

营销策略协同下的闭环供应链定价决策研究

——消费者预期与回收模式的作用

邵钦皖

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年10月30日; 录用日期: 2025年11月13日; 发布日期: 2025年12月15日

摘要

定价是营销中的关键问题, 本文在集中决策、制造商回收及零售商回收三种情境下分别建立考虑消费者预期的定价决策模型。通过运用Stackelberg博弈与逆向归纳法, 研究解析各模型的最优均衡解, 还有数值仿真展现消费者预期敏感系数与回收价格弹性对回收率与供应链利润的影响效果。研究得出结论: 消费者价格预期敏感系数对销售价格呈现负向影响, 而回收价格预期敏感系数则对回收价格产生正向驱动; 在分散决策模式下, 零售商回收模型的系统效率优于制造商回收模型; 集中决策模型可作为评估与优化两种分散决策模式的基准。本文结论强化了定价决策在营销组合中的核心地位, 为闭环供应链中成员的营销策略提供了切实的理论与实践启示。

关键词

闭环供应链, 消费者预期, 定价决策, Stackelberg博弈, 回收模式, 营销策略

Research on Closed-Loop Supply Chain Pricing Decisions under Coordinated Marketing Strategies

—The Role of Consumer Expectations and Recycling Models

Qinwan Shao

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: October 30, 2025; accepted: November 13, 2025; published: December 15, 2025

Abstract

Pricing is a key issue in marketing. This paper establishes pricing decision models that consider

consumer expectations under three scenarios: centralized decision-making, manufacturer take-back, and retailer take-back. By applying the Stackelberg game and backward induction method, the study analyzes the optimal equilibrium solutions of each model. Numerical simulations further illustrate the impact of consumers' price expectation sensitivity and recycling price elasticity on recycling rates and supply chain profits. The study concludes that consumers' sensitivity to price expectations negatively influences sales prices, whereas sensitivity to recycling price expectations positively drives recycling prices. Under decentralized decision-making, the system efficiency of the retailer take-back model is superior to that of the manufacturer take-back model; the centralized decision-making model can serve as a benchmark for evaluating and optimizing the two decentralized decision-making models. The findings of this paper reinforce the central role of pricing decisions in the marketing mix and provide practical theoretical insights for the marketing strategies of members in a closed-loop supply chain.

Keywords

Closed-Loop Supply Chains, Consumer Expectations, Pricing Decisions, Stackelberg Games, Recycling Model, Marketing Strategy

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

在当前市场竞争日趋激烈、可持续发展理念不断深化的背景下，闭环供应链管理逐渐成为企业提升资源效率和环境绩效的重要战略手段。消费者作为闭环供应链中的关键参与者，对产品价格和回收补偿的心理预期直接影响购买与回收意愿，供应链中成员在制定定价策略时应当充分考虑到这一点。本文在引入消费者预期的基础上，构建三种决策情境下的闭环供应链定价模型，包括集中决策模式、制造商主导回收的分散决策模式，以及零售商主导回收的分散决策模式。通过模型解析与数值仿真，研究了消费者预期敏感系数对产品定价策略的作用，分析了回收价格弹性对成员利润和整体利润的影响，并对不同话语权情况下的模型进行了比较分析。本研究期望能够为闭环供应链参与者在预期管理和营销策略的价格制定方面提供理论支撑与实践启示。

2. 文献综述

2.1. 闭环供应链中定价决策的研究

闭环供应链(Closed-Loop Supply Chain, CLSC)的定价决策需要达到新产品销售与废旧产品回收的动态平衡(赵静, 肖亚倩, 2018) [1]。现有研究表明，闭环供应链定价决策的模式不同对运作结果存在较为明显的影响：集中决策能够实现统一目标函数消除双重边际化效应，通常能达到更高的整体利润与回收率(董景峰等, 2021) [2]。在分散决策中，制造商与零售商为了各自的利益，是存在博弈行为的，一定程度上会导致最终定价偏离最优水平，这种情况在回收责任分配与渠道权力不对等情境下更加明显(刘春怡等, 2021) [3]。

在分散决策的大框架下，学者们主要在探讨当在不同权力结构中时，分别有什么影响。赵静和肖亚倩(2018) [1]构建了双渠道闭环供应链模型，研究发现在制造商主导时倾向于提高批发价格来挤压零售商利润，而如果是零售商主导时，能够更灵活地调整策略，实现总体方向的平衡。这一结论得到了 Baldi 等

(2024) [4]的支持, 其研究指出, 当前消费者参与主动性提高, 零售商在渠道中的议价能力显著增强, 传统的由制造商主导的 Stackelberg 博弈模型就需要将零售商的动态参与情况加入分析。

2.2. 消费者行为因素对定价决策的影响

消费者行为是闭环供应链定价的重要影响因素, 当下现有的研究主要走向渠道偏好、感知价值与预期不确定性三个方向。赵静和肖亚倩(2018) [1]在相关的研究中指出, 当消费者对传统零售渠道的偏好程度每提升 10%时, 零售价格可提高 3.2%, 如果网络直销渠道偏好增强, 则会导致零售价格下降, 这一结论证明渠道竞争对定价具有调节作用。杨军等(2020) [5]进一步发现, 当线上偏好度超过 0.6 时, 线下回收价格需要提高 8%才能维持回收量平衡, 这一发现为多渠道回收定价提供了量化依据。

消费者感知价值与预期不确定性方向的研究, 比先前定价模型更加复杂, 也更加具有实用性。董景峰等(2021) [2]将顾客感知价值与回收质量不确定因素加入模型发现, 当消费者对再制造产品的感知价值提升 20%时, 制造商的最优批发价格降低 5.3%。Baldi 等(2024) [4]的综述强调了在数字化背景下, 消费者预期动态化特征明显, 例如文章提到 64%的消费者要求品牌在需求变化后 1 个月内调整定价策略, 这对传统的静态定价模型提出了优化需求。

