

具有企业社会责任的闭环供应链回收及定价决策

姚锋敏¹, 刘珊^{1†}, 陈东彦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: 研究具有企业社会责任的闭环供应链回收渠道选择及定价决策问题. 在3种不同回收渠道结构下, 探讨主导制造商的企业社会责任行为对新产品定价及废旧产品回收的影响. 研究表明, 无论在何种回收渠道结构下, 制造商的企业社会责任行为均有利于扩大新产品市场需求、提高废旧产品回收率. 制造商的企业社会责任行为虽然会导致自身纯利润的减少, 但有利于增加其他成员企业及系统整体的利润, 实现社会福利最大化. 当制造商承担较少企业社会责任时, 其利润较之其他成员总是最大的; 反之, 零售商的利润可能会超过制造商. 从扩大新产品市场需求及提高废旧产品回收率的角度, 制造商在零售商负责回收时实施企业社会责任的效果最好.

关键词: 闭环供应链; 企业社会责任; 社会福利; 主导制造商; 回收渠道选择; 定价决策

中图分类号: F224; C931.1

文献标志码: A

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

YAO Feng-min¹, LIU Shan^{1†}, CHEN Dong-yan², 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: This paper studies the recycling channel choice and pricing decision problems for a closed-loop supply chain with corporate social responsibility (CSR). The effect of a dominant manufacturer's CSR behavior to the pricing of new products and the recycling of waste products is analyzed under three different recycling channel structures. It shows that no matter under what recycling channel structures, the CSR behavior of the manufacturer is conducive to expanding the market demand for new products, and improving the return rate for waste products. The CSR behavior of the manufacturer will lead to decrease in its net profit, but it helps to increase the profits of other enterprises and the whole system, as well as maximizing the social welfare. The profit of the manufacturer is always the biggest compared with that of retailer and third-party collectors when the manufacturer undertakes less CSR, however, the retailer's profit will exceed that of the manufacturer on the contrary. From the point of view of expanding the market demand of new products and improving the recovery rate of waste products, it is best for the manufacturer to implement CSR when the retailers are responsible for recycling.

Keywords: closed-loop supply chain; corporate social responsibility; social welfare; dominant manufacturer; recycling channel choice; pricing decision

0 引言

随着资源的大量消耗以及人们环保理念的不断加强, 企业除了通过正向供应链开展原材料采购、生产及销售等活动, 也利用逆向供应链对废旧产品进行回收及再制造, 即实施闭环供应链管理. 废旧产品的回收及再利用不仅可以减少能源消耗、环境污染, 还可以创造巨大的经济效益. 例如, 我国每年再生资源的回收产值超过6千亿元, 美国每年有价值超过千亿美元的各种产品源于回收及再制造. 因此, 设计有效

的逆向回收渠道对改善企业经营环境及增加经济效益具有重要的现实意义.

针对不同回收渠道结构下的闭环供应链决策及协调等问题, Savaskan等^[1]比较了3种逆向回收渠道, 指出较之制造商自行回收或者第三方回收, 由零售商负责回收的渠道结构是最佳的; Hong等^[2]在零售商和第三方分别负责回收的渠道结构下, 研究指出零售商负责回收时的回收率、渠道利润等不一定总是优于第三方负责回收的情形; Choi等^[3]基于第三方负

收稿日期: 2017-01-13; 修回日期: 2018-04-04.

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(G2018007); 国家自然科学基金项目(71301036, 71701056).

[†]通讯作者. E-mail: 18846121312@163.com.

责回收的渠道结构,比较了3种不同渠道领导力量下的闭环供应链绩效;Wei等^[4]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种闭环供应链决策模型;Hong等^[5]在3种不同回收渠道结构下,分析了广告效应对闭环供应链逆向渠道选择的影响;Liu等^[6]基于混合回收渠道竞争的假设,指出制造商和零售商同时回收的混合回收渠道结构对制造商而言是最佳的.以上有关闭环供应链回收渠道设计及优化的研究取得了大量重要的研究成果,然而他们的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.

现实中,消费者及公众往往比较关注企业在获利的同时是否承担了一定的社会责任,尤其那些处于渠道领导地位的核心企业往往具有更大的承担社会责任的压力^[7].KPMG(毕马威)的调查表明,74%的美国百强企业发布过社会责任报告,全世界TOP250的企业中,80%也都发布过有关社会责任的报告.Reverte等^[8]研究指出,企业承担一定的社会责任对其组织绩效及创新均具有积极影响.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,还要强调在生产过程中对消费者、环境及社会的贡献.Servaes等^[9]研究揭示出那些积极承担了CSR的企业可以从其CSR行为中获得更大的企业价值.

近年来,在供应链中考虑CSR的研究已较为常见.Hsueh等^[10]研究指出,CSR行为对增加供应链网络的整体利润是有利的;Modak等^[11]研究了制造商的CSR行为对产品兼容性的影响;Ni等^[12]分析了CSR行为对供应链成员企业间相互决策的影响;Panda^[13]研究指出,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;进一步,Parda等^[14]还研究了制造商和零售商联合承担CSR时的供应链协调及利润分配问题;郭春香等^[15]构建了考虑CSR行为的供应链博弈模型,给出了协调供应链的收益共享契约;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]针对由一个制造商和两个零售商构成的供应链,分析了制造商和其中一个零售商同时承担CSR时的定价决策问题,表明适度的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;范建昌等^[21]构建了考虑CSR的两阶段供应链决策模型,表明制造商和零售商的

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.

目前,一些学者尝试将CSR行为引入到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,表明制造商的CSR行为有利于增加渠道利润、提高废旧产品回收率;高举红等^[23]基于制造商回收的渠道结构进行研究,表明废旧产品回收率、成员利润均与供应链成员的社会责任效应因子正相关;基于第三方(回收中心)负责回收的渠道结构,李昌兵等^[24]的研究表明提高CSR水平对闭环供应链网络整体是有益的;Pedram等^[25]还研究了CSR行为对闭环供应链网络优化的影响.现有为数不多考虑CSR行为的闭环供应链研究,大多假设回收渠道是固定的,并未对不同回收渠道结构下的均衡策略进行比较,也鲜有研究分析CSR行为对闭环供应链回收渠道选择的影响.

