

控制与决策

Control and Decision

不同权力结构下闭环供应链CSR分摊机制及定价策略

刘珊, 姚锋敏, 陈东彦, 滕春贤

引用本文:

刘珊, 姚锋敏, 陈东彦, 等. 不同权力结构下闭环供应链CSR分摊机制及定价策略[J]. *控制与决策*, 2020, 35(6): 1525–1536.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1413>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

具有企业社会责任的闭环供应链回收及定价决策

Recycling and pricing decisions for closed-loop supply chain with corporate social responsibility

控制与决策. 2019, 34(9): 1981–1990 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0067>

三级低碳供应链联合减排及宣传促销微分博弈研究

Differential game models for joint carbon emission reduction and promotion in three-echelon low carbon supply chain

控制与决策. 2019, 34(8): 1776–1788 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1752>

需求依赖于产品价格和消费者时间偏好的定价与订货决策

Pricing and ordering decisions with price- and consumer time preference-dependent demand

控制与决策. 2016, 31(9): 1594–1602 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.1111>

不同渠道权力结构下制造商回收闭环供应链绩效分析

Performance analysis of manufacturer collecting closed-loop supply chain under different channel power structures

控制与决策. 2016, 31(11): 2095–2100 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.1120>

再制造率随机的闭环供应链产品差别定价策略

Products difference pricing strategy of closed-loop supply chain with remanufacturing rate random

控制与决策. 2015, 30(11): 2019–2024 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2014.1411>

不同权力结构下闭环供应链 CSR 分摊机制及定价策略

刘 珊¹, 姚锋敏¹, 陈东彦^{1,2†}, 滕春贤¹

(1. 哈尔滨理工大学 经济与管理学院, 哈尔滨 150080; 2. 哈尔滨理工大学 理学院, 哈尔滨 150080)

摘要: 研究不同权力结构下具有企业社会责任(CSR)的闭环供应链定价决策问题. 探讨 Stackelberg 博弈及 Nash 非合作博弈下各成员企业的 CSR 最优分摊机制及定价策略, 分析 CSR 行为对新产品定价及废旧产品回收的影响. 研究表明, 无论在何种权力结构下, 闭环供应链成员企业的 CSR 行为都有利于降低新产品零售价格、扩大新产品市场需求以及提高废旧产品回收率, 同时也有利于实现零售商、制造商以及闭环供应链系统整体追求社会福利的最大化. 通过比较 3 种权力结构下的均衡结果发现: 在零售商主导下的废旧产品回收效果最好, 而在 Nash 非合作博弈下的新产品零售价格最低并且市场需求量最高; 零售商和制造商在追求社会福利最大化时获取的总效益在自身主导的权力结构下均是最大的.

关键词: 闭环供应链; 企业社会责任; Stackelberg 博弈; Nash 非合作博弈; 分摊机制; 定价策略

中图分类号: F224; C931.1

文献标志码: A

Corporation social responsibility apportionment mechanism and pricing strategy for closed-loop supply chain under different power structures

LIU Shan¹, YAO Feng-min¹, CHEN Dong-yan^{1,2†}, TENG Chun-xian¹

(1. School of Economics and Management, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China; 2. College of Science, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: The pricing decision problems for closed-loop supply chain with corporate social responsibility (CSR) under different power structures are studied. The optimal CSR apportionment mechanism and pricing strategy of member enterprises under Stackelberg game and Nash noncooperative game are discussed. The effect of member enterprises' CSR behavior to the pricing of new products and the recycling of waste products are analyzed. It shows that no matter under what power structures, the CSR behavior of member enterprise is conducive to expanding the market demand of new products and improving the return rate of waste products, and is also conducive to maximizing the social welfare of retailer, manufacturer and the whole closed-loop supply chain system. By comparing the optimal equilibrium results under the three power structures, the recycling effect of waste products is best under the dominant retailer power structure. And in the Nash noncooperative game, the new product has the lowest retail price and the highest market demand. Finally, the total benefits that the retailer and manufacturer obtain when pursuing maximization of social welfare are the largest under their own dominant channel structure.

Keywords: closed-loop supply chain; corporate social responsibility; Stackelberg game; Nash noncooperative game; apportionment mechanism; pricing strategy

0 引言

目前,我国正面临着资源不断耗竭、自然环境日益恶化等问题. 废旧产品的回收及再利用已成为企业履行其社会责任的一项重要发展战略,不仅可以减少企业在生产活动中对环境的污染,还可以节约资源,降低能耗和生产成本,从而使产品价格更具竞争力. 如惠普、联想、IBM 等大型企业,除了通过正向供

应链开展原材料采购、产品生产及销售等活动,还利用逆向供应链实现了废旧产品的回收及再制造,这不仅为企业带来更大的收益,而且在积极履行社会责任的同时也提升了企业的声誉及其竞争力^[1]. Servaes 等^[2]研究表明,那些具有较强消费者意识、积极承担社会责任的企业可以获得更大的企业价值. 因此,研究考虑企业社会责任的闭环供应链定价决策问题具

收稿日期: 2018-10-19; 修回日期: 2019-01-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71301036, 71701056); 黑龙江省自然科学基金项目(G2018007); 黑龙江省普通高校基本科研业务费专项资金项目(LGYC2018JG056).

责任编辑: 刘士新.

†通讯作者. E-mail: chendongyan@hrbust.edu.cn.

有重要的理论及现实意义。

目前,闭环供应链的优化及建模研究主要集中在定价决策、回收渠道选择、协调机制、政府奖惩机制等问题。Savaskan等^[3]比较了3种闭环供应链回收渠道,并指出较之制造商或第三方回收,由零售商负责回收的渠道结构是最佳的。Choi等^[4]基于第三方负责回收的渠道结构,分析了3种不同渠道领导力量下的闭环供应链定价策略。Wei等^[5]基于零售商负责回收的渠道结构,研究了两种渠道领导力量下的4种闭环供应链定价决策模型。Yi等^[6]在零售商和第三方同时回收的双回收渠道假设下,研究了零售商主导闭环供应链的最优定价策略。Zheng等^[7]在第三方负责回收且存在双销售渠道的假设下,分析了3种不同渠道领导力量下的闭环供应链决策及协调问题。高举红等^[8]针对零售商主导且负责销售努力的闭环供应链进行研究,结果表明低价促销策略要优于绿色营销策略。韩小花等^[9]针对由制造商和零售商构成的两阶段闭环供应链,研究了“以旧换再”策略实施的必要条件。以上有关闭环供应链回收渠道设计及定价决策的研究取得了大量重要的研究成果。然而,这些研究大多假设闭环供应链成员企业或者整体以追求纯利润最大化作为决策目标。

近年来,越来越多的企业在追求获利的同时也开始积极承担一定的企业社会责任。企业社会责任(corporate social responsibility, CSR)要求企业不能把追求经济利益作为唯一目标,还应强调在生产过程中对其利益相关者、消费者、环境及社会的贡献。根据KPMG(毕马威)的研究,2015年全球接近四分之三的国家地区的百强企业发布过CSR报告,78%的中国百强企业也发布了CSR报告。对于供应链整体而言,承担CSR不应该只是某个成员企业的行为,CSR行为已延伸至整个供应链^[10]。

