

8-19-2021

## Game Analysis of Government Procurement Contract Financing Based on Blockchain Technology

Haitao Huang

*Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;*

Qinming Liu

*Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;*

Chunming Ye

*Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;*

Chen Xiang

*Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Game Analysis of Government Procurement Contract Financing Based on Blockchain Technology

## Abstract

**Abstract:** Abstract: In view of the financing difficulties of small and medium-sized enterprise and the existing credit problems of financial supply chain, the block chain technology is applied to the financing mode of government procurement contract of the Ministry of Finance. *From the supply chain business aspect, the tripartite game model of government procurement departments, small and medium-sized enterprises and banks is built, and the decision of the main body is analyzed. From the block chain technology, the evolutionary game model is built and the selection of chain node is analyzed.* By MATLAB, the simulation experiments are carried out to verify the feasibility and accuracy of applying block chain technology to the financing mode of government procurement contract on incentive compatibility theory, which can provide countermeasures and suggestions to each participant in the mode.

## Keywords

small and medium-sized enterprises, supply chain finance, block chain, government procurement contract financing, evolutionary game

## Recommended Citation

Huang Haitao, Liu Qinming, Ye Chunming, Chen Xiang. Game Analysis of Government Procurement Contract Financing Based on Blockchain Technology[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(8): 1947-1958.

# 基于区块链技术的政府采购合同融资博弈分析

黄海涛, 刘勤明, 叶春明, 陈翔

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

**摘要:** 针对中小企业融资难以及供应链金融现有的信用问题, 将区块链技术运用进财政部提出的政府采购合同融资模式中。从供应链业务层面出发, 构建政府采购部门、中小企业和银行的三方博弈模型, 对各主体的决策进行分析; 从区块链技术层面出发构建演化博弈模型, 对链上各节点的选择进行分析。通过 MATLAB 软件进行仿真实验, 验证了利用激励相容理论将区块链技术运用进政府采购合同融资模式中的可行性和准确性, 为该模式中的各参与主体提供对策建议。

**关键词:** 中小企业; 供应链金融; 区块链; 政府采购合同融资; 演化博弈

中图分类号: F830; TP391 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X (2021) 08-1947-12

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0233

## Game Analysis of Government Procurement Contract Financing Based on Blockchain Technology

Huang Haitao, Liu Qinming, Ye Chunming, Chen Xiang

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Abstract: In view of the financing difficulties of small and medium-sized enterprise and the existing credit problems of financial supply chain, the block chain technology is applied to the financing mode of government procurement contract of the Ministry of Finance. *From the supply chain business aspect, the tripartite game model of government procurement departments, small and medium-sized enterprises and banks is built, and the decision of the main body is analyzed. From the block chain technology, the evolutionary game model is built and the selection of chain node is analyzed. By MATLAB, the simulation experiments are carried out to verify the feasibility and accuracy of applying block chain technology to the financing mode of government procurement contract on incentive compatibility theory, which can provide countermeasures and suggestions to each participant in the mode.*

**Keywords:** small and medium-sized enterprises; supply chain finance; block chain; government procurement contract financing; evolutionary game

## 引言

中小企业是我国市场经济发展和社会稳定的重要构成部分, 在解决就业问题、增强市场活力等方面起着重要作用。但一直以来中小企业资产规模小, 抗风险能力比较弱, “融资困难”很大程度上阻碍着中小企业的发展。

如何解决中小企业的发展问题受到了国内外

学者以及国家相关部门的广泛重视。文献[1]提出为中小企业提供替代性融资可以帮助传统融资企业缓解无法获得企业贷款、透支和个人信用卡等问题。Song 等<sup>[2]</sup>针对中小企业在运营融资中表现出的信息不对称问题, 通过信号传导的方式, 给出了相应的解决方案。有关部门相继出台了《政府采购支持中小企业发展暂行办法》《关于开展政

收稿日期: 2020-05-08 修回日期: 2020-07-13

基金项目: 国家自然科学基金(71840003, 71471116); 上海市自然科学基金(19ZR1435600)

第一作者: 黄海涛(1997-), 女, 硕士生, 研究方向为供应链金融。E-mail: 1973324578@qq.com

府采购信用担保试点工作的通知》等<sup>[3]</sup>政策措施，主要是政府部门加入供应链来有效解决中小企业的融资瓶颈。已有学者研究了将政府加入供应链的方式，何志婵<sup>[4]</sup>、邢祎<sup>[5]</sup>系统分析政府采购信用担保的流程和应用，给出了具体的建议。政府采购合同融资模式对中小企业来说是一次绝佳的机遇，是供应链金融的一个创新，供应链金融对中小企业来说更加包容和开放，是解决当前中小企业发展问题的重要手段，但在供应链金融的发展过程中，信用问题是很大的制约因素。

随着金融科技的发展，区块链、大数据、人工智能等技术给供应链金融提供了很大的支持，很多学者分析认为区块链技术一定程度上可以解决供应链金融的信任问题。Kshetri等<sup>[6]</sup>研究了区块链在供应链管理目标中影响作用，例如成本，质量，可靠性，可持续性和灵活性等方面。Christoph等<sup>[7]</sup>将区块链和交易成本理论进行理论联系，来讨论区块链对于供应链的影响。马小峰等<sup>[8]</sup>从技术层面使用区块链技术构建了一个供应链金融的服务平台，以方便供应链中各参与企业共同管理链上的信息流和资金流等。张路<sup>[9]</sup>对供应链金融的服务模式和区块链的激励机制进行详细的分析，就区块链和供应链金融的结合提出技术、环境、法律等方面的对策建议。由此可见，区块链等信息技术给企业的金融业务带来了很大的便利<sup>[10-11]</sup>。

现有文献很少涉及将区块链技术运用进政府采购合同融资这一特殊的供应链金融模式中，区块链技术的去中心化和分布式记账等特点一定程度上可以解决政府采购合同融资业务的信任问题，将区块链技术和政府采购合同融资模式相融合必将促进政府采购合同融资实现创新发展。本文提出将区块链技术运用进政府采购合同融资模式中，从供应链业务层面和区块链技术层面对政府采购合同融资模式进行博弈建模分析，综合不同因素对政府采购合同融资模式的影响，总结有利于政府采购合同融资模式顺利实现创新开展的对策建议，更好的解决中小企业的发展问题。

## 1 问题描述

政府采购合同融资是指以政府采购为平台来帮助中小企业融资，在政府采购中中标的中小企业凭中标通知书和政府采购合同向银行借款，以解决政府采购合同履行过程中的财务困难。根据中国政府采购网的中国政府购买服务信息平台，总结出政府采购合同融资的主要流程，如图1所示。

