

制造企业数字化转型多主体协同关系的演化博弈

周春柳, 董洪锋, 沈南南

(安徽工业大学管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243032)

摘要: 针对政府引导和企业参与转型的策略选择机制的弊端, 为处理好多主体之间的协同关系, 构建制造企业、政府和服务平台三方演化博弈模型, 分析各参数变化对演化系统稳定性和主体策略选择的影响。结果表明, 影响企业是否采取转型策略的主要影响因素是制造企业转型所需付出的成本、数字化能力系数及政府补贴, 企业会因较大的收益弱化对信任问题的重视; 政府是否参与主要取决于参与情况下的收益和投入的补贴和奖励, 且政府单方面的激励会造成消极影响; 服务平台是否协助主要取决于协助时付出的协同成本、信任度、协同收益以及政府参与时协同成本的减少量和奖励。

关键词: 数字化转型; 演化博弈; 制造企业; 多主体协同

中图分类号: F272.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)08-0079-12

随着云计算、大数据、区块链、人工智能等各项技术的发展和成熟, 数字经济已经成为推动社会和企业经济发展的重要驱动力。据2022年的《中国数字经济发展白皮书》显示, 近10年以来我国数字经济增速稳定上升, 已经超越同期的GDP增速。2021年数字经济规模达到45.5万亿元, 较上一年实现6.3万亿元的增幅, 同比名义增速16.2%。产业数字化成为数字经济发展的主引擎^[1]。数字经济的核心是“数字化企业”, 传统企业实现数字化转型才可能成为国家经济发展的内部力量。据埃森哲发布的《2022中国企业数字化转型指数》调研报告显示, 中国企业数字化进程每年都在稳步推进, 无论是质量还是数量都有明显的改善和提升。转型成效显著的中资企业占比从2018年的7%攀升至2023年的17%。但在复杂多变的环境下, 中国企业数字化转型的进程在2022全年有所放缓^[2]。

制造企业是我国实体经济的主体, 实现数字化转型能够促进企业可持续发展和提高竞争力, 为客户提供喜欢的产品和服务, 增加企业绩效。索菲亚基于数据要素的释放和资源的再配置实现企业的高质量发展。上海电气集团依托工业互联网平台和变革的商业模式减少了能源型企业的碳

排放。然而转型面临的困难和障碍也不可忽视。政府扶持与监管力度不足、企业的认知不深刻制约着数字化转型^[3]。多维度的数字障碍阻挡企业数字化转型, 并可能出现数字化悖论的现象^[4]。数字化悖论是指企业付出投入却未能取得收益的增加^[5]。樊自甫等^[6]发现数字化转型存在的协同效应能有效推动制造企业选择数字化转型策略。协同效应是多方主体共同合作所产生的结果, 其内在的协同机制对保持协同合作的稳定性具有重要作用, 其中, 为制造企业提供数字技术和工具的服务平台、进行监督和引导的政府都是重要的参与者, 但制造企业在面对数字化转型时, 会考虑风险问题, 如数据的丢失和泄露, 对服务商缺乏信任^[7]。刘富华和宋然^[8]指出传统产业和新兴产业之间不断扩大的数字鸿沟, 也指出了技术协同水平较低的问题。

综上, 可以发现多主体的协同合作存在间隙且不稳定, 这种不稳定性主要体现各方主体具有自身考虑的因素, 如政府既要考虑财政压力和收入, 又要考虑补贴力度, 制造企业一边考虑投资与回报的关系, 一边考虑风险问题, 服务提供商既在乎技术收益又在乎政策引导。显然政府、制造企业和服务平台三者有各自的利益目标。因此, 处理好三方主

收稿日期: 2024-01-14

基金项目: 安徽省高等学校科学研究项目(哲学社会科学)(2022AH050269); 安徽省新时代盲人质量工程项目(研究生教育)(2022jyxggyi244)

作者简介: 周春柳(1989—), 女, 湖北襄阳人, 博士, 讲师, 研究方向为企业数字化转型、生产和服务运作管理; 董洪锋(2000—), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 研究方向为数字化转型; 沈南南(2000—), 女, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 研究方向为数字经济。

体之间的协同关系尤为重要。另外,还需保证多主体协同合作的稳定性,所以进一步考虑企业数字化转型的影响因素并提供多方视角的建议具有一定的必要性。

1 文献回顾

政府在制造企业数字化转型的过程中发挥引导和推动作用,为扩大企业数字化转型的比例,政府部门提出深化体制机制改革,完善政产学研用协同创新机制^[9]。几年后,在专项方案中提到政府将完善激励机制,对中小企业数字化升级予以重点支持,设置专项资金推进国内中小企业数字化转型^[10]。刘浩^[11]针对中小制造企业群体,提出数字化转型路径。随着政策的颁布,一些学者从政府层面研究数字化转型的路径。孙利君^[12]针对我国发布关于数字经济的政策中设定的重要任务和目标,指出我国数字经济的发展途径,即五位一体融合发展模式。王春英和陈宏民^[13]就企业数字化转型的外部政策问题从政府和企业两个层面提出合理建议。王志奇等^[14]考虑政府的资金支持和政策效应对产学研协同创新的影响。张小宇等^[15]基于用户数据开放融合视角,构建政府引导、产学研方牵头、用户参与的三方博弈模型,发现当主体参与意愿不强,增大政府的干预强度可以降低产学研方和用户的协同创新成本,政府会发挥主导作用加速主体的策略选择。张志元和马永凡^[16]指出政府补助对企业数字化水平具有积极效应并能提升企业数字化转型质量。Baotong等^[17]也认为政府补贴是影响演化轨迹的关键因素。

制造业是数字化转型的参与主体,一些学者对企业间的协同创新机制和协同因素进行了较多的研究。黄忱和虞诗强^[18]指出数字化转型与业务协同问题是影响传统企业数字化转型成果不显著的原因之一,研究了业务员工与传统企业良性互动机制并提出相应的对策。徐红丹和王玖河^[19]指出转型成本是制造企业实施数字化转型的主要考量因素,从政府的角度出发分析补贴对企业转型的影响。黄蕊等^[20]发现转型后的直接利润大小对文化产业是否转型具有显著作用。Mo等^[21]构建供应链上下游企业的演化博弈模型,指出绿色协同创新的驱动因素有绿色创新收益、成功概率、政府绿色补贴和违约处罚,阻碍因素有绿色创新成本、机会回报、数字化成本,调节因素是利益分配比例。Zhai等^[22]发现当政府奖惩、企业间信任、技术损失系数、信息化程度增加时,政府会倾向于选择监管,云制

造企业会倾向于选择“协同创新”战略。彭正银和姚双双^[23]通过分析平台企业和互补企业两方协同合作策略选择的演化过程,探究实现协同合作的具体方法。吴雷等^[24]指出装备制造企业转型程度和数字化水平能力可以推进产学研数字化协同创新并提高创新效用。

