

doi: XXX

中图法分类号: F832.5

文献标志码: A

## 我国金融机构与实体企业的投融资决策研究

仲丛林<sup>1</sup>, 宋琪<sup>1,\*</sup>, 井一涵<sup>2</sup>, 董志<sup>1</sup>, 贺舟<sup>1,3,4</sup>

(1. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京, 100190; 2. 中国科学院大学中丹学院, 北京, 100049; 3. 中国科学院大数据挖掘与知识管理重点实验室, 北京, 100190; 4. 中国科学院大学数字经济监测预测预警与政策仿真教育部哲学社会科学实验室, 北京100190)

**摘要** 基于“引导金融服务实体经济”的现实背景, 本文首先通过构建演化博弈模型刻画金融机构和实体企业之间投融资博弈演化过程, 研究影响动态演化路径的机制. 分析发现, 稳态状态下双方都趋向于促成业务合作的决策行为. 之后, 本文基于主体建模思路, 将双方演化博弈行为转变为投融资资金比例分配的决策问题, 并纳入了地理位置因素, 通过仿真实体企业和金融机构主体的投融资决策, 分析多种因素对投融资比例决策的影响. 研究发现, 成本控制、收益分配和政府补贴等方式能够推动金融机构以间接融资的方式服务实体经济. 此外, 资本市场融资成本、企业盈利水平和地理因素对决策有显著影响. 最后, 本文对比和结合了两个模型的结果提出了相应建议.

**关键词** 金融资本; 实体经济; 演化博弈; 主体建模与仿真

## Research on Investment and Financing Decision of Financial Institutions and Enterprises in China

Zhong Conglin<sup>1</sup>, Song Qi<sup>1,\*</sup>, Jing Yihan<sup>2</sup>, Dong Zhi<sup>1</sup>, and He Zhou<sup>1,3,4</sup>

(1. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Sino-Danish College at University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Big Data Mining and Knowledge Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 4. MOE Social Science Laboratory of Digital Economic Forecasts and Policy Simulation at UCAS, Beijing 100190, China)

**Abstract** Based on the realistic background of “guiding financial services to serve the real economy”, this paper constructs an evolutionary game model to describe the game evolution process of investment and financing behavior between financial institutions and real enterprises, and studies the mechanism that affects the dynamic evolution path. The analysis shows that both parties tend to make decisions that promote business cooperation in the stable state. In addition, based on the idea of agent-based modelling, this paper transforms the evolutionary game behavior of the two sides into the decision-making problem of the proportion allocation of investment and financing funds, and includes the geographical location factor. By simulating the optimization process of real enterprises and financial institutions, it analyzes the influence of various factors on the proportion decision of investment and financing. It is found that

收稿日期: 2023-XX-XX

**作者简介:** 仲丛林(1980-),男,山东莱州人,博士研究生,研究方向:金融工程;宋琪(1993-),女,吉林长春人,博士研究生,研究方向:供应链金融;井一涵(1995-),女,山东德州人,博士研究生,研究方向:供应链金融;董志(1988-),男,山东烟台人,博士,研究方向:决策分析,金融风险管理;贺舟(1986-),男,湖南益阳人,博士,研究方向:金融科技,仿真决策.

**基金项目:** 国家自然科学基金(71901202,72271227,71932002,71850014);中科院支持项目(E1E90802A2,E1EG4401X2);中国科学院青年创新促进会;中央高校基本科研业务费专项资金.

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (71901202,72271227,71932002,71850014); Chinese Academy of Sciences (E1E90802A2, E1EG4401X2); Youth Innovation Promotion Association CAS; Fundamental Research Funds for the Central Universities.

**中文引用格式:** 仲丛林, 宋琪, 井一涵, 董志, 贺舟. 我国金融机构与实体企业的投融资决策研究[J]. 系统工程理论与实践, 2023, X(X): 1–10.

**英文引用格式:** Zhong C L, Song Q, Jing Y H, Dong Z, He Z. Research on Investment and Financing Decision of Financial Institutions and Enterprises in China[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2023, XX(X): 1–10.

by means of cost control, income distribution and government subsidies, financial institutions can be promoted to serve real enterprises in the way of indirect financing. In addition, this paper also finds that capital market financing costs, corporate profitability and geographical factors have a significant impact on decision-making. Finally, this paper compares and combines the results of the two models and puts forward some suggestions.

**Keywords** Financial capital; Real economy; Evolutionary game; agent-based modelling and simulation

## 1 引言

在金融市场上, 实体企业和金融机构的投融资决策大致可分为两种. 对于实体企业而言, 融资决策可以分为直接融资(股票融资和债券融资等)和间接融资(主要通过商业银行等金融机构). 相应地, 金融机构的投资决策可以分为投资于直接融资市场和投资于间接融资市场. 目前我国金融体系下, 银行贷款仍然占据融资市场的核心地位<sup>[1]</sup>, 但是资本市场发展迅猛, 以间接融资为主的金融结构也发生了变化<sup>[2]</sup>. 随之而言的科学问题是: 我国金融机构与实体企业的投融资决策如何影响间接融资与直接融资的比例关系?

这一问题不仅具有金融研究的理论意义, 也有非常现实的实践意义. 周小川指出, 我国政策历来重视金融业对实体经济的扶持作用, 因此国家鼓励和督促金融机构落实服务于实体经济的责任要求<sup>[3]</sup>. 但学者发现, 我国金融机构存在“脱实向虚”的问题, 即金融机构向企业放贷不积极, 服务水平不高<sup>[4]</sup>. 理解“脱实向虚”这种现象需要深入研究金融机构和实体企业的投融资决策, 分析不同融资模式对两类主体的利弊. 例如, 对于直接融资模式, 企业资金使用的自由度较高、从直接融资市场上可能获得较高的资本利得等收益, 但面临的市场不确定性也高; 金融机构可以选择的业务模式更加多样, 资金的灵活度高, 但容易发展为“脱实向虚”的业务状态, 偏离“服务实体经济”的政策要求. 对于间接融资方式, 企业因为地理限制等因素可选金融机构极少, 资金流向和用途往往要受到比较强的监督和限制, 融资成本较高<sup>[5]</sup>, 但是其融资过程风险相对较低; 金融机构可能面临企业的违约风险, 但是双方也可能发展长期信用合作关系, 双方的协调匹配也能最大程度地保证企业的融资需求<sup>[6]</sup>. 已有文献虽然对间接融资与直接融资的研究较多, 但大多采用实证方法开展, 难以深入刻画两类主体的决策和博弈过程. 而采用博弈论等数值方法研究此问题的研究相对较少, 未能全面考虑上述决策要素以及主体地理限制等因素.

本文试图基于我国实际情况, 通过建模微观主体决策和博弈来研究间接/直接融资比例的变化, 从而为政策制定者提供理论依据. 具体而言, 本文首先构建演化博弈模型, 通过数学计算获得具有一般性的结论, 发挥数学模型的普适性优势; 之后构建主体模型, 放松部分数学模型的假设研究更多决策影响因素, 发挥仿真模型可高度贴近现实的优势. 通过对照两个模型结果(详见第4.3节), 有望助力政策制定者理解我国投融资结构后面的影响因素, 也为广大学者研究类似复杂现象提供了新的研究思路.

本文的研究内容和结论简介如下. (1) 首先建立金融机构与实体企业的演化博弈模型, 通过对稳态点和演化路径的分析发现: 金融机构和实体企业产生了{“资本服务实体经济, 间接融资”, “资本脱实向虚, 直接融资”}的行为演化稳定集; 企业的获利水平、可能面临的直接融资市场风险, 金融机构可能面临的资本市场风险以及政府补贴的增加会促进双方向着“间接融资”合作方向发展; 企业无法获得间接融资的损失、双方面临的间接融资业务投入的成本比例和直接融资收益的增加会减少双方对“间接融资”合作的偏好. (2) 为了进一步贴近现实, 本文采用了主体建模与仿真方法分析更多因素对主体决策和宏观现象的影响. 一方面, 主体模型考虑了主体可能同时采取两种投资或融资的行为, 放松了演化博弈中“二选一”的过强假设. 另一方面, 由于间接融资模式下地方银行对当地实体企业的状况更为了解<sup>[7]</sup>, 因此主体模型引入了主体的空间交互行为, 从而更加符合实际. 通过模拟实验发现: 资本市场的融资成本显著影响实体企业的间接融资比例; 实体企业的经营性盈利水平显著影响金融机构的投资决策; 实体企业间接融资最大可及距离因素显著影响金融机构的投资比例决策; “间接融资”合作中收益占比仅对于实体企业的利润有显著影响.

