

文章编号:1003-207(2013)06-0057-07

奖惩机制下制造商竞争的闭环供应链决策模型

王文宾¹, 陈 琴¹, 达庆利²

(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, 江苏 南京 211189)

摘要: 本文分别建立了集中式决策, 无奖惩机制的分散式决策以及奖惩机制下考虑制造商竞争的闭环供应链决策模型。通过逆向归纳法对三种情况下决策变量的求解与比较, 分别得到了闭环供应链的回购价、批发价、零售价及回收率。研究表明: 与无奖惩机制下的分散式决策情形相比, 政府奖惩机制能有效引导制造商降低新产品价格、提高回收率、增加闭环供应链各成员企业的利润, 同时有利于增加消费者的利益; 奖惩机制下主动回收废旧产品的制造商利润增加, 不回收的制造商利润降低, 有效引导了制造商的回收积极性, 同时回收商与零售商利润的增加也提高了她们参与闭环供应链的积极性, 进而使得整个闭环供应链的成员企业有效协调。

关键词: 制造商竞争; 闭环供应链; 回收; 奖惩机制

中图分类号: F224 **文献标识码:** A

1 引言

随着电器电子产品在各国城乡的广泛使用, 废弃电器电子产品的回收处理工作已提上议事日程, 并引起世界各国的广泛关注。许多国家加大了废旧产品回收再利用的立法力度。欧美等发达国家和地区纷纷颁布一系列环保法规, 例如 1991 年德国颁布的《包装条例》, 欧盟颁布的一系列关于废旧电器电子产品回收处理的条例等。我国拥有巨大的电子产品消费市场, 同时也拥有大量淘汰的电子产品。这些淘汰的电子产品又被称作“城市矿山”, 具有巨大的经济社会效益的潜力。国务院于 2009 年 2 月发布了《废弃电器电子产品回收处理管理条例》, 明确规定将于 2011 年 1 月 1 日起实施废弃电器电子产品处理条例。这是我国首次以法律文件的形式激励、规范和约束废旧电器电子产品的回收, 也表明了我国政府对于回收废旧电器电子产品工作的重视。

随着人类对资源与环境问题的关注, 以回收再利用为主要特征之一的闭环供应链 (Closed-loop supply chain, CLSC) 受到学术界的广泛关注。再

制造作为再利用的一种高级形式, 可以有效实现资源优化、环境保护和经济发展的综合目标。再制造 CLSC 成为 CLSC 研究的重要组成部分。除了传统供应链的利益相关者外, 再制造 CLSC 利益相关者还包括政府和回收商。一般情况下, 出于经济利益考虑, 制造商和回收商缺少回收再制造的积极性, 为了能够有效协调各成员企业的利益以提高再制造 CLSC 系统的效率, 政府有必要对他们进行引导。

近年来, 国内外有一些文献已经致力于逆向物流和闭环供应链的研究。赵晓敏等^[1]介绍了闭环供应链管理概念, 并对我国电子制造业实施闭环供应链管理提出一些建议。Özdemir^[2]认为制造商应该主动为其废旧产品回收负责, 但当前的 EPR 原则实施的有效性有争议, 通过建模研究了多个参数对制造商最优决策的影响, 得到废旧产品再制造能激励制造商回收较多废旧产品, 但制造商不愿意对废旧产品回收进行初始投资可能导致法律实施效果差。Ferguson 和 Toktay^[3]探讨了再制造产品与新制造产品的竞争对再制造商回收再制造及定价策略影响。Inderfurth 和 Bayindir 等^[4-5]研究了再制造产品和新制造产品差异定价, 以及在新制造产品可以作为再制造产品的替代品的条件下, 进行制造、再制造过程的协调问题使得整个供应链的利润最大化问题, 熊中楷等^[6]在构建了政府奖励条件下基于再制造的闭环供应链模式的基础上, 通过建立数学模型对 3 种模式进行了具体的研究和比较, 并分析了政府奖励对不同模式的影响。汪翼等^[7]比较了制

收稿日期: 2012-06-27; 修订日期: 2013-01-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71102164); 教育部人文社会科学研究项目(10YJC630249); 中央高校基本科研业务费专项资金(2013W02); 中国博士后基金项目(20110491478); 江苏省高校哲学社会科学研究基金项目(2013SJD630123)

作者简介: 王文宾(1979-), 男(汉族), 山东诸城人, 中国矿业大学管理学院, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 供应链管理。

