

电商物流中的异质双边竞标机制设计与效率优化

龙凌艳¹, 孙 盈²

¹贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

²贵州大学音乐学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年4月30日; 录用日期: 2025年5月15日; 发布日期: 2025年6月12日

摘 要

电子商务驱动的物流需求呈现碎片化、高频次与强时效性特征, 传统货运模式因信息孤岛与局部寻优难以满足动态资源配置需求。针对货运市场因信息不对称、交易成本高及局部寻优导致的资源配置效率低下问题, 本文提出一种基于货运网络节点的异质双边竞标交易机制。首先, 通过解构货运市场, 将异质货运标的按运距区间分层并实现同质化计量, 基于大数据与智能算法的标准化交易单元设计: 基于货物积载因数与运距区间划分, 设计运量同质化计价模型, 统一货运需求与供给的计量维度, 降低交易复杂度。其次, 改进McAfee双边拍卖机制, 提出多单位异质标的匹配规则, 通过供需双方密封竞标实现价格生成与自动匹配, 并严格证明该机制满足激励相容、个体理性及预算平衡约束。仿真结果表明, 在活跃市场中, 交易者可通过真实报价获取绝大部分交易剩余(效率损失 ≤ 0.02), 且交易成功率随报价方差降低显著提升(最高达98%), 验证了机制在电商物流高波动场景下的鲁棒性。本文机制通过突破传统标价与议价模式的信息壁垒与效率瓶颈, 为数字化物流平台规模化处理异质交易、优化资源配置提供了理论与技术支撑。

关键词

电子商务物流, 双边拍卖, 数字化交易, 资源配置优化

Design and Efficiency Optimization of Heterogeneous Bilateral Bidding Mechanism in E-Commerce Logistics

Lingyan Long¹, Ying Sun²

¹School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

²School of Music, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Apr. 30th, 2025; accepted: May 15th, 2025; published: Jun. 12th, 2025

文章引用: 龙凌艳, 孙盈. 电商物流中的异质双边竞标机制设计与效率优化[J]. 电子商务评论, 2025, 14(6): 1035-1046.
DOI: 10.12677/ecl.2025.1461831

Abstract

E-commerce-driven logistics demand is characterized by fragmentation, high frequency and strong timeliness, and the traditional freight transport model is difficult to meet the dynamic resource allocation needs due to information silos and local optimization. In view of the inefficiency of resource allocation due to information asymmetry, high transaction cost and local optimization in the freight market, this paper proposes a heterogeneous bilateral bidding and trading mechanism based on freight network nodes. First, by deconstructing the freight market, the heterogeneous freight targets are stratified according to the distance interval and realize homogeneous measurement, based on the design of standardized trading units of big data and intelligent algorithms: based on the division of cargo accumulation factor and distance interval, the design of homogeneous pricing model of the freight volume, the unified freight demand and supply of measurement dimensions, and reduce the complexity of the transaction. Secondly, we improve McAfee bilateral auction mechanism, propose multi-unit heterogeneous bid matching rules, realize price generation and automatic matching through sealed bidding between supply and demand sides, and rigorously prove that the mechanism satisfies incentive compatibility, individual rationality and budget balance constraints. The simulation results show that in the active market, traders can obtain the majority of the transaction surplus through real quotes (efficiency loss ≤ 0.02), and the success rate of the transaction is significantly improved with the reduction of the quotes' variance (up to 98%), which verifies the robustness of the mechanism in the high volatility scenario of e-commerce logistics. By breaking through the information barriers and efficiency bottlenecks of traditional bidding and bargaining models, the mechanism in this paper provides theoretical and technical support for digital logistics platforms to deal with heterogeneous transactions at scale and optimize resource allocation.

Keywords

E-Commerce Logistics, Bilateral Auctions, Digital Transactions, Resource Allocation Optimization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着电子商务的快速发展,物流需求呈现碎片化、高频次特征,传统货运交易模式难以适应数字化场景下的实时匹配与规模化处理需求。如何通过智能算法优化异质货运资源的高效配置,已成为电子商务供应链管理中的关键问题。货运枢纽、线路、车辆等基础资源奠定了货运网络化、规模化运营的基础。不同级别的货运枢纽即为货运网络的节点,也是货运信息平台的信息节点,汇聚了大量各类货运需求信息及车辆供给信息。满帮信息平台(货车帮与运满满公司合并而成)、慧聪网等货运信息平台以货运网络节点信息集散的方式为货运服务供需信息的收集、传递、存储、处理、输出提供支持,使货运采购更快速、更经济。我国 2017 年货运量总计 4,804,850 万吨(数据来源:2018 年统计年鉴),其中公路占比 77%,同时 2017 年全国约有 800 余万家运输经营业户(其中 90%以上为个体运输业户),现有数千家货运网络节点信息平台汇聚了大量货运交易原始数据,这些交易需求因运距、运量和积载因数的差异使得货运“标的”呈现异质特征。目前我国以公路货运为例,价格存在内部结构不合理、外部比价不合理、运力市场格局失衡及市场管理制度缺失等问题[1],缺失有序的市场机制导致运价传导机制失效[2],货运全要素生产效

率不高[3]。对竞标交易方式进行研究的是拍卖理论, 拍卖交易是“一种市场状态, 在明确的交易规则下通过参与者竞标来决定资源配置和价格”[4], 而传统的标价和议价交易方式无法规模化处理异质货运的交易: (1) 标价方式依靠人工搜索、比较价格而选取交易对象, 面临因卖家对货运价值或买家对货运成本不了解而产生信息不对称问题; (2) 议价方式的谈判形式产生高昂的交易成本, 且只能探索有限潜在交易对象, 使市场因高度分割而只能实现局部寻优。双边异质群体竞标交易是在给定规则下货运采购人和承运人平等竞争性报价, 由给定规则实现供需匹配并生成价格的交易方式, 有效突破信息不对称和局部寻优问题, 降低交易成本, 新机制真正提升货运平台异质采购交易效率[5]。

