

# 闭环供应链协调问题研究综述

罗子灿, 罗定提

(湖南工业大学 管理科学与工程研究所, 湖南 株洲 412008)

**摘 要:**人们对经济与环境之间的关系越来越重视,供应链的研究重点已逐渐从传统的正向供应链研究转移到闭环供应链的研究。从三个方面对闭环供应链协调问题研究的现状和发展进行总结:新产品、回收废旧产品和再制造产品之间的协调;废旧产品回收渠道选择和协调;OEM(原始设备制造商)和 D(独立生产商)之间的关系。指出闭环供应链协调问题未来可能的发展方向。

**关键词:**闭环供应链;废旧产品;再制造产品

## Overview of the coordination of the Closed-Loop Supply Chains

LUO Zi-can, LUO Ding-ti

(The Institute of the Management Science and Engineering,  
Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

**Abstract:** The focus of supply chain research is gradually shifting from the classical supply chain to Closed-Loop Supply Chains, because the correlation between economics and ecology is more paid attention. We summarize the present situation and point out development of the coordination of Closed-Loop Supply Chains' research from three aspects: the coordination of new products, used products and remanufactured products, the choosing and coordination of the used products' recovery of channel, and the relationship of competition between OEM and D. At last, pointed out the possible of the future's direction of the development of the coordination of the Closed-Loop Supply Chains.

**Key words:** Closed-Loop Supply Chains; the recovery of channel; the relationship of competition; coordination

传统的正向供应链理论认为供应链是核心企业通过信息流、物资流和资金流等,与相关制造、组装、分销和零售企业共同建立的一种网链结构。企业利用这一网链将原材料加工成产品,再销售给最终用户。由于环境保护受到越来越多人的重视和一系列法律、法规的颁布,比如我国从 2003 年起要求电器产品生产商必须负责回收处理废旧产品,<sup>[1]</sup>欧盟规定生产商必须将至少 45% 的包装材料回收利用,<sup>[2]</sup>这一系列的措施对传统的正向供应链提出了新的要求,因此传统供应链理论研究已逐步从原来的“资源——生产——消费——废弃”模式发展成“资

源——生产——消费——再生资源”的封闭型循环模式。<sup>[3]</sup>而对闭环供应链的管理就是指在一定时间内从不同型号和数量的回收产品中使用系统性的设计、控制和生产运行手段、方法达到在产品生命周期里价值最大化的目的。<sup>[4]</sup>笔者基于闭环供应链的这些特征,从三个方面总结近年来闭环供应链协调问题的研究进展,即在单个企业里新产品、回收废旧产品和再制造产品之间的协调关系,废旧产品回收渠道选择与协调和 OEM(原始设备生产商)和 D(独立生产商)之间的竞争关系,最后指出未来可能的发展方向。

收稿日期: 2009 - 04 - 10

基金项目: 湖南工业大学研究生创新基金 (CX0802)

作者简介: 罗子灿 (1982 - ), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学硕士研究生, 研究方向为闭环供应; 罗定提 (1963 - ), 男, 湖南浏阳人, 湖南工业大学管理科学与工程研究所教授, 博士, 东南大学经济管理学院博士后, 主要从事供应链管理、技术创新管理研究。

## 一 新产品、回收废旧产品和再制造产品之间的协调问题

闭环供应链中的生产企业需要协调处于各种生命周期阶段的产品的生产和销售。比如, 在新产品中零部件的耐久性对再制造产品的数量和质量的影响; 企业既生产新产品又生产再制造产品时, 如何协调好两种产品之间的生产安排、营销策略, 以及成本等, 都是企业界、学术界关心的问题。

Ferrer<sup>[5]</sup>指出建立垄断者利润模型, 模型中假定再制造的产品和新产品在稳定的市场环境中都有机会销售, 企业通过合适的价格在该市场中销售再制造产品和新产品来获得最大利润。该文提出了 3 种策略: (1) 即生产再制造产品也生产新产品; (2) 只生产新产品; (3) 只生产再制造产品。在这些策略中企业对外一致宣称是再制造产品。

而对于 OEM 在什么时候选择再制造技术, Mark E. Ferguson 等<sup>[6]</sup>提出了一些指导意见。第一, 当回收产品在整个再制造过程中的固定或者 (和) 可变成本中占有主要部分时应进行再制造; 第二, 随着单位再制造成本的增加, 再制造策略的相对重要性也随之增加; 第三, 消费者接受再制造产品的程度可以通过消费者为该产品乐意付出的程度来衡量。

