

## “互联网+”环境下考虑消费者行为的资源回收策略

许民利, 邹康来, 简惠云<sup>†</sup>

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

**摘要:** 在“互联网+回收”环境下,考虑人们对传统回收渠道以及网络回收渠道的态度,建立基于不同消费者行为的回收模型,研究传统回收商、网络回收商和再制造商对再生资源的回收策略. 研究表明:在竞争回收时,网络消费者比例和普通消费者对网络回收渠道的接受程度同时影响定价决策,且网络消费者比例越高回收价格越低,普通消费者对网络回收渠道的接受程度越高回收价格越低;在联盟回收时,回收价格不受网络消费者比例和普通消费者接受程度的影响,回收商收益增加,但再制造商的收益受损. 再制造商为了减少损失,可以设计收益分配机制与回收商进行合作,增加供应链收益. 根据模型分析,认为联盟回收是最佳回收方式,政府应整合上下游企业,推动“互联网+回收”平台化、规模化发展.

**关键词:** 网络回收; 网络消费者; 效用系数; 回收定价; 回收联盟; 防共谋均衡

中图分类号: F274; F224.32

文献标志码: A

## Strategy of renewable resource recycling considering consumers' behavior based on internet +

XU Min-li, ZOU Kang-lai, JIAN Hui-yun<sup>†</sup>

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

**Abstract:** Under the circumstance of “Internet + recycling”, considering different preferences of consumers for the traditional recycling channels and the online recycling channels, the recycling models based on the behaviors of different consumer groups are built. The pricing strategies of traditional recyclers, online recyclers and remanufacturers for renewable resources are discussed. The results show that when recyclers compete with each other, the proportion of consumers preferring for “Internet + recycling” and the acceptability of the consumers for online recycling channel affect the pricing decision. With the increase of the proportion of Internet consumers, the recycling price is reduced; with the increase of the acceptability of the consumers for online recycling channel, the recycling price is also reduced. when there is a recycling coalition, the proportion of consumers preferring for “Internet+ recycling” and the acceptability of the online recycling channel have no effect on pricing decision, but the profits of the recyclers will increase and the remanufacturers' will decrease. In order to reduce the loss, the remanufacturers will design profits allocation to cooperate with recyclers, and then the profits of the supply chain can be better. According to the analysis of the model, it is proved that recycling coalition is the best way. The government should integrate the upstream and downstream enterprises to promote platform and scale development of “Internet+ recycling”.

**Keywords:** online recycling; online consumer; utility coefficient; pricing of recycling; recycling coalition; coalition-proof equilibrium

### 0 引言

近年来,回收行业发展迅速,行业规模明显扩大,经济效益也不断提升,截止2016年底,我国废金属、废电池等十大类别的再生资源回收总量约为2.56亿吨,同比增长3.7%,总价值约5902.8亿元,同比增长14.7%<sup>[1]</sup>. 但传统回收企业存在“利大抢收、利小少

收、无利不收”等严重问题<sup>[2]</sup>,且传统回收大多基于人工方式,便利性不足,消费者参与回收的积极性不高.

为推动资源回收产业的发展,结合回收行业的现状及问题,国家发改委在《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》第十条中提出,要创新资源回收模

收稿日期: 2018-01-03; 修回日期: 2018-04-25.

基金项目: 国家社科基金项目(14BGL196); 湖南省社科基金智库专项重点课题项目(16ZWB40); 湖南省社会科学成果评审委员会课题项目(XSP17YBZC201).

责任编辑: 樊治平.

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

式,推动现有骨干再生资源市场向线上线下结合方向转型,并且在《“互联网+”绿色生态三年行动实施方案》等文件中多次提出支持推广“互联网+”回收模式。目前涌现出了一批“互联网+回收”企业,如爱回收等。网络回收商的加入,必然会引起行业竞争加剧。再制造商面临着如何确定两种回收渠道的回收价格等问题。回收商面临着是否应该建设网络回收渠道,或者加入现有网络回收平台的选择。政府则面临着如何协调整个回收产业链。鉴于此,研究“互联网+回收”问题具有重要的理论与现实意义。

目前关于废旧产品逆向回收的研究,大多集中于传统回收方面。Rahman等<sup>[3]</sup>通过研究逆向供应链回收的影响因素,发现回收价格以及消费者需求是主要的激励因素。Jena等<sup>[4]</sup>分析了两个再制造商合作与非合作时的定价及协调问题。He<sup>[5]</sup>研究发现,分散决策时的最优回收价格始终低于集中决策时的最优价格。李响等<sup>[6]</sup>研究多再制造商回收定价博弈,发现各再制造商的回收量取决于各自的回收价格。Cai等<sup>[7]</sup>将废旧产品的质量分为高低两个水平,得出最优回收定价及再制造生产决策。Liu等<sup>[8]</sup>研究了正规回收渠道和非正规回收渠道的价格竞争模型,提出政府应该适当调整补贴以扶持正规回收企业的发展。也有不少文献从消费者行为角度研究回收问题。郭军华等<sup>[9]</sup>在消费者对再制品及新产品的支付意愿存在差异的条件下,对回收渠道选择进行了研究。刘东霞等<sup>[10]</sup>通过构建消费者效用模型对不同类型的消费者进行分析,研究了耐用品的回收和再制造决策问题。Zeng<sup>[11]</sup>发现,零售商可以针对不同的消费者策略性地选择激励措施以提高回收量。但是,这些文献没有研究基于“互联网+回收”的情形。

