

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.05.007

# 区块链对资金约束双渠道供应链的影响研究<sup>①</sup>

李 健<sup>1</sup>, 朱士超<sup>1</sup>, 王亚静<sup>1</sup>, 汪寿阳<sup>1, 2, 3\*</sup>

(1. 北京工业大学经济与管理学院, 北京 100124; 2. 中国科学院数学与系统科学研究院, 北京 100190; 3. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京 100190)

**摘要:** 区块链技术能够缓解银企间信息不对称问题,并能提高双渠道供应链中的产品可追溯性. 考虑区块链技术的信息不对称缓解效应和市场潜力激励效应,构建由制造商、零售商和银行组成的资金约束双渠道供应链博弈模型,得到不采用区块链技术(情形 N)和采用区块链技术(情形 T)两种情形中各参与方的均衡决策和均衡利润. 进一步,通过对比分析得到区块链技术的采用对零售商融资环境及博弈均衡结果的影响. 研究表明:区块链技术能够减小融资缺口,降低融资成本,从而改善零售商融资环境;区块链技术的市场潜力激励效应对所有参与方均产生积极影响,而信息不对称缓解效应并非如此:对高质量零售商和银行总是有利的,对低质量零售商总是不利的,只有当零售商资金约束不严重时对制造商有利;智能合约能够帮助银行避免道德风险,进一步提高信息不对称缓解效应对高质量零售商和银行的积极作用. 研究结论对区块链技术赋能普惠金融和供应链可追溯性实践具有借鉴意义.

**关键词:** 区块链技术; 双渠道供应链; 资金约束; 信息不对称; 可追溯性

**中图分类号:** F274      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2025)05-0105-15

## 0 引 言

信息技术的迅速发展使得双渠道供应链成为大多数制造商的主要分销模式,如 IBM、格力、惠普、华为等知名企业. 双渠道供应链模式是指制造商在传统零售商销售渠道基础上,开辟直销渠道,直接向消费者销售产品<sup>[1]</sup>. 在制造商主导的双渠道供应链中,零售商多为中小企业,面临较大的资金压力. 例如,电商平台(如亚马逊、京东和天猫)上的许多商家扮演双渠道供应链中的零售商角色,由于初始资金短缺,需要依赖融资来维持业务运营. 在双渠道供应链中,制造商与零售商间的关系转变为一种竞争与合作并存的复杂格局,从而使零售商的资金约束问题对供应链运作产生更加

复杂的影响. 尽管政府部门推出了诸多政策来缓解中小企业融资困境,很多中小企业仍然被隔离在贷款体系之外. 报告《中小微企业融资缺口:对新兴市场微型、小型和中型企业融资不足与机遇的评估》指出,我国中小微企业面临高达 4.4 亿美元的潜在融资需求,而融资供给仅 2.5 亿美元,差额比重高达 43.18%<sup>②</sup>. 这一现象的根本原因在于,银行在进行中小企业背景调查时面临严重的信息不对称问题,无法对贷款企业信用状况做出准确评估,从而导致较高的贷款违约率. 以上海法院为例,2018 年—2022 年一审审结涉供应链金融纠纷案件数量逐年增加,分别为 6 165 件、12 375 件、19 509 件、25 185 件、25 489 件<sup>③</sup>.

① 收稿日期: 2022-02-24; 修订日期: 2024-05-09.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71932002; 71988101); 青年北京学者资助项目.

通讯作者: 汪寿阳(1958—), 男, 江苏东台人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: sywang@amss.ac.cn

② 数据来源: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/ff4c9839-21ac-5676-a23a-7cf6f745df0c>.

③ 数据来源: <https://www.deheheng.com/yjy/lssd/28584.html>.

作为一种分布式数据库,区块链技术的出现能够很大程度上解决信息不对称问题<sup>[2, 3]</sup>.许多银行和金融机构,如汇丰、花旗和巴克莱等,已采用区块链技术建立中小企业融资平台,以解决信息不对称问题.2018年9月,中国人民银行推出“央行贸易金融区块链平台”,运用区块链的透明度和不可篡改性处理信息不对称问题.该平台不仅涵盖银行和供应链企业等节点,还整合了包括征信、工商、税务、海关等数据接口.因此,区块链中储存着大量的多维度可信数据,且银行等金融机构能够实时收集和分析企业间的交易数据,并对客户进行精准画像.这有助于银行对中小企业的判断和信用评估,降低银企间信息不对称性,将这种效应定义为信息不对称缓解效应.

相较于传统零售渠道,双渠道供应链结构呈现出更高的复杂性,包含更多的节点和更大的数据量,亟需提高可追溯性.这种可追溯性在很大程度上影响市场需求<sup>[4]</sup>,进而影响零售商的资金需求.因此,在双渠道供应链中,资金约束状况与产品可追溯性的动态变化共同塑造制造商和零售商的策略制定.在供应链管理领域,区块链被视为解决产品可追溯性问题的关键技术之一<sup>[5, 6]</sup>,并已在多个行业落地应用<sup>[7, 8]</sup>.首先,智能合约确保数据直接从源头自动录入区块链系统,无需人工干预,有效防止原始数据被篡改<sup>[9, 10]</sup>;其次,结合物联网技术,区块链能收集并存储产品整个生命周期的详细信息,包括原材料、生产过程、物流、质量检验以及生长环境等<sup>[11, 12]</sup>;最后,区块链上的数据具有不可篡改性,不依赖于任何特定机构,最大程度上保证了数据的安全性<sup>[13]</sup>.通过扫描与产品一一对应的智能标签,消费者能够获取该产品的所有相关信息,且真实可靠<sup>[14]</sup>.正是由于以上优势,许多品牌已经将区块链技术应用到生产过程和供应链中,如LVMH、GUCCI、周大福、张裕等.可追溯性和品牌形象的提升能够提高消费者购买意愿,对产品的市场潜力产生积极影响<sup>[15, 16]</sup>,将这种效应定义为市场潜力激励效应.

以上两种效应分别从信息不对称和市场潜力两个方面刻画了区块链技术对资金约束双渠道供应链产生的影响.无论是银企间信息不对称程度的变化,还是市场潜力的变化,均会对该供应链金融体系中银行、制造商和零售商的均衡决策和均

衡利润产生影响,进而影响零售商的融资环境.此外,作为区块链技术的重要特征之一,智能合约能够根据交易双方商定的条件和规则自动执行交易<sup>[13]</sup>,通过提供合同可编程性帮助银行规避融资场景中存在的道德风险,进而影响均衡结果.基于以上分析,本研究旨在探讨以下问题:1)在不使用区块链技术(情形N)和使用区块链技术(情形T)两种情形下,各个参与方的均衡决策和均衡利润分别是什么?2)区块链技术的采用如何影响各个参与方的均衡决策和均衡利润?智能合约的角色是什么?3)区块链技术的采用能否改善中小企业(零售商)融资环境,从哪些方面改善?

考虑制造商通过零售和直销两个渠道销售同一产品,其中面临资金约束的零售商向银行申请贷款(预付款融资),银行根据对零售商的信用评估结果决定是否发放贷款及贷款利率.基于对信息不对称缓解效应和市场潜力激励效应的刻画,建立三方博弈模型,以确定N和T两种情形中各参与方的均衡策略和均衡期望利润,进而通过对比分析探讨区块链技术的采用对零售商融资环境及均衡结果的影响.此外,扩展模型探索了智能合约的应用对均衡结果的影响.

