

文章编号: 1000-5862(2021)01-0026-06

金融错配影响企业创新模式选择的演化博弈分析

张 宇¹, 刘斌斌^{2*}

(1. 南昌大学理学院, 江西 南昌 330031; 2. 江西师范大学财政金融学院, 江西 南昌 330022)

摘要: 该文首先基于演化博弈理论构建金融错配影响企业创新模式选择的收益矩阵, 然后基于演化博弈的复制演化动态方程求解博弈稳定均衡解, 最后进行数值模拟仿真. 研究结果表明: 企业选择原始发明创新与 2 次创新的演化策略存在 $(0, 0)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1, 0)$ 和 $(1, 1)$ 4 个均衡点; 当金融错配程度及企业研发成功概率分别处于一方恒定而另一方变化状态时, 2 类企业选择原始发明创新的概率随时间变化分别呈现出线性或非线性递增、递减及无序化等多样性特征.

关键词: 金融资源错配; 演化博弈; 数值仿真

中图分类号: F 224.0 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2021.01.04

0 引言

自 20 世纪初奥地利经济学家 J. A. Schumpeter^[1]提出创新概念以来, 技术创新已经成为一个企业能否获得市场优势的重要因素. 企业是否进行技术创新及其具体的模式选择取决于其对不同技术创新模式间的成本-收益分析, 更离不开健全金融体系的支撑^[2]. 虽然中国现有金融机构较完善、金融体制较为健全, 但是 Z. M. Song 等^[3]、靳来群^[4]以及刘斌斌等^[5]的研究结果表明: 中国金融资源配置扭曲现象较明显, 严重影响到企业内部的决策. 值得思考的一个问题是: 金融资源的错配将如何影响到企业的技术创新模式选择?

基于有限理性假定, 演化博弈理论将经典博弈与生物进化论结合在一起, 主要研究具有有限理性的参与者在重复博弈过程中如何调整自身的行为来增加收益^[6]. 虽然文献 [7-10] 基于演化博弈模型对企业技术创新行为进行了广泛探讨, 但迄今为止鲜有对金融资源错配如何影响企业技术创新模式选择进行深度研究的报道. 本文将基于演化博弈模型, 在构建受和未受金融资源错配影响的 2 类企业收益矩阵的基础上, 通过构造并求解演化复制动态方程来探讨在金融错配约束下企业的最佳技术创新模式选择均衡解; 在对相关参数进行赋值后, 进一步对所得

结论进行模拟仿真, 以探寻在金融错配约束下的企业最佳技术创新模式的行为选择.

1 基本假设与模型构建

假设参与博弈的企业有 2 个, 设企业 A 为未受到错配影响的企业, 而企业 B 为受到错配影响的企业, 且 2 个企业都是有限理性的. 在创新模式选择方面, 企业 A 与企业 B 都可以选择原始发明创新或 2 次创新, 且选择具有对称性, 故 2 者的策略集都为 {原始发明创新, 2 次创新}; 假设企业 A 对原始发明创新方式的选择概率是 x ; 企业 B 对原始发明创新方式的选择概率是 y .

相对于 2 次创新而言, 原始发明创新难度更大、风险更高. 为简单起见, 这里假设企业进行原始发明创新成功的概率为 g ($0 \leq g < 1$). 当企业进行原始发明创新成功时, 将得到收益 R , 若失败则得不到任何创新收益. 为了突出这 2 类不同创新模式选择所存在的成本差异, 这里假设企业进行 2 次创新的研发投入为 0, 而进行原始发明创新的研发成本为 C . 政府对进行原始发明创新的企业(无论结果是否成功)给予补贴, 对于 2 次创新政府不会给予相应补贴. 设 s 为政府对企业原始发明创新研发投入的补贴程度系数, 则企业进行原始发明创新所得到的政府补贴为 sC . 选择 2 次创新的企业虽无研发成本及

收稿日期: 2020-11-27

基金项目: 国家社会科学基金(17BJY035)资助项目.

通信作者: 刘斌斌(1977-), 男, 江西九江人, 副教授, 博士, 主要从事应用统计研究. E-mail: binbinliu163@163.com

补贴,但仍可以获得2次创新所带来的收益 r ($r < R$).

