

建筑企业数字化转型三方演化博弈及仿真分析

刘亚臣,刘兴芝

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:对于建筑企业而言,数字化转型是企业实现可持续发展的核心战略。考虑了政府的奖惩机制,将建筑企业、数字化解决方案供应商与政府纳入统一架构中,以此构建了三方演化博弈模型,利用 matlab 2016a 软件对三者的演化博弈行为进行了仿真分析。研究表明:政府参与意愿、协同收益、奖惩力度等参数对博弈主体策略演化的影响显著。其中,提高协同收益和加强政府惩罚力度将加快系统演化趋于稳定;政府增强奖励和补贴力度均有利于促进建筑企业数字化转型和增强数字化解决方案供应商的参与意愿,但加大奖励力度将增大政府财政压力,故适度的政府补贴和奖励有利于博弈系统达到理想状态。

关键词:建筑企业;数字化转型;演化博弈;仿真分析

中图分类号:F224.32 **文献标志码:**A

引用格式:刘亚臣,刘兴芝.建筑企业数字化转型三方演化博弈及仿真分析[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2024,26(1):34-42.

数字经济是引领经济高质量发展的重要动力^[1],运用数字技术实现的数字化转型是提高资本市场获取信息效率并改善企业实体投资资源配置的重要手段^[2],数字化赋能对实体经济的发展具有重要推进作用^[3]。建筑业是中国实体经济的重要组成部分,目前中国绝大部分建筑企业均处于数字化转型探索阶段,其数字化基础薄弱^[4]且数字化转型意愿易受到经济利益的左右^[5],还未形成成熟的数字化转型概念,是公认的数字化程度较低的行业。数字化解决方案供应商是数字化转型的重要参与方,在激烈的市场竞争环境中,作为有限理性的经济个体,数字化解决方案供应商从自身利益出发为建筑企业提供数字化软硬件和咨询服务。政府是具有规则制定能力的主体,可以通过政策等手段引导

数字化解决方案供应商和建筑企业共同推动数字化转型^[6]。在此背景下,本研究力求探索政府、数字化解决方案供应商在建筑企业数字化转型中的作用,为多方推动建筑企业数字化转型提供参考。

一、研究现状及理论基础

1. 研究现状

近年来,关于建筑企业数字化转型影响因素的研究颇多且涉及众多相关利益主体。笔者通过对国内外文献进行梳理与分析,发现相关研究大多基于以下3个层面开展。一是企业自身层面,孙洁等^[7]指出了科技创新可以助推建筑企业数字化转型;王世明等^[8]认为科技人员数量的不足将阻碍建筑企业数字化转型。二是政府层面,吴非等^[9]通过实

收稿日期:2023-09-14

基金项目:国家社会科学基金项目(22AGL036);辽宁省委2023年决策咨询和新型智库委托研究课题(23JC04)

作者简介:刘亚臣(1963—),男,辽宁朝阳人,教授,博士。

证研究检验证明了财政科技支出能够促进企业数字化转型且能提升企业的经济绩效;姚佩怡^[10]认为政府补助对中小企业创新具有一定的正向影响作用,适当降低政府干预也有利于企业创新;肖土盛等^[11]认为政府可以通过制定相应的人才政策以解决企业数字化转型过程中遇到的痛点问题。三是数字化解决方案供应商层面,杨伟等^[12]认为数字生态系统是由多元主体共同组建而成的,数字技术服务商在其中发挥了重要推动作用;Goerzig D 等^[13]的研究结果表明,如果中小企业对数字化的需求程度越高,其对服务商的依赖程度就越深,反之亦成立;苗强等^[14]认为在企业数字化基础薄弱的情况下,数字生态的建设需要依托于第三方平台服务的支撑。

综上所述,现有研究论证了数字化解决方案供应商和政府的支持能够促进建筑企业数字化转型,该结论为本研究提供了理论基础。但目前的研究仍存在一定的局限,一方面,现有研究主要围绕政府与建筑企业的演化博弈,大多仅考虑单一主体,未能将数字化解决方案供应商和政府二者同时纳入考虑范围;另一方面,数字化解决方案供应商与建筑企业利益相关,而大多数研究因未考虑二者之间的协同收益,故无法衡量数字化解决方案供应商在推动建筑企业进行数字化转型过程中的真实影响程度。

因此,本研究基于演化博弈理论,以建筑企业数字化转型为研究对象,构建了由政府、数字化解决方案供应商共同参与的演化博弈模型,运用模型仿真分析了博弈主体的策略选择及相关参数变化对策略演化路径的影响,以期为建筑企业数字化转型提供参考。

2. 理论基础

演化博弈理论既注重对博弈理论的分析,又注重主体间的动态演化过程。它不需要参与主体是完全理性的(保持相对理性即可);其强调的是一种动态间的均衡,是适用于多主体间的演化稳定策略,因此与传统博弈理论相比,演化博弈理论更贴近现实环境。

