

# 具竞争零售商的再制造闭环供应链模型研究<sup>①</sup>

易余胤

(暨南大学管理学院, 广州 510632)

**摘要:** 在制造商领导、零售商领导以及市场无领导者 3 种力量结构下建立了具竞争零售商的再制造闭环供应链博弈模型, 研究和对比了不同力量结构对回收率、零售价、渠道成员利润、渠道总利润的影响. 研究表明: 回收率在市场无领导者时最高, 在零售商领导时最低. 零售价在制造商领导时最高, 最小是市场无领导者结构. 从环保、消费者利益和整个行业的利润来看, 无领导者的市场结构最优. 然而, 制造商和零售商均有动机成为领导者. 在具领导者的市场结构下, 从环保的角度看, 制造商领导的市场结构更优, 但消费者和整个行业偏好零售商领导的市场结构.

**关键词:** 再制造; 闭环供应链; 博弈

**中图分类号:** F272 F252   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2009)06-0045-10

## 0 引言

近年来, 随着环境法规的健全和国际竞争加剧, 制造型企业面临着生产和环境共同协调发展的挑战: 企业不仅要进行绿色管理、生产绿色产品, 而且要求对其产生的废弃物进行回收处理, 尽量减少污染环境的废物, 提高资源的利用率. 在国外, 许多制造型企业已经通过逆向物流的顺利实施将资源消耗和环境影响降至最小, 实现了可持续发展. 然而, 在我国, 企业往往只注重正向业务的经营与发展, 忽视逆向物流的建设与管理, 由此造成了大量资源的浪费和生态环境的破坏, 也给自己带来不小的经济损失. 另外, 在 WTO 的背景下, 越来越多的发达国家跨国企业会在中国投资建厂, 中国本土工业也蒸蒸日上, 无疑中国会成为世界制造业的大工厂. 然而, 制造业是现今对自然环境扰动最大的产业, 工业系统与环境的冲突愈发尖锐. 加强逆向物流建设和管理, 既可以对社会环境和生态保护起着相当积极的作用, 也符合企业可持续性发展的思想, 具有重要的现实意义. 然

而, 由于我国逆向物流活动开展较晚, 有关逆向物流的理论和实践工作都相当薄弱. 有鉴于此, 加强对逆向物流的研究具有非常重要的理论和实践意义.

废旧产品通过逆向物流回收后根据其用途主要分为 3 种类型: 再循环、再使用和再制造. 其中再循环一般是从低价值产品中循环物料, 再使用主要是指对包装物的直接再使用, 再制造一般是指对价值较高的废弃产品在产品或零件水平的再制造. 因为再制造需要对原有产品有一定的了解, 所以一般主要由制造商来做. 而制造商参与再制造使得逆向物流与正向物流构成了闭环供应链网络结构. 显然, 这种类型的网络具有更大的复杂性和更高的经济价值. 因此, 对再制造闭环供应链的研究具有更为重要的理论和实践意义.

在现有的关于再制造逆向物流的理论研究中, 大多数都是应用运筹优化的研究方法建立逆向物流网络设计模型, 探索如何有效地降低逆向物流成本, 提高企业竞争力. Spengler 等<sup>[1]</sup>应用具

① 收稿日期: 2007-08-14; 修订日期: 2008-04-01.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70901033); 广东省自然科学基金资助项目(32206042).

作者简介: 易余胤(1976—), 男, 江西于都人, 博士, 副教授. Email: yiyuyin200@sina.com

多层有能力限制的设施选址模型研究了德国钢铁企业的副产品回收逆向网络. Jayaraman等<sup>[2]</sup>研究了美国的一个电子设备再制造公司的物流网络,提出了混合整数规划来确定电子器件的再制造工厂的最佳数量和位置. Jayaraman等<sup>[3]</sup>扩展了先前的工作,解决包括危险产品的逆向物流运作的2层等级布局问题. 马祖军等<sup>[4]</sup>考虑再制造物流系统中废旧产品回收量和再生产品需求量的不确定性,提出单产品、单周期、有能力限制的再制造物流网络稳健优化设计模型. 代颖等<sup>[5]</sup>在正向物流网络基础上扩建产品回收逆向物流网络,基于混合整数线性规划方法建立了单产品、有能力限制的逆向物流网络优化设计模型,据此确定物流网络中各种设施的数量和位置,并在由此构成的各条物流路径上合理分配物流量,以使各种设施的投资和运营成本之和最小. 岳辉等<sup>[6]</sup>建立了在第3方逆向物流企业参与情况下的再制造逆向物流网络随机规划模型,给出了用期望值方法和机会约束规划方法求解模型的步骤,通过实例数值仿真,揭示了回收量的波动对最优选址策略的影响. 然而,以上研究工作没有考虑不同回收渠道的优劣性,也没有考虑逆向物流决策对正向物流决策的作用. 而且,他们的研究都局限在一个确定的回收渠道,不能为在不同环境下逆向回收渠道的设计提供一般性的理论框架,也无法探讨渠道成员如何就回收率、批发价、零售价等做出最优决策的问题.