综上,本文在制造商、零售商及第三方分别负责回收的渠道结构下,分析制造商的CSR行为对闭环供应链成员及系统整体绩效的影响,研究CSR行为与新产品销售及废旧产品回收之间的关系.通过比较3种不同回收渠道下的闭环供应链均衡结果,给出具有CSR行为的闭环供应链最佳回收渠道选择及定价策略.本文弥补了现有考虑CSR行为闭环供应链回收渠道设计相对固定的这一缺陷,也为考虑CSR行为的闭环供应链定价决策提供一定理论基础.

1 问题描述与假设

本文假设闭环供应链由一个制造商、一个零售商及一个第三方回收商组成,三者属于完全信息下的Stackelberg博弈,制造商属于渠道的领导者,且承担一定的CSR(现实中,其他成员企业也面临承担社会责任的义务和压力,然而,正如文献[7]等的研究所揭示的,渠道领导者往往有更大的承担社会责任的压力).在正向供应链中,制造商负责新产品的生产及废旧产品的再制造,零售商负责新产品的销售.在逆向供应链中,制造商、零售商及第三方回收商(简称第三方)均可以对废旧产品实施回收.参照文献[1,3]等的研究,假设闭环供应链的需求函数为

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

其中: a 表示市场容量, $a > 0$; p 表示零售商的新产品单位零售价格; β 表示消费者对新产品的价格敏感系数, $\beta > 0$.研究所需的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, $c_m < w$; c_r 表示制造商的单位再制造成本,为了保证再制造对制造商有

意义,假设 $c_r < c_m$; b 表示制造商给零售商(或第三方)回收废旧产品的单位转移支付, $b > 0$; A 表示回收方回收废旧产品的单位服务费用, $A > 0$ 表示回收方支付给消费者的单位费用, $A < 0$ 表示回收方向消费者收取的单位费用,为了使废旧产品的回收具有一定的经济可行性,显然 $b > A$ 且 $c_m - c_r - A > 0$; τ 表示废旧产品的回收率, $0 \leq \tau \leq 1$; $c(\tau)$ 表示废旧产品回收率为 τ 时的回收方的回收努力成本,参照文献[1],假设 $c(\tau) = k\tau^2$, k 表示规模参数, $k > 0$; π_X 表示成员企业 X 的利润,其中 $X = \{m, r, t\}$, 分别表示制造商、零售商及第三方; θ 表示制造商承担 CSR 的程度,假设 $0 \leq \theta \leq 1$; V_m 表示制造商承担一定 CSR 时的总利润, V_s 表示闭环供应链系统整体的利润, $V_s = V_m + \pi_r + \pi_t$.

为了保证文中各成员企业利润函数的凹性、相关表达式的可行性,不同回收渠道结构下的最优回收率在给定范围是有界的. 类似文献[1,4]等的假设,要求规模参数 k 应足够大,即应满足

$$k > \frac{(c_m - c_r - A)(a - \beta c_m) + 2\beta(c_m - c_r - A)^2}{2(4 - \theta)}$$

2 制造商具有 CSR 行为时不同回收渠道闭环供应链的最优决策

2.1 制造商负责回收的情形

制造商负责回收的情形下, 制造商主要负责新产品的生产、废旧产品的回收与再制造,零售商负责新产品的销售. 在分散式决策下, 闭环供应链的所有成员均追求自身利润最大化,此时制造商及零售商的

利润函数可以分别表示为

$$\pi_m^M = (w - c_m)(a - \beta p) + (c_m - c_r - A)\tau(a - \beta p) - k\tau^2, \quad (2)$$

$$\pi_r^M = (p - w)(a - \beta p). \quad (3)$$

为了便于区分,将制造商回收时的各种表达式及均衡结果用加上角标 M 的形式表示.

当制造商承担一定 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)和消费者剩余之和. 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和实际市场价格之间的差额^[22]. 因此,消费者剩余可以表示为

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

制造商承担一定 CSR 下,实现社会福利(总利润)最大化的目标函数为

$$V_m^M = \pi_m^M + \theta CS = (w - c_m + (c_m - c_r - A)\tau)(a - \beta p) - k\tau^2 + \frac{\theta(a - \beta p)^2}{2\beta}. \quad (5)$$

其中: $\theta = 0$ 表示制造商不承担 CSR,即制造商追求自身利润最大化; $\theta = 1$ 表示制造商完全承担 CSR,即制造商追求完美的社会福利最大化.

根据本文两阶段闭环供应链的博弈顺序,采用逆向递推法,不难求得制造商承担一定 CSR 且制造商负责回收下的均衡结果,具体如表 1 第 2 列所示.

表 1 制造商承担 CSR 时,不同回收渠道结构下的均衡结果

	制造商回收 ($L = M$)	零售商回收 ($L = R$)	第三方回收 ($L = T$)
w^{L*}	$\frac{a\Delta_2 + 4k\beta c_m}{\beta(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$	$\frac{a\Delta_2 + \beta c_m \Delta_5}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$	$\frac{a\Delta_4 + 8k\beta c_m}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$
p^{L*}	$\frac{a\Delta_3 + 2k\beta c_m}{\beta(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$	$\frac{a\Delta_6 + k\beta c_m}{\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$	$\frac{a\Delta_7 + 4k\beta c_m}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$
τ^{L*}	$\frac{\Delta_1(a - \beta c_m)}{(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$	$\frac{\Delta_1(a - \beta c_m)}{2(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$	$\frac{\Delta_1(a - \beta c_m)}{4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2}$
q^{L*}	$\frac{2k(a - \beta c_m)}{2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2}$	$\frac{k(a - \beta c_m)}{k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2}$	$\frac{4k(a - \beta c_m)}{4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2}$
π_m^{L*}	$\frac{k\Delta_4(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$	$\frac{k\Delta_2(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$	$\frac{2k\Delta_8(a - \beta c_m)^2}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$
π_r^{L*}	$\frac{4k^2(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$	$\frac{k\Delta_5(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$	$\frac{16k^2(a - \beta c_m)^2}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$
π_t^{L*}	null	null	$\frac{3k\Delta_1^2(a - \beta c_m)^2}{(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$
V_m^{L*}	$\frac{k(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$	$\frac{k(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$	$\frac{2k(a - \beta c_m)^2}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)}$
V_s^{L*}	$\frac{k\Delta_9(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$	$\frac{k\Delta_{10}(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$	$\frac{k\Delta_{11}(a - \beta c_m)^2}{4\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2}$

