

基于循环经济的逆向供应链利益分配机制研究

王旭¹,代应^{1,2},林云¹,杨江子³

(1. 重庆大学 贸易与行政学院, 重庆 400044; 2. 重庆理工大学 工商管理学院, 重庆 400050; 3. 四川大学 经济学院, 四川成都 610041)

摘要:逆向物流作为发展循环经济的重要途径,其运作效果直接影响到循环经济战略的发展与推进。文章在构建逆向物流系统结构框架基础上,建立了一个由处理商、回收商和消费者构成的逆向供应链模型,利用 Stackelberg 博弈思想分析并求解出处理商主导下的逆向供应链上各个参与者的利润函数值;最后,利用 Lagrange 中值定理找出了处理商与回收商的合作区间,得出了逆向供应链上企业间的利益分配方案。

关键词:循环经济;逆向供应链;利益分配;Stackelberg 博弈

中图分类号:F252 **文献标志码:**A **文章编号:**1008-5831(2009)06-0052-05

一、引言

经济与科技共同推动着人类消费市场的快速发展,为满足人们对产品多元化、时代化的消费需求,不断换代升级的各种新产品涌现于人们的视野,走进消费市场;同时,大量产品完成使用寿命进入报废阶段,如果不及时进行回收处理,将严重威胁人类健康、污染自然环境并占用大量土地,同时还构成安全隐患^[1]。面对中国日益短缺的自然资源和严重破坏的生态环境,废旧产品的绿色回收与零部件再利用在产业循环经济中有着更加突出的作用,如何对这些废旧产品进行有效回收与再利用,缓解产业发展带来的环境负荷,形成集经济、社会、生态为一体的新型资源化产业群,是产业健康持续发展面临的一个严峻问题。

逆向物流研究顺应了时代发展要求,是促进循环经济发展的有效手段,对建设资源节约型、环境友好型社会有着深远影响。近些年国内外学者对逆向物流的研究取得较大成果,主要集中在逆向物流系统结构构建、路径选址和网络规划、库存控制以及生产计划等方面^[2-3],而对于逆向物流的运作机制研究相对较少,特别是对逆向物流的回收链利益分配少有研究。Prahinski 等^[4]指出回收模式选择与企业竞争优势有着紧密联系,将反向物流外包给第三方可以降低成本并提高运作效率和服务水平;Spicer 等^[5]从多方面对 OEM、PRO 组织、第三方等不同主体参与的回收方式进行了定性比较;Savaskan. R. C 等^[6]对由一个制造商和一个零售商组成的逆向供应链不同结构的效率进行了比较分析,之后又扩展

收稿日期:2009-04-23

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BAH02A09);重庆市哲学社会科学规划项目(2006-JJ18)

作者简介:王旭(1963-),女,四川南充人,重庆大学贸易与行政学院教授,博士生导师,主要从事现代物流管理、信息化工程研究;代应(1978-),男,四川安岳人,重庆大学博士研究生,讲师,主要从事现代物流管理研究。

欢迎访问重庆大学期刊社 <http://qks.cqu.edu.cn>

了该模型^[7],讨论了具有竞争性的零售市场中的产品回收渠道和再制造系统的关系;王文宾等^[8]讨论了在考虑消费者利益的情况下,制造商利润随着回收参与力度变化而变化情况。王发鸿等^[9]从生产商的决策出发,定量分析了联盟共建、社会构建等不同逆向物流运作模式,得出废旧产品的可利用比率越大,越能激发回收处理的积极性等结论。

从以上文献看,部分是定性研究,主要讨论回收模式选择与企业利益之间的关系;部分是定量研究,大多数选择了消费者对新产品的需求函数为出发点。笔者试图从消费者对废旧产品供给函数出发,建立回收链中的处理商与回收商最大利润函数,找出合作区间,为逆向物流回收链提出利益分配方案。

二、基于循环经济的逆向物流系统结构框架

(一)逆向物流与循环经济之间的关系

1992年斯托克(Stock J R)在给美国物流管理协会(CLM)的一份研究报告中提出“逆向物流”一词,并定义为对原材料、加工库存品和产成品等从消费地到起始地的相关信息的高效率、低成本的流动而进行规划、实施和控制的过程^[10];后来也被认为是一种包含了产品退回、物料替代、物品再利用、废弃处理、再处理、维修与再制造等流程的物流活动^[11]。

