

面向价值共创的数字服务平台与互补企业 两阶段动态激励机制研究

孙嘉薇¹, 彭永涛¹, 景徐荣²

¹江苏大学管理学院, 江苏 镇江

²山秀科技有限公司, 江苏 无锡

收稿日期: 2025年3月5日; 录用日期: 2025年3月24日; 发布日期: 2025年4月18日

摘要

针对信息不对称情形下数字服务平台与互补企业价值共创的动态激励问题, 构建两阶段的动态激励模型, 综合运用委托代理理论和贝叶斯统计法对模型的最优均衡解进行求解和分析, 并通过数值仿真来验证模型的最优解。研究表明: 经过第一阶段的合作, 双方的信任程度增加, 数字服务平台第二阶段的产出始终高于第一阶段, 且两个阶段产出的差距不断缩小; 数字服务平台越关注整体的利益, 向互补企业提供的契约激励系数越大, 激励效果越明显, 互补企业会主动增加对创新型努力的投入, 减少投机行为; 数字服务平台只有在关注整体利益时加大监管力度, 才能有效激励互补企业投入更多生产性努力, 减少投机行为, 实现共赢。研究结论可为数字服务平台设计动态激励机制提供参考。

关键词

数字服务平台, 价值共创, 动态激励, 委托代理

Research on Two-Stage Dynamic Incentive Mechanism of Digital Service Platform and Complementary Enterprises Oriented to Value Co-Creation

Jiawei Sun¹, Yongtao Peng¹, Xurong Jing²

¹School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

²Shanxiu Technology Co., Ltd., Wuxi Jiangsu

Received: Mar. 5th, 2025; accepted: Mar. 24th, 2025; published: Apr. 18th, 2025

文章引用: 孙嘉薇, 彭永涛, 景徐荣. 面向价值共创的数字服务平台与互补企业两阶段动态激励机制研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(4): 1261-1274. DOI: 10.12677/ecl.2025.1441008

Abstract

Aiming at the dynamic incentive problem of value co-creation between digital service platform and complementary enterprises under asymmetric information, a two-stage dynamic incentive model is constructed, and the optimal equilibrium solution of the model is solved and analyzed by using the principal-agent theory and Bayesian statistics method, and the optimal solution of the model is verified by numerical simulation. The results show that after the first stage of cooperation, the trust between the two parties has increased, and the output of the second stage of digital service platform has always been higher than that of the first stage, and the gap between the outputs of the two stages has been narrowing; the more the digital service platform pays attention to the overall interests, the greater the contract incentive coefficient provided to complementary enterprises, and the more obvious the incentive effect. Complementary enterprises will actively increase their investment in innovative efforts and reduce speculation. Only by strengthening supervision when paying attention to the overall interests can the digital service platform effectively encourage complementary enterprises to invest more productive efforts, reduce speculation and achieve a win-win situation. The research conclusion can provide reference for the design of dynamic incentive mechanism of digital service platform.

Keywords

Digital Service Platform, Value Co-Creation, Dynamic Excitation, Agency by Agreement

Copyright © 2025 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

数字服务化已成为制造企业实现高质量发展的关键战略[1]。数字服务平台与互补企业达成联盟，将数据收集并共享来共同协作、互相补充，从而形成一种新型生态系统模式，构建新型价值网络，实现数据价值的共享共创[1][2]。其主要原理是：数字服务平台通过提供外接端口，能够有效链接各类具有互补优势的企业，实现数据的采集、处理和应用开发[3]，从而吸引更多互补企业入驻平台，增强平台的多样性和竞争力的同时，也能带来显著的利润提升。而互补企业作为数据源接入平台，借助传感器、物联网等技术来收集客户数据，利用平台先进的数据存储和分析能力，对收集到的数据进行深入处理和分析。从而开发出针对性强、量身定制的解决方案。例如西门子推出的 Mindsphere 平台，通过多种工业协议和接口将不同的互补企业(如博世)的设备连接到平台，并基于云开放的物联网架构实时采集并传输数据到云端，为企业提供大数据分析挖掘、工业 APP 开发以及智能应用增值等服务[4]。因此，数字服务平台与互补企业共同开发定制化的解决方案，促进了生态系统的创新与价值共创。

然而数字服务平台与互补企业成功合作实现价值共创并非易事。数字服务化转型的收益不容易量化，在数据共享过程中会产生大量的数据价值转换成本，短期内难以看到明显的经济回报，这种对投资回报的期望值与实际收益不匹配的现象，易导致企业间合作的驱动力不足等问题。而激励机制能够建立有效的合作框架和契约关系，从而激发合作方的积极性，增强合作的稳定性和持续性[5]。但对于数字服务平台来讲，制定有效的激励机制具有很大的挑战性。互补企业作为独立的利益群体，其局部利益可能会与价值共创的整体利益发生矛盾，而数字服务平台无法直接观测到互补企业的实际经营行为，互补企业可

能会利用信息优势,越过平台直接进行数据兜售、不公平的数据交换等投机行为,这种信息不对称和利益冲突问题会导致影响数字服务平台与互补企业价值共创的效率受到极大影响。因此,如何制定信息不对称情形下,数字服务平台与互补企业间的激励措施来促进价值共创这一问题值得探讨。

数据共享是数字服务平台与互补企业实现价值共创的基础[6][7],但其实现过程中存在诸多障碍,如数据所有权、隐私问题以及信任缺失等,亟需进行平台治理[8][9]。要实现数字服务平台的持续健康发展,能否有效地激励各参与方积极贡献成为平台治理的关键所在[10]。激励机制包括经济激励和非经济激励,经济激励大多体现在传统合同上,如成本分摊、收益共享等[11][12],而非经济激励,如声誉、资源[13][14],学者们探讨了不同激励模式的效果和适用场景,如金亮(2019)通过建立线上零售商和线下体验店之间的委托代理模型来研究 O2O 供应链合作激励问题,并设计了不对称信息情形下的供应链最优佣金契约[15];张旭梅等(2022)构建以平台为主导的博弈模型,来探究共享制造平台与生产性服务商间的竞争强度和信息披露水平等因素对激励契约设计的影响[16];Yu 等提出了一种基于声誉的激励机制来促使参与者向传感器提供准确的数据和信息[17]。这些研究均关注如何平衡平台与其他参与者之间的利益,以确保激励的可持续性。

通过梳理上述文献,可以发现相关研究颇为丰富,并获得了一系列有意义的研究成果,值得参考与借鉴,但也存在以下的研究缺陷:一方面,现有文献对于平台的激励机制已经开展了初步研究,但数字服务平台利用数据赋能价值共创的行为机理有了新的内涵和特征,其运行的复杂程度更高,而现有的激励机制未必适用,关于数字服务平台与互补企业间价值共创的激励机制研究还鲜有涉及。另一方面,目前关于激励机制的研究大多是基于委托代理以及博弈论等来构建模型,并讨论如何达到最优激励效果,但构建的模型往往是静态且短期的,缺乏对激励机制长期性和多阶段性的考量,难以及时对激励措施进行动态调整。

为了进一步完善价值共创的激励机制设计,本文在数字服务平台和互补企业之间价值共创合作契约激励关系的基础上,以数字服务平台的角度出发,综合运用博弈论、委托代理理论和贝叶斯统计等方法,通过构建与求解信息不对称情形下的两阶段动态激励机制模型,力求通过设计合理可行的激励机制为数字服务平台提供政策建议和决策参考。