本研究创新点体现在:1)将区块链技术在供应链管理中的应用场景扩展到零售商资金约束的双渠道供应链,同时从银企间信息不对称和市场潜力两个方面刻画了区块链技术的应用;2)从融资缺口和融资成本两个方面考察了区块链技术对中小企业融资环境的影响.研究发现:首先,从中小企业融资环境角度,区块链技术能够减小融资缺口并降低贷款利率,从融资可获得性和融资成本两个方面改善中小企业融资环境.其次,从各参与方期望利润角度,区块链技术的应用对市场潜力激励效应对所有参与方均产生积极影响,而信息不对称缓解效应则不然:1)信息不对称缓解效应能够增大高质量零售商的期望利润,而对低质量零售商的期望利润产生负面作用;2)只有当零售商自有资金量较大时,制造商能够从信息不对称缓解效应中受益;3)信息不对称缓解效应有利于降低银行所面临的违约风险,并因此提高其期望利润.最后,智能合约的应用有助于银行规避零售商的道德风险,从而增强信息不对称缓解效应对高质量零售商和银行的正面影响.研究结论为区块链

等金融科技推动普惠金融发展和供应链可追溯性建设提供了管理启示。

## 1 文献综述

本研究主要探索区块链技术对资金约束双渠道供应链的影响,因此相关文献包括:1)供应链金融;2)双渠道供应链管理;3)区块链技术在供应链中的应用。

### 1.1 供应链金融

资金流是供应链管理中的重要组成部分,因此供应链金融的研究受到广泛关注。内部贸易信贷融资和外部银行信贷融资是供应链融资的两个主要资金来源<sup>[17]</sup>。目前运营管理领域供应链金融的研究大多集中在供应链各参与方如何进行最优决策以最大化自身利润或供应链利润,考虑的变量包括利率<sup>[18, 19]</sup>、核心企业担保<sup>[20, 21]</sup>、努力水平<sup>[22]</sup>、信息不对称<sup>[23, 24]</sup>、初始资金水平<sup>[25]</sup>、道德风险<sup>[19]</sup>、风险共担<sup>[26]</sup>、库存水平<sup>[27]</sup>等。此外,贸易信贷融资和银行信贷融资两种融资方式的比较也是研究的热点,影响融资渠道选择的因素包括自有资金<sup>[28-30]</sup>、资本市场竞争激烈程度<sup>[29]</sup>、供应商信用<sup>[31]</sup>、供应商异质性<sup>[32]</sup>等。

上述文献深入探讨了资金约束下企业或供应链在不同场景中的运营决策问题,而本研究则聚焦于技术因素(区块链技术)对资金约束供应链的影响。具体而言,从融资缺口和融资成本两个方面分析了区块链技术对中小企业融资的潜在影响。

### 1.2 双渠道供应链管理

双渠道供应链管理是运营管理的一个重要研究方向,对企业分销策略和利润有深远影响。Chiang等<sup>[33]</sup>研究了双渠道供应链结构对供应链成员的积极影响,是该问题的开创性研究。与零售渠道相比,制造商直销是较晚出现的销售渠道,因此制造商(供应商)入侵是早期研究的热门问题之一。Arya等<sup>[34]</sup>认为供应商入侵能够使零售商受益,因为这种入侵诱使供应商降低批发价格,以防止零售商对产品的需求过度下降。Li等<sup>[35]</sup>研究了在零售商具有信息优势的条件下供应商入侵的影响,得到了相反的结果。赵礼强等<sup>[36]</sup>发现,供应商

开通线上渠道会导致零售商市场份额降低,利润下降。学者们研究了不同情景下制造商入侵对供应链成员利润的影响,如产品质量<sup>[37]</sup>、信息不对称<sup>[38]</sup>、自有品牌<sup>[39]</sup>、信息共享<sup>[40]</sup>、消费者偏好<sup>[41]</sup>等。此外,双渠道供应链中的决策和协调问题也是研究热点之一<sup>[42-44]</sup>。

双渠道供应链管理领域已经积累了丰富的文献,其中供应商入侵和双渠道协调问题备受关注。尽管区块链技术与双渠道供应链具有天然的契合性,但鲜有研究深入探讨两者之间的关系。与上述文献不同,本研究通过对银企间信息不对称和市场潜力两个方面的刻画,深入探索区块链技术对双渠道供应链的影响。

### 1.3 区块链技术在供应链中的应用

区块链技术在供应链中的应用是与本研究最为接近的领域。Babich和Hilary<sup>[13]</sup>及Li等<sup>[45]</sup>进行了基础性的研究,总结了区块链技术的优缺点以及在运营管理领域的潜在研究方向。本节重点回顾区块链技术在供应链金融及双渠道供应链中的应用研究。

在供应链金融领域,学者们聚焦于区块链技术带来的信息透明、智能合约及信息传递效应。Chod等<sup>[46]</sup>认为区块链技术为供应链金融提供了一个低成本且可信任的环境,为库存信号示意提供了前提条件。龚强等<sup>[47]</sup>分析了区块链供应链金融相比传统供应链金融的优势,发现当上链企业足够多、上链信息质量足够高时,区块链技术能够优化供应链金融环境。Lee等<sup>[2]</sup>研究了一种创新的供应链融资模式(动态贸易融资),从合约执行、信息延迟、信息不对称三个方面探讨了区块链等金融科技与动态贸易融资之间的交互关系。Dong等<sup>[48]</sup>和刘露等<sup>[49]</sup>研究了区块链技术信用传递特性对多层级供应链融资的影响。成程等<sup>[50]</sup>通过实证分析表明,以区块链技术为代表的金融科技显著促进了供应链金融在提升企业价值方面的效果。

在双渠道供应链领域,学者们从不同角度研究了区块链技术的应用,涵盖了采用模式、市场效应、政府补贴等多个维度。Zhang等<sup>[51]</sup>研究了双渠道供应链中区块链的三种采用模式,发现供应链成员的采用策略取决于直销成本、需求波动以及区块链的运营成本。Zhu等<sup>[10]</sup>通过考虑市场需

求激励效应和市场份额转移效应,发现采用区块链技术对零售商总是有利的,而对制造商并非如此. Zhong 等<sup>[52]</sup>探索了在政府补贴背景下,采用区块链技术对双渠道供应链的影响,并对两种补贴方式进行了比较. Xu 等<sup>[53]</sup>考虑跨渠道效应以及区块链技术对需求预测精度的影响,对比分析了有无区块链情形下各参与方的最优决策和最优利润. 针对区块链技术对双渠道供应链中定价和渠道选择策略的影响这一问题,梁喜等<sup>[54]</sup>考虑了区块链使用程度、订货量波动以及交易费用等因素,梁喜和肖金凤<sup>[55]</sup>考虑了区块链技术对产品评估时间和假冒伪劣产品出现概率的影响.

考虑区块链技术带来的多重效应,学者们分别在供应链金融和双渠道供应链两个领域探索了其影响. 本研究将两个领域融合,专注于区块链技术对资金约束双渠道供应链的影响. 考虑区块链技术对银企间信息不对称性以及市场潜力的影响,并通过对比分析深入探讨博弈均衡解及中小企业融资环境的变化.

综上,本研究理论贡献可总结如下:1) 构建了一个分析框架,同时从银企间信息不对称和市场潜力两个维度阐释了区块链技术的应用;2) 采用条件概率的方式刻画了银企间的信息不对称性,为研究提供了建模手段;3) 引入两个关键维度,即融资缺口和融资成本,以分析中小企业融资环境,为深入理解普惠金融提供了定量分析视角.

## 2 模型描述

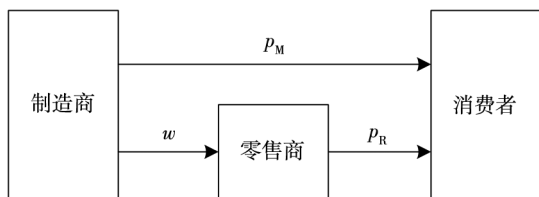


图 1 双渠道供应链结构

Fig. 1 Dual-channel supply chain structure

考虑由单一制造商和单一零售商组成的双渠道供应链. 制造商以批发价  $w$  将产品批发给零售商,零售商再以零售价  $p_R$  销售给消费者,称为零售渠道;同时,制造商开辟直销渠道,以价格  $p_M$  直接销售产品给消费者,称为直销渠道. 双渠道供应链结构如图 1 所示. 零售商自有资金为  $B_0$ , 不足

以支付订单金额,需要向银行申请贷款. 区块链技术的采用是一种长期战略决策,为了体现未来各个周期零售商自有资金的不确定性,假设  $B_0$  为随机变量,满足 0 到  $2\mu$  区间上的均匀分布,即  $B_0 \sim U(0, 2\mu)$ , 其中  $2\mu < wq_R$ . 银行对零售商进行信用评估并做出贷款决策,包括是否批准贷款及贷款利率  $r$  (若批准贷款). 销售周期结束后,零售商向银行偿还贷款本息和.

