

# 控制与决策

Control and Decision

## 考虑消费者环保意识的WEEE 双渠道回收模型

许民利, 向泽华, 简惠云

引用本文:

许民利, 向泽华, 简惠云. 考虑消费者环保意识的WEEE 双渠道回收模型[J]. *控制与决策*, 2020, 35(3): 713–720.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0812>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 碳交易环境下再制造企业生产及减排投资决策

Research on production and emission reduction investment decisions of the remanufacturing enterprise under carbon trading environment

*控制与决策*. 2020, 35(3): 695–703 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0446>

### 制造商竞争与合作下双渠道供应链联合减排的微分博弈分析

Differential game model of joint emission reduction strategies in a dual-channel supply chain considering manufacturers' competition and cooperation

*控制与决策*. 2018, 33(11): 2021–2028 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0818>

### EPR制度下废弃电子产品回收的低碳研发激励机制研究

Low-carbon R&D incentive mechanism based on EPR system for E-waste product recycling

*控制与决策*. 2017, 32(4): 656–664 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.0339>

### 大数据服务商参与的三级供应链动态合作策略及其比较

Comparison on dynamic cooperation strategies of a three-echelon supply chain involving big data service provider

*控制与决策*. 2016, 31(7): 1169–1177 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0700>

### 基于延迟定价策略的供应链分散与集中决策

Decentralized and centralized decision-making of supply chain based on price-postponement strategy

*控制与决策*. 2016, 31(7): 1258–1264 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0699>

### 不同渠道权力结构下制造商回收闭环供应链绩效分析

Performance analysis of manufacturer collecting closed-loop supply chain under different channel power structures

*控制与决策*. 2016, 31(11): 2095–2100 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.1120>

### 基于竞争环境的截流设施选址与车辆路径问题

Flow interception facility location and vehicle routing problem based on competitive conditions

*控制与决策*. 2015(6): 1053–1058 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2014.0625>

### 需求信息不对称下的双渠道供应链合作广告投资决策分析

Research on cooperative advertising decisions in a dual-channel supply chain under asymmetric demand information



# 考虑消费者环保意识的 WEEE 双渠道回收模型

许民利, 向泽华, 简惠云<sup>†</sup>

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

**摘要:** 在考虑消费者环保意识的基础上, 建立基于不同消费群体行为的 WEEE 双渠道回收模型, 采用博弈论比较两条渠道在竞争情形与合作情形下的决策. 研究表明, 在不同的市场环境下, 消费者的环保意识以及环保消费者的比例对两条渠道的合作策略有不同程度的影响. 当两条渠道相互合作时, 供应链的利润随着普通消费者环保意识的增加而增大, 随环保消费者比例的增大而减小. 在一般情况下, 两条渠道合作时的回收价格和回收量小于竞争情形时的回收量和回收价格, 但网络回收平台的单位期望收益远大于流动商贩的单位期望收益的情形除外. 当消费者的环保意识、环保消费者的比例以及两条渠道的回收产品的单位利润满足一定条件时, 双方合作才会对整个回收产业起到积极作用. 最后, 对模型中的各参数进行了敏感性分析, 并用算例验证了模型的有效性.

**关键词:** 网络回收平台; 双渠道回收; 消费者环保意识; 环保消费者; 博弈论; 回收定价

中图分类号: F274; F224.32

文献标志码: A

## Dual-recycling channel for WEEE considering environmental awareness of consumers

XU Min-li, XIANG Ze-hua, JIAN Hui-yun<sup>†</sup>

(Business School, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** A dual-channel recycling model is built to describe price competition between qualified platform of online recycling and unqualified recyclers in two channels which have different e-waste disposal approaches. We take environmental awareness of two types of consumers into consideration in this model and use game theory to compare the decision-making of two channels in the situation of competition and cooperation respectively. The research shows that the environmental awareness of consumers and the proportion of environmental consumers have different effects on the cooperation strategy of the two channels in different market environment. Under cooperative scenario, the profit of the supply chain increases with the environmental awareness of consumers, and decreases with the proportion of environmental consumers. In general, the recycling price and the recycling amount in cooperative scenario are less than that in competitive scenario, except that unit profits of recycled products of the platform is too high. When the environmental awareness of consumers, the proportion of environmental consumers and the unit profit of recycled products of two channels meet some certain conditions, the cooperation strategy has a positive effort on the whole industry. The impact of exogenous parameters on the model of supply chain is discussed, and numerical examples are given to verify the effectiveness of the model.

**Keywords:** platform of online recycling; dual-recycling channel; environmental awareness of consumers; environmental consumers; game theory; pricing of recycling

## 0 引言

据报道, 我国有接近 90% 的电子废弃物 (WEEE) 没有得到规范化处理<sup>[1]</sup>, 其中大部分被流动回收商贩以较高的回收价收走, 之后再转卖给维修商进行翻修处理, 而那些利用价值不高的电子垃圾则被没有拆解资质的小作坊随意拆解或者当作生活垃圾处理掉, 这既是对环境的污染, 也是对资源的浪费. 2015 年 4 月

20 日, 发改委公布了《2015 年循环经济推进计划》, 提出推动和引导回收模式创新, 大力推广“互联网+资源回收”新模式, 积极支持智能回收、自动回收机等新型回收方式, 鼓励企业利用互联网、大数据等现代信息手段, 让线上与线下回收有机结合. 百度回收与爱回收的回收模式已成为正规回收渠道与非正规渠道合作的经典案例.

收稿日期: 2018-06-13; 修回日期: 2018-08-31.

基金项目: 国家社会科学基金项目 (19BGL099); 湖南省社会科学基金智库专项重点项目 (16ZWB40); 湖南省社会科学成果评审委员会课题 (XSP17YBZC201); 湖南省社科基金项目 (17 YBA406).

