

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2025.04.009

互补性新能源汽车供应链续航努力与 定价联合决策研究

戴道明, 刘飞扬

(安徽财经大学 管理科学与工程学院, 安徽 蚌埠 233000)

摘要: 以两互补性制造商与单零售商组成的二级供应链为对象, 研究了新能源汽车供应链续航努力与定价的联合决策问题。首先, 建立不考虑持股策略情形下的新能源汽车供应链续航努力与定价的 Stackelberg 博弈模型; 其次, 引入持股策略, 将模型扩展到新能源汽车制造商持有充电桩制造商股份的情形; 然后, 比较两种模型的均衡解和最优利润; 最后, 通过数值分析验证理论结果。研究结果表明: 消费者续航关切度与最优定价、续航努力水平、需求量和利润正相关; 随着产品互补程度的增加, 最优定价、需求量、两制造商利润及供应链整体利润均随之增加, 而零售商最优利润随之减少; 持股策略下新能源汽车制造商和充电桩制造商的最优需求量及利润更高, 持股比例与供应链成员最优利润正相关, 购股费用与充电桩制造商利润成正比; 政府制定较高的新能源汽车积分核算系数, 可以提高新能源汽车和充电桩的最优需求量, 从而促进新能源汽车产业的发展。

关键词: 供应链; 互补性新能源汽车; 持股策略; 续航努力; 定价

中图分类号: F274

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2025)04-0066-08

引文格式: 戴道明, 刘飞扬. 互补性新能源汽车供应链续航努力与定价联合决策研究 [J]. 湖南工业大学学报, 2025, 39(4): 66-73.

Research on Joint Decision Making of Endurance Effort and Pricing in Complementary NEV Supply Chain

DAI Daoming, LIU Feiyang

(School of Management Science and Engineering, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu Anhui 233000, China)

Abstract: With a secondary supply chain, which consists of two complementary manufacturers and a single retailer, as the research target, a study has been conducted on the joint decision-making of endurance effort and pricing in the supply chain of new energy vehicles. Firstly, a Stackelberg game model is established for the endurance effort and pricing of the new energy vehicle supply chain without shareholding strategies taken into consideration. Secondly, with a shareholding strategy introduced, the model is extended to the situation where new energy vehicle manufacturers hold shares in charging pile manufacturers. Thirdly, a comparison is made between the equilibrium solutions and optimal profits of the two models. Finally, the theoretical results are validated based on numerical analysis. The research results indicate that consumer concerns about battery life are positively correlated with optimal pricing, battery endurance effort level, demand, and profit. The optimal pricing, demand, profits of both manufacturers, and overall supply chain profits all increase with an increase of the degree of product complementarity. Under the shareholding strategy, the optimal demand and profit of new energy vehicle manufacturers and charging pile manufacturers tend to be higher,

收稿日期: 2024-05-27

基金项目: 安徽省高校自然科学基金资助重大项目 (2023AH040045)

作者简介: 戴道明, 男, 安徽财经大学教授, 博士, 主要研究方向为物流与供应链管理, E-mail: ddmid@163.com

with the shareholding ratio positively correlated with the optimal profit of supply chain members, while the cost of purchasing shares is directly proportional to the profit of charging pile manufacturers. An establishment of a higher credit calculation coefficient for new energy vehicles by the government can increase the optimal demand for new energy vehicles and charging stations, thus promoting the development of the new energy vehicle industry.

Keywords: supply chain; complementary new energy vehicle; shareholding strategy; endurance effort; pricing

1 研究背景

为实现“双碳”目标,促进能源转型,我国政府积极出台政策以推动新能源汽车产业的发展。2023年,我国新能源汽车销售量高达949.5万辆,同比增长37.9%,年末新能源汽车保有量达2 041万台。然而,新能源汽车产业的发展面临诸多挑战,例如新能源汽车的安全性、可靠性和续航里程等。其中,“续航里程焦虑”问题是新能源汽车消费者关注的焦点。目前主要从以下两个方面缓解新能源汽车“续航里程焦虑”问题:一方面,新能源汽车和充电桩具有互补性,通过加强高效能充电基础设施的布局与推广,可以从时间和空间上缓解“续航里程焦虑”问题;另一方面,运用新技术延长续航里程,解决新能源汽车“续航里程焦虑”问题。

互补性产品是指两种商品之间存在着某种消费依存关系^[1]。例如,手机和充电器以及新能源汽车和充电桩,均是互补性产品。然而,随着新能源汽车业的蓬勃兴起,其配套设施——充电桩的发展却显得相对滞后。截至2023年12月,我国充电基础设施保有量仅为859.6万台,充电基础设施不足制约了新能源汽车的发展。因此,提升新能源汽车和充电基础设施之间的互补性,对于推广新能源汽车具有重要意义。许多学者对互补产品进行了研究。如何平等^[1]探讨了授权策略对互补产品供应链最优决策及利润的影响机理。邵灵芝^[2]在绿色供应链背景下,研究了互补产品供应商绿色创新决策及零售商绿色营销策略选择问题。M. Chirantan等^[3]在闭环绿色供应链背景下,探讨了两制造商不同决策顺序情况下的互补产品定价决策和销售策略问题。M. Hemmati等^[4]基于逆向参与式定价机制(NYOP),研究了互补产品销售策略问题。但目前鲜有同时考虑新能源汽车和充电桩的文献,因此,本文将从产品互补性视角,探讨充电桩的规模和充电功效水平对新能源汽车供应链运营决策的影响。

