

分组评标专家行为的演化博弈分析^①

刘旭旺^{1,2}, 汪定伟²

(1. 河南大学管理科学与工程研究所, 开封 475000; 2. 东北大学系统工程研究所, 沈阳 110004)

摘要: 逆向拍卖已经成为政府和大型企业集团集中采购的重要途径, 评标机制是影响招投标公平性和资源配置的重要因素. 分组多属性评标是当今普遍采用的评标机制, 在评标专家有限理性的前提下, 会诱导技术专家和商务专家之间的对立情绪和评标的不合作行为. 本文首先建立了多属性逆向拍卖分组评标行为的博弈支付矩阵, 构建了专家评标行为的复制动态方程, 然后, 运用演化博弈理论分析了技术和商务评标专家评标行为的演化路径以及影响演化的因素, 揭示了评标专家个体间的策略选择对群体行为的影响. 为系统和定量的研究评标行为, 基于 Matlab GUI 平台开发了多属性逆向拍卖分组评标行为演化仿真系统. 最后用数值仿真演示了初始条件的改变和决策参数的不同取值对演化结果的影响. 本文的分析方法和结果可以为评标组织和管理部门提供决策支持, 以采取适时的管理对策, 引导评标专家向着长期合作的方向演化, 提高评标公平性.

关键词: 多属性逆向拍卖; 行为运作管理; 分组评标; 演化博弈; 行为分析

中图分类号: F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2015)01-0050-12

0 引言

与传统拍卖不同, 采购招投标为一个买家、多个卖家, 称为逆向拍卖^[1]. 随着信息化和电子商务的飞速发展, 逆向拍卖作为一种资源获取手段正在直接或间接地越来越多的被采购商用来进行采购, 相关研究备受关注^[2,3]. 通用电器、IBM 和戴尔等仅是几个正大力发展和使用这种工具的典型代表^[4].

采购品一般具有多重属性, 如: 质量、价格和售后服务等, 胜标的确定不再仅仅取决于价格, 便成了典型的多属性决策^[5]. Perrone 等在对多属性拍卖研究进展综述的基础上讨论了具有价格和时间两个属性的拍卖^[6]. Ray 等提出了多属性拍卖胜标确定的马尔科夫决策模型^[7]. 而胜标确定

通常由专家评审来决定, 评标专家评审所有标的并对相应属性打分^[8], 所有打分的加权和即为标的总分, 最高分者胜标.

大型建设项目和仪器采购的评标专业性较强, 具备评标资格的人称之为评标专家, 一般将技术属性(性能、配置、安全性等)和商务属性(价格、售后服务、信誉度等)分离, 并采用相应专家组进行评定. 这种新的多属性拍卖问题称之为分组多属性拍卖 (grouped multi-attribute auction, GMAA). 这种评标模式是目前许多大型企业和政府普遍采用的评标模式. 由于两组专家具有不同的目标利益和企业责任, 因此, 在评标过程中两组专家可能是非合作或对立的. 这种行为必然影响评标的公平性, 于是, 评标行为便成为一个非常有趣的研究课题. 基于企业调研数据, 汪定伟建立了

^① 收稿日期: 2012-06-05; 修订日期: 2013-09-19.

基金项目: 国家自然科学基金资助重点项目(70931001); 国家自然科学基金资助面上项目与创新群体项目(61273203); 国家自然科学基金创新群体资助项目(60821063).

作者简介: 刘旭旺(1983—), 男, 河南漯河人, 博士, 讲师. Email: liuxuwang007@163.com

GMAA 的数学模型并对评标结果差异进行统计分析^[9].

近年来,行为运作管理已成为一个研究热点^[10].传统的完全理性假设摈弃后,个人行为就成为任何有人参与的系统不可忽略的因素^[11].因此,拍卖中的行为研究备受关注.黄河和陈剑对采购谈判机制的最优设计进行深入研究^[12].然而,许多工作侧重于研究投标行为与拍卖人行为^[13],评标行为的研究还没有充分展开.处理数字会议的数据后,Rodriguez 等对会议投标的评审专家行为进行了分类研究^[14].在实际评标中,评标专家显然不能满足完全理性要求,即只具有有限理性,而且其稳定策略往往是长期的学习模仿、不断地进行策略调整的结果.

鉴于此,本文将运用演化博弈理论来研究专家的分组评标行为.首先,建立了 GMAA 评标行为的非合作博弈模型,在构建评标行为复制动态方程基础上,从理论上证明了演化稳定策略的存在条件和演化规律,分析了技术和商务专家评标行为的演化路径以及影响演化的因素,揭示了评标专家个体间的策略选择对群体行为的影响.最后,基于 Matlab GUI 平台开发了多属性逆向拍卖分组评标行为演化仿真系统,仿真了初始条件的改变和决策参数的不同取值对演化结果和路径的影响.结论给出了促使评标专家采取合作策略的具体措施.

1 演化博弈理论

演化博弈论以群体为研究对象,认为现实中个体并不是行为最优化者,决策个体具有动态学习、模仿和突变等过程特征^[15].动态概念在进化博弈理论中占有相当重要的地位.按照生物进化复制动态的思想,策略收益较低的博弈方会改变自己的策略,逐步转向较高收益的策略,因此,选择不同策略个体的比例会逐渐发生变化,最终达到系统的演化稳定状态^[16].特定策略比例的变化速度与其比重和其得益超过平均得益的幅度成正比.

复制动态和演化稳定策略是演化博弈中的重

要概念^[17].若策略空间为 S ,群体中选择策略 i 的个体的比例为 x_i , $\sum_{i \in S} x_i = 1$.于是,复制动态方程为

$$F(x_i) = (f_i - \bar{f}) \times x_i \quad (1)$$

其中 f_i 为策略 i 的收益, \bar{f} 为所有个体的平均收益. $F(x_i) = 0$ 的点为复制动态方程的稳定点, $F'(x_i) < 0$ 的稳定点为进化稳定策略.

演化博弈理论已成为社会经济和管理领域重要的研究工具,它对经济形势的远期预测和各种社会普遍现象的诠释具有重要理论支撑^[18].周学广等^[19]对供应链中供应商和采购商的长期合作行为进行演化分析.易全胤等^[20]把合作研发企业分为两种类型,并运用演化博弈理论对企业间合作研发过程中的行为进行深入研究.Wang 等从非完全信息演化博弈角度分析了弹性价格需求下的投标策略,由于投标代理的自适应学习,得到了不同于传统博弈的投标行为演化^[21].Barari 等基于演化博弈视角分析了绿色供应链契约的决策框架,得出环境和经营动机同等重要^[22].借助演化博弈理论,Araujoa 等分析了正式和非正式经济下员工和企业的进入与退出的动力学特征,评估税收的影响^[23].Chatterjee 等研究了演化博弈下不同个体的相互学习能力,推进了演化博弈动力学与计算学习理论的结合^[24].