<sup>†</sup>通讯作者. E-mail: Jianhuiyun@163.com.

目前对回收渠道的研究文献有很多, Savaskan<sup>[2]</sup>运用博弈论对比研究了4种回收模式的优劣. Atasu等<sup>[3]</sup>在Savaskan的研究基础上,分析了回收成本对于制造商回收渠道选择的影响. Wu等<sup>[4]</sup>比较了两个竞争制造商采用不同回收渠道时的最优定价策略和最优回收率. Jena等<sup>[5]</sup>分析了两个再制造商合作与不合作时的定价及协调问题. Chen等<sup>[6]</sup>研究了由制造商主导的双渠道回收模型,发现两部定价契约和收益共享契约能够实现帕累托最优. Liu等<sup>[7]</sup>研究了政府补贴下正规回收渠道和非正规回收渠道竞争下的回收模型,发现政府对正规回收企业的补贴量存在着最优值. 任鸣鸣等<sup>[8]</sup>研究了电子产品生产商委托零售商销售产品和回收电子废弃物的激励契约设计,探究了零售商的自利行为以及环保声誉等对激励契约的影响. Rahman等<sup>[9]</sup>认为资源的可用性、回收目标的协调以及回收量是回收的关键,回收价格以及消费者需求是主要的激励因素. 付小勇等<sup>[10]</sup>运用博弈论建立了处理商回收渠道选择模型. Li等<sup>[11]</sup>在文献[7]的基础上考虑了消费者偏好,并研究了在不同的政府管理机制下消费者偏好和政府补贴等外在因素对供应链的影响,但忽略了企业本身的盈利水平等一些内在因素对双方博弈策略的影响.

不少学者考虑了消费者的回收行为,并取得了很多有价值的成果. Zeng<sup>[12]</sup>通过研究发现零售商针对不同的消费者类型选择不同激励策略可以提高回收量. 郭军华等<sup>[13]</sup>比较了消费者对新产品与再制造产品的支付意愿差异,发现消费者的支付意愿对制造商回收渠道的选择有很大的影响. McCloskey<sup>[14]</sup>基于TAM理论的研究发现,消费者对网站的功能性、信任程度会影响他们在网上消费的行为. Sheu等<sup>[15]</sup>研究了联盟和非联盟下逆向供应链中的讨价还价能力,认为联盟能够提高成员的讨价还价能力. Klaus<sup>[16]</sup>认为,消费者环保意识越高,越愿意支付环保产品.

与传统回收相比,“互联网+资源回收”的优势在于用户可以通过网上预约的方式进行回收,目前已经有少数学者开始进行“互联+资源回收”的研究探索. 魏洁<sup>[1]</sup>根据不同利益主导体构建了“互联网+资源回收”的回收模型; Feng等<sup>[17]</sup>在文献[2]的基础上考虑了消费者支付意愿,并分别对制造商回收、零售商回收以及互联网在线回收3种回收模式进行了探讨; 李春发等<sup>[18]</sup>从利益相关者的角度对网络回收进行了研究. 但是,这些文献没有考虑流动回收商的问题,也没有与电子网络回收渠道进行比较.

由以上文献可以看出,很少有学者结合“互联网

+资源回收”环境下研究WEEE回收问题,也鲜有人对市场上的流动回收商进行深入探讨. 本文结合“互联网+资源回收”背景,构建由网络回收平台与流动回收商组成的双渠道回收模型,对两条竞争渠道之间博弈行为展开研究,通过数学建模的方式分析两条渠道的各自盈利水平、消费者环保意识以及不同消费者群体对双方的博弈策略产生的影响.

与以往文献相比,本文的主要贡献有:1) 本文在文献[7]和文献[11]的基础上对其进行扩展,在双渠道回收模型中同时考虑了消费者行为和不同消费者群体等因素,并对两种渠道的盈利模式展开探讨,而现有的成果鲜有将上述两种因素同时考虑到模型中. 2) 根据消费者的环保意识、环保消费者的比例以及两条渠道的盈利水平这四者之间的关系,划分了3种竞争情形,并对3种情形下的供应链的成员的最优决策进行了分析,而现有成果多是集中在政府补贴以及回收价格等单一因素对成员决策的影响. 3) 在文献[11]的基础上,综合考虑消费者行为偏好和消费者群体的差异化以及企业内在因素(如两条渠道盈利水平的差异化)对双方合作策略的影响,比较两条渠道在竞争情形与合作情形下的利润差,探讨企业内在因素和外在因素对回收行业的整体影响.

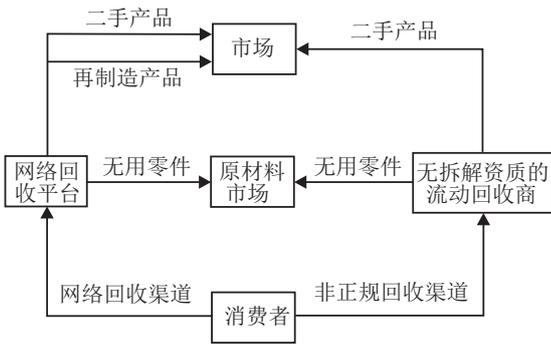
## 1 回收模型构建

### 1.1 问题描述

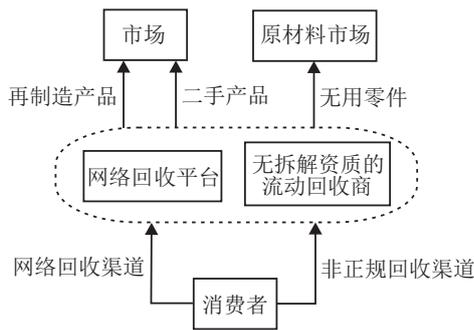
假设WEEE存在两种回收渠道:一种渠道是由第三方网络回收平台构成的回收主体,网络回收商将回收的产品进行检查、分类,对质量较好的在其平台上作为二手产品销售,对质量较差的进行拆解,将有用零部件用于再制造,其他零部件进行无害化处理. 另一种渠道是由个体流动商贩所组成的非正规渠道,与正规渠道不同的是该渠道无法对有用零部件进行再制造处理. 本文将分两种情形讨论两者的决策,第1种是网络回收平台和流动回收商竞争回收时的情形,第2种是网络回收平台对流动回收商进行资源整合,两者合作回收时的情形,其供应链如图1所示.

