

# 奖惩机制下闭环供应链的成本共担-利润共享契约

王文宾<sup>1†</sup>, 丁军飞<sup>1</sup>, 达庆利<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学 管理学院, 江苏 徐州 221116; 2. 东南大学 经济管理学院, 南京 211189)

**摘要:** 研究政府奖惩机制下闭环供应链的成本共担-利润共享契约, 分别建立集中式决策情形和分散式决策情形下的奖惩机制下有无成本共担-利润共享契约的闭环供应链决策模型. 研究表明: 随着政府奖惩力度的提高, 产品的零售价降低, 回购价、回收率和回收商的利润均提高, 但制造商的利润与目标回收率有关; 随着回收商成本共担比例和分享利润比例的提高, 零售价提高, 但总小于无契约的情形, 回收率降低, 但总大于无契约的情形; 回购价随着回收商成本共担比例的提高而提高, 随着其利润分享比例的提高而降低; 制造商总能从成本共担-利润共享契约中获益, 而当成本共担比例适中、利润共享比例较大时, 回收商才愿意接受该契约, 此时, 成本共担-利润共享契约生效且能够协调闭环供应链.

**关键词:** 成本共担-利润共享契约; 奖惩机制; 闭环供应链; 决策; 回收率; 协调

中图分类号: F252

文献标志码: A

## Cost-profit sharing contract for a closed-loop supply chain under reward-penalty mechanism

WANG Wen-bin<sup>1†</sup>, DING Jun-fei<sup>1</sup>, DA Qing-li<sup>2</sup>

(1. School of Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 211189, China)

**Abstract:** This paper investigates the cost-profit sharing contract for a closed-loop supply chain (CLSC) under the reward-penalty mechanism (RPM), and then respectively develops the centralized and decentralized closed-loop supply chain decision models under penalty mechanism with and without the cost-profit sharing contract. The results show that, with the increase of the reward-penalty intensity, the retail price of product decreases; all the buy-back price, the collection rate and the collector's profit increase, while the manufacturer's profit relates to the target collection rate; with the increase of the cost-sharing ratio and the profit-sharing ratio, the retail price increases, which is always lower than that without the contract, and the collection rate decreases, but is always higher than that without the contract; the buy-back price increases as the cost-sharing ratio increases, while decreases as the profit-sharing ratio increases. The manufacturer can always benefit from the cost-profit sharing contract, but the collector will not accept the contract unless the cost-sharing ratio is mild and the profit-sharing ratio is large. This also indicates that the cost-profit sharing contract takes effect and can coordinate the CLSC in this condition.

**Keywords:** cost-profit sharing contract; reward-penalty mechanism; closed-loop supply chain; decision; collection rate; coordination

## 0 引言

据工业和信息化部数据显示, 中国每年主要电器电子产品报废量超过2亿台, 重量超过500万吨, 已成为世界第1大废弃电器电子产品产生国<sup>[1]</sup>. 这不仅造成资源的严重浪费, 还导致了环境的污染, 但是中国的回收处理情况却不尽如人意. 废旧电子产品的回

收再利用不仅可以改善环境, 还能给企业带来效益, 如: 施乐公司对回收的废旧品进行重新利用、翻新和再制造, 其成本节约每年大约可达2亿美元, 其他企业还有联想公司、柯达公司等.

在供应链中, 将正向供应链与逆向供应链结合从而形成一个闭环的组织, 即闭环供应链. 在闭环供应

收稿日期: 2017-09-29; 修回日期: 2018-01-29.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71102164, 71601099); 四川省电子商务与现代物流研究中心项目(DSWL17-1); 四川循环经济研究中心规划项目(XHJJ-1704).

作者简介: 王文宾(1979—), 男, 副教授, 博士, 从事物流与供应链管理等研究; 丁军飞(1992—), 男, 硕士生, 从事物流与供应链管理的研究.

†通讯作者. E-mail: wangwenbin818@126.com.

链中,废旧电子产品的回收最具代表性.学术界近年来的广泛关注和研究对废电器电子产品回收再利用具有重要的指导意义. Daniel等<sup>[2]</sup>分5个发展阶段论述了闭环供应链从以技术为重心发展到成为供应链管理的子领域的演变过程,并重点分析了废旧品回收再制造如何创造利润. Debnath等<sup>[3]</sup>采用案例研究的方法研究了废旧电子产品的重复使用性和可回收性,最终得出回收和再使用将是其可持续发展和管理的新途径.这对后来的研究具有重要指导意义.

国内外学者对废弃电器电子产品回收责任分担问题做了大量研究.汪翼等<sup>[4]</sup>研究了政府不同的回收管制政策(包括制造商和分销商分担回收责任、制造商责任制以及分销商责任制)对闭环供应链各成员的影响.聂佳佳等<sup>[5]</sup>建立了3个回收责任分担模型,研究第三方回收闭环供应链中各成员对不同回收责任分担策略的偏好.李明芳等<sup>[6]</sup>研究了不同的渠道权力结构对闭环供应链绩效的影响,得出渠道权力会对产品价格、回收率和闭环供应链的利润产生重要影响. Yi等<sup>[7]</sup>研究了工程机械行业双回收渠道的决策问题,探讨了如何正确分配制造商和第三方的回收责任. Wang等<sup>[8]</sup>研究了制造商和回收商的责任分担,研究表明,当回收商主导闭环供应链时回收率最高.