循环经济是一种以资源的高效利用和循环利用为核心,以“减量化、再利用、资源化”为原则(3R原则),以低消耗、低排放、高效率为基本特征,符合可持续发展理念的经济增长模式,是对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统增长模式的根本变革^[12]。逆向物流作为发展循环经济的重要途径,为循环经济发展提供支撑,两者不仅有着以生态经济学和可持续发展为理论的共同基础,同时又在相互发展中彼此长进。循环经济通过“资源—产品—废弃物—再生资源”的循环过程,使资源在不断的经济循环中得到合理和持久利用,其循环的过程离不开逆向物流,否则循环链将被断开而无法实现,同时循环经济的发展为逆向物流发展提供市场空间,两者形成了相互依赖、相互促进的共同体。

(二)逆向物流系统要素分析

系统是由两个以上有机联系、相互作用的要素所组成,具有特定功能、结构和环境的整体^[13]。逆向物流系统结构的要素有功能要素、主体要素、物流要素、信息要素、通道要素(逆向渠道)。

功能要素。逆向物流系统的主要功能包括回收、检测和分类、再处理、废弃处置和再分销^[14]。但随着回收产品的材料属性和用途不同,逆向物流系统功能在具体表现上也存在一些差异。

主体要素。主体要素指的是逆向物流系统的参与者。通过对产品的物理生命周期过程分析,参与逆向物流的主体包括政府、零部件供应商、制造商、销售商、公众消费者和回收中心,处于不同节点的主体要素在系统中起着不同的作用,但彼此存在紧密联系,相互制约。

物流要素。制造过程中产生的废弃物,如零部件加工产生的边角余料、加工不合格产品等;商业退货,如运输过程产品外观损伤或者未能达到消费者需求的退货;产品召回,如产品设计不完善而可能导致安全事故,制造企业会主动召回以减少损失;报废产品的回收,这是逆向物流系统的主要物流要素;包装物品。

信息要素。逆向物流活动中具有不确定因素,信息要素对企业成功实施逆向物流起着关键性作用。企业可以利用销售终端系统(POS)、电子数据交换(EDI)技术、射频(RF)技术等信息技术进行回检验控制、恢复链流程确立、管理信息系统整合、集中退货中心管理;对退货的信息进行归类分别处理,它可以对每次退货原因及最后处置编订代码,以实现实时跟踪和评价。

逆向渠道。逆向渠道也是逆向物流通道,是指不同于传统商品分销渠道的消费后废弃物的回收利用网络。废旧产品回收逆向渠道可以选择传统的配送网络改建、建立独立的逆向物流网络、正向物流与逆向物流集成网络。

(三)逆向物流的环境因素

逆向物流系统构建的因素有外部环境因素和企业内部因素^[15]。外部环境因素包括国际环境、法律法规以及消费者、供应商、竞争者和政府机构;企业内部因素包括高层决策者的战略意识、政策执行力度、回收渠道、信息化程度,同时也受企业规模和实力、物流成本的影响。企业逆向物流的内、外部影响因素共同驱动了企业逆向物流的发展,缺少任何一方都不可能成功实施逆向物流。如果没有国际环境、法律法规等外部的压力,很少会有企业愿意主动地从事逆向物流活动。相反,仅有外部压力,而没有企业高层管理者的支持和有效的管理体系,企业可能仅仅会对外部的压力做出形式上的反应,存在的只是一个有名无实的逆向物流体系,而不能产生真正有效的逆向物流管理。

(四)基于循环经济的逆向物流系统结构

1. 系统结构模型

逆向物流系统构建是一个复杂的系统工程,不仅限于完成使用寿命的末端产品,包括了从设计、零部件加工、制造,到产品的销售、维修以及产品的报废、回收、拆解、再利用、废弃处置等全过程。按产品生命周期中的回收物流活动过程划分,逆向物流系统可以分解为设计与制造子系统、销售配送子系统、服务维修子系统、回收子系统、材料再利用子系统、废弃处理等子系统,系统之间以信息系统为纽带,最终构成一个由参与主体、物流源、信息、逆向渠道等多种组织要素和由生产、销售、使用、维修、报废、回收、再利用等多节点集合而成的闭环物流系统(图1)。