2. 问题描述与模型假设

考虑一个数字服务平台和一个互补企业达成联盟,其中数字服务平台占主导地位。然而在现实生活中,互补企业的实际行为属于私有信息,数字服务平台无法直接观测到互补企业的投机行为,在信息不对称的情形下,为了更好的约束互补企业的行为,双方签订两阶段的动态激励契约,即数字服务平台根据第一阶段互补企业是数据价值转化产出来确定第二阶段提供给互补企业的契约激励系数的大小。而互补企业根据第二阶段的契约激励系数来决定其在第二阶段的努力投入水平。同时为了一定程度上降低互补企业的机会主义行为,数字服务平台对互补企业的行为进行监督。为构建数字服务平台和互补企业的两阶段动态激励模型,现做出如下假设:

假设 1: 数字服务平台作为委托人,是数字服务生态系统的主导者,在决策时不仅要考虑自身的利益,也要关注代理人,即互补企业的利益。数字服务平台和互补企业均以追求利益最大化为目标,其中数字服务平台是风险中性的,参考文献[18],数字服务平台作为多边用户的连接者,其合作企业数量众多而能够分散风险,这种分散化降低了平台对单个风险事件的敏感性,使其在决策时更倾向于中性;而参考文献[19][20],互补企业的风险承受能力往往更弱,资源、客户群体较为集中,且收入来源依赖于有限的产品或服务,因此其具有风险规避的性质,其追求效用最大化,绝对风险规避程度系数 $\rho > 0$,效用函数为凹函数。

假设 2: 数字服务平台和互补企业的价值共创包含两个阶段, 互补企业(代理人)在两阶段中针对数据价值创造和机会主义两方面投入的努力水平分别为 e_1^t 、 e_2^t , 其中 $t=1,2$ 分别表示第一阶段和第二阶段。

参考文献[21], 相对应的努力成本分别为 $c_1^t = \frac{b_1}{2} e_1^{t^2}$, $c_2^t = \frac{b_2}{2} e_2^{t^2} + \mu_t e_2^t$, 其中 μ_t 表示监管力度, 由于数字服务平台的监督措施会一定程度上增加互补企业的努力投入, 其努力成本也会更高。 b_1 、 b_2 均为努力成本系数, 为方便计算, 本文将 b_1 、 b_2 均简化为 1。

假设 3: 为降低互补企业机会主义行为的出现概率, 数字服务平台会对互补企业进行监督行为。监督成本为 $v_m = \alpha \mu_t$, 其中 α 表示监督的单位成本系数。监督措施的落实一定程度上能够规范互补企业的行为, 带来一定的效益, 因此用 $\tau \mu_t$ 表示数字服务平台的监督给互补企业带来的外生性产出, 其中, τ 表示监督的外生性产出系数, μ_t 表示监管力度。

假设 4: 互补企业在合作过程中将数据价值转化为创新产出为 $\pi_1^t = e_1^t + \tau \mu_t + \theta + \varepsilon_t$, 其中 θ 为独立的外生随机变量, $\theta \sim (\eta, \sigma^2)$, 表示为互补企业进行数字服务化转型的运作能力, ε_t 同样也是外生的随机变量, $\varepsilon_t \sim (0, \sigma^2)$ 。互补企业在合作过程中实施机会主义行为带来的产出为 $\pi_2^t = e_2^t + \varepsilon_t'$, 其中 ε_t' 也是独立的外生随机变量, $\varepsilon_t' \sim (0, \sigma^2)$ 。假设 $Cov(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = 0$, $Cov(\varepsilon_1', \varepsilon_2') = 0$ 。

假设 5: 当互补企业选择机会主义行为时, 其投机性努力会分割创新总产出, 而数字服务平台无法直接观测到互补企业的投机行为实际分割的产出, 只能观测到互补企业投机行为分割后的产出, 参考文献[22], $\pi_t = \pi_1^t - \pi_2^t$ 。数字服务平台与互补企业双方签订激励合同, 平台根据观测到的总创新产出向互补企业支付一定的报酬, 向互补企业提供一份 $T_t = k_t + m_t \pi_t$ 形式的线性契约, 其中 k_t 表示互补企业的固定收益, m_t 表示为数据价值产出的共享系数, 即激励参数 $m \in (0,1)$ 。

3. 两阶段模型构建

两阶段约束下的激励模型的博弈顺序为: 首先, 在第一阶段, 数字服务平台无法获取到互补企业的经营情况和实际产出的信息, 在信息不对称的情形下会以 k_1 、 m_1 的契约激励系数与互补企业完成第一阶段的合作, 同时以强度 μ_1 进行监督。互补企业根据契约支付系数和监管力度来确定努力投入水平 (e_1^1, e_2^1) , 并得到第一阶段的实际价值产出 π_1 , 双方共同履行第一阶段的契约。在第二阶段, 数字服务平台根据第一阶段互补企业的实际价值产出 π_1 来判断其的经营能力, 并据此确定第二阶段的契约激励系数 k_2 、 m , 以及相应的监管力度 μ_2 。同样地, 互补企业根据契约支付系数和监管力度来确定努力投入水平 (e_1^2, e_2^2) , 并得到第二阶段的实际价值产出 π_2 。双方共同以 k_2 、 m_2 履行第二阶段的契约。两阶段激励模型的博弈顺序如图 1 所示。



Figure 1. Game sequence of two-stage incentive model

图 1. 两阶段激励模型的博弈顺序

基于以上逻辑, 能够得到互补企业在两个阶段的数据价值实际收入分别为:

$$w_1 = k_1 + m_1 \pi_1 + \pi_1^1 \tag{1}$$

$$w_2 = k_2 + m_2 \pi_2 + \pi_2^2 \tag{2}$$

$$\text{Var}(w_1 + w_2) = m_1\sigma^2(2m_2 + 1) + \frac{8}{3}m_2\sigma^2(m_2 - 1) + 2\sigma^2 \quad (3)$$

互补企业在第一阶段和第二阶段的确切性等价收益分别为

$$CE_h^1 = E(w_1) - \frac{1}{2}(e_1^{1^2} + e_2^{1^2}) - \mu_1 e_2^1 - \frac{\rho}{2}\text{Var}(w_1) \quad (4)$$

$$CE_h^2 = E(w_2 | \pi_1) - \frac{1}{2}(e_1^{2^2} + e_2^{2^2}) - \mu_2 e_2^2 - \frac{\rho}{2}\text{Var}(w_2 | \pi_1) \quad (5)$$

因此，互补企业两阶段的确切性等价收益可以整合为

$$CE_h = E(w_1) + E(w_2 | \pi_1) - \frac{1}{2}(e_1^{1^2} + e_2^{1^2} + e_1^{2^2} + e_2^{2^2}) - \mu_1 e_2^1 - \mu_2 e_2^2 - \frac{\rho}{2}\text{Var}(w_1 + w_2 | \pi_1) \quad (6)$$

其中， $E(w_1)$ 、 $E(w_2 | \pi_1)$ 分别表示互补企业在第一阶段和第二阶段的期望收益， $\frac{\rho}{2}\text{Var}(w_1 + w_2)$ 表示两个阶段总的风险成本。

