

基于 DEA 的煤炭行业生态效率评价研究

廖先玲, 李玉然

(山东科技大学, 经济管理学院, 山东 青岛 266590)

摘要:基于数据包络理论与方法, 筛选 2001—2013 年我国煤炭行业的投入产出指标数据为时间序列, 对我国煤炭行业生态效率进行分析评价。研究表明, 13 年间, 我国煤炭行业的生态效率基本保持平稳的增长趋势, 但稳中有降。其中, 纯技术效率和规模效率在我国煤炭行业发展的不同时期对生态效率的提升发挥着不同的作用。最后, 依据可持续发展的理念, 对我国煤炭行业的生态化经营提供了建议。

关键词:数据包络; 生态效率; 煤炭行业

中图分类号: F426.21

文献标识码: A

文章编号: 1008-7699(2016)05-0091-05

一、引言

中国是一个能源消费大国。2015 年, 英国石油公司(BP)发布的《世界能源统计年鉴 2015》显示, 2014 年中国能源消费量占到全球消费总量的 23%, 是世界上最大的能源消费国, 其中煤炭在我国能源结构中仍占主导地位, 比例为 66%, 同时, 我国的能源生产量也居世界第一位, 其中以煤炭为主, 占全球煤炭总产量的 46.9%。^[1]富煤、贫油、少气的基本国情决定了煤炭在我国的能源结构中的战略性地位, 煤炭行业的稳定是我国国民经济得以高速、持续、健康发展的重要支柱。在我国经济保持高速增长的同时, 以煤炭为主体能源的“高污染, 高能耗, 高排放”的粗放型经济发展模式带来了资源利用效率低下、环境污染严重等一系列问题。为适应我国经济转型升级的发展势头, 煤炭行业必须向集约化模式转变, 以建设生态文明为契机发展清洁生产、循环生产, 以可持续发展为原则走生态环境改善与经济效益提高的双赢道路, 为我国国民经济的平稳健康运行保驾护航。基于上述背景, 本文引入生态效率理论, 对我国煤炭行业的生态效率情况进行科学评价, 以期为我国煤炭行业走生态化的发展道路提供理论支持。

生态效率一词源自英文 Eco-Efficiency, 为生态相关的要素投入同经济相关的要素产出的比值, 其目的是实现在降低资源消耗的情况下获得更多的经济效益, 是衡量环境经济绩效的重要指标, 是生产发展与生态改善的结合。推动生态效率的提高, 就要逐步实现经济利益的持续增长与环境状况的有效改善, 从而践行可持续发展。1990 年, Schaltegger 和 Sturn 两位学者首次提出生态效率的概念, 他们以经济增长因素和环境影响因素为考量来定义生态效率。1992 年在里约热内卢举行的地球峰会上, 世界可持续发展工商理事会(WBCSD)提交的《改变航向: 一个关于发展与环境的全球商业观点》报告中, 将生态效率定义为: “生态效率是提供有价格竞争优势的, 满足人类需求和保证生活质量的产品或服务的能力, 同时能逐步降低产品或服务生命周期中的生态影响和资源消耗强度, 其降低程度与估算的地球承载力相一致^[2]。”自正式界定生态效率这一概念以来, 生态效率得到国际学术界的广泛认同, 相关研究也逐步展开。

收稿日期: 2015-12-21

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目(11YJA630204)

作者简介: 廖先玲(1963—), 女, 安徽霍山人, 山东科技大学经济管理学院教授, 博士。

1995 年, Fussler C 首次根据中国工业的发展状况进行了生态效率的测算研究。^[3] 2009 年, Martin Willison 指出生态效率是可持续发展的理论基础, 生态效率评价系统具有将定性分析转化为定量分析的优势因此, 可以得到广泛的应用。^[4] 2011 年, Oggioni G 在对世界范围内水泥产业的生态效率进行评价时, 比较系统地介绍了数据包络分析法的应用。^[5] 2013 年, Andrew Y. C. Nee 提出生态效率的提高是可持续发展最重要的目标, 并在对涂料涂层工艺的研究中提出“总绩效指标”用来衡量生态效率。^[6]

20 世纪 80 年代, 我国开始引入生态效率这一概念, 但并未引起重视, 21 世纪以来, 由于对生态环境问题研究的深入开展, 生态效率得到了学者的关注, 相关的理论分析与实践操作逐步展开。2004 年, 岳媛媛等在阐述国外实施生态效率实践的基础上, 比较系统地诠释了生态效率的内涵和原则, 并依据我国企业的实际情况, 提出了生态效率的评估方法与提升方案。^[7] 2008 年, 张炳运用已有的评价方法对杭州湾精细化工业园区的 43 家企业进行生态效率评估, 在构建指标体系时, 将污染物纳入到投入指标中, 作为非期望投入。^[8] 2012 年, 尹科、王如松在参考国内外相关文献的基础上, 对比了我国同国外研究现状的差别, 总结了生态效率的核算方法, 并列出了相关应用实例。^[9] 2015 年, 张晓娣运用系统优化模型对我国的生态效率进行了分析测算, 并根据投入产出理论分析了各投入产出要素对分析结果的影响。^[10] 2015 年, 陈浩、陈平选取了中国 32 个资源型城市 9 年的相关数据, 运用数据包络分析法进行了评估。^[11]