假设市场上只有2个企业,当企业原始发明创新成功时,它将占有更多的市场份额、获得更多的收益.因此,当企业选择原始发明创新并获得成功时,将从另一个企业得到潜在收益 R_0 ($0 < R_0 < r$),另一个企业则因市场份额的下降或技术的落后而损失 R_0 .假设企业B所面临的金融资源错配程度大小为

表1 企业A与B演化博弈收益矩阵

收益:(企业A 企业B)

| | 企业B(受错配影响) | |
|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| | 原始发明创新 | 2次创新 |
| 企业A(未受错配影响) | 原始发明创新 $(s-1)C + gR$ | 2次创新 $(s-1)C + g(R+R_0)$ |
| | $(s-1-\theta)C + gR$ | $r(1-\theta) - R_0$ |
| | $r - R_0$ | $(s-1-\theta)C + g(R+R_0)$ |
| | | r |

2 演化博弈模型分析

根据以上假设,可以分别得到企业A在原始发明创新和2次创新下的预期收益 U_{AY} 和 U_{AN} 分别为 $U_{AY} = (s-1)C + g(R+R_0) - gR_0y$, $U_{AN} = r - R_0y$,从而企业A的收益期望 $E(U_A)$ 为

$$E(U_A) = xU_{AY} + (1-x)U_{AN}.$$

同理,企业B在原始发明创新和2次创新下的预期收益 U_{BY} 和 U_{BN} 分别为

$$U_{BY} = (s-1-\theta)C + g(R+R_0) - gR_0x,$$

$$U_{BN} = r(1-\theta) - R_0x,$$

则企业B的收益期望 $E(U_B)$ 为

$$E(U_B) = yU_{BY} + (1-y)U_{BN}.$$

由演化复制动态方程的定义知,企业A的演化复制动态方程为

$$f(x) = dx/dt = x(1-x)(U_{AY} - U_{AN}) = x(1-x)((s-1)C + g(R+R_0) - r) - (g-1)R_0y. \quad (1)$$

对(1)式关于 x 求导,则有

$$f'(x) = (1-2x)((s-1)C + g(R+R_0) - r) - (g-1)R_0y.$$

由复制动态方程的稳定性定理知,作为稳定策略的 x 应满足 $f(x) = 0$ 且 $f'(x) < 0$ ^[11].为简便,设 $y^* = ((s-1)C + g(R+R_0) - r) / ((g-1)R_0)$,其中 $(g-1)R_0 < 0$, $0 \leq y \leq 1$.

(A₁) 若 $y^* = y$, $f(x) = 0$ 且 $f'(x) = 0$,则任何 x 都符合条件,都为稳定策略,即企业A选择的博弈策略都是稳定的.

(A₂) 若 $y^* < 0$,从而 $y^* < y$ 恒成立,则有

$$(s-1)C + g(R+R_0) - r > 0,$$

从而,由 $f'(1) < 0$ 且 $f'(0) > 0$ 可知 $x = 1$ 为演化稳定策略,即选择原始发明创新模式.

θ ,当企业B进行原始发明创新时,将产生额外的研发投入资金扭曲成本 θC .由于企业2次创新的研发投入成本被简化为0、收益为 r ,故当企业B选择2次创新时,会因为金融错配的发生而给其2次创新带来预期收益的损失 $r\theta$.根据上述假设得到博弈收益矩阵(见表1).

(A₃) 若 $y^* > 0$,而 $0 \leq y \leq 1$,则

(A₃₁) 当 $0 < y^* < y < 1$ 时,同(A₂), $x = 1$ 为演化稳定策略.

(A₃₂) 当 $0 < y < y^* < 1$ 时,有

$$(s-1)C + g(R+R_0) - r < 0,$$

$$|(s-1)C + g(R+R_0) - r| - |(g-1)R_0y| > 0.$$

由 $f'(1) > 0$ 且 $f'(0) < 0$ 可知 $x = 0$ 为演化稳定策略,即选择2次创新模式.

(A₃₃) 当 $y^* > 1 > y > 0$ 时,同(A₃₂), $x = 0$ 为演化稳定策略.

同理,根据演化复制动态方程的定义知,企业B的演化复制动态方程为

$$f(y) = dy/dt = y(1-y)(U_{BY} - U_{BN}) = y(1-y)(sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0) - (g-1)R_0x). \quad (2)$$

对(2)式关于 y 求导,则有

$$f'(y) = (1-2y)(sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0) - (g-1)R_0x).$$

为了简便,记

$$x^* = (sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0)) / ((g-1)R_0),$$

其中 $(g-1)R_0 < 0$, $0 \leq x \leq 1$.

