

政府补贴对闭环供应链成员利润分配的影响

林 杰, 曹 凯

(同济大学 经济与管理学院, 上海 201804)

摘要: 以家电以旧换新为研究背景, 构建了无财政补贴和以旧换新补贴下闭环供应链成员利润分配模型, 采用博弈技术求解出两种模型的闭环供应链成员利润分配情况. 结果表明: 采取以旧换新补贴策略前后, 作为系统主导者的家电制造商往往有能力使自身收益分配最大化; 作为跟随者的零售商和第三方回收商利润分配呈现此消彼长的关系. 当制造商重心放在销售渠道时, 零售商收益分配显著增长; 当制造商偏重于回收渠道时, 第三方回收商收益分配显著增长.

关键词: 闭环供应链; 以旧换新; 政府补贴; 利润分配格局
中图分类号: F224.32 **文献标志码:** A

Profits Distribution of Members in Closed-loop Supply Chain with Government Replacement-subsidy

LIN Jie, CAO Kai

(College of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The government replacement-subsidy promotes product upgrading and destroys the profits distribution pattern of closed-loop supply chain. The members' profits distribution models in the closed-loop supply chain in the non-subsidy policy and in the replacement policy are set up by the game theory based on game theory in the home appliances replacement background. The results show that the replacement-subsidy can promote the product sales volume, waste-product recovering volume and the members of closed-loop supply chain profits and reduce the costs of waste-products collection activities; the government subsidy coefficient can effectively adjust the members' profits distribution in the closed-loop supply chain; the average of the government subsidy, government subsidy coefficient, limits of government subsidy can affect the subsidy influence significantly.

Key words: closed-loop supply chain; replacement-subsidy

policy; government subsidy; profits distribution

为了应对全球经济危机对国内家电制造业的影响以及解决国内内需不足的问题, 2007年12月国家政府部门推行“家电下乡”计划^[1]来刺激消费类电子产品二级市场. 在此基础上, 2009年又推出了促进城市消费的“家电以旧换新”政策, 在北京、上海等九个试点城市正式进入实施阶段并取得了非常显著的效果.

近几年, 随着家电以旧换新政策的普及, 许多学者从以旧换新政策的应用效果和影响分析等角度做了非常详细的定性研究. 孔令锋等^[2]针对家电以旧换新政策, 从实施效果角度进行了研究. 马晓兰等^[3]从家电以旧换新回收策略和体系构建角度出发, 对现有回收体系提出了相关建议. 以上研究者从企业角度和消费者角度来研究以旧换新的实施效果, 但忽略了作为以旧换新政策推行执行者—政府, 因此从政府所关注的指标出发能帮助其做出正确的决策.

在可持续发展的大趋势下, 闭环供应链管理对于制造商、零售商和回收商来说具有多方面的重要意义, 因此闭环供应链定价决策、渠道选择等问题引起了越来越多学者的关注. 聂佳佳^[4]研究了四种渠道结构对第三方负责回收闭环供应链的影响. 张建军等^[5]分析了两阶段闭环供应链中、上、下游制造商和零售商在批发价格、零售价格以及各自产品回收价格的决策问题上的主从博弈过程. 王文宾等^[6]通过建立零售商回收与第三方回收废旧品情形的闭环供应链决策模型, 讨论了回收努力程度和产品定价的区别, 分析了制造商与零售商的利润随消费者偏好系数的变化规律. 以上研究主要以第三方回收方式下的闭环供应链模型为基础, 从定价决策、

收稿日期: 2013-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(71071114); 上海市重点学科建设项目(B310); 教育部人文社会科学研究规划项目(11YJC630216)

第一作者: 林 杰(1967—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为供应链仿真、商务智能等. E-mail: jielinf@163.com

渠道选择等闭环供应链的成员角度进行最优状态探讨,而从闭环供应链系统整体角度(如系统利润分配)的研究较少。

政府作为外来力量提供方往往对闭环供应链的运转产生直接影响,因此关于政府机构采取何种影响政策以及如何影响等方面的研究也吸引了很多学者的关注。Wang 等^[7]针对于信息产品供应链的特点,在政府补贴政策下,给供应链的参与方提出一种协调契约。Mitra 等^[8]以一个两周期的闭环供应链模型为基础,研究了政府补贴对于再制造生产的影响以及不同补贴率的影响程度。马卫民等^[9]从消费者、闭环供应链的规模和企业三个视角分析了以旧换新补贴对四种模式闭环供应链的影响。Han^[10]引入多个竞争型制造商和一个统治型零售商的闭环供应链结构,使用政府补贴手段来激励制造商,促使其选择直接回收渠道,这种回收方式对于消费者和社会效益最优。柳键等^[11]基于非合作博弈模型与合作博弈模型研究制造商和零售商之间的关系以及政府补贴对企业带来的影响。Jin 等^[12]通过构建一个含有两种类型的制造商、消费者和政府环保资金研究政府在绿色供应链中所起的作用。Zhou 等^[13]建立一个二阶段闭环供应链模型,包含一个制造商和一个销售商,对比分析政府补贴前后对正向供应链和逆向供应链的影响。以上学者主要探讨政府补贴注入闭环供应链系统之后对成员的定价策略、渠道选择、协调契约等方面的影响,但较少从政府角度以及闭环供应链系统运作效率方面讨论补贴前后的变化过程。

本文考虑回收服务委托给第三方的三阶段闭环供应链,以无政府补贴下闭环供应链成员利润分配模型和以旧换新补贴下闭环供应链成员利润分配模型为优化目标,站在政府角度,采用博弈技术,对以下两点进行探讨:① 无补贴时在闭环供应链成员利润分配模型下,当系统运转达到均衡时,利润分配是如何进行的?而当政府注入一笔补贴时(E模型),闭环供应链的成员利润分配格局如何转换?② 基于①的博弈模型,补贴系数如何影响闭环供应链成员的利润分配?取何值时最佳?影响函数各个参数如何确定?

