

# 数字化背景下传统制造业与数据平台服务商协同创新的多主体演化博弈

张悦然

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年8月7日; 录用日期: 2023年10月3日; 发布日期: 2023年10月11日

## 摘要

数字化背景下, 传统制造业生产模式和运营模式遭受巨大冲击。而数据平台服务商的出现, 数据赋能, 知识共享等已成为后工业时代传统工业企业转型的共同认识; 同时数据平台行业还较为年轻, 商业背书与技术完善也需不断完善。本文从制造型企业供应链上下游企业协同入手, 探讨传统制造业内部与外部数据服务平台企业的演化路径。本文对其进行数值仿真后, 得出结论: 信用水平, 投机行为, 成本与收益的比值, 数智化程度都对传统制造企业与数据平台服务商协同创新的演化博弈有显著影响; 并且利益分配系数的设置存在一个合理阈值; 投机行为的收益与企业协同创新的概率成反比; 成本与收益的比值越小, 促使企业向{协同创新}策略演化概率越大; 数智化程度越高, 三主体协同创新的概率越大。

## 关键词

数字化, 演化博弈, 工业互联, 协同创新, 数据赋能

## A Multi-Agent Evolutionary Game of Collaborative Innovation between Traditional Manufacturing Industry and Data Platform Service Providers under the Background of Digitalization

Yueran Zhang

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Aug. 7<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 3<sup>rd</sup>, 2023; published: Oct. 11<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Under the background of digitization, the production mode and operation mode of traditional manufacturing industry have suffered a great impact. The emergence of data platform service providers, data empowerment, knowledge sharing have become the common understanding of the transformation of traditional industrial enterprises in the post-industrial era. At the same time, the data platform industry is still relatively young, so business endorsement and technological improvement need to be constantly improved. Based on the collaboration between upstream and downstream enterprises in the supply chain of manufacturing enterprises, this paper discusses the evolution path of internal and external data service platform enterprises in traditional manufacturing industries. After numerical simulation, some conclusions are drawn. Credit level, speculative behavior, ratio of cost to income, and degree of digital intelligence all have significant effects on the evolutionary game of collaborative innovation between traditional manufacturing enterprises and data platform service providers. And there is a reasonable threshold for the benefit distribution coefficient. The return of speculation is inversely proportional to the probability of collaborative innovation. The smaller the ratio of cost to benefit, the greater the probability of the enterprise to evolve to {collaborative innovation} strategy. The higher the degree of number intellectualization, the greater the probability of collaborative innovation of three subjects.

## Keywords

Digitization, Evolutionary Game, Industrial Interconnection, Collaborative Innovation, Data Empowerment

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

后疫情时代，如何重振经济实现复苏、又当以何种方式减少疫情所带来的影响，是关乎所有企业和个体的重要命题。数据中台、知识共享、商业赋能、智能化生产等新的商业模式逐渐出现在商业合作中，领先企业正在依托移动互联网、云计算等技术，创造并满足消费者的集成式需求(陈剑，刘运辉，2021) [1]。在新技术、新应用的作用下，我国制造业的生产方式、企业形态、业务模式和就业方式都加速变革，我国正有力促进制造业提质、降本、增效、绿色、安全发展。

为了在激烈的市场竞争中立于不败之地，越来越多的企业利用基于大数据的商务分析来增强企业的核心竞争力，然而仅依靠自身的资源和能力是远远不够的，他们需要去整合不同的资源以实现合作共赢。(陈剑等，2020) [2]企业主动寻求与行业内外各种组织的合作，与行业内外组织和参与者进行协同创新(孙聪，魏江，2019) [3]将是未来企业合作的新模式。因此，推动传统制造企业向着数字化、智能化发展，研究传统制造企业协同创新的策略具有现实意义。

工业是国家竞争力基石，工业数字化转型是全球共识。2020年之后，中国向着制造强国迈进，与发达国家共同的演化路径皆是工业互联网，物理信息系统，智能制造。工信部数据显示，我国工业互联网产业规模逐年递增，截至2022年第一季度，工业互联网规模已超万亿元。目前工业互联网已应用于45个国民经济大类，涵盖研发设计、生产制造、营销服务等各个环节，工业互联网的高质量外网覆盖全国

300 多个城市。(陈威如和王节祥, 2021) [4]提出传统企业“借力”数字平台赋能, 也被认为是推进数字化转型的一条理想路径。(Liangli *et al.*, 2018) [5]认为数据平台能够提供先进的技术功能, 以及数据分析功能, 推动企业数字化转型。(刘检华等, 2022) [6]提出, 在大数据时代, 制造企业能够掌握、使用和理解的数据量, 数据驱动企业生产和运营管理的广度和深度将是衡量企业规模的一个重要指标。如今, ICT 技术飞速发展, 已成为数字经济的基础设施。以工业互联网赋能产业链, 供应链, 搭建或借助智能云服务平台, 已成为当下制造企业数字化转型的必经之路。而数据服务平台正处于起步阶段, 其面临运作质量仍待提升、数字基础设施建设投资巨大, 多数企业对其信任度缺乏等制约因素。基于此, 搭乘工业 4.0 的快车, 以其数据实力助力传统制造行业高质量发展, 将是其实现商业裂变的巨大契机。

在上述背景下, 研究数据平台对于传统制造业的影响, 数据平台与传统制造业在新一轮工业协同创新中的策略选择等问题, 变得十分必要。

## 2. 文献综述

关于企业协同创新, 我国学者已进行了大量的研究。在供应链角度, (解学梅, 陈佳玲, 2021) [7]考虑到供应链与企业绩效的整体效应, 运用元分析法, 指出供应链协同知识创新、协同技术, 管理创新都能正向地影响企业绩效。(李柏洲等, 2021) [8]构建了供应链上下游企业协同创新的演化博弈模型, 指出在市场机制下, 上下游企业双方建立有效的信息共享机制, 提升各自的技术水平, 能够促进博弈双方的协同创新概率, 实现共赢。也有许多学者从不同企业角度给出企业协同创新的研究结论。(解学梅, 刘丝雨, 2015) [9]从数百家中小企业的实际数据出发, 进行实证检验, 得出协同创新的模式与效应及企业创新绩效之间的关系。(张敬文等, 2016) [10]在界定战略性新兴产业集群内涵和特征的基础上, 分析战略性新兴产业集群创新主体的互动关系。并运用演化博弈理论构建集群协同创新复制动态模型。

近年来, 已有不少学者对数据服务平台进行了卓有成效的研究。(杜传忠和刘志鹏, 2020) [11]提出数据平台成为智能经济中的关键基础设施。(郑勇华等, 2022) [12]通过实证分析得出, 平台数据赋能显著正向影响制造企业数字化转型。(周晓阳等, 2022) [13]同时考虑工业互联网平台、第三方开发商以及制造业企业等三个决策主体的收益共享契约, 并同时进行了三者的演化博弈研究。(潘小军, 2022) [14]构建了包含一个工业互联网平台、一个制造商和一个零售商组成的三级供应链博弈模型, 求解出基于使用量收费和订阅收费模式下的最优决策。

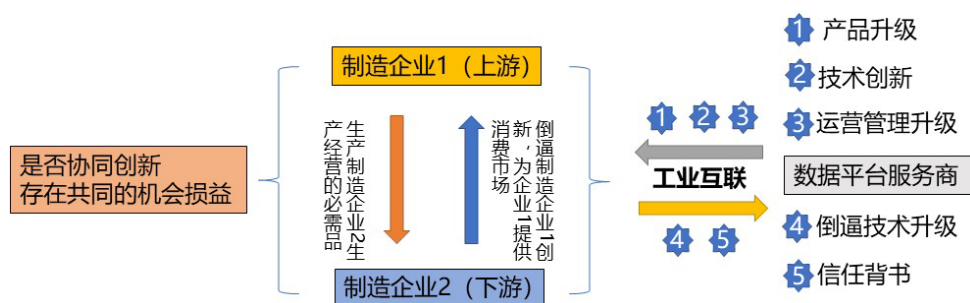


Figure 1. Structure of the three-way game between manufacturing enterprises and data platform service providers