本文后续安排内容如下: 第二部分, 梳理相关文献并总结本文的创新点; 第三部分, 结合实际数据

构建演化博弈,研究多种因素对投融资行为决策的影响;第四部分,扩展演化博弈模型中的基本假设,提出考虑地理位置的主体模型,研究更多因素对投融资系统的影响;第五部分,总结研究成果并提出政策建议。

## 2 文献综述

### 2.1 金融机构与实体企业之间的投融资研究

促进金融业对实体经济的扶持作用,一直是政策强调的重点<sup>[3]</sup>。在金融机构与实体企业相互影响的投融资市场中,学者们以银行在信贷资源方面的主体地位为出发点,分析两者之间的影响机制。例如:Fraisse等<sup>[8]</sup>研究了银行信贷资源的配置对企业融资环境的影响。Schwert<sup>[9]</sup>利用K-M框架研究信贷市场供给侧的变化与冲击对实体经济活动的影响。刘国巍和邵云飞<sup>[10]</sup>研究了金融支持对战略性新兴产业创新主体培育的影响机制。在具体因素影响的分析方面,周开国等<sup>[6]</sup>利用博弈和基于机器学习的反事实分析方法,针对性地研究银行负债结构对企业信贷获取的影响,吴卫星和刘细宪<sup>[11]</sup>研究了影响企业借贷约束的因素问题。李志勇和余涓<sup>[12]</sup>利用模拟的方法研究了网络借贷利率问题。与上述文献不同,本文的主体因素中考虑到了政府激励和政策引导的外部性作用,同时将博弈主体聚焦在金融机构和实体企业的投融资行为选择方面,更加注重金融市场中的实际引导效果和主体的主观能动性。

### 2.2 基于演化博弈的投融资研究

博弈理论是研究金融市场问题的常用理论方法之一。Evstigneev等<sup>[13]</sup>建立了一个融合随机动态博弈和演化博弈要素的非传统博弈理论框架,分析资产市场的动态随机均衡模型。钱燕和吴刘杰<sup>[14]</sup>分析了包含商业银行和小微企业两类市场主体的小微信贷融资市场,将小微企业的行为策略建立在是否违约的基础上。杨晓光等<sup>[15]</sup>以数字经济领域为背景,阐述了博弈论的五个未来研究方向。在博弈论的诸多分支中,演化博弈因具有动态路径和静态稳定点的特质逐渐引起了研究者的兴趣,其与金融领域相关的研究中,研究视角大体从政府监管的角度逐渐倾向为从企业微观主体的角度进行研究。

在考察政府监管与金融机构行为的均衡关系演化方面,刘伟等<sup>[16]</sup>研究了互联网金融平台行为与监管方策略的博弈演化过程,重点对固定惩罚机制和动态惩罚机制下双方策略博弈均衡进行了比较。胡俏和齐佳音<sup>[17]</sup>分析了民众“参与”和政府“监管”数字货币的博弈演化路径。Zhang等<sup>[18]</sup>研究了动态碳交易价格背景下政府与制造商的演化博弈模型。从企业的微观视角出发,Li和Wang<sup>[19]</sup>以代理理论为基础,研究和分析风险因素影响下企业投融资过程中所涉及的利益冲突问题。Huo和Feng<sup>[20]</sup>以企业集团内部形成的自我担保机制为研究背景,基于抵押资产和无担保资产两种情况建立商业银行与中小企业集体融资的演化博弈模型。Xu和Liu<sup>[21]</sup>选择贷款金额、贷款利率、担保价值和中间业务收入作为变量,利用演化博弈论的方法研究了小微企业融资难问题的原因。与上述文章不同的是,首先,本文的理论研究对实体企业的讨论没有具体到行业,但在模拟仿真的部分考虑到了主体间决策的异质性,并且考虑了风险、成本、收益的影响,将企业行为集展开至对融资方式选择的研究上,将商业银行的资本投入流向纳入讨论和研究的指标中。

### 2.3 基于主体建模的投融资研究

基于主体建模(agent-based modelling and simulation, ABMS)的方法是一种比较新颖的充分考虑主体异质性的自下而上的模型仿真方法,为金融领域复杂决策研究方面提供了新的研究思路与途径。在对比研究方面,Farmer和Axtell<sup>[22]</sup>总结了ABM如何应用于放松标准经济模型中的传统假设。赵志刚等<sup>[23]</sup>通过比较CGE模型与基于主体建模的模型特点,构建了基于主体建模的金融政策研究框架。利用ABMS对于微观主体研究的优势,很多学者将其用于投资者等微观主体视角的研究。比如,投资与市场波动等方面,Bertella等<sup>[24]</sup>对比了投资者对其投资组合持有的信心以及他们的社会群体和各种社会网络拓扑对人工股票交易所的动态的影响。Fratri等<sup>[25]</sup>分析欺诈主体的存在与比特币市场价格波动的关系。王一涵和王国成<sup>[26]</sup>通过在模型构建中引入异质性的情绪因子,研究投资者决策如何受到情绪的影响,并分析相关引发的金融市场波动的机理。另一方面,也有学者开展了对风险传染和控制风险的效果

评估等方面的研究. Mu等<sup>[27]</sup>结合强化学习算法构建银企信用匹配网络模型, 深入研究银行与企业之间的宏观经济特征及其网络结构对银行与企业之间信用风险传染的机理. 郭栋<sup>[28]</sup>则基于投资者异质性研究了境外人民币回流的潜在风险冲击的传导效应. 张瑾玉等<sup>[29]</sup>基于多主体决策, 研究社会网络中的破产传染. 尹威和赵启程<sup>[30]</sup>运用多主体仿真建模方法构建委托贷款关联交易模型, 分析不同政策组合下规避委托贷款市场风险的效果. 在资金比例选择方面, Fiedler<sup>[31]</sup>提出了一种多主体系统的方法, 用于促进供应链中最佳融资选项的选择过程. 与上述研究不同, 本文利用ABMS拓展对演化博弈研究中相关因素影响的分析, 同时引入了实验设计的方法, 更加广泛地分析多个指标在优化过程中的影响表现.

## 2.4 文献述评与本研究的创新

从已有文献可以看出, 金融机构与实体企业之间的投融资研究一般局限在单个主体, 缺乏对两个主体博弈行为的系统性研究. 而演化博弈和基于主体的模型方法在投融资领域的应用很好的展示了两个方法的适用性, 能支撑本文从微观角度建模和仿真我国金融机构与实体企业组成的复杂投融资系统. 因此, 本文的创新点体现为三个方面. 第一, 在研究视角方面, 本文从微观主体决策建模角度研究“脱实向虚”这一投融资系统的宏观现象, 尝试打开以往实证研究所获结论的“黑箱”, 是已有研究的有益补充; 第二, 在研究方法方面, 本文从数学模型(演化博弈)入手得到具有一般性的结论, 之后放宽部分假设并引入主体仿真模型开展研究, 不仅可以让投融资主体行为更贴近现实, 还可以对照两个模型结论, 是具有借鉴意义的研究方法体系; 第三, 在研究结论方面, 本文模型取值与现实数据相结合, 尽可能全面地建模现实因素, 并通过方差分析等方法识别关键影响要素, 增强研究结论和政策建议的科学性和针对性.

## 3 演化博弈研究

演化博弈是一种基于参与主体有限理性的博弈, 参与主体往往要经过不断的选择、学习、试错, 最终达到稳态策略. 金融机构和实体企业在金融资本服务实体经济的问题研究适用于演化博弈方法. 首先, 演化博弈论对于行为主体采取的是有限理性假设<sup>[32]</sup>, 从现实情况来看, 双方在博弈的过程中很难做到对信息的全部掌握, 因此无法设定博弈双方的行为可以做到完全理性. 第二, 演化博弈注重对时间的和演化路径依赖的考量, 金融机构和实体企业的博弈过程伴随时间的变化不断修正和改进自己的行为策略, 同时, 运用演化博弈的方法也便于观察可能影响演化结果和演化路径变化的因素. 第三, 演化博弈的研究大多结合群体博弈, 群体中每个个体在博弈的每一步选择过程中会挑选一个能够带来大于平均期望收益的策略<sup>[33]</sup>, 与传统博弈不同的是, 演化博弈不会直接达到均衡状态的最优选择, 因此更加适合刻画同一群体中不同个体在短期与长期效益的抉择过程.

### 3.1 模型主体、策略及参数设定

#### 3.1.1 模型参与主体与策略集合

博弈参与主体为{实体企业, 金融机构}. 实体企业的策略集合为{间接融资, 直接融资}, 金融机构的策略集合为{资本服务实体经济, 资本脱实向虚}.

#### 3.1.2 参数设定与解释

##### (1) 对收益相关参数的设定

$A_C, A_F$ 分别代表实体企业和金融机构未考虑博弈交互下的初始收益, 其实际数值取决于不同个体的业务经营情况、自身综合能力以及市场表现等. 金融机构将资金以间接融资的方式进入实体企业, 双方共能获得额外总收益为 $\Delta V$ <sup>[14]</sup>. 对于金融机构来说, 额外总收益包括但不限于利息所得、咨询与服务费用等账面收益; 对于实体企业, 可能是它运用这笔资金进行生产运营所获得利润, 也可能来自议价所获得的隐形收益等. 双方收益的分配比例较难区分, 且关系度密切, 因此, 引入参数 $\gamma(0 \leq \gamma \leq 1)$ 对整体新增收益进行分割, 并设定双方共获得的额外收益中实体企业获益占比为 $\gamma$ , 相应的金融机构获益占比为 $1 - \gamma$ .

当实体企业采取“直接融资”策略, 或金融机构采取“资本脱实向虚”策略时, 双方可从各自采取的策

略中获得对应收益, 分别设为 $R_1$ 和 $R_2$ . 考虑到实体企业在“直接融资”市场融资会存在各种风险和不确定性, 显然收益是关于这种不确定性的递减函数, 统一设定风险系数 $h(0 \leq h \leq 1)$ 进行表示<sup>[19]</sup>. 因此企业实际来源于“直接融资”策略的收益为 $(1-h)R_1$ , 当无法获得直接融资时 $h=1$ , 直接融资收益为0. 类似地, 当金融机构采取“资本脱实向虚”策略时, 其获得的额外收益同样可能会出现风险损失, 假设此处风险系数为 $k(0 \leq k \leq 1)$ <sup>[19]</sup>, 则实际收益为 $(1-k)R_2$ .