在“互联网+回收”环境下,传统回收与网络回收并存。消费者可以足不出户联系网络回收商或网络回收平台,预约回收;而传统回收商主动上门回收,两种回收方式各有优劣,双方如果合作,可以利用各自的优势进行回收。关于合作回收也有较多研究成果。孙多青等<sup>[12]</sup>证明了合作回收会提高回收数量以及供应链系统的利润,并用改进的K-S法分配利润。Sheu等<sup>[13]</sup>的结果表明,联盟能够提高成员的讨价

还价能力。但是,这些文献没有考虑回收商合作对再制造商利润的影响以及再制造商的应对策略。

目前,针对“互联网+回收”的文献主要集中在模式研究这一领域。魏洁<sup>[14]</sup>通过研究不同利益主体主导的“互联网+回收”模式,提出“互联网+回收”模式的构建策略。刘一非<sup>[15]</sup>和韩芳旭<sup>[16]</sup>也从不同角度对“互联网+回收”模式进行了研究。此外,还有一些学者从利益相关者角度<sup>[17]</sup>与消费者参与意愿角度<sup>[18]</sup>进行了相关研究。但这些研究忽略了消费者的行为因素对回收渠道选择的影响。Feng等<sup>[19]</sup>在回收领域引入了消费者偏好因素,分析逆向供应链的渠道配置策略,并通过收益共享契约协调双方决策,但没有考虑到目前“互联网+回收”已经初步成型,网络回收渠道不再是该不该引进的问题,另外,消费者对不同回收渠道的接受程度也有所不同,有必要对消费者进行区分。

综上所述,本文以“互联网+回收”为研究对象,研究了基于消费者行为的回收策略。区别于以往研究,本文主要的创新之处有:1)考虑消费者对网络回收渠道的态度,结合“互联网+”情景,将消费者分为普通消费者和网络消费者,研究不同消费者所占比重对逆向供应链各方决策的影响,并分析消费者比重与回收价格、回收量等因素之间的关系。2)区分不同消费者对网络回收的接受程度,以效用和价格为主要因素建立回收模型,研究网络回收接受程度对逆向供应链各方决策的影响,并分析接受程度与回收价格、回收量等因素之间的关系。3)考虑回收联盟对再制造商回收决策的影响,通过分析逆向供应链各方的博弈策略,提出了一种利润分配机制,为逆向供应链各方回收决策提供依据。

## 1 问题描述与基本假设

### 1.1 问题描述

本文考虑的逆向供应链如下:回收商从消费者手中回收废旧产品,出售给再制造商,由再制造商进行分类处理,可再制品进行再制造后重新投入市场,不可再制品进行分解、拆卸等处理,部分可用零部件进入再制造环节,不可再用零部件进行废弃物处理。

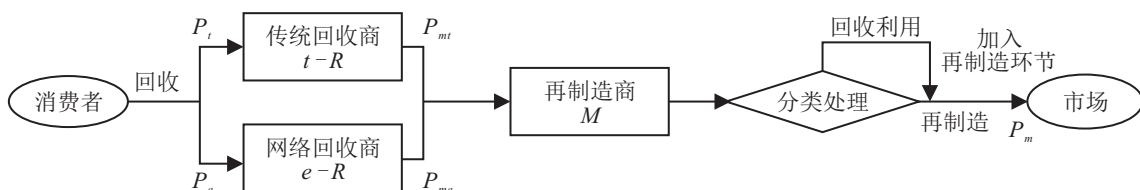


图1 回收商竞争回收

分3种情形讨论.

情形A:考虑由一个传统回收商、一个再制造商以及市场组成的逆向供应链;

情形B:传统回收商和网络回收商竞争回收,如图1所示;

情形C:考虑联盟回收的情形.

基于情形B,分两种合作模式,一种是传统回收商与网络回收商合作回收,另一种是传统回收商、网络回收商、再制造商三方合作回收.

### 1.2 基本假设

1) 假设消费者对不同回收渠道有不同的回收意愿,且只有当回收价格大于消费者对废旧产品的估计价值时,消费者才愿意参与回收, $Q_t$ 、 $Q_e$ 、 $Q_a$ 分别表示传统回收渠道回收量、网络回收渠道回收量以及回收总量.消费者总数为 $G$ ,市场上存在以下两种消费者:类型a,网络消费者,对网络回收渠道完全接受、信任,所占消费者总数比例为 $\gamma(0 < \gamma < 1)$ ;类型b,普通消费者,对网络回收渠道不完全信任,所占消费者总数比例为 $1 - \gamma$ .

2) 由于回收产品质量的不确定性,以及再制造商的技术水平限制,回收产品不一定都可以进行再制造,假设可再制造产品所占比例为 $\beta$ ,称为再制造率,则不可再制造的比例为 $1 - \beta$ ,不可再制造的产品进行处理后所得到的收入为 $P_s$ .

3)  $P_t$ 、 $P_e$ 分别表示传统回收商与网络回收商的回收价格,由于网络平台运营成本相对较低以及网络竞价机制等,Feng等<sup>[19]</sup>指出,电子产品的网络回收价格一般高于传统渠道回收价格,即 $P_t \leq P_e$ ,本文也假设此式成立.再制造商从传统回收商与网络回收商处回收产品的价格分别为 $P_{mt}$ 、 $P_{me}$ ;再制造商的再制造成本为 $C_m$ ,对不可再制造产品的处理成本为 $C_s$ ,且 $C_s < P_s$ ;再制品销售价格为 $P_m$ ,且再制造是有利可图的,则 $\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)(P_s - C_s) > 0$ ;消费者对废旧产品的期望价值为 $V$ , $V \sim U(0, 1)$ ,密度函数为 $f(v)$ .

4) 再制造商在市场中处于领导地位.

5) 为了方便计算,假设市场标准化为1.

## 2 基于消费者行为的回收模型

参考Feng等<sup>[19]</sup>、Chiang等<sup>[20]</sup>的模型,得出不同情形下废旧产品的回收量模型.