近年来, 行为运筹学研究揭示了公平关切与互惠偏好等非理性因素对闭环供应链决策的显著影响。李庆华(2015) [6]构建公平关切下的授权再制造闭环供应链模型, 发现制造商的公平关切度每提升 0.1, 回收价格需提高 5%以维持渠道协调, 且这种效应在零售商主导的渠道结构中更为显著。黄荣基(2019) [7]研究表明, 当零售商互惠系数大于 0.3 时, 收益共享契约的协调效率提升 20%, 且该阈值受产品绿色度与消费者环保意识的正向调节。

2.3. 零售商参与回收的决策机制与协调策略

零售商在闭环供应链中的角色已从单一的销售者向销售且回收的角色转变, 不同的参与模式直接影响定价效率。赵静和肖亚倩(2018) [1]对比了两种回收情境发现, 当零售商负责回收时, 废旧产品的回收率提高, 同时零售价格会上升, 因为零售商需通过价格溢价覆盖回收成本。刘春怡等(2021) [3]还指出, 当零售商作为销售且回收的角色时, 对待风险的态度对定价的影响显著, 风险厌恶型零售商为了规避回收量波动风险, 会将回收价格降低 7%~10%。

关于零售商参与回收时的协调问题, 现有的研究提出了多种契约机制。董景峰等(2021) [2]提出制造商补偿契约, 这种契约可以在分散决策下使得供应链利润达到集中决策的 92%。杨军等(2020) [5]提出收益共享契约, 这种契约可以减少冲突, 更加有效地协调线上和线下回收渠道, 研究发现当共享比例为 0.3~0.5 时, 供应链整体利润提升最显著。

供应链契约理论的最新进展为闭环供应链协调提供了新视角。Wang 等(2025) [8]针对突发事件冲击, 设计了具有弹性系数调节机制的收益共享契约, 使供应链抗风险能力提升 35%, 该机制通过动态调整共享比例应对需求突变。Zhao & Liu (2024) [9]的研究表明, 在成本共担契约框架下, 当制造商承担 40%回收成本时, 系统利润可达到集中决策水平的 95%, 且该分担比例与再制造节约成本呈正相关。

2.4. 研究缺口与本文研究意义

现有文献已证实决策结构、消费者行为与零售商参与对闭环供应链定价的重要性, 但仍存在三方面不足: 一是消费者预期多被简化为静态偏好或确定性参数, 缺乏对价格预期、质量预期的静态建模; 二是零售商参与的对比研究多聚焦单一回收主体, 未系统比较制造商回收与零售商回收下消费者预期的差异化影响; 三是回收价格弹性系数的作用机制尚未与消费者预期敏感参数结合分析, 难以揭示两者的交

互效应。

本文与现有研究的差异主要体现在：(1) 本文聚焦消费者价格预期这一特定心理因素对定价决策的系统性影响；(2) 本文不涉及契约协调机制，而是通过对比不同回收模式下的均衡结果，为契约设计提供基准参考；(3) 在研究方法上，本文将消费者预期敏感系数与回收价格弹性系数纳入统一分析框架，量化两者对回收率与利润的交互效应，这与现有单独考察行为因素或弹性参数的研究形成互补。

本文构建集中决策、制造商回收和零售商回收三种模型，引入消费者预期敏感参数与回收价格弹性系数，旨在填补上述缺口。研究将重点揭示：消费者预期如何影响定价策略；不同回收主体下弹性系数对利润分配的调节作用；以及集中与分散决策的帕累托改进条件，为闭环供应链的静态定价与渠道协调提供理论参考。

3. 问题描述与模型假设

3.1. 问题描述

本文建立的闭环供应链中，制造商(记为 M)和零售商(记为 R)的数量均为一个。在正向销售中，制造商以成本 c_m^* 进行新产品的生产，销售给零售商的批发价格为 w ，零售商再以销售价格 p 向市场销售。在逆向回收中，供应链回收废旧产品，单位回收价格为 b 。回收品经制造商再制造后，可完全替代新产品，且假设再制造节省的成本为 Δ 。

为了深入探究消费者预期与回收责任分配对供应链决策的影响，本文构建并比较以下三种情形的决策模型：

- 1) 模型 C(集中决策)：作为基准模型，认为制造商和零售商共同决定产品销售价格 p 和回收价格 b ，以求达成系统总利润最大化。
- 2) 模型 M(制造商回收的分散决策)：在分散决策下，由制造商负责回收废旧产品。制造商决定批发价格 w 和回收价格 b_m^* ；零售商接受制造商的决策信息后决定产品的销售价格 p 。
- 3) 模型 R(零售商回收的分散决策)：在分散决策下，由零售商负责回收废旧产品。制造商决定批发价格 w ；零售商得到制造商提供给零售商的单位产品批发价格 w 后，同时决定产品的销售价格 p 和回收价格 b_r^* 。

制造商和零售商均为完全理性且风险中性，其目标是各自利润最大化。

3.2. 符号说明

模型中涉及的主要符号、参数及决策变量定义如表 1 所示：

Table 1. Definitions of main symbols, parameters, and decision variables involved in the model
表 1. 模型中涉及的主要符号、参数及决策变量定义

类型	符号	说明
决策变量	p	产品的市场销售价格
	w	制造商提供给零售商的单位产品批发价格
	b	单位废旧产品的回收转移价格(模型 M 中为 b_m^* ，模型 R 中为 b_r^*)
参数	c_m^*	制造商生产新产品的单位成本
	Δ	制造商通过再制造废旧产品所获得的单位成本节约，且满足 $\Delta > b$
	a	市场的潜在规模(基础需求量)

续表

	β	消费者对销售价格的敏感系数, $\beta > 0$
	θ	消费者对销售价格的预期敏感系数, $0 < \theta < \beta$
	p_e^{**}	消费者对产品的预期销售价格
	τ	废旧产品的回收率, $0 \leq \tau \leq 1$
	A	回收活动的基础回收量(当回收价格为 0 时)
	η	回收价格对回收量的弹性系数, $\eta > 0$
	b_e^{**}	消费者对废旧产品的预期回收价格
	λ	消费者对回收价格的预期敏感系数, $0 < \lambda < \eta$
函数	$D(\cdot)$	新产品的市场需求函数
	$\Pi_m^{**}, \Pi_r^{**}, \Pi_{sc}^{**}$	分别表示制造商利润、零售商利润和供应链系统总利润

