

# 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

樊自甫, 陶友鹏, 龚 亚

(重庆邮电大学 经济管理学院, 重庆 400065)

**摘要:** 推动制造企业数字化转型是做大做强制造业、实现制造业高质量发展的必由之路。基于Hotelling模型,构建制造企业数字化转型的演化博弈模型,分析了在不同市场竞争强度下政府补贴力度变化对制造企业数字化转型策略选择的影响机理。结果显示,政府补贴能有效激励制造企业进行数字化转型,但只有达到一定的阈值才会发挥作用;激烈的市场竞争会弱化政府补贴的激励效果,且对资金能力较弱的制造企业弱化作用更为明显;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,但在市场竞争强度较大时,协同效应表现并不明显。

**关键词:** 数字化转型; Hotelling模型; 演化博弈; 政府补贴; 市场竞争

**中图分类号:** F272.3    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-980X(2022)11-0128-12

## 一、引言

推动制造业数字化转型既是深化供给侧改革、夯实国民经济发展基础的基本需要,也是抓住新一轮科技革命和产业变革的重要途径。国务院及相关部委相继出台了一系列推动制造业数字化转型的政策举措。而制造业数字化转型主要聚焦于制造企业的数字化转型,制造企业通过大数据、人工智能、云计算等数字技术的运用对企业进行全方位、全链条数字化改造,起到降本、提质、增效的效果,加速产品和服务迭代,提高全要素生产率,进而推动整个制造业实现质量变革、效率变革、动力变革。因此,持续推动制造企业数字化转型是中国由“制造大国”向“制造强国”迈进的重要举措,也是制造企业顺应时代浪潮的最佳选择。

现有文献关于制造企业数字化转型的研究,主要集中在以下三个方面:

一是关于数字化转型对制造企业的影响研究。刘飞(2020)运用文本挖掘算法分析了数字化转型对制造企业生产率的影响,发现数字化转型对企业生产率具有显著的间接影响和互补影响。林琳和吕文栋(2019)运用案例分析法,分析了数字化转型对酷特智能和青岛海尔两家制造企业生产经营方式变革的影响和作用机制。王永龙等(2020)通过理论与实证相结合的方式,揭示了数字化转型对制造企业实现质量变革的内在机理。何帆和刘红霞(2019)通过A股上市公司面板数据实证检验了数字化变革对制造企业经营状况的影响,结果表明有显著的促进作用。廖信林和杨正源(2021)以长三角地区为研究对象,运用高斯混合模型实证检验了数字经济通过资源配置优化、生产成本降低和创新发展驱动等途径推动制造企业数字化转型。

二是关于推动制造企业数字化转型的路径研究。李滋阳等(2021)通过高校产学研视角对制造企业数字化转型进行研究,提出打造数字化人才基地、支持各级政府政策创新等路径。王德辉和吴子昂(2020)从人才培养、政策保障等方面提出推动制造企业数字化转型路径。李煜华等(2022)基于路径依赖视角,构建先进制造企业数字化转型驱动因素模型,并从政府、企业、管理者三个层面提出推动制造企业转型的路径。Xue et al(2022)则认为制造企业在数字化转型前需要有足够的资源准备。

三是关于制造企业数字化转型驱动因素研究。纵观国内外现有研究,制造企业数字化转型的驱动因素可分为外部因素与内部因素。内部因素主要有企业创新能力(郑琼洁和姜卫民,2022;Lin et al,2019)、企业数字化能力(孟凡生等,2019;Kutin et al,2016)、企业研发投入强度(童雨,2022)、内部资源有效配置能力(郑

**收稿日期:** 2022-01-10

**基金项目:** 国家社会科学基金青年项目“人工智能产业核心技术突破中的创新共同体构建与协同机制研究”(20CGL004);重庆市社会科学规划重点项目“协同推进重庆数字产业化和产业数字化转型发展研究”(2021ZDZK13)

**作者简介:** 樊自甫,硕士,重庆邮电大学数字经济研究中心主任,教授,硕士研究生导师,研究方向:数字经济、区域协同发展、下一代网络技术;陶友鹏,重庆邮电大学经济管理学院硕士研究生,研究方向:数字经济、数字化转型;龚亚,重庆邮电大学经济管理学院硕士研究生,研究方向:数字经济。

季良等,2020)、组织成员的应对行为(Smith和Beretta,2021)等,外部因素主要有税负水平(李林木和汪冲,2017)、知识产权制度(侯光明等,2018)、政府激励政策(孟凡生和赵刚,2018;刘晓娟和张鹏,2021;Li et al,2020;Li et al,2021)等。其中,政府补贴一直是政府激励政策中的一项重要形式。关于政府补贴和制造企业数字化转型的关系研究中,陈和和黄依婷(2022)认为政府补贴兼具资源属性和信号属性,能直接降低企业数字化转型的边际成本和分散企业数字化转型的风险,并基于上市公司的面板数据,从直接资源补充和间接信号传递的角度解释检验了政府补贴对制造企业数字化转型的促进作用。余典范等(2022)基于对产业链协同理论机制分析的基础上,实证检验政府对产业链上游企业的补贴能显著促进产业链下游企业的数字化转型。Yu et al(2020)通过制造业上市公司数据,实证检验了政府补贴在制造企业数字化转型与企业绩效中起正向的调节作用。在政府补贴效果与产品市场竞争间的关系研究中,学者们暂未得出一致的结论。Boone(2001)、徐建中等(2014)认为激烈的产品市场竞争能让政府补贴更好的发挥作用。康志勇等(2018)则认为产品市场竞争强度的加剧会导致企业之间进行恶性竞争,从而影响政府补贴的效果。Wang和Zhou(2020)运用博弈模型分析了不提供补贴、根据最终产品价格提供补贴和根据研发成本提供补贴三种政府补贴策略在不同市场竞争环境下对企业研发投入行为的影响效果。

综上所述,现有关于政府补贴对制造企业数字化转型行为的影响研究较为匮乏,且已有研究大多为实证研究,部分关于制造企业数字化转型的博弈研究主要考虑企业市场地位或企业数字化能力等单一影响因素,很少同时考虑市场竞争、政府补贴等外部因素的作用效果,而不同市场竞争强度下政府补贴可能会对制造企业数字化转型意愿发挥不同的作用。为此,本文尝试将市场竞争、政府补贴及制造企业数字化转型的协同效应纳入到同一分析框架中,运用演化博弈理论探究它们与制造企业数字化转型行为的动态变化关系,为政府补贴与制造企业数字化转型关系的模型构建提供了新思路。同时,考虑到消费者对企业竞争的重要影响,将可表示“企业-消费者-竞争企业”三者互动行为的Hotelling模型引入动态博弈中,以更好揭示制造企业数字化转型策略选择的变迁机理,并借此描述各企业动态竞争博弈模型的演化路径。

