

政府主导下企业与金融机构数字营商环境优化三方演化博弈及仿真分析

陈 梅, 李延罡

(沈阳化工大学经济与管理学院, 沈阳 110000)

摘要: 随着数字经济的快速发展, 优化数字营商环境已成为各国提升经济竞争力的重要手段, 政府、企业与金融机构在这一过程中扮演的角色及其相互作用机制仍需深入探讨。基于数字化转型的背景, 研究了政府、企业与金融机构在数字营商环境优化中的三方演化博弈问题; 通过文献分析, 梳理了各主体在数字化进程中的互动关系及策略选择, 构建了三方演化博弈模型, 利用复制动态方程模拟各主体在不同策略组合下的动态演化路径, 并通过 Matlab 数值仿真验证了模型的合理性。结果表明, 政府的政策支持、企业的数字化转型及金融机构的融资服务在优化营商环境过程中密切相关, 三者的协同作用能够有效提升数字营商环境的整体水平, 为推动数字经济发展、优化营商环境提供理论依据和实践参考。

关键词: 政府主导; 数字营商环境优化; 演化博弈; 仿真分析

中图分类号: F224.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)04-0381-11

伴随信息技术的迅速发展, 数字化已逐步成为促进经济与社会进步的重要影响因素, 在 2024 全球数字经济大会主论坛上, 中国信通院发布《全球数字经济白皮书》显示, 2023 年, 美国、中国、德国、日本、韩国等 5 个国家数字经济总量超过 33 万亿美元, 同比增长超 8%; 数字经济占 GDP 比例为 60%, 数字经济成为各国实现可持续增长的重要动力^[1]。数字营商环境以其高效率、低成本、广覆盖的特点, 逐渐成为全球经济增长的新引擎。《2023 中国数字经济发展报告》表示, 发展数字经济已成为推进中国式现代化的重要驱动力量, 要全面提高的数字化治理水平, 营造规范有序的政策环境, 推动数字政府建设^[2]。

在数字营商环境优化中, 政府扮演着主导者和推动者的角色, 政府不仅要制定和实施相关政策、提供财政补贴和税收优惠, 还需要建设和完善数字基础设施, 优化营商环境。国务院发布的《“十四五”数字经济发展规划》中明确提出, 要加快建设新型数字基础设施, 推动数字产业化和产业数字化, 培育数据要素市场, 协调和激励企业与金融机构的参与, 确保数字化转型的顺利进行^[3]。企业在数字化转型过程中, 需要进行技术革新和业务模式的重

构, 这需要大量的资金投入和技术支持。然而, 许多中小企业由于资源有限, 在数字化转型中面临更大的挑战。金融机构作为企业的重要资金来源, 其在数字化营商环境优化中的支持力度和参与方式直接影响企业的转型成效。鉴于上述背景, 通过深入分析三方在数字营商环境优化中的互动机制和演化规律, 并利用 Matlab 进行数值仿真实验, 验证理论模型的实际应用效果, 可以为政府制定科学的政策措施, 企业和金融机构优化策略, 推动数字化营商环境优化具有重要的理论和实践价值。

数字营商环境研究主要从 2018 年开始到现在, 数字营商环境研究主要集中在营商环境优化、营商环境指标体系构建、营商环境数字化转型以及数字营商环境影响因素等方面。刘新智等^[4]基于 281 个城市基础数据分析了影响营商环境发展的重要因素, 实证了数字经济对营商环境水平有着重要影响; 董小君和宋玉冰^[5]运用主成分分析法构建省份数字营商环境评价指标体系, 深入分析各省份营商环境的区域差异性、空间不平衡性; 李剑培等^[6]从政府视角探究政府数字化政务转型对企业发展的影响和作用; 演化博弈从 2003—2024 年主要在供应链管理、网络信息传播、环境治

收稿日期: 2024-09-09

作者简介: 陈梅(1999—), 女, 河南信阳人, 硕士研究生, 研究方向为管理科学与工程; 李延罡(1974—), 男, 辽宁新民人, 博士, 副教授, 研究方向为公共住房、产业经济、项目管理、技术创新。

理等研究领域^[7-9],对于营商环境优化三方演化博弈的研究很少。景芳等^[10]建立关于飞地经济建设的飞入地、飞出地和企业三方演化博弈模型,并进行数值仿真,揭示其动态演化机制;刘钻扩等^[11]以“一带一路”为背景,构建三方合作融资模式演化博弈模型。由此可见,对于数字营商环境的政府、企业与金融机构的三方演化博弈动态规律的研究较少,在营商环境方面大多是静态评价和数据分析^[12-13],对于数字营商环境优化的动态演化研究比较薄弱,所以从三方的动态演化博弈入手,建立三方演化博弈模型,并用 Madlab 软件进行数值仿真^[14-15],对三方合作因素进行深入分析并提出相应的建议与对策。

鉴于此,数字营商环境的建设对经济高质量发展具有重要意义,现有研究主要集中在政府的主导作用和具体政策措施上,但对多主体互动机制的研究较为有限,本文在这一方面进行了扩展,通过构建政府、企业和金融机构三方的演化博弈模型,系统分析三方在数字营商环境优化中的策略选择和相互影响,不仅揭示政府在数字营商环境优化中的核心作用,还探讨企业和金融机构的协同效应,填补了多主体互动研究的空白。

1 模型假设与构建

1.1 三方演化博弈问题描述

在这一博弈模型中,政府,企业,金融机构作为演化博弈主体,每个主体有一组可选择的策略组合,其收益函数由策略选择、成本、政府补贴或罚款等因素决定。政府的收益函数包括营商环境提升带来的额外效益、上级政府奖励和政策成本等;企业的收益函数包括利润、技术创新收益、转型成本等;金融机构的收益函数包括利息收入、金融服务成本等。主体之间的互动机制通过博弈过程体现,各主体根据自身的收益函数和策略选择,不断调整和优化策略,形成动态博弈关系,采用演化博弈模型,通过复制动态方程描述策略在群体中的传播和变化过程,模拟主体策略选择的演化路径和长期稳定性。政府、企业和金融机构三方博弈关系模型如图 1 所示。

1.2 相关假设及参数符号说明

1.2.1 博弈主体

假设博弈参与主体主要有政府、企业、金融机构三类,可视为一个完整的系统,数字营商环境发展中的博弈主体为有限理性,利益最大化是各博弈主体的最终目标。

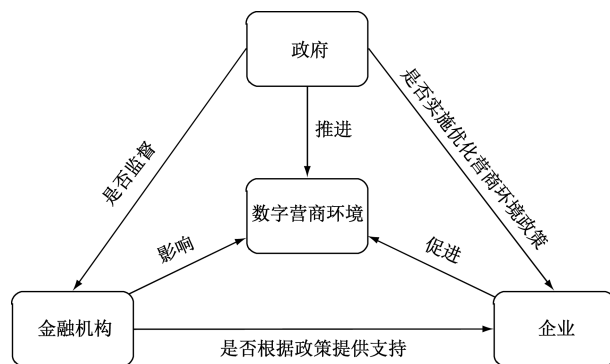


图 1 三方演化模型逻辑关系

1.2.2 博弈主体行为策略

在初始阶段,政府在数字营商环境优化中有两种策略即建设 A_1 或者不建设 A_2 ;企业在数字营商环境优化中有两种策略选择即企业进行数字化革新 B_1 和不进行数字化革新 B_2 ;而金融机构在数字营商环境优化中也有两种策略选择即对数字化建设进行贷款支持 D_1 和不支持数字化贷款 D_2 。为方便写作,将这些策略简称为政府{建设,不建设}、企业{进行,不进行}、金融机构{支持,不支持}。