上述研究中将企业作为研究的主体,而忽略了企业数字化转型需要服务平台(互联网技术服务商)的支持,翁士增等^[25]认为数字平台赋能不足是阻碍传统产业实现数字化转型的主要因素。Sjödin等^[26]指出制造型企业借助服务平台的技术和知识,能更好地满足消费者的需求。服务平台可以为制造企业提供数字化产品和服务,如在制造企业生产和运营过程中,应用工业软件可以对生产数据进行管理和监控,并对制造企业内部资源配置和人员结构进行合理的安排,通过对制造企业的调查和了解,结合其自身的特点和需求,从系统层面为制造企业制定科学的产品+服务的方案。因此,学者将服务商与企业纳入同一框架中进行分析。冯长利和马睿泽^[27]探索制造企业与服务商合作实行服务化战略的规律,得出两方合作前后的收益和成本、合作失败的损失、收益的分配等因素是影响合作意愿的关键因素。杨磊等^[28]将中小企业、服务商与政府放在同一框架,分析阻碍中小企业数字化转型的主要因素。为研究传统制造企业在转型过程中的协同机理,赵思齐^[29]建立地方政府与制造企业、制造企业与数字科技企业两两之间的双方博弈,研究三方协同创新体系,探究数字化红利、社会成本等关键参数对主体策略的影响。谢孟鑫^[30]考虑第三方平台参与下制造业企业数字化转型策略,发现收益系数影响第三方平台为企业制定数字化建设方案的积极性。单子丹等^[31]从供需关系的角度将企业、服务平台与消费者联系起来,综合考量三者之间的相互影响关系,发现制造型企业与数字化服务平台之间的知识互补度和协同开放度大于临界值时,促进二者形成深度协同模式。Zhang等^[32]发现政府的补贴系数存在阈值能显著提高数字化建设服务商的积极性。Wei等^[33]探究动态框架下传统企业、地方政府、数字技术提供商的协调机制和最优策略,合作博弈情况下的三方最优策略、最优效益、系统总效益和产业数字化水平均严格优于非合作博弈情况。

综上所述,现有研究大多从双方博弈或者三方博弈去探究影响企业转型的关键因素,具有一

定的借鉴作用,但多数研究将风险问题考虑在企业与用户之间,然而这一问题也存在企业和服务平台之间,即协同关系的影响因素考虑不完全。此外,以往大多研究将政府作为协同者纳入演化系统,少有研究将政府作为利益主体纳入系统综合考量,没有将政府行为与企业和服务商进行博弈分析。最后政府参与对协同合作收益情况影响值得进一步研究,较多研究往往只考虑政府的奖惩机制在演化系统中的作用。鉴于此,本文基于演化博弈方法,将政府、制造企业和服务平台作为博弈主体,构建三方演化博弈模型,探究政府参与和服务平台协助对制造企业数字化转型的内在机理和影响作用,实现传统制造企业转型比例的扩大和解决转型存在的阻力,为企业数字化转型提供具有实践意义的对策。

2 演化博弈模型假设与建立

2.1 基本假设

2.1.1 博弈主体

博弈中涉及制造企业、政府和服务平台三个参与群体,且都具有有限理性。结合上述分析,可得出各博弈主体之间的内在关联性如图1所示。

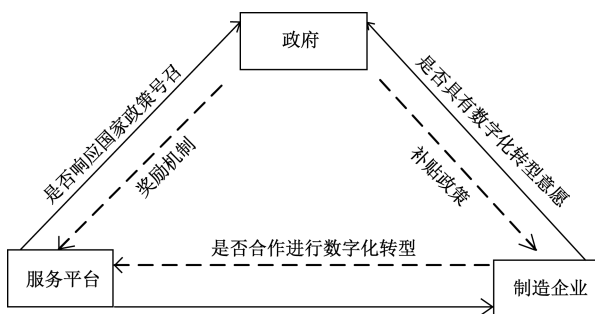


图1 制造企业数字化转型参与主体的演化博弈逻辑

2.1.2 博弈主体的行为策略

制造企业的行为策略集为{转型,不转型},“数字化转型”是指制造企业通过利用信息技术和数字化手段,转变企业为客户提供价值的途径;“不转型”是指制造企业按照传统方式生产,不采取数字化技术的措施。政府的行为策略集为{参与,不参与},“参与”是指政府投入一定的人力、物力和财力参与到制造企业和服务平台的活动中,调查制造企业是否转型和平台是否发挥协助作用;“不参与”是指政府对制造企业和平台的行为策略不做干预。服务平台的行为策略集为{协助,不协助},“协助”是指服务平台花费一定的人力、设备、网络等成本帮助制造企业的生产方式进行转型改进;“不协助”

是指服务平台对制造企业转型的过程不提供帮助,但服务平台在生产转型的商品和服务时仍会存在成本。

2.1.3 行为策略采取的概率

假设在制造企业、政府和服务平台三个主体博弈的起始阶段,制造企业选择“数字化转型”策略和“不转型”策略的概率分别为 x 和 $1-x$;政府选择“参与”策略和“不参与”策略的概率分别为 y 和 $1-y$;服务平台选择“协助”策略和“不协助”策略的概率分别为 z 和 $1-z$ 。其中, $x \in [0,1]$, $y \in [0,1]$, $z \in [0,1]$ 。

2.1.4 演化博弈模型的基本假设

H1:合作成本。制造企业在进行数字化转型需要付出的成本为 C_1 ,用于向服务平台购买数字化产品和服务以及对人才培训。政府在参与的过程中,对制造企业和服务平台的调研、监管和最后项目完成后的验收工作需付出的成本为 C_2 ;服务平台生产数字化产品和提供服务的投入成本为 C_3 ;如果制造企业不进行数字化转型,即按照传统的制造方式生产运作,付出的成本为 C_4 ;此时,政府需投入一定的成本 C_5 治理传统的制造模式。当制造企业与服务平台协同合作时产生的协同成本为 C ,制造企业和服务平台的成本分摊系数为 m ,在政府的参与下,政府提供的优惠政策会降低协同成本,减少量为 ΔC 。

H2:合作收益。制造企业进行数字化转型实现了生产能力、自主创新能力等多方面的提升,设制造企业数字化能力系数为 α ($\alpha \geq 1$),说明企业的数字化水平,数字化能力系数对制造企业的收益有正向作用;政府参与带来的基础收益为 E_2 ,包括制造企业与服务平台之间的协同合作过程中向政府缴纳的税收和政府形象的提升具有社会效益;服务平台出售数字化产品和服务的收益为 E_3 ,若制造企业选择不进行数字化转型,按传统制造模式的收益为 E_4 ,政府不参与的固有收益为 E_5 ;制造企业与服务平台达成协同合作的意愿产生的协同收益为 Q ,制造企业与服务平台的协同收益分配比例分别为 μ_1 和 μ_2 ($\mu_1 + \mu_2 = 1$)。同时,考虑到制造企业与服务平台在协同合作的过程中,制造企业出于对自身内部资料和知识产权的保护,以及出于是否能转型成功的担忧,双方存在一定程度上的信任问题,设彼此之间的信任度为 θ ,信任度越低,表明协同合作成功的概率越小,直接影响到双方的收益情况。

H3:奖惩。政府对制造企业数字化转型持鼓励

态度并积极发挥推动作用,政府参与时会给予进行数字化转型的制造企业补贴 S_1 和提供协助的服务平台奖励 S_2 ,对于不进行数字化转型的制造企业会面临潜在损失 G_1 ,包括在制造行业失去竞争力和减少市场份额,并对不协助制造企业进行数字化转型的服务平台进行惩罚 G_2 ,如表 1 所示。

