容量和原料投入减少 1.00%,从业人员减少 1.10%,SO₂ 排放减少 23.63%,CO₂ 排放减少 4.78%,可以提高电力工业的生态。另外,2006 和 2007 年 CO₂ 排放对电力工业的生态效率影响不大,SO₂ 排放量对提高生态效率的影响要比 CO₂ 的大。

对 2009 年,假如装机容量减少 2.49%、从业人员减少 3.86%、原料投入减少 0.63%,SO₂ 排放减少 7.32%,CO₂ 排放减少 0.62%,整个电力工业的生态效率可以实现有效,同时,2009 年对电力工业的生态效率影响大的是 SO₂。

2.火电行业

如表 5 所示,从产出角度出发,对于火电行业来说,2005-2007 年,SO₂ 的调控比例在 19.89%-24.99%之间,CO₂ 的调控比例在 2.36%-4.48%之间,SO₂ 的排放对于火电行业生态效率的影响大于 CO₂。2009 年虽然仍是 SO₂ 的调控比例最高,但是已经降低至 7.51%,而 CO₂ 只有 0.91%。对于火电行业来说,2005-2007 年 SO₂ 排放是影响火电行业生态效率的主要影响因素,减少 SO₂ 的排放才能有效提高生态效率。

表 5 火电行业生态效率改进

变量	总发电量	装机容量	从业人员	原料投入	SO ₂	CO ₂	
2005	原始值	20179.73	39144.17	191.25	77210.00	1277.19	206299.40
	投入冗余	0	-900.86	-4.40	-1776.90	-29.39	-4747.75
	产出不足	0	0	-8.44	-3839.22	-182.48	0
	目标值	20179.73	38243.31	178.41	71593.87	1065.31	201551.60
	调控比例	0	-2.36%	-7.20%	-7.84%	-19.89%	-2.36%
2006	原始值	23696.03	48382.20	201.00	83974.74	1320.18	240282.70
	投入冗余	0	-1502.89	-6.24	-2608.50	-41.01	-7463.87
	产出不足	0	0	-13.40	0	-222.94	-2838.07
	目标值	23696.03	46879.31	181.36	81366.24	1056.23	229980.80
	调控比例	0	-3.21%	-10.83%	-3.21%	-24.99%	-4.48%
2007	原始值	27229.29	55607.00	198.95	96203.22	1245.48	267834.90
	投入冗余	0	-1447.08	-5.18	-2503.54	-32.41	-6969.98
	产出不足	0	0	-11.98	0	-193.21	-2277.82
	目标值	27229.29	54159.92	181.79	93699.68	1019.86	258587.10
	调控比例	0	-2.67%	-9.44%	-2.67%	-22.12%	-3.58%
2009	原始值	29379.93	65107.63	206.79	101063.60	1028.11	276000.90
	投入冗余	0	-584.86	-1.86	-907.85	-9.24	-2479.31
	产出不足	0	-2051.82	-8.47	0	-62.58	0
	目标值	29379.93	62470.95	196.47	100155.70	956.29	273521.60
	调控比例	0	-4.22%	-5.25%	-0.91%	-7.51%	-0.91%

四、结 语

从测算的结果看来,火电行业在电力工业中的比重过大,直接影响了整个电力工业的效率;火电行业的装机容量投入过多,造成浪费,因此要加大力度和范围淘汰小容量机组,淘汰落后产能,关闭小火电。同时,要加快节能、高效的火电机组的建设,以此提高发电效率和减少污染物和 CO₂ 的排放。另一方面,研究具有自主知识产权的大型机组,使用大型燃煤机组,提高燃烧率和转化率,提高能源利用效率,降低发电煤耗、供电煤耗也是提高电力工业生态效率的有效途径。

“十一五”期间我国电力工业取得了较好的成效,这也形成“十二五”期间电力工业的节能减排空间很小,但是依然要重视污染物和 CO₂ 的减排。在国家层面,政府主管部门要做好电力发展规划,保证电力工业健康、绿色发展。此外行业主管部门也要完善电力脱硫、脱硝和脱碳的相关技术规范,引导、监督和鼓励电力市场交易,开展发电权和排放权交易。对于电力企业来说,要依据国家提出的各项政策、法规来探索适合本企业低碳、绿色发展的长效机制。

参考文献:

- [1] 环保部.中国环境统计年报(2002-2012)[EB/OL].(2013-12-25)[2014-07-04].<http://zls.mep.gov.cn/hjtj/nb/>.
- [2] 国际能源署.2012 年全球 CO₂ 排放增长 1.4% [EB/OL].(2013-06-15)[2014-07-04].<http://www.mofcom.gov.cn/article/i/jyj1/201306/20130600163368.shtml>.