1.2.3 博弈主题策略选择概率

在数字营商环境发展博弈中,政府进行数字化建设行为的概率为 x ,不进行数字化建设行为的概率为 $1-x$;企业对自身进行数字化革新的概率为 y ,不进行数字化革新的概率为 $1-y$;金融机构进行贷款支持的概率为 z ,不进行贷款支持的概率为 $1-z$ 。

1.2.4 相关参数及含义

政府采取相应的激励政策对数字化建设的企业进行一定的额外补贴 K_2 ,对支持数字化建设的金融机构额外补贴为 K_1 ,政府监督金融机构产生的成本为 C_4 ,金融机构提供数字化贷款企业带来的利息 I_1 ,金融机构日常经营所产生的成本 C_1 ,企业的数字化革新包括企业基础设施的更换与应用,相关技术人才培养以及营销数字化等产生的成本为 C_3 ,企业在进行数字化革新后经营所需利润为 $P_1(P_1 > P_2)$,营商环境水平的整体提升给企业带来的效益为 S_2 ,企业自主筹款进行数字化的成本为 C_2 ,上级政府对地方政府建设营商环境的补贴 K_4 ,营商环境水平提高对政府产生的正面效应 S_1 是非常大的,不仅能够提高地方竞争力,带动地方就业,增加人才,增加企业,提高经济水平,因此政府转型所产生的成本 C_5 以及对在建设数字营商环境中所产生的成本小于营商环境水平提高带来的正面效应(表 1)。

表 1 模型中的相关参数及含义

参数	含义
P_1	企业革新数字化技术后经营方式得到的利润
P_2	企业传统经营方式得到的利润 ($P_1 > P_2$)
I_1	金融机构参与数字化建设提供低利息贷款给企业所得到的利息
C_1	金融机构正常运行的成本
C_2	金融机构不提供数字化建设低息贷款,企业自主筹款数字化建设成本($C_2 > I_1$)
C_3	企业进行数字化建设的额外投入成本(包括设备升级、技术研发和人员培训成本)
C_4	政府监管金融机构的成本
C_5	政府政务服务和基础设施数字化转型的额外成本
K_1	在政府监督时金融机构参与数字化建设时政府的额外补贴
K_2	政府对数字化企业的补贴奖励
K_3	金融机构不参与数字化建设时政府的惩罚
K_4	政府建设数字营商环境上级政府的奖励
S_1	数字营商环境水平提高给政府带来的正面效应(促进地方经济增长,提高区域竞争力)
S_2	数字营商环境水平提高给企业带来的正面效应

1.3 三方博弈模型构建

在数字化营商环境优化中,政府、企业和金融机构有 8 种博弈行为策略组合,即(建设 A_1 , 进行 B_1 , 支持 D_1)、(建设 A_1 , 不进行 B_2 , 支持 D_1)、(建设 A_1 , 不进行 B_2 , 不支持 D_2)、(建设 A_1 , 进行 B_1 , 不支持 D_2)、(不建设 A_2 , 进行 B_1 , 支持 D_1)、(不建设 A_2 , 进行 B_1 , 不支持 D_2)、(不建设 A_2 , 不进行 B_2 , 支持 D_1)、(不建设 A_2 , 不进行 B_2 , 不支持 D_2) 这 8 种策略。

由表 1 所示的参数和含义可知,当政府、企业和金融经选择(建设,进行,支持)这个策略时,企业进行数字化的成本为 C_3 ,同时数字化带来的经营收益为 P_1 ,企业数字化革新提高营商环境水平,营商环境水平提高给企业带来的正面效应为 S_2 ,政府建设营商环境的成本为监管金融机构 C_4 、对金融机构支持数字化政策的补贴 K_1 以及企业数字化转型的补贴 K_2 ,营商环境水平提升给政府带来的正面效应为 S_1 ,金融机构经营的成本为 C_1 ,企业数字贷款后给金融机构带来的利息为 I_1 ,金融机构不参与数字化建设政府的惩罚为 K_3 ,据此可得出企业、政府和金融机构其他策略组合的收益,如表 2 所示。

2 数字营商环境三方博弈模型分析

2.1 政府、企业及金融机构演化博弈复制动态方程

复制动态方程(replicator dynamics)是演化博弈理论中的一个核心概念,用于描述在群体中不同策略的频率如何随时间变化。该方程揭示了个体根据其策略的相对成功来调整策略的过程。具体来

表 2 政府、企业和金融机构收益矩阵

策略组合	政府收益	企业收益	金融机构收益
(A_1, B_1, D_1)	$S_1 - C_4 + K_4 - K_2 - K_1 - C_5$	$P_1 - I_1 - C_3 + K_2 + S_2$	$I_1 - C_1 + K_1$
(A_1, B_1, D_2)	$S_1 - C_4 + K_4 - K_2 - C_5$	$P_1 - C_2 - C_3 + K_2 + S_2$	$-K_3$
(A_1, B_2, D_1)	$S_1 - C_4 + K_4 - C_5$	P_2	$-C_1$
(A_1, B_2, D_2)	$S_1 - C_4 + K_4 - C_5$	P_2	0
(A_2, B_1, D_1)	0	$P_1 - I_1 - C_3 + S_2$	$I_1 - C_1$
(A_2, B_1, D_2)	0	$P_1 - C_1 - C_3 + S_2$	0
(A_2, B_2, D_1)	0	P_2	$-C_1$
(A_2, B_2, D_2)	0	P_2	0

说,成功的策略会在群体中繁衍,而不成功的策略会逐渐被淘汰。

2.1.1 政府数字营商环境博弈策略及复制动态方程

假设政府选择建设数字营商环境行为策略的期望收益为 E_{11} ,选择不建设数字营商环境行为策略的期望收益为 E_{12} ,平均期望收益为 E_1 ,则政府的期望收益函数为

$$E_{11} = yz(S_1 - C_4 + K_4 - K_2 - K_1 - C_5) + y(1-z)(S_1 - C_4 + K_4 - K_2 - C_5) + (1-y) \times z(S_1 - C_4 + K_4 - C_5) + (1-y)(1-z) \times (S_1 - C_4 + K_4 - C_5) \quad (1)$$

$$E_{12} = 0 \quad (2)$$

$$E_1 = xE_{11} + (1-x)E_{12} \quad (3)$$

政府数字营商环境优化行为策略选择的复制动态方程为

$$F(x) = S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - yK_2 - yzK_1 \quad (4)$$

对 $F(x)$ 求一阶偏导,则有

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)(S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - yK_2 - yzK_1) \quad (5)$$

令 $F(x) = 0$, 则有 $x = 0$, $x = 1$, $E_{11} = E_{12}$;

