拍卖机制与竞价行为:基于付费竞价式拍卖的理论与实验*

何韵文　郑　捷

内容提要:互联网的发展和数字经济的兴起催生了一系列新型网络拍卖机制和销售模式。本文关注付费竞价式拍卖这一新型机制,将预算约束引入拍卖理论模型,并进行严格的均衡刻画。通过考虑竞价是否免费和拍卖品价格是否提升两个维度,本文在二人拍卖的设定下将三类拍卖机制——英式拍卖、升价便士拍卖、序贯全支付拍卖纳入统一性分析框架,并利用实验设计与分析对理论预测进行检验。实验结果在商品售出率、拍卖持续期数、拍卖成交价格上均与理论预测排序相符。但收益等价性理论结果未得到实验结果支持,这是由于参与者在升价便士拍卖中表现出的沉没成本谬误为卖方创造了超额收益。但随着参与者经验的积累,三种拍卖形式下的卖方利润差异逐渐弱化。本文对于付费竞价式拍卖的研究,在数字经济成为国家重大发展战略的背景下具有重要的理论与实践意义。

关键词:拍卖机制　付费竞价式拍卖　预算约束　对称马尔可夫完美均衡　沉没成本谬误

一、引　言

近年来,随着数字经济的蓬勃发展,拍卖市场正在进行从线下走向线上的动态调整。网上拍卖已经成为一种新的交易机制,受到消费者的普遍关注。从美国的 eBay 拍卖到中国的淘宝拍卖,互联网不仅催生了一批网上拍卖平台的诞生,也促成了拍卖形式的多样化和复杂化。而拍卖作为分配资源的一种重要方式,如何设计最合意的拍卖机制一直是学者致力于研究的课题。

付费竞价式拍卖(pay-to-bid auction,亦称为便士拍卖)于 2005 年在一家由德国公司创建的网站 Swoopo 上首次运营,并迅速在英美等国流行起来。其特点是,拍卖品起拍价通常为 0,拍卖具有较短的时限,一旦开始便进入倒计时状态。对于每一次成功的竞价,计时器会重置,拍卖品价格会提升固定的幅度,并且竞拍人需要支付一笔不可退回的竞拍费。当计时器归零时,最后一位竞拍人会以当前价格赢得拍卖品。便士拍卖吸引参与者之处在于,拍卖品的最终成交价格往往远低于其市场零售价格,平均而言只有零售价格的 25% 左右(Lam & Greiner, 2011)。令人惊讶的是,实践中这种付费竞价式拍卖产生的利润要高于传统的拍卖形式。Byers et al. (2010)搜集了 Swoopo 网站上数十万场便士拍卖的信息,发现卖方的总利润率高达 85.97%。这意味着参与者在便士拍卖中存在过度竞拍现象。尽管以低价赢得拍卖品的竞拍人可以从中获益,但其余大量竞拍人会蒙受损失。因此,便士拍卖自创建之初就颇具争议,往往被视为一种变相博彩。

这种新兴的便士拍卖机制,与全支付拍卖和英式拍卖这两种已得到广泛应用的传统拍卖机制相比,既具有一定的相似性,又具有各自的特殊性。一方面,便士拍卖和全支付拍卖都具有付费竞

*　何韵文、郑捷(通讯作者),清华大学经济管理学院,邮政编码:100084,电子信箱:heyw.18@sem.tsinghua.edu.cn,zhengjie@sem.tsinghua.edu.cn。本研究得到国家自然科学基金面上项目(72073080,71873074)的资助。作者感谢 Jaimie Lien 与 Michael Jung 对本研究的启发,感谢 Ben Greiner 和 Tai Lam 提供的编程指导意见,感谢杨春雷和苗彬在第二届中国行为与实验经济学论坛上对本文的点评。作者非常感谢匿名审稿专家提供的建设性意见。当然,文责自负。

价的特征,但两者在拍卖品价格确定和赢家确定等方面的规定上不尽相同,这也导致这两类拍卖机制的理论竞价均衡策略不同。例如,拍卖品的价格在全支付拍卖中保持不变,但在一个价格提升度严格为正的便士拍卖中,价格会随着期数的增加而线性上升。又如,在动态全支付拍卖里,所有参与者在每一期都必须出价以竞争拍卖品,而便士拍卖里的参与者可以在任意期里自由竞价。因此,只有当拍卖品的价格提升度为 0 且仅有两个参与者参加竞拍时,便士拍卖才等同于内生时序的序贯全支付拍卖。价格提升度为 0 的便士拍卖又被称为付费竞价式平价拍卖(或平价便士拍卖)。另一方面,便士拍卖与英式拍卖都具有价格逐渐提升的特征,但后者无需付费竞价。如果允许竞拍费为 0,便士拍卖就可以简化为英式拍卖(免费竞价式升价拍卖)。上述的讨论,为建立一个统一的理论框架来囊括这三种拍卖机制提供了方向。

对拍卖机制的研究离不开对参与者竞价行为的分析。值得注意的是,在现实拍卖决策情境中,参与者往往会受到实际财富水平或者心理预算的限制,不会无限期地出价。如果简单借助于未考虑预算约束的理论模型来刻画竞价行为,得到的结论很可能具有误导性。因此,如何建立更符合现实的拍卖理论模型已成为学者面临的重要问题。

基于上述对拍卖理论统一性和现实性的考虑,本文建立了一个纳入预算约束的多人便士拍卖模型框架,并通过允许竞价免费和拍卖品价格不变这两种特殊设定,使得模型可以涵盖免费竞价式升价拍卖、付费竞价式升价拍卖、付费竞价式平价拍卖这三种拍卖形式。在参与人数为 2 的设定下,这三种形式分别对应于英式拍卖、升价便士拍卖、序贯全支付拍卖。本文分别刻画了无预算约束、松预算约束与紧预算约束这三种不同预算情况下的对称马尔可夫完美均衡,对三种拍卖机制进行了理论比较,并在实验室中模拟拍卖环境来研究竞价行为。实验结果在商品售出率、拍卖持续期数、拍卖成交价格等维度均与理论预测排序相符。然而,尽管理论预测三种机制下卖方利润相同且为零,只有英式拍卖的实验结果较为符合理论预期,升价便士拍卖中经常出现溢价现象,卖方可获得超额收益,而序贯全支付拍卖则不利于卖方盈利。这一现象可以部分由沉没成本谬误所导致的参与者过度竞拍行为来解释,并会随参与者经验增加而逐渐弱化。[①]

本文主要贡献有两点。第一,将预算约束引入便士拍卖理论模型,分析了松预算约束与紧预算约束这两种新情况下的均衡策略和结果,并发现了无预算约束情况下新的均衡,丰富了拍卖理论,为现实生活中不同拍卖环境下的个体受约束决策问题提供了坚实的理论基础。第二,针对本文的一般性结论进行简化处理,在二人拍卖的统一框架下根据竞拍费和价格提升度两个维度的不同组合实现了对三种拍卖机制的横向比较,并且利用实验检验理论结果。总体而言,本文对数字经济下的特定消费行为展开一般性理论分析,为现有的实验和实证研究贡献了新的理论预测、实验设计和数据结果,为比较网络新型销售模式与其他传统拍卖机制的异同开拓了新的思路,具有理论与实践的双重意义。

本文其余部分安排如下:第二部分梳理总结相关文献;第三部分介绍模型基本设定并刻画博弈均衡;第四部分分析实验数据并检验理论假说;第五部分为全文总结和政策建议。

二、文献综述

目前,关于便士拍卖的经济学研究较少,已有工作主要集中于理论和实证分析。Hinnosaar (2016)基于一系列标准假设(理性且风险中性的参与者、具有公共价值的拍卖品、公开确定的参与者数量),在理论上证明便士拍卖的卖方期望收益不会高于待售商品的价值。为解释过度竞拍现象,Platt et al. (2013)论证了参与人的风险偏好是影响竞拍策略的关键因素。Augenblick(2016)通

① He et al. (2020)进一步检验了本文实验结果在参与人数维度的外延性。

过付费竞价的沉没成本特征来修正标准的便士拍卖模型，假设竞拍人对拍卖品的感知价值会随着竞拍费的增加而上升，得到买方竞拍意愿变得更强和卖方收益变得更高的结论。Brünner et al.（2019）指出，前景理论（prospect theory）可以为便士拍卖中的现象结果提供一个统一的行为解释框架。另外，网络上存在的信息不对称、自抬竞价等问题都有可能为卖方创造高收益（Byers et al., 2010）。然而，现有的理论研究均没有考虑预算约束的影响，本文在便士拍卖的理论框架中详细探讨了带有预算约束的模型均衡，填补了文献在这方面的空白。

在便士拍卖理论的基础上，Platt et al.（2013）发现，引入个体的风险偏好参数可以显著提高对Swoopo网站观测数据的拟合程度，网站参与者普遍表现为风险喜好型。此外，Gnutzmann（2014）和Augenblick（2016）分别发现，参与人往往会高估获胜概率而增加出价次数，并且其累积支付的竞拍费与退出拍卖的概率之间存在显著的负相关关系，但学习效应有助于竞拍人在长期改善自己的处境。Lien et al.（2017）发现，遭受损失的负面经历会显著降低消费者后续参加其他拍卖的可能性。Gonçalves & Fonseca（2016）指出，同时参加多场便士拍卖相比于序贯参加是一种更快速有效的学习机制。Wang & Xu（2016）则从BigDeal网站上识别出一小部分可以稳定获取高额收益的策略成熟型参与人，因此便士拍卖平台只有源源不断地吸引新用户才能维系经营。与理论研究类似，上述实证研究尚未考虑到预算约束对参与者竞价行为的影响。

仅有少数学者尝试在实验室环境中研究便士拍卖的特征。Caldara（2012）从参与者人数（3人或5人）和策略空间（连续时间或离散时间）两个维度讨论了不同的便士拍卖设定。Speegle（2015）基于Caldara（2012）的实验设定，进一步研究竞拍费大小对竞价行为的影响，发现拍卖商可以通过提高竞拍费来增加利润。Lam & Greiner（2011）发现在便士拍卖中加入“一口价”购买的选项能够实现帕累托改进，卖方和买方分别得益于售出商品数量的增加和竞拍费用的抵免而获得更高的收益。本文在二人拍卖的统一实验框架下考察竞拍费和价格提升度的变化，实现了跨机制比较，丰富了已有的实验文献结论，并贡献了新的实验设计视角。