### 2.1 只存在传统回收商回收的情形

由于只存在传统回收渠道,无需区分普通消费者与网络消费者,消费者参与回收的效用函数为 $U =$

$P_t - V$ .当 $P_t > V$ 时,消费者选择将废旧产品回收,此时回收总量 $Q_a^A = Q_t^A$ ,有

$$Q_a^A = \int_0^{P_t} f(v)dv = P_t. \quad (1)$$

### 2.2 传统回收和网络回收共同回收的情形

普通消费者选择传统回收的效用函数为 $U_t^b = P_t - V$ ,选择网络回收的效用函数为 $U_e^b = P_e - \alpha V$ ,其中 $\alpha$ 为网络回收效用系数.网络消费者选择传统回收的效用函数为 $U_t^a = P_t - V$ ,选择网络回收的效用函数为 $U_e^a = P_e - V$ .以下对两种消费者行为进行分析.

1) 网络回收效用系数 $\alpha > 1$ ,且 $\alpha$ 越小,普通消费者对网络回收的接受程度越高.这是因为,当 $\alpha = 1$ 时,普通消费者与网络消费者行为一致,而本文旨在考虑不同消费者行为对回收定价的影响;当 $0 < \alpha < 1$ 时,由于 $P_t \leq P_e$ ,恒有 $U_e^b \geq U_t^b$ ,即普通消费者总是选择网络回收,与实际不符,且本文主要分析“互联网+回收”情境下,传统回收与网络回收并存时的回收定价问题,因此只考虑情形 $\alpha > 1$ .

当 $P_t > P_e/\alpha$ 时,若普通消费者的效用函数满足 $U_t^b = P_t - V > U_e^b = P_e - \alpha V$ ,且 $U_t^b > 0$ ,则消费者选择传统回收商进行回收,得到 $\frac{P_e - P_t}{\alpha - 1} < V < P_t$ ,记为 $V \in (\frac{P_e - P_t}{\alpha - 1}, P_t)$ ,此时回收量为

$$q_t^b = (1 - \gamma) \int_{\frac{P_e - P_t}{\alpha - 1}}^{P_t} f(v)dv = (1 - \gamma) \left( P_t - \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1} \right).$$

若普通消费者的效用函数满足 $U_t^b = P_t - V < U_e^b = P_e - \alpha V$ ,且 $U_e^b > 0$ ,则有

$$V < \min \left\{ \frac{P_e}{\alpha}, \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1} \right\} = \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1}.$$

所以当消费者对废旧产品的期望价值

$$V \in \left( 0, \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1} \right)$$

时,选择网络回收商,回收量为

$$q_e^b = (1 - \gamma) \int_0^{\frac{P_e - P_t}{\alpha - 1}} f(v)dv = (1 - \gamma) \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1}.$$

当 $P_t < \frac{P_e}{\alpha}$ 时,有 $P_t < \frac{P_e}{\alpha} < \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1}$ ,由上述分析可知,消费者不会选择传统回收商.当普通消费者的期望价值 $V \in (0, P_e/\alpha)$ 时,消费者选择网络回收商,而其他情况下消费者不会参与回收.现实生活中,部分消费者还是可能参与回收,本文不考虑此情形.

2) 网络消费者对网络回收完全接受,由 $P_t \leq P_e$ 可得 $U_t^a \leq U_e^a$ ,网络消费者一般会选择网络回收,回

收量为  $q_e^a = \gamma P_e$ . 所以, 当网络回收与传统回收共同存在时, 传统回收商回收量为

$$Q_t = (1 - \gamma) \left( P_t - \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1} \right). \quad (2)$$

网络回收商的回收量为

$$Q_e = (1 - \gamma) \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1} + \gamma P_e. \quad (3)$$

整个回收系统的回收总量为

$$Q_a = Q_t + Q_e. \quad (4)$$

### 3 模型基本分析

由于再制造商处于市场领导地位, 进行 Stackelberg 博弈分析, 博弈顺序为再制造商首先决定  $P_{mt}$ 、 $P_{me}$ , 然后回收商根据再制造商的回收价格确定各自的回收价格  $P_t$ 、 $P_e$ .

#### 3.1 情形 A: 只存在传统回收商回收

回收商的利润函数为

$$\Pi_{t-R}^A(P_t) = Q_a^A(P_{mt} - P_t),$$

再制造商的利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi_m^A(P_{mt}) = & \\ Q_a^A[\beta P_m + (1 - \beta)P_s - (C_s + \beta C_m)] - & Q_t P_{mt}. \end{aligned}$$

**命题 1** 在只有传统回收商的情形下, 再制造商和回收商的最优定价决策集为  $(P_{mt}^{A*}, P_t^{A*})$ , 其中

$$\begin{aligned} P_{mt}^{A*} &= \frac{\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s}{2}, \\ P_t^{A*} &= \frac{\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s}{4}. \end{aligned}$$

由命题 1 可得, 再制造商的最优利润为

$$\Pi_m^{A*} = \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2}{8},$$

回收商的最优利润为

$$\Pi_{t-R}^{A*} = \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2}{16}.$$

#### 3.2 情形 B: 传统回收和网络回收竞争回收

目前已有不少网络回收商参与到回收行业的竞争中, 如上海睦邦环保科技有限公司打造全品类的再生资源回收体系+互联网的商业模式——邦邦站项目, 以大力发展网络回收. 此外, 还有上海东方循环、成都绿色地球等网络回收企业, 这些企业与传统回收商竞争回收. 根据前文假设和式(2)~(4), 可得此情形下回收商和再制造商的利润函数. 传统回收商的利润函数为

$$\Pi_{t-R}^B(P_t) = Q_t^B(P_{mt} - P_t),$$

网络回收商的利润函数为

$$\Pi_{e-R}^B(P_e) = Q_e^B(P_{me} - P_e),$$

再制造商的利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi_m^B(P_{mt}, P_{me}) = & \\ Q_a^B[(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s] - & \\ Q_t^B P_{mt} - Q_e^B P_{me}. & \end{aligned}$$

