

双积分政策下考虑创新与销售努力的新能源汽车 供应链协调策略

贡文伟¹, 王素文¹, 丁 凡², 孙立成¹

(1. 江苏大学 管理学院, 江苏 镇江 212013; 2. 南京工程学院 管理工程学院, 江苏 南京 211167)

摘要: 针对一个由电池供应商、新能源汽车制造商和零售商组成的三级供应链, 求解集中与分散决策模型下供应链成员最优定价、电池供应商创新水平和新能源汽车零售商销售努力决策; 尝试建立“成本分担-收益共享”的联合契约以消除新能源汽车供应链分散决策时出现的双重边际效应; 通过数值分析验证了积分交易价格等参数对创新水平、销售努力水平和利润的影响及联合契约的有效性。研究发现, 供应链成员利润以及创新水平和积分交易价格呈正相关, 和创新成本系数以及销售努力成本系数呈负相关; 值得注意的是, 一定条件下, “成本分担-收益共享”的联合契约可能使得新能源汽车供应链达到帕累托改善。

关键词: 双积分政策; 技术创新; 销售努力; 新能源汽车供应链; 供应链协调

中图分类号: F25; F406

文献标志码: A

文章编号: 1007-7375(2025)03-0001-11

Supply Chain Coordination Strategy for New Energy Vehicles Considering Innovation and Sales Efforts under Double Credit Policy

GONG Wenwei¹, WANG Suwen¹, DING Fan², SUN Licheng¹

(1. School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Nanjing Institute of Technology, School of Management Engineering, Nanjing 211167, China)

Abstract: In a three-level supply chain consisting of battery suppliers, new energy vehicle manufacturers, and retailers, the optimal pricing for supply chain members, the innovation level of battery suppliers, and the sales effort decisions of new energy vehicle retailers are analyzed under centralized and decentralized decision-making models. A joint "cost-sharing and revenue-sharing" contract is proposed to eliminate the double marginalization effect in decentralized decisions. Numerical analysis is used to examine the impact of parameters such as the overall transaction price on innovation, sales effort, and profit, as well as the effectiveness of the joint contract. The results show that profit and innovation levels are positively related to the overall transaction price and negatively related to the innovation cost and sales effort cost coefficients. It is also found that, under certain conditions, the "cost-sharing and revenue-sharing" contract can lead to Pareto improvement in the new energy vehicle supply chain.

Key words: double credit policy; technological innovation; sales efforts; new energy vehicle supply chain; supply chain coordination

自 2023 年 8 月 1 日起, 《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》(以下简称“双积分政策”)的新政正式实施^[1]。双积分政策对汽车制造商的经营模式产生了显著影响: 一方面, 传统燃油汽车制造商需通过积分购买或建立合作关

系以满足积分合规要求; 另一方面, 新能源汽车制造商能够通过技术进步直接获得新能源汽车积分。在双积分政策的推动下, 中国新能源汽车产业实现了快速增长。

双积分政策作为我国新能源汽车行业的市场化

收稿日期: 2024-10-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (23AGL032)

作者简介: 贡文伟 (1967—), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为物流与供应链管理。Email: wwgong@ujs.edu.cn

调节机制,既对技术创新提出挑战,又给市场推广带来了压力。在当前普遍存在的“里程焦虑”背景下,消费者对续航里程和充电效率等关键指标提出了更高要求^[2]。电池供应商的技术创新可以有效缓解消费者的里程焦虑与购买顾虑,促进市场扩展和成熟^[3]。然而,技术创新通常伴随高研发投入和市场风险,这在一定程度上抑制了企业的创新动力。因此,激发电池供应商创新活力成为亟待解决的问题。

市场竞争不仅体现在产品创新上,销售策略也是推动创新的重要因素。以蔚来 ET5 与小鹏 P7 为例,尽管两者在创新和定价策略上相似,蔚来在客户销售服务方面投入更大。2023 年,蔚来 ET5 销量比小鹏 P7 高出约 40%。这表明增强销售力度能够提升市场需求,进而激发电池供应商创新动力。当前,新能源汽车企业主要由传统汽车企业转型而来,其核心零部件——动力电池,主要依赖于少数几家领先的电池供应商,如宁德时代、三星 SDI 等^[4]。新能源汽车供应链主要由电池供应商、新能源汽车制造商和零售商组成,上游供应商的技术创新影响制造商的产品质量,而下游零售商销售策略则推动市场竞争力。基于以上背景,本文主要研究以下问题:1) 双积分政策下积分交易价格如何影响新能源汽车供应链利润水平和电池创新水平;2) 销售努力如何影响供应链利润和电池创新水平;3) 如何构建稳定高效的新能源汽车供应链合作关系,以提升整个供应链的创新能力和竞争力。

1 文献综述

自双积分政策实施以来,许多学者开始研究其对汽车企业生产经营的影响。张奇等^[5]研究了在完全竞争市场、新能源汽车制造商具有市场势力的市场,以及传统汽车制造商具有市场势力的市场 3 种不同市场结构下,汽车企业的最优生产决策和最优社会福利。然而,这些研究主要聚焦于双积分政策对单个企业生产经营的影响。部分学者进一步探讨了双积分政策对横向企业间生产策略的影响。程永伟等^[6]构建了基于股权比例和内部期权协议的模型,研究了在积分均衡、积分富余和积分不足 3 种情况下,两家汽车制造商的联合生产决策。除此之外,还有学者关注双积分政策对汽车供应链生产策略的影响。唐金环等^[7]研究了政策驱动因素和消费

者偏好双重作用下,制造商和零售商的最优生产与定价策略,研究表明,积分管理办法的调整对新能源汽车市场扩张具有重要影响。

在双积分政策的激励下,新能源汽车产业呈现出蓬勃发展的态势,推动了相关技术创新研究,为新能源汽车行业的科技创新与持续发展提供了有力支撑。Ma 等^[8]通过比较信息对称与不对称条件下新能源汽车生产系统的技术创新策略,证实双积分政策能够提升技术创新和技术绩效。然而,新能源汽车产业技术创新周期长,不确定性大^[9]。单个企业的创新能力难以满足日益增长的技术创新成本需求。因此,新能源汽车供应链上下游企业的紧密合作对行业发展至关重要。学术界研究供应链合作机制时,常使用供应链协调契约作为分析工具,旨在解决各方利益的协调问题。对于结构较为复杂的三级供应链,单一契约可能难以有效协调各方利益。学者们常引入联合契约作为解决方案。例如,Luo 等^[10]发现,在一定条件下,“互为成本分担-带固定补贴”的联合契约会使生鲜农产品三级供应链中的供应商、零售商和第三方物流商都能够得到帕累托改善。罗明等^[11]的研究也支持这一结论。本研究旨在探索新能源汽车三级供应链中的协调机制,考虑到其复杂性及特殊性,计划设计一种“成本分担-收益共享”联合契约。该模型通过合理分配成本和收益,实现供应链成员的利益均衡,从而提高整个供应链的效率和竞争力。