在供应链中考虑CSR行为的研究已较为常见。Modak等^[11]研究了制造商的CSR行为对产品兼容性的影响。Panda等^[12]在制造商和零售商分别考虑CSR时指出,零售商追求社会福利最大化的策略可以有效缓解供应链的渠道冲突。Wu等^[13]研究了具有CSR的供应链协调问题,并给出了协调供应链的数量柔性契约和批发价格激励契约。Alok^[14]研究了服装供应链中制造企业社会责任治理机制的缺失问题。Mohammadreza等^[15]研究了具有CSR的药品供应链协调问题。倪得兵等^[16]分析了供应链中的CSR运作、配置及合作等问题。段华薇等^[17]构建了考虑CSR行为的物流服务供应链定价决策模型。宋杰珍

等^[18]指出,适度的CSR行为对提高供应链的整体绩效是有益的。李金华^[19]构建了考虑CSR行为的两条竞争供应链的博弈模型,研究表明实施CSR差异化策略的供应链更具竞争优势。李余辉等^[20]分析了CSR在传递供应商质量信息中的角色及实施CSR信号手段的盈利条件,为企业今后在信息共享方式的选择方面提供了决策参考。范建昌等^[21]构建了考虑CSR的两阶段供应链决策模型,指出制造商和零售商的CSR行为都可以改善产品质量,提高产品需求。上述研究从不同角度分析了CSR行为对正向供应链运作的影响,完善了考虑CSR行为供应链的相关理论。

目前,不少学者将CSR行为引入闭环供应链的优化及建模中。Panda等^[22]基于零售商负责回收的渠道结构进行研究,结果表明制造商的CSR行为有利于增加渠道利润,提高废旧产品回收效率。高举红等^[23]在制造商和零售商分别承担CSR的假设下,经研究表明,废旧产品回收率、制造商及零售商的利润均与供应链成员的社会责任效应因子正相关。现有为数不多考虑CSR行为的闭环供应链研究,大多假设承担CSR的企业主体相对固定,即要么制造商承担、要么零售商承担,鲜有研究分析制造商与零售商联合承担CSR的行为对闭环供应链定价策略的影响;也未探讨不同权力结构对考虑CSR行为的闭环供应链定价决策及整体绩效的影响。

综上,企业的社会责任可以表现为关心员工成长、对消费者权益负责、关注环境保护等方面。本文区别于传统供应链中考虑CSR行为的研究,将废旧产品的回收及再利用作为展现企业实施CSR行为的一项重要发展战略,分别在零售商或制造商主导的Stackelberg博弈及Nash非合作博弈3种不同的权力结构下,分析CSR行为与新产品销售及废旧产品回收之间的关系,研究成员企业的CSR行为对闭环供应链成员及整体绩效的影响。通过比较3种不同权力结构下的均衡结果,给出闭环供应链CSR的分摊机制,也为考虑CSR行为的闭环供应链定价决策提供了理论参考。

1 问题描述与假设

假设本文的闭环供应链系统由具有CSR意识的单个制造商和单个零售商组成,且制造商与零售商联合承担CSR。在正向供应链中,制造商负责新产品的生产,零售商负责新产品的销售;在逆向供应链中,零售商负责废旧产品的回收。假设闭环供应链的需求函数为

$$q = a - \beta p. \quad (1)$$

其中: $a > 0$ 表示市场容量, p 表示零售商的新产品零售价格, $\beta > 0$ 表示新产品的价格敏感系数, 且 $a - \beta p > 0$.

其他相关符号和变量假设如下.

w 表示制造商的新产品单位批发价格;

c_m 表示制造商生产新产品的单位固定成本;

c_r 表示制造商对废旧产品的单位再制造成本, 为了保证再制造对制造商有意义, 假设 $c_m > c_r$;

$b > 0$ 表示制造商给零售商回收废旧产品的单位转移支付, 保证 $c_m - c_r - b > 0$;

A 表示零售商回收废旧产品的单位服务费用, $A > 0$ 表示零售商支付给消费者的单位费用, $A < 0$ 表示零售商向消费者收取的单位费用, 为了使得废旧产品的回收、处理具有一定的经济可行性, 显然 $b - A > 0$;

τ 表示废旧产品的回收率, $0 \leq \tau \leq 1$;

$c(\tau)$ 表示当废旧产品回收率为 τ 时零售商的回收努力成本, 参照文献[3]等, 假设 $c(\tau) = k\tau^2$, $k > 0$ 表示规模参数;

θ 表示成员企业联合承担 CSR 的程度, 假设 $0 \leq \theta \leq 1$;

h 表示制造商 CSR 的分摊比例, $1 - h$ 表示零售商 CSR 的分摊比例;

π_j^i 表示成员企业 j 在第 i 种权力结构下获取的企业利润;

V_j^i 表示成员企业 j 在第 i 种权力结构下考虑 CSR 时的总效益;

$j = \{r, m, s\}$ 分别表示零售商、制造商及闭环供应链系统整体 ($\pi_s = \pi_m + \pi_r, V_s = V_m + V_r$);

$i = \{R, M, N\}$ 分别表示零售商主导、制造商主导及 Nash 非合作博弈.

为了保证文中的最优回收率在给定范围是有界的、各成员企业利润函数的凹性等条件, 类似于文献[3]、文献[4]等的假设, 本文要求规模参数满足

$$k > \max \left\{ \frac{(c_m - c_r - A)(a - \beta c_m) + \beta(c_m - c_r - A)^2}{4(2 - \theta - h\theta)}, \frac{(b - A)(a - \beta c_m) + 2\beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{4(2 - \theta + h\theta)}, \frac{(b - A)(a - \beta c_m) + \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2(3 - \theta)} \right\}.$$

2 不同权力结构下的博弈模型与均衡

在分散式决策下, 当不考虑成员企业的 CSR 行为时, 制造商和零售商均追求企业纯利润最大化, 于

是, 制造商和零售商的利润函数分别为

$$\pi_m = (w - c_m)(a - \beta p) + (c_m - c_r - b)\tau(a - \beta p), \quad (2)$$

$$\pi_r = (p - w)(a - \beta p) + (b - A)\tau(a - \beta p) - k\tau^2. \quad (3)$$

当闭环供应链中的成员企业承担一定 CSR 时, 其决策目标是考虑如何实现社会福利最大化. 根据经济学假设, 社会福利等于生产者剩余(企业利润)与消费者剩余之和. 在市场需求给定后, 消费者剩余 (consumer surplus, CS) 是指消费者愿意支付的一定数量某产品的最高市场价格与实际市场价格之间的差额^[22]. 因此, 消费者剩余可以表示为

$$CS = \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} q dp = \frac{(a - \beta p)^2}{2\beta}. \quad (4)$$

当零售商和制造商联合承担 CSR 时, 两者会按照一定分摊比例承担相应的 CSR, 因此, 制造商和零售商在追求社会福利最大化时的总效益分别为

$$V_m = \pi_m + h \frac{\theta(a - \beta p)^2}{2\beta}, \quad (5)$$

$$V_r = \pi_r + (1 - h) \frac{\theta(a - \beta p)^2}{2\beta}. \quad (6)$$

其中: $\theta = 0$ 表示成员企业不承担 CSR, 即追求自身纯利润最大化; $\theta = 1$ 表示成员企业完全承担 CSR, 即追求完美的社会福利最大化; $0 < \theta < 1$ 表示成员企业部分承担 CSR.

