

基于 DEA 方法的企业环境行为评价指标研究

李晶洁

(天津商业大学 理学院, 天津 300134)

摘要:对企业进行环境信用评价是我国环境保护研究的重要内容。基于我国《企业环境信用评价办法(试行)》,针对目前企业环境评价方法过于主观的问题,创新性的运用数据包络分析(DEA)方法对企业环境行为进行了评价研究,系统构建了企业环境行为评价指标体系。并对海尔公司的相关数据进行了实证分析,得出该企业环境行为虽仍有波动但总体较好的状况,进而提出了相应的改进意见,为相关研究提供了理论依据和实践基础。

关键词:数据包络分析;企业环境评价;指标研究

中图分类号:X322 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2018)10-0060-05

1 研究背景

随着我国经济的飞速发展,环境污染问题也愈发严重,如何对企业的环境行为进行有效的监督成为环境保护的重要方面,而企业环境评价是一种有效的监督手段,环保部门将企业的环境行为绩效形象化,不同的企业环境评级对应不同的金融手段,从而刺激企业自愿的进行环境保护,进而达到保护环境的目的。目前我国对企业环境评价研究中主要以定性评价为主,缺乏具体的评价原则与相关权重分配,评价指标的选取有很大的模糊性和人为主观性,能衡量的指标不易被量化。本文采用数据包络分析方法(DEA)对企业环境行为进行评价,使评价的结果量化,且具有一定的客观性,不仅可以有效帮助管理者进行决策,判断评价单元是否相对有效,投入产出比例是否合适,更重要的是可以给出调整决策的正确方向。

2 国内外文献研究综述

目前国内外学者对企业环境行为评价做了大量的研究。一方面,国际上系统性的研究企业环境行为评价始于1969年美国发布的环境影响评价条款的环境政策法案,之后许多组织也在探索着环境行为评价的问题,制定了评价的标准。比如国际标准化组织(ISO)提出的ISO 14031环境行为评价指南。全球报告倡议组织(GRI)在2001年发布的《可持续发展报告指南》,此标准不仅可以用来评价企业的环境行

为是否符合标准,还可对组织的环境行为进行纵向对比。2005年,Sadiq^[1]等提出用模糊数学的方法构建企业环境风险评价模型。而国内对于环境行为评价的研究起步比较晚,如石济开、邵超峰等^[2]利用层次分析法确定评价指标体系权重,采用专家评分法给各指标赋值,对石化企业环境风险进行了分级评价。该方法思路简单,层次清晰,对问题涉及的因素及其关系分析得较透彻,但是随意性大,具有较强的主观性,难以准确反映企业的环境行为及生态安全评价领域的实际情况。

另一方面,数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)是多种学科研究的一个新领域,也是相对效率评价的一个方法。它是美国著名运筹学家CHARNES和COOPER于1978年创建的一种新的统计分析方法^[3]。用于评价多投入多产出的决策单元的相对有效性,被广泛运用于社会、经济管理等多个领域,已成为其重要的分析工具。从已有文献看,环境行为评价中指标的选取、采用的研究方法是多样的,大多是定性分析,对于环境行为的评价,指标的选取具有很大的模糊性和人为主观性,可衡量的指标不易被量化。同时目前我国关于企业环境行为评价的实证研究较少,尤其缺少运用DEA评价方法进行的相关研究。为了更好地对企业的环境行为进行评价。本文提出用数据包络分析方法评价企业的环境行为,找到合理的解决方案来量化评估结果。

收稿日期:2018-07-25

基金项目:天津市教科科研计划项目成果(161082);天津市自然科学基金(17JCTPJC54800)。

作者简介:李晶洁(1985—),男,天津人,天津商业大学理学院,讲师,博士研究生,研究方向:环境信用,风险控制理论,随机定价与评级模型研究。

3 基于 DEA 方法的环境行为评价模型的构建

3.1 投入产出指标的确定

本文参照国家环境保护总局发布的《企业环境信用评价办法(试行)》,对企业环境评价建立指标体系,各投入产出如表 1 所示。

3.2 DEA 模型的选取

本文评价的是企业的环境行为,侧重于多投入、多产出环境系统的有效性评价,而 C^2R 模型的对偶

规划与生产可能相联系判断 DMU 是否有效,是具有经济意义的。同时 C^2R 的模型完善,形式简单,所以选取 C^2R 作为本文的评价模型,以下对 C^2R 模型进行构建求解。