与 Arya 等<sup>[34]</sup>类似,本研究采用古诺竞争模型,假设零售渠道和直销渠道的反需求函数分别为  $p_R = \rho a - q_R - q_M$ ,  $p_M = (1 - \rho)a - q_M - q_R$ . 其中,  $a$  表示该产品市场潜力,  $\rho$  ( $\rho \in (0, 1)$ ) 表示零售渠道的市场份额,  $1 - \rho$  表示直销渠道的市场份额. 假设市场中存在两个类型的零售商,且类型信息为零售商私有信息,银行和制造商仅掌握市场上两种类型企业的存在概率. 具体来讲,市场上存在高质量(H型)和低质量(L型)两个类型的零售商,存在概率分别为  $\theta$  和  $1 - \theta$ , 即  $P(H) = \theta$ ,  $P(L) = 1 - \theta$ . 两个类型零售商之间的区别主要体现在违约风险上, H 型零售商不存在违约风险,即按时归还本息和,而 L 型零售商期末不能偿还贷款. 银行收到零售商贷款申请后,需要通过信用评估来判断零售商类型:若判断其为高质量企业 ( $\xi = h$ ),则同意贷款申请;若判断其为低质量企业 ( $\xi = l$ ),将不会提供贷款,零售商只能通过自有资金向制造商订购产品. 用上标 N 和 T 分别表示情形 N 和 T,下面分别介绍两种情形的模型设置,以体现区块链技术的信息不对称缓解效应和市场潜力激励效应.

信息不对称缓解效应. 由于银行数据体系不健全、中小企业交易信息难以追溯等问题,银行通过信用评估做出的判断通常不够准确,即银行获得的信号通常不能完全反映零售商真实类型. 本研究通过银行对零售商所属类型判断的准确率来表示这一风险:假设在情形 N 中,当零售商为 H 型时,银行判断其为高质量零售商的概率为  $\gamma$ ; 当零售商为 L 型时,银行判断其为低质量零售商的概率也为  $\gamma$ . 即

$$P^N(h|H) = P^N(l|L) = \gamma \quad (1)$$

其中  $\gamma \in [1/2, 1)$ , 相同的假设出现在 Iyengar 等<sup>[3]</sup>. 区块链技术的采用能够缓解融资过程中存

在的信息不对称问题,提高银行对零售商类型判断的准确率. 令情形 T 中银行判断的准确率为  $P^T(h|H) = P^T(l|L) = \gamma + \varepsilon$ , 则  $\Delta_1 = \varepsilon$  表示区块链技术对判断准确率的提高程度, 即信息不对称缓解效应的大小. 为方便表示且不失一般性, 令  $\varepsilon = 1 - \gamma$ , 即  $P^T(h|H) = P^T(l|L) = 1$ .

市场潜力激励效应. 令情形 N 和 T 中市场潜力分别为  $a^N = a$  和  $a^T = 1$ , 其中  $a \in (0, 1)$ , 则  $\Delta_2 = 1 - a$  表示区块链技术带来的市场潜力激励效应的大小.

根据贝叶斯定理, 当银行判断零售商为高质量企业 ( $\xi = h$ ) 时, 该零售商实际类型为 H 的概率为  $P^i(H|h)$ ,

$$P^i(H|h) = \frac{P^i(h|H)P(H)}{P^i(h|H)P(H) + P^i(h|L)P(L)} \quad (2)$$

表1 各参与方利润函数

Table 1 Profit function of participants

银行获得信号		$\xi = h$	$\xi = l$
零售商 $\pi_R^i (i = N, T)$	$\pi_{RH}^i$	$E(p_R^i q_R^i - B_0 - (wq_R^i - B_0)(1 + r^i))$	$E\left((p_R^i - w) \frac{B_0}{w}\right)$
	$\pi_{RL}^i$	$E(p_R^i q_R^i - B_0)$	
制造商 $\pi_M^i (i = N, T)$		$p_M^i q_M^i + wq_R^i$	$E(p_M^i q_M^i + B_0)$
银行 $\pi_B^i (i = N, T)$		$E((wq_R^i - B_0)(P_h^i(1 + r^i) - 1))$	$\backslash$

当银行判断面对的零售商为高质量 ( $\xi = h$ ) 时, 该零售商实际为 H 型和 L 型企业的概率分别为  $P_h^i$  和  $1 - P_h^i$ . 两种类型零售商收益均为  $p_R^i q_R^i$ , 不同点在于 H 型零售商期末需要偿还本息和  $(wq_R^i - B_0)(1 + r^i)$ , 而 L 型零售商期末将违约不偿还贷款. 此时, 制造商的利润函数包括直销渠道收益  $p_M^i q_M^i$  以及零售渠道收益  $wq_R^i$ . 对银行来说, 期末以概率  $P_h^i$  获得零售商偿还的本息和  $(wq_R^i - B_0)(1 + r^i)$ , 成本为  $wq_R^i - B_0$ . 当银行判断面对的零售商为低质量 ( $\xi = l$ ) 时, 零售商只能利用自有资金  $B_0$  向制造商订购  $B_0/w$  单位产品, 并获得

其中  $i = N, T$ . 同理, 可以得到  $P^i(L|h), P^i(H|l), P^i(L|l)$ . 为方便表示, 令  $P_h^i = P^i(H|h)$ . 不失一般性, 假设市场中 H 型和 L 型零售商的存在概率相同, 即  $\theta = 1/2$ . 定义融资缺口为本应获得贷款的零售商中未能获得的比例<sup>④</sup>, 即高质量零售商中未能获得贷款的比例  $P^i(l|H)$ .

零售渠道和直销渠道的反需求函数分别可以表示为  $p_R^i (i = N, T)$  和  $p_M^i (i = N, T)$ .

$$p_R^i = \rho a^i - q_R^i - q_M^i \quad (3)$$

$$p_M^i = (1 - \rho) a^i - q_M^i - q_R^i \quad (4)$$

令制造商的生产成本为 0, 则不同情形中零售商、制造商和银行的利润函数如表 1 所示, 下标 RH、RL、M、B 分别表示 H 型零售商、L 型零售商、制造商及银行.

相应利润. 此时, 制造商利润函数包括直销渠道收益  $p_M^i q_M^i$  及零售渠道收益  $B_0$ .

为保证均衡解非负, 令  $a^i \geq 2\mu/w$ . 不失一般性, 假设零售渠道和直销渠道拥有相同的市场份额, 即  $\rho = 1/2$ . 此外, 为保证零售商有动机参与该供应链, 令  $w(1 + r^i) < p_R^i$ . 零售商、制造商和银行都是风险中性的, 以利润最大化为目标. 该三方博弈模型的决策顺序为: 首先, 收到零售商贷款申请后, 银行根据信用评估结果 ( $\xi = h$  或  $\xi = l$ ) 决定是否贷款给零售商; 其次, 银行决定贷款利率; 最后, 零售商和制造商同时

④ 参照亚洲开发银行工作论文, Lee H H, Yang S A, Kim K. The role of Fintech in mitigating information friction in supply chain finance. Asian Development Bank Economics Working Paper Series, 2019, (599).

决定订货量. 在面向消费者的终端市场上, 制造商和零售商进行 Cournot 博弈, 而在贷款业务中, 银行和零售商进行以银行为主导的 Stackelberg 博弈.

### 3 均衡分析

#### 3.1 基准模型: 零售商资金充足

首先考虑零售商资金充足的情况(用下标 E 表示). 当资金充足时, 零售商只需要使用自有资金订货, 无需向银行申请贷款, 银行也无需对零售商所属类型做出判断, 该模型简化为一个不存在资金约束和信息不对称的双渠道供应链问题.

**命题 1** 当零售商资金充足时, 零售商和制造商的最优决策和利润为

1) 零售商和制造商的最优订货量分别为  $q_{RE}^{i*} = \frac{a^i - 4w}{6}$ ,  $q_{ME}^{i*} = \frac{a^i + 2w}{6}$ ;

2) 零售商和制造商的最优利润分别为  $\pi_{RE}^{i*} = \frac{(a^i - 4w)^2}{36}$ ,  $\pi_{ME}^{i*} = \frac{(a^i)^2 + 10a^iw - 20w^2}{36}$ .

命题 1 给出了当零售商不受资金约束时, 情形 N ( $i = N$ ) 和 T ( $i = T$ ) 中该双渠道供应链模型的均衡解. 由于不存在信息不对称问题, 仅分析区块链技术的市场潜力激励效应对博弈均衡解的影响. 区块链技术的应用提高了市场潜力 ( $a^T > a^N$ ), 激励零售商和制造商提高订货量 ( $q_{RE}^{T*} > q_{RE}^{N*}$ ,  $q_{ME}^{T*} > q_{ME}^{N*}$ ), 即市场潜力增大对零售商和制造商的最优订货量产生正向作用. 根据中欧 - 普洛斯供应链与服务创新中心、京东数科联合发布的《2020 区块链溯源服务创新及应用报告》<sup>[56]</sup>, 京东平台部分产品使用区块链技术溯源后, 销量上升明显. 其中, 保健品和母婴产品的销量分别上升 29.4% 和 10.0%, 这与本研究的结论一致. 进一步, 市场潜力的增大提高了双方均衡利润 ( $\pi_{RE}^{T*} > \pi_{RE}^{N*}$ ,  $\pi_{ME}^{T*} > \pi_{ME}^{N*}$ ).