Debo 等<sup>[7]</sup>则从消费者对再制造产品的偏好和新产品对再制造产品的影响这两方面进行了研究, 认为在消费者偏好对再制造水平选择有影响的情况下, 特别是当有大量消费者具有低端产品的偏好时, 再制造水平将会提高, 这将会使再制造成本提高。由于新产品和再制造产品是相互独立的, 对新产品的低需求将使再制造产品减少, 因此企业可能会放弃新产品的当期利润转而从再制造产品上获利, 这将会使企业利润受到损失。而 Ferrer 等<sup>[8]</sup>在模型中假设消费者不能区分新产品与再制造产品, 分析了生产商在两阶段、多阶段和无限阶段生产周期时, 新产品和再制造产品的价格和生产数量的制定以及他们之间的相互影响。在新产品和再制造产品对企业利润和成本的影响分析中, Toktay 等<sup>[9]</sup>进一步认为使用再制造技术的公司, 新产品和再制造产品的生命周期成本 (life-cycle costs) 和销售收入决定该公司的利润收入。新产品和再制造产品的生产/销售是由不同的部门管理的。每个部门仅负责产品生命周期的一部分。在实际中公司各部门之间产品价格的转换也明显影响了产品生命周期中的利润。Geyer 等<sup>[10]</sup>建立了一个由两个基本因素 (零部件的有限耐久性和有限的产品生命周期) 约束的废旧产

品回收和再制造的生产系统模型。证明为了实现节省成本最大化需要协调生产成本、废旧品回收率、产品生命周期和零部件的耐久性之间的关系。Debo 等<sup>[11]</sup>研究了由新产品和在产品生命周期里逐渐渗透到潜在的再制造产品组合的整合式动态管理。

对于管理者决定回收哪些废旧产品进入再制造部门进行再制造, 哪些作为废弃物立即被卖掉的问题。V. Daniel R 等<sup>[12]</sup>建立了一个最优废旧产品回收处理的分析模型, 并提出分两步走的策略。第一步, 观察回收产品的随机过程时间; 第二步, 产品处理决策的制定: 如果这一过程时间比阈值  $k^*$  大, 那么产品立即被利用, 否则对回收产品进行再制造。

Atalay 等<sup>[13-14]</sup>结合企业里的绿色制造部门、与 OEM 的竞争和产品生命周期的影响对再制造系统的利润进行了研究, 认为企业里的再制造系统的利润显著地依赖于以上因素。从企业垄断角度出发证明了在再制造成本节约、绿色技术的使用规模、市场的成长率和消费者对再制造产品价值的估值水平中存在阈值, 只有高于该值再制造才有利可图。同时研究了生产者责任延伸 (EPR) 法规对经济和环境的影响, 以及区分出了有效率地回收废旧品的条件。

新产品的设计 (产品零部件的耐久性)、销售数量、回收率和消费者偏好对再制造产品的数量和成本有着明显的影响。当市场上既存在再制造产品又存在新产品时, 新产品对再制造产品的销售数量和价格存在着影响。新产品销售得越少, 可回收再制造的产品就越少, 而当消费者偏好低端产品时, 这将会使再制造成本提高, 从而企业可能会放弃新产品的当期利润转而从再制造产品上获利, 这将会使企业利润受到损失。作为从事新产品和再制造产品销售的公司, 需要协调好各部门的关系, 因为每个部门仅负责产品生命周期的一部分。所以再制造对企业各方面的管理提出了更高的要求, 要协调好制造部门和再制造部门之间的各种关系, 同时企业的营销方式也应随之变化。

## 二 废旧产品回收渠道的选择与协调

把废旧产品从市场上回收到生产商手中往往需要几方的参与: 消费者、零售商、第三方回收公司和生产商。对他们的各种组合就构成了各种可能的回收渠道。对这些渠道的废旧产品回收数量、各方参与者的利润等分析较之传统前向供应链的分析将更加复杂, 这就需要更为全面的考虑。

