

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2026.03.011

区块链驱动下供应链跨层级回购的保兑仓融资分析^①

王成付¹, 王晨雨², 陈祥锋^{2*}, 金伟³

(1. 南通大学商学院, 南通 226019; 2. 复旦大学管理学院, 上海 200433;

3. 浙江财经大学金融学院, 杭州 310018)

摘要: 区块链技术改变了供应链金融运作流程, 使得供应链各层级间信息透明, 降低了债务人道德风险, 实现了核心企业信用传递. 同时, 区块链智能合约可锚定供应链运作中特定还款来源自动偿还贷款, 降低了债权人信贷风险. 结合区块链技术特性, 本文构建区块链驱动下供应链跨层级回购的保兑仓融资模型, 以传统供应链多层级贸易信贷为对比基准, 分析了两类融资模式的均衡问题. 研究表明: 传统供应链多层级贸易信贷下, 均衡订购量与供应链各层级间融资信用风险无关; 区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资下, 均衡订购量会受到核心制造商回购分担风险效应的影响, 得到显著提升, 供应链整体绩效也获得提升; 当零售商投入的自有资金处于中等水平时, 所有参与方可通过区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资模式实现帕累托改进; 区块链平台可设置合理收费和补贴策略来促使区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资模式实现帕累托改进. 本文揭示了区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资模式可提升供应链整体绩效, 并能实现供应链的帕累托改进, 对区块链技术在供应链金融领域成功落地具有理论和现实指导意义.

关键词: 区块链; 保兑仓; 贸易信贷; 供应链金融

中图分类号: F274; F832; F276.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2026)03-0160-15

0 引言

中小企业是推动国民经济发展的中坚力量, 其在实际业务运营中经常面临着资金匮乏的困境. 由于可抵押资产不足、成立时间较短、财务数据不完备等原因, 中小企业较难从银行直接获取融资. 融资难、融资贵、融资慢等问题一直是制约中小企业发展的巨大阻力^[1]. 供应链金融是指金融机构或供应链合作企业根据中小企业真实贸易背景和核心企业信用水平, 为处在核心企业上下游资金匮乏的中小企业提供金融通服务. 在供应链金融实际运作中, 由于供应链多层级上下游企业之间, 以及供应链上企业与金融机构之间存

在信息不对称, 通常能够获得核心企业融资支持的仅仅是与核心企业存在直接交易的相邻供应链层级中小企业. 然而, 与核心企业间接交易的二级或更高层级供应商或零售商无法获得核心企业信用支持, 依然面临资金匮乏的困境^[2, 3]. 另外, 信息不对称问题还导致了供应链金融运作中重复质押、虚构交易数据、监管方监守自盗、逃脱债务等道德风险事件. 将区块链技术引入到供应链运作中可实现供应链多层级间信息穿透, 从而解决由信息不对称引起的道德风险问题, 使得供应链多层级参与方相互信任和合作的融资模式可以实现^[4, 5].

① 收稿日期: 2021-12-22; 修订日期: 2023-07-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助重点项目(72232002); 国家自然科学基金资助项目(72472081; 72572037; 72372145; 72002191); 国家社会科学基金资助重点项目(25AGL016); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(22YJC630048).

通讯作者: 陈祥锋(1973—), 男, 福建泉州人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: chenxf@fudan.edu.cn

我国《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》明确提出打造数字经济新优势,要培育壮大区块链等产业水平。区块链作为第四次科技革命的代表正在掀起一股新的产业热潮^[6]。区块链技术是一种由多方维护,使用密码学技术来保证传输和访问安全,能够实现数据一致存储、难以篡改、防止抵赖的分布式账本技术^[7]。区块链技术引入到供应链金融运作中,除了可实现供应链多层次间的信息透明,还带来了核心企业信用传递和智能合约机制。核心企业信用传递是指供应链企业接入区块链后,核心企业可通过直接和间接交易将自身信用传递给各层级中小供应商或中小分销商,帮助它们获得融资^[2, 8]。智能合约是区块链中可被特定供应链上交易事件触发的、自动执行的数字合约,例如:通过智能合约,接入区块链平台 Populous 的供应链企业能够在特定供应链合约条件满足时实现自动还款或支付^[9, 10]。

保兑仓是银行向货物买卖双方提供的一种资金融通服务,其中:银行向卖方提供承兑汇票作为结算工具,并控制货权;卖方(或仓储方)受托保管货物,同时卖方还对承兑汇票保证金以外的金额部分以回购货物进行担保;买方可分多次向银行提交保证金来提货用于销售^[11]。传统供应链中,核心企业作为卖方能通过直接交易一定程度上获取到相邻层级分销企业的经营信息。据此,核心企业在向相邻层级分销企业提供有回购担保的保兑仓融资时,能够一定程度上监控分销企业销售数据。海尔集团与平安银行合作、美的集团与渤海银行合作、哈药集团三精医药商贸公司与上海浦东发展银行合作均为各自下游相邻层级的分销企业提供有回购担保的保兑仓融资服务。上述传统供应链相邻层级间的保兑仓融资模式一般适用于:处于核心企业相邻层级的分销商需要周期性采购来满足零售商的不确定性需求且分销商自身资金不足的情形。处于二级或更高层级的中小零售企业同样也会面临资金不足困境,但传统供应链中,核心企业由于不能通过直接交易获知他们的经营数据,而无法为他们提供直接融资支持^[2, 8]。区块链驱动下,信息透明、信用传递、智能合约机制使得核心企业能够跨供应链层级为中小零售企业直接提供回购担保的保兑仓融资,恰好可以解决跨层级中小零售企业的资金困境。

多类企业开展了区块链驱动的供应链跨层级保兑仓融资业务。例如:联易融 BeeTrust 区块链平台,整合了贸易生态系统中的各合作伙伴,包括上下游多层级的供应商和经销商、第三方物流、仓储、保险公司等,将贸易流程中的订单、发票、物流、库存等信息、贸易融资中的资产信息以及多机构的审核信息进行上区块链,实现全流程防篡改、透明化、线上化。上海银行等金融机构、欧普照明等供应链核心企业借助联易融区块链平台技术,能够获知供应链上跨层级分销商和零售商的经营信息,进而为其提供融资支持。具体表现为在供应链上企业间信息透明特征支持下,接入 BeeTrust 平台的供应链核心企业能够为跨供应链层级的中小零售商提供有回购担保的保兑仓融资,或直接提供还贷担保以帮助其从银行获得融资^[12]。富士康通过建设区块链平台 Chained Finance,实现了上链企业间的信息透明,进而可为供应链上多层次零售商(或供应商)从银行获取融资直接提供信用担保或回购担保支持,并通过智能合约对零售商还贷条件和还贷行为进行约定和控制^[13]。

从上述区块链+供应链金融实践来看,对比于传统相邻层级间供应链金融模式,区块链驱动的供应链跨层级回购担保的保兑仓模式不仅改变了各参与方的角色定位,还为具体运作流程融入了信息透明、智能合约、跨层级信用传递等区块链特征,最终使得融资系统博弈结构发生了巨大改变。在此情形下,各参与方均衡决策结果会发生怎样的改变?供应链整体绩效是否得到提升?区块链驱动的供应链跨层级回购担保的保兑仓模式是否能够实现各参与方帕累托改进?这些问题在本文将得到研究。

与本文研究关系最为密切的研究领域有两类:传统供应链金融模型研究和区块链驱动的供应链金融模型研究。根据资金提供方不同,多位学者分别对银行融资、供应商信贷融资、买方信贷融资、电商平台融资、网贷平台融资、第三方物流企业融资等传统供应链金融模式展开博弈建模研究,并对几类融资模式均衡结果进行对比分析,探究不同融资模式的优劣^[14-27]。上述研究均是对相邻供应链层级间的供应链融资问题展开的博弈分析,本文博弈研究的对象是区块链驱动的供应链跨层级回购的保兑仓融资模式,并将该新型融资

模式的均衡与传统供应链多层级贸易信贷进行对比,探寻该新型融资模式的帕累托改进条件.值得注意的是上述研究中的部分文献已经关注到了供应链融资中的担保问题^[15-18, 26, 27].本文也关注到了融资担保问题,但不同的是本文关注点是核心企业跨供应链层级为中小零售商融资提供回购担保的问题.