#### 3.2 零售商资金约束

当零售商资金约束时, 零售商将使用自有资金和贷款资金订货, 同时考虑贷款利率. 本节推导

得到该资金约束双渠道供应链中零售商、制造商和银行在 N 和 T 两种情形中的均衡决策和均衡利润, 并进行对比分析.

**命题 2** 在情形 N 和 T 中, 零售商、制造商和银行的均衡决策如表 2.

表 2 零售商资金约束下各参与方均衡决策

Table 2 Equilibrium decisions of all participants under retailer's capital constraints

决策变量	$\xi = h$	$\xi = l$
$q_R^*$	$\frac{(a^iw + 6\mu)P_h^i - 4w^2}{12P_h^iw}$	$\frac{\mu}{w}$
$q_M^*$	$\frac{(5a^iw - 6\mu)P_h^i + 4w^2}{24P_h^iw}$	$\frac{a^iw - 2\mu}{4w}$
$r^{i*}$	$\frac{(wa^i - 8w^2 - 6\mu)P_h^i + 4w^2}{8P_h^iw^2}$	\

根据银行对零售商所属类型的判断 ( $\xi = h$  或  $\xi = l$ ), 该三方博弈有不同的均衡解. 由命题 2, 零售商最优订货量随着自有资金量  $\mu$  的增大而增大, 而制造商最优订货量和银行最优利率随着  $\mu$  的增大而减小. 当  $\xi = h$  时, 银行将为零售商提供贷款. 随着  $\mu$  增大, 零售商贷款额降低, 使得银行有动机降低利率. 同时, 贷款额降低使得零售商订货成本降低, 导致其最优订货量增大, 进而制造商最优订货量减小. 当  $\xi = l$  时, 银行将拒绝零售商贷款申请, 零售商只能利用自有资金向制造商订货. 自有资金量  $\mu$  越大, 零售商最优订货量越大, 制造商最优订货量越小.

**推论 1** 当银行判断零售商为高质量企业 ( $\xi = h$ ) 时, 区块链技术对均衡决策的影响.

1) 零售商最优订货量增大, 即  $q_R^{T*} - q_R^{N*} > 0$ ;

2) 制造商最优订货量增大, 即  $q_M^{T*} - q_M^{N*} > 0$ ,

当且仅当  $\Delta_1 < \frac{5P_h^N}{4w}\Delta_2$ ;

3) 银行最优利率减小, 即  $r^{T*} - r^{N*} < 0$ , 当且仅当  $\Delta_1 > \frac{P_h^N}{4w}\Delta_2$ .

推论 1 给出了当  $\xi = h$  时, 情形 N 和 T 中各参与方最优决策的对比分析. 市场潜力激励效应对零售渠道和直销渠道的最优订货量均有正向作

用. 对银行来说, 观察到零售商资金需求增大, 有动机提高贷款利率. 信息不对称缓解效应能够提高银行的判断准确率, 降低错判概率. 当银行判断零售商为高质量企业( $\xi = h$ ) 时, 相比情形 N, 情形 T 中该零售商实际为高质量企业的概率增大, 银行面临的违约风险减小, 从而银行有动机降低贷款利率. 较小的贷款利率意味着零售商订货成本降低, 进而提高订货量. 零售商订货成本降低削弱了制造商竞争优势, 导致其最优订货量降低.

情形 N 和 T 中各参与方最优决策的变化情况同时取决于市场潜力激励效应和信息不对称缓解效应的影响. 其中, 市场潜力激励效应使三个参与方最优决策均增大, 而信息不对称缓解效应使零售商最优订货量增大, 制造商最优订货量和银行最优利率减小. 因此, 零售商最优订货量总能随着区块链技术的采用而增大( $q_R^{T*} - q_R^{N*} > 0$ ). 制造商最优订货量和银行最优利率的变化取决于两种效应的对比情况. 当市场潜力激励效应占主导( $\Delta_2$  较大) 时, 制造商最优订货量增大( $q_M^{T*} - q_M^{N*} > 0$ ). 反之, 制造商最优订货量减小. 当信息不对称缓解效应占主导( $\Delta_1$  较大) 时, 银行最优利率降低( $r^{T*} - r^{N*} < 0$ ), 这是零售商融资环境改善的指标之一, 将在命题 3 中进一步讨论.

**推论 2** 当银行判断零售商为低质量企业( $\xi = l$ ) 时, 区块链技术对均衡决策的影响.

- 1) 零售商最优订货量不变, 即  $q_R^{T*} = q_R^{N*}$ ;
- 2) 制造商最优订货量增大, 即  $q_M^{T*} - q_M^{N*} > 0$ .

当  $\xi = l$  时, 银行拒绝零售商的贷款申请, 零售商没有充足的资金订购最优数量的产品. 即使区块链技术能够激励市场潜力, 零售商也不能增大

订货量, 只能将自有资金全部用于订购产品, 因此情形 N 和情形 T 中零售商最优订货量相同( $q_R^{T*} = q_R^{N*}$ ). 与基准模型相似, 制造商直销渠道订货量随着区块链技术的采用而增大( $q_M^{T*} - q_M^{N*} > 0$ ). 由于零售商没有获得银行贷款, 信息不对称缓解效应对参与方最优决策没有影响.

**命题 3** 区块链技术对零售商融资环境的影响.

- 1) 区块链技术的采用能够降低融资缺口, 即  $P^T(l|H) < P^N(l|H)$ ;
- 2) 信息不对称缓解效应能够降低贷款利率, 即  $r^{T*}(\Delta_2 = 0) < r^{N*}(\Delta_2 = 0)$ .

命题 3 给出了区块链技术的采用对零售商融资环境的影响, 包括融资缺口和融资成本(融资利率). 只有被判断为高质量企业( $\xi = h$ ) 时, 零售商贷款申请才能被批准. 高质量零售商(H 型) 向银行申请贷款时, 可能被误判为低质量企业( $\xi = l$ ), 不能获得贷款. 由命题 3, 区块链技术的采用能够缓解这种困境, 降低高质量企业被误判为低质量企业的概率, 降低融资缺口, 即  $P^T(l|H) < P^N(l|H)$ . 进一步, 信息不对称缓解效应提高了银行判断的准确率, 即低质量零售商获得银行贷款的概率降低, 银行面临的违约风险减小, 有动机降低融资利率( $r^{T*}(\Delta_2 = 0) < r^{N*}(\Delta_2 = 0)$ ), 这意味着零售商融资成本降低. 因此, 命题 3 说明区块链技术的采用能够缓解中小企业面临的融资难、融资贵问题, 改善融资环境.

**命题 4** 在情形 N 和情形 T 中, 零售商、制造商和银行的均衡利润如表 3 所示,  $\varphi_1^i \varphi_6^i$  的值见附录<sup>⑤</sup>.

表 3 零售商资金约束下各参与方均衡利润

Table 3 Equilibrium profits of all participants under retailer's capital constraints

均衡利润	$\pi_{RH}^{i*}$	$\pi_{RL}^{i*}$	$\pi_M^{i*}$	$\pi_B^{i*}$
$\xi = h$	$\frac{\varphi_1^i (P_h^i)^2 + \varphi_2^i P_h^i + 16w^4}{144 (P_h^i)^2 w^2}$	$\frac{\varphi_3^i (P_h^i)^2 + \varphi_4^i P_h^i - 16w^4}{288 (P_h^i)^2 w^2}$	$\frac{\varphi_5^i (P_h^i)^2 + \varphi_6^i P_h^i + 16w^4}{576 (P_h^i)^2 w^2}$	$\frac{(6\mu P_h^i - a^i P_h^i w + 4w^2)^2}{96 P_h^i w^2}$
$\xi = l$	$\frac{(a^i w - 4w^2 - 2\mu)\mu}{4w^2}$		$\frac{((a^i)^2 + 16\mu)w^2 - 4\mu a^i w + 4\mu^2}{16w^2}$	\

⑤ 附录有需要可向作者索要.