二、研究方法及模型构建

数据包络分析(Data Envelopment Analysis 简称“DEA”)是于 1978 年由美国运筹学家 A. Charnes 和 W. W. Cooper 创建的基于相对效率理论和非参数统计的评价方法。^[12] 采用 DEA 方法确定权重可以充分发挥指标的客观性, 体现指标数据的自身特点, 从而避免了优先度对决策数据的影响。DEA 采用统计学的方法对比各个决策单元在相同条件下的有效性, 有助于对多投入多产出的繁杂经济系统的生态效率进行研究评估。因此采用 DEA 方法进行效率评价排除了传统效率评价的主观性, 解决了传统效率评价决策单元单一的问题, 在评价社会经济系统多投入多产出的相对有效性方面具有绝对优势。

煤炭行业具有多投入多产出的特点, 生态效率通过经济产出与资源投入来衡量, 应用 DEA 方法可以将两者结合, 选取特定的输入和输出, 通过生产前沿面上的投影分析, 对煤炭行业的生态效率进行客观描述和评价。为了反映煤炭行业的生态效率, 需要选取行业内各类物资的使用情况, 以及污染物的排放, 废弃物的处理等数据, 这些数据通常作为输入要素; 选取经济产出指标作为输出要素来进行处理。

数据包络分析的建模思路是假设某个决策单元 DMU 在生产活动中的输入向量为 $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, 输出向量为 $y = (y_1, y_2, \dots, y_s)^T$, 则可以用向量 (x, y) 表示一个决策单元 DMU 的生产活动。现设有 n 个决策单元 DMU_j , s^- 和 s^+ 分别为松弛变量, 则输入导向的 C^2R 模型为:

$$C^2R \begin{cases} \min \theta \\ s. t. \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + s^- = \theta x_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - s^+ = y_{j_0} \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \end{cases}$$

C^2R 模型主要用于评价决策单元的规模且技术有效性, 当最优解为:

- (1) $\theta^* = 1$, 松弛变量不全为零, 则称决策单元 j_0 为 DEA 弱有效;
- (2) $\theta^* = 1$, 松弛变量全为零, 则称决策单元 j_0 为 DEA 有效;

(3) $\theta^* < 1$, 则称决策单元 j_0 为非 DEA 有效。

三、评价指标及数据处理

生态效率通常运用经济产出与资源投入来描述,其中“产出”是指经济体生产或提供的产品和服务的价值;“投入”是指经济体为获取经济利益所损耗的要素及加剧的生态负担。

为表示生态效率是将生产发展和生态改善相结合的特性,依据系统性、科学性、相对独立性和可操作性的指标选取准则,结合现阶段煤炭行业生产方式粗放、高污染、高排放的状况,从生态环境影响、社会经济影响两个角度出发,以煤炭行业的资源消耗量与污染物排放量作为投入指标,以经济效益作为产出指标构建煤炭行业生态效率的评价指标体系。

表 1 煤炭行业生态效率投入产出指标

		指标类别	指标构成
投入指标	资源消耗	能源消耗	能源消耗总量(吨标准煤/万元)
		资本消耗	固定资产净值
		劳动力消耗	从业人员
	环境污染	固废污染	固体废物排放量
		废水污染	废水排放量
		废气污染	烟(粉)尘排放量 二氧化硫排放量
产出指标	经济效益	经济产出	
			生产总值 原煤产量

产出指标选取生产总值与直接生产物原煤产量表示经济增加量,投入指标选取固、废、气三种煤炭行业典型污染物作为非期望产出,将能源增加量作为输入的自然要素。此外,还把传统的劳动生产率和资本生产率与各种自然要素的生态效率进行比较,见表 1。

本文所构建的投入产出指标数据来源于《中国统计年鉴》《中国煤炭工业年鉴》《中国环境统计年鉴》以及中华人民共和国环境保护部发布的《环境统计年报》。经计算整理形成 2001-2013 年中国煤炭行业生态效率投入产出的时间序列数据。

为了保证数据分析的可靠性,DEA 方法要求决策单元的数量应控制在投入指标个数与产出指标个数的乘积的两倍以上。因本研究选用 13 个决策单元,而参考指标为 9 个,因此需对指标进行压缩。

