模糊层次分析法在国际工程项目投标中的应用

孙忠强[1],王宝生[2],卢德梅[3]

(1.中国水利电力对外公司国内业务部,北京 100011;
2.北京工业大学建筑工程学院,北京 100022;3.北京海策工程咨询有限公司,北京 100055)

摘要:针对企业在国际工程项目投标中如何选择最适合本企业招标项目进行投标的问题,分析国际工程项目投标过程中所涉及的各种风险,提出采用群决策层次分析法,应用改进的二级模糊综合评价方法,建立多项目择优投标分析模型,并运用各个指标的不同权重来计算投标项目总的优先度,从而精确、客观地选择最适合本企业的投标项目。

关键词:国际工程项目投标;模糊综合评价法;层次分析法
中图分类号:F284 文献标识码:A 文章编号:1003-9511(2008)02-0046-04

国际工程施工的委托方式主要采用招投标的方式来选出理想的施工企业(承包商)。国际竞争性招标(又称国际公开招标)是目前世界上最普遍采用的成交方式。采用这种方式可以最大限度地挑起竞争,形成买方市场。但这种方式虽可以使业主方无论在价格还是在质量方面都能找到最有利于自己的承包商,然而,过于激烈的竞争往往导致承包商的利润大幅下降,有时承包商甚至以低于成本价报价。在这种情况下,承包商需要考虑的是,如何从多个招标项目中选择出最适合自身条件的项目进行投标。由于影响投标的因素很多,而大多数影响因素只能定性而很难定量分析,且同时进行招标的项目可能有好几个,各项目的情况又千差万别,这就要求承包商在综合考虑各种影响因素的基础上,对每一个招标项目进行科学而全面的分析,从中选取各项条件都最佳的项目进行投标,这将对承包商获取利润、开拓市场具有重要意义。

合理地选择项目进行投标是一个决策问题。决策通常是指在一组解决问题的方案中,选择最好或满意的方案[1]。模糊层次分析法即属于此类决策方法。笔者拟采用改进的二级模糊综合评价法和群决策层次分析法来建立投标分析模型,旨在帮助施工企业选择最适合本企业的项目进行投标。

1 模糊层次分析法

1.1 层次分析法及其计算步骤

层次分析(analytic hierarchy process,AHP)法是美国著名的运筹学家 Thomas 在 20 世纪 70 年代提出的一种实用的多准则决策方法。该方法本质上是一种决策思维方式,它把复杂的问题分解为各个组成因素,将这些因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构,通过两两比较的方式确定每一层次中相对重要的因素,然后在递阶层次结构内进行合成,得到决策因素相对于决策目标的重要性总排序。

在一般的决策过程中,决策者往往不可能给出精确的比较判断,这种判断上的不一致性可以由判断矩阵的特征根的变化反映出来。而 AHP 法引入了一致性指标,用以检验和保持决策者判断思维过程的一致性。

1.1.1 建立递阶层次结构

这是运用 AHP 法解决问题的最重要的一步,主要是将复杂问题分解为称之为元素的各组成部分,把这些元素按属性不同分成若干组,以形成不同层次。国际工程项目投标中的风险因素按其来源主要有:政治风险、经济风险、技术风险、公共关系风险[2]等。由此,建立的层次结构图如图 1 所示。

