多维信息招投标中的最优机制及其实施①

王 宏, 陈宏民, 杨剑侠
(上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200052)

摘要: 引入广义质量的生产函数,把竞标企业所有关于质量的信息转化为综合性质量指标,求解了多维信息招投标中的最优机制,并证明了 3阶段的第 1分值拍卖和第 2分值拍卖都能够有效实施该最优机制. 在此基础上得到多维信息招投标中更具一般意义的收入等值原理: 无论买者在事前是否承诺遵循某一评分规则,也无论实施的是第 1分值拍卖还是第 2分值拍卖,买者的期望收益都相等. 进一步分析还表明,买者事前承诺遵循某一合适的评分规则有利于提高整体社会福利,否则会导致竞标企业的过度质量供给,这从整个社会来讲是非效率的.

关键词: 多维信息招投标; 分值拍卖; 最优机制
中图分类号: F062.9 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2010)08-0001-14

0 引 言

近年来,我国大型工程项目日益增多,象北京奥运场馆建设,上海世博会工程建设等. 这些工程项目的建设一般都是通过招投标的方式进行. 作为复杂的大系统, 大型建设工程项目一般具有规模庞大、因素众多、技术复杂、开发期长和投资大等特点, 所需设备种类多、价值高, 其质量与成本直接影响整个项目的成败. 招投标不仅在工程建设中得到广泛应用,成为配置资源的有效方式,而且在政府采购、土地出让和机电设备交易中都得到广泛应用[1-2]. 在这些招投标或采购拍卖中,存在共同点, 就是: 招标方不仅关心竞标方的出价, 而且关心质量、完工日期以及竞标方本身的与质量相关的一些信息 (包括信用等级、质量管理体系、以往业绩等).

学者们对多维信息招投标的研究主要来源于现实的一些拍卖中投标者一般都需要对于多维信息进行投标, 这些应用研究包括国防部采购[3]、电力工业[4]、耕地环保[5]、有害废物处理[6]等. 在这些实践中需要解决的中心问题就是: 当投标者的私有信息是多维时, 如何为卖者设计出最优机制. 一直以来, 这都是悬而未决的问题. 但是由于多维投标的广泛运用, 实践的需要促使理论研究者们不断在寻求答案. 阻碍研究进展的主要障碍就是在多维类型下激励相容约束变得尤其复杂②. 当投标者的类型为一维时, 能够将激励相容约束表示为可处理的单调性条件, 该条件要求高类型更有可能赢得拍卖, 从而无论激励相容约束是否具有约束力, 都可以得到最优拍卖[7]. 然而当投标者类型为多维时, 难以将激励相容约束表述为单调性条件. 比如, 不能事先决定某个类型是否比其他类型要高. 与此同时多维私有信息下的非线性定价理论的发展为需要求解的最优拍卖问题提供了有益借鉴. 在非线性定价的背景下, McAfee和 McMillan[8] 将激励相容约束描述为一组偏微分方程, 这些方程从激励相容约束的一阶和二阶必要条件中得到, 为了使得这些条件对于

① 收稿日期: 2008-10-14; 修订日期: 2009-09-29.
作者简介: 王 宏 (1981—), 男, 湖北黄梅人, 博士生. Email: ahong@sjtu.edu.cn

② 比如, 由于类型是多维的, 某个竞标者可以通过两种方式来对他的类型进行撒谎. 一种方式就是报告一种与真实类型相比有不同赢标概率的类型; 另一种方式就是伪造一种类型, 该类型在赢标概率不变的情况下其相应的交易与真实类型不同. 第 1种方式的说谎在一维类型时存在, 而第 2种方式的说谎在一维类型时不存在.

激励相容也是充分条件,他们假设广义单交条件(generalized single crossing property)成立从而可以保证代理人的局部最优就是全局最优;然而这要求机制的配置是代理人类型的可微函数,而实际上在拍卖的背景下这种可微性条件是不成立的. 多维非线性定价问题研究的突破是由Armstrong[9]来完成的,其结论就是一个利润最大化的多产品垄断者会排除一些类型的消费者,该结果表明私有信息的多维性是重要的,因为一旦私有信息是一维时该结论不再成立;Armstrong进一步研究表明垄断者的最优定价函数仅取决于他的成本③,然而该研究并没有对当激励相容约束是有约束力时的最优机制进行求解.

多维招投标中面临的另一个重要问题就是如何确定赢者. 目前这方面的研究集中于对评分拍卖(scoring auction)的研究,即通过引入合适的评分规则,对投标者的投标进行综合评分,其中分值最高的投标者赢得拍卖. Che[10]考虑了包含质量和价格两维竞标的模型,在这样的拍卖中出标由包含质量和价格的组合来表示,这样采购方就可以使用一定的评分规则对每个组合进行综合评分,这样就将投标者的二维出标转换成单一的分值,其中分值最高的投标者赢得拍卖. Che的研究表明,只要采购方使用合适的评分规则,第 1分值拍卖和第 2分值拍卖作为标准拍卖的一般化形式可以被用来实施最优机制. Che研究的局限就是假设不同竞标企业的成本是独立的,而实际上在采购拍卖的背景下,可以合理地预期一些竞标企业的成本实际上不是独立的. Branco[11]将 Che的研究扩展到供应商成本互相关联的情形,研究表明成本的相关性对于多维拍卖的最优机制有重要影响,此时应该提供的最优质量是所有竞标企业私有信息的函数,而且 Che所分析的多维拍卖不再最优. 而且 Che和 Branco只是在私有信息为一维时开展研究的,而一旦私有信息是多维时,他们的研究中所得到的一些重要结论将不再成立.

Asker和 Cantillon[12]将 Che的均衡结果在下面两个方面进行了扩展:允许私有信息是多维的;对于所有的拟线形评分规则得到了期望效用相等原理. 通过引入供应商的假型(pseudotype)这样一个充分统计量,这样分值拍卖中的任何均衡结果都等价于建立在自身假型基础上进行出标的均衡④,在此基础上证明了 Bushnell和 Oren[13-14]所建立的对称均衡的惟一性. 在他们的模型中通过引入假型来降低出标信息的维数还依赖于以下两个条件: 1)评分规则对于价格是线性的; 2)不同供应商的私有信息是独立分布的. 但是一旦评分规则不是拟线性的,充分统计量方法不再适用. 但是,充分统计量方法在分值拍卖中对于均衡的分析仍然是强有力且简单的工具,这包括私有信息是多维时的情况.

多维私有信息会导致更为复杂的激励情况,因此现有研究多维拍卖的文献,都是采取不同的方法将多维简化为一维或二维拍卖以简化分析. 本文也遵循这个基本的分析思路,在多维招投标标准模型的基础上主要在以下 3个方面进行了扩展: 1)通过引入广义质量的生产函数,把所有关于质量方面的信息都转化为可以具体衡量的综合性质量指标. 这实际上可以理解为在正式的竞标开始之前,招标方发布招标公告,要求潜在的投标者提交各种关于自身质量的信息,拍卖方根据这些信息对潜在投标者的资质进行审查,并对他们提供的有关质量的相关信息进行事前评价,这更加符合现实中拍卖的实际情况; 2)假定,通过广义质量的生产函数所得到的综合性质量指标不仅取决于竞标企业自身的私有信息,而且也与所有其他竞标企业的私有信息有关,这主要是考虑到招标方或采购者本身对于标的会有一个质量标准,竞标企业都会将此标准作为他们竞标时的参考并将其作为共同知识; 3)成本函数,不仅直接与竞标企业自身的私有信息有关,而且由于成本是质量的函数,又由于质量是所有竞标企业私有信息的函数,从而成本也就间接地与其他竞标企业的私有信息相关. 而在 Branco[11]的研究中,他

③ Armstrong得出该结论取决于两个重要假设: 1)乘法的可分离性(multiplicative separability),这保证了在基于成本定价下激励相容约束成为关于消费者类型的一维统计量的一个单调性条件; 2)关于消费者类型的一维统计量具有单调的风险率,这可以保证基于成本定价的利润最大化的激励相容约束是无约束力的(non-binding).