2.1 零售商主导 Stackelberg 博弈模型

在零售商主导的两阶段闭环供应链中, 成员企业的决策顺序为: 1) 零售商依据总效益最大化原则决策最优单位利润 m 和废旧产品回收率 τ ; 2) 追求总效益最大化的制造商根据零售商的决策寻找最优的新产品批发价格 w ; 3) 通过 $p = w + m$ 及 $q = a - \beta p$, 求得新产品的最优零售价格 p 及最优需求量 q . 根据上述博弈顺序, 本文利用逆向递推法进行求解.

定理 1 在零售商主导的闭环供应链中, 新产品的最优单位利润、最优批发价格、废旧产品的最优回收率以及新产品的最优零售价格与最优需求量分别为

$$m^{R*} = \frac{(2k(2 - \theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))(a - \beta c_m)}{\beta(2k(4 - \theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)}, \quad (7)$$

$$w^{R*} = \frac{a(2k(1 - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b))}{\beta(2k(4 - \theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)} +$$

$$\frac{\beta c_m(2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))}{\beta(2k(4-\theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)}, \quad (8)$$

$$\tau^{R*} = \frac{(c_m - c_r - A)(a - \beta c_m)}{2k(4-\theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2}, \quad (9)$$

$$p^{R*} = \frac{a(2k(3-\theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2) + 2k\beta c_m}{\beta(2k(4-\theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)}, \quad (10)$$

$$q^{R*} = \frac{2k(a - \beta c_m)}{2k(4-\theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2}. \quad (11)$$

证明 首先,由于 $\frac{\partial^2 V_m^R(w)}{\partial w^2} = -2\beta < 0$,即制造商的总效益函数关于新产品的批发价格 w 为严格凹函数,式(5)有最大值.根据一阶条件,可求得制造商的最优反应函数为

$$w^R = \frac{a - \beta m + \beta c_m - \beta(c_m - c_r - b)\tau - h\theta(a - \beta c_m)}{\beta(2 - h\theta)}. \quad (12)$$

将式(12)代入(6)中容易发现,主导零售商追求社会福利最大化时的总效益函数 $V_r^R(m, \tau)$ 关于零售商单位利润 m 和废旧产品回收率 τ 为联合凹函数.根据一阶条件,可求得零售商承担 CSR 时的最优单位利润 m^{R*} 和最优废旧产品回收率 τ^{R*} ,进一步,可求得制造商的最优批发价格 w^{R*} .最后,通过 $p^{R*} = w^{R*} + m^{R*}$ 及 $q^{R*} = a - \beta p^{R*}$,求得新产品的最优零售价格及最优需求量.□

通过定理1可求得当零售商主导时,制造商、零售商、闭环供应链整体获取的利润以及他们各自追求社会福利最大化获取的总效益分别为

$$\pi_m^{R*} = \frac{4k^2(1-h\theta)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)^2}, \quad (13)$$

$$\pi_r^{R*} = \frac{k(4k(2-\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)^2}, \quad (14)$$

$$\pi_s^{R*} = \frac{k(4k(3-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)^2}, \quad (15)$$

$$V_m^{R*} = \frac{2k^2(2-h\theta)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)^2}, \quad (16)$$

$$V_r^{R*} = \frac{k(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)^2}, \quad (17)$$

$$V_s^{R*} = \frac{k(2k(6-\theta-2h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)^2}. \quad (18)$$

性质1 在零售商主导的闭环供应链中:1)无论成员企业 CSR 分摊比例 h 如何制定,随着 CSR 程度 θ 的增强,新产品最优零售价格 p^{R*} 在降低,市场需求量 q^{R*} 及废旧产品最优回收率 τ^{R*} 均在增加.新产品批发价格 w^{R*} 受到成员企业 CSR 程度 θ 及分摊比例 h 的共同影响:当

$$0 \leq h < \frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{6k - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)}$$

时,随着 CSR 程度 θ 的增强,新产品批发价格 w^{R*} 在增加;当

$$\frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{6k - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)} \leq h \leq 1$$

时,随着 CSR 程度 θ 的增强,新产品批发价格 w^{R*} 在降低.2)无论成员企业 CSR 分摊比例 h 如何制定,随着 CSR 程度 θ 的增强,主导零售商、制造商及系统整体追求社会福利最大化时获取的总效益均在增大.

性质2 在零售商主导的闭环供应链中,当成员企业 CSR 程度 θ 一定时,随着制造商 CSR 分摊比例 h 的增大,新产品最优零售价格 p^{R*} 及批发价格 w^{R*} 均在减小,市场需求量 q^{R*} 及废旧产品最优回收率 τ^{R*} 均在增加.

推论1 在零售商主导的闭环供应链中:1)当成员企业 CSR 程度

$$\theta \in \left[0, \frac{4k - \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k}\right]$$

时,对于任意的 $h \in [0, 1]$,均有 $\pi_r^{R*} \geq \pi_m^{R*}$.当

$$\theta \in \left(\frac{4k - \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k}, 1\right]$$

时,若

$$h \in \left[0, \frac{4k\theta - 4k + \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k\theta}\right),$$

则 $\pi_r^{R*} < \pi_m^{R*}$;若

$$h \in \left[\frac{4k\theta - 4k + \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k\theta}, 1\right],$$

则 $\pi_r^{R*} \geq \pi_m^{R*}$.2)无论成员企业 CSR 程度 θ 及分摊比例 h 如何制定,总有 $V_r^{R*} > V_m^{R*}$.

证明 1)根据在零售商主导下零售商与制造商最大利润函数表达式,易得

$$\pi_r^{R*} - \pi_m^{R*} = \frac{k(4k(1-\theta+h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)^2}.$$

由上式可以看出,当 $4k(1-\theta+h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2 \geq 0$,即

$$h \geq \frac{4k\theta - 4k + \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k\theta} = y(\theta)$$

时, $\pi_r^{R*} - \pi_m^{R*} \geq 0$, 即 $\pi_r^{R*} \geq \pi_m^{R*}$. 进一步,

$$\frac{\partial y(\theta)}{\partial \theta} = \frac{4k - \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k\theta^2} > 0,$$

即 $y(\theta)$ 关于 θ 为增函数. 因为 $\theta \in [0, 1]$, 所以 $y(\theta)$ 在 $\theta = 0$ 时取得最小值, 在 $\theta = 1$ 时取得最大值. 此外, 若 $y(\theta) \leq 0$, 则可求得

$$\theta \leq (4k - \beta(c_m - c_r - A)^2)/(4k).$$

因此, 当

$$\theta \in \left[0, \frac{4k - \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k}\right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $\pi_r^{R*} \geq \pi_m^{R*}$. 进一步, 当

$$\theta \in \left(\frac{4k - \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k}, 1\right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{4k\theta - 4k + \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k\theta}\right),$$

则 $\pi_r^{R*} < \pi_m^{R*}$; 若

$$h \in \left[\frac{4k\theta - 4k + \beta(c_m - c_r - A)^2}{4k\theta}, 1\right],$$

则 $\pi_r^{R*} \geq \pi_m^{R*}$.

