

碳税政策下平台供应链置换策略研究

姚思如, 韩小雅

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年11月27日; 录用日期: 2025年2月3日; 发布日期: 2025年2月11日

摘要

在政府补贴和碳税政策的背景下, 本文探讨了消费者置换策略的影响, 并建立了平台与再制造商之间的 Stackelberg 博弈模型。本研究关注两类消费者: 新型消费者和替代型消费者, 其中新型消费者直接购买新产品或再制造产品, 替代型消费者参与以旧换新或以旧换再计划; 分析了转售模式和直售模式两种不同的置换渠道以及模式的内部对比、不同模式的对比。研究表明, 政府的碳税政策在一定程度上对产品定价和需求产生了积极影响。当补贴较低时, 替代型消费者的需求在两种模式下均高于新型消费者的需求, 补贴较高时则相反。而较高的碳税率使得转售模式下的再制造商利润优于直售模式下的利润。

关键词

碳税政策, 政府补贴, 平台, 以旧换新, 以旧换再

Research on Platform Supply Chain Substitution Strategies under Carbon Tax Policy

Siru Yao, Xiaoya Han

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Nov. 27th, 2024; accepted: Feb. 3rd, 2025; published: Feb. 11th, 2025

Abstract

In the context of government subsidies and carbon tax policies, this paper explores the impact of consumer replacement strategies and establishes a Stackelberg game model between platforms and remanufacturers. The study focuses on two types of consumers: new consumers and alternative consumers, where new consumers directly purchase new or remanufactured products, and alternative consumers participate in trade-in or exchange programs. It analyzes two different replacement

channels: the resale model and the direct sales model, as well as the internal comparison of these models and comparisons between different models. The research results indicate that the government's carbon tax policy has a positive impact on product pricing and demand to some extent. When subsidies are low, the demand from alternative consumers is higher than that of new consumers in both models, while the opposite is true when subsidies are high. Additionally, a higher carbon tax rate leads to greater profits for remanufacturers in the resale model compared to the direct sales model.

Keywords

Carbon Tax Policy, Government Subsidies, Platform, Trade-In for New, Trade-In for Remanufactured

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

在过去几十年中,全球气候变暖问题日益凸显,给生态系统、人类社会和经济发展带来了诸多挑战。冰川融化、海平面上升以及极端天气事件的频繁发生,严重影响了人类的生存环境和可持续发展。科学研究表明,二氧化碳等温室气体的过量排放是全球气候变暖的主要原因。为应对气候变化,国际社会积极采取措施,制定了一系列减排目标和政策[1]。例如,《巴黎协定》签署后,各国承诺共同努力,将全球平均气温的升幅控制在工业化前水平以上低于 2°C 以内,并争取限制在 1.5°C 以内。这要求各国必须采取切实有效的措施,减少温室气体排放,推动经济的低碳转型[2]。在我国,尽管尚未全面实施碳税,但在一些地区已经开展了试点,并在积极探索适合国情的碳税政策体系。

随着数字经济的迅速发展,平台供应链模式得到了广泛应用。新型电子商务平台和共享经济平台不断涌现,为企业和消费者提供了更便捷、高效的交易和服务方式[3]。同时,平台供应链为企业创新和发展创造了新机遇,推动了产业的升级和转型。以旧换新是指消费者用旧产品换取新产品并支付差价的一种交易方式[4],而以旧换再则是将旧产品回收后进行再制造,再将再制造的产品返还给消费者或重新销售[5]。这两种策略在电子、汽车、家电等行业得到了广泛应用,成为企业促进销售、提高资源利用效率的重要手段[6][7]。从环境角度来看,这两种策略能够减少废旧产品的处理,降低资源消耗和环境污染[8][9]。同时,通过再制造过程,可以实现资源的循环利用,提高资源的使用效率。从经济角度来看,这两种策略能够刺激消费,增加企业的销售额和利润,同时为消费者提供更经济实惠的选择,提高消费者的福利水平。

毋博等研究了碳税政策与碳交易政策,以及不同契约形式对供应链碳减排激励机制设计的影响[10]。冯章伟等分析了政府补贴和碳税政策对闭环供应链的作用[11]。Wei调查了双重补贴和消费者对再制造产品可接受性对闭环供应链返利决策及经济环境社会绩效的综合影响[12]。李丹等构建了“以旧换新”和“以旧换再”交互下的闭环供应链博弈模型,分析了在零售商实施“以旧换新”策略的基础上,制造商或零售商实施“以旧换再”策略对供应链绩效的影响[13]。上述文献大多集中于碳税政策或置换策略下的闭环供应链管理,较少探讨二者结合及渠道策略的影响。本文在已有研究的基础上,探讨了碳税政策和补贴政策下置换策略的不同渠道对平台供应链的影响。文章与现有文献的联系与区别见表1。

综上所述,文章把政府碳税政策、补贴政策、置换和平台的作用结合起来,研究企业在供应链中的定价和需求策略,为平台供应链的绿色发展提供机遇。以旧换新和以旧换再策略作为一种绿色的商业模式,能够帮助企业减少碳排放,符合碳税政策的导向,因此在碳税政策下具有更大的发展潜力。综上,

通过深入研究这一问题, 可以为企业在碳税政策下制定合理的供应链置换策略提供理论支持, 同时也为政府制定相关政策提供参考, 推动经济的低碳转型和可持续发展。

Table 1. The connection and distinction between the article and existing literature

表 1. 文章与现有文献的联系和区别

	碳税政策	以旧换新	以旧换再	平台	供应链
毋博等	√				√
冯章伟等	√				√
Wei		√	√		√
李丹等		√	√		√
本文	√	√	√	√	√

Table 2. Symbol description

表 2. 符号说明

类型	符号	符号含义
参数	v	消费者对新产品的购买意愿
	τ	再制造产品对新产品的替代程度
	c_N, c_R	新产品/再制造产品的单位生产成本
	e_N, e_R	新产品/再制造产品的单位碳排放
	t	碳税税率
	d_n, d_r	政府对以旧换新/以旧换再的补贴
决策变量	w	产品的批发价
	p_N, p_R	新产品/再制造产品销售价格
	l_N, l_R	以旧换新/以旧换再折扣
其他	u_N, u_R	消费者以旧换新购买新产品/以旧换再购买再制造产品的效用
	q_N, q_R	以旧换新购买新产品/以旧换再购买再制造产品的需求
	Π_{PF}, Π_{RM}	平台/再制造商的利润