2.2 零售商负责回收的情形

零售商负责回收的情形下,制造商负责新产品的生产及废旧产品的再制造,零售商主要负责新产品的销售及废旧产品的回收.此时,制造商及零售商的利润函数可以分别表示为(将零售商回收时的各种表达式及均衡结果用加上角标 R 的形式表示)

$$\pi_m^R = (w - c_m)(a - \beta p) + (c_m - c_r - b)\tau(a - \beta p), \quad (6)$$

$$\pi_r^R = (p - w)(a - \beta p) + (b - A)\tau(a - \beta p) - k\tau^2. \quad (7)$$

同样,采用逆向递推法,可求得制造商承担一定CSR且零售商负责回收下,制造商的总利润为

$$V_m^{R*} = \frac{k(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - A))}. \quad (8)$$

在零售商负责回收的情形下,由于制造商的总利润函数 V_m^{R*} 关于单位转移支付 b 是单调递增的,参照文献[1]等的处理方式,不难发现,当 $b = c_m - c_r$ 时,制造商的总利润取得极大值.因此,可以得到

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

进而,制造商承担一定CSR且零售商负责回收下的均衡结果如表1第3列所示.

2.3 第三方负责回收的情形

与2.2节相比较,此时废旧产品的回收主体由零售商变为第三方,则制造商、零售商及第三方的利润函数可以分别表示为(将第三方回收时的各种表达式及均衡结果用加上角标 T 的形式表示)

$$\pi_m^T = (w - c_m + (c_m - c_r - b)\tau)(a - \beta p), \quad (10)$$

$$\pi_r^T = (p - w)(a - \beta p), \quad (11)$$

$$\pi_t^T = (b - A)\tau(a - \beta p) - k\tau^2. \quad (12)$$

同样,采用逆向递推法,可求得制造商承担一定CSR且第三方负责回收下,制造商的总利润为

$$V_m^{T*} = \frac{k(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta(b - A)(c_m - c_r - b))}. \quad (13)$$

与2.2节的处理过程相类似,在第三方负责回收的情形下,容易证明,当 $b = \frac{c_m - c_r + A}{2}$ 时,制造商的总利润取得极大值.因此,可以得到

$$V_m^{T*} = \frac{4k(a - \beta c_m)^2}{2\beta(4k(4 - \theta) - \beta(c_m - c_r - A)^2)}. \quad (14)$$

进而,制造商承担一定CSR且第三方负责回收下的均衡结果如表1第4列所示.

表1中

$$\Delta_1 = c_m - c_r - A,$$

$$\Delta_2 = 2k(2 - \theta) - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_3 = 2k(3 - \theta) - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_4 = 4k(2 - \theta) - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_5 = 4k - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_6 = k(3 - \theta) - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_7 = 4k(3 - \theta) - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_8 = 8k(2 - \theta) - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_9 = 2k(6 - \theta) - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_{10} = 2k(6 - \theta) - 3\beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_{11} = 8k(6 - \theta) - \beta\Delta_1^2.$$

在相关符号及规模参数 k 的假设条件下,容易发现 $a - \beta c_m > 0, \Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_{11} > 0$.

3 均衡结果分析

性质1 $\frac{\partial \tau^{R*}}{\partial \theta} > \frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \theta} > \frac{\partial \tau^{T*}}{\partial \theta} > 0$.

证明 根据表1中的相关均衡结果,易得

$$\frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \theta} = \frac{2k\Delta_1(a - \beta c_m)}{(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial \tau^{R*}}{\partial \theta} = \frac{k\Delta_1(a - \beta c_m)}{2(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial \tau^{T*}}{\partial \theta} = \frac{4k\Delta_1(a - \beta c_m)}{(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial \tau^{R*}}{\partial \theta} - \frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \theta} = \frac{k\beta\Delta_1^3\Delta_{12}(a - \beta c_m)}{2(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \theta} - \frac{\partial \tau^{T*}}{\partial \theta} = \frac{2k\Delta_1\Delta_{13}(a - \beta c_m)}{(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0.$$

其中

$$\Delta_{12} = 4k(4 - \theta) - 3\beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_{13} = 8k^2(4 - \theta)^2 - \beta^2\Delta_1^4.$$

在规模参数 k 的假设条件下, $\Delta_{12} > 0, \Delta_{13} > 0$. 性质1成立. \square

性质1表明,在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,无论在何种回收渠道结构下,随着制造商承担CSR程度的增强,废旧产品的回收率均在增大.这是因为废旧产品回收效率的高低反映了制造商实施CSR行为的努力程度.因此,无论是制造商、零售商或是第三方,都会通过回收更多废旧产品的方式来体现制造商的CSR行为.

Panda等^[22]在零售商负责回收的渠道结构下进行研究,指出制造商承担CSR程度的增强会促使零售商提高废旧产品的回收率. 本文的研究则进一步表明,随着制造商承担CSR程度的增强,在零售商负责回收的渠道结构下,废旧产品回收率的增长幅度最大. 即从提高废旧产品回收率的角度,制造商在零售商负责回收的渠道结构下实施CSR行为的效果最好. 这一结果也是对Panda等相关研究结论的进一步补充.

