

石化行业生态效率研究

姜孔桥¹, 马永红², 李 滢³, 高重密³

(1. 北京交通大学经济管理学院, 北京 100044; 2. 北京航空航天大学公共管理学院, 北京 100191;
3. 北京化工大学经济管理学院, 北京 100029)

摘要:为了研究石化企业在能源消耗与环境污染方面的情况, 在生态效率的基础上提出了能源因子和环境因子的概念。在计算方法上, 采用数据包络分析方法(DEA)对生态效率、能源因子和环境因子进行计算。根据生态效率、能源因子和环境因子三者状态的不同组合总结了我国石化行业发展的4种模式, 并选取中国石化13家具有代表性的企业进行实证分析。

关键词:生态效率; 能源因子; 环境因子; 发展模式; 石化行业

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2009)03-0080-05

Research on eco-efficiency of petrochemical industry

JIANG Kong-qiao¹, MA Yong-hong², LI Ying³, GAO Chong-mi²

(1. School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. School of Public Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;

3. School of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to study the energy consumption and environmental pollution in petrochemical enterprises, the conception of energy factors and environment factors is defined on the basis of eco-efficiency. The data envelopment analysis (DEA) model is used in this paper to calculate the eco-efficiency, energy factors and environmental factors, and the different states of them are summarized, according to which 4 development models of China's petrochemical industry are found. 13 enterprises are chosen which are typical of its kind among SINOPEC.

Key words: eco-efficiency; energy factors; environment factors; development models; petrochemical industry

1 生态效率概述

1.1 生态效率的内涵

环境保护越来越受到人们的重视, 在此背景下, 生态效率(eco-efficiency)自然成为学术界和企业界关注的对象。生态效率概念最早是在1992年由“世界可持续发展商业理事会”(WBCSD)向联合国环境与发展大会提交的报告《改变航向: 一个关于发展与环境的全球商业观点》^[1]中首次提出的, 其含义为: “生态效率必须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, 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的消耗强度, 其降低程度与估算的地球承载力相一致”^[2]。

作为反映环境业绩变量与财务业绩变量的比率, 生态效率的目标在于“在最小化资源的耗费和对环境负面影响的同时, 最大化企业的价值”(WBCSD)。据此, 生态效率可表示为:

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

1.2 生态效率的计算方法

“价值-影响比值方法”, 即分别计算得出经济价值和环境影响, 然后二者相除得出比率。对于经济价值和环境影响的计算, WBCSD^[2]和联合国贸易和发展会议(UNCTAD)^[3]分别规定了测量指标。

也有学者尝试采用数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)方法构建模型, 计算生态效率。Pekka J. Korhonen, M. Luptacik^[4]以及 Mika Kortelainen, Timo Kuosmanen^[5]在运用DEA模型计算生态效率时主要区别在于对非期望产出的处理方法和模型组合的差异。但文献[4-5]都证明了用DEA方法计算生态效率的可行性和客观性。

2 生态效率的计算

2.1 数据包络分析模型

数据包络分析是以“相对效率”概念为基础, 根据多指标投入和多指标产出对相同类型的决策单位(企业或者企业内部部门)进行相对有效性或效益评价

的一种系统分析方法。该方法的应用较为广泛。将 DEA 模型用于同一行业的企业,可以得出其相对生态效率,并且符合生态效率“以少生多”的思想。

Färe 等在 1989 年提出了第 1 个处理环境污染物的 DEA 模型^[6],此后国内外有关环境因子评价问题的研究工作便大量兴起,取得了一系列的理论与实践应用的研究成果。在应用 DEA 模型计算生态效率时,各种方法的效率主要区别在于对非期望产出处理方法与模型组合的差异。主要有 2 种方法,其一是将非期望输出通过单调递减函数进行变换,作为期望输出来对待;第 2 种方法是仍然使用非期望输出的数据,但对 DEA 模型进行调整。也有学者将其分为 4 种不同方法,即曲线测度评价法、污染物投入处理法、数据转换函数处理法以及距离函数法。其中,曲线测度评价法由 Färe 提出,是一种非线性规划的效率评价方法,污染物投入处理法即是将污染物作为投入来处理,数据转换函数处理法是将污染物转换为期望输出,函数距离法是调整 DEA 模型。