## 二、演化博弈过程分析

由于企业数字化转型所需成本投入及收益的不确定性,部分制造企业存在数字化转型意愿不强、动力不足等问题。据埃森哲发布的《2021中国企业数字化转型指数》显示,中国大部分制造企业仍处于数字化转型的初级阶段,数字化转型整体水平不高。究其原因,主要有:一是大多数制造企业存在数字化底座不牢、数字化人才欠缺、数字化意识不足等问题,造成数字化转型不够深入;二是制造企业数字化转型具有系统性,涉及企业全业务全流程,使得数字化转型投资时间长、见效慢,难以在短时间看到成效;三是制造企业数字化转型面临高额的转型成本,其伴随的风险较大。在推进制造业高质量发展过程中,制造企业数字化转型是极其重要的一环。针对制造企业数字化转型意愿不强、动力不足等问题,政府的直接补贴可能会发挥较好的效果,其能够显著降低制造企业数字化转型成本,从而激发企业数字化转型意愿。

动态竞争理论阐述了竞争企业行为会受到对方策略决策的影响,若企业行为可能影响竞争对手收益时,竞争对手会予以响应。企业通常会本着利润最大化的准则进行决策,企业数字化转型的主要目的是为了占据更大的市场份额,获得超额利润,从而降低竞争对手收益,进而影响竞争对手的下一步决策,超额利润的增加又能进一步推动企业进行数字化转型。同时,产品市场竞争也能影响制造企业市场份额,从而影响企业利润,政府补贴则直接增加了企业利润,最终影响企业的数字化转型行为。因此,制造企业是否进行数字化转型受到政府补贴、产品市场竞争、竞争对手策略的共同影响。

若在第一轮决策博弈中,制造企业选择了数字化转型,但总体收益小于数字化转型前的收益时,企业在下一轮博弈中将不会继续选择数字化转型策略,即是否开展数字化转型主要取决于数字化转型带来的成本投入和收益之间的关系。而通过上述分析可知,由于存在市场竞争,制造企业的市场份额会因为竞争企业的策略选择而随时变动。因此企业收益还会受到竞争企业的策略影响。在成本投入上,主要表现为企业在进行数字化转型时,需要对车间生产线、供应链等进行智能化改造,开展生产换线、机器换人、设备换芯,建设数据采集、传输、存储和分析平台,以及由此带来的组织变革和数字化人才培养等成本投入。在收益上,主要表现在以下三个方面:一是销售收入的提升,制造企业数字化转型中建设的数字化生产线、智能工厂等,可实施基于数据的精准化、个性化生产,生产出质量更好、性能更佳更独特的新产品,实现产品质量和性能升级,带给消费者更大的效用,进而获得更多的市场份额和销售收入。若竞争企业未进行数字化转型,其市场份额会因为竞争方市场份

额的增加而降低,从而影响其收益,进而思考是否在下一轮博弈决策中同样进行数字化转型以夺取损失的市场份额。例如,青岛酷特智能公司借助大数据、数字孪生等数字技术进行数字化转型,搭建 customer-to-manufacturer (C2M) 平台开展定制服务,利用大数据驱动制造个性化产品,形成了大规模个性化定制的智能制造模式,公司产品受到更多消费者青睐,进而占据了更大的市场份额。二是直接收益的增加,主要表现为政府补贴。近年来,国家及各地方政府为促进制造企业数字化转型,纷纷出台了激励政策,若企业建设的数字化车间、智能工厂、工业互联网平台通过认定,或两化融合通过贯标评定,将会得到财政补贴和奖励。例如,《广州市推进制造业数字化转型若干政策措施》中明确提出,对平台企业被国家工业和信息化部评为跨行业跨领域综合型工业互联网平台的,一次性奖励 500 万元,对通过两化融合管理体系贯标评定的企业给予一次性奖励 30 万元;三是协作成本的降低,不同于普通企业的数字化转型,制造企业数字化转型涉及要素供应链、生产协同链多方面的内容,既可以采取设备资源共享、经验互借、风险共担等方式协同开展数字化转型,也可以采取合作研发、协同开展关键共性技术公关等方式,极大降低数字化转型成本(孙大明和原毅军,2018)。

### 三、模型描述与假设

本文研究的是制造企业数字化转型的策略选择问题,为了简化分析,选择双寡头垄断市场模型,且双寡头能够通过数字化转型生产出差异化产品,生产差异化产品的企业间竞争可以分别使用代表性消费者模型或空间选择模型来进行描述(黄祎等,2022),由于本文研究的问题需要同时考虑消费者偏好差异和企业产品差异,而代表性消费者模型不能刻画消费者偏好差异,故选用空间选择模型。上述分析可知博弈双方为一种竞争关系,具有竞争关系的企业决策问题可以通过 Bernard 模型、Cournot 模型、Stackelberg 模型和 Hotelling 模型进行刻画(朱金生和朱华,2021),考虑到消费者对制造企业决策的影响,本文选择可反映“企业-消费者-竞争企业”三者互动行为的 Hotelling 模型。因此本文最终以 Hotelling 空间选择模型为基础,以消费者在产品空间中的分布表示偏好的差异,以企业在空间中的定位来代表生产差异化产品的企业,并将 Hotelling 空间模型内嵌到演化博弈模型中分析企业数字化转型驱动因素。

假设 1: 制造企业所处的市场是一个只有 A 和 B 两家企业进行博弈的双寡头垄断市场,两家企业均为“有限理性”,即均会以自身利益最大化做出决策,两家企业的策略组合为{进行数字化转型,未进行数字化转型},下文中标号“1”表示企业该阶段进行了数字化转型,标号“0”表示企业该阶段未进行数字化转型。

假设 2: 两家制造企业分别位于  $[0, 1]$  区间的 Hotelling 线的  $S_i (i = a, b)$  位置上,且位置不重叠。假设  $0 \leq S_a \leq S_b \leq 1, S_b - S_a = \Delta S, \Delta S$  反应市场竞争强度,  $\Delta S$  越小,则产品市场竞争越强。

假设 3: 单位规模的消费者均匀分布在  $[0, 1]$  之间,消费者与企业的距离和消费者购买这家企业产品获得的负效用成正比,即消费者距离企业越远,所需要付出的运输成本越高。则位于  $x$  处的消费者购买企业 A 产品的负效用为  $(x - S_a)^2$ , 购买企业 B 产品产生的负效用为  $(x - S_b)^2$ 。

假设 4: 制造企业数字化转型可以起到降本、提质、增效等多种作用,本文假设企业数字化转型带来的益处主要表现在产品质量及个性化的提升,以此增加单位产品带给消费者的效用感知,其他方面的影响暂不做考量,即企业可通过数字化转型生产出质量更好、性能更佳或更具差异化的升级产品,消费者在同等条件下更倾向于选择该类产品。对于产品市场的消费者而言,购买企业 A 与企业 B 未数字化转型的单位产品获得的效用记为  $V$ , 购买数字化转型后新产品的效用分别记为  $V + \theta_a$  与  $V + \theta_b$ , 其中  $\theta_a$  与  $\theta_b$  分别为企业 A 与企业 B 数字化转型程度,  $\theta_a, \theta_b \in [0, 1]$ 。假设企业 A 的资金能力优于企业 B, 若两家企业都选择数字化转型策略时,企业 A 有更充足的资金支持,则企业 A 的数字化转型程度大于企业 B。