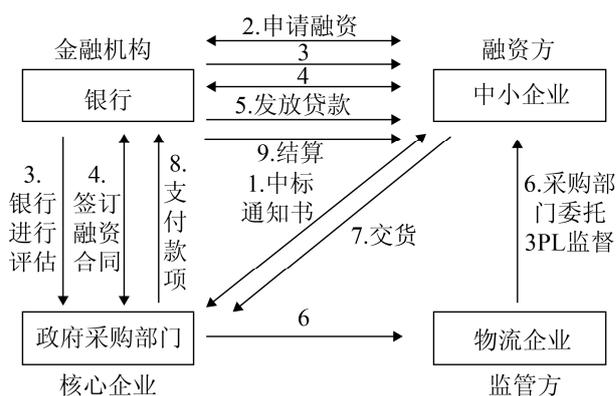


图1 政府采购合同融资业务流程

Fig. 1 Business process of government procurement contract financing

目前市场信息大都来自于各企业的业务系统，缺乏有效的监督和管理，单据的真实性不好把握，导致交易市场信息不透明和不够准确，一定程度上影响了市场交易系统的整体效率，加大了采购部门在选择中标中小企业时的监管成本。为提高市场信息质量，本文提出将区块链技术运用进政府采购合同融资模式中，采用博弈论的方法，一方面从供应链业务各主体决策的角度出发，对加入区块链的政府采购合同融资过程进行多方博弈分析，以期各主体收益最大化分析得出纳什均衡，论证该融资模式可行且能推动中小企业的良性发展；另一方面从区块链各节点的活动出发，在使用激励相容机制的基础上对各节点进行博弈分析，以期各节点能遵守约定使基于区块链的政府采购合同融资模式得以顺利进行，从而使用区块链技术来优化政府采购合同融资业务，有效地促进中小企业的发展问题。

## 2 供应链业务层面的政府采购合同融资模式的博弈模型

政府采购合同融资是供应链金融的一种创新, 被作为供应链中“核心企业”的政府采购部门可以很好解决中小企业缺乏固定抵押物和缺乏信用的问题<sup>[12]</sup>。这里将博弈论的思想应用于政府采购合同融资模型中, 根据政府采购合同融资的流程, 构建政府采购部门、中小企业、银行三方博弈模型<sup>[13]</sup>, 分析此博弈模型的均衡, 为政府采购合同融资模型中的不同参与主体提出合理的建议。

### 2.1 模型假设与建立

(1) 博弈模型中有政府采购部门、中小企业、银行 3 个决策主体, 3 个决策主体均为“理性人”, 3 个参与主体的决策非同时进行的, 是一个动态博弈的过程。

(2) 假设政府采购部门选择各企业的价格无差别, 选择中小企业需付出的总成本  $V_1$  (信息成本和风险成本) 比选择大企业的总成本  $V_2$  大, 但选择中小企业可以获得额外的社会效益  $E$ 。

(3) 假设此合同中小企业的投资收益率为  $e$ , 采购合同的金额为  $W$ , 银行存款利率为  $r_0$ , 银行放贷率为  $\lambda$ , 银行贷款给中小企业的贷款利率为  $r_1$ , 这里假设以一个时间单位为贷款周期, 且如果银行选择了“惜贷”, 则中小企业无法继续与政府的合同。

(4) 政府采购部门在委托第三方物流企业(3PL)监管该订单时, 政府采购部门给 3PL 的契约支付为  $\phi$ , 中小企业被监管完成订单所要付出的额外努

力成本为  $A$ , 假设政府采购部门找 3PL 监管的概率为  $\mu$ 。

(5) 中小企业的违约指的是没有按期交付指定的货物, 假设此时政府不用支付合同款  $W$ , 但需要支付贷金  $\lambda W$  给银行, 中小企业在有无 3PL 监管的情况下违约的概率不同, 在有 3PL 监督的情况下中小企业违约的概率为  $P_0$  (假定  $0 < P_0 < 0.5$ ), 在没有 3PL 监督的情况下违约的概率假定为  $2P_0$ , 违约情况下中小企业会获得的惩罚合计为  $T$ 。

由上面假设, 可得三方博弈树<sup>[14]</sup>如图 2 所示。

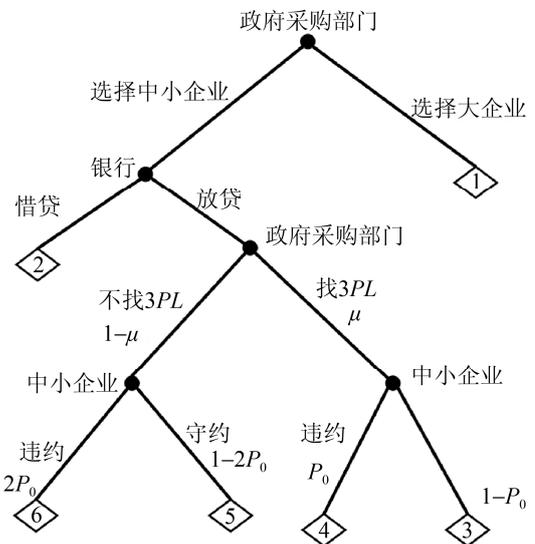


图 2 政府采购合同融资模式下政府采购部门、银行和中小企业的博弈树

Fig. 2 Game tree of government procurement departments, banks and smes in the mode of government procurement contract financing

通过分析图 2 博弈树中三方的博弈收益, 得出 6 种收益情况, 如表 1 所示。

表 1 政府采购部门、银行和中小企业的博弈收益情况

Tab. 1 Gaming benefits of government procurement departments, banks and smes

决策主体	1	2	3	4	5	6
政府	$-V_2$	0	$E - V_1 - \phi$	$E - V_1 - \lambda W - \phi$	$E - V_1$	$E - V_1 - \lambda W$
银行	0	0	$\lambda W(r_1 - r_0)$	$-\lambda W r_0$	$\lambda W(r_1 - r_0)$	$-\lambda W r_0$
中小企业	0	0	$\lambda W(e - r_1) - A$	$\lambda W(e + 1) - T$	$\lambda W(e - r_1)$	$\lambda W(e + 1) - T$

## 2.2 模型分析

本文以政府采购部门选择中小企业, 银行选择放贷为前提, 因为支持中小企业发展, 契合国家经济与社会发展的政策目标, 政府采购部门选择中小企业合作能够产生的社会效益不可估量。银行在国家大力支持中小企业发展的环境下, 选择放贷不仅能够响应国家政策, 还可以给自己树立很好的形象。接下来主要分析在政府采购部门选择中小企业合作, 银行选择放贷后的各参与主体在不同决策下的收益情况。

(1) 将政府采购部门作为研究对象

根据收益情况可得:

政府采购部门选择找 3PL 进行监管时的期望收益为:

$$U_1 = (1 - P_0)(E - V_1 - \phi) + P_0(E - V_1 - \lambda W - \phi) = E - V_1 - P_0\lambda W - \phi \quad (1)$$

政府采购部门选择不找 3PL 进行监管时的期望收益为:

$$U_2 = (1 - 2P_0)(E - V_1) + 2P_0(E - V_1 - \lambda W) = E - V_1 - 2P_0\lambda W \quad (2)$$

当政府采购部门选择找 3PL 进行监管的期望收益大于不找 3PL 监管的收益时, 理性的采购部门会选择找 3PL 监管, 即  $U_1 \geq U_2$ 。

$$E - V_1 - P_0\lambda W - \phi \geq E - V_1 - 2P_0\lambda W$$

$$\text{化简可得: } P_0 \geq \frac{\phi}{\lambda W}$$

已知中小企业在有 3PL 监督的情况下, 违约的概率  $P_0 \geq 0$  恒成立, 所以  $\frac{\phi}{\lambda W}$  越小, 越趋于 0,

不等式  $P_0 \geq \frac{\phi}{\lambda W}$  越有可能成立, 政府采购部门也就越有可能选择找 3PL 监管, 即政府采购部门给 3PL 的契约支付  $\phi$  越小, 政府采购部门越趋向于选择找 3PL 进行监管, 反之契约支付  $\phi$  越大, 政府采购部门越会因成本问题犹豫委托 3PL; 贷款金额  $\lambda W$  越大, 采购部门越会找 3PL 进行监管, 此时订单相对较大, 找 3PL 监督更加稳妥, 降低中小企业违约的可能性, 也就是降低自己的损失。

(2) 将中小企业作为研究对象

根据收益情况可得:

中小企业选择履约时的收益为:

$$U_3 = \mu(1 - P_0)[\lambda W(e - r_1) - A] + (1 - \mu)(1 - 2P_0)\lambda W(e - r_1) - \mu A + \lambda W(e - r_1) - P_0[(2 - \mu)\lambda W(e - r_1) - \mu A] \quad (3)$$

中小企业选择违约时的收益为:

$$U_4 = \mu P_0[\lambda W(e + 1) - T] + (1 - \mu)2P_0[\lambda W(e + 1) - T] = (2 - \mu)P_0[\lambda W(e + 1) - T] \quad (4)$$

当中小企业选择履约的收益大于违约的收益时, 理性的中小企业会选择履约, 即  $U_3 \geq U_4$ 。

$$-\mu A + \lambda W(e - r_1) - P_0[(2 - \mu)\lambda W(e - r_1) - \mu A] \geq (2 - \mu)P_0[\lambda W(e + 1) - T]$$

$$\text{化简可得:}$$

$$\mu \geq \frac{\lambda W[2P_0(2e - r_1 + 1) - e + r_1] - 2P_0T}{\lambda WP_0(2e - r_1 + 1) - P_0T + (P_0 - 1)A}$$

已知政府采购部门选择找 3PL 进行监管的概率  $\mu \geq 0$  恒成立, 所以  $\frac{\lambda W[2P_0(2e - r_1 + 1) - e + r_1] - 2P_0T}{\lambda WP_0(2e - r_1 + 1) - P_0T + (P_0 - 1)A}$  越小, 越趋于 0,

不等式  $\mu \geq \frac{\lambda W[2P_0(2e - r_1 + 1) - e + r_1] - 2P_0T}{\lambda WP_0(2e - r_1 + 1) - P_0T + (P_0 - 1)A}$  越

有可能成立, 中小企业也就越有可能选择履约, 即贷款金额  $\lambda W$  越大, 中小企业就越会选择履约, 此时订单相对较大, 根据上面分析政府采购部门倾向于找 3PL 来监管中小企业的作业, 而且中小企业在订单较大的情况倾向于不敢铤而走险; 投资收益率  $e$  越大, 中小企业更趋于选择履约; 违约情况下的惩罚  $T$  越大, 中小企业越会控制自己不去违约, 不会为了一时利益而断了自己未来的发展。

在政府采购合同融资模式中, 政府部门要充分发挥其引导作用, 在扶持中小企业发展的同时, 要加大监管力度, 防止中小企业违约, 尤其是订单规模较大时, 会选择委托 3PL 来监管; 对于中

标后的中小企业而言, 可以方便快捷的获得交易所需的贷款金额, 但此时的中小企业会被 3PL 监管, 而且在区块链的大环境中, 中小企业选择违约时需要修改链中的信息来掩盖自己, 此时会产生高昂的成本, 违约行为被发现且全网广播后, 带来的信誉损失比单纯的供应链环境下要大得多, 即违约所带来的惩罚  $T$  会被无限放大, 不能因为眼前的利益选择违约使自己的声誉受到损害, 在未来的发展中付出惨痛的代价, 作为一个理性的中小企业, 此时违约的概率应该是极低的。因此会产生政府采购部门、银行、中小企业的纳什均衡(中小企业, 放贷, 找, 守约)。

### 3 区块链技术层面的政府采购合同融资博弈模型

区块链是一种共享的分布式账本技术, 是基于分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新形势应用技术。区块链的特性有: 去中心化、交易透明、开放共识、不可篡改可追溯。区块链技术建立了一种新的信任机制, 为共享经济的信任危机提供了解决方案, 通过区块链技术构建共享经济的底层构架, 有望做到去中心化以实现真正的共享<sup>[15]</sup>。

本文提出的将区块链技术运用进政府采购合同融资模式的具体思路是:

(1) 政府采购部门与参与竞标的各企业共同搭建一个联盟链, 加入该联盟链需要通过以哈希函数为基础的节点认证后录入企业的相关核心信息, 并利用加密规则生成相应的公钥和私钥。参与竞标的各企业可将自己的每笔交易记录上链来积累自己的信用数据, 要求每笔交易记录真实不可篡改且可追溯<sup>[16]</sup>;

(2) 链上任何有权限的节点企业均可以快速获取与其相关的可追溯的完整账本信息, 政府采购部门根据参与竞标的各企业的账本信息结合各企业的基本信息特征与发展需求等选择中标的中小企业。政府采购部门向中标的中小企业发放中标通知

书, 双方签订合约, 并将中标通知书、合约等凭证以电子形式上链;

(3) 将银行、物流企业以及上游供应商等相关企业引入该联盟链, 此时中小企业与政府采购部门的合约共识已生效, 银行对链上各节点的信用数据进行评估后, 与政府采购部门、中小企业签订融资协议, 并将相关凭证上链。银行向中小企业发放的每笔资金以及中小企业的用处全部录入系统, 发放每笔资金后, 中小企业的融资额度也会及时的发生变化, 做到每一分钱的动向都是透明可视的、可追溯的;

