建设工程最优招标机制的设计

郑边江[1,2]

(1.东北财经大学 投资工程管理学院;2.东北财经大学 工程管理研究中心,辽宁 大连 116025)

摘 要:从建设工程招标者的角度,重点分析了工程招标者收益最大化的招标机制设计问题。借助机制设计理论和博弈论的方法,通过对招标博弈模型均衡解的分析,得出了SIPV条件下最优招标的简化方法,指出经过修订的二级价格密封招标可以实现招标者最优招标。在此基础上,运用显示原理,分析了一般条件下的最优招标机制设计,通过对赢者选择原则和定价原则的重新界定,实现了一般条件下招标者的最优招标。

关键词:建设工程;最优招标;招标机制设计

中图分类号:F426.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7348(2008)10-0053-04

0 引言

建设工程招标是机制设计理论中最成功的应用领域之一,越来越多的学者们开始关注招标问题。建设工程招标承包是实施建设项目的基本方式,国际上早已普及,我国自20世纪80年代起即开始试点,如今已全面开放,政府与私人部门正与日俱增地通过招标机制采购或销售商品与权利。招标过程实质上是一个市场交易的过程,在这一过程中,经济学考虑的目标是效率。在一个完全竞争的市场中,市场机制可以实现帕累托最优效率。然而,完全竞争市场需要很严格的条件,在很多情况下,这些条件并不能满足。在这种情况下,我们所采用的机制,或者制度,或者博弈的程序与规则,就会起到关键的作用。机制设计理论正是考虑什么条件下这样的制度存在,分析和给定一个结果,并找到适当的博弈程序与规则来达到该结果。机制设计理论有着广泛的应用,其中,最成功的应用是用来设计拍卖和招标机制。机制设计理论可以证明,在有些情况下,一般招标的形式可以实现招标方收益的最大化。机制设计理论可以帮助我们设计更有效的招标机制。本文正是借助机制设计理论,来设计建设工程的最优招标机制。需要说明的是,本文所分析的最优招机制是从招标方的角度而言的,即招标方收益最大化的招标机制。

1 建设工程最优招标模型的基本假设

工程招投标过程是投标方与招标方之间以及投标方之间相互影响和竞争,最终达到一个均衡的过程。在此过程中,存在着信息不对称的特征:招投标双方都拥有不同的私人信息,对招投标相关问题可以运用博弈论的理论和方法来分析。对招投标的博弈分析都是在一定的假设前提下进行的,其中最基本的模型是私人估价模型(简称SIPV)。私人估价模型的前提假设并不一定完全符合招标的现实情况,但它们是招标绩效分析的基准条件,在此基础上逐步放宽假设条件或替代假设条件,以逼近现实世界,从而对现实的招标活动进行分析和评价。

考虑最简单的模型:有一个招标方,他想对一个建设项目采取招标方式进行承包,该项目对招标者而言,其价值为v_0。有n个投标者对此项目感兴趣,用v_i表示第i个投标人对项目的估价值,或者说第i个投标人认为该项目的价值为v_i。为便于进行分析,作如下假设:

(1)私有价值。对投标者i来说,只有他自己知道v_i的值,招标者及其他投标者都不知道v_i的值。但是他们会把v_i当作一个随机变量,并且知道这个随机变量的分布函数$F_i(v_i)$和密度函数$f_i(v_i)$。即项目对投标者的价值是投标者的私人信息,并且这个价值不取决于其他投标者是否了解。私有价值的假设说明任何一个投标者的价值只有那个投标者自己才知道,并且这是他唯一的私人信息。用博弈论的术语来说,v_i就是投标者的类型。这一假定并不是脱离实际的理论抽象,在工程建设招标过程中,每个投标者都知道自己对招标项目的评价,而不会受到其他投标者估价的影响。

(2)独立性。总体来说,n个投标者的估价v_1,v_2,L,v_n是相互独立的(或不相关的),独立性意味着每个投标者的私人价值不受其他投标者估价的影响,即使第i个人知道v_j,

收稿日期:2008-07-22

作者简介:郑边江(1975~),男,辽宁法库人,博士,东北财经大学投资工程管理学院讲师,东北财经大学工程管理研究中心副主任,研究方向为基础设施项目投融资、拍卖理论与工程招标、房地产经营管理、宏观投资理论。