近几年,越来越多的学者开始运用博弈论的方法研究闭环供应链的问题. Savaskan等<sup>[7]</sup>用博弈的方法研究了1个制造商和1个零售商在再制造闭环供应链中如何决策以及制造商如何选择回收渠道的问题. 他们考虑了3种回收渠道:制造商直接回收、制造商委托零售商回收和制造商委托第3方回收,并研究了渠道成员在不同回收渠道下的最优决策,最后,通过比较各个回收渠道的批发价、零售价、回收率和整个渠道的利润评价每个渠道的优劣. Savaskan等<sup>[8]</sup>在把之前的研究推广到1个制造商与2个竞争零售商的情形. 姚卫新<sup>[9]</sup>也对以上3种回收渠道进行了比较分析. 王发鸿等<sup>[10]</sup>对Savaskan等的模型进行了改进,在模型中增加了回收产品可再制造比率,并在此基础上研究制造商对回收渠道选择的决策问题. 黄祖

庆等<sup>[11]</sup>将直线型再制造闭环供应链分为5种不同的决策结构,研究该供应链在不同决策结构下的收益以及与集成式“超组织”结构相比的效率损失. 王玉燕等<sup>[12]</sup>对单一制造商和单一零售商构成的闭环供应链进行了研究,应用博弈理论对闭环供应链的定价策略进行了分析. 晏妮娜等<sup>[13]</sup>在价格敏感的随机需求量与回收努力敏感的随机回收量条件下,建立了基于第3方逆向物流服务提供商从事物料回收的多级闭环供应链模型.

显然,以上研究<sup>[7-13]</sup>为闭环供应链的研究提供了新思路,但也有不足之处,例如,只考虑了制造商主导零售商的市场结构,而忽略了零售商的市场力量. 事实上,近几年,伴随着零售业合并并购趋势的加快以及巨型零售商如沃尔玛、家乐福、7-11等新的零售业态的出现,供应链中的相关经济力量也发生了巨大变化. 市场的支配力量从生产厂商逐步转移到零售企业. 因此,市场可能呈现3种不同的市场力量结构或博弈结构:制造商领导的Stackelberg博弈、零售商领导的Stackelberg博弈、制造商和零售商Nash均衡博弈<sup>[14-16]</sup>. Choi<sup>[14]</sup>在上述3种不同市场力量结构下研究了双头垄断的制造商共用1个零售商时如何进行决策的问题,并且分析了市场力量、产品差异化、生产成本对决策的影响. Choi<sup>[15]</sup>把上述结论推广到双头垄断的制造商和双头垄断的零售商的情形. Seong等<sup>[16]</sup>在上述3种不同市场力量结构下研究了由1个制造商和1个零售商组成的渠道,对直接销售渠道、间接销售渠道和混合销售渠道的决策变量和渠道利润进行了比较. 但以上研究仅仅考虑了正向物流过程,忽略了逆向物流过程.

本文将把逆向物流和正向物流结合起来,在上述3种不同市场力量结构下建立再制造闭环供应链博弈模型,研究渠道成员的市场力量对回收率、均衡价格、均衡利润和渠道总利润的影响. 本文的研究与前人研究的不同之处在于:1)探讨了3种可能的市场力量结构,而上述研究只考虑了制造商主导零售商的市场结构;2)本文研究的是不同市场力量结构对渠道成员决策的影响,而上述主要研究不同回收渠道对渠道成员决策的影响.

## 1 模型的基本假设

考虑由 1 个制造商和 2 个竞争零售商组成的市场, 制造商负责生产产品, 以批发价卖给零售商, 并委托零售商回收废旧产品用于再制造. 假设再制造的产品可以被升级为新产品的品质水准, 可以拿到新产品市场销售. 零售商负责分销制造商生产的产品, 以及从消费者手中回收废旧产品, 且回收的废旧产品均可再制造.

本文将考虑 3 种市场结构, 制造商领导的 Stackelberg 博弈、零售商领导的 Stackelberg 博弈和制造商与零售商的 Nash 均衡博弈. 制造商领导的市场结构代表由少数几个大型制造商和很多相对较小的零售商组成的市场, 该市场被制造商主导, 因此它可以起到 Stackelberg 领导者的角色, 可以利用零售商的反应函数对批发价格作决策, 零售商的零售价格和回收率依赖于批发价格. 零售商领导的市场结构假设零售商比制造商拥有更大的市场影响力 (如大型百货公司和超市等零售巨头), 在这个市场中, 制造商主要关心来自零售巨头的订单. 制造商的批发价依赖于零售商的零售价格和回收率, 而零售商利用制造商的反应函数对零售价格和回收率做决策. 制造商和零售商 Nash 博弈代表了一类由相对小到中型的制造商和零售商组成的市场, 因为制造商不能主宰市场, 因此它的价格决策依赖于零售商的零售价格和回收率. 同样, 零售商也不能利用制造商的反应函数做价格决策, 因此, 它的零售价格和回收率决策依赖于制造商的批发价格.

假设零售商  $i$  的市场需求为

$$q_i = \varphi - p_i + \beta p_j, \quad i \neq j, \quad i, j = 1, 2$$

其中  $p_i$  为零售商  $i$  的零售价格,  $\beta$  为产品替代效应且  $0 < \beta < 1$ . 假设制造商给每个零售商的批发价均为  $w$ , 则零售商  $i$  的单位产品的利润为  $m_i$ ,  $m_i = p_i - w$ . 假设制造商制造新产品的单位成本为  $c_m$ , 再制造的单位成本为  $c_r$ . 从零售商那里每获得 1

单位旧产品给予零售商的补贴为  $b$ , 其中  $0 < b \leq c_m - c_r$ , 即从再制造中节约下来的费用必须不小于付给零售商的补贴. 假设零售商  $i$  的回收努力成本为  $C(\tau_i)$ , 其中  $\tau_i$  为回收率, 且  $C'(\tau_i) > 0$ ,  $C''(\tau_i) > 0$  即回收努力成本随着回收率的增加而增加, 且回收边际成本递增. 为方便分析, 不妨假设回收努力成本为  $C\tau_i^2$ , 其中  $C > \delta^2$ ,  $\delta = c_m - c_r$  表示从再制造中节约的单位成本. 显然, 若零售商  $i$  的回收率为  $\tau_i$ , 则零售商  $i$  可回收废旧产品的数量为  $\tau_i(\varphi - p_i + \beta p_j)$ , 制造商的平均单位生产成本为

$$c = (1 - \tau_i)c_m + \tau_i c_r = c_m - \delta \tau_i$$

注意到: 若每个顾客都返还废旧产品, 则  $c = c_r$ ; 若废旧产品的回收率为 0 则市场需求全部要由全新制造的产品来满足, 此时  $c = c_m$ .

