

不同双渠道结构下制造商直接回收的闭环供应链最优定价决策

鞠凯强*, 徐超, 杨家兴

江西理工大学经济管理学院, 江西 赣州

收稿日期: 2024年12月7日; 录用日期: 2025年1月3日; 发布日期: 2025年1月9日

摘要

本文构建了两种不同的闭环供应链博弈模型: 一种是制造商自建直销渠道, 另一种则是委托网络运营商进行代销。通过这两种模型, 我们深入探讨了在不同双渠道结构下, 制造商直接回收废旧产品时, 供应链各成员所面临的闭环供应链定价决策问题。研究表明: 两种渠道下单位废旧产品最优回收价格相同, 与制造商回收成本负相关, 与消费者对回收价格的敏感系数正相关。制造商直销渠道下, 产品的最优批发价格和零售价格不受传统销售渠道下零售商定价的影响, 而零售商的零售价格则与产品价格竞争系数负相关。此外, 网络运营商代销渠道下, 制造商利润和零售商利润均与网络运营商的佣金比例系数负相关。

关键词

双渠道供应链, 闭环供应链, 供应链决策, Stackelberg博弈

The Optimal Pricing Decision of the Closed-Loop Supply Chain of Direct Recycling by Manufacturers under Different Dual-Channel Structures

Kaiqiang Ju*, Chao Xu, Jiaxing Yang

School of Economics and Management, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou Jiangxi

Received: Dec. 7th, 2024; accepted: Jan. 3rd, 2025; published: Jan. 9th, 2025

Abstract

This paper constructs two different closed-loop supply chain game models: one is the manufacturer's *通讯作者。

文章引用: 鞠凯强, 徐超, 杨家兴. 不同双渠道结构下制造商直接回收的闭环供应链最优定价决策[J]. 管理科学与工程, 2025, 14(1): 39-45. DOI: 10.12677/mse.2025.141005

own direct sales channel, and the other is entrusted to the network operator to carry out consignment sales. Through these two models, we delve into the closed-loop supply chain pricing decisions faced by various members of the supply chain when manufacturers directly recycle used products under different dual-channel structures. The results show that the optimal recycling price per unit of waste product is the same under the two channels, which is negatively correlated with the manufacturer's recycling cost and positively correlated with the consumer's sensitivity coefficient to the recycling price. Under the manufacturer's direct sales channel, the optimal wholesale price and retail price of the product are not affected by the retailer's pricing under the traditional sales channel, while the retailer's retail price is negatively correlated with the price competition coefficient of the product. In addition, under the consignment channel of network operators, the profit of manufacturers and retailers are negatively correlated with the commission ratio coefficient of network operators.

Keywords

Dual-Channel Supply Chain, Closed-Loop Supply Chain, Supply Chain Decision-Making, Stackelberg Game

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

随着全球经济的快速发展和资源的日益紧张，可持续发展理念逐渐成为企业经营的重要指导原则。闭环供应链作为一种能够有效整合资源、减少浪费、提高效率的供应链模式[1]，受到了学术界和工业界的广泛关注。闭环供应链不仅包括传统的产品生产和销售过程，还涵盖了产品的回收、再制造和再销售等环节，形成了一个完整的循环系统[2]。

在当前市场竞争日趋激烈的背景下，制造商为了拓宽销售渠道、增强市场竞争力，往往会选择建立双渠道销售模式。这种模式下，除了传统的零售渠道，制造商还会通过直销渠道或代销售渠道向消费者销售产品[3][4]。这种策略不仅能够为制造商带来新的收入来源，还能够更好地控制产品的定价和分销过程。因此，研究不同双渠道结构下制造商主导的闭环供应链最优定价决策十分具有现实意义。

国外学者对双渠道闭环供应链的研究主要集中在供应链的协调、设计与评估等方面。例如，Yu H [5]等人利用博弈论构建了在完全不合作、部分合作及完全合作三种情景下的双渠道闭环供应链系统的动态博弈模型，通过设计成本分摊—转移支付契约，以期达到系统内部的高度协调。此外，Amoozad H M [6]等人同样采用博弈论的方法，在一个拥有双重回收渠道的二级闭环供应链框架内，探索出最优的经济与环境可持续性策略。而Wu D [7]等人则分别在集中决策和分散决策模式下建立了双渠道闭环供应链模型，深入探讨了正向与反向需求波动如何影响企业的最优策略选择及其盈利能力，并提出了基于收入 - 成本分摊的契约机制，促进线上与线下销售渠道的有效整合。

