

# 区块链技术下三级供应链融资策略演化博弈研究

谢黎旭, 吴娟

(安徽工业大学 管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243032)

**摘要:** 区块链技术的应用能有效缓解中小企业融资难、融资贵的问题,但区块链技术在中小企业融资中的应用并不广泛。构建由资金受限的中小企业一级供应商、二级供应商和核心企业零售商组成的供应链订单保理融资三方演化博弈模型,将传统融资模式和区块链融资模式作为策略集,分析区块链技术成本、应收账款账期、担保费率等因素对系统融资演化和供应链成员融资决策的影响。结果表明:一级供应商选择区块链融资模式的意愿最强、零售商次之、二级供应商最低,系统融资策略向区块链融资模式演化,二级供应商的决策起决定作用;区块链成本过高、应收账款账期过长和担保费率过高是区块链技术在中小企业融资中应用不广泛的主要原因,将区块链成本、应收账款账期和担保费率控制在合理范围,保护各级供应商尤其是二级供应商的利益,有利于区块链技术在中小企业融资中的应用。为促进区块链技术在中小企业融资中的应用和推广,建议各企业将上下游企业的长远合作关系视为共同发展的基础;科技公司结合相关政策将其他金融科技与区块链技术相融合;政府加强对区块链技术应用引导和规范。

**关键词:** 区块链; 多级供应商; 订单保理; 演化博弈; 供应链融资; 中小企业; 核心企业; 零售商

**中图分类号:** F 830.56 **文献标志码:** A **doi:** 10.12415/j.issn.1671-7872.24027



## Research on Evolutionary Game of Three-level Supply Chain Financing Strategy under Blockchain Technology

XIE Lixu, WU Juan

(School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

**Abstract:** The application of blockchain technology can effectively alleviate the issues of difficult and expensive financing for small and medium-sized enterprises (SMEs), yet its adoption in SMEs financing is not widespread. A tripartite evolutionary game model for supply chain order-to-factoring financing composed of first-tier and second-tier suppliers of SMEs with limited funds and retailers of core enterprises was constructed. Taking the traditional financing model and the blockchain financing model as the strategy sets, the impact of factors such as blockchain technology costs, accounts receivable terms, guarantee rates, and other factors on the system's financing evolution and the financing decisions of supply chain members was analyzed. The results show that among the participants, the primary supplier has the strongest preference for adopting the blockchain financing model, followed by the retailers, while the secondary supplier shows the least interest. The overall financing strategy of the system tends to evolve towards the blockchain financing model, with the decision of the secondary supplier playing a decisive role. The main reasons for the limited application of blockchain technology in financing for SMEs are the high cost of blockchain, long accounts receivable terms, and high guarantee rates. Controlling these factors within reasonable limits, particularly safeguarding the interests of secondary suppliers, would promote the use of blockchain

收稿日期: 2024-02-29

基金项目: 安徽省哲学社会科学规划项目(AHSKQ2020D12); 安徽省高校人文社会科学研究项目(SK2021A0187)

作者简介: 谢黎旭(1981—), 女, 湖南邵东人, 博士, 主要研究方向为供应链金融、金融工程与风险管理。

引文格式: 谢黎旭, 吴娟. 区块链技术下三级供应链融资策略演化博弈研究[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2025, 42(1):108-117.

technology in SMEs financing. In order to facilitate the application and promotion of blockchain technology in SMEs financing, it is suggested that enterprises should prioritize long-term cooperative relationships with upstream and downstream enterprises as the foundation for common development; Technology companies integrate other fintech solutions with blockchain technology in conjunction with relevant policies; The government enhances guidance and regulation of blockchain technology applications.

**Keywords:** blockchain; multi-tier suppliers; order-to-factoring; evolutionary game; supply chain financing; small and medium-sized enterprise; core enterprise; retailer

供应链金融可有效缓解中小企业融资难、融资贵的问题<sup>[1]</sup>,但传统的供应链融资模式只能解决部分中小企业融资问题,处于供应链深层的中小企业供应商仍难以获得融资。区块链技术为解决中小企业融资困境提供了更多的可能性,通过去中心化、去信任、不可篡改、透明性等特点<sup>[2]</sup>提供的可见性、信息验证等功能可建立更加透明、安全和高效的供应链<sup>[3]</sup>,能够扩大供应链融资的范围和提高融资效率。在区块链技术的驱动下,核心企业的信用能够扩展到整条供应链,供应链成员皆可通过区块链平台进行融资,即使是处于供应链末端的中小企业供应商,同样可以得到核心企业的增信服务以获得融资。“十四五”规划纲要明确指出,推动智能合约、共识算法、加密算法、分布式系统等区块链技术创新,以联盟链为重点发展区块链服务平台和金融科技、供应链管理、政务服务等领域应用方案,完善监管机制。然而,区块链技术在中小企业融资中的应用并不广泛。因此,研究区块链技术对供应链中深层小企业供应商融资的影响,发挥区块链技术在中小企业融资中的作用,对于探索新的融资模式、提高融资效率、降低融资成本等具有重要的参考价值 and 实践意义。

目前,对于区块链背景下供应链金融的研究主要集中在区块链技术对供应链金融的影响。Choi<sup>[4]</sup>构建银行参与的传统供应链融资和基于区块链的供应链融资2种模型,发现基于区块链的供应链融资模式运营风险更低;王道平等<sup>[5]</sup>考虑由核心企业供应商和资金约束的中小企业零售商组成的供应链,比较分析传统融资和区块链融资2种模式下供应链最优定价与订货等主要运营决策的变化;李健等<sup>[6]</sup>对比分析仓单质押融资模式引入区块链技术前后贷款企业的决策变化;孙睿等<sup>[7]</sup>对比分析区块链技术引入前后中小企业和金融机构的融资模式演化稳定策略,研究供应链金融风险的作用机制;楼永等<sup>[8]</sup>构建质押融资模式下供应商、制造商和银行三方博弈模型,研究区块链技术对融资效率优化和供应链金融体系演化的影响;周雷等<sup>[9]</sup>构建金融机构与小微企业、

核心企业与小微企业的应收账款融资演化博弈模型,分析区块链技术对中小企业守信的影响。上述研究通过定性分析区块链技术引入前后的融资模式来探讨区块链融资模式的优势,鲜有学者定量研究区块链技术在中小企业供应商融资中应用不广泛的原因。