近年来, 随着物流数字化和共享经济的深度融合, 货运平台的交易模式逐步从传统线下撮合转向技术驱动的智能匹配与协同。满帮、货拉拉等主流货运平台普遍采用即时撮合模式, 通过算法整合货源与运力信息, 实现供需快速匹配。平台利用算法整合全国范围内的货源与运力信息, 动态调整运费以平衡供需。满帮集团通过智能匹配技术将货主发货时间从 2.27 天缩短至 0.42 天[6], 显著提升效率。然而, 动态定价可能加剧区域运力分布不均, 尤其在偏远地区易形成价格垄断。针对大宗物流需求, 部分平台采用合同物流模式, 通过签订长期协议整合货主与承运商资源, 提供端到端供应链服务。此类模式强调资源池化与流程标准化, 利用区块链技术实现物流信息透明化。新兴平台尝试引入共享经济理念, 例如中国“福佑卡车”的众包运力模式, 允许个体司机灵活接入平台接单。此类模式通过算法优化路径规划与拼单策略, 提升单车运输效率。此外, 基于区块链的货运平台探索去中心化交易, 利用智能合约自动执行支付与纠纷处理, 减少中介依赖。国外学者 Tully、Cohn [7][8]等研究表明由采购方发起的招标使物流市场效率提高 5% 到 40%, 平均成本节约 15% 到 20%。张季平等(2018) [9]指出物流中心平台运营模式创新对交易可持续发展有着重要影响。Vichery (1961) [10]在第二价格拍卖中通过设定报价最高者赢标, 但其以失标者中的最高报价为其支付, 这使得竞标者说真话为其最优策略。Myerson (1981) [11]从机制设计的角度研究激励问题, 通过设计满足激励相容和参与理性约束的规则来高效配置资源。叶文, 詹文杰 (2017)等对淘宝网、亚马逊等个人物品拍卖的网络交易平台进行了实证研究, 指出网络增价拍卖购买者的报价呈现特殊规律[12]。随着云存储等市场的发展, 双边拍卖的研究受到关注, 这类交易机制通过中立机构设计满足激励相容、预算平衡、匹配效率和参与理性原则的交易规则并组织市场[13]-[15]。很多学者研究了一对多结构下的货运招投标制度[16]-[19], 又讨论了交易中心基于马尔科夫过程的竞标机制及物流平台问题[20]-[22], 及从货运代理的角度分析了合同市场和现货市场条件下, 如何通过期货市场解决低效交易问题[23][24]。单边竞标模式无法借助货运信息平台规模化撮合交易, 从而限制了货运节点平台交易的效率。双边拍卖交易方式方面, McAfee 提出了单位同质物品的双边竞标机制, 且说真话为买卖双方的占优策略[25], Su Xiu Xu (2015)等、Kaidi Yang (2018)等、Kaidi Yang (2018)等[26]-[28]用双边拍卖方式来解决多种类型的运输成本优化及运营效率提升问题。这些研究多为单位商品双边竞标模型及单因素交易模型, 无法解决异质货运“标的”的规模化、低成本、高效交易需求。部分基于非线性规划模型的货运异质市场 VCG 等双边拍卖机制的求解是 N-P 难问题而无法处理批量交易[29][30]。国内学者对如何提升数字化物流平台的定价效率的机制研究还较少。

本文通过适度解构数字化物流平台市场, 将异质货运“标的”同质化计量并设计双边拍卖交易机制, 从而实现数字化物流平台的规模化高效交易, 主要创新点如下: (1) 针对货运节点聚集的异质货运需求, 按运输距离解构货运市场, 降低交易人报价维数, 对“标的”进行同质化计价, 为构建双边拍卖市场奠定基础; (2) 改进 McAfee 机制满足多单位交易需求, 机制自动匹配供需异质“标的”交易并生成价格, 充分降低交易成本, 并使模型无处理异质批量交易的计算障碍; (3) 通过穷举法严格证明本文机制满足激励相容约束, 并证明该机制满足参与理性约束、预算平衡约束; (4) 通过仿真分析, 证明在活跃市场中该机制能够保证交易者获得绝大部分的供应链价值增益。

2. 问题描述

以“双十一”电商大促为例，区域运力短缺与需求波动导致局部市场价格畸高，传统议价模式难以及时响应，需通过自动化竞标机制实现全局资源调度。各类货运企业由于资源禀赋、技术创新、运营能力等方面的差异，导致单位承运成本、效率等承运能力存在差异；需求方也因运输货品、需求季节、行业类别的差异，导致对相同的运输供给拥有不同的价格支付意愿，因此货运市场交易面临信息不对称问题[31]。货运市场中，每单货运交易的价格为： $\hat{P} = Q \times L \times P$ ，其中 Q 是运量(吨)， L 是运距(公里)， P 是单价(元/吨公里)。针对公路等不同货运市场，若通过采购方和货运方平等竞标来构建异质货运双边拍卖交易平台，并实现规模化交易，首先要解决交易“标的”同质化计量问题。

2.1. 货运计量及交易平台

本文研究限制在针对同类“标的”拥有一定数量采购方和一定数量承运方的活跃节点市场。为了使得不同的异质货物运输需求被基于相同标准进行竞争性报价，在尽可能大的范围内配置运输资源及市场机会，本节对货物运输的数量和运输的距离进行同质化处理，从而实现异质货物的同质化计量。

(1) 运量同质计量。每笔交易的运输数量，本文用重量来计算。被运输货物分为重货和泡货两类，重货指货运积载因数小于载货容积系数的货物，轻货则相反。本文定义货物的积载因子为 θ ，且 $\theta = V/W$ ，其中 V 表示货物的体积(立方米)， W 表示货物的重量(吨)。设定常量 θ' 立方米/吨，当货物积载因数 $\theta < \theta'$ 时为重货；当货物积载因数 $\theta > \theta'$ 时为轻货。从计算货物运费角度考虑，通常：长 $\text{cm} \times$ 宽 $\text{cm} \times$ 高 $\text{cm}/6000 =$ 以公斤为单位的体积重量。当货物体积折算的重量大于货物实际重量，一般按体积重量来计算；当货物体积折算的重量小于货物实际重量，将按实际重量来计算。设轻货基于体积的重量折算系数为 g ，轻货的计价重量为 $W^* = V \times g$ 。针对不同的行业大类，比如工业、消费品、农产品行业等，对不同的货运类别，比如航空、水运、陆运等，取不同的折算系数。采购人的采购量记为： $Q = W + W^*$ ，其中， W 表示重货计价货运吨数， W^* 表示轻货折算后计价货运吨数。

