第 13卷第 2期
2010年 2月
管 理 科 学 学 报
JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCES IN CHINA
Vol 13 No. 2
Feb. 2010

组合拍卖与议价谈判机制设计研究①

黄 河[1], 陈 剑[2]
(1. 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400030; 2. 清华大学经济管理学院, 北京 100084)

摘要: 设计了一种先"组合拍卖"再"议价谈判"的多物品出售两阶段机制. 论文分析表明, 机制的组合拍卖阶段保持了 VCG机制的激励相容性质, 在机制的议价谈判阶段, 存在 4种不同类别的获胜投标者, 就拍卖者将采取的不同价格策略, 可将其区分为"第 1类投标者"和"第 2类投标者". 据此, 找到了拍卖者采取不同价格策略的相应条件. 给出了该机制中拍卖者与任意获胜投标者之间的博弈均衡路径. 就买卖双方的总估价而言, 存在不同相对关系下的不同交易结果. 对比该机制和经典 VCG 机制, 该机制改进社会交易福利值为: 第 1类投标者在议价价格和 VCG价格下带给拍卖者利润的变化值. 此结果表明, 该机制的社会交易福利优于经典 VCG 机制.

关键词: 组合拍卖; 议价谈判; 机制设计; VCG 机制
中图分类号: F724.59 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2010)02-0001-11

0 问题提出与文献回顾

谈判或者议价常常是现实生活中不可避免的重要协商阶段, 谈判可以提高先前合同 (比如, 拍卖、笔试、预赛等) 的预分配效率和社会福利, 或者降低交易成本或测试成本. 更一般地, 两阶段或多阶段的博弈决策机制在其第 1阶段的决策中, 从大量参选人员中选择出少量获胜者, 并尽可能地使其披露真实私有信息, 而在机制的后续阶段进行更有效率的决策. 类似的典型例子有, 复杂项目的招投标 + 谈判、研究生招生中的笔试 + 面试、奥运会中的预赛 + 复赛 + 决赛等等. 博弈论框架下的两阶段决策机制能够提高决策效率, 降低决策成本, 具有重要的实际意义和理论价值.

关于本文研究的一次性出售多种物品的运作, 最常见的机制就是组合拍卖. 很多情况下, 拍卖者要在一次拍卖中拍卖多种 (件) 物品. 特别地, 由于对于某些投标者, 一些物品的价值随着他得到另外的物品而升高. 因此, 拍卖者往往要将不同品种的拍卖品, 组成各种允许组合, 绑定在一起拍卖; 或者让投标者自己任意选择需要的物品组合, 并对该组合进行投标, 这样的拍卖形式被称为组合拍卖 (combinatorial auction 或 combinational auction). 组合拍卖的研究涉及到组合拍卖的获胜者确定问题 (WDP)、拍卖机制设计、投标者投标语言和投标策略等等. Cramton[1]、RothKopf[2]、Sandholm[3]、陈培友和汪定伟[4]等对组合拍卖的 WDP问题的数学描述、求解方法及其算法复杂性都作了大量的工作. 除了 WDP问题之外, 最具挑战性和吸引力的研究领域之一就是机制设计. 对于组合拍卖的最优机制设计问题, 分配效率 (allocation efficiency)常常是机制设计者追求的重要目标之一. 简单地说, 机制的分配效率是指最终分配结果使得参加机制的所有人的效用总和最大化. 实际上, 最著名的能够实现分配效率的组合拍卖机制就是 VCG 机制. 值得说明, 在分析公共品的有效供应问题时, Clarke(1971)提出了著名的

① 收稿日期: 2008-04-12; 修定日期: 2008-08-18.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70701040).
作者简介: 黄 河(1977—), 男, 重庆人, 博士, 教授. Email: huanghe@cqu.edu.cn

Clarke机制,该机制可以使得分配效率在占优策略下被执行.后来,Groves[5]对该机制进行了一般化,被称为 Groves机制.实际上,更早期的Vickrey[6]拍卖就是 Clarke-Groves机制的特例.现在,用 Vickrey-Clarke-Groves机制 (简称 VCG机制)来通称这一类机制.

近年来,单独研究谈判(renegotiation)的文献也很丰富,大都是从经济学角度考虑双边(bilateral)谈判机制的性质和执行条件;很多关于机制设计的文献是将事后谈判(ex-post renegotiation)的可能性,作为约束条件纳入事前(ex-ante)机制或合同设计之中,证明机制对于事后谈判的鲁棒性(renegotiation-proofness)[7-9].研究议价(bargaining)的文献中,没有关于物品组合或多物品讨价还价的研究,全都集中在议价双方对于单个物品的价格争论上[10-13],其中,Cramton[12]研究了双边信息不对称情况下的时间延迟谈判战略,对于后续研究具有重要意义.汪定伟等[13]针对电子商务环境下集中采购的价格谈判特点,提出了讨价还价轨迹图的概念,该轨迹图记录了谈判对手的历史谈判数据,为当前谈判提供参考.关于拍卖和谈判相结合的研究,Branco[14]在投标者的成本函数具有相关性的假设下,考虑到拍卖和谈判的复合机制,但文章研究的是单物品采购,且仅分析了相应模型下最优机制具有的性质,没有讨论谈判或议价阶段实现均衡的具体过程.Wang[15]亦探讨了单物品采购拍卖和后续再谈判的结合,模型中发生谈判的概率是谈判成本和潜在投标者个数的减函数,但是由于模型复杂而没有得到均衡策略,研究了均衡策略的存在性和一些性质.实际上,在多物品出售业务中,先拍卖招标而后议价谈判的机制也很重要,本文正是致力于它的机制设计工作.

本文的特色和与相关研究的主要区别是,在一次性出售多种物品的运作中,相应的两阶段机制设计具有如下特殊性:其一,异质多物品出售必须利用组合拍卖先找到获胜投标者;其二,两阶段机制中买卖双方的信息披露问题有别于单阶段机制;其三,谈判阶段存在时间成本,谈判时间的拖延(谈判回合的增加)对于买卖双方都是效用损失;其四,不同于单物品拍卖,组合拍卖中的获胜投标者存在不同类别.基于此,本文设计了先“组合拍卖”再“议价谈判”的两阶段机制——先通过组合拍卖(VCG机制)遴选出获胜投标者,再与所有获胜投标者进行关于价格的议价谈判.本文将证明,机制的组合拍卖阶段和议价谈判阶段中的诸多良好性质.特别是,研究发现本机制改进了经典 VCG机制的社会交易福利.

