

文章编号: 1003-207(2014)10-0106-07

混合需求下考虑专利保护因素的 闭环供应链定价与协调

曹晓刚^{1,2}, 闻 卉³, 郑本荣¹, 黎继子¹

(1. 武汉纺织大学管理学院, 湖北 武汉 430073;

2. 华中科技大学管理学院, 湖北 武汉 430074; 3. 湖北工业大学理学院, 湖北 武汉 430068)

摘要: 在新产品需求为随机需求, 再制造产品需求受销售价格影响的混合需求条件下, 以博弈论为主要工具, 研究了受专利保护的再制造闭环供应链的定价与协调问题, 分析了集中决策和分散决策两种情形下的新产品最优订购量、废旧产品最优回收价格、最优专利许可费用、再制品最优零售价格以及供应链的最优利润, 并通过收益分享-费用分担契约对闭环供应链系统进行了协调, 并通过数值算例验证了集中决策和分散决策情形下再制造成本节约对供应链成员的最优决策和利润的影响, 以及收益分享-费用分担契约对闭环供应链的协调效果。研究表明再制造受专利保护的情况下, 原制造商能通过专利许可费来影响第三方再制造商回收的废旧产品的回收价格和回收量, 进而去影响原制造商和第三方再制造商的收益。

关键词: 闭环供应链; 混合需求; 专利保护; 协调

中图分类号: C935 **文献标识码:** A

1 引言

随着人们对环境保护及可持续发展认识的逐步深入, 传统的供应链模式已经不能有效地反映和支持现代供应链的运作。现实中, 许多国家规定产品的生产商必须负责废旧产品的回收再造。闭环供应链问题随即成为业界和学术界关注的重要议题。所谓闭环供应链是指将商品从制造商流通到消费者, 又从消费者将废旧产品退回给制造商, 最后制造商将回收的废旧产品再造所形成的一个封闭的物品供应链。闭环供应链实质上就是通过产品的正向交付与逆向再利用, 使“资源-生产-消费-废弃”的单向开环供应链到“资源-生产-消费-再生资源”闭环反馈式供应链的转化^[1-2]。

出于成本或品牌的原因, 原制造商可能并不进行旧产品的回收再制造, 而由第三方再制造商进行再制造, 这不可避免的给原制造商生产的新产品带

来一定的竞争威胁, 只有获得专利许可后, 被许可的企业才取得了专利产品的制造权^[3]。因此专利许可是企业再制造决策中必须考虑的因素, 这也是再制造研究中应该重视的问题。国内外许多学者都在进行闭环供应链的研究, 如 Guide 等^[4]研究了闭环供应链中废旧产品的回收决策模型。Savaskan^[5]和黄祖庆等^[6]研究了闭环供应链中不同回收结构的定价策略和渠道效率问题。顾巧论等^[7]则应用博弈理论研究了逆向供应链系统中废旧产品回收的最优定价策略及其效率问题。Vorasayan 等^[8]利用数学规划模型分析了回收质量和成本的变化对最优决策的影响问题。Ferguson 等^[9]研究了闭环供应链中有缺陷产品的协调问题。另有学者^[10-13]分别对不同形式下的闭环供应链系统定价进行了建模分析。Sen 等^[14]通过比较固定费和可变费两种方式的可行性和优劣, 提出了两部制合同。但这些研究都是集中在新产品和再制造产品的定价与回收决策方面, 并没有从原制造商对第三方再制造的专利许可方面进行研究。

进而, 熊中楷等^[15]建立了受专利保护的原制造商许可第三方再制造的闭环供应链模型, 但它假设新产品和再制造产品的需求均为确定性需求, 且新产品和再制造产品无质量差别, 具有相同的销售价格, 与现实情况不太相符。基于此, 本文针对受专利

收稿日期: 2012-08-11; 修订日期: 2013-04-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71301126); 教育部人文社会科学研究资助项目(11 YJC630011); 中国博士后科学基金资助项目(2012M51 1215); 湖北省教育厅科学技术研究资助项目(B201 1 1603); 湖北省教育厅人文社会科学研究资助项目(2010Q054, 2012G080)