(2) 运距同质计价。我国平均运距总计为 424 公里，运距增加时货运单价相应下降[32]。为标准化因运距导致的运输报价做准备，将货运市场适度解构。将市场按运距划分为不同的运距区间市场： $[d_1, d_2), [d_2, d_3), \dots, [d_L, \infty)$ ，其中， $d_1 = 0$ 。从第 $l=1$ 到 $l=L$ 级市场进行循环竞标交易，如图 1。

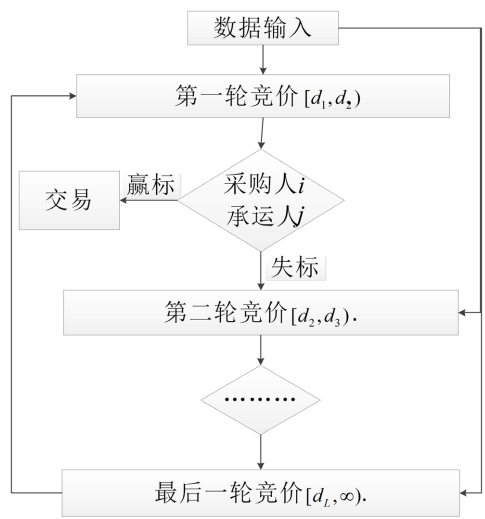


Figure 1. Bidding process in the N-M freight bilateral bidding market
图 1. N-M 货运双边竞价市场竞价流程

比如, 通常货运市场按运距分为三类: ① 运距在 0 到 100 公里的短程运输, 主要是城市运输, 包括入社区的最后一公里; ② 运距在 100 公里到 200 公里的中程运输, 主要是城市群内的城市间运输; ③ 运距在 200 公里的长途运输, 主要是跨区域干线运输, 此时 $l=1,2,3$, 即 $L=3$ 。在每个运距区间, 采购人支付单价仅与运输量有关, 不再针对运距长短改变单价。将运距为 $[d_l, d_{l+1})$ 的所有采购人和承运人构成的运距区间市场称为第 l 级市场, 在每个独立运距区间市场独立组织双边拍卖交易。为最大化承运人交易机会, 在某运距区间市场失标的承运人可进入后一个运距区间市场竞标。当实际运距大于赢标采购人所报里程区间上限时, 按赢标单价计算运费。由于单价随里程增加而下降的总体趋势, 这一规则下超过报价里程区间上限的部分无法享受价格优惠, 这使采购人按实际运距参与竞标为其占优策略。

(3) 电子商务平台。平台通过云计算实现竞标数据的实时处理, 并基于历史交易大数据生成参考价格, 辅助交易者锚定报价策略货运产生的前提: 运输价值 $\geq$ 运输价格 $\geq$ 运输成本。运输价值是商品因异地销售而产生的价格变化, 如 A 地的海鲜运到 B 地, 若每斤售价提高 20 元, 则运输价值的货币表现是 20 元。运输成本 = 会计成本 + 其它成本, 比如 A 地到 B 地, 若每斤海鲜运输耗费的油料、人工等直接成本为 10 元, 则该运输会计成本为 10 元, 其它成本包括运输过程因资源、资金占用产生的平均社会收益率补偿, 假设该部分补偿为 2 元, 则运输的财务成本为 12 元。承运方向平台支付的费用计入成本。交易总体供应链价值增益 = 运输价值 - 运输成本, 若每斤海鲜运输价值是 20 元, 运输财务成本为 12 元, 则每斤海鲜因异地运输服务带来的供应链价值增益为 8 元。采购人获得供应链价值增益供应链价值增益 = 运输价值 - 运输价格, 承运人获得供应链价值增益 = 运输价格 - 运输成本, 运输价格的高低使得买卖双方获得不同的供应链价值增益供应链价值增益。货运价值信息被采购人私有, 成本信息被承运人私有, 由于追求利润最大化, 货运采购人和承运人均有投机报价的动机, 从而导致集体不理性。市场组织者设计双边拍卖机制匹配供需并生成价格, 使得采购方和货运方说真话为占优策略, 将优化货运资源的配置。货运网络节点信息平台将处于相同运距区间的采购人和承运人聚集为同一子市场, 并进行交易。基于传统信息平台开发的交易功能包括: ① 交易者通过信息录入终端进行竞标报价; ② 通过中央云存储和计算中心进行数据集中处理, 并按照本文设计的交易规则匹配供需、生成价格; ③ 为帮助采购人锚定货运价值(私有信息)和承运人锚定承运成本(私有信息), 平台定期公布各节点系统运行前一工作日、前一周、前一月、前一季度的平均成交价格。

2.2. 报价定义

上文将货运市场解构为不同运输区间, 每个运输区间运输距离确定的单价不变[33] [34], 若按中短程、长途划分市场, $l=1,2,3$ 。传统市场单价应是指竞标人的报价应包含所需交易量、针对不同运距的报价, 最终成交市场价格须不高于采购人报价, 且不低于承运人报价。在运距区间 $(d_l, d_{l+1}]$ 上, 设采购人 i 的采购量为 Q_i , 采购单价报价为 α_{il} ; 承运人 j 的最大承运量为 Q_j , 承运单价报价为 γ_{jl} 。量的减函数, 如 1000 吨运量的单价应高于 5000 吨运量的单价。传统市场承运人的所有运力因会和不同的采购人成交, 所以因与不同采购人成交的量不同而单价不同。在本文机制中, 承运人可供交易的全部运力均投入市场, 由平台机制配置成交对象, 从而减少了分割交易带来的价格增加, 使得平台运输成本一定程度降低。

