

制造商竞争偏好的闭环供应链绩效分析

吴志丹^{1,2}, 黄 敏¹

(1. 东北大学信息科学与工程学院; 流程工业综合自动化国家重点实验室(东北大学), 辽宁 沈阳 110819;
2. 沈阳师范大学计算机与数学基础教学部, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 在由零售商负责回收的闭环供应链系统中, 研究不同主导模式下制造商的竞争偏好行为对闭环供应链决策和绩效的影响. 首先, 建立集中化决策模式、无领导模式、制造商主导模式和零售商主导模式. 运用数学优化和逆向归纳方法推导闭环供应链决策和绩效水平. 然后, 将不同主导模式中的决策和绩效进行分析和比较. 最后, 通过数值仿真验证了结论的合理性. 研究表明, 制造商的竞争偏好行为会对不同主导模式下闭环供应链的定价决策、利润分配、绩效水平产生重要影响. 集中决策模式和零售商主导模式能够避免制造商竞争偏好行为对闭环供应链的影响. 具有竞争偏好行为的制造商不适合作为闭环供应链的主导者.

关键词: 闭环供应链; 主导模式; 竞争偏好; 博弈论

中图分类号: F224

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2020)01-0073-15

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2020.01.007

Performance analysis of closed-loop supply chain with manufacturer's competitive preferences

Wu Zhidan^{1,2}, Huang Min¹

(1. College of Information Science and Engineering; State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Fundamental Teaching Department of Computer and Mathematics, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China)

Abstract: In a retailer-collecting closed-loop supply chain (CLSC), the effects of the manufacturer's competitive preferences on the decisions and performance of the CLSC are studied under different dominant modes. Firstly, four models are established which are C mode, N mode, M mode and R mode. By using the mathematical optimization and backward induction method, the supply chain decisions and performance are obtained. Then, the supply chain's decisions and performance under the four different dominant modes are compared and analyzed. Finally, a numerical simulation is presented to illustrate the rationality of the theoretical results. The results show that manufacturer's competitive preferences have important impacts on the pricing decisions, distribution of profits and performance in the CLSC. However, the C mode and the R mode can avoid the effects of the manufacturer's competitive preferences. Furthermore, the manufacturer with competitive preferences is not suitable to be the leader of the CLSC.

Key words: close-loop supply chain; dominant mode; competitive preference; game theory

收稿日期: 2017-02-21; 修订日期: 2017-05-18.

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(71325002; 61225012); 国家自然科学基金重点国际合作研究资助项目(71620107003); 国家自然科学基金创新研究群体资助项目(61621004); 流程工业综合自动化国家重点实验室基础科研业务费资助项目(2013ZCX11); 辽宁省社科规划基金资助项目(L15AGL010).

1 引言

当今世界在可持续发展方面仍然面临着巨大的挑战,人类和地球共同处于危机当中.绿色、循环、低碳发展已经成为全球的共识和大势所趋.在这样的背景之下,闭环供应链成为企业界和学术界关注的热点.闭环供应链将废旧产品的回收再制造纳入整个生产活动,可以有效地提高资源利用率、缓解环境污染,还能够为企业带来可观的经济效益.例如,施乐(Xerox)、佳能(Canon)等公司通过废旧产品的回收再利用节省了40%~65%的制造成本^[1].学者们对闭环供应链展开了大量的研究,成果主要集中在如下几个方面.

渠道选择方面. Savaskan等^[1]提出闭环供应链的三种回收渠道划分,即制造商回收、零售商回收和第三方回收渠道,研究发现,最接近消费者的零售商回收渠道最有效. Atasu^[2]从回收费用的角度给出了闭环供应链的回收渠道选择策略. 王发鸿^[3]引入再制造比率,在此基础上研究回收渠道的选择问题. 樊松^[4]分析了初始投入系数对回收渠道选择的影响. Savaskan和Wassenhove等^[5]进一步研究了多个零售商竞争的情形下闭环供应链的逆向渠道设计. Min Huang等^[6]研究了零售商和第三方竞争回收模式,结论显示竞争强度系数会影响闭环供应链回收渠道的选择. Hong^[7]研究了混合回收渠道,具体包括制造商和零售商混合回收、制造商和第三方混合回收、零售商和第三方混合回收,研究发现制造商和零售商混合回收是最有效的. 李晓静等^[8]考虑了链链竞争时再制造产品不同销售渠道选择对供应链各成员利润的影响,研究发现,闭环供应链销售渠道的选择不仅依赖于产品间的竞争强度,同时还受到再制造过程中节约的生产成本的影响.

最优决策和利益协调方面. 孙浩等^[9]、包晓英等^[10]、刘家国等^[11]、霍艳芳等^[12]、许茂增等^[13]考虑了新产品与再制造产品差异的定价与协调. 易余胤等^[14]、张成堂等^[15]、于春海等^[16]、梁喜等^[17]考虑了多回收渠道组合下的闭环供应链的定价与协调. 曹晓刚等^[18]、张桂涛等^[19]考虑顾客渠道偏好的定价与协调. 张汉江等^[20]研究了最优销售价格激励契约以及最优回收努力激励契约实现闭环供应链协调的可能性,研究发现,最优销售价格激励契约可以实现生产销售部分的协调,回收努力激励契约可以实现回收部分的协调.

主导模式方面. 主导模式方面的研究与本文相关,但研究成果相对较少. 大多数研究是以制造商为主导的闭环供应链为研究对象. 伴随着新型商业模式的出现,以零售商为主导的闭环供应链的研究开始出现,如张福安等^[21]、张雅琪等^[22]、余福茂等^[23]、高举红等^[24]、姚锋敏等^[25]. 然而这些研究忽略了权力结构对闭环供应链的影响. 当前供应链的权力结构呈现出多元化的发展趋势. 既有如苹果、联想等制造商主导的权力结构,也存在着如麦德龙、国美等零售商主导的权力结构,还存在制造商和零售商势力相当的权力结构. 已有研究表明,权力结构会影响闭环供应链的决策和绩效水平. 易余胤^[26]在不同主导力量下研究了由单一制造商、两个竞争零售商和第三方回收方组成的闭环供应链,得出零售商主导模式占优. 王文宾等^[27]在三种渠道力量结构下研究了由一个制造商和一个零售商组成的闭环供应链的定价与协调,考虑了新产品与再制造产品的差别定价. 有学者认为,差别定价弱化了回收对正向供应链的影响,将再制造产品和新产品在销售渠道中同质化,能够更好地诠释渠道权力对闭环供应链的作用^[28]. 李明芳等^[28]在制造商回收的闭环供应链中,研究渠道权力结构对闭环供应链决策及绩效的影响. 公彦德^[29]探寻了闭环供应链主导模式和回收方式的最优组合,研究发现制造商主导、零售商回收的组合方式最优.

以上文献对闭环供应链的研究起到积极的促进作用,但没有考虑决策者的行为特征. 实际上,人们在利益分配中并非完全理性,是具有公平、竞争、互惠等社会偏好行为的,并且这些社会偏好会对决策产生影响. 目前这方面的研究关注的热点是公平行为. Haitao Cui^[30]首次将公平偏好行为引入正向供应链,研究发现公平行为有助于供应链的协调. 张克勇^[31-33]将公平关切引入闭环供应链中,研究了零售商的公平关切行为,对闭环供应链定价决策的影响. 现实中,除了公平偏好行为表现之外,在供应链节点企业间博弈的过程中,竞争偏好行为是一种简单且符合人们心理学的普遍行为^[34]. 例如,全球知名的硬盘制造商希捷和西部数据,在2012年以泰国洪灾为由制造供应短缺抬高价格. 再如,英特尔利用其在PC和服务器芯片市场的统治地位,逐年抬高产品售价. 2014年5月6日《华尔街日报》报道,根据市场调查机构Mercury Research的数据显示,英特尔公司服务器芯片产品的售价较7年前增长达47%. 不难看出,竞争偏好行为是普遍存在的,并且影响着市场的运行.

因而, 当闭环供应链的成员具有竞争偏好行为时, 最优的主导模式很有可能发生改变. 本文将竞争偏好行为纳入闭环供应链的运作研究, 研究制造商的竞争偏好行为对不同主导模式下闭环供应链决策和绩效的影响, 分析何种主导模式最优. 首先, 建立了集中化决策系统模型和三种不同主导模式的分散决策系统模型. 然后, 将不同模型中的决策和绩效进行比较和分析. 最后, 通过数值仿真验证了结论的合理性. 研究发现, 制造商的竞争偏好行为会对不同主导模式下闭环供应链的定价决策、利润分配、绩效水平产生重要影响. 最优的主导模式发生改变, 集中决策模式和零售商主导模式能够避免制造商竞争偏好行为对闭环供应链的影响. 具有竞争偏好行为的制造商不适合作为闭环供应链的主导者.