假设 5: 两家制造企业生产产品的单位成本均为  $C$ , 数字化转型成本分别为  $C_a$  与  $C_b$ , 若两家企业均选择进行数字化转型策略,由于企业间的技术协同与经验借鉴会产生协同效应,如共同解决共性技术难题,则两家企业数字化转型成本变为  $C'_a$  与  $C'_b$ , 此时两家企业进行数字化转型需要付出的成本为小于企业单独进行数字化转型付出的成本,即  $C_i > C'_i (i = a, b)$ 。生产利润分别记为  $\pi_a$  与  $\pi_b$ , 企业收入记为  $R_a$  与  $R_b$ 。

假设 6: 政府可以调节补贴力度的大小, 补贴力度记为  $\beta (\beta > 0)$ , 政府对两家制造企业进行数字化转型的补贴金额记为  $G_i$ ,  $G_i$  与政府补贴力度相关, 上述可知政府补贴额与企业的数字化转型程度正相关, 则可假设企业获得的政府补贴额是关于政府补贴力度与企业数字化转型程度相关的函数, 即  $G_i = \theta_i \beta$ 。

如前所述,每家企业都有两种策略选择,在它们之间进行的博弈过程中会产生如下四种竞争策略选择

情形：

**情形 1** 企业 A 与企业 B 均选择数字化转型策略，其产品价格分别为  $P_a^1$ 、 $P_b^1$ ，位于  $x$  处的消费者购买企业 A 与企业 B 单位产品的净剩余分别为

$$\begin{cases} U_a^{1,1} = V + \theta_a - P_a^1 - (x - S_a)^2 \\ U_b^{1,1} = V + \theta_b - P_b^1 - (x - S_b)^2 \end{cases} \quad (1)$$

若位于点  $x'$  的消费者在两个企业购买单位产品获得的效用相同，则  $x'$  需满足：

$$V + \theta_a - P_a^1 - (x' - S_a)^2 = V + \theta_b - P_b^1 - (x' - S_b)^2 \quad (2)$$

解得：

$$x' = \frac{\theta_a V - \theta_b V + P_b^1 - P_a^1}{2\Delta S} + \frac{S_a + S_b}{2} \quad (3)$$

位于  $x'$  处的消费者对两家企业产品的需求分别为

$$\begin{cases} q_a = x' - S_a = \frac{\Delta S}{2} + \frac{\theta_a V - \theta_b V + P_b^1 - P_a^1}{2\Delta S} \\ q_b = S_b - x' = \frac{\Delta S}{2} - \frac{\theta_a V - \theta_b V + P_b^1 - P_a^1}{2\Delta S} \end{cases} \quad (4)$$

企业 A 与企业 B 的生产利润  $\pi_i (i = a, b)$  函数为

$$\pi_i^{1,1} = (P_i^1 - c)q_i \quad (5)$$

根据企业利润最大化的一阶条件可解得：

$$\begin{cases} \pi_a^{1,1} = \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V - \theta_b V)^2}{18\Delta S} \\ \pi_b^{1,1} = \frac{(3\Delta S^2 - \theta_a V + \theta_b V)^2}{18\Delta S} \end{cases} \quad (6)$$

由于企业开展了数字化转型，都获得了政府补贴，则企业总收入  $R_i (i = a, b)$  分别为

$$\begin{cases} R_a^{1,1} = \pi_a^{1,1} - C'_a + G_a = \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V - \theta_b V)^2}{18\Delta S} - C'_a + \theta_a \beta \\ R_b^{1,1} = \pi_b^{1,1} - C'_b + G_b = \frac{(3\Delta S^2 - \theta_a V + \theta_b V)^2}{18\Delta S} - C'_b + \theta_b \beta \end{cases} \quad (7)$$

**情形 2** 企业 A 选择数字化转型策略，企业 B 不选择数字化转型策略。其产品价格分别为  $P_a^1$ 、 $P_b^0$ ，位于  $x$  处的消费者购买企业 A 与企业 B 单位产品的净剩余分别为

$$\begin{cases} U_a^{1,0} = V + \theta_a - P_a^1 - (x - S_a)^2 \\ U_b^{1,0} = V - P_b^0 - (x - S_b)^2 \end{cases} \quad (8)$$

位于  $x'$  处的消费者对两家企业产品的需求分别为

$$\begin{cases} q_a = x' - S_a = \frac{\Delta S}{2} + \frac{\theta_a V - P_a^1 + P_b^0}{2\Delta S} \\ q_b = S_b - x' = \frac{\Delta S}{2} - \frac{\theta_a V - P_a^1 + P_b^0}{2\Delta S} \end{cases} \quad (9)$$

企业 A 与企业 B 的生产利润分别为

$$\begin{cases} \pi_a^{1,0} = \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{18\Delta S} \\ \pi_b^{1,0} = \frac{(3\Delta S^2 - \theta_a V)^2}{18\Delta S} \end{cases} \quad (10)$$

企业总收入分别为

$$\begin{cases} R_a^{1,0} = \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{18\Delta S} - C_a + \theta_a \beta \\ R_b^{1,0} = \frac{(3\Delta S^2 - \theta_a V)^2}{18\Delta S} \end{cases} \quad (11)$$

**情形 3** 企业 A 不选择数字化转型策略,企业 B 选择数字化转型策略。其产品价格分别为  $P_a^0, P_b^1$ , 位于  $x$  处的消费者购买企业 A 与企业 B 单位产品的净剩余分别为

$$\begin{cases} U_a^{0,1} = V - P_a^0 - (x - S_a)^2 \\ U_b^{0,1} = V + \theta_b - P_b^1 - (x - S_b)^2 \end{cases} \quad (12)$$

位于  $x'$  处的消费者对两家企业产品的需求分别为

$$\begin{cases} q_a = x' - S_a = \frac{\Delta S}{2} + \frac{+ P_b^1 - P_a^0 - \theta_b V}{2\Delta S} \\ q_b = S_b - x' = \frac{\Delta S}{2} - \frac{+ P_b^1 - P_a^0 - \theta_b V}{2\Delta S} \end{cases} \quad (13)$$

企业 A 与企业 B 的生产利润分别为

$$\begin{cases} \pi_a^{0,1} = \frac{(3\Delta S^2 - \theta_b V)^2}{18\Delta S} \\ \pi_b^{0,1} = \frac{(3\Delta S^2 + \theta_b V)^2}{18\Delta S} \end{cases} \quad (14)$$

