

经销商从事再制造的闭环供应链模式研究^①

熊中楷¹, 王 凯¹, 熊 榆²

(1. 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400030; 2. 英国女王大学管理学院, 贝尔法斯特 BT7 1NN)

摘要: 在已有涉及经销商的闭环供应链研究中, 经销商只从事废旧产品的回收与产品销售, 而本文首次研究了经销商从事再制造的闭环供应链模式。研究表明, 与经销商未从事再制造相比, 经销商从事再制造对经销商自身以及制造商都有利。与制造商从事再制造模式相比, 经销商再制造模式对经销商自身更有利, 对制造商不利; 从市场盈利角度看, 经销商再制造模式优于制造商再制造模式; 经销商再制造模式既有利于消费者福利的增加, 也有利于再制造的长期发展; 在经销商再制造模式对制造商不利的情况下, 制造商仍可选择经销商再制造模式。

关键词: 闭环供应链; 经销商从事再制造; Stackelberg 博弈; 制造商盈利; 再制造商盈利

中图分类号: F832 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2011)11-0001-09

0 引言

制造商从事再制造(以下简称制造商再制造模式)已成为制造商涉足再制造领域的重要方式。目前关于再制造与闭环供应链的研究也大多基于该模式, 比如 Savaskan^[1-2], Debo^[3], Ferrer^[4], Atasu 等^[5]等研究均建立在制造商从事再制造模式基础上。随着再制造产业的发展, 近年来出现了经销商从事再制造的闭环供应链模式(以下简称经销商再制造模式)。在该模式中, 经销商既经销新产品, 又回收废旧产品从事再制造。在工程机械领域该模式尤为典型。作为日本小松挖掘机和小松山推在江苏与新疆的经销商, 南京钢加对再制造的认识与接受在业内同行中相对超前。除了经销小松产品外, 南京钢加从事了包括小松品牌在内的旧设备的翻新与再销售业务^[6]; 而作为卡特彼勒在上海、江苏等地的经销商, 利星行机械除了经销卡特彼勒设备外, 也从事卡特彼勒品牌旧设备的再制造及销售业务^[7]; 武汉千里马除了经销斗山挖掘机外, 也从事该品牌的挖掘机再

制造业务^[8]。与制造商再制造模式相比, 经销商从事再制造业务的优势是熟悉市场和客户, 经营能力较强, 原材料采购方式更加灵活多样^[4]; 其劣势在于要受制于废旧产品来源及原始设备制造商技术支持、品牌授权等问题。经销商再制造模式与制造商再制造模式相比孰优孰劣, 经销商再制造模式能否有更大的发展空间, 值得深入研究。

从已有研究看, 经销商在闭环供应链中起两个作用, 在逆向渠道中回收废旧产品与在前向渠道中销售产品(新产品与再制造产品)。Savaskan^[1]分析了逆向物流的最优渠道结构问题, 证明在其假设条件下经销商负责逆向物流职能的渠道结构优于制造商负责逆向物流的渠道结构, 甚至更优于将逆向物流职能外包给第三方物流提供商的渠道结构。Savaskan 等^[2]研究当经销商存在竞争时, 在直接回收和非直接回收(经销商回收)两种情形下, 分析了制造商回收废旧产品的逆向渠道选择和前向战略性产品定价选择之间的相互关系。在国内, 姚卫新等^[8]比较了包括经销商负责回收在内的闭环供应链渠道模式, 并将渠道模式

① 收稿日期: 2010-01-06; 修订日期: 2010-08-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70871125); 重庆市自然科学基金资助项目(cstc.2006BB0188); 英国科学院基金资助项目(SG090839).

作者简介: 熊中楷(1948—), 男, 江西南昌人, 博士生导师. Email: bearelm1@126.com

划分成五种类型. 生产商可以根据自身的和市场的情况选择其中一种模式, 也可将各种模式进行组合, 以适应变化的市场环境. 黄祖庆等^[9]将闭环供应链分为五种不同的决策结构, 研究了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. 晏妮娜等^[10]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, 建立了基于第三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. 葛静燕、黄培清^[11]以博弈论为基本研究方法, 考察了在分散决策的情况下, 在由零售商负责销售产品和回收废弃产品时, 两阶段闭环供应链中节点企业(即制造商和零售商)为了取得各自最优利润, 如何各自确定自己的批发价、零售价、以及废旧产品的回收价格和回收转移价格. 顾巧论^[12]、王玉燕^[13]等也从相似角度研究了闭环供应链的定价策略问题. 易余胤^[14]在制造商领导的斯坦克尔伯格博弈、零售商领导的斯坦克尔伯格博弈、制造商和零售商纳什均衡博弈等三种博弈结构下建立了再制造闭环供应链博弈模型, 研究和对比了不同市场力量结构对均衡回收率、批发价、零售价、渠道成员利润、渠道总利润的影响.