假设具有可比性的 n 个部门或单位(决策单元),每个决策单元都有表示对资源耗费的 m 种投入和表示耗费资源后成效的 s 种类型的产出,对于投入产出,投入越小越好,而产出越大越好,各决策单元的输入输出数据如表 2 所示。

表 1 投入产出指标体系

核心指标			辅助指标
投入指标	原材料	制造业、采矿业、电力行业、建筑业、交通运输、 计算机软件业能源煤、石油、天然气	核辐射污染、电磁 辐射污染等需特殊 考虑
	水资源	新用自来水、循环利用水	
	环境保护资金	环境管理、防止地球暖化、污染防治、资源保护、环境修复	
产出指标	大气及水污染物	单位产值二氧化碳、二氧化硫、 一氧化碳排放量单位产值废水、COD 排放量	
	固体废弃物	固体废弃物排放量	
	危险废物	危险废物量	
	噪声控制	噪声排放值	
	环保投入取得的成果	获得的资格认证、环保奖励等	

表 2 决策单元的投入和产出数据

投入量 权重	投入	决策单元 (1,2,...,j,...,n)	产出	产出量 权重
v_1	1	$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1j}, \dots, x_{1n}$		
v_2	2	$x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2j}, \dots, x_{2n}$		
...	...	...		
v_m	m	$x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mj}, \dots, x_{mn}$		
		$y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1j}, \dots, y_{1n}$	1	μ_1
		$y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2j}, \dots, y_{2n}$	2	μ_2
		...	...	...
		$y_{m1}, y_{m2}, \dots, y_{mj}, \dots, y_{mn}$	n	μ_s

其中 x_i, y_i 为已知的投入产出数据, v_i 和 μ_r 为变量,对应投入产出权重值:

$v=(v_1, \dots, v_m)^T \geqslant 0, v \neq 0, \mu=(\mu_1, \dots, \mu_s)^T \geqslant 0, \mu \neq 0$, 记 $X_0=x_{j_0}, Y_0=y_{j_0}$, 对应目标的投入产出值。此时,在 v 和 μ 之下,化为具有一个投入和产出的场合,如表 3 所示。

表 3 投入和产出场合

1	2	...	j_0	...	n
$v^T x_1$	$v^T x_2$	...	$v^T x_{j_0}$	...	$v^T x_n$
$\mu^T y_1$	$\mu^T y_2$	...	$\mu^T y_{j_0}$	...	$\mu^T y_n$

因此,以单位投入的产出计算效率,每个决策单元的效率评价指标为,这里 $x_j > 0, \mu \geqslant 0, v \neq 0, v^T x_j > 0$ 。

$$h_j = \frac{\mu^T y_j}{v^T x_j} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, j = 1, 2, \dots, n$$

对 DMU 进行相对有效性评价,满足 $h_j \leqslant 1, j = 1, 2, \dots, n$ 。

第 j_0 个决策单元的相对有效性的模型为:

$$\begin{cases} \max & h_{j_0} = \frac{\mu^T y_0}{v^T x_0} \\ s.t. & t \frac{\mu^T y_j}{v^T x_j} \leqslant 1 \\ & \mu \geqslant 0, v \geqslant 0 \end{cases} \quad (1)$$

(1)通过 Charnes-Cooper 变换为等价的线性规划:

令 $t = \frac{1}{v^T x_0}, \omega = tv, u = t\mu$, 式(1)变为式(2):

$$\begin{cases} \max & u^T y_0, \\ & \omega^T x_j - \mu^T y_j \geqslant 0, \\ & \omega^T x_0 = 1, \\ & \omega \geqslant 0, \mu \geqslant 0, \omega, \mu \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其对偶规划为:

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

θ 为该决策单元的有效值(指投入相对于产出的是否有效利用), λ_j 为组合比例, 根据线性规划对偶理论中的“松紧定理”, 引入松弛变量 S^+, S^- , 后, 求解对偶规划:

$$\begin{aligned} S^+ &= (S_1^+, S_2^+, \dots, S_s^+), S^- = (S_1^-, S_2^-, \dots, S_m^-) \\ \begin{cases} \min \theta, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + S^- &= \theta x_0, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - S^+ &= y_0, \\ \lambda_j \geq 0, S^-, S^+ \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