《中小企业数字化转型指南》指出,在中小企业数字化转型的过程中应强化政策支持,深化多方主体协同创新,进而形成推动中小企业数字化转型的合力。已有学者基于演化博弈理论设计了各主体间的企业数字化转型决策模型,樊自甫等^[15]认为政府补贴只有达到一定的阈值才能有效激励制造企业进行数字化转型,同时,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;冯长利等^[16]基于演化博弈模型结果认为,制造企业的服务化转型需要借由服务商的支持来抵抗自身资源约束的限制,应通过设置最优的收益分配系数增强制造企业与服务商的合作意愿。

二、演化博弈模型构建与分析

1. 模型构建

基于上述理论,笔者构建了由建筑企业、数字化解决方案供应商与政府三方组成的演化博弈模型(见图 1)。

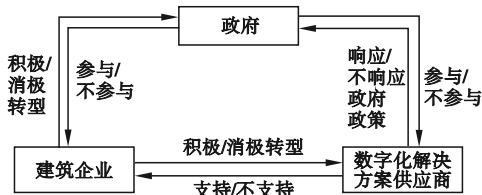


图 1 建筑企业数字化转型三方演化博弈系统

2. 模型假设

假设 1:建筑企业为参与主体 1,数字化解决方案供应商为参与主体 2,政府为参与主体 3。在数字化转型过程中,假设上述三方均是有限理性的,博弈各方均会从自身利益出发,选择最有利于自身发展的策略,策略选择逐渐稳定于最优策略。

假设 2:建筑企业的策略集为(积极转型,消极转型),选择积极转型的概率为 x ,选择消极转型的概率为 $1-x$,且 $0 \leq x \leq 1$;数字化解决方案供应商的策略集为(支持,不支持),选择支持的概率为 y ,选择不支持的概率为 $1-y$,且 $0 \leq y \leq 1$;政府的策略集为(参与,不参与),选择参与的概率为 z ,选择不参与的概率为 $1-z$,且 $0 \leq z \leq 1$ 。

假设3:建筑企业积极进行数字化转型的成本为 C_1 ,获得的基本收益为 R_1 。由于存在市场竞争,建筑企业消极进行数字化转型将会面临一定程度的潜在损失 L ,间隔时间越长则潜在损失值越高,其中 $L > C_1$ 。

假设4:在数字化转型过程中,数字化解决方案供应商与建筑企业为利益相关者。数字化解决方案供应商为建筑企业数字化转型提供相关技术支持和咨询服务,其生产成本为 C_3 。当数字化解决方案供应商对积极转型企业采取不支持策略时,服务出售的基本收益为 R_2 ,采取支持策略需要付出额外成本(即让步成本)为 C_4 。在积极转型建筑企业与数字化解决方案供应商协同合作数字化转型的过程中,二者创造的协同收益为 R_0 ,数字化解决方案供应商的协同收益分配系数为

b ,且 $0 \leq b \leq 1$ 。

假设5:为鼓励建筑企业数字化转型和数字化解决方案供应商的积极参与,政府对积极转型建筑企业的奖励为 M_1 ,对帮助建筑企业数字化转型的数字化解决方案供应商提供的补贴为 M_2 ,若数字化解决方案供应商未对积极转型企业提供支持,将会受到政府的惩罚 F 。

假设6:政府选择参与策略的成本为 C_5 ,由政府形象和社会公信力的提高而带来的社会正效益为 S ,建筑企业积极转型为政府带来的增量收益为 Q_1 。

3. 构建支付矩阵

根据上述模型的基本假设和变量关系,笔者构建了由建筑企业、数字化解决方案供应商与政府三方构成的博弈支付矩阵(见表1)。

表1 建筑企业、数字化解决方案供应商与政府的混合策略博弈支付矩阵

博弈主体		策略选择	建筑企业	
			积极转型(x)	消极转型($1-x$)
数字 化解 决方 案供 应商	支持(y)	政府	$R_1 + (1-b)R_0 + M_1 - C_1 + C_4;$	$R_1 + (1-b)R_0 - C_1 + C_4;$
			$R_2 + M_2 + bR_0 - C_3 - C_4;$	$R_2 + bR_0 - C_3 - C_4;$
		政府	$-C_5 - M_1 - M_2 + S + Q_1$	Q_1
			$R_1 + M_1 - C_1;$	$R_1 - C_1;$
	不支持($1-y$)	政府	$R_2 - C_3 - F;$	$R_2 - C_3;$
			$-C_5 - M_1 + F + S + Q_1$	Q_1
		政府	$-L;$	$-L;$
			$M_2 - C_3;$	$-C_3;$
	不支持($1-y$)	政府	$-C_5 - M_2 + S$	0
			$-L;$	$-L;$
		政府	$-C_3;$	$-C_3;$
			$-C_5 - F + S$	0

