

三级逆向供应链优化与协调研究

李响¹,王海鹏¹,李勇建^{2*}

(1. 南开大学经济与社会发展研究院, 天津 300071; 2. 南开大学商学院, 天津 300071)

摘要:考虑由回收商、再制造商和零售商组成的三级逆向供应链系统。其中再制造商雇用回收商通过向消费者手中买回方式回收废旧产品,并将再制造产品通过零售商再次销售。研究了纯分散式决策模型、再制造商和零售商联盟决策模型、回收商和再制造商联盟决策模型、集中式决策模型4种结构下的逆向供应链优化问题,分别求得不同结构下的回收和销售价格以及回收数量 and 市场需求。主要的研究结果包括:三级逆向供应链中的双边效应体现为回收价格的降低、销售价格提高,且此效应随供应链分散决策程度的增加而加剧。最后,设计了合同机制协调此三级供应链系统。

关键词:逆向供应链;回收定价;再制造;协调机制;博弈论;双边效应

中图分类号:F253 **文献标志码:**A

Optimization and coordination of a three-echelon reverse supply chain

LI Xiang¹, WANG Hai-peng¹, LI Yong-jian^{2*}

(1. Economic and Social Development Research Institute, Nankai University, Tianjin 300071, China,

2. Corporate Governance Research Center, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: A three-echelon reverse supply chain consisted of a collector, a remanufacturer and a retailer was considered, in which the remanufacturer is a leader who hires the collector to acquire used products, and resells the remanufactured products through the retailer. The optimal decisions of collection and selling prices were derived for the pure decentralized system, the coalition of the remanufacturer and the retailer, the coalition of the collector and the remanufacturer, and the centralized system. The parameter sensitivity was also analyzed, and the double marginalization manifested as lower collection prices and higher selling prices, which was more prominent when the decentralization was higher. Finally, contract schemes were developed to coordinate the three-echelon reverse supply chain.

Key words: reverse logistics; collection price; remanufacturing; coordination scheme; game theory; double marginalization

0 引言

随着回收、再制造产业的不断发展,废旧产品成为再制造的基本原料和生产对象,企业常常通过提高回收价格从消费者手中买回废旧产品,回收定价已经成为企业的重要决策。此外,很多再制造企业将废旧产品的回收外包给专门的回收商或第三方,

如文献[1]所述的 ReCellular 公司雇佣回收商进行回收,由此构成“消费者→回收商→再制造企业→销售商→消费者”的逆向供应链。研究了这种具有回收、再制造和再销售行为的多级逆向供应链系统。一方面,再制造商雇用回收商通过回收定价的方式买回废旧产品;另一方面,再制造商将废旧产品进行再制造后通过零售商将其再次销售给消费者。在废旧产品回收数量和再制造产品销售数量为确定性函数

收稿日期:2012-05-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71002077,70971069);教育部新世纪人才支持计划资助项目(NCET-11-0252)

作者简介:李响(1982-),男,天津人,博士,讲师,主要研究方向为物流与供应链管理. E-mail:xiangli@nankai.edu.cn

* 通讯作者:李勇建(1973-),男,山东菏泽人,教授,博士,主要研究方向为供应链管理,电子商务. E-mail:liyongjian@nankai.edu.cn

的假设下,求得了纯分散式决策模型、再制造商和零售商联盟决策模型、回收商和再制造商联盟决策模型、集中式决策模型4种结构下的回收和销售价格以及相应的回收数量 and 市场需求。发现在此三级逆向供应链中,双边效应体现为回收价格的降低、销售价格提高,并且随供应链分散程度的增加而加剧。最后,为3种分散式决策的逆向供应链提供了协调机制。