图 1. 制造企业与数据平台服务商三方博弈关系结构图

上述有关企业协同创新和供应链企业博弈, 以及数据服务平台的研究为本文研究提供了重要参考, 与已有研究不同之处在于, 本文研究的是传统制造企业的行业内, 以及行业外和数据服务平台企业之间的协同创新。本文创造性地引入企业数智化程度  $\theta_i$ , 构建了上下游制造企业的两方博弈模型, 探索协同创新背景下, 制造企业上下游的竞合关系。同时如图 1 所示, 本文也搭建了上游制造企业, 下游制造企

业以及数据平台服务商三方演化博弈模型，深入剖析后工业化时代传统制造企业的数智化转型决策演化路径，以及利益分配，企业信用，企业信用，企业数智化程度对于传统制造企业于数据服务平台商协同创新的影响。

### 3. 供应链上下游企业演化博弈

#### 3.1. 问题描述

在当今传统制造企业供应链和数据服务平台交互中，许多企业数据服务平台寻找上各类合作伙伴，并实现整个供应链上的信息联动，向企业业务信息数字化，智能化迈进。本研究的两主体选取为通过数据服务平台达成合作的具有经济关系的传统制造业供应链的上下游随机两企业，上游制造商为下游制造商提供其生产的所需必需品，上游制造商的创新进展与创新能力直接影响下游制造商的生产经营；而下游制造商作为上游制造商的一部分消费市场，在提升自身产品创新，对生产该产品的必需品，如生产设备等，提出更高的要求，从而倒逼上游制造商不断推进创新。所以传统制造业供应链上下游两主体在进行协同创新时，除了基本的收益与成本之外，共同存在基于生产创新收益，以及基于市场风险带来的机会损益。

#### 3.2. 模型假设

假设 1：参与博弈的主体均为有限理性。各主体因信息的不对称，且总是追求自身利益的最大化，因此所做决策时为有限理性。

假设 2：主体双方在协同创新时，可以获得的基本收益为  $M_i (i = 1, 2)$ 。

假设 3：主体选择了协同创新后，要投入相应的成本，记协同创新产生的成本为  $C_i (i = 1, 2)$ ；当一方采取协同创新，另一方采取不协同创新时，采取不协同方存在“搭便车”行为。由此可产生额外收益为  $F_i (i = 1, 2)$ 。

假设 4：若主体选择协同创新，则会产生机会收益，机会收益记为  $\delta L$ ， $\delta \in (0, 1)$ 。

为主体 1 获得机会损益的分配系数， $1 - \delta$  为主体 2 的分配系数。

假设 5：供应链上游企业 A 记为 1，下游企业 B 记为 2，两家企业选择参与供应链协同创新的概率分别为  $x$  和  $y$ ，两家企业不参与协同创新的概率为  $1 - y$ ，且  $x, y \in [0, 1]$ ；它们都是时间  $t$  的函数。

假设 6：双方在协同创新时会产生信任，背叛等风险，其中契约风险损益记为  $\gamma_i G$ ，其中  $\gamma$  为各企业在平台中的信用指数。如若一方不遵守双方共同履行的协同创新条款时，则另一方需承担因对方违反合同承担此次创新成本，包括专利侵权，违反法律法规等。企业在平台上的合作风险指数  $\gamma_i \in (0, 1)$ ， $\gamma$  指数越高代表企业的合作风险越大，在合作中承担的契约损益越多。

#### 3.3. 模型构建

基于上述研究假设，本研究搭建了供应链上下游两主体博弈收益矩阵和博弈模型，具体结果见表 1 所示。

**Table 1.** Upstream and downstream game revenue matrix of supply chain

**表 1.** 供应链上下游两主体博弈收益矩阵

		下游企业——主体 2	
		协同创新 $y$	不协同创新 $1 - y$
制造上游企业	协同创新 $x$	$M_1 + \delta L - C_1 - \gamma_1 G,$ $M_2 + (1 - \delta)L - C_2 - \gamma_2 G$	$M_1 - C_1 - \gamma_1 G$ $M_2 + F_2$
	不协同创新 $1 - x$	$M_1 + F_1, M_2 - C_2 - \gamma_1 G$	$M_1, M_2$

上游企业选择“协同创新”策略时的收益为

$$M_{11} = y(M_1 + \delta L - C_1 - \gamma_1 G) + (1-y)(M_1 - C_1 - \gamma_1 G) = y\delta L + M_1 - C_1 - \gamma_1 G$$

上游企业选择“不协同创新”策略时的收益为

$$M_{12} = y(M_1 + F_1) + (1-y)M_1 = yF_1 + M_1$$

上游企业的平均收益为

$$\bar{M}_1 = xM_{11} + (1-x)M_{12} = xy\delta L - xC_1 - x\gamma_1 G + yF_1 + M_1 - xyF_1$$

上游企业的复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(M_{11} - \bar{M}_1) = x(1-x)(M_{11} - M_{12}) = x(1-x)(y\delta L - C_1 - \gamma_1 G - yF_1)$$

下游企业选择“协同创新”策略时的收益为

$$M_{21} = x[M_2 + (1-\delta)L - C_2 - \gamma_2 G] + (1-x)(M_2 - C_2 - \gamma_2 G) = x(1-\delta)L + M_2 - C_2 - \gamma_2 G$$

下游企业选择“不协同创新”策略时的收益为

$$M_{22} = x(M_2 + F_2) + (1-x)M_2 = M_2 + xF_2$$

下游企业的平均收益为

$$\bar{M}_2 = yM_{21} + (1-y)M_{22} = xy(1-\delta)L - yC_2 - y\gamma_2 G + M_2 + xF_2 - xyF_2$$

下游企业的复制动态方程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(M_{21} - \bar{M}_2) = y(1-y)(M_{21} - M_{22}) = y(1-y)[x(1-\delta)L - C_2 - \gamma_2 G - xF_2]$$

### 3.4. 模型求解

令  $F(x) = 0$  和  $F(y) = 0$ ，由此可得出五个均衡点  $E_1(0, 0)$ ， $E_2(0, 1)$ ， $E_3(1, 0)$ ， $E_4(1, 1)$ ， $E_5(x^*, y^*)$

$$X^* = \frac{C_2 + \gamma_2 G}{(1-\delta)L - F_2}$$

$$Y^* = \frac{C_1 + \gamma_1 G}{\delta L - F_1}$$

基于以上动态方程，本文构造了 Jacobian 矩阵如下：

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1-2x)(y\delta L - C_1 - \gamma_1 G - yF_1) & (x-x^2)(\delta L - F_1) \\ (y-y^2)[(1-\delta)L - F_2] & (1-2y)[x(1-\delta)L - C_2 - \gamma_2 G - xF_2] \end{pmatrix}$$

通过对雅克比矩阵进行局部分析，则可以得出复制动态方程的稳定策略。而只有当所有特征值都为非负时，该均衡点才稳定。

### 3.5. 均衡点及稳定分析

根据复制动态方程求出的雅克比矩阵，由 Friedman 判别方法，当雅克比矩阵满足  $\det(\mathbf{J}) > 0$ ， $\text{tr}(\mathbf{J}) < 0$  时，局部均衡点为系统的稳定策略， $x, y$  均在  $R = \{(x, y) | 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1\}$  的平面上，而文中所有参数均为正，对此有：

在满足  $L > F_1 + F_2 + C_1 + C_2 + \gamma_1 G + \gamma_2 G$  且  $L > \frac{(F_1 + C_1 + \gamma_1 G)}{\delta}$  且  $\frac{F_2 + C_2 + \gamma_2 G}{(1-\delta)}$  时, 则稳定点的稳定性(见表 2)。

表 2)。

**Table 2.** Local stability analysis of upstream and downstream supply chain of manufacturing enterprises

**表 2.** 制造企业供应链上下游局部稳定性分析

均衡点	$det(J) > 0$	$tr(J) < 0$	局部稳定性
$E_1(0, 0)$	$(C_1 + \gamma_1 G)(C_2 + \gamma_2 G)$	$-C_1 - C_2 - \gamma_1 G - \gamma_2 G$	ESS
$E_2(0, 1)$	$-(C_2 + \gamma_2 G)(F_1 + C_1 + \gamma_1 G - \delta L)$	$C_2 + \gamma_2 G + \delta L - F_1 - C_1 - \gamma_1 G$	不稳定
$E_3(1, 0)$	$-(C_1 + \gamma_1 G)(F_2 + C_2 + \gamma_2 G - (1-\delta)L)$	$C_1 + \gamma_1 G + (1-\delta)L - F_2 - C_2 - \gamma_2 G$	不稳定
$E_4(1, 1)$	$(F_1 + C_1 + \gamma_1 G - \delta L)(F_2 + C_2 + \gamma_2 G - (1-\delta)L)$	$F_1 + F_2 + C_1 + C_2 + \gamma_1 G + \gamma_2 G - L$	ESS
$E_5(x^*, y^*)$	$B^*$	0	鞍点