造商责任制和分销商责任制两种回收法律体系对闭环供应链中制造商和分销商利润分配的影响。他们发现不同的回收法律对供应链的总绩效不会产生影响,但是会通过回收可变费用影响收益在闭环供应链成员之间的分配。Gu Qiaolun 等^[8]以回收价、批发价和零售价为决策变量建立比较了制造商回收、零售商回收和第三方回收三种回收模式下闭环供应链定价和成员间的利润分配情况,发现制造商回收是三种回收模式中最佳的。Heese 等^[9]将闭环供应链结构效率研究拓展到寡头垄断的环境,探讨了双寡头垄断市场中废旧产品的回收对寡头定价策略及竞争优势的影响。王文宾和达庆利^[10]设计了一种奖励和惩罚措施相结合的奖惩机制,并研究了奖惩机制下电子类产品制造商回收再制造决策问题,初步探讨了政府的奖惩机制对制造商以及逆向供应链回收再制造决策的影响,在此基础上,王文宾等^[11]又对奖惩机制下闭环供应链的决策与协调进行了研究。Chen 和 Sheu^[12]利用微分对策建立了环境规制下制造商的定价模型。

以上这些文献有重要的借鉴意义,但是很少考虑制造商是否愿意回收再制造其废旧产品,Özdemir 等^[2]的研究结果表明制造商不愿意对废旧产品回收进行初始投资;Ferguson, Inderfurth 和 Bayindir 等^[3-5]讨论的是新制造和再制造产品的定价及供应链的利润分配问题,这为本文的研究提供了思路。熊中楷等^[6]单纯考虑了政府对闭环供应链实施的激励措施,没有考虑相应的惩罚;王文宾等^[10-11]考虑的奖惩结合的机制,但只有考虑制造商垄断的情况,而现实生活中,有很多双寡头或多寡头竞争的情况,文献中没有进行讨论;Heese 等^[9]将双寡头垄断市场作为研究对象,探讨了其定价策略以及对其竞争优势的影响。这些文献均只针对一部分内容进行讨论,没有考虑制造商竞争情形下基于政府奖惩机制的闭环供应链决策。

本文以闭环供应链为研究对象,基于 Savaskan^[13]和 Ferrer^[14]的研究假设,分析了集中式决策、分散式决策以及奖惩机制下考虑制造商竞争的闭环供应链共 3 种情形的决策问题,得到各种情形下闭环供应链的定价和回收率的决策,并进行比较,探讨制造商竞争环境下闭环供应链的决策和政府奖惩机制的有效性。

2 模型描述与基本假设

考虑政府引导下由主动回收废旧产品的制造商

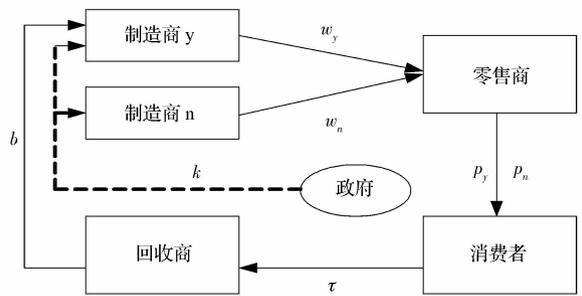


图 1 闭环供应链的结构示意图

(制造商 y)、不回收废旧产品的制造商(制造商 n)、零售商、回收商以及消费者构成的闭环供应链如图 1 所示。回收商的单位回收成本为 c , 并根据利益最大化原则决定废旧产品的回收率 τ ; 制造商 y 以回购价 b 从回收商处回购废旧产品, 他可以完全用新材料生产新产品, 也可以使用回收产品生产, 但优先以回收产品为原材料进行生产。制造商 y 生产的新产品以批发价 w_y 卖给零售商, 零售商再以零售价 p_y 销售给消费者; 制造商 n 生产的新产品以批发价 w_n 卖给零售商, 零售商再以零售价 p_n 销售给消费者。为了引导闭环供应链回收较多的废旧产品, 政府提供给制造商力度为 k 的奖惩机制。回收废旧产品需要的固定投资为 I (包括回收网络的建设投资等), 与 Savaskan^[13]类似, 假设 $I = h\tau^2/2$, h 为回收废旧产品的难度系数; 假设回收的产品全部可用于再制造, 用回收产品再制造新产品的单位成本为 c_r , 而用新材料制造新产品的单位成本为 c_n , 且新产品同质。记 $\Delta = c_n - c_r$, 故新产品的单位成本 $c_e = c_n(1 - \tau) + c_r\tau = c_n - \Delta\tau$ 。为保证所建的闭环供应链模型有意义, 需满足 $\Delta > c$, 原因是只有当回收产品的单位再制造成本低于用新材料制造的单位成本时制造商才有积极性回购废旧产品。与 Ferrer 等的文献相同, 假设制造商 y 的新产品的需求函数为 $q_y = \theta - p_y + \epsilon p_n$, 制造商 n 的新产品需求函数为 $q_n = \theta - p_n + \epsilon p_y$, 其中 θ 为基本市场规模, ϵ 为两制造商生产的新产品的替代系数, $0 \leq \epsilon \leq 1$ 。假设回收再制造对于市场容量的影响忽略不计。不失一般性, 假设制造商是闭环供应链的 Stackelberg 领导者。