**命题 2** 在传统回收商和网络回收商竞争回收情形下, 当再制造商和回收商分散决策时, 再制造商、传统回收商以及网络回收商的最优定价决策集为  $((P_{me}^{B*}, P_{mt}^{B*}), P_t^{B*}, P_e^{B*})$ . 其中: 再制造商回收价为

$$P_{me}^{B*} = P_{mt}^{B*} = \frac{\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s}{2},$$

传统回收商回收价为

$$\begin{aligned} P_t^{B*} = & \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s](2\alpha + 1)}{2(4\alpha + \gamma)} \times \\ & (\alpha\gamma - 2\gamma + 1), \end{aligned}$$

网络回收商回收价为

$$\begin{aligned} P_e^{B*} = & \\ \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s](2\alpha\gamma - 5\gamma + 3)\alpha}{2(4\alpha + \gamma)}. & \end{aligned}$$

由命题 2 可得, 再制造商的最优利润为

$$\begin{aligned} \Pi_m^{B*} = & \frac{[2\alpha\gamma(\alpha - \gamma - 1) + 2\alpha + 2\gamma^2 - 3\gamma + 1]}{4[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]} \times \\ & [\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2, \end{aligned}$$

传统回收商的最优利润为

$$\begin{aligned} \Pi_{t-R}^{B*} = & \\ ([\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2 \times & \\ (2\alpha\gamma - 3\gamma + 2)^2(1 - \gamma))/ & \\ (4[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]^2)(\alpha - 1), & \end{aligned}$$

网络回收商的最优利润为

$$\begin{aligned} \Pi_{e-R}^{B*} = & \\ ([\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2 \times & \\ (2\alpha\gamma - \gamma + 1)^2(\alpha\gamma - 2\gamma + 1))/ & \\ (4[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]^2)(\alpha - 1). & \end{aligned}$$

命题 1 和命题 2 表明, 回收商的最优回收价格与网络消费者的比例、普通消费者对网络回收渠道的接受程度、再制造率、再制造成本、再制造商品售价等参数相关. 而再制造商的回收价格与网络消费者比例以及普通消费者对网络回收的接受程度无关, 只与再制造率、再制造成本、再制造产品售价等参数相关. 通过分析相关参数, 得到以下推论.

**推论 1** 当  $\alpha > 1$  时, 传统回收商与网络回收商的回收价格是关于  $\gamma$  的单调递减函数.

证明 有

$$\frac{\partial P_t^{B*}}{\partial \gamma} = \frac{\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s}{[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]^2} -$$

$$(2\alpha + 1)(\alpha - 1) < 0,$$

$$\frac{\partial P_e^{B*}}{\partial \gamma} = - \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s](2\alpha + 1)}{[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]^2} \times$$

$$(\alpha - 1)\alpha < 0.$$

推论1得证. □

推论1表明:随着网络消费者比例的增加,回收商的回收价格逐渐下降.这是因为,当网络消费者比例增加后,网络回收商不必依靠过高的价格来吸引消费者,可以适当降低价格.这时,传统回收商在不流失既有消费者的同时,也可以在合适范围内降低回收价格.

**推论2** 当  $0 < \gamma < 1$  时,传统回收商与网络回收商的回收价格都是关于网络回收效用系数  $\alpha$  的单调递减函数.

推论2表明:普通消费者对网络回收的接受程度降低( $\alpha$ 变大)时,回收价格也会降低.这是因为当普通消费者对网络回收接受度降低后,更多的普通消费者会选择传统回收商,传统回收商可以在一定范围内降低价格,而网络回收商意识到高价吸引不了这部分普通消费者时,在保证留住既有消费者的同时也会降低价格.

**推论3** 当  $0 < \gamma < 1, \alpha > 1$  时,回收商与再制造商的回收价格是  $\beta$  的单调递增函数.

证明 有

$$\frac{\partial P_{mt}^{B*}}{\partial \beta} = \frac{P_m - C_m - P_s}{2} > 0,$$

$$\frac{\partial P_t^{B*}}{\partial \beta} = \frac{(P_m - C_m - P_s)(2\alpha + 1)(\alpha\gamma - 2\gamma + 1)}{2[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]} > 0,$$

$$\frac{\partial P_e^{B*}}{\partial \beta} = \frac{(P_m - C_m - P_s)(2\alpha\gamma - 5\gamma + 3)}{2[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]} > 0.$$

推论3得证. □

推论3表明:随着再制造率的提高,回收价格也会随之提高.这是因为再制造率越高,再制造商节约的成本越多,从而可以用更高的回收价格从回收商处回收废旧产品,以激励回收商提高回收价格,吸引更多的消费者参与回收,从而增加回收量.

### 3.3 情形A与情形B对比分析

情形B中再制造商在委托传统回收商回收的同时,委托了第三方网络回收平台回收废旧产品.这时传统回收商与网络回收商之间形成竞争,经对比A、B两种情形可推出以下结论.

**推论4** 情形B中传统回收商的回收价格高于情形A中的回收价格,有

$$\Delta P_t = P_t^{B*} - P_t^{A*} = \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]}{4[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]} \times (2\alpha\gamma - 5\gamma + 3) > 0.$$

这表明引进网络回收后,价格竞争提高了传统回收商的回收价格.

