

文章编号:1000-2995(2012)03-006-0136

# 基于 $G_1$ - 法和改进 DEA 的工程项目评标方法

张 熠<sup>1</sup>, 王先甲<sup>1,2</sup>

(1. 武汉大学经济与管理学院, 湖北 武汉 430072;

2. 武汉科技大学冶金工业工程系统科学湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430081)

**摘要:**提出了一种基于  $G_1$  - 法和改进 DEA 的工程项目评标方法, 通过引入主观偏好系数, 采用线性加权的方法, 将  $G_1$  - 法所确定的指标权重和改进 DEA 法所确定的公共权重结合起来共同确定评价指标的综合权重, 并以此为基准计算各投标单位的效率指数, 通过比较其大小来对投标单位进行排序。最后通过工程项目评标的实例验证了该方法的可行性和合理性, 为决策者进行工程项目评标提供了一种科学实用的方法。

**关键词:**  $G_1$  - 法; 数据包络分析; 工程项目; 评标

中图分类号: F407.9

文献标识码: A

## 1 引言

随着我国建设项目招标投标制度的不断完善, 越来越多的工程项目通过招标投标来确定承包商, 评标方法成了人们关注的焦点。评标方法是否科学合理, 直接关系到整个招标投标活动的成败, 意义十分重大。评标应该本着科学、合理、公平、公开、公正和诚实信用的原则, 在最大限度地满足招标文件实质性要求的前提下, 对投标单位的报价、工期、质量、主要材料用量、施工技术方案、业绩情况、企业信誉、优惠条件等方面进行综合评定, 而不能只以报价最低为原则, 其实质是一个多属性决策问题。

由于我国在招标投标方面起步较晚, 在实际操作过程中仍然面临很多问题, 尤其是评标方法在理论上缺少研究, 实践上也缺乏经验。因此, 对工程项目评标方法进行研究, 建立有科学性、实用

性和可行性的评标模型具有重要的理论意义和现实意义。目前在国内, 工程项目的评标主要是采用传统的综合评分法、合理低价法和性价比法, 但 these 方法都没有建立严格的数学模型, 也没有考虑评标过程中存在的模糊性, 并且仅靠专家的主观判断, 很难避免人为因素带来的偏差, 影响其公正性。也有学者采用 AHP 法或模糊综合评判法进行评标, 但这些方法也存在着主观性强、缺乏对定量指标的分析等缺陷<sup>[1]</sup>。还有学者采用传统的  $C^2R$  模型进行评标, 但是该方法只能将决策单元分为有效和非有效两类, 无法对有效的决策单元加以区分和排序。为解决这一问题, Andersen<sup>[2]</sup>、Sexton<sup>[3]</sup>、Doyle<sup>[4]</sup> 提出了相应的改进模型, 一定程度上提高了决策单元之间的区分能力, 但这些方法都存在着客观性强、无法反映决策者的偏好、出现多组权重等缺陷。针对现有评标方法的不足, 本文提出了一种基于  $G_1$  - 法和改进 DEA 的工程项目评标方法, 通过引入主观偏好系数, 采

收稿日期: 2010-09-11; 修回日期: 2011-02-18.

基金项目: 国家自然科学基金项目“非对称信息下相关异质物品多目标双边组合拍卖机制设计与效率分析”(编号: 71071119, 起止时间: 2011.01-2013.12)。

作者简介: 张 熠(1982-), 女(汉), 湖北咸宁人, 武汉大学经济与管理学院管理科学与工程博士研究生, 主要从事工程项目管理、项目评价研究。

王先甲(1957-), 男(汉), 湖北汉川人, 武汉大学经济与管理学院副院长, 珞珈特聘教授, 博士生导师, 主要从事博弈论、决策分析。

用线性加权的方法,将主观赋权法和客观赋权法相结合,即将  $G_1$ -法所确定的指标权重和改进 DEA 法所确定的公共权重结合起来共同确定评价指标的综合权重,并以此为基准计算各投标单位的效率指数,通过比较其大小来对投标单位进行排序。最后通过实例表明,该方法简单易行,能够为一般的工程项目评标活动提供有效的参考。