2 技术与商务评标专家评标行为的演化博弈模型

2.1 分组评标机制特点

1) 技术属性和商务属性具有强的负相关性

技术属性中最主要的是关键性能指标和质量指标,而商务属性中最主要的是价格.通常性能质量好的产品价格更高,如汽车性能好,价格必然高.

2) 技术专家和商务专家具有非合作性

由于技术专家和商务专家分别来自企业的不同部门,代表不同的利益体.他们对企业承担责任不同,因此各自的目标也是不同的.这样,两组专家在评标过程中很可能是非合作的.

3) 评标差异会导致对立情绪加深

当技术组和商务组的评标结果不一致,乃至相反时,评标专家双方就可能产生对立情绪.由于对立情绪具有累积效应,可能会出现矛盾激化的情况.即,技术专家为了自己赞成的标书能够中标,故意打压商务指标有竞争力的标书;而商务专家则可能故意打压技术指标好的标书.当自己偏好的标书累累被否决后,就可能出现对立情绪积累,乃至激化的情况.

分组评标机制的上述特点预示着评标系统和评标行为的复杂性,为规范招投标环境,保证评标的公平性,对分组机制下的评标行为研究很有必要.

2.2 问题描述及符号定义

在分组评标中,存在着众多的技术和商务评审专家,他们为了各自利益最大化,往往会采取机会主义行为而不考虑原则和后果,特别由于技术属性与商务属性间负相关性的存在,更加剧了这种情况出现.根据评标专家参与评标的责任和目的,参照易全胤对机会主义的分类,把评标专家分为机会主义者和长期合作者.把机会主义定义为只寻求每次评标利益最大化的参与者,刻意追求本组属性胜出,而把长期合作定义为每次参加评标都严格执行评标标准,客观公正,能站在整个公司大局的角度去综合考虑和评标.

故引出以下三个研究问题:

- 1) 评标参与者在不知道对方组别专家类型的情况下应该如何决策?
- 2) 技术专家和商务专家如何才能实现共赢,并形成保持长期合作的和谐评标环境?
- 3) 机会主义评标专家的存在会对评标公平性带来什么影响?

为解决上述问题,本文首先构建多属性逆向拍卖分组评标行为的演化博弈模型,影响评标专家收益的主要因素有:

1) 标书属性: 假设有 n_T 个技术属性, n_B 个商务属性, 供应商 / 投标商 k ($k = 1, 2, \dots, K$) 所投标书的第 i 组第 j 个属性值为 a_{ij}^k , T 、 B 分别代表技术组和商务组. w_{ij} 为第 i 组第 j 个属性的权重, 且

$$\sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} = 1, i = T \text{ or } i = B.$$

2) 固定评标成本: 评标专家在评标前和评标中的劳务成本 C_1 .

3) 标书属性差异度: 所有标的技术属性差异度 α_T , 所有标的商务属性差异度 α_B , 属性差异度反映了所有供应商 / 投标商提供产品属性差别程度.

4) 附加评标成本: 评标专家在评标过程中寻求特殊策略和手段而专门研究使本组属性好的标的胜出而付出的附加成本 C_2 .

5) 评标固定酬金: 评标专家参加一次评标得到的劳务酬金 F .

6) 察觉概率: 机会主义被发现的概率 p .

7) 机会损失成本: 评标组织部门一旦发现在评标中有机会主义行为的评标专家, 该专家在以后的评标中参评机会必然减少, 造成的机会损失成本为 M .

8) 组间权重: 一般情况下, 商务组权重 w_B 比技术组权重 w_T 稍高些, 即 $w_B > w_T$ 且 $w_B + w_T = 1$.

9) 评标结果预期收益: 评标结束后, 组织部门会根据评标结果和评标质量由供应商 / 投标商和采购商对评标专家进行奖励. 该收益在评标前是每个评标专家的心理预期收益, 是参加本轮评标时(不知道最终中标结果)的一个预测的期望收益.

2.3 模型建立

假设招标文件中对第 i 组第 j 个属性的投标要求范围为 $[A_{\min_{ij}}, A_{\max_{ij}}]$, 标的属性值中的定性属性定量化后 α_T 与 α_B 计算如下:

(a) 属性标准化

$$b_{ij}^k = \frac{a_{ij}^k - A_{\min_{ij}}}{A_{\max_{ij}} - A_{\min_{ij}}}, \forall i, j, k \quad (2)$$

(b) 第 j 个属性的标准差

$$b_{ij} = \left[\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (b_{ij}^k - \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ij}^k)^2 \right]^{1/2}, \forall i, j \quad (3)$$

(c) 第 i 个属性组的差异度

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} b_{ij}, i = T \text{ or } i = B \quad (4)$$

附加评标成本通常与投标标书的属性差异度成正比, $C_2 = r\alpha$ (r 为一常量), 差异程度越大评标

专家为获得本组最优标的付出的附加成本越高, 如各个标书属性相同时 $\alpha = 0$, 所有标书属性相同, 评标专家就没有这部分成本. 长期合作专家此部分成本忽略不计.

由于大型企业选聘的评标专家大多是本企业内部的高级工程师和财务主管等, 所以评标结果对评标专家有潜在的利益关系. 如, 若技术指标最优的标的最终中标, 那么这种结果会在日后的生产中减少机器故障, 提高生产效率和产量, 这样技术部门年终奖必然增加. 同样, 作为商务专家的企业财务人员, 在技术指标达标的情况下如果最终使价格低廉的标的胜出, 节省了企业资金开支, 可以用于其他项目的投资, 也潜在给自己创造了利益. R 为预期收益参数, 其与采购单位的奖惩措施和力度有关; θ_1 ($\theta_1 > 1$) 为博弈双方均采取合作策略时的收益增长系数, 是对执行合作策略的奖励参数; θ_2 ($0 < \theta_2 < 1$) 为双方均不合作时预期收益的折扣系数, 是对不合作行为的惩罚参数; λ 为博弈方一个选择合作策略一个选择机会主义策略时的预期收益转移系数, 单就预期收益而言, 执行机会主义策略者预期收益增加(投机所得), 而合作策略者预期收益减少(他方投机给己方带来的损失).

每次评标的具体结果会随着标的差异和评标环境的变化而变化, 评标专家在本轮评审时不可能知道本次评标的结果. 在本文的研究中, 是按照平均收益来处理的, 是历史评标经验的一个预期. 在实际的评标过程中, 一般情况下商务组权重比技术组稍大(如: 上海某大型国际招投标公司在实际评标中采用商务组 0.55、技术组 0.45). 由于商务组的权重比技术组稍大, 因此, 所有专家在平均后, 双方均合作或者均机会主义情况下, 单就预期收益来看, 结果会更偏重商务一些.