新能源汽车“续航里程焦虑”问题是当前研究的

热点,卢超等^[5]认为新能源汽车制造商可通过提高续航努力,增大产品续航里程,进而获得更多市场需求。Xu Y. H.等^[6]对新能源汽车续航能力管理策略进行了优化,提高了整车能量利用效率。但上述研究仅基于新能源汽车自身续航里程,而未考虑充电桩的规模和布局对缓解“续航里程焦虑”问题的影响。也有学者以充电桩为研究对象,探寻“续航里程焦虑”问题解决方案。如Wu F.等^[7]利用数学模型确定了给定区域充电站位置,提高了充电站点的服务上限。Song Y.等^[8]提出一种基于学习的充电桩选址优化模型,通过优化充电桩布局缓解消费者的充电需求。然而上述文献仅考虑充电桩问题,尚未探讨新能源汽车自身续航里程问题。综上所述,新能源汽车自身续航里程和充电桩是有效解决“续航里程焦虑”问题的关键。因此本文将同时考虑新能源汽车制造商进行续航努力,充电桩制造商进行充电功效努力的情形,研究新能源汽车供应链续航努力联合决策问题。

除了新能源汽车续航能力外,价格也是消费者的重点关注问题。企业如何通过合理调控价格以提高产品竞争力,是供应链研究的热点。朱庆缘等^[9]探寻了汽车制造商最优定价决策和燃油车碳减排研发策略。卢超等^[5]基于补贴政策,探讨了供应链成员最优续航、定价决策问题。上述文献涉及竞争性新能源汽车供应链的定价问题,然而未涉及定价会对互补性新能源汽车供应链运营决策产生何种影响?因此,本文将深入分析新能源汽车和充电桩之间的互补性对供应链定价的影响机理。

综上所述,本文拟以两互补性制造商(即新能源汽车制造商和充电桩制造商)与单零售商组成的二级供应链为对象,研究互补性新能源汽车供应链续航努力与定价联合决策问题。新能源汽车制造商生产并批发新能源汽车,充电桩制造商生产并批发充电桩。新能源汽车和充电桩是互补性产品,并通过单零售商销售。首先,在不考虑持股策略的情形下,建立Stackelberg博弈模型。然后,引入持股策略,建立新能源汽车制造商持股充电桩制造商情形下的

Stackelberg 博弈模型。最后,进行数值分析。本文创新点如下:1)针对新能源汽车和充电桩是相互依存的互补性产品的情形,分析产品互补程度对新能源汽车供应链最优续航努力水平、充电功效努力水平、定价和利润的影响。2)引入持股策略,探寻持股策略对供应链成员最优决策和利润的影响机制。

2 参数假设与模型建立

如图 1 所示,本文以两互补性制造商和单零售商组成的二级供应链为对象,研究互补性新能源汽车供应链续航努力与定价联合决策问题。新能源汽车制造商生产新能源汽车,决定其批发价格和续航努力水平,同时获得的相应新能源汽车积分可以在积分交易市场出售而获利^[10]。充电桩制造商生产充电桩,决定其批发价格和充电功效努力水平。新能源汽车和充电桩是互补性产品,通过单零售商销售。两互补性制造商均为主导者,零售商为追随者,进行 Stackelberg 博弈。

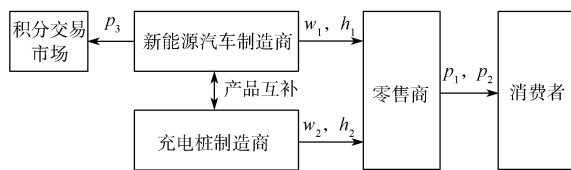


图 1 供应链结构示意图

Fig. 1 Supply chain structure schematic diagram

为方便描述,表 1 给出了本文涉及的符号及其含义,此外,文中上标“d, sh”分别表示“不考虑持股策略、考虑持股策略”两种情况;下标“m₁, m₂, r, sc”分别表示“新能源汽车制造商、充电桩制造商、零售商、供应链整体”4 种对象;“*”表示决策变量和利润的最优值。

表 1 参数符号及意义

Table 1 Parameter symbols with their meanings

符号	符号意义	符号	符号意义
α_1	新能源汽车价格上限	q_1	新能源汽车市场需求量
α_2	充电桩价格上限	q_2	充电桩市场需求量
l	消费者续航关切度	w_1	新能源汽车批发价格
r	产品互补程度	w_2	充电桩批发价格
h_1	新能源汽车续航努力水平	p_1	新能源汽车销售价格
h_2	充电桩充电功效努力水平	p_2	充电桩销售价格
λ	续航努力成本系数	p_3	新能源汽车积分交易价格
e	政策设定的积分核算系数	π	不同策略下各成员利润

本文建立在以下假设基础上:

- 1) 不失一般性,假设两产品生产成本为 0^[11];
- 2) 根据相关政策规定,新能源汽车续航能力与

积分值成正相关^[10],假设每台新能源汽车的核算积分为 $\beta=eh_1$ ^[12];

3) 新能源汽车制造商的续航努力成本随着续航努力水平的提高而快速增加,假设续航努力成本为 λh_1^2 ;充电桩制造商的充电功效努力成本随着充电功效努力水平的提高而快速增加,假设充电功效努力成本为 λh_2^2 ^[13];