由上述文献可知, 已有研究并未涉及经销商从事再制造的闭环供应链模式, 并且在研究中假设再制造产品定价与新产品相同. 因此, 本文在上述研究的基础上, 研究了经销商从事再制造的模式, 并假定消费者对新产品与再制造产品加以区分, 生产商对新产品与再制造产品采取差别定价策略^[15-17]. 另外, 本文比较了经销商再制造模式与经销商不从事再制造, 只从事新产品销售的模式, 并对经销商再制造模式与制造商再制造模式进行了比较研究.

1 模型假设

本文考虑一个由单个制造商与单个经销商组成的二级供应链, 制造商为主导者, 经销商为跟随者^[7]. 再制品与新产品有相同的产品质量, 但消费者对两种产品有着不同的支付意愿, 经销商对新产品与再制造产品采取差别定价策略^[15-17]. 经销商未从事再制造与从事再制造两种模式下的新产品生产成本相同即用 c_n 表示两种模式下的

新产品生产成本. c_r 表示两种模式下的再制造成本, 且 $c_r < c_n$ ^[15-17]. 而且, 再制造成本包括废旧产品回收成本^[3]. 在第 2 期, 如果经销商不从事再制造, 只从事新产品的经销, 那么制造商与经销商在第 2 期的产品定价与第 1 期相同. 为便于研究经销商从事再制造模式的特征, 而且为讨论简单起见, 本文先只考虑拉格朗日乘子为零 ($\lambda = 0$) 时的情况.

由文献^[16]可知 Q 为市场潜在需求量, α_n 表示消费者对新产品的支付意愿, α_r 表示消费者对再制造产品的支付意愿. 其中 $\alpha_n \in [0, \theta]$ 并服从 $[0, \theta]$ 上的均匀分布; $\alpha_r = \theta\alpha_n$, $\theta \in (0, 1)$ 并服从上的均匀分布; θ 表示相对于新产品消费者对再制造产品的接受度(本文简称消费者接受度). 由此可得, 消费者购买新产品和再制造产品的效用函数分别为 $u_n = \alpha_n - p_n$, $u_r = \alpha_r - p_r$, 这里 p_n 表示新产品价格, p_r 表示再制造产品价格. $u_n \geq 0$ 表示该消费者愿意购买新产品, $u_r \geq 0$ 表示该消费者愿意购买再制造产品, $u_n \geq u_r$ 表示该消费者更愿意购买新产品, 而不是再制造产品. 同理 $u_n \geq u_r$ 表示该消费者更愿意购买再制造产品, 而不是新产品. 根据文献^[16-17]的计算结果, 得到新产品需求函数为

$$q_n = Q - \frac{p_n - p_r}{1 - \theta} \tag{1}$$

再制造产品需求函数为

$$q_r = \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)} \tag{2}$$

2 经销商未从事再制造模式

在单周期内, 制造商将产品批发给经销商, 批发价格为 w . 经销商只从事产品的销售, 销售价格为 p (如图 1).

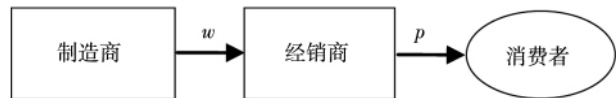


图 1 经销商未从事再制造模式

Fig. 1 The model where the distributor does not remanufacture

制造商的利润函数为

$$\text{Max } \pi_M(w) = (w - c_n)q \tag{3}$$

经销商的利润函数为

$$\text{Max } \pi_D(p | w) = (p - w)q \tag{4}$$

市场需求函数为

$$q = Q - p^{[16]} \quad (5)$$

根据 Stackelberg 模型求解得, 在经销商未从事再制造模式下, 制造商的最优产品批发价为

$$w^* = \frac{Q + c_n}{2}, \text{ 产品最优销售价格为 } p^* =$$

$$\frac{3Q + c_n}{4}, \text{ 产品最优销售量为 } q^* = \frac{Q - c_n}{4}, \text{ 制造商}$$

$$\text{最优盈利为 } \pi_M^* = \frac{(Q - c_n)^2}{8} \text{ 经销商最优盈利为}$$

$$\pi_D^* = \frac{(Q - c_n)^2}{16}.$$

3 经销商再制造模式

模型分为两周期. 第 1 期的情况与经销商未从事再制造模式相同. w_1 表示第 1 期新产品的批发价格, p_1 表示第 1 期新产品的零售价格, q_1 表示第 1 期新产品的销售数量. 在第 2 期, 制造商仍只生产新产品, 并以价格 w_n 将产品批发给经销商; 经销商在经销新产品的同时, 也从事产品再制造并销售. 经销商将以 ρ 比例回收第 1 期的废旧产品从事再制造, 并同时再将再制造产品与新产品供应到市场上, 销售价格分别为 p_r 和 p_n (如图 2).