3 闭环供应链的回收再制造决策模型

由于制造商 y 的批发价与制造新产品的单位成本及与制造商从回收商处回收废旧产品的回购价之差为制造商所获的单位利润, 他与新产品需求函数

的积即为制造商 y 的利润,故制造商 y 的决策为:

$$\max_{w_y, b} \pi_{my} = (w_y - c_z)(\theta - p_y + \epsilon p_n) - b\tau(\theta - p_y + \epsilon p_n) = [\omega_y - c_n + (\Delta - b)\tau](\theta - p_y + \epsilon p_n) \quad (1)$$

制造商 n 由于不参与回收环节,其制造的新产品均是用新零部件制造的,所以其利润是批发价减去用新零部件制造新产品的单位成本,然后与其需求函数的积,制造商 n 的决策为:

$$\max_{w_n} \pi_{nn} = (w_n - c_n)(\theta - p_n + \epsilon p_y) \quad (2)$$

零售商因为要从两个制造商那里获取产品,他根据两制造商给他的不同批发价来决定自己的不同零售价,因此其利润是各自的零售价与批发价之差与各自需求函数的积,再求和的结果,故零售商的决策为:

$$\max_{p_y, p_n} \pi_r = (p_y - w_y)(\theta - p_y + \epsilon p_n) + (p_n - w_n)(\theta - p_n + \epsilon p_y) \quad (3)$$

回收商的利润为给制造商的回购价减去回收商的单位回收成本,其与回收的制造商的需求函数的积,再减去回收废旧产品需要的固定投资 I 的结果,故回收商的决策为:

$$\max_{\tau} \pi_c = (b - c)\tau(\theta - p_y + \epsilon p_n) - h\tau^2/2 \quad (4)$$

3.1 闭环供应链的集中式决策 (情形 1)

该情形下再制造闭环供应链是一个理想化的“超组织”,其利润最大化问题为:

$$\max_{\tau, p} \pi = \pi_{my} + \pi_{nn} + \pi_r + \pi_c = [p_y - c_n + (\Delta - c)\tau](\theta - p_y + \epsilon p_n) + (p_n - c_n)(\theta - p_n + \epsilon p_y) - h\tau^2/2 \quad (5)$$

命题 1 当 $2h - (\Delta - c)^2 > 0$ 时,式(5)给出的

$$b^* = \frac{\Delta + c}{2} \quad (10)$$

$$p_y^* = \frac{\beta\theta(2 + \epsilon)[2h\alpha - (\Delta - c)^2] + [2h\alpha\epsilon + 4h\beta - \epsilon(\Delta - c)^2]c_n}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} \quad (11)$$

$$p_n^* = \frac{\beta\theta[2h\alpha(2 + \epsilon) - (\Delta - c)^2(1 + \epsilon)] + [2h\beta\epsilon + 4h\alpha - (\Delta - c)^2]c_n}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} \quad (12)$$

$$\tau^* = \frac{[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\epsilon^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n](\Delta - c)}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} \quad (13)$$

$$\pi_{my}^* = \frac{h[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\epsilon^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n]^2 [4h\alpha - (\Delta - c)^2]}{\beta^2 [2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]^2} \quad (14)$$