目前,对逆向物流和再制造系统已经有了很多研究,但是大部分集中在回收网络优化、库存策略以及生产计划方面,如文献[2-9]。文献[10-12]对此进行了综述。文献[13]研究了闭环供应链环境下废旧产品的回收渠道选择问题;作为文献[13]的后续工作,文献[14]研究了下游双零售商竞争时的回收渠道问题;文献[15]进一步研究了逆向供应链中回收商为主导和再制造商为主导两种情况下的分散式决策问题。文献[16]研究了给定销售价格下制造商和销售商可同时从事产品回收的闭环供应链模型,并提出一种两部收费制契约实现闭环供应链渠道协调。文献[17]研究了回收不确定情形下由再制造商和分销商组成的逆向供应链,并提出双阶段定价合同协调机制。文献[18]考虑了回收商或制造商的设施有容量限制下逆向供应链中最优回收价格及设施容量决策。文献[19-21]着重考虑了逆向供应链协调的奖励、惩罚及奖惩机制比较问题。然而,以上文献均是基于常规的二级供应链假设,对更为复杂的三级供应链以及其中存在两级实体结成联盟的优化和协调问题的研究还较为少见,而本文作者正是针对此方面进行了研究。

1 三级逆向供应链模型

考虑由回收商、再制造商和零售商构成的三级逆向供应链。其中,回收商采用向消费者支付回收价格 f 的方式从回收市场买回废旧产品,回收数量为 $r(f) = \alpha + \beta f$ 。零售商面对再制造产品的市场需求 $d(p) = a - bp$ 来确定相应的销售价格 p 。再制造商则是此逆向供应链的主导。一方面,再制造商雇佣回收商进行废旧产品的回收并采用批发价合同,即对每件回收的废旧产品向回收商支付批发价 w_1 ;另一方面,再制造商将回收产品进行再制造后,同样采取批发价合同将再制造产品通过零售商向市场进行再销售,即零售商支付每件再制造产品向再制造商付批发价 w_2 。回收商对每件回收产品付出费用 c_1 ,代表回收时付出的可变费用如运输、人力等费

用;再制造商的单位再制造费用为 c_2 ;零售商的单位销售费用为 c_3 ,代表销售时付出的可变费用如储存、人力等费用。令 $C = c_1 + c_2 + c_3$ 为整个渠道销售单位产品的可变费用,我们设 $a - bC > 0$,否则回收和再制造将不能取得任何正利润。此外,假设剩余的废旧产品和再制造产品残值收益为0。

此三级逆向供应链的事件顺序如下:(1)再制造商向回收商提出批发价 w_1 ;(2)回收商确定回收价格 f 并将数量为 $r(f)$ 的回收产品送至再制造商处;(3)再制造商将回收产品进行再制造,并向零售商提出批发价 w_2 ;(3)零售商确定销售价格 p 并订购 $d(p)$ 数量的再制造产品。回收商、再制造商和零售商都是独立的实体,以各自最大化自身的利润为目标。此时的供应链为纯分散式供应链,如图1(a)所示。

此外,供应链中的实体可以结成联盟并通过合作来最大化联盟的利润。如再制造商和零售商可以形成“制零”联盟,联盟雇佣回收商进行回收,此时联盟中的 w_2 决策便消失了,联盟与回收商各自最大化自身利润,如图1(b)所示。再制造商可以和回收商形成“回制”联盟,将再制造产品通过零售商进行销售,此时联盟中的 w_1 决策便消失了,联盟与零售商各自最大化自身利润,如图1(c)所示。最后,当供应链最大化整体利润即实现集中式决策时,供应链达到一体化整体最优,如图1(d)所示。

