

刘斌斌,王靖怡.人工智能影响经济增长的演化博弈分析[J].江西师范大学学报(自然科学版) 2023 47(5): 513-518.

LIU Binbin, WANG Jingyi. The evolutionary game analysis of artificial intelligence impacting economic growth [J]. Journal of Jiangxi Normal University(Natural Science) 2023 47(5): 513-518.

文章编号: 1000-5862(2023) 05-0513-06

人工智能影响经济增长的演化博弈分析

刘斌斌,王靖怡

(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人工智能影响经济增长的收益矩阵,然后构造并求解演化复制动态方程来探讨博弈双方的均衡解,最后进行数值模拟仿真.研究表明:人工智能和政府部门的演化博弈存在 $(0,0)$ 、 $(1,1)$ 2 个演化稳定策略(ESS)均衡点,且均衡点 $(1,1)$ 更具有稳定性.基于 Matlab 的模拟仿真分析表明:人工智能和政府部门共同选择积极发展所创造的协同收益与正向均衡点呈正相关,博弈主体选择积极策略的成本与其正向均衡选择呈负相关.

关键词: 人工智能; 经济增长; 演化博弈; 模拟仿真

中图分类号: F 224.0; F 124.3

文献标志码: A

DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2023.05.11

0 引言

在改革开放后的较长一段时间内,中国依靠劳动力、能源等生产要素的低成本优势实现了经济的高速增长.1978—2019 年,中国 GDP 保持了年均 9.4% 左右的增长速度,“高增长”所带来的成就举世瞩目.然而,近年来,随着劳动力要素供给下降、资源与环境压力逐渐增大,传统的粗放式经济增长模式已难以维持,经济效率的提升速度以及国内生产总值的增长速度也开始呈现逐年下降趋势^[1-2].在此背景下,提高全要素生产率、降低资源依赖程度的经济高质量发展方式成为中国经济长期稳定增长的必然选择.人工智能作为具有革命性意义的新兴技术,为中国转变经济发展方式提供了有效途径^[3-7].人工智能技术如今已发展至新时代人工智能产业化阶段,具有比以往阶段更大的广度与深度^[8],影响经济增长的路径较一般技术也更为广泛、更为深刻^[9-11].国务院印发的《新一代人工智能发展规划》(国发〔2017〕35 号)指出“人工智能成为经济发展的新引擎.人工智能作为新一轮产业变

革的核心驱动力,将进一步释放历次科技革命和产业变革积蓄的巨大能量,并创造新的强大引擎,重构生产、分配、交换、消费等经济活动各环节.”值得思考的一个问题是:人工智能的发展将如何影响经济增长?

演化博弈理论强调有限理性决策,认为博弈参与主体是有限理性的双方,其行为选择将处于不断调整与变化的过程,最终趋向于局部稳定^[12].现有研究肯定了人工智能对经济增长的作用^[13-17],但鲜有文献基于动态视角考察人工智能影响经济增长的路径演化.因此,在构建人工智能和政府部门博弈双方收益矩阵的基础上,本文将利用演化博弈分析来探究人工智能影响经济增长的机制,并深入了解人工智能影响经济增长的动态特征,以探寻人工智能赋能经济增长的战略决策.

1 基本假设与模型建构

假设在人工智能影响经济增长的博弈过程中,演化博弈的主体为人工智能和政府部门,且它们都是有限理性的.其中人工智能的策略集为(积极实施

收稿日期: 2023-06-05

基金项目: 国家社会科学基金重大招标课题(20&ZD068)和江西省社会科学规划地区基金(22DQ22)资助项目.

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

影响,消极实施影响),政府部门的策略集为(经济动能转换,经济动能乏力)。

假设人工智能选择积极实施影响的概率为 x ($0 \leq x \leq 1$), 则其选择消极实施影响的概率为 $1-x$; 设政府部门选择经济动能转换的概率为 y ($0 \leq y \leq 1$), 则其选择经济动能乏力的概率为 $1-y$ 。人工智能作为一种革命性技术, 其在发展过程中的正常收益为 U_1 , 若人工智能选择积极实施影响, 则需要投入大量的研发费用以精进算法程序或开发尖端技术, 从而产生投入成本 C_1 ; 同理, 政府部门的正常经济收益为 U_2 , 若政府部门选择经济动能转换, 则需要进行改革创新以探求经济发展新动力, 从而产生投入成本 C_2 。在这个博弈过程中, 假设当人工智能选择积极实施影响策略时, 政府部门选择经济动能转换策略, 那么人工智能产业能够获得更多的发展空间与经济政策支持, 进而反哺经济增长, 创造发展新动能。假设产生的协同收益为 R , 按照贡献程度分配额外收益, 人工智能分配比例为 a , 人工智能的额外收益记为 aR , 政府部门分配比例为 $(1-a)$, 政府部门的额外收益记为 $(1-a)R$, 其中 $0 \leq a \leq 1$ 。根据上述假设得到博弈收益矩阵(见表 1)。