### 1.2 基本假设

假设不同的消费者对于WEEE产品估值存在差异,只有当回收商给出的回收价格大于消费者对废旧产品的估值时,消费者才愿意参与回收.  $P_e$ 、 $Q_e$ 和 $P_r$ 、 $Q_r$ 分别为正规网络回收渠道和非正规回收渠道的回收价格和回收量,  $s$ 为消费者对于废旧产品的估值,且 $s \in [0, 1]$ 上的均匀分布,  $f(s)$ 为概率密度函数. 为了方便计算,假设市场上潜在回收量标准化为1.



(a) 两种渠道竞争回收



(b) 两种渠道合作回收

图1 两种回收模式的流程图

假设市场上有两类消费者,一类消费者为普通消费者,这类消费者中每个个体的环保意识存在差异,从而会影响消费者对废旧电子产品的估值和对渠道的选择.普通消费者在场所占的比例为 $1 - \beta, 0 < \beta < 1$ .另一类消费者为环保消费者,该类消费者对于回收渠道的选择有极高的偏好,重视回收商对废旧产品的处理资质,只要正规的网络回收平台给出的回收价格高于自己对废旧产品的估值,该类消费者就会选择正规的网络回收渠道进行回收,而环保消费者的环保意识只会影响他们对回收产品的估值,并不会影响其对于渠道的选择.假设环保消费者在市场上所占的比例为 $\beta$ .

在现实生活中,二手产品的销售和零部件的再制造必须满足一定的质量要求.假设 $k$ 为产品质量参数,满足均匀分布 $k \in [0, 1], k$ 越大,表示回收产品的质量越好. $k_1$ 和 $k_2$ 分别表示国家规定的二手产品销售的质量门槛和再制造的质量门槛.当回收产品的质量满足 $k_1 \leq k$ 时,它可以作为二手产品进行销售;当回收产品质量满足 $k_2 \leq k \leq k_1$ 时,它的有用零部件可以用于再制造;当质量满足 $0 \leq k < k_2$ 时,其零部件将卖至原材料市场进行处理.二手产品、再制造产品、无用零件的出售价格分别为 $P_1、P_2、P_3$ 且为外生变量.假设网络平台对二手产品的处理成本 $C_{1E} = C_{11}/k$ ,对再制造产品的处理成本为 $C_{2E} =$

$C_2/k$ ,对无用零件的处理成本为 $C_3$ .流动回收商对二手产品的处理成本为 $C_{1r} = C_{12}/k$ ,对无用零件的处理成本为 $C_3$ .由于网络回收渠道对回收产品处理的要求较高,其处理成本将大于流动回收商的处理成本.根据回收处理方式的差异,假设两条回收渠道的成本和销售价格的关系如下:

$$C_2 > C_{11} > C_{12} > C_3,$$

$$P_1 - C_{12} > P_1 - C_{11} > P_2 - C_2 >$$

$$P_3 - C_3 > P_r \geq P_e.$$

本文主要考虑正规网络回收渠道和流动回收商同时存在的情形.普通消费者选择非正规回收渠道回收的效用函数为 $U_r = P_r - s$ ;选择正规网络回收渠道的效用函数为 $U_e = P_e - \alpha s, \alpha$ 为普通消费者的环保意识系数, $\alpha$ 越小,消费者的环保意识越强.普通消费者比较所获得效用大小选择回收渠道.而环保消费者则只选择正规的网络回收商进行回收,其环保意识也会对废旧电子产品的估值产生影响,当回收价格高于自己对废旧电子产品的估值时就会卖出产品,否则选择自己持有而不用回收,其效用函数同样可以表示为 $U_e = P_e - \alpha s$ .考虑到正规网络回收渠道的处理成本要大于流动回收商,为了维持企业盈利,其给出的回收价格一般要低于流动回收商,因此假设 $P_e < P_r$ .

### 1.3 回收模型的构建

本文参考了申成然等<sup>[19]</sup>、Feng等<sup>[17]</sup>、Chiang等<sup>[20]</sup>的模型,分别对两类消费者的回收模型进行分析.

1) 实际上,若 $\alpha \geq 1$ ,则恒有 $U_e < U_r$ ,此时消费者只会选择流动回收商进行回收,回收市场将存在一种回收渠道,因此本文不考虑 $\alpha \geq 1$ 的情况.下面考虑 $0 < \alpha < 1$ 的情形.

在 $P_e/\alpha > P_r$ 的情形下,当 $U_e > U_r$ 且 $P_e - \alpha s > 0$ ,即 $(P_r - P_e)/(1 - \alpha) < s < P_r/\alpha$ 时,普通消费者将通过正规的网络回收平台进行回收,其回收量为

$$Q_e^1 = (1 - \beta) \int_{\frac{P_r - P_e}{1 - \alpha}}^{\frac{P_e}{\alpha}} f(s) ds = (1 - \beta) \left( \frac{P_e}{\alpha} - \frac{P_r - P_e}{1 - \alpha} \right). \quad (1)$$

当 $U_e < U_r$ 且 $P_r - s > 0$ ,即

$$0 < s < \min \left( \frac{P_r - P_e}{1 - \alpha}, P_r \right) = \frac{P_r - P_e}{1 - \alpha}$$

时,普通消费者选择流动回收商进行回收,其回收量为

$$Q_r = (1 - \beta) \int_0^{\frac{P_r - P_e}{1 - \alpha}} f(s) ds =$$

$$(1 - \beta) \left( \frac{P_r - P_e}{1 - \alpha} \right). \quad (2)$$

在  $P_e/\alpha < P_r$  的情形下,且  $s \in [0, P_r]$  时,普通消费者只会选择流动回收商进行回收,因此本文不考虑这种  $P_e/\alpha < P_r$  的情形.