4) 新能源汽车需求量同时受自身价格、充电桩价格以及续航努力水平的影响,因此逆需求函数为 $p_1=\alpha_1-q_1+rq_2+lh_1$;类似地,充电桩逆需求函数为 $p_2=\alpha_2-q_2+rq_1+lh_2$ 。

3 模型求解与结果分析

首先,针对新能源汽车供应链续航努力与定价联合决策问题,在不考虑持股策略的情形下,建立 Stackelberg 博弈模型;其次,在此基础上,将模型拓展到新能源汽车制造商持有充电桩制造商股份的情形;最后,比较两种模型的均衡解和最优利润。

3.1 不考虑持股策略的 Stackelberg 博弈模型

新能源汽车制造商利润为

$$\pi_{m_1}^d = (w_1 - \lambda h_1^2 + eh_1 p_3) q_1, \quad (1)$$

充电桩制造商利润为

$$\pi_{m_2}^d = (w_2 - \lambda h_2^2) q_2, \quad (2)$$

零售商利润为

$$\pi_r^d = (p_1 - w_1) q_1 + (p_2 - w_2) q_2. \quad (3)$$

决策顺序如下:首先,新能源汽车制造商决定新能源汽车续航努力水平和批发价格,同时充电桩制造商决定充电桩充电功效努力水平和批发价格;然后,零售商在两制造商的决策基础上确定各产品的最优需求量及对应的销售价格。

采用逆向归纳法求解,由式(3)得到零售商最优反应函数:

$$q_1 = [\alpha_1 + lh_1 - w_1 + r(\alpha_2 + lh_2 - w_2)] / [2(1-r^2)], \quad (4)$$

$$q_2 = [\alpha_2 + lh_2 - w_2 + r(\alpha_1 + lh_1 - w_1)] / [2(1-r^2)]. \quad (5)$$

当 w_1 、 w_2 、 h_1 、 h_2 确定时,存在唯一的 q_1 、 q_2 与其对应,因此,式(4)和(5)可分别改写如下:

$$w_1 = -2q_1 + 2rq_2 + \alpha_1 + lh_1, \quad (6)$$

$$w_2 = -2q_2 + 2rq_1 + \alpha_2 + lh_2. \quad (7)$$

将式(6)和(7)分别代入式(1)和(2)中,得到:

$$\pi_{m_1}^d = (-2q_1 + 2rq_2 + \alpha_1 + lh_1 - \lambda h_1^2 + eh_1 p_3) q_1, \quad (8)$$

$$\pi_{m_2}^d = (-2q_2 + 2rq_1 + \alpha_2 + lh_2 - \lambda h_2^2)q_2. \quad (9)$$

令 $\pi_{m_1}^d$ 关于 q_1 、 h_1 的一阶偏导数分别为0, $\pi_{m_2}^d$ 关于 q_2 、 h_2 的一阶偏导数分别为0, 联立方程组, 求得驻点的值。判断该驻点下海塞矩阵是否为负定。式(8)的海塞矩阵 H_{m_1} 的一阶主子式 $H_{m_1}^{(1)} = -4 < 0$, 二阶主子式 $H_{m_1}^{(2)} = 8\lambda q_1^* > 0$, 因此 H_{m_1} 是负定的。类似地, 式(9)的海塞矩阵 H_{m_2} 也是负定的。因此 $\pi_{m_1}^d$ 、 $\pi_{m_2}^d$ 分别在 $(q_1^d, h_1^d, q_2^d, h_2^d)$ 处取最大值, 可以得到如下定理1。

定理1 不考虑持股策略情形下的 Stackelberg 博弈模型均衡解如下:

$$h_1^{d*} = (l + ep_3)/(2\lambda), \quad (10)$$

$$h_2^{d*} = l/(2\lambda), \quad (11)$$

$$q_1^{d*} = \frac{(r+2)l^2 + 4elp_3 + 2e^2p_3^2 + 8\alpha_1\lambda + 4r\alpha_2\lambda}{8(4-r^2)\lambda}, \quad (12)$$

$$q_2^{d*} = \frac{(r+2)l^2 + 2elp_3r + e^2p_3^2r + 4r\alpha_1\lambda + 8\alpha_2\lambda}{8(4-r^2)\lambda}, \quad (13)$$

$$w_1^{d*} = \frac{2A + Br + (4-r)((4+r)l^2 - e^2p_3^2)}{4(4-r^2)\lambda}, \quad (14)$$

$$w_2^{d*} = [Ar + 2B + l^2(4-r)]/[4(4-r^2)\lambda]. \quad (15)$$

将式(10)~(15)分别代入 $p_1 = \alpha_1 - q_1 + rq_2 + lh_1$ 、 $p_2 = \alpha_2 - q_2 + rq_1 + lh_2$ 及式(1)~(3)中, 得到如下推论1。

推论1 不考虑持股策略情形下, 均衡的销售价格和收益分别如下:

$$p_1^{d*} = \frac{(6-r^2)A + Br + 2(4-r^2)(l^2 - e^2p_3^2)}{8(4-r^2)\lambda}, \quad (16)$$

$$p_2^{d*} = \frac{(6-r^2)B + Ar + 2l^2(4-r^2)}{8(4-r^2)\lambda}, \quad (17)$$

$$\pi_{m_1}^{d*} = (2A + Br)^2/[32(4-r^2)^2\lambda^2], \quad (18)$$

$$\pi_{m_2}^{d*} = (Ar + 2B)^2/[32(4-r^2)^2\lambda^2], \quad (19)$$

$$\pi_r^{d*} = \frac{A((4-3r^2)A - Br^3) + B((4-3r^2)B - Ar^3)}{64(4-r^2)^2\lambda^2}, \quad (20)$$