2) 根据零售商主导下零售商与制造商在追求社会福利最大化时的总效益, 易得

$$V_r^{R*} - V_m^{R*} = \frac{k(2k(2-\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(4 - \theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)^2} > 0. \quad \square$$

推论 1 表明, 在零售商主导的闭环供应链中, 当成员企业 CSR 程度相对较低时, 无论成员企业之间如何制定 CSR 分摊比例, 主导零售商的利润始终大于制造商; 当成员企业 CSR 程度较高时, 若制造商 CSR 分摊比例较低而零售商分摊比例较高, 则制造商获取的利润就会减小, 而零售商的利润就会增大; 反之, 若制造商分摊 CSR 比例较高而零售商分摊比例较低, 则会出现主导零售商的利润小于制造商的情况. 成员企业利润的增减会受到成员企业 CSR 程度以及分摊比例的影响, CSR 的分摊比例是决定成员企业纯利润分配的重要参数.

推论 1 进一步揭示出, 无论成员企业 CSR 程度及分摊比例如何制定, 追求社会福利最大化的主导零售商总是可以获得较制造商更多的总效益, 这也表明, 闭环供应链中的主导者较其他成员总是能够获取更多的总效益.

2.2 制造商主导 Stackelberg 博弈模型

在制造商主导的闭环供应链中, 与 2.1 节的处理方法相似, 可得到如下均衡结果.

定理 2 在制造商主导的闭环供应链中, 新产品的最优单位利润、最优批发价格、废旧产品的最优回收率以及新产品的最优零售价格与最优需求量分别为

$$m^{M*} = \frac{(2k(1 - \theta + h\theta) - \beta(b - A)^2)(a - \beta c_m)}{2\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))}, \quad (19)$$

$$w^{M*} = \frac{a(2k(2 - \theta) - \beta(b - A)(2(c_m - c_r) - b - A))}{2\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))} + \frac{\beta c_m(2k(2 - \theta + h\theta) - \beta(b - A)^2)}{2\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))}, \quad (20)$$

$$\tau^{M*} = \frac{(b - A)(a - \beta c_m)}{2(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))}, \quad (21)$$

$$p^{M*} = \frac{a(k(3 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)) + k\beta c_m}{\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))}, \quad (22)$$

$$q^{M*} = \frac{k(a - \beta c_m)}{k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}. \quad (23)$$

通过定理 2 可求得当制造商主导时, 制造商、零售商、闭环供应链整体获取的利润以及他们各自追求社会福利最大化获取的总效益分别为

$$\pi_m^{M*} = \frac{k(2k(2 - \theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))^2}, \quad (24)$$

$$\pi_r^{M*} = \frac{k(4k(1 - \theta + h\theta) - \beta(b - A)^2)(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))^2}, \quad (25)$$

$$\pi_s^{M*} = \frac{4k^2(3 - 2\theta + h\theta)(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))^2} - \frac{k\beta(b - A)(2(c_m - c_r) + b - 3A)(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))^2}, \quad (26)$$

$$V_m^{M*} = \frac{k(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))^2}, \quad (27)$$

$$V_r^{M*} = \frac{k(2k(2-\theta+h\theta) - \beta(b-A)^2)(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4-2\theta+h\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))^2}, \quad (28)$$

$$V_s^{M*} = \frac{2k^2(6-3\theta+2h\theta)(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4-2\theta+h\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))^2} - \frac{k\beta(b-A)(2(c_m - c_r) + b - 3A)(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4-2\theta+h\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))^2}. \quad (29)$$

性质3 在制造商主导的闭环供应链中: 1) 无论成员企业CSR分摊比例 h 如何制定, 随着CSR程度 θ 的增强, 新产品的零售价格 p^{M*} 、批发价格 w^{M*} 在降低, 而市场需求量 q^{M*} 及废旧产品回收率 τ^{M*} 均在增加; 2) 无论成员企业CSR分摊比例 h 如何制定, 随着CSR程度 θ 的增强, 主导制造商、零售商以及系统整体在追求社会福利最大化时获取的总效益均在增大.

性质4 在制造商主导的闭环供应链中, 当成员企业CSR程度 θ 一定时, 随着制造商CSR分摊比例 h 的增大, 新产品零售价格 p^{M*} 在增加, 而新产品批发价格 w^{M*} 、市场需求量 q^{M*} 及废旧产品回收率 τ^{M*} 均在减小.

推论2 在制造商主导的闭环供应链中: 1) 当成员企业CSR程度

$$\theta \in \left[0, \frac{4k - \beta(b-A)(2(c_m - c_r) - b - A)}{4k}\right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $\pi_m^{M*} \geq \pi_r^{M*}$. 当

$$\theta \in \left(\frac{4k - \beta(b-A)(2(c_m - c_r) - b - A)}{4k}, 1\right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{4k - \beta(b-A)(2(c_m - c_r) - b - A)}{4k\theta}\right),$$

则 $\pi_m^{M*} > \pi_r^{M*}$; 若

$$h \in \left[\frac{4k - \beta(b-A)(2(c_m - c_r) - b - A)}{4k\theta}, 1\right],$$

则 $\pi_m^{M*} \leq \pi_r^{M*}$. 2) 无论成员企业CSR程度及分摊比例如何制定, 总有 $V_m^{M*} > V_r^{M*}$.

证明过程与推论1相似, 此处省略.

推论2表明, 在制造商主导的闭环供应链中, 当成员企业CSR程度较低时, 无论成员企业之间如何制定CSR分摊比例, 主导制造商的利润始终大于零售商; 当成员企业CSR程度较高时, 若制造商CSR分摊比例较低而零售商分摊比例较高, 则零售商的利润会减小, 而制造商的利润会增大; 反之, 若制造商CSR分摊比例较高而零售商分摊比例较低, 则会出现主导制造商的利润小于零售商的情况. 推论2进一步表明, 无论成员企业的CSR程度及分摊比例如何制定,

追求社会福利最大化的主导制造商总是可以获得较零售商更多的总效益. 这是因为制造商通过分摊较多的CSR(此时制造商牺牲了部分自身的利润), 实现让利于零售商和消费者的同时, 也实现了社会福利最大化的目的; 反之, 当制造商只分摊较少的CSR时, 制造商也牺牲了部分自身的利润来实现社会福利最大化, 但不足以导致制造商的利润小于零售商的情形. 但追求社会福利最大化的主导制造商获取的总效益仍然高于零售商. 这也进一步验证了, 闭环供应链中的主导者较其他成员依然获取更多的总效益.

2.3 Nash非合作博弈模型

在Nash非合作博弈下的闭环供应链中, 制造商与零售商具有相同的市场地位, 他们同时作出各自的决策, 使得自身利益最大化, 据此, 有如下均衡结果.

