

文章编号: 1001-0920(2002)01-0024-05

考虑环境因素的企业 DEA 有效性分析

王波¹, 张群², 王飞¹

(1. 北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100083; 2 北京科技大学 管理学院, 北京 100083)

摘要: 对企业投入-产出效率进行评价应将环境指标与经济指标相结合。利用数据包络分析(DEA)技术, 建立了考虑环境因素的企业效率评价模型。在生产可能集不满足锥性的假设下, 证明了新模型与原模型具有相同的有效性。并用一个算例进行说明。

关键词: DEA; 决策单元; 环境效率; 多目标规划

中图分类号: F 205 **文献标识码:** A

Using DEA to evaluate firm productive efficiency with environmental performance

WANG Bo¹, ZHANG Qun², WANG Fei¹

(1. School of Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;

2 School of Management, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: When evaluating the firm productive efficiency, environmental performance is overlooked as lesser important in general that leads to the unreasonable measures of productive efficiency. So the available efficiency measures should treat desirable and undesirable outputs synchronously. A model of measure of productive efficiency is proposed which includes environmental factors with data envelopment analysis(DEA). Regarding undesirable outputs as inputs and output of firms, the relationship among the efficiency measures of firms is analyzed. A sample of efficiency measures of 10 paper mills is given.

Key words: DEA; decision making units; environmental efficiency; multiobjective programming

1 引言

人们在评价企业的行为与效率时, 通常主要考虑的是资金、劳动、产量和收益等经济指标, 而企业对环境排放的废品和污染物(以下统称为环境残余物)及对环境的影响, 往往作为一种不重要的因素而被忽视。如何将环境指标与其它经济指标相结合来评价企业的生产效率, 是值得深入研究的课题。

文献[1]介绍了一种利用数据包络分析(DEA)技术评价决策单元效率的方法, 该方法将环境残余物作为负输出, 并设生产可能集不满足锥性。本文分析将环境残余物作为输入变量进行企业效率评价的合理性, 在此基础上建立了评价企业效率的 DEA 模型, 并证明在生产可能集不满足锥性的假设下, 新模型与原模型具有相同的有效性。最后用一个例子进行说明。通过对企业效率的测量, 可找出哪些企业

收稿日期: 2000-09-19; 修回日期: 2000-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(79970101)

作者简介: 王波(1960—), 男, 江西东乡人, 副教授, 博士生, 从事生产管理与系统决策研究; 张群(1950—), 男, 湖北黄冈人, 教授, 博士生导师, 从事生产运作管理、环境经济等研究。

是有效率的, 即处于生产前沿面上; 哪些是缺乏效率的, 并通过将其移到生产前沿面而使之成为有效的。

2 DEA 效率评价的 C²GS² 模型

一个经济系统或一个生产过程, 可看成一个人(单元) 通过投入一定数量的生产要素并产出一定数量的“产品”的活动。这样的人(单元) 称为决策单元, 并以DMU 表示。DMU 的概念是广义的, 它可表示一个企业、一个公共部门或组织。本文DMU 单元DMU_j (j = 1, 2, ..., n), 每个决策单元DMU_j 有m 种输入, 用向量x_j = (x_{1j}, ..., x_{mj})^T > 0 表示; 有s 种输出, 记为y_j = (y_{1j}, ..., y_{sj})^T > 0, j = 1, 2, ..., n₀。定义生产可能集为T = {(x, y) | 由输入x 可产出y}。一般要求T 满足凸性、锥性、无效性和最小性。事实上, 生产可能集并不是任何时候都满足锥性。当锥性条件不满足时, 生产可能集为

$$T = \left\{ (x, y) \mid \begin{matrix} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j = x, & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = y, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \end{matrix} \right\}$$

这时, 在集合T 上评价DMU_{j₀} 相对有效性的关于输入的DEA 模型(C²GS²) 为

$$(E) \begin{cases} \min \theta = V_E \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j = \theta x_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = y_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0 \end{cases}$$

含松弛变量形式为

$$(E) \begin{cases} \min \theta = V_E \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + S^- = \theta x_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - S^+ = y_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, S^+ \geq 0, S^- \geq 0 \end{cases}$$

关于输出的C²GS² 模型为

$$(P) \begin{cases} \max \alpha = V_P \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = \alpha y_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j = x_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, \alpha \text{ 无约束} \end{cases}$$