本文研究思路如下:第一部分是对国内外研究现状进行分析总结;第二部分是建立基于  $G_1$ -法和改进 DEA 的工程项目评标模型;第三部分是采用实例进行分析计算,并通过与其它方法进行比较分析,说明本文方法的可行性和合理性;第四部分为结论。

## 2 基于 $G_1$ -法和改进 DEA 的工程项目评标模型

### 2.1 建立评价指标体系

在实际评标活动中,评价指标的构建及筛选一般可以采用 Delphi 法、最小均方差法、极小极大离差法、相关系数法等<sup>[5]</sup>。在这里,采用 Delphi 法得出评价指标体系由报价、工期、质量、施工方案、企业信誉 5 个指标组成。

### 2.2 基于 $G_1$ -法的指标权重的确定

主观赋权法一般可以采用 AHP 法、 $G_1$ -法、 $G_2$ -法和集值迭代法等,这里采用  $G_1$ -法<sup>[6]</sup>,该方法不仅简便直观,而且无需构造判断矩阵,也无需一致性检验,具体步骤如下。

(1)确定序关系。

首先专家在评价指标集  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_n\}$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 中选出认为是最重要的唯一指标并记为  $B_1^*$ ,然后在余下的  $n - 1$  个指标中选出认为是最重要的唯一指标并记为  $B_2^*$ ,以此类推,经过  $n - 1$  次挑选后剩下的评价指标记为  $B_n^*$ ,这样就确定了唯一序关系: $B_1^* \succ B_2^* \succ \dots \succ B_k^* \succ B_{k-1}^* \succ B_k^* \succ \dots \succ B_n^*$ 。

(2)给出  $B_{k-1}^*$  与  $B_k^*$  间相对重要性的比较判断。

假设专家对评价指标  $B_{k-1}^*$  与  $B_k^*$  的重要性程度之比  $w_{k-1}^*/w_k^*$  进行理性判断: $f_k = \frac{w_{k-1}^*}{w_k^*}$  ( $k = n, n - 1, \dots, 3, 2$ )。

$f_k$  可参考下表 1。

表 1  $f_k$  赋值参考表  
Table 1 Assignment reference of  $f_k$

$f_k$	含义
1.0	表示两者具有同等重要性
1.2	表示前者比后者稍微重要
1.4	表示前者比后者明显重要
1.6	表示前者比后者非常重要
1.8	表示前者比后者极端重要

(3)权重系数计算。

很显然  $w_{k-2}^* > w_k^*$ , 又因为  $w_{k-1}^* > 0$ , 所以  $\frac{w_{k-2}^*}{w_{k-1}^*} > \frac{w_k^*}{w_{k-1}^*}$ , 因此  $f_{k-1} > \frac{1}{f_k}$ 。

$$\begin{aligned} & \text{因为 } \prod_{j=k}^n f_j = \frac{w_{k-1}^*}{w_k^*} \times \frac{w_k^*}{w_{k+1}^*} \times \frac{w_{k+1}^*}{w_{k+2}^*} \times \dots \times \frac{w_{n-2}^*}{w_{n-1}^*} \times \\ & \frac{w_{n-1}^*}{w_n^*} = \frac{w_{k-1}^*}{w_n^*}, \text{ 对 } k \text{ 从 } 2 \text{ 到 } n \text{ 求和: } \sum_{k=2}^n \left( \prod_{j=k}^n f_j \right) = \\ & \sum_{k=2}^n \frac{w_{k-1}^*}{w_n^*} = \frac{1}{w_n^*} (w_1^* + w_2^* + \dots + w_{n-1}^*) = \frac{1}{w_n^*} \left( \sum_{k=1}^n w_k^* \right. \\ & \left. - w_n^* \right); \text{ 又因为 } \sum_{k=1}^n w_k^* = 1, \text{ 所以 } \sum_{k=2}^n \left( \prod_{j=k}^n f_j \right) = \\ & \frac{1}{w_n^*} (1 - w_n^*) = \frac{1}{w_n^*} - 1, \text{ 因此, } w_n^* = [1 + \\ & \sum_{k=2}^n \left( \prod_{j=k}^n f_j \right)]^{-1}. \end{aligned} \quad (2)$$

