

基于证据推理的工程项目投标风险决策方法

张朝勇,王卓甫

(河海大学商学院,江苏 南京 210098)

摘要 :针对工程项目投标决策中涉及处理大量不确定性和未知信息问题 ,从业主情况、自身情况、项目情况、竞争对手情况以及项目所在地的社会环境状况 5 个角度分析了工程投标风险决策应考虑的主要因素 ,建立工程项目投标风险综合评价体系。在此基础上 ,提出了基于 D-S 证据推理的工程项目投标风险方法 ,介绍了具体的决策过程及风险评价算法的步骤。算例验证了该方法在工程项目投标风险评价领域的可行性、有效性和实用性。

关键词 :工程项目 ;招投标 ;D-S 证据推理 ;风险决策

中图分类号 :C934 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-764X(2007)06-0032-05

Evidence reasoning-based bidding risk evaluation method for engineering projects//ZHANG Chao-yong , WANG Zhuo-fu
(Business School , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :In consideration of the fact that the decision-making for bidding in engineering projects involves a great deal of uncertainty and unknown information , some main factors which should be considered in decision-making for bidding were discussed from some aspects , such as the states of owners , bidders and rivals , the project situation , and the social environment of the projects , and a comprehensive evaluation system for bidding risk was established. Then , the D-S evidence reasoning-based method and its algorithm for bidding risk evaluation were proposed , and the feasibility , effectiveness , and applicability of the algorithm in bidding risk evaluation of engineering projects were verified by case study.

Key words : engineering project ; bidding ; D-S evidence reasoning ; risk decision-making

1 问题的提出

面对一个或多个招标项目 ,是否参与投标以及选择哪些项目投标 ,是施工企业经常面对的决策问题。每标必投 ,必然消耗大量的人力、物力及财力 ,实际上也不现实。工程项目投标受到各种风险因素的影响。在做出投标决定前对拟投标项目总体风险水平进行客观评价 ,选择风险水平较低的项目来投标 ,可以有效地减少或避免无效投标 ,是企业在投标决策中首先必须解决的问题。

在 Friedman^[1]模型中 ,投标商在确定报价时 ,通过计算承包商与每一个竞争对手的历史报价数据相比的赢率来确定中标概率 ,运用特定标价的中标概率 ,通过最优化解得出承包商利润的最大期望值 ,并以此报价作为最优报价。显然 ,Friedman 模型仅仅考虑了单一的风险因素 ,即竞争对手的报价水平。但是现实中竞争对手的历史报价水平可能不容易获得 ,也可能竞争对手是一个新对手 ,根本没有历史报价资料。目前 ,在我国建筑买方市场条件下 ,拖欠工

程款、垫资承包、行业分割、暗箱操作等现象大量存在。施工企业在进行投标决策时往往需考虑多种风险因素 ,如业主的授标意向、项目的所在地、项目的规模、施工企业自身实力以及有无“陪标”等暗箱操作行为等。

以上因素有定性的 ,也有定量的 ,对于如此众多的因素 ,要建立精确的数学模型往往很困难 ,也不现实。针对投标的多风险因素的综合评价问题 ,许多新的方法被提出或被借鉴应用。应用得比较多的是层次分析法^[2]及模糊综合评判法^[3]。除此以外还有很多新方法 ,文献[4]在主成分分析的基础上建立了投标的多参数决策模型 ,文献[5]运用灰聚类的方法对多因素进行聚类并采用灰关联神经网络对报价进行预测。文献[6-7]针对投标的风险因素的模糊性 ,把模糊逻辑理论应用到投标中来。文献[8-9]采用人工神经网络(ANN)对投标样本进行训练学习从而预测投标报价。文献[10-12]提出了基于案例推理(CBR)的报价决策规则 ,文献[13]提出了综合各种规则的投标专家决策系统(ES) ,这些研究成果为多

风险因素投标决策提供了很好的手段,但是上述方法如 ANN, CBR, ES 都是基于完整历史数据的推理。目前,我国许多企业数据库还未建立起来,运用中存在或多或少的困难。在实际工程中,由于时间、空间、技术、经济等的限制,针对项目的信息收集不可能很全面,加之有的信息也是动态变化的,决策者往往在信息不完全、不确定的情况下做出决策。