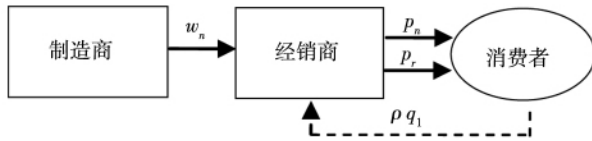


图 2 经销商从事再制造的闭环供应链模式

Fig. 2 The model where the distributor remanufactures

制造商利润函数为

$$\text{Max } \pi_M(w_1, w_n) = (w_1 - c_n)q_1 + (w_n - c_n)q_n \quad (6)$$

经销商利润函数为

$$\text{Max } \pi_D(p_1, p_n, p_r | w_1, w_n) = (p_1 - w_1)q_1 + (p_n - w_n)q_n + (p_r - c_r)q_r \quad (7)$$

$$\text{s. t. } \rho q_1 - q_r \geq 0^{[3]} \quad (8)$$

命题 1 在经销商从事再制造的情况下, 第 1

期新产品最优批发价格为 $w_1^* = \frac{Q + c_n}{2}$. 第 2 期新

产品最优批发价格为 $w_n^* = \frac{(1 - \theta)Q + c_r + c_n}{2}$, 新

产品的最优销售价格为 $p_n^* = \frac{(3 - \theta)Q + c_n + c_r}{4}$, 再

制造产品的最优销售价格为 $p_r^* = \frac{\theta Q + c_r}{2}$.

证明 见附录.

由命题 1 可知, 在经销商从事再制造模式下, 制造商制定的批发价格既要考虑新产品生产成本, 也要考虑经销商的再制造成本; 经销商制定新产品零售价格时同样要考虑两种产品生产成本, 但在制定再制造产品零售价格时只需考虑再制造产品生产成本. 由命题 1 可得如下推论

推论 1 经销商再制造模式下, 新产品最优零售价格随其批发价格的上升而上升, 再制造产品最优零售价格则不随新产品批发价格的改变而改变.

证明 由附录式(A. 12)可知新产品最优零售价格是批发价格的单调增函数, 由附录式(A. 13)可知再制造产品最优零售价格是常函数. 由此得推论 1. 证毕.

推论 2 经销商再制造模式下, 新产品最优销售量随其批发价格的上升而下降, 再制造产品最优销售量则随新产品批发价格的上升而上升.

证明 证明思路同推论 1 略.

由推论 1 - 2 可知, 新产品批发价格的上升将产生同类产品市场争夺效应 (cannibalization effect)^[3]. 换句话说, 即使再制造产品价格不变, 但相对于新产品价格的上升, 再制造产品价格将在无形中下降, 从而会吸引部分消费者转向购买再制造产品.

推论 3 当 $c_r \geq \theta c_n$ 时, 经销商再制造模式下第 2 期新产品最优销售量低于经销商未从事再制造模式下新产品最优销售量, 即 $q_n^* \geq q^*$; 当 $c_r < \theta c_n$ 时 $q_n^* < q^*$.

证明 经销商从事再制造的情况下, 新产品在第 2 期最优销售量为 $q_n^* = \frac{(1 - \theta)Q + c_r - c_n}{4(1 - \theta)}$,

经销商未从事再制造情况下新产品最优销售量为

$$q^* = \frac{Q - c_n}{4}, \quad q_n^* - q^* = \frac{c_r - \theta c_n}{4(1 - \theta)}.$$

分析该式得推论 3. 证毕.

由推论 3 可知, 当再制造产品成本较高时, 再制造产品将不会影响到甚至有助于新产品销售量的增加. 当再制造产品成本较低时, 再制造产品将会争夺部分新产品市场. 但通过命题 2 可知, 从盈利角度看, 经销商从事再制造对制造商与经销商均

有利.

命题2 与经销商未从事再制造情况相比,经销商从事再制造对自身及制造商均有利,即 $\pi_M^{1*} > \pi_M^* \quad \pi_D^{1*} > \pi_D^*$.

证明 上标1表示经销商再制造模式,下文中的上标2表示制造商再制造模式.比较经销商从事再制造前后的利润函数可得该命题. 证毕.

4 制造商再制造模式

模型分为两周期.第1期的情况与经销商未从事再制造模式相同. w_1 表示第1期新产品的批发价格, p_1 表示第1期新产品的零售价格, q_1 表示第1期新产品的销售数量.在第2期,制造商既生产新产品,也生产再制造产品,并将两种产品批发给经销商,批发价格分别为 w_n, w_r .经销商既负责废旧产品的回收,回收比例为 ρ ,又从事产品经销.经销商的新产品与再制造产品的销售价格分别为 p_n 与 p_r (如图3).

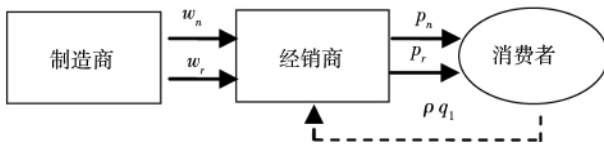


图3 制造商从事再制造模式

Fig. 3 The model where the manufacturer remanufactures

制造商的利润函数为

$$\text{Max}_M^2(w_1, w_n, w_r) = (w_1 - c_n)q_1 + (w_n - c_n)q_n + (w_r - c_r)q_r \quad (9)$$

$$\text{s. t } \rho q_1 - q_r \geq 0^{[3]} \quad (10)$$

经销商的利润函数为

$$\text{Max}\pi_D^2(p_1, p_r, p_n | w_1, w_n, w_r) = (p_1 - w_1)q_1 + (p_n - c_n)q_n + (p_r - c_r)q_r \quad (11)$$

命题3 在制造商从事再制造模式下,第1期新产品的最优批发价格为 $w_1^* = \frac{Q + c_n}{2}$.第2期新产品的最优批发价格为 $w_n^* = \frac{c_n + Q}{2}$,再制造产品的最优批发价格为 $w_r^* = \frac{c_r + \theta Q}{2}$.新产品的最优零售价格为 $p_n^* = \frac{c_n + 3Q}{4}$,再制造产品的

最优零售价格为 $p_r^* = \frac{c_r + 3\theta Q}{4}$.

