

防船东欺诈的运费价差合约拍卖模型研究

宫晓婷^{1,2}, 迟国泰^{1*}, 赵志冲¹

(1. 大连理工大学管理与经济学部, 辽宁 大连 116024;

2. 大连海事大学交通运输工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 将多货主引入经典 VCG(Vickrey-Clark-Groves)模型, 建立防止船东串谋欺诈的运费价差合约拍卖模型, 研究运费价差合约的分配及支付, 并对比分析本文模型与现有 VCG 模型的拍卖结果. 研究表明, 船东和货主的社会福利最大与达成交易的船东总成本最小等效; 将所有价差合约看作一个整体, 以该整体的次优分配方案总报价为船东总收入和货主总支出, 不仅能够防止船东串谋欺诈, 还能降低货主的支付.

关键词: 运费价差合约; 防止船东欺诈; VCG 模型; 社会福利

中图分类号: U6-9

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2020)03-0354-11

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2020.03.006

Auction model of shipowners' fraud-resistant for freight spread contracts

Gong Xiaoxing^{1,2}, Chi Guotai^{1*}, Zhao Zhichong¹

(1. Faculty of Management and Economics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Transportation Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Introducing two or more shippers into classical VCG (Vickrey-Clark-Groves) model, the paper proposes an auction model for freight spread contracts considering shipowners' fraud-resistant, and investigates the distribution and payment of the contracts. Also, the paper compares and analyzes the results from the proposed model and classical VCG model. The results show that, maximizing social welfare of shippers and shipowners is equivalent to minimizing the total costs of the winning shipowners; taking all contracts as a whole, the second bidding price of the whole, which is the total income for shipowners, and also total payment from shippers, could solve the problem of shill bidding, and reduce the payment of shippers.

Key words: freight spread contracts; shipowners' fraud-resistant; VCG model; social welfare

1 引言

百年不遇的金融危机致使海运运费降幅高达 90% 以上, 为规避运价波动风险, 海运市场参与者开始尝试引入运费价差合约. 运费价差合约规定以当前约定价差(现货与远期价格差)与到期日运费远期价格和作为到期日的运费. 约定价差过高(或过低), 会影响买方(或卖方)的交易意愿, 进而降低价差合约的流动性, 不利

收稿日期: 2017-11-05; 修订日期: 2018-06-07.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71731003; 71471027); 教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(17YJCZH050); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(3132018101; 3132019157; 3132020154).

*通信作者.

于价差合约交易市场的发展。合理定价约定价差, 反映真实的市场价格水平是价差合约交易持续发展的核心。市场价格形成最合理的方式是拍卖竞价^[1], 拍卖竞价的关键在于拍卖模型, 而经典的 VCG 拍卖模型应用到价差合约拍卖中会产生船东串谋欺诈问题。鉴于此, 研究防欺诈的价差合约拍卖模型, 确定合理的约定价差, 使之能反映交易者真实交易意愿, 是价差合约交易市场持续发展需要解决的关键问题。

现有关于运费价差合约拍卖的相关研究可分为如下三类。第一类是运费合约拍卖研究。随着拍卖理论在运输领域的广泛应用, 运费合约拍卖问题备受关注, 由单个运费合约拍卖研究^[2], 拓展到多个合约的组合拍卖。杨华龙等^[3]从托运人视角提出集装箱运输服务组合拍卖模型。Xu 等^[4,5]建立了一个托运人和多个承运人的运费合约拍卖模型。Hu 等^[6]建立以运输成本和运输时间最小为双目标的运费合约拍卖模型。Xu 等^[7]考虑竞拍人能力约束建立服务采购拍卖模型。近年来, 运费合约拍卖的诚实报价问题颇受关注, 如文献[4, 5]中构建的诚实报价运输服务采购拍卖模型和 Cheng 等^[8]设计的诚实报价的多商品多属性双向拍卖机制。

上述第一类研究分析了单个托运人和多个承运人的拍卖, 而考虑多船东和多货主更符合市场实际。同时, 上述研究考虑了单个承运人诚实报价, 但是忽略了多个承运人串谋欺诈可获得高额收益的问题。

第二类是多商品拍卖模型。多商品拍卖可通过多场拍卖实现, 如序贯拍卖^[9,10], 也可通过一场拍卖实现。后者又分为多个相同商品拍卖和多个不同商品拍卖两种类型。多个相同商品拍卖涉及到采用统一价格, 还是采取歧视价格。李建标等^[11]研究统一价格, 歧视价格和广义 VCG 拍卖的定价效率。Dobzinski 等^[12]研究竞拍者有预算限制的多商品拍卖。而多个不同商品拍卖主要是组合拍卖问题。Krysta 等^[13]以最大化社会福利为目标, 设计多商品组合拍卖机制。姜雪等^[14]研究多 Agent 的单机调度问题。目前多商品拍卖理论已广泛应用到多领域。Zaman 等^[15]针对云计算中的虚拟机分配问题, 设计出两种组合拍卖模型。郑君君等^[16]基于多主体的建模仿真方法, 设计股权拍卖机制。

上述第二类研究分析一个卖方多个买方, 抑或一个买方多个卖方(采购拍卖)的拍卖分配, 未考虑多个买方和多个卖方的拍卖分配。事实上, 航运市场船东和货主数量众多, 现有模型并不适用于价差合约拍卖。