在对废弃电器电子产品回收过程中,政府也扮演着十分重要的角色.部分文献研究了政府对废旧电子产品回收的引导作用. Giovanni等<sup>[9]</sup>研究了制造商和零售商投资制定产品回收计划,以提高回收率,并得出通过使用激励策略可以使协调的解决方案得以实施. Mitra等<sup>[10]</sup>探讨了政府的再制造补贴对于制造商和再制造商利润的影响,得出“补贴由制造商和再制造商分享最好”的结论. Lau等<sup>[11]</sup>通过对中国电子行业进行案例分析,找出了实施废旧电子产品回收处理的驱动因素和存在的内部关系,并指出利用国家补贴政策可以有效激励生产者对废旧电子产品进行回收.易余胤等<sup>[12]</sup>研究了奖惩机制下的闭环供应链的协调问题.王文宾等<sup>[13-14]</sup>研究了电子类产品逆向供应链的政府奖惩机制问题,并进一步比较了政府奖惩机制和税收-补贴机制对于提高逆向供应链回收率的有效性,最后得出奖惩机制对引导逆向供应链成员积极回收废旧产品比税收-补贴机制更有效.

政府除了直接参与外,政府的一系列政策也推动了废弃电器电子产品的回收.2017年1月3日,中国政府网公布了《国务院办公厅关于印发生产者责任延伸制度推行方案的通知》,率先确定对电器电子和汽车等4类产品实施生产者责任延伸制度.通过实施生产

者责任延伸制度,引导产品生产者承担产品废弃后的回收和资源化利用责任,大力促进废弃电器电子产品规范回收、利用和处置.因此,为了有效地回收废弃电器电子产品,制造商可以承担一部分由于建立健全回收渠道而发生的成本费用,并分享一部分回收商的利润.为此,本文设计了成本共担-利润共享契约.

政府的作用毋庸置疑,如果供应链内部成员间有合适的契约约束,则有望进一步提高废旧产品的回收率水平.郑本荣等<sup>[15]</sup>考虑了成本分摊对制造商回收闭环供应链的影响.刘克宁等<sup>[16]</sup>研究了生产者责任制对废弃电子产品回收的减排效果,并设计了预先承诺收益分配比例的S-S模型.谢家平等<sup>[17]</sup>研究了闭环供应链下收益共享契约.然而,这些文献没有考虑将成本分担与利润分享相结合.黄梅萍等<sup>[18]</sup>设计了基于收益共享和成本共担的协调契约,对供应商和销售商实施双向激励.然而,该文献只研究了正向供应链,不是闭环供应链,且未提到成本共担与收益分享比例设置以及政府干涉.

本文在上述文献基础上,鉴于政府在废旧电子产品回收中扮演着重要角色,首先考虑政府奖惩机制这一视角,研究该机制下零售价、回购价和回收率的变化;然后设计制造商提供的成本共担-利润共享契约,通过分析和比较奖惩机制下有无利润共享-成本共担契约时两种情形的决策结果,旨在探讨在该契约下,废弃电子产品的零售价、回购价和回收率以及闭环供应链成员的利润如何变化,并对闭环供应链管理提供一些理论依据.

## 1 模型描述和基本假设

### 1.1 模型描述

考虑政府奖惩机制下由制造商、回收商和消费者构成的闭环供应链模型,制造商以一定的价格 $p$ 将电子产品销售给消费者.经过消费者的使用,电子产品的生命周期结束,变成废旧电子产品,此时回收商不仅向消费者回收废旧电子产品,还承担拆解、分拣等处理工作,最后制造商以一定的回购价格 $w$ 向回收商回购废旧电子产品并进行再制造.

政府对制造商实施奖惩机制,机制参数包括奖惩力度 $k$ 和目标回收率 $\tau_0$ .政府的责任是引导闭环供应链成员积极回收废旧电子产品,改善环境.奖惩机制针对逆向供应链,如果逆向供应链的实际回收率 $\tau$ 低于目标回收率,则制造商受到政府的经济惩罚;反之,制造商得到经济奖励.

奖惩机制是使制造商间接承担回收责任,并控制废旧电子产品的回购价.同时,根据生产责任延伸机

制中制造商的责任与义务, 制造商应当承担一部分建立和维护回收渠道的成本费用. 作为回报, 制造商也应当分享回收废旧电子产品所得的利润. 于是, 为制造商和回收商设计了成本共担-利润共享的契约, 即制造商承担部分用于建立回收渠道的固定回收成本, 并分享部分回收商的利润. 假设回收商承担回收成本比例为  $\beta$ , 分享自身利润的比例为  $\alpha$ , 则制造商承担固定回收成本的  $1 - \beta$ , 分享回收商利润的  $1 - \alpha$ .

1.2 基本假设与符号说明

1) 新产品的可变单位成本大于再制造产品的可变单位成本, 即  $c_m > c_r$ . 假设  $\Delta = c_m - c_r$ ,  $\Delta > 0$  表示制造商采用回收废旧产品进行再制造与采用新材料生产的单位成本之差, 由于差值为正值, 体现了再制造带来的成本节约优势, 且再制造产品与新产品同质<sup>[8,19]</sup>.

2) 回收固定投资与回收率  $\tau$  有关, 假设投资成本  $I = b\tau^2/2$ ,  $b$  为回收商回收废旧产品的困难程度<sup>[6,20]</sup>.

3) 制造商的产量满足  $q = \phi - p$ <sup>[21]</sup>, 其中  $\phi$  表示零售价为零时的市场需求总量, 即市场容量.

4) 制造商是闭环供应链的 Stackelberg 领导者<sup>[16]</sup>. 模型中用到的具体符号及其含义说明见表 1.