1 模型描述和基本假设

家电以旧换新作为一种家电制造商的营销策略由来已久,在政府颁布家电以旧换新补贴政策之前,国内许多知名家电制造商都在不同时期采取过以旧

换新策略,但是由于回收成本过大导致家电制造商无力进行普及,只能局限于某一个地区,并往往会处于亏损状态,最终迫使家电制造商放弃。因此,政府参与到该生产线中,由政府负担这部分补贴资金,必将刺激越来越多的家电制造商参与旧家电回收活动,规范家电回收的流程,缓减制造商因回收成本巨大而难以维持的困境。

图1为第三方负责回收方式下闭环供应链模型。这种模式包含单一家电制造商、单一特许零售商、单一第三方回收商和一个产品原材料供应市场。家电制造商生产制造出一种家电产品以批发价格 $P_{M,R}$ 批发给特许零售商,零售商再以价格 $P_{R,C}$ 销售给终端消费者。同时家电制造商委托一个第三方回收企业从消费者处以单位补贴 $P_{M,T}$ 回收废旧家电,然后家电制造商再以单位补贴 $P_{T,C}$ 从第三方处回收废旧家电并以一定价格出售给原材料供应市场进行废旧产品拆解、熔化成产品原材料(如铜、金等原材料),最后制造商再从该市场购买相应的产品原材料进行制造生产活动,这部分通过回购一件废旧品从而减少的原材料采购和制造商成本为 $C_{M,r}$ 。

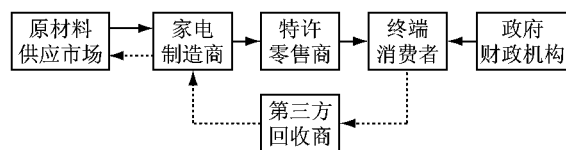


图1 第三方回收方式下闭环供应链模型

Fig.1 Closed-loop supply chain model of the third-party collection

在注入政府补贴之前,闭环供应链经过自身不断调整达到了一种稳定平衡状态,此时,家电制造商、零售商和第三方回收商的利润分配比例也相对稳定。在该闭环供应链模型中,消费者是惟一的供应链资金输入方和产品消费方,而其他成员都是获取一部分消费者输入的资金,并生产出消费者获得产品的“部分功能”。在有政府补贴情况下,供应链的资金输入方变为消费者和政府,必然引起供应链利润格局的变动,这种变动随着供应链的运作最终达到一种新的稳定格局。

为了使研究更有针对性、科学性,结合具体的情况建立如下相关假设:

假设1 在闭环供应链系统中,家电制造商负责产品的制造和废旧品的回收,其生产新产品和原材料采购单位成本为 $C_{M,n}$,而通过废旧品回收活动生产新产品和原材料采购单位成本为 $C_{M,r}$,假设 $C_{M,r} < C_{M,n}$ 从而确保家电制造商有利可图,积极参与

废旧品回收活动. 令 $\Delta = C_{M,n} - C_{M,r}$, 则 Δ 为家电制造商从废旧品回收活动中节省的单位成本, $\Delta \geq 0$. 同时本文中的模型只探讨单周期的情况, 假设家电制造商进行再制造, 之前市场中就存在废旧品, 前阶段售出的产品可以被回收回来再使用, 并且生产过程为一个连续的过程.

假设2 废旧产品的回收工作完全外包给第三方. 当政府采取以旧换新补贴政策扩大内需时, 参考周露^[14]关于补贴系数 δ 的定义, 其中 $0 \leq \delta \leq 1$, 该补贴系数的大小由家电产品的售价、废旧家电的剩余价值等因素综合决定, 这里假设所有回收到的旧家电的补贴系数都相同. l 为单位产品政府补贴的最高限额, 其中 $l > 0$ 为常数, 因此废旧家电的单位补贴额为 δl .

假设3 在产品市场销售价格 $P_{R,C}$ 下, 产品的市场需求量为 $Q_d = D - kP_{R,C}$, 其中 D 为市场最大需求量, k 为价格敏感系数, $k \geq 0$. 同时废旧产品的回收量 $Q_r = a + bP_{T,C}$, 其中 $a > 0, b > 0$, a 表示消费者环保意识, 即没有补贴也愿意交由第三方回收商回收, b 表示消费者对于回收补贴价格的敏感系数.

假设4 假设家电制造商是整个闭环供应链的主导者, 它有权对市场的绝对控制力, 零售商和第三方回收商为跟随者.

本文用 $\pi_{i,j}$ 表示在第 j 模型下, 闭环供应链的成员 i 的利润, 其中, $j \in \{N, E\}$, N 表示不采用补贴方式下闭环供应链模型, E 表示采取以旧换新补贴方式下闭环供应链模型; $i \in \{M, R, T\}$, M 表示制造商, R 表示零售商, T 表示为第三方回收商, C_R 表示零售商运营成本, C_T 表示第三方回收商运营成本.

2 无补贴下闭环供应链成员利润分配模型(N模型)

在 N 模型中, 家电制造商主导该市场, 起到斯坦博尔格领导者的角色. 在博弈过程中, 各方都是完全理性人, 都是以自身的利益最大化为目的.