自然地, 权重越大, 话语权越大. 相同评标策略下, 权重大的组别收益自然较权重小的多, 本文用 $\frac{w_B}{w_T}$ 作为系数乘以 $\theta_1 R$ 、 $\theta_2 R$ 表示商务专家的预期收益; 博弈双方不同策略下权重对结果预期收益的影响做相似处理. 于是技术和商务评标专家不同策略下的结果预期收益如表 1 所示.

表 1 技术和商务评标专家评标结果预期收益

Table 1 Expected return of bid evaluation results for technical and business experts

		商务专家	
		合作	机会主义
技术专家	合作	$\theta_1 R \frac{w_B}{w_T} \theta_1 R$	$(1 - \lambda) R (\frac{w_B}{w_T} + \lambda) R$
	机会主义	$(1 + \lambda) R (\frac{w_B}{w_T} - \lambda) R$	$\theta_2 R \frac{w_B}{w_T} \theta_2 R$

其中 $(\frac{w_B}{w_T} + \lambda) R = (1 + \lambda) R + (\frac{w_B}{w_T} - 1) R$,
 $(\frac{w_B}{w_T} - \lambda) R = (1 - \lambda) R + (\frac{w_B}{w_T} - 1) R (\frac{w_B}{w_T} - 1) R$
 为考虑权重影响给商务专家预期收益带来的增量.

于是, 评标专家在不同策略下的收益如表 2.

表 2 技术评标专家和商务评标专家支付矩阵

Table 2 The payoff matrix of technical and business experts

		商务评标专家		
		类型	合作	机会主义
技术评标专家	合作	u_{11}^T	u_{11}^B	u_{12}^T u_{12}^B
	机会主义	u_{21}^T	u_{21}^B	u_{22}^T u_{22}^B

其中

$$u_{11}^T = \theta_1 R + F - C_1 \tag{5}$$

$$u_{11}^B = \frac{w_B}{w_T} \theta_1 R + F - C_1 \tag{6}$$

$$u_{12}^T = (1 - \lambda) R + F - C_1 \tag{7}$$

$$u_{12}^B = (\frac{w_B}{w_T} + \lambda) R + F - C_1 - \alpha_B r - M_p \tag{8}$$

$$u_{21}^T = (1 + \lambda) R + F - C_1 - \alpha_T r - M_p \tag{9}$$

$$u_{21}^B = (\frac{w_B}{w_T} - \lambda) R + F - C_1 \tag{10}$$

$$u_{22}^T = \theta_2 R + F - C_1 - \alpha_T r - M_p \tag{11}$$

$$u_{22}^B = \frac{w_B}{w_T} \theta_2 R + F - C_1 - \alpha_B r - M_p \tag{12}$$

3 均衡行为分析

3.1 复制动态方程与稳定策略分析

为更好的分析分组评标机制下评标专家行为的演化规律, 为表达方便, 记 $\beta = \frac{w_B}{w_T}$, 一般有 $0 <$

$w_T < w_B < 1$ 故 $\beta > 1$.

当评标参数满足以下四个条件之一时,技术专家和商务专家的策略选择具有较强的不确定性.此情形下评标专家行为策略的选择是一个动态的博弈过程.

Case1: $u_{11}^T > u_{21}^T, \mu_{12}^T < u_{22}^T, \mu_{11}^B > u_{12}^B, \mu_{21}^B < u_{22}^B$

Case2: $u_{11}^T > u_{21}^T, \mu_{12}^T < u_{22}^T, \mu_{11}^B < u_{12}^B, \mu_{21}^B > u_{22}^B$

Case3: $u_{11}^T < u_{21}^T, \mu_{12}^T > u_{22}^T, \mu_{11}^B < u_{12}^B, \mu_{21}^B > u_{22}^B$

Case4: $u_{11}^T < u_{21}^T, \mu_{12}^T > u_{22}^T, \mu_{11}^B > u_{12}^B, \mu_{21}^B < u_{22}^B$

设定长期合作的技术评标专家占总技术评标专家的比例为 x ,则机会主义技术评标专家的比例为 $1 - x$;设长期合作的商务评标专家占总商务评标专家的比例为 y ,则机会主义商务评标专家的比例为 $1 - y$.于是上文中的博弈模型就转化为了演化博弈模型.

技术评标专家的复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(u_C^T - u^T) \tag{13}$$

其中 $u_C^T = yu_{11}^T + (1 - y)u_{12}^T$ 为采用合作策略的技术评标专家的期望收益, $\mu_N^T = yu_{21}^T + (1 - y)u_{22}^T$ 为采用机会主义策略的技术评标专家的期望收益, $u^T = xu_C^T + (1 - x)u_N^T$ 为所有技术评标专家的平均期望收益,于是

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(u_C^T - u^T) = x(1 - x) [y(u_{11}^T - u_{21}^T) + (1 - y)(u_{12}^T - u_{22}^T)] \tag{14}$$

令 $y(u_{11}^T - u_{21}^T) + (1 - y)(u_{12}^T - u_{22}^T) = 0$ 有 $y_0 = \frac{u_{12}^T - u_{22}^T}{(u_{12}^T - u_{22}^T) - (u_{11}^T - u_{21}^T)}$ 且 $0 < y_0 < 1$.

则商务评标专家的复制动态方程为

$$G(y) = \frac{dy}{dt} = y(u_C^B - u^B) \tag{15}$$

其中 $u_C^B = xu_{11}^B + (1 - x)u_{21}^B$ 为采用合作策略的商务评标专家的期望收益, $\mu_N^B = xu_{12}^B + (1 - x)u_{22}^B$ 为采用机会主义策略的商务评标专家的期望收益,所有商务评标专家的平均期望收益为 $u^B = yu_C^B + (1 - y)u_N^B$,于是

$$G(y) = \frac{dy}{dt} = y(u_C^B - u^B) = y(1 - y) [x(u_{11}^B - u_{12}^B) + (1 - x)(u_{21}^B - u_{22}^B)] \tag{16}$$

令 $x(u_{11}^B - u_{12}^B) + (1 - x)(u_{21}^B - u_{22}^B) = 0$ 有

$$x_0 = \frac{u_{21}^B - u_{22}^B}{(u_{21}^B - u_{22}^B) - (u_{11}^B - u_{12}^B)} \text{ 且 } 0 < x_0 < 1.$$

对于技术评标专家,若 $y = y_0$,则 $F(x) \equiv 0$,这时所有的 x 都是稳定状态;若 $y \neq y_0$,则 $x_1 = 0$ 和 $x_2 = 1$ 是两个稳定状态.对于商务评标专家,若 $x_0 = x_0$,则 $G(y) \equiv 0$,这时所有的 y 都是稳定状态;若 $x \neq x_0$,则 $y_1 = 0$ 和 $y_2 = 1$ 是两个稳定状态.下面讨论四种情况下两组评标专家的演化稳定策略.