表 1 人工智能影响经济增长的收益矩阵

		政府部门	
		经济动能转换	经济动能乏力
人工智能	积极影响	$U_1+aR-C_1, U_2+(1-a)R-C_2$	U_1-C_1, U_2
	消极影响	U_1, U_2-C_2	U_1, U_2

2 演化博弈模型分析

2.1 复制动态方程

根据表 1 的收益矩阵, 记人工智能“积极实施影响”策略的期望收益为 U_{11} , “消极实施影响”策略的期望收益为 U_{12} , 总体平均期望为 U_a , 其计算如下:

$U_{11}=U_1-C_1+ayR, U_{12}=U_1, U_a=x(ayR-C_1)+U_1$, 则对应的演化博弈复制动态方程为

$$f(x) = dx/dt = x(1-x)(ayR-C_1). \quad (1)$$

记政府部门“经济动能转换”策略的期望收益为 U_{21} , “经济动能乏力”策略的期望收益为 U_{22} , 总体平均期望为 U_b , 其计算如下:

$$U_{21}=(1-a)xR+U_2-C_2, U_{22}=U_2, U_b=y(xR-axR-C_2)+U_2,$$

则对应的演化博弈复制动态方程为

$$f(y) = dy/dt = y(y-1)(axR-xR+C_2). \quad (2)$$

联立式(1)和式(2), 可得到人工智能和政府部门的博弈主体动态复制系统:

$$f(x) = dx/dt = x(1-x)(ayR-C_1),$$

$$f(y) = dy/dt = y(y-1)(axR-xR+C_2). \quad (3)$$

2.2 博弈的演化均衡分析

令复制动态方程组(3)的方程 $f(x) = dx/dt = 0$, $f(y) = dy/dt = 0$, 可以得到人工智能和政府部门在动态博弈过程中的 5 个局部均衡点分别为 $A(0,0)$ 、 $B(1,0)$ 、 $C(0,1)$ 、 $D(1,1)$ 、 $E(C_2/(R-aR), C_1/(aR))$, 但是这些并非都是演化稳定策略的均衡点。局部均衡点的稳定性可以通过分析博弈系统的 Jacobian 矩阵来判断, 只有当 Jacobian 矩阵的行列式 $\det(J)$ 为正值且其迹 $\text{tr}(J)$ 为负值时, 局部稳定点才是博弈系统的演化稳定点。

对式(3)中的复制动态方程组分别关于 x, y 求其偏导数, 得到各均衡点的 Jacobian 矩阵:

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

其中 $a_{11}=x(C_1-ayR)+(C_1-ayR)(x-1)$, $a_{12}=-axR \cdot (x-1)$, $a_{21}=-y(R-aR)(y-1)$, $a_{22}=y(C_2-xR+axR)+(y-1)(C_2-xR+axR)$ 。

根据各均衡点的 Jacobian 矩阵可以得到各均衡点的特征值, 具体如表 2 所示。

表 2 均衡点及其特征值

均衡点	a_{11}	a_{22}
$(0,0)$	$-C_1$	$-C_2$
$(1,0)$	C_1	$R-C_2-aR$
$(0,1)$	C_2	$aR-C_1$
$(1,1)$	C_1-aR	C_2-R+aR
$(C_2/(R-aR), C_1/(aR))$	$(-C_1C_2a(C_1-aR) \cdot (a-1)(C_2-R+aR))^{1/2}/(-a^2R+aR)$	$(-C_1C_2a(C_1-aR) \cdot (a-1)(C_2-R+aR))^{1/2}/(-a^2R+aR)$

根据假设条件, 任一初始点及其演化后的点在 2 维空间 $V=\{(x,y) | 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1\}$ 上有意义, 从而有 $C_1-aR < 0, C_2-R+aR < 0$ 。令矩阵的行列式为

$\det(J)$ 迹为 $\text{tr}(J)$,分析判断上述 4 个局部均衡点 Jacobian 矩阵的行列式和迹 ,所得结果如表 3 所示.