表 1 模型符号及其说明

符号	变量名称
$p$	制造商将产品销售给消费者的单位产品的零售价
$q$	制造商生产的产品产量
$\phi$	市场容量, 即指零售价为零时的市场需求总量
$c$	回收商回收单位废旧电器电子产品的成本
$\tau$	废旧产品的回收率
$\tau_0$	政府设定的奖惩机制下废旧产品的目标回收率
$k$	政府设定的奖惩机制的奖惩力度
$c_r$	制造商采用回收产品的零部件制造新产品的单位成本
$c_m$	制造商采用全新原材料制造新产品的单位成本
$\Delta$	再制造带来的单位成本节约优势
$w$	制造商向回收商回购废旧产品的回购价
$\alpha$	共享比例, 回收商取得自己利润的比例
$\beta$	共担比例, 回收商承担固定回收成本的比例

2 模型

2.1 集中式决策情形

在闭环供应链的集中式决策情形下, 闭环供应链是一个理想化的“超组织”, 由一个集中决策者进行各方面的决策, 其利润为销售新产品和再制造产品的利润加上(或减去)政府的奖励(惩罚), 还要去除固定回收投资成本  $I = 1/2b\tau^2$ <sup>[8,12-14]</sup>, 则利润最大化问题可以表示为

$$\max \pi(p, \tau) = (\phi - p)(p - c_m) + \tau(\phi - p)(\Delta - c) + k(\tau - \tau_0) - \frac{1}{2}b\tau^2. \quad (1)$$

由式(1)可得, 集中式决策下闭环供应链组织进

行再制造的条件必须满足单位再制造成本优势大于回收废旧电子产品的单位成本, 即  $\Delta - c > 0$ . 只有这样闭环供应链组织才会进行再制造活动, 以下的研究分析也都是基于该条件.

**命题1** 当  $2b - (\Delta - c)^2 > 0$  时, 式(1)给出的是严格凹函数, 集中式决策情形下闭环供应链有唯一解

$$p^I = \frac{b(\phi + c_m) - (\Delta - c)[\phi(\Delta - c) + k]}{2b - (\Delta - c)^2},$$

$$\tau^I = \frac{(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k}{2b - (\Delta - c)^2}.$$

**证明** 式(1)的海赛矩阵为  $\begin{bmatrix} -2 & c - \Delta \\ c - \Delta & -b \end{bmatrix}$ , 由海赛矩阵负定与二次函数为联合凹函数的等价关系易得  $2b - (\Delta - c)^2 > 0$  成立, 然后分别令  $\partial\pi/\partial p = 0$  和  $\partial\pi/\partial\tau = 0$ , 联立两个方程可以解得  $p^I$  和  $\tau^I$ .  $\square$

2.2 分散式决策情形

2.2.1 奖惩机制下无成本共担-利润共享契约的闭环供应链决策模型

首先考虑奖惩机制下无成本共担-利润共享契约的闭环供应链模型. 根据第 1.2 节的基本假设与符号说明, 制造商是闭环供应链的 Stackelberg 领导者, 故制造商根据利润最大化原则首先决定产品零售价  $p$  和废旧电子产品的回购价  $w$ , 然后回收商根据制造商的决策决定回收率  $\tau$ , 可以得到制造商的目标利润最大化函数为

$$\max \pi_m(p, w) = (\phi - p)[(p - c_m) + \tau(\Delta - w)] + k(\tau - \tau_0). \quad (2)$$

同样地, 可得到回收商的目标利润最大化函数为

$$\max \pi_c(\tau) = \tau(\phi - p)(w - c) - \frac{1}{2}b\tau^2. \quad (3)$$

根据逆向归纳法, 可以得到如下命题.

**命题2** 奖惩机制下无成本共担-利润共享契约的闭环供应链模型中, 制造商的均衡零售价为

$$p_x^* = \phi - \frac{2b(\phi - c_m) + k(\Delta - c)}{4b - (\Delta - c)^2},$$

均衡回购价为

$$w_x^* = c + \frac{b[(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k]}{2b(\phi - c_m) + k(\Delta - c)},$$

回收商的均衡回收率为

$$\tau_x^* = \frac{(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k}{4b - (\Delta - c)^2}.$$

**证明** 由式(3)易知,  $\partial^2\pi_c/\partial\tau^2 < 0$ , 故  $\pi_c$  有最大值. 令  $\partial\pi_c/\partial\tau = 0$ , 可解得  $\tau = (\phi - p)(w - c)/b$ . 将  $\tau = (\phi - p)(w - c)/b$  代入式(2), 得到制造商利润  $\pi_m$  只关于产品价格  $p$  和回购价  $w$  的表达式

$$\pi_m = (\phi - p) \left[ (p - c_m) + \frac{(\phi - p)(w - c)(\Delta - w)}{b} \right] +$$

$$\frac{k(\phi - p)(w - c)}{b} - k\tau_0.$$

此时分别令  $\partial\pi_m/\partial p = 0$  和  $\partial\pi_m/\partial w = 0$ , 引用命题1中得到的  $2b - (\Delta - c)^2 > 0$ , 联立求解可得

$$p_x^* = \phi - \frac{2b(\phi - c_m) + k(\Delta - c)}{4b - (\Delta - c)^2},$$

$$w_x^* = c + \frac{b[(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k]}{2b(\phi - c_m) + k(\Delta - c)}.$$

将  $p_x^*$  和  $w_x^*$  代入  $\tau = (\phi - p)(w - c)/b$  得到回收率的均衡解  $\tau_x^* = \frac{(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k}{4b - (\Delta - c)^2}$ .  $\square$

**推论1** 由命题2可得,  $\partial p_x^*/\partial k < 0$ ,  $\partial w_x^*/\partial k > 0$ ,  $\partial\tau_x^*/\partial k > 0$ .

推论1表明:产品的单位零售价随着奖惩力度的提高而降低;废旧产品的回购价随着奖惩力度的提高而提高;废旧产品回收率随着奖惩力度的提高而提高. 这表明奖惩机制的实施不仅对消费者有利,还能提高废旧电子产品的回购价和回收率、回收商的回收积极性以及环境效益.