作者简介: 曹晓刚(1982-), 男(汉族), 山西高平人, 武汉纺织大学管理学院副教授, 博士, 研究方向: 供应链管理。

保护的原制造商许可第三方进行再制造的闭环供应链决策问题。在新产品需求为随机需求,再制造产品需求受销售价格影响的混合需求条件下,首先构建集中决策下闭环供应链的利润模型,得出了供应链系统的新产品最优订购量、废旧产品回收价格、再制造品零售价格和最优利润。然后利用博弈理论,分析了分散决策情况下节点企业如何确定新产品的批发价格、订购量及再制造的专利许可费、旧产品的回收价格。探讨了专利许可对旧产品回收的影响。在传统的双方收益分享契约的基础上,利用第三方回收再制造的收益分享与费用分担契约对闭环供应链进行协调。与熊中楷^[15]不同的是,本文假设新产品与再制造产品有质量差别,且销售价格不同,且新品的市场需求为随机需求,再制造产品的市场需求受其销售价格影响,更加符合实际情况。

2 问题描述及假设

本文假设在由一个原制造商、一个第三方再制造商和一个零售商所组成的闭环供应链系统中,原制造商并不进行废旧产品的回收再制造,而是通过专利授权第三方再制造商进行再制造并提供技术支持。第三方再制造商通过回收原制造商生产的废旧产品,经再制造后进行销售,一个单位的废旧产品将生产一个单位的再制造产品,所有的废旧产品都能进行再制造。零售商同时销售原制造商生产的新产品和第三方再制造商生产的再制造品。假设新产品与再制造品有质量差别,并以不同的价格销售,且所有的再制造品均能销售出去。只有经原制造商许可并交纳专利许可费,第三方再制造商才能进行废旧产品的再制造。

本文中的符号说明如下:

P_m :新产品的单位零售价格;

P_r :再制造品的单位零售价格,是零售商的决策变量;

W_m :原制造商给予零售商的单位批发价格,是原制造商的决策变量;

W_r :第三方再制造商给予零售商的单位批发价格;

q_m :零售商向原制造商订购的新产品的数量,是零售商的决策变量;

r :第三方再制造商回收废旧产品的回收价格,是第三方的决策变量;

G :废旧产品的市场供给量,且 $G(r) = \alpha + \beta r$,其中 α, β 为常数,且 $\alpha > 0, \beta > 0$ 。 α 表示当第三方再制

造商支付给消费者的单位回收价格为 0 时,消费者自愿返还废旧产品的数量, α 越大,表明消费者的社会环保意识越高; β 表示消费者对回收价格的敏感程度, β 越大,表明消费者对回收价格越敏感;

C_m :原制造商以原材料生产单位产品的成本;

G_r :第三方再制造商以回收来的废旧品进行再制造的成本;令 $\Delta = C_m - G_r > 0$ 表示利用废旧产品再制造所节省的成本;

f :允许第三方再制造情况下的单位专利许可费用,是原制造商的决策变量;

D_m :新产品的市场需求量,服从累积分布函数为 $F_m(x)$,密度函数为 $f_m(x)$ 的随机分布, $F_m(x)$ 可微且单调递增, $F_m^{-1}(X)$ 为 $F_m(x)$ 的逆函数,且单调递增;

D_r :再制造品的市场需求量,为再制造品销售价格 P_r 的线性减函数, $D_r(P_r) = \alpha - bP_r$,其中 a, b 为常数且 $a, b > 0$, a 表示市场容量, b 表示消费者对于再制造品价格的敏感系数;

V_m :销售季节过后,未售完的新产品的单位残值,且有 $W_m > W_r > C_m > C_r > V_m$;

由上述问题及假设可得原制造商的利润 Π_M 、零售商的利润 Π_R 、第三方再制造商的利润 Π_T 以及整个闭环供应链的利润 Π 分别为:

$$\Pi_M = (W_m - C_m)q_m + (a - bP_r)f \quad (1)$$

$$\Pi_R = P_m E[\min(q_m, D_m)] - W_m q_m + (P_r - W_r)(a - bP_r) + V_m E(q_m - D_m) + (P_m - W_m) + (V_m - P_m) \int_0^{q_m} F_m(x) dx + (P_r - W_r)(a - bP_r) \quad (2)$$

$$\Pi_T = (W_r - C_m + \Delta - f - r)(a - bP_r) \quad (3)$$

$$\Pi = (P_m - C_m)q_m + (V_m - P_m) \int_0^{q_m} F_m(x) dx + (P_r - C_m + \Delta - r)(a - bP_r) \quad (4)$$