表 3 复制动态系统均衡点对应的行列式和迹的表达式

均衡点	$\det(J)$	$\text{tr}(J)$
$A(0,0)$	$C_1 C_2$	$-C_1 - C_2$
$B(1,0)$	$C_1(R - C_2 - aR)$	$C_1 + R - C_2 - aR$
$C(0,1)$	$C_2(aR - C_1)$	$C_2 + aR - C_1$
$D(1,1)$	$(C_1 - aR)(C_2 - R + aR)$	$C_1 - aR + C_2 - R + aR$

根据 Jacobian 矩阵以及复制动态系统均衡点对

应的行列式和迹的表达式 ,对于 $A、B、C$ 和 D 这 4 个局部均衡点的稳定性分析如表 4 所示.

根据演化稳定点的结果显示:均衡点 $A(0,0)$ 和均衡点 $D(1,1)$ 表现为 2 个 ESS 均衡点 ,它们分别表示人工智能和政府部门同时选择“消极实施影响”、“经济动能乏力”策略或者同时选择“积极实施影响”、“经济动能转换”策略的情况; $B(1,0)$ 和 $C(0,1)$ 表现为 2 个不稳定点 ,它们表示人工智能和政府部门选择策略不同 , $E(C_2/(R - aR), C_1/(aR))$ 是一个鞍点.

表 4 博弈双方的演化稳定点

均衡点	a_{11}	a_{12}	a_{21}	a_{22}	$\det(J)$	$\text{tr}(J)$	稳定性结果
$A(0,0)$	-	0	0	-	+	-	ESS 点
$B(1,0)$	+	0	0	+	+	+	不稳定点
$C(0,1)$	+	0	0	+	+	+	不稳定点
$D(1,1)$	-	0	0	-	+	-	ESS 点

基于上述分析 ,人工智能和政府部门演化博弈双方的策略选择会趋向于双方都选择积极策略(积极实施影响 ,经济动能转换) 或者双方都选择消极策略(消极实施影响 ,经济动能乏力) .此外 ,人工智能和政府部门双方的选择策略还会受到策略选择概率、选择积极策略所要付出的成本、协同收益等因素的影响与约束 ,应当考察这些关键参数对博弈双方策略选择产生的影响 ,并据此优化人工智能赋能经济增长的战略决策.

3 模拟仿真

为更加清楚地阐释人工智能和政府部门 2 个主体之间策略选择的稳定性 ,这里将运用 Matlab 程序作为仿真工具 ,并根据实际情况进行参数赋值与矫正 ,以期论证上述各个均衡点以及博弈主体的不同初始值点向均衡点演化的轨迹 ,同时进一步分析博弈主体选择积极策略所要付出的成本、协同收益等关键参数变化所带来的具体影响.

3.1 在不同初始概率下博弈主体行为的模拟仿真

基于人工智能和政府部门演化博弈均衡点的参数约束条件 ,首先对在初始状态下的演化博弈参

数赋值如下:人工智能正常发展收益 $U_1 = 10$ 积极实施影响的成本 $C_1 = 4$; 政府部门正常发展收益 $U_2 = 6$,经济动能转换的成本 $C_2 = 2$; 协同收益 $R = 20$,人工智能分配比例 $a = 0.6$; 演化的初始时间为 0 ,时间 t 取值范围为 0~10.这里参数赋值的大小仅仅反映各主体与影响因子的敏感性关系 ,并不代表真实数据.为考察在不同初始概率下博弈主体的决策演变 ,将 (x,y) 分别设定为 $(0.1,0.6)$ 、 $(0.2,0.8)$ 、 $(0.3,0.5)$ 、 $(0.5,0.5)$ 、 $(0.6,0.5)$ 、 $(0.7,0.2)$ 、 $(0.9,0.3)$ 和 $(0.7,0.8)$.仿真结果如图 1 所示.