表 1 主要参数及含义

参数	含义
E_1	企业采取转型获得的收益(αE_4)
E_2	政府参与与转型带来的基础收益
E_3	服务平台出售商品和服务给转型企业的收益
E_4	企业按传统方式生产的收益
E_5	政府不参与的固有收益
α	企业数字化能力系数,反映企业的数字化程度
C_1	企业转型投入的基础成本
C_2	政府参与付出的成本
C_3	服务平台生产数字化产品和服务的成本
C_4	企业按传统方式生产的成本
C_5	企业采取传统生产政府承担的治理成本
S_1	政府参与时给予转型企业的补贴
S_2	服务平台协助时政府给予的奖励
θ	企业和服务平台之间协作时的信任度
G_1	服务平台协助对传统生产的企业造成的潜在损失
G_2	服务平台不协助时政府的惩罚
Q	服务平台协助企业产生的协同收益
μ_1, μ_2	协同收益的分配系数
ΔC	政府参与时对协同合作成本的降低量
C	协同合作时的总成本
m	协同合作时的总成本的分摊系数

2.2 三方演化博弈模型的建立

根据制造企业、政府和服务平台的行为策略,可以得出 8 种博弈组合,即(不转型,参与,协助)、(不转型,参与,不协助)、(不转型,不参与,协助)、(不转型,不参与,不协助)、(转型,参与,协助)、(转型,参与,不协助)、(转型,不参与,协助)、(转型,不参与,不协助)。由表 1 可知,当策略组合为(转型,参与,协助)时,制造企业需要投入转型的基础成本 C_1 ,同时转型可以为制造企业带来收益 E_1 ,政府参与会获得基础收益 E_2 和付出参与成本 C_2 ,服务平台协助时能获得收益 E_3 和来自政府的奖励 S_2 ,并且在该策略组合下,服务平台和制造企业会付出一定的协同成本 C 并收获相应的协同收益 Q ,基于一定的比例进行分配,此外,考虑到制造企业和服务平台之间协作时企业会存在不完全信任度 θ ,该因素会影响制造企业转型的收益和服务平台的收益。同理,可以得出制造企业、政府和服务平台在其他策略组合下的收益,具体如表 2 和表 3 所示。

表 2 服务平台协助下博弈主体收益矩阵

主体策略	服务平台选择“协助”策略	
	政府参与	政府不参与
制造企业选择数字化转型	$\alpha E_4 - C_1 - m(C - \Delta C) + S_1 + \theta \mu_1 Q$	$\alpha E_4 - C_1 + \theta \mu_1 Q - mC$
	$E_2 - C_2 - S_1 - S_2$	E_5
制造企业不选择数字化转型	$E_3 - C_3 + S_2 + \theta \mu_2 Q - (1 - m)(C - \Delta C)$	$E_3 - C_3 - (1 - m)C + \theta \mu_2 Q$
	$E_4 - C_4 - G_1$	$E_4 - C_4 - G_1$
制造企业不选择数字化转型	$E_2 - C_2 - S_2 - C_5$	$E_5 - C_5$
	$S_2 - C_3$	$-C_3$

注:收益矩阵表达式表示的主体依次为制造企业、政府、服务平台。

表 3 服务平台协助下博弈主体收益矩阵

主体策略	服务平台选择“不协助”策略	
	政府参与	政府不参与
制造企业选择数字化转型	$\alpha E_4 - C_1 + S_1$	$\alpha E_4 - C_1$
	$E_2 - C_2 - S_1 + G_2$	E_5
制造企业不选择数字化转型	$E_3 - G_2 - C_3$	$E_3 - C_3$
	$E_4 - C_4$	$E_4 - C_4$
制造企业不选择数字化转型	$E_2 - C_2 - C_5$	$E_5 - C_5$
	$-C_3$	$-C_3$

注:收益矩阵表达式表示的主体依次为制造企业、政府、服务平台。

3 演化博弈模型分析

3.1 三方演化博弈的复制动态方程

“复制动态方程”和“演化稳定策略”是演化博弈理论的两个核心范畴。“复制动态”是对有限理性的参与主体策略调整过程的动态描述和分析^[34]。分别构造制造企业、政府和服务平台行为策略的复制动态方程。设制造企业选择“转型”策略的期望收益为 V_{11} 、选择“不转型”策略的期望收益为 V_{12} ,平均期望收益为 V_1 ,则有

$$V_{11} = yz[\alpha E_4 + S_1 - C_1 + \mu_1 \theta Q - m(C - \Delta C)] + y(1 - z)(\alpha E_4 + S_1 - C_1) + z(1 - y)(\alpha E_4 - C_1 + \mu_1 \theta Q - Cm) + (1 - y)(1 - z)(\alpha E_4 - C_1) \quad (1)$$

$$V_{12} = yz(E_4 - C_4 - G_1) + y(1 - z)(E_4 - C_4) + z(1 - y)(E_4 - C_4 - G_1) + (1 - y)(1 - z)(E_4 - C_4) \quad (2)$$

$$V_1 = xV_{11} + (1 - x)V_{12} \quad (3)$$

构造制造企业行为策略的复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(V_{11} - V_1) = x(1 - x)(C_4 - C_1 - E_4 + \alpha E_4 + zG_1 + yS_1 - zmC + yzm\Delta C + z\theta\mu_1 Q) \quad (4)$$

x 的一阶导数和设定的 $G(y)$ 分别为

$$\frac{d[F(x)]}{dx} = (1 - 2x)(C_4 - C_1 - E_4 + \alpha E_4 + zG_1 + yS_1 - zmC + yzm\Delta C + z\theta\mu_1 Q) \quad (5)$$

$$G(y) = C_4 - C_1 - E_4 + \alpha E_4 + zG_1 + yS_1 - zmC + yzm\Delta C + z\theta\mu_1 Q \quad (6)$$

根据偏微分方程稳定性原理,制造企业稳定地选择转型的概率必须满足: $F(x)=0$ 且 $\frac{d[F(x)]}{dx} < 0$ 。

由于 $\frac{\partial G_y}{\partial y} > 0$,故 $G(y)$ 为增函数。因此,当 $y < y^*$ 时, $G(y) < 0$,此时 $d[F(x)]/dx|_{x=0} < 0$, $x=0$ 为制造企业的稳定策略;反之, $x=1$ 为稳定策略。制造企业的行为策略演化相位,如图2所示。

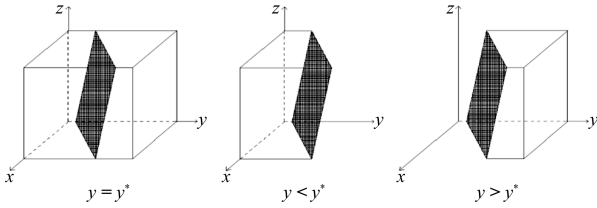


图2 制造企业策略演化相位

同理,政府选择“参与”策略的期望收益为 V_{21} ,选择“不参与”策略的期望收益为 V_{22} ,平均期望收益为 V_2 ,则有

$$V_{21} = xz(E_2 - C_2 - S_1 - S_2) + x(1-z)(E_2 - C_2 - S_1 + G_2) + z(1-x)(E_2 - C_2 - S_2 - C_5) + (1-x)(1-z)(E_2 - C_2 - C_5) \quad (7)$$

$$V_{22} = xzE_5 + x(1-z)E_5 + z(1-x)(E_5 - C_5) + (1-x)(1-z)(E_5 - C_5) \quad (8)$$

$$V_2 = yV_{21} + (1-y)V_{22} \quad (9)$$

构造政府行为策略的复制动态方程为

$$F(y) = dy/dt = y(V_{21} - V_2) = y(1-y)(E_2 - C_2 - E_5 + \alpha G_2 - \alpha S_1 - zS_2 - xzG_2) \quad (10)$$

y 的一阶导数和设定的 $J(z)$ 分别为

$$\frac{d[F(y)]}{dy} = (1-2y)(E_2 - C_2 - E_5 + \alpha G_2 - \alpha S_1 - zS_2 - xzG_2) \quad (11)$$

$$J(z) = E_2 - C_2 - E_5 + \alpha G_2 - \alpha S_1 - zS_2 - xzG_2 \quad (12)$$

根据偏微分方程稳定性原理,政府稳定地选择参与的概率必须满足: $F(y)=0$ 且 $\frac{d[F(y)]}{dy} < 0$ 。由于

$\frac{\partial J_z}{\partial z} < 0$,故 $J(z)$ 为减函数。因此,当 $z > z^*$ 时,

$J(z) < 0$,此时 $d[F(y)]/dy|_{y=0} < 0$, $y=0$ 为政府的稳定策略,反之, $y=1$ 为稳定策略,政府的行为策略演化相位图,如图3所示。

