第 33 卷 第 6 期
2018 年 6 月

控 制 与 决 策
Control and Decision

Vol.33 No.6
Jun. 2018

文章编号: 1001-0920(2018)06-1093-07 **DOI:** 10.13195/j.kzyjc.2017.0242

清单计价模式下考虑投标人风险态度的投标报价博弈模型

李登峰†，袁玲丽

(福州大学 经济与管理学院，福州 350108)

摘 要: 博弈论在工程项目中的应用能使投标决策更加科学. 然而,很多投标报价博弈模型都是基于投标人风险规避假设的,通常这种假设并不符合实际情况. 为了更加贴近实际投标报价情形,有必要考虑各投标人 (博弈方) 的风险偏好. 鉴于此,在清单计价模式下,利用综合评估法,通过引入代表投标人风险态度的风险系数,构建投标报价博弈模型,导出其最优报价的关系方程式及其迭代求解算法,并分析其投标报价策略与风险系数对最优报价的影响. 实证分析表明,应用所建立的博弈模型进行投标报价能够提高投标中标率,与现有类似方法的比较分析表明,所提出的投标报价博弈模型具有更贴近实际的优越性,可为实际投标报价决策提供方法支持.

关键词: 投标报价；博弈论；清单计价；综合评估法

中图分类号: TU723.2 **文献标志码:** A

Game-based bidding quotation model considering attitude under the bill of quantities

LI Deng-feng†，*YUAN Ling-li*

(School of Economics and Management，Fuzhou University，Fuzhou 350108，China)

Abstract: Application of the game theory in construction can make the bidding decision more scientific. However, many existing game-based bidding quotation models are based on the hypothesis of risk averse tenders, which does not conform to the construction condition. To better fit the project bidding reality, it is necessary to consider the bidders' (or players') risk attitude. This paper establishes the bidding quotation game model under the bill of quantities with the comprehensive evaluation method by introducing the risk factor representing the bidders' risk attitude, derives the equations of bidding relation and its iterative algorithm, and analyzes the bidding strategies and effects of bidders' risk coefficients on optimal bidding quotations. Analysis of a real case shows that the implication of the game model in bidding quotation can lead to an improvement in the probability of winning the bid. And the proposed game model has its superiority, which may provide a support of methods for real bidding decision making.

Keywords: bidding quotation；game theory；bill of quantities；comprehensive evaluation method

0 引 言

招投标是一种国际通用的商品交易方式,集中公开竞争的特点使其能够消除市场垄断,更有效地配置资源. 中标是施工单位持续发展的动力,而投标报价又是决定激烈竞争中能否中标的关键因素. 工程量清单计价于2003年开始在我国推广使用,倡导“控制量、指导价、竞争费”这一非常符合发展需求的工程造价管理理念. 企业得以自主报价,通过市场形成价格. 博弈论是研究决策主体的行为发生相互作用时的决策问题[1],经常应用于研究涉及多方利益的收益分配决策问题[2-4]. 张成堂等[5] 以供应商和零售商组成的二阶段供应商管理库存供应链为研究对象,建立了基于博弈论的收益共享机制协调模型. Wu 等[6] 提出基于电和热交换的分布式能源网络,并建立了博弈核心方法的参与者利益公平分配的数学模型. Fiala[7] 将博弈论运用到利润分配中,提出了基于非合作博弈与合作博弈相结合的两阶段利润分配法. Fu[8] 针对三级供应链,建立了基于合作博弈论的供应链利润分配的有效策略模型.

在工程项目中,招投标的过程实质上是招标人与

收稿日期: 2017-03-10；**修回日期:** 2017-10-03.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (71231003).

责任编委: 黄敏.

作者简介: 李登峰 (1965−)，男，教授，博士生导师，从事经济管理评价决策与对策理论及其应用等研究；袁玲丽 (1992−), 女, 硕士生, 从事经济管理评价决策与对策理论及其应用的研究.