D-S 证据理论是一种不确定性推理方法,能够处理由“不确定性”和“不知道”引起的不精确性,能够较好地处理具有模糊和不确定信息的合成问题。因此,本文尝试性地提出了基于 D-S 证据推理的工程投标多风险因素决策方法,在分析影响投标风险决策主要因素的基础上,建立了工程投标风险决策的综合评价体系,给出了证据推理的决策过程以及算法,最后给出了算例证明。

2 D-S 证据理论简述

证据理论首先由 Dempster 在 20 世纪 60 年代提出“上、下概率”及其合成规则,后来由 Shafer 加以扩充和发展,在其 1976 年出版的专著《证据理论的数学基础》中正式建立,因此又称之为 D-S 理论^[14-15]。它在专家系统的不确定推理中已经得到了广泛的应用。D-S 证据理论引入了信任函数,满足比概率较弱的公理。在贝叶斯推理方法中,一般先验概率很难获得,但又不得不给出,这时概率论就显得无能为力了。证据理论可以区分“不确定性”和“不知道”,因而用它来处理这种由“不知道”引起的“不确定性”,显得比概率论更适合^[16]。

定义 1 设 Θ 为识别框架,若集函数 $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ 满足:

$$m(\emptyset) = 0 \quad \sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1$$

则称 m 为 Θ 上基本概率指派函数,或称 mass 函数,表示证据对结论的支持程度,即 $m(A)$ 表示对 A 的可信度分配。

定义 2 信任函数 Bel 定义为

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad \forall A \subseteq \Theta \quad (1)$$

如果一个集合的 $m(A) > 0$, 则称该集合为信任函数的焦元,如果所有的焦元都仅由单元素构成,此时信任函数就变为一个概率度量。

定义 3 似然函数 Pl 定义为

$$Pl(A) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B) \quad \forall A \subseteq \Theta \quad (2)$$

定义 4 假设有 n 个独立证据,其 mass 函数分别为 $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n$, 利用 D-S 证据合成规则可合成一个新的 mass 函数。其公式如下:

$$m(A) = \begin{cases} 0 & A = \emptyset \\ \frac{\sum_{\substack{\cap A_i = A \\ 1 \leq i \leq n}} \prod_{1 \leq i \leq n} m_i(A_i)}{1 - \sum_{\substack{\cap A_i \neq \emptyset \\ 1 \leq i \leq n}} \prod_{1 \leq i \leq n} m_i(A_i)} & A \neq \emptyset \end{cases} \quad (3)$$

式中 $m(A)$ 表示 n 个独立证据对命题 A 的联合支持程度。似然函数 $Pl(A)$ 反映可能性,它是概率上限函数,信任函数 $Bel(A)$ 反映必然性,它是概率下限函数。由式(1)、(2)得到 $Pl(A) \geq Bel(A)$, 称 $[Bel(A), Pl(A)]$ 为 A 的置信区间。因此,置信区间就描述了命题 A 的不确定性。

3 工程项目投标风险综合评价体系

工程项目投标风险评价的目的是企业在面对拟投标项目时根据各方面的情况,做出一个能获得中标概率大且中标后能得到合理利润的决策方案。投标决策是一个复杂的系统工程,涉及众多因素。不同的工程风险因素可能不一样,风险的划分标准和评价体系也可能不一样。文献 2 针对 BOT 项目,把影响投标报价的主要风险因素归纳为投标人因素、招标人因素、竞争因素、项目因素、环境因素以及宏观经济因素。文献 17 针对国际工程按照风险的危害程度把风险分成致命危害风险、严重危害风险以及一般危害风险,并建立风险评价体系。文献 13 按照风险的来源把影响投标报价的因素分成 3 类:环境因素、项目因素以及企业自身因素。不同的学者考虑的因素也不一样。参考文献 2、4-5、12、17 并结合目前我国一些招投标实际现状,本文考虑 5 个方面因素:业主情况、企业自身情况、项目情况、竞争对手情况以及项目所在地的社会环境状况,建立工程项目投标风险综合评价体系(表 1)。

4 综合评价问题的描述

工程项目投标风险决策目标为工程投标风险的综合评价。设一级指标集合 $X = \{X_i | i = 1, 2, \dots, 5\}$, $X_i \cap X_j = \emptyset (i \neq j)$, 指标相对权重为 $w_i (i = 1, 2, \dots, 5)$, 由 AHP 法,采用 1~9 度标度方法,可得其相对权重,见表 1。