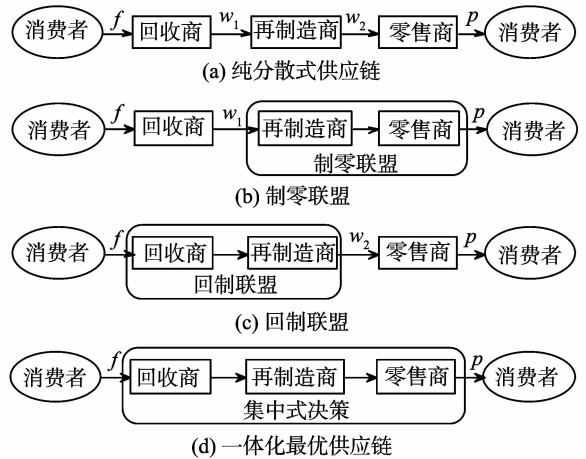


图1 三级逆向供应链系统结构

Fig. 1 The structures of the three-echelon reverse supply chain

2 模型优化和分析

2.1 纯分散式决策模型

对4种不同结构下的逆向供应链模型进行优化求解和分析。首先考虑纯分散式结构。此时在逆向供应链中,对于给定的批发价格 w_1 ,回收商确定回

收价格 f 来最大化自身的利润。

$$\max_f \pi_{co} = (w_1 - f - c_1)(\alpha + \beta f). \quad (1)$$

易知 π_{co} 为关于 f 的凸函数。求解相应的一阶最优条件可得：

$$f(w_1) = \frac{\beta(w_1 - c_1) - \alpha}{2\beta}, \quad (2)$$

从而

$$r(w_1) = \frac{\beta(w_1 - c_1) + \alpha}{2}. \quad (3)$$

另一方面,对于给定的批发价格 w_2 ,零售商确定销售价格 p 来最大化自身的利润:

$$\max_p \pi_{RT} = (p - w_2 - c_3)(a - bp). \quad (4)$$

易知 π_{RT} 为关于 p 的凸函数。求解相应的一阶最优条件可得:

$$p(w_2) = \frac{a + bw_2 + bc_3}{2b}, \quad (5)$$

从而

$$d(w_2) = \frac{a - b(w_2 + c_3)}{2}. \quad (6)$$

再制造商决策 w_1 和 w_2 来最大化自身利润,

$$\max_{w_1, w_2, d(w_2) \geq r(w_1)} \pi_{RM} = (w_2 - c_2)d(w_2) - w_1 r(w_1).$$

其中 $r(w_1)$ 、 $d(p)$ 由公式(3)、(6)表示。容易看到,最优解应满足使得 $r(w_1) = d(w_2)$,即供需相等。此时,问题变成:

$$\max_{w_1, w_2} \pi_{RM} = (w_2 - c_2 - w_1)r(w_1)$$

$$\text{s. t.} \quad d(w_2) = r(w_1)$$

$$\Rightarrow \max_{w_1} \pi_{RM} = \frac{1}{2b} [a - \alpha + \beta c_1 - b(c_2 + c_3) - (\beta + b)w_1] \cdot [\alpha + \beta(w_1 - c_1)].$$

易知 π_{RM} 为关于 w_1 的凸函数。求解相应的一阶最优条件可得

$$w_1 = \frac{\beta[a - b(c_2 + c_3)] - (2\beta + b)(\alpha - \beta c_1)}{2b(\beta + b)}.$$

$$\Rightarrow \begin{cases} f_a^* = \frac{\beta(a - bC) - \alpha(4\beta + 3b)}{4\beta(\beta + b)}, \\ p_a^* = \frac{a(3\beta + 4b) - b(\alpha - \beta C)}{4b(\beta + b)}, \\ q_a^* = \frac{\beta(a - bC) + b\alpha}{4(\beta + b)}. \end{cases}$$

其中 $q_a^* = r(f_a^*) = d(p_a^*)$ 为回收、再制造和销售数量。上标中的 * 代表求得的是最大化各自利润的最优值,下标中的 a 代表此时是图 1(a) 所示的纯分散式逆向供应链。

2.2 制零联盟 - 回收商决策模型

当再制造商和零售商形成制零联盟雇佣回收商

进行回收时,回收商的目标、决策和回收数量分别如公式(1)~(3)式所示。此时制零联盟通过决策 w_1 和 p 来最大化联盟利润。

$$\max_{w_1, p} \pi_{RM-RT} = (p - c_2 - c_3 - w_1)d(p)$$

$$\text{s. t.} \quad d(p) = r(w_1)$$

$$\Rightarrow \max_p \pi_{RM-RT} = \frac{1}{\beta} [(\beta + 2b)p - 2a + \alpha - \beta C](a - bp)$$

易知 π_{RM-RT} 为关于 p 的凸函数。求解相应的一阶最优条件可得,

$$\begin{cases} f_b^* = \frac{\beta(a - bC) - \alpha(2\beta + 3b)}{2\beta(\beta + 2b)}, \\ p_b^* = \frac{a(\beta + 4b) - b(\alpha - \beta C)}{2b(\beta + 2b)}, \\ q_b^* = \frac{\beta(a - bC) + b\alpha}{2(\beta + 2b)}. \end{cases}$$

