

考虑零售商销售努力的 CSR 闭环供应链协调研究

舒彤 曾佳茜

(湖南大学工商管理学院, 湖南省, 长沙市, 410000)

摘要: 本文围绕具有零售商销售努力的社会责任闭环供应链进行研究, 首先建立集中式和分散式决策下制造商和零售商同时履行社会责任的决策模型, 对比两种情形下供应链成员的均衡定价、废旧品回收率、系统效用等, 还分析销售努力投入水平对均衡决策与成员效用的影响, 研究表明零售商销售努力对市场需求量、回收率和系统总效用增加均有正向影响; 然后以集中式情形中的最优结果作为基准, 针对制造商承担社会责任、零售商承担社会责任以及两者共担的三种基本情况, 探究运用二部定价契约协调分散式闭环供应链的有效性。

关键词: 闭环供应链; 企业社会责任; 零售商销售努力; 协调

中图分类号: C93 **文献标识码:** A

1 引言

随着全球经济不断发展, 许多国家逐渐重视在经济进步的同时实现经济、社会、环境的协调发展, 世界各国都开始关注如何实现资源的有效利用。由于闭环供应链 (CLSC) 的环境和经济优势, 该主题在学术和工业应用中受到了广泛关注。闭环供应链可以通过从消费者那里回收旧产品来获取利润, 从中获取生产所需的有用零件并进行再制造^[1]。在许多行业, 如汽车、复印机和计算机, CLSC 管理得到了成功的实践, 通过对二手产品的有用零件进行再制造, 可节省 40-60% 的生产成本^[2]。据统计, 2011 年美国二手产品再制造销售价值 430 亿美元^[3], 包括施乐 (Xerox)、柯达 (Kodak) 和惠普 (HP) 在内的许多大型知名企业已将再制造过程广泛纳入常规生产线和运营。

此外, 一些企业只关注自身利润而忽略了需承担的社会责任, 企业社会责任 (Corporate Social Responsibility, 简称 CSR) 要求企业不能把追求经济利益作为唯一目标, 还强调对其利益相关者、消费者、环境及社会的贡献^[4]。近年来, 由于社会责任的缺失导致企业出现问题的事件屡有发生, 例如著名的富士康员工因为无法承受工作环境中的压力、疏远和羞辱而自杀的事件, 引起了人们的深刻反思, 也一度让富士康陷入舆论的风口浪尖^[5]; 之前我国的长春长生疫苗安全问题, 致使企业遭到了公众的反感与痛斥, 企业形象一度跌入低谷; “三鹿”这个大集团的轰然倒塌正是由于供应商社会责任的缺失。

随着时间的推移, 环境污染、劳动冲突、食品安全等社会问题越来越突出, 企业社会责任问题已成为各方直接或间接关注的热点问题之一。中国各级政府纷纷出台一系列政策、法律、法规, 激励企业承担社会责任。国家质检总局和国家标准委联合发布《社会责任指南》(GB/T 36000-2015, 简称 GB 36000), 自 2016 年 1 月 1 日起施行。2016 年 3 月 16 日十二届全国人民代表大会第四次会议审查通过了《中华人民共和国慈善法》, 同年 9 月 1 日起正式施行, 这一文件规范和促进了企业参与公益慈善事业。2016 年 7 月 1 日, 国务院国有资产监督管理委员会发布《关于进一步做好国有企业社会责任工作的若干意见》, 指出企业发展要以可持续发展为核心, 把企业经营与社会责任相结合, 这一系列措施的出台, 标

志着企业社会责任已上升到国家战略发展的高度^[6]。

除了各级政府的关注之外，消费者对企业社会责任的重视程度也比之前更强烈。越来越多的消费者倾向于购买具有公益性的环保产品，并开始抵制那些众所周知的缺乏人文关怀和员工保护企业生产的产品^[7]。利益相关者也希望企业在其运营中更多地履行企业社会责任^[8]。因此，政府和公众、企业对这一领域的问题给予更多的关注，一些企业开展了企业社会责任的具体实践。毕马威会计事务所的一项调查显示，2015年美国收入最高的100家公司中有74%发布了企业社会责任报告，全球250家最大的公司有80%发布了企业社会责任报告^[9]。例如，家乐福(<http://www.Carrefour.com.cn/>)通过其企业社会责任报告，展示了其在食品安全和人文关怀方面的企业社会责任。沃尔玛和其他零售商通过实施行为准则将企业社会责任引入其供应链管理^[10]。大型零售商华润万家已连续6年发表《企业社会责任报告》，同时详细介绍了华润万家对社会和环境所做的努力，有效地推动了其供应链的可持续发展进程。所有这些现实案例都表明，供应链中的决策者正从先前狭隘的利益视角转向所谓的三重底线^[11]，即考虑到经济、社会 and 环境的平衡。

