

# 基于数据包络分析方法的项目环境效率评价

张 群, 苟志远

(北京科技大学 管理学院, 北京 100083)

摘 要: 对项目环境效率进行了研究, 讨论了项目环境效率评价方法, 在项目环境残余物可自由处理和弱自由处理等不同情况下, 构建了评价项目环境效率数据包络分析(DEA)模型, 最后给出了一个计算例子。

关键词: 项目评价; 环境效率; DEA; 线性规划

中图分类号: F224.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2007)11-0080-03

## 0 前言

改革开放以来, 我国经济持续高速增长。近年来, 国内生产总值年均增长 9.6%, 人均 GDP 增长 8.2%, 但是在增长的同时, 也付出了沉重环境代价。据有关专家估计, 我国 20 世纪 80 年代以来经济增长的环境经济损失大致占 GDP 的 2%~8%, 如果继续沿袭粗放型经济增长模式, 不注重发展引起的环境问题, 只注重经济效率而不注重环境效率, 改革发展所取得的成果就可能被环境损失抵消。所以, 只有加强环境技术、经济和管理方面的研究, 才能实现我国经济的可持续发展。

## 1 环境效率及其评价指标

目前对环境效率还没有准确的概念, 一般认为: 如果环境作为一种资源投入, 则应该力求以最小的环境资源投入获得最大的产出。如果把环境的改善作为一种产出, 应该力求在一定的投入下, 获得环境的最大改善效果。这样, 它在生产上才是有效率的。由 WBCD (World Business Council for Sustainable, 世界可持续发展委员会) 于 1992 年在里约地球峰会上提出的环境效率内涵为, 环境效率 (Eco-efficiency) 等于产品或服务的价值与环境负荷之比, 即评价以一单位的环境负荷为代价, 能够创造出多少价值, 生产活动所造成的环境负荷越小, 所创造的经济价值越大, 环境效率就越高。在 WBCD 的定义中, 产品或服务的价值指产品产量、所提供的服务量、销售量、净销售量; 环境负荷指能源消费、水消费、材料消费、地球温室气体排放、臭氧层破坏物质排放等。

根据环境效率的内涵, 可以得到反映项目环境效率的指

标: 资源消耗指标、能源消耗指标、经济指标、产品指标、产生的废物指标, 其中废水包括: BOD, COD, PH, TSS, 油等; 废气包括: SO<sub>2</sub>, PM10, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> 等; 固体废物指标和噪声指标等。

对于不同的项目和不同的生产过程, 评价其环境效率的指标体系是不同的。为了对一个项目的环境效率进行综合评价, 形成一个统一的分析结果, 需要把不同的指标纳入评价过程。其中一种常用的方法是采用 LCA 法(生命周期分析 Life Cycle Analysis), 它对项目不同阶段的环境影响进行分析, 分析的目的是整合这些不同的环境影响, 最后得到一个有益的结果, 但选择采用何种方法进行整合是困难的; 另一种方法是环境经济学, 它在评价环境影响的基础上, 将项目环境影响货币化, 用货币的方式表示项目环境效果, 但是由于环境因子是随着时间、空间和生产不断变化的, 而且在计量过程中投入人力、财力较大, 因此很难进行合理的计量。此外, 在综合评价方面, 还有层次分析法、模糊数学法、神经网络法、熵法、多目标决策和决策支持系统等, 这些方法由于缺乏有关权重的准确信息, 因而在应用上受到限制。

基于数学规划的数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 模型以 Pareto 优化经济概念为基础, 以多目标规划理论为工具, 解决了多投入、多产出的“部门”或“单位”间的相对有效性客观评价问题, 具有无需提供先验的权重信息的优点, 非常适合于多输入、多输出情况下的投入产出效率分析。自 1978 年 Charnes, Cooper 和 Rhodes 首次提出 C<sup>2</sup>R 模型<sup>[1]</sup>以来, 新的 DEA 理论成果不断出现, 在许多领域中都得到了广泛的应用。下面对评价项目环境效率的 DEA 模型进行构建。

## 2 环境效率DEA评价模型的构建

收稿日期: 2006-07-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(70672102)

作者简介: 张群(1950-), 男, 湖北人, 博士, 教授, 博士生导师, 北京科技大学管理学院院长, 研究方向为管理科学与工程; 苟志远(1964-), 男, 河北人, 教授, 博士研究生, 研究方向为项目经济评价及优化。

