

基于政府补贴的制造商“以旧换再”定价策略

丰奇倩¹, 刘渤海^{1,2}, 郑汉东¹, 陈玉霜¹, 李凯^{1,2}

(1. 合肥工业大学 管理学院, 合肥 230009; 2. 过程优化与智能决策教育部重点实验室, 合肥 230009)

摘要: 在以旧换再的背景下, 考虑消费者偏好、政府补贴及补贴比例, 研究制造商最优决策。首先, 建立“两阶段”以旧换再和以旧换新的闭环供应链模型, 并根据消费者偏好、政府补贴及消费者补贴比例划分了7种不同情况。其次, 以消费者偏好、政府补贴及消费者补贴比例为分析变量, 对7种不同情况进行对比分析。最后, 使用数值算例验证分析结果。结果表明: 存在消费者偏好、政府补贴的情况下, 制造商有7种不同的以旧换再、以旧换新实施策略的定价决策; 以旧换再需求与再制造品偏好呈正相关, 与旧产品偏好呈负相关; 再制造补贴促进了以旧换再需求, 增加制造商利润, 但给予消费者补贴额并不影响以旧换再需求, 对制造商的利润也没有影响。

关键词: 以旧换再; 再制造品; 政府补贴; 补贴比例; 定价策略

中图分类号: F272

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2020)05-0123-10

Optimal Pricing Strategy of Trade-in for Manufacturers Based on Government Subsidies

FENG Qiqian¹, LIU Bohai^{1,2}, ZHENG Handong¹, CHEN Yushuang¹, LI Kai^{1,2}

(1. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; Key Laboratory of Process Optimization and Intelligent Decision-making, Ministry of Education, Hefei 230009, China)

Abstract: In the context of trade-in, the optimal decision-making of manufacturers was studied in terms of consumer preferences, government subsidies, and the proportion of subsidies. First, a "two-stage" trade-in model was established, and divided seven different situations based on the results. Secondly, consumer preferences, government subsidies and subsidy ratios were used as analysis variables to make a comparative analysis of seven situations. Finally, a numerical example was used to verify the results. The results show that manufacturers have seven different trade-in pricing strategy in the presence of consumer preferences and government subsidies. Consumers' preference for remanufactured products is positively correlated with trade-in demand. Old product preference is negatively correlated with trade-in demand. Government subsidies can promote trade-for-demand and increase manufacturer profits. However, the proportion of subsidies given to consumers does not affect the trade-in demand, nor does it affect the profits of manufacturers.

Keywords: trade-in; remanufactured product; government subsidies; subsidy ratio; pricing strategy

0 引言

面对日趋严重的环境、资源与生态问题, 我国大力推进循环经济的发展。再制造品相比于原型新品, 消耗更少的能源和排放更少的污染,

故再制造是回收可再生资源 and 实现循环经济的最佳途径之一^[1]。就消费者使用效能而言, 与原型新品相比, 再制造品性能与质量不低于甚至超过原型新品^[2-3]。然而, 因消费者认可度不高, 特别是在中国等发展中国家, 再制造品给企业带来

收稿日期: 2020-08-09; 修回日期: 2020-10-11

通信作者: 刘渤海(1982—), 男(汉), 副教授, 博士; 研究方向: 运营管理; E-mail: liubohai@hfut.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1902405); 国家自然科学基金(71521001)

Fund: Supported by R & D Program of China(2018YFC1902405) and National Natural Science Foundation of China(71521001)

引用格式: 丰奇倩, 刘渤海, 郑汉东, 等. 基于政府补贴的制造商“以旧换再”定价策略[J]. 中国表面工程, 2020, 33(5): 123-132.

FENG Q Q, LIU B H, ZHENG H D, et al. Optimal pricing strategy of trade-in for manufacturers based on government subsidies[J]. China Surface Engineering, 2020, 33(5): 123-132.

的盈利相对较低^[4]。

我国已经颁布并实施法规政策以推动再制造产业的健康发展,促进我国循环经济形成较大规模^[5]。为鼓励废旧品回收、再制造品生产及扩大再制造品市场需求,国家发展和改革委员会等部门出台了《再制造产品“以旧换再”试点实施方案》^[6]。“以旧换再”是指顾客将使用后的旧品返回给再制造商并以一定价格换取再制造品。2016年,包括财政部和商务部在内的10个政府部门发布了监督汽车更换政策,增加了以旧换再的补贴,旨在加速旧车的升级并提高国内再制造需求^[7-8]。在政策激励下,制造商积极实施以旧换新与以旧换再方案来促进废旧产品的回收。中国的汽车行业根据政府补贴政策,实施了类似的以旧换再计划,促进再制造发动机的使用^[9]。对企业而言,以旧换新、以旧换再是促进废旧产品回收、刺激再制造市场需求和扩大再制造产品销售的有效方法。

制造商实施以旧换再、以旧换新方案,引发了国内外学者的关注。相关研究主要包括4个方面:(1)新产品与再制造品的定价问题;(2)以旧换新定价策略;(3)以旧换再定价策略;(4)政府政策及补贴问题。

对于新产品与再制造品的定价问题,Giutini等^[10]研究了新品与再制造品竞争下的区别定价,指出即使在再制造品与新产品的质量并无差异的情况下,顾客依然接受新产品而排斥再制造品。Macedo等^[11]考虑了需求、回收率及成本随机情况下的再制造品和新产品的生产和定价。Ferrer等^[12]研究了单周期至无限周期的再制造品、新品闭环供应链和渠道成员的差异定价。高举红^[13]探究了存在支付意愿差异、不同绿色偏好情况下,新品与再制造品的供应链成员定价模型。孟丽君等^[14]研究了不同回收模式下新品与再制造品区别定价、渠道成员的利润和效率等问题。在上述文献中,主要研究新产品与再制造品在市场中的竞争与博弈,但没有涉及回收废旧产品到再制造的多阶段连续过程。再制造的毛坯来自于回收的废旧产品,涉及回收-处理多阶段。

