

# 渠道冲突环境下的闭环供应链协调定价模型<sup>①</sup>

易余胤, 袁江

(暨南大学管理学院, 广州 510632)

**摘要:** 在销售渠道和回收渠道均存在冲突的情形下建立了闭环供应链博弈模型. 首先, 在分散化定价决策下研究了闭环供应链中的节点企业为了取得各自最优利润, 如何确定自己的批发价、零售价、废旧品的回收价和回收补贴价格, 以及分析了销售渠道冲突和回收渠道冲突对节点企业定价决策和利润的影响. 然后, 以集中化定价决策下的均衡结果作为基准, 提出了一个改进的两部定价契约来实现闭环供应链的协调, 以弥补分散化决策的效率损失. 最后, 运用算例的方法, 进一步分析和讨论了渠道冲突对闭环供应链定价决策、制造商和零售商收益比, 以及闭环供应链渠道运作效率的影响.

**关键词:** 闭环供应链; 协调; 定价; 渠道冲突

**中图分类号:** F224.32   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2012)01-0054-12

## 0 引言

在资源危机和环境污染的双重压力下, 废弃物的回收再制造得到了人们越来越多的关注. 闭环供应链管理的提出正是基于这一现实和发展趋势, 得到了政府、企业和学者的关注. 而在闭环供应链管理中, 定价决策是最重要的职能之一, 它直接影响到产品的需求状况和闭环供应链的运作效率. 因此, 近几年, 闭环供应链的定价问题吸引了众多学者的目光.

目前, 闭环供应链定价的相关研究大致可以分为三类: 1) 只关注制造商单节点企业的定价决策<sup>[1-3]</sup>, 而不考虑链上其他节点企业对制造商定价的影响; 2) 只关注逆向供应链的回收定价决策<sup>[4]</sup>, 而不考虑正向供应链对逆向供应链定价的影响; 3) 综合考虑正向和逆向供应链的相互影响, 研究闭环供应链各节点企业的定价, 但关注的焦点却主要集中在分散化定价决策上<sup>[5-7]</sup>. 关于协调定价的研究仍然较为少见<sup>[8-13]</sup>. Dekker & Fleischmann 定性分析了闭环供应链协调问题的

关键因素, 强调了逆向渠道中价格决策的协调问题<sup>[8]</sup>. Shantanu Bhattacharya 研究了零售商分别向制造商订新产品和向再制造商订再造品的最优订单数量问题. 通过对集中决策(协调)和分散决策下的最优订单数量和渠道利润进行对比, 发现集中决策订单数量最大, 利润最高, 但利益共享机制可实现协调<sup>[9]</sup>. 郭亚军等在零售商负责产品销售, 第三方负责废旧品回收情况下, 分析了分散决策情况下节点企业如何确定产品的批发价、零售价、废旧品回收价格和废旧品回收率, 提出了基于三方协调问题的收入—费用分享契约的协调定价机制<sup>[10]</sup>. 葛静燕等考查了在分散决策的情况下, 在由零售商负责新产品销售和废弃产品回收时, 节点企业如何确定批发价、零售价和回收价, 在此基础上提出了一个零售商销售收入及回收费用共享的闭环供应链协调定价机制<sup>[11]</sup>. 李新军等构建了以制造商为主、零售商为从的 Stackelberg 模型, 研究了分散化决策下的零售价、批发价、回收价等定价问题. 然后, 引入收入共享契约实现供应链的

① 收稿日期: 2009-08-13; 修订日期: 2011-09-16.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70901033); 教育部人文社会科学资助项目(09YJC630102).

作者简介: 易余胤(1976—), 男, 江西于都人, 博士, 副教授. Email: yiyuyin2001@sina.com

协调定价<sup>[12]</sup>. Onur Kaya 研究了不确定环境下再制造闭环供应链的生产决策和激励问题<sup>[13]</sup>.

以上研究为闭环供应链定价理论的发展做出了重要贡献,但仍有一些不足之处.例如,1) 以上研究主要关注单一销售渠道和单一回收渠道下的定价问题,没有考虑混合销售渠道和混合回收渠道的竞争与冲突.而在现实中,混合销售渠道和混合回收渠道是真实存在的,例如一些电子产品的生产厂商,不仅拥有直营门店和维护中心来进行新产品的销售和废旧品的回收,同时还委托特许商和经营商进行新产品销售和废旧品回收.显然,若这种模式运作得当,它将更大限度地提高新产品的销售量和废旧品的回收量,更好地为再制造提供准备,同时也为消费者提供更大便利.然而,这种模式存在较大的风险,主要表现在于渠道之间的竞争和冲突,其中渠道定价的冲突尤其明显.因此,在渠道冲突的环境下研究如何协调定价,以及如何在不同渠道下科学定价尤为重要;2) 以上关于协调定价的研究主要关注拓展传统的收入共享契约,而其它的契约协调方式较少涉及;3) 现有研究较少关注闭环供应链协调性能的研究.鉴于此,本文将在销售渠道和回收渠道均存在冲突的情境下建立闭环供应链博弈模型,主要探讨以下几个问题:

1) 当销售渠道和回收渠道均存在冲突时,制造商与零售商在闭环供应链中怎样确定批发价、零售价和回收价,闭环供应链的利润是怎样的.

2) 当回收再造相关参数(如成本、环保意识、渠道冲突程度等)发生变化时,对于各成员的定价决策有何影响,对供应链中各成员利益以及系统总体利益有何影响.

3) 传统的两部定价契约需如何改进才能协调渠道冲突环境下的闭环供应链.

4) 渠道冲突对闭环供应链协调性能有何影响.

## 1 模型描述

本文所讨论的再制造闭环供应链模型如图 1 所示.在该模型中,销售渠道有两个,一个是制造商以  $\omega$  价格批发产品给零售商,零售商进而以  $p_R$  价格销售产品给消费者,另一个是制造商直接以

$p_M$  价格销售产品给消费者.而回收渠道包括制造商以  $a_M$  价格直接回收产品以及零售商以  $a_R$  价格回收产品并进一步由制造商以  $a_{MR}$  价格回收.

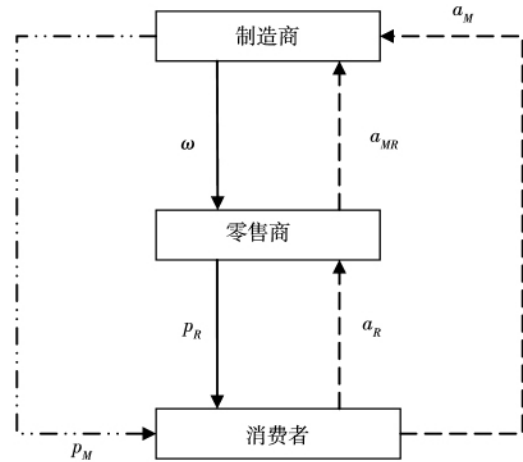


图 1 渠道冲突下的闭环供应链模型

Fig. 1 Closed-loop supply chain model in channel conflicts environment

## 2 模型的前提假设

在基于再制造的闭环供应链框架下,本文定义“再造品”为通过回收废旧产品,并对废旧产品进行处理和重新加工而生产出来的产品;定义“新产品”为用全新的原材料生产出来的产品.因此本文用  $C_m$  来表示以全新的原材料进行生产的单位成本,用  $C_r$  来表示以废旧产品为原材料进行生产的单位成本.