第三类是使竞拍者能够诚实报价的拍卖模型。诚实报价是拍卖的基本要求, 设计诚实报价的拍卖模型十分必要。Lavi 等^[17]通过线性规划设计多物品诚实报价的近似最优机制。Borodin 等^[18]以最大化社会福利为目标, 设计诚实报价的拍卖机制。然而合谋等欺诈行为在拍卖中普遍存在, 会对拍卖结果产生重要影响, 因此防欺诈的拍卖模型设计不容忽视。Wei 等^[19]提出 SHIELD 机制, 防止无线通讯网络拍卖的操纵问题。宫汝凯等^[20]通过限制卖方支付, 设计防止卖方欺诈的中间商拍卖机制。Padhi 等^[21]通过设置拍卖机制中的参数值, 减少政府采购拍卖中的串谋。王素凤等^[22]考虑竞买受人串谋, 建立非对称私人股价碳排放权拍卖模型。

上述第三类研究通过设置最高(或最小)支付价格防止竞拍方欺诈, 但该方法并不适用于运费价差拍卖。因为价差是现货与运费远期的差值, 对于约定价差值, 不同船东判断不同, 既可较大, 也可较小, 甚至可能等于 0。因而, 设置最高(或最小)支付价格并不能有效防止价差拍卖中的欺诈行为。

综上, 本文主要探讨如下问题: 1) 考虑多船东和多货主参与的情形下, 运费价差合约如何合理分配; 2) 如何防止 VCG 模型应用到运费价差合约拍卖中存在的船东串谋欺诈。针对上述问题, 得出以下研究结论: 1) 同时考虑多船东和多货主分配合约, 可实现社会福利最大化, 而社会福利最大又等效于达成交易的船东总成本最小; 2) 通过改进 VCG 模型, 将所有合约看作一个整体计算船东总收入, 可有效解决船东串谋欺诈问题。

2 运费价差合约拍卖模型构建的原理

2.1 确定合理约定价差是管理运价波动风险的关键

船东和货主可用运费远期合约规避运价波动风险。船东担心未来运价下降导致收入减少, 当前可卖出运费远期合约, 若到期时运价下降, 结算远期合约可获得利润, 以弥补运价下降导致船东收入减少的损失。同理, 货主可在当前买入运费远期合约弥补未来运价上升导致成本增加的损失。然而, 运价变动幅度和运费远期价格变动幅度不同, 使用远期合约并不能完全弥补船东或货主的损失, 并不能消除运价的不确定性。

引入运费价差合约可“彻底”消除运价的不确定性. 运费价差合约是船东按约定价差与到期日运费远期价格之和提供运输服务的合约. 船东担心未来运费下降, 当前卖出价格为 F_0 的远期合约, 同时再卖出价格为到期日远期价格 F_1 与约定价差 Δ 之和($F_1 + \Delta$)的价差合约. 到期日, 船东收入为运输收入($F_1 + \Delta$)加远期合约收入($F_0 - F_1$), 等于($F_0 + \Delta$), 即船东未来收入为($F_0 + \Delta$). 同理, 货主未来成本也为($F_0 + \Delta$).

运用运费价差合约管理运价波动风险的效果取决于约定价差. 上述分析表明, 船东(或货主)均可在当前锁定未来收益(或成本)为($F_0 + \Delta$). 当前运费远期价格 F_0 已知, 运用价差合约管理运价波动风险的效果仅与约定价差 Δ 有关. 若约定价差 Δ 过高, 货主成本增加, 会降低货主的交易积极性; 反之, 约定价差 Δ 过低, 船东收益减少, 影响船东交易意愿, 从而确定合理的约定价差 Δ 是使用运费价差合约进行风险管理的关键.

合理定价约定价差的重要方式是拍卖运费价差合约. 运费价差合约是按到期日运费远期价格 F_1 与约定价差 Δ 之和($F_1 + \Delta$) 提供运输服务的合约. 前者 F_1 由到期日远期市场决定, 后者 Δ 由合约交易双方确定. 对交易者来说, 确定价差合约交易价格($F_1 + \Delta$)就是定价约定价差 Δ . 众所周知, 拍卖是形成合理价格的重要方式, 通过拍卖价差合约可合理定价约定价差 Δ . 在价差合约拍卖中, 交易者对价差合约报价, 实际是对约定价差 Δ 报价. 因此, 下面提及的报价, 均是指对价差合约的约定价差报价.

2.2 运费价差合约拍卖情形的确定

1) 运费价差合约拍卖的四种情形

现有研究和本文研究的对比如表 1 所示.

表 1 现有研究和本文研究的对比
Table 1 Comparison between current literatures and this paper

序号	拍卖分类	拍卖环境	存在性及原因	现有研究	本文研究
1	情形 1	一货主 VS 一船东	不存在. 拍卖基本条件之一是必须有两个以上竞拍人, 故此情况不属于拍卖.	—	—
2	情形 2	多货主 VS 一船东	不存在. 航运市场供大于求, 船多货少, 此情况不符合市场实情.	—	—
3	情形 3	一货主 VS 多船东	存在. 符合航运市场供大于求的现状.	建立以船东报价最小 ^[3] 抑或货主和船东总成本最小 ^[5] 为目标函数的 0-1 规划模型	情形 3 是本文研究情形 4 的特例
4	情形 4	多货主 VS 多船东	当满足供大于求时, 此情况存在. 航运市场参与者众多, 考虑多船东和多货主更符合市场实情.	现有文献鲜见研究这种“多货主”对“多船东”的情形.	建立以社会福利最大为目标的合约拍卖分配模型, 解决多船东多货主参与下合理分配合约问题. 建立防船东欺诈的合约拍卖支付模型, 解决船东串谋欺诈问题.