为减少废弃物污染、节约可再利用资源及扩大新产品市场需求,制造商实施以旧换新策略。

消费者可进行以旧换新,将废旧产品回收给制造商。针对以旧换新定价问题,李鸿媛^[15]基于消费者效用和社会福利,建立了3种不同投资主体结合的以旧换新模型,探究决策主体的最优决策问题。缪朝炜^[16]构建了3种回收模式的以旧换新模型,研究供应链成员决策和利润。刘靛晨^[17]研究了双寡头竞争下,制造商实施以旧换新的博弈决策。Zhang^[18]考虑了不同消费者类型、产品耐用性等因素,构建以旧换新模型,探究消费者的以旧换新行为、制造商的收益、环境及社会福利的变化。以旧换新提高了废旧产品的回收量并促进了新产品的消费需求。然而,在实际中,回收的废旧产品除了用于以旧换新,还是再制造产品的重要来源。

为促进废旧产品回收、扩大再制造产品的需求,制造商积极实施以旧换再策略。目前已有文献对以旧换再进行广泛的探索与研究。李新然^[19]研究了有无政府补贴下,集中或分散两种决策的供应链成员行为。王玉燕^[20]讨论了以旧换再政策后,汽车产业供应商的最优决策及变化情况。高攀^[21]研究了同时存在原始消费者和新进消费者的情况下,制造商以旧换再的5种最优决策模型。以上研究主要针对单个生命周期供应链的再制造技术、渠道选择、契约协调、定价策略等。在现实问题中,以旧换再有两个阶段,一是新品的销售;二是将使用后的产品交回并以一定的价格换取再制造品。朱晓曦^[22]研究了在以旧换再背景下,存在原始消费者与新进消费者的情况下,新产品与再制造品的两阶段博弈情况。万凤娇^[23]建立了两阶段以旧换再的分散式决策模型,探究政策对汽车产业的再制造渠道成员的影响。

针对再制造补贴,Liu等^[24]建立了不受监管的非正规部门和政府补贴的正规部门的定价模型。Heydari等^[25]构建了原始设备制造商(OEM)和零售商的两级逆向供应链模型,讨论了政府免税和补贴两种行为对供应链的影响,结果表明,政府激励OEM优于激励零售商。Subramoniam等^[26]考虑了多周期博弈并建立模型,探究立法后闭环供应链的决策。刘渤海^[27]利用盈亏平衡图研究再制造盈亏情况,并在此基础上研究了补贴政策。张海珠^[28]探究政府补贴和碳排放

约束存在下供应链成员的行为与决策。黄燕婷^[29]建立了信息、政府补贴对再制造模式及供应链成员决策的作用。

在上述研究中,一方面,同时实施以旧换再、以旧换新的两阶段定价模型研究较少;另一方面,补贴及消费者补贴比例影响再制造商的定价决策和新产品需求、再制造品需求。现存的以旧换再、以旧换新研究缺乏对政府补贴及消费者补贴比例的考虑。文中考虑政府补贴再制造品的情况下,研究如何开展两阶段以旧换再和以旧换新方案,探究消费者偏好、政府补贴、补贴比例对以旧换再、以旧换新的影响。

文中建立两阶段以旧换再、以旧换新模型,对以下问题进行了探究:①在消费者偏好、政府同时补贴再制造品生产与消费的情况下,制造商制定的以旧换再、以旧换新最优决策及消费者的购买决策;②消费者偏好、政府补贴及补贴比例对再制造品价格、以旧换再需求量、制造商利润的影响。

1 模型简介

1.1 问题描述

如图1所示,文中建立由原始设备制造商、政府和消费者构成的闭环供应链模型。原始设备制造商除生产新产品外,还负责回收旧品并进行再制造,新品与再制造品直接出售给顾客。政府补贴再制造品的生产与消费,补贴设为 S , ε 为分享给消费者的补贴比例。当补贴比例 $\varepsilon=0$ 时,制造商获得政府的全部补贴,当 $0<\varepsilon<1$,制造商和消费者共享补贴,当 $\varepsilon=1$ 时,消费者获得政府的全部补贴。

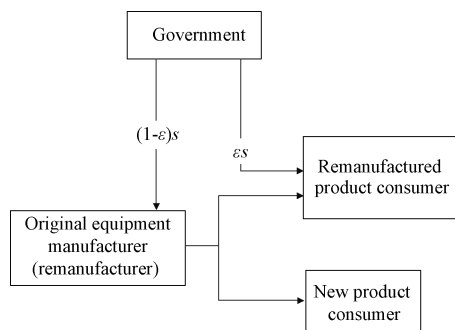


图1 政府补贴示意图

Fig. 1 diagram of government subsidy distribution

模型分为两个阶段。第一阶段,消费者购买新品。第二阶段(售后阶段),使用过的产品变成了旧产品,消费者有以下选择:①继续使用旧产品;②以旧换再,将旧品交回并以一定的价格购买再制造品,同时获得一定的政府补贴;③以旧换新,将旧品回收给制造商并以一定的价格购买新产品。

1.2 假设与符号说明

为了方便研究,文中作了以下假设:

假设1:新产品的成本为 C_n ,售价为 P_n ($C_n < P_n, 0 < P_n < 1$),再制造品的成本为 C_r ,价格为 P_r ($C_r < P_r, 0 < P_r < 1$),再制造品的成本低于新品的成本,故设 $C_r < C_n$ 。由于没有技术改进,故设以旧换新的新品价格与第一阶段新品相同,为 P_n 。