为了专注于研究问题, 模型没有考虑经营风险对收益的影响. 模型还假设间接融资模式下, 双方的风险均是较低的, 因为间接融资市场的监管相对于资本市场更为完善, 所以此模型忽略这些风险.

### (2)对成本相关参数的设定

上述假设主要考虑了双方采取不同策略的收益, 接下来设定双方不同策略下的成本问题.

$C_C, C_F$ 分别表示实体企业和金融机构的投入成本<sup>[14,21]</sup>. 根据问题背景, $C_C$ 衡量企业与为获得融资相关的付出的成本,  $C_F$ 相应地指金融机构为提供融资服务付出的成本. 基于两个主体均有两种行为策略, 为体现参与方对自身不同策略的成本分配决策, 将投入成本以某种比例分配在不同的策略上. 具体表现为实体企业为获得“间接融资”付出的成本 $aC_C$ , 为获得“直接融资”付出的成本为 $(1-a)C_C$ . 实体企业融资成本占比的差异可能来自于主体的经营策略、财务决策以及市场环境的影响. 类似地, 金融机构服务实体经济的成本为 $bC_F$ , 包括但不限于对贷款企业尽调等、质押标的物控制、信贷资金封闭运行的监督、获取资金的费用等成本, 金融机构选择“资本脱实向虚”的成本付出为 $(1-b)C_F$ . 以上参数 $a, b$ 均服从 $0 \leq a, b \leq 1$ 的取值范围. 在资本市场的实际运营中, 不考虑整体政策环境的情况下, 金融机构的剩余资金机会成本相对较低, 而实体企业在等待间接融资的过程中往往还要付出一定的成本. 因此, 从机会成本的角度, 增设当实体企业在寻求间接融资却未获合作的情况下造成的额外收益损失, 记为 $L_C$ .

### (3)其他相关参数的设定

考虑到经济、金融发展的宏观经济政策和政府对支持实体经济发展的举措, 引入参数 $S$ 代表政府对金融机构响应服务实体经济的政策时的激励性补贴. 上述设定的全部参数如下(注意参数设定均遵循不小于0的假设), 见表1.

## 3.2 支付矩阵与演化博弈模型的建立

在实体企业与金融机构博弈的初始阶段, 假设实体企业选择“间接融资”的概率为 $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ , 选择“直接融资”的概率为 $1-\alpha$ ; 金融机构选择“资本服务实体经济”的概率为 $\beta(0 \leq \beta \leq 1)$ , 选择“资本脱实向虚”的概率为 $1-\beta$ . 设定博弈的支付矩阵如下表2所示.

对于实体企业, 当采取间接融资策略时, 会因为金融机构采取不同的策略而获得不同的收益水平: 当金融机构选择“资本服务实体经济”时, 企业获得收益 $A_C + \gamma\Delta V - aC_C$ ; “资本脱实向虚”时, 企业要付出寻求间接融资资金却未能获得情况下的额外成本, 具体收益为 $A_C - aC_C - L_C$ . 当企业采取直接融资策略时, 则无论金融机构采取什么策略, 收益均为 $A_C - (1-a)C_C + (1-h)R_1$ .

对于金融机构来讲, 当采取“资本服务实体经济”时, 收益具体表现为: 当实体企业也选择“间接融资”策略时, 金融机构获益为 $A_F + (1-\gamma)\Delta V - bC_F + S$ ; 当企业采取“直接融资”策略时, 金融机构获益为 $A_F - bC_F + S$ . 当金融机构决定采取“资本脱实向虚”策略时, 则无论实体企业采取什么样的策略, 金融机构收益均为 $A_F - (1-b)C_F + (1-k)R_2$ .

表1 演化博弈模型参数表

Table 1 Evolutionary game model parameters table

参数符号	含义
$A_C$	实体企业未考虑融资方式时的初始收益
$A_F$	金融机构未考虑资金分配方式时的初始收益
$\Delta V$	间接融资下金融机构资金进入企业, 双方共获得额外收益
$\gamma$	共获得额外收益中实体企业获益占比
$h$	实体企业采取直接融资时的风险系数
$R_1$	实体企业采取直接融资且未考虑风险与不确定性时的收益
$(1-h)R_1$	实体企业采取直接融资的实际收益
$L_C$	实体企业采取“间接融资”策略且未成功时的额外损失
$k$	金融机构采取“脱实向虚”策略时的收益风险系数
$R_2$	金融机构采取“脱实向虚”策略且未考虑风险时的收益
$(1-k)R_2$	金融机构采取“脱实向虚”策略时的实际收益
$C_C$	实体企业为获得融资的整体融资成本
$C_F$	金融机构提供融资服务的成本
$a$	实体企业因间接融资产生的成本占比
$b$	金融机构服务实体经济的成本占比
$S$	政府对金融机构响应服务实体经济政策的激励性补贴

表2 博弈的支付矩阵

Table 2 Payment matrix of the game

	金融机构资本服务实体经济 $\beta$	金融机构脱实向虚 $1-\beta$
实体企业间接融资 $\alpha$	$(A_C + \gamma\Delta V - aC_C,$ $A_F + (1-\gamma)\Delta V - bC_F + S)$	$(A_C - aC_C - L_C,$ $A_F - (1-b)C_F + (1-k)R_2)$
实体企业直接融资 $1-\alpha$	$(A_C - (1-a)C_C + (1-h)R_1,$ $A_F - bC_F + S)$	$(A_C - (1-a)C_C + (1-h)R_1,$ $A_F - (1-b)C_F + (1-k)R_2)$

### 3.3 计算与演化分析

#### 3.3.1 期望收益与复制动态方程

根据支付矩阵的假设, 令实体企业C采取“间接融资”和“直接融资”策略时的期望收益及平均期望收益分别是 $U_{11}$ 、 $U_{12}$ 和 $U_1$ , 其计算结果如下:

$$U_{11} = \beta(A_C + \gamma\Delta V - aC_C) + (1-\beta)(A_C - aC_C - L_C) \quad (1)$$

$$U_{12} = \beta(A_C - (1-a)C_C + (1-h)R_1) + (1-\beta)(A_C - (1-a)C_C + (1-h)R_1) \quad (2)$$

$$U_1 = \alpha U_{11} + (1-\alpha)U_{12} \quad (3)$$

令金融机构F采取“资本服务实体经济”和“资本脱实向虚”策略时的期望收益及平均期望收益分别是 $U_{21}$ 、 $U_{22}$ 和 $U_2$ , 其计算结果如下:

$$U_{21} = \alpha(A_F + (1-\gamma)\Delta V - bC_F + S) + (1-\alpha)(A_F - bC_F + S) \quad (4)$$

$$U_{22} = \alpha(A_F - (1-b)C_F + (1-k)R_2) + (1-\alpha)(A_F - (1-b)C_F + (1-k)R_2) \quad (5)$$

$$U_2 = \beta U_{21} + (1-\beta)U_{22} \quad (6)$$

实体企业选择“间接融资”概率 $\alpha$ 的演化博弈复制动态方程为:

$$F_1(\alpha) = \partial\alpha/\partial t = \alpha(U_{11} - U_1) = \alpha(1-\alpha)(\beta(\gamma\Delta V + L_C) - L_C - (1-h)R_1 + (1-2a)C_C) \quad (7)$$

金融机构选择“服务实体经济”概率 $\beta$ 的演化博弈复制动态方程为:

$$F_2(\beta) = \partial\beta/\partial t = \beta(U_{21} - U_2) = \beta(1-\beta)(\alpha(1-\gamma)\Delta V + S + (1-2b)C_F - (1-k)R_2) \quad (8)$$

#### 3.3.2 均衡点与ESS点

上述讨论得到了演化博弈复制动态方程, 这一部分根据上述方程求得平衡点, 并利用性质判断ESS点. 令 $F_1(\alpha) = 0, F_2(\beta) = 0$ , 得到5个均衡点, 分别为:

$$(0, 0), (1, 0), (1, 1), (0, 1), \left( \frac{(1-k)R_2 - S - (1-2b)C_F}{(1-\gamma)\Delta V}, \frac{L_C + (1-h)R_1 - (1-2a)C_C}{\gamma\Delta V + L_C} \right)$$

设定矩阵P:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \quad (9)$$

且其中:

$$a_{11} = \frac{\partial F_1(\alpha)}{\partial \alpha} = (1 - 2\alpha)(\beta(\gamma\Delta V + L_C) - L_C - (1 - h)R_1 + (1 - 2a)C_C) \quad (10)$$

$$a_{12} = \partial F_1(\alpha)/\partial \beta = \alpha(1 - \alpha)(\gamma\Delta V + L_C) \quad (11)$$

$$a_{21} = \partial F_2(\beta)/\partial \alpha = \beta(1 - \beta)(1 - \gamma)\Delta V \quad (12)$$

$$a_{22} = \partial F_2(\beta)/\partial \beta = (1 - 2\beta)(\alpha(1 - \gamma)\Delta V - (1 - k)R_2 + S + (1 - 2b)C_F) \quad (13)$$

记矩阵P的行列式为 $\det(J)$ , 矩阵的迹为 $\text{tr}(J)$ , “+”号代表大于0, “-”号代表小于0, 演算结果如下:

表3 各均衡点稳定性判断结果

Table 3 Stability judgment results of equilibrium points

均衡点	$\det(J)$	$\text{tr}(J)$	均衡结果
A(0,0)	+	-	ESS
B(1,0)	+	+	不稳定点
C(1,1)	+	-	ESS
D(0,1)	+	+	不稳定点
$E(\frac{(1-k)R_2 - S - (1-2b)C_F}{(1-\gamma)\Delta V}, \frac{L_C + (1-h)R_1 - (1-2a)C_C}{\gamma\Delta V + L_C})$	不定	0	鞍点

根据计算结果显示, 均衡点A(0,0),C(1,1)表现为两个ESS均衡点, 说明金融机构和实体企业会趋向于实体企业选择“直接融资”且金融机构选择“资本脱实向虚”或者实体企业选择“间接融资”且金融机构选择“资本服务实体经济”的策略组合.