证明 制造商再制造模式下的求解思路与经销商再制造模式下的相同.略.

5 经销商再制造模式与制造商再制造模式比较研究

推论4 两种模式下再制造成本 $c_r \in (0, \theta Q)$.

证明 在经销商再制造模式下,由 $p_n^{1*}(w) = \frac{w_n + Q}{2} > w_n$ 得 $w_n < Q$,因此 $c_n < w_n < Q$.由此可得 $\theta c_n < \theta w_n < \theta Q$.由 $q_r^{1*}(w_n) = \frac{\theta w_n - c_r}{2\theta(1 - \theta)} > 0$ 得 $c_r < \theta c_n$.因此 $c_r < \theta c_n < \theta Q$.因为 $c_r > 0$,所以 $0 < c_r < \theta Q$.

在制造商从事再制造模式下,因为 $p_n^{2*}(w_n, w_r) = \frac{w_n + Q}{2} > w_n$,所以 $w_n < Q$,因此 $c_n < w_n < Q$.由此可得 $\theta c_n < \theta w_n < \theta Q$.因为 $q_r^{2*} = \frac{\theta c_n - c_r}{4\theta(1 - \theta)} > 0$,所以 $c_r < \theta c_n$.因此 $c_r < \theta c_n < \theta Q$.又因为 $c_r > 0$,由此得 $0 < c_r < \theta Q$. 证毕.

推论4 进一步界定了两种模式下再制造成本的范围.推论5 - 10 均在推论4 基础上得到.

推论5 经销商再制造模式下的新产品最优批发价格低于制造商再制造模式下的新产品最优批发价格,即 $w_n^{1*} < w_n^{2*}$.

证明 $w_n^{1*} - w_n^{2*} = \frac{c_r - \theta Q}{2} < 0$,可得 $w_n^{1*} < w_n^{2*}$. 证毕.

推论6 经销商再制造模式下的新产品最优零售价格低于制造商再制造模式下的新产品最优零售价格,即 $p_n^{1*} < p_n^{2*}$.

证明 $p_n^{1*} - p_n^{2*} = \frac{c_r - \theta Q}{4} < 0$,可得 $p_n^{1*} < p_n^{2*}$. 证毕.

推论7 经销商再制造模式下的再制造产品最优零售价格低于制造商再制造模式下的再制造产品最优零售价格,即 $p_r^{1*} < p_r^{2*}$.

证明 $p_r^{1*} - p_r^{2*} = \frac{c_r - \theta Q}{4} < 0$,可得 $p_r^{1*} < p_r^{2*}$.

由推论 5 - 7 可知, 相比于制造商再制造模式, 在经销商再制造模式下, 新产品与再制造产品的零售价格更低, 而较低的产品价格有利于需求的增长与消费者福利的增加. 由文献 17 可知, 消费者购买新产品和再制造产品的效用函数分别为 $u_n = \alpha_n - p_n$, $u_r = \alpha_r - p_r$. 很显然, 如果消费者购买意愿不变, 那么零售价格越低, 消费者效用越高.

推论 8 两种模式下新产品最优销售量不变, 即 $q_n^{1*} = q_n^{2*}$.

推论 9 经销商再制造模式下再制造产品最优销售量高于制造商再制造模式下再制造产品最优销售量, 即 $q_r^{1*} > q_r^{2*}$.

证明 将 p_n^{1*} , p_r^{1*} 代入式 (2) 得 q_r^{1*} , 将 p_n^{2*} , p_r^{2*} 代入式 (2) 得 q_r^{2*} , 且 $q_r^{1*} - q_r^{2*} = \frac{\theta Q - c_r}{4} > 0$, 因此 $q_r^{1*} > q_r^{2*}$. 证毕.

由推论 8 - 9 可知, 虽然新产品销售量不变, 但再制造产品销售量增多. 这表明在不损害新产品市场的前提下, 经销商再制造模式更有利于再制造的发展.

命题 4 经销商再制造模式下的制造商最优盈利低于制造商再制造模式下的制造商最优盈利, 即 $\pi_M^{1*} < \pi_M^{2*}$.

证明 将 w_n^{1*} , p_n^{1*} 代入式 (6) 得 π_M^{1*} ; 将 w_n^{2*} , w_r^{2*} , q_n^{2*} , q_r^{2*} 代入式 (9) 得 π_M^{2*} . $\pi_M^{1*} - \pi_M^{2*} = \frac{(\theta - 1)(c_r - \theta Q)^2}{8\theta(1 - \theta)} < 0$, 故 $\pi_M^{1*} < \pi_M^{2*}$.

