

应急供应链企业数字化转型的动态博弈研究*

黄国平, 王令华

(湖南工业大学 商学院, 湖南 株洲 412007)

【摘要】 通过构建政府补贴背景下应急供应链企业数字化转型的演化博弈模型, 研究应急供应链企业的行为互动机制。研究表明: 政府补贴存在一个最优区间, 并非所有的政府补贴一定会促进应急供应链企业进行数字化转型, 过高或过低的政府补贴并不能明显提升供应链企业数字化转型意愿。政府应在合理区间内加强对应急供应链企业数字化转型的专项补助, 提高补贴的有效性和精准度, 从而促进行业的良性、有序发展, 进而促进应急救援效率的提升。

【关键词】 数字化; 应急供应链; 演化博弈; 政府补贴

【中图分类号】 F271 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-5639(2024)01-0082-09

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2024.01.009

一、引言

近年来, 国家高度重视应急供应链数字化建设。2021年12月, 国务院发布的《“十四五”数字经济发展规划》提出, 要提高物联网在应急管理等领域覆盖水平, 加快生产、物流、服务等企业数字化转型升级, 以数字技术促进产业融合发展。2022年2月, 国务院发布《“十四五”国家应急体系规划》, 强调加强信息支撑保障, 广泛吸引各方力量共同参与应急管理信息化建设, 强化数字技术在灾害事故应对中的应用, 为应急供应链企业数字化转型提供政策保障。为深入贯彻落实党中央、国务院关于支持中小企业创新发展、加快中小企业数字化转型系列决策部署, 2023年6月, 财政部、工业和信息化部联合印发《关于开展中小企业数字化转型城市试点工作的通知》, 指出财政部切块下达奖补资金, 按照“企业出一点、服务商让一点、政府补一点”的原则, 安排不低于80%的奖补资金开展中小企业数字化改造工作, 切实解决中小企业“不愿转、不敢转、不会转”的问题。

供应链数字化转型是数字经济时代应急供应链创新发展的重要方向。一方面, 随着第五代通信技术(5G)、云计算、区块链、物联网、大数据、云模型等信息通信技术的快速发展, 数字技术与应急技术的融合应用日趋成熟, 应急供应链数字化转型的技术条件已经初步具备。另一方面, 近年来洪涝、地震、冰冻、公共卫生等突发灾害愈发频繁, 严重影响着人们的日常生活, 传统的应急供应链由于各环节之间信息共享不足、管理观念缺乏与数字化变革的匹配, 导致各环节协作效率低, 进而阻碍应急救援效率的提升。在数字与风险并存的双重背景下, 越来越多的政府组织、企业、个人等意识到数字化转型的重要性, 并倒逼应急供应链加速向数字化转型。但不可忽视的是, 应急供应链企业作为我国应急供应链的重要组成部分, 数字化转型进程仍处于起步阶段, 目前仍存在诸多问题导致数字化进程缓慢。企业的行为选择过程中不仅仅考虑自身利益, 还受政府在政策支持、财税补贴等方面的具体措施影响。因此, 有必要构建一个博弈模型来分析应急供应链企业在数字化转型中的行为及其对产业发展的积极效应, 以引导更多的社会资本和民营企业参与到社会应急体系的数字化建设中。

二、文献综述

供应链企业数字化转型是目前学术研究的热点问题。部分学者主要关注企业数字化对供应链效率

* **【作者简介】** 黄国平, 男, 湖南安仁人, 湖南工业大学副教授, 博士, 研究方向为地方公共治理、应急物流; 王令华, 男, 山东泰安人, 湖南工业大学在读硕士研究生, 研究方向为应急物流。

的影响,^①企业数字化转型可以有效突破技术瓶颈,对提高供应链绩效有直接促进作用。另外,在面对风险冲击时,企业数字化可以提高企业对危机风险的事前防范和事后化解能力,增强风险冲击下企业绩效的稳定性,^②从而有效提升供应链韧性,这也是当前企业实施数字化的重要动力。在供应链数字化转型的过程中,数字平台凭借其强大的资源协调能力已经成为了供应链数字化的重要中介。凭借数字平台,不仅可以解决中小微供应链企业融资难、融资贵的问题,^③还可以通过集成数字技术进一步整合商流、物流、信息流和资金流来推动供应链产业的深度融合,进而促进供应链绩效的提升。

目前,供应链数字化研究已经延展到农业^④、制造业^⑤、金融业^⑥等多个领域,2019年底新冠疫情爆发后,应急供应链的数字化转型问题得到进一步关注。有学者强调应急思维模式的转变,提出数字供应链思维,这种思维模式能够在事后纠偏和事中控制状态下及时化解危机,也能通过数字全生命周期的可视化控制,在事前预测和动态追踪中消解危机。^⑦郁建兴和陈韶晖^⑧认为目前的应急管理较数字技术的发展已经落后,应构建“平台式”的应急管理,使应急供应链的参与主体依托平台进行链接,实现信息的高效流通和传递。杜晶晶等^⑨也强调了数字平台在应急供应链管理中的重要性,通过数字平台的资源整合,将赋予个体更加强大的能力和力量,进而提升整个应急供应链的效率。也有一些研究探讨了应急信息服务产品问题。^⑩但是,从目前的研究和实践来看,我国应急供应链企业数字化转型的节奏参差不齐,整体步伐仍相对缓慢,严重影响了应急救援过程中的协同效应提升,进而导致应急救援效率提升缓慢。因此相关政府部门有必要继续加大支持力度,引导社会各方力量关注并解决企业数字化转型中的薄弱环节,同时可以考虑对转型过程中企业出现的短期阵痛等情况予以政策和资金帮扶,力促数字智能化向企业各环节全方位渗透。^⑪另外,政府补贴是否一定能促进企业数字化转型还有待进一步探讨,例如刘