†通讯作者. E-mail: lidengfeng@fzu.edu.cn

投标人、投标人与投标人之间博弈的过程[9]. 投标人在投标报价决策的过程中,任何投标人的利益都会受到其他竞争报价行为的影响,这种不同利益主体之间相互影响、相互制约的关系形成了典型的博弈特征[10]. 到目前为止,博弈论在工程项目投标报价方面的应用较多,最早出现于1969年,Au等[11]通过运用博弈论,建立了工程投标的博弈模型,对投标中的竞争问题进行探讨. 此后,博弈论研究者慢慢将博弈论引入到工程投标研究中,如根据工程投标竞争活动所具有的典型博弈特征,运用博弈论研究投标报价行为,分别建立了投标报价博弈模型[12-15]. Huang[16]研究了工程领域不完全信息情况下的投标决策过程和投标人的博弈行为对投资决策的影响. 胡静等[17]研究了博弈模型在投标报价中的实现,并介绍了几种投标报价博弈模型. 曾宪科等[18]针对现有模型的投标人对称这一假设的局限性,建立了基于非对称投标人的英式拍卖模型. 周学广等[19]针对越来越多大型企业利用拍卖选择供应商时设定较高的固定投标成本这一现象,建立了三阶段博弈模型,推导出最优投标价格. 何建洪等[20]将逆向拍卖方法引入到政府工程多属性招投标问题中,构建了政府工程多属性招投标博弈模型. 可以看出,博弈论在建设工程招投标领域具有很强的适用性,其应用前景是相当广阔的. 但是,大部分已有的博弈论在投标报价中的应用都普遍存在一个问题:对投标报价博弈行为的研究都默认各博弈方“风险规避”,这并不符合工程实际情况.

为了更科学地指导投标报价,本文引入反映投标人风险态度的风险系数,以清单计价模式下广泛采用的综合评估法为基础,构建更加符合工程实际的投标报价博弈模型. 实验分析表明,应用所建立的博弈模型进行投标报价能够提高投标中标率,与现有类似方法的比较分析表明,所提出的投标报价博弈模型具有更贴近实际的优越性,可为实际投标报价决策提供方法支持.

1 考虑风险态度的投标报价博弈模型

投标属于经济学中的不完全信息静态博弈,其中参加投标的各承包企业为博弈参与者(即局中人),各参与者的行为即为其投标报价. 评标办法是他们所遵循的博弈规则,各参与者在互相保密的情况下作出报价决策,再由招标人按照招标文件中设定的方法和要求选出最后的中标人. 参与者的目标是尽可能中标,且尽量使中标后的利润最大.

本节针对工程项目无标底招标广泛采用的综合评估法,通过引入反映投标人风险态度的风险系数,着重构建投标报价博弈模型.

1.1 理论最优投标报价决策模型

1) 评标基准价确定方法.

B表示评标基准价,由有效投标人数量n、己方企业投标报价R、对方(竞争对手)平均投标报价P确定,具体表示为

$$B=\frac{R+(n-1)P}{n}. \tag{1}$$

2) 评标扣分公式.

K表示评标扣分,由评标基准价满分区间下限c、评标基准价满分区间上限d、高于上限每一个百分比的扣分x、低于下限每一个百分比的扣分y、己方企业投标报价R和评标基准价B等确定,其中招标文件中已给定c、d、x、y的值,即为已知量. K表示为

$$K=\begin{cases}100x(R/B-d),\ R/B>d;\\0,\ c\leqslant R/B\leqslant d;\\100y(c-R/B),\ R/B<c.\end{cases} \tag{2}$$

3) 报价模型的构建与求解.

i) 投标报价决策原则. 投标报价的目的是尽可能中标,且尽量使中标后的利润最大. 因此,应使扣分K最少且报价R尽可能高,即同时达到$\min\{K\}$和$\max\{R\}$.

ii) 满分报价区间. 投标企业为了减少扣分,提高中标概率,考虑在满分报价区间上报价,即

$$c\leqslant\frac{R}{B}\leqslant d. \tag{3}$$

将式(1)代入(3),得到满分报价区间为

$$\Big[\frac{c(n-1)P}{n-c},\frac{d(n-1)P}{n-d}\Big]. \tag{4}$$

iii) 理论最优报价. 结合$\max\{R\}$决策原则,可知投标企业的理论最优报价为

$$R=\frac{d(n-1)P}{n-d}. \tag{5}$$

由此可知,各投标企业的最优报价是相互制约的. 下面将运用博弈论,并考虑投标人的风险态度,通过引入代表投标人风险态度的风险系数建立投标报价博弈模型.

1.2 考虑风险系数的投标报价博弈模型构建

现实投标中,投标人并非都是风险规避的,有的投标人敢于冒险,是风险偏好型;有的投标人对风险持一个中等的态度,属于风险中性型;还有的投标人比较保守,属于风险规避型. 基于这些考虑,并结合合理低价中标原则,假设其他投标人最低报价为$b_{i\min}$,本企业若想要中标,则其报价必然要小于$b_{i\min}$,即报价落在区间$[b_i,b_{i\min}]$上. 假设表示投标人i风险态度

的风险系数为$q_i \in [0,1]$,将风险系数q_i作为系数,利用$(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min}$表达这一区间数. 这样通过$q_i$的变动得到的相应报价也是对风险的一个体现. 当$0 \leqslant q_i < 1/2$时,报价取值介于区间下限$b_i$与区间中值$1/2b_i+1/2b_{i\min}$之间,即落在区间$[b_i, 1/2b_i+1/2b_{i\min}]$上,投标人$i$是风险规避者;当$q_i = 1/2$时,报价取值为区间中值$1/2b_i + 1/2b_{i\min}$,定义投标人$i$是风险中性者;当$1/2 < q_i \leqslant 1$时,报价取值介于区间中值$1/2b_i + 1/2b_{i\min}$与区间上限$b_{i\min}$之间,即落在区间$[1/2b_i + 1/2b_{i\min}, b_{i\min}]$上,定义投标人$i$是风险偏好者. 风险系数可根据投标实际情况具体确定,但如何确定不是本文的研究重点,不再作深入研究[21-23]. 为了后面建模需要,给出如下4个基本假设.