投标者i也不会改变自己对项目的评价。根据私有价值的假设，每一个投标人对其他人的类型是一无所知的，因此可以给出一个“贝叶斯式的”假定：投标人i相信v_1,L,v_{i-1},v_{i+1},L v_n是一系列的随机变量，服从一个联合概率分布(一般而言是一个均匀分布)。独立性的假设要求每一个投标人都相信其他人的类型与其自身的类型是独立分布的，所以了解自己的类型并不会提供任何有关其他投标人类型的信息，因此一个投标人对其他人行为的信念就不会是他自己类型的一个函数，投标者之间的信息不是关联的。也就是说，如果一个投标者认为招标项目的价值非常高，他就不会认为其他投标人也这么想。由独立性可知，v_1,v_2,L,v_n的联合分布函数为：$F(v_1,v_2,L,v_n)=F_1(v_1)F_2(v_2)L\ F_n(v_n)$。

(3)对称性。对所有的投标者而言，他们的估价分布函数完全相同，即：$F_1(v_1)=F_2(v_2)=L=F_n(v_n)$，为方便使用，可统一表示为$F(v)$。对称性的假定表明，任意两个投标者对于另外一个投标者价值如何分布的信念是相同的，任何一个投标人都会相信，无论比较标的对哪两个投标人的价值，其分布都是相同的。

(4)风险中性。即每个投标者都是风险中性的，每个投标者的目标是最大化他的期望收益。

(5)不存在合谋。所有投标者独立决定自己的竞价策略，不存在任何具有约束力的合作性协议。

(6)单个项目。即招标项目只有一个，且是不可分割的。

在这些假设条件中，假设条件(1)、(2)、(3)描述了参与人面临的信息结构，而假设条件(4)、(5)对各投标者的行为进行了简化。在大多数情况下，我们主要研究招标方在不同招标方式下所得到的平均收益或价格。因此，假定招标者是风险中性的，有能力挑选具体的招标方式，并且按招标规则行事。所有这些假定中描述的知识，对招标方、投标方均属共同知识。

2 建设工程最优招标的简化方法

在建设工程对称招标模型中，所有的招标规则都可以用配置原则$\hat{\rho}$和支付原则$\hat{x}$ 表示，这里的$\hat{\rho}(b_1,b_2,L,b_n)$是投标者$i$在招标中成为赢者的概率，$\hat{x}(b_1,b_2,L,b_n)$是投标者$i$向招标者支付的价格。这种代表性的招标规则的优点是，给定其他投标者的战略，每个投标者的决策问题都可被看成是通过投标b来选择成为赢者的概率和支付的价格。假设投标者2到n的均衡战略是$b^*(v)$，考虑到特定的投标者1的情况，该投标者成为赢者的概率和预期支付都是他自己的投标行为b的函数：

$$\rho(b)=E[\hat{\rho}(b,b^*(v_2),L,b^*(v_n))],$$

$$\varepsilon(b)=E[\hat{x}(b,b^*(v_2),L,b^*(v_n))]$$

根据独立性的假定，ρ和ε都依赖于b而与投标者自己的估价v不直接相关。给定其他投标者的均衡战略$b^*(v)$，利用代表性的招标规则ρ和ε，投标者的支付函数可表示为：$U(b,v)=\rho(b)-\varepsilon(b)$。假定投标者的估价高于$v_0$，估价最高的投标者在招标中将成为赢者。所以，在招标中成为赢者的均衡概率是(假定$v\geqslant v_0$)：

$$\rho^*(v)=\rho(b^*(v))=P\{\text{所有对手的估价都小于}v\}=F^{n-1}(v)$$

在竞争对手的均衡战略为$b^*(v)$时，一个估价为v、投标为b的投标者的期望效用为$U(b,v)=\rho(b)v-\varepsilon(b)$。因为均衡状态下的行动$b=b^*(v)$一定是最优反应，投标者的间接效用函数是：$U^*(v)=U(b^*(v),v)=\rho(b^*(v))v-\varepsilon(b^*(v))$。因为 $U^*(v)$是最大值函数，运用包络定理可得到：$U^*(v)=\frac{\partial}{\partial v}U(b^*(v),v)=\rho(b^*(v))$。对该式进行积分可得：

$$U^*(v)=\int_{v_0}^{v}U^{*\prime}(x)dx+U^*(v_0)=\int_{v_0}^{v}\rho(b^*(x))dx=\int_{v_0}^{v}F^{n-1}(x)dx。$$

