

文章编号:1005-0523(2016)02-0139-08

考虑可再利用率的双渠道闭环供应链定价决策

郭军华¹,朱文正¹,倪明¹,朱佳翔²

(1. 华东交通大学经济管理学院,江西 南昌 330013; 2. 常州大学经济管理学院,江苏 常州 213164)

摘要:引入废旧电子产品的可再利用率,分别建立了由制造商负责回收,零售商负责回收,第三方负责回收的双渠道闭环供应链模型。运用博弈论对模型进行分析,研究了废旧电子产品的可再利用率对双渠道闭环供应链的渠道价格的影响,分别得出了在各种回收模式下最优的产品批发价格,网络销售价格,零售商零售价格,废旧电子产品的回收价格,补偿回收价格以及供应链各节点企业的利润。研究发现:废旧电子产品的可再利用率对制造商的利润是一个关键因素,无论何种回收模式下,制造商的利润随着废旧品再利用率的增大而增大,而对于零售商和第三方来说只有在它们参与回收时才会对利润产生正相关的影响,废旧电子产品的可再利用率对产品的零售与批发价格无影响,但是对废旧电子产品的回收价格、回收补偿价格和回收量有很大关系,它们随其提高而增大。

关键词:可再利用率;博弈论;闭环供应链;定价

中图分类号:G807.4

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.02.021

随着自然资源的减少和环境问题的严峻,回收再制造受到社会各界的广泛重视,越来越多的制造商利用回收的废旧电子产品进行再制造^[1]。电子产品行业回收再制造发展较快,回收后的废旧电子产品的可再利用率的大小逐渐成为衡量企业再制造发展的一个重要标准。再制造的发展使以前的单向供应链模式发展成为包含正向供应链以及回收和退货在内的逆向供应链的闭环供应链模式。闭环供应链(closed loop supply chains,简称 CLSC)是指企业从采购到最终销售的完整供应链循环,包括产品回收与生命周期支持的逆向物流,它实现了“资源—生产—消费—再生资源”的闭环反馈式循环,从根本上降低了对环境的不良影响^[2]。

当前,关于闭环供应链定价决策问题的研究已取得了很多成果,主要有 Karakayli(2007)讨论了集中式决策下,制造商作为领导者和第三方回收商作为领导者时耐用品的定价决策问题,并采用两步定价契约对后两种市场权力结构下的分散式闭环供应链进行了协调^[3];在此基础上,Savaska等(2006)在零售商竞争环境下进一步研究了制造商的回收渠道选择和产品定价策略的相互影响问题^[4];李响和李勇建(2012)建立了存在回收竞争的多个再制造商的回收定价竞争模型^[5];胡燕娟等(2009)在零售商回收渠道的基础上加入制造商回收渠道,分别研究了单一回收渠道和复合回收渠道的最优定价决策^[6];陈娟等(2010)以高残值易逝品为研究对象,分析了单、双回收渠道下产品销售率和回收速度对闭环供应链再制造的经济效益的影响,并给出了相关的管理建议^[7];聂佳佳等(2014)在考虑再制造产品质量的情况下,建立了制造商负责回收的闭环供应链模型和零售商负责回收的闭环供应链模型,研究了再制造产品质量对闭环供应链回收渠道选择的影响,分别得出了最优产品价格、产品质量和企业利润,并分析对比了两个模型^[1]。随

收稿日期:2015-09-16

基金项目:国家社会科学基金重点资助项目(13AZD062);国家社会科学基金项目(12BGL104,13BGL157);国家自然科学基金资助项目(71261005,71262011);江西省自然科学基金资助项目(20122BAB211011);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ150524)

作者简介:郭军华(1976—),男,副教授,博士,研究方向为物流与供应链管理。

着电子商务的快速发展拓展了企业营销模式,使得传统零售与网上直销并存的双渠道销售模式成为企业的主要销售模式^[8]。目前,在双渠道销售模式中研究闭环供应链回收渠道的问题的文献已有不少;许茂增等(2013)基于第三方回收的双渠道闭环供应链,运用博弈论构建了模型,分析和比较集中决策与分散决策对供应链成员最优定价策略和利润的影响,并设计了一个利润共享——费用分担契约来实现双渠道闭环供应链的协调^[9];洪宪培等(2012)考察了具有直接销售渠道和间接销售渠道的闭环供应链的定价以及制造商回收渠道的选择等问题,构建了3种不同回收渠道下的闭环供应链模型^[10]。

现有的很多关于闭环供应链定价决策研究的文献多是基于回收成本外生,将废旧产品的回收率当作固定参数来考虑,而且大多数文献并没有考虑到回收产品的可再利用率及其对整条供应链各节点企业的影响。在现实情况中,废旧产品的回收量是与回收价格以及社会环保意识等因素相互关联变化的,回收率并不是固定不变的,而且所回收来的废旧电子产品用于再制造的实际可再利用率并不是理想的100%,是有现实差距的。在现有文献的基础上,考虑废旧电子产品的实际回收量为回收价格的简单线性函数,并在综合考虑废旧电子产品的可再利用率的情况下,研究双渠道闭环供应链的各参与者针对不同的回收模式,如何根据实际情况做出最优的定价策略,实现各自的利润最大化。