1.1.2 构造两两比较判断矩阵

AHP 法的关键是构造两两比较判断矩阵,它是

作者简介:孙忠强(1981—),男,河南信阳人,助理工程师,硕士研究生,主要从事工程项目管理研究。

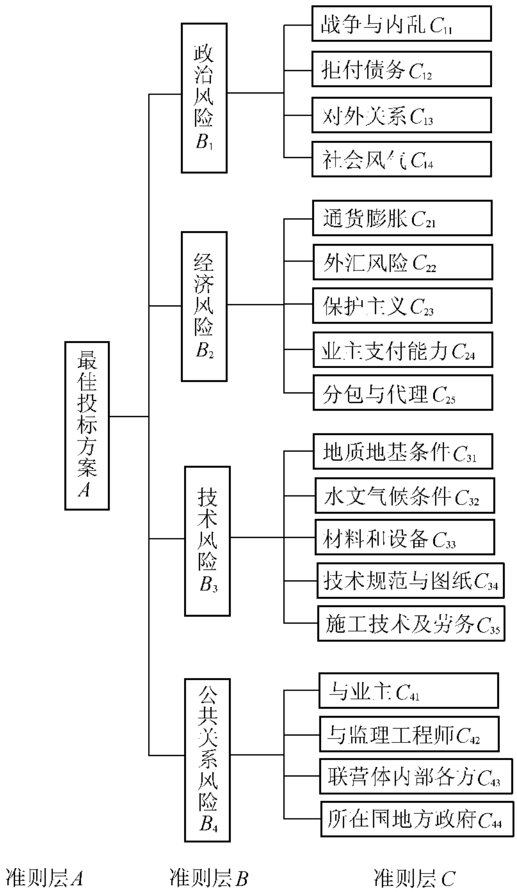

图 1　层次分析法递阶层次结构

以上一层元素准则将下一层支配元素两两比较，比较是用 1～9 标度法将其相对重要程度赋予一定数值而构造的。标度的含义如表 1 所示（若因素 i 与 j 比较得 a_{ij}，则因素 j 与 i 比较得到的判断为 $1/a_{ij}$）。

表 1　标度的含义

标度	含义
1	表示两个元素相比，具有同样重要性
3	表示两个元素相比，前者比后者稍微重要
5	表示两个元素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比，前者比后者极端重要

注：2，4，6，8 为上述相邻判断的中值（表中未列出）。

这里采用群决策方法，即德尔菲（Delphi）法。设专家组人数为 $m(m>1)$，评价指标为 $n(n>1)$，则关于 m 个专家对 n 个指标的判断，形成判断矩阵：

$$\boldsymbol{A}=(a_{ij})_{n\times n}=\begin{cases}\sum\limits_{i=1}^{m}b_{ijx}\Big/m & i<j\\ 1 & i=j\\ m\Big/\sum\limits_{i=1}^{m}b_{ijx} & i>j\end{cases}\qquad(1)$$

式中：b_{ijx} 为第 x 个专家关于指标 i 与指标 j 对于目标重要程度的比较值，用线性标度 1～9 表示（表 1）。$\boldsymbol{A}$ 的最大特征根所对应的特征向量即为对应指标的权重向量。

1.1.3　判断矩阵的求解及其一致性检验

求解判断矩阵 A 的最大特征根及其对应的特征向量往往比较繁琐，工程实际中一般对精确度要求不是很高，在这种情况下可以采用简易的方根法计算。其算法步骤如下[3-4]：

a. 计算矩阵每一行元素的乘积：$M_i=\prod\limits_{j=1}^{n}a_{ij}$。

b. 计算 M_i 的几何平均数：$\overline{W}_i=\sqrt[n]{M_i}$。

c. 归一化处理：对向量 $\overline{\boldsymbol{W}}=(\overline{W}_1,\overline{W}_2,\cdots,\overline{W}_n)^{\mathrm T}$，有 $W=\dfrac{\overline{W}_i}{\sum\limits_{j=1}^{n}\overline{W}_j}$。则向量 $\boldsymbol{W}=(W_1,W_2,\cdots,W_n)^{\mathrm T}$ 既为所求的特征向量。

d. 计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$：最大特征根计算公式为 $\lambda_{\max}=\sum\limits_{i=1}^{n}\dfrac{(\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{W})_i}{n\cdot\boldsymbol{W}_i}$，式中 $(\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{W})_i$ 为向量 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{W}$ 的第 i 个分量。

e. 一致性检验：用以检验决策者在构造判断矩阵时的思维是否一致。通常所用的指标为随机一致性比率 CR。$CR=\left(\dfrac{\lambda_{\max}-n}{n-1}\right)/RI$，其中 RI 为平均随机一致性指标，RI 的取值见表 2。

表 2　平均随机一致性指标 RI 与阶数关系

阶数	RI	阶数	RI
3	0.58	7	1.32
4	0.90	8	1.41
5	1.12	9	1.45
6	1.24		

当随机一致性比率 $CR<0.10$ 时，即认为判断矩阵具有满意的一致性要求，否则，由于判断矩阵偏离一致性过大，需要考虑对判断矩阵进行修正。

1.2　模糊综合评价法及其评价步骤

模糊评价（fuzzy）法是利用模糊数学理论对现实世界中广泛存在的那些模糊的、不确定的事物进行量化，从而做出相对客观、正确、符合实际的评价，进而解决具有模糊性的实际问题，其主要目的是为人类智能信息处理工程如决策、大规模复杂管理和经济大系统提供一种解决问题的模型[5]。