国内学者对双渠道闭环供应链的研究主要集中在供应链各成员的定价及行为分析上。例如，李文川等人[8]在碳交易背景下，构建了公平中性、零售商公平关注信息对称与不对称条件下的双渠道闭环供应链最优决策的动态博弈模型，通过求解均衡解，探讨了均衡解与公平关注之间的关系。此外，孙雪峰等人[9]针对由制造商主导的单周期闭环供应链决策问题，基于分析模型，提出了四种不同的社会责任投资模型，深入分析了企业履行社会责任的行为如何影响供应链的定价策略。再者，闻卉等人[10]研究了不同权力结构对闭环供应链的影响，构建了三种分散式和一种集中式的闭环供应链决策模型，进而得到了最优的定价策略。

综上所述，上述相关文献主要关注制造商直销的双渠道供应链，也很少有文献对双渠道闭环供应链展开研究。随着“互联网+”的持续推进，截止2023年我国网络购物用户已超8亿人，网络俨然已经成为了人们消费购物的“主战场”。在此背景下，本文分别构建了制造商直销和网络运营商代销两种不同双渠道闭环供应链决策模型，为供应链各成员的最优决策提供参考。并且，本文还引入价格竞争系数和佣金比例系数，为供应链各成员提供相关管理学启示。

2. 符号说明及模型假设

2.1. 符号说明

本文主要用到的参数符号有：单位新产品制造成本 c_m ，单位再制造产品生产成本 c_r ，制造商直销单位产品所付出的成本 c_1 ，制造商回收单位废旧产品所付出的成本 c_2 ，制造商直销渠道下单位产品的零售价格 p_m ，制造商回收单位废旧产品的回收价格 p_c ，传统零售渠道下制造商的单位产品批发价格 w ，传统零售渠道下零售商的单位产品零售价格 p_r ，网络运营商代销渠道下单位产品的零售价格 p_n 。 π_j^i 表示模型 i 中供应链成员 j 的利润，其中， $i=1,2$ 分别代表制造商直销和网络运营商代销； $j=m,r,n$ 分别代表制造商，零售商和网络运营商；上角标*代表两种模型下各供应链成员决策变量及利润的最优均衡解。

2.2. 模型假设

假设 1：新产品和回收再制造产品在质量和消费者认可度方面没有差异， Δ 表示回收单位废旧产品再制造所节省的成本，则有 $\Delta = c_m - c_r$ 。

假设 2：假设废旧产品的市场供给函数为线性函数，表达为 $S_{p_c} = s_0 + bp_c$ ，其中 s_0 为废旧产品回收价格为零时废旧产品的市场供应量， s_0 越大代表消费者的环保意识就越高； b 为消费者对制造商回收价格的敏感系数。

假设 3：网络运营商代销渠道下，制造商需根据销售额向网络运营商支付佣金，假设 $\lambda (0 < \lambda < 1)$ 为佣金比例系数。

假设 4：制造商自建直销渠道下，传统零售渠道下产品的市场需求函数：

$$D_{p_r}^1(p_r, p_m) = a - p_r + f(p_m - p_r), \text{ 制造商直销渠道下产品的市场需求函数:}$$

$$D_{p_m}(p_m, p_r) = a - p_m + f(p_r - p_m); \text{ 网络运营商代销渠道下, 传统零售渠道下产品的市场需求函数:}$$

$$D_{p_r}^2(p_r, p_n) = a - p_r + f(p_n - p_r), \text{ 网络运营商代销渠道下产品的市场需求函数:}$$

$D_{p_n}(p_n, p_r) = a - p_n + f(p_r - p_n)$ 。其中， a 代表产品的基础市场规模； $f (0 < f < 1)$ 代表产品的价格竞争系数， f 越大代表两种渠道之间的定价差异就越大。

3. 模型建立与求解

3.1. 制造商直销

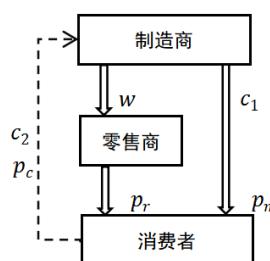


Figure 1. The manufacturer builds its own direct sales channel

图 1. 制造商自建直销渠道

当制造商自主构建直销渠道时, 如图 1 所示。

供应链中各参与方的决策顺序如下: 首先, 制造商将确定传统销售渠道的产品批发价格 w 、废旧产品的回收价格 p_c 以及直销渠道的产品零售价格 p_m ; 随后, 零售商根据这些条件决定传统销售渠道中的产品最终零售价格 p_r 。供应链各成员的收益模型可表述为:

$$\begin{aligned}\pi_r^1 &= (p_r - w)D_{p_r}^1 \\ \pi_m^1 &= (w - c_m)D_{p_r}^1 + (p_m - c_m - c_1)D_{p_m} + (\Delta - p_c - c_2)S_{p_c}\end{aligned}$$