**推论5** 整个供应链系统的废旧品回收量,情形B比情形A多,有

$$\Delta Q_a = Q_a^{B*} - Q_a^{A*} = \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]}{4[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]} \times (1 - \gamma)(4\alpha\gamma - 4\gamma + 3) > 0.$$

这是因为随着回收价格的提高,更多的消费者愿意把自己的废旧产品卖给回收商.

**推论6** 情形B中再制造商的利润高于情形A中的利润,有

$$\Delta \Pi_m = \Pi_m^{B*} - \Pi_m^{A*} = \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2}{8[4\alpha(\alpha\gamma - 2\gamma + 1) + \gamma - 1]} \times (1 - \gamma)(4\alpha\gamma - 4\gamma + 3) > 0.$$

这是因为总体回收量增加了,而再制造商的回收价格只与自身的制造成本以及再制造率有关,因此再制造商的回收价格不变,再制造商的利润随之增加.

### 3.4 情形C: 联盟回收

分两种情形进行讨论.

1) 情形1C. 传统回收商与网络回收商结盟,或者是传统回收商加盟网络回收平台.如淘绿网,为传统回收商及买家提供回收/采购服务.但目前传统回收商与网络回收的具体合作机制还不明确,本文以最大利润为目标进行分析.

此时,传统回收商与网络回收商之间是完全信息下的合作博弈,联盟的利润函数为

$$\Pi_R^{1C}(P_t, P_e) = \Pi_{t-R}^B + \Pi_{e-R}^B = (P_{mt} - P_t)(1 - \gamma) \left( P_t - \frac{P_e - P_t}{\alpha - 1} \right) + (P_{me} - P_e) \left[ \frac{(1 - \gamma)(P_e - P_t)}{\alpha - 1} + P_e \gamma \right].$$

再制造商利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi_m^{1C}(P_{mt}, P_{me}) &= \Pi_m^B(P_{mt}, P_{me}) = \\ &Q_a^B[(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s] - \\ &Q_t^B P_{mt} - Q_e^B P_{me}. \end{aligned}$$

**命题3** 在回收商联盟情形下,回收联盟以及再制造商的最优决策集为

$$((P_t^{1C*}, P_e^{1C*}), (P_{mt}^{1C*}, P_{me}^{1C*})).$$

其中:回收联盟的最优回收价为

$$P_t^{1C*} = P_e^{1C*} = \frac{\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s}{4},$$

再制造商的最优回收价为

$$P_{mt}^{1C*} = P_{me}^{1C*} = \frac{\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s}{2}.$$

将最优价格代入利润函数,解得:回收商联盟的最优利润为

$$\Pi_R^{1C*} = \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2}{16},$$

再制造商的最优利润为

$$\Pi_m^{1C*} = \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2}{8}.$$

**推论7** 回收商联盟情形下,回收商总利润增加,但再制造商利润减少,即

$$\Delta \Pi_m = \Pi_m^{1C*} - \Pi_m^B < 0.$$

**推论8** 回收商联盟情形下,回收商降低给消费者的回收价格,从而引起回收量减少,即

$$\Delta Q = Q_a^{1C*} - Q_a^B < 0.$$

由上述推论可知,当传统回收商与网络回收商联盟时,回收商会合谋降低回收价格,回收商总利润增加,但回收量减少,再制造商的利润受损.

为了解决回收商合作利润的分配,采用改进的K-S解法来分配总体利润,具体方法如下.设 $\theta_i$ 表示参与者 $i(i = t, e)$ 给联盟带来的最大利润增加量,按比例 $\frac{\theta_i}{\theta_t + \theta_e}$ 分配合作时增加的收益.在这种分配机制下,传统回收商和网络回收商的均衡解为

$$\begin{aligned} (\Pi_{t-R}^{1C*}, \Pi_{e-R}^{1C*}) &= \\ &\left( \frac{\theta_t}{\theta_t + \theta_e} \Delta \Pi_R + \Pi_{t-R}^B, \frac{\theta_e}{\theta_t + \theta_e} \Delta \Pi_R + \Pi_{e-R}^B \right). \end{aligned}$$

其中: $\theta_t = \Pi_R^{1C*} - \Pi_{e-R}^B, \theta_e = \Pi_R^{1C*} - \Pi_{t-R}^B$ .

2) 情形2C.传统回收商、网络回收商、再制造商结盟,集中决策.这种情形下,联盟以供应链系统最优利润为目标,决策变量为 $P_t, P_e$ ,利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi(P_t, P_e) &= \\ &Q_a[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s] - \\ &Q_t P_t - Q_e P_e. \end{aligned}$$

**命题4** 集中决策情形下,联盟的最优决策为 $(P_t^{2C*}, P_e^{2C*})$ .由逆向归纳法,易求得:最优回收价格为

$$\begin{aligned} P_t^{2C*} &= P_e^{2C*} = \\ &\frac{\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s}{2}, \end{aligned}$$

系统最优利润为

$$\Pi^{2C*} = \frac{[\beta(P_m - C_m) + (1 - \beta)P_s - C_s]^2}{4}.$$

**推论9** 再制造商与回收商联盟时供应链系统利润和废旧产品回收量都达到最优.

**推论10** 再制造商与回收商联盟时,联盟各成员的均衡利润为

$$\begin{aligned} (\Pi_{t-R}^{2C*}, \Pi_{e-R}^{2C*}, \Pi_m^{2C*}) &= \\ &\left( \frac{\theta_{t-R}}{\theta_{t-R} + \theta_{e-R}} (\tau \Pi^* - \Pi_R^{1C*}) + \Pi_{t-R}^{1C*}, \right. \\ &\left. \frac{\theta_{e-R}}{\theta_{t-R} + \theta_{e-R}} (\tau \Pi^* - \Pi_R^{1C*}) + \Pi_{e-R}^{1C*}, (1 - \tau) \Pi^* \right). \end{aligned}$$