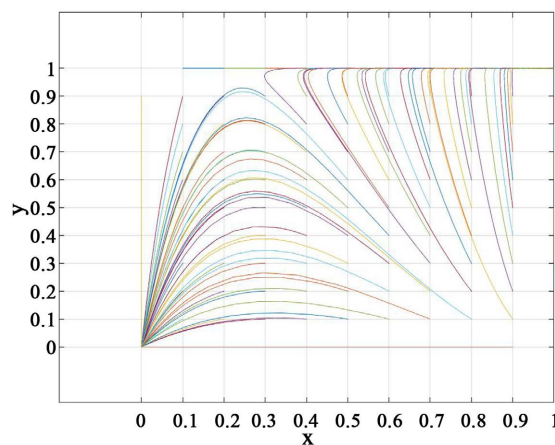
$$B^* = -\frac{(C_1 + \gamma_1 G)(C_2 + \gamma_2 G)(F_1 + C_1 + \gamma_1 G - \delta L)(F_2 + C_2 + \gamma_2 G - (1-\delta)L)}{(F_1 - \delta L)(F_2 - (1-\delta)L)}$$

由表 2 可知,  $E_1(0, 0)$  和  $E_4(1, 1)$  两种帕累托最优结果是供应链上下游企业在进行协同创新时的稳定点, 对应传统制造业供应链企业上游企业主体 1 和下游企业主体 2 策略为(不协同创新, 不协同创新)和(协同创新, 协同创新)。由点  $E_1(0, 0)$  可以得出, 当协同创新所产生的协同成本为正, 以及因违背协议而产生的信用惩罚的时候, 上游企业主体 1 和下游主体 2 则会选择不协同。为了促进企业间的合作, 共同创新, 则需要保证协同创新的成本较小, 且信用惩罚不易设置过大。由点  $E_4(1, 1)$  可得, 传统制造业供应链企业上游企业主体 1 和下游企业主体 2 均在协同创新中收益大于成本, 则会促使上下游企业同力协同创新, 达到共赢的效果。

而  $E_2(0, 1)$  和  $E_3(1, 0)$  为不稳定点, 当两方取得的利益与成本不均衡时, 则会造成一方协同创新, 而另一方不协同创新。此时, 双方则会向鞍点  $E_5$  演化, 而到达鞍点后, 双方又会加快向点  $E_4$  或点  $E_1$  演化。

由此, 基于供应链上下游企业博弈的复制动态方程, 对上述参数给予赋值(参考李君昌等, 2018), 得出图 2 相位图:

$$\delta = 0.3; L = 15; C_1 = 3; C_2 = 3; \gamma_1 = 0.4; \gamma_2 = 0.5; G = 1; F_1 = 1; F_2 = 1.1$$



**Table 2.** Phase diagram of two-party evolutionary game of manufacturing enterprise

**图 2.** 制造企业两方演化博弈相位图

## 4. 数据平台背景下数据平台商和供应商博弈

### 4.1. 问题描述

结合之前学者提出数字化环境产品创造变化的过程(陈剑, 2020), 本文认为数据服务平台可能从几个方面影响传统制造企业:

首先, 数据平台为传统制造企业带来更多的产品升级及创新数据。数据服务商通过消费者数据, 给出更清楚明晰的消费者洞察, 包括消费者对合作企业所属产品的评价数据, 及网络实时消费者数据, 甚至为企业搭建消费者数据中台, 便于企业更及时调整产品战略, 掌握消费者偏好。同时, 数据平台为企业带来新的市场产品导向, 在新的创新概念出现时能够实时警醒企业跟进新风向, 提前研发新兴产品, 助推企业打造新的产业链, 帮助企业以更快的速度占领市场份额, 进军前瞻市场。

其次, 数据平台提供的数据服务能够为传统制造企业带来技术上的创新收益。如今, 华为云的工业互联网平台 AI 辅助质量检测相关实践, 已为钢板表面缺陷检提高了 99.67%的精确度。智能, 数字化的工厂将给传统制造业带来颠覆性的改变, 更准确和快速地识别和预判设备的问题, 以及加工流程的自主优化所体现出的断层化优势, 已然是许多企业的共同选择。

并且, 数据平台提供的数据赋能能够为企业带来更智能化的管理和运营模式的升级。用最优化理论处理库存能最大限度优化企业生产经营中的运营, 降低企业资金链风险问题(Susan Athey, 2017) [15]; 管理中使用创新, 提升企业在人力资源管理上的效率, 降低运营成本, 如钉钉的上线为企业的数字化办公提供了更多的便捷(陈威如等, 2021) [4], 智布互联基于平台导入订单, 组织工厂跨厂协同生产, 上游交付时间缩短 45%, 中小织布企业盈利水平提升 50%。

而传统企业能够作为背书, 数据平台服务企业与其协同能够取得客户的数据信任, 进军新的行业新的企业; 同时, 传统制造业的创新需求则将倒逼数据服务平台更新自己的服务和技术, 填补平台的功能缺失, 搭建更为完整的数据服务产业链。

本研究将供应链上下游企业放在数字化转型时代, 加入第三方数据平台服务商, 探究三方博弈下数据平台、供应链上游企业 A、供应链下游企业 B 合作与不合作策略对各自行为决策的影响, 及各自收益的影响。

### 4.2. 模型假设

假设一: 根据上述论述, 数据服务平台企业作为主体 3, 与制造企业供应链上下游企业主体 1, 2 共同构成一个系统, 且数据平台在做决策时为有限理性, 追求利益最大化。

假设二: 数据平台商在协同创新过程中的决策为{协同, 不协同}, 即与制造企业合作协同创新, 和不合作; 此时, 主体 1 和主体 2 的决策仍为{协同, 不协同}, 主体 1 和 2 对于平台在协同创新中, 主要行为为利用平台额外付费技术进行创新, 以及仅使用平台免费技术运营企业而不使用平台付费技术进行协同创新。 $z$  为数据平台主体 3 协同创新的概率,  $1-z$  为主体 3 不协同创新的概率,  $z \in (0,1)$ 。

假设三: 数据平台商在与供应链企业协同创新时分别为制造企业所提供的数智化收益总和为  $\pi$ , 包括产品收益, 技术收益和运营管理收益等。 $\beta$  为主体 1 对于数智化总收益分配比例,  $1-\beta$  为主体 2 对于数智化总收益分配比例。

假设四: 主体 1, 2 为数据平台服务商所提供的收益为信任背书收益为  $\gamma_i \pi$ , 以及由于主体 1, 2 的数智化程度会倒逼主体 3 的产业升级, 所以主体 3 在协同创新中获得的基础收益为  $M_3$ , 协同创新所获得的额外收益为产业升级收益  $(1-\theta_i)A$ ,  $\theta_i (i=1,2)$  为数智化程度为,  $\theta_i \in [0, 1]$  指数越高, 则代表此协同创新中数智化的程度越高), 而信任背书收益则为  $\gamma_i B$ 。

假设五：数据平台服务商与制造企业协同创新时，为供应链提供数据服务所产生的运营维护成本为  $C_3$ ，其所承担契约风险为  $\gamma_3 G$ ， $\gamma_3 (\gamma_3 \in (0,1))$  为主体 1，2 评判主体 3 的信用系数，不协同创新时主体 3 “搭便车” 收益  $F_3$ 。

### 4.3. 模型构建

**Table 3.** Game revenue matrix of upstream and downstream entities and data platform service providers in the supply chain  
**表 3.** 供应链上下游两主体和数据平台服务商博弈收益矩阵