$$\pi_{nn}^* = \frac{\{\beta\theta[2h\alpha(2 + \epsilon) - (1 + \epsilon)(\Delta - c)^2] + [2h(\alpha\epsilon^2 + \beta\epsilon - 2\alpha) + (1 - \epsilon^2)(\Delta - c)^2]c_n\}^2}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]^2} \quad (15)$$

$$\pi_r^* = \frac{(1 - \alpha)\{\beta\theta(2 + \epsilon)[2h\alpha - (\Delta - c)^2] + [2h\alpha\epsilon + 4h\beta - \epsilon(\Delta - c)^2]c_n\}}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} * \frac{2h[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\epsilon^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n]}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} + \frac{(1 - \beta)\{\beta\theta[2h\alpha(2 + \epsilon) - (\Delta - c)^2(1 + \epsilon)] + [2h(\alpha\epsilon^2 + \beta\epsilon - 2\alpha) + (\Delta - c)^2(1 - \epsilon^2)]c_n\}}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]}$$

函数是严格凹的,有唯一解为:

$$p_n^I = \frac{\theta}{2(1 - \epsilon)} + \frac{c_n}{2} \quad (6)$$

$$p_y^I = \frac{[2h + (\epsilon - 2)(\Delta - c)^2]\theta}{2(1 - \epsilon)[2h - (\Delta - c)^2]} + \frac{[2h - \epsilon(\Delta - c)^2]c_n}{2[2h - (\Delta - c)^2]} \quad (7)$$

$$\tau^I = \frac{(\Delta - c)[\theta - (1 - \epsilon)c_n]}{2h - (\Delta - c)^2} \quad (8)$$

此时,其利润:

$$\pi^I = \frac{[(1 + \epsilon)(\Delta - c)^4 - 2h(3 + \epsilon)(\Delta - c)^2 + 8h^2][\theta - (1 - \epsilon)c_n]^2}{4(1 - \epsilon)[2h - (\Delta - c)^2]^2} \quad (9)$$

证明 式(5)的海赛矩阵为:

$$\begin{pmatrix} -2 & 2\epsilon & c - \Delta \\ 2\epsilon & -2 & \epsilon(\Delta - c) \\ c - \Delta & \epsilon(\Delta - c) & -h \end{pmatrix}, \text{由海赛矩阵负定与}$$

目标函数为凹函数的等价关系易得 $2h - (\Delta - c)^2 > 0$ 成立,求偏导易解得 p_n^I, p_y^I, τ^I . 证毕。

3.2 无奖惩机制闭环供应链分散式决策情形 (情形 2)

该情形下制造商、零售商和回收商的利润如式(1)、(2)、(3)和(4)所示。由于制造商是 Stackelberg 领导者,故决策顺序为制造商 y 与制造商 n 分别根据自己的利润最大化做出决策,然后回收商和零售商根据制造商的决策结果分别单独决策。为计算方便,不妨设 $w_y = \alpha p_y (0 < \alpha < 1)$, $w_n = \beta p_n (0 < \beta < 1)$ 。由逆向归纳法可得:

$$* \frac{\beta[2h\alpha(2 + \epsilon) - (1 + \epsilon)(\Delta - c)^2] + [2h\beta\epsilon + 4h\alpha - (\Delta - c)^2]c_n}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} \tag{16}$$

$$\pi_c^* = \frac{h[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n]^2(\Delta - c)^2}{2\beta^2[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]^2} \tag{17}$$

3.3 奖惩机制下闭环供应链的决策(情形 3)

奖惩机制是政府为了确保闭环供应链达到一定的回收率水平而设计。设 τ_0 为政府规定制造商要达到的目标回收率, $k(k > 0)$ 为奖惩力度。奖惩机制旨在奖励超过目标回收率的制造商, 惩罚未达到目标回收率的制造商。此时制造商 y 的决策为:

$$\max_{w,b} \pi_{my} = [\omega_y - c_n + (\Delta - b)\tau](\theta - p_y + \epsilon p_n)$$

$$p_y^{**} = \frac{\beta(2 + \epsilon)[2h\alpha - (\Delta - c)^2] + [2h\alpha\epsilon + 4h\beta - \epsilon(\Delta - c)^2]c_n - 2k\beta(\Delta - c)}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} \tag{20}$$

$$p_n^{**} = \frac{\beta[2h\alpha(2 + \epsilon) - (\Delta - c)^2(1 + \epsilon)] + [2h\beta\epsilon + 4h\alpha - (\Delta - c)^2]c_n - \epsilon k\beta(\Delta - c)}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} \tag{21}$$