Stem等<sup>[15]</sup>描述了在不同闭环供应链渠道中的各成员的功能,并比较了这些不同的渠道。

而Fleischmann<sup>[16]</sup>和Atalay<sup>[17]</sup>等则更进一步考虑了各种因素对逆向供应链效率的影响。Fleischmann等考虑了逆向物流网络的设计。假设产品价格、需求比率和再制造水平为外生变量,并且消费者不能区分再制造产品和新产品,解决了在给定再制造水平和产品价格下,决定最低生产成本的政策制定和网络设计问题。Atalay等考虑了一个回收商回收废旧产品然后运输给制造商,制造商进行再制造后再在现行市场下销售产品,从而回收废旧产品中的剩余价值。因此,回收商运输回收产品给制造商的时间和数量影响着制造商的生产、库存和再制造的决策和成本。通过分析得出最优的运输频率,并且通过模型的数值模拟得到最快的逆向供应链不是最有效率的结论。

为了进一步探讨闭环供应链中各成员之间的复杂关系,国内的一些学者开始使用博弈论和契约论的相关内容和方法进行研究。通过建立Stackelberg模型,分析在各种渠道下的废旧产品的回收率、回收价格以及利润分配等问题,再使用契约论来解决问题。顾巧论等<sup>[18]</sup>对两个非合作博弈模型和一个合作博弈模型进行了比较,给出了相应的定价策略。研究表明,当制造商和零售商分别决策时,双方的最优回收价格低于制造商为主导、零售商为跟随的最优回收价格,废旧产品的回收数量减少,双方的利润及系统利润也相应减少。对于集中决策和分散决策对供应链各方成员利润和回收率等影响的问题,郭亚军等<sup>[3,19]</sup>对有零售商、生产商和第三方回收公司的闭环供应链在产品零售价、回收率、供应链的整体利润、产品订货量、回收价格等方面进行了研究。

以上文献只就一种闭环供应链或者是同一种闭环供应链下集中决策与分散决策时的优劣进行了分析,而樊松<sup>[20]</sup>和Savaskan<sup>[21]</sup>等则对几种闭环供应链进行了比较。樊松主要比较了制造商、零售商和第三方回收的利润,建立了在相同初始投入系数、回收率随回收价格变动情况下的优化模型,通过对结果的比较,并且分析制造商和零售商的利润构成,得到在初始投入一致的情况下,制造商回收和零售商回收利润相同并且都优于第三方回收的结论,并且讨论了不同初始投入系数对回收渠道选择的影响。

Savaskan在二级供应链和该供应链中只有单一的生产商、零售商的闭环供应链的运营模式下提出四种可能的回收渠道,并对它们的产品零售价、废旧

产品回收率、闭环供应链整体利润等进行了比较、分析。得出生产商——零售商型的集中化决策要优于其它类型的闭环供应链。

对于由制造商和零售商(其中零售商不仅销售新产品同时也回收废旧产品)构成的闭环供应链的问题,熊中楷、<sup>[22]</sup>李新军、<sup>[23]</sup>张克勇<sup>[24]</sup>等进行了一定程度的研究。其中熊中楷研究了在单个制造商和单个销售商构成的分散式闭环供应链中,占主导地位的制造商如何制定质量处罚比例和质量抽检比例,从而对销售商回收的废旧产品数量和质量实施引导和控制。李新军<sup>[23]</sup>研究了闭环供应链的收入共享契约问题,销售商决定销售价格、回收努力水平,制造商决定产品批发价格和回购价格。表明供应链及其成员绩效受3个系统参数,即销售价格、回收努力水平和收入分享比例的影响,从而为闭环供应链的契约双方签订最优契约提供决策依据。张克勇研究一个制造商与一个销售商组成的具有产品回收的闭环供应链差别定价问题,得到了闭环供应链成员的最优定价策略和最终利润,进一步对几种模型的效率进行了分析,发现分散式决策使得整个闭环供应链利润损失了25%,最后提出一种收益共享协调差别定价策略。

为了能有效降低回收产品的成本和前置时间,有关学者对各种回收渠道进行了研究并认为要想有效降低再制造的成本和保证废旧产品的质量水平,必须协调好供应链上的各方参与者之间的关系和利润的分配。Savaskan更全面的分析了几种回收方式,比较了他们之间的废旧产品回收率、产品零售价格和利润。此时集中型决策的组织往往比分散型决策的组织能获取更多的利润和回收更多的废旧产品,并有效降低产品的零售价格。为了解决分散型决策效率低下这一问题,国内部分学者使用了契约理论进行了一定程度的研究。通过供应链上各成员之间相互订立契约,来解决利润如何分配的问题,从而提高各成员的绩效。