其中 $q_b^* = r(f_b^*) = d(p_b^*)$ 为回收、再制造和销售数量。上标中的 * 代表求得的是最大化各自利润的最优值,下标中的 b 代表此时是图 1(b) 所示的制零联盟逆向供应链。

2.3 回制联盟 - 零售商决策模型

当再制造商和回收商可以形成回制联盟并将再制造产品通过零售商进行销售时,零售商的目标、决策和回收数量分别如公式(4)~(6)式所示。此时回制联盟通过决策 w_2 和 f 来最大化联盟利润,

$$\max_{w_2, f} \pi_{RM-CO} = (w_2 - c_1 - c_2 - f)r(f)$$

$$\text{s. t.} \quad d(w_2) = r(f)$$

$$\Rightarrow \max_f \pi_{RM-CO} = \frac{1}{b} [a - bC - 2\alpha - (b + 2\beta)f](\alpha + \beta f).$$

易知 π_{RM-CO} 为关于 f 的凸函数。求解相应的一阶最优条件可得,

$$\begin{cases} f_c^* = \frac{\beta(a - bC) - \alpha(4\beta + b)}{2\beta(2\beta + b)}, \\ p_c^* = \frac{a(3\beta + 2b) - b(\alpha - \beta C)}{2b(2\beta + b)}, \\ q_c^* = \frac{\beta(a - bC) + b\alpha}{2(2\beta + b)}. \end{cases}$$

其中 $q_c^* = r(f_c^*) = d(p_c^*)$ 为回收、再制造和销售数量。上标中的 * 代表求得的是最大化各自利润的最优值,下标中的 c 代表此时是图 1(c) 所示的制零联盟逆向供应链。

2.4 集中式供应链决策模型

当三级逆向供应链为集中式决策时,供应链决策 f 和 p 来最大化整条供应链的利润:

$$\max_{p, f} \pi_{CO-RM-RT} = (p - C - f)r(f)$$

$$\text{s. t.} \quad d(p) = r(f)$$

$$\Rightarrow \max_f \pi_{CO-RM-RT} = \frac{1}{b} [a - bC - \alpha - (b + \beta)f](\alpha + \beta f)$$

易知 π_{CO-RT} 为关于 f 的凸函数。求解相应的一阶最优条件可得:

$$\begin{cases} f_d^* = \frac{\beta(a-bC) - \alpha(2\beta+b)}{2\beta(\beta+b)}, \\ p_d^* = \frac{a(\beta+2b) - b(\alpha-\beta C)}{2b(\beta+b)}, \\ q_d^* = \frac{\beta(a-bC) + b\alpha}{2(\beta+b)}. \end{cases}$$

其中 $q_d^* = r(f_d^*) = d(p_d^*)$ 为回收、再制造和销售数量。上标中的 * 代表求得的是最大化渠道利润的最优值,下标中的 d 代表此时是图 1(d) 所示的集中式决策的一体化逆向供应链。

2.5 敏感度分析与供应链结构比较

首先,分析以上各种供应链结构下的回收价格、销售价格与回收/再制造产品数量关于参数的敏感度。

命题 1 (1) q_i^*, f_i^* 关于 C 单减, p_i^* 关于 C 单增; (2) q_i^*, f_i^*, p_i^* 均关于 a 单增; (3) p_i^*, f_i^* 关于 α 单减, q_i^* 关于 α 单增。其中 $i = a, b, c, d$ 。

证明 由各结构下供应链最优决策的解析解对各参数求导即可。

此外,对于各种结构下的供应链最优决策的比较,有下面的结果。

命题 2 (1) $f_a^* < \min[f_b^*, f_c^*] \leq \max[f_b^*, f_c^*] < f_d^*$, $q_a^* < \min[q_b^*, q_c^*] \leq \max[q_b^*, q_c^*] < q_d^*$, $p_a^* > \max[p_b^*, p_c^*] \geq \min[p_b^*, p_c^*] > p_d^*$,