2. 问题描述与符号说明

在政府补贴和碳税政策下, 考虑由一个再制造商和一个平台共同构成的平台供应链。基于有关“以旧换新”、“以旧换再”的文献[14][15], 我们假设市场包括两类不同的消费者, 即新型消费者和替代型消费者。其中, 替代者是拥有旧商品并考虑购买新的或重新生产的商品, 而新顾客则是没有商品但愿意购买的。总体市场人口为 1, 新消费者占总人口比重 α , 则替代消费者占总人口比重 $1-\alpha$ 。其中, $0 < \alpha < 1$ 。直售模式下, 再制造商在平台上分别以 p_N, p_R 每单位的价格出售新产品和再制造产品, 并以一定的佣金 λ 为平台提供一定比例的收益。转售模式下, 再制造商以 w 每单位的价格将再制造产品转售给平台, 通过平台以 p_N 每单位的价格出售新产品并缴纳佣金[16]。在这两种模式中, 企业生产新产品和再制造产品单位成本分别为 c_N 与 c_R , 产生单位碳排放分别为 e_N 与 e_R 。为鼓励消费者参加“以旧换新”与“以旧换再”, 政府对参与“以旧换新”、“以旧换再”的消费者给予一定的补贴, 分别为 d_n 和 d_r 。在全球日益重视气候变化的背景下, 政府在其中起着关键性的作用。为了提高企业的生产成本, 政府制定了碳税政策, 向产生二氧化碳的企业征收税率 t , 对生产过程中的环境进行了严格的控制。与以往的很多研究类似。与之前的许多研究一样, 本研究的模型遵循了 Stackelberg 博弈。再制造商是领导者, 平台是追随者。消

费者在评估两种产品的功能属性时是异质的, 其中新产品的估值表示为 v , 再制造产品的估值称为 τv , 其中 v 在 $[0,1]$ 上服从均匀分布, τ 为再制造品对新产品的替代程度, 且消费者对其产品的信息披露渠道的信任度愈低, 其价值愈低, 即 τ 值越小。根据相关文献, 新型消费者购买新产品和再制造产品的效用为: $u_N = v - p_N$, $u_R = \tau v - p_R$; 替代型消费者购买新产品和再制造产品的效用分别为 $u_n = v - p_N + l_n + d_n$, $u_r = \tau v - p_R + l_r + d_r$ 。当 $u_N > u_R > 0$, $u_n > u_r > 0$ 时, 消费者会选择购买新产品; 当 $u_R \geq u_N > 0$, $u_r > u_n > 0$ 时, 消费者会选择购买再制造产品。特定的符号描述见表 2。

3. 模型构建与分析

3.1. 转售模式

在这一模式中, 针对新型消费者, 再制造商通过转售模式来销售再制造产品, 此时平台的角色是转售商; 而在市场模式下销售新产品时, 平台则充当代理商。对于替代型消费者而言, 以旧换新下旧产品直接给再制造商, 以旧换再下旧产品直接给平台。我们建立了一个决策模型: 再制造商作为 *Stackelberg* 的领导者, 负责制定新产品的定价和以旧换新时的折扣; 平台作为 *Stackelberg* 的追随者, 决策再制造产品的价格和以旧换再的折扣。再制造商和平台的利润分别为:

$$\begin{cases} \Pi_{RM}^R = (w - c_R)q_R + [(1 - \lambda)p_N - c_N]q_N + (p_N - l_n)q_n - e_N(q_N + q_n)t - e_R(q_R + q_r)t, \\ \Pi_{PF}^R = (p_R - w)q_R + \lambda p_N q_N + (p_R - l_r)q_r. \end{cases} \quad (1)$$

其中, 下标 *RM* 代表再制造商, *PF* 代表平台。上标 *R* 表示转售模式。模型采用逆向归纳法求解。

定理 1: 再制造商和平台的最优定价如下:

$$\begin{cases} p_N^{R*} = \frac{2(c_N - c_R) + 2t(e_N - e_R) + (3 - \lambda)w + 2(1 - \lambda)(1 - \tau)}{(-1 + \lambda)(-4 + \tau + \lambda\tau)}, \\ p_R^{R*} = \frac{\tau(1 + \lambda)[c_N - c_R + t(e_N - e_R) + (1 - \lambda)(1 - \tau)] + w[2 + \tau - \lambda(2 - \tau)]}{(-1 + \lambda)(-4 + \tau + \lambda\tau)}, \\ l_n^{R*} = \frac{8\{2c_R + 2d_n - d_r - 3w + \lambda[w - 2d_n + d_r - 2t(e_N - e_R)]\} + 4c_N(-4 + \tau) + 2\tau\{-2c_R + d_r + 3w - 2\lambda - d_n(-1 + \lambda)[-6 + \lambda(-2 + \tau) + \tau] - \lambda\{w + \lambda[-2 + d_r - 2t(e_N - e_R)] + 2\tau(-1 + \lambda)\}\}}{2(-1 + \lambda)(-4 + \tau + \lambda\tau)(-4 + \tau)}, \\ l_r^{R*} = \frac{-4\tau(c_N - c_R + d_n) + w(-4 + \tau)[2 + \tau - \lambda(2 - \tau)] - d_r(1 - \lambda)(2 - \tau)(-4 + \tau + \lambda\tau) + \tau\{4\lambda[-1 - c_N + c_R + d_n - 2t(e_N - e_R) + \lambda] + \tau\{d_n + 4\lambda + (1 + \lambda)(c_N - c_R) + \lambda[-(4 + d_n)\lambda + t(e_N - e_R)(1 + \lambda)]\}}}{(-1 + \lambda)(-4 + \tau + \lambda\tau)(-4 + \tau)}. \end{cases} \quad (2)$$