### 3.4 基于实际数据的鞍点位置与演化路径分析

#### 3.4.1 鞍点位置分析

本部分主要结合实际数据对鞍点的位置进行讨论, 因为鞍点的横纵坐标是否在[0,1]的范围内, 对于后续的讨论和演化路径的研究至关重要. 先行假设鞍点的横纵坐标在0和1的范围内. 一方面是考虑到这样的设定便于将鞍点位置的横纵坐标值从分数形式化为不同式子间的不等式表示, 同时可以起到化简的作用, 便于讨论实质性问题; 另一方面也便于调节参数到近似的指标范围内, 经济解释比较直观.

当鞍点横纵坐标在[0,1]范围内时, 通过移项处理可得以下不等式:

$$0 \leq (1 - h)R_1 - (1 - a)C_C \leq \gamma\Delta V - aC_C \quad (14)$$

$$0 \leq (1 - k)R_2 - (1 - b)C_F \leq (1 - \gamma)\Delta V + S - bC_F \quad (15)$$

下面, 结合数据对这两个不等式的合理性进行分析.

对于实体企业状况的现实性分析: 通过对(14)式的观察可以发现, 不考虑企业在未参与融资前所获得的收益时,  $\gamma\Delta V - aC_C$ 一项可认为是间接融资给企业带来的净收益效益,  $(1 - h)R_1 - (1 - a)C_C$ 一项可以相应地认为是企业通过直接融资方式获得的净收益效益. 与不考虑 $A_C$ 相适应地, 假设在企业长期的经营过程中可以忽略自有资金的运营所获得利益, 可将企业利润或净收益分为两部分: 一是运营和管理直接融资金获得的效益; 二是运营和管理间接融资金获得的效益.

基于这样的假定和分析, 可将不同类型融资规模之比等同于企业在不同类型下获得的净收益之比, 进而分析(14)式中的不等式关系是否合理. 本文以股票净募资额与债券净融资额之和衡量直接融资规模, 以金融机构各项贷款余额衡量间接融资规模, 利用Wind数据库, 整理可获得数据后发现: 在2006年至2017年间, 全国直接融资规模与间接融资规模的比例始终小于1. 即便是按照不同年份、不同省份或直辖市进行区分结论也是相同的. 整体而言, 其一, 近年来间接融资的规模整体呈上升趋势, 规模不断扩大; 而直接融资规模在经历了一段时间的增加后出现了回缓甚至下降(虽然也存在不同程度的增加的趋势, 但整体规模仍然低于间接融资规模); 其二, 间接融资方式起步较早, 金融机构尤其是银行在地方融资过程中的信任度和完善程度高于其他类型的金融机构, 尤其是经济欠发达地区的企业更愿意(甚至只

考虑)向当地的一些银行融资,从而增大了间接融资市场规模.因此,从实际数据和现实分析表明,虽然鞍点的具体位置还需要考虑 $L_C$ (实体企业采取“间接融资”策略且未成功时的额外损失)等因素,但其纵坐标位于 $[0,1]$ 范围内的假设是合理的.

对于金融机构状况的现实性分析:通过对(15)式的观察可以发现,同样不考虑 $A_F$ (金融机构未考虑资金分配方式时的初始收益)因素, $(1-\gamma)\Delta V + S - bC_F$ 一项更多地可以认为是金融机构选择“资本服务实体经济”策略带来的净收益效益, $(1-k)R_2 - (1-b)C_F$ 一项可以相应地认为是金融机构通过资本脱实向虚的方式获得的净收益效益.在间接融资市场上,商业银行始终是主力军,基于数据的可获得性,此处将金融机构狭义为商业银行,同时将银行的非利差收入简化为投资收入或从资本市场上获得的收入,忽略咨询费、手续费等收入,便于数据的归类与分析.

将(15)式的两边同时除以“营业收入”(用符号 $\varphi$ 表示),引入商业银行的非利息收入占比(用符号 $\theta$ 表示)指标,把(15)式转化为下式:

$$\theta - \frac{(1-b)C_F}{\varphi} \leq 1 - \theta + \frac{S}{\varphi} - \frac{bC_F}{\varphi} \quad (16)$$

银行从间接融资中获得的收益可以大概认为是利差收益;政府对银行响应政策的激励性补贴虽然对银行采取某种策略存在着积极意义,但在数额上尤其是对大型商业银行,通常并不具有很强的吸引力,因此,此处的分析忽略掉 $\frac{S}{\varphi}$ 一项.另外可以认为基于银行主营业务的特殊性,为了资金运营和流通而付出的成本占大部分,所以将 $\frac{C_F}{\varphi}$ 一项近似地认为是成本收入比(用符号 $\tau$ 表示).

基于上述假定和分析,(16)式可以简化为:

$$0 \leq 1 - 2 \times \theta + (1 - 2b) \times \tau \quad (17)$$

上式又可以进一步简化为:

$$b \leq \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1 - 2 \times \theta}{\tau} \right) \quad (18)$$

因此,对于鞍点位置的判断,就转换成了对于 $b$ 的取值范围的判断.由于数据的可获得性,本文采取了商业银行2010年12月至2020年12月的季度数据,并计算(18)式不等号右侧部分的数值(年平均值).

表4 (18)式右侧部分值

Table 4 Part of the value on the right side of equation(18)											
年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
数值	1.421	1.462	1.477	1.394	1.435	1.417	1.400	1.391	1.439	1.417	1.452

统计发现,不等式右侧的最小值为1.391.根据模型中对于参数 $b$ 的定义, $b$ 是小于等于1的非负数,因此, $b$ 一定符合小于1.391的要求.

综上所述,本文基于实际数据开展分析,从实体企业和金融机构两方面验证了鞍点的横纵坐标均位于 $[0,1]$ 之间的假设,为后面的动态路径方向和参数影响机制等分析奠定了现实基础.

### 3.4.2 鞍点图与参数变动分析

按照上文的计算和实际数据分析,画出鞍点图,其中E点是鞍点,如图1所示:



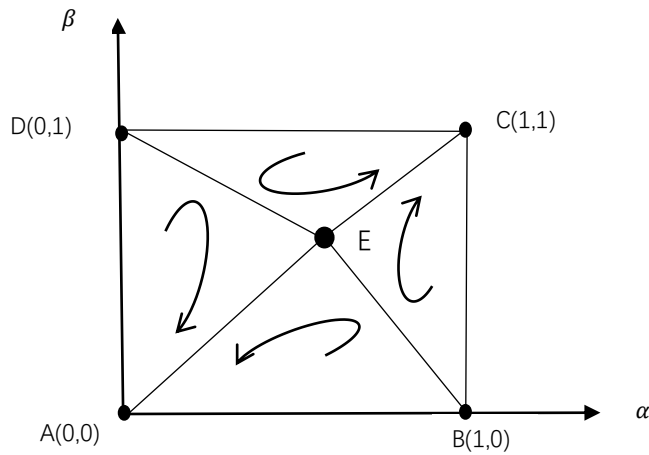


图1 动态演化鞍点图

Fig.1 Dynamic evolution saddle point diagram

点A(0,0),C(1,1)表现为两个ESS稳定结果,表示金融机构和实体企业的复制动态曲线都有向这两个稳定策略集位置收敛的趋势.其中鞍点E是判断路径方向和向A(0,0),C(1,1)收敛的概率的关键点.这个问题可以转换为对区域面积的讨论,即参与主体最终走向取决于区域ABED的面积和CBED的面积比较.由上述计算可知,

$$M_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{L_C + (1-h)R_1 - (1-2a)C_C}{\gamma\Delta V + L_C} + \frac{(1-k)R_2 - S - (1-2b)C_F}{(1-\gamma)\Delta V} \right) \quad (19)$$

$$M_2 = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{L_C + (1-h)R_1 - (1-2a)C_C}{\gamma\Delta V + L_C} + \frac{(1-k)R_2 - S - (1-2b)C_F}{(1-\gamma)\Delta V} \right) \quad (20)$$

当 $M_2 \geq M_1$ 时,博弈双方的初始点落在区域CBED的概率越大,均衡越有可能向着C(1,1)点移动,即实体企业和金融机构共同建立间接融资下业务合作方式的演化结果.

### 3.5 参数变化对演化过程的影响分析

前文利用了实际数据分析了鞍点的位置范围在[0,1]之间,并表明两个区域面积的大小与鞍点的坐标位置密切相关.因此,参数变化对收敛路径的影响机制可被视为对鞍点坐标的影响机制,或可更直观的转换为对区域面积的大小影响机制.接下来主要分析参数的变化对演化过程和结果的影响.