命题 5 经销商再制造模式下的经销商盈利高于制造商再制造模式下的经销商盈利, 即 $\pi_D^{1*} > \pi_D^{2*}$.

证明 类似于命题 4 的求证思路得命题 5. 略.

命题 4 与命题 5 的结论也可由数值仿真说明. 模型参数的设定参考了 Ferrer 与 Swaminathan^[2] 等相关文献. 取参数 $Q = 1\ 000$, $c_n = 800$, $c_r = 500$, 让 θ 在 $[0.4, 0.95]$ 内变化. 此处的参数取值同样适用于下文的数值仿真. 图中用 x 表示 θ . 运用 Maple12 编程, 在计算机上得到结果如图 3 和图 4.

图 4 中, DM 线表示经销商再制造模式下经销商的盈利, MM 线表示制造商再制造模式下经销商的盈利. 图 5 中, DM 线表示经销商再制造模式下制造商的盈利, MM 线表示制造商再制造模式

下制造商的盈利. 很显然, 经销商在经销商再制造模式下的盈利高于在制造商再制造模式下的盈利; 制造商在制造商再制造模式下的盈利高于在经销商再制造模式下的盈利.

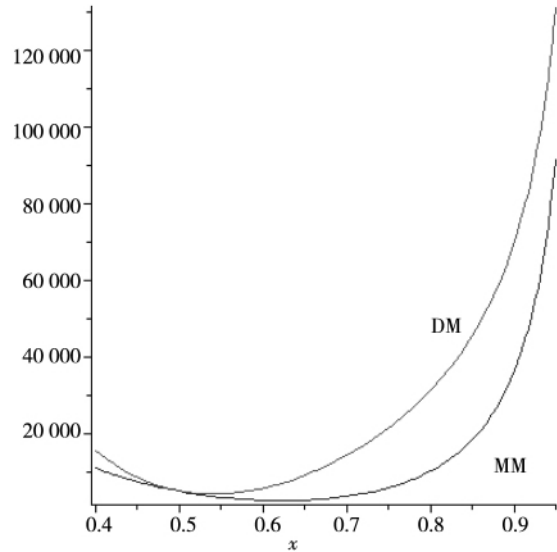


图 4 两种模式下经销商盈利的比较

Fig. 4 The comparison to the profit of the distributor between the two models

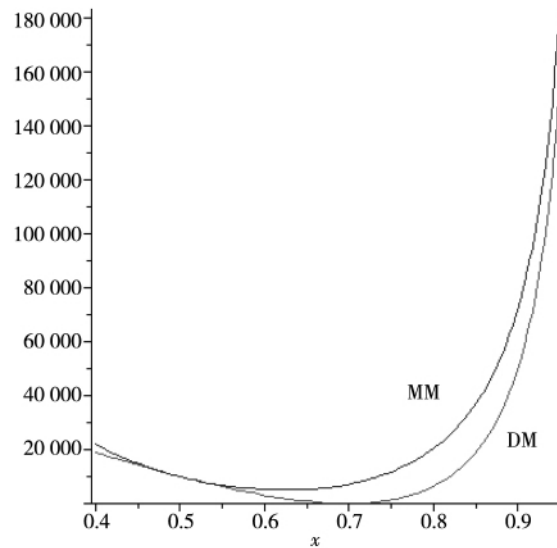


图 5 两种模式下制造商盈利的比较

Fig. 5 The comparison to the profit of the manufacturer between the two models

命题 4、命题 5 与图 4、图 5 表明, 两种模式相比, 经销商再制造模式对经销商更有利, 对制造商不利; 制造商再制造模式对制造商更有利, 对经销商不利. 然而, 通过命题 6 及其推论可知, 即使经销商再制造模式对制造商不利, 制造商仍有可能

选择经销商再制造模式.

命题 6 经销商再制造模式下的经销商与制造商的盈利之和高于制造商再制造模式下的经销商与制造商的盈利之和 即 $\pi_M^{1*} + \pi_D^{1*} > \pi_M^{2*} + \pi_D^{2*}$.

证明 $\pi_D^{1*} - \pi_D^{2*} = \frac{3(1-\theta)(c_r - \theta Q)^2}{16\theta(1-\theta)}$,
 $\pi_M^{2*} - \pi_M^{1*} = \frac{(1-\theta)(c_r - \theta Q)^2}{8\theta(1-\theta)}$. 前项减后项得
 $\frac{(1-\theta)(c_r - \theta Q)^2}{16\theta(1-\theta)} > 0$, 得 $\pi_D^{1*} - \pi_D^{2*} > \pi_M^{2*} - \pi_M^{1*}$
 即 $\pi_M^{1*} + \pi_D^{1*} > \pi_M^{2*} + \pi_D^{2*}$. 证毕.

由命题 6 可得推论 10.

推论 10 $\frac{\pi_M^{2*} - \pi_M^{1*}}{\pi_D^{1*} - \pi_D^{2*}} < \delta < 1$.