另一方面，零售商的销售努力对赢得市场份额至关重要。通过适当的广告宣传，消费者将更加意识到再制造的好处^[12]。李建斌等(2016)研究了存在价格竞争和双向搭便车的双渠道供应链中，网络和实体零售商的销售努力水平和定价决策^[13]。Gao等(2016)在市场需求受价格、产品绿色度和销售努力的假设下，研究了不同渠道权利结构下闭环供应链定价决策问题。现实生活中百货超市也经常调整不同产品的陈列方式，通过导购和传单等形式吸引消费者，而且在激烈的竞争中，企业都开始利用企业文化大打情感牌，结合经典或周边文化产品吸引消费者兴趣，上述的这些营销形式都体现着销售努力的投入，期望从视觉、触觉和听觉等多角度提升消费者的购物体验，最终体现在市场需求量的变化。在新冠疫情冲击传统零售业发展的不利背景中，传统零售商更需要加强销售努力的投入，以保证自身的市场占有率和持续盈利。

因此同时将企业社会责任和销售努力考虑进闭环供应链是必要的，在现实中，消费者在购买产品时也比较关注相关企业在生产经营活动中是否承担了一定的社会责任。综上，本文将企业社会责任引入到具有销售努力的闭环供应链定价决策问题中。

2 模型描述及假设

为方便建模，引入变量，模型相关符号定义见表2.1。

表 2.1 模型变量及符号说明

给定参数	定义及假设
α	市场中潜在消费者的规模
β	消费者对价格的敏感程度
a	消费者对销售努力的敏感程度
c_m	新产品的单位成本
c_r	再制造产品的单位成本
Δ	再制造产品比新产品节约的单位成本， $\Delta = c_m - c_r$

A	废旧产品的单位回收价格
B	零售商销售努力成本系数
c_L	回收成本规模参数
h	决策主体承担 CSR 的意愿或程度, $0 \leq h \leq 1$
决策变量	定义
w	制造商向零售商的批发价格
p	零售商产品的零售价格
y	零售商销售努力投入量
τ	废旧品回收率, $0 \leq \tau \leq 1$
π_j^i	模型 <i>i</i> 时 <i>j</i> 的利润函数, $i = N, M, R$ 分别表示无 CSR、制造商承担 CSR、零售商承担 CSR, $j = m, r, s$ 分别表示制造商、零售商、供应链系统
U_j^i	模型 <i>i</i> 时 <i>j</i> 的效用函数, $i = M, R$ 分别表示制造商承担、零售商承担 CSR, $j = m, r, s$ 分别表示制造商、零售商、供应链系统

本文参考 Zerang 等^{错误! 未找到引用源。错误! 未找到引用源。}的研究, 假设市场需求是关于价格和销售努力程度的线性函数, 其形式为 $D(p) = \alpha - \beta p + ay$, 其中 α 表示市场容量, β 为消费者对价格的敏感系数; a 表示消费者对销售努力程度的敏感系数, y 为决策主体的销售努力履行量, 这个履行量对需求的影响为 ay , $\alpha, \beta, a > 0$ 。

将 CSR 行为视为外生变量。根据 Panda^{错误! 未找到引用源。错误! 未找到引用源。}等的定义, 消费者剩余指的是消费者愿意支付的最高价格与实际支付价格之差, 可以表示为

$$CS = \int_{p_{min}}^{p_{max}} D dp = \int_{\frac{\alpha-D}{\beta}}^{\frac{\alpha}{\beta}} (\alpha - \beta p + ay) dp = \frac{D^2}{2\beta} = \frac{(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta}$$

3 模型构建及均衡结果分析

3.1 集中式决策

在集中式决策下, 制造商和零售商被视为统一的经济体 (或超组织), 制造商与零售商联合给出相应的最优策略, 此时的供应链总效用函数为:

$$U^c(p, \tau, y) = (p - c_m + (\Delta - A)\tau)(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}c_L\tau^2 - \frac{1}{2}By^2 + \frac{(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta} \quad (3.1)$$

分析 U^c 的 Hessian 矩阵, 得 $\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 U^c}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 U^c}{\partial p \partial \tau} & \frac{\partial^2 U^c}{\partial p \partial y} \\ \frac{\partial^2 U^c}{\partial \tau \partial p} & \frac{\partial^2 U^c}{\partial \tau^2} & \frac{\partial^2 U^c}{\partial \tau \partial y} \\ \frac{\partial^2 U^c}{\partial y \partial p} & \frac{\partial^2 U^c}{\partial y \partial \tau} & \frac{\partial^2 U^c}{\partial y^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\beta & -\beta(\Delta - A) & 0 \\ -\beta(\Delta - A) & -c_L & a(\Delta - A) \\ 0 & a(\Delta - A) & a^2/\beta - B \end{pmatrix}$, 因此

当 $(a^2 - B\beta)c_L > (B\beta^2 - 2a^2\beta)(\Delta - A)^2$, 该 Hessian 矩阵严格负定, U^c 是 p, τ, y 的联合凹函数, 即存在唯一最优解, 联立求解 $\partial U^c / \partial p = 0$, $\partial U^c / \partial \tau = 0$, $\partial U^c / \partial y = 0$, 各最优决策分别为:

$$p^{c^*} = \frac{B\beta c_L c_m - a^2 c_L c_m - B\alpha\beta(\Delta - A)^2}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

$$\tau^{c^*} = \frac{B\beta(\alpha - \beta c_m)(\Delta - A)}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

$$y^{c^*} = \frac{a c_L(\alpha - \beta c_m)}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

$$D^{c^*} = \frac{B\beta c_L(\alpha - \beta c_m)}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