1 问题描述

考虑制造商和零售商组成的二级供应链,制造商不仅利用传统通渠道通过零售商来销售产品,而且还实行网络直销的渠道来销售产品,且制造商利用回收来的废旧电子产品(后面简称废旧品)进行再制造。为了探究要研究的问题,本文提出如下假设。

1) 假设制造商用完全新新材料制造的产品与用回收来的废旧品生产出来的再制造产品是同质的,没有质量差别^[4],消费者购买倾向相同,只考虑单个生产周期的情形,生产的新产品仅能回收再利用一次,类似的产品如复印机、电脑、手机等^[11]。

2) 假设制造商采用新质材料生产的新产品的单位生产成本为 c_m , 采用回收废旧品生产的再制造产品单位生产成本为 c_r , 并假定 $0 < c_r < c_m < 1$ ^[11], 这反映了再制造的成本节约优势,令制造商实施产品再制造单位产品可以节省成本为 Δ , 则 $\Delta = c_m - c_r > 0$ ^[11], 与 Ferrer 等(2006)^[12]的研究所采用的成本结构类似,本文不考虑固定成本。

3) 假设不考虑零售商销售成本和制造商的网络销售成本, 制造商在传统的零售渠道以批发价格 ω 将产品批发给零售商,零售商以零售价格 p_r 将产品销售给消费者,同时制造商在自建的网上直销渠道以直销价格 p_i 将产品销售给消费者,假设传统的零售渠道与网上直销渠道在市场上相互竞争,则零售渠道与直销渠道的需求函数^[13]分别为: $D_r = \mu a - p_r + \theta p_i$, $D_i = (1 - \mu)a - p_i + \theta p_r$; 式中: D_r 表示零售渠道的市场需求量, D_i 表示直销渠道的市场需求量, $a(a > 0)$ 为市场总需求量, $\mu(0 < \mu < 1)$ 为零售商在零售渠道所占的市场份额, $(1 - \mu)$ 为制造商在直销渠道所占的市场份额, $\theta(0 < \theta < 1)$ 为两个渠道之间的交叉价格影响系数。

4) 假设 $G_{(x)}$ 为负责回收的回收方所回收到的废旧品数量,其是关于回收价格 $r_x(x = M, R$ 时分别表示制造商 M、零售商 R、第三方 T 负责回收废旧产品的最初回收价格)的线性函数^[14]为: $G_{(x)} = h + k r_x$, h 为没有人出价回收时社会环保意识下的废旧产品回收量, k 为正数系数。

5) 当由零售商或第三方回收方以价格 r_j 向消费者回收废旧产品时, 制造商向其支付的回收补偿价格为 $b_j(j = R, T$ 分别表示制造商 M 从零售商 R 或第三方 T 处每获得一单位废旧产品时向其支付的回收补偿价格为 b_R 或 b_T), 且有 $(r_i < b_j < \Delta)$ ^[15-17]。

6) 最终回收到制造商那里的废旧产品的可再利用率为 ρ ^[18] ($0 \leq \rho \leq 1$), 即制造商可用于再制造生产的废旧品数量为: $\rho G_{(M)}$ 。

2 建模和分析

2.1 模型一:制造商回收模式(M)

在此模式中,制造商一方面以批发价 ω 将产品卖给零售商,另一方面以价格 p_i 通过网络渠道销售,零售商以价格 p_r 来出售产品,制造商自己负责回收废旧品,以单位回收价格 r_m 从市场回收,如图1所示, $\Pi_{M(M)}$ 表示制造商回收模式下制造商的利润, $\Pi_{R(M)}$ 表示制造商回收模式下零售商的利润。

此时制造商的利润函数分别为

$$\begin{aligned} \Pi_{M(M)} &= (\omega - c_m)D_r + (p_i - c_m)D_i + G_{(M)}\rho \Delta - G_{(M)}r_m \\ &= (\omega - c_m)(\mu a - p_r + \theta p_i) + (p_i - c_m)[(1 - \mu)a - p_i + \theta p_r] + [\rho(c_m - c_r) - r_m](h + k r_m) \end{aligned} \quad (1)$$

零售商的利润函数为

$$\Pi_{R(M)} = (p_r - \omega)D_r = (p_r - \omega)(\mu a - p_r + \theta p_i) \quad (2)$$

在制造商回收模式(M)下,制造商和零售商均以各自的利润最大化作为目标来进行决策,假设制造商与零售商的博弈属于 Stackelberg 博弈,且制造商是博弈的领导者,零售商为跟随者,即制造商首先决定批发价格 $\omega_{(M)}$ 、网络销售价格 $p_{i(M)}$ 以及回收价格 r_m ,然后零售商再根据制造商提供的批发价格和网络销售价格来确定自己的零售价格 $p_{r(M)}$ 。根据逆向推导法,首先确定零售商的最优零售价格 $p_{r(M)}^*$ 和制造商的最优回收价格 r_m^* ,由式(2)对 p_r 求偏导数,可得 p_r 关于 ω 和 p_i 的最优反应函数为

$$p_r(\omega, p_i) = (\omega + \mu a + \theta p_i) / 2 \quad (3)$$

由式(1)关于 r_m 的二阶导数 $\frac{\partial^2 \Pi_{M(M)}}{\partial r_m^2} = -2k < 0$ 可知 $\Pi_{M(M)}$ 是 r_m 的严格凹函数,故式(1)存在 r_m 的最优解为

$$r_m^* = [\rho(c_m - c_r)k - h] / 2k \quad (4)$$

因此可以看出回收价格 r_m 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数,随 ρ 的增大而增大。

