

# 考虑生活垃圾可利用率的闭环供应链差别定价决策<sup>\*</sup>

周 鹏, 李 芳<sup>†</sup>

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

**摘要:** 基于可回收垃圾的可利用程度与消费者对其再制品的偏好性不同的实际情况, 建立闭环供应链的差别定价模型, 从而分析闭环供应链总利润随废品可利用率和消费者偏好的变化规律。结果发现, 当再制品和残值单位总价值大于新产品的单位成本价格偏好时, 总利润随着消费者偏好系数的增大而增大。但在分散决策情形下, 会造成各企业节点之间效率的流失。据此, 提出以集中决策下的均衡结果作为标准, 建立了一种协调契约收益共享机制。最后通过算例分析, 得到收益共享比例的具体取值范围, 实现了供应链中各节点之间的有效协调。

**关键词:** 闭环供应链; 可回收; 消费者偏好; 收益共享

中图分类号: F274 doi: 10.19734/j.issn.1001-3695.2019.11.0657

Differential pricing decision of closed-loop supply chain considering domestic waste availability

Zhou Peng, Li Fang<sup>†</sup>

(Management School, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** This paper based on that for remanufactured products, recyclable waste availability is different from consumers' preference. The total profit of the Closed-loop Supply Chain with waste products and consumer preferences availability has changes. In order to analyze the changes, it established a differential pricing model for a Closed-loop Supply Chain. The results show that total profit increases as the consumer preference coefficient increases, when the total value of remanufactured and residual value units is greater than the unit cost price preference of new products. However, in the case of decentralized decision-making, it will cause a loss of efficiency between the nodes of each enterprise. So, it established a coordinated contract revenue sharing mechanism based on the equilibrium results under centralized decision-making. At last, through the numerical simulations to calculate specific value range of the revenue sharing ratio, it realizes the effective coordination between the nodes in the supply chain.

**Key words:** closed-loop supply Chain; recycled; consumer preference; revenue sharing

## 0 引言

随着当前我国新型城市化建设进程的加剧, 城市中利用生活垃圾的种类和数量急剧的增长。“垃圾围城”所可能带来的城市环境污染等问题正在严重困扰着当今我国许多大中城市。因此, 生活日用垃圾的合理分类和回收已经成为了我国刻不容缓的基础性问题。上海市于 2019 年 1 月 13 日通过了《上海市生活垃圾管理条例》, 并于 2019 年 7 月 1 日起施行<sup>[1]</sup>。为全国推广垃圾分类回收提供了一个良好的参考模式。生活垃圾分类收集的必要性在于能够大大减少垃圾后续处理难度, 并且为再生资源提供原料, 提升整个闭环供应链的循环经济水平。就我国目前的垃圾处理情况而言, 垃圾的分类还是处于起步阶段, 对于回收品的再利用率还没有明确的数据统计, 回收品销售渠道的管理效率也处于较低的再利用阶段。因此, 对于现阶段垃圾回收的闭环供应链研究是一个值得探讨的问题。

对于闭环供应链的渠道选择与定价研究, 一直是国内外学者关注的热点问题。Savaskan 等<sup>[2]</sup>考虑了零售商之间存在竞争时, 制造商对回收渠道的选择问题, 研究结果表明, 零售商之间竞争程度的大小会在一定程度上对制造商的回收渠道选择决策产生影响。Atasu 等<sup>[3]</sup>将回收成本分成激励消费者返回废旧产品的投资成本和与回收数量相关的规模经济成本进行研究, 分析了回收成本结构对制造商逆向渠道选择的影响。聂佳佳<sup>[4]</sup>研究了零售商信息共享对闭环供应链回收渠道的影响,

其认为制造商对回收渠道的选择取决于预测信息精度和回收旧产品价格的高低。以上文献都是在需求与回收关系确定的情况下进行研究。由于可回收垃圾质量和利用率的不确定性, 会增加逆向物流的决策难度, 于是许茂增等<sup>[5]</sup>考虑了消费者对新旧产品的偏好性, 引入了效用函数来确定需求, 比较了几种渠道下的盈利情况。熊中楷等<sup>[6]</sup>考虑消费者的环保意识因素, 建立了 3 种博弈模型, 证明了当消费者环保意识水平提高时, 三种回收模式渠道总利润均提高。谢萍萍等<sup>[7]</sup>考虑制造商与零售商之间的互惠偏好特征, 并利用 Stackelberg 博弈模型对成员决策进行分析, 研究了这种互惠偏好特征对闭环供应链成员的利润及效用的影响。对于回收模型的建立, 目前研究学者们主要着重于制造商、零售商以及第三方之间的定价和利润分配问题建立模型进行分析, 或者通过博弈论的方法分析三者或两者之间的博弈关系模型, 以及根据不确定的需求建立预测分析模型。陈章跃<sup>[8]</sup>等建立了由一个制造商和一个独立的再制造商以及一组策略型顾客组成的闭环供应链模型, 利用动态博弈理论分析了当由独立的再制造商负责回收旧产品并进行再制造时顾客策略行为和再制品的质量水平对闭环供应链的产品价格、利润、消费者剩余的影响。李新然<sup>[9]</sup>等基于消费者对于产品性能和环境影响的两种偏好, 分别构建了有、无政府补贴时再制品具有不同销售渠道的闭环供应链模型, 并讨论了消费者双重偏好对上述渠道差异的影响。此外, 对于闭环供应链的协调定价, 也有学者从不同角度的研究。曹晓刚<sup>[10]</sup>等, 基于渠道需求偏好和渠道竞争,