将  $p_x^*$ ,  $w_x^*$  和  $\tau_x^*$  代入式(2)和(3), 得到无成本共担-利润共享契约下制造商利润与回收商利润分别为

$$\pi_{mx}^* = \frac{b(\phi - c_m)^2 + k(\phi - c_m)(\Delta - c) + k^2}{4b - (\Delta - c)^2} - k\tau_0, \quad (4)$$

$$\pi_{cx}^* = \frac{b[(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k]^2}{2[4b - (\Delta - c)^2]^2}. \quad (5)$$

**推论2** 从制造商与回收商的利润表达式可以得到  $\partial\pi_{mx}^*/\partial k = \tau_x^* - \tau_0$ ,  $\partial\pi_{cx}^*/\partial k > 0$ .

推论2表明:当  $\tau_x^* > \tau_0$  时,制造商的利润随奖惩力度的提高而提高,反之,随着奖惩力度的提高而降低;当  $\tau_x^* = \tau_0$  时,奖惩力度对制造商没有作用,而回收商的利润总是随着奖惩力度的提高而提高.

本节研究了奖惩机制下无成本共担-利润共享契约的闭环供应链模型,得到了该情形下零售价、回购价和回收率的均衡解以及制造商和回收商的均衡利润. 由于闭环供应链成员的有效合作才能使整体利润均衡,考虑到回收商建立回收平台的难度,并根据生产责任延伸机制中制造商的责任与义务,制造商应当承担一部分建立和维护回收渠道的成本费用. 制造商与回收商之间设定一个契约,即制造商对其帮助投资建立回收平台并分享回收商的部分利润. 接下来将探讨奖惩机制下闭环供应链的成本共担-利润共享契约情形的闭环供应链决策模型.

### 2.2.2 奖惩机制下成本共担-利润共享契约的闭环供应链决策模型

本节将建立奖惩机制下成本共担-利润共享契约的闭环供应链模型,加入两个参数到该契约协调

机制,即回收商的利润共享比例  $\alpha$  和成本共担比例  $\beta$ . 制造商的利润函数中将会减少一部分用于建立回收平台,同时增加一部分共享回收商的利润.

由上述可知,成本共担-利润共享的契约协调机制下制造商的目标利润最大化函数为

$$\max \pi_m(p, w) = (\phi - p)[(p - c_m) + \tau(\Delta - w)] + k(\tau - \tau_0) - \frac{1}{2}(1 - \beta)b\tau^2 + (1 - \alpha)\left[\tau(\phi - p)(w - c) - \frac{1}{2}\beta b\tau^2\right]. \quad (6)$$

其中:  $(1 - \beta)b\tau^2/2$  为制造商承担的用于建立回收平台所产生的费用,  $(1 - \alpha)[\tau(\phi - p)(w - c) - \beta b\tau^2/2]$  为制造商共享回收商利润的部分.

同样地,可以得到成本共担-利润共享的契约协调机制下回收商的利润函数

$$\max \pi_c(\tau) = \alpha\left[\tau(\phi - p)(w - c) - \frac{1}{2}\beta b\tau^2\right]. \quad (7)$$

该情形下制造商和回收商的决策变量与第2.2.1节相同,采用逆向归纳法求解,可得如下命题.

**命题3** 奖惩机制下存在成本共担-利润共享契约时制造商的均衡零售价为

$$p_y^* = \phi - \frac{b(1 + \alpha\beta)(\phi - c_m) + k(\Delta - c)}{2b(1 + \alpha\beta) - (\Delta - c)^2},$$

均衡回购价为

$$w_y^* = c + \frac{b\beta[(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k]}{b(1 + \alpha\beta)(\phi - c_m) + k(\Delta - c)},$$

回收商的均衡回收率为

$$\tau_y^* = \frac{(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k}{2b(1 + \alpha\beta) - (\Delta - c)^2}.$$

命题3的证明过程与命题2的证明过程类似,故不再赘述.

**推论3** 由命题3可得,  $\partial p_y^*/\partial\alpha > 0$ ,  $\partial w_y^*/\partial\alpha < 0$ ,  $\partial\tau_y^*/\partial\alpha < 0$ .

推论3表明:随着回收商分享利润比例的提高,产品的单位零售价将提高;废旧产品的回购价降低,废旧产品的回收率也降低. 这表明当回收商分享利润的比例提高(即制造商分享利润的比例降低)时,制造商会提高产品的价格以使自己获取更大利润. 但此时废旧产品的回购价格和回收率却降低,导致这种现象反直觉的原因可能如下:当回收商分享利润比例提高时,制造商分享利润的比例下降,制造商为了使自己利润提高,会决策较高的零售价,但却导致了市场需求的降低,进而可回收的废旧电子产品减少,直接导致回收商利润降低,回收积极性下降,回收率降低. 而制造商为了免于政府的惩罚,会适当调低回购价,以保证回收商的回收积极性.

**推论4** 由命题3可得,  $\partial p_y^*/\partial\beta > 0$ ,  $\partial w_y^*/\partial\beta > 0$ .

$0, \partial \tau_y^* / \partial \beta < 0$ .

推论4表明,随着成本共担比例的提高,产品的单位零售价和废旧产品的回购价都提高,但是废旧产品的回收率却降低.随着成本共担比例的提高,回收商在回收废旧产品的过程中需要投入更大的成本,导致其利润也降低,回收态度也不太积极,最后使废旧产品的回收率降低;而制造商为了避免受到政府的惩罚,会通过降低废旧电子产品回购价的方式鼓励回收商进行回收,使实际回收率高于目标回收率,这样不仅能免于惩罚,还能得到政府的奖励.制造商提高回购价可能会导致自身利润的降低,此时制造商会以提高产品零售价的方式保证自身的利润.