④ 这是因为竞标者的偏好和信念完全由其自身的假型来决定,具有同样假型的竞标者在均衡时将会获得同样的分配结果.

假设竞标企业的成本是由于存在某种共同因素从而导致了相关性, 而实际上成本是由企业自身的一些因素所影响的, 成本之所以会与其他企业的私有信息有关, 主要是因为成本与质量有关, 而质量又与其他竞标企业的私有信息有关的缘故. 本文正是基于此, 在基本模型中做了以上比较合理的假设.

本文求解了最优直接显示机制, 在该机制下效率最高的竞标企业赢标, 由于存在信息成本, 赢标企业只能提供次优的质量水平. 在此基础上证明了 3阶段的第 1分值拍卖和第 2分值拍卖都能够有效地实施最优机制: 在第 1阶段, 也就是竞标开始之前, 招标方发布招标公告告知招标的相关信息, 潜在的竞标企业向招标方提交各种有关自身质量的信息, 招标方对其进行资格审查, 并根据广义质量生产函数对于每一竞标企业所提交的关于质量的相关信息进行综合评估, 得到每一个竞标企业的综合性质量指标; 在第 2阶段, 所有企业进行竞标, 招标方采用合适的评分规则, 根据在第一阶段中得到的综合性质量指标和竞标阶段得到的价格, 对每个竞标企业进行综合性评分, 其中分值最高的企业赢标; 在第 3阶段, 赢标企业和招标方再对应该提供的各种质量的具体细节和实施措施进行详尽的谈判和协商 ⑤. 最后还得到了多维信息招投标或采购拍卖中的更为一般性的收入等值原理: 无论买者在事前是否承诺遵循某个评分规则, 买者在第 1分值拍卖和第 2分值拍卖中获得的期望收益相等; 但是买者遵循某一合适的评分规则更有利于整体社会福利的提高.

1 基本模型

假设 N 个投标者同时对 M 维信息进行投标. 进行如下参数设定: θ_i 表示投标者 i的私有信息, 是代表效率的参数, θ_i越大表示投标者 i的效率越高, 买者仅知道 θ_i 在区间 $[\underline{\theta}, \overline{\theta}]$ 上是独立同分布的, 分布函数为 F, 对应的概率密度函数为 f, 且满足风险率非减的性质, 则

$$\frac{\partial\left[\dfrac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}\right]}{\partial\theta_i} < 0$$

定义一个广义质量的生产函数

$$Q_i: R_+^{M-1} \rightarrow R_+,$$

且

$$Q_i(\theta_i, \theta_{-i}) = Q_i(q_{i1}(\theta_i, \theta_{-i}), q_{i2}(\theta_i, \theta_{-i}), \cdots, q_{M-1}(\theta_i, \theta_{-i}))$$

其中 $q_{ij}(j = 1, 2, \cdots, M-1)$ 表示竞标企业 i广义质量中的第 j个质量分量, 例如, 如果是在工程建设招标中, 这些分量可依次对应于信用等级、质量管理体系、以往承建业绩和建设工期等信息. 该质量指标不仅取决于竞标企业本身的私有信息, 而且与其他竞标企业的私有信息有关; 价格 $p_i(\theta) \in R_+^1$ 为内生的⑥, 表示投标者愿意从采购方获得的转移支付. 通过这样的设定, 实际上所有除价格以外的信息都包含在广义的质量指标 Q_i 中, 只需要将 Q_i 看作一个黑箱⑦, 竞标企业 i提交各种有关质量的相关信息 q_{ij}, 经过广义质量生产函数 Q_i 的处理, 就可以得到每个竞标企业的综合性质量指标, 这样任意多维信息投标都可以转化为只包括价格和广义质量指标的二维信息投标. 该指标是除了价格以外的所有信息对于招标方需要的平均满足程度, 且这种满足程度取决于所有投标者的私有信息. 这是本文模型研究的关键假设条件, 也是与现有的研究多维信息投标文献的关键差异. 之所以做出这样的假定, 是因为在实际招投标中, 招标方一般都会对关于投标的质量做出各种规定, 各个投标者所提供的各种质量信息实际上是互相关联的, 尤其是在具有长期互动历史的市场中投标者对于彼此的质量信息也会有或多或少的了解, 这样投标者之间的关于质量信息的投标实际上是互相影响的. 由于不确定性的存在, 投标者实际上不清楚赢标能给自己带来多大

⑤ 比如在桥梁建设中, 需要对于设计风格、建造材料和桥梁功能等进行具体协商.

⑥ 在 Che[10] 以及 Asker和 Cantillon[12] 的研究中实际上假设价格是外生的, 在最优机制中他们都只考虑了最优质量的确定.

⑦ 该黑箱采取什么样的生产函数这取决于采购方的偏好, 可能是对各种质量分量的加权平均, 或者是其他的评价形式. 在这里只需要知道竞标企业投入各种有关自己竞标质量的相关信息, 最后经过广义质量生产函数的处理, 可以得到广义质量的综合评价指标, 而不需要关注该生产函数的具体形式.

的价值,这样他们在对质量信息进行投标时,可能会参考对其他投标者的投标预期,做出自己的投标决策.在实际的招投标过程中,招标方一般会在招标公告中对投标资格进行限定,并对投标者进行审查,同时招标方还会对招标或采购的产品或服务进行具体说明,这些信息对于所有的投标者来说是共同知识.

假设买者和卖者都是风险中性的,即买卖双方决策的依据是各自的期望收益最大化.买者从合同 $(Q_i(\theta), p(\theta))$ 中获得的效用为

$$U(Q_i(\theta), p_i(\theta)) = V(Q_i(\theta)) - p_i(\theta)$$

假设

$$V_{Q_i} > 0,$$
$$V_{Q_iQ_i} < 0,$$
$$\lim_{Q_i\to 0} V'(Q_i) = \infty,$$
$$\lim_{Q_i\to\infty} V'(Q_i) = 0$$

以保证内点解存在;若竞标企业 i 赢标,从合同 $(Q_i(\theta), p_i(\theta))$ 中获得的利润为

$$\pi_i(Q_i(\theta), p_i(\theta)) = p_i(\theta) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i)$$

假设竞标企业 i 的成本 $c_i(Q_i(\theta), \theta_i)$ 是质量 Q_i 的增函数,且是效率参数 θ_i 的减函数,并假设 $c_{\theta_i\theta_i} > 0$,$c_{Q_iQ_i} > 0$,$c_{\theta_iQ_i} < 0$,$c_{\theta_iQ_iQ_i} < 0$,且满足单交条件⑧.根据上面对于效用和利润函数的假定,完全信息下的社会福利

$$W^{P} = U + \pi_i = V(Q_i(\theta)) - c_i(\theta), \theta_i)$$

对于 Q 而言就是严格凹的,从而社会最优的广义质量

$$Q_i^{e}(\theta) = \arg\max\{V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i)\}$$

就具有较好的定义且是惟一的.