假设2:参照文献[21],假设消费者支付意愿(WTP)为 θ ,即顾客认为新产品的价值是 θ , θ 为 $[0,1]$ 上的均匀分布;顾客对再制造品的支付意愿是 $\alpha\theta$, α 表示再制造品偏好;虽然再制造品在性能方面不输于新产品,但由于消费者的偏见,在某种程度上更偏好于新品,即 $\alpha \in (0,1)$;市场容量设为1,使用过的产品变为旧产品;假设旧产品的价值为 $\beta\theta$, β 是旧产品偏好;根据实际假设,相比于旧产品,顾客更偏好再制造品,即 $0 < \beta < \alpha < 1$ 。

假设3:再制造品更符合绿色经济,故被政府大力推广;政府补贴再制造品生产与消费的补贴金额为 S ,比例 ε ; $S\varepsilon$ 是消费者获得的补贴额, $S-S\varepsilon$ 是原始设备制造商获得的补贴额。

假设4:老顾客将旧品以回收价格 P_l 回收给制造商,即第二阶段老顾客以 P_n-P_l 的价格换取新产品,以 P_r-P_l 的价格换取再制造品。

1.3 消费者需求

文中假设老顾客对新产品的支付意愿为 θ , θ 服从 $[0,1]$ 上的均匀分布,即 $f(\theta) \sim U[0,1]$ 。第一阶购买新产品的消费者净效用 $U_{1n} = \theta - P_n$ 。当 $U_{1n} > 0$ 时,顾客愿意购买新产品。则第一阶段新产品的需求为

$$q_{1n} = \int_{P_n}^1 1 d\theta = 1 - P_n \quad (1)$$

第二阶段,以旧换再的净效用 $U_{2r} = \alpha\theta - P_r +$

$P_t + S\varepsilon$, 以旧换新的净效用 $U_{2n} = \theta - P_n + P_t$, 消费者继续使用旧产品的效用为 $U_t = \beta\theta$ 。如果 $U_{2r} > U_t$ 、 $U_{2r} > U_{2n}$ 且 $U_{2r} > 0$, 则消费者进行以旧换再。若 $U_{2n} > U_t$ 、 $U_{2n} > U_{2t}$ 且 $U_{2n} > 0$, 则消费者进行以旧换新。通过计算和比较可以分别得到以旧换新、以旧换再的需求 q_{2n} 、 q_{2r} 及继续使用旧产品的顾客量 q_t :

$$q_{2n} = \int_{\frac{P_n - P_r + S\varepsilon}{1-\alpha}}^1 1d\theta = 1 - \frac{P_n - P_r + S\varepsilon}{1-\alpha} \quad (2)$$

$$q_{2r} = \int_{\frac{P_r - P_t - S\varepsilon}{\alpha-\beta}}^{\frac{P_n - P_r + S\varepsilon}{1-\alpha}} 1d\theta = \frac{P_n - P_r + S\varepsilon}{1-\alpha} - \frac{P_r - P_t - S\varepsilon}{\alpha-\beta} \quad (3)$$

$$q_t = \int_{P_n}^{\frac{P_r - P_t - S\varepsilon}{\alpha-\beta}} 1d\theta = \frac{P_r - P_t - S\varepsilon}{\alpha-\beta} - P_n \quad (4)$$

2 模型建立与求解

制造商以利润最大化为目标对 P_n 、 P_r 、 P_t 进行决策, 制造商利润函数为:

$$\begin{aligned} \pi &= (P_n - C_n)q_{1n} + (P_n - C_n - P_t)q_{2n} + \\ & (P_r - C_r - P_t + S - S\varepsilon)q_{2r} = (P_n - C_n) \\ & (q_{1n} + q_{2n}) + (P_r - C_r + S - S\varepsilon)q_{2r} - P_t(q_{2n} + q_{2r}) \end{aligned}$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} q_{2n} \geq 0 \\ q_{2r} \geq 0 \\ q_t \geq 0 \\ q_{1n} \geq q_{2n} + q_{2r} \end{cases} \quad (5)$$

利润为第一阶段新产品的利润、售后阶段以旧换新所得利润与以旧换再所得利润的总和。约束 $q_{2n} \geq 0$ 、 $q_{2r} \geq 0$ 、 $q_t \geq 0$ 分别表示以旧换新需求、以旧换再需求、选择使用旧品需求不小于0。约束 $q_{1n} \geq q_{2n} + q_{2r}$ 表示第二阶段换取新品和再制造品的顾客数要小于第一阶段新产品的顾客数。将消费者需求 q_{1n} 、 q_{2n} 、 q_{2r} 、 q_t 代入利润函数和约束条件, 得:

$$\begin{aligned} \pi &= (P_n - C_n) \left(2 - P_n - \frac{P_n - P_r + S\varepsilon}{1-\alpha} \right) + (P_r - \\ & C_r + S - S\varepsilon) \left(\frac{P_n - P_r + S\varepsilon}{1-\alpha} - \frac{P_r - P_t - S\varepsilon}{\alpha-\beta} \right) - \\ & P_t \left(1 - \frac{P_r - P_t - S\varepsilon}{\alpha-\beta} \right) \end{aligned}$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \frac{P_n - P_r + S\varepsilon}{1-\alpha} - 1 \leq 0 \\ \frac{P_r - P_t - S\varepsilon}{\alpha-\beta} - \frac{P_n - P_r + S\varepsilon}{1-\alpha} \leq 0 \\ P_n - \frac{P_r - P_t - S\varepsilon}{\alpha-\beta} \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

利润函数的海塞矩阵 (Hessian) 为:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_n^2} & \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_n \partial P_r} & \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_n \partial P_t} \\ \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_r \partial P_n} & \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_r^2} & \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_r \partial P_t} \\ \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_t \partial P_n} & \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_t \partial P_r} & \frac{\partial^2 \pi}{\partial P_t^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 - \frac{2}{1-\alpha} & \frac{2}{1-\alpha} & 0 \\ \frac{2}{1-\alpha} & -\frac{2}{1-\alpha} - \frac{2}{\alpha-\beta} & \frac{2}{\alpha-\beta} \\ 0 & \frac{2}{\alpha-\beta} & -\frac{2}{\alpha-\beta} \end{bmatrix} \quad (7)$$