学者们还对区块链驱动的供应链金融进行了建模分析^[3, 28-38].例如, Dong 等^[29]对区块链驱动下供应商跨层级从核心企业获得信贷融资的模式进行博弈研究,并在均衡条件下将区块链驱动的供应商跨层级获得融资的模式与供应商通过相邻层级买方获得信贷融资的模式进行对比分析,发现区块链融资模式的使用价值和适用条件. Chod 等^[30]对区块链平台开展的代币化融资和分散治理进行建模,发现平台用户通过代币化融资相对于股权融资可减轻有关准备金努力的道德风险,同时基于区块链的治理方案还能减少潜在用户的滞留,进而降低平台运营成本. Wang 和 Xu^[32]以及邓爱民等^[34]关注了区块链智能合约在降低债务人承诺风险、降低融资业务整体操作风险、优化融资参与方决策行为方面的价值. Wang 等^[33]对区块链驱动的应收款链展开博弈分析,发现在供应链效率提升方面,全链路接入区块链的应收款链优于部分链路成员接入的情形,更优于无成员接入的情形.刘露等^[37]探究了核心生产商为跨供应链层级的零售商获取银行融资提供信用担保的区块链金融模式.龚强等^[38]对区块链下和传统情况下的货物抵押融资进行建模研究,发现区块链供应链金融和传统供应链金融各有一定优势,孰优孰劣取决于供应链中上链企业数量和上链信息质量.与上述研究相同,本文也将对区块链驱动的供应链金融模式展开分析,发现区块链驱动的供应链金融实践的优势与挑战.但不同点有:第一,本文建模对象为区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资模式;第二,结合实践情况,本文在贷款偿还方面,假设传统供应链多层级贸易信贷模式存在债务人还款道德风险,还款概率与债务人信用评级正相关.区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式以智能合约锚定还款条件并自动触发还款操作;第三,本文分析了区块链平台在实现帕累托改进方面的积极作用.

在均衡分析的基础上,通过对比传统供应链多层级贸易信贷融资模式,分析了区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资模式的价值,及其帕累托改进的实现条件.并且还进一步探索了区块链平台的收费和补贴策略,以引导各参与方通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓融资模式实现帕累托改进.

1 基本模型

以由核心制造商、中小分销商、中小零售商构成的三级供应链为研究对象.其中,零售商采购资金有限,需要在每个销售周期前通过融资完成采购.本文所使用参变量如表1所示.其中零售产品的市场需求 X 是随机的,假设 $h(x)$ 、 $H(x)$ 、 $h'(x)$ 、 $H'(x)$ 均是单调递增的^[21-27, 32, 33].许多常用分布,例如:形状参数大于或等于2的均匀分布、指数分布、幂分布、Weibull 分布,以及截尾正态分布,都符合这一假设^[21].

传统供应链中,核心企业能通过与其相邻层级中小企业间的直接交易获取其部分经营信息,从而可为其提供融资支持.但由于与跨层级中小企业间无直接交易,难以获取其具体经营信息,核心企业一般无法对跨层级中小企业提供融资支持^[2, 8].同时,相邻层级间信息也无法做到全透明,核心企业对相邻层级借款中小企业的生产、经营和销售数据只能部分了解,进而难以对其还款流程进行十分有效地控制.通常在发放贷款前,传统供应链中,放贷企业或核心企业会对借款企业进行信用评级,以此决定是否授信以及授信额度.信用评级越高的借款企业,还款概率越大,两者存在一定对应关系^[22].所以传统供应链金融中,本文假设借款企业以一定概率偿还贷款本息,偿还概率与借款企业信用评级正相关.在由核心制造商、分销商、零售商构成的三级拉动式供应链(按订单生产的供应链)中,零售商在每个销售周期前向上游订购商品以满足销售周期内的随机市场需求,供应链上游企业在接到下游企业订单后再组织订货或生产活动.所以在三级拉动式供应链模型中,销售周期末分销商没有剩余未售出的货物,而零售商因销售周期内市场需求是随机的可能会存在剩余未售出的货物.但是传统供应链中,

核心制造商只能对相邻层级的分销商提供回购担保的银行融资,这显然不适用于当前模式下不承担库存风险的分销商;同时,传统供应链中,核心制造商一般难以对跨层级的零售商提供回购担保的银行融资.这两方面原因使得传统三级拉动式

供应链中,零售商和分销商均不能通过核心制造商回购担保的保兑仓融资解决资金约束问题.本文假设传统多层级供应链中普遍采用的融资方式为:贸易信贷,即上游企业允许下游企业延期支付货款.

表 1 参变量及其描述

Table 1 Notation and description

参变量	描述	参变量	描述
α	传统供应链多层级贸易信贷下零售商还款概率	$F(x)$	市场需求量的分布函数
β	传统供应链多层级贸易信贷下分销商还款概率	$\bar{F}(x)$	市场需求量分布函数的补 $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$
c	制造商单位产品生产成本	$h(x)$	失效率 $h(x) = \frac{f(x)}{F(x)}$
p	零售商销售商品的价格	$H(x)$	广义失效率 $H(x) = \frac{x f(x)}{F(x)}$
q	零售商决定的采购量	$s(q)$	零售商的期望销售量 $s(q) = E[\min(X, q)] = \int_0^q \bar{F}(x) dx$
r_f	市场无风险利率	y	零售商投入的自有资金量
r_m	传统供应链多层级贸易信贷下制造商放贷利率, $r_m \geq r_f$	i	$i = r, d, m$ 分别表示零售商、分销商、制造商
r_d	传统供应链多层级贸易信贷下分销商放贷利率 $r_d \geq r_f$	j	$j = t, b$ 分别表示传统供应链多层级贸易信贷融资模式和区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资模式
r_b	区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资下银行放贷利率, $r_b \geq r_f$	q_i^j	参与方 i 在融资模式 j 下的最优订购量
w_m	制造商决定的批发价格	w_i^j	参与方 i 在融资模式 j 下的最优批发价格
w_d	分销商决定的批发价格	r_i^j	参与方 i 在融资模式 j 下的最优利率
X	随机市场需求量	π_i^j	参与方 i 在融资模式 j 下的期望利润
$f(x)$	市场需求量的概率密度函数	π_i^{j*}	参与方 i 在融资模式 j 下的均衡期望利润

供应链融资的基本事件顺序如图 1 所示.