在技术创新的推动下,尽管新能源汽车产业呈现出强劲的发展势头,市场份额仍然相对有限,且仍存在巨大的增长空间。与传统燃油车市场相比,新能源汽车尚处于市场渗透的初期阶段,如何有效推动市场需求的增长,成为产业发展的关键。代建生等^[12]指出,供应链下游企业的销售努力在市场扩张中具有显著影响,能够有效促进消费者需求的提升。以蔚来汽车为例,企业通过精心策划的电视、户外及数字广告策略,成功塑造了新能源汽车的高科技和高端品牌形象,吸引了大量消费者的关注。Shan 等^[13]研究表明,零售商可以通过销售努力来影响需求,增强供应链的可靠性。Xu 等^[14]研究指出,在某些情境下,制造商和零售商的最优利润会随着边际销售努力成本的增加而上升。尽管这些研究探讨了销售努力对供应链利润的影响,但对于零售商的销售努力如何影响上游供应链成员创新决策的研

究稍显不足。因此, 深入研究这一问题将有助于全面揭示销售努力在新能源汽车供应链中的作用, 为企业的战略决策提供更为坚实的理论基础。

综上所述, 双积分政策在推动新能源汽车技术创新方面成效显著。然而, 在新能源汽车领域的研究中, 虽然销售努力是直接影响利润的重要因素, 但大多数研究主要关注其对供应链成员定价的影响, 很少有研究同时深入探讨销售努力与技术创新。此外, 当前新能源汽车供应链领域的研究大多集中在二级供应链, 对于更为复杂的三级供应链的研究较少。因此, 销售努力与技术创新在新能源汽车三级供应链中的影响尚待进一步探索。为此, 本文构建了由电池供应商、新能源汽车制造商和零售商组成的三级新能源汽车供应链, 同时考虑创新水平和销售努力对市场需求的影响。具体研究内容包括: 1) 在双积分政策背景下探讨积分交易价格、创新成本系数以及销售努力成本系数对新能源汽车供应链成员利润和创新水平的影响机理, 这将有助于优化新能源汽车供应链上各企业的定价和技术创新决策; 2) 探讨“成本分担-收益共享”这一联合契约对新能源汽车供应链的协调效果, 为新能源汽车供应链纵向合作提供参考。

2 问题描述与模型假设

2.1 问题描述

双积分政策作为新能源汽车产业发展的关键驱动力, 通过积分交易机制有效激励汽车制造商增强研发与生产力度。同时, 消费者的偏好直接转化为新能源汽车销售的增长, 进一步促进制造商的生产活动。本研究聚焦于一个由单个电池供应商、单个新能源汽车制造商和单个新能源汽车零售商组成的三级新能源汽车供应链模型(见图1)。根据双积分政策, 新能源汽车若达到特定的续航里程、电池能量密度及电能消耗标准, 将获得积分在市场交易。为提升产品技术性能和供应链整体盈利能力, 新能源汽车制造商实施成本分担契约, 分别激励供应商技术创新和零售商提升销售努力。此外, 为激发制造商采用成本分担契约的积极性, 零售商对制造商提供收益共享契约。在双积分政策引导、消费者偏好影响和激励契约协调的作用下, 电池供应商和零售商根据自己的实际情况进行技术创新决策和销售努力决策。

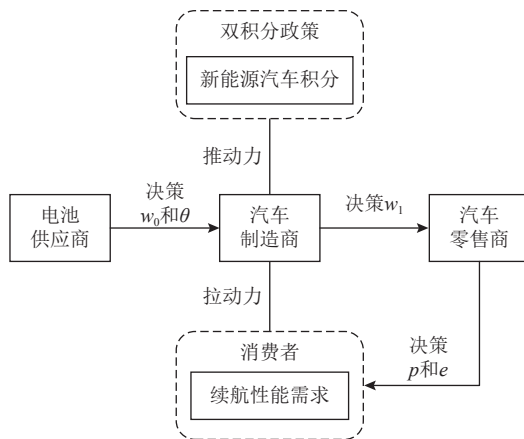


图1 新能源汽车供应链示意图

Figure 1 Schematic diagram of new energy vehicle supply chain

2.2 模型假设

假设1 假设新能源汽车的续航里程为 θ , 电池供应商通过技术创新来提高电池能量比, 进而提高电池的续航能力, 因此本文用电池的创新水平表示其续航里程, 作为电池供应商的决策变量。根据D'aspremont^[15]的研究, 创新成本是创新水平的凹函数, 即 $c(\theta) = k\theta^2/2$, 其中, k 是电池供应商进行研发投入的成本系数。

假设2 参考Song等^[16]的研究, 假设新能源汽车零售商的销售努力水平为 e , 那么新能源汽车零售商的销售努力成本是 $\mu e^2/2$ 。其中, μ 是新能源汽车零售商销售努力的成本系数。

假设3 根据文献^[17-18], 假设新能源汽车市场需求是价格的线性减函数, 是创新水平和销售努力的线性增函数, 故本文把市场需求函数设置为 $q = a - bp + \alpha\theta + \lambda e$ 。其中, a 代表新能源汽车市场的潜在需求; b 代表消费者对产品价格的敏感系数; p 代表新能源汽车的零售价格; α 代表消费者对续航里程的敏感系数; λ 代表销售努力对市场需求的弹性系数。

假设4 为简化计算, 参考李晓静^[19]的研究, 将电池供应商和新能源汽车制造商的生产成本设定为0(不影响结论)。

假设5 “双积分”政策规定, 新能源汽车积分的计算方法为 $0.0034\theta + 0.2$ 。每辆新能源汽车车型积分为标准车型积分乘以电耗调整系数(EC系数), EC系数为车型电耗目标值除以电耗实际值, 由此可见, 车型标准积分、系数均与新能源汽车电池的技术水平相关。参考刘丛^[4]的研究, 假设积分交易价格 p_0 为外生给定, 每辆新能源汽车的积分为

$T\theta$, T 为新能源汽车积分的得分系数, 则新能源汽车制造商生产一辆新能源汽车获得的积分收入为 $p_0T\theta$ 。

本文上标 c 表示集中决策模型; 上标 d 表示分散决策模型; 上标 cs 表示联合契约模型; π_s 为电池供应商的利润函数; π_m 为新能源汽车制造商的利润函数; π_r 为新能源汽车零售商的利润函数; π_c 为整个供应链的利润函数。本文涉及到的相关参数总结如表 1 所示。

表 1 参数说明

Table 1 Parameter Description

参数	含义
a	新能源汽车潜在市场需求
b	消费者对产品价格的敏感系数
p	新能源汽车市场零售价格
α	消费者对续航里程的敏感系数
λ	销售努力对市场需求的弹性系数
e	零售商销售努力水平
w_0	电池批发价格
k	电池供应商创新成本系数
θ	电池创新水平
w_1	新能源汽车批发价格
p_0	积分交易价格
T	新能源汽车积分得分系数
μ	零售商销售努力成本系数
β	新能源汽车制造商承担成本分担比例
η	新能源汽车零售商收益共享比例

3 新能源汽车供应链决策基本模型

3.1 集中决策 (模型 C)