同理，数字服务平台在第一个阶段和第二个阶段的确切性等价收益分别为

$$CE_p^1 = E(\pi_1) - E(w_1) - \alpha\mu_1 \quad (7)$$

$$CE_p^2 = E(\pi_2 | \pi_1) - E(w_2 | \pi_1) + E(\pi_2^2) - \alpha\mu_2 \quad (8)$$

由此，可以得到数字服务平台两阶段的目标函数为

$$\begin{aligned} \max_{k_1, m_1, \mu_1} & \varphi_1 [E(\pi_1^1) - E(w_1) - \alpha\mu_1] + E(\pi_1^1) * (1 - \varphi_1) \\ & + \varphi_2 [E(\pi_1^2) - E(w_2) - \alpha\mu_2] + (1 - \varphi_2)E(\pi_1^2) \end{aligned} \quad (9)$$

其中 $\varphi_1, \varphi_2 \in (0, 1)$ 分别表示为数字服务平台分别在第一个阶段和第二个阶段对自身收益最大化的偏好程度。为简化计算，本文假设 $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ 。同时，要确保作为代理人的互补企业在两个阶段都能够参与到价值共创的合作中，因此需要满足以下两个参与约束：

$$IR_1 : CE_h^1 \geq \bar{u}_1 + \bar{u}_2 \quad (10)$$

$$IR_2 : CE_h^2 \geq \bar{u}_2 \quad (11)$$

其中， $\bar{u}_1 > 0$ ， $\bar{u}_2 > 0$ ，为在第一个阶段和第二个阶段互补企业的保留效用，即互补企业为参与价值共创而放弃其他行为的机会成本。互补企业通过调节数据价值转化努力投入和机会主义行为努力投入水平的最优决策，来实现自身的收益的最大化，因此满足两个阶段的激励相容约束：

$$IC_1 : (e_1^1, e_2^1) \in \arg \max CE_p \quad (12)$$

$$IC_2 : (e_1^2, e_2^2) \in \arg \max CE_p^2 \quad (13)$$

4. 两阶段激励模型求解

基于上述模型，本文采用逆向归纳求解法求解动态激励模型的子博弈的精炼纳什均衡。首先求解代理人，即互补企业的最优均衡策略。根据激励约束相容理论，对式(5)分别对 e_1^2 、 e_2^2 求一阶偏导，并令其等于0，可得互补企业在第二阶段的最优努力投入水平为组合 $e_2 = (m_2 + \mu_2, 1 - m_2 - \mu_2)$ ，接着求解数字服务平台在第二阶段向互补企业提供的最优激励契约参数，可得

$$\max_{k_2, m_2, \mu_2} \varphi [E(\pi_1^2 | \pi_1) - E(w_2 | \pi_1) - \alpha\mu_2] + (1 - \varphi)E(\pi_1^2 | \pi_1) \quad (14)$$

同时需满足参与约束 $IR_3 : E(w_2 | \pi_1) - \frac{1}{2}(e_1^{2^2} + e_2^{2^2}) - \mu_2 e_2^2 - \frac{\rho}{2} Var(w_2 | \pi_1) \geq \bar{u}_2$ ，将其代入式(14)可得

$$\max_{k_2, m_2, \mu_2} E(\pi_1^2 | \pi_1) - \frac{\varphi}{2} [e_1^{2^2} + e_2^{2^2} + 2\mu_2 e_2^2] - \frac{\rho}{2} \varphi Var(w_2 | \pi_1) - \varphi(\bar{u}_2 - \alpha\mu_2) \quad (15)$$

第二阶段的激励契约系数根据第一阶段互补企业的数据价值转化产出 π_1 获得，可得

$$E(\varphi | \pi_1) = \frac{1}{3} (\pi_1 - \tau\mu_1 - \hat{e}_1^1 + \hat{e}_2^1) + \frac{2\xi}{3} \quad (16)$$

$$Var(w_2 | \pi_1) = \frac{8}{9} \sigma^2 (3m_2^2 - 2m_2 + 1) \quad (17)$$

其中， \hat{e}_1^1 和 \hat{e}_2^1 分别代表数字服务平台对于第一阶段互补企业所做的数据价值转化努力和机会主义努力投入所产生的效益的推测值。在理想假设下，互补企业第一阶段的最优努力投入水平即为 \hat{e}_1^1 和 \hat{e}_2^1 。

将式(16)和式(17)代入式(15)中可得

$$\max_{k_2, m_2, \mu_2} E(\pi_1^2 | \pi_1) - \frac{\varphi}{2} (e_1^{2^2} + e_2^{2^2} + 2\mu_2 e_2^2) - 4\rho\sigma^2 \left(\frac{3m_2^2 - 2m_2 + \varphi}{9} \right) - \varphi(\bar{u}_2 - \alpha\mu_2) \quad (18)$$

接着，对 m_2 和 μ_2 分别求一阶偏导并设为 0，可以得到第二阶段的最优激励参数 $m_2^* = \frac{\varphi(2+5\rho\sigma^2)+4}{9\varphi(3+4\rho\sigma^2)}$ ，

以及最优监管力度为 $\mu_2^* = \frac{3\alpha\varphi^2 - \tau}{\varphi}$ 。

接着将 m_2^* 和 μ_2^* 代入 $e_2 = (m_2 + \mu_2, 1 - m_2 - \mu_2)$ 中，并分别对 e_1^2 、 e_2^2 和 k_2 求一阶偏导并设为 0，可得互补企业在第二阶段对于数据价值转化和机会主义行为的最优努力投入水平 e_1^{2*} 、 e_2^{2*} 和最优固定收益 k_2^* 为

$$e_1^{2*} = \frac{\varphi(8\rho\sigma^2 + 9) + 5}{9\varphi(4\rho\sigma^2 + 3)} \quad (19)$$

$$e_2^{2*} = \frac{\varphi(12\rho\sigma^2 + 9) - 6}{3\varphi(4\rho\sigma^2 + 3)} + \frac{\tau - \varphi\alpha}{\tau} \quad (20)$$

$$k_2^* = \frac{e_1^{2*2} + e_2^{2*2}}{2} + (\mu_2 - 1)e_2^{2*} + \frac{\rho\sigma^2 m_2}{2} + \frac{5 + 4\sigma^2}{8} + m_2(e_2^{2*} - e_1^{2*}) - \frac{1}{3} m_2 (2\eta - \pi_1 - \tau\mu_1 - \hat{e}_1^1 + \hat{e}_2^1 + 3\tau\mu_2) + \bar{u}_2 \quad (21)$$

根据博弈时序，进一步求解互补企业在第一阶段的子博弈精炼纳什均衡，同样根据激励约束相容理论，对式(4)分别对 e_1^1 、 e_2^1 求一阶偏导，并令其等于 0，可得互补企业在第一阶段的最优努力投入水平组合 $e_1 = (m_1 + \mu_1, 1 - m_1 - \mu_1)$ ，继续求解互补企业第一阶段的最优激励参数，可得到目标函数

$$\max_{k_1, m_1, \mu_1} \varphi [E(\pi_1^1) + E(\pi_1^2) - E(w_1) - E(w_2) - \alpha(\mu_1 + \mu_2)] + (1 - \varphi) * [E(\pi_1^1) + E(\pi_1^2)] \quad (22)$$

