

数字服务化情景下考虑数据共享的 制造企业供应链定价决策

张洪强, 彭永涛

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年4月11日; 录用日期: 2025年4月25日; 发布日期: 2025年5月29日

摘 要

数字服务化转型背景下, 数据资源具有重构供应链权力结构的巨大潜力, 制造商与数字服务供应商数据共享以协同发展。基于此背景, 本文构建了不同权力结构下考虑数据共享的制造企业供应链博弈模型, 将传统供应商决策纳入模型, 分别在三种权力结构下, 探究供应链定价决策和数据共享决策。研究发现: 1) 数据共享效率是供应链决策分水岭, 低效共享引发技术退化与价格内卷, 高效共享促进技术革新。2) 企业数据价值转化能力的提升推动制造业由产品导向向智能产品服务系统转型, 构建“数据-技术-规模”的正向循环。3) 数据共享对供应链利润存在双刃剑效应: 高共享效率利好制造商与数字服务供应商, 但会挤压传统供应商利润空间, 低共享效率则与之相反。4) 供应链权力结构决定数据共享的收益分配格局-制造商主导时独占数据红利, 而权力对等时供应商则依托协同平台实现共赢。

关键词

数字服务化, 供应链定价决策, Stackelberg博弈, 数据共享策略

Supply Chain Pricing Decisions for Manufacturing Enterprises Incorporating Data Sharing in the Context of Digital Servitization

Hongqiang Zhang, Yongtao Peng

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 11th, 2025; accepted: Apr. 25th, 2025; published: May 29th, 2025

文章引用: 张洪强, 彭永涛. 数字服务化情景下考虑数据共享的制造企业供应链定价决策[J]. 电子商务评论, 2025, 14(5): 2810-2825. DOI: 10.12677/ec.2025.1451590

Abstract

Under digital servitization, data resources are reshaping supply chain power dynamics through collaborative data sharing between manufacturers and digital service providers. This study constructs a game-theoretic model incorporating traditional suppliers and analyzes pricing strategies and data-sharing mechanisms under three distinct power structures. Key findings reveal: 1) Data-sharing efficiency serves as a watershed for supply chain decisions—Low data-sharing efficiency triggers technological regression and price wars, while high efficiency drives innovation. 2) Improved data utilization accelerates the shift from product-centric models to intelligent service ecosystems, establishing a data-technology-scale virtuous cycle. 3) Data sharing exerts a double-edged sword effect on profits: High sharing benefits manufacturers/digital providers but harms traditional suppliers; low sharing reverses this effect. 4) Power structures determine benefit distribution—manufacturer-dominated scenarios enable data dividend monopolization, while balanced power dynamics facilitate win-win outcomes through collaborative platforms.

Keywords

Digital Servitization, Supply Chain Pricing Decision, Stackelberg Game, Data Sharing Decision

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

随着数字服务化成为制造企业的重要转型趋势, 众多制造商开始加强与数字服务供应商的合作, 共同为客户提供个性化、智能化的智能产品服务系统, 创造新的价值增长点[1] [2]。如小米开放智能家居设备的用户数据接口, 赋能合作制造企业优化产品设计。在这一过程中, 数字服务供应商通过收集分析数据了解产品使用情况, 洞察客户流程, 进一步优化数字服务, 最终以数据驱动的智能物联、预测诊断等个性化服务来为供应链创造竞争优势[3]。因此, 数据作为一种基础性和变革性资源, 已成为企业成功实现数字服务化并保持竞争力的关键[4] [5]。然而, 数据重要性的日益提高也要求企业增加有效协作, 但由于涉及多个参与者, 数据的分配与共享会在企业间合作中导致权力紧张关系产生[6]。因此, 有必要研究数字服务化趋势下数据共享对不同权力结构制造企业供应链成员定价决策的影响。

供应链成员的权力来自对关键生产资源的掌控。在数字服务化过程中, 数据作为一种新兴生产资源, 能够在制造企业产品优化、效率提升等方面发挥重要作用[7], 数据共享成为了各企业数字服务化发展的必然要求。然而新兴的数字服务供应商可以通过签定协议、技术垄断等控制策略来限制其他企业对特定数据的访问和使用, 逐步从辅助角色转变为主导角色。如华为通过云 IoT 平台对原始数据加密形成技术壁垒, 使数据“可用但不可控”。这一举措直接削弱了传统供应商的议价空间, 甚至倒逼制造商让渡部分决策权来换取红利。另一方面, 制造商希望通过整合上下游数据资源强化供应链主导地位, 如苹果通过 MFi 认证体系, 强制配件供应商共享产品使用数据, 并以此制定兼容性标准。在此背景下, 研究不同权力结构中制造企业供应链成员的数据共享策略、定价策略, 对供应链整体的高质量发展有着重要意义。

目前学者们对不同权力结构下的供应链决策问题已经进行了较为丰富和深入的研究。Nurhayati 等[8]的研究表明企业可以通过行使权力来影响供应链决策, 并进一步提出了权力结构与供应链成员决策间相互作用的概念框架。随着企业服务化转型的推进, 学者们聚焦于产品服务供应链, 主要关注产品服务供应链中的定价决策[9]与服务水平选择[10]、契约设计[11]和服务渠道选择[12]等问题。此外, 也有学者开始关注数据资源及其相关策略在产品服务供应链决策中的重要作用, 但此类研究仅考虑了服务供应商与制造商之间的权力关系及决策问题, 忽视了传统供应商在供应链中的重要影响。数字服务化的发展要求供应链中多主体的资源互补和技术协同[13], 因此, 亟需通过构建数字服务化情景下, 同时包含传统供应商和数字服务供应商的制造企业供应链模型来探讨供应链新成员对权力结构和成员决策的影响。

数据资源在制造企业数字服务化转型中的重要性不断提高, 成为供应链管理领域的研究热点[14]。企业通过分析、存储和使用数据资源可以分析洞察客户需求, 提升产品与服务质量, 增加企业收益。与此相近的研究为供应链中的需求信息共享问题, 当前研究主要探讨了产品供应链中需求信息是否共享[15]的情形。官子力[16]将需求信息共享引入产品服务供应链中, 而 Wang 等[17]则在服务供应链中考虑了数据资源价值。夏良杰等[18]在信息不对称情况下研究了考虑持股的不同权力结构供应链定价策略, 邢青松等[19]在数据共享困境下设计了平台消费者数据共享激励契约。以上研究仅将需求信息共享看作供应链决策的因素, 没有探讨数据资源本身具有的经济价值在共享过程中对制造企业供应链成员决策的影响。

综上所述, 现有关于数据共享策略和不同权力结构供应链决策的研究已较为丰富, 但仍具有研究空白之处。当前研究多在传统供应链和产品服务供应链中探讨需求信息共享对供应链决策的影响, 且研究对象多聚焦于服务提供商和制造商, 缺少对数据共享策略如何影响传统供应商决策的探讨。此外, 现有文献只是将数据共享看作影响供应链决策的因素, 数据资源本身经济价值在共享过程中对定价决策的影响尚未得到充分研究。鉴于此, 本文在数字服务化情景下, 将数据共享策略引入到制造企业供应链中, 构建了制造商主导、供应商主导和权力均等三种情形下的制造企业供应链 Stackelberg 博弈模型, 探讨制造商与供应商在不同权力结构下考虑数据共享时的最优定价决策, 为制造企业在数字服务化浪潮中的数据共享决策和运营管理提供理论建议。

