

建筑企业数字化协同的演化博弈分析

陈群^{1,2}, 李佳昕¹, 陈哲¹

(1. 福建工程学院 管理学院, 福建 福州 350118;
2. 宁德职业技术学院, 福建 宁德 355099)

摘要: 为了研究建筑企业数字化转型的协同合作行为,运用演化博弈理论和方法,建立不同建筑企业间数字化协同演化博弈模型,分析建筑企业实施数字化转型的主要影响因素和动态演化过程,并利用数值模拟仿真验证其稳定性。研究结果表明:数字化收益系数增大、数字化协同效应系数提升以及生产过程中数字化能力增强均有助于促进建筑企业实施数字化转型;在政府补贴的激励下,博弈企业双方选择实施数字化转型的倾向性也会显著增强。针对高昂的成本投入制约着建筑企业实施数字化转型的现象,研究提出了相应的策略建议。

关键词: 建筑企业; 数字化协同; 演化博弈

中图分类号: TU-9; F224.32 文献标志码: A 文章编号: 1672-4348(2021)06-0574-07

Evolutionary game study on digital cooperation of construction enterprises

CHEN Qun^{1,2}, LI Jiaxin¹, CHEN Zhe¹

(1. School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. Ningde Vocational and Technical College, Ningde 355099, China)

Abstract: In order to study the cooperative behavior of the digital transformation of construction enterprises, the evolution game theory and methods were used to establish the game model of the digital cooperative evolution between different construction enterprises, analyze the main influencing factors and the dynamic evolution process of the digital transformation of construction enterprises, and numerical simulation was used to verify its stability. Results show that the digitalization revenue coefficient, synergistic effect coefficient and the digitalization level of enterprises have significant positive influences on the evolutionary strategy results of different game players. Under the incentive of government subsidies, the tendency of both sides of the enterprises to choose digital transformation is significantly enhanced. In view of the fact that the high cost of digital technology restricts the digital transformation of construction enterprises, corresponding strategies and suggestions are put forward.

Keywords: construction enterprises; digital collaboration; evolutionary game

数字化协同是解决企业间信息技术与资源共享的有力手段,能减轻企业转型的成本压力,打破建设项目过程中各参与主体掌握信息资源的孤岛状态,促进各建造阶段的数据流动,提高项目建设效率、质量和价值。企业间数字化合作带来的协

同效应可实现项目整体的信息技术水平升级,推动建筑业的技术突破。谢新水等^[1]指出,数字化转型背后隐藏的“社会事实”和数字资源的本质是“合作共享”,数字化的根本目的不再是谋求个体利益,而是要实现全行业、全社会整体效益的提

收稿日期: 2021-10-24
基金项目: 福建省科技重大专项(2019HZ07011-3);福建省社科规划项目(FJ2019B091);福建工程学院科研启动基金项目(GY-S19013)
第一作者简介: 陈群(1968—),女,福建福州人,教授,硕士,研究方向:项目管理。

升。然而,由于建设项目的建造过程涉及多方参与,各参建单位独立的技术投入无法发挥出数字技术的优势,需要参建单位和相关企业共同参与到数字化技术协作中^[2],才能实现数据的共享,提高建筑业的精细化水平。