该模型全面分析了产品生命过程中的回收源及流向,如制造阶段产生的废品和边角余料,可以通过

统一回收然后重新熔炉等方式进行回收利用;报废后的产品,在政府管理部门监督下,通过拆卸、检测后对不同材质的零部件分门别类,按零部件的损坏程度直接利用、再制造利用、回收熔炉处理等,也可稍加改变而作为材料参与其他产品的生命周期循环等。

2. “3R”原则在逆向物流系统中的体现

循环经济的“3R”原则在逆向物流系统中的体现具有阶梯层次关系(图1中标识①②③),首先是减量化原则,其次是再利用,最后才是再循环。按照

循环经济的思想,逆向物流系统首先要求采用绿色设计方法,选用绿色材料,从源头控制废弃物的产生,提高材料的利用率;其次是对于源头不能削减的废弃物和经过消费者使用后报废产品,回收后要利用现代科学技术进行拆卸,对检测分类后的零部件进行修复、翻新或再制造后继续使用,尽可能地延长产品的使用周期,防止产品过早地成为垃圾;当避免产生和回收利用都不能实现时,最后才允许将最终废物进行环境无害化的处置。

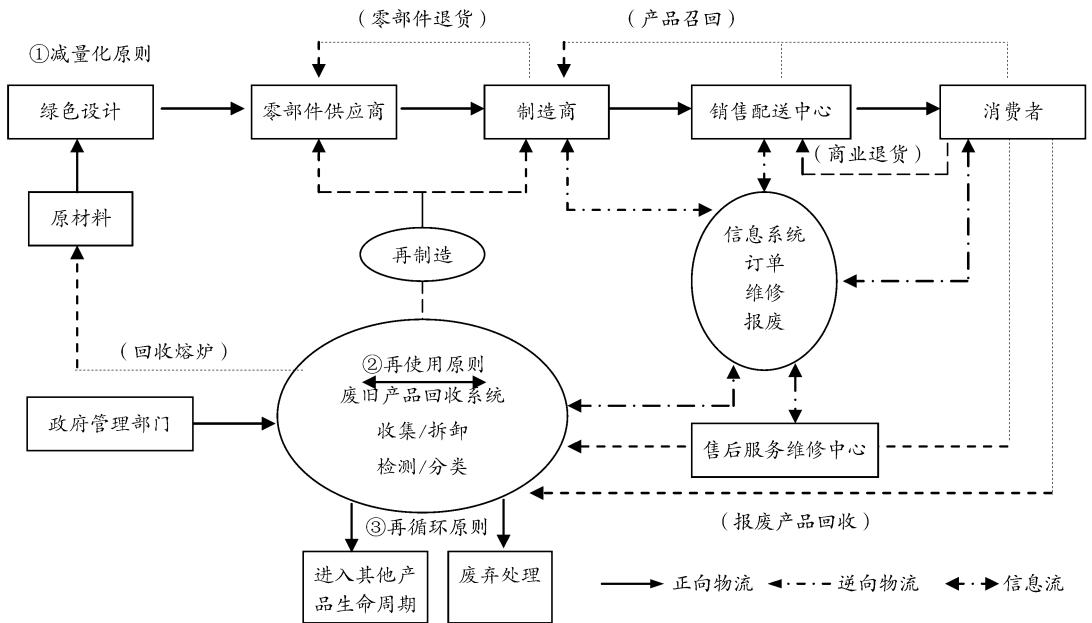


图1 基于循环经济的逆向物流系统结构框架图

三、逆向物流回收价值链模型

(一) 假设与参数说明

假设消费者对废旧产品的供给是线性递增的,并仅受回收价格(p)的影响,故供给曲线为 $S = a + bp$ (a, b 为常量,且 $a > 0, b > 0$)。

从图1中逆向物流系统框架中可以看出,处理商可以通过直接回收、第三方回收和销售商回收等多种途径获得消费者手中的废旧产品。笔者为了建立一个具有普遍意义的数学模型,假设回收链由一个处理商和一个回收商及消费者组成(图2)。