命题 1: 制造商直销情形下供应链各成员的最优定价决策为:

$$w_1^* = \frac{1}{2}(a + c_m), \quad p_m^* = \frac{1}{2}(a + c_1 + c_m), \quad p_{c_1}^* = \frac{b(\Delta - c_2) - s_0}{2b}, \quad p_n^* = \frac{3a + c_1 + c_m + f(2a + c_1 + 2c_m)}{4(1+f)}.$$

证明: 利用逆向归纳法进行求解, 首先, 求零售商利润函数关于 p_r 的一阶偏导数, 令其等于零可得 $p_r = \frac{a + w + f(w + p_m)}{2(1+f)}$ 。将其代入制造商利润函数 π_m^1 , 并求得 π_m^1 关于 w 、 p_m 、 p_c 的 Hessian 矩阵为:

$$\begin{bmatrix} -\left(2+4f+f^2\right) & f & 0 \\ \frac{1}{1+f} & f & 0 \\ f & -1-f & 0 \\ 0 & 0 & -2b \end{bmatrix} \text{。用 } d_i \text{ 表示矩阵的第 } i(i=1,2,3) \text{ 阶主子式, 观察可知}$$

$$d_1 = \frac{-\left(2+4f+f^2\right)}{1+f} < 0, \quad d_2 = 2+4f > 0, \quad d_3 = -4b(1+2f) < 0 \text{。满足 Hessian 矩阵负定的条件, 因此可}$$

由一阶偏导数为零来求解各决策变量的最优解。将各最优决策变量代入供应链各成员利润函数可得零售商、制造商、供应链系统的最优期望收益为:

$$\begin{aligned}\pi_r^{1*} &= \frac{(a + c_1(f-1) - c_m)(a + c_1(f+1) - c_m)}{16(1+f)}, \\ \pi_m^{1*} &= \frac{1}{8} \left((2+f)c_1^2 + 2bc_2^2 - \frac{(5+6f)c_1(a-c_m)}{1+f} + \xi_1 + 4\Delta s_0 + \frac{2s_0^2}{b} - 4c_2(s_0 + \Delta b) \right) \text{。注:} \\ \xi_1 &= \frac{a^2(3+4f) + 2b\Delta^2(1+f) + (3+4f)(c_m - 2a)c_m}{1+f}.\end{aligned}$$

3.2. 网络运营商代销

在网络运营商代销模式下, 如图 2 所示。

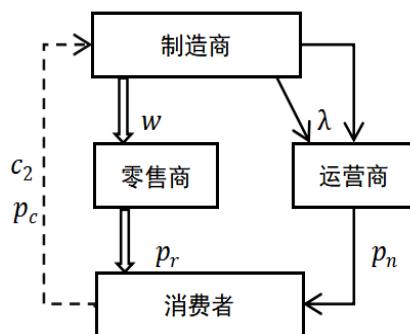


Figure 2. Distribution channels network operators
图 2. 网络运营商代销渠道

制造商负责设定通过代销渠道销售的产品零售价格，而网络运营商仅承担销售职责，并从销售额中抽取一定比例作为佣金。具体的决策流程如下：首先，制造商将确定传统销售渠道的产品批发价格 w 、废旧产品的回收价格 p_c 以及代销渠道下的产品零售价格 p_n ；随后，零售商根据这些条件决定传统销售渠道中的最终零售价格 p_r 。供应链中各参与方的收益模型可表述为：

$$\pi_r^2 = (p_r - w) D_{p_r}^2$$

$$\pi_m^2 = (w - c_m) D_{p_r}^2 + (p_n - c_m) D_{p_n} + (\Delta - p_c - c_2) S_{p_c} - \lambda p_n D_{p_n}$$

$$\pi_n = \lambda p_n D_{p_n}$$

命题 2：当 $8+16f-8\lambda-16f\lambda-f^2\lambda^2 > 0$ 时网络运营商代销情形下供应链各成员的最优定价决策为：

$$\begin{aligned} w_2^* &= \frac{a(1-\lambda)(f^2(3\lambda-8)+2f(\lambda-6)-4)+(4(\lambda-1)+f^2(5\lambda-8)+2f(5\lambda-6))c_m}{(1+f)\xi_2}, \\ p_n^* &= \frac{a(4\lambda+7f\lambda-4-8f)+(f\lambda-8f-4)c_m}{\xi_2}, \quad p_{c_2}^* = \frac{b(\Delta-c_2)-s_0}{2b}, \\ p_{r_2}^* &= \frac{a(1-\lambda)((f^2(\lambda-8)+f(\lambda-16)-6))+2(\lambda-1)+f^2(3\lambda-8)+f(5\lambda-8))c_m}{(1+f)\xi_2}. \end{aligned}$$