假设1 有$n(n \geqslant 3)$个有效投标人,投标人参与投标所花费成本忽略不计.

假设2 报价相同的概率为零,未中标的博弈方得益为零.

假设3 投标人i对工程成本的估价为$v_i(i = 1,2,\cdots,n)$,各投标人的估价相互独立分布在区间$[M,N]$上(M为最低成本估价,N为由招标控制价算出的成本上限).

假设4 各投标人的报价为$b_i(i = 1,2,\cdots,n)$,b_i与其成本估价呈线性关系,即投标人i的报价为$b_i(v_i) = a_i + c_i v_i$,其中$a_i > 0$与$c_i > 0$均为已知.

博弈方(即投标人)i的行为由其投标报价b_i表示,行为空间记为$A_i = [a_i + c_i M, a_i + c_i N]$. 博弈方$i$的类型为其对工程成本的估价$v_i$,类型空间$v_i$的取值范围为$[M,N]$. 将其他投标人中的最低报价记为$b_{i\min}$,即$b_{i\min} = \min\limits_{1\leqslant j\leqslant n, j\neq i}\{b_j\}$. 投标人的收益值为区间$[b_i, b_{i\min}]$上的一个数减去成本估价$v_i$,投标人$i$的得益函数$U_i$可表示为

$$U_i = U_i(b_1,b_2,\cdots,b_n;v_1,v_2,\cdots,v_n) = \begin{cases}(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i,\ b_i \leqslant b_{i\min};\\ 0,\ b_i > b_{i\min}.\end{cases} \tag{6}$$

博弈方i的报价策略$b_i(v_i)$与j的报价策略$b_j(v_j)$是相互对对方策略的最佳反应,$b_i(v_i)$应满足

$$\max_{b_i}\Big\{[(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i]\times \prod_{j=1,j\neq i}^{n}\mathrm{prob}\{b_i < b_j\}\Big\}, \tag{7}$$

其中$\mathrm{prob}\{b_i < b_j\}$为$b_i < b_j$的概率. 已知$v_i$为服从区间$[M,N]$上的均匀分布,且$b_i(v_i) = a_i + c_i v_i$,所以$b_i$服从$[a_i + c_i M, a_i + c_i N]$上的均匀分布,可得

$$\begin{aligned}&\max_{b_i}\Big\{[(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i]\times \prod_{j=1,j\neq i}^{n}\mathrm{prob}\{b_i < b_j\}\Big\} = \\ &\max_{b_i}\Big\{[(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i]\times \prod_{j=1,j\neq i}^{n}\int_{\frac{b_i-a_j}{c_j}}^{N}\frac{1}{N-M}\mathrm{d}x\Big\} = \\ &\max_{b_i}\Big\{[(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i]\times \prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)}\Big\}.\end{aligned}$$

记

$$f_i(b_i) = [(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i]\times \prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)},$$

对其求导可得

$$\begin{aligned}&f_i'(b_i) = \\ &(1-q_i)\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)} - \sum_{k=1,k\neq i}^{n}\frac{l}{c_k(N-M)}\prod_{j=1,j\neq i,j\neq k}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)} = \\ &(1-q_i)\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)} - \sum_{k=1,k\neq i}^{n}\frac{l}{Nc_k - b_i + a_k}\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)} = \\ &(1-q_i)\sum_{k=1,k\neq i}^{n}\Big[\frac{1}{n-1}\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)}\Big] - \sum_{k=1,k\neq i}^{n}\frac{l}{Nc_k - b_i + a_k}\prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)} = \\ &\sum_{k=1,k\neq i}^{n}\Big[\frac{1-q_i}{n-1} - \frac{l}{Nc_k - b_i + a_k}\Big]\times \prod_{j=1,j\neq i}^{n}\frac{Nc_j - b_i + a_j}{c_j(N-M)},\end{aligned}$$

其中$l = (1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i$. 令$f_i'(b_i) = 0$,可得

$$\sum_{k=1,k\neq i}^{n}\Big[\frac{1-q_i}{n-1} - \frac{(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i}{Nc_k - b_i + a_k}\Big] = 0,\quad i = 1,2,\cdots,n. \tag{8}$$

即

$$\sum_{k=1,k\neq i}^{n}\frac{(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i}{Nc_k - b_i + a_k} = 1 - q_i,\quad i = 1,2,\cdots,n. \tag{9}$$

理论上,利用式(9)可以求解得到最优报价$b_i(i = 1,2,\cdots,n)$. 由于在求解过程中需要事先知道$b_{i\min}$,

这样便形成了一个反复迭代过程. 给出式(9)的迭代求解算法如下.