在整个逆向物流活动中,处理商(M)占有主导地位,他有能力选择适合自己的回收方式,即可以选择直接从消费者手中回收或通过回收商(R)回收,此时,在逆向物流回收链中存在处理商和回收商的合作博弈,假设处理商(M)是 Stackelberg 博弈的领导者,影响着对废旧产品的回收价格 p ,回收商则是价格的跟随者。

如果仅仅从废旧回收处理的经济性角度分析,有可能使废旧产品的回收处理收益为负值。但为了实施循环经济和可持续发展战略,作为一种激励机制,政府适当给予回收处理企业的单位产品回收补助,以保证回收处理废旧产品始终能获得正效益。

假设参与回收处理的各个主体能够获得相同的

信息。

处理商没有处理能力限制,即能完全处理所有回收的废旧产品。

其他参数说明: p 为回收商补偿消费者的废旧产品回收价格; p_1 为回收商转让给处理商价格; c_1 为收集成本(含收集、存储和运输过程中产生的成本); c_2 为处理废旧产品单位成本; ω 为废旧产品再利用单位收益(含政府补贴); π_M, π_R 为处理商和回收商利润。

(二) 利润函数模型与求解

在由处理商、回收商及消费者组成的逆向物流回收价值链模型中,回收商通过价格 p 从消费者手中回收废旧产品,然后以价格 p_1 将废旧产品转让给处理商进行处理再利用。

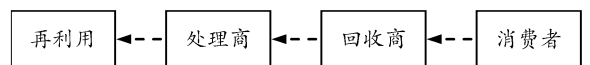


图2 逆向物流回收价值链模型

如果处理商直接从消费者手中回收废旧产品,则处理商和回收商的利润函数为:

$$\pi_M = (\omega - p - c_2 - c_1)(a + bp) \tag{1}$$

$$\pi_R = 0$$

若废旧产品完全由回收商回收,处理商仅对废旧产品进行处理再利用,则两者的利润函数分别为:

$$\pi_M = (\omega - p_1 - c_2)(a + bp) \quad (2)$$

$$\pi_R = (p_1 - p - c_1)(a + bp)$$

笔者所要讨论的中心问题是处理商参与回收渠道时,处理商与回收商利益分配问题,即处理商除了获得处理再利用效益外,还将以一定比例 r ($r \in [0, 1]$) 分取回收利润, r 表示在处理商与回收商合作时,处理商从回收链中获得的利润分成,从而回收商获得的利润比例为 $(1 - r)$,所以处理商和回收商的利润函数分别为:

$$\pi_M = [(\omega - p_1 - c_2) + r(p_1 - p - c_1)](a + bp) \quad (3)$$

$$\pi_R = (1 - r)(p_1 - p - c_1)(a + bp) \quad (4)$$

根据 Stackelberg 博弈思想,处理商和回收商通过回收价格达到平衡。在整个回收链中,处理商对报废产品的回收处理效用做出更大的贡献,是价格的领导者,回收商则是跟随者。只有当处理商确定了回收转让价格后,回收商才能根据回收转让价格决定补偿给消费者的回收价格,类似于供应链中制造商和零售商的平衡关系^[16],在处理商决定转让价格前能预料到回收商的定价反应。

根据逆向归纳法^[17],回收商假设回收转让价格既定,自身要实现利润最大化,由一阶极值定理,令 $\partial\pi_R/\partial p = 0$, $bp_1 - a - 2bp - bc_1 = 0$,求得:

$$p = \frac{(p_1 - c_1)b - a}{2b} \quad (5)$$

将(5)代入(3)式,以制造商利润函数得到关于 p_1 的代数式,此时,处理商要实现利润最大化,由一阶极值条件令 $\partial\pi_M/\partial p_1 = 0$,求得:

$$p_1 = \frac{(1 - r)(bc_1 - a) + b(\omega - c_2)}{b(2 - r)} \quad (6)$$

将(6)式代入(5)式求得:

$$p^* = \frac{b(\omega - c_1 - c_2) + a(2r - 3)}{2b(2 - r)} \quad (7)$$

将(6)式、(7)式分别代入(3)式、(4)式和 $S = a + bp$ 得到:

$$\begin{aligned} \pi_M &= \frac{[a + b(\omega - c_1 - c_2)]^2}{4b(2 - r)}, \\ \pi_R &= \frac{(1 - r)[a + b(\omega - c_1 - c_2)]^2}{4b(2 - r)^2}, \\ S &= \frac{a + b(\omega - c_1 - c_2)^2}{2(2 - r)} \end{aligned} \quad (8)$$