### 三 OEM(原始设备生产商)和D(独立生产商)之间的竞争关系

由于闭环供应链比传统的前向供应链具有更多的链上成员,也就具有了更多的潜在和实际的竞争者,这就使得OEM很可能需要面对两个市场的竞争——新产品市场和废旧回收品市场,而这两个市场往往会相互影响,因此企业的市场战略制定将更为复杂。

为了探讨 OEM 和本地再制造商 (local remanufacturer) 之间的竞争问题, Majumder 等<sup>[25]</sup>通过求解 Nash 均衡和数值试验得出, 当本地再制造商参与销售市场的竞争时, 他有动机去降低 OEM 的再制造成本。作为想提升再制造在制造领域所占比例的政府可以通过激励 OEM 增加可进行再制造产品的比例或者降低再制造的成本来实现这一目的。

Ferguson 等<sup>[6]</sup>描述了由于其他再制造企业的竞争导致的潜在利润流失的特征和分析了两种企业进入新产品市场的威胁策略: 进行再制造和先行回收。通过研究发现一个企业在垄断的环境下不会选择再制造或者先行回收废旧产品, 但是当市场有新进入者时可能会采取这些策略来威胁新进入者。最后得到每种策略下利益达到最大化的条件。对于通过使用再制造策略来阻止新竞争者的进入, 除了 Ferguson 等对此进行了研究外, Atalay 等<sup>[13]</sup>证明在竞争环境下, 再制造可以在制造商通过价格歧视巩固市场份额方面作为有效的市场策略被制造商所采用。

Debo<sup>[7]</sup> Ferrer<sup>[9]</sup>等则探讨了市场竞争的加剧对再制造企业和 OEM 的影响。当企业垄断了新产品市场而再制造产品处于竞争市场中, 并且制造商不能从再制造产品中获利时, Debo 等指出随着市场竞争的加剧, 再制造产品和使用过的再制造产品的价格和投资于再制造过程中获得的利润、净固定资产、再制造水平都会下降。Ferrer 等指出当企业处于双寡头市场中, D 会回收 OEM 生产的产品, 从而进行再制造并销售出去。如果再制造的产品具有高利润, 那么 OEM 可能会忽视第一期中生产的新产品利润, 即降低价格和销售更多的新产品以使未来有更多的可再制造的材料。并且, 随着竞争的加剧, OEM 将会更加充分地利用回收产品, 以更加低的价格销售。

在垄断市场的情况下, OEM 生产商是没有动力去进行回收废旧产品和再制造的, 但是在优先考虑环境因素和市场上存在竞争厂商时, OEM 生产商将会采取这些策略来改善环境或者威胁进入者。而这又反过来影响了 OEM 生产商新产品的生产数量、价格的制定和对再制造的投入程度, 这将影响该企业的市场战略。

#### 四 研究评述

笔者对最近几年国内外的闭环供应链研究文献从三个方面进行了归纳, 对新产品与再制造产品相互之间关系的研究, 可以说具有了一定的深度, 获得

了一些与以往不同的新结果。而这些结果有些反应了实际生产过程中产生的问题, 有些则提供了新的视角。国内的研究多数集中于闭环供应链上各成员之间的协调问题, 通过比较不同情形下的利润、成本等, 来获取最佳的闭环供应链成员结构。而对于 OEM 和 D 之间竞争关系的研究目前还不是很深入, 因此本文认为闭环供应链的协调问题还有如下一些问题值得继续研究。

(1) 从回收渠道看, 现在的研究还主要是分析确定型的废旧产品回收数量, 如果考虑了渠道中的随机性, 那原来的研究结果是否成立, 随机性所产生的数量波动性对渠道的影响以及渠道中各成员之间在这种情况下的关系会有什么变化, 这都需要进一步的研究。

(2) OEM 与 D 之间的竞争关系。目前的研究还主要是两个生产厂商之间的竞争, 还没有考虑多个厂商之间的竞争问题, 以及使用闭环供应链中各成员企业与其他供应链中各成员之间的竞争与合作关系的问题。