式(16)~(20)中: $A = 2elp_3 + e^2p_3^2 + l^2 + 4\lambda\alpha_1$, $B = l^2 + 4\lambda\alpha_2$ 。

命题1 $\frac{\partial q_1^{d*}}{\partial e} > 0$, $\frac{\partial q_2^{d*}}{\partial e} > 0$, $\frac{\partial w_2^{d*}}{\partial e} > 0$, $\frac{\partial p_2^{d*}}{\partial e} > 0$;

$$\frac{\partial \pi_{m_1}^{d*}}{\partial e} > 0, \frac{\partial \pi_{m_2}^{d*}}{\partial e} > 0, \frac{\partial \pi_r^{d*}}{\partial e} > 0, \frac{\partial \pi_{sc}^{d*}}{\partial e} > 0。$$

当 $0 < e < \frac{2l}{p_3(2-r^2)}$ 时, $\frac{\partial w_1^{d*}}{\partial e} > 0$; 反之, $\frac{\partial w_1^{d*}}{\partial e} < 0$ 。

当 $0 < e < \frac{l(6-r^2)}{p_3(2-r^2)}$ 时, $\frac{\partial p_1^{d*}}{\partial e} > 0$; 反之, $\frac{\partial p_1^{d*}}{\partial e} < 0$ 。

命题1表明, 政府可以通过提高积分核算系数从而提升新能源汽车和充电桩的最优需求量及供应链成员最优利润。当新能源汽车积分核算系数超过某个阈值时, 提高积分核算系数可以降低新能源汽车的最优批发价格和销售价格; 当积分核算系数低于某个阈值时, 降低积分核算系数可以降低新能源汽车的批发价格和销售价格。

命题2 $\frac{\partial h_1^{d*}}{\partial l} > 0$, $\frac{\partial h_2^{d*}}{\partial l} > 0$; $\frac{\partial q_1^{d*}}{\partial l} > 0$, $\frac{\partial p_1^{d*}}{\partial l} > 0$,

$$\frac{\partial p_2^{d*}}{\partial l} > 0; \frac{\partial w_1^{d*}}{\partial l} > 0, \frac{\partial w_2^{d*}}{\partial l} > 0; \frac{\partial \pi_{m_1}^{d*}}{\partial l} > 0, \frac{\partial \pi_{m_2}^{d*}}{\partial l} > 0, \frac{\partial \pi_r^{d*}}{\partial l} > 0。$$

命题2表明, 提高消费者续航关切度, 可以提升最优续航努力水平、充电功效努力水平、需求量、批发价格、销售价格以及供应链各成员最优利润。

命题3 $\frac{\partial w_1^{d*}}{\partial r} > 0$, $\frac{\partial w_2^{d*}}{\partial r} > 0$; $\frac{\partial p_1^{d*}}{\partial r} > 0$, $\frac{\partial p_2^{d*}}{\partial r} > 0$;

$$\frac{\partial q_1^{d*}}{\partial r} > 0, \frac{\partial q_2^{d*}}{\partial r} > 0; \frac{\partial \pi_{m_1}^{d*}}{\partial r} > 0, \frac{\partial \pi_{m_2}^{d*}}{\partial r} > 0, \frac{\partial \pi_r^{d*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial \pi_{sc}^{d*}}{\partial r} > 0。$$

命题3表明提高产品互补程度, 可以提升最优批发价格、销售价格、需求量、两制造商最优利润和供应链整体最优利润, 却降低了零售商最优利润。这是由于互补程度越高, 两制造商的合作水平越高, 其领导者地位更强, 从而获得了更多利润, 却损害了零售商的利润。

3.2 考虑持股策略的 Stackelberg 博弈模型

引入持股策略, 即两制造商经过协商后, 新能源汽车制造商支付购股费用 T 从而获得充电桩制造商比例为 u 的股份。实际情况下, 当一方持股比例超过50%时会导致公司控制权转移, 因此假设 $0 < u < 0.5$ 。

新能源汽车制造商利润为

$$\pi_{m_1}^{sh} = (w_1 - \lambda h_1^2 + eh_1p_3)q_1 + u(w_2 - \lambda h_2^2)q_2 - T; \quad (21)$$

充电桩制造商利润为

$$\pi_{m_2}^{sh} = (1-u)(w_2 - \lambda h_2^2)q_2 + T; \quad (22)$$

零售商利润为

$$\pi_r^{\text{sh}} = (p_1 - w_1)q_1 + (p_2 - w_2)q_2. \quad (23)$$

求解过程类似于不考虑持股策略的情形, 得到定理 2。

定理 2 考虑持股策略情形下 Stackelberg 博弈模型的均衡解:

$$h_1^{\text{sh}*} = (l + ep_3)/(2\lambda), \quad (24)$$

$$h_2^{\text{sh}*} = l/2\lambda, \quad (25)$$

$$q_1^{\text{sh}*} = [2A + r(1+u)B]/[8(4-r^2(1+u))\lambda], \quad (26)$$

$$q_2^{\text{sh}*} = [Ar + 2B]/[8(4-r^2(1+u))\lambda], \quad (27)$$

$$w_1^{\text{sh}*} = \frac{A(2-r^2u) + Br(1-u) + (e^2p_3^2 - l^2)(r^2(1+u) - 4)}{4(4-r^2(1+u))\lambda}, \quad (28)$$

$$w_2^{\text{sh}*} = [Ar + 2B + l^2(4-r^2(1+u))]/[4(4-r^2(1+u))\lambda]. \quad (29)$$