2. 问题描述与模型构建

2.1. 问题描述

随着数字服务供应商深度参与制造业供应链, 传统的权力结构面临根本性重构。如华为与赛力斯合作, 由赛力斯负责车辆的开发、生产制造, 华为提供包括芯片和智能驾驶算法的全栈智能解决方案, 构建数字技术与制造深度协同的分工结构, 快速提升新能源汽车产品竞争力。在数字服务化转型进程中, 数据共享成为提升供应链效率的核心驱动力, 但其价值实现高度依赖于参与方的决策协调机制。供应商与制造商都可以利用调整数据共享策略来改变自身权力地位。现有研究未能揭示数字服务化进程中权力结构与数据共享协同对制造企业供应链成员定价决策的交互影响。

本文考虑了由一个传统供应商、一个数字服务供应商和一个制造商构成的制造企业供应链。传统供应商以 w_t 的价格为制造商提供成本为 c 的零部件; 数字服务供应商以 w_d 的价格为制造商提供数字服务, 如产品系统改造、附加功能拓展等; 制造商根据需要将零部件和数字服务整合为智能综合解决方案, 并以 p 的价格向客户出售。为不失一般性, $c < w_t$, $w_t + w_d < p$ 。数字服务化的发展要求供应链成员必须持续改进产品和服务, 因此数字服务供应商通常会将采集到的客户使用数据与制造商共享。为保持竞争力和供应链权力地位, 传统供应商选择进行产品创新。该供应链结构如图 1 所示。

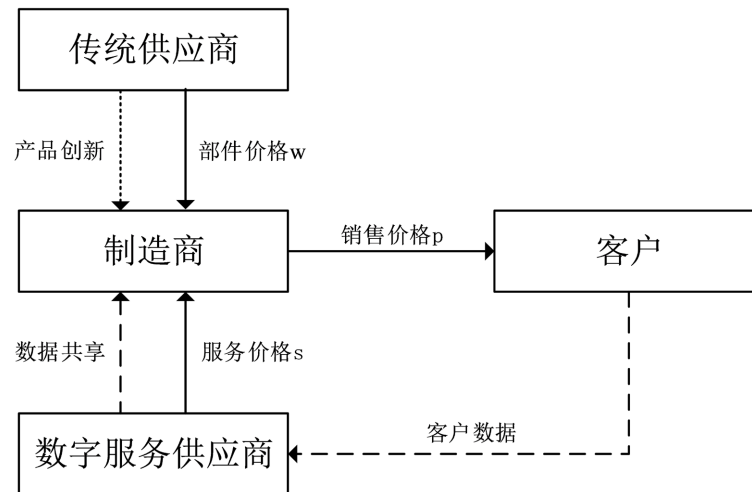


Figure 1. Supply chain structure diagram
图 1. 供应链结构图

2.2. 模型分析

在方便分析且不影响一般性的情况下, 对模型做出如下假设:

假设 1: 产品的市场需求除了受价格影响, 还会受到数字服务供应商提供的数字服务水平以及传统供应商产品创新的影响。参照类似研究[2][20], 智能产品服务系统的市场需求函数为: $D = \alpha - bp + \theta e + \lambda s$ 。其中 α 为市场规模, b 为价格敏感系数, θ 为产品创新效用, e 为产品创新水平, λ 为客户对智能产品服务系统的数字服务水平敏感系数, s 为智能产品服务系统的数字服务水平。

假设 2: 参考 Wang [21] 和刘威[2]对数据共享成本的刻画, 假设数字服务供应商进行数据共享的成本为 $\eta\gamma D$ 。其中 η 为数字服务供应商数据共享的成本系数, γ ($0 < \gamma < 1$) 为服务提供商的数据共享程度。

假设 3: 参考冯庆华[12]对服务水平成本的研究, 假设数字服务成本是数字服务水平的增函数, 数字服务成本函数为 $\frac{\mu s^2}{2}$ 。 μ 为数字服务成本系数。

假设 4: 根据 Correani [22]的研究, 制造商与服务提供商均具有将数据资源转换为信息价值的能力, 分别为 k_m 和 k_d , 则数据资源共享过程中制造商与服务提供商获得的信息价值分别为 $k_m D$ 和 $k_d D$ 。

基于以上假设, 对供应链成员的利润函数进行建模: 制造商利润为 $\pi_m = (p - w_t - w_d)D + k_m \gamma D$, 传统供应商利润为 $\pi_t = (w_t - c)D - \frac{\theta e^2}{2}$, 数字服务供应商利润为 $\pi_d = w_d D + k_d D - \eta \gamma D - \frac{\mu s^2}{2} - F_d$ 。

本文涉及的主要符号及其含义如表 1 所示:

Table 1. Description of related symbols

表 1. 相关符号说明

符号	含义
SS	供应商主导
MS	制造商主导
α	市场规模
b	价格敏感系数
e	产品创新水平
s	数字服务水平
γ	数据共享程度, $0 < \gamma < 1$
k_i	数据价值转化系数, $i = m, d$

续表

θ	产品创新效用	c	单位零部件生产成本
λ	数字服务水平敏感系数	w_t	单位零部件批发价格, $w_t > c$
μ	数字服务成本系数	w_d	单位数字服务批发价格
η	数据共享成本系数	p	单位产品销售价格, $p > w_t + w_d$
φ	产品创新成本系数	π_i	利润函数, $i = m, d, t$
F_d	数据挖掘固定成本		

3. 模型构建与分析

3.1. 供应商主导模型(SS)

当供应商主导时, 先由数字服务供应商先确定其批发价格数字服务价格 w_d 和数字服务水平 s , 传统供应商决定零部件价格 w_t 和产品创新水平 e , 随后制造商决定销售价格 p 。采用逆序法求解分析。

命题 1: 在供应商主导时, 市场需求、制造商、传统供应商和数字服务供应商的最优决策和最优利润分别为:

$$\begin{aligned}
 D^{SS} &= \frac{b\mu\phi(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)}{-(\theta^2\mu + \lambda^2\phi - 6b\mu\phi)} \\
 p^{SS} &= \frac{(c + \gamma\eta)\theta^2\mu + (c + \gamma\eta)\lambda^2\phi - (5\alpha + b(c + \gamma\eta))\mu\phi - (\theta^2\mu + (\lambda^2 - b\mu)\phi)(k_d + \gamma k_m)}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi} \\
 w_d^{SS} &= \frac{\gamma\eta\theta^2\mu + \gamma\eta\lambda^2\phi - 2(-bc + \alpha + 2b\gamma\eta)\mu\phi - (\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi)k_d - 2b\gamma\mu\phi k_m}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi} \\
 w_t^{SS} &= \frac{c\theta^2\mu + c\lambda^2\phi - 2(2bc + \alpha - b\gamma\eta)\mu\phi - 2b\mu\phi(k_d + \gamma k_m)}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi} \\
 s^{SS} &= \frac{\lambda\phi(-\alpha + b(c + \gamma\eta) - b(k_d + \gamma k_m))}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi} \\
 e^{SS} &= \frac{\theta\mu(-\alpha + b(c + \gamma\eta) - b(k_d + \gamma k_m))}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi} \\
 \pi_m^{SS} &= \frac{b\mu^2\phi^2(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi)^2} \\
 \pi_d^{SS} &= -\frac{\mu(\lambda^2 - 4b\mu)\phi^2(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{2(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi)^2} - F_d \\
 \pi_t^{SS} &= \frac{\mu^2(\theta^2\lambda - 4b\phi^2)(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{2(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi)^2}
 \end{aligned}$$