Case1 有 $u_{11}^T > u_{21}^T, \mu_{12}^T < u_{22}^T, \mu_{11}^B > u_{12}^B, \mu_{21}^B < u_{22}^B$.对于技术评标专家来说,当 $y > y_0$ 时 $F'(0) > 0, F'(1) < 0$,故 $x_2 = 1$ 是演化稳定策略;当 $y < y_0$ 时 $F'(0) < 0, F'(1) > 0$,故 $x_1 = 0$ 是演化稳定策略.对于商务评标专家来说,当 $x > x_0$ 时 $G'(0) > 0, G'(1) < 0$,故 $y_2 = 1$ 是演化稳定策略;当 $x < x_0$ 时 $G'(0) < 0, G'(1) > 0$,故 $y_1 = 0$ 是演化稳定策略.

结论1 在上述的博弈模型中,如果不存在纯策略纳什均衡解且满足 Case1,初始群体中合作类型的技术和商务评标专家占各自组别专家总量的比例分别为 (x, y) ,则所建立的演化博弈模型中 $O(0, 0)$ 和 $D(1, 1)$ 为演化稳定的汇点,也是演化稳定策略 ESS,而 $A(1, 0)$ 和 $B(0, 1)$ 为不稳定的源点, $C(x_0, y_0)$ 为不稳定的鞍点.

证明 在均衡点 $P(x_n, y_n)$ 处的雅可比矩阵 J 的行列式和迹的值分别记为 $Det(J)$ 和 $Tr(J)$,根据微分方程稳定性理论及判断方法^[20]:

若 $Det(J)|_{P(x_n, y_n)} > 0$ 且 $Tr(J)|_{P(x_n, y_n)} < 0$,均衡点 $P(x_n, y_n)$ 稳定;

若 $Det(J)|_{P(x_n, y_n)} < 0$ 或 $Tr(J)|_{P(x_n, y_n)} > 0$,均衡点 $P(x_n, y_n)$ 不稳定;

由演化动态方程(14)和(16)得 J ,见式(17).相关计算结果如表3.据表3中 Case1 结果,得 $O(0, 0)$ 和 $D(1, 1)$ 为演化稳定策略, $A(1, 0)$ 和 $B(0, 1)$ 为不稳定的源点, $C(x_0, y_0)$ 为不稳定的鞍点.结论1得证.

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x) [y(u_{11}^T - u_{21}^T) + (1-y)(u_{12}^T - u_{22}^T)] & x(1-x) [(u_{11}^T - u_{21}^T) - (u_{12}^T - u_{22}^T)] \\ y(1-y) [(u_{11}^B - u_{12}^B) - (u_{21}^B - u_{22}^B)] & (1-2y) [x(u_{11}^B - u_{12}^B) + (1-x)(u_{21}^B - u_{22}^B)] \end{bmatrix} \quad (17)$$

表 3 不同情形下的均衡点稳定性分析结果

Table 3 The stability analysis of equilibrium point under different situation

结果 情况	均衡点									
	$x = 0, y = 0$		$x = 0, y = 1$		$x = 1, y = 0$		$x = 1, y = 1$		$x = x_0, y = y_0$	
	$Det(J)$	$Tr(J)$	$Det(J)$	$Tr(J)$	$Det(J)$	$Tr(J)$	$Det(J)$	$Tr(J)$	$Det(J)$	$Tr(J)$
Case1	+	-	+	+	+	+	+	-	-	0
	ESS		不稳定		不稳定		ESS		鞍点	
Case2	-	*	-	*	-	*	-	*	+	0
	不稳定		不稳定		不稳定		不稳定		鞍点	
Case3	+	+	+	-	+	-	+	+	-	0
	不稳定		ESS		ESS		不稳定		鞍点	
Case4	-	*	-	*	-	*	-	*	+	0
	不稳定		不稳定		不稳定		不稳定		鞍点	

注: * 表示取值符号不确定。

Case2 有 $u_{11}^T > u_{21}^T, \mu_{12}^T < u_{22}^T, \mu_{11}^B < u_{12}^B, \mu_{21}^B > u_{22}^B$, 对于技术评标专家来说, 当 $y > y_0$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 故 $x_2 = 1$ 是演化稳定策略; 当 $y < y_0$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 故 $x_1 = 0$ 是演化稳定策略。对于商务评标专家来说, 当 $x > x_0$ 时, $G'(0) < 0, G'(1) > 0$, 故 $y_1 = 0$ 是演化稳定策略; 当 $x < x_0$ 时, $G'(0) > 0, G'(1) < 0$, 故 $y_2 = 1$ 是演化稳定策略。

Case3 有 $u_{11}^T < u_{21}^T, \mu_{12}^T > u_{22}^T, \mu_{11}^B < u_{12}^B, \mu_{21}^B > u_{22}^B$, 对于技术评标专家来说, 当 $y > y_0$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 故 $x_1 = 0$ 是演化稳定策略; 当 $y < y_0$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 故 $x_2 = 1$ 是演化稳定策略。对于商务评标专家来说, 当 $x > x_0$ 时, $G'(0) < 0, G'(1) > 0$, 故 $y_1 = 0$ 是演化稳定策略; 当 $x < x_0$ 时, $G'(0) > 0, G'(1) < 0$, 故 $y_2 = 1$ 是演化稳定策略。

Case4 有 $u_{11}^T < u_{21}^T, \mu_{12}^T > u_{22}^T, \mu_{11}^B > u_{12}^B, \mu_{21}^B < u_{22}^B$, 对于技术评标专家来说, 当 $y > y_0$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 故 $x_1 = 0$ 是演化稳定策略; 当 $y < y_0$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 故 $x_2 = 1$ 是演化稳定策略。对于商务评标专家来说, 当 $x > x_0$ 时, $G'(0) > 0, G'(1) < 0$, 故 $y_2 = 1$ 是演化稳定策略; 当 $x < x_0$ 时, $G'(0) < 0, G'(1) > 0$, 故 $y_1 = 0$ 是演化稳定策略。

结论 2 在上述的博弈模型中, 如果不存在纯策略纳什均衡解且满足 Case3, 初始群体中合作类型的技术和商务评标专家占各自组别专家总量的比例分别为 (x, y) , 则所建立的演化博弈模型中 $A(1, 0)$ 和 $B(0, 1)$ 为演化稳定的汇点, 也是演化稳定策略 ESS, 而 $O(0, 0)$ 和 $D(1, 1)$ 为不稳定的源点, $C(x_0, y_0)$ 为不稳定的鞍点。

证明 根据结论 1 证明中的稳定性理论和表 3 中 Case3 对应均衡点的 $Det(J)$ 和 $Tr(J)$ 计算结果, 得 $A(1, 0)$ 和 $B(0, 1)$ 为演化稳定策略, 而 $O(0, 0)$ 和 $D(1, 1)$ 为不稳定的源点, $C(x_0, y_0)$ 为不稳定的鞍点。结论 2 得证。