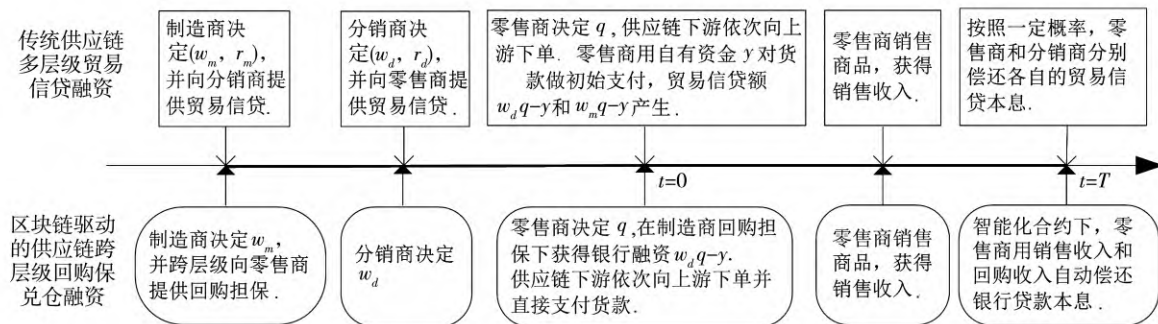


图 1 基本事件顺序

Fig. 1 Sequence of elementary events

传统供应链多层级贸易信贷融资基本事件顺序如图 1 上半部分所示.首先,核心制造商决定向分销商销售产品的批发价格 w_m ,并以利率 r_m 向资金匮乏的分销商提供贸易信贷.然后,分销商决定向零售商销售产品的批发价格 w_d ,同时以利率 r_d 向资金匮乏的零售商提供贸易信贷.零售商在接

收到 w_d 和 r_d 后,结合市场需求情况,向分销商订购 q 单位的产品,接着分销商也向制造商订购 q 单位的产品^[39].零售商在下订单后,使用自有资金 y 做初始支付.分销商在获取到零售商自有资金 y 后,会立刻将其偿付给制造商.这是因为不能偿付的贷款将形成贸易信贷,贸易信贷利率不小

于市场无风险利率,即 $\min\{r_m, r_d\} \geq r_f$. 本文还假设零售商自有资金 y 无法全额偿付分销商货款 $w_d q$, 同时也无法全额偿付制造商货款 $w_m q$, 即有 $w_d q > w_m q > y$ 存在^[26, 32]. 所以, 销售周期初, 制造商向分销商提供 $w_m q - y$ 的贸易信贷额, 分销商向零售商提供 $w_d q - y$ 的贸易信贷额. 销售周期末, 零售商按照一定概率 α 偿还分销商贸易信贷本息, α 与零售商信用评级直接相关. 分销商在接到零售商还款后, 按照一定概率 β 偿还制造商贸易信贷本息, β 与分销商的信用评级直接相关.

区块链技术将信息透明、信用传递、智能合约三大特征融入到供应链金融运作中. 供应链上各参与方将自己经营数据通过共识机制完美准确地记入区块链, 并在权限约束、联邦学习、密码学等技术支持下实现整个供应链信息共享透明. 信息透明使得供应链核心企业可充分了解供应链相邻层级和跨层级企业的经营数据. 由此, 核心企业不仅能为相邻层级的中小企业提供资金融通服务, 还能为跨层级的中小企业提供授信和担保等融资服务, 最终实现核心企业信用传递^[3, 8]. 智能合约是存在于区块链上的一种软件程序, 该软件程序存储着区块链参与方关于交易的合同条款和行动策略, 并自动验证是否满足合同条款以触发执行约定的行动. 例如, 在智能合约下, 接入区块链的债务人的特定账户, 一旦通过特定交易获得营收, 该笔营收在规定时间内将自动划拨到债权人账户, 以偿还相关款项^[9, 10]. 即, 智能合约下债务人特定账户获得特定营收会自动触发他的还款行动. 所以, 智能合约可以让供应链金融还款流程具有锚定还款源、特定行动触发、自动还款的特征.

区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓融资基本事件顺序如图 1 下半部分所示. 首先, 核心制造商决定销售给分销商的批发价格 w_m , 并跨层级向资金匮乏的零售商提供回购担保. 此回购担保一定程度上能提升零售商收入, 增加其偿债可能性, 所以核心制造商回购担保可帮助零售商获得银行融资. 然后, 分销商决定销售给零售商的批发价格 w_d . 零售商在获知 w_d 并接受制造商回购担保的情况下, 决定其订购量 q . 零售商和分销商分别向其上游企业下订单量 q , 零售商的自有资金 y 不足以偿还分销商货款 $w_d q$, 需要在制造商回

购担保条件下向银行申请获得 $w_d q - y$ 的贷款. 然后, 零售商用自有资金和银行贷款全额支付货款给分销商, 其后分销商用收到的该笔货款全额支付货款给制造商. 上述货款支付过程在智能合约下自动执行. 销售周期中, 零售商销售商品获取收入. 销售周期末, 若零售商的商品有剩余, 制造商会进行回购. 值得注意的是, 智能合约具有锚定还款源和自动还款的机制设计. 于是销售周期末智能合约确定了零售商该批产品的销售收入和回购收入两大还款源, 用于自动偿还银行贷款本息.

2 均衡分析

在两类融资模式中, 各参与方构成三层 Stackelberg 博弈结构, 本文采用逆向求解法分析.

2.1 传统供应链多层级贸易信贷模式

零售商期望利润是 $\pi_r^t = pE[\min(X, q)] - \alpha(w_d q - y)(1 + r_d) - y(1 + r_f)$, 其中 $pE[\min(X, q)]$ 为期望销售收入. $\alpha(w_d q - y)(1 + r_d)$ 反映了零售商以 α 概率偿还分销商贸易信贷本息, 但缺乏考虑还款资金来源问题. 这和传统供应链中放贷人无法完全掌握借款人经营信息和营收数据, 只能依据信用评级确定借款人还款概率的现实情况高度契合. 零售商在销售周期初用 y 做初始偿付, 销售周期末其机会成本为 $y(1 + r_f)$. 令 $s(q) = E[\min(X, q)] = \int_0^q \bar{F}(x) dx$, 零售商期望利润可转化为

$$\pi_r^t = ps(q) - \alpha(w_d q - y)(1 + r_d) - y(1 + r_f)$$

分销商在销售周期末以 β 概率偿还制造商的贸易信贷本息 $(w_m q - y)(1 + r_m)$. 另外, 分销商从零售商获得的偿债收入是 $\alpha(w_d q - y)(1 + r_d)$. 因此, 分销商销售周期末的期望利润为

$$\pi_d^t = \alpha(w_d q - y)(1 + r_d) - \beta(w_m q - y)(1 + r_m)$$

制造商在销售周期前获得来自零售商的初始付款 y , 其销售周期末的资金价值为 $y(1 + r_f)$. 同时, 制造商在销售期末可获得来自分销商的贸易信贷还款 $\beta(w_m q - y)(1 + r_m)$. 据此, 制造商期望利润为

$$\pi_m^t = \beta(w_m q - y)(1 + r_m) + y(1 + r_f) - cq(1 + r_f)$$

定理 1 传统供应链多层级贸易信贷下, 均衡订购量 q_m^t 满足 $\bar{F}(q_m^t) [(1 - H(q_m^t))^2 - q_m^t H'(q_m^t)] = \frac{c(1 + r_f)}{p}$, 所以 $\frac{dq_m^t}{dc} < 0$. 制造商和分销商的最优

信贷利率为 $r'_m = r_f$ 和 $r'_d = r_f$. 进而分销商最优批发价格 w'_d 和制造商最优批发价格 w'_m 分别由 $\bar{F}(q'_m) = \frac{\alpha w'_d(1+r_f)}{p}$ 和 $\bar{F}(q'_m) [1 - H(q'_m)] = \frac{\beta w'_m(1+r_f)}{p}$ 得到^②.

定理1表明: 均衡订购量 q'_m 单调递减于单位产品生产成本 c , 但与还款概率 α 和 β 无关. 借款人还款概率为 α 和 β , 那么 $1 - \alpha$ 和 $1 - \beta$ 比例的贷款损失则由放贷人承担, 即放贷人会分担借款人风险. 这说明传统多层级贸易信贷模式下, 下游企业的融资信用风险或各层级间的风险分担对均衡订购量没有影响. 当单位产品生产成本 c 为定值时, 由定理1中均衡订购量 q'_m 的表达式可知: q'_m 为定值, 那么 $\bar{F}(q'_m)$ 和 $\bar{F}(q'_m) [1 - H(q'_m)]$ 也为定值, 此时, 由定理1中分销商最优批发价格 w'_d 的表达式和制造商最优批发价格 w'_m 的表达式可知 w'_d 单调递减于 α ; w'_m 单调递减于 β . 这意味着传统多层级贸易信贷模式下, 作为买方的债务人还款概率降低时, 作为卖方的债权人会提升批发价格用以抵消债务人违约所带来的损失.