推论 2 考虑持股策略情形下, 均衡的销售价格和收益分别如下:

$$p_1^{\text{sh}*} = [A(6-r^2(1+2u)) + Br(1-u) + (8-2r^2(1+u)) \cdot (l^2 - e^2p_3^2)]/[8(4-r^2(1+u))\lambda]^{-1}, \quad (30)$$

$$p_2^{\text{sh}*} = [Ar + 6B + 8l^2 - r^2(1+u)(2l^2 + B)] \cdot [8(4-r^2(1+u))\lambda]^{-1}, \quad (31)$$

$$\pi_{m_1}^{\text{sh}*} = [u(Ar + 2B)^2 + (2A + (1+u)rB)((2-r^2u)A + r(1-u)B)] \cdot [32(4-r^2(1+u))\lambda] - T, \quad (32)$$

$$\pi_{m_2}^{\text{sh}*} = (1-u)(Ar + 2B)^2/[32(4-r^2(1+u))\lambda] + T, \quad (33)$$

$$\pi_r^{\text{sh}*} = [((2-r^2)A - (1-u)rB)(2A + r(1+u)B) - (Ar + 2B)(Ar + (r^2(1+u) - 2)B)] \cdot [64(4-r^2(1+u))^2\lambda^2]^{-1} + T, \quad (34)$$

推论 3 当 $T_1 < T < T_2$ 时, 持股策略实现帕累托改进, 即 $\pi_{m_1}^{\text{sh}*} > \pi_{m_1}^{\text{d}*}$, $\pi_{m_2}^{\text{sh}*} > \pi_{m_2}^{\text{d}*}$, 其中,

$$T_1 = \frac{u(Ar + 2B)^2((3+u)r^4 - 16r^2 + 16)}{32\lambda^2(4-r^2(1+u))^2(4-r^2)^2},$$

$$T_2 = [u(2B + Ar)(Ar(r^4 + 4r^2u - 16)) + B((1+u)r^6 - 2(3+2u)r^4 + (2+u)8r^2 - 32)] \cdot [32\lambda^2(4-r^2(1+u))^2(4-r^2)^2]^{-1}.$$

命题 4 $h_1^{\text{sh}*} = h_1^{\text{d}*} = (l + ep_3)/(2\lambda)$, $h_2^{\text{sh}*} = h_2^{\text{d}*} = l/(2\lambda)$ 。

命题 4 表明, 引入持股策略并不影响最优续航努力水平和充电功效努力水平。最优续航努力水平和充电功效努力水平与消费者续航关切度正相关, 与投资成本系数负相关。提高积分核算系数或积分交易价格, 可以提升最优续航努力水平。

命题 5 $\frac{\partial q_1^{\text{sh}*}}{\partial u} > 0$, $\frac{\partial q_2^{\text{sh}*}}{\partial u} > 0$; $\frac{\partial p_1^{\text{sh}*}}{\partial u} < 0$, $\frac{\partial p_2^{\text{sh}*}}{\partial u} > 0$;
 $\frac{\partial w_1^{\text{sh}*}}{\partial u} < 0$, $\frac{\partial w_2^{\text{sh}*}}{\partial u} > 0$; $\frac{\partial \pi_{m_1}^{\text{sh}*}}{\partial u} > 0$, $\frac{\partial \pi_{m_2}^{\text{sh}*}}{\partial u} < 0$; $\frac{\partial \pi_r^{\text{sh}*}}{\partial u} > 0$;
 $\frac{\partial \pi_{sc}^{\text{sh}*}}{\partial u} > 0$ 。

命题 5 表明, 增加持股比例, 可以提高最优需求量、充电桩批发价格、销售价格和供应链整体最优利润, 却降低了最优新能源汽车批发价格、销售价格。当购股费用 T 不变时, 持股比例的增加有利于新能源汽车制造商, 而不利充电桩制造商。由于 $\pi_{m_2}^{\text{sh}*} > \pi_{m_2}^{\text{d}*}$, 新能源汽车制造商增持股份时, 需向充电桩制造商支付更多购股费用, 以保障充电桩制造商的利润。

命题 6 $q_1^{\text{sh}*} > q_1^{\text{d}*}$, $q_2^{\text{sh}*} > q_2^{\text{d}*}$; $p_1^{\text{sh}*} < p_1^{\text{d}*}$, $p_2^{\text{sh}*} > p_2^{\text{d}*}$;
 $w_1^{\text{sh}*} < w_1^{\text{d}*}$, $w_2^{\text{sh}*} > w_2^{\text{d}*}$; $\pi_{m_1}^{\text{sh}*} > \pi_{m_1}^{\text{d}*}$, $\pi_{m_2}^{\text{sh}*} > \pi_{m_2}^{\text{d}*}$, $\pi_r^{\text{sh}*} > \pi_r^{\text{d}*}$;
 $\pi_{sc}^{\text{sh}*} > \pi_{sc}^{\text{d}*}$ 。