(2) 当且仅当 $b > \beta$ 时, $q_b^* < q_c^*, f_b^* < f_c^*$; 反之亦然。

证明 由各结构下供应链最优决策的解析解相互比较易得。

命题 2 说明纯分散式结构的逆向供应链的回收价格和回收数量最小,而销售价格最大;两种联盟结构下的回收价格和回收数量次小,而销售价格次大;而集中式结构的逆向供应链具有最大的回收价格和回收数量,而销售价格最低。也就是说,当三级供应链的分散(非合作博弈)程度越高,回收价格越低,销售价格越高,系统中的回收和再制造数量也越低,系统越发偏离 Pareto 最优,供应链中的双边效应越明显。此外,当且仅当需求量对销售价格敏感度高于回收量对回收价格敏感度时,制零联盟结构的回收价格和回收数量都要小于回制联盟情形,系统也更加偏离 Pareto 最优。

3 协调机制

命题 2 表明,分散式决策会导致逆向供应链系

统出现回收价格偏低而销售价格偏高的双边效应,分散程度越高的供应链结构下双边效应越明显。因此,需要构造适当的合同机制使得逆向供应链达到协调,即分散式的供应链下的回收价格和销售价格均实现 Pareto 最优,且各实体利润能够实现灵活的分配。以下命题 3~5 给出了 3 种分散式供应链结构的协调机制。

命题 3 对任意 $\varphi \in (0, 1)$, 制零联盟向回收商提供销售收益共享合同 φ 配合回收数量激励合同 $w_1 = (c_1 - \varphi C - (1 - \varphi) \frac{\alpha}{\beta}) + \frac{1 - \varphi}{\beta} r$ 可以协调制零联盟结构的逆向供应链,并且回收商和制零联盟的利润比例分别为 φ 和 $1 - \varphi$ 。

证明 在收益共享合同 φ 配合回收数量激励合同 $w_1 = (c_1 - C - (1 - \varphi) \frac{\alpha}{\beta}) + \frac{1 - \varphi}{\beta} r$ 下,回收商的利润为

$$\begin{aligned} \pi_{co} &= \varphi pr(f) + (w_1 - c_1 - f)r(f) = \\ &= \varphi(p - C - f)r(f) = \varphi \pi_{CO-RT} \end{aligned}$$

由此可得在此合同机制下回收商最大化自身利润的回收价格 f 也同时最大化整个渠道利润,逆向供应链得到了协调,且利润分配比例分别为 φ 和 $1 - \varphi$ 。

命题 3 说明对于制零联盟雇佣回收商进行回收情况下的逆向供应链,联盟将再制品销售收入的比例 φ 分享给回收商,并配合与回收数量相关的可变批发价合同可以协调此逆向供应链。注意到此时提供给回收商的批发价并不是固定值而是与回收数量成比例单增的关系,回收数量越多付给回收商的单位回收产品批发价越高,这样激励了回收商采取较高的回收价格回收较多数量的废旧产品,从而克服了双边效应以实现供应链协调。

命题 4 对任意 $\varphi \in (0, 1)$, 回制联盟向零售商提供回收成本共享合同 φ 配合销售数量折扣合同 $w_2 = (\varphi C - c_3 + (1 - \varphi) \frac{a}{b}) - \frac{1 - \varphi}{b} d$ 可以协调回制联盟结构的逆向供应链,并且零售商和回制联盟的利润比例分别为 φ 和 $1 - \varphi$ 。

证明 在回收成本共享合同 φ 配合销售数量折扣合同 $w_2 = (\varphi C - c_3 + (1 - \varphi) \frac{a}{b}) - \frac{1 - \varphi}{b} d$ 下,零售商的利润为:

$$\begin{aligned} \pi_{re} &= (p - w_2 - c_3)d(p) - \varphi fd(p) = \\ &= \varphi(p - C - f)d(p) = \varphi \pi_{CO-RT} \end{aligned}$$

由此可得在此合同机制下零售商最大化自身利润的销售价格 p 也同时最大化整个渠道利润,逆向

供应链得到了协调,且利润分配比例分别为 φ 和 $1 - \varphi$ 。

命题4说明对于回制联盟通过零售商进行销售情况下的逆向供应链,零售商支付回制联盟的回收利润比例 φ 并配合与订购数量相关的可变批发价合同可以协调此逆向供应链。注意到此时提供给零售商的批发价并不是固定值而是与订购数量成比例单减的关系,订购数量越多零售商付出的单位订购产品批发价越低,这样激励了零售商订购较高数量的再制造产品进行销售,从而克服了双边效应以实现供应链协调。