将上述最优决策代入到式(3.1)，计算可得

$$U^{c^*} = \frac{B c_L(\alpha - \beta c_m)^2}{2(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

3.2 分散式决策

在分散式决策下，两方进行 Stackelberg 博弈，制造商作为主导方，该博弈的决策顺序如下：制造商以效用最大化决定产品的批发价格 w 与回收率 τ ；然后零售商会根据制造商的决策，以效用最大化决定产品的销售价格 p 和销售努力投入量 y 。

制造商的效用函数为

$$U_m^{MR}(w, \tau) = (w - c_m + (\Delta - A)\tau)(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}c_L\tau^2 + \frac{(1-h)(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta} \quad (3.2)$$

零售商的效用函数为

$$U_r^{MR}(p, y) = (p - w)(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}B y^2 + \frac{h(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta} \quad (3.3)$$

供应链整体效用函数为

$$U_s^{MR} = U_m^{MR} + U_r^{MR} \quad (3.4)$$

根据上述闭环供应链的博弈顺序，采用逆向归纳法处理。

(1) 通过一阶条件 $\partial U_r^{MR} / \partial p = 0$ ， $\partial U_r^{MR} / \partial y = 0$ 得到零售商的反应函数为

$$p^{MR} = \frac{B\beta w - a^2 w + B\alpha(1 - h)}{2B\beta - a^2 - B\beta h}$$

$$y^{MR} = \frac{a(\alpha - \beta w)}{2B\beta - a^2 - B\beta h}$$

(2) 将上述 p^{MR} 和 y^{MR} 代入(3.2)式中，令 $\partial U_m^{MR} / \partial w = 0$ ， $\partial U_m^{MR} / \partial \tau = 0$ ，联立求得制造商的最优决策为

$$w^{MR*} = \frac{B\beta c_L(\alpha + 2\beta c_m - \beta c_m h) - a^2 c_L(\alpha + \beta c_m) - B\alpha\beta^2(\Delta - A)^2}{\beta((3 - h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

(3) 然后将上述最优决策分别代入零售价格、销售努力投入量、需求、制造商和零售商效用函数，可求得分散决策式的均衡结果，如下所示：

$$p^{MR*} = \frac{B\beta c_L(2\alpha + \beta c_m - \alpha h) - a^2 c_L(\alpha + \beta c_m) - B\alpha\beta^2(\Delta - A)^2}{\beta((3 - h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

$$y^{MR*} = \frac{a c_L(\alpha - \beta c_m)}{(3 - h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

$$\tau^{MR*} = \frac{B\beta(\alpha - \beta c_m)(\Delta - A)}{(3-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

$$D^{MR*} = \frac{B\beta c_L(\alpha - \beta c_m)}{(3-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

$$U_m^{MR*} = \frac{B c_L(\alpha - \beta c_m)^2}{2((3-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

$$U_r^{MR*} = \frac{B c_L^2(\alpha - \beta c_m)^2(2B\beta - B\beta h - a^2)}{2((3-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)^2}$$

$$U_s^{MR*} = \frac{B c_L(\alpha - \beta c_m)^2((5-2h)B\beta c_L - 3a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}{2((3-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)^2}$$

3.3 均衡结果比较与性质分析

结论 3.1: 集中式决策和制造商作为领导者的分散式决策下产品均衡价格、回收率、销售努力投入和成员总效用的数量关系为: $p^{MR*} < p^{C*}$, $\tau^{MR*} < \tau^{C*}$, $y^{MR*} < y^{C*}$, $U^{MR*} < U^{C*}$ 。

结论 3.1 与之前的研究结果相类似, 鉴于分散式决策所存在的双重边际化效应, 故与集中式决策相比, 其均衡回收率、销售努力投入和成员总效用较低, 产品的零售价与消费者对价格敏感度相关, 当消费者敏感度较低时, 分散式决策的零售价较高, 当消费者敏感度较高时, 集中决策时的零售价较高。

结论 3.2: $\frac{\partial \tau^{C*}}{\partial a} > 0$, $\frac{\partial D^{C*}}{\partial a} > 0$, $\frac{\partial y^{C*}}{\partial a} > 0$, $\frac{\partial p^{C*}}{\partial a} < 0$, $\frac{\partial U^{C*}}{\partial a} > 0$ 。

结论 3.2 说明在集中决策中, 随着零售商销售努力程度的提高, 最优单位产品的零售价格是减少的, 但最优的市场需求量、废旧品回收率、销售努力投入和闭环供应链的整体社会福利均是会逐步增加的, 这也说明了零售商进行一定程度的销售努力投入, 不仅有利于扩展市场, 提升市场的占有量, 对于供应链整体也是有益的, 闭环供应链的回收率也随着市场持有增加和消耗后再利用的良性循环有增加, 此时的闭环效果和社会福利都能达到理想环境。

结论 3.3: $\frac{\partial w^{MR*}}{\partial h} < 0$, $\frac{\partial \tau^{MR*}}{\partial h} > 0$, $\frac{\partial D^{MR*}}{\partial h} > 0$, $\frac{\partial y^{MR*}}{\partial h} > 0$; 当 $0 < a \leq \bar{a}$, $\frac{\partial p^{MR*}}{\partial h} < 0$, 当 $\bar{a} < a < 1$, $\frac{\partial p^{MR*}}{\partial h} > 0$, 其中, $a = \sqrt{B\beta}$ 。在成员收益方面, 有 $\frac{\partial U_m^{MR*}}{\partial h} > 0$, $\frac{\partial U_r^{MR*}}{\partial h} > 0$, $\frac{\partial U_s^{MR*}}{\partial h} > 0$ 。