3. 交易模型

针对特定货运节点, 将货运市场解构为不同运输区间, 每个运输区间运输距离确定的单价不变[32] [33], 设共有 n 个采购人, m 个承运人参与运输距离为第 l 个运输区间的市场竞标, 设第 i 个采购人报价向量为: $b_i = \{O_{iu}, O_{iv}, Q_i, \alpha_{il}\}, i=1,2,\dots,n$, 其中, O_{iu} 表示采购人 i 的货运需求起点, O_{iv} 表示采购人 i 的货运需求终点, 且 O_{iu} 与 O_{iv} 之间的距离属于某区间 $(d_l, d_{l+1}]$, $l \in \{1,2,\dots,L\}$, Q_i 为采购人 i 采购运量,

$d_1 = 0$, α_{il} 表示在第 $(d_l, d_{l+1}]$ 运距区间的竞标中, 货运采购人 i 的竞标单位运输价格。设第 j 个货运承运人报价向量为: $s_j = \{Q_j, ((d_1, d_2], \gamma_{j1}), ((d_2, d_3], \gamma_{j2}), \dots, ((d_L, \infty), \gamma_{jL})\}$, $j = 1, 2, \dots, m$, 其中, Q_j 为承运人 j 的最大承运量, $d_1 = 0$, 由于货运距离由采购人决定, 所以承运人正对所有可能运距进行报价, 且 γ_{jl} 为竞标中承运人 j 在第 (d_l, ∞) 轮的竞标单位运输价格。承运人承运线路按采购人要求确定。现就竞标流程, 机制规则进行讨论。运输时间 t_j^l 为物流公司 j 在路段 l 上的运输时间, 客户时间要求 T_i 表示客户 i 对运输时间的最大容忍值, 而时间惩罚成本 P_j^l 表示物流公司 j 在路段 l 上因超时运输产生的惩罚成本。定义二元变量 $\alpha_{iQ_{ij}}^{ij}$, 其取值同样为 0 或 1 表示客户 i 在路段 l 上采购运量 q_j^l 的货物的招标是否被选中。

3.1. 竞标流程及原则

(1) 竞标流程。第一步: 提交竞标向量; 第二步: 进行第一轮 $(d_1, d_2]$ 运距区间的竞标, 供需匹配及价格生成规则见下文模型; 第三步: 若承运人 i 和承运人 j 赢得此轮竞标且退出市场, 系统自动将该成交量从系统核减; 否则承运人可继续进入后面运距区间竞标; 第四步: 进行第二轮 $(d_2, d_3]$ 运距区间竞标, 如此按运距由短至长依次进行。当市场组织者完成第 L 轮 (d_L, ∞) 的竞标后, 转回到首轮运距区间 $(d_1, d_2]$ 再次进行竞标, 如此在各运距区间市场进行循环竞标, 如图 1。在此过程中所有交易者可随时提交自己的竞标申请及向量, 并进入对应运距区间的竞标。假设每一轮竞标在时间 T 内完成, 如 $T = 5$ 分钟, 则能够较快速实现从第 1 轮到第 L 的竞标, 然后依据需要循环进行。

(2) 竞标原则。为保护竞标者的权利, 竞标过程中设置两个前提: ① 竞标为密封竞标, 竞标者的报价仅有市场组织者可查看, 并按规则确定赢标者及生成价格, 保护竞标者的隐私; ② 竞标者一旦按程序进行报价, 就是公开发出了要约, 一旦中标将无条件实施交易, 避免恶意竞标, 平台设置相关履约保证金及相关法律条款保障。

3.2. 承运匹配

上节将有 K (或 $K-1$) 个采购人与 Z (或 $Z-1$) 个承运人赢标, 总成交量 Q^* 。设采购人 i 成交 Q_i 单位, $i = 1, 2, \dots, K$ (或 $K-1$), 承运人 j 成交 Q_j 单位, $j = 1, 2, \dots, Z$ (或 $Z-1$); 设承运人 j 为采购人 i 承运 Q_{ij} 单位; C_{ij} 表示单位货运业务达成的交易成本; L_{ij} 表示货源地与承运车辆所在地距离; 设 $x_{ij} = 0$ 或 1, 当承运人 j 为采购人 i 服务时 $x_{ij} = 1$, 否则, $x_{ij} = 0$ 。为了使运输车辆与所需运送货物地点间总距离最小, 并提高整合度, x_{ij} 与 Q_{ij} 应满足下述规划:

$$\min \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^Z x_{ij} [Q_{ij} C_{ij} + L_{ij}]$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^K Q_{ij} = Q_i; \sum_{j=1}^Z Q_{ij} = Q_j, i = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, \dots, Z; \quad (1)$$

$$(x_{ij} - 1)(Q_{ij} - 0.01) \geq 0, i = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, Z \quad (2)$$

$$Q_{ij} \geq 0, x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, \dots, Z \quad (3)$$

$$Q^* = \sum_{i=1}^K Q_i = \sum_{j=1}^Z Q_j, i = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, \dots, Z \quad (4)$$

$$t_j^l \leq T_i + Y(1 - \alpha_{iQ_{ij}}^{ij}), \quad \forall i \in Z, j \in J, l \in E \quad (5)$$

$$\alpha_{iQ_{ij}}^{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, \dots, Z$$

上述规划中, Q_{ij} 取小数点后两位(当 $Q_{ij} > 0$ 时, 必有 $Q_{ij} > 0.01$); (1)式使得所有采购人与承运人的成

交易量得到满足; (2)式使得当采购人*i*与承运人*j*的交易量 Q_{ij} 不为零时, $x_{ij}=1$ 成立。当 $x_{ij}=1$, 代表承运人*j*为采购人*i*服务; (3)式表示变量的取值范围; (4)满足总运量平衡; (5)式表示物流公司运输货物的时间要小于等于客户所要求的货物运输时间。

资源优化配置的前提条件是交易市场能甄别交易对象的真实价值和真实成本信息, 并将货运资源配置到能发挥较大价值的采购人手中, 并使得成本较低的承运人赢得交易, 同时保护交易人的权益, 基于此思想, 现对该机制满足的一些性质进行论证。