在数字化转型的背景下,如何激励建筑企业参与数字化技术协作,提高建筑业数据资源共享,已成为当前研究热点。在针对建筑企业间协同合作的研究中,为了更好地了解建筑业各参与方协作的复杂性,Boton^[3]等人运用系统三角分析的方法从功能、系统和动态3个方面对建筑企业间的合作问题进行分析,提出了一个新的系统方法来弥补建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术在建筑协同领域的不足。Ahmed^[4]则是运用数字化技术提出了一种基于信任和合作价值估计(CoVE)的方法,并使用BIM数据集进行能力评估以减少合作风险,从而维持和促进建设项目各参建方之间的合作。在企业协同策略和机制研究中,针对参建企业间信息不交互、数据不透明等问题,余芳强^[5]、毛超^[6]、申玉民^[7]等学者基于各种数字化技术,分别提出了建设项目全过程的数据管理体系、全过程协同体系和多人协同设计体系,为建设过程中跨阶段的信息无损传递提供了依据,并促进了数字技术在建筑业的深度应用;在企业协同的影响因素研究中,文献[8-10]均表明,知识互补性、技术相关性和企业间协同机制的建立等对企业间的协同合作有较为显著的影响。然而,已有研究主要针对某一具体建造阶段组织内部或者某一具体数字技术(如BIM、区块链等),鲜有以建筑行业的企业间数字化协同合作为对象,且忽略了企业进行数字化转型是由多方共同参与的协同过程,缺乏针对企业数字化转型内在动因和机理的探讨,缺少对数字化合作过程中各个参与方之间技术合作关系的演化过程与动态发展趋势的研究。

鉴于此,本研究以建筑企业数字化转型过程中的技术协同合作行为为研究对象,通过演化博弈理论对建筑企业数字化转型的演化稳定策略进行分析,并以数值模拟仿真对演化稳定策略中的主要影响因素的作用机理进行研究,以期对我国建筑业数字化协同发展提供理论依据与实践指导。

1 模型的假设与构建

1.1 基本假设

本研究针对的是工程项目建设过程中作为不同参与主体的企业,包括设计方、施工方、分包方等和建造过程相关的各类企业。为简化研究,将建筑企业视为一个系统,在“自然状态”下,将系统划分为两个企业群体,在群体中分别抽取一个企业A和企业B进行博弈,它们均会从自身利益出发,选择最有利于各自企业发展的策略。

假设1 建筑企业博弈双方的策略集均为(数字化建造技术转型,保持传统建造模式)。

假设2 建筑企业A选择“数字化建造技术转型”的概率是 x ,选择继续“保持传统建造模式”的概率为 $(1-x)$;企业B选择“数字化建造技术转型”的概率是 y ,选择继续“保持传统建造模式”的概率为 $(1-y)$ 。且 $x, y \in [0, 1]$,均为时间 t 的函数。

假设3 建筑企业A和B选择“保持传统建造模式”时,其原始收益分别为 I_a, I_b 。

假设4 企业选择实施数字化建造技术转型时投入的成本为 $C_i(i=a, b)$ ^[11];数字化技术可为企业带来相应的收益^[12-13],收益系数为 α ,且 $\alpha \in [0, 1]$;有研究^[14]指出,企业利润会受企业数字化程度的影响,企业的数字化程度对企业的利润有积极的正向作用,因此设生产建造过程中建筑企业的数字化能力系数为 γ_0 , $\gamma_0 \geq 1$,以此来反映企业的数字化程度。

假设5 企业A、B均选择向数字化建造技术转型时,双方通过数字技术协同合作产生“1+1>2”的协同效益系数为 $\beta_i(i=a, b)$ ^[15],且 $\beta_i \in [0, 1]$ 。

假设6 当建筑企业选择数字化建造技术转型,政府对企业的补贴为 $H_i(i=a, b)$ 。

假设7 当一个企业实施数字化建造技术,而另一个企业保持传统建造模式时,由于市场竞争的存在,保持传统建造模式的企业的将会面临一定的潜在损失^[16](例如:市场竞争力下降等),潜在损失记为 $L_i(i=a, b)$ 。

1.2 演化模型的构建

基于以上分析和假设,可得出建筑企业A和B实施数字化建造技术转型的决策收益矩阵如表1所示。

表 1 建筑企业的决策收益矩阵

Tab.1 Decision benefit matrix of construction enterprises

A 企业的策略选择及概率	B 企业的策略选择及概率	
	数字化建造技术转型 y	保持传统建造模式 $(1 - y)$
数字化建造技术转型 x	$\gamma_0 I_a + \alpha I_a + \beta_a C_a - C_a + H_a$	$\gamma_0 I_a + \alpha I_a - C_a + H_a$
	$\gamma_0 I_b + \alpha I_b + \beta_b C_b - C_b + H_b$	$I_b - L_b$
保持传统建造模式 $(1 - x)$	$I_a - L_a$	I_a
	$\gamma_0 I_b + \alpha I_b - C_b + H_b$	I_b