则有: 当 $z = \frac{S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - yK_2}{yK_1}$, $0 \leq$

$\frac{S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - yK_2}{yK_1} < 1$ 时, $F(x) = 0$, x 取

任意值,政府的策略行为趋于稳定状态;当 $0 \leq z \leq$

$\frac{S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - yK_2}{yK_1} \leq 1$ 时, $\frac{dF(x)}{dx} \big|_{x=0} \geq$

0 , $\frac{dF(x)}{dx} \big|_{x=1} \leq 0$, $x = 0$ 为稳定点,此时政府选

择不建设数字营商环境策略;当 $0 \leq \frac{S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - yK_2}{yK_1} \leq z \leq 1$ 时,

$\frac{dF(x)}{dx} \big|_{x=0} \leq 0$, $\frac{dF(x)}{dx} \big|_{x=1} \geq 0$, $x = 1$ 为稳

定点,此时政府选择建设数字营商环境策略。

2.1.2 企业数字营商环境优化演化博弈策略选择及复制动态方程

假设企业进行数字化革新的期望收益为 E_{21} ，企业不进行数字化革新的期望收益为 E_{22} ，企业平均期望收益为 E_2 ，则企业的期望收益函数为^[16]

$$E_{21} = xz(P_1 - I_1 - C_3 + K_2 + S_2) + x(1-z)(P_1 - C_2 - C_3 + K_2 + S_2) + (1-x)z(P_1 - I_1 - C_3 + S_2) + (1-x)(1-z)(P_1 - C_2 - C_3 + S_2) \quad (6)$$

$$E_{22} = xzP_2 + x(1-z)P_2 + (1-x)zP_2 + (1-x)(1-z)P_2 \quad (7)$$

$$E_2 = yE_{21} + (1-y)E_{22} \quad (8)$$

则复制动态方程为

$$F(y) = y(E_{21} - E_2) = y(1-y)(E_{21} - E_{22}) = y(1-y)[xK_2 + P_1 - C_2 - C_3 + S_2 + z(C_2 - I_1) - P_2] \quad (9)$$

对 $F(y)$ 求一阶偏导，则有

$$dF(y)/dy = (1-2y)[xK_2 + P_1 - C_2 - C_3 + S_2 + z(C_2 - I_1) - P_2] \quad (10)$$

令 $F(y) = 0$ ，则 $y = 0$ ， $y = 1$ ， $E_{11} = E_{12}$ ；则

有：当 $x = \frac{P_1 - C_2 - C_3 + S_2 + z(C_2 - I_1) - P_2}{-K_2}$ ，

$0 < \frac{P_1 - C_2 - C_3 + S_2 + z(C_2 - I_1) - P_2}{-K_2} < 1$ 时，

$F(y) = 0$ ，此时 y 取任意值，企业在数字营商环境中演化博弈策略行为趋于稳定状态；当 $0 < x < \frac{P_1 - C_2 - C_3 + S_2 + z(C_2 - I_1) - P_2}{-K_2} < 1$ 时，

$\frac{dF(y)}{dy}|_{y=0} < 0$ ， $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=1} > 0$ ， $y = 0$ 为稳定点，此时企业选择不进行数字化策略；当 $0 < \frac{P_1 - C_2 - C_3 + S_2 + z(C_2 - I_1) - P_2}{-K_2} < x < 1$ 时，

$\frac{dF(y)}{dy}|_{y=0} > 0$ ， $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=1} < 0$ ， $y = 1$ 为稳定点，此时企业选择进行数字化策略。

2.1.3 金融机构数字营商环境优化演化博弈策略选择及复制动态方程

假设金融机构响应政府数字营商环境优化政策，选择提供企业数字化革新贷款的期望收益为 E_{31} ，选择不提供数字化革新贷款的期望收益为 E_{32} ，平均期望收益为 E_3 ，则金融机构的期望收益函数为

$$E_{31} = xy(I_1 - C_1 + K_1) + x(1-y)(-C_1) + (1-x)y(I_1 - C_1) + (1-x)(1-y)(-C_1) \quad (11)$$

$$E_{32} = xy(-K_3) \quad (12)$$

$$E_3 = zE_{31} + (1-z)E_{32} \quad (13)$$

则金融机构复制动态方程为

$$F(z) = y(E_{31} - E_3) = z(1-z)(E_{31} - E_{32}) = z(1-z)[(K_1 + K_3)xy + yI_1 - C_1] \quad (14)$$

对 $F(z)$ 求一阶偏导，有

$$dF(z)/dz = (1-2z)[(K_1 + K_3)xy + yI_1 - C_1] \quad (15)$$

令 $F(z) = 0$ ，则 $z = 0$ ， $z = 1$ ， $E_{31} = E_{32}$ ；则有：

当 $x = \frac{C_1 - yI_1}{y(K_1 + K_3)}$ ， $0 < \frac{C_1 - yI_1}{y(K_1 + K_3)} < 1$ 时，

$F(z) = 0$ ， z 取任意值，此时金融机构的演化博弈策略行为达到稳定状态；当 $0 < x < \frac{C_1 - yI_1}{y(K_1 + K_3)} < 1$

时， $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=0} < 0$ ， $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=1} > 0$ ， $z = 0$ 为

稳定点，此时金融机构选择不提供数字化贷款策略；当 $0 < \frac{C_1 - yI_1}{y(K_1 + K_3)} < x < 1$ 时，

$\frac{dF(z)}{dz}|_{z=0} > 0$ ， $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=1} < 0$ ， $z = 1$ 为稳定

点，此时金融机构选择提供数字化金融贷款策略。

2.2 三方博弈动态演化稳定状态

三方博弈动态演化状态是指在一个包含三方参与者的演化博弈模型中，各方策略比例在长期演化过程中趋于稳定的一种状态，也被称为演化稳定状态(evolutionary stable strategy, ESS)，反映了在给定策略组合下，各方的策略选择不再发生变化，即每个参与者的策略比例在种群中保持稳定，不会被其他策略所入侵。在演化博弈理论中， x^* 、 y^* 、 z^* 通常表示系统中的稳定策略比例，由此可得出：

$$x^* = \frac{K_2C_1(I_1 - C_2) - K_1C_1(P_1 - C_2 + S_2 - C_3 - P_2)}{\lambda(I_1 - C_2)(K_2 + K_1) + K_1K_2C_1} \quad (16)$$

$$y^* = \frac{\frac{C_1K_2}{K_1 + K_3} + \frac{-C_4S_1 - C_5K_4}{K_1}(C_2 - I_1)}{P_2 + C_2 + C_3 - P_1 - S_2 + \frac{I_1K_2}{K_1 + K_3} + \frac{K_2}{K_1}(C_2 - I_1)} \quad (17)$$

$$z^* = \left\{ C_1K_2^2 - [-C_4S_1 + -C_5K_4]K_2 - [-C_4S_1 + -C_5K_4](K_1 + K_3) \times [P_1(-C_2)(-C_3) + P_2 + S_2] \right\} /$$

$$[(S_1 - C_4 + K_4 - C_5)(C_2 - I_1) - C_1K_1K_2] \quad (18)$$

2.3 Jacobian 矩阵及均衡点稳定性分析

2.3.1 Jacobian 矩阵

为了分析三方演化博弈模型的均衡点稳定性,需要构建系统的 Jacobian 矩阵,通过求解 Jacobian 矩阵的特征值,可以判断均衡点的稳定性。如果所有特征值的实部都为负,则均衡点是稳定的;否则是不稳定的。根据 $F(x)=0$ 、 $F(y)=0$ 及 $F(z)=$