将  $p_y^*$ ,  $w_y^*$  和  $\tau_y^*$  代入式(6)和(7),得到成本共担-利润共享契约协调机制下制造商利润与回收商利润均衡时的表达式,即

$$\pi_{my}^* = \frac{b(1 + \alpha\beta)(\phi - c_m)^2 + 2k(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k^2}{2[2b(1 + \alpha\beta) - (\Delta - c)^2]} - k\tau_0, \quad (8)$$

$$\pi_{cy}^* = \frac{b\alpha\beta}{2} \left[ \frac{(\phi - c_m)(\Delta - c) + 2k}{2b(1 + \alpha\beta) - (\Delta - c)^2} \right]^2. \quad (9)$$

本节研究了奖惩机制下考虑成本共担-利润共享契约的闭环供应链模型,并得到了该情形下零售价、回购价和回收率的均衡解以及制造商和回收商的均衡利润.为得到一些成本共担-利润共享契约下的规律和管理启示,下节将对奖惩机制下有无成本共担-利润共享契约两种情形进行比较,并探讨其管理洞察.

### 3 模型比较与分析

在第2节中,通过分析集中式决策水平和分散式决策水平的奖惩机制下有无成本共担-利润共享契约的情形,得到了不同情形的均衡解以及闭环供应链中制造商和回收商的利润.接下来,通过分别比较两种情形下的零售价、回购价和回收率,得到如下命题.

**命题4** 当有成本共担-利润共享契约时,闭环供应链中产品的零售价低于无成本共担-利润共享契约的情形.

**证明** 由  $p_x^*$  和  $p_y^*$  的表达式可以得到

$$p_x^* - p_y^* = \frac{b(\Delta - c)(1 - \alpha\beta)[2k + (\phi - c_m)(\Delta - c)]}{[2b(1 + \alpha\beta) - (\Delta - c)^2][4b - (\Delta - c)^2]}.$$

因为  $\Delta - c > 0$  和  $\alpha\beta < 1$  恒成立,所以  $p_y^* < p_x^*$  恒成立.  $\square$

命题4表明,无论回收商利润分享比例和成本共担比例之间的关系如何,当有成本共担-利润共享契约时,闭环供应链中产品的零售价总是低于无成本共

担-利润共享契约的情形.这也表明了该契约对消费者有利,当存在该契约时,消费者总能享受一个较低的价格.

**命题5** 当回收商利润分享比例与成本共担比例满足  $\frac{1 - \beta}{1 - \alpha\beta} < \frac{b(\phi - c_m)}{k - (\Delta - c)}$  时,  $w_y^* > w_x^*$ ; 当满足  $\frac{1 - \beta}{1 - \alpha\beta} > \frac{b(\phi - c_m)}{k - (\Delta - c)}$  时,  $w_y^* < w_x^*$ ; 特别地,当  $\frac{1 - \beta}{1 - \alpha\beta} = \frac{b(\phi - c_m)}{k - (\Delta - c)}$  时,  $w_y^* = w_x^*$ .

**证明** 通过比较  $w_x^*$  和  $w_y^*$  的大小关系易得

$$w_x^* - w_y^* = \frac{k(\Delta - c)(1 - \beta) - b(\phi - c_m)(1 - \alpha\beta)}{[2b(\phi - c_m) + k(\Delta - c)][b(1 + \alpha\beta)(\phi - c_m) + k(\Delta - c)]}.$$

由此可得:当  $\frac{1 - \beta}{1 - \alpha\beta} < \frac{b(\phi - c_m)}{k - (\Delta - c)}$  时,  $w_y^* > w_x^*$ ; 反之,  $w_y^* < w_x^*$ ; 特别地,当  $\frac{1 - \beta}{1 - \alpha\beta} = \frac{b(\phi - c_m)}{k - (\Delta - c)}$  时,  $w_y^* = w_x^*$ .  $\square$

命题5表明,当回收商利润分享比例与成本共担比例之间存在特定关系时,即  $\frac{1 - \beta}{1 - \alpha\beta} = \frac{b(\phi - c_m)}{k - (\Delta - c)}$ , 有无成本共担-利润共享契约时的废旧电子产品的回购价相等.此时,若回收商的成本共担比例保持不变,利润共享比例提高,则有成本共担-利润共享契约情形下的废旧电子产品回购价高于无契约的情形,因为此时制造商会提高回购价来弥补自己利润共享比例的降低.同理,若回收商的利润共享比例保持不变,成本共担比例提高,则有成本共担-利润共享契约情形下的废旧电子产品回购价低于无契约的情形,因为此时制造商会降低回购价以提高回收商的回收积极性.

**命题6** 当有成本共担-利润共享契约时,闭环供应链中废旧电子产品的回收率高于无成本共担-利润共享契约的情形.

**证明** 由两种情形下的均衡回收率  $\tau_x^*$  和  $\tau_y^*$  可得,  $\tau_y^* > \tau_x^*$  恒成立.  $\square$

命题6表明,无论回收商利润分享比例和成本共担比例之间的关系如何,当有成本共担-利润共享契约时,闭环供应链中废旧电子产品的回收率总是高于无成本共担-利润共享契约的情形.这也表明了该契约的有效性,当存在该契约时,回收率总能得到提高.

由命题4~命题6可知,回收商的利润分享比例和成本共担比例的合理设置,不仅可以降低单位产品的零售价和回购价,还能有效地得到更高的回收率.

由以上分析可知,只要成本共担-利润共享契约存在,闭环供应链中废旧产品的回收率就能得到提高,且随着成本共担比例和利润共享比例的降低而提高.因此产生了新的问题,当成本共担比例降到最低

时,即制造商承担成本比例很高时,制造商是否愿意接受该契约?或者当回收商的利润共享比例最低时,回收商是否会接受该契约呢?