1 模型假设与机制设计

假设,拍卖者要拍卖 N 种不同物品,每种物品数量为 1个单位.存在 n 个简单投标者(simple minded supplier),任意投标者的意愿是:只对 1个物品组合感兴趣,且要么得到自己投标(此物品组合)中的全部物品,要么什么也不要.拍卖者根据所有投标者的投标组合,按照后续详述的优化目标遴选获胜者集合 ω.

本文设计一类多物品拍卖的两阶段机制——“组合拍卖+议价谈判”:第 1阶段中,拍卖者将采用 VCG组合拍卖机制,依据投标者的组合投标和相应的获胜者确定方案,机制将遴选出拍卖阶段的获胜投标者集合 ω,并实现社会福利最大化(分配效率)的分配原则,且将拍卖阶段的 VCG付酬(暂定付酬)告知获胜投标者.第 2阶段是谈判阶段,基于对获胜者集合 ω 中各成员的分析,拍卖者将区分不同类别的获胜者并分而治之.拍卖者将判断是否直接采取拍卖阶段的付酬方式进行付酬,或者宣布此次组合拍卖失败,或者提出新的议价价格.针对拍卖者提出的议价价格,获胜者 j 有权和拍卖者进行议价(bargaining).如果拍卖者决定直接采取拍卖阶段的暂定付酬方式,或者宣布拍卖失败,获胜者 j 则必须接受.

特别需要说明本机制中的 4个重要因素——信息、时间、付酬和获胜者类别.1)关于信息:拍卖业务开始之初,买卖双方互相不知道对方对于拍卖物品组合的真实估价.即所有人都保有自己的私有信息.第 1阶段(拍卖)结束后,通过 VCG机制的 WDP问题,获胜者集合中成员向拍卖者显露了私有信息——对投标组合的真实估价.但是,投标者则仍然不掌握拍卖者的私有信息.在此不完全信息结构下,买卖双方展开第 2阶段(谈判阶段)的博弈.2)关于时间:在组合拍卖阶段中,假定拍卖必须在事先给定的时间范围内结束,因此不再考虑其时间成本.在谈判阶段中,如果拍卖

者立刻按照拍卖阶段的暂定付酬方式对某些(或者全体)获胜投标者付酬,则对于买卖双方都无时间耽误.如果拍卖者对获胜投标者中的某些或全体成员,提出新的议价价格并等待对方回应,那么模型假定时间被延迟了一个定值,同时对于相应的买卖双方都存在效用折扣,具体符号后文详述. 3)关于付酬:在拍卖阶段,拍卖者对获胜投标者们给出的(暂定)付酬方式,是针对在谈判阶段无需就新价格进行议价的获胜投标者的交易价格.在谈判阶段,拍卖者将区分不同类别的获胜投标者,对于某些类别的投标者将提出新价格,而不再沿用拍卖阶段的付酬方式. 4)关于获胜投标者类别:本文分析发现,获胜投标者类别是“组合拍卖+议价谈判”与“组合拍卖”或者“单物品拍卖+谈判”的重要区别之一.结合关于付酬方式的论述,将证明获胜投标者类别对于谈判阶段的拍卖者策略具有重要意义.

下面说明主要符号和机制的设计细节. i表示每个具体的拍卖物品,I表示所有拍卖物品的集合,$i\in I$;且拍卖物品数为N,也即$|I|=N$. I的任何子集$b\subseteq I$代表1个物品组合,也就是1个投标.在拍卖阶段,投标者j对组合b的投标(估价)记为$V_j(b)$.依据基于占优策略的显示原理[16],将在本机制的第1阶段设计直接组合拍卖机制,“直接”的含义是:投标者的投标只需要包含两个信息:其感兴趣的物品组合b,和其对该组合的估价$V_j(b)$.模型中,对于第1个阶段的组合拍卖将采用VCG机制,本文将其简化表示如下

VCG: $\{A, P_A\}$

其中,A代表所有可行分配方式的集合,即是将所有物品不重复无遗留地分配给不同投标者的全部可能方案的集合;P_A表示组合拍卖阶段对获胜投标者的暂定付酬方式.这里使用“暂定”一词是因为,该付酬方式可能在后续议价谈判中发生改变.

式(1)给出了拍卖阶段确定获胜投标者的优化问题,它的优化目标就是分配效率(allocation efficiency),即是系统利润最大化——所有买主对于全体拍卖物品的估价与拍卖者(卖家)对于全体物品估价的差值最大化.

$$\max_{a\in A}\sum_{j=1}^{n}[V_j(b)-S_j(b)]\quad \text{s.t.}\ b\in a \qquad (1)$$

其中

$$V_j(b)=\sum_{i\in b}v_j(i) \qquad (2)$$

$$S_j(b)=\sum_{i\in b}s(i) \qquad (3)$$

式中,a指某个可行分配方式,是所有可行分配方式集合A中的一个元素,$a\in A$.显然,投标物品组合b是某个分配方式a的1个元素,即$b\in a$.需要说明,可行分配方式a是泛指各种(存在限制或者没有限制条件下的)分配方案.即使在没有特殊投标组合结构限制下,a也要求其全体元素b是拍卖物品集合I的一个划分(partition).由于本文主要研究机制设计问题,无需详细说明可行分配方式的具体要求.本模型假定有足够的供应商来投标,即n充分大,以至于对于该WDP问题——式(1),至少存在1个可行解,即A非空. $v_j(i)$指投标者j对于物品i的估价;$S_j(b)$指拍卖者对于物品组合b的真实估价,其值与投标者j无关,下标j是考虑到后续分析中表示方便的需要.进一步,由于$S_j(b)$对于拍卖者是个定值,即是无论最终选定什么样的分配方式a,对于拍卖者而言,全体拍卖物品的原有总效用是个定值.因此,式(1)亦可简化为

$$\max_{a\in A}\sum_{j=1}^{n}V_j(b)\qquad \text{s.t.}\ b\in a \qquad (4)$$

实际上,本机制WDP问题(式(1)或式(4))的含义——“分配效率”即为:要寻找一个最佳的可行分配方式a,使得a中全体元素b对应的投标者j的真实估价$V_j(b)$之和最大化.