家电制造商的收益主要有两个部分, 分别为产品批发给零售商的收入和废旧品活动中节省的成本费用. 而家电制造商的支出主要为支付给第三方回收商的废旧家电回购费用. 因此, 家电制造商的最终利润

$$\pi_{N,M} = (P_{M,R} - C_{M,n})Q_{N,d} + (\Delta - P_{M,T})Q_{N,r} \quad (1)$$

特许零售商的收益主要有产品的销售收入, 而其支出主要是产品的批发费用、运营成本. 因此, 特

许零售商的最终利润

$$\pi_{N,R} = (P_{R,C} - P_{M,R} - C_R)Q_{N,d} \quad (2)$$

第三方回收商的收益主要是来自于制造商的废旧产品回购款, 而其支出成本主要为支付给消费者的回购费用和运营成本. 因此, 第三方回收商的最终利润

$$\pi_{N,T} = (P_{M,T} - P_{T,C} - C_T)Q_{N,r} \quad (3)$$

由于该博弈为完全信息动态博弈, 其均衡是子博弈精炼纳什均衡, 因此可以采用逆向归纳法来求解. 由此建立 N 模型的定价决策模型

$$\max_{P_{M,R}, P_{M,T}} \pi_{N,M} = (P_{M,R} - C_{M,n})Q_{N,d} + (\Delta - P_{M,T})Q_{N,r}$$

$$s. t. P_{R,C} \in \max \pi_{N,R} = (P_{R,C} - P_{M,R} - C_R)Q_{N,d}$$

$$P_{T,C} \in \max \pi_{N,T} = (P_{M,T} - P_{T,C} - C_T)Q_{N,r}$$

结论1 在 N 模型中, 独立决策下, 闭环供应链的最优家电销售量 $Q_{N,d} = (D - kC_R - kC_{M,n})/4$, 家电最优批发价格 $P_{M,R} = (D - kC_R + kC_{M,n})/(2k)$, 家电最优销售价格 $P_{R,C} = (3D + kC_R + kC_{M,n})/(4k)$, 最优废旧家电回收量 $Q_{N,r} = (\Delta b + a - bC_T)/4$, 旧家电最优市场回收价格 $P_{T,C} = (\Delta b - 3a - bC_T)/(4b)$, 制造商回收旧家电最优价格 $P_{M,T} = (\Delta b - a + bC_T)/(2b)$.

家电制造商最优利润 $\pi_{N,M} = (D - kC_R - kC_{M,n})^2/(8k) + (\Delta b + a - bC_T)^2/(8b)$, 特许零售商的最终利润 $\pi_{N,R} = (D - kC_R - kC_{M,n})^2/(16k)$, 第三方回收商的最优利润 $\pi_{N,T} = (\Delta b + a - bC_T)^2/(16b)$, 最优闭环供应链的总利润 $\pi_N = 3(D - kC_R - kC_{M,n})^2/(16k) + 3(\Delta b + a - bC_T)^2/(16b)$.

结论2 在 N 模型中, 闭环供应链的利润分配比例为

家电制造商

$$R_{N,M} = \frac{2b(D - kC_R - kC_{M,n})^2 + 2k(\Delta b + a - bC_T)^2}{3b(D - kC_R - kC_{M,n})^2 + 3k(\Delta b + a - bC_T)^2}$$

特许零售商

$$R_{N,R} = \frac{b(D - kC_R - kC_{M,n})^2}{3b(D - kC_R - kC_{M,n})^2 + 3k(\Delta b + a - bC_T)^2}$$

第三方回收商

$$R_{N,T} = \frac{k(\Delta b + a - bC_T)^2}{3b(D - kC_R - kC_{M,n})^2 + 3k(\Delta b + a - bC_T)^2}$$

3 以旧换新补贴下闭环供应链成员利润分配模型(E模型)

结合实际的家电以旧换新实施流程: 消费者在购买新家电时可享受新家电销售价格 10% 的家电补贴, 由销售企业代财政部门进行审核, 对符合要求

的,当场兑付补贴资金^[1]. 为了方便计算,对上述流程进行相应简化,在第三方回收方式的闭环供应链模型基础上,增加一个政府部门,对消费者进行以旧换新补贴,废旧家电单位补贴款为 δl . 柳键等^[11]考虑政府补贴对需求函数是线性影响的,由于家电市场规模的约束,补贴对家电需求的增加不可能是无限制的,因此二次函数可更加合理地刻画影响趋势. 这里设计 $\phi(\delta) = m - n(\delta l - \mu)^2$ 描述补贴对闭环供应链的影响幅度, μ 表示平均补贴额, m 为对产品需求和废旧产品回收量的最大影响程度, n 为对产品需求和废旧产品回收量的影响系数. 零售商面临的需求量函数变为 $Q_{E,d} = D - kP_{R,C} + \varepsilon_1 \phi(\delta)$, ε_1 表示政府补贴对需求的影响因子. 同理可得,回收商面临的回收量函数变为 $Q_{E,r} = a + bP_{T,C} + \varepsilon_2 \phi(\delta)$, ε_2 表示政府补贴对旧家电回收量的影响因子. 此处假设该闭环供应链中逆向物流量小于正向物流量,即第三方回收商的回收量小于零售商的销售量($Q_{E,r} < Q_{E,d}$),由此可得, $a + bP_{T,C} + \varepsilon_2 \phi(\delta) < D - kP_{R,C} + \varepsilon_1 \phi(\delta)$. 同时各参数应该满足 $n > 0, 0 \leq \mu \leq l, 0 \leq m \leq D, 0 \leq \varepsilon_1 \leq 1, 0 \leq \varepsilon_2 \leq 1$, 由 $\phi(\delta) \geq 0$ 可得 $0 \leq \delta(\mu - \sqrt{m/n})/l \leq (\sqrt{m/n} + \mu)/l \leq 1$.