设 $\sigma_i(\theta_1, \cdots, \theta_n)$ 表示投标者 i 赢标的概率,则在任何机制中显然有 $\sigma_i \geqslant 0$,$\sum_{i=1}^{n}\sigma_i \leqslant 1$.于是给定报告的类型 θ_i,投标者 i 赢标的概率为下面的 $(N-1)$ 重积分形式

$$\sigma_i(\theta_i) = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}\cdots\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}\sigma_i(\theta_{-i}, \theta_i) \times \prod_{j\neq i} f(\theta_j)\,\mathrm{d}\theta_1\cdots\mathrm{d}\theta_{i-1}\mathrm{d}\theta_{i+1}\mathrm{d}\theta_N \tag{1}$$

真实类型为 θ_i 的竞标企业如果报告的类型为 $\hat{\theta}_i$,则其在事前的期望利润为

$$\pi_i(\theta_i, \hat{\theta}_i) = [p_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}) - c_i(Q_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i)] \times \sigma_i(\hat{\theta}_i)$$

由于在直接显示机制中讲真话 $\hat{\theta}_i = \theta_i$ 是均衡策略[18],从而有

$$\pi_i(\theta_i, \theta_i) = \max \pi_i(\theta_i, \hat{\theta}_i), \forall \hat{\theta}_i \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \tag{2}$$

2 最优直接显示机制

在最优的直接显示机制中,招标方的目标是通过实行某种可行的机制,能够诱导投标者真实显示自己的类型,使招标者能够选出最有效率的投标者;同时给定该机制如实报告自己的私有信息是投标者的占优策略均衡,那么该机制就是激励相容的最优机制,在这种情况下,即使每个参与人按照自利原则制定个人目标,机制实施的客观效果也能达到设计者所要实现的目标.也就是说现在需要找到这样的机制,在满足参与者各自约束条件的情况下,使参与者在自利行为下选择的策略的相互作用能够让配置结果与预期目标相一致. Myerson[18] 认为不失一般性,实际上只需要将分析限定于一种可行的机制(feasible mechanism),在该机制中对于所有的竞标企业而言,真实地显示他们的类型是贝叶斯纳什均衡.再根据模型中单交条件的满足可知,最优显示机制一定可以找到一个确定性合同,也就是说招标方不需要在所有可以选择的合同中进行随机化.这就说明只需要将分析限定于确定性的显示机制,该机制可以通过广义质量和价格组成的合同 (Q, p) 来进行描述.

命题 1 在最优直接显示机制中,效率最高的竞标企业赢得标的,即赢标企业 i 的类型满足 $\theta_i = \max_{j\in N}\theta_j$;最优机制中的最优合同 $(Q_i^{*}(\theta), p_i^{*}(\theta))$ 由下式给出

⑧ 单交条件可以保证求解的是确定性机制(deterministic mechanism)的最优.关于这些假设在多单位拍卖(multiple-unit auctions)的许多模型中有具体说明,比如 Maskin 和 Riley[15] 以及 Branco[16].

$$\begin{cases} Q_i^*(\theta_i, \theta_{-i}) = \arg\max\left[V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i) + \dfrac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)} c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)\right] \\ p_i^*(\theta_i, \theta_{-i}) = E_{\theta_{-i}}\left\{c_i(Q_i^*(\theta), \theta_i) - \displaystyle\int_{\underline{\theta}}^{\theta_i} \frac{\partial c_i(Q_i^*(x, \theta_{-i}), x)}{\partial\theta_i} \mathrm{d}x\right\} \end{cases}$$

证明　对式(2)使用包络定理可得到

$$\frac{\mathrm{d}\pi_i}{\mathrm{d}\theta_i} = \frac{\partial\pi_i}{\partial\theta_i}\Big|_{\hat{\theta}_i=\theta_i} = -c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)\sigma_i(\theta_i) \tag{3}$$

招标方的期望收益为

$$\begin{aligned} \mathrm{E}U &= \sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}[V(Q_i(\theta)) - p_i(\theta)]\sigma_i(\theta_i)f(\theta_i)\mathrm{d}\theta_i \\ &= \sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}[V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i)]\sigma_i(\theta_i)f(\theta_i)\mathrm{d}\theta_i - \sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}\pi_i(\theta_i)f(\theta_i)\mathrm{d}\theta_i \\ &= \sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}[V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i)]\sigma_i(\theta_i)f(\theta_i)\mathrm{d}\theta_i + \Big[\sum_{i=1}^{N}\pi_i(\theta_i)(1-F(\theta_i))\Big|_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} - \\ &\quad \sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}(1-F(\theta_i))\frac{\mathrm{d}\pi_i}{\mathrm{d}\theta_i}\mathrm{d}\theta_i\Big] \\ &= \sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}[V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i)]\sigma_i(\theta_i)f(\theta_i)\mathrm{d}\theta_i + \sum_{i=1}^{N}\Big[\pi_i(\underline{\theta}) + \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}(1-F(\theta_i))c_{\theta_i}\sigma_i(\theta_i)\mathrm{d}\theta_i\Big] \\ &= \sum_{i=1}^{N}\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}\Big[V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i) + \frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)\Big]\sigma_i(\theta_i)f(\theta_i)\mathrm{d}\theta_i + \sum_{i=1}^{N}\pi_i(\underline{\theta}) \end{aligned} \tag{4}$$

由式(3)可知在最优时 $\mathrm{d}\pi_i/\mathrm{d}\theta_i > 0$, 为了满足个人理性原则必有 $\sum_{i=1}^{N}\pi_i(\underline{\theta}) = 0$, 同时将式(1)代入上式可得到

$$\mathrm{E}U = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}\cdots\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}\Big\{\sum_{i=1}^{N}\Big[V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i) + \frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)\Big]\Big\}\sigma_i(\theta_{-i}, \theta_i)\prod_{i=1}^{N}f(\theta_i)\mathrm{d}\theta_i\cdots\mathrm{d}\theta_N \tag{5}$$

根据模型假设易知 $V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i)$ 为 θ_i 的增函数, 同时有

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\theta_i}\Big[\frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)\Big] = \frac{\partial\Big(\dfrac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}\Big)}{\partial\theta_i}\cdot c_{\theta_i} + \frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}\cdot c_{\theta_i\theta_i} > 0$$

因此 $\Big[V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i) + \dfrac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)\Big]$ 为 θ_i 的增函数, 要使得式(5)最大, 则 $\sigma_i(\theta_{-i}, \theta_i) = 1$, 当且仅当 $\theta_i = \max_{j\in N}\theta_j$, 而且最优的质量水平满足

$$Q_i^*(\theta_i, \theta_{-i}) = \arg\max\Big[V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i) + \frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)\Big] \tag{6}$$

现在来求解均衡时招标方向赢标企业的转移支付价格. 由于效率最高的企业赢标, 设 $\theta_{i(1)} = \max\{\theta_j\}_{j\neq i}$, 则赢标企业 i 如果报告自己的类型为 $\hat{\theta}_i$ 而其他所有的竞标企业都报告其真实类型时, 赢标企业在事后实现的收益可以表示为

$$\pi_i(\theta_i, \hat{\theta}_i) = p_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}) - E_{\theta_{-i}} \times \{c_i(Q_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i) \mid \theta_{i(1)} < \theta_i\} \tag{7}$$

根据前面对于模型的假设, 单交条件可以保证局部激励相容实现全局的激励相容, 由式(7)得到激励相容的必要条件为

$$\begin{aligned} \frac{\mathrm{d}\pi_i^*(\theta_i)}{\mathrm{d}\theta_i} &= \frac{\mathrm{d}\pi_i(\theta_i, \theta_i)}{\mathrm{d}\theta_i} \\ &= -E_{\theta_{-i}}\Big\{\frac{\partial c_i(Q_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i)}{\partial\theta_i} \mid \theta_{i(1)} < \theta_i\Big\} \end{aligned} \tag{8}$$

二阶充分条件要求 π_i 为凹的, 而这又要求 Q_i 对于 θ_i 而言是非减的, 根据模型的基本假设二阶充分条件得到满足. 由式 (7) 可知, 在最优机制中, 事后最优的转移支付可以表示为

$$p_i^*(\theta_i, \theta_{-i}) = \pi_i^*(\theta_i) + E_{\theta_{-i}}\{c_i(Q_i^*(\theta), \theta_i)\} \tag{9}$$

从式 (8) 可以得到在最优机制中, 赢标企业的收益为

$$\pi_i^*(\theta_i) = \pi_i^*(\underline{\theta}) - E_{\theta_{-i}}\left\{\int_{\underline{\theta}}^{\theta}\frac{\partial c_i(Q_i^*(x, \theta_{-i}), x)}{\partial\theta_i}\mathrm{d}x\right\} \tag{10}$$

满足个人理性约束时必有 $\pi_i^*(\underline{\theta}) = 0$, 将式 (10) 代入式 (9) 中得到均衡转移支付价格为

$$p_i^*(\theta_i, \theta_{-i}) = E_{\theta_{-i}}\left[c_i(Q_i^*(\theta), \theta_i) - \int_{\underline{\theta}}^{\theta_i}\frac{\partial c_i(Q_i^*(x, \theta_{-i}), x)}{\partial\theta_i}\mathrm{d}x\right]$$

证毕.