4. 演化博弈稳定策略分析

(1) 建筑企业稳定策略分析

建筑企业选择积极转型策略的期望收益 E_{11} 为

$$E_{11} = yz(R_1 + (1-b)R_0 + M_1 - C_1 + C_4) + y(1-z)(R_1 + (1-b)R_0 - C_1 + C_4) + (1-y)z(R_1 + M_1 - C_1) + (1-y)(1-z)(R_1 - C_1) \tag{1}$$

选择消极转型策略的期望收益 E_{12} 为

$$E_{12} = yz(-L) + y(1-z)(-L) + (1-y)z(-L) + (1-y)(1-z)(-L) \tag{2}$$

平均期望收益 $\overline{E_1}$ 为

$$\overline{E_1} = xE_{11} + (1-x)E_{12} \tag{3}$$

建筑企业策略选择的复制动态方程为

$$F(x) = dx/dt = x(E_{11} - \overline{E_1}) = -x(x-1)(L - C_1 + R_1 + C_4y + M_1z + R_0y - R_0by) \tag{4}$$

x 的一阶导数为

$$d(F(x))/dx = (-2x+1)(L - C_1 + R_1 + C_4y + M_1z + R_0y - R_0by) \tag{5}$$

$$\text{设 } J(y) = L - C_1 + R_1 + (C_4 + R_0 - R_0b)y + M_1z \tag{6}$$

建筑企业选择积极转型策略的概率处于稳定状态的前提是: $F(x) = 0$ 且 $d(F(x))/dx < 0$ 。因为 $\partial J(y)/\partial y > 0$,所以 $J(y)$ 关于 y 为增函数。故当 $y = (C_1 - L - R_1 - M_1z)/(C_4 + R_0 - R_0b) = y^*$ 时, $J(y) = 0, d(F(x))/$

$dx \equiv 0$, 此时建筑企业的稳定策略不被确定; 当 $y < y^*$ 时, $J(y) < 0$, 则 $d(F(x))/dx|_{x=0} < 0$, 此时 $x = 0$ 为建筑企业的演化稳定策略 (Evolutionarily Stable Strategy, ESS); 反之, $x = 1$ 为 ESS。由此绘制了建筑企业策略选择的演化相位图 (见图 2), 其中建筑企业消极转型的概率为 A_1 的体积, 积极转型的概率为 A_2 的体积; ESS 的演变路径如图 2 中箭头所示。

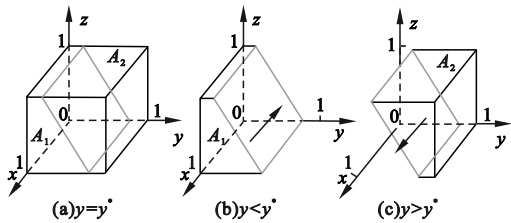


图 2 建筑企业策略演化相位图

对图 2 进一步进行分析可得到两个推论, 推论内容及其分析过程如下。

推论 1: 演化过程中, 建筑企业积极转型的概率及数字化解决方案供应商支持的概率与政府参与的概率正相关。

推论 1 表明, 数字化解决方案供应商对建筑企业转型的支持概率越大、政府的参与度越高, 建筑企业选择积极数字化转型作为稳定策略的意愿就越强。

推论 2: 随着 b 值的减小或 C_4 、 R_0 、 M_1 数值的增加, 建筑企业积极转型的概率也随之增加。

推论 2 表明, 提高数字化解决方案供应商与建筑企业的协同收益或增加政府对建筑企业数字化转型的奖励力度, 都将使建筑企业以积极的态度进行数字化转型。在协同合作数字化转型的过程中, 建筑企业所获取的协同收益越多, 倾向于积极转型的概率就越大, 但是无节制地增加建筑企业所获取的协同收益将会使数字化解决方案供应商拒绝继续为建筑企业提供支持, 因此应合理调整协同收益分配系数。

(2) 数字化解决方案供应商稳定策略分析

数字化解决方案供应商选择支持策略的期望收益函数 E_{21} 为

$$E_{21} = xz(R_2 + M_2 + bR_0 - C_3 - C_4) + x(1-z)(R_2 + bR_0 - C_3 - C_4) + z(1-x)(M_2 - C_3) + (1-x)(1-z)(-C_3) \quad (7)$$

选择不支持策略的期望收益 E_{22} 为

$$E_{22} = xz(R_2 - C_3 - F) + x(1-z)(R_2 - C_3) + z(1-x)(-C_3) + (1-x)(1-z)(-C_3) \quad (8)$$