性质2

$$\begin{aligned} \frac{\partial w^{R*}}{\partial \theta} &< \frac{\partial w^{M*}}{\partial \theta} < \frac{\partial w^{T*}}{\partial \theta} < 0, \\ \frac{\partial p^{R*}}{\partial \theta} &< \frac{\partial p^{M*}}{\partial \theta} < \frac{\partial p^{T*}}{\partial \theta} < 0, \\ \frac{\partial q^{R*}}{\partial \theta} &> \frac{\partial q^{M*}}{\partial \theta} > \frac{\partial q^{T*}}{\partial \theta} > 0. \end{aligned}$$

证明 根据表1中的相关均衡结果,易得

$$\frac{\partial w^{M*}}{\partial \theta} = -\frac{8k^2(a - \beta c_m)}{\beta(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} < 0,$$

$$\frac{\partial w^{R*}}{\partial \theta} = -\frac{k\Delta_5(a - \beta c_m)}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} < 0,$$

$$\frac{\partial w^{T*}}{\partial \theta} = -\frac{32k^2(a - \beta c_m)}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} < 0,$$

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial w^{R*}}{\partial \theta} \right| - \left| \frac{\partial w^{M*}}{\partial \theta} \right| &= \\ \frac{k\Delta_1^2(4k\theta\Delta_{14} + \beta\Delta_5\Delta_1^2)(a - \beta c_m)}{2(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} &> 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial w^{M*}}{\partial \theta} \right| - \left| \frac{\partial w^{T*}}{\partial \theta} \right| &= \\ \frac{8k^2\Delta_1^2\Delta_{15}(a - \beta c_m)}{(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} &> 0. \end{aligned}$$

其中

$$\Delta_{14} = k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2,$$

$$\Delta_{15} = 8k(4 - \theta) - 3\beta\Delta_1^2.$$

在规模参数 k 的假设条件下, $\Delta_{14} > 0, \Delta_{15} > 0$. 同理, 容易证得

$$\begin{aligned} \frac{\partial p^{R*}}{\partial \theta} &< \frac{\partial p^{M*}}{\partial \theta} < \frac{\partial p^{T*}}{\partial \theta} < 0, \\ \frac{\partial q^{R*}}{\partial \theta} &> \frac{\partial q^{M*}}{\partial \theta} > \frac{\partial q^{T*}}{\partial \theta} > 0. \end{aligned}$$

限于篇幅,此处略去. 性质2成立. \square

性质2表明,在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,无论在何种回收渠道结构下,随着制造商承担CSR程度的增强,新产品的零售价格及批发价格均在降低,而新产品的市场需求量却在增加. 这是因为,作为渠道领导者的制造商通过降低新产品批发价格的

方式间接促使零售商适当降低零售价格,最终实现刺激消费的目的.

结合性质1可知,废旧产品的回收率与制造商承担CSR的程度正相关. 因此,随着制造商承担CSR程度的增强,回收方(制造商、零售商或者第三方)会付出更多的努力,从消费者手中回收废旧产品. 所以,制造商的CSR行为不仅会影响正向供应链的新产品定价策略,也会影响逆向供应链的废旧产品回收效果. 进一步,随着制造商承担CSR程度的增强,在零售商负责回收的渠道结构下,新产品的批发价格及零售价格的下降幅度最大,新产品市场需求量的增长幅度最大. 即从新产品定价及市场需求的角度,制造商依然在零售商负责回收的渠道结构下实施CSR行为的效果最好.

性质3

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_m^{L*}}{\partial \theta} &< 0, \quad \frac{\partial \pi_r^{L*}}{\partial \theta} > 0, \quad \frac{\partial \pi_t^{T*}}{\partial \theta} > 0, \\ \frac{\partial V_m^{L*}}{\partial \theta} &> 0, \quad \frac{\partial V_s^{L*}}{\partial \theta} > 0, \end{aligned}$$

其中 $L = \{R, M, T\}$.

证明 由于 $L = \{M, T\}$ 时的证明过程与 $L = R$ 时较为相似,此处只证明 $L = R$ 的情形. 根据表1中的相关均衡结果,易得

$$\frac{\partial \pi_m^{R*}}{\partial \theta} = -\frac{k^3\theta(a - \beta c_m)^2}{\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^3} < 0,$$

$$\frac{\partial \pi_r^{R*}}{\partial \theta} = \frac{k^2\Delta_5(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^3} > 0,$$

$$\frac{\partial \pi_t^{T*}}{\partial \theta} = \frac{24k^2\Delta_1^2(a - \beta c_m)^2}{(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^3} > 0,$$

$$\frac{\partial V_m^{R*}}{\partial \theta} = \frac{k^2(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial V_s^{R*}}{\partial \theta} = \frac{k^2\Delta_{16}(a - \beta c_m)^2}{2\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^3} > 0,$$

其中 $\Delta_{16} = k(8 - \theta) - 2\beta\Delta_1^2$. 在规模参数 k 的假设条件下, $\Delta_{16} > 0$. 性质3成立. \square

性质3表明,在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,无论在何种回收渠道结构下,随着制造商承担CSR程度的增强,制造商的利润在减小,但是闭环供应链其他成员企业的利润、制造商的总利润及闭环供应链系统整体的利润均在增大.

事实上,随着制造商承担CSR程度的增强,作为渠道领导者的制造商通过实施CSR行为,实现了追求社会福利最大化的目的. 虽然制造商牺牲了部分的自身利润,但是使得零售商及第三方从中受益,这也充分体现了具有CSR意识的主导制造商关注其利

益相关者(零售商、第三方、消费者等)的目的.更为重要的是,随着制造商承担CSR程度的增强,闭环供应链系统整体的利润也会有所改善.结合性质1、性质2,制造商实施CSR的行为不但实现了对环境的保护、资源的低消耗;同时,通过再制造这种环保的生产方式,以及降低零售价格刺激消费者购买欲望的定价策略,也扩大了新产品的市场需求.因此,制造商实施CSR的行为实现了“共赢”的局面.