3 合作集中决策情形

集中决策就是原制造商、零售商和第三方再制造商联合决定新产品的订购量、再制造产品的零售价格以及废旧产品的回收价格,而批发价格和专利许可费仅仅决定系统最优收益在成员之间的分配,而不会影响系统的总收益,于是决策问题建模如下:

$$\max_{q_m, P_r} \Pi^{CS} = (P_m - C_m)q_m + (V_m -$$

$$P_m) \int_0^{q_m} F_m(x) dx + (P_r - C_m + \Delta - r)(a - bP_r) \tag{5}$$

对(5)式分别求 q_m, P_r 的一阶条件得到:

$$\begin{cases} q_m^{CS} = F_m^{-1}(\frac{P_m - C_m}{P_m V_m}) \\ P_r^{CS} = \frac{a + bC_r + b_r}{2b} \end{cases} \tag{6}$$

由此得出

$$D_r^{CS} = a - bP_r^{CS} = \frac{a - bC_r - br}{2} \tag{7}$$

令 $D_r^{CS} = G(r)$, 即

$$\frac{a - bC_r - br}{2} = \alpha + \beta r \tag{8}$$

解(8)式就可以得出集中决策下废旧品的最优回收价格:

$$r^{CS} = \frac{a - bC_r - 2\alpha}{b + 2\beta} \tag{9}$$

然后把(9)式代入(6)式即可得出集中决策下再制造品的最优零售价格为:

$$P_r^{CS} = \frac{a\beta + b(a + \beta C_r - \alpha)}{b(b + 2\beta)} \tag{10}$$

将(6)式和 r^{CS} 代入(5)式即可得到集中决策下整个供应链的利润为:

$$\Pi^{CS} = (P_m - C_m)F_m^{-1}(\frac{P_m - C_m}{P_m - V_m}) + \frac{(P_r b + 2\beta P_r - 2\beta C_r - a + 2\alpha)(a - bC_r - br)}{2(b + 2\beta)} \tag{11}$$

命题 1 在集中决策下, 供应链系统的最优策略集为 (P_r^{CS}, r^{CS}) 。

此时, 废旧产品的最优回收量为:

$$G(r^{CS}) = \frac{\alpha b + \beta(a - bC_r)}{b + 2\beta}$$

结论 1 集中决策下再制造品的最优单位零售价格 P_r^{CS} 随着消费者的社会环保意识 α 的增强而降低。

证明: 由(6)式可得 $\frac{\partial P_r^{CS}}{\partial \alpha} < 0$, 即证。

结论 1 说明在集中决策情形下, 随着消费者的社会环保意识的增强, 供应链系统对废旧产品的回收更加容易, 通过降低再制造品的零售价格, 可以增加再制造产品的市场需求量, 从而提高整个供应链的利润。

结论 2 集中决策下废旧产品的最优回收价格 r^{CS} 随着消费者的社会环保意识 α 的增强而降低, 随着消费者对回收价格的敏感程度 β 的增加而降低。

证明: 由 $\frac{\partial r_r^{CS}}{\partial \alpha} < 0, \frac{\partial r_r^{CS}}{\partial \beta} < 0$ 可证。

结论 2 说明在集中决策情形下, 随着消费者的社会环保意识和消费者对回收价格的敏感程度的增强, 供应链系统对废旧产品的回收更加容易, 通过降低废旧产品的回收价格, 可以为整个供应链节约更多的回收成本, 提高整个供应链的利润。