为保证均衡解存在, 需满足: $0 < \eta < \frac{\alpha - bc - (bk_d + b\gamma k_m)}{b\gamma}$, $\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi < 0$ 。

证明: 首先对制造商利润函数求导, 得到制造商的最优销售价格 p : $p = \frac{\alpha + e\theta + s\lambda + b(-\gamma k_m + w_d + w_t)}{2b}$ 。
 将结果代入供应商利润函数并求导, 得到传统制造商的最优价格 w_t 、创新水平 e , 数字服务供应商的价格 w_d 和数字服务水平 s : $w_t = \frac{bc + \alpha + e\theta + s\lambda + b\gamma k_m - bw_d}{2b}$ 、 $e = \frac{\theta(-c + w_t)}{2\phi}$ 、
 $w_d = \frac{\alpha + b\gamma\eta + e\theta + s\lambda - b(k_d - \gamma k_m + w_t)}{2b}$ 、 $s = \frac{\lambda(-\gamma\eta + k_d + w_d)}{2\mu}$ 。将结果联立求解得到:
 $w_t = \frac{c\theta^2 \mu + c\lambda^2 \phi - 2(2bc + \alpha - b\gamma\eta)\mu\phi - 2b\mu\phi(k_d + \gamma k_m)}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 、 $e = \frac{\theta\mu(-\alpha + b(c + \gamma\eta) - b(k_d + \gamma k_m))}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 、
 $w_d = \frac{\gamma\eta\theta^2 \mu + \gamma\eta\lambda^2 \phi - 2(-bc + \alpha + 2b\gamma\eta)\mu\phi - (\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi)k_d - 2b\gamma\mu\phi k_m}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 、
 $s = \frac{\lambda\phi(-\alpha + b(c + \gamma\eta) - b(k_d + \gamma k_m))}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 。将结果代入制造商最优销售价格 p , 得到:
 $p = \frac{(c + \gamma\eta)\theta^2 \mu + (c + \gamma\eta)\lambda^2 \phi - (5\alpha + b(c + \gamma\eta))\mu\phi - (\theta^2 \mu + (\lambda^2 - b\mu)\phi)(k_d + \gamma k_m)}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$

将 p 、 w_t 、 e 、 w_d 、 s 代入市场需求、制造商利润函数、传统供应商利润函数、数字服务供应商利润函数, 得到:

$$D = \frac{b\mu\phi(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)}{-(\theta^2 \mu + \lambda^2 \phi - 6b\mu\phi)}$$

$$\pi_m = \frac{b\mu^2 \phi^2 (\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{(\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi)^2}$$

$$\pi_t = \frac{\mu^2 (\theta^2 \lambda - 4b\phi^2) (\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{2(\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi)^2}$$

$$\pi_d = -\frac{\mu(\lambda^2 - 4b\mu)\phi^2 (\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{2(\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi)^2} - F_d$$

命题 1 得证。

3.2. 制造商主导模型(MS)

当制造商主导时, 制造商先决定销售价格 p , 然后数字服务供应商根据制造商的定价决策决定数字服务价格 w_d , 传统供应商决定零部件价格 w_t 。采用逆序法求解分析。

命题 2: 在制造商主导时, 制造商、传统供应商和数字服务供应商的最优决策和最优利润分别为:

$$D^{MS} = -\frac{b\mu\phi(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)}{2(\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)}$$

$$\begin{aligned}
p^{MS} &= \frac{-((\alpha + b(c + \gamma\eta))\theta^2\mu) + (-((\alpha + b(c + \gamma\eta))\lambda^2) + b(5\alpha + b(c + \gamma\eta))\mu)\phi + b(\theta^2\mu + (\lambda^2 - b\mu)\phi)(k_d + \gamma k_m)}{2b(-\theta^2\mu - \lambda^2\phi + 3b\mu\phi)} \\
w_d^{MS} &= \frac{(bc - \alpha)\mu\phi + \gamma\eta(2\theta^2\mu + 2\lambda^2\phi - 5b\mu\phi) + (-2\theta^2\mu - 2\lambda^2\phi + 5b\mu\phi)k_d - b\gamma\mu\phi k_m}{2(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)} \\
w_t^{MS} &= \frac{2c\theta^2\mu + (2c\lambda^2 - 5bc\mu - \alpha\mu + b\gamma\eta\mu)\phi - b\mu\phi(k_d + \gamma k_m)}{2(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)} \\
s^{MS} &= \frac{\lambda\phi(-\alpha + b(c + \gamma\eta) - b(k_d + \gamma k_m))}{2(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)} \\
e^{MS} &= \frac{\theta\mu(-\alpha + b(c + \gamma\eta) - b(k_d + \gamma k_m))}{2(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)} \\
\pi_m^{MS} &= -\frac{\mu\phi(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{4(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)} \\
\pi_d^{MS} &= -\frac{\mu(\lambda^2 - 2b\mu)\phi^2(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{8(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)^2} - F_d \\
\pi_t^{MS} &= \frac{\mu^2\phi(-\theta^2 + 2b\phi)(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{8(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)^2}
\end{aligned}$$

为保证均衡解存在, 需满足: $0 < \eta < \frac{\alpha - bc - (bk_d + b\gamma k_m)}{b\gamma}$, $\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi < 0$ 。同样采用逆序求解法, 证明过程同命题 1。

3.3. 各方权力均等模型(VN)

本部分考虑传统供应商、数字服务供应商和制造商三者权力均等时的情形。三者同时进行决策, 传统供应商决定最优零部件批发价格 w_t 和产品创新水平 e , 数字服务供应商决定最优数字服务价格 w_d 和最优数字服务水平 s , 制造商决定最优销售价格 p 。

命题 3: 在三者权利均等时, 市场需求和供应链成员各自的最优决策和最优利润为:

$$\begin{aligned}
D^{VN} &= \frac{b\mu\phi(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)}{-\theta^2\mu - \lambda^2\phi + 4b\mu\phi} \\
p^{VN} &= \frac{(c + \gamma\eta)\theta^2\mu + (c + \gamma\eta)\lambda^2\phi - (3\alpha + b(c + \gamma\eta))\mu\phi - (\theta^2\mu + (\lambda^2 - b\mu)\phi)(k_d + \gamma k_m)}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi} \\
w_d^{VN} &= \frac{(bc - \alpha)\mu\phi + \gamma\eta(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi) - (\theta^2\mu + (\lambda^2 - 3b\mu)\phi)k_d - b\gamma\mu\phi k_m}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
w_t^{VN} &= \frac{c\theta^2\mu + (-\alpha\mu + b\gamma\eta\mu + c(\lambda^2 - 3b\mu))\phi - b\mu\phi(k_d + \gamma k_m)}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi} \\
s^{VN} &= \frac{\lambda\phi(-\alpha + b(c + \gamma\eta) - b(k_d + \gamma k_m))}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi} \\
e^{VN} &= \frac{\theta\mu(-\alpha + b(c + \gamma\eta) - b(k_d + \gamma k_m))}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi} \\
\pi_m^{VN} &= \frac{b\mu^2\phi^2(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi)^2} \\
\pi_d^{VN} &= -\frac{\mu(\lambda^2 - 2b\mu)\phi^2(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{2(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi)^2} - F_d \\
\pi_t^{VN} &= \frac{\mu^2\phi(-\theta^2 + 2b\phi)(\alpha - b(c + \gamma\eta) + bk_d + b\gamma k_m)^2}{2(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi)^2}
\end{aligned}$$