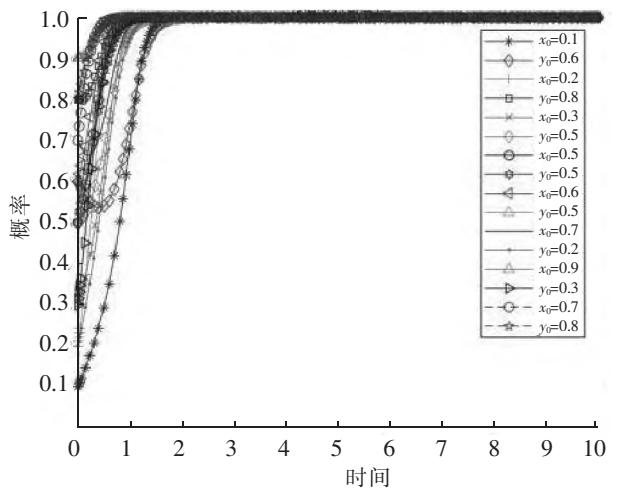


图 1 在不同初始概率下人工智能和政府部门动态演化过程
由模拟仿真结果可知:当概率设为 $(0.5,0.5)$

时,随着人工智能选择“积极实施影响”策略概率的提升,政府部门选择“经济动能转换”策略的概率也在提升.这充分说明只要人工智能和政府部门选择积极策略的总体收益大于其选择消极策略的收益,该博弈系统就会演化到均衡点(1,1)的状态.为了验证该均衡点的长期稳定性,这里将各博弈主体的初始概率设为(0.1,0.6)、(0.2,0.8)、(0.3,0.5)、(0.6,0.5)、(0.7,0.2)、(0.9,0.3)和(0.7,0.8),其余参数保持不变.结果显示:无论人工智能和政府部门策略选择概率的初始点为多少,随着时间的推移,博弈都会演化到 ESS 均衡点(积极实施影响,经济动能转换).这说明该均衡点为在演化过程中最优的状态.

3.2 在不同参数影响下博弈主体行为的模拟仿真

3.2.1 协同收益 R 对人工智能和政府部门决策的影响 这里设定协同收益 R 初始值为 10,每变化 10 模拟仿真 1 次.当保持初始概率为(0.5,0.5)且不改变其他参数的情况时,协同收益影响人工智能和政府部门策略选择的模拟仿真结果如图 2 所示.

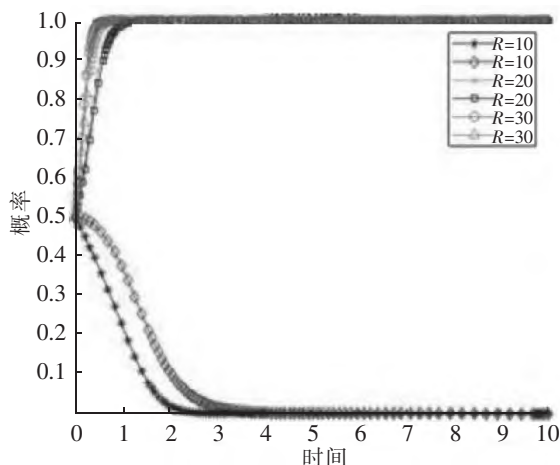


图 2 协同收益 R 对人工智能和政府部门决策的影响

从图 2 中可以看出:人工智能和政府部门的决策演化具有相似的趋势;随着协同收益的增加,博弈双方均从趋向于消极策略转变为趋向于选择积极策略,且趋向速度越来越快,策略选择时间也越来越短.这说明协同收益与博弈主体的正向均衡选择呈正相关.若人工智能和政府部门同时选择积极策略(积极实施影响,经济动能转换)的收益不断增

大,则博弈双方选择积极策略的激励会增强,其策略选择分别向“积极实施影响”和“经济动能转换”收敛.

3.2.2 人工智能选择积极策略的成本 C_1 对双方的影响 这里设定成本 C_1 初始值为 4,且在 C_1 增加为 7 和 12 时各模拟仿真 1 次.当保持初始概率为(0.5,0.5)且不改变其他参数的情况时,人工智能选择积极策略的成本影响博弈主体策略选择的模拟仿真结果如图 3(a) 所示.