2.2 区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓模式

零售商在核心制造商跨层级回购担保的条件下向银行申请融资. 本文假设银行处于完全竞争的资本市场^[23, 25, 26]. 据此得到

$$E\{\min\{p\min(X, q) + w_m[q - \min(X, q)], (w_dq - y)(1 + r_b)\}\} = (w_dq - y)(1 + r_b)$$

其中 $p\min(X, q) + w_m[q - \min(X, q)]$ 是零售商期末销售收入和回购收入的总和, $(w_dq - y)(1 + r_b)$ 是银行贷款的本息. 上式左侧为零售商在智能合约锚定还款源(销售收入和回购收入)和自动还款机制设计下的期望还款额度, 等于右侧银行的市场无风险利息收入. 零售商销售周期末的期望利润是零售商期望收入减去其期望还款额度, 再减去销售周期初支付的自有资金机会成本, 即 $\pi'_r = pE[\min(X, q)] + w_mE[q - \min(X, q)] - E\{\min\{p\min(X, q) + w_m[q - \min(X, q)], (w_dq - y)(1 + r_b)\}\} - y(1 + r_f)$. 进而可转化为

$$\pi'_r(q) = (p - w_m)s(q) + w_mq - w_dq(1 + r_f)$$

零售商在销售周期前利用自有资金和银行贷款可全额支付分销商货款. 区块链智能合约下, 分销商利用从零售商接收到的货款(锚定还款源), 全额自动支付制造商货款. 分销商期望利润为

$$\pi'_d = (w_dq - w_mq)(1 + r_f)$$

在制造商提供回购担保的情况下, 零售商在销售周期前就能获得足够银行融资, 用于支付货款, 所以在销售周期前制造商就可得到全部货款额 w_mq , 其销售周期末的资金价值为 $w_mq(1 + r_f)$. 同时智能合约下, 制造商在销售周期末自动回购零售商没有售出的产品, 它支付的期望回购费用为 $w_mE[q - \min(X, q)]$. 所以制造商期望利润是 $\pi'_m = w_mq(1 + r_f) - cq(1 + r_f) - w_mE[q - \min(X, q)]$. 上式可转化为

$$\pi'_m = w_m[s(q) + qr_f] - cq(1 + r_f)$$

定理2 区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓下, 均衡订购量 q^b_m 和制造商最优批发价格

$$w^b_m \text{ 满足方程组 } \bar{F}(q^b_m) [1 - H(q^b_m)] = \frac{w^b_m r_f}{p - w^b_m} \text{ 和}$$

$$\frac{dw^b_m}{dq^b_m} [s(q^b_m) + q^b_m r_f] + w^b_m [\bar{F}(q^b_m) + r_f] = c(1 + r_f).$$

所以 $\frac{dq^b_m}{dc} < 0$. 进而分销商最优批发价格 w^b_d 可通

$$\text{过 } \bar{F}(q^b_m) = \frac{w^b_d(1 + r_f) - w^b_m}{p - w^b_m} \text{ 得到.}$$

由定理2可知, 因为制造商的回购行为, 其利润方程变得较为复杂, 各参与方决策均衡表达式也变得相对较为复杂. 与定理1类似, 均衡订购量 q^b_m 单调递减于单位产品生产成本 c . 这意味着, 随着单位产品生产成本的增加, 分散决策系统的均衡订购量和供应链整体绩效水平都会降低. 定理2均衡订购量和制造商最优批发价格构成的方程组中包含 $s(q^b_m)$ 项, 说明了零售商的销售情况对制造商的最优批发价格决策和均衡订购量均有着直接影响, 这是因为制造商回购所花费的资金额与零售商销售情况密切相关. 这意味着区块链下制造商回购担保会分担零售商的还款风险, 这一分担风险效应会对均

② 由于篇幅所限, 正文中省略了附录证明. 若读者需要证明过程, 请联系作者邮箱获取.

衡订购量产生影响。

3 融资模式比较

3.1 均衡订购量

定理3 传统供应链多层级贸易信贷模式和区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓模式的均衡订购量满足 $q_m^b > q_m^t$ 。

均衡订购量的大小可直接决定供应链整体利润或绩效^[21]。由定理3可知区块链信息透明和智能合约促使制造商跨层级为零售商提供回购担保,省去了分销商的融资中介作用,推动了多层级供应链的风险分担效应,从而降低了供应链三重边际效应,提高了均衡订购量,进而提升了供应链整体绩效。这就是区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式为供应链创造的新价值。与之相比,传统多层级贸易信贷下,均衡订购量(定理1)没有风险分担机制的作用,因此供应链三重边际效应会对供应链整体绩效产生较大影响。

3.2 利润对比及帕累托改进

定理4 均衡决策下,给定 α 和 β ,参与方利润对比如下: 1) 对于制造商而言,存在 y_m ,当 $y < y_m$ 时, $\pi_m^{b*} > \pi_m^{t*}$; 2) 对于分销商而言,存在 y_d ,如果 $\beta > \alpha$,那么当 $y < y_d$ 时, $\pi_d^{b*} > \pi_d^{t*}$; 如果 $\beta < \alpha$,那么当 $y > y_d$ 时, $\pi_d^{b*} > \pi_d^{t*}$; 3) 对于零售商而言,存在 y_r ,当 $y > y_r$ 时, $\pi_r^{b*} > \pi_r^{t*}$ 。

根据定理4,对于每个参与方,均可找到一定条件,使得区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下的利润高于传统多层级贸易信贷模式。同时考察三个参与方时可发现: 如果 $\beta > \alpha$,当零售商自有资金 y 处于区间 $(y_r, \min(y_m, y_d))$ 时,各参与方均可通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式获得更高收益; 如果 $\beta < \alpha$,当零售商自有资金 y 处于区间 $(\max(y_d, y_r), y_m)$ 时,各参与方也可通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式获得更高收益。上述两个 y 值区间即为帕累托改进区域,充分说明了当零售商投入的自有资金处于中等水平时,各参与方均可通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式获利。这是因为定理1和定理2中的均衡订购量均与零售商自有资金 y 无关,将均衡订购量代入利润方程后可得: 区块链驱动的跨层

级回购保兑仓下各参与方利润与零售商自有资金量无关; 而传统多层级贸易信贷中由于借款人按概率部分偿还贷款,零售商自有资金的机会成本和机会收益不能相互抵消,进而各参与方利润方程中均包含净零售商自有资金机会成本或机会收益的项。具体来说,零售商利润方程中,零售商自有资金发生 $\alpha y(1+r_f)$ 的机会收益和 $y(1+r_f)$ 的机会成本,最终净自有资金成本为 $(1-\alpha)y(1+r_f)$ 。同理,分销商利润方程包含净自有资金成本或收益的项 $(\beta-\alpha)y(1+r_f)$,制造商利润方程包含净自有资金收益的项 $(1-\beta)y(1+r_f)$ 。因此,当零售商自有资金 y 过大和过小时,传统多层级贸易信贷下制造商和零售商的利润会分别很大,甚至会分别超过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下制造商和零售商的利润。同理,若 $\beta > \alpha$ ($\beta < \alpha$),零售商自有资金 y 过大(过小)会导致分销商利润方程中净自有资金收益(成本)很大(很小),从而分销商在传统多层级贸易信贷下获得更高利润。