根据以上假设, 可知零售商  $i$  的利润函数为

$$\pi_{R_i} = (\varphi - p_i + \beta p_j)(p_i - w) + b\tau_i(\varphi - p_i + \beta p_j) - C\tau_i^2 \quad (1)$$

制造商的利润函数为

$$\pi_M = (\varphi - p_1 + \beta p_2)(w - c_m + \delta \tau_1 - b\tau_1) + (\varphi - p_2 + \beta p_1)(w - c_m + \delta \tau_2 - b\tau_2) \quad (2)$$

## 2 制造商和零售商 Nash 均衡博弈

在制造商和零售商均非领导者的市场中, 假设制造商和零售商同时行动, 制造商决定批发价格  $w$ , 零售商  $i$  决定零售价格  $p_i$  和回收率  $\tau_i$ .

式 (1) 分别对零售价格  $p_i$  和回收率  $\tau_i$  求导, 可得一阶条件为

$$\varphi + w - 2p_i + \beta p_j - b\tau_i = 0 \quad (3)$$

$$b(\varphi - p_i + \beta p_j) - 2C\tau_i = 0 \quad (4)$$

把  $p_i = m_i + w$  带入式 (2), 并对  $w$  求导, 整理后可得一阶条件为

$$2\varphi - (1 - \beta)[p_1 + p_2 + 2(w - c_m) + (\delta - b)(\tau_1 + \tau_2)] = 0 \quad (5)$$

联立式 (3) (4) (5), 可求得最优批发价、零售价格和回收率分别为

$$w^{N^*} = \frac{[2C + (1 - \beta)b(b - \delta)]\varphi + [2C(2 - \beta) - b^2(1 - \beta)](1 - \beta)c_m}{(1 - \beta)[2C(3 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]}$$

$$p_1^{N^*} = p_2^{N^*} = \frac{[2C(2 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]\varphi + 2C(1 - \beta)c_m}{(1 - \beta)[2C(3 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]}$$

$$\tau_1^* = \tau_2^* = \frac{b[\varphi - (1 - \beta)c_m]}{2C(3 - \beta) - b(1 - \beta)\delta}$$

命题 1 在无领导者市场中, 若回收补贴增加, 则将 1) 降低零售商的零售价; 2) 提高废旧产品回收率; 3) 提高制造商的批发价。

证明 容易验证

$$\frac{\partial p_i^*}{\partial b} < 0 \quad \frac{\partial \tau_i^*}{\partial b} > 0 \quad \frac{\partial w_i^*}{\partial b} > 0$$

成立。

从命题 1 可以看到, 回收补贴将对零售价、回

$$\pi_T^* = \pi_M^* + \pi_{R_1}^* + \pi_{R_2}^* = \frac{2C[4C(2 - \beta) - b^2(1 - \beta)][\varphi - (1 - \beta)c_m]}{(1 - \beta)[2C(3 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]^2}$$

命题 2 在无领导者市场中, 制造商的最优回收补贴为  $b = \delta$

证明 从  $\pi_M^*$  的表达式可以看出, 当制造商的回收补贴  $b$  越逼近  $\delta$  时, 制造商的利润越高。因此, 制造商的最优回收补贴为  $b = \delta$

命题 2 表明, 制造商没有享受到任何从再制造中节约下来的费用。这个结果似乎有违直观, 但事实上, 虽然制造商没有内部化再制造所节约的成本, 但由于制造商回收补贴的增加, 将起到激励零售商降低零售价的作用, 从而导致产品需求的增加, 加上制造商回收补贴的增加提高了制造商的批发价, 因此, 制造商的利润仍然获得增长。另外, 制造商补贴的增加, 也将提高零售商的废旧产品回收率, 从而降低制造商的平均生产成本, 提高制造商的利润。

### 3 制造商 -Stackelberg 博弈

在制造商领导的市场中, 假设制造商和零售商进行两阶段动态博弈, 博弈顺序为:

$$w^{M^*} = \frac{2C(2 - \beta)[\varphi - (1 - \beta)c_m] - b(1 - \beta)(2\delta - b)\varphi + b^2(1 - \beta)^2c_m}{2(1 - \beta)[2C(2 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]}$$

由  $w^{M^*}$ , 可求出  $p_i^{M^*}$  和  $\tau_i^{M^*}$  分别为

$$p_1^{M^*} = p_2^{M^*} = \frac{[C(3 - 2\beta) - b(1 - \beta)\delta]\varphi + C(1 - \beta)c_m}{(1 - \beta)[2C(2 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]}$$

$$\tau_1^{M^*} = \tau_2^{M^*} = \frac{b[\varphi - (1 - \beta)c_m]}{4C(2 - \beta) - 2b(1 - \beta)\delta}$$

命题 4 在制造商领导的市场中, 若回收补

贴增加, 则将 1) 降低零售商的零售价; 2) 提高废旧产品回收率; 3) 提高制造商的批发价。

证明 容易验证

$$\pi_M^* = \frac{8C^2[\varphi - (1 - \beta)c_m]^2}{(1 - \beta)[2C(3 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]^2}$$

$$\pi_{R_1}^* = \pi_{R_2}^* = \frac{C(4C - b^2)[\varphi - (1 - \beta)c_m]^2}{[2C(3 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]^2}$$