命题4给出了在银行不同判断下,零售商、制造商和银行的均衡利润.由命题4,同一零售商被判断为高质量和低质量企业时,期末获得的均衡利润不同.相应的,制造商和银行的利润也不同.考虑银行对零售商判断的不确定性,定义 $\Pi_{RH}^{i*}$ 、 $\Pi_{RL}^{i*}$ 、 $\Pi_M^{i*}$ 、 $\Pi_B^{i*}$ 分别表示高质量零售商、低质量零售商、制造商和银行的期望利润,其中 $\Pi_{RH}^{i*} = \sum_{\xi=h,l} P^i(\xi|H) \pi_{RH}^{i*}(\xi)$ ,  $\Pi_{RL}^{i*} = \sum_{\xi=h,l} P^i(\xi|L) \pi_{RL}^{i*}(\xi)$ ,  $\Pi_M^{i*} = \sum_{\xi=h,l} P^i(\xi) \pi_M^{i*}(\xi)$ ,  $\Pi_B^{i*} = P^i(h) \pi_B^{i*}(\xi = h)$ .命题5和命题6分别分析了信息不对称缓解效应和市场潜力激励效应对各个参与方期望利润的影响.

**命题5** 若 $\Delta_2 = 0$ ,区块链技术对各个参与方期望利润的影响.

1) 高质量零售商期望利润增大,低质量零售商期望利润减小,即 $\Pi_{RH}^{T*} > \Pi_{RH}^{N*}$ ,  $\Pi_{RL}^{T*} < \Pi_{RL}^{N*}$ ;

2) 制造商期望利润增大,即 $\Pi_M^{T*} > \Pi_M^{N*}$ ,当且仅当 $\mu > \mu$ ;

3) 银行期望利润增大,即 $\Pi_B^{T*} > \Pi_B^{N*}$ .

$$\text{其中 } \mu = \frac{(5a - 22w)P_h^N w + 2w^2}{6P_h^N}.$$

$\Delta_2 = 0$ 表示区块链技术的市场潜力激励效应为零,即 $a^T = a^N$ .因此,命题5讨论了信息不对称缓解效应对各个参与方期望利润的影响.信息不对称缓解效应对高质量零售商的影响分为两个方面:一方面,当被银行判断为高质量企业时,其获得的贷款利率降低,对其期望利润有利;另一方面,被误判为低质量企业的概率降低,也对其期望利润有积极作用.因此,信息不对称缓解效应对高质量零售商总是有利的,即 $\Pi_{RH}^{T*} > \Pi_{RH}^{N*}$ .相反,对于低质量零售商来说,区块链技术的采用使得银行更容易将其与高质量零售商区分开,从而无法获得贷款.因此,信息不对称缓解效应对低质量零售商的期望利润有消极作用,即 $\Pi_{RL}^{T*} < \Pi_{RL}^{N*}$ .当信息不对称情况得到缓解时,贷款利率降低,获得

贷款的零售商有动机向制造商订购更多产品,提高了制造商在零售渠道的收益;另一方面,贷款利率的降低使零售商在与制造商的竞争中获得竞争优势,这对制造商不利.当零售商资金约束不严重( $\mu$ 较大)时,信息不对称缓解效应对制造商期望利润的积极作用占主导,即 $\Pi_M^{T*} > \Pi_M^{N*}$ .对银行来说,信息不对称缓解效应使其误判概率降低,面临的违约风险也降低.因此,信息不对称缓解效应对银行期望利润有积极作用,即 $\Pi_B^{T*} > \Pi_B^{N*}$ .

**命题6** 若 $\Delta_1 = 0$ ,情形T中各参与方的期望利润均大于情形N,即 $\Pi_{RH}^{T*} > \Pi_{RH}^{N*}$ ,  $\Pi_{RL}^{T*} > \Pi_{RL}^{N*}$ ,  $\Pi_M^{T*} > \Pi_M^{N*}$ ,  $\Pi_B^{T*} > \Pi_B^{N*}$ .

$\Delta_1 = 0$ 表示区块链技术的信息不对称缓解效应为零,即 $P^T(\xi|H) = P^N(\xi|H)$ ,  $P^T(\xi|L) = P^N(\xi|L)$ .因此,命题6聚焦于市场潜力激励效应对各个参与方期望利润的影响.与基准模型相似,命题6说明区块链技术的市场潜力激励效应对高质量零售商、低质量零售商、制造商和银行的期望利润均有积极作用.当零售商被银行判断为高类型企业( $\xi = h$ )时,市场潜力激励效应对其订货量有积极作用(推论1),进而增大其利润.当零售商被银行判断为低类型企业( $\xi = l$ )时,其订货量虽然没有受到市场潜力激励效应的影响,但较高的市场潜力使零售渠道零售价提高( $p_R^{T*} > p_R^{N*}$ ),进而增大利润.因此,无论是高质量或低质量零售商,市场潜力激励效应均能增大其期望利润.进一步,市场潜力激励效应使制造商在两个渠道获得的利润都增大.对银行来说,零售商订货量的增大意味着贷款额提高,进而期望利润增大.

## 4 数值算例与模型扩展

### 4.1 数值算例

命题5和命题6分别探讨了信息不对称缓解

效应和市场潜力激励效应对各参与方期望利润的影响,本节通过数值算例进一步验证和讨论. 参数设置及相关解释如下:为表达简便,模型设置中假设  $a^T = 1, P^T(h|H) = 1$ . 本节将放松这一假设,将各个参与方的期望利润对  $\Delta_1$  和  $\Delta_2$  进行敏感性

分析. 令  $\gamma = 0.5, a^N = 50, \Delta_1$  和  $\Delta_2$  分别以步长 0.1 和 10 变化,以验证结论鲁棒性. 通过对  $\gamma$  和  $a^N$  进行数值实验,其取值不影响图形趋势. 此外,为保证零售商具有资金约束及模型均衡解非负,令  $\mu = 1, w = 1$ .

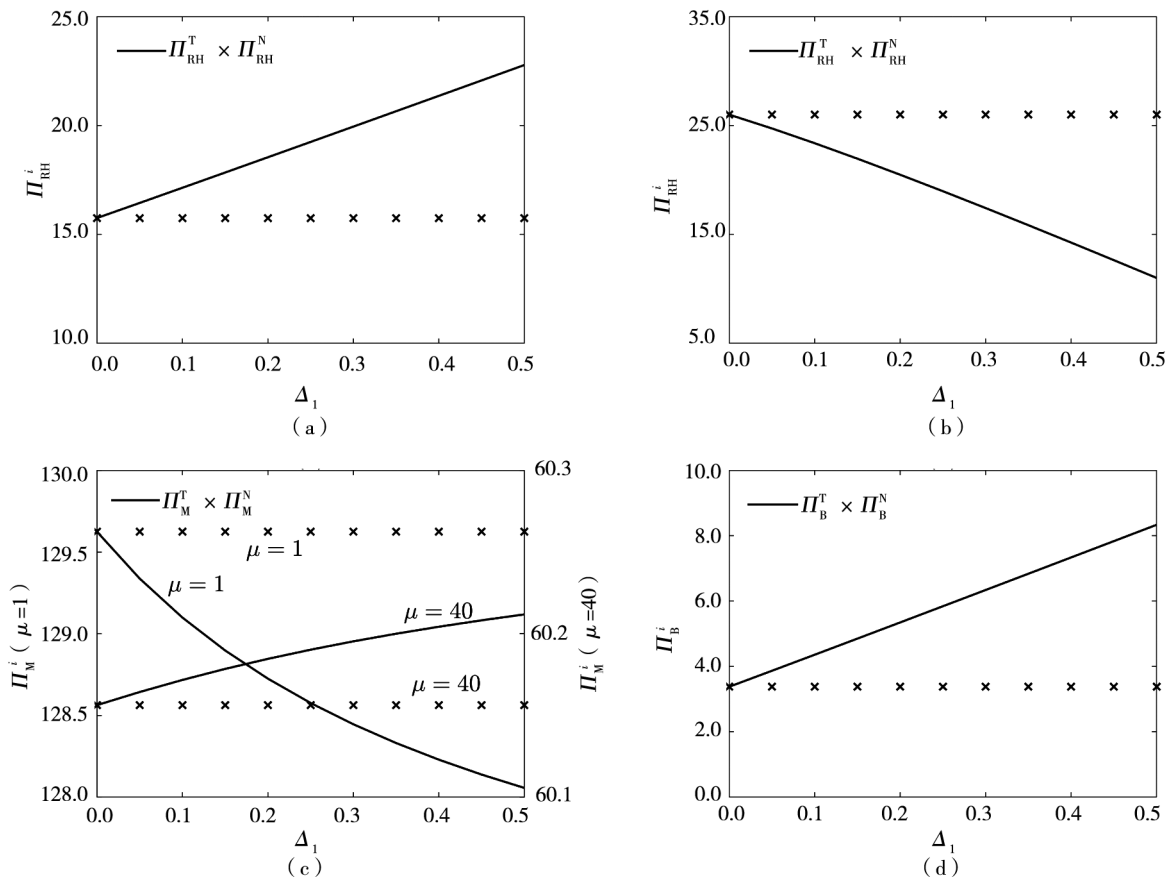


图2 信息不对称缓解效应对各参与方期望利润的影响

Fig. 2 Impact of information asymmetry mitigation effect on the expected profits of all participants