国内对拍卖问题的研究主要集中于机制设计领域。比如，柯荣住和方汉明（2004）提出了一种轮流拍卖的公共资源分配机制，利用人们的耐性差异来提高资源的配置效率。宫汝凯等（2015）通过在双边VCG机制中引入附加交易费，解决了卖方伪装成竞拍者自抬竞价的问题。李三希等（2015）刻画了在由两个序贯任务组成的项目中委托人的最优拍卖机制和捆绑决策。王先甲等（2010）以及荣健欣和孙宁（2015）分别为中国的排污权交易市场和汽车牌照配置市场设计了性质良好的拍卖机制。不同于上述文献着眼于对现有拍卖机制的完善、拓展与应用，本文致力于更具一般性的基础拍卖理论体系研究，旨在建立可涵盖多种拍卖机制的统一框架。

如果将便士拍卖视为数字经济兴起所带来的新的经济现象，则本文的工作也与这一领域的新近研究有一定的相关性。一些学者从企业定价的角度出发，在消费转移成本、信息搜集成本、个人信息保护、线上线下竞争等维度提出了改善市场竞争结构的理论指导（蒋传海，2010；王世强等，2020；李三希等，2021；郑捷和王倩，2021）。事实上，信息技术的扩张不仅影响着厂商的决策变化，也极大地改变了消费者的选择空间和风险态度（何大安，2018）。相比于这些文献关注信息技术的发展如何对现有经济行为和商业模式产生实质影响，本文所建立的统一性分析框架既适用于传统拍卖机制（如英式拍卖和全支付拍卖），又适用于新型拍卖机制（如便士拍卖），可对不同信息技术条件下产生的拍卖机制进行对比分析。

此外，本文对拍卖机制的研究不仅采取了理论建模手段，也使用了实验分析方法。虽然基于实验经济学方法的工作日益增多，但是目前国内关于基础理论的实验经济学研究主要集中在：（1）个体的风险决策（林树等，2006）、跨期决策（何浩然，2011）、社会偏好（陈叶烽，2009）；（2）集体互动下的公共品博弈（王霄和吴伟炯，2012；周业安等，2013；汪敏达等，2017；郑捷和何韵文，2021）、专

断博弈（范良聪等，2013）、最后通牒博弈（陈叶烽等，2011；雷震，2013）、协调博弈（姚澜和朱迅，2020）、贿赂博弈（姜树广和陈叶烽，2016）等经典设定，尚未有研究拍卖主题的实验室尝试。本文利用理论和实验手段综合分析三种拍卖机制下的竞价行为，这在该方向上具有一定程度的方法创新。

三、理论分析

（一）基本框架

共有 n 个参与人参加拍卖，$n\geqslant 2$。每个参与人 $i\in\{1,2,\cdots,n\}$ 风险中性，并且以最大化自己的期望收益为目标。拍卖品具有公共价值 v。不失一般性，拍卖品的起拍价被标准化为 $P_1=0$。①

拍卖具有多期，期数用 q 表示，$q\in 1,2,\cdots$。在拍卖开始的第 1 期，所有参与人同时从行动集 $\{0,1\}$ 中选择相应的行动 a_1^i，$a_1^i=1$ 表示 i 在第 1 期提交竞拍，$a_1^i=0$ 表示 i 在第 1 期没有竞拍。拍卖每期设有相同的等待时间，只要在当期的等待时间内有至少一名参与人提交竞拍，则博弈进入到下一期，竞拍者成为下一期期初的领先参与人（如果有多个参与人同时提交竞拍，则从中随机选取一人使其行动生效，并成为下一期期初的领先参与人）。②

当博弈进入到下一期，拍卖品的价格会提升 $s(s\geqslant 0)$，即第 q 期的期初价格 $P_q=P_{q-1}+s$。领先参与人需要支付一笔竞拍费 $b(b\geqslant 0)$，参与人未提交竞拍或者提交竞拍但未被选为领先参与人的情况下无需支付竞拍费。本文规定 $b+s>0$ 以排除拍卖品价格固定不变且竞拍没有成本（$b=s=0$）的不合理设定。

在第 1 期之后的每一期里，所有 $n-1$ 个非领先参与人在规定时间内可以选择是否提交竞拍，每期期初的领先参与人在当期不能竞拍。参与人具有相同的预算约束 $\omega\in\mathbb{R}^+\cup\{+\infty\}$，支付的竞拍费总额不能超过该预算。令 $a_q=(a_q^1,a_q^2,\cdots,a_q^n)$ 表示第 q 期的行动组合，其中，a_q^i 表示参与人 i 在第 q 期选择的行动；$\theta_q\in\{0,1,2,\cdots,n\}$ 表示拍卖在第 q 期期初的领先参与人（在第 1 期期初不存在领先参与人，$\theta_1=0$）；第 q 期期初的领先参与人必然在第 $q-1$ 期提交了竞拍，即 $a_{q-1}^{\theta_q}=1$。在每期期初，参与人都可以观察到新产生的领先参与人和过去期数的行动组合。所有的博弈参数均为公共知识。

当某一期里没有参与人在规定的等待时间内竞拍时，博弈结束。如果博弈在第 1 期结束，意味着竞拍没有发生，拍卖品没有被售出。如果博弈在第 $T\geqslant 2$ 期结束，则最后一期期初的领先参与人以成交价格 $P_T=(T-1)s$ 赢得拍卖品。卖方收益为拍卖品的成交价格与向所有参与人收取的竞拍费之和。参与人 i 和拍卖商的收益函数分别用 $U_{Buyer}^i(T)$ 和 $U_{Seller}(T)$ 表示（假设贴现因子为 1）：

$$U_{Buyer}^i(T)=\begin{cases}-b\sum_{k=1}^{T}I(\theta_k=i),\theta_T\neq i\\ -b\sum_{k=1}^{T}I(\theta_k=i)+v-(T-1)s,\theta_T=i\end{cases},I(\cdot)\text{ 为示性函数}$$

$$U_{Seller}(T)=(T-1)(b+s)$$

博弈在第 q 期的历史信息 h_q 是关于先前一系列行动组合和领先参与人的序列，$h_q=(\theta_1,(a_1,\theta_2),(a_2,\theta_3),\cdots,(a_{q-1},\theta_q))$，$h_q$ 在第 q 期是公共知识（$h_1=\varnothing$；当且仅当所有期数的行动组合 a_τ

① 拍卖品的起拍价可以不为 0。对于参与人而言，其真正关心的是拍卖品价值与起拍价之间的差值。因此，如果 $P_1>0$，则将下文给出的均衡策略中的 v 替换为 $v'=v-P_1$ 即可。

② 在理论模型中，沿用文献设定（Platt et al., 2013），每期的阶段博弈实际上是静态博弈。而在现实里的便士拍卖网站上，竞拍是实时发生的，某一期一旦发生竞拍则拍卖将立即进入到下一期。因此，在技术层面上不会出现多人同时竞拍的情况。本文的实验设计采用了后一种处理方式来模拟真实的便士拍卖情境。

$(\tau<q)$是非零向量时，h_q 才能被良好定义）。因此，该动态博弈属于完全信息多阶段博弈。定义所有可能的进行到第 q 期的博弈信息集合为 H_q。参与人 i 的纯策略是关于信息集 $H=\cup_q H_q$ 到行动集 $A^i=\cup_{h\in H}A^i(h)$ 的映射，$a^i: H\rightarrow A^i$，即 $a^i(h_q)\in A^i(h_q)$。其中 $A^i(h_q)=\begin{cases}\{0,1\},\theta_q\neq i\\ \{0\},\theta_q=i\end{cases}$，$a^i(h_q)=1$ 代表 i 在信息集 h_q 里选择提交竞拍，$a^i(h_q)=0$ 代表不竞拍。参与人 i 的行为策略表示为 $\sigma^i: H\rightarrow\Delta(A^i)$，$\sigma^i(h_q)\in\Delta(A^i(h_q))$代表 i 在信息集 h_q 里提交竞拍的概率。

沿用现有文献的处理方法，本文仅关注上述博弈的对称马尔可夫完美均衡，即具备对称性和马尔可夫性的一类子博弈完美纳什均衡策略组合。对称的策略组合是指互换任意两个参与人 i,j 的编号不会改变原策略组合。具有马尔可夫性的策略组合是指对于任意两个导致博弈状态（期数、自己是否是领先参与人的身份以及剩余预算）相同的历史路径，行为策略对应着相同的竞拍概率。定义 1 和定义 2 分别给出了严格的数学表述。

定义 1（对称性）：对于任意两个参与人 $i,j\in\{1,2,\cdots,n\}$，$q\in\{1,2,\cdots\}$，互换 i 和 j 的编号得到两个信息集：$h_q=(\theta_1,(a_1,\theta_2),\cdots,(a_{q-1},\theta_q))$，$h'_q=(\theta'_1,(a'_1,\theta'_2),\cdots,(a^1_{q-1},\theta^1_q))$，其中，

$$a_\tau=(a^1_\tau,a^2_\tau,\cdots,a^i_\tau,\cdots,a^j_\tau,\cdots,a^n_\tau),\ a'_\tau=(a^1_\tau,a^2_\tau,\cdots,a^j_\tau,\cdots,a^i_\tau,\cdots,a^n_\tau),\ \forall\tau\in\{1,\cdots,q-1\}\tag{1}$$

$$\theta'_\gamma=\begin{cases}\theta_\gamma,\theta_\gamma\notin\{i,j\}\\ j,\theta_\gamma=i\\ i,\theta_\gamma=j\end{cases},\ \forall\gamma\in\{1,\cdots,q\}\tag{2}$$

如果参与人 i,j 的行为策略满足 $\sigma^i(h'_q)=\sigma^j(h_q)$，则称策略组合 $\sigma=(\sigma^1,\sigma^2,\cdots,\sigma^n)$满足对称性。