再对式(1)分别对 ω_m 和 p_i 求一阶偏导数,并令其为0,联立式(3)可以解得制造商的最优批发价,最优网络销售价格 $p_{i(M)}^*$ 和零售商的最优零售价格 $p_{r(M)}^*$ 分别为

$$\omega_{(M)}^* = a[\mu + (1 - \mu)\theta] / 2(1 - \theta^2) + c_m / 2 \quad (5)$$

$$p_{i(M)}^* = a[1 - \mu(1 - \theta)] / 2(1 - \theta^2) + c_m / 2 \quad (6)$$

$$p_{r(M)}^* = a[3\mu + 2(1 - \mu) - \mu\theta] / 4(1 - \theta^2) + (1 + \theta)c_m / 4 \quad (7)$$

根据所求结果可以看出,制造商回收时产品批发价格 $\omega_{(M)}$ 、网络销售价格 $p_{i(M)}$ 和零售商零售价格 $p_{r(M)}$ 是与废旧品可再利用率 ρ 无关的函数,故 ρ 的大小对它们没有直接的影响。

将式(6)和式(7)代入需求函数中,可得零售需求量 $D_{r(M)}^*$ 和网络需求量 $D_{i(M)}^*$ 分别为

$$D_{r(M)}^* = [\mu a - (1 - \theta)c_m] / 4 \quad (8)$$

$$D_{i(M)}^* = a[2(1 - \mu) + \mu\theta] - (1 - \theta)(2 + \theta)c_m / 4 \quad (9)$$

根据式(8)式(9)两个表达式同理可以得出产品的零售需求量 $D_{r(M)}$ 和网络需求量 $D_{i(M)}$ 与废旧品可再利用率 ρ 的大小无关。

将式(4)代入回收函数中可得回收量为

$$G_{(m)}^* = [\rho(c_m - c_r)k + h] / 2 \quad (10)$$

因此回收量 $G_{(m)}$ 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数,随 ρ 的提高而增大。

综合以上各式可得出在制造商回收模式(M)下制造商和零售商的最优利润及供应链总利润为

$$\Pi_{M(M)}^* = [a^2(\mu^2\theta^2 + 4(1 - \mu)\mu\theta + 3\mu^2) - 2a(1 - \theta^2)(2 - \mu + \mu\theta)c_m + (1 - \theta^2)(3 - 2\theta - \theta^2)c_m^2] / 8(1 - \theta^2) + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2 / 4k \quad (11)$$

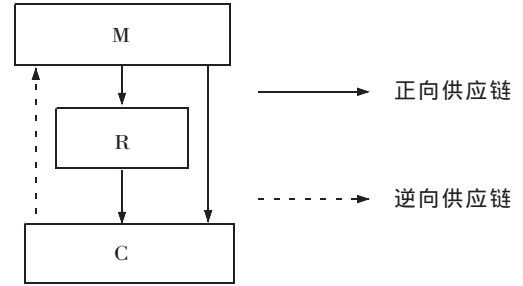


图1 制造商回收模式(M)

Fig. 1 The recycling mode of the manufacturer

$$\Pi_{R(M)}^* = (\mu a + \theta c_m - c_m)^2 / 16 \quad (12)$$

$$\Pi_{(M)} = [a^2(\mu^2\theta^2 + 4(1-\mu)\mu\theta + 3\mu^2 - 4\mu + 2) - 2a(1-\theta^2)(2-\mu+\mu\theta)c_m + (1-\theta^2)(3-2\theta-\theta^2)c_m^2] / 8(1-\theta^2) + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2 / 4k + (\mu a + \theta c_m - c_m)^2 / 16 \quad (13)$$

由上述利润函数表达式可知,在制造商负责回收时,①对于制造商而言,它的利润($\Pi_{M(M)}$)由批发产品给零售商获取的利润(Π_1)、网络销售产品获得的利润(Π_2)和进行回收再制造所获取的利润(Π_3)三个部分构成,即 $\Pi_{M(M)} = \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3$,其中 $\Pi_1 = (w - c_m)D_r = a^2(\mu^2 + \mu(1-\mu)\theta) - a(2\mu + \theta)(1-\theta)c_m + (1-\theta)(1-\theta^2)c_m^2$ 是与废旧品可再利用率 ρ 无关的函数; $\Pi_2 = (p - c_m)D_i = a^2(\mu^2(1+\theta)\theta + 2\mu^2 + 3\mu\theta - 4\mu + 2) - a(2\mu\theta^2 - 4\mu + 3\theta + 4)(1-\theta)c_m + (1-\theta^2)(2-\theta-\theta^2)c_m^2$ 也是与废旧品可再利用率 ρ 无关的函数; $\Pi_3 = G(r_m)(\rho(c_m - c_r) - r_m) = (k\rho(c_m - c_r) + h)^2 / 4k$,是关于 ρ 的增函数;②零售商的利润 $\Pi_{R(M)} = (\mu a + \theta c_m - c_m)^2 / 16$ 是与废旧品可再利用率 ρ 无关的函数。因此综合①②可以得出结论 1。