(B₁) 若 $x^* = x$, $f(y) = 0$ 且 $f'(y) = 0$,则任何 y 都符合条件,企业B选择的博弈策略都是稳定的.

(B₂) 若 $x^* < 0$,从而 $x^* < x$ 恒成立,则有

$$sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0) > 0,$$

从而,由 $f'(1) < 0$ 且 $f'(0) > 0$ 可知 $y = 1$ 为演化稳定策略.

(B₃) 若 $x^* > 0$,而 $0 \leq x \leq 1$,则

(B₃₁) 当 $0 < x^* < x < 1$ 时,同(B₂), $y = 1$ 为演化稳定策略.

(B₃₂) 当 $0 < x < x^* < 1$ 时,有

$$sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0) < 0,$$

$$|sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0)| - |(g-1)R_0x| > 0.$$

1) $R_0 x | < 0$,

由 $f'(1) > 0$ 且 $f'(0) < 0$ 可知 $y = 0$ 为演化稳定策略.

(B₃₃) 当 $x^* > 1 > x > 0$ 时, 同(B₃₂) $y = 0$ 为演化稳定策略.

复制动态方程反映了博弈方学习的速度和方向. 当所得的复制动态方程为 0 时, 学习速度等于 0, 即在此博弈下的系统已经进入相对稳定的均衡状态^[12]. 因此, 由 $f(x) = 0$ 及 $f(y) = 0$ 联立可求出 5 个均衡点, 即 $(0, 0)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(1, 1)$ 、 (x^*, y^*) 将以 $E_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 表示. 这些均衡点能否成为演化稳定策略的均衡点将通过该系统的 Jacobian 矩阵加以判断. 只有当该 Jacobian 矩阵的行列式为正值且迹为负值时, 策略点才是稳定点. 对 2 个动态演化方程(1) 与(2) 求偏导后, 得到 Jacobian 矩阵

$$\begin{pmatrix} \partial f(x)/\partial x & \partial f(x)/\partial y \\ \partial f(y)/\partial x & \partial f(y)/\partial y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

根据稳定条件可知, 只需 $a_{11} < 0$ $a_{22} < 0$ 即可. 于是

(i) 对于 $E_1 = (0, 0)$, 有

$$a_{11} = (s-1)C + g(R+R_0) - r,$$

$$a_{22} = sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0),$$

则到达稳定的条件为

$$(H_1) (s-1)C + g(R+R_0) < r,$$

$$(H_2) (sC + g(R+R_0) > r) \cap (|sC + g(R+R_0) - r| < |(r+C)\theta|).$$

由条件(H_1) 若企业进行原始发明创新所得的总收益减去总成本所得的利润小于进行 2 次创新所产生的收益, 则它们将进行 2 次创新; 反之则选择原始发明创新; 对于条件(H_2), 企业进行原始发明创新所得的总收益减去总成本所得的利润大于进行 2 次创新所产生的收益, 然而受到金融资源错配因素的影响, 企业 B 将额外付出巨额成本, 故企业倾向于选择 2 次创新.

(ii) 对于 $E_2 = (0, 1)$, 有

$$a_{11} = (s-1)C + gR - R_0 - r,$$

$$a_{22} = -(sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0)),$$

则达到稳定的条件是

$$(g-1)R_0 + (C+r)\theta > 0.$$

对于企业 B 而言, 此时的总融资约束成本小于总收益, 它将选择进行原始发明创新; 而对于企业 A, 由于自身并未受到错配影响, 故在收益上, 对于企业 A 选择原始创新与 2 次创新无差异.

(iii) 对于 $E_3 = (1, 0)$ 经计算得

$$a_{11} = -(s-1)C + g(R+R_0) - r,$$

$$a_{22} = sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0) - (g-1)R_0.$$

则稳定条件是

$$(C+r)\theta + (g-1)R_0 > 0.$$

企业 B 选择原始发明创新的总利润小于总的融资约束成本, 该企业将放弃原始发明创新, 转而选择 2 次创新. 对于企业 A, 选择原始发明创新的总收益大于总成本, 此时选择原始发明创新, 可以为企业带来利益; 若概率较高, 则选择原始发明创新将更为稳妥.