根据式(1)可得到: $w_{k-1}^* = f_k w_k^*$  ( $k = n, n - 1, \dots, 3, 2$ )。

故根据(2)式和(3)式可求得评价指标集  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_n\}$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 的权重向量: $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。

### 2.3 基于改进 DEA 的公共权重的确定

DEA 方法<sup>[7-9]</sup>在处理多输入多输出复杂系统、简化算法等方面有着很强的优势,但传统的  $C^2R$  模型只能将决策单元分为有效和非有效两类,无法对有效的决策单元加以区分和排序,并且存在着多组权重的现象。为了改进传统 DEA 所存在的不足,这里我们采用一种改进的 DEA 模型<sup>[10]</sup>,具体步骤如下。

### 2.3.1 构造虚拟决策单元

假定有  $m$  个决策单元  $DMU_i (i = 1, 2, \dots, m)$ ,  $n$  个评价指标, 其中每个决策单元都有  $p$  个输入指标和  $q$  个输出指标, 则  $p + q = n$ .  $DMU_i$  的输入向量为  $X_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{si}, \dots, x_{pi})^T$ , 输出向量为  $Y_i = (y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{ti}, \dots, y_{qi})^T$ ,  $x_{si}$  和  $y_{ti}$  分别表示决策单元  $DMU_i$  的第  $s$  个输入指标值和第  $t$  个输出指标值. 对应的输入权重向量为  $V = (v_1, v_2, \dots, v_s, \dots, v_p)^T$ , 输出权重向量为  $U = (u_1, u_2, \dots, u_t, \dots, u_q)^T$ .

构造两个虚拟决策单元  $DMU_{m+1}$  和  $DMU_{m+2}$ , 前者表示最优决策单元, 后者表示最劣决策单元.  $DMU_{m+1}$  的输入向量为  $X_{m+1} = (x_{1,m+1}, x_{2,m+1}, \dots, x_{s,m+1}, \dots, x_{p,m+1})^T$ , 输出向量为  $Y_{m+1} = (y_{1,m+1}, y_{2,m+1}, \dots, y_{t,m+1}, \dots, y_{q,m+1})^T$ , 其输入和输出指标值分别取  $m$  个实际决策单元相应指标值的最小值和最大值, 即  $x_{s,m+1} = \min(x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sm})$ ,  $y_{t,m+1} = \max(y_{t1}, y_{t2}, \dots, y_{tm})$ ;  $DMU_{m+2}$  的输入向量为  $X_{m+2} = (x_{1,m+2}, x_{2,m+2}, \dots, x_{s,m+2}, \dots, x_{p,m+2})^T$ , 输出向量为  $Y_{m+2} = (y_{1,m+2}, y_{2,m+2}, \dots, y_{t,m+2}, \dots, y_{q,m+2})^T$ , 其输入和输出指标值分别取  $m$  个实际决策单元相应指标值的最大值和最小值, 即  $x_{s,m+2} = \max(x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sm})$ ,  $y_{t,m+2} = \min(y_{t1}, y_{t2}, \dots, y_{tm})$ .