4 非合作分散决策情形

分散决策情况下, 本文假设原制造商和零售商、第三方再制造商的关系为 Stackelber 强博弈关系, 且原制造商为领导者, 零售商和第三方再制造商为跟随者, 即原制造商首先确定自己的批发价格 W_m 和专利许可费 f , 以使自己的期望收益最大, 然后零售商根据产品的市场需求和批发价格来确定新产品的订购量 q_m ; 第三方再制造商根据原制造商给定的专利许可费用 f 来确定废旧产品的回收价格 r 。于是决策问题如下:

$$\max_{W_m, f} \Pi^D S_M = (W_m - C_m)q_m + (a - bP_r)f = (W_m - C_m)q_m + (\alpha + \beta r)f \tag{12}$$

$$s. t. \begin{cases} \Pi^D S_R = P_m E[\min(q_m, D_m)] - W_m q_m + V_m E(q_m - D_m)^+ + (P_r - W_r)(a - bP_r) \\ = (P_m - W_m)q_m + (V_m - P_m) \int_0^{q_m} F_m(x) dx + (P_r - W_r)(a - bP_r) \\ \Pi^D S_T = (W^r - C_r - r - f)(\alpha + \beta r) \end{cases} \tag{13}$$

由递推归纳法, 先求 Π 关于 q_m 的偏导数, 并令其为零, 解得:

$$q_m = F_m^{-1}(\frac{W_m - P_m}{V_m - P_m}) \tag{14}$$

把(14)式代入(12)式, 原制造商的问题是求解

$$\max_{W_m} \Pi^D S_M = (W_m - C_m)F_m^{-1}(\frac{W_m - P_m}{V_m - P_m}) + (a - bP_r)f \tag{15}$$

我们通过一阶条件可以求得原制造商的最优批发价格 W_m^{DS} , 将 W_m^{DS} 代入(14)式, 可以得到:

$$q_m^{DS} = F_m^{-1}(\frac{W_m^{DS} - P_m}{V_m - P_m}) \tag{16}$$

现在来求 Π_T 关于 r 的偏导数, 并令其为零, 解得:

$$r = \frac{\beta(W_r - C_r - f) - \alpha}{2\beta} \tag{17}$$

再将(17)式代入(12)式,然后对 f 求偏导数并令其为零,解得:

$$f^{DS} = \frac{\alpha + \beta(W_r - C_r)}{2\beta} \quad (18)$$

将(18)式代入(17)式可得:

$$r^{DS} = \frac{\beta(W_r - C_r) - 3\alpha}{4\beta} \quad (19)$$

令 $\alpha + \beta r^{DS} = a - bP_r$, 即可得出分散决策下再制造品的最优单位零售价格:

$$P_r^{DS} = \frac{4a - \alpha - \beta(W_r - C_r)}{4b} \quad (20)$$

由此可得在分散决策下原制造商、零售商、第三方再制造商以及整个闭环供应链的总利润分别为:

$$\prod_M^{DS} = (W_m^{DS} - C_m)F_m^{-1}\left(\frac{W_m^{DS} - P_m}{V_m - P_m}\right) + \frac{[\alpha + \beta(W_r - C_r)]^2}{8\beta} \quad (21)$$

$$\prod_R^{DS} = (P_m - W_m^{DS})F_m^{-1}\left(\frac{W_m^{DS} - P_m}{V_m - P_m}\right) + (V_m - P_m) \int_0^{F_m^{-1}\left(\frac{W_m^{DS} - P_m}{V_m - P_m}\right)} F_m(x)dx + (P_r - W_r) \frac{\alpha + \beta(W_r - C_r)}{4} \quad (22)$$

$$\prod_T^{DS} = \frac{[\alpha + \beta(W_r - C_r)]^2}{16\beta} \quad (23)$$

$$\prod^{DS} = (P_m - C_m)F_m^{-1}\left(\frac{W_m^{DS} - P_m}{V_m - P_m}\right) + (V_m - P_m) \int_0^{F_m^{-1}\left(\frac{W_m^{DS} - P_m}{V_m - P_m}\right)} F_m(x)dx + \frac{[\alpha + \beta(W_r - C_r)][3\alpha + \beta(4P_r - W_r - 3C_r)]}{16\beta} \quad (24)$$

命题 2 在分散决策下,原制造商、零售商、第三方再制造商的最优策略集为:

$$((W_m^{DS}, f^{DS}), (q_m^{DS}, P_r^{DS}), r^{DS})$$

此时,废旧产品的最优回收量为:

$$G(r^{DS}) = \frac{\alpha + \beta(W_r - C_r)}{4}$$

结论 3 分散决策下新产品的最优订购量 q_m^{DS} 小于集中决策下新产品的最优订购量 q_m^{DS} 。

结论 3 表明,相比分散决策,当原制造商、零售商和第三方再制造商集中决策时,新产品的订购量增加,原制造商和零售商的收益提高,也使供应链整体利润增加。这是由于在集中决策下,原制造商和零售商统一决策,避免了“双重边际效应”所导致的效率损失。