图2给出了信息不对称缓解效应对各参与方期望利润的影响,横坐标  $\Delta_1$  表示区块链技术带来的信息不对称缓解效应的大小. 由图2(a)和图2(b)可知,信息不对称缓解效应对高质量零售商期望利润有积极影响,对低质量零售商期望利润有负面影响,且影响程度随着信息不对称缓解效应的增大而增大. 图2(c)验证了命题5(2)的结论,当  $\mu$  较大(较小)时,信息不对称缓解效应对制造商期望利润有积极(消极)影响. 图2(d)表

明,情形T中银行期望利润总是大于情形N,且差值随着信息不对称缓解效应的增大而增大.

图3给出了市场潜力激励效应对各参与方期望利润的影响,横坐标  $\Delta_2$  表示区块链技术带来的市场潜力激励效应的大小. 由图3可以发现,各参与方在情形T中的期望利润总是大于情形N,证明了命题6的结论具有鲁棒性. 此外,各参与方在情形T中的期望利润随着  $\Delta_2$  的增大而增大,呈现正比例关系.

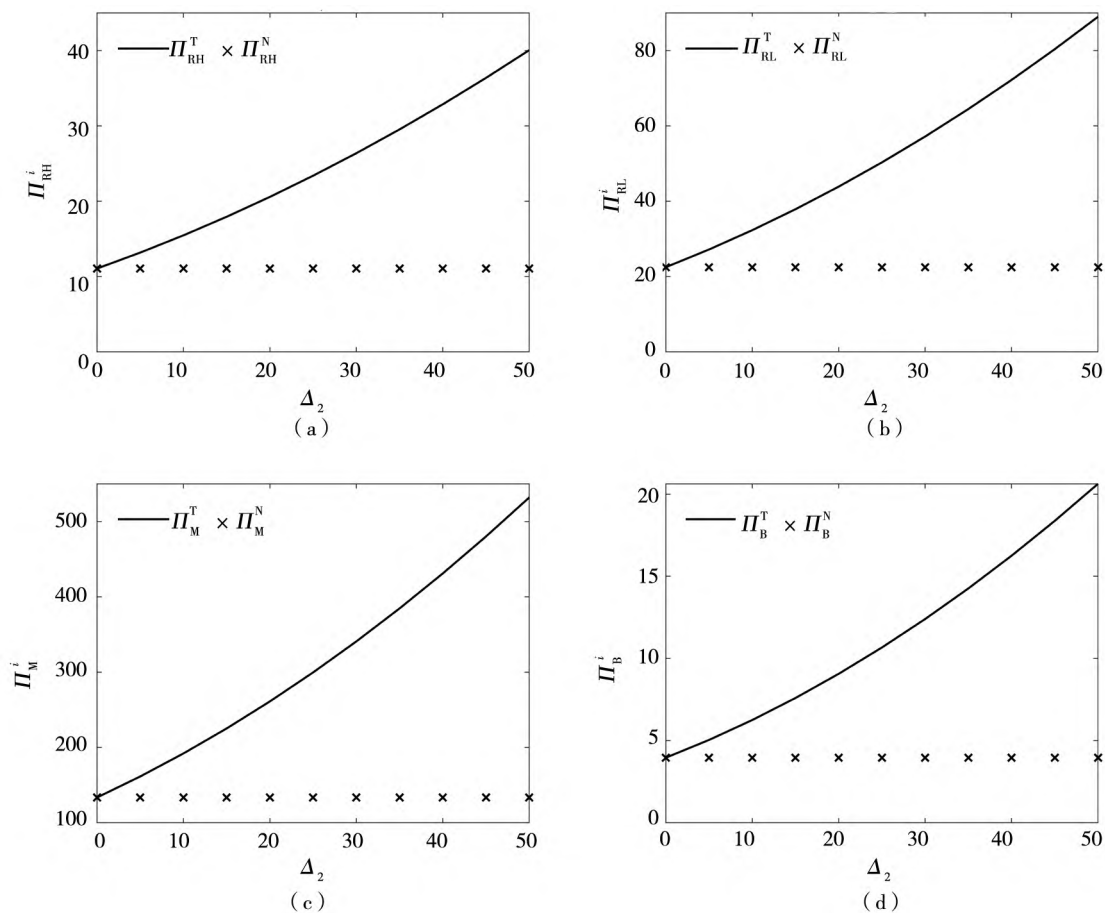


图 3 市场潜力激励效应对各参与方期望利润的影响

Fig. 3 Impact of market potential incentive effect on the expected profits of all participants

#### 4.2 模型扩展：智能合约

主模型考虑了区块链技术的信息不对称缓解效应和市场潜力激励效应,从信息环境和消费者偏好两个角度刻画了区块链技术带来的优势.实践中,区块链技术的智能合约特性已经在供应链金融业务中落地应用,如数字人民币的开发与落地应用.2023年9月,京东科技联合中国工商银行推出了基于数字人民币智能合约的可编程供应链金融全链路解决方案.为了刻画区块链技术的智能合约特性,将主模型中低质量零售商违约风险分为道德风险和其他风险.道德风险是指零售商在有能力偿还贷款的情况下恶意拖欠贷款.区块链的智能合约能够将贷款合同条款写入代码,实现到期自动还款,避免恶意拖欠等道德风险<sup>[2]</sup>.采用智能合约后,由于存在道德风险而被银行判断为低质量企业的零售商将不能恶意拖欠贷款.因此,银行愿意为这一类企业提供贷款,将其归为

高质量企业.假设主模型中由于仅存在道德风险而被判断为低质量企业的零售商比例为 $\lambda$  ( $\lambda \in (0,1)$ ),则考虑智能合约后高质量企业所占比例为 $P^{\text{TS}}(\text{H}) = \theta + \lambda(1 - \theta)$ ,其中上标TS表示考虑智能合约的情形.

**命题 7** 智能合约提高了信息不对称缓解效应对高质量零售商和银行的积极作用,即 $\Pi_{\text{RH}}^{\text{TS}*} > \Pi_{\text{RH}}^{\text{T}*}$ ,  $\Pi_{\text{B}}^{\text{TS}*} > \Pi_{\text{B}}^{\text{T}*}$ .