结论 3.3 表明, 零售商作为与消费市场联系最紧密的主体, 对消费者的购买行为十分了解, 也会及时调整自身的价格策略, 当消费者对价格敏感度较高时, 零售商为保障市场占有率和需求量, 会选择降低零售价, 当消费者对价格敏感度较低时, 零售商会适当的提高零售价, 而且随着社会责任的增加, 零售商会增加销售努力投入以抢占市场, 在两者的共同影响下, 消费市场进一步扩展, 终端需求量得以增加, 此时承担相应社会责任的制造商会适当降低批发价, 着力废旧品的回收再利用, 提高回收率。在共担社会责任的模型中, 与制造商承担较高比例相比, 由零售商承担较多的社会责任, 两者的效用都会增加更显著, 最终闭环供应链整体的社会效用也会随之增加。

4 两部收费契约协调

4.1 制造商承担 CSR（模型 EM）

在信息对称的环境中，制造商和零售商可以互相观测和知晓对方的运营成本以及行动策略选择，与理想化的集中决策相比，分散式决策中存在着双重边际化效应，此时的制造商和零售商决策均未达到最优，供应链整体效用也有提升的空间。为了实现供应链整体效用的最优化，由制造商主导的闭环供应链中，可以采用两部定价机制进行协调，通过制造商提供的较低批发价，激励零售商提高销售努力投入和市场占有，然后零售商向制造商支付一笔固定费用，以弥补制造商利润损失。均能获利的背景下，双方才会努力消除双重边际化不良影响，最终实现闭环供应链的协调。

因此，基于销售努力的闭环供应链中，制造商采取两部定价机制的具体策略为：

$$S = G + w^X D$$

上式中， w^X 是协调策略下的批发价格， G 是制造商向零售商收取的一笔固定的转移费用，以补偿制造商在供应链协调过程中损失的利润。在两部定价机制中，制造商可以通过改变固定费用 G 的大小以保证供应链成员的收益。

根据上述的协调契约，首先由制造商给出较低的批发价格 w^{EM} ，激励零售商的销售努力投入，此时销售努力水平可以达到集中决策下最优水平 y^{C^*} ，并以集中决策下的价格 p^{C^*} 售卖产品。然后，制造商在协调闭环供应链的过程中，为零售商降低了批发价格，自身收益有损失，为了弥补制造商降低的收益，零售商需要向制造商支付已约定好的固定数额转移费用。因此，两部定价制契约（ w^{EM} ， G^{EM} ）下，制造商的决策问题如下所示：

$$\begin{aligned} \max_{w^{EM}, G^{EM}} U_M &= (w^{EM} - c_m + (\Delta - A)\tau)(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}c_L\tau^2 + \frac{h(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta} \\ \text{s. t.} \quad &\begin{cases} (w^{EM} - c_m + (\Delta - A)\tau)(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}c_L\tau^2 + \frac{h(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta} + F^{CE} \geq U_m^* \\ (p - w^{EM})(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}By^2 - F^{CE} \geq U_r^* \\ p^{EM^*} = p^{C^*}, y^{EM^*} = y^{C^*}, \tau^{EM^*} = \tau^{C^*} \end{cases} \end{aligned}$$

上面的第一个约束条件表示制造商的效用至少不低于分散决策时可达到的效用，第二个约束条件表示零售商的效用同样不低于分散决策，只有满足条件，双方才有意愿和动力履行契约，第三个展示的是激励相容约束，通过对上述模型求解，具体的决策为：

$$w^{EM^*} = \frac{2B\beta c_L c_m - \alpha B c_L - a^2 c_L c_m - B\alpha\beta(\Delta - A)^2}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

此时，制造商、零售商与闭环供应链系统的效用分别为：

$$U_m^{EM^*} = G^{EM^*} - \frac{B^2\beta c_L(\alpha - \beta c_m)^2((2-h)c_L + \beta(\Delta - A)^2)}{2(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)^2}$$

$$U_r^{EM^*} = \frac{Bc_L^2(\alpha - \beta c_m)^2(2B\beta - a^2)}{2(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)^2} - G^{EM^*}$$

$$U_s^{EM^*} = \frac{Bc_L(\alpha - \beta c_m)^2(B\beta c_L h - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}{2(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)^2}$$

零售商的效用至少不低于分散决策时可以获得保留效用，根据上述条件，能得到关于固定转移费用 G^{EM} 的上界为：

$$G^{EM*} \leq \overline{G^{EM*}} = \frac{Bc_L^2(\alpha - \beta c_m)^2(2B\beta - a^2)(3B\beta - B\beta h - a^2)((5-h)B\beta c_L - 3a^2 c_L - 2B\beta^2(\Delta - A)^2)}{2((4-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