收稿日期: 2019-11-21; 修回日期: 2020-02-18 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71840003); 上海市软科学研究重点项目(19692104000)

作者简介: 周鹏(1996-), 男, 江苏盐城人, 硕士, 主要研究方向为供应链管理、物流系统建模与仿真; 李芳(1966-), 女(通信作者), 陕西西安人, 副教授, 博士, 主要研究方向为供应链管理、工业工程、生产运作管理等(lifang2502@126.com)。

研究了双渠道闭环供应链的定价及协调决策。王银河等<sup>[11]</sup>针对干扰事件下由单个制造商和单个零售商组成的闭环供应链系统, 分析了数量折扣契约应对干扰事件的协调作用并讨论闭环供应链成员的最优利润分配策略。高举红<sup>[12]</sup>等在买方市场背景下, 从消费者角度出发研究闭环供应链定价决策问题, 分析消费者市场变化对定价决策的影响。朱晓东<sup>[13]</sup>等考虑传统分销商和线上回收商之间的回收成本差异以及回收产品的可再制造比例, 使用收益成本共享契约来实现供应链帕累托改进。李琰<sup>[14]</sup>等针对再制造产品市场化艰难和缺少旧件来源的问题, 提出了促进旧件回收与再制造零部件销售的闭环营销体系; 建立了多周期的闭环营销投入水平决策和产品差异定价模型。

以上文献从正向与逆向物流的角度, 分析了闭环供应链各个渠道的回收模式。但大多考虑的只是单一变量, 其两两结合甚至多个混合考虑的研究较少。基于可回收生活垃圾的特殊性, 有必要考虑其回收的可再利用性以及消费者对其再制品的偏好性。本文对于从垃圾分类回收基于消费者偏好的产品购买这一整个过程进行渠道选择与定价分析, 更加完善了闭环供应链的回收环节。同时引入可再利用率和消费者偏好, 更加符合当前可回收垃圾的实际情况。对不同渠道下, 闭环供应链的总体利润及效用影响作出了有效分析。

## 1 模型描述与基本假设

### 1.1 符号说明

参照 Savaskan<sup>[2]</sup>等人的单一回收渠道模型设计进行参数设计及假设扩展。

$C_n$  为制造商采用原材料生产新产品的单位成本;  $C_r$  为制造商用废品生产新产品的单位成本, 即再制品成本;  $W_n$  为新产品的批发价格, 为制造商的决策变量;  $W_r$  为再制品的批发价格, 为制造商的决策变量;  $P_n$  为新产品的零售价格, 为零售商的决策变量;  $P_r$  为再制品的零售价格, 为零售商的决策变量;  $P_b$  为制造商向第三方回收生活垃圾的单位价格;  $D_1$  为消费者对新产品的需求量;  $D_2$  为消费者对再制品的需求量;  $G_i$  为第三方对可利用垃圾的回收量;  $i$  为第三方回收商的单位回收成本;  $r$  为最终回收到制造商处的垃圾可再利用率 ( $0 \leq r \leq 1$ )。当  $r=1$  时, 回收的垃圾都可以用于再制品的生产;  $S$  为制造商回收生活垃圾中, 不可用于再制造的废品单位残余价值。

### 1.2 模型描述

本文主要讨论的是单一制造商, 单一零售商和第三方回收商组成的闭环供应链决策分析问题。基于第三方回收的前提下, 分别考虑供应链整体决策情形和分散决策情形的垃圾回收模式。在正向供应链中, 制造商生产新产品和再制品单位生产成本分别为  $c_n$  和  $c_r$ 。制造商批发新产品和再制品给零售商的价格分别为  $w_n$  和  $w_r$ , 零售商又分别以  $p_n$  和  $p_r$  的价格向消费者销售新产品和再制品<sup>[9]</sup>。最后, 消费者根据自身的环保意识和消费偏好, 选择购买新产品或是再制品。在逆向供应链中, 第三方回收商向消费者回收可回收物。除此之外制造商以单位价格  $p_b$  向第三方回收商收购可用于再制造的生活垃圾。考虑到可回收垃圾的质量不确定性, 制造商在收购到废品后需要对其进行分类, 一部分可进行再制造, 另一部分不可再制造, 其残余价值为  $s$ 。最终回收到制造商处的垃圾可再利用率为  $r$  ( $0 \leq r \leq 1$ )。基本的闭环供应链结构如图 1 所示。

