

基于政府补贴的双闭环供应链模型可行性研究

霍良安, 蒋杰辉, 薛帅飞, 刘宇熹

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 针对政府对经销商租赁补贴的情况, 构建了由一个制造商和一个经销商组成的销售与租赁混合需求下的双闭环供应链系统, 研究了集中决策与分散决策下的最优定价策略, 探讨了租赁补贴、成本参数等对定价策略和利润的影响, 并通过算例对结论进行了验证. 研究表明: 集中决策下的最优租赁量与最优销售量分别是分散策略下的最优租赁量和最优销售量的两倍; 分散决策下, 制造商的最优利润是经销商的最优利润的两倍, 且总利润低于集中决策下的总利润; 增大租赁补贴, 可以增加产品的需求量, 促使消费者以租赁的方式使用产品.

关键词: 政府补贴; 双闭环供应链; 租赁; 混合渠道

中图分类号: F 274

文献标志码: A

Feasibility of A Double Closed-Loop Supply Chain Model Which Relying on Government Subsidy

HUO Liangan, JIANG Jiehui, XUE Shuaifei, LIU Yuxi

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Considering the government rental subsidies, a double closed-loop supply chain model consisting of a single manufacturer and a single distributor was established. According to the model, the optimal pricing strategy under circumstances of both centralized decision-making and decentralized decision-making was studied, and the influences of rental subsidies and cost parameters on the pricing strategy and profit were discussed. The correctness of the constructed model was proved via an example. The studies prove that: the optimal amount of leases and sales under the centralized decision-making are twice the amount under the decentralized decision-making; under the decentralized decision-making, the manufacturer's optimal profit is twice that of the dealer, in addition, the total profit is lower than the total profit under the centralized decision-making; if the rent subsidies are increased, the demand for products will also be increased, so it can prompt consumers to use the products in the form of lease.

Keywords: government subsidy; double closed-loop supply chain; rent; hybrid channel

收稿日期: 2015-07-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71303157); 上海市自然科学基金资助项目(13ZR1458200); 上海市社科规划青年课题(2014EGL007)

第一作者: 霍良安(1981-), 男, 副教授. 研究方向: 供应链管理、应急管理. E-mail: liang-anhuo@usst.edu.cn

由于全球环境变暖、人们环保意识的增强以及产品生命周期的骤减,绿色生态、资源的节约和回收利用受到普遍关注^[1].根据有关统计数据,中国目前的汽车市场需求至少以10%的增长率快速增长,而潜在需求年增长率超过20%.专家预测未来5~10 a,汽车需求增长有着巨大的市场潜力^[2].根据《节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020年)》,到2015年,纯电动、混合动力式等新能源汽车累计产销量约50万辆.如何推广新能源汽车是当今面临的一项重大问题.

许多学者从不同角度分析了供应链的影响.陈欢等^[3]扩展了传统的报童模型,研究了带时间窗报童问题的供应链协调优化.张玉春等^[4]针对闭环供应链中零售商回收渠道,使用系统动力学进行分析,发现回收效率与环境政策指数呈正相关.吴忠和等^[5]发现市场大小和生产成本在受到外界环境影响时,废旧品回收渠道不受影响,但闭环供应链的协调策略将被打破.聂佳佳等^[6]研究回收品质量、回收价格和再造品之间的关系,发现由零售商回收,产品价格偏高,但质量也偏高,制造商的利润随回收品质量的变化而变化.周永圣等^[7]发现由零售商回收,渠道的回收效率和整体利润最优,且产品售价最低、需求量最大.

许多学者通过构建了混合渠道下不同决策的闭环供应链,从不同的角度探讨了不同环境下的闭环供应链问题.徐伟等^[8]研究发现,与博弈方式相比,在相同的市场和创新条件下,合作方式能给供应链系统带来更多的利润.除此之外,无论市场背景是否存在风险,平等合作与主从合作情形下两种方式的总利润相同.高举红等^[9]研究发现,与集中决策相比,分散决策渠道存在利润损失,且系统中的零售价、回收率和利润均与变量因子正相关.王文宾等^[10]运用二部定价方式实现了闭环供应链的定价问题.易余胤等^[11]在正向物流与逆向物流都存在竞争的情形下,探讨了销售渠道冲突和回收渠道冲突对企业定价问题和利润的影响.

以上研究主要集中在销售与回收的闭环供应链.而对零售与租赁混合渠道供应链管理领域,研究投入较少.翟勇洪等^[12]构建了面向大规模定制的再制造集约生产计划模型.Aras等^[13]研究了多周期产品租赁和回收的闭环供应链定价策略.李勇建等^[14]研究了集中决策和分散决策下,通过激励租赁商可以优化新产品的存储、转运及再制造品的回收量.梁喜^[15]研究了零售与租赁混合市场的供应链系统,分析了制造商的定价策略和利润的影响.当产品耐用性能满足一定条件时,回购模式下制造商和租赁商

的利润达到最优.事实上,在耐用消费品的研究领域,还存在一种非常特殊的零售与租赁混合渠道供应链研究.本文以零售与租赁混合渠道供应链为基础,构建了政府补贴租赁、零售与租赁混合渠道的双闭环供应链系统,比较和分析了集中决策和分散决策之间的差异,以及各变量因子对利润的影响.