同理，制造商的效用至少不低于分散决策时可以获得保留效用，关于 G^{EM} 的下界为：

$$G^{EM*} \geq \underline{G^{EM*}} = \frac{Bc_L^2(\alpha - \beta c_m)^2(3B\beta - B\beta h - a^2)^2}{2((4-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

结论 4.1 两部定价机制 (w^{EM*}, G^{EM*}) 可以有效协调制造商承担社会责任的闭环供应链，当批发价格和固定费用满足以下条件： $w^{EM*} = \frac{2B\beta c_L c_m - \alpha B c_L - a^2 c_L c_m - B\alpha\beta(\Delta - A)^2}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$ ， $G^{EM*} \in [\underline{G^{EM*}}, \overline{G^{EM*}}]$ ，通过调整转移费用 G^{EM} ，可以保证各成员的效用均不低于分散决策，并实现供应链整体的效用最大化。

结论 4.1 表明上述的两部定价机制可以有效协调制造商承担社会责任的闭环供应链，此时的零售价格、废旧品回收率和销售努力投入均可以达到集中决策时的最优决策，制造商和零售商效用也不低于分散决策时可获得的社会效用，说明通过制造商降低批发价以让利零售商，零售商获利后再转移固定费用来补偿制造商的形式是可行的，最终两者效用均会实现增加，并对供应链整体产生积极影响。

4.2 制造商、零售商共担 CSR（模型 EMR）

制造商和零售商共同承担社会责任的情形中，首先由制造商给出较低的批发价格 w^{EMR} ，激励零售商的销售努力投入，此时销售努力水平可以达到集中决策下最优水平 y^{C*} ，并以集中决策下的价格 p^{C*} 售卖产品。然后，制造商在协调闭环供应链的过程中，为零售商降低了批发价格，自身收益有损失，为了弥补制造商降低的收益，零售商需要向制造商支付已约定好的固定数额转移费用。因此，两部定价制契约 (w^{EMR}, G^{EMR}) 下，制造商的决策问题如下所示：

$$\begin{aligned} \max_{w^{EMR}, G^{EMR}} U_M &= (w^{CE} - c_m + (\Delta - A)\tau)(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}c_L\tau^2 + \frac{(1-h)(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta} \\ \text{s. t.} \quad &\begin{cases} (w^{EMR} - c_m + (\Delta - A)\tau)(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}c_L\tau^2 + \frac{(1-h)(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta} + G^{EMR} \geq U_m^{MR*} \\ (p - w^{EMR})(\alpha - \beta p + ay) - \frac{1}{2}By^2 + \frac{h(\alpha - \beta p + ay)^2}{2\beta} - G^{EMR} \geq U_r^{MR*} \\ p^{EMR*} = p^{C*}, y^{EMR*} = y^{C*}, \tau^{EMR*} = \tau^{C*} \end{cases} \end{aligned}$$

通过对上述模型求解，具体的决策首先是零售商制定的零售价格等于集中决策时的最优零售价格，也即：

$$p^{EMR*} = p^{C*} = \frac{B\beta c_L c_m - a^2 c_L c_m - B\alpha\beta(\Delta - A)^2}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

将上述最优零售价格代入分散决策时零售商的零售价格反应函数中 $p^{MR} = \frac{B\beta w - a^2 w + B\alpha(1-h)}{2B\beta - a^2 - B\beta h}$ ，通过等式求解可得，制造商制定的最优批发价格为：

$$w^{EMR*} = \frac{B\beta c_L c_m(2-h) - (1-h)\alpha B c_L - a^2 c_L c_m - B\beta(\Delta - A)^2}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}$$

此时，制造商、零售商与闭环供应链系统的效用分别为：

$$U_m^{EMR^*} = G^{EMR^*} - \frac{B^2\beta c_L(\alpha - \beta c_m)^2((1-h)c_L + \beta(\Delta - A))^2}{2(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

$$U_r^{EMR^*} = \frac{Bc_L^2(\alpha - \beta c_m)^2(2B\beta - B\beta h - a^2)}{2(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)} - G^{EMR^*}$$

$$U_s^{EMR^*} = U^{c^*} = \frac{Bc_L(\alpha - \beta c_m)^2}{2(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

零售商的效用至少不低于分散决策时可以获得的保留效用, 通过计算便可求得固定转移费用 G^{EMR^*} 的上界为:

$$G^{EMR^*} \leq \overline{G^{EMR^*}} = \frac{Bc_L^3(\alpha - \beta c_m)^2(2B\beta - B\beta h - a^2)^2((4-h)B\beta c_L - 3a^2 c_L - 2B\beta^2(\Delta - A)^2)}{2((3-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)^2(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

同理, 制造商的效用至少不低于分散决策时可以获得的保留效用, 关于 G^{EMR^*} 的下界为:

$$G^{EMR^*} \geq \underline{G^{EMR^*}} = \frac{Bc_L^3(\alpha - \beta c_m)^2(2B\beta - B\beta h - a^2)^2}{2((3-h)B\beta c_L - 2a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)(B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2)}$$

结论 4.2 通过两部定价制契约 (w^{EMR^*} , F^{EMR^*}) 可以有效协调制造商和零售商同时承担社会责任的分散化闭环供应链, 契约参数满足:

$$w^{EMR^*} = \frac{(2-h)B\beta c_L c_m - (1-h)\alpha B c_L - a^2 c_L c_m - B\beta(\Delta - A)^2}{B\beta c_L - a^2 c_L - B\beta^2(\Delta - A)^2}, \quad G^{EMR^*} \in [\underline{G^{EMR^*}}, \overline{G^{EMR^*}}].$$