平均期望收益 \bar{E}_2 为

$$\bar{E}_2 = yE_{21} + (1-y)E_{22} \quad (9)$$

数字化解决方案供应商策略选择的复制动态方程为

$$F(y) = dy/dt = y(E_{21} - \bar{E}_2) = -y(y-1)(M_2z - C_4x + R_0bx + Fxz) \quad (10)$$

y 的一阶导数为

$$d(F(y))/dy = (-2y+1)(M_2z - C_4x + R_0bx + Fxz) \quad (11)$$

$$\text{设 } G(z) = (M_2 + Fx)z + (R_0b - C_4)x \quad (12)$$

数字化解决方案供应商选择支持的概率处于稳定状态的前提是: $F(y) = 0$ 且 $d(F(y))/dy < 0$ 。因为 $\partial G(z)/\partial z > 0$, 所以 $G(z)$ 关于 z 为增函数。故当 $z = [(C_4 - R_0b)x]/(M_2z + Fx) = z^*$ 时, $G(z) = 0$, $d(F(y))/dy \equiv 0$, 此时数字化解决方案供应商的稳定策略不被确定; 当 $z < z^*$ 时, $G(z) < 0$, 则 $d(F(y))/dy|_{y=0} < 0$, 此时 $y = 0$ 为数字化解决方案供应商的 ESS; 反之, $y = 1$ 为 ESS。由此绘制了数字化解决方案供应商策略选择的演化相位图 (见图 3)。其中数字化解决方案供应商选择不支持的概率为 B_1 的体积, 支持的概率为 B_2 的体积; ESS 的演变路径如图 3 中箭头所示。

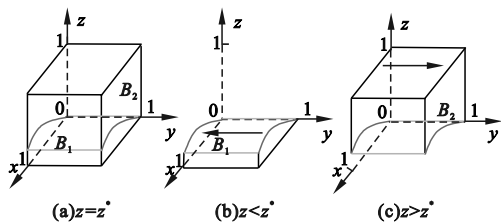


图 3 数字化解决方案供应商策略演化相位图

对图 3 进一步进行分析可得到两个推论, 推论内容及其分析过程如下。

推论 3:演化过程中,数字化解决方案供应商支持的概率与建筑企业积极转型的概率负相关,且与政府参与的概率正相关。

推论 3 表明,在政府参与的情况下,如果建筑企业的数字化转型意愿较高,数字化解决方案供应商不会为了支持建筑企业数字化转型而放弃部分正常收益。

推论 4:随着 M_2 、 F 及 b 数值的增加,数字化解决方案供应商选择支持的概率增加,反之依然成立。

推论 4 表明,政府增加对数字化解决方案供应商支持建筑业数字化转型行为的补贴金额、对其不支持行为的惩罚力度,或是合理提高协同收益分配系数,均会使数字化解决方案供应商倾向于选择支持建筑企业转型策略。

(3) 政府稳定策略分析

政府选择参与策略的期望收益 E_{31} 为

$$E_{31} = xy(-C_5 - M_1 - M_2 + S + Q_1) + x(1 - y)(-C_5 - M_1 + F + S + Q_1) + y(1 - x)(-C_5 - M_2 + S) + (1 - x)(1 - y)(-C_5 + S) \quad (13)$$

选择不参与策略的期望收益 E_{32} 为

$$E_{32} = xyQ_1 + x(1 - y)Q_1 + 0 \times (1 - x)y + (1 - x)(1 - y) \times 0 \quad (14)$$

平均期望收益 $\overline{E_3}$ 为

$$\overline{E_3} = zE_{31} + (1 - z)E_{32} \quad (15)$$

政府策略选择的复制动态方程为

$$F(z) = dz/dt = z(E_{31} - \overline{E_3}) = z(z - 1)(C_5 - S - Fx + M_1x + M_2y + Fxy) \quad (16)$$

z 的一阶导数为

$$d(F(z))/dz = (2z - 1)(C_5 - S - Fx + M_1x + M_2y + Fxy) \quad (17)$$

$$\text{设 } P(y) = C_5 - S + (M_1 - F)x + (M_2 + Fx)y \quad (18)$$

政府选择参与的概率处于稳定状态的前提是: $F(z) = 0$ 且 $d(F(z))/dz < 0$ 。因为 $\partial P(y)/\partial y > 0$, 所以 $P(y)$ 关于 y 为增函数。因此,当 $y = [S - C_5 + (F - M_1)x]/(M_2 + Fx) = y^{**}$ 时, $P(y) = 0$, 此时 $d(F(z))/dz = 0$, 即政府的稳定策略不被确定; 当 $y < y^{**}$ 时, $P(y) < 0$, 则 $d(F(z))/dz|_{z=1} < 0$, 此时

$z = 1$ 为政府的 ESS; 反之, $z = 0$ 为政府的 ESS。由此绘制了政府策略选择的演化相位图(见图 4)。其中政府选择参与的概率为 C_1 的体积, 不参与的概率为 C_2 的体积; ESS 的演变路径如图 4 中箭头所示。