下面给出对于获胜投标者在拍卖阶段的暂定付酬函数,即VCG中的P_A.本机制规定,此暂定付酬无论在议价阶段改变与否,都将在拍卖结束后告知获胜投标商.如果投标者j的投标获胜,即$j\in\omega$,他对拍卖者的暂定付酬即为

$$P_{Aj}(V_j(b))=V(J\backslash j)-V(J)+V_j(b),\quad j\in\omega \qquad (5)$$

式中

$$V(J)=\max_{a\in A}\sum_{k\in[J]}V_k(b) \qquad (6)$$

$$V(J\backslash j)=\max_{a\in A}\sum_{k\in[J\backslash j]}V_k(b) \qquad (7)$$

其中,J是指所有投标者的集合.因此,式(6)的含义是,全体投标者参加投标所产生的最大社会福利.式(7)的含义是,假设投标者j不参加拍卖的

最大社会福利. 那么, 获胜投标者 j的暂定付酬式(5)即为: “投标者 j是否参加投标的最大社会福利之差值” + “投标者 j对物品组合 b的报价(估价)”.

组合拍卖阶段结束后, 拍卖者和全体获胜投标者进入议价谈判阶段, 拍卖者和获胜者都更偏好早结束谈判, 模型用正的折扣率 r来度量双方对于拖延时间的厌恶. 考虑到在谈判阶段, 后续将证明: 拍卖者对于不同类型的获胜者将采取不同的价格策略, 并把采用议价谈判策略的获胜者称为第 1类投标者, 记为 $\omega 1$; 把沿用组合拍卖阶段的暂定付酬方式的获胜者称为第 2类投标者, 记为 $\omega 2$ 则可以用 $< t_1, P_{\omega 1}, t_2, P_{\omega_2} >$ 来表示, 本机制在议价谈判阶段之后的最终分配及付酬结果: 与第 1类投标者谈判花费的时间 t_1和交易价格 $P_{\omega 1}$; 和第 2类投标者谈判时间 t_2及其交易价格 $P_{\omega 2}$, 显然

$$P_{\omega 1} = \sum_{j \in \omega 1} p_j$$

其中, P_j为议价谈判阶段和获胜者 j的新成交价格, 后文将详述其取值. 同时, 由于拍卖者和第 2类获胜者之间不需要继续谈判, 则有

$$t_2 = 0, \quad P_{\omega 2} = \sum_{j \in \omega 2} p_{Aj}$$

那么, 拍卖者、第 1类获胜者和第 2类获胜者各自的净收益由式(8)、式(9)和式(10)分别表示

$$\pi_s = e^{-rt_1}\left(P_{\omega 1} - \sum_{j \in \omega 1} S_j(b)\right) + P_{\omega 2} - \sum_{j \in \omega 2} S_j(b) \tag{8}$$

$$\pi_j = e^{-rt_1}(V_j(b) - p_j), \quad j \in \omega 1 \tag{9}$$

$$\pi_j = V_j(b) - p_{Aj}, \quad j \in \omega 2 \tag{10}$$

式(8)和式(9)中 e^{-rt_1}一项, 是采用经典文献中关于效用按照时间的负指数下降的假设[10-12]. 进一步, 沿用类似 Admati和 Perry[11] 的假设, 双方每一轮谈判的时间间隔为

$$t = -(1/r)\log \delta$$

这样式(8)和式(9)即可分别简化为

$$\pi_s = \delta^m\left(P_{\omega 1} - \sum_{j \in \omega 1} S_j(b)\right) + P_{\omega 2} - \sum_{j \in \omega 2} S_j(b) \tag{11}$$

$$\pi_j = \delta^m(V_j(b) - p_j), \quad j \in \omega 1 \tag{12}$$

其中, δ为谈判周期的折现因子, 且为公有知识; m为谈判轮数.

2 组合拍卖阶段的WDP与投标策略

对于拍卖者及其获胜者确定问题(WDP)而言, 在不可能掌握众多各类型潜在投标者估价信息的情况下, 后续议价阶段可能导致 3种可能结果: 1) 拍卖直接成功 ——对所有获胜投标者都采用拍卖阶段的暂定价格; 2) 继续谈判 ——将对不同类型投标者采取不同的价格策略; 3) 由于总收入小于拍卖者对于出售物品的总估价, 最终交易失败. 而这 3种情况发生的概率对于买卖双方都难以度量, 同时考虑到相应的投标者均衡策略不可求[12-14]. 因此, 拍卖者基于自身期望收益(expected revenue)最大化的获胜者确定方案不可能求得. 所以, 拍卖者最合理的 WDP方案应该是, 考虑获胜者集合能实现以下两个方面的目的: 1) 分配效率, 也即是系统利润最大化. 2) 激励相容, 也即是要求投标者出于自利的目的, 而投标自己的真实成本函数. 理论上, 这两个目的也是绝大部分机制设计者的共同追求. 如前所述, 式(1)和式(4)给出的获胜者确定的优化问题, 它的优化目标就是社会剩余最大化. 对于激励相容性质, 命题 1将说明拍卖阶段的 VCG机制具有此性质.

对于投标者而言, 即使在可能发生谈判的单物品拍卖中, 基于期望收益最大化的均衡投标策略的求解都十分困难. 在 Branco[14] 和 Wang[15] 关于拍卖 + 谈判的研究中, 投标均衡策略都不可求得. 实际上, 潜在投标者会选择使得事后(ex-post)效用最大化的投标方案, 这里“事后”是指, 由于前述 3种可能结果的概率对于投标者同样难以度量, 投标者则将选择使得“拍卖直接成功”的事后收益最大化的策略 —— 投标 $V_j(b)$, 也就是投标者 j对于其投标组合 b的真实估价. 换言之, 本机制的拍卖阶段是占优策略下激励相容的. 命题 1将形式化这个结论.

命题 1 在机制的组合拍卖阶段中, 投标真实估价是所有投标者的占优策略.