Step 1: 给定初始值 $b_1^0, b_2^0, \cdots, b_n^0$, 置 $t=0$.

Step 2: 计算 $b_{i\min}^t = \min\{b_j^t | j=1,2,\cdots,n, j\neq i\}$, 将 $b_{i\min}^t (i=1,2,\cdots,n)$ 与 $b_1^t, b_2^t, \cdots, b_n^t$ 代入式(9), 分别求解得到 $b_i^t (i=1,2,\cdots,n)$ 的迭代值 b_i^{t+1}.

Step 3: 若 $\max\limits_{1\leqslant i\leqslant n} |b_i^{t+1}-b_i^t| < \epsilon$, 其中 ϵ 为事先给定的计算精度, 则迭代结束, b_i^{t+1} 即为投标人 i 的最优报价, 否则转入 Step 4.

Step 4: 置 $t=t+1$, 并转入 Step 2.

最优报价的迭代算法流程如图1所示.

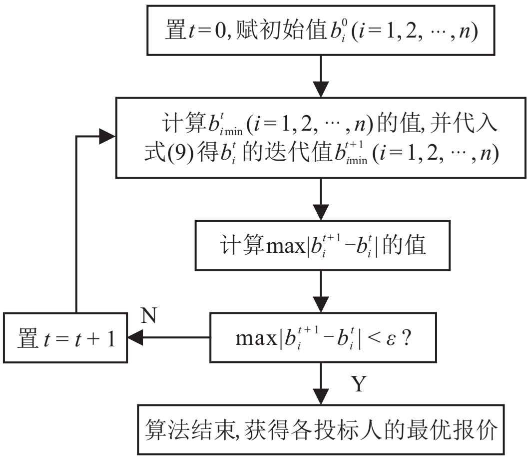

图1 最优报价的迭代算法流程

值得指出的是, 以上最优报价的关系方程式(式(9))及其迭代算法的推导, 均是基于各投标人的报价 $b_i (i=1,2,\cdots,n)$ 与其成本估价 v_i 呈线性关系, 即投标人 i 的报价为 $b_i(v_i) = a_i + c_i v_i$ 这一基本条件. 这样, v_i 便可用参数表示, 即 $v_i = (b_i - a_i)/c_i$. 由此, 得益函数

$$\max_{b_i} \Big\{[(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i] \prod_{j=1, j\neq i}^{n} \mathrm{prob}\{b_i < b_j\}\Big\}$$

中的 $\prod\limits_{j=1,j\neq i}^{n} \mathrm{prob}\{b_i < b_j\}$ 便可由其表达的含义用积分表示为

$$\prod_{j=1,j\neq i}^{n} \mathrm{prob}\{b_i<b_j\} = \prod_{j=1,j\neq i}^{n} \int_{\frac{b_i-a_j}{c_j}}^{N} \frac{1}{N-M}\mathrm{d}x,$$

进而进行下一步求解. 但若假设为多次函数形式, 如 $b_i(v_i) = a_i + c_i v_i^2$ 或 $b_i(v_i) = a_i + c_i v_i^3$, 则 v_i 无法用参数表达或者需要开根号, 得益函数中的 $\prod\limits_{j=1,j\neq i}^{n} \mathrm{prob}\{b_i<b_j\}$ 也无法进一步转化, 模型将很难求解甚至无法求解. 因此, 投标人的报价与其成本估价呈线性关系是本文的一个重要假设. 下面进一步说明本文模型的合理性和一般性.

容易看出, 若假设所有投标人都是风险规避的且 $q_i=0$, 而且各投标人的报价策略是对称性的, 即 $a_1=a_2=\cdots=a_n, c_1=c_2=\cdots=c_n$, 则式(9)可以退化为如下特殊形式:

$$\sum_{k=1,k\neq i}^{n} \frac{b_i - v_i}{Nc_k - b_i + a_k} = 1,\ i=1,2,\cdots,n.$$

进而求解得到

$$b_i = \frac{n-1}{n} v_i + \frac{a_i + Nc_i}{n},\ i=1,2,\cdots,n.$$

结合 $b_i(v_i) = a_i + c_i v_i$, 即可得 $b_i = v_i + (N-v_i)/n$. 这便是很多已有投标报价博弈模型的结果[24-25]. 因此, 本文博弈模型是其一般形式, 而文献[24-25]只是本文模型的特例.