进一步地,本文用  $\pi_j^i$  来表示在模型  $i$  中,供应链中成员  $j$  的利润.其中, $i$  可以取 D、C、SC,分别表示分散化决策下的模型 D、集中化决策下的模型 C、协调决策下的模型 SC; $j$  可以取 M、R、T,分别表示制造商、零售商和供应链系统.

在现实生活中,由于行业的不同,产品种类的繁多和利益分配的复杂性,再加上混合销售和混合回收的竞争和冲突,模型将非常复杂.因此,为了简化研究过程,得出相对合理的结论,本文将复杂的现实生活做了一些简化,首先做出了一些合乎经济学规律的逻辑假设.

**假设 1** 假设再造品和新产品在质量、功能和效用完全相同,以相同的方式进入市场,即拥有相同的包装、价格等,并且消费者对两者的接受度完全相同.

**假设 2** 根据 Seong 设计的存在混合销售渠道时的市场需求函数<sup>[14]</sup>, 令

制造商的销售量为

$$Q_M = \begin{cases} r_2(p_R - p_M), & p_R - p_M > 0 \\ 0, & p_R - p_M \leq 0 \end{cases}$$

零售商的销售量为  $Q_R = r_0 - r_1 p_R - r_2(p_R - p_M)$  其中  $r_0 > 0$  表示市场容量,  $r_1 + r_2$  表示消费者对零售商销售价的敏感系数;  $r_2$  表示消费者对零售商与制造商销售价格差的敏感系数, 显然, 若  $r_2$  越大, 则两种销售渠道之间的冲突性越大, 且  $r_1$  和  $r_2$  满足  $r_1 > 0, r_2 > 0$ .

**假设 3** 参考 Seong 的混合销售渠道下的市场需求函数设计方法<sup>[14]</sup>, 设计出本文的废旧品回收量函数

制造商的废旧品回收量为

$$D_M = \begin{cases} L_2(a_M - a_R), & a_M - a_R > 0 \\ 0, & a_M - a_R \leq 0 \end{cases}$$

零售商的废旧品回收量为  $D_R = L_0 + L_1 a_R + L_2(a_R - a_M)$ , 其中  $L_0 > 0$  表示基本回收量,  $L_1 + L_2$  表示消费者对零售商的回收价的敏感系数;  $L_2$  表示消费者对制造商与零售商回收价格差的敏感系数, 显然, 若  $L_2$  越大, 则两种回收渠道之间的冲突性越大, 且  $L_1$  和  $L_2$  满足  $L_1 > 0, L_2 > 0$ .

从回收量函数可以得知, 回收量只与回收价格有关. 在此模型中, 制造商直接回收的产品数取决于制造商回收价与零售商回收价的差值, 即只有当制造商支付的回收价高于零售商所支付的回收价时, 制造商直接回收的渠道才是有效的. 可以这样理解, 在企业发展的最初期, 制造商一般会将主要的精力集中在产品的研发和生产上, 对于回收渠道的建设往往缺乏动力, 而当零售商已经占领回收市场时, 制造商若要进入这一市场, 则需要回收价格上投入更多才可能实现. 另一方面, 零售商是天生的渠道建构者, 对于市场终端的把握具有更加敏锐的嗅觉, 而消费者也更青睐于零售商所提供的更为便利的回收方式, 因此, 当制造商的回收价格不具备竞争性时, 它的回收数量是难以提高的. 相对而言, 零售商的回收量取决于其自身支付的回收价以及制造商的回收价. 在其他条件一定时, 零售商提高回收价, 则回收量也相应提高, 而当制造商提高回收价, 零售商的回收量则减小. 同时, 当制造商与零售商均不支付回收价时,

仍有一定量的废旧品回收产生, 这里用  $L_0$  表示, 它作为外生变量取决于消费者的环保意识.

注意到, 总的回收量  $D_T = D_M + D_R = L_0 + L_1 a_R$ , 似乎与制造商的回收价无关. 事实上, 在具体的竞争博弈中, 价格决策是先后进行的,  $a_R$  的反应函数取决于  $a_M$ , 即  $a_R$  是  $a_M$  的函数, 因此总回收量  $D_T$  就变成了  $(a_M, a_R)$  的函数  $D_T = D_M + D_R = L_0 + L_1 a_R(a_M)$ .

**假设 4** 对制造商来说, 再造一个产品的成本  $C_r$  比生产一个新产品的成本  $C_M$  低, 即  $C_r < C_M$ .

**假设 5** 制造商在进行生产时, 首先用回收品作为原材料进行生产. 并且再造品的数量不能够满足市场需求, 必须生产一定数量的新产品, 即  $D_M + D_R$  总是小于市场需求  $Q_R$ .

**假设 6** 在制造商与零售商的博弈中, 制造商是 Stackelberg 博弈的领导者, 它完全了解零售商的价格决策, 它可以利用零售商的反应函数进行批发价、销售价和回收价的决策, 而零售商的销售价和回收价依赖于制造商的批发价、销售价和回收价. 所有成员都按照自身利益最大化来做决策.

**假设 7** 本文中的模型只讨论单期的情况.

本文假设市场中存在以前的产品, 前阶段售出的产品可以被回收回来再使用. 因此, 每一期都会有和新产品品质相当的再造品被重复引入到市场中. 这也意味着, 每一期都有一个平均供应链利润水平, 而如何定价才能使得平均供应链利润最优, 则是本文关注的重点. 由于每一期的定价决策都是类似的, 因此, 这里只讨论单期的情形.

### 3 分散化定价模型(模型 D)

#### 3.1 分散化决策下的均衡结果

在模型 D 中, 制造商的收入来源为批发产品给零售商、直接销售产品给消费者以及从再制造中节约的费用, 其支出包括支付给消费者的回收费用以及支付给零售商的回收补贴. 因此, 制造商的利润函数可以写成

$$\pi_M^D(\omega, a_{MR}, a_M, p_M) = (\omega - C_M) Q_R + (p_M - C_M) Q_M + (C_m - C_r)(D_M + D_R) - a_{MR} D_R - a_M D_M$$

零售商的利润来源为销售产品的价格差以及回收产品的价格差, 因此, 零售商的利润函数可以

写成

$$\pi_R^D(p_R, a_R) = (p_R - \omega) Q_R + (a_{MR} - a_R) D_R$$

由于该博弈为完全信息动态博弈,其均衡是子博弈精炼纳什均衡,因此可以采用逆向归纳法来求解博弈. 根据逆向归纳法,先求零售商的反应函数

$$R_1(p_R) = \frac{\partial \pi_R^D}{\partial p_R} = r_0 - r_2 p_M + (r_1 - r_2)(\omega - 2p_R)$$

$$R_2(a_R) = \frac{\partial \pi_R^D}{\partial a_R} = -L_0 + (L_1 + L_2) \times (a_{MR} - 2a_R) + L_2 a_M$$