3.3. 模型基本假设

为保证模型的合理性与可求解性, 本文提出如下基本假设:

假设 1: 新产品与再制造产品在质量和功能上无差异, 消费者对二者无偏好, 在市场上以同一价格 p 销售。

假设 2: 市场需求 D 受销售价格 p 和消费者价格预期 p_e^{**} 的共同影响。参考经典参考价格效应研究 [10], 需求函数定义为:

$$D = a - \beta p + \theta(p_e^{**} - p) \quad (1)$$

其中, $a - \beta p$ 表示价格对需求的基础影响。 $\theta(p_e^{**} - p)$ 刻画了消费者预期效应: 当实际价格 p 低于预期价格 p_e^{**} 时, 消费者感知到“获利”, 刺激购买, 需求增加; 反之, 当 p 高于 p_e^{**} 时, 消费者感知到“损失”, 抑制购买, 需求减少。为简化分析并聚焦于决策交互, 假设消费者预期是外生给定的, 即 p_e^{**} 为常数。

假设 3: 废旧产品的回收率 τ 受实际回收价格 b 和消费者回收价格预期 b_e^{**} 的共同影响。回收函数定义为:

$$\tau = A + \eta b + \lambda(b - b_e^{**}) \quad (2)$$

其中, A 为无回收激励时的基础回收率, ηb 表示回收价格对回收量的直接激励效应。 $\lambda(b - b_e^{**})$ 刻画了回收预期效应: 当实际回收价 b 高于预期 b_e^{**} 时, 消费者返还意愿增强; 反之则减弱。同样, 假设 b_e^{**} 为外生常数。

假设 4: 所有参数均大于零, 且满足 $\beta > \theta$ 和 $\eta > \lambda$, 以确保价格和回收价格对需求和回收量的直接效应大于预期效应, 保证利润函数的凹性, 从而存在最优解。

假设 5: 供应链成员之间的信息是完全对称的, 并且模型只考虑单周期的决策问题。

假设 2 和假设 3 分别对需求函数和回收函数受消费者预期的影响机制进行描述, 搭建的框架将消费者心理进行量化, 为营销决策中的定价方面提供数据支持。

4. 模型构建与求解

本节将依次构建集中决策模型(Model C)、制造商回收的分散决策模型(Model M)以及零售商回收的分散决策模型(Model R), 并采用逆向归纳法求解分散决策下的 Stackelberg 博弈均衡。

4.1. 集中决策模型(Model C)

在集中决策模式下, 制造商与零售商作为一个统一的整体(中央决策者), 以整个闭环供应链系统总利润最大化为目标, 共同决定产品的销售价格 p 和回收价格 b 。此时, 系统总利润 Π_{sc}^C 由新产品销售的净收入和回收再制造带来的成本节约构成, 其函数为:

$$\Pi_{sc}^C = (p - c_m)D + (\Delta - b)\tau D \quad (3)$$

将需求函数 $D = a - \beta p + \theta(p_e - p)$ 与回收率函数 $\tau = A + \eta b + \lambda(b - b_e)$ 代入上式, 可得:

$$\Pi_{sc}^C = (p - c_m)[a - \beta p + \theta(p_e - p)] + (\Delta - b)[A + \eta b + \lambda(b - b_e)][a - \beta p + \theta(p_e - p)] \quad (4)$$

集中决策模型下, 当 $4\beta_c\eta_c > (\Delta\eta_c)^2$ 时(其中 $\beta_c = \beta + \theta$, $\eta_c = \eta + \lambda$, 此条件通常成立), 供应链系统总利润 Π_{sc}^C 是关于销售价格 p 和回收价格 b 的联合凹函数, 存在唯一的最优解 (p^C, b^C) 使得系统总利润最大化。

证明: 首先, 计算系统总利润函数关于 p 和 b 的一阶偏导数:

$$\frac{\partial \Pi_{sc}^C}{\partial p} = [a - 2\beta_c p + \theta p_e + \beta_c c_m] + (\Delta - b)\tau_c \beta_c \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Pi_{sc}^C}{\partial b} = -\eta_c [a - \beta_c p + \theta p_e] + (\Delta - 2b)\eta_c [a - \beta_c p + \theta p_e] \quad (6)$$

其中, $\beta_c = \beta + \theta$, $\eta_c = \eta + \lambda$, $\tau_c = A + \eta_c b - \lambda b_e$ 。为简化表达式, 令 $Q = a - \beta_c p + \theta p_e$, 代表不考虑回收激励时的“基础市场需求”。

令一阶偏导数为零, 联立方程组:

$$\begin{cases} Q - \beta_c(p - c_m) - \beta_c(\Delta - b)\tau_c = 0 \\ -\eta_c Q + \eta_c(\Delta - 2b)Q = 0 \end{cases} \quad (7)$$

由第二个方程 $\eta_c Q(\Delta - 2b - 1) = 0$, 由于 $\eta_c > 0$ 且 $Q > 0$ (为保证正需求), 解得:

$$b^C = \frac{\Delta - 1}{2} \quad (8)$$

将 b^C 代入第一个方程, 并令 $\tau_c^C = A + \eta_c b^C - \lambda b_e$, 解得最优销售价格为:

$$p^C = \frac{Q + \beta_c c_m + \beta_c(\Delta - b^C)\tau_c^C}{2\beta_c} \quad (9)$$

将 p^C 和 b^C 代入需求函数和利润函数, 即可得到最优需求量 D^C 及系统最大总利润 Π_{sc}^{C*} 。

4.2. 制造商回收的分散决策模型(Model M)

在此模式下, 制造商作为 Stackelberg 领导者, 首先决定批发价格 w 和回收价格 b_m ; 零售商作为跟随者, 根据制造商的决策决定销售价格 p 。采用逆向归纳法求解。