命题 6 表明, 对比不考虑持股策略的情形, 持股策略下新能源汽车的最优批发价格和销售价格更低, 需求量更高; 充电桩的最优批发价格和销售价格以及需求量更高; 供应链各成员最优利润均增加。持股策略实现了帕累托改进, 为各方带来更多收益。

4 数值分析

采用 Matlab 软件进行数值分析, 探讨消费者续航关切度 l 、产品互补程度 r 、持股比例 u 、购股费用 T 对最优决策和利润的影响。不失一般性, 如果没有特别说明, 相关参数取值如下: $\alpha_1=3\ 000$, $\alpha_2=500$, $\lambda=0.5$, $l=10$, $p_3=10$, $e=5$, $u=0.3$, $r=0.6$ 。

4.1 消费者续航关切度对最优需求量、续航努力水平、充电功效努力水平及利润的影响

分析所得消费者续航关切度对最优需求量、续航努力水平、充电功效努力水平, 以及最优利润的影响结果如图 2 所示。观察图 2 可以得知, 提高消费者续航关切度, 可以促使新能源汽车制造商和充

电桩制造商分别加大最优续航努力水平和充电功效努力水平, 并且提高新能源汽车和充电桩的最优需

求量, 同时两互补性制造商以及零售商将会获得更多的利润。

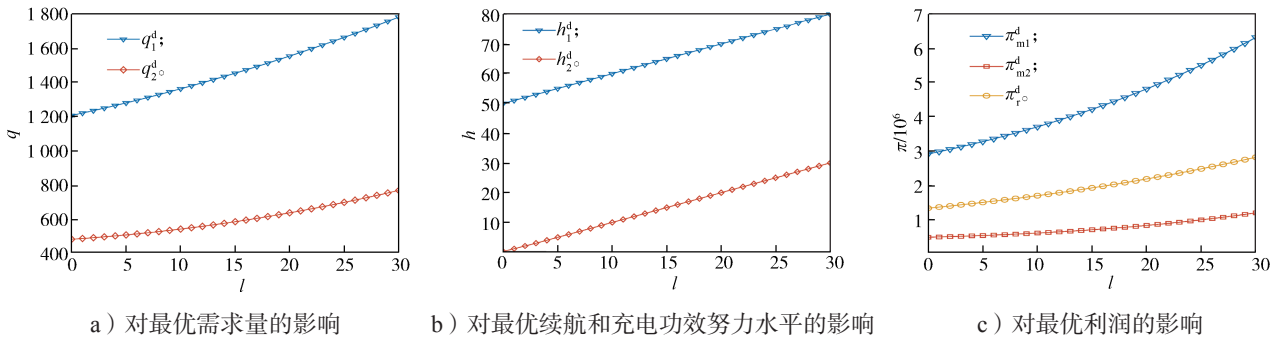


图2 消费者续航关切度对最优需求量、续航努力水平、充电功效努力水平及最优利润的影响

Fig. 2 Impact of consumer concerns about endurance on the optimal demand, battery endurance effort level, charging efficiency effort level, and optimal profit

4.2 产品互补程度对最优需求量和利润的影响

产品互补程度 r 对最优需求量和利润的影响结果见图3。由图可知, 提高新能源汽车制造商和充电桩制造商产品间互补程度, 可以增大新能源汽车和充电桩的最优需求量、两制造商最优利润和供应链整体最优利润, 却降低了零售商利润。