### 2.3.2 确定公共权重

公共权重的确定利用下面改进的 DEA 模型: 该模型以最劣决策单元  $DMU_{m+2}$  的效率指数最小为目标, 增加了最优决策单元  $DMU_{m+1}$  的效率指数最大的约束条件  $h_{m+1} = 1$ , 即  $\sum_{s=1}^p v_s x_{s,m+1} - \sum_{t=1}^q u_t y_{t,m+1} = 0$ . 也就是说, 在满足最优决策单元  $DMU_{m+1}$  的效率指数最大的前提下, 使最劣决策单元  $DMU_{m+2}$  的效率指数最小. 它表示在对最优决策单元最有利的无穷多组解中, 筛选出使最劣决策单元效率指数最小的一组解, 并以此作为公共权重. 该模型可表示如下:

$$\min h_{m+2} = \sum_{t=1}^q u_t y_{t,m+2}$$

$$s.t. \sum_{s=1}^p v_s x_{s,m+2} = 1$$

$$\sum_{s=1}^p v_s x_{si} - \sum_{t=1}^q u_t y_{ti} \geq 0 \quad i \neq m+1$$

$$\sum_{s=1}^p v_s x_{s,m+1} - \sum_{t=1}^q u_t y_{t,m+1} = 0$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_s, \dots, v_p)^T \geq 0$$

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_t, \dots, u_q)^T \geq 0$$

在建模之前我们应该对指标数据进行无量纲化处理, 这里采用归一化处理法. 求解上述线性规划模型即可得到各指标相应的权重, 并对其进行归一化处理, 最后得到  $W^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_s^*, \dots, v_p^*, u_1^*, u_2^*, \dots, u_t^*, \dots, u_q^*)^T$ .

### 2.4 基于 $G_1$ - 法和改进 DEA 的综合权重的确定

$G_1$  - 法能够反映决策者的偏好, 充分体现招标人的招标意图, 但缺点是主观性较强; 改进 DEA 法不仅使不同的投标单位具有统一的评价标准, 避免了传统  $C^2R$  模型多组权重的现象, 增强了投标单位之间的可比性, 而且区分了有效决策单元, 提高了投标单位之间的区分能力. 但是, 其公共权重的分配太过客观, 通常出现不切实际的现象, 即经常发生不重要指标的权重过大而重要指标的权重过小甚至为零的情况. 为了充分体现  $G_1$  - 法和改进 DEA 法的优点, 本文将  $G_1$  - 法和改进 DEA 法进行整合, 通过引入主观偏好系数  $\theta, \theta \in [0, 1]$ , 采用线性加权的方法来共同确定评价指标的综合权重  $\bar{W}$ . 两种方法的结合可以取长补短, 比单一的赋权法更为准确和合理, 具体计算公式如下:

$$\bar{W} = \theta W + (1 - \theta) W^* = (\bar{v}_1, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_s, \dots, \bar{v}_p, \bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_t, \dots, \bar{u}_q)^T \quad (4)$$

### 2.5 投标单位效率指数的确定

以评价指标的综合权重  $\bar{W}$  为基准, 利用效率指数的大小来对各投标单位进行排序, 选择效率指数最大的投标单位为中标单位. 效率指数的计算公式如下:

$$h_i = \frac{\sum_{t=1}^q \bar{u}_t y_{ti}}{\sum_{s=1}^p \bar{v}_s x_{si}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

## 3 实例分析

### 3.1 实例概况

某工程项目招标, 经资格审查后有 4 家投标单位(编号为  $A_1, A_2, A_3, A_4$ ) 进入最后评标阶段.

通过 Delphi 法确定评价指标集由 5 个指标组成,即工程报价 ( $B_1$ )、工程工期 ( $B_2$ )、工程质量 ( $B_3$ )、施工技术 ( $B_4$ ) 和企业信誉 ( $B_5$ )。对于工程质量、施工技术和企业信誉这 3 个定性指标,经过专家进行模糊评价,并采用 0~1 之间的数对其进行量化,其对应关系如下表 2 所示。

表 2 模糊指标量化值

Table 2 Quantization value of fuzzy indexes

很差	差	较差	一般	较好	好	很好
0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8

现将每个投标单位的原始指标值表述如下:

表 3 投标单位的原始指标值

Table 3 Original index values of bidders

投标方案	$B_1$ (万元)	$B_2$ (天数)	$B_3$	$B_4$	$B_5$
$A_1$	2600	560	0.8	0.7	0.5
$A_2$	2400	520	0.7	0.5	0.6
$A_3$	2580	500	0.5	0.4	0.2
$A_4$	2300	550	0.4	0.3	0.5

### 3.2 基于 $G_1$ -法的指标权重的确定

假设专家认为评价指标间具有序关系:  $B_1 \succ B_3 \succ B_2 \succ B_4 \succ B_5$ , 即  $B_1^* \succ B_2^* \succ B_3^* \succ B_4^* \succ B_5^*$ , 且

$$\text{给出 } f_2 = \frac{w_1^*}{w_2^*} = 1.6, f_3 = \frac{w_2^*}{w_3^*} = 1.2, f_4 = \frac{w_3^*}{w_4^*} = 1.8,$$

$$f_5 = \frac{w_4^*}{w_5^*} = 1.2。 \text{ 而 } f_2 f_3 f_4 f_5 = 4.1472, f_3 f_4 f_5 =$$

$$2.5920, f_4 f_5 = 2.1600, f_5 = 1.2000,$$

$$\text{因此 } f_2 f_3 f_4 f_5 + f_3 f_4 f_5 + f_4 f_5 + f_5 = 10.0992。$$

$$\text{根据 (2) 式可得: } w_5^* = (1 + 10.0992)^{-1} = 0.090。$$

$$\text{根据 (3) 式可得: } w_4^* = f_5 w_5^* = 0.108, w_3^* = f_4 w_4^* = 0.195, w_2^* = f_3 w_3^* = 0.234, w_1^* = f_2 w_2^* = 0.373。$$

$$\text{因此, 评价指标的权重系数为: } w_1 = w_1^* = 0.373, w_2 = w_2^* = 0.195, w_3 = w_3^* = 0.234, w_4 = w_4^* = 0.108, w_5 = w_5^* = 0.090。$$

$$\text{所以 } W = (0.373, 0.195, 0.234, 0.108, 0.090)^T。$$

### 3.3 基于改进 DEA 的公共权重的确定

工程报价、工程工期为取值越小越好的成本型指标,因此可作为输入指标;工程质量、施工技术、企业信誉为取值越大越好的效益型指标,因此可作为输出指标。构造两个虚拟决策单元  $DMU_5$  和  $DMU_6$ , 即构造两个虚拟投标单位  $A_5$  和  $A_6$ , 前者表示最优决策单元, 后者表示最劣决策单元。容易确定  $DMU_5$  的输入向量为  $X_5 = (2300, 500)^T$ , 输出向量为  $Y_5 = (0.8, 0.7, 0.6)^T$ ;  $DMU_6$  的输入向量为  $X_6 = (2600, 560)^T$ , 输出向量为  $Y_6 = (0.4, 0.3, 0.2)^T$ 。在建模之前首先对原始指标数据进行归一化处理, 可得到矩阵 A:

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \\ A_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.176 & 0.175 & 0.222 & 0.241 & 0.192 \\ 0.162 & 0.163 & 0.195 & 0.172 & 0.231 \\ 0.174 & 0.157 & 0.139 & 0.138 & 0.077 \\ 0.156 & 0.173 & 0.111 & 0.104 & 0.192 \\ 0.156 & 0.157 & 0.222 & 0.241 & 0.231 \\ 0.176 & 0.175 & 0.111 & 0.104 & 0.077 \end{bmatrix}$$