① 张树山,张佩雯,谷城.企业数字化转型与供应链效率[J].统计与决策,2023,(18):169-173;朱雪春,周思淼.企业数字化能力对供应链创新绩效的影响[J].中国流通经济,2023,(11):35-46;郭彤梅,李倩云,张玥,等.专精特新企业数字化转型与创新绩效的关系研究[J].技术经济,2023,(5):68-78;陶锋,王欣然,徐扬,等.数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率[J].中国工业经济,2023,(5):118-136.

② 刘海建,胡化广,张树山,等.供应链数字化与企业绩效——机制与经验证据[J].经济管理,2023,(5):78-98.

③ 宋华.数字平台赋能的供应链金融模式创新[J].中国流通经济,2020,(7):17-24.

④ 綦颖,赵曼.数字技术赋能生鲜农产品供应链路径研究[J].农业经济,2023,(7):129-130;范贝贝,李瑾,冯献,等.农产品智慧供应链体系高质量发展研究[J].中国工程科学,2023,(4):92-100;谌种华.“数商兴农”背景下农产品供应链敏捷性的提升策略[J].商业经济研究,2023,(20):28-31.

⑤ 周婧好,谭春桥.提升我国高端制造业供应链韧性的几点思考[J].理论探索,2023,(5):102-110;戴建平,骆温平.制造企业供应链数字化转型的机理与路径——基于工业互联网平台多边价值共创视角[J].财会月刊,2023,(17):137-144;陈林,张玺文.制造业数字化转型升级的机理研究[J].暨南学报(哲学社会科学版),2023,(3):99-110;孙新波,李伟祯,张明超.智能制造企业数字化赋能供应链敏捷性实现机理的案例研究[J].管理学报,2023,(08):1116-1127.

⑥ 中国人民银行成都分行营业管理部课题组,周飞.数字化视角下农村金融市场结构重塑与优化[J].西南金融,2023,(1):71-86;夏珂.我国农业供应链金融的逻辑基础、发展趋势和主要模式研究[J].金融发展研究,2023,(4):89-92.

⑦ 周荣超.数字供应链:应急管理能力提升的一种新思维[J].河南大学学报(社会科学版),2023,(1):33-38+153.

⑧ 郁建兴,陈韶晖.从技术赋能到系统重塑:数字时代的应急管理体制机制创新[J].浙江社会科学,2022,(5):66-75+157.

⑨ 杜晶晶,胡登峰,张琪.数字化赋能视角下突发公共事件应急管理系统研究——以新型冠状病毒肺炎疫情为例[J].科技进步与对策,2020,(20):34-40.

⑩ 张秋东,李桂华,黄蓉嵘.压力场景下应急信息服务产品生成机理研究[J].成都大学学报(社会科学版),2022,(1):22-33.

⑪ 赵玲,黄昊.企业数字化转型、供应链协同与成本粘性[J].当代财经,2022,(5):124-136.

仁军等^①指出企业物流智慧化升级成本的降低可以极大地提升企业物流智慧化的积极性,而提升补贴金额并不能显著提升企业物流智慧化的积极性,反而可能导致政府自身的财务危机。

综上所述,虽然目前关于供应链数字化转型的研究较多,但大部分研究并没有将应急供应链与供应链数字化转型结合起来研究应急供应链的数字化转型问题。同时,关于政府补贴是否一定能促进应急供应链企业的数字化转型问题还有待进一步研究,更鲜有学者研究在政府补贴情况下,应急供应链成员的数字化转型动态博弈问题。因此本文拟从政府补贴的角度出发,结合演化博弈模型,辅之以数值仿真模拟方法对应急供应链企业的数字化转型行为进行博弈分析,将演化博弈理论拓展到应急供应链领域,揭示应急供应链企业数字化转型的驱动机制。

三、应急供应链企业数字化转型演化博弈模型构建

(一) 问题描述

在应急供应链企业数字化转型过程中,由于相关利益主体存在利益冲突,因此其做出的行为是基于自身利益考量进行相互博弈的结果。本文提出一个多次博弈模型,通过在应急供应链中随机抽取两个具备技术和经济联系且实力相当的企业子群进行配对博弈,博弈双方可根据自身利益考量选择不进行数字化转型,也可以通过升级设备、研发新技术满足市场需求从而实现数字化转型。若双方都选择数字化转型,则可通过彼此的优势互补以及信息共享实现协同收益的增加,并产生额外收益。若一方实施数字化转型而另一方不实施,则会导致实施方利益增加,不实施方利益减少。企业通过“平战结合”模式参与应急供应链管理,数字化转型不仅有利于提高应急供应链效率,还有利于企业通过节约生产交易成本提高企业竞争力,进一步提升市场份额;同时,由于应急供应链的特殊性质,积极进行数字化转型的应急供应链企业会通过更高效、透明的管理实现应急救援效率的提升。例如,京东提出“有责任的供应链”,致力打造“平时服务、灾时应急”供应链体系。疫情期间,京东构建了以“1个平台+8个应用”为核心的数字防疫产品矩阵,依托政务协同平台,打造物资调配、流调管理、隔离转运、基层防疫、智慧通行、疫苗数据管理、智能外呼、防疫大数据等八大主要防疫应用。企业数字化转型虽然不一定会获得直接收益的提升,但是企业形象的维护、品牌的打造仍然是应急供应链企业实现长期利益的保障,因此本文用非物质收益来表示应急供应链企业数字化转型后获得的品牌形象及公信力提升。特别是,由于应急供应链的正外部效应,政府还会对此进行政策引导,对实施数字化转型的应急供应链企业给予补贴。