结论 3 在上述的博弈模型中, 如果不存在纯策略纳什均衡解且满足 Case2 或者 Case4, 则所建立的演化博弈模型中没有演化稳定策略, 博弈双方策略选择具有较强的相互依赖性。

证明 根据结论 1 证明中的稳定性理论和表 3 中 Case2 和 Case4 对应均衡点的 $Det(J)$ 和 $Tr(J)$ 计算结果, 均衡点 $P(x_0, y_0)$ 为鞍点, 其他均衡点均为不稳定点, 其对应策略为不稳定策略, 结论 3 得证。

用两个比例为坐标的平面图来表示技术和商务评标专家两个群体类型比例变化的复制动态关系, 如图 1 所示。

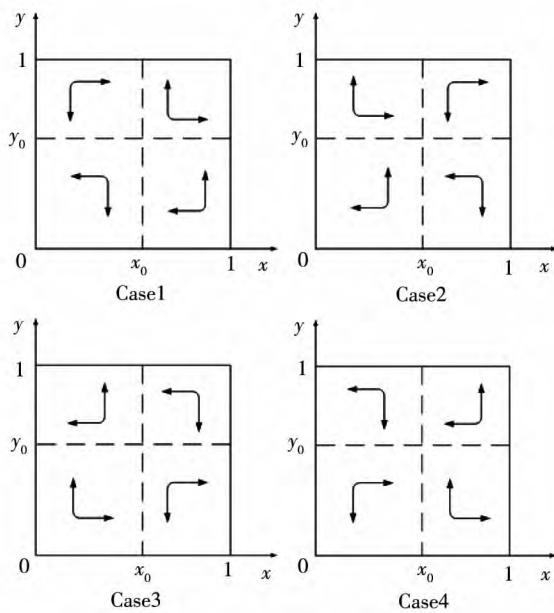


图1 四种情形下两个群体类型比例变化动态关系图

Fig. 1 Dynamic relationship of group types about Case1 - 4

3.2 影响演化稳定的因素分析

在上面的演化博弈分析中,只有 Case1 中存在演化稳定策略 $D(1,1)$ (即(合作,合作),也是我们所期望的评标专家行为策略,为企业和政府得到真正好的标的提供保障.在此,本文重点分析 Case1 下影响演化稳定的因素.从结论 1 的演化均衡点可以看出,评标专家群体演化的最终结果为:要么所有的评标专家都变为合作者,要么所有的评标专家都变成机会主义者.具体的演化相位图如图 2 所示.

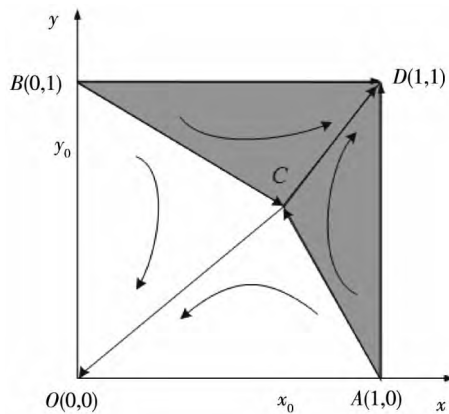


图2 Case1 技术与商务评标专家演化相位图

Fig. 2 Evolution phase diagram of technical and business experts in Case1

由图 2 可知,当评标专家组的初始状态落在四边形 $OACB$ 内的任意一点时,系统最终都会收敛于 $O(0,0)$,所有评标专家都演化为机会主义

者.此状态下,技术和商务评标专家都没有获得最大期望收益,但是作为评标专家的任何一方都不会单独改变策略,于是评标专家的评标行为陷入不良状态.大量机会主义行为评标专家的存在使评标处于混乱状态,有失评标公平性,造成真正优秀标的流失,给供应商/投标商和采购部门带来损失.故当评标环境处于这种非公平状态时,需要评标组织管理部门进行干预和管理.当初始状态处于四边形 $ADBC$ 内的任意一点时,系统最终都会收敛于 $D(1,1)$,所有的评标专家都将执行合作策略,而且技术和商务评标专家达到双赢都实现了各自的最大期望收益.此时这种评标环境处于一种良性状态,不需要评标管理部门进行任何干预.同时可以看到,当鞍点 $C(x_0, y_0)$ 越靠近均衡点 $O(0,0)$,阴影部分 $ADBC$ 的面积越大,系统向 $D(1,1)$ 演化的概率越大,而向 $O(0,0)$ 演化的概率越小.这正是所期望的演化模式.

而 $ADBC$ 的面积为

$$S_{ADBC} = 1 - \frac{x_0 + y_0}{2} = 1 - \frac{1}{2} \frac{(\lambda + \beta\theta_2 - \beta)R - Mp - \alpha_B r}{[(\theta_1 + \theta_2) - 2]\beta R} - \frac{1}{2} \frac{(\lambda + \theta_2 - 1)R - Mp - \alpha_T r}{(\theta_1 + \theta_2 - 2)R}$$

由上式得到影响阴影部分 $ADBC$ 面积的因素如下:

$$\frac{\partial S_{ADBC}}{\partial M} > 0, \frac{\partial S_{ADBC}}{\partial p} > 0, \frac{\partial S_{ADBC}}{\partial R} < 0, \frac{\partial S_{ADBC}}{\partial r} > 0, \frac{\partial S_{ADBC}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial S_{ADBC}}{\partial \theta_1} > 0, \frac{\partial S_{ADBC}}{\partial \theta_2} < 0.$$

所以,随着 M, p, r, θ 的增大, S_{ADBC} 将变大,系统向 $D(1,1)$ 演化的概率将变大;而随着 R, λ, θ_2 的增大, S_{ADBC} 将变小,系统向 $O(0,0)$ 演化的概率将变大.

系统向 $D(1,1)$ 演化的概率变大就意味着评标专家中合作者所占的比例在增加,结合博弈支付矩阵,无论是从一次博弈还是从动态演化博弈都可以得出:增大 M, p, r, θ 或减小 R, λ, θ_2 都能增大评标群体中合作者的比例,同时也能够促使系统向着 $D(1,1)$ 的方向演化.属性差异度 α_T, α_B 是供应商/投标商所投商品的固有属性,组间权重是开标前既定的公开信息,所以本文对它们对演

化的影响不做深入讨论.

下面讨论 Case3 下的演化情况: 由结论 2 , 在这种情况下 , 评标专家群体演化的最终结果为要么所有的技术评标专家都变为合作者、所有的商务评标专家都变为机会主义者; 要么所有的技术评标专家都变成机会主义者、所有的商务评标专家都变为合作者. 具体的演化相位图如图 3 所示. 在不同初始群体状态下 , 评标专家群体收敛到演化均衡点 $A(1, 0)$ 或者 $B(0, 1)$ 的分析与 Case1 类似 , 具体收敛到哪一个的概率更大 , 同样与鞍点 $C(x_0, y_0)$ 的位置有关 , 计算和分析方法一样 , 由于 Case3 的最终演化均衡状态没有所期望的最优演化均衡状态 $D(1, 1)$, 故文中不再赘述.