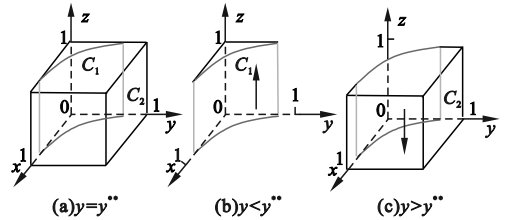


图 4 政府策略演化相位图

对图 4 进一步进行分析可得到两个推论,推论内容及其分析过程如下。

推论 5:演化过程中,政府参与的概率与数字化解决方案供应商支持的概率负相关。

推论 6:当 $S - C_5 + (F - M_1)x > 0$ 时, M_1 和 M_2 数值越小,则政府参与的概率越大,反之依然成立。

推论 5 和推论 6 表明,当数字化解决方案供应商更倾向于支持建筑企业数字化转型时,政府可以适当降低补贴力度,减少不必要的成本支出,充分发挥建筑市场的自我调节功能。

(4) 系统均衡点稳定性分析

由 $F(x) = 0, F(y) = 0, F(z) = 0$ 可得到系统均衡点: $E_1(0, 0, 0)$ 、 $E_2(1, 0, 0)$ 、 $E_3(0, 1, 0)$ 、 $E_4(0, 0, 1)$ 、 $E_5(1, 1, 0)$ 、 $E_6(1, 0, 1)$ 、 $E_7(0, 1, 1)$ 、 $E_8(1, 1, 1)$ 。三方演化博弈系统的雅克比矩阵 J 为

$$J = \begin{bmatrix} \partial F(x)/\partial x & \partial F(x)/\partial y & \partial F(x)/\partial z \\ \partial F(y)/\partial x & \partial F(y)/\partial y & \partial F(y)/\partial z \\ \partial F(z)/\partial x & \partial F(z)/\partial y & \partial F(z)/\partial z \end{bmatrix} \quad (19)$$

由李亚普诺夫第一方法(the first method of Liapunov)可知,当雅克比矩阵均衡点的特征值均小于 0 时,则该均衡点为系统演化策略稳定点(ESS)。系统均衡点的特征值及稳定性分析如表 2 所示。

根据表 2 的特征值,在进一步分析系统演化稳定策略时,可将其分为以下两种情形。

表 2 系统均衡点的特征值及稳定性分析

均衡点	特征值	稳定性结论	条件
$E_1(0,0,0)$	$0, S - C_5, L - C_1 + R_1$	不稳定点	—
$E_2(1,0,0)$	$R_0b - C_4, C_1 - L - R_1, F - C_5 - M_1 + S$	不稳定点	—
$E_3(0,1,0)$	$0, S - M_2 - C_5, C_4 - C_1 + L + R_0 + R_1 - R_0b$	不稳定点	—
$E_4(0,0,1)$	$M_2, C_5 - S, L - C_1 + M_1 + R_1$	不稳定点	—
$E_5(1,1,0)$	$C_4 - R_0b, S - M_1 - M_2 - C_5, C_1 - C_4 - L - R_0 - R_1 + R_0b$	ESS	条件 1
$E_6(1,0,1)$	$C_5 - F + M_1 + S, F - C_4 + M_2 + R_0b, C_1 - L - M_1 - R_1$	不稳定点	—
$E_7(0,1,1)$	$-M_2, C_5 + M_2 - S, C_4 - C_1 + L + M_1 + R_0 + R_1 - R_0b$	不稳定点	—
$E_8(1,1,1)$	$C_4 - F - M_2 - R_0b, C_5 + M_1 + M_2 - S, C_1 - C_4 - L - M_1 - R_0 - R_1 + R_0b$	ESS	条件 2

情形 1:当满足条件 1(即 $S - M_1 - M_2 - C_5 < 0$)时,政府参与建筑企业数字化转型的社会正效益与参与的成本之差小于政府对建筑企业和数字化解决方案供应商的补贴之和,此时复制动态系统稳定点为 $E_5(1,1,0)$,相应演化策略为(积极转型,支持,参与)。

情形 2:当满足条件 2 时(即 $C_5 + M_1 + M_2 - S < 0$)时,政府参与建筑企业数字化转型的社会正效益与参与的成本之差大于政府对建筑企业和数字化解决方案供应商的补贴之和,此时复制动态系统稳定点为 $E_8(1,1,1)$,相应演化策略为(积极转型,支持,参与)。

综上所述,情形 1 和情形 2 的条件表明二者为对立命题,只有一个能成立。

三、仿真分析

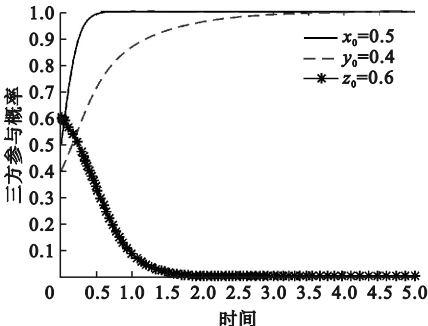
本研究利用 matlab 2016a 软件对数值进行模拟仿真。由于政府会为了实现建筑业可持续发展选择积极促进建筑企业数字化转型,而建筑企业在数字化转型初期喜忧参半,数字化解决方案供应商会慎重选择扶持策略,故可将三方初始参与意愿设为 $x_0 = 0.5$ 、