定理 1: 该机制满足个体理性约束。

证明: 一个机制是满足个体理性的, 如果对所有的交易者*i*, 交易者*i*参与交易时的效用大于其不参与时的效用。这里暗含着如果交易者未在该机制实现交易, 其支付为0。假设承运人*j*服务于货运采购人*i*, 运距为 L_{ij} , 则采购人的*i*的效用将是 $(b_i - P^*) \times L_{ij}$, 承运人*j*的效用将是 $(P^* - s_j) \times L_{ij}$ 。由于 $b_i \geq P^*$, $P^* \geq s_j$, 所以赢标的每个交易者的效用均大于或等于零, 而交易人未通过该机制实现交易时的效用为零, 所以该机制是满足个体理性约束。

定理 2: 该机制满足预算平衡约束, 不需第三方补贴。

证明: (1) 当 $P_0 = 1/2(\alpha_{(K+1)l} + \gamma_{(Z+1)l}) \in [\alpha_{kl}, \gamma_{zl}]$ 时, 交易价格为 $P^* = 1/2(\alpha_{(K+1)l} + \gamma_{(Z+1)l})$, 所有采购方和承运方均按此价格支付, 使得机制运转无需第三方补贴; (2) 当 $P_0 = 1/2(\alpha_{(K+1)l} + \gamma_{(Z+1)l}) \notin [\alpha_{kl}, \gamma_{zl}]$, 则所有 $j < Z$ 的承运人以价格 γ_{zl} 出售其货运服务, 所有 $i < K$ 的采购人以价格 α_{kl} 采购货运服务, 且 $\gamma_{zl} < \alpha_{kl}$, 则此时采购方的支付大于承运方收取的费用, 多出的部分为平台收益, 仍然不需要第三方补贴。所以机制满足预算平衡约束。

4. 仿真分析

现实交易中, 货运价值信息被掌握市场行情的采购方私有, 而运输企业对运输成本信息也为私有。在本文所设计的规则中, 在同一运距区间内, 货运采购人或承运人由传统的两维报价(运量、单价), 转化为一维报价(针对基础报价函数的价格浮动率)。由于在特定货运节点内, 本文双边群体竞标交易机制是按不同运距区间分别进行, 因此不失一般性, 本节针对某运距区间进行, 货运采购方对单位运力的价值估计 α_i 基于基础报价函数的价格浮动率服从正态分布 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$, 承运人单位运力成本 γ_j 基于基础报价函数的价格浮动率服从正态分布 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$, 每轮竞标是独立的, 由于成本低于价值才成为有效市场, 所以设定 $\mu_1 \geq \mu_2$ 。取 $\mu_1 = 6$, $\mu_2 = 4.8$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.5$ 为参数值产生原始数据; 在每次交易中采购人的数量和承运人的数量均在区间[25, 50]内随机生成, 且服从均匀分布; 采购人及承运人采购运力数量在[100, 400]内随机生成(该采购量按前文运量同质计量系数折算后计量), 服从均匀分布。

4.1. 不同报价方差下交易结果分析

不同报价方差体现了相同货运资源对不同采购人的不同价值, 也体现了不同承运人运营成本的差异程度。不同报价方差下的交易结果的模拟, 可以体现双边拍卖机制在不同交易群体中的交易特质。从图2(a)可见(买方支付价格为采购方支付价格, 卖方收取价格为承运人收取价格), 交易价格随着方差的变大而提高; 从图2(b)可见, 交易成功率随着方差的变小而提高, 由约0.6高到0.98, 说明, 采购人的价值与承运人的成本越集中, 市场的交易成功概率越高。

4.2. 交易者市场供应链价值增益效率损失的仿真分析

上节通过理性分析显示活跃市场中交易者效率损失 $R(m, n)$ 较小。现通过仿真得到, 在说真话时不同方差下 $R(m, n) \leq 0.0005$, 如图3(a)。

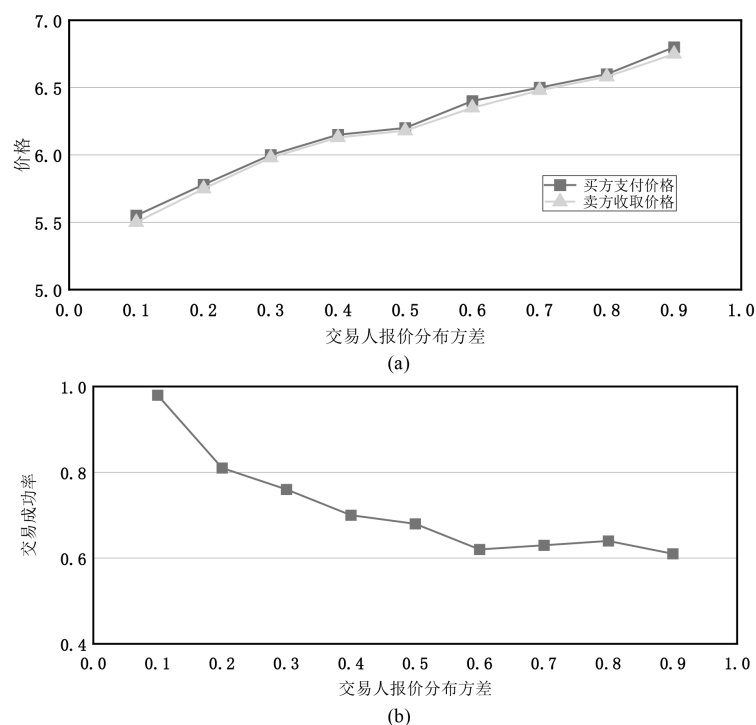


Figure 2. (a) Plot of the mean price of 100 trades with different variances; (b) Mean of success rate of 100 transactions with different variances