2) 环保消费者对正规的网络回收平台有很高的偏好,只要  $U_e^2 = P_e - s/\alpha > 0$ ,消费者便会参与回收,其回收量为

$$Q_e^2 = \beta \frac{P_e}{\alpha}. \quad (3)$$

综上所述,当正规的网络回收渠道和非正规回收渠道同时存在时,回收量表示如下.

正规的网络平台的回收量

$$Q_e = Q_e^1 + Q_e^2 = (1 - \beta) \left( \frac{P_e}{\alpha} - \frac{P_r - P_e}{1 - \alpha} \right) + \beta \frac{P_e}{\alpha}; \quad (4)$$

流动回收商的回收量

$$Q_r = (1 - \beta) \left( \frac{P_r - P_r}{1 - \alpha} \right); \quad (5)$$

整条供应链的回收量

$$Q = Q_e + Q_r. \quad (6)$$

## 2 模型分析

### 2.1 两种渠道竞争回收

网络回收平台的利润函数

$$\pi_e = Q_e^A \left[ \int_{k_1}^1 \left( P_1 - \frac{C_{11}}{k} \right) dk + \int_{k_2}^{k_1} \left( P_2 - \frac{C_2}{k} \right) dk + \int_0^{k_2} (P_3 - C_3) dk - P_e \right] = Q_e^A (W_e - P_e). \quad (7)$$

其中

$$W_e = \int_{k_1}^1 \left( P_1 - \frac{C_{11}}{k} \right) dk + \int_{k_2}^{k_1} \left( P_2 - \frac{C_2}{k} \right) dk + \int_0^{k_2} (P_3 - C_3) dk$$

表示正规网络回收渠道回收产品的单位期望收入.

流动回收商的利润函数

$$\pi_r = Q_r^A \left[ \int_{k_1}^1 \left( P_1 - \frac{C_{12}}{k} \right) dk + \int_0^{k_1} (P_3 - C_3) dk - P_r \right] = Q_r^A (W_r - P_r), \quad (8)$$

其中

$$W_r = \int_{k_1}^1 \left( P_1 - \frac{C_{12}}{k} \right) dk + \int_0^{k_1} (P_3 - C_3) dk$$

表示流动回收商单位回收期望收入.

**命题1** 在网络回收平台与流动回收商竞争回收时,其最优定价分如下3种情形:

情形1:当  $W_e \leq \frac{\alpha W_r (1 + \beta - 2\beta\alpha)}{(2 - \alpha)(1 - \beta\alpha)}$  时,有

$$P_e = \frac{\alpha W_r}{2 - \alpha}, P_r = \frac{W_r}{2 - \alpha}.$$

情形2:当  $\frac{\alpha W_r (1 + \beta - 2\beta\alpha)}{(2 - \alpha)(1 - \beta\alpha)} < W_e \leq \frac{(2 - \beta\alpha - \alpha)W_r}{1 - \beta\alpha}$  时,有

$$P_e = \frac{(2 - 2\beta\alpha)W_e + a(1 - \beta)W_r}{4 - \alpha - 3\beta\alpha},$$

$$P_r = \frac{(1 - \beta\alpha)(W_e + 2W_r)}{4 - \alpha - 3\beta\alpha}.$$

情形3:当  $W_e > \frac{(2 - \beta\alpha - \alpha)W_r}{1 - \beta\alpha}$  时,有

$$P_e = W_r, P_r = W_r.$$

**证明** 因为  $\frac{\partial^2 \pi_e}{\partial P_e^2} = -2(1 - \beta) \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{(1 - a)} \right) - \frac{2\beta}{\alpha} < 0, \frac{\partial^2 \pi_r}{\partial P_r^2} = -2 \left( \frac{1 - \beta}{1 - a} \right) < 0$ ,所以  $\pi_e$  和  $\pi_r$  是分别关于  $P_e$  和  $P_r$  的凹函数,当网络回收平台和流动回收商共同存在时,可将式(7)变为如下最优化问题:

$$\begin{aligned} \text{Max } \pi_e &= Q_e(W_e - P_e). \\ \text{s.t. } \begin{cases} \frac{\partial \pi_r}{\partial P_r} = \frac{(1 - \beta)(W_r - 2P_r + P_e)}{1 - a} = 0; \\ P_e \leq P_r; \\ \frac{P_e}{\alpha} > P_r. \end{cases} \end{aligned}$$

根据 K-T 条件,可以求得命题1的3种情形成立.  $\square$

从命题1可以得出网络回收平台和流动回收商的利润分别为:

情形A:网络回收平台的利润

$$\pi_e = \frac{\beta[2W_e - \alpha(W_e + W_r)]W_r}{(2 - \alpha)^2}, \quad (9)$$

流动回收商的利润

$$\pi_r = \frac{(1 - \beta)(1 - \alpha)W_r^2}{(2 - \alpha)^2}; \quad (10)$$

情形B:网络回收平台的利润

$$\pi_e = \frac{((W_e + W_r + (W_e - W_r)\beta)\alpha - 2W_e)^2(1 - \beta\alpha)}{\alpha(3\alpha\beta + \alpha - 4)^2(1 - \alpha)}, \quad (11)$$

流动回收商的利润

$$\pi_r = \frac{(2W_r - W_e + ((W_e - W_r)\beta - W_r)\alpha)^2(1 - \beta)}{(3\alpha\beta + \alpha - 4)^2(1 - \alpha)}; \quad (12)$$

情形C:网络回收平台的利润

$$\pi_e = \frac{(W_e - W_r)W_r}{\alpha}, \quad (13)$$

流动回收商的利润

$$\pi_r = 0. \quad (14)$$

命题1表明,回收商的最优回收价格和利润与环保消费者比例、普通消费者的环保意识等参数相关.而且期望收入水平对回收商的回收定价以及利润有着很大影响.情形1说明正规的网络回收平台在回收竞争中处于弱势方,其回收产品的来源主要是通过环保消费者,利润较低;情形2说明两条渠道在竞争的回收市场上处于势均力敌的状态;情形3说明整个回收市场已经基本被网络回收平台所垄断.通过命题1,可以得到如下推论.