(iv) 对于 $E_4 = (1, 1)$ a_{11} 、 a_{22} 及稳定条件分别为

$$a_{11} = -(s-1)C + g(R+R_0) - r - (g-1)R_0,$$

$$a_{22} = -(sC - (C+r)(1+\theta) + g(R+R_0) - (g-1)R_0),$$

$$0 < (C+r)\theta < (s-1)C + gR - r - R_0.$$

类似 E_3 , 企业 A 趋向于选择原始发明创新. 对于企业 B, 选择原始发明创新的总利润大于总的融资约束成本, 故选择原始发明创新对于企业自身更有机会获利; 企业 B 若选择 2 次创新, 则将存在失去市场竞争力的风险, 故选择原始发明创新对于自身获利机会最大.

(v) 对于 $E_5 = (x^*, y^*)$ 在该点处矩阵的迹为 0, 不符合定义, 故舍去.

上述博弈均衡分析如图 1 所示.

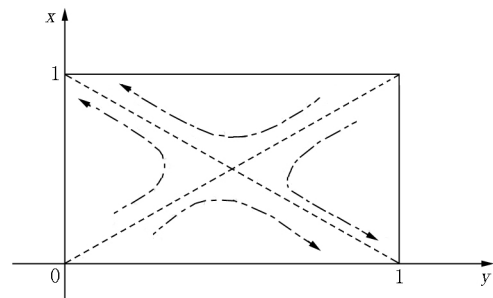
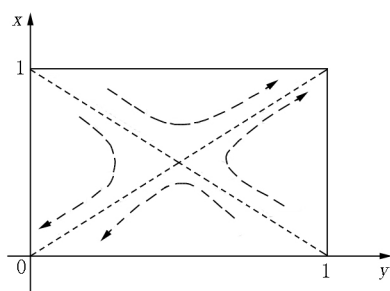


图 1 均衡点博弈分析图

3 数值仿真

为更加清楚地阐释2个企业之间的策略选择的稳定性,运用R4.0.0中的deSolve程序包作为仿真工具,这里将通过对相关参数进行赋值来分析参数变化所带来的具体影响.设定参数如下: $s = 0.6$, $g = 0.5$, $C = 15$, $R = 25$, $R_0 = 10$, $r = 16$, $\theta = 0.5$,数值不代表现实情况.令企业B对于原始发明创新的概率 $y = 0.2$ 或 $y = 0.8$,探究当企业B对原始发明创新的选择概率固定时,企业A在不同初始概率下选择概率的变动情况.根据现有相关研究成果,一般设定时间 t 为0~3 a.具体结果如图2与图3所示.

由图2可知,当企业B对原始发明创新的选择概率 y 为0.2时,企业A的概率曲线趋近于 $p = 1$ 的速率随自身初始概率的增大而减慢.具体来说,当初始概率为0.1时,曲线在 $t = 0.5$ 后减速趋近于 $p = 1$;其他概率曲线快速趋近于 $t = 0.5$ 或接近该点处到达概率最大值($p = 1$),且随着初始概率增大而速率放缓.

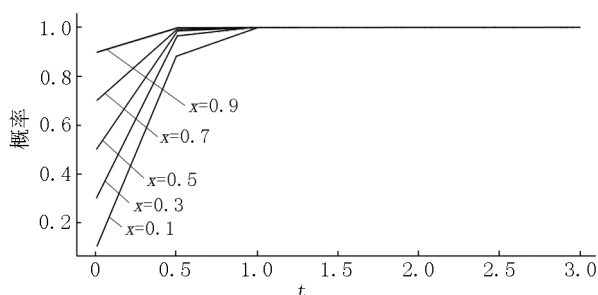


图2 企业A概率选择曲线($y = 0.2$)

由图3可知,当企业B选择原始发明创新的概率 y 为0.8时,企业A的选择概率曲线呈现出负线性相关,随着时间推移,概率下降;企业A的初始概率增大,曲线呈现出斜率增大的特点.