(4) 链上的债权凭证可灵活拆分, 拆分为在全网达成共识后可上链, 且不可篡改, 所以政府采购部门的信用可一层一层传递给全链供应商, 提高全链的融资效率。物流企业在接受委托后对中小企业的订单完成情况实时监控, 货品的采购、生产与运输等状态信息实时上链, 做到链上的各参与方可以实时掌握货品等信息;

(5) 在区块链系统中, 政府采购部门在验收货物后, 合约的状态发生变化, 应收账款根据指令自动付款到银行的指定账户。最后, 银行扣除融资的利息以及相关费用等给中小企业进行结算, 至此融资协议的合约完成, 融资合约在系统中的状态发生变化, 并由银行在全链广播。这笔交易记录存在区块链上, 真实不可篡改、可追溯, 对于该供应链上的各参与企业来说, 可作为日后银行授信依据。

在融资模式分析的基础上, 从该区块链各节点出发进行博弈建模, 分析基于区块链技术的政府采购合同融资业务模式中的各节点是否会遵循相关协议实现上链后信息共享, 从而使政府采购合同融资模式顺利进行。假设各共识节点都是理性的个体, 都会选择使自己利益最大的策略, 故区块链会存在拜占庭将军问题, 在不清楚其他节点选择的情况下, 每个节点都会选择不合作的行为来减少自身的损失, 这样就会出现不利于集体的纳什均衡{不合作, 不合作, ……}, 也就是造成了集体非理性的结果。基于诺贝尔经济学奖获得者莱昂

尼德·赫维茨提出的激励相容机制，对该区块链中按照系统规则进行共享信息记账的节点进行激励，同时对违反规则的节点给予惩罚，进而让各节点放心去合作<sup>[17]</sup>。

### 3.1 模型假设与建立

(1) 该博弈模型是建立在区块链中任意两节点之间的，假设博弈主体是节点  $a$ ,  $b$  博弈主体均为“理性人”；

(2) 链中各节点处于信息不对称的状态，博弈时均有 2 个行动策略可供选择，“守约”指该节点遵守规则共享出诚实的信息，“违约”指该节点违反规则不共享信息或者共享出的信息是不诚实的。博弈主体 1 节点  $a$  守约的概率为  $x$ ，违约的概率为  $1-x$ ，博弈主体 2 节点  $b$  守约的概率为  $y$ ，违约的概率为  $1-y$ ，其中  $(0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1)$ ；

(3) 假设用信任程度  $R_i$  来表示各节点共享的信息量以及准确性，信任程度  $R_i$  越高，接受该信息的节点所获得的收益也就越高。不同企业因技术原因对别的企业共享信息的接受、整理以及运用的能力也不同，故可以用  $H_i$  来表示该企业对共享信

息的接受以及处理能力，从而反映了从该共享信息中可所获取的收益；

(4) 假设该系统中银行、政府采购部门、参与竞标的所有企业的总数为  $N$ ，该系统分配给各节点的初始奖励均为  $M/N$ 。共享信息的节点除了会获得系统的初始奖励外，还会因共享信息获得一定的激励，用  $m$  来表示共享信息所获得的激励的系数。当节点  $a$  守约而节点  $b$  违约时，节点  $b$  会获得节点  $a$  共享信息所带来的收益以及系统的惩罚  $P$ 。当参与博弈的各节点同时选择守约时，各节点都可以分得  $Z$  的协同收益；

(5) 假设企业共享信息的成本包括准备成本和信息成本 2 个部分，准备成本指的是企业加入该区块链系统时在信息技术以及信息交流沟通等方面所投入的成本，用  $C_i$  来表示；信息成本指的是共享信息的潜在风险成本，用  $\varepsilon$  来表示信息成本的系数，这里假定  $\varepsilon < m$ ，即共享信息获得激励的系数大于共享信息带来的潜在风险成本的系数。

节点  $a, b$  的博弈收益矩阵如表 2 所示。

表 2 节点  $a, b$  的博弈收益矩阵  
Tab. 2 Game payoff matrix of nodes  $a$  and  $b$

策略组合		节点 $b$	
		守约 $y$	违约 $1-y$
节点 $a$	守约 $x$	$(M/N + mR_1 + H_1R_2 + Z - C_1 - \varepsilon R_1, M/N + mR_2 + H_2R_1 + Z - C_2 - \varepsilon R_2)$	$(M/N + mR_1 - C_1 - \varepsilon R_1, M/N + H_2R_1 - P)$
	违约 $1-x$	$(M/N + H_1R_2 - P, M/N + mR_2 - C_2 - \varepsilon R_2)$	$(M/N, M/N)$

### 3.2 模型分析

(1) 将节点  $a$  作为研究对象；

根据收益矩阵可得：

当节点  $a$  选择守约时的期望收益为：

$$U_{a1} = y(M/N + mR_1 + H_1R_2 + Z - C_1 - \varepsilon R_1) + (1-y)(M/N + mR_1 - C_1 - \varepsilon R_1) + M/N + mR_1 - C_1 - \varepsilon R_1 + y(H_1R_2 + Z) \quad (5)$$

当节点  $a$  选择违约时的期望收益为：

$$U_{a2} = y(M/N + H_1R_2 - P) + (1-y)M/N = M/N + y(H_1R_2 - P) \quad (6)$$

因此，节点  $a$  的平均期望收益为：

$$\bar{U}_a = xU_{a1} + (1-x)U_{a2}$$

则节点  $a$  选择守约的复制动态方程为：

$$F_{(x)} = \frac{dx}{dt} = x(U_{a1} - \bar{U}_a) = x(1-x)(U_{a1} - U_{a2}) = x(1-x)[y(Z + P) + mR_1 - C_1 - \varepsilon R_1] \quad (7)$$

令  $F_{(x)} = \frac{dx}{dt} = 0$ ，可以得到 3 个可能的均衡解：

$$x_1^* = 0, \quad x_2^* = 1, \quad y^* = \frac{C_1 + \varepsilon R_1 - mR_1}{Z + P}$$

(2) 将节点  $b$  作为研究对象:

根据节点  $a$  同理可得节点  $b$  选择守约的复制动态方程:

$$F_{(y)} = \frac{dy}{dt} = y(U_{b1} - \overline{U}_b) = y(1-y)(U_{b1} - U_{b2}) = y(1-y)[x(Z+P) + mR_2 - C_2 - \varepsilon R_2] \quad (8)$$

令  $F_{(y)} = \frac{dy}{dt} = 0$ , 可得 3 个可能的均衡解:

$$y_1^* = 0, \quad y_2^* = 1, \quad x^* = \frac{C_2 + \varepsilon R_2 - mR_2}{Z + P}$$