2 问题描述和基本假设

2.1 问题描述

Savaskan等^[1]发现最接近消费者的零售商回收渠道最有效. 现实中零售商处于回收的起点, 美国耐克公司通过在门店给予顾客一些回扣来回收旧鞋. 日本小岛电器建立了店头回收制度. 我国的啤酒企业通过零售商进行“啤酒瓶的回收”, 回收率达98%以上^[35]. 因此, 零售商负责回收的闭环供应链系统具有重要的研究意义. 公彦德^[29]研究发现制造商主导、零售商回收是最佳的搭配方式, 该组合方式不仅使供应链系统利润实现最大化, 而且使制造商利润也达到最大化. 当制造商具有竞争偏好行为时, 最优主导模式有可能发生改变. 因而, 本文考虑由单一制造商和单一零售商组成、零售商负责回收的闭环供应链结构. 研究竞争偏好行为对不同主导模式下闭环供应链决策和绩效的影响, 分析何种主导模式最优.

2.2 符号约定和相关假设

文中使用的相关符号约定如下: w 为单位批发价格; p 为单位零售价格; c_m 为由原材料制造新产品的单位生产成本; c_0 为利用回收的废旧产品制造新产品的单位生产成本; δ 为利用回收节约的成本, $\delta = c_m - c_0$; b_r 为零售商回收单位废旧产品的价格; b_m 为制造商回收单位废旧产品的转移价格; π_m 、 π_r 分别表示制造商和零售商的利润; U_m 表示制造商的竞争偏好效用; Π 表示系统的利润. 另外, 文中用变量加上标“C”表示集中决策的闭环供应链, 上标“M”表示制造商主导的闭环供应链, 上标“R”表示零售商主导的闭环供应链, 上标“N”表示无领导的闭环供应链, 上标“-”表示制造商具有竞争偏好行为, 缺失上标“-”表示制造商竞争中性.

相关假设如下: 1) 假设市场需求量 $D(p)$ 为销售价格的线性减函数, 即 $D(p) = A - \alpha p$, 其中 A 为市场潜在的最大需求($A > 0$), α 为需求价格弹性($\alpha > 0$). 2) 假设废旧产品的回收量 $G(b_r) = k + hb_r$, 其中 k 表示基本回收量, 代表消费者的环保意识水平, h 表示废旧产品回收的价格弹性. 3) 假设回收的废旧产品全部进行再制造, 再造率为1. 4) 假设新产品与再造品的质量相同, 销售时不加以区分. 5) $b_r < b_m < \delta$ 保证制造商和零售商均受益, 有回收动力.

根据以上问题描述与假设, 可得制造商和零售商的利润分别为

$$\pi_m = (w - c_m)D + (\delta - b_m)G, \quad (1)$$

$$\pi_r = (p - w)D + (b_m - b_r)G. \quad (2)$$

2.3 竞争偏好效用函数的引入

Charness等^[34]试图把竞争偏好、不平等规避、社会福利偏好等几种社会偏好行为纳入到统一的框架当中, 给出如下效用函数

$$U_B(\pi_A, \pi_B) = \begin{cases} \pi_B + \rho(\pi_A - \pi_B), & \pi_B \geq \pi_A \\ \pi_B + \sigma(\pi_A - \pi_B), & \pi_B \leq \pi_A. \end{cases} \quad (3)$$

参数 ρ 、 σ 的不同范围, 能够捕获不同的分配偏好. 当 $\sigma \leq \rho \leq 0$ 时, 代表竞争偏好行为. 具有竞争偏好的决策者总是与对方进行利润比较, 并且喜欢获得多于对方的物质利益, 如果所得物质利益少于对方, 那么其效用

就会降低.

特别地, 当参数 $\rho = \sigma$ 时, 意味着具有竞争偏好的决策者对收益落后和领先对方的敏感程度是一样的. 此时, 式(3)简化为

$$U_B(\pi_A, \pi_B) = \pi_B + \gamma(\pi_A - \pi_B), \quad (4)$$

其中参数 $\gamma \leq 0$.

本文考虑制造商的竞争偏好行为. 为表述方便, 令 $\mu = -\gamma$, 则制造商的效用函数为

$$U_m(\pi_m, \pi_r) = \pi_m - \mu(\pi_r - \pi_m), \quad (5)$$

其中参数 $\mu (\mu \geq 0)$ 刻画制造商的竞争偏好程度, 称为竞争偏好系数. 若 $\mu = 0$ 表示制造商不具有竞争偏好行为, 其效用即为其收益.

3 制造商竞争偏好模型

3.1 集中决策模式(C)

为更好地比较分散决策系统的绩效水平, 首先, 建立以系统利润最大化为目标的集中决策模式

$$\text{Max}_{p, b_r} \Pi^C = (p - c_m)D + (\delta - b_r)G. \quad (6)$$

在集中决策模型中, 制造商和零售商作为一个整体联合决策新产品的零售价格和废旧产品的回收价格. 由一阶条件, 联立可得

$$\begin{cases} p^{C*} = \frac{A + \alpha c_m}{2\alpha} \\ b_r^{C*} = \frac{h\delta - k}{2h}, \end{cases} \quad (7)$$

于是, 集中决策模式下系统总利润为

$$\Pi^{C*} = F = \frac{(A - \alpha c_m)^2}{4\alpha} + \frac{(h\delta + k)^2}{4h}. \quad (8)$$

3.2 无领导模式(\bar{N})

制造商和零售商均不能主导市场. 在该市场中, 制造商和零售商同时行动, 博弈顺序为: 制造商具有竞争偏好行为最大化其效用, 决策批发价格 w 和回收转移价格 b_m ; 同时零售商最大化其利润, 决策销售价格 p 及回收价格 b_r .

将 $p = w + m$ 和 $b_m = b_r + n$ 分别代入式(5), 对 w 和 b_m 分别求偏导, 令其为零, 整理后可得

$$(1 + \mu)(A - w\alpha - p\alpha + c_m\alpha) + \mu(A - p\alpha) = 0, \quad (9)$$

$$(1 + \mu)(-k - hb_r - hb_m + h\delta) - \mu(k + hb_r) = 0. \quad (10)$$

式(2)对 p 和 b_r 分别求偏导, 并令其为零, 整理后可得

$$A - 2p\alpha + w\alpha = 0, \quad (11)$$

$$-k - 2hb_r + hb_m = 0, \quad (12)$$

联立式(9)和式(11), 得

$$\begin{cases} \bar{p}^{N*} = \frac{(2 + 3\mu)A + (1 + \mu)c_m\alpha}{(3 + 4\mu)\alpha} \\ \bar{w}^{N*} = \frac{(1 + 2\mu)A + 2(1 + \mu)c_m\alpha}{(3 + 4\mu)\alpha}, \end{cases} \quad (13)$$

联立式(10)和式(12), 得

$$\begin{cases} \bar{b}_r^{N*} = \frac{(1+\mu)h\delta - (2+3\mu)k}{(3+4\mu)h} \\ \bar{b}_m^{N*} = \frac{2(1+\mu)h\delta - (1+2\mu)k}{(3+4\mu)h} \end{cases} \quad (14)$$

于是, 得 \bar{N} 模式下制造商、零售商和系统的最优利润, 以及制造商的效用

$$\bar{\pi}_m^{N*} = \frac{4(1+\mu)(1+2\mu)F}{(3+4\mu)^2}, \quad (15)$$

$$\bar{\pi}_r^{N*} = \frac{4(1+\mu)^2F}{(3+4\mu)^2}, \quad (16)$$

$$\bar{\Pi}^{N*} = \frac{4(1+\mu)(2+3\mu)F}{(3+4\mu)^2}, \quad (17)$$

$$\bar{U}_m^{N*} = \frac{4(1+\mu)^3F}{(3+4\mu)^2}. \quad (18)$$

3.3 制造商主导模式(\bar{M})

制造商具有竞争偏好行为且为市场的主导者. 博弈顺序为: 制造商最大化自身的效用, 先行制定批发价格 w 和回收转移价格 b_m ; 零售商随后最大化其利润, 决策其销售价格 p 及回收价格 b_r .