定义 2（马尔可夫性）：对于 $\forall h_q,h'_q\in H_q$，当 $\vartheta^i(h_q)=\vartheta^i(h'_q)$（$\vartheta^i(h_q)=I(\theta_q=i)$）且$\overline{\omega}^i(h_q)=\overline{\omega}^i(h'_q)$（$\overline{\omega}^i(h_q)=\omega-b\sum_{k=1}^{q}I(\theta_k=i)$），即在第 q 期的任意两个信息集里，参与人 i 是否是当前领先参与人的身份不变且剩余预算不变时，如果 i 的行为策略满足 $\sigma^i(h_q)=\sigma^i(h'_q)$，则称策略组合 $\sigma=(\sigma^1,\sigma^2,\cdots,\sigma^n)$满足马尔可夫性。

可见，马尔可夫完美均衡是对子博弈完美纳什均衡的精炼。使用马尔可夫策略的参与人只会根据当前与收益相关的状态变量决定行动，而不关心整个历史路径。在这样的限制下得到的博弈均衡更加贴合网络平台上完全匿名的拍卖环境，从而剔除了一些实际难以发生的均衡解，这也是便士拍卖文献选择对称马尔可夫完美均衡的主要原因。

最后，根据完美记忆博弈中行为策略与混合策略的等价性，任何对称马尔可夫完美均衡都能被向量 $\beta=(\beta_1,\beta_2,\cdots)$完全刻画，其中，$\beta_q$ 表示给定博弈到达第 q 期期初，在第 q 期里最大化期望持续收益（continuation value）的每个非领先参与人提交竞拍的均衡概率。于是，本文可以转而求解每个状态下单期博弈的对称混合策略纳什均衡。

为了在同一框架下比较三种不同的拍卖机制，本文重点考虑参与人数为 2 的设定。在模型拓展部分，本文也给出了参与人数 $n\geqslant3$ 的博弈均衡。相关的定理证明详见附录。

（二）均衡刻画

1. 二人设定（$n=2$）

在仅由两个参与人组成的拍卖中，由于在第 1 期之后每期只有一个非领先参与人，他们将交替选择行动，行动顺序在第 1 期内生决定。本文把预算约束不存在（$\omega=+\infty$）或者预算约束不起作用的情况称为无预算约束，把所有参与人在任何竞拍历史下都受到预算约束限制的情况称为紧预算约束。当参与人数为 2 时，仅存在无预算约束和紧预算约束这两种情况。定理 1a 和定理 1b 分别给出了这两种情况下的均衡刻画。

定理 1a(二人无预算约束下的均衡):当参与人的预算约束、竞拍费和价格提升度满足关系式 $2[\omega/b] \geqslant (v-b)/s$ 时,①博弈存在一系列对称马尔可夫完美均衡,具体描述如下:对于任意 $\gamma_1 \in [0,1]$,都至少存在一个拍卖(在第 1 期)以概率 γ_1 流拍的均衡。(1)如果 $\gamma_1 = 0$,则对于任意 $\beta_2 \in [0,1-b/(v-s))$,都存在一个在第 2 期非领先参与人以概率 β_2 竞拍的均衡,并且若 $\beta_2 > 0$,则在随后的第 $q(3 \leqslant q \leqslant Q)$ 期非领先参与人以 $1-b/(v-(q-1)s)$ 的概率竞拍,在第 $q > Q$ 期以概率 0 竞拍;(2)如果 $\gamma_1 \in [0,1)$,则存在均衡使得在随后的第 $q(2 \leqslant q \leqslant Q)$ 期非领先参与人以 $1-b/(v-(q-1)s)$ 的概率竞拍,在第 $q > Q$ 期以概率 0 竞拍;(3)如果 $\gamma_1 = 1$,则竞拍没有发生。其中,$Q = (v-b)/s$。②

定理 1b(二人紧预算约束下的均衡):当参与人的预算约束、竞拍费和价格提升度满足关系式 $2[\omega/b] < (v-b)/s$ 时,竞拍不会发生。

为更直观地呈现对称马尔可夫完美均衡下参与人竞价行为的动态特征,本文以 $v = \omega = 20, b = s = 1$ 的参数设定为例,对定理 1a 各种情形下两个参与人的每期竞拍决策进行数值模拟,具体如图 1 所示。(1)当 $\gamma_1 = 0, \beta_2 = 0$ 时,两个参与人在第 1 期均以概率 1 竞拍,在第 2 期均以概率 0 竞拍,拍卖在第 2 期结束;当 $\gamma_1 = 0, 0 < \beta_2 < 1-b/(v-s)$ 时,两个参与人在第 1 期均以概率 1 竞拍,在第 2 期非领先参与人以严格小于 1 的正概率竞拍,从第 3 期开始两个参与人根据非领先参与人的身份以递减概率交替竞拍。(2)当 $\gamma_1 \in [0,1), \beta_2 = 1-b/(v-s)$ 时,两个参与人在第 1 期均以正概率竞拍,从第 2 期开始两个参与人根据非领先参与人的身份以递减概率交替竞拍。(3)当 $\gamma_1 = 1$ 时,两个参与人在第 1 期均以概率 0 竞拍,拍卖在第 1 期结束。

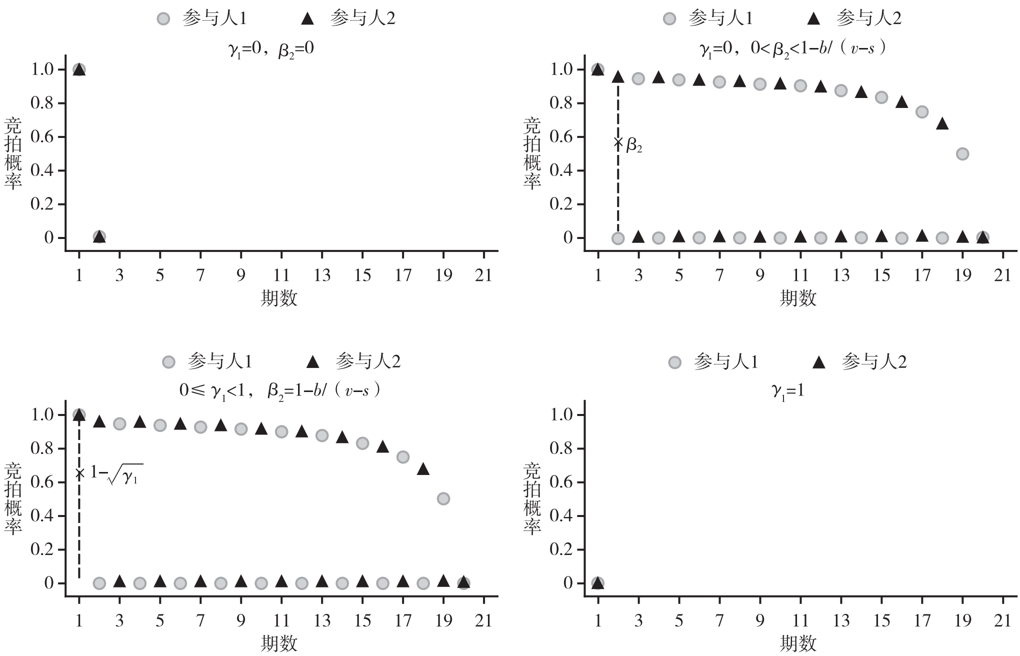

图 1 竞拍概率数值模拟图

注:图中假设若两个参与人在第 1 期同时竞拍,则参与人 1 为第 2 期期初的领先参与人。虚线表示竞拍概率所属区间,叉号表示实际的竞拍概率取值(图中叉号位置仅是示意)。

① [·]表示向下取整函数,下同。

② 这里,本文假设 $Q \geqslant 2$ 且 Q 为整数。如果 Q 不是整数,则每一期的效用无差异条件无法成立,我们将得到博弈以概率 1 在第 1 期或第 2 期结束的平凡解。另外,Brünner et al.(2019)曾整理了多个便士拍卖网站上的数据信息。事实上,像 Quibids、BidCactus、BigDeal 等网站设置的价格提升度大多为 0.01 美元,竞拍费大多为 0.60 美元和 0.75 美元,拍卖品的市场零售价值中位数是 37 美元。所以,在通常情况下,$Q \geqslant 2$ 且 Q 为整数的条件较容易被满足。

由定理 1a 可知,对于满足 $2[\omega/b]\geq(v-b)/s$ 的升价便士拍卖($b>0,s>0$),给定竞拍发生,博弈在第 2 期至第 $Q+1$ 期结束的概率均为正值,卖方的期望收益不会超过商品的市场价值 v。Platt et al. (2013)仅在没有考虑预算约束的情况下给出了定理 1a(以及下文的定理 2a)中后两类情形的均衡,而本文对情形(1)的均衡刻画进一步完善了无预算约束便士拍卖的理论结果。在情形(2)下,卖方的条件期望收益恰好等于商品价值,$E(U_{Seller}\mid$竞拍发生$)=v$,收益方差可近似为 $Var(U_{Seller}\mid$竞拍发生$)\approx b(v-s)^2/(b+2s)$(Platt et al., 2013)。由于 $\gamma_1\in(0,1)$ 的初始条件更有可能实现,下文也将基于情形(2)给出理论预测。

对于由二人组成的有限预算的平价便士拍卖($\omega<+\infty,b>0,s=0$),$2[\omega/b]<(v-b)/s$ 恒成立,这种情况下参与人具有紧预算约束,由定理 1b 可知,竞拍不会发生。不难发现,该博弈规则实际上等同于一类内生顺序的二人序贯全支付拍卖(Leininger, 1991):在第 1 期,两个参与人同时选择是否出价 b,出价者为先行者,在随后的每个奇数期内行动,未出价者为后行者,在随后的每个偶数期内行动。如果第 1 期无人出价,则博弈结束;如果第 1 期两人同时出价,则随机选取一人作为先行者。参与人在轮到自己出价的期数里可以选择退出拍卖或者继续出价 b,每一次的出价都是沉没成本。直到有一个参与人决定退出时,博弈结束,留下的参与人赢得拍卖品。在该序贯全支付拍卖中,当两个参与人面临相同的有限预算约束时,先动者将严格处于劣势。因此,在第 1 期没有参与人会竞价,博弈均衡正如定理 1b 所述。