若直接通过式(2)或者式(3)判断决策单元的相对有效性是不容易的, 为解决这个问题。令 $\epsilon > 0$ 是一个阿基米德无穷小量, $\forall \epsilon > 0$ 且小于任何正数, 得:

$$\begin{cases} \min [\theta - \epsilon(e^T S^- + e^T S^+)] \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + S^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - S^+ = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, S^-, S^+ \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (5)$$

3.3 DEA 评价分析

1) 经计算可得 θ 和松弛变量, 判断标准如下: $\theta = 1, S^-, S^+ \neq 0$, 称 DMU 为弱 DEA 有效, 则 DMU 减少现有的投入也能够得到相同的产出, 说明存在浪费

资源的现象, 或者污染物的排放没有达到标准。这可能是由于企业管理不到位出现的问题。

2) $\theta = 1, S^-, S^+ = 0$, 称 DMU 为 DEA 有效, 在 DMU 中投入 x 得到最大产出 y 说明该企业的环境行为已经达到最优水平, 资源得到有效利用和废弃物排放达标。

3) $\theta < 1$, 称 DMU 为 DEA 无效, 则在环境行为评价中说明企业的环境行为是最低的, 还需要继续改进。

4 实证分析

4.1 数据来源

本文数据来源于海尔公司 2008—2011 年的环境报告书, 该报告是基于海尔青岛地区的环境信息, 具体数据如表 4、表 5。

4.2 模型求解

DEA 评价的是同一类的决策单元的相对有效性。本文在纵向上随着时间发展情况上进行比较, 即选择 2005—2011 各年的环境报告披露的环境情况为决策单元。

采用 lingo 软件求解, DEA 的 CCR 模型要求投入指标越少越好, 产出指标越大越好, 但评价企业环境行为时, 追求投入的最小化和产出的最小化, 此时要对数据进行修正, 取产出指标的倒数, 转化后符合 CCR 的模型要求, 也符合 lingo 模型的数学表现形式。 y 为决策单元的有效值, x_j 为组合比例 ($j = 1, 2, 3, 4$), S^+, S^- 为松弛变量 $S^- = (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5)^T$, $S^+ = (S_{1p}, S_{2p}, S_{3p}, S_{4p}, S_{5p}, S_{6p}, S_{7p}, S_{8p})^T$, 取 $\epsilon = 0.000001$, 以 2008 年为例, 投入产出有效性评价模型为:

表 4 投入指标数据

		投入指标							
年份		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
原材料投入	铜(万吨)	6	6.6	8	7.6	6.7	5	5.2	5.4
	钢(万吨)	35	39.35	50	47	30	40	43	45
	铝(万吨)	2	2.3	3.5	3.3	2.6	4	4.5	3.6
	塑料(万吨)	16	1.6	2.4	2.2	24	35	38	40
	总计	59	49.85	63.9	60.13	83.3	113	124.7	94
能源	电(KW/H)	1.046	2.369	2.494	2.5	3.8	4.3	4.6	4.2
	煤(万吨)	1.9	2.17	1.7	1.8	1.7	2	2.4	2.2
水资源	水(吨)	104	224	221	214	188	240	249	210
环保投资额	(万元)	285	957	1 745.5	367.6	1 016	1 560	1 667	1 539

表 5 产出指标数据

		产出指标							
年份		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
废气	单位产值 CO2 排放量 (kg/万元)	6.38	6.09	5.94	5.91	4.59	4.21	4.05	4.02
	单位产值 SO2 排放量 (kg/万元)	34.9	24.4	17.3	16.9	15.7	15.24	14.81	14.3
废水	单位产值废水排放量 (100 m³/万元)	5.36	4.08	3.8	3.66	3.51	3.43	3.12	3.21
	单位产值 COD 排放量 (g/万元)	20.3	19.1	18.1	17.5	16.8	15.51	12.89	13.2
固体废物	炉渣(吨)	0	5 000	5 127.4	5 400	5 000	6 015	7 095	7 034
	磷化渣(吨)	20	30	30	15	12	5 015	5 015	34
	油绵莎(吨)	2	1.4	3	2	1.4	0	0	2
	废物矿油(吨)	15	14	14	15	14	150	150	87
	合计(吨)	37	5 045.4	5 174.4	5 432	5 027.4	11 180	12 260	7 157
危险废物	(吨)	150	150	800	32	1 480	900	87	212
其他指标	单位产值能耗 (kg/万元)	15.2	14.5	13.9	12.6	13.1	12.6	12.2	12.3
	单位产值水耗 (100 m³/万元)	6.7	5.1	4.7	4.58	4.4	4.22	3.84	4.21