命题 1的结论与 Laffont和 Tirole[19], McAfee和 McMillan[20], Riordan和 Sappington[21] 的研究结果是类似的, 虽然这些研究只是求解了一维信息投标的最优机制. Che[10], Asker和 Cantillon[12] 以及 Branco[11], 虽然也求解了多维信息投标中的最优机制, 但前两者将价格作为外生的, 只考虑了最优机制中的最优质量供给问题, 后者虽然同本文一样也将价格作为内生的, 但是由于他把所有非价格因素都看作是一维的质量, 实际上同 Che 一样, 只考虑了二维信息投标.

另外, 由于 Che假设竞标企业的成本是互相独立的, 从而得出结论认为企业所提供的质量水平也仅仅是其自身私有信息的函数而与其他所有竞标企业的私有信息无关. 而从命题 1可以看出, 在最优机制中, 赢标企业所提供的最优质量和接受的最优转移支付价格不仅与其自身的私有信息有关, 而且也与所有其他竞标企业的私有信息有关. 本文和 Branco的研究都考虑了竞标企业之间的相互影响, 这样最优质量就不能仅仅通过事中的竞标过程进行简单的决定. 最优质量得以实施的机制就必然要求在竞标完成并且确定赢标企业之后, 买方还需要在通盘考虑所有竞标者在出标时所提交的质量水平的基础上, 在事后与赢标企业进行具体的谈判和协商后来确定其应该提供的最优质量水平. 这将在下文探讨最优机制的实施时得到进一步讨论.

现在说明在命题 1的证明中所体现的经济含义. 首先考虑在完全信息条件下, 交易达成之后的总体社会福利为

$$W^{\mathrm{P}} = V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i)$$

而在不完全信息下, 考虑到存在信息成本, 此时的社会总福利为

$$W^I = V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i) + [(1 - F(\theta_i))/f(\theta_i)]c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)$$

同时, 如果竞标企业选择自己所报告的类型来最大化期望利润, 从式 (3) 中可以看出, 随着类型 θ_i 的上升, 每增加一单位 $\sigma_i(\theta_i)$, 所有高于 θ_i 类型的每个竞标企业所获得的期望利润会增加 $-c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)$ 个单位. 这样就可以给出式 (6) 所代表的经济含义. 式 (6) 右边的前面两项代表在完全信息情况下的社会总福利 W^{P}, 也可以理解为 θ_i 上升对于社会剩余的直接影响; 如果将 $(1 - F(\theta_i))/f(\theta_i)$ 理解为高于 θ_i 类型出现的总频数, 则式 (6) 右边最后一项 $[(1 - F(\theta_i))/f(\theta_i)] \times [-c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)]$ 表示随着 θ_i 上升所有高于 θ_i 类型的竞标企业所应获得的激励总租金. 因潜在的投标者拥有关于自己类型的私有信息, 这种租金是买者必须向赢标的竞标企业所支付的, 因此, 使得高于 θ_i 类型的竞标企业没有激励去模仿 θ_i 类型, 也可以把这种租金称为信息成本.

给定上面的解释, 式 (6) 就意味着采购方从最大化其自身的期望收益出发所得到的结果, 实际上也可以实现不完全信息下社会总福利的 W^{I} 最大化, 这样命题 1所求解的最优机制就是所需要的激励相容的最优机制. 此外可以看出, W^{I} 是类型 θ_i 的增函数, 这也保证了在最优机制中最有效率的竞标企业赢标. 命题 1还表明买者会选择最优的合同, 在该合同中类型最高的投标者获得物品, 该合同不仅可以实现买者净期望收益最大化的目标, 而且在满足个人理性时也可以实现总体社会福利的最大化.

推论 1 在最优机制下, 由于存在信息成本, 竞标企业只能提供次优 (the second best) 的质量水平.

证明 在完全信息条件下, 从社会最优的角度来看, 有效率的最优 (the first best) 质量水平

$Q_i^e(\theta)$ 应该满足 $\partial W^P/\partial Q_i^e = 0$, 即

$$V_{Q_i}(Q_i^e(\theta), \theta_i) - c_{Q_i}(Q_i^e(\theta), \theta_i) = 0 \quad (11)$$

而在不完全信息下, 从社会最优的角度来看, 由命题 1可知最优机制下次优的质量水平 $Q_i^*(\theta)$ 应该满足 $\partial W^I/\partial Q_i^* = 0$, 即

$$V_{Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_i) - c_{Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_i) + \frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)} c_{\theta Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_i) = 0 \quad (12)$$

根据对成本函数的假设 $c_{\theta Q_i} < 0$, 比较式 (11) 和式 (12) 得到

$$V_{Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_i) - c_{Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_i) = -\frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)} c_{\theta Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_i) > 0 = V_{Q_i}(Q_i^e(\theta), \theta_i) - c_{Q_i}(Q_i^e(\theta), \theta_i) \quad (13)$$

根据前面的假设 $V_{QQ_i} < 0$和 $C_{QQ_i} > 0$, 可知 $(V_{Q_i} - c_{Q_i})$ 是 Q_i 的减函数, 再由式 (13) 可知 $Q_i^*(\theta) < Q_i^e(\theta)$. 证毕.

推论 1表明由于存在信息成本, 也就是存在激励相容约束的成本 $\frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}[-c_{\theta_i}(Q_i(\theta), \theta_i)]$, 且该成本是质量水平 Q 的递增函数⑨, 这样通过将质量水平降低到最优水平以下, 买者可以减少 (获得) 部分信息成本 (租金). 这样质量水平向下扭曲以限制相对高效企业获取信息租金, 而竞标企业之间的相互竞争又会进一步降低信息租金的绝对水平.

3　多维信息投标下最优机制的实施

合意的机制必须是纳什均衡, 同时也必须是可实施的. 显示原理在简化机制设计分析和寻找最优机制方面极其有用. 但是, 就算已经找到了最优机制, 仍然要面临如何实施最优机制的问题. 具体而言, 当经济参与者实施机制要依赖其所提供的信息时, 他们就会有提供错误信息的动机, 而且还会面对多重均衡问题. 有些均衡从社会的角度看不是最优的, 因此就产生了经济机制如何实施的问题: 是否有办法设计从社会角度看均衡总是最优的经济机制呢? 上面求解了多维信息投标下最优机制的均衡结果, 现在问题的关键就是能否找到最优机制的执行规则, 从而有效实现多维信息投标下的均衡结果. 这就需要采购方找到评分函数, 对于投标者所出标的所有信息进行综合评估. 这样的评分函数的设计必须使得最有效率的竞标企业赢标, 同时也能够给予赢标企业足够的激励去提交多维信息下的均衡投标, 以实施最优的合同. 一种自然的设想就是直接将采购方的效用函数作为这样的评分标准. 但是在这样的评分规则下, 赢标企业将会提供社会最优的质量水平, 而这在不完全信息下显然不是最优的. 因此需要在采购方效用函数的基础上进行适当的调整得到新的评分标准, 使得在这样的评分规则下, 基于不完全信息的赢标企业提供的质量水平, 能够达到有效率的结果.