企业总收入分别为

$$\begin{cases} R_a^{0,1} = \frac{(3\Delta S^2 - \theta_b V)^2}{18\Delta S} \\ R_b^{0,1} = \frac{(3\Delta S^2 + \theta_b V)^2}{18\Delta S} - C_b + \theta_b \beta \end{cases} \quad (15)$$

**情形 4** 企业 A、企业 B 均不选择数字化转型策略。其产品价格分别为  $P_a^0, P_b^0$ , 位于  $x$  处的消费者购买企业 A 与企业 B 单位产品的净剩余分别为

$$\begin{cases} U_a^{0,0} = V - P_a^0 - (x - S_a)^2 \\ U_b^{1,1} = V - P_b^0 - (x - S_b)^2 \end{cases} \quad (16)$$

位于  $x'$  处的消费者对两家企业产品的需求分别为

$$\begin{cases} q_b = x' - S_a = \frac{\Delta S}{2} + \frac{P_b^0 - P_a^0}{2\Delta S} \\ q_b = S_b - x' = \frac{\Delta S}{2} - \frac{P_b^0 - P_a^0}{2\Delta S} \end{cases} \quad (17)$$

企业 A 与企业 B 的生产利润分别为

$$\begin{cases} \pi_a^{0,0} = (P_a^0 - C) q_a \\ \pi_b^{0,0} = (P_b^0 - c) q_b \end{cases} \quad (18)$$

企业总收入分别为

$$\begin{cases} R_a^{0,0} = \frac{\Delta S^3}{2} = \pi_a^{0,0} \\ R_b^{0,0} = \frac{\Delta S^3}{2} = \pi_b^{0,0} \end{cases} \quad (19)$$

综合上述情形，企业是否进行数字化转型的博弈矩阵见表 1。

假设企业 A 选择数字化转型和未数字化转型策略的概率分别为  $x$  和  $1-x$ ，企业 B 选择数字化转型和未数字化转型的概率分别为  $y$  和  $1-y$ ，( $0 \leq x, y \leq 1$ )。由表 1 可知：企业 A 选择数字化转型的收益为

$$U_a^1 = yR_a^{1,1} + (1-y)R_a^{1,0} = y \left[ \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V - \theta_b V)^2}{18\Delta S} - C'_a + \theta_a \beta \right] + (1-y) \left[ \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{18\Delta S} - C_a + \theta_a \beta \right] \quad (20)$$

企业 A 选择不进行数字化转型的收益为

$$U_a^0 = yR_a^{0,1} + (1-y)R_a^{0,0} = y \frac{(3\Delta S^2 - \theta_b V)^2}{18\Delta S} + (1-y) \frac{\Delta S^3}{2} \quad (21)$$

构造企业 A 的复制动态方程为

$$x^* = \frac{dx}{dt} = x(1-x) \left[ \theta_a \beta - C_a + \left( C_a - C'_a - \frac{2\theta_a \theta_b V^2}{18\Delta S} \right) y + \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{18\Delta S} \right] \quad (22)$$

同理可知，企业 B 的复制动态方程为

$$y^* = \frac{dy}{dt} = y(1-y) \left[ \theta_b \beta - C_b + \left( C_b - C'_b - \frac{2\theta_a \theta_b V^2}{18\Delta S} \right) x + \frac{(3\Delta S^2 + \theta_b V)^2}{18\Delta S} \right] \quad (23)$$

由  $dx/dt=0$  和  $dy/dt=0$  可得博弈的均衡点分别为  $A(0,0)$ 、 $B(0,1)$ 、 $C(1,0)$ 、 $D(1,1)$ ，且当  $0 < \frac{18\Delta S(\theta_b \beta - C_b) + (3\Delta S^2 + \theta_b V)^2}{2\theta_a \theta_b C'_b V^2 - 18\Delta S C_b}$ ， $\frac{18\Delta S(\theta_a \beta - C_a) + (3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{2\theta_a \theta_b C'_b V^2 - 18\Delta S C_a} < 1$  时，点  $E \left( \frac{18\Delta S(\theta_b \beta - C_b) + (3\Delta S^2 + \theta_b V)^2}{2\theta_a \theta_b C'_b V^2 - 18\Delta S C_b}, \frac{18\Delta S(\theta_a \beta - C_a) + (3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{2\theta_a \theta_b C'_b V^2 - 18\Delta S C_a} \right)$  也是系统的均衡点。

根据雅克比矩阵判定均衡点的稳定性，对  $x^*$  和  $y^*$  分别求偏导，得雅克比矩阵  $J$  为： $J = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ ，其中：

$$\begin{cases} a_{11} = (1-2x) \left[ \theta_a \beta - C_a + \left( C_a - C'_a - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) y + \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{18\Delta S} \right] \\ a_{12} = x(1-x) \left( C_a C'_a - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) \\ a_{21} = y(1-y) \left( C_b C'_b - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) \\ a_{22} = (1-2y) \left[ \theta_b \beta - C_b + \left( C_b - C'_b - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) x + \frac{(3\Delta S^2 + \theta_b V)^2}{18\Delta S} \right] \end{cases} \quad \circ$$

雅克比方程的迹  $\text{tr}J$  和行列式  $\text{det}J$  分别为

$$\begin{aligned} \text{tr}J = a_{11} + a_{22} = & (1-2x) \left[ \theta_a \beta - C_a + \left( C_a - C'_a - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) y + \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{18\Delta S} \right] + \\ & (1-2y) \left[ \theta_b \beta - C_b + \left( C_b - C'_b - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) x + \frac{(3\Delta S^2 + \theta_b V)^2}{18\Delta S} \right] \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \det J &= a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} \\ &= (1 - 2x)(1 - 2y) \left[ \theta_a \beta - C_a + \left( C_a - C'_a - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) y + \frac{(3\Delta S^2 + \theta_a V)^2}{18\Delta S} \right] \times \\ &\quad \left[ \theta_b \beta - C_b + \left( C_b - C'_b - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) x + \frac{(3\Delta S^2 + \theta_b V)^2}{18\Delta S} \right] - xy(1 - x)(1 - y) \times \\ &\quad \left( C_a C'_a - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) \left( C_b C'_b - \frac{2\theta_a \theta_b v^2}{18\Delta S} \right) \end{aligned} \quad (25)$$

为便于分析,令  $C_i - \theta_i \beta = M_i, C'_i - \theta_i \beta = M'_i, M_i$  与  $M'_i$  分别为企业单独进行数字化转型需要付出的净成本与协同转型需要付出的净成本,可以看出政府补贴力度  $\beta$  与  $M_i$  成反比。由于  $M_i - M'_i = \Delta C_i, \Delta C_i$  反映企业协同转型相较于单独转型节省的成本,也在一定程度反映企业都进行数字化转型时协同效应的大小。

平衡点的稳定性分别有以下三种情况:

**情形一** 当  $\Delta S^2 \geq \frac{2\theta_a V - \theta_b V}{6}$  时,系统均衡点的局部稳定性分析见表 2。 $\Delta S^2$  较大时,产品市场竞争强度较小,根据企业数字化转型需要承担的净成本变化范围,系统演化路径有以下几种情况:

①若  $M_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$  且  $M'_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  ( $i = a, b; j = a, b$  且  $i \neq j$ ), 系统有 4 个局部均衡点,稳定点为  $A(0, 0)$ , 即企业 A 与企业 B 均不选择数字化转型策略,表明在较小的政府补贴力度下,且协同转型节省的成本  $\Delta M_i$  适中时,企业都不愿意去进行数字化转型。

②若  $M_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$  且  $M'_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  ( $i = a, b; j = a, b$  且  $i \neq j$ ), 系统有 4 个局部均衡点,稳定点为  $A(0, 0)$  与  $D(1, 1)$ , 即企业 A 与企业 B 会选择相同的策略,表明在较小的政府补贴力度下,但协同转型节省的成本  $\Delta M_i$  较大时,两家企业会选择相同的策略。随着协同转型所节省成本的增加,系统收敛于  $D$  的概率增加,说明协同转型带来的协同效应增强会促进企业进行数字化转型。

③若  $M_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$  且  $M'_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  ( $i = a, b; j = a, b$  且  $i \neq j$ ), 系统有 4 个局部均衡点,稳定点为  $B(1, 0)$  与  $C(0, 1)$ , 即只有一家企业会选择数字化转型,表明市场竞争强度较小时,在较大的政府补贴力度下,但协同转型所节省的成本  $\Delta M_i$  较小时,经过不断选择学习,最终形成只有一家企业选择数字化转型的稳定状态。

④若  $M_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$  且  $M'_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  ( $i = a, b; j = a, b$  且  $i \neq j$ ), 系统有 4 个局部均衡点,稳定点为  $D(1, 1)$ , 在较大的政府补贴下,且协同转型所节省的成本  $\Delta M_i$  适中时,系统最终会收敛于  $D$ , 表明政府补贴力度大会促使博弈双方都选择数字化转型。

横向对比情况①与情况②,两种情况下  $M_i$  都较大,说明此时政府补贴力度较小,情况②对比情况①  $M'_i$  有所减小,即  $\Delta C_i$  增大时,系统稳定点增加了一个  $D(1, 1)$ , 说明协同转型节省的成本越多,越有助于企业选择数字化转型策略。横向对比情况③与情况④,两种情况下  $M_i$  都较小,说明此时政府补贴力度较大,情况④对比情况③  $M'_i$  有所减小,即  $\Delta C_i$  增加时,系统稳定点由  $B、C$  点转变为  $D$  点,即演化结果由只有一家企业数字化转型转变为两家企业都进行数字化转型,也证实了协同效应越强,制造企业越愿意进行数字化转型。横向对比情况①与情况③,情况③比情况①仅  $M_i$  有所减小,即政府补贴力度更大,系统稳定点由  $A$  点转变为  $B、C$  点,即演化结果由都不进行数字化转型转变为有一家企业会进行数字化转型,反应了政府补贴力度越大对企业选择数字化转型策略有正向推动作用越强。

**情形二** 当  $\frac{2\theta_b V - \theta_a V}{6} \leq \Delta S^2 < \frac{2\theta_a V - \theta_b V}{6}$  时,系统均衡点的局部稳定性分析见表 3。 $\Delta S^2$  变小时,产品市场竞争更为激烈,根据企业数字化转型需要承担的净成本变化范围,系统演化路径有以下几种情况:

①若  $M_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$  且  $M'_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  ( $i = a, b; j = a, b$  且  $i \neq j$ ), 系统有 4 个局部均

表2  $\Delta S^2 \geq \frac{2\theta_a V - \theta_b V}{6}$  时系统稳定性局部分析

| $M_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ 且 $M_i' > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$<br>( $i = a, b; j = a, b$ 且 $i \neq j$ ) |         |        |       | $M_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ 且 $M_i' < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$<br>( $i = a, b; j = a, b$ 且 $i \neq j$ ) |         |        |       | $M_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ 且 $M_i' > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$<br>( $i = a, b; j = a, b$ 且 $i \neq j$ ) |         |        |       | $M_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ 且 $M_i' < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$<br>( $i = a, b; j = a, b$ 且 $i \neq j$ ) |         |        |       |
|---|---------|--------|-------|---|---------|--------|-------|---|---------|--------|-------|---|---------|--------|-------|
| 平衡点   | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 | 平衡点   | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 | 平衡点   | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 | 平衡点   | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 |
| A   | +       | -      | 稳定点   | A   | +       | -      | 稳定点   | A   | +       | +      | 不稳定点  | A   | +       | +      | 不稳定点  |
| B   | -       | 不确定    | 鞍点    | B   | +       | +      | 不稳定点  | B   | +       | -      | 稳定点   | B   | -       | 不确定    | 鞍点    |
| C   | -       | 不确定    | 鞍点    | C   | +       | +      | 不稳定点  | C   | +       | -      | 稳定点   | C   | -       | 不确定    | 鞍点    |
| D   | +       | +      | 不稳定点  | D   | +       | -      | 稳定点   | D   | +       | +      | 不稳定点  | D   | +       | -      | 稳定点   |

衡点,稳定点为A(0,0),即企业A与企业B均不选择数字化转型策略,表明在较小的政府补贴力度下,且协同转型节省的成本  $\Delta M_i$  适中时,企业都不愿意去进行数字化转型。

②若  $M_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$  且  $M_i' < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  ( $i = a, b; j = a, b$  且  $i \neq j$ ),系统有4个局部均衡点,稳定点同样为A(0,0),表明在较小的政府补贴力度下,就算协同转型节省的成本  $\Delta M_i$  比较大时,企业也不愿进行数字化转型。

③若  $M_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$  且  $M_i' > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  ( $i = a, b; j = a, b$  且  $i \neq j$ ),系统有4个局部均衡点,稳定点为B(1,0)与C(0,1),即只有一家企业会选择数字化转型,表明在较大的政府补贴力度下,但协同转型所节省的成本  $\Delta M_i$  较小时,经过不断选择学习,最终也只会形成只有一家企业选择数字化转型策略的稳定状态。

④若  $M_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$  且  $M_i' < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  ( $i = a, b; j = a, b$  且  $i \neq j$ ),系统有4个局部均衡点,稳定点为B(1,0),在较大的政府补贴下,但企业协同进行数字化转型所节省的成本  $\Delta M_i$  适中时,系统最终会收敛于B(1,0),即仅有企业A选择数字化转型策略。

横向对比情况①与情况②,两种情况下政府补贴力度都较小,情况②对比情况①,  $M_i'$  有所减小,即  $\Delta C_i$  有所增大,系统稳定点却没变,说明在市场竞争强度较大的市场,数字化转型的协同效应渐渐失去了作用。横向对比情况①与情况③、情况②与情况④,情况③比情况①政府补贴力度更大,其他条件一致的情况下系统稳定点由A点转变为B、C点,即演化结果由都不进行数字化转型转变为有一家企业会进行数字化转型;情况④比情况②政府补贴力度更大,其他条件一致的情况下系统稳定点由A点转变为B点,即演化结果由都不进行数字化转型转变为企业A会进行数字化转型,进一步反应了政府补贴力度对企业选择数字化转型策略有正向的推动作用。