证明同理命题 1，将各决策变量最优解代入供应链各成员利润函数可得：

$$\begin{aligned} \pi_r^{2*} &= \frac{(1+2f)^2(a(\lambda-1)(2+f\lambda)-(2\lambda+f\lambda-2)c_m)^2}{(1+f)\xi_2^2} \\ \pi_n^* &= \frac{\lambda(1+2f)(a(4\lambda+7f\lambda-4-8f)+c_m(f\lambda-4-8f))(a(4\lambda+7f\lambda+f^2\lambda-4-6f)+c_m(4+f^2\lambda+6f+f\lambda))}{(1+f)\xi_2^2} \\ \pi_m^{2*} &= \frac{a^2(1+2f)(1-\lambda)(2\lambda+3\lambda f-4f-3)}{(1+f)\xi_2} - \frac{a(1+2f)(6\lambda+f^2\lambda^2+8f\lambda+f\lambda^2-6-8f)c_m}{(1+f)\xi_2} \\ &\quad + \frac{1}{4} \left[bc_2^2 + \frac{4c_m^2(1+2f)(\lambda+f\lambda-3-4f)}{(1+f)\xi_2} - 2c_2(\Delta b+s_0) + \frac{(\Delta b+s_0)^2}{b} \right] \end{aligned}$$

注： $\xi_2 = 8(\lambda-1)+16f(\lambda-1)+f^2\lambda^2$ 。

4. 模型分析

$$\text{推论 1: } p_{c_1}^* = p_{c_2}^* = \frac{b(\Delta-c_2)-s_0}{2b}, \quad \frac{\partial p_{c_1}^*}{\partial c_2} = \frac{\partial p_{c_2}^*}{\partial c_2} < 0, \quad \frac{\partial p_{c_1}^*}{\partial b} = \frac{\partial p_{c_2}^*}{\partial b} > 0$$

推论 1 表明，无论制造商是选择自主直销还是委托网络运营商进行销售，开通第二条销售渠道后，单位废旧产品的最优回收价格在两种情况下保持一致。此外，单位废旧产品的最优回收价格与制造商的单位回收成本呈负相关关系，而与消费者对回收价格的敏感度呈正相关。这意味着，当制造商面临更高的单位废旧产品回收成本时，为降低成本并维持稳定的利润水平，其通常会下调单位废旧产品的回收价格。相反，如果消费者对回收价格的敏感度上升，制造商则倾向于适当上调单位废旧产品的回收价格，以此来促进更大的回收量，进而实现更高的收益。

$$\text{推论 2: } \frac{\partial w_1^*}{\partial c_m} > 0, \quad \frac{\partial p_m^*}{\partial c_m} > 0, \quad \frac{\partial p_m^*}{\partial c_1} > 0, \quad \frac{\partial p_{r_1}^*}{\partial f} < 0$$

推论 2 表明，当制造商通过自建直销渠道增设第二销售渠道时，产品的最优批发价格及直销渠道下的最优零售价格将独立于传统零售渠道中零售商的定价策略，而主要受到产品生产成本与直销成本的影响。并且，随着生产成本和直销成本的增加，制造商提高传统销售渠道下产品的批发价格来稳定其在传统销售渠道下的利润。同时，制造商也会提高直销渠道下产品的零售价格来保障其在直销渠道下的利润。

对于零售商而言，在传统的销售渠道中，产品的零售价格与价格竞争强度呈现负相关关系。随着价格竞争强度的增加，直销渠道与传统销售渠道之间产品零售价格的差距对消费者选择的影响日益明显。鉴于制造商的盈利模式同时依赖于直销和传统销售途径，并且在这一博弈过程中扮演着主导角色，因此制造商能够直接干预零售商的定价策略，确保自身利润保持相对稳定，其定价决策也不受价格竞争强度变化的影响。但反观零售商来看，其利润结构较为单一，当产品价格竞争系数较大时，零售商会通过降低产品零售价格的方式来吸引消费者，从而增大销量稳定自身利益。

$$\text{推论 3: } \frac{\partial \pi_n^*}{\partial \lambda} < 0, \quad \frac{\partial \pi_m^*}{\partial \lambda} < 0$$