根据参数的大小, 利润函数的海塞矩阵所有奇数阶顺序主子式全都小于0, 偶数阶顺序主子式大于0, 故利润函数的海塞矩阵负定。因此, 利润函数 π 是 P_n 、 P_r 、 P_t 的严格凹函数, 存在利润最大值。利用拉格朗日公式和 KKT 最优条件求最优决策变量 P_n 、 P_r 、 P_t , 得到以下几种情况。

情况 1: 若再制造品偏好与旧产品偏好满足 $\alpha \geq \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}$, $\alpha \leq 1 + C_r - C_n -$

S , $\beta \geq \alpha - \frac{C_r - S}{C_n}$, 则制造商的最优定价为:

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{1 + C_n}{2} \\ P_r &= \frac{C_r + 2S\varepsilon - S + \alpha}{2} \\ P_t &= \frac{\beta}{2} \end{aligned}$$

将 P_n 、 P_r 、 P_t 代入式(1)~式(6), 分别求得第一阶段购买新产品的顾客量 q_{1n} 、以旧换再 q_{2n} 、以旧换新 q_{2r} 、继续使用旧产品的需求 q_t 以及企业利润 π , 得:

$$q_{1n} = \frac{1 - C_n}{2}$$

$$q_{2n} = \frac{1}{2} - \frac{C_n - C_r + S}{2(1 - \alpha)}$$

$$q_{2r} = \frac{C_n - C_r + S}{2(1 - \alpha)} - \frac{C_r - S}{2(\alpha - \beta)}$$

$$q_t = \frac{C_r - S}{2(\alpha - \beta)} - \frac{C_n}{2}$$

$$\pi = \frac{2 - 3C_n + C_n^2 - \beta}{4} + \frac{2SC_n - 2SC_r + S^2 - 2C_nC_r + C_r^2 + \alpha C_n - \alpha C_r + S\alpha - C_n + C_r - S + C_n^2}{4(1 - \alpha)} + \frac{\beta C_r - \beta S - 2SC_r + S^2 + C_r^2 - \alpha C_r + S\alpha}{4(\alpha - \beta)}$$

情况 2:若再制造品偏好与旧产品偏好满足 $\alpha \geq \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}$, $\alpha \leq 1 + C_r - C_n - S$, $\beta < \alpha - \frac{C_r - S}{C_n}$, 则制造商的最优定价为:

$$P_n = \frac{1}{2} + \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)}$$

$$P_r = \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)} + \frac{C_r - C_n + 2S\epsilon - S + \alpha}{2}$$

$$P_t = \frac{\beta + C_r - C_n - S}{2} + \frac{(\beta - \alpha + 1)(C_r + C_n - S)}{2(\alpha - \beta + 1)}$$

将 P_n, P_r, P_t 代入式(1)~式(6), 分别求得第一阶段购买新产品的顾客量 q_{1n} 、以旧换再 q_{2n} 、以旧换新 q_{2r} 、继续使用旧产品的需求 q_t 以及企业利润 π , 得:

$$q_{1n} = \frac{1}{2} - \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)}$$

$$q_{2n} = \frac{1}{2} + \frac{C_r - C_n - S}{2(1 - \alpha)}$$

$$q_{2r} = \frac{-C_r + C_n + S}{2(1 - \alpha)} + \frac{-C_r - C_n + S}{2(\alpha - \beta + 1)}$$

$$q_t = 0$$

$$\pi = \left[\frac{1}{2} + \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)} - C_n \right] \cdot \left[1 - \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)} + \frac{C_r - C_n - S}{1 - \alpha} \right] + \left[\frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)} + \frac{S - C_r - C_n + \alpha}{2} \right] \times \left[\frac{C_n - C_r + S}{2(1 - \alpha)} - \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)} \right] -$$

$$\left[\frac{\beta + C_r - C_n - S}{2} + \frac{(C_r + C_n - S)(\beta - \alpha + 1)}{2(\alpha - \beta + 1)} \right] \left[\frac{1}{2} - \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)} \right]$$

情况 3:若再制造品偏好与旧产品偏好满足 $\alpha \geq \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}$, $\alpha > 1 + C_r - C_n - S$, $\beta \geq \alpha - \frac{C_r - S}{C_n}$, 则制造商的最优定价为:

$$P_n = \frac{1 + C_n}{2}$$

$$P_r = \frac{C_n + 2S\epsilon + 2\alpha - 1}{2}$$

$$P_t = \frac{C_n + \alpha - C_r + S + \beta - 1}{2}$$

将 P_n, P_r, P_t 代入式(1)~式(6), 分别求得第一阶段购买新产品的顾客量 q_{1n} 、以旧换再 q_{2n} 、以旧换新 q_{2r} 、继续使用旧产品的需求 q_t 以及企业利润 π , 得:

$$q_{1n} = \frac{1 - C_n}{2}$$

$$q_{2n} = 0$$

$$q_{2r} = \frac{1}{2} - \frac{C_r - S}{2(\alpha - \beta)}$$

$$q_t = \frac{C_r - S}{2(\alpha - \beta)} - \frac{C_n}{2}$$

$$\pi = \left(\frac{1 - C_n}{2} \right)^2 + \left[\frac{1}{2} - \frac{C_r - S}{2(\alpha - \beta)} \right] \left(\frac{\alpha - C_r + S - \beta}{2} \right)$$