**证明** 回收商联盟时,回收商的均衡利润均高于非合作时的利润,但再制造商的利润由于回收商的共谋而受损,再制造商为了防共谋必须吸引回收商与之结盟.此时,回收商整体分配到的利润为 $\tau \Pi^{2C*}$ ,再制造商的利润为 $(1 - \tau) \Pi^{2C*}$ ,其中 $\Pi_R^{1C*} / \Pi^{2C*} \leq \tau \leq 1 - \Pi_m^{1C*} / \Pi^{2C*}$ .然后利用改进的K-S解法分配回收商利润.传统回收商对回收商整体的利润贡献为 $\theta_{t-R} = \tau \Pi^{2C*} - \Pi_{t-R}^{1C*}$ ,网络回收商对回收商整体的利润贡献为 $\theta_{e-R} = \tau \Pi^{2C*} - \Pi_{e-R}^{1C*}$ .这时,传统回收商、网络回收商、再制造商构成一个三方博弈.如表1所示,表中每一格从左至右表示传统回收商、网络回收商以及再制造商的利润,易知

表1 三方博弈矩阵

		网络回收商		
		合谋	不合谋	
再制造商	合作	传统回收商	合谋 $\Pi_{t-R}^{2C*}, \Pi_{e-R}^{2C*}, \Pi_m^{2C*}$ 不合谋 $\Pi_{t-R}^B, \Pi_{e-R}^B, \Pi_m^B$	$\Pi_{t-R}^B, \Pi_{e-R}^B, \Pi_m^B$ $\Pi_{t-R}^B, \Pi_{e-R}^B, \Pi_m^B$
	不合作	传统回收商	合谋 $\Pi_{t-R}^{1C*}, \Pi_{e-R}^{1C*}, \Pi_m^{1C*}$ 不合谋 $\Pi_{t-R}^B, \Pi_{e-R}^B, \Pi_m^B$	$\Pi_{t-R}^B, \Pi_{e-R}^B, \Pi_m^B$ $\Pi_{t-R}^B, \Pi_{e-R}^B, \Pi_m^B$



$$\begin{aligned} \Pi_{t-R}^{1C*} &> \Pi_{t-R}^{B*}, \Pi_{e-R}^{1C*} \geq \Pi_{e-R}^{B*}, \Pi_m^{2C*} \leq \Pi_m^{B*}, \\ \Pi_{t-R}^{2C*} &\geq \Pi_{t-R}^{1C*}, \Pi_{e-R}^{2C*} \geq \Pi_{e-R}^{1C*}, \\ \Pi_m^{1C*} &\leq \Pi_m^{2C*} \leq \Pi_m^{B*}. \end{aligned}$$

显然(合谋,合谋,合作)对传统回收商及网络回收商更有利,(不合谋,不合谋,不合作)对再制造商更有利.若再制造商选择不合作,则此时传统回收商与网络回收商有合谋的动机,可能选择(合谋,合谋)使自己更好.一旦再制造商认为回收商会选择(合谋,合谋),则再制造商会选择合作.而回收商意识到再制造商会选择合作,它们会选择(合谋,合谋).所以,防共谋均衡为(合谋,合谋,合作),此时无论哪一方偏离,都不能增加他们的收益. □

### 4 数值分析

取  $C_m = 0.6, C_s = 0.2, P_s = 0.4, P_m = 0.8, \beta = 0.4$ , 分别分析  $\alpha, \gamma$  对供应链决策的影响,如图2~图5所示.

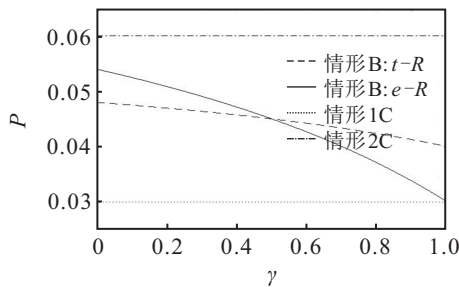


图2 网络消费者比例  $\gamma$  与价格的关系 ( $\alpha = 1.5$ )

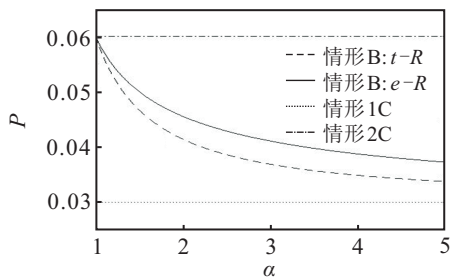


图3 网络回收效用系数  $\alpha$  与价格的关系 ( $\gamma = 0.25$ )

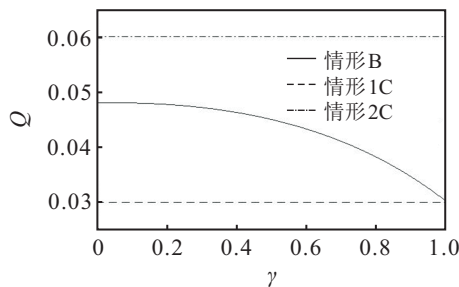


图4 网络消费者比例与回收量的关系 ( $\alpha = 1.5$ )

#### 1) 网络消费者比例 $\gamma$ 对定价策略的影响.

由图2可知:非合作回收时,随着网络消费者比例  $\gamma$  的增加,回收商价格均下降,但传统回收商的下降幅度小于网络回收商;当  $\gamma$  超过0.5时,网络回收价

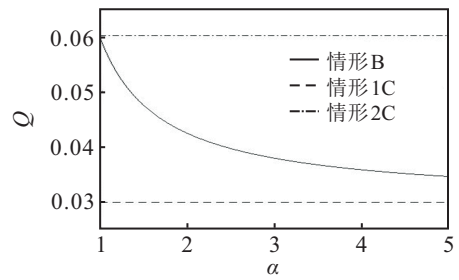


图5 网络回收效用系数与回收量的关系 ( $\gamma = 0.25$ )

格会低于传统回收价格,这是因为此时大量消费者选择网络回收,消费者已经形成消费习惯,网络回收商不必依靠价格优势来吸引消费者,可以适当降低价格;合作回收时,回收价格不受  $\gamma$  的影响,再制造商与回收商合作时的回收价格最高,回收商联盟的回收价格低于非合作时的回收价格.