**推论1** 当  $0 < \beta < 1$  时,回收商的回收定价  $P$  与消费者的环保意识  $\alpha$  有如下关系:

在情形A和情形B条件下,回收价格  $P_e$  与  $P_r$  分别关于消费者环保意识系数  $\alpha$  单调递增.

在情形C条件下,回收定价  $P_e$  和  $P_r$  与消费者环保意识  $\alpha$  无关.

推论1表明:在情形1和情形2下,普通消费者的环保意识提升 ( $\alpha$  变小) 时,单位回收价格会降低.而流动回收商认为较高的回收价格已经吸引不了环保意识较强的普通消费者,而维持较高的回收价格会使得边际成本大于边际收益,因此流动商贩也会选择降价回收.情形3的情况说明网络回收平台回收产品的单位利润远远大于流动商贩回收产品的单位利润,此时正规的网络回收平台可以通过价格竞争将流动回收商排挤出回收市场.

**推论2** 当  $0 < \alpha < 1$  时,回收定价  $P_e$  和  $P_r$  与环保消费者的比例  $\beta$  有如下关系:

在情形A和情形C的条件下,回收定价  $P_e$  和  $P_r$  与环保消费者的比例  $\beta$  无关.

在情形B的条件下,网络回收平台的回收价格和流动回收商回收价格是关于环保消费者比例  $\beta$  的单调递减函数.

推论2表明,随着环保消费者比例的增加,两条渠道的回收价格都是逐渐降低的.这是因为环保消费者比例增加后,正规的网络回收平台已经占领了大部分回收市场,这样可以不必依靠过高的回收价格来吸引消费者,因此可以适当降低回收价格.此时流动商贩的边际成本大于边际利润,需要降低回收价格来减少回收成本.

### 2.2 两条渠道合作回收

在合作回收下整条供应链的利润函数为

$$\begin{aligned} \pi_B &= Q_e^B(W_e - P_e) + Q_r^B(W_e - P_r), \\ Q_B &= Q_e^B + Q_r^B. \end{aligned} \quad (15)$$

**命题2** 在合作回收下,两条渠道的回收定价分别为  $P_e = P_r = W_e/2$ .

证明与命题1相似,在此不做推导.通过命题

2,可以得到合作回收条件下供应链的利润函数为  $\pi_B = W_e^2/4\alpha$ .

**推论3** 当两条渠道合作回收后,供应链的利润  $\pi_B$  是关于普通消费者环保意识系数  $\alpha$  的单调递减函数.

**推论4** 当两条渠道合作回收后,环保消费者比例  $\beta$  对供应链的利润  $\pi_B$  无影响.

推论3和推论4表明,当网络回收平台将流动回收商整合后,随着普通消费者的环保意识的增强 ( $\alpha$  变小),回收商可以较低回收价格进行回收,供应链的利润增加.但是,由于流动商贩加入了网络回收平台,环保消费者对于渠道的选择已经没有偏好,因此环保消费者比例  $\beta$  对供应链的总利润没有影响.

### 2.3 两种回收模式的比较

两条渠道竞争回收时,设网络回收平台的回收价格为  $P_e^A$ ,流动商贩的回收价格为  $P_r^A$ ;当两条渠道合作回收时,设网络回收平台的回收价格为  $P_e^B$ ,流动商贩的回收价格为  $P_r^B$ .比较两种模式下的回收价格与回收量,可以得到如下推论.

**推论5** 在情形1和情形2中,  $P_e^B < P_e^A, P_r^B < P_r^A$ .情形3中,当  $\frac{(2 - \beta\alpha - \alpha)W_r}{1 - \beta\alpha} < W_e < 2W_r$  时,  $P_e^B < P_e^A, P_r^B < P_r^A$ ;当  $2W_r < W_e$  时,  $P_e^B > P_e^A, P_r^B > P_r^A$ .

**推论6** 在情形1时和情形2时,  $Q_B < Q_A$ .对于情形3,当  $\frac{(2 - \beta\alpha - \alpha)W_r}{1 - \beta\alpha} < W_e < 2W_r$  时,  $Q_B < Q_A$ ;当  $2W_r < W_e$  时,  $Q_B > Q_A$ .

推论5和推论6表明,在情形1和情形2下,回收商合作回收时的价格比竞争回收价格低.这是因为当网络回收渠道整合流动回收商后,将垄断回收市场,为了降低回收成本,将适当降低回收价格.在情形3下,即当  $W_e > 2W_r$  时,如果网络平台回收商采用竞争回收时的价格,则边际收益将会大于边际成本,这时网络回收平台可以提高回收价格使得边际成本等于边际收益,实现利润最大化.当合作时的回收价格小于竞争时的回收价格,会损失一部分消费者,因此合作回收时的回收量将会小于竞争时的回收量.

为了比较竞争回收与合作回收时的利润大小,假设  $\Delta\pi = \pi_B - \pi_A$ ,其中  $\pi_A = \pi_e + \pi_r$ ,可以得到如下推论.

