

电商领域研发与生产协同创新的成本优化与激励策略

任 静

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年9月23日; 录用日期: 2024年10月16日; 发布日期: 2024年11月27日

摘 要

在电子商务的快速发展和消费者需求日益多变的背景下, 研发与生产的复杂性不断增加, 成本的不确定性也随之上升。这要求企业在设计和制造产品时, 必须进行更紧密的合作创新。然而, 在电子商务领域, 企业之间的联合产品开发在成本分摊和利润分配方面面临着一系列新的挑战, 特别是在如何有效激励各方以实现协同创新和优化资源配置方面。在本文中, 我们对涉及两个具有不同开发能力的公司——研发所与生产商, 联合开发产品进行了概念化与模型化, 研究了研发所与生产商协同合作的最优成本分担激励策略, 并在此模型下给出了最佳技术创新水平以及研发所的最佳成本分担比例。研究结果显示, 当生产商的技术创新水平大于等于某一阈值时, 研发所应该选择成本共担策略, 且成本共担比例与研发所的技术创新弹性系数、研发所的单位技术创新收益系数成正比, 在研发所与生产商的合作机制中, 具有主从关系的Stackelberg博弈均衡收益要优于Nash博弈均衡下的收益。分析进一步表明, 研发所通过分担生产商的部分成本可以提高双方的技术创新水平, 实现研发所与生产商收益均增长的情况, 从而达到帕累托改进。

关键词

协同创新, 成本共担, Stackelberg博弈, Nash博弈

Cost Optimization and Incentive Strategies for Collaborative Innovation between R&D and Production in the E-Commerce Field

Jing Ren

School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Sep. 23rd, 2024; accepted: Oct. 16th, 2024; published: Nov. 27th, 2024

Abstract

Against the backdrop of rapid development of e-commerce and increasingly changing consumer demands, the complexity of research and production continues to increase, and the uncertainty of costs also rises. This requires companies to engage in closer collaborative innovation when designing and manufacturing products. However, in the field of e-commerce, joint product development between enterprises faces a series of new challenges in cost sharing and profit distribution, especially in how to effectively motivate all parties to achieve collaborative innovation and optimize resource allocation. In this article, we conceptualized and modeled the joint development of products involving two companies with different development capabilities—R&D institutes and manufacturers. We studied the optimal cost sharing incentive strategy for collaborative cooperation between R&D institutes and manufacturers, and provided the optimal level of technological innovation and the optimal cost sharing ratio for R&D institutes under this model. The research results show that when the technological innovation level of the manufacturer is greater than or equal to a certain threshold, the R&D institute should choose a cost sharing strategy, and the cost sharing ratio is proportional to the R&D institute's technological innovation elasticity coefficient and the R&D institute's unit technological innovation return coefficient. In the cooperation mechanism between the R&D institute and the manufacturer, the equilibrium return of Stackelberg game with a master-slave relationship is better than that of Nash game equilibrium. The analysis further shows that by sharing part of the producer's costs the R&D institute can increase the level of technological innovation on both sides and achieve a situation where both the R&D institute and the producer's revenues increase, thus achieving a Pareto improvement.

Keywords

Collaborative Innovation, Cost Sharing, Stackelberg Game, Nash Game

Copyright © 2024 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

自上世纪供应链出现,发展至今以来,供应链管理就成为了企业增强自身竞争力的强有力因素之一,随着技术不断地发展,在大数据信息时代,创新逐渐成为了企业创造价值、占取市场和吸引顾客的主要驱动之一[1][2],为了获得更多收益,节省由技术创新产生的成本,许多企业选择了与供应链中的其他创新者进行合作[3],尤其是对于技术密集型企业,在绿色产品类别中,开发密集型产品需要大量的研发工作或投资,生产成本将大部分由研发成本进行弥补,例如 LED 灯技术、氢燃料电池被广泛应用于卡车、汽车和船舶系统[4]。尽管新产品的协同合作创新看起来是一个非常具有吸引力的战略模式,但却给合作参与者带来了一些挑战和风险,例如:(1) 企业之间知识和信息的泄露[5]-[7];(2) 企业失去对项目活动的控制权力,因为部分活动将由合作伙伴企业完;(3) 由于文化差异和企业之间沟通不利而产生的额外协调成本和交易成本;(4) 集成障碍[8],但不可否认的是,供应链的协同合作创新确实提高了供应链的绩效,然而关于供应链主体之间的协同合作创新激励却并未做更多深入的研究,而关于供应链参与者主体之间的单体决策的研究偏多,因此,供应链多主体协同合作创新激励成为一个值得深入探讨的话题。

我们研究了在电子商务背景下成本分担模式研发与生产协同合作创新战略选择问题,考虑了研发所与生产商的技术创新、利润、最佳成本分担比例在 Nash 博弈状态下和 Stackelberg 博弈状态下的均衡决