值得注意的是,当此三级供应链中的两级结成制零联盟或回制联盟时,该联盟与另外的企业组成的供应链都可看作是一个二级供应链。但与通常的正向二级供应链相比,这样的逆向供应链的最大特征是回收端和需求端都进行定价进行控制,特别是回收端通过定价来控制回收量,与传统的线性费用有所不同。由此导致回收数量激励机制等也与传统协调机制不同,且更为复杂(不是如正向供应链中通常的单一合同而均是合同组合)。

命题5 对任意 $\varphi_1, \varphi_2 \in (0, 1)$, 当零售商为回收商提供销售收益共享合同 φ_1 和回收成本共享合同 φ_2 , 配合再制造商向回收商提供回收数量激励合

同 $w_1 = (c_1 - \varphi_1 C - (1 - \varphi_1 - \varphi_2) \frac{\alpha}{\beta}) + \frac{1 - \varphi_1}{\beta} r$ 以及向零售商提供销售数量折扣合同 $w_2 = (\varphi_2 C - c_3 + (1 - \varphi_1 - \varphi_2) \frac{a}{b} - \frac{(1 - \varphi_1 - \varphi_2)}{b} d)$ 时, 纯分散式逆向供应链得到协调, 并且回收商、零售商和再制造商的利润比例分别为 φ_1 、 φ_2 和 $1 - \varphi_1 - \varphi_2$ 。

证明 在以上合同组合下, 回收商的利润为

$$\pi_{co} = \varphi_1 p r(f) + (w_1 - c_1 - f) r(f) + \varphi_2 f r(f) = \varphi_1 (p - C - f) r(f) = \varphi_1 \pi_{CO-RM-RT}$$

销售商的利润为

$$\pi_{re} = (p - w_2 - c_3) d(p) - \varphi_1 p d(p) - \varphi_2 f d(p) = \varphi_2 (p - C - f) d(p) = \varphi_2 \pi_{CO-RM-RT}$$

因此, 在此组合合同机制下零售商和回收商最大化自身利润的销售价格 p 和回收价格 f 也同时最大化整个渠道利润, 逆向供应链得到了协调, 且利润分配比例分别为 φ_1 、 φ_2 和 $1 - \varphi_1 - \varphi_2$ 。

命题5说明两种联盟结构下的合同机制经过适当组合和参数调整, 可以协调纯分散式(即3方完全竞争博弈下)的逆向供应链, 且各方之间的利润比例可以得到灵活的分配。

最后, 将4种结构下逆向供应链的决策和协调机制做一总结, 如表1所示。

表1 4种结构下的三级逆向供应链决策和协调机制
Table 1 Decisions and coordination schemes under four supply chain structures

供应链结构	回收价格	销售价格	回收/再制造/需求数量	协调机制
纯分散式	$\frac{\beta(a-bC) - \alpha(4\beta+3b)}{4\beta(\beta+b)}$	$\frac{a(3\beta+4b) - b(\alpha-\beta C)}{4b(\beta+b)}$	$\frac{\beta(a-bC) + b\alpha}{4(\beta+b)}$	销售收益共享合同 + 回收数量激励合同 + 销售数量折扣合同
制零联盟	$\frac{\beta(a-bC) - \alpha(2\beta+3b)}{2\beta(\beta+2b)}$	$\frac{a(\beta+4b) - b(\alpha-\beta C)}{2b(\beta+2b)}$	$\frac{\beta(a-bC) + b\alpha}{2(\beta+2b)}$	销售收益共享合同 + 回收数量激励合同
回制联盟	$\frac{\beta(a-bC) - \alpha(4\beta+b)}{2\beta(2\beta+b)}$	$\frac{a(3\beta+2b) - b(\alpha-\beta C)}{2b(2\beta+b)}$	$\frac{\beta(a-bC) + b\alpha}{2(2\beta+b)}$	回收成本共享合同 + 销售数量折扣合同
集中式	$\frac{\beta(a-bC) - \alpha(2\beta+b)}{2\beta(\beta+b)}$	$\frac{a(\beta+2b) - b(\alpha-\beta C)}{2b(\beta+b)}$	$\frac{\beta(a-bC) + b\alpha}{2(\beta+b)}$	—