根据逆推法, 由 $\frac{\partial \pi_r}{\partial p} = 0$ 和 $\frac{\partial \pi_r}{\partial b_r} = 0$ 联立, 得零售商的最佳反应函数

$$\begin{cases} p = \frac{A + w\alpha}{2\alpha} \\ b_r = \frac{(hb_m - k)}{2h} \end{cases} \quad (19)$$

把式(19)代入式(5), 制造商最大化其效用函数, 得其相应的最优价格

$$\begin{cases} \bar{w}^{M*} = \frac{(1+2\mu)A + (1+\mu)c_m\alpha}{(2+3\mu)\alpha} \\ \bar{b}_m^{M*} = \frac{(1+\mu)h\delta - (1+2\mu)k}{(2+3\mu)h} \end{cases} \quad (20)$$

再将式(20)代入式(19), 得零售商的最优价格

$$\begin{cases} \bar{p}^{M*} = \frac{(3+5\mu)A + (1+\mu)c_m\alpha}{2(2+3\mu)\alpha} \\ \bar{b}_r^{M*} = \frac{(1+\mu)h\delta - (3+5\mu)k}{2(2+3\mu)h} \end{cases} \quad (21)$$

于是, 得 \bar{M} 模式下制造商、零售商和系统的最优利润以及制造商的效用

$$\bar{\pi}_m^{M*} = \frac{2(1+\mu)(1+2\mu)F}{(2+3\mu)^2}, \quad (22)$$

$$\bar{\pi}_r^{M*} = \frac{(1+\mu)^2F}{(2+3\mu)^2}, \quad (23)$$

$$\bar{\Pi}^{M*} = \frac{(1+\mu)(3+5\mu)F}{(2+3\mu)^2}, \quad (24)$$

$$\bar{U}_m^{M*} = \frac{(1+\mu)^2F}{2+3\mu}. \quad (25)$$

3.4 零售商主导模式(\bar{R})

零售商为市场的主导者. 博弈顺序为: 零售商最大化其利润, 先行制定零售价格 p 及回收价格 b_r ; 制造商最大化其效用, 随后决策批发价格 w 和回收转移价格 b_m .

根据逆推法, 由 $\frac{\partial U_m}{\partial w} = 0$ 和 $\frac{\partial U_m}{\partial b_m} = 0$ 联立, 得制造商的最佳反应函数

$$\begin{cases} w = \frac{(1 + \mu)(A + c_m\alpha) - p\alpha}{(1 + 2\mu)\alpha} \\ b_m = \frac{(1 + \mu)(h\delta - k) - hb_r}{(1 + 2\mu)h}, \end{cases} \quad (26)$$

把式(26)代入式(2), 零售商最大化其利润决策相应的最优价格

$$\begin{cases} \bar{p}^{R*} = \frac{3A + c_m\alpha}{4\alpha} \\ \bar{b}_r^{R*} = \frac{h\delta - 3k}{4h}, \end{cases} \quad (27)$$

再将式(27)代入式(26), 得制造商的最优价格

$$\begin{cases} \bar{w}^{R*} = \frac{(1 + 4\mu)A + (3 + 4\mu)c_m\alpha}{4(1 + 2\mu)\alpha} \\ \bar{b}_m^{R*} = \frac{(3 + 4\mu)h\delta - (1 + 4\mu)k}{4(1 + 2\mu)h}. \end{cases} \quad (28)$$

于是, 得 \bar{R} 模式下制造商、零售商和系统的最优利润以及制造商的效用

$$\bar{\pi}_m^{R*} = \frac{(1 + 4\mu)F}{4(1 + 2\mu)}, \quad (29)$$

$$\bar{\pi}_r^{R*} = \frac{(1 + \mu)F}{2(1 + 2\mu)}, \quad (30)$$

$$\bar{\Pi}^{R*} = \frac{3F}{4}, \quad (31)$$

$$\bar{U}_m^{R*} = \frac{(1 + \mu)F}{4}. \quad (32)$$

4 模型比较和分析

将上述四种闭环供应链模型的决策结果和利润进行归纳, 如表1所示.

命题 1 \bar{N} 模式下, 新产品的零售价格 \bar{p}^{N*} 和批发价格 \bar{w}^{N*} 是 μ 的增函数, 废旧产品的回收价格 \bar{b}_r^{N*} 和回收转移价格 \bar{b}_m^{N*} 是 μ 的减函数.

证明 由 $\frac{\partial \bar{p}^{N*}}{\partial \mu} = \frac{A - c_m\alpha}{(3 + 4\mu)^2\alpha} > 0$, $\frac{\partial \bar{b}_r^{N*}}{\partial \mu} = \frac{-(h\delta + k)}{(3 + 4\mu)^2h} < 0$, $\frac{\partial \bar{w}^{N*}}{\partial \mu} = \frac{2(A - c_m\alpha)}{(3 + 4\mu)^2\alpha} > 0$, $\frac{\partial \bar{b}_m^{N*}}{\partial \mu} = \frac{-2(h\delta + k)}{(3 + 4\mu)^2h} < 0$. 证毕.

命题1表明, \bar{N} 模式下, 新产品的零售价格和批发价格随着制造商竞争偏好强度的增大而增大. 可见, 制造商的竞争偏好行为对无领导模式下的正向供应链不利. 废旧产品的回收价格和回收转移价格随着制造商竞争偏好强度的增大而减少. 可见, 制造商的竞争偏好行为对无领导模式下的逆向供应链不利.

命题 2 \bar{M} 模式下, 新产品的零售价格 \bar{p}^{M*} 和批发价格 \bar{w}^{M*} 是 μ 的增函数; 废旧产品的回收价格 \bar{b}_r^{M*} 和回收转移价格 \bar{b}_m^{M*} 是 μ 的减函数.

证明 由 $\frac{\partial \bar{p}^{M*}}{\partial \mu} = \frac{A - c_m \alpha}{2(2 + 3\mu)^2 \alpha} > 0$, $\frac{\partial \bar{b}_r^{M*}}{\partial \mu} = \frac{-(h\delta + k)}{2(2 + 3\mu)^2 h} < 0$, $\frac{\partial \bar{w}^{M*}}{\partial \mu} = \frac{(1 + 2\mu)(A - c_m \alpha)}{(2 + 3\mu)^2 \alpha} > 0$, $\frac{\partial \bar{b}_m^{M*}}{\partial \mu} = \frac{-(h\delta + k)}{(2 + 3\mu)^2 h} < 0$. 证毕.

命题2表明, \bar{M} 模式下, 新产品的零售价格和批发价格随着制造商竞争偏好强度的增大而增大. 可见, 制造商的竞争偏好行为对制造商主导模式下的正向供应链不利. 废旧产品的回收价格和回收转移价格随着制造商竞争偏好强度的增大而减少. 可见, 制造商的竞争偏好行为对制造商主导模式下的逆向供应链不利.

表 1 制造商具有竞争偏好的闭环供应链模型

Table 1 Models of closed-loop supply chain with manufacturer's competitive preferences

结果	分散决策			
	\bar{N} 模式	\bar{M} 模式	\bar{R} 模式	\bar{R} 模式
p^*	$p^{C*} = \frac{A + \alpha c_m}{2\alpha}$	$\bar{p}^{N*} = \frac{(2 + 3\mu)A + (1 + \mu)c_m \alpha}{(3 + 4\mu)\alpha}$	$\bar{p}^{M*} = \frac{(3 + 5\mu)A + (1 + \mu)c_m \alpha}{2(2 + 3\mu)\alpha}$	$\bar{p}^{R*} = \frac{3A + c_m \alpha}{4\alpha}$
b_r^*	$b_r^{C*} = \frac{h\delta - k}{2h}$	$\bar{b}_r^{N*} = \frac{(1 + \mu)h\delta - (2 + 3\mu)k}{(3 + 4\mu)h}$	$\bar{b}_r^{M*} = \frac{(1 + \mu)h\delta - (3 + 5\mu)k}{2(2 + 3\mu)h}$	$\bar{b}_r^{R*} = \frac{h\delta - 3k}{4h}$
w^*	N/A	$\bar{w}^{N*} = \frac{(1 + 2\mu)A + 2(1 + \mu)c_m \alpha}{(3 + 4\mu)\alpha}$	$\bar{w}^{M*} = \frac{(1 + 2\mu)A + (1 + \mu)c_m \alpha}{(2 + 3\mu)\alpha}$	$\bar{w}^{R*} = \frac{(1 + 4\mu)A + (3 + 4\mu)c_m \alpha}{4(1 + 2\mu)\alpha}$
b_m^*	N/A	$\bar{b}_m^{N*} = \frac{2(1 + \mu)h\delta - (1 + 2\mu)k}{(3 + 4\mu)h}$	$\bar{b}_m^{M*} = \frac{(1 + \mu)h\delta - (1 + 2\mu)k}{(2 + 3\mu)h}$	$\bar{b}_m^{R*} = \frac{(3 + 4\mu)h\delta - (1 + 4\mu)k}{4(1 + 2\mu)h}$
π_m^*	N/A	$\bar{\pi}_m^{N*} = \frac{4(1 + \mu)(1 + 2\mu)F}{(3 + 4\mu)^2}$	$\bar{\pi}_m^{M*} = \frac{2(1 + \mu)(1 + 2\mu)F}{(2 + 3\mu)^2}$	$\bar{\pi}_m^{R*} = \frac{(1 + 4\mu)F}{4(1 + 2\mu)}$
π_r^*	N/A	$\bar{\pi}_r^{N*} = \frac{4(1 + \mu)^2 F}{(3 + 4\mu)^2}$	$\bar{\pi}_r^{M*} = \frac{(1 + \mu)^2 F}{(2 + 3\mu)^2}$	$\bar{\pi}_r^{R*} = \frac{(1 + \mu)F}{2(1 + 2\mu)}$
Π^*	$\Pi^{C*} = F$	$\bar{\Pi}^{N*} = \frac{4(1 + \mu)(2 + 3\mu)F}{(3 + 4\mu)^2}$	$\bar{\Pi}^{M*} = \frac{(1 + \mu)(3 + 5\mu)F}{(2 + 3\mu)^2}$	$\bar{\Pi}^{R*} = \frac{3F}{4}$
U_m^*	N/A	$\bar{U}_m^{N*} = \frac{4(1 + \mu)^3 F}{(3 + 4\mu)^2}$	$\bar{U}_m^{M*} = \frac{(1 + \mu)^2 F}{2 + 3\mu}$	$\bar{U}_m^{R*} = \frac{(1 + \mu)F}{4}$