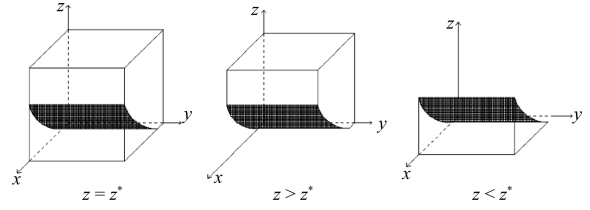


图3 政府策略演化相位

服务平台选择“协助”策略的期望收益为 V_{31} ,选择“不协助”策略的期望收益为 V_{32} ,平均期望收益为 V_3 ,则有

$$V_{31} = xy[E_3 - C_3 + S_2 + \theta\mu_2 Q - (1-m)(C - \Delta C)] + x(1-y)(E_3 - C_3 - (1-m)C + \theta\mu_2 Q) + y(1-x)(S_2 - C_3) - C_3(1-x)(1-y) \quad (13)$$

$$V_{32} = xy(E_3 - C_3 - G_2) + x(1-y)(E_3 - C_3) + y(1-x)(-C_3) - C_3(1-x)(1-y) \quad (14)$$

$$V_3 = zV_{31} + (1-z)V_{32} \quad (15)$$

构造服务平台行为策略的复制动态方程为

$$F(z) = dz/dt = z(V_{31} - V_3) = z(1-z)(yS_2 - xC + xmC + xyG_2 + xy\Delta C - xym\Delta C + x\theta\mu_2 Q) \quad (16)$$

z 的一阶导数和设定的 $M(y)$ 分别为

$$\frac{d[F(z)]}{dz} = (1-2z)(yS_2 - xC + xmC + xyG_2 + xy\Delta C - xym\Delta C + x\theta\mu_2 Q) \quad (17)$$

$$M(y) = yS_2 - xC + xmC + xyG_2 + xy\Delta C - xym\Delta C + x\theta\mu_2 Q \quad (18)$$

根据偏微分方程稳定性原理,平台稳定地选择协助的概率必须满足: $F(z)=0$ 且 $\frac{d[F(z)]}{dz} < 0$ 。

由于 $\frac{\partial M_y}{\partial y} > 0$,故 $M(y)$ 为增函数。因此,当 $y < y^{**}$ 时,

$M(y) < 0$,此时 $d[F(z)]/dz|_{z=0} < 0$, $z=0$ 为平台的稳定策略,反之, $z=1$ 为ESS,平台的策略演化相位如图4所示。

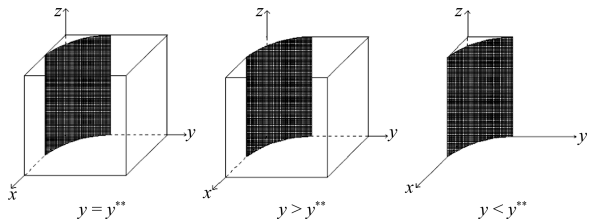


图4 服务平台策略演化相位

3.2 均衡点的稳定性分析

参与的主体依据自身追求的收入均衡持续改

进其行为策略,最后实现动态平衡的策略称为演化稳定策略(ESS)。令 $F(x) = 0$, $F(y) = 0$, $F(z) = 0$ 得到局部均衡点 $E_1(0,0,0)$ 、 $E_2(1,0,0)$ 、

$E_3(0,1,0)$ 、 $E_4(0,0,1)$ 、 $E_5(1,1,0)$ 、 $E_6(1,0,1)$ 、 $E_7(0,1,1)$ 、 $E_8(1,1,1)$ 。根据复制动态方程,得出三方演化博弈系统的雅克比(Jacobian)矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} -(2x-1)(C_4-C_1-E_4+\alpha E_4 + zG_1+yS_1-zmC+yzm\Delta C+z\theta\mu_1Q) & -x(x-1)(S_1+zm\Delta C) & -x(x-1)(G_1-mC+\theta\mu_1Q+ym\Delta C) \\ y(y-1)(S_1-G_2+zG_2) & (2y-1)(C_2-E_2+E_5-xG_2+xS_1+zS_2+xzG_2) & y(y-1)(S_2+xG_2) \\ -z(z-1)(mC-C+yG_2+y\Delta C+\theta\mu_2Q-ym\Delta C) & -z(z-1)(S_2+xG_2+x\Delta C-xm\Delta C) & -(2z-1)(yS_2-xC+xmC+xyG_2+xy\Delta C-xym\Delta C+x\theta\mu_2Q) \end{bmatrix} \quad (19)$$

根据李雅普诺夫方法的规则,当雅克比矩阵的特征值既有零也有负值,则均衡点处在边界状态,特征值的符号不能决定稳定性情况;当雅克比矩阵的特征值至少有一个是正值,则均衡点是不稳定点;当雅克比矩阵的特征值都是负值,则均衡点是稳定点。

首先分析第一个均衡点 $E_1(0,0,0)$ 的稳定情况,该均衡点的牙克比矩阵为

$$\begin{bmatrix} C_4-C_1-E_4+\alpha E_4 & 0 & 0 \\ 0 & E_2-C_2-E_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

可以看出此时的雅克比矩阵的特征值为 $\lambda_1 = C_4 - C_1 - E_4 + \alpha E_4$, $\lambda_2 = -C_2 - E_5 + E_2$, $\lambda_3 = 0$, 同理,将8个均衡点分别代入雅克比矩阵中,可以计算出各均衡点所对应的雅克比矩阵的特征值如表4所示。

根据表4的特征值,分三种情形分析演化稳定策略如下。

情形1:当 $\alpha E_4 - C_1 + S_1 > E_4 - C_4$, $E_2 + G_2 > C_2 + S_1 + E_5$ 且 $\theta\mu_2Q + S_2 < (1-m)(C-\Delta C) - G_2$ 时,即制造企业转型的收益和获得的政府补贴减去付出的基础成本大于制造企业不进行数字化转型的收益与成本之差,政府参与的收益与政府对不协助的服务平台的惩罚之和大于政府参与付出的成本、对制造企业的补贴和不参与的收益之和,服务

平台在政府的参与下协助时的协同收益与获得的政府奖励之和小于协同成本。如表5所示,情形1下均衡点 $E_6(1,1,0)$ 对应的三个特征值均为负值,此时的演化稳定策略为(转型,参与,不协助)。

情形2:当 $\alpha E_4 - C_1 + \theta\mu_1Q - mC > E_4 - C_4 - G_1$, $E_2 < C_2 + S_1 + S_2 + E_5$, $\theta\mu_2Q > (1-m)C$ 时,即制造企业数字化转型的总收益与总成本之差大于制造企业不进行转型的收益与成本和潜在损失之差,政府参与的收益小于付出的成本、企业补贴、服务平台奖励及不参与的收益之和,服务平台协助所产生的协同收益大于无政府参与下的协同成本。由表5可知,情形2下均衡点 $E_7(1,0,1)$ 对应的三个特征值均为负值,此时的演化稳定策略为(转型,不参与,协助)。

