

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2024.6.000

智能建管平台下工程总承包项目信息共享激励研究

丁继勇^{1,2}, 孙梦¹

(1. 河海大学商学院, 江苏南京 210098;
2. 河海大学工程管理研究所, 江苏南京 210098)

摘要: 信息共享是提高工程总承包 (engineering-procurement-construction, EPC) 项目管理效率的关键因素之一, 而以建筑信息模型 (BIM) 技术为基础, 结合云计算、人工智能、物联网等技术, 在项目全生命周期内对项目成本、进度、质量、安全等多方面进行有效的数字化管控的智能建管平台的应用可以有效改善EPC项目中信息不对称现象。但是工程实践中存在总承包商信息共享积极性不高的问题。针对这一问题, 以业主方主导构建的智能建管平台为特定情境, 运用演化博弈理论构建业主方和总承包商之间的博弈模型, 分析双方在信息共享激励过程中的策略选择并进行仿真研究, 以探讨不同参数对总承包商信息共享行为的影响, 以及影响双方策略选择的关键因素。结果发现: 业主方的额外收益越大、激励成本越低, 其更倾向于采取激励策略; 总承包商积极信息共享的潜在收益越大、消极信息共享的机会收益越小, 其更倾向于采取积极信息共享策略; 总承包商的智能建管平台应用成熟度和对总承包商的补贴对双方的策略都有显著影响。基于此, 提出业主方应从物质激励和声誉激励相结合、基于智能建管平台应用的不同时期及时调整激励策略和辅以适当惩罚机制3个维度来制定激励策略, 以促进总承包商积极共享信息。

关键词: 智能建管平台; 工程总承包项目; 信息共享; 演化博弈; 工程项目管理

中图分类号: TP391.9; TU17; F224.32; G301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7695 (2024) 6-0001-08

Research on Information Sharing Incentive for Engineering Procurement Construction Project Under Intelligent Construction and Management Platform

Ding Jiyong^{1,2}, Sun Meng¹

(1. Business School, Hohai University, Nanjing 210098, China
2. Institute of Engineering Management, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Information sharing is one of the key factors improving the efficiency of project management of engineering-procurement-construction (EPC), while the application of intelligent construction and management platform can effectively improve the information asymmetry phenomenon in EPC projects, which is based on the building information model (BIM) technology, combined with cloud computing, artificial intelligence, Internet of Things and other technologies, can make the project carry out effective digital control over the cost, progress, quality, safety and other aspects in the whole life cycle. However, the enthusiasm for information sharing among general contractors in engineering practice is generally low, leading to the ineffective function of intelligent construction platforms. Addressing this issue, this paper takes the scenario of intelligent construction management platforms initiated by the owner as a specific context, and applies evolutionary game theory to construct a game model between the owner and the general contractor. The simulation studies on the strategic choices of both parties in the process of information sharing incentives are also carried out. The owner's strategic choices include encouraging or not encouraging the general contractor for information sharing, while the general contractor can choose active or passive information sharing. By varying different parameter values, the paper explores the impact of different parameters on the general contractor's information sharing behavior and the key factors influencing the strategic choices of both parties. The results reveal that the owner is more inclined to adopt incentive strategies, under the conditions of greater additional benefits and lower costs. Similarly, general contractors are willing to share information if the potential benefits of active information sharing are greater and opportunity benefits of passive information sharing are smaller. The maturity of

收稿日期: 2023-09-15, 修回日期: 2023-12-05

基金项目: 安徽省自然科学基金“水科学”联合基金项目“重大水利工程建设管理机制与技术研究”(2208085US19); 国家社会科学基金项目“重大工程交易治理理论与方法”(19FJYB004)

the general contractor's application of intelligent construction management platforms and subsidies from the owner significantly affect the strategies of both parties. Based on this, it is suggested that the owner should combine material incentives with reputation incentives, adjust incentive strategies in a timely manner according to the different stages of platform application, and supplement them with appropriate penalty mechanisms in order to promote active information sharing among general contractors.

Key words: intelligent construction and management platform; EPC project; information sharing; evolutionary game; engineering project management

0 引言

工程总承包模式 (engineering-procurement-construction, EPC) 是目前国际主流的总承包模式^[1]。赵越等^[2]、武菲菲等^[3]的研究均指出, 与传统模式相比较, EPC 模式在缩短工期、促进设计施工等阶段深度融合等方面优势显著。特别是对于重大工程项目而言, 该类型项目复杂程度高、建设难度大、协调关系繁杂, 传统平行发包模式下容易设计施工分离, 产生对业主不利的情况, 故而业主方越来越多采用 EPC 模式, 例如杨房沟水电站、卡拉水电站等工程项目皆是 EPC 模式。然而, 目前重大工程 EPC 项目中仍存在诸多弊端。

目前关于 EPC 项目的管理困境研究成果较为丰富, 如 Rankin 等^[4]通过案例分析得出当前施工管理中面临信息集成管理的巨大挑战; 蒋建林等人^[5]指出装配式建筑中的三大组织间壁垒, 其中之一即为信息流的壁垒, 项目各参与方间信息交流闭塞导致整体目标把握困难; 朱欣^[6]研究指出了当前国际项目的设计沟通存在信息化程度低的问题, 致使项目的质量、风险等管控难度大。面对上述问题, 业主方致力于寻求管理便捷的方法以增大自身收益, 其中一项重要举措便是搭建智能建管平台。例如, 杨房沟水电站工程即综合运用云计算、物联网等现代信息技术, 建立了统一的工程云数据中心, 构建覆盖全工程、全要素、全过程和全参建方、多层级的智能建管平台, 并要求各方积极应用平台共享信息, 减少信息不对称现象。智能建造作为数字经济时代的衍生品, 是建筑行业一种新型工程建造模式, 其融合了信息技术和工程建造技术, 是建筑业实现转型升级的重要科技手段^[7]。智能建管平台作为实现智能建造的工具, 目前业内尚未对其形成统一的理解。有学者认为智能建造是一种新型建筑生产方式, 能够通过信息技术赋能建设过程实现全生命周期内的信息集成和协同^[8]; 也有学者指出智能建造作为工程建设创造新模式, 其目的在于交付绿色可持续化的工程产品^[9]。综合学者们的观点, 本研究认为智能建管平台是以建筑信息模型 (BIM) 技术为基础, 结合云计算、人工智能、物联网等技术,

在项目全生命周期内对项目成本、进度、质量、安全等多方面进行有效的数字化管控平台。其通过强大的数据处理能力优化相关方的管理决策, 站在宏观的角度上提升工程项目全生命周期内的管理效率, 达到降本增效的目的^[10]。在此背景下, 业主方为降低信息不对称水平, 同时方便运维阶段的管理工作, 主动搭建智能建管平台, 要求总承包商积极在平台内信息共享, 实现信息透明, 并将信息应用于运维阶段, 实现全生命周期内数字化管理。然而, 智能建管平台能够发挥价值的前提是各参建方能够积极主动地将相关信息 (如基本信息、工程进度、建设数据等) 共享到平台上, 由平台统一存储和处理并最终运用到运维阶段^[11]。但是对于总承包商来说, 信息不对称意味着获得机会收益^[12], 因此, 他们常刻意隐瞒或滞后传递项目真实信息, 拒绝或有选择地进行信息共享, 该行为会直接影响到智能建管平台信息共享的整体水平, 导致其数据协同机制失效。因此, 业主方如何制定激励策略使得总承包商积极信息共享是业主方亟需解决的问题。

