

一种基于灰色关联和模糊理论的 工程项目评标方法

张 熠¹, 王先甲^{1,2}

(1. 武汉大学 经济与管理学院 系统工程研究所, 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, 武汉 430081)

摘 要: 本文提出了一种基于灰色关联和模糊理论相结合的工程项目评标方法。实例分析结果表明, 该方法简便易行, 能够较好实现定性指标的量化。

关键词: 工程项目; 评标; 灰色关联分析; 模糊理论

中图分类号: F253 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002 - 980X(2009) 12 - 0043 - 04

招标与投标实质上是一种市场选择行为, 是一种市场竞争活动, 是商品经济和竞争机制发展到一定高度的必然产物和结果。随着我国建设项目招标投标制度的不断完善, 招标评标办法成为人们关注的焦点。评标是招标投标的核心, 是科学决策的前提, 在招标投标活动中起着举足轻重的作用。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、施工方案、业绩情况、企业信誉、优惠条件等方面综合评定。目前国内运用最多的是传统的综合评分法, 这种方法没有建立严格的数学模型, 仅靠评委的主观判断, 随意性太强, 很容易产生偏差, 影响其公正性。也有人采用 AHP 或模糊综合评判法进行评标, 但这些方法都存在着主观性强、缺乏对定量指标的分析等缺陷^[1-2]。因此, 本文提出了一种基于灰色关联和模糊理论相结合的评标方法, 充分考虑了定量指标和定性指标的影响, 并且通过实例对投标方案进行全面客观的评价, 为一般的工程评标活动提供有效参考。

1 基于灰色关联和模糊理论的评标方法

1.1 评价指标体系的建立

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、极大极小离差法、相关系数法等^[3]。考虑到工程项目不是一个独立体, 会对其周围环境产生影响, 为了反映城市经

济建设过程中对环境保护的重视程度, 所以考虑了环境保护措施这一因素。在这里, 采用 Delphi 法得出评价指标体系由报价、工期、质量、施工技术方案、企业信誉、环境保护措施 6 个指标组成。

1.2 基于 G 法的指标权重的计算

设评价指标集 $\{x_j\} (j = 1, 2, \dots, n)$ 的权向量为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, 假定专家在该指标集中选出他认为最不重要的唯一指标 x_k , 这时将其余每个指标与 x_k 进行比较, 其重要性程度之比 b_j 可参考表 1。

表 1 b_j 赋值参考表

b_j	说明
1	指标 x_j 与指标 x_k 具有同等重要性
3	指标 x_j 比指标 x_k 稍微重要
5	指标 x_j 比指标 x_k 明显重要
7	指标 x_j 比指标 x_k 强烈重要
9	指标 x_j 比指标 x_k 极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述两相邻判断的中值

$$\begin{aligned} \text{显然, } b_j &= \frac{w_j}{w_k} > 0, b_k = 1, \sum_{j=1}^n w_j = 1 (0 \leq w_j \leq 1), \text{ 则 } w_j = w_k \times b_j, \sum_{j=1}^n w_j = w_k \times (b_1 + b_2 + \dots + b_n) = 1, \\ w_k &= \frac{1}{\sum_{j=1}^n b_j} = \frac{b_k}{\sum_{j=1}^n b_j}, \text{ 所以有} \\ w_j &= \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j} (j = 1, 2, \dots, n). \end{aligned} \quad (1)$$

这是基于 AHP 的行元素法的基本思想, 显然, 这种方法比传统的 AHP 法简便得多^[4]。

收稿日期: 2009 - 10 - 22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60574071)

作者简介: 张熠 (1982 —), 女, 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, 研究方向: 评价研究; 王先甲 (1957 —), 男, 湖北汉川人, 武汉大学经济与管理学院副院长, 系统工程研究所所长, 武汉大学珞珈特聘教授, 两站博士后, 博士生导师, 研究方向: 博弈论、决策分析。

1.3 确定评价指标值矩阵

对于报价、工期这类定量指标的值可以根据实际情况来确定,而质量、施工技术方案、企业信誉、环境保护措施这类定性指标都属于模糊变量,具有边界不清的特点,难以对其进行明确的界定,因此对于这类定性指标的值可以根据模糊理论来确定,具体步骤如下:

1) 确定定性指标集和评价等级集。

假定 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ 为投标方案集。这里 m 为投标方案的个数。

假定 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_s\}$ 为描述投标方案的 s 种定性指标。这里, s 为定性指标的个数,由具体的指标体系决定。