设 $S(Q, p)$ 表示对于合同 (Q, p) 的评分规则, 假设该评分规则在投标开始时对于竞标企业来讲是共同知识. 同时假设买者能够设计并决定是否承诺信守该评分规则, 而如果买者没有承诺信守该规则, 则买者的评分规则完全反应在他的偏好中, 即有 $S(Q, p) = U(Q, p)$. 考虑评分规则 $\bar{S} = V(Q) - p - \Delta(Q)$, 其中 $\Delta(Q)$ 满足⑩

$$\Delta(Q) = \begin{cases} \displaystyle\int_{Q}^{Q^*(\underline{\theta})} \frac{1-F(Q^{*-1}(x))}{f(Q^{*-1}(x))} \times \frac{\partial^2 C(Q, Q^{*-1}(x))}{\partial\theta\partial Q} dx, & \text{当 } Q \in [Q^*(\underline{\theta}), Q^*(\bar{\theta})] \text{ 时} \\ \infty, & \text{当 } Q \notin [Q^*(\underline{\theta}), Q^*(\bar{\theta})] \text{ 时} \end{cases}$$

其中 $Q^*(\cdot)$ 是在命题 1中最优机制下的最优质量水平. 注意到此评分规则与买者的效用函数相比, 需要减去调整项 $\Delta(Q)$. 其含义就是, 买者希望获得最优的合意质量水平, 而并不是说质量水平越高就越好, 低成本高效率的企业乐意提供高质量的产品, 如果一些高效率的企业提供比买者所中意的质量水平还要高的质量, 这对于买者而言不是最优的, 因此需要从效用函数中减去这样一个因质量水平持续累积增加而给买者带来的不满意程度的衡量指标 $\Delta(Q)$.

考虑两种拍卖规则: 第 1分值拍卖 (first score

⑨　根据对成本函数的假设 $c_{\theta Q_i} < 0$可得.

⑩　根据 Che[10] 的结论, 当买者有充分的承诺力量 (full commitment power) 时, 最优评分规则应当满足这样的条件.

auction) 和第 2分值拍卖 (second score auction). 每一个竞标企业在竞标之前提交关于产品或服务各种有关质量的信息, 招标方根据广义质量的生产函数得到每个竞标企业的综合性质量指标, 在竞标完成之后对于竞标企业的综合性质量指标和价格组合进行综合评分, 其中评分最高的竞标企业赢得标的. 第 1分值拍卖类似于一维信息招投标下的第 1价格拍卖, 评分最高的竞标企业赢得标的后, 需要提供他出标时所报的质量水平, 同时获得他出标时所要求的出价; 而第 2分值拍卖类似于一维信息投标下的第 2价格拍卖, 评分最高的竞标企业赢得标的后, 可以提供任意的价格和广义质量的组合[11], 但是最后的总评分必须达到被拒绝的竞标企业的最高总评分. 本文考虑的是 3个阶段[12]不完全信息博弈的第 1分值和第 2分值拍卖, 博弈的时序分别为: 在第 1阶段中, 所有的竞标企业对于有关自己的价格和广义质量的各种信息进行投标[13], 招标方只考虑竞标企业关于价格以外的所有关于广义质量的出标信息, 即 $q_1, q_2, \cdots, q_{M-1}$, 根据这些信息通过广义质量的生产函数 Q, 招标方就可以得到每个竞标企业的综合性质量指标; 在第 2阶段中, 招标方考虑竞标企业的竞标价格, 同时利用第 1阶段得到的针对每个竞标企业的综合性质量指标, 根据评分规则 S, 对每个竞标企业进行综合性评分, 其中最高分值的竞标企业获胜; 在第 3阶段, 在竞标完成后, 招标方和赢标企业再对广义质量中各个分量所应该提供的具体形式和有关细节问题进行双边谈判和协商, 由于在均衡时赢标企业所提供的质量与其他竞标企业的私有信息有关, 因此在谈判过程中, 在确定赢标企业所提供的质量水平时需要考虑其他竞标企业在竞标时所提供的质量水平.

命题 2 在评分规则

$$\bar{S} = V(Q) - p - \Delta(Q)$$

下, 3阶段的第 1分值拍卖和第 2分值拍卖都可以实施最优机制.

证明 要想证明第 1分值拍卖和第 2分值拍卖都可以实施最优机制, 实际上只需要证明在给定的评分规则下, 第 1分值拍卖和第 2分值拍卖都可以获得命题 1中得到的均衡结果即可. 无论在哪一种拍卖机制下, 竞标企业的目标一方面是为了最大化其自身的利润 $\pi_i(Q, p)$; 另一方面在第 1阶段得到综合性质量指标 Q之后, 为了赢得拍卖他还必须使得买者对其出标组合 (Q, p) 的综合评分 $\bar{S}(Q, p)$ 达到最大. 也就是说竞标企业的目标函数为自身利润和招标方对其评价的综合评分之和

$$\pi_i(Q, p) + \bar{S}(Q, p) = V(Q) - \Delta(Q) - c(Q, \theta)$$

从该目标函数对于最优质量的一阶条件可得到

$$V'(Q) - c_Q(Q, \theta) + \frac{1 - F(Q^{*-1}(Q))}{f(Q^{*-1}(Q))} c_{\theta Q}(Q, Q^{*-1}(Q)) = 0 \tag{14}$$

由命题 1可知要使式 (14) 成立, 当且仅当 $Q = Q^*$, 因此一阶条件得到满足. 现在来验证二阶条件是否成立. 设

$$t(\theta) = -\frac{1 - F(Q^{*-1}(Q))}{f(Q^{*-1}(Q))} c_{\theta Q}(Q, Q^{*-1}(Q))$$

则由式 (14) 可得

$$t(\theta) = V'(Q) - c_Q(Q, \theta)$$
$$\mathrm{d}t/\mathrm{d}\theta = V''(Q) \cdot Q^{*\prime} - c_{QQ}(Q, \theta) \cdot Q^{*\prime} - c_{\theta Q}(Q, \theta) \tag{15}$$

二阶条件为

$$\frac{\partial^2}{\partial Q^2}[V(Q) - \Delta(Q) - c(Q, \theta)] = V''(Q) - c_{QQ}(Q, \theta) + \frac{1 - F}{f} c_{\theta QQ} - \frac{\mathrm{d}t/\mathrm{d}\theta}{Q^{*\prime}} \tag{16}$$

将式 (15) 代入式 (16) 中, 得到

[11] 实际上竞标企业往往会在总评分必须达到被拒绝的竞标企业的最高总评分的约束下,选择一个自己最为中意的价格和广义质量的组合.

[12] 象上海浦东国际机场扩建工程的招投标中,就是秉承"招标时考虑投标,投标时考虑评标,评标中考虑谈判"的原则,通过详细的技术参数保障设备的功能需求,减少评标时间以及成本,顺利完成各项设备采购.

[13] 一般在实际的招标过程中,在竞标开始之前,招标方会要求竞标方提供有关自身的关于质量的信息,包括竞标方的财务状况、质量管理体系、以往承建经验、项目经理是否具有国家一级建造师资格及注册证书等.

$$\frac{\partial^2}{\partial Q^2}[V(Q) - \Delta(Q) - c(Q, \theta)] =$$

$$\frac{1-F}{f}c_{\theta QQ} + \frac{c_{\theta Q}}{Q^{*\prime}} \tag{17}$$

在最优时给定成本, 类型越高则竞标企业愿意供给的质量水平越高, 即 $Q^{*\prime} > 0$ 再由前面对成本函数的假设 $c_{\theta QQ} < 0$和 $c_{\theta Q} < 0$可知式(17)为负, 从而最优质量的二阶条件得到满足. 一旦最优质量 Q^* 满足最优机制的要求, 再根据式(9)可知, 此时所得到的最优转移支付价格 p^* 也必定满足最优机制的要求. 　　证毕.

此外, 还可以发现评分函数 $\bar{S}$ 的一个重要性质, 即 $\partial\bar{S}/\partial\theta > 0$, 这保证了在最优机制下最有效率的竞标企业赢标.