(3) 由节点  $a$  和节点  $b$  的复制动态方程可得出该博弈模型的 5 个均衡点:  $A(0,0)$ ,  $B(0,1)$ ,  $C(1,0)$ ,  $D(1,1)$ ,  $E(\frac{C_2 + \varepsilon R_2 - mR_2}{Z + P}, \frac{C_1 + \varepsilon R_1 - mR_1}{Z + P})$ 。

分别对节点  $a, b$  求关于  $x, y$  的偏导数, 可得雅可比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\delta F_{(x)}}{\delta x} & \frac{\delta F_{(x)}}{\delta y} \\ \frac{\delta F_{(y)}}{\delta x} & \frac{\delta F_{(y)}}{\delta y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} (1-2x)[y(Z+P) + mR_1 - C_1 - \varepsilon R_1] & x(1-x)(Z+P) \\ y(1-y)(Z+P) & (1-2y)[x(Z+P) + mR_2 - C_2 - \varepsilon R_2] \end{bmatrix}$$

可根据雅可比矩阵的局部稳定性分析法  $\det J > 0, \text{tr} J < 0$  来分析该系统各均衡点演化稳定性, 如表 3 所示, 在 5 个均衡点中只有  $A$  点(违约, 违约)和  $D$  点(守约, 守约)具有局部稳定性, 也就是该演化博弈系统的演化稳定策略, 即在系统稳定时, 系统总各节点都会选择不共享信息, 或者都会选择共享信息;  $B, C$  点为不稳定点,  $E$  点为鞍点。

由表 3 可以得到节点  $a, b$  的动态演化博弈过程, 如图 3 所示。

表 3 系统均衡点演化稳定分析

Tab. 3 System equilibrium point evolution stability analysis

均衡点	$\text{tr} J = a_{11} + a_{22}$	$\det J = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$
$A(0,0)$	$(m - \varepsilon)(R_1 + R_2) - (C_1 + C_2) < 0$	$[(m - \varepsilon)R_1 - C_1][(m - \varepsilon)R_2 - C_2] > 0$
$B(0,1)$	$Z + P + (m - \varepsilon)(R_1 - R_2) - (C_1 - C_2) > 0$	$[Z + P + (m - \varepsilon)R_1 - C_1][-(m - \varepsilon)R_2 + C_2] > 0$
$C(1,0)$	$Z + P + (m - \varepsilon)(R_2 - R_1) - (C_2 - C_1) > 0$	$[Z + P + (m - \varepsilon)R_2 - C_2][-(m - \varepsilon)R_1 + C_1] > 0$
$D(1,1)$	$-2(Z + P) - (m - \varepsilon)(R_1 + R_2) + (C_1 + C_2) < 0$	$[Z + P + (m - \varepsilon)R_1 - C_1][Z + P + (m - \varepsilon)R_2 - C_2] > 0$
$E(x^*, y^*)$	0	$Q$

注:  $Q = -[C_2 - (m - \varepsilon)R_2][Z + P - C_2 + (m - \varepsilon)R_2][C_1 - (m - \varepsilon)R_1][Z + P - C_1 + (m - \varepsilon)R_1]$

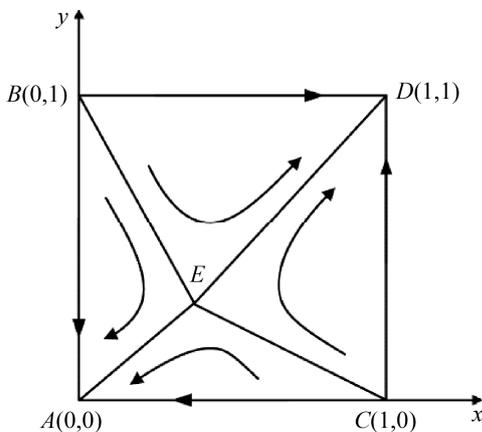


图 3 节点  $a, b$  的演化相位图

Fig. 3 Evolution phase diagram of nodes  $a, b$

从图 3 可以看出正方形区域被  $B, E, C$  三点所组成的折线分成了 2 个区域, 两区域面积的大小代表了该系统最终向该方向的演化概率, 两区域面积的大小取决于鞍点  $E$  点的位置,  $x^*$  和  $y^*$  的值越小, 收敛于  $D$  点的区域面积就越大(用  $S_D$  表示), 即系统中各节点都选择共享信息的可能性就越大。

当企业共享信息所带来的成本  $C_i$  和  $\varepsilon$  固定时, 鞍点的位置受  $Z, P, m$  和  $R_i$  影响, 由  $S_D$  对  $Z, P, m$  和  $R_i$  的偏导数可得出结论: 当共享信息的成本固定时, 各节点从系统顺利开展合作中所得到的协同收益越大; 各节点选择守约共享信息而获得激励

的系数越大；各节点间的信任度越高；一方守约另一方违约时违约方获得系统的惩罚越大，该演化博弈系统向  $D$  点演化的概率就会越高，即系统各节点更倾向于都选择守约共享信息。

## 4 仿真分析

根据上述博弈分析可知演化结果主要受鞍点位置的影响，用 MATLAB 软件对上述演化博弈模型中的演化过程进行仿真来验证不同因素变化对演化结果的影响，从而验证上述演化博弈模型分析结果的正确性。因演化结果主要取决于鞍点的位置，所以下面的仿真模型设置变化的因素有：协同收益  $Z$ 、违约惩罚  $P$ 、激励系数  $m$  和信任程度  $R_i$ 。本文所有仿真的参数值主要是根据各因素变化对区块链系统中各节点的行动选择的敏感性而设定的，并不代表现实中区块链系统中的各节点企业的

收益值，实际应用时应视具体情况分析赋值<sup>[18]</sup>。

假设模型仿真的参数初值设定为： $C_1=C_2=9$ ， $\epsilon=0.3$ ， $Z=3$ ， $P=9$ ， $m=0.5$ ， $R_1=R_2=20$ ，节点  $a$ 、 $b$  的演化相位图如图 4(a)所示；若节点  $b$  守约共享信息概率  $y$  的初始值设置为 0.5，将节点  $a$  守约共享信息概率  $x$  的初始值设置为 0.2, 0.5, 0.8，仿真结果如图 4(b)所示。

### 4.1 协同收益 $Z$ 变化的仿真分析

保持其他参数初值不变，令  $Z=5$ ，仿真结果如图 5 所示，在其他参数不改变的情况下，协同收益  $Z$  增加，更多的初始点会向(1,1)收敛，即各节点都选择守约共享信息的可能性就越大；节点  $a$  选择守约的概率向 1 收敛的速度有所加快，即提高系统的协同收益可以促进各节点企业共享信息顺利开展合作。