在表1中令 $\mu = 0$, 可得制造商竞争中性时不同主导模式下闭环供应链的决策和绩效, 如表2所示.

表 2 竞争中性时的闭环供应链模型

Table 2 Models of closed-loop supply chain without competitive preferences

结果	分散决策		
	N 模式	M 模式	R 模式
p^*	$p^{N*} = \frac{2A + c_m \alpha}{3\alpha}$	$p^{M*} = \frac{3A + c_m \alpha}{4\alpha}$	$p^{R*} = \frac{3A + c_m \alpha}{4\alpha}$
b_r^*	$b_r^{N*} = \frac{h\delta - 2k}{3h}$	$b_r^{M*} = \frac{h\delta - 3k}{4h}$	$b_r^{R*} = \frac{h\delta - 3k}{4h}$
w^*	$w^{N*} = \frac{A + 2c_m \alpha}{3\alpha}$	$w^{M*} = \frac{A + c_m \alpha}{2\alpha}$	$w^{R*} = \frac{A + 3c_m \alpha}{4\alpha}$
b_m^*	$b_m^{N*} = \frac{2h\delta - k}{3h}$	$b_m^{M*} = \frac{h\delta - k}{2h}$	$b_m^{R*} = \frac{3h\delta - k}{4h}$
π_m^*	$\pi_m^{N*} = \frac{4F}{9}$	$\pi_m^{M*} = \frac{F}{2}$	$\pi_m^{R*} = \frac{F}{4}$
π_r^*	$\pi_r^{N*} = \frac{4F}{9}$	$\pi_r^{M*} = \frac{F}{4}$	$\pi_r^{R*} = \frac{F}{2}$
Π^*	$\Pi^{N*} = \frac{8F}{9}$	$\Pi^{M*} = \frac{3F}{4}$	$\Pi^{R*} = \frac{3F}{4}$

命题3 \bar{R} 模式下, 新产品的批发价格 \bar{w}^{R*} 是 μ 的增函数, 废旧产品的回收转移价格 \bar{b}_m^{R*} 是 μ 的减函数; 新产品的零售价格 \bar{p}^{R*} 和废旧产品的回收价格 \bar{b}_r^{R*} 与 μ 无关.

证明 由 $\frac{\partial \bar{w}^{R*}}{\partial \mu} = \frac{A - c_m \alpha}{2(1 + 2\mu)^2 \alpha} > 0$, $\frac{\partial \bar{b}_m^{R*}}{\partial \mu} = \frac{-(h\delta + k)}{(1 + 2\mu)^2 h} < 0$. 证毕.

命题3表明, \bar{R} 模式下, 新产品的批发价格随着制造商竞争偏好强度的增大而增大, 废旧产品的回收转移价格随着制造商竞争偏好强度的增强而减少. 可见, 具有竞争偏好行为的制造商通过提高批发价格以及降

低回收转移价格来与零售商争夺渠道利润. 新产品的零售价格和废旧产品的回收价格不受制造商竞争偏好行为的影响. 可见, 零售商主导模式能够规避制造商竞争偏好行为对闭环供应链定价决策的影响.

命题4 \bar{N} 模式下, 制造商利润 π_m^{N*} 是 μ 的增函数; 零售商利润 π_r^{N*} 、系统利润 $\bar{\Pi}^{N*}$ 是 μ 的减函数.

证明 由 $\frac{\partial \pi_m^{N*}}{\partial \mu} = \frac{5F}{(3+4\mu)^3} > 0$, $\frac{\partial \pi_r^{N*}}{\partial \mu} = \frac{-8(1+\mu)F}{(3+4\mu)^3} < 0$, $\frac{\partial \bar{\Pi}^{N*}}{\partial \mu} = \frac{-4(1+2\mu)F}{(3+4\mu)^3} < 0$. 证毕.

命题4表明, \bar{N} 模式下, 制造商利润随着制造商竞争偏好强度的增强而增大, 零售商利润和系统利润随着制造商竞争偏好强度的增强而减少. 可见, 无主导模式下制造商的竞争偏好行为对其自身有利, 对零售商和系统不利.

命题5 \bar{M} 模式下, 制造商利润 π_m^{M*} 、零售商利润 π_r^{M*} 、系统利润 $\bar{\Pi}^{M*}$ 是 μ 的减函数.

证明 由 $\frac{\partial \pi_m^{M*}}{\partial \mu} = \frac{-2\mu}{(2+3\mu)^3}F < 0$, $\frac{\partial \pi_r^{M*}}{\partial \mu} = \frac{-2(1+\mu)}{(2+3\mu)^3}F < 0$, $\frac{\partial \bar{\Pi}^{M*}}{\partial \mu} = \frac{-2(1+2\mu)}{(2+3\mu)^3}F < 0$. 证毕.

命题5表明, \bar{M} 模式下, 制造商利润、零售商利润以及系统利润随着制造商竞争偏好强度的增强而减少, 制造商的竞争偏好程度越强, 则各方及系统利润越低. 可见, 制造商的竞争偏好行为对制造商主导下的各方均不利. 值得注意的是, 在制造商主导模式中, 制造商的利润随着其竞争偏好的增强, 其利润不升反降, 即制造商主导模式下制造商的竞争偏好行为对其自身也是不利的.

命题6 \bar{R} 模式下, 制造商利润 π_m^{R*} 是 μ 的增函数、零售商利润 π_r^{R*} 是 μ 的减函数、系统利润 $\bar{\Pi}^{R*}$ 与 μ 无关, 且 $\bar{\Pi}^{R*} = \Pi^{R*}$.

证明 由 $\frac{\partial \pi_m^{R*}}{\partial \mu} = \frac{1}{2(1+2\mu)^2}F > 0$, $\frac{\partial \pi_r^{R*}}{\partial \mu} = \frac{-2}{(1+2\mu)^3}F < 0$, 以及 $\bar{\Pi}^{R*} = \Pi^{R*} = \frac{3F}{4}$. 证毕.

命题6表明, \bar{R} 模式下, 制造商利润随着制造商竞争偏好强度的增强而增大, 而零售商利润随着制造商竞争偏好强度的增强而减少, 系统利润与制造商竞争偏好强度系数无关, 且保持在制造商竞争中性的最优水平. 可见, 处于主导地位的零售商通过牺牲自身利益让利于制造商, 从而使得系统绩效免受制造商竞争偏好行为的影响.

命题7 制造商具有竞争偏好行为时, 不同主导模式下新产品的零售价格满足 $\bar{p}^{M*} \geq \bar{p}^{R*} \geq \bar{p}^{N*} \geq \bar{p}^{C*}$, 废旧产品的回收价格满足 $\bar{b}_r^{M*} < \bar{b}_r^{R*} < \bar{b}_r^{N*} < \bar{b}_r^{C*}$.