家电制造商的最终利润

$$\pi_{E,M} = (P_{M,R} - C_{M,n})Q_{E,d} + (\Delta - P_{M,T})Q_{E,r} \quad (4)$$

特许零售商的最终利润

$$\pi_{E,R} = (P_{R,C} - P_{M,R} - C_R)Q_{E,d} \quad (5)$$

第三方回收商的最终利润

$$\pi_{E,T} = (P_{M,T} - P_{T,C} - C_T)Q_{E,r} \quad (6)$$

由于该博弈为完全信息动态博弈,其均衡是子博弈精炼纳什均衡,因此可以采用逆向归纳法来求家电制造商

$$R_{E,M} = \frac{2b[D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]^2 + 2k[\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]^2}{3b[D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]^2 + 3k[\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]^2}$$

特许零售商

$$R_{E,R} = \frac{b[D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]^2}{3b[D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]^2 + 3k[\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]^2}$$

第三方回收商

$$R_{E,T} = \frac{k[\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]^2}{3b[D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]^2 + 3k[\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]^2}$$

4 政府补贴对系统均衡解的影响

政府作为以旧换新补助政策的推行者在闭环供应链中占据至关重要的作用,因此从政府角度量化衡量以旧换新政策实施效果对于政府制定更加准

确的决策是非常有意义的.

$$\begin{aligned} \max_{P_{M,R}, P_{M,T}} \quad & \pi_{E,M} = (P_{M,R} - C_{M,n})Q_{E,d} + (\Delta - P_{M,T})Q_{E,r} \\ \text{s. t.} \quad & P_{R,C} \in \max \pi_{E,R} = (P_{R,C} - P_{M,R} - C_R)Q_{E,d} \\ & P_{T,C} \in \max \pi_{E,T} = (P_{M,T} - P_{T,C} - C_T)Q_{E,r} \end{aligned}$$

结论 3 在 E 模型中,独立决策下,闭环供应链的最优家电销售量 $Q_{E,d} = [D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]/4$, 家电最优批发价格 $P_{M,R} = [D - kC_R + kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]/(2k)$, 家电最优销售价格 $P_{R,C} = [3D + kC_R + kC_{M,n} + 3\varepsilon_1 \phi(\delta)]/(4k)$, 最优废旧家电回收量 $Q_{E,r} = [\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]/4$, 旧家电最优市场回收价格 $P_{T,C} = [\Delta b - 3a - bC_T - 3\varepsilon_2 \phi(\delta)]/(4b)$, 制造商回收旧家电最优价格 $P_{M,T} = [\Delta b - a + bC_T - \varepsilon_2 \phi(\delta)]/(2b)$.

由于政府部门投入补贴款到闭环供应链中,从而对供应链的利润分配产生影响. 家电制造商、特许零售商和第三方回收商的最优利润依次为

$$\begin{aligned} \pi_{E,M} &= \frac{[D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]^2}{8k} + \frac{[\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]^2}{8b} \\ \pi_{E,R} &= \frac{[D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]^2}{16k} \\ \pi_{E,T} &= \frac{[\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]^2}{16b} \end{aligned}$$

最优闭环供应链的总利润

$$\begin{aligned} \pi_E &= \frac{3[D - kC_R - kC_{M,n} + \varepsilon_1 \phi(\delta)]^2}{16k} + \frac{3[\Delta b + a - bC_T + \varepsilon_2 \phi(\delta)]^2}{16b} \end{aligned}$$

结论 4 在 E 模型中,闭环供应链的利润分配比例为

确的决策是非常有意义的.

对于政府部门来说,它主要从家电的销售量、回收量、销售额、各方的利润分配以及系统总利润来衡量政策实施效果好坏,同时政府部门只能通过调节补贴系数来调控市场. 因此,本节主要从政府比较关注的指标出发,探讨补贴的注入是否促进闭环供应

链系统运行效果,并研究补贴系数的改变对上述指标的影响关系。

为了方便比较,本节假设 $M=D-kC_R-kC_{M,n}$, $N=\Delta b+a-bC_T$ 。

4.1 以旧换新补贴策略实施效果比较

结论 5 在闭环供应链中,政府实施以旧换新补贴策略后给家电销量增加 $\epsilon_1\phi(\delta)/4$,废旧家电回收量增加 $\epsilon_2\phi(\delta)/4$ 。

证明 由结论 1 和 3 对比可知, $Q_{E,d}-Q_{N,d}=\epsilon_1\phi(\delta)/4$, $Q_{E,r}-Q_{N,r}=\epsilon_2\phi(\delta)/4$,命题得证。

由结论 5 可以看出,政府的补贴款注入到闭环供应链后,无论对家电的销售量还是废旧家电回收量均产生了积极的刺激作用,而刺激的幅度取决于函数 $\phi(\delta)$ 以及 ϵ_1 和 ϵ_2 。闭环供应链系统在收到政府补贴外来力量的冲击后,经过较短时间的调整,最终必然大大提升消费者对产品需求和交付废旧产品的热情,消费者比补贴前更愿意购买新产品,并更加积极主动积极地将废旧产品交付给回收商。