- [3] 张波,陈洪波.低碳企业管理体系的构建研究[J].北京联合大学学报,2013,(1):12-19.
- [4] 曾绍伦.盐化产业发展低碳经济的机制研究[J].四川理工学院学报:社会科学版,2012,(5):36-41.
- [5] Schaltegger S, Sturm A. ökologische rationalität[J].Die Unternehmung,1990,(90):273-290.
- [6] Stigson B. Eco-efficiency: Creating more value with less impact[R].WBCSD, 2000:5-36.
- [7] Organization for Economic Co-operation and Development. Eco-efficiency [R].OECD,1998:7-11.
- [8] WSSD - Australian National Assessment Report [R].Environment Australia,2002.
- [9] 吕彬,杨建新.生态效率方法研究进展与应用[J].生态学报,2006,(11):3898-3906.
- [10] 王震,石磊,刘晶茹,等.区域工业生态效率的测算方法及应用[J].中国人口·资源与环境,2008,(6):121-126.
- [11] 黄和平,伍世安,智颖飙,等.基于生态效率的资源环境绩效动态评估——以江西省为例[J].资源科学, 2010,(5):924-931.
- [12] 杨斌.2000-2006年中国区域生态效率研究——基于DEA方法的实证分析[J].经济地理,2009,(7): 1197-1202.
- [13] 朱南,刘一.中国地区新型工业化发展模式与路径选择[J].数量经济技术经济研究,2009,(5):3-16,106.
- [14] 笮凤媛,吴军.环境约束下中国地区工业化发展模式及路径选择[J].贵州财经学院学报,2011,(3):14-19.
- [15] Färe R, Grosskopf S, Logan J. The relative efficiency of Illinois electric utilities[J].Resources and Energy, 1983,(4):349-367.
- [16] Färe R, Grosskopf S, Logan J. The relative performance of publicly-owned and privately-owned electric utilities [J].Journal of Public Economics,1985,(1): 89-106.
- [17] Yaisawarng S, Klein JD. The effects of sulfur dioxide controls on productivity change in the US electric power industry[J].The Review of Economics and Statistics,1994,(3):447-460.
- [18] 卢金勇.中国火电行业环境技术效率及污染排放分解[D].广州:暨南大学,2011.
- [19] Vaninsky AY. Environmental efficiency of electric power industry of the United States: a data envelopment analysis approach [J].Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008,(42):584-590.
- [20] Sueyoshi T, Goto M. Returns to scale vs. damages to scale in data envelopment analysis: An impact of US clean air act on coal-fired power plants [J].Omega,2013,(2):164-175.
- [21] Lam PL, Shiu A. Efficiency and productivity of China's thermal power generation [J].Review of Industrial Organization,2004,(1):73-93.
- [22] 白雪洁,宋莹.环境规制、技术创新与中国火电行业的效率提升[J].中国工业经济,2009,(8):68-77.
- [23] 张各兴.中国电力工业:技术效率与全要素生产率研究[D].上海:复旦大学,2011.
- [24] 解百臣,徐大鹏,刘明磊,等.基于投入型 Malmquist 指数的省际发电部门低碳经济评价[J].管理评论, 2010,(6):119-128.
- [25] 王兵,卢金勇,陈茹.环境约束下的中国火电行业技术效率及其影响因素实证研究[J].经济评论,2010, (4):90-97.
- [26] 曲茜茜,解百臣,殷可欣.考虑非理想产出的中国火电行业效率省际差异分析[J].资源科学,2012,(6): 1160-1166.
- [27] World Business Council for Sustainable Development. Measuring Eco2Efficiency: A Guide to Reporting Company Performance[R].WBCSD,2000:2-30.
- [28] 吕彬,杨建新.生态效率方法研究进展与应用[J].生态学报,2006,(11):3898-3905.
- [29] Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J].European Journal of Operational Research,1978,(6):429-444.

- [30] Banker RD. Estimating most productive scale size using data envelopment analysis [J].European Journal of Operational Research,1984,(1):35-44.
- [31] 胡虹.基于超效率 DEA 模型的高校院系科研论文产出绩效改进研究[J].西南民族大学学报:人文社科版,2009,(10):288-290.
- [32] 隋欣,廖文根.中国水电温室气体减排作用分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2010,(2):133-137.
- [33] 王艳红,罗泊.电力工业减排潜力与机制研究——以四川为例[J].江西社会科学,2013,(5):87-92.
- [34] 陈诗一.能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J].经济研究,2009,(4):41-55.

责任编辑:万东升

An Empirical Study of Eco-efficiency for Electric Power Industry and Thermal Power Sectors

WANG Yanhong, YE Wenming

(School of Economics and Management, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: The electric power industry has the characteristics of high consumption, high pollution and high emission, and is one of the main factors of air pollution. To improve eco-efficiency of the power industry is not only an effective way of energy conservation, emission abatement, and addressing climate change, but also the basis for sustainable and sound development for the power industry, especially for the thermal power sectors. The model of data envelopment analysis (DEA) is applied to figure out the eco-efficiency of the power generation industry via using the industrial data of generating capacity, installed capacity, practitioners, input of materials and emission of SO₂, CO₂ from 2001 to 2011. The result shows that generation structure dominated by thermal power results to lower the eco-efficiency of the power industry though after a series of energy-saving emission reduction transformation. In addition, how to improve the eco-efficiency of the electric utility industry and the thermal power sectors is discussed. The government, industry and enterprise should explore the energy-saving emission reduction space of the electric utility industry together and achieve a low carbon and green development.

Key words: eco-efficiency; electric power industry; thermal power industry; DEA; energy conservation and emission reduction