结论 1:在制造商负责回收时,制造商的利润均是关于废旧品可再利用率的增函数,随着废旧品可再利用率 ρ 的增大而增大;零售商的利润与废旧品的可再利用率 ρ 的大小无关;影响其利润变化;整条供应链的利润随着废旧品可再利用率 ρ 的增大而增大。

2.2 模型二:零售商回收模式(R)

在此模式中,制造商以批发价 ω 将产品卖给零售商,而且以价格 p_i 通过网络渠道销售,零售商以价格 p_r 来出售产品,先由零售商以单位回收价格 r_R 从市场上回收废旧品,制造商再以单位补偿回收价格 b_R 从零售商那里回购废旧品,如图 2 所示。

$\Pi_{M(R)}$ 表示零售商回收模式下制造商的利润 $\Pi_{R(R)}$ 表示零售商回收模式下零售商的利润因此制造商和零售商的利润函数分别为

$$\begin{aligned} \Pi_{M(R)} &= (\omega - c_m)D_r + (p_i - c_m)D_i + G_{(R)}\rho\Delta - G_{(R)}b_R \\ &= (\omega - c_m)(\mu a - p_r + \theta p_i) + (p_i - c_m)[(1-\mu)a - p_i + \theta p_r] + [\rho(c_m - c_r) - b_R](h + k r_R) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\Pi_{R(R)} = (p_r - \omega)D_r + G_{(R)}(b_R - r_R) = (p_r - \omega)(\mu a - p_r + \theta p_i) + (b_R - r_R)(h + k r_R) \quad (15)$$

在零售商回收模式(R)下,制造商和零售商同样是以追求自身利润最大化来进行决策,假设制造商与零售商的博弈任然是属于 Stackelberg 博弈,而且制造商仍是博弈的领导者,零售商为跟随者,即制造商首先决定批发价格 $\omega_{(R)}$ 、网络销售价格 $p_{i(R)}$ 和支付给零售商的回收补偿价格 b_r ,然后零售商再根据制造商提供的批发价格和网络销售价格来确定自己的零售价格 $p_{r(R)}$ 及回收价格 r_{R0} 。根据逆向推导法,首先确定零售商的最优零售价格 $p_{r(R)}^*$ 和最优回收价格 r_R^* ,在求最优回收价格时,首先假定给定的制造商回收补偿价格 b_R ,由式(15)关于 r_R 的二阶导数 $\frac{\partial^2 \Pi_{R(R)}}{\partial r_R^2} = -2k < 0$,可知 $\Pi_{R(R)}$ 是 r_R 的严格凹函数,式(15)存在最优解,它关于 b_R 的最优反应函数为

$$r_R(b_R) = [k\rho b_R - h] / 2k \quad (16)$$

再根据逆向推导法,同理可以求出制造商的最优批发价格 $\omega_{(R)}^*$ 、网络销售价格 $p_{i(R)}^*$ 及最优回收补偿价格 b_R^* ,零售商的最优零售价格 $p_{r(R)}^*$ 、最优回收价格 r_R^* ,零售需求量 $D_{r(R)}^*$ 、网络需求量 $D_{i(R)}^*$ 以及回收量 $G_{(R)}^*$ 分别为

$$\omega_{(R)}^* = a[\mu + (1-\mu)\theta] / 2(1-\theta^2)c_m / 2 \quad (17)$$

$$p_{i(R)}^* = a[1 - \mu(1-\theta)] / 2(1-\theta^2) + c_m / 2 \quad (18)$$

根据式(17)式(18)表达式结果可知,制造商的批发价格 $\omega_{(R)}$ 和网络销售价格 $p_{i(R)}$ 与废旧品可再利用率 ρ 无关。

$$b_R^* = (c_m - c_r) / 2 - h / (2k\rho) \quad (19)$$

因此,制造商提供的回收补偿价格 b_R 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数,随 ρ 增大而增大。

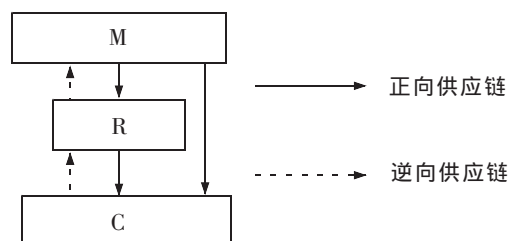


图2 零售商回收模式(R)

Fig.2 The recycling mode of the retailer

$$p_{r(R)}^* = a[3\mu + (2(1-\mu) - \mu\theta)\theta]/4(1-\theta^2) + (1+\theta)c_m/4 \quad (20)$$

零售商的零售价格 $p_{r(R)}$ 与废旧品可再利用率 ρ 无关。

$$r_r^* = [\rho k(c_m - c_r) - 3h]/4k \quad (21)$$

零售商的回收价格 r_r 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数,随 ρ 增大而增大。

$$D_{r(R)}^* = [\mu a - (1-\theta)c_m]/4 \quad (22)$$

$$D_{i(R)}^* = a[2(1-\mu) + \mu\theta] - (1-\theta)(2+\theta)c_m/4 \quad (23)$$

由式(22)式(23)可知产品的零售需求量 $D_{r(R)}$ 和网络需求量 $D_{i(R)}$ 仍与废旧品可再利用率 ρ 的大小无关。

$$G_{(r_r)}^* = [k\rho(c_m - c_r) + h]/4 \quad (24)$$

零售商的回收量 G_{r_r} 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数,随 ρ 增大而增大。