渠道总利润为

- 1) 制造商决定批发价格  $w$ ;
- 2) 零售商  $i$  决定零售价格  $p_i$  和回收率  $\tau_i$ 。

由于上述博弈为完全信息动态博弈, 其均衡是子博弈精炼纳什均衡, 因此可以采用逆向归纳法来求解博弈。

联立式 (3) 和 (4), 可求得零售商  $i$  的最优零售价格  $p_i$  和回收率  $\tau_i$  分别为

$$p_1^{M^*} = p_2^{M^*} = \frac{2C(w + \varphi) - b^2\varphi}{2C(2 - \beta) - b^2(1 - \beta)}$$

$$\tau_1^{M^*} = \tau_2^{M^*} = \frac{b[\varphi - w(1 - \beta)]}{2C(2 - \beta) - b^2(1 - \beta)}$$

从上面零售价和回收率的表达式容易得到如下命题 3

命题 3 零售商的零售价与批发价正相关, 而回收率与批发价负相关。

给定  $p_i^{M^*}$  和  $\tau_i^{M^*}$ , 制造商最大化利润函数为

$$\max_w \pi_M = (\varphi - p_1^{M^*} + \beta p_2^{M^*})(w - c_m + (\delta - b)\tau_1^{M^*}) + (\varphi - p_2^{M^*} + \beta p_1^{M^*}) \times [w - c_m + (\delta - b)\tau_2^{M^*}]$$

可求得, 对某个给定的  $b$  有

贴增加, 则将 1) 降低零售商的零售价; 2) 提高废旧产品回收率; 3) 提高制造商的批发价。

证明 容易验证

$$\frac{\partial p_i^{M^*}}{\partial b} < 0 \quad \frac{\partial \tau_i^{M^*}}{\partial b} > 0 \quad \frac{\partial w_i^{M^*}}{\partial b} > 0$$

成立。

把  $w^{M^*}$ 、 $p_i^{M^*}$  和  $\tau_i^{M^*}$  代入式 (2) 和 (1) 中, 可得

制造商和零售商  $i$  的最优利润为

$$\pi_M^{M^*} = \frac{C[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{(1 - \beta)[2C(2 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]J}$$

$$\pi_{R_i}^{M^*} = \frac{C[4C(3 - 2\beta) - b^2(1 - \beta) - 2b(1 - \beta)\delta]J[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{2(1 - \beta)[2C(2 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]J^2}$$

命题 5 在制造商领导的市场中, 制造商的最优回收补贴为  $b = \delta$

证明 从  $\pi_M^{M^*}$  的表达式可以看出, 当制造商的补贴  $b$  越逼近  $\delta$  时, 制造商的利润越高. 因此, 制造商的最优回收补贴为  $b = \delta$

命题 5 表明, 在制造商领导的市场中, 制造商也没有享受到任何从再制造中节约下来的费用. 原因也正是由于制造商补贴的增加, 将起到激励零售商降低零售价和提高废旧产品回收率的作用, 从而导致产品需求增加以及平均生产成本的减少, 进而提升制造商的利润.

## 4 零售商 -Stackeberg 博弈

在零售商领导的市场中, 假设制造商和零售商进行两阶段动态博弈, 博弈顺序为:

- 1) 零售商先决定零售价格  $p_i$  和回收率  $\tau_i$ ;
- 2) 制造商决定批发价格  $w$ ;

由于上述博弈为完全信息动态博弈, 其均衡是子博弈精炼纳什均衡, 因此可以采用逆向归纳法来求解博弈.

由式 (5) 可得最优批发价为

$$w^{R^*} = \frac{2\varphi - (1 - \beta)[p_1 + p_2 + (\delta - b)(\tau_1 + \tau_2) - 2c_m]}{2(1 - \beta)}$$

$$w^{R^*} = \frac{[4C + b^2(1 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]J\varphi + (1 - \beta)[2C(5 - 3\beta) - b(1 - \beta)(b + \delta)]c_m}{(1 - \beta)[2C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta(b + \delta)]}$$

命题 7 在零售商领导的市场中, 若回收补贴增加, 则将 1) 降低零售商的零售价; 2) 提高废旧产品回收率; 3) 提高制造商的批发价.

证明 容易验证

$$\frac{\partial p_i^{R^*}}{\partial b} < 0, \quad \frac{\partial \tau_i^{R^*}}{\partial b} > 0, \quad \frac{\partial w_i^{R^*}}{\partial b} > 0$$

成立.

把  $w^{R^*}$ ,  $p_i^{R^*}$  和  $\tau_i^{R^*}$  代入式 (2) 和 (1), 可得制

$$\pi_{R_1}^{M^*} = \pi_{R_2}^{M^*} = \frac{(4C - b^2)C[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{4[2C(2 - \beta) - b(1 - \beta)\delta]J^2}$$

渠道总利润为

从批发价的表达式可得如下命题 6

命题 6 制造商的批发价与零售价和回收率负相关, 与制造成本正相关.

在命题 6 中, 制造商的批发价与零售价负相关似乎有违直观. 但事实上, 当零售价增加时, 市场需求将减少, 这可能导致制造商的利润降低. 因此, 制造商将被迫通过降低批发价来激励零售商降低零售价, 提高市场需求.