1 模型描述

探讨由一个制造商和一个经销商组成的闭环供应链系统,其中,经销商对产品既销售和回收产品,又同时出租产品,在此基础上构建了混合需求市场下的双闭环供应链系统,即产品销售及其回收闭环系统和产品租赁及其维修保养闭环系统.模型如图1所示.新产品的销售模式:首先,制造商以单价 w 将产品批发给经销商;然后,经销商以单位价格 p_n 出售产品.再造品的回收模式:制造商以单位价格 p_d 委托经销商回收再制造产品,经销商以单位价格 p_r 回收产品.产品的租赁模式:经销商以单位价格 p_l 出租产品,并以单位价格 p_s 回收产品,同时支付制造商单位价格 p_s 对租赁产品维修保养.政府以单位价格 m 补贴租赁产品.因此,制造商通过与经销商商议调整维修保养价格 p_s 来享受政府补贴政策优惠.

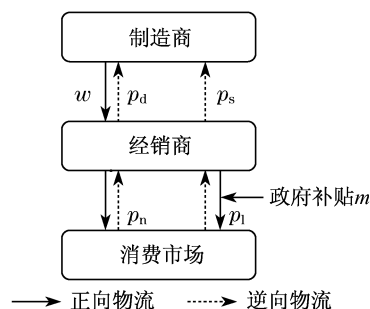


图1 双闭环供应链模型

Fig.1 Double closed-loop supply chain model

2 模型的基本假设

根据以上模型的描述,构建混合需求市场下的双闭环供应链系统. c_n 表示新产品的单位生产成本, c_r 表示再造品的单位生产成本, c_s 表示产品维修保养的单位成本. Π_M, Π_R, Π 分别表示制造商、经销商和供应链系统的利润.本文主要假设如下:

假设1 再造品和新产品仅制造成本有差异,消费者对两种产品的感知程度及产品的性能等方面无差异.令 Δ 表示回收再制造单位产品节约的单位

成本,一般情况下,生产单位产品的成本 c_n 比回收再制造单位产品的成本 c_r 高,即 $\Delta = c_n - c_r > 0$.

假设2 消费者购买产品的需求函数与选择租赁产品的需求函数分别为

$$q_n = \mu Q - p_n + kp_1 \quad (1)$$

$$q_1 = (1 - \mu)Q - p_1 + kp_n \quad (2)$$

式中: q_n 表示消费者购买产品的需求量; q_1 表示消费者租赁产品的需求量; Q 为产品的市场占有率, $Q > 0$; μ 为消费者中,购买者占市场份额的比率, $0 < \mu < 1$; k 为租赁价格和销售价格差额的敏感系数或交叉价格系数, $0 < k < 1$.

假设3 回收再造品全部用于制造新产品,无处置成本,且回收的数量低于市场的需求量.再造品的回收市场供应函数是线性的,即

$$q_r = \alpha + \beta p_r \quad (3)$$

式中: q_r 表示经销商回收再造品的回收量; α 表示当经销商的回收价格 p_r 为 0 时消费者自愿返还的再造品数量; β 表示消费者对经销商的回收价格 p_r 的敏感系数.

假设4 本文只探讨单期的情形,忽略前后周期之间的相互影响.

3 混合渠道下的闭环供应链的决策模型

3.1 集中决策

在集中决策系统中,制造商和经销商通过合作的方式制定定价策略以实现系统的总利润最大化.即制造商与经销商联合决策,联合体以单位价格 p_n 销售产品和单位 p_1 价格出租产品,同时以单位价格 p_r 回收再造品.联合体的利润由销售产品利润、租赁产品利润和回收再造品节约利润组成,因此,制造商和经销商的总利润为

$$\Pi = (p_n - c_n)q_n + (\Delta - p_r)q_r + (p_1 - c_n - c_s + m)q_1 \quad (4)$$

从式(4)求关于销售价格 p_n 、租赁价格 p_1 和回收价格 p_r 的 Hessian 矩阵 H_1 .

$$H_1 = \begin{bmatrix} -2 & 0 & 2k \\ 0 & -2\beta & 0 \\ 2k & 0 & -2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

易知 Hessian 矩阵 H_1 负定.整个供应链的利润函数是关于销售价格、租赁价格和回收价格的三元凹函数,联合体决策下的闭环供应链系统关于销售价格 p_n 、租赁价格 p_1 和回收价格 p_r 有最优解.因此,式(4)分别对销售价格 p_n 、租赁价格 p_1 和回收价格 p_r 的求一次偏导数并令其等于零,联立可解得最优的销售价格 p_n^* 、租赁价格 p_1^* 和回收价格 p_r^* 分别为

$$p_n^* = \frac{[(1 - \mu)k + \mu]Q + (1 - k^2)c_n}{2(1 - k^2)} \quad (6)$$

$$p_1^* = \frac{[(1 - \mu) + k\mu]Q + (1 - k^2)(c_n + c_s - m)}{2(1 - k^2)} \quad (7)$$