$y_0 = 0.4$ 和 $z_0 = 0.6$ 。结合实际及相关文献的赋值规律^[15-16]对不同数组进行赋值。

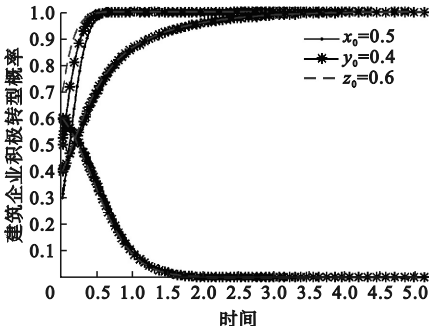
1. 情形 1 仿真分析

根据情形 1 中的条件对数组 1 进行赋值: $C_1 = 4, L = 6, R_1 = 2, C_3 = 3, C_4 = 3, R_2 = 5, R_0 = 8.5, b = 0.5, C_5 = 3.5, M_1 = 2.5, M_2 = 2, F = 1.5, S = 4, Q_1 = 2$ 。参数变化分别为: $R_0 = 8.5, 10.5, 12.5; b = 0.4, 0.5, 0.6$ 。在数组 1 的基础上进行仿真模拟,结果如图 5 所示。需要明确的是,在研究某一参数时,其余参数数值均保持不变。

图 5 表明,提高各方初始参与意愿有利于将建筑企业数字化转型概率和数字化解决方案供应商支持概率稳定于 1;增加协同收益及提高协同收益分配系数均有利于数字化解决方案供应商支持建筑企业数字化转型。但是在建筑企业数字化转型初期,由于建筑企业自身实力有限,若无政府的干预及引导,数字化解决方案供应商将默认帮扶的风险较大,无法完全认同建筑企业的数字化转型能为其带来较多利益这一观点,在此情形下无法使协同收益最大化,故均衡点 $E_5(1,1,0)$ 为次优均衡,并不是系统理想状态。因此政府应



(a)数组1仿真结果



(b)建筑企业初始意愿的变化

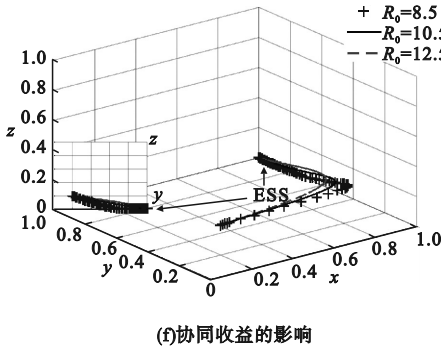
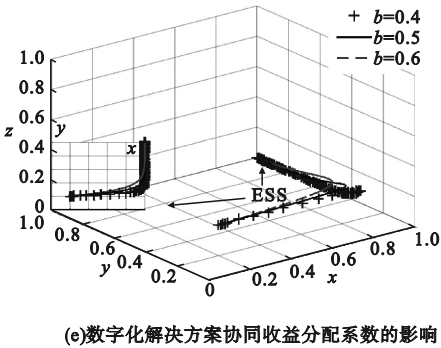
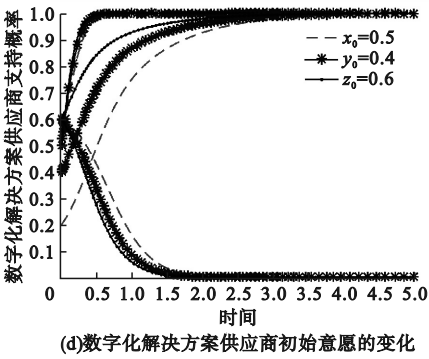
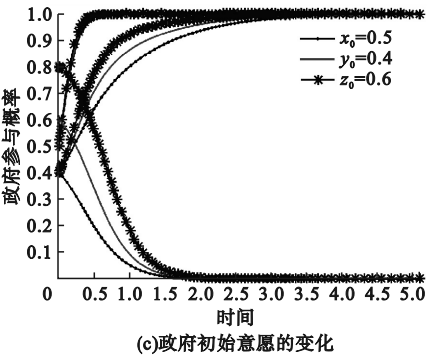