由命题 6 可得 $\pi_D^{1*} - \pi_D^{2*} > \pi_M^{2*} - \pi_M^{1*}$, 即经销商在经销商模式下多获得的盈利高于制造商在制造商模式下多获得的盈利. δ 即为若制造商与经销商选择经销商模式, 经销商支付给制造商的盈利占经销商盈利的比例. 显然 $0 < \delta < 1$. 推论 10 指出, 只有当 $\pi_M^{2*} < \pi_M^{1*} + \delta(\pi_D^{1*} - \pi_D^{2*})$ 时, 即经销商的支付比例 $\delta \in \left(\frac{\pi_M^{2*} - \pi_M^{1*}}{\pi_D^{1*} - \pi_D^{2*}}, 1\right)$ 时, 制造商在经销商再制造模式下的盈利所得才不低于在制造商再制造模式下的盈利, 此时制造商才可能选择经销商再制造模式.

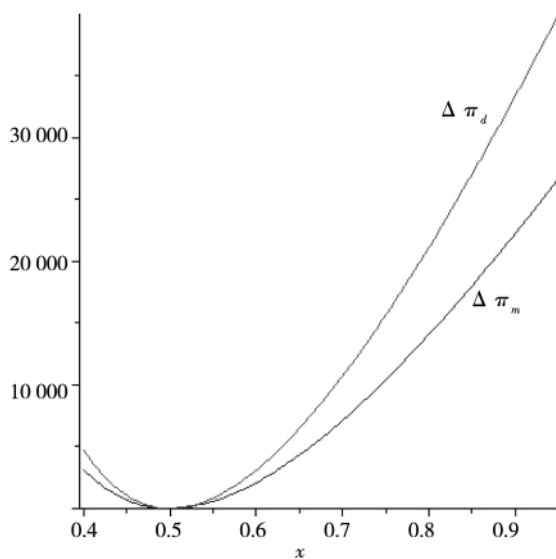


图 6 两种模式下经销商盈利差额与制造商盈利差额的比较
 Fig. 6 The comparison to the extra profit between the distributor and the manufacturer in the two models

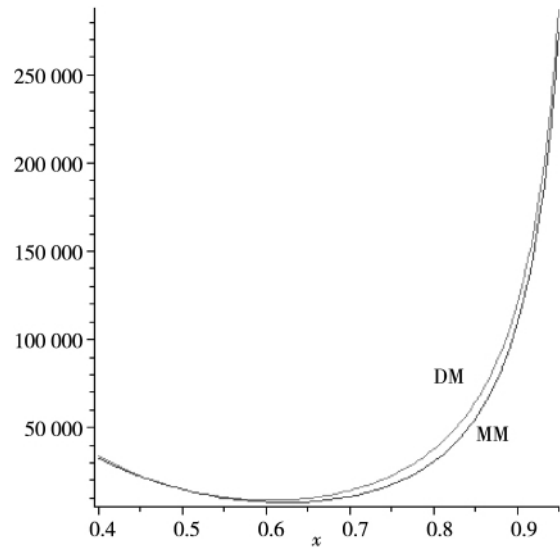


图 7 两种模式下市场总盈利的比较
 Fig. 7 The comparison to the profit of the total profit between the two models

6 结束语

在已有涉及经销商的闭环供应链研究中, 经销商只从事废旧产品的回收与产品的销售. 本文则首次研究了经销商从事再制造的闭环供应链模式. 在分析过程中, 本文采用了理论分析与仿真分析相结合的方法. 首先, 本文给出了经销商从事再制造模式下生产商的最优价格决策. 其次, 本文主要从批发价格、新产品零售价格、再制造产品零售价格、制造商与经销商盈利等角度将经销商从事再制造模式与经销商未从事再制造模式以及制造商从事再制造模式进行比较研究. 研究表明: (1) 与经销商未从事再制造相比, 经销商从事再制造对经销商自身以及制造商都有利. 与制造商从事再制造模式相比, (2) 从生产商盈利角度看, 经销商再制造模式对经销商自身更有利, 对制造商不利; 制造商再制造模式对制造商自身更有利, 对经销商不利. (3) 从市场盈利角度看, 经销商再制造模式优于制造商再制造模式. (4) 在经销商再制造模式对制造商不利的情况下, 制造商仍可选择经销商再制造模式, 即在经销商再制造模式下, 制造商可通过收取入场费等方式将部分经销商盈利转移过来, 并保证双方均盈利. (5) 经销商再制造模式既有利于消费者福利的增加, 也有利于再制造的长期发展.