契约下闭环供应链的均衡决策与集中模型的均衡决策相同, 闭环供应链系统的效用也达到最优:

$$p^{EMR^*} = p^{c^*}, \quad y^{EMR^*} = y^{c^*}, \quad \tau^{EMR^*} = \tau^{c^*}, \quad U_s^{EMR^*} = U^{c^*}.$$

结论 4.2 表明: 两部定价制契约可以有效实现制造商和零售商共同承担社会责任的分散化闭环供应链, 协调后的产品零售价格、废旧品回收率和销售努力投入水平均可以达到集中决策时的最优决策, 同时闭环供应链系统的总效用同样等于集中决策时的最优解。因此, 与多数经济学和管理学中常提到的协调契约思想基本相同, 通过制造商的“批发价格折扣”, 零售商的利润空间也得到释放, 结合销售努力投入水平的提高, 对市场占有率和回收率提高均产生积极影响, 在接收补贴的固定转移费用后, 制造商可以保持自身收益, 契约的协调作用充分体现。同时契约使用的过程中有一个固定的转移支付费用, 并存在上界和下界, 当 F^{EMR^*} 取到上界值时, 零售商的效用仅仅等于分散化决策时的最小值, 当 F^{EMR^*} 取到下界值时, 制造商的效用也是最低, 这个时候也是制造商还愿意履行契约的临界点, 若取值不在区间内, 契约便会失效, 制造商或零售商不再参与, 因此在契约的执行过程中, 转移支付的真实数额是双方共同协商后约定并满意的数值。

5 数值分析

为验证上述结论的正确性及合理性, 以及进一步挖掘模型背后的一些管理启示, 下面进行数值分析, 本文假设市场需求是同时受价格和销售努力的影响, 主要分析消费者对销售努力的敏感系数和社会责任分担系数变化对不同情形下(协调决策和分散决策)供应链成员定价决策和效用的影响。根据上文的条件和约束 $(2-h)B\beta - a^2 > 0$ 、所有成员均为经济理性: $p \geq w \geq c_m \geq c_r$ 和回收规模参数 c_L 应足够大, 参考 Zerang 等

的数据赋值, 本章假设 $\alpha = 100$, $\beta = 1$, $c_m = 25$, $\Delta = 15$, $A = 5$, $c_L = 1500$, $B = 30$ 。

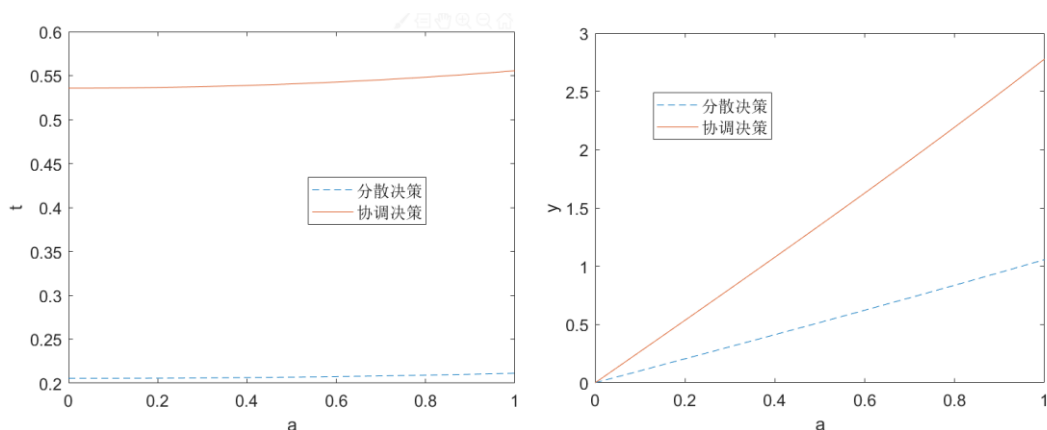
图1 分散决策和协调决策下回收率、销售努力投入随 α 的变化

图1展示了分散决策和契约协调之后的回收率和销售努力投入水平与敏感系数 α 变化的关系，显而易见，两部定价契约协调后的回收率和销售努力投入均会高于分散决策，在两种不同情形下，随着消费者对销售努力投入敏感程度的增加，废旧品的回收率和销售努力投入都是会增加的，而且敏感系数增大对协调决策中的回收率和销售努力投入增加的正向作用更显著。