$$\tau^{**} = \frac{[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n](\Delta - c) + k\alpha\beta(4 - \epsilon^2)}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} \tag{22}$$

$$b^{**} = \frac{\Delta + c}{2} + \frac{k\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]}{4h\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + 4hc_n(\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta) + 2k\beta(2 - \epsilon^2)(\Delta - c)} \tag{23}$$

$$\pi_{my}^{**} = \frac{[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n][4h\alpha - (\Delta - c)^2] - \epsilon^2 k\alpha\beta(\Delta - c)}{2\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]}$$

$$* \frac{2h[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n] + k\beta(2 - \epsilon^2)(\Delta - c)}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} + \frac{k(\Delta - c)[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n] + k^2\alpha\beta(4 - \epsilon^2)}{2\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} - k\tau_0 \tag{24}$$

$$\pi_{mn}^{**} = \frac{\{\beta[2h\alpha(2 + \epsilon) - (1 + \epsilon)(\Delta - c)^2] + [2h(\alpha\epsilon^2 + \beta\xi - 2\alpha) + (1 - \epsilon^2)(\Delta - c)^2]c_n - \epsilon k\beta(\Delta - c)\}^2}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]^2} -$$

$$k\tau_0 \tag{25}$$

$$\pi_r^{**} = \frac{(1 - \alpha)\{\beta(2 + \epsilon)[2h\alpha - (\Delta - c)^2] + [2h\alpha\epsilon + 4h\beta - \epsilon(\Delta - c)^2]c_n - 2k\beta(\Delta - c)\}}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]}$$

$$* \frac{2h[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n] + k\beta(2 - \epsilon^2)(\Delta - c)}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]}$$

$$+ \frac{(1 - \beta)\{\beta[2h\alpha(2 + \epsilon) - (1 + \epsilon)(\Delta - c)^2] + [2h\beta\epsilon + 4h\alpha - (\Delta - c)^2]c_n - \epsilon k\beta(\Delta - c)\}}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]}$$

$$* \frac{\beta[2h\alpha(2 + \epsilon) - (1 + \epsilon)(\Delta - c)^2] + [2h(\alpha\epsilon^2 + \beta\xi - 2\alpha) + (1 - \epsilon^2)(\Delta - c)^2]c_n - \epsilon k\beta(\Delta - c)}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} \tag{26}$$

$$\pi_c^{**} = \frac{h\{[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n](\Delta - c) + k\alpha\beta(4 - \epsilon^2)\}^2}{2\beta^2[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]^2} \tag{27}$$

4 三种情形下闭环供应链回收再制造决策的比较分析

为保证所求的解有意义, 须分别满足 $0 \leq \tau^I \leq 1, 0 \leq \tau^* \leq 1$ 和 $0 \leq \tau^{**} \leq 1$, 即:

$$[\theta - (1 - \epsilon)c_n](\Delta - c) \leq 2h - (\Delta - c)^2 \tag{28}$$

$$[\alpha\beta\theta(2 + \epsilon) + (\beta\xi^2 + \alpha\epsilon - 2\beta)c_n](\Delta - c) \leq$$

$$+ k(\tau - \tau_0) \tag{18}$$

制造商 n 的决策为:

$$\max_{w_n} \pi_{nn} = (\omega_n - c_n)(\theta - p_n + \epsilon p_y) - k\tau_0 \tag{19}$$

零售商和回收商的决策分别与式(3)和(4)相同。用同样的方法可得:

$$\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)] - k\alpha\beta(4 - \epsilon^2) \tag{29}$$

命题 2 $p_y^{**} < p_y^*, w_y^{**} < w_y^*; p_n^{**} < p_n^*, w_n^{**} < w_n^*$ 。

证明: 由 $p_y^{**} - p_y^* = \frac{-2k(\Delta - c)}{2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)} < 0$, 知 $p_y^{**} < p_y^*$; 又 $w_y^{**} - w_y^* = \alpha(p_y^{**} - p_y^*) <$

0, 可得 $w_y^{**} < w_y^*$ 。

由 $p_n^{**} - p_n^* = \frac{-k(\Delta - c)}{\beta[2h\alpha(4 - \epsilon^2) - (\Delta - c)^2(2 - \epsilon^2)]} < 0$, 知 $p_n^{**} < p_n^*$; 又 $w_n^{**} - w_n^* = \beta(p_n^{**} - p_n^*) < 0$, 可得 $w_n^{**} < w_n^*$ 。