结论 6 在闭环供应链中,政府实施以旧换新补贴策略之后,家电制造商利润增加 $[2M+\epsilon_1\phi(\delta)]\epsilon_1\phi(\delta)/(8k)+[2N+\epsilon_2\phi(\delta)]\epsilon_2\phi(\delta)/(8b)$, 特许零售商利润增加 $[2M+\epsilon_1\phi(\delta)]\epsilon_1\phi(\delta)/(16k)$, 第三方回收商利润增加 $[2N+\epsilon_2\phi(\delta)]\epsilon_2\phi(\delta)/(16b)$, 闭环供应链的总利润增加 $3[2M+\epsilon_1\phi(\delta)]\epsilon_1\phi(\delta)/(16k)+3[2N+\epsilon_2\phi(\delta)]\epsilon_2\phi(\delta)/(16b)$ 。

由结论 6 可知,政府补贴的注入打破了闭环供应链原来的平衡稳定状态,经过一段时间的调整,系统趋向另一种平衡状态。在新的平衡状态中,虽然由于更多的产品被购买,更多的废旧产品被回收,从而造成产品销售价格的升高以及废旧产品回收价格的降低,但由于产品销量和废旧产品回收量的增长幅度远远大于价格的变化幅度,因此闭环供应链各成员(制造商、零售商和第三方回收商)的利润还是增加的。

结论 7 在闭环供应链中,政府实施以旧换新补贴策略后给家电制造商销售额增加 $[2M+\epsilon_1\phi(\delta)]\epsilon_1\phi(\delta)/(8k)$, 特许零售商销售额增加 $[6D-2kC_R-2kC_{M,n}+3\epsilon_1\phi(\delta)]\epsilon_1\phi(\delta)/(16k)$, 第三方回收商支出的回收成本降低 $[2\Delta b+6a-2bC_T+3\epsilon_2\phi(\delta)]\epsilon_2\phi(\delta)/(16b)$, 家电制造商支出的回收成本降低 $[2a-2bC_T+\epsilon_2\phi(\delta)]\epsilon_2\phi(\delta)/(8b)$ 。

由结论 7 可以看出,闭环供应链系统进入新平衡状态后,产品销量和废旧产品的回收量增长幅度大于产品销售价格和废旧产品回收价格的减少幅

度,从而导致闭环供应链成员(制造商、零售商和第三方回收商)销售额的增长。

结论 8 在闭环供应链中,政府实施以旧换新补贴策略后,对于家电制造商来说,它在系统中的利润分配比例不发生变化,对于特许零售商和第三方回收商来说,当 $N\epsilon_1 \geq M\epsilon_2$ 时,特许零售商的利润比例增加,第三方回收商的利润比例则下降;当 $N\epsilon_1 < M\epsilon_2$ 时,特许零售商的利润比例减少,第三方回收商的利润比例则增加。

由结论 8 可以看出,家电制造商作为闭环供应链系统的主导者,完全控制产品销售渠道和废旧产品的回收渠道,它是政府补贴的最大受益方,它的收益增加量完全等同于系统增加量,因此作为主导者的家电制造商在闭环供应链中的利润分配保持不变。而作为跟随者的零售商和第三方回收商来说,它们的利润增长幅度与系统总利润的增长幅度由 $N\epsilon_1$ 和 $M\epsilon_2$ 大小比较决定,当零售商的利润比例增加时,第三方回收商利润比例则减少;反之亦然,两者是彼消此长的关系。

证明

$$\frac{R_{E,M}}{R_{N,M}} = \frac{2b[M+\epsilon_1\phi(\delta)]^2+2k[N+\epsilon_2\phi(\delta)]^2}{2bM^2+2kN^2}.$$

$$\frac{3bM^2+3kN^2}{3b[M+\epsilon_1\phi(\delta)]^2+3k[N+\epsilon_2\phi(\delta)]^2}=1$$

$$\frac{R_{E,R}}{R_{N,R}} = \frac{3bM^2[M+\epsilon_1\phi(\delta)]^2+3kN^2[M+\epsilon_1\phi(\delta)]^2}{3bM^2[M+\epsilon_1\phi(\delta)]^2+3kM^2[N+\epsilon_2\phi(\delta)]^2}$$

当 $N\epsilon_1 \geq M\epsilon_2$ 时, $R_{E,R}/R_{N,R} \geq 1$, 即 $R_{E,R} \geq R_{N,R}$;

当 $N\epsilon_1 < M\epsilon_2$ 时, $R_{E,R}/R_{N,R} < 1$, 即 $R_{E,R} < R_{N,R}$ 。

$$\frac{R_{E,T}}{R_{N,T}} = \frac{3bM^2[N+\epsilon_2\phi(\delta)]^2+3kN^2[N+\epsilon_2\phi(\delta)]^2}{3bN^2[M+\epsilon_1\phi(\delta)]^2+3kN^2[N+\epsilon_2\phi(\delta)]^2}$$

当 $N\epsilon_1 \geq M\epsilon_2$ 时, $R_{E,T}/R_{N,T} \leq 1$, 即 $R_{E,T} \leq R_{N,T}$;

当 $N\epsilon_1 < M\epsilon_2$ 时, $R_{E,T}/R_{N,T} > 1$, 即 $R_{E,T} > R_{N,T}$ 。

4.2 补贴系数对闭环供应链各方利润的影响

结论 9 在闭环供应链系统中,当政府补贴系数 $\delta \geq \mu/l$ 时,家电制造商、特许零售商、第三方回收商和系统总利润随着补贴系数 δ 增加而呈现二次函数递减变化;当 $0 < \delta < \mu/l$ 时,家电制造商、特许零售商、第三方回收商和系统总利润随着补贴系数 δ 增加而呈现二次函数递增变化。