给定  $w^{R^*}$ , 零售商最大化利润函数

$$\max_{p_i, \tau_i} \pi_{R_i} = (\varphi - p_i + \beta p_j) \times (p_i - w^{R^*} + b\tau_i) - C\tau_i^2$$

将上式分别对零售价格  $p_i$  和回收率  $\tau_i$  求导, 可得一阶条件如下

$$(3\beta - 5)\varphi + [6p_i - 2c_m + (\delta + b)\tau_i + (\delta - b)\tau_j] \times (1 - \beta) + (1 - 4\beta + 3\beta^2)p_j = 0 \quad (6)$$

$$(b + \delta)(\varphi - p_i + \beta p_j) - 4C\tau_i = 0 \quad (7)$$

联立式 (6) 和 (7), 可求得最优的零售价格和回收率分别为

$$p_1^{R^*} = p_2^{R^*} = \frac{[C(10 - 6\beta) - (1 - \beta)\delta(b + \delta)]J\varphi + 4C(1 - \beta)c_m}{(1 - \beta)[2C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta(b + \delta)]J}$$

$$\tau_1^{R^*} = \tau_2^{R^*} = \frac{(\delta + b)[\varphi - c_m(1 - \beta)]J}{C(14 - 6\beta) - [(1 - \beta)\delta(\delta + b)]J}$$

给定  $p_i^{R^*}$  和  $\tau_i^{R^*}$ , 可求得, 对某个给定的  $b$  有

制造商和零售商的最优利润分别为

$$\pi_M^{R^*} = \frac{32C^2[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{(1 - \beta)[C(14 - 6\beta) - (1 - \beta)\delta(b + \delta)]J^3}$$

$$\pi_{R_1}^{R^*} = \pi_{R_2}^{R^*} = \frac{C[24C - (b + \delta)^2][\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{[C(14 - 6\beta) - (1 - \beta)\delta(b + \delta)]J^2}$$

渠道总利润为

$$\pi_T^{R^*} = \frac{2C[C(40 - 24\beta) - (b + \delta)^2(1 - \beta)]\varphi - (1 - \beta)c_m J^2}{(1 - \beta)[C(14 - 6\beta) - (1 - \beta)(b + \delta)J^2]}$$

命题 8 在零售商领导的市场中, 制造商的最优回收补贴为  $b = \delta$

证明 从  $\pi_M^{R^*}$  的表达式可以看出, 当制造商的补贴  $b$  越逼近  $\delta$  时, 制造商的利润越高. 因此, 制造商的最优回收补贴为  $b = \delta$

命题 8 表明, 在零售商领导的市场中, 制造商也没有享受到任何从再制造中节约下来的费用. 原因同前, 这里不再赘述. 但需要指出的一点是, 虽然在不同市场力量结构下, 回收补贴的增加都将降低零售商的零售价格、提高废旧产品的回收率和制造商的批发价, 以及制造商的最优回收补

贴都为  $b = \delta$  但是, 由于不同市场力量的影响, 回收补贴的增加对零售价、批发价和回收率的影响以及对制造商和零售商利润的影响都是不一样的. 下面对不同市场力量下导出的结果进行比较分析.

### 5 三种市场力量结构下的闭环供应链模型比较分析

本小节设定  $b = \delta$  并把前面 3 节的结果归纳为下表 1

表 1 3种再制造闭环供应链模型比较  
Table 1 Comparison of three closed loop supply chain model

决策利润	纳什均衡博弈	制造商 - Stackelberg 博弈	零售商 - Stackelberg 博弈
$p^*$	$\frac{[\mathcal{X}(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]\varphi + 2C(1 - \beta)c_m}{(1 - \beta)[\mathcal{X}(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]}$	$\frac{[C(3 - 2\beta) - (1 - \beta)\delta^2]\varphi + C(1 - \beta)c_m}{(1 - \beta)[2C(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]}$	$\frac{[C(5 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]\varphi + \mathcal{X}(1 - \beta)c_m}{(1 - \beta)[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]}$
$\tau^*$	$\frac{b[\varphi - (1 - \beta)c_m]}{2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2}$	$\frac{b[\varphi - (1 - \beta)c_m]}{4C(2 - \beta) - 2(1 - \beta)\delta^2}$	$\frac{\delta[\varphi - c_m(1 - \beta)]}{C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2}$
$w^*$	$\frac{2C\varphi + (1 - \beta)[\mathcal{X}(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]c_m}{(1 - \beta)[\mathcal{X}(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]}$	$\frac{\varphi + (1 - \beta)c_m}{2(1 - \beta)}$	$\frac{\mathcal{X}\varphi + (1 - \beta)[C(5 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]c_m}{(1 - \beta)[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]}$
$\pi_M^*$	$\frac{8C^2[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{(1 - \beta)[2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2}$	$\frac{C[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{(1 - \beta)[2C(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2}$	$\frac{8C^2[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{(1 - \beta)[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2}$
$\pi_R^*$	$\frac{C[4C - (\delta - A)^2\beta][\varphi - \beta c_m]^2}{\beta[6C - \beta(\delta - A)^2]^2}$	$\frac{(4C - \delta^2)C[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{4[\mathcal{X}(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2}$	$\frac{C(6C - \delta^2)[\varphi - (1 - \beta)c_m]J^2}{[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2}$
$\pi_T^*$	$\frac{2C[4C(2 - \beta) - \delta^2(1 - \beta)]\varphi - (1 - \beta)c_m J^2}{(1 - \beta)[2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2}$	$\frac{C[4C(3 - 2\beta) - 3\delta^2(1 - \beta)]\varphi - (1 - \beta)c_m J^2}{2(1 - \beta)[2C(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2}$	$\frac{2C[C(10 - 6\beta) - \delta^2(1 - \beta)]\varphi - (1 - \beta)c_m J^2}{(1 - \beta)[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2}$

在本节中, 将在零售价格、批发价格、回收率和渠道成员的利润等几个方面比较以上这 3 个模型. 基于表 1 归纳的结果, 可以得到如下一些有趣的结论.