同时需满足互补企业的参与约束为

$$IR_4 : E(w_1) + E(w_2) - \frac{1}{2} (e_1^{1^2} + e_2^{1^2} e_1^{2^2} + e_2^{1^2}) - \mu_1 e_1^1 - \mu_2 e_2^2 - \frac{\rho}{2} Var(w_1 + w_2) \geq \bar{u}_1 + \bar{u}_2 \quad (23)$$

并将 CE_p^1 、 e_1^{2*} 、 e_2^{2*} 和 k_2^* 代入到式(22)中，并分别对 k_1 、 m_1 、 μ_1 求一阶偏导并设为 0，可得到第一

阶段数字服务平台提供的最优契约激励参数 k_1^* 、 m_1^* 、 μ_1^* ，以及互补企业的最优努力投入水平 e_1^{1*} 、 e_2^{1*} 分别为

$$k_1^* = \bar{u}_1 - m_1(e_2^{1*} - e_1^{1*} - \eta - \tau\mu_1) + e_2^{1*}(\mu - 1) + \frac{1}{2}(e_1^{1*2} + e_2^{1*2}) - m_1\rho\sigma^2\left(1 - m_2 - \frac{3}{2}m_1\right) - \frac{1}{3}m_2\rho\sigma^2 \quad (24)$$

$$m_1^* = \frac{5\varphi\rho\sigma^2(1 - m_2) + \varphi + 8}{6\varphi\rho\sigma^2 + 2\varphi} \quad (25)$$

$$\mu_1^* = 3\alpha - \frac{\tau}{\varphi} \quad (26)$$

$$e_1^{1*} = \frac{\varphi\rho\sigma^2(1 - m_2) + \varphi + 8}{6\varphi\rho\sigma^2 + 2\varphi} \quad (27)$$

$$e_2^{1*} = \frac{\varphi\rho\sigma^2(1 + m_2) + \varphi - 8}{6\varphi\rho\sigma^2 + 2\lambda} + \frac{\tau - 3\varphi\alpha}{\varphi} \quad (28)$$

5. 模型均衡分析

本部分对两阶段动态激励模型的均衡性质进行分析。不同的合作阶段下数字服务平台提供的契约激励参数不同，对互补企业的监管力度不同，以及互补企业的努力投入水平也存在差异，由此导致双方企业的收益也会发生变化。因此，本部分分别对数字服务平台在两阶段提供的契约激励参数、不同强度的监督水平，以及同一阶段下互补企业投入的努力水平组合对整体收益均衡等影响进行分析，以此来厘清上述因素对双方企业设计激励机制的影响机理。

5.1. 互补企业两阶段的整体收益分析

命题 1: 当 $0 < \varphi < \varphi_1$ 时，随着监管力度的提升，互补企业第一阶段的整体收益都会随之提高；当 $\varphi_1 < \varphi < 1$ 时，随着监管力度的提升，互补企业第一阶段的整体收益都会随之减少。当 $0 < \varphi < \varphi_2$ 时，随着监管力度的提升，互补企业第二阶段的整体收益也会随之提高；当 $\varphi_2 < \varphi < 1$ 时，随着监管力度的提升，互补企业第二阶段的整体收益也会随之减少。

证明：据式(4)，(5)可得，对于互补企业在第一阶段和第二阶段的确定性收益 CE_h^1 、 CE_h^2 ，分别求关于 μ_1 和 μ_2 的一阶偏导并令其等于 0，求解可得 $\varphi_1 = \frac{\tau\rho\sigma^2(69 + 34\rho\sigma^2) + 9(\tau - 1)}{6\varphi + \rho\sigma^2(12\tau - 9) + 18(\varphi - 1)}$ ，

$$\varphi_2 = \frac{6\tau(3 + 4\sigma^2) - 9(\tau + 1)}{\rho\sigma^2(24\alpha + 8\tau - 16) + 9(2\alpha + \tau - 1)}。$$

由此可得，当 $0 < \varphi < \varphi_1$ 时， $\frac{\partial CE_h^1}{\partial \mu_1} > 0$ ；否则， $\frac{\partial CE_h^1}{\partial \mu_1} < 0$ 。由式(35)可得，当 $0 < \varphi < \varphi_2$ 时， $\frac{\partial CE_h^2}{\partial \mu_1} > 0$ ；

否则， $\frac{\partial CE_h^2}{\partial \mu_1} < 0$ 。命题得证。

根据命题 1，当平台对自身利益最大化的关注程度偏低时，更关注合作双方的整体利益，此时双方的信任程度提升，加强对互补企业的监管有利于达成互赢的共识，互补企业有更高的意愿提高努力投入水平，因此创造出更多的效益。而当平台对自身利益最大化的关注程度偏高时，此时增加对互补企业的监管力度会被互补企业认为是仅关注其自身利益，此时在“经济人”的假设下，尽管平台加大对监管的投

入，互补企业反而不愿投入更多努力，因此互补企业的总收益会随之减少。因此，平台在管理互补企业时，应根据自身利益与整体利益的关注程度灵活调整监管策略，注重建立信任关系，平衡短期和长期利益，从而实现双方的互赢和共同发展。

5.2. 数字服务平台两阶段的整体收益分析

命题 2: 在第一阶段，当监督给互补企业带来的外生性产出 $0 < \tau < \tau_1$ 时，数字服务平台的数据价值产出会随着价值偏好系数的增大而减少；当监督给互补企业带来的外生性产出 $\tau_1 < \tau < 1$ 时，数字服务平台的数据价值产出会随着价值偏好系数的增大而增大。在第二阶段，当监督给互补企业带来的外生性产出 $0 < \tau < \tau_2$ 时，数字服务平台的数据价值产出会随着价值偏好系数的增大而减少；当监督给互补企业带来的外生性产出 $\tau_2 < \tau < 1$ 时，数字服务平台的数据价值产出会随着价值偏好系数的增大而增大。

证明：根据模型假设，可得到数字服务平台第一阶段的数据价值转化产出为

$$\pi_1^1 = 12(\varphi + 1) + \frac{\rho\sigma^2(6\varphi + 5\rho\rho\sigma^2 + 15)}{6\varphi\rho\sigma^2 + 3\varphi} + \alpha\tau - \frac{\tau^2}{\varphi}, \quad \text{第二阶段的数据价值转化产出为}$$

$$\pi_1^2 = 9(\varphi + 1) + \frac{8\varphi\rho\sigma^2}{6\varphi(3 + 4\rho\sigma^2)} + \alpha\tau - \frac{\tau^2}{\varphi}.$$

分别对 μ 求一阶偏导，可得 $\frac{\partial\pi_1^1}{\partial\mu} > 0$ ， $\frac{\partial\pi_1^2}{\partial\mu} > 0$ 。这表明随着监管力度的加大，无论是第一阶段还是第二阶段，数字服务平台的数据价值转化产出都随之增加。分别对 φ 求一阶偏导并令其等于 0，得到

$$\tau_1 = \left[\frac{6 + 5\rho\sigma^2(6\varphi + 3)}{(9 + 3\rho\sigma^2 + 4\varphi)} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad \tau_2 = \left[\frac{5\rho\sigma^2 - 9}{(9 + 3\rho\sigma^2 + 4\varphi)} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