一级指标 X_i 有 j_i 个二级指标,记作 $X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij_i}\}$, 其中 X_{ij_i} 表示 X_i 的第 j_i 个指标。 w_{ij_i} 为二级指标的相对权重,同样采用 AHP 法,可得其相对权重,见表 1。设拟投标的工程项目集为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_e, \dots, U_n\}$, 专家集为 $DM = \{DM_1, DM_2, \dots, DM_m\}$ 。

表 1 3 个专家关于项目 A,B,C 的评价信息

X_i	X_{ij_i}	权重	$H_k^X(DM_1,DM_2,DM_3)$	$H_k^X(DM_1,DM_2,DM_3)$	$H_k^X(DM_1,DM_2,DM_3)$
业主情况 X_1 (0.333)	资金力量 X_{11}	0.235	强(0.6 0.5 0.7) 一般(0.4 0.4 0.3)	较强(0.4 0.5 0.7) 一般(0.6 0.5 0.3)	强(0.6 0.5 0.6) 一般(0.4 0.5 0.4)
	业主信誉 X_{12}	0.106	好(0.7 0.4 0.6) 差(0.2 0.5 0.3)	好(0.6 0.4 0.5) 较差(0.4 0.5 0.4)	较好(0.5 0.4 0.5) 差(0.5 0.5 0.4)
	后续项目 X_{13}	0.161	有(1 1 1)	无(1 1 1)	未知
	授标意向 X_{14}	0.428	明确(0.2 0.3 0.3)	未知	较明确(0.3 0.4 0.6)
	管理能力 X_{15}	0.070	较好(0.4 0.5 0.7) 一般(0.6 0.5 0.3)	较好(0.6 0.5 0.7) 一般(0.4 0.5 0.3)	较好(0.7 0.5 0.7) 一般(0.3 0.5 0.3)
自身情况 X_2 (0.123)	管理水平 X_{21}	0.043	一般(0.45 0.55 0.6) 差(0.55 0.45 0.4)	好(0.4 0.6 0.5) 一般(0.6 0.4 0.4)	较差(0.3 0.6 0.4) 差(0.7 0.4 0.6)
	施工能力 X_{22}	0.075	强(0.4 0.6 0.8) 较弱(0.6 0.4 0.2)	一般(0.5 0.6 0.6) 弱(0.5 0.4 0.4)	一般(1 1 1)
	资金实力 X_{23}	0.174	好(0.7 0.6 0.8), 一般(0.3 0.4 0.2)	好(0.5 0.6 0.7) 一般(0.6 0.4 0.3)	好(0.4 0.6 0.8), 较差(0.6 0.4 0.2)
	类似工程经验 X_{24}	0.129	丰富(0.7 0.6 0.8) 少(0.3 0.4 0.2)	丰富(0.4 0.6 0.8) 较少(0.6 0.4 0.2)	丰富(0.3 0.4 0.5) 少(0.6 0.4 0.4)
	投标策略 X_{25}	0.259	高(0.7 0.5 0.8) 一般(0.3 0.5 0.2)	较低(0.4 0.6 0.8) 低(0.6 0.4 0.2)	一般(0.4 0.6 0.8) 低(0.6 0.4 0.2)
	与业主关系 X_{26}	0.321	较好(0.6 0.45 0.65) 一般(0.4 0.4 0.35)	一般(0.4 0.6 0.8) 无(0.6 0.4 0.2)	有点关系(0.6 0.7 0.8)
项目情况 X_3 (0.274)	工期要求 X_{31}	0.091	紧(0.7 0.8 0.6)	较紧(0.55 0.7 0.7) 一般(0.45 0.3 0.3)	一般(0.5 0.8 0.7)