亦有学者研究不同融资模式下,不同供应链中各主体的融资或运营决策。Dong等<sup>[10]</sup>考虑由制造商、一级供应商和二级供应商组成的供应链,比较3种不同背景的深层预付款融资模式下供应链各成员的融资决策;Wang等<sup>[11]</sup>建立4种应收账款模式下由供应商、制造商和零售商组成的供应链博弈模型,研究供应链各主体在4种模式下的最佳运营和融资决策;王道平等<sup>[12]</sup>针对区块链背景下产出不确定的供应链,分析供应商和银行的应收账款融资策略;屈绍建等<sup>[13]</sup>构建由资金受限供应商、制造商和核心企业零售商组成的三级供应链博弈模型,对比分析引入区块链技术前后供应链各成员决策变量的变化程度;刘露等<sup>[14]</sup>考虑由生产商、分销商和零售商组成的供应链,分析传统融资和区块链融资2种模式均衡状态下供应链的最优批发价、分销价和订货量决策;焦媛媛等<sup>[15]</sup>构建核心企业、金融机构和供应商的演化博弈模型,分析选择区块链保理融资模式的影响因素。上述研究中融资模式以应收账款融资和保理融资为主,但现实中订单转保理融资模式更适合受资金约束的中小企业供应商<sup>[16]</sup>。

由于上下游企业的信息不对称,核心企业只能将信用提供给与其有直接业务往来的一级供应商,而二级、三级以及供应链末端的供应商无法直接获得核心企业的信用担保,实际上二级或者多级供应商面临的融资困难更加严峻<sup>[9]</sup>。尽管区块链技术能够将核心企业的信用传递至供应链各企业,但其在中小企业融资中的应用并不广泛。因此,以核心企业零售商、一级供应商和二级供应商组成的供应链为研究对象,将传统融资模式和区块链融资模式作为三方选择的策略集,构建演化博弈模型,定量分析中小企业区块链技术应用不广泛的原因,以期为中小企业融资困难提供有效解决方案。

### 1 问题描述与假设

订单转保理融资是“订单融资+保理融资”的产品组合<sup>[13]</sup>。大型零售企业沃尔玛公司旗下有很多供应商,除直接为沃尔玛公司供货的一级供应商外,还有为一级供应商供货的其他供应商,他们大多是资金受约束且很难获得银行贷款的中小企业。2005年中国工商银行(下文简称“工行”)与沃尔玛合作,提出核心企业供应商融资解决办法。供应商接收到沃尔玛的订单后,向工行提出融资申请,用于满足订单备货;供应商获得融资完成采购后向沃尔玛供货,再将应收账款单提交至工行,工行为其办理应收账款保理融资,归还订单融资;应收账款到期后,沃尔玛归还贷款给工行,工行收回保理融资,完成供应链融资的整个流程。该办法只能解决与沃尔

玛有业务往来的一级供应商融资问题,而在区块链技术的加持下,深层供应链中其他供应商的融资也能凭借沃尔玛的信用得到有效解决。

#### 1.1 问题描述

考虑的供应链由1个一级供应商、1个二级供应商和1个零售商组成。其中,二级供应商是一级供应商的上游,两者均为中小企业,且资金均受约束;零售商是核心企业,从一级供应商采购商品。为了解决供应链各中小企业的融资问题,供应链成员可选择传统的供应链订单转保理融资模式(下文简称传统融资模式)和区块链技术的供应链订单转保理融资模式(下文简称区块链融资模式),2种模式的融资流程如图1。

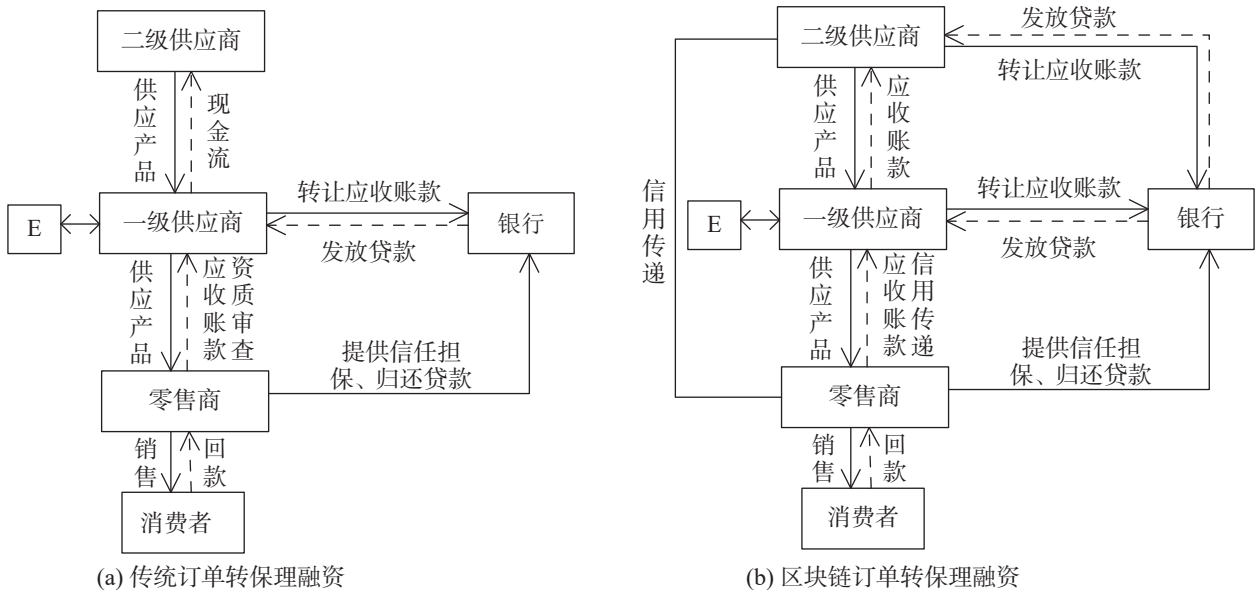


图1 多级供应商融资流程

Fig. 1 Financing process of multi-tier suppliers

如图1(a)所示:传统融资模式中,零售商向一级供应商发起采购申请,并根据对一级供应商的信用考察为一级供应商提供贷款担保;一级供应商获取订单后向银行申请融资,银行收到零售商的担保后向一级供应商发放相应贷款,一级供应商获得贷款立即进行订单采购,采购完成向零售商交货并获得应收账款,然后将应收账款单提交给银行;零售商销售完商品、资金回笼后向银行偿还贷款。一级供应商的产品主要来源于二级供应商的供应,但在传统融资模式中,二级供应商因自身资金不足且缺乏零售商的信用担保,可能得不到融资而造成供应不足。这时一级供应商会启动应急货源渠道来解决二级供应商的缺货,应急货源渠道可及时提供可靠的供应,但采购价格高于二级供应商的售价<sup>[10]</sup>。