定理3 在Nash非合作博弈的闭环供应链中, 新产品的最优单位利润、最优批发价格、废旧产品的最优回收率以及新产品的最优零售价格与最优需求量分别为

$$m^{N*} = \frac{(2k(1-\theta+h\theta) - \beta(b-A)^2)(a - \beta c_m)}{\beta(2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))}, \quad (30)$$

$$w^{N*} = \frac{a(2k(1-h\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - b))}{\beta(2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))} + \frac{\beta c_m(2k(2-\theta+h\theta) - \beta(b-A)^2)}{\beta(2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))}, \quad (31)$$

$$\tau^{N*} = \frac{(b-A)(a - \beta c_m)}{2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)}, \quad (32)$$

$$p^{N*} = \frac{a(2k(2-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)) + 2k\beta c_m}{\beta(2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))}, \quad (33)$$

$$q^{N*} = \frac{2k(a - \beta c_m)}{2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)}. \quad (34)$$

通过定理3可求得当Nash非合作博弈时, 制造商、零售商、闭环供应链整体获取的利润以及他们各自追求社会福利最大化获取的总效益分别为

$$\pi_m^{N*} = \frac{4k^2(1-h\theta)(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))^2}, \quad (35)$$

$$\pi_r^{N*} = \frac{k(4k(1-\theta+h\theta) - \beta(b-A)^2)(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))^2}, \quad (36)$$

$$\pi_s^{N*} = \frac{k(4k(2-\theta) - \beta(b-A)^2)(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(3-\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A))^2}, \quad (37)$$

$$V_m^{N*} = \frac{2k^2(2-h\theta)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(3-\theta)-\beta(b-A)(c_m-c_r-A))^2}, \quad (38)$$

$$V_r^{N*} = \frac{k(2k(2-\theta+h\theta)-\beta(b-A)^2)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(3-\theta)-\beta(b-A)(c_m-c_r-A))^2}, \quad (39)$$

$$V_s^{N*} = \frac{k(2k(4-\theta)-\beta(b-A)^2)(a-\beta c_m)^2}{\beta(2k(3-\theta)-\beta(b-A)(c_m-c_r-A))^2}. \quad (40)$$

性质 5 在 Nash 非合作博弈下的闭环供应链中: 1) 无论成员企业之间 CSR 分摊比例 h 如何制定, 随着 CSR 程度 θ 的增强, 新产品零售价格 p^{N*} 在降低, 而市场需求量 q^{N*} 及废旧产品回收率 τ^{N*} 均在增加. 新产品批发价格 w^{N*} 受到成员企业 CSR 程度 θ 及分摊比例 h 的共同影响: 当

$$0 \leq h < \frac{2k - \beta(b-A)(c_m - c_r - b)}{6k - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)}$$

时, 随着 CSR 程度 θ 的增强, 新产品批发价格 w^{N*} 在增加; 而当

$$\frac{2k - \beta(b-A)(c_m - c_r - b)}{6k - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)} \leq h \leq 1$$

时, 随着 CSR 程度 θ 的增强, 新产品批发价格 w^{N*} 在降低. 2) 无论成员企业之间 CSR 分摊比例 h 如何制定, 随着 CSR 程度 θ 的增强, 零售商、制造商以及系统整体在追求社会福利最大化时获取的总效益均在增大.

性质 6 在 Nash 非合作博弈下的闭环供应链中, 当成员企业 CSR 程度 θ 一定时, 随着制造商 CSR 分摊比例 h 的增大, 新产品批发价格 w^{N*} 在减小, 而新产品零售价格 p^{N*} 、市场需求量 q^{N*} 及废旧产品回收率 τ^{N*} 均保持不变.

推论 3 在 Nash 非合作博弈下的闭环供应链中: 1) 当

$$\theta \in \left[0, \frac{\beta(b-A)^2}{4k}\right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $\pi_m^{N*} \geq \pi_r^{N*}$. 当

$$\theta \in \left(\frac{\beta(b-A)^2}{4k}, 1\right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{4k\theta + \beta(b-A)^2}{8k\theta}\right),$$

则 $\pi_m^{N*} > \pi_r^{N*}$; 若

$$h \in \left[\frac{4k\theta + \beta(b-A)^2}{8k\theta}, 1\right],$$

则 $\pi_m^{N*} \leq \pi_r^{N*}$. 2) 当

$$\theta \in \left[0, \frac{\beta(b-A)^2}{2k}\right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $V_m^{N*} \geq V_r^{N*}$. 当

$$\theta \in \left[\frac{\beta(b-A)^2}{2k}, 1\right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{2k\theta + \beta(b-A)^2}{4k\theta}\right),$$

则 $V_m^{N*} > V_r^{N*}$; 若

$$h \in \left[\frac{2k\theta + \beta(b-A)^2}{4k\theta}, 1\right],$$

则 $V_m^{N*} \leq V_r^{N*}$.

证明过程与推论 1 相似, 此略.

推论 3 表明, 在 Nash 非合作博弈下的闭环供应链中, 与 Stackelberg 博弈下的闭环供应链相比较, 成员企业的 CSR 程度以及分摊比例不仅是影响成员企业纯利润分配的重要参数, 也对成员企业在追求社会福利最大化时所获取的总效益产生较大影响.

3 不同权力结构下的闭环供应链均衡结果比较

根据上文中得到的 3 种不同权力结构下各成员企业的最优定价决策, 本节着重对废旧产品的最优回收率以及各成员企业在承担 CSR 时获取的总效益进行比较, 分析成员企业的 CSR 程度及分摊比例对闭环供应链最优决策的影响.

命题 1 在 3 种不同的权力结构下, 废旧产品的最优回收率满足: 当

$$\theta \in \left[0, \frac{2k - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)}{2k}\right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $\tau^{R*} > \tau^{N*} \geq \tau^{M*}$. 当

$$\theta \in \left(\frac{2k - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)}{2k}, 1\right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{2k\theta - 2k + \beta(b-A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta}\right),$$

则 $\tau^{R*} > \tau^{M*} > \tau^{N*}$; 若

$$h \in \left[\frac{2k\theta - 2k + \beta(b-A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta}, 1\right],$$

则 $\tau^{R*} > \tau^{N*} \geq \tau^{M*}$.

证明 根据上述定理 1、定理 2 及定理 3 中废旧产品最优回收率的表达式, 易得

$$\begin{aligned} \tau^{R*} - \tau^{M*} = & \left\{ \frac{4k(c_m - c_r - b) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)^2}{2(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)} + \right. \\ & \frac{2k(1-\theta)(2(c_m - c_r) - b - A)}{2(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)} + \\ & \left. \frac{2kh\theta(c_m - c_r + b - 2A)}{2(2k(4-\theta-h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)} \right\} \times \\ & \frac{a - \beta c_m}{k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b-A)(c_m - c_r - A)} > 0, \end{aligned}$$

$$\tau^{R*} - \tau^{N*} = \frac{2k(a - \beta c_m)}{2k(4 - \theta - h\theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2} \times \frac{(3 - \theta)(c_m - c_r - b) - (1 - h\theta)(b - A)}{2k(3 - \theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)} > 0.$$

进一步,根据制造商主导与Nash非合作博弈下废旧产品的最优回收率的函数表达式,易得

$$\tau^{N*} - \tau^{M*} = \frac{2k(1 - \theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2(2k(3 - \theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))} \times \frac{(b - A)(a - \beta c_m)}{k(4 - 2\theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}.$$

由上式可以看出,当 $2k(1 - \theta + h\theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A) \geq 0$, 即

$$h \geq \frac{2k\theta - 2k + \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta} = l(\theta)$$

时, $\tau^{N*} - \tau^{M*} \geq 0$, 即 $\tau^{N*} \geq \tau^{M*}$. 进而有

$$\frac{\partial l(\theta)}{\partial \theta} = \frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta^2} > 0,$$

即 $l(\theta)$ 关于 θ 为增函数. 因为 $\theta \in [0, 1]$, 所以 $l(\theta)$ 在 $\theta = 0$ 时取得最小值, 在 $\theta = 1$ 时取得最大值. 此外, 若 $l(\theta) \leq 0$, 则可求得

$$\theta \leq \frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k}.$$

因此, 当

$$\theta \in \left[0, \frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k}\right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $\tau^{N*} \geq \tau^{M*}$. 进一步, 当

$$\theta \in \left(\frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k}, 1\right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{2k\theta - 2k + \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta}\right),$$

