

数智技术对跨境电商仓单质押融资博弈的影响

夏 德 建

(重庆师范大学,经济与管理学院,重庆 401331)

摘 要:数智技术与跨境贸易的深度融合,为银行开展供应链融资风控提供了新手段,但技术投入在何种条件下可以扩大信贷投放、管控不良风险、提升融资收益,仍是银行业从业者重点关注的现实问题。本文聚焦跨境电商仓单质押融资业务场景,构建了银行与跨境电商卖家的两阶段 Stackelberg 博弈模型,通过数理推导与数值仿真,分析了银行的数智技术投入对贷款利率、卖家定价、融资规模及银企双方利润的影响机制,识别了数智技术产生实际价值的约束条件。研究发现,银行加大数智技术投入能够降低信贷风险,促使贷款利率下降,帮助跨境电商卖家获得定价优势,拉动海外市场需求,推动融资规模扩张;数智技术红利在银行和卖家之间的分配并不对等,卖家在无需承担技术投入成本的情况下,收益随技术能力提升持续增加,而银行则需权衡技术投入成本与风险改善效果,收益变化更为复杂;此外,数智技术的价值发挥还依赖特定条件,只有技术成本低于临界水平、卖家违约风险处于合理范围,银行增加数智技术投入才具备经济可行性,否则加大技术投入反而会挤压自身的利润空间。本文剖析了数智技术作用于跨境电商供应链金融的微观传导过程,丰富了数字金融信贷传导理论的应用场景,解释了银行数智技术投入差异的内在原因。研究结果可为不同银行制定差异化的数智技术投入方案和跨境电商卖家获取融资支持提供决策参考,促进跨境电商供应链融资生态的健康发展。

关键词:仓单质押融资;跨境电商;数智技术;数字供应链

中图分类号:F830; G202

文献标识码:A

文章编号:1673-0429(2026)04-0103-17

DOI:10.19742/j.cnki.50-1164/C.260410

一、引言

跨境电商已从外贸新业态,跃升为拉动外贸增长的核心引擎^[1]。海关总署数据显示,2025年,我国跨境电商进出口额 2.75 万亿元,2021—2025 年年均增长 11.2%,增速高于整体进出口年均增速 4.1%^[2]。海关总署初步测算,2026 年第一季度,我国跨境电商延续了近年来的稳健增长态势,进出口额达到了 6 184.6 亿元,其中出口额为 4 735.5 亿元,出口规模远高于进口,体现了我国跨境电商长期贸易顺差的结构性特征^[3]。

然而,在跨境电商规模快速扩张的背后,大量中小微卖家正面临严峻的资金约束困境。传统贸易融

收稿日期:2026-03-31

作者简介:夏德建,男,管理学博士,重庆师范大学经济与管理学院讲师,硕士生导师,主要研究方向:跨境电商供应链管理。

基金项目:重庆师范大学博士启动项目“制造商与电商平台的分销渠道竞合博弈”(22XWB004);重庆市教委科技研究项目“跨境电商供应链整合区块链技术下的仓单质押融资决策”(KJQN202100541)。

资模式下,由于信息不对称、信用记录缺失、跨境资产确权困难等问题,中小卖家难以获得充足的银行信贷支持^[4]。跨境电商中小卖家作为行业主力群体,其经营质量直接关系行业的整体发展活力。但中小跨境电商普遍具有轻资产、缺乏固定资产抵押、回款周期长、资金占用量大的特征,长期深陷融资难、融资贵困境,资金链约束成为其规模化发展的核心瓶颈^[5]。当前,银行信贷仍然是跨境电商卖家最为正规、最主要的融资渠道,但银行信贷高度依赖主体信用与固定资产抵押,与跨境电商货物流转快、资产轻量化的经营特征严重错配,导致银行普遍存在惜贷、慎贷现象,银企信贷供需矛盾突出^[6]。

数智技术的迭代应用为破解银行信贷痛点提供了全新的解决方案。大数据、智能风控、区块链等技术能够打破跨境交易、仓储、报关、企业经营等多维数据壁垒,实现货权信息、货物状态、企业信用的实时动态监管,减少信息摩擦、降低融资主体违约概率,助力银行优化风险识别与利率定价体系^[7-9]。近年来,金融大模型、人工智能等新型数智工具持续赋能供应链金融,为优化金融机构的信贷决策机制、缓解中小微企业融资约束提供了重要路径^[10]。同时,银行业数字化转型的推进,重构了传统信贷风控体系,能有效提升数字金融服务实体经济的效能^[11]。立足于跨境电商行业中小卖家的现实痛点,下文将梳理该领域研究存在的不足,并据此确立本文的研究思路和研究框架。

二、文献综述

(一) 仓单质押融资相关研究

仓单质押作为动产融资的主流模式,是学界研究动产抵押、质押定价与风险管控的重要方向。在基础模型与定价研究方面,国内学者针对传统贸易场景中的质押率测算、贷款价值比设定、违约风险管控等进行了大量研究。李毅学等基于重随机泊松违约概率模型,分析了库存商品融资业务的贷款价值比率^[12]。齐二石等和张媛媛等分别针对组合仓单与单一仓单场景,优化了质押率测算与质押贷款价值比模型,完善了传统仓单质押的定价体系^[13-14]。于辉和甄学平进一步聚焦中小企业融资场景,构建了适配实体融资的仓单质押率模型,细化了质押业务的风险管控标准^[15]。随着研究的深入,部分学者结合博弈论探究了仓单质押多主体决策问题。例如,曹兵兵等基于二级供应链 Stackelberg 定价模型,分析了银行存贷特征下的融资定价决策规律^[16];刘春怡等立足零售商资金约束场景,探究了供应链融资模式选择策略,完善了质押融资模式的适配性研究^[17]。

进入数字经济时代,仓单质押融资研究重心逐步向跨境化、数字化场景迁移,数字金融科技赋能下的中小企业融资风控问题愈发受到关注^[18]。从产业实践来看,国内数字化仓单质押业务已落地成熟场景。2021年,宁波舟山港落地的首单区块链电子仓单质押融资业务,依托区块链存证溯源技术,实现了仓单注册、质押、放款的全线上化,在一定程度上缓解了传统仓单货权不清、流转困难等问题^[19]。2025年,晋商银行通过跨境金融服务平台“港云仓”仓单融资应用场景,依托区块链技术,通过线上实时共享电子仓单、提单等信息,成功办理了山西省首笔涉外仓单融资业务^[20]。

(二) 数智技术赋能融资相关研究

跨境电商主体普遍存在融资约束问题,轻资产属性、跨境信息壁垒、信用体系不完善是造成中小企业融资困境的主要原因。供应链金融一度是缓解该问题的主要方式。乔宁宁通过实证研究证实,供应链金融能够有效改善跨境电商企业的融资状况^[6]。但是,传统供应链金融高度依赖核心企业信用,存在风险集中、服务覆盖面有限等短板,无法彻底破解行业融资难题。在此背景下,数智技术成为优化融资模式、重构融资决策体系的有效工具。

从理论机理看,数智技术的核心价值在于打破信息壁垒、重塑金融信任体系。车丽波、Jia 等、Wei 和 Wu 梳理了数字金融赋能跨境电商的内在逻辑,指出数字化手段能够有效降低跨境金融的信用风险^[7, 21-22]。宋晓晨和毛基业、宋华等以数字金融为例,剖析了区块链技术构建组织间信任的完整路径,证实了数智技术对融资参与主体合作关系的重构^[23-24]。陆岷峰基于产业融合视角指出,企业数字化转型可有效破除产融间的数据壁垒,进而夯实普惠金融的实践基础^[25]。

围绕数智工具在金融场景中的赋能效应,已有研究对此进行了较充分验证。高锦首和达潭枫基于分布式账本技术搭建了新型供应链金融模式,有效拓宽了中小企业的融资渠道^[8]。吴勇民、刘欣悦等、Zhang 和 Zhou 验证了区块链、金融大模型能够优化供应链博弈关系,从根源上缓解信息不对称问题^[10, 26-27]。孔会青等从银行业转型视角证明了银行数字化改革能够缓解企业面临的融资约束,提升银行的信贷配置效率^[11]。Li 等和 Fu 等分别设计了区块链融资方案与物流企业融资模式,优化了供应链金融的多方协作机制。目前,前沿研究正在不断拓展数智技术的应用边界^[28-29]。Xie 等和 Zhang 等融合多维度经营数据构建的信用风险预测模型,利用人工智能算法优化了跨境电商供应链管理与销售预测,为金融机构精准授信提供数据支撑,提升了数字金融风控的精准度^[30-31]。Li 和 Chu 的研究表明,数字金融能够有效缓解企业经营风险,这为跨境融资的风控设计打开了新思路^[32]。Riazi 等则借助动态编程与智能仿真,对仓单质押系统进行架构优化,由此推动了动产融资全流程的数字化改造^[33]。