情形3:当 $\alpha E_4 - C_1 + \theta\mu_1Q + S_1 - m(C-\Delta C) > E_4 - C_4 - G_1$, $E_2 > C_2 + S_1 + S_2 + E_5$, $\theta\mu_2Q + S_2 + G_2 > (1-m)(C-\Delta C)$ 时,即制造企业在政府的参与下进行数字化转型的总收益与总成本之差大于制造企业不转型的收益与政府的惩罚之差,政府参与获得的收益大于付出的成本、企业补贴、服务平台奖励及不参与的收益之和,服务平台协助得到的协同收益与政府奖励之和大于付出的协同成本。由表5可知,情形3下均衡点 $E_8(1,1,1)$ 对应的三个特征值均为负值,此时的演化稳定策略为(转型,参与,协助)。

表4 Jacobian 矩阵特征值

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
$E_1(0,0,0)$	0	$E_2 - C_2 - E_5$	$C_4 - C_1 - E_4 + \alpha E_4$
$E_2(1,0,0)$	S_2	$C_2 - E_2 + E_5$	$C_4 - C_1 - E_4 + S_1 + \alpha E_4$
$E_3(0,0,1)$	0	$E_2 - C_2 - E_5 - S_2$	$C_4 - C_1 - E_4 + G_1 + \theta\mu_1Q + \alpha E_4 + m\Delta C - mC$
$E_4(0,1,1)$	$-S_2$	$C_2 + S_2 + E_5 - E_2$	$C_4 - C_1 - E_4 + G_1 + S_1 + \theta\mu_1Q + \alpha E_4 + m\Delta C - mC$
$E_5(1,0,0)$	$mC - C + \theta\mu_2Q$	$C_1 - C_4 + E_4 - \alpha E_4$	$E_2 - C_2 - E_5 + G_2 - S_1$
$E_7(1,0,1)$	$C - mC - \theta\mu_2Q$	$E_2 - C_2 - E_5 - S_1 - S_2$	$C_1 - C_4 + E_4 - G_1 - \alpha E_4 + mC - \theta\mu_1Q$
$E_8(1,1,1)$	$C - G_2 - S_2 - \Delta C - mC + m\Delta C - \theta\mu_2Q$	$C_2 - E_2 + E_5 + S_1 + S_2$	$C_1 - C_4 + E_4 - G_1 - S_1 - \alpha E_4 + mC - m\Delta C - \theta\mu_1Q$

表 5 均衡点局部稳定性

均衡点	情形 1				情形 2				情形 3			
	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
$E_1(0,0,0)$	0	*	*	鞍点	0	*	*	鞍点	0	+	*	鞍点
$E_2(0,1,0)$	正号	*	正号	不稳定点	正号	*	*	不稳定点	正号	负号	*	不稳定点
$E_3(0,0,1)$	0	*	*	鞍点	0	*	正号	鞍点	0	正号	*	鞍点
$E_4(0,1,1)$	负号	*	*	不稳定点	负号	*	*	不稳定点	负号	负号	正号	不稳定点
$E_5(1,0,0)$	*	正号	负号	不稳定点	*	*	正号	不稳定点	*	正号	*	不稳定点
$E_6(1,1,0)$	负号	负号	负号	ESS	*	*	正号	不稳定点	*	负号	正号	不稳定点
$E_7(1,0,1)$	*	*	正号	不稳定点	负号	负号	负号	ESS	*	正号	*	不稳定点
$E_8(1,1,1)$	*	*	负号	不稳定点	*	正号	负号	不稳定点	负号	负号	负号	ESS

注:正号为正值,负号为负值,*为符号不确定。

4 数值模拟

为证明演化稳定策略分析的有效性,根据实际情况对模型中涉及的参数进行赋值,再运用 Matlab 软件进行仿真,分析各参数的变化对演化结果的影响。

4.1 情形 1 仿真分析

x 、 y 、 z 分别为制造企业选择“转型”策略、政府选择“参与”策略、服务平台选择“协助”策略的初始概率,开始时间为 0,演化结束时间为 100。数组 1: $E_2 = 0.7, E_3 = 0.9, E_4 = 0.5, E_5 = 0.3, C_1 = 0.5, C_2 = 0.3, C_3 = 0.6, C_4 = 0.25, C_5 = 0.4, S_1 = 0.15, S_2 = 0.15, G_1 = 0.1, G_2 = 0.18, Q = 0.6, Q = 0.6, C = 1.3, m = 0.5, \alpha = 1.6, \theta = 0.5, \mu_1 = 0.6, \mu_2 = 0.4, \Delta C = 0.3$, 满足情形 1 中的条件。令 $x = y = z = 0.3, x = y = z = 0.5, x = y = z = 0.7$, 得到初始参与意愿对数字化转型策略的影响(图 5)。仿真结果表明,在三种不同的初始状态下,演化策略总体上保持为(转型、参与,不协助),在初始概率低时,政府参与的意愿趋势大于制造企业转型的趋势,随着初始概率的增大,制造企业转型的意愿强度超过政府参与的意愿强度。同时,在 $x = y = 0.7$ 时,政府的参与概率呈现先下降后上升,这是因为服务平台的初始协助意愿在持续增大,政府参与会对服务平台给予奖励,并考虑到服务平台不协助可以获得对服务平台的惩罚收益,所以在服务平台协助意愿逐渐降低之时,政府参与的意愿逐渐上升。在初始意愿高时,制造企业收敛于转型的趋势比低意愿时缓慢,一方面看到服务平台不断降低的协助意愿,制造企业的积极性受到影响,另一方面看到政府的参与意愿也变得缓慢,对制造企业起到一定的消极影响。

如图 6 所示,在数字化能力系数较低时,制造企业的转型概率为 0,尽管演化至结束服务平台的意

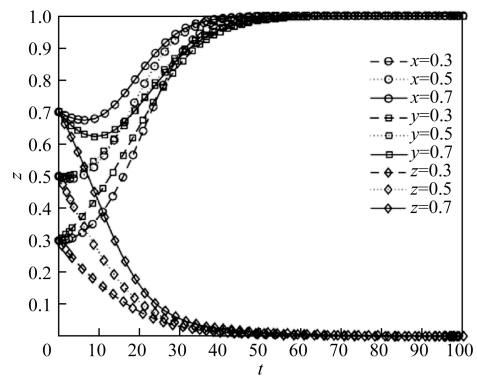


图 5 多主体初始概率变化的影响

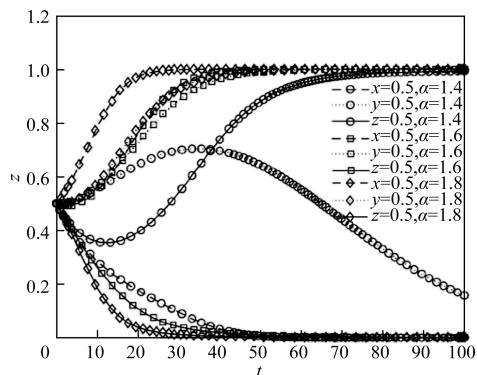


图 6 数字化能力系数的影响

愿较大也未能改变制造企业的意愿,随着数字化能力系数的逐渐增大,制造企业最终会选择转型,即制造企业发现转型后的总收益超过不转型的总收益,当服务平台发现制造企业选择不转型时,其协助的意愿增大,当发现制造企业选择转型时,其协助的意愿因较大协同成本而降低,尽管政府参与会降低一定的协同成本也不足以弥补服务平台的损失。由图 7 的演化过程可知随着政府的参与收益不断增大,政府更快地收敛至参与策略,并且服务平台收敛于不协助意愿逐渐缓慢,演化时间至 100 才完全达到 0,服务平台的策略选择既会考虑付出的