根据船东与货主的参与数量, 可将价差合约拍卖分为四种情形, 列入表 1 的第 3 列. 前两种情形不存在, 第 1 种情形不满足拍卖的基本条件, 第 2 种情形不符合航运市场实情, 后两种情形符合航运市场实际, 是存在的. 拍卖情形的存在性及原因列入表 1 的第 4 列.

2) 现有研究鲜有考虑多货主和多船东情形的拍卖

现有文献大都研究单货主和多船东的拍卖(表 1 中的情形 3), 鲜见研究多货主和多船东的拍卖(情形 4). 本文正是针对这种多货主与多船东拍卖情形进行研究. 需要指出的是, 上述“情形 3”是“情形 4”的特例.

2.3 现有 VCG 拍卖模型的弊端

较现有其他拍卖模型而言, VCG 模型是最优拍卖模型, 几乎成为其他拍卖模型构建的评价标准^[23]. 根据 VCG 模型, 总报价最低的船东达成价差合约交易, 收入为

$$p_j = C(M \setminus j) - C_{-j}(M), \tag{1}$$

其中 p_j 为第 j 个船东的收入; M 表示船东集合; $C(M \setminus j)$ 为第 j 个船东不参加拍卖时, 得到合约的船东总报价; $C_{-j}(M)$ 为所有船东参加拍卖时, 除第 j 个船东外, 得到合约的其他船东总报价.

然而, 将式(1)应用在表1中的情形4时, 会存在船东串谋欺诈问题, 该问题存在的根本原因在于报价很低的船东可能获得较高收入。

为便于理解, 举例说明多货主和多船东情形下, 若船东串谋欺诈会获得较高收入。假设拍卖货主1的合约a和货主2的合约b, 设有4个船东参与竞拍, 表2分别给出了有无欺诈两种情况下船东的报价。

表2 船东拍卖报价及结果
Table 2 Bidding of shipowners and results

情况 1: 有欺诈情形的船东报价						
序号	船东	合约 a	合约 b	合约 a 和合约 b	竞拍结果	收入
1	船东 1	—	—	20	未达成交易	0
2	船东 2	—	—	16	未达成交易	0
3	船东 3	1	—	—	二者总报价最低 $1 + 2 = 3$,	$p_3 = C(M \setminus 3) - C_{-3}(M) = 14$
4	船东 4	—	2	—	故船东 3 得 a, 船东 4 得 b	$p_4 = C(M \setminus 4) - C_{-4}(M) = 15$
情况 2: 无欺诈情形的船东报价						
序号	船东	合约 a	合约 b	合约 a 和合约 b	竞拍结果	收入
5	船东 1	—	—	20	未达成交易	0
6	船东 2	—	—	16	未达成交易	0
7	船东 3	7	—	—	二者总报价最低 $7 + 8 = 15$,	$p_3 = C(M \setminus 3) - C_{-3}(M) = 8$
8	船东 4	—	8	—	故船东 3 得 a, 船东 4 得 b	$p_4 = C(M \setminus 4) - C_{-4}(M) = 9$

注: “—”表示不报价。

当船东3和船东4串谋, 分别对合约a和合约b报出异常低价格并获得合约, 根据式(1), 船东3收入 $p_3 = 16 - 2 = 14$ (船东3不参加拍卖时, 船东2得到两个合约, $C(M \setminus 3) = 16$; 所有船东参加拍卖时, 除船东3外, 船东4得到合约, 报价 $C_{-3}(M) = 2$)。同理, 船东4的收入等于15。

当船东3和船东4不串谋, 二者报价和最低, 分别获得合约a和b。根据式(1), 船东3的收入为 $16 - 8 = 8$, 船东4的收入为 $16 - 7 = 9$ 。

综上所述, 船东3和4串谋欺诈可获得的额外收益为 $(14 + 15) - (8 + 9) = 12$ 。因此, 为谋取高额收入势必会有船东串谋出低价参与合约竞拍, 也就是说现有VCG拍卖模型使船东欺诈成为必然现象, 从而需要重新构建价差合约拍卖模型, 以避免这种船东串谋欺诈行为。本文在多货主和多船东参与的拍卖环境中, 对经典VCG拍卖模型进行改进, 建立防船东欺诈的价差合约拍卖的支付模型。

2.4 改进VCG拍卖模型构建的思路

1) 多船东和多货主参与拍卖情形下运费价差合约分配的思路

通过船东收益和货主收益与社会福利的函数关系, 建立以多货主和多船东参与的社会福利最大化为目标函数的价差合约分配的0-1整数规划模型, 反推出价差合约的最优分配方案, 解决了多货主和多船东参与的价差合约分配问题。事实上, 价差合约交易涉及多个船东和多个货主, 考虑多货主参与拍卖的价差合约分配模型更符合价差合约交易市场的真实情况。通过社会福利最大的目标函数的推演过程, 揭示了社会福利最大与达成交易的船东总成本最小等效的关系。

2) 防船东串谋欺诈的船东和货主收支的确定思路

通过将所有货主的价差合约看作一个整体计算达成交易的船东总收入, 建立以次优分配方案的总报价为船东总收入和货主总支出的收支模型, 解决了船东串谋欺诈问题。实际上, 若串谋欺诈不能得到好处, 船东不会实施欺诈行为。

以表2为例, 说明防止船东串谋的思路。若船东3和船东4串谋欺诈, 分别得到价差合约a和b, 二者收入为次优方案总报价16; 若船东3和船东4无串谋欺诈, 真实报价, 分别得到价差合约a和b, 二者收入仍为次优方案总报价16。由上可见, 船东3和船东4串谋没有好处, 那么二者会改变欺诈策略, 真实报价。

3 基于改进 VCG 的价差合约拍卖模型

3.1 价差合约拍卖的参与者

拍卖参与者包括航运交易所, 货主和船东, 交易所收到货主价差合约的购买需求和船东的报价后, 为货主和船东提供价差合约拍卖服务, 确定达成交易的船东, 并收取交易费用作为回报. 鉴于当前海运市场船多货少的实情, 本文将货主作为拍卖方, 船东作为竞拍方.