$$\left\{ \begin{array}{l} \min = y - 0.000001 \times (S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S1p + S2p + S3p + S4p + S5p + S6p + S7p + S8p) \\ 59 \times x1 + 49.85 \times x2 + 63.9 \times x3 + 60.13 \times x4 + 83.3 \times x5 + 113 \times x6 + 124.7 \times x7 + 94 \times x8 + s1 = 60.13 \times y \\ 10469 \times x1 + 23699 \times x2 + 24945 \times x3 + 25000 \times x4 + 38000 \times x5 + 43000 \times x6 + 46000 \times x7 + 42000 \times \\ x8 + S2 = 25000 \times y \\ 1.9 \times x1 + 2.17 \times x2 + 1.7 \times x3 + 1.8 \times x4 + 1.7 \times x5 + 2 \times x6 + 2.4 \times x7 + 2.2 \times x8 + S3 = 2.5 \times y \\ 104 \times x1 + 224 \times x2 + 221 \times x3 + 214 \times x4 + 188 \times x5 + 240 \times x6 + 249 \times x7 + 210 \times x8 + S4 = 214 \times y \\ 285 \times x1 + 957 \times x2 + 1745.5 \times x3 + 367.6 \times x4 + 1016 \times x5 + 1560 \times x6 + 1667 \times x7 + 1539 \times x8 + S5 = 367.6 \times y \\ 1/6.38 \times x1 + 1/6.09 \times x2 + 1/5.94 \times x3 + 1/5.91 \times x4 + 1/4.59 \times x5 + 1/4.21 \times x6 + 1/4.05 \times x7 + \\ 1/4.02 \times x8 - S1p = 1/5.91 \\ 1/34.9 \times x1 + 1/24.4 \times x2 + 1/17.3 \times x3 + 1/16.9 \times x4 + 1/15.7 \times x5 + 1/15.24 \times x6 + 1/14.81 \times x7 + \\ 1/14.3 \times x8 - S2p = 1/16.9 \\ 1/5.36 \times x1 + 1/4.08 \times x2 + 1/3.8 \times x3 + 1/3.66 \times x4 + 1/3.51 \times x5 + 1/3.43 \times x6 + 1/3.12 \times x7 + 1/3.21 \times \\ x8 - S3p = 1/3.66 \\ 1/20.3 \times x1 + 1/19.1 \times x2 + 1/18.1 \times x3 + 1/17.5 \times x4 + 1/16.8 \times x5 + 1/15.51 \times x6 + 1/12.89 \times x7 + \\ 1/13.2 \times x8 - S4p = 1/17.5 \\ 1/37 \times x1 + 1/3045.4 \times x2 + 1/5174.4 \times x3 + 1/5432 \times x4 + 1/5027.4 \times x5 + 1/11180 \times x6 + 1/12260 \times \\ x7 + 1/7157 \times x8 - S5p = 1/5432 \\ 1/150 \times x1 + 1/150 \times x2 + 1/800 \times x3 + 1/32 \times x4 + 1/1400 \times x5 + 1/900 \times x6 + 1/87 \times x7 + 1/212 \times x8 - S6p = 1/32 \\ 1/15.2 \times x1 + 1/14.5 \times x2 + 1/13.9 \times x3 + 1/12.6 \times x4 + 1/13.1 \times x5 + 1/12.6 \times x6 + 1/12.2 \times x7 + \\ 1/12.3 \times x8 - S7p = 1/12.6 \\ 1/6.7 \times x1 + 1/5.1 \times x2 + 1/4.7 \times x3 + 1/4.58 \times x4 + 1/4.4 \times x5 + 1/4.22 \times x6 + 1/3.84 \times x7 + 1/4.21 \times \\ x8 - S8p = 1/4.58 \end{array} \right.$$