根据$U(b,v)=\rho(b)v-\varepsilon(b)$求出投标者的预期支付：

$$\varepsilon^*(v)=\varepsilon(b^*(v))=vF^{n-1}(v)-\int_{v_0}^{v}F^{n-1}(x)dx$$

招标者从每个投标者那里得到的预期支付为$\varepsilon^*(v)$。因为不了解投标者的估价，招标者只能求投标者的预期支付的期望值：

$$E[\varepsilon^*(v)]=E[vF^{n-1}(v)-U^*(v)]=\frac{1}{n}E[v_{(n)}]-E[U^*(v)]$$

把n个投标者预期支付的期望值相加，便得到招标者的预期收益：

$$\prod(n,v_0)=nE[\varepsilon^*(v)]=E[v_{(n)}]-nE[U^*(v)]=\int_{v_0}^{\bar{v}}v\frac{d}{dv}F^n(v)dv-n\int_{v_0}^{\bar{v}}(\int_{v_0}^{\bar{v}}F^{n-1}(x))\frac{d}{dv}F(v)dv$$

用分步积分法，求得：

$$\int_{v_0}^{\bar{v}}(\int_{v_0}^{\bar{v}}F^{n-1}(x)dx)\frac{d}{dv}F(v)dv=\int_{v_0}^{\bar{v}}F^{n-1}(v)dv-\int_{v_0}^{\bar{v}}F^n(v)dv=\frac{1}{n}\int_{v_0}^{\bar{v}}(\frac{d}{dv}F^n(v))\frac{1-F(v)}{F(v)}dv$$

所以，招标者的预期收益为：

$$\prod(n,v_0)=\int_{v_0}^{\bar{v}}\left(v-\frac{1-F(v)}{f(v)}\right)\left(\frac{d}{dv}F^n(v)\right)dv$$

根据这个解，招标者唯一需要选择的变量是关键估价v_0。因此，对招标者来说，最优的招标只要求出使$\prod(n,v_0)$最大的关键估价v_0。

对招标者最优的招标是确定满足下面条件的关键估价v^*_0。$v^*_0=\frac{1-F(v^*_0)}{f(v^*_0)}$，关键估价与投标者人数$n$无关。所以，通过规定最小估价$v^*_0$，修正了的二级价格招标是最优的。

对$\prod^*(v_0,n)$中的v_0求导：$\frac{\partial}{\partial v_0}\prod^*(n,v_0)=\left[\frac{1-F(v_0)}{f(v_0)}-v_0\right]g\frac{\partial}{\partial v_0}F^n(v_0)=0$，可得$\frac{1-F(v_0)}{f(v_0)}-v_0=0$，所以，$v_0=\frac{1-F(v_0)}{f(v_0)}$。

这样，在对称招标中，修正过的二级价格招标能实现最优招标，但它不是实现最优招标的唯一办法。实际上，任何把标的出售给估价最高的投标者的招标(只要最高估价大于最优的关键估价)，都可实现最优招标。这样的方法

有:规定了最优最低价格的一级、二级价格招标和全支付招标等。

3 建设工程最优招标的机制设计方法

上述最优招标方法虽然简单直接,但存在很大的局限性,因为这种方法只考虑了对称的情况。给定一个社会目标,我们希望寻找一个机制来实现这个目标。问题的一个难点是我们可以选择的范围太大,可能不知从何处入手。Myerson和Maskin等人建立的显示原理大大简化了我们所面临的问题。他们证明,我们只需要考虑一类特殊的机制,如果从这类特殊机制中我们不能找到一个机制来实现我们的社会目标,则任何其它机制也不能实现我们的社会目标。更为可贵的是,这类特殊的机制可以用一些数学表达式来刻画,这就使得机制设计问题变成了一个数学上可能有解的问题。借助Myerson的显示原理,可以通过机制的方法,实现工程招标者的最优招标,而且这种方法比前文中的简化方法更具普遍适用性,因为这种方法不仅考虑了不对称的情况,而且对招标的配置规则没有作任何限制。

借助显示原理,我们可以对建设工程招标机制进行如下设计:

(1)直接招标。直接招标是投标者向招标者报告他们的估价,然后再根据招标规则选择谁是赢者及支付的价格。密封招标是直接招标,而英式招标和荷兰式招标是间接招标。

(2)激励相容。如果投标者向招标者诚实报告自己的估价是一种纳什均衡,那么,直接招标是激励相容的。一个强有力而战略上又非常简单的例子是,说真话是占优战略的招标。从招标者的角度考虑最优招标问题,激励相容只要求投标者显示他们的真实估价,而不要求在他收到投标之前也报告自己的真实估价。二级价格密封招标是有关激励相容的例子,在这种招标中,所有投标者都按其真实估价投标。招标者在这里不会说真话,其原因在于把最小投标确定在比他自己估价更高的水平上对他是有利的。