模糊综合评判方法是用单因素隶属函数来表示某个因素对评判对象的影响，然后利用加权法综合各个因素对评判对象的影响，最终得到关于该评判对象的综合评判。在选择投标项目的实际操作过程中，由于评价指标比较复杂，故采用二级模糊综合评价模型[6]。

1.2.1　建立因素集

给定因素集 U，对 U 作划分 P，把它分成 n 个

子集 $U_1, U_2, \cdots, U_n$，满足 $U_1 + U_2 + \cdots + U_n = U$，$U_i \cap U_j = \varphi, i \neq j (i, j = 1, 2, \cdots, n)$，则可得到第二层次因素集合：$\frac{U}{P} = U_1, U_2, \cdots, U_n$。

1.2.2 一级模糊综合评判

设 $U_1 = U_{11}, U_{12}, \cdots, U_{1K}$，$U_1$ 的各因素权重分配向量 $\boldsymbol{W}_1$ 由层次分析法计算结果确定，假设 U_1 的评语集合为 $V_1 = \{v_1, v_2, \cdots, v_v\}$（下标 v 表示评语集元素个数），同时给出每个评语等级所对应的评价尺度 X，即 $\{v_1, v_2, \cdots, v_v\} = \{x_1, x_2, \cdots, x_v\}$。对 U_1 的每个评价指标进行单因素评价，可得评价矩阵 $\boldsymbol{R}_j = (r_{j1}, r_{j2}, \cdots, r_{jv})$，其中，$r_{ji} (i = 1, 2, \cdots, v)$ 表示第 j 个评价指标给予评语 v_i 的隶属度。对 U_1 作综合评判，则可得到综合评判矩阵：$\boldsymbol{B}_1 = \boldsymbol{W}_1 \boldsymbol{R} = \boldsymbol{W}_1 (\boldsymbol{R}_1, \boldsymbol{R}_2, \cdots, \boldsymbol{R}_K)^{\mathrm{T}}$，其中 K 表示因素集 U_1 中评价指标个数。

1.2.3 二级模糊综合评判

对 $\frac{U}{P}$ 的所有因素均进行综合评价后，就得到总的评判矩阵：$\boldsymbol{B} = (\boldsymbol{B}_1, \boldsymbol{B}_2, \cdots, \boldsymbol{B}_n)^{\mathrm{T}}$，设 $\frac{U}{P}$ 的权重分配为 $\boldsymbol{W}$，则对 $\frac{U}{P}$ 的二级模糊判断向量为：$\boldsymbol{U} = \boldsymbol{WB}$，其中，$\boldsymbol{W}$ 由层次分析法计算结果确定。

按照上述步骤，可以对 y 个判断矩阵对象（即参选方案）进行判断，最后得出各个对象的综合判断向量：$\boldsymbol{U}_y = (u_1, u_2, \cdots, u_v)$。

1.2.4 计算方案优先度

对所有参加评审的 y 个方案，根据综合评判向量 $\boldsymbol{U}_y = (u_1, u_2, \cdots, u_v)$ 及评价尺度 $V = \{v_1, v_2, \cdots, v_v\} = \{x_1, x_2, \cdots, x_v\}$ 可计算出各方案的模糊综合判断的总分值为 $S_y = u_1 x_1 + u_2 x_2 + \cdots + u_v x_v$，然后根据总分值的高低进行排序，得分最高者为最优方案。

2 实例计算

一大型水库工程为某核电站工程的配套水库工程，是保证电站安全运行的重要组成部分。该工程项目现实行公开招标。招标公告中规定：具有一级企业法人资格的施工企业只允许投 1 个标段。为此，某施工企业根据自身的情况决定从大坝标段、溢洪道标段、引水洞标段 3 个标段中选择 1 个进行投标。负责投标工作的专家组成员有 3 人，根据他们在这个领域里各自的背景和经历来划分他们的权重，分别为 0.5，0.3，0.2。