近年来, 国内外诸多学者研究了信息共享对 EPC 项目的影响。有部分学者从 EPC 的某一阶段出发探讨该问题, 如, Moreau 等^[13]提出在 EPC 项目的设计过程中应用信息管理策略可以显著提高项目的总体绩效; Lin 等^[14]指出业主方和总承包商之间缺乏沟通和协调是造成施工界面问题的主要因素。也有学者从 EPC 项目的全生命周期角度论证信息共享的意义, 如 Back 等^[15]认为通过改善内部信息交流和跨组织边界, 整合基于项目的信息可以大幅降低项目成本和缩短项目工期; 钟登华等^[16]提出要建立 EPC 项目的集成化管理信息系统, 从而提高 EPC 项目的整体管理水平, 从全局上对项目参建各方进行组织和协调、控制与管理, 以达到保证质量、节省工期、降低工程费用的目的。当前关于智能建管的研究尚在探索阶段。针对智能建管, Dave 等人^[17]的研究表明, 物联网技术在工程项目的整个生命周期内有助于改善信息流、实现实时反馈, 提高信息平台的可交互性; Chen 等人^[18]构建了基于 BIM 的施工质量管理模型并应用于实践, 有效解决了项目

中“信息孤岛”现象。该类研究仅将某一技术应用于工程项目中，尚未实现信息技术的集成应用，而后学者开始关注技术的集成应用，如丰景春等^[19]研究发现，BIM 信息平台的应用使得信息沟通方式由层级式转向扁平化式，降低了信息利用成本和信息不对称，实现了 EPC 项目绩效的增值；王红卫等人^[20]提出，智能建造技术改变了传统工程项目中信息获取、处理、分析的方式，形成了以数据驱动的智能建造。

理论上，智能建管平台的应用可以有效改善 EPC 项目中信息不对称现象，但是工程实践中因总承包商信息共享的积极性不高，导致智能建管平台应用程度较低，为改善这一情况，业主方需要采取措施或构建机制以激励工程总承包商积极在智能建管平台上进行信息共享。针对目前 EPC 项目中激励机制的问题，诸多学者也展开了研究。有研究指出，激励机制可以从经济和心理两个层面使得博弈双方产生相互依赖性^[21]，一些必要的措施如奖励计划等可以减少总承包商的机会主义行为^[22]；王德东等^[23]研究了总承包商的机会主义行为对 EPC 项目的影响，构建了业主方和总承包商共赢的激励相容约束模型；李丹^[24]构建了基于酬金的激励计划，以降低总承包商的机会主义行为。但当前相关研究未将重点放在信息共享上，关于如何激励 EPC 项目中总承包商积极信息共享的研究还较为匮乏，与此类似领域研究成果却已较为丰富，例如，Li^[25]研究了两级供应链中企业纵向共享信息的激励问题，指出纵向信息共享的直接效应和间接效应，其中直接效应会阻碍零售商共享其需求信息；Ezhei 等^[26]研究了企业共享信息的条件，并设计了两种转移支付机制来激励企业共享信息，从而实现社会福利最优。此外，同样是企业的信息共享激励问题，冯楠等^[27]提出信息共享补贴和信息增值服务两种策略以激励企业在互联网平台内的信息共享，并用 Agent 模型仿真验证了策略的有效性；黄仁辉等^[28]为解决环境污染第三方治理中信息不对称问题，设计了奖惩分配机制提高信息共享。

从以往研究来看，EPC 项目中信息共享是提高项目管理效率的关键因素之一，但是传统 EPC 项目的信息管理方式有待改善。智能建管平台的构建及应用给 EPC 项目的信息共享提供了更为科学的工具，而目前关于智能建管平台内信息共享问题的研究，多数仅从技术层面研究智能建造在工程建设过程中的应用，关于信息共享激励问题的研究尚未成熟，对业主方而言，如何激励总承包商积极信息共享，以推动智能建管平台的深度应用，进而提升 EPC 项

目价值，是值得深入研究的重要课题。

鉴于此，本研究以业主方主导构建的智能建管平台为特定情境，运用演化博弈理论，建立智能建管平台下业主方与总承包商之间信息共享激励演化博弈模型，分析博弈双方策略选择的演化路径，利用 MATLAB 软件进行仿真分析，探究影响双方策略选择的关键因素，以期为业主方制定激励策略提供理论依据。

1 博弈模型构建

1.1 问题描述

业主方和总承包商是 EPC 项目中的两个核心主体。业主方从全生命周期收益出发，主导构建智能建管平台，通过该平台的应用，期望在施工阶段提升项目绩效、在运维阶段降低管理成本。为达到上述目的，业主方可以采取激励策略，例如改善双方的合作环境、营造共享氛围等措施，以激励总承包商积极信息共享，此时业主方的收益提高，但其采取激励措施会产生相应措施成本。总承包商作为实施阶段的主要参与方，其是否积极在智能建管平台上进行信息共享对于平台价值的发挥具有重要影响，而共享信息的成本和收益会影响其策略选择：当采取消极信息共享策略时，其可获得信息不对称带来的机会收益，但是也会产生诸如声誉降低的潜在成本；当采取积极信息共享策略时，其可获得业主方的共享补贴及诸如声誉提升的潜在收益，同时会因共享行为产生共享成本，但该共享成本会随着平台应用成熟度的提高而降低。

1.2 模型假设

假设 1：EPC 项目的两个核心主体，即业主方和总承包商，均为有限理性人。

假设 2：业主方采取激励策略的概率为 x ，则采取不激励策略的概率为 $1-x$ ；总承包商采取积极信息共享策略的概率为 y ，采取消极信息共享策略的概率为 $1-y$ 。其中 $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ 。

假设 3：业主方采取激励策略时收益为 W_1 ，业主方采取不激励策略时收益为 W_2 ，通常情况下， $W_1 > W_2$ ；总承包商的基本收益为 R_1 ，采取消极信息共享策略时机会收益为 R_2 ，采取积极信息共享策略时潜在收益为 G_1 。

假设 4：业主方采取激励策略时措施成本为 C ；总承包商积极信息共享时获得业主方对其共享补贴为 K ，智能建管平台应用成熟度为 a ，在 a 无限趋于 0 时共享成本为 Q_1 ，不妨假设其采取积极信息共享的成本为 $(1-a)Q_1$ ，其中 $0 < a \leq 1$ ，而采取消极信息共享策略时潜在成本为 Q_2 。

1.3 模型构建

基于 EPC 项目中业主方和总承包商之间信息共享的博弈关系及相关定义，得到博弈过程中双方的支付矩阵如表 1 所示。

表 1 业主方与总承包商信息共享的博弈支付矩阵

项目	业主方	
	激励 (x)	不激励 (1-x)
总承包商积极信息共享 (y)	$W_1 - C - K$	W_2
总承包商消极信息共享 (1-y)	$R_1 + K + G_1 - (1-a)Q_1$	$R_1 + G_1 - (1-a)Q_1$
	$W_1 - C$	W_2
	$R_1 + R_2 - Q_2$	$R_1 + R_2 - Q_2$

业主方采取激励策略和不激励策略的期望收益分别为 E_{x1} 、 E_{x2} ，平均收益为 E_x ；总承包商采取积极信息共享策略和消极信息共享策略的期望收益分别为 E_{y1} 、 E_{y2} ，平均收益为 E_y 。具体计算如下：