2 实例分析

实例选自天津市某快速路建设项目道路工程B标段的施工招投标, 该招标采用综合评估法. 具体招标情况如下: 招标控制价为11 418万元, 评标基准价为有效投标报价的平均值; 当投标人报价为基准价的98%时, 得满分70分. 每高于满分报价一个百分点扣2分, 每低于一个百分点扣1分, 中间值按内插计算. 实际开标结果如表1所示.

表1 实际开标结果

有效竞标人	投标报价/万元	扣分	得分	排名
投标人1	11 361.94	14.42	55.58	3
投标人2	11 373.26	14.63	55.37	4
投标人3	9 787.76	7.37	62.63	2
投标人4	10 675.02	1.69	68.31	1
招标控制价		11 418.00		
评标基准价		10 799.50		
满分报价		10 583.51		

2.1 本文投标报价博弈模型的应用求解

下面利用本文投标报价博弈模型求解上述实例中4个投标人的最优报价. 根据式(9), 最优报价满足如下方程组:

$$\sum_{k=1,k\neq i}^{4} \frac{(1-q_i)b_i + q_i b_{i\min} - v_i}{Nc_k - b_i + a_k} = 1 - q_i,$$

$$i = 1,2,3,4,$$

其中对工程成本作一般水平估价, 即取 $v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = 10\,460$ 万元.

已知道路工程的利润率一般为5%, 综合税率为3.14%, N 为由招标控制价算出的成本上限, 根据

$$成本上限 = \frac{招标控制价}{(1+利润率)(1+税率)} - 风险费,$$

得到

$$N = 10\,500\ 万元.$$

给定 $a_1 = 2\,100, a_2 = 2\,200, a_3 = 2\,300, a_4 = 2\,400$; $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 0.75$; $q_1 = 0$(风险规

避), $q_2 = 1/3$(风险规避), $q_3 = 1/2$(风险中性), $q_4 = 2/3$(风险偏好).

运用上述迭代算法,取$\epsilon = 0.1$,4个投标人最优报价的迭代过程如下.

Step 1: 给定初始值$b_1^0 = 11\,000, b_2^0 = 11\,500, b_3^0 = 10\,000, b_4^0 = 10\,700$.

Step 2: 计算$b_{i\min}^0 = \min\{b_j^0 | j = 1,2,3,4, j \neq i\}$, 得到$b_{1\min}^0 = 10\,000, b_{2\min}^0 = 10\,000, b_{3\min}^0 = 10\,700, b_{4\min}^0 = 10\,000$. 将$b_{i\min}^0 (i = 1,2,3,4)$和$b_1^0, b_2^0, b_3^0, b_4^0$代入式(9),可分别求解得到

$$b_1^1 = 10\,114.150\,55,\ b_2^1 = 10\,047.492\,47,$$
$$b_3^1 = 10\,014.586\,78,\ b_4^1 = 11\,055.455\,80.$$

Step 3: 计算得到$\max\limits_{1\leqslant i\leqslant n} |b_i^1 - b_i^0| = 1\,452.507\,5 > \epsilon$,转至Step 2.

类似地,计算可得

$$b_{1\min}^1 = 10\,014.586\,78,\ b_{2\min}^1 = 10\,014.586\,78,$$
$$b_{3\min}^1 = 10\,047.492\,47,\ b_{4\min}^1 = 10\,014.586\,78.$$

将$b_{i\min}^1 (i = 1,2,3,4)$和$b_1^1, b_2^1, b_3^1, b_4^1$代入式(9),可分别求解得到

$$b_1^2 = 10\,114.150\,55,\ b_2^2 = 10\,047.427\,19,$$
$$b_3^2 = 10\,688.883\,27,\ b_4^2 = 10\,983.133\,98.$$

反复迭代5次后,得到

$$b_1^5 = 10\,114.150\,55,\ b_2^5 = 10\,046.941\,06,$$
$$b_3^5 = 10\,689.290\,98,\ b_4^5 = 10\,985.176\,95.$$

计算得到$\max\limits_{1\leqslant i\leqslant n} |b_i^5 - b_i^4| = 0 < \epsilon$,即达到给定的计算精度,迭代完毕,从而得到投标人的最优报价(保留两位小数)为

$$b_1 = 10\,114.15,\ b_2 = 10\,046.94,$$
$$b_3 = 10\,689.29,\ b_4 = 10\,985.18.$$

各投标人依次运用本文投标报价博弈模型迭代得到的最优报价代替自己原来的报价进行投标,模拟投标开标结果,表明该模型的适用性和优越性. 投标人1运用最优报价,开标结果如表2所示.