则 $\tau^{N*} < \tau^{M*}$; 若

$$h \in \left[\frac{2k\theta - 2k + \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta}, 1\right],$$

则 $\tau^{N*} \geq \tau^{M*}$. \square

命题1表明, 在3种不同权力结构下, 无论成员企业的CSR程度及分摊比例如何制定, 废旧产品的回收效果在零售商主导的权力结构下始终是最好的. 其次, 当成员企业CSR程度较低, 即

$$0 \leq \theta \leq \frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k}$$

时, 无论成员企业CSR分摊比例如何制定, Nash非合作博弈下废旧产品的回收效果都要好于制造商主导的情形. 当成员企业CSR程度较高, 即

$$\frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k} < \theta \leq 1$$

时, 则要取决于成员企业CSR分摊比例如何制定: 若制造商CSR分摊比例较低而零售商分摊比例较高, 则废旧产品的回收效果在制造商主导的权力结构下更好; 若制造商CSR分摊比例较高而零售商分摊比例较低, 则在Nash非合作博弈下的回收效果更好.

易余胤^[24]的研究表明: 在3种不同权力结构下的闭环供应链中, Nash非合作博弈下的废旧产品回收效果最好, 其次是零售商主导, 最后是制造商主导. 本文的研究则表明, 当考虑成员企业的CSR行为时, 在零售商主导的权力结构下, 废旧产品的回收效果是最好的.

命题2 在3种不同的权力结构下, 制造商追求社会福利最大化获取的总效益满足: 当

$$\theta \in \left[0, \frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k}\right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $V_m^{M*} > V_m^{N*} > V_m^{R*}$. 当

$$\theta \in \left(\frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k}, 1\right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k\theta}\right),$$

则 $V_m^{M*} > V_m^{N*} > V_m^{R*}$; 若

$$h \in \left[\frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k\theta}, 1\right],$$

则 $V_m^{M*} > V_m^{R*} \geq V_m^{N*}$.

证明过程与命题1相似, 此略.

命题2表明: 在3种不同的权力结构下, 无论成员企业的CSR程度及分摊比例如何制定, 制造商在自身主导的权力结构下获取的总效益始终是最大的. 其次, 当成员企业CSR程度较低, 即

$$0 \leq \theta \leq \frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k}$$

时, 无论成员企业CSR分摊比例如何制定, 制造商在Nash非合作博弈下获取的总效益都要高于零售商主导的情形. 当成员企业CSR程度较高, 即

$$\frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k} < \theta \leq 1$$

时, 则要取决于成员企业的CSR分摊比例如何制定: 若制造商CSR分摊比例较低而零售商分摊比例较高, 则制造商在Nash均衡下获取更高的效益; 若制造商CSR分摊比例较高而零售商分摊比例较低, 则在零售商主导下获取更高的效益.

命题3 在3种不同的权力结构下, 零售商在追求社会福利最大化时获取的总效益满足: 当

$$\theta \in \left[0, \frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k}\right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $V_r^{R*} > V_r^{N*} > V_r^{M*}$. 当

$$\theta \in \left(\frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k}, 1 \right]$$

时,若

$$h \in \left[0, \frac{2k\theta - 2k + \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta} \right),$$

则 $V_r^{R*} > V_r^{M*} > V_r^{N*}$; 若

$$h \in \left[\frac{2k\theta - 2k + \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta}, 1 \right],$$

则 $V_r^{R*} > V_r^{N*} \geq V_r^{M*}$.

证明过程与命题1相似, 此略.

命题3表明: 在3种不同的权力结构下, 无论成员企业 CSR 程度及分摊比例如何制定, 零售商在自身主导的权力结构下追求社会福利最大化时获取的总效益始终是最大的. 其次, 当成员企业 CSR 程度较低, 即

$$0 \leq \theta \leq \frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k}$$

时, 无论成员企业 CSR 分摊比例如何制定, 零售商在 Nash 非合作博弈下获取的总效益都要高于制造商主导的情形. 当成员企业 CSR 程度较高, 即

$$\frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k} < \theta \leq 1$$

时, 若制造商 CSR 分摊比例较低而零售商分摊比例较高, 则零售商在制造商主导的权力结构下获取更高的效益; 若制造商 CSR 分摊比例较高而零售商分摊比例较低, 则在 Nash 非合作博弈下获取更高的效益.

命题4 在3种不同的权力结构下, 闭环供应链整体在追求社会福利最大化时获取的总效益满足:

1) 在零售商主导与制造商主导两种权力结构下, 当

$$\theta \in \left[0, \frac{\beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - 2b + A)}{4k} \right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $V_s^{R*} > V_s^{M*}$. 当

$$\theta \in \left(\frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k}, 1 \right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{2k + \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r + A - 2b)}{4k} \right),$$

则 $V_s^{R*} < V_s^{M*}$; 若

$$h \in \left[\frac{2k + \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r + A - 2b)}{4k}, 1 \right],$$

则 $V_s^{R*} \geq V_s^{M*}$.

2) 在零售商主导与 Nash 非合作博弈两种权力结构下, 当

$$\theta \in \left[0, \frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k} \right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $V_s^{N*} > V_s^{R*}$. 当

$$\theta \in \left(\frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k}, 1 \right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k\theta} \right),$$

则 $V_s^{N*} > V_s^{R*}$; 若

$$h \in \left[\frac{2k - \beta(c_m - c_r - A)(c_m - c_r - b)}{2k\theta}, 1 \right],$$

则 $V_s^{N*} \leq V_s^{R*}$.

3) 在制造商主导与 Nash 非合作博弈两种权力结构下, 当

$$\theta \in \left[0, \frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k} \right]$$

时, 对于任意的 $h \in [0, 1]$, 均有 $V_s^{N*} > V_s^{M*}$. 当

$$\theta \in \left(\frac{2k - \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k}, 1 \right]$$

时, 若

$$h \in \left[0, \frac{2k\theta - 2k + \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta} \right),$$

则 $V_s^{N*} < V_s^{M*}$; 若

$$h \in \left[\frac{2k\theta - 2k + \beta(b - A)(c_m - c_r - A)}{2k\theta}, 1 \right],$$

则 $V_s^{N*} \geq V_s^{M*}$.

证明过程与命题1相似, 此略.

命题4表明, 在3种不同的权力结构下, 闭环供应链系统整体在追求社会福利最大化时获取的总效益受到成员企业的 CSR 程度及分摊比例的共同影响. 首先, 通过比较零售商主导与制造商主导下闭环供应链整体的总效益容易发现: 当成员企业的 CSR 程度较低时, 无论成员企业 CSR 分摊比例如何制定, 在零售商主导的权力结构下的闭环供应链整体将获取更大的总效益. 而当成员企业的 CSR 程度较高时, 若制造商 CSR 分摊比例较低而零售商分摊比例较高, 则在制造商主导的权力结构下的闭环供应链整体将获取更大的总效益; 若制造商 CSR 分摊比例较高而零售商分摊比例较低, 则在零售商主导下获取更大的总效益. 进一步, 通过比较零售商主导与 Nash 非合作博弈下闭环供应链系统整体的总效益, 当成员企业 CSR 程度较低时, 无论成员企业的 CSR 分摊比例如何制定, 在 Nash 非合作博弈的权力结构下的闭环供应链整体将获取更大的总效益. 当成员企业的 CSR 程度较高时, 若制造商 CSR 分摊比例较低而零售商的分摊比例较高, 则在 Nash 非合作博弈的权力结构下的闭环供应链系统整体将获取更大的总效益. 若制造商 CSR 分摊比例较高而零售商的分摊比例较低, 则在零售商主导下获取更大的总效益.