业主方激励的期望收益为

$$E_{x1} = y(W_1 - C - K) + (1-y)(W_1 - C) \quad (1)$$

业主方不激励的期望收益为

$$E_{x2} = yW_2 + (1-y)W_2 \quad (2)$$

业主方的平均收益为

$$E_x = xE_{x1} + (1-x)E_{x2} \quad (3)$$

总承包商积极信息共享的期望收益为

$$E_{y1} = x(R_1 + K + G_1 - (1-a)Q_1) + (1-x)(R_1 + G_1 - (1-a)Q_1) \quad (4)$$

总承包商消极信息共享的期望收益为

$$E_{y2} = x(R_1 + R_2 - Q_2) + (1-x)(R_1 + R_2 - Q_2) \quad (5)$$

总承包商的平均收益为

$$E_y = yE_{y1} + (1-y)E_{y2} \quad (6)$$

由式 (1) ~ (3) 可得，业主方策略选择的复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{x1} - E_x) = x(1-x)(E_{x1} - E_{x2}) = x(1-x)(-yK + W_1 - W_2 - C) \quad (7)$$

由式 (4) ~ (6) 可得，总承包商策略选择的复制动态方程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{y1} - E_y) = y(1-y)(E_{y1} - E_{y2}) = y(1-y)(xK + G_1 + Q_2 - (1-a)Q_1 - R_2) \quad (8)$$

联立方程 (7) (8) 得到：

$$\begin{cases} U = \frac{dx}{dt} = x(E_{x1} - E_x) = x(1-x)(-yK + W_1 - W_2 - C) \\ V = \frac{dy}{dt} = y(E_{y1} - E_y) = y(1-y)(xK + G_1 + Q_2 - (1-a)Q_1 - R_2) \end{cases} \quad (9)$$

令 $\frac{dx}{dt} = 0$ 、 $\frac{dy}{dt} = 0$ ，对式 (9) 进行求解，

可得到 5 个局部均衡点，分别为： $A=(0,0)$ ，

$B=(0,1)$ ， $C=(1,0)$ ， $D=(1,1)$ ， $E=(x^*,y^*)$ 。其中 $x^* = \frac{(1-a)Q_1 + R_2 - G_1 - Q_2}{K}$ ， $y^* = \frac{W_1 - W_2 - C}{K}$ 。

系统的局部点是否演化稳定策略点需要依据雅克比矩阵 J 的稳定性判定准则来进行判断， J 的表达形式如下所示：

$$J = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{dU}{dx} & \frac{dU}{dy} \\ \frac{dV}{dx} & \frac{dV}{dy} \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} (1-2x)(-yK + W_1 - W_2 - C) & -Kx(1-x) \\ Ky(1-y) & (1-2y)(xK + G_1 + Q_2 - (1-a)Q_1 - R_2) \end{pmatrix} \quad (10)$$

当满足 $\text{Det}(J) = A_1A_4 - A_2A_3 > 0$ 且 $\text{Tr}(J) = A_1 + A_4 < 0$ 时，该点才为演化稳定点。

根据式 (7) (8) (10)，可得出 J 中的 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 在 5 个均衡点处的取值如表 2 所示。其中，当在均衡点 $E=(x^*,y^*)$ 时， A_1 和 A_4 取值恒等于 0，此时不满足 $\text{Tr}(J) = A_1 + A_4 < 0$ ，故不需要考虑 A_2 和 A_3 的数值，因而在表 2 内不予计算，以“—”表示。

表 2 均衡点处 J 中元素的取值结果

均衡点	A_1	A_2	A_3	A_4
(0,0)	$W_1 - W_2 - C$	0	0	$G_1 + Q_2 - (1-a)Q_1 - R_2$
(0,1)	$W_1 - W_2 - K - C$	0	0	$-G_1 - G_2 + (1-a)Q_1 + R_2$
(1,0)	$-W_1 + W_2 + C$	0	0	$K + G_1 + Q_2 - (1-a)Q_1 - R_2$
(1,1)	$K - W_1 + W_2 + C$	0	0	$-G_1 - Q_2 - K + (1-a)Q_1 + R_2$
(x^*,y^*)	0	—	—	0

1.4 系统稳定性分析

(1) 情况一：当 $W_1 - W_2 < C$ 且 $G_1 - (1-a)Q_1 < R_2 - Q_2$ 时，各均衡点的状态分析结果如表 3 所示。由上述分析可知，在该情况下的 A_2 、 A_3 取值均为 0，在表 3 中不再描述，下文同理。

表 3 情况一各均衡点状态分析结果

均衡点	A_1	A_4	$\text{Det}(J)$	$\text{Tr}(J)$	稳定性结果
$A(0,0)$	-	-	+	-	ESS
$B(0,1)$	-	+	-	不确定	鞍点
$C(1,0)$	+	+	+	+	不稳定
$D(1,1)$	+	-	-	不确定	鞍点

由表 3 可知，不论从何种状态出发，最终系统的状态都会演化至 $A(0,0)$ ，即业主方采取不激励策略、总承包商采取消极信息共享策略。因为对于业主方来说，其采取激励策略时获得的收益小于其措施成本，因此，从利益最大化的角度出发，其更倾向于采取不激励策略；对于总承包商来说，其采取积极信息共享策略的总收益小于采取消极信息共享策略的总收益，因此，从其利益最大化的角度出发，总

承包商也倾向于采取消极信息共享策略。在该策略组合下无法实现 EPC 项目和智能建管平台的协同发展。因此，一方面需要加强业主方与总承包商之间的相互信任程度，从而提高业主方的激励意愿及总承包商的信息共享意愿；另一方面，需要提高业主方的数据应用能力和总承包商的平台应用成熟度，从而提高业主方的收益并降低总承包商的共享成本，促使双方朝激励和积极信息共享策略演化。此外，政府层面也可以从促进建筑业转型的角度出发，制定智能建管平台应用的一些补偿政策，以补偿业主方的措施成本，也可以补偿总承包商的信息共享成本。

(2) 情况二：当 $W_1 - W_2 < C$ 且 $R_2 - Q_2 < G_1 - (1-a)Q_1$ 时，各均衡点的状态分析结果如表 4 所示。由表 4 可知，不论从何种状态出发，最终系统的状态都会演化至 $B(0,1)$ ，即业主方采取不激励策略、总承包商采取积极信息共享策略。因为对于总承包商来说，其采取积极信息共享策略的总收益大于采取消极信息共享策略的总收益，因此，从利益最大化的角度出发，总承包商倾向于采取积极信息共享策略；而对于业主方来说，因为总包商采取了积极信息共享策略，所以业主方为获得利益最大化则倾向于不激励，可见，对业主方来说，（不激励，积极信息共享）是最优策略组合。为实现该策略组合的条件，业主方应提高自身的管理水平，以惩罚机制和硬性约束机制来引导总承包商的策略选择。一方面，业主方可以从提高总承包商成本角度出发，对于投机行为采取一定惩罚，从而提高总承包商信息共享的积极性；另一方面，可以从合同条款的设定出发，建立更为严格的合同要求，以硬性约束机制使得总承包商向着积极信息共享的选择靠拢。

表 4 情况二各均衡点状态分析结果

均衡点	A_1	A_4	$\text{Det}(J)$	$\text{Tr}(J)$	稳定性结果
$A(0,0)$	-	+	-	+/-	鞍点
$B(0,1)$	-	-	+	-	ESS
$C(1,0)$	+	+	+	+	不稳定
$D(1,1)$	+	-	-	+/-	鞍点