1) 航运交易所

市场上有一个航运交易所, 只提供价差拍卖相关服务, 收取交易费用. 现有商品拍卖通常采用收取参与费用, 进场费用, 只对卖方收费等方式^[20,24]. 根据海运服务交易惯例, 船东需向撮合成运输服务交易的经纪人支付佣金, 佣金比例为运价的 1.25% ~ 5% (1.25% 的倍数). 价差合约的本质是海运服务交易, 因而, 本文中交易所只对达成交易的船东收取佣金.

2) 拍卖者(货主)

市场上有 n 个货主, 假设每个货主只有一个运费价差合约购买需求, 即有 n 个价差合约, 交易所要分配所有合约. 设第 i 个货主对其价差合约愿意支付的最高价为 v_i , $i = 1, 2, \dots, n$. 若所有船东报价超过该价格, 拍卖失败. 为提高交易效率, 避免报价超过货主愿意支付最高价的船东参与竞拍, 交易所公布货主愿意支付的最高价.

3) 竞拍者(船东)

市场上有 m 个船东, 每个船东可对单个价差合约报价, 也可对多个价差合约的组合报价. 若有 n 个价差合约, 每个船东最多有 2^n 种报价. 比如, 有两个价差合约 a 和 b , 单个船东最多有四种报价(只对合约 a 报价, 只对合约 b 报价, 对合约 a 和 b 的组合报价和不报价).

在 VCG 规则下, 竞拍者报价的占优策略是报出真实成本^[23]. 因而, 为避免向其他船东泄露企业真实成本, 船东选择秘密报价形式.

3.2 价差合约拍卖的分配模型

作为最优拍卖模型, VCG 分配模型的目标是实现社会福利最大^[23]. 借鉴 VCG 思想, 本文构建以社会福利最大为目标函数的分配模型.

记 U 为社会福利, 即所有船东净收益与货主净收益和; m 为船东数量; n 为货主数量, 每个货主购买一个价差合约, 则 n 也是合约数量, 假定分配所有的价差合约; B_r 为第 r 个合约组合, n 个合约可以构成 $r = 2^n - 1$ 个合约组合, 以合约数 $n = 2$ 为例, $r = 3$, B_1 表示第 1 个合约, B_2 表示第 2 个合约, B_3 表示两个合约的组合; $b_j(B_r)$ 为第 j 个船东得到价差合约组合 B_r 的收入; $v_j(B_r)$ 为第 j 个船东提供合约组合 B_r 中所指明运输服务的成本; $x_j(B_r)$ 为 0-1 变量, 若第 j 个船东获得价差合约组合 B_r 时, $x_j(B_r) = 1$, 否则 $x_j(B_r) = 0$; v_i 为第 i 个货主愿意支付的最高价, 则价差合约分配模型为

$$\text{Max } U = \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} (b_j(B_r) - v_j(B_r)) x_j(B_r) + \left(\sum_{i=1}^n v_i - \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} b_j(B_r) x_j(B_r) \right). \quad (2)$$

令 $V = \sum_{i=1}^n v_i$, 式(2)可改写为

$$\text{Max } U = V - \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} v_j(B_r) x_j(B_r), \quad (3)$$

其中 V 为常数, 因为第 i 个货主愿意支付的最高价 v_i 为已知值.

令 $C = \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} v_j(B_r)x_j(B_r)$, 求解式(3)的最大值, 等价于求解 C 的最小值. 因而, 式(3)可转化为

$$\text{Min } C = \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} v_j(B_r)x_j(B_r), \quad (4)$$

式(4)表示达成交易的船东总成本最小, 等效于式(2)社会福利最大.

式(4)与现有的研究有如下区别: 1) 通过船东净收益, 货主净收益与社会福利的函数关系, 建立以多货主和多船东参与的社会福利最大化为目标函数的价差合约分配的 0-1 整数规划模型, 反推出价差合约的最优分配方案, 改变现有研究仅立足于一个货主参与拍卖的不足. 事实上, 价差合约交易涉及多个船东和多个货主, 考虑多货主参与拍卖的价差合约分配模型更符合价差合约交易市场的真实情况; 2) 通过社会福利最大的目标函数的推演过程, 揭示了达成交易船东总成本最小与社会福利最大等效的关系.

一个船东最多只能获得一种价差合约组合的约束的建立. 以两个价差合约的拍卖为例, B_1 表示第 1 个合约, B_2 表示第 2 个合约, B_3 表示这两个合约的组合. 对于第 j 个船东而言, 最多只能获得一种合约组合, 原因有二, 一是同时获得合约 B_1 和 B_3 是对合约 B_1 重复交易, 而这种情况是不会发生的; 二是同时获得合约 B_1 和 B_2 就是获得合约 B_3 这一个合约组合. 第二个原因可从合约 B_3 报价(v_3)与合约 B_1 和 B_2 报价(v_1 和 v_2)的关系来解释, 若 $v_3 = v_1 + v_2$, 船东同时获得合约 B_1 和 B_2 等于获得合约 B_3 ; 若 $v_3 < v_1 + v_2$, 船东同时得到两个合约, 报价仅为 v_3 , 高于此价格(比如 $v_1 + v_2$), 货主不会接受; 若 $v_3 > v_1 + v_2$, 船东同时得到两个合约, 报价仅为 v_3 , 低于此价格(比如 $v_1 + v_2$), 船东不能提供运输服务. 因此, 同时获得合约 B_1 和 B_2 就是获得合约 B_3 这一个合约组合.