相对应的需求分别为:

$$\begin{cases} q_N^{R*} = \frac{\alpha\{-2 + 2(c_N - c_R) + 2t(e_N - e_R) + w + 2\lambda + \lambda w - \tau\{2\lambda - 2 + (1 + \lambda)[c_N - c_R + t(e_N - e_R) + w]\}\}}{(1 - \tau)(1 - \lambda)(-4 + \tau + \lambda\tau)}, \\ q_R^{R*} = \frac{\alpha\{2w(-1 + \tau) + \tau[c_N - c_R + t(e_N - e_R) + (1 - \lambda)(1 - \tau)]\}}{\tau(-1 + \tau)(-4 + \tau + \lambda\tau)}, \\ q_n^{R*} = \frac{(-1 + \alpha)[d_r + d_n(-2 + \tau) + t(e_N - e_R)(2 - \tau) - 2(1 - \tau)]}{(4 - \tau)(1 - \tau)}, \\ q_r^{R*} = \frac{(-1 + \alpha)[d_r(-2 + \tau) + \tau(-1 + d_n - te_N + te_R + \tau)]}{\tau(4 - \tau)(1 - \tau)}. \end{cases} \quad (3)$$

根据再制造商和平台的最优决策, 以下命题对具体的系统参数进行分析, 并提出相应的管理内涵。各命题及定理的相关证明在附录中给出。

命题 1: 政府设置碳税对产品需求的影响:

- 1) 新型消费者: $\frac{\partial q_R^{R*}}{\partial t} > 0, \frac{\partial q_N^{R*}}{\partial t} < 0$;
- 2) 替代型消费者: $\frac{\partial q_r^{R*}}{\partial t} > 0, \frac{\partial q_n^{R*}}{\partial t} < 0$ 。

命题 1 描述了碳税税率对两类消费者需求的影响。随着碳税税率的上升, 再制造产品的需求和以旧换再的需求都呈现出上升的趋势。这是因为, 消费者在面临较高的碳税时, 会更加倾向于选择环保的再制造产品, 从而降低自己的碳足迹。同时, 参与以旧换再的消费者也会因为补贴的吸引而增加购买意愿。相对而言, 新产品的需求和以旧换新的需求则随着碳税税率的上升而下降。这一现象的产生, 主要是因为新型消费者在意识到碳税对新产品的影响后, 可能会选择暂时不购买新产品, 以避免高额的碳税支出。此外, 替代型消费者在考虑以旧换新时, 也会因为新产品的高成本和潜在的碳税负担而犹豫不决。

综上, 新型消费者和替代型消费者在面对不同的产品和销售模式时, 都会受到碳税政策的影响。企业在制定生产和销售策略时, 需要充分考虑这些因素, 以适应不断变化的市场需求。

命题 2: 碳税政策下新型消费者需求的对比:

- 1) 当 $t > \hat{t}_1$ 时:
 - i) 如果 $0 < \tau < \hat{t}_1$, $q_N^{R*} > q_R^{R*}$,
 - ii) 如果 $\hat{t}_1 < \tau < 1$, $q_N^{R*} < q_R^{R*}$ 。
- 2) 当 $t < \hat{t}_1$ 时:
 - i) 如果 $0 < \tau < \hat{t}_1$, $q_N^{R*} < q_R^{R*}$,
 - ii) 如果 $\hat{t}_1 < \tau < 1$, $q_N^{R*} > q_R^{R*}$ 。

命题 2 比较了碳税政策下新型消费者的两种产品需求。当碳税税率较低时, 如果再制造产品相对于新产品的替代程度较低, 消费者会倾向于选择再制造产品。这是因为在价格相对接近的情况下, 许多消费者更愿意选择环保的再制造产品, 尤其是在有政府补贴的情况下, 消费者的购买意愿更加强烈。但如果替代程度较高, 消费者则可能更倾向于选择新产品, 因为他们可能认为新产品在性能和质量上更具优势。随着碳税税率的提高, 市场的动态发生了显著变化。如果替代程度较低, 消费者对再制造产品的需求会下降, 因为随着税率的提高, 价格的上升使得再制造产品的吸引力减弱。而如果替代程度较高, 消费者对再制造产品的需求则可能上升, 因为此时的价格增长促使消费者更关注产品的环保属性, 尤其是在能够获得补贴的情况下, 消费者更愿意接受再制造产品。

这种需求的对比不仅反映了消费者的购买心理, 也反映了市场的供需关系。新型消费者和替代型消费者在面对同一市场时, 由于其需求的差异, 导致了市场的多样化和复杂性。 τ 和 t 影响下新型消费者新产品和再制造产品需求对比的数值情况见图 1。

命题 3: 碳税政策下替代型消费者需求的对比:

- 1) 当 $t > \hat{t}_2$ 时, $q_n^{R*} < q_r^{R*}$;
- 2) 当 $t < \hat{t}_2$ 时, $q_n^{R*} > q_r^{R*}$ 。

针对替代型消费者的需求, 我们可以通过命题 3 来进行分析。在转售模式下, 当碳税税率较低时, 替代型消费者对于以旧换新的需求往往大于以旧换再的需求。这是因为在低碳税的情况下, 消费者的整体成本较低, 且以旧换新所带来的补贴能够有效刺激消费者的购买欲望, 使得他们更倾向于选择新产品。

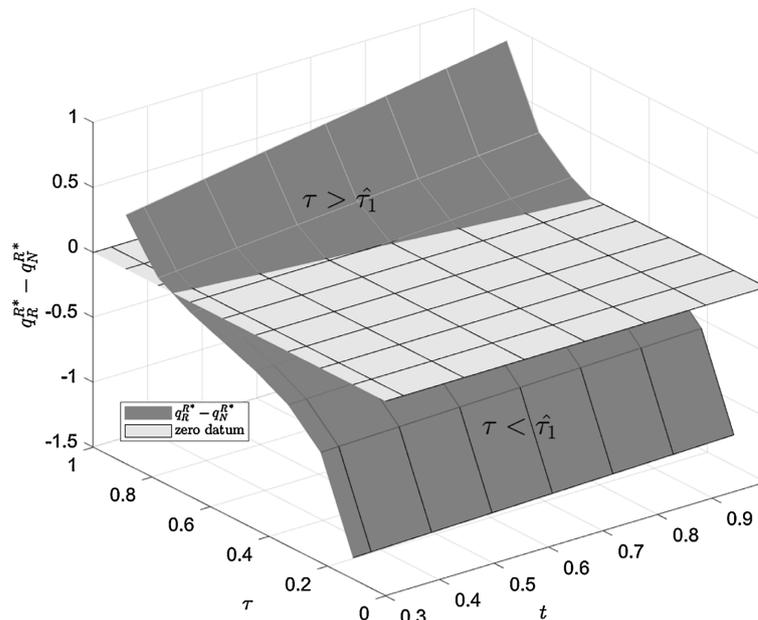


Figure 1. Comparison of two types of demands of new consumers
图 1. 新型消费者两种需求的对比

然而, 当碳税税率较高时, 情况却发生了逆转。此时, 以旧换新的需求可能会小于以旧换再的需求。原因在于, 较高的碳税增加了新产品的购买成本, 而再制造产品则由于其较低的价格和环保的特点, 逐渐成为了消费者的优选。