证明 由

$$\bar{p}^{M*} - \bar{p}^{R*} = \frac{(3+5\mu)A + (1+\mu)c_m\alpha}{2(2+3\mu)\alpha} - \frac{3A + c_m\alpha}{4\alpha} = \frac{\mu(A - c_m\alpha)}{4(2+3\mu)\alpha} \geq 0,$$

$$\bar{p}^{R*} - \bar{p}^{N*} = \frac{3A + c_m\alpha}{4\alpha} - \frac{(2+3\mu)A + (1+\mu)c_m\alpha}{(3+4\mu)\alpha} = \frac{A - c_m\alpha}{4(3+4\mu)\alpha} \geq 0,$$

$$\bar{p}^{N*} - \bar{p}^{C*} = \frac{(2+3\mu)A + (1+\mu)c_m\alpha}{(3+4\mu)\alpha} - \frac{A + c_m\alpha}{2\alpha} = \frac{(1+2\mu)(A - c_m\alpha)}{2(3+4\mu)\alpha} \geq 0,$$

$$\text{和 } \bar{b}_r^{M*} - \bar{b}_r^{R*} = \frac{(1+\mu)h\delta - (3+5\mu)k}{2(2+3\mu)h} - \frac{h\delta - 3k}{4h} = -\frac{\mu(h\delta + k)}{4(2+3\mu)h} < 0,$$

$$\bar{b}_r^{R*} - \bar{b}_r^{N*} = \frac{h\delta - 3k}{4h} - \frac{(1+\mu)h\delta - (2+3\mu)k}{(3+4\mu)h} = -\frac{h\delta + k}{4(3+4\mu)h} < 0,$$

$$\bar{b}_r^{N*} - \bar{b}_r^{C*} = \frac{(1+\mu)h\delta - (2+3\mu)k}{(3+4\mu)h} - \frac{h\delta - k}{2h} = -\frac{(1+2\mu)(h\delta + k)}{(3+4\mu)h} < 0. \quad \text{证毕.}$$

命题7表明, 制造商具有竞争偏好行为时, 不同主导模式下零售价格的关系是: 制造商主导模式高于零售商主导模式, 零售商主导模式高于无领导模式, 无领导模式高于集中决策模式; 不同主导模式下回收价格的关系是: 制造商主导模式低于零售商主导模式, 零售商主导模式低于无领导模式, 无领导模式低于集中决策模式. 可见, 对消费者和资源环境来说, 集中决策模式最有利、制造商主导模式最不利.

命题8 制造商具有竞争偏好行为时, 不同主导模式下新产品的批发价格满足 $\bar{w}^{M*} \geq \bar{w}^{N*} \geq \bar{w}^{R*}$, 废旧产品的回收转移价格满足 $\bar{b}_m^{M*} < \bar{b}_m^{N*} < \bar{b}_m^{R*}$.

证明 由

$$\begin{aligned} \bar{w}^{M*} - \bar{w}^{N*} &= \frac{(1+2\mu)A + (1+\mu)c_m\alpha}{(2+3\mu)\alpha} - \frac{(1+2\mu)A + 2(1+\mu)c_m\alpha}{(3+4\mu)\alpha} = \frac{(1+\mu)(1+2\mu)(A - c_m\alpha)}{(2+3\mu)(3+4\mu)\alpha} \geq 0, \\ \bar{w}^{N*} - \bar{w}^{R*} &= \frac{(1+2\mu)A + 2(1+\mu)c_m\alpha}{(3+4\mu)\alpha} - \frac{(1+4\mu)A + (3+4\mu)c_m\alpha}{4(1+2\mu)\alpha} = \frac{A - c_m\alpha}{4(1+2\mu)(3+4\mu)\alpha} \geq 0, \\ \text{和 } \bar{b}_m^{R*} - \bar{b}_m^{N*} &= \frac{(3+4\mu)h\delta - (1+4\mu)k}{4(1+2\mu)h} - \frac{2(1+\mu)h\delta - (1+2\mu)k}{(3+4\mu)h} = \frac{h\delta + k}{4(1+2\mu)(3+4\mu)h} > 0, \\ \bar{b}_m^{N*} - \bar{b}_m^{M*} &= \frac{2(1+\mu)h\delta - (1+2\mu)k}{(3+4\mu)h} - \frac{(1+\mu)h\delta - (1+2\mu)k}{(2+3\mu)h} = \frac{(1+\mu)(1+2\mu)(h\delta + k)}{(2+3\mu)(3+4\mu)h} > 0. \end{aligned}$$

证毕.

命题8表明, 制造商具有竞争偏好行为时, 不同主导模式下批发价格的关系是: 制造商主导模式高于无领导模式, 无领导模式高于零售商主导模式; 不同主导模式下回收转移价格的关系是: 制造商主导模式低于无领导模式, 无领导模式低于零售商主导模式. 可见, 制造商主导模式加剧了竞争偏好制造商对渠道利润的争夺, 零售商主导模式能够削弱竞争偏好制造商对渠道利润的争夺.

命题 9 制造商具有竞争偏好行为时, 不同主导模式下制造商的利润满足, 当 $0 \leq \mu < \frac{\sqrt{2}}{2}$ 时, $\bar{\pi}_m^{M*} > \bar{\pi}_m^{N*} > \bar{\pi}_m^{R*}$; 当 $\frac{\sqrt{2}}{2} \leq \mu < 2.9$ 时, $\bar{\pi}_m^{N*} > \bar{\pi}_m^{M*} > \bar{\pi}_m^{R*}$; 当 $\mu \geq 2.9$ 时, $\bar{\pi}_m^{N*} > \bar{\pi}_m^{R*} > \bar{\pi}_m^{M*}$.

证明 由 $\bar{\pi}_m^{M*} - \bar{\pi}_m^{N*} = \frac{2(1+\mu)(1+2\mu)(1-2\mu^2)}{(2+3\mu)^2(3+4\mu)^2} F = 0$, 得 $\mu = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

于是, 当 $0 \leq \mu < \frac{\sqrt{2}}{2}$ 时, $\bar{\pi}_m^{M*} > \bar{\pi}_m^{N*}$; 当 $\mu \geq \frac{\sqrt{2}}{2}$ 时, $\bar{\pi}_m^{N*} > \bar{\pi}_m^{M*}$.

又 $\bar{\pi}_m^{N*} - \bar{\pi}_m^{R*} = \frac{16\mu^2 + 20\mu + 7}{4(1+2\mu)(2+3\mu)^2} F > 0$, 于是 $\bar{\pi}_m^{N*} \geq \bar{\pi}_m^{R*}$.

又由 $\bar{\pi}_m^{M*} - \bar{\pi}_m^{R*} = \frac{4 + 12\mu + 7\mu^2 - 4\mu^3}{4(1+2\mu)(2+3\mu)^2} F = 0$, 得 $\mu = 2.9$.

于是, 当 $\frac{\sqrt{2}}{2} \leq \mu < 2.9$ 时, $\bar{\pi}_m^{N*} > \bar{\pi}_m^{M*} > \bar{\pi}_m^{R*}$; 当 $\mu \geq 2.9$ 时, $\bar{\pi}_m^{N*} \geq \bar{\pi}_m^{R*} > \bar{\pi}_m^{M*}$.

证毕.

命题9表明, 制造商具有竞争偏好行为时, 不同主导模式下制造商利润的关系是: 当制造商的竞争偏好强度较弱时, 制造商主导模式高于无领导模式, 无领导模式高于零售商主导模式; 当制造商的竞争偏好强度在一定范围以内时, 无领导模式高于制造商主导模式, 制造商主导模式高于零售商主导模式; 当制造商的竞争偏好强度超过此范围时, 无领导模式高于零售商主导模式, 零售商主导模式高于制造商主导模式.

命题 10 制造商具有竞争偏好行为时, 不同主导模式下制造商的效用满足 $\bar{U}_m^{M*} > \bar{U}_m^{N*} > \bar{U}_m^{R*}$.

证明 由 $\bar{U}_m^{M*} - \bar{U}_m^{N*} = \frac{(1+\mu)^2(1+2\mu)^2}{(3+4\mu)^2(2+3\mu)} F > 0$, $\bar{U}_m^{N*} - \bar{U}_m^{R*} = \frac{(1+\mu)(7+8\mu)}{4(3+4\mu)^2} F > 0$. 证毕.

命题10表明, 不同主导模式下, 制造商效用的关系是: 制造商主导模式高于无领导模式, 无领导模式高于零售商主导模式.

结合命题9, 当制造商的竞争偏好强度较弱 ($0 \leq \mu < \frac{\sqrt{2}}{2}$) 时, 制造商的利润和效用在不同主导模式中的排序是一样的; 而当制造商的竞争偏好强度较强 ($\mu \geq \frac{\sqrt{2}}{2}$) 时, 制造商在其主导模式中效用最高, 但却收获低于在无领导模式中利润. 可见, 对具有强竞争偏好行为的制造商而言, 其不适合作为闭环供应链的主导者.

命题 11 制造商具有竞争偏好行为时, 不同主导模式下零售商的利润满足 $\bar{\pi}_r^{R*} > \bar{\pi}_r^{N*} > \bar{\pi}_r^{M*}$.