假定 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_t\}$ 为描述每一定性指标所处状态的 t 种评价等级。这里, t 为评语的个数,通常划分为 3 ~ 5 个等级^[5]。同时, t 一般为奇数,这样除了中间项以外,评语是对称的。如{很合理,合理,一般,不合理,很不合理}。

2) 构造评价隶属度矩阵。

首先对第 p 个定性指标 U_p ($p = 1, 2, \dots, s$) 作单因素评判,从 U_p 出发,投标方案 X_i ($i = 1, 2, \dots, m$) 对评价等级 V_q ($q = 1, 2, \dots, t$) 的隶属度为 r_{pq} ,这样就得到第 p 个定性指标 U_p 的单因素评判向量: $r_p = \{r_{p1}, r_{p2}, \dots, r_{pt}\}$ ($p = 1, 2, \dots, s$)。这样 s 个定性指标的评价向量就构造出一个总的隶属度矩阵 R_i :

$$R_i = (r_{ij})_{s \times t} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1t} \\ \dots & & \dots \\ r_{s1} & \dots & r_{st} \end{bmatrix} \quad (2)$$

r_{pq} 表示第 p 个因素 U_p 在第 q 个评语 V_q 上的频率分布,根据模糊数学理论,应满足以下两个条件:

$$0 \leq r_{pq} \leq 1;$$

$$\sum_{q=1}^t r_{pq} = 1 \quad (p = 1, 2, \dots, s)。$$

3) 确定定性指标的特征值矩阵。

我们可假设相对于各个评价等级 V_q 的参数列向量 $C = (c_1, c_2, \dots, c_t)^T$, 如 $C = (0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1)^T$, 则第 i 个投标方案 X_i 的定性指标的特征值行向量 D_i 可表示为:

$$D_i = (R_i \times C)^T = (c_1, c_2, \dots, c_t) \times \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1t} \\ \dots & & \dots \\ r_{1t} & \dots & r_{st} \end{bmatrix} \quad (3)$$

所以, m 个投标方案的定性指标的特征值矩阵 D 可表示为: $D = (D_1, D_2, \dots, D_m)^T$ 。

1.4 确定相对最优方案指标集

设相对最优方案指标集 $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots,$

$x_{0n})$, 其中 x_{0j} ($j = 1, 2, \dots, n$) 为从 m 个投标方案中选出的第 j 个指标的最优值。在评价指标中, 报价、工期为取值越小越好的极小型指标, 而质量、施工技术方案、企业信誉、环境保护措施为取值越大越好的极大型指标。因此, 当评价指标为极小型指标时, $x_{0j} = \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$; 当评价指标为极大型指标时, $x_{0j} = \max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$ 。选定最优指标集后, 可构造矩阵 H :

$$H = \begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \dots \\ X_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{01} & \dots & x_{0n} \\ \dots & & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

1.5 指标值的规范化处理

由于评价指标往往具有不同的量纲和数量级, 因此不能直接比较。为了保证结果的可靠性, 需要对矩阵 H 进行规范化处理, 这里我们采用极值处理法。

设 $M_j = \max(x_{0j}, x_{1j}, \dots, x_{mj})$, $m_j = \min(x_{0j}, x_{1j}, \dots, x_{mj})$ 。

对于极小型指标:

$$x_{ij}^* = \frac{M_j - x_{ij}}{M_j - m_j}; \quad (5)$$

对于极大型指标:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \quad (6)$$

则可得到规范化矩阵:

$$G = \begin{bmatrix} x_{01}^* & \dots & x_{0n}^* \\ \dots & & \dots \\ x_{m1}^* & \dots & x_{mn}^* \end{bmatrix} \quad (7)$$

1.6 关联系数的确定

根据灰色关联分析法可以求得第 i 个方案第 j 个指标与第 j 个最优指标的关联系数 ε_{ij} :

$$\varepsilon_{ij} = (\min_i \min_j |x_{ij}^* - x_{0j}^*| + \rho \max_i \max_j |x_{ij}^* - x_{0j}^*|) / (|\min_i \min_j |x_{ij}^* - x_{0j}^*| + \rho \max_i \max_j |x_{ij}^* - x_{0j}^*|) \quad (8)$$

式(8)中, ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$, 一般取 $\rho = 0.5$ 。由 ε_{ij} 可得关联系数矩阵 E :

$$E = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \dots & \varepsilon_{1n} \\ \dots & & \dots \\ \varepsilon_{m1} & \dots & \varepsilon_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