(3)显示原理。根据显示原理,任何一种招标的任意一个均衡,都可以从获胜概率和预期支付都相等的激励相容的直接招标中得到。因此,如果一种招标在激励相容的直接招标中是最优的,那么在所有类型的招标中也必然是最优的。考虑任意一个招标中的均衡,这种均衡总是可以通过下面的步骤表示为一个等价的激励相容的直接招标。直接招标机制由配置原则ρ和支付原则x构成,两者都是投标者估价向量$v=(v_1,v_2,\mathrm{L},v_n)$的函数:①要求每个投标者报告他的估价;②记下假定的招标中投标者的均衡投标战略,并计算相应的获胜概率ρ_i和赢者支付的价格x_i,两者都是投标估价v的函数;③使获胜概率$\rho_i(v)$和支付价格$x_i(v)$与假定招标中给定的均衡水平相等;④确定赢者和相应的价格。

显然,如果所有投标者都是诚实的,那么直接招标与假定的招标中给定的均衡将是等价的。最后,这个直接招标是激励相容的。其原因是:如果投标者在直接招标中说谎是有利可图的,那么他在假定招标的均衡战略中对自己说谎也一定是有利可图的。

(4)可行的直接招标。直接招标可用配置原则ρ和支付原则x表示,两者都是投标者估价的函数。用$\rho_i(v)$表示投标者i获胜的概率,$x_i(v)$表示他支付的价格。可行的直接招标满足下面3个条件:

首先,因为只对一个项目招标,对所有的估价水平来说,获胜概率$\rho_i(v_1,v_2,\mathrm{L},v_n)$之和不能超过1。该建设项目不能通过招标而被承包的概率也可能为正:$\sum_{i=1}^{n}\rho_i(v)\leqslant 1$(预算约束)。

其次,直接招标是激励相容的。也就是说,如果投标者的真实估价为v_i,那么,按真实估价报价至少和报告任意一个其它的估价$\hat{v}_i\neq v_i$一样好。真实估价为v_i而把它虚假地报告为$\hat{v}_i$的投标者的效用是:

$U_i(\hat{v}_i|v_i)=E[\rho_i(v_1,\mathrm{L},\hat{v}_i,\mathrm{L},v_n)v_i]-E(x_i(v_1,\mathrm{L},\hat{v}_i,\mathrm{L},v_n))$。因此,激励相容要求:对所有的$v_i,\hat{v}_i\in[v_i,\bar{v}_i]$,下式成立:$U_i(v_i|v_i)\geqslant U_i(\hat{v}_i|v_i)$,这便是激励相容约束。

最后,参与招标是自愿的。也就是说,每个投标者的期望效用为非负,$U_i(v_i|\bar{v}_i)\geqslant 0,\forall v_i\in[v_i,\bar{v}_i]$,这便是参与约束。

(5)最优化问题。根据显示原理和上述对可行的直接招标的定义,最优招标设计问题被简化成了选择使招标者的预期利润最大的(ρ,x):

$$\mathrm{Max}\left\{\sum_{i=1}^{n}E[x_i(v_1,v_2,\mathrm{L},v_n)]-\sum_{i=1}^{n}E[\rho_i(v_1,v_2,\mathrm{L},v_n)]r\right\}$$

其中r是招标者自己的估价。这个最大化问题受预算约束、激励相容约束、参与约束的制约。这样,曾经似乎不可处理的机制设计问题就被简化成了简单的最优化问题。

(6)最优化问题的解。在描述最优化问题的解时,优先水平起着重要的作用。本质上,优先水平与在分析垄断者价格歧视时提到的个别消费者的边际收益类似,起着相同的作用。假定优先水平在估价v_i上单调递增,那么与估价v_i相应的优先水平可定义为:

$$\gamma(v_i)=v_i-\frac{1-F_i(v_i)}{f_i(v_i)}$$

在做了这些准备工作后,最优招标可概括为下列原则:第一个原则说明了如何选择赢者的问题,第二个原则规定了赢者应该支付的价格。

原则一:对赢者的选择。①要求每个投标者都报告他的估价,并计算其相应的优先水平;②把招标项目交给优先水平最高的投标者,除非这个投标者的优先水平低于招标者自己的估价r;③如果所有的优先水平都低于招标者的估价r,那么,招标者将自己保留招标项目(虽然这时投标者的最高估价可能会超过r)。