在集中决策模型下, 供应链成员密切合作, 以整个供应链利润最大化为目标。此时, 供应链整体利润函数为

$$\pi_c^c = (p + p_0T\theta)(a - bp + \alpha\theta + \lambda e) - k\theta^2/2 - \mu e^2/2. \quad (1)$$

由式 (1) 计算可得, π_c^c 的 Hessian 矩阵为

$$\begin{bmatrix} -2b & \lambda & -bp_0T + \alpha \\ \lambda & -\mu & p_0T\lambda \\ -bp_0T + \alpha & p_0T\lambda & -k + 2p_0T\alpha \end{bmatrix}.$$

不难看出, 当 $2b\mu - \lambda^2 > 0, \mu(\alpha + bp_0T)^2 < k(2b\mu - \lambda^2)$ 时, 一阶顺序主子式 $H_1 = -2b < 0$, 二阶顺序主

子式 $H_2 = 2b\mu - \lambda^2 > 0$, 三阶顺序主子式 $H_3 = \mu(\alpha + bp_0T)^2 - k(2b\mu - \lambda^2) < 0$, 所以 Hessian 矩阵为负定矩阵, 此时 π_c^c 是关于 p 、 e 、 θ 的凹严格函数, 存在 p^{c*} 、 e^{c*} 、 θ^{c*} 使供应链整体利润 π_c^c 最优。令一阶条件等于 0 可得, 零售商最优销售价格 p^{c*} 、最优销售努力水平 e^{c*} 、供应商最优创新水平 θ^{c*} 为

$$p^{c*} = \frac{a\mu[k - p_0T(\alpha + bp_0T)]}{k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2}; \quad (2)$$

$$e^{c*} = \frac{ak\lambda}{k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2}; \quad (3)$$

$$\theta^{c*} = \frac{a\mu(\alpha + bp_0T)}{k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2}. \quad (4)$$

此时新能源汽车供应链总利润为

$$\pi_c^{c*} = \frac{a^2k\mu}{2[k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2]}. \quad (5)$$

3.2 分散决策 (模型 D)

在实际供应链运行中, 供应链成员以自身利润最大化为目标进行分散决策。假设零售商为 Stackelberg 博弈主导者, 博弈顺序如下。1) 电池供应商决策创新水平 θ 和电池批发价格 w_0 ; 2) 新能源汽车制造商决策新能源汽车的批发价格 w_1 ; 3) 新能源汽车零售商决策新能源汽车的销售价格 p 和销售努力水平 e 。供应链各成员的利润函数分别为

$$\pi_s^D = w_0(a - bp + \alpha\theta + \lambda e) - \frac{1}{2}k\theta^2; \quad (6)$$

$$\pi_m^D = (w_1 - w_0 + p_0T\theta)(a - bp + \alpha\theta + \lambda e); \quad (7)$$

$$\pi_r^D = (p - w_1)(a - bp + \alpha\theta + \lambda e) - \frac{1}{2}\mu e^2. \quad (8)$$

根据利益最大化原则, 采用逆向归纳法验证零售商关于汽车销售价格和销售努力水平的联合凹性并求解供应链成员相关决策, 得到分散决策下电池供应商最优电池批发价格、最优电池创新水平, 汽车制造商最优汽车批发价格, 以及汽车零售商最优汽车销售价格和最优销售努力水平分别为

$$w_0^{D*} = \frac{2ak(2b\mu - \lambda^2)}{b[4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2]}; \quad (9)$$

$$\theta^{D*} = \frac{a\mu(\alpha + bp_0T)}{4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2}; \quad (10)$$

$$w_1^{D*} = \frac{a[3k(2b\mu - \lambda^2) - \mu bp_0T(\alpha + bp_0T)]}{b[4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2]}; \quad (11)$$

$$p^{D*} = \frac{a[k(7b\mu - 3\lambda^2) - \mu bp_0 T(\alpha + bp_0 T)]}{b[4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0 T)^2]}; \quad (12)$$

$$e^{D*} = \frac{ak\lambda}{4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0 T)^2}。 \quad (13)$$

此时供应链成员最优利润分别为

$$\pi_s^{D*} = \frac{a^2 k \mu}{2[4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0 T)^2]}; \quad (14)$$

$$\pi_m^{D*} = \frac{a^2 k^2 \mu (2b\mu - \lambda^2)}{[4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0 T)^2]^2}; \quad (15)$$

$$\pi_r^{D*} = \frac{a^2 k^2 \mu (2b\mu - \lambda^2)}{2[4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0 T)^2]^2}。 \quad (16)$$

此时供应链整体利润为

$$\pi_c^{D*} = \frac{a^2 k \mu [7k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0 T)^2]}{2[4k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0 T)^2]}。 \quad (17)$$

命题 1 与集中式决策相比, 分散式决策下的供应链整体利润、电池创新水平和销售努力水平较低, 而汽车销售价格则较高, 即 $\pi_c^{C*} > \pi_c^{D*}$, $\theta^{C*} > \theta^{D*}$, $e^{C*} > e^{D*}$, $p^{C*} < p^{D*}$ 。

证明 比较 π_c^{C*} 和 π_c^{D*} 的大小, 两式相减得到 $\pi_c^{C*} - \pi_c^{D*} = \frac{9\mu a^2 k^3 M^2}{2[kM - N][4kM - N]^2}$ 。其中, $M = 2b\mu - \lambda^2$, $N = \mu(\alpha + bp_0 T)^2$ 。由 3.1 节可得 $M > 0$, $kM - N = k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0 T)^2 > 0$, 可知 $\pi_c^{C*} > \pi_c^{D*}$ 。同理可得 $\theta^{C*} > \theta^{D*}$, $e^{C*} > e^{D*}$, $p^{C*} < p^{D*}$ 。命题 1 得证。

命题 1 明确指出, 分散决策模式下, 新能源汽车的销售价格相较于集中决策模式显著上升, 而创新水平、销售努力水平以及供应链的整体利润却呈现出明显的下降趋势。这一现象揭示了分散决策机制下存在的双重边际效用问题。在分散决策的环境中, 供应链的各个主体主要基于自身的利润与成本进行考量, 这在一定程度上限制了创新水平的提升。鉴于此, 为有效消除分散决策带来的边际效应, 本研究认为有必要引入合理的契约模型, 以此激励供应链中的三方博弈成员实现更加紧密的协作与协调, 从而优化整个供应链系统的运作效率。

4 联合契约协调模型 (模型 CS)

由上述分析可知, 供应链中各成员以自身利益最大化为原则做决策, 会导致供应链系统利润分配失衡, 出现供应链系统不协调的问题。为了消除分

散决策的双重边际效应, 本文设计“成本分担-收益共享”的组合契约来协调新能源汽车供应链系统, 成本分担即制造商承担供应商部分 (β) 技术创新成本和零售商部分 (β) 销售努力成本。在此契约的基础上, 为了刺激制造商进行成本分担契约的积极性, 零售商将自己的部分收益 (η) 补贴给制造商, 即制造商与零售商之间引入“收益共享”契约。