1.7 综合评判结果的确定

根据关联系数矩阵 E 和指标权重向量 W , 可求得各投标方案的关联度 g_i ($i = 1, 2, \dots, m$)。

$$g = E \times W^T = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \dots & \varepsilon_{1n} \\ \dots & & \dots \\ \varepsilon_{m1} & \dots & \varepsilon_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_m \end{bmatrix}$$

(10)

关联度反映各评价方案对理想方案的接近程度,关联度 g_i 越大,说明 X_i 与最优指标集 X_0 越接近。因此,选择关联度最大的方案为最优方案。

2 实例分析

2.1 实例概况

某工程项目招标,经资格审查后确定 4 家投标单位(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 6 个指标组成,即工程报价(x_1)、工程工期(x_2)、工程质量(x_3)、施工技术方案(x_4)、企业信誉(x_5)、环境保护措施(x_6)。现将每个投标方案的定量指标值表述见表 2。

表 2 投标方案的定量指标值

投标方案	工程报价 x_1 (万元)	工程工期 x_2 (天)
X_1	1250	260
X_2	1220	280
X_3	1200	300
X_4	1230	270

2.2 指标权重向量的确定

经专家确定, x_6 为最不重要的指标,并对其余每个指标与 x_6 的重要性程度之比 b_j 作出理性判断: $b_1 = 8, b_2 = 6, b_3 = 4, b_4 = 4, b_5 = 2, b_6 = 1$ 。

根据式 (1) 可得: $w_1 = b_1 / \sum_{j=1}^6 b_j = 8 / 25 = 0.32$ 。

同理, $w_2 = 0.24, w_3 = 0.16, w_4 = 0.16, w_5 = 0.08, w_6 = 0.04$ 。因此指标权重向量 $W = (0.32, 0.24, 0.16, 0.16, 0.08, 0.04)$ 。

2.3 评价指标值矩阵的确定

2.3.1 确定定性指标集和评价等级集

容易得出定性指标集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_s\} = \{x_3, x_4, x_5, x_6\}$, 同时确定 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_t\} = \{\text{很合理, 合理, 一般, 不合理, 很不合理}\}$ 。现特邀 9 名专家利用模糊理论对每个评标方案进行评价, 结果见表 3、表 4、表 5 和表 6。

表 3 投标方案 X_1 的评价尺度

评价等级 V	工程质量 x_3	施工技术方案 x_4	企业信誉 x_5	环境保护措施 x_6
很合理	3	1	0	0
合理	4	2	1	2
一般	1	4	4	5
不合理	1	2	3	2
很不合理	0	0	1	0

表 4 投标方案 X_2 的评价尺度

评价等级 V	工程质量 x_3	施工技术方案 x_4	企业信誉 x_5	环境保护措施 x_6
很合理	3	1	0	0
合理	4	2	2	2
一般	0	4	4	4
不合理	1	2	2	3
很不合理	1	0	1	0

表 5 投标方案 X_3 的评价尺度

评价等级 V	工程质量 x_3	施工技术方案 x_4	企业信誉 x_5	环境保护措施 x_6
很合理	2	2	0	0
合理	5	2	1	2
一般	1	5	4	3
不合理	1	0	3	3
很不合理	0	0	1	1

表 6 投标方案 X_4 的评价尺度

评价等级 V	工程质量 x_3	施工技术方案 x_4	企业信誉 x_5	环境保护措施 x_6
很合理	2	2	0	0
合理	5	2	1	2
一般	2	3	3	4
不合理	0	2	4	3
很不合理	0	0	1	0

2.3.2 构造评价隶属度矩阵

根据表 3~表 6, 可以求得每个投标方案的隶属度矩阵 R_i :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.45 & 0.11 & 0.11 & 0 \\ 0.11 & 0.22 & 0.45 & 0.22 & 0 \\ 0 & 0.11 & 0.45 & 0.33 & 0.11 \\ 0 & 0.22 & 0.56 & 0.22 & 0 \end{bmatrix};$$
$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.45 & 0 & 0.11 & 0.11 \\ 0.11 & 0.22 & 0.45 & 0.22 & 0 \\ 0 & 0.22 & 0.45 & 0.22 & 0.11 \\ 0 & 0.22 & 0.45 & 0.33 & 0 \end{bmatrix};$$
$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.22 & 0.56 & 0.11 & 0.11 & 0 \\ 0.22 & 0.22 & 0.56 & 0 & 0 \\ 0 & 0.11 & 0.45 & 0.33 & 0.11 \\ 0 & 0.22 & 0.33 & 0.34 & 0.11 \end{bmatrix};$$
$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.22 & 0.56 & 0.22 & 0 & 0 \\ 0.22 & 0.22 & 0.34 & 0.22 & 0 \\ 0 & 0.11 & 0.33 & 0.45 & 0.11 \\ 0 & 0.22 & 0.45 & 0.33 & 0 \end{bmatrix}。$$