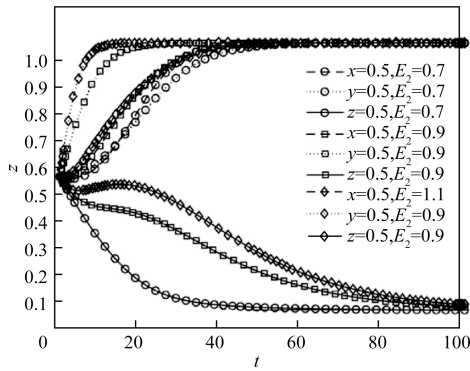


图 7 政府参与收益的影响

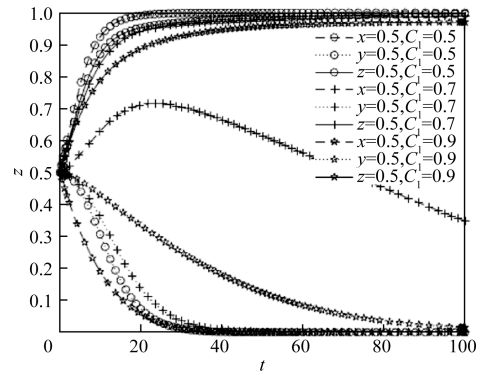


图 9 制造企业转型成本的影响

成本又会考虑能得到奖励,不断增大的政府收益对制造企业的转型选择具有微弱的积极作用。

4.2 情形 2 仿真分析

数组 2: $E_2=0.7, E_3=0.9, E_4=0.5, E_5=0.3, C_1=0.5, C_2=0.3, C_3=0.6, C_4=0.25, C_5=0.4, S_1=0.15, S_2=0.15, G_1=0.1, G_2=0.18, Q=1.2, C=0.9, m=0.5, \alpha=1.6, \theta=0.8, \mu_1=0.5, \mu_2=0.5, \Delta C=0.3$, 满足情形 2 中的条件。令 $x=y=z=0.4, x=y=z=0.5, x=y=z=0.6$, 得到初始参与意愿对数字化转型策略的影响(图 8)。仿真结果表明初始概率的增加,会加速制造企业和服务平台的收敛速度,对政府的策略选择影响不大,因为也将政府纳入利益方,政府在选择是否参与时会考虑到付出成本以及需要给予制造企业补贴和服务平台奖励,所以政府参与会付出一定的损失,另外,制造企业的意愿强度略超过服务平台的意愿强度,这是因为制造企业看到了选择数字化转型获得的基础收益以及服务平台协助时产生的协同收益大于付出的基础成本和协同成本,因此,尽管没有政府的鼓励和支持,制造企业和服务平台也仍然积极协同合作。

根据图 9 的仿真结果,制造企业的转型成本对

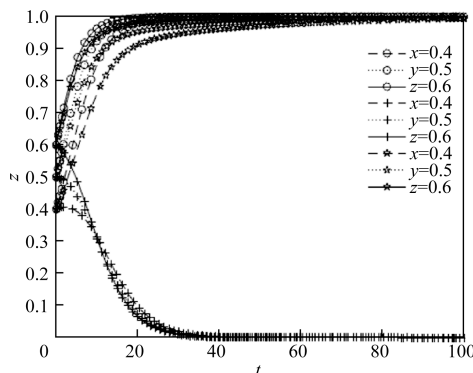


图 8 情形 2 时初始概率的变化对多主体的影响

行为策略的选择影响巨大,高成本时制造企业在演化时间为 30 的时候,转型意愿达到最低,同时政府最终达到不参与意愿最低;低成本时制造企业在演化时间为 20 的时候,转型意愿达到最高。如图 10 所示,随着协同成本的增大,制造企业达到转型意愿的时间延长,收敛速度较慢,服务平台起初选择协助,在演化过程中,意愿时强时弱,可以看出政府的策略选择也存在同样的趋势。

根据图 11 的结果,协同收益的增大对制造企业和服务平台具有正向拉动作用,二者更快地达到稳定,由于协同收益是制造企业和服务平台双方合作时产生的收益,并基于相同的比例进行分配,故对政府来说影响微弱,但政府的演化过程受到制造企业和服务平台的影响,在 $Q=0.8$ 时,政府参与的意愿存在波动。

4.3 情形 3 仿真分析

数组 3: $E_2=0.95, E_3=0.9, E_4=0.5, E_5=0.3, C_1=0.5, C_2=0.3, C_3=0.6, C_4=0.25, C_5=0.4, S_1=0.15, S_2=0.15, G_1=0.1, G_2=0.18, Q=1.2, C=1.3, m=0.5, \alpha=1.6, \theta=0.5, \mu_1=0.5, \mu_2=0.5, \Delta C=0.2$, 满足情形 3 中的条件。图 12 所