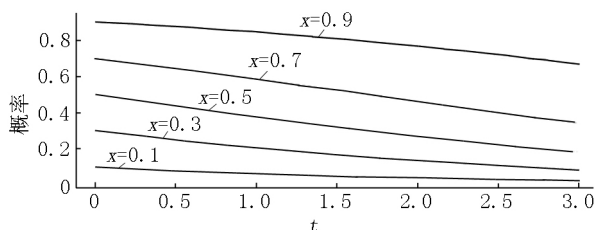


图3 企业A概率选择曲线($y = 0.8$)

这表明:当企业B对原始发明创新的选择意愿不强时,企业A对原始发明创新的选择意愿随着博弈初始选择概率的增大而减缓趋近于 $p = 1$ 的速率,即选择呈现在初始概率意义下的边际递减;当企业B的初始选择意愿强时,企业A呈现随时间推移的递减特点,且其初始选择概率越大,意愿减弱的趋势

越明显.

由图4和图5知,在企业A对原始发明创新选择的不同概率下,企业B的选择概率变化在2个图中无明显差别.随着企业B的初始概率增大,概率曲线在 $t = 0.5$ 前斜率增大,即趋近 $p = 0$ 的速率加快;当 $t > 0.5$ 时,曲线皆停留在 $p = 0$ 处.但由图4和图5知,2个图对应的概率曲线为 $y = m$ ($m \in \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$),当企业A对原始发明创新选择的概率处于较高水平时,概率曲线的斜率较小,即趋近速率较慢.这说明企业A对于原始发明创新的选择意愿增强在总体上抑制了企业B相应的选择意愿.

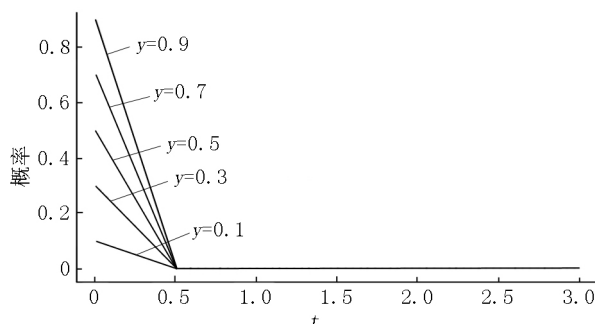


图4 企业B概率选择曲线($x = 0.2$)

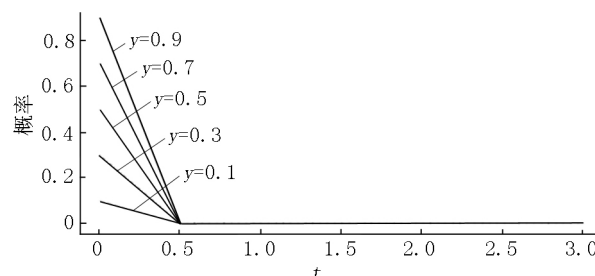


图5 企业B概率选择曲线($x = 0.8$)

又设定参数如下: $s = 0.6$, $C = 15$, $R = 25$, $R_0 = 10$, $r = 16$,初始概率 $(x_0, y_0) = (0.5, 0.5)$.对于 g 和 θ 进行数值变动,从而探究2者对于2个企业之间的创新方式有何影响.时间 t 为0~3 a.数值不代表现实情况.据此,设定 g 与 θ 的取值皆为 $\{0.2, 0.5, 0.8\}$,故共有9种情况,具体如图6所示.

一方面,就金融资源错配水平 θ 而言,当 θ 处于较低水平时,随着研发成功概率的上升,演化曲线呈现随企业A的选择概率上升企业B的选择概率也上升的特点;在 $g = 0.2$ 及 $g = 0.5$ 时为线性,而在 $g = 0.8$ 时为非线性,且随着企业A的选择概率上升,企业B的选择概率呈现边际递减效应;而当 θ 处于中等水平及较高水平时,曲线特点类似:在 g 值处于较低或较高时,随着企业A的选择原始发明创新概率上升,企业B的选择概率或边际递增或边际递减;在 g 处于中间值时,呈现非线性递减.