		主体 1	
		协同创新 $x$	不协同创新 $1-x$
主体 3 积极协同 $z$	主体 2 协同创新 $y$	$M_1 + \delta L + \beta \pi - C_1 - \gamma_1 G$ , $M_2 + (1-\delta)L + (1-\beta)\pi - C_2 - \gamma_2 G$ , $M_3 + \gamma_1 B + \gamma_2 B + (1-\theta_1)A + (1-\theta_2)A - C_3 - \gamma_3 G$	$M_1 + F_1$ , $M_2 + (1-\beta)\pi - C_2 - \gamma_2 G$ , $M_3 + \gamma_2 B + (1-\theta_2)A - C_3 - \gamma_3 G$
	不协同创新 $1-y$	$M_1 + \beta \pi - C_1 - \gamma_1 G$ $M_2 + F_2$ $M_3 + \gamma_1 B + (1-\theta_1)A - C_3 - \gamma_3 G$	$M_1 + F_1$ $M_2 + F_2$ $M_3 - C_3 - \gamma_3 G$
	主体 2 协同创新 $y$	$M_1 + \delta L - C_1 - \gamma_1 G$ $M_2 + (1-\delta)L - C_2 - \gamma_2 G$ $M_3 + F_3$	$M_1 + F_1$ $M_2 - C_2 - \gamma_2 G$ $M_3 + F_3$
	不协同创新 $1-y$	$M_1 - C_1 - \gamma_1 G$ $M_2 + F_2$ $M_3 + F_3$	$M_1$ $M_2$ $M_3$

如表 3 所示，此时主体 1 协同创新和不协同创新时的期望收益为

$$\begin{aligned}
 M_{11} &= zy(M_1 + \delta L + \beta \pi - C_1 - \gamma_1 G) + z(1-y)(M_1 + \beta \pi - C_1 - \gamma_1 G) \\
 &\quad + y(1-z)(M_1 + \delta L - C_1 - \gamma_1 G) + (1-y)(1-z)(M_1 - C_1 - \gamma_1 G) \\
 M_{12} &= zy(M_1 + F_1) + z(1-y)(M_1 + F_1) + y(1-z)(M_1 + F_1) + (1-y)(1-z)M_1 \\
 \overline{M}_1 &= xM_{11} + (1-x)M_{12} \\
 &= M_1 + yF_1 + zF_1 - xC_1 - x\gamma_1 G - xyF_1 - xzF_1 - yzF_1 + xyzF_1 + xz\beta\pi + xy\delta L \\
 F(x) &= \frac{dx}{dt} = xM_{11} - \overline{M}_1 = x(1-x)(M_{11} - M_{12}) \\
 &= x(1-x)(yzF_1 + z\beta\pi + y\delta L - C_1 - \gamma_1 G - yF_1 - zF_1)
 \end{aligned}$$

主体 2 协同创新和不协同创新时的期望收益为

$$\begin{aligned}
 M_{21} &= xz[M_2 + (1-\delta)L + (1-\beta)\pi - C_2 - \gamma_2 G] + z(1-x)[M_2 + (1-\beta)\pi - C_2 - \gamma_2 G] \\
 &\quad + x(1-z)[M_2 + (1-\delta)L - C_2 - \gamma_2 G] + (1-x)(1-z)(M_2 - C_2 - \gamma_2 G) \\
 M_{22} &= zx(M_2 + F_2) + z(1-x)(M_2 + F_2) + x(1-z)(M_2 + F_2) + (1-x)(1-z)M_2 \\
 \overline{M}_2 &= yM_{21} + (1-y)M_{22} \\
 &= M_2 - yC_2 + xF_2 + zF_2 - y\gamma_2 G - xyF_2 - yzF_2 + yz(1-\beta)\pi + xy(1-\delta)L + xyzF_2
 \end{aligned}$$



$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(M_{21} - \overline{M}_2) = y(1-y)(M_{21} - M_{22}) \\ = y(1-y)[z(1-\beta)\pi + xzF_2 + (1-\delta)L - C_2 - \gamma_2G - xF_2 - zF_2]$$

主体 3 协同创新和不协同创新时的期望收益为

$$M_{31} = xy[M_3 + \gamma_1B + \gamma_2B + (1-\theta_1)A + (1-\theta_2)A - C_3 - \gamma_3G] \\ + y(1-x)[M_3 + \gamma_2B + (1-\theta_2)A - C_3 - \gamma_3G] \\ + x(1-y)[M_3 + \gamma_1B + (1-\theta_1)A - C_3 - \gamma_3G] + (1-x)(1-y)(M_3 - C_3 - \gamma_3G) \\ M_{32} = xy(M_3 + F_3) + y(1-x)(M_3 + F_3) + x(1-y)(M_3 + F_3) + (1-x)(1-y)M_3 \\ \overline{M}_3 = zM_{31} + (1-z)M_{32} \\ = M_3 - zC_3 + xF_3 + yF_3 - z\gamma_3G + xz(1-\theta_1)A + yz(1-\theta_2)A - xyF_3 \\ - xzF_3 - yzF_3 + xyzF_3 + xz\gamma_1B + yz\gamma_2B \\ F(z) = \frac{dz}{dt} = z(M_{31} - \overline{M}_3) = z(1-z)(M_{31} - M_{32}) \\ = z(1-z)[x(1-\theta_1)A + y(1-\theta_2)A - xF_3 - yF_3 + x\gamma_1B + y\gamma_2B + xyF_3 - C_3 - \gamma_3G]$$

#### 4.4. 模型求解

此时，该模型的复制动态方程为

$$\begin{cases} F(x) = x(1-x)(yzF_1 + z\beta\pi + y\delta L - C_1 - \gamma_1G - yF_1 - zF_1) \\ F(y) = y(1-y)[z(1-\beta)\pi + xzF_2 + (1-\delta)L - C_2 - \gamma_2G - xF_2 - zF_2] \\ F(z) = z(1-z)[x(1-\theta_1)A + y(1-\theta_2)A - xF_3 - yF_3 + x\gamma_1B + y\gamma_2B + xyF_3 - C_3 - \gamma_3G] \end{cases}$$

令  $F(x) = 0$ ,  $F(y) = 0$ ,  $F(z) = 0$ , 可得到演化博弈复制动态方程的均衡点。在非对称博弈中, 若博弈演化的均衡是演化稳定策略, 则其一定是严格纳什均衡, 而严格纳什均衡又是纯策略均衡。也就是说, 非对称博弈动态中混合策略均衡一定不是演化稳定均衡[16]。

在此, 仅讨论纯策略  $E_1(0, 0, 0)$ ,  $E_2(0, 0, 1)$ ,  $E_3(0, 1, 0)$ ,  $E_4(0, 1, 1)$ ,  $E_5(1, 0, 0)$ ,  $E_6(1, 0, 1)$ ,  $E_7(1, 1, 0)$ ,  $E_8(1, 1, 1)$  的渐进演化稳定性。由 Lyapunov 法则, 将点带入雅克比矩阵时, 雅克比矩阵的三个特征值均  $< 0$  时, 则该点判为稳定, 当三个特征值有正有负时, 则该点不稳定

$$J = \begin{pmatrix} (1-2x)(yzF_1 + z\beta\pi + y\delta L - C_1 - \gamma_1G - yF_1 - zF_1) & x(1-x)(zF_1 - F_1 + \delta L) & x(1-x)(yF_1 - F_1 + \beta\pi) \\ y(1-y)[zF_2 - F_2 + (1-\delta)L] & (1-2y)[z(1-\beta)\pi + xzF_2 + (1-\delta)L - C_2 - \gamma_2G - xF_2 - zF_2] & y(1-y)[xF_2 - F_2 + (1-\beta)\pi] \\ z(1-z)[A(1-\theta_1) + \gamma_1B + yF_3 - F_3] & z(1-z)[A(1-\theta_1) + \gamma_2B + xF_3 - F_3] & (1-2z)[x(1-\theta_1)A + y(1-\theta_2)A - xF_3 - yF_3 + x\gamma_1B + y\gamma_2B + xyF_3 - C_3 - \gamma_3G] \end{pmatrix}$$

根据雅克比矩阵所有特征值来判断演化均衡点的稳定性, 详见表 4。

**Table 4.** Local stability analysis of upstream and downstream supply chain and data platform service providers of manufacturing enterprises