2.3.3 确定定性指标的特征值矩阵

通过专家确定, 相对于各个评价等级 V_q 的参数列向量为: $C = (c_1, c_2, \dots, c_t)^T = (0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1)^T$, 则可根据式 (3) 求得每个投标方案 X_i 的定性指标特征值行向量 D_i :

$$D_1 = (R_1 \times C)^T = (0.7, 0.544, 0.412, 0.5);$$

$$D_2 = (R_2 \times C)^T = (0.656, 0.544, 0.456, 0.478);$$

$$D_3 = (R_3 \times C)^T = (0.678, 0.632, 0.412, 0.432);$$

$$D_4 = (R_4 \times C)^T = (0.7, 0.588, 0.388, 0.478)。$$

所以,4 个投标方案的定性指标的特征值矩阵 D 可表示为:

$$D = (D_1, D_2, D_3, D_4)^T = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.544 & 0.412 & 0.5 \\ 0.656 & 0.544 & 0.456 & 0.478 \\ 0.678 & 0.632 & 0.412 & 0.432 \\ 0.7 & 0.588 & 0.388 & 0.478 \end{bmatrix}。$$

因此,4 个投标方案的指标特征值矩阵 X 可表示为:

$$X = \begin{bmatrix} 1250 & 260 & 0.7 & 0.544 & 0.412 & 0.5 \\ 1220 & 280 & 0.656 & 0.544 & 0.456 & 0.478 \\ 1200 & 300 & 0.678 & 0.632 & 0.412 & 0.432 \\ 1230 & 270 & 0.7 & 0.588 & 0.388 & 0.478 \end{bmatrix}。$$

2.4 确定相对最优方案指标集

容易确定相对最优方案指标集 $X_0 = (1200, 260, 0.7, 0.632, 0.456, 0.5)$, 选定最优指标集后,根据式(4)可构造矩阵 H:

$$H = \begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \dots \\ X_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1200 & 260 & 0.7 & 0.632 & 0.456 & 0.5 \\ 1250 & 260 & 0.7 & 0.544 & 0.412 & 0.5 \\ 1220 & 280 & 0.656 & 0.544 & 0.456 & 0.478 \\ 1200 & 300 & 0.678 & 0.632 & 0.412 & 0.432 \\ 1230 & 270 & 0.7 & 0.588 & 0.388 & 0.478 \end{bmatrix}。$$

2.5 指标值的规范化处理

采用极值法对矩阵 H 进行规范化处理,根据式(5)和式(6)可得矩阵 G:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0.35 & 1 \\ 0.6 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 0.35 \\ 1 & 0 & 0.5 & 1 & 0.35 & 0 \\ 0.4 & 0.75 & 1 & 0.5 & 0 & 0.35 \end{bmatrix}。$$

2.6 关联系数的确定

$$\text{容易求得, } |x_{ij}^* - x_{ij}| = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 1 \\ 0 & 1 & 0.5 \\ 0.6 & 0.25 & 0 \end{bmatrix}。$$

$\min_i \min_j |x_{ij}^* - x_{ij}| = 0, \max_i \max_j |x_{ij}^* - x_{ij}| = 1。$ 一般取 $\rho = 0.5$, 根据式(8)可求得第 i 个方案第 j 个指标与第 j 个最优指标的关联系数 ϵ_{ij} :

$$\epsilon_{ij} = (\min_i \min_j |x_{ij}^* - x_{ij}| + \rho \max_i \max_j |x_{ij}^* - x_{ij}|) / (|x_{ij}^* - x_{ij}| + \rho \max_i \max_j |x_{ij}^* - x_{ij}|) = 0.5 / (|x_{ij}^* - x_{ij}| + 0.5)。$$