证明 假定投标者 j已经入选获胜者集合 ω, 为了表述的方便, 此处用 B_j表示投标者 j对于其投标组合 b_k的真实估价, 那么 j在拍卖阶段的

事后收益可表达为

$$\begin{aligned} & u_j(V_j(b_k), p_{Aj}) \\ &= B_j - \{V(J\backslash j) - V(J) + V_j(b)\} \\ &= V_{-j}(J) - V(J\backslash j) + B_j \end{aligned} \tag{13}$$

因为上式中, 第 2项 $V(J\backslash j)$ 和 j的投标没有关系, 第 3项对于 j是确定值, 而 j的投标间接影响了第 1项 $V_{-j}(J)$ 的取值 (其中, $V_{-j}(J)$ 指有投标者 j参加, 但不计算 j的估价的其他所有获胜投标者的估价之和). 注意到, 除了第 2项 $V(J\backslash j)$ 之外, 上式在形式上只有一项和获胜者确定方案式 (4) 不同, 即上式中的 B_j 和式 (4) 中投标者 j的投标 $V_j(b)$. 因此, 投标者必须使其投标 $V_j(b)$ 等于 B_j, 才能使式 (4) 确定的最优分配方式 a 的选取将式 (13) 最大化.　　证毕.

有关 VCG的激励相容性质的证明有很多版本[6,16], 式 (13) 及其说明是在本文模型框架下给出的分析. 从另一个角度分析, VCG组合拍卖激励相容性质成立的直观原因在于: 如果真实报价能获胜, 则显然真实报价对高报价占优; 如果真实报价不能获胜而高报价获胜了, 由式 (13) 可知, 高报价必然使得事后收益为负. 如果真实报价不能获胜, 则低报价也不能获胜; 如果真实报价能获胜, 则低报价会降低获胜概率. 因此, 真实报价是投标者的占优策略.

在讨论激励相容问题的时候, 模型暗含的假定是投标者都必须参与到拍卖中来. 很多实际情况中, 投标者完全有自由选择不参加某个特定的拍卖. 这样, 就机制而言, 要想成功地执行社会选择函数, 不能仅仅考虑激励相容性质, 还必须考虑个体理性 (individual rationality). 命题 2说明了机制的拍卖阶段对于投标者是事后个体理性的.

命题 **2**　机制的拍卖阶段对于投标者是事后个体理性的.

证明　机制的激励相容性质说明, $V_j(b_k)$ 就是投标者 j对于其投标组合 b的真实估价. 由拍卖付酬函数式 (5) 可知, 获胜投标者 j的事后收益可表示为

$$\Delta_j = V(J) - V(J\backslash j) \tag{14}$$

由于有投标者 j参加的最大社会福利必然大于或等于没有 j参加的最大社会福利, 因此上式显然非负. 即机制拍卖阶段的投标者个体理性得到满足.　　证毕.

实际上, 组合拍卖阶段对于提高多物品出售效率和节约议价成本, 具有重要意义. 如果没有拍卖, 拍卖者将与所有潜在的投标者逐个谈判, 谈判成本之高、谈判时间之长可想而知. 更重要的是, 这样的谈判并不能遴选出获胜者集合. 简言之, 拍卖阶段对于本机制的重要作用在于, 使得投标者显示自己的真实私有信息, 并在短时间内遴选出实现分配效率的获胜者集合, 作为下一阶段的谈判对象.

理论上, 为什么要设计谈判阶段呢? 实际上, 拍卖者在拍卖阶段的 WDP已经优化选择了获胜投标者集合, 系统“蛋糕”已经做到最大. 但是, 后续分析表明, 议价阶段将提高拍卖者的收益. 更重要的是, 那些由于社会总剩余较小而不能在 VCG机制中实现分配效率的交易, 却可以在本机制中达成, 并实现分配效率.

3　议价阶段的获胜者类别与价格策略

首先回顾 Rubinstein[10] 的分析, 在两个谈判者对于效用为 1的“蛋糕”的议价模型中, 如果双方都掌握完全信息, 各自的时间折现因子分别是 δ_1 和 δ_2, 且 $\delta_1 < 1$, $\delta_2 < 1$. 存在如下引理 1.

引理 **1**　上述模型存在惟一的纳什均衡, 先动者获得事后收益 $\frac{1-\delta_2}{1-\delta_1\delta_2}$, 接受者获得事后收益 $\frac{\delta_2-\delta_1\delta_2}{1-\delta_1\delta_2}$[8].

在本机制中, 如果拍卖者和任意一个获胜投标者 j之间, 买卖双方互相知道对方对于物品组合 b的真实估价 ——$S_j(b)$ 和 $V_j(b)$, 利用引理 1容易得到如下命题 3.

命题 **3**　在本模型的议价阶段, 完全信息 (complete information) 结构下, 如果拍卖者对投标者 j给出新的报价, 存在惟一的议价均衡 ——拍卖者的报价即为

$$p_{cj} = \frac{\delta S_j(b) + V_j(b)}{1+\delta} \tag{15}$$

投标者 j将立即接受此报价. 此均衡下, 拍卖者从投标者 j处获得的事后收益为

$$\pi_{sj} = \frac{V_j(b) - S_j(b)}{1+\delta} \tag{16}$$

投标者 j获得的事后收益为

$$\pi_j = \frac{\delta(V_j(b) - S_j(b))}{1+\delta} \tag{17}$$

证明　本模型中, 买卖双方的折现因子相同: $\delta_1 = \delta_2 < 1$, "蛋糕"的大小和获胜者 j有关, 其大小即为买卖双方的系统利润 $V_j(b) - S_j(b)$. 相应的双方事后收益式 (16) 和式 (17) 由引理 1容易得到. 考虑到式 (11) 第 1项的含义可知, 完全信息结构下, 拍卖者与获胜者 j谈判之后, 其获得的事后收益可以表示为

$$\pi_{sj} = \delta^m(p_{cj} - S_j(b)) \tag{18}$$

其中, m取 0(注意 $m = 0$的原因是, 由引理 1证明了此为惟一均衡结果, 即"投标者 j将立即接受此报价", 故没有谈判时间的耽误), 将式 (16) 代入式 (18), 可得到拍卖者的报价策略式 (15).

证毕.

需要说明, 命题 3描述的均衡是在双方信息对称、且由拍卖者先提出报价的情况下得到的. 如果由获胜者 j先提出报价, 情况类似.