(3) 情况三：当 $W_1 - W_2 > C$ 且 $K + G_1 - (1-a)Q_1 < R_2 - Q_2$ 时，各均衡点的状态分析结果如表 5 所示。由表 5 可知，不论从何种状态出发，最终系统的状态都会演化至 $C(1,0)$ ，即业主方采取激励策略、总承包商采取消极信息共享策略。因为对于业主方来说，其采取激励策略时的收益大于成本，因此，为获得利益最大化，业主方倾向于采取激励策略；此时对于总承包商来说，其采取积极信息共享策略的总收益小于采取消极信息共享策略的总收

益，因此，为获得利益最大化，总承包商倾向于采取消极信息共享策略。在这种策略组合下，业主方的激励机制失灵。为了解决该问题，促使总承包商更加积极主动地在智能建管平台内共享信息，一方面，需要增加总承包商积极信息共享的收益，例如增大业主方对总承包商信息共享的补贴；另一方面，需要减少总承包商的信息共享成本，例如开展智能建管平台应用培训，提高总承包商应用该平台的成熟度，降低成本。

表 5 情况三各均衡点状态分析结果

均衡点	A_1	A_4	$\text{Det}(J)$	$\text{Tr}(J)$	稳定性结果
$A(0,0)$	+	-	-	+/-	鞍点
$B(0,1)$	+/-	+	+/-	+/-	不稳定 / 鞍点
$C(1,0)$	-	-	+	-	ESS
$D(1,1)$	+/-	+	+/-	+/-	不稳定 / 鞍点

(4) 情况四：当 $W_1 - W_2 > C + K$ 且 $R_2 - Q_2 < K + G_1 - (1-a)Q_1$ 时，各均衡点的状态分析结果如表 6 所示。由表 6 可知，不论从何种状态出发，最终系统的状态都会演化至 $D(1,1)$ ，即业主方采取激励策略、总承包商采取积极信息共享策略。因为对于业主方来说，其采取激励策略时的收益大于成本，因此，为获得利益最大化，业主方倾向于采取激励策略；此时对于总承包商来说，其采取积极信息共享策略的总收益大于采取消极信息共享策略的总收益，因此，从其利益最大化的角度出发，总承包商也倾向于采取积极信息共享策略。该策略组合有利于促进 EPC 项目和智能建管平台的协同发展。

表 6 情况四各均衡点状态分析结果

均衡点	A_1	A_4	$\text{Det}(J)$	$\text{Tr}(J)$	稳定性结果
$A(0,0)$	+	+/-	+/-	+/-	不稳定 / 鞍点
$B(0,1)$	+	+/-	+/-	+/-	不稳定 / 鞍点
$C(1,0)$	-	+	-	+/-	鞍点
$D(1,1)$	-	-	+	-	ESS

2 演化仿真分析

为了更为直观验证上述模型以及稳定性分析的正确性，运用 MATLAB 软件进行数值仿真，以直观呈现业主方和总承包商策略选择的动态演化过程。

(1) 当满足 $W_1 - W_2 < C$ 且 $G_1 - (1-a)Q_1 < R_2 - Q_2$ 时， $A(0,0)$ 即为演化均衡点。为了满足上述条件，假设各参数的取值如下： $W_1=8$ ， $W_2=6$ ， $C=2.6$ ， $G_1=1$ ， $a=0.5$ ， $Q_1=2$ ， $R_2=2$ ， $Q_2=1.2$ ， $K=0.5$ 。结果如图 1 所示，表明业主方与总承包商的策略选择演化结果为（不激励，消极信息共享），这与情况一中的分析结果相一致，且业主方向不激励策略选择的收敛速度更快。

(2) 当满足 $W_1 - W_2 < C$ 且 $R_2 - Q_2 < G_1 - (1-a)Q_1$ 时， $B(0,1)$ 即为演化均衡点。为了满足上述条件，假

设各参数的取值如下： $W_1=8, W_2=6, C=3, G_1=1, a=0.5, Q_1=2, R_2=0.5, Q_2=0.8, K=0.5$ 。如图 2 所示，博弈双方的策略选择演化结果为（不激励，积极信息共享），

这与情况二中的结论相一致，同样，业主方向不激励策略选择的收敛速度更快。

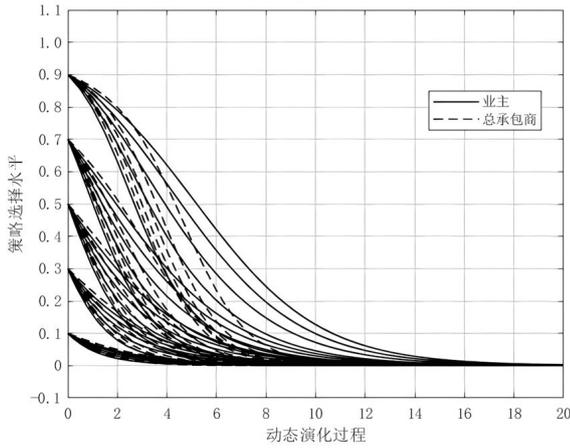


图 1 均衡点 (0,0) 仿真分析结果

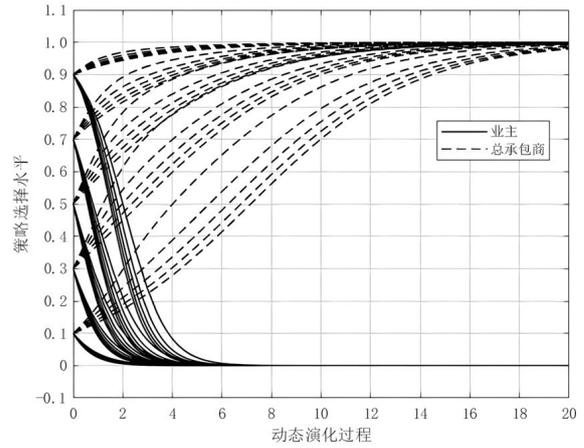


图 2 均衡点 (0,1) 仿真分析结果

(3) 当满足 $W_1 - W_2 > C$ 且 $K + G_1 - (1 - a)Q_1 < R_2 - Q_2$ 时， $C(1,0)$ 即为演化均衡点。为了满足上述条件，假设各参数的取值如下： $W_1=8, W_2=6, C=1.5, G_1=2, a=0.5, Q_1=2, R_2=2.5, Q_2=0.8, K=0.5$ 。结果如图 3 所示，表明博弈双方策略选择演化结果为（激励，消极信息共享），这与情况三中的结论相一致，此时总承包商向消极信息共享策略选择的收敛速度更快。

$R_2 - Q_2 < K + G_1 - (1 - a)Q_1$ 时， $D(1,1)$ 即为演化均衡点。为了满足上述条件，假设各参数的取值如下： $W_1=9, W_2=6, C=1.5, G_1=1.5, a=0.5, Q_1=2, R_2=2.5, Q_2=1.5, K=1.0$ 。结果如图 4 所示，业主方与总承包商的策略选择演化结果为（激励，积极信息共享），这与情况四中的结论相一致，此时业主方向激励策略选择的收敛速度更快。