从图 3(a) 中可以看出:随着人工智能选择积极策略的成本 C_1 的增加,其博弈策略从趋向于积极实施影响转变为选择消极实施影响,趋向速度无较大波动,策略选择时间从增多突然转为骤减状态.这说明在成本 C_1 刚开始增大时并没有影响到人工智能的决策方向只是增加了决策时间,但在成本 C_1 增加到一定水平后,因为选择积极策略的成本大于收益,所以人工智能会迅速做出决策并改变决策方向以减少损失.观察政府部门主体的策略均衡曲线也可以看出:随着成本 C_1 的增加,政府部门的策略选择变化与人工智能相似,但其策略选择时间是逐渐增加的,总体上较人工智能更慢.这是因为人工智能对成本 C_1 的变动较政府部门来说更为敏感.

3.2.3 政府部门选择积极策略的成本 C_2 对双方的影响 这里设定成本 C_2 初始值为 2,且在 C_2 增加为 4 和 10 时各模拟仿真 1 次.当保持初始概率为(0.5,0.5)且不改变其他参数的情况时,政府部门选择积极策略的成本影响博弈主体策略选择的模拟仿真结果如图 3(b) 所示.

从图 3(b) 中可以看出:随着政府部门选择积极策略的成本 C_2 的增加,其博弈策略从趋向于经济动能转换转变为经济动能乏力,趋向速度无较大波动,但策略选择时间从趋慢转变为趋快.这说明在成本 C_2 刚开始增大时并没有影响到政府部门的决策方向,只是影响了决策时间,但在成本 C_2 增加到一定水平后,政府部门迅速做出决策并转变决策方向.这与图 3(a) 中成本 C_1 对人工智能的影响相同.观察人工智能的策略均衡曲线也可以看出:随着成本 C_2