2 演化博弈模型分析

2.1 演化过程中的平衡点

当企业 A 选择“数字化建造技术转型”时,企业 B 有“数字化建造技术转型”和“保持传统建造模式”两种策略选择,企业 B 的选择会影响企业 A 的最终收益情况。此时企业 A 所期望达到的收益值 = \sum 企业 B 选择某种情况的概率 * 该策略组合下企业 A 可获得的收益,对应的具体表达式为:

$$E_{a1} = y(\gamma_0 I_a + \alpha I_a + \beta_a C_a - C_a + H_a) + (1 - y)(\gamma_0 I_a + \alpha I_a - C_a + H_a) \tag{1}$$

企业 A 选择保持传统建造模式的期望收益为:

$$E_{a2} = y(I_a - L_a) + (1 - y) I_a \tag{2}$$

$$T = \begin{cases} F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{a1} - \bar{E}_a) = x(1 - x) [y(\beta_a C_a + L_a) - C_a + I_a(\gamma_0 + \alpha - 1) + H_a] \\ F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{b1} - \bar{E}_b) = y(1 - y) [x(\beta_b C_b + L_b) - C_b + I_b(\gamma_0 + \alpha - 1) + H_b] \end{cases} \tag{7}$$

为了后续便于分析,令

$$x^* = \frac{C_b - I_b(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_b}{\beta_b C_b + L_b},$$
$$y^* = \frac{C_a - I_a(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_a}{\beta_a C_a + L_a}。$$

$$J = \begin{pmatrix} \frac{dF(x)}{dx} & \frac{dF(x)}{dy} \\ \frac{dF(y)}{dx} & \frac{dF(y)}{dy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} (1 - 2x) [y(\beta_a C_a + L_a) - C_a + I_a(\gamma_0 + \alpha - 1) + H_a] & x(1 - x)(\beta_a C_a + L_a) \\ y(1 - y)(\beta_b C_b + L_b) & (1 - 2y)[x(\beta_b C_b + L_b) - C_b + I_b(\gamma_0 + \alpha - 1) + H_b] \end{pmatrix} \tag{8}$$

雅克比矩阵的行列式的表达式为:

$$\det(J) = a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}$$

雅可比矩阵的迹的表达式为:

$$\text{tr}(J) = a_{11} + a_{22}$$

企业 A 的平均期望收益为:

$$\bar{E}_a = x E_{a1} + (1 - x) E_{a2} \tag{3}$$

同上所述,当企业 B 选择“数字化建造技术转型”时,所期望达到的收益值为:

$$E_{b1} = x(\gamma_0 I_b + \alpha I_b + \beta_b C_b - C_b + H_b) + (1 - x)(\gamma_0 I_b + \alpha I_b - C_b + H_b) \tag{4}$$

企业 B 选择保持传统建造模式的期望收益为:

$$E_{b2} = x(I_b - L_b) + (1 - x) I_b \tag{5}$$

企业 B 的平均期望收益为:

$$\bar{E}_b = y E_{b1} + (1 - y) E_{b2} \tag{6}$$

由此可得到一个博弈双方复制动态方程组 (T) :

2.2 演化博弈平衡点的稳定性分析

2.2.1 系统稳定性的判定条件

对复制动态方程组依次求关于 x 和 y 的偏导数,系统对应的雅克比矩阵为:

依据 Friedman^[17] 提出的矩阵局部分析法,判定该系统平衡点的稳定性,系统中的稳定点

(ESS)、不稳定点和鞍点,判定条件如下:

(1)当雅可比矩阵的迹 $\text{tr}(\boldsymbol{J}) < 0$ 且行列式 $\det(\boldsymbol{J}) > 0$ 时,该平衡点就是稳定的,其对应的策略就是演化稳定策略(ESS)。

(2)当雅可比矩阵的迹 $\text{tr}(\boldsymbol{J})$ 和行列式 $\det(\boldsymbol{J})$ 均大于零时,该平衡点是不稳定点。

(3)当雅可比矩阵的行列式 $\det(\boldsymbol{J}) < 0$,而迹 $\text{tr}(\boldsymbol{J})$ 为任意值时,该平衡点为鞍点。

2.2.2 企业间协同系数的稳定性分析

情形 1:当建筑企业 A 和 B 在实施数字化建造技术时的协同效应系数均很小,即

$$0 < \beta_a < \frac{C_a - I_a(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_a - L_a}{C_a},$$
$$0 < \beta_b < \frac{C_b - I_b(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_b - L_b}{C_b} \text{ 时,}$$

根据 2.2.1 中给出的稳定性的判定方法,将其代入 $\det(\boldsymbol{J})$ 和 $\text{tr}(\boldsymbol{J})$ 的表达式中,得出该情形下各点的局部稳定性如表 2 所示。此时,无论是共同实施数字化转型还是单独实施转型,数字化协同效应所带来的效益都小于为此付出的成本,如图 1(a)所示,即(保持传统建造模式,保持传统建造模式)是建筑企业的演化稳定策略。

表 2 情形 1 条件下系统平衡点的局部稳定性

Tab.2 Local stability of the system equilibrium point under four situations of Case 1

平衡点	迹 $\text{tr}(\boldsymbol{J})$	行列式 $\det(\boldsymbol{J})$	局部稳定性
(0,0)	-	+	ESS
(0,1)	-	-	鞍点
(1,0)	-	-	鞍点
(1,1)	+	+	不稳定点

情形 2:当建筑企业 A 的协同效应系数增加到一定程度时,如果企业 B 的协同效应系数仍然较小,即 $\frac{C_a - I_a(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_a - L_a}{C_a} < \beta_a < 1, 0 < \beta_b < \frac{C_b - I_b(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_b - L_b}{C_b}$ 此时各点的局部稳定性如表 3 所示。虽然企业 A 可以通过数字化转型所带来的协同效应使收益大于成本,但是由于 B 企业的协同效应较低,无法从数字化转型中获得足够的利润,因此在重复多次演化

博弈之后, B 企业最终还是选择保持传统建造模式。具体演化趋势如图 1(b)所示。

表 3 情形 2 条件下系统平衡点的局部稳定性

Tab.3 Local stability of the system equilibrium point under four situations of Case 2

平衡点	迹 $\text{tr}(\boldsymbol{J})$	行列式 $\det(\boldsymbol{J})$	局部稳定性
(0,0)	-	+	ESS
(0,1)	+	+	不稳定点
(1,0)	-	-	鞍点
(1,1)	-	-	鞍点

情形 3: $0 < \beta_a < \frac{C_a - I_a(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_a - L_a}{C_a}, \frac{C_b - I_b(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_b - L_b}{C_b} < \beta_b < 1$,该情形和情形 2 相同,故不再赘述,具体稳定性和演化路径如表 4、图 1(c)所示。

表 4 情形 3 条件下系统平衡点的局部稳定性

Tab.4 Local stability of the system equilibrium point under four situations of Case 3