	质量要求 X_{32}	0.138	高(0.9 0.7 0.8), 低(0.1 0.2 0.1)	高(0.7 0.8 0.75) 较低(0.3 0.2 0.25)	高(0.3 0.6 0.5) 一般(0.7 0.4 0.5)
	工程复杂性 X_{33}	0.062	复杂(0.2 0.4 0.3) 一般(0.8 0.6 0.7)	较复杂(0.4 0.6 0.8) 一般(0.6 0.4 0.2)	一般(0.6 0.6 0.8) 不复杂(0.4 0.3 0.2)
	投资金额 X_{34}	0.061	一般(0.8 0.6 0.5) 小(0.1 0.2 0.3)	较大(0.55 0.65 0.75) 中(0.45 0.35 0.25)	大(0.5 0.6 0.9), 中(0.5 0.4 0.1)
	合同条款 X_{35}	0.178	严格(0.4 0.6 0.8) 一般(0.6 0.4 0.2)	较严(0.6 0.6 0.8) 一般(0.4 0.4 0.2)	一般(0.6 0.4 0.5)
	资源需求强度 X_{36}	0.251	较大(0.5 0.4 0.4) 较小(0.5 0.6 0.6)	大(0.6 0.5 0.7) 小(0.4 0.5 0.3)	较大(0.5 0.6 0.7) 中(0.5 0.4 0.3)
	预期利润率 X_{37}	0.220	较高(0.6 0.7 0.5) 一般(0.4 0.3 0.5)	较高(0.7 0.5 0.6) 一般(0.3 0.5 0.4)	较低(0.6 0.6 0.7) 低(0.4 0.4 0.3)
竞争对手情况 X_4 (0.191)	实力强弱 X_{41}	0.292	强(0.4 0.6 0.9) 一般(0.6 0.4 0.1)	较强(0.6 0.6 0.8) 一般(0.4 0.4 0.2)	一般(0.55 0.6 0.7) 较弱(0.45 0.4 0.3)
	夺标意向 X_{42}	0.107	强(0.8 0.6 0.8) 一般(0.2 0.4 0.2)	未知	强(1 1 1)
	与业主的关系 X_{43}	0.414	好(0.3 0.4 0.5) 较差(0.7 0.6 0.5)	较好(0.7 0.6 0.5) 较差(0.3 0.4 0.5)	未知
	投标单位数目 X_{44}	0.187	未知	多(0.5 0.6 0.8) 一般(0.5 0.4 0.2)	较多(0.6 0.6 0.8) 一般(0.4 0.4 0.2)
项目所在地社会环境 状况 X_5 (0.079)	法制健全程度 X_{51}	0.106	较好(0.5 0.6 0.7) 一般(0.5 0.4 0.3)	好(0.6 0.7 0.8) 一般(0.4 0.3 0.2)	一般(0.5 0.6 0.7) 较差(0.5 0.4 0.3)
	政府官员效率 X_{52}	0.072	高(0.4 0.6 0.8) 一般(0.6 0.4 0.2)	较高(0.7 0.6 0.8) 较差(0.3 0.4 0.2)	较差(0.6 0.7 0.8) 差(0.4 0.3 0.2)
	社会治安 X_{53}	0.234	较差(0.3 0.6 0.5) 差(0.7 0.4 0.5)	好(0.8 0.6 0.7) 一般(0.2 0.4 0.3)	好(0.3 0.5 0.4) 一般(0.7 0.5 0.6)
	基础设施 X_{54}	0.151	好(0.5 0.6 0.8) 一般(0.5 0.4 0.2)	较差(0.4 0.6 0.8) 差(0.6 0.4 0.2)	较好(0.5 0.6 0.8) 一般(0.5 0.4 0.2)
	材料、设备、人员获取的 难易程度 X_{55}	0.437	容易(0.4 0.7 0.6) 难(0.6 0.3 0.4)	一般(0.7 0.9 0.8) 不容易(0.3 0.1 0.2)	较容易(0.4 0.3 0.4) 难(0.6 0.7 0.6)