令 $p = 1, r_f = 0.05, c = 0.35$, 市场需求服从期望为 1000 的指数分布^[24, 27]。当 $\beta = 0.8$ 时,假定两种融资模式下参与方利润对应相等,可得图 2(a) 关于零售商自有资金 y 与零售商还款概率 α 的各参与方利润无差异曲线。当 $\alpha = 0.94$ 时,假定两种融资模式下参与方利润对应相等,可得图 2(b) 关于零售商自有资金 y 与分销商还款概率 β 的各参与方利润无差异曲线。图 2(a) 被三条利润无差异曲线划分为七个区域,图 2(b) 被三条利润无差异曲线划分为五个区域,这些区域分别用大写罗马数字进行标注。图 2(a) 中 y_m 线上方的 II、VI、VII 区域和图 2(b) 中 y_m 线上方的 V 区域均属于 $y > y_m$ 范围,此时 $\pi_m^{b*} < \pi_m^{t*}$ 。图 2(a) 中 y_d 线下方的 IV、V、VI 区域和图 2(b) 中 y_d 线下方的 III、IV 区域均属于 $y < y_d$ 范围,此时 $\pi_d^{b*} < \pi_d^{t*}$ 。图 2(a) 中 y_r 线下方的 II、III、IV 区域和图 2(b) 中 y_r 线下方的 II、III 区域均属于 $y < y_r$ 范围,此时 $\pi_r^{b*} < \pi_r^{t*}$ 。由此可知,图 2(a) 中 II 到 VII 区域以及图 2(b) 中 II 到 V 区域均有一个或多个参与方无法通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式获得更大的利润,即无法实现帕累托改进。图 2(a) 中的 I 区域和图 2(b) 中的 I 区域均标注了 (max

$(y_d, y_r), y_m$ 的范围, 在此区间内区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下各参与方利润均大于传统多层级贸易信贷模式. 该数值仿真结果有效验证了定理 4 的相关结论.

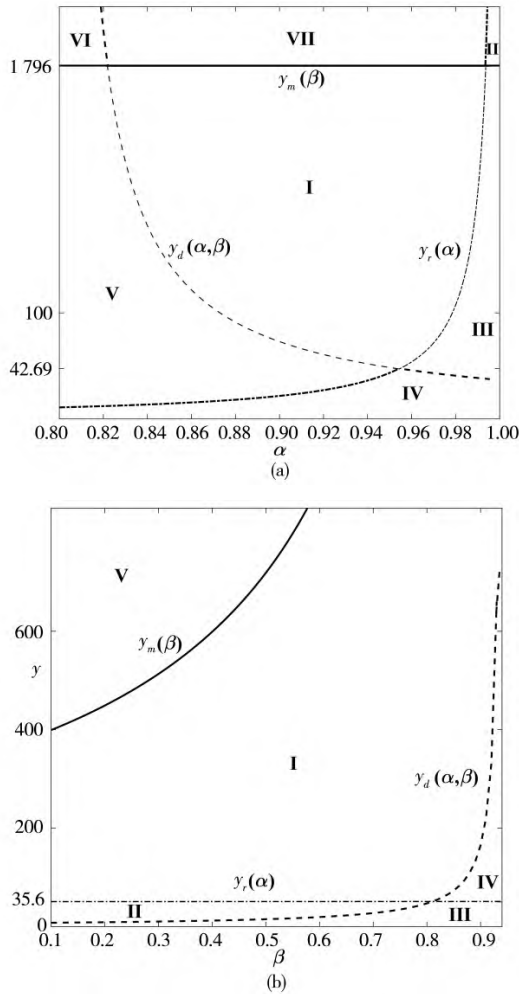


图 2 利润无差异曲线及帕累托改进区域

Fig. 2 Profit indifference curves and Pareto improvement zones

推论 1 均衡决策下, 对于确定的 y , 存在确定的 $\beta_m, \tau_d, \alpha_r$, 使得当 $\beta > \beta_m$ 时, $\pi_m^{b*} > \pi_m^{t*}$; 当 $\beta - \alpha < \tau_d$ 时, $\pi_d^{b*} > \pi_d^{t*}$; 当 $\alpha < \alpha_r$ 时, $\pi_r^{b*} > \pi_r^{t*}$.

如推论 1 所示, 在假定零售商自有资金 y 确定时, 可找到借款人还款概率 α, β 的可行域, $\beta - \tau_d < \alpha < \alpha_r$ 和 $\beta_m < \beta < \alpha + \tau_d$, 使得区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下各参与方利润实现了帕累托改进. 因为借款人还款概率与其自身信用评级正相关, 所以根据上述借款人还款概率的可行域可知, 当供应链上借款人信用评级处于中等水平时, 各参与方可通过区块链驱动的跨层级回

购保兑仓模式获利. 图 2 中围成帕累托改进区域 I 的曲线能够反映还款概率 α 和 β 的上下界. 具体来说, 对于任意确定的 y 值, 图 2(a) 中, 帕累托改进区域 I 的界线 y_d 和 y_r 反映了还款概率 α 取值的上下界; 对于任意确定的 y 值, 图 2(b) 中, 帕累托改进区域 I 的界线 y_m 和 y_d 反映了还款概率 β 取值的上下界. 因此, 图 2 的数值仿真有效验证了推论 1 中借款人还款概率上下界的存在性.

3.3 区块链平台的收费和补贴策略

推论 2 均衡决策下, 若 $\alpha = \beta$, 分销商是否选择区块链驱动的供应链跨层级回购保兑仓模式不受 y 的影响. 对于制造商和零售商而言, 存在 $y_{r1} < y_{m1}$, 当 $y_{r1} < y < y_{m1}$ 时, $\pi_m^{b*} > \pi_m^{t*}$ 和 $\pi_r^{b*} > \pi_r^{t*}$ 同时成立.

区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式在实施中, 需要制造商提供回购担保, 并且还需要零售商接受该回购契约, 这两个参与方对于该模式的实施起着关键作用. 而分销商只需接入区块链, 跨层级回购的保兑仓模式实施不需要分销商参与回购契约. 当 $\alpha = \beta$ 时, 推论 2 验证了制造商和零售商同时选择区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式的可行域是客观存在的, 为该融资模式顺利实施提供了科学依据. 同时, 当 $\alpha = \beta$ 时, 分销商有可能因接入区块链而利润下降, 从而放弃接入区块链, 由此得到以下供应链协调契约.

推论 3 均衡决策下, 当 $\alpha = \beta$ 时, 可行域 $\{y \mid y_{r1} < y < y_{m1}\}$ 中, 1) 若分销商接入区块链后利润减少, 那么区块链平台可向制造商和零售商分别征收技术使用费用 v_m 和 v_r , 并向分销商提供 v_d 的补贴支持, v_m, v_r, v_d 应该满足 $\pi_m^{b*} - v_m > \pi_m^{t*}, \pi_r^{b*} - v_r > \pi_r^{t*}, \pi_d^{b*} + v_d > \pi_d^{t*}$. 2) 若分销商接入区块链后利润增加, 那么区块链平台可以向制造商、分销商和零售商分别征收技术使用费用 v_m, v_d 和 v_r , 使得 $\pi_m^{b*} - v_m > \pi_m^{t*}, \pi_d^{b*} - v_d > \pi_d^{t*}, \pi_r^{b*} - v_r > \pi_r^{t*}$.

从定理 3 可知, 区块链驱动的跨层级回购保兑仓的均衡订购量大于传统多层级贸易信贷的均衡订购量, 因此区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下供应链整体利润将获得提升, 这为区块链平台设置收费策略创造了可能. 推论 2 已经证明

了在可行域 $\{y \mid y_{r1} < y < y_{m1}\}$ 中制造商和零售商均可通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式获得利润提升,因此根据推论 3,区块链平台可向因接入区块链而获得额外收益的制造商和零售商收取技术使用费用,用于补贴因接入区块链而可能利润下降的分销商. 最终,各参与方在区块链平台收费和补贴策略支持下,通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式均获得利润提升. 因为定理 3 显示区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式可以提升供应链整体利润,所以推论 3 中的区块链平台收费和补贴策略同样类似适用于 α 与 β 不相等的情形,在此不再赘述.