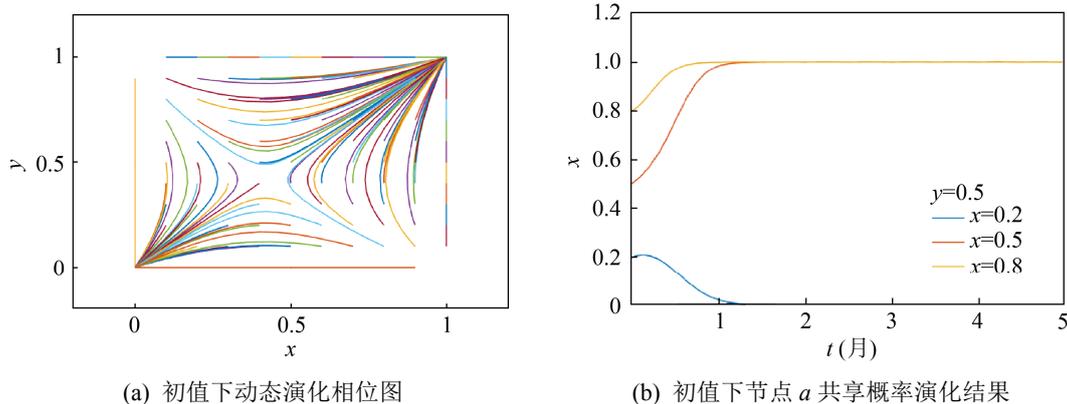


图 4 参数设置初值下的系统动态演化结果

Fig. 4 System dynamic evolution results under initial parameter setting

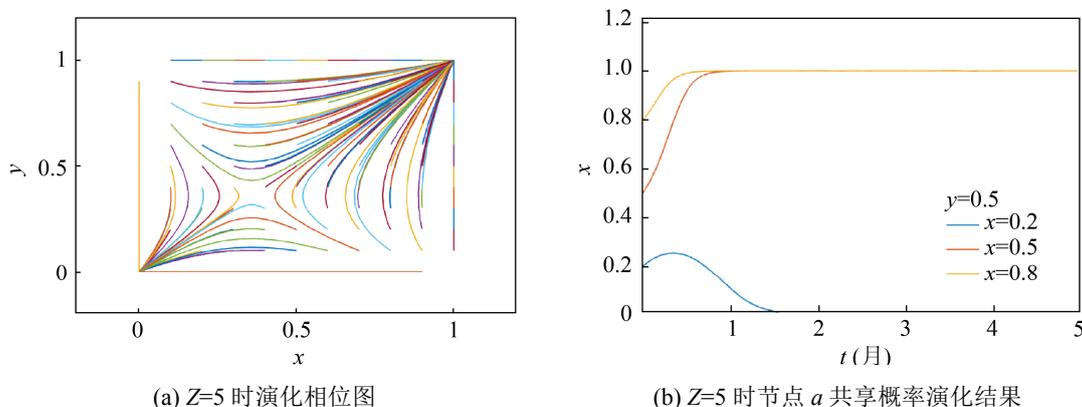
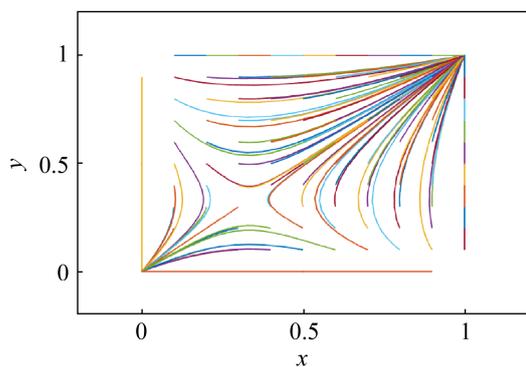


图 5 协同收益  $Z$  变化下的系统动态演化结果

Fig. 5 System dynamic evolution results under change of synergetic benefit  $Z$

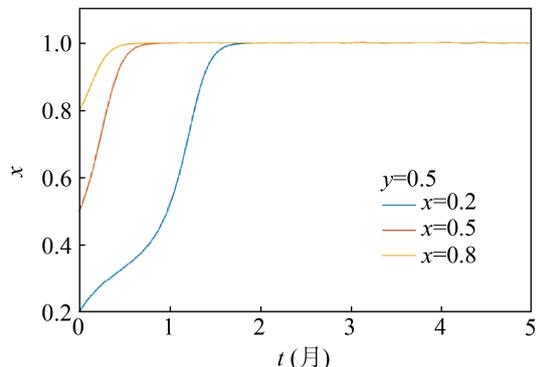
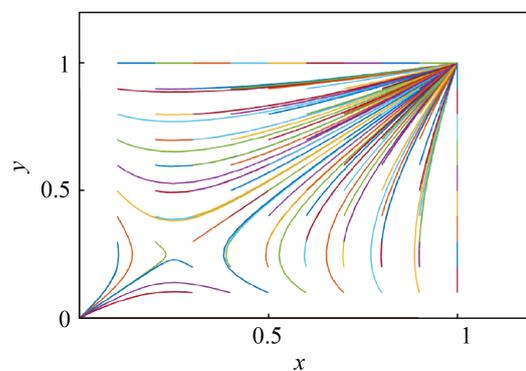
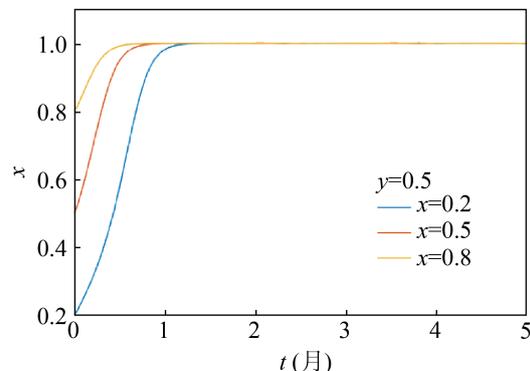
## 4.2 违约惩罚 $P$ 变化的仿真分析

保持其他参数初值不变, 令  $P=12$ , 仿真结果如图 6 所示, 在其他参数不改变的情况下, 违约惩罚  $P$  增加, 更多的初始点会向(1,1)收敛, 即各节点都选择守约共享信息的可能性就越大; 节点  $a$  选择守约的概率向 1 收敛的速度有所加快, 即提高系统的违约惩罚可以更加约束各节点企业, 以避免承担大额的违约惩罚。