命题 3　无论买者[14]在事前是否承诺遵循某个评分规则, 买者在第一分值拍卖和第二分值拍卖中获得的期望收益相等.

证明

1) 当买者在事前能够承诺遵循某个评分规则 S时, 类型为 θ_i 的竞标企业的期望利润为

$$\pi_i(\sigma^S, p_i^S, Q_i^S \mid \theta_i) = \sigma^S(p_i^S - c_i(Q_i(\theta), \theta_i))$$

其中, σ^S 为竞标企业赢标的概率. 定义期望利润的最大值为

$$\pi_i^{S^*}(\theta_i) \equiv \pi(\sigma^{S^*}, p_i^{S^*}, Q_i^{S^*} \mid \theta_i)$$

使用包络定理得到

$$\pi_i^{S^*\prime}(\theta_i) = \frac{\partial \pi_i^{S^*}}{\partial \theta_i} = -\sigma^{S^*} c_{\theta_i}(Q_i^{S^*}, \theta_i)$$

对上式两边进行积分得到

$$\pi_i^{S^*}(\theta_i) = \pi_i^{S^*}(\underline{\theta}) - \int_{\underline{\theta}}^{\theta}\sigma^{S^*}(t)c_{\theta_i}(Q_i^{S^*}(t), t)\,dt$$

由于

$$x^{FS^*} = x^{SS^*} = F^{N-1},$$

$$\pi_i^{FS^*}(\underline{\theta}) = \pi_i^{SS^*}(\underline{\theta}) = 0$$

而且在均衡时, 在两种拍卖机制下的质量水平都为 $Q_i^{S^*}$, 从而有

$$\pi_i^{FS^*} = \pi_i^{SS^*} = -\int_{\underline{\theta}}^{\theta}c_{\theta_i}(Q_i^{S^*}(t), t)F^{N-1}\,dt$$

$$E\pi_i^{FS^*} = E\pi_i^{SS^*}$$

$$= -\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}\int_{\underline{\theta}}^{\theta}c_{\theta_i}(Q_i^{S^*}(t), t)F^{N-1}\,dt\,d\theta$$

$$= -E\left\{\frac{1-F(\theta_1)}{f(\theta_1)}c_{\theta_i}(Q_i^{S^*}, \theta_1)\right\}$$

由于两种拍卖机制在均衡时总的期望剩余都等于 $E\{V(Q_i^*(\theta)) - c_i(Q_i^*(\theta), \theta_1)\}$, 因此买者在两种拍卖机制下所获得的期望收益为

$$EU_{FS}^S = EU_{SS}^S$$

$$= E\{V(Q_i^*(\theta)) - c_i(Q_i^*(\theta), \theta_1) + \frac{1-F(\theta_1)}{f(\theta_1)}c_{\theta_i}(Q_i^{S^*}, \theta_1)\} \tag{18}$$

即买者如果在事前能够承诺遵循某一评分规则 S, 他在两种拍卖机制下获得的期望收益在最优机制的均衡时是相等的.

2) 当买者在事前不能承诺遵循某个评分规则 S时, 竞标企业将评分规则视同为反映买者偏好的效用, 即有

$$S = U(Q_i(\theta), p_i(\theta)) = V(Q_i(\theta)) - p_i(\theta)$$

此时竞标企业的目标函数为

$$\pi_i(Q_i(\theta), p_i(\theta)) + S = V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_i)$$

赢标企业愿意提供社会最优的质量水平为

$$Q_i^e(\theta_1) \equiv \arg\max(V(Q_i(\theta)) - c_i(Q_i(\theta), \theta_1))$$

买者在第 2分值拍卖中获得的期望收益为

$$EU_{SS} = E\{V(Q_i^e(\theta_1)) - p_i^e(\theta_1, \theta_2)\}$$

其中

$$\theta_1 = \max\{\theta_i\}_{i=1}^n,$$

$$\theta_2 = \max\{\theta_j\}_{j\neq i} \tag{19}$$

$p_i^e(\theta_1, \theta_2)$是在第 2分值拍卖中买者应向赢标企业支付的价格, 则有

$$p_i^e(\theta_1, \theta_2) = V(Q_i^e(\theta_1)) - V(Q_i^e(\theta_2)) - c_i(Q_i^e(\theta_2), \theta_2) \tag{20}$$

将式(20)代入式(19)中, 可以得到在第 2分值拍卖中买者的期望收益为

$$EU_{SS} = E\{V(Q_i^e(\theta_2)) - c_i(Q_i^e(\theta_2), \theta_2)\}$$

$$= N\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}}(V(Q_i^e(\theta)) - c_i(Q_i^e(\theta), \theta_1))(1-F)\,dF^{N-1}$$

$$= N\{(1-F)F^{N-1}(V(Q_i^e) - c_i(Q_i^e, \theta_1))\mid_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} -$$

[14] 这里的买者实际上就是招标方或采购方.

$$\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} [-(V(Q_i^e) - c_i(Q_i^e, \theta_1)) f - c_{\theta_i}(Q_i^e, \theta_1)(1-F)] F^{N-1} \mathrm{d}\theta \}$$

$$= N \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} [(V(Q_i^e) - c_i(Q_i^e, \theta_1)) f + c_{\theta_i}(Q_i^e, \theta_1)(1-F)] F^{N-1} \mathrm{d}\theta$$

$$= N \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} [(V(Q_i^e) - c_i(Q_i^e, \theta_1)) + \frac{1-F}{f} c_{\theta_i}(Q_i^e, \theta_1)] F^{N-1} f \mathrm{d}\theta$$

$$= \mathrm{E}\{V(Q_i^e(\theta)) - c_i(Q_i^e(\theta), \theta_1) + \frac{1-F(\theta_1)}{f(\theta_1)} c_{\theta_i}(Q_i^e(\theta), \theta_1)\}$$

$$= \mathrm{E}U_{\mathrm{FS}}$$

可见, 当买者在事前不能承诺遵循某个评分规则 S 时, 买者在第 1分值拍卖和第 2分值拍卖中获得的期望收益也是相等的. 证毕.

命题 3是对一维信息投标时的收入等值原理在任意多维信息投标下的一个推广, 也就是说无论是在第 1分值拍卖还是在第 2分值拍卖中, 也无论买者在事前是否承诺遵守某个评分规则, 买者的期望收益总是相等的. 既然如此, 是否意味着所有拍卖规则都是等价的呢? 从整个社会的角度来讲, 存不存在更好的拍卖规则呢? 下面的推论 2给出了答案.

推论 2 买者在事前承诺遵循某个评分规则更有利于提高整体社会福利; 买者在事前不能承诺遵循某个评分规则时, 会导致竞标企业的过度质量供给, 这从整个社会来讲是非效率的.

证明 由前面的式 (13) 知道

$$V_{Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_1) - c_{Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_1) > V_{Q_i}(Q_i^e(\theta), \theta_1) - c_{Q_i}(Q_i^e(\theta), \theta_1) \qquad (21)$$

根据推论 1的结论有 $Q_i^*(\theta) < Q_i^e(\theta)$, 根据假设 $c_{\theta Q_i} < 0$, 则有

$$c_{\theta Q_i}(Q_i^*(\theta), \theta_1) > c_{\theta Q_i}(Q_i^e(\theta), \theta_1) \qquad (22)$$

综合式 (21) 和式 (22) 可知, $(V-c)$ 和 c_{θ_i} 均为 Q_i 的减函数, 从而有

$$V(Q_i^*(\theta)) - c_i(Q_i^*(\theta), \theta_1) + \frac{1-F(\theta_1)}{f(\theta_1)} c_{\theta}(Q_i^*(\theta), \theta_1) > V(Q_i^e(\theta)) - c_i(Q_i^e(\theta), \theta_1) + \frac{1-F(\theta_1)}{f(\theta_1)} c_{\theta}(Q_i^e(\theta), \theta_1)$$

$$\mathrm{E}U_{\mathrm{FS}}^{S} = \mathrm{E}U_{\mathrm{SS}}^{S} > \mathrm{E}U_{\mathrm{FS}} = \mathrm{E}U_{\mathrm{SS}}$$

也就是说与不承诺实施某个评分规则相比较, 买者在事前承诺实施某个评分规则时的整体社会福利会更高.