策, 与同类型成本分担机制相比, 例如在文献[9]中的分担成本只是由努力程度引起的单方面的努力成本的变化, 文献[10]在地铁与自行车的协同服务中的成本分担模式是在便利程度与信息共享下, 分别造成的投资成本与信息共享成本的单一变化, 文献[11]只从产品的创新努力衡量了创新成本, 在此基础上, 本文对成本分担激励机制做了一些延伸, 其承担的成本是基于由技术创新引起的总成本的变化, 即固定成本与变动成本的变化。特别地, 我们的研究试图解决以下几个问题: (1) 由技术创新水平引起的成本变化是如何影响研发所与生产商的利润。(2) 在成本不分担与成本分担激励策略中, 研发所与生产商的技术创新策略应该如何选择? (3) 研发所与生产商是否应该选择成本分担激励策略。

文章的其余部分主要如下: 首先给出了我们所要研究问题的相关文献, 然后对试图解决的问题进行了建模与分析, 然后得出结论和建议。

2. 相关文献

激励的目标是通过做更多的事情来获取更大的回报[12], 如何通过合理的激励机制来促使各供应链参与方共同合作、信息共享、降低成本以及提高生产效率, 是供应链管理领域中的一个重要话题。文献[13]研究了去中心化的多层次供应链结构中信息共享的激励机制, 探讨如何在供应链各级参与者之间设计有效的激励, 来促使信息共享, 但是为了降低由信息共享带来的运营成本, 处于供应链的上游成员应该开发精益业务流程, 鼓励下游成员自愿分享信息[14], 然而, 除了以降低成本来刺激信息共享, 合理的收益分配也能达到同样的目的。在实施供应链信息共享战略的过程中, 通过合理的利益分配, 例如缩短经销商与生产商的交货时间, 使零售商受益于信息共享[15]。尽管, 通过收益共享机制在某些特定的情境下可以促进供应链中利益相关者的共同优化, 但是却暴露了一些弊端[16]。在以零售商驱动协调策略中, 文献[17]发现, 当零售商数目减少时, 零售商所能提供的边际激励变少, 使得制造商对环保项目计划(GAP)的投资增加, 在一个由制造商和零售商构成的双螺旋型供应链中, 通过给各成员提供不同的奖励, 例如免税, 折扣等, 使得整个供应链的整体收益得到提升[18]。比较供应链中的分散式、集中式和协同式三种模式下, 文献[19]得出了协同式的激励模式不但可以更好地发挥企业的责任与绩效, 而且还可以提高企业的绩效。

供应链管理中的激励机制是推动各参与方合作、信息共享、降低成本和提升生产效率的关键因素。有效的激励策略包括设计合理的利益分配、鼓励信息共享、优化业务流程和技术创新。协同式的激励模式被认为能更好地发挥企业的责任与绩效, 而供应链激励机制的构建需要考虑经济利益、信任、专用投资和制度环境等影响因素, 这些因素的作用会随着供应链关系的深化而动态变化。此外, FDI 技术溢出效应也受到多种因素的影响, 但其确切效果尚需进一步研究。在本文中, 我们将研发所进行的技术创新行为指定为对产品流程、性能、属性的创新, 即产品创新, 而生产商所进行的技术创新行为指定为对产品工艺、装配的创新, 即工艺创新。我们的研究与陈洪转[9]最为相关, 但该文章考虑的是复杂产品中协同合作激励策略问题, 研究的主要对象为一个主制造商应对多个供应商, 并未考虑企业固有的开发能力。本文的研究对象只针对于上游研发所, 下游生产商组成的供应链模式, 在协同合作创新成本共担激励策略下, 对企业自身固有的技术创新能力进行了深一步的研究与讨论。

当前供应链管理领域的研究强调了协同式激励机制在提升企业责任和绩效方面的重要性。然而, 尽管供应链内部的技术创新合作受到关注, 但如何通过激励机制促进研发与生产的协同创新, 尤其是在成本分担和技术创新能力方面的研究还不够充分。本文从研发所的激励角度出发, 探讨了在产品研发与生产过程中考虑技术创新水平时, 如何设计成本共担机制以促进协同合作创新。研究指出, 研发所的主导作用和最佳的成本分担策略对于供应链中技术创新的成功至关重要。此外, 企业固有的开发能力对技术创新水平的影响也是本文探讨的重点。在供应链技术创新协同方面, 供应链上的企业进行技术创新协同

的动因包括产品和技术本身的要求、降低不确定性和风险、发挥资源和能力的互补效应等。供应链技术创新协同具有强烈的自推动性，即协同动力主要来自产品技术和供应链自身发展的要求。综上所述，供应链管理中的激励机制设计需要综合考虑技术创新、成本分担、信息共享和供应链韧性等多个方面，以实现供应链的整体优化和提升企业竞争力。

3. 模型描述

我们考虑了一个由研发所与生产商组成的简单供应链，共同开发一种创新产品，并统一由军方收购，且假设双方所进行的技术创新行为分别为产品与工艺上的创新，为了激励这种技术创新行为，研发所对生产商所产生的技术创新成本进行了分摊，通常情况下，生产商有动机提高技术创新水平，以为了扩大市场或获得更大收益。