当(E) 的解θ*, S⁺*, S⁻*, λ* 满足θ* = 1 时, 则称决策单元DMU_{j₀} 是弱DEA 有效的(C²GS²); 若(E) 的解满足θ* = S⁺* = S⁻* = 0, 则称DMU_{j₀} 为DEA 有效的(C²GS²)。

(E) 和(E) 的经济意义是在保持输出y₀ 不变的前提下, 将输入x₀ 各分量按同一比例θ (< 1) 减少。如果θ < 1, 则表明决策单元可用比DMU_{j₀} 更少的输入而获得相同的输出, 这说明DMU_{j₀} 必不是有效的生产活动。(P) 的意义是在不增加输入量的情况下, 使输出量较y₀ 以同比例α (> 1) 扩大。(E) 和(P) 的解θ*, α* 满足θ* = 1/α*。

在评价企业效率时, 通常是输出越大越好, 但生产活动中排放的环境残余物却恰恰相反, 作为决策单元的输出时, 它是一种不希望的输出, 企业应尽量减少这些输出。当评价若干个相似企业的效率时, C²R 和C²GS² 模型均无法使用, 但这些企业的生产前沿面是客观存在的, 通过对产出变量值做平移变换可以消除输出变量为负的情况。

设决策单元DMU_j 输入t 种环境残余物, 记为z_j = (z_{1j}, ..., z_{tj})^T > 0, j = 1, 2, ..., n₀。并设v_i = max_{1 ≤ j ≤ n} {z_{ij}} + c, 其中, c 为任取的大于零的常数, v = (v₁, v₂, ..., v_t)^T。做平移变换z̄ = -z_j + v > 0。对生产可能集加上凸约束, 可使前沿面不受平移变换的影响, 从而可用平移后的数据进行评价。这时, 考虑环境残余物的关于输出和输入的DEA (C²GS²) 模型分别为

$$(D) \begin{cases} \max \alpha = V_D \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = \alpha y_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j = \alpha z_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j = x_0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0 \end{cases}$$

$$(I) \begin{cases} \min \theta = V_1 \\ \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{z}_j \leq \bar{z}_0 \\ \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0 \end{cases}$$

模型(I)的经济意义是在不增加投入的情况下,尽可能增加好的产出,同时减少环境残余物的输出,这样便实现了经济与环境的双赢。

3 将环境残余物作为投入变量的DEA评价模型

生产要素对产出的作用与影响主要由企业(决策单元)采用的技术所决定,即当投入要素变化以寻求最优组合时,决策单元所采用的技术决定产出量变化的方式。

同样,决策单元的技术决定由投入物所产生的环境残余物的本质特征,而且不管决策单元采用何种技术,环境残物都是不可避免的。从这种意义上说,环境残余物可作为决策单元的投入变量进行考虑。由此我们建立将环境输出物作为投入要素的评价效率的DEA(C²GS²)模型。

关于输出的模型为

$$(L) \begin{cases} \max \alpha = V_L \\ \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq \alpha y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j \leq z_0 \\ \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0 \end{cases}$$

关于输入的模型为

$$(L) \begin{cases} \min \theta = V_L \\ \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j \leq \theta z_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0 \end{cases}$$

构造多目标规划

$$(VP) \begin{cases} V - \min (f_1(x, y), \dots, f_{m+s}(x, y)) \\ (x, y) \in T \end{cases}$$

其中

$$f_k(x, y) = \begin{cases} x_k, & 1 \leq k \leq m \\ -y_{k-m}, & m+1 \leq k \leq m+s \end{cases}$$

$$T = \left\{ (x, y) \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq x, \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y, \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \right\}$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T, y = (y_1, y_2, \dots, y_s)^T$$

文献[1]证明了以下定理:

定理1 决策单元DMU_{j₀}对于模型(E)为DEA有效的(C²GS²),当且仅当(x₀, y₀)是多目标规划(VP)的Pareto解,即(E)DEA的有效性(VP)的Pareto解等价。

根据这一定理我们证明:

定理2 (I)的DEA有效性与(L)的有效性等价。

证明 构造多目标规划

$$(VP_1) \begin{cases} V - \min (f_1(x, y, \bar{z}), \dots, f_{m+s+t}(x, y, \bar{z})) \\ (x, y, \bar{z}) \in T \end{cases}$$