结论 9 应证了第 3 节关于政府补贴系数对产品市场需求量和废旧产品回收量呈二次函数变化的假设。当补贴系数在 $0 \sim \mu/l$ 区间增加时,由于对产品市场和废旧产品回收量都产生较大促进作用,从而导致闭环供应链的成员利润以及系统总利润都显著上涨;而当补贴系数在 $\mu/l \sim 1$ 区间增加时,由于对

产品市场需求量和回收量产生反向递减作用,从而导致闭环供应链的成员利润以及系统总利润下降。

证明 对政府补贴影响函数和补贴系数求导可得 $\frac{\partial \phi(\delta)}{\partial \delta} = -2nl(\delta l - \mu)$ 。

对家电制造商最终利润求导,可得

$$\frac{\partial \pi_{E,M}}{\partial \delta} = -(\delta l - \mu)nl \cdot \left\{ \frac{\epsilon_1 [M + \epsilon_1 \phi(\delta)]}{2k} + \frac{\epsilon_2 [N + \epsilon_2 \phi(\delta)]}{2b} \right\}$$

对特许零售商最终利润求导,可得

$$\frac{\partial \pi_{E,R}}{\partial \delta} = -\epsilon_1 (\delta l - \mu)nl \frac{M + \epsilon_1 \phi(\delta)}{4k}$$

对第三方回收商最终利润求导,可得

$$\frac{\partial \pi_{E,T}}{\partial \delta} = -\epsilon_2 (\delta l - \mu)nl \frac{N + \epsilon_2 \phi(\delta)}{4b}$$

当 $\delta l \geq \mu$ 时, $\frac{\partial \pi_{E,M}}{\partial \delta} \leq 0$, $\frac{\partial \pi_{E,R}}{\partial \delta} \leq 0$, $\frac{\partial \pi_{E,T}}{\partial \delta} \leq 0$; 当

$\delta l < \mu$ 时, $\frac{\partial \pi_{E,M}}{\partial \delta} > 0$, $\frac{\partial \pi_{E,R}}{\partial \delta} > 0$, $\frac{\partial \pi_{E,T}}{\partial \delta} > 0$, 命题得证。

4.3 补贴系数对闭环供应链各方利润分配比例的影响

结论 10 在闭环供应链中,当政府补贴系数 $\delta \geq \mu/l$ 时,家电制造商所占的利润分成比例随着补贴系数 δ 增加而增加,而特许零售商和第三方回收商的利润分成比例还要取决于 $M\epsilon_2$ 和 $N\epsilon_1$ 的大小取值。若 $M\epsilon_2 \geq N\epsilon_1$, 特许零售商所占的利润比例随着补贴系数的增加而增加,第三方回收商的利润比例随着

补贴系数的增加而减少;若 $M\epsilon_2 < N\epsilon_1$, 特许零售商所占的利润比例随着补贴系数的增加而减少,第三方回收商的利润比例随着补贴系数的增加而增加。当政府补贴系数 $\delta < \mu/l$ 时,家电制造商所占的利润比例随着补贴系数 δ 增加而减少,而特许零售商和第三方回收商的利润比例还要取决于 $M\epsilon_2$ 和 $N\epsilon_1$ 的大小取值。若 $M\epsilon_2 \geq N\epsilon_1$, 特许零售商所占的利润比例随着补贴系数的增加而减少,第三方回收商的利润比例随着补贴系数的增加而增加;若 $M\epsilon_2 < N\epsilon_1$, 特许零售商所占的利润比例随着补贴系数的增加而增加,第三方回收商的利润比例随着补贴系数的增加而减少。

由结论 10 可以看出,在闭环供应链进入新平衡稳定状态过程中,其成员的利润分配比例随着政府补贴系数的变化会有不同的转变过程,家电制造商作为闭环供应链系统的主导者,完全有能力使自己的收益比例最大化,因此它的收益分成变化与补贴系数关系完全取决于政府补贴对闭环供应链的效果。政府补贴对闭环供应链产生积极的作用效果,则制造商收益比例上涨,当政府补贴对闭环供应链产生消极的作用效果,则制造商收益比例下降。作为跟随者的零售商和第三方回收商,它们之间的收益比例是此消彼长的关系,与补贴系数是正向关系还是逆向关系还需要取决于 $M\epsilon_2$ 和 $N\epsilon_1$ 这两个参数的比较结果。

证明

对家电制造商利润分配比例求导,可得

$$\frac{\partial R_{E,M}}{\partial \delta} = \frac{\{\epsilon_1 [N + \epsilon_2 \phi(\delta)] + \epsilon_2 [M + \epsilon_1 \phi(\delta)]\} 24kbnl (\delta l - \mu) [M + \epsilon_1 \phi(\delta)] [N + \epsilon_2 \phi(\delta)]}{3b[M + \epsilon_1 \phi(\delta)]^2 + 3k[N + \epsilon_2 \phi(\delta)]^2}$$

对特许零售商利润分配比例求导,可得

$$\frac{\partial R_{E,R}}{\partial \delta} = \frac{12kbnl (\delta l - \mu) [M + \epsilon_1 \phi(\delta)] [N + \epsilon_2 \phi(\delta)] (\epsilon_2 M - \epsilon_1 N)}{3b[M + \epsilon_1 \phi(\delta)]^2 + 3k[N + \epsilon_2 \phi(\delta)]^2}$$