根据 0-1 整数规划的约束, 令 $x_j(B_r) = 1$ 表示第 j 个船东赢得合约 B_r , 否则 $x_j(B_r) = 0$; 则约束条件可表示为

$$\sum_{r=1}^{2^n-1} x_j(B_r) \leq 1, \quad (5)$$

式(5)表示第 j 个船东得到的合约组合总数最大为 1, 即一个船东最多只能获得一种合约组合.

一种价差合约组合最多只能分给 1 个船东的约束的建立. 以 2 个船东参与价差合约的竞拍为例, 对于一种价差合约组合 B_r 而言, 最多只能分给 1 个船东, 因为同时将合约 B_r 分给船东 1 和 2 是对合约 B_r 重复交易, 此情况不会发生.

根据 0-1 整数规划的约束, 令 $x_j(B_r) = 1$ 表示第 j 个船东赢得合约 B_r , 否则 $x_j(B_r) = 0$; 则约束条件表示为

$$\sum_{j=1}^m x_j(B_r) \leq 1, \quad (6)$$

式(6)表示所有船东得到的合约组合 B_r 总数最大为 1, 即一种合约组合 B_r 最多只能分配给一个船东.

式(5)与式(6)的约束对象不同, 前者是对合约组合进行约束, 后者是对船东进行约束. 式(5)与式(6)不是重复约束, 若只有式(5)没有式(6)的约束, 会出现将某一个合约分给多个船东; 反之, 只有式(6)没有式(5)的约束, 会出现某个船东多次得到某个合约, 而这些情况均是不会发生的. 因此, 式(5)与式(6)需同时成立.

式(5)和式(6)表明, $x_j(B_r) = 1$ 时, 第 j 个船东赢得价差合约组合 B_r , 否则, $x_j(B_r) = 0$. 因此, 约束条件的表达式为

$$x_j(B_r) \in \{0, 1\}. \quad (7)$$

通过船东收益和货主收益与社会福利的函数关系, 建立以多货主和多船东参与的社会福利最大化为目标函数的价差合约分配的 0-1 整数规划模型, 反推出价差合约的最优分配方案, 改变现有研究仅立足于一个货主参与拍卖的不足. 事实上, 价差合约交易涉及多个船东和多个货主, 考虑多货主参与拍卖的价差合约分

配模型更符合价差合约交易市场的真实情况. 通过社会福利最大的目标函数的推演过程, 揭示了社会福利最大与达成交易的船东总成本最小等效的关系.

现有 VCG 分配模型^[23]是本文分配模型中货主数量 $n = 1$ 时的特例模型, 本文模型是现有模型在考虑多货主参与拍卖情形下的拓展.

3.3 价差合约拍卖的船东和货主收支模型

1) 价差合约拍卖的船东和货主收支模型

船东串谋欺诈的动因是能够获得额外收益, 而是否能够获得额外收益又取决于收入模型. 本文通过将所有货主的合约看作一个整体计算达成交易的船东总收入, 建立以次优分配方案的总报价为船东总收入的收入模型, 以防止船东串谋欺诈.

记 o 表示所有达成交易的船东; P_o 为船东 o 的收入(未考虑佣金); P_s 为货主总支出; $C(M \setminus o)$ 为船东 o 不参加拍卖得到合约的船东总报价; $C_{-o}(M)$ 为除船东 o 外, 得到合约的其他船东总报价, 本文中除船东 o 外, 其他船东未能获得合约, 从而 $C_{-o}(M) = 0$; 将所有价差合约看作一个整体, 根据式(1), 船东 o 的收入为

$$P_o = P_s = C(M \setminus o) - C_{-o}(M) = C(M \setminus o), \quad (8)$$

式(8)表示所有达成交易的船东总收入(未考虑佣金)等于货主总支出, 且等于次优分配方案的总报价.

根据式(4)得到次优分配方案, 即所有达成交易的船东 o 不参加拍卖时的最优方案, 据此计算次优分配方案的总报价, 式(8)可写为

$$P_o = P_s = C(M \setminus o) = \sum_{r=1}^{2^n-1} V(B_r), \quad (9)$$

其中 $V(B_r)$ 表示次优分配方案时价差合约组合 B_r 的报价.

与现有文献的区别是, 通过将所有价差合约看作一个整体计算船东总收入, 建立以次低报价为船东总收入和货主总支出的收支模型, 改变了现有 VCG 拍卖模型存在船东欺诈的弊端. 实际上, 若欺诈没有好处, 船东不会实施欺诈行为.

2) 单个货主支付和船东收入模型

通过式(9)可得到所有货主的总支付 P_s , 确定每个货主的支付比值, 可得到每个货主的支付. 由于货主的支付取决于 P_s , 第 i 个货主(价差交易需求)的支付额 P_{si} 可分为如下两种讨论情况:

情况 1 当 B_r 仅有合约 i 时, 第 i 个货主(价差合约)的支付额为

$$P_{si} = V(B_r), \quad (10)$$

式(10)表示当 B_r 仅有合约 i 时第 i 个货主的支付, $V(B_r)$ 是合约 i 的次低报价.