根据以上分析与假设, 可得供应链成员利润函数分别为

$$\pi_s^{CS} = w_0(a - bp + \alpha\theta + \lambda e) - \frac{1}{2}(1 - \beta)k\theta^2; \quad (18)$$

$$\pi_m^{CS} = (w_1 - w_0 + p_0 T\theta + \eta p)(a - bp + \alpha\theta + \lambda e) - \frac{1}{2}\beta k\theta^2 - \frac{1}{2}\beta\mu e^2; \quad (19)$$

$$\pi_r^{CS} = [(1 - \eta)p - w_1](a - bp + \alpha\theta + \lambda e) - \frac{1}{2}(1 - \beta)\mu e^2。 \quad (20)$$

通过逆向归纳法进行求解 (求解方式类似 3.2 节), 解得联合契约下, 电池供应商最优电池批发价格、最优电池创新水平, 以及汽车制造商最优汽车批发价格、汽车零售商最优汽车销售价格和最优销售努力水平分别为

$$w_0^{CS*} = \frac{2ak[(1 - \eta)\lambda^2 + b\mu(1 - \beta)(\eta - 2)]}{b[4k[(1 - \eta)\lambda^2 + b\mu(1 - \beta)(\eta - 2)] + \mu(\alpha + bp_0 T)^2]}; \quad (21)$$

$$\theta^{CS*} = \frac{a\mu(\alpha + bp_0 T)}{4k[b\mu(1 - \beta)(2 - \eta) - (1 - \eta)\lambda^2] - \mu(\alpha + bp_0 T)^2}; \quad (22)$$

$$w_1^{CS*} = \frac{a(1 - \eta)[\mu bp_0 T(\alpha + bp_0 T) + 3k(1 - \eta)\lambda^2 + 2bk\mu(1 - \beta)(2\eta - 3)]}{b[\mu(\alpha + bp_0 T)^2 + 4k[(1 - \eta)\lambda^2 + b\mu(1 - \beta)(\eta - 2)]]}; \quad (23)$$

$$p^{CS*} = \frac{a[\mu bp_0 T(\alpha + bp_0 T) + 3k(1 - \eta)\lambda^2 + bk\mu(1 - \beta)(4\eta - 7)]}{b[\mu(\alpha + bp_0 T)^2 + 4k[(1 - \eta)\lambda^2 + b\mu(1 - \beta)(\eta - 2)]]}; \quad (24)$$

$$e^{CS*} = \frac{ak\lambda(1 - \eta)}{4k[b\mu(1 - \beta)(2 - \eta) - (1 - \eta)\lambda^2] - \mu(\alpha + bp_0 T)^2}。 \quad (25)$$

此时供应链成员最优利润分别为

$$\pi_s^{CS*} = \frac{a^2 k \mu (1 - \beta)}{8k[b\mu(1 - \beta)(2 - \eta) - (1 - \eta)\lambda^2] - 2\mu(\alpha + bp_0 T)^2}; \quad (26)$$

$$\pi_m^{CS*} = \frac{a^2\mu[2k^2(1-\beta)(1-\eta)\lambda^2 + b\mu(1-\beta)(\eta-2)] - (k\beta\mu + \beta\mu^2)(\alpha + bp_0T)^2}{2[\mu(\alpha + bp_0T)^2 + 4k[(1-\eta)\lambda^2 + b\mu(1-\beta)(\eta-2)]]^2}; \quad (27)$$

$$\pi_r^{CS*} = \frac{a^2k^2\mu(1-\beta)(1-\eta)[(1-\eta)\lambda^2 + 2b\mu(1-\beta)]}{2[4k[(1-\eta)\lambda^2 + b\mu(1-\beta)(\eta-2)] - \mu(\alpha + bp_0T)^2]^2}. \quad (28)$$

命题 2 当契约参数 $\beta = 1 - \frac{\lambda^2}{2b\mu}$, $\eta = \frac{b\mu}{\lambda^2} - \frac{1}{2}$ 时, 则该联合契约的协调机制达到最优状态, 实现了新能源汽车供应链的协调。

证明 实现该新能源汽车供应链的先决必要条件为 $p^{CS*} = p^{C*}$, $\theta^{CS*} = \theta^{C*}$ 。联合求解此方程组, 可计算得到契约参数 β 、 η 的取值范围, 则命题 2 得证。

将契约参数代入到联合契约协调机制中, 得到新能源汽车供应链中供应链各成员的利润以及供应链技术创新水平和销售努力水平结果如下。

$$\pi_s^{CS*} = \frac{a^2k\lambda^2}{4b[k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2]}; \quad (29)$$

$$\pi_m^{CS*} = \frac{a^2(2b\mu - \lambda^2)[k^2\lambda^2 - 2\mu^2(\alpha + bp_0T)^2 - 2k\mu(\alpha + bp_0T)^2]}{8b[\mu(\alpha + bp_0T)^2 - k(2b\mu - \lambda^2)]^2}; \quad (30)$$

$$\pi_r^{CS*} = \frac{a^2k^2(2b\mu - \lambda^2)(3\lambda^2 - 2b\mu)}{16b[\mu(\alpha + bp_0T)^2 - k(2b\mu - \lambda^2)]^2}; \quad (31)$$

$$\theta^{CS*} = \frac{a\mu(\alpha + bp_0T)}{k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2}; \quad (32)$$

$$e^{CS*} = \frac{ak(3\lambda^2 - 2b\mu)}{2\lambda[k(2b\mu - \lambda^2) - \mu(\alpha + bp_0T)^2]}. \quad (33)$$

命题 3 联合契约下的技术创新水平和销售努力水平平均高于分散决策, 即 1) $\theta^{CS*} > \theta^{D*}$, 2) $e^{CS*} > e^{D*}$ 。

证明 $\theta^{CS*} - \theta^{D*} = \frac{3ak\mu(\alpha + bp_0T)M}{(4kM - N)(kM - N)}$ 。其中, $M = 2b\mu - \lambda^2$, $N = \mu(\alpha + bp_0T)^2$ 。由于 $M > 0$, $kM - N > 0$, $4kM - N > 0$, 因此 $\theta^{CS*} > \theta^{D*}$ 。同理可得 $e^{CS*} > e^{D*}$, 命题 3 得证。

命题 3 表明, 1) 联合契约可以有效提升创新水平。联合契约这种合作模式下, 因为供应链成员间的资源整合和知识共享, 所以电池供应商更有动力去进行创新研发, 提升创新水平。2) 联合契约可以有效提升零售商销售努力水平。在联合契约的推动

下, 供应链各成员明确共同目标和责任分配, 制造商分担供应商的创新成本促进技术创新, 零售商进行更高的销售努力水平刺激市场需求, 提升供应链利润水平。3) 联合契约模式是一种更为有效的策略。由于联合契约能够提升技术创新水平和销售努力水平, 直接促进了供应链中产品或服务的品质提升和市场拓展, 这不仅增强了供应链各环节的协同效率, 还使得整个供应链在面对市场竞争时更具优势。

命题 4 在新能源汽车供应链中, 联合契约下的电池供应商利润、新能源汽车制造商利润以及新能源汽车零售商利润均大于分散决策。即 1) $\pi_s^{CS*} > \pi_s^{D*}$, 2) $\pi_m^{CS*} > \pi_m^{D*}$, 3) $\pi_r^{CS*} > \pi_r^{D*}$ 。