(a)  $P=12$  时演化相位图

## 4.3 激励系数 $m$ 变化的仿真分析

保持其他参数初值不变, 令  $m=0.6$ , 仿真结果如图 7 所示, 在其他参数不改变的情况下, 激励系数增加, 更多的初始点会向(1,1)收敛, 即系统中节点都更倾向于选择守约共享信息; 节点  $a$  选择守约的概率向 1 收敛的速度有所加快, 即增加各节点企业共享信息时的可获得激励收益可以激励企业去共享信息。

(b)  $P=12$  时节点  $a$  共享概率演化结果图 6 违约惩罚  $P$  变化下的系统动态演化结果Fig. 6 Dynamic evolution results of the system under change of default penalty  $P$ (a)  $m=0.6$  时演化相位图(b)  $m=0.6$  时节点  $a$  共享概率演化结果图 7 激励系数  $m$  变化下的系统动态演化结果Fig. 7 Dynamic evolution results of the system under change of excitation coefficient  $m$ 

## 4.4 信任程度 $R_i$ 变化的仿真分析

保持其他参数初值不变, 令  $R_1=R_2=25$ , 仿真结果如图 8 所示, 在其他参数不改变的情况下, 信任程度增加, 更多的初始点会向(1,1)收敛, 即系统中节点都更倾向于选择守约共享信息; 节点  $a$  选择守约的概率向 1 收敛的速度有所加快, 即增加各节

点企业间的信任可使各节点更加放心去共享信息参与合作。

## 4.5 违约惩罚 $P$ 和激励系数 $m$ 同时变化的仿真分析

保持其他参数初值不变, 令  $P=12$ ,  $m=0.6$ , 仿

真结果如图 9 所示, 在其他参数不改变的情况下, 违约惩罚和激励系数同时增加, 大部分的初始点会向(1,1)收敛, 即系统中节点都更倾向于选择守约共享信息; 结合图 4, 6, 7 可知, 节点  $a$  选择守约的概率向 1 收敛的速度最快, 即同时提高系统的违约惩罚和各节点共享信息时可获得的激励收益时, 各节点都选择共享信息的概率最大。

这也正是激励相容机制作用的体现, 当各节点选择守约共享信息时所获得收益和激励越大, 选择

违约不共享信息以及捣乱破坏该系统准确性时收到的惩罚越大时, 理性的各节点不会放着共享信息可获得收益和激励不去获取, 而去选择损人不利己的行为。运用博弈论的思想, 分析得出区块链技术运用进政府采购合同融资模式的可能性, 将区块链技术运用进该种模式, 实现全链信息的透明化, 从而大大提高政府采购合同融资的运作效率以及避免不必要的成本损失和潜在的风险。

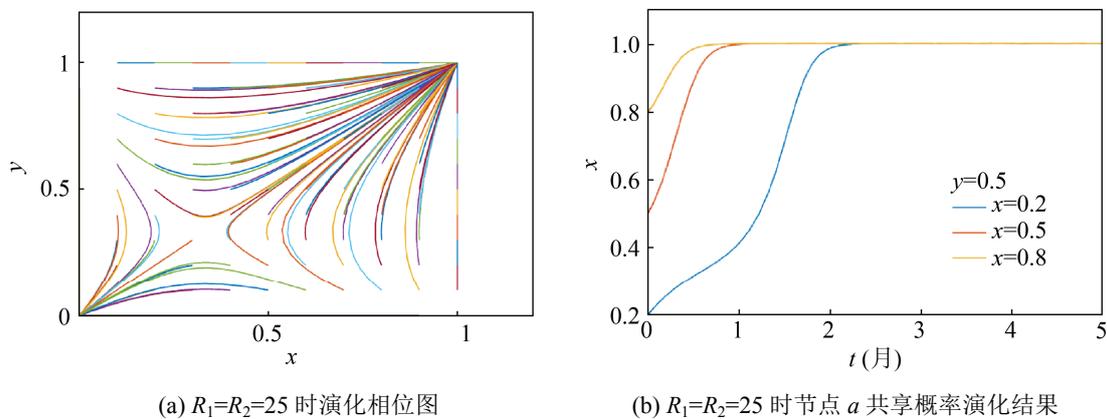


图 8 信任程度  $R_i$  变化下的系统动态演化结果

Fig. 8 Dynamic evolution results of system under change of trust degree  $R_i$

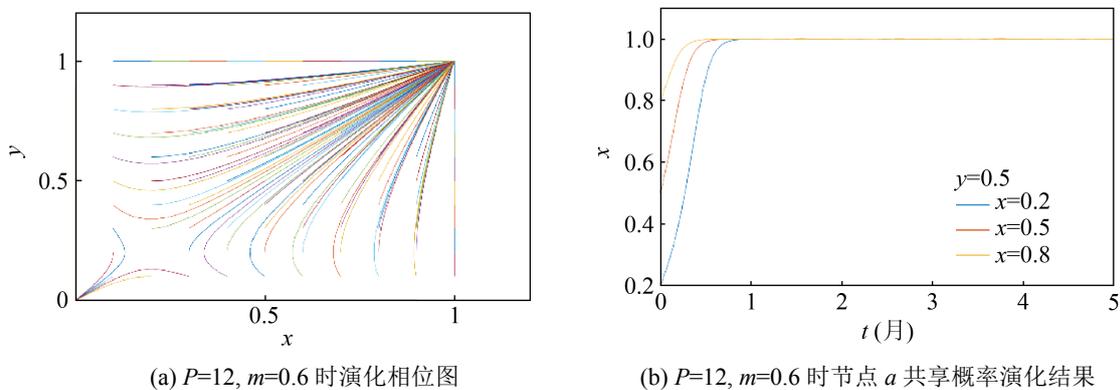


图 9 违约惩罚  $P$  和激励系数  $m$  同时变化下的系统动态演化结果

Fig. 9 Dynamic evolution results of system under change of default penalty  $P$  and excitation coefficient  $m$

## 5 结论

政府采购合同融资是近些年来供应链金融的重大创新, 该模式将供应链金融和政府采购联系起来, 充分发挥政府部门在市场中的引导作用。本文根据中小企业融资困难、发展受阻以及供应链金融

发展过程中出现的信用问题, 提出将区块链技术运用进政府采购合同融资过程中, 以促进中小企业的健康发展, 同时深入金融科技的应用。

一方面对该融资过程中的多方主体的业务决策进行博弈分析以期各主体收益最大化。根据 2.2 中的博弈分析得出以下建议: 政府部门要针对当前

中小企业金融的融资情况制定具体的相关法律法规, 发挥政府部门的作用, 同时也要对合作的中小企业做到严格把关, 形成诚实的社会风气; 银行积极响应国家政策的同时, 要尽量完善和细化该类业务的操作流程, 提高工作的效率; 物流企业要加强信息跟踪能力和业务水平, 严格监督中小企业的订单完成情况; 中小企业应该完善自己的经营管理能力, 提升自己的市场竞争力。