对于数智技术在金融领域的应用价值,政策层面和行业实践同样作出了积极回应。《金融科技发展规划(2022—2025 年)》和《金融人工智能发展与安全白皮书(2025)》两份文件,已就人工智能、大数据、区块链等技术在信贷及其他金融业务中的发展路径与应用边界作出了系统性安排^[34-35]。在政策引导下,各地金融机构加快落地实践,如中国人民银行浙江省分行围绕“产业大脑+未来工厂”等数字化场景,搭建了数字普惠金融服务体系,通过大数据征信和区块链确权系统,创新推出算力贷、数据资产质押等产品,并推动银行利用智能风控、客户画像等技术优化外贸金融服务^[36];交通银行推出的“交银航贸通”数智化跨境金融服务平台,则集成了智能结算汇兑、汇率风险管理、外贸快速融资等功能,运用人工智能交易匹配、实时汇率预测模型等手段,提升了金融服务的专业化与精细化水平^[37]。金融科技正通过嵌入场景、量化信用、提升风控与流程自动化等方式,系统性地赋能银行信贷、跨境结算、供应链金融等核心业务,推动金融服务向智能化、精准化、普惠化方向演进。

(三) 研究述评

综合文献梳理发现,现有研究多集中于传统供应链金融下的仓单质押风险管控和区块链技术、物联网、人工智能等技术在融资中的应用,针对跨境电商细分场景下的银行仓单质押融资的数智赋能机理研究较为匮乏,尤其是未厘清数智技术投入对银行放贷决策、卖家经营决策、市场供需及双方利润均衡的影响机制与边界条件,相关理论支撑存在明显缺口。当前,国内多地已落地数智化跨境仓单质押融资业务,依托跨境金融服务平台、区块链电子仓单体系解决货权核验难、融资成本高等难题,但相关研究仍将卖家的融资行为视为被动的需求响应,忽视了银行与卖家之间基于数智技术投入的策略互动机制。

基于上述现实痛点与研究缺口,本文明确了以下核心研究问题:数智技术通过缓解信息不对称、降低企业融资的违约风险,如何影响银行的最优信贷政策与跨境卖家的最优经营决策?数智技术投入对银企双方利润的影响是否存在差异化、其约束边界何在?

为解答以上问题,本文构建了银行主导、卖家跟随的 Stackelberg 博弈模型,将数智技术降险机制内生化,求解银企双方的最优均衡解,分析数智技术投入对双方的融资均衡、市场交易及利润的影响,并考察数智技术投入与违约风险的调节作用。其中,数智技术对违约概率的直接缓释作用是本文最核心的

理论关切,将其作为主线可使研究焦点更为集中、机制更为清晰。此外,银企双方博弈框架便于获得 Stackelberg 均衡的解析解,有助于深入剖析数智技术投入的传导路径与边际效应,避免了三方博弈中因参与主体过多而导致的机制模糊问题。本研究旨在丰富跨境电商信贷数智化转型的理论体系,同时为银行优化仓单质押融资业务和跨境电商中小企业的经营决策提供参考依据。

三、研究设计

考虑一个由银行和跨境电商卖家构成的两级供应链金融系统。卖家通过跨境电商平台向海外市场销售商品,因面临资金约束而向银行申请融资。银行在开展仓单质押融资业务时,自身已具备一定的数智监控技术基础(如区块链仓单溯源、物联网货物追踪、智能风控模型等),记为外生给定的技术禀赋,用以刻画不同银行在数智能力上的差异化特征。

(一) 模型假定

1. 仓单质押融资规模设定

卖家向银行申请的仓单质押融资额 M 与市场需求 Q 正相关,即海外市场对卖家商品的需求规模越大,卖家的融资需求也越大,故假定 $M = \varphi Q (\varphi > 0)$ 。此假定是显而易见的,因为企业的业务规模越大,其面临的融资缺口往往也越大^[38-39]。质押率是银行控制贷款风险的核心工具,银行实际放贷金额 L 通常低于卖家申请的融资金额 M 。令银行质押率为 $\eta (0 < \eta < 1)$ ^[40],则银行最终发放的贷款金额可以设定为 $L = \eta M$ 。实务中,银行对于普通货物的质押率 η 通常维持在 $(0.5, 0.9)$ 。

2. 仓单持有成本设定

跨境电商卖家对质押仓单下的货物拥有所有权。卖家在向银行申请仓单质押融资时,需向银行交付仓单,并且不能在融资期内减少质押仓单下的货物。仓单记录的质押物需存放在银行指定或认可的物流仓储设施中,且由卖家向仓储企业支付相应的保管费。为了避免质押物估值不足所引发的额外道德风险,银行通常要求质押物足额覆盖融资需求,因此,可将银行要求卖家提交的质押物价值简化为等同于卖家申请的融资额 M 。另外,假设卖家的单位质押价值的持有成本率为 h ,则总持有成本为 hM 。

3. 卖家违约与质押物处置设定

假定卖家的违约概率为 $\lambda (\lambda \in (0, 1))$ 。若卖家违约,其将不再向银行支付贷款本息,银行将处置卖家质押仓单下的质押物。此时,卖家将损失全部质押物价值,即 M 全部用于清偿。而银行可通过处置质押物回收部分价值 V 以冲抵损失,但受制于跨境质押物处置效率、海外市场流动性及法律执行成本等因素,回收价值通常低于放贷本金,即 $V < L$ 。

4. 银行数智技术投入的相关设定

参考车丽波^[7]、Jia 等^[21]、Wei 和 Wu^[22]等学者的研究结果可知,数智技术(区块链、物联网、人工智能等)能够实现仓单信息的不可篡改与实时追溯、对海外仓货物进行全程监控、对供应链风险进行智能预警,从而降低卖家的违约概率 λ 。这表明,银行的数智技术投入越高,卖家的违约概率越低。因此,假定银行的数智技术投入水平为 $\theta (\theta \in (0, 1))$,卖家的违约概率 $\lambda = \lambda_0 - \beta\theta$,且 $\lambda'(\theta) = -\beta < 0$ ($\beta > 0$)。其中, $\lambda_0 (\lambda_0 > \lambda)$ 为基础违约概率, β 为卖家发生违约道德风险的数智技术敏感系数。银行数智技术投入成本设定为 $k\theta^2 (k > 0)$,即数智技术投入边际成本随 θ 增加而递增,符合边际成本递增的经济学规律^[41-44]。

5. 境外市场需求及相关成本设定

为获得显式均衡解,市场需求通常被设定为与价格 P 负相关的线性函数^[44-47]。因此,将卖家面临

的境外市场需求 Q 设定为 $Q=B-P$, 其中 B 表示基本需求规模。为简化分析, 这里将境外需求函数的价格系数简化处理为 1^[44, 48-49]。

卖家需向跨境电商平台支付 μ 比例的交易佣金(跨境电商平台以外币形式收取), 并向进口国海关支付比例为 t 的从价关税(海关以外币形式收取), 则净价格系数 $\alpha=1-\mu-t$ 。为简化分析, 不失一般性, 不考虑融资期限内质押物占用的资金时间价值, 并假定卖家的采购、生产、营销与物流成本为 0^[47, 50]。成本归零假设的目的在于聚焦核心传导机制、避免维度膨胀导致解析解不可得。

6. 银企双方的博弈权力结构设定

跨境电商仓单质押融资市场为 Stackelberg 博弈结构, 银行作为资金供给方, 拥有更强的议价能力和信息优势, 处于领导地位, 首先根据既定的数智技术投入 θ , 确定最优贷款利率 r^* ; 跨境电商中小卖家作为融资需求方, 处于跟随地位, 在观察到银行设定的贷款利率后, 选择最优商品价格 P^* 。银行和卖家均为风险中性, 追求各自期望利润最大化。银行与卖家的参与约束必须满足, 即双方选择参与融资的期望利润非负。