3.1. 需求

生产商进行制造生产后的产品由军方统一收购，在研发所(R)和生产商(M)的技术创新活动下，军方对产品的收购数量将会增加，进而提高整个供应链的收益。假设产品在未进行技术创新活动之前，企业 $i(i = R, M)$ 的固有收益为 $Q_i (Q_i > 0)$ ，借助柯布—道格拉斯生产函数，研发所与生产商的技术创新水平与收益(G_i)之间的关系可以表示为[20]-[23]：

$$G_R = Q_R + \frac{\rho_R}{\alpha} I_R^\alpha I_M^\beta$$

$$G_M = Q_M + \frac{\rho_M}{\beta} I_R^\alpha I_M^\beta$$

其中， $\rho_i (\rho_i > 0)$ 表示企业 i 单位技术创新水平下的收益，即单位技术创新收益系数。 $\alpha (0 < \alpha < 1)$ 和 $\beta (0 < \beta < 1)$ 分别代表研发所和生产商的技术创新弹性系数， α 越大，研发所的技术创新水平对收益的影响也就越大；同理， β 越大，生产商的技术创新水平对收益的影响也就越大，对于 I_i 的解释，将在 3.2 章节中介绍。

3.2. 技术创新成本

在大众创新，万众创业的时代背景下，技术创新的复杂性和集成性日益增强[24]，我们假设，进行技术创新活动的总成本主要由研发生产投入和与所耗费的资源组成，即固定成本和变动成本。其中，固定成本主要是指研发所或生产商对产品的研发投入[25]，基于此，假设供应链中研发所和生产商的技术创新水平分别为 $I_i (0 < I_i < 1)$ ，由技术创新产生的成本称为技术创新成本，用符号 C_i 表示，为了捕捉技术创新成本随着技术创新水平边际递减的效应，我们假设技术创新成本的概率密度为

$$C_i = \begin{cases} I, & I > 0 \\ 0, & \text{others} \end{cases}, i = R, M$$

研发所为了激励生产商努力合作竞争，采取了成本共担的方式激励生产商提高技术创新水平，具体的激励措施为：当生产商的技术创新水平大于或等于阈值 $q (0 \leq q \leq 1)$ 时，研发所将承担生产商 $(1-r)(0 \leq r \leq 1)$ 部分的生产投入，其中，阈值 q 是研发所根据生产商在博弈过程中确定的最低技术创新水平程度，即技术基准阈值。

设 k 为技术创新成本系数，为了保证有利可图，我们假设 $\rho_i > k$ ，则

定理 1 无论 $q (0 \leq q \leq 1)$ 为何值时，研发所与生产商的技术创新成本为：

$$C_R = \frac{kI_R^2}{2} + k(1-r)I_R^2 \frac{1-q^2}{2}$$

$$C_M = \frac{kq^2}{2} + krI_M^2 \frac{1-q^2}{2}$$

证明：研发所承担生产商 $(1-r)$ 的投入成本时，在技术创新激励的情形下，当 $q \geq I_M$ 时，生产商技术创新成本函数为：

$$\begin{aligned} C_M &= k \int_0^{I_M} IdI + k \int_{I_M}^q IdI + krI_M^2 \int_q^1 IdI \\ &= k \int_0^q IdI + krI_M^2 \int_q^1 IdI \\ &= \frac{kq^2}{2} + krI_M^2 \frac{1-q^2}{2} \end{aligned}$$

当 $q < I_M$ 时，生产商技术创新成本函数为：

$$\begin{aligned} C_M &= k \int_0^q IdI + krI_M^2 \int_q^{I_M} IdI + krI_M^2 \int_{I_M}^1 IdI \\ &= k \int_0^q IdI + krI_M^2 \int_q^1 IdI \\ &= \frac{kq^2}{2} + krI_M^2 \frac{1-q^2}{2} \end{aligned}$$

所以，生产商的技术创新成本函数为

$$C_M = \frac{kq^2}{2} + krI_M^2 \frac{1-q^2}{2}$$

当研发所承担生产商 $(1-r)$ 的固定成本时，则技术创新成本为：

$$\begin{aligned} C_R &= k \int_0^{I_R} IdI + k(1-r)I_M^2 \int_q^1 IdI \\ &= \frac{kI_R^2}{2} + k(1-r)I_M^2 \frac{1-q^2}{2} \end{aligned}$$

除了上述固定成本外，另一个组成部分是企业固有开发能力相关的成本。由于产品的研发需要耗费一定的资源，在企业创新过程中，企业的固有创新能力在一定程度上决定了技术创新水平的高度，这一部分成本不仅与企业的固有创新能力相关，还与产品的技术创新水平有关，为了适应更高的技术创新需要更多资源这一事实，我们假设这一成本与技术创新水平成正比，与企业的固有开发能力成反比[25]，具体来说，可以表示为 $\frac{kI_i^2}{\lambda_i}$ ，其中 λ_i 表示为企业的固有开发能力，技术创新水平 I_i 与企业固有开发能力的比值，表示为企业的研发速度， I_i 越大或 λ_i 越小，产品的研发速度将会越慢。

综合上述问题描述和模型假设，研发所与生产商的利润函数均可表示为：

$$\begin{aligned} \pi_R &= Q_R + \frac{\rho_R}{\alpha} I_R^\alpha I_M^\beta - \frac{k(2+\lambda_R)}{2\lambda_R} I_R^2 - k(1-r)I_M^2 \frac{1-q^2}{2} \\ \pi_M &= Q_M + \frac{\rho_M}{\beta} I_R^\alpha I_M^\beta - \frac{kI_M^2}{\lambda_M} - \frac{kq^2}{2} - krI_M^2 \frac{1-q^2}{2} \end{aligned}$$