4 拓展研究

4.1 分销商投入自有资金的影响

区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式中,分销商能够在销售周期前从零售商获得全额货款,所以分销商不存在资金不足的困境,无需投入分销商自有资金. 因此,区块链驱动的跨层级回购保兑仓博弈过程不会受到分销商自有资金量的影响. 而传统供应链多层级贸易信贷模式中,分销商从零售商获得的初始资金 y 不足以偿付其采购款. 假设分销商将拥有的自有资金 g 投入到采购业务中. 本文仅关注分销商采购资金不足且需要信贷支持的情形^[25-27, 32]. 也就是说分销商获得的零售商自有资金和自身的自有资金之和小于分销商的采购货款,即 $w_m q > y + g$. 因此,分销商投入自有资金 g 时,传统供应链多层级贸易信贷模式下各参与方利润方程为 $\pi_r^t = ps(q) - \alpha(w_d q - y)(1 + r_d) - y(1 + r_f)$; $\pi_d^t = \alpha(w_d q - y)(1 + r_d) - g(1 + r_f) - \beta(w_m q - y - g)(1 + r_m)$; $\pi_m^t = \beta(w_m q - y - g)(1 + r_m) + (y + g)(1 + r_f) - cq(1 + r_f)$.

定理 5 传统供应链多层级贸易信贷下,分销商投入自有资金 g 时,各参与方的均衡解保持不变. 并且各参与方利润有下列结论. 1) 对于制造商而言. 存在 y_{m2} , 当 $y < y_{m2}$ 时, $\pi_m^{b*} > \pi_m^{t*}$. 2) 对于分销商而言. 存在 y_{d2} , 如果 $\beta > \alpha$, 那么当 $y < y_{d2}$ 时, $\pi_d^{b*} > \pi_d^{t*}$; 如果 $\beta < \alpha$, 那么当 $y > y_{d2}$ 时,

$\pi_d^{b*} > \pi_d^{t*}$. 3) 对于零售商而言. 存在 y_{r2} , 当 $y > y_{r2}$ 时, $\pi_r^{b*} > \pi_r^{t*}$.

从定理 5 可知,传统多层级贸易信贷下,分销商自有资金的投入并不会改变定理 1 的均衡结果,仅仅会对均衡下各参与方利润方程做出改变. 这是因为与零售商投入一个固定的自有资金 y 一样,分销商投入一个固定的自有资金 g 仅会在相关参与方利润方程中产生对应机会收益或机会成本的常数项. 具体来说,对于分销商而言,分销商投入自有资金 g 会让自己产生 $g(1 + r_f)$ 单位的机会成本和 $\beta g(1 + r_m)$ 单位的机会收益(因为分销商投入自有资金 g 会让自己少借 g 单位的贸易信贷,期末就会少还 $\beta g(1 + r_m)$ 单位的贸易信贷本息). 对于制造商而言,制造商期初收到分销商投入的自有资金 g 会为其创造 $g(1 + r_f)$ 单位的机会收益,但分销商投入 g 会让制造商少发放 g 单位的贸易信贷,进而会让其少收到 $\beta g(1 + r_m)$ 单位的机会收益. 因此,分销商投入自有资金 g 仅会让分销商和制造商利润方程中分别附加了一个与 g 相关的累计机会成本或机会收益的常数项 $\beta g(1 + r_m) - g(1 + r_f)$ 和 $g(1 + r_f) - \beta g(1 + r_m)$. 这两个常数项不会对分销商和制造商博弈决策产生影响,但它们仍然会对均衡下参与方利润产生影响,进而影响区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式帕累托改进的实现. 定理 5 还显示,在分销商投入自有资金后,仍然可以找到类似于定理 4 中的 y 值可行域,使得区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式实现帕累托改进. 可见,本文研究结论具有很好的稳健性.

4.2 制造商部分回购的影响

前文假设制造商在区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下会全额回购零售商剩余商品. 如果制造商只按照一定比例 λ 进行回购,均衡会发生怎样的改变? 制造商部分回购时,处于完全竞争资本市场的银行放贷满足 $E\{\min\{p\min(X, q) + \lambda w_m [q - \min(X, q)], (w_d q - y)(1 + r_b)\}\} = (w_d q - y)(1 + r_f)$. 零售商利润方程为 $\pi_r^t = pE[\min(X, q)] + \lambda w_m E[q - \min(X, q)] - E\{\min\{p\min(X, q) + \lambda w_m [q - \min(X, q)], (w_d q - y)(1 + r_b)\}\} -$

$y(1+r_f) = (p - \lambda w_m) s(q) + \lambda w_m q - w_d q(1+r_f)$. 分销商可从零售商获得全额货款,并全额支付制造商采购款,其利润方程为 $\pi_d^b = (w_d q - w_m q)(1+r_f)$. 制造商利润方程为 $\pi_m^b = w_m q(1+r_f) - cq(1+r_f) - \lambda w_m E[q - \min(X, q)] = w_m q(1+r_f) - cq(1+r_f) - \lambda w_m [q - s(q)]$.

定理6 制造商在区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下按照一定比例 λ 进行回购时,均衡订购量 q_m^b 和制造商最优批发价格 w_m^b 满足方程组 $\bar{F}(q_m^b) [1 - H(q_m^b)] = \frac{w_m^b(1+r_f-\lambda)}{p - \lambda w_m^b}$ 和 $\frac{dw_m^b}{dq_m^b} [\lambda s(q_m^b) + q_m^b(1+r_f-\lambda)] + w_m^b(1+r_f-\lambda) + \lambda w_m^b \bar{F}(q_m^b) = c(1+r_f)$. 分销商最优批发价格 w_d^b 满足 $\bar{F}(q_m^b) = \frac{w_d^b(1+r_f) - \lambda w_m^b}{p - \lambda w_m^b}$. 在 $0 < \lambda < 1$ 时,均衡订购量满足 $q_m^b > q_m^t$, 而且存在 y 的可行域使得区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式能够实现帕累托改进.

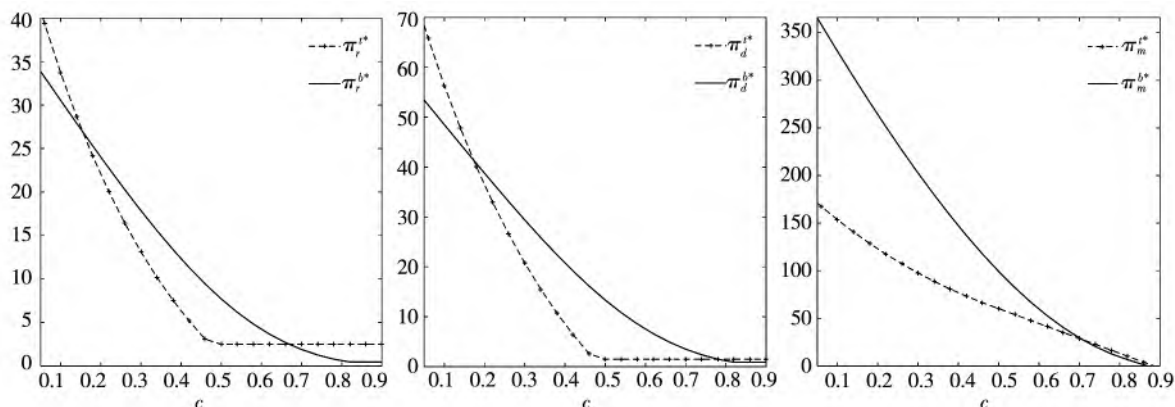
由定理6可知,均衡订购量表达式中包含 $s(q_m^b)$ 的项,与定理2一样,说明均衡订购量会受到零售商销售情况的影响. 这是因为零售商销售量的大小会直接关系到制造商回购所花费的资金额. 这也意味着由制造商回购所产生的风险分担效应会对均衡订购量产生影响. 同时,与定理2对比,定理6中 $s(q_m^b)$ 前增加了系数 λ , 这说明制造商回购比例 λ 影响着制造商分担零售商还款风险的程度,进而影响制造商的最优批发价决策和均衡订购量. 在 $\lambda = 1$ 时,定理6的均衡订购量和制造商最优批发价格表达式变得和定理2一样,即符合全额担保的情形. 在 $0 < \lambda < 1$ 时,定理6中 $q_m^b > q_m^t$ 意味着制造商回购的风险分担效应始终可提升均衡订购量,并进一步提高供应链整体绩效. 而在 $\lambda = 0$ 时,即制造商不提供回购时,定理6的均衡订购量和制造商最优批发价格表达式变得和定理1类似,即 $q_m^b = q_m^t$. 这说明在制造商不提供回购担保来分担零售商还款风险时,区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式提升均衡订购量和供应链整体绩效的优势则不复存在. 而且,定理6指出在制造商提供一定比例担保 $0 < \lambda < 1$ 时,

区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式实现帕累托改进的 y 值区域依然存在. 这说明各参与方在制造商提供部分回购担保时,通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式能够获得利润提升. 以上分析再次证明了本文研究结论具有很好的稳健性.