采用的是让 3 位专家分别对各个指标进行打分比较，并采用加权平均的方法求得最后的结果。首先对大坝标段（方案）进行分析。

a. 建立递阶层次结构（图 1）。

b. 判断矩阵 $\boldsymbol{B}_A$（即相对于总目标 A 各因素之间的相对重要性比较），见表 3。同理可以得到判断矩阵 $\boldsymbol{C}_{B_1}, \boldsymbol{C}_{B_2}, \boldsymbol{C}_{B_3}, \boldsymbol{C}_{B_4}$，见表 4。

c. 用模糊综合评价方法对各方案进行模糊综合评价：将因素集按照准则层的指标划分为 U_1, U_2, U_3, U_4 4 个子集，并可以知道这 4 个子集满足：$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = U$，且 $U_i \cap U_j = \varphi, i \neq j, i, j = 1, 2, 3, 4$。

这里选择的评判评语集合为：$V = \{$很好，好，一般，差，很差$\}$，所对应的评判尺度集合为：$X = \{1.0, 0.8, 0.5, 0.2, 0\}$。

对于因素子集 U_1，现分别让 3 位专家为每个指标进行模糊综合评价，结果如表 5 所示。

表 3 相对总目标 A 各因素之间相对重要性比较

$\boldsymbol{B}_A$	专家 1 评价结果				专家 2 评价结果				专家 3 评价结果				按权重修正后的综合评价结果			
	$\boldsymbol{B}_1$	$\boldsymbol{B}_2$	$\boldsymbol{B}_3$	$\boldsymbol{B}_4$	$\boldsymbol{B}_1$	$\boldsymbol{B}_2$	$\boldsymbol{B}_3$	$\boldsymbol{B}_4$	$\boldsymbol{B}_1$	$\boldsymbol{B}_2$	$\boldsymbol{B}_3$	$\boldsymbol{B}_4$	$\boldsymbol{B}_1$	$\boldsymbol{B}_2$	$\boldsymbol{B}_3$	$\boldsymbol{B}_4$
$\boldsymbol{B}_1$	1	0.1429	0.3333	2	1	0.1667	0.5	3	1	0.1429	0.5	2	1	0.15	0.4167	2.3
$\boldsymbol{B}_2$	7	1	5	9	6	1	5	8	7	1	3	8	6.7	1	4.6	8.5
$\boldsymbol{B}_3$	3	0.2	1	2	2	0.2	1	2	2	0.3333	1	1	2.5	0.2267	1	1.8
$\boldsymbol{B}_4$	0.5	0.1111	0.5	1	0.3333	0.125	0.5	1	0.5	0.125	1	1	0.45	0.1181	0.6	1
$\boldsymbol{W}_i$	0.0893	0.6770	0.1682	0.0656	0.1185	0.6594	0.1584	0.0636	0.1007	0.6897	0.1302	0.0795	0.1015	0.6632	0.1657	0.0697
$\lambda_{\max}$	4.1262				4.1378				4.1648				4.1773			
CR	0.0473（<0.1，计算有效）				0.0516（<0.1，计算有效）				0.0617（<0.1，计算有效）				0.0684（<0.1，计算有效）			

注：W_i 为第 i 个专家对准则层各因素相对于总目标层相对重要性比较得到的权重值（$i = 1, 2, 3$）。

表 4 按权重修正后的综合评价结果

判断矩阵	W_i	$\lambda_{\max}$	CR
$\boldsymbol{C}_{B_1}$	$[0.5538 \quad 0.0861 \quad 0.2171 \quad 0.1430]$	4.1670	0.0626（<0.1）
$\boldsymbol{C}_{B_2}$	$[0.2501 \quad 0.5949 \quad 0.0514 \quad 0.0578 \quad 0.0458]$	5.3959	0.0884（<0.1）
$\boldsymbol{C}_{B_3}$	$[0.4233 \quad 0.1567 \quad 0.0399 \quad 0.3833 \quad 0.0417]$	5.1739	0.0308（<0.1）
$\boldsymbol{C}_{B_4}$	$[0.1656 \quad 0.7092 \quad 0.0455 \quad 0.0797]$	4.2336	0.0875（<0.1）

表 5　模糊综合评价结果

评判对象	评语		
	专家 1	专家 2	专家 3
C_{11}	好	好	一般
C_{12}	好	好	一般
C_{13}	好	好	一般
C_{14}	好	好	一般