对第三方回收商利润分配比例求导,可得

$$\frac{\partial R_{E,T}}{\partial \delta} = \frac{12kbnl (\delta l - \mu) [M + \epsilon_1 \phi(\delta)] [N + \epsilon_2 \phi(\delta)] (\epsilon_1 N - \epsilon_2 M)}{3b[M + \epsilon_1 \phi(\delta)]^2 + 3k[N + \epsilon_2 \phi(\delta)]^2}$$

5 数值算例

结合浙江省德清县 2011 年 10 月家电以旧换新回收、销售数据统计资料,这里假设以洗衣机作为闭环供应链的产品,设计出一个算例来验证上述第 2~4 节模型和结论,主要包括以下两方面的内容:① 家电以旧换新补贴政策实施效果对比;② 探究影响函数 $\phi(\delta)$ 中各个补贴参数的最佳值。

根据实际统计数据和模型中关于参数的定义以

及它们之间的一些关系假设,分别给出以下设定:
 $D=231\ 412$, $a=15$, $C_{M,n}=2\ 000$, $C_{M,r}=1\ 000$, $\Delta=1\ 000$, $C_R=276$, $C_T=875$, $k=100$, $b=1$ 。

当政府实施以旧换新补贴策略之后, $l=250$, $\delta=0.2$; 由于补贴金额是从 0~250 之间均可以取值的,因此 $\mu=125$; 考虑到最初政府补贴进入系统时,对销量和回收量的影响幅度最大,然后呈现逐渐减缓趋势,最后趋于稳定,因此这里假设 $n=2$, $m=20\ 000$; 通过对浙江省德清县历年以旧换新销售数据和回收数据的对比发现,当政府实施以旧换新策略之

后,对于销售量的影响程度大于对回收量的影响程度,因此这里假设 $\varepsilon_1=0.6, \varepsilon_2=0.4$.

通过代入各个参数的具体数值得出在 N 模型和 E 模型下衡量补贴策略效果的指标,如表 1 所示.

表 1 在闭环供应链中以旧换新补贴策略实施前后对比

Tab.1 Comparison of two closed-loop supply chain models

变量名	N 模型	E 模型	变化
Q_d	953	2 265	上升
Q_r	35	910	上升
π_M	20 614.18	1 758 849.81	上升
π_R	9 082.09	51 324.90	上升
π_T	1 225	828 100	上升
π	30 921.27	2 638 274.71	上升
$R_M/\%$	66.67	66.67	持平
$R_R/\%$	29.37	1.94	下降
$R_T/\%$	3.96	31.39	上升

通过对 E 模型各个均衡解的观察发现,政府的补贴对闭环供应链的影响主要通过影响函数 $\phi(\delta)$ 来起作用,因此对影响函数中各个参数的确定是非常有意义的.

从图 2a 可以看出,补贴系数 δ 的变动对于政府补贴影响函数的影响很显著,当 $0 \leq \delta \leq 0.5$ 时,补贴系数的提升可以加快政府补贴对于闭环供应链的影响;而当 $0.5 < \delta \leq 0.9$ 时,补贴系数的提升反而减慢政府补贴对闭环供应链的影响.

从图 2b 可以看出,政府补贴金额平均值 μ 的变动对于政府补贴影响函数的影响很显著,当 $0 \leq \mu \leq 50$ 时,补贴金额平均值的提升可以加快政府补贴对于闭环供应链的影响;而当 $50 < \mu \leq 150$ 时,补贴金额平均值的提升反而减慢政府补贴对闭环供应链的影响.

从图 2c 可以看出,补贴限额 l 的变动对于政府补贴影响函数的影响很显著,当 $125 \leq l \leq 625$ 时,补贴限额的提升可以加快政府补贴对于闭环供应链的影响;而当 $625 < l \leq 1\,125$ 时,补贴限额的提升反而减慢政府补贴对闭环供应链的影响.

从图 2d 可以看出,参数 n 的变动对于政府补贴影响函数的影响呈线性递减.