对于一般的英式拍卖($b=0,s>0$),定理 1a 给出了它的一些均衡。但是,由于英式拍卖无需付费的特殊性,博弈还存在其他的对称马尔可夫完美均衡,比如,如果 $\gamma_1=0$,则非领先参与人在偶数期($\leq Q$)以(0,1)区间上的任意概率竞拍(不同偶数期的概率可以不同),在奇数期($\leq Q$)以概率 1 竞拍,在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍。考虑到当拍卖品价格上升至其市场价值之前,在每一期以概率 1 竞拍都是弱占优策略,因此,沿用均衡选择文献中对含劣势策略的均衡的处理办法,本文聚焦于一个最合理的均衡(对应于定理 1a 中情形(2)),即在前 Q 期非领先参与人均以概率 1 竞拍,在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍。在该均衡下,英式拍卖的结果不存在不确定性,拍卖会一直进行到第 $Q+1$ 期结束,拍卖品的成交价格(即卖方收益)等于其市场价值 v。

传统拍卖一般认为拍卖商的成本为 0,以拍卖商的收益直接作为最终利润。但是,便士拍卖的标的物一般具有明确的市场价值和很强的变现能力,比如电子产品、代金券等,在计算卖方利润的时候应当把标的物的机会成本考虑在内。如果拍卖品未被售出,则拍卖商没有收益也没有产生成本,卖方利润为 0;如果拍卖品被售出,卖方利润则等于收益减去商品价值。由此,在上述讨论的升价便士拍卖(情形(2)),序贯全支付拍卖和英式拍卖中,卖方均将获得零期望利润。

2. 多人设定($n\geq3$)

当拍卖参与人超过 2 人时,有限预算的存在将对博弈均衡产生更大的影响。此时,除了上述讨论的无预算约束和紧预算约束两种情况,还存在一种参与人只在某些竞拍历史下会受到预算约束限制的情况,本文称之为松预算约束。在前两种情况下,沿用上文的思路,我们不难把结论推广至多人博弈。但是,在最后一种情况下,由于事前的策略对称性难以保证事后的结果对称性,我们无法继续沿用原有的一般性对称马尔可夫完美均衡刻画,因而提出了一类参与人轮流担任领先参与人的特殊的对称马尔可夫完美均衡,尽管该均衡在理论上可行,但是对现实行为的解释力度仍有待后人的实证检验。

定理 2a(多人无预算约束下的均衡):当参与人的预算约束、竞拍费和价格提升度满足关系式 $2[\omega/b]\geq(v-b)/s$ 时,博弈存在一系列对称马尔可夫完美均衡。具体描述如下:对于任意 $\gamma_1\in[0,1]$,都至少存在一个拍卖(在第 1 期)以概率 γ_1 流拍的均衡。(1)如果 $\gamma_1=0$,则对于任意 $\beta_2\in[0,1-(b/(v-s))^{\frac{1}{n-1}})$,都存在一个在第 2 期每个非领先参与人以概率 β_2 竞拍的均衡,并且若

$\beta_2>0$,则在随后的第 $q(3\leqslant q\leqslant Q)$ 期每个非领先参与人以 $1-(b/(v-(q-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$ 的概率竞拍,在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍;(2)如果 $\gamma_1\in[0,1)$,则存在均衡使得在随后的第 $q(2\leqslant q\leqslant Q)$ 期每个非领先参与人以 $1-(b/(v-(q-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$ 的概率竞拍,在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍;(3)如果 $\gamma_1=1$,则竞拍没有发生。

定理 2b(多人松预算约束下的均衡):当参与人的预算约束、竞拍费和价格提升度满足关系式 $2[\omega/b]<(v-b)/s\leqslant n[\omega/b]$ 时,博弈存在一类特殊的对称马尔可夫完美均衡。具体描述如下:对于任意 $\gamma_1\in[0,1]$,都至少存在一个拍卖(在第 1 期)以概率 γ_1 流拍的均衡。(1)如果 $\gamma_1=0$,则对于任意 $\beta_2^i\in[0,1-(b/(v-s))^{\frac{1}{n-1}})$,都存在一个在第 2 期非领先参与人 i 以概率 β_2^i 竞拍的均衡,并且若 $\beta_2^i>0$,则在随后的第 $q(3\leqslant q\leqslant Q)$ 期非领先参与人 i 以概率 β_q^i 竞拍(函数形式由下式给出),在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍;(2)如果 $\gamma_1\in[0,1)$,则存在均衡使得在随后的第 $q(2\leqslant q\leqslant Q)$ 期非领先参与人 i 以概率 β_q^i 竞拍(函数形式由下式给出),在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍;(3)如果 $\gamma_1=1$,则竞拍没有发生。

$$\beta_q^i=\begin{cases}1-\left(\dfrac{b}{v-(q-1)s}\right)^{\frac{1}{n-1}},q-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]n\leqslant 2\text{ 且}\overline{\omega}_q^i\geqslant\omega-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]b\\1-\left(\dfrac{b}{v-(q-1)s}\right)^{\frac{1}{n-(m-1)}},q-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]n=m\geqslant 3\text{ 且}\overline{\omega}_q^i\geqslant\omega-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]b\\0,\overline{\omega}_q^i<\omega-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]b\end{cases}$$

其中,$\overline{\omega}_q^i=\omega-b\sum_{k=1}^{q}I(\theta_k=i)$ 表示参与人 i 在第 q 期期初的剩余预算。

定理 2c(多人紧预算约束下的均衡).当参与人的预算约束、竞拍费和价格提升度满足关系式 $n[\omega/b]<(v-b)/s$ 时,博弈期数取决于 $n[\omega/b]$ 的奇偶性。若 $n[\omega/b]$ 为偶数,则竞拍不会发生;若 $n[\omega/b]$ 为奇数,则在第 1 期所有参与人以概率 1 竞拍,在第 2 期以概率 0 竞拍。

四、实验证据

(一)实验设计与执行

为检验理论预测的现实解释力,本文进一步运用实验室实验的研究范式,设计三个实验局来分别检验三种拍卖形式下的竞价行为。升价便士拍卖、英式拍卖和序贯全支付拍卖由不同的竞拍费和价格提升度组合 (b,s) 所刻画。在这三种拍卖形式下,竞拍费依次设定为 $b=1,0,1$;价格提升度依次设定为 $s=1,1,0$。

拍卖品的起拍价为 0 实验币,在每轮拍卖开始时,参与者的账户都会得到 20 实验币的初始金额,以 2 人为一个小组在组内以竞拍方式竞争一个价值 20 实验币的拍卖品。在每个实验局中,本文各独立重复执行 5 轮每期时限为 10 秒的特定拍卖。为了避免重复博弈中声誉机制对实验行为的影响,在每轮拍卖开始之前,系统都会随机将参与本场实验的被试两两匹配。表 1 列出了实验局设置的具体信息。

表 1 实验局设置

实验局名称	拍卖形式	(b,s)	每期时限	轮数	被试数目	分组方式	实验场次
实验局 1-1	升价便士拍卖	(1, 1)	10s	5	28	随机	一
实验局 1-2	升价便士拍卖	(1, 1)	10s	5	26	随机	二
实验局 2	英式拍卖	(0, 1)	10s	5	28	随机	三
实验局 3	序贯全支付拍卖(紧预算约束)	(1, 0)	10s	5	26	随机	四

每轮拍卖由多期组成。在每一期中，参与者有不多于 10 秒钟的时间来决定是否竞拍。电脑屏幕上的倒计时器会显示剩余的决策时间。选择竞拍的参与者需要点击电脑屏幕上的“BID”按钮，只要在 10 秒倒计时结束之前，有参与者按下了“BID”按钮，拍卖将立即进入下一期（计时器重新回到 10），与此同时，该参与者也会成为新的“领先参与人”。每次竞拍引起的拍卖品价格提升幅度为 s 实验币。每次竞拍的费用为 b 实验币，竞拍费会从参与者账户的初始 20 实验币里扣除。①

拍卖结束时，最后的领先参与人赢得拍卖。赢家获得拍卖品价值所对应的 20 实验币，同时需要支付拍卖品的成交价格。不管是否是最终赢家，所有参与者都需要支付各自的竞拍费（$b=0$ 相当于不用支付竞拍费）。为了控制参与者的潜在损失，如果账户余额低于竞拍费则无法继续竞拍。为了控制财富效应，系统会从 5 轮拍卖中随机抽取一轮的最终收益作为参与者的实验报酬。实验币和人民币的换算比例为 1∶1。

四场实验由清华大学经济科学与政策实验室于 2019—2021 年间执行，被试由 108 名清华大学在读学生组成，通过网络在校内以自愿报名方式公开招募。每位被试均只参加其中一场实验。实验由瑞士苏黎世大学开发的 z-Tree（Fischbacher，2007）软件编程实现。每场实验持续时间约 30 分钟，被试在四场实验中的平均报酬分别为 31.07、34.31、29.86 和 34.46 元（包括 10 元出场费）。报酬以微信支付的方式现场完成。

在实验中，$n=2$，$v=20$，$\omega=20$，因此升价便士拍卖（$b=1$，$s=1$）满足无预算约束条件，其均衡刻画由定理 1a 给出；序贯全支付拍卖（$b=1$，$s=0$）满足紧预算约束条件，由定理 1b 可知竞拍不会发生；英式拍卖（$b=0$，$s=1$）满足无预算约束条件，由于每一期以概率 1 竞拍是弱占优策略，本文预期拍卖将以概率 1 持续进行到第 21 期结束。基于此，本文提出以下三个待检验的假说：