(二) 模型基本假设及参数设定

根据应急供应链企业的实际情况对本演化博弈模型做出以下假设。

假设1:在自然环境中,应急供应链企业构成一个完整的系统。将应急供应链系统分为群体1和群体2,其中主体1为群体1的子群体,主体2为群体2的子群体。

主体1的策略集为 S_1 {1:实施数字化转型,0:不实施数字化转型},

主体2的策略集为 S_2 {1:实施数字化转型,0:不实施数字化转型}。

假设2:若主体1企业和主体2企业均不选择实施数字化转型,则收益为 R_i ($i=1,2$)。

假设3:企业参与数字化转型不仅可以通过更低的成本、更优质的服务满足消费者的多样化需求,从而抢占更多的市场份额、获得利润增长;此外,在重大突发灾害事件中,还可以更高效地服务应急供应链,提升应急效率,减少人民的生命财产损失。因此数字化转型还会给企业带来非物质利益(声誉、社会认可度)的提升。若一个主体选择实施数字化转型,而另一个主体不实施数字化转型,那么实施数字化转型的主体可以获得物资利益 L_i ($i=1,2$)与非物质利益的提升 N_i ($i=1,2$),不实施的主体则减少 L_i 。

假设4:若一个主体实施数字化转型,另一个选择不实施,此时实施数字化转型的成本为 C_i ($i=1,2$)。此外,由于数字化转型能够提升“战”时的应急救援效率和“平”时的生产效益,此时为主体企业带来的直接收益系数为 α ($\alpha>1$)。若两个主体企业均选择实施数字化转型,那么不仅会带来协同收益和

^① 刘仁军,周欣. 政府补贴与企业物流智慧化升级的演化博弈[J]. 科技管理研究, 2023, (4): 185-192.

额外收益的增加, 协同效应还会降低数字化转型的成本, 此时选择数字化转型的成本为 C'_i ($i=1, 2; 0 < C'_i < C_i$), 带来的额外的收益为 P , 主体 1 的分配系数为 δ , δ 介于 $[0, 1]$ 之间, 主体 2 的分配系数为 $1 - \delta$ 。

假设 5: 政府会对积极进行数字化转型的应急供应链企业进行政策引导, 给予补贴, 选择转型的企业获得的数字化转型成本补贴为 βC_i ($i=1, 2$), β 为政府补贴力度, β 介于 $[0, 1]$ 之间。

假设 6: 主体 1 企业选择数字化转型的概率为 x , 则选择不实施数字化转型的概率为 $1 - x$; 同样的, 主体 2 选择数字化转型的概率为 y , 则选择不实施数字化转型的概率为 $1 - y$ 。 x, y 介于 $[0, 1]$ 之间, 均为时间 t 的函数。

具体参数说明见表 1。

表 1 参数设定及符号说明

参数符号	符号说明
x	主体 1 选择数字化转型的概率
y	主体 2 选择数字化转型的概率
R_i	主体不选择实施数字化转型, 继续按以前的模式经营获得的收益
N_i	实施数字化转型的主体非物质收益增加 N_i
L_i	一个主体选择实施数字化转型, 另一主体不选择实施数字化转型, 则转型的主体物质收益增加 L_i , 不实施的主体收益减少 L_i
C_i	一个主体选择实施数字化转型, 另一主体不选择实施数字化转型, 则实施数字化转型的主体需投入成本
α	实施数字化转型主体的收益系数
C'_i	两个主体均实施数字化转型时投入的成本
P	两个主体均实施数字化转型时, 协同效应带来的的额外收益
δ	两个主体均实施数字化转型时, 协同效应带来收益的分配系数
βC_i	主体实施数字化转型时, 获得的数字化转型成本补贴
β	主体实施数字化转型时, 政府的补贴力度

根据模型假设, 考虑政府补贴的应急供应链企业数字化转型的收益矩阵, 如表 2 所示。

表 2 考虑政府补贴的应急供应链企业博弈双方收益矩阵

		主体 2	
		实施数字化转型	不实施数字化转型
主体 1	实施数字化转型	$R_1 + \alpha R_1 + N_1 + \delta P - C'_1 + \beta C_1$	$R_1 + \alpha R_1 + N_1 + L_1 - C_1 + \beta C_1$
		$R_2 + \alpha R_2 + N_2 + (1 - \delta) P - C'_2 + \beta C_2$	$R_2 - L_2$
	不实施数字化转型	$R_1 - L_1$	R_1
		$R_2 + \alpha R_2 + N_2 + L_2 - C_2 + \beta C_2$	R_2