对该模型可拓展的研究方向为: 在多周期或无限周期内研究经销商从事再制造模式; 讨论在该模式下的供应链协调机制, 并将其与集中式情况进行比较研究; 研究在该模式下的制造商与经销商的营销策略; 从供应链合作等理论角度研究该模式; 在经销商再制造模式下逐一考虑制造商对经销商的技术支持、品牌

限制等因素, 以期对该模式有更为深入的了解; 由于篇幅有限, 而拉格朗日乘子 $\lambda > 0$ 时的结果复杂, 因此, 本文只研究了影子价格 λ 为零时的情况, 下一步可研究拉格朗日乘子 $\lambda > 0$ 时的情况; 本文假设制造商为主导者, 经销商为跟随者, 以后可以讨论经销商为主导者, 制造商为跟随者的情况。

参考文献:

- [1] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L N. Closed-Loop supply chain models with product remanufacturing [J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239 - 252.
- [2] Savaskan R C, Wassenhove L N. Reverse channel design: The case of competing retailers management science, 2006, 52(1): 1 - 14.
- [3] Debo L, Toktay L, Wassenhove L. Market segmentation and product technology selection for remanufacturable products [J]. *Management Science*, 2005, 51(8): 1193 - 1205.
- [4] Ferrer G, Swaminathan J M. Managing new and remanufactured products [J]. *Management Science*, 2006, 52(1): 15 - 26.
- [5] Atasu A, Sarvary M, Wassenhove L N. Remanufacturing as a marketing strategy [J]. *Management Science*, 2008, 54(10): 1731 - 1746.
- [6] 邓继跃, 宋斌斌. 条件尚未成熟 工程机械制造“破冰”任重道远 [N]. *中国工业报*, 2008. 11. 15.
Deng Jiyue, Song Binbin. The condition is not sufficient, and the icebreaking of the construction machinery industry has a long way to go [N]. *Industry Newspaper of China*, 2008. 11. 15. (in Chinese)
- [7] 彭白水. 武汉千里马工程机械再制造基地竣工 [J]. *建设机械技术与管理*, 2010, 5: 21 - 23.
Peng Baishui. The remanufacturing base of SAVALO Machinery in Wuhan has finished [J]. *Construction Machinery Technology & Management*, 2010, 5: 21 - 23. (in Chinese)
- [8] 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): 77 - 80.
Yao Weixin. Comparison of different Take-Back Models in reverse logistics [J]. *Management Sciences in China*, 2004, 17(1): 77 - 80. (in Chinese)
- [9] 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(4): 51 - 57.
Huang Zuqing, Da Qingli. Study on efficiency of serial supply chains with remanufacture [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2006(4): 51 - 57. (in Chinese)
- [10] 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)
- [11] 葛静燕, 黄培清. 基于博弈论的闭环供应链定价策略分析 [J]. *系统工程学报*, 2008(1): 549 - 552.
Ge Jingyan, Huang Peiqing. Price decision analysis for closed-loop supply chain based on game theory [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2008(1): 549 - 552. (in Chinese)
- [12] 顾巧论, 高铁杠, 等. 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, 25(3): 20 - 25.
Gu Qiaolun, Gao Tiegang. Price decision analysis for reverse supply chain based on game theory [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2005, 25(3): 20 - 25. (in Chinese)
- [13] 王玉燕, 李帮义, 等. 基于博弈论的闭环供应链定价模型分析 [J]. *南京航空航天大学学报*, 2008, 40(2): 275 - 278.
Wang Yuyan, Li Bangyi. Analysis on price decision of Closed-Loop supply chain based on game theory [J]. *Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics*, 2008, 40(2): 275 - 278. (in Chinese)
- [14] 易余胤. 基于再制造的闭环供应链博弈模型 [J]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29(8): 28 - 35.
Yi Yuyin. Closed-loop supply chain game models with product remanufacturing [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2009, 29(8): 28 - 35. (in Chinese)

[15]Majumder P , Groenevelt H. Competition in remanufacturing [J]. Production and Operations Management ,2001 ,10(2) : 125 - 141.
 [16]Ferguson M , Toktay L. The effect of competition on recovery strategies [J]. Production and Operations Management ,2006 , 15(3) : 351 - 368.
 [17]Ferrer G , Swaminathan J M. Managing new and remanufactured products [J]. Management Science ,2006 ,52(1) : 15 - 26.

Research on the closed-loop supply chain that the distributor engages in re-manufacturing

XIONG Zhong-kai¹ , WANG Kai¹ , XIONG Yu²

1. College of Economy and Business Administration , Chongqing University , Chongqing 400030 , China;
 2. Queen’s University , Belfast BT7 1NN , British

Abstract: The distributor is only assumed to engage in collecting the used product and selling the product in previous literatures related to the distributor in the closed-loop chain. However , this paper initially demonstrates the closed-loop supply chain model where the distributor engages in remanufacturing , and we characterize its optimal pricing decisions of both producers. This paper demonstrates that , compared with the model that the distributor does not remanufacture , the producers can both benefit from the distributor’s remanufacturing; compared with the model that the manufacturer engages in remanufacturing , the former can benefit the distributor and the latter benefit the manufacturer from the perspective of the producer’s profit while the former is better than the latter from the perspective of the market’s profit , under which the manufacturer can transfer part of the profit of the distributor to herself on the premise that both the producers earn more than before. Further , the former case increases the consumers’ welfare and accelerates the development of the remanufacturing.