情况 4:若再制造偏好与旧产品偏好满足

$$\alpha \geq \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}, \alpha > 1 + C_r - C_n -$$

$$S, \beta < \alpha - \frac{C_r - S}{C_n}, \text{ 则制造商的最优定价为:}$$

$$P_n = \frac{1}{2} + \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)}$$

$$P_r = \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)} + S\varepsilon + \alpha - \frac{1}{2}$$

$$P_t = \frac{(C_r + C_n - S)(1 + \beta - \alpha)}{2(\alpha - \beta + 1)} + \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} + \frac{\beta}{2}$$

将 P_n, P_r, P_t 代入式(1)~式(6), 分别求得第一阶段购买新产品的顾客量 q_{1n} 、以旧换再 q_{2n} 、以旧换新 q_{2r} 、继续使用旧产品的需求 q_t 以及企业利润 π , 得:

$$q_{1n} = \frac{1}{2} - \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)}$$

$$q_{2n} = 0$$

$$q_{2r} = \frac{1}{2} - \frac{C_r + C_n - S}{2(\alpha - \beta + 1)}$$

$$q_t = 0$$

$$\pi = \frac{\alpha - C_n - C_r + S - \beta + 1}{4} - \frac{(C_r + C_n - S)(\alpha - C_n - C_r + S - \beta + 1)}{4(\alpha - \beta + 1)}$$

情况 5: 若再制造偏好与旧产品偏好满足

$$\alpha < \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}, \alpha \leq 1 + C_r - C_n -$$

$$S, \beta \geq \alpha - \frac{C_r - S}{C_n}, \text{ 则制造商的最优定价为:}$$

$$P_n = \frac{1 + C_n}{2}$$

$$P_r = \frac{\alpha}{2} + S\varepsilon + \frac{(\alpha - \beta)}{2(1 - \beta)}C_n$$

$$P_t = \frac{\beta}{2}$$

将 P_n, P_r, P_t 代入式(1)~式(6), 分别求得第一阶段购买新产品的顾客量 q_{1n} 、以旧换再 q_{2n} 、以旧换新 q_{2r} 、继续使用旧产品的需求 q_t 以及企业利润 π , 得:

$$q_{1n} = \frac{1 - C_n}{2}$$

$$q_{2n} = \frac{1}{2} - \frac{C_n}{2(1 - \beta)}$$

$$q_{2r} = 0$$

$$q_t = \frac{C_n}{2(1 - \beta)} - \frac{C_n}{2}$$

$$\pi = \left(\frac{1 - C_n}{2}\right)^2 + \left(\frac{1 - C_n - \beta}{2}\right) \left[\frac{1}{2} - \frac{C_n}{2(1 - \beta)}\right]$$

情况 6: 若再制造偏好与旧产品偏好满足

$$\alpha < \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}, \alpha \leq 1 + C_r - C_n -$$

$$S, \beta < \alpha - \frac{C_r - S}{C_n}, \text{ 则制造商的最优定价为:}$$

$$P_n = \frac{1}{2} + \frac{C_n}{2 - \beta}$$

$$P_r = S\varepsilon + \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha C_n}{2 - \beta}$$

$$P_t = \frac{\beta}{2} + \frac{\beta C_n}{2 - \beta}$$

将 P_n, P_r, P_t 代入式(1)~式(6), 分别求得第一阶段购买新产品的顾客量 q_{1n} 、以旧换再 q_{2n} 、以旧换新 q_{2r} 、继续使用旧产品的需求 q_t 以及企业利润 π , 得:

$$q_{1n} = \frac{1}{2} - \frac{C_n}{2 - \beta}$$

$$q_{2n} = \frac{1}{2} - \frac{C_n}{2 - \beta}$$

$$q_{2r} = 0$$

$$q_t = 0$$

$$\pi = \left(1 - \frac{\beta}{2} - C_n\right) \left(\frac{1}{2} - \frac{C_n}{2 - \beta}\right)$$

情况 7: 若再制造偏好与旧产品偏好满足

$$\alpha < \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}, \alpha > 1 + C_r - C_n -$$

$$S, \beta \geq \alpha - \frac{C_r - S}{C_n}, \text{ 则制造商的最优定价为:}$$

$$P_n = \frac{1 + C_n}{2}$$

$$P_r = \frac{C_n + 2S\varepsilon + 2\alpha - 1}{2}$$

$$P_t = \frac{C_n + 2\beta - 1}{2}$$

将 P_n 、 P_r 、 P_t 代入式(1)~式(6),分别求得第一阶段购买新产品的顾客量 q_{1n} 、以旧换再 q_{2n} 、以旧换新 q_{2r} 、继续使用旧产品的需求 q_t 以及企业利润 π ,得:

$$q_{1n} = \frac{1 - C_n}{2}$$

$$q_{2n} = 0$$

$$q_{2r} = 0$$

$$q_t = \frac{1 - C_n}{2}$$

$$\pi = \left(\frac{1 - C_n}{2} \right)^2$$

推论 1 综合情况 1~7,消费者再制造偏好 α 、旧产品的偏好 β 满足不同的条件时,制造商有不同的最优定价策略。当消费者对再制造的偏好 α 、旧产品的偏好 β 与产品价格、政府补贴之间关系变动时,再制造品的价格不一定会低于新品的价格。在情况 2、4、6 下,当新品定价低于再制造品定价时,制造商获得最大利润。

推论 2 当 $\alpha \geq \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}$, 存在以旧换再需求,即情况 1~4。当 $\alpha < \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}$,不存在以旧换再需求,即情况 5~7。将情况 1~4 中 q_{2r} 和 P_r 分别对 S 、 ε 、 α 、 β 求偏导,得到如下结论。

(1) 以旧换再需求 q_{2r} 与补贴比例 ε 无关,再制造品价格 P_r 与补贴比例 ε 成正相关。政府补贴额 S 不变的情况下,政府增大或减小补贴比例 ε ,以旧换再的需求 q_{2r} 不变,但再制造品的价格 P_r 会随之增高或降低。这是由于政府增大消费者补贴比例,是希望给与补贴来提高以旧换再的需求量。然而,由于存在制造商道德风险,制