图 2. (a) 不同方差下 100 次交易价格均值图; (b) 不同方差下 100 次交易成功率均值

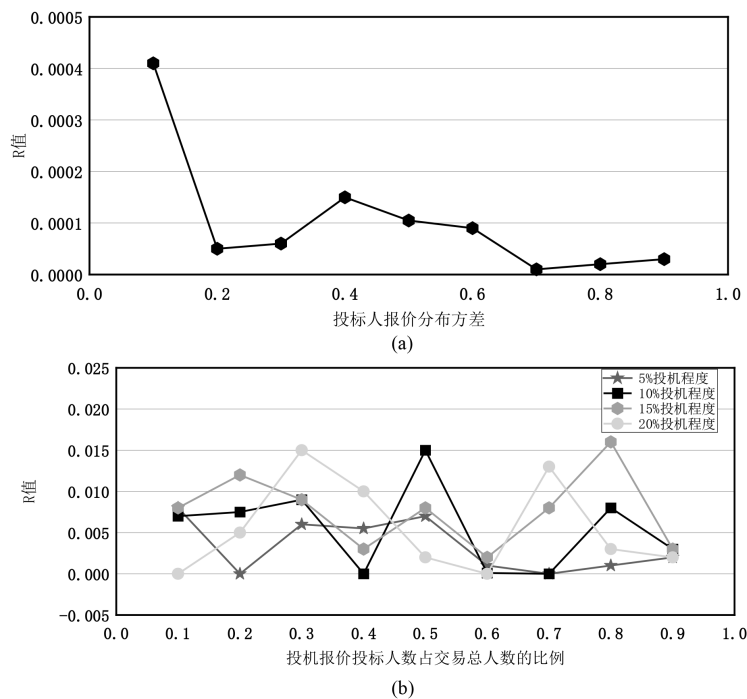


Figure 3. (a) Mean of 100 R-values with different variances; (b) 100 R-value averages for different speculative ratios

图 3. (a) 不同方差下 100 次 R 值均值; (b) 不同投机比例下 100 次 R 值均值

设市场投机人数占比 = 投机人数 / (采购方人数 + 承运方人数), 投标人投机程度 = |真实估价或成本 - 报价| / 真实估价。当投机人数占比分别为 10%~90% 时, 且投标人投机程度分别为 %, 10%, 15%, 20% 时, 均有 $R(m,n) \leq 0.02$, 如图 3(b)。说明该交易机制下, 交易者获得了绝大部分的供应链价值增益, 被市场组织者获取的仅是很小的部分 $R(m,n) \leq 0.02$, 保证了交易人的交易效率。

4.3. 机制在不同参与者规模下的适应性分析

为进一步验证机制在不同市场规模下的表现, 本文扩展仿真样本量, 对比分析在交易人数扩大情况下, 机制的成交效率与资源配置效果是否保持稳定。具体地, 将买方和卖方数量分别设置为 50、100 和 200 对, 其他参数与前节设定一致, 分别运行 100 次仿真实验。结果如图 4 所示, 在样本扩展后, 成交价格波动范围逐渐收敛, 说明机制在大规模市场中具备良好的价格稳定性。同时, 随着市场规模增加, 整体交易成功率略有提升, 市场出清效率进一步增强, 表明本文所设计机制具备可扩展性和普适性。

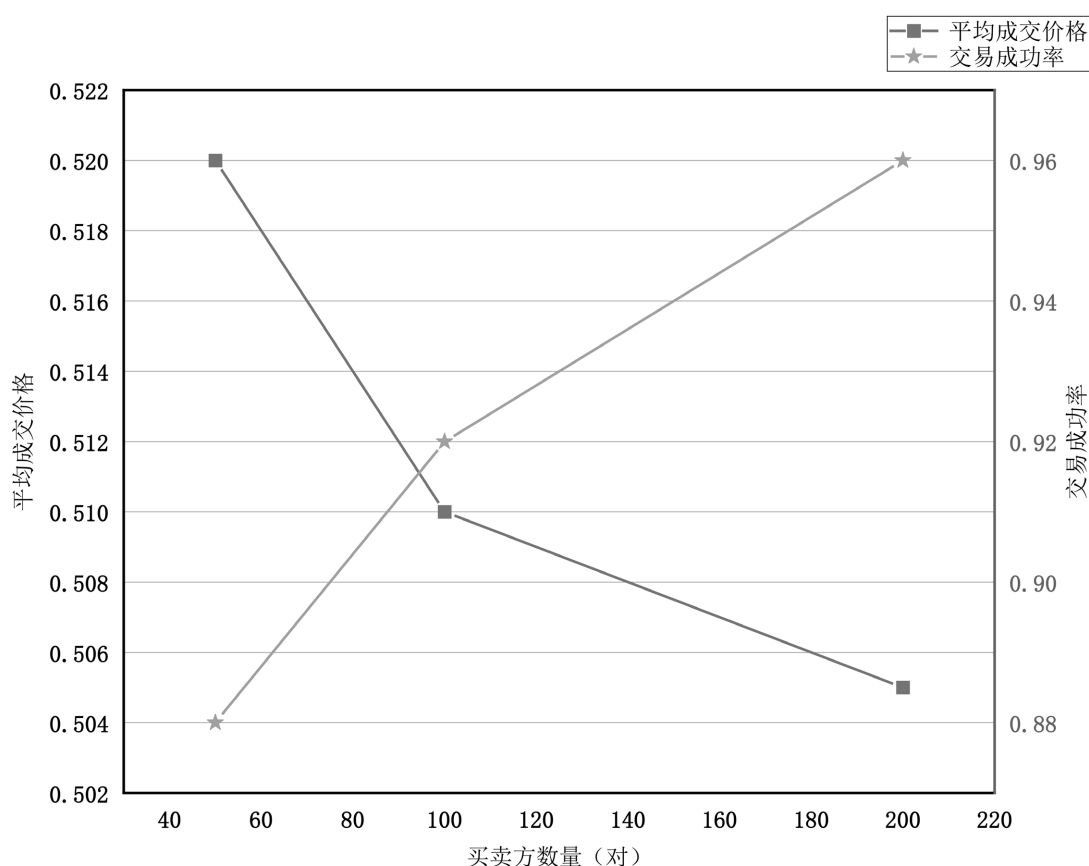


Figure 4. Plot of changes in average transaction price and success rate for different participant sizes