证明 $\pi_s^{CS*} - \pi_s^{D*} = \frac{a^2kM[k(3\lambda^2 + M) + N]}{4b(4kM - N)(kM - N)}$ 。其中, $M = 2b\mu - \lambda^2$, $N = \mu(\alpha + bp_0T)^2$ 。由于 $M > 0$, $kM - N > 0$, $4kM - N > 0$, 因此 $\pi_s^{CS*} > \pi_s^{D*}$ 。同理, 可得 $\pi_m^{CS*} > \pi_m^{D*}$, $\pi_r^{CS*} > \pi_r^{D*}$ 。命题 4 得证。

命题 4 深入阐释了引入联合契约对于新能源汽车供应链系统的积极作用。通过实施联合契约, 新能源汽车供应链系统的利润得到有效协调, 进而实现了供应链的稳定性与协调性。这一机制不仅提升了供应链各成员的利润水平, 更推动了供应链成员的帕累托改进, 即在不损害其他成员利益的前提下, 实现各自利益的优化。以青山集团和上汽集团为例, 二者通过签署动力电池电芯及系统合作协议, 显著提升了电池创新水平, 推动了技术进步。同时, 上汽新能源汽车也充分利用汽车零售商的门店资源和市场推广能力, 实现了产品的高效销售, 进一步强化了供应链的协同效应。

5 不同情形下相关参数影响分析

命题 5~7 探讨积分交易价格、创新成本系数和销售努力成本系数对技术创新水平和销售努力水平的影响。

命题 5 双积分政策不仅有助于供应商提高创新水平, 还有利于零售商提高销售努力水平, 且二者均随着积分交易价格的增加而提高, 即 1) $\frac{\partial \theta^{CS*}}{\partial p_0} > 0$, $\frac{\partial \theta^{D*}}{\partial p_0} > 0$, $\frac{\partial \theta^{CS*}}{\partial p_0} > 0$; 2) $\frac{\partial e^{CS*}}{\partial p_0} > 0$, $\frac{\partial e^{D*}}{\partial p_0} > 0$, $\frac{\partial e^{CS*}}{\partial p_0} > 0$ 。

命题 5 说明, 1) 双积分政策背景下, 电池续航

里程的表现成为主导市场需求的因素之一, 推动新能源汽车市场发展。供应商为了适应市场需求以及满足政策要求, 倾向于加大对创新水平的投入, 以提升电池续航里程等关键技术指标, 从而增强其竞争优势并满足消费者需求。2) 双积分政策的实施对推动新能源汽车市场的发展起到了重要作用, 零售商为了获取更高的市场占有率以及符合政策要求, 倾向于提升销售努力水平, 增加新能源汽车的销售量。

命题6 供应商的创新水平是创新成本系数的减函数, 随其增长而降低。零售商的销售努力水平也是创新成本系数的减函数。即 1) $\frac{\partial \theta^{CS*}}{\partial k} < 0$,

$$\frac{\partial \theta^{D*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial \theta^{CS*}}{\partial k} < 0; 2) \frac{\partial e^{C*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial e^{D*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial e^{CS*}}{\partial k} < 0。$$

命题6说明, 1) 当创新成本系数较小时, 供应商更有动力提升产品的创新水平, 因为较低的成本使得他们更容易承担创新所带来的风险和成本, 从而促使其更积极地投入到提升产品创新水平的活动中。而当创新成本系数较大时, 随着提高创新水平所需成本的增加, 供应商在追求创新时将面临更高的经济压力和资源投入需求, 因此提升创新水平的难度逐渐增加。2) 当创新成本较小时, 供应商更容易实现较高水平的创新, 这将增加产品的竞争力和市场需求, 从而减轻零售商的销售压力。

命题7 供应商的创新水平是销售努力成本系数的减函数, 随其增长而降低。零售商的销售努力水平也是销售努力成本系数的减函数, 随其增长而降低。即 1) $\frac{\partial \theta^{CS*}}{\partial \mu} < 0, \frac{\partial \theta^{D*}}{\partial \mu} < 0, \frac{\partial \theta^{CS*}}{\partial \mu} < 0$; 2) $\frac{\partial e^{C*}}{\partial \mu} < 0, \frac{\partial e^{D*}}{\partial \mu} < 0, \frac{\partial e^{CS*}}{\partial \mu} < 0。$

命题7说明, 1) 当销售努力成本系数较低时, 零售商更容易提高销售努力水平, 因为这需要的资源相对较少。在这种情况下, 他们会更愿意投入更多的精力和资源来增加销售活动。而当销售努力成本较高时, 要提升销售活动就需要投入更多成本, 因此零售商可能会对增加销售努力的成本望而却步。2) 当销售努力成本系数较低时, 零售商更容易提高销售努力水平, 从而增加产品的市场份额和销售额。在这种情况下, 供应商可能会减少投入到提升产品创新水平的成本, 因为销售努力已经带来了市场的稳定表现, 无需额外的创新投入来促进销售。

6 数值分析

为了验证联合契约模型的可行性与合理性, 本节主要通过数值算例分析积分交易价格 p_0 、创新成本系数 k 和销售努力成本系数 μ 对不同模型下供应链利润及技术创新水平的影响, 并通过 MATLAB 软件进行数值模拟。

6.1 积分交易价格的影响分析

通过参考文献[7]和相关企业的数据, 取参数 $a = 200$, $b = 12$, $\alpha = 4$, $k = 10$, $T = 0.5$, $\lambda = 2.1$, $\mu = 3$ 。不同情形下的积分交易价格对供应链成员利润和创新水平的影响情况分别见图2~图4。由图2~图4可知, 联合契约的实施给供应商、制造商和零售商均带来了显著的效益提升。相较于分散决策模式, 联合契约不仅实现了对新能源汽车供应链的帕累托改进, 即在不损害任何一方利益的前提下, 至少提高了一方的利益, 而且还显著提升了产品的技术创新水平。这一发现具有重要的理论和实践意义, 表明通过优化供应链的协作模式, 可以有效提升新能源汽车产业的竞争力和可持续发展能力。

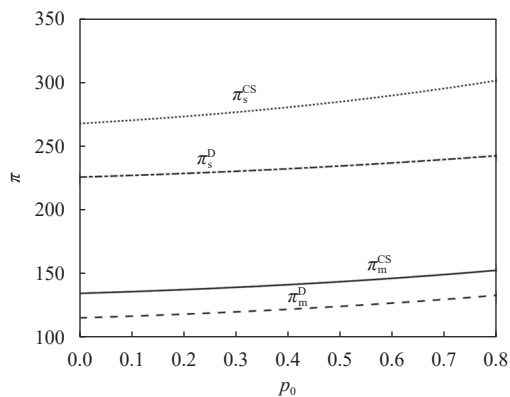


图2 积分交易价格对供应商和制造商利润的影响
Figure 2 The impact of point transaction prices on supplier and manufacturer profits