假说 1：就商品售出率而言，英式拍卖 > 升价便士拍卖 > 序贯全支付拍卖。

假说 2：就拍卖成交价格均值而言，英式拍卖 > 升价便士拍卖 > 序贯全支付拍卖。

假说 3：就卖方利润均值而言，英式拍卖 = 升价便士拍卖 = 序贯全支付拍卖。

（二）实验结果与分析

首先，本文将分析拍卖的结果变量（如表 2 所示，包括商品售出率、拍卖持续期数、拍卖成交价、拍卖商利润和参与人收益），并依次检验提出的假说。其次，本文会进一步讨论个体的竞拍行为和学习效应。下文将使用 Wilcoxon 秩和检验（双边检验）来判断研究变量在不同的实验局 a 和 b 之间的差异，相应的 p 值记为 p_{WCX-ab}。②

表 2 各变量的描述性统计

均值 （标准差）	实验局 1－1	实验局 1－2	实验局 2	实验局 3
流拍概率	4.29%	3.70%	0.00%	25.93%
拍卖结束期数	11.51 （8.51）	12.85 （10.00）	19.37 （4.88）	11.39 （14.69）
拍卖成交价格（竞拍发生）	10.99 （8.40）	12.31 （9.92）	18.37 （4.88）	0.00 （0.00）
卖方利润	1.89 （16.43）	4.44 （19.47）	－1.63 （4.88）	－4.43 （13.57）

① 在第 1 期如果两个参与者同时竞拍，则系统随机选择一人成为第 2 期期初的领先参与人并扣除其竞拍费。第 1 期以后不会再出现同时竞拍的情况。

② 经检验，被试的个人特征（年龄、性别、户口、文理科、在校期间每周支出）在任意两场实验之间都无统计性差异。

续表 2

均值 (标准差)	实验局 1－1	实验局 1－2	实验局 2	实验局 3
赢家账户余额(竞拍发生)	23.25 (12.50)	21.23 (14.77)	21.63 (4.88)	32.80 (7.62)
非赢家账户余额(竞拍发生)	14.78 (4.30)	14.15 (5.07)	20.00 (0.00)	13.18 (7.91)

1. 商品售出率和拍卖持续期数

结果 1:英式拍卖的商品售出率和平均持续期数最大,其次是升价便士拍卖,带有紧预算约束的序贯全支付拍卖其两项指标均最低。

从实验数据中观察到,升价便士拍卖有 4% 左右的可能性出现流拍,商品售出率略低于英式拍卖($p_{WCX-12}=0.09$)。英式拍卖中不存在流拍现象,序贯全支付拍卖的发生度显著最低($p_{WCX-13}<0.01$,$p_{WCX-23}<0.01$)。这与本文的理论预测假说 1 相符。但值得注意的是,在第 1 期结束的序贯全支付拍卖仅占 25.93%,与理论上的零商品售出率相去甚远。事实上,在类似的讨价还价博弈和蜈蚣博弈中,普遍存在实验与理论相悖的结果,被试因认知资源有限而无法完整做出逆向归纳(Johnson et al., 2002)、个体对竞争对手理性程度的认识不足(Palacios-Huerta & Volij, 2009)、决策者偏离自利假设具有社会偏好(Levitt et al., 2011)等因素都有可能是背后的驱动原因。

总体而言,英式拍卖在小组层面的平均持续期数显著高于升价便士拍卖($p_{WCX-12}<0.01$),其在第 21 期之前结束的概率仅为 18.57%,接近于理论预测。升价便士拍卖和序贯全支付拍卖的结束期数均在第 12 期左右,但两者的分布情况存在统计性差异($p_{WCX-13}<0.01$):升价便士拍卖的结束期数中位数为第 12 期,而序贯全支付拍卖的中位数为第 3 期,这意味着当价格提升度为 0 时,小组之间表现出更明显的两极分化。

图 2 分别绘制出了三个实验局中结束期数的频率分布,图中虚线表示拍卖结束期数的理论概率分布。不难看出,除了少数二人拍卖组在付费竞价环境下(实验局 1 和实验局 3)呈现出过度竞拍的行为,大多数二人拍卖组的结束期数与理论预测十分接近。

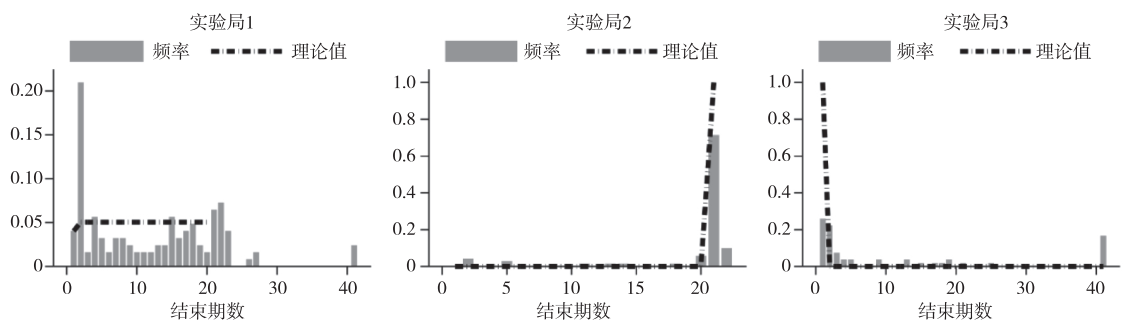

图 2　拍卖结束期数的频率分布

2. 拍卖成交价

结果 2:英式拍卖的商品平均成交价格大于升价便士拍卖,并且价格波动更小。

根据表 2,英式拍卖的商品成交价格要显著高于升价便士拍卖和序贯全支付拍卖($p_{WCX-12}<0.01$,$p_{WCX-23}<0.01$),其中,序贯全支付拍卖的商品价格始终保持在 0 元,这是拍卖设计使然。因此,本文在 1% 的显著性水平上不能拒绝假说 2。升价便士拍卖和英式拍卖的平均成交价格均接近于理论值 10 元和 20 元,但是,成交价格标准差要明显大于理论估计(升价便士拍卖的理论价格标

准差为 5.48,英式拍卖为 0),表明现实环境中的拍卖结果往往具有很大的不确定性。对比这两种拍卖形式,升价便士拍卖的价格标准差几乎是英式拍卖的两倍,由此可见,英式拍卖表现得更为稳健。

3.拍卖商收益和竞拍人收益

结果 3:拍卖商在升价便士拍卖中取得最高的正利润,拍卖品赢家和非赢家的收入差距在英式拍卖中最小。

从拍卖商一方来看,由理论模型可知,在三种拍卖形式下卖方的期望利润均为 0。然而,与大部分相关研究得到的结果相一致,本文在实验中发现升价便士拍卖能够为卖方创造超额收益。相比之下,英式拍卖的卖方利润略低于 0,在序贯全支付拍卖中卖方遭受很大程度的亏损($p_{WCX-12}=0.11$, $p_{WCX-13}<0.01$, $p_{WCX-23}<0.01$)。另一方面,与图 2 相对应地来看,升价便士拍卖里的高收益也伴随着更大的波动风险,拍卖商有较大的可能性会净亏损 18 元(拍卖在第 2 期结束),但也有一定的概率可以获得超过 20 元的利润(拍卖在第 21 期以后结束),从而弥补其损失。英式拍卖和序贯全支付拍卖的结束期数图分别呈现出明显的左偏分布和右偏分布,71.43% 的英式拍卖利润集中在 0 元(拍卖在第 21 期结束),而 59.26% 的序贯全支付拍卖亏损超出了 15 元(拍卖在第 2 期至第 5 期结束)。于是,假说 3 被拒绝,本文在实验中并没有找到收益等价性的有力证据。

对于买方来说,在二人组拍卖的设定下,赢家至多只需要比竞争对手多支付一笔竞拍费,同时还可以赚取商品的价值差价,这使得竞拍双方之间会存在一定的收入差距,尤其在序贯全支付拍卖里,赢家的平均收益是非赢家的两倍之多。这也部分解释了诸如 Dealdash、Quibids 等便士拍卖网站逐渐引进“一口价”购买选项的实际意义:消费者在使用“一口价”购买商品时可以将支付过的竞拍费折算成现金抵扣掉,如此一来,“一口价”可以帮助改善赢家与非赢家的收益不对等性,缓解消费者事后觉得不公平的心理以维持其参与意愿(Xu et al., 2019)。只有在英式拍卖中,非赢家一方不会产生福利损失,从而达到一个相对平等的收入分布结果。

4.竞拍行为和学习效应

结果 4:在升价便士拍卖里,参与人表现出沉没成本谬误。随着拍卖轮次增加,卖方利润越来越接近理论预测。

从图 2 中注意到,升价便士拍卖在拍卖进行的中期(第 9 轮至第 13 轮左右)结束的概率很低,这一特征很可能与具有沉没成本特征的付费竞价方式有关。为检验被试的竞拍行为是否受沉没成本的影响,本文在竞拍层面的数据上为每个参与者构造一个“退出”虚拟变量:如果该参与者在该次竞拍记录之后没有出现跟拍记录,则表示其放弃竞拍,该变量记为 1,否则记为 0。本文统计了每条竞拍记录下该参与者截止到目前累计支付的竞拍费用,以及对应的拍卖品净价值,以参与者是否“退出”为被解释变量,对升价便士拍卖形式进行 Probit 回归,回归结果见表 3。结果显示,被试退出拍卖的概率与其付出的沉没成本之间存在显著的 U 型关系。在前期参与者表现出沉没成本谬误,他们支付过的竞拍费越多,想要继续进行竞拍的可能性就越高,这一现象会随着接近竞拍次数上限而逐渐减弱。这也解释了为什么现实生活中大多数的便士拍卖网站会设置一个很小的价格提升度和一个相对较大的竞拍费数值,正是由于个体对沉没成本不能理性止损的心理弱点,这种组合方式可以极大地诱发参与者的过度竞拍行为。

表 3　　沉没成本对退出决策的影响(升价便士拍卖)

被解释变量:I(退出)	
拍卖品净价值	-0.0147^{**} (0.0065)

续表 3

被解释变量:I(退出)	
沉没成本	-0.0318^{**} (0.0157)
沉没成本平方项	0.0010^{**} (0.0005)
沉没成本×轮数	0.0038^{***} (0.0014)
个体固定效应	Y
样本数	1398
pseudo R^2	0.0981