买者在事前不能承诺遵循某个评分规则时, 竞标企业愿意提供的质量水平为 $Q_i^e(\theta)$, 而实际上在最优机制中竞标企业提供的质量水平应该为 $Q_i^*(\theta)$. 根据前面推论 1的结论可知, $Q_i^e(\theta) > Q_i^*(\theta)$. 因此, 当买者在事前不能承诺遵循某个评分规则时, 会导致竞标企业的过度质量供给.

证毕.

从上面的证明可以看出, 当买者在事前不能承诺遵守某个评分规则时, 竞标企业提供的质量水平是社会最优的, 由命题 1可知, 从买者的角度来看, 此时质量水平的供给是过度的, 从而导致了非效率; 而当买者在事前承诺遵守某个评分标准时, 竞标企业只能提供社会次优的质量水平, 但是此时的质量水平的供给却是有效率的. 两种情况相比较可以知道, 在研究多维信息投标中为什么需要考虑买者对评分规则是否有承诺效力, 因为这是导致最终的产品供给是否有效率的重要影响因素. 缺乏承诺时的质量水平之所以供给过度, 是因为相对高效率的竞标企业所提供的增量质量水平对于相对低效的竞标企业会产生外部性, 此时作为评分规则的买者的效用函数已经不能内在化这种外部性, 也就是说代表买者偏好的效用函数不能很好的反映最优机制中激励相容约束所体现的额外的信息成本. 一旦内在的信息成本没有得到很好的体现, 从而就会导致质量水平的供给过度.

Che[10] 以及 Asker和 Cantillon[22] 研究表明, 当评分规则不能够反映采购方的偏好时, 作出承诺是很关键的. 推论 2表明, 虽然对于买者而言, 在事前是否承诺遵循某个评分规则, 买者的期望收益是相等的; 但是对于竞标企业而言, 由于买者在事前承诺遵循某一评分规则可以增加整体社会福利, 从而可以提高竞标企业的期望利润.

对于招标方而言, 究竟哪一种拍卖机制是最

优的呢, 这取决于招标方如何设计评分规则, 而这又与招标方的承诺力量有关. 当各种广义质量的设定很复杂, 各种细节的要求也比较详尽时, 虽然理论上仍然可以找到最优的评分机制, 但在实际的操作过程中实施起来可能会有一定的难度. 此时本文认为招标方承诺能够真实反映其偏好次序的评分规则就是合理的. 在公共采购中, 作出承诺相对比较简单, 这是因为政府采购一般都有很严格的法律和规章制度的约束, 因此评分规则对于采购方而言有较强的约束力; 而在私人采购中作出承诺往往是很困难的, 尽管原则上, 在竞标开始之前, 采购方可以和竞标企业签订合同承诺使用某一评分规则, 而且这样的合同可以在独立第 3方的监督下强制性去实施, 但是这样做的监督和交易的成本太高, 实际上是不会出现的.

4 算　例

为了更加直观地理解本文多维招投标中的最优机制及其实施, 现在给出一个算例来具体说明本文中的最优机制是如何运作的. 假设政府(招标方)需要对某个风电场建设项目进行招标, 该工程给社会创造的内在价值为 $V(Q) = 8\sqrt{Q}$, 有 8个供应商参与竞标, 竞标者 i的成本函数为

$$c_i(Q_i, \theta_i) = Q_i^2/\theta_i$$

其中, θ_i为代表竞标者 i效率的参数, 取值分别为 1.2, 1.4, 1.55, 1.62, 1.74, 1.81, 1.89, 1.95. θ_i 为竞标者 i的私有信息, 其他竞标者仅知道 θ_i 的分布, 不妨假设 θ_i服从[1, 2]上的均匀分布. 很容易验证上面给出的函数和分布都满足前面模型的假定, 根据这些设定, 可以计算出完全信息下社会最优的质量水平 Q_i^e, 不完全信息下最优机制中的最优合同 (Q_i^*, p_i^*), 工程本身给社会带来的内在价值 $V(Q_i)$, 评分函数中的调整项 $\Delta(Q_i)$, 招标方承诺遵守评分规则时的社会总福利水平 W_i^S 以及不承诺遵守评分规则时的社会总福利 W_i, 具体计算结果见下面的表 1.

表 1　最优机制的实施结果

Table 1 Implementation results for the optimal mechanism

θ_i	Q_i^e	Q_i^*	p_i^*	$V(Q_i)$	$\Delta(Q_i)$	W_i^S	W_i
1.2	1.792 562	1.275 19	0.833 903	9.033 946	0.528 364	6.775 459	6.248 041
1.4	1.986 577	1.566 165	1.257 883	10.011 72	1.030 505	7.508 79	7.248 65
1.55	2.126 055	1.793 807	1.650 124	10.714 64	1.378 56	8.035 984	7.901 96
1.62	2.189 593	1.902 626	1.856 402	11.034 86	1.530 689	8.276 142	8.184 17
1.74	2.296 428	2.092 822	2.246 105	11.573 27	1.774 39	8.679 954	8.639 505
1.81	2.357 612	2.205 827	2.495 217	11.881 62	1.905 875	8.911 216	8.890 351
1.89	2.426 58	2.336 769	2.800 25	12.229 19	2.045 928	9.171 896	9.165 164
1.95	2.477 668	2.436 199	3.140 247	12.486 66	2.143 533	9.364 997	9.363 644

首先, 各个供应商提交关于广义质量的各种出标, 广义质量中的质量分量依次对应于注册资金规模、以往社会信誉、资金与财务状况、国家权威机构认证的许可证及试验报告、自主研发高压开关柜和断路器的能力、专业设计制造和质量控制能力、企业产品的独特技术优势、以往相关业绩、市场占有率等. 再通过广义质量生产函数 Q_i: $R_+^{M-1} \rightarrow R_+$的处理, 就可以得到每个竞标企业广义质量的综合性指标 Q_i. 供应商应该提交的各质量分量 q_{ij}具体是多少, 以及在竞标过程中供应商的均衡报价策略不在本文的讨论范畴. 给定上面的函数形式以及 θ_i的赋值, 可以求出完全信息下社会最优的质量水平 Q_i^e, 命题 1不完全信息下最优机制中的最优合同 (Q_i^*, p_i^*), 从上面的计算可

以看出对于每个供应商都有 $Q_i^* < Q_i^e$, 这验证了推论 1的结论.

其次, 政府在得到每个供应商关于广义质量以及价格的出标后, 会根据评分函数 $\bar{S}$ 计算出每个供应商的分值, 其中分值最高的供应商赢标. 虽然本文并没有求解供应商的均衡出标策略, 但是根据前面的分析可以知道本文给出的评分函数 $\bar{S}$ 是类型 θ_i 的增函数, 这就保证了最有效率的供应商赢标. 在这里效率最高的供应商 8($\theta_8 = 1.95$) 能够赢标.

最后, 政府和赢标的供应商 8还有谈判和协商的过程, 即对广义质量中各个分量 q_{ij} 所应该提供的具体形式和有关细节问题进行双边谈判和协商. 当然政府会要求供应商 8供应最优的广义质量水平 (约为 2.44), 但是由于在均衡时赢标企业所提供的质量与其他竞标企业的私有信息有关, 因此在谈判过程中, 在确定赢标企业所提供的各个质量分量时需要考虑其他竞标企业在竞标时所提供的各个分量的质量水平. 这也比较符合现实的招投标情况, 因为招标方实际上对于相关的产品 /服务 /工程的信息 (包括市场供求、成本、质量、技术水平等) 没有竞标企业了解的多, 在谈判协商阶段确定赢标者最终应提供的各个质量分量时通过参考其他竞标企业的投标, 招标方就能通过了解所有竞标者投标产生的信息汇集 (information polling) 来了解更多的相关信息, 从而为自己在决定赢标者提供各个质量分量的决策上提供更多有益的指导.