情况 2 当 B_r 有包含合约 i 在内的多个合约时, 将第 i 个合约报价均值看作是该合约的市场价格, 则令 λ_i 是第 i 个合约报价均值与 B_r 中所有合约报价均值之和的比值, 第 i 个货主(价差合约)的支付额为

$$P_{si} = \lambda_i V(B_r), \quad (11)$$

式(11)表示当 B_r 有包含需求 i 在内的多个合约时, 第 i 个货主的支付额. 此支付额也相当于是第 i 个价差合约的第二低报价.

令 P_{ji}^* 为第 j 个船东得到的第 i 个价差合约的收入(扣除佣金); c 为交易所收取的佣金比例; 则扣除佣金后, 第 j 个船东从第 i 个货主处收获的收入为

$$P_{ji}^* = P_{si}(1 - c). \quad (12)$$

3.4 改进 VCG 模型可防船东欺诈

若船东实施欺诈没有好处, 其会改变欺诈策略, 真实报价, 据此有下列结论.

命题 1 改进 VCG 拍卖模型可防止船东串谋欺诈.

证明 假定第 j 和 q 个船东串谋, 分别获得价差合约 i 和 l , 除这两个船东外, 其余船东均真实报出成本价. 记第 j 个船东不真实报价的收入(未考虑佣金)为 P'_{ji} , 真实成本为 v_{ji} ; 第 q 个船东不真实报价的收入(未考虑佣金)为 P'_{ql} , 真实成本为 v_{ql} ; 第 j 个船东真实报出成本价的收入(未考虑佣金)为 P_{ji} ; 第 q 个船东真实报出成本价的收入(未考虑佣金)为 P_{ql} .

要证明船东实施欺诈没有好处, 应证明第 j 和 q 个船东串谋获得的利润小于等于真实报价的利润, 即

$$(P'_{ji} - v_{ji}) + (P'_{ql} - v_{ql}) \leq (P_{ji} - v_{ji}) + (P_{ql} - v_{ql}). \quad (13)$$

当第 j 和 q 个船东串谋不真实报价时获得的利润为

$$(P'_{ji} - v_{ji}) + (P'_{ql} - v_{ql}) = P'_o - \sum_{k=1, k \neq j, q}^m P_k - v_{ji} - v_{ql}, \quad (14)$$

其中 P'_o 为第 j 和 q 个船东不真实报价时达成交易的船东总收入(未考虑佣金); P_k 为除第 j 和 q 个船东外, 其余第 k 个船东的收入(未考虑佣金).

当第 j 和 q 个船东真实报价时获得的利润为

$$(P_{ji} - v_{ji}) + (P_{ql} - v_{ql}) = P_o - \sum_{k=1, k \neq j, q}^m P_k - v_{ji} - v_{ql}, \quad (15)$$

其中 P_o 为真实报价时达成交易的船东收入(未考虑佣金).

将式(14)和(15)代入式(13), 整理得

$$P'_o \leq P_o, \quad (16)$$

式(16)表示不真实报价时船东总收入小于等于真实报价时船东总收入.

记 o 为真实报价时达成交易的船东; o' 为第 j 和 q 个船东不真实报价时, 达成交易的船东; 根据式(9), $P'_o = \min \sum_{j=1, j \neq o'}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} v_j(B_r) x_j(B_r)$ 和 $P_o = \min \sum_{j=1, j \neq o}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} v_j(B_r) x_j(B_r)$, 代入式(16)得

$$\min \sum_{j=1, j \neq o'}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} v_j(B_r) x_j(B_r) \leq \min \sum_{j=1, j \neq o}^m \sum_{r=1}^{2^n-1} v_j(B_r) x_j(B_r), \quad (17)$$

式(17)表示不真实报价时船东第二低报价小于等于真实报价时的第二低报价.

由于报价最低的船东获得合约, 为得到合约, 船东串谋报出异常低价格, 导致得到合约的船东总报价较低, 进而使得串谋时的次低报价小于等于真实报价时的次报价, 式(17)恒成立. 证毕.

4 算例分析

4.1 算例描述

假设拍卖货主 1 的价差合约 a , 货主 2 的价差合约 b 和货主 3 的价差合约 c , 价差合约组合数量 $r = 7 = 2^3 - 1$, B_1 表示合约 a , B_2 表示合约 b , B_3 表示合约 c , B_4 表示合约 a 和 b 的组合, B_5 表示合约 a 和 c 的组合, B_6 表示合约 b 和 c 的组合, B_7 表示三个合约的组合. 表 3 中给出了每种合约组合货主愿意支付的最高价格, 以合约 a 为例, 货主愿意支付的最高价格为 6.

设有 7 个船东参与竞拍, 表 4 分别给出了无欺诈时 7 个船东对每种合约组合的报价, 以及船东 6 和船东 7 串谋时的报价. 假定航运交易所对船东收取的佣金比例为 5%.

4.2 价差合约拍卖模型的求解

1) 价差合约拍卖分配方案

求解价差合约分配模型, 结果列入表 5.