若要闭环供应链双方同时接受成本共担-利润共享契约,则只要同时满足 $\pi_{my}^* > \pi_{mx}^*$ 和 $\pi_{cy}^* > \pi_{cx}^*$ 即可.因此,通过分别比较两种情形下制造商和回收商的均衡利润解可得以下命题.

**命题7** 闭环供应链中,制造商总是乐于接受成本共担-利润共享契约;当成本共担比例和利润共享比例满足一定条件时,回收商也愿意接受成本共担-利润共享契约.

**证明** 通过比较两种情形下制造商的利润可得

$$\pi_{my}^* - \pi_{mx}^* = \frac{b(1-\alpha\beta)(\phi-c_m)^2(\Delta-c)^2}{2[2b(1+\alpha\beta)-(\Delta-c)^2][4b-(\Delta-c)^2]} + k(\tau_y^* - \tau_x^*),$$

由 $\alpha\beta < 1$ 和 $\tau_y^* > \tau_x^*$ 可得 $\pi_{my}^* > \pi_{mx}^*$ 恒成立.同理可得两种情形下回收商的利润差

$$\pi_{cy}^* - \pi_{cx}^* = A[\alpha\beta(4b-(\Delta-c)^2)^2 - (2b(1+\alpha\beta)-(\Delta-c)^2)^2],$$

其中

$$A = \frac{b[(\phi-c_m)(\Delta-c)+2k]^2}{2[2b(1+\alpha\beta)-(\Delta-c)^2]^2[4b-(\Delta-c)^2]^2}.$$

由 $A > 0$ 可得,当成本共担比例和利润共享比例满足 $\alpha\beta > \frac{[2b(1+\alpha\beta)-(\Delta-c)^2]^2}{[4b-(\Delta-c)^2]^2}$ 时, $\pi_{cy}^* > \pi_{cx}^*$ ;反之,

$\pi_{cy}^* < \pi_{cx}^*$ ;特别地,当 $\alpha\beta = \frac{[2b(1+\alpha\beta)-(\Delta-c)^2]^2}{[4b-(\Delta-c)^2]^2}$

时, $\pi_{cy}^* = \pi_{cx}^*$ . □

命题7表明,无论回收商利润分享比例和成本共担比例之间的关系如何,奖惩机制下制造商总是愿意成本共担-利润共享契约的实施,因为此时制造商的利润总是高于无成本共担-利润共享契约的情形.即使是制造商本身的成本共担比例很大且利润共享比例很小,制造商也愿意接受该契约,因为此时随着回收率的提高,制造商从政府获得的奖励总是高于承担回收成本和利润共享比例变小的损失.而对于回收商而言,只有当成本共担比例和利润共享比例满足一定条件时,制造商才愿意接受该契约.因此,在设置该契约时,必须把握成本共担比例与利润共享比例两者之间的关系.对于具体的比例设置,将在算例中展示.

本节对奖惩机制下有无成本共担-利润共享契约情形下的单位产品零售价、回购价、回收率以及制造商和回收商的利润作了比较,并得到一些管理启示.

#### 4 算例分析

以上部分分别研究了奖惩机制下有无成本共担-利润共享契约的情形,得到了不同情形下的均衡

解,并对均衡解进行了比较,得到了一些规律和管理启示.本节将采用算例仿真的方法对这些命题和推论进行仿真,并作进一步地分析.假设某家电产品的有关参数为 $c_m = 10, c = 1, \Delta = 4, w = 3, b = 20, \phi = 17, c_m = 10, \tau_0 = 0.4, k = 10$ ,由于两种情形比较类似,本节只分析有成本共担-利润共享契约的情形.将数值代入该情形下的均衡解以及制造商与回收商的决策目标函数中,可以得到以下规律.

由图1可知,当利润共享比例保持不变时,随着回收商成本共担比例的提高,产品的单位零售价将提高;当成本共担比例保持不变时,随着回收商利润共享比例的提高,产品的单位零售价将提高,这与得到的推论是吻合的.

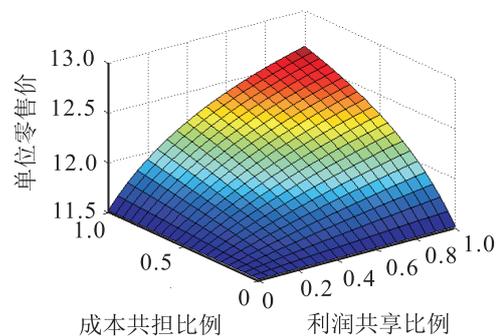


图1 零售价随成本共担-利润共享比例的变化趋势

由图2可知:当利润共享比例保持不变时,随着回收商成本共担比例的提高,废旧电子产品的回购价将提高;当成本共担比例保持不变时,随着回收商利润共享比例的提高,废旧电子产品的回购价将下降.

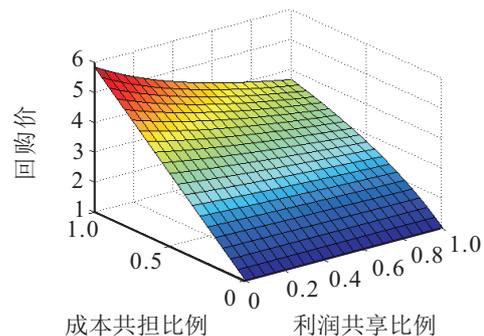


图2 回购价随成本共担-利润共享比例的变化趋势

由图3可知:当利润共享比例保持不变时,随着回收商成本共担比例的提高,废旧电子产品的回收率将降低;当成本共担比例保持不变时,随着回收商利润共享比例的提高,废旧电子产品的回收率将下降,这与所得结论一致.