根据模糊综合评价结果构造模糊判断矩阵，对每个指标而言，同意上述评判评语的人数之和应该是专家总人数。将每个评判评语下同意的专家人数与总的专家人数相除所得到的数值即为该指标对应于评语集的隶属度。分别计算各指标的隶属度就可得到模糊判断矩阵 $\boldsymbol{R}$：

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix}0 & 0.6667 & 0.3333 & 0 & 0\\ 0 & 0.6667 & 0.3333 & 0 & 0\\ 0 & 0.6667 & 0.3333 & 0 & 0\\ 0 & 0.6667 & 0.3333 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

由层次分析法计算结果可知，U_1 的各因素权重分配为 $\boldsymbol{W}_1=(0.5538,0.0861,0.2171,0.1430)$，则有 $\boldsymbol{B}_1=\boldsymbol{W}_1\boldsymbol{R}$，即为准则层 B_1 中各指标的模糊综合评判结果：

$$\boldsymbol{B}_1=(0,0.6667,0.3333,0,0)$$

同理可得另外 3 个子集的模糊综合评价结果：

$$\boldsymbol{B}_2=(0.0153,0.1139,0.8194,0.0514,0)$$

$$\boldsymbol{B}_3=(0.3522,0.1199,0.1933,0.3344,0)$$

$$\boldsymbol{B}_4=(0.2364,0.7889,0.2377,0,0)$$

则可得到综合模糊判断矩阵：

$$\boldsymbol{B}=(\boldsymbol{B}_1,\boldsymbol{B}_2,\boldsymbol{B}_3,\boldsymbol{B}_4)^{\mathrm{T}}=\begin{bmatrix}0 & 0.6667 & 0.3333 & 0 & 0\\ 0.0153 & 0.1139 & 0.8194 & 0.0514 & 0\\ 0.3522 & 0.1199 & 0.1933 & 0.3344 & 0\\ 0.2364 & 0.7889 & 0.2377 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

由层次分析法计算结果可知，U_1，U_2，U_3，U_4 4 个子集的权重向量分配为 $\boldsymbol{W}=(0.1015,0.6632,0.1657,0.0697)$，则有二级综合评判结果 $\boldsymbol{U}=\boldsymbol{WB}$。

$$\boldsymbol{U}=(0.0850,0.2519,0.6935,0.0850,0)$$

此综合评判向量即为大坝标段（方案 1）对应于评语集合的总的隶属度。再由方案的综合评判向量和评价尺度集合即可得到方案 1 的综合评判分值 S_1。于是方案 1 的评合评判分值

$$S_1=u_1x_1+u_2x_2+\cdots+u_5x_5=0.5849$$

同理可以得到其他标段（方案）的综合评判分值：溢洪段标段（方案 2）$S_2=0.7324$；引水洞标段（方案 3）$S_3=0.7191$。于是有 $S_2>S_3>S_1$。由评判结果可知，企业选择溢洪道标段（方案 2）进行投标的胜算较大。

3　结　语

承包商为从多个招标项目中选择出最适合自身条件的项目进行投标可以采用 AHP 和模糊评价相结合的方法进行评判，以最大限度地减少人为偏好的影响，比较方便、客观地选择最优的项目投标。需要说明的是，笔者在此只是给出了选择最优投标方案的一种方法，所给出的有关数据、用 AHP 法确定的递阶层次结构等，对于不同的项目特别是国际工程中不同地区的项目均有所不同，在建立递阶层次结构时，需根据具体的项目及所处的周边环境、项目建设的时间等因素综合考虑确定。在确定不同的专家对各评价指标打分的权重时，往往需要根据各自企业的情况或特点来确定。

参考文献：

[1] 苏晓英.国际工程投标中联营体伙伴选择的层次分析法[J].科技情报与经济，2003，13(3)：180.

[2] 何伯森.国际工程招标与投标[M].北京：水利电力出版社，1994：209-221.

[3] 许树柏.层次分析法原理[M].天津：天津大学出版社，1988：6-13.

[4] 王明明，赵宝元，刘小峰.运筹与决策基础[M].北京：中国林业出版社，2001：38-46.

[5] 蔡明瑞，黄志强.模糊综合评价法在银行贷款风险分类中的应用[J].合作经济与科技，2004(12)：22-23.

[6] 黄卫.模糊数学在高等级公路路面选型中的应用[J].系统工程理论与实践，1999(11)：71-79.

（收稿日期：2007-11-16　编辑：彭桃英）