为了进一步分析的需要, 下面将探讨本机制议价阶段不同类别获胜者的情况. 首先, 分析拍卖者直接采用暂定付酬或者提出新报价的这个特殊点. 如果拍卖者立即采用暂定付酬, 则获得没有时间折扣的相应收益; 如果拍卖者提出新报价, 等待获胜者 j的回应将会耽误一个议价周期, 使得拍卖者的事后收益打折 δ. 考虑到命题 3的结论, 如果拍卖者将给出新报价, 则必定和式 (15) 形式上相同. 那么, 对于拍卖者而言, 上述两策略的分界点到底为何呢? 考虑这样一个特殊情况下的拍卖者真实估价, 即拍卖者对于 b的真实估价 $S_j(b)$使得立即采用暂定付酬和提出新报价之间没有差异. 此情况下, 考虑到暂定付酬方案式 (5) 和命题 3中式 (15), 下式成立

$$[V(J\backslash j) - V(J) + V_j(b)] - S_j(b) = \delta\left\{\frac{\delta S_j(b) + V_j(b)}{1+\delta} - S_j(b)\right\} \tag{19}$$

整理式 (19), 可在上述特殊情况下得到如下重要关系

$$D_j = (1+\delta)\Delta_j \tag{20}$$

其中

$$D_j := V_j(b) - S_j(b),$$
$$\Delta_j := V(J) - V(J\backslash j)$$

显然, D_j 的经济含义为获胜者 j与拍卖者之间交易物品组合 b, 所带来的系统净利润 (社会福利); Δ_j则表示获胜者 j是否参加该机制对于社会总福利的改变 (即获胜者 j 的外部性, externality). 式 (20) 说明, 单就拍卖者和获胜者 j 的关系而言, 如果双方交易的系统净利润正好等于 $(1+\delta)$倍获胜者 j产生的外部性, 那么拍卖者无论是提出新议价, 还是按照拍卖暂定付酬交易, 其收益相同.

下面, 还将寻找另一个特殊点: 使得暂定付酬和新议价相等的系统净利润 D_j, 此情况下则要求

$$V(J\backslash j) - V(J) + V_j(b) = \frac{\delta S_j(b) + V_j(b)}{1+\delta} \tag{21}$$

整理式 (21), 可在此情况下得到如下关系

$$D_j = \frac{(1+\delta)\Delta_j}{\delta} \tag{22}$$

式 (22) 说明, 对于其产生的系统净利润 $D_j = \frac{(1+\delta)\Delta_j}{\delta}$ 的特殊获胜者 j, 其在拍卖阶段的暂定付酬和议价阶段将得到的新议价相等. 再考虑到, 拍卖阶段暂定付酬带给拍卖者的收益为

$$u_{sj} = [V_j(b) - S_j(b)] - [V(J) - V(J\backslash j)]$$

不难发现还存在一个特殊点: 使得拍卖阶段的暂定付酬对于拍卖者的收益为 0的系统净利润 D_j, 此情况要求下式成立

$$D_j = \Delta_j \tag{23}$$

最后, 考虑议价价格使得拍卖者的收益为 0的特殊点, 则需满足

$$D_j = 0 \tag{24}$$

由上述分析可知, 存在 4个特殊点 (由式 (20) (22) (23) 和 (24) 示出), 该 4点 (其中 $D_j = 0$为数轴原点) 正好把坐标轴分成了 4个区域 (如图 1所示的 ABCD区域), 即存在 4种不同的获胜投标者. 综上, 如果对图 1中 A区域的获胜投标者按照拍卖付酬交易, 则拍卖者的收益为负. 对 B区域的获胜者按照拍卖价格交易虽然使得拍卖商收益非负, 但是议价价格更有利于拍卖者. C区域区间投标者的拍卖付酬虽然低于议价价格, 但是考虑到时间折扣的原因, 仍然是直接采用拍卖付酬

更有利于拍卖者. D区域的投标者的拍卖付酬则高于议价价格, 拍卖者则必定会采取拍卖付酬成交.

依据前面的讨论, 对于 AB区域的投标者, 满足条件 $D_j \leqslant (1+\delta)\Delta_j$, 应采取谈判策略以增加拍卖者收益. 对于 CD区域的投标者, 满足条件 $D_j > (1+\delta)\Delta_j$, 对于拍卖者而言, 由于立即采取 VCG拍卖价格的收益高于谈判收益, 显然立即以拍卖确定的暂定价格交易对拍卖者有利. 由于价格策略的上述区分, 可以将 AB区域的获胜投标者定义为"第 1类投标者", 记为 ω1; 将 CD区域的投标者定义为"第 2类投标者", 记为 ω2

需要注意, 在本模型的议价阶段, 信息结构为不完全信息情况 (incomplete information). 原因在于, 拍卖阶段结束后, 拍卖者已经通过投标者的投标信息, 知悉了所有获胜投标者的真实估价 (命题 1). 但是, 获胜投标者则不知道拍卖者的真实估价信息. 因此, 命题 3除了自身所表述的意义之外, 还给出了后续不完全信息结构分析的基准点.

由于机制规定了, 拍卖阶段结束后, "将拍卖阶段的 VCG付酬 (暂定付酬) 告知获胜投标者", 因此获胜者都知道自己产生的外部性 Δ_j, 当然也知道自己的真实估价 $V_j(b)$. 所以, 全体获胜者具有确定式 (19) 至式 (24) 及其上述分析的全部信息. 即, 所有获胜者都可以计算上述 4个特殊点 D_j 和对应的拍卖者特殊估价 $S_j(b)$. 同时, 理性的获胜投标者知道拍卖者将对上述两类投标者分而治之. 即获胜投标者知道, 如果拍卖者立即采取拍卖价格成交, 则一定存在关系 $(1+\delta)\Delta_j < D_j$; 如果拍卖者谈判, 一定存在条件 $D_j \leqslant (1+\delta)\Delta_j$. 换言之, 如果拍卖者提出新议价, 拍卖者的真实估价 $S_j(b)$ 一定存在下述关系

$$S_j(b) \geqslant V_j(b) - (1+\delta)\Delta_j \tag{25}$$

理论上, Cramton[12] 已经证明, 如果不采取时间延迟战略作为自己真实估价的信号, 拍卖者无法让获胜投标者知悉并相信自己的真实估价. 但是, 如果采取时间延迟战略, 则对于买卖双方的利润都是损失. 特别是, 在政府拍卖或者政府采购拍卖中, 这样的损失是社会净福利的损失. 因此, 本机制在此不考虑时间延迟战略, 而是考虑拍卖者会采取使得双方最快达成均衡交易结果的报价方式——式 (15) 的 Rubinstein 报价形式, 且其中 $S_j(b)$ 项取值为式 (25) 取等号所示特殊值 $V_j(b) - (1+\delta)\Delta_j$. 将该值代入式 (15) 可得到该议价价格为

$$\begin{aligned} p_j &= \frac{\delta(V_j(b) - (1+\delta)\Delta_j) + V_j(b)}{1+\delta} \\ &= V_j(b) - \delta\Delta_j \end{aligned} \tag{26}$$