为了方便后续分析参考, 现将模型中涉及的所有变量、参数的符号表示、含义及取值范围汇总如表 1 所示。

表 1 模型变量与参数设定

类别	符号	含义	取值范围
决策变量	r	银行贷款利率	$r \in (0, 1)$
	P	卖家出口商品单价(外币)	$P > 0$
其他变量 与参数	μ	跨境电商平台收取的交易佣金率	$\mu \in (0, 1)$
	t	进口国海关收取的关税税率	$t \in (0, 1)$
	α	净价格系数($\alpha=1-\mu-t$)	$\alpha \in (0, 1)$
	h	单位价值质押物的质押成本	$h > 0$
	θ	银行的数智技术投入水平	$\theta \in (0, 1)$
	k	银行的数智技术投入成本系数	$k > 0$
	β	卖家违约的调节系数	$\beta \in (0, 1)$
	λ	卖家违约概率($\lambda=\lambda_0-\beta\theta$)	$\lambda \in (0, 1)$
	B	海外市场的基本需求	$B > 0$
	Q	海外市场的总需求($Q=B-P$)	$Q > 0$
	φ	卖家融资需求系数	$\varphi > 0$
	M	融资申请规模、质押物价值($M=\varphi Q$)	$M > L$
	η	仓单质押率	$\eta \in (0.5, 0.9)$
	L	银行放贷金额($L=\eta M$)	$L \in (0, M)$
	V	卖家违约银行处置质押物的回收额	$V \in (0, L)$
	e	直接标价法下的汇率(本币/外币)	$e > 0$
	$E(\pi_b)$	银行的期望利润	R
	$E(\pi_s)$	卖家的期望利润	R

(二) 模型构建

1. 银行利润函数

银行利润取决于卖家履约时的放贷净收益与卖家违约造成的损失,以及银行为控制融资风险投入的数智技术监控成本。其中,卖家履约时的净收益为归还的本利和期望 $(1-\lambda)L(1+r)$ 与期初放贷本金 L 的差值,卖家违约时银行回收质押物价值的期望为 λV ,技术投入成本为 $k\theta^2$ 。因此,银行的期望利润函数可以表示为式(1)。

$$E(\pi_b) = (1-\lambda)L(1+r) + \lambda V - L - k\theta^2 \quad (1)$$

2. 卖家利润函数

卖家的期望利润函数采用融资现金流口径进行刻画,即按照融资周期内卖家的实际现金流入与流出来定义其净收益。具体而言,卖家的现金流入包括境外商品销售回款 $e\alpha PQ$ (以本币计值)和融资期初从银行获得的贷款本金 L 两部分。卖家的现金流出包括三项:融资期末卖家未违约时需向银行偿还的贷款本息 $(1-\lambda)L(1+r)$ 、融资期末若发生违约时需承担质押物处置的全部损失 λM 、卖家在融资期内需要支付的仓单保管费用 hM 。其中, $(1-\lambda)L(1+r)$ 和 λM 两项合并构成了卖家融资的期望成本。将现金流入减去期望现金流出的差额,即为卖家的期望利润,如式(2)所示。

$$E(\pi_s) = L + e\alpha PQ - (1-\lambda)L(1+r) - \lambda M - hM \quad (2)$$

式(2)中,融资额度 L 之所以作为收入项计入,是因为在融资期初该笔资金进入了卖家账户,构成卖家当期可支配的现金资源;与之对应,期末还本付息及质押物潜在损失则作为现金流出予以扣除。这一处理方式反映的是融资周期内的净现金收支,而非经济学意义上的“经济利润”(通常不将贷款本金计入“收入”,也不将偿本部分视为“成本”)。本文采用现金流口径刻画卖家利润函数,与银行利润函数以期收益最大化为目标相一致,便于在同一决策框架下求解银企双方的博弈均衡。

四、模型求解

由于银行与卖家之间的博弈为银行主导、卖家跟随的 Stackelberg 动态博弈,所以可采用逆向求解方法,首先求得第二阶段的卖家商品价格 P ,然后再解出第一阶段的银行贷款利率水平 r 。

(一) 卖家商品定价决策

将 $Q=B-P$, $M=\varphi Q$ 和 $L=\eta M$ 代入式(2)的 $E(\pi_s)$ 中,得: $E(\pi_s) = e\alpha P(B-P) + \varphi[\lambda(\eta-1) + \eta(\lambda-1)r - \lambda - h]$ 。因为 $\lambda \in (0,1)$, $\eta \in (0.5,0.9)$, $h>0$,所以 $\lambda(\eta-1) + \eta(\lambda-1)r - \lambda - h < 0$ 。由 $e>0$, $\alpha>0$,易知:卖家利润 $E(\pi_s)$ 是 P 的严格凹函数。令 $d[E(\pi_s)]/dP=0$,可得式(3),其表示卖家最优商品定价。

$$P^* = \frac{1}{2} \left\{ B - \frac{\varphi[\lambda(\eta-1) - \lambda - h]}{e\alpha} \right\} - \frac{\varphi\eta(\lambda-1)r}{2e\alpha} \quad (3)$$

由式(3)可得, $d^2[E(\pi_s)]/dP^2 = -2e\alpha < 0$ 。所以,式(3)表示的 P^* 满足卖家利润最大化条件。

(二) 银行贷款利率决策

由 $P^*>0$ 知: $B - \varphi[\lambda(\eta-1) - \lambda - h]/e\alpha > 0$ 。将式(3)和通过 $Q^*=B-P^*$ 、 $M^*=\varphi Q^*$ 、 $L^*=\eta M^*$ 表示的 Q^* 、 M^* 、 L^* 代入式(1),可得: $E(\pi_b) = \eta\Lambda_1(1-\lambda)r^2 + \eta[\Lambda_0(1-\lambda) - \lambda\Lambda_1]r + \lambda V - \eta\lambda\Lambda_0 - k\theta^2$ 。其中, $\Lambda_0 = \varphi\{B + \varphi[\lambda(\eta-1) - \lambda - h]/e\alpha\}/2$, $\Lambda_1 = \varphi^2\eta(\lambda-1)/2e\alpha$ 。由 $B>0$, $\varphi>0$, $e>0$, $\alpha>0$, $h>0$, $\eta \in (0.5,0.9)$, $\lambda \in (0,1)$,可知: $\Lambda_0>0$, $\Lambda_1<0$ 。可见,银行利润 $E(\pi_b)$ 是 r 的严格凹函数,且 $d^2[E(\pi_b)]/dr^2 = 2\eta\Lambda_1(1-\lambda) < 0$,故存在使银行利润最大化的利率 r 。因此,由 $d[E(\pi_b)]/dr=0$,可解得银行的最优贷款利率,见式(4)。

$$r^* = \frac{2\lambda\eta - \lambda - h + Be\alpha/\varphi}{2\eta(1-\lambda)} \quad (4)$$

将式(4)代入式(1)至式(3),以及 $Q^* = B - P^*$,可得 P^* 、 Q^* 、 $E(\pi_s^*)$ 、 $E(\pi_b^*)$ 的最终解析形式,结果如下。

$$\begin{aligned} P^* &= \frac{3B}{4} + \frac{\varphi}{4e\alpha}(\lambda+h) \\ Q^* &= \frac{B}{4} - \frac{\varphi}{4e\alpha}(\lambda+h) \\ E(\pi_s^*) &= \frac{e\alpha B^2}{16} - \frac{\varphi B}{8}(\lambda+h) + \frac{\varphi^2}{16e\alpha}(\lambda+h)^2 \\ E(\pi_b^*) &= \left[\frac{\varphi B}{8} - \frac{\varphi^2}{8e\alpha}(\lambda+h) \right] \left(2\lambda\eta - \lambda - h + \frac{Be\alpha}{\varphi} \right) - \frac{\eta\lambda\varphi B}{4} + \frac{\eta\lambda\varphi^2}{4e\alpha}(\lambda+h) + \lambda V - k\theta^2 \end{aligned}$$

五、均衡结果分析

由模型假定知,卖家违约率 λ 与数智技术投入 θ 负相关,且 $d\lambda/d\theta = -\beta < 0$ 。模型求解得到的均衡均为 λ 的函数,因此,关于数智技术投入对均衡 X 带来的影响,可通过 $dX/d\theta = (dX/d\lambda) \times (d\lambda/d\theta) = -\beta(dX/d\lambda)$ 进行分析。显然, $dX/d\theta$ 与 $dX/d\lambda$ 的符号相反。所以,下述均衡分析先证明 $dX/d\lambda$ 的符号。

(一) 数智技术投入对银行贷款利率的影响

命题 1 银行贷款利率随数智技术投入水平提高而降低,即 $dr^*/d\theta < 0$ 。

证明:对于 $r^* = \frac{2\lambda\eta - \lambda - h + Be\alpha/\varphi}{2\eta(1-\lambda)}$ 。因为 $\eta \in (0.5, 0.9)$, $\lambda \in (0, 1)$, 所以 $2\eta(1-\lambda) > 0$ 。又 $r^* > 0$, 所以 $2\lambda\eta - \lambda - h + \frac{Be\alpha}{\varphi} > 0$ 。对 r^* 求关于 λ 的导数,可得:

$$\frac{dr^*}{d\lambda} = \frac{(2\eta-1)(1-\lambda) + 2\lambda\eta - \lambda - h + Be\alpha/\varphi}{2\eta(1-\lambda)^2}$$