联立  $R_1(p_R) = 0, R_2(a_R) = 0$ , 得

$$p_R = \frac{r_0 + r_1 \omega + r_2(\omega + p_M)}{2(r_1 + r_2)} \quad (1)$$

$$a_R = \frac{-L_0 + L_1 a_{MR} + L_2(a_M + a_{MR})}{2(L_1 + L_2)} \quad (2)$$

将式(1)、(2)代入  $\pi_M^D$  中,并联立如下一阶条件

$$\frac{\partial \pi_M^D}{\partial \omega} = \frac{r_0 + r_1 C_m}{2} + r_2 p_M - (r_1 + r_2) \omega = 0$$

$$\frac{\partial \pi_M^D}{\partial p_M} = \frac{r_2 [r_0 + r_1 C_m - 2(2r_1 + r_2) p_M]}{2(r_1 + r_2)} + r_2 \omega = 0$$

$$\frac{\partial \pi_M^D}{\partial a_{MR}} = \frac{L_1(C_m - C_r) - L_0}{2} + L_2 a_M - (L_1 + L_2) a_{MR} = 0$$

$$\frac{\partial \pi_M^D}{\partial a_M} = \frac{L_2 [L_0 + L_1(4a_M - 2a_{MR} - C_m + C_r) + 2L_2(a_M - a_{MR})]}{2(L_1 + L_2)} = 0$$

可求得

$$\omega^{D*} = \frac{r_0 + r_1 C_m}{2r_1} \quad (3)$$

$$p_M^{D*} = \frac{r_0 + r_1 C_m}{2r_1} \quad (4)$$

$$a_{MR}^{D*} = a_M^{D*} = \frac{C_m - C_r}{2} - \frac{L_0}{2L_1} \quad (5)$$

将式(3)、(4)、(5)代入式(1)、(2)中,得

$$p_R^{D*} = \frac{1}{2} \left( C_m + \frac{r_0}{r_1} \right) + \frac{r_0 - r_1 C_m}{4(r_1 + r_2)} \quad (6)$$

$$a_R^{D*} =$$

$$\frac{L_1(L_1 + 2L_2)(C_m - C_r) - (3L_1 + 2L_2)L_0}{4L_1(L_1 + L_2)} \quad (7)$$

这里所求得的  $\omega^{D*}$ 、 $p_M^{D*}$ 、 $a_{MR}^{D*}$ 、 $a_M^{D*}$ 、 $p_R^{D*}$ 、 $a_R^{D*}$  就是在该模型下的最优价格,它们所组成的决策集合是最优的决策集合,制造商与零售商采用这一决策集合对自身是最有利的. 将式(3)~(7)代入利润函数,就得到制造商与零售商在此最优决策集合下的利润

$$\pi_M^{D*} = \frac{(r_1 + 2r_2)(r_0 - r_1 C_m)^2}{8r_1(r_1 + r_2)} +$$

$$\frac{(L_0 + L_1(C_m - C_r))^2(L_1 + 2L_2)}{8L_1(L_1 + L_2)}$$

$$\pi_R^{D*} = \frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{16(r_1 + r_2)} + \frac{(L_0 + L_1(C_m - C_r))^2}{16(L_1 + L_2)}$$

因此闭环供应链系统的总利润为

$$\pi_T^{D*} = \pi_M^{D*} + \pi_R^{D*} = \frac{(3r_1 + 4r_2)(r_0 - r_1 C_m)^2}{16r_1(r_1 + r_2)} + \frac{(L_0 + L_1(C_m - C_r))^2(3L_1 + 4L_2)}{16L_1(L_1 + L_2)}$$

### 3.2 参数变化对均衡结果的影响分析

本小节将对以上均衡结果进行讨论和分析,分析的重点集中在成本、消费者环保意识 and 渠道冲突对均衡的影响,以期获得一些管理启示.

#### 1) 成本的影响

结论1 若新产品的生产成本增加,则批发价、零售价、回收价都将提高.

证明 易知  $\frac{\partial \omega^{D*}}{\partial C_m} > 0, \frac{\partial p_R^{D*}}{\partial C_m} > 0, \frac{\partial p_M^{D*}}{\partial C_m} > 0,$

$\frac{\partial a_M^{D*}}{\partial C_m} > 0, \frac{\partial a_{MR}^{D*}}{\partial C_m} > 0, \frac{\partial a_R^{D*}}{\partial C_m} > 0$  成立.

结论1表明,新产品成本的增加将带来批发价格的提高,进而提高了新产品的零售价. 另外,新产品成本的增加也将提高废旧品的回收价. 这一结论并不直观,这主要是因为,新材料成本的上升必然迫使制造商将更多注意力放到废旧品的再造上,因而导致了废旧品的回收价上升.

结论2 若再造品的生产成本增加,则回收价将减小,同时各项利润也将减少.

证明 容易验证  $\frac{\partial \pi_M^{D*}}{\partial C_r} < 0, \frac{\partial \pi_{MR}^{D*}}{\partial C_r} < 0, \frac{\partial \pi_R^{D*}}{\partial C_r} < 0$

成立. 对于各项利润,

$$\frac{\partial \pi_M^{D*}}{\partial C_r} = -\frac{(L_0 + L_1(C_m - C_r))(L_1 + 2L_2)}{4(L_1 + L_2)} <$$

$$0, \frac{\partial \pi_R^{D^*}}{\partial C_r} = -\frac{L_1(L_0 + L_1(C_m - C_r))}{8(L_1 + L_2)} < 0, \frac{\partial \pi_T^{D^*}}{\partial C_r} = -\frac{(3L_1 + 4L_2)[L_0 + L_1(C_m - C_r)]}{8(L_1 + L_2)} < 0.$$

结论 2 表明,当生产再造品需要付出更多的成本时,制造商和零售商对于产品回收的意愿就会相应降低,它们愿意支付的回收价格也就随之减小了,而废旧品回收量的缩减和再制造成本的提高将导致各方利润减少.