**表 4.** 制造企业供应链上下游和数据平台服务商三主体局部稳定性分析

均衡点	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$
$E_1(0,0,0)$	$-C_1 - \gamma_1G$	$-C_2 - \gamma_2G$	$-C_3 - \gamma_3G$
$E_2(0,0,1)$	$C_3 + \gamma_3G$	$\beta\pi - F_1 - \gamma_1G - C_1$	$(1-\beta)\pi - F_2 - C_2 - \gamma_2G$
$E_3(0,1,0)$	$C_2 + \gamma_2G$	$\delta L - F_1 - C_1 - \gamma_1G$	$(1-\theta_2)A + \gamma_2B - C_3 - \gamma_3G$

Continued

$E_4(0,1,1)$	$\beta\pi + \delta L - F_1 - C_1 - \gamma_1 G$	$C_2 + F_2 + \gamma_2 G - (1-\beta)\pi$	$C_3 + \gamma_3 G + F_3 - (1-\theta_2)A - \gamma_2 B$
$E_5(1,0,0)$	$C_1 + \gamma_1 G$	$(1-\delta)L - F_2 - C_2 - \gamma_2 G$	$(1-\theta_1)A + \gamma_1 B - C_3 - \gamma_3 G - F_3$
$E_6(1,0,1)$	$C_1 + F_1 + \gamma_1 G - \beta\pi$	$C_3 + \gamma_3 G + F_3 - (1-\theta_1)A - \gamma_1 B$	$(1-\beta)\pi + (1-\delta)L - F_2 - C_2 - \gamma_2 G$
$E_7(1,1,0)$	$C_1 + F_1 + \gamma_1 G - \delta L$	$C_2 + F_2 + \gamma_2 G - (1-\delta)L$	$(1-\theta_1)A + (1-\theta_2)A + \gamma_1 B + \gamma_2 B - C_3 - \gamma_3 G - F_3$
$E_8(1,1,1)$	$C_1 + F_1 + \gamma_1 G - \beta\pi - \delta L$	$C_2 + F_2 + \gamma_2 G - (1-\delta)L - (1-\beta)\pi$	$C_3 + \gamma_3 G + F_3 - (1-\theta_1)A - (1-\theta_2)A - \gamma_1 B - \gamma_2 B$

为不失一般，不妨假定传统制造企业上下游企业和数据平台服务商三方选择协同创新的收益大于不协同创新的收益，即  $C_1 + F_1 + \gamma_1 G - \beta\pi - \delta L < 0$ ， $C_2 + F_2 + \gamma_2 G - (1-\delta)L - (1-\beta)\pi < 0$ ， $C_3 + \gamma_3 G + F_3 - (1-\theta_1)A - (1-\theta_2)A - \gamma_1 B - \gamma_2 B < 0$ 。由表 4 可知，均衡点  $E_8(1,1,1)$  和  $E_1(0,0,0)$  所对应的特征值为非正，因此，(1, 1, 1)和(0, 0, 0)为复制动力系统的稳定点，其所对应的演化稳定策略(ESS)为{协同, 协同, 协同}和{不协同, 不协同, 不协同}；均衡点所对应的特征值均为非负的为鞍点，因此  $E_2(0,0,1)$ ， $E_3(0,1,0)$ ， $E_5(1,0,0)$  为鞍点，其余点为非稳定点。

### 4.5. 模型分析与数值仿真

由于所有参数均为正整数，所以  $E_2(0,0,1)$ ， $E_3(0,1,0)$ ， $E_5(1,0,0)$  状态下的  $\lambda_1$  均大于 0，所以此时不稳定。通过上文分析，在有限理性的条件下，结合已有文献中的仿真数值的赋值规律(参考蔡良群等, 2022) [16]对所有参数进行赋初值如下： $\delta = 0.4$ ， $\beta = 0.6$ ， $\pi = 200$ ， $L = 200$ ， $C_1 = 30$ ， $C_2 = 40$ ， $C_3 = 35$ ， $\gamma_1 = 0.5$ ， $\gamma_2 = 0.6$ ， $\gamma_3 = 0.3$ ， $G = 5$ ， $F_1 = 50$ ， $F_2 = 60$ ， $F_3 = 40$ ， $A = 50$ ， $B = 60$ ， $\theta_1 = 0.6$ ， $\theta_2 = 0.5$ ，此时演化博弈主体的策略为{协同创新，协同创新，协同创新}，三主体的演化结果如图 3 所示。

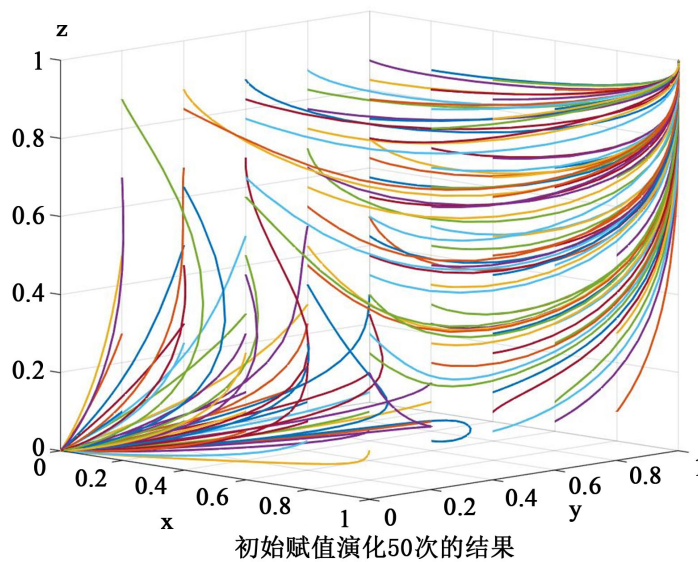
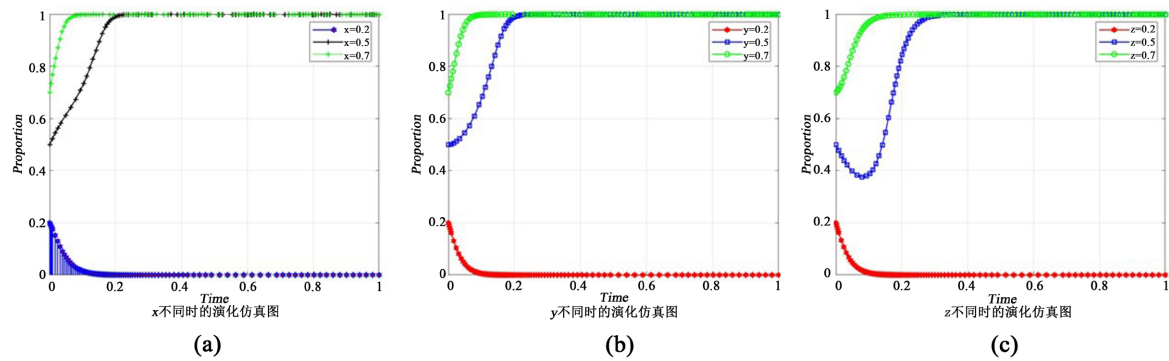


Figure 3. Evolution results of three subjects  
图 3. 三主体演化结果

此时，对  $x$ ， $y$ ， $z$  进行不同赋值，图 4 中制造企业 1, 2 和数据服务提供商的演化路径如下图，再分别研究各参数的调整对参与方策略选择的影响，以此促进各主体合作共赢。



**Figure 4.** a: the impact of the initial state on manufacturing enterprise 1, b: the impact of the initial state on manufacturing enterprise 2, c: the impact of the initial state on the data platform service provider

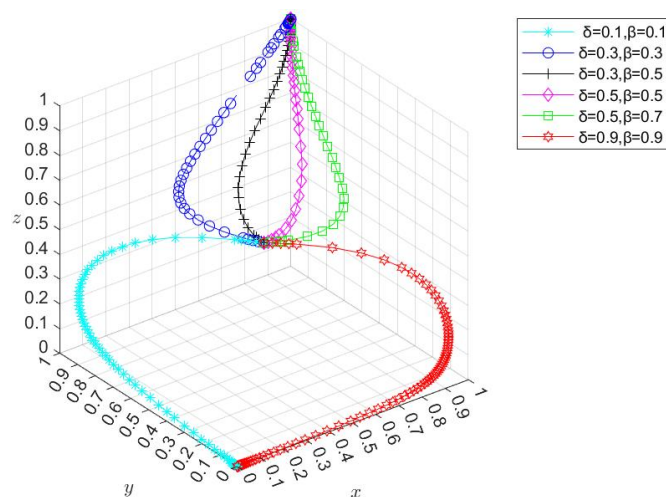
**图 4.** a: 初始状态对制造企业 1 的影响、b: 初始状态对制造企业 2 的影响、c: 初始状态对数据平台服务商的影响