由图4可知,当成本共担比例和利润共享比例都是1时,制造商的利润最低.只要成本共担比例和利润共享比例不为1,即只要成本共担-利润共享契约存在,制造商都将获得比无契约时更多的利润.

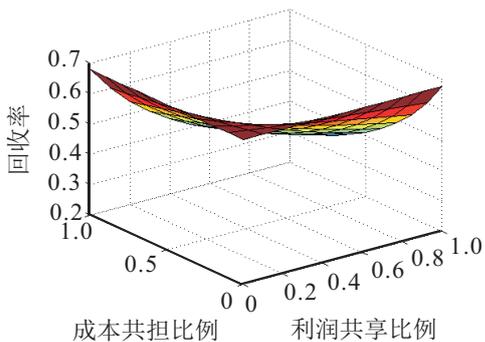


图3 回收率随成本共担-利润共享比例的变化趋势

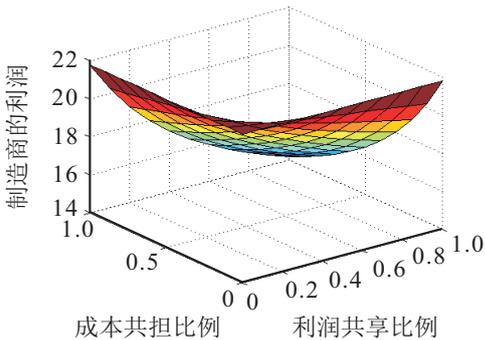


图4 制造商利润随成本共担-利润共享比例的变化趋势

由图5可知,当利润共享比例较小且保持不变时,回收商的利润随着成本共担比例的提高而提高,但是当利润共享比例较大时,回收商的利润先提高后下降.这种现象是因为当回收商共担成本的比例提高时,制造商的回购价较低,使得回收商有利可图.但是,当回收商利润分享比例较高时,由于制造商提高零售价,使市场需求减少而导致回收商积极性降低,则会造成回收商的利润先提高后下降的现象;当成本共担比例较小且保持不变时,随着回收商利润共享比例的提高,回收商的利润提高;但当成本共担比例较大时,回收商的利润先提高后下降.此时,回收商利润最大时要高于无契约时的利润,因此也只有当回收商获得更多利润时,该契约才能得以实施.而且,从仿真来看,当成本共担比例适中且利润共享比例较大时,回收商的利润最高.

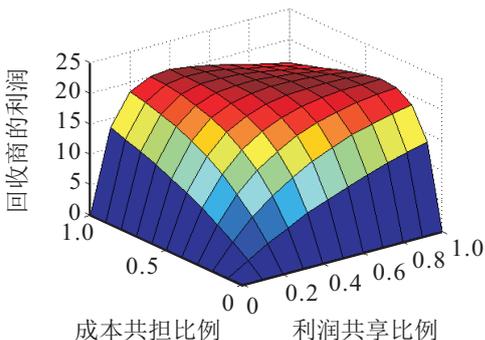


图5 回收商利润随成本共担-利润共享比例的变化趋势

综合图4和图5可知,当制造商和回收商建立起

成本共担-利润共享契约时,如果成本共担比例适中且利润共享比例较大时,利益双方都会接受该契约,这也表明成本共担-利润共享能够协调闭环供应链.

### 5 结论

本文基于政府奖惩目标与制造商的决策变量的矛盾,建立了一种成本共担-利润共享的契约,即制造商承担一部分建立回收平台的成本费用,同时分享一部分回收商获得的利润.分别建立了无成本共担-利润共享的契约的闭环供应链模型和有成本共担-利润共享的契约的闭环供应链模型,对模型的求解结果进行了分析以及算例仿真,得到了以下主要结论:

1) 随着政府奖惩力度的提高,产品的单位零售价降低;废旧产品的回购价和回收率都提高;制造商的利润与目标回收率有关,且目标回收率越大,其利润随奖惩力度提高而下降的幅度也越大,且目标回收率越小,其利润随奖惩力度提高而上升的幅度也越大,但回收商的利润提高.

2) 成本共担-利润共享契约协调机制下,当回收商成本共担比例不变时,随着回收商分享利润比例的提高,产品的单位零售价提高,但是废旧电子产品的回购价和回收率降低,回收率总是高于无利润分享的情况.

3) 成本共担-利润共享契约协调机制下,当回收商利润共享比例不变时,随着成本共担比例的提高,产品的单位零售价提高,废旧电子产品的回购价提高,但是废旧电子产品的回收率降低,回收率总是高于无成本共担的情况.

4) 与无成本共担-利润共享的契约相比,在成本共担-利润共享契约下,产品的零售价降低,废旧产品的回收率提高;当成本共担比例较大、利润共享比例较小时,回购价最高.

5) 制造商总是愿意接受成本共担-利润共享契约,即制造商总能从该契约中获利.对于回收商而言,当成本共担比例适中,利润共享比例较大时,才愿意接受该契约.此时成本共担-利润共享能够协调闭环供应链.

综上,考虑政府实施奖惩机制时,该契约在协调闭环供应链的同时,还提高了废旧产品的回收率,为产品的再利用提供了适用范围,即当成本共担比例适中、利润共享比例较大时,契约生效,闭环供应链得以协调,这与政府提出的生产者责任延伸制的目的之一致.由于本文所有的结论都是在信息对称的条件下得到的,制造商和回收商之间信息不对称是进一步的研究方向.