命题 9 最优回收率满足  $\tau^{R^*} < \tau^{M^*} < \tau^{N^*}$ .

证明 易证得

$$\tau^{R^*} - \tau^{M^*} = \frac{C(1 - \beta)\delta[\varphi - (1 - \beta)c_m]}{[2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2][C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]} < 0$$

$$\tau^{M^*} - \tau^{N^*} = \frac{(2C - \delta^2)(1 - \beta)\delta[\varphi - (1 - \beta)c_m]}{2[\mathcal{X}(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2][2C(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]} < 0$$

即得命题 9

命题 9 表明, 零售商的回收率在市场无领导者时最高, 其次是制造商领导的, 零售商领导的最低. 零售商回收率的高低取决于其从中获得的收益大小. 从命题 2、5、8 可知, 无论在何种

市场力量结构下, 零售商增加回收率的边际收益都一样, 均为  $\delta$  因此, 零售商从回收中获得的收益大小主要取决于市场需求. 零售商可以通过选择零售价格来影响市场大小, 而制造商能通过策略地选择批发价来影响需求大小. 当零售商占主导地位时, 制造商只能被动地选择批发价, 需求的大小主要由零售商决定, 因此, 这种情况下, 零售商的回收积极性最低. 当制造商占主导地位时, 零售商处于被动地位, 需求的大小主要由制造商决定. 但制造商可以主动地选择批发价, 使得零售商回收废旧产品更有利可图, 因而增加了零售商的回收积极性. 在无领导者的市场结构中, 制造商和

$$w^{R^*} - w^{N^*} = - \frac{\mathcal{X}^2 [\varphi - (1 - \beta) c_m]}{[2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2][C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]} < 0$$

$$w^{N^*} - w^{M^*} = - \frac{(2C - \delta^2)[\varphi - (1 - \beta) c_m]}{2[2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]} < 0$$

即得命题 10

命题 10 表明, 批发价格在制造商领导时最高, 其次是纳什均衡状况, 最小的是零售商领导状况. 命题 9 表明, 零售商领导时制造商的平均制造成本最高 (回收率最低), 但命题 10 表明此时制造商的批发价却最低, 似乎有违直观. 事实上, 制造商自身的市场力量或议价能力决定了其批发价的高低. 当零售商领导时, 零售商决定市场大小, 制造商的议价能力非常弱, 他只能被动地选择批发价. 另外, 制造商制定最低的批发价, 也可以在一定程度上增加市场需求, 从而增加从再制造中获得的成本节约. 而当制造商领导时, 制造商的议价能力非常强, 他能主动选择批发价, 再加上其平均生产成本较高, 因此, 制定高批发价不可避免. 在无领导者的市场结构中, 制造商和零售商有同等的议价能力, 因此, 即使此种情形下制造商的平均制造成本最低 (回收率最高), 制造商也会利用其相当的议价能力为其争取更大的利益.

命题 11 最优零售价满足  $p^{N^*} < p^{R^*} < p^{M^*}$ , 相应的, 市场需求满足  $q^{M^*} < q^{R^*} < q^{N^*}$ .

证明 易证得

$$p^{N^*} - p^{R^*} = - \frac{1}{2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2} \times \frac{\mathcal{X}^2 [\varphi - (1 - \beta) c_m]}{C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2} < 0$$

零售商同等重要, 市场需求的大小由双方共同决定. 这种情况下, 零售商的回收积极性最高. 事实上, 命题 11 (见下) 也验证了这一点 ( $q^{M^*} < q^{R^*} < q^{N^*}$ ).

因此, 从环保和提高资源利用率的角度看, 市场无领导者的结构最好. 然而, 命题 12 将表明, 无领导的市场结构并不稳定, 制造商和零售商都会争取领导市场. 若仅考虑领导者市场结构时, 从保护环境和提高资源利用率的角度看, 制造商领导的市场结构更好.

命题 10 最优批发价格满足 ( $w^{R^*} < w^{N^*} < w^{M^*}$ ).

证明 易证得

$$p^{R^*} - p^{M^*} = - \frac{1}{2C(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2} \times \frac{C(C - \delta^2)[\varphi - (1 - \beta) c_m]}{C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2} < 0$$

即得命题 11

命题 11 表明, 均衡零售价在制造商领导时最高, 其次是零售商领导, 最小是纳什均衡状况. 命题 11 给出了一个有趣的结果, 即  $p^{N^*} < p^{R^*}$ . 因为从命题 10 的结论来看, 似乎  $p^{R^*} < p^{N^*}$  才合情合理. 事实上, 零售商的市场力量决定了这一结果. 虽然零售商领导时批发价最低, 但零售商仍可以用其市场垄断力量为其制定获得高额利润的价格. 而在无领导者市场中, 零售商显然没有这种定价能力.

从零售商的零售价可知, 市场需求满足  $q^{M^*} < q^{R^*} < q^{N^*}$ . 因此, 对消费者来说, 没有领导者的市场结构最为有利. 当仅考虑领导者的市场结构时, 在 1 个制造商和 2 个竞争零售商的市场中, 消费者会倾向于零售商领导的市场结构. 这是因为在零售商领导的市场结构中, 零售价较低, 消费者更能享受到竞争带来的好处.

命题 12 制造商和零售商的利润满足  $\pi_M^{R^*} < \pi_M^{N^*} < \pi_M^{M^*}$  和  $\pi_R^{M^*} < \pi_R^{N^*} < \pi_R^{R^*}$ . 总的渠道利润满足  $\pi_T^{M^*} < \pi_T^{R^*} < \pi_T^{N^*}$ .