上述 $M_1$ 、 $M_2$ 的算式表明 $M_1$ 、 $M_2$ 的增减方向相反,因此可通过只计算各项参数的变动对 $M_1$ 的增减影响来分析.利用导数的性质,得到增减影响的表格如下表5所示(其中“+”、“-”分别表示同向变动、反向变动,用符号 $u$ 代表参数):

表5 参数对 $M_1$ 、 $M_2$ 的变动影响表

Table 5 parameter's influence on  $M_1$ 、 $M_2$

参数/导数	$\frac{\partial M_1}{\partial u}$	$\frac{\partial M_2}{\partial u}$
$L_C, R_1, a, R_2, b$	+	-
$\Delta V, h, k, S,$	-	+
$C_C, C_F, \gamma$	不定	不定

通过计算对于不同参数,  $M_1$ 、 $M_2$ 的导数的正负号,判断增减变化方向,具体解释如下:

当 $\Delta V$ (间接融资下金融机构资金进入企业,双方共获得额外收益),  $h$ (实体企业采取直接融资时的风险系数),  $k$ (金融机构采取“脱实向虚”策略时的收益风险系数),  $S$ (政府对金融机构响应服务实体经济政策的激励性补贴)增加时,  $M_2$ 增加,即实体企业和金融机构双方趋向于间接融资的业务合作模式的可能性更大.这部分的数学分析结果比较符合一些常识性的决策,例如间接融资业务模式双方合作成功的共同收益增加,政府激励性的补贴增加,双方必然更趋向于选择这个策略集合;同时,对应策略下获得收益的风险增加,两者选择对应策略的意向必然会下降.

当 $L_C$ (实体企业采取“间接融资”策略且未成功时的额外损失),  $R_1$ (实体企业采取直接融资且未考虑风险与不确定性时的收益),  $R_2$ (金融机构采取“脱实向虚”策略且未考虑风险时的收益),  $a$ (实体企业因间接融资产生的成本占比),  $b$ (金融机构服务实体经济的成本占比)降低时,  $M_2$ 增加. 结合现实情况, 当企业和金融机构在“直接融资”策略和“资本脱实向虚”的策略下能够获得的收益下降(或是企业选择“间接融资”、金融机构选择“资本服务实体经济”策略时所付出的成本在总成本中占比下降)时, 会倾向于选择双方合作间接融资业务模式(当然这部分成本占比在实际中对于企业和金融机构来讲可能是主观设定的, 也可能是外部因素造成的, 在这里不进行细致区分). 此外, 当 $L_C$ 较低时, 企业可能会更多地去尝试和争取“间接融资”的策略.

在导数分析时发现,  $\gamma$ (共获得额外收益中实体企业获益占比),  $C_C$ (实体企业为获得融资的整体融资成本),  $C_F$ (金融机构提供融资服务的成本)三个参数对 $M_1$ 、 $M_2$ 的影响不易判断, 会受到其他参数的大小设置的影响, 在这里单独讨论如下.

首先探讨 $C_C$ 、 $C_F$ 的影响. 通过求导发现, 其对 $M_1$ 、 $M_2$ 的影响受到参数 $a$ 、 $b$ 的影响. 当 $a$ 、 $b$ 的范围在 $[0, 1/2]$ 之间(企业为获得间接融资所付出的成本小于为获得直接融资所付出的成本), 金融机构采取“资本服务实体经济”策略时所付出的成本小于“资本脱实向虚”的策略下所付出的成本时,  $C_C$ 和 $C_F$ 增加,  $M_2$ 增加. 换句话说, 虽然整体成本增加时, 对博弈双方的净收益都有一定的损失, 但因为参数范围的关系, 可以使得对{“间接融资”、“资本服务实体经济”}的成本增加的影响小于另一个策略.

接下来, 讨论参数 $\gamma$ .  $M_1$ 关于 $\gamma$ 的导数如下:

$$\frac{\partial M_1}{\partial \gamma} = \frac{[(1-k)R_2 - S - (1-2b)C_F](\gamma\Delta V + L_C)^2 - [L_C + (1-h)R_1 - (1-2a)C_C][\Delta V(1-\gamma)]^2}{(\gamma\Delta V + L_C)^2(1-\gamma)^2\Delta V} \quad (21)$$

对于 $\gamma$ 造成的影响讨论比较复杂, 不仅涉及到单个参数的影响, 还涉及到双方在不同策略下的收益的大小对比. 在实际过程中,  $\gamma$ 的大小既受到双方签订合同时协商利率等内容的影响, 也会受到合作后整体外部性收益的影响. 例如, 针对双方合作收益的分配上, 双方会在签订合同时商定利率. 利率相对较高时, 金融机构能够获得的这一部分的收益较多; 相反, 当企业利用其市场地位和良好的信用状况、大量的资金借用等优势, 商定一个较低的利率时, 既是对企业融资成本的节约, 也是对已持有的资本的经济成本的节约, 相应地收益也会有所增加. 通过这个实例也可以看出,  $\gamma$ 的影响十分复杂, 甚至不能简单地通过账面价值进行评估.

## 4 主体建模仿真研究

上述演化博弈模型推导出具有一般性的结果, 但存在两个缺陷. 一是企业和金融机构只能在直接、间接融资两种策略中选择一种行为决策, 但现实中主体决策不是“非黑即白”的. 例如, 企业融资时可能一部分资金来源于间接融资模式, 一部分资金来源于直接融资市场; 同样地, 金融机构会将自有资金一部分通过间接融资业务投放, 另一部分资金在直接融资市场进行资本投资. 二是数学模型难以体现出金融机构的间接融资服务范围受到地理距离所限等现实因素, 而已有研究表明这一因素可能非常重要<sup>[7]</sup>.

因此, 本章节采用主体建模与仿真方法(ABMS)构建更贴近现实的主体仿真模型. 该方法自下而上地刻画微观主体的决策过程以及和其它主体的交互作用, 可用于分析重要因素对系统指标的显著性影响. 相比于演化博弈模型, 主体模型中的企业和金融机构可以决定对不同融资模式的投融资比例, 可在 $[0\%, 100\%]$ 区间中任意取值(例如金融机构可将任意比例的资金分配到借贷市场和资本市场, 企业同理), 从而解决上述第一个缺陷. 对于第二个缺陷, 主体模型中企业基于“就近原则”搜寻最大范围内的间接融资金融机构, 从而实现企业与金融机构的时空交互方式, 从而可用于研究地理限制因素(间接融资最大搜寻范围)对投融资结果的影响.

### 4.1 模型变量与模型设定

#### 4.1.1 模型变量

主体模型参数表如表6所示, 其中大部分参数和表1中演化博弈模型的参数一致, 部分外生变量取值依据见第4.2.1节. 为了明确实体企业和金融机构主体的属性或决策变量, 故分别使用 $i, j$ 对相应参数符

号予以标注。

表6 主体模型参数表(和表1中演化博弈模型的参数基本一致)

参数符号	含义	取值(部分外生变量取值依据见第4.2.1节)
$A_{C,i}$	实体企业未考虑融资方式时的初始收益	0
$B_i$	实体企业所需融资规模	1000(货币单位)
$v_i$	间接融资下企业利用金融机构资金进行经营的收益率	{2,1,2,0.3}
$\gamma$	共获得额外收益中实体企业获益占比	{0.2,0.4,0.6}
$h_i$	实体企业采取直接融资时的风险系数	{0.2,0.4,0.6}
$r_{1,i}$	实体企业采取直接融资且未考虑风险与不确定性时的收益率	0.3
$c_{1,i}$	实体企业获得间接融资后的整体融资成本率	0.1
$l_{1,i}$	实体企业采取“间接融资”策略且未成功时的额外损失成本率	0.03
$l_{0,i}$	实体企业可以搜索金融机构的距离范围	{0,1,2}
$A_{F,j}$	金融机构未考虑资金分配方式时的初始收益	0
$k_j$	金融机构采取“脱实向虚”策略时的收益风险系数	{0.1,0.2,0.3}
$p_{1,j}$	金融机构采取“服务实体经济”策略且未成功时的额外损失成本率	{0.02,0.04,0.06}
$f_{1,j}$	金融机构成功向实体经济提供融资服务的经营成本率	{0.06,0.08,0.10}
$f_{2,j}$	金融机构采取“脱实向虚”策略的经营成本率	{0.01,0.03,0.05}
$d_j$	金融机构投放的资金规模是企业所需的资金规模的倍数	{1,5,9}
$s_j$	政府对金融机构响应服务实体经济政策的激励性补贴比例	{0.001,0.003,0.005}
$\rho$	金融机构在资本市场的未考虑风险的资金收益率	{0.1,0.25,0.4}
$BIndirect_i$	实体企业实际来源于间接融资的金额	内生变量
$BDirect_i$	实体企业实际来源于直接融资的金额	内生变量
$DIndirect_j$	金融机构实际投资于实体经济领域的资金额	内生变量
$DDirect_j$	金融机构实际“脱实向虚”的资金额	内生变量
$m_i$	企业计划来源于间接融资的资金比例	实体企业决策变量
$n_j$	金融机构计划投放于“间接融资”业务的资金比例	金融机构决策变量
$\pi_i$	实体企业利润	内生变量
$\pi_j$	金融机构利润	内生变量