由 ϵ_{ij} 可得关联系数矩阵 E:

$$E = \begin{bmatrix} 0.333 & 1 & 1 & 0.333 & 0.435 & 1 \\ 0.556 & 0.5 & 0.333 & 0.333 & 1 & 0.435 \\ 1 & 0.333 & 0.5 & 1 & 0.435 & 0.333 \\ 0.455 & 0.667 & 1 & 0.5 & 0.333 & 0.435 \end{bmatrix}。$$

2.7 综合评判结果的确定

根据关联系数矩阵 E 和指标权重向量 W, 根据式(10)可求得各投标方案的关联度 g_i :

$$g = E \times W^T = \begin{bmatrix} 0.333 & 1 & 1 & 0.333 & 0.435 & 1 \\ 0.556 & 0.5 & 0.333 & 0.333 & 1 & 0.435 \\ 1 & 0.333 & 0.5 & 1 & 0.435 & 0.333 \\ 0.455 & 0.667 & 1 & 0.5 & 0.333 & 0.435 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.32 \\ 0.24 \\ 0.16 \\ 0.16 \\ 0.08 \\ 0.04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6436 \\ 0.5019 \\ 0.6880 \\ 0.5897 \end{bmatrix}。$$

$g_3 > g_1 > g_4 > g_2$, 说明投标方案 X_3 与相对最优方案 X_0 最接近, 即选择 X_3 为最优方案。

3 结束语

评标是招标投标的核心,也是科学决策的前提。影响工程项目评标的因素既有定量指标也有定性指标。本文提出的基于灰色关联和模糊理论相结合的工程项目评标方法,主要利用已知信息来确定系统的未知信息,并且较好地实现了定性指标的定量化。其最大特点是对样本量没有严格的要求,也不需要典型的分布规律,计算方法简单易行,并且具有严密的逻辑推理和数学依据,同时对其他应用领域的评价问题也具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 邹和礼,赵晔生,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.
- [2] 潘彬,张得让. 政府采购招标项目评标方法——基于模糊

(下转第 57 页)

业。

参考文献

[1] 秦朵,宋海岩. 改革中的过度投资需求和效率损失[J]. 经济学季刊,2003(4):807-832.

[2] 庞明川. 中国的投资效率与过度投资问题研究[J]. 财经问题研究,2007(7):46-52.

[3] 张世贤. 工业投资效率与产业结构变动的实证研究[J]. 管理世界,2000(5):79-86.

[4] 韩立岩,王哲兵. 我国实体经济资本配置效率与行业差异[J]. 经济研究,2005(1):77-84.

[5] 周虹,林梨. DEA 方法在我国产业结构调整中的应用[J]. 知识丛林,2006(15):156-157.

[6] 高翔等. 基于 DEA 的新疆玉米生产效率地区差异分析[J]. 技术经济与管理研究,2008(5):118-121.

Research on Investment Efficiency of Industries' Fixed Assets in Shanxi Based on DEA

Liu Zhurong, Kong Rong

(School of Economics & Management, Northwest A & F University, Yangling Shanxi 712100, China)

Abstract : By using the data about the fixed assets investment and the industry output of 36 industries in Shanxi province in 2006, this paper empirically analyzes the investment efficiencies of fixed assets of 36 industries by the input-oriented model of Data Envelopment Analysis method. The result shows that :the investment efficiency of fixed assets of oil processing and coking industry is efficient ,and those of other industries in Shanxi are less than 0.8 ,but all in the stage of increasing returns to scale. Finally ,it gives improved goals and suggestions according to the causes that the investment efficiencies of fixed assets of most industries in Shanxi is low.

Key words : fixed assets investment ;investment efficiency ;data envelopment analysis ;Shanxi

(上接第 46 页)

数学综合评判分析方法[J]. 系统工程,2007,25(2):97-100.

[3] 郭亚军. 综合评价理论、方法与应用[M]. 北京:科学出版社,2007:14-15.

[4] 魏一鸣. 基于灰色关联度的矿山经营状况模糊层次分析[J]. 中国铝业,1995,19(3):28-32.

[5] 杜栋,庞庆华,吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京:清华大学出版社,2008:34-35.

A Method of Tender Evaluation for Engineering Project
Based on Grey Relation and Fuzzy Theory

Zhang Yi¹, Wang Xianjia^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Institute of Systems Engineering, 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 : This paper puts forward a method of tender evaluation for engineering project through combining the grey relational analysis with the fuzzy theory. The analysis result of case shows that this method helps to achieve the quantification of qualitative indicators successfully.

Key words : engineering project ;tender evaluation ;grey relational analysis ;fuzzy theory