设有  $n$  个从事同一生产活动的项目 (即决策单元 DMU), 每个 DMU 都有  $m$  种要素投入和  $S$  种产出、 $t$  种环境残余物。若  $x_{ij}$  表示第  $j$  个 DMU 的第  $i$  种投入量 ( $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ ), 用  $y_{rj}$  表示第  $j$  个 DMU 的第  $r$  种有用的产出 ( $r=1,2,\dots,s; j=1,2,\dots,n$ ), 用  $b_{kj}$  表示第  $j$  个 DMU 的第  $u$  种环境残余物, 各 DMU 的投入产出可用向量表示为: 投入向量  $x_j=(x_{1j}, \dots, x_{mj})^T$ , 产出向量  $y_j=(y_{1j}, \dots, y_{sj})^T$ ,  $b_j=(b_{1j}, \dots, b_{tj})^T$ , 对  $n$  个 DMU 而言, 在保持有用的输出不减少的情况下, 建立资源消耗和环境残余物最少的 DEA 效率评价模型。

对于决策单元  $j$  (即 DMU <sub>$j$</sub> ,  $1 \leq j \leq n$ ) 的效率评价指数为:

$$h_j = \frac{u^T Y_j}{v^T X_j}, j=1, 2, \dots, n$$

效率评价指数的含义是: 在权系数  $v$  和  $u$  下, 投入为  $v^T X_j$ , 产出为  $u^T Y_j$  时的产出与投入之比。当评价 DMU <sub>$j_0$</sub>  的效率时, DMU <sub>$j_0$</sub>  的效率评价指数为:

$$h_{j_0} = \frac{u^T Y_{j_0}}{v^T X_{j_0}}$$

以  $h_{j_0}$  最大为目标, 以所有的决策单元 ( $j=1,2,\dots,n$ ) 的效率指数  $h_j \geq 1$  为约束, 构成分式规划 C<sup>2</sup>R 模型:

$$P_0 = \begin{cases} \max \frac{u^T Y_{j_0}}{v^T X_{j_0}} \\ \frac{u^T Y_j}{v^T X_j} \geq 1 \\ u \geq 0, v \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

分式规划模型很难求解, 必须进行转化。令:  $t = \frac{1}{v^T X_{j_0}}$ ,

$\omega = tv, \mu = tu$ , 可将其转化为一个等价的线性规划形式:

$$(p_0) = \begin{cases} \max \mu^T Y_{j_0} \\ \omega^T X_j - \mu^T Y_j \leq 0 \\ \omega^T X_{j_0} = 1 \\ \omega \geq 0, \mu \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

考虑生产中存在环境残余物, 线性规划  $(p_0)$  对偶规划为<sup>[3]</sup>:

$$(p_1) = \begin{cases} \min \theta \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j \leq \theta b_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \lambda_j \geq 0 \\ j=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (3)$$

和  $p(1)$  对应的 (相当的) 含有松弛变量的 C<sup>2</sup>R 模型为:

$$(P_1) = \begin{cases} \min \theta \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + s^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j + s^- = \theta b_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - s^+ = y_0 \\ \lambda_j \geq 0 \\ s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

公式 (4) 的含义是: 对某一决策单元 DMU <sub>$j_0$</sub> , 在保持输出  $y_0$  不变时, 将输入  $x_0$  各分量和环境残余物输出各分量  $b_0$  按同一比例  $\theta$  减少, 如果有解  $\theta < 1$  存在, 表明可以用比 DMU <sub>$j_0$</sub>  更少的投入获得相同的产出, DMU <sub>$j_0$</sub>  必然不是有效的生产活动。若决策单元 DMU <sub>$j_0$</sub>  的线性规划解  $\theta^*, s^{+*}, s^{-*}, \lambda^*$  满足  $\theta^* = 1$ , 则称 DMU <sub>$j_0$</sub>  为弱 DEA 有效; 若解满足  $\theta^* = 1$ , 且  $s^{+*} = s^{-*} = 0$ , 则称 DMU <sub>$j_0$</sub>  为 DEA 有效。

模型 (3)、(4) 对环境残余物而言, 是可自由处置的, 即任何一种产出的处置不会以其它产出的减少为代价, 项目生产排污较少受环境管制措施的制约。但是, 在实际中, 环境管制措施会迫使项目将本来用于生产有用产品的资源投入, 重新配置到减少污染的投资方向, 减少环境残余物需要减少有用的产出, 环境残余物是弱可自由处理的<sup>[4]</sup>。这时和模型 (3) 相对应的评价项目环境效率的 DEA 模型为:

$$(p_2) = \begin{cases} \min \alpha \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq \alpha x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j = \alpha b_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \lambda_j \geq 0 \\ j=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (5)$$