在区块链融资模式中,所有供应链成员的商流、物流、资金流等信息均发布在区块链供应链金融平台,零售商的信用也能传递到二级供应商,同时零售商可通过平台快速验证各级供应商的信息,为他们融资提供担保<sup>[14]</sup>。因此,除一级供应商外,二级供应商也可凭借零售商的担保获得银行贷款,具体的订单转保理融资流程如图1(b)。

传统供应链融资一般凭借供应商和核心企业零售商长期的业务往来建立信任,融资过程相对简单但风险较高<sup>[12]</sup>,适合于和核心企业零售商有直接业务往来的供应商融资。对于区块链技术下的供应链融资模式,各参与企业的信息在区块链平台透明公开,降低了核心企业零售商对供应商资质审查的时间和成本<sup>[7]</sup>;另外,零售商的信用可直接传递到各级

供应商,但各参与企业需耗费成本引入区块链技术。该模式更适用于深层供应链融资尤其是中小企业供应商较多的供应链融资。

1.2 假设条件

根据供应链订单转保理融资流程,构建三方演化博弈模型,对零售商、一级供应商和二级供应商的策略选择进行分析,做出以下假设:

假设 1: 在供应链融资博弈过程中,博弈主体为零售商、一级供应商和二级供应商,所有博弈成员不会出现任何违约行为<sup>[13]</sup>。零售商、一级供应商和二级供应商都存在传统融资模式与区块链融资模式 2 种策略。其中零售商选择传统融资模式时,零售商仅为与有直接业务关系的一级供应商提供担保;选择区块链融资模式时,零售商为一级供应商、二级供应商的融资都提供担保。一级供应商选择传统融资模式时,靠自身的信用获得零售商的担保从银行贷款;选择区块链融资模式时,向区块链平台上传资质信息,便于零售商提供担保。二级供应商选择传统融资模式时,无法得到零售商的担保;选择区块链融资模式时,向区块链平台上传资质信息,零售商通过平台提供担保,二级供应商凭借零售商的信用担保向银行申请融资。但是,二级供应商的融资模式受制于一级供应商,当一级供应商选择传统融资模式时,二级供应商无法通过区块链模式融资,只能被动接受传统融资模式。供应链中的 3 个参与主体都是风险中性者,追求自身利益最大化<sup>[8]</sup>。

假设 2: 零售商和供应商的订货信息完全一致<sup>[13]</sup>。零售商的需求量  $Q$ 、零售价格  $P$  始终保持不变,且零售商从一级供应商批发产品的价格  $W_1$  保持不变,一级供应商从二级供应商采购产品的价格为  $W_2$ ,从应急货源调货的价格为  $W_3$  ( $W_3 > W_2$ ),二级供应商采购产品的价格为  $W_4$ 。若零售商销售完采购的所有商品,则零售商的销售收益为  $PQ$ ,零售商从一级供应商的采购成本或一级供应商的销售收益为  $W_1Q$ 。

假设 3: 传统融资模式下,零售商对供应商的资质进行审查,若单位产品的审查成本为  $C$ ,则零售商的审查成本为  $CQ$ ;区块链融资模式下,零售商通过区块链平台对供应商的信息进行审查,节省了审查成本,即区块链融资模式下零售商的审查成本为 0。

假设 4: 银行给予不同融资企业的授信概率不同,但当供应链中的核心企业为上下游企业提供担保时,上下游企业可使用核心企业的授信额度。传统融资模式下,二级供应商凭借自身信用向银行申请融资,银行授信概率较低,若为  $\alpha$ ,则一级供应商需从应急货源渠道采购的概率为  $1-\alpha$ ;核心企业零售商会与有直接业务往来的一级供应商担保,一级

供应商获得银行授信的概率为 1。区块链融资模式下,核心企业为一级、二级供应商担保,一级、二级供应商获得银行授信的概率为 1。传统融资模式下,二级供应商的采购成本为  $\alpha W_4Q$ ,销售收益为  $\alpha W_2Q$ ;一级供应商的采购成本为  $\alpha W_2Q+(1-\alpha)W_3Q$ 。区块链融资模式下,二级供应商的采购成本为  $W_4Q$ ,一级供应商的采购成本为  $W_2Q$ 。

假设 5: 单位时间内银行贷款的利率为  $r_0$ ;零售商为一级、二级供应商提供信用担保,单位时间内按担保费率  $r_1$  收取担保费。传统融资模式下,应收账款账期为  $T_1$ ;区块链融资模式下,由于同时解决了一级、二级供应商的融资问题,增加了谈判砝码,零售商要求延长应收账款账期,账期为  $T_2$  ( $T_2 > T_1$ )。传统融资模式下,零售商从一级供应商获得的担保费为  $\alpha W_2Qr_1T_1+(1-\alpha)W_3Qr_1T_1$ ,一级供应商贷款的本息和为  $\alpha W_2Q(1+r_0T_1)+(1-\alpha)W_3Q(1+r_0T_1)$ ;区块链融资模式下,零售商从一级、二级供应商获得的担保费为  $W_2Qr_1T_2+W_4Qr_1T_2$ ,一级供应商的贷款本息和为  $W_2Q(1+r_0T_2)$ ,二级供应商的贷款本息和为  $W_4Q(1+r_0T_2)$ 。

假设 6: 零售商、一级供应商、二级供应商均完成信息化转型,同时不考虑区块链的技术风险、商业风险等,供应链各成员选择区块链融资模式时,仅需花费区块链技术成本  $F$ 。

假设中提及的相关符号及定义见表 1。

表 1 符号及其定义

Tab. 1 Symbols and their definitions

符号	含义	符号	含义
$x(0 \leq x \leq 1)$	零售商选择区块链融资模式的概率	$Q$	零售商的产品需求量
$y(0 \leq y \leq 1)$	一级供应商选择区块链融资模式的概率	$r_0$	单位时间内的银行贷款的利率
$z(0 \leq z \leq 1)$	二级供应商选择区块链融资模式的概率	$r_1$	单位时间内的担保费率
$P$	零售商的零售价	$C$	零售商的单位审查费
$W_1$	零售商从一级供应商采购商品的价格	$\alpha$	银行授信概率
$W_2$	一级供应商从二级供应商采购商品的价格	$F$	区块链技术成本
$W_3$	一级供应商从紧急货源调货的价格	$T_1$	传统融资模式下应收账款的账期
$W_4$	二级供应商的采购价格	$T_2$	区块链融资模式下应收账款的账期