(4) 当满足 $W_1 - W_2 > C + K$ 且

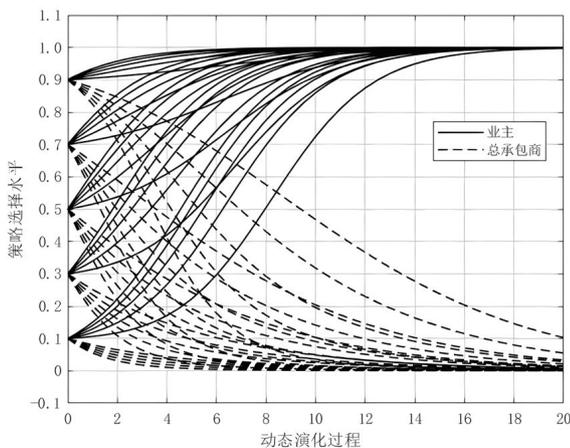


图 3 均衡点 (1,0) 仿真分析结果

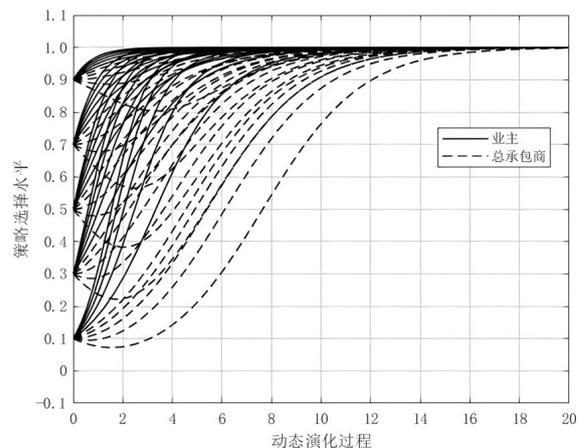


图 4 均衡点 (1,1) 仿真分析结果

3 参数分析

为了能够进一步探究参数的变化对系统演化结果的影响，结合 EPC 项目信息共享激励的实际情况，以情况四的演化均衡点 $D(1,1)$ 为例，在满足 $W_1 - W_2 > C + K$ 且 $R_2 - Q_2 < K + G_1 - (1 - a)Q_1$ 的条件

下，运用 MATLAB 软件进行数值仿真，主要探究业主方采取激励策略下的额外收益 ($W_1 - W_2$)、业主方采取激励策略的激励成本、智能建管平台应用成熟度，总承包商采取积极信息共享的补贴、潜在收益和消极共享信息时机会收益及潜在损失成本差值

($R_2 - Q_2$) 等参数的敏感性。在数值仿真中, 皆假设业主方采取激励策略的初始比例是 0.5, 总承包商采取积极信息共享策略的初始比例为 0.5。

(1) 业主方额外收益 ($W_1 - W_2$) (令 $E = W_1 - W_2$) 对系统演化路径的影响。设 $C=1.5$, $G_1=1.5$, $a=0.5$, $Q_1=2.0$, $R_2=2.5$, $Q_2=1.5$, $K=1.0$ 。业主方采取激励策略时能获得额外收益和业主方采取激励策略的意愿成正比, 保持其他参数不变, 业主方随着所得的额外收益的增加 ($E=3.0, E=3.5, E=4.0, E=4.5$), 其采取激励策

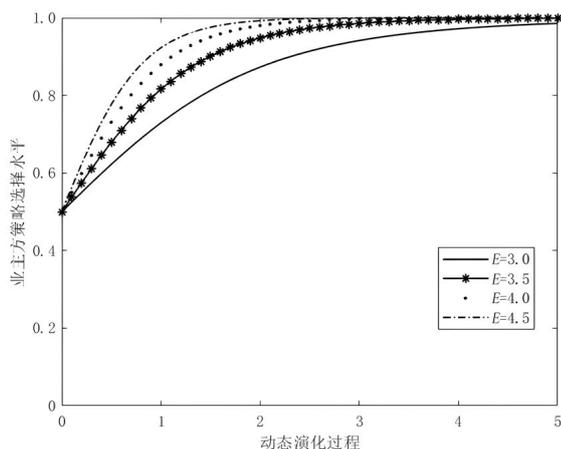


图5 E 对业主方策略选择演化路径的影响

略的意愿也不断增加。图 5 和图 6 表明, 在业主方收益不断增加时, 业主方采取激励策略比例的变化率快速趋向于 1, 而总承包商采取积极信息共享策略比例的变化率趋于 1 的速度明显较慢, 但结合图 4 和图 6 可以推测, 最终也将趋于 1。由此可见, 业主方有效激励总承包商积极信息共享的前提是提升自己的收益能力, 具体来说, 一方面可以通过增大平台内信息利用效率来增大自身收益, 另一方面可以从减少索赔等情况发生降低自身成本。

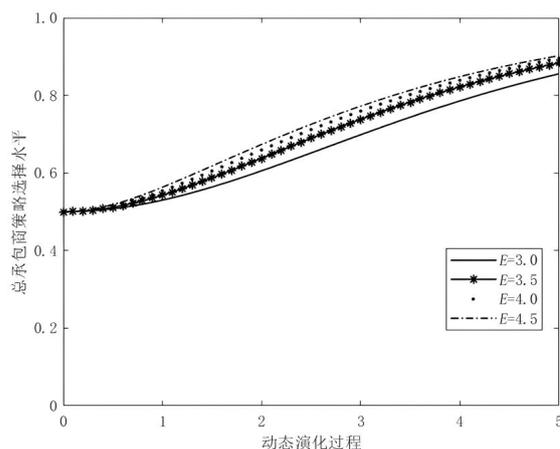


图6 E 对总承包商策略选择演化路径的影响

(2) C 对系统演化路径的影响。设 $W_1 - W_2 = 4.0$, $G_1=1.5$, $a=0.5$, $Q_1=2.0$, $R_2=2.5$, $Q_2=1.5$, $K=1.0$ 。业主方采取激励策略时的措施成本和业主方采取激励策略的意愿成反比, 保持其他参数不变, 业主方随着措施成本的增加 ($C=1.0, C=1.5, C=2.0, C=2.5$), 其采取激励策略的意愿不断降低。图 7 和图 8 表明, 随着业主方的措施成本不断增加, 业主方采取激励策

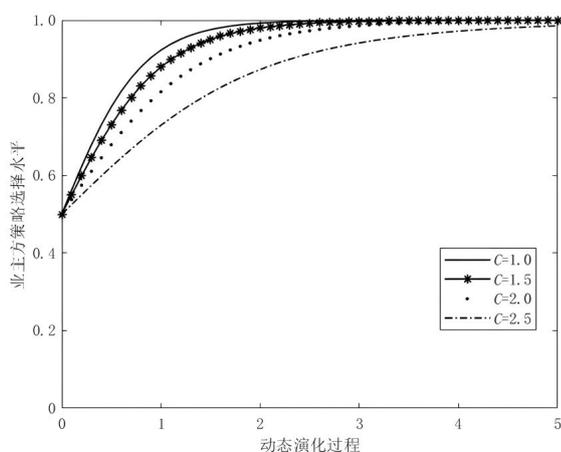


图7 C 对业主方策略选择演化路径的影响

略和总承包商采取积极信息共享政策比例的变化率都背离于 1, 系统达到 (1,1) 的时间逐渐增大, 但是较业主方而言, 业主方的措施成本对总承包商策略选择的影响较小。因此, 采取怎样的激励措施对业主方来说是至关重要的。当前工程领域内平台共享问题研究较为匮乏, 业主方可以借鉴互联平台信息共享激励策略, 结合项目本身情况合理规划激励策略。