因为上述价格 p_j 是拍卖者可能提出的最低议价价格, 所以获胜者将立即同意交易. 另外, 将式 (26) 代入到式 (19) 中替换 $\frac{\delta S_j(b) + V_j(b)}{1+\delta}$ 一项, 仍然得到如式 (20) 所示的特殊 D_j 点. 这就说明, 采用式 (26) 的报价方案比采取拍卖暂定价格更有利于拍卖者的分界点, 就是 $D_j = (1+\delta)\Delta_j$. 这进一步验证了, 在分析存在 4种获胜投标者的基础上, 按照拍卖者的最终价格策略分为"第 1类投标者"和"第 2类投标者", 且分界点即为式 (20) 所示的 $D_j = (1+\delta)\Delta_j$ 是正确的. 综上, 将上述有关获胜投标者的分类, 及拍卖者对其相应价格策略的分析归纳为定理 1.

定理 1 在机制的议价阶段, 买卖双方产生的社会福利值 D_j 等于 $(1+\delta)\Delta_j$ 处为两类投标者的分界点. 且对第 1类投标者 ω1采取谈判策略——提出议价价格 p_j (式 (26)); 对第 2类投标者 ω2直接采用拍卖确定的暂定价格 (式 (5)).

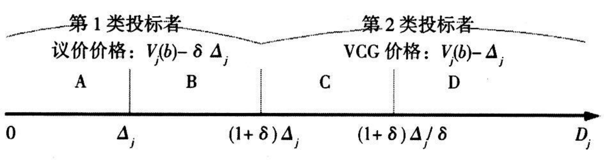

图 1 获胜投标者分类及拍卖者相应议价策略

Fig. 1 Classification of bidding winners and bargaining strategies of auctioneer

下面, 定理 2将给出关于拍卖者宣布交易失败的条件.

定理 2 如果满足 $D(J) < \Delta - (Z_b - Z_a)$, 拍卖者则宣布交易失败; 否则拍卖者按照定理 1对两类投标者分别采取不同价格策略. 且存在关系

$$Z_b > Z_a$$

和

$$\Delta - (Z_b - Z_a) > 0$$

其中

$$Z_b := \delta(\sum_{j\in\omega 1} p_j - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b)),$$

$$Z_a := \sum_{j\in\omega 1}(V_j(b) - \Delta_j) - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b) \quad (27)$$

$$D(J) := \sum_{j\in\omega}(V_j(b) - S_j(b)),$$

$$\Delta := \sum_{j\in\omega}\Delta_j = \sum_{j\in\omega}[V(J) - V(J\backslash j)] \quad (28)$$

证明　如果按照定理 1的价格策略交易的总收益为负, 则拍卖者宣布交易失败, 相应的条件必然要求,

$$\delta(\sum_{j\in\omega 1} p_j - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b)) + \sum_{j\in\omega 2}(V_j(b) - \Delta_j) - \sum_{j\in\omega 2} S_j(b) < 0 \quad (29)$$

上式又等价于

$$\delta(\sum_{j\in\omega 1} p_j - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b)) + [\sum_{j\in\omega 2}(V_j(b) - \Delta_j) - \sum_{j\in\omega 2} S_j(b)] + [\sum_{j\in\omega 1}(V_j(b) - \Delta_j) - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b)] < \sum_{j\in\omega 1}(V_j(b) - \Delta_j) - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b)$$

即

$$\delta(\sum_{j\in\omega 1} p_j - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b)) + (D(J) - \Delta) < \sum_{j\in\omega 1}(V_j(b) - \Delta_j) - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b) \quad (30)$$

考虑到 Z_b, Z_a 的定义, 上式即为

$$D(J) < \Delta - (Z_b - Z_a) \quad (31)$$

式 (31) 即为交易失败的条件.

考虑到“第 1类投标者 ”ω1的定义可知, 对于第 1类投标者, 拍卖者采取议价策略 (且考虑到时间折扣) 优于直接按照拍卖价格交易. 因此, 必然存在如下关系

$$Z_b > Z_a \quad (32)$$

下面要证明 Δ和 $(Z_b - Z_a)$的大小关系, 即需要证明下式成立

$$\sum_{j\in\omega 1}\Delta_j + \sum_{j\in\omega 2}\Delta_j + \sum_{j\in\omega 1}(V_j(b) - \Delta_j) - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b) - \delta(\sum_{j\in\omega 1} p_j - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b)) > 0 \quad (33)$$

考虑到

$$p_j = V_j(b_k) - \delta\Delta_j < V_j(b_k)$$

和 $0 < \delta < 1$的事实, 存在如下关系

$$\sum_{j\in\omega 1} V_j(b) - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b) > \delta(\sum_{j\in\omega 1} p_j - \sum_{j\in\omega 1} S_j(b))$$

并且注意到 $\sum_{j\in\omega 2}\Delta_j > 0$, 可知式 (33) 成立, 也即此定理中如下重要关系成立

$$\Delta - (Z_b - Z_a) > 0 \quad (34)$$

证毕.

依据各自的定义, 定理 2中 Z_b, Z_a, $D(J)$ 和 Δ 都具有明确的经济含义. 分别是, Z_b代表和第 1类投标者谈判, 拍卖者考虑时间折扣后的事后净收益; Z_a则是如果用拍卖暂定价格和第 1类投标者交易, 拍卖者的事后净收益; $D(J)$ 指全体获胜投标者和拍卖者交易产生的系统总净利润; Δ代表所有获胜投标者的外部性之和.

由定理 2, 考虑一种特殊情况 —— 全体获胜投标者都为第 1类投标者, 容易得到如下推论.

推论 1　如果全体获胜投标者都为第 1类投标者, 那么拍卖者则采取谈判策略; 且如果满足条件 $D(J) \leqslant \delta\Delta$, 拍卖者则宣布交易失败.