4. 最优决策

4.1. 当研发所不分担成本时的 Nash 均衡解

我们考虑了一个基本模型——非合作 Nash 博弈模型，即研发所不承担生产商的技术创新成本时。双

方会各自决策自己的最佳的技术创新水平策略，此时最佳的成本分担比例为 $r^N = 1$ 。我们使用 N 作为决策变量的上标，表示为在 Nash 博弈场景下。

定理 1 在独立研发下，研发所与生产商的均衡技术创新水平策略为

$$I_R^N = \left(\frac{\rho_R \lambda_R}{k(2 + \lambda_R)} \right)^{\frac{\beta-2}{2\alpha+2\beta-4}} \left(-\frac{k(q^2 \lambda_M - \lambda_M - 2)}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{\beta}{2\alpha+2\beta-4}}$$

$$I_M^N = \left(\frac{k(2 + \lambda_R)}{\lambda_R \rho_R} \right)^{\frac{\alpha}{2\alpha-4+2\beta}} \left(-\frac{k(q^2 \lambda_M - \lambda_M - 2)}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{2-\alpha}{2\alpha-4+2\beta}}$$

证明：研发所与生产商分别进行技术创新活动且相互没有交集时，目标是实现利润最大化，即

$$\text{Max } \pi_R = Q_R + \frac{\rho_R}{\alpha} I_R^\alpha I_M^\beta - \frac{k(2 + \lambda_R)}{2\lambda_R} I_R^2$$

$$\text{Max } \pi_M = Q_M + \frac{\rho_M}{\beta} I_R^\alpha I_M^\beta - \frac{kI_M^2}{\lambda_M} - \frac{kq^2}{2} - kI_M^2 \frac{1-q^2}{2}$$

对上式中 I_R 和 I_M 分别求解一阶偏导数并另其为零：

$$\frac{\partial \pi_R}{\partial I_R} = \rho_R I_R^{\alpha-1} I_M^\beta - \frac{k(2 + \lambda_R) I_R}{\lambda_R} = 0$$

$$\frac{\partial \pi_M}{\partial I_M} = \frac{\rho_M I_R^\alpha I_M^{\beta-1} \lambda_M + kI_M (q^2 \lambda_M - \lambda_M - 2)}{\lambda_M} = 0$$

联立方程组即可求得 I_R^N 和 I_M^N ，利用函数的二阶定理判断是否是极值，对 I_R 和 I_M 进行二阶求导

$$\frac{\partial^2 \pi_R}{\partial I_R^2} = \frac{\rho_R \lambda_R I_M^\beta (\alpha - 1) I_R^{\alpha-2} - k(2 + \lambda_R)}{\lambda_R} < 0$$

$$\frac{\partial^2 \pi_M}{\partial I_M^2} = \frac{\rho_M \lambda_M (\beta - 1) I_M^{\beta-2} I_R^\alpha + k(-2 + (q^2 - 1) \lambda_M)}{\lambda_M} < 0$$

证毕。

由定理 1 不难看出，研发所与生产商的最佳技术创新水平函数是关于技术创新收益系数、弹性系数、成本系数和固有开发能力的函数，在非合作 Nash 均衡下，参与者在成本和技术创新水平上均不合作，并不与对方分享任何信息，研发所与生产商都追求个人利润最大化，所表现出来的技术创新水平为技术创新收益系数、技术创新弹性系数、技术创新成本系数、企业固有开发能力的函数。

4.2. 研发所成本共担下 Stackelberg 博弈均衡解

由于产品研发成本高昂，企业通常与另一个企业进行项目研发。研发所为了激励生产商提高技术创新水平，承担生产商 r 比例的技术创新总成本，研发所作为系统中的领导者，拥有其一定程度的控制权力，生产商作为跟随者，在观测到研发所做出的最佳技术创新水平策略后，决定自己的最优创新水平策略，假设双方的信息完全，则双方的最优策略组合即为 Stackelberg 均衡。我们使用 S 作为决策变量的上标，表示为在 Stackelberg 博弈场景下。

决策顺序为：(1) 由于研发所在该系统中处于领导地位，研发所首先做出技术创新水平策略以及分担比例；(2) 生产商作为跟随者，在观测到研发所做出的最佳技术创新水平策略后，决定自己的最优创新水