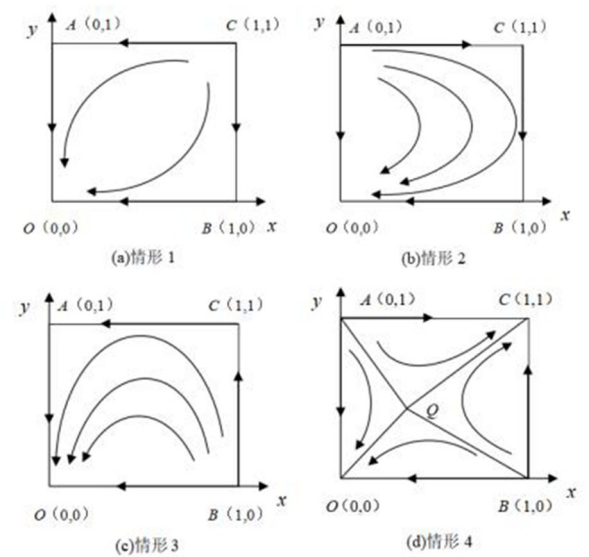
平衡点	迹 $\text{tr}(\boldsymbol{J})$	行列式 $\det(\boldsymbol{J})$	局部稳定性
(0,0)	-	+	ESS
(0,1)	-	-	鞍点
(1,0)	+	+	不稳定点
(1,1)	-	-	鞍点

情形 4:当建筑企业 A 和 B 数字化协同效应系数均增加到一定程度时,即 $\frac{C_a - I_a(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_a - L_a}{C_a} < \beta_a < 1, \frac{C_b - I_b(\gamma_0 + \alpha - 1) - H_b - L_b}{C_b} < \beta_b < 1$,双方选择数字化建造模式所带来的协同收益大于各自所付出的成本,各平衡点的稳定状态如表 5 所示,对应的演化趋势如图 1(d)所示。此时,建筑企业转型策略的临界线由两个不稳定点 (0,1)、(1,0) 与鞍点 $Q(x^*, y^*)$ 连成的折线构成,若系统的初始状态位临界线下方,系统最终的稳定状态为 (0,0) 点,此时双方均将维持传统建造模

式;当初始状态位于临界线右上方时,系统会逐渐向 $C(1,1)$ 点演化,并最终双方均会选择数字化建造技术转型的策略。

表 5 情形 4 条件下系统平衡点的局部稳定性
Tab.5 Local stability of the system equilibrium point under four situations of case 4

平衡点	迹 $\text{tr}(J)$	行列式 $\det(J)$	局部稳定性
$(0,0)$	-	+	ESS
$(0,1)$	+	+	不稳定点
$(1,0)$	+	+	不稳定点
$(1,1)$	-	+	ESS
(x^*, y^*)		-	鞍点



注: 图中横坐标 x 表示企业 A 选择“数字化建造技术转型”的概率;
纵坐标 y 表示企业 B 选择“数字化建造技术转型”的概率。

图 1 4 种情形下的演化相位图

Fig.1 Phase diagram of evolution in four situations

3 数值仿真

为更加清晰地表达数字化协同效应系数、数字化能力系数、政策激励和数字化转型成本等关键参数的取值变化及对博弈主体行为策略的影响,参考相关文献^[18-19],并采用 MATLAB 软件对该博弈系统进行模拟仿真,初始值如表 6 所示。

3.1 初始状态

在博弈初始阶段,在其他参数不变的情况下,改变博弈双方转型的初始意愿值,本研究列举了

4 种不同情境下的初始意愿组合策略,具体演化路径及结果如图 2 所示。在博弈之初,双方企业均对是否进行建造技术转型持观望态度,即双方初始选择概率值均为 $x = y = 0.5$,由于企业双方的转型意愿均不强烈,因此系统迅速趋于均“保持传统建造模式”。而当一方企业 B 具有较高数字化转型意愿开始尝试进行数字化转型,而企业 A 仍处于观望状态时(即 $x = 0.5, y = 0.8$),由于企业 B 没有得到市场的正向反馈,加之企业间没有形成协同效应和较高的转型成本,双方最终仍会回到“保持传统建造模式”的初始状态。在此基础上进一步提高企业双方的转型意愿,从图 2 的仿真结果可知,只有当企业双方的转型意愿均处于较高的概率($x = 0.8, y = 0.8$)时,系统在经历一定波动后,最终才会共同选择“实施数字化转型”。由此可以看出,仅靠企业自身发展意愿很难推动建筑企业的数字化发展,因此要进一步对系统内的相关因素进行分析和讨论。