由命题 2 可知, 与分散式决策相比, 基于目标回收率的奖惩机制导致两个制造商新产品的批发价与零售价均降低。这表明, 奖惩机制能起到引导制造商和零售商降低新产品价格的作用。可以看出, 新产品零售价的降低使得消费者亦能从该奖惩机制中获得利益。

命题 3 $\tau^{**} > \tau^*$

证明: 由 $\tau^{**} - \tau^* = \frac{k\alpha(4 - \epsilon^2)}{4h\alpha + (2 - \epsilon^2)[2h - (\Delta - c)^2]} > 0$, 知 $\tau^{**} > \tau^*$

由命题 3 可知, 与分散式决策相比, 奖惩机制下废旧产品的回收率提高。这说明, 奖惩机制能有效引导主动回收的制造商提高回收率。

综合命题 2 和命题 3, 奖惩机制能有效引导主动回收的制造商提高回收率, 并起到了引导制造商和零售商降低新产品价格的作用, 新产品零售价的降低使得消费者亦能从该奖惩机制中获得利益。

5 算例分析

设某电器电子产品的有关参数为: $c_n = 60, \Delta = 50, c = 30, \theta = 100, h = 1200, k = 1400, \tau_0 = 0.4, \epsilon = 0.5, \alpha = \beta = 0.5$ 。情形 3 需满足 $k \leq 1493$ 才有意义。所得结果如表 1 以及图 2~图 4 所示。

由表 1 可以看出, 与集中式决策相比, 分散式决策下产品回收率降低, 可见分散式决策情形闭环供应链的效率较低, 因此需要协调。奖惩机制下, 制造商 y 的批发价、零售价均低于不回收的制造商, 这种价格优势对制造商 y 有利, 进一步说明政府的奖惩机制能够有效的保护主动回收的制造商的利益, 削弱不回收的制造商的利益, 从而促使不回收的制造商为了获得较大的利润向主动回收转变。

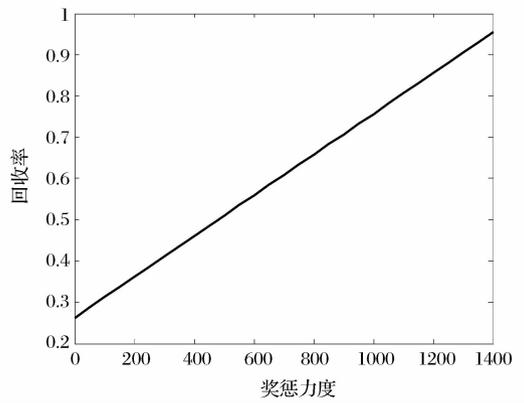


图 2 情形 3 回收率随奖惩力度的变化趋势

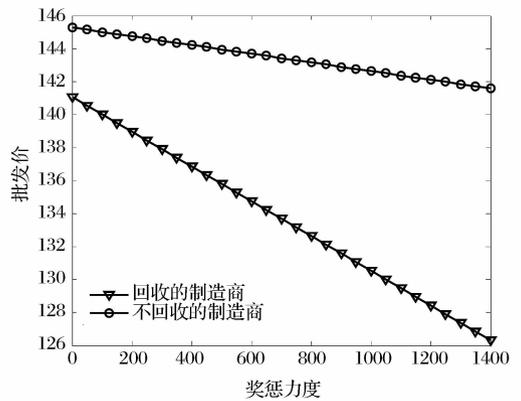


图 3 情形 3 制造商的批发价随奖惩力度的变化趋势

由图 2 可以看出, 奖惩机制下随着政府奖惩力度的增大, 主动回收的制造商的回收率呈直线上升趋势, 这说明政府的奖惩机制有效地引导了主动回收的制造商提高废旧电子产品的回收率。

由图 3 可以看出, 奖惩机制下随着政府的奖惩力度的增大, 制造商 y 和制造商 n 的批发价都下降, 而且制造商 y 的批发价在同等条件下低于制造商 n 的批发价且下降的力度大于制造商 n , 这说明在政府的奖惩机制作用下, 制造商 y 比制造商 n 更具有价格优势, 从而其新产品更具有市场竞争力; 另外, 由政府奖惩机制下的两个制造商的批发价都低于无奖惩机制下的批发价可以看出政府的奖惩机制能够有效调节价格, 使得制造商均受益。