证明 易证得

$$\pi_M^{R^*} - \pi_M^{N^*} = - \frac{8C^3 [C(13 - 5\beta) - 2(1 - \beta)\delta^2] [\varphi - (1 - \beta)c_m J^2]}{[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2 [2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2} < 0$$

$$\pi_M^{N^*} - \pi_M^{M^*} = - \frac{C(1 - \beta)(2C - \delta^2)^2 [\varphi - (1 - \beta)c_m J^2]}{[2C(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2 [2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]} < 0$$

即得  $\pi_M^{R^*} < \pi_M^{N^*} < \pi_M^{M^*}$  .

易证得

$$\pi_R^{M^*} - \pi_R^{N^*} = - \frac{C(1 - \beta)(4C - \delta^2)[C(14 - 6\beta) - 3(1 - \beta)\delta^2] [\varphi - (1 - \beta)c_m J^2]}{4[\mathcal{X}(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2 [\mathcal{X}(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]} < 0$$

$$\pi_R^{N^*} - \pi_R^{R^*} = - \frac{C^3 [4C(5 + 6\beta - 3\beta^2) - (3 + 2\beta - 5\beta^2)\delta^2] [\varphi - (1 - \beta)c_m J^2]}{[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2 [2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2} < 0$$

即得  $\pi_R^{M^*} < \pi_R^{N^*} < \pi_R^{R^*}$  .

易证得

$$\pi_T^{R^*} - \pi_T^{N^*} = - \frac{2C^3(1 - \beta)[4C(8 - 3\beta) - 5(1 - \beta)\delta^2] [\varphi - (1 - \beta)c_m J^2]}{[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2 [2C(3 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2} < 0$$

$$\pi_T^{R^*} - \pi_T^{M^*} = \frac{C(1 - \beta)(C - \delta^2)[4C^2(13 - 6\beta) - C(17 - 13\beta)\delta^2 + (1 - \beta)\delta^4] [\varphi - (1 - \beta)c_m J^2]}{2[C(7 - 3\beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2 [\mathcal{X}(2 - \beta) - (1 - \beta)\delta^2]^2} > 0$$

即得  $\pi_T^{M^*} < \pi_T^{R^*} < \pi_T^{N^*}$  .

命题 12表明, 制造商的利润在制造商主导的市场结构中最高, 在零售商主导的市场结构中最低. 相反, 零售商的利润在零售商主导的市场结构中最高, 在制造商主导的市场结构中最低. 命题 12还表明, 当没有企业主宰市场时, 整个行业的总利润最大. 这是因为由低价格引起的需求的增加抵消了由于低价格带来的每单位产品的收入损失, 以及回收率的提升所带来的制造成本的减少抵消了由于高回收率所带来的回收成本的增加, 因此, 整个行业和消费者均受益于无领导者的市场结构. 然而, 这不是个均衡的力量结构, 因为领导者总是能够受益更多. 在有领导者的市场中, 零售商领导的行业利润高于制造商领导的行业利润.

由命题 9~ 12 可得以下推论:

**推论 1** 当市场无领导者时, 消费者和整个行业均受益于低价格和高利润, 环保则受益于高废旧产品回收率. 然而, 制造商和零售商均有动机成为领导者. 当考虑具有领导者的市场结构时, 从环保的角度看, 制造商领导的市场结构更优, 但消费者和整个行业偏好零售商领导的市场结构.

## 6 结束语

本文在 3 种不同市场力量结构下, 研究了制造商领导的 Stackelberg 博弈、零售商领导的 Stackelberg 博弈、制造商和零售商 Nash 均衡博弈, 并对比了这 3 种市场结构下的均衡回收率、批发价、零售价、渠道成员利润、渠道总利润. 研究结果表明: 零售商的回收率在市场无领导者时最高, 其次是制造商领导的市场, 在零售商领导的市场中最低. 批发价格在制造商领导时最高, 其次是纳什均衡状况, 最小的是零售商领导的市场. 均衡零售价在制造商领导时最高, 其次是零售商领导, 最小是纳什均衡状况. 制造商的利润在制造商主导的市场结构中最高, 在零售商主导的市场结构中最低. 相反, 零售商的利润在零售商主导的市场结构中最高, 在制造商主导的市场结构中最低. 当没有企业主宰市场时, 整个行业的总利润最大. 因此, 从环保和资源利用最大化、消费者利益和整个行业利润的角度来看, 市场无领导者时最好. 然而, 制造商和零售商均有动机成为领导者. 当考虑有领导者的市场结构时, 从环保和提高资源利用率的角度看, 制造商领导的市场结构更优, 但消费者和整个行业偏好零售商领导的市场

结构.

本文还有很多不足之处, 比如本文只考虑了 1 个制造商的情形, 以及假设所有旧产品的回收

价格一样、所有回收的旧产品都可以用于再制造、所有信息都是对称的等等, 这些都是需要进一步拓展的方面, 将在以后的工作中完成.