将以上计算结果代入可以求得零售商负责回收模式(R)时,制造商、零售商以及整条供应链系统的利润分别为

$$\Pi_{M(R)}^* = [a^2(\mu^2\theta^2 + 4(1-\mu)\mu\theta + 3\mu^2 - 4\mu + 2) - 2a(1-\theta^2)(2-\mu+\mu\theta)c_m + (1-\theta^2)(3-2\theta-\theta^2)c_m^2]/8(1-\theta^2) + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2/8k \quad (25)$$

$$\Pi_{R(R)}^* = (\mu a + \theta c_m - c_m)^2/16 + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2/16k \quad (26)$$

$$\Pi_{(R)} = [a^2(\mu^2\theta^2 + 4(1-\mu)\mu\theta + 3\mu^2 - 4\mu + 2) - 2a(1-\theta^2)(2-\mu+\mu\theta)c_m + (1-\theta^2)(3-2\theta-\theta^2)c_m^2]/8(1-\theta^2) + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2/8k + (\mu a + \theta c_m - c_m)^2/16 + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2/16k \quad (27)$$

由式(26)可知,对于零售商来说,它负责回收废旧品,因此它的总利润($\Pi_{R(R)}$)来源于销售利润(Π_{R1})和回收利润(Π_{R2})两个部分, $\Pi_{R1} = \Pi_{R(M)}$ 是与废旧品可再利用率 ρ 无关的函数, $\Pi_{R2} = [k\rho(c_m - c_r) + h]^2/16k$ 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数。因此可以得出结论 2。

结论 2:在零售商负责回收时,零售商的利润也是关于废旧品的可再利用率 ρ 的增函数,随 ρ 增大而增大;制造商的利润仍是关于废旧品的可再利用率 ρ 的增函数,随 ρ 增大而增大(原理同结论 1);整条供应链的利润仍随废旧品可再利用率随 ρ 的增大而增大。

2.3 模型三:第三方回收模式(T)

在此模式中,制造商以批发价 $\omega_{(T)}$ 将产品卖给零售商,而且以价格 $p_{i(T)}$ 通过网络渠道销售产品,零售商以价格 $p_{r(T)}$ 来出售产品,先由第三方以单位回收价格 $r_{t(T)}$ 从市场上回收废旧品,制造商再以单位补偿回收价格 b_T 从第三方那里回购废旧品,如图 3 所示。

因此制造商、零售商、第三方的利润函数分别为:

$$\begin{aligned} \Pi_{M(T)} &= (\omega - c_m)D_r + (p_i - c_m)D_i + G_{(t)}\rho\Delta - G_{(t)}b_t \\ &= (\omega - c_m)(\mu a - p_r + \theta p_i) + (p_i - c_m)[(1-\mu)a - p_i + \theta p_r] + [\rho(c_m - c_r) - b_T](h + k r_T) \end{aligned} \quad (28)$$

$$\Pi_{R(T)} = (p_r - \omega)D_r = (p_r - \omega)(\mu a - p_r + \theta p_i) \quad (29)$$

$$\Pi_T = G_{(T)}(b_T - r_T) = (b_T - r_T)(h + k r_T) \quad (30)$$

其中: $\Pi_{M(T)}$, $\Pi_{R(T)}$, Π_T 分别表示第三方回收模式下制造商、零售商、第三方的利润。

对于第三方负责回收的模型,制造商、零售商和第三方仍以追求各自的利润最大化作为目标来进行决策,假设制造商与零售商和第三方之间的博弈仍属于 Stackelberg 博弈,且制造商仍是博弈的领导者,零售商和第三方为跟随者,即制造商首先决定批发价格 $\omega_{(T)}$ 、网络销售价格 $p_{i(T)}$ 以及补偿回收价格 b_T ,然后零售商再根据制造商提供的批发价格和网络销售价格来确定自己的零售价格 $p_{r(T)}$,第三方则根据制造商提供的补偿价格 b_T 来确定废旧产品的回收价格 r_T ,然后再求解其他价格。同理可以求出在第三方负责回收价格时,制造商的最优批发价格 $\omega_{(T)}^*$ 、网络销售价格 $p_{i(T)}^*$ 和最优补偿回收价格 b_T ,零售商的最优零售价格 $p_{r(T)}^*$,第三方

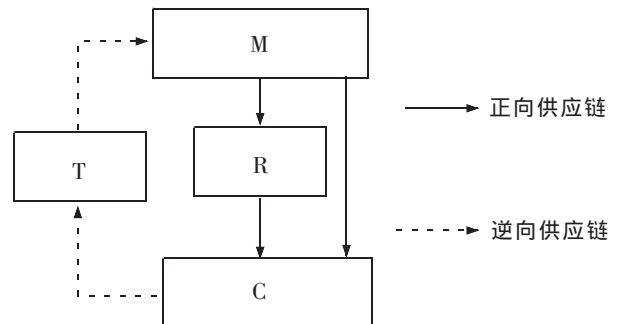


图3 第三方回收模式(T)