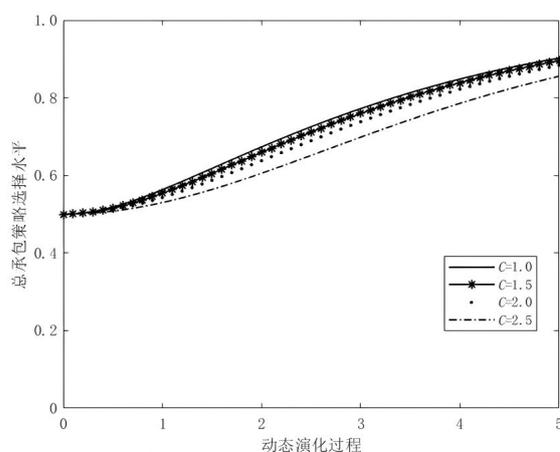


图8 C 对总承包商策略选择演化路径的影响

(3) a 对系统演化路径的影响。设 $W_1-W_2=3.0$, $C=1.5$, $G_1=1.5$, $Q_1=1.0$, $R_2=2.5$, $Q_2=1.5$, $K=1.0$ 。总承包商在智能建管平台上进行信息共享时, 其平台应用成熟度对其采取积极信息共享策略有显著影响, 与其采取积极信息共享策略的意愿成正比; 而对于业主方而言, 由于总承包商应用智能建管平台的成熟度上升、共享信息的成本降低, 采取积极信息共享的意愿增加, 此时业主方出于利益最大化的考虑, 其采取激励策略的意愿降低, 因此总承包商的智能建管平台应用成熟度和业主方采取激励策略的意愿成反比。保持其他参数不变, 随着智能建管平台应用成熟度的增加 ($a=0.2, a=0.5, a=0.8$), 总承包商

采取积极信息共享策略的意愿不断增加。图 9 和图 10 表明, 随着总承包商智能建管平台应用成熟度的不断提高, 在业主方采取激励策略下, 系统达到 (1,1) 的时间逐渐增大; 而总承包商则相反, 在其采取积极信息共享策略下, 系统达到 (1,1) 的时间逐渐减小。因此, 总承包商智能建管平台应用成熟度的不断提高会使得业主方演化稳定速度变慢, 而总承包商演化稳定速度变快, 且对总承包商影响更加明显。对于总承包商来说, 智能建管平台应用成熟度越高, 其信息共享成本越低, 而智能建管是建筑业的必然趋势, 因此, 总承包商应不断提升自身应用成熟度, 增大自身在行业内的竞争优势。

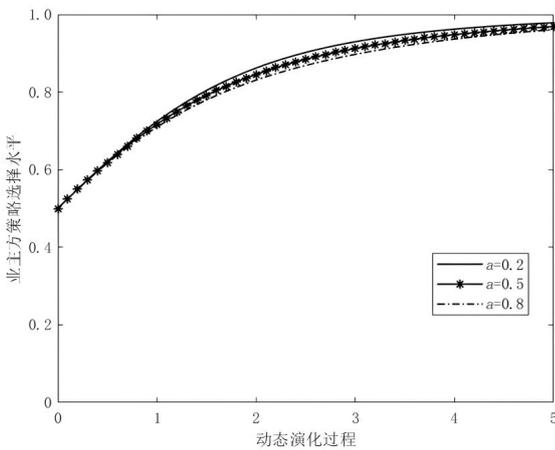


图 9 a 对业主方策略选择演化路径的影响

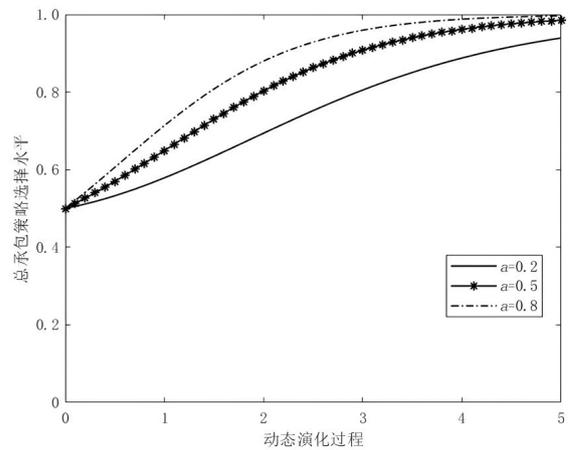


图 10 a 对总承包商策略选择演化路径的影响

(4) K 对系统演化路径的影响。设 $W_1-W_2=4.5$, $C=1.5$, $G_1=1.5$, $a=0.5$, $Q_1=2.0$, $R_2=2.0$, $Q_2=1.5$, $K=1.0$ 。总承包商在智能建管平台上进行信息共享时可获得共享补贴对其采取积极信息共享策略有显著影响, 补贴的大小与其采取积极信息共享策略的意愿成正比; 对于业主方而言, 对总承包商的补贴亦是业主方的成本之一, 因而补贴的大小与业主方采取激励策略的意愿成反比。保持其他参数不变, 随着补贴的增加 ($K=1.0, K=1.5, K=2.0, K=2.5$), 总承包商采取积极信息共享策略的意愿不断增加, 而业主方采取激励策略的意愿不断降低。图 11 和图 12 表明,

随着对总承包商积极信息共享的补贴不断增加, 在业主方采取激励策略下, 系统达到 (1,1) 的时间逐渐增大; 而总承包商则相反, 在其采取积极信息共享策略下, 系统达到 (1,1) 的时间逐渐减小。因此, 对总承包商积极信息共享的补贴不断提高会使得业主方演化稳定速度变慢, 而总承包商演化稳定速度变快, 且对总承包商的影响更加明显。可见, 积极信息共享补贴对于双方皆存在影响, 且对双方的作用力相反, 因而寻求双方认可的补贴值是业主方工作的重点, 未来的研究也可围绕该点进行深入探讨。

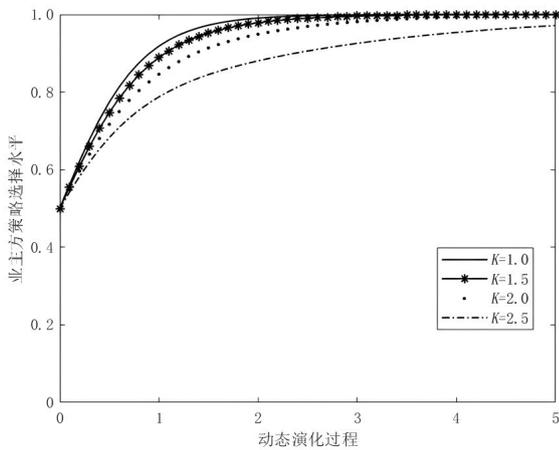


图 11 K 对业主方策略选择演化路径的影响

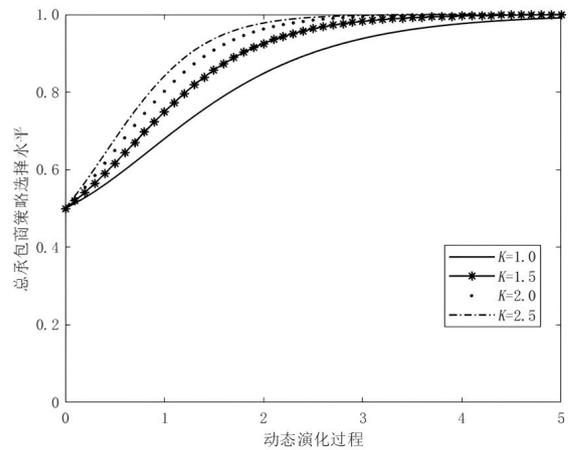


图 12 K 对总承包商策略选择演化路径的影响

(5) G_1 对系统演化路径的影响。设 $W_1-W_2=3.0$, $C=1.5$, $a=0.5$, $Q_1=1.0$, $R_2=2.5$, $Q_2=1.5$, $K=1.0$ 。总承包商在智能建管平台上积极进行信息共享时可获得声誉提升等潜在收益，这对其采取积极信息共享策略有显著影响，因而其潜在收益的大小与其采取积极信息共享策略的意愿成正比；而对于业主方而言，总承包商的潜在收益越高，总承包商采取积极信息共享策略的概率越高，出于利益最大化的角度考虑，业主方更倾向于减少其措施成本，采取不激励策略，因此，总承包商潜在收益的大小与业主方采取激励策略的意愿成反比。保持其他参数不变，随