结合表 2 的收益矩阵, 设应急供应链企业主体 1 选择实施数字化转型策略的期望收益为 U_{11} , 选择不实施数字化转型策略的收益为 U_{12} , 企业的平均收益为 \bar{U}_1 , 则 U_{11} 、 U_{12} 、 \bar{U}_1 分别如下:

$$U_{11} = y(R_1 + \alpha R_1 + N_1 + \delta P - C'_1 + \beta C_1) + (1 - y)(R_1 + \alpha R_1 + N_1 + L_1 - C_1 + \beta C_1) \\ = L_1 + N_1 + R_1 - yC'_1 - yL_1 + \alpha R_1 + y\delta P + C_1(y + \beta - 1) \tag{1}$$

$$U_{12} = y(R_1 - L_1) + (1 - y)R_1 = R_1 - yL_1 \tag{2}$$

$$\bar{U}_1 = xU_{11} + (1 - x)U_{12} = R_1 + xL_1 + xN_1 - yL_1 - xyC'_1 + x\alpha R_1 + xy\delta P + xC_1(\beta + y - 1) \tag{3}$$

根据相关演化博弈理论, 由 (1) ~ (3) 式可得应急供应链企业主体 1 选择实施数字化转型策略的

复制动态方程为：

$$F_{(x)} = \frac{d_x}{d_t} = x(U_{11} - \bar{U}_1) = -[x(x-1)(L_1 + N_1 - yC'_1 + \alpha R_1 + y\delta P + yC_1 + \beta C_1 - C_1)] \quad (4)$$

同理，设应急供应链企业主体 2 选择实施数字化转型策略的期望收益为 U_{21} ，选择不实施数字化转型策略的收益为 U_{22} ，企业的平均收益为 \bar{U}_2 ，则 U_{21} 、 U_{22} 、 \bar{U}_2 分别如下：

$$U_{21} = x[R_2 + \alpha R_2 + N_2 + (1-\delta)P - C'_2 + \beta C_2] + (1-x)(R_2 + \alpha R_2 + N_2 + L_2 - C_2 + \beta C_2) \\ = R_2 + N_2 + L_2 + xP + \alpha R_2 + C_2(x + \beta - 1) - x\delta P - xC'_2 \quad (5)$$

$$U_{22} = x(R_2 - L_2) + (1-x)R_2 = R_2 - xL_2 \quad (6)$$

$$\bar{U}_2 = yU_{21} + (1-y)U_{22} \\ = R_2 + L_2(y-x) + y\alpha R_2 + y[N_2 + C_2(\beta + x - 1) - x(C'_2 + \delta P - p)] \quad (7)$$

由 (5) ~ (7) 式可得应急供应链企业主体 2 选择实施数字化转型策略的复制动态方程为：

$$F_{(y)} = \frac{d_y}{d_t} = y(U_{21} - \bar{U}_2) \\ = -[y(y-1)(N_2 + L_2 + xP + \alpha R_2 + xC_2 + \beta C_2 - C_2 - xC'_2 - x\delta P)] \quad (8)$$

四、演化博弈分析

通过联立式 (4) 和式 (8) 求解这两个方程，可以求得各博弈主体的平衡点。最后，根据动态复制方程在各平衡点的导函数的正负，可以评估博弈主体的演化稳定性策略。

由式 (4) 和式 (8) 构成的复制动态方程为：

$$F_{(x)} = \frac{d_x}{d_t} = x(U_{11} - \bar{U}_1) = -[x(x-1)(L_1 + N_1 - yC'_1 + \alpha R_1 + y\delta P + yC_1 + \beta C_1 - C_1)] \\ F_{(y)} = \frac{d_y}{d_t} = y(U_{21} - \bar{U}_2) \\ = -[y(y-1)(N_2 + L_2 + xP + \alpha R_2 + xC_2 + \beta C_2 - C_2 - xC'_2 - x\delta P)] \quad (9)$$

对主体 1 企业及主体 2 企业的演化稳定策略进行分析，令 $F_{(x)} = F_{(y)} = 0$ ，可以得到以下 5 个局部均衡点： $A(0, 0)$ ， $B(0, 1)$ ， $C(1, 0)$ ， $D(1, 1)$ ， $E(x^*, y^*)$ ($x^* = \frac{C_2 - N_2 - L_2 - \alpha R_2 - \beta C_2}{(1-\delta)P + C_2 - C'_2}$ ， $y^* = \frac{C_1 - L_1 - N_1 - \alpha R_1 - \beta C_1}{\delta P + C_1 - C'_1}$)。当 $0 < x^* < 1$ 且 $0 < y^* < 1$ 时，存在 5 个均衡点；当不满足 $0 < x^* < 1$ 且 $0 < y^* < 1$ 时， x 和 y 的取值范围不能满足假设，此时两个企业的演化存在： $A(0, 0)$ ， $B(0, 1)$ ， $C(1, 0)$ ， $D(1, 1)$ 4 个均衡点。

通过对 $F_{(x)}$ 和 $F_{(y)}$ 求偏导可得雅克比矩阵为：

$$J = \begin{Bmatrix} (1-2x)(L_1 + N_1 - yC'_1 + \alpha R_1 + yC_1 + \beta C_1 - C_1 + y\delta P) & -[x(x-1)(\delta P + C_1 - C'_1)] \\ -[y(y-1)(C_2 - C'_2 + P - P\delta)] & (1-2y)(N_2 + L_2 + xP - xC'_2 + \alpha R_2 + xC_2 + \beta C_2 - C_2 - x\delta P) \end{Bmatrix} \quad (10)$$