积分交易价格与供应链成员利润以及技术创新水平之间存在正相关关系。随着积分交易价格的增加, 供应商、制造商和零售商的利润均呈现出增长趋势, 同时产品的技术创新水平也得以提升。这一现象表明, 双积分政策作为一种激励机制, 通过调整积分交易价格, 能够有效地调动供应链成员的积极性, 促进新能源汽车产业的创新和发展。

6.2 创新成本系数的影响分析

通过参考文献[7]和相关企业的数据, 取参数 $a = 200$, $b = 12$, $\alpha = 4$, $T = 0.5$, $\mu = 3$, $\lambda = 2.1$, $p_0 = 0.3$ 。创

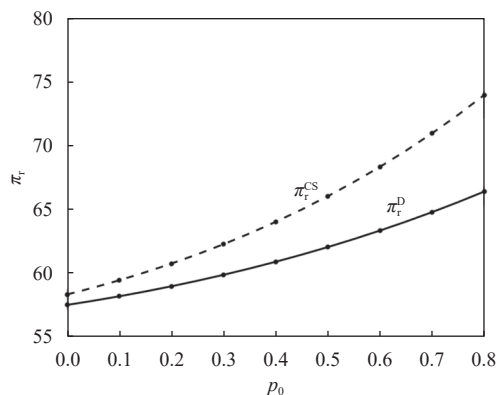


图 3 积分交易价格对零售商利润的影响

Figure 3 The impact of points transaction price on retailer profits

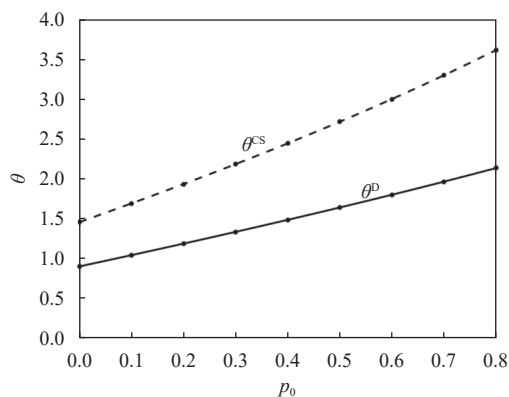


图 4 积分交易价格对创新水平的影响

Figure 4 The impact of points transaction price on innovation level

新成本系数对供应链成员利润和供应商创新水平的影响情况分别见图 5 ~ 图 7。

相较于分散决策模式，联合契约的实施使得供应商、制造商和零售商的利润以及技术创新水平均获得显著提升。这一现象不仅验证了联合契约在供应链成员间实现帕累托改进的可行性，即通过优化资源配置和协作关系，提高整体效率，同时确保每个成员的利益不受损害，而且进一步证实了联合契约对于提升产品技术创新水平的积极作用。

在保持积分交易价格不变的前提下，能观察到创新成本系数与供应链成员利润以及技术创新水平之间的负相关关系。具体来说，随着创新成本系数的增大，即面对更高的技术创新投入和风险时，供应商、制造商和零售商的利润均呈现出下降趋势，同时产品的技术创新水平也受到抑制。

针对这一问题，提出采用“成本分担-收益共享”的联合契约作为应对策略。这种契约模式通过合理分担技术创新成本，降低单一成员承担的风险

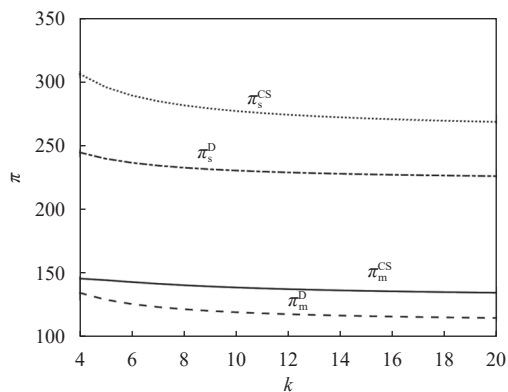


图 5 创新成本系数对供应商和制造商利润的影响

Figure 5 The impact of innovation cost coefficient on supplier and manufacturer profits

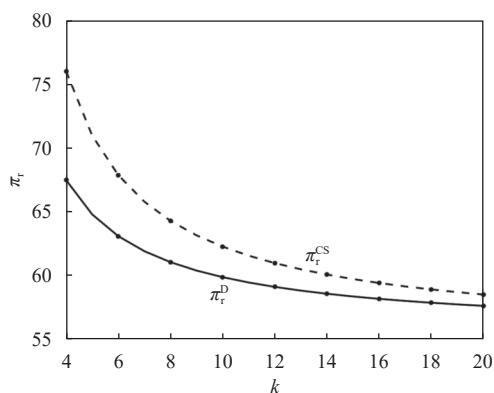


图 6 创新成本系数对零售商利润的影响

Figure 6 The impact of innovation cost coefficient on retailer profits

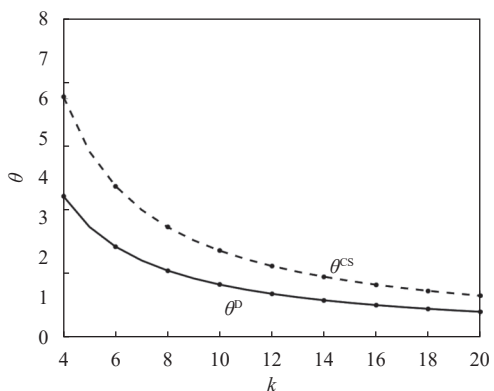


图 7 创新成本系数对创新水平的影响

Figure 7 The impact of innovation cost coefficient on innovation level

和压力，同时共享技术创新带来的收益，从而激发供应链成员参与技术创新的积极性。

6.3 销售努力成本系数的影响分析

通过参考文献 [7] 和相关企业的数据， $a = 200$ ， $b = 12$ ， $\alpha = 4$ ， $T = 0.5$ ， $k = 10$ ， $\lambda = 2.1$ ， $p_0 = 0.3$ 。销

售努力成本系数对供应链成员利润和供应商创新水平的影响情况分别见图8~图10。

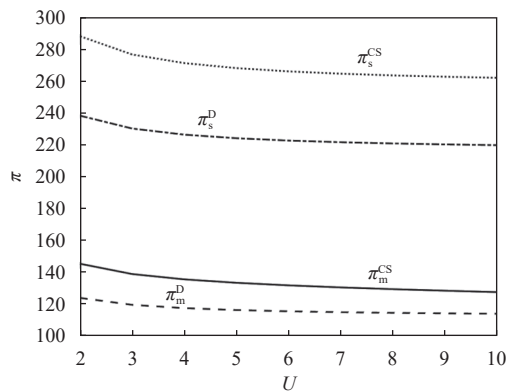


图8 销售努力成本系数对供应商和制造商利润的影响
Figure 8 The impact of sales effort cost coefficient on supplier and manufacturer profits

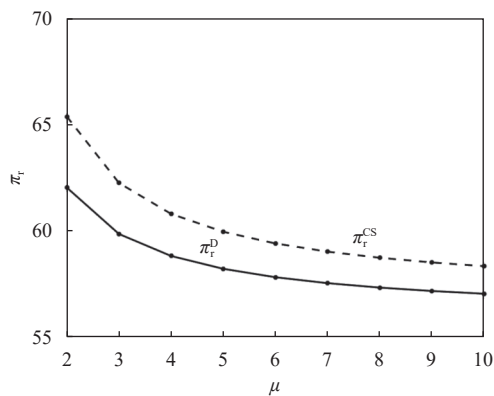


图9 销售努力成本系数对零售商利润的影响
Figure 9 The impact of sales effort cost coefficient on retailer profits