## 2 模型构建与求解

### 2.1 模型构建

基于以上假设,得到供应链订单转保理融资的三方博弈收益矩阵,如表2。

### 2.2 模型求解

根据演化博弈的相关理论和期望收益的计算方法,由表2计算可求解区块链和传统融资模式下供应链各成员的融资动态演化过程。

表2 三方收益矩阵

Tab. 2 Tripartite earnings matrix

零售商	一级供应商	二级供应商	
		区块链融资模式	传统融资模式
区块链融资模式	区块链融资模式	$PQ - W_1Q - F + W_2Qr_1T_2 + W_4Qr_1T_2$	$PQ - W_1Q - F - CQ + \alpha W_2Qr_1T_1 + (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1$
		$W_1Q - W_2Q - F - W_2Qr_0T_2 - W_2Qr_1T_2$	$W_1Q - F - \alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1)$
	传统融资模式	$W_2Q - W_4Q - F - W_4Qr_0T_2 - W_4Qr_1T_2$	$\alpha W_2Q - \alpha W_4Q - \alpha W_4Qr_0T_1$
		$PQ - W_1Q - F - CQ + \alpha W_2Qr_1T_1 + (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1$	$PQ - W_1Q - F - CQ + \alpha W_2Qr_1T_1 + (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1$
传统融资模式	区块链融资模式	$W_1Q - \alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1)$	$W_1Q - \alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1)$
		$\alpha W_2Q - \alpha W_4Q - F - \alpha W_4Qr_0T_1$	$\alpha W_2Q - \alpha W_4Q - \alpha W_4Qr_0T_1$
	传统融资模式	$PQ - W_1Q - CQ + \alpha W_2Qr_1T_1 + (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1$	$PQ - W_1Q - CQ + \alpha W_2Qr_1T_1 + (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1$
		$W_1Q - F - \alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1)$	$W_1Q - \alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1)$

零售商选择区块链融资模式的期望收益  $E_x$ :

$$E_x = yz[CQ + (W_2 + W_4)Qr_1T_2 - \alpha W_2Qr_1T_1 - (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1] + PQ - W_1Q - F - CQ + \alpha W_2Qr_1T_1 + (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1 \quad (1)$$

零售商选择传统融资模式的期望收益  $E_{1-x}$ :

$$E_{1-x} = PQ - W_1Q - CQ + \alpha W_2Qr_1T_1 + (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1 \quad (2)$$

根据 Malthusian 动态方程<sup>[17]</sup>,得到零售商选择区块链融资模式的复制动态方程:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(1-x)\{yz[CQ + W_2Qr_1T_2 + W_4Qr_1T_2 - \alpha W_2Qr_1T_1 - (1 - \alpha)W_3Qr_1T_1] - F\} \quad (3)$$

一级供应商选择区块链融资模式的期望收益

$E_y$ :

$$E_y = xz[\alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) + (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - W_2Q - W_2Qr_0T_2 - W_2Qr_1T_2] + W_1Q - F - \alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) \quad (4)$$

一级供应商选择传统融资模式的期望收益

$E_{1-y}$ :

$$E_{1-y} = W_1Q - \alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) \quad (5)$$

同理可得一级供应商选择区块链融资模式策略的复制动态方程:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(1-y)\{xz[\alpha W_2Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) + (1 - \alpha)W_3Q(1 + r_0T_1 + r_1T_1) - W_2Q(1 + r_0T_2 + r_1T_2)] - F\} \quad (6)$$

二级供应商选择区块链融资模式的期望收益

$E_z$ :

$$E_z = xy[W_2Q - W_4Q - W_4Qr_0T_2 - W_4Qr_1T_2 - (\alpha W_2Q - \alpha W_4Q - \alpha W_4Qr_0T_1)] + \alpha W_2Q - \alpha W_4Q - F - \alpha W_4Qr_0T_1 \quad (7)$$

二级供应商选择传统融资模式的期望收益

$E_{1-z}$ :

$$E_{1-z} = \alpha W_2Q - \alpha W_4Q - \alpha W_4Qr_0T_1 \quad (8)$$

同理可得二级供应商选择区块链融资模式策略的复制动态方程:

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(1-z)\{xy[(1 - \alpha)(W_2 - W_4)Q - W_4Qr_0T_2 - W_4Qr_1T_2 + \alpha W_4Qr_0T_1] - F\} \quad (9)$$

根据  $F(x)$ ,  $F(y)$  和  $F(z)$  的 3 个复制动态方程(式(3), (6), (9)) 可得到零售商、一级供应商和二级供应商融资策略的演化动态,形成 1 个三维复制动态方程组,如式(10)。

$$\begin{aligned}
 F(x) &= x(1-x)\{yz[CQ + W_2Qr_1T_2 + W_4Qr_1T_2 - \\
 &\quad \alpha W_2Qr_1T_1 - (1-\alpha)W_3Qr_1T_1] - F\} \\
 F(y) &= y(1-y)\{xz[\alpha W_2Q(1+r_0T_1+r_1T_1) + \\
 &\quad (1-\alpha)W_3Q(1+r_0T_1+r_1T_1) - \\
 &\quad W_2Q(1+r_0T_2+r_1T_2)] - F\} \\
 F(z) &= z(1-z)\{xy[(1-\alpha)(W_2 - W_4)Q - \\
 &\quad W_4Qr_0T_2 - W_4Qr_1T_2 + \\
 &\quad \alpha W_4Qr_0T_1] - F\}
 \end{aligned} \tag{10}$$

令博弈系统复制动态方程组中  $F(x) = 0$ ,  $F(y) = 0$ ,  $F(z) = 0$ , 可得到区块链赋能多级供应商融资博弈系统存在 9 个局部均衡点, 多种群演化博弈中的稳定解为严格的纳什均衡解<sup>[18]</sup>。因此文中只考虑  $E_1(0,0,0)$ ,  $E_2(0,0,1)$ ,  $E_3(0,1,0)$ ,  $E_4(0,1,1)$ ,  $E_5(1,0,0)$ ,