图 5 情形 1 下参数变化对演化结果的影响

为建筑企业数字化转型提供适宜的市场环境,降低建筑企业的转型成本,加大对基础设施的投入,进而增强建筑企业的数字化转型意愿。

2. 情形 2 仿真分析

根据情形 2 中的条件对数组 2 进行赋值: $C_1=4, L=6, R_1=2, C_3=3, C_4=3, R_2=$

$5, R_0=8.5, b=0.5, C_5=3.5, M_1=2.5, M_2=2, F=1.5, S=15, Q_1=2$ 。参数变化分别为: $R_0=8.5, 10.5, 12.5; b=0.4, 0.5, 0.6; M_1=2.5, 4.5, 6.5; M_2=2, 4, 6; F=1.5, 3.5, 5.5$ 。在数组 1 的基础上进行仿真模拟,结果如图 6 所示。

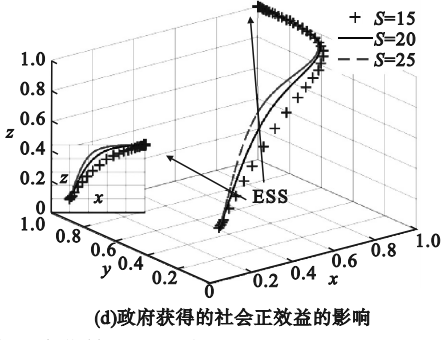
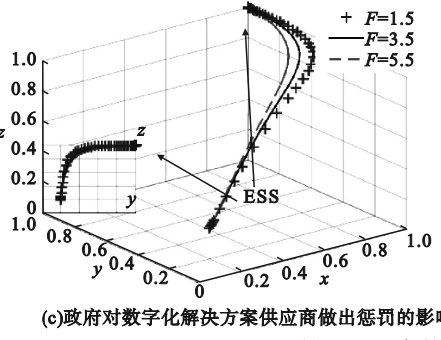
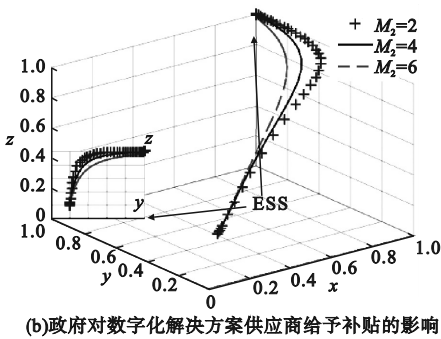
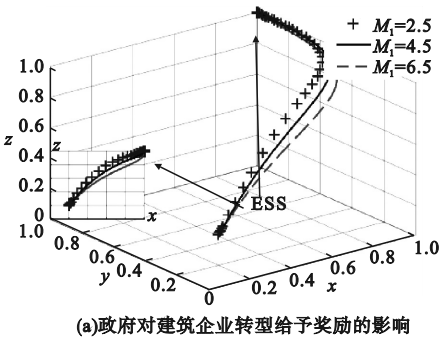


图 6 情形 2 下参数变化对演化结果的影响

图 6 表明,增加政府奖励和补贴有利于将建筑企业数字化转型和数字化解决方案供应商支持概率稳定于 1。政府形象和社会公信力的提升将使其获得的社会正效益增加,这使得政府更倾向于制定政策支持数字化转型。政府对数字化解决方案供应商的惩罚力度越大,越有利于系统向均衡点 $E_8(1,1,1)$ 演化。政府对数字化解决方案供应商的惩罚方式不限于罚款,还包括利用外部环境的压力对其施加处罚。

3. 模型稳定性检验

在数组 2 的基础上,使模型从不同初始策略组合出发进行仿真模拟,结果如图 7 所示。

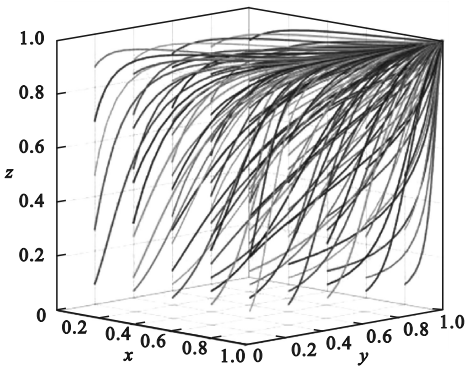


图 7 数组 2 仿真模拟结果

由图 7 可知,尽管初始策略不同,但系统稳定的均衡点不变,且此时仅存在一个稳定的均衡点 $E_8(1,1,1)$,即 $E_8(1,1,1)$ 为最理想的演化结果,相应的各方稳定策略组合为(积极转型,支持,参与),这与情形 2 结论一致。同理可证情形 1。由此可知,各方策略稳定性分析与仿真模拟结论一致且具有有效性,模型具有稳定性。

四、结论和建议

1. 结 论

由上述研究可知:三方主体(建筑企业、数字化解决方案供应商和政府)初始参与意愿的提升均有利于博弈主体策略演化趋于稳定。其中,政府意愿的提升可以鼓励建筑企业和数字化解决方案供应商决策参与数字化转型。在数字化转型初期,由于建筑企业自