(3) 在目前的研究中都假设, 再制造的成本要始终小于制造成本, 如果放宽这一假设企业是否还会有动力进行产品的回收再制造, 以及用什么手段 (法律或者市场) 才能驱使企业从事产品的回收、再制造。

(4) 这方面的实证研究还很少, 在将来的研究中还需进一步去挖掘新的问题, 并促进理论研究。

#### 参考文献:

- [1] 姚卫新. 闭环供应链的设计原则 [J]. 物流技术, 2003 (5): 18 - 20.
- [2] 杨汝梁. 逆向物流的形成原因及价值分析 [J]. 企业经济, 2005 (3): 25 - 27.
- [3] 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 (12): 15 - 20.
- [4] Guide, Jr V. D. R., L. N. Van Wassenhove. The evolution of closed-loop supply chain research. Operations Research. Forthcoming
- [5] Ferrer G. Market segmentation and product line design in remanufacturing. Working paper 96/66/TM, NSEAD, 1996, Fontainebleau, France
- [6] Mark E. Ferguson, L. Beril Toktay. The Effect of Competition on Recovery Strategies [J]. Production and Operations Management, 2006 (3): 351 - 368.
- [7] Laurens G. Debo, L. Beril Toktay, Luk N. Van Wassen-

- hove. Market Segmentation and Product Technology Selection for Remanufacturable Products [J]. Management Science, 2005 (8): 1193 - 1205.
- [8] Geraldo Ferrer, Jayashankar M. Swaminathan. Managing New and Remanufactured Products [J]. Management Science, 2006 (1): 15 - 25.
- [9] L. Beril Toktay, Donna Wei. 2006. Cost Allocation in Manufacturing - Remanufacturing Operations. Working paper, NSEAD, Fontainebleau, France.
- [10] Roland Geyer, Luk N. Van Wassenhove, Atalay Atasu. The Economics of Remanufacturing Under Limited Component Durability and Finite Product Life Cycles [J]. Management Science, 2007 (1): 88 - 100.
- [11] Laurens G Deba, L. Beril Toktay, Luk N. Van Wassenhove. Joint Life - Cycle Dynamics of New and Remanufactured Products [J]. Production and Operations Management, 2006 (4): 498 - 513.
- [12] Guide, Jr V. D. R., E. Guens, G. Souza, and L. N. Van Wassenhove. The optimal disposition decision for product returns. Operations Management Research. Forthcoming.
- [13] Atalay Atasu, Miklos Sarvary, Luk N. Van Wassenhove. Remanufacturing as a Marketing Strategy [J]. Management Science, 2008 (10): 1731 - 1746.
- [14] Atasu, A., L. Van Wassenhove, M. Sarvary. "Efficient Take - Back Legislation," forthcoming, Production and Operations Management, 2008.
- [15] Stem L. W., A. I. El - Ansary, A. T. Coughlan. Marketing Channels [M]. Prentice - Hall, Englewood Cliffs, 1996.
- [16] Fleischmann M. Quantitative models for reverse logistics [D]. Erasmus University: Rotterdam, The Netherlands 2000.
- [17] Atasu A., S. etinkaya. Lot Sizing for Optimal Collection and Use of Remanufacturable Products over a Finite Life Cycle [J]. Production and Operations Management, 2006 (4): 473 - 487.
- [18] 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.
- [19] 郭亚军, 李少江, 赵礼强. 基于第三方的一类闭环供应链协调问题研究 [J]. 工业工程与管理, 2007 (5): 18 - 22.
- [20] 樊松, 张敏洪. 闭环供应链中回收价格变化的回收渠道选择问题 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2008 (2): 151 - 160.
- [21] Savaskan R. C., S. Bhattacharya, L. N. Van Wassenhove. Closed - loop supply chain models with product remanufacturing [J]. Management Science, 2004 (2): 239 - 252.
- [22] 熊中楷, 曹俊, 刘克俊. 基于动态博弈的闭环供应链回收质量控制研究 [J]. 中国管理科学, 2007 (4): 42 - 50.
- [23] 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, 2008 (3): 535 - 539.
- [24] 张克勇, 周国华. 具有产品回收的闭环供应链差别定价策略研究 [J]. 数学的实践与认识, 2008 (12): 19 - 25.
- [25] Pranab Majumder, Harry Groenevelt. Competition in Remanufacturing [J]. Production and Operations Management, 2001 (2): 125 - 141.

责任编辑:徐蓓