命题 7 给出了智能合约对区块链技术信息不对称缓解效应的影响.对银行而言,智能合约能够帮助其避免道德风险,防止具有偿还能力的零售商恶意拖欠贷款.因此,主模型中的部分低质量零售商在考虑智能合约后将被视为高质量零售商.相比情形 T,情形 TS 中银行获得了更多高质量客户,且违约风险降低( $P_h^{\text{TS}} > P_h^{\text{T}}$ ).因此,银行期望利润增大( $\Pi_{\text{B}}^{\text{TS}*} > \Pi_{\text{B}}^{\text{T}*}$ ).随着面临的违约风险降低,银行有动机降低利率( $r^{\text{TS}*} < r^{\text{T}*}$ ),使得高质

量零售商订货成本降低,进而期望利润提高( $\Pi_{RH}^{TS*} > \Pi_{RH}^{T*}$ )。因此,在确保系统安全的基础上,运用智能合约可以有效帮助银行减少贷款风险,同时使得高质量零售商享受到更低的利率,从而优化整个融资环境。

## 5 结束语

零售商资金约束和可追溯性差是双渠道供应链面临的主要挑战,区块链技术的落地应用有助于解决这两个问题。本研究考虑区块链技术对资金约束双渠道供应链产生的两种效应,信息不对称缓解效应和市场潜力激励效应,通过建立三方博弈模型,求解得到N和T两种情形中各参与方的均衡决策和均衡利润;进而通过对比分析,得到区块链技术对各参与方均衡决策和均衡期望利润带来的影响。特别的,从融资缺口和融资成本两个角度分析了区块链技术如何改善中小企业的融资环境。区块链技术能够从多个角度影响供应链,本研究是少数同时考虑区块链技术信息不对称缓解效应和市场潜力激励效应的系统性探索之一。结论如下。

1) 区块链技术能够从融资缺口和融资成本两个方面改善中小企业融资环境:一方面增大了高质量企业获得融资的概率,降低融资缺口;另一方面降低了融资利率,使其以更低的成本获得贷款。

2) 区块链技术的市场潜力激励效应对所有参与方均有利,而信息不对称缓解效应对高质量

零售商和银行有利,对低质量零售商不利。采用区块链后,银行能够更有效的区分低质量零售商与高质量零售商,降低银行面临的违约风险,进而高质量零售商能够享受更加优惠的利率,低质量零售商获得贷款的难度增大。此外,智能合约能够帮助银行避免道德风险,进一步提高信息不对称缓解效应对高质量零售商和银行的积极作用。

3) 只有当零售商资金约束状况不严重时,制造商能够从信息不对称缓解效应中获益。信息不对称缓解效应使得零售商获得了较低的利率,使得直销渠道竞争力下降。当零售商自有资金量较大时,这种负面作用较低。

研究结论可为区块链等金融科技在普惠金融和供应链可追溯性建设场景中的应用决策提供管理启示。一方面,区块链技术能够帮助银行提高对贷款企业信用评估的准确性,更加精准的识别高质量企业,降低违约风险。同时,高质量企业获得贷款的难度减小,贷款成本也更低。因此,银行和高质量零售商应该积极推动区块链技术在融资体系中的应用,赋能于精准普惠金融的发展。此外,银行应推广智能合约的应用,以避免恶意拖欠等道德风险。另一方面,在考虑是否采用区块链技术时,制造商应综合考虑信息不对称缓解效应和市场潜力激励效应对均衡决策的影响,结合零售商资金约束情况进行决策。未来研究可以从以下两个方面展开:①考虑区块链技术的实施成本共担问题;②考虑由第三方企业提供区块链技术服务。

## 参考文献:

- [1] Tsay A A, Agrawal N. Channel conflict and coordination in the e-commerce age[J]. *Production and Operations Management*, 2004, 13(1): 93 - 110.
- [2] Lee H, Tang C, Yang S A, et al. Dynamic trade finance in the presence of information frictions and fintech[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2022, 25(6): 2038 - 2055.
- [3] Iyengar G, Saleh F, Sethuraman J, et al. Economics of permissioned blockchain adoption[J]. *Management Science*, 2023, 69(6): 3415 - 3436.
- [4] Ying H, Peng X, Zhao X, et al. The effects of signaling blockchain-based track and trace on consumer purchases: Insights from a quasi-natural experiment[J]. *Production and Operations Management*, Available: doi. org/10. 1111/poms. 13968.
- [5] Hastig G M, Sodhi M S. Blockchain for supply chain traceability: Business requirements and critical success factors[J].

- Production and Operations Management, 2020, 29(4): 935–954.
- [6] 李勇建, 陈 婷. 区块链赋能供应链: 挑战、实施路径与展望[J]. 南开管理评论, 2021, 24(5): 192–201+212+202–203.
- Li Yongjian, Chen Ting. Blockchain empowers supply chain: Challenge, implementation path and prospect[J]. Nankai Business Review, 2021, 24(5): 192–201+212+202–203. (in Chinese)
- [7] Choi T M, Kumar S, Yue X, 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.
- [8] 熊 熊, 张瑾怡. 区块链技术在多领域中的应用研究综述[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2018, 20(3): 193–201.
- Xiong Xiong, Zhang Jinyi. Research on the application of blockchain technology in multi-field[J]. Journal of Tianjin University(Social Sciences), 2018, 20(3): 193–201. (in Chinese)
- [9] Olsen T L, Tomlin B. Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2020, 22(1): 113–122.
- [10] Zhu S, Li J, Wang S, et al. The role of blockchain technology in the dual-channel supply chain dominated by a brand owner[J]. International Journal of Production Economics, 2023, 258: 108791.
- [11] Choi T M. Blockchain-technology-supported platforms for diamond authentication and certification in luxury supply chains [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2019, 128: 17–29.
- [12] Niu B, Mu Z, Cao B, et al. Should multinational firms implement blockchain to provide quality verification? [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2021, 145: 102121.
- [13] Babich V, Hilary G. OM Forum-Distributed ledgers and operations: What operations management researchers should know about blockchain technology[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2020, 22(2): 223–240.
- [14] Pun H, Swaminathan J M, Hou P. Blockchain adoption for combating deceptive counterfeits[J]. Production and Operations Management, 2021, 30(4): 864–882.
- [15] Choi T M, Feng L, Li R. Information disclosure structure in supply chains with rental service platforms in the blockchain technology era[J]. International Journal of Production Economics, 2020, 221: 107473.
- [16] Song Y, Liu J, Zhang W, et al. Blockchain's role in e-commerce sellers' decision-making on information disclosure under competition[J]. Annals of Operations Research, 2023, 329: 1009–1048.
- [17] Love I, Preve L A, Sarria-Allende V. Trade credit and bank credit: Evidence from recent financial crises[J]. Journal of Financial Economics, 2007, 83(2): 453–469.
- [18] 郭金森, 周永务, 钟远光. 基于资金约束零售商的双渠道制造商贸易信贷与提前订货折扣契约选择策略研究[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(5): 1254–1264.
- Guo Jinsen, Zhou Yongwu, Zhong Yuanguang. The selection of trade credit and advance booking discount contract for dual channel manufacturer with the retailer's capital constraint[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2017, 37(5): 1254–1264. (in Chinese)
- [19] Devalkar S K, Krishnan H. The impact of working capital financing costs on the efficiency of trade credit[J]. Production and Operations Management, 2019, 28(4): 878–889.
- [20] Yan N, Sun B, Zhang H, et al. A partial credit guarantee contract in a capital-constrained supply chain: Financing equilibrium and coordinating strategy[J]. International Journal of Production Economics, 2016, 173: 122–133.
- [21] 黄佳舟, 鲁其辉, 陈祥锋. 供应商融资中买方担保机制的价值影响研究[J]. 管理科学学报, 2020, 23(7): 99–115.
- Huang Jiazhou, Lu Qihui, Chen Xiangfeng. The impact of buyer guarantee mechanism on financing suppliers program[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(7): 99–115. (in Chinese)
- [22] 方 磊, 夏 雨, 杨月明. 考虑零售商销售努力的供应链融资决策均衡[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(1): 135–144.