原则二：定价原则。为了描述最优定价原则，必须先对二级价格招标进行一般化。假定估价为v_i的投标者i有最高的优先水平$\gamma(v_i)\geqslant r$，投标者能在多大程度上压低报价，并且仍能保证在上述招标原则下成为赢者，用z_i表示保证投标者i成为赢者的最低报价：

$$z_i=\min\{\hat{v}|\gamma_i(\hat{v})\geqslant r,\gamma_i(\hat{v})\geqslant\gamma_j(v_j),\forall j\neq i\}$$

最优招标规定赢者支付的价格为z_i。这样，就完成了对最优招标原则的描述。

4 对建设工程最优招标机制的进一步解释

对上述建设工程最优招标问题，我们可作进一步的诠释：本质上，最优招标原则是二级价格招标（或维克里拍卖）和第三等级垄断价格歧视的结合。一方面，以消费者报告的估价为基础计算其相应的边际收益$v_i-\dfrac{1-F(v_i)}{f(v_i)}$，并按边际收益的大小对消费者进行等级排列。因为只有一个建设项目被承包，所以只有一个投标者能成为赢者。最优招标原则将选择边际收益最高的投标者作为赢者，除非他的边际收益低于招标者自己的估价r。从这个意义上讲，对赢者的最优选择采用了第三等级价格歧视中的方法。另一方面，在最优招标中，赢者支付的价格既不是他的边际收益，也不是他报告的估价，而等于使赢者的边际收益不低于所有竞争对手的最小估价。从这个特殊意义上来讲，最优招标原则又具备“二级价格”招标的特征。

根据机制设计原理，可以计算SIPV模型下的均衡结果。假定投标者的估价服从[0,1]上的均匀分布，那么其优先水平是：$\gamma_i(v_i)=v_i-\dfrac{1-v_i}{1}=2v_i-1$。只有当优先水平高于招标者的估价即$\gamma_i(v_i)\geqslant r$时，建设项目才能被承包，由此得出最高估价$v_i$必须满足$v_i\geqslant\dfrac{1+r}{2}$。赢者支付的价格或者等于$\dfrac{1+r}{2}$，或者等于第二高的投标，这取决于哪一个更高。可见，最优招标等价于招标者把最低价格确定在$\dfrac{1+r}{2}$上时的二级价格密封招标。因为最低价格大于招标者自己的估价，所以最优招标不是帕累托最优的。在这里，招标者没有把建设项目承包给最高投标者，它们的均衡结果不是帕累托最优的概率为正，这也说明了4种标准的招标都不是最优的。

5 结论

本文从招标者的期望收益最大化入手，分析了建设工程的最优招标机制设计问题，并得出如下结论：①由对SIPV模式的分析可知，通过将二级密封价格招标的最优保留价格设为$v_0=\dfrac{1-F(v_0)}{f(v_0)}$，可以实现招标方的最优招标，但这种方法局限性较大；②借助机制设计的显示原理，可以通过对招标赢者选择规则和定价规则的重新界定，运用机制设计的方法，实现建设工程的最优招标，并且这种方法是二级价格招标和三级垄断价格歧视的结合；③根据分析过程我们可以发现，最优招标者没有把建设项目承包给最高投标者，它们的均衡结果不是帕累托最优的概率为正，这也说明了4种标准的招标都不是最优的。

参考文献：

[1] 刘树林，汪寿阳，黎建强.投标与拍卖的几个数学模型[J].管理科学学报，1998(2).

[2] 黄涛.拍卖投标中的卖方干扰策略分析[J].经济研究，2005(7).

[3] 陈志俊，邹恒甫.防范串谋的激励机制设计理论研究[J].经济学动态，2002(10).

[4] 张莹.我国招标投标的理论与实践研究[D].杭州：浙江大学博士学位论文，2002.

[4] 杰弗瑞·A·杰里，菲利普·J·瑞尼.高级微观经济理论[M].上海：上海财经大学出版社，2002.

[6] 埃尔玛·沃夫斯岱特.高级微观经济学[M].上海：上海财经大学出版社，2003.

[7] 让-雅克·拉丰，大卫·马赫蒂摩.激励理论：委托—代理模型[M].北京：中国人民大学出版社，2002

（责任编辑：高建平）