图 4. 不同参与者规模下交易价格均值与成功率变化图

4.4. 估值波动对机制稳定性的影响分析

考虑市场环境中参与者估值存在波动, 本文设置估值标准差 σ 为敏感性变量, 取值范围从 0.02 至 0.20, 模拟机制运行下的交易成功率与社会福利变化趋势。结果显示, 随着估值波动加剧, 机制的撮合成功率及社会福利均有所下降, 但整体仍保持在较高水平, 表明机制具备一定的稳定性和鲁棒性。如图 5(a)、图 5(b) 所示。

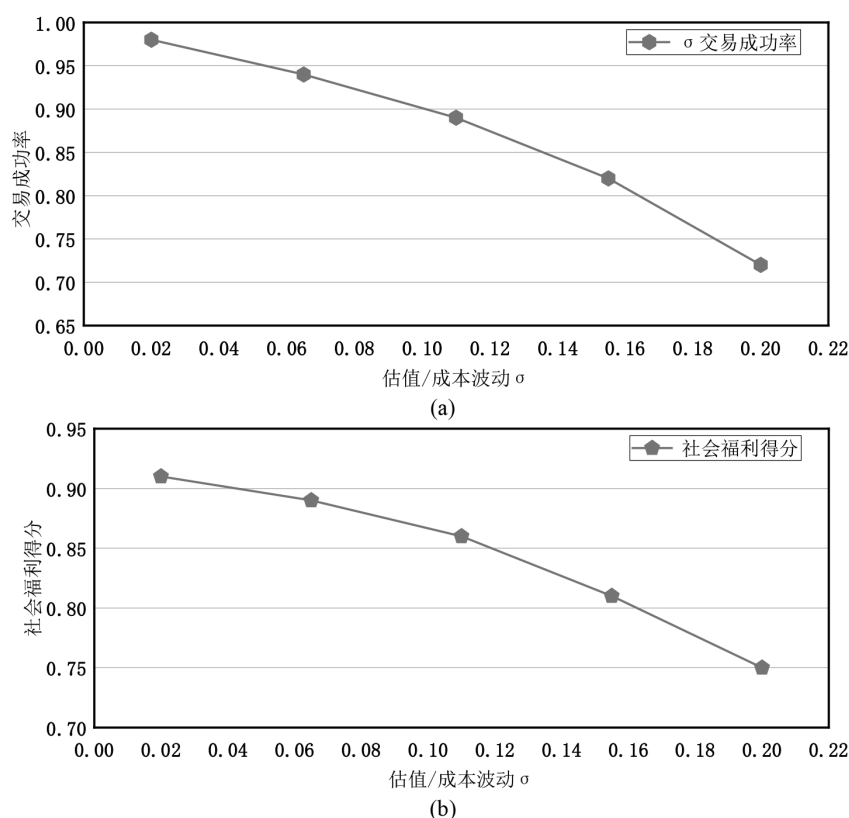


Figure 5. (a) Transaction success rate under σ change; (b) Social welfare score under σ change

图 5. (a) σ 变化下的交易成功率; (b) σ 变化下的社会福利得分

4.5. 本文机制与典型机制的性能对比分析

为验证所提机制在异质市场条件下的综合优势, 本文引入经典 VCG 机制和固定报价机制作为对照组, 采用相同的参与者设定与估值生成规则, 开展对比分析。与 VCG 机制相比, 本文机制在保持较高资源配置效率的同时, 实现了预算平衡, 避免了 VCG 机制依赖外部补贴的局限性, 体现出更强的可实施性。相较于固定报价机制, 本文机制能够充分利用供需信息, 实现更优的交易匹配与剩余分配效果, 从而在多变市场环境下展现出更高的适应性。此外, 在超过 95% 的仿真情境中, 本文机制均能保障买卖双方获得正向的交易效用, 体现出较强的激励相容性与个体理性, 进一步佐证了其在实际应用中的稳定性与可行性。

5. 结论

各级经济区域现有上千家货运网络节点信息平台, 为货运信息收集及集中处理提供了基础, 成为货运采购的主要决策依据, 而现存的标价交易方式因采购方的价值信息私有、承运方的成本信息私有而面临信息不对称问题, 议价交易方式因只能市场中局部搜索有限对象进行讨价还价, 导致市场被高度分割而无法全局寻优, 并导致较高的交易成本, 使得这两种交易方式均无法从市场整体来优化资源配置, 严重限制了平台撮合异质货运采购效率的提升。互联网技术为在线提交报价突破了空间和时间的限制, 使得基于货运节点信息平台的双边竞标交易方式成为可能。本文通过将不同体积及质量密度的货物进行同质化计量, 按运输距离解构货运市场, 为构建货运双边竞标交易市场创造了条件, 通过设计双边竞标