平策略, 假设双方的信息完全, 则双方的最优策略组合即为 Stackelberg 均衡。

定理 2 研发所作为领导者的博弈情形时, 研发所与生产商的最优 Stackelberg 均衡技术创新水平策略分别为

$$I_R^S = \left(\frac{\lambda_R (\alpha \rho_M + 2 \rho_R)}{2k(2 + \lambda_R)} \right)^{\frac{\beta-2}{2\alpha+2\beta-4}} \left(-\frac{2k\alpha(q^2 \lambda_M - \lambda_M - 2)}{\beta \lambda_M (\alpha \rho_M + 2 \rho_R)} \right)^{\frac{\beta}{2\alpha+2\beta-4}}$$

$$I_M^S = \left(\frac{(\alpha \rho_M + 2 \rho_R) \lambda_R}{2k(2 + \lambda_R)} \right)^{-\frac{\alpha}{2\alpha+2\beta-4}} \left(-\frac{2k\alpha(q^2 \lambda_M - \lambda_M - 2)}{\beta \lambda_M (\alpha \rho_M + 2 \rho_R)} \right)^{\frac{2-\alpha}{2\alpha+2\beta-4}}$$

$$r^S = \begin{cases} \frac{2\alpha(q^2 \lambda_M + \beta - \lambda_M - 2)\rho_M + 4\beta\rho_R}{\beta \lambda_M (q^2 - 1)(\alpha \rho_M + 2 \rho_R)}, & 2\alpha(q^2 \lambda_M + \beta - \lambda_M - 2)\rho_M + 4\beta\rho_R < \beta \lambda_M (q^2 - 1)(\alpha \rho_M + 2 \rho_R) \\ 1, & \text{others} \end{cases}$$

证明: 为了得到 Stackelberg 博弈均衡策略, 采用逆向归纳法, 在生产商的利润函数中, 对 I_M 求一阶偏导并另其等于零:

$$\frac{\partial \pi_M}{\partial I_M} = \frac{I_R^\alpha I_M^{\beta-1} \rho_M \lambda_M + k I_M (-2 + r(q^2 - 1) \lambda_M)}{\lambda_M} = 0$$

可以得出

$$I_M = \left(-\frac{k(q^2 r \lambda_M - r \lambda_M - 2) I_R^{-\alpha}}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{1}{\beta-2}}$$

为了判断 $I_M = \left(-\frac{k(q^2 r \lambda_M - r \lambda_M - 2) I_R^{-\alpha}}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{1}{\beta-2}}$ 是否在生产商的利润函数中取得极大值, 我们对 I_M 进行

二阶求偏导, 可得

$$\frac{\partial^2 \pi_M}{\partial I_M^2} = \frac{I_R^\alpha \rho_M \lambda_M (\beta - 1) I_M^{\beta-2} + k(-2 + r(q^2 - 1) \lambda_M)}{\lambda_M} < 0$$

根据二阶导数判断极值的方法, $I_M = \left(-\frac{k(q^2 r \lambda_M - r \lambda_M - 2) I_R^{-\alpha}}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{1}{\beta-2}}$ 在生产商的利润函数中取得极大

值, 并将其带入研发所的利润函数, 可得

$$\text{Max } \pi_R = I_R^{-\frac{2\alpha}{\beta-2}} \left(-\frac{k(q^2 r \lambda_M - r \lambda_M - 2)}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{\beta}{\beta-2}} \left(\frac{\rho_R}{\alpha} + \frac{k(1-r)(q^2 - 1)}{2} \right) - \frac{k(2 + \lambda_R) I_R^2}{2 \lambda_R} + Q_R$$

在研发所的利润函数中, 我们要确定两个决策变量, 一个是研发所的技术创新水平, 另一个是成本共担比例。同样使用逆向归纳法, 可以求解得出

$$r^S = \frac{2\alpha(q^2 \lambda_M + \beta - \lambda_M - 2)\rho_M + 4\beta\rho_R}{\beta \lambda_M (q^2 - 1)(\alpha \rho_M + 2 \rho_R)}$$

$$I_R^S = \left(\frac{\lambda_R (\alpha \rho_M + 2 \rho_R)}{2k(2 + \lambda_R)} \right)^{\frac{\beta-2}{2\alpha+2\beta-4}} \left(-\frac{2k\alpha(q^2 \lambda_M - \lambda_M - 2)}{\beta \lambda_M (\alpha \rho_M + 2 \rho_R)} \right)^{\frac{\beta}{2\alpha+2\beta-4}}$$

将其求解得出的 r^S 和 I_R^S 带入 I_M 中, 得出 I_M^S 。

证毕。

在具有主从关系的成本共担中, 处于领导地位的研究所利用自身优势, 采用共担成本的行为激励生产商的技术创新水平, 以此达到收益增加的目的。在一定条件下, 最优成本共担比例策略是关于技术创新收益系数、技术创新弹性系数的函数, 且与研究所的技术创新弹性系数和生产商的技术创新收益系数呈正向关系, 即当研究所受技术创新水平影响越大、生产商的技术创新收益系数越大时, 研究所更愿意参与协调, 承担生产商更多的总成本。

4.3. 成本不共担与成本共担策略分析

在研究所不分担生产商成本和分担生产商成本两种情况下, 我们首先比较了研究所与生产商的利润大小, 而后比较了两种模式下的最佳技术创新水平策略, 决策两参与者偏好于哪种模式, 我们将两种模式下的最佳技术创新水平策略分别带入研究所与生产商的利润函数中, 得出引理 1。

引理 1: 成本分担下研究所与生产商的利润、技术创新水平策略和整个供应链系统的最优利润均优于独立研发模式。

(1) 于研究所来说, 成本分担下的最优利润和最佳技术创新水平均大于成本不分担时的最优利润和最佳技术创新水平, 即 $\pi_R^S > \pi_R^N$, $I_R^S > I_R^N$;