其中

$$f_k(x, y, \bar{z}) = \begin{cases} x_k, & 1 \leq k \leq m \\ -y_{k-m}, & m+1 \leq k \leq m+s \\ -\bar{z}_{k-m-s} = -(v_{k-m-s} + z_{k-m-s}), & m+s+1 \leq k \leq m+s+t \end{cases}$$

$$T = \left\{ (x, y, \bar{z}) \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq x, \right.$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \quad y, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{z}_j \quad \bar{z},$$

$$\lambda_j = 1, \lambda_j = 0, j = 1, \dots, j = 1, \dots, n\}$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T, y = (y_1, y_2, \dots, y_s)^T$$

$$\bar{z} = (-z_1 + v_1, \dots, -z_t + v_t)^T$$

由于 $\sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{z}_j = -\sum_{j=1}^n \lambda_j z_j + v \Leftrightarrow \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j$

z , 且 $m \ln - (v_{k-m-s} - z_{k-m-s}) \Leftrightarrow m \ln z_{k-m-s}$, 所以 v_{k-m-s} 为常数. 因此 (VP₁) 的 Pareto 解也是多目标规划

$$(VP_2) \begin{cases} V - m \ln(f_1(x, y, z), \dots, f_{m+s+t}(x, y, z)) \\ (x, y, z) \quad T \end{cases}$$

其中

$$f_k(x, y, z) = \begin{cases} x_k, & 1 & k & m \\ -y_{k-m}, & m+1 & k & m+s \\ z_{k-m-s}, & m+s+1 & k & \\ & m+s+t & & \end{cases}$$

$$T = \left\{ (x, y, z) \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j = x, \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = y, \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j = z, \lambda_j = 1, \lambda_j = 0, j = 1, \dots, n \right\}$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T, y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$$

$$z = (z_1, z_2, \dots, z_m)^T$$

的 Pareto 解. 根据定理 1, 若 DMU_{j₀} 对于 (D) 为 DEA 有效 $\Leftrightarrow (x_0, y_0)$ 为 (VP₁) 的 Pareto 解 $\Leftrightarrow (x_0, y_0)$ 为

(VP₂) 的 Pareto 解 \Leftrightarrow DMU_{j₀} 对于 (L) 为 DEA 有效的.

定理 2 结论对弱有效性也成立. 定理 2 从前沿面角度说明将环境残余物作为输入变量来评价决策单元的效率是合理的, 且当生产可能集不附加凸约束时, 也可建立将环境因素作为负输出的效率评价 DEA (C²R) 模型

$$(G) \begin{cases} m \text{ in } \theta = V_G \\ s \text{ t } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j = \theta z_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = y_0 \\ \lambda_j = 0 \end{cases}$$

如果将控制环境残余物作为工作的重点, 则可利用如下模型

$$(O) \begin{cases} m \text{ in } \theta = V_O \\ s \text{ t } \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j = \theta z_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j = x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = y_0 \\ \lambda_j = 0 \end{cases}$$

在 (G) 中去掉 $\sum_{j=1}^n \lambda_j z_j = \theta z_0$, 便可得到不考虑环境因素的模型 (D)。

表 1 输入输出数据与变量

	输 入				输 出	环 境 残 余 物			
	x ₁ /万元	x ₂ /(h/a)	x ₃ /(t/a)	x ₄ /(tce/a)		y ₁ /(t/a)	z ₁ /(t/a)	z ₂ /(t/a)	z ₃ /(t/a)
工厂 1	4 069.00	138 412	52 492.52	46 147.09	52 040.15	1 385.20	945.41	1 469.25	153.65
工厂 2	4 485.83	136 086	53 699.47	49 737.90	46 349.20	1 363.53	981.45	1 424.42	172.33
工厂 3	4 169.68	140 253	50 740.64	45 837.47	53 821.06	1 639.98	968.96	1 421.11	142.85
工厂 4	4 336.85	143 285	55 487.61	48 738.64	58 335.63	1 657.94	998.67	1 320.69	157.69
工厂 5	3 489.02	128 943	46 479.73	45 524.53	50 758.40	1 515.85	793.97	1 309.84	164.08
工厂 6	4 007.81	129 836	58 281.28	49 846.33	47 339.21	1 672.78	879.00	1 396.01	170.66
工厂 7	3 803.93	140 678	55 022.68	41 072.36	52 009.20	1 488.36	938.41	1 170.90	161.63
工厂 8	4 485.83	155 736	57 699.47	49 737.90	46 349.20	1 663.53	981.45	1 544.42	172.33
工厂 9	3 769.04	126 954	50 103.84	48 583.86	55 978.04	1 500.72	799.55	1 501.47	183.68
工厂 10	4 029.41	142 316	52 331.91	47 004.20	54 827.85	1 523.59	921.19	1 280.86	161.72