#### 2) 网络回收效用系数 $\alpha$ 对定价策略的影响.

由图3可知:非合作回收时,随着普通消费者对网络回收接受程度降低 ( $\alpha$  变大),回收商价格均下降;合作回收时,回收价格不受  $\alpha$  的影响,回收商联盟的回收价格低于非合作时的价格,再制造商与回收商合作时的回收价格最高.

#### 3) 网络消费者比例 $\gamma$ 对回收总量的影响.

由图4可知:非合作回收时,随着网络消费者比例  $\gamma$  的增加,整个系统的回收量逐渐减少,这是因为随着  $\gamma$  的增加,各回收商的回收价格降低,其回收量随之减少;合作回收时,回收商合谋会使系统回收总量减少,再制造商与回收商联盟合作时,回收总量最多.

#### 4) 网络回收效用系数 $\alpha$ 对回收总量的影响.

由图5可知:非合作回收时,随着网络回收效用系数  $\alpha$  的增加,即普通消费者对网络回收渠道接受程度的降低,回收总量减少,这是因为随着  $\alpha$  的增加,各回收商的回收价格降低,其回收量随之减少;合作回收时,回收商合谋会使回收总量减少,再制造商与回收商联盟合作时,回收总量最多.

为了更明显地对比4种回收模式的差别,取  $\alpha = 1.5, \gamma = 0.25, \tau = 0.3$  (任意取值). 代入相关公式得到结果如表2所示.

表2 各回收模式的均衡结果

	情形A	情形B	回收商联盟(1C)	再制造商与回收商合作(2C)
$P_t$	0.03	0.0467	0.03	0.06
$P_e$	无	0.05	0.03	0.06
$\Pi_t$	$9 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$	$5.9235 \times 10^{-4}$	$7.0269 \times 10^{-4}$
$\Pi_e$	无	$1.75 \times 10^{-4}$	$3.0765 \times 10^{-4}$	$3.7731 \times 10^{-4}$
$\Pi_m$	0.0018	0.0029	0.0018	0.0025
$Q_a$	0.03	0.0475	0.03	0.06

由表2可知:回收商联盟时传统回收商和网络回收商避免了价格竞争,利润增加,但再制造商利润受损;此时,再制造商为了避免利润减少,将设计合理的利润分配机制,与回收商联盟进行合作,此时,总回收量最高,各方利润也增加。

## 5 结论

本文考虑网络消费者的比例及普通消费者对网络回收渠道的接受程度,运用博弈论分析了3种回收模式下回收商和再制造商对废旧产品的回收定价策略,得到以下结论:

1) 竞争回收时,回收价格高于传统单渠道回收时的价格,此时,回收量与再制造商的利润也随之增加。回收价格随普通消费者对网络回收接受程度的增加而下降,随网络消费者比例增加而下降,随再制造率的提高而上升。

2) 合作回收时,回收价格与网络消费者的比例及普通消费者对网络回收渠道的接受程度无关,回收商联盟避免了价格竞争,回收商利润增加,回收价格降低,回收量减少,再制造商利润受损。

3) 再制造商为防止回收商间的联盟,通过利润分配机制激励传统回收商和网络回收商与之合作。此时,联盟各方以联盟总体利润最优为决策目标,供应链系统利润达到最优,回收量最高,回收价格最高。

上述结论对相关管理者有以下管理启示:

1) 网络回收企业可在广告宣传中普及互联网回收知识,提高消费者对网络回收的接受度。其中,应着重宣传互联回收相对传统回收的优势,展现专业能力。其次,应树立良好的口碑,让企业的良好形象通过消费者的口碑进行传播,最大程度上提高消费者对互联网回收的接受度,并提高网络消费者比例。

2) “互联网+回收”将引导可回收资源合理配置,形成规模化市场,从而解决回收行业现存的“利大抢收、利小少收、无利不收”的问题。龙头回收企业可组建“互联网+回收”平台,整合中小型回收企业及个体回收户,形成专业的回收队伍,提高回收效率,扩大回收规模。而中小型回收企业可加盟回收平台,线上线下结合回收,增加回收量,避免价格竞争。再制造企业可利用利润分配吸引回收商加盟合作或与大型回收平台合作,增加回收量,提高利润,也可改进再制造技术,提高再制造率,节约成本,增加利润。

3) 政府应积极推进“互联网+回收”模式,引导互联网回收企业规模化,提高组织化水平,整合上下游企业,促进传统回收企业、网络回收企业与再制造企业的合作,提高废旧产品回收量,解决废旧产品回