因此，当 $0 < \tau < \tau_1$ 时， $\frac{\partial\pi_1^1}{\partial\tau} < 0$ ；当 $\tau_1 < \tau < 1$ 时， $\frac{\partial\pi_1^1}{\partial\tau} > 0$ 。当 $0 < \tau < \tau_2$ 时， $\frac{\partial\pi_1^2}{\partial\tau} < 0$ ；当 $\tau_2 < \tau < 1$ 时， $\frac{\partial\pi_1^2}{\partial\tau} > 0$ 。命题得证。

根据命题 2，当第一阶段监督带来的外生性产出较低时，平台的监管对互补企业的正面影响有限，监管产生的效果不显著，数据的增值效果较弱。此时随着平台更多地关注自身利益而非整体利益时，监管带来的正面效果进一步减弱，导致数据价值产出减少。当第二阶段监督带来的外生性产出较高时，平台的监管对互补企业的正面影响显著，数据的增值效果较强。此时随着平台更关注自身利益时，推动平台优化监管策略，进一步增加数据价值产出。因此，平台需要在监管策略和利益平衡上不断做出调整，建立动态的监管机制，根据外生性产出的实际变化及时调整监管力度和方式。这样可以确保在不同的阶段和情景下，平台都能够有效地利用监管来提升数据价值产出，避免因监管过度或不足而影响互补企业的积极性和整体效益。

5.3. 两阶段的合同激励参数分析

命题 3: 数字服务平台提供的第二阶段的最优契约激励参数始终大于第一阶段，并且随着价值偏好的增强，两个阶段的最优契约激励参数都会下降，同时两者间的差距会逐渐缩小。

证明：根据 m_1^* 、 m_2^* ，分别求关于 φ 的一阶偏导，可得 $\frac{\partial m_1^*}{\partial\varphi} < 0$ ， $\frac{\partial m_2^*}{\partial\varphi} < 0$ 恒成立。进一步求解第一

阶段和第二阶段的契约激励参数的差值 $\Delta m = \frac{8 + \varphi + 5\rho\varphi\sigma^2(1 - m_2)}{2\varphi + 6\rho\sigma^2\varphi}$ 。显然 Δm 恒大于 0。接着求关于 λ 的

一阶偏导, 可得 $\frac{\partial \Delta m}{\partial \varphi} = -\frac{1+5\rho\sigma^2(1-m_2)}{(2\varphi+6\rho\sigma^2\varphi)^2}$ 。显然 $\frac{\partial(m_2^*-m_1^*)}{\partial \varphi}$ 恒小于 0。命题得证。

命题 4: 无论是第一阶段还是第二阶段, 当价值偏好较低时, 数字服务平台的确定性收益随监管力度的上升而增加; 当价值偏好较高时, 数字服务平台的确定性收益随监管力度的上升而减少。

证明: 根据式(7), 对于数字服务平台在第一阶段的确定性收益 CE_p^1 , 求关于 μ_1 的一阶偏导, 并令其

等于 0, 可以得到 $\varphi = \frac{5\rho\sigma^2(\varphi+3)}{\rho\sigma^2(2+34\rho\sigma^2)+6\varphi}$ 。

因此, 当 $0 < \varphi < \frac{5\rho\sigma^2(\varphi+3)}{\rho\sigma^2(2+34\rho\sigma^2)+6\varphi}$ 时, $\frac{\partial CE_p^1}{\partial \mu_1} > 0$; 当 $\frac{5\rho\sigma^2(\varphi+3)}{\rho\sigma^2(2+34\rho\sigma^2)+6\varphi} < \varphi < 1$ 时, $\frac{\partial CE_p^1}{\partial \mu_1} < 0$ 。

同理, 根据式(8), 对于数字服务平台在第二阶段的确定性收益 CE_p^2 , 求关于 μ_2 的一阶偏导, 并令其等于

0, 可以得到 $\varphi = \frac{9}{16\rho\sigma^2+9}$ 。

因此, 当 $0 < \varphi < \frac{9}{16\rho\sigma^2+9}$ 时, $\frac{\partial CE_p^2}{\partial \mu_2} > 0$; 当 $\frac{9}{16\rho\sigma^2+9} < \varphi < 1$ 时, $\frac{\partial CE_p^2}{\partial \mu_2} < 0$ 。命题得证。

根据命题 3, 数字服务平台提供的第二阶段的最优契约激励参数始终大于第一阶段, 这一命题验证了冯楠等[23]的研究结论, 表明随着双方信任的增强, 平台更倾向于提高激励参数, 以促进互补企业的积极性和投入。这是因为平台与互补企业之间的长期合作和信任的建立也需要更高的激励参数来维系。到了第二阶段, 平台对互补企业长期贡献的认可和回报, 这有助于增强互补企业对平台的信任, 促进长期合作关系的稳定和发展。而随着平台对自身利益的关注增加, 平台在契约设计中倾向于降低激励参数, 这是因为平台的目标是最大化自身的净收益, 降低激励参数可以直接减少平台的支出, 从而增加其净收益。

根据命题 4, 在价值偏好较低即平台更关注整体利益时, 加强监管力度有助于增强互补企业的信任感和积极性, 互补企业在一个公平竞争的环境中更愿意投入资源和努力, 最终提升整体产出, 平台的确定性收益也随之增加。而在价值偏好较高即平台更关注自身利益时, 加强监管力度可能被互补企业视为增加其负担和成本的手段, 互补企业的积极性下降, 减少在平台上的投入和创新, 甚至退出平台, 导致整体市场活力下降, 平台的整体收益也在下降。因此, 平台需平衡自身利益和互补企业的利益, 制定适应性的监管策略, 促进互补企业的积极性和市场效益, 实现长期的健康发展和共赢局面。

6. 数值仿真分析

上文分别对两个阶段的数字服务平台和互补企业间的激励机制进行了均衡分析, 为了进一步验证激励模型的均衡性, 本部分对模型进行数值模拟仿真来更直观的了解各因素对模型均衡的影响。结合实际情况和研究经验, 本文假设 $\alpha = 5$, $\tau = 0.3$, $\rho = 0.8$, $\sigma^2 = 4$, $\theta = 1$ 。

6.1. 不同情形下监管力度 μ 对互补企业总收益的影响

在保证其他参数不变的前提下, 将数字服务平台的价值偏好 φ 分别设置为 0.2 和 0.8。将数字服务平台对互补企业实施的监管力度设置为 [0, 1] 范围内, 并以 0.2 的步长逐渐增加。仿真实验结果如图 2 所示。

由图 2 可知, 当数字服务平台的价值偏好较低时, 互补企业两个阶段的总收益都会随着监管力度的加大而增加。数字服务平台更关注合作的整体收益时, 增加监管力度会被互补企业认为是为了共同利益而努力, 互补企业愿意更加努力创造价值。而当数字服务平台的价值偏好较高时, 数字服务平台更关注自身收益, 增加监管力度会被互补企业认为是仅关注其自身利益, 在“经济人”的假设下, 互补企业不