模型实现市场出清及价格生成。通过数字化竞标与自动化匹配, 为电商供应链提供了动态资源调度支持。例如, 在“双十一”等峰值场景中, 其全局寻优能力可缓解区域运力短缺与价格波动; 对农村电商或跨境物流, 标准化设计可整合中小承运商资源, 降低“最后一公里”成本。结合云计算与大数据分析, 平台可实时处理竞标数据并生成参考价格, 提升交易透明度与决策效率, 助力电商物流全链路优化。本研究为电子商务驱动的物流资源优化提供了理论依据与技术路径, 在保持模型普适性的同时, 为数字化供应链的智能化升级奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 戴宏. 我国公路货运物流服务定价机制研究[J]. 价格理论与实践, 2016(12): 74-76.
- [2] 余兴源. 完善道路货运价格机制的路径选择[J]. 价格理论与实践, 2016(9): 69-72.
- [3] 郁葱茏. 物流业全要素生产率及其影响因素分析[J]. 统计与信息论坛, 2018, 35(5): 50-57.
- [4] 郑鑫尧. 拍卖概览[M]. 北京: 立信会计出版社, 1998: 2-4.
- [5] 周乐欣, 腾可, 吕凡. 平台型物流采购双向竞标交易模式创新研究[J]. 管理学报, 2019(4): 624-632.
- [6] 满帮集团董事长兼首席执行官张晖: 数字化绿色化让物流更智慧[EB/OL]. <http://www.chinawuliu.com.cn/zixun/202311/21/620743.shtml>, 2025-05-11.
- [7] Tully, S. (2000) The B2B Tool That Really Is Changing the World. *Fortune*, **141**, 3-8.
- [8] Cohn, L., Bardy, D. and Welch, D. (2000) B2B: The Hottest Net Bet Yet? *BusinessWeek*, **1**, 36-37.
- [9] 张季平, 骆温平. 物流平台技术与运营模式协同创新研究[J]. 科研管理, 2018, 39(2): 19-27
- [10] Vickrey, W. (1961) Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders. *The Journal of Finance*, **16**, 8-37. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1961.tb02789.x>
- [11] Myerson, R. (1981) Optimal Auction Design. *Mathematics of Operations Research*, **6**, 58-73.
- [12] 叶文, 詹文杰, 邹轶, 等. 在线增价拍卖中跳跃式报价的实证研究[J]. 管理评论, 2017(4): 85-92.
- [13] Mi, Z.Q. and Zhang, M. (2014) A VCG Mechanism Based Storage Allocation Strategy in Cloud Computing Environment. *Journal of Communications*, **9**, 962-970.
- [14] Zhu, Y.Q. and Wu, W.L. (2015) A Double-Auction-Based Mechanism to Stimulate Secondary Users for Cooperative Sensing in Cognitive Radio Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **64**, 3770-3782.
- [15] Xu, X., Ma, J. and Xie, X. (2014) Double Auction Mechanisms on Markovian Networks. *Expert Systems with Applications*, **41**, 7032-7045. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.027>
- [16] Lin, S.M. (2011) Using Optimized Support Vector Machine to Perform Satisfaction Analysis for Online Auction Logistic Service. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, **5**, 167-177. <https://doi.org/10.4156/jdcta.vol5.issue4.21>
- [17] Kim, C. and Chang, W. (2011) Logistic Regression in Sealed-Bid Auctions with Multiple Rounds: Application in Korean Court Auction. *Expert Systems with Applications*, **38**, 3098-3115. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.102>
- [18] Kuyzu, G., Akyol, Ç.G., Ergun, Ö. and Savelsbergh, M. (2015) Bid Price Optimization for Truckload Carriers in Simultaneous Transportation Procurement Auctions. *Transportation Research Part B: Methodological*, **73**, 34-58. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.11.012>
- [19] Handoko, S.D. and Lau, H.C. (2016) Enabling Carrier Collaboration via Order Sharing Double Auction: A Singapore Urban Logistics Perspective. *Transportation Research Procedia*, **12**, 777-786. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.031>
- [20] Ağralı, S., Tan, B. and Karaesmen, F. (2008) Modeling and Analysis of an Auction-Based Logistics Market. *European Journal of Operational Research*, **191**, 272-294. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.08.018>
- [21] 宋娟娟, 刘伟. 双边市场理论视角下物流平台运营机制分析——以公路货运平台为例[J]. 中国流通经济, 2015, 29(10): 28-33.
- [22] 周乐欣, 王先甲, 刘红芳. 区域物流中心专用资产投资和运营招投标机制[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(8): 1429-1439.
- [23] 许垒, 卜祥智, 杨晓丽. 期权和固定承诺合同在货运业中的应用价值[J]. 系统管理学报, 2012, 21(5): 357-365.
- [24] 曾庆成, 胡祥培, 杨忠振. 集装箱码头泊位计划干扰恢复多目标模型[J]. 管理工程学报, 2013, 27(2): 154-159.

-
- [25] McAfee, R.P. (1992) A Dominant Strategy Double Auction. *Journal of Economic Theory*, **56**, 434-450. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(92\)90091-u](https://doi.org/10.1016/0022-0531(92)90091-u)
 - [26] Xu, S.X., Cheng, M. and Huang, G.Q. (2015) Efficient Intermodal Transportation Auctions for B2B E-Commerce Logistics with Transaction Costs. *Transportation Research Part B: Methodological*, **80**, 322-337. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.07.022>
 - [27] Yang, K., Roca-Riu, M. and Menéndez, M. (2019) An Auction-Based Approach for Prebooked Urban Logistics Facilities. *Omega*, **89**, 193-211. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.10.005>
 - [28] Masoud, N., Lloret-Batlle, R. and Jayakrishnan, R. (2017) Using Bilateral Trading to Increase Ridership and User Permanence in Ridesharing Systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **102**, 60-77. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.007>
 - [29] Lai, M., Cai, X. and Hu, Q. (2017) An Iterative Auction for Carrier Collaboration in Truckload Pickup and Delivery. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **107**, 60-80. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.09.006>
 - [30] Nassiri-Mofakham, F., Ali Nematbakhsh, M., Baraani-Dastjerdi, A., Ghasem-Aghaee, N. and Kowalczyk, R. (2015) Bidding Strategy for Agents in Multi-Attribute Combinatorial Double Auction. *Expert Systems with Applications*, **42**, 3268-3295. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.12.008>
 - [31] 周乐欣, 宋山梅, 李露. 大数据条件下物流采购竞标交易方式创新研究[J]. 贵州大学学报(社会科学版), 2018, 36(2): 63-68.
 - [32] 赵光辉. 运输市场价格与成本测算——以中国十省市道路货运市场为例[J]. 中国流通经济, 2017, 31(4): 94-103.
 - [33] Verdonck, L., Caris, A., Ramaekers, K. and Janssens, G.K. (2013) Collaborative Logistics from the Perspective of Road Transportation Companies. *Transport Reviews*, **33**, 700-719. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.853706>
 - [34] Qin, H., Luo, M., Gao, X. and Lim, A. (2012) The Freight Allocation Problem with All-Units Quantity-Based Discount: A Heuristic Algorithm. *Omega*, **40**, 415-423. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.05.005>