Fig. 3 The recycling mode of the third party

的最优回收价格 r_T^* , 网络需求量 $D_{i(T)}$, 零售需求量 $D_{r(T)}$ 以及回收量分别 $G_{(T)}^*$ 为

$$\omega_{(T)}^* = a[\mu + (1-\mu)\theta]/2(1-\theta^2)c_m/2 \quad (31)$$

$$p_{i(T)}^* = a[1-\mu(1-\theta)]/2(1-\theta^2)+c_m/2 \quad (32)$$

$$b_i^* = (c_m - c_r)/2 - h/(2k\rho) \quad (33)$$

$$p_{r(T)}^* = a[3\mu + (2(1-\mu) - \mu\theta)\theta]/4(1-\theta^2) + (1+\theta)c_m/4 \quad (34)$$

同理可知, 制造商的批发价格 $\omega_{(T)}$ 、网络销售价格 $p_{i(T)}$ 和零售商的零售价格 $p_{r(T)}$ 与废旧品可再利用率 ρ 无关, 而制造商提供给第三方的回收补偿价格 b_i 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数, 随 ρ 增大而增大。

$$r_i^* = [\rho k(c_m - c_r) - 3h]/4k \quad (35)$$

第三方的回收价格 r_i 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数, 随 ρ 增大而增大。

$$D_{r(T)}^* = [\mu a - (1-\theta)c_m]/4 \quad (36)$$

$$D_{i(T)}^* = a[2(1-\mu) + \mu\theta] - (1-\theta)(2+\theta)c_m/4 \quad (37)$$

由式(36)式(37)可知产品的零售需求量 $D_{r(T)}$ 和网络需求量 $D_{i(T)}$ 仍与废旧品可再利用率 ρ 的大小无关。

$$G_{(T)}^* = [k\rho(c_m - c_r) + h]/4 \quad (38)$$

第三方的回收量 $G_{(T)}$ 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数, 随 ρ 增大而增大。

由以上结果代入可以求得在第三方负责回收模式(T)时, 制造商, 零售商, 第三方以及整条供应链系统的利润分别为

$$\Pi_{M(T)}^* = [a^2(\mu^2\theta^2 + 4(1-\mu)\mu\theta + 3\mu^2 - 4\mu + 2) - 2a(1-\theta^2)(2-\mu+\mu\theta)c_m + (1-\theta^2)(3-2\theta-\theta^2)c_m^2]/8(1-\theta^2) + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2/8k \quad (39)$$

$$\Pi_{R(T)}^* = (\mu a + \theta c_m - c_m)^2/16 \quad (40)$$

$$\Pi_T^* = [\rho k(c_m - c_r) + h]^2/16k \quad (41)$$

$$\Pi_{(T)}^* = [a^2(\mu^2\theta^2 + 4(1-\mu)\mu\theta + 3\mu^2 - 4\mu + 2) - 2a(1-\theta^2)(2-\mu+\mu\theta)c_m + (1-\theta^2)(3-2\theta-\theta^2)c_m^2]/8(1-\theta^2) + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2/8k + (\mu a + \theta c_m - c_m)^2/16 + (k\rho(c_m - c_r) + h)^2/16k \quad (42)$$

由式(41)可知, 第三方的利润 $\Pi_T = [\rho k(c_m - c_r) + h]^2/16k$ 是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数, 因此可以得出结论 3。

结论 3: 在第三方负责回收时, 对于靠回收废旧品来盈利的第三方来说, 它的利润是关于废旧品可再利用率 ρ 的增函数, 随 ρ 增大而增大; 同结论 1 原理可知制造商的利润仍是关于废旧品的可再利用率 ρ 的增函数, 随 ρ 增大而增大; 零售商的利润与废旧品的可再利用率 ρ 的大小无关; 整条供应链利润随废旧品可再利用率 ρ 的增大而增大。

由上述结论可知, 对于制造商来说, 提高废旧品的可再利用率是提高其利润的一个关键因素, 因此, 制造商可以一方面通过改进生产工艺流程, 在设计原始新产品时多采用绿色材料和绿色工艺, 方便回收再利用, 从而提高废旧品可再利用率; 另一方面可以通过制定相关回收条件和回收价格来保证所回收到的废旧产品的质量, 从而提高废旧品的可再利用率, 最终提高自己的利润。对于零售商和第三方来说, 应该通过制定相应的回收条件来确保回收的废旧品的质量, 使其能够充分再利用, 从而相对提高废旧品的可再利用率来增加自己的利润。

3 模型比较

分别建立由制造商、零售商、第三方 3 种回收模式下的双渠道闭环供应链模型, 分别考虑在 3 种回收模型下, 整条供应链上各个节点企业的各项定价和各自利润以及整条供应链的总利润。通过比较各个结果可得出结论。

① 通过比较式(5)、式(17)、式(31)的表达式可以得到 $\omega_{(M)}^* = \omega_{(R)}^* = \omega_{(T)}^* = a[\mu + (1-\mu)\theta]/2(1-\theta^2)c_m/2$;