$$p_r^* = \frac{\beta\Delta - \alpha}{2\beta} \quad (8)$$

将式(6)和式(7)代入需求函数式(1)和式(2),将式(8)代入回收函数式(3),有

$$q_n^* = \frac{\mu Q + (k - 1)c_n - k(m - c_s)}{2} \quad (9)$$

$$q_1^* = \frac{(1 - \mu)Q + (k - 1)c_n - c_s + m}{2} \quad (10)$$

$$q_r^* = \frac{\beta\Delta + \alpha}{2} \quad (11)$$

将以上各式代入式(4),可求得集中决策下销售和租赁混合需求的闭环供应链模型的最优利润为

$$\begin{aligned} \Pi^* = & \frac{1}{4(1 - k^2)} \{ [1 - 2\mu(1 - \mu)(1 - k)]Q^2 + \\ & 2(1 - k^2)(1 - k)c_n^2 - 2(1 - k^2)Qc_n - \\ & 2c_s(1 - \mu)(1 - k^2)Q + 2(k + 1)(1 - k)^2 \cdot \\ & c_s c_n + (1 - k^2)(c_s^2 - m^2) \} + \frac{(\beta\Delta + \alpha)^2}{4\beta} \end{aligned} \quad (12)$$

3.2 分散决策

制造商和经销商都以自身利润的最大化进行定价,且制造商与经销商的博弈服从制造商为领导者、经销商是跟随者的 Stackelberg 博弈.制造商先确定批发单位价格 w 、回购价格 p_d 和维修保养价格 p_s ,经销商再决定销售价格 p_n 、回收价格 p_r 和租赁价格 p_1 .制造商利润函数、经销商利润和系统总利润分别为

$$\Pi_M = (w - c_n)(q_n + q_1) + (\Delta - p_d)q_r + (p_s - c_s)q_1 \quad (13)$$

$$\Pi_R = (p_n - w)q_n + (p_d - p_r)q_r + (p_1 - w - p_s + m)q_1 \quad (14)$$

$$\Pi = \Pi_M + \Pi_R = (p_n - c_n)q_n + (\Delta - p_r)q_r + (p_1 - c_n - c_s + m)q_1 \quad (15)$$

根据 Stackelberg 博弈,可以求得最优销售价格 p_n^{**} 、最优租赁价格 p_1^{**} 和最优回收价格 p_r^{**} ,对于给定的最优批发价格 w 和最优维修保养价格 p_s^{**} 和最优回收价格 p_d^{**} ,易知 Hessian 矩阵 H_2 负定,存在最优解.

$$H_2 = \begin{bmatrix} -2 & 0 & 2k \\ 0 & -2\beta & 0 \\ 2k & 0 & -2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

对制造商利润 Π_R 分别求其关于销售价格 p_n 、租赁价格 p_1 和回收价格 p_r 的一阶偏导数并令其等于零,联立可解得最优的销售价格 p_n^{**} 、租赁价格 p_1^{**} 和回收价格 p_r^{**} .

$$p_n^{**} = \frac{[(1-\mu)k + \mu]Q + (1-k^2)w}{2(1-k^2)} \quad (17)$$

$$p_i^{**} = \frac{[(1-\mu) + k\mu]Q + (1-k^2)(w + p_s - m)}{2(1-k^2)} \quad (18)$$

$$p_r^{**} = \frac{\beta p_d - \alpha}{2\beta} \quad (19)$$

然后确定制造商的最优批发价格 w^{**} 、最优回购价格 p_d^{**} 和最优维修保养价格 p_s^{**} . 将式(17)~(19)代入式(13), 求 Π_M 关于 w , p_d 和 p_s 的 Hessian 矩阵 H_3 .

$$H_3 = \begin{bmatrix} 2(k-1) & 0 & k-1 \\ 0 & -\beta & 0 \\ k-1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

易知 Hessian 矩阵 H_3 负定. 制造商的利润函数 Π_M 是关于批发价格 w 、维修保养价格 p_d 和回收价格 p_s 的三元凹函数, 式(13)有最优解. 同理可得

$$w^{**} = \frac{[(1-\mu)k + \mu]Q + (1-k^2)c_n}{2(1-k^2)} \quad (21)$$

$$p_s^{**} = \frac{(1+k)(c_s + m) + (1-2\mu)Q}{2(1+k)} \quad (22)$$

$$p_d^{**} = \frac{\beta\Delta - \alpha}{2\beta} \quad (23)$$

由式(22)可知, 最优的维修保养价格 p_s^{**} 与政府补贴 m 有关. 因此, 制造商通过与经销商商议调整维修保养价格 p_s 来享受政府补贴政策优惠. 将式(21)和式(22)代入式(17)和式(18), 将式(23)代入式(19), 求得经销商的最有销售价格 p_n^{**} 、最优租赁价格 p_e^{**} 和最优回收价格 p_r^{**} 为

$$p_n^{**} = \frac{3[(1-\mu)k + \mu]Q + (1-k^2)c_n}{4(1-k^2)} \quad (24)$$

$$p_i^{**} = \frac{3[(1-\mu) + k\mu]Q + (1-k^2)(c_n + c_s - m)}{4(1-k^2)} \quad (25)$$