### 1.3 基本假设

- a) 一名消费者只购买一单位的新产品或者再制品。
- b)  $c_r < c_n$ , 令  $\Delta = c_n - c_r$ , 表示再制造节约的成本,  $\Delta > p_b$ 。即再制造节约的成本大于制造商回收生活垃圾的成本。

c)  $i$  代表对垃圾回收的单位人工成本及广告开支等投资费用。回收数量  $G_i = h + ci$ ,  $h$  表示回收方没有投资时回收的数量, 某种程度上也代表着消费者的环保意识,  $c$  代表规模参数 (假设  $c$  是等同的)。即制造商可用于再制造生产的废旧品数量为  $rG_i$ , 本文假设  $rG_i \geq D_2$ , 即回收可利用的产品大于市场对再制品的需求。

d) 假设闭环供应链上每个成员都考虑自身的利润最大化, 都是风险中性的决策者且各成员渠道之间信息共享。

e) 消费者对新产品和再制品的估价不同<sup>[14]</sup>, 分别为  $\Pi_n$  和  $\Pi_r$ ;  $\theta$  即为消费者对再制品的偏好系数,  $\Pi_n; \Pi_r$  在  $\Pi_n$  均匀分布, 消费者对新产品和再制品的剩余效用分别为  $\Pi_n$ ,  $\Pi_r$ , 当且仅当  $\Pi_n$  时, 消费者才会购买相应的产品。当  $\Pi_n$  时, 消费者购买新产品的数量为  $\Pi_n$ , 购买再制品的数量  $\Pi_r$ 。当  $\Pi_r$  时, 消费者购买新产品的数量为  $\Pi_n$ , 购买再制品的数量  $\Pi_r$ 。(基于实际情况, 本文主要考虑此种情况下的产品数量) 当  $\Pi_n$  时, 消费者购买新产品的数量为  $\Pi_n$ , 购买再制品的数量为  $\Pi_r$ 。

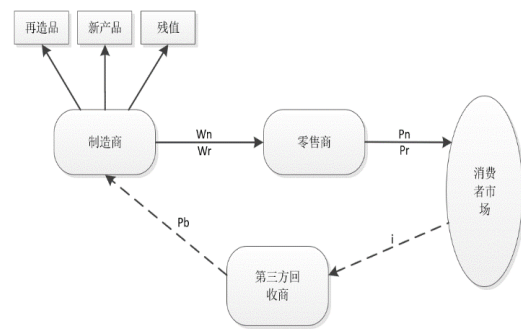


图 1 闭环供应链结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the closed-loop supply chain

## 2 模型建立

本文考虑垃圾分类回收的实际情况, 基于第三方回收模式的前提下, 分别建立集中决策与分散决策模型。用  $\Pi_n$  表示各方的利润函数, 其中  $n \in \{m, r, t\}$ , 分别表示制造商, 零售商和第三方回收商。

### 2.1 集中决策情形

在集中决策模型中, 制造商、零售商和第三方的决策信息完全相互连接共享。各方都以闭环供应链总收益最大为决策目标, 由各方共同决定新产品与再制品的最优零售价格  $p_n$ 、 $p_r$  以及回收商回收废品的投入  $i$ 。此时, 新产品与再制品的批发价格  $w_n$ 、 $w_r$  和制造商的回收价格  $p_b$ , 不直接影响闭环供应链的总体利润, 仅与供应链成员内部的收益分配情况有关。集中决策的目标函数如下:

$$\Pi = (p_n - c_n)D_1 + (p_r - c_r)D_2 + (rG_i - D_2)s - iG_i = (p_n - c_n)(c - \frac{p_n - p_r}{1 - \theta}) + (p_r - c_r)(\frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)} + s[r(h + ci) - \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)}] - i(h + ci)$$

对  $p_n \rightarrow \frac{1}{2}(c_n + c)$ ,  $p_r \rightarrow \frac{1}{2}(c\theta + c_r + s)$ ,  $i \rightarrow -\frac{h - crs}{2c}$  求偏导, 并分别令其等于 0 得:

$$p_n \rightarrow \frac{1}{2}(c_n + c), p_r \rightarrow \frac{1}{2}(c\theta + c_r + s), i \rightarrow -\frac{h - crs}{2c}$$

此时, 可以得到集中决策下闭环供应链的利润, 需求量以及回收量。

$$\Pi = s(\frac{s - \theta c_n + c_r + 2r[\frac{1}{2}(h + crs)]\theta(1 - \theta)}{2\theta(1 - \theta)}) + (\frac{h - crs}{2c})[\frac{1}{2}(h + crs)] + \frac{(c - c_n)(-c - s + c\theta + c_n - c_r) - (s + c\theta - c_r)(s - \theta c_n + c_r)}{4(-1 + \theta)} - \frac{(s + c\theta - c_r)(s - \theta c_n + c_r)}{4\theta(1 - \theta)}$$

需求量:

$$D_1 = \frac{c+s-c\theta-c_n+c_r}{2-2\theta}$$

$$D_2 = \frac{s-\theta c_n+c_r}{2(-1+\theta)\theta}$$

回收量:

$$G_i = \frac{1}{2}(h+crs)$$

结论 1 在集中决策情形下, 闭环供应链的总体利润与消费者偏好程度、可再制造的节约成本以及残值收益有关, 且是关于它们的增函数。可以看出, 当生活垃圾的可再利用率提高时, 节约的成本和残值收益均会增大。