为保证均衡解存在, 需满足: $0 < \eta < \frac{\alpha - bc - (bk_d + b\gamma k_m)}{b\gamma}$, $\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi < 0$ 。证明过程同命题 1。

3.4. 结果分析

推论 1: 无论何种供应链权力结构, 数字服务供应商的数字服务价格 w_d 都与其数据共享程度 λ 成正比。数据共享程度 γ 越高, 数字服务价格 w_d 越贵。

证明: 以供应商主导时为例。对数字服务供应商的最优数字服务价格 w_d 求关于数据共享程度 γ 的一阶偏导可得: $\frac{\partial w_d^{SS}}{\partial \gamma} = \frac{\eta\theta^2\mu + \eta(\lambda^2 - 4b\mu)\phi - 2b\mu\phi k_m}{\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 。由均衡解存在的条件可知 $\theta^2\mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi < 0$, 即分母小于零。又因为 $\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi < 0$ 且 b, μ, ϕ, k_m 均大于零, 所以 $\eta(\theta^2\mu + (\lambda^2 - 4b\mu)\phi) - 2b\mu\phi k_m < 0$, 即分子小于零。因此 $\frac{\partial w_d^{SS}}{\partial \gamma} > 0$ 。制造商主导情况和权力均等情况采用同样方法, 推论 1 得证。

推论 1 表明, 无论供应链由谁主导, 数据共享程度越高, 数字服务供应商倾向于提高向制造商销售的数字服务的价格。从成本来看, 数据共享程度的提高要求数字服务供应商投入更多的资源用于数据整合和安全维护, 如跨平台接口开发和防范数据泄露风险等, 进而导致边际运营成本上升。因此数字服务供应商需要通过提高数字服务价格来覆盖这些增量成本, 维持竞争优势。同时, 数据共享程度的提高可以使数字服务供应商能够整合供应链数据, 开发高附加值服务, 如预测性故障诊断等, 形成技术壁垒并增强其数字服务的不可替代性, 进而强化制造商对它的依赖性。数字服务供应商通过提高数据共享程度, 可以进一步巩固议价权。因此, 数据共享程度的加深伴随着数字服务供应商将数据资源转化为定价主导权的过程, 再次证明数据共享在制造企业数字服务化进程中的重要地位。

推论 2: 制造商价格 p 、传统供应商零部件价格 w_t 、产品创新水平 e , 数字服务供应商数字服务水平 s 与数据共享程度 γ 的关系主要受 η 和 k_m 的共同影响。

① 当 $\eta > k_m$ 时, p 、 w_t 、 e 、 s 随数据共享程度 γ 的提高而降低。

② 当 $\eta < k_m$ 时, p 、 w_t 、 e 、 s 随数据共享程度 γ 的提高而提高。

证明: 以供应商主导时为例。分别对 p 、 w_t 、 e 、 s 求关于数据共享程度 γ 的一阶偏导, 并判断其大小。

可以得到: $\frac{\partial p^{ss}}{\partial \gamma} = \frac{(\theta^2 \mu + (\lambda^2 - b\mu)\phi)(\eta - k_m)}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 、 $\frac{\partial w_t^{ss}}{\partial \gamma} = \frac{2b\mu\phi(\eta - k_m)}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 、 $\frac{\partial e^{ss}}{\partial \gamma} = \frac{b\theta\mu(\eta - k_m)}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 、 $\frac{\partial s^{ss}}{\partial \gamma} = \frac{b\lambda\phi(\eta - k_m)}{\theta^2 \mu + (\lambda^2 - 6b\mu)\phi}$ 。引入一个新的参量 $\frac{k_m}{\eta}$ 表示数据共享效率。由均衡解存在的条件易知: 当 $\frac{k_m}{\eta} < 1$

时, $\frac{\partial p^{ss}}{\partial \gamma} < 0$ 、 $\frac{\partial w_t^{ss}}{\partial \gamma} < 0$ 、 $\frac{\partial e^{ss}}{\partial \gamma} < 0$ 、 $\frac{\partial s^{ss}}{\partial \gamma} < 0$ 。当 $\frac{k_m}{\eta} > 1$ 时, $\frac{\partial p^{ss}}{\partial \gamma} > 0$ 、 $\frac{\partial w_t^{ss}}{\partial \gamma} > 0$ 、 $\frac{\partial e^{ss}}{\partial \gamma} > 0$ 、 $\frac{\partial s^{ss}}{\partial \gamma} > 0$ 。

推论 2 得证。

推论 2 说明, 数据资源价值转化系数代表着主体具有的数据资源利用能力。

① 当数据共享效率较低时, 制造商数据资源利用能力较弱, 数字服务供应商的数据共享边际成本高于制造商的数据资源价值转化系数。随着数据共享程度 γ 的加深, 数字服务供应商无法通过制造商对数据的有效利用补偿成本, 为规避亏损, 数字服务供应商被迫降低数字服务水平 s 。这一举措降低了传统供应商零部件的技术要求, 从“数据驱动智能组件”退化为“标准化通用零件”, 传统供应商为适应产品技术需求变化, 选择减少产品创新水平 e , 并通过降价争夺有限订单。而制造商较弱的数字资源利用能力, 使其即便获得更多数据, 也不能高效充分地整合上游零部件与数字服务, 无法有效促进市场需求的增长, 制造商迫于压力通过降价刺激销量以维持市场份额。

② 当数据共享效率较高时, 制造商数据资源利用能力较强。数字服务供应商的数据共享边际成本低于制造商的数据资源价值转化系数。数字服务供应商为加强制造商依赖并支撑数据共享程度 γ 的加深, 需要持续提升数字服务水平 s 。数字服务水平的提高倒逼传统供应商升级技术如研发新材料、扩展硬件数据接口功能, 因此传统供应商需要提高产品创新水平 e , 并提高零部件售价 w_t 来覆盖增量成本。面对零部件价格和数字服务价格的同步上涨, 制造商通过提高最终解决方案售价 p 来保证利润。由推论 2 可知, 数据共享效率是供应链数据策略的核心指标, 数据共享的高效价值转换有利于制造企业供应链的协同强化。

4. 数值仿真

4.1. 算例分析

借鉴文献[2] [20]中的数据, 在模型假设的基础上, 令 $\alpha = 4$, $b = 1.2$, $c = 0.2$, $\theta = 0.6$, $\lambda = 0.5$, $k_d = 1$, $\varphi = 0.8$, $\mu = 0.7$, $\gamma = 0.8$, $F_d = 1$ 。此外, 分别设 $k_m = 1.4$ 、 $\eta = 0.8$ 和 $k_m = 0.8$ 、 $\eta = 1.4$ 来分别计算 $k_m > \eta$ 和 $k_m < \eta$ 两种情况下的结果。得到结果见表 2 和表 3。

Table 2. Decision-making results under different decision-making models when $k_m > \eta$