$$p_r^{**} = \frac{\beta\Delta - 3\alpha}{4\beta} \quad (26)$$

将式(24)和式(25)代入需求函数式(1)和式(2), 将式(26)代入回收函数式(3), 有

$$q_n^{**} = \frac{\mu Q - (1-k)c_n + k(c_s - m)}{4} \quad (27)$$

$$q_i^{**} = \frac{(1-\mu)Q - (1-k)c_n - c_s + m}{4} \quad (28)$$

$$q_r^{**} = \frac{\beta\Delta + \alpha}{4} \quad (29)$$

由式(13)~(29)可得制造商利润、经销商利润以及渠道总利润分别为

$$\begin{aligned} \Pi_R^{**} = & \frac{1}{16(1-k^2)} \{ [1 - 2\mu(1-\mu)(1-k)]Q^2 + \\ & 2(1-k^2)(1-k)c_n^2 - 2(1-k^2)Qc_n - \\ & 2(1-\mu)(1-k^2)Q(c_s - m) + 2(1-k) \cdot \\ & (1-k^2)c_n(c_s - m) + (1-k^2)(c_s - 1) \cdot \end{aligned}$$

$$(c_s - m) \} + \frac{(\beta\Delta + \alpha)^2}{16\beta} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \Pi_M^{**} = & \frac{1}{8(1-k^2)} \{ [1 - 2\mu(1-\mu)(1-k)]Q^2 + \\ & 2(1-k^2)(1-k)c_n^2 - 2(1-k^2)Qc_n - \\ & 2(1-\mu)(1-k^2)Q(c_s - m) + 2(1-k) \cdot \\ & (1-k^2)c_n(c_s - m) + (1-k^2)(c_s - 1) \cdot \\ & (c_s - m) \} + \frac{(\beta\Delta + \alpha)^2}{8\beta} \quad (31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi^{**} = & \frac{3}{16(1-k^2)} \{ [1 - 2\mu(1-\mu)(1-k)]Q^2 + \\ & 2(1-k^2)(1-k)c_n^2 - 2(1-k^2)Qc_n - \\ & 2(1-\mu)(1-k^2)Q(c_s - m) + 2(1-k) \cdot \\ & (1-k^2)c_n(c_s - m) + (1-k^2)(c_s - 1) \cdot \\ & (c_s - m) \} + \frac{3(\beta\Delta + \alpha)^2}{16\beta} \quad (32) \end{aligned}$$

比较集中决策与分散决策下的最优定价策略以及各参数变化对最优解的影响, 可得以下结论 1~9.

结论 1 $q_n^* = 2q_n^{**}$, $q_i^* = 2q_i^{**}$, $q_r^* = 2q_r^{**}$, 即集中决策下的最优销售量、最优租赁量和最优回收量分别是分散决策下经销商的最优销售量、最优租赁量和最优回收量的两倍.

证明 将两种决策下的价格进行对比, 即可得出结论.

由结论 1、式(1)和式(2)可知: 集中决策有利于降低产品价格, 扩大产品销售或者租赁量, 为制造商决策如何推广产品提供理论依据.

结论 2 $p_n^* = w^{**} < p_n^{**}$, $p_i^* < p_i^{**}$, $p_r^* = p_d^{**} > p_r^{**}$, 即集中化决策下的销售价格和租赁价格分别低于分散化决策下的销售价格和租赁价格, 且集中决策下的回收价格高于分散决策下的回收价格.

证明 易知 $p_n^* = w^{**} < p_n^{**}$, 同理可得

$$p_n^{**} - p_n^* = \frac{c_n(1-k^2) - Q(k - \mu - k\mu)}{4(1-k^2)} < \frac{p_n^*}{2}$$

$$p_i^* < p_i^{**}, \quad p_r^* = p_d^{**} > p_r^{**}$$

由结论 2、式(1)和式(2)可知: 与集中决策下相比, 分散决策下产品的销售价格或者租赁价格较高, 不利于扩大产品市场份额, 同时回收价格偏低, 降低了再造品的回收量, 进而减少了企业的利润.

结论 3 $\Pi^* > \Pi^{**}$, $\Pi_M^{**} = 2\Pi_R^{**}$, 即集中决策下的总利润比分散决策下的总利润大, 同时分散决策下制造商的利润是经销商的利润的两倍.

证明

$$\begin{aligned} \Pi^* - \Pi^{**} = & (p_n^* - c_n)q_n^* + (\Delta - p_r^*)q_r^* + \\ & (p_i^* - c_n - c_s)q_r^* - [(p_n^{**} - c_n)q_n^{**} + \\ & (\Delta - p_r^{**})q_r^{**} + (p_i^{**} - c_n - c_s + m)q_r^{**}] \end{aligned}$$

$$\Delta \Pi = \Pi^* - \Pi^{**} = (2p_n^* - p_n^{**} - c_n) \cdot q_n^{**} + (2p_i^* - p_i^{**} - c_n - c_s + m)q_i^{**} + (\Delta + p_r^{**} - 2p_r^*)q_r^{**} > 0$$

同理可得, $\Pi_M^{**} = 2\Pi_R^{**}$.