注:表格中报告的是平均边际影响,括号中报告的是稳健标准误。*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 水平上显著。

从表 3 也可以看出,学习效应在克服思维谬误中发挥了作用(Wang et al., 2016)。随着被试参加拍卖的轮数不断增加,他们出现沉没成本谬误的可能性和竞拍意愿随之降低。本文在图 3 中绘制了各个实验局在 5 轮拍卖里的卖方利润变化情况,发现学习效应在三个实验局中都有所体现。对于拍卖商在短期可以赚取正利润的升价便士拍卖,其获利机会随着参与者经验的增加而慢慢减少。在短期对拍卖商略微不利的英式拍卖中,竞拍人会逐渐发现获利空间而加剧竞争,从而提升拍卖商的利润。对于带有紧预算约束的序贯全支付拍卖,商品流拍率从第一轮的 9.09% 上升到第五轮的 38.46%,这也使得拍卖商的亏损得以减轻。总体而言,在三种拍卖形式下,本文都观察到参与者在对一开始竞拍过度或竞拍不足的行为进行修正。随着实验的进行,卖方利润曲线在实验局内呈现出向零均值线回归的趋势,即向着理论预测值回调。

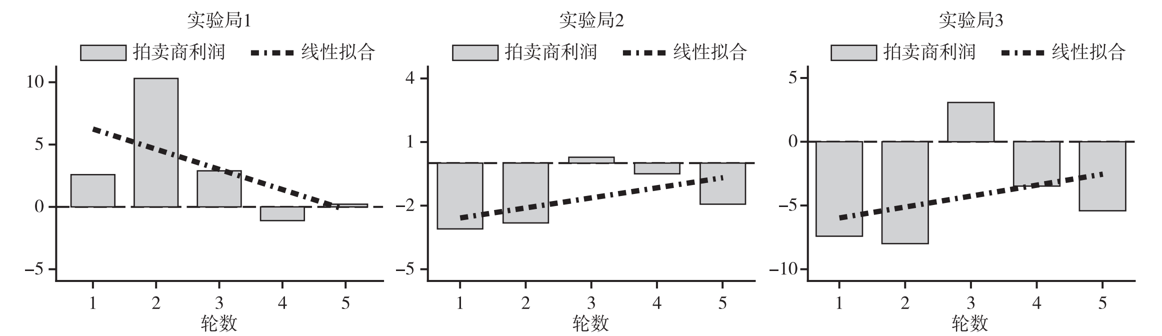

图 3 拍卖商利润的动态变化

五、结 论

拍卖,既是在竞拍者之间分配资源的一种方式,也涉及到利益在竞拍者和拍卖商之间的重新分配。随着拍卖市场的发展,拍卖被逐渐应用于汽车牌照、电力、碳排放等新兴市场,和大众的生活联系日益紧密。与此同时,随着数字经济的兴起,卖方不再充当拍卖组织者,而是依托于由第三方机构主导的双边交易平台(宫汝凯等,2015)。拍卖和互联网平台的结合在使得拍卖形式日趋复杂的同时,也导致线上拍卖成为一个近乎自由放任的交易市场。对拍卖的模式特征和消费者的竞拍行为进行分析和比较,能够帮助政策制定者识别不同拍卖机制的潜在利弊,利用信息工具设计和政策目标相匹配的拍卖方式(邝仲弘和郑捷,2020),并对网上现存的不合理的销售模式予以严格干预和监管。

本文基于 Platt et al.(2013)的工作,通过考虑竞价是否免费和拍卖品价格是否提升两个维度,在一个统一的模型框架下重点探讨并比较了三种拍卖机制:升价便士拍卖、英式拍卖和序贯全支付拍卖。鉴于前人研究中预算约束缺失与现实决策情境不符,本文将竞拍者的预算约束纳入理论设定,并按照无预算约束、松预算约束、紧预算约束三种情况分别展开分析并刻画均衡。本文的研究不仅在预算约束层面拓宽了已有拍卖模型的适用范围,而且也在已有拍卖模型的设定下发现了新的对称马尔可夫完美均衡。为进一步检验理论结果的现实解释力,本文在实验室环境下利用货币激励研究大学生被试在不同拍卖机制下的竞价行为(Levine & Zheng, 2015)。实验结果表明,就商品售出率与拍卖持续期数而言,英式拍卖 > 升价便士拍卖 > 序贯全支付拍卖;就拍卖成交价格而言,英式拍卖 > 升价便士拍卖 > 序贯全支付拍卖,均与理论预测的排序相符。然而,尽管理论预测三种拍卖形式的卖方利润相同且为零,在实验室环境下,只有英式拍卖的结果较为符合理论预期,升价便士拍卖中经常出现溢价现象,卖方可获得超额收益,而序贯全支付拍卖则不利于卖方盈利。

本文的理论发现与实验结果为现实生活里拍卖机制的发展与演变提供了有力支撑。正是由于兼顾效率与公平,英式拍卖具有悠久的历史和广泛的应用。而新兴的便士拍卖具有博彩属性,多轮拍卖中的频繁竞价者最有可能遭受损失,从而给消费群体带来了不佳的用户体验(Lien et al., 2017)。本文也发现,随着被试参与经验的增加,升价便士拍卖的卖方利润越来越低,这帮助揭示了 Swoopo 破产的原因和这种销售模式的不可持续性。因此,在当下推动拍卖规则和拍卖理念等方面与国际融合的过程中,我们既要强调发展和公平,也须以长远的眼光审视商业创新的稳定性与持续性。

此外,应当注意到现实世界中拍卖环境的复杂性,参与者会拥有一些私人信息,比如,对拍卖品的估价不尽相同,财富水平有高有低。决策环境也带有其他许多不确定性,比如,实际参与拍卖的人数可能发生动态变化。在这些情况下对不同拍卖机制之间的横向比较是未来值得进一步思考和拓展的方向。另外,本文从理论层面对预算约束如何影响竞价行为进行了定性的刻画,但现实生活中竞拍者的实际行为受预算约束影响的方式与程度仍待定量检验与分析。

目前,包括传统拍卖在内的许多行业,都面临着自身领域的数字化转型。在大力发展数字经济的过程中,政府和市场机制发挥着相辅相成的作用。诚然,在一系列标准的理论假设下,各种拍卖机制均不能为拍卖商创造正利润,但是,本文的实验数据和已有的经验数据表明,竞拍人在一些网络新型拍卖模式中很容易表现出沉没成本谬误、争强好胜等非理性行为,使得最终的交易结果大幅偏离理论预测。基于此,决策者和监管者在审查和批准新的商业模式之前,应当全面思考其背后的运行原理和可能诱发的消费者行为偏误,综合考虑效率、公平、持续、稳定等因素,在选择性地开放和接纳创新型拍卖机制的同时,建立健全互联网拍卖程序的法律法规,引导和培养消费者对网络不确定性风险的意识,切实保障消费者的合法利益,充分满足和维护人民群众日益增长的差异化和便捷化的物质需求。

附录:定理 2 的证明

由于定理 1 中的结论是定理 2 的特殊情况,本文仅给出定理 2 三种情况下的结论证明。Platt et al.(2013)曾详细刻画了便士拍卖不存在预算约束时($\omega = +\infty$)的某些对称马尔可夫完美均衡。沿用 Platt 等人的逆向求解思路,假设博弈在每一期都以某个概率 μ_q 往下进行。μ_q 表示给定博弈进行到第 q 期期初,将有参与人会在第 q 期竞拍的概率。在第 q 期竞拍给参与人 i 带来的期望收益为 $(v - qs)(1 - \mu_{q+1})$。显然,当 $q > Q = (v - b)/s$ 时,竞拍收益小于需要支付的竞拍费,任何理性的参与人不会继续竞拍。

首先考察每一期的混合策略纳什均衡。此时,参与人在是否竞拍之间是效用无差异的,即竞拍期望收益等于

竞拍成本$(v-qs)(1-\mu_{q+1})=b$，由此得到$\mu_{q+1}=1-b/(v-qs)$，$q\geqslant 1$。这意味着，博弈在第 $q\geqslant 2$ 期将以 $1-b/(v-(q-1)s)$ 的概率往下进行。而在第 1 期，μ_1 无法被唯一确定，因此，对于任意 $\mu_1\in[0,1]$，都存在一个博弈会以概率 μ_1 进行到第 2 期的均衡。对称性要求所有非领先参与人采用相同的混合策略，令 β_q 表示非领先参与人在第 q 期选择提交竞拍的概率，则 $\beta=(\beta_1,\beta_2,\cdots)$ 构成对称马尔可夫完美均衡。对 $q=1$，有 $1-\mu_1=(1-\beta_1)^n$；对 $q\geqslant 2$，有 $1-\mu_q=(1-\beta_q)^{n-1}$。于是，$\beta_q$ 的表达式可以写为：

$$\beta_q=\begin{cases}1-(1-\mu_1)^{\frac{1}{n}},q=1\\ 1-\left(\dfrac{b}{v-(q-1)s}\right)^{\frac{1}{n-1}}, \quad 2\leqslant q\leqslant Q\\ 0,q>Q\end{cases}$$

接着，考虑 $\exists\beta_q\neq 1-(b/(v-(q-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$，$3\leqslant q\leqslant Q$ 的情形。不难验证，此时博弈会退化到以概率 1 在第 1 期结束或在第 2 期结束的平凡结果。不妨假设在某个第 $\tau(3\leqslant\tau\leqslant Q)$ 期，有 $\beta_\tau>1-(b/(v-(\tau-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$，即 $\mu_\tau>1-b/(v-(q-1)s)$，倒推至第 $\tau-1$ 期，在该期选择竞拍产生的净收益严格小于 0，于是，没有参与人会在第 $\tau-1$ 期提交竞拍，$\beta_{\tau-1}=\mu_{\tau-1}=0$。进一步向前推至第 $\tau-2$ 期，在该期选择竞拍产生的净收益严格大于 0，于是，$\beta_{\tau-1}=\mu_{\tau-1}=1$。以此类推，取决于 τ 的奇偶性，博弈要么在第 1 期结束($\mu_1=0$)，要么在第 2 期结束($\mu_1=1,\mu_2=0$)。同理，如果 $\exists\beta_\tau<1-(b/(v-(\tau-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$，也会得到相同的结果。因此，本文无需讨论每一期的对称纯策略纳什均衡。