雅克比矩阵的行列式 $detJ$ 和迹 trJ 分别为：

$$detJ = (1-2x)(1-2y)(L_1 + N_1 - yC'_1 + \alpha R_1 + yC_1 + \beta C_1 - C_1 + y\delta P)(N_2 + L_2 + xP - xC'_2 + \alpha R_2 + xC_2 + \beta C_2 - C_2 - x\delta P) - [x(x-1)(\delta P + C_1 - C'_1)][y(y-1)(C_2 - C'_2 + P - P\delta)] \quad (11)$$

$$trJ = (1-2x)(L_1 + N_1 - yC'_1 + \alpha R_1 + yC_1 + \beta C_1 - C_1 + y\delta P) + (1-2y)(N_2 + L_2 + xP - xC'_2 + \alpha R_2 + xC_2 + \beta C_2 - C_2 - x\delta P) \quad (12)$$

由 Friedman^① 的判别方法，雅克比矩阵行列式和迹存在以下几种情况：当 $detJ > 0$ 且 $trJ < 0$ 时，演化系统的均衡点为稳定点 (ESS)；当 $detJ > 0$ 且 $trJ > 0$ 时，演化系统的均衡点为不稳定点；当 $detJ < 0$ 时，演化系统的均衡点为鞍点。现将这五个点的均衡点代入到式 (11) 和式 (12) 中，表 3 中列出了它们的

① FRIEDMAN D. Evolutionary Game in Economics [J]. Econometrica, 1991, (3): 637-666.

评估结果。

表3 各均衡点的雅可比矩阵行列式和迹

均衡点	detJ		trJ		结果
A(0,0)	$[L_1 + N_1 + \alpha R_1 + (\beta - 1)C_1]$	+	$L_1 + N_1 + N_2 + L_2 + \alpha R_1 + \alpha R_2$	-	稳定
B(0,1)	$-(L_1 + N_1 + \alpha R_1 + \beta C_1 + \delta P - C'_1)$ $(L_2 + N_2 + \alpha R_2 + \beta C_2 - C_2)$	+	$C_2 + L_1 + N_1 + \alpha R_1 + \beta C_1 + \delta P - C'_1$ $- L_2 - N_2 - \alpha R_2 - \beta C_2$	+	不稳定
C(1,0)	$-(L_1 + N_1 + \alpha R_1 + \beta C_1 - C_1)(L_2 + N_2 + P + \alpha R_2 + \beta C_2 - C'_2 - \delta P)$	+	$C_1 + N_2 + L_2 + P + \alpha R_2 + \beta C_2 - C'_2 - L_1 - N_1 - \alpha R_1 - \beta C_1 - \delta P$	+	不稳定
D(1,1)	$(L_1 + N_1 + \alpha R_1 + \beta C_1 + \delta P - C'_1)(L_2 + N_2 + \alpha R_2 + \beta C_2 + P - \delta P - C'_2)$	+	$C'_1 + C'_2 - L_1 - L_2 - N_1 - N_2 - P - \alpha R_1 - \alpha R_2 - \beta C_1 - \beta C_2$	-	稳定
$E(x^*, y^*)$	$-(L_1 + N_1 + \alpha R_1 + \beta C_1 - C_1)$ $(L_2 + N_2 + \alpha R_2 + \beta C_2 - C_2)$ $(L_2 + N_2 + \alpha R_2 + \beta C_2 - C'_2 - \delta P)$ $(L_1 + N_1 + \alpha R_1 + \beta C_1 + \delta P - C'_1) / [(C_2 - C'_2 + P - \delta P)(C_1 + \delta P - C'_1)]$	-	0		鞍点

由表3可知, 均衡点 $E(x^*, y^*)$ 的迹 $trj=0$, 说明均衡点 $E(x^*, y^*)$ 无论何种情况下都不是系统的演化稳定策略, 不予考虑。 (x^*, y^*) 在 $M = \{(x, y) | 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1\}$ 平面上, 当 $0 \leq C_2 - N_2 - L_2 - \alpha R_2 - \beta C_2 \leq (1 - \delta)P + C_2 - C'_2, 0 \leq C_1 - L_1 - N_1 - \alpha R_1 - \beta C_1 \leq \delta P + C_1 - C'_1$ 时, $A(0, 0), D(1, 1)$ 具有稳定性, 为演化均衡点; $B(0, 1), C(1, 0)$ 为不稳定点。应急供应链企业主体1与主体2的演化博弈相位图见图1。

五、数值仿真分析

对两家应急供应链企业在不同政府补贴力度、数字化转型成本、直接收益、协同收益、非物质收益和不同协同收益分配系数情形下的数字化转型策略进行仿真分析, 通过仿真结果可以更加清晰地了解两家应急供应链企业策略选择过程中的稳定状态以及各参数变量对演化路径的影响。结合模型基本假设和约束条件, 设定参数基准值如表3所示, 同时, 参数的初始值设定满足等式平衡原则, 即当参数的初始值设定符号 $M_1 + R_1 + L_1 + \alpha R_1 + \beta C_1 - C_1 > R_1$ 时, 主体1最终会因转型收益大于维持现状的收益而向数字化转型方向演化。对多次博弈进行仿真分析如表4:

表4 各参数初始值

参数	R_1	R_2	L_1	L_2	N_1	N_2	C_1	C_2	C'_1	C'_2	α	P	δ	β
基准值	3.0	3.0	1.2	1.2	1.5	1.5	8.0	8.0	6.0	6.0	1.0	1.0	0.5	0.5

(一) 政府补贴的影响分析

系统演化的初始点 (x_0, y_0) 设定为 $(0.5, 0.5)$, 其他参数保持不变, 分别取 β 为 0.2、0.4、0.6、0.8, 系统演化图像见图2所示。当 β 取值为 0.4、0.6、0.8 时, 曲线趋向于 1, 并且 β 取值越大, 曲线的斜率也就越大, 但提升速度有限。这说明当政府补贴力度越来越大时, 应急供应链企业就会倾向于尽早转型, 但是政府补贴的增加与应急供应链企业选择数字化转型概率的提升并不呈线性关系。同时, 并不是政府补贴一定会促进应急供应链企业选择数字化转型。根据图2所示, 当 β 取 0.2 时, 曲线趋向于 0, 这说明当政府补贴力度较小时, 应急供应链企业经过综合考量会选择继续当前运营模式, 此时政府补贴并不能起到激励作用。

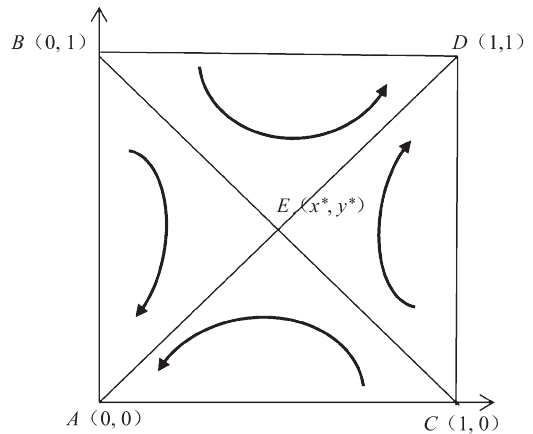


图1 演化博弈相位图

这表明政府的补贴政策应设置在合理范围内, 过高或过低都会影响到应急供应企业数字化转型的积极性。

(二) 数字化转型成本的影响分析

C'_i 的演化过程与 C_i 的演化过程相似, 因此只讨论 C_i 对应急供应链企业数字化转型策略选择的影响。系统演化的初始点 (x_0, y_0) 设定为 $(0.5, 0.5)$, 其他参数保持不变, 分别取 C_i 为 4、8、12、16, 系统演化图像见图 3 所示。当 C_i 分别取 4、8 时, 曲线逐渐趋向 1, 且随着 C_i 的减小, 曲线的斜率也在不断增大, 这说明当应急供应链数字化转型的成本逐渐降低时, 企业实施数字化转型的概率相对较高, 实施数字化转型策略的时间也会更早; 当 C_i 取 12 时, 曲线虽然趋向于 1, 但是斜率较小, 说明此时企业数字化转型的决心不足, 数字化转型时间也较晚; 而当 C_i 取 16 时, 曲线趋向于 0, 即当转型成本过高时, 企业并不会选择进行数字化转型。这表明过高的数字化转型成本仍然是阻碍应急供应链企业推进数字化进程的主要原因, 进而会阻碍应急效率的提升。

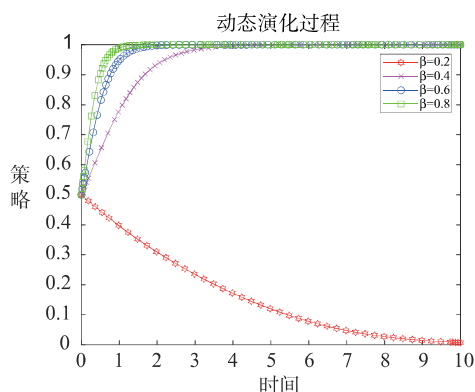


图 2 不同政府补贴下应急供应链企业的动态演化仿真

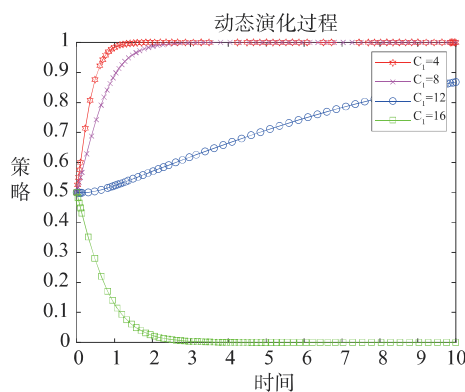


图 3 不同数字化转型成本下应急供应链企业的动态演化仿真

(三) 直接收益的影响分析

系统演化的初始点 (x_0, y_0) 设定为 $(0.5, 0.5)$, 其他参数保持不变, 分别取 L_i 为 0.5、1.5、3、5, 系统演化图像见图 4 所示。曲线斜率随 L_i 取值的增大而不断增大。这说明应急供应链企业虽然大多以“平战结合”模式参与应急救援, 但是“平”时的收益仍然会对企业起到较大激励作用, 数字化转型创造的收益越高, 企业就越趋向于尽早转型, 从而通过差异化优势抢占更多市场份额。