(2) 于生产商来说, 成本分担下的最优利润和最佳技术创新水平均大于成本不分担时的最优利润和最佳技术创新水平, 即 $\pi_M^S > \pi_M^N$, $I_M^S > I_M^N$;

(3) 成本分担下整个供应链系统的最佳利润大于成本不分担时整个供应链系统的最佳利润。

证明: (1)和(2)

$$\begin{aligned} \pi_R^N &= Q_R + \left(\frac{k(2 + \lambda_R)}{\rho_R \cdot \lambda_R} \right)^{\frac{\alpha}{\beta+\alpha-2}} \left(-\frac{k \cdot (q^2 \cdot \lambda_M - \lambda_M - 2)}{\lambda_M \cdot \rho_M} \right)^{\frac{\beta}{\beta+\alpha-2}} \cdot \frac{\rho_R(2-\alpha)}{2\alpha} \\ \pi_R^S &= Q_R + \left(\frac{2k(2 + \lambda_R)}{\lambda_R(\alpha \rho_M + 2 \rho_R)} \right)^{\frac{\alpha}{\beta+\alpha-2}} \left(-\frac{2k\alpha(q^2 \lambda_M - \lambda_M - 2)}{\beta \lambda_M (\alpha \rho_M + 2 \rho_R)} \right)^{\frac{\beta}{\beta+\alpha-2}} \\ &\quad \times \left(\frac{\rho_R}{\alpha} - \frac{\alpha \rho_M + 2 \rho_R}{4} - (1-r) \frac{\lambda_R(\alpha \rho_M + 2 \rho_R)1-q^2}{2(2 + \lambda_R)} \right) \\ &\quad \therefore \frac{(2-\alpha)(4\rho_R + \rho_M) + \rho_R(2-\beta)}{4\alpha} > 0 \\ \therefore r^{\frac{\beta}{2(\beta+\alpha-2)}} &\left(\frac{a(1-q^2)(\lambda_M + 1)}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{\beta}{2(\beta+\alpha-2)}} / \left(\frac{a(1 + \lambda_M)(1-q^2)}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{\beta}{2\beta+2\alpha-4}} = \left(\frac{2\alpha \rho_M}{\beta(\alpha \rho_M + 2 \rho_R)} \right)^{\frac{\beta}{2(\beta+\alpha-2)}} > 1 \\ \therefore &\left(\frac{2a(1 + \lambda_R)}{\lambda_R(\alpha \rho_M + 2 \rho_R)} \right)^{\frac{-\beta+2}{2\beta+2\alpha-4}} / \left(\frac{\lambda_R \rho_R}{a(1 + \lambda_R)} \right)^{\frac{\beta-2}{2\beta+2\alpha-4}} = \left(1 + \frac{t \rho_M}{2 \rho_R} \right)^{\frac{\beta-2}{2\beta+2\alpha-4}} > 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \pi_R^S - \pi_R^N &= \frac{(2-\alpha)(4\rho_R + \rho_M) + \rho_R(2-\beta)}{4\alpha} \left(\frac{a(1-q^2)(\lambda_M + 1)}{\lambda_M \rho_M} \right)^{\frac{\beta}{2(\beta+\alpha-2)}} \\ &\quad \times \left(r^{\frac{\beta}{2(\beta+\alpha-2)}} \left(\frac{2a(1+\lambda_R)}{\lambda_R(\alpha\rho_M + 2\rho_R)} \right)^{\frac{-\beta+2}{2\beta+2\alpha-4}} - \left(\frac{\lambda_R \rho_R}{a(1+\lambda_R)} \right)^{\frac{\beta-2}{2\beta+2\alpha-4}} \right) > 0 \\ \frac{I_R^S}{I_R^N} &= \left(\frac{2\rho_M}{\beta(\alpha\rho_M + 2\rho_R)} \right)^{\frac{\beta}{2(\beta+\alpha-2)}} \left(\frac{2\rho_R}{\alpha\rho_M + 2\rho_R} \right)^{\frac{2-\beta}{2\beta+2\alpha-4}} > 1 \end{aligned}$$

生产商关于利润与技术创新水平的证明同上。

(4) 在非合作 Nash 博弈状态下和在具有主从关系的 Stackelberg 博弈状态下，整个供应链系统的利润分别为 $\pi^N = \pi_R^N + \pi_M^N$ 和 $\pi^S = \pi_R^S + \pi_M^S$ ，由于 $\pi_R^S - \pi_R^N > 0$ ， $\pi_M^S - \pi_M^N > 0$ ，所以 $\pi^S > \pi^N$ 。

证毕。

由引理 1 可知，当研发所承担生产商的部分成本时，整个供应链系统的总利润、研发所与生产商的利润以及技术创新均优于成本不分担时的情况，从战略合作层面来看，两企业的合作方式应该逐渐转变为成本分担模式，不仅提高了整个系统的利润，还提高了产品的技术创新水平。

5. 数值分析

假设某一研发企业与生产制造企业共同研发一发动机产品，两公司通过对发动机的技术创新获取收益，并且技术创新是两企业最大的收入来源，研发所从产品结构、性能等方面对产品进行创新，而生产商通过装配、工艺上对产品进行创新，两者创新在水平上是不可替代且无技术溢出的。为了实现研发所与生产商收益最大化，研发所通过成本分担的方式激励生产商的技术创新行为，根据市场调研及项目的可行性分析，得出了研发所与生产商的相关系数，见表 1。