不同的初始概率对 3 个主体的演化策略和收敛速度产生显著影响。由图 4a, 4b, 4c 可知,  $x = 0.2$ ,  $y = 0.2$ ,  $z = 0.2$  即企业参与协同创新的初始概率较低时, 最终会倾向于不协同创新。当三主体的初始概率较高时, 三主体更倾向于协同创新, 且初始概率越高, 三主体收敛的速度越快。

在此基础上, 设定  $x$ ,  $y$ ,  $z$  均以 0.5 的初始状态开始演化并对利益分配系数, 企业协同创新成本与收益, 企业投机行为以及企业数智化程度进行进一步仿真分析。

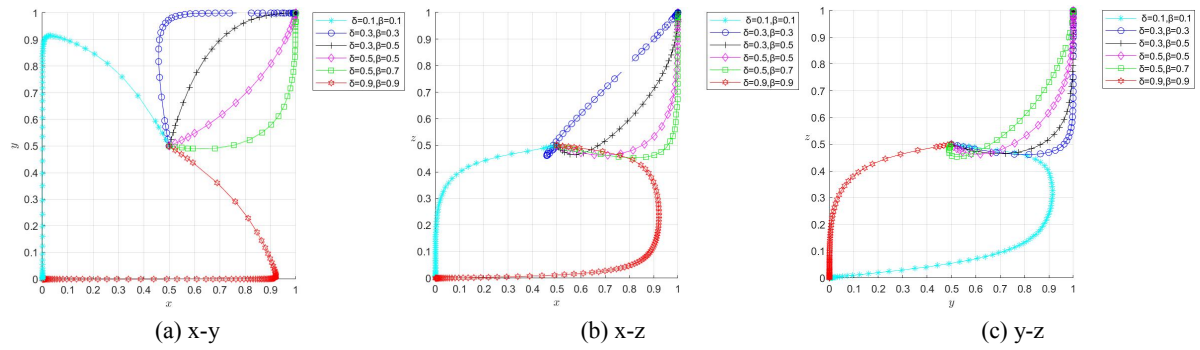
#### 1) 利益分配系数对三方演化博弈的影响

为探讨利益分配系数对三方演化博弈的影响, 通过对  $\delta, \beta$  取值的变化来观察博弈中三方利益分配对于制造企业于数据服务提供商协同创新的影响。对  $\delta, \beta$  赋值如图 5 和图 6, 由下图可知, 当  $\delta = 0.1, \beta = 0.1$  以及  $\delta = 0.9, \beta = 0.9$  时, 三方策略收敛于  $(0, 0, 0)$ , 而当  $\delta = 0.3, \beta = 0.3$ ;  $\delta = 0.3, \beta = 0.5$ ;  $\delta = 0.5, \beta = 0.5$ ;  $\delta = 0.5, \beta = 0.7$  时, 三方策略收敛于  $(1, 1, 1)$ 。由此可得, 当其他数值保持不变时, 制造企业 1 和制造企业 2 的利益分配系数对三方演化博弈产生影响, 我们不妨推测利益分配系数  $\delta, \beta$  存在一个临界值。将利益分配系数合理设置在临界值之内时, 制造企业 1, 2 和数据服务提供商的策略则收敛于  $(1, 1, 1)$ , 即(协同创新, 协同创新, 协同创新); 一旦利益分配系数不合理设置, 则整个三方演化博弈策略最终将收敛于  $(0, 0, 0)$ , 即(协同创新, 协同创新, 协同创新)。



**Figure 5.** Three-dimensional diagram of the influence of benefit distribution coefficient on the tripartite evolution game

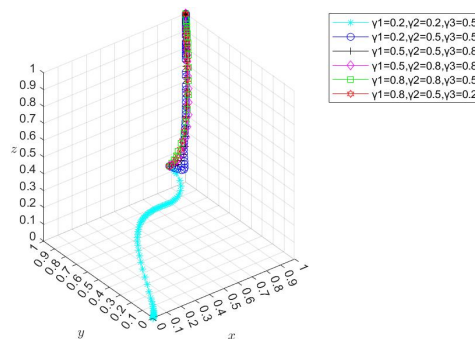
**图 5.** 利益分配系数对三方演化博弈的影响三维图



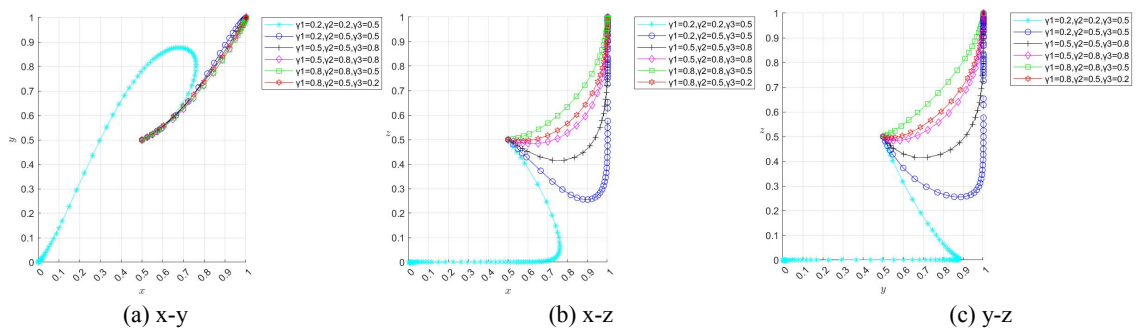
**Figure 6.** Two-dimensional diagram of the influence of benefit distribution coefficient on the tripartite evolutionary game  
**图 6.** 利益分配系数对三方演化博弈的影响二维图

2) 企业信用在三方协同创新中的影响

通过对信用指数  $\gamma_1\gamma_2\gamma_3$  赋值的变化，来观察企业信用在协同创新中的影响，具体演化影响图下图。假设制造企业 1，制造企业 2，和数据平台提供商属于信用水平不同的三企业，对其进行赋值如下图 7，图 8。由图 7 和图 8 可知，当  $\gamma_1 = 0.2, \gamma_2 = 0.2, \gamma_3 = 0.5$ ；(即其中两方的信用过低)时，三方演化策略收敛于  $(0, 0, 0)$ ；当三方信用指数为  $\gamma_1 = 0.2, \gamma_2 = 0.5, \gamma_3 = 0.5$ ； $\gamma_1 = 0.4, \gamma_2 = 0.5, \gamma_3 = 0.8$ ； $\gamma_1 = 0.6, \gamma_2 = 0.8, \gamma_3 = 0.7$ ； $\gamma_1 = 0.7, \gamma_2 = 0.4, \gamma_3 = 0.3$ ； $\gamma_1 = 0.9, \gamma_2 = 0.6, \gamma_3 = 0.3$ 时，三方演化策略收敛于  $(1, 1, 1)$ 我们由此可以得出，在协同创新三主体信用水平不同时，信用水平的变化仍然会影响三主体的演化策略，且当企业信用水平过低，则最终会导致博弈三方博弈策略演化为(不协同创新，不协同创新，不协同创新)。



**Figure 7.** When the tripartite credit index is different,  $\gamma_1\gamma_2\gamma_3$ . Three-dimensional plot of the impact of changes  $\gamma_3$  on evolution  
**图 7.** 三方信用指数不同时  $\gamma_1\gamma_2\gamma_3$  的变化对演化的影响三维图



**Figure 8.** When the tripartite credit index is different,  $\gamma_1\gamma_2\gamma_3$ . The impact of changes on evolution is a two-dimensional map  
**图 8.** 三方信用指数不同时  $\gamma_1\gamma_2\gamma_3$  的变化对演化的影响二维图