首先利用 0—1 标准化法,对原始数据进行线型变化,得到表 2。

表 2 2001—2013 年中国煤炭行业投入产出情况(经标准化处理后)

年份	原煤产量 (亿吨)	工业总产值 (亿元)	烟(粉)尘 排放量(万吨)	废水 (万吨)	固废 (万吨)	能源消费量 (万吨标准煤)	二氧化硫 (万吨)	固定资产 净值(亿元)	从业人员 (万人)
2001	0	0	0.319	0.041	1	0	0.5	0	0.014
2002	0.032	0.015	0.157	0.02	0.905	0.062	0.627	0.016	0
2003	0.148	0.036	0	0.067	0.856	0.157	0.156	0.034	0.177
2004	0.266	0.104	0.489	0.034	0.739	0.262	0.109	0.051	0.218
2005	0.421	0.136	1	0	0.71	0.328	1	0.078	0.385
2006	0.431	0.184	0.647	0.076	0.594	0.313	0	0.134	0.483
2007	0.498	0.248	0.232	0.276	0.573	0.357	0.463	0.184	0.483
2008	0.612	0.424	0.266	0.264	0.383	0.607	0.057	0.281	0.618
2009	0.692	0.482	0.573	0.347	0.407	0.704	0.075	0.376	0.629
2010	0.806	0.667	0.444	0.6	0.285	0.746	0.234	0.454	0.705
2011	0.93	0.887	0.545	1	0.213	0.86	0.271	0.564	0.683
2012	0.987	0.995	0.431	0.992	0.027	0.948	0.16	0.668	0.699
2013	1	1	0.535	0.997	0	1	0.075	1	1

选用熵权法将产出指标(原煤产量、工业总产值)转化为经济产出综合指标,将投入指标中的资源消耗(能源消耗总量、固定资产净值和从业人员)转化为资源消耗综合指标,将投入指标中的环境污染(固体废物排放量、废水排放量、烟(粉)尘排放量)转化为环境污染综合指标,得到表 3。

四、实证结果分析

本研究利用 DEAP2.1 软件,将整理形成的时间序列数据带入求解,得到中国煤炭行业生态效率的计算结果,见表 4。

表 3 处理后的结果

年份	经济产出 综合指标	资源消耗 综合指标	环境污染 综合指标
2001	0	0.001 1	0.171
2002	0.004 8	0.007 8	0.167 7
2003	0.017 4	0.032 7	0.099 3
2004	0.037	0.047 5	0.106 3
2005	0.054 4	0.070 5	0.248 7
2006	0.062 1	0.085 8	0.097 1
2007	0.076 8	0.097 4	0.170 8
2008	0.111 4	0.144 5	0.100 7
2009	0.126 4	0.168 6	0.137 9
2010	0.162 3	0.190 4	0.188 7
2011	0.204	0.215 6	0.266 9
2012	0.224 2	0.240 7	0.229 4
2013	0.226	0.321	0.222 7

表 4 中国煤炭行业生态效率评价结果

年份	综合技术 效率	纯技术 效率	规模 效率	规模 报酬
2001	0.602	1	0.602	递增
2002	0.650	0.960	0.677	递增
2003	0.562	1	0.562	递增
2004	0.823	1	0.823	递增
2005	0.816	0.827	0.986	递增
2006	0.769	1	0.769	递增
2007	0.833	0.891	0.936	递增
2008	1	1	1	—
2009	0.885	0.915	0.968	递增
2010	0.913	0.948	0.963	递增
2011	1	1	1	—
2012	1	1	1	—
2013	0.917	1	0.917	递减

其中,以综合技术效率来代表或反映煤炭行业的生态效率,综合技术效率是由纯技术效率和规模效率的乘积决定的,两者的水平高低直接影响生态效率的层次状况。纯技术效率是指煤炭行业的综合管理能力和科研技术水平的高低所产生的生态效率的变化,规模效率代表煤炭行业的发展规模对生态效率的影响。