结论 2 当再制品成本和残值单位总价值大于新产品的单位成本价格偏好时, 总体利润随着消费者偏好系数的增加而进一步增大。这是因为在基于第三方回收模式的集中决策情形下, 各个节点可以根据消费者偏好来调整新产品与再制品所占市场份额的比例。

### 2.2 分散决策情形

在此博弈模型中, 制造商、零售商、第三方回收商都是独立的博弈决策者且都以自身的经济利益达到最大化为目的来进行博弈决策; 其中制造商、零售商、第三方回收商之间的博弈模型为 stackelberg 博弈, 假设制造商为博弈的主要领导者, 其他 2 方为跟随者<sup>[5]</sup>。具体的博弈方式和顺序为: 制造商先决定给零售商新产品和再制品的批发价格以及从第三方回收商处回收垃圾的回收价格, 然后零售商根据制造商的批发价格来确定新产品和再制品的市场价格, 第三方根据制造商支付的回收价格来确定对垃圾分类回收的单位投入。此时它们的利润函数分别为, 制造商利润:

$$\Pi_m = (w_n - c_n)D_1 + (w_r - c_r)D_2 + (rG_i - D_2)s - p_b G_i = (w_n - c_n)(c - \frac{p_n - p_r}{1-\theta}) + (w_r - c_r)(\frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1-\theta)}) + [r(h+ci) - \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1-\theta)}]s - p_b(h+ci) \quad (1)$$

零售商利润:

$$\Pi_r = (p_n - w_n)D_1 + (p_r - w_r)D_2 \quad (2)$$

第三方利润:

$$\Pi_{3p} = (p_b - i)G_i \quad (3)$$

由逆向推导法先得到新产品和再制品的最优零售价以及第三方回收商的单位投入:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial p_n} = c - \frac{p_n - p_r}{1-\theta} - \frac{p_n - w_n}{1-\theta} + \frac{\theta(p_r - w_r)}{\theta[1-\theta]} = 0, \quad p_n = \frac{1}{2}(c+w_n) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial p_r} = \frac{p_n - w_n}{1-\theta} + \frac{\theta p_n - p_r}{\theta[1-\theta]} - \frac{p_r - w_r}{\theta[1-\theta]} = 0$$

$$p_r = \frac{1}{2}(c\theta + w_r) \quad (5)$$

同理可得:

$$i = \frac{-h + cp_b}{2c} \quad (6)$$

然后确定新产品和再制品的批发价格和支付给第三方的回收价格

把式(4)(5)(6)代入式(1), 对  $w_n, w_r, p_b$  求一阶偏导数, 并令其等于 0:

$$\frac{\partial \Pi_m}{\partial w_n} = \frac{-c+s+c\theta-c_n+c_r+2w_n-2w_r}{2(-1+\theta)} = 0$$

$$\frac{\partial \Pi_m}{\partial w_r} = \frac{s-\theta c_n+c_r+2\theta w_n-2w_r}{2\theta-2\theta^2} = 0$$

$$\frac{\partial \Pi_m}{\partial p_b} = \frac{1}{2}(-h+crs-2cp_b) = 0$$

$$w_n \rightarrow \frac{1}{2}(c+c_n), w_r \rightarrow \frac{1}{2}(s+c\theta+c_r), p_b \rightarrow -\frac{h-cr}{2c}$$

再将其代入(4)(5)(6), 可得:

$$p_n = \frac{1}{4}(3c+c_n) \quad p_r = \frac{1}{4}(s+3c\theta+c_r) \quad i = \frac{-3h+crs}{4c}$$

此时, 闭环供应链各节点利润:

$$\Pi_m = \frac{sr}{4}(h+crs) + \frac{h-cr}{8c}(h+crs) + \frac{(c-c_n)(-c-s+c\theta+c_n-c_r)}{8(-1+\theta)} + \frac{s(s-\theta c_n+c_r)}{4\theta(1-\theta)} - \frac{(s+c\theta-c_r)(s-\theta c_n+c_r)}{8\theta(1-\theta)}$$

$$\Pi_r = \frac{1}{16}(\frac{(c-c_n)(-c-s+c\theta+c_n-c_r)}{-1+\theta} + \frac{(s+c\theta+c_r)(s-\theta c_n+c_r)}{\theta(1-\theta)})$$

$$\Pi_i = \frac{(h+crs)^2}{16c}$$

此时, 分散决策下总利润为

$$\Pi = \frac{1}{16}(4rs(h+crs) + \frac{2(h-cr)(h+crs)}{c} + \frac{(h+crs)^2}{c}) + \frac{3(c-c_n)(-c-s+c\theta+c_n-c_r)}{-1+\theta} + \frac{4s[s-\theta c_n+c_r]}{\theta[1-\theta]} - \frac{2(s+c\theta-c_r)(s-\theta c_n+c_r)}{\theta[1-\theta]} + \frac{(s+c\theta+c_r)(s-\theta c_n+c_r)}{\theta[1-\theta]}$$