表 2　投标人1运用博弈模型最优报价模拟投标开标结果

有效竞标人	投标报价/万元	扣分	得分	排名
投标人1	10 114.15	1.56	68.44	1
投标人2	11 373.26	20.89	49.11	4
投标人3	9 787.76	4.67	65.33	2
投标人4	10 675.02	7.58	62.42	3
招标控制价		11 418.00		
评标基准价		10 487.55		
满分报价		10 277.80		

同理可以得到,投标人2、投标人3、投标人4分别运用博弈模型最优报价,模拟开标结果,其结果都是运用博弈模型最优报价投标人排名第一.

分析可知,运用考虑风险态度的博弈模型进行报价,能使扣分最少,投标报价得分最高,具有明显的报价优势,能够提高中标概率,表明本文建立的博弈模型对工程招投标中的投标报价确实有一定的指导意义.

2.2　风险系数对投标报价的影响分析

在第2.1节其他所有参数不变的基础上,进一步运用本文投标报价博弈模型,分别计算$q_1 = 0.25$、$q_1 = 0.5$、$q_1 = 0.75$和$q_1 = 1$这4种情况下投标人1的最优报价,考虑第2.1节已经求得的$q_1 = 0$的情况,各投标人最优投标报价如表3所示.

表 3　投标人1不同风险系数下各投标人的最优报价

q_1	最优报价/万元			
	投标人1	投标人2	投标人3	投标人4
0(风险规避)	10 114.15	10 046.94	10 689.29	10 985.18
0.25(风险规避)	10 115.01	10 046.94	10 689.29	10 985.18
0.5(风险中性)	10 115.82	10 046.93	10 689.30	10 985.19
0.75(风险偏好)	10 116.57	10 046.93	10 689.30	10 985.20
1(风险偏好)	10 117.26	10 046.92	10 689.30	10 985.20

分析表3中最优报价的变化可以看出,随着投标人1风险系数不断增大,其最优报价也随着增大(至少不会减少),而其他投标人的最优报价在精度范围内基本不变. 这是因为投标人1追求的目标是中标和获取利润,由此冒险的程度也越来越大,但投标人1的风险系数大小对其他竞标人最优报价影响不大. 类似地,可分析其他投标人风险系数的变化对最优报价的影响情况. 由此可见,投标人的风险系数对投标报价有重要的影响,因此考虑各投标人风险态度是非常重要且非常必要的,这也是本文研究的动机之一.

2.3　投标报价博弈模型与其他投标报价模型的对比分析

事实上,此前已有一些模型也研究过类似问题,但对比可知,张宪等[24]虽然也建立了投标报价博弈模型(称为模型I),并运用其模型虚拟投标取得了中标,但并未考虑各投标人的不同风险态度,而将其默认为风险规避,并将得益函数直接定义为

$$U_i = U_i(b_1, b_2, \cdots, b_n; v_1, v_2, \cdots, v_n) = \begin{cases} b_i - v_i,\ b_i < b_{i\min}; \\ 0,\ b_i \geqslant b_{i\min}. \end{cases}$$

显然,这是本文式(6)的特例,即所有$q_i = 0$(风险规避)的情形. 第1.2节末尾也进一步推导说明了本文

的最终模型是模型I的一般形式,模型I只是本文模型的特例.

陈起俊等[25]在模型I的基础上,考虑了所有投标人具有相同的风险态度,据此建立了投标报价博弈模型(称为模型II). 下面将本文模型与模型II进行对比分析.

模型II推出的最优报价表达式为

$$R_{\mathrm{II}} = \frac{d(n-1)}{n-d}\Big(v_i + \frac{Nq'-v_i}{n+q'-1}\Big),$$

其中q'为所有投标人的风险系数. 模型II中对风险系数的定义为: $q'>1$代表风险偏好; $q'=1$代表风险中性; $q'<1$代表风险规避.

考虑所有投标人风险态度中性(即模型II中$q'=1$)的情况,本文模型中$q_1=q_2=q_3=q_4=0.5$,对投标人3进行计算分析. 利用模型II,计算得到投标人3的最优报价为

$$R_{\mathrm{II}3} = \frac{0.98\times(4-1)}{4-0.98}\times\Big(10\,460+\frac{10\,500\times1-10\,460}{4+1-1}\Big) = 10\,192.65.$$

利用本文模型,计算得到投标人3的最优报价为$R_3 = 10\,712.20$.

投标人3分别采用$R_{\mathrm{II}3}$和R_3进行报价,结果如表4和表5所示.