着总承包商潜在收益的增加 ($G_1=1.0, G_1=1.2, G_1=1.5, G_1=1.8$)，总承包商采取积极信息共享策略的意愿不断增加，业主方采取激励策略的意愿不断降低。图 13 和图 14 表明，总承包商积极信息共享潜在收益的不断增加对业主方策略选择影响较小，并不断减缓业主方趋于稳定点的速率；而总承包商则相反，其采取积极信息共享策略比例的变化率随着其潜在收益的增加而快速增长。因此，总承包商积极共享信息的潜在收益不断提高会使得业主方演化稳定速度变慢，而总承包商演化稳定速度变快，且对总承包商影响更加明显。

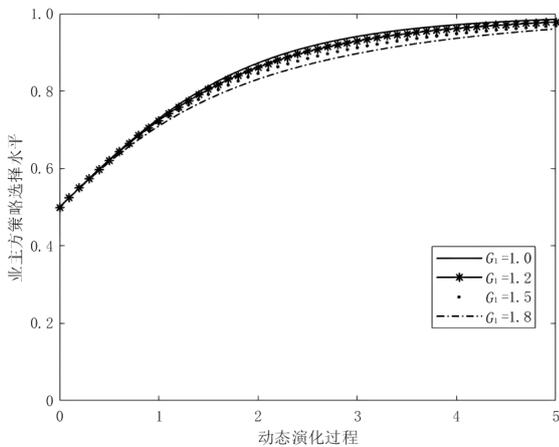


图 13 G_1 对业主方策略选择演化路径的影响

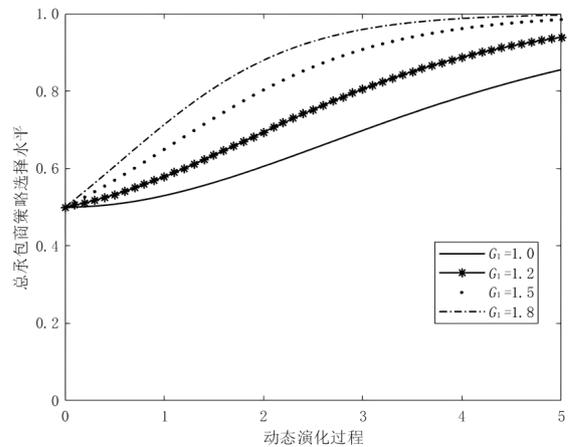


图 14 G_1 对总承包商策略选择演化路径的影响

(6) 总承包商消极共享信息时机会收益和潜在损失成本差值 (R_2-Q_2) (令 $L=R_2-Q_2$) 对系统演化路径的影响。设 $W_1-W_2=3.0$, $C=1.5$, $G_1=1.5$, $a=0.5$, $Q_1=2.0$, $K=1.0$ 。总承包商在智能建管平台上消极信息共享时，一方面其会获得信息不对称带来的机会

收益，另一方面也存在如声誉降低等的潜在损失，而这差值即为总承包商进行消极信息共享时所能获得的收益。该收益的大小与总承包商采取积极信息共享策略的意愿成反比；而对于业主方而言，总承包商消极信息共享所能获得收益越高，总承包商采取

积极信息共享策略的概率越低，出于智能建管平台长期运行效率的考虑，业主方更倾向于采取激励策略鼓励总承包商积极进行信息共享，因此，总承包商消极信息共享收益的大小与业主方采取激励策略的意愿成正比。保持其他参数不变，随着总承包商消极信息共享收益的增加（ $L=0.5, L=0.8, L=1.0, L=1.3$ ），总承包商采取积极信息共享策略的意愿不断降低，业主方采取激励策略的意愿不断增加。图

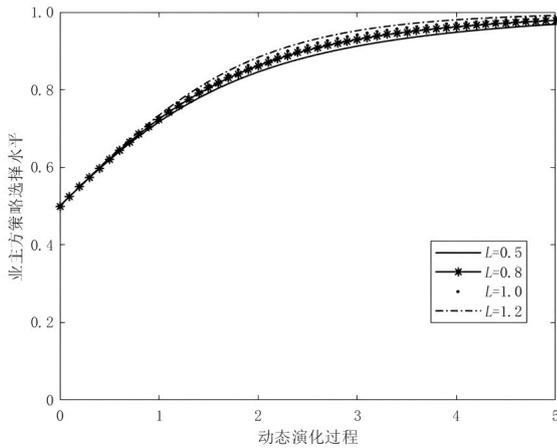


图 15 L 对业主方策略选择演化路径的影响

15 和图 16 表明，随着总承包商消极信息共享收益的不断增加，在业主方采取激励策略下，系统达到 (1,1) 的时间逐渐缩短；而总承包商则相反，在其采取积极信息共享策略下，系统达到 (1,1) 的时间逐渐变长。因此，总承包商消极信息共享收益的不断提高会使得业主方演化稳定速度变快，而总承包商演化稳定速度变慢，且对总承包商影响更加明显。

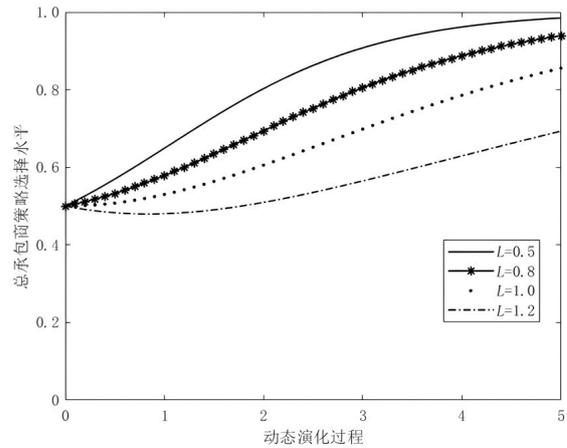


图 16 L 对总承包商策略选择演化路径的影响

4 结论与讨论

智能建管平台作为一项新的工程建设的要素，在工程项目的信息共享方面发挥着重要的作用。在智能建管平台情境下，传统 EPC 项目的信息传递效率得到提升，信息的不对称性降低。智能建管平台的运行离不开总承包商积极主动的信息共享，但是在实施过程中，总承包商往往会逃避信息共享以获得机会收益。为了解决以上问题，需要业主方设计合理的激励机制以激励总承包商积极参与信息共享。本研究运用演化博弈理论，考虑 EPC 项目的实际应用，构建业主方、总承包商双方的演化博弈模型，从整个分析仿真过程可以看出，总承包商对智能建管平台应用成熟度、对总承包商积极信息共享的补贴和总承包商积极信息共享的潜在收益越大，系统越倾向于（不激励，积极信息共享）的路径；总承包商消极信息共享时的收益越大，系统越倾向于（激励，消极信息共享）的路径；业主方的激励成本越大，系统越倾向于（不激励，消极信息共享）的路径；业主方采取激励策略时所能获得的收益越大，系统越倾向（激励，积极信息共享）的路径。