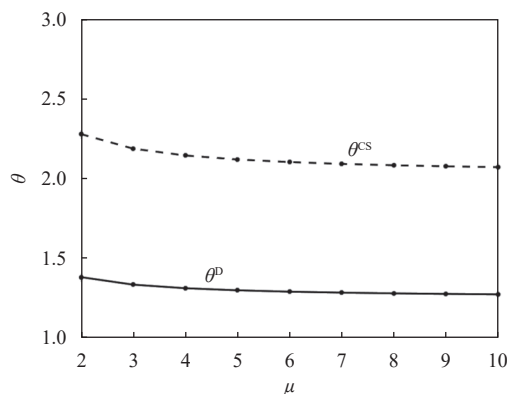


图10 销售努力成本系数对创新水平的影响
Figure 10 The impact of sales effort cost coefficient on innovation level

与分散决策相比, 联合契约的实施显著提升了供应商、制造商和零售商的利润水平, 同时促进了技术创新水平的提升。这一发现不仅验证了联合契约在优化资源配置、提升整体效率方面的有效性,

而且进一步凸显了其在推动新能源汽车技术创新方面的积极作用。

在积分交易价格保持不变的情况下, 销售努力成本系数的变化对供应链成员利润和技术创新水平产生了负面影响。具体而言, 随着销售努力成本系数的增大, 即市场低迷、销售难度增加时, 供应商、制造商和零售商的利润均呈现出下降趋势, 同时技术创新水平也受到一定程度的抑制。

针对这一问题, 提出采用“成本分担-收益共享”的联合契约作为应对策略。通过合理分担销售努力成本, 降低单一成员承担的风险和压力, 同时共享技术创新带来的收益, 这种契约模式能够激发供应链成员在市场低迷环境下的销售努力和技术创新积极性。

值得注意的是, 尽管销售努力成本系数的增加会导致技术创新水平的降低, 但降低的幅度并不显著。这一发现表明, 尽管市场低迷环境下技术创新面临一定的挑战, 但新能源汽车供应链仍具有一定的韧性和潜力。因此, 在制定供应链管理策略时, 应充分考虑市场环境和成本因素的影响, 通过优化契约设计和激励机制来平衡销售努力和技术创新之间的关系。

6.4 联合契约的有效性验证

检验供应商、制造商和零售商在联合契约协调前后的利润变化情况, 即通过契约前后供应链成员的利润增量来验证契约有效性。供应链成员利润增量受联合契约影响的变化情况如图11~图13所示。其中, $\Delta\pi_s = \pi_s^{CS} - \pi_s^D$, $\Delta\pi_m = \pi_m^{CS} - \pi_m^D$, $\Delta\pi_r = \pi_r^{CS} - \pi_r^D$ 。

由图11可知, 无论契约参数 β 和 η 如何变化, 供应商利润增量始终为正, 并且随着参数的增加,

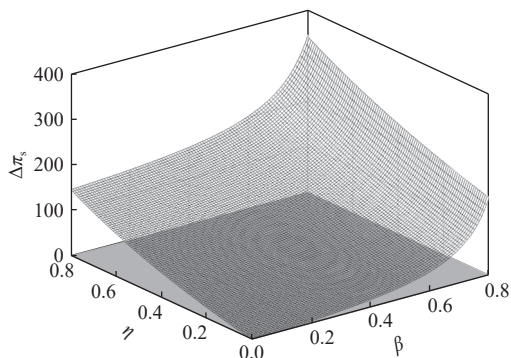


图11 契约参数对供应商利润增量的影响
Figure 11 The impact of contract parameters on supplier profit increment

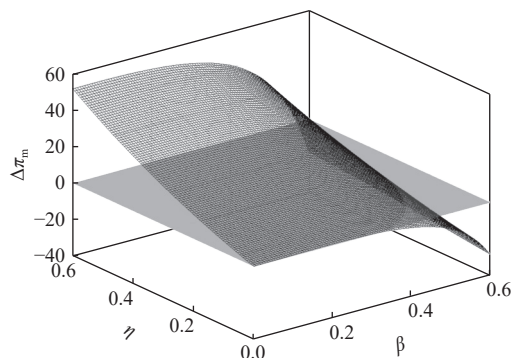


图 12 契约参数对制造商利润增量的影响

Figure 12 The impact of contract parameters on the manufacturer profit increment

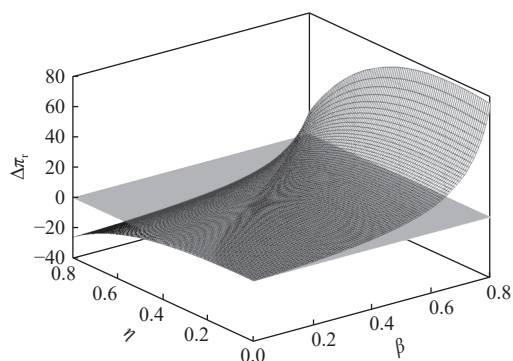


图 13 契约参数对零售商利润增量的影响

Figure 13 The impact of contract parameters on retailer profit increment

利润增量呈现逐步上升的趋势。这表明契约设计对供应商的激励效果显著。

由图 12 可知,随着契约参数 β 的增加,制造商的利润增量逐渐下降,且当成本分担比例 β 过大时,利润增量可能变为负值;而随着契约参数 η 的增加,零售商将收益分享给制造商,制造商的利润差呈现逐步上升的趋势。这表明合理的收益分配机制对制造商利润有积极影响。

由图 13 可知,零售商的利润增量随着契约参数 β 的增加逐步上升,随着契约参数 η 的增加逐渐下降;且当收益共享比例 η 过大时,利润增量甚至为负。

综合来看,契约参数的设计需平衡供应链各方利益。收益共享契约对供应商和制造商具有激励作用,但可能损害零售商的利益;成本分担契约对供应商和零售商有正向作用,但会对制造商产生较大压力。此外,二者的协同作用显著,单一调整可能难以优化整体供应链绩效。因此,合理分配契约参数至关重要,以在各方之间实现利益均衡并最大化供应链整体利润。

7 结论

本文在双积分政策背景下,同时考虑技术创新水平和销售努力水平的影响,以单个电池供应商、单个新能源汽车制造商和零售商组成的三级供应链系统为研究对象,分析新能源汽车供应链的最优决策,对比发现集中决策的供应链利润始终高于分散决策的利润。为了消除双重边际效应,设计了“成本分担-收益共享”的联合契约对供应链系统进行协调,使得新能源汽车供应链达到了帕累托改善,并探讨了双积分政策、创新成本系数和销售努力成本系数对新能源汽车供应链的影响。研究结果表明:

- 1) 分散决策存在双重边际效应,而“成本分担-收益共享”的联合契约可以实现新能源汽车供应链的帕累托改善,改善其双重边际效应,即联合契约下的供应链各成员利润和创新水平都高于分散决策下的情形。
- 2) 双积分政策能够有效提升供应链的创新水平和利润。积分交易价格越高,零售商的销售努力水平越高,创新水平越高,供应链各成员利润越高。
- 3) 不论是分散决策还是联合契约决策,创新成本系数越大,零售商的销售努力水平越高,创新水平越低,供应链各成员利润越低。
- 4) 销售努力成本系数的影响同创新成本系数类似,销售努力系数越大,零售商的销售努力水平越高,创新水平越低,供应链各成员利润越低。

本文的管理启示如下。

1) 对于企业来说,在双积分政策下,新能源汽车制造商应该向付出创新成本的电池供应商和付出销售努力成本的新能源汽车零售商提供合适的激励契约,用以激励电池供应商提高技术创新水平和新能源汽车零售商提升销售努力水平;而新能源汽车零售商应该在此基础上向新能源汽车制造商提供收益共享契约,以保证制造商进行成本分担契约的积极性。

2) 对于政府而言,应该充分利用具备创新性和激励效应的双积分政策,将新能源汽车积分作为推动积分交易市场良性发展的强制性要素。一方面,这将向新能源汽车市场传递明确的信号,只有增加在新能源汽车领域的创新投入,才能获得更高的积分回报。另一方面,可以引导供应链成员更加注重合作与协调,优化资源配置和任务分工,进而促使各环节之间的协同效率得到提升。总的来说,这一

举措不仅可以有效提升新能源汽车供应链成员在技术创新方面的积极性和主动性, 提升整个新能源汽车供应链的效率, 更将为我国汽车产业升级和转型注入新的活力。

本文尚存在不足, 还可以拓展的地方有: 1) 本文所研究的供应链只考虑了电池供应商占据主导地位的情况。在现实中, 也存在新能源汽车制造商在供应链中占据主导地位的情况, 未来可以继续这方面的研究。2) 本文将积分交易价格作为外生变量, 将来可以将其作为内生变量来进行研究。

参考文献:

- [1] 工业和信息化部, 财政部, 商务部等. 关于修改《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》的决定[EB/OL]. 2024[2024-04-02]. https://wap.miit.gov.cn/jgsj/zbys/gzdt/art/2023/art_02e935e2cce74be4a641d7b8ca5621b4.html.
- [2] WOODLEY L, ROSSETTI P, NUNES A. Targeted electric vehicle procurement incentives facilitate efficient abatement cost outcomes[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 96: 104627.
- [3] CHEN Z W, FAN Z P. Improvement strategies of battery driving range in an electric vehicle supply chain considering subsidy threshold and cost misreporting [J]. *Annals of Operations Research*, 2023, 326: 89-113.
- [4] 刘丛, 刘洁, 邵路路, 等. “双积分”政策下新能源汽车制造商激励供应商创新的契约选择研究[J]. *管理学报*, 2022, 19(6): 928-937.
LIU Cong, LIU Jie, SHAO Lulu, et al. Contract design to incentive supplier innovation under dual-credit policy[J]. *Chinese Journal of Management*, 2022, 19(6): 928-937.
- [5] 张奇, 李曜明, 唐岩岩, 等. 新能源汽车“双积分”政策对生产商策略与社会福利影响研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2020, 40(1): 150-169.
ZHANG Qi, LI Yaoming, TANG Yanyan, et al. Impact of dual-credit policy on automakers strategies and social welfare[J]. *System Engineering – Theory & Practice*, 2020, 40(1): 150-169.
- [6] 程永伟, 穆东. 双积分制下汽车生产商生产决策优化[J]. *系统工程理论与实践*, 2018, 38(11): 2817-2830.
CHENG Yongwei, MU Dong. Optimal production decision of vehicle manufacturer based on double-score system[J]. *System Engineering – Theory & Practice*, 2018, 38(11): 2817-2830.
- [7] 唐金环, 杨芳, 徐家旺, 等. 双积分制下考虑消费者偏好的二级汽车供应链生产与定价问题研究[J]. *工业工程与管理*, 2021, 26(1): 121-129.
TANG Jinhuan, YANG Fang, XU Jiawang, et al. A production and pricing research on two-echelon automotive supply chains considering consumer preference under dual-credit regulation [J]. *Industrial Engineering and Management*, 2021, 26(1): 121-129.
- [8] MA M M, MENG W D, LI Y Y, et al. Impact of dual credit policy on new energy vehicles technology innovation with information asymmetry[J]. *Applied Energy*, 2023, 332: 120524.
- [9] LI H C, QI H J, CAO H J, et al. Industrial policy and technological innovation of new energy vehicle industry in China[J]. *Energies*, 2022, 15(24): 9264.
- [10] LUO M, ZHOU G H, XU H. Three-tier supply chain on temperature control for fresh agricultural products using new differential game model under two decision-making situations[J]. *Operations Management Research*, 2022, 15(3-4): 1028-1047.
- [11] 罗明, 周国华. 基于微分博弈的生鲜农产品三级供应链温度控制投入研究[J]. *运筹与管理*, 2024, 33(1): 64-68.
LUO Ming, ZHOU Guohua. Research on temperature control input of three-level supply chain of fresh agricultural products based on differential game[J]. *Operations Research and Management Science*, 2024, 33(1): 64-68.
- [12] 代建生, 刘悦. 公平偏好和销售努力下供应链期权契约协调[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(7): 20-30.
DAI Jiansheng, LIU Yue. Supply chain coordination via option contracts with fairness preference and sales effort[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(7): 20-30.
- [13] SHAN X, XIONG S Q, ZHANG C L. Mitigating supply disruption risks by diversifying competing suppliers and using sales effort[J]. *International Journal of Production Economics*, 2023, 255: 108637.
- [14] XU X P, YANG Y Y, JI T. The effects of cap-and-trade regulation and sales effort on supply chain coordination[J]. *Annals of Operations Research*, 2023, 17: 1-9.
- [15] D'ASPROMONT C, JACQUEM-IN A. Cooperative and noncooperative R&D in duopoly with spillovers[J]. *American Economic Review*, 1988, 78(5): 1133-1137.
- [16] SONG J, LI F, WU D D, et al. Supply chain coordination through integration of innovation effort and advertising support[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2017, 49: 108-123.
- [17] JIANG M T. The impact of retailers' sales efforts on closed loop supply chain decision-making: taking the supply chain of new energy vehicles as an example[J]. *Times Economic and Trade*, 2022, 19(1): 17-21.
- [18] YIN Y, LIU J C. Research on new energy vehicle supply chain pricing strategy based on game theory and particle swarm optimization[J]. *Scientific Journal of Intelligent Systems Research*, 2021, 3(4): 46.
- [19] 李晓静, 艾兴政, 唐小我. 基于供应链竞争的技术创新价值与溢出效应[J]. *系统工程学报*, 2017, 32(6): 808-810.
LI Xiaojing, AI Xingzheng, TANG Xiaowo. Technological innovation value and spillover effect based on supply chain competition[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(6): 808-810.

(责任编辑: 郑德华)