结论 4 分散决策下的最优单位专利许可费用 f^{DS} 随着消费者环保意识 α 的增加而增加,随着消费

者对回收价格的敏感程度 β 的增加而降低。

证明:由(6)式可得 $\frac{\partial f^{DS}}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial f^{DS}}{\partial \beta} < 0$ 即证。

结论 4 说明在分散决策下,随着消费者环保意识的增加,第三方再制造商对废旧产品的回收更加容易,原制造商通过提高单位专利许可费用可以提高自身的利润;随着消费者对回收价格的敏感程度的增加,第三方再制造商对废旧产品的回收成本增加,原制造商通过降低单位专利许可费用,可以保证第三方再制造商的利润。

结论 5 分散决策下废旧产品的最优回收价格 r^{DS} 随着消费者环保意识 α 的增加而降低。

证明:由(19)式可得 $\frac{\partial r^{DS}}{\partial \alpha} < 0$, 即证。

结论 5 说明在分散决策下,随着消费者环保意识的增加,第三方再制造商对废旧产品的回收更加容易,通过降低废旧产品的回收价格,可以节省自身的回收成本,提高自身的利润。

5 闭环供应链的协调

从上面的分析可知,非合作分散决策不可避免的存在着“双重边际效应”,这会造成整个闭环供应链系统利润的损失。因此,本文在传统收益分享契约的基础上,通过设置一个收益分享-费用分担 (revenue and expense sharing contract, RAESC) 机制^[15],使得各方都能够最终分享系统增加的利润。具体的实施办法如下:零售商分享 $\varphi_1(P_m p D_m + P_r D_r + V_m E(q_m - D_m)^+)$ 的销售利润,而第三方再制造商分担 $\varphi_2 r G(r)$ 的回收费用,制造商则同时分享 $(1 - \varphi_1)(P_m p D_m + P_r D_r + V_m E(q_m - D_m)^+)$ 的销售利润和分担 $(1 - \varphi_2) r G(r)$ 的回收费用。其中参数 φ_1 是零售商和原制造商的收益分享比例,参数 φ_2 是第三方面制造商和原制造商的回收费用分担比例,满足条件 $\varphi_1, \varphi_2 \in (0, 1)$ 。此时,原制造商、零售商和第三方面再制造商的利润函数分别为:

$$\prod_R = \varphi_1 [P_m(q_m - \int_0^{q_m} F_m(x)dx) + P_r(a - bP_r) + V_m \int_0^{q_m} F_m(x)dx] - W_m q_m - W_r(a - bP_r) \quad (25)$$

$$\prod_T = (W_r - C_m + \Delta - f - \varphi_2 r)(\alpha + \beta r) \quad (26)$$

$$\prod_M = (W_m - C_m)q_m + (\alpha + \beta r)f + (1 - \varphi_1)[P_m(q_m - \int_0^{q_m} F_m(x)dx) + P_r(a - bP_r) +$$

$$V_m E(q_m - D_m)^+] - (1 - \varphi_2) r(\alpha + \beta r) \quad (27)$$

供应链的总利润为:

$$\begin{aligned} \Pi &= P_m \{ E[\min(q_m, D_m)] + P_r(a - bP_r) + \\ &V_m E(q_m - D_m)^+ \} - r(\alpha + \beta r) - C_m q_m - C_r(a - bP_r) \end{aligned} \quad (28)$$

将(25)、(26)两式分别对 q_m, r 求一阶条件, 得:

$$q_m^s = F_m^{-1} \left(\frac{W_m - \varphi_1 P_m}{V_m - \varphi_1 P_m} \right) \quad (29)$$

$$r^s = \frac{(W_r - C_r - f)\beta - \varphi_2 \alpha}{2\varphi_2 \beta} \quad (30)$$