... , DM_L);专家的相对权重设为 $w_{DM} = \{w_{DM_1},w_{DM_2}, \dots ,w_{DM_L}\}$;专家的评语等级表示为 $H = \{H_k | k = 1, 2, 3, 4, 5\}$,例如{好 ,较好 ,一般 ,较差 ,差 } , H 作为

识别框架。设评语的量化值分数为 $p(H) = \{p(H_1),p(H_2),p(H_3),p(H_4),p(H_5)\} = \{1,0.5, 0,-0.5,-1\}$, $\sum_{i=1}^5 p(H_i) = 0^{[18]}$,专家根据知识、经

验及偏好对投标风险综合评价体系的二级指标在评语等级 H 上分别赋予置信度 $\beta_{ij,k} (i = 1\ 2\ 3\ 4\ 5; k = 1\ 2\ 3\ 4\ 5)$, 满足 $0 \leq \beta_{ij,k} \leq 1, \sum_{k=1}^5 \beta_{ij,k} \leq 1$ 。

$H_k(\beta_{ij,k})$ 的含义为二级指标 X_{ij_i} 关于评语 H_k 的置信度为 $\beta_{ij,k}$, $H_{\Theta}(\beta_{ij,k})$ 表示二级指标未知程度为 $\beta_{ij,k}$ 。

运用证据推理模型可以把不确定、不完全的定性决策区别开来,对每一个指标用一个信度来表达不同评价等级下的判断。使用证据推理方法,能使专家更灵活地表达自己的主观判断,以及对信息的掌握程度,从而使得项目投标风险评价中属性决策的表达具有一定的优越性。为了对拟投标的多个工程项目投标风险进行评价,首先需要获取项目的指标(属性)值信息。针对投标中大量的定性属性,由于环境复杂以及信息的不完备性,难以做出完全准确的判断。因此,针对某一评价指标,用不同评价等级下的信度 $H_k(\beta_{ij,k})$ 来表示。此过程中,由于决策问题的复杂性、不确定性和对问题的不熟悉,专家可能会提供不完整估计信息。如对于工程项目的“与业主的关系”,根据评价等级,专家对 $X_{ij_i}(\beta_{ij,k})$ 作出如下判断:有 0.7 的把握判定与业主关系“好”(H_1),有 0.2 的把握断定关系“一般”(H_3),在此,“好”和“一般”是评价等级集合中的两个不同的评价等级,0.7 和 0.2 是置信度,在此评价中,置信度之和为 0.9,小于 1,表示专家对 $X_{ij_i}(\beta_{ij,k})$ 的判断是不完全的。以这种形式表示属性值的优点是,它能描述专家主观判断上的不确定性和不完全性。根据证据推理模型及其在多属性评价决策中的应用原理^[19-20],把指标(属性)集 $X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij_i}\}$ 看成是该理论的证据,将评语等级 $H = \{H_k | k = 1\ 2\ 3\ 4\ 5\}$ 看成是识别框架,即可进行相应的决策过程。其决策过程如图 1 所示。

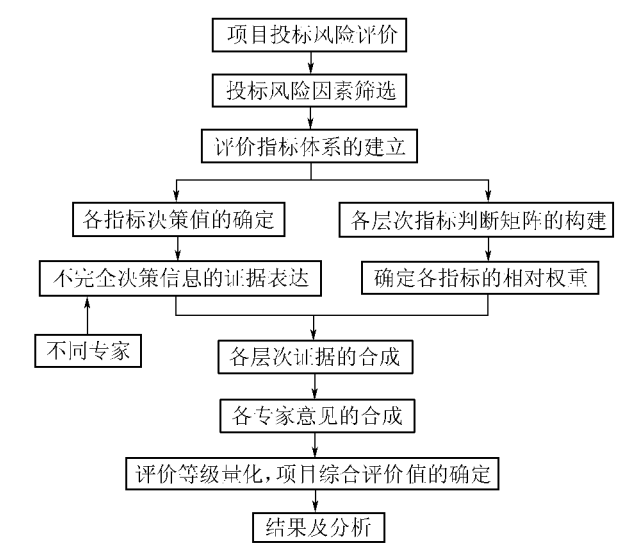


图 1 工程项目投标风险决策过程

5 基于证据推理的投标风险评价算法

结合上述的决策过程(图 1),可得投标风险评价算法步骤如下^[18-19\ 21]:

步骤 1 建立工程项目投标风险评价体系,确定各层次指标以及对应权重。

步骤 2 确定各二级指标的 mass 函数。根据专家给出的二级指标在评语等级 H_k 上的置信度 $\beta_{ij,k}$ 和各二级指标的相对权重 w_{ij_i} ,计算出各指标的 mass 函数 $m_{ij_i}(H_k | X_{ij_i})$,设指标中权重最大的指标为关键指标。

设关键指标为 X_{ij_r} ,构造 mass 函数:

$$m_{ij_r}(H_k | X_{ij_r}) = \alpha \beta_{ij_r,k} \quad (4)$$

$$m_{ij_i}(H_{\Theta} | X_{ij_r}) = 1 - \sum_{k=1}^5 m_{ij_i}(H_k | X_{ij_r}) \quad (5)$$