此外, 表 1还计算出了各供应商一旦赢标所能创造的实际社会总福利 W_i, 计算结果表明效率越高的供应商所带来的实际社会总福利也越高, 而且 $W_i^S > W_i$, 这表明招标方在事前承诺遵循某个评分规则更有利于提高整体社会福利, 这就验证了推论 2的结论. 总之, 通过对以上算例的分析表明本文的多维信息招投标的最优机制在理论上是有效的在实际运作中也是可行的.

5 结束语

本文通过引入广义质量的生产函数, 这样除了价格以外任意多维的关于质量的信息都可以转化为一维的综合性质量指标. 这一假设是符合实际的, 因为在实际的招投标或者政府采购中, 招标方在招标公告中一般都要求潜在的竞标企业提交能证明其质量的各种信息, 包括企业的财务状况、资质等级、以往业绩、质量管理体系等. 这样在竞标之前, 招标方就可以对潜在的竞标企业进行全面的资格审查, 利用广义生产函数对这些关于质量的各种信息进行汇总并进行综合评价, 这样就可以得到每个潜在竞标企业的综合性质量指标. 这样竞标企业所有关于质量的信息都可以在其对应的综合性质量指标中得到体现, 这样就将多维的质量信息转化为一维, 从而大大简化了对问题的分析. 在实际操作过程中, 广义质量的生产函数可以是对于各个质量分量的加权平均, 或者是其他的评价函数形式, 这取决于招标方的偏好.

在本文所求解的最优机制中, 虽然与现有文献结论类似, 但其中的关键区别在于: 基于本文模型的基本设定, 在最优机制中赢标企业所提供的质量水平不仅取决于自身的私有信息, 而且与所有其他竞标企业的私有信息相关; 同时招标方向赢标企业支付的转移价格也与所有竞标企业的私有信息有关. 这就隐含了存在腐败的可能性, 即其中几个竞标企业联合起来, 形成利益集团进行合谋, 联合压低出标价格, 从而获得腐败租金的可能性; 还有可能是竞标企业和主持招标的企业合谋, 联合压榨招标方利益. 也就是说在多维信息招投标或政府采购中, 存在腐败的可能性, 这是本文进一步的研究方向. 多维信息招投标中的腐败问题, 近年来日益受到一些学者的关注 (见文献 [23] 和 [24]).

本文研究的另外一个重要结论就是, 只要买方遵循某一合适的评分规则, 3阶段的第 1分值和第 2分值拍卖可以有效地实施最优机制. 进一步得到了在多维信息招投标下更具一般性的收益等值原理, 买者无论是否在事前承诺遵循某一评分规则, 其在第 1分值拍卖和第 2分值拍卖中所获得的收益相等. 但是从整个社会福利最大化的角度而言, 买者事前承诺遵循某一评分规则是最优的;

而且只有当该评分规则满足一定的条件时, 最优机制的实施才会成为可能. 这就说明了在分值拍卖中确定合理的评分规则并使得买者能够遵循这一规则的合理性和必要性. 这也是现有的文献在研究分值拍卖时, 格外关注于对评分规则的研究的重要原因.

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, 1(2): 11-16
Liu Shu-lin, Wang Shou-yang, Li Jian-qiang. Some mathematical models on bidding and auctions[J]. Journal of Management Sciences in China, 1998, 1(2): 11-16. (in Chinese)

[2]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 Pei-you, Wang Ding-wei. Chaotic search algorithm for winner determination in combinatorial auctions[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(5): 24-28. (in Chinese)

[3]Hung-po C, Wilson R. Multi-dimensional procurement auctions for power reserves: robust incentive-compatible scoring and settlement rules[J]. Journal of Regulatory Economics, 2002, 22(2): 161-183

[4]Laffont J J, Tirole J. A Theory of Incentives in Procurement and Regulation[M]. Cambridge: The MIT Press, 1993.

[5]Osborn C T, Llacuna F, Linsenbigler M. The conservation reserve program: Enrollment statistics for signup periods 1-12 and fiscal years 1986-93. Statistical Bulletin Number 925, Economic Research Service[R]. U. S. Department of Agriculture, November 1995.

[6]Denis L. Auctioning the Provision of Noxious Facilities: A Multidimensional Case[R]. Mimeo, CRESE, University of Barsancon, October 27, 1999.

[7]Myerson R B. Optimal auction design[J]. Mathematics of Operation Research, 1981, 6(1): 58-73

[8]McAfee R P, McMillan J. Multidimensional incentive compatibility and mechanism design[J]. Journal of Economic Theory, 1988, 46: 335-354.

[9]Armstrong M. Multiproduct nonlinear pricing[J]. Econometrica, 1996, 64(1): 51-75.

[10] Che Y K. Design competition through multi-dimensional auctions[J]. RAND Journal of Economics, 1993, 24(4): 668-680

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

[12] Asker J, Cantillon E. Properties of scoring auctions[J]. RAND Journal of Economics, 2008, 39(1): 69-85.

[13] Bushnell J, Oren S. Bidder cost revelation in electric power auctions[J]. Journal of Regulatory Economics, 1994, 6(1): 5-26

[14] Bushnell J, Oren S. Internal auctions for efficient sourcing of intermediate products[J]. Journal of Operations Management, 1995, 12(3-4): 311-320.

[15]Maskin E, Riley J. Optimal Multi-unit Auctions[C] // Hahn F. ed. The Economics of Missing Markets, Information, and Games. New York: Oxford University Press, 1989.

[16] Branco F. Multiple unit auctions of an indivisible good[J]. Economic Theory, 1996, 8(1): 77-101.

[17] Baron D P, Myerson R B. Regulating a monopolist with unknown costs[J]. Econometrica, 1982, 50(4): 911-930

[18]Myerson R B. Incentive compatibility and the bargaining problem[J]. Econometrica, 1979, 47(1): 61-73.

[19] Laffont J J, Tirole J. Auctioning incentive contracts[J]. Journal of Political Economy, 1987, 95(5): 921-937.

[20]McAfee R P, McMillan J. Competition for agency contracts[J]. RAND Journal of Economics, 1987, 18(2): 296-307.

[21] Riordan M H, Sappington D E M. Awarding monopoly franchises[J]. American Economic Review, 1987, 77(3): 375-387.

[22] Asker J, Cantillon E. Procurement when both price and quality matter[Z]. CEPR Discussion Paper No. 6082, 2006

[23] Celentani M, Ganuza J J. Corruption and competition in procurement[J]. European Economic Review, 2002, 46(7):

1273 - 1303

[24] Compte O, Lambert-Mogiliansky A, Verdier T. Corruption and competition in procurement[J]. RAND Journal of Economics, 2005, 36(1): 1 - 15.

Optimal mechanism and its implementation in multidimensional auctions

WANG Hong, CHEN Hong-ming, YANG Jian-xia

Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China

Abstract This paper converts all the bidders' quality information into a comprehensive quality index by employing the production function of generalized quality. Under this fundamental setting, we have solved the optimal mechanism for multidimensional auctions. Moreover, the results show that three stage first-score and second-score auction can both implement this optimal mechanism efficiently. Based on this, we obtain the generalized revenue equivalence theorem in multidimensional auctions: whether the buyer commits to any scoring rule ex ante or not, or whether the first-score or second-score auction is implemented, the expected revenue of the buyer is equal. Further analysis shows that, if the buyer can commit it to an appropriate scoring rule, the total social welfare can be improved; otherwise, it will cause bidders' excessive quality supply which is inefficient from the perspective of total social welfare.

Key words multidimensional auctions; scoring auction; the optimal mechanism