表3  $\frac{2\theta_i V - \theta_a V}{6} \leq \Delta S^2 < \frac{2\theta_a V - \theta_b V}{6}$  时系统稳定性局部分析

| $M_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ 且 $M_i' > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$<br>( $i = a, b; j = a, b$ 且 $i \neq j$ ) |         |        |       | $M_i > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ 且 $M_i' < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$<br>( $i = a, b; j = a, b$ 且 $i \neq j$ ) |         |        |       | $M_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ 且 $M_i' > \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$<br>( $i = a, b; j = a, b$ 且 $i \neq j$ ) |         |        |       | $M_i < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ 且 $M_i' < \frac{\theta_i V(\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$<br>( $i = a, b; j = a, b$ 且 $i \neq j$ ) |         |        |       |
|---|---------|--------|-------|---|---------|--------|-------|---|---------|--------|-------|---|---------|--------|-------|
| 平衡点   | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 | 平衡点   | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 | 平衡点   | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 | 平衡点   | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 |
| A   | +       | -      | 稳定点   | A   | +       | -      | 稳定点   | A   | +       | +      | 不稳定点  | A   | +       | +      | 不稳定点  |
| B   | -       | 不确定    | 鞍点    | B   | -       | 不确定    | 鞍点    | B   | +       | -      | 稳定点   | B   | +       | -      | 稳定点   |
| C   | -       | 不确定    | 鞍点    | C   | +       | +      | 不稳定点  | C   | +       | -      | 稳定点   | C   | -       | 不确定    | 鞍点    |
| D   | +       | +      | 不稳定点  | D   | -       | 不确定    | 鞍点    | D   | +       | +      | 不稳定点  | D   | -       | 不确定    | 鞍点    |

**情形三** 当  $0 \leq \Delta S^2 < \frac{2\theta_b V - \theta_a V}{6}$  时, 由于  $\frac{\theta_i V (\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  恒小于 0, 且  $M_i > M'_i > 0$ , 故  $M'_i > 0 > \frac{\theta_i V (\theta_i V + 6\Delta S^2 - 2\theta_j V)}{18\Delta S}$  恒成立, 系统均衡点的局部稳定性分析见表 4。由表 4 可知, 随着市场竞争强度进一步增大, 系统演化结果与情形二一样, 在此不做赘述。

纵向对比情形一与情形二中的情况②, 在其他条件不变的情况下, 随着市场竞争强度的增加, 企业都舍弃了数字化转型策略, 说明市场竞争强度增加会抑制政府补贴的效果, 从而抑制企业进行数字化转型的意愿。纵向对比情形一与情形二中的情况④, 在其他条件不变的情况下, 随着市场竞争强度的增加, 企业演化结果由都进行数字化转型转变为只有企业 A 进行数字化转型, 表明随着市场竞争强度的增加, 政府补贴对企业数字化转型的激励作用越来越小, 且在资金能力较弱的企业 B 中体现得更为明显。

表 4  $0 \leq \Delta S^2 < \frac{2\theta_b V - \theta_a V}{6}$  时系统稳定性局部分析

| $M_i > \frac{\theta_i V (\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ |         |        |       | $M_i < \frac{\theta_i V (\theta_i V + 6\Delta S^2)}{18\Delta S}$ |         |        |       |
|--|---------|--------|-------|--|---------|--------|-------|
| 平衡点  | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 | 平衡点  | detJ 符号 | trJ 符号 | 局部稳定性 |
| A  | +       | -      | 稳定点   | A  | +       | +      | 不稳定点  |
| B  | -       | 不确定    | 鞍点    | B  | +       | -      | 稳定点   |
| C  | -       | 不确定    | 鞍点    | C  | +       | -      | 稳定点   |
| D  | +       | +      | 不稳定点  | D  | +       | +      | 不稳定点  |

### 四、仿真分析

本文使用 PyCharm 软件对两家制造企业在不同市场竞争强度、政府补贴力度、协同效应情形下数字化转型策略选择进行了仿真分析, 得到系统的动态演化图, 其中横轴表示系统的演化时间  $t$ , 纵轴表示企业 A 与企业 B 选择数字化转型策略的概率。

#### (一) 市场竞争强度的影响分析

令变量的初始赋值为:  $V=2, C_a = 9, C_b = 7, \theta_a = 0.8, \theta_b = 0.5$ 。当市场竞争强度  $\Delta S^2 \geq \frac{2\theta_a V - \theta_b V}{6}$  时, 即市场竞争较小时, 取  $\Delta S = 0.9$ , 当  $\frac{2\theta_b V - \theta_a V}{6} \leq \Delta S^2 < \frac{2\theta_a V - \theta_b V}{6}$  时, 即市场竞争处于中等水平时, 取  $\Delta S = 0.6$ , 当  $\Delta S^2 < \frac{2\theta_b V - \theta_a V}{6}$  时, 即市场竞争较为激烈时, 取  $\Delta S = 0.3$ 。在不同市场竞争强度下, 两家制造企业演化路径如图 1 所示。可以看出, 在市场竞争强度较小时, 两家企业都愿意进行数字化转型, 随着竞争强度的增加, 两家企业的演化结果变成了都不进行数字化转型。

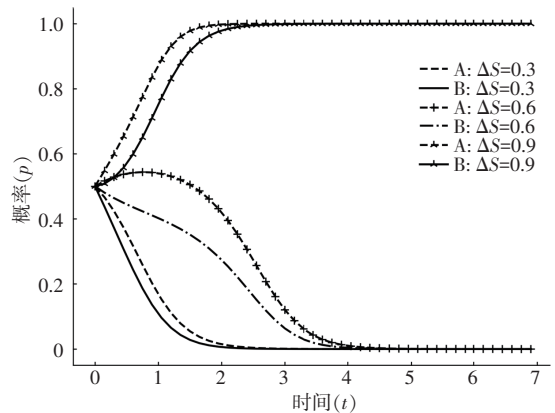


图 1 不同市场竞争强度下企业策略选择演化路径

#### (二) 政府补贴力度的影响分析

令变量的初始赋值为:  $V=2, C_a = 9, C_b = 7, \theta_a = 0.8, \theta_b = 0.5, \Delta C = 0.5$ 。当政府补贴力度  $\beta$  处于不同水平时, 两家制造企业策略选择如图 2 所示, 在市场竞争强度较小时 [图 2(a)], 随着政府补贴力度的增加, 两家企业都逐渐往 (1, 1) 点演化, 即向数字化转型策略演化, 说明政府补贴能有效促进企业进行数字化转型; 在市场竞争强度较大时 [图 2(b)], 虽然政府补贴力度最终未能让系统收敛于 (1, 1), 但是随着政府补贴力度的增加, 系统向 (0, 0) 点收敛的速度越来越缓慢, 进一步证明了激烈的市场竞争环境会抑制政府补贴的效果。