0,可以得到系统的 14 个纳什均衡点,其中包含 8 种纯策略解,只讨论 $Q_1(0,0,0)$ 、 $Q_2(0,0,1)$ 、 $Q_3(0,1,0)$ 、 $Q_4(0,1,1)$ 、 $Q_5(1,0,0)$ 、 $Q_6(1,0,1)$ 、 $Q_7(1,1,0)$ 、 $Q_8(1,1,1)$ 8 个点的渐近稳定性,其他点 Q_9 、 Q_{10} 、 Q_{11} 、 Q_{12} 、 Q_{13} 、 Q_{14} 虽处于演化博弈域的边界内,但处于非渐进稳定状态,不予讨论,则 Jacobian 矩阵为

$$J = \begin{vmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (1-2x)(S_1-C_4+K_4-C_5-yK_2-zyK_1) & x(1-x)(-K_2-zK_1) & x(1-x)(-yK_1) \\ y(1-y)K_2 & (1-2y)[xK_2+P_1-C_2-C_3+S_2+z(C_2-I_1)-P_2] & y(1-y)(-I_1C_2) \\ z(1-z)(K_1+K_3)y & z(1-z)[(K_1+K_2)x+I_1] & (1-2z)[(K_1+K_3)xy+(-C_1yI_1)] \end{vmatrix} \quad (19)$$

将上述 8 个纯策略均衡点分别代入系统的 Jacobian 矩阵,并根据假设中设定的基本条件,可得到具体特征值及其稳定性情景,如表 3 所示。

2.3.2 均衡点稳定性分析

若纳什均衡点的特征值符号均为负,则该点为稳定点;若纳什均衡点为正,则该点为不稳定点;若存在纳什均衡点出现 0,则该均衡点处于临界状态,无法判定是否为稳定点。以下是 8 个纯策略解纳什均衡点的特征值符号及稳定性(表 4)。

重点在于研究政府的策略对营商环境水平提升的作用以及政策对企业和金融机构产生的影响,数字营商环境水平的提升不仅是国家及政府建设的重要任务,还是地方政府提高社会经济水平的重要途径,营商环境水平给国家和政府带来的潜在效益远远大于政府的投入成本,企业数字化带来的效益也远远大于金融机构的利息,当企业不与时俱进,不进行数字化革新,所带来的负面影响可能会使企业被时代所淘汰;则 $S_1+K_4>C_4+C_5+K_2+K_1$, $P_1+S_2-C_3-P_2>I_1$, 即政府建设自身和监督金融机构的成本小于营商环境给政府带来的正面效应和上级政府的奖励,企业进行数字化革新带来的纯利润要大于银行贷款的利息,在这种前提下产生以下四种情况。

(1)情况一:当 $I_1>C_1$, $P_1+S_2-C_3-P_2>C_2$ 时,金融机构的贷款利息大于金融机构参与建设数字营商环境的成本,企业数字化革新后的经营方式

带来的纯利益与传统经营方式的利益之差大于自主筹款的成本时,演化博弈的稳定点为 $Q_8(1,1,1)$,即政府选择建设营商环境,企业选择建设营商环境,金融机构选择建设营商环境;政府可以选择适当调整降低财政支出。

(2)情况二:当 $I_1<C_1$, $P_1+S_2-C_3-P_2<C_2$ 时,金融机构的贷款利息大于金融机构参与建设数字营商环境的成本,企业数字化革新后的经营方式带来的纯利益与传统经营方式的利益之差小于自主筹款的成本,当企业自主筹措成本过高时且政府补贴企业建设数字营商环境后的利益大于企业自主筹措成本时,稳定点为 $Q_8(1,1,1)$;当企业自主筹措成本过高政府补贴不足时会出现稳定点 $Q_5(1,0,0)$;这时政府需要加大对企业的财政补贴,以确保企业和金融机构选择参与数字营商环境优化。

(3)情况三:当 $I_1>C_1$, $P_1+S_2-C_3-P_2>C_2$ 时,金融机构的贷款利息小于金融机构参与建设数字营商环境的成本,企业数字化革新后的经营方式带来的纯利益与传统经营方式的利益之差大于自主筹款的成本,由于对 K_1 、 K_3 与建设成本大小难以判断,此时没有稳定点;当 $I_1-C_1+K_3+K_1>0$ 时,稳定点为 $Q_8(1,1,1)$,即三方均建设营商环境;当 $-C_1I_1+K_3+K_1<0$,此时政府对金融机构的补贴和惩罚小于金融机构参与数字化建设的纯利润,稳定点为 $Q_7(1,1,0)$ 。

表 3 Jacobin 矩阵均衡点及特征值

均衡点	λ_1	λ_2	λ_3
$Q_1(0,0,0)$	$S_1 - C_4 + K_4 - C_5$	$P_1 - C_2 - C_3 + S_2 - P_2$	$-C_1$
$Q_2(0,0,1)$	$-(S_1 - C_4 + K_4 - C_5)$	$P_1 - C_2 - C_3 + S_2 - P_2 + K_2$	$-C_1$
$Q_3(0,1,0)$	$S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - K_2$	$-(P_1 - C_2 - C_3 + S_2 - P_2)$	$-C_1 I_1$
$Q_4(0,1,1)$	$S_1 - C_4 + K_4 - C_5$	$P_1 - C_3 + S_2 - I_1 - P_2$	C_1
$Q_5(1,0,0)$	$-(S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - K_2)$	$-(K_2 + P_1 - C_2 - C_3 + S_2 - P_2)$	$K_1 + K_3 + (-C_1 I_1)$
$Q_6(1,0,1)$	$-(S_1 - C_4 + K_4 - C_5)$	$K_2 + P_1 - C_3 + S_2 - I_1 - P_2$	C_1
$Q_7(1,1,0)$	$S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - K_2 - K_1$	$-(P_1 - C_3 + S_2 - I_1 - P_2)$	$-(-C_1 I_1)$
$Q_8(1,1,1)$	$-(S_1 - C_4 + K_4 - C_5 - K_2 - K_1)$	$-(K_2 + P_1 - C_3 + S_2 - I_1 - P_2)$	$-[K_1 + K_3 + (-C_1 I_1)]$

表 4 纯策略纳什均衡点的特征值符号和稳定性判断

均衡点	情况一				情况二				情况三				情况四			
	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性
$Q_1(0,0,0)$	+	+	-	不稳定	+	-	-	不稳定	+	+	-	不稳定	+	-	-	不稳定
$Q_2(0,0,1)$	+	+	+	不稳定	+	+	+	不稳定	+	+	+	不稳定	+	+	+	不稳定
$Q_3(0,1,0)$	+	-	+	不稳定	+	+	+	不稳定	+	-	-	不稳定	+	+	-	不稳定
$Q_4(0,1,1)$	+	-	-	不稳定	+	-	-	不稳定	+	-	+	不稳定	+	-	+	不稳定
$Q_5(1,0,0)$	-	+	-	不稳定	-	*	-	不稳定	-	+	-	不稳定	-	*	-	不稳定
$Q_6(1,0,1)$	-	+	+	不稳定	-	+	+	不稳定	-	+	+	不稳定	-	+	+	不稳定
$Q_7(1,1,0)$	-	-	+	不稳定	-	*	+	不稳定	-	-	*	不稳定	-	*	*	不稳定
$Q_8(1,1,1)$	-	-	-	ESS	-	-	-	ESS	-	-	*	不稳定	-	-	*	不稳定