表 3 货主最高支付价格
Table 3 Highest price of shippers will to pay for

序号	货主	合约 a	合约 b	合约 c	合约 a, b	合约 a, c	合约 b, c	合约 a, b, c
1	货主 1	6	—	—	6	6	—	—
2	货主 2	—	8	—	8	—	8	8
3	货主 3	—	—	5	—	5	5	5
4	合计	6	8	5	14	11	13	19

表 4 船东对合约组合的报价
Table 4 Bidding for the bundles of shipowners

情况 1: 无欺诈的情形								
序号	船东	合约 a	合约 b	合约 c	合约 a, b	合约 a, c	合约 b, c	合约 a, b, c
1	船东 1	—	—	5.0	—	—	—	—
2	船东 2	—	—	4.5	—	10.0	11.2	17.1
3	船东 3	—	—	4.9	10.5	9.9	12.0	15.9
4	船东 4	—	—	4.6	12.2	10.9	11.1	16.5
5	船东 5	—	—	4.8	11.8	10.1	—	17.6
6	船东 6	5.2	—	—	—	—	—	—
7	船东 7	—	5.2	—	—	—	—	—
情况 2: 有欺诈的情形								
序号	船东	合约 a	合约 b	合约 c	合约 a, b	合约 a, c	合约 b, c	合约 a, b, c
8	船东 6	1	—	—	—	—	—	—
9	船东 7	—	1	—	—	—	—	—

表 5 本文模型最优分配方案结果
Table 5 Results of allocation plan using model of this paper

序号	船东	合约 a	合约 b	合约 c	合约 a, b	合约 a, c	合约 b, c	合约 a, b, c
情况 1: 无欺诈的情形								
1	船东 1	0	0	0	0	0	0	0
2	船东 2	0	0	1	0	0	0	0
3	船东 3	0	0	0	0	0	0	0
4	船东 4	0	0	0	0	0	0	0
5	船东 5	0	0	0	0	0	0	0
6	船东 6	1	0	0	0	0	0	0
7	船东 7	0	1	0	0	0	0	0
情况 2: 有欺诈的情形								
序号	船东	合约 a	合约 b	合约 c	合约 a, b	合约 a, c	合约 b, c	合约 a, b, c
8	船东 6	1	0	0	0	0	0	0
9	船东 7	0	1	0	0	0	0	0

2) 价差合约拍卖收支额

首先, 船东总收入与货主总支付. 从表4中删除最优分配方案的船东报价, 再求解价差合约分配模型, 得到有无欺诈两种情形下船东总收入(未扣除佣金)均为 $P_0 = 15.1$, 结果列入表 6.

然后, 每个货主的支付. 根据式(11)和式(12)得到有无欺诈两种情形下货主 1, 货主 2 和货主 3 的支付, 有欺诈时的支付等于无欺诈时的支付, 分别为 $P_{s1} = 5.25$, $P_{s2} = 5.25$ 和 $P_{s3} = 4.6$, 列入表 6.

最后, 每个船东的收入. 将 $P_{s1} = 5.25, c = 5\%$ 代入式(13)中, 船东 3 从货主 1 处获得的收入为 $P_{1,3} = 4.99$. 同理可得, 船东 3 收入为 $P_{2,3} = 4.99$, 船东 2 收入 $P_{3,2} = 4.37$.

交佣金后, 船东的总收入为 $P_{1,3} + P_{2,3} + P_{3,2} = 14.35$, 结果列入表 6.

3) 价差合约拍卖的社会福利

根据式(4), 得到最大社会福利 $\text{Max } U = 19 - 14.9 = 4.1$, 列入表 6.

4.3 对比分析

对比分析采用的模型是本文所建立的防止船东欺诈的改进 VCG 的拍卖模型和经典 VCG 拍卖模型^[23].

求解文献[23]的合约分配模型, 得出无欺诈时船东总收入(未考虑佣金)和货主总支出为 15.2, 扣除佣金后船东收入为 14.44, 货主 1, 货主 2 和货主 3 的支付分别为 5.3, 5.3 和 4.6, 社会福利为 4.1, 结果列入表 6.

同理, 可以得出有欺诈时货主总支出为 23.6, 货主 1, 货主 2 和货主 3 的支付分别为 9.5, 9.5 和 4.6, 由于 3 个货主的最大支付分别为 6, 8 和 5, 故三者的支付分别为 6, 8 和 4.6, 总支付为 18.6, 社会福利为 4.1, 结果列入表 6.

表 6 结果对比
Table 6 Comparison of results

情况 1: 无欺诈情形的船东报价								
序号	模型	船东总收入	交佣金后船东收入	货主总支付	货主 1 支付	货主 2 支付	货主 3 支付	社会福利
1	本文模型	15.1	14.35	15.1	5.25	5.25	4.6	4.1
2	现有模型	15.2	14.44	15.2	5.3	5.3	4.6	4.1
情况 2: 有欺诈情形的船东报价								
序号	模型	船东总收入	交佣金后船东收入	货主总支付	货主 1 支付	货主 2 支付	货主 3 支付	社会福利
3	本文模型	15.1	14.35	15.1	5.25	5.25	4.6	4.1
4	现有模型	18.6	17.96	18.6	6	8	4.6	4.1

通过上述结果, 可以发现:

1) 本文拍卖模型能降低货主总支付. 根据表 6 中序号为 1 和 2 行的对比结果, 本文提出的价差合约拍卖模型较现有模型而言, 能降低货主的总支付. 这表明本文所提出的模型能被市场普遍接受. 因为, 在当前船多货少的市场情形下, 能被市场普遍接受的模型, 应能减少货主成本, 从而本文模型更易被接受.

2) 本文拍卖模型可防止船东串谋欺诈. 根据表 6 中序号为 2 和 4 行的结果可知, 当船东实施欺诈时可以获得更高收入, 从而得到多利润; 根据表 6 中序号为 1 和 3 行的对比结果可知, 有无欺诈情形下, 本文模型的结果相同. 因此, 本文模型可有效防止船东欺诈.