性质4

$$\frac{\partial V_m^{R*}}{\partial \theta} > \frac{\partial V_m^{M*}}{\partial \theta} > \frac{\partial V_m^{T*}}{\partial \theta},$$

$$\frac{\partial V_s^{R*}}{\partial \theta} > \frac{\partial V_s^{M*}}{\partial \theta} > \frac{\partial V_s^{T*}}{\partial \theta}.$$

证明 根据表1中的相关均衡结果,显然

$$\frac{\partial V_m^{R*}}{\partial \theta} - \frac{\partial V_m^{M*}}{\partial \theta} = \frac{k^2 \Delta_1^2 \Delta_{12} (a - \beta c_m)^2}{2(k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)^2 (2k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial V_m^{M*}}{\partial \theta} - \frac{\partial V_m^{T*}}{\partial \theta} = \frac{k^2 \Delta_1^2 \Delta_{17} (a - \beta c_m)^2}{2(k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)^2 (4k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)^2} > 0,$$

即 $\frac{\partial V_m^{R*}}{\partial \theta} > \frac{\partial V_m^{M*}}{\partial \theta} > \frac{\partial V_m^{T*}}{\partial \theta}$, 其中 $\Delta_{17} = 8k(4 - \theta) - 5\beta \Delta_1^2$. 在规模参数 k 的假设条件下, $\Delta_{17} > 0$. 同理, 易证得

$$\frac{\partial V_s^{R*}}{\partial \theta} > \frac{\partial V_s^{M*}}{\partial \theta} > \frac{\partial V_s^{T*}}{\partial \theta}.$$

性质4成立. □

性质4表明,在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,随着制造商承担CSR程度的增强,在零售商负责回收的渠道结构下,制造商的总利润及系统整体的利润增幅均是最大的.事实上,结合性质1、性质2,在零售商负责回收时的废旧产品回收率及新产品的市场需求量的增幅均是最大的,因此无论从正向供应链或者逆向供应链的角度,在零售商负责回收的渠道结构下,必然也对实现制造商社会福利最大化及闭环供应链系统整体利润最大化的目标更有利.

命题1 在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,在3种不同回收渠道结构下, $p^{R*} < p^{M*} < p^{T*}$, $q^{R*} > q^{M*} > q^{T*}$, $\tau^{R*} > \tau^{M*} > \tau^{T*}$.

证明 根据表1中的相关均衡结果,显然

$$p^{R*} - p^{M*} = - \frac{k \Delta_1^2 (a - \beta c_m)}{(k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)(2k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)} < 0,$$

$$p^{M*} - p^{T*} = - \frac{2k \Delta_1^2 (a - \beta c_m)}{(2k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)(4k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)} < 0,$$

$$\tau^{R*} - \tau^{M*} = \frac{\beta \Delta_1^3}{2(k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)(2k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)} > 0,$$

$$\tau^{M*} - \tau^{T*} = - \frac{2k \Delta_1 (4 - \theta)(a - \beta c_m)}{(2k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)(4k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)} > 0.$$

因此, $p^{R*} < p^{M*} < p^{T*}$, $\tau^{R*} > \tau^{M*} > \tau^{T*}$. 结合式(1), 容易发现 $q^{R*} > q^{M*} > q^{T*}$. 命题1成立. □

命题1表明,在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,较之制造商自行回收或者委托第三方负责回收的渠道结构,由零售商负责回收时的新产品零售价格是最底的,而新产品的市场需求量及废旧产品的回收率是最高的.这一现象与Savaskan等^[1]、Hong等^[5]在不考虑CSR时的研究结论是一致的.结合性质1,本文的研究进一步揭示出,无论在何种回收渠道结构下,制造商实施CSR的行为均可以提高废旧产品的回收率,但是在零售商负责回收的渠道结构下,制造商实施CSR行为的效果最好.

命题2 在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,在3种不同回收渠道结构下, $\pi_m^{R*} > \pi_m^{M*} > \pi_m^{T*}$, $\pi_r^{R*} > \pi_r^{M*} > \pi_r^{T*}$, $V_m^{R*} > V_m^{M*} > V_m^{T*}$, $V_s^{R*} > V_s^{M*} > V_s^{T*}$.

证明 根据表1中的相关均衡结果,显然

$$\pi_m^{R*} - \pi_m^{M*} = \frac{k(2k \Delta_{18} + \beta^2 \Delta_1^4) \Delta_1^2 (a - \beta c_m)^2}{2(2k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)^2 (k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$\pi_m^{M*} - \pi_m^{T*} = \frac{k(4k \Delta_{19} + \beta^2 \Delta_1^4) \Delta_1^2 (a - \beta c_m)^2}{(k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)^2 (4k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)^2} > 0.$$

易证得 $\pi_r^{R*} > \pi_r^{M*} > \pi_r^{T*}$. 进一步,

$$V_m^{R*} - V_m^{M*} = \frac{k \Delta_1^2 (a - \beta c_m)^2}{2(k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)(2k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)} > 0,$$

$$V_m^{M*} - V_m^{T*} = \frac{k \Delta_1^2 (a - \beta c_m)^2}{(k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)(4k(4 - \theta) - \beta \Delta_1^2)} > 0.$$

其中

$$\Delta_{18} = k(4 - \theta)(4 - 3\theta) - 3\beta(2 - \theta)\Delta_1^2,$$

$$\Delta_{19} = 2k(4 - \theta)(4 - 3\theta) - 3\beta(2 - \theta)\Delta_1^2.$$

在规模参数 k 的假设条件下, $\Delta_{18}, \Delta_{19} > 0$. 类似地, 容易证得 $V_s^{R*} > V_s^{M*} > V_s^{T*}$. 命题2成立. □

命题2表明,在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,在零售商负责回收的渠道结构下,制造商和零

售商的利润、制造商追求社会福利最大化的总利润以及闭环供应链整体的利润均是最大的。

事实上, 由于在零售商负责回收的渠道结构下, 废旧产品的回收率及新产品的市场需求量都是最大的, 因此制造商和零售商均在零售商负责回收时获得了更大的利润. 作为领导者的制造商追求社会福利最大化, 不仅包含正向供应链中的消费者剩余, 还包含了逆向供应链中废旧产品的回收收益. 因此, 制造商社会福利最大化的目标也必然在新产品需求量最大且废旧产品回收率最高时, 即在零售商负责回收的渠道结构下实现. 最后, 由于闭环供应链整体的利润由制造商的总利润与零售商的利润构成, 显然闭环供应链整体的利润也在零售商负责回收的渠道结构下是最大的. 本文的这一研究结果是对文献[11]在不考虑CSR时类似研究结论的进一步扩展.