Pekka J. Korhonen 和 M. Luptacik^[7]对污染物作为输入和输出分别进行了研究,采用了 2 种方法计算生态效率。

(1)先计算技术效率(technical efficiency),再计算生态效率。

假设有 n 个决策单元,每个决策单元有 m 种投入, p 种产出,其中, $1, 2, \dots, k$ 为期望产出,而 $k+1, \dots, p$ 是不期望产出。对于技术效率,采用最为原始的 CCR 模型(式 2)进行计算;对于环境因子,则将不期望产出,即污染物,视为一种投入,采用模型(3)进行计算。

$$\begin{aligned} \max h_0 &= \frac{\sum_{r=1}^k \mu_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m \nu_i x_{i0}} \\ \text{st. } \frac{\sum_{r=1}^k \mu_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij}} &\leq 1, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

$$\mu_r, \nu_i \geq \epsilon, r = 1, 2, \dots, k; i = 1, 2, \dots, m; \epsilon > 0$$

$$\begin{aligned} \max g_0 &= \frac{\sum_{r=1}^k \mu_r y_{r0}}{\sum_{s=k+1}^p \mu_s y_{s0}} \\ \text{st. } \frac{\sum_{r=1}^k \mu_r y_{rj}}{\sum_{s=k+1}^p \mu_s y_{sj}} &\leq 1, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

$$\mu_r \geq \epsilon, r = 1, 2, \dots, p; \epsilon > 0$$

将计算得出的技术效率与环境因子视为新的 DEA 模型的产出变量,投入为 1,进而得出最终的生态效率。

态效率。

(2)对污染物作为输入还是输出进行不同的处理,采用 DEA 模型一次得出结论。

将污染物视为产出,但将其权重设为负值;将污染物作为投入;用产出减去投入,再计算与污染物的比值;将污染物视为投入,再计算与产出的比值。实质上,模型 4 是模型 2 的倒数。

最终的结论这 4 种模型基本趋于一致。但笔者认为方法 2 较方法 1 提供了更为深刻的“生态无效率”的原因,并显示了在投入和产出方面潜在的改进空间。

如前所述,用 DEA 模型计算生态效率时,最关键的问题在于对污染物作为输入还是输出的处理不同。Mika Kortelainen 和 Timo Kuosmanen^[8]则巧妙地避开了这一问题。他们认为,不同的污染物会对环境产生同样的影响,例如,甲烷、二氧化物的排放都会产生温室效应,而环境压力与环境影响之间的关系是复杂的、非线性的、难以预测的;并且,不能将某环境影响简单归咎于某公司的排放。有鉴于此,他们关注“环境压力而并不是具体的不期望产出”,并借用全要素生产和距离函数的思路,构建了如下模型:

假设生产活动产生了 m 种不同的环境压力,每种环境压力产生的环境损害由变量 $z = (z_1 \dots z_m)$ 表示,并且假设每种环境压力都产生环境损害,也即 $z \geq 0$ 。则生态效率 EEn 可表示为

$$\text{EEn} = \frac{V_n}{D(Z_n)} \quad (4)$$

而 $D(Z) = w_1 Z_1 + w_2 Z_2 + \dots + w_m Z_m$, $w_i (i = 1, \dots, m)$ 为每种环境损害的权重系数,因此,可得出公司 k 的生态效率为

$$\begin{aligned} \max_w \text{EEn} &= \frac{V_n}{w_1 Z_{n1} + w_2 Z_{n2} + \dots + w_m Z_{nm}} \\ \text{st. } \frac{v}{w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_m z_m} &\leq 1 \forall (v, z) \in T \\ w_m &\geq 0 \forall m = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (5)$$

按照这一思路,对芬兰交通运输业的生态效率进行计算,最后得出结论,即有些环境压力明显大于其他类型,应当提前对其权重进行设定。

2.2 生态效率计算

根据前述文献的思路,本文尝试引入 DEA 模型对石化行业的生态效率进行计算。

假设有 n 个决策单元,每个决策单元在生产过程中产生 m 种环境压力(输入) Z_i ,各环境压力的权重为 $\nu_i, i = 1, \dots, m$ 。产生工业增加值(输出) V_n ,则

$$\text{生态效率} = \frac{V_n}{\sum_{i=1}^m \nu_i Z_i} \quad (6)$$

2.3 能源因子和环境因子

实际上,对石化行业而言,环境压力可分为 2 个方面,即对能源的消耗和对环境的污染。其中,对能源的消耗主要指对石油、新鲜水、电、购买的蒸汽等的消耗,对环境造成的污染主要包括大气污染、水污染、固体废弃物污染等。为了更进一步研究石化企业在能源消耗和环境污染方面的情况,本文提出能源因子(Energy factor)和环境因子(Environment factor)的概念。