造商抬高价格来夺取属于消费者的益处,从而导致价格增高,以旧换再的需求不变。

(2) 以旧换再需求 q_{2r} 、再制造品价格 P_r 均与补贴额 S 呈正相关。政府对再制造品生产与购买给与补贴 S 以减少购买者以旧换再的实际支出。固定补贴额 S 越高,购买者的实际支出越少,故以旧换再需求随之增加。这时,即使再制造品的价格适当抬高,顾客还是愿意换取再制造品。

(3) 以旧换再需求 q_{2r} 、再制造产品价格 P_r 均和再制造品的偏好 α 成正相关。老顾客对再制造偏好 α 越大,越愿意去购买再制造品,再制造品适当提价,老顾客仍愿意换取再制造品,即以旧换再需求 q_{2r} 、再制造品价格 P_r 均是再制造品的偏好 α 增函数。

(4) 以旧换再需求 q_{2r} 随着旧品偏好 β 的增大而减小。老顾客进行选择时更偏好使用旧产品而不愿意换取再制造品,因而以旧换再需求减小。

推论 3 当 $\alpha \geq \frac{C_r - S + \beta(C_n - C_r + S)}{C_n}$,

存在以旧换再需求,即情况 1~4。将利润函数 π 依次对政府补贴 S 、补贴比例 ε 求导,得到如下结论。

(1) 企业利润 π 随着政府补贴 S 的增大而增大。政府补贴再制造品的生产和消费,固定补贴额 S 越高,购买者的实际支出越少,再制造品价格抬高,以旧换再需求也随之增加。即使再制造品补贴降低换取新品顾客量,但企业总利润还是得到了提高。

(2) 政府补贴比例 ε 对企业利润 π 无影响。增大补贴比例 ε ,老顾客获得的补贴增多,制造商获得的补贴减小。政府设置并提高补贴比例,本意促进消费者进行以旧换再,但制造商为防止自己的利润受损,会提高再制造品的价格夺取消费者的利益,故以旧换再需求并随之增加。制造商减少的补贴会通过提价来获取利益,因此企业利润不随政府补贴比例的变化而变化。

3 数值仿真

由于模型中参数和变量过多,为比较不同参数对结果的影响,利用 MATLAB 软件进行数值算例分析。

(1) 令 $\alpha = 0.6$, $\beta = 0.4$, $C_r = 0.2$, $C_n = 0.4$,

$0.067 \leq S \leq 0.12$, 变化政府补贴 S 及补贴比例 ε , 探究 S 与 ε 对再制造价格 P_r 、以旧换再需求 q_{2r} 及企业利润 π 的影响。

由图 2 可知: q_{2r} 与 ε 无关, q_{2r} 与 S 成正相关。政府设置补贴比例 ε , 共享一部分补贴给顾客, 制造商会因此提价来防止自己的利益受损, 从而以旧换再的需求不变。而固定补贴额 S 的增加, 减少了实际支出, 增加了以旧换再的需求。

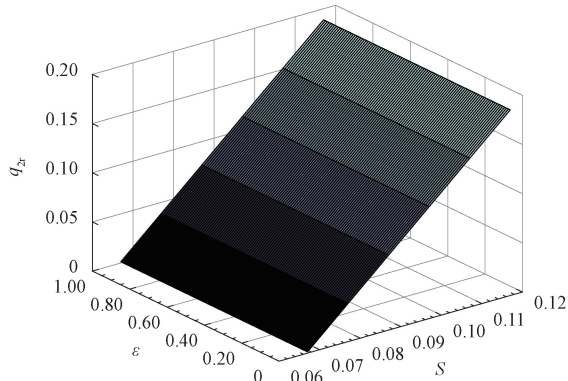


图 2 q_{2r} 随 S 及 ε 变化图

Fig. 2 Schematic diagram of q_{2r} with S and ε

如图 3 所示, 再制造品价格 P_r 与 S 、 ε 成正相关。增加政府补贴额或消费者提高补贴比例都会引起制造商提价以夺取利益。

如图 4 所示, 制造商利润 π 与补贴比例 ε 无关, 随着固定补贴额 S 的增大而增大。消费者补贴比例的提高带来制造商的补贴减少, 制造商抬高价格来夺取顾客利益, 所以制造商利润没有减少; 而增大固定补贴金额 S 促进了顾客以旧换再, 故制造商的利润增加。