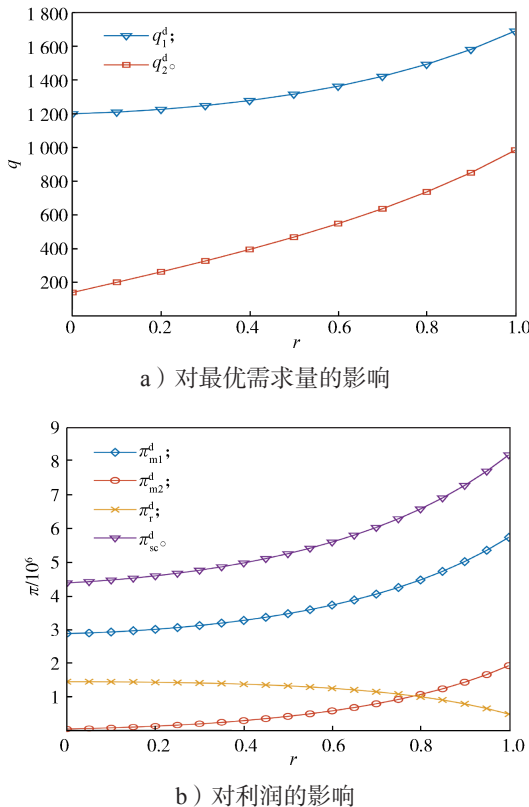


图3 r 对最优需求量和利润的影响

Fig. 3 Impact of r on the optimal demand and profit

4.3 持股比例对最优需求量和利润的影响

持股比例 u 对最优需求量和利润的影响结果如图4所示。

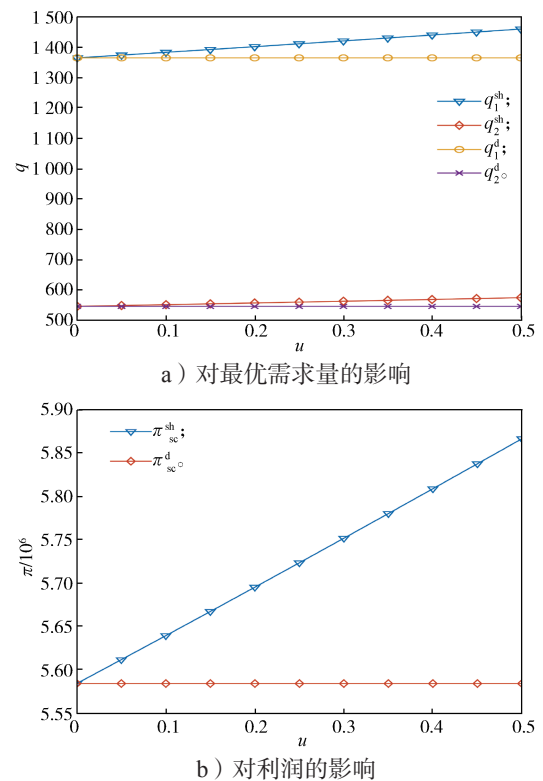


图4 u 对最优需求量和利润的影响

Fig. 4 Impact of u on the optimal demand and profit

由图4可知, 相较于不考虑持股策略的情形, 持股策略下新能源汽车和充电桩的最优需求量以及供应链整体最优利润更大, 增加持股比例, 可以提高最优需求量和供应链整体的最优利润。对于新能源汽车制造商, 由于其通过持股效应获得了更多收益, 因此有足够的资金和动机去降低批发价格以期获得更多的消费者需求, 进而推动新能源汽车产品的普及。对于充电桩制造商, 由于充电桩是新能源汽车的互补产品, 新能源汽车需求量的增加将会促使充电桩需求量的增加。

4.4 购股费用对两制造商利润的影响

当且仅当两制造商都能从持股策略中获益时,双方才会共同接受并执行这一策略。因此,购股费用的大小需要同时满足 $\pi_{m_1}^{sh*} > \pi_{m_1}^{d*}$, $\pi_{m_2}^{sh*} > \pi_{m_2}^{d*}$, 即新能源汽车制造商和充电桩制造商在执行持股策略后,所得利润相较于不考虑持股策略情形时更高。基于参数设定,此时 $T_1 < T < T_2$, 得到的购股费用 T 对两制造商利润的影响曲线如图 5 所示。

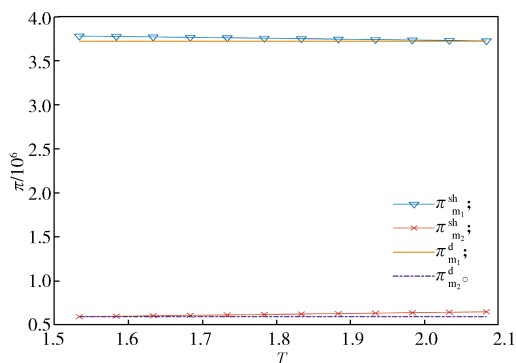


图 5 T 对两制造商最优利润的影响

Fig. 5 Impact of T on the optimal profit of two manufacturers

由图 5 可知,引入持股策略后,新能源汽车制造商和充电桩制造商的利润更高,说明双方通过合作,实现资源、技术、市场渠道的共享,进一步拓展了业务范围,形成合作共赢的良好局面。持股比例不变时,新能源汽车制造商所愿意支付的购股费用越高,充电桩制造商的利润越高。购股过程中通过议价确定的购股费用大小将影响双方的利润,较强势的一方将会获得更多收益。

5 结论与建议

本文以新能源汽车制造商和充电桩制造商以及单零售商组成的互补性产品二级供应链为对象,先后研究了不考虑持股策略情形和考虑持股策略情形下的新能源汽车供应链续航努力与定价联合决策问题。通过理论分析和数值仿真,深入探讨了消费者续航关切度、产品互补程度或持股比例对最优决策和利润的影响机理,得出的主要结论如下:

1) 消费者续航关切度与最优互补产品价格、需求量、两制造商和零售商利润正相关。这意味着提升消费者对续航能力的关注度,不仅能够增加新能源汽车和充电桩的市场需求,还能够提升供应链各成员的利润。

2) 产品互补程度与最优价格、需求量、两制造商利润或供应链整体利润正相关,与零售商利润负相关。随着新能源汽车和充电桩互补性的增强,两制造商的合作水平提高,领导者地位加强,从而增加了他

们的利润,但零售商的利润却相应减少。

3) 引入持股策略后,新能源汽车和充电桩的最优需求量显著增加,充电桩的最优批发价格和销售价格也有所提高,而新能源汽车的最优批发价格和销售价格则相对降低。持股比例的增加进一步提升了新能源汽车和充电桩的最优需求量以及供应链整体利润。这表明持股策略通过资源共享和优势互补实现了帕累托改进,为各方带来了更多收益。

4) 新能源汽车积分核算系数与最优续航努力水平、需求量以及供应链成员利润正相关。政府可以通过制定合理的积分核算系数,激励新能源汽车制造商提高续航努力水平,进而增加市场需求和供应链成员利润,促进新能源汽车产业的健康快速发展。

根据上述研究结论,可以得到以下管理启示:

1) 加强市场推广与产品研发。新能源汽车制造商和充电桩制造商需要加强广告宣传投入,借此提升消费者续航关切度。同时加大产品研发力度,提高续航努力水平和充电桩能效努力水平,例如持续提升电池技术、动力系统以及高压快充技术等,以满足消费者对长续航能力的需求,进而增加新能源汽车和充电桩的市场需求量和改善各自利润。