表 2. $k_m > \eta$ 时不同决策模型下决策结果

$k_m > \eta$	p	w_d	w_t	s	e	π_m	π_d	π_t
供应商主导	3.0498	1.3719	1.9319	0.6185	0.6495	0.8999	0.6658	1.6310
制造商主导	3.0089	0.6311	1.1911	0.7079	0.7433	2.7434	0.0033	0.9577
权力均等	2.8794	1.0265	1.5865	0.9903	1.0399	2.3068	0.9635	1.8743

Table 3. Decision-making results under different decision-making models when $k_m < \eta$ **表 3.** $k_m < \eta$ 时不同决策模型下决策结果

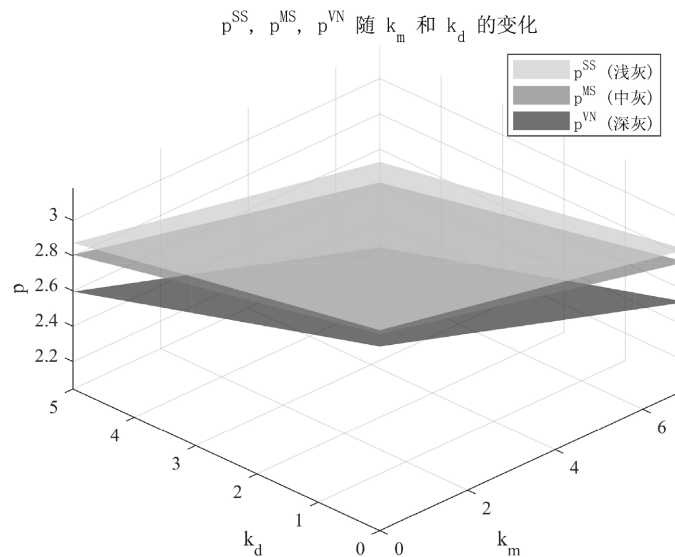
$k_m < \eta$	p	w_d	w_t	s	e	π_m	π_d	π_t
供应商主导	3.1088	1.4915	1.5715	0.4898	0.5143	0.5643	0.0447	1.0228
制造商主导	3.0764	0.9049	0.9849	0.5606	0.5886	1.7204	0.0027	0.6006
权力均等	2.9739	1.2180	1.2980	0.7843	0.8235	1.4466	0.2314	1.1754

4.2. 敏感度分析

本部分主要对数据价值转化系数 k_i 和数据共享程度 γ 进行影响分析。在保持其它参数不变的情况下, 参考[18], 取 $0 < k_m < 7$, $0 < k_d < 5$ 。

4.2.1. 数据价值转化系数 k_i 的影响

图 2 和图 3 分别表示了数据价值转化系数 k_i 对智能产品服务系统销售价格 p 和供应商成员利润 π 的影响:

**Figure 2.** The influence of k_i on the sales price p **图 2.** k_i 对销售价格 p 的影响

由图 2 可以看出, 随着制造商和数字服务供应商数据价值转化系数 k_m 和 k_d 的提升, 智能产品服务系统的销售价格 p 都呈现下降趋势。数据转换价值系数的提高代表着二者在利用数据创造附加价值方面更为高效, 企业可以借助数据运营、精准营销、远程监控、预测性维护等手段, 获取额外收益。这意味着传统单一依赖产品销售获得利润的模式正在转变, 企业更倾向于利用数据服务产生溢出效应, 从而降低对产品销售价格的依赖。同时, 数据能力的提升使得企业能够更准确地预测需求、优化生产计划和物流管理, 从而降低边际成本。当边际成本降低时, 企业可能主动压低销售价格 p , 占领更大市场份额或形成规模效应, 在智能产品服务系统中, 用户规模往往与数据量直接相关, 数据量的提升能够进一步增强企业数字服务能力和后续创新。企业通过规模效应反哺技术升级和数据运营, 使得整体形成良性循环。

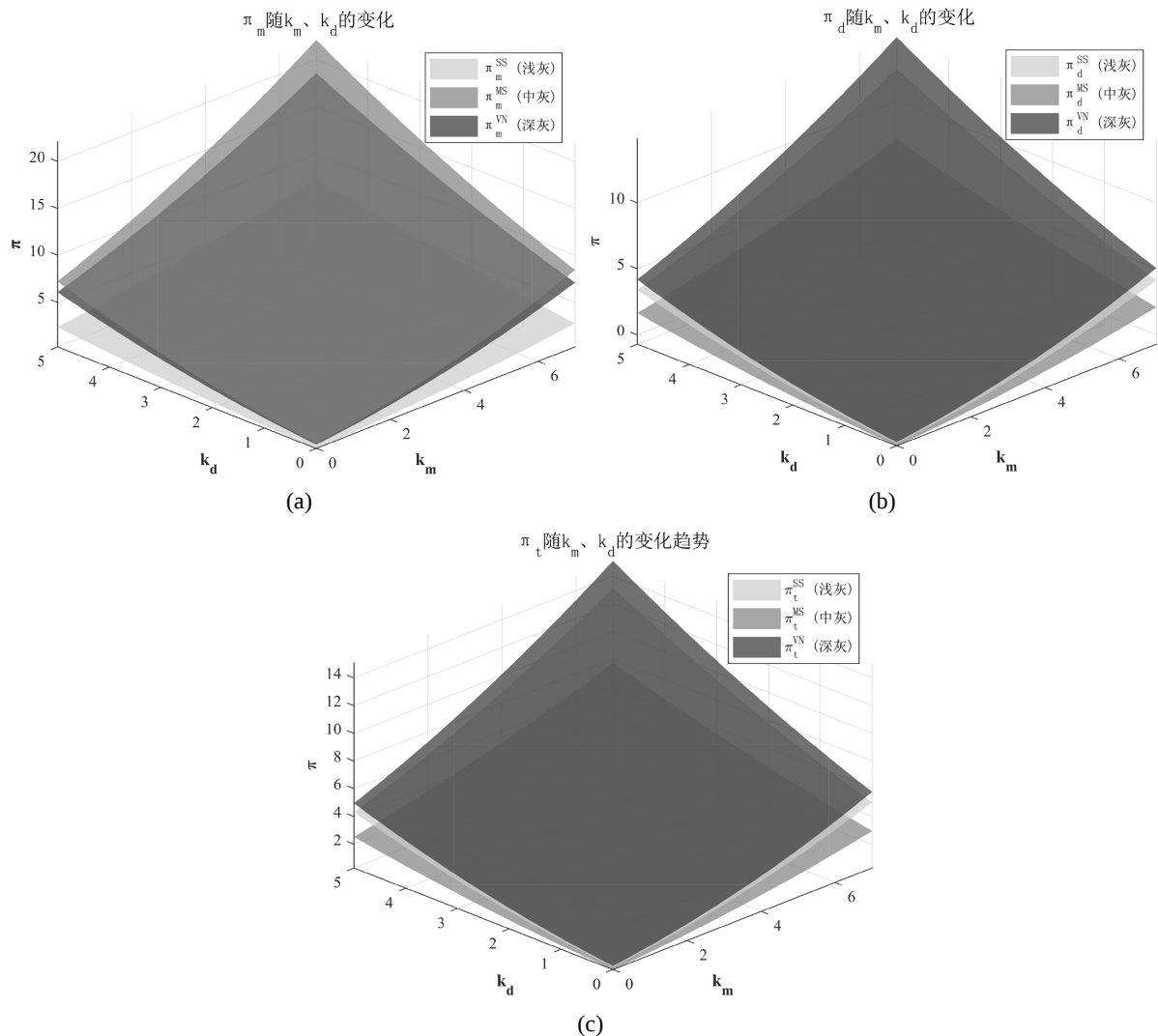


Figure 3. The impact of k_i on the profit π of supply chain members. (a) Manufacturer's profit; (b) Profits of digital service providers; (c) Profits of traditional suppliers