2) 消费者环保意识的影响

**结论 3** 当基本回收量增大时,回收价将减小,同时各项利润将提高.

**证明** 容易验证  $\frac{\partial a_M^{D^*}}{\partial L_0} < 0, \frac{\partial a_{MR}^{D^*}}{\partial L_0} < 0, \frac{\partial a_R^{D^*}}{\partial L_0} < 0$  成立. 对于各项利润

$$\frac{\partial \pi_M^{D^*}}{\partial L_0} = -\frac{(L_0 + L_1(C_m - C_r))(L_1 + 2L_2)}{4L_1(L_1 + L_2)} > 0, \frac{\partial \pi_R^{D^*}}{\partial L_0} = \frac{L_0 + L_1(C_m - C_r)}{8(L_1 + L_2)} > 0, \frac{\partial \pi_T^{D^*}}{\partial L_0} = \frac{(3L_1 + 4L_2)[L_0 + L_1(C_m - C_r)]}{8(L_1 + L_2)} > 0.$$

结论 3 表明,消费者环保意识的提高有助于缓解企业进行废旧品回收的压力,同时无偿获取的废旧品将节约企业制造产品的成本,从而使利润增加. 因此,消费者环保意识的增强无论对企业个体,还是对整个行业而言都是有利的. 而要增强人们的环保意识,以下几点需要注意: 首先,政府需加强宣传力度,让各阶层消费者都能认识到环保的重要性. 其次,还要加大全民参与环保工作的宣传力度,鼓励更多的市民参与环境保护工作. 最后,政府还要出台各种环保规章制度和立法,使环保提到法制日程上来.

3) 渠道冲突的影响

**结论 4** 当消费者对零售商与制造商的销售价格差的敏感性增加时,零售商的销售价将降低,制造商的销售价不变,同时零售商的利润减少,而制造商的利润和闭环供应链的总利润将增加.

**证明** 一阶求导可得  $\frac{\partial p_R^{D^*}}{\partial r_2} = -\frac{r_0}{4(r_1 + r_2)^2} < 0,$

$$0, \frac{\partial p_M^{D^*}}{\partial r_2} = 0, \frac{\partial \pi_M^{D^*}}{\partial r_2} = \frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{8(r_1 + r_2)^2} > 0, \frac{\partial \pi_R^{D^*}}{\partial r_2} = -\frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{16(r_1 + r_2)^2} < 0, \frac{\partial \pi_T^{D^*}}{\partial r_2} = \frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{16(r_1 + r_2)^2} > 0.$$

结论 4 表明,销售渠道之间的竞争和冲突将降低零售商的零售价,并将直接导致零售商利润水平下降. 但由于零售价的降低将带来产品销量的增加,因此,制造商的利润得到增长,并进而增加了供应链的总体利润. 结论 4 还给出了一个不太直观的结论,即销售渠道之间的冲突和竞争对制造商的销售价毫无影响. 这是因为制造商为正向供应链的主导者,它拥有极大的定价权,它首先确定出产品的销售价,然后零售商根据该定价做出定价调整.

**结论 5** 当消费者对制造商与零售商的回收价格差的敏感性增加时,零售商的回收价将提高,制造商的回收价不变,同时制造商的利润增加,而零售商的利润减少,闭环供应链的总利润增加.

**证明** 易证得  $\frac{\partial a_R^{D^*}}{\partial L_2} = \frac{L_0 + L_1(C_m - C_r)}{4(L_1 + L_2)^2} > 0,$

$$\frac{\partial a_M^{D^*}}{\partial L_2} = 0, \frac{\partial \pi_M^{D^*}}{\partial L_2} = \frac{[L_0 + L_1(C_m - C_r)]^2}{8(L_1 + L_2)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial \pi_R^{D^*}}{\partial L_2} = -\frac{[L_0 + L_1(C_m - C_r)]^2}{16(L_1 + L_2)^2} < 0, \frac{\partial \pi_T^{D^*}}{\partial L_2} = \frac{[L_0 + L_1(C_m - C_r)]^2}{16(L_1 + L_2)^2} > 0$$

结论 5 表明,回收渠道之间的冲突和竞争加剧,将进一步提高零售商的回收价,并且,零售商回收价的提高导致其利润水平下降,但由于带来了更多的回收量,因而使得制造商的利润水平提高,并因此提高了供应链的整体利润. 注意到,回收渠道之间的竞争和冲突对制造商的回收价无影响,主要是因为制造商为供应链主导者,它首先确定回收价,而制造商制定的回收价将迫使零售商对其回收价做出调整.

从以上两个结论可以看出,制造商作为市场主导者应积极建立直接销售渠道和直接回收渠道,因为这不仅带来了制造商利润的增加,同时也使供应链整体获利更大. 消费者也倾向于制造商建立直接销售渠道和直接回收渠道,因为无论在产品销售,还是废旧品回收方面,消费者都将获益良多. 不过,需要正视的事实是: 在现实中,消费者本应享有的这种实惠往往却因为制造商的直接渠道建设不够完善等缺陷而无法完全实现. 但综合来看,混合回收在理论上是可行的,而在复杂的现实世界中,制造商与零售商只有以理论为指导,结

合客观实际,充分发挥各自的核心优势,建立科学、适用的销售和回收渠道,才能在激烈的市场竞争中获利.

#### 4 集中化定价模型(模型 C)

在该模型中,制造商和零售商以闭环供应链系统的总利润最大化为目标,合作决定双方的定价策略.此时由制造商与零售商联合组成的新的统一决策体以  $p_T$  价格销售产品,并以  $a_T$  价格回收废旧品,如图 2 所示.

假设模型 C 中的市场需求量函数为  $Q_T = r_0 - r_1 p_T$  ( $p_T$  为此时制造商与零售商联合给出的零售价),渠道回收量函数为  $D_T = L_0 + L_1 a_T$  ( $a_T$  为此时制造商与零售商联合给出的回收价).并且在模型 V 中制造商与零售商是统一的决策体,市场中不存在领导者.

在模型 C 中,由制造商与零售商组成的联合体对回收渠道共同进行建设,这种市场结构事实上可以看成是一种特殊的混合回收渠道形式.本节对集中化决策下的最优定价进行探讨,旨在与分散化决策下的情形进行比较,并作为一个基准来进行供应链协调.

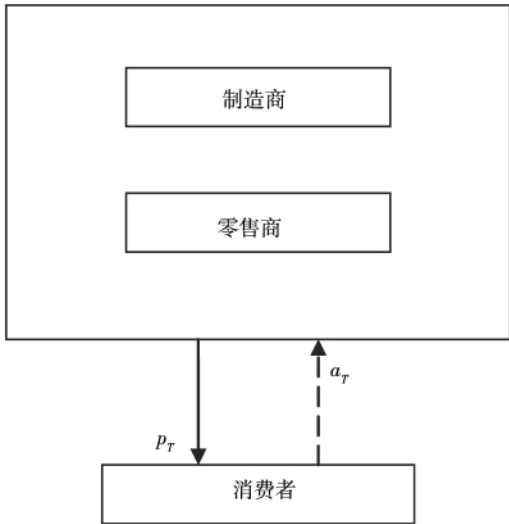


图 2 集中化决策下的闭环供应链模型

Fig. 2 The centralized closed-loop supply chain model

联合体的收入来源为销售产品给消费者以及从再制造中节约的费用,而支出为支付给消费者的回收费用,因此制造商与零售商的联合利润函

数为

$$\pi_T^C(p_T, a_T) = (p_T - C_m) Q_T + (C_m - C_r) D_T - a_T D_T$$

对上述利润函数求关于  $p_T, a_T$  的一阶条件,可得

$$\frac{\partial \pi_T^C}{\partial p_T} = r_0 + r_1 C_m - 2r_1 p_T = 0$$

$$\frac{\partial \pi_T^C}{\partial a_T} = -L_0 + L_1(C_m - C_r) - 2L_1 a_T = 0$$

联立上述一阶条件,可解得

$$p_T^{C*} = \frac{C_m}{2} + \frac{r_0}{2r_1}, a_T^{C*} = \frac{C_m - C_r}{2} - \frac{L_0}{2L_1}$$