需求量:

$$D_1 = \frac{c+s-c\theta-c_n+c_r}{4-4\theta} \quad D_2 = \frac{\theta c_n - c_r - s}{4\theta(1-\theta)}$$

回收量:  $G_i = \frac{1}{4}(h+crs)$

结论 3 通过对比集中决策模型发现, 分散决策模型下新产品和再制品的市场零售价格都相对较高, 从而导致该情形下产品的市场需求量相对偏低。其次, 分散决策模式下第三方对垃圾分类回收的单位投入也小于集中决策模式回收单位投入, 从而导致可利用垃圾的回收量较低。最后, 分散决策下闭环供应链的总体最优利润也小于集中决策模式下的最优利润, 说明在分散决策模式下, 各个节点成员利润未达到最优。

由此可见, 集中决策模式下能更好的提高各节点之间的效率, 但各个节点成员不能确定具体的策略; 而分散决策模式虽可以帮助成员制定具体的策略, 但是会造成供应链效率的损失, 不能达到最优利润。

### 3 闭环供应链协调机制

针对上文发现的问题, 由此拟定一种协调收益和利润共享的协调利润契约机制, 来研究如何协调整个闭环供应链各个节点成员的收益和利润分配, 从而提高各个供应链节点之间的关系和效率, 以谋求分散决策情形下供应链系统的最大利润。具体的利润契约解决方案主要内容如下: 促使制造商以较低的单位批发价销售给零售商新品和再制品, 从而使零售商降低两类产品的市场零售价, 以此提高市场对该产品的需求量并获得其利润最大化。另一方面, 使零售商将自己获得产品利润的一部分与制造商的利润分享, 从而使制造商与零售商达到了双赢。制造商以  $\phi_1$  ( $0 < \phi_1 < 1$ ) 的比例来分享零售商的销售利润。另一方面, 制造商给予第三方回收商更高的回收价格以此来促进第三方对可利用垃圾的回收量, 第三方回收商以规模参数  $\phi_2$  的比例与制造商分享部分利润, 满足  $0 < \phi_2 < 1$ , 如图 2 所示。

同样的, 只考虑  $p_n - (1-\theta)c < p_r < \theta p_n$  的情形, 各成员在协调契约下的利润函数为

$$\Pi_m^c = (w_n - c_n)D1 + (w_r - c_r)D2 + \phi_1(p_n D1 + p_r D2) + (rG_i - D2)s - p_b G_i + c\phi_2$$

$$\Pi_r^c = (1-\phi_1)(p_n D1 + p_r D2) - w_n D1 - w_r D2$$

$$\Pi_i^c = (p_b - i)G_i - c\phi_2$$

为达到集中决策时的系统利润, 要求零售商以集中决策时的最优零售价为协调价格:

$$p_n^c \rightarrow \frac{1}{2}(c_n + c), \quad p_r^c \rightarrow \frac{1}{2}(c\theta + c_r + s)$$

由逆向归纳法, 先考虑零售商的决策:

$$\frac{\partial \Pi_r^c}{\partial p_n} = \frac{w_n}{1-\theta} + (1-\varphi_1)(c + \frac{2p_r - p_r}{-1+\theta} + \frac{\theta p_r}{\theta[1-\theta]}) - \frac{\theta w_r}{\theta[1-\theta]} = 0$$

$$\frac{\partial \Pi_r^c}{\partial p_r} = \frac{w_n}{-1+\theta} + (1-\varphi_1)(\frac{p_n}{1-\theta} + \frac{\theta p_n - 2p_r}{\theta[1-\theta]}) + \frac{w_r}{\theta[1-\theta]} = 0$$

联立解得

$$p_n^c = \frac{w_n}{2(1-\varphi_1)} + \frac{c}{2}, \quad p_r^c = \frac{w_r}{2(1-\varphi_1)} + \frac{\theta c}{2} \quad (7)$$

把(7)代入协调利润函数解得

$$w_n \rightarrow c_n(1-\varphi_1), \quad w_r \rightarrow (s+c_r)(1-\varphi_1)$$

为了使分散决策下的系统利润能够达到集中决策的水准, 要求第三方的单位投入成本达到集中决策时的单位投入:

$$i_r^c = \frac{crs-h}{2c} \quad (8)$$

考虑第三方的决策:

$$i = \frac{-h+cp_b}{2c} \quad (9)$$

将式(8)(9)带入协调函数解得:  $p_b = rs$

基于以上, 各成员的收入如下:

制造商的利润函数:

$$\begin{aligned} \Pi_m^c = & \frac{1}{2} \left( -\frac{(s-\theta c_n+c_r)(-s+(s+c_r)\varphi_1)}{(-1+\theta)\theta} + 2c\varphi_2 + \frac{1}{2}s(h+crs)(r(-2+h+crs)) \right. \\ & \left. + \frac{s-\theta c_n+c_r}{\theta[1-\theta]} - \frac{(-c-s+c\theta+c_n-c_r)(c_n-c_n[1-\varphi_1])}{-1+\theta} + 2\varphi_1((\frac{1}{2}(c+c_n)) \right. \\ & \left. [\frac{c+s-c\theta-c_n+c_r}{2-2\theta}] + (\frac{1}{2}(s+c\theta+c_r))[-\frac{s-\theta c_n+c_r}{2\theta[1-\theta]}]) \right) \end{aligned}$$

零售商的利润函数:

$$\begin{aligned} \Pi_r^c = & \frac{1}{2} \left( \frac{(s+c_r)(s-\theta c_n+c_r)(-1+\varphi_1)}{(-1+\theta)\theta} - \frac{(-c-s+c\theta+c_n-c_r)c_n[1-\varphi_1]}{-1+\theta} \right. \\ & \left. 2(-1+\varphi_1)((\frac{1}{2}(c+c_n))[\frac{c+s-c\theta-c_n+c_r}{2-2\theta}] + (\frac{1}{2}(s+c\theta+c_r))[-\frac{s-\theta c_n+c_r}{2\theta[1-\theta]}]) \right) \end{aligned}$$

第三方的利润函数:

$$\Pi_f^c = \frac{(h+crs)^2 - 4c^2\varphi_2}{4c}$$

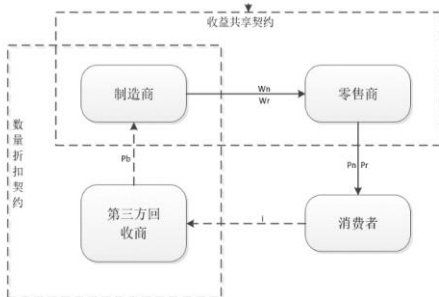


图 2 协调契约设计图

Fig. 2 Coordinated contract design

### 4 算例分析

为了进一步分析模型, 验证所得结论并据此深入探究上述模型其他性质, 本节对上述分析模型的应用进行了算例分析。具体的分析为以下三个部分的内容: a) 分析集中和分散决策模式下闭环供应链总体利润随  $\theta$  和  $r(0 \leq r \leq 1)$  的变化趋势。b) 分析分散决策模式下制造商和零售商利润与  $\theta$  和  $r(0 \leq r \leq 1)$  的具体关系。c) 分析  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  的取值范围并得出闭环供应链的最优协调定价。

根据市场的实际情况, 对模型中的参数赋值如下:

$$c=100, c_n=40, c_r=10, s=8, h=15$$

当  $\theta \leq 0.45$  时, 市场上存在的完全需求的新产品。当  $\theta \geq 0.78$  时, 市场上存在的完全需求的再制品。当新产品和再制品同时存在于供应链市场时,  $0.45 < \theta < 0.75$  (本文主要研究此种情形)。

图 3 和 4 表明, 在消费者偏好一定的情况下, 无论是集中还是分散决策, 总体利润都随着  $r$  的增大而增大。这是因为当生活垃圾的可在利用率提高时, 节约成本和残值收益均会增大。除此之外, 可以看出集中决策的总体利润明显大于分散决策的利润, 进一步证实了分散决策过程中效率流失的问题。

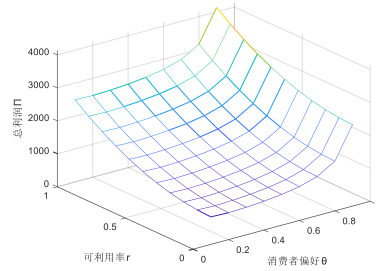


图 3 集中决策下总利润与  $r$  和  $\theta$  的关系

Fig. 3 The relation between total profit and  $r$  and  $\theta$  in centralized decision making

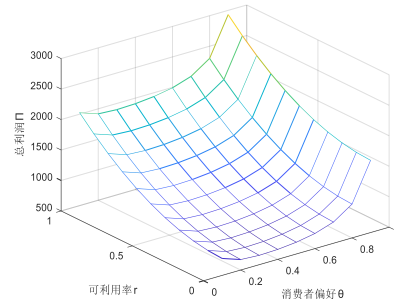


图 4 分散决策下总利润与  $r$  和  $\theta$  的关系

Fig. 4 The relation between total profit and  $r$  and  $\theta$  in decentralized decision making

图 5、6 显示的是分散决策下制造商与零售商的利润与消费者偏好的关系。可以清楚地看出, 当再制品的单位成本和可利用垃圾的单位残值大于新产品的单位成本时, 即消费者偏好  $\theta > 0.45$  时, 制造商和零售商的利润是关于  $\theta$  的一个递增函数。当  $\theta > 0.78$  时, 供应链市场上存在着完全需求的再制品, 即消费者完全选择购买再制品, 此时制造商和零售商的总体利润随  $\theta$  急剧增长。另外, 从图 4 可以发现分散决策下零售商的利润与生活垃圾的回收利用率几乎无关。