#### 4.1.2 模型设定

模型设定方面,企业会决定其期望通过两种不同的融资方式获得资金的比例 $m_i$ ,并根据地理位置采取就近原则搜索能够获得贷款的银行.企业每搜索到一家银行,就会对比自身间接融资需求和银行计划投资于信贷市场的资金额度,为了实现利润最大化和满足融资需求,企业会在不同融资方式的期望融资额范围内尽可能地寻找资金.相对于演化博弈模型,本部分增加了企业的资金需求要素 $B_i$ ,以及金融机构投放的资金规模是企业所需的资金规模的倍数 $d_j$ 因素<sup>[21,27]</sup>,用于评估企业和金融机构的投融资比例决策对于利润的影响.金融机构在决定了资金在两种业务模式下的分配比例后,在间接融资业务模式下,会根据交互企业的需求进行匹配;直接融资方面,模型中的所有银行计划投资于“直接融资”业务的资金共同构成资本市场,该市场在不考虑风险的情况下,金融机构能够获得的收益与企业在该市场融资的成本一致均为 $\rho$ .当资本市场的资金供大于求时,企业能够取得其意愿通过直接融资方式取得的资金,相反,如果供小于求,企业只能拿到其意愿资金与总供给占总需求的比例的乘积.企业和金融机构的利润函数及企业实际获得的直接融资额、金融机构能够提供的直接融资额的表达式如下所示:

$$\pi_i = A_{C,i} + BIndirect_i(\gamma v_i - c_{1,i}) - (m_i B_i - BIndirect_i)^+ \frac{l_{1,i}}{m_i} + (1 - h_i) r_{1,i} BDirect_i - \rho BDirect_i \quad (22)$$

$$BDirect_i = \min[(1 - m_i) B_i, (1 - m_i) B_i \frac{\sum (1 - n_j) d_j}{\sum (1 - m_i)}] \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \pi_j = & A_{F,j} + DIndirect_j((1 - \gamma) v_i - f_{1,j} + s_j) - (n_j d_j B_i - DIndirect_j)^+ \frac{p_{1,j}}{n_j} \\ & + (1 - k_j) \rho DDirect_j - ((1 - n_j) d_j B_i - DDirect_j)^+ \frac{f_{2,j}}{1 - n_j} \end{aligned} \quad (24)$$

$$DDirect_j = \min[(1 - n_j) d_j B_i, (1 - n_j) d_j B_i \frac{\sum (1 - m_i)}{\sum (1 - n_j) d_j}] \quad (25)$$

#### 4.2 模拟实验设计与结果

基于上述模型变量与机制的设计, 本部分确定了11个仿真因素(即模型输入)和四个指标(即模型输出).

#### 4.2.1 输入变量与输出指标

基于演化博弈模型的基本假设和主要结论, 本文选定了 $v_i$ (间接融资下企业利用金融机构资金进行经营的收益率),  $\gamma$ (共获得额外收益中实体企业获益占比),  $\rho$ (金融机构在资本市场的未考虑风险的资金收益率),  $s_j$ (政府对金融机构响应服务实体经济政策的激励性补贴比例),  $d_j$ (金融机构投放的资金规模是企业所需的资金规模的倍数),  $f_{1,j}$ (金融机构成功向实体经济提供融资服务的经营成本率),  $f_{2,j}$ (金融机构采取“脱实向虚”策略的经营成本率),  $p_{1,j}$ (金融机构采取“服务实体经济”策略且未成功时的额外损失成本率),  $k_j$ (金融机构采取“脱实向虚”策略时的收益风险系数),  $l_{o_i}$ (实体企业可以搜索金融机构的距离范围),  $h_i$ (实体企业采取直接融资时的风险系数)共11个变量作为仿真因素, 每个因素具有3个场景, 具体变量的取值集合如表6所示. 为了将研究的问题集中在对投融资比例决策的讨论中, 本文忽略 $A_{C,i}$ (实体企业未考虑融资方式时的初始收益)、 $A_{F,j}$ (金融机构未考虑资金分配方式时的初始收益)对双方利润的影响并设定为0. 为了尽可能保证数值实验的普适性,  $B_i$ (实体企业所需融资规模)设定为1000个虚拟的货币单位, 并讨论当金融机构可以用于投资的资金规模分别为 $B_i$ 的1倍, 5倍, 9倍时对决策的影响是否显著.  $v_i$ 在不同行业的收益率差距较大, 本文采取三种差别较大的收益率取值, 观察其是否会对决策产生显著影响. 考虑到不同企业的融资成本率有所不同等情况, 本文采取了较为平均的数值0.1作为 $c_{1,i}$ (实体企业获得间接融资后的整体融资成本率)的取值.  $l_{o_i} = 0$ 表示企业能够向所有金融机构提出间接融资申请,  $l_{o_i} = 1, 2$ 则分别表示企业仅能够有机会与周围1个、2个单位距离内的金融机构进行间接融资业务的合作. 故每次仿真模型将生成64个主体(58家企业、6家金融机构), 其位置每次都是随机指派在 $8 \times 8$ 的网格环境中, 并采用曼哈顿距离计算主体之间的距离. 仿真模型经过100个时间步后停止.

本文采用Python实现仿真模型, 其中主体决策采用了ESTOPT框架<sup>[34]</sup>. 仿真模型的输入有11个因素, 每个因素有3种取值, 故采用 $L_{27}(3^{13})$ 正交表进行实验设计, 并将 $m_i$ (企业计划来源于间接融资的资金比例),  $n_j$ (金融机构计划投放于“间接融资”业务的资金比例),  $\pi_i$ (实体企业利润),  $\pi_j$ (金融机构利润)四个指标作为仿真输出结果. 每一个实验均仿真重复10次, 取4个指标结果的均值. 经过270次实验, 记录模型的输入输出结果, 如表7所示. 其中, 由于正交表有13列而研究的影响因素只有11个, 故有两列空白列(又称误差列)用于估计误差.

表7 仿真实验结果

Table 7 Simulation experiment results

实验	$l_{o_i}$	$h_i$	$\gamma$	$v_i$	$k_j$	$p_{1,j}$	$f_{1,j}$	$f_{2,j}$	$d_j$	$s_j$	$\rho$	误差列1	误差列2	$m_i$	$n_j$	$\pi_i$	$\pi_j$
1	0	0.2	0.2	2	0.1	0.02	0.06	0.01	1	0.001	0.1	0	0	0.5773	1.0000	6.8338	1540.9914
2	1	0.2	0.4	1.2	0.2	0.06	0.1	0.01	5	0.005	0.25	0	0	0.9836	0.4290	60.8209	1317.6819
3	2	0.2	0.6	0.3	0.3	0.04	0.08	0.01	9	0.003	0.4	0	0	0.9809	0.1764	-14.8548	32.1848
4	0	0.4	0.2	1.2	0.2	0.04	0.1	0.05	1	0.003	0.4	1	0	0.7340	1.0000	-11.2754	862.9968
5	1	0.4	0.4	0.3	0.3	0.02	0.08	0.05	5	0.001	0.1	1	0	0.0223	0.1048	15.7067	267.7707
6	2	0.4	0.6	2	0.1	0.06	0.06	0.05	9	0.005	0.25	1	0	0.9755	0.6278	609.6986	3698.2248
7	0	0.6	0.2	0.3	0.3	0.06	0.08	0.03	1	0.005	0.25	2	0	0.9886	0.4265	-31.8833	66.0302
8	1	0.6	0.4	2	0.1	0.04	0.06	0.03	5	0.003	0.4	2	0	0.9905	0.4599	140.4664	2503.9586
9	2	0.6	0.6	1.2	0.2	0.02	0.1	0.03	9	0.001	0.1	2	0	0.6084	0.6112	335.5242	2294.4361
10	0	0.2	0.4	2	0.2	0.04	0.08	0.05	9	0.001	0.25	2	1	0.9669	0.9862	641.1201	9958.9978
11	1	0.2	0.6	1.2	0.3	0.02	0.06	0.05	1	0.005	0.4	2	1	0.9333	0.9118	30.6913	412.2126
12	2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.06	0.1	0.05	5	0.003	0.1	2	1	0.0028	0.0687	49.9314	321.3499
13	0	0.4	0.4	1.2	0.3	0.06	0.06	0.03	9	0.003	0.1	0	1	0.9529	0.9869	349.0957	5897.0628
14	1	0.4	0.6	0.3	0.1	0.04	0.1	0.03	1	0.001	0.25	0	1	0.9501	0.0000	-33.4433	93.0791
15	2	0.4	0.2	2	0.2	0.02	0.08	0.03	5	0.005	0.4	0	1	0.9714	0.9103	118.8344	6892.2585
16	0	0.6	0.4	0.3	0.1	0.02	0.1	0.01	9	0.005	0.4	1	1	0.9996	0.2811	-17.0146	126.4364
17	1	0.6	0.6	2	0.2	0.06	0.08	0.01	1	0.003	0.1	1	1	0.3207	0.9867	85.8388	709.8276
18	2	0.6	0.2	1.2	0.3	0.04	0.06	0.01	5	0.001	0.25	1	1	0.9683	0.9129	47.9254	4088.7992
19	0	0.2	0.6	2	0.3	0.06	0.1	0.03	5	0.001	0.4	1	2	0.8787	1.0000	556.7526	3504.9875
20	1	0.2	0.2	1.2	0.1	0.04	0.08	0.03	9	0.005	0.1	1	2	0.2030	0.3036	97.4772	2157.4883
21	2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.02	0.06	0.03	1	0.003	0.25	1	2	0.7070	0.0000	-30.8275	199.9995
22	0	0.4	0.6	1.2	0.1	0.02	0.08	0.01	5	0.003	0.25	2	2	0.8648	1.0000	308.6999	2014.9947
23	1	0.4	0.2	0.3	0.2	0.06	0.06	0.01	9	0.001	0.4	2	2	1.0000	0.2090	-31.9416	248.3482
24	2	0.4	0.4	2	0.3	0.04	0.1	0.01	1	0.005	0.1	2	2	0.4599	0.9985	47.1471	1103.4756
25	0	0.6	0.6	0.3	0.2	0.04	0.06	0.05	5	0.005	0.1	0	2	0.5135	0.0738	-15.3067	381.3862
26	1	0.6	0.2	2	0.3	0.02	0.1	0.05	9	0.003	0.25	0	2	0.9966	0.4287	69.0216	3886.6850
27	2	0.6	0.4	1.2	0.1	0.06	0.08	0.05	1	0.001	0.4	0	2	0.8297	0.9973	13.6864	640.2274