图 3. k_i 对供应链成员利润 π 的影响。(a) 制造商利润; (b) 数字服务供应商利润; (c) 传统供应商利润

由图 3 可以看出, 无论是制造商利润 π_m 还是供应商利润 π_d 和 π_t , 都随着数据价值转化系数 k_m 和 k_d 的提升而增加。这表明数据价值的提升能够增强整个供应链的利润空间。 k_m 代表制造商利用数据优化生产、改进产品设计和市场预测的能力, 而 k_d 代表供应商利用数据优化供应链管理、提升服务质量和运营效率的能力。当制造商和供应商的数据价值转化能力提升时, 意味着供应链各环节的信息传递和资源配置更加高效, 从而减少成本、优化供需匹配、提升整体运营效率。此外, 在不同的供应链权力结构下, 尽管利润的分配比例可能有所不同, 但整体来看, 数据价值转化能力的提升仍能推动供应链上下游的协同增值。因此, 加强数据的获取、分析和利用能力, 对供应链中的各方而言, 都是提升竞争力和利润水平的重要途径。

4.2.2. 数据共享程度 γ 的影响

(1) 当 $k_m > \eta$ 时, γ 对供应链成员利润的影响:

由图 4 可知, 当 $k_m > \eta$ 时, 制造商和数字服务供应商利润随数据共享程度 γ 的增加而提高, 传统供

应商的利润随数据共享程度 γ 的增加而降低。这是由于制造商的数据价值转化能力较高而数据共享成本较低时, 制造商和数字服务供应商能够更有效地利用数据优化供应链, 增强需求预测能力, 从而提高自身利润。而对于传统供应商, 随着数据共享程度增加, 制造商对供应链的控制力增强, 可能压低供应商的议价空间, 甚至减少对传统供应商的依赖, 使其利润受到挤压。

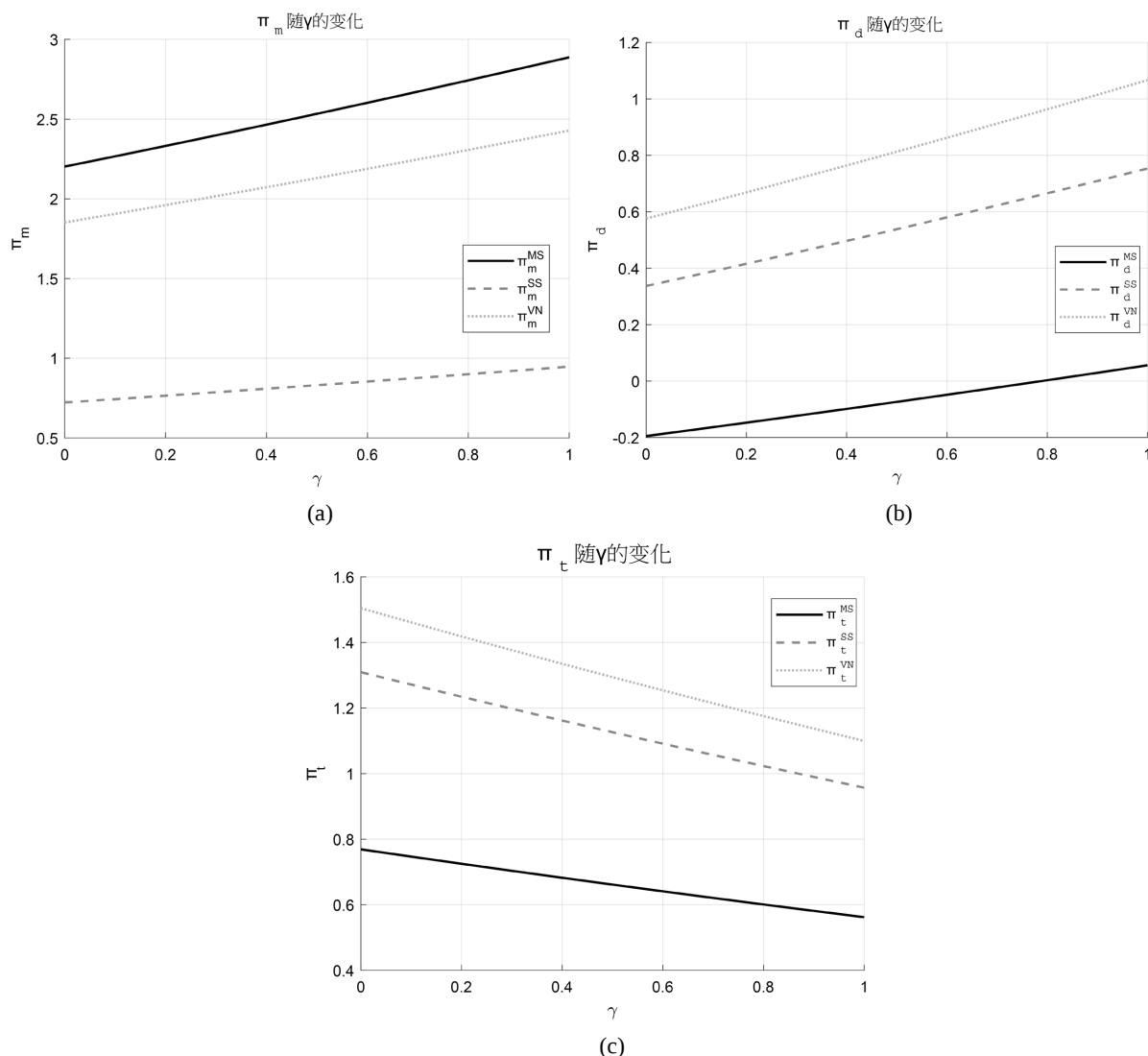


Figure 4. The impact of γ on the profit of supply chain members when $k_m > \eta$. (a) Manufacturer's profit; (b) Profits of digital service providers; (c) Profits of traditional suppliers

图 4. 当 $k_m > \eta$ 时, γ 对供应链成员利润的影响。(a) 制造商利润; (b) 数字服务供应商利润; (c) 传统供应商利润

(2) 当 $k_m < \eta$ 时, γ 对供应链成员利润的影响

由图 5 可知, 当 $k_m < \eta$ 时, 制造商和数字服务供应商利润随数据共享程度 γ 的增加而降低, 传统供应商的利润随数据共享程度 γ 的增加而提高。这是由于当制造商的数据价值转化能力较低时, 数据共享虽然增加了信息流通和供应链透明度, 但同时也带来了更高的信息处理成本和竞争压力。原本通过数据共享优势获得高溢价的制造商和数字服务供应商需要投入更多资源进行数据整合和安全保障, 导致额外成本上升。相比之下, 传统供应商通过数据共享可以获得更为完整的市场信息和供应链动态, 从而改善

自身的议价能力和经营策略, 最终实现利润提升。这表明, 数据共享并非在所有情形下都能简单地转化为利润增长, 其效果依赖于各方在数据利用、成本分担和信息控制等方面的具体条件和能力。