2.3.1 定义

设决策单元所产生的 m 种环境压力中, n 种环境压力与能源消耗相关,权重为 ω_i , l 种与环境污染物相关,权重为 λ_i ,则

$$\text{能源因子} = \frac{V_n}{\sum_{i=1}^n \omega_i Z_i} \quad (7)$$

$$\text{环境因子} = \frac{V_n}{\sum_{i=1}^l \lambda_i Z_i} \quad (8)$$

若计算结果显示生态效率为 1,且松弛变量为 0,那么就认为是生态有效的,反之则是生态无效的。此定义亦适用于能源因子和环境因子。

2.3.2 石化行业的发展模式

根据石化行业的现状及特点,我们可以将企业的生态效率、能源因子与环境因子划分为 4 种状态:

(1) 可持续状态。该状态处于行业有效水平,这种企业是行业中的标杆企业,这是指经济继续增长,能源消耗和环境压力的增长呈现越来越慢的趋势,甚至出现拐点并呈下降趋势。在这种模式下,经济继续增长,能源消耗和环境压力三者的值达到 1;

(2) 促进状态。该状态处于行业良好水平,它是指经济增长与能源消耗、环境压力出现不同的增长趋势。经济增长较快,能源消耗和环境压力的增长相对较低,在此种状态下,经济继续增长,能源消耗和环境压力三者的值在 80% ~ 99% 之间;

(3) 同步状态。该状态处于行业中等水平,它是指经济与能源消耗、环境压力同步增长,这是传统的发展模式,在这种模式下,经济继续增长,能源消耗和环境压力三者的值在 50% ~ 80% 之间;

(4) 破坏状态。该状态是行业最差水平,是传统的经济增长方式,即经济的增长以能源的消耗和环境污染为代价,在这种状态下,经济继续增长,能源消耗和环境压力三者的值低于 50%。

根据生态效率、能源因子与环境因子呈现的不同状态,可得出石化行业发展的 4 种模式:

(1) A 模式——可持续发展模式。即能源因子和环境因子均达到有效,同时生态效率也达到有效;

(2) B 模式——竞争型促进模式。能源因子和环境因子发展不平衡,但总体生态效率呈现促进状态,甚至可达到有效;

(3) C 模式——竞争型破坏模式。能源因子和环境因子发展不平衡,但总体生态效率呈现破坏状态;

(4) D 模式——破坏型模式。即能源因子和环境因子均为破坏状态,生态效率亦呈现破坏状态。

3 生态效率、能源因子与环境因子的实证分析

3.1 生态效率的实证分析

本文选取了中国石油化工集团公司炼油板块 13 家具有一定代表性的企业,对其在炼油过程中的生态效率进行计算(以 2004 年数据为例)^[9-15]。由于排放物因子涉及种类较多,产生的环境影响较为复杂,有必要对其按照所造成的环境影响进行加权求和^[16]。这 13 家企业的输入输出情况如表 1 ~ 表 4 所示。

加权求和后的环境压力主要包括原油加工量、新水取用量、水体污染物、大气污染物以及固体废弃物,将上述 5 种环境压力作为输入,将工业增加值作为输出,计算结果如表 5 所示。

表 1 炼油板块 13 家企业的输入、输出情况

序号	输出		输入			
	工业增加值/亿元	原油加工量/t	新水取用量/t	水体污染物/t	大气污染物/t	固体废弃物/t
1	37.45	7379000	1974700	4885.3585	94131.52	158480.024
2	13.14	3673700	10362900	3695.2728	5939600	318500
3	67.84	8760000	9678400	16504.19	858071.28	6807.59
4	38.61	5071500	4550300	5988.9169	53994.51	70142.8
5	15.89	4546000	2876700	1215.6291	37274.4	43036.2
6	8.33	3277400	4157800	5870.5461	125504.96	685129.2
7	12.57	3773000	3715400	707.6946	265617.77	42666.676
8	9.16	3708500	978400	308.1983	28684.84	46600
9	6.14	2607900	928500	382.8415	47232	7280
10	4.44	895600	625600	797.9152	37239.72	4529.636
11	6.32	2472600	2380000	1226.87	204164.64	5180.40
12	83.29	15947500	6512700	1694.60	1447197.25	384217.33
13	2.42	523100	780600	621.964	36050.3	10645.516