Key words: distributor engaging in remanufacturing; consumer’s acceptance; closed-loop supply chain; manufacturer’s profits; remanufacturer’s profits

附录： 命题 1 的证明

根据 Stackelberg 模型 制造商作为主导者 首先确定 1、2 期的新产品最优批发价格 w_1^* 与 w_n^* ；经销商作为跟随者 将根据制造商的价格决策 制定新产品与再制造产品的最优销售价格 p_1^* 、 p_n^* 与 p_r^* 。本文采用逆向归纳法进行证明。

第一阶段 给定制造商的新产品与再制造产品批发价格 w_1^* 与 w_n^* 经销商制定新产品与再制造产品的最优销售价格 p_1^* 、 p_n^* 与 p_r^* 。将式(1)、式(2)代入式(7)得

$$\text{Max } \pi_R(p_1, p_n, p_r | w_1, w_n) = (p_1 - w_1)(Q - p_1) + (p_n - w_n) \left(Q - \frac{p_n - p_r}{1 - \theta} \right) + (p_r - c_r) \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)} \tag{A.1}$$

由式(A.1) 可得经销商利润函数的海赛矩阵为

$$\begin{bmatrix} -2 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-2}{1 - \theta} & \frac{2}{1 - \theta} \\ \frac{2}{1 - \theta} & 0 & \frac{-2}{1 - \theta} \end{bmatrix} \tag{A.2}$$

由 $D_1 = -2 < 0$ 、 $D_2 = \frac{4}{1 - \theta} > 0$ 、 $D_3 = \frac{-8}{(1 - \theta)^2} < 0$ ，可知海赛矩阵为负定的 经销商利润函数为凹函数 故存在最

优解。其拉格朗日函数为

$$L = (p_1 - w_1)(Q - p_1) + (p_n - w_n) \times \left(Q - \frac{p_n - p_r}{1 - \theta} \right) + (p_r - p_r) \left[\frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)} \right] + \lambda \left[\rho q_1 - \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)} \right] \tag{A.3}$$

Karush-Kuhn-Tucker 条件如下

$$\frac{\partial L}{\partial p_1} = Q - 2p_1 + w_1 - \lambda\rho \quad (\text{A. 4})$$

$$\frac{\partial L}{\partial p_n} = \frac{(1 - \theta)Q - 2p_n + 2p_r + w_n - c_r - \lambda}{1 - \theta} \quad (\text{A. 5})$$

$$\frac{\partial L}{\partial p_r} = \frac{2\theta p_n - 2p_r - \theta w_n + c_r + \lambda}{\theta(1 - \theta)} \quad (\text{A. 6})$$

$$\lambda \left[\rho(Q - p_1) - \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)} \right] = 0 \quad (\text{A. 7})$$

根据正文第 1 部分的模型假设, 本文只研究 $\lambda = 0$ 时的情况, 因此有

$$Q - 2p_1 + w_1 = 0 \quad (\text{A. 8})$$

$$-2p_n + 2p_r + w_n + (1 - \theta)Q - c_r = 0 \quad (\text{A. 9})$$

$$2\theta p_n - 2p_r - \theta w_n + c_r = 0 \quad (\text{A. 10})$$

求解式(A. 8)、式(A. 9)和式(A. 10)得

$$p_1 = \frac{Q + w_1}{2} \quad (\text{A. 11})$$

$$p_n = \frac{w_n + Q}{2} \quad (\text{A. 12})$$

$$p_r = \frac{\theta Q + c_r}{2} \quad (\text{A. 13})$$

因此,

$$q_1 = \frac{Q - w_1}{2} \quad (\text{A. 14})$$

$$q_n = \frac{(1 - \theta)Q - w_n + c_r}{2(1 - \theta)} \quad (\text{A. 15})$$

$$q_r = \frac{\theta w_n - c_r}{2(1 - \theta)} \quad (\text{A. 16})$$

第二阶段, 制造商依据经销商的价格决策, 再制定最优批发价格 w_1^* 与 w_n^* . 将式(A. 14)、式(A. 15)代入正文中式(6)得

$$\text{Max } \pi_M = (w_1 - c_n)q_1 + (w_n - c_n)q_n = (w_1 - c_n) \frac{Q - w_1}{2} + (w_n - c_n) \frac{(1 - \theta)Q - w_n + c_r}{2(1 - \theta)} \quad (\text{A. 16})$$

求解得

$$w_1 = \frac{Q + c_n}{2} \quad (\text{A. 17})$$

$$w_n = \frac{(1 - \theta)Q + c_r + c_n}{2} \quad (\text{A. 18})$$

将式(A. 17)、式(A. 18)代入式(A. 11)、式(A. 12)、式(A. 15)和式(A. 16)得

$$p_1^* = \frac{3Q + c_n}{4} \quad (\text{A. 19})$$

$$p_n^* = \frac{(3 - \theta)Q + c_r + c_n}{4} \quad (\text{A. 20})$$

$$q_n^* = \frac{(1 - \theta)Q + c_r - c_n}{4(1 - \theta)} \quad (\text{A. 21})$$

$$q_r^* = \frac{\theta(1 - \theta)Q + (\theta - 2)c_r + \theta c_n}{4(1 - \theta)} \quad (\text{A. 22})$$

命题 1 得证.

证毕.