另外，从上述分析可知，如果 $\beta_q=1-(b/(v-(q-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$，$\forall 3\leqslant q\leqslant Q$ 但 $\beta_2>1-(b/(v-s))^{\frac{1}{n-1}}$，则 $\mu_1=0$，竞拍不会发生；如果 $\beta_q=1-(b/(v-(q-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$，$\forall 3\leqslant q\leqslant Q$ 但 $\beta_2<1-(b/(v-s))^{\frac{1}{n-1}}$，则 $\mu_1=1$，拍卖将以概率 1 进行到第 2 期。

综上所述，在不存在预算约束的情况下，便士拍卖的对称马尔可夫完美均衡可归纳如下：对于任意 $\gamma_1\in[0,1]$，都至少存在一个拍卖以概率 γ_1 流拍的均衡。(1)如果 $\gamma_1=0$，则对于任意 $\beta_2\in[0,1-(b/(v-s))^{\frac{1}{n-1}})$，都存在一个在第 2 期每个非领先参与人以概率 β_2 竞拍的均衡，并且若 $\beta_2>0$，则在随后的第 $q(3\leqslant q\leqslant Q)$ 期每个非领先参与人以 $1-(b/(v-(q-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$ 的概率竞拍，在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍；(2)如果 $\gamma_1\in[0,1)$，则在随后的第 $q(2\leqslant q\leqslant Q)$ 期每个非领先参与人以 $1-(b/(v-(q-1)s))^{\frac{1}{n-1}}$ 的概率竞拍，在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍；(3)如果 $\gamma_1=1$，则竞拍没有发生。

现在，本文转而讨论有限预算约束($\omega\in\mathbb{R}^+$)时的均衡。

(一)当 $2[\omega/b]\geqslant(v-b)/s$ 时

当每个参与者支付的竞拍费总量不能超过其预算 ω 时，竞拍一共只能发生 $n[\omega/b]$ 次，即博弈最多只能进行到第 $n[\omega/b]+1$ 期结束。对于参与人 i，在其用完所有预算的情况下(或者剩余预算不足以支付一次竞拍费)，博弈至少已经进行到第 $2[\omega/b]$ 期(i 从第 1 期开始的每一期只要自己是非领先参与人，就提交竞拍)。因此，当 $2[\omega/b]\geqslant Q=(v-b)/s$，$i$ 的行为策略并不会受到预算约束的实质性影响，这是因为在第 $q>Q$ 期 i 不会再提交竞拍，而在此之前 i 也不可能用完所有的预算。于是，当参与者的预算、竞拍费和价格提升度满足关系式 $2[\omega/b]\geqslant(v-b)/s$ 时，博弈均衡与上述讨论的不存在预算约束时的对称马尔可夫完美均衡相一致，即定理 2a 所述。

(二)当 $2[\omega/b]<(v-b)/s\leqslant n[\omega/b]$ 时

当参与者的预算、竞拍费和价格提升度满足关系式 $2[\omega/b]<(v-b)/s\leqslant n[\omega/b]$ 时($\omega\in\mathbb{R}^+,b>0$)，对于参与者整体而言，预算总额有盈余，我们仍然可按照上述分析思路，利用每一期的效用无差异条件来确定 $\mu_{q+1}=1-b/(v-qs)$。但是，对于某些参与者而言，如果他们仍然遵循定理 2a 给出的策略竞拍，则有可能会在第 Q 期之前用完自己所有的预算(由于剩下的 $\omega-[\omega/b]b<b$ 单位预算对参与人是没有用的，不妨假设 $\bmod(\omega,b)=0$)。换言之，事前对称的行为策略有可能会导致事后不对称的领先参与人结果，亦即剩余预算在参与者之间的分布。因此，在这种情况下，参与人的行为策略将变得更为复杂，本文首先给出如下引理。

引理：当 $2\omega/b<(v-b)/s\leqslant n\omega/b$ 时($\omega\in\mathbb{R}^+,b>0,\bmod(\omega,b)=0$)，在任意子博弈完美纳什均衡路径上，给定博弈可以以严格为正的概率进行到第三期，则也一定有严格为正的概率进行到第 $Q+1$ 期。这意味着，从第 1 期至第 $Q-1$ 期的每一期期初都至少有 2 个参与人有剩余预算。

证明：运用反证法来证明，对于任意 $1\leqslant q\leqslant Q-2$，当博弈在第 q 期期初至少有 2 个参与人有剩余预算时(即第

1 期至第 q 期的每一期期初都至少有 2 人有剩余预算),则第 $q+1$ 期期初也一定至少有 2 个参与人有剩余预算。当 $1\leqslant q\leqslant 2\omega/b-1$ 时该陈述显然成立。假设在第 q 期期初仅有参与人 i 和 j 有剩余预算,其中 i 剩余 b 单位预算,j 剩余$(n\omega-qb)$单位预算,$\beta_q^i>0$ 且 $\theta_{q+1}=i$。因此,到了第 $q+1$ 期期初,仅有 j 一人有剩余预算,他最多还可以竞拍 $n\omega/b-q\geqslant Q-q\geqslant 2$ 次。在其他情况下,均能保证博弈进行到第 $q+1$ 期期初时至少有 2 个参与人有剩余预算。在第 $q+1$ 期,$\mu_{q+2}=0$(j 没有其他竞拍对手),选择竞拍产生的净收益将严格大于 0。于是,$\beta_{q+1}^j=1$,$\mu_{q+1}=1$。显然,这与 $\beta_q^i>0$ 矛盾,参与人 i 在第 q 期以正概率选择竞拍是非理性行为。从而,从第 1 期推至第 $Q-1$ 期,在均衡路径上的每一期期初都至少有 2 个参与人有剩余预算。

从引理也可发现,定理 2a 给出的对称马尔可夫完美均衡策略不再适用,它无法保证博弈可以以严格为正的概率进行到 $Q+1$ 期。此时,参与人不仅要根据当前期数,也要根据剩余预算等状态变量来制定行动计划。定理 2b 给出了一类特殊的对称马尔可夫完美均衡:对于任意 $\gamma_1\in[0,1]$,都至少存在在一个拍卖以概率 γ_1 流拍的均衡。(1)如果 $\gamma_1=0$,则对于任意 $\beta_2^i\in[0,1-(b/(v-s))^{\frac{1}{n-1}})$,都存在一个在第 2 期非领先参与人 i 以概率 β_2^i 竞拍的均衡,并且若 $\beta_2^i>0$,则在随后的第 $q(3\leqslant q\leqslant Q)$期非领先参与人 i 以概率 β_q^i 竞拍,在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍;(2)如果 $\gamma_1\in[0,1)$,则存在均衡使得在随后的第 $q(2\leqslant q\leqslant Q)$期非领先参与人 i 以概率 β_q^i 竞拍(函数形式由下式给出),在第 $q>Q$ 期以概率 0 竞拍;(3)如果 $\gamma_1=1$,则竞拍没有发生。

$$\beta_q^i=\begin{cases}1-\left(\dfrac{b}{v-(q-1)s}\right)^{\frac{1}{n-1}},q-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]n\leqslant 2\text{ 且 }\overline{\omega}_q^i\geqslant\omega-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]b\\1-\left(\dfrac{b}{v-(q-1)s}\right)^{\frac{1}{n-(m-1)}},q-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]n=m\geqslant 3\text{ 且 }\overline{\omega}_q^i\geqslant\omega-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]b\\0,\overline{\omega}_q^i<\omega-\left[\dfrac{q-1}{n}\right]b\end{cases}$$

其中,$\overline{\omega}_q^i=\omega-b\sum_{k=1}^{q}I(\theta_k=i)$表示参与者 i 在第 q 期期初的剩余预算。

在这类均衡策略下,给定博弈可以以严格为正的概率进行到第三期,它在第 $q\geqslant 3$ 期会以 $1-b/(v-(q-1)s)$ 的概率往下进行,参与人在每一期(第一期除外)对于是否竞拍是效用无差异的。这类均衡的特殊之处在于在每一个可能经历的 n 期组成的周期里($q\in\cup_{k\in Z}[kn+1,(k+1)n]$),每个参与人都会以内生决定的顺序支付一次竞拍费。因此,每一个周期进行结束后,所有参与人的剩余预算都是相同的,从而保证了在任意 $q<Q$ 期都至少有 2 个参与人有剩余预算。

(三)当 $n[\omega/b]<(v-b)/s$ 时

此时,给定博弈进行到第 $W=n[w/b]+1$ 期,各个参与人的剩余预算均为 0 或不足以支付一次竞拍费,因此,$\mu_W=0$。根据逆向归纳法,若 W 为奇数($n[w/b]$为偶数),则所有非领先参与人在偶数期以概率 1 竞拍,在奇数期以概率 0 竞拍,从而竞拍不会发生;若 W 为偶数($n[w/b]$为奇数),则所有非领先参与人在奇数期以概率 1 竞拍,在偶数期以概率 0 竞拍,拍卖会在第 2 期结束。由此,本文得到定理 2c 的结论。