命题3 在制造商承担一定CSR的闭环供应链中, 在3种不同回收渠道结构下, $V_m^{M*} > \pi_r^{M*}, V_m^{R*} > \pi_r^{R*}, V_m^{T*} > \pi_r^{T*} > \pi_t^{T*}$.

证明 根据表1中的相关均衡结果, 显然

$$V_m^{M*} - \pi_r^{M*} = \frac{k\Delta_2(a - \beta c_m)^2}{\beta(2k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$V_m^{R*} - \pi_r^{R*} = \frac{k\Delta_2(a - \beta c_m)^2}{4\beta(k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$V_m^{T*} - \pi_r^{T*} = \frac{2k\Delta_4(a - \beta c_m)^2}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

$$\pi_r^{T*} - \pi_t^{T*} = \frac{k\Delta_{20}(a - \beta c_m)^2}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

其中 $\Delta_{20} = 16k - 3\beta\Delta_1^2$. 在规模参数 k 的假设条件下, $\Delta_{20} > 0$. 命题3成立. \square

命题3表明, 在制造商承担一定CSR的闭环供应链中, 无论在何种回收渠道结构下, 较之其他成员企业, 主导制造商追求社会福利最大化时所获取的总利润始终是最多的. 在第三方负责回收的渠道结构下, 第三方的利润是最少的.

事实上, 由于具有CSR行为的主导制造商追求社会福利最大化, 在获取自身利润的同时还获得了一定的消费者剩余, 这使得制造商所获取的总利润总是最大的. 在第三方负责回收的渠道结构下, 由于第三方在闭环供应链的利润分配过程中只获得制造商给予的一部分转移支付, 较之制造商及负责新产品销售的零售商(零售商通过销售新产品会获得一部分渠道利润), 第三方获取的利润总是最少的.

命题4 1) 在零售商负责回收或者制造商自行回收的渠道结构下, 当 $0 \leq \theta < \theta^*$ 时, $\pi_m^{R*} > \pi_r^{R*}, \pi_m^{M*} > \pi_r^{M*}$; 当 $\theta^* \leq \theta \leq 1$ 时, $\pi_m^{R*} \leq \pi_r^{R*}, \pi_m^{M*} \leq$

π_r^{M*} , 其中 $\theta^* = (4k - \beta\Delta_1^2)/4k$. 2) 在第三方负责回收的渠道结构下, 当 $0 \leq \theta < \theta^{**}$ 时, $\pi_m^{T*} > \pi_r^{T*} > \pi_t^{T*}$; 当 $\theta^{**} \leq \theta \leq 1$ 时, $\pi_m^{T*} < \pi_r^{T*} \leq \pi_t^{T*}$, 其中 $\theta^{**} = (8k - \beta\Delta_1^2)/8k$.

证明 1) 根据表1中零售商负责回收下的制造商及零售商利润函数的表达式, 令 $f(\theta) = \pi_m^{R*} - \pi_r^{R*} = 0$, 可求得唯一的非负根 $\theta^* = (4k - \beta\Delta_1^2)/4k$. 结合性质3, 显然 $\partial f(\theta)/\partial \theta = \partial \pi_m^{R*}/\partial \theta - \partial \pi_r^{R*}/\partial \theta < 0$, 即 $f(\theta)$ 在 $[0, 1]$ 区间上是单调递减的. 因此, 当 $0 \leq \theta < \theta^*$ 时, $\pi_m^{R*} > \pi_r^{R*}$, 当 $\theta^* \leq \theta \leq 1$ 时, $\pi_m^{R*} \leq \pi_r^{R*}$. 同理, 可证明制造商自行回收下的相应结果, 此处略去详细证明过程.

2) 根据表1中第三方负责回收下的制造商、零售商及第三方利润函数的表达式. 令 $g(\theta) = \pi_m^{T*} - \pi_r^{T*} = 0$, 可求得唯一的非负根 $\theta^{**} = (8k - \beta\Delta_1^2)/8k$. 与结论1)的分析相似, 容易发现: 当 $0 \leq \theta < \theta^{**}$ 时, $\pi_m^{T*} > \pi_r^{T*}$; 当 $\theta^{**} \leq \theta \leq 1$ 时, $\pi_m^{T*} \leq \pi_r^{T*}$. 进一步, 显然有

$$\pi_m^{T*} - \pi_t^{T*} = \frac{k\Delta_{21}(a - \beta c_m)^2}{\beta(4k(4 - \theta) - \beta\Delta_1^2)^2} > 0,$$

其中 $\Delta_{21} = 16k(2 - \theta) - \beta\Delta_1^2$. 在规模参数 k 的假设条件下, $\Delta_{21} > 0$. 结合命题3, $\pi_r^{T*} - \pi_t^{T*} > 0$, 因此, 当 $0 \leq \theta < \theta^{**}$ 时, $\pi_m^{T*} > \pi_r^{T*} > \pi_t^{T*}$; 当 $\theta^{**} \leq \theta \leq 1$ 时, $\pi_m^{T*} < \pi_r^{T*} \leq \pi_t^{T*}$. 命题4成立. \square

命题4表明, 在制造商承担一定CSR的闭环供应链中, 无论在何种回收渠道结构下, 当制造商承担较少CSR时 ($0 \leq \theta < \theta^*$ 或 $0 \leq \theta < \theta^{**}$), 制造商总是获得了较之零售商及第三方更多的渠道利润, 且第三方的利润总是最小的. 当制造商承担较多CSR时 ($\theta^* \leq \theta \leq 1$ 或 $\theta^{**} \leq \theta \leq 1$), 第三方的利润仍是最小的, 但零售商的利润会超过制造商的利润.

事实上, 结合性质3, 无论在何种回收渠道结构下, 随着制造商承担CSR程度的增强, 制造商的利润在逐渐减小, 而零售商及第三方的利润在逐渐增大, 即制造商的利润与其他成员企业的利润出现了此消彼长的现象. 这也说明了制造商通过承担较多CSR(此时制造商牺牲了部分利润), 实现让利于零售商、第三方及消费者的目的同时, 也实现了社会福利最大化的目的(结合性质3, 此时闭环供应链整体的利润在增加). 反之, 当制造商只承担较少CSR时, 制造商同样牺牲了部分利润来实现社会福利最大化, 但不足以导致制造商的利润会小于零售商(制造商作为渠道领导者仍然获得了较之其他跟随者更多的渠道利润). 无论制造商承担CSR的程度如何, 第三方作为辅助回收废旧产品的一方, 并未参与新产品的生产

及销售,通常只会获得较之制造商及零售商更少的利润.