推论 3 表明，当制造商委托网络运营商代销时，制造商利润、零售商利润均与佣金比例系数成负相关。较大的佣金比例系数会激励网络运营商不断地占据市场份额，相应地，传统销售模式下的市场份额则会逐渐减少，传统销售模式下零售商的获益也会随之降低。随着佣金比例系数的增大，一方面，制造商在网络运营商代销渠道下所支付的佣金将会逐渐增加；另一方面，随着传统销售渠道市场份额的缩减，制造商通过零售商获取的收益也将逐步减少。综上所述，过高的佣金比例不仅会削弱制造商的利润，同时也将对零售商的盈利产生不利影响。

5. 结束语

本文旨在探讨在不同双渠道结构下，制造商直接回收废旧产品的闭环供应链各成员定价策略。通过构建制造商自建直销渠道和委托网络运营商代销两种不同的闭环供应链博弈模型，本文分析了供应链各成员在这两种不同双渠道结构下的最优定价决策。本文相关管理学启示如下：

- (1) 无论是通过自主直销还是网络运营商代销来开通第二销售渠道，制造商均可以通过控制成本的方式来不断调整单位废旧产品的最优回收价格，从而实现自身利益的最大化。
- (2) 当市场竞争激烈，产品价格成为关键因素时，在传统的销售渠道中，零售商除了可以通过降价吸引顾客之外，还应采取更多策略以维持自身的竞争优势和利润水平。例如，实施差异化定价策略，开展丰富多彩的促销活动，以及提供更加完善和贴心的售前售后服务等措施，这些都能有效增强客户黏性，提升品牌形象，最终实现利润的稳定增长。
- (3) 传统零售渠道下，零售商的利润结构较为单一，稳定性较差。零售商可以通过线上、线下销售渠道交叉融合的方式来巩固、发展自身的利润结构。线上销售渠道：除自有电商平台外，还可以在第三方电商平台开设店铺等。线下销售渠道：与经销商、公司企业等合作，将产品铺货到更多的门店。
- (4) 当制造商选择网络运营商代销来开通第二销售渠道时，制造商要合理控制传统零售渠道下的产品批发价格来稳定自身利润。当网络运营商收取的佣金比例系数较高时，制造商要降低产品批发价格来增加传统销售渠道需求量，反之。

参考文献

- [1] 易余胤. 基于再制造的闭环供应链博弈模型[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(8): 28-35.
- [2] 葛静燕, 黄培清. 基于博弈论的闭环供应链定价策略分析[J]. 系统工程学报, 2008, 23(1): 111-115.
- [3] 赵连霞, 程明宝. 基于制造商销售渠道选择的供应链定价策略研究[J]. 系统工程理论与实践, 2016, 36(9): 2310-

- 2319.
- [4] 杨跃翔, 夏国平, 卫昆. 双渠道两阶段供应链网络均衡模型[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(9): 1391-1395, 1401.
 - [5] Yu, H., Mi, J. and Xu, N. (2024) Recycling, Pricing Decisions, and Coordination in the Dual-Channel Closed-Loop Supply Chain: A Dynamic Perspective. *Journal of Cleaner Production*, **456**, Article 142297. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142297>
 - [6] Mahdiraji, H.A., Govindan, K., Madadi, S. and Arturo Garza-Reyes, J. (2023) Coordination in a Closed-Loop Sustainable Supply Chain Considering Dual-Channel and Cost-Sharing Contract: Evidence from an Emerging Economy. *Journal of the Operational Research Society*, **74**, 2362-2381. <https://doi.org/10.1080/01605682.2022.2147032>
 - [7] Wu, D., Li, P., Chen, J. and Wang, H. (2023) Coordination Strategies of Dual Channel Closed-Loop Supply Chain Considering Demand Disruptions. *European Journal of Industrial Engineering*, **17**, 597-626. <https://doi.org/10.1504/ejie.2023.131733>
 - [8] 李文川, 周清宁, 涂文君. 碳交易背景下考虑公平关切的双渠道闭环供应链定价决策[J]. 科技和产业, 2023, 23(23): 1-9.
 - [9] 孙雪峰, 张成堂, 朱林. 考虑企业社会责任的双渠道闭环供应链定价决策研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2022, 39(4): 51-59.
 - [10] 闻卉, 郑本荣, 曹晓刚, 等. 不同渠道权力结构下的双渠道闭环供应链定价与协调决策[J]. 运筹与管理, 2020, 29(6): 65-74.