这一变化反映了市场对政策的敏感性, 也揭示了消费者在不同情境下的决策过程。在高碳税的影响下, 替代型消费者开始重新评估自己的购买选择, 倾向于选择更加经济实惠且对环境影响较小的再制造产品, 从而促进了再制造行业的发展。

3.2. 直售模式

在这一模式中, 针对新型消费者, 再制造商通过直售模式来销售新产品和再制造产品。对于替代型消费者而言, 以旧换新和以旧换再下旧产品直接给再制造商。再制造商作为 *Stackelberg* 的领导者, 负责制定新产品和再制造产品的定价和置换策略的折扣。再制造商和平台的利润分别为:

$$\begin{cases} \Pi_{RM}^P = [(1-\lambda)p_R - c_R]q_R + [(1-\lambda)p_N - c_N]q_N + (p_N - l_n)q_n + (p_R - l_r)q_r - e_N(q_N + q_n)t - e_R(q_R + q_r)t, \\ \Pi_{PF}^P = \lambda(p_N q_N + p_R q_R). \end{cases} \quad (4)$$

其中, 上标 *P* 表示直售模式。

定理 2: 再制造商和平台的最优定价如下:

$$\begin{cases} p_N^{P*} = \frac{1-\lambda + c_N + te_N}{2-2\lambda}, \\ p_R^{P*} = \frac{\tau - \lambda\tau + c_R + te_R}{2-2\lambda}, \\ l_n^{P*} = \frac{c_N + \lambda te_N - d_n(1-\lambda)}{2-2\lambda}, \\ l_r^{P*} = \frac{c_R + \lambda te_R - d_r(1-\lambda)}{2-2\lambda}. \end{cases} \quad (5)$$

相对应的需求分别为:

$$\begin{cases} q_N^{P^*} = \frac{\alpha(1-c_N+c_R-te_N+te_R-\lambda-\tau+\lambda\tau)}{2(1-\tau)(1-\lambda)}, \\ q_R^{P^*} = \frac{\alpha[-c_R-te_R+\tau(c_N+te_N)]}{2\tau(1-\tau)(1-\lambda)}, \\ q_n^{P^*} = \frac{(1-\alpha)(1+d_n-d_r-te_N+te_R-\tau)}{2(1-\tau)}, \\ q_r^{P^*} = \frac{(1-\alpha)(d_r-te_R-\tau d_n+\tau te_N)}{2\tau(1-\tau)}. \end{cases} \quad (6)$$

根据再制造商和平台的最优决策, 以下命题对具体的系统参数进行分析, 并提出相应的管理内涵。各命题及定理的相关证明在附录中给出。

命题 4: 政府设置碳税对产品定价策略的影响:

- 1) 新产品: $\frac{\partial l_n^{P^*}}{\partial t} > 0, \frac{\partial p_N^{P^*}}{\partial t} > 0$;
- 2) 再制造产品: $\frac{\partial l_r^{P^*}}{\partial t} > 0, \frac{\partial p_R^{P^*}}{\partial t} > 0$ 。

命题 4 彰显出碳税的征收会直接影响市场产品的定价策略, 尤其是在直售模式下, 政府设置的碳税对产品定价的影响尤为显著。随着碳税税率的上升, 以旧换新的折扣和以旧换再的折扣均会随之上升。这是因为企业需要通过提高折扣来吸引消费者, 鼓励他们选择更环保的产品, 从而减轻碳税带来的负担。同样, 新产品和再制造产品的价格也会随着碳税税率的上升而上升。企业为了应对增加的成本, 势必会将这部分成本转嫁到消费者身上。这种现象在市场中形成了一种连锁反应: 消费者在面对更高的产品价格时, 可能会更倾向于选择补贴力度较大的旧换新或旧换再方案, 以降低自己的支出。税率对产品定价策略的影响程度刻画情况见图 2。

命题 5: 碳税政策下消费者需求的对比:

- 1) 新产品:
 - i) 当 $c_N < \hat{c}_{N1}$ 时, $q_n^{P^*} < q_N^{P^*}$,
 - ii) 当 $c_N > \hat{c}_{N1}$ 时, $q_n^{P^*} > q_N^{P^*}$ 。
- 2) 再制造产品:
 - i) 当 $c_R < \hat{c}_{R1}$ 时, $q_r^{P^*} < q_R^{P^*}$,
 - ii) 当 $c_R > \hat{c}_{R1}$ 时, $q_r^{P^*} > q_R^{P^*}$ 。

命题 5 分别对新产品和再制造产品的两种不同的需求进行了对比。首先, 对于新产品的需求而言, 当新产品的单位成本较低时, 以旧换新的需求通常低于新产品的需求。这是因为消费者在面对价格相对较低的新产品时, 更倾向于直接购买新产品, 而不是将旧产品换成新产品。反之, 当新产品的单位成本较高时, 以旧换新的需求则会高于新产品的需求。这是因为在高成本的情况下, 消费者可能会考虑用旧产品抵扣一部分新产品的价格, 以降低自己的经济负担。对于再制造产品的需求而言, 当再制造产品的单位成本较低时, 以旧换再的需求通常低于再制造产品的需求。这是因为消费者更倾向于直接购买价格低廉且性价比高的再制造产品, 而不是通过以旧换再的方式获取不确定的经济利益。然而, 当再制造产品的单位成本较高时, 以旧换再的需求则会高于再制造产品的需求。这时, 消费者可能会觉得通过以旧换再的方式获取再制造产品的价值更为划算, 从而选择这种方式来满足他们的需求。新产品和再制造产