的增加,人工智能同样也会受到影响从而由趋向积

极策略转变为趋向消极策略。

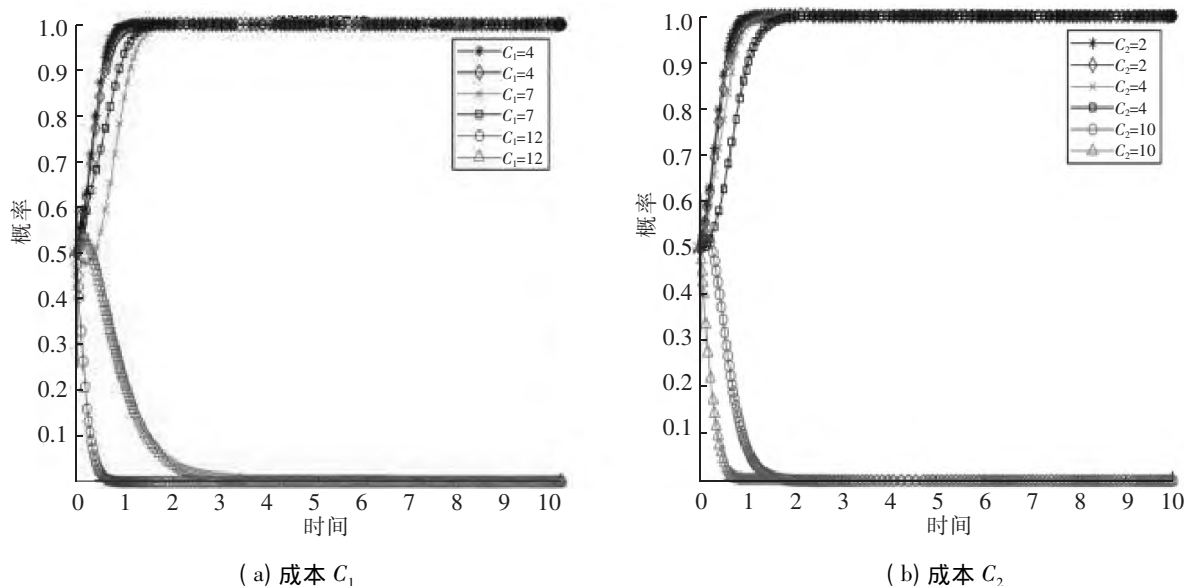


图3 成本 C_1 、 C_2 对人工智能和政府部门决策的影响

4 结论及建议

本文在构建人工智能和政府部门博弈双方收益矩阵的基础上,得出了博弈主体的复制动态方程。根据复制动态方程得出 Jacobian 矩阵及其行列式和迹的符号,由此得出博弈模型的均衡点,以及均衡点的稳定性状态;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了差异化设置,以此分析人工智能与政府部门的均衡策略选择。研究表明:人工智能与政府部门同时选择积极策略(积极实施影响,经济动能转换)或同时选择消极策略(消极实施影响,经济动能乏力)的均衡点是 ESS 稳定点,且具有长期动态稳定性;人工智能与政府部门策略选择的动态演化过程与双方的初始值有关,博弈双方选择(积极实施影响,经济动能转换)策略的决策更具有稳定性。进一步研究发现:协同收益与博弈双方的正向均衡选择呈正相关,即协同收益越大,人工智能和政府部门演化博弈双方的策略选择越会趋向于(积极实施影响,经济动能转换);而博弈主体选择积极策略的成本与其正向均衡选择呈负相关,即成本越大,人工智能和政府部门演化博弈双方的策略选择越会趋向于(消极实施

影响,经济动能乏力)。

鉴于此,为了让人工智能发展能更好地促进经济稳步增长,一方面,可以通过加大对人工智能产业的资金投入与政策的扶持力度,降低人工智能产业发展成本,从而让其充分地发挥高新技术标杆性产业作用进而引领经济快速增长;另一方面,可以通过不断地建立健全人工智能与政府部门双方的协同发展机制来提升二者之间的协同收益,进而有利于人工智能发展与经济增长双赢局面的实现。

5 参考文献

- [1] 程承坪,陈志.人工智能促进中国经济增长的机理:基于理论与实证研究[J].经济问题,2021(10):8-17.
- [2] 林晨,陈小亮,陈伟泽,等.人工智能、经济增长与居民消费改善:资本结构优化的视角[J].中国工业经济,2020(2):61-83.
- [3] 黄旭,董志强.人工智能如何促进经济增长和社会福利提升?[J].中央财经大学学报,2019(11):76-85.
- [4] 郭凯明.人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动[J].管理世界,2019,35(7):60-77.
- [5] 郭晗.人工智能培育中国经济发展新动能的理论逻辑与实践路径[J].西北大学学报(哲学社会科学版),2019,49(5):21-27.

- [6] 孙早,侯玉琳.工业智能化如何重塑劳动力就业结构[J].中国工业经济,2019(5):61-79.
- [7] 陈志,程承坪,封立涛.人工智能是否有助于解决中国经济增长的结构性减速[J].经济问题探索,2022(2):47-57.
- [8] 蔡自兴.人工智能产业化的历史、现状与发展趋势[J].冶金自动化,2019,43(2):1-5.
- [9] BORLAND J, COELLI M. Are robots taking our jobs? [J]. Australian Economic Review, 2017, 50(4): 377-397.
- [10] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Secular stagnation? the effect of aging on economic growth in the age of automation [J]. American Economic Review, 2017, 107(5): 174-179.
- [11] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares and employment [J]. American Economic Review, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [12] 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.
- [13] 何玉长,方坤.人工智能与实体经济融合的理论阐释[J].学术月刊,2018,50(5):56-67.
- [14] 陈彦斌,林晨,陈小亮.人工智能、老龄化与经济增长[J].经济研究,2019,54(7):47-63.
- [15] 王智毓,冯华.科技服务业发展对中国经济增长的影响研究[J].宏观经济研究,2020(6):102-113.
- [16] 杨光,侯钰.工业机器人的使用、技术升级与经济增长[J].中国工业经济,2020(10):138-156.
- [17] 章潇萌,刘相波.融资约束、人工智能与经济增长[J].财经研究,2022,48(8):63-77.

The Evolutionary Game Analysis of Artificial Intelligence Impacting Economic Growth

LIU Binbin, WANG Jingyi

(School of Finance and Economics, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

Abstract: Firstly, the payoff matrix based on evolutionary game theory for the impact of artificial intelligence on economic growth is constructed, then the evolutionary replication dynamic equations are constructed and solved to explore the equilibrium solutions of both sides of the game, and finally the numerical simulations are conducted. The results show that there are two ESS equilibrium points in the evolutionary game of AI and national economy $(0, 0)$ and $(1, 1)$, and $(1, 1)$ is more stable. The Matlab-based simulation analysis shows that the synergistic benefit of AI and national economy jointly choosing positive development is positively related to the positive equilibrium point, and the cost of the game subject choosing positive strategy is negative correlation.

Key words: artificial intelligence; economic growth; evolutionary games; numerical simulation

(责任编辑:曾剑锋)