**推论7** 两种回收模式的利润关系如下:

1) 在情形1时,当  $A_2 < W_e < A_1$  时,有  $\Delta\pi < 0$ ;当  $A_1 \leq W_e \leq \frac{\alpha W_r(1 + \beta - 2\beta\alpha)}{(2 - \alpha)(1 - \beta\alpha)}$  或  $0 < W_e < A_2$  时,有  $\Delta\pi > 0$ .

2) 在情形2时,当  $B_2 < W_e < \frac{(2 - \beta\alpha - \alpha)W_r}{1 - \beta\alpha}$

时,有  $\Delta\pi > 0$ ; 当  $\frac{\alpha W_r(1 + \beta - 2\beta\alpha)}{(2 - \alpha)(1 - \beta\alpha)} < W_e < B_2$  时, 有  $\Delta\pi < 0$ .

3) 在情形3时,  $\Delta\pi > 0$ . 由于在情形3时流动回收商的利润为0, 此时回收市场已被网络回收平台垄断, 流动商贩会退出回收市场, 因此不考虑情形3时的利润比较.

推论7表明两条渠道的合作条件由消费者环保意识、环保消费者比例以及两条渠道的各自的盈利水平共同决定. 当两条渠道的实力较为接近时, 双方合作能降低各自的回收成本, 提升盈利水平. 但如果某条渠道的实力远强于另一方, 则实力占优的一方会更愿意通过价格实现整个市场的垄断. 对于网络回收平台来说, 由于其拥有环保消费者这样的固定回收群体作为稳定回收源, 即使流动回收商贩处于强势地位的情况下也很难通过价格战实现回收市场的垄断, 此时双方也可以通过合作的方式避免价格竞争所带来的成本负担.

### 3 数值分析

为了更加直观地分析不同参数对两种模式下的利润影响, 将进行数值模拟分析.

#### 3.1 消费者环保意识 $\alpha$ 对两种模式下利润差的影响

为了比较两种模式下的利润大小, 分别取  $\beta = 0.2, W_e = 0.1, W_r = 0.15$  与  $\beta = 0.6, W_e = 0.1, W_r = 0.15$  两组数据, 通过 Matlab 数值仿真, 比较了情形1和情形2条件下  $\alpha$  对两种决策模型利润差的影响, 如图2所示.

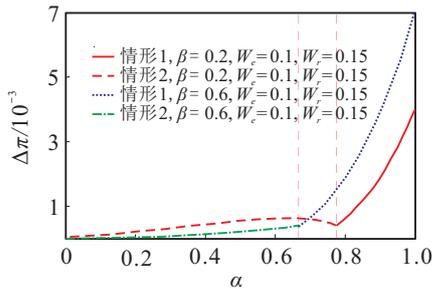


图2  $\alpha$  对两种回收模式下利润差的影响

在给定的参数条件下, 当  $W_e$  满足情形1的条件时, 两组数据的  $\alpha$  取值必须满足  $0.775 < \alpha < 1, 0.67 < \alpha < 1$ ; 当  $W_e$  满足情形2的条件时,  $0 < \alpha < 0.775, 0 < \alpha < 0.67$ . 由图2可以看出, 在情形2时, 两种回收模式下的利润差是随着消费者的环保意识的减弱而不断增大 ( $\alpha$  增大). 这是因为在消费者环保意识较强时, 消费者愿意低价卖给回收网络回收平台, 流动商贩很难与网络回收平台展开竞争, 双方合作带来的额外收益有限, 因此利润差异不大,  $\Delta\pi$  趋近于0.

当  $\alpha$  增大到一临界值时 ( $\alpha$  约为0.775 或  $\alpha$  约为

0.67), 网络回收平台的单位回收产品的期望收入满足情形1的条件, 随着  $\alpha$  的增大 (消费者环保意识的降低), 两种决策模式下整条供应链的利润差不断增大. 这是因为当消费者环保意识较低时, 正规的网络回收平台很难利用环保宣传从消费者手里以较低的价格获得回收产品, 由于  $W_e < W_r$ , 网络回收平台的回收产品的来源主要是通过环保消费者.

通过比较两种回收模式可以发现, 在消费者环保意识较高的情况下, 消费者愿意以较低的回收价格选择网络回收平台进行回收, 网络回收平台容易形成回收市场上的垄断, 双方合作带来的额外收益有限. 但在消费者环保意识很低的情况下, 消费者更加趋于理性, 竞争回收会拉高回收商的回收价格, 此时合作回收会显著降低双方的回收成本, 供应链总利润增加.

#### 3.2 环保消费者比例 $\beta$ 对两种决策模式下利润差的影响

为了分析  $\beta$  在不同情形下对两种决策模式利润差的影响, 分别取  $\alpha = 0.8, W_e = 0.1, W_r = 0.15$  和  $\alpha = 0.6, W_e = 0.1, W_r = 0.15$  两组数据, 所得结果如图3所示.

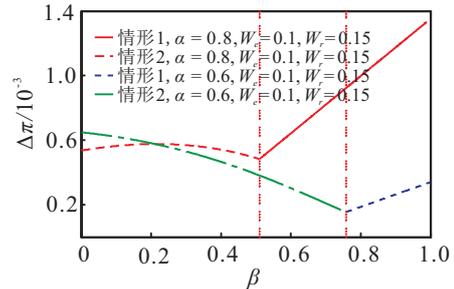


图3  $\beta$  对两种决策模型下利润差的影响

由图3可以看出, 在给定的参数条件下, 当  $W_e$  满足情形1的条件时, 两组数据的  $\beta$  取值范围必须满足  $0.51 < \beta < 1, 0.76 < \beta < 1$ ; 当  $W_e$  满足情形2的条件时,  $0 < \beta < 0.51, 0 < \beta < 0.76$ . 在情形1的条件下, 两种决策模式整条供应链的利润差是随着  $\beta$  的增大而增大. 这是因为在情形1条件下, 正规网络回收平台的用户主要是环保消费者, 而且双方的竞争回收成本很高, 但当两条渠道合作时一方面能降低双方成本, 另一方面流动商贩规范化后可以获得更多环保消费者的用户, 且环保消费者比例越大, 扩大的用户越多, 因此两种决策模式下的供应链的利润差是随  $\beta$  的增大而增大的. 在情形2的条件下,  $\Delta\pi$  是关于  $\beta$  的凸函数,  $\Delta\pi$  存在极大值. 如果两条渠道在情形2的条件下选择合作, 则根据推论4,  $\beta$  对供应链的总体利润没有影响, 但在此情形下合作仍然可以降低回收成本, 增加供应链的总利润.