由 $2\eta-1 > 0$, $1-\lambda > 0$, $2\lambda\eta - \lambda - h + \frac{Be\alpha}{\varphi} > 0$, $2\eta(1-\lambda)^2 > 0$, 易知: $\frac{dr^*}{d\lambda} > 0$ 。因此, $\frac{dr^*}{d\theta} = -\beta \frac{dr^*}{d\lambda} < 0$ 。

证毕。

命题 1 揭示了数智技术通过降低违约概率推动均衡利率下降的核心传导机制。由模型假设与内在经济逻辑可知,数智技术投入提升可减少卖家违约行为、降低银行信用风险,促使银行下调贷款利率,以此激励卖家增加融资需求。这一机制构成了银行数智技术投入增加、卖家信用评估改善、贷款利率下降、融资规模扩张的正向循环。

(二) 数智技术投入对卖家商品定价、市场需求、融资申请及放贷规模的影响

命题 2 卖家的商品定价随数智技术投入水平增加而降低,而海外市场需求和融资规模均随数智技术投入水平增加而增加,即 $dP^*/d\theta < 0$, $dQ^*/d\theta > 0$, $dM^*/d\theta > 0$, $dL^*/d\theta > 0$ 。

证明:由 $P^* = \frac{3B}{4} + \frac{\varphi}{4e\alpha}(\lambda+h)$, 可得: $\frac{dP^*}{d\lambda} = \frac{\varphi}{4e\alpha}$ 。显然,由 $\varphi > 0$, $e > 0$, $\alpha > 0$, 可知: $\frac{dP^*}{d\lambda} > 0$ 。因此, $\frac{dP^*}{d\theta} = -\beta \times \frac{dP^*}{d\lambda} = -\beta \times \frac{\varphi}{4e\alpha} = -\frac{\beta\varphi}{4e\alpha} < 0$ 。

由海外需求与商品价格的负相关关系 $Q^* = B - P^*$ 易知,卖家面临的海外需求 Q^* 与数智技术投入 θ

的关系与数智技术投入对商品定价带来的影响刚好相反。因为 $\frac{dP^*}{d\theta} = -\frac{\beta\varphi}{4e\alpha} < 0$, 所以 $\frac{dQ^*}{d\theta} = -\frac{dP^*}{d\theta} = \frac{\beta\varphi}{4e\alpha} > 0$ 。由 $M^* = \varphi Q^*$, $L^* = \eta M^*$, 易知: $\frac{dM^*}{d\theta} = \varphi \frac{dQ^*}{d\theta} = \frac{\beta\varphi^2}{4e\alpha} > 0$, $\frac{dL^*}{d\theta} = \eta \frac{dM^*}{d\theta} = \frac{\eta\beta\varphi^2}{4e\alpha} > 0$ 。

证毕。

命题 2 表明, 银行贷款利率下降减轻了卖家的资金成本压力, 使卖家有能力降低商品售价。而商品售价下降将直接刺激市场需求, 形成融资利率下降、商品价格下降、需求扩张的连锁反应。在融资需求敏感度和质押率一定的情况下, 市场需求扩张又会进一步增加卖家的融资需求规模和银行的放贷规模, 从而放大技术投入带来的收益增长效应。这一正反馈机制正是数智技术赋能效应的核心体现。这意味着, 数智技术的红利会通过价格渠道传导给消费者, 在提升消费者剩余的同时, 能有效增强卖家的市场竞争力。

(三) 数智技术投入对卖家利润的影响

命题 3 卖家利润随银行数智技术投入增加而单调递增, 即 $dE(\pi_s^*)/d\theta > 0$ 。

证明: 由 $E(\pi_s^*) = \frac{e\alpha B^2}{16} - \frac{\varphi B}{8}(\lambda+h) + \frac{\varphi^2}{16e\alpha}(\lambda+h)^2$, $\varphi > 0, \beta > 0, Q^* > 0$, 得:

$$\begin{aligned}\frac{dE(\pi_s^*)}{d\lambda} &= -\frac{\varphi B}{8} + \frac{\varphi^2(\lambda+h)}{8e\alpha} = -\frac{\varphi}{2} \left[\frac{B}{4} - \frac{\varphi(\lambda+h)}{4e\alpha} \right] = -\frac{\varphi Q^*}{2} < 0 \\ \frac{dE(\pi_s^*)}{d\theta} &= \frac{dE(\pi_s^*)}{d\lambda} \frac{d\lambda}{d\theta} = -\frac{\varphi Q^*}{2} (-\beta) = \frac{\beta\varphi Q^*}{2} > 0\end{aligned}$$

证毕。

命题 3 表明, 银行的数智技术投入具备正外部性。卖家利润随银行数智技术投入递增的传导路径如下: 银行数智技术投入降低了银行贷款利率 (命题 1), 减轻了卖家向银行融资的借贷成本, 促使卖家降低商品售价 (命题 2), 拉动市场需求扩张 (命题 2), 进而提升卖家的经营收入和利润。与银行不同, 卖家不需要承担数智技术投入成本, 因此, 不存在过度投入的问题, 技术红利完全转化为卖家收益。

(四) 数智技术投入对银行利润的影响

命题 4 银行利润受数智技术投入水平变化的影响, 由银行技术投入成本系数 k 和卖家违约概率 λ 的联合作用而定: k 越小和 λ 越大, 技术投入对银行利润的正向效应越强; 反之, k 越大和 λ 越小, 正向效应减弱甚至转为负向; 存在某个区间, 可使银行利润在 θ^* 处达到最大值。

证明: 由 $E(\pi_b^*) = \left[\frac{\varphi B}{8} - \frac{\varphi^2}{8e\alpha}(\lambda+h) \right] \left(2\lambda\eta - \lambda - h + \frac{Be\alpha}{\varphi} \right) - \frac{\eta\lambda\varphi B}{4} + \frac{\eta\lambda\varphi^2}{4e\alpha}(\lambda+h) + \lambda V - k\theta^2$, 令 $F = \frac{\varphi B}{8} - \frac{\varphi^2}{8e\alpha}(\lambda+h)$, $G = 2\lambda\eta - \lambda - h + \frac{Be\alpha}{\varphi}$, $H = -\frac{\eta\lambda\varphi B}{4}$, $I = \frac{\eta\lambda\varphi^2}{4e\alpha}(\lambda+h)$, $J = \lambda V$, $K = -k\theta^2$, 则:

$$\begin{aligned}\frac{d(FG)}{d\lambda} &= \frac{dF}{d\lambda}G + F\frac{dG}{d\lambda} = -\frac{\varphi^2}{8e\alpha} \left(2\lambda\eta - \lambda - h + \frac{Be\alpha}{\varphi} \right) + (2\lambda-1) \left[\frac{\varphi B}{8} - \frac{\varphi^2}{8e\alpha}(\lambda+h) \right] \frac{dH}{d\lambda} = -\frac{\eta\varphi B}{4} \\ \frac{dI}{d\lambda} &= \frac{\eta\varphi^2}{4e\alpha}(2\lambda+h) \\ \frac{dJ}{d\lambda} &= V \\ \frac{dK}{d\lambda} &= -2k\theta \times \frac{d\theta}{d\lambda} = -2k\theta \times \left(-\frac{1}{\beta} \right) = \frac{2k\theta}{\beta}\end{aligned}$$

$$\frac{dE(\pi_b^*)}{d\lambda} = \frac{d(FG)}{d\lambda} + \frac{dH}{d\lambda} + \frac{dI}{d\lambda} + \frac{dJ}{d\lambda} + \frac{dK}{d\lambda} = \left(\frac{\varphi^2}{8e\alpha} - \frac{2k}{\beta} \right) \lambda + \left(\frac{\varphi^2 h}{4e\alpha} - \frac{\varphi B}{4} + V + \frac{2k\lambda_0}{\beta^2} \right) = \frac{2k\theta}{\beta} + V - M - \frac{\varphi^2}{8e\alpha} \lambda$$