现实中,渠道领导者通常会获得较之其他跟随者更多的渠道利润(Qin等^[26]的研究表明,渠道领导者一般会获得一半以上的渠道利润).然而本文的研究进一步揭示出,如果制造商承担较多CSR,虽然可能会出现制造商的利润小于零售商的情况,但是制造商实现了社会福利最大化的目的(事实上,结合命题3,此时制造商的总利润仍然要大于零售商),这与现实中的一些现象也是一致的.例如,Nike公司通过积极承担CSR并让利于成员企业的方式,不仅实现了供应链整体绩效的改善,也实现了对消费者、环境及社会的贡献.

4 数值仿真分析

本节通过一个数值算例对文中主要结论进行检验.假设文中的相关参数分别为 $D(p) = 260 - p$, $c_m = 100, c_r = 60, k = 1200, A = 20, b = 40$.根据本文的相关研究结果,制造商承担一定CSR时,在不同回收渠道结构下的均衡变量如表2所示.

表2 制造商承担CSR时,不同回收渠道下的均衡变量

	θ 值				
	0.001	0.05	0.1	0.45	0.9
w^{R*}	179.98	178.89	177.76	168.81	153.98
w^{M*}	176.50	175.42	174.29	165.42	150.91
w^{T*}	178.28	177.24	176.16	167.69	153.92
p^{R*}	216.35	215.76	215.14	210.26	202.17
p^{M*}	218.25	217.71	217.14	212.71	205.45
p^{T*}	219.14	218.62	218.08	213.85	206.96
τ^{R*}	0.364	0.369	0.374	0.415	0.482
τ^{M*}	0.348	0.352	0.357	0.394	0.455
τ^{T*}	0.170	0.172	0.175	0.192	0.221

由表2可以看出,在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,无论在何种回收渠道结构下,随着制造商承担CSR程度的增强,新产品的批发价格及零售价格均在降低,但废旧产品的回收率却在提高.在零售商负责回收的渠道结构下,新产品的零售价格是最低的,废旧产品的回收率是最高的.这表明,由零售商负责废旧产品回收的渠道结构,对扩大新产品的市场需求及提升废旧产品的回收效果都是最佳的,这也验证了本文的性质1、性质2及命题1.

由图1可以看出,在制造商承担一定CSR的闭环供应链中,无论在何种回收渠道结构下,随着制造商承担CSR程度的增强,零售商的利润、制造商的总利润以及闭环供应链整体的利润都会随之增大,但制造商的利润却在减小.进一步,在零售商负责回收的渠道结构下,闭环供应链各成员企业及闭环供应链整

体的利润均是最大的,在第三方负责回收的渠道结构下,闭环供应链各成员企业及闭环供应链整体的利润均是最小的,这也验证了本文的性质3及命题2.

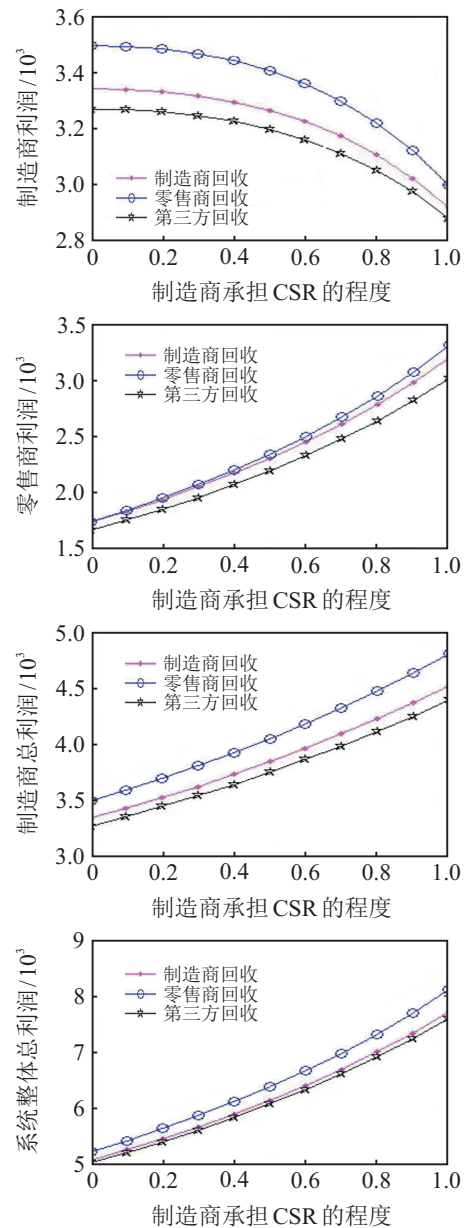


图1 不同回收渠道结构下的成员企业利润

本文的研究表明,在零售商负责回收的渠道结构下,主导制造商实施CSR行为的效果最好.因此,此处只通过数值算例分析命题4中零售商负责回收渠道结构下的相关结论,结果如图2所示.