4.2.2 实验结果分析

接下来, 计算每个指标的方差分析(ANOVA)表, 如表8所示.  $p$ 值是用 $F$ 统计量和 $F$ 分布得到的. 在0.10的显著性水平下,  $\rho$ 是企业计划来源于间接融资的资金比例 $m_i$ 的唯一显著因素, 说明直接融资的利率成本是影响企业决策融资来源比例的重要因素.  $l_{o_i}$ 和 $v_i$ 是 $n_j$ 的显著因素. 通过结果分析可以发现, 虽然两个变量均为实体企业的属性, 但是由于主体间的交互作用, 金融机构在考虑自身资金分配的时候, 是受到企业对金融机构的搜索范围和所获收益影响的.  $\gamma$ 、 $v_i$ 、 $d_j$ 是 $\pi_i$ 的显著因素, 这一结果表明对于实体企业而言, 其与金融机构进行借贷业务时的议价结果、实际项目经营情况、以及金融机构本身能够使用的全部投资相对于企业欲融资额度的倍数规模对其利润的影响是比较重要的. 最后, 实验表明 $v_i$ 是 $\pi_j$ 的唯一显著因素. 这一结果说明, 尽管主体间交互的影响因素很多, 但实体企业的获益水平会比较容易影响到金融机构的利润水平.

表8 方差分析表

**Table 8 ANOVA table**

Source	DOF	$m_i$			$n_j$			$\pi_i$			$\pi_j$		
		MS	F ratio	P value	MS	F ratio	P value	MS	F ratio	P value	MS	F ratio	P value
$l_{o_i}$	2	0.039	0.674	0.5593	0.237	7.845	0.0413	50966.46	3.368	0.1388	4582624	0.987	0.4485
$h_i$	2	0.028	0.489	0.6457	0.027	0.889	0.4792	21240.61	1.404	0.3453	1220718	0.263	0.7812
$\gamma$	2	0.011	0.184	0.8389	0.001	0.023	0.9774	67257.25	4.445	0.0963	2416561	0.52	0.6298
$v_i$	2	0.033	0.569	0.6062	1.306	43.239	0.002	158881.2	10.5	0.0256	28692472	6.177	0.0598
$k_j$	2	0.017	0.298	0.7578	0.041	1.365	0.3532	349.376	0.023	0.9773	2711505	0.584	0.5992
$p_{1,j}$	2	0.002	0.031	0.9694	0.019	0.626	0.5802	23434.15	1.549	0.3176	683915.6	0.147	0.8676
$f_{1,j}$	2	0.063	1.08	0.4216	0.033	1.098	0.4168	929.355	0.061	0.9413	2392257	0.515	0.6324
$f_{2,j}$	2	0.056	0.967	0.4545	0.047	1.569	0.314	34345.79	2.27	0.2194	4630322	0.997	0.4454
$d_j$	2	0.069	1.182	0.395	0.091	3.003	0.1598	108757.2	7.187	0.0474	14971123	3.223	0.1466
$s_j$	2	0.006	0.11	0.8988	0.024	0.778	0.5183	14705.79	0.972	0.4529	1493398	0.321	0.7422
$\rho$	2	0.818	14.087	0.0155	0.038	1.257	0.3771	22494.65	1.487	0.3291	3995696	0.86	0.489
误差	4	0.058			0.03			15132.06			4645236		

4.3 主体仿真结果与演化博弈结果对比分析

通过上述仿真结果可以发现: 第一, 由 $v_i$ (间接融资下企业利用金融机构资金进行经营的收益率)对于 $\pi_i$ (实体企业利润)、 $n_j$ (金融机构计划投放于“间接融资”业务的资金比例)、 $\pi_j$ (金融机构利润)显著可

知, 实体企业的营利水平不仅对自身的利润有显著影响, 同时对金融机构的资金分配决策和利润有显著影响. 对比于演化博弈的结果可以发现, 实体企业的获得间接融资后的收益水平, 对于双方的业务决策是重要的. 这一点是比较符合客观实际, 金融机构的利润点来源于多个方面, 但从根本上说, 只有实体经济主体获利, 才能带来经济的活跃和资金融通的流动, 才能保证金融机构的利润增长. 第二,  $\rho$  (金融机构在资本市场的未考虑风险的资金收益率) 对于  $m_i$  (企业计划来源于间接融资的资金比例) 是显著的, 这与演化博弈模型结论中关于企业在直接融资层面的成本的影响的结论是一致的. 第三, 虽然  $\gamma$  (共获得额外收益中实体企业获益占比) 在演化博弈模型阶段的影响没有明确的表示, 在模拟仿真的实验结果中也没有表现出对  $m_i$ 、 $n_j$  的显著影响, 但是其对  $\pi_i$  的影响是显著的. 由于  $\gamma$  可以视为是双方合作业务对收益比例的一种协商指标, 实体企业一般容易处于劣势的一方, 对其利润优化的影响比较显著. 第四, 相对于演化博弈模型阶段, 在主体模型中考虑了地理因素和企业的融资需要与金融机构的投资供给的规模对比的影响, 实验表明,  $l_{o_i}$  (实体企业可以搜索金融机构的距离范围) 对于  $m_i$  虽然没有显著影响, 但是对于  $n_j$  是存在显著影响的, 说明对于实体企业, 特别是中小微企业通常会按照就近原则去寻求银行贷款, 对于距离企业普遍较远的金融机构, 不易建立间接融资业务关系, 也就是说如果想要增加双方的间接融资业务的合作, 金融机构的设置需要尽可能靠近实体企业, 这也符合金融机构设立多个网点机构以及政府鼓励地方银行发展的现实情况. 此外,  $d_j$  (金融机构投放的资金规模是企业所需的资金规模的倍数) 对于  $\pi_i$  的显著性影响, 也说明了金融机构的资金供给能够给实体企业的利润带来重要影响.

## 5 结论与思考

本文通过建立金融机构与实体企业之间的演化博弈模型, 模拟双方博弈的动态过程, 利用指标和实际数据, 分析鞍点位置的合理性. 分析发现, 金融机构和实体企业的博弈会向着 {“资本服务实体经济, 间接融资”, “资本脱实向虚, 直接融资”} 两个稳定点发展, 基于数据分析和函数验证发现, 通过成本控制、收益分配、政府补贴等方式, 可以影响双方的业务合作模式, 即影响间接融资与直接融资的业务比例关系. 本文还通过构建主体模型并进行模拟仿真实验, 对上述问题进行了实验设计和方差分析, 并讨论了关键指标的显著性影响, 发现了实体企业在资本市场面临的融资成本对企业期望融资比例分配、实体企业的盈利水平和对金融机构的搜寻范围对金融机构投资比例分配的显著性影响.

根据本文的相关研究结果, 提出如下建议:

第一, 继续积极推进金融资本向实体经济企业流入, 同时加强对金融市场稳定有序发展的要求. 根据演化博弈的结果表明, 政府激励对于金融机构服务实体经济具有正向作用. 因此, 政府应确保监督和激励的有效性, 更加细化、量化金融机构服务实体经济的指标和激励水平, 并完善监督和调整机制, 保证任务指标和激励政策的切实性、高效性. 仿真结果指出, 金融机构与实体企业间接融资合作时的收益占比、金融机构的资金投放相对于实体企业的融资需求的规模对实体企业利润具有显著影响, 因此, 政府应该适当调整金融机构的资金投放水平和间接融资的基准利率, 有效促进金融服务实体经济的发展.

第二, 实体企业应平衡好融资方式的选择, 加强与金融机构的合作, 共同提高合作的收益水平, 合力降低合作成本, 实现双赢. 演化博弈的结果表明, 企业积极寻找间接融资合作而未成功的成本损失对于间接融资业务的促成具有消极影响. 事实上, 双方因为信息不对称、市场地位的差异等原因, 非常容易造成高额的搜寻成本、谈判成本、业务流程重复等合作成本, 导致资源浪费和资金使用的低效率. 因此, 在考虑融资合作时, 双方要充分有效地沟通和协商, 降低不确定性和由于等待造成的机会成本等, 从而使金融资本更好地服务实体经济, 提升资本的使用效率, 促进产业发展.