品成本对消费者需求对比的数值情况见图 3。

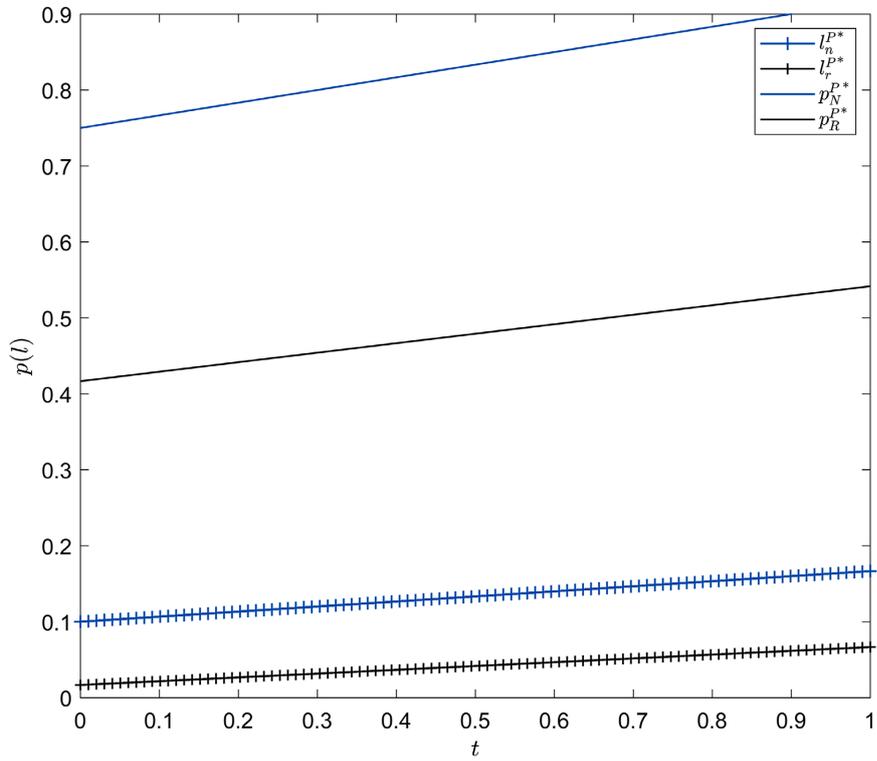
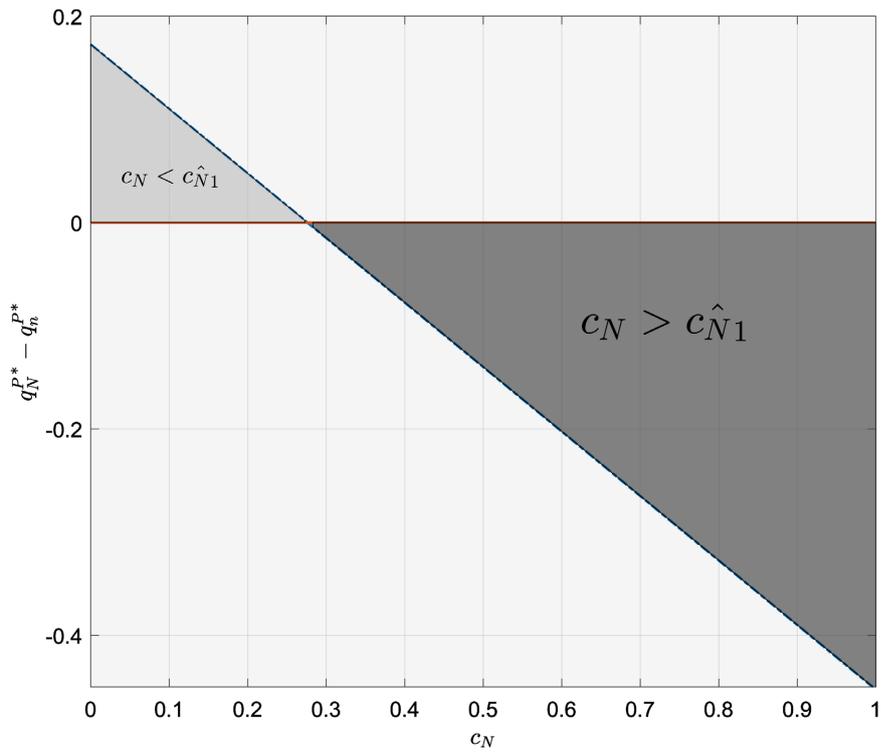


Figure 2. The impact of tax rates on product pricing
图 2. 税率对产品定价的影响



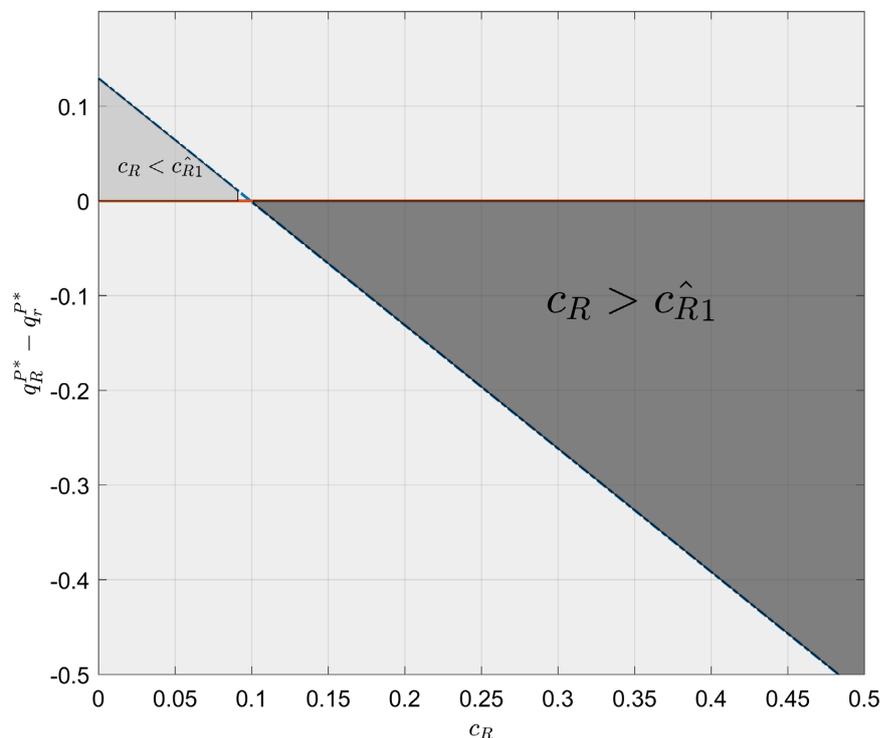


Figure 3. The impact of product costs on demand comparison

图 3. 产品成本对需求对比的影响

3.3. 两种模式对比

命题 6: 不同模式下替代型消费者需求的对比:

- 1) 以旧换新:
 - i) 当 $d_n < \hat{d}_{n1}$ 时, $q_n^{R*} > q_n^{P*}$,
 - ii) 当 $d_n > \hat{d}_{n1}$ 时, $q_n^{R*} < q_n^{P*}$ 。
- 2) 以旧换再:
 - i) 当 $d_r < \hat{d}_{r1}$ 时, $q_r^{R*} > q_r^{P*}$,
 - ii) 当 $d_r > \hat{d}_{r1}$ 时, $q_r^{R*} < q_r^{P*}$ 。

命题 6 展示了政府补贴下以旧换新和以旧换再在两种模式中的需求对比。在补贴较低的情况下, 转售渠道中的以旧换新需求通常高于直售渠道中的需求。这是因为, 低补贴使得消费者在选择时更加依赖于价格优势, 转售渠道的价格可能更具吸引力。反之, 当以旧换新补贴较高时, 直售渠道的需求往往会超过转售渠道的需求。这是因为, 较高的补贴降低了消费者的购买成本, 促使他们更倾向于直接购买新产品, 享受更好的购物体验。同样的逻辑适用于以旧换再的情况。当以旧换再的补贴较低时, 转售渠道的需求通常高于直售渠道。这是因为消费者在补贴不足的情况下, 更加关注再制造产品的价格和性价比。而当以旧换再的补贴较高时, 直售渠道的需求会相对增加, 因为消费者愿意支付更高的价格以获得新产品的优势, 从而提升了直售模式的市场吸引力。

命题 7: 不同模式下再制造商利润的对比:

- 1) 当 $t < \hat{t}_3$ 时, $\Pi_{RM}^{R*} < \Pi_{RM}^{P*}$;
- 2) 当 $t > \hat{t}_3$ 时, $\Pi_{RM}^{R*} > \Pi_{RM}^{P*}$ 。

命题 7 对比了两种模式下再制造商的利润。当碳税税率较低时, 转售模式下的再制造商利润往往低于直售模式下的再制造商利润。这是因为, 低碳税使得再制造商在转售给平台时, 面临的成本压力相对较小, 然而, 由于直售模式的灵活性和直接接触消费者的优势, 再制造商能够更好地控制销售价格, 从而提高利润。此外, 直售模式下, 消费者能够享受到更直接的补贴和优惠, 促进了购买意愿的增强。然而, 当碳税税率较高时, 转售模式下的再制造商利润却可能高于直售模式下的利润。高碳税的实施使得企业在生产新产品时的成本上升, 尤其是那些高碳排放的产品, 其单位成本显著提高。在这种情况下, 消费者可能会更倾向于选择再制造产品, 以降低自身的环境负担和经济支出。而转售模式下, 再制造商能够通过平台将再制造产品以相对较低的价格提供给消费者, 吸引更多的替代型消费者, 从而提高销量和利润。

4. 结论

文章探讨了碳税及政府补贴政策对消费者置换策略的影响, 并研究了平台闭环供应链中的定价和置换策略。通过建立再制造商与平台之间的 *Stackelberg* 博弈模型, 文章提出了在以旧换新和以旧换再两种策略下的不同渠道, 旨在为企业的置换服务优化提供参考方案。

在分析碳税政策下消费者需求以及再制造商利润的对比时, 我们可以得出一些重要的结论。产品成本对两类消费者需求的影响是显著的, 而不同的市场模式和碳税政策对再制造商的利润产生了显著影响。在这一过程中, 碳税政策对产品的定价和消费者行为也产生了影响。当企业面临更高的生产成本时, 往往会将这些成本转嫁给消费者, 导致新产品和再制造产品的售价上升。这种情况下, 消费者的购买意愿可能会受到抑制, 尤其是对于价格敏感型消费者, 可能会选择放弃购买。而较高的碳税率使得在转售模式下的再制造商利润相较于直售模式更具优势。这是因为在转售模式中, 再制造商能够将再制造产品转售给平台, 从而将碳税的负担转移给平台和最终消费者。而在直售模式下, 再制造商则需承担较高的生产成本和碳税, 导致利润空间受到压缩。同时, 政府补贴也是一个重要的考虑因素。在政府补贴较低的情况下, 替代型消费者的需求在两种模式下均高于新型消费者。这是因为替代型消费者拥有旧商品, 他们更倾向于通过“以旧换新”或“以旧换再”的方式来降低购买新产品或再制造产品的成本。然而, 当政府提高补贴时, 新型消费者的需求可能会超过替代型消费者, 因为在补贴的刺激下, 新型消费者可能更愿意选择购买新产品, 从而推动车市向新型消费转变。从长远来看, 政府的补贴和碳税政策将促使企业在生产过程中更加注重环保和可持续发展。企业需要不断优化生产流程, 降低单位成本和碳排放, 以适应日益严格的环保政策。这不仅有助于提升企业的市场竞争力, 也为消费者提供更多环保和经济的选择。

参考文献

- [1] 夏西强, 朱庆华, 武晓晴. 政府碳税与补贴政策对独立再制造模式的影响[J]. 系统工程学报, 2024, 39(4): 629-640.
- [2] Huang, Y., He, P., Cheng, T.C.E., Xu, S., Pang, C. and Tang, H. (2024) Optimal Strategies for Carbon Emissions Policies in Competitive Closed-Loop Supply Chains: A Comparative Analysis of Carbon Tax and Cap-and-Trade Policies. *Computers & Industrial Engineering*, **195**, Article 110423. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110423>
- [3] Cao, K., Wang, J., Dou, G. and Zhang, Q. (2018) Optimal Trade-In Strategy of Retailers with Online and Offline Sales Channels. *Computers & Industrial Engineering*, **123**, 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.028>
- [4] Tang, C., Hou, Q. and He, T. (2024) Research on Closed-Loop Supply Chain Decision-Making of Power Battery Echelon Utilization under the Scenario of Trade-In. *Modern Supply Chain Research and Applications*, **6**, 272-302. <https://doi.org/10.1108/mscra-01-2024-0003>
- [5] 杨懿. 碳减排政策下以旧换新及以旧换再供应链的生产决策研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2022.
- [6] 王竟竟, 许民利. 回收目标责任制下闭环供应链的定价及以旧换新策略研究[J]. 中国管理科学, 2024, 32(11): 298-311.