表2 炼油板块13家企业生态效率

序生态 号效率	标杆 企业	输入目标值					
		原油加 工量/t	新水取 用量/t	水体污 染物/t	大气污 染物/t	固体废 弃物/t	
1	1	7379000.000	1974700.000	4885.36	94131.520	158480.02	
2	0.495	12,4	1818983.907	1487221.997	1829.664	43096.595	28198.118
3	1	3	8760000.000	9678400.000	16504.190	858071.280	6807.590
4	1	4	5071500.000	4550300.000	5988.920	53994.510	70142.800
5	1	5	4546000.000	2876700.000	1215.630	37274.400	43036.200
6	0.332	4,3	1088225.050	1047932.050	1527.391	41672.558	10552.603
7	0.899	12,	3392750.965	1373129.276	636.368	151716.338	38366.663
		4,9					
8	1	8	3708500.000	978400.000	308.200	28684.840	46600.000
9	1	9	2607900.000	928500.000	382.840	47232.000	7280.000
10	0.958	1,9,	857943.934	599296.254	764.371	33102.868	4339.188
		3,4					
11	0.786	9,3	1752494.531	928747.498	964.407	64239.298	4072.163
12	1	12	15947500.000	6512700.000	1694.600	1447197.250	384217.330
13	0.608	3,4	317808.787	285906.739	377.871	3702.902	4347.803

表3 13家炼化企业能源因子

序号	能源因子	标杆企业	输入目标值	
			原油加工量/t	新水取用量/t
1	1	1	7379000.000	1974700.000
2	0.462	3	1696733.491	1874619.340
3	1	3	8760000.000	9678400.000
4	1	4	5071500.000	4550300.000
5	0.534	1,4	2426976.860	1535786.259
6	0.328	3	1075630.896	1188400.236
7	0.434	4,3	1639191.680	1614167.180
8	0.494	1	1804850.200	482997.383
9	0.433	1,4	1130414.636	402465.581
10	0.728	1,4	651773.540	455280.847
11	0.334	4,3	825669.035	794747.352
12	0.926	1,4	14760788.258	6028066.198
13	0.597	3	312488.208	345249.528

表4 13家炼化企业环境因子

序号	环境因子	标杆企业	输入目标值		
			水体污染物/t	大气污染物/t	固体废弃物/t
1	0.800	4,5	3907.396	75288.024	89605.320
2	0.133	9,12	491.277	176693.378	42343.800
3	1	3	16504.190	858071.280	6807.590
4	1	4	5988.920	53994.510	70142.800
5	1	5	1215.630	37274.400	43036.200
6	0.139	4,5	814.248	17407.586	20553.344
7	0.785	9,12	555.761	149251.905	33506.848
8	1	8	308.200	28684.840	46600.000
9	1	9	382.840	47232.000	7280.000
10	0.922	4,3,9	735.730	34337.248	4176.599
11	0.786	3,9	964.407	64239.298	4072.163
12	1	12	1694.600	1447197.250	384217.330
13	0.352	9,5,4	219.141	12701.936	3750.835

表5 炼油板块13家企业生态效率

序号	1	2	3	4	5	6	7
生态效率	1	0.495	1	1	1	0.332	0.899
序号	8	9	10	11	12	13	
生态效率	1	1	0.958	0.786	1	0.608	

3.2 能源因子的实证分析

将该13家企业的原油加工量和新水取用量视为输入,工业增加值视为输出,按照投入方向的模型进行计算,得出的结论如表6所示。

表6 13家炼化企业能源因子

序号	1	2	3	4	5	6	7
能源因子	1	0.462	1	1	0.534	0.328	0.434
序号	8	9	10	11	12	13	
能源因子	0.494	0.433	0.728	0.334	0.926	0.597	

出于炼油板块的特殊性,在计算能源因子时,只考虑原油加工量,而如果计算其他板块时,亦可考虑为生产购买的煤、蒸汽等,将其换算为标准煤吨数进行计算。

3.3 环境因子的实证分析

将该13家企业的水体污染物、大气污染物以及固体废弃物视为输入量,工业增加值视为输出量,按照投入导向的模型,计算结果如表7所示。

表7 13家炼化企业环境因子

序号	1	2	3	4	5	6	7
环境因子	0.8	0.133	1	1	1	0.139	0.785
序号	8	9	10	11	12	13	
环境因子	1	1	0.922	0.786	1	0.352	

3.4 结果分析

3.4.1 总体结果分析

从表5中可以看出,这13家企业的情况总体情况乐观,生态效率较高。其中,7家企业生态效率为1,并且松弛变量均为0,是DEA有效的;企业7、10、11、13生态效率小于1,是DEA无效的,在这13家企业中属于中等水平;企业2与6生态效率明显较低,亟待改善。