证明 由 $\bar{\pi}_r^{R*} - \bar{\pi}_r^{N*} = \frac{(1+\mu)(14\mu^2 + 21\mu + 8)}{2(1+2\mu)(3+4\mu)^2} F > 0$, $\bar{\pi}_r^{N*} - \bar{\pi}_r^{M*} = \frac{(1+\mu)^2(7+20\mu^2)}{(2+3\mu)^2(3+4\mu)^2} F > 0$.

证毕.

命题11表明,不同主导模式下,零售商利润的关系是:零售商主导模式高于无领导模式,无领导模式高于制造商主导模式.可见,对于零售商而言,其主导对其最有利、制造商主导对其最不利.

命题12 制造商具有竞争偏好行为时,不同主导模式下系统的利润满足 $\bar{\Pi}^{C*} > \bar{\Pi}^{N*} > \bar{\Pi}^{R*} > \bar{\Pi}^{M*}$.

证明 由 $\bar{\Pi}^{C*} - \bar{\Pi}^{N*} = \frac{(1+2\mu)^2}{(3+4\mu)^2}F > 0$, $\bar{\Pi}^{N*} - \bar{\Pi}^{R*} = \frac{5+18\mu}{4(3+4\mu)^2}F > 0$, $\bar{\Pi}^{R*} - \bar{\Pi}^{M*} = \frac{\mu(4+7\mu)}{4(2+3\mu)^2}F > 0$. 证毕.

命题12表明,集中决策系统优于分散决策系统,在分散决策系统中不同主导模式下利润的关系是:无领导模式高于零售商主导模式,零售商主导模式高于制造商主导模式.可见,分散决策系统存在绩效损失,闭环供应链处于不协调状态.对于系统而言,集中决策模式最优,分散决策下的无领导模式其次、零售商主导模式再次、制造商主导模式最次.同时表明,具有竞争偏好行为的制造商不适合作为闭环供应链的主导者.

5 数值分析

下面通过数值仿真来验证上述模型的结论.相关参数的选取为 $A = 100, \alpha = 1, k = 10, h = 20, c_m = 10, c_0 = 6, \delta = 4, \mu = 1$.

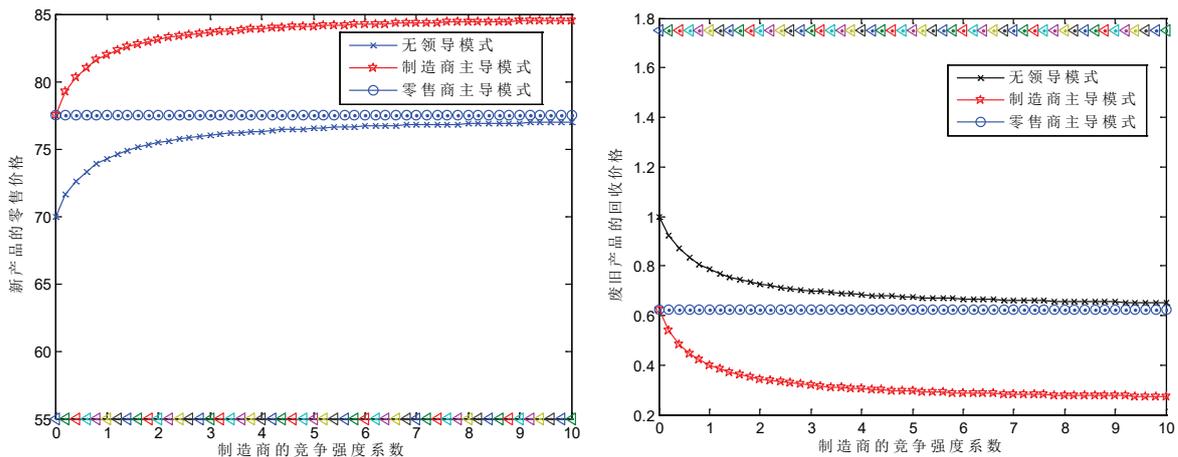


图1 不同主导模式下制造商竞争偏好行为对零售价格的影响 图2 不同主导模式下制造商竞争偏好行为对回收价格的影响

Fig. 1 The effect of manufacturer's competitive preferences on the retail price under different dominant mode Fig. 2 The effect of manufacturer's competitive preferences on the recovery price under different dominant mode

图1~图4直观展示了制造商的竞争偏好行为对不同主导模式下闭环供应链定价决策的影响.

首先是新产品的零售价格(见图1). 容易发现,在无领导模式和制造商主导模式下,新产品的零售价格随着制造商竞争偏好强度的增强而增大;在集中决策模式和零售商主导模式下,新产品的零售价格不受制造商竞争偏好行为的影响.可见,集中决策模式和零售商主导模式能够避免制造商竞争偏好行为对正向供应链的不利影响.不同主导模式下新产品零售价格的关系是:制造商主导模式高于零售商主导模式,零售商主导模式高于无领导模式,无领导模式高于集中决策模式.可见,对消费者来说,制造商主导模式最差、集中决策模式最优.

其次是废旧产品的回收价格(见图2). 容易发现,在无领导模式和制造商主导模式下,废旧产品的回收价格随着制造商竞争偏好强度的增强而减小;在集中决策模式和零售商主导模式下,废旧产品的回收价格不受制造商竞争偏好行为的影响.可见,集中决策模式和零售商主导模式能够避免制造商竞争偏好行为对逆向供应链的不利影响.不同主导模式下废旧产品回收价格的关系是:制造商主导模式低于零售商主导模式,

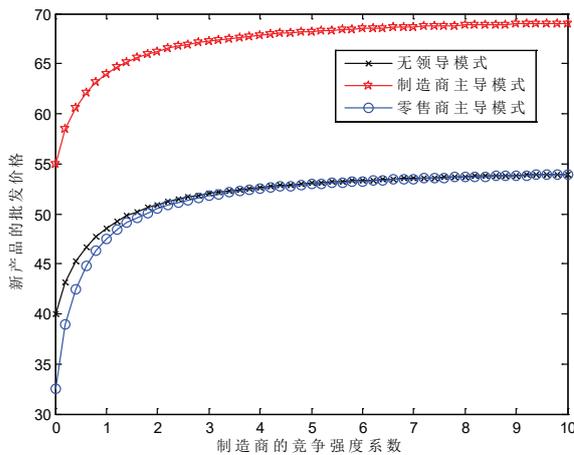


图 3 不同主导模式下制造商竞争偏好行为对批发价格的影响

Fig. 3 The effect of manufacturer's competitive preferences on the wholesale price under different dominant mode

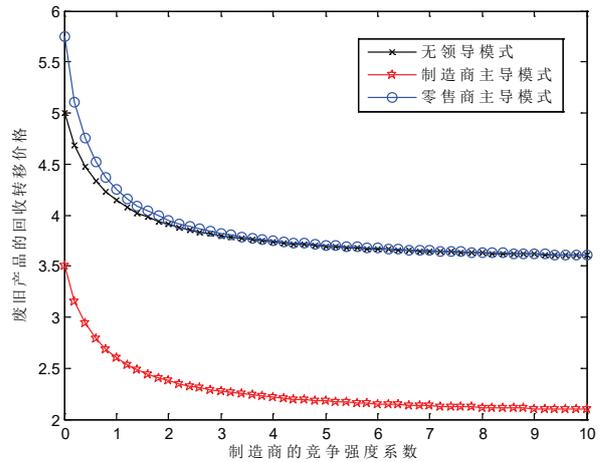


图 4 不同主导模式下制造商竞争偏好行为对回收转移价格的影响

Fig. 4 The effect of manufacturer's competitive preferences on the transfer price under different dominant mode

零售商主导模式低于无领导模式, 无领导模式低于集中决策模式. 可见, 对资源环境来说, 制造商主导模式最差、集中决策模式最优.

再次是新产品的批发价格(见图3). 容易发现, 在分散决策的三种主导模式下, 新产品的批发价格随着制造商竞争偏好强度的增强而增大. 可见, 分散决策的三种主导模式都不能避免竞争偏好制造商对渠道利润的争夺. 不同主导模式下新产品批发价格的关系是: 制造商主导模式高于无领导模式, 无领导模式高于零售商主导模式. 可见, 制造商主导模式加剧了竞争偏好制造商对渠道利润的争夺, 零售商主导模式能够减弱竞争偏好制造商对正向渠道利润的争夺.

最后是废旧产品的回收转移价格(见图4). 容易发现, 在分散决策的三种主导模式下, 废旧产品的回收转移价格随着制造商竞争偏好强度的增强而减小. 可见, 分散模式不能避免制造商对渠道利润的争夺. 不同主导模式下废旧产品的回收转移价格的关系是: 制造商主导模式低于无领导模式, 无领导模式低于零售商主导模式. 可见, 零售商主导模式能够减弱竞争偏好制造商对逆向渠道利润的争夺.