愿投入更多努力，互补企业两个阶段的总收益则会随着监管力度的加大而减少。

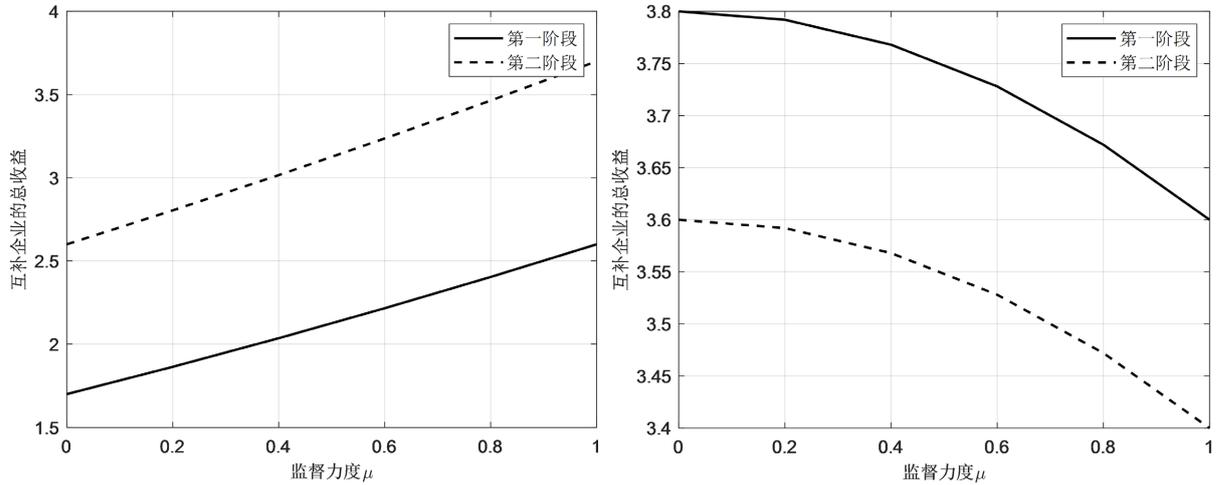


Figure 2. (a) The influence of supervision intensity μ on the total revenue of complementary enterprises when $\varphi = 0.2$. (b) The influence of supervision intensity μ on the total revenue of complementary enterprises when $\varphi = 0.8$

图 2. (a) 当 $\varphi = 0.2$ 时监管力度 μ 对互补企业总收益的影响；(b) 当 $\varphi = 0.8$ 时监管力度 μ 对互补企业总收益的影响

6.2. 不同情形下监管力度 μ 对数字服务平台总收益的影响

在保证其他参数不变的前提下，将数字服务平台的价值偏好 φ 分别设置为 0.2 和 0.8。将数字服务平台对互补企业实施的监管力度设置为 $[0, 1]$ 范围内，并以 0.2 的步长逐渐增加。仿真实验结果如图 3 所示。

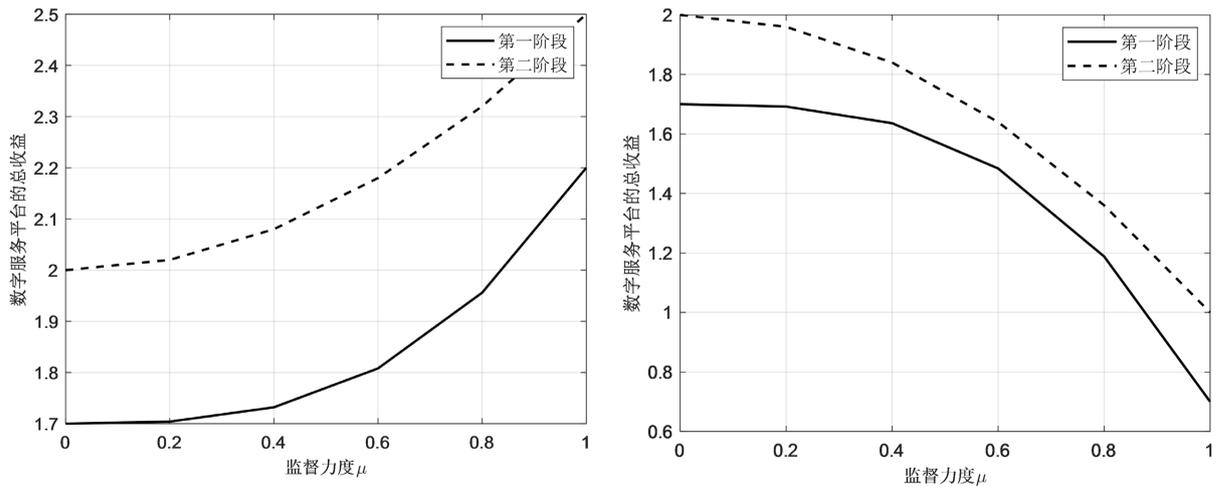


Figure 3. (a) The influence of regulatory intensity μ on the total revenue of digital service platform when $\varphi = 0.2$. (b) The influence of regulatory intensity μ on the total revenue of digital service platform when $\varphi = 0.8$

图 3. (a) 当 $\varphi = 0.2$ 时监管力度 μ 对数字服务平台总收益的影响；(b) 当 $\varphi = 0.8$ 时监管力度 μ 对数字服务平台总收益的影响

由图 3 可知，当数字服务平台的价值偏好较低时，数字服务平台两个阶段的总收益都会随着监管力度的加大而增加。数字服务平台更关注整体收益时，增加对互补企业的监管力度有利于规范互补企业的行为，增强市场活力，提高自身的收益，实现长期的稳定发展。而当数字服务平台的价值偏好较高时，

数字服务平台两个阶段的总收益则会随着监管力度的加大而减少。数字服务平台更关注自身收益时，增加监管强度可能会挫败互补企业合作的积极性而减少对价值共创的努力投入，导致创造的价值效益不断缩水，因此数字服务平台的收益也会随之减少。

6.3. 不同情形下价值偏好 φ 对数字服务平台合同激励参数的影响

在保证其他参数不变的前提下，将数字服务平台的价值偏好 φ 设置为 $[0, 1]$ 范围内，并以 0.2 的步长逐渐增加，讨论价值偏好系数 φ 对契约激励参数的影响。

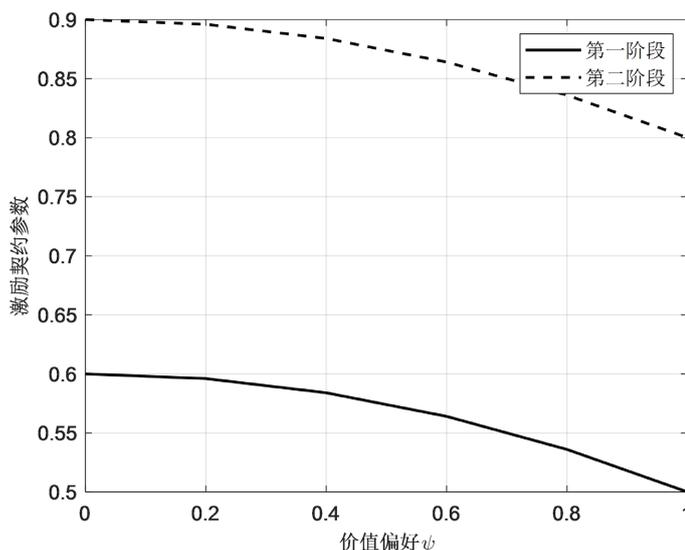


Figure 4. Influence of value preference φ on contract incentive parameters

图 4. 价值偏好 φ 对契约激励参数的影响

由图 4 可知，第二阶段的契约激励参数始终高于第一阶段的契约激励参数。同时随着数字服务平台的价值偏好的增强，无论是第一阶段还是第二阶段的契约激励参数都会随之变小。这归因于第一阶段双方合作面临着较高的不确定性和风险，因此数字服务平台提供的契约激励参数相对较低。而到了第二阶段，双方的信任也会逐渐增强，对第二阶段的业务发展怀抱更高的期望，为了激励双方投入更多的努力和创新资源，数字服务平台会相应的提高契约激励参数，从而给予更强的动力来实现预期的业务目标，最大化双方的收益。