另一方面基于激励相容理论, 构建演化博弈模型对区块链中各节点活动选择进行分析。由仿真实验结果可得以下建议: 要加强系统中各节点企业之间的协同合作, 使整个链上的节点企业目标一致, 并做到即时交流学习沟通, 以巩固增强各企业间的信任, 提高系统的协同收益; 在系统内部设定规则, 对于积极合作采取共享信息的节点企业加大激励力度, 对于不共享信息或者恶意破坏发布不准确信息的节点企业给予大大的惩罚并在全网广播。

目前区块链技术在供应链中的应用尚未得到广泛推广, 通过对区块链技术和供应链业务的协同研究, 可以推动区块链技术在供应链业务中的应用, 加快金融科技与供应链金融在我国的发展, 促进我国经济健康稳定发展。

## 参考文献:

- [1] Rupeika-Apoga R. Alternative Financing of SMEs in the Baltic States: Myth or Reality?[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* (S1877-0428), 2014, 156: 513-517.
- [2] Song H, Yang X, Yu K. How Do Supply Chain Network and SMEs Operational Capabilities Enhance Working Capital Financing? An Integrative Signaling View[J]. *International Journal of Production Economics* (S0925-5273), 2020: 220.
- [3] 佚名. 财政部将开展政府采购信用担保试点工作[J]. *中国招标*, 2011(39): 7-8.  
Nameless. The Ministry of Finance Will Carry Out the Pilot Work of Credit Guarantee for Government Procurement[J]. *China Tendering*, 2011(39): 7-8.
- [4] 何志婵. 政府采购信用担保下中小企业供应链金融融资模式的研究[D]. 北京: 北京大学, 2013.
- He Zhichan. The Study of the Financing Model of the SMEs Supply Chain Finance under the Government Procurement Credit Guarantee[D]. Beijing: Peking University, 2013.
- [5] 邢祎. 中小企业政府采购合同融资发展路径问题研究[J]. *全国流通经济*, 2019(18): 94-95.  
Xing Yi. Research on the Development Path of Government Procurement Contract Financing for Small and Medium-sized Enterprises[J]. *National Circulation Economy*, 2019(18): 94-95.
- [6] Schmidt C G, Wagner S M. Block Chain and Supply Chain Relations: A Transaction Cost Theory Perspective[J]. *Journal of Purchasing and Supply Management* (S1478-4092), 2019, 25(4): 100552.
- [7] Kshetri N. 1 Blockchain's Roles in Meeting Key Supply Chain Management Objectives[J]. *International Journal of Information Management* (S0268-4012), 2018, 39: 80-89.
- [8] 马小峰, 杜明晓, 余文兵, 等. 基于区块链的供应链金融服务平台[J]. *大数据*, 2018, 4(1): 13-21.  
Ma Xiaofeng, Du Mingxiao, Yu Wenbing, et al. Blockchain Based Supply-chain Finance Service Platform[J]. *Big Data Research*, 2018, 4(1): 13-21.
- [9] 张路. 博弈视角下区块链驱动供应链金融创新研究[J]. *经济问题*, 2019(4): 48-54.  
Zhang Lu. Research on Blockchain Driven Supply Chain Financial Innovation from the Perspective of Game[J]. *On Economic Problems*, 2019(4): 48-54.
- [10] 王鑫, 陈力源. 基于区块链技术多层供应链金融体系的优势、价值及构建—信用无损传递微观视角下的分析[J]. *南方金融*, 2020(1): 60-68.  
Wang Xin, Chen Liyuan. Advantages, Value and Construction of Multi-tier Supply Chain Financial System Based on Block Chain Technology - Analysis from the Microscopic Perspective of Loss-free Transmission of Credit [J]. *South China Finance*, 2020(1): 60-68.
- [11] 温远征. 基于区块链技术供应链金融发展的思考[J]. *三峡大学学报(人文社会科学版)*, 2017, 39(增 1): 106-108.  
Wen Yuanzheng. Thinking on the Development of Supply Chain Finance Based on Block Chain Technology[J]. *Journal of China Three Gorges University (Humanities & Social Sciences)*, 2017, 39(S1): 106-108.
- [12] 盛鑫, 陈长彬. 政府行为对供应链金融业务协同发展的影响—基于演化博弈论的研究[J]. *技术经济与管理研究*, 2019(2): 81-85.

- Sheng Xin, Chen Changbin. The Impact of Government Behavior on the Coordinated Development of Financial Business with Supply Chain-Based on the Evolutionary Game Theory[J]. Journal of Technical Economics & Management, 2019(2): 81-85.
- [13] 余依桐, 吕乐. 大宗货物价格波动风险下 3PL 金融服务模式研究[J]. 商业经济研究, 2019(23): 169-172.
- Yu Yitong, Lü Le. Research on 3PL Financial Service Model under the Risk of Commodity Price Fluctuation[J]. Journal of Commercial Economics, 2019(23): 169-172.
- [14] 何娟, 蒋祥林, 王建. 不完全信息下存货质押业务中参与多方博弈行为分析[J]. 华东经济管理, 2012, 26(12): 105-109.
- He Juan, Jiang Xianglin, Wang Jian. Analysis on the Game Behavior of Multi-participant in Inventory Pledge Business with Incomplete Information[J]. East China Economic Management, 2012, 26(12): 105-109.
- [15] 邓爱民, 李云凤. 基于区块链的供应链“智能保理”业务模式及博弈分析[J]. 管理评论, 2019, 31(9): 231-240.
- Deng Aimin, Li Yunfeng. Business Model and Game Analysis of “Intelligent Factoring” of Supply Chain Based on Block Chain[J]. Management Review, 2019, 31(9): 231-240.
- [16] 朱兴雄, 何清素, 郭善琪. 区块链技术在供应链金融中的应用[J]. 中国流通经济, 2018, 32(3): 111-119.
- Zhu Xingxiong, He Qingsu, Guo Shanqi. Application of Blockchain Technology in Supply Chain Finance[J]. China Business and Market, 2018, 32(3): 111-119.
- [17] 付永贵. 基于区块链的供应链信息共享机制与管理模式研究[D]. 北京: 中央财经大学, 2018.
- Fu Yonggui. Research on Supply Chain Information Sharing Mechanism and Management Mode Based on Blockchain[D]. Beijing: Central University of Finance and Economics, 2018.
- [18] 王亚云. 物流服务供应链信息共享演化博弈与价值分析[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2019.
- Wang Yayun. Evolutionary Game and Value Analysis of Information Sharing in Logistics Service Supply Chain[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2019.