表 1 三种情形下各变量的结果

	b	w_y	w_n	p_y	p_n	τ	π_{my}	π_{mn}	π_r	π_c	π
情形 1	—	—	—	123	130	0.7	—	—	—	—	5145
情形 2	40	70.53	72.63	141.05	145.26	0.263	415.51	319.11	4062.05	41.55	4838.22
情形 3	55.74	63.16	70.79	126.32	141.58	0.954	672.46	-327.17	4336.43	546.00	5643.23

由图4可以看出,奖惩机制下,制造商 y 的回购价 b 随奖惩力度的增加而增加。这说明,政府给予制造商 y 以较高的奖惩额度能够鼓励制造商 y 愿意以相对较高的回购价进行产品的回收。

由图5可以看出,奖惩机制下随着政府的奖惩力度的增大,制造商 y 、零售商以及回收商的利润均增加,而制造商 n 的利润下降,甚至会出现利润为负的情况,这样下去会导致制造商 n 面临倒闭的危险,这就达到政府引导制造商主动回收的目的了。这进一步说明政府的奖惩机制能够有效引导制造商回收废旧产品。

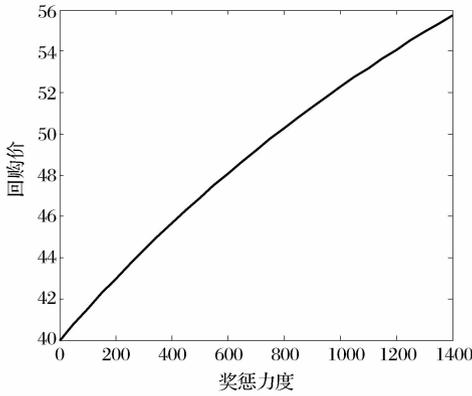


图4 情形3下回收的制造商的回购价随奖惩力度的变化趋势

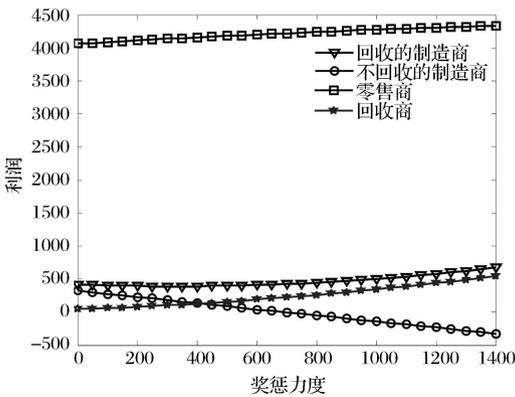


图5 情形3下制造商 y 、制造商 n 、零售商、回收商随奖惩力度的利润变化趋势

由图6可以看出,随着产品替代系数的增加,无论是制造商 y 还是制造商 n ,他们的利润均在增加,且制造商 y 利润增加的程度大于制造商 n 的利润增加程度。这说明,产品替代系数越大,两制造商生产产品差异越小,相似度越高,从而导致其竞争越激烈。但是,由于制造商 y 积极参与了废旧产品的回收工作,其利润比制造商 n 的高,随着产品替代系数