② 通过式(6)、式(18)、式(32)的表达式可以得到 $p_{i(M)}^* = p_{i(R)}^* = p_{i(T)}^* = a[1-\mu(1-\theta)]/2(1-\theta^2)+c_m/2$;

③ 同理可由式(7)、式(20)、式(34)的表达式可以得到 $p_{r(M)}^* = p_{r(R)}^* = p_{r(T)}^* = a[3\mu + (2(1-\mu) - \mu\theta)\theta]/4(1-\theta^2) +$

$(1+\theta)c_m/4$,由①②③可得结论4。

结论4:无论是在是制造商负责回收、零售商负责回收还是第三方负责回收模式下,制造商给予零售商的批发价都相同且与废旧品的可再利用率无关;制造商的网络销售价格在3种情况下也相等,与废旧品可再利用率无关;零售商的零售价也与回收模式无关,在3种回收模式下都相同,且与废旧品可再利用率也无关。

④ 比较式(21)、式(35)可得 $r_r^*=r_t^*=[\rho k(c_m-c_r)-3h]/4k$,而 $r_m^*-r_r^*=\rho(c_m-c_r)k+h/4k>0$,故 $r_m^*>r_r^*=r_t^*$;
⑤ 由式(24)、式(38)的表达式可得 $G_{(r_r)}^*=G_{(r_t)}^*=k\rho(c_m-c_r)+h/4$,且 $G_{(r_m)}^*=G_{(r_r)}^*=\rho(c_m-c_r)k+h/4k>0$,故 $G_{(r_m)}^*>G_{(r_t)}^*>G_{(r_r)}^*$;
⑥ 由式(19)、式(33)的表达式可得 $b_r^*=b_t^*=(c_m-c_r)/2+h/(2k\rho)$,综合④⑤⑥可以得到结论5。

结论5:在3种不同回收模式下,制造商负责回收时的最优回收价格最高,回收量最大,这也符合假设的条件;在零售商或第三方回收模式下,两种情形下的最优回收价格相同,回收量也相同,但是都比制造商回收时要小;而且在制造商不参与回收时,其给予零售商或第三方的最优补偿价格在两种模式下也相同;无论哪种回收模式下,废旧品的回收价格、回收量以及回收补偿价格均与废旧品的可再利用率有关,随着废旧品可再利用率的提高而增大。

⑦ 由式(25)(39)可得 $\Pi_{(R)}^*=\Pi_{(M)}^*=\Pi_{(T)}^*=[a^2(\mu^2\theta^2+4(1-\mu)\mu\theta+3\mu^2-4\mu+2)-2a(1-\theta^2)(2-\mu+\mu\theta)c_m+(1-\theta^2)(3-2\theta-\theta^2)c_m^2]/8(1-\theta^2)+(k\rho(c_m-c_r)+h)^2/8k$,所以 $\Pi_{(M)}^*>\Pi_{(R)}^*=\Pi_{(T)}^*$;⑧ 比较式(12)、式(40)可知 $\Pi_{(R)}^*=\Pi_{(T)}^*=(\mu a+\theta c_m-c_m)^2/16$, $\Pi_{(R)}^*-\Pi_{(M)}^*=[\rho k(c_m-c_r)+h]^2/16k=\Pi_T^*$,故 $\Pi_{(R)}^*>\Pi_{(M)}^*=\Pi_{(T)}^*$;⑨ 由式(27)、式(42)可知, $\Pi_{(T)}^*=\Pi_{(R)}^*$, $\Pi_{(M)}^*-\Pi_{(R)}^*=[\rho k(c_m-c_r)+h]^2/16k>0$,故 $\Pi_{(M)}^*>\Pi_{(T)}^*=\Pi_{(R)}^*$ 。根据⑦⑧⑨可得结论6。

结论6:在3种不同回收模式下,由制造商自己负责回收时,制造商的利润最大,而在零售商或第三方回收时,制造商的利润较小,而且在这两种模式下制造商的利润相同;无论何种回收模式下,废旧品的可再利用率对制造商的利润都有很大影响,它的提高会使制造商的利润增大;对于零售商来说,在制造商或第三方回收时利润相同但是较小,与废旧品的可再利用率无关,在零售商自己负责回收时利润最大,且利润增长的部分等于第三方参与回收时第三方所得到的利润,其随着废旧品可再利用率的增大而增大;对于第三方而言,参与回收才能获得利润,它的利润随废旧品可再利用率的提高而增大;对于整条供应链而言,其利润随着废旧品可再利用率的提高而增大,而且在制造商回收时利润最大。

因此,在考虑废旧品可再利用率的情况下,对于双渠道闭环供应链上的制造商来说,若制造商在市场上拥有充足的顾客信息和回收废旧品的能力,采取由自己负责回收废旧品的方式最有利,可以通过调节回收价格获得最优利润;对于零售商和第三方来说,若有充足的实力参与回收废旧品,就必须通过设置相应的回收价格来保证所回收到的废旧品的相应质量,使其能够充分再利用,从而相对提高废旧品的可再利用率来增加自己的利润。