四、利润分配机制设计

借鉴供应链合作利润分配求解方法^[18],为方便分析,令: $[a + b(\omega - c_1 - c_2)]^2/4b = L$,将其分别代入(8)式,得到处理商和回收商的利润函数分别为:

$$\pi_M = \frac{L}{(2 - r)}, \pi_R = \frac{(1 - r)L}{(2 - r)^2} \quad (9)$$

以 $L/10$ 为单位,利用 MATLAB 软件绘制处理商和回收商的利润函数变化曲线(图3)。

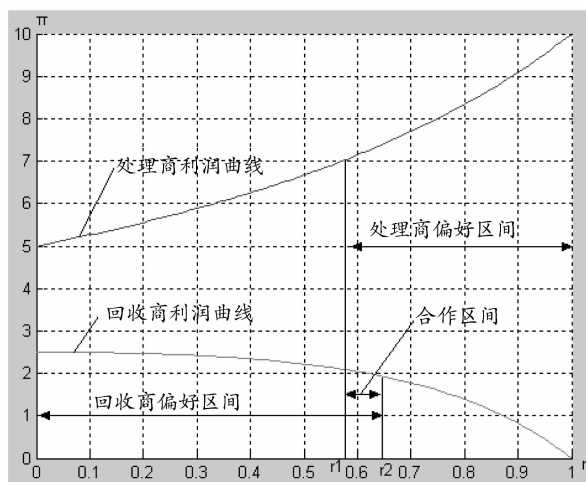


图3 处理商、回收商利润随分配系数 r 的变化曲线

从图3可以直接看出,处理商与回收商的利润最大点分别在 $r = 1$ 和 $r = 0$ 两个端点处。处理商利润随着利润分配系数增大而增加,从理论上讲,处理商集中控制废旧产品的回收和处理将会得到回收链的最大利润,但从实际情况看,企业都愿意保留自己的核心业务,把其他的部分或全部非核心业务外包给第三方企业以增加竞争力;与此同时,处理商的边际利润在增加到一定值(图中 r_1 点)后增长速度逐渐减小,在这一点后的增加速度低于平均增加速度,此时处理商愿意与其他企业合作。对于回收商而言,刚好具有相反的情况,其利润会随着分配系数的增大而减小,但达到一定值后(图中 r_2 点),边际递减速度低于平均减少速度,此时愿意接受其他企业的参与合作。

从以上分析可得出,处理商与回收商之间从理论上存在一定合作区间,即两者偏好区间的交集,在图中标识为 $[r_1, 1] \cap [0, r_2]$ 区间。现利用拉格朗日中值定理求出图中所示的两个临界偏好点 r_1 和 r_2 。

由拉格朗日中值定理 $f(b) - f(a) = f'(\xi)(b - a)$ 可知,对于处理商而言,总能找到一点 r_1 ,使得:

$$\pi_M(1) - \pi_M(0) = f'(r_1)(1 - 0),$$

$$\text{其中 } f'(r_1) = \partial\pi_M/\partial r = L/(2 - r_1)^2, L - \frac{L}{2} =$$

$$\frac{L}{(2 - r_1)^2}, \text{求得: } r_1 = 0.586, \text{同理可求得 } r_2 = 0.635。$$

合作的基础是双方的分配系数都在各自的偏好区间内,即: $[0, 0.414, 1] \cap [0, 0.587] = [0.414, 0.587]$,在实际应用中,考虑到合作利益分配比例多以5%为一个等级的实际情况,我们取 $r = 0.45, r = 0.5, r = 0.55$ 。