4.3 行业附加价值的影响

产品要经历从原材料生产到分销,直到零售等多个环节,每个环节均会对产品附加上一定价值,产品附加价值一般定义为原材料输入价值和成品市场价值之间的差值^[40]. 在产品销售价格标准化为1时,产品生产成本低,产品生产成本和最终市场售价间的差值就越大,那么产品附加价值越大. 不同行业拥有不同的产品附加价值,例如:芯片半导体行业,产品附加价值较高;而传统农业,农产品的附加价值则偏低. 拥有不同产品附加价值的行业是否均适合引入区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式? 本部分将使用数值仿真的方法对该问题进行研究. 令 $p = 1$ 、 $r_f = 0.05$ 、 $\alpha = 0.94$ 、 $\beta = 0.80$ 、 $y = 120$, 市场需求服从期望为1000的指数分布^[24, 25]. c 从0到0.9进行取值,可得到图3的仿真结果.

由图3可发现:单位产品生产成本 c 处于 $(0.20, 0.66)$ 区间时,各参与方利润在区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下均高于传统供应链多层级贸易信贷模式,各参与方均会选择区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式. 这说明产品附加价值处于中等水平的行业或产业会积极选择区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式. 而产品附加价值很低或很高的行业,则依然会选择传统多层级贸易信贷模式. 同时还发现对于制造商而言,具有很大范围的 c 值使得区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式优于传统多层级贸易信贷模式,并且达到三方同时选择区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式的区域边界点0.20和0.66是分别由分销商和零售商所决定. 这说明区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式能否顺利实施是由处于供应链下游的博弈追随者分销商和零售商所决定的,而不是由处于博弈领导者地位的核心制造商所决定的.

图3 产品生产成本 c 对各参与方利润的影响Fig. 3 Impact of product's production cost c on participants' profits

5 结束语

本文主要结论为: 1) 区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式下均衡订购量受到核心制造商回购分担风险效应的影响, 而传统供应链多层级贸易信贷模式下均衡订购量与供应链各层级间融资信用风险无关; 2) 区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式可通过增加均衡订购量, 来提升供应链整体绩效和利润; 3) 当零售商投入的自有资金处于中等水平或供应链上借款企业处于中等信用评级时, 区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式能够实现帕累托改进效应; 4) 区块链平台可设置合理的收费和补贴策略, 引导各参与方使用区块链技术, 选择区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式, 来实现帕累托改进; 5) 产品附加价值处于中等水平的行业或产业会积极选择区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式; 而产品附加价值很低或很高的行业或产业, 则会选择传统供应链多层级贸易信贷模式。据此, 可提出如下政策建议:

1) 核心企业应积极利用其在供应链上的优势地位来引导供应链下游企业接入区块链, 继而可通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式解决多层级零售企业的资金困境, 最终让供应链上所有企业在一定条件(零售商投入自有资金量、债务人信用评级、产品附加价值等处于中等水平)下实现帕累托改进。

2) 区块链平台应有选择性地将区块链技术推广给借款人信用评级处于中等水平的供应链, 并且积极设计收费和补贴策略以引导供应链企业使用区块链技术。在有些供应链上借款企业信用评级或零售商自有资金水平不能满足帕累托改进条件, 此时区块链平台应该积极设计收费和补贴策略(即供应链协调策略), 向因接入区块链而获益的企业收取技术使用费, 同时向因接入区块链而受损的企业提供补贴, 最终重新分配区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式为供应链带来的额外收益, 使得各参与方均可通过使用该新型融资模式获利。

3) 政府部门应建立良好的区块链市场环境, 制定合理的技术补贴或税收优惠政策, 积极推进区块链技术应用到供应链中。区块链驱动的跨层级回购保兑仓模式能够提升供应链整体绩效, 使得社会资源达到更高效配置。但各供应链参与方并不是在任何条件下均能通过该新型融资模式获利。所以当区块链平台没有制定和实施合理的收费和补贴策略时, 政府部门应该对接入区块链的供应链企业进行适当技术使用补贴或税收减免, 以此鼓励更多企业使用区块链技术。

4) 政府部门应重点培育产品附加价值处于中等水平的行业或产业的区块链应用体系。当一条供应链所生产和销售的产品附加价值处于中等水平时, 各供应链成员可以通过区块链驱动的跨层级回购保兑仓融资获得帕累托改进, 从而会积

极选择接入区块链和使用该类新型融资模式. 所以, 政府部门对于产品附加价值处于中等水平的行业制定和推广区块链相关的补贴和优惠政策会更容易取得显著性效果.

参考文献:

- [1] 宋 华, 杨雨东, 陶 铮. 区块链在企业融资中的应用: 文献综述与知识框架 [J]. 南开管理评论, 2022, 25(2): 34-48.
Song Hua, Yang Yudong, Tao Zheng. The application of blockchain in enterprise financing: A literature review and knowledge framework [J]. Nankai Business Review, 2022, 25(2): 34-48. (in Chinese)
- [2] 储雪俭, 高 博. 区块链驱动下的供应链金融创新研究 [J]. 金融发展研究, 2018, (8): 68-71.
Chu Xuejian, Gao Bo. Research on the financial innovation of supply chain driven by block chain [J]. Journal of Financial Development Research, 2018, (8): 68-71. (in Chinese)
- [3] 王成付, 陈祥锋, 金 伟, 等. 区块链技术赋能供应链金融研究: 模式类别、实践特征与对策建议 [J]. 西南金融, 2025, (10): 70-83.
Wang Chengfu, Chen Xiangfeng, Jin Wei, et al. Research on blockchain technology empowering supply chain finance: Model categories, practical characteristics, and policy recommendations [J]. Southwest Finance, 2025, (10): 70-83. (in Chinese)
- [4] 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.
- [5] 宋 华, 韩思齐, 刘文诣. 数字技术如何构建供应链金融网络信任关系? [J]. 管理世界, 2022, 38(3): 182-200.
Song Hua, Han Siqi, Liu Wenyi. How does digital technology construct the trust relationship of supply chain finance network? [J]. Journal of Management World, 2022, 38(3): 182-200. (in Chinese)
- [6] 张令荣, 彭 博, 程春琪. 基于区块链技术的低碳供应链政府补贴策略研究 [J]. 中国管理科学, 2023, 31(10): 49-60.
Zhang Lingrong, Peng Bo, Cheng Chunqi. Research on government subsidy strategy of low-carbon supply chain based on block-chain technology [J]. Chinese Journal of Management Science, 2023, 31(10): 49-60. (in Chinese)
- [7] Chen X, Cheng Q, Luo T. The economic value of blockchain applications: Early evidence from asset-backed securities [J]. Management Science, 2023, 70(1): 439-463.
- [8] 郭菊娥, 陈 辰. 区块链技术驱动供应链金融发展创新研究 [J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2020, 40(3): 46-54.
Guo Jue, Chen Chen. Research on the development and innovation of supply chain finance driven by blockchain technology [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences), 2020, 40(3): 46-54. (in Chinese)
- [9] Babich V, Hilary G. Distributed ledgers and operations: What operations management researchers should know about blockchain technology [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2020, 22(2): 223-240.
- [10] Olsen T L, Tomlin B. Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2020, 22(1): 113-122.
- [11] 林 强, 史红红, 张保银. 销售奖惩和回购策略对保兑仓融资下供应链协调的影响 [J]. 管理评论, 2018, 30(9): 209-217.
Lin Qiang, Shi Honghong, Zhang Baoyin. The effect of sales rebate and penalty with return on coordination of supply chain via conforming warehouse [J]. Management Review, 2018, 30(9): 209-217. (in Chinese)