步骤一: 零售商决策

零售商的利润来自销售产品的差价, 其利润函数为:

$$\Pi_r^M = (p - w)D = (p - w)[a - \beta p + \theta(p_e - p)] \quad (10)$$

零售商利润 Π_r^M 是关于零售价格 p 的凹函数。

证明: $\frac{\partial^2 \Pi_r^M}{\partial p^2} = -2\beta_c < 0$, 故为凹函数。

令一阶导数 $\frac{\partial \Pi_r^M}{\partial p} = a - 2\beta_c p + \theta p_e + \beta_c w = 0$, 可得零售商的最优反应函数为:

$$p = \frac{a + \theta p_e + \beta_c w}{2\beta_c} \quad (11)$$

步骤二: 制造商决策

制造商的利润来自销售产品的利润和回收再制造的净收益, 其利润函数为:

$$\Pi_m^M = (w - c_m)D + (\Delta - b_m)\tau D \quad (12)$$

将零售商的最优反应函数 $p(w)$ 以及需求函数、回收函数代入上式。首先, 将 $p(w)$ 代入需求函数,

得 $D(w) = \frac{1}{2}[a - \beta_c w + \theta p_e]$ 。令 $Q_m = a - \beta_c w + \theta p_e$, 则 $D(w) = Q_m/2$ 。

制造商利润函数可重写为:

$$\Pi_m^M = (w - c_m)\frac{Q_m}{2} + (\Delta - b_m)[A + \eta b_m + \lambda(b_m - b_e)]\frac{Q_m}{2} \quad (13)$$

制造商利润 Π_m^M 是关于 w 和 b_m 的联合凹函数, 存在唯一的最优解 (w^M, b_m^M) 。

证明: 计算关于 w 和 b_m 的 Hessian 矩阵。一阶偏导数为:

$$\frac{\partial \Pi_m^M}{\partial w} = \frac{1}{2}Q_m - \frac{\beta_c}{2}(w - c_m) - \frac{\beta_c}{2}(\Delta - b_m)\tau_c \quad (14)$$

$$\frac{\partial \Pi_m^M}{\partial b_m} = -\frac{\eta_c}{2}Q_m + \frac{\eta_c}{2}(\Delta - 2b_m)Q_m \quad (15)$$

令一阶偏导数为零。由 $\frac{\partial \Pi_m^M}{\partial b_m} = 0$ 可得:

$$b_m^M = \frac{\Delta - 1}{2} \quad (16)$$

将 b_m^M 代入 $\frac{\partial \Pi_m^M}{\partial w} = 0$, 并令 $\tau_c^M = A + \eta_c b_m^M - \lambda b_e$, 解得:

$$w^M = \frac{Q_m + \beta_c c_m + \beta_c (\Delta - b_m^M)\tau_c^M}{2\beta_c} \quad (17)$$

通过回代, 即可求得零售价 p^M 、需求量 D^M 以及制造商和零售商的最优利润 Π_m^{M*} 和 Π_r^{M*} 。

4.3. 零售商回收的分散决策模型(Model R)

在此模式下, 制造商作为领导者先决定批发价格 w ; 零售商作为跟随者, 根据 w 同时决定销售价格 p 和回收价格 b_r 。同样采用逆向归纳法求解。

步骤一: 零售商决策

零售商的利润来自销售产品的差价和回收活动的净收入(从制造商处获得转移支付 b_r 但自身支付 b_r 给消费者, 此处假设转移支付等于支付给消费者的价格, 制造商的节约成本 Δ 通过批发价间接体现或直接支付给零售商, 为简化模型, 通常假设制造商以价格 b_r 从零售商处购买回收品)。其利润函数为:

$$\Pi_r^R = (p - w)D + (b_r - b_r)\tau D \quad (18)$$

一个更常见的设定是，制造商给予零售商单位回收品的转移价格为 b_m ，而零售商支付给消费者的为 b_r ，则零售商回收利润为 $(b_m - b_r)\tau D$ 。为简化并与前文对应，我们采用一种标准设定：制造商负责承担回收品的再制造节约 Δ ，但零售商负责回收并承担回收成本 b_r ，制造商通过批发价决策来影响整体。更精确的利润函数为：

$$\Pi_r^R = (p - w)D + (\Delta - b_r)\tau D \quad (19)$$

为了与模型 M 对称，并且突出零售商回收的责任，在零售商利润中有体现出回收的整体净收益 $(\Delta - b_r)\tau D$ 。在实际模型中，这部分的收益可能会通过制造商批发价格的优惠来实现。这里采用简化的统一形式以便于求解和比较。因此，零售商利润函数为：

$$\Pi_r^R = (p - w)[a - \beta p + \theta(p_e - p)] + (\Delta - b_r)[A + \eta b_r + \lambda(b_r - b_e)][a - \beta p + \theta(p_e - p)] \quad (20)$$

零售商利润 Π_r^R 是关于 p 和 b_r 的联合凹函数。

令一阶偏导数 $\frac{\partial \Pi_r^R}{\partial p} = 0$ 和 $\frac{\partial \Pi_r^R}{\partial b_r} = 0$ 。由 $\frac{\partial \Pi_r^R}{\partial b_r} = 0$ 可解得零售商对回收价格的最优反应函数 $b_r(p, w)$ 。

然后代入 $\frac{\partial \Pi_r^R}{\partial p} = 0$ ，可联立解得零售商对销售价格的最优反应函数 $p(w)$ 和回收价格的最优反应函数 $b_r(w)$ 。(具体表达式较为复杂，此处用函数形式表示)：

$$p = p(w), \quad b_r = b_r(w) \quad (21)$$

制造商决策，制造商的利润函数为：

$$\Pi_m^R = (w - c_m)D \quad (22)$$

其中， $D = D(p(w), w)$ 。制造商预见到零售商的反应函数 $p(w)$ 和 $b_r(w)$ ，并将其代入自身利润函数：

$$\Pi_m^R = (w - c_m)[a - \beta_c p(w) + \theta p_e] \quad (23)$$

制造商利润 Π_m^R 是关于 w 的凹函数，存在唯一的最优批发价格 w^R 。

证明：零售商的最优反应函数 $p(w)$ 是一个关于 w 的线性函数，例如 $p(w) = k_1 w + k_2$ 代入 Π_m^R ，可证明 $\frac{d^2 \Pi_m^R}{dw^2} < 0$ 。