根据矩阵 A 可建立如下改进的 DEA 模型:

$$\min h_6 = 0.111u_1 + 0.104u_2 + 0.077u_3$$

$$s.t. 0.176v_1 + 0.175v_2 = 1$$

$$0.176v_1 + 0.175v_2 - 0.222u_1 - 0.241u_2 - 0.192u_3 \geq 0$$

$$0.162v_1 + 0.163v_2 - 0.195u_1 - 0.172u_2 - 0.231u_3 \geq 0$$

$$0.174v_1 + 0.157v_2 - 0.139u_1 - 0.138u_2 - 0.077u_3 \geq 0$$

$$0.156v_1 + 0.173v_2 - 0.111u_1 - 0.104u_2 - 0.192u_3 \geq 0$$

$$0.176v_1 + 0.175v_2 - 0.111u_1 - 0.104u_2 - 0.077u_3 \geq 0$$

$$0.156v_1 + 0.157v_2 - 0.222u_1 - 0.241u_2 - 0.231u_3 = 0$$

$$V = (v_1, v_2)^T \geq 0$$

$$U = (u_1, u_2, u_3)^T \geq 0$$

通过 LINDO 软件求解, 可得  $v_1 = 5.682, v_2 = 0, u_1 = 0, u_2 = 0, u_3 = 3.837$ 。对其进行归一化处理得到  $W^* = (0.597, 0, 0, 0, 0.403)^T$ 。

### 3.4 基于 $G_1$ -法和改进 DEA 的综合权重的确定

在确定指标的综合权重时, 本文取主观偏好系数  $\theta = 0.6$ 。根据 (4) 式可得:

$$\begin{aligned} \bar{W} &= \theta W + (1-\theta)W^* = 0.6W + 0.4W^* \\ &= 0.6(0.373, 0.195, 0.234, 0.108, 0.090)^T + 0.4(0.597, 0, 0, 0, 0.403)^T \\ &= (0.463, 0.117, 0.140, 0.065, 0.215)^T \end{aligned}$$

### 3.5 投标单位效率指数的确定

以评价指标的综合权重  $\bar{W}$  为基准,利用效率

指数的大小对投标单位进行排序。根据(5)式可得:

$$h_1 = \frac{\sum_{t=1}^3 u_t y_{t1}}{\sum_{s=1}^2 v_s x_{s1}} = \frac{0.140 \times 0.222 + 0.065 \times 0.241 + 0.215 \times 0.192}{0.463 \times 0.176 + 0.117 \times 0.175} = 0.8633$$

同理,  $h_2 = \frac{\sum_{t=1}^3 u_t y_{t2}}{\sum_{s=1}^2 v_s x_{s2}} = 0.9369, h_3 = \frac{\sum_{t=1}^3 u_t y_{t3}}{\sum_{s=1}^2 v_s x_{s3}} = 0.4547, h_4 = \frac{\sum_{t=1}^3 u_t y_{t4}}{\sum_{s=1}^2 v_s x_{s4}} = 0.6876$

所以  $h_2 > h_1 > h_4 > h_3$ ,说明投标单位  $A_2$  的效率指数最大,即选择  $A_2$  为中标单位。

### 3.6 优势及局限性

(1)本文方法的评价结果为  $A_2 > A_1 > A_4 > A_3$ ,即选择  $A_2$  为中标单位,与实际情况一致,验证了本文方法的可行性。与传统的 AHP 法相比,本文方法无需构造判断矩阵,也无需一致性检验,因此也更为简便直观。

(2)传统  $C^2R$  模型的权重分配太过客观,不能反映实际情况,并且该模型无法区分有效决策单元,存在多组权重的现象。而本文方法不仅使不同的投标单位具有统一的评价标准,避免了传统  $C^2R$  模型多组权重的现象,增强了投标单位之间的可比性,而且区分了有效决策单元,提高了投标单位之间的区分能力,因此也更为科学合理。

(3)文献[10]方法无法反映决策者的偏好,并且其权重分配通常出现不切实际的现象。而本文方法通过引入主观偏好系数,将主观赋权法和客观赋权法相结合,从而使指标权重的分配更为准确和合理。

(4)本文提出了一种基于  $G_1$  - 法和改进 DEA 的评标模型,为工程项目评标提供了一种新的方法和思路。但是该模型在处理指标数据的过程中不可避免地丢失一部分信息,会对评价结果产生一定的影响,这一点在今后的研究中还需进一步改善。另外,如何用数据恰如其分地量度定性指标还有待完善和提高。