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= (1-2x)\{yz[CQ + W_2Qr_1T_2 + W_4Qr_1T_2 - \alpha W_2Qr_1T_1 - (1-\alpha)W_3Qr_1T_1] - F\} \\
 \text{其中: } a_{22} &= (1-2y)\{xz[\alpha W_2Q(1+r_0T_1+r_1T_1) + (1-\alpha)W_3Q(1+r_0T_1+r_1T_1) - W_2Q(1+r_0T_2+r_1T_2)] - F\} \\
 a_{33} &= (1-2z)\{xy[(1-\alpha)(W_2 - W_4)Q - W_4Qr_0T_2 - W_4Qr_1T_2 + \alpha W_4Qr_0T_1] - F\}
 \end{aligned} \tag{12}$$

将 8 个均衡点分别代入 Jacobi 矩阵, 可得到均衡点对应 Jacobi 矩阵的特征值, 通过特征值可判断博弈系统的演化稳定策略 (evolutionary stable strategy, ESS)<sup>[15]</sup>。根据 Lyapunov 方法<sup>[20]</sup>, 若 Jacobi

$E_6(1,0,1)$ ,  $E_7(1,1,0)$ ,  $E_8(1,1,1)$  8 个点。

Frideman<sup>[19]</sup> 提出, 通过分析演化系统 Jacobi 矩阵的局部稳定性可得出系统均衡点的稳定性。经计算, 复制动态方程组成系统的 Jacobi 矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \tag{11}$$

矩阵的所有特征值为负, 则均衡点为演化稳定点; 若所有特征值为正, 则均衡点为不稳定点; 若特征值有正有负, 则均衡点为鞍点。由此对表 3 中均衡点的特征值进行分析。

表 3 雅可比矩阵的特征值

Tab. 3 Eigenvalues of Jacobian matrices

均衡点	特征值 $\lambda_1$	特征值 $\lambda_2$	特征值 $\lambda_3$	稳定性
$E_1(0,0,0)$	$-F$	$-F$	$-F$	ESS
$E_2(0,0,1)$	$-F$	$-F$	$F$	鞍点
$E_3(0,1,0)$	$-F$	$F$	$-F$	鞍点
$E_4(0,1,1)$	$CQ + W_2Qr_1T_2 + W_4Qr_1T_2 - \alpha W_2Qr_1T_1 - (1-\alpha)W_3Qr_1T_1 - F$	$F$	$-F$	鞍点
$E_5(1,0,0)$	$F$	$-F$	$-F$	鞍点
$E_6(1,0,1)$	$F$	$\alpha W_2Q(1+r_0T_1+r_1T_1) + (1-\alpha)W_3Q(1+r_0T_1+r_1T_1) - W_2Q(1+r_0T_2+r_1T_2) - F$	$-F$	鞍点
$E_7(1,1,0)$	$F$	$F$	$(1-\alpha)(W_2 - W_4)Q + \alpha W_4Qr_0T_1 - W_4Qr_0T_2 - W_4Qr_1T_2 - F$	鞍点或不稳定点
$E_8(1,1,1)$	$\alpha W_2Qr_1T_1 + (1-\alpha)W_3Qr_1T_1 + F - CQ - W_2Qr_1T_2 - W_4Qr_1T_2$	$W_2Q(1+r_0T_2+r_1T_2) + F - \alpha W_2Q(1+r_0T_1+r_1T_1) - (1-\alpha)W_3Q(1+r_0T_1+r_1T_1)$	$W_4Qr_0T_2 + W_4Qr_1T_2 - \alpha W_4Qr_0T_1 - (1-\alpha)(W_2 - W_4)Q + F$	ESS 或鞍点或不稳定点

由表 3 可看出:  $E_1(0,0,0)$  恒为演化稳定点, 供应链融资区块链成本真实存在, 即  $E_1(0,0,0)$  的 3 个特征值为负, 此时零售商、一级供应商和二级供应商三方均选择传统融资模式, 不需耗费区块链成本, 仅用零售商对一级供应商的信用担保进行融资。

当满足  $CQ + W_2Qr_1T_2 + W_4Qr_1T_2 - \alpha W_2Qr_1T_1 - (1-\alpha)W_3Qr_1T_1 > F$ ,  $\alpha W_2Q(1+r_0T_1+r_1T_1) + (1-\alpha)W_3Q(1+r_0T_1+r_1T_1) - W_2Q(1+r_0T_2+r_1T_2) > F$ ,  $(1-\alpha)(W_2 - W_4)Q - W_4Qr_0T_2 -$

$W_4Qr_1T_2 + \alpha W_4Qr_0T_1 > F$  时, 系统演化相位如图 2。由图 2 可看出: 在供应链融资系统中, 零售商、一级供应商和二级供应商在传统融资模式下的收益均低于在区块链融资模式下的收益, 此时点  $E_1(0,0,0)$  和  $E_8(1,1,1)$  的特征值为负值。因此, {传统融资模式, 传统融资模式, 传统融资模式} 和 {区块链融资模式, 区块链融资模式, 区块链融资模式} 均为该模型的演化稳定策略, 但供应链融资具体向哪种稳定状态发展, 取决于供应链各成员的成本与收益。

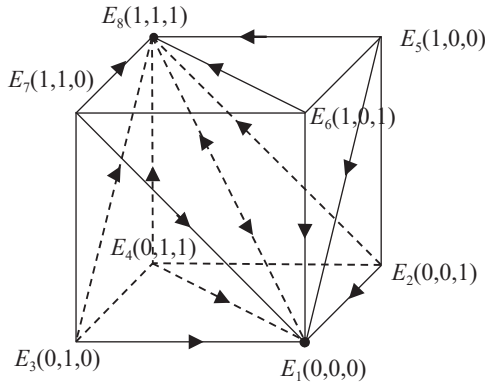
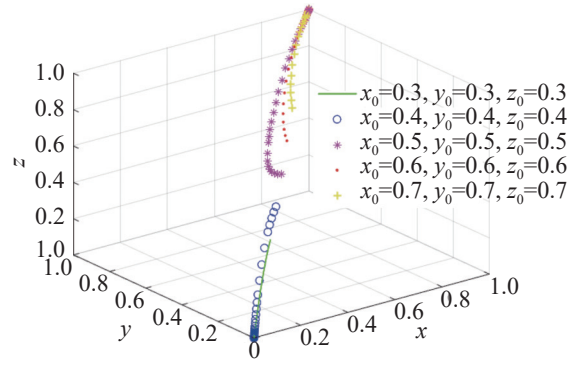