4 结语

本研究考虑了由回收商、再制造商和零售商组成的三级逆向供应链系统。其中回收商通过回收定价回收废旧产品并将其提供给再制造商, 再制造商进行再制造并将再制品提供给零售商进行销售。研究了纯分散式决策模型、再制造商和零售商联盟决策模型、回收商和再制造商联盟决策模型、集

中式决策模型四种结构的逆向供应链, 分别求得了不同结构下的回收和销售价格等决策以及回收和销售数量的解析表达。对参数的敏感度进行了分析, 并发现在此三级逆向供应链中, 双边效应体现为回收价格的降低、销售价格的提高, 并且随供应链分散决策程度的增加而加剧。最后, 设计了合同机制协调此三级供应链系统。

结论说明分散式决策会导致回收数量的减少和需求的降低, 需设置适当的机制实现供应链的协调,

以增加回收和再制造数量。这不仅是重要的理论结果,而且具有一定的现实意义。例如,我国自主研发的自动化处置系统——废旧硒鼓处置系统投产使用后由于回收机制不健全导致回收数量不足,产能大半放空的状态。此外,国外的再制造实践也表明,逆向供应链中的回收激励和协调十分重要。例如,引言中提到的 ReCellular 公司投入了大量精力研究和设置与回收商的合同机制,才能保证充足且稳定的废旧电话回收从而达到再制造供需的匹配以实现企业利润的最大化。

本研究假设回收数量 and 市场需求分别是回收价格和销售价格的确定性函数,将其扩展为随机模型是未来的重要研究方向之一。本研究假设供应链渠道具有完全信息,考虑信息不对称的委托代理模型也是有意义的问题。最后,将本研究的单链问题进一步扩展,考虑多链之间的博弈等问题,也是值得探索的方向。

参考文献:

- [1] GUIDE J V, JAYARAMAN V. Product acquisition management: current industry practice and a proposed framework [J]. *International Journal of Production Research*, 2000, 38(16):3779-3800.
- [2] 周艳聪,李勇建,孙晓晨. 考虑返回补偿的闭环供应链随机库存补充策略 [J]. *山东大学学报:工学版*, 2010, 40(1):42-47.
ZHOU Yancong, LI Yongjian, SUN Xiaochen. Replenishment policy for stochastic inventory in a closed-loop supply chain considering return payment [J]. *Journal of Shandong University: Engineering Science*, 2010, 40(1):42-47.
- [3] 桑圣举,张强. 模糊需求环境下的供应链契约协调机制研究 [J]. *山东大学学报:工学版*, 2012, 42(3):63-72.
SANG Shengju, ZHANG Qiang. Coordinating supply chain contracts with fuzzy demand [J]. *Journal of Shandong University: Engineering Science*, 2012, 42(3):63-72.
- [4] MIN H, KO H J, KO C S. A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns [J]. *The International Journal of Management Science*, 2004, 10:56-69.
- [5] RICHTER K. The EOQ repair and waste disposal model with variable setup numbers [J]. *European Journal of Operational Research*, 1996(95):313-324.
- [6] TEUNTER R H. Economic ordering quantities for recoverable item inventory systems [J]. *Naval Research Logistics*, 2001, 48(6):484-495.
- [7] MAHADEVAN B, PYKE D F, FLEISCHMANN M. Periodic review push inventory policies for remanufacturing [J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 151(3):536-551.
- [8] TEUNTER H R, BAYINDIR Z P, VAN DEN HEUVEL W. Dynamic lot sizing with product returns and remanufacturing [J]. *International Journal of Production Research*, 2006, 44(20):4377-4400.
- [9] TEUNTER H R, KAPARIS K, TANG O. Multi-product economic lot scheduling problem with separate production lines for manufacturing and remanufacturing [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008(191):1241-1253.
- [10] WASSENHOVE L V N, DEKKER R, FLEISCHMANN M, et al. Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains [M]. Berlin: Springer, 2004.
- [11] GUIDE V J, WASSENHOVE L N. The evolution of closed-loop supply chain research [J]. *Operations Research*, 2009, 57(1):10-18.
- [12] ILGIN M, GUPTA S. Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art [J]. *Journal of Environment Management*, 2010, 91(3):563-591.
- [13] SAVASKAN R C, BHATTACHARYA S, WASSENHOVE L V N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing [J]. *Management Science*, 2004, 50(2):239-252.
- [14] SAVASKAN R C, WASSENHOVE L V N. Reverse channel design: the case of competing retailers [J]. *Management Science*, 2006, 52(1):1-14.
- [15] KARAKAYALI I, EMIR-FARINAS H, AKCALI E. An analysis of decentralized collection and processing of end-of-life products [J]. *Journal of Operations Management*, 2007, 25(6):1161-1183.
- [16] 邱若臻,黄小原. 具有产品回收的闭环供应链协调模型 [J]. *东北大学学报:自然科学版*, 2007, 28(6):883-886.
QIU Ruozhen, HUANG Xiaoyuan. Coordination model for closed-loop supply chain with product recycling [J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2007, 28(6):883-886.
- [17] 李响,李勇建,蔡小强. 随机回收下的逆向供应链协调 [J]. *系统工程学报*, 2008, 23(6):713-719.
LI Xiang, LI Yongjian, CAI Xiaoqiang. Reverse supply chain coordination considering collection with stochastic quantity [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2008, 23(6):713-719.