参考文献

陈叶烽,2009:《亲社会性行为及其社会偏好的分解》,《经济研究》第 12 期。

陈叶烽、周业安、宋紫峰,2011:《人们关注的是分配动机还是分配结果?——最后通牒实验视角下两种公平观的考察》,《经济研究》第 6 期。

范良聪、刘璐、梁捷,2013:《第三方的惩罚需求:一个实验研究》,《经济研究》第 5 期。

宫汝凯、孙宁、王大中,2015:《基于双边交易环境的中间商拍卖机制设计》,《经济研究》第 11 期。

何大安,2018:《互联网应用扩张与微观经济学基础——基于未来"数据与数据对话"的理论解说》,《经济研究》第 8 期。

何浩然,2011:《个人和家庭跨期决策与被试异质性——基于随机效用理论的实验经济学分析》,《管理世界》第 12 期。

蒋传海,2010:《网络效应、转移成本和竞争性价格歧视》,《经济研究》第 9 期。

姜树广、陈叶烽,2016:《腐败的困境:腐败本质的一项实验研究》,《经济研究》第 1 期。

柯荣住、方汉明,2004:《轮流拍卖在公共资源配置中的应用——兼与讨价还价模型比较》,《经济学(季刊)》第 2 期。

邝仲弘、郑捷,2020:《大数据环境下信息设计研究——以竞赛模型为例》,载于陈剑等编《大数据环境下的运营策略优化与协调研究》,科学出版社。

雷震,2013:《集体与个体腐败行为实验研究——一个不完全信息最后通牒博弈模型》,《经济研究》第 4 期。

李三希、武玥璠、鲍仁杰,2021:《大数据、个人信息保护和价格歧视——基于垂直差异化双寡头模型的分析》,《经济研究》第 1 期。

李三希、喻俊、尹训东,2015:《是否捆绑拍卖? 公私合营下最优招标的机制设计》,《经济学(季刊)》第 1 期。

林树、俞乔、汤震宇、周建,2006:《投资者"热手效应"与"赌徒谬误"的心理实验研究》,《经济研究》第 8 期。

荣健欣、孙宁,2015:《汽车牌照配置的混合机制设计——对我国车牌配置机制改进的探讨》,《财经研究》第 12 期。

汪敏达、李建标、殷西乐,2017:《参与顺序内生的集体行动:一项实验研究》,《经济学(季刊)》第 3 期。

王世强、陈逸豪、叶光亮,2020:《数字经济中企业歧视性定价与质量竞争》,《经济研究》第 12 期。

王先甲、黄彬彬、胡振鹏,2010:《排污权交易市场中具有激励相容性的双边拍卖机制》,《中国环境科学》第 6 期。

王霄、吴伟炯,2012:《情绪机制与公共物品供给决策——一项基于社会资本的实验研究》,《经济研究》第 11 期。

姚澜、朱迅,2020:《通过额外兑付改善协调困境:一项实验研究》,《经济研究》第 3 期。

郑捷、何韵文,2021:《信息环境与奉献行为:基于发起追随时机博弈的理论与实验》,工作论文。

郑捷、王倩,2021:《线上与线下:产品差异化和市场竞争渠道的策略选择》,工作论文。

周业安、连洪泉、陈叶烽、左聪颖、叶航,2013:《社会角色、个体异质性和公共品自愿供给》,《经济研究》第 1 期。

Augenblick, N., 2016, "The Sunk-cost Fallacy in Penny Auctions", *Review of Economic Studies*, 83(1), 58—86.

Brünner, T., J. Reiner, M. Natter, and B. Skiera, 2019, "Prospect Theory in a Dynamic Game: Theory and Evidence from Online Pay-per-bid Auctions", *Journal of Economic Behavior and Organization*, 164, 215—234.

Byers, J. W., M. Mitzenmacher, and G. Zervas, 2010, "Information Asymmetries in Pay-per-bid Auctions: How Swoopo Makes Bank", Proceedings of 11th ACM Conference on Electronic Commerce, 1—11.

Caldara, M., 2012, "Bidding Behavior in Pay-to-bid Auctions: An Experimental Study", Working Paper.

Fischbacher, U., 2007, "Z-tree: Zurich Toolbox for Ready-made Economic Experiments", *Experimental Economics*, 10(2), 171—178.

Gnutzmann, H., 2014, "Of Pennies and Prospects: Understanding Behavior in Penny Auctions", Working Paper.

Gonçalves, R., and M. A. Fonseca, 2016, "Learning through Simultaneous Play: Evidence from Penny Auctions", *Journal of Economics and Management Strategy*, 25(4), 1040—1059.

He, Y., H. M. Jung, J. W. Lien, and J. Zheng, 2020, "Revisiting Pay-to-bid Auctions: Theory and Experiment", Working Paper.

Hinnosaar, T., 2016, "Penny Auctions", *International Journal of Industrial Organization*, 48, 59—87.

Johnson, E. J., C. Camerer, S. Sen, and T. Rymon, 2002, "Detecting Failures of Backward Induction: Monitoring Information Search in Sequential Bargaining", *Journal of Economic Theory*, 104(1), 16—47.

Lam, T., and B. Greiner, 2011, "Pay-per-bid Auctions with an Exit Option: An Experimental and Empirical Investigation", Working Paper.

Leininger, W., 1991, "Patent Competition, Rent Dissipation and the Persistence of Monopoly: The Role of Research Budgets", *Journal of Economic Theory*, 53, 146—172.

Levine, D. K., and J. Zheng, 2015, "The Relationship between Economic Theory and Experiments", Handbook of Experimental Economic Methodology, ed. Guillaume Frechette and Andrew Schotter, Oxford University Press, Ch. 2, 43—57.

Levitt, S. D., J. A. List, and S. E. Sadoff, 2011, "Checkmate: Exploring Backward Induction among Chess Players", *American Economic Review*, 101(2), 975—990.

Lien, J. W., M. Xu, and J. Zheng, 2017, "What Brings a Consumer Back for More? Evidence from Quantifiable Gain and Loss Experiences in Penny Auctions", Working paper.

Palacios-Huerta, I., and O. Volij, 2009, "Field Centipedes", *American Economic Review*, 99(4), 1619—1635.

Platt, B. C., J. Price, and H. Tappen, 2013, "The Role of Risk Preferences in Pay-to-bid Auctions", *Management Science*, 59(9), 2117—2134.

Speegle, A. C., 2015, "The Role of Bid Prices in Pay-to-bid Auctions: An Experimental Study", Working Paper.

Wang, Z., and M. Xu, 2016, "Selling a Dollar for More than a Dollar? Evidence from Online Penny Auctions", *Information Economics and Policy*, 36, 53—68.

Wang, Z., J. W. Lien, J. Zheng, Y. Zhou, and B. Xu, 2016, "Extortion can Outperform Generosity in the Iterated Prisoners' Dilemma", *Nature Communications*, 7, 11125.

Xu, M., S. Li, and J. Yan, 2019, "All-pay Auctions with a Buy-price Option", *Economic Inquiry*, 57(1), 617—630.

Auction Mechanism and Bidding Behavior: Theory and Experiment on Pay-to-Bid Auctions

HE Yunwen and ZHENG Jie

(School of Economics and Management, Tsinghua University)

Summary: The rapid development of Internet technology and digit economy has given birth to many nascent online auction mechanisms, one of which is the pay-to-bid auction (also known as penny auction). The feature of penny auctions can be described as follows. The auction usually begins with a price of zero. Any bid placed within a pre-specified time limit extends the auction by resetting the time limit. Each bid costs the bidder a certain amount of bidding fee and increases the price by a fixed amount. The auction ends when there are no more bids before time expires, and the last bidder wins the object at the current price. It is noteworthy that although the transaction prices are typically much lower than the retail prices, the penny auction is remarkably profitable for the sellers by extracting bidding fees from a large number of bidders.

On one hand, since the penny auction shares the feature of pay-to-bid with the all-pay auction, and the feature of dynamically increasing price with the English auction, it will be nice to have a unified framework that can incorporate all three auction mechanisms. On the other hand, given that there are many scenarios in the real life in which bidders face budget constraints, it will be useful to develop a penny auction model with budget constraint, which has not been done in the previous literature.

In this paper, we propose a general setting on pay-to-bid auction, which allows bidders to have their own budget constraints and also includes free bidding and fixed price as special cases. Firstly, we characterize the equilibrium solutions in all three situations: no budget constraint, loose budget constraint and tight budget constraint, respectively. By doing so, we not only broaden the application scope of the auction model by making the model more realistic, but also enhance the existing theory for the situation of no budget constraint by finding a new set of symmetric Markov perfect equilibrium. Secondly, since the three auction mechanisms unified in our setting, namely, the ascending-price free-to-bid auction, the ascending-price pay-to-bid auction, and the fixed-price pay-to-bid auction, will become the English auction, the ascending-price penny auction, and the sequential all-pay auction when there are only two bidders, we conduct theoretical comparison among these three auction mechanisms in a 2 – bidder setting. Lastly, to further test the validity of our theory, we study the bidding behavior using college students as subjects under different auction settings in a laboratory environment with monetary incentives.

Our findings are as follows. (1) In terms of the transaction rate and auction duration, English auction > ascending-price penny auction > sequential all-pay auction; (2) in terms of the transaction price, English auction > ascending-price penny auction > sequential all-pay auction; which are both consistent with the ranking order predicted by the theory. However, (3) the theoretical result of revenue equivalence is not supported by the experimental data. The ascending-price penny auction can bring excessive profits to the auctioneer, while the sequential all-pay auction with a tight budget constraint makes negative profits. In comparison, only the results of English auction are aligned with the theoretical prediction. Yet, the learning effect would bring the outcome closer to the equilibrium, mitigating the revenue difference among the three auction mechanisms over time.

Currently, many industries in China, including the traditional auction industry, are going through a digital transformation. While under a set of standard assumptions, no auction mechanism is able to yield positive profits from the theoretical perspective, our experimental data along with the existing empirical data do suggest that bidders are likely to suffer from sunk cost fallacy, aggressiveness, and some other irrational behavioral biases, resulting in the transaction outcomes greatly deviating from the theoretical prediction. For this reason, the government should evaluate the underlying operation principle and the potential behavioral bias which may be induced by the auction mechanism before it is implemented. Some important factors such as efficiency, fairness, sustainability and stability should also be taken in account. Furthermore, in order to meet people's continuously increasing demand on material consumption and legal rights, it is necessary and important for the regulators to establish the relevant legal procedures regulating Internet auctions, as well as to cultivate the consumers' risk perception of the online activities.

Keywords: Auction Mechanism; Pay-to-Bid Auction; Budget Constraint; Symmetric Markov Perfect Equilibrium; Sunk-cost Fallacy

JEL Classification: C91, D02, D11, D44

(责任编辑:恒　学)(校对:刘　阳)