由 $k > 0, \theta > 0, \beta > 0, 0 < V < M, \varphi > 0, e > 0, \alpha > 0, \lambda > 0$, 易知: 当 k (银行的数智技术投入成本敏感系数) 较小, 而 λ (卖家违约概率) 偏大时, $\frac{dE(\pi_b^*)}{d\lambda} < 0$, 从而 $\frac{dE(\pi_b^*)}{d\theta} = -\beta \times \frac{dE(\pi_b^*)}{d\lambda} > 0$, 即此时的银行利润随数智技术投入增加而增加; 当 k 较大, 而 λ 偏小时, $\frac{dE(\pi_b^*)}{d\lambda} > 0$, 从而 $\frac{dE(\pi_b^*)}{d\theta} < 0$, 即银行利润随数智技术投入增加而减少; 当 k 适中时, 存在 λ^* 使得 $\frac{dE(\pi_b^*)}{d\lambda} = 0$, 从而 $\frac{dE(\pi_b^*)}{d\theta} = 0$, 此时银行利润在 $\theta^* = \frac{\lambda_0 - \lambda^*}{\beta}$ ($\lambda = \lambda_0 - \beta\theta$) 处达到最大值。

证毕。

命题 4 表明, 银行利润对数智技术投入水平变化的响应并非简单的单调关系, 而是受到技术成本系数 k 和卖家违约概率 λ 的共同影响。当 k 较小且 λ 偏大时, 银行利润随技术投入水平增加而增加。这意味着在高违约概率市场中, 数智技术投入的边际收益最高。因为在高违约卖家情形下, 技术投入在降低违约风险的同时并不会显著增加银行的技术投入成本 (k 偏小), 进而实现银行利润的明显改善。此时, 银行应积极推动数智技术的投入与应用, 无需担心过度投资。当 k 适中时, 存在最优技术投入水平使某些银行的利润达到最大值。在银行利润最大值下, 银行技术投入的边际收益等于边际成本。因此, 银行需要重点关注和测算其最优的技术投入点。因为超过该点后, 技术投入成本开始侵蚀银行利润, 即当 k 较大且 λ 偏小时, 银行利润随技术投入增加而减少。在低违约概率市场中, 技术投入的边际收益较低, 而技术成本较高, 加大技术投入反而会侵蚀银行利润, 因此, 银行在面临此类客户时, 应根据自己的数智技术投入水平审慎确定其贷款利率水平。

六、数值仿真验证

(一) 参数赋值

为验证上述命题关于数智技术投入水平变化带来的影响, 本部分采用数值仿真进行直观展示与敏感性分析。仿真参数均为满足模型基本假定的示例性赋值, 目的在于揭示均衡结果的方向性变化规律 (即比较静态特征) 与数智技术投入 θ 的边际效应趋势, 而非对现实业务数据进行精确拟合或参数校准。由于银行的数智技术投入 θ 越高, 卖家的违约概率 λ 越低, 而 θ 又与数智技术成本系数 k 正相关, λ 与基础违约概率 λ_0 正相关。因此, 本部分仿真将围绕 k 与 λ_0 这两个参数在“低 k , 高 λ_0 ”“中 k , 中 λ_0 ”“高 k , 低 λ_0 ”等三种典型情境下的作用传导链条进行分析。将数智技术投入水平 θ 在 $(0, 1)$ 内取值, 对比观察三种情境下的 θ 变化对银企双方决策及利润的影响。不同情境的 k 和 λ 组合赋值及其模拟表示如下:

情境一 (低 k , 高 λ_0): $k^L = 0.0005, \lambda_0^H = 0.15$ 。该情境用于模拟银行技术投入成本偏低、卖家违约风险偏高的市场环境。例如, 银行自主研发数智系统和服务高风险卖家的场景。此时, 银行有较强烈动机投入数智技术。

情境二 (中 k , 中 λ_0): $k^M = 0.005, \lambda_0^M = 0.1$ 。该情境用于模拟银行技术投入成本适中、卖家违约风险一般的市场环境。例如, 银行采购第三方技术服务和服务中等风险卖家的场景。此情形可作为基准参考情形。

情境三(高 k , 低 λ_0): $k^H=0.05, \lambda_0^L=0.05$ 。该情境用于模拟银行技术投入成本偏高、卖家违约风险偏低的市场环境。例如,银行技术投入效率较低和服务优质卖家的场景。此时,银行投入数智技术的动机较弱。

在满足模型假定的前提下,对其他参数进行如下赋值: $\alpha=0.6, \beta=0.05, \eta=0.8, \varphi=2, h=8, e=5.5, B=5, V=0.01$ 。在前述赋值下,可得到下图所示的数值仿真结果。

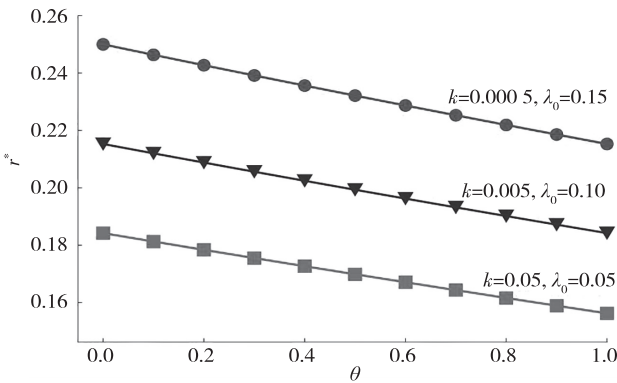


图1 不同情境下的平台贷款利率 r^* 与数智技术投入 θ 的关系

(二) 数值模拟

1. 数智技术投入对银行贷款利率的影响仿真

由图1可知,在三种情境下,随着数智技术投入水平 θ 的提高,贷款利率 r^* 均呈现单调下降趋势。其中,代表银行高技术投入敏感系数和卖家高违约可能性的情境三下的利率水平最低且下降得最为显著,代表银行中等技术投入敏感系数和卖家中等违约概率的情境二次之,代表银行低技术投入敏感系数和卖家低违约风险的情境一最不明显,这显然与平台数智技术投入成本系数的敏感性有关。可见,银行数智技术投入降低了卖家的违约概率,银行愿意将部分风险溢价让渡给卖家以扩大融资规模,从而形成“增加技术投入,改善卖家信用评价,促使银行贷款利率下降”的传导机制。该仿真结果与命题1的结论一致。

2. 数智技术投入对商品定价、市场需求、融资申请额及放贷额的影响仿真

由图2至图5可知,在三种情境下,随着数智技术投入水平 θ 的提高,商品定价 P^* 呈现单调下降趋势,而市场需求 Q^* 、融资申请额 M^* 和银行放贷额 L^* 均呈现单调上升趋势。而且,情境三下的价格更低且削价最为明显,情境二次之,情境一最不明显,而三种情境下的海外市场需求、卖家融资申请规模和银行授信额度刚好相反。平台融资给予的贷款利率下降减轻了卖家的资金成本压力,使其更有能力进行降价促销,而降价又进一步刺激了海外市场需求,从而就形成了融资利率下降、商品价格下降、海外市场需求增加、卖家融资申请规模及银行放贷金额均上升的正向循环。该结果与命题2的结论吻合。