(四) 协同收益的影响分析

系统演化的初始点 (x_0, y_0) 设定为 $(0.5, 0.5)$, 其他参数保持不变, 分别取 P 为 2、4、6、8, 系统演化图像见图 5 所示。曲线斜率随 P 取值的不断增大而不断增大, 并最终趋向于 1。这说明随着应急供应链企业数字化转型协同收益的增加, 企业选择数字化转型的速度加快, 但提升速度有限。由此可知协同收益对应急供应链企业数字化转型起到正向促进作用, 但是激励效果并不明显。

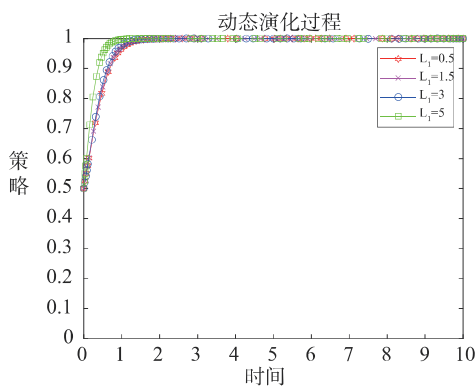


图 4 不同直接收益下应急供应链企业的动态演化仿真

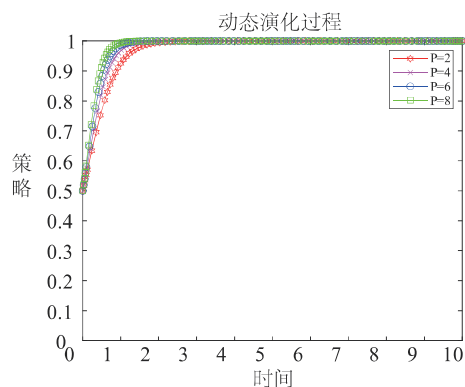


图 5 不同协同收益下应急供应链企业的动态演化仿真

(五) 非物质收益的影响分析

系统演化的初始点 (x_0, y_0) 设定为 $(0.5, 0.5)$, 其他参数保持不变, 分别取 N_1 为 0.5、1.5、3、5, 系统演化图像见图 6 所示。当 N_1 取 0.5 时应急供应链企业选择实施数字化转型的变化曲线逐步趋向于 1, 但曲线斜率较缓。当 N_1 取 1.5、3、5 时, 曲线斜率随 N 的增大而不断增大, 并最终趋向于 1。这表明应急供应链企业除了重视数字化转型带来的直接收益外, 非物质收益虽然不能直接为企业带来利润的提升, 但为了维护企业形象, 吸引更多忠实顾客, 企业数字化转型博弈中仍会重视非物质收益的影响。

(六) 协同收益分配系数的影响分析

在其他参数不变的情况下, 系统演化的初始点 (x_0, y_0) 设定为 $(0.5, 0.5)$, $\beta=0.25$, 分别取 δ 为 0.2、0.4、0.6、0.8, 系统演化图像见图 7a 所示; 当 $\beta=0.5$, 分别取 δ 为 0.2、0.4、0.6、0.8, 系统演化图像见图 7b 所示。当 $\beta=0.25$ 时, 政府补贴力度较小, 说明应急供应链企业数字化转型需要投入较高的成本。从图 7a 可以看出, 当 δ 取 0.2 时, 曲线逐渐趋向于 0; 当 δ 取 0.4、0.6 时, 曲线逐渐趋向 1, 但是斜率较缓; 当 δ 取 0.8 时, 曲线趋向 1 且斜率较大。由此说明当政府补贴较小时, 由于应急供应链企业数字化转型成本较高, 如果企业获得的协同收益分配又较低, 那么企业会在综合考量后选择维持现状, 即不进行数字化转型。但是当获得的协同收益分配较多时, 企业会尽早选择数字化转型策略。

当 $\beta=0.5$ 时, 说明应急供应链企业数字化转型投入的成本可以获得较大的政府补贴。从图 7b 可以看出, 减轻了成本顾虑的应急供应链企业会随着协同收益分配系数的增大而尽早选择数字化转型, 但此时协同收益分配系数对企业选择的影响较小。由此说明企业在进行数字化转型博弈时, 成本问题依然是最大的阻碍。