#### (三) 协同效应的影响分析

令变量的初始赋值为:  $V=2, C_a = 9, C_b = 7, \theta_a = 0.8, \theta_b = 0.5, \beta = 6$ 。当协同效应越强时, 协同转型为企业节省的成本也越多, 图 3 反映了系统在不同协同效应下两家制造企业策略选择的演化路径。在市场竞争强度较小时 [图 3(a)], 企业数字化转型的协同效应越强时, 系统更趋向于向 (1, 1) 点收敛, 证明数字化转型

的协同效应也是带动制造企业进行数字化转型的重要影响因素。在市场竞争强度较大时[图3(b)],企业数字化转型的协同效应作用表现不明显,也进一步印证了市场竞争强度的增加会弱化协同效应作用的结论。

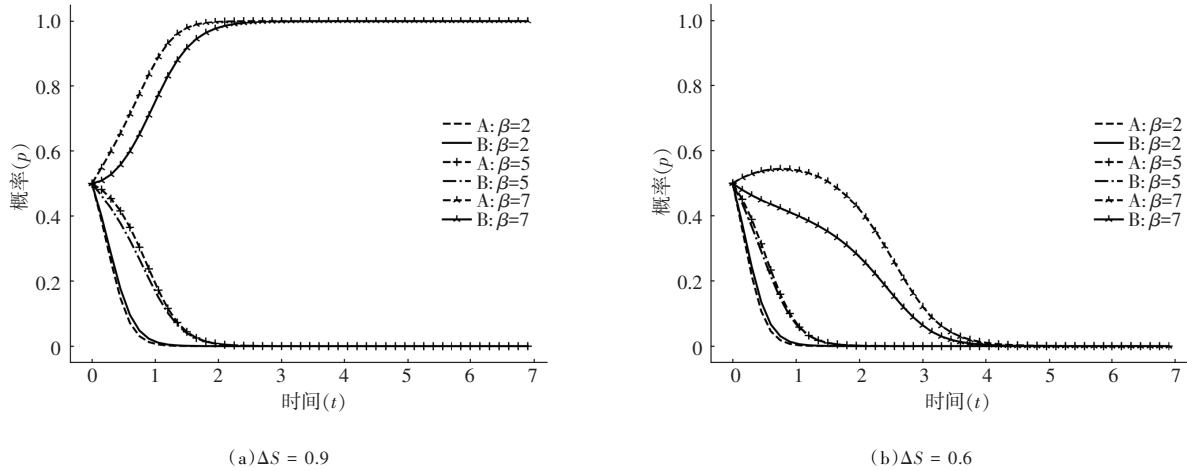


图2 不同政府补贴力度下企业策略选择演化路径

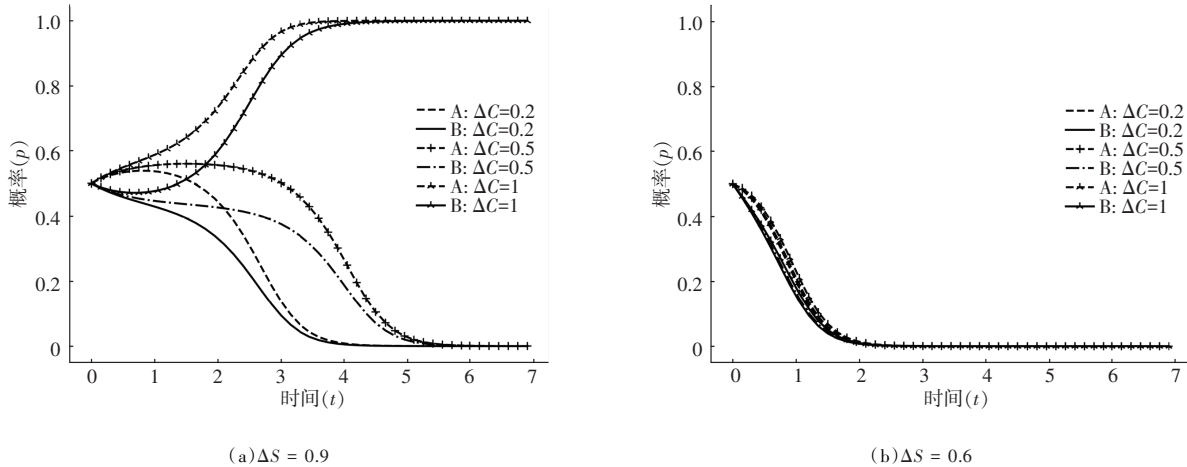


图3 不同协同效应下企业策略选择演化路径

### 五、结论及政策启示

本文的主要结论如下:①政府补贴能有效激励制造企业进行数字化转型,并且随着政府补贴力度的增加,激励效果也愈加明显,但是政府补贴也具有门槛效应,在补贴力度较小时,难以有效激励企业进行数字化转型;②市场竞争强度是影响政府补贴与制造企业数字化转型关系的重要影响因素,随着市场竞争强度的增加,两家企业向数字化转型策略演化的概率更低,表明激烈的市场竞争会抑制政府补贴的效果,且对资金能力较弱的企业抑制作用更强;③多个制造企业同时进行数字化转型存在的协同效应会影响企业的决策选择,企业协同进行数字化转型节省的成本越多,即协同效应越强时,企业越偏向于选择数字化转型策略,但是在市场竞争强度较大时,协同效应作用不明显。

基于上述结论,得到如下政策启示:①以政府补贴形式进一步鼓励制造企业进行数字化转型。考虑到政府补贴对制造企业数字化转型的正向推动作用,政府可设定数字化转型专项资金以支持制造企业数字化转型;考虑到政府补贴具有一定的门槛效应,政府应在合理的范围内加大对制造企业数字化转型的补贴力度,增强制造企业数字化转型意愿;②结合市场竞争环境,差异化分配政府补贴资源。在竞争强度较低的市场,政府补贴对制造企业数字化转型的正向推动作用明显,可多分配补贴资源;在竞争程度较高的市场,政府补贴效果会被弱化,应减少对制造企业的直接补贴,尽可能鼓励企业结合自身具备的优势资源进行数字化转型,降低同质化竞争对政府补贴效果的抑制作用;③利用政府和制造企业信息资源,协同搭建数字化转型服

务平台,推动制造企业协同进行数字化转型。在制造企业数字化转型服务市场发育不成熟时,应更好发挥政府作用,搭建企业数字化转型公共服务平台,整合各企业先进设备、技术、经验等资源,以租借或购买服务等形式向市场开放,减少重复成本。