-
- [7] Cheng, P. and Wang, T. (2023) Optimizing the Emission Control Policies and Trade-In Program Effects: A Carbon-Constrained Closed-Loop Supply Chain Network Model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **179**, Article 103311. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103311>
- [8] Li, S., Zheng, B. and Jia, D. (2024) Optimal Decisions for Hybrid Manufacturing and Remanufacturing with Trade-In Program and Carbon Tax. *Omega*, **124**, Article 103012. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2023.103012>
- [9] 张福安, 张宏鑫. 碳税与补贴政策下考虑回收服务的闭环供应链决策研究[J]. 物流科技, 2024, 47(9): 133-141.
- [10] 毋博, 周建亨. 需求和碳交易价格不确定性下的供应链碳减排激励[J/OL]. 中国管理科学, 1-15. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.2686>, 2024-12-11.
- [11] 冯章伟, 肖条军, 牟善栋. 考虑绿色偏好和政府补贴/碳税的第三方再制造模式[J]. 运筹与管理, 2023, 32(8): 57-64.
- [12] Wei, X. (2024) Effects of Double Subsidies and Consumers' Acceptability of Remanufactured Products on a Closed-Loop Supply Chain with Trade-In Programs. *Journal of Cleaner Production*, **447**, Article 141565. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141565>
- [13] 李丹, 沈滨. “以旧换新”“以旧换再”交互下的闭环供应链管理研究[J]. 系统工程, 2024, 42(6): 72-83.
- [14] Liu, K., Li, Q., Liu, J. and Li, Y. (2024) Trade-In and Trade-Old-for-Remanufactured in Closed-Loop Supply Chain under Different Power Structures and Government Subsidy. *Sage Open*, **14**. <https://doi.org/10.1177/21582440241251474>
- [15] Hu, S. and Tang, Y. (2024) Impact of Product Sharing and Heterogeneous Consumers on Manufacturers Offering Trade-In Programs. *Omega*, **122**, Article 102949. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2023.102949>
- [16] 唐飞, 代颖, 马祖军. 闭环供应链中制造商以旧换新渠道决策[J]. 系统管理学报, 2024, 33(1): 16-28.

附录

定理 1 的证明: 对于新型消费者, 由 $u_N > u_R > 0$, $u_R > u_N > 0$ 分别可以得到新产品需求

$$q_N = \alpha \frac{1-\tau-p_N+p_R}{1-\tau} \text{ 和再制造产品需求 } q_R = \alpha \frac{\tau p_N - p_R}{\tau(1-\tau)}. \text{ 对于替代型消费者由 } u_n > u_r > 0, u_r > u_n > 0$$

分别可以得到以旧换新需求 $q_n = (1-\alpha) \frac{1-\tau-p_N+p_R+l_n-l_r+d_n-d_r}{1-\tau}$ 和以旧换再需求

$$q_r = (1-\alpha) \frac{\tau(p_N-l_n-d_n)-(p_R-l_r-d_r)}{\tau(1-\tau)}. \text{ 用逆向归纳法求解决策模型。平台作为 Stackelberg 的追随者,}$$

根据式(1), 求解其最大利润:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi_{PF}^R(p_R^R, l_r^R)}{\partial p_R^R} = \frac{2p_R^R + d_r(-1+\alpha) + 2l_r^R(-1+\alpha) + \tau(d_n + l_n^R - p_N^R) - \alpha(w + \tau(d_n + l_n^R + \lambda p_N^R))}{\tau(-1+\tau)}, \\ \frac{\partial \Pi_{PF}^R(p_R^R, l_r^R)}{\partial l_r^R} = \frac{(-1+\alpha)(-d_r - 2l_r^R + 2p_R^R + \tau(d_n + l_n^R - p_N^R))}{\tau(-1+\tau)}. \end{cases} \quad (\text{X1})$$

$$\text{求其二阶偏导可以得到其海塞矩阵 } H_1 = \begin{pmatrix} \frac{2}{\tau(-1+\tau)} & \frac{2(-1+\alpha)}{\tau(-1+\tau)} \\ -\frac{2(-1+\alpha)}{\tau(-1+\tau)} & \frac{2(-1+\alpha)}{\tau(-1+\tau)} \end{pmatrix}, \text{ 其中 } h_1 = \frac{2}{\tau(-1+\tau)} < 0,$$

$h_2 = \frac{4\alpha(1-\alpha)}{\tau^2(-1+\tau)^2} > 0$, 海塞矩阵满足条件, 所以目标函数的最优解存在且唯一。通过求解方程组

$$\frac{\partial \Pi_{PF}^R(p_R^R, l_r^R)}{\partial p_R^R} = 0, \frac{\partial \Pi_{PF}^R(p_R^R, l_r^R)}{\partial l_r^R} = 0 \text{ 可以得到最优解 } p_R^{R*}, l_r^{R*}. \text{ 然后再根据 } p_R^{R*}, l_r^{R*} \text{ 以及式(1)求解再制造商}$$