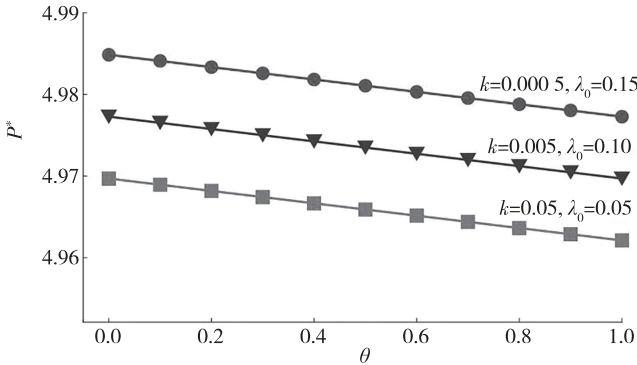


图2 不同情境下的卖家商品定价 P^* 与数智技术投入 θ 的关系

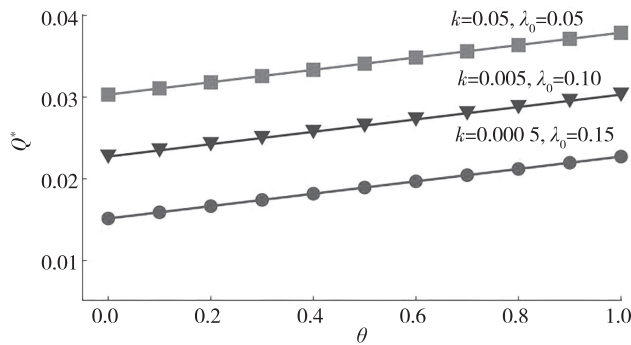


图3 不同情境下的市场需求规模 Q^* 与数智技术投入 θ 的关系

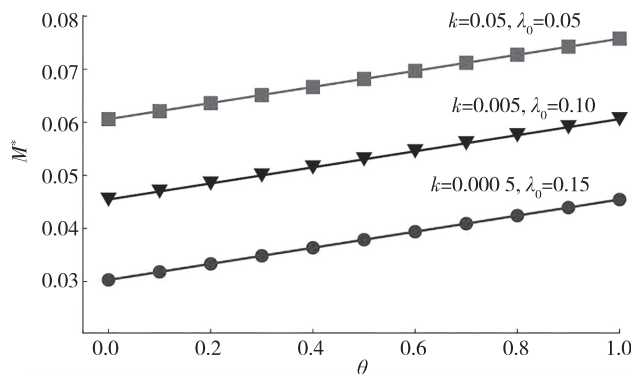


图4 不同情境下的卖家融资申请额 M^* 与数智技术投入 θ 的关系

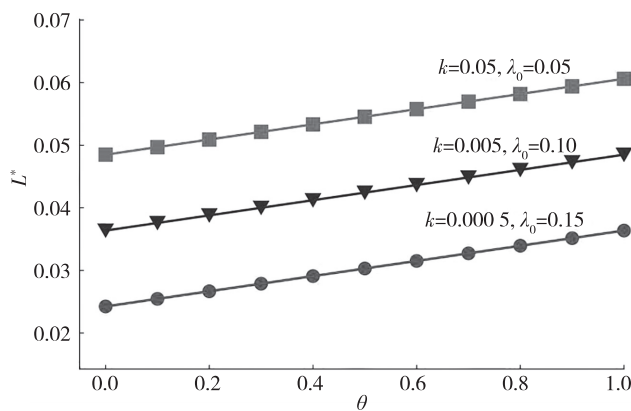


图5 不同情境下的银行授信额 L^* 与数智技术投入 θ 的关系

3. 数智技术投入对卖家利润的影响仿真

由图6可见,在三种情境下,卖家利润水平 $E(\pi_s^*)$ 始终随 θ 的增加而单调递增,尤其是在银行数智技术投入敏感性最高且卖家违约风险最低的情境三下,卖家的利润水平最高且随数智技术投入水平的提升增长最快,情境二次之,情境一最低。由于卖家不用承担数智技术投入成本,银行更强的数智技术投入带来的利率下降和需求扩张更多,且这种正外部性将全部转化为卖家收益,因此在不用分摊银行数智技术投入成本的情况下,卖家始终是银行技术投入红利的受益者。该仿真结果与命题3的结论一致。

4. 数智技术投入对银行利润的影响仿真

观察图7可知,银行利润水平 $E(\pi_b^*)$ 随数智技术投入变化的变动情况,受到技术成本系数 k 和卖家违约概率 λ 的共同调节作用,这恰好验证了命题4的结论。具体情境的验证情况分别如下:

在情境一(低技术投入 k 和高违约风险 λ)中,银行利润随 θ 的增加持续上升,并未出现拐点。这表

明,在技术成本较低且违约风险较高时,资金管理实力强大的银行有较强的技术投入实力和盈利空间。上述结果验证了命题4中“ k 越小和 λ 越大,技术投入对银行利润的正向效应越强”的判断。

在情境二(中等技术投入 k 和中等违约风险 λ)中,银行利润呈现先增后减的倒 U 型轨迹。这表明,在技术成本中等且违约风险一般时,银行显然存在最优的技术投入点。该结果与命题4中“存在参数区间,可使银行利润在 θ^* 处达到最大值”的判断相一致。

在情境三(高技术投入 k 和低违约风险 λ)中,银行利润随 θ 的增加持续下降甚至为负利润。这表明,在技术成本过高且卖家违约风险较低的情况下,高数智技术投入会严重损害银行利益,尤其是资金管理实力不足的银行更应谨慎放贷。这与命题4中“ k 越大和 λ 越小,正向效应减弱甚至转为负向”的判断相吻合。

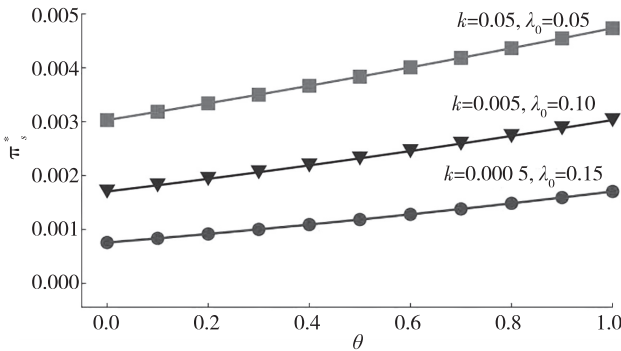


图6 不同情境下的卖家利润 π_s^* 与数智技术投入 θ 的关系

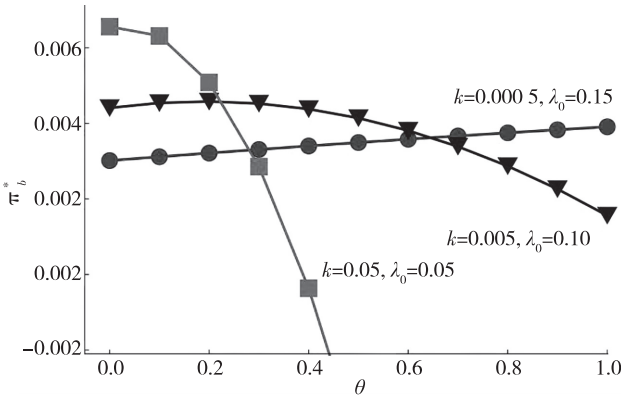


图7 不同情境下的银行利润 π_b^* 与数智技术投入 θ 的关系

(三) 主要理论贡献

相较于既有研究,本文的理论贡献主要体现在以下两个方面:

第一,揭示了数智技术投入通过降低违约概率 λ 影响银企均衡的传导机制。模型推导与仿真分析表明,相对于资金实力一般的银行,资金管理能力强大的银行通过其高数智技术投入水平,可以有效降低卖家的违约概率,进一步传导至银行下调贷款利率、卖家下调商品定价、海外市场需求扩张以及银行融资规模放大等多个环节,形成了高技术投入、风控能力增强、信贷条件改善、经营绩效提升的完整传导链条。这一机制厘清了数智技术赋能供应链金融的微观实现路径,丰富了数字金融背景下信贷传导理论的内涵。

第二,识别了数智技术赋能效应的边界条件。研究发现,数智技术的赋能效应并非无条件成立,其有效性高度依赖于技术成本系数 k 与违约风险 λ 的相对大小的联合调节作用:仅当技术成本系数处于合理区间且违约风险达到一定阈值时,资金管理实力雄厚的银行的技术投入才具有经济合理性。这一

边界条件的识别,为解释现实中不同银行、不同场景下数智技术采纳程度的差异提供了理论依据,也明确了技术投入的适用前提与风险警示区间。

七、结论与展望

(一) 研究结论

本文构建了数智技术赋能下跨境电商仓单质押融资的 Stackelberg 博弈模型,通过严格的数理推导和数值仿真,可以得出以下主要结论:

1. 数智技术投入能够有效降低融资成本并激活市场需求

银行的数智技术投入水平越高,卖家的违约风险就越能得到有效控制,银行调低贷款利率的动力就越强,卖家则可将节约的融资成本转化为价格优势,最终形成利率下降、价格下降、需求扩张的良性循环。这一传导链条揭示了数智技术从风险缓释到市场激活的完整作用路径。

2. 技术红利在银行与卖家之间的分配呈现非对称特征

在卖家无需承担技术投入成本的情况下,卖家可以充分享受到利率下降和需求扩张带来的收益,因此,其利润水平将随数智技术投入单调递增。银行的收益则取决于数智技术投入成本与卖家违约风险改善之间的平衡,呈现出更为复杂的动态特征。银行放贷金额和市场需求随技术投入同步扩张,形成了技术投入水平越高、需求扩张越多、贷款规模越大的放大效应。

3. 银行利润对技术投入的响应具有显著的情境依赖性

当技术成本较低且卖家违约风险较高时,技术投入能够持续为银行创造价值;当技术成本适中时,存在一个明确的最优投入水平,银行需精准把握自身既定的技术投入水平与最优投入水平的差距,以明确后续的努力方向;当技术成本过高或卖家违约风险已处于低位时,即便资金实力雄厚的银行有条件在长期调整其技术投入水平,加大数智技术投入也不是最优解,因为如此行事反而会侵蚀其利润。这一发现表明,数智技术的价值实现高度依赖于银行自身的技术成本结构和其所服务的客户风险特征。