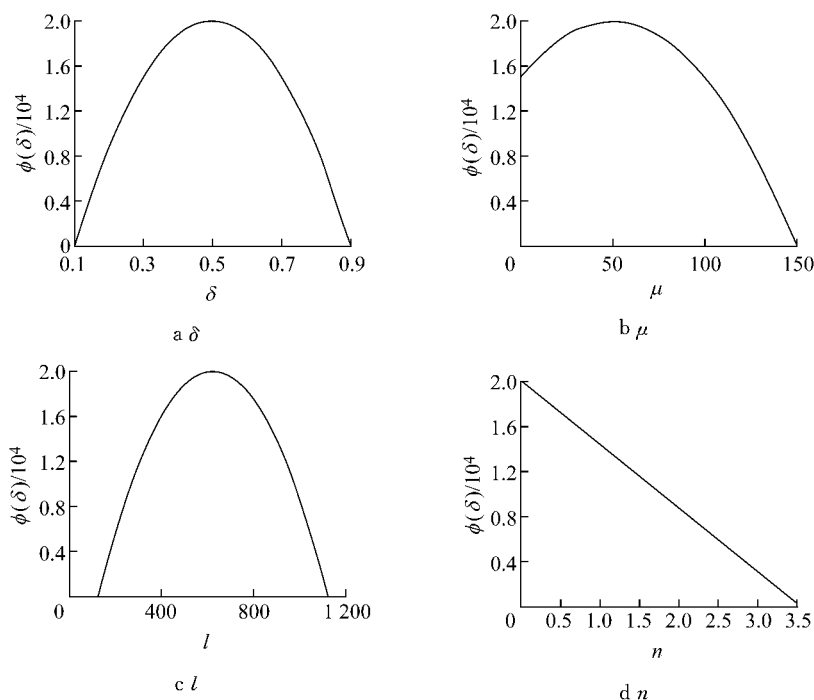


图 2 各补贴参数对影响函数 $\phi(\delta)$ 的影响

Fig.2 The effect of some parameters on influence function $\phi(\delta)$

6 结论及建议

实施以旧换新补贴策略后能大幅度提升产品的销量、废旧品的回收量、三方的利润和销售额以及降低回收成本. 家电制造商在闭环供应链中利润分配

比例不会随着是否使用以旧换新策略而变化;实施以旧换新补贴策略前后特许零售商和第三方回收商在闭环供应链中的利润比例还取决于其他参数;实施以旧换新补贴策略后,闭环供应链中三方的利润与补贴系数的影响关系将由政府补贴额 δl 与政府补贴平均值 μ 大小比较来确定.

政府财政补贴可以促使闭环供应链的成员利润分配格局发生转变,在刺激产品市场的同时扩大了闭环供应链的规模.因此,政府推行财政补贴策略对于闭环供应链的成员来说都是有利而无害的,它们的利润都较之前有大幅度的提升,但利润分配格局却发生相应的改变.政府部门完全可以通过对某些参数(如补贴系数)的调控使闭环供应链的运作更有效、更有竞争力.

参考文献:

- [1] 国务院办公厅. 关于搞活流通扩大消费的意见[EB/OL]. (2009-06-03)[2012-07-13]. <http://www.gov.cn>.
General Office of the State Council of the People's Republic of China. The plan for encouraging automobile and home appliances replacements[EB/OL]. (2009-06-03)[2012-07-13]. <http://www.gov.cn>.
- [2] 孔令锋, 姚从蓉. “家电以旧换新”与废弃家电回收处理产业可持续发展: 基于家电以旧换新政策实施前后的调查[J]. 工业技术经济, 2010, 29(7): 31.
KONG Lingfeng, YAO Congrong. The relationship between household appliances replacement policy and waste household appliances recycling industry sustainable development-based on the investigation before and after replacement policy [J]. Journal of Industrial Technological Economics Press, 2010, 29(7): 31.
- [3] 马晓兰, 田艳玲. 家电以旧换新对废旧家电回收体系的影响[J]. 价值工程, 2011(14): 19.
MA Xiaolan, TIAN Yanling. The effect of the “trade-in” policy on waste household appliances recycling system [J]. Value Engineering, 2011(14): 19.
- [4] 聂佳佳. 渠道结构对第三方负责回收闭环供应链的影响[J]. 管理工程学报, 2012, 26(3): 151.
NIE Jiajia. The effect of channel structures on third-party collecting closed-loop supply chain [J]. Journal of Industrial Engineering, 2012, 26(3): 151.
- [5] 张建军, 霍佳震, 张艳霞. 基于价格博弈的闭环供应链协调策略设计[J]. 管理工程学报, 2009, 23(2): 119.
ZHANG Jianjun, HUO Jiazhen, ZHANG Yanxia. Coordination strategy designing in closed-loop supply chain based on pricing game [J]. Journal of Industrial Engineering, 2009, 23(2): 119.
- [6] 王文宾, 达庆利. 零售商与第三方回收下闭环供应链回收与定价研究[J]. 管理工程学报, 2010, 24(2): 130.
WANG Wenbin, DA Qingli. The study on collection and pricing for closed-loop supply chain with retailer and the third party collecting [J]. Journal of Industrial Engineering, 2010, 24(2): 130.
- [7] Wang R, Ji J H, Ming X G. R&D partnership contract coordination of information good supply chain in government subsidy[J]. International of Journal of Computer Applications in Technology, 2010, 37(30): 297.
- [8] Mitra S, Webster S. Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies [J]. International journal of production economics, 2007, 111(2): 287.
- [9] 马卫民, 赵璋. 以旧换新补贴对不同模式闭环供应链的影响[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(9): 1939.
MA Weimin, ZHAO Zhang. Different models of closed-loop supply chain with the government replacement-subsidy [J]. System Engineering Theory and Practice, 2012, 32(9): 1939.
- [10] Han XH. Reverse channel evolutionary analysis for closed-loop supply chain with competing manufacturers and exclusive dominant retailers [C] // Proceedings of 2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management. Harbin: IEEE, 2010, 2: 751-755.
- [11] 柳键, 邱国斌. 政府补贴背景下制造商和零售商博弈研究[J]. 软科学, 2011, 25(9): 48.
LIU Jian, QIU Guobin. Research on game between manufacturers and retailers in the background of government's subsidy[J]. Soft Science, 2011, 25(9): 48.
- [12] Jin C F, Wang X, Mei L J. Analysis on the optimal subsidy strategy of government in green supply chain [J]. Advanced Materials Research, 2011, 224: 147.
- [13] ZHOU Jianpeng, ZHANG Guoxing, LIU Peng, et al. The analysis on carbon emission reduction effect of closed-loop supply chain based on government's recovering subsidy[C] // 2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization (CSO). Wuhan: IEEE, 2011: 1172-1176.
- [14] 周露. 家电下乡国家补贴方式和补贴对象研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
ZHOU Lu. Research on the subsidy target and the models of delivery regarding “home appliances going to the country side” policy [D]. Chengdu University of Electronic Science and Technology of China, 2010.