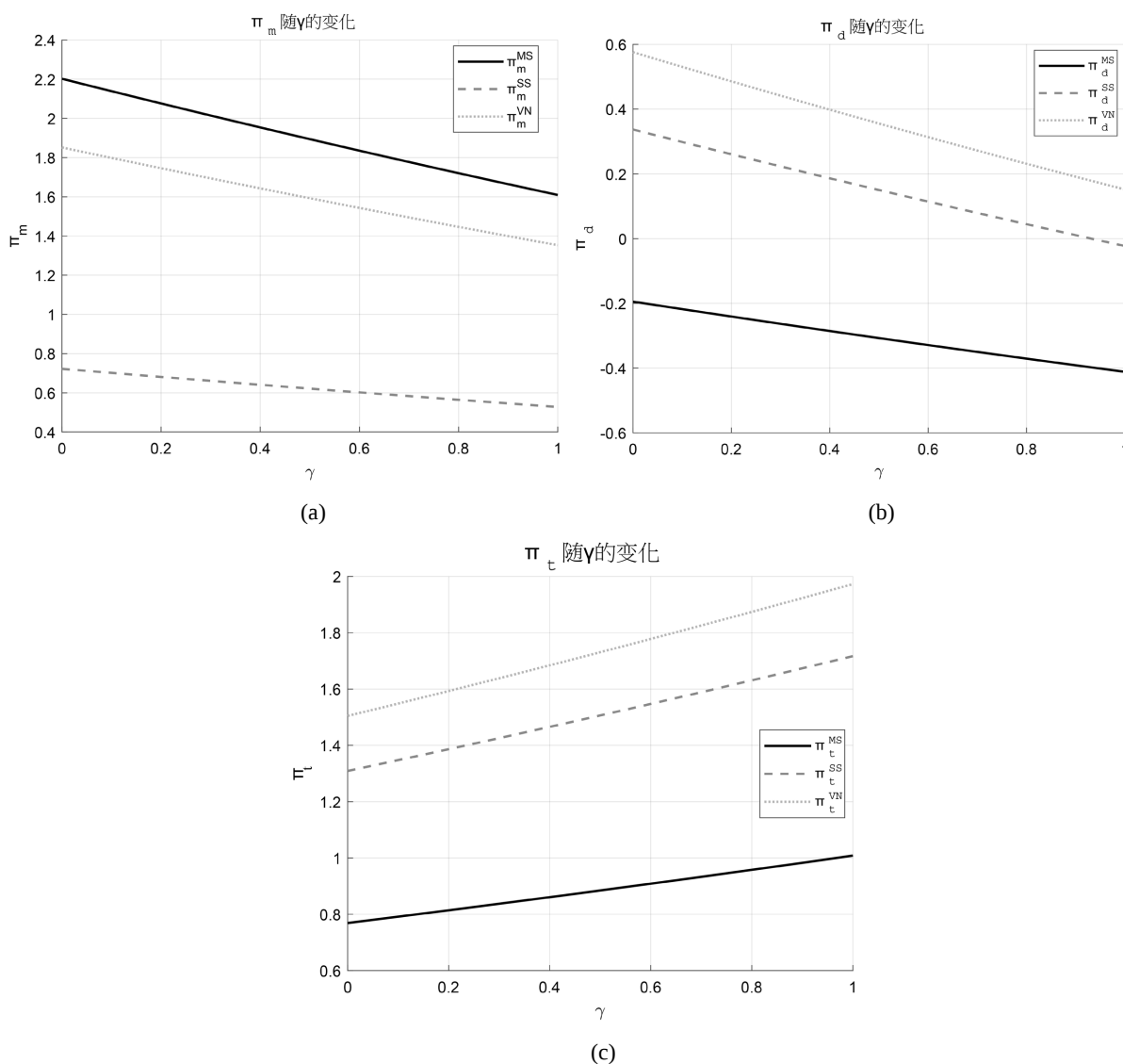


Figure 5. The impact of γ on the profit of supply chain members when $k_m < \eta$. (a) Manufacturer's profit; (b) Profits of digital service providers; (c) Profits of traditional suppliers

图 5. 当 $km < \eta$ 时, γ 对供应链成员利润的影响。(a) 制造商利润; (b) 数字服务供应商利润; (c) 传统供应商利润

结合图 4 和图 5 可知, 制造商总是在制造商主导时利润最高, 供应商主导时最低; 两个供应商在权力均等时利润最高, 在制造商主导时利润最低。这表明制造商在主导供应链时能够最大化利用数据共享带来的收益, 因此其利润最高, 而在供应商主导时, 制造商失去数据决策权, 利润最低。对于两个供应商而言, 权力均等的情况下, 他们的竞争相对公平, 可能形成一定的合作或均衡, 使利润达到最大化; 而在制造商主导时, 供应商往往处于弱势, 被迫接受较低的采购价格或更严格的合同条款, 利润最为不利。如亚马逊等平台掌握供应链数据后削弱供应商利润, 而数字化制造的推进亦提升了制造商的市场控制力, 使供应商面临更大的生存压力。

5. 结论与启示

数字服务化是当前制造企业转型的主要方向, 新兴数字服务供应商开始加入传统的制造企业供应链。在此情景下, 构建了由制造商和数字服务供应商、传统供应商组成的制造企业供应链定价决策模型, 分别分析了制造商主导(MS)、供应商主导(SS)及权力均等(VN)三种情形下的供应链最优定价决策, 并通过数值仿真对模型进行了进一步验证。研究发现:

5.1. 研究结论

(1) 数据共享的效率是供应链决策的“分水岭”。低效共享将导致技术退化和价格内卷, 高效共享推动技术升级与高附加值服务。当数据共享效率较低时, 数字服务供应商因共享成本过高被迫降低服务水平和价格, 传统供应商随之减少创新投入并降价竞争, 引发供应链技术退化和价格战。反之, 数字服务供应商需提升服务水平以支撑数据共享深化, 倒逼传统供应商技术升级。制造商同步提高销售售价以维持利润, 形成数据驱动的高附加值协同模式。

(2) 数据共享主体的数据价值转化能力驱动企业从“卖产品”向“智能产品服务系统”转型。数据价值转化能力的提升可以降低制造企业对产品销售价格的依赖, 转而通过利用共享数据开发数字服务来获取额外收益。高数据价值转化能力使制造企业优化成本、扩大规模, 并通过低价策略抢占市场, 形成“数据→技术→规模”的良性循环。

(3) 数据共享对制造企业利润并非总是促进和共赢, 取决于数据共享效率的高低。当数据共享效率较高时, 数据共享强化制造商与数字服务供应商的协同收益, 但挤压传统供应商利润。而当数据共享效率较低时, 数据共享导致制造商和数字服务供应商成本上升、利润下降, 传统供应商则因其零部件产品创新而利润提升。

(4) 在供应链权力高度集中于制造商时, 其利用需求预测、动态定价等策略最大化利用数据共享带来的收益; 而供应商被迫接受采购压价、风险转嫁等不平等条款, 导致利润空间被挤压。当供应链权力对等时, 供应商可通过构建数据协同平台、联合谈判等机制制衡制造商, 形成一定的合作与均衡, 实现双方利润提升。