表4 投标人3采用$R_{\mathrm{II}3}$进行报价模拟投标开标结果

有效竞标人	投标报价/万元	扣分	得分	排名
投标人1	11 361.94	12.46	57.54	3
投标人2	11 373.26	12.67	57.33	4
投标人3	10 192.65	4.50	65.50	2
投标人4	10 675.02	0.07	69.93	1
招标控制价		11 418.00		
评标基准价		10 900.72		
满分报价		10 682.70		

表5 投标人3采用R_3进行报价模拟投标开标结果

有效竞标人	投标报价/万元	扣分	得分	排名
投标人1	11 361.94	10.01	59.99	3
投标人2	11 373.26	10.21	59.79	4
投标人3	10 712.20	0.89	69.11	1
投标人4	10 675.02	1.22	68.78	2
招标控制价		11 418.00		
评标基准价		11 030.61		
满分报价		10 810.00		

对投标人3采用不同报价策略结果进行比对,如表6所示.

表6 投标人3采用不同策略进行报价模拟投标开标结果

策略	投标报价/万元	扣分	得分	排名	中标结果
采用最初报价	9787.76	7.37	62.63	2	未中标
采用$R_{\mathrm{II}3}$进行报价	10 192.65	4.5	65.50	2	未中标
采用R_3进行报价	10 712.20	0.89	69.11	1	中标

由表6的对比分析可知,采用本文模型和模型II进行报价,都使得投标人3(对其他投标人也可作类似的分析)扣分减少,表明这两个投标报价博弈模型都能够提高中标率,对投标决策有一定的指导意义. 但进一步详细对比分析发现,本文模型在以下3个方面更优: 1) 采用模型II虽然使得扣分减少,但并没有引导投标人3取得中标,而本文模型使得投标人3扣分减少(比运用模型II减少的程度更大),因此取得中标. 2) 采用本文模型的最优报价要比采用模型II的最优报价高,从而中标后利润更大. 3) 就模型的应用范围而言,模型II要求所有投标人风险系数相同(即所有投标人具有相同的风险态度),而本文模型可以确定任意投标人任意风险系数情况下的最优报价.

3 结 论

本文基于清单计价规范的出台和招标控制价的提出,将博弈论运用到工程招投标中,并考虑投标竞争者的不同风险态度,引入风险系数,据此构造出更符合工程实践的投标报价博弈模型. 经实证分析发现,根据本文投标报价博弈模型得出的报价得分最高,能够提高中标率,具有明显的报价优势. 通过进一步分析风险系数对投标报价的影响,说明在投标报价过程中,各投标人的风险态度是不容忽略的一个关键因素,比较符合实际情况. 最后通过与其他投标报价模型进行对比分析,表明了所提出的投标报价博弈模型具有较明显的优越性. 这些研究工作可为实际工程项目投标报价策略制定提供重要的参考依据和方法支持.

参考文献(References)

[1] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996: 243-296.
(Zhang W Y. Game theory and information economics[M]. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1996: 243-296.)

[2] 冯庆华, 陈菊红, 刘通. 基于广义解的双合作博弈收益分配模型[J]. 控制与决策, 2016, 31(4): 656-660.
(Feng Q H, Chen J H, Liu T. Model of profit allocation based on generalized solution in bicooperative game[J]. Control and Decision, 2016, 31(4): 656-660.)

[3] 李翠, 薛惠锋. 基于广义解的网络合作博弈收益分配模型[J]. 控制与决策, 2017, 32(6): 1041-1046.
(Li C, Xue H F. Model of profit allocation based on generalized solution in network cooperative game[J]. Control and Decision, 2017, 32(6): 1041-1046.)

[4] 孙红霞, 张强. 基于联盟结构的模糊合作博弈的收益分配方案[J]. 运筹与管理, 2010, 19(5): 84-89.
(Sun H X, Zhang Q. Scheme of profit allocation based on fuzzy cooperative game in coalition structure[J].

Operations Research and Management Science, 2010, 19(5): 84-89.)

[5] 张成堂, 周永务. 基于博弈论和VMI的收益共享机制协调模型[J]. 控制与决策, 2010, 25(1): 137-140.
(Zhang C T, Zhou Y W. Revenue sharing mechanism coordination model based on game theory and VMI[J]. Control and Decision, 2010, 25(1): 137-140.)

[6] Wu Q, Ren H B, Gao W J, et al. Profit allocation analysis among the distributed energy network participants based on game-theory[J]. Energy, 2017, 118: 783-794.

[7] Fiala Petr. Profit allocation games in supply chains[J]. Central European J of Operations Research, 2016, 24(2): 267-281.

[8] Fu W Q. Profit distribution strategy model in the three-level supply chain based on the cooperative game theory[J]. Information Technology J, 2014, 13(6): 1070-1077.

[9] 余杭. 招标投标通论[M]. 北京: 中国地质出版社, 1990: 17-21.
(Yu H. The general theory of bid invitation and bidding[M]. Beijing: China Geological Publishing House, 1990: 17-21.)