经 lingo 软件计算出 2005 年到 2012 年模型的求解结果如表 6 所示。

表 6 模型计算结果

变量/年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
θ	1.000 000	0.975 194	1.000 000	1.000 000	1.000 000	0.952 296 5	1.000 000	1.000 000
S1-	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	17.277 49	0.436 040 6	0.000 000
S2-	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
S3-	0.700 000	0.3482 93	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.003 481	0.000 000
S4-	0.006 800	19.324 52	0.000 000	0.000 000	0.000 000	16.332 44	0.000 000	0.000 000
S5-	0.000 000	581.537 6	0.000 000	0.000 000	0.000 000	422.818 2	0.000 000	0.000 000
S1+	0.000 000	0.045 000 0	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 520	0.000 000
S2+	0.045 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.004 861	0.000 963	0.000 000
S3+	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.026 105	0.000 000	0.000 000
S4+	0.000 000	0.050 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.001 585	0.000 003	0.000 000
S5+	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 130	0.000 000	0.000 000
S6+	0.000 000	0.080 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.002 940	0.000 000	0.000 000
S7+	0.000 563	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 360	0.000 000
S8+	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.106 627	0.000 667	0.000 000

4.3 模型结果的解释

从表 6 可看出,2007、2008、2009、2012 年的 $\theta = 1$, S+,S- 为 0,这几年的 DMU 为 DEA 有效,说明在环境行为评价中该企业的环境行为已经达到最优水平,无论是资源利用情况还是废弃物排放情况都达到了最好。2005、2011 年的 $\theta = 1$,S-,S+ 不为 0,这一年的 DMU 为弱 DEA 有效,则 DMU 减少现有的投入也能够得到相同的产出,在环境行为评价中,说明环境行为没有达到最优,或者存在浪费的现象,可能是由于企业管理不到位出现的问题,同时污染物的排放没有达到标准。2006、2010 年 $\theta < 1$,这一年的 DMU 为 DEA 无效,则在环境行为评价中说明企业的环境行为是最低的,投入的资源没有被充分利用,废气废水没有有效排放,还需要继续改进。

5 总结

第一,DEA 是评价环境行为的有效工具。DEA 评价方法,能够适用于多输入多输出的复杂系统,非常适用于环境评价,DEA 的评价结果能够确定最优的决策单元,并且对最优单元进行分析,给决策者一定的合理化建议。

第二,环境行为评价指标的量化及针对性是评价

成功的关键。在评价中,是否能够做出正确的结果,最重要的是指标的设置,评价指标并不是简单的数字堆积,而是能够反映出评价对象的特点。要求评价指标能够量化,如果是无法量化的指标则不能作为评价指标。其次,选取的指标必须符合评价的目标,对于本文,需要考虑的是环境行为评价指标。

参考文献

[1] SADIQ R, HUSAIN T. A fuzzy-based methodology for an aggregative environmental risk assessment: a case study of drilling waste[J]. Environmental Modelling and Software, 2005, 20 (1): 33-46.

[2] 石济开,邵超峰,鞠美庭. 石油化工企业环境风险分级评价指标体系研究[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(2): 324-330.

[3] JHINS J M, HUNGERFORD H R, TOMERA A N. Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: a met-analysis[J]. The Journal of Environmental Education, 1986(2): 1-8.

[4] 周喜君,郭丕斌. 山西省创业环境评价——基于改进的层次分析法[J]. 技术经济, 2012, 3(2): 108-112.

[5] 许皓,吴登生,谢阳群. 基于 PCA/FCM 的企业信用评价研究[J]. 技术经济, 2007(3): 1-5.

[6] 杜小武,刘一臣. 石油天然气产业低碳经济竞争力评价指标体系的构建[J]. 科技和产业, 2017(4): 1-4.

Research on Evaluation Index of Enterprise Environmental Behavior Based on DEA Method

LI Jing-jie

(School of Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: Environmental credit evaluation of enterprises is an important part of China's environmental protection research. Based on China's "Enterprise Environmental Credit Evaluation Method (Trial)", in view of the current subjective evaluation of corporate environmental assessment methods, innovative use of data envelopment analysis (DEA) method to evaluate corporate environmental behavior, built the enterprise environment Behavioral evaluation indicator. The empirical analysis of Haier's relevant data shows that the environmental behavior of the company is still fluctuating but generally better, and then proposes corresponding improvement suggestions, which provides theoretical basis and practical basis for relevant research.

Key words: DEA; enterprise environmental behavior assessment; index research