身缺乏相关资源、技术及转型的环境,需要政府政策及数字化解决方案供应商的支持来摆脱转型困境。

2. 建 议

基于上述结论,未来可以从以下 3 个方面进行改进和调整。

(1)充分发挥建筑企业自身能动性,提升建筑企业数字化能力。建筑企业可以与高校合作,通过定期组织人员培训来培养数字化人才。整合资源的同时借鉴其他行业的数字化转型经验,从而降低建筑企业数字化转型的风险与成本。

(2)打消数字化解决方案供应商的支持顾虑需要建筑企业和政府的共同努力。应充分认识到增加建筑企业与数字化解决方案供应商的协同收益和完善利益分配制度对于数字化解决方案供应商与建筑企业协同数字化转型的重要意义。

(3)适时调整政府的奖惩机制。如果政府的补贴和激励水平过高,可能导致其财务负担过大,从而减少其在推动数字化转型其他方面的投入,这将妨碍建筑企业数字化转型的整体发展,也就是说,适当降低补贴和激励的力度并不会破坏整个系统的稳定。政府可以在转型前期为建筑企业和数字化解决方案供应商提供补贴和奖励,在数字化转型市场相对成熟后可逐步减少补贴直至退出。在数字化转型初期,政府加大对数字化解决方案供应商不支持行为的惩罚力度对于引导数字化解决方案供应商支持建筑企业数字化转型具有积极作用。

参考文献:

[1] 钱丽,易慧敏,沈梦园. 数字经济与新型城镇化耦合关系研究:以浙江省为例[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2022, 24(5): 489-495.

[2] 刘睿智,霍雨佳,张玉明. 数字化转型能否抑制实体企业“脱实向虚”:基于资本市场信息效率的视角[J]. 企业经济, 2023, 42(7): 25-33.

[3] 李万利,潘文东,袁凯彬. 企业数字化转型与

中国实体经济发展[J]. 数量经济技术经济研究,2022,39(9):5-25.

[4] 黄从治,肖磊. 建筑企业数字化转型面临的挑战和应对策略[J]. 铁道工程学报,2022,39(9):79-84.

[5] HONG J, SHEN G Q, LI Z, et al. Barriers to promoting prefabricated construction in China: a cost – benefit analysis [J]. Journal of cleaner production,2018,172:649 – 660.

[6] 徐硼,罗帆. 政策工具视角下的中国科技创新政策[J]. 科学学研究, 2020, 38 (5): 826 – 833.

[7] 孙洁,龚晓南,张宏,等. 数字化驱动的建筑业高质量发展战略路径研究[J]. 中国工程科学,2021,23(4):56-63.

[8] 王世明,李彩云. 建筑行业数字化转型研究[J]. 科技创业月刊,2019,32(10):29-32.

[9] 吴非,常曦,任晓怡. 政府驱动型创新:财政科技支出与企业数字化转型[J]. 财政研究, 2021(1):102-115.

[10] 姚佩怡. 政府补助对中小企业创新的影响路径研究[J]. 技术经济,2022,41(2):26-37.

[11] 肖土盛,孙瑞琦,袁淳,等. 企业数字化转型、人力资本结构调整与劳动收入份额[J]. 管理世界,2022,38(12):220-237.

[12] 杨伟,刘健,周青. 传统产业数字生态系统的形成机制:多中心治理的视角[J]. 电子科技大学学报(社科版),2020,22(2):11-17.

[13] GOERZIG D, BAUERNHANS L T. Enterprise architectures for the digital transformation in small and medium-sized enterprises [J]. Procedia cirp,2018,67:540-545.

[14] 苗强,张恒,严幸友. 大规模制造产业网状结构价值链数字生态理论研究构想[J]. 工程科学与技术,2022,54(6):1-11.

[15] 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.

[16] 冯长利,马睿泽. 基于服务化的制造企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.

Tripartite Evolutionary Game and Simulation Analysis of Digital Transformation in Construction Enterprises

LIU Yachen, LIU Xingzhi

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: For construction companies, digital transformation is the core strategy of sustainable development. This study considers the reward and punishment mechanism of the government, integrates construction enterprises, digital solution providers and the government into a unified framework, builds a tripartite evolutionary game model, and uses software matlab 2016a to simulate and analyze the evolutionary game behaviors of the three. The results show that government participation intention, synergistic income, rewards and punishments have significant effects on the strategy evolution of game players. Increasing synergistic income and enhancing government punishment will accelerate the system evolution towards stability. The increase of incentives and subsidies by the government is conducive to improving the digital transformation of construction enterprises and the participation willingness of digital solution suppliers, but the increase of incentives will cause more financial pressure on the government, so moderate government subsidies and incentives will help the game system to achieve an ideal state.

Key words: construction enterprises; digital transformation; evolutionary game; simulation analysis
(责任编辑:徐聿聰 英文审校:林 昊)