另一方面,就原始发明创新的研发成功概率 g 而言,当 g 处于较低水平时,随着金融资源错配程度上升,企业 A 的选择原始发明创新概率上升,企业 B 的选择概率也相应上升,但在错配水平较低时,曲线为线性,其他情况为非线性,且呈现边际递增的特点;当 g 处于中等水平且金融资源错配水平较低时,

曲线为递增的直线,在金融资源错配水平处于中等及较高水平时,曲线呈现非线性递减,特别地,在尾端处曲线趋近速率增大;当 g 处于较高水平时,曲线都呈现非线性增长,且呈现边际递减;随着金融资源错配水平增长,曲线光滑度下降。

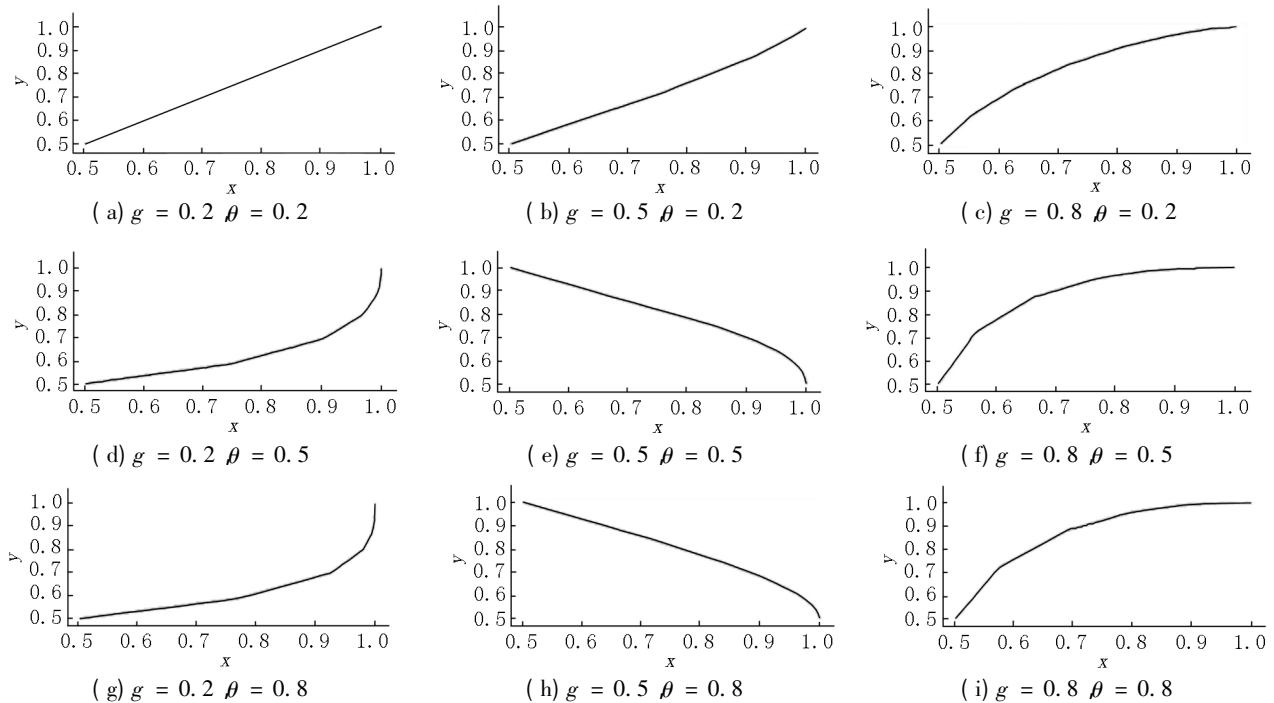


图6 基于相关条件参数设置的博弈双方概率演化

4 结论

本文在构建受和未受金融资源错配影响的2类企业收益矩阵的基础上,基于演化博弈理论得到演化复制动态方程以及各个博弈均衡点下演化复制动态方程组均衡性的成立条件;然后再利用数值模拟仿真对演化复制动态方程的部分参数进行差异化设置,以此对企业间均衡选择策略进行分析.研究结果发现:

1) 在基于演化复制动态方程求解出的均衡点中 $(0,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(1,0)$ 和 $(1,1)$ 在达到特定均衡条件时,系统将达到均衡稳定态,即企业将在特定条件下选择原始发明创新或2次创新.