能源因子较低是这13家企业共同面临的问题。从表6中可以看出,能源因子达到1的企业只有1、3、4,其松弛变量均为0,是DEA有效的,其他10家企业均为DEA无效的。其中,企业12能源因子为92.6%,企业10能源因子为72.8%,其他企业则均在30%~50%。

13家企业中环境因子达到1的有6家,企业10

环境因子达到 92.2%，此外，企业 7 和 11 分别为 78.5% 和 78.6%，属于中等水平；而企业 2、6 和 13 的环境因子很低，这也是导致他们总体生态效率低的原因。

3.4.2 生态效率与能源因子、环境因子之间的相关性

将生态效率、能源因子与环境因子输入 SPSS 软件，计算 Spearman 相关系数，得出生态效率、能源因子与环境因子之间的相关性，如表 8 所示。

表 8 生态效率、能源因子与环境因子之间的相关性

	生态效率	能源效率	环境效率
Spearman's rho			
生态效率			
Correlation Coefficient	1.000	0.601 ^①	0.930 ^②
Sig. (2-tailed)	—	0.030	0
N	13	13	13
能源效率			
Correlation Coefficient	0.601 ^①	1.000	0.465
Sig. (2-tailed)	0.030	—	0.109
N	13	13	13
环境效率			
Correlation Coefficient	0.930 ^②	0.465	1.000
Sig. (2-tailed)	0	0.109	—
N	13	13	13

注：①Correlation is significant at the 0.05 level(2-tailed)；②Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)。

从表 8 中可以看出，能源因子与生态效率之间的相关系数为 0.601，表明相关性不高；而生态效率与环境因子之间高度相关，相关系数为 0.93。因此，环境因子的提高将会对生态效率产生更大的影响。

3.4.3 我国石化行业的发展模式

综合表 5、表 6、表 7 可看出，该 13 家企业中，处于 B 模式的企业最多，共 7 家，其中 5 家总体生态效率达到有效，而此 7 家企业中，仅有企业 1 能源因子呈现可持续性；企业 2 和企业 6 明显处于 D 模式；企业 11 和企业 13 处于 C 模式；企业 3 和企业 4 处于 A 模式。

尽管我国石化行业目前趋于竞争促进模式，但是能源消耗过大仍是亟待解决的问题。

4 结论

(1) 生态效率可分解为能源因子和环境因子；

(2) 总体的生态有效并不能保证能源和环境均有效；但若生态效率要达到 1，则必须至少能源或环

境因子达到 1；

(3) 根据三者在实际中不同的状态组合可得出石化行业 4 种发展模式，目前我国石化行业正在逐步摆脱破坏型发展模式，向竞争型破坏或竞争型促进发展模式迈进，但要达到可持续发展模式仍需努力。

参考文献

- [1] Schmidheiny S. Changing Course: A global Business Perspective on Development and the Environment[M]. Cambridge: MIT Press, 1992.
- [2] Stigson B. Eco-efficiency: Creating more value with less impact[M]. Geneva: WBCSD, 2000.
- [3] United Nations Conference on Trade and Development. Integrating Environmental and Financial Performance at the Enterprise level: A methodology for standardizing Eco-efficiency Indicators[M]. New York: United Nations Publication, 2003.
- [4] Kohonen P J, Luptacik M. Eco-efficiency of power plants: An extension of data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 154(2): 437 - 446.
- [5] Kortelainen M, Kuosmanen T. Measuring Eco-efficiency of Production with data envelopment analysis[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 59 - 72.
- [6] Färe R, Grosskopf S, Lovell C A K, et al. Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach [J/OL]. The Review of Economics and Statistics, 1989.
- [7] Kohonen P J, Luptacik M. Eco-efficiency of power plants: An extension of data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 154(2): 437 - 446.
- [8] Kortelainen M, Kuosmanen T. Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 59 - 72.
- [9] 编委会. 2005 年中国石油化工集团公司年鉴[M]. 北京: 中国石化出版社, 2005.
- [10] 编委会. 1999 年中国石油化工集团公司年鉴[M]. 北京: 中国石化出版社, 1999.
- [11] 编委会. 2000 年中国石油化工集团公司年鉴[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000.
- [12] 编委会. 2001 年中国石油化工集团公司年鉴[M]. 北京: 中国石化出版社, 2001.
- [13] 编委会. 2002 年中国石油化工集团公司年鉴[M]. 北京: 中国石化出版社, 2002.
- [14] 编委会. 2003 年中国石油化工集团公司年鉴[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003.
- [15] 编委会. 2004 年中国石油化工集团公司年鉴[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004.
- [16] 王寿兵, 吴峰, 刘晶茹. 产业生态学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. ■