注: + 表示 λ 值的符号为正; - 表示 λ 值的符号为负; * 表示 λ 值的符号不确定。

(4)情况四:当 $I_1 < C_1$, $P_1 + S_2 - C_3 - P_2 < C_2$ 时,金融机构的贷款利息小于金融机构参与建设数字营商环境的成本,企业数字化革新后的经营方式带来的纯利益与传统经营方式的利益之差小于自主筹款的成本,由于对 K_1 、 K_2 、 K_3 与建设成本大小难以判断,此时没有稳定点;当 $K_2 + P_1 + S_2 - C_3 - P_2 < C_2$ 且 $K_1 + K_3 + I_1 - C_1 < 0$ 时,此时稳定点为 $Q_5(1,0,0)$;当 $K_2 + P_1 + S_2 - C_3 - P_2 < C_2$ 且 $K_1 + K_3 + I_1 - C_1 > 0$ 时,此时稳定点为 $Q_5(1,0,0)$ 和 $Q_8(1,1,1)$;当 $K_2 + P_1 + S_2 - C_3 - P_2 > C_2$ 且 $K_1 + K_3 + I_1 - C_1 < 0$ 时,此时稳定点为 $Q_7(1,1,0)$;当 $K_2 + P_1 + S_2 - C_3 - P_2 > C_2$ 且 $K_1 + K_3 + I_1 - C_1 > 0$ 时,此时稳定点为 $Q_5(1,0,0)$ 。

3 数字营商环境三方演化博弈模型数值仿真实验及分析

3.1 演化博弈模型数值仿真参数取值

综合以上演化博弈模型,在参考相关文献和相关研究专家意见的基础上,根据本模型的实际情况,选取了 4 组参数如表 5 所示。

3.2 政府、企业和金融机构演化博弈结果仿真分析

为仿真验证演化博弈稳定分析的有效性,通过 Matlabr2023b 对政府、企业和金融机构在数字营商环境优化中的演化博弈结果进行系统演化仿真,分析仿真结果如图 2~图 5 所示。

表 5 数组相关参数的取值

变量	取值 I	取值 II	取值 III	取值 IV
P_1	0.8	0.8	0.8	0.8
P_2	0.3	0.3	0.3	0.3
I_1	0.4	0.4	0.05	0.05
C_1	0.2	0.2	0.2	0.2
C_2	0.5	0.8	0.5	0.8
C_3	0.4	0.4	0.4	0.4
C_4	0.4	0.4	0.4	0.4
C_5	0.3	0.3	0.3	0.3
K_1	0.1	0.1	0.05	0.0
K_2	0.2	0.05	0.2	0.0
K_3	0.2	0.2	0.05	0.0
K_4	0.3	0.3	0.3	0.3
S_1	1.0	1.0	1.0	1.0
S_2	0.6	0.6	0.6	0.6

由图 2~图 5 可知,演化 100 轮后的稳定策略为(1,1,1),即政府选择建设营商环境,企业选择进行数字化革新,金融机构选择贷款;数组 III 仿真 100 次后的演化稳定策略为(1,1,0),即政府建设营商环境,企业选择进行数字化革新,金融机构选择不贷款;数组 IV 仿真 100 次后的演化稳定策略为(1,0,0),即政府建设营商环境,企业选择不进行数字化革新,金融机构选择不贷款,以上数值仿真均与上文对均衡点稳定性分析的结果一致。