为了更直观地表现 2001—2013 年间我国煤炭行业生态效率的变化情况,制作煤炭行业生态效率折线图,见图 1。

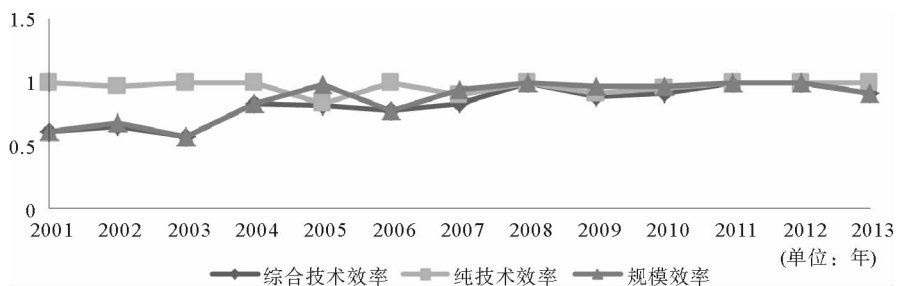


图 1 中国煤炭行业 2001—2013 年生态效率折线图

根据以上实证分析的结果,可以得到以下结论:1. 我国煤炭行业在不断改进生产技术,提升经营管理水平,扩大生产规模的同时也愈加重视生态环境问题,大力推行清洁生产和循环经济,生态效率逐步提高;2. 煤炭行业生产规模的扩大是过去一段时期内我国煤炭行业生态效率提升的重要因素,但近年来随

着煤炭行业产能过剩,煤炭市场的逐渐饱和,盲目地扩大煤炭生产规模会导致资源的虚耗,但不利于经济效益的增长,还影响行业生态效率的提高;3. 虽然我国煤炭行业的非期望产出逐年下降,但根据收集的数据显示,煤炭行业各类污染物排放量仍没有达到高效清洁生产与循环经济的要求,尤其是废水排放量和烟(粉)尘的排放量居高不下,这将不利于今后生态问题的改善。

提高煤炭行业的经营管理水平,强化生产工艺,大力发展循环经济才是煤炭行业可持续发展的长久之路。因此,在限制产能、不盲目扩大资金投入的基础上要继续推行煤炭行业结构调整,支持引导煤炭行业集中,进一步整合资源,实现煤炭行业规模化发展,果断摒弃依靠过度消耗资源换取经济效益的粗放型发展模式,推行清洁生产,发展循环经济,走生产要素高效利用,经营要素改革重组,依靠科技创新来实现长远发展的集约化道路。同时,也要以多元化经营战略来提升煤炭行业的经济效益,扩展煤炭行业的生存空间,实现煤炭开采与生态环境协调发展,促进煤炭行业生态效率稳步提升。

参考文献:

- [1]BP, Statistical Review of World Energy 2013[EB/OL]. [2015-10-21]. [http://www. bp. com/content/dam/bp/pdf/statistical_review/statistical_review_of_world_energy_2013. pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical_review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf).
- [2]Stephan Schmidheiny and the Business Council for Sustainable Development. Changing Course: A global Business Perspective on Development and the Environment[M]. Massachusetts: MIT Press, 1992.
- [3]FUSSLER C. The development of industrial eco-efficiency[J]. Industry and Environment(Chinese version), 1995(4): 71-74.
- [4]WILLISON J H M, COTE R P. Counting biodiversity waste in Industrial eco-efficiency: fisheries case study[J]. Journal of Cleaner Production, 2009(3): 348-353.
- [5]OGGIONI G, RICCARDI R, TONINELLI R. Eco-efficiency of the world cement industry: a data envelopment analysis[J]. Energy Policy, 2011(5): 2842-2854.
- [6]樊杰,周侃,孙威,等. 人文经济地理学在生态文明建设中的学科价值与学术创新[J]. 地理科学进展, 2013(2): 147-160.
- [7]岳媛媛,苏敬勤. 生态效率: 国外的实践与我国的对策[J]. 科学学研究, 2004(2): 170-173.
- [8]张炳,毕军,黄和平. 基于DEA的企业生态效率评价: 以杭州湾精细化工园区企业为例[J]. 系统工程理论与实践, 2008(4): 159-165.
- [9]尹科,王如松. 国内外生态效率核算方法及其应用研究述[J]. 生态学报, 2016(11): 3595-3605.
- [10]张晓娣. 生态效率变动的产业及要素推动: 基于投入产出和系统优化模型[J]. 自然资源学报, 2015(5): 748-760.
- [11]陈浩,陈平,罗艳. 基于超效率DEA模型的中国资源型城市生态效率评价[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2015(2)34-40.
- [12]CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European journal of operational research, 1978(6): 429-444.

Evaluation of the Ecological Efficiency in the Coal Industry Based on DEA

LIAO Xianling, LI Yuran, MAN Yanru

(Shandong University of Science and Technology, College of Economics and Management, Qingdao 266590, China)

Abstract: Based on the theory and method of Data Envelopment Analysis, this paper screens the input and output indicators of China's coal industry in the range of 2001-2013 and turns them into time series data. With these data, this paper analyzes the ecological efficiency of China's coal industry. Research showed that: in the 13 years, the ecological efficiency of China's coal industry was maintaining rising tendency basically. Pure technical efficiency and scale efficiency played different roles in different stages of the development of coal industry in our country. Finally, this paper provides some suggestions of the ecological management based on the concept of sustainable development.

Key words: Data Envelopment; Ecological efficiency; Coal industry

(责任编辑:魏霄)