由结论3可知,联合决策下的系统利润水平达到最高,相关均衡结果均严格优于 Stacklberg 博弈定价模型下的水平.分散决策下系统的总体利润小于集中决策下系统的总体利润,制造商可以采取让利或其他有效的方式合理分配利润,以实现双赢.

结论4 限定其他参数不变,若新产品的生产成本减少,则无论集中决策还是分散决策,所有价格都将降低,且集中决策下的零售价格、回收价格和租赁价格变化率相等;分散决策下,制造商的批发价格、回购价格变化率相等,经销商的零售价格、回收价格和租赁价格变化率相等,且制造商的变动率为经销商的变动率的两倍.

证明 易知

$$\frac{\partial p_n^*}{\partial c_n} = \frac{\partial p_r^*}{\partial c_n} = \frac{\partial p_i^*}{\partial c_n} = \frac{\partial w^{**}}{\partial c_n} = \frac{\partial p_d^{**}}{\partial c_n} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\partial p_n^{**}}{\partial c_n} = \frac{\partial p_r^{**}}{\partial c_n} = \frac{\partial p_i^{**}}{\partial c_n} = \frac{1}{4}$$

由结论4可知,企业可以通过降低产品的制造成本,进而影响产品的价格.产品成本的降低对制造商的影响波动比对经销商的更广,由此可知,制造商可通过产品技术研发、寻找新的低价原料等方法降低制造成本以获取更大的利润.

结论5 限定其他参数不变,随着再造品的生产成本减少,再造品的回收价格将增大,同时各利润值也随再制造品的生产成本的减少而增大.

证明 容易验证

$$\frac{\partial p_d^{**}}{\partial c_r} = -\frac{1}{2}, \frac{\partial p_r^{**}}{\partial c_r} = -\frac{1}{4}, \frac{\partial p_i^*}{\partial c_r} = -\frac{1}{\beta}$$

$$\frac{\partial \Pi_M^{**}}{\partial c_r} = -\frac{1}{4}[\alpha + (c_n - c_r)\beta] < 0$$

$$\frac{\partial \Pi_R^{**}}{\partial c_r} = -\frac{1}{8}[\alpha + (c_n - c_r)\beta] < 0$$

$$\frac{\partial \Pi^*}{\partial c_r} = -\frac{1}{2}[\alpha + (c_n - c_r)\beta] < 0$$

由结论5可知,随着再造品的生产成本的减少,制造商和经销商将会扩大再造品的回收价格,进而增加各方的利润,且集中决策下制造商总利润的变动率为分散决策下制造商总利润的变动率的两倍.因此,制造商可通过再造品制造技术优化、管理优化等方法降低成本以获取更大的利润.

结论6 限定其他参数不变,随着再造品的基本回收量的减少,再造品的回收价格将增大,同时供

应链成员的利润也随之减少.

证明 容易验证

$$\frac{\partial p_d^{**}}{\partial \alpha} < 0, \frac{\partial p_r^{**}}{\partial \alpha} < 0, \frac{\partial p_i^*}{\partial \alpha} < 0, \frac{\partial \Pi^*}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial \Pi^{**}}{\partial \alpha} > 0$$

成立.

由结论6可知,通过提高公众环保意识,制造商可以无偿获取更多的再造品数量,降低产品的生产成本,进而获得更多的利润.

结论7 限定其他参数不变,随着再造品的回收价格的敏感系数增大,再造品的回收价格将增大,同时供应链成员的利润也随之增加.

证明 容易验证

$$\frac{\partial p_d^{**}}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial p_r^{**}}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial p_i^*}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial \Pi^*}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial \Pi^{**}}{\partial \beta} > 0$$

由结论7可知,回收价格的敏感系数的提高有助于提高回收价格和回收量,从而使利润增加.因此,企业在决策回收产品时,应对未来产品的回收价格和敏感系数作出更精准的预测.

结论8 限定其他参数不变,当交叉价格影响系数增大时,批发价格、销售价格和租赁价格以及销售量和租赁量将增大,同时供应链成员的利润将增大.

证明 容易验证

$$\frac{\partial p_n^*}{\partial k} = \frac{\partial w^{**}}{\partial k} = \frac{[(1+k^2)(1-\mu) + 2k\mu]Q}{2(1-k^2)^2} > 0$$

$$\frac{\partial p_i^*}{\partial k} = \frac{[2k(1-\mu) + \mu + k^2\mu]Q}{2(1-k^2)^2} > 0$$

$$\frac{\partial p_n^{**}}{\partial k} = \frac{3[1+k^2(1-\mu) - \mu + 2k\mu]Q}{4(1-k^2)^2} > 0$$

$$\frac{\partial p_i^{**}}{\partial k} = \frac{3[k^2(1+\mu) + 2k(1-\mu)]Q}{4(1-k^2)^2} > 0$$

同理易得

$$\frac{\partial q_n^*}{\partial k} > 0, \frac{\partial q_i^*}{\partial k} > 0, \frac{\partial q_n^{**}}{\partial k} > 0, \frac{\partial q_i^{**}}{\partial k} > 0$$

$$\frac{\partial \Pi^*}{\partial k} > 0, \frac{\partial \Pi^{**}}{\partial k} > 0$$

由结论8可知,交叉价格系数的增大有助于提高产品的需求量和价格,进而增大各项利润.