最后, 通过比较制造商主导与 Nash 非合作博弈下系统整体的总效益容易发现: 当成员企业 CSR 程度较低时, 无论 CSR 分摊比例如何制定, 在 Nash 非合作博弈的权力结构下的系统整体都将获取更大的总

效益. 当成员企业CSR程度较高时,若制造商CSR分摊比例较低而零售商分摊比例较高,则在制造商主导的权力结构下系统整体获取更大的总效益;若制造商CSR分摊比例较高而零售商分摊比例较低,则在Nash非合作博弈的权力结构下获取更大的总效益.

4 算例分析

本节通过一个数值算例对本文的主要结论进行分析及验证. 假设模型中的相关参数分别为 $a =$

$260, \beta = 1, k = 2000, c_m = 100, c_r = 50, A = 15, b = 35$. 针对3种不同权力结构下,分别从横向和纵向的角度分析成员企业的CSR程度及分摊比例对闭环供应链的最优定价决策及成员企业利润的影响,具体仿真结果如表1、图1~图4所示.

由表1可以看出:在3种不同的权力结构下,首先,从横向来看,无论制造商的CSR分摊比例如何制定,新产品零售价格随着CSR程度的增强而减小,而市

表1 不同CSR程度及分摊比例下, 3种权力结构下的均衡结果

权力结构	$h \setminus \theta$	零售商主导 ($L = R$)			制造商主导 ($L = M$)			Nash非合作博弈 ($L = N$)		
		0.05	0.5	0.9	0.05	0.5	0.9	0.05	0.5	0.9
w^{L*}	0.3	137.64	137.78	137.96	176.30	171.43	164.15	152.47	153.33	154.44
	0.5	137.31	133.63	128.59	176.08	168.97	159.13	151.89	146.45	139.48
	0.9	136.62	124.42	104.74	175.66	164.52	151.13	150.74	132.69	109.56
p^{L*}	0.3	215.91	207.43	196.60	215.12	202.86	184.53	202.34	191.18	176.88
	0.5	215.79	205.65	191.73	215.24	204.83	190.43	202.34	191.18	176.88
	0.9	215.54	201.69	179.34	215.49	208.39	199.85	202.34	191.18	176.88
τ^{L*}	0.3	0.3858	0.4600	0.5547	0.2244	0.2857	0.3774	0.2883	0.3441	0.4156
	0.5	0.3869	0.4756	0.5973	0.2238	0.2759	0.3478	0.2883	0.3441	0.4156
	0.9	0.3890	0.5103	0.7057	0.2225	0.2581	0.3008	0.2883	0.3441	0.4156
q^{L*}	0.3	44.09	52.57	63.40	44.88	57.14	75.47	57.66	68.82	83.12
	0.5	44.21	54.35	68.27	44.76	55.17	69.57	57.66	68.82	83.12
	0.9	44.46	58.31	80.66	44.51	51.61	60.15	57.66	68.82	83.12

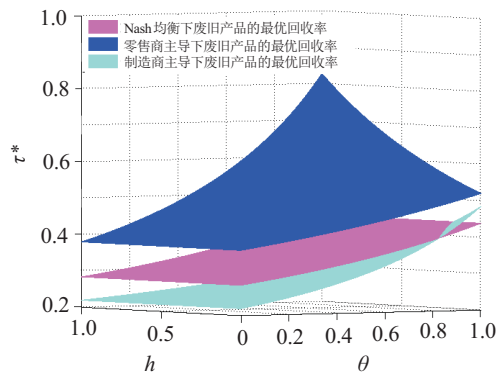


图1 不同权力结构下废旧产品的最优回收率

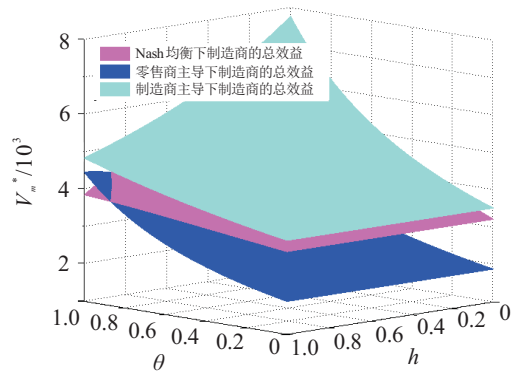


图3 不同权力结构下制造商的总效益

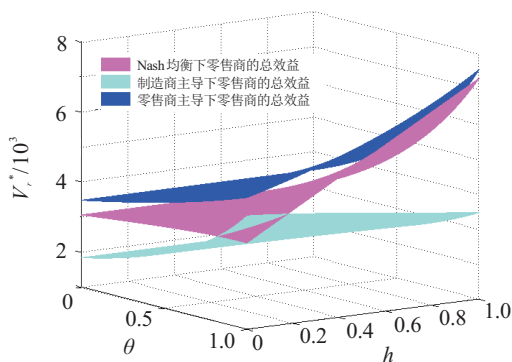


图2 不同权力结构下零售商的总效益

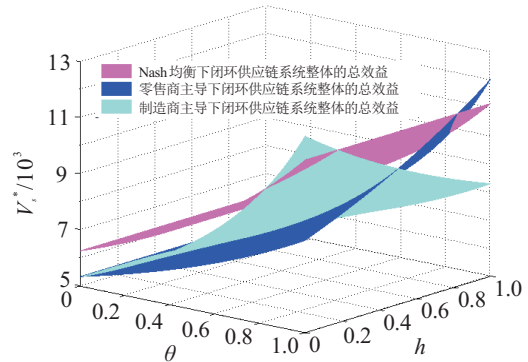


图4 不同权力结构下闭环供应链系统整体的总效益

场需求量及废旧产品回收率均会随着 CSR 程度的增强而增加. 但新产品的批发价格受到 CSR 程度及分摊比例的共同影响. 其次, 从纵向来看, 当成员企业的 CSR 程度一定时, 无论在何种权力结构下, 新产品的批发价格均会随着制造商 CSR 分摊比例的增大而减小. 但新产品的零售价格、市场需求量及废旧产品回收率均受到 CSR 程度及分摊比例的共同影响. 这也进一步表明了文中性质 1~性质 6 的相关研究结果.

图 1 表明, 在 3 种不同的权力结构下, 无论成员企业的 CSR 程度及分摊比例如何, 在零售商主导时废旧产品的回收效果始终是最好的. 这也进一步表明了命题 1 的研究结果.

通过图 2 和图 3 可以看出, 在 3 种不同的权力结构下, 无论成员企业 CSR 程度及分摊比例如何, 零售商或制造商在追求社会福利最大化时获取的总效益均在自身主导的权力结构下是最大的. 这进一步表明了命题 2 和命题 3 的相关研究结果.

图 4 表明, 闭环供应链整体在追求社会福利最大化时的总效益在何种权力结构下最大, 主要取决于成员企业 CSR 程度及分摊比例的共同影响. 这进一步表明了命题 4 的相关研究结果.