### 3.3 网络回收平台的单位回收产品期望收入 $W_e$ 对两种决策模式下利润差的影响

为了更加直观地表现不同参数对两种决策模式下的利润差的影响,分别取  $\alpha = 0.5, \beta = 0.2, W_r = 0.15; \alpha = 0.8, \beta = 0.2, W_r = 0.15; \alpha = 0.8, \beta = 0.8, W_r = 0.15$  四组数据,并分析了两种情形下  $W_e$  对两种决策模式下利润差的影响,如图4和图5所示。

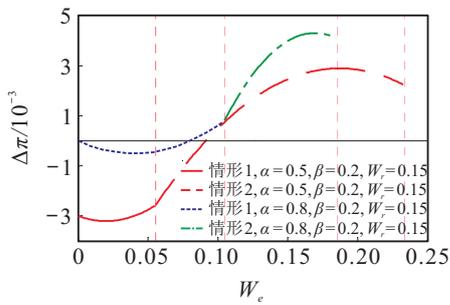


图4  $W_e$  对两种决策模型下利润差的影响(1)

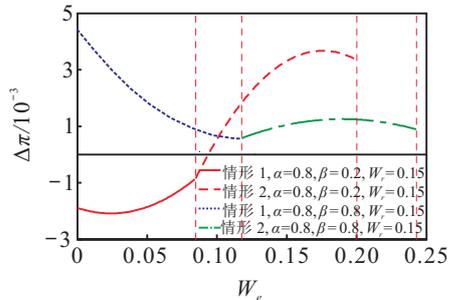


图5  $W_e$  对两种决策模型下利润差的影响(2)

图4表明: 1) 当  $\alpha = 0.5, W_e$  满足情形1时, 两条渠道合作时的收益小于竞争时的收益. 因为当普通消费者的环保意识很强时, 网络回收平台可以通过很低的回收价格从消费者手里获取回收产品. 流动商贩由于自身单位回收产品的期望收入比网络回收平台的高, 也能维持可观的利润. 当  $W_e$  满足情形2时, 此时两条渠道的竞争较为激烈, 当  $W_e > W_e^{1S}$  时, 虽然  $W_e < W_r$ , 但双方合作时减少的单位成本足以弥补流动商贩减少的利润. 因此当  $W_e > W_e^{1S}$  时, 双方应该采取合作的方式来增加自己的利润. 2) 当  $\alpha = 0.8$ , 普通消费者的环保意识较弱, 临界值  $W_e^{1S}$  将会出现在情形1中. 若  $W_e > W_e^{1S}$ , 则双方合作回收时的利润大于分散决策时的利润, 此时双方应该考虑相互合作, 反之双方维持竞争关系时整条供应链的利润会更大。

图5表明: 1) 当环保消费者比例很小(如  $\beta = 0.2$ ), 且  $W_e < W_e^{1S}$  时, 网络回收平台在与流动商贩竞争时处于不利地位. 由于网络回收平台的单位回收产品的期望收入较低, 两条渠道合作时双方减少的单位回收成本无法弥补流动商贩损失的利润, 即

$\pi_B < \pi_A$ , 此时双方很难有合作关系的产生. 但是, 如果  $W_e > W_e^{1S}$ , 则双方合作时减少的成本足以弥补流动商贩减少的利润损失, 即  $\pi_B > \pi_A$ , 此时双方应该考虑合作. 2) 当环保消费者比例很高(如  $\beta = 0.8$ ), 网络回收平台将占据大部分回收市场. 而流动商贩由于市场份额较小, 总体利润不如网络回收平台. 如果流动商贩接受网络平台的资源整合, 双方可以进一步扩大回收市场上的份额. 因此当环保消费者比例较高时, 双方合作能够增加整条供应链的利润。

## 4 结论

本文分别建立了在分散决策下和合作回收下的双渠道回收模型, 并把网络回收平台的单位回收产品的期望收入水平划分为3种情形, 每种情形对应不同的定价策略. 本文将消费者环保意识  $\alpha$  和环保消费者比例  $\beta$  引入模型中, 分析了  $\alpha$  和  $\beta$  对两条渠道定价策略的影响, 同时比较了两种决策模式下两条渠道的博弈策略. 主要结论如下:

1) 两条渠道在回收市场上处于竞争状态时, 回收价格随消费者环保意识的减弱而增加, 但是当网络回收平台的单位收益增加到一个临界值时, 网络回收平台可以利用自身优势将流动回收商挤出回收市场, 从而形成垄断, 消费者的环保意识将不再影响定价策略。

2) 当网络回收平台的单位回收产品收益达到一定范围时, 随着环保消费者比例的增加, 两条渠道的回收价格随着环保消费者比例的增加而降低; 当网络回收平台的收益水平过低或者过高时, 环保消费者的人群比例将不再影响两条渠道的定价策略。

3) 当两条渠道相互合作, 网络回收平台对流动回收商进行资源整合时, 供应链的利润随普通消费者环保意识的增加而增大, 随环保消费者比例的增大而减小。

4) 两条渠道合作时的回收价格比竞争时低, 回收量比竞争时少. 只有当网络回收平台的单位期望收益远大于流动商贩的单位期望收益时, 合作回收价格才会高于竞争回收价格, 供应链的回收量也会大于竞争时的回收量。

5) 只有当消费者的环保意识、环保消费者的比例以及两条渠道的单位回收收益满足一定条件时, 双方合作才能使供应链利润增加. 否则一方盈利水平过高将会导致市场形成垄断, 不利于两条渠道的合作。

提高消费者的环保意识不仅有利于降低正规回收渠道的回收成本, 还有利于引导消费者选择环保回

收渠道进行回收. 政府应该加大“互联网+回收”这一新模式的推广与宣传, 并给予正规回收企业政策扶持, 从而提高其经济效益和社会效益.