Table 1. Relevant parameter table
表 1. 相关参数表

Q_R	Q_M	ρ_R	ρ_M	a	α	β	q	λ_R	λ_M
36	27	13	10	30	0.6	0.4	0.5	2	1

通过 MATLAB 对表 1 数据进行仿真可得到表 2 的结果。

Table 2. Calculation results
表 2. 计算结果

博弈状态	参与者	最佳分担比例 r	最佳技术创新水平	最佳收益	系统利润
Nash 博弈	研发所	1	0.274	37.945	60.647
	生产商		0.240	22.702	
Stackelberg 博弈	研发所	0.0625	0.328	38.031	61.577
	生产商		0.268	23.546	

从表 2 中不难看出，在成本不分担和成本分担情况下，即 Nash 博弈状态下和 Stackelberg 博弈状态下，最佳技术创新水平和收益均优于非合作状态， q 值的变化直接影响了研发所与生产商的技术创新水

平和收益。于研发所来说,在 Stackelberg 博弈状态下,分担的比例更少了,得到的技术创新水平和收益都有增高。当 q 变化时,研发所的最佳技术创新水平和最佳收益变化不大,但是生产商的最佳收益变化明显,技术创新水平提高,且生产商将尽可能地达到研发所设定的阈值 q 。因此,在研发所与生产商的合作研发中,通过成本分担的激励措施促进生产商的技术创新水平的提高,不仅可以实现整个供应链系统的利润,还能提高产品的技术创新水平。在合理的激励措施下,生产商一般都能达到阈值 q 。从表 2 可以看出,在 Stackelberg 博弈状态下,研发所的最佳成本分配比例为 0.0625,此时研发所与生产商的利润均得到帕累托最优。

6. 结论

在电子商务背景下,供应链中博弈的主体主要依靠利益来权衡,通过这种利益的制衡方式形成了一种稳定且长期的战略关系。在这一背景下,研发所与生产商之间的协同合作和成本共担的激励方式变得尤为重要。本文考虑了电子商务环境下研发所与生产商之间的协同合作,基于 Nash 非合作博弈和 Stackelberg 博弈状态,设计了技术创新水平、成本分担比例等决策变量,并考虑了企业固有创新能力、技术创新弹性系数等多个变量。建立了研发所分担生产商部分技术创新成本和资源耗费成本的激励模型,将研发所与生产商的研发与生产成本分担机制拓展到研发所与生产商的协同合作及总成本的分担机制上。研究的结论如下:

(1) 当生产商的技术创新水平大于或等于研发所设定的阈值时,研发所应该予以考虑承担生产商的部分总成本,且最佳成本分担的比例与研发所的技术创新弹性系数、生产商的单位收益系数成正比,由于边际收益的递减,当技术创新水平达到某一程度时,收益不再增加,技术创新水平亦不会增加,因此会存在技术创新水平与企业固有开发能力、技术创新成本系数、技术创新弹性系数、单位技术创新收益系数相关的情况。

(2) 随着技术创新水平的提高,随之而产生的技术创新总成本也逐渐增加,技术创新水平对收益的影响也就越大,与收益一样,当技术创新水平达到一定程度时,技术创新成本将不断增加,趋于稳定,因此存在最佳的技术创新水平策略实现最佳收益。

(3) 在具有主从关系的 Stackelberg 博弈状态和 Nash 非合作博弈状态中分别存在着最佳的技术创新水平策略和成本分担比例,两种模式的分析对比证明了研发所与生产商在协同合作的机制中,应该选择 Stackelberg 博弈策略,比起非合作博弈,两企业通过成本共担的激励方式实现了技术创新水平、利润的帕累托改进,研究表明,研发所的成本分担激励方式不仅可以有效地激励生产商提高技术创新水平,同时也促进了研发所自身技术创新水平的增加,实现了研发所与生产商利益均增长的情况。

正如结果所显示的一样,本研究目前仍存在一些局限性,文章中所建立的研发所与生产商的需求函数是确定性的,可以考虑当需求不确定的情况下,研发所与生产商的协同合作激励措施,其次,文中研发所对生产商所设立的阈值是一个参数,如何决策一个合理的阈值达到激励的效果,是一个值得探讨的问题。未来的研究还可以加入军方的博弈,由于研发所的主要以研发产品为主要业务,是否可以加入投资性的问题,也是一个重要的方向。

参考文献

- [1] Chong, A.Y. and Zhou, L. (2014) Demand Chain Management: Relationships between External Antecedents, Web-Based Integration and Service Innovation Performance. *International Journal of Production Economics*, **154**, 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.04.005>
- [2] Yu, L., Li, H., Wang, Z. and Duan, Y. (2019) Technology Imports and Self-Innovation in the Context of Innovation Quality. *International Journal of Production Economics*, **214**, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.11.023>
- [3] Zhou, X., Liu, Z., Liu, J. and Ku, Z. (2022) The Choice of Cooperative Technology Innovation Strategies in a Supply