下面分析共享比例和回收折扣率对各阶段成员利润的影响, 为使各成员有动力按契约履行, 需要满足  $\Pi_m^c > \Pi_m, \Pi_r^c > \Pi_r, \Pi_f^c > \Pi_f$ , 即各成员按契约实施时的利润大于分散决策下的各方利润, 则有  $0.369 < \varphi_1 < 0.75, -0.107 < \varphi_2 < 3.229$ 。

图 7 阴影部分给出的是  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  的取值范围。

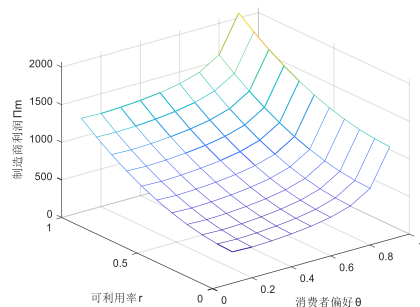


图 5 分散决策下制造商的利润与  $r$  和  $\theta$  的关系

Fig. 5 The relation between  $r$  and  $\theta$  and manufacturer's profit in decentralized decision making

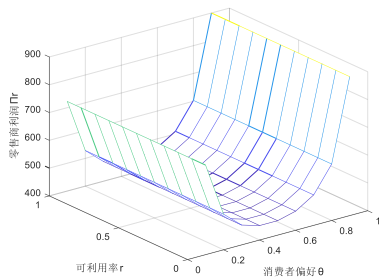


图 6 分散决策下零售商的利润与 r 和 θ 的关系

Fig. 6 The relation between r and θ and retailer's profit in decentralized decision making

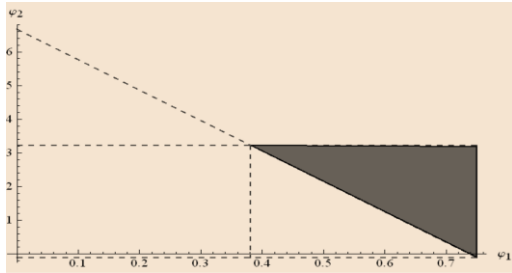


图 7 收益共享比例 φ1 和 φ2 的取值范围

Fig. 7 Revenue sharing ratio φ1 and φ2 value range

此时, 各成员的收益如下:

$$\begin{aligned} \Pi_m^c &= 904\phi_1 + 100\phi_2 \\ \Pi_r^c &= 904 - 904\phi_1 \\ \Pi_t^c &= (2.075 - 107.5\phi_2)(207.5) \end{aligned}$$

当  $\phi_1 = 0.75$ ,  $\phi_2 = 3.23$  时, 零售商和第三方回收商的利润均达到分散决策下模式的标准, 此时制造商的利润收益达到最大。

由表 1 可知, 在协调契约下, 闭环供应链各个节点的利润收益都大于分散决策模式下的利润。总体收益达到集中决策时的标准, 在保证分散决策帮助成员制定具体有效策略的前提下, 有效的解决了分散决策下管理效率的降低和闭环供应链产品流失率的问题。

表 1 协调契约下各个节点的利润

Tab. 1 Coordinate the profits of the parties under the contract

各方利润	集中决策	分散决策	协调契约		
			$\phi_1 = 0.75$ $\phi_2 = -0.107$	$\phi_1 = 0.381$ $\phi_2 = 3.23$	$\phi_1 = 0.75$ $\phi_2 = 3.23$
$\Pi_m$		667.28	667.28	667.28	1000.92
$\Pi_r$		226	226	559.64	226
$\Pi_t$		107.64	441.28	107.64	107.64
$\Pi$		1334.56	1000.92	1334.56	1334.56

## 5 结束语

本文基于可回收垃圾的可利用程度与消费者对其再制品的偏好性不同的实际情况, 建立了闭环供应链的差别定价模型, 研究了闭环供应链总利润随废品可利用率 and 消费者偏好的变化规律。结果表明, 在集中决策模型下, 闭环供应链的总体利润与可再制品的节约成本、消费者偏好以及残值收益有关, 且是关于它们的递增函数。当生活垃圾的可利用率提高时, 可再制品的节约成本和可回收垃圾的残值收益均会增大。其次, 当再制品的单位成本和可利用垃圾的单位残值大于新产品的单位成本时, 闭环供应链总体利润会随着消费者偏好系数的增大而增大。但在分散决策情形下, 会造成各企业节点之间效率的流失。据此, 以集中决策下的均衡结果作为标准, 建立了一种协调契约收益共享机制。最后通过对算例的分析, 给出了收益共享比例的具体取值和范围, 实现了供应链中各节点之间的有效沟通与协调。