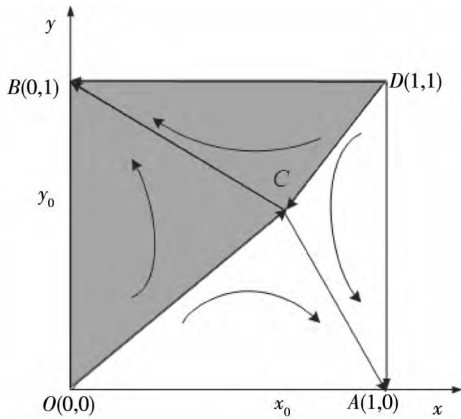


图 3 Case3 技术与商务评标专家演化相位图

Fig. 3 Evolution phase diagram of technical and business experts in Case3

对 Case2 或 Case4 , 由结论 3 , 所建立的演化博弈模型中没有演化稳定策略 , 博弈双方策略选择具有较强的相互依赖性 , 亦即这种情况下评标专家群体的演化存在很大的不确定性 , 况且这种评标环境也不是所期望的 , 故对影响演化的因素本文亦不做深入讨论.

4 数值仿真

为了给评标组织管理部门提供决策支持 , 使其方便、系统和定量分析不同评标初始群体和不同评标环境参数下评标专家行为的演化过程 , 基于 Matlab GUI 平台开发了分组多属性拍卖评标专家行为演化仿真系统. 系统命令菜单: 评标行为仿真系统(系统说明、参数输入、参数重置) , 标的属性(属性输入、属性差异度计算) , 评标行为演

化(演化过程与结果 \ 演化过程相位图) , 初始状态影响演化分析(x_0 不变时 y 演化情况、 x_0 不变时 x, y 相位图、 y_0 不变时 x 演化情况、 y_0 不变时 x, y 相位图) 关闭. 系统界面下端是几个常用的命令按钮.

相关参数如系统界面所示且满足 Case1 条件 , 下面对影响评标专家行为选择的参数和演化路径进行仿真和分析.

1) 评标专家初始群体中某一类型评标专家所占比例对行为选择演化的影响

若初始群体中合作型技术评标专家占总技术评标专家的比例 $x_{i0} = 0.3$, 则合作型商务评标专家占总商务评标专家的不同比例对演化路径的影响如图 4 所示 , 由图知 , 当合作型的商务评标专家所占比例达到某个阈值时 , 最终会使评标行为演化到最优状态; 在合作型技术评标专家比例一定情况下 , 合作型商务评标专家比例越小 , 商务评标专家群体演化为机会主义的速度越快.

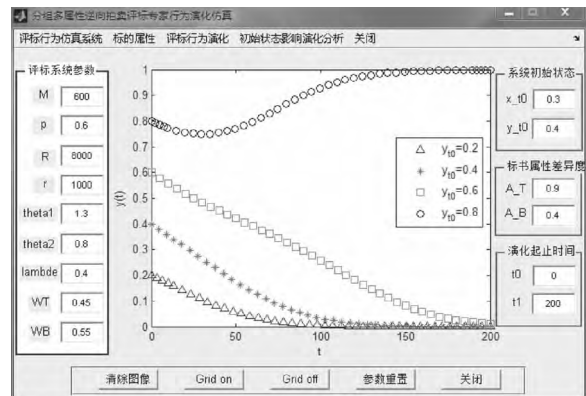


图 4 合作型技术评标专家概率为 0.3 时对商务评标专家演化结果的影响

Fig. 4 The influence on business experts' evolution results when $x_{i0} = 0.3$

图 5 表示合作型技术评标专家占总技术评标专家的比例 $x_{i0} = 0.7$ 时 , 合作型商务评标专家占总商务评标专家的不同比例对演化路径和结果的影响 , 其他评标参数与图 4 完全相同. 从结果可以看出 , 参与到评标中的机会主义技术评标专家的比例减小 , 会使商务评标专家演化为合作类型的概率大大增加.

因此 , 在评标专家初始群体中 , 机会主义评标专家所占的比例对于演化的路径具有重要的作用 , 这为优化评标行为提供了重要的决策依据. 无论是政府和大型企业选择评标专家还是评标组织部门组织评标的过程中都应该致力于排除机会主

义评标专家的存在.

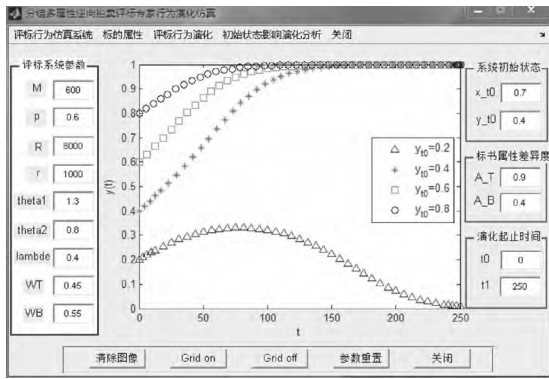


图5 合作型技术评标专家概率为0.7时对商务评标专家演化结果的影响

Fig. 5 The influence on business experts' evolution results when $x_{10} = 0.7$

2) 机会损失成本、察觉概率和增长系数对演化路径的影响

增大机会损失成本 $M = 800$,其他参数设定与图4完全相同,演化结果如图6所示.对比结果发现,当机会损失成本增加时,会减少机会主义评标行为,从而合作评标专家的比例增加,演化结束时评标行为达到最优状态的概率大大增加.

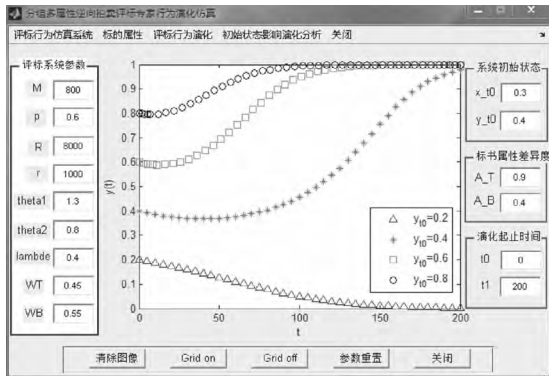


图6 机会损失成本对演化结果的影响

Fig. 6 The influence on evolution results of opportunity loss

若其他参数与图5完全相同,觉察概率降低或增长系数 θ_1 减小时,系统将不再像图5那样大概率地向着最优方向演化,而是向着两个相反的方向演化.