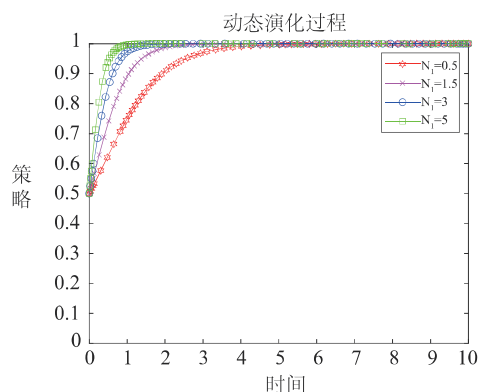


图 6 不同非物质收益下应急供应链企业的动态演化仿真

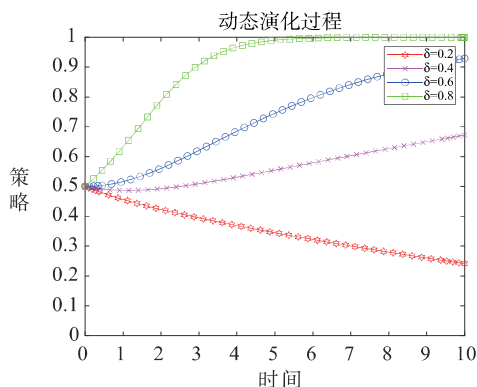


图 7a $\beta=0.25$ 时不同协同收益分配系数下应急供应链企业的动态演化仿真

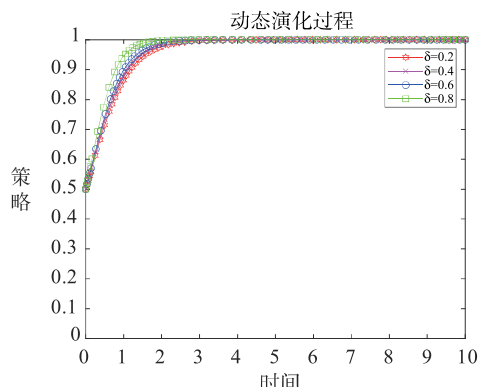


图 7b $\beta=0.5$ 时不同协同收益分配系数下应急供应链企业的动态演化仿真

六、结论与管理建议

本文以博弈主体的有限理性为前提, 结合政府补贴构建了应急供应链企业相互作用下选择数字化转型的动态演化模型, 并用仿真模拟进一步分析了企业间的互动机制。根据研究结果, 本文可得出以下结论: 第一, 应急供应链企业是否选择数字化转型策略在根本上受到转型后的直接收益、非物质收益、协同收益等客观因素的影响, 但高昂的数字化转型成本及后期的维护成本是企业选择数字化转型的主要障碍, 政府在实施补贴手段鼓励应急供应链企业进行数字化研发创新、升级的同时, 还应丰富“平”时的应用场景, 为应急供应链企业带来更多的数字化收益。第二, 政府补贴存在一个最优区间, 并不是所有的政府补贴一定会促进应急供应链企业进行数字化转型。当政府补贴可以抵消大部分应急供应链企业为

数字化转型投入的成本时,会降低企业的投资及创新风险,企业会选择尽早进行数字化转型。但是当补贴超过最优区间时,企业选择数字化转型的概率与政府补贴金额并不呈线性关系,随着政府补贴金额的增加,应急供应链企业的积极性提升并不明显,此时会造成政府资源的浪费;同时,当政府补贴不足时,企业并没有显现出明显的数字化转型意愿,即较低政府补贴并不会起到激励作用。第三,非物质收益仍然是企业选择数字化转型策略的重要影响因素。当重大灾害发生时,数字化的应急供应链企业可以提供更及时、高效的应急救援服务,尤其是互联网使得信息传递更高效透明的今天,企业的高效救援服务会形成口碑传播,从而促进企业发展。

基于上述研究和分析,本文提出以下建议,以期帮助传统应急供应链企业更有效地推动数字化转型落地实施。

第一,以政府补贴形式进一步鼓励应急供应链企业数字化转型。由于政府补贴能够降低企业数字化转型的成本压力,对企业数字化转型具有正向推动作用,可以进一步设立专项资金提高应急供应链企业的数字化转型积极性,还可以在税收、贷款等方面提供政策引导;考虑到政府补贴对应急供应链企业数字化转型具有门槛效应,过高或过低的补贴并不能明显达到补贴的目的,反而还会造成资源的浪费。因此政府应结合应急供应链企业数字化转型的现状及企业的财务状况,在合理范围内设置补贴金额,增强应急供应链企业转型的意愿。同时,还要加强监督引导,避免无效补贴和企业的“骗补”行为,促进行业的良性发展。

第二,应急供应链企业应建立合理的数字化成本共担,收益共享机制。应急供应链企业协同转型不仅可以降低数字化转型成本,还可以带来额外收益。因此应鼓励相关企业制定完善的数字化转型计划、信息共享机制和协同配合流程,从而共担数字化转型成本,共享数字化转型收益,加速数字化转型。

第三,加强产学研合作,提高数字化转化能力。鼓励科研人员进行应急装备及应急技术的研究,开展相关技术培训和提升计划,提高企业员工数字化转型的能力和素质,为应急供应链数字化转型提供数字人才和技术保障,降低数字化转型成本。

第四,打破应急协同碎片化,构建应急供应链生态系统。针对非政府主体参与应急协同的定位和路径尚不明晰的问题,政府应以服务为手段,通过对话与合作等机制实现资源与力量的整合与增值,打破应急协同碎片化困局,为构建常态化多元主体参与的应急供应链生态系统提供保障。

Dynamic Game Study on Digital Transformation of Emergency Supply Chain Enterprises

HUANG Guoping, WANG Linghua

(School of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan, China 412007)

Abstract: By constructing an evolutionary game model of digital transformation of emergency supply chain enterprises under the background of government subsidies, the behavioral interaction mechanism of emergency supply chain enterprises is studied. The research results show that there is an optimal range of government subsidies, not all government subsidies will definitely promote the digital transformation of emergency supply chain enterprises, and higher or lower government subsidies can not significantly improve the digital transformation willingness of supply chain enterprises. The government should strengthen special subsidies for the digital transformation of emergency supply chain enterprises within a reasonable range, improve the effectiveness and accuracy of subsidies, so as to promote the benign and orderly development of the industry, and further promote the emergency rescue efficiency.

Key words: digitalization; emergency supply chain; evolutionary game; government subsidies

(责任编辑:杨恬)