五、结束语

废旧产品的绿色回收与处理再利用,作为实施循环经济发展的有效手段,有利于减少生态环境破

坏,提高资源利用率,也是中国建设资源节约型、环境友好型社会的必然要求。笔者抽象出一个具有一般意义的逆向物流回收链模型,运用博弈论思想定量分析了处理商和回收商的利润函数,找出两者合作利益分配比例可取 $r = 0.45, r = 0.50, r = 0.55$, 为企业逆向物流回收运作联盟利益分配提供了一定参考。当然,笔者为方便分析,假设了回收商与处理商都处于同质的情况回收处理废旧产品,即模型中把回收链看作是由一个处理商和回收商组成,但实际情况是由存在相互竞争的多个企业参与回收处理活动。因此,存在竞争的回收链合作组织利益分配将是下一步的研究内容。

参考文献:

- [1] 徐滨士,刘世参,李仁涵,等. 废旧机电产品资源化的基本途径及发展前景研究[J]. 中国表面工程,2004(2): 1-6.
- [2] 达庆利,黄祖庆,张钦. 逆向物流系统结构研究的现状及展望[J]. 中国管理科学,2004,12(1):132-138.
- [3] 周垂日,梁樑,许传永,等. 逆向物流研究新进展:文献综述[J]. 科研管理,2007,28(3):123-130.
- [4] PRAHINKI C, KOCABASOGLU C. Empirical research opportunities in reverse supply chains[J]. Omega,2006,34(6):519-532.
- [5] SPICES A J, JOHNSON M R. Third-party demanufacturing as a solution for extended producer responsibility[J]. Journal of Cleaner Production, 2004(12):37-45.
- [6] SAVASKAN R C, BHALTACHARYA A, WASSENHOVE L N V. Closed-loop supply chain models with product re-manufacturing[J]. Management Science, 2004, 50(2): 239-252.
- [7] SAVASKAN R C, WASSENHOVE L N V. Reverse channel design: the case of competing retailers. Management science[J]. 2006,52:1-14.
- [8] 王文宾,达庆利. 考虑消费者利益的逆向供应链利润分配[J]. 东南大学学报(自然科学版),2007,7(4): 726-729.
- [9] 王发鸿,达庆利. 电子行业再制造逆向物流模式选择决策分析[J]. 中国管理科学,2006,14(6):44-49.
- [10] STOCK J R. Reverse logistics[M]. Oak Brook IL: Council of Logistics Management,1992.
- [11] ROGERS D S, TIBBEN - LEMBKE R S. Going backwards: reverse logistics trends and practices[M]. Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, PA, 1999:2-4.
- [12] 马凯. 贯彻和落实科学发展观 大力推进循环经济发展[R]//在全国循环经济工作会议上的讲话. 国家发展与改革委员会,2004.
- [13] 汪应洛. 系统工程[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [14] FLEISHMANN M, KRIKKE H R, DEKKER R, et al. A Characterization of Logistics Network for Product Recovery[J]. Omega, 2000(28):653-666.
- [15] PATROKLOS, GEORGIADIS, DIMITRIOS, et al. The effect of environmental parameters on product recovery[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 4(30):449-464.
- [16] MESAK HI, MAYYASI AM. A simple model of international joint venture distributorships: the American kuwaiti experience[J]. Omega, 1995(23): 525-538.
- [17] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海:上海人民出版社,1996.
- [18] 潘会平,陈荣秋. 供应链合作的利润分配机制研究[J]. 系统工程理论与实践. 2005(6):87-93.

A Study on Profit Distribution of Reverse Supply Chain Based on Circular Economy

WANG Xu¹, DAI Ying^{1,2}, LIN Yun¹, YANG Jiang-zi³

(1. College of Trade and Public Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. College of Business Administration, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China

3. School of Economics, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

Abstract: The effective implementation of reverse logistics affects directly the development of the circular economy, which is an effective means of developing the circular economy. Based on the reverse logistics system structure, the authors build a taking-back value chain model, which is composed by disposers and customers. Then, they setup the profit function of the taking-back chain by the dominant disposers and solve it in virtue of Stackelberg theory. At last, they find out the cooperation section between the disposer and the reclamer by Lagrange theorem, and obtain the distribution scheme of the taking-back value chain.

Key words: circular economy; reverse supply chain; profit distribution; Stackelberg game

(责任编辑 傅旭东)