收量不足的问题,从而提高经济与环境效益。此外,政府应该加大对“互联网+回收”企业/平台的补助,避免出现“无利不收”等问题。

本文假设废旧产品回收量不受约束、再制造产品全售出,未来可将回收率等因素加入到决策中。

## 参考文献(References)

- [1] 商务部. 中国再生资源回收行业发展报告2017[J]. 资源再生, 2017(5): 16-25.  
(Ministry of Commerce of People's Republic of China. Report on the development of renewable resources recycling industry in China 2017[J]. Resource Recycling, 2017(5): 16-25.)
- [2] 商务部. 中国再生资源回收行业发展报告(2016)[J]. 再生资源与循环经济, 2016, 9(6): 15-21.  
(Ministry of Commerce of People's Republic of China. Report on the development of renewable resources recycling industry in China (2016)[J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2016, 9(6): 15-21.)
- [3] Rahman S, Subramanian N. Factors for implementing end-of-life computer recycling operations in reverse supply chains[J]. Int J of Production Economics, 2012, 140(1): 239-248.
- [4] Jena S K, Sarmah S P. Price competition and co-operation in a duopoly closed-loop supply chain[J]. Int J of Production Economics, 2014, 156(10): 346-360.
- [5] He Y. Acquisition pricing and remanufacturing decisions in a closed-loop supply chain[J]. Int J of Production Economics, 2015, 163(5): 48-60.
- [6] 李响, 李勇建. 多再制造商回收定价竞争博弈[J]. 管理工程学报, 2012, 26(2): 72-76.  
(Li X, Li Y J. A non-cooperative game on the acquisition pricing of multiple remanufacturers[J]. J of Industrial Engineering and Engineering Management, 2012, 26(2): 72-76.)
- [7] Cai X, Lai M, Li X, et al. Optimal acquisition and production policy in a hybrid manufacturing/remanufacturing system with core acquisition at different quality levels[J]. European J of Operational Research, 2014, 233(2): 374-382.
- [8] 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.
- [9] 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 J of Management, 2015, 12(1): 142-147.)
- [10] 刘东霞, 谭德庆. 基于消费者效用模型的耐用品垄断商回购与再制造决策研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(4): 134-141.  
(Liu D X, Tan D Q. Durables monopoly's buy-back and



remufacturing decision based on the consumer's utility model[J]. Chinese J of Management Science, 2014, 22(4): 134-141.)

[11] Zeng A Z. Coordination mechanisms for a threestage reverse supply chain to increase profitable returns[J]. Naval Research Logistics, 2013, 60(1): 31-45.

[12] 孙多青, 马晓英. 基于博弈论的多零售商参与下逆向供应链定价策略及利润分配[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(4): 867-874.  
(Sun D Q, Ma X Y. Pricing strategies and cooperative profit distribution based on game theory for reverse supply chains with multi-retailer participants[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(4): 867-874.)

[13] Sheu J B, Gao X Q. Alliance or no alliance — Bargaining power in competing reverse supply chains[J]. European J of Operational Research, 2014, 233(2): 313-325.

[14] 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.)

[15] 刘一非. 互联网+废旧手机回收模式研究[D]. 天津: 天津理工大学管理学院, 2016.  
(Liu Y F. Research on internet+ used mobile phone recycling mode[D]. Tianjin: School of Management, Tianjin University of Technology, 2016.)

[16] 韩芳旭. 电子废弃物网络回收模式与机制研究[D]. 天津: 天津理工大学管理学院, 2015.  
(Han F X. Research on modes and mechanism of network recycling of WEEE[D]. Tianjing: School of Management, Tianjin University of Technology, 2015.)

[17] 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(23): 233-239.  
(Li C F, Yang Q Q, Han F X. Study on the relationship of stakeholders of WEEE network recycling system based on C2B[J]. Science and Technology Management Research, 2014(23): 233-239.)

[18] 邹雅玲. 消费者废旧手机网络回收意愿影响因素研究[D]. 天津: 天津理工大学管理学院, 2015.  
(Zou Y L. Research on the Influencing Factors of Consumers' Used Mobile Phones Network Recycling Willingness[D]. Tianjin: School of Management Tianjin University of Technology, 2015.)

[19] Feng L, Govindan K, Li C. Strategic planning: Design and coordination for dual-recycling channel reverse supply chain considering consumer behavior[J]. European J of Operational Research, 2017, 260(2): 601-612.

[20] Chiang W Y K, Chhajed D, Hess J D. Direct marketing, indirect profits: A strategic analysis of dual-channel supply-chain design[J]. Management Science, 2003, 49(1): 1-20.

作者简介

许民利(1974—), 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;  
 邹康来(1994—), 男, 硕士, 从事供应链管理的研究, E-mail: zoukanglai@163.com;  
 简惠云(1971—), 女, 讲师, 博士, 从事供应链管理、行为运筹管理等研究, E-mail: jianhuiyun@163.com.

(责任编辑: 郑晓蕾)

下 期 要 目

智能算法在含分布式电源配电网故障恢复的应用综述 ..... 杨 珺, 等

含状态和输入时滞的模糊系统的隶属函数依赖的稳定与镇定 ..... 周 坤, 等

基于混合滑模控制器和反正切观测器的SPMSM直接转矩控制 ..... 苗敬利, 等

基于非规则标识点过程的遥感图像零星地物目标几何特征提取 ..... 张洪云, 等

卫星任务调度统一化建模与多策略协同求解方法 ..... 杜永浩, 等

带有执行器饱和的变时滞Markovian跳变系统的DOBC控制 ..... 高 倩, 等

基于多学科设计优化的路网交通分布式协同控制 ..... 唐少虎, 等

前件变量未知的T-S模糊系统输出反馈控制 ..... 谢文博, 等

基于观测器的线性时变时滞多智能体系统一致性 ..... 刘忠信, 等

基于混沌搜索策略的鲸鱼优化算法 ..... 王坚浩, 等

基于模糊控制的高超声速飞行器二阶滑模姿态控制 ..... 管 萍, 等