- [12] 联易融数科. 联易融国际跨境平台入选可信区块链“金融应用区块链高价值案例” [EB/OL]. https://mp.weixin.qq.com/s/_Uew92FnX_Ns0g_aszsd6w, 2021-07-15.
- Linklogis. The international cross-border platform of Linklogis was selected as “a high-value case of blockchain financial application” published by trusted blockchain [EB/OL]. https://mp.weixin.qq.com/s/_Uew92FnX_Ns0g_aszsd6w, 2021-07-15. (in Chinese)
- [13] 贾婧怡. 从富士康到区块链金融, 郭台铭的金融布局了解一下? [EB/OL]. https://www.sohu.com/a/237018437_100122638, 2018-06-21.
- Jia Jingyi. From Foxconn to blockchain finance, let's understand Guo's financial layout? [EB/OL]. https://www.sohu.com/a/237018437_100122638, 2018-06-21. (in Chinese)
- [14] 陈金龙, 占永志. 第三方供应链金融的双边讨价还价博弈模型 [J]. 管理科学学报, 2018, 21(2): 91-103.
- Chen Jinlong, Zhan Yongzhi. Two-sided bargaining game model of third party financial supply chain [J]. Journal of Management Sciences in China, 2018, 21(2): 91-103. (in Chinese)
- [15] 鲁其辉, 曾利飞, 周伟华. 供应链应收账款融资的决策分析与价值研究 [J]. 管理科学学报, 2012, 15(5): 10-18.
- Lu Qihui, Zeng Lifei, Zhou Weihua. Research on decision-making and value of supply chain financing with accounts receivables [J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(5): 10-18. (in Chinese)
- [16] 于 辉, 马云麟. 订单保理融资模式的供应链金融模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(7): 1733-1743.
- Yu Hui, Ma Yunlin. The supply chain finance model: Based on the order-to-factoring mode [J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2015, 35(7): 1733-1743. (in Chinese)
- [17] 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)
- [18] 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)
- [19] 王文利, 甄 焯, 张钦红. 面向资金约束供应商的供应链内部融资——股权还是债权? [J]. 管理科学学报, 2020, 23(5): 89-101.
- Wang Wenli, Zhen Ye, Zhang Qinrong. Supply chain internal financing for capital-constrained suppliers: Equity financing vs. debt financing [J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(5): 89-101. (in Chinese)
- [20] 陈运森, 韩慧云, 陈德球. 区域一体化战略、社会网络与商业信用——基于京津冀一体化的证据 [J]. 管理科学学报, 2023, 26(3): 69-92.
- Chen Yunsen, Han Huiyun, Chen Deqiu. Regional integration strategy, social network and trade credits: Evidence from Beijing-Tianjin-Hebei integration [J]. Journal of Management Sciences in China, 2023, 26(3): 69-92. (in Chinese)
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Deng S, Gu C, Cai G, et al. Financing multiple heterogeneous suppliers in assembly systems: Buyer finance vs. bank fi-

- nance [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2018, 20(1): 53–69.
- [24] Chen X, Cai G, Song J S. The cash flow advantages of 3PLs as supply chain orchestrators [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2019, 21(2): 435–451.
- [25] Wang C, Fan X, Yin Z. Financing online retailers: Bank vs. electronic business platform, equilibrium, and coordinating strategy [J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 276(1): 343–356.
- [26] Zhou W, Lin T, Cai G. Guarantor financing in a four-party supply chain game with leadership influence [J]. *Production and Operations Management*, 2020, 29(9): 2035–2056.
- [27] Wang C, Chen X, Jin W, et al. Credit guarantee types for financing retailers through online peer-to-peer lending: Equilibrium and coordinating strategy [J]. *European Journal of Operational Research*, 2022, 297(1): 380–392.
- [28] 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.
- [29] Dong L, Qiu Y, Xu F. Blockchain-enabled deep-tier supply chain finance [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2022, 25(6): 2021–2037.
- [30] Chod J, Trichakis N, Yang S A. Platform tokenization: Financing, governance, and moral hazard [J]. *Management Science*, 2022, 68(9): 6411–6433.
- [31] 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.
- [32] Wang X, Xu F. The value of smart contract in trade finance [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2022, 25(6): 2056–2073.
- [33] Wang C, Chen X, 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.
- [34] 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. “Intelligent factoring” business model and game analysis in the supply chain based on block chain [J]. *Management Review*, 2019, 31(9): 231–240. (in Chinese)
- [35] 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 Jian, Zhu Shichao, Li Yongwu. Decision analysis of supply chain finance driven by blockchain based on meta-synthesis [J]. *Management Review*, 2020, 32(7): 302–314. (in Chinese)
- [36] 胡东滨, 杨志慧, 陈晓红. “区块链+”商业模式的文献计量分析 [J]. *系统工程理论与实践*, 2021, 41(1): 247–264.
Hu Dongbin, Yang Zhihui, Chen Xiaohong. A bibliometric analysis on “blockchain+” business model [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2021, 41(01): 247–264. (in Chinese)
- [37] 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)
- [38] 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)
- [39] Seifert R W, Zequeira R I, Liao S. A three-echelon supply chain with price-only contracts and sub-supply chain coordina-

tion [J]. *International Journal of Production Economics*, 2012, 138(2): 345–353.

[40] Sathre R, Gustavsson L. Process-based analysis of added value in forest product industries [J]. *Forest Policy and Economics*, 2009, (11): 65–75.

Confirmed warehouse financing under blockchain-driven buy-back guarantee across supply chain tiers

WANG Cheng-fu¹, WANG Chen-yu², CHEN Xiang-feng^{2*}, JIN Wei³

1. School of Business, Nantong University, Nantong 226019, China;

2. School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China;

3. School of Finance, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou 310018, China

Abstract: Blockchain technology (BCT) has changed the operating process of supply chain finance (SCF). The information transparency provided by BCT can mitigate debtors' moral hazards and further enables the credit of the supply chain's core enterprise to be transmitted among various supply chain tiers. Meanwhile, BCT's smart contracts can anchor a debtor's specific revenue source and automatically use it to repay the loan debts, thereby reducing the creditor's credit risk. Based on these above features of BCT, this study formulates a model of confirmed warehouse financing under a blockchain-driven buy-back guarantee across supply chain tiers (CWB) and uses traditional trade credits among multiple supply chain tiers (TTC) as the benchmark. Game equilibrium analysis of these two financing modes show that: 1) The equilibrium order quantity under TTC is independent of the credit risk among supply chain tiers, whereas the equilibrium order quantity under CWB is increased by the risk-sharing effect resulting from the buy-back guarantee offered by the core manufacturer. Therefore, CWB can unconditionally increase the whole supply chain performance. 2) When the retailer's initial working capital is at a medium level, supply chain participants can achieve Pareto improvement via CWB. 3) The BCT platform can make suitable charging and subsidizing strategies to guide supply chain participants to achieve Pareto improvement through CWB. This paper reveals that CWB can improve overall supply chain performance and achieve a Pareto improvement, which provides theoretical and practical guidance for the successful implementation of BCT in the SCF field.

Key words: blockchain; confirmed warehouse financing; trade credit; supply chain finance