(二) 管理启示

1. 对银行的管理启示

(1) 树立数智技术投入的战略投资观

银行应将数智技术投入视为一项能够通过信贷规模扩容实现收益增长的战略投资,而非单纯的运营成本支出。银行可以依托数智技术提升风控能力,尤其是那些对数智技术投入不敏感的银行,能够在降低自身风险的同时做大信贷业务规模,从而实现经营收益的提升。因此,银行在制定年度预算与中长期规划时,应将数智技术投入纳入核心战略议程,给予持续、稳定的资源保障。

(2) 建立技术投入与利率定价的联动机制

银行应构建数智技术投入与贷款利率的动态联动定价机制:当技术风控体系趋于成熟、预期风险成本下降时,银行可将部分风险收益以利率优惠的形式让渡给卖家。这一策略既能直接降低卖家的融资成本、激发其融资意愿,又能通过信贷规模扩容实现银行以量补价的收益增长,形成银行与卖家之间的良性互馈。

(3) 动态关注卖家市场需求变化,避免技术投入的“闭门造车”

银行在评估数智技术投入效果时,不仅要关注自身放贷利率的调整,还应主动监测卖家在海外市场的商品需求变化。技术投入的最终效益取决于卖家是否能够有效利用融资扩大经营。若忽视卖家的市场表现,银行可能陷入技术先进而业务停滞的困境。银行应建立卖家经营数据的动态监测平台,将卖家

的市场活跃度、销售增长率等指标纳入技术投入效果的评估体系。

(4) 科学测算技术成本系数,实施差异化的技术投入策略

银行应科学测算自身的技术成本系数,并据此采取差异化的技术投入策略:资金管理实力雄厚且对数智技术投入敏感度较低的银行,应充分发挥技术投入的边际成本优势,重点服务违约概率较高的卖家群体。这类卖家的融资需求最为迫切,银行加大技术投入所带来的风险识别收益与信贷规模扩张效应最为显著,边际收益最高;资金管理实力孱弱且对数智技术投资极度敏感的中小银行,应谨慎上马数智技术应用项目,将有限的数智能化能力转化为对低违约概率卖家的精准利率优惠,以差异化服务巩固优质客户群体,而非在高风险客群中与大型银行正面竞争。

2. 对卖家的管理启示

(1) 主动接入银行数智化风控体系,以数据资产换取利率红利

卖家应主动接入银行的数智化风控管理体系,通过规范经营持续积累交易数据,有助于降低银行对其的认知成本,从而争取更优惠的贷款利率。建议卖家将经营数据的系统化管理与财务规范化建设纳入日常运营,主动向合作银行开放合规的交易数据接口,将数据积累转化为切实的融资成本节约。

(2) 将融资成本节约转化为价格优势,实现市场份额的扩张

贷款利率的下降为卖家提供了调整定价策略的空间。卖家应将融资成本的节约及时传导至终端定价,通过有竞争力的价格策略扩大海外市场份额。融资成本的降低不仅直接增加利润,还能通过低价扩量的规模效应形成降本的正反馈循环,持续强化卖家的市场竞争力。

(3) 敏锐捕捉银行技术投入动态,建立长期稳定的银企合作关系

由于银行技术投入水平会经由风险定价机制传导至银行贷款利率,卖家应主动关注合作银行在数智化风控领域的能力建设动态,优先选择技术投入积极、风控能力领先的银行建立长期合作关系。稳定的银企关系不仅有助于卖家在利率谈判中获得更优条件,还能在银行技术能力提升的过程中持续分享技术红利的外溢效应。

(三) 研究展望

1. 数智技术投入水平内生性研究

本文将数智技术因素作为外生变量处理,未将其纳入银企信贷博弈的内生决策体系。这一简化处理旨在聚焦贷款利率与卖家定价策略之间的核心博弈关系,避免因技术内生性而增加模型求解的复杂性,从而确保均衡解的解析可溯性。后续研究可在本文基础上,将银行数智技术投入作为内生变量引入Stackelberg 博弈模型,考察银行在贷款利率设定与技术投入之间的权衡取舍,进而构建数智技术内生性下的跨境电商仓单质押融资博弈分析框架,以更完整地刻画银行在技术投入与信贷定价之间的多维决策行为。

2. 质押率内生性研究

本文同样将质押率作为外生给定参数,未纳入银行的决策变量体系。但在实际仓单质押融资业务中,质押率是银行进行风险控制与信贷配给的核心工具,且与贷款利率之间存在紧密的替代或互补关系:银行可通过调低质押率控制风险暴露,也可通过提高利率转移部分风险成本,两者的最优组合直接影响技术投入的边际收益。未来研究可将质押率与贷款利率同时纳入银行的决策变量集,构建二维优化模型,探讨质押率、利率与技术投入三者之间的协同效应与最优配置方案,以更全面地刻画银行的风险管理策略空间。

3. 多主体博弈结构研究

本文将跨境电商平台、海外仓储企业等参与主体排除在博弈框架之外,仅聚焦银行与卖家两方决

策,意在识别数智技术影响银企信贷均衡的核心传导机制,避免多主体干扰导致逻辑主线模糊。然而在实际运作中,电子仓单的生成与流转依赖平台与港口的信息系统支撑,数智风控所依托的交易、仓储等多源数据亦由各参与方分别掌握。后续研究可在本文基础框架之上,逐步纳入上述主体,考察多源数据共享与技术联合投入对融资均衡的改善效应,以及不同主体间的利益协调与分配机制,进一步提升模型对产业实践的解释力。

[参 考 文 献]

- [1] 海关总署. 跨境电商驱动中国品牌加速“出海”[EB/OL]. (2025-08-12)[2026-06-24]. http://www.customs.gov.cn/customs/2025-08/12/article_2025121410102044121.html.
- [2] 国家统计局. 高水平对外开放全面推进 贸易强国建设巩固提升——“十四五”经济社会发展成就系列报告之八[EB/OL]. (2026-06-03)[2026-06-24]. https://www.stats.gov.cn/sj/sjld/202606/t20260603_1963865.html.
- [3] 吕大良. 2026 年一季度进出口情况新闻发布会[EB/OL]. (2026-04-14)[2026-06-24]. <http://www.customs.gov.cn/customs/xwfb34/302330/hgzs2025nqnjckqkxwfbh/index.html>.
- [4] 鲍长生. 供应链金融对中小企业融资的缓解效应研究[J]. 华东经济管理, 2020(12): 91-98.
- [5] Li H X, Chen Q, Ariffin S B. A review on blockchain-based supply chain finance[J]. WSEAS Transactions on Computer Research, 2026: 90-103.
- [6] 乔宁宁. 基于供应链金融的中小企业融资约束研究——以山西省跨境电商企业为例[J]. 华北金融, 2020(2): 71-75.
- [7] 车丽波. 数字金融赋能跨境电商: 理论逻辑、现实困境与发展路径[J]. 西南金融, 2024(8): 81-92.
- [8] 高锦首, 达潭枫. 基于 DLT 的新型供应链金融与中小微企业融资[J]. 财会通讯, 2021(12): 146-150.
- [9] Guan G B. Construction of cross-border trade supply chain financial risk assessment model based on information system intelligent algorithm[J]. Procedia Computer Science, 2026: 854-861.
- [10] 吴勇民. 金融大模型赋能中小微企业供应链融资的双重机制与演化博弈研究[J]. 工业技术经济, 2026(4): 16-29.
- [11] 孔会青, 刘攀, 刘颖辉, 等. 银行业结构视角下数字化转型对中小企业融资约束的影响研究[J]. 财会通讯, 2025(18): 62-66.
- [12] 李毅学, 徐渝, 冯耕中, 等. 重随机泊松违约概率下库存商品融资业务贷款价值比率研究[J]. 中国管理科学, 2007(1): 21-26.
- [13] 齐二石, 马珊珊, 韩铁. 组合仓单质押贷款质押率研究[J]. 西安电子科技大学学报(社会科学版), 2008(6): 50-53.
- [14] 张媛媛, 朱梅红, 吉彩红. 质押贷款下的贷款价值比的研究[J]. 数学的实践与认识, 2009(13): 19-26.
- [15] 于辉, 甄学平. 中小企业仓单质押业务的质押率模型[J]. 中国管理科学, 2010(6): 104-112.
- [16] 曹兵兵, 尤天慧, 刘春怡, 等. 基于货到付款支付模式且考虑银行存贷的二级供应链 Stackelberg 定价决策[J]. 运筹与管理, 2021(7): 146-153.
- [17] 刘春怡, 尤天慧, 曹兵兵. 考虑第三方回收且零售商资金约束的闭环供应链融资模式选择策略[J]. 运筹与管理, 2024(9): 78-84.
- [18] Chen J, Chen S, Liu Q, et al. Applying blockchain technology to reshape the service models of supply chain finance for SMEs in China[J]. The Singapore Economic Review, 2025(4): 1051-1068.
- [19] 宁波市人民政府. 创新模式! 宁波舟山港首单区块链电子仓单质押融资落地[EB/OL]. (2021-12-06)[2026-06-24]. https://kab.ningbo.gov.cn/art/2021/12/6/art_1229104354_58893633.html.
- [20] 国家外汇管理局山西省分局. 跨境金融服务平台“港云仓”仓单融资应用场景首笔业务在山西成功落地[EB/OL]. (2025-12-03)[2026-06-24]. <https://www.safe.gov.cn/shanxi/2025/1203/1557.html>.
- [21] Jia W, Shafie N A, Kasim E S. The impact of digital technology on supply chain finance performance of Chinese SMEs: A systematic literature review[J]. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 2025(1): 1729-1749.