图2 演化相位图

Fig. 2 Evolutionary phase



(b) 三方博弈系统演化

图3 初始情况博弈

Fig. 3 Initial situation game

### 3 数值仿真分析

演化博弈仿真的重点在于分析关键要素对均衡结果的影响,探索如何才能实现理想均衡。文中提到的理想均衡是供应链三方均选择区块链融资模式进行融资,通过 Matlab 仿真模拟区块链成本、应收账款账期及担保费率等因素对演化稳定策略的影响,探讨实现供应链三方策略选择的理想均衡演化路径。设定演化仿真时间为 1 s。

#### 3.1 初始演化博弈仿真

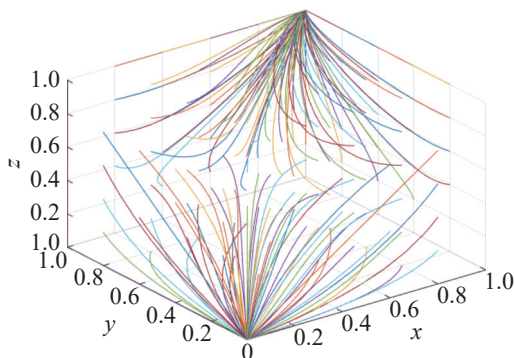
根据文献 [5, 7, 9] 及基本假设,设定产品需求量为 1 000 t,产品审查成本为 0.2 元/kg,一级供应商售价为 3 元/kg,从二级供应商采购价格为 2 元/kg,从应急货源采购价格为 4 元/kg,银行授信概率为 10%,区块链技术成本为 15 万元。根据国家有关文件并结合实际情况,设定银行贷款年利率为 8%、年担保费率为 5%、传统融资模式下应收账款账期为 1.0 a。结合 2.2 节演化稳定策略的约束条件计算,初步设定区块链模式下账期为 1.6 a。仿真得到初始演化博弈结果和三方博弈系统演化过程,如图 3。

由图 3 可看出:初始情况下的均衡点为  $E_1(0,0,0)$  和  $E_8(1,1,1)$  时,博弈系统演化为三方均选择传统融资模式或区块链融资模式的稳定状态。融资博弈系统有 2 个 ESS,且当各博弈主体初始策略比例较小时,系统收敛到传统融资模式;当初始策略比例较大时,系统收敛到区块链融资模式。实际上三方博弈系统是往传统融资模式方向演化还是往区块链融资模式方向演化,受区块链技术成本、应收账款账期、担保费率等参数的影响。

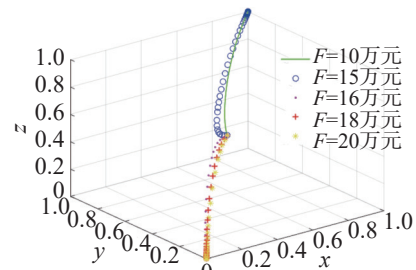
#### 3.2 演化博弈仿真

##### 3.2.1 区块链技术成本对三方博弈系统的影响

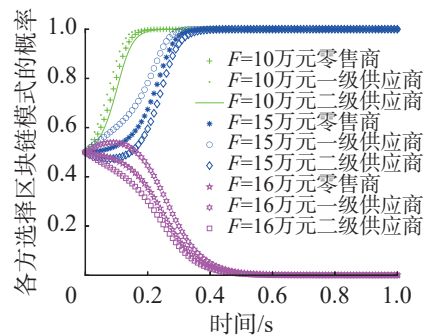
在其他参数初始设定不变的基础上,取区块链技术成本  $F=10, 15, 16, 18, 20$  万元,假定初始决策值为  $(0.5, 0.5, 0.5)$ ,模拟分析区块链技术成本对三方博弈系统及各主体策略选择的影响,结果如图 4。



(a) 初始演化博弈结果



(a) 三方博弈系统演化



(b) 各主体策略演化

图4 区块链技术成本对博弈系统的影响

Fig. 4 Impact of blockchain costs on the gaming system

由图 4 可知: 区块链技术成本阈值在 [15 万元, 16 万元] 时, 博弈系统由向区块链融资模式演化转变为向传统融资模式演化; 区块链技术成本低于阈值时, 三方均向区块链融资模式演化并达到稳定, 且区块链技术成本越低, 达到稳定的速度越快。这是因为区块链技术能够解决融资难和融资贵的问题, 为供应链成员和系统创造更高的价值, 各成员倾向于选择区块链融资模式; 区块链技术成本超过阈值时, 成本高于收益, 基于自身利益最大化考虑, 中小企业宁愿保持现状, 也不愿引入新技术<sup>[5]</sup>。然而现实中, 新技术进入市场时, 由于研发成本分摊、初始市场小, 技术使用费一般较高, 系统向传统融资模式演化的可能性很大, 这是区块链技术在中小企业融资中应用不广泛的原因之一。

### 3.2.2 应收账款账期对三方博弈系统的影响

在其他参数初始设定不变的基础上, 取  $T_2=1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9$  a, 假定初始决策值为 (0.5, 0.5, 0.5), 模拟分析应收账款账期对三方博弈系统以及各主体策略选择的影响, 结果如图 5。

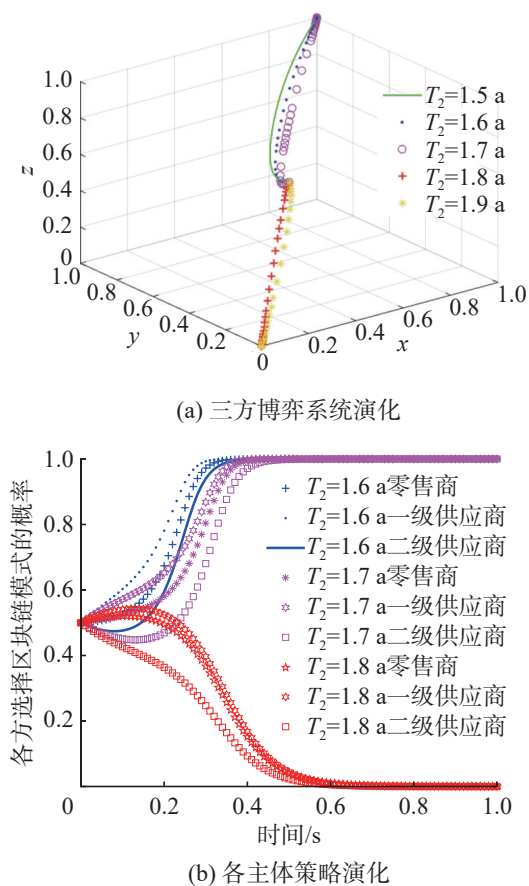


图5 应收账款账期对博弈系统的影响

Fig. 5 Impact of accounts receivable period on the gaming system

由图 5 可知: 应收账款账期的阈值在 [1.7 a, 1.8 a] 时, 博弈系统由向区块链融资模式演化转变为向传统融资模式演化; 应收账款账期低于阈值时, 系统三方均向区块链融资模式演化并达到稳定, 且账期越短, 达到稳定的速度越快。这是因为应收账款账期越短, 贷款期限就越短, 贷款利息就越少, 融资成本就越低, 一级和二级供应商选择区块链融资模式的意愿就越强。