3) 预期收益参数、转移系数和折扣系数对行为选择演化的影响

预期收益参数 R 增大到 12 000 ,其他参数同图5,演化结果如图7所示.预期收益参数或折扣系数的增大意味着执行合作评标策略的收益相对变小,而导致评标专家选择机会主义评标行为的

概率增大,使评标行为陷入不良状态.机会主义评标专家的存在更是推动了这种演化,使评标行为很快演化为无效率状态.

同样,如果只减小转移系数 λ ,合作型评标专家的收益有所增加,机会主义评标专家收益有所降低,因此系统向最优状态演化的概率将增大.

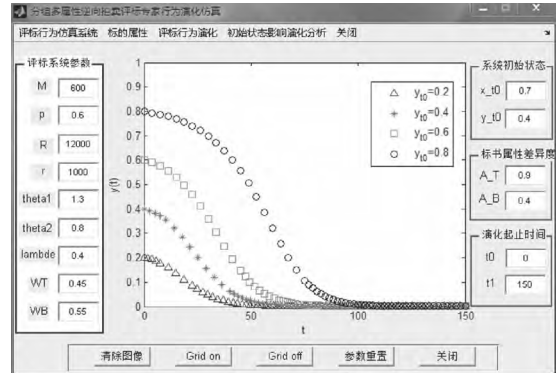


图7 预期收益参数对演化结果的影响

Fig. 7 The influence on evolution results of expected return

4) 标书属性差异度对行为选择演化的影响

标书属性的差异度是影响评标专家决策的一个重要因素,属性差别程度会直接影响评标专家的评标行为.若单独考虑属性差异度对评标专家行为演化的影响,当商务属性的差异度 α_B 增大到 0.6 时,演化结果如图8所示.

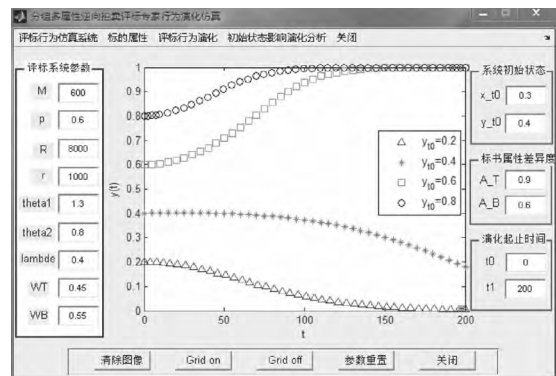


图8 标书属性差异度对演化结果的影响

Fig. 8 The influence on evolution results of the bidding document attributes' diversity factor

与图4比较,会发现一个有趣的现象,在四种情况下,从演化最终状态来看, $y_{10} = 0.6$ 时商务评标专家行为将演化为合作,其他三种情况演化结果不变;但是系统向 $D(1, 1)$ 演化的收敛速度明显提高,而系统向 $D(0, 0)$ 演化的收敛速度明显降低.这说明:在演化过程中,属性差异程度增大,使评标专家倾向于选择机会主义策略,但随着博

弈的进行, 评标专家发现非合作策略是损人不利己的策略, 于是在演化后期转变为选择合作策略, 加快系统向合作策略的演化。

仿真结果表明评标行为是一个不断学习、模仿的过程, 其演化存在着多样性和复杂性。从管理学角度分析, 其一, 评标专家获取的关于标书的信息的不对称性为机会主义评标提供了温床, 机会行为的收益则进一步强化了个人的机会主义动机。其二, 专家的有限理性使资源配置问题和效率问题被机会主义行为加重, 评标行为变得十分复杂。如果说有限理性制约了决策最优程度, 机会主义则影响了其他评标专家的最优决策。单就一次评标博弈过程来说, 评标专家不会为了集体的利益而有所奉献, 相反会不遗余力地追求自身利益最大化, 尽管这种情况下的博弈结果对集体来说往往不是最佳状态。一定程度上, 合作的时间与评标次数成为专家采取机会主义行为的诱因, 因此, 从多次博弈和长期合作的角度来看, 应该提倡优秀评标专家多次参加评标, 以利于评标行为向合作策略演化。其三, 作为评标组织管理部门, 应该重视制度的重要性。制度的一个重要功能就是约束人的机会主义行为, 通过系统、科学地预测被管理者可能的机会主义行为, 在制度设计时就更有针对性, 从而使制度更加趋于完善, 也因此更有利于管理目标的实现。

从以上对分组评标行为的演化博弈研究和分析得到启示, 作为评标组织管理部门, 在评标开始前要科学统计供应商 / 投标商标书的属性差异、预测技术和商务评标专家中合作类型比例, 从而制定合理的评标参数、激励机制和管理措施, 使其满足 Case1 并使系统向 $D(1, 1)$ 演化的概率达到最大。

5 结束语

评标机制是影响招投标公平性和资源配置的

重要因素, 决定着政府和大型企业集团集中采购商品和服务的质量。分组多属性评标是当今普遍采用的评标机制, 本文主要研究了评标专家有限理性前提下的评标行为演化。提取了影响评标专家决策收益的主要因素, 建立了技术和商务专家评标行为的博弈支付矩阵和复制动态方程, 分析了评标行为策略的演化稳定性。当不存在纯策略均衡时, 从理论上证明了演化稳定策略的存在条件和演化规律, 分析了评标行为的演化路径以及影响演化的因素, 揭示了评标专家个体间的策略选择对群体行为的影响。

为系统和定量的研究评标行为的演化, 基于 Matlab GUI 平台开发了分组评标专家行为演化仿真系统。用数值实验演示了评标专家组初始群体状态的改变和决策参数的不同取值对演化结果的影响。仿真结果表明, 评标行为演化稳定因素的理论分析和仿真结果是一致的。

站在评标管理者的角度, 可以采取以下措施防范机会主义, 促使评标专家采取合作策略:

(1) 加强评标组织和管理部门队伍建设, 提高觉察概率, 即提高对机会主义专家的发现能力。

(2) 增大机会损失成本和合作策略收益增长系数, 以提高专家执行合作策略的积极性。

(3) 适当降低预期收益参数、预期收益折扣系数和预期收益转移系数, 一定程度上降低机会主义投机的收益, 促使向合作策略演化。

(4) 加强评标管理队伍和制度建设, 提高评标工作效率和公平性。

本文的研究方法和结果可以为评标组织和管理部门提供决策支持, 根据当前评标环境, 采取适时的管理对策, 引导评标专家向着长期合作方向演化, 提高评标公平性。纳入心理学模型和评标专家的数量并研究其变化对评标行为演化规律的影响是进一步工作。

参考文献:

- [1] Cheng C. Solving a sealed-bid reverse auction problem by multiple-criterion decision-making methods [J]. Computers and Mathematics with Applications, 2008, 56: 3261 - 3274.
- [2] 王宏. 多物品网上拍卖的最优设计 [J]. 管理科学学报, 2011, 14(12): 1 - 16.
Wang Hong. Optimal mechanism design for multi unit online auctions [J]. Journal of Management Sciences in China, 2011,