表 6 各参数初始值
Tab.6 Initial value of each parameter

I_a	I_b	C_a	C_b	α	β_a	β_b	γ_0	H_i	L_i
7	12	5	8	0.2	0.3	0.4	1.3	0.15	0.05

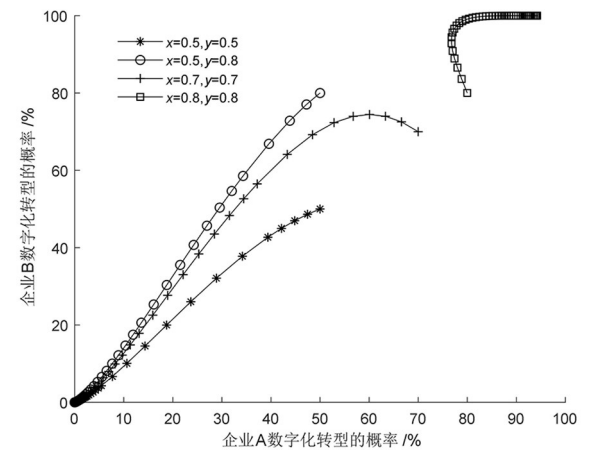


图 2 双方初始意愿的演化路径

Fig.2 Evolutionary path of the initial will of both parties

3.2 协同系数对系统的影响分析

在其他因素不变、博弈双方初始转型意愿均为 $x = y = 0.5$ 的情况下,企业间的协同系数 β_i 的变化对双方企业决策行为的影响如图 3 所示。由图 3 可知,企业间的协同系数 β_i 的提高,可促使

系统更加快速地趋于稳定的策略。在博弈初期,由于选择实施数字化转型的企业之间未形成稳定的合作关系,企业间的协同系数较低,使得企业的收益小于数字化转型的成本,此时博弈双方均会维持成本较低的原始状态,即均“保持传统建造模式”。随着企业间数字化合作的深入和完善,企业间的数字化程度逐渐提高,博弈双方的数字化转型意愿也越来越强烈,最终企业双方均会选择“实施数字化转型”策略。

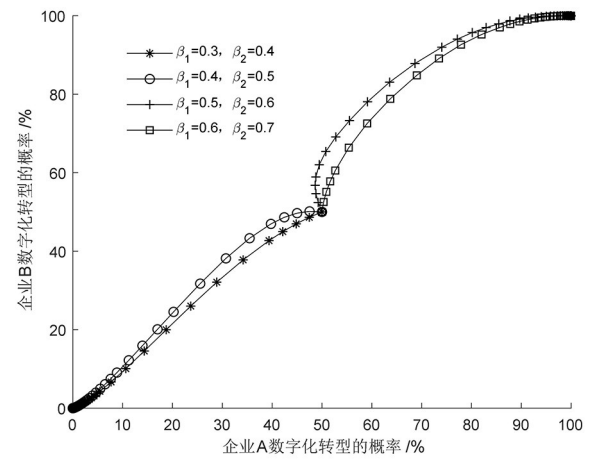


图 3 协同系数对演化路径的影响
Fig.3 Influence of synergy coefficient on evolution path

3.3 政策激励对系统的影响分析

如图 4 所示,当系统双方的转型意愿不强烈、均处于“保持传统建造模式”的状态时,政府可通过一定的外部激励来促进企业的转型。即当企业双方均处于观望状态($x = y = 0.5$)时,政府补贴的增加可激励双方的合作意愿,使得系统最终达到稳定状态。由于政府的支持和激励政策,企业的转型意愿逐渐增加,系统发展到相对稳定的阶段时,政府可以适当降低干预力度逐渐减少补贴,此时系统仍然会向“选择数字化转型”的方向发展。