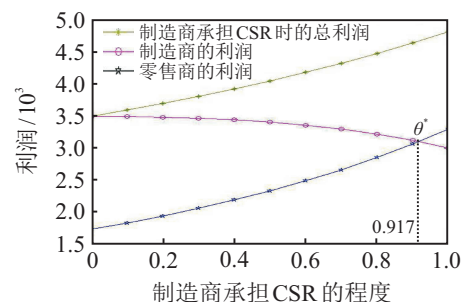


图2 零售商负责回收下的成员企业利润

由图2可以看出,随着制造商承担CSR程度的增强,零售商的利润、制造商的总利润均在增大,但制造商的利润却在减小。当制造商承担较少CSR时($0 \leq \theta < 0.917$),制造商的利润总是大于零售商的利润;然而,当制造商承担较多CSR时($0.917 \leq \theta \leq 1$),零售商的利润可能会超过制造商,这也验证了本文命题4中的部分结论。

5 结论

本文针对由一个具有CSR行为的主导制造商、一个零售商以及一个第三方构成的闭环供应链,在3种不同回收渠道结构下,分析了制造商的CSR行为对闭环供应链成员及系统整体最优决策的影响,得到以下主要结论:

1)无论在何种回收渠道结构下,制造商的CSR行为均有利于扩大新产品的市场需求、提高废旧产品的回收率。

2)无论在何种回收渠道结构下,制造商的CSR行为均不利于自身利润的增加,但有利于零售商、第三方及闭环供应链系统整体利润的增加,以及实现社会福利最大化。

3)无论在何种回收渠道结构下,当制造商承担较少CSR时,制造商总是获得了较之零售商及第三方更多的渠道利润,且第三方的利润总是最小的;反之,零售商的利润会超过制造商。

4)从扩大新产品市场需求及提高废旧产品回收率的角度,制造商在零售商负责回收时实施CSR行为的效果最好。

本文的研究只考虑了主导制造商的CSR行为,并且仍然基于信息对称的假设,进一步可以研究多个成员企业同时具有CSR行为,以及信息不对称下具有CSR行为的闭环供应链决策及协调等问题。

参考文献(References)

- [1] 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.
- [2] Hong I H, Yeh J S. Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry: A retailer collection application[J]. *Transportation Research Part E*, 2012, 48(4): 817-829.
- [3] Choi T M, Li Y J, Xu L. Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains[J]. *Int J of Production Economics*, 2013, 146(1): 371-380.
- [4] 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.
- [5] Hong X P, Xu L, Du P, et al. Joint advertising, pricing and collection decisions in a closed-loop supply chain[J]. *Int J of Production Economics*, 2015, 167(1): 12-22.
- [6] Liu L W, Wang Z J, Xu L, et al. Collection effort and reverse channel choices in a closed-loop supply chain[J]. *J of Cleaner Production*, 2017, 144(1): 492-500.
- [7] Amaeshi K M, Osuji O K, Nnodim P. Corporate social responsibility in supply chains of global brands: A boundaryless responsibility? Clarifications, exceptions and implications[J]. *J of Business Ethics*, 2008, 81(1): 223-234.
- [8] Reverte C, Gomez-Melero E, Cegarra-Navarro J G. The influence of corporate social responsibility practices on organizational performance: Evidence from eco-responsible Spanish firms[J]. *J of Cleaner Production*, 2016, 112(1): 2870-2884.
- [9] 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.
- [10] Hsueh C F, Chang M S. Equilibrium analysis and corporate social responsibility for supply chain integration[J]. *European J of Operational Research*, 2008, 190(1): 116-129.
- [11] Modak N M, Panda S, Sana, S S, et al. Corporate social responsibility, coordination and profit distribution in a dual-channel supply chain[J]. *Pacific Science Review*, 2014, 16(4): 235-249.
- [12] Ni D B, Li K W. A game-theoretic analysis of social responsibility conduct in two-echelon supply chains[J]. *Int J of Production Economics*, 2012, 138(2): 303-313.
- [13] Panda S. Coordination of a socially responsible supply chain using revenue sharing contract[J]. *Transportation Research Part E*, 2014, 67(C): 92-104.
- [14] Panda S, Modak N M. Exploring the effects of social responsibility on coordination and profit division in a supply chain[J]. *J of Cleaner Production*, 2016, 139(1): 25-40.
- [15] 郭春香, 李旭升, 郭耀煌. 社会责任环境下供应链的协作与利润分享策略研究[J]. *管理工程学报*, 2011, 25(2): 103-108.
(Guo C X, Li X S, Guo Y H. Coordination and profit sharing strategies for supply chains to perform corporate social responsibilities[J]. *J of Industrial Engineering/Engineering Management*, 2011, 25(2): 103-108.)
- [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 J 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 J 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]. J 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 J 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 J 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]. Int J 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] 李昌兵, 杨宇, 何亚辉. 基于企业社会责任的闭环供应链超网络均衡模型[J]. 统计与决策, 2017, 5: 172-177.
 (Li C B, Yang Y, He Y H. Closed-loop supply chain network equilibrium model based on the corporate social responsibility[J]. Statistics and Decision, 2017, 5: 172-177.)

[25] Pedram A, Pedram P, Yusoff N B, et al. Development of closed-loop supply chain network in terms of corporate social responsibility[J]. Plos One, 2017, 12(4): 1-20.

[26] Qin Z, Yang J. Analysis of a revenue-sharing contract in supply chain management[J]. Int J of Logistics Research & Applications, 2008, 11(1): 17-29.

作者简介

姚锋敏 (1981—), 男, 副教授, 博士, 从事闭环供应链管理研究, E-mail: fengmin_yao@hrbust.edu.cn;
 刘珊 (1991—), 女, 博士生, 从事闭环供应链优化及建模的研究, E-mail: 18846121312@163.com;
 陈东彦 (1964—), 女, 教授, 博士, 从事系统优化、供应链管理研究, E-mail: chendongyan@hrbust.edu.cn;
 滕春贤 (1949—), 男, 教授, 硕士, 从事系统分析与优化等研究. E-mail: tengcx@hrbust.edu.cn.

(责任编辑: 孙艺红)

下 期 要 目

水泥熟料烧成系统建模方法研究进展 李凡军, 等
 四端输出三相-两相矩阵变换器间接控制策略 许宇翔, 等
 基于邻域粒化条件熵的增量式属性约简算法 赵小龙, 等
 改进的灰狼优化算法及其高维函数和FCM优化 张新明, 等
 永磁同步电机调速系统的多维泰勒网逆控制 张 超, 等
 线性连续时间时滞系统的有限时间有界跟踪控制 廖福成, 等
 简化高阶强跟踪容积分卡尔曼滤波及其在组合导航中的应用 郝顺义, 等
 加权中心人工蜂群算法 孙 辉, 等
 液压驱动单元基于力的阻抗控制方法控制参数灵敏度分析 俞 滨, 等
 非结构环境下的机器人自适应变阻抗力跟踪控制方法 甘亚辉, 等