要使得收益共享 - 费用分担契约下的供应链利润水平与集中决策下的供应链利润一致, 必须满足:

$$q_m^s = q_m^{CS}, r^s = r^{CS}$$

即

$$\begin{cases} F_m^{-1} \left(\frac{W_m - \varphi_1 P_m}{V_m - \varphi_1 P_m} \right) = F_m^{-1} \left(\frac{P_m - C_m}{P_m - V_m} \right) \\ \frac{(W_r - C_r - f)\beta - \varphi_2 \alpha}{2\varphi_2 \beta} = \frac{a - bC_r - 2\alpha}{b + 2\beta} \end{cases} \quad (31)$$

可得:

$$W_m^s = \frac{V_m(P_m - C_m) + \varphi_1 P_m(C_m - V_m)}{P_m - V_m} \quad (32)$$

$$f^s = \frac{2\beta^2(W_r - C_r) + \varphi_2[2\beta(\alpha - a - bC_r) - ab] + b(W_r\beta - C_r\beta)}{\beta(b + 2\beta)} \quad (33)$$

根据以上结论的分析可得以下结论:

命题 3 当原制造商提供契约为:

$$(W_m^s, f^s) = \frac{V_m(P_m - C_m) + \varphi_1 P_m(C_m - V_m)}{P_m - V_m},$$

$$\frac{2\beta^2(W_r - C_r) + \varphi_2[2\beta(\alpha - a - bC_r) - ab] + b(W_r\beta - C_r\beta)}{\beta(b + 2\beta)}$$

时, 闭环供应链系统实现整体协调。

命题 3 说明收益分享 - 费用分担契约可以使原制造商、零售商和第三方再制造商的分散决策达到协调, 同时闭环供应链系统获得最大利润。只要原制造商所制定的批发价格和专利许可费及分摊比例满足命题 3, 第三方再制造商和零售商就愿意去接受收益分享 - 费用分担契约。

从式(32)可以看出, 如果 $2\beta(\alpha - a + bC_r) - ab > 0$, 则当 φ_1 增大时, W_m^s 也增大, 因此可得:

结论 6 在协调机制下, 零售商所分享的收益与其承担的费用成正比关系。

结论 6 表明, 当零售商支付给原制造商的批发价格增大时, 他在整个闭环供应链中所获得的收益也随之增加, 这也正好符合收益共享 - 费用分担契约的协调机制。

从式(33)可以看出, 当 φ_2 增大时, f^s 也增大, 因此可得:

结论 7 在协调机制下, 如果 $2\beta(\alpha - a + bC_r) - ab > 0$, 则第三方再制造商所分享的收益与其承担的费用成正比关系。

结论 7 表明, 如果 $2\beta(\alpha - a + bC_r) - ab > 0$, 当第三方再制造商支付给原制造商的单位专利许可费用增大时, 他在整个闭环供应链中所获得的收益也随之增加, 这也正好符合收益共享 - 费用分担契约的协调机制。

此外由于 $0 < \varphi_1 < 1, W_m^{DS} > C_m$, 根据式(6), (16), (32), 可得以下结论:

结论 8 在收益共享 - 费用分担契约下, 有 $W_m^s < W_m^{CS}, q_m^s = q_m^{CS} > q_m^{DS}$ 。

结论 8 表明, 在收益共享 - 费用分担契约下, 新产品的批发价格小于集中决策下的新产品批发价格, 新产品的最优订购量大于分散决策时新产品的最优订购量, 从而使得协调机制下整个供应链的利润大于分散决策时的利润, 供应链达到了协调。

6 数值算例

为了进一步验证上述结论的正确性及所设计协调契约的有效性, 探究模型的理论分析难以得到的一些性质, 发掘其管理和实际意义, 本节对上述模型进行算例分析。分析主要从以下两个方面进行: 一是分别在集中决策和分散决策下分析再制造成本节约 Δ 变化对闭环供应链均衡销售和回收价格、专利许可费、决策成员利润及系统总利润的影响, 其次是分析收益共享费用分担契约对闭环供应链的协调效果及契约参数 φ_1, φ_2 变化对供应链成员决策的影响。对模型中的参数赋值如下: 假设新产品市场需求服从均匀分布 $U(l, m), l = 100, m = 1000$; 再制造产品的需求函数 $D_r(p_r) = 550 - 10p_r$; 废旧产品的供给量函数为 $G(r) = 80 + 20r$ 。新产品的单位生产成本 $C_m = 25$, 再制造产品的批发价格 $W_r = 35$, 新产品的单位销售价格 $p_m = 60$, 未销完新产品的单位残值 $V_m = 3$ 。