5 结束语

本文针对经典 VCG 模型的串谋欺诈问题, 在多货主和多船东参与的拍卖环境下, 构建基于改进 VCG 的运费价差合约拍卖模型. 证明分析表明, 应用本文所提出的拍卖模型能够防止船东欺诈; 算例分析表明, 本文拍卖模型与现有 VCG 拍卖模型相比, 不仅能有效防止船东欺诈, 还能够降低货主支付, 节省货主运费成本. 本文的研究是针对船东欺诈这一现实问题, 提出防欺诈的运费价差合约拍卖模型, 未来可以考虑最优拍卖时间和最优交易费用设置等问题, 对本文模型进一步扩展和应用推广.

参考文献:

- [1] 沈凤池. 电子商务基础. 北京: 清华大学出版社, 2005.

- Shen F C. Fundamentals of E-Commerce. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese)
- [2] Agrali S, Tan B, Karaesmen F. Modeling and analysis of an auction-based logistics market. *European Journal of Operational Research*, 2008, 191(1): 272–294.
- [3] 杨华龙, 东方, 郑斌, 等. 集装箱航运服务多属性组合拍卖模型与算法. *交通运输工程学报*, 2009, 9(5): 111–115.
Yang H L, Dong F, Zheng B, et al. Multi-attribute combinatorial auction model and algorithm for container shipping service. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2009, 9(5): 111–115. (in Chinese)
- [4] Xu S, Huang G. Efficient auctions for distributed transportation procurement. *Transportation Research, Part B: Methodological*, 2014, 65(4): 47–64.
- [5] Xu S, Cheng M, Huang G. Efficient intermodal transportation auctions for B2B e-commerce logistics with transaction costs. *Transportation Research, Part B: Methodological*, 2015, 80(1): 322–337.
- [6] Hu Q, Zhang Z, Lim A. Transportation service procurement problem with transit time. *Transportation Research, Part B: Methodological*, 2016, 86(1): 19–36.
- [7] Xu J, Feng Y, He W. Procurement auctions with ex post, cooperation between capacity constrained bidders. *European Journal of Operational Research*, 2017, 260(3): 1164–1174.
- [8] Cheng M, Xu S, Huang G. Truthful multi-unit multi-attribute double auctions for perishable supply chain trading. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review*, 2016, 93(1): 21–37.
- [9] 胡二琴, 赵勇, 陈莹. 序贯拍卖中报价排序信息披露的研究. *系统工程学报*, 2016, 31(3): 317–327.
Hu E Q, Zhao Y, Chen Y. Study of bids' ordinal ranks information disclosure in sequential auctions. *Journal of Systems Engineering*, 2016, 31(3): 317–327. (in Chinese)
- [10] 杨森, 王先甲, 方德斌. 基于序贯拍卖的最优折扣机制设计. *系统工程学报*, 2017, 32(4): 454–460.
Yang S, Wang X J, Fang D B. Optimal discount mechanism based on sequential auctions. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(4): 454–460. (in Chinese)
- [11] 李建标, 汪敏达, 王鹏程. 多物品共同价值拍卖的信息产生与效率. *管理科学*, 2014, 27(1): 120–130.
Li J B, Wang M D, Wang P C. Information generation and efficiency of multi-unit common value auction. *Journal of Management Science*, 2014, 27(1): 120–130. (in Chinese)
- [12] Dobzinski S, Lavi R, Nisan N. Multi-unit auctions with budget limits. *Games and Economic Behavior*, 2012, 74(2): 486–503.
- [13] Krysta P, Telelis O, Ventre C. Mechanisms for multi-unit combinatorial auctions with a few distinct goods. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2015, 53(1): 721–744.
- [14] 姜雪, 全雄文, 陈秋双. 基于真实吐露贪婪机制的多 Agent 单机调度问题. *系统工程学报*, 2016, 31(3): 423–430.
Jiang X, Quan X W, Chen Q S. Multi-agent single machine scheduling based on truthful greedy mechanism, *Journal of Systems Engineering*, 2016, 31(3): 423–430. (in Chinese)
- [15] Zaman S, Grosu D. Combinatorial auction-based allocation of virtual machine instances in clouds. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2013, 73(4): 495–508.
- [16] 郑君君, 张平, 饶从军, 等. 基于 Swarm 的股权拍卖机制设计与仿真研究. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(4): 883–891.
Zheng J J, Zhang P, Rao C J, et al. Research on mechanism design and simulation of equity auction based on Swarm. *Systems Engineering: Theory and Practice*, 2014, 34(4): 883–891. (in Chinese)
- [17] Lavi R, Swamy C. Truthful and near-optimal mechanism design via linear programming. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 2011, 58(6): 1–24.
- [18] Borodin A, Lucier B. On the limitations of greedy mechanism design for truthful combinatorial auctions. *Association for Computing Machinery Transactions on Economics and Computation*, 2016, 5(1): 1–23.
- [19] Wei Z, Zhang T, Wu F, et al. A truthful auction mechanism for channel allocation in multi-radio, multi-channel non-cooperative wireless networks. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2014, 18(4): 925–937.
- [20] 宫汝凯, 孙宁, 王大中. 基于双边交易环境的中间商拍卖机制设计. *经济研究*, 2015, 50(11): 120–132.
Gong R K, Sun N, Wang D Z. Mediated auction design in the two-sided markets. *Economic Research Journal*, 2015, 50(11): 120–132. (in Chinese)
- [21] Padhi S, Wagner S, Mohapatra P K J. Design of auction parameters to reduce the effect of collusion. *Decision Sciences*, 2015, 47(6): 1016–1047.
- [22] 王素凤, 杨善林. 考虑保留价影响报价策略的碳排放权拍卖模型. *管理工程学报*, 2016, 30(2): 181–187.
Wang S F, Yang S L. Carbon emission rights auction considering the influence of reserve price on bidding strategies. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2016, 30(2): 181–187. (in Chinese)