3.3 演化博弈策略意愿比例系统演化仿真分析

通过 MATLAb2023b 对政府、企业和金融机

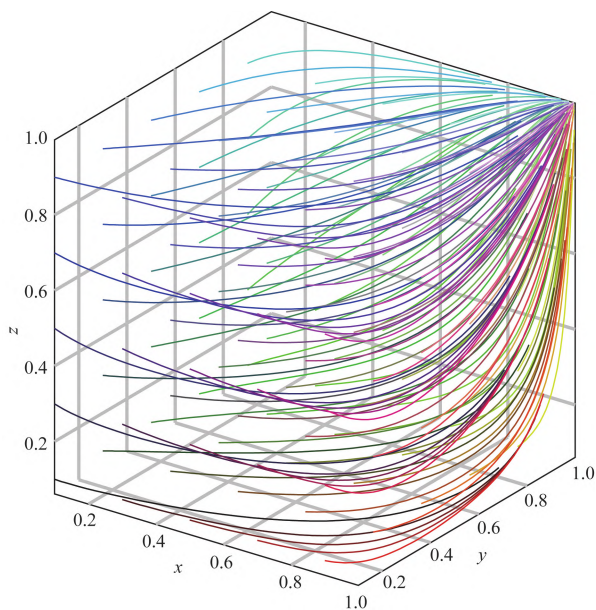


图2 数组Ⅰ仿真演化结果

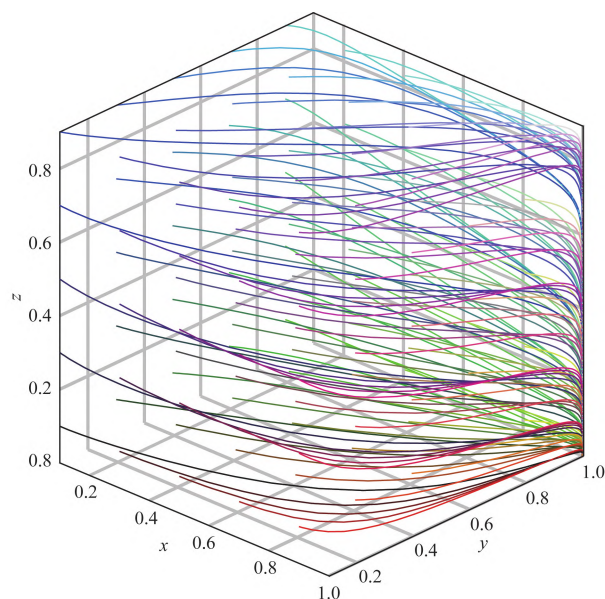


图4 数组Ⅲ仿真演化结果

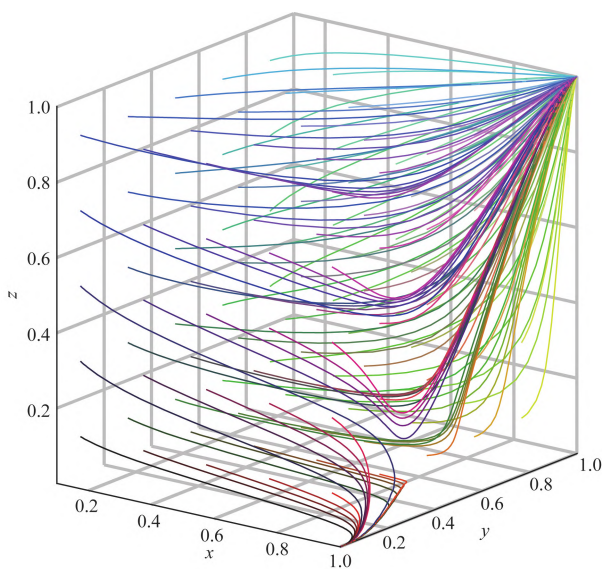


图3 数组Ⅱ仿真演化结果

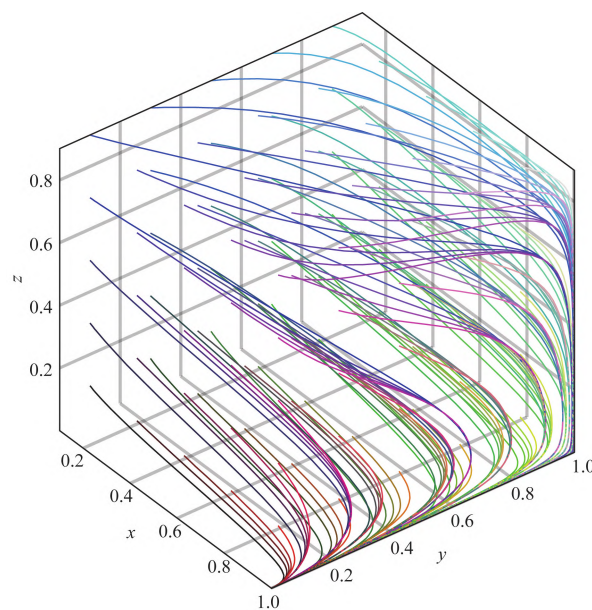


图5 数组Ⅳ仿真演化结果

构在数字营商环境优化中的策略意愿比例进行系统演化仿真分析,设定初始时刻政府、企业和金融机构选择各自策略的比例分别为 x 、 y 、 z ; 这些初始条件反映各方在没有任何外界干预时的自然状态,其他参数不变,设定仿真时间为 t ,从 $t=0$ 到 $t=50$,通过不同时间点的仿真结果,可以观察各方策略意愿比例的动态变化过程,各方策略选择比例初始值为 x 、 y 、 $z=0.2, 0.5, 0.8$ 其他条件不变的情况下,将数组Ⅰ代入仿真系统,仿真结果如图6~图8所示。

图6显示了政府策略选择比例初始值 x 为

0.2、0.5、0.7的情况下,政府的策略选择比例 x 的变化趋势。可以看出,初始比例越高,政府选择建设数字营商环境的意愿越强,且最终趋于稳定;图7显示了企业策略选择比例初始值 y 为 0.2、0.5、0.7的情况,初始比例越高,企业选择进行数字化革新的意愿越强;图8显示了金融机构策略选择比例初始值 z 为 0.2、0.5、0.7的情况;对比政府和企业,金融机构的参与数字化意愿比较低,收敛速度较慢。总的来说,初始策略选择比例对政府、企业和金融机构的策略演化具有显著影响,初始比例越高,各

方选择建设数字营商环境的意愿越强,并且达到稳定状态的时间越短,在情况一的数值参数下,三方的策略选择都是参与数字营商环境优化,策略点为 $Q_8(1,1,1)$ 。

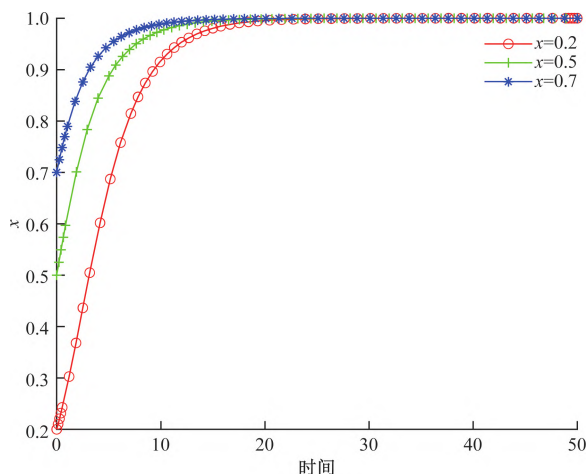


图6 政府的策略选择比例 x 的变化趋势

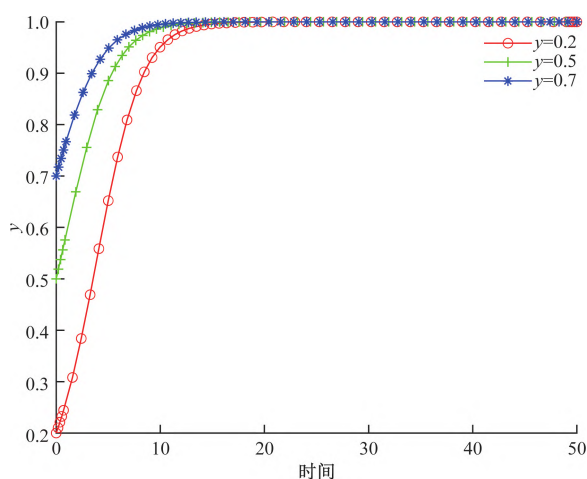


图7 企业的策略选择比例 y 的变化趋势

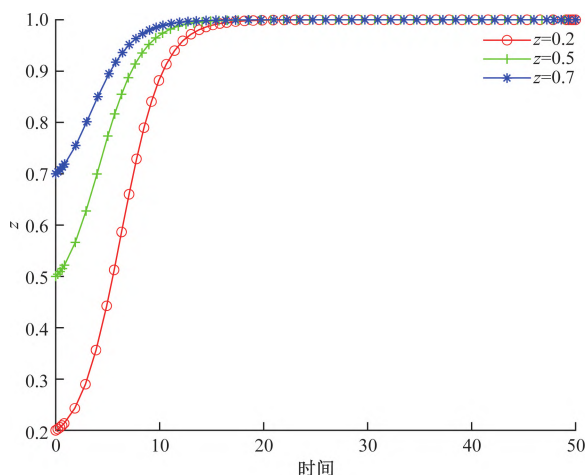


图8 金融机构的策略选择比例 z 的变化趋势

3.4 影响因素对三方策略影响仿真分析

3.4.1 贷款利息对企业数字化建设策略影响仿真

图9中横轴表示时间,纵轴表示企业选择数字化革新策略的比例 y ,图线分别对应不同的贷款利率 I_1 ,具体包括 $I_1=0.05$, $I_1=0.25$, $I_1=0.4$ 和 $I_1=0.6$ 。

从图9中可以观察到,在较低贷款利率 $I_1=0.05$ 条件下,企业选择数字化革新策略的比例 y 增长速度较快,并且在较短时间内趋近于1,即大多数企业都倾向于选择数字化革新策略。随着贷款利率的增加,企业选择数字化革新策略的比例 y 增长速度逐渐减慢,在贷款利率较低的情况下,企业更倾向于选择数字化革新策略,因为较低的贷款成本使得数字化革新的投资回报更具吸引力;而在贷款利率较高的情况下,企业承担的贷款成本增加,导致其选择数字化革新策略的意愿下降。