### 3.2.3 担保费率对三方博弈系统的影响

在其他参数初始设定不变的基础上, 取  $r_1=0.04, 0.06, 0.08, 0.09, 0.10$ , 假定初始决策值为 (0.5, 0.5, 0.5), 模拟分析担保费率对三方博弈系统演化以及各主体策略选择的影响, 结果如图 6。

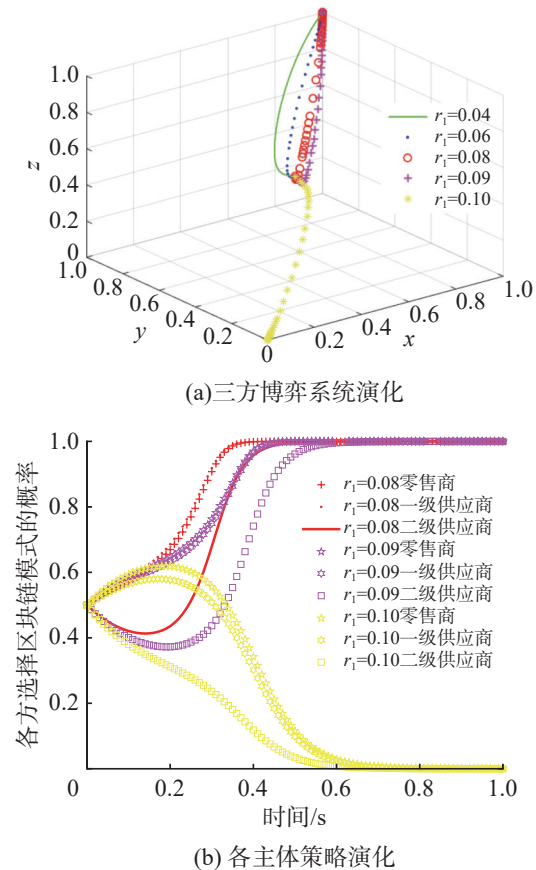


图6 担保费率对博弈系统的影响

Fig. 6 Impact of the guaranteed rate on the gaming system

由图 6 可知: 担保费率  $r_1$  的阈值在 [0.09, 0.10] 时, 博弈系统由向区块链融资模式演化转变为向传统融资模式演化; 担保费率低于阈值时, 系统三方均向区块链融资模式演化并达到稳定, 且担保费率越低, 达到稳定的速度越快。因为在担保期限和担保金额不变的情况下, 担保费率越低, 担保费就越低, 融资成本就越低, 供应商选择区块链融资模式的意愿就越高。而现实中, 零售商基于自身利益考虑, 倾向

于延长应收账款账期,收取更高的担保费,导致中小企业融资成本过高,从而不愿选择区块链融资模式。

比较图4(b)~6(b)还可注意到:在向区块链融资模式方向演化时,一级供应商最快选择区块链融资模式、零售商其次、二级供应商最慢;在向传统融资模式方向演化时,三方的演化速度恰好相反。对于零售商,无论何种情况区块链融资模式都是最优策略,区块链融资模式不仅能够减少担保审查费用、降低担保风险、增加担保收益、延长应收账款账期,还能促进供应链的健康发展,故零售商愿意选择区块链融资模式并推动该模式的应用和发展。一级供应商处于供应链的中游,与零售商、二级供应商的业务往来密切,除考虑自身利益外,还要考虑维持与零售商、二级供应商的长期合作关系,两边都需兼顾。而二级供应商由于自身规模小,对高成本的消化和吸收能力弱,当区块链技术成本、应收账款账期和担保费率高于阈值时,成本大于收益,面临破产风险,会坚定地选择传统融资模式。这种情况下,零售商和一级供应商基于自身利益和供应链发展选择区块链融资模式,但是由于二级供应商的不配合,最终只能选择传统融资模式,系统向{传统融资模式,传统融资模式,传统融资模式}演化并达到均衡。

综上所述:一级供应商选择区块链融资模式的意愿最强,零售商次之,二级供应商最低;博弈三方向区块链融资模式方向演化,二级供应商的决策起决定作用。因此,扩大区块链技术在供应链金融中的应用,要充分考虑二级供应商的利益。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

区块链技术的应用能有效缓解中小企业融资难、融资贵问题,但现实中区块链技术在中小企业融资中的应用并不广泛。构建由资金受限的中小企业一级供应商、二级供应商和核心企业零售商组成的供应链订单保理融资三方演化博弈模型,仿真分析区块链技术成本、应收账款账期、担保费率等因素对系统演化和供应链成员融资策略的影响。研究发现:当区块链成本过高或应收账款账期过长或担保回报率过高时,不利于博弈系统向区块链融资模式发展;一级供应商选择区块链融资模式的意愿最强,零售商次之,二级供应商最低;博弈系统向区块链融资模式演化,二级供应商的决策起决定作用。因此,将区块链成本、应收账款账期和担保费率控制在合理范围,保护供应商尤其是二级供应商的利益,有利于区块链技术在中小企业融资中的应用和推广。

### 4.2 建议

结合上述结论,基于企业、科技公司与政府的角度提出以下建议:

1) 对于企业,要摒弃狭隘的利益最大化观念,采取更为开放和包容的眼光,将自己与上下游企业的长远合作视为共同发展的基础。首先,中小企业应结合自身经营特点,积极响应国家号召主动引入区块链技术实现自我突破,同时不断提高自身生产运作能力,扩大自身产业发展,创造更多的社会价值,进而改善自身融资现状。其次,对于为中小企业提供担保的核心企业,在考虑自身发展的同时,应充分考虑整个供应链的可持续发展,一方面,核心企业可发挥在资金、管理、技术等方面的优势,加强数字化技术的引进,建立更完善的管理体系,通过对风险评估体系、合同管理体系等的建立和完善进一步增强服务能力;另一方面,可通过适当缩短账期或降低担保费等措施,促进中小企业引入区块链技术,从而实现各企业共赢。