结论9 限定其他参数不变,当政府租赁补贴增大时,销售渠道中产品的销售价格保持不变,但销售量减少,租赁渠道中的租赁价格降低,但租赁量增加.集中决策下供应链系统总利润将减少;分散决策下供应链系统总利润将增加.

$$\frac{\partial p_i^*}{\partial m} = \frac{\partial p_i^{**}}{\partial m} = -\frac{1}{2}, \frac{\partial p_s^{**}}{\partial m} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\partial q_n^*}{\partial m} = -\frac{k}{2} < \frac{\partial q_i^*}{\partial m} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\partial q_n^{**}}{\partial m} = -\frac{k}{4} < \frac{\partial q_i^{**}}{\partial m} = \frac{1}{4}, \frac{\partial \Pi^*}{\partial m} = -\frac{m}{2}$$

$$\frac{\partial \Pi^{**}}{\partial m} = \frac{-c_s - c_n(1-k) + m + Q(1-\mu)}{2} > 0$$

由结论9可知,政府可以鼓励消费者以租赁的方式使用产品,使消费者更好地了解产品的使用性能和安全性,同时扩大产品在消费市场中的知名度.在同等条件下,因租赁补贴引起销售量的相对减少量比租赁量的相对增加量要少,即通过租赁可以增加产品的使用量.在增大租赁补贴时,能刺激更多消费者选择租赁方式使用产品,同时增加分散决策的总利润.

4 算例与敏感性分析

现用数值算例的方式来描述集中决策和分散决

策下的混合需求双闭环供应链中各参数变化及其影响情况,以期获得一些管理启示.以社会市场为背景,假设租赁和销售混合的闭环供应链中一些相关参数的取值如表1所示.

表1 参数取值

Tab.1 Parameters' values

参数	Q	c_n	c_r	c_s	α	β	μ	k	m
数值	2 000	700	500	100	10	2	0.55	0.6	200

将表1中各数值代入集中决策与分散决策下的最优定价策略,计算结果如表2所示.

a. 由表2得出的结果.

(a) 对于结论1, $q_n^* = 2$, $q_n^{**} = 380.0$, $q_l^* = 2$,

表2 集中决策与分散决策下的最优解

Tab.2 Optimal solutions under the modes of centralized and decentralized decision making

策略	w	p_d	p_s	p_n	p_l	p_r	q_n	q_l	q_r	Π_M	Π_R	Π
集中决策				1 631.3	1 518.8	97.5	380.0	360.0	205.0			633 638.0
分散决策	1631.25	97.5	87.5	2 096.9	1 978.1	46.3	190.0	180.0	102.5	352 819.0	176 409.5	529 228.5

$q_l^{**} = 360.0$, $q_r^* = 2$, $q_r^{**} = 205.0$,集中决策下经销商的最优销售量、最优租赁量和最优回收量分别是分散决策下经销商的最优销售量、最优租赁量和最优回收量的两倍.结论1得证.

(b) 对于结论2, $p_n^* = w^{**} = 1 631.25 < p_n^{**} = 2 096.9$, $p_l^* = 1 518.8 < p_l^{**} = 1 978.1$, $p_r^* = p_d^{**} > p_r^{**}$.集中决策下的销售价格和租赁价格分别低于分散决策下的销售价格和租赁价格,且集中决策下的回收价格高于分散决策下的回收价格.结论2得证.

(c) 对于结论3, $\Pi^* = 633 638.0 > \Pi^{**} = 529 228.5$, $\Pi_M^{**} = 2\Pi_R^{**} = 352 819.0$,即集中决策下的总利润比分散决策下的总利润大,同时分散决策下制造商的利润是经销商的利润的两倍.结论3得证.

b. 分别对成本变化、消费者环保意识、回收价格的敏感系数和政府租赁补贴进行敏感性分析验证.

(a) 成本的影响.

对于结论4,由图2可知,限定其他参数不变,随着制造成本 c_n 的增加,集中决策下的零售价格、回收价格和租赁价格变化率相等;分散决策下,制造商的批发价格、回购价格变化率相等,经销商的零售价格、回收价格和租赁价格变化率相等,且制造商的变化率为经销商的两倍.结论4得证. P 为价格, Π' 为利润.

对于结论5,由图3可知,限定其他参数不变,随着再制造成本 c_r 的增加,回收价格将增大,同时各项利润也将增大.结论5得证.

(b) 消费者环保意识的影响.

对于结论6,由图4可知,限定其他参数不变,随着消费者环保意识 α 的增加,回收价格减少,利润增加.结论6得证.