式中系数 α 为“折扣率”^[21],反映作为证据的关键指标在多大程度上以置信度 $\beta_{ij,k}$ 支持上一级指标, α 取值范围为 $(0, 1]$,这里取 $\alpha = 0.9$ 。 $m_{ij_i}(H_{\Theta} | X_{ij_r})$ 表示该关键指标对上一级指标支持度的未知程度。

设非关键指标为 X_{ij_q} ,计算其 mass 函数:

$$m_{ij_q}(H_k | X_{ij_q}) = (w_{ij_q} / w_{ij_r}) \alpha \beta_{ij_q,k} \quad (6)$$

$$m_{ij_q}(H_{\Theta} | X_{ij_q}) = 1 - \sum_{k=1}^5 m_{ij_q}(H_k | X_{ij_q}) \quad (7)$$

式中: w_{ij_q} 为非关键指标权重; w_{ij_r} 为关键指标权重。

步骤 3 利用 D-S 证据推理合成式(3),对二级指标的 mass 函数进行合成,得到各位专家关于一级指标 X_i 的 mass 函数 $m_i(H_k | X_i), m_i(H_{\Theta} | X_i)$ 。再次采用步骤 1,利用式(3)对各专家关于 X_i 的 mass 函数进行第二次证据合成,即得到各个专家关于项目 U_i 的 mass 函数 $m_i(H_k | X), m_i(H_{\Theta} | X)$,再次利用合成公式(3),于是可以得到专家意见在项目 U_i 的集结,即新的 mass 函数 $m(H_k | X), m(H_{\Theta} | X)$ 。

步骤 4 计算出各个拟投标项目 U_i 在 X 上的“确定性”评价值 U :

$$U = \sum_{k=1}^5 p(H_k) m(H_k | X) \quad (8)$$

根据评价值大小排序,选择风险值较小的项目进行投标。

6 算例分析

假设某施工企业拟投标 3 个工程项目,说明算法的有效性和实用性。设待评价项目集为 $U = \{A, B, C\}$, A, B, C 分别代表 3 个招标项目。聘请 3 位工程投标领域的专家进行评价,由于专家知识水平的差异,令专家权重 $w_{DM} = \{w_{DM_1}, w_{DM_2}, w_{DM_3}\} = \{0.3, 0.4, 0.3\}$ 。首先专家们根据对投标相关资料

表 2 投标项目评价指标值专家意见分布函数

评语等级	项目 A			项目 B			项目 C		
	DM_1	DM_2	DM_3	DM_1	DM_2	DM_3	DM_1	DM_2	DM_3
H_1	0.501	0.547	0.670	0.216	0.176	0.264	0.053	0.043	0.053
H_2	0.146	0.141	0.105	0.258	0.215	0.333	0.203	0.196	0.396
H_3	0.191	0.146	0.089	0.126	0.327	0.161	0.548	0.590	0.396
H_4	0.048	0.055	0.046	0.083	0.034	0.041	0.032	0.032	0.031
H_5	0.020	0.019	0.013	0.199	0.144	0.096	0.069	0.052	0.041
H_{θ}	0.094	0.092	0.076	0.118	0.105	0.106	0.095	0.087	0.084

的调查、分析 结合自己的知识、经验以及个人偏好 , 给出各二级指标在评价等级上的置信度(表 1)。

由于各个指标评语语义有差别 ,把它们转化为标准评语等级 , $H_k = \{ \text{好 ,较好 ,一般 ,较差 ,差} \}$,根据算法步骤 ,先对二级指标进行合成 ,再对一级指标合成 ,于是可以得到各个专家在项目 A ,B ,C 上的 mass 函数(表 2)。

再次 ,采用合成公式 (3) 对专家的意见进行 D-S 合成 ,结果见表 3。根据公式 (8) 得到项目 A ,B ,C 的投标综合风险值 ,见表 3。显然 ,应该选择项目 C 为投标的项目。

表 3 投标项目综合评价

项目	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_{θ}	综合值
A	0.746	0.080	0.087	0.026	0.008	0.052	0.765
B	0.216	0.292	0.241	0.034	0.133	0.084	0.212
C	0.025	0.198	0.676	0.016	0.029	0.055	0.087