- 14(12): 1–16. (in Chinese)
- [3] 祁宁, 汪定伟. 允许不完全拍卖的多轮逆向组合拍卖机制[J]. 管理科学学报, 2013, 16(3): 61–67.
Qi Ning, Wang Dingwei. Multi-round reverse combinatorial auction mechanism allowing incomplete auction[J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(3): 61–67. (in Chinese)
- [4] Tunca T I, Wu Q. Multiple sourcing and procurement process selection with bidding events[J]. Management Science, 2009, 55(5): 763–780.
- [5] 饶从军, 赵勇. 可分离物品多属性采购拍卖的最优机制[J]. 系统工程学报, 2012, 27(1): 88–98.
Rao Congjun, Zhao Yong. Optimal mechanism of multi-attribute procurement auction for divisible goods[J]. Journal of Systems Engineering, 2012, 27(1): 88–98. (in Chinese)
- [6] Perrone G, Roma P, Nigro G L. Designing multi-attribute auctions for engineering services procurement in new product development in the automotive context[J]. International Journal of Production Economics, 2010, 124: 20–31.
- [7] Ray A K, Jenamani M, Mohapatra P K J. Supplier behavior modeling and winner determination using parallel MDP[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38: 4689–4697.
- [8] Lai K K, Liu S L, Wang S Y. A method used for evaluating bids in the Chinese construction industry[J]. International Journal of Project Management, 2004, 22: 193–201.
- [9] 汪定伟. 分组的多属性逆向拍卖的评标行为分析[C]. 第五届(2010)中国管理学年会——信息管理分会场论文集, 2010.
Wang Dingwei. Bidding Evaluation Behavior Analysis of Grouped Multi-Attribute Reverse Auction for Centralized Procurements[C]. The Fifth(2010) Chinese Academy of Management Annual Meeting. (in Chinese)
- [10] Bendoly E, Donohue K, Schultz K L. Behavior in operations management: Assessing recent findings and revisiting old assumptions[J]. Journal of Operations Management, 2006, 24: 737–752.
- [11] Leeuw S, van den Berg J. Improving operational performance by influencing shopfloor behavior via performance management practices[J]. Journal of Operations Management, 2011, 29: 224–235.
- [12] 黄河, 陈剑. 拍卖采购合同及议价谈判机制设计[J]. 管理科学学报, 2010, 13(3): 1–7.
Huang He, Chen Jian. Mechanism design on auctioning procurement contracts and bargaining[J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(3): 1–7. (in Chinese)
- [13] Peters C, Bodkin C D. An exploratory investigation of problematic online auction behaviors: Experiences of eBay users[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 2007, 14: 1–16.
- [14] Rodriguez M A, Bollen J, de Sompel H V. Mapping the bid behavior of conference referees[J]. Journal of Informetrics, 2007, 1: 68–82.
- [15] Fishman M A. Asymmetric evolutionary games with non-linear pure strategy payoffs[J]. Games and Economic Behavior, 2008, 63: 77–90.
- [16] Cai G, Kock N. An evolutionary game theoretic perspective on e-collaboration: The collaboration effort and media relatedness[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 194: 821–833.
- [17] Riechmann T. Genetic algorithm learning and evolutionary games[J]. Journal Economic Dynamics Control, 2001, 25: 1019–1037.
- [18] 谢识予. 经济博弈论[M]. 第三版, 上海: 复旦大学出版社, 2007.
Xie Shiyu. Economics Game[M]. 3rd edition: Shanghai: Fudan University Press, 2007. (in Chinese)
- [19] 周学广, 张坚, 杜建国. 基于逆向拍卖的演化博弈分析[J]. 中国管理科学, 2010, 18(5): 171–178.
Zhou Xueguang, Zhang Jian, Du Jianguo. Evolutionary game analysis on reverse auction[J]. Chinese Journal of Management Science, 2010, 18(5): 171–178. (in Chinese)
- [20] 易余胤, 肖条军, 盛昭瀚. 合作研发中机会主义行为的演化博弈分析[J]. 管理科学学报, 2005, 8(4): 80–86.
Yi Yuyin, Xiao Tiaojun, Sheng Zhaohan. Evolutionary game analysis on opportunistic behavior in cooperative R&D market[J]. Journal of Management Sciences in China, 2005, 8(4): 80–86. (in Chinese)
- [21] Wang J H, Zhou Z, Botterud A. An evolutionary game approach to analyzing bidding strategies in electricity markets with elastic demand[J]. Energy, 2011, 36: 3459–3467.

- [22] Barari S , Agarwal G , W J(Chris) Zhang. A decision framework for the analysis of green supply chain contracts: An evolutionary game approach [J]. *Expert Systems with Applications* , 2012 , 39: 2965 – 2976.
- [23] Araujo R A , de Souza N A. An evolutionary game theory approach to the dynamics of the labour market: A formal and informal perspective [J]. *Structural Change and Economic Dynamics* , 2010 , 21: 101 – 110.
- [24] Chatterjee K , Zufferey D , Nowak M A. Evolutionary game dynamics in populations with different learners [J]. *Journal of Theoretical Biology* , 2012 , 301: 161 – 173.

Analysis of referee experts' behaviors for grouped bid evaluation based on evolutionary game

LIU Xu-wang^{1 2} , WANG Ding-wei²

1. Institute for Management Science and Engineering , Henan University , Kaifeng 475000 , China;
2. Institute of Systems Engineering , Northeastern University , Shenyang 110004 , China

Abstract: Reverse auctions are widely used for centralized procurements in large enterprises and government department. The bid evaluation mechanism is a key factor for a fair auction and resource allocation. The current bid evaluation process is usually done by two groups , a business and a technical expert group , respectively. When human factors are taken into consideration , the antagonistic feelings and noncooperation behaviors between groups inevitable prevail. Firstly , the paper constructs a noncooperative game model based on grouped bid evaluation behaviors in order to analyze the conditions for achieving a long-term cooperative equilibrium between groups , meanwhile , it obtains the replicator dynamics equations about the technical-business experts game. Secondly , it analyzes the evolution paths and the factors influencing the bidding evaluation behaviors based on the evolutionary game. We also describe the effect of individuals' choice of policy on group behaviors. Third , to maximize the clarity on these bid evaluation behaviors , we develop a simulation system based on the evolution process and run it several times on a Matlab GUI platform , which is convenient for adjusting relevant parameters. The simulation results prove the effects of decision-making parameters as well as start-up variants on initial conditions that determine further (possible) evolutions. The methods and results presented in this paper can enhance the decision-making support of administrative departments in their bid evaluations of procurements in order to guide the referee experts' behaviors into the desired channels to achieve optimal outcomes , so that a more judicious bidding evaluation process may result.

Key words: multi-attribute reverse auction; behavior operation management; grouped bid evaluation; evolutionary game; behavioral analysis