3.4.2 政府对金融机构政策有效性系统仿真

图10和图11显示是 K_1 、 K_3 对政府 x 和金融机构 z 的策略影响,图线是在政府监督时金融机构参与数字化建设时政府的额外补贴 K_1 ,金融机构不参与数字化建设时政府的惩罚 K_3 。

由图10可知,金融机构选择参与数字化建设的比例随着时间的推移也逐渐增加,当 K_1 较高时,金融机构的策略比例上升速度也更快,并最终达到较高的稳定值,这表明政府对金融机构的补贴能显著激励金融机构参与数字化建设;由图11可知,金融机构选择参与数字化建设的比例也随着时间的推移逐渐增加,当 K_3 值较高时,金融机构的策略比例上升速度较快,并最终达到较高的稳定值,这表明

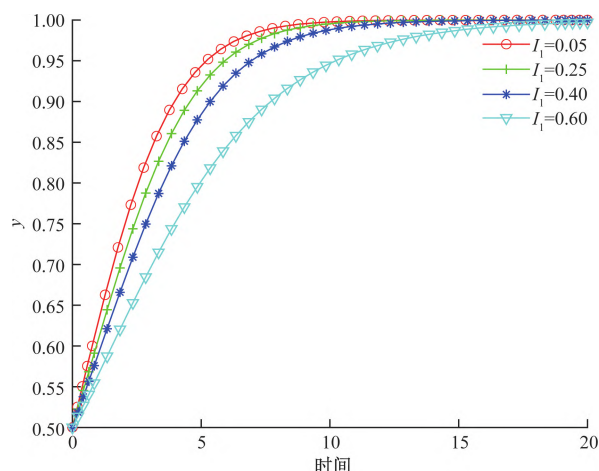


图9 金融机构利息对企业数字化建设博弈策略的影响

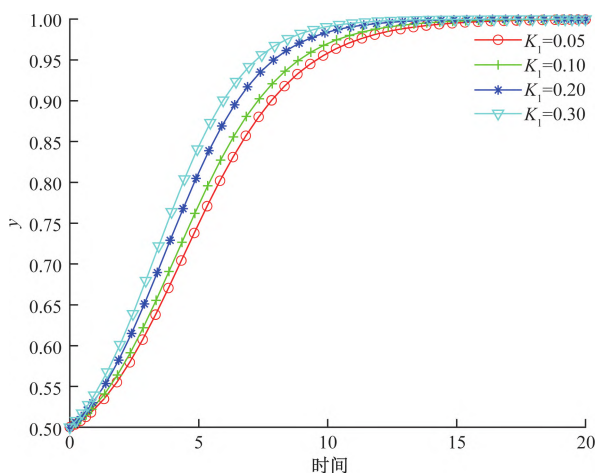


图 10 政府的额外补贴对金融机构策略影响

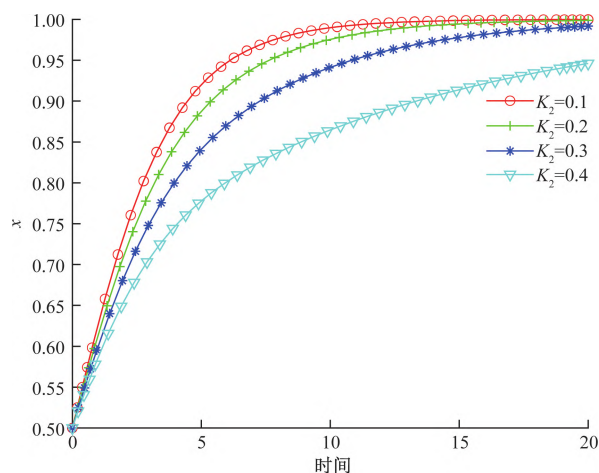


图 12 政府的额外补贴对政府策略影响

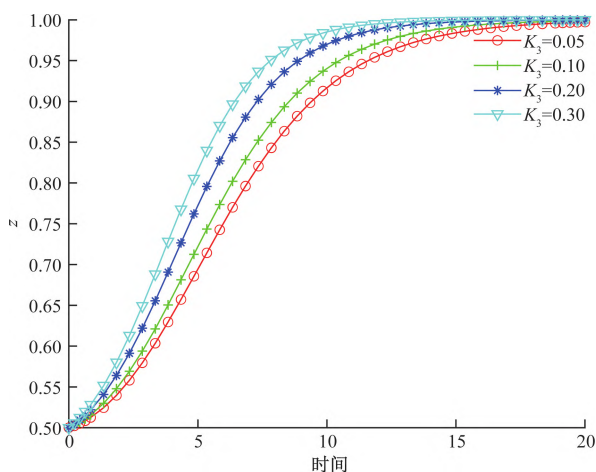


图 11 政府的惩罚对金融机构策略影响

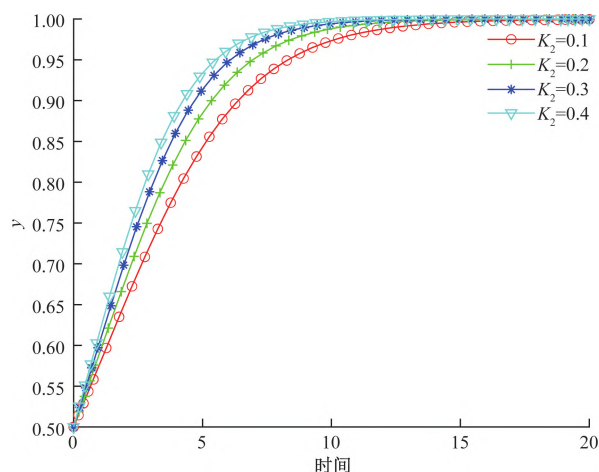


图 13 政府的额外补贴对企业策略影响

政府对不参与数字化建设的金融机构的惩罚力度越大,确实能显著激励金融机构参与数字化建设;然而,需要注意的是,过高的惩罚可能会引发金融机构的抵触情绪,需要在补贴和惩罚之间找到一个平衡点。

3.4.3 政府对企业政策有效性系统仿真

图 12 和图 13 是 K_2 对政府 x 及企业 y 的策略影响,图线是政府对企业进行数字化革新的补贴 K_2 。

由图 12 可知,随着 K_2 的增加,政府选择建设数字营商环境的概率反而逐渐下降,这表明当政府提供更多补贴给企业进行数字化革新时,其自身对建设营商环境的投入意愿降低;由图 13 可知,随着 K_2 的增加,企业选择进行数字化革新的概率逐渐提高。当补贴较高时,企业更有动力进行数字化革新,因为政府的补贴可以抵消企业数字化革新的成本,带来更高的利润。

4 结论与建议

4.1 结论

本文研究了数字营商环境优化中政府、企业和金融机构的三方演化博弈模型,通过数值仿真实验分析了不同策略选择比例及其演化过程,并探讨各方决策的灵敏度及其对系统的影响。得出以下主要结论。