表 1 的计算结果表明, (1)集中决策下闭环供应链的决策效率高于分散化决策, 说明“双重边际加价效应”在闭环供应链管理中是同样存在的。具体来看, 集中决策下消费者对新产品和再制造产品的需求量均高于分散化决策水平, 而再制造产品的价格均低于分散化决策情形; 同时, 回收价格远高于分散化决策, 从而回收量也越大, 闭环供应链系统从再制

表 1 不同 Δ 下的闭环供应链

变量 Δ	集中决策				决策及利润							
	q_m^{CS}	P_r^{CS}	r^{CS}	Π^{CS}	W_m^{DS}	f^{DS}	P_r^{DS}	r^{DS}	Π_m^{DS}	Π_r^{DS}	Π_T^{DS}	Π^{DS}
$\Delta=5$	776	39.4	10.2	29088.5	45.35	9.5	45.5	0.75	8167.9	7854.3	451.3	16473.5
$\Delta=10$	776	37.4	11.2	29688.5	45.35	12	43	2	8705.4	7816.8	720	17242.2
$\Delta=15$	776	35.4	12.2	30368.5	45.35	14.5	40.5	3.25	9367.9	7654.3	1051.3	18073.5
$\Delta=20$	776	33.4	13.2	31128.5	45.35	17	38	4.5	10155.4	7366.8	1445	18967.2

表 2 不同 ϕ_1, ϕ_2 下的闭环供应链决策及利润

契约参数	集中决策		收益共享—费用共担契约协调机制					
	Π^{CS}	W_m^S	f^S	Π_r^S	Π_m^S	Π_T^S	Π^S	
$\phi_1 = 0.25$	$\phi_2 = 0.25$		7.632	16.60		20481.56	182.40	
	$\phi_2 = 0.35$	29688.5	7.632	15.24	9024.54	20408.60	255.36	29688.5
	$\phi_2 = 0.45$		7.632	13.88		20335.64	328.32	
$\phi_1 = 0.35$	$\phi_2 = 0.25$		9.947	16.60		18116.02	182.40	
	$\phi_2 = 0.35$	29688.5	9.947	15.24	11390.08	18043.06	255.36	29688.5
	$\phi_2 = 0.45$		9.947	13.88		17970.10	328.32	
$\phi_1 = 0.45$	$\phi_2 = 0.25$		12.263	16.60		16764.49	182.40	
	$\phi_2 = 0.35$	29688.5	12.263	15.24	12741.61	16691.53	255.36	29688.5
	$\phi_2 = 0.45$		12.263	13.88		16618.57	328.32	

* 取参数 $C_r=15, \Delta=10$ 。

造中所获得的利润也就越多。(2)无论是集中决策还是分散化决策情形,随着再制造单位成本节约的提高,原制造商和第三方再制造商的利润均实现增加,说明产品的再制造对于制造商和再制造商来说均是有利的。而再制造水平的提高激励再制造商提高回收产品的价格,从而提高废旧产品的回收量。值得注意的是,零售商的利润水平随着 Δ 的增加反而下降,这是因为制造商利用对市场的领导地位攫取了更多的利润。(3)随着再制造单位成本节约提高,制造商会提高对再制造商的专利许可费用,从而分享再制造所带来的利润的增加。而再制造商愿意支付更高的专利许可费的原因是回收量增加所带来的利润的增加抵消了专利许可费用的增加。

表 2 的计算结果表明,收益共享—费用分担契约能很好的实现闭环供应链的协调,协调契约下原制造商、零售商及第三方再制造商的利润均实现了增加,说明闭环供应链实现了完美协调,达到了 Pareto 最优。具体来看,当参数 ϕ_1 增加时,零售商分享的利润增加,制造商分享的利润下降,同时制造商会相应地抬高新产品的批发价,从而获得更多的利润。当参数 ϕ_2 增加时,说明第三方再制造商所承担的费用增加,但制造商相应地降低了对第三方再制造商的专利许可费用,从而使得总利润仍成增加的趋势。其次,专利许可费的降低进一步激励了第三方再制造商的回收努力,从而增加回收量,实现了闭环供应链系统利润的增加。