- Fang Lei, Xia Yu, Yang Yueming. Equilibrium of supply chain financing decisions considering retailer's sales efforts[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2018, 38(1): 135–144. (in Chinese)
- [23] Tang C S, Yang S A, Wu J. Sourcing from suppliers with financial constraints and performance risk[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2017, 20(1): 70–84.
- [24] Wang K, Zhao R, Peng J. Trade credit contracting under asymmetric credit default risk: Screening, checking or insurance [J]. European Journal of Operational Research, 2018, 266(2): 554–568.
- [25] 陈永辉, 孟子良, 曾 燕. 基于零售商异质性的贸易信用贷款定价与供应链金融模式选择[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(10): 2479–2490.
- Chen Yonghui, Meng Ziliang, Zeng Yan. Trade credit loan pricing and supply chain financing pattern choice based on retailers' heterogeneity[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2018, 38(10): 2479–2490. (in Chinese)
- [26] Yang S A, Birge J R. Trade credit, risk sharing, and inventory financing portfolios[J]. Management Science, 2018, 64(8): 3667–3689.
- [27] Lin F, Shi Y, Zhuo X. Optimizing order policy and credit term for items with inventory-level-dependent demand under trade credit limit[J]. Journal of Management Science and Engineering, 2023, 8(4): 413–429.
- [28] Kouvelis P, Zhao W. Financing the newsvendor: Supplier vs. bank, and the structure of optimal trade credit contracts[J]. Operations Research, 2012, 60(3): 566–580.
- [29] Cai G, Chen X, Xiao Z. The roles of bank and trade credits: Theoretical analysis and empirical evidence[J]. Production and Operations Management, 2014, 23(4): 583–598.
- [30] 钟远光, 周永务, 李柏勋, 等. 供应链融资模式下零售商的订货与定价研究[J]. 管理科学学报, 2011, 14(6): 57–67.
- Zhong Yuanguang, Zhou Yongwu, Li Baixun, et al. The retailer's optimal ordering and pricing policies with supply chain financing[J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(6): 57–67. (in Chinese)
- [31] Kouvelis P, Zhao W. Who should finance the supply chain? Impact of credit ratings on supply chain decisions[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2018, 20(1): 19–35.
- [32] Deng S, Gu C, Cai G, et al. Financing multiple heterogeneous suppliers in assembly systems: Buyer finance vs. bank finance[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2018, 20(1): 53–69.
- [33] Chiang W K, Chhajed D, Hess J D. Direct marketing, indirect profits: A strategic analysis of dual-channel supply-chain design[J]. Management Science, 2003, 49(1): 1–20.
- [34] Arya A, Mittendorf B, Sappington D E M. The bright side of supplier encroachment[J]. Marketing Science, 2007, 26(5): 651–659.
- [35] Li Z, Gilbert S M, Lai G. Supplier encroachment under asymmetric information[J]. Management Science, 2014, 60(2): 449–462.
- [36] 赵礼强, 徐家旺. 基于电子市场的供应链双渠道冲突与协调的契约设计[J]. 中国管理科学, 2014, 22(5): 61–68.
- Zhao Liqiang, Xu Jiawang. Contract design for coordination conflict of dual channels supply chain based on e-market[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(5): 61–68. (in Chinese)
- [37] Ha A, Long X, Nasiry J. Quality in supply chain encroachment[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2016, 18(2): 280–298.
- [38] Zhang J, Li S, Zhang S, et al. Manufacturer encroachment with quality decision under asymmetric demand information [J]. European Journal of Operational Research, 2019, 273(1): 217–236.
- [39] 李 海, 崔南方, 徐贤浩. 零售商自有品牌与制造商直销渠道的互动博弈问题研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(1): 107–115.
- Li Hai, Cui Nanfang, Xu Xianhao. Game analysis on the interplay between introduction of store brand by retailer and direct channel by manufacturer[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(1): 107–115. (in Chinese)

- [40] 许明辉, 孙康泰. 需求预测信息共享对供应商入侵策略的影响[J]. 管理科学学报, 2020, 23(12): 75–90.  
Xu Minghui, Sun Kangtai. The impact of demand forecast sharing on supplier encroachment strategy[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(12): 75–90. (in Chinese)
- [41] Lan Y, Lu P, Pan C, et al. The effects of medical insurance and patients' preference on manufacturer encroachment in a pharmaceutical supply chain[J]. Journal of Management Science and Engineering, 2022, 7(2): 243–265.
- [42] Chen J, Zhang H, Sun Y. Implementing coordination contracts in a manufacturer Stackelberg dual-channel supply chain[J]. Omega, 2012, 40(5): 571–583.
- [43] Xu G, Dan B, Zhang X, et al. Coordinating a dual-channel supply chain with risk-averse under a two-way revenue sharing contract[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 147: 171–179.
- [44] 李余辉, 倪得兵, 唐小我. 双渠道条件下基于 CSR 的产品质量信号传递博弈模型[J]. 管理科学学报, 2022, 25(3): 88–106.  
Li Yuhui, Ni Debing, Tang Xiaowo. Signaling product quality via corporate social responsibility in dual-channel supply chains[J]. Journal of Management Sciences in China, 2022, 25(3): 88–106. (in Chinese)
- [45] Li J, He Z, Wang S. A survey of supply chain operation and finance with Fintech: Research framework and managerial insights[J]. International Journal of Production Economics, 2022, 247: 108431.
- [46] Chod J, Trichakis N, Tsoukalas G, et al. On the financing benefits of supply chain transparency and blockchain adoption[J]. Management Science, 2020, 66(10): 4378–4396.
- [47] 龚 强, 班铭媛, 张一林. 区块链、企业数字化与供应链金融创新[J]. 管理世界, 2021, 37(2): 22–34+3.  
Gong Qiang, Ban Mingyuan, Zhang Yilin. Blockchain, enterprise digitalization and supply chain finance innovation[J]. Journal of Management World, 2021, 37(2): 22–34+3. (in Chinese)
- [48] Dong L, Qiu Y, Xu F. Blockchain-enabled deep-tier supply chain finance[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2023, 25(6): 2021–2037.
- [49] 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 Lu, Li Yongjian, Jiang Tao. Supply chain financing strategy based on blockchain credit transfer function[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2021, 41(5): 1179–1196. (in Chinese)
- [50] 成 程, 杨胜刚, 田 轩. 金融科技赋能下供应链金融对企业价值的影响[J]. 管理科学学报, 2024, 27(2): 95–119.  
Cheng Cheng, Yang Shenggang, Tian Xuan. The impact of supply chain finance on firm value in the context of Fintech empowerment[J]. Journal of Management Sciences in China, 2024, 27(2): 95–119. (in Chinese)
- [51] Zhang T, Dong P, Chen X, et al. The impacts of blockchain adoption on a dual-channel supply chain with risk-averse members[J]. Omega, 2023, 114: 102747.
- [52] Zhong Y, Yang T, Yu H, et al. Impacts of blockchain technology with government subsidies on a dual-channel supply chain for tracing product information[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2023, 171: 103032.
- [53] Xu X, He P, Zhou L, et al. Coordination of a platform-based supply chain in the marketplace or reselling mode considering cross-channel effect and blockchain technology[J]. European Journal of Operational Research, 2023, 309(1): 170–187.
- [54] 梁 喜, 聂思英, 杨 茜. 考虑联盟链和订货量波动的双渠道供应链定价与渠道选择[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(11): 2976–2989.  
Liang Xi, Nie Siying, Yang Qian. Dual-channel supply chain pricing decision and channel selection considering consortium blockchain and order volume fluctuations[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2022, 42(11): 2976–2989. (in Chinese)
- [55] 梁 喜, 肖金凤. 基于区块链和消费者敏感的双渠道供应链定价与渠道选择[J]. 中国管理科学, 2023, 31(5): 29–38.

- Liang Xi, Xiao Jinfeng. Blockchain-based dual-channel supply chain pricing decision and online channel selection strategy [J]. Chinese Journal of Management Science, 2023, 31(5): 29–38. (in Chinese)
- [56] 中欧-普洛斯供应链与服务创新中心, 京东数科. 2020 区块链溯源服务创新及应用报告[R]. 2020.
- CISCS, JD Digits. 2020 Blockchain Traceability Service Innovation and Application Report[R]. 2020. (in Chinese)

## The impacts of blockchain technology on a dual-channel supply chain with capital constraints

*LI Jian*<sup>1</sup>, *ZHU Shi-chao*<sup>1</sup>, *WANG Ya-jing*<sup>1</sup>, *WANG Shou-yang*<sup>1, 2, 3\*</sup>

1. College of Economics and Management, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;
2. Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
3. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract:** Blockchain technology (BCT) can alleviate information asymmetry between banks and enterprises while enhancing product traceability in dual-channel supply chains. Considering both the mitigation of information asymmetry and market potential incentives offered by BCT, this paper constructs a game model of the capital-constrained dual-channel supply chain consisting of a manufacturer, a retailer, and a bank. The equilibrium decisions and profits of each participant in the two scenarios: No BCT adoption (Scenario N) and with BCT adoption (Scenario T) are derived. Further, the impact of BCT adoption on the retailer's financing environment and the equilibrium results are obtained through comparative analysis. Several findings are obtained: First, BCT can improve the financing environment for the retailer by reducing financing gaps and costs. Second, the market potential incentive effect of BCT positively affects all participants, as it allows for increased market potential in both channels. Third, the information asymmetry mitigation effect does not positively affect all participants: It is always favorable to high-quality retailers and banks, while it is always unfavorable to low-quality retailers. It is favorable to the manufacturer only when the retailer's own capital is relatively large. Finally, smart contracts can help the bank avoid moral hazard and further boost the positive effects of information asymmetry mitigation on both the high-quality retailer and the bank. The findings may have implications for BCT adoption decisions to facilitate inclusive finance and supply chain traceability.

**Key words:** blockchain technology; dual-channel supply chain; capital constraints; information asymmetry; traceability