基于上述结论，结合智能建管平台在实际应用中可能出现的情境，在 EPC 项目中，业主方若想提高自身收益、增大项目效益，可以从以下两个层面

出发制定相应策略：一方面，从自身入手，最大程度控制成本、提升自身收益，在与总承包商合作的过程中保证自身利益的同时加强与其合作关系，及时察觉可能产生的变更索赔等问题，从这个层面降低自身的潜在成本；另一方面，还需要设计合理的激励机制，促进总承包商积极信息共享，降低信息不对称、减少机会主义行为，增大项目收益。此外，业主方还可以从以下几个方面制定对总承包商的激励策略：

(1) 采取物质激励和声誉激励相结合的方式。一方面，给予总承包商合理的物质激励，主要是增加其收益，对于其信息共享行为给予奖励，并根据其共享信息有效性适度提高奖励程度，从增大其收益角度促进其积极信息共享；另一方面，给予总承包商一定程度的声誉激励，对于总承包商的积极信息共享行为给予鼓励和奖励，并公开承认总承包商的贡献，提升总承包商的声誉，促进其积极信息共享。

(2) 在智能建管平台应用的不同时期，激励策略重心也需要及时调整。在总承包商的平台应用成熟度较低的时期，为了减少总承包商的共享成本，业主方在平台创建时应注意完善相关技术及标准，创建易用便捷的平台，减少总承包商信息共享的成本，并主动为总承包商开展相关培训，提高其应用成熟度；在总承包商的平台应用成熟度较高的时期，

业主方可以从增加总承包商收益角度出发对其进行激励，例如增大补贴的力度，提高总承包商积极信息共享的收益，从而促进其积极信息共享。

(3) 可以适当建立一些投机行为惩罚机制。在 EPC 项目建设过程中，总承包商消极信息共享的主要原因在于信息不对称意味着可以有投机行为、获得机会收益，且本研究结论表明机会收益越大则总承包商的信息共享意愿越低，因此业主方在与总承包商签订协议时可适当设定对于投机行为的惩罚机制，从该层面增大总承包商消极信息共享时的成本，抑制其对消极信息共享策略的采纳，促使其采纳积极信息共享行为。

然而，本研究仍存在如下两个主要方面不足：第一，仿真建模中的参数设定并非通过实证的方式获得，这在一定程度上降低了结论的有效性；第二，基于业主方已构建好的智能建管平台研究该平台应用有效性的激励策略问题，但未考虑业主方构建该平台的成本，且业主方如何构建智能建管平台没有提及，后续可以结合这两个方面进行更深层次研究。

参考文献：

- [1] WANG T F, TANG W Z, QI D S, et al. Enhancing design management by partnering in delivery of international EPC projects: evidence from Chinese construction companies [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2016, 142(4): 04015099.1-04015099.12.
- [2] 赵越, 强茂山, 王湫. EPC 项目业主与承包商设计决策博弈 [J]. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2021, 61(10): 1195-1201.
- [3] 武菲菲, 鲁航线. EPC 工程总承包项目运作模式及其适用性研究 [J]. *东南大学学报 (哲学社会科学版)*, 2015, 17(增刊 1): 65-66.
- [4] RANKIN J H, FROESE T M. Information population of an integrated construction management system [J]. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2002, 17(4): 256-268.
- [5] 蒋建林, 陈建国, 郑荣跃. 工程项目组织间壁垒问题分析: 以装配式建筑项目为例 [J]. *软科学*, 2019, 33(3): 106-110.
- [6] 朱欣. 海外铁路工程项目管理信息化平台建设研究 [J]. *铁道工程学报*, 2022, 39(4): 77-83.
- [7] 丰景春, 王婷, 王龙宝. 基于建筑信息模型的协同建设项目多层次多阶段利益分配机制: 设计采购施工模式情景下 [J]. *科技管理研究*, 2021, 41(20): 194-203.
- [8] 毛超, 彭宥胭. 智能建造的理论框架与核心逻辑构建 [J]. *工程管理学报*, 2020, 34(5): 1-6.
- [9] 陈珂, 丁烈云. 我国智能建造关键领域技术发展的战略思考 [J]. *中国工程科学*, 2021, 23(4): 64-70.
- [10] ZHANG S R, PAN F, WANG C, et al. BIM-based collaboration platform for the management of EPC projects in hydropower engineering [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2017, 143(12): 04017087.1-04017087.15.
- [11] DONG N, HUANG Q Y, XIONG F. Construction of BIM collaborative management platform for the owner in China [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 446(2): 179-188.
- [12] 胡明茂, 张建雄, 兰燕飞. 不对称信息下供应商占主导的委托代理模型 [J]. *系统工程*, 2012, 30(4): 106-110.
- [13] MOREAU K A, BACK W E. Improving the design process with information management [J]. *Automation in Construction*, 2000, 10(1): 127-140.
- [14] LIN C L, JENG C H. Exploring interface problems in Taiwan's construction projects using structural equation modeling [J]. *Sustainability*, 2017, 9(5): 822.1-822.15.
- [15] BACK W E, MOREAU K A. Cost and schedule impacts of information management on EPC process [J]. *Journal of Management in Engineering*, 2000, 16(2): 59-70.
- [16] 钟登华, 崔博, 蔡绍宽. 面向 EPC 总承包商的水电工程建设项目信息集成管理 [J]. *水力发电学报*, 2010, 29(1): 114-119.
- [17] DAVE B, KUBLER S, FRAMLING K, et al. Opportunities for enhanced lean construction management using internet of things standards [J]. *Automation in Construction*, 2016, 61: 86-97.
- [18] CHEN L J, LUO H. A BIM-based construction quality management model and its applications [J]. *Automation in Construction*, 2014, 46: 64-73.
- [19] 丰景春, 吴凯丽, 李晟. 基于 BIM 的 EPC 项目信息价值链增值研究 [J]. *科技管理研究*, 2020, 40(9): 149-155.
- [20] 王红卫, 钟波涛, 李永奎, 等. 大型复杂工程智能建造与运维的管理理论和方法 [J]. *管理科学*, 2022, 35(1): 55-59.
- [21] CHEUNG S O, ZHU L Y, LEE K W. Incentivization and interdependency in construction contracting [J]. *Journal of Management in Engineering*, 2018, 34(3): 04018010.1-04018010.13.
- [22] LU W, ZHANG L, ZHANG L N. Effect of contract completeness on contractors' opportunistic behavior and the moderating role of interdependence [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2016, 142(6): 04016004.1-04016004.10.
- [23] 王德东, 房韶泽, 王新成. EPC 模式下抑制总承包商机会主义行为策略 [J]. *土木工程与管理学报*, 2019, 36(4): 62-68.
- [24] 李丹. EPC 模式下的信息不对称研究 [D]. 宜昌: 三峡大学, 2013.
- [25] LI L. Information sharing in a supply chain with horizontal competition [J]. *Management Science*, 2002, 48(9): 1196-1212.
- [26] EZHEI M, LADANI B T. Information sharing vs. privacy: a game theoretic analysis [J]. *Expert Systems with Applications*, 2017, 88: 327-337.
- [27] 冯楠, 任彬彬, 黄梓宸, 等. 数字经济下工业互联网平台信息共享激励机制研究 [J]. *北京交通大学学报 (社会科学版)*, 2022, 21(2): 1-13.
- [28] 黄仁辉, 高明. 考虑奖惩分配激励机制的环境污染第三方治理演化博弈 [J]. *中国环境科学*, 2023, 43(4): 2069-2080.

作者简介：丁继勇（1985—），通信作者，男，江西樟树人，副教授，博士，主要研究方向为工程项目治理、智能建造应用；孙梦（1998—），女，安徽马鞍山人，硕士研究生，主要研究方向为工程总承包项目管理、智能建造应用管理。