### 3) 协同创新成本与收益对博弈三方演化结果的影响

在协同创新中, 制造企业 1, 制造企业 2, 和数据平台服务提供商为有限理性的主体, 都在不损害自身利益的前提下进行协同创新, 并追求利益的最大化, 所以, 协同创新的收益与成本势必影响演化博弈中三方主体的策略选择。本文在此假定其他参数不变, 考虑成本与收益的比例对于博弈三方演化结果的影响, 对成本与收益的比值赋予 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6。由图 9, 图 10 可知, 当成本与收益的比值为 0.15, 0.2, 三方主体的演化策略收敛于(1, 1, 1), 而当成本与收益的比值为 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 时, 三方主体的演化策略收敛于(0, 0, 0)。我们可得, 成本与收益的比值对于演化博弈的结果具有重要影响, 且当比值越小时, 收敛于(1, 1, 1)即(协同创新, 协同创新, 协同创新)的概率越大。

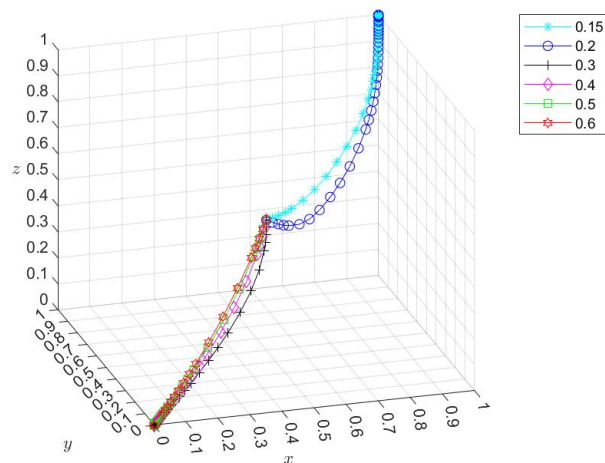


Figure 9. Three-dimensional diagram of the costs and benefits of collaborative innovation

图 9. 协同创新成本与收益三维图

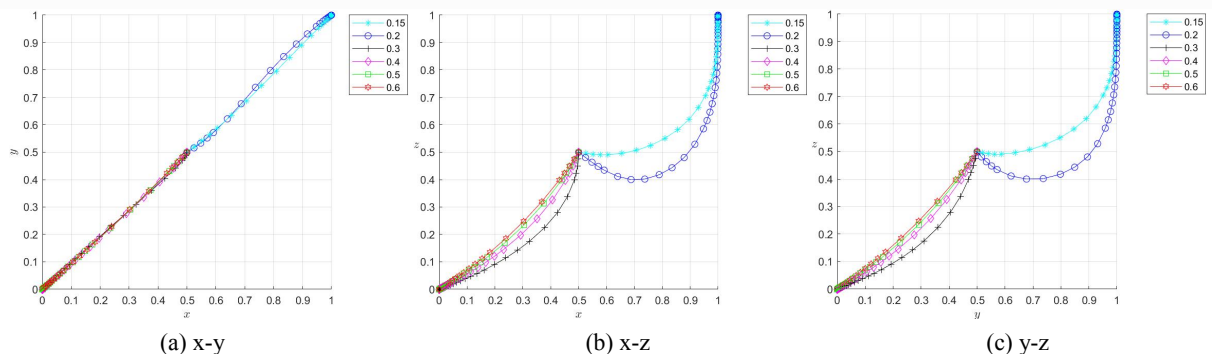
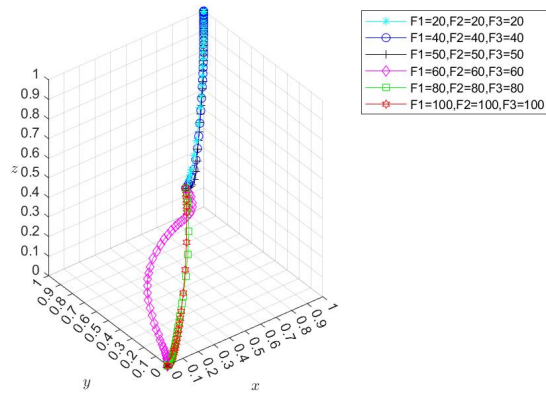


Figure 10. Two-dimensional diagram of the costs and benefits of collaborative innovation

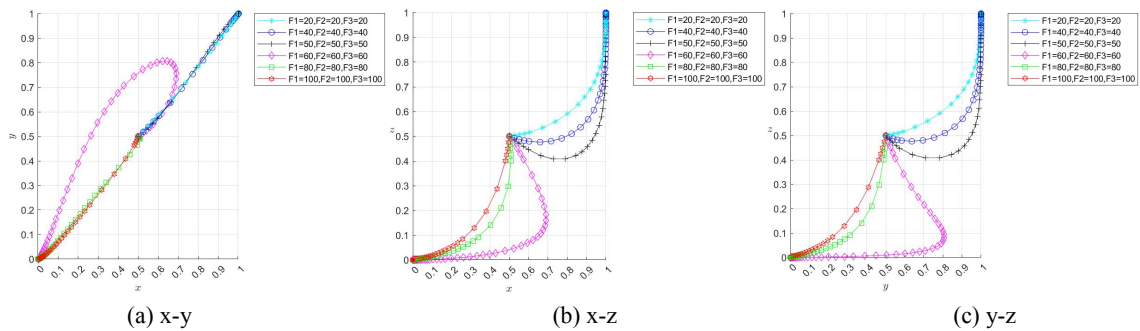
图 10. 协同创新成本与收益的二维图

### 4) 协同创新中投机行为对主体策略的影响

为讨论投机行为对三方协同创新的影响, 对“搭便车”收益  $F_1, F_2, F_3$  进行赋值如图所示。由图 11 和 12 可知, 根据赋值结果当  $F_1, F_2, F_3 \geq 60$  时, 三方演化策略收敛于(0, 0, 0), 而当  $F_1, F_2, F_3 < 60$  时, 三方演化策略收敛于(1, 1, 1)。我们不难发现, “搭便车”收益对于协同创新的影响显著, 且投机行为的收益超出一定的范围, 将势必会导致博弈三方协同创新崩塌。而在一定范围内, 投机收益越大, 企业协同创新的概率越大; 超出三方可接受的投机收益范围时, 投机收益越大, 收敛于(不协同创新, 不协同创新, 不协同创新)概率越小。



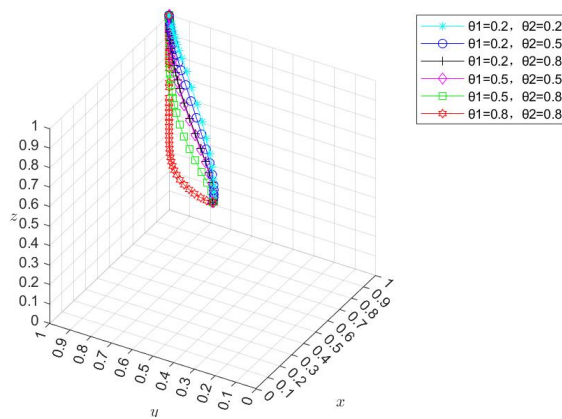
**Figure 11.** Three-dimensional diagram of the impact of speculative behavior on the main strategy in collaborative innovation  
**图 11.** 协同创新中投机行为对主体策略的影响三维图



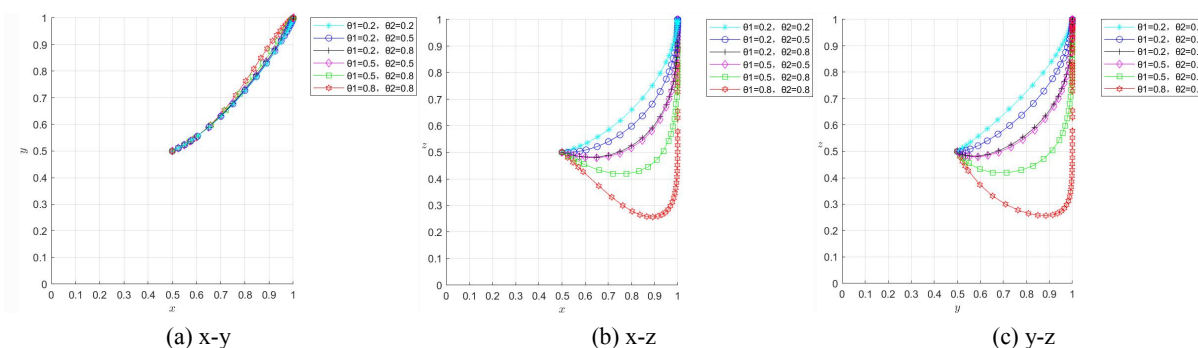
**Figure 12.** Two-dimensional diagram of the impact of speculative behavior on subject strategy in collaborative innovation  
**图 12.** 协同创新中投机行为对主体策略的影响二维图