3.4 数字化程度和成本共同作用对系统的影响

建筑企业为了提高自身数字化能力,必定需要增加相应的成本支出,当企业的数字化能力在不断增加的同时,成本也会增加。因此,要同时考虑企业数字化程度和成本的动态变化对系统的影响。企业 A 数字化能力系数和成本同比例增长的演化路径如图 5 所示。从演化路径可以看出,企业数字化能力的不断提升导致成本的增加使得企业 A 在初期时转型意愿不高,但经过一段时间的

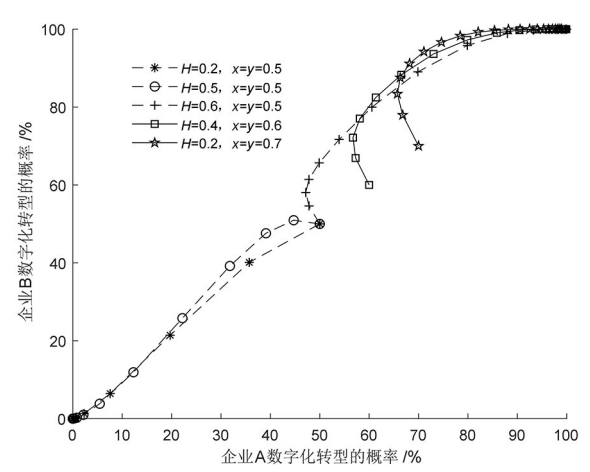


图 4 政策激励对演化路径的影响
Fig.4 Impact of policy incentives on the evolutionary path

发展,数字化技术的提高所带来的收益逐渐高于投入的成本,企业在经历较长一段时间的发展后最终会趋于“选择数字化转型”的稳定策略。

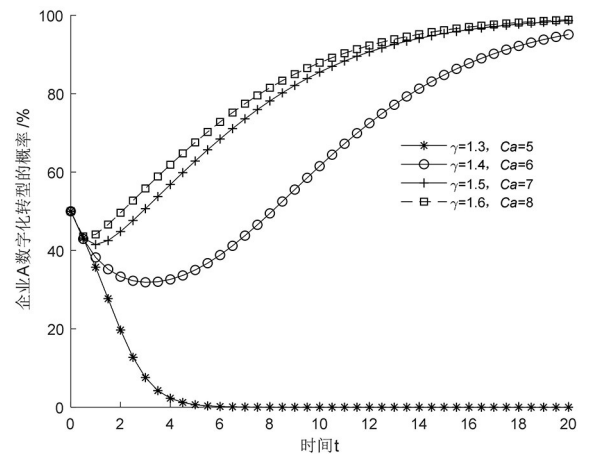


图 5 数字化程度和成本共同作用对演化路径的影响
Fig.5 Influence of the degree of digitization and cost on the evolution path

4 结论与建议

本研究立足数字化协同的角度,运用演化博弈论研究了建筑企业不同主体之间实施数字化转型的策略,并运用 Matlab 软件仿真分析了各参数对系统演化路径的影响。通过上述分析获得以下结论与管理启示:

- 1)企业自身的数字化建造能力对企业的数字化效益和成本有着直接的影响。建筑企业应当重视自身数字化的发展,增加对数字技术的资金

投入和研发力度,重视数字化人才引进和人才培养。其次,强化数字化技术在应用过程中的数据采集和处理能力、数据分析能力和数据应用能力。最后,让数字化技术赋能企业管理和组织能力的建设,从而提高企业的整体业务水平和数字化能力,提升企业的核心竞争力和数字化收益。

2)建筑企业间的数字化协同效应系数显著影响了建筑业数字化建造技术的发展,较低的协同效应会降低企业间的合作意愿。因此,政府和业主应该鼓励业主或业内领军企业构建以数字化技术为核心的专业化协同平台,打破工程项目在各参建方、各环节间的信息壁垒,实现项目在决策、设计、施工和运维阶段的信息互通、数据共享,实现对不同阶段、不同建设资源的管理与协调,为企业间的数字化协同合作提供保障,从而降低企业间合作成本,提高建筑企业的数字化转型意愿。