5.2. 管理启示

(1) 制造企业供应链整体应构建高效数据共享体系。如通过统一 API 协议打通上下游系统, 提升数据共享效率; 成立跨企业数据委员会, 明确数据权属分离原则, 主导企业开放需求预测数据换取供应商工艺数据反哺, 避免因权责不清导致的协作僵化; 同时扩展数据资产化网络, 发展设备数据保险等衍生服务。

(2) 制造商应将数据服务价值嵌入定价体系, 形成“硬件 + 服务”复合收益模式, 将一次性交易转化为持续性数字服务收益, 推动商业逻辑从产品交付向智能产品服务系统升级。同时, 建立数据治理委员会统筹内外部数据资产, 实现工业知识与数据算法的融合创新。此外, 制造商需设计风险对冲机制, 如与传统供应商签订“数据共享 - 创新投入”对赌协议, 以稳定采购承诺换取技术升级, 平衡短期成本与长期竞争力。

(3) 数字服务供应商应突破工具提供者角色, 向价值共创者转变。如在技术层面开发轻量化工具, 支持制造商快速开发优化数字服务; 在商业模式上推行“订阅服务 + 效果分成”混合方案, 实现风险共担与利益绑定; 组织能力上须构建“技术 + 商业 + 法律”复合型团队, 在数据安全与商业价值间建立动态平衡。

5.3. 研究局限与未来展望

本文在数字服务化情景下, 探究了不同权力结构下, 制造企业供应链智能产品服务系统定价决策和数据共享决策的影响, 具有一定的实践价值, 但论文对不同权力结构的形成机制和演化过程缺乏深入探讨。此外, 在商业活动中, 市场需求信息通常是模糊的, 故需在需求不确定的情况下, 进一步分析数据共享和数字服务化对供应链权力结构、成员定价决策的影响。同时, 本文研究聚焦于新兴的数字服务供应商, 而数字服务化的发展要求传统供应商也进行数据共享, 因此在未来的研究中将继续研究数据共享机制的设计和优化, 如设计激励机制促进数据共享、保障数据安全等。

基金项目

国家社会科学基金一般项目“数字服务化驱动的制造企业供应链运行机制重塑与绩效提升研究”(24BGL101); 教育部人文社科研究项目“数字服务化场景中多主体动态协同运营决策及治理机制研究”(23YJC630140)。

参考文献

- [1] 谢晓萌, 朱秀梅. 差异化数据禀赋对制造企业数字服务化的影响机理——基于三一集团的纵向案例研究[J/OL]. 南开管理评论: 1-23. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1288.F.20250208.1328.002.html>, 2025-03-01.
- [2] 刘威, 施进发. 考虑数据资源共享的产品服务创新供应链决策与协调[J/OL]. 华北水利水电大学学报(社会科学版): 1-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1429.C.20250224.1644.002.html>, 2025-03-01.
- [3] Eggert, C., Winkler, C., Volkmann, A., Schumann, J.H. and Wunderlich, N.V. (2022) Understanding Intra- and Interorganizational Paradoxes Inhibiting Data Access in Digital Servitization. *Industrial Marketing Management*, **105**, 404-421. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.06.016>
- [4] Opresnik, D. and Taisch, M. (2015) The Value of Big Data in Servitization. *International Journal of Production Economics*, **165**, 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.036>
- [5] Jia, Y., Cui, L., Su, J., Wu, L., Akter, S. and Kumar, A. (2024) Digital Servitization in Digital Enterprise: Leveraging Digital Platform Capabilities to Unlock Data Value. *International Journal of Production Economics*, **278**, Article ID: 109434. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109434>
- [6] Smania, G.S., Ayala, N.F., Coreynen, W. and Mendes, G.H.S. (2024) Data-Related Tensions in Digital Servitization Ecosystems: A Systematic Literature Review. *Industrial Marketing Management*, **123**, 31-48. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2024.09.002>
- [7] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展报告(2022 年) [EB/OL]. <https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202207/P020220729609949023295.pdf>, 2025-03-16.
- [8] Nurhayati, K., Rezaei, J. and Tavasszy, L. (2021) The Interplay between Power Structure and Decision-Making in Supply Chains: A Systematic Review. *Journal of Supply Chain Management Science*, **2**, 85-114. <https://doi.org/10.18757/jscms.2021.6112>
- [9] 寇军, 张旭梅, 周茂森, 等. 产品服务供应链中产品与延保服务的联合定价与协调[J]. 系统管理学报, 2020, 29(3): 601-607.
- [10] 但斌, 娄云, 马崧萱, 等. 服务促进销售的产品服务供应链定价与优化策略[J]. 管理评论, 2017, 29(8): 211-222.
- [11] Xie, W., Jiang, Z., Zhao, Y. and Shao, X. (2013) Contract Design for Cooperative Product Service System with Information Asymmetry. *International Journal of Production Research*, **52**, 1658-1680. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.847293>
- [12] 冯庆华, 刘通. 考虑权力结构的产品服务供应链服务渠道选择及协调研究[J]. 运筹与管理, 2022, 31(8): 31-38.
- [13] Favoretto, C., Mendes, G.H.D.S., Filho, M.G., Gouvea de Oliveira, M. and Ganga, G.M.D. (2021) Digital Transformation of Business Model in Manufacturing Companies: Challenges and Research Agenda. *Journal of Business & Industrial Marketing*, **37**, 748-767. <https://doi.org/10.1108/jbim-10-2020-0477>
- [14] Brinch, M. (2018) Understanding the Value of Big Data in Supply Chain Management and Its Business Processes: Towards a Conceptual Framework. *International Journal of Operations & Production Management*, **38**, 1589-1614. <https://doi.org/10.1108/ijopm-05-2017-0268>
- [15] 石纯来, 聂佳佳. 网络外部性对双渠道供应链信息分享的影响[J]. 中国管理科学, 2019, 27(8): 142-150.

-
- [16] 官子力, 张旭梅, 但斌. 需求不确定下制造商服务投入影响销售的供应链信息共享与激励[J]. 中国管理科学, 2019, 27(10): 56-65.
- [17] Wang, D., Liu, W., Liang, Y. and Wei, S. (2021) Decision Optimization in Service Supply Chain: The Impact of Demand and Supply-Driven Data Value and Altruistic Behavior. *Annals of Operations Research*, **324**, 971-992. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04018-y>
- [18] 夏良杰, 顾梦贤, 李友东, 等. 不同权力结构下考虑持股的需求信息不对称供应链定价研究[J/OL]. 中国管理科学: 1-16. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0709>, 2025-04-07.
- [19] 邢青松, 王静, 邓富民. 消费者数据共享赋能供应商产品创新的激励契约设计[J/OL]. 系统管理学报: 1-26. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1977.N.20240903.1700.002.html>, 2025-04-07.
- [20] 刘东霞, 陈红. 产品服务供应链定价决策: 数据资源挖掘与共享策略的影响分析[J]. 中国管理科学, 2024, 32(2): 129-140.
- [21] Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E.W.T. and Papadopoulos, T. (2016) Big Data Analytics in Logistics and Supply Chain Management: Certain Investigations for Research and Applications. *International Journal of Production Economics*, **176**, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014>
- [22] Correani, A., De Massis, A., Frattini, F., Petruzzelli, A.M. and Natalicchio, A. (2020) Implementing a Digital Strategy: Learning from the Experience of Three Digital Transformation Projects. *California Management Review*, **62**, 37-56. <https://doi.org/10.1177/0008125620934864>