### 参考文献

- [ 1 ] 陈和,黄依婷,2022.政府创新补贴对企业数字化转型的影响——基于A股上市公司的经验证据[J].南方金融,(8): 19-32.
- [ 2 ] 何帆,刘红霞,2019.数字经济视角下实体企业数字化变革的业绩提升效应评估[J].改革,(4): 137-148.
- [ 3 ] 侯光明,郑刚,石秀,等,2018.制造业互联网转型中的组织创新及其影响因素[J].技术经济,37(7): 26-33.
- [ 4 ] 黄玮,孙广生,田海峰,2022.环境偏好、创新成本与企业的环境战略选择:基于Hotelling空间模型的分析[J].系统工程,40(2): 78-85.
- [ 5 ] 康志勇,汤学良,刘馨,2018.“鱼与熊掌能兼得”吗?——市场竞争、政府补贴与企业研发行为[J].世界经济文汇,245(4): 101-117.
- [ 6 ] 李林木,汪冲,2017.税费负担、创新能力与企业升级——来自“新三板”挂牌公司的经验证据[J].经济研究,52(11): 119-134.
- [ 7 ] 李煜华,向子威,胡瑶瑛,等,2022.路径依赖视角下先进制造业数字化转型组态路径研究[J].科技进步与对策,39(11): 74-83.
- [ 8 ] 李滋阳,石宏伟,罗建强,等,2021.高校产学研推进制造业数字化转型的瓶颈、机遇与路径[J].青海社会科学,(3): 110-118.
- [ 9 ] 廖信林,杨正源,2021.数字经济赋能长三角地区制造业转型升级的效应测度与实现路径[J].华东经济管理,35(6): 22-30.
- [ 10 ] 林琳,吕文栋,2019.数字化转型对制造业企业管理变革的影响——基于酷特智能与海尔的案例研究[J].科学决策,(1): 85-98.
- [ 11 ] 刘飞,2020.数字化转型如何提升制造业生产率——基于数字化转型的三重影响机制[J].财经科学,(10): 93-107.
- [ 12 ] 刘晓娟,张鹏,2021.装备制造企业数字化转型驱动机制研究——基于扎根理论对陕汽集团典型案例的分析[J].价格理论与实践,(9): 193-196.
- [ 13 ] 孟凡生,赵刚,2018.传统制造向智能制造发展影响因素研究[J].科技进步与对策,35(1): 66-72.
- [ 14 ] 孟凡生,赵刚,徐野,2019.基于数字化的高端装备制造企业智能化转型升级演化博弈研究[J].科学管理研究,37(5): 89-97.
- [ 15 ] 孙大明,原毅军,2018.合作研发对制造业升级的影响研究[J].大连理工大学学报(社会科学版),39(1): 30-37.
- [ 16 ] 童雨,2022.中国制造业数字化转型的影响因素研究[J].技术经济与管理研究,(3): 124-128.
- [ 17 ] 王德辉,吴子昂,2020.数字经济促进我国制造业转型升级的机制与对策研究[J].长白学刊,216(6): 92-99.
- [ 18 ] 王永龙,余娜,姚鸟儿,2020.数字经济赋能制造业质量变革机理与效应——基于二元边际的理论与实证[J].中国流通经济,315(12): 60-71.
- [ 19 ] 徐建中,赵伟峰,王莉静,2014.基于博弈论的装备制造企业协同创新系统主体间协同关系分析[J].中国软科学,(7): 161-171.
- [ 20 ] 余典范,王超,陈磊,2022.政府补助、产业链协同与企业数字化[J].经济管理,44(5): 63-82.
- [ 21 ] 郑季良,陈白雪,王麒麟,2020.制造企业转型升级中的资源配置有效组态研究——基于模糊集定性比较分析法[J].技术经济,39(10): 38-44.
- [ 22 ] 郑琼洁,姜卫民,2022.数字经济视域下制造业企业数字化转型研究——基于企业问卷调查的实证分析[J].江苏社会科学,(1): 137-149,244.
- [ 23 ] 朱金生,朱华,2021.政府补贴能激励企业创新吗?——基于演化博弈的新创与在位企业创新行为分析[J].中国管理科学,29(12): 53-67.
- [ 24 ] BOONE J, 2001. Intensity of competition and the incentive to innovation[J]. International Journal of Industrial Organization, 19(5): 705-726.
- [ 25 ] KUTIN A, DOLGOV V, SEDYKH M, 2016. Information links between product life cycles and production system management in designing of digital manufacturing[J]. Procedia Cirp, 41(12): 423-426.
- [ 26 ] LI Q, WANG J, CAO G, et al, 2021. Financial constraints, government subsidies, and corporate innovation[J]. Plos One, 17(11): 1-24.
- [ 27 ] LI Y, TONG Y, YE F, et al, 2020. The choice of the government green subsidy scheme: Innovation subsidy vs. product subsidy[J]. International Journal of Production Research, 58(16): 4932-4946.
- [ 28 ] LIN S, CAI S, SUN J, et al, 2019. Influencing mechanism and achievement of manufacturing transformation and upgrading: Empirical analysis based on PLS-SEM model[J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 30(1): 213-232.
- [ 29 ] SMITH P, BERETTA M, 2021. The gordian knot of practicing digital transformation: Coping with emergent paradoxes in

- ambidextrous organizing structures[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 38(1): 166-191.
- [30] WANG J, ZHOU G, 2020. The impact of government subsidies on private R&D investment in different markets [J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 29(4): 1-21.
- [31] XUE F, ZHAO X, TAN Y, 2022. Digital transformation of manufacturing enterprises: An empirical study on the relationships between digital transformation, boundary spanning, and sustainable competitive advantage [J]. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 19(1): 1-16.
- [32] YU F, WANG L, LI X, 2020. The effects of government subsidies on new energy vehicle enterprises: The moderating role of intelligent transformation[J]. *Energy Policy*, 141(6): 1-8.

## Can Government Subsidies Promote the Digital Transformation of Manufacturing Companies? Analysis of Digital Transformation Behavior of Manufacturing Enterprises Based on Evolutionary Game

Fan Zifu, Tao Youpeng, Gong Ya

(School of Economics and Management, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** Promoting digital transformation of manufacturing enterprises is the only way to make manufacturing industry bigger and stronger and realize high-quality development of manufacturing industry. Based on the Hotelling model, an evolutionary game model of digital transformation of manufacturing enterprises was constructed. The influence mechanism of government subsidies and market competition on the choice of digital transformation and upgrading strategy of manufacturing enterprises was analyzed. The results show that the government subsidies can effectively stimulate the digital transformation of manufacturing enterprises, but it only works when a certain threshold is reached. Fierce market competition will weaken the incentive effect of government subsidies, and the weakening effect on manufacturing enterprises with weak financial capacity is more obvious. The synergistic effect of digital transformation can effectively promote the choice of digital transformation strategies for manufacturing enterprises, but this synergistic effect is not obvious when the market competition intensity is high.

**Keywords:** digital transformation; Hotelling model; evolutionary game; government subsidies; market competition