7 结语

本文研究了混合需求下考虑专利保护因素的闭环供应链定价与协调决策问题,得到了集中决策和分散决策情形下的新产品最优订购量、废旧产品最优回收价格、最优专利许可费用、再制品最优零售价格以及供应链的最优利润。并且发现,当原制造商、零售商及第三方再制造商集中决策时,新产品的订购量较高,原制造商和零售商及消费者效用均会提高。因此,本文提出了收益分享-回收费用分担契约,通过此契约,原制造商以低于生产成本的价格将产品批发给销售商,并分享销售商的销售收入,通过双方的谈判控制收益分享比例实现供应链的协调;通过回收品的费用分担契约,原制造商以较低的专利许可费来授权第三方再制造。当第三方再制造商分担的回收费用的比例较高时,原制造商会相应的降低专利许可费,从而降低第三方再制造商的总费用,以此来激励第三方再制造商增加旧产品的回收量,使供应链达到整体协调。

参考文献:

[1] Ginsburg J. Manufacturing: Once is not enough[J]. Business Week, 2001, (16): 128-129.
 [2] Majumder P, Groenevelt H. Competition in remanufacturing[J]. Production and Operations Management, 2001, 10(2): 125-141.
 [3] 尹新天. 新专利法详解[M]. 北京: 知识产权出版社,

- 2005.
- [4] Guide V D R, Van Wassenhovel N. Managing product returns for remanufacturing[J]. *Production and Operations Management*, 2001, 10(2): 142-155.
- [5] Savaskan R C, Bhattachary S, Van Wassenhove L N. Closed-loop supply chain model with product remanufacturing[J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239-252.
- [6] 黄祖庆, 达庆利. 直线性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.
- [7] 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, 25(3): 20-25.
- [8] Vorasayan J, Ryans M. Optimal price and quantity of refurbished products[J]. *Production and Operations Management*, 2006, 15(3): 369-383.
- [9] Ferguson M, Guide V D R, Souza C. Supply chain coordination for false failure returns[J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2006, 8(4): 376-393.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 葛静燕, 黄培清, 王子萍. 基于博弈论的闭环供应链协调问题[J]. *系统管理学报*, 2007, 16(5): 549-552.
- [13] 葛静燕, 黄培清. 价格相依的闭环供应链渠道选择和协调策略[J]. *工业工程与管理*, 2007, (1): 29-33.
- [14] Sen D, Tauman Y. General licensing schemes for a cost reducing innovation[J]. *Games and Economic Behavior*, 2007, 59(1): 163-186.
- [15] 熊中楷, 申成然, 彭志强. 专利保护下再制造闭环供应链协调机制研究[J]. *管理科学学报*, 2011, 14(6): 76-85.

Pricing and Coordination Decision of Closed-Loop Supply Chain with Patent Protection Factor under Mixed Demand

CAO Xiao-gang^{1,2}, WEN Hui³, ZHENG Ben-rong¹, LI Ji-zi¹

(1. School of Management, Wuhan Textile University, Wuhan 430073, China;

2. School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

3. School of Science, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China.

Abstract: In this paper, the pricing and coordination problem of the patent-protected remanufacturing closed-loop supply chain under mixed demand of stochastic new products' demand and remanufactured products' price-dependent demand is studied using game theory. Through the analysis of two circumstances of centralized and decentralized decision-making, the optimal ordering quantity and wholesale price of new products, the optimal recycling price of waste products, the optimal patent licensing fees, the optimal retail price of remanufactured products and the optimal profit of the supply chain are obtained. Furthermore, the supply chain is coordinated by using revenue and expense sharing contract. Through the numerical example the impact of different remanufacturing cost saving on the optimal decision and the profits of the supply chain members, and the coordinating effect of the revenue and expense sharing contract are obtained. It can be found that the manufacturer can influence the recycling price and recycling quantity of the used products recycled by the third re-manufacturer in the case of patent-protected remanufacturing, and then affect the revenue of manufacturer and the third re-manufacturer.

Key words: close-loop supply chain; mixed demand; patent protection; coordination