令一阶导数 $\frac{d \Pi_m^R}{dw} = 0$ ，即可求解出最优批发价格 w^R 。将 w^R 回代至零售商的反函数 $p(w)$ 和 $b_r(w)$ 中，即可求得最优零售价 p^R 、最优回收价 b_r^R ，进而得到所有均衡结果。

5. 模型分析与比较

本章节旨在通过对第四章节求解出的三种决策模型(集中决策模型 C、制造商回收分散决策模型 M、零售商回收分散决策模型 R)的均衡解进行性质分析和横向比较，展现消费者预期、回收模式与权力结构对闭环供应链定价决策、利润分配及系统效率的内在影响机制。

5.1. 均衡解性质分析

通过对各模型最优解的表达式的分析，可以得到关于关键参数影响的重要命题。

5.1.1. 消费者预期敏感系数的影响

消费者关于销售价格的预期敏感系数 θ 对最优销售价格 p^* 具有负向的影响。即, $\partial p^*/\partial \theta < 0$ 。消费者对价格的预期越是敏感, 实际的销售价格就会越难维持在高位, 需要降低价格来刺激需求。

消费者关于回收价格的预期敏感系数 λ 对最优回收价格 b^* 具有正向的影响。即, $\partial b^*/\partial \lambda > 0$ 。消费者对回收价格的预期越是敏感, 为了达到相同的回收率, 越是需要提供更高的回收价格来达到或超越消费者的预期。

在消费者高度关注价格和回收补偿的市场中, 企业需要采取更为灵活和积极的定价与回收策略, 如果忽视消费者预期, 市场需求就会萎缩, 同时回收渠道也会失效。

5.1.2. 回收价格弹性系数的影响

回收价格弹性系数 η 对最优回收率 τ^* 具有显著的正向影响。即, $\partial \tau^*/\partial \eta > 0$ 。这表明, 回收市场对价格激励反应越灵敏, 提高回收价格对提升废旧产品回收量的效果就越明显。

回收价格弹性系数 η 通过影响回收量和再制造节约成本, 对供应链总利润, 尤其是制造商的利润, 产生正向影响。当 η 较大时, 较小的回收价格提升就能带来回收率的大幅增长, 从而通过再制造节约 Δ 创造更大的价值。

企业投资于提升回收便利性、培养消费者回收习惯, 本质上是在提高回收价格的弹性系数 η , 这是一项能够带来长期回报的战略性投资。

5.1.3. 再制造节约的影响

再制造节约成本 Δ 对闭环供应链的所有成员均有利。 Δ 的增加会促使回收价格 b^* 提高(在模型 C 和模型 M 中, $b^* = (\Delta - 1)/2$), 从而激励回收活动, 同时降低产品的有效边际成本, 最终导致销售价格 p^* 的降低和市场需求 D^* 的增加, 实现“环境效益与经济效益”的双赢。

5.2. 不同模型结果的比较

通过对集中决策与两种分散决策模型的最优解进行对比, 我们可以验证经典供应链理论在考虑消费者预期情境下的适用性。

5.2.1. 双重边际化效应

在考虑消费者预期的闭环供应链中, 双重边际化效应依然存在。具体表现为:

最优销售价格: $p^C < p^R \leq p^M$;

最优回收价格: $b^C > b^M \geq b^R$;

系统总利润: $\Pi_{sc}^{C*} > \Pi_{sc}^{R*} \geq \Pi_{sc}^{M*}$ 。

在分散决策下, 制造商和零售商在决策时均以自身利润最大化为目标, 分别追加了一次边际加成, 导致销售价格高于集中决策下的水平, 而回收价格低于集中决策下的水平。这抑制了市场需求和回收努力, 最终损害了系统整体效率。模型 M (制造商回收) 的双重边际效应最为显著, 因为制造商在设定回收价格时未考虑零售商的边际, 而零售商在定价时也未考虑回收的整体收益。

5.2.2. 回收责任模式对利润分配的影响

回收责任的承担方不同时, 供应链成员的利润分配格局也会有所不同。

制造商利润: 通常当制造商负责回收时, 制造商会直接控制回收价格和批发价格, 得到回收再制造带来的大部分收益, $\Pi_m^{M*} > \Pi_m^{R*}$ 。

零售商利润: 通常当零售商负责回收时, 零售商控制回收价格和销售价格, 获得更多话语权和

决策权，分享更多的供应链利润， $\Pi_r^{R*} > \Pi_r^{M*}$ 。

供应链成员会倾向于争夺回收责任还是规避回收责任，往往取决于哪种选择会为自己带来更大的收益。这一发现可以为企业在设计渠道合作协议时提供谈判依据，例如制造商可设计“回收补贴 + 利润分成”的组合策略，来激励零售商承担回收责任。

5.3. 两种回收模式的比较

5.3.1. 回收模式对系统效率的影响

在分散决策下，零售商回收模式(Model R)的系统效率通常会高于制造商回收模式(Model M)，即 $\Pi_{sc}^{R*} > \Pi_{sc}^{M*}$ 。这一结论支持“零售终端赋能”的营销策略，制造商可通过培训、提供 IT 系统和投资回收设备等，提升零售商的回收能力，形成差异化的渠道优势。

在零售商回收模式下，零售商可以同时决定销售价格和回收价格，能够更好地协调正向销售与逆向回收。例如，零售商可以适当降低销售价格，扩大市场份额，同时，提高回收价格，确保提升回收率，这种内部协调是可以在一定程度上更加有效的缓解双重边际效应。而在制造商回收模式下，销售与回收决策是由两个独立的成员分别做出的，成员往往都会以自身利益为中心，协调性更差，系统效率损失更大。

5.3.2. 回收模式选择的博弈

制造商作为 Stackelberg 博弈的领导者，其偏好模式不一定是系统最优模式。制造商可能更偏好模型 M，因为其在此模式下利润最高(Π_m^{M*} 最大)。然而，从供应链整体和零售商的视角来看，模型 R 更优。因此，在现实中，零售商可能有动机通过谈判或契约，促使制造商将回收责任转移给自己，并通过由此增加的利润对制造商进行补偿，最终实现帕累托改进。