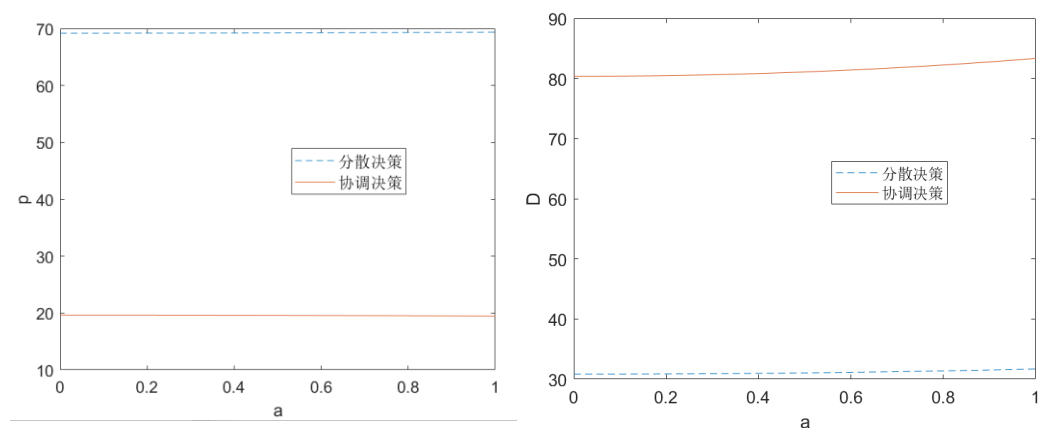
图2 分散决策和协调决策下零售价格、市场需求量随 α 的变化

图2展示了分散决策和契约协调之后的零售价格、市场需求量与销售努力投入敏感系数 α 变化的关系，可以看出在分散决策下由于双重边际效应，零售价格会相对较高，并且随着销售努力水平的提高，零售价还会有进一步增加的趋势；通过契约协调后的零售价格可以保持在较低水平，假若消费者对价格很敏感，对抢占市场增大需求都有积极作用，同时随着销售努力水平的提高，零售价有进一步降低的趋势，充分体现了契约协调对调低价格的作用，以便让利和吸引消费者。对于市场需求而言，两种情形中随着消费者对销售努力投入敏感程度增加，市场需求均会增加，在契约协调下，市场需求受较低零售价和较高销售努力投入的共同影响，此时的需求量远高于分散决策。

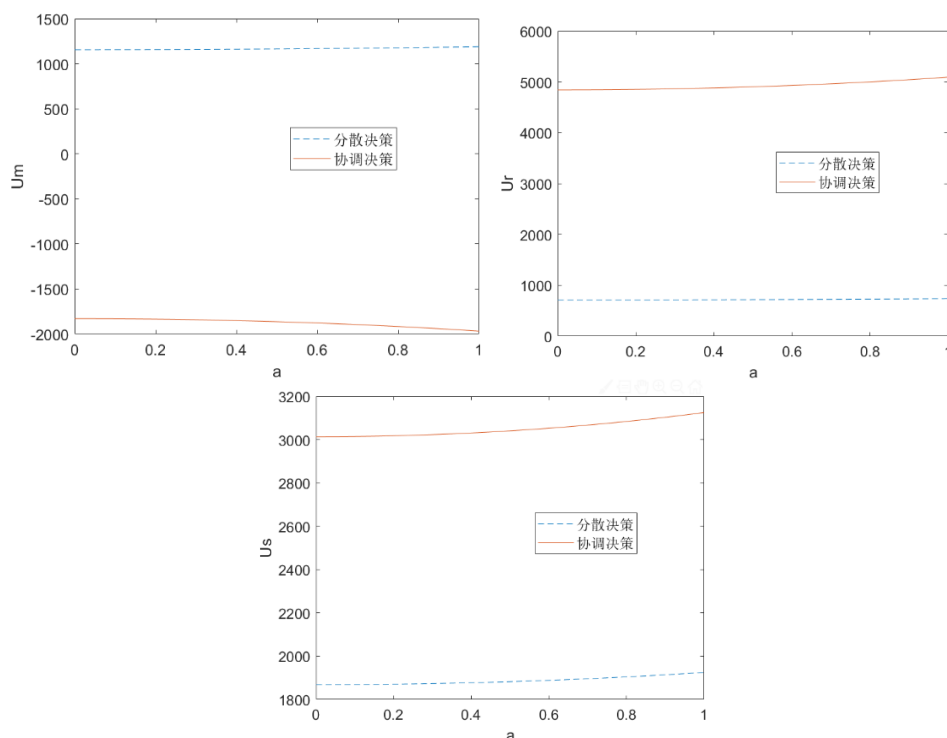


图3 分散决策和协调决策下供应链成员、系统效用随 α 的变化

图3展示了销售努力投入敏感系数 α 变化对分散决策和契约协调之后的制造商效用、零售商效用和供应链整体效用的影响, 总体而言, 供应链成员和整体效用都是随敏感系数 α 增加而增加。对制造商而言, 在契约协调的过程中, 较低批发价可能会使制造商效用有较大损失, 但主要的收益还来自零售商转移支付的固定费用, 此时敏感系数增加对制造商效用反而有负面作用; 对零售商而言, 契约协调会使它的运营获利占有优势, 零售商的效用会有显著的增加, 最终与分散决策时对比, 闭环供应链系统的总体效用同样会有显著增加, 也体现了两部定价契约消除双重边际化效应, 实现协调的有效性。

6 结论

本研究围绕具有零售商销售努力的社会责任闭环供应链进行研究, 建立集中和分散决策下的具有社会责任的闭环供应链模型, 主要由上游制造商和下游零售商组成, 在对比两种情形下供应链成员的均衡定价、回收率、系统效用后, 发现确实存在双重边际效用, 因此引入二部定价契约进行了供应链协调, 通过均衡求解和参数分析可以得出以下几点结论:

(1) 无论是集中决策还是分散决策, 零售商销售努力对市场需求量、废旧品回收率的增加都有促进作用, 与闭环供应链整体效用的增加也成正比。

(2) 制造商和零售商共同承担社会责任的情形中, 当零售商承担较多社会责任时, 会直接体现在让利消费者, 此时的零售价会降低, 最终零售商效用也会有损失, 这也说明零售商履行社会责任的程度并不是越高越好, 对零售商和闭环供应链整体而言, 适当的社会责任能优化闭环供应链系统, 此时更能实现社会福利最大化目标。

(3) 无论是制造商单独承担社会责任、零售商单独承担社会责任以及两者共担的情形, 二部定价契约均可以实现闭环供应链的协调, 即较低批发价和支付固定转移费用的结合是可行

的, 契约协调下的市场需求量、回收率、销售努力投入均高于分散决策。

虽然本文对具有零售商销售努力和不同主体承担社会责任的闭环供应链决策进行了初步研究, 但还存在一些不足, 首先本文只考虑制造商回收, 之后可以考虑由另外的供应链成员回收或者多成员共同回收的情形, 此外, 本文考虑的市场需求量均是确定性需求, 在以后的研究中, 可以考虑随机需求对社会责任型闭环供应链决策的影响。

参考文献

- [1] Sasikumar P, Kannan G. Issues in reverse supply chains, part II: reverse distribution issues - an overview[J]. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2008, 1(4): 234-249.
- [2] Savaskan R C, Bhat S, Van Wassenhove L N. Closed-loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing[J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239-252.
- [3] Savaskan R C, Van Wassenhove L N. Reverse channel design: the case of competing retailers[J]. *Management Science*, 2006, 52(1): 1-14.
- [4] Bulmus S C, Zhu S X, Teunter R. Competition for cores in remanufacturing[J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 233(1): 105-113.
- [5] Ma P, Shang J, Wang H Y. Enhancing corporate social responsibility: Contract design under information asymmetry[J]. *Omega*, 2017, 67: 19-30.
- [6] Liu Y, Quan B T, Xu Q, Forrest J Y L. Corporate social responsibility and decision analysis in a supply chain through government subsidy[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 208: 436-447.
- [7] KPMG. *International Survey of Corporate Social Responsibility Reporting*. 2008.
- [8] Ageron B, Gunasekaran A, Spalanzani A. Sustainable supply management: An empirical study[J]. *International journal of production economics*, 2012, 140(1): 168-182.
- [9] Ashby A, Leat M, Smith M H. Making connections: a review of supply chain management and sustainability literature[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2012, 17(5): 497-516.
- [10] 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]. *Journal of Business ethics*, 2008, 81(1): 223-234.
- [11] Besiou M, Van Wassenhove L N. Addressing the challenge of modeling for decision - making in socially responsible operations[J]. *Production and Operations Management*, 2015, 24(9): 1390-1401.
- [12] Hong X P, Xu L, Du P, Wang W J. Joint advertising, pricing and collection decisions in a closed-loop supply chain[J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 167: 12-22.
- [13] 李建斌, 朱梦萍, 戴宾. 双向搭便车时双渠道供应链定价与销售努力决策[J]. *系统工程理论与实践*, 2016, 36(12): 3046-3058.
- [14] Gao J H, Han H S, Hou L T, Wang H Y. Pricing and effort decisions in a closed-loop supply chain under different channel power structures[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 2043-2057.
- [15] Zerang E S, Taleizadeh A A, Razmi J. Analytical comparisons in a three-echelon closed-loop supply chain with price and marketing effort-dependent demand: game theory approaches[J]. *Environment, development and sustainability*, 2018, 20(1): 451-478.
- [16] Taleizadeh A A, Zerang E S, Choi T M. The effect of marketing effort on dual-channel closed-loop supply chain systems[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2016, 48(2): 265-276.
- [17] Panda S. Coordination of a socially responsible supply chain using revenue sharing

contract[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2014, 67: 92-104.

- [18] 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: 11-21.

Coordination of Socially Responsible Closed-Loop Supply Chain Considering Retailers' Sales Efforts

Shu Tong, Zeng Jiayi

(School of Business Administration , Hunan University, Changsha Hunan, 410000)

Abstract: This paper focuses on the research of social responsibility closed-loop supply chain with retailer's sales effort. Firstly, the decision-making model of manufacturer and retailer performing social responsibility simultaneously under centralized and decentralized decision-making is established. The equilibrium pricing, scrap recovery rate and system utility of supply chain members under the two situations are compared, and the influence of sales effort input level on equilibrium decision-making and member utility is also analyzed. The research shows that the retailer's sales effort has a positive impact on the increase of market demand, recovery rate and total system utility. The results show that the retailer's sales effort has a positive impact on the increase of market demand, recovery rate and total utility of the system. Then, taking the optimal result in the centralized situation as the benchmark, this paper explores the effectiveness of using the bipartite pricing contract to coordinate the decentralized closed-loop supply chain under the three basic situations of the manufacturer's social responsibility, the retailer's social responsibility and their sharing.

Keywords: Closed-loop supply chain, Corporate social responsibility, Retailer sales effort, Coordination