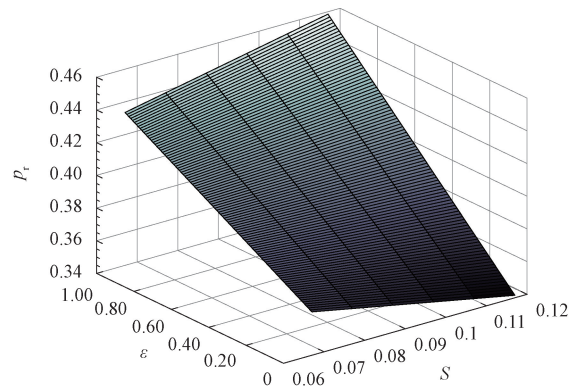


图 3 P_r 随 S 及 ε 变化图

Fig. 3 Schematic diagram of P_r with S and ε

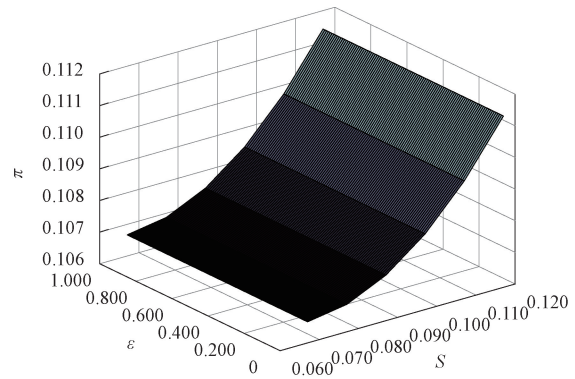
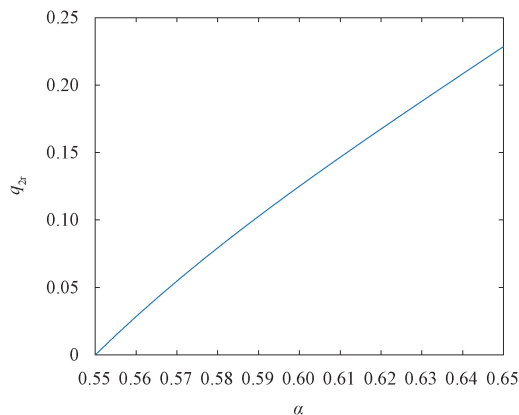


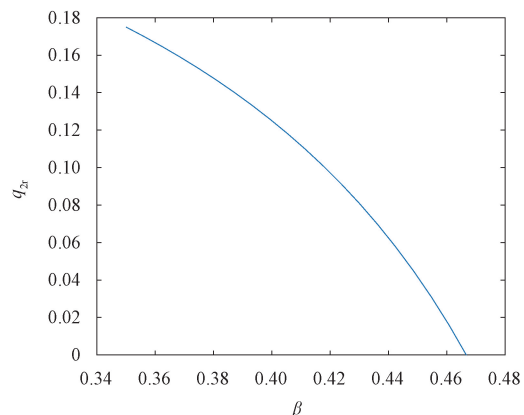
图 4 π 随 S 及 ε 变化图

Fig. 4 Schematic diagram of π with S and ε

(2) 令 $C_r = 0.2, C_n = 0.4, S = 0.1, \varepsilon = 0.5$, $\beta = 0.4$ 其中 $0.55 \leq \alpha \leq 0.65$, 变化 β , 探究旧品偏好 β 对以旧换再需求 q_{2r} 的影响, 得图 5(a)。令 $C_r = 0.2, C_n = 0.4, S = 0.1, \varepsilon = 0.5, \alpha = 0.6$, 其中 $0.35 \leq \beta \leq 0.467$, 变化 α , 探究再制造偏好 α



(a) Schematic diagram of q_{2r} with α



(b) Schematic diagram of q_{2r} with β

图 5 q_{2r} 随 β 及 α 变化图

Fig. 5 Schematic diagram of q_{2r} with β and α

对以旧换再需求 q_{2r} 的影响,得图 5(b)。如图 5 所示,以旧换再需求 q_{2r} 随着再制造偏好 α 增加而增大,随着旧品的偏好 β 增加而减小。

(3) 令 $C_r=0.2, C_n=0.4, S=0.1, \varepsilon=0.5, \beta=0.4$, 其中 $0.55 \leq \alpha \leq 0.65$, 探究消费者再制造偏好 α 对再制造品价格 P_r 的影响。

图 6 所示,再制造品价格随再制造偏好 α 增加而提高。随着 α 增加,制造商会适当提价以此增加利润。

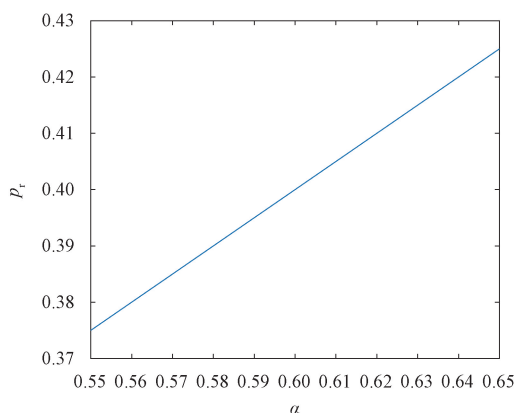


图 6 P_r 随 α 变化图

Fig. 6 Schematic diagram of P_r with α

4 结 论

(1) 当消费者再制造品偏好、旧品的偏好与产品价格、政府补贴之间关系变动时,再制造产品相较新品可以获得更受认可的定价。根据偏好与价格、补贴之间的关系,可以分为不同的 7 种情形,制造商在不同的情形下有不同的最优定价策略,这为企业决策提供现实依据。

(2) 政府补贴有利于促进以旧换再需求并增大制造商的收益。政府增大或减小消费者补贴比例,以旧换再的需求都不会随之增加,制造商的利润也不会发生改变,只改变了再制造品价格。政府可以通过调节补贴比例来改变和调整再制造品价格,但不会改变以旧换再需求。

(3) 当老顾客对再制造品偏好提高时,以旧换再需求上升;当对旧产品偏好提高时,以旧换再的需求下降。政府应当做好再制造品评估体系及质量把控,努力提升购买者对再制造业的认知度与公众绿色意识。

(4) 以旧换再供应链网络复杂且庞大,文中

对实际问题做了假设与简化,研究还可以从以下几个方面进行延伸与拓展:文中从制造商的角度来探究政府补贴,未来还可从社会福利及消费者效用等角度来进行探究;模型设定第一阶段新产品与第二阶段以旧换新的新产品是完全一致,但在实际生产中产品可能发生技术上的提升,故第二阶段新产品相比于第一阶段新产品来说会有提升。