本文缺乏对回收处理的实证分析, 且没有将政府对正规企业的补贴纳入决策中, 这是论文以后需要改进的地方.

#### 参考文献(References)

- [1] 魏洁. 废弃电器电子产品“互联网+”回收模式构建[J]. 科技管理研究, 2016, 36(21): 230-234.  
(Wei J. Construction research on the “Internet +” recycling mode in waste electrical and electronic equipment recovery[J]. Science and Technology Management Research, 2016, 36(21): 230-234.)
- [2] Savaskan R C. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing[J]. Management Science, 2004, 50(2): 239-252.
- [3] Atasu A, Toktay L B, Wasenhove L N V. How collection cost structure drives a manufacturer's reverse channel choice[J]. Production and Operations Management, 2013, 22(5): 1089-1102.
- [4] Wu Xiaole, Zhou Yu. The optim reverse channel choice under supply chain competition[J]. European Journal of Operational Research, 2017, 259(1): 63-66.
- [5] Jena S K, Sarmah S P. Price competition and co-operation in a duopoly closed-loop supply chain[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 156(10): 346-360.
- [6] Chen J, Zhang H, Sun Y. Implementing coordination contracts in a manufacturer Stackelberg dual-channel supply chain[J]. Omega, 2012, 40(5): 571-583.
- [7] Liu H, Lei M, Deng H, et al. A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy[J]. Omega, 2016, 59(3): 290-302.
- [8] 任鸣鸣, 杨雪, 鲁梦昕, 等. 考虑零售商自利的电子废弃物回收激励契约设计[J]. 管理学报, 2016, 13(2): 285-294.  
(Ren M M, Yang X, Lu M X, et al. Optimal incentive contract for E-waste take best with retailers self-interested behavior[J]. Chinese Journal of Management. 2016, 13(2): 285-294.)
- [9] Rahman S, Subramanian N. Factors for implementing end-of-life computer recycling operations in reverse supply chains[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 140(1): 239-248.
- [10] 付小勇, 朱庆华, 赵铁林. 基于逆向供应链间回收价格竞争的回收渠道选择策略[J]. 中国管理科学, 2014, 22(10): 72-79.  
(Fu X Y, Zhu Q H, Zhao T L. Selection of the Recovery Channel Based on Recovery Price Competition between the Reverse Supply Chains[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(10): 72-79.)
- [11] Li Y, Xu F, Zhao X. Governance mechanisms of dual-channel reverse supply chains with informal collection channel[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 155(2): 125-140.
- [12] Zeng A Z. Coordination mechanisms for a threestage reverse supply chain to increase profitable returns[J]. Naval Research Logistics (NRL), 2013, 60(1): 31-45.
- [13] 郭军华, 李帮义, 倪明. WTP 差异下再制造闭环供应链的回收模式选择[J]. 管理学报, 2015, 12(1): 142-147.  
(Guo J H, Li B Y, Ni M. The selection of take-back model of remanufacturing closed-Loop supply chain based on WTP differentiation[J]. Chinese Journal of Management, 2015, 12(1): 142-147.)
- [14] McCloskey D W. The importance of ease of use, usefulness, and trust to online consumers: An examination of the technology acceptance model with older consumers[J]. Journal of Organizational and End User Computing, 2006, 18(3): 47-65.
- [15] Sheu J B, Gao X Q. Alliance or no alliance—Bargaining power in competing reverse supply chains[J]. European Journal of Operational Research, 2014, 233(2): 313-325.
- [16] Klaus Conrad. In search of the green consumers: A perceptual study[J]. Journal of Services Research, 2007, 7(1): 173-191.
- [17] Feng L, Govindan K, Li C. Strategic planning: Design and coordination for dual-recycling channel reverse supply chain considering consumer behavior[J]. European Journal of Operational Research, 2017, 260(2): 601-612.
- [18] 李春发, 杨琪琪, 韩芳旭. 基于C2B的废弃电器电子产品网络回收系统利益相关者关系研究[J]. 科技管理研究, 2014, 34(23): 233-239.  
(Li C F, Yang Q Q, Han X F. Study on the Relationship of Stakeholders of WEEE Network Recycling System Based on C2B[J]. Science and Technology Management Research, 2014, 34(23): 233-239.)
- [19] 申成然, 熊中楷, 晏伟. 网络比价行为下双渠道定价及协调策略研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(1): 84-93.  
(Shen C R, Xiong Z K, Yan W. Pricing and coordination research of dual-channel supply chain under price comparison[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 22(1): 84-93.)
- [20] Chiang W Y K, Chhajer D, Hess J D. Direct marketing, indirect profits: A strategic analysis of dual-channel supply-chain design[J]. Management Science Journal of the Institute for Operations Research & the Management Sciences, 2003, 49(1): 1-20.

#### 作者简介

许民利(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、行为运筹管理等研究, E-mail: xu\_minli@163.com;

向泽华(1990—), 男, 博士生, 从事供应链风险管理的研究, E-mail: 121714094@qq.com;

简惠云(1971—), 女, 讲师, 博士, 从事供应链管理等研究, E-mail: Jianhuiyun@163.com.

(责任编辑: 孙艺红)