4 结束语

本文研究了废旧电子产品的可再利用率对双渠道闭环供应链定价决策的影响问题,建立了由制造商负责回收、零售商负责回收、第三方负责回收的模型,然后分别考虑在各种回收模式下,供应链上各节点企业如何合理定价,分别求出产品最优的网络销售价格和零售商零售价格以及各种模型下的回收价格等,最终得出结论。无论在何种回收模型下,制造商的利润和整条供应链的整体利润均与废旧电子产品的可再利用率有关,且随着废旧品的可再利用率的提高而增大,因此如何提高废旧品的可再利用率将成为制造商提高利润的一个关键因素,具有较高回收量和废旧产品可再利用率的制造商将具有更加强大的竞争力。然而,对于零售商和第三方而言,只有它们参与回收时,它们的利润才与废旧品的可再利用率成正相关关系,否则没有影响;制造商的网络销售价格,零售商的零售价格与废旧品可再利用率无关;而各种情形下的回收价格及回收补偿价格均与废旧品的可再利用率有关,且随其增大而增长。对于制造商而言,选择自己回收废旧产品获利最大,而对于零售商而言,参与回收则可获利较大,第三方则必须参与回收才能获利。

参考文献:

- [1] 最佳佳,邓东方. 再制造产品质量对闭环供应链回收渠道的影响[J]. 工业工程与管理,2014,19(1):1-7.
- [2] 王玉燕,申亮. 基于消费者需求差异和渠道权力结构差异的 MT-CLSC 定价、效率与协调研究[J]. 中国管理科学,2014,22(6):34-42.
- [3] KARAKAYLI I, EMIR F H, AKEALI E. An analysis of decentralized collection and processing of end-old-life products[J]. Journal of Operations Management, 2007, 25(6): 1161-1183.
- [4] SAVASKAN R C, WASSENHOVE L V. Reverse channel design: the case of competing retailers[J]. Management Science, 2006, 52(1): 1-14.
- [5] 李响,李勇建. 多再制造商回收定价竞争博弈[J]. 管理工程学报,2012,26(2):72-76.
- [6] 胡燕娟,关启亮. 基于复合渠道回收的闭环供应链决策模型研究[J]. 软科学,2009,23(12):13-16,29.
- [7] 陈娟,季建华,李美燕. 基于再制造的单双渠道下高残值易逝品闭环供应链管理[J]. 上海交通大学学报,2010,44(3):0354-0359.
- [8] WILDER C. HP's online push[N]. Information Week, 1999-05-31(5).
- [9] 许茂增,唐飞. 基于第三方回收的双渠道闭环供应链协调机制[J]. 计算机集成制造系统,2013,19(8):2083-2089.
- [10] 洪宪培,王宗军,赵丹. 闭环供应链定价模型与回收渠道选择决策[J]. 管理学报,2012,9(12):1848-1855.
- [11] SAVASKAN R C, BHATTACHARYA S, WASSENHOVE L V. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing [J]. Management Science, 2004, 50(2): 239-252.
- [12] FERRER G, SWAMINATHAN J M. Managing new and remanufactured products[J]. Management Science, 2006, 52(1): 15-26.
- [13] 但斌,徐广业,张旭梅. 电子商务环境下双渠道供应链协调的补偿策略研究[J]. 管理工程学报,2012,26(1):125-130.
- [14] BAKAL I S, AKCALI E. Effects of random yield in remanufacturing with price sensitive supply and demand [J]. Production and Operations Management, 2006, 15(3): 407-420.
- [15] 周海云,杜纲,安彤. 政府干涉下闭环供应链的协调机制研究[J]. 西安电子科技大学学报,2013,23(5):20-28.
- [16] 郭军华. WTP 差异化条件下再制造闭环供应链的协调定价策略[J]. 华东交通大学学报,2012,29(1):121-126.
- [17] 郭军华,张威,朱佳翔. 废旧家电回收再利用的政府激励机制研究[J]. 华东交通大学学报,2014,31(1):56-62.
- [18] ATASU A, SARVARY M, VAN WASSCNHOVE L N. Remanufacturing as a marketing strategy[J]. Management Science, 2008, 54(10):1731-1746.

Double-channel Closed-loop Supply Chain Pricing Decisions in Light of Recyclability Rate

Guo Junhua¹, Zhu Wenzheng¹, Ni Ming¹, Zhu Jiexiang²

(1.School of Economics and Management, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2.School of Economics and Management, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: In light of recyclability rate of waste electronic products, this paper established a model of double-channel closed-loop supply chain, in which the manufacturer, the retailer and the third party are responsible for recycling. By use of the game theory to analyze the model, it explored the effect of recyclability rate on the price of the double-channel closed-loop supply chain, obtaining the optimal wholesale price, online sales price, retailers' retailing price, recycling price of waste electronic products, the optimal compensation price in various recycling modes and each node's enterprise profits of the supply chain. Analysis results found that: recyclability rate of waste electronic products is a key factor for the manufacturer's profit; whatever the recycling mode is, the manufacturer's profits increase with the increased recyclability rate; for the retailers and the third party, only when they are involved in recycling, they have direct impact on profits; recyclability rate of waste electronic products has no effects on the retail and wholesale price of products, but are closely related to the recycling price, recovery compensation price and the total recovery of waste electronic products, which may increase along with the increased recyclability rate.

Key words: recyclability rate; game theory; closed-loop supply chain; pricing

(责任编辑 姜红贵)