6.4. 不同情形下价值偏好 φ 对数字服务平台总收益的影响

在保证其他参数不变的前提下，将数字服务平台实施的监督外生性产生系数 τ 分别设置为 0.2 和 0.8，并讨论不同监督外生性产生系数情形下，价值偏好系数 φ 对数字服务平台产出的影响。

由图 5(a)和图 5(b)可知，当数字服务平台实施的监督的外生性产出系数较小时，无论是第一阶段还是第二阶段，数字服务平台的数据创新型产出和投机性产出都会随着价值偏好的增加而减少。因为监督效果大幅降低，互补企业可能会更多的关注短期利益，从而减少对价值共创的投入，导致数字服务平台的产出不断减少。由图 5(c)和图 5(d)可知，当数字服务平台实施的监督的外生性产出系数较大时，无论是第一阶段还是第二阶段，数字服务平台的数据创新型产出和投机性产出都会随着价值偏好的增加而增加。同时从图 5(a)~(d)中，可以看出无论是数据创新型产出还是投机性产出，第二阶段的数字服务平台的产出总是大于第一阶段的产出，并随着价值偏好的增加，两个阶段产出的差距在不断减小。因为经过第一阶

段的合作，双方的信任程度增加，在合作中愿意投入更多的努力，因此数字服务平台第二阶段的产出总是大于第一阶段的产出。但价值偏好系数的增加，平台更多利己行为势必会对合作产生影响，因而使得激励效果不断降低。

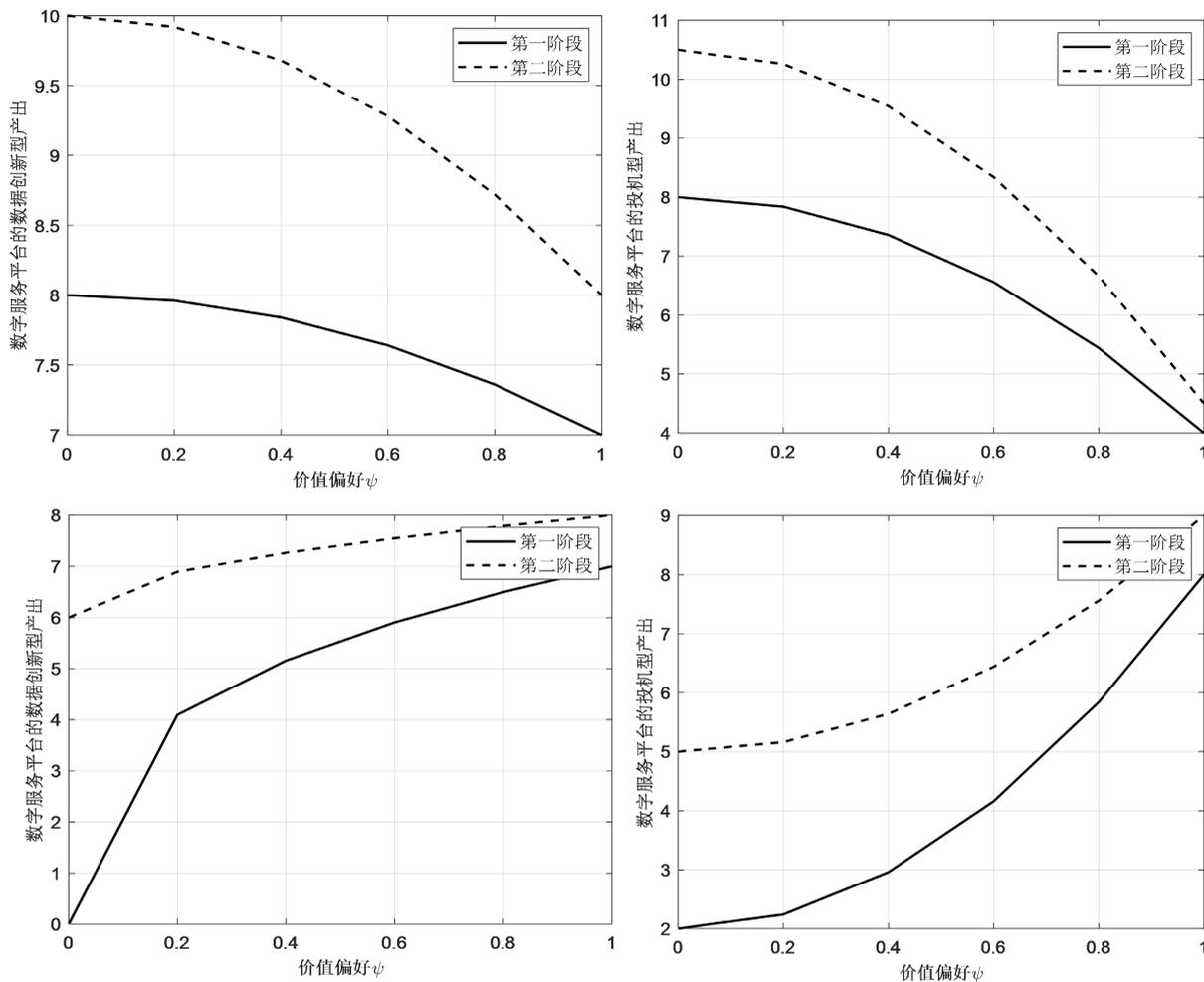


Figure 5. (a) The influence of value preference φ on the innovative output of digital service platform when $\tau = 0.2$. (b) The influence of value preference φ on speculative output of digital service platform when $\tau = 0.2$. (c) The influence of value preference φ on innovative output of digital service platform when $\tau = 0.8$. (d) The influence of value preference φ on speculative output of digital service platform when $\tau = 0.8$

图 5. (a) 当 $\tau = 0.2$ 时价值偏好 φ 对数字服务平台创新型产出的影响；(b) 当 $\tau = 0.2$ 时价值偏好 φ 对数字服务平台投机性产出的影响；(c) 当 $\tau = 0.8$ 时价值偏好 φ 对数字服务平台创新型产出的影响；(d) 当 $\tau = 0.8$ 时价值偏好 φ 对数字服务平台投机性产出的影响

7. 结论与启示

针对数字服务平台和互补企业在价值共创过程中由信息不对称引发的问题，构建了两阶段激励模型并求解，随后对模型进行了均衡分析，并讨论了各因素对双方的收益、努力投入水平和契约激励参数等影响，最后利用数值仿真来验证模型的均衡结果。本文的主要结论如下：(1) 两阶段的动态激励机制可以提高激励强度。数字服务平台第二阶段的总产出始终多于第一阶段的产出，且两个阶段产出的差距逐渐缩小。这一结论验证了陈艳等(2020) [24]的研究结果。(2) 当数字服务平台关注整体利益时，向互补企业