## 参考文献(References)

- [1] 刘延厚. 谁生产谁回收我国将推行生产者责任延伸制度[EB/OL]. (2016-08-11)[2017-09-25]. <http://mt.sohu.com/20160811/n463786136.shtml>.  
(Liu Y H. The producer is responsible for collecting, and our country will carry out the extension of producer responsibility[EB/OL]. (2016-08-11)[2017-09-25]. <http://mt.sohu.com/20160811/n463786136.shtml>.)
- [2] Daniel R V, Guide Jr L N, Wassenhove V. The evolution of closed-loop supply chain research[J]. *Operations Research*, 2009, 57(1): 19-18.
- [3] Debnath B, Roychowdhury P, Kundu R. Electronic components(EC) reuse and recycling — A new approach towards WEEE management[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2015, 35: 656-668.
- [4] 汪翼, 孙林岩, 李刚, 等. 闭环供应链的回收责任分担决策[J]. *系统管理学报*, 2009, 18(4): 379-384.  
(Wang Y, Sun L Y, Li G, et al. Sharing take-back responsibility across closed-loop supply chain[J]. *J of Systems & Management*, 2009, 18(4): 379-384.)
- [5] 聂佳佳, 石园. 第三方负责回收闭环供应链的回收责任分担策略选择[J]. *系统科学与数学*, 2011, 31(11): 1550-1563.  
(Nie J J, Shi Y. Choices of collecting responsibility sharing strategies in third-party collecting closed-loop supply chain[J]. *J of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2011, 31(11): 1550-1563.)
- [6] 李明芳, 薛景梅. 不同渠道权力结构下制造商回收闭环供应链绩效分析[J]. *控制与决策*, 2016, 31(11): 2095-2100.  
(Li M F, Xue J M. Performance analysis of manufacturer collecting closed-loop supply chain under different channel power structures[J]. *Control and Decision*, 2016, 31(11): 2095-2100.)
- [7] Yi P, Huang M, Guo L. Dual recycling channel decision in retailer oriented closed-loop supply chain for construction machinery remanufacturing[J]. *J of Cleaner Production*, 2016, 137: 1393-1405.
- [8] Wang W, Zhang Y, Zhang K, et al. Reward-penalty mechanism for closed-loop supply chains under responsibility-sharing and different power structures[J]. *Int J of Production Economics*, 2015, 170: 178-190.
- [9] Giovanni P D, Reddy P V, Zaccour G. Incentive strategies for an optimal recovery program in a closed-loop supply chain[J]. *European J of Operational Research*, 2016, 249(2): 605-617.
- [10] Mitra S, Webster S. Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies[J]. *Int J of Production Economics*, 2008, 111(2): 287-298.
- [11] Lau K H, Wang Y. Reverse logistics in the electronic industry of China: A case study[J]. *Int J of Supply Chain Management*, 2009, 14(6): 447-465.
- [12] 易余胤, 梁家密. 奖惩机制下的再制造闭环供应链协调[J]. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(4): 841-849.  
(Yi Y Y, Liang J M. Coordination of remanufacturing closed-loop supply chain under premium and penalty mechanism[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2013, 19(4): 841-849.)
- [13] 王文宾, 达庆利. 考虑政府引导的电子类产品逆向供应链奖惩机制设计[J]. *中国管理科学*, 2010, 18(2): 62-67.  
(Wang W B, Da Q L. Study on premium and penalty mechanisms for the electronic product reverse supply chain considering the leading of government[J]. *Chinese J of Management Science*, 2010, 18(2): 62-67.)
- [14] 王文宾, 邓雯雯. 逆向供应链的政府奖惩机制与税收-补贴机制比较研究[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(4): 102-110.  
(Wang W B, Deng W W. Comparison between the reward-penalty mechanism with the tax-subsidy mechanism for reverse supply chains[J]. *Chinese J of Management Science*, 2016, 24(4): 102-110.)
- [15] 郑本荣, 杨超, 刘丛. 成本分摊对制造商回收闭环供应链的影响[J]. *系统工程理论与实践*, 2017, 37(9): 2344-2354.  
(Zheng B R, Yang C, Liu C. The effect of cost sharing on manufacturer collecting closed-loop supply chain[J]. *System Engineering — Theory and Practice*, 2017, 37(9): 2344-2354.)
- [16] 刘克宁, 宋华明. EPR制度下废弃电子产品回收的低碳研发激励机制研究[J]. *控制与决策*, 2017, 32(4): 656-664.  
(Liu K N, Song H M. Low-carbon R&D incentive mechanism based on EPR system for E-waste product recycling[J]. *Control and Decision*, 2017, 32(4): 656-664.)
- [17] 谢家平, 梁玲, 李燕雨, 等. 闭环供应链下收益共享契约机制策略研究[J]. *管理工程学报*, 2017, 31(2): 185-193.  
(Xie J P, Liang L, Li Y Y, et al. Optimization research of revenue sharing contract mechanism in closed-loop supply chain [J]. *J of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017, 31(2): 185-193.)
- [18] 黄梅萍, 汪贤裕, 耿子扬. 基于收益共享和成本共担的供应链双向激励协调[J]. *经济经纬*, 2012, 1(4): 76-80.  
(Huang M P, Wang X Y, Geng Z Y. Double incentives coordination in supply chain based on revenue sharing and cost partaking[J]. *Economic Survey*, 2012, 1(4): 76-80.)
- [19] Wang W, Zhang Y, Li Y, et al. Closed-loop supply chains under reward-penalty mechanism: Retailer collection and asymmetric information[J]. *J of Cleaner Production*, 2016, 142: 3938-3955.
- [20] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L N V. Closed-Loop supply chain models with product remanufacturing[J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239-252.
- [21] Hong I H, Yeh J S. Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry: A retailer collection application[J]. *Transportation Research Part E*, 2012, 48(4): 817-829.