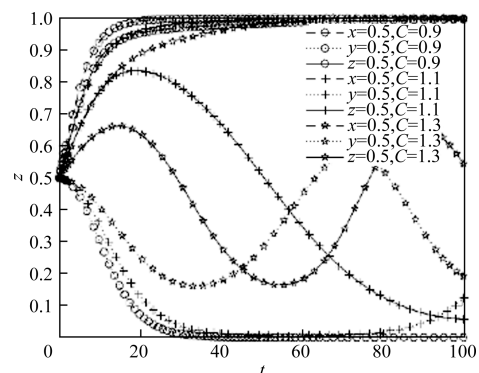


图 10 协同成本的影响

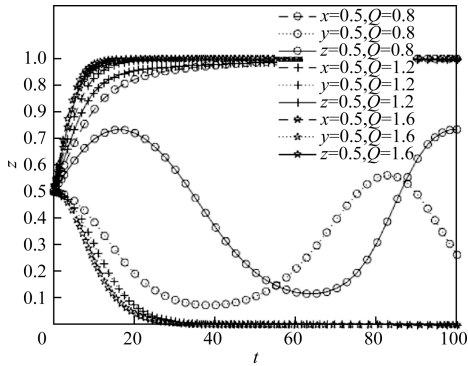


图 11 协同收益的影响

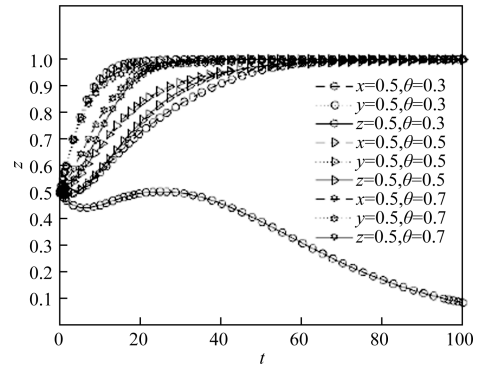


图 13 信任度的影响

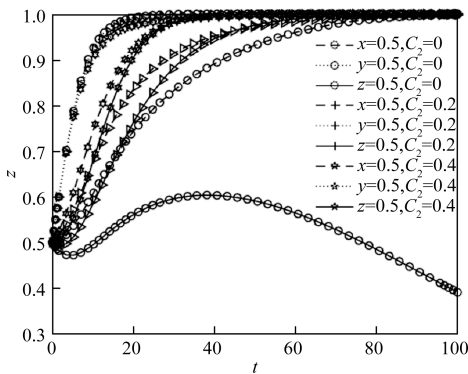


图 12 政府参与时协同成本减少量的影响

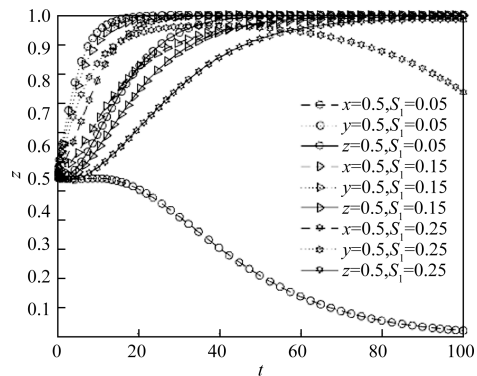


图 14 政府对制造企业的补贴的影响

示,当政府参与时协同成本的减少量为 0 时,服务平台意愿虽有浮动但保持较低的意愿,制造企业在演化过程快结束时才能达到稳定,当减少量增大时,制造企业和服务平台都能较快地演化至 1 的状态,可以发现,服务平台对这一因素更为敏感。由图 13 可知,当制造企业的转型收益大于付出的成本,即使在信任度较低的情况下,也会选择数字化转型,但收敛至稳定的时间很长,制造企业在权衡收益和自我保护之间会选择收益,可见制造企业对收益更为重视,反观服务平台,在弱信任度时会存在极低不协助的意愿,协同合作是两方的共同意愿,其中一方的不信任都会影响合作的稳定性,随着信任度的增加,两者之间的稳定意愿都会逐渐增强,拉动彼此之间的协同合作。在制造企业转型收益大于成本的情况下,服务平台对信任度这一因素更为敏感。

如图 14 所示,政府的补贴对制造企业具有促进作用,对服务平台和政府自身有抑制作用,政府加大补贴力度,会增大政府的负担,付出更多的成本,政府也是利益主体的一方,所以会导致政府的参与意愿降低,制造企业和服务平台协同合作过程中,

政府单方面只增加对制造企业的补贴,会影响服务平台协助的积极性,使其降低,但考虑到仍然是有利益可得,所以服务平台最终演化至协助策略。同理,图 15 与图 14 具有相似性,不再重述。

由图 16 的演化结果可知,该因素对制造企业转型具有正向作用,随着服务平台协助时对制造企业潜在损失不断加大,制造企业开始更快地选择数字化转型策略,不实施转型策略可能会降低制造企业在市场的竞争力,使其用户对其依赖性降低,产品和服务不被认可等消极影响,由此造成的一部分损失;然而,这些损失增大,会使得服务平台的协助意愿略有降低,可能是意识到不需要更主动地协助

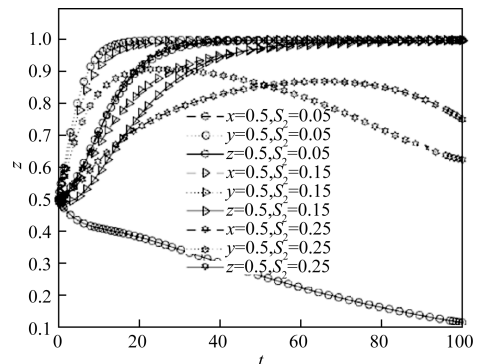


图 15 政府对服务平台的奖励的影响

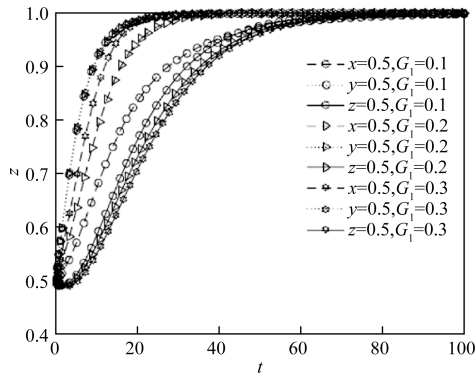


图 16 服务平台协助时对制造企业潜在损失的影响

制造企业,制造企业也会积极寻求服务平台的帮助,最终达到制造企业选择数字化转型,服务平台选择协助的稳定策略,由于这一因素对政府的利益相关性很小,所以对政府的策略选择影响甚微。

5 结语

本文针对我国制造企业在经济发展中不可避免的数字化转型问题,构建了制造企业、政府和服务平台三方演化博弈模型,求解出模型的均衡点并对每个均衡点进行逐一分析,最后使用 Matlab 软件对其仿真模拟,分析各参数变化对演化系统的影响,探究影响演化系统达到理想状态的相关因素和内在机理,结果表明:①影响制造企业进行数字化转型的主要因素有转型成本、数字化能力系数、政府对制造企业转型的补贴及协同收益。如果在一定的信任度水平下,制造企业转型后的总收益与成本之差大于不转型的收益和总付出成本之差,企业具有较高的转型意愿,如果企业转型所付出的成本过高,从上述数值仿真的结果可以看出,企业转型意愿收敛于 0 的速度很快,演化系统处于不良的状态且难以改变;②政府是否参与很大程度上取决于政府参与的收益和参与后对企业和平台付出的补贴、奖励,如果政府参与收益与成本之差小于不参与的收益与所付出的政策奖励之和,那么政府的参与意愿也处于低水平状态;③服务平台是否协助主要取决于在一定比例下的协同收益、协同成本、信任度和政府给予的奖励,如果服务平台协助获得的补贴与协同收益之和大于一定比例下付出的协同成本,服务平台会积极协助制造企业转型。

对促进制造企业采取数字化转型提出如下建议。

首先,企业要认识到转型带来的益处,清楚数字化转型战略对企业的发展过程中起到的积极作

用,增强数字化转型意识,与服务平台积极合作和交流,打破存在的不信任问题及企业自我保护的固有想法,实现资源的共享和改善产业协同水平较低的现状,实现企业的需求与平台的供给相符合。企业还应对数字化转型结果具备清晰的预测,即实现更高的价值创造。同时积极响应政府的号召和政策,让用户对其产生信任感并增大购买企业的产品和服务的意愿。

其次,政府作为公共服务机构在制造企业和服务平台的协同合作中,不应该只考虑自身的收益和付出的成本,政府是统筹规划的推动者,更应注重在宏观层面的调控,落实对制造企业和服务平台的奖惩情况,切实维护好双方的利益,为制造企业数字化转型注入动力,并保持合作过程中的稳定性,避免合作中断阻碍双方的发展。政府考虑参与后能取得一定的社会效益,可以配套相应的政策,针对数字化转型的制造企业减少收税,鼓励融资租赁和贷款贴息等方式提高制造企业数字化转型的积极性。在此过程中,政府还应该积极部署新一代信息基础设施,推进 5G 与大数据、人工智能的深度融合,并对企业展示数字技术的应用情况和强大优势。

最后,服务平台需要努力实现技术创新,提供数字化技术的同时完善相应的服务,并不断开发新的信息技术建设体系,搭建工业互联网平台为众多企业和各行各业赋能,对协助的企业提供长期的技术支持和更新迭代技术,解决企业数字化基础薄弱的问题,对企业员工进行数字培训。同时减少企业转型的成本而促使企业愿意采取数字化转型,紧跟政府提出的“政府补一点,企业出一点,平台让一点”的发展思路,携手企业加快数字化转型步伐。