[10] 何增勤. 工程项目投标策略[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004: 158-160.
(He Z Q. Tender strategy of engineering project[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2004: 158-160.)

[11] Au T, Bostleman R L, Parti E. Construction management game-deterministic model[J]. J of the Construction Division, 1969, 95(1): 25-38.

[12] 郝丽萍, 谭庆美, 戈勇. 基于博弈模型和模糊预测的投标报价策略研究[J]. 管理工程学报, 2002, 16(3): 94-96.
(Hao L P, Tan Q M, Ge Y. Study on strategy making of project offering based on game model and fuzzy forecasting[J]. J of Industrial Engineering/Engineering Management, 2002, 16(3): 94-96.)

[13] 胡茂生, 舒宇. 低价中标下的投标报价博弈模型研究[J]. 南方冶金学院学报, 2004, 25(4): 67-69.
(Hu M S, Shu Y. Study on game model of project offering based on winning the bid with low-priced[J]. J of Southern Institute of Metallurgy, 2004, 25(4): 67-69.)

[14] 黄宏飞, 欧国立. 博弈论在投标报价决策中的应用[J]. 北方交通大学学报, 2000, 24(3): 41-43.
(Huang H F, Ou G L. Application of game theory on bidding decision analysis[J]. J of Northern Jiaotong University, 2000, 24(3): 41-43.)

[15] 邢军. 现行建筑工程低价中标情况下博弈论在投标报价中的应用[J]. 上海交通大学学报, 2000, 41(1): 45-47.
(Xing J. Application of the game theory in bidding offers under the situation of winning the bidding of construction projects with lower price[J]. J of Shanghai Jiaotong University, 2000, 41(1): 45-47.)

[16] Huang Z X. Modeling bidding decision in engineering field with incomplete information: A static game-based approach[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2016, 8(1): 1-8.

[17] 胡静, 王世良, 尧红刚. 几种基于博弈论的施工企业投标报价模型[J]. 技术经济与管理研究, 2004, 2: 65-67.
(Hu J, Wang S L, Yao H G. Several game theory based bidding models of construction enterprises[J]. Technoeconomics and Management Research, 2004, 2: 65-67.)

[18] 曾宪科, 冯玉强. 基于非对称投标人的反向多属性英式拍卖模型与最优投标策略[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(4): 769-775.
(Zeng X K, Feng Y Q. Reverse multi-attribute English auction model and optimal bidding strategies based on asymmetric bidders[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2012, 32(4): 769-775.)

[19] 周学广, 任龙. 具有高投标成本的多属性逆向拍卖博弈模型[J]. 中国管理科学, 2016, 24(1): 134-142.
(Zhou X G, Ren L. Game model on multi-attribute reverse auction switch costly Bid[J]. Chinese J of Management Science, 2016, 24(1): 134-142.)

[20] 何建洪, 黄莹. 公开招标人偏好的政府工程多属性招投标博弈分析[J]. 系统工程, 2016(2): 95-102.
(He J H, Huang Y. Research on multi-attribute bidding game of government projects when tenderee's preference is public[J]. Systems Engineering, 2016(2): 95-102.)

[21] 王聪, 周利. 房地产财富效应与投资者的风险态度[J]. 中南财经政法大学学报, 2016, 217(4): 39-47.
(Wang C, Zhou L. Research on housing wealth effect and investor's risk attitude[J]. J of Zhongnan University of Economics and Law, 2016, 217(4): 39-47.)

[22] 冯祥锦, 黄和亮, 杨建州, 等. 森林经营者风险态度及其度量[J]. 林业经济问题, 2013, 33(5): 403-408.
(Feng X J, Huang H L, Yang J Z, et al. Risk attitude and its measurement of the forestry managers[J]. Issues of Forestry Economics, 2013, 33(5): 403-408.)

[23] 任郑杰, 周锋. E-V效用函数及沪市风险态度度量[J]. 河南科学, 2006, 24(4): 600-603.
(Ren Z J, Zhou F. E-V utility function and it's application in the shanghai securities market[J]. Henan Science, 2006, 24(4): 600-603.)

[24] 张宪, 王雪青. 招标控制价模式下工程项目投标报价博弈模型研究[J]. 建筑经济, 2010, 12: 66-70.
(Zhang X, Wang X Q. Research on game model of engineering project bidding quotation under the model of tender control price[J]. Construction Economy, 2010, 12: 66-70.)

[25] 陈起俊, 梁宝栋. BQ计价模式下工程项目投标报价博弈模型研究[J]. 科技进步与对策, 2012, 29(18): 62-65.
(Chen Q J, Liang B D. Study of game-based bidding quotation model under the bill of quantitie[J]. Science and Technology Progress and Policy, 2012, 29(18): 62-65.)

(责任编辑：郑晓蕾)