5) 智能化程度对协同创新主体策略的影响

为探讨数智化程度在协同创新中的对主体策略选择的影响，对  $\theta_1, \theta_2$  赋值如下图。由图 12 可知，制造企业 1，制造企业 2，和数据平台提供商的策略都将收敛于(1, 1, 1)，即(协同创新，协同创新，协同创新)；从图 13 和图 14 中可知，当数智化程度为  $\theta_1 = 0.8$ ， $\theta_2 = 0.8$  时，三主体收敛到(1, 1, 1)的概率最大，那么，我们可以容易得出，制造企业的数智化程度对于协同创新中的策略有显著影响，且企业数智化程度越高，企业协同创新的概率更大。



**Figure 13.** Three-dimensional diagram of the impact of digital intelligence on the main strategy of collaborative innovation  
**图 13.** 数智化程度对协同创新主体策略的影响三维图



**Figure 14.** Two-dimensional diagram of the impact of digital intelligence on the main strategy of collaborative innovation  
**图 14.** 数智化程度对协同创新主体策略的影响二维图

## 5. 结论与建议

### 5.1. 结论

本文基于动态演化博弈的方法，构建了制造企业供应链上下游企业 1, 2 的两方协同创新演化博弈模型，以及制造企业 1, 2 和数据平台服务商的三方协同创新演化博弈模型，并在理论分析两方与三方博弈动态系统的基础上，运用 matlab 进行数值仿真分析协同创新中主体演化博弈的策略选择，以及各要素对于协同创新主体演化策略的影响。研究表明：(1) 制造企业上下游企业双方在协同创新时，最终收敛于(协同创新，协同创新)，而制造企业 1, 2 和数据平台服务商三主体之间互相受影响，并且各个参数的改变对于三主体演化策略的选择都具有影响。在制造企业 1, 2 和数据平台服务商三方协同创新演化博弈中；(2) “搭便车”收益对于协同创新的影响显著，且投机行为的收益超出一定的范围，将势必会导致博弈三方协同创新崩塌。而在一定范围内，投机收益越大，三方主体协同创新的概率越大；(3) 信用水平的变化仍然会影响三主体的演化策略，当企业信用水平过低时，最终会导致三方协同创新演化为(不协同创新，不协同创新，不协同创新)；(4)利益分配系数的设置存在一个合理阈值，如若设置公平，在合理阈值内，则更有利于三主体向(协同创新，协同创新，协同创新)策略演进；(5) 成本与收益的比值对于演化博弈的结果具有重要影响，且当比值越小时，协同创新三方收敛于(1, 1, 1)即(协同创新，协同创新，协同创新)的概率越大；(6) 制造企业的数智化程度对于协同创新中的策略有显著影响，且企业数智化程度越高，三方主体协同创新的概率更大。

### 5.2. 建议

当下，减弱人工对工厂的影响，不断提升工厂设备的精度，似乎成为制造企业“数智化”转型的重要关口。“工业互联网”虽然已有许多先进制造企业率先引入“工业互联网”，借助数据及云计算平台服务企业引导制造企业的变革，但从整个制造行业来看，目前“工业互联网”没有完全普及。政府应该继续大力推进“工业互联网”的政策倾向，鼓励制造企业行业内部之间和行业之外数据平台服务企业创新合作模式，共同推动制造企业向数字化和智能化转型。

1) 推动行业内与行业外的数据透明。各传统制造企业应当共同推动行业内企业信用数据透明，提升自己的企业信用，数据服务平台提供商更应深化信息共享渠道，充分运用先进的信息技术，提升数据库营销成熟度，力求取得更多的技术收益与市场风险收益。

2) 打造多赢局面，避免投机行为。在合作中各方企业秉承公开透明的方式，充分发挥自己的积极性，建立良好的竞争合作环境，戮力打造双赢的合作，不断向更诚信更全面发展的企业攀升。诚信是企业家精神的基石，企业主体要积极践行企业家精神。在协同创新中，各企业也应共同将利益分配放在合理阈

值内，建立合理的投机行为的惩罚标准，避免出现在“工业互联”中的投机行为。

3) 寻求政府补贴，降低协同创新成本与协同收益之比。在国家大力推进工业互联网，推进智能制造的当下，传统制造企业和数据平台服务商可向政府寻求战略补贴，以此间接降低企业协同创新成本与协同收益之比，从而更快地进入协同创新赛道。

4) 勇于转型，努力提高自身数智化程度。数智化程度对于协同创新中的策略有显著影响，且数智化程度越高协同创新的概率越大。大国重器，更需要传统制造企业重新焕发生机，推进数字化，智能化是每个传统制造企业必由之路。新时代，数据统治天下，各企业更应着力提升数智化程度，以数字化、智能化引领中国走向世界。

## 参考文献

- [1] 陈剑, 刘运辉. 数智化使能运营管理变革: 从供应链到供应链生态系统[J]. 管理世界, 2020(11): 227-241.
- [2] 陈剑, 黄朔, 刘运辉. 从赋能到使能——数字化环境下的企业运营管理[J]. 管理世界, 2020(2): 117-128+222.
- [3] 孙聪, 魏江. 企业层创新生态系统结构与协同机制研究[J]. 科学学研究, 2019, 37(7): 1316-1325.
- [4] 陈威如, 王节祥. 依附式升级: 平台生态系统中参与者的数字化转型战略[J]. 管理世界, 2021(10): 195-214.
- [5] Li, L., Su, F., Zhang, W. and Mao, J.Y. (2018) Digital Transformation by SME Entrepreneurs: A Capability Perspective. *Information Systems Journal*, **28**, 1129-1157. <https://doi.org/10.1111/isj.12153>
- [6] 刘检华, 李坤平, 庄存波, 等. 大数据时代制造企业数字化转型的新内涵与技术体系[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(12): 3707-3719.
- [7] 解学梅, 陈佳玲. 供应链多维协同创新与企业绩效: 一项元分析的检验[J]. 管理工程学报, 2022(2): 20-36.
- [8] 李柏洲, 王雪, 苏屹, 罗晓芳. 我国战略性新兴产业间供应链企业协同创新演化博弈研究[J]. 中国管理科学, 2021(8): 136-147.
- [9] 解学梅, 刘丝雨. 协同创新模式对协同效应与创新绩效的影响机理[J]. 管理科学, 2015(3): 27-39.
- [10] 张敬文, 李晓园, 徐莉. 战略性新兴产业集群协同创新发生机理及提升策略研究[J]. 宏观经济研究, 2016(11): 106-113.
- [11] 杜传忠, 刘志鹏. 数据平台: 智能经济时代的关键基础设施及其规制[J]. 贵州社会科学, 2020(6): 108-115.
- [12] 郑勇华, 孙延明, 尹剑峰. 工业互联网平台数据赋能、吸收能力与制造企业数字化转型[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(11): 19-30.
- [13] 周晓阳, 李长长, 刘莹, 赵凡, 冯耕中, 汪寿阳. 工业互联网平台、开发商与企业的三方协作演化策略——兼论政府补贴和收益共享的作用[J/OL]. 中国管理科学, 2022: 1-14. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.2558>, 2023-10-08.
- [14] 潘小军. 基于工业互联网平台的增值服务收费模式研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(11): 239-249.
- [15] Athey, S. (2017) Beyond Prediction: Using Big Data for Policy Problems. *Science*, **355**, 483-485. <https://doi.org/10.1126/science.aal4321>
- [16] 綦良群, 吴佳莹, 王智慧. 先进制造企业协同创新网络知识共享的演化博弈[J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(4): 1357-1370.