这里所求得的  $p_T^{C*}, a_T^{C*}$  就是在模型 C 下的最优定价决策集合,由制造商与零售商所组成的联合体采用这一决策集合对整体是最有利的.将  $p_T^{C*}, a_T^{C*}$  代入原利润函数,就得到联合体在此最优决策集合下的利润

$$\pi_T^{C*} = \frac{1}{4} \left[ \frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{r_1} + \frac{[L_0 + L_1(C_m - C_r)]^2}{L_1} \right]$$

通过与分散化决策下的均衡结果进行比较,可得如下结论:

**结论 6**  $p_R^{D*} > p_T^{C*} = p_M^{D*}, a_M^{D*} = a_T^{C*} > a_R^{D*}$ . 即集中化决策下的销售价格不高于分散化决策下的销售价格,而回收价不低于分散化决策下的回收价.

**证明**  $p_R^{D*} - p_T^{C*} = \frac{r_0 - r_1 C_m}{4(r_1 + r_2)} > 0, p_T^{C*} - p_M^{D*} = 0.$

$a_M^{D*} - a_T^{C*} = 0, a_T^{C*} - a_R^{D*} = \frac{L_0 + L_1(C_m - C_r)}{4(L_1 + L_2)} > 0.$

根据结论 6,以及销售量函数和回收量函数的假设可知,集中化决策不仅可以增加新产品的销售量,而且还可以增加废旧品的回收量,给消费者和环境保护带来更大的效益.

**结论 7** 闭环供应链的总利润满足  $\pi_T^{D*} < \pi_T^{C*}$ ,即集中化决策时的总利润总是优于分散化决策时的总利润.

**证明**  $\pi_T^{D*} - \pi_T^{C*} = -\frac{1}{16} \left[ \frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{r_1 + r_2} + \frac{(L_0 + L_1(C_m - C_r))^2}{L_1 + L_2} \right] < 0$

结论 7 表明,由于双重边际效用现象,制造商和零售商以各自的目标函数进行决策所得的闭环

供应链的整体利润小于集中化决策模型的利润,所以制造商和零售商可以通过适当分配合作利润,从而提高各自的利润水平。

上面两个结论说明了集中化决策比分散化决策更有效率。因此,分散化决策时制造商、零售商及系统的利润尚未达到最优,还有进一步优化的空间,因此,为了提高系统效率,应该尽力协调双方的决策。本文将在下一小节提出一个协调机制,以提高分散化决策下的系统效率。

## 5 协调定价模型(模型 SC)

$$\begin{aligned}
 (\text{SC}) \quad & \max_{\omega, p_M, a_{MR}, a_M} \pi_M^{\text{SC}} = (\omega - C_m) Q_R + (p_M - C_m) Q_M + (C_m - C_r) (D_M + D_R) - a_{MR} D_R - a_M D_M + F \\
 \text{s. t.} \quad & p_R \in \arg \max \pi_R^{\text{SC}} = (p_R - \omega) Q_R + (a_{MR} - a_R) D_R - F \\
 & a_R \in \arg \max \pi_R^{\text{SC}} = (p_R - \omega) Q_R + (a_{MR} - a_R) D_R - F \\
 & (p_R - \omega) Q_R + (a_{MR} - a_R) D_R - F \geq \pi_R^{\text{D}^*}
 \end{aligned}$$

上述模型(SC)中的第一和第二个约束条件是零售商的激励相容条件,第三个约束条件是个人理性约束,其中 $\pi_R^{\text{D}^*}$ 为零售商的保留利润,即在分散化决策下零售商的利润。

求解模型(SC),可得如下结果

$$\begin{aligned}
 w^{\text{SC}^*} &= \frac{r_0 r_2 + r_1 (2r_1 + r_2) C_m}{2r_1 (r_1 + r_2)}, \\
 a_M^{\text{SC}^*} &= a_R^{\text{SC}^*} = \frac{C_m - C_r}{2} - \frac{L_0}{2L_1}, \\
 a_{MR}^{\text{SC}^*} &= \frac{L_1 (2L_1 + L_2) (C_m - C_r) - L_2 L_0}{2L_1 (L_1 + L_2)}, \\
 p_M^{\text{SC}^*} &= p_R^{\text{SC}^*} = \frac{r_0 + r_1 C_m}{2r_1}, \\
 F^{\text{SC}^*} &= \frac{3}{16} \left( \frac{(L_0 + L_1 (C_m - C_r))^2}{L_1 + L_2} + \frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{r_1 + r_2} \right) \\
 \pi_M^{\text{SC}^*} &= \frac{(L_0 + L_1 (C_m - C_r))^2 (3L_1 + 4L_2)}{16L_1 (L_1 + L_2)} + \\
 & \quad \frac{(3r_1 + 4r_2) (r_0 - r_1 C_m)^2}{16r_1 (r_1 + r_2)} \\
 \pi_R^{\text{SC}^*} &= \pi_R^{\text{D}^*} = \frac{1}{16} \left( \frac{(L_0 + L_1 (C_m - C_r))^2}{L_1 + L_2} + \right. \\
 & \quad \left. \frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{r_1 + r_2} \right) \\
 \pi_T^{\text{SC}^*} &= \pi_T^{\text{C}^*} = \frac{1}{4} \left[ \frac{(r_0 - r_1 C_m)^2}{r_1} + \right.
 \end{aligned}$$

供应链的失调往往是由于节点企业的利益冲突所导致的,供应链不协调不但导致了系统利润的损失,相应地也降低了节点企业自身利润。因此,供应链协调的目的有两个:1) 经过协调的供应链整体利润能有所提高,更加接近或达到集中决策的供应链整体利润;2) 供应链协调后的节点企业利润不低于协调前的利润。

假设制造商向零售商提供契约( $F^{\text{SC}}, \omega^{\text{SC}}, a_{MR}^{\text{SC}}$ ),其中 $F^{\text{SC}}$ 表示制造商向零售商收取一笔固定的费用(如特许经营费)作为利润的分成,零售商决定是否接受此契约,若接受此契约,零售商针对此契约做出最优决策。以上思想可模型化如下:

$$\frac{[L_0 + L_1 (C_m - C_r)]^2}{L_1}$$

对上述结果进行讨论,并比较以上三个模型的结果,可得如下结论。

**结论 8** 制造商的利润分成随着消费者对回收价格差、销售价格差的敏感度的增加而减少。

**证明** 易知 $\frac{\partial F^{\text{SC}^*}}{\partial L_2} < 0, \frac{\partial F^{\text{SC}^*}}{\partial r_2} < 0$ 。

结论 8 说明,新产品销售渠道和废旧品回收渠道之间的竞争加剧都将减少制造商的利润分成。

**结论 9** 协调定价模型中的批发价和零售价都不高于分散化定价下的水平,且零售价可以达到集中化定价时的水平。

**证明** 容易证得 $w^{\text{D}^*} - w^{\text{SC}^*} = \frac{r_0 - r_1 C_m}{2(r_1 + r_2)} > 0, p_M^{\text{SC}^*} = p_R^{\text{SC}^*} = p_T^{\text{C}^*} = p_M^{\text{D}^*} < p_R^{\text{D}^*}$ 。