7 结 语

D-S 证据理论作为一种处理不确定性信息的推理工具 ,在证据合成方面具有强大的功能。工程项目投标决策涉及众多“ 不确定 ”或“ 未知 ”信息的处理 ,这往往是决策的最大障碍和难处。本文提出了一种基于 D-S 证据理论的投标决策不确定性推理方法 ,在建立合适的评价指标体系的基础上 ,对拟投标项目的风险进行综合评价。用 matlab7.0 编制程序对算例进行分析 ,得到了满意结果。算例表明 ,该方法具有可行性、实用性和有效性 ,但在针对工程投标的证据冲突和证据合成公式方面还需进一步研究。

参考文献 :

[1] FRIEDMAN L. A competitive bidding strategy[J]. Operation Research ,1956(4) :104-112.

[2] 於永和 ,徐志红 ,单汨源 ,等 . 基于 AHP 的 BOT 项目投标报价策略决策模型[J]. 武汉理工大学学报 ,2006 ,28(9) : 135-137.

[3] 彭锬 ,强茂山 . 模糊层次分析法在 DuberKhwar 项目风险评价和投标决策中的应用研究[J]. 水力发电学报 ,2004 (6) :44-50.

[4] 夏清东 ,程红志 . 工程投标的多参数决策[J]. 哈尔滨建筑大学学报 ,2000 ,33(3) :99-101.

[5] 关清杰 . 施工企业投标决策研究[D]. 成都 :西南交通大

学 ,2003.

[6] MACHCHA L L , BHATTACHARA P. A fuzzy-logic-based approach to project selection[J]. IEEE Transaction on Engineering Management ,2000 ,47(1) :65-73.

[7] 刘尔烈 ,王健 ,骆刚 . 基于模糊逻辑的工程投标决策方法[J]. 土木工程学报 ,2003 ,36(3) :57-58.

[8] LI H. Neural network models for intelligent support of mark-up estimation[J]. Journal of Construction Engineering and Management ,ASCE ,1996(3) :69-82.

[9] LI H , SHEN L Y , LOVE P E D. ANN based mark-up estimation system with self explanatory capacities[J]. Journal of Construction Engineering and Management ,ASCE ,1999(3) : 185-189.

[10] HEGAZY T ,MOSELHI O. Analogy based solution to mark-up estimation problem[J]. Journal of Computer in Civil Engineering ,1998(1) :72-87.

[11] HAN I. An integrated knowledge based system for alternative design and materials selection and cost estimation[J]. Expert System with Application ,1998 ,14(3) :329-339.

[12] 杨兰蓉 . 基于事例推理的报高率确定决策模型及其支持系统的研究[D]. 武汉 :华中理工大学 ,2000.

[13] LI H , LOVE P E D. Combining rule based expert systems and artificial neural networks for mark-up estimation [J]. Construction Management and Economics ,1998(3) :97-102.

[14] SHAFER G. A mathematical theory of evidence[M]. New Jersey :Princeton University Press ,1976.

[15] 杨春 ,李怀祖 . 一个证据推理模型及其在专家意见综合中的应用[J]. 系统工程理论与实践 ,2001(4) :46-48.

[16] 张文修 ,梁怡 . 不确定性推理原理[M]. 西安 :西安交通大学出版社 ,1996 :168-204.

[17] 袁永松 . 国际工程投标风险及对策措施对照表[J]. 建筑技术 ,1996(5) :336-337.

[18] 樊红 ,冯恩德 . 一种基于证据理论的船舶综合安全评估 (FSA) 方法[J]. 武汉理工大学学报 :交通科学与工程版 ,2004 ,28(4) :546-548.

[19] 张全 ,樊治平 ,孟军 . D-S 理论在不确定性多属性决策中的应用[J]. 系统工程与电子技术 ,1999 ,21(11) :7-10.

[20] 杨明顺 ,李言 ,林志航 . 产品总体设计方案评价与优选的组合决策[J]. 计算机集成制造系统 ,2006 ,12(4) :540-546.

[21] 丁勇 ,梁昌勇 ,陆文星 . 基于证据推理的企业知识管理绩效评价方法[J]. 清华大学学报 :自然科学版 ,2006 ,46 (S1) :984-986.

(收稿日期 2006-11-10 编辑 骆超)