2) 对于提供区块链技术的科技公司,要顺应推动区块链技术创新政策要求,加强金融科技与区块链技术的融合<sup>[15]</sup>。如将区块链技术与物联网、大数据等技术结合,促进供应链物流、资金流、信息流等信息有效传递;对引入区块链技术的中小企业给予更多的优惠,降低区块链技术的使用成本,有效缓解中小企业融资贵的问题,促进区块链技术在中小企业融资中的应用和推广。

3) 对于政府,应充分发挥引导和主导作用。一方面,积极鼓励企业通过引入区块链技术助力“数字中国”建设,积极号召企业进行数字化转型;根据企业引入区块链技术的效果,通过给予一定的技术使用补贴或者减免税收等措施,缓解企业在引入区块链技术过程中资金方面的压力。另一方面,加大力度多措并举激励保障关键技术人才,在技术人才薪资、住房等方面给予更多优惠政策,为企业数字化转型提供人才支持。当前,新一代信息技术发展迅猛,但供应链金融领域相关行业的基础设施建设还相对滞后,市场主体对数字化供应链金融的认识不足、投入不足。建议加大对数字化供应链金融的投入力度,加快数字化供应链金融产品创新,设立数字化供应链融资的快速办理通道,缩短业务办理时间。此外完善监管体系,促使形成健康的供应链融资市场。

### 参考文献:

- [1] 宋华. 困境与突破: 供应链金融发展中的挑战和趋势[J]. 中国流通经济, 2021, 35(5):3-9.  
SONG H. Dilemma and breakthrough: challenges and trends

- in the development of supply chain finance[J]. *China Business and Market*, 2021, 35(5):3-9.
- [2] CHOI T M, KUMAR S, YUE X H, et al. Disruptive technologies and operations management in the industry 4.0 era and beyond[J]. *Production and Operations Management*, 2022, 31(1):9-31.
- [3] DUTTA P, CHOI T M, SOMANI S, et al. Blockchain technology in supply chain operations: applications, challenges and research opportunities[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2020, 142:102067.
- [4] CHOI T M. Supply chain financing using blockchain: impacts on supply chains selling fashionable products[J]. *Annals of Operations Research*, 2023, 331(1):393-415.
- [5] 王道平, 朱梦影, 董汉玺. 资金约束下基于区块链技术的供应链运营决策研究 [J/OL]. *中国管理科学*, [2023-08-25]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0216>.
- WANG D P, ZHU M Y, DONG H X. Supply chain operation decision based on blockchain technology with financial constraint[J/OL]. *Chinese Journal of Management Science*, [2023-08-25]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0216>.
- [6] 李健, 朱士超, 李永武. 基于综合集成方法论的区块链驱动下供应链金融决策研究 [J]. *管理评论*, 2020, 32(7):302-314.
- LI J, ZHU S C, LI Y W. Decision analysis of supply chain finance driven by blockchain based on meta-synthesis[J]. *Management Review*, 2020, 32(7):302-314.
- [7] 孙睿, 何大义, 苏汇淋. 基于演化博弈的区块链技术在供应链金融中的应用研究 [J]. *中国管理科学*, 2024, 32(3):125-134.
- SUN R, HE D Y, SU H L. Application of blockchain technology to preventing supply chain finance based on evolutionary game[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2024, 32(3):125-134.
- [8] 楼永, 常宇星, 郝凤霞. 区块链技术对供应链金融的影响: 基于三方博弈、动态演化博弈的视角 [J]. *中国管理科学*, 2022, 30(12):352-360.
- LOU Y, CHANG Y X, HAO F X. The influence of blockchain on supply chain finance: based on tripartite game theory and dynamic evolutionary game theory[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(12):352-360.
- [9] 周雷, 邓雨, 张语嫣. 区块链赋能下供应链金融服务小微企业融资博弈分析 [J]. *金融理论与实践*, 2021(9):21-31.
- ZHOU L, DENG Y, ZHANG Y Y. Game analysis of supply chain finance for small and micro enterprises' financing based on blockchain[J]. *Financial Theory & Practice*, 2021(9):21-31.
- [10] DONG L X, QIU Y Z, XU F S. Blockchain-enabled deeper tier supply chain finance[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2023, 25(6):2021-2037.
- [11] WANG C F, CHEN X F, XU X, et al. Financing and operating strategies for blockchain technology-driven accounts receivable chains[J]. *European Journal of Operational Research*, 2023, 304(3):1279-1295.
- [12] 王道平, 朱梦影, 周玉. 区块链环境下基于产出不确定的供应链融资策略研究 [J]. *管理评论*, 2023, 35(3):257-266.
- WANG D P, ZHU M Y, ZHOU Y. Supply chain financing strategy based on uncertain yields in blockchain environment[J]. *Management Review*, 2023, 35(3):257-266.
- [13] 屈绍建, 李帅. 区块链背景下订单转保理供应链金融博弈模型 [J]. *系统工程理论与实践*, 2023, 43(12):3570-3590.
- QU S J, LI S. A supply chain finance game model with order-to-factoring under blockchain[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2023, 43(12):3570-3590.
- [14] 刘露, 李勇建, 姜涛. 基于区块链信用传递功能的供应链融资策略 [J]. *系统工程理论与实践*, 2021, 41(5):1179-1196.
- LIU L, LI Y J, JIANG T. Supply chain financing strategy based on blockchain credit transfer function[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2021, 41(5):1179-1196.
- [15] 焦媛媛, 闫鑫, 杜军, 等. 区块链赋能视角下保理融资三方演化博弈研究 [J]. *管理学报*, 2023, 20(4):598-609.
- JIAO Y Y, YAN X, DU J, et al. Tripartite evolutionary game research of factoring financing under the integration of blockchain[J]. *Chinese Journal of Management*, 2023, 20(4):598-609.
- [16] SWINNEY R, NETESSINE S. Long-term contracts under the threat of supplier default[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2009, 11(1):109-127.
- [17] GALOR O, WEIL D N. Population, technology, and growth: from Malthusian stagnation to the demographic transition and beyond[J]. *American Economic Review*, 2000, 90(4):806-828.
- [18] RITZBERGER K, WEIBULL J W. Evolutionary selection in normal-form games[J]. *Econometrica*, 1995, 63(6):1371.
- [19] FIEDMAN D. Evolutionary games in economics[J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1991, 59(3):637-666.
- [20] WANG Y, CHENG D. Stability and stabilization of a class of finite evolutionary games[J]. *Journal of the Franklin Institute*, 2017, 354(3):1603-1617.