这说明通过采用适当的协调策略( $F^{\text{SC}}, \omega^{\text{SC}}, a_{MR}^{\text{SC}}$ ),分散化决策下的制造商和零售商可以提高产品销量,达到集中化决策下的水平。

**结论 10** 与分散化决策相比,协调决策下的制造商支付给零售商的回收补贴和零售商支付给顾客的回收价格更高,而制造商支付给顾客的回

收价格不变.

**证明** 易证得  $a_R^{D^*} < a_M^{D^*} = a_T^{C^*} = a_M^{SC^*} = a_R^{SC^*}$ ,  $a_{MR}^{D^*} - a_{MR}^{SC^*} = -\frac{L_0 + (C_m - C_r)L_1}{2(L_1 + L_2)} < 0$ .

这说明通过采用适当的协调策略 ( $F^{SC}, \omega^{SC}, a_{MR}^{SC}$ ), 分散化决策下的制造商和零售商可以提高废旧产品的回收量, 达到集中化决策下的水平.

结论 9 和结论 10 还表明, 相对于分散化决策情形, 供应链协调使得消费者可以以更低的价格购买新产品, 以更高的价格卖出废弃品, 这无疑提高了消费者的效用. 同时, 由于废旧品回收量增加, 这也提高了环保的效益.

**结论 11** 协调定价模型中零售商、制造商及系统的利润均不低于分散化决策下的利润水平, 且整个系统的利润可以达到集中化定价时的水准.

**证明** 易证得  $\pi_M^{D^*} < \pi_M^{SC^*}$ ,  $\pi_R^{SC^*} = \pi_R^{D^*}$ ,  $\pi_T^{D^*} < \pi_T^{SC^*} = \pi_T^{C^*}$ .

结论 11 说明, 协调策略 ( $F^{SC}, \omega^{SC}, a_{MR}^{SC}$ ) 改善了成员企业和整个闭环链的绩效. 但制造商作为渠道的领导者索取全部合作后的超额利润, 零售商只获得分散化决策下的利润.

## 6 算例分析

为了进一步验证上述结论的正确性, 以及进行更深入的探讨, 本小节对上述模型进行算例分析. 由于消费者对不同渠道之间的价格差的敏感程度越大, 渠道之间的冲突性和竞争程度也越大, 因此, 本小节主要考察消费者对渠道间价格差的敏感程度对闭环供应链的影响, 包括以下 2 个方面的内容: 1) 分析消费者对渠道间价格差的敏感程度对闭环供应链定价决策和利润的影响; 2) 分析消费者对渠道间价格差的敏感程度对闭环供应链协调性能的影响. Lariviere<sup>[15]</sup> 及 Yao<sup>[16]</sup> 分析了正向供应链的协调性能, 参考他们的分析方法, 将从两方面来分析闭环供应链的协调性能, 其一为闭环供应链的渠道效率  $E_f^D = E\pi_T^D/E\pi_T^C$  和  $E_f^{SC} = E\pi_T^{SC}/E\pi_T^C$  (当渠道效率值为 1 时, 闭环供应链实现完美协调). 其二为制造商与零售商的收益分

配比  $\pi_M^D/\pi_R^D$  和  $\pi_M^{SC}/\pi_R^{SC}$ .

1) 消费者敏感系数对闭环供应链定价和利润的影响

首先对模型中的参数赋值如下:  $r_0 = 300$ ,  $r_1 = 2, L_0 = 20, L_1 = 2, C_m = 100, C_r = 50$ . 然后, 固定  $L_2 = 3$  或者  $r_2 = 3$ , 分别做出 D 模型与 SC 模型的零售价、回收价以及利润关于消费者敏感系数的变化趋势图如下:

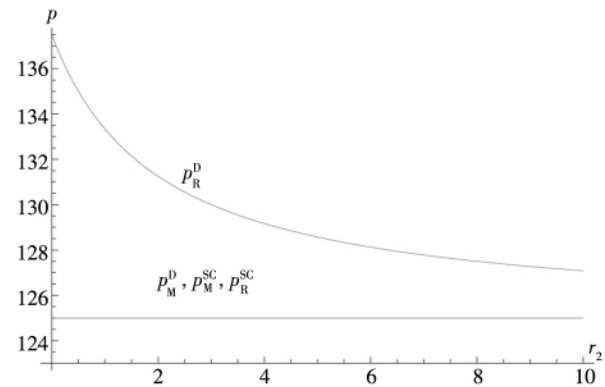


图 3 敏感系数  $r_2$  对零售价的影响

Fig. 3 The effect of sensitive coefficient  $r_2$  on retail price

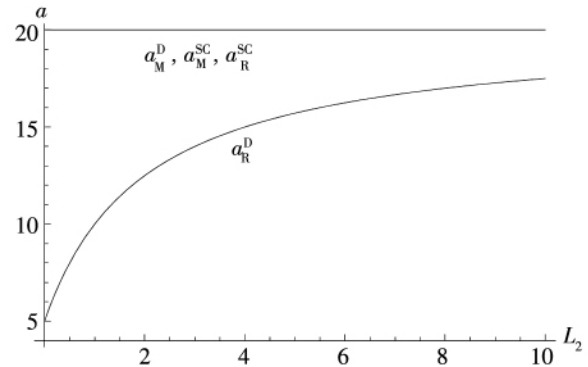


图 4 敏感系数  $L_2$  对回收价的影响

Fig. 4 The effect of sensitive coefficient  $L_2$  on collection price

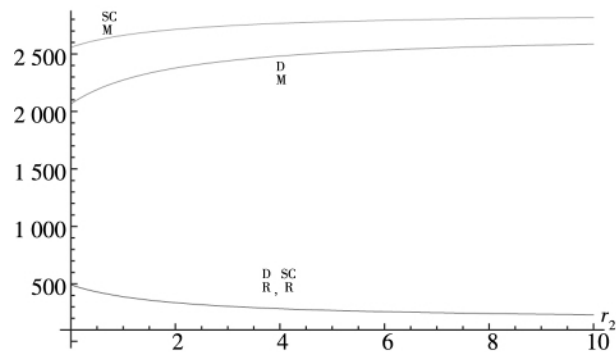


图 5 敏感系数  $r_2$  对利润的影响

Fig. 5 The effect of sensitive coefficient  $r_2$  on profit



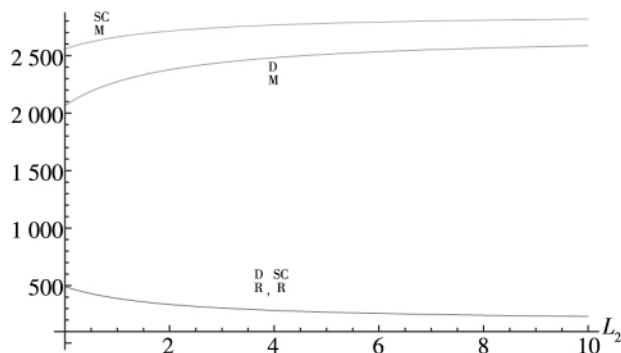


图6 敏感系数  $L_2$  对利润的影响

Fig. 6 The effect of sensitive coefficient  $L_2$  on profit

从图3可以看到,分散化定价决策下,随着消费者对销售渠道间价格差的敏感程度的增强,销售渠道之间的冲突和竞争程度加剧,零售商的零售价将随之降低,而制造商作为渠道领导者,零售价不变,并且制造商出于自身利益的考虑,还将制定低于零售商的零售价,以迫使零售商降价,来增加产品销售量,从而导致零售商的利润下降,而制造商的利润增加(从图5可以看出).在协调定价决策下,制造商将给予零售商更低的批发价,以诱使零售商制定与制造商相同的低价格,但由于制造商需要拿走一部分利润分成,因此,协调的结果是制造商获得了更大的好处(从图5可以看出),但由于零售商的利益没有受损,因此,整个供应链的利益还是得到了提高.

图4表明,分散化定价决策下,随着消费者对回收渠道间价格差的敏感程度的增强,回收渠道之间的冲突和竞争程度加剧,而制造商作为废旧品回收的直接获益者,为了回收更多的废旧品,将制定高于零售商的回收价,因此,这将导致零售商也提高回收价,以增加废旧品回收量.图6表明,废旧品回收价的提高将导致零售商的利润下降,而废旧品回收量的增加将导致制造商的利润提高.在协调定价决策下,制造商和零售商均制定相同的高回收价格,制造商也将给予零售商更高的回收补贴,但由于制造商需要拿走一部分利润分成,因此,协调的结果是制造商获得了更大的好处(从图6可以看出).

从上面的分析可知,随着消费者对回收价格的敏感性增加,市场回收价格、闭环供应链的整体利润均增加.因此,消费者对回收价格敏感性的增

加,无论对整个闭环供应链系统,还是对社会环保来说都是有益的.然而,随着消费者对回收价格敏感性的增加,也可能造成回收方哄抬回收价格的不正当竞争,造成废旧品回收市场的竞争混乱无序.在这方面,主要要加强政府监管和行业自律,开展互相监督,共同制定合理稳定的回收价格.

### 2) 消费者敏感系数对闭环供应链协调性能的影响

参数赋值同前,分别做出D模型、SC模型的协调性能关于消费者敏感系数的变化趋势图如下:

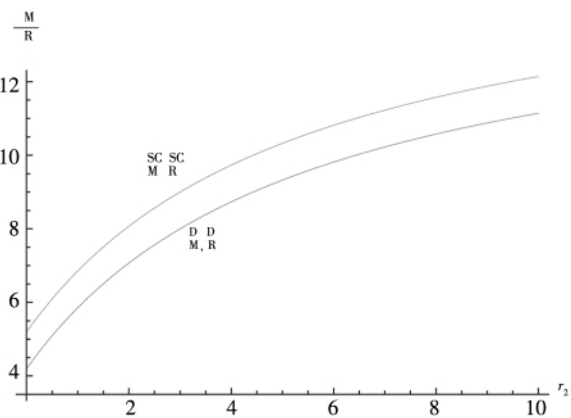


图7 敏感系数  $r_2$  对收益比的影响

Fig. 7 The effect of sensitive coefficient  $r_2$  on the division of the channel profit

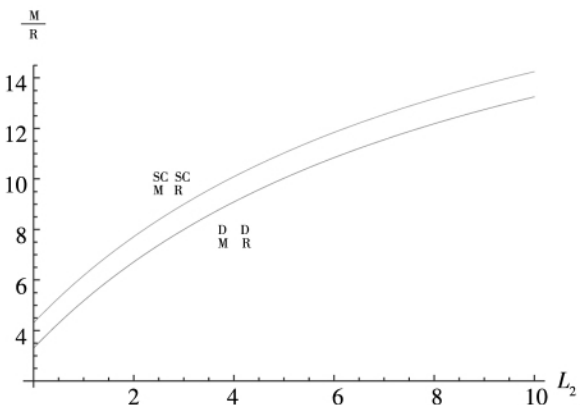


图8 敏感系数  $L_2$  对收益比的影响

Fig. 8 The effect of sensitive coefficient  $L_2$  on the division of the channel profit

图7和图8表明,在分散化定价决策下,随着消费者对渠道间价格差的敏感程度的增强,制造商和零售商的收益比增大,即渠道之间的价格竞争加剧拉大了制造商和零售商之间的利润差距,渠道间的价格竞争降低了零售商的利润,而提高

了制造商的利润,这与图5图6所示结果一致.在协调定价决策下,制造商和零售商的收益差距更大,是因为制造商作为渠道的领导者索取全部合作后的超额利润,零售商只获得分散化决策下的利润.

从制造商和零售商的收益比的角度看,本文所设置的协调契约并不完美,不是一个双赢的协调契约,该契约为制造商所掌控.利用该契约对闭环供应链进行协调可能导致协调性能不够稳定.这是因为,制造商与零售商之间的利润差距太大,零售商付出了很多,但只得到分散化决策下的利润,这很容易造成零售商的不满,从而可能导致闭环供应链协调契约破裂.因此,制造商还是应该考虑从其所获取的全部超额利润中,分配一定比例给零售商,以实现双赢的局面,从而维护闭环供应链的良好协调.

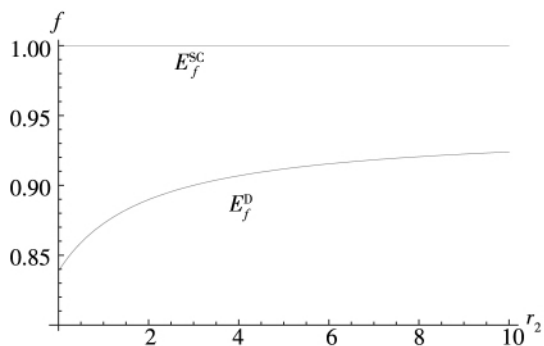


图9 敏感系数  $r_2$  对渠道效率的影响

Fig. 9 The effect of sensitive coefficient  $r_2$  on the efficiency of the CLSC system