表 2 各厂的效率数值

	工厂 1	工厂 2	工厂 3	工厂 4	工厂 5	工厂 6	工厂 7	工厂 8	工厂 9	工厂 10
V_I	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.988 0	1.000 0	0.873 5	1.000 0	1.000 0
V_L	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.989 4	1.000 0	0.907 3	1.000 0	1.000 0
V_G	1.000 0	0.906 5	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.853 9	1.000 0	0.780 9	1.000 0	1.000 0
V_O	1.000 0	0.906 5	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.842 0	1.000 0	0.775 4	1.000 0	1.000 0
V_D	0.943 0	0.796 8	0.991 9	1.000 0	0.979 5	0.862 6	1.000 0	0.773 7	1.000 0	0.983 6

可使其达到 DEA 有效的。

4 评价例子

现以 10 个造纸厂为例对企业生产的效率进行分析。各厂的设备、工艺水平相当，都生产相似的纸制品。选定的输入为资金、劳动、纤维素、能源，分别用 x_1, x_2, x_3 和 x_4 表示；环境残余物为生物需氧量 (BOD)、总浮游物、氧化硫 (SO) 和颗粒物，记为 z_1, z_2, z_3 和 z_4 ；产出为纸制品，用 y_1 表示。每个工作日按 8 h 计算，投入的原料折合成标准纸浆。具体数据见表 1。

利用模型 (I), (L), (G) 和 (O) 以及不考虑环境因素的模型 (D) 含松弛变量的形式，计算出不同工厂的效率如表 2 所示。

从表 2 可以看出，用模型 (I) 和 (L) 评价时，工厂 1~5 和 7, 9, 10 的效率均为 1，且松弛变量 S^- 和 S^+ 均为零，因此它们都是有效率的，即都处在生产前沿面上。而工厂 6 和 8 是 DEA 无效率的，模型 (L) 的解大于模型 (I) 的解，这是因为 (I) 的可行解均为 (L) 的可行解。当生产可能集满足锥性时，工厂 2, 6, 8 不是 DEA 有效的，应当进行改进。当用不考虑环境因素的模型评价时，由于没有对环境残余物的排放限制，大多数工厂均不处在生产前沿面上。这一方面说明环境保护对经济发展有一定的制约，也说明考虑环境因素的评价更符合实际。所有不是有效率的工厂均可通过将它们投影到生产前沿面上而使之成为有效的，即令

$$\bar{x}_k = \theta_k - S^- = \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j$$

$$\bar{y}_k = \theta_k + S^+ = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j$$

5 结 论

本文利用 DEA 评价技术，建立了考虑环境因素的企业效率评价模型，分析了环境残余物作为输入变量进行企业效率评价的合理性，在生产可能集不满足锥性这一假设下，证明了新模型与将环境残余物作为负输出的 DEA 模型在有效性上是等价的。新建的输入模型有多种形式，比负输出模型适应性更广泛。当环境残余物用货币量计量时，可以使用价值量模型进行评价。有关配制效率评价模型和其它环境残余物作为负输出模型的实际应用将另文讨论。

参考文献 (References):

- [1] 盛昭瀚, 朱乔, 吴广谋. DEA 理论、方法与应用 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1996
- [2] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法. 北京: 中国人民大学出版社, 1987.
- [3] Fare R, Grosskopf S. Measuring output efficiency [J]. European J of Operations Research, 1983, 13: 173-179
- [4] Miettinen P, R P Hamalainen. How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment [J]. European J of Operational Research, 1997, 102(2): 279-294
- [5] Fare R, Grosskopf S. Effects on relative efficiency in electric power generation due to environmental control [J]. Resource and Energy, 1986, 8(1): 167-187.
- [6] Haynes K E, Ratick S. Environmental decisions models: US experience and a new approach to pollution management [J]. Environment Int, 1993, 19 (3): 261-275