5 结 论

本文针对由一个制造商和一个零售商组成的闭环供应链, 分析了 3 种权力结构下考虑 CSR 行为的闭环供应链定价决策问题, 得到以下主要结论: 1) 无论在何种权力结构下, 成员企业的 CSR 行为都有利于降低新产品零售价格、扩大新产品市场需求、提高废旧产品回收率; 2) 无论在何种权力结构下, 随着 CSR 程度的增强, 零售商、制造商以及系统整体在追求社会福利最大化时获取的总效益均在增大; 3) 当成员企业的 CSR 程度一定时, 无论何种权力结构下的最优定价决策均受到制造商 CSR 分摊比例大小的影响; 4) 无论成员企业 CSR 程度及分摊比例如何, 废旧产品的回收效果始终在零售商主导的权力结构下是最好的; 5) 无论成员企业 CSR 程度及分摊比例如何, 零售商和制造商始终在自身主导的权力结构下获取了最大的总效益.

本文的研究仍然假设闭环供应链系统属于“一对一”的简单结构. 下一步将研究具有多个制造商或零售商竞争的考虑 CSR 行为的闭环供应链定价决策等问题.

参考文献(References)

- [1] Maiti T, Giri B C. Two-way product recovery in a closed-loop supply chain with variable markup under price and quality dependent demand[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 183(1): 259-272.
- [2] Servaes H, Tamayo A. The impact of corporate social responsibility on firm value: The role of customer awareness[J]. *Management Science*, 2013, 59(5): 1045-1061.
- [3] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L N V. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing[J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239-252.
- [4] Choi T M, Li Y J, Xu L. Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains[J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 146(1): 371-380.
- [5] Wei J, Govindan K, Li Y J, et al. Pricing and collecting decisions in a closed-loop supply chain with symmetric and asymmetric information[J]. *Computers and Operations Research*, 2015, 54(1): 257-265.
- [6] Yi P X, Huang M, Guo L J, et al. Dual recycling channel decision in retailer oriented closed-loop supply chain for construction machinery remanufacturing[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 137(1): 1393-1405.
- [7] Zheng B R, Yang C, Yang J, et al. Dual-channel closed loop supply chains: Forward channel competition, power structures and coordination[J]. *International Journal of Production Research*, 2017, 55(12): 3510-3527.
- [8] 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[J]. *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[J]. *Management Review*, 2015, 27(4): 187-196.)
- [9] 韩小花, 周维浪, 沈莹, 等. “以旧换再”闭环供应链策略选择及其定价协调研究[J]. *管理评论*, 2018, 30(1): 177-194.
(Han X H, Zhou W L, Shen Y, et al. Trade-old-for-remanufactured program: Strategy selection, pricing and coordination[J]. *Management Review*, 2018, 30(1): 177-194.)
- [10] 吴定玉. 供应链企业社会责任管理研究[J]. *中国软科学*, 2013(2): 55-63.
(Wu D Y. Research on corporate social responsibility management of supply chain[J]. *China Soft Science*, 2013(2): 55-63.)
- [11] Modak N M, Panda S, Sana S S. Corporate social responsibility, coordination and profit distribution in a dual-channel supply chain[J]. *Pacific Science Review*,

- 2014, 16(4): 235-249.
- [12] Panda S, Modak N M. Exploring the effects of social responsibility on coordination and profit division in a supply chain[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 139(1): 25-40.
- [13] Wu Y, Li H, Gou Q, et al. Supply chain models with corporate social responsibility[J]. *International Journal of Production Research*, 2017, 55(22): 6732-6759.
- [14] Alok R. Erratum to “Socially responsible governance mechanisms for manufacturing firms in apparel supply chains” [J]. *International Journal of Production Economics*, 2018, 196(1): 135-149.
- [15] Mohammadreza N, Seyyed-Mahdi H, Joshua I, et al. Coordinating a socially responsible pharmaceutical supply chain under periodic review replenishment policies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 72(1): 25-40.
- [16] 倪得兵, 李璇, 唐小我. 供应链中 CSR 运作: 相互激励、CSR 配置与合作 [J]. *中国管理科学*, 2015, 23(9): 97-105.
(Ni D B, Li X, Tang X W. CSR Operations in supply chains: Mutual incentive csr allocation and cooperation[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(9): 97-105.)
- [17] 段华薇, 严余松, 张亚东. 考虑企业社会责任的物流服务供应链定价与协调 [J]. *控制与决策*, 2016, 31(12): 2287-2292.
(Duan H W, Yan Y S, Zhang Y D. Coordination and price strategy for logistics service supply chains to perform corporate social responsibilities[J]. *Control and Decision*, 2016, 31(12): 2287-2292.)
- [18] 宋杰珍, 黄有方, 谷金蔚. 具有社会责任意识的单生产商-两零售商供应链均衡决策研究 [J]. *管理学报*, 2016, 13(10): 1571-1578.
(Song J Z, Huang Y F, Gu J W. On equilibrium decisions of socially responsible supply chain with one manufacture and two retailers[J]. *Chinese Journal of Management*, 2016, 13(10): 1571-1578.)
- [19] 李金华. 企业社会责任差异化对供应链竞争影响的博弈分析 [J]. *系统科学学报*, 2017, 25(2): 62-66.
(Li J H. The game analysis of the impact of corporate social responsibility differentiation on the competition between two supply chains[J]. *Journal of Systems Science*, 2017, 25(2): 62-66.)
- [20] 李余辉, 倪得兵, 唐小我. 基于企业社会责任的供应链企业质量信号传递博弈 [J]. *中国管理科学*, 2017, 25(7): 38-47.
(Li Y H, Ni D B, Tang X W. Signaling quality in supply chains by corporate social responsibility[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(7): 38-47.)
- [21] 范建昌, 倪得兵, 唐小我. 企业社会责任与供应链产品质量选择及协调契约研究 [J]. *管理学报*, 2017, 14(9): 1374-1383.
(Fan J C, Ni D B, Tang X W. A study on corporate social responsibility, product quality choice and coordination contracts in supply chains[J]. *Chinese Journal of Management*, 2017, 14(9): 1374-1383.)
- [22] Panda S, Modak N M, Cárdenas-Barrón L E. Coordinating a socially responsible closed-loop supply chain with product recycling[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 188(1): 11-21.
- [23] 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.
(Gao J H, Han H S, Hou L T, et al. Decision-making and coordination in closed-loop supply chain with social responsibility[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2014, 20(6): 1453-1461.)
- [24] 易余胤. 不同主导力量下的闭环供应链模型 [J]. *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[J]. *Journal of Systems and Management*, 2010, 19(4): 389-396.)

作者简介

刘珊(1991—), 女, 博士生, 从事闭环供应链管理的研究, E-mail: 18846121312@163.com;

姚锋敏(1981—), 男, 教授, 博士生导师, 从事闭环供应链优化及建模等研究, E-mail: fengmin_yao@hrbust.edu.cn;

陈东彦(1964—), 女, 教授, 博士生导师, 从事系统优化与供应链管理等研究, E-mail: chendongyan@hrbust.edu.cn;

滕春贤(1947—), 男, 教授, 博士生导师, 从事系统分析与优化等研究, E-mail: tengcx@hrbust.edu.cn.

(责任编辑: 李君玲)