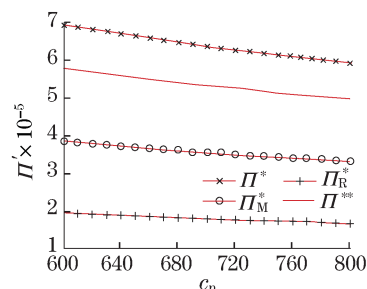
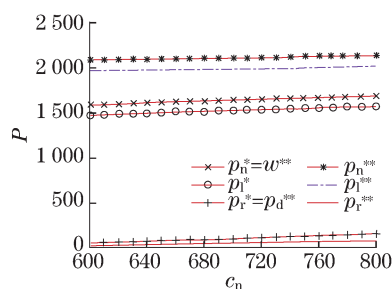
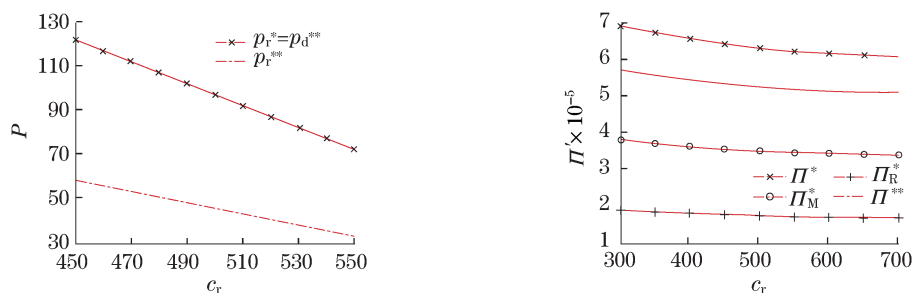
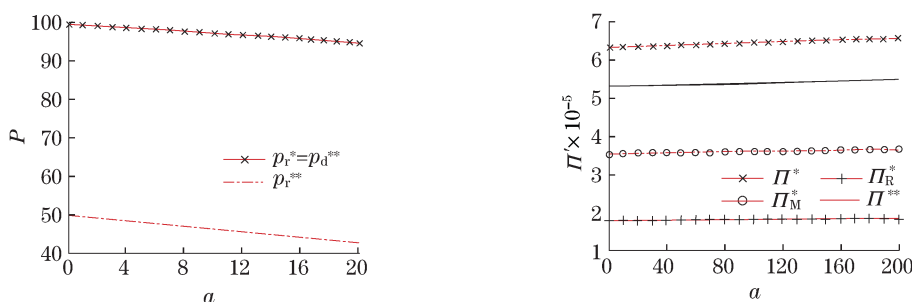


图2 制造成本 c_n 对价格 P 和利润 Π' 的影响

Fig.2 Impact of manufacturing cost c_n on prices P and profits Π'

图3 再制造成本 c_r 对价格 P 和利润 Π' 的影响Fig. 3 Impact of remanufacturing cost c_r on prices P and profits Π' 图4 消费者环保意识 α 对价格 P 和利润 Π' 的影响Fig. 4 Impact of parameter α on prices P and profits Π'

(c) 回收价格敏感系数的影响.

对于结论7,由图5可知,随着再造品的回收价格的敏感系数 β 的增大,再造品的回收价格将增大,同时各利润也随之增加.结论7得证.

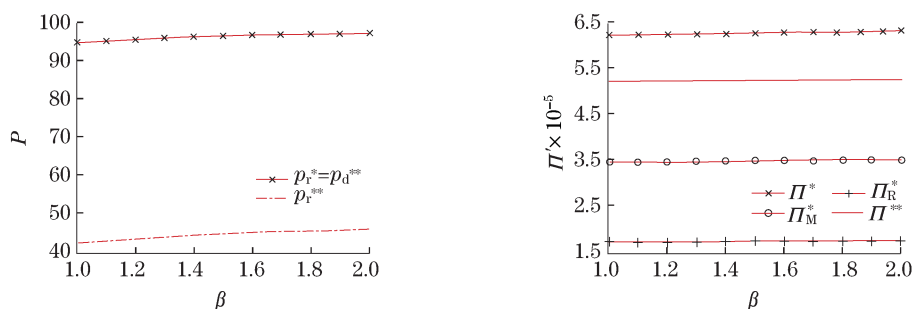
(d) 交叉价格影响系数的影响.

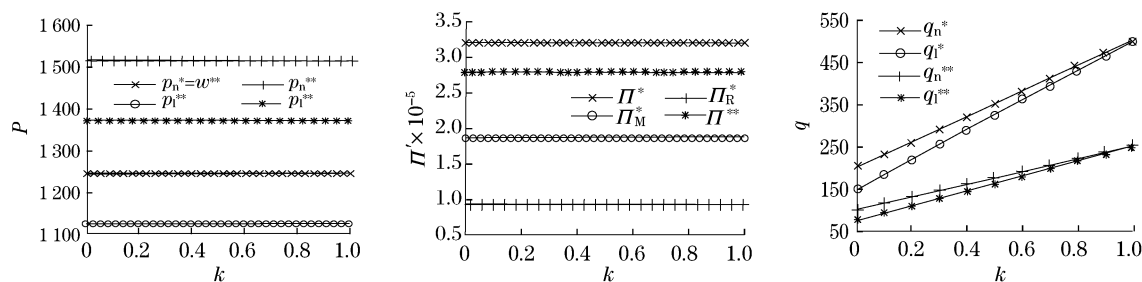
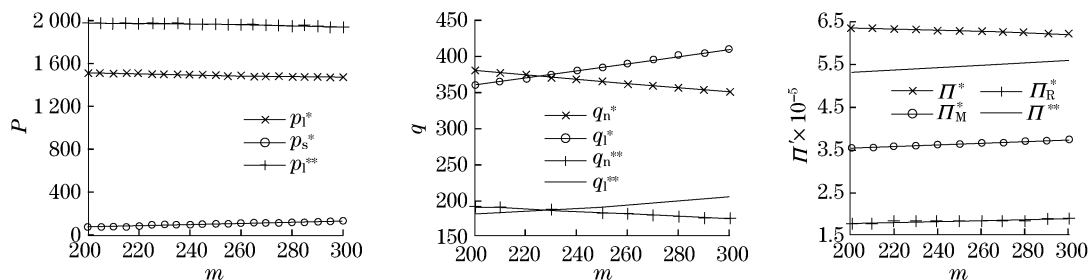
对于结论8,由图6(见下页)可知,限定其他参数不变,随着交叉价格影响系数 k 的增大,批发价格、销售价格和租赁价格以及销售量和租赁量将