- [14] 王伟,杨兆升,李贻武,等.基于信息协同的子区交通状态加权计算与判别方法[J].吉林大学学报:工学版,2007,37(3):524-527.
WANG Wei, YANG Zhaosheng, LI Yiwu, et al. Weighting calculation and judging method of regional traffic state based on information coordination[J]. Journal of Jilin University:Engineering and Technology Edition, 2007, 37(3):524-527.
- [15] DONG Honghui, JIA Limin. SUN Xiaoliang, et al. An experiment study on level of service for the regional road traffic [C]//Fifth International Conference on Natural Computation. Tianjin: [s. n.], 2009: 233-235.
- [16] 范东凯,曹凯.基于主成分分析法的城市道路交通安全评价[J].中国安全科学学报,2010,20(10):147-151.
FAN Dongkai, CAO Kai. Urban road traffic safety evaluation based on principal components analysis[J]. China Safety Science Journal, 2010, 20(10):147-151.
- [17] JIA Hongfei, TAN Yunlong, FU Xiaoyan. Research and application of urban traffic congestion evaluation system [C]//2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing. Haikou: [s. n.], 2010: 177-180.
- [18] 江波.基于浮动车数据的实时交通状态估计[D].济南:山东大学,2011.
JIANG Bo. The estimation of real-time traffic state based on floating car data[D]. Jinan: Shandong University, 2011.
- [19] 于少伟.基于区间数的模糊隶属度函数构建[J].山东大学学报:工学版,2010,40(6):32-35.
YU Shaowei. Construction of a fuzzy membership function based on interval number[J]. Journal of Shandong University:Engineering Science, 2010, 40(6):32-35.

(编辑:陈斌)

(上接第55页)

- [18] 孙浩,达庆利.随机回收和有限能力下逆向供应链定价及协调[J].系统工程学报,2008,23(6):720-726.
SUN Hao, DA Qingli. Pricing and coordination for the reverse supply chain with random collection quantity and capacity constraints[J]. Journal of Systems Engineering, 2008, 23(6):720-726.
- [19] 王文宾,达庆利,孙浩.再制造逆向供应链协调的奖励与奖惩机制设计[J].中国管理科学,2009,17(5):46-52.
WANG Wenbin, DA Qingli, SUN Hao. Design of the premium mechanism and the premium and penalty mechanism for the remanufacturing reverse supply chain coordination[J]. Chinese Journal of Management Science, 2009, 17(5):46-52.
- [20] 王文宾,达庆利.再制造逆向供应链协调的奖励、惩罚及奖惩机制比较[J].管理工程学报,2010,24(4):48-52.
WANG Wenbin, DA Qingli. The comparison of premium penalty and premium and penalty mechanism for remanufacturing reverse supply chain coordination [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2010, 24(4):48-52.
- [21] 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.
WANG Wenbin, DA Qingli. The decision and coordination under the premium and penalty mechanism for closed-loop supply chain [J]. Chinese Journal of Management Science, 2011, 19(1):36-41.

(编辑:陈斌)