本文的博弈机制设定还较为简单,策略上也存在一定的简化空间,未考虑服务平台与企业的合作中存在的互相制约因素以及平台对企业实施数字化转型后企业的是否能够取得满意的收益效果,也未考虑转型成功后对消费者的影响。因此,引入消费者的反馈和探究平台与企业的合作关系是未来可以研究的方向之一,此外,也可以运用案例研究方法对数字化转型的制造企业进行分析。

参考文献

- [1] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展报告(2022)

- 年): 202209 [R/OL]. 北京: 中国信息通信研究院, 2022:1-40 [2023-07-13]. https://dsj.gov.cn/xwzx/gnyw/202207/t20220711_75506676.html.
- [2] 埃森哲, 国家工业信息安全发展研究中心. 2022 埃森哲中国企业数字化转型指数: 202211[R/OL]. 上海: 埃森哲, 2022. https://www.accenture.com/cn_zh/insights/strategie/China-digital-transformation-index-2022.
- [3] 史宇鹏, 王阳, 张文韬. 我国企业数字化转型: 现状、问题与展望[J]. 经济学家, 2021(12): 90-97.
- [4] KRISTINE U, NATALIJA V. Digital barriers in digital transition and digital transformation: literature review [J]. Economics and Culture, 2023, 20(1): 125-143.
- [5] GEBAUER H, FLEISCH E, LAMPRECHT C, et al. Growth paths for overcoming the digitalization paradox [J]. Business Horizons, 2020, 63(3): 313-323.
- [6] 樊自甫, 陶友鹏, 龚亚. 政府补贴能促进制造企业数字化转型吗? ——基于演化博弈的制造企业数字化转型行为分析[J]. 技术经济, 2022, 41(11): 128-139.
- [7] LIU Y. Research on risk management of digital transformation based on stochastic evolutionary game [J]. Academic Journal of Business & Management, 2022, 4(13): 32-37.
- [8] 刘富华, 宋然. 数字经济是否促进了中国工业高质量发展? [J]. 当代经济管理, 2023, 45(6): 61-70.
- [9] 国务院关于印发《中国制造 2025》的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2015(16): 10-26.
- [10] 工业和信息化部办公厅关于印发《中小企业数字化赋能专项行动方案》的通知[C]//中国企业改革与发展研究会. 中国企业改革发展 2020 蓝皮书. 北京: 中国商务出版社, 2020: 404-407.
- [11] 刘浩. 中小制造业企业的数字化转型路径探究[J]. 科技和产业, 2023, 23(24): 22-27.
- [12] 孙利君. 我国数字经济发展战略与对策研究[J]. 管理现代化, 2020, 40(3): 74-76.
- [13] 王春英, 陈宏民. 数字经济背景下企业数字化转型的问题研究[J]. 管理现代化, 2021, 41(2): 29-31.
- [14] 王志奇, 王玉, 付业林. 基于演化博弈的“用产学研资政”协同创新模型与机制研究[J]. 科技管理研究, 2022, 42(11): 15-28.
- [15] 张小宇, 王冕, 李普超. 数字化转型协同机制研究——基于用户数据开放融合视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2023, 44(6): 150-167.
- [16] 张志元, 马永凡. 政府补助与企业数字化转型——基于信号传递的视角[J]. 经济与管理研究, 2023, 44(1): 111-128.
- [17] BAOTONG L, HUA Z, HAO Q, et al. An evolutionary game analysis of digital transformation of multiagent digital innovation ecosystems [J]. PloS One, 2023, 18(7): 0289011.
- [18] 黄忱, 虞诗强. 传统企业数字化转型与业务协同的策略研究[J]. 经济问题探索, 2023(3): 68-78.
- [19] 徐红丹, 王玖河. 考虑政府补贴的制造业数字化转型演化博弈[J]. 金融与经济, 2023(1): 51-60.
- [20] 黄蕊, 徐倩, 李雪威. 文化产业数字化转型的演化博弈研究[J]. 财经理论与实践, 2021, 42(2): 125-133.
- [21] MO L, HUA D, HAOCHE N Y, et al. Evolutionary game and simulation of collaborative green innovation in supply chain under digital enablement [J]. Sustainability, 2023, 15(4): 3125.
- [22] ZHAI J Q, XU X L, XU J X, et al. Research on green collaborative innovation mechanism of cloud manufacturing enterprises under government supervision [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 201: 1-17.
- [23] 彭正银, 姚双双. 平台生态系统中平台企业与互补企业实现协同合作的路径研究——基于演化博弈分析[J/OL]. 软科学: 2023, 37(5): 87-95.
- [24] 吴雷, 钟一纯, 林超然. 装备制造业产学研数字化协同创新研发模式选择研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2023, 44(6): 1081-1088.
- [25] 翁士增, 朱利新, 翁梓瑜. 传统产业数字化转型实现高质量发展的路径与对策[J]. 科技和产业, 2022, 22(12): 68-74.
- [26] SJÖDIN D, PARIDA V, KOHTAMÄKI M, et al. An agile co-creation process for digital servitization: a micro-service innovation approach [J]. Journal of Business Research, 2020, 112: 478-491.
- [27] 冯长利, 马睿泽. 基于服务化的制造业与服务提供商的演化博弈分析[J]. 中国管理科学, 2022, 30(6): 263-274.
- [28] 杨磊, 潘桂花, 侯贵生. 中小企业数字化转型关键参与主体的行为演化[J]. 科技管理研究, 2022, 42(6): 112-123.
- [29] 赵思齐. 传统制造业数字化转型协同策略研究[D]. 北京: 重庆邮电大学, 2022.
- [30] 谢孟鑫. 数据赋能驱动制造业企业转型升级研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2021.
- [31] 单子丹, 陈琳, 韩琳琳, 等. 数字化制造下多主体服务创新行为决策机理[J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(7): 2411-2426.
- [32] ZHANG C, LÜ L, WANG Z. Evolutionary game analysis for key participants' behavior in digital transformation of the Chinese construction industry [J]. Buildings, 2023, 13(4): 922.
- [33] WEI Z, Z S Q, W X Y. Industrial digital transformation strategies based on differential games [J]. Applied Mathematical Modelling, 2021, 102: 867.
- [34] 石奕磊. 基于复制动态的上市公司会计舞弊三方演化博弈研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2020.

Manufacturing Enterprise Digital Transformation Multibody Collaborative Relationship Evolutionary Game

ZHOU Chunliu, DONG Hongfeng, SHEN Nannan
(Anhui University of Technology, Maanshan 243032, Anhui, China)

Abstract: In view of the drawbacks of the strategy selection mechanism in which government guides and enterprises participate in the transformation, a tripartite evolutionary game model of manufacturing enterprises, government and service platform was constructed to deal with the collaborative relationship among many entities, and the influence of parameter changes on the stability of the evolutionary system and the strategy selection of entities was analyzed. The results show that the main factors affecting whether enterprises adopt the transformation strategy are the cost, digital capability coefficient and government subsidies, and enterprises will pay less attention to the trust problem because of the greater benefits. The participation of the government mainly depends on the benefits and input subsidies and rewards under the participation situation, and the unilateral incentives of the government will cause negative effects. Whether the service platform assists mainly depends on the cooperation cost, trust degree, cooperation benefit, and the reduction and reward of cooperation cost when the government participates in the cooperation.

Keywords: digital transformation; evolutionary game; manufacturing enterprises; multi-agent cooperation