增大,同时各项利润将增大.结论8得证. q 为需求量.

(e) 政府租赁补贴的影响.

对于结论9,由图7(见下页)可知,限定其他参数不变,随着租赁补贴 m 的增大,零售价格不变、销售量降低,租赁价格降低、增大了产品的需求量.集中决策下总利润减少,分散决策下总利润增加.结论9得证.

图5 回收价格敏感系数 β 对价格 P 和利润 Π' 的影响Fig. 5 Impact of parameter β on prices P and profits Π'

图6 系数 k 对价格 P 、利润 Π' 和需求量 q 的影响Fig. 6 Impact of parameter k on prices P , profits Π' and demands q 图7 租赁补贴 m 对价格 P 、需求量 q 和利润 Π' 的影响Fig. 7 Impact of parameter m on prices P , profits Π' and demands q

5 结束语

在考虑租赁补贴情况下,构建了一个制造商和一个经销商组成的销售与租赁混合需求下的双闭环供应链系统,与以往研究不同的是,本文假设零售商同时销售和租赁产品,并且回收再制品.研究了集中决策与分散决策下的最优定价策略,分析了各参数变化对定价策略和利润的影响.研究表明:a.集中决策下最优租赁量和最优销售量分别是分散决策下最优租赁量和最优销售量的两倍;b.分散决策下,制造商的最优利润是经销商的最优利润的两倍,且总利润低于集中决策下的总利润;c.通过租赁可以增加产品的使用量.在增大租赁补助时,能刺激更多消费者选择租赁方式使用产品,同时增加分散决策下的总利润.

参考文献:

- [1] CHUNG C J, WEE H M. Short life-cycle deteriorating product remanufacturing in a green supply chain inventory control system[J]. International Journal of Production Economics, 2011, 129(1): 195-203.
- [2] GUIDE JR V D R, VAN Wassenhove L N. OR FORUM-the evolution of closed-loop supply chain research[J]. Operations Research, 2009, 57(1): 10-18.
- [3] 陈欢,李芳.带时间窗报童问题的供应链协调优化[J].上海理工大学学报,2015,37(4):398-402.
- [4] 张玉春,郭宁.基于系统动力学的闭环供应链中回收

商行为[J].系统工程,2014(6):99-104.

- [5] 吴忠和,陈宏,赵千.非对称信息下闭环供应链回购契约应对突发事件策略研究[J].中国管理科学,2013,21(6):97-106.
- [6] 聂佳佳,邓东方.再制造产品质量对闭环供应链回收渠道的影响[J].工业工程与管理,2014,19(1):1-7.
- [7] 周永圣,汪寿阳.政府监控下的退役产品回收模式[J].系统工程理论与实践,2010(4):615-621.
- [8] 徐伟,郑石桥,陈丹萍.闭环供应链中制造商与销售商合作创新模型研究[J].中国管理科学,2014,22(7):116-123.
- [9] 高举红,韩红帅,侯丽婷,等.考虑社会责任的闭环供应链决策与协调[J].计算机集成制造系统,2014,20(6):1453-1461.
- [10] 王文宾,达庆利,聂锐.考虑渠道权力结构的闭环供应链定价与协调[J].中国管理科学,2011,19(5):29-36.
- [11] 易余胤,袁江.渠道冲突环境下的闭环供应链协调定价模型[J].管理科学学报,2012,15(1):54-65.
- [12] 翟勇洪,梁玲,刘宇熹,等.面向大规模定制的再制造集约生产计划模型[J].上海理工大学学报,2014,36(6):603-613.
- [13] ARAS N, GÜLLÜ R, YÜRÜLMEZ S. Optimal inventory and pricing policies for remanufacturable leased products[J]. International Journal of Production Economics, 2011, 133(1): 262-271.
- [14] 李勇建,许垒.租赁返回产品的回收再制造活动协调机制研究[J].系统工程学报,2012,27(3):370-382.
- [15] 梁喜.零售与租赁混合渠道下的汽车制造商渠道结构比较[J].系统工程,2009,27(8):8-13.

(编辑:石 瑛)