第三, 金融机构应积极落实服务实体经济的政策要求, 建立广泛的协商机制, 协调利益分配, 拓展与企业融资相关的业务模式和渠道. 仿真结果体现了金融机构与实体企业间接融资合作时的收益占比对实体企业利润的显著影响, 说明金融机构在政策允许的条件下, 应该合理设定利率, 提高实体企业利润空间, 引导实体企业通过间接融资方式进入融资市场, 保证公平的利益分配. 同时, 在地理位置因素的

研究中,仿真结果表明,金融机构营业网点的设置要尽可能地靠近中小微企业,降低双方的搜索成本、信息成本,促进企业与金融机构的资金业务合作。

## 参考文献

- [1] 李世泽,马家丽,朱书尚. 房地产信贷对我国银行体系系统性风险的影响——基于银行体系内部借贷网络的模拟实证研究[J]. 中山大学学报(社会科学版),2019,59(03):186-196. DOI:10.13471/j.cnki.jsysusse.2019.03.020.  
Li S Z, Ma J L, Zhu S S. The impact of real estate credit on the systemic risk of Chinese banking System: An empirical simulation based on the internal lending network of the banking system [J]. Journal of Zhongshan university (social science edition),2019,59(03):186-196. DOI:10.13471/j.cnki.jsysusse.2019.03.020.
- [2] 李宗铭,房勇. 基于LSTM神经网络的行业资产配置模型[J]. 系统工程理论与实践,2021,41(08):2045-2055.  
Li Z M, Fang Y. Industry asset allocation model based on LSTM neural network[J]. Systems Engineering - Theory & Practice,2021,41(08):2045-2055.
- [3] 周小川. 监管的优化改革与市场的创新发展[J]. 中国金融,2021(03):9-10.  
Zhou X C. Optimization reform of supervision and innovative development of market [J]. China Finance,2021(03):9-10.
- [4] 王竹泉,王苑琢,王舒慧. 中国实体经济资金效率与财务风险真实水平透析——金融服务实体经济效率和水平不高的症结何在?[J]. 管理世界,2019,35(02):58-73+114+198-199. DOI:10.19744/j.cnki.11-1235/f.2019.0020.  
Wang Z Q, Wang Y Z, Wang S H. Analysis of Capital Efficiency and Financial Risk in China's Real Economy - What is the crux of the low efficiency and level of financial services in the real economy? [J]. Journal of Management World, 2019,35(02):58-73+114+198-199. DOI:10.19744/j.cnki.11-1235/f.2019.0020.
- [5] 解维敏,吴浩,冯彦杰. 数字金融是否缓解了民营企业融资约束?[J]. 系统工程理论与实践,2021,41(12):3129-3146.  
Xie W M, Wu H, Feng Y J. Does digital finance ease the financing constraints of private enterprises? [J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 201,41(12):3129-3146.
- [6] 周开国,邢子煜,杨海生. 银行负债结构与企业信贷获取[J]. 经济研究,2022,57(08):191-208.  
Zhou K G, Xing Z Y, Yang H S. Bank debt structure and corporate credit access [J]. Economic Research Journal,2022,57(08):191-208.
- [7] 刘伟,刘卫镇,戴冰清,吕婷. 数字金融、贷款结构与商业银行风险承担——基于181家商业银行2011—2020年财务数据的分析[J]. 武汉金融,2022(07):29-40.  
Liu W, Liu W Z, Dai B Q, Lv T. Digital Finance, Loan structure and risk taking of Commercial Banks: Based on the financial data of 181 commercial banks from 2011 to 2020 [J]. Wuhan Finance,2022(07):29-40.
- [8] Fraisse H, Hombert J, LéM. The Competitive Effect of a Bank Megamerger on Credit Supply[J]. Journal of Banking & Finance,2018:93,151-161.
- [9] Schwert M. Bank Capital and Lending Relationships[J]. Journal of Finance,2018,73(2): 787-830.
- [10] 刘国巍,邵云飞. 战略性新兴产业创新金融支持机理及两阶段演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2021,30(04):87-95.  
Liu G W, Shao Y F. Strategic emerging industries innovation financial support mechanism and two-stage evolutionary game analysis [J]. Operations Research and Management Research, 2021,30(04):87-95.
- [11] 吴卫星,刘细宪. 政府与社会资本合作能改善企业融资约束吗?——来自中国上市公司的微观证据[J]. 证券市场导报,2019(05):41-47.  
Wu W X, Liu X X. Can Cooperation between Government and private capital improve corporate financing constraints? - Micro evidence from Chinese listed companies [J]. Securities Market Review,2019(05):41-47.
- [12] 李志勇,余涓. 网络借贷利率定价研究:基于无套利定价的视角[J]. 系统工程理论与实践,2018,38(07):1698-1705.  
Li Z Y, Yu M. Research on interest rate pricing of online lending: Based on the perspective of arbitrageless pricing [J]. Systems Engineering - Theory & Practice,2018,38(07):1698-1705.
- [13] Evstigneev I, Hens T, Potapova V, et al. Behavioral equilibrium and evolutionary dynamics in asset markets[J]. Journal of Mathematical Economics, 2020, 91:121-135.
- [14] 钱燕,吴刘杰. 小微企业信贷融资机制的演化博弈分析[J]. 金融与经济, 2019(03):53-59.  
Qian Y, Wu L J. An Evolutionary Game Analysis of credit Financing Mechanism for Small and micro enterprises [J]. Finance and Economics, 2019(03):53-59.
- [15] 杨晓光,李三希,曹志刚,崔志伟,乔雪,翁翕,俞宁,张博宇. 数字经济的博弈论基础[J]. 管理科学,2022,35(01):50-54.  
Yang X G, Li S X, Cao Z G, Cui Z W, Qiao X, Weng Y, Yu N, Zhang B Y. The Game theory Foundation of digital economy[J]. Journal of Management Science, 2022,35(01):50-54.
- [16] 刘伟,夏立秋,王一雷. 动态惩罚机制下互联网金融平台行为及监管策略的演化博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(05):1113-1122.  
Liu W, Xia L Q, Wang Y L. Evolutionary Game Analysis of Internet Financial Platform Behavior and Regulatory Strategy under dynamic Punishment Mechanism [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017, 37(05):1113-1122.

- [17] 胡俏, 齐佳音. 基于SD演化博弈模型数字货币扩散演化仿真研究[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(5):1211-1228. Hu Q, Qi J Y. Cryptocurrency diffusion evolution simulation based on SD evolution game model[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2021, 41(5): 1211-1228.
- [18] Zhang S, Wang C, Yu C. The evolutionary game analysis and simulation with system dynamics of manufacturer's emissions abatement behavior under cap-and-trade regulation[J]. Applied Mathematics and Computation, 2019, 355:343 - 355.
- [19] Li S, Wang B. Evolutionary game simulation of corporate investing and financing behavior from a risk perspective[J]. Cluster Computing, 2019, 22(S3):5955 - 5964.
- [20] Huo Y, Feng Z. Is collective financing feasible for small and micro-sized enterprises? An evolutionary game analysis of the credit market in China[J]. Economic Research-Ekonomska Istra?ivanja, 2019, 32(1):2959 - 2977.
- [21] Xu Y, Liu Q. Research on Financing of Small and Micro Enterprises in Post epidemic Period: Based on Evolutionary Game and Numerical Simulation[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 2021:1 - 7.
- [22] Farmer J D , Axtell R L . Agent-Based Modeling in Economics and Finance: Past, Present, and Future[J]. INET Oxford Working Papers, 2022.
- [23] 赵志刚, 熊熊, 张小涛. 基于主体建模的金融政策仿真研究及其应用[J]. 软科学, 2009, 23(07):54 - 56. Zhao Z G, Xiong X, Zhang X T, Financial policy simulation research and application based on agent modeling [J]. Soft Science, 2009, 23(07):54 - 56.
- [24] Bertella M A , Silva J N , Correa A L , et al. The Influence of Confidence and Social Networks on an Agent-Based Model of Stock Exchange[J]. Complexity, 2021, 2021(8 - 9):1-16.
- [25] Fratri P, Sileno G, Klous S, et al. Manipulation of the Bitcoin market: an agent-based study[J]. Financial innovation, 2022, 8(1):60. DOI: 10.1186/s40854-022-00364-3.
- [26] 王一涵, 王国成. 基于ABM模型的投资者情绪与投资决策分析[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2017, 31(06):27 - 35. Wang Y H, Wang G C. Analysis of Investor Sentiment and Investment Decision Based on ABM [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Social Sciences), 2017, 31(06):27 - 35.
- [27] Mu P, Chen T, Pan K, et al. A Network Evolution Model of Credit Risk Contagion between Banks and Enterprises Based on Agent-Based Model[J]. Journal of Mathematics, 2021, 2021:1 - 12. DOI: 10.1155/2021/6593218.
- [28] 郭栋. 货币回流视角下银行间国债价格稳定性研究——基于投资者异质性的ABM 仿真[J]. 金融理论与实践, 2020(10):19 - 27. Guo D. Price Stability of Inter-bank National Bonds from the perspective of currency Repatriation: agent-based modelling and simulation Based on Investor Heterogeneity [J]. Financial Theory and Practice, 2020(10):19 - 27.
- [29] 张瑾玉, 夏晨辉, 谷政. 基于agent的多重社会网络中破产传染模型研究[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(06):1709 - 1717. DOI:10.19734/j.issn.1001-3695.2020.06.0162. Zhang J Y, Xia C H, Gu Z. Research on Bankruptcy Contagion Model in Multiple Social Networks Based on agent[J]. Computer Application Research, 2021, 38(06):1709 - 1717. DOI:10.19734/j.issn.1001-3695.2020.06.0162.
- [30] 尹威, 赵启程. 中国影子银行委托贷款风险管控政策模拟与仿真研究[J]. 金融经济研究, 2022, 37(04):17-31. Yin W, Zhao Q C. Simulation and Research on Risk control Policy of entrusted loan of Shadow Banks in China [J]. Research of Financial Economics, 2022, 37(04):17-31.
- [31] Fiedler A . An agent-based negotiation protocol for supply chain finance[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022(168-):168.
- [32] Smith J M. Evolution and the theory of games[J]. Cambridge: Cambridge University Press, 1982
- [33] Taylor P D. Evolutionary stable strategies and game dynamics[J]. Mathematical Bio-sciences, 1978, 40(1): 145 - 156.
- [34] He Z, Luo C, Tan C-H, et al. Simulating an agent's decision-making process in black-box managerial environment: An estimation-and-optimisation approach[J]. Journal of Simulation, 2019, 13(2):111 - 127. DOI: 10.1080/17477778.2018.1440946.