为了更直观地展示核心结论，表 2 总结了三种模型的关键特征比较。

Table 2. System resulting data of standard experiment
表 2. 标准试验系统结果数据

比较维度	模型 C(集中决策)	模型 M(制造商回收)	模型 R(零售商回收)
决策目标	系统总利润最大化	制造商利润最大化,继而零售商利润最大化	制造商利润最大化,继而零售商利润最大化
定价特征	销售价格最低	销售价格最高	销售价格介于二者之间
回收特征	回收价格最高,回收率最高	回收价格较低	回收价格介于二者之间,但协调性更好
系统效率	最高,为理想基准	最低,双重边际效应最严重	较高,因零售商内部协调缓解了部分效应
利润分配	-	制造商利润占比最高	零售商利润占比最高,供应链总利润更高

6. 数值仿真与分析

6.1. 参数赋值

参考相关文献并结合现实情境，对模型中的基础参数进行赋值。设定基础参数如下：潜在市场规模被设定为 $a = 100$ ，这为一个标准化单位，旨在刻画一个具有适度需求潜力的市场环境[9]，便于清晰地观察各变量间的相对变化趋势。新产品单位制造成本设为 $c_m = 20$ ，而单位再制造节约成本设为 $\Delta = 15$ 。这一对参数的设定(满足 $\Delta > b$ 以确保回收活动有利可图)是基于闭环供应链的典型经济特征：再制造过程确实能带来可观的成本节约，但其节约幅度通常低于全新制造的全部成本，因为这其中包含了回收、检测、拆解与再加工等一系列环节的成本。其余基础参数如下：消费者对价格的敏感系数 $\beta = 1.2$ ，消费者价格

预期 $p_e = 60$ 。回收基础量 $A = 0.1$ ，消费者回收价格预期 $b_e = 4$ 。

本研究重点关注消费者预期与回收效率的影响，因此将变动以下两个核心参数：在消费者预期敏感系数中令 θ 和 λ 在区间 $[0.1, 0.5]$ 内同步变动，以模拟消费者对价格和回收补偿的预期敏感性同时增强的情景。

在回收价格弹性系数中令 η 在区间 $[0.1, 0.7]$ 内变动[11]，以模拟回收市场对价格激励的响应程度变化。

6.2. 消费者预期敏感系数的影响分析

通过将 θ 和 λ 从 0.1 逐步增加至 0.5，观察三种模型下最优决策与利润的变化趋势。

随着消费者预期敏感系数 (θ, λ) 的增大，三种模型下的最优销售价格 p 均呈现出明显的单调下降趋势。如图 1，在集中决策模型(Model C)中，当 θ 从 0.1 增至 0.5 时，销售价格下降了近 20%，当消费者对销售价格愈发敏感时，供应链必须降低售价以维持需求。当 λ 从 0.1 增至 0.5 时，最优回收价格 b 则随着 λ 的增加而上升，特别是在集中决策(Model C)和零售商回收模型(Model R)中，上升幅度更大，这表明为了应对消费者日益提高的回收补偿预期，需要给出更具吸引力的回收价格。

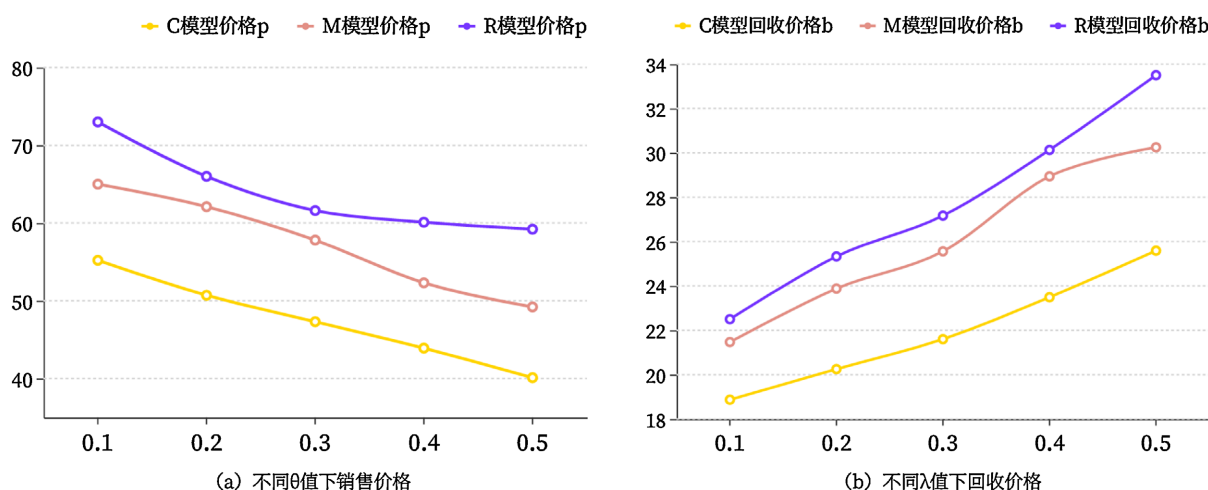


Figure 1. The impact of consumer expectation sensitivity coefficient on sales price and recycling price

图 1. 消费者预期敏感系数对销售价格和回收价格的影响

6.3. 回收价格弹性系数的影响分析

通过将回收价格弹性系数 η 从 0.1 逐步增加至 0.7，分析其对供应链系统的影响。

对回收率与需求的影响：

回收价格弹性系数 η 的提升，对闭环供应链具有积极的系统性影响。如图 2 结果表明，随着 η 的增大，在相同的回收价格下，回收率 τ 获得了大幅提升。例如，在制造商回收模型(Model M)中，当 η 从 0.1 增至 0.5 时，回收率提高了近三倍，更高的回收率意味着更多的再制造材料会被投入产品制造，降低了产品的平均单位成本，供应链就可以设定更低的销售价格，进而刺激了市场需求 D 的增长。

对利润的影响：

回收价格弹性系数 η 的增大为供应链带来了显著的经济效益。如图 3 所示，三种模型下的系统总利润均随 η 的增加而单调递增。尤其是在零售商回收模型(Model R)中，总利润的增长幅度是最大的，这是因为在这种模式下，零售商能够直接且高效的进入回收市场，通过协调定价与回收策略尽可能地获取再制造带来的成本节约红利。这一发现也表明零售商回收模式在回收效率较高的环境中更具优势。