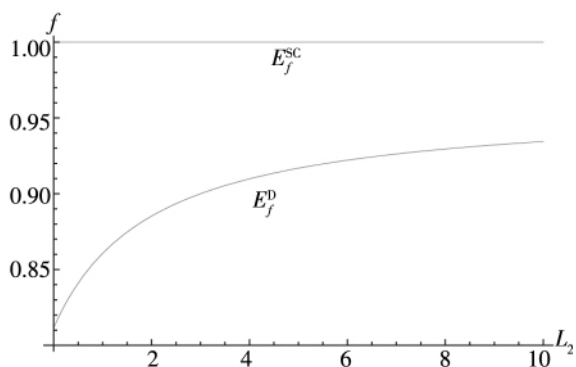


图10 敏感系数  $L_2$  对渠道效率的影响

Fig. 10 The effect of sensitive coefficient  $L_2$  on the efficiency of the CLSC system

从图9和图10可以看到,消费者对渠道间价格差的敏感程度增强可以提升闭环供应链渠道运

作效率.这主要是因为,随着消费者对渠道间价格差的敏感程度的增强,渠道之间的冲突和价格竞争程度加剧,这将导致零售商的利润下降(低零售价和高回收价所致),而制造商的利润提高(高销量和高回收量所致),由于制造商利润提高幅度大于零售商利润下降幅度,因此,闭环供应链整体利润得到提升,从而改善了闭环供应链的运作效率.虽然,消费者对渠道间价格差的敏感程度增强提升了闭环供应链渠道运作效率,但提升能力有限,从图9和图10可以看到,分散化定价决策下的闭环供应链渠道效率与协调定价决策下的尚有一定差距,协调定价极为必要.利用本文设置的协调契约,协调后闭环供应链的渠道运作效率为1,是完美协调.因此,若零售商能够接受此契约,则该协调契约对于提升闭环供应链的整体运作效率是非常有效的.

## 7 结束语

本文建立了单一制造商和单一零售商组成的闭环供应链模型,与以往研究不同的是,本文假设制造商和零售商同时销售新产品和回收废旧品,研究了在销售渠道和回收渠道存在竞争和冲突的情形下如何进行产品定价(包括批发价、零售价、回收价以及回收补贴价格)以及渠道冲突对定价决策的影响等问题,指出在闭环供应链中同样存在双重边际加价效应,为了消除双重边际加价给闭环供应链带来的失调问题,本文提出了一个改进的两部定价契约,使得分散决策下的零售商和制造商利润、消费者和环保效用都得到了提高,实现了闭环供应链的协调.最后,本文运用算例,分析了消费者对渠道间价格差的敏感程度对闭环供应链定价决策、制造商和零售商收益比,以及闭环供应链渠道运作效率的影响,验证和补充了前面的理论成果.

本文的结论还可进一步拓展.比如本文只考虑了单一制造商和单一零售商的情形,以及假设所有回收的旧产品都可以用于再制造、所有信息都是对称的等等,这些都是需要进一步拓展的方面,将在以后的工作中完成.

## 参 考 文 献:

- [1] Webster S, Mitra S. Competitive strategy in remanufacturing and the impact of take-back laws [J]. *Journal of Operations Management*, 2007, 25: 1123 – 1140.
- [2] Mitra S, Webster S. Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies [J]. *Int. J. Production Economics*, 2008, 111: 287 – 298.
- [3] Liang Y J, Pokharel S, Lim G H. Pricing used products for remanufacturing [J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 193: 390 – 395.
- [4] 顾巧论, 高铁杠, 石连栓. 基于博弈论的逆向供应链定价策略分析 [J]. *系统工程理论与实践*, 2005, (3): 20 – 25.  
Gu Qiaolun, Gao Tiegang, Shi Lianshuan. Price decision analysis for reverse supply chain based on game theory [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2005, (3): 20 – 25. (in Chinese)
- [5] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L V. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing [J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239 – 253.
- [6] Savaskan R C, Wassenhove L V. Reverse channel design: The case of competing retailers [J]. *Management Science*, 2006, 52(5): 1 – 14.
- [7] 易余胤. 具竞争零售商的再制造闭环供应链模型研究. *管理科学学报*, 2009, 12(6): 45 – 54.  
Yi Yuyin. Closed-loop supply chain game models with product remanufacturing in a duopoly retailer channel [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(6): 45 – 54. (in Chinese)
- [8] Dekker R, Fleischmann M. *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Chains* [M]. Berlin: Springer, 2004: 4 – 5.
- [9] Shantanu Bhattacharya V. Daniel R. Guide Jr, Luk N. Van Wassenhove. Optimal order quantities with remanufacturing across new product generations [J]. *Production and Operations Management*, 2006, 15(3): 421 – 431.
- [10] 郭亚军, 赵礼强, 李绍江. 随机需求下闭环供应链协调的收入费用共享契约研究 [J]. *运筹与管理*, 2007, 16(6): 15 – 20.  
Guo Yajun, Zhao Liqiang, Li Shaojiang. Revenue-and-expense sharing contract on the coordination of closed-loop supply chain under stochastic demand [J]. *Operations Research and Management Science*, 2007, 16(6): 15 – 20. (in Chinese)
- [11] 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.  
Ge Jingyan, Huang Peiqing. Price decision analysis for closed-loop supply chain based on game theory [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2008, 23(1): 111 – 115. (in Chinese)
- [12] 李新军, 林欣怡, 达庆利. 闭环供应链的收入共享契约 [J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2008, 38(3): 535 – 539.  
Li Xinjun, Lin Xinyi, Da Qingli. Revenue sharing contracts for closed-loop supply chains [J]. *Journal of Southeast university(Natural Science Edition)*, 2008, 38(3): 535 – 539.
- [13] Onur-Kaya. Incentive and production decisions for remanufacturing operations [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 201: 442 – 453.
- [14] Seong Y. Park, Hean Tat Keh. Modelling hybrid distribution channels: A game-theoretic analysis [J]. *Journal of Retailing and Consumer Service*, 2003, 10: 155 – 167.
- [15] Lariviere M A. Supply chain contracting and coordination with stochastic demand [M] // In: Tayur, S., Ganeshan, R., Magazine, M. (Eds.), *Quantitative Models of Supply Chain Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999: 197 – 232.
- [16] Yao Z, Leung S C H, Lai K K. Manufacturer's revenue-sharing contract and retail competition [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 186(2): 637 – 651.

## Pricing coordination of closed-loop supply chain in channel conflicts environment

*YI Yu-yin, YUAN Jiang*

School of Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China

**Abstract:** Based on game theory, this paper discusses in a closed-loop supply chain (CLSC). How the manufacturer and the retailer make their price decision including the wholesale price, retail price, collection price and recovery subsidies price when the Manufacturer and the Retailer both sell sales new products and collects used products under hybrid marketing and recovery channels. It's indicated that the system's profit in the decentralized closed-loop supply chain is less than that in the centralized closed-loop supply chain. Therefore, a modified two-part pricing contract is presented to coordinate the closed-loop supply chain. The effect of channel competition and conflict on pricing decision of CLSC, the division of the channel profit, and the efficiency of the CLSC system are also studied by using numerical study method.

**Key words:** closed-loop supply chain; coordination; pricing; channel conflict