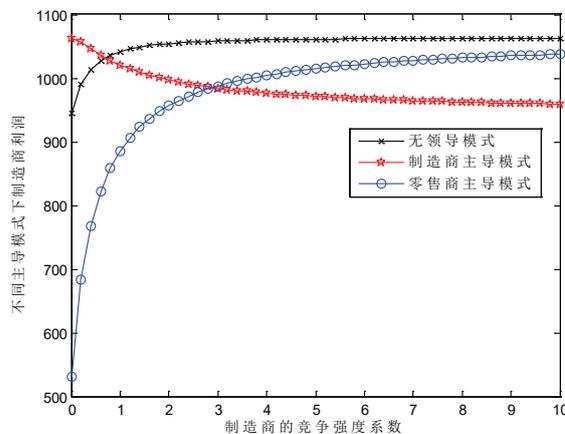


图 5 不同主导模式下制造商利润

Fig. 5 The manufacturer's profits under different dominant mode

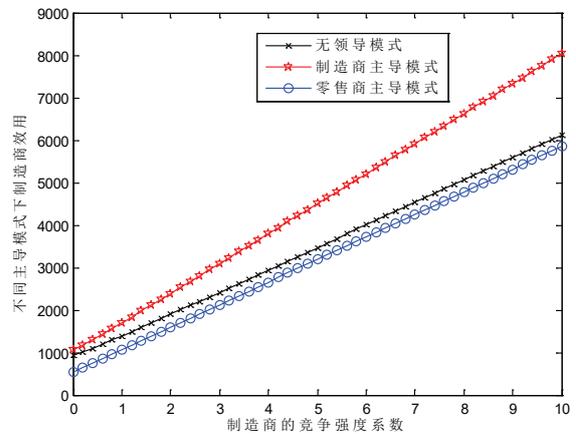


图 6 不同主导模式下制造商效用

Fig. 6 The manufacturer's utility under different dominant mode

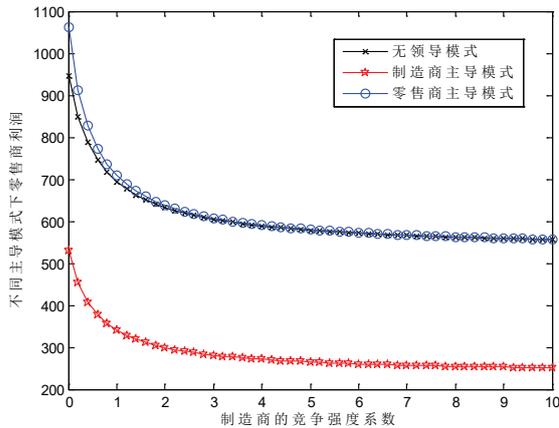


图7 不同主导模式下零售商利润

Fig. 7 The retailer's profits under different dominant mode

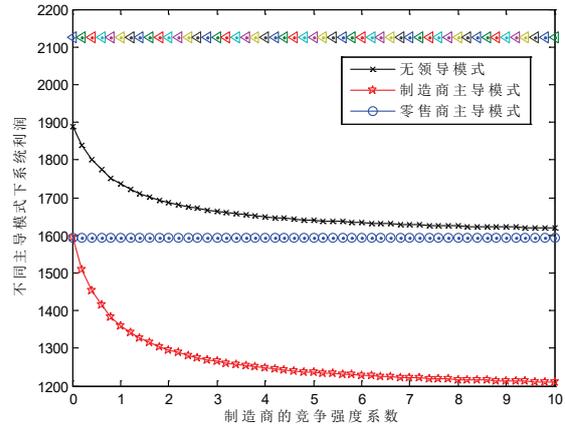


图8 不同主导模式下系统利润

Fig. 8 The system profit's under different dominant mode

图5~图8直观展示了制造商的竞争偏好行为对不同主导模式下各方利润和系统绩效的影响。

首先是制造商的利润(见图5)。容易发现,在无领导模式和零售商主导模式下,制造商利润随着制造商竞争偏好强度的增强而增大;在制造商主导模式下,制造商的利润随着制造商竞争偏好强度的增强而减小。不同主导模式下,制造商利润的关系是:当制造商的竞争偏好强度在一定范围以内时,制造商主导模式高于无领导模式和零售商主导模式;当制造商的竞争偏好强度超过此范围时,无领导模式高于制造商主导模式和零售商主导模式。可见,对于制造商利润而言,获得主导权对其并不总是有利的。

其次是制造商的效用(见图6)。容易发现,在分散决策的三种主导模式下,制造商效用随着制造商竞争偏好强度的增强而增大。不同主导模式下,制造商效用的关系是:制造商主导模式高于无领导模式,无领导模式高于零售商主导模式。可见,对于制造商效用而言,制造商主导模式最优。然而,当制造商的竞争偏好强度较强时,制造商主导模式中制造商的效用虽高,但却收获低于无领导模式中的利润。这表明,具有较强竞争偏好行为的制造商,从其自身利润角度来讲并不适合作为闭环供应链的主导者。

再次是零售商的利润(见图7)。容易发现,在分散决策的三种主导模式下,零售商利润随着制造商竞争偏好强度的增强而减少。不同主导模式下,零售商利润的关系是:零售商主导模式高于无领导模式,无领导模式高于制造商主导模式。可见,对零售商而言,其利润与其相对势力正相关,即其主导力量越强,其利润越高。

最后是系统的利润(见图8)。容易发现,在无领导模式和制造商主导模式下,系统利润随着制造商竞争偏好强度的增强而减少;在集中决策模式和零售商主导模式下,系统利润免受制造商竞争偏好行为的影响。可见,集中决策模式和零售商主导模式能够规避制造商竞争偏好行为对系统绩效的不利影响。不同主导模式下,系统利润的关系是:集中决策高于分散决策,分散决策下无领导模式高于零售商主导模式,零售商主导模式高于制造商主导模式。可见,对于系统而言,集中决策模式最优、其次是无领导模式、然后是零售商主导模式、最后是制造商主导模式。再次表明,具有竞争偏好行为的制造商不适合作为闭环供应链的主导者。在零售商主导模式中,零售商通过牺牲自身利益,使得系统利润免受制造商竞争偏好行为的影响。因此,相比具有竞争偏好的制造商,竞争中性的零售商更适合作为闭环供应链的主导者。

6 结束语

本文首次将竞争偏好行为纳入闭环供应链的运作研究,分析制造商的竞争偏好行为对不同主导模式下闭环供应链定价决策、利润分配、绩效水平的影响。研究得出如下主要结论:1)制造商主导模式对消费者和资源环境保护不利。集中决策模式和零售商主导模式能够更好地保护消费者的利益和资源环境。2)三种分

散决策模式均不能削弱制造商对渠道利润的争夺。当闭环供应链的主导权由具有竞争偏好行为的制造商掌控时, 其将大肆攫取渠道利润。3)集中决策模式和零售商主导模式能够规避制造商竞争偏好行为对系统绩效的不利影响。对于制造商而言, 获得主导权对其并不总是有利的。4)具有竞争偏好行为的制造商不适合作为闭环供应链的主导者。

对称地, 若零售商具有竞争偏好行为, 能够得出类似的结论, 故文中不再赘述。文章研究的局限在于仅考虑了单方成员具有竞争偏好行为, 接下来的研究将扩展到多方同时具有竞争偏好行为的情形。

参考文献:

- [1] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L N V. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management Science*, 2004, 50(2): 239–252.
- [2] Atasu A, Toktay L B, Wassenhove L N V. How collection cost structure drives a manufacturer's reverse channel choice. *Historical Journal of Film Radio and Television*, 2013, 22(5): 1089–1102.
- [3] 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. *中国管理科学*, 2006, 14(6): 44–49.
Wang F H, Da Q L. The decision-making analysis in deciding reverse logistics system with remanufacturing in electronic industry. *Chinese Journal of Management Science*, 2006, 14(6): 44–49. (in Chinese)
- [4] 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. *中国科学院大学学报*, 2008, 25(2): 151–160.
Fan S, Zhang M H. Reverse channel selection with changeable unit take-back cost in closed-loop supply chain. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2008, 25(2): 151–160. (in Chinese)
- [5] Savaskan R C, Wassenhove L N V. Reverse channel design: The case of competing retailers. *Management Science*, 2006, 52(1): 1–14.
- [6] Huang M, Song M, Lee L H, et al. Analysis for strategy of closed-loop supply chain with dual recycling channel. *International Journal of Production Economics*, 2013, 144(2): 510–520.
- [7] Hong X, Wang Z, Wang D, et al. Decision models of closed-loop supply chain with remanufacturing under hybrid dual-channel collection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, 68(5): 1851–1865.
- [8] 李晓静, 艾兴政, 唐小我. 基于链与链竞争的再制造产品销售渠道的研究. *系统工程学报*, 2016, 31(5): 666–675.
Li X J, Ai X Z, Tang X W. Marketing channel structure of remanufactured products under competing supply chain. *Journal of Systems Engineering*, 2016, 31(5): 666–675. (in Chinese)
- [9] 孙 浩, 达庆利. 基于产品差异的再制造闭环供应链定价与协调研究. *管理学报*, 2010, 7(5): 733–738.
Sun H, Da Q L. Pricing and coordination of remanufacturing closed-loop supply chain based on product differentiation. *Chinese Journal of Management*, 2010, 7(5): 733–738. (in Chinese)
- [10] 包晓英, 唐志英, 唐小我. 基于回收再制造的闭环供应链差异定价策略及协调. *系统管理学报*, 2010, 19(5): 546–552.
Bao X Y, Tang Z Y, Tang X W. Coordination and differential price strategy of closed-loop supply chain with product remanufacturing. *Journal of Systems and Management*, 2010, 19(5): 546–552. (in Chinese)
- [11] 刘家国, 周学龙, 赵金楼. 基于产品质量差异的闭环供应链定价策略与协调研究. *中国管理科学*, 2013(S2): 426–431.
Liu J G, Zhou X L, Zhao J L. Study on price decision and coordination of closed-loop supply chain based on quality difference of product. *Chinese Journal of Management Science*, 2013(S2): 426–431. (in Chinese)
- [12] 霍艳芳, 原 泉, 刘 凯. 闭环供应链差异定价策略及协调机制. *系统工程*, 2014, 32(9): 101–107.
Huo Y F, Yuan Q, Liu K. Differential pricing decision and coordination of closed-loop supply chain. *System Engineering*, 2014, 32(9): 101–107. (in Chinese)
- [13] 许茂增, 唐 飞. 考虑消费者偏好的闭环供应链差别定价模型. *计算机集成制造系统*, 2014, 20(4): 945–954.
Xu M Z, Tang F. Differential pricing model of closed-loop supply chain considering consumer preferences. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2014, 20(4): 945–954. (in Chinese)
- [14] 易余胤, 袁 江. 基于混合回收的闭环供应链协调定价模型. *管理评论*, 2011, 23(11): 169–176.
Yi Y Y, Yuan J. Pricing coordination in closed-loop supply chain with hybrid recovery channel. *Management Review*, 2011, 23(11): 169–176. (in Chinese)
- [15] 张成堂, 杨善林. 双渠道回收下闭环供应链的定价与协调策略. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(7): 1676–1683.
Zhang C T, Yang S L. Pricing and coordination strategy of closed-loop supply chain under dual channel recovery. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2013, 19(7): 1676–1683. (in Chinese)

- [16] 于春海, 李想等. 闭环供应链双渠道回收系统定价机制与协调策略. 东北大学学报(自然科学版), 2014, 35(9): 1360-1363.
Yu C H, Li X I. Pricing mechanisms and coordination strategies of closed-loop supply chain with dual-channel recycling systems. *Journal of Northeastern University*, 2014, 35(9): 1360-1363. (in Chinese)
- [17] 梁喜, 马春梅. 不同混合回收模式下闭环供应链决策研究. 工业工程与管理, 2015, 20(4): 54-60.
Liang X, Ma C M. Research on decisions of closed-loop supply chain under different hybrid recycling modes. *Industrial Engineering and Management*, 2015, 20(4): 54-60. (in Chinese)
- [18] 曹晓刚, 郑本荣, 闻卉. 考虑顾客偏好的双渠道闭环供应链定价与协调决策. 中国管理科学, 2015, 23(6): 107-117.
Cao X G, Zheng B R, Wen H. Pricing and coordination decision of the dual channel closed-loop supply chain considering the customer preference. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(6): 107-117. (in Chinese)
- [19] 张桂涛, 胡劲松, 王磊, 等. 考虑消费者渠道偏好的多期闭环供应链网络均衡. 系统工程理论与实践, 2016(2): 347-362.
Zhang G T, Hu J S, Wang L, et al. Multi-period closed-loop supply chain network equilibrium with the consumer's preference for trade channels. *Systems Engineering: Theory and Practice*, 2016(2): 347-362. (in Chinese)
- [20] 张汉江, 甘兴, 赖明勇. 最优价格与回收努力激励的闭环供应链协调. 系统工程学报, 2015, 30(2): 201-209.
Zhang H J, Gan X, Lai M Y. Coordination of closed-loop supply chain with the optimal price and recycle effort incentive contract. *Journal of System Engineering*, 2015, 30(2): 201-209. (in Chinese)
- [21] 张福安, 达庆利, 孙浩. 零售商主导的闭环供应链效益分析. 软科学, 2011, 25(6): 45-48.
Zhang F A, Da Q L, Sun H. Analysis of benefit for closed-loop supply chain with dominant retailer. *Soft Science*, 2011, 25(6): 45-48. (in Chinese)
- [22] 张雅琪, 陈菊红, 高文军. 闭环供应链中零售商主导的两阶段系统定价决策模型. 统计与决策, 2012(19): 66-69.
Zhang Y Q, Chen J H, Gao W J. Pricing decision model of closed-loop supply chain with dominant retailer. *Statistics and Decision*, 2012(19): 66-69. (in Chinese)
- [23] 余福茂, 徐玉军. 零售商主导闭环供应链的奖惩机制研究. 中国管理科学, 2014(S1): 491-495.
Yu F M, Xu Y J. Premium and penalty mechanism on closed-loop supply chain with dominant retailer. *Chinese Journal of Management Science*, 2014(S1): 491-495. (in Chinese)
- [24] 高举红, 韩红帅, 侯丽婷, 等. 考虑产品绿色度和销售努力的零售商主导型闭环供应链决策研究. 管理评论, 2015, 27(4): 187-196.
Gao J H, Han H S, Hou L T, et al. Decision-making in closed-loop supply chain with dominant retailer considering products' green degree and sales effort. *Management Review*, 2015, 27(4): 187-196. (in Chinese)
- [25] 姚锋敏, 徐素波, 滕春贤. 双回收渠道下零售商主导闭环供应链决策模型. 计算机集成制造系统, 2016, 22(9): 2195-2203.
Yao F M, Xu S B, Teng C X. Decision models for closed-loop supply chain with dominant retailer under dual recycle channels. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2016, 22(9): 2195-2203. (in Chinese)
- [26] 易余胤. 不同主导力量下的闭环供应链模型. 系统管理学报, 2010, 19(4): 389-396.
Yi Y Y. Study on closed-loop supply chain models under different market power. *Journal of Systems and Management*, 2010, 19(4): 389-396. (in Chinese)
- [27] 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. 中国管理科学, 2011, 19(5): 29-36.
Wang W B, Da Q L, Nie R. The study on pricing and coordination of closed-loop supply chain considering channel power structure. *Chinese Journal of Management Science*, 2011, 19(5): 29-36. (in Chinese)
- [28] 李明芳, 薛景梅. 不同渠道权力结构下制造商回收闭环供应链绩效分析. 控制与决策, 2016, 31(11): 2095-2100.
Li M F, Xue J M. Performance analysis of manufacturer collecting closed-loop supply chain under different channel power structures. *Control and Decision*, 2016, 31(11): 2095-2100. (in Chinese)
- [29] 公彦德. 主导模式和回收方式最优组合与供应链稳定性. 系统工程学报, 2014, 29(1): 85-95.
Gong Y D. Research on combinations of closed-loop supply chain dominant mode and logistics mode. *Journal of System Engineering*, 2014, 29(1): 85-95. (in Chinese)
- [30] Haitao Cui T, Raju J S, Zhang Z J. Fairness and channel coordination. *Management Science*, 2007, 53(8): 1303-1314.
- [31] 张克勇, 吴燕, 侯世旺. 零售商公平关切下闭环供应链定价策略研究. 山东大学学报: 理学版, 2013, 48(5): 83-91.
Zhang K Y, Wu Y, Hou S W. Pricing strategy of considering retailer's fairness concerns in the closed-loop supply chain. *Journal of Shandong University*, 2013, 48(5): 83-91. (in Chinese)
- [32] 张克勇, 侯世旺, 周国华. 公平关切下闭环供应链定价策略. 系统管理学报, 2013, 22(06): 841-849.
Zhang K Y, Hou S W, Zhou G H. Pricing strategy in the closed-loop supply chain with fairness concerns. *Journal of Systems and Management*, 2013, 22(06): 841-849. (in Chinese)