证明　假定全体获胜投标者都为第 1类投标者, 那么如果谈判给拍卖者带来的收益为负, 则要求下式成立

$$\sum_{j\in\omega} p_j - \sum_{j\in\omega} S_j(b) < 0 \quad (35)$$

将式 (26) 代入上式中的 p_j, 可得

$$\sum_{j\in\omega}(V_j(b) - \delta\Delta_j) - \sum_{j\in\omega} S_j(b) < 0 \quad (36)$$

由式 (36) 即得交易失败条件为 $D(J) \leqslant \delta\Delta$

证毕.

推论 2　如果全体获胜投标者都为第 2类投标者, 那么立即按照拍卖确定的暂定价格交易; 如果满足条件 $D(J) \leqslant \Delta$, 拍卖者则宣布交易失败. (证明略)

注意, 推论 2描述的情形“如果全体获胜投标者都为第 2类投标者, 且满足 $D(J) > \Delta$”, 即为第 3节中分析的 3种可能情况中的第 1种.

4　机制的均衡路径和交易社会福利

根据定理 2, 进一步考虑在均衡路径上, 交易

的最终结果是由买卖双方形成的系统总净利润 $D(J)$ 来决定的. 实际上, $D(J)$ 的大小由“自然”(nature)通过给定拍卖者和所有获胜投标者的真实估价来决定, 考虑到系统总净利润 $D(J)$ 可以表示为如下形式

$$D(J) = V - S$$

其中

$$V = \sum_{j\in\omega} V_j(b),\ S = \sum_{j\in\omega} S_j(b) \qquad (37)$$

那么, 不妨着重关注拍卖者总估价 S 与所有获胜投标者估价之和 V 的大小关系. 这样, 在“自然”实现了对于 $V_j(b)$, $j\in\omega$ 和 $S_j(b)$, $j\in\omega$ 的取值之后, 结合定理 2可知, 议价博弈在均衡路径上存在两种可能性:

1) 如果存在 $V < S + \Delta - (Z_b - Z_a)$, 那么交易失败;

2) 如果存在 $V \geqslant S + \Delta - (Z_b - Z_a)$, 那么交易将以议价价格与第 1类投标者成交, 以拍卖暂定价格与第 2类投标者成交.

结合前述分析, 本机制中拍卖者与任意获胜投标者 j 的(拍卖与议价)博弈之均衡路径可图示如下.

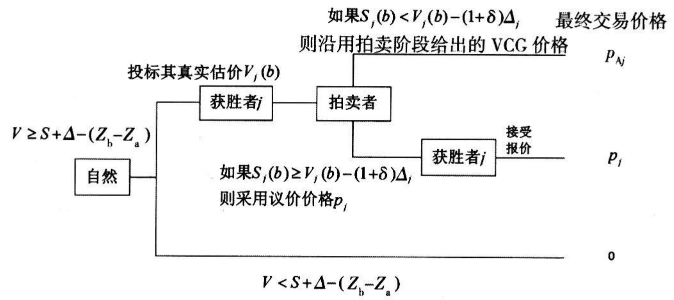

图 2　拍卖者与获胜投标者 j 的博弈均衡路径分析

Fig 2 Equilibrium path analysis of game between auctioneer and any bidding winner j

需要说明, 图 2中获胜者 j“接受报价”是因为, 如果拍卖者采用拍卖暂定价格 p_{Aj}, 投标者的个体理性存在(即收益非负), 如式(14)所示. 而且, 本机制已经规定:“如果议价阶段仍然采用拍卖暂定付酬, 则投标者必须接受.”所以, 投标者将接受拍卖暂定价格(VCG价格)达成交易. 如果拍卖者提出议价价格 p_j, 对于投标者而言, 其个体理性也存在. 如前所述, 因为 p_j 是拍卖者可能提出的最低议价价格, 所以投标者将立即同意以 p_j 交易.

不失一般性, 可以将“自然”给定的 S 和 V 都归一化, 且分别置于坐标系的横轴和纵轴. 那么, 基于买卖双方的真实总估价的交易结果可由图 3表示.

图 3显示了买卖双方的真实总估价在不同相对区域时交易的不同结果. 通过定理 2及其推论 2已经知道了图 3纵轴的两个特殊点的意义和来历. 需要说明, 图中所有斜线的斜率都是 1, 原因在于议价博弈在均衡路径上存在两种可能性对应的条件中, V 和 S 的斜率关系都是 1. 那么, 截距为 $\Delta - (Z_b - Z_a)$ 斜线的右下方区域在本机制中交易不能达成, 其左上方为交易实现区域.

需要说明, 任何机制都不能使得图 3对角线以下的区域达成交易. 因为此区域的系统总净利润为负, 使得买卖双方都有非负收益的支付方式(机制)不可能存在. 换言之, 此区域不能达成交易的结果是具有分配效率的.

进一步分析经典 VCG机制对于拍卖者的事后收益, 由式(14)可知获胜投标者 j 的事后收益为 $\Delta_j = V(J) - V(J\backslash j)$. 拍卖者在 VCG中的收益即

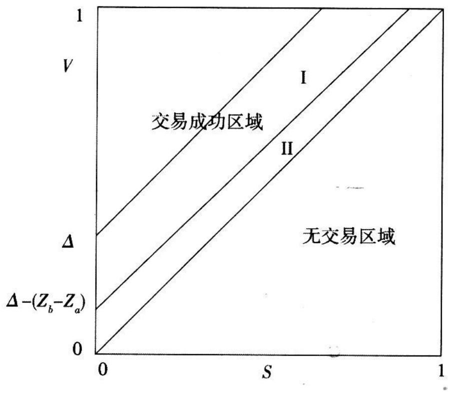

图 3　基于买卖双方总估价的交易结果

Fig 3 Allocation outcome based on buyers' and seller's total values

为 $V(J) - \Delta$, 即如果存在条件 $S > V - \Delta$, 则拍卖者的净收益为负, 交易失败. 上述分析说明, 在 VCG机制中, 不能达成交易的区域是截距为 Δ 斜