2) 深化合作与协同。新能源汽车制造商和充电桩制造商需要加强协作,通过共享技术资源进行产品联合研发,提升新能源汽车和充电桩的互补程度。这样不仅能够提高各自的产品需求量和利润,还能增强供应链整体竞争力。

3) 实施持股策略。新能源汽车制造商和充电桩制造商需要加强战略协同,即新能源汽车制造商可通过持有充电桩制造商适当比例的股份,优化资源配置,达到优势互补,为双方带来更多的合作机会和共同利益,从而实现帕累托改进。

4) 加强政府政策引导。政府可将积分核算系数作为政策工具,通过制定合理的积分核算系数,提高续航努力水平、新能源汽车和充电桩的需求量以及供应链成员利润。同时,政府还可以出台更多支持政策,如提供财政补贴、税收优惠等,以促进新能源汽车和充电桩产业的协同健康快速有序发展。

5) 持续关注市场动态。供应链各成员应密切关注市场动态和消费者需求变化,及时调整产品策略和市场策略。通过灵活应对市场变化,供应链各成员可以保持竞争优势并实现可持续发展。

由于篇幅所限,本文仅讨论新能源汽车制造商持股充电桩制造商的情形,新能源汽车和充电桩通过统一的销售渠道进行销售。未来可能的研究方向如下:

1) 考虑新能源汽车制造商和充电桩制造商交叉持股

情形; 2) 考虑新能源汽车和充电桩各自销售的两供应链情形。

参考文献:

- [1] 何平, 王晨辉. 互补产品供应链的授权与竞争[J]. 管理工程学报, 2023, 37(2): 99-107.
HE Ping, WANG Chenhui. Authorization and Competition in a Supply Chain with Complementary Products[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2023, 37(2): 99-107.
- [2] 邵灵芝. 绿色供应链背景下互补产品“捆绑”与绿色创新决策[J]. 科技管理研究, 2022, 42(4): 182-201.
SHAO Lingzhi. Complementary Product Bundling and Green Innovation Decision-Making Under the Background of Green Supply Chain[J]. Science and Technology Management Research, 2022, 42(4): 182-201.
- [3] CHIRANTAN M, CHANDRA B G. Pricing and Bundling Strategies for Complementary Products in a Closed-Loop Green Supply Chain Under Manufacturers' Different Behaviors[J]. Expert Systems with Applications, 2024, 238(3): 1-20.
- [4] HEMMATI M, FATEMI G, SAJADIEH M S. Separate and Bundling Selling Strategies for Complementary Products in a Participative Pricing Mechanism[J]. Computers Industrial Engineering, 2023, 177(3): 1-15.
- [5] 卢超, 王倩倩, 陈强. “双积分”政策下考虑价格、减排和续航的汽车供应链协调[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(10): 2595-2608.
LU Chao, WANG Qianqian, CHEN Qiang. Automobile Supply Chain Coordination Considering Auto Price, Emission Reduction and the Mileage Range in One Charge Under the “Double Points” Policy[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2021, 41(10): 2595-2608.
- [6] XU Y H, ZHANG H G, YANG Y F, et al. Optimization of Energy Management Strategy for Extended Range Electric Vehicles Using Multi-Island Genetic Algorithm[J]. Journal of Energy Storage, 2023, 61(5): 1-13.
- [7] WU F, SISSHANOSI R. A Stochastic Flow-Capturing Model to Optimize the Location of Fast-Charging Stations with Uncertain Electric Vehicle Flows[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, 53(6): 354-376.
- [8] SONG Y, HU X B. Learning-Based Demand-Supply-Coupled Charging Station Location Problem for Electric Vehicle Demand Management[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2023, 125(12): 1-19.
- [9] 朱庆缘, 刘畅, 潘应浩, 等. “双积分”政策下考虑碳减排研发的汽车市场均衡分析[J/OL]. [2024-04-19]. 中国管理科学: 1-18. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0362>.
ZHU Qingyuan, LIU Chang, PAN Yinghao, et al. Equilibrium Analysis of Automobile Market Considering Carbon Emissions Under the Dual Credit Policy: Based on the Manufacturer's Emission Reduction R&D Perspective[J/OL]. Chinese Journal of Management Science: 1-18. [2024-04-19] <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0362>.
- [10] 中华人民共和国工业和信息化部. 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[EB/OL]. (2017-09-27)[2024-07-02]. https://www.gov.cn/zhengce/2022-11/27/content_5722693.htm.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Measures for the Parallel Administration of the Average Fuel Consumption of Passenger Vehicle Enterprises and the Integral of New Energy Vehicles[EB/OL]. (2017-09-27)[2024-07-02]. https://www.gov.cn/zhengce/2022-11/27/content_5722693.htm.
- [11] 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): 808-817.
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): 808-817.
- [12] 马亮, 郭鹏辉. 双积分制下新能源汽车产业链续航能力决策研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(23): 151-161.
MA Liang, GUO Penghui. Research on Decision-Making of Endurance Ability of New Energy Automobile Industry Chain Based on Double-Score System[J]. Science and Technology Management Research, 2019, 39(23): 151-161.
- [13] XU X P, HE P, XU H, et al. Supply Chain Coordination with Green Technology Under Cap-and-Trade Regulation[J]. International Journal of Production Economics, 2017, 183: 433-442.

(责任编辑: 廖友媛)