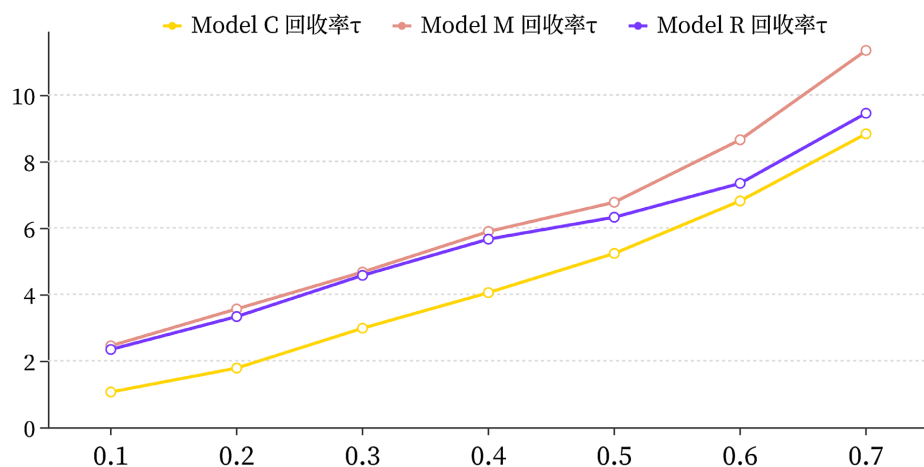


Figure 2. Effect of recycling price elasticity coefficient on recycling rate

图 2. 回收价格弹性系数对回收率的影响

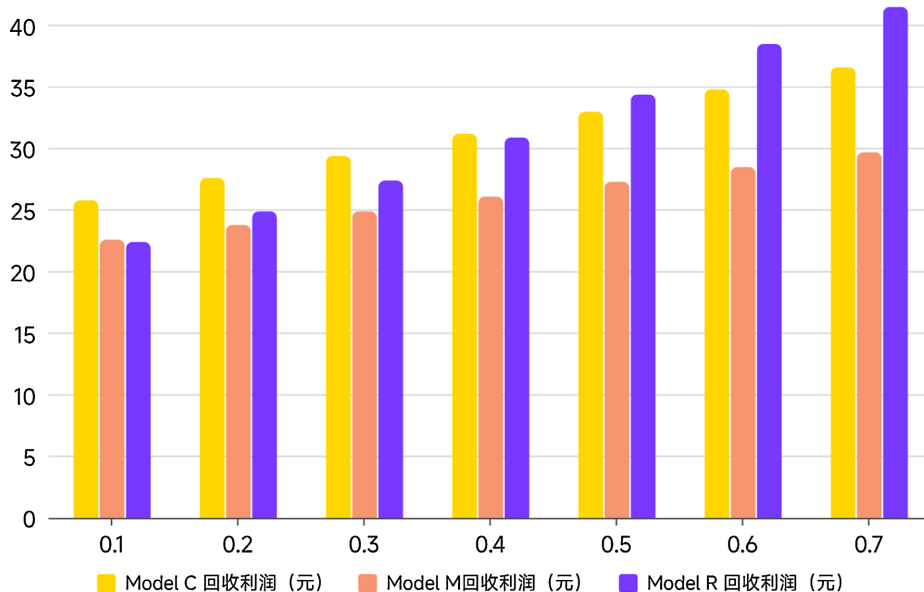


Figure 3. Impact of recycling price elasticity coefficient on profit

图 3. 回收价格弹性系数对利润的影响

如表 3 所示, 当固定其他参数使 $\eta = 0.6$ 时, 两种分散决策模型的利润结果。其结果清晰验证了回收责任模式对利润分配的影响与回收模式对系统效率的影响的合理性。在零售商回收模式(Model R)下, 供应链系统总利润相较于非零售商回收模式更高, 但整个供应链中的利润分配是从制造商转移向零售商。

Table 3. Comparison of profits under two decentralized recycling models

表 3. 两种分散决策回收模式下的利润对比

利润项	模型 M (制造商回收)	模型 R (零售商回收)	变化幅度
制造商利润 Π_m	1050.2	980.5	-6.6%
零售商利润 Π_r	355.1	450.8	+26.9%
系统总利润 Π_{sc}	1405.3	1431.3	+1.8%

其中, 制造商利润显著下降, 而零售商利润则有所增长。该结果可进一步解释为何处于供应链领导地位的制造商, 却通常缺乏主动采用零售商回收模式(Model R)的意愿与动力。

7. 结论与启示

本文通过构建并分析三种闭环供应链决策模型, 深刻揭示了消费者预期、回收模式与渠道权力结构三者间的复杂互动如何系统性地影响定价决策与利润格局。研究结论表明, 在现代营销环境中, 定价已不再是简单的成本加成计算, 而是一个需要综合考量消费者心理、渠道关系与环境规制的战略杠杆。以下将从三个层面阐述本研究带来的核心启示。

7.1. 消费者预期管理

消费者对价格与回收补偿的预期是驱动市场反应的内在机制, 企业需要将消费者预期管理置于营销与定价战略的核心。消费者对销售价格的预期敏感系数 θ 的增大会迫使最优销售价格 p^* 下行, 而回收价格预期敏感系数 λ 的增强则要求提高最优回收价格 b^* 以维持回收率。这意味着, 传统的成本加成定价法在此情境下已然失效。

企业的营销部门不应被动应对消费者预期, 而应主动对其进行管理和引导。在正向销售端, 营销沟通不应当是单纯的产品功能宣传, 而应该同时塑造产品的绿色价值、品质信誉与品牌形象。这样能够降低消费者对价格的敏感度, 为定价策略争取更灵活的空间。例如林贵华等[12]在就多阶段绿色闭环供应链模型中发现, 当消费者质量感知评分超过 4.2 (5 分制) 时, 价格敏感度将下降 30%, 应重点强调再制造产品与新产品在“质量等同性”方面的表现。Zhou 等(2020) [13]提出的“适度教育”原则强调, 在消费者初始接受度较低阶段, 教育投入的边际效益最为显著。专家背书同样具有重要影响力, 如引入德国 TÜV 等权威机构的再制造产品认证, 可有效提高消费者支付意愿约 20% [14]。