线的右下方(即图 3中区域 I和区域 II). 实际上,这是 VCG 机制保持激励相容性质的代价. 换言之, 为了让投标者报价真实的私有信息, 拍卖者必须将值为 Δ的社会剩余(social surplus)付酬给投标者, Δ就是 VCG机制披露不对称私有信息的成本(information rent). 正因为如此, 社会交易福利将被 VCG 机制降低 Δ—— 在 Δ斜线和对角线之间的区域(I和 II), 由于拍卖者个体理性没有得到满足, 交易不能达成. 即此区域(I和 II)的分配效率没有实现. 实际上, 在 0与 Δ之间的区域, 完全可能存在某种机制(付酬方式)使得交易达成. 本机制就使得区域 I的社会福利得到挽救 ——在 VCG中不能实现交易的区域(区域 I)在本机制中则可以. 也即相对 VCG 机制, 本机制改进社会交易福利的部分为 $(Z_b - Z_a)$. $(Z_b - Z_a)$ 的经济含义为: 第一类投标者在议价谈判价格和拍卖暂定价格下带给拍卖者利润的变化值. 另一方面, 区域 II则是本机制福利损失的部分, 基本原因在于本机制也必须满足第一阶段的激励相容性质, $\Delta - (Z_b - Z_a)$ 就是其披露私有信息的成本. 综上所述, 并考虑到在定理 2中, 已经证明了 $(Z_b - Z_a)$ 和 $\Delta - (Z_b - Z_a) > 0$的关系, 给出如下重要定理.

定理 **3** 本机制相对 VCG 机制, 改进社会交易福利的部分为 $(Z_b - Z_a)$——第 1类投标者在谈判价格和 VCG 价格下带给拍卖者事后利润的变化值, 机制的信息成本(information rent)为 $\Delta - (Z_b - Z_a)$.

5 结 论

本文设计了先“组合拍卖”再“议价谈判”的两阶段机制. 该机制的特点在于, 充分考虑到多物品一次性出售业务具有如下 3方面的基本特征: 其一, 拍卖者必须利用组合拍卖先找到获胜投标者集合; 其二, 买卖双方在机制中的私有信息披露具有不对称性; 其三, 谈判阶段对买卖双方都存在时间成本. 本文的基本结论及其与先前研究的主要区别在于, 论文分析表明, 机制的组合拍卖阶段存在最优 WDP方案和相应的激励相容投标策略. 在议价谈判阶段中, 存在 4种不同类别的获胜投标者, 就拍卖者将采取的不同价格策略而言, 可将他们区分为“第 1类投标者”和“第 2类投标者”. 据此, 找到了拍卖者采取交易或者宣布交易失败的相应条件. 进一步, 分析了拍卖者与任意获胜投标者 j的博弈均衡路径. 就“自然”给定的买卖双方总估价而言, 分析了本机制在不同相对关系下的交易结果. 对比经典 VCG 机制, 本机制改进社会交易福利为 $(Z_b - Z_a)$, 其经济含义为: 第一类投标者在议价价格和 VCG 价格下带给拍卖者利润的变化值.

参 考 文 献:

[1] Cramton P. The FCC spectrum auctions: An early assessment[J]. Journal of Economics Management Strategy, 1997, 6(3): 431-495.

[2] Rothkopf M H, Pekec A, Harstard R M. Computationally manageable combinational auctions[J]. Management Science, 1998, 44(8): 1131-1147.

[3] Sandholm T W. Approaches to winner determination in combinatorial auctions[J]. Decision Support Systems, 2000, 28(1, 2): 165-176.

[4] 陈培友, 汪定伟. 组合拍卖竞胜标确定问题的混沌搜索算法[J]. 管理科学学报, 2003, 6(5): 24-28.
Chen Peiyou, Wang Dingwei. Chaotic search algorithm for winner determination in combinatorial auctions[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(5): 24-28 (in Chinese)

[5] Groves T. Incentives in teams[J]. Econometrica, 1973, 41(4): 617-631.

[6] Vickrey W W. Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders[J]. Journal of Finance, 1961, 16(1): 8-36.

[7] Maskin E. Nash equilibrium and welfare optimality[J]. The Review of Economics Studies, 1999, 66(1): 23-38.

[8] Maskin E, Moore J. Implementation and renegotiation[J]. The Review of Economics Studies, 1999, 66(1): 39-56.

[9] Watson J. Contract, mechanism design, and technological detail[J]. Econometrica, 2007, 75(1): 55-81.

[10] Rubinstein A. Perfect equilibrium in a bargaining model[J]. Econometrica, 1982, 50(1): 97-109.

[11] Admati A R, Perry M. Strategic delay in bargaining[J]. Review of Economic Studies, 1987, 54(3): 345-364.

[12] Cramton P. Strategic delay in bargaining with two-sided uncertainty[J]. Review of Economic Studies, 1992, 59(January): 205-225.

[13]汪定伟, 王　庆, 宫　俊, 等. 双边多轮价格谈判过程的建模与分析[J]. 管理科学学报, 2007, 10(1): 94-98.
Wang Ding-wei, Wang Qing, Gong Jun, *et al.* Modeling and analysis of multistage bilateral bargaining process[J]. Journal of Management Sciences in China, 2007, 10(1): 94-98. (in Chinese)

[14] Branco F. The design of multidimensional auctions[J]. The Rand Journal of Economics, 1997, 28(1): 63-81.

[15] Wang R. Bidding and renegotiation in procurement auctions[J]. European Economic Review, 2000, 44(8): 1577-1597.

[16] Mas-Colell A, Whinston M D, Green J R. Microeconomic Theory[M]. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press, 1995.

Mechanism design on combinatorial auctions and bargaining

HUANG He[1], *CHEN Jian*[2]

1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: We design a two-stage mechanism for more efficient and practical heterogeneous goods sale operations, which first implements VCG combinatorial auction then price bargaining. Specifically, a difference between one-unit auction and combinatorial auction is existence of different types in winner bidders: 4 types in our mechanism. We show that, the auction stage keeps incentive compatible property in VCG. The five types of winner bidders can be divided into two groups, i.e., "1st class bidders" and "2nd class bidders". For buyer, there exist decision conditions for 2 possible strategies in bargaining stage. Equilibrium path exists in this game between the buyer and any seller. Compared with classical VCG mechanism, our mechanism improves social trade welfare with a value, and the economics meaning of the value is auctioneer's net profits difference between VCG prices and bargaining prices generated by "1st class bidders".

Key words: combinatorial auctions; bargaining; mechanism design; VCG mechanism