提供的契约激励系数越大, 互补企业所受到的激励效果越明显, 在两个阶段下会主动增加对创新型努力的投入, 减少投机行为。(3) 数字服务平台监管力度的加大无法直接增加双方的收益。数字服务平台只有关注整体利益时, 适度加大监管力度才能激励互补企业进一步加大生产性努力投入, 降低投机行为发生的概率, 实现共赢; 当数字服务平台关注自身利益时, 加大监管力度反而会扼杀互补企业的积极性, 减少对合作的努力和投入, 导致整体市场活力下降, 双方的整体收益也将受到负面影响, 这一结论拓展了任雪杰等(2024) [25]的研究结论。

据此得到的管理启示有: (1) 数字服务平台应当充分发挥动态激励机制的优势, 优先考虑与互补企业签订多阶段的激励契约, 注重建立长期的、信任的、稳定的合作关系。(2) 互补企业应不断加强创新研发能力, 提升自身产品的竞争力以满足消费者的多样化需求, 同时严格规范自身的行为, 减少机会主义行为的发生, 努力赢得合作方和客户的信任, 为稳定的合作关系做准备。(3) 数字服务平台和互补企业要多关注价值共创的整体利益, 建立有效的沟通渠道, 减少信息不对称等问题。同时建立并完善合理的监管制度, 从而有效抑制互补企业潜在的投机行为, 为双方和谐稳定的合作关系保驾护航。

本文在模型构建中简化了一些假设, 然而该研究假设的有效性存在一定程度的制约。此外, 模型未充分考虑其他外部因素对激励效果的影响, 例如市场竞争、技术进步等。因此, 未来的研究可以考虑引入更多外部因素、细分风险态度模型以及结合实际案例分析, 以更全面地理解数字服务平台与互补企业之间的激励关系。同时也可以借助更多实际案例分析来扩展模型的复杂性, 并探讨多种因素对价值共创的综合影响。

基金项目

教育部人文社会科学青年基金项目(23YJC630140)。

参考文献

- [1] Kolagar, M., Parida, V. and Sjödin, D. (2022) Ecosystem Transformation for Digital Servitization: A Systematic Review, Integrative Framework, and Future Research Agenda. *Journal of Business Research*, **146**, 176-200. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.03.067>
- [2] Chirumalla, K., Leoni, L. and Oghazi, P. (2023) Moving from Servitization to Digital Servitization: Identifying the Required Dynamic Capabilities and Related Microfoundations to Facilitate the Transition. *Journal of Business Research*, **158**, Article ID: 113668. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113668>
- [3] Ardolino, M., Rapaccini, M., Saccani, N., Gaiardelli, P., Crespi, G. and Ruggeri, C. (2017) The Role of Digital Technologies for the Service Transformation of Industrial Companies. *International Journal of Production Research*, **56**, 2116-2132. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1324224>
- [4] 曹仰锋. 世界三大“产业互联网平台”的战略与功能[J]. 清华管理评论, 2019(4): 44-51.
- [5] 喻冬冬. 基于横向公平偏好的供应链知识共享激励与监督[J]. 工业工程, 2018, 21(1): 51-58, 102.
- [6] 冯楠, 程志文, 冯海洋, 等. 供给方准入限制下的工业互联网平台数据共享激励策略优化设计研究[J]. 管理评论, 2024, 36(7): 24-42.
- [7] 温双阁, 赵爽. 平台企业数据共享社会责任构造[J/OL]. 西安交通大学学报(社会科学版), 1-16. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1329.C.20250123.1924.002.html>, 2025-03-13.
- [8] 王倩倩, 陈强, 汪万, 等. 创新型平台治理和用户行为影响下互补者创新策略选择[J/OL]. 系统管理学报, 1-21. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1977.N.20241224.1610.002.html>, 2025-03-13.
- [9] 唐方成, 裴利娟, 董彩婷, 等. 数字平台的二元治理模式——价值共创视角下的探索性案例研究[J]. 管理评论, 2024, 36(5): 276-288.
- [10] 孙海涛, 周奇琦. 平台数据垄断的监管困境与共享机制探析[J]. 江苏社会科学, 2023(3): 131-139, 243.
- [11] 何娜, 蒋忠中, 王健, 等. 考虑设备回收的服务型制造供应链契约选择与设计优化[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(11): 2927-2940.
- [12] 王虹. 网络平台市场的质量信息披露策略与激励机制分析[J]. 工业工程, 2022, 25(3): 89-94.

- [13] Han, H., Shen, J., Liu, B. and Han, H. (2022) Dynamic Incentive Mechanism for Large-Scale Projects Based on the Reputation Effects. *Sage Open*, **12**. <https://doi.org/10.1177/21582440221133280>
- [14] 徐碧霄, 刘迅, 刘德馨. 基于信号博弈的工程总承包联盟声誉激励研究[J]. 工程管理学报, 2023, 37(4): 19-24.
- [15] 金亮. 线下到线上 O2O 供应链线上推荐策略及激励机制设计[J]. 管理评论, 2019, 31(5): 242-253.
- [16] 张旭梅, 王波, 刘益, 等. 基于第三方共享制造平台的供应链质量信息披露与激励机制研究[J]. 中国管理科学, 2024, 32(12): 278-287.
- [17] Wan, X. and Qie, X. (2020) Poverty Alleviation Ecosystem Evolutionary Game on Smart Supply Chain Platform under the Government Financial Platform Incentive Mechanism. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **372**, Article 112595. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2019.112595>
- [18] 王勇, 张玮艺, 伍凌智. 论平台企业“开放中立”的治理原则[J]. 改革, 2022(4): 55-67.
- [19] 赖雪梅, 聂佳佳. 风险规避对制造商电商平台销售模式选择的影响[J]. 管理工程学报, 2022, 36(4): 240-248.
- [20] 陈雪, 李波, 吴爽. 需求信息不对称下考虑风险规避制造商的供应链决策研究[J]. 管理工程学报, 2021, 35(6): 234-249.
- [21] 许明辉, 袁睢秋, 秦颖, 等. 基于委托代理理论的逆向供应链激励机制设计与回收模式选择[J]. 中国管理科学, 2025, 33(3): 297-313.
- [22] 蔡建湖, 蒋乐, 杨梦园, 等. 信息不对称下考虑风险规避的绿色供应链博弈模型[J/OL]. 系统工程理论与实践, 1-23. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20231211.1158.016.html>, 2024-10-12.
- [23] 冯楠, 程志文, 冯海洋, 等. 供给方准入限制下的工业互联网平台数据共享激励策略优化设计研究[J]. 管理评论, 2024, 36(7): 24-42.
- [24] 陈艳, 谢亚雯, 杜西津, 等. 基于声誉模型的多周期闭环供应链激励机制研究[J]. 系统科学学报, 2020, 28(2): 129-135.
- [25] 任雪杰, 梁艺馨, 赵林度. “共享+”模式下平台生态价值共创策略与激励机制[J]. 管理工程学报, 2025, 39(2): 248-261.