在逆向回收端, 营销活动需致力于勾画“便捷、可信、有回报”的印象, 让消费者认识到回收的环保价值与经济补偿, 有效提升回收价格的激励效率, 即提升回收价格弹性系数 η , 这将是一项能够带来长期回报的战略投资。同时, 信息透明化机制也具有重要意义。例如赵森林等[15]在 ESG 尽职调查研究中进一步指出, 借助第三方机构披露再制造过程的环境绩效, 能够使消费者信任度提升 27%。

7.2. 回收模式选择

研究证实, 回收责任的归属本质上是渠道权力的再分配, 并直接导致不同的利润格局与系统效率。制造商回收模式(Model M)虽能让制造商独占大部分再制造增值, 但因决策割裂引发的“双重边际化效应”最为严重, 导致系统总利润最低。反之, 零售商回收模式(Model R)因其实现了销售与回收决策的内部协同, 能更有效地将再制造节约转化为终端市场竞争力, 从而提升系统整体效率。

经济学机制中模型 R 的高效性源于外部性的内部化。零售商在统一决策时, 会综合考虑降低售价带来的需求增长对回收池的扩大作用, 以及提高回收价带来的成本节约对销售利润的支撑作用。这种协同是模型 M 中相互独立的两个决策者无法实现的。对于制造商而言, 需进行战略取舍。若追求短期自身利润最大化且拥有强势权力, 可坚持制造商回收。但若着眼于构建长期、高效的供应链生态系统, 则应通过设计“回收补贴 + 利润分成”等契约机制, 主动将回收责任转移给零售商, 并用部分系统效率提升所带来的增量利润补偿自身的损失, 从而实现“制造商让利、系统增效、零售商更有为”的帕累托改进。对于零售商而言, 承担回收是提升渠道话语权的战略机遇。零售商应利用其贴近消费者的终端优势, 将回收服务整合进会员体系、促销活动与客户关系管理(CRM)中, 打造差异化的服务竞争力, 从而在与制造商的谈判中争取更有利的条款。

7.3. 实现绿色与增长的统一

再制造节约成本 Δ 是驱动闭环供应链运作的根本经济动力。 Δ 的增加能有效降低产品的边际成本, 从而允许企业制定更具竞争力的销售价格, 同时提供更高的回收补偿, 最终同步刺激市场需求与回收努力, 实现“降本、增收、环保”的多重目标。成本的降低为更具竞争力的销售价格和更具激励性的回收价格提供了空间, 从而同步刺激了市场需求与废旧品回收, 而规模的扩大又进一步放大了再制造的价值。这一机制将环境可持续性从一项外部约束或道德责任, 转变为企业内在的核心竞争力来源。因此, 企业的战略启示在于, 必须将闭环供应链提升为核心战略支柱, 大力投资于再制造技术的研发以持续扩大成本节约。同时, 在营销层面, 应将这些实践成果转化为可信的品牌叙事, 将消费者的参与行为升华作为一种兼具经济回报与环境成就感的共赢体验, 从而为企业构建起难以复制的绿色竞争优势。

参考文献

- [1] 赵静, 肖亚倩. 不同渠道偏好和运营成本下双渠道闭环供应链定价决策研究[J]. 运筹与管理, 2018, 27(12): 108-114.
- [2] 董景峰, 高珊, 高贵晨, 等. 顾客感知价值和回收质量不确定下的闭环供应链定价决策[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(8): 2476-2490.
- [3] 刘春怡, 尤天慧, 曹兵兵. 考虑成员企业风险态度的制造商资金约束闭环供应链定价与回收决策[J]. 控制与决策, 2021, 36(5): 1239-1248.
- [4] Baldi, B., Confente, I., Russo, I. and Gaudenzi, B. (2024) Consumer-Centric Supply Chain Management: A Literature Review, Framework, and Research Agenda. *Journal of Business Logistics*, **45**, e12399. <https://doi.org/10.1111/jbl.12399>
- [5] 杨军, 高建广, 辛宝贵. 消费者偏好驱动逆向供应链双渠道回收策略研究[J]. 山东科技大学学报(社会科学版), 2020, 22(3): 60-66+88.
- [6] 李庆华. 考虑成员行为的双渠道供应链最优策略研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2015.
- [7] 黄荣基. 考虑社会网络效应和消费者有限理性行为的定价研究[D]: [博士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2019.
- [8] Wang, Q., Li, S. and Liu, J. (2025) Elastic Revenue-Sharing Contracts for Closed-Loop Supply Chains under Disruptions. *Transportation Research Part E*, **192**, Article 103215.
- [9] Zhao, W. and Liu, N. (2024) Cost-Sharing Contracts for Remanufacturing in Closed-Loop Supply Chains. *Journal of Cleaner Production*, **402**, Article 136892.
- [10] 田梦瑶. 参考价格效应下的产品定价策略研究[J]. 现代商业, 2025(2): 24-27.
- [11] Baldwin, C. (2024) Power Balance Theory in Supply Chain Management. Springer.
- [12] 林贵华, 冯文秀, 杨振平. 回收商参与的多阶段绿色闭环供应链竞争模型[J]. 中国管理科学, 2021, 29(6): 136-148.
- [13] Zhou, Y., Xiong, Y. and Jin, M. (2021) Less Is More: Consumer Education in a Closed-Loop Supply Chain with Remanufacturing. *Omega*, **101**, Article 102259. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102259>
- [14] Li, X.R. and Li, C.H. (2025) Differences Research of Closed-Loop Supply Chain's Channels under Dual Consumer Preferences.
- [15] Zhao, S., Han, Y., Zhou, Q. and Xia, X. (2025) Collaborative Management of Battery Manufacturer Responsibility in Electric Vehicle Production with ESG Due Diligence. *Journal of Cleaner Production*, **486**, Article ID: 144591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144591>