的最大利润:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi_{RM}^R(p_N^R, l_n^R)}{\partial p_N^R} = \frac{-1+d_r-2l_n^R+l_r^R+2p_N^R-p_R^R-te_N+te_R+d_n(-1+\alpha) - \alpha c_N + \alpha c_R + \tau - \alpha(d_r - 2l_n^R + l_r^R + w + \lambda(-1+2p_N^R - p_R^R + \tau))}{-1+\tau}, \\ \frac{\partial \Pi_{RM}^R(p_N^R, l_n^R)}{\partial l_n^R} = \frac{(1-\alpha)(1+d_n-d_r+2l_n^R-l_r^R-2p_N^R+p_R^R+te_N-te_R-\tau)}{-1+\tau}. \end{cases} \quad (\text{X2})$$

$$\text{对其求二阶偏导可以得到海塞矩阵 } H_2 = \begin{pmatrix} \frac{2-2\alpha\lambda}{-1+\tau} & \frac{-2+2\alpha}{-1+\tau} \\ \frac{2(-1+\alpha)}{-1+\tau} & -\frac{2(-1+\alpha)}{-1+\tau} \end{pmatrix}, \text{ 其中 } h_1 = \frac{2-2\alpha\lambda}{-1+\tau} < 0,$$

$h_2 = \frac{4\alpha(1-\alpha)(1-\lambda)}{(-1+\tau)^2} > 0$, 海塞矩阵满足条件, 所以目标函数的最优解存在且唯一。通过求解方程组

$$\frac{\partial \Pi_{RM}^R(p_N^R, l_n^R)}{\partial p_N^R} = 0, \frac{\partial \Pi_{RM}^R(p_N^R, l_n^R)}{\partial l_n^R} = 0 \text{ 可以得到最优解 } p_N^{R*}, l_n^{R*}. \text{ 再将 } p_N^{R*}, l_n^{R*} \text{ 代入 } p_R^{R*}, l_r^{R*}. \text{ 然后将最优定}$$

价代入需求函数可以得到最优需求。

命题 1 的证明: 根据式(3)有

$$\begin{cases} \frac{\partial q_N^{R*}}{\partial t} = \frac{\alpha(2(e_N - e_R) - \tau(e_N - e_R)(1 + \lambda))}{(1 - \tau)(1 - \lambda)(-4 + \tau + \lambda\tau)}, \\ \frac{\partial q_R^{R*}}{\partial t} = \frac{\alpha(e_N - e_R)}{(-1 + \tau)(-4 + \tau + \lambda\tau)}, \\ \frac{\partial q_n^{R*}}{\partial t} = \frac{(1 - \alpha)(e_N - e_R)(-2 + \tau)}{(4 - \tau)(1 - \tau)}, \\ \frac{\partial q_r^{R*}}{\partial t} = \frac{(1 - \alpha)(e_N - e_R)}{(4 - \tau)(1 - \tau)}. \end{cases} \quad (\text{X3})$$

根据条件 $e_N > e_R$ 可判断出 $\frac{\partial q_N^{R*}}{\partial t} < 0, \frac{\partial q_R^{R*}}{\partial t} > 0, \frac{\partial q_n^{R*}}{\partial t} < 0, \frac{\partial q_r^{R*}}{\partial t} > 0$ 。

命题 2 的证明: 两种需求的差值为:

$$q_R^{R*} - q_N^{R*} = \frac{\alpha(-2w(-1 + \lambda) + (1 + 3(c_R - te_N + te_R - w) + c_N(-3 + \lambda)) - \lambda(c_R - te_N + te_R - w + \lambda))\tau + (1 + \lambda)(-1 + c_N - c_R + te_N - te_R + w + \lambda)\tau^2}{\tau(1 - \tau)(1 - \lambda)(-4 + \tau + \lambda\tau)} \quad (\text{X4})$$

根据参数范围可判断出分母小于 0, 所以只需判断分子的正负。将分子化为二次函数的形式 $F(\tau) = A\tau^2 + B\tau + C$ 。令 $F(\tau) = 0$, 得到方程的两个根

$$\hat{\tau}_1 = \frac{-1 + (c_N - c_R + te_N - te_R + w)(3 - \lambda) + \lambda^2 - \sqrt{(-1 + (c_N - c_R + te_N - te_R + w)(3 - \lambda) + \lambda^2)^2 - 8w(1 - \lambda)(1 + \lambda)(\lambda - 1 + c_N - c_R + te_N - te_R + w)}}{2(1 + \lambda)(\lambda - 1 + c_N - c_R + te_N - te_R + w)} \quad (\text{舍 } \hat{\tau}_2)。$$

当 $A > 0$ 时, 即 $(1 + \lambda)(-1 + c_N - c_R + te_N - te_R + w + \lambda) > 0$, 可得到 $t > \frac{1 - c_N + c_R - \lambda - w}{e_N - e_R} = \hat{t}_1$, 在此条件下如

果 $0 < \tau < \hat{\tau}_1$, $q_R^{R*} < q_N^{R*}$; 如果 $\hat{\tau}_1 < \tau < 1$, $q_R^{R*} > q_N^{R*}$ 。同理可以得出 $A < 0$ 时的比较情况。

命题 3 的证明: 该命题的证明与命题 2 类似, 故省略。

定理 2 的证明: 该证明与定理 1 类似, 故省略。

命题 4 的证明: 该命题的证明与命题 1 类似, 故省略。

命题 5 的证明: 新产品两种需求的差值为:

$$q_N^{P*} - q_n^{P*} = \frac{(-1 + \alpha)(-1 + \lambda)(-1 - d_n + d_r + te_N - te_R + \tau) - \alpha(-1 + c_N - c_R + te_N - te_R + \lambda + \tau - \lambda\tau)}{2(-1 + \tau)} \quad (\text{X5})$$

根据参数范围可判断出分母小于 0, 所以只需判断分子的正负。当

$$c_N < \frac{(\lambda - 1)(1 - 2\alpha - te_N + te_R) + \alpha c_R + \alpha(\lambda - 2)(te_N - te_R) + (d_r - d_n)(1 - \alpha)(1 - \lambda) - \tau(-1 + 2\alpha)(1 - \lambda)}{\alpha} = \hat{c}_{N1}$$

时, $q_N^{P*} < q_n^{P*}$; 当 $c_N > \hat{c}_{N1}$ 时, $q_N^{P*} > q_n^{P*}$ 。同理可得出再制造产品两种需求的对比情况。

命题 6 和 7 的证明: 该命题的证明与命题 5 类似, 故省略。