3)外部激励的加入推动了建筑企业向数字化转型的进程和发展,政府的资金扶持、制定和完善保障建筑企业数字化发展的法律法规、积极推广和普及数字化在建筑行业的应用等,是影响建筑企业数字化转型的外部条件,成为了建筑企业实施数字化转型的动力引擎和加速器。在建筑业数字化技术推广的初始阶段,政府应该要加强政策引导和财政支持,以促进建筑企业的数字化转型的积极性,并为企业数字化转型减少一定的风险和增量成本。而在建筑业数字化技术的发展阶段,政府可以适当减弱资金补贴力度,转而采取其他的补贴政策支持建筑业数字化转型,如校企合作、增加对相关研发机构的支持力度等。

本研究在一定意义上揭示了建筑企业实施数字化转型的主要影响因素和动态演化过程,为建筑企业数字化协同发展提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 谢新水. 谁将成为数字化主导国:从工业化看数字化[J]. 理论与改革, 2021(3): 67-79.
- [2] TEECE D J. Profiting from innovation in the digital economy: enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world[J]. Research Policy, 2018, 47(8): 1367-1387.
- [3] BOTON C, FORGUES D. The need for a new systemic approach to study collaboration in the construction industry[J]. Procedia Engineering, 2017, 196: 1043-1050.
- [4] AHMED U, PETRI I, RANA O, et al. Federating cloud systems for collaborative construction and engineering[J]. IEEE Access, 2020, 8: 79908-79919.
- [5] 余芳强, 张建平. 一种分阶段递进式 BIM 构建方法[J]. 图学学报, 2017, 38(1): 97-101.
- [6] 毛超, 苏涛. 基于区块链的建设项目数据穿透机制研究[J]. 建筑经济, 2021, 42(3): 32-36.
- [7] 申玉民, 王金龙, 胡殿凯, 等. 基于区块链的建筑信息模型图纸多人协同创作系统[J]. 计算机应用, 2021, 41(8): 2338-2345.
- [8] 解学梅. 企业协同创新影响因素与协同程度多维关系实证研究[J]. 科研管理, 2015, 36(2): 69-78.
- [9] 解学梅, 吴永慧, 赵杨. 协同创新影响因素与协同模式对创新绩效的影响: 基于长三角 316 家中小企业的实证研究[J]. 管理评论, 2015, 27(8): 77-89.
- [10] 马辉, 王素贞, 黄梦娇. 基于社会网络分析的建筑产业联盟协同创新影响因素分析: 以京津冀地区为例[J]. 科技管理研究, 2018, 38(15): 170-176.
- [11] 李永红, 黄瑞. 我国数字产业化与产业数字化模式的研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(16): 129-134.
- [12] 胡青. 企业数字化转型的机制与绩效[J]. 浙江学刊, 2020(2): 146-154.
- [13] LIU D Y, CHEN S W, CHOU T C. Resource fit in digital transformation[J]. Management Decision, 2011, 49(10): 1728-1742.
- [14] 华强森, 成政琨, 王玮, 等. 数字化重构行业价值链[J]. 科技中国, 2018(3): 53-62.
- [15] 周华, 周水银. 基于顾客价值的供应链企业协同创新研究[J]. 管理学报, 2016, 13(10): 1557-1562, 1578.
- [16] 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.
- [17] FRIEDMAN D. Evolutionary games in economics[J]. Econometrica, 1991, 59(3): 637.
- [18] 李梅芳, 薛晓芳, 窦君鹏. 基于信息共享的建筑供应链“去中心化”研究[J]. 管理现代化, 2020, 40(1): 88-92.
- [19] 单英华, 李忠富. 基于演化博弈的住宅建筑企业技术合作创新机理[J]. 系统管理学报, 2015, 24(5): 673-681.