(1)企业在进行数字化转型时,其策略选择比例受金融机构贷款利息、政府补贴、数字化建设成本以及自主筹款成本和营商环境水平提高带来的正面效应等因素影响,企业的数字化建设成本、自主贷款成本以及金融机构贷款利息与其策略选择呈负相关关系,较低的金融机构贷款利息和政府补贴能够显著提升企业的数字化转型意愿,较高的自主筹款成本和额外投入成本会抑制企业的转型积极性。

(2)上级政府的奖励对地方政府建设数字营商

环境的积极性有显著激励作用,随着上级政府奖励的增加,政府选择进行数字化营商环境优化的概率明显上升,合理的奖励机制能够有效激励地方政府积极推动数字化转型,优化政务服务,提升区域经济竞争力。

(3)当政府、企业和金融机构的初始策略选择比例均较高时,系统能够更快达到稳定状态,三方均积极参与数字化营商环境优化,有助于整体数字化转型的快速推进,初始策略选择比例较低时,系统演化速度减慢,可能影响数字化建设的进程,因此,提高各方的初始参与意愿显得尤为关键。

(4)较低的贷款利息显著促进企业选择进行数字化革新策略,初始利息水平对金融机构的策略选择具有负相关影响,较高的利息水平会增强金融机构的积极性,合理的利息定价策略对于推动企业数字化转型及数字营商环境优化至关重要。

4.2 建议

基于的研究结论,从政府、企业、金融机构三个方面提出以下对策与建议。

(1)根据企业规模、行业特点和数字化转型的实际需求,制定精准的补贴政策。对中小企业应给予更多的财政补贴,以弥补其在数字化转型中面临的资金不足问题,建立透明、公正的补贴资金发放机制,确保补贴资金及时、足额到位,通过设立专项账户和定期审核机制,防止补贴资金的挪用和滥用,设立创新基金,支持企业在技术研发、设备更新和人才培养方面的投入,对于在数字化转型中取得显著成果的企业,应给予额外的奖励和表彰。针对金融机构在支持企业数字化转型过程中存在的消极行为,制定相应的惩罚措施,如罚款、降低信用评级等措施。

(2)加大对技术研发的投入,特别是在数字化技术和智能制造方面的研发。通过自主研发和引进先进技术,提升企业的核心竞争力,加大对技术人才的培养力度,建立完善的人才培养体系,与高校和科研机构的合作,引进高素质的技术人才,形成稳定的技术团队,建立完善的数据管理系统,确保数据的准确性、完整性和安全性;通过数据分析和挖掘,提升企业的决策能力和运营效率,推行数字化管理模式,利用信息化手段提升企业的管理水平,引入企业资源计划(enterprise resource planning,ERP)系统、客户关系管理(customer relationship management,CRM)系统等信息化工具,实现企业各部门的信息共享和协同运作。

(3)针对数字化转型的企业提供低息贷款,降低企业融资成本,激励企业积极进行数字化革新;设立长期贷款产品,为企业提供充足的资金支持,确保企业能够顺利完成数字化转型;建立健全的风险评估机制,对数字化转型企业进行全面的风险评估,确保贷款安全;与政府和其他金融机构合作,建立风险分担机制,共同承担数字化转型过程中的风险,降低金融机构的风险压力。

参考文献

- [1] 余晓晖. 全球数字经济白皮书(2023)[R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2024.
- [2] 余晓晖. 中国数字经济发展研究报告(2023年)[R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2024.
- [3] 张春飞, 杨媛, 马潇宇. 数字营商环境的变革逻辑、发展挑战及优化路径[J]. 电子政务, 2024(4): 90-100.
- [4] 刘新智, 黎佩雨, 周韩梅. 营商环境优化、数字经济发展与经济发展质量提升——基于281个城市的实证研究[J]. 宏观质量研究, 2024, 12(3): 32-46.
- [5] 董小君, 宋玉冰. 中国省级数字营商环境指数测度及时空演进特征分析[J/OL]. 重庆理工大学学报(社会科学), 1-21[2024-09-01]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1205.T.20240805.1550.002.html>.
- [6] 李剑培, 时洁, 顾乃华. 数字政府建设对企业数字化转型的溢出效应研究——来自政府采购合同大数据的证据[J/OL]. 南方经济, 1-22[2024-08-30]. <https://doi/10.19592/j.cnki.scje.411477>.
- [7] 杨越, 顾伟, 吕奕鹏, 等. 医院医用耗材SPD供应链配送商风险管理研究[J]. 中国医院, 2024, 28(2): 9-12.
- [8] 杨芳芳, 宋雪雁. 自媒体平台信息传播中信息茧房形成的演化博弈研究[J]. 情报科学, 2023, 41(12): 48-56.
- [9] 蔡乌赶, 许凤茹. 碳交易制度下企业低碳技术创新的激励研究[J]. 管理现代化, 2024, 44(3): 110-117.
- [10] 景芳, 李基成, 雷海宁. 新发展格局视角下飞地经济多方主体演化博弈——基于系统动力学[J]. 经济论坛, 2022(6): 130-145.
- [11] 刘钻扩, 李宇, 李守伟, 等. 基于融资模式视角的第三方市场合作稳定策略研究[J]. 中国管理科学, 2024, 32(8): 36-50.
- [12] 李志军. 我国城市营商环境的评价指标体系构建及其南北差异分析[J]. 改革, 2022(2): 36-47.
- [13] 杜运周, 刘秋辰, 陈凯薇, 等. 营商环境生态、全要素生产率与城市高质量发展的多元模式——基于复杂系统观的组态分析[J]. 管理世界, 2022, 38(9): 127-145.
- [14] 张圣忠, 张国强. 考虑奖惩机制的网络货运平台演化博弈研究[J/OL]. 综合运输, 1-10[2024-09-07]. <https://doi.org/10.20164/j.cnki.cn11-1197/u.20240328.001>.
- [15] 邹秀清, 郑卓琳, 顾嘉雯, 等. 政府监管下商业银行房地产开发贷款三方演化博弈及仿真分析[J]. 管理现代化, 2023, 43(6): 50-60.

Triparte Evolutionary Game and Simulation Analysis on the Optimization of Digital Business Environment between Government, Enterprises and Financial Institutions

CHEN Mei, LI Yangang

(School of Economics and Management, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110000, China)

Abstract: With the rapid development of the digital economy, optimizing the digital business environment has become a key approach for countries to enhance their economic competitiveness. The roles and interaction mechanisms between the government, enterprises, and financial institutions in this process still require in-depth exploration. Based on the context of digital transformation, the triparte evolutionary game between the government, enterprises and financial institutions in the optimization of the digital business environment was investigated. Through literature analysis, the interactions and strategy choices of each actor in the digitalization process were examined, and a triparte evolutionary game model was constructed. The dynamic evolutionary paths of the actors under different strategy combinations were simulated using replicator dynamic equations, and the model's validity was verified through numerical simulations using Matlab. The results indicate that government policy support, enterprise digital transformation and financial institutions' financing services are closely linked in the process of optimizing the business environment. The synergy between the three can effectively enhance the overall level of the digital business environment. Theoretical foundations and practical references are provided for promoting the development of the digital economy and optimizing the business environment.

Keywords: government-led; digital business environment optimization; evolutionary game; simulation analysis