模型  $(p_1)$ 、 $(p_2)$  在评价环境效率有效性时, 假设每一个 DMU 都处在最优的规模报酬下, 所以, 评价结果是规模和技术同时有效的。但在实际中, 可能不满足这些条件, 需要增加凸约束  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 。模型  $(p_1)$ 、 $(p_2)$  增加凸约束后, 形成 BC<sup>2</sup> 模型<sup>[4]</sup>  $(E_1)$ 、 $(E_2)$ , 来评价环境效率的技术有效性。

$$(E_1) = \begin{cases} \min \beta \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq \beta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j \leq \beta b_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \lambda_j = 0, \lambda_j \geq 0 \\ j=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (6) \quad (E_2) = \begin{cases} \min \delta \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq \delta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j = \delta b_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \lambda_j = 0, \lambda_j \geq 0 \\ j=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (7)$$

### 3 算例

假设有 12 个钢铁项目, 它们的设备、技术、工艺水平相当, 投入指标: 能源消耗折算成标煤(万 t 标煤/年)、其它材料折算成资金(万元), 分别用  $x_1$ 、 $x_2$  表示; 产出指标: 钢产品(万 t/年), 用  $y_1$  表示; 环境残余物有粉尘(t/年)、 $SO_2$ (t/年)、废水(万 t/年), 分别用  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  表示, 12 个钢铁项目的相关数据见表 1。

表 1 项目环境效率评价数据

决策单元	投入			产出		
	能源( $x_1$ )	资金( $x_2$ )	钢产品( $y_1$ )	粉尘( $b_1$ )	$SO_2$ ( $b_2$ )	废水( $b_3$ )
项目 1	96.23	15152.41	158.46	1893.33	1247.55	302.02
项目 2	87.56	11087.23	143.29	1694.24	1354.82	361.45
项目 3	90.48	9912.26	110.35	1254.40	1119.96	371.79
项目 4	80.22	8979.84	127.45	1126.78	1456.27	368.61
项目 5	56.08	7658.53	65.22	956.36	1032.86	287.56
项目 6	63.11	8732.14	70.16	879.75	953.68	319.11
项目 7	36.55	7544.12	44.30	768.65	387.21	186.27
项目 8	54.28	7745.23	72.71	754.23	856.33	246.75
项目 9	73.67	9012.25	97.88	1025.49	1010.45	295.68
项目 10	43.46	7362.12	55.72	812.46	785.20	224.56
项目 11	52.01	7894.45	74.35	947.15	802.11	242.25
项目 12	66.72	8776.48	82.46	832.56	1103.45	301.59

表 2 项目环境效率值

模型	项目 1	项目 2	项目 3	项目 4	项目 5	项目 6	项目 7	项目 8	项目 9	项目 10	项目 11	项目 12
$P_1$	1.0000	1.0000	0.9338	1.0000	0.6605	0.7883	0.9007	1.0000	1.0000	0.7000	0.9397	0.9650
$P_2$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.6775	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.7210	1.0000	1.0000
$E_3$	1.0000	1.0000	0.9766	1.0000	0.9893	0.8812	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9856
$E_2$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

利用模型  $p_1, p_2, E_1, E_2$  解不同的线性规划, 计算出 12 个项目的相对环境效率值, 列于表 2。

从表 2 可知, 项目 1、2、4、8、9 用所建立的模型评价时, 效率值都为 1, 说明这 5 个项目既是环境规模有效率的, 又是环境技术有效率的; 项目 3、6、12 在环境残余物可自由处理时, 是无规模和技术效率的, 当环境残余物弱可自由处理时, 是有规模和技术效率的; 项目 5 在环境残余物可自由处理时是无规模效率和技术效率的, 在环境残余物弱可自由处理时, 只是有技术效率的; 项目 10 环境残余物有技术效率, 但无规模效率; 项目 7、11 只是在环境残余物可自由处理时无规模效率, 但有技术效率。

#### 参考文献:

- [1] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 王波, 张群. 环境约束下不同生产效率模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2002, (1): 1-8.
- [3] Fare, R., Grosskopf, S, Lovell, C. A. K., Pasurka, C, Multilateral Productivity Comparisons when Some Output are Undesirable: a Non-Parametric Approach [J]. The Review of Economics and Statistics, 1989, 71(1): 90-98.
- [4] R.D.Banker, A. Charnes, W.W.Cooper, Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis [J]. Management Science, 1984, (30): 1078-1092.

(责任编辑: 高建平)

## Measuring Project Environmental Efficiency with Data Envelopment Analysis

Abstract: The concept of project environmental efficiency is showed up, the index system for evaluation project environmental efficiency is discussed, a mathematics model about project environmental efficiency evaluation was established when the environmental factors are freely disposable or weakly disposable, and a sample of this efficiency measures is given.

Key Words: environmental efficiency; DEA; evaluation method; linear programming