## 4 结 论

本文提出了一种基于  $G_1$  - 法和改进 DEA 的工程项目评标方法,通过引入主观偏好系数,将主观赋权法和客观赋权法相结合,采用线性加权的方式来共同确定评价指标的综合权重,并以此为基准计算各投标单位的效率指数,通过比较其大小来对投标单位进行排序。这种方法不仅无需构造判断矩阵,也无需一致性检验,并且可以取长补短,比单一的赋权法更为准确和合理,同时还增强了各投标单位之间的可比性和可区分性,能够为一般的工程项目评标活动提供有效的参考和依据。

## 参 考 文 献:

[1] 邹和礼,赵暑生,张龙祥. 基于定量与定性指标综合分析的工程项目评标方法[J]. 铁道学报,2000,22(6):112 - 115.  
ZOU He-li, ZHAO Shu-sheng, ZHANG Long-xiang. Evaluation method for engineering tenders based on synthetic analysis of quantitative and qualitative indexes[J]. Journal of the China Railway Society, 2000,22(6):112 - 115.

[2] Andersen P and Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis [J]. Management Science, 1993, 39: 1261 - 1264.

[3] Sexton T R, Silkman R H, Hogan A J. Data envelopment analysis: Critique and extensions [A]. Proceeding of Measuring Efficiency: An Assessment of Data Envelopment Analysis [C]. 1986: 73 - 104.

- [4] Doyle J R, Green R H. Efficiency and cross - efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses [J]. Journal of the Operational Research Society, 1994, 45 (5): 567 - 578.
- [5] 郭亚军著. 综合评价理论、方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 14 - 15.  
GUO Ya - jun. The Theory, Method and Application of Comprehensive Evaluation [M]. Beijing: Science Press, 2007: 14 - 15.
- [6] 郭亚军, 潘德惠. 一类决策问题的新算法[J]. 决策与决策支持系统, 1992, 2(3): 56 - 62.  
GUO Ya - jun, Pan De - hui. A new algorithm of a class of decision problems [J]. Decision - making and Decision Support System, 1992, 2(3): 56 - 62.
- [7] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429 - 444
- [8] Charnes A, Cooper W W, Golany B. Foundations of data envelopment analysis for pareto - koopmans efficient empirical production functions [J]. Journal of Econometrics, 1985, 30 (1 - 2): 91 - 107.
- [9] Seiford L M. Data envelopment analysis: The evolution of state of the art (1978 - 1995) [J]. Journal of Production Analysis, 1996, 7: 99 - 137.
- [10] 刘英平, 林志贵, 沈祖诒. 有效区分决策单元的数据包络分析方法. [J]. 系统工程理论与实践, 2006, 3: 112 - 116.  
LIU Ying - ping, LIN Zhi - gui, SHEN Zu - yi. Effective data envelopment analysis method for ranking decision making units. [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2006, 3: 112 - 116.

## Tender evaluation method for engineering projects based on the method of $G_1$ and modified DEA

Zhang Yi<sup>1</sup>, Wang Xianjia<sup>1,2</sup>

(1. School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Hubei Province Key Laboratory of Systems Science in Metallurgical Process, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** A method of tender evaluation for engineering projects is put forward based on the method of  $G_1$  and modified DEA. By introducing the subjective preference coefficient and using the linear weighting method, the comprehensive weights of evaluation indexes could be obtained by combining the weights determined by the method of  $G_1$  with the public weights determined by the modified DEA, on basis of which, the efficiency indexes of bidders could be calculated and various bidders are able to be sorted by comparing the size of efficiency indexes. Finally, the case of tender evaluation for engineering projects is given to verify the feasibility and rationality of the proposed method, a scientific and practical approach is provided for the decision - makers in the tender evaluation for engineering projects.

**Key words:** the method of  $G_1$ ; DEA; engineering project; tender evaluation