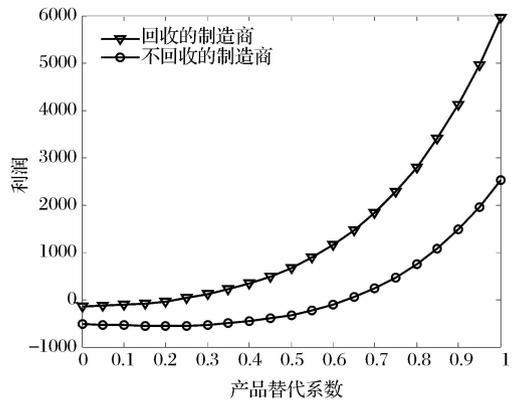


图6 情形3制造商的利润随产品替代系数的变化趋势

的逐步加大,制造商 y 的竞争力就有了明显的提高,与制造商 n 的利润差增大,比制造商 n 的利润提高的更多。

6 结语

本文着眼于政府引导下闭环供应链的决策问题,考虑了集中式决策、无奖惩机制的分散式决策以及奖惩机制下制造商竞争条件下的闭环供应链决策。通过比较分析了回收率、批发价以及两制造商、零售商、回收商的利润随奖惩力度的变化趋势,得到以下结论:与无奖惩机制下的分散式决策相比,政府的奖惩机制能有效的引导制造商降低新产品价格和增加回收率,同时有利于增加消费者的利益;奖惩机制使得主动回收的制造商的批发价低于不回收的制造商的价格,从而使消费者更愿意购买价格相对较低的产品,这有利于主动回收的制造商利润增加,而使不回收的制造商利润降低,从而促使其为了获得更多的利润而积极回收,再加上回收商、零售商的利润也随着奖惩力度的提高而增加,这就更能激发起他们的积极性,因此政府奖惩机制起到了有效协调闭环供应链的成员企业积极回收再制造废旧产品的作用。

参考文献:

[1] 赵晓敏,冯之浚,黄培清. 闭环供应链管理——我国电子制造业应对欧盟指令的管理变革[J]. 中国工业经济, 2004,197(8):48—55.

[2] Özdemir Ö, Denizel M, Guide Jr V D R. Recovery decisions of a producer in a legislative disposal fee environment[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 216:293—300.

[3] Ferguson M, Toktay L B. The effect of competition on

- recovery strategies[J]. *Product and Operations Management*, 2006, 15(3):351-368.
- [4] Inderfurth K. Optimal policies in hybrid manufacturing/remanufacturing systems with product substitution [J]. *International Journal Production Economics*, 2004, 90(3): 325-343.
- [5] Bayindir Z P, Erkip N, Gullu R. Assessing the benefits of remanufacturing option under one-way substitution [J]. *Journal of Operational Research Society*, 2005, 56:286-296.
- [6] 熊中楷, 黄德斌, 熊榆. 政府奖励条件下基于再制造的闭环供应链模式[J]. *工业工程*, 2011, 14(2):1-5.
- [7] 汪翼, 孙林岩, 杨洪焦, 等. 不同回收法律下的再制造供应链决策与合作研究 [J]. *管理科学*, 2009, 22(1):2-8.
- [8] Gu Qiaolun, Ji Jianhua, Gao Tiegang. Pricing management for a closed-loop supply chain [J]. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 2008, 7(1): 45-60.
- [9] Heese H S, Cattani S K, Ferrer G, et al. Competitive advantage through take-back of used products [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 164(1): 143-157.
- [10] 王文宾, 达庆利. 奖惩机制下电子类产品制造商回收再制造决策模型[J]. *中国管理科学*, 2008, 16(5):57-63.
- [11] 王文宾, 达庆利. 奖惩机制下闭环供应链的决策与协调[J]. *中国管理科学*, 2011, 19(1):36-41.
- [12] Chen Y J, Sheu J B. Environmental-regulation pricing strategies for green supply chain management [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2009, 45(5):667-677.
- [13] 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.
- [14] Ferrer G, Swaminathan J M. Managing new and remanufactured products [J]. *Management Science*, 2006, 52(1):1-14.

Decision and Analysis of Closed-Loop Supply Chain with Manufacturer-Led and Manufacturer-Compete Based on the Reward-Penalty Mechanism

WANG Wen-bin¹, CHEN Qin¹, DA Qing-li²

(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: In this paper, the centralized decision-making model, the decentralized decision-making model of the non-Reward-Penalty Mechanism as well as the closed-loop supply chain models, which considers competitions of manufacture and is based on the Reward-Penalty Mechanism, have been established. By solving and comparing the results of these models with the method of backward induction respectively, the buyback price, wholesale price, retail price and collection decisions of closed-loop supply chain have been obtained. Studies have shown that: compared with the decentralized decision-making under the non-Reward-Penalty Mechanism, the government's Reward-Penalty Mechanism not only can effectively guide manufacturers to reduce the price of new products, improve the collection rate and improve the efficiency of the closed-loop supply chain but also is conducive to the increasing of the profits of the closed-loop supply chain members; Reward-Penalty Mechanism make the recycling manufacturer's profits increased, and the non-recycling manufacturer's profits decreased, which can guide the manufacturer's enthusiasm of collection and remanufacturing effectively; meanwhile, the increase of the recyclers' and the retailers' profits can also arouse their enthusiasm, and then make the whole closed-loop supply chain members' harmonious operation.

Key words: manufacturer-competes; closed-loop supply chain; collection rate; the Reward-Penalty Mechanism