2) 在受到金融资源错配的企业 B 相对应的概率 y 处于较低水平时,未受金融资源错配影响的企业 A 对原始发明创新的选择概率 x 呈现分段特征:在 $t \in (0,0.5)$ 时快速趋近于 $x=1$ 处;在 $t \in (0.5,3.0)$ 时,曲线处于恒常态;企业 A 的初始概率越大,概率曲线趋近于 $x=1$ 的速率越慢.在受到金融资源

错配的企业 B 相对应的概率 y 处于较高水平时,相应的概率曲线随时间呈现线性递减特征,即选择原始发明创新的概率 x 将随时间趋近到 0,此时企业 A 将选择 2 次创新;企业 A 的初始概率越大,概率曲线趋近到 $x=0$ 的速率越快.

3) 在未受到金融资源错配的企业 A 相对应的概率 x 处于较低或较高水平时,受金融资源错配影响的企业 B 对原始发明创新的选择概率 y 呈现分段特征:在 $t \in (0,0.5)$ 时快速趋近于 $x=0$ 处;在 $t \in (0.5,3.0)$ 时,曲线处于恒常态;企业 B 的初始概率越大,概率曲线趋近于 $x=0$ 的速率越慢.

4) 当研发成功概率 g 恒定于较小或较大值时,金融资源错配程度 θ 的加剧使得企业间的决策概率曲线呈现递增特征:当 θ 较小且 g 较小时,曲线为线性;当 θ 处于较高或中等水平时,曲线为非线性,且当 g 处于较小值时 θ 越大,曲线光滑度越低,并呈现边际递增特征;当 g 处于较大值时 θ 越大,曲线光滑度越低,并呈现边际递减特征;当 g 处于中等水平且 θ 较小时,曲线仍处于非线性递增,而当 θ 值继续上升时,曲线呈现非线性递减特征.

5 参考文献

- [1] Schumpeter J A. Business cycle [M]. New York: McGraw-Hill, 1939: 1044.
- [2] 房子琳,余丽斌.金融错配与企业技术创新模式选择[J].中国商论,2017(26):44-45.
- [3] Song Zheng Michael, Storesletten K, Zilibotti F. Growing like China [J]. The American Economic Review, 2011, 101(1): 196-233.
- [4] 靳来群.所有制歧视所致金融资源错配程度分析[J].经济学动态,2015(6):36-44.
- [5] 刘斌斌,严武,黄小勇.信贷错配对我国绿色技术创新的影响分析:基于地区环境规制差异的视角[J].当代财经,2019(9):60-71.
- [6] 乔根·W·威布尔.演化博弈论[M].王永钦,译.上海:上海人民出版社,2014.
- [7] 杨国忠,陈佳.企业突破性技术创新行为研究:基于前景理论的演化博弈分析[J].工业技术经济,2020,39(5):57-64.
- [8] 盛永祥,胡俊,吴洁,等.技术因素影响产学研合作创新意愿的演化博弈研究[J].管理工程学报,2020,34(2):172-179.
- [9] 王金涛,曲世友,冯严超.基于演化博弈的高新技术企业创新风险防控研究[J].科技管理研究,2019(23):19-24.
- [10] 魏巍,安同良.中国高铁技术引进与自主创新的博弈分析[J].南京社会科学,2019(7):19-25,46.
- [11] Taylor P D, Jonker L B. Evolutionarily stable strategies and game dynamics [J]. Mathematical Bioscience, 1978, 40(1/2): 145-156.
- [12] 陈学彬.博弈学习理论[M].上海:上海财经大学出版社,1999.

The Evolutionary Game Analysis on the Influence of Financial Resource Mismatch on Enterprise Innovation Mode Selection

ZHANG Yu¹, LIU Binbin^{2*}

(1. School of Science, Nanchang University, Nanchang Jiangxi 330031, China;
2. College of Finance, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

Abstract: Based on evolutionary game theory, the payoff matrix of financial mismatch affecting the choice of enterprise innovation mode is firstly constructed, and then the stable equilibrium solution of the game based on the replication evolution dynamic equation of evolutionary game is solved. Finally, a numerical simulation is carried out. It is found that there are $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$ and $(1, 1)$ evolutionary strategies for enterprises to choose original invention innovation and secondary innovation. When the degree of financial mismatch and the probability of R&D success of enterprises are in the state of one constant and the other changing, the probability of two types of enterprises choosing original invention and innovation shows the characteristics of linear or nonlinear increasing, decreasing and disorder with time.

Key words: financial resource mismatch; evolutionary game; numerical simulation

(责任编辑:曾剑锋)