- [22] Wei C L, Wu C. Credit risk transmission mechanism and prevention strategies in supply chain finance: A core enterprise perspective[J]. Artificial Intelligence and Machine Learning Review, 2024(2): 101-115.
- [23] 宋晓晨, 毛基业. 基于区块链的组织间信任构建过程研究——以数字供应链金融模式为例[J]. 中国工业经济, 2022(11): 174-192.
- [24] 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(3): 182-200.
- [25] 陆岷峰. 企业数字化与数字供应链金融融合发展研究[J]. 会计之友, 2022(22): 2-9.
- [26] 刘欣悦, 刘平峰, 江珊. 区块链驱动平台破解供应链中小企业融资约束的演化博弈研究[J]. 系统科学与数学, 2026(1): 70-96.
- [27] Zhang L F, Zhou B. The impact of AI on green finance: Evidence from China's national pilot zones[J]. Environment, Development and Sustainability, 2026: 1-37.
- [28] Li J, Zhu S C, Zhang W, et al. Blockchain-driven supply chain finance solution for small and medium enterprises[J]. Frontiers of Engineering Management, 2020(4): 500-511.
- [29] Fu J, Cao B C, Wang X L, et al. BFS: A blockchain-based financing scheme for logistics company in supply chain finance [J]. Connection Science, 2022(1): 1929-1955.
- [30] Xie L, Liu J Q, Wang W. Predicting sales and cross-border e-commerce supply chain management using artificial neural networks and the Capuchin search algorithm[J]. Scientific Reports, 2024(1): 13297.
- [31] Zhang W, Yan S S, Li J, et al. Credit risk prediction of SMEs in supply chain finance by fusing demographic and behavioral data[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2022: 102611.
- [32] Li X, Chu Q Z. Digital finance and corporate risk-taking: Evidence from China[J]. Eurasian Economic Review, 2025(2): 353-378.
- [33] Riazi M, Mojaverian S M, Shirzadi Laskookalayeh S, et al. Design, simulation and feasibility of the innovative agricultural warehouse receipt system through dynamic programming and agent-based models[J]. Scientific Reports, 2024: 23182.
- [34] 中国人民银行. 金融科技发展规划(2022—2025年)[R/OL]. 2021-12-29. <https://spq-infocontent-product.oss-cn-shenzhen.aliyuncs.com/temp/1642058529903077011.pdf>.
- [35] 中国信息协会投融资信息分会, 清华大学五道口金融学院金融安全研究中心. 金融人工智能发展与安全白皮书(2025)[R/OL]. 2025-10-20. <https://cmsfiles.zhongkefu.com.cn/cmsxixni2025/upload/ueditor/20251106/1762406761651132.pdf>.
- [36] 中国人民银行浙江省分行. 浙江宁波:坚持科技赋能 推动构建“3+N”数字普惠金融体系[EB/OL]. (2026-02-28) [2026-06-24]. <https://huhehaote.pbc.gov.cn/hangzhou/125264/2026022810311024562/index.html>.
- [37] 广西新闻网. 交通银行发布“交银航贸通”:以数智金融护航稳外贸新格局[EB/OL]. (2025-11-06) [2026-06-24]. <https://www.gxnews.com.cn/staticpages/20251106/newgx690c8307-21866442.html>.
- [38] 鲁其辉, 张绍亮, 谭倩虹. 基于电商平台预售订单的农业供应链融资模式研究[J]. 运筹与管理, 2024(6): 118-124.
- [39] 林强. 平台经济下供应链金融创新模式[M]. 北京:科学出版社, 2023.
- [40] 计明军, 祁佳, 孔灵睿. 跨境电商环境下物流企业存货质押融资决策[J]. 大连海事大学学报, 2021(3): 59-67.
- [41] 卢祥远, 吴志樵. 考虑供应链关联度的成长型企业债权融资策略研究[J]. 运筹与管理, 2024(1): 184-190.
- [42] 徐鹏, 黄胜忠, 王琦. 线上农产品供应链金融银行对 B2B 平台的激励契约研究[J]. 管理工程学报, 2021(4): 107-116.
- [43] 蒋紫艳, 陈宇, 卫一鸣. 考虑区块链主导权分配因素的三级生鲜冷链协调策略研究[J/OL]. 供应链管理, 1-27 [2026-06-24]. <https://link.cnki.net/urlid/10.1678.F.20260324.1319.006>.
- [44] 牛攀峰. 考虑碳减排技术创新和区块链投资的供应链决策分析[J]. 供应链管理, 2025(12): 24-41.
- [45] 唐丹, 庄新田. 制造商融资决策: 银行、商业信用或区块链供应链金融[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2021(8): 1202-1209.
- [46] 袁孝勇, 范志远, 贺欣怡, 等. 平台经济背景下考虑物流服务的竞争零售商融资策略[J/OL]. 控制与决策, 1-11 [2026-06-24]. <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2025.1327>.
- [47] 史思雨, 孙静春. 基于不同融资方式的双渠道供应链定价决策[J]. 运筹与管理, 2019(4): 1-8.

- [48] 弋泽龙, 张慧君, 付业林, 等. 需求不确定与竞争性市场下平台供应链融资的决策研究[J]. 运筹与管理, 2023(11): 5–11.
- [49] 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(12): 3570–3590.
- [50] 郭晓龙, 苏增慧. 竞争环境下随机产出供应商的融资策略研究[J]. 运筹与管理, 2021(7): 195–202.

The Impact of Digital-Intelligent Technology on the Game of Warehouse Receipt Pledge Financing for Cross-Border E-Commerce

Xia Dejian

(School of Economics and Management, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: The in-depth integration of digital-intelligent technology and cross-border trade has provided new tools for banks to conduct risk control in supply chain financing. Nevertheless, it remains a practical concern for banking practitioners under what conditions technological investment can expand credit supply, control non-performing risks and improve financing returns. Focusing on the business scenario of warehouse receipt pledge financing for cross-border e-commerce, this paper constructs a two-stage Stackelberg game model between banks and cross-border e-commerce sellers. Through mathematical derivation and numerical simulation, it analyzes the influence mechanism of banks' digital-intelligent technology investment on loan interest rates, sellers' pricing, financing scale and the profits of both banks and enterprises, and identifies the constraints for digital-intelligent technology to generate practical value. The results show that increased investment in digital-intelligent technology by banks can reduce credit risks, drive down loan interest rates, help cross-border e-commerce sellers gain pricing advantages, boost overseas market demand and expand financing scale. The dividends brought by digital-intelligent technology are distributed unequally between banks and sellers. Without bearing the cost of technological investment, sellers' benefits keep rising with the improvement of technological capabilities, whereas banks have to trade off technological investment costs against risk-reduction effects, leading to more complicated profit changes. Furthermore, the value of digital-intelligent technology is subject to specific prerequisites. Additional investment in digital-intelligent technology is economically feasible for banks only when technological costs stay below a critical threshold and sellers' default risks remain within a reasonable range; otherwise, increased technological investment will squeeze banks' profit margins. This paper dissects the micro-transmission mechanism through which digital-intelligent technology acts on cross-border e-commerce supply chain finance, enriches application scenarios for the transmission theory of digital financial credit, and explains the underlying reasons for differences in banks' digital-intelligent technology investment. The findings can serve as decision-making references for banks to formulate differentiated digital-intelligent technology investment schemes and for cross-border e-commerce sellers to obtain financing support, so as to foster the sound development of the cross-border e-commerce supply-chain financing ecosystem.

Keywords: Warehouse Receipt Financing; Cross-Border E-Commerce; Digital Intelligence Technology; Digital Supply Chain

[责任编辑: 邹柳馨]