## 参考文献:

- [1] Spengler T, Pua C H, Penkuhn T, *et al*. Environmental integrated production and recycling management [J]. *European Journal of Operational Research*, 1997, 97(2): 308—326
- [2] Jayaraman V, Guide J V, Srivastava R. A closed-loop logistics model for remanufacturing [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1999, 50(5): 497—508
- [3] Jayaraman V, Patterson R A, Roland E. The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures [J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 150(2): 128—149
- [4] 马祖军, 代颖, 刘飞. 再制造物流网络的稳健优化设计 [J]. *系统工程*, 2005, 23(1): 74—78  
Ma Zujun, Dai Ying, Liu Fei. Robust optimal design of remanufacturing logistics networks [J]. *Systems Engineering*, 2005, 23(1): 74—78 (in Chinese)
- [5] 代颖, 马祖军, 刘飞. 再制造闭环物流网络优化设计模型 [J]. *中国机械工程*, 2006, 17(8): 809—813  
Dai Ying, Ma Zujun, Liu Fei. Optimization model for closed-loop logistics network design in a remanufacturing environment [J]. *Chinese Mechanical Engineering*, 2006, 17(8): 809—813 (in Chinese)
- [6] 岳辉, 钟学燕, 叶怀珍. 随机环境下再制造逆向物流网络优化设计 [J]. *中国机械工程*, 2007, 18(4): 442—445  
Yue Hui, Zhong Xueyan, Ye Huaizhen. Stochastic optimal design of remanufacturing reverse logistics network [J]. *Chinese Mechanical Engineering*, 2007, 18(4): 442—445 (in Chinese)
- [7] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L V. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing [J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239—253
- [8] Savaskan R C, Wassenhove L V. Reverse channel design: The case of competing retailers [J]. *Management Science*, 2006, 52(5): 1—14
- [9] 姚卫新. 再制造条件下逆向物流回收模式的研究 [J]. *管理科学*, 2004, 17(1): 76—79  
Yao Weixin. Comparison of different take-back models in reverse logistics [J]. *Management Sciences in China*, 2004, 17(1): 76—79 (in Chinese)
- [10] 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  
Wang Faihong, Daqingli. The decision making analysis in deciding reverse logistics system with remanufacturing in electronic industry [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2006, 14(6): 44—49 (in Chinese)
- [11] 黄祖庆, 达庆利. 直线型再制造供应链决策结构的效率分析 [J]. *管理科学学报*, 2006, 9(4): 51—56  
Huang Zuping, Daqingli. Study on efficiency of serial supply chains with remanufacture [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2006, 9(4): 51—56 (in Chinese)
- [12] 王玉燕, 李帮义, 乐菲菲. 两个闭环供应链的定价模型研究 [J]. *预测*, 2006, 25(6): 70—73  
Wang Yuyan, Li Bangyi, Yue Feifei. The research on two price decision models of the closed-loop supply chain [J]. *Forecasting*, 2006, 25(6): 70—73 (in Chinese)
- [13] 晏妮娜, 黄小原. 基于第 3 方逆向物流的闭环供应链模型及应用 [J]. *管理科学学报*, 2008, 11(4): 83—93  
Yan Nina, Huang Xiaoyuan. Models of closed-loop supply chain with third party reverse logistics and their applications [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2008, 11(4): 83—93 (in Chinese)
- [14] Choi S C. Price competition in a channel structure with a common retailer [J]. *Marketing Science*, 1991, 10(4): 271—296
- [15] Choi S C. Price competition in a duopoly common retailer channel [J]. *Journal of Retailing*, 1996, 72(2): 117—134
- [16] Seong Y P, Hean T K. Modelling hybrid distribution channels: A game-theoretic analysis [J]. *Journal of Retailing and Consumer Service*, 2003, 10(3): 155—167

## Closed-loop supply chain game models with product remanufacturing in a duopoly retailer channel

Yi Yu-yin

School of Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China

**Abstract** The closed-loop supply chain game with product remanufacturing is modeled under three market structures: Manufacturer-Stackelberg market, Retailer-Stackelberg market, and Manufacturer and Retailer-Nash market. The optimal product return rates, retail prices, manufacturer and retailer's profits and total profits are studied under the three market power structures. The results show that the return rate is the highest when there is no market leadership, lowest when the Retailer is the leader. The retail price is the highest when the Manufacturer is the leader, lowest when there is no market leadership. The industry as a whole as well as consumer and environment benefit from lower prices, larger profits and return rates when there is no market leadership. However, an individual member has an incentive to play the leader's role. When consider market leadership only, environment prefers the market dominated by manufacturers, but the industry and consumer prefer the market dominated by retailers.

**Key words** remanufacturing, closed-loop supply chain, game

### 《管理科学学报》更改刊期的启事

2008年本刊增页以来,在主办单位国家自然科学基金委员会管理科学部和广大管理科学学者的支持下,本刊质量稳定,稿源丰富,保持了较高学术水平。2009年11月27日,中国科学技术信息研究所在北京国际会议中心召开的“2009中国科技论文统计结果发布会”上,我刊影响因子达到0.77,总被引频次为651,并再获“中国百种杰出学术期刊”殊荣。

不过,由于中国管理科学研究的迅速发展,本刊目前的出版周期和容量仍然不能满足迅速发展的管理科学学术成果交流的需要。因此,为了缩短学术论文的发表周期,扩大期刊每年载文量,促进我国管理科学的基础理论研究和广泛应用,经主办单位申请,并经天津市新闻出版局批准,自2010年第一期开始,将刊期由“双月刊”变更为“月刊”。

变更刊期后,本刊2010年每本定价为20元,全年定价240元,请广大读者及时到当地邮局订阅,邮发代号6-89,国外代号M5062。读者也可直接向本刊杂志社邮购订阅,订阅汇款地址:天津市南开区卫津路92号,天津大学《管理科学学报》编辑部,邮政编码:300072(订阅时请详细注明寄刊地址、收刊人姓名、邮政编码、订阅份数)。

本刊更改刊期后,希望广大读者、作者继续支持本刊。欢迎广大从事管理科学研究的专家学者积极踊跃将高质量的优秀稿件投往本刊。本刊编委会和全体工作人员愿竭尽全力,和广大读者、作者一起将杂志越办越好,为我国的管理科学研究与应用做出贡献。