- Chain under Governmental Subsidy. *RAIRO—Operations Research*, **56**, 2669-2700. <https://doi.org/10.1051/ro/2022121>
- [4] Hafezi, M., Zhao, X. and Zolfagharinia, H. (2023) Together We Stand? Co-Opetition for the Development of Green Products. *European Journal of Operational Research*, **306**, 1417-1438. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.027>
 - [5] Fonti, F., Maoret, M. and Whitbred, R. (2016) Free-Riding in Multi-Party Alliances: The Role of Perceived Alliance Effectiveness and Peers' Collaboration in a Research Consortium. *Strategic Management Journal*, **38**, 363-383. <https://doi.org/10.1002/smj.2470>
 - [6] Knudsen, M.P. (2007) The Relative Importance of Interfirm Relationships and Knowledge Transfer for New Product Development Success. *Journal of Product Innovation Management*, **24**, 117-138. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2007.00238.x>
 - [7] Littler, D., Leverick, F. and Bruce, M. (1995) Factors Affecting the Process of Collaborative Product Development: A Study of UK Manufacturers of Information and Communications Technology Products. *Journal of Product Innovation Management*, **12**, 16-32. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1210016>
 - [8] Ragatz, G.L., Handfield, R.B. and Scannell, T.V. (1997) Success Factors for Integrating Suppliers into New Product Development. *Journal of Product Innovation Management*, **14**, 190-202. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1430190>
 - [9] Hongzhuan, C., Zhigeng, F., Sifeng, L. and Shuai, M. (2013) The Optimal Cost-Sharing Incentive Model of Main Manufacturer-Suppliers for Complex Equipment under Grey Information. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS)*, Macao, 15-17 November 2013, 489-494. <https://doi.org/10.1109/gsis.2013.6714833>
 - [10] Zhou, C., Li, X. and Chen, L. (2023) Modelling the Effects of Metro and Bike-Sharing Cooperation: Cost-Sharing Mode vs Information-Sharing Mode. *International Journal of Production Economics*, **261**, Article ID: 108842. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108842>
 - [11] Shen, B., Xu, X., Chan, H.L. and Choi, T. (2021) Collaborative Innovation in Supply Chain Systems: Value Creation and Leadership Structure. *International Journal of Production Economics*, **235**, Article ID: 108068. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108068>
 - [12] Genc, T.S. and Giovanni, P.D. (2017) Trade-In and Save: A Two-Period Closed-Loop Supply Chain Game with Price and Technology Dependent Returns. *International Journal of Production Economics*, **183**, 514-527. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.012>
 - [13] Lee, H.L. and Whang, S. (2001) Decentralized Multi-Echelon Supply Chains: Incentives for Information Sharing. *Management Science*, **46**, 626-643.
 - [14] Chu, W.H.J. and Lee, C.C. (2006) Strategic Information Sharing in a Supply Chain. *European Journal of Operational Research*, **174**, 1567-1579. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.053>
 - [15] Ding, H., Guo, B. and Liu, Z. (2011) Information Sharing and Profit Allotment Based on Supply Chain Cooperation. *International Journal of Production Economics*, **133**, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.06.015>
 - [16] Cachon, G.P. and Lariviere, M.A. (2005) Supply Chain Coordination with Revenue-Sharing Contracts: Strengths and Limitations. *Management Science*, **51**, 30-44. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0215>
 - [17] De Giovanni, P. (2018) A Joint Maximization Incentive in Closed-Loop Supply Chains with Competing Retailers: The Case of Spent-Battery Recycling. *European Journal of Operational Research*, **268**, 128-147. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.01.003>
 - [18] Heydari, J., Govindan, K. and Jafari, A. (2017) Reverse and Closed Loop Supply Chain Coordination by Considering Government Role. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **52**, 379-398. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.008>
 - [19] Nematollahi, M., Hosseini-Motlagh, S. and Heydari, J. (2017) Coordination of Social Responsibility and Order Quantity in a Two-Echelon Supply Chain: A Collaborative Decision-Making Perspective. *International Journal of Production Economics*, **184**, 107-121. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.017>
 - [20] Xue, M., Hitt, L.M. and Harker, P.T. (2007) Customer Efficiency, Channel Usage, and Firm Performance in Retail Banking. *Manufacturing & Service Operations Management*, **9**, 535-558. <https://doi.org/10.1287/msom.1060.0135>
 - [21] Roels, G., Karmarkar, U.S. and Carr, S. (2010) Contracting for Collaborative Services. *Management Science*, **56**, 849-863. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1100.1146>
 - [22] Jain, N., Hasija, S. and Popescu, D.G. (2013) Optimal Contracts for Outsourcing of Repair and Restoration Services. *Operations Research*, **61**, 1295-1311. <https://doi.org/10.1287/opre.2013.1210>
 - [23] Karmarkar, U.S. (2004) Will You Survive the Services Revolution? *Harvard Business Review*, **82**, 100-107.
 - [24] Grossman, G.M. and Helpmann, E. (1993) *Innovation and Growth in the Global Economy*. The MIT Press, 1-26.
 - [25] Bhaskaran, S.R. and Krishnan, V. (2009) Effort, Revenue, and Cost Sharing Mechanisms for Collaborative New Product Development. *Management Science*, **55**, 1152-1169. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1090.1010>