本文考虑的是基于第三方回收下的闭环供应链研究, 未来可以重点考虑基于多种混合回收渠道的垃圾分类回收模式进行研究; 此外, 由于城市生活垃圾分类回收相应政策的出台, 政府方面给予激励措施来促进各方的回收模式也有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 王霖. 《上海市生活垃圾管理条例》是这样制定的 [J]. 人民政坛, 2019 (04): 23-25. (Wang Ji. Contents of the "Shanghai Municipality's regulations on the management of domestic waste" [J]. People's Politics, 2019 (04): 23-25.)
- [2] Savaskan R C, Van Wassenhove L N. Reverse channel design: The case of competing retailers [J]. Management Science, 2006, 52 (1): 1-14.
- [3] 聂佳佳. 零售商信息分享对闭环供应链回收模式的影响 [J]. 管理科学学报, 2013, 16 (5): 69-82. (Nie Jiajia. Impact of retailer information sharing on Closed-loop Supply Chain recycling model [J]. Journal of Management Science, 2013, 16 (5): 69-82.)
- [4] Atasu A, Toktay L B, Wassenhove L N V. How collection cost structure drives a manufacturer's reverse channel choice [J]. Production & Operations Management, 2013, 22 (5): 1089-1102.
- [5] 许茂增, 唐飞. 考虑消费者偏好的闭环供应链差别定价模型 [J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20 (04): 945-954. (Xu Maozeng, Tang Fei. Differential pricing model of Closed-loop Supply Chain considering consumer preference [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2014, 20 (04): 945-954.)
- [6] 熊中楷, 梁晓萍. 考虑消费者环保意识的闭环供应链回收模式研究 [J]. 软科学, 2014, 28 (11): 61-66. (Xiong Zhongkai, Liang Xiaoping. Research on recycling model of Closed-loop Supply Chain considering consumers' environmental awareness [J]. Soft Science, 2014, 28 (11): 61-66.)
- [7] 谢萍萍, 李芳. 基于第三方回收模式考虑互惠偏好的闭环供应链决策分析 [J]. 计算机应用研究, 2019, 36 (08): 2359-2362, 2387. (Xie Pingping, Li Fang. Decision analysis of Closed-loop Supply Chain considering reciprocity preference based on third-party recovery model [J]. Application Research of Computers, 2019, 36 (08): 2359-2362, 2387.)
- [8] 陈章跃, 王勇, 刘华明. 考虑顾客策略行为和产品质量的闭环供应链决策模型 [J]. 中国管理科学, 2016, 24 (03): 109-116. (Cheng Zhangyue, Wang Yong, Liu Huaming. Decision model of Closed-loop Supply Chain considering customer strategic behavior and product quality [J]. Chinese Management Science, 2016, 24 (03): 109-116.)
- [9] 李新然, 李长浩. 消费者双重偏好下闭环供应链渠道差异研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39 (03): 695-704. (Li Xinran, Li Changhao. Research on the differences of Closed-loop Supply Chain channels under consumers' dual preference [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2019, 39 (03): 695-704.)
- [10] 曹晓刚, 郑本荣. 考虑顾客偏好的双渠道闭环供应链定价与协调决策 [J]. 中国管理科学, 2015, 23 (06): 107-117. (Cao Xiaogang, Zheng Benrong. Pricing and coordination decisions of dual-channel Closed-loop Supply Chain considering customer preference [J]. Chinese Management Science, 2015, 23 (06): 107-117.)
- [11] 王银河, 王旭. 需求和回收努力扰动下闭环供应链定价与协调 [J]. 计算机应用研究, 2013, 30 (07): 1975-1978, 1982. (Wang Yinhe, Wang Xu. Demand and recycling efforts under Closed-loop Supply Chain pricing and coordination [J]. Application Research of Computers, 2013, 30 (07): 1975-1978, 1982.)
- [12] 高举红, 李梦梦, 霍幛. 市场细分下考虑消费者支付意愿差异的闭环供应链定价决策 [J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38 (12): 3071-3084. (Gao Juhong, Li Mengmeng, Huo Zhen. Pricing decisions of

- Closed-loop Supply Chain considering consumers' willingness to pay under market segmentation [J]. *Systems Engineering Theory and Practice*, 2018, 38 (12): 3071-3084.)
- [13] 朱晓东, 吴冰冰. 双渠道回收成本差异下的闭环供应链定价策略与协调机制 [J]. *中国管理科学*, 2017, 25 (12): 188-196. (Zhu Xiaodong, Wu Bingbing. Pricing strategy and coordination mechanism of Closed-loop Supply chain under the difference of recovery costs in dual channels [J]. *Chinese Management Science*, 2017, 25 (12): 188-196.)
- [14] 李球, 林欣怡, 达庆利. 基于再制造的多周期闭环营销投入及定价策略 [J]. *中国管理科学*, 2018, 26 (08): 67-74. (Li Yan, Lin Xinyi, Da Qingli. Multi-cycle Closed-loop marketing investment and pricing strategy based on remanufacturing [J]. *Chinese Management Science*, 2018, 26 (08): 67-74.)
- [15] 王晓锋, 朱怡婷. 第三方回收下闭环供应链的差别定价 [J]. *东华大学学报: 自然科学版*, 2016, 42 (01): 104-109. (Wang Xiaofeng, Zhu Yiting. Differential pricing of Closed-loop Supply Chain under third-party recycling [J]. *Journal of Donghua University: Natural Science*, 2016, 42 (01): 104-109.)