参考文献

- [1] LIEDER M, RASHID A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 115 (115): 36-51.
- [2] JIANG Z, JIANG Y, WANG Y, et al. A hybrid approach of rough set and case-based reasoning to remanufacturing process planning[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, 30(1): 19-32.
- [3] 徐滨士. 新时代中国特色再制造的创新发展[J]. 中国表面工程, 2018, 31(1): 1-6.
XU B S. Innovation and development of remanufacturing with chinese characteristics for a new era[J]. China Surface Engineering, 2018, 31(1): 1-6(in Chinese).
- [4] NETO J Q, BLOEMHOF J M, CORBETT C J, et al. Market prices of remanufactured, used and new items: evidence from ebay[J]. International Journal of Production Economics, 2016, 171(3): 371-380.
- [5] 李恩重, 史佩京, 徐滨士, 等. 我国再制造政策法规分析与思考[J]. 机械工程学报, 2015, 51(19): 117-123.
LI E Z, SHI P J, XU B S, et al. Analysis of policies and regulations of china remanufacturing[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(19): 117-123(in Chinese).
- [6] 关于印发再制造产品“以旧换再”试点实施方案的通知[EB/OL]. [2013-08-27].
http://www.gov.cn/jzgk/2013-08/27/content_2474507.htm.
- [7] DESAI P S, PUROHIT D, ZHOU B. The strategic role of exchange promotions[J]. Marketing Science, 2016, 35(1): 93-112.
- [8] YIN R, TANG C S. Optimal temporal customer purchasing decisions under trade-in programs with up-front fees[J]. Decision Sciences, 2014, 45(3): 373-400.
- [9] 李恩重, 史佩京, 徐滨士, 郑汉东. 基于 TOPSIS 的汽车发动机再制造方案综合评价[J]. 汽车零部件, 2015(11): 4-7.
LI E Z, SHI P J, XU B S, et al. A Method of automotive engine remanufacturing assessment based on TOPSIS[J]. Automobile Parts, 2015(11): 4-7(in Chinese).
- [10] GIUTINI R, GAUDETTE K. Remanufacturing: the next great opportunity for boosting US productivity[J]. Business Horizons, 2003, 46(6): 41-48.
- [11] MACEDO P B, ALEM D, SANTOS M O, et al. Hybrid manufacturing and remanufacturing lot-sizing problem with stochastic demand, return, and setup costs[J]. The Interna-

- tional Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 82(5/8): 1241-1257.
- [12] FERRER G, SWAMINATHAN J M. Managing new and differentiated remanufactured products[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 203(2): 370-379.
- [13] 高举红, 李梦梦, 霍帆. 市场细分下考虑消费者支付意愿差异的闭环供应链定价决策[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(12): 3071-3084.
- GAO J H, LI M M, HUO Z, et al. Pricing decision of closed-loop supply chain considering consumers' willingness to pay differentiation under market segmentation[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2018, 38(12): 3071-3084 (in Chinese).
- [14] 孟丽君, 黄祖庆, 张宝友, 杨玉香. 基于回收风险的闭环供应链差异定价决策研究[J]. 运筹与管理, 2019, 28(10): 57-67.
- MENG L F, HUANG Z Q, ZHANG B Y, et al. Pricing decisions of closed-loop supply chain based on the risk of recycled product[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(10): 57-67 (in Chinese).
- [15] 李鸿媛, 颜波, 刘艳萍. 考虑消费者效用的供应链自主以旧换新策略优化[J]. 管理工程学报, 2019, 33(1): 159-169.
- LI H Y, LAN B, LIU Y P. Strategy optimization of autonomous trade-in in the supply chain with considering consumer utility[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2019, 33(1): 159-169 (in Chinese).
- [16] 缪朝炜, 夏志强. 基于以旧换新的闭环供应链决策模型[J]. 管理科学学报, 2016, 19(9): 49-66.
- MIU Z W, XIA Z Q. Decision models for closed-loop supply chains with trade-ins[J]. Journal of Management Sciences in China, 2016, 19(9): 49-66 (in Chinese).
- [17] 刘靛晨, 翟昕. 竞争环境下的以旧换新策略[J]. 中国管理科学, 2018, 26(9): 75-84.
- LIU J C, ZHAI X. Trade-in strategy in competitive markets[J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(9): 75-84 (in Chinese).
- [18] ZHANG F, ZHANG R. Trade-in remanufacturing, customer purchasing behavior, and government policy[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2018, 20(4): 601-616.
- [19] 李新然, 吴义彪. 政府“以旧换新”补贴下的差别定价闭环供应链[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(8): 1983-1995.
- LI X R, WU Y B. Differential price closed-loop supply chain under the government replacement-subsidy[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2015, 35(8): 1983-1995 (in Chinese).
- [20] 王玉燕, 于兆青. “以旧换新”策略下汽车供应链的运作模式调整研究[J]. 经济与管理评论, 2017, 33(6): 56-66.
- WANG Y Y, YU Z Q. Research on the adjustment of operation mode of automobile supply chain under the strategy of replacement-subsidy[J]. Review of Economy and Management, 2017, 33(6): 56-66 (in Chinese).
- [21] 高攀, 丁雪峰. 基于“以旧换新”和消费者细分的制造商决策模型[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(4): 951-963.
- GAO P, DING X F. Manufacturer decision models based on “trade-old-for-remanufactured” and consumer segmentation[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2020, 40(4): 951-963 (in Chinese).
- [22] ZHU X, WANG M. Optimal pricing strategy of a hybrid trade old for new and remanufactured products supply chain[J]. Optimization Letters, 2018: 1-17.
- [23] 万凤娇, 邹蔚. “以旧换新”政策对废旧汽车再制造闭环供应链的影响研究[J]. 生态经济, 2019, 35(3): 79-86.
- WANG F J, ZHOU W. The effects of “replacement-subsidy” on the remanufacturing closed-loop supply chain of waste automobile[J]. Ecological Economy, 2019, 35(3): 79-86 (in Chinese).
- [24] LIU H, LEI M, DENG H, et al. A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy[J]. Omega-international Journal of Management Science, 2016, 59: 290-302.
- [25] HEYDARI J, GOVINDAN K, JAFARI A, et al. Reverse and closed loop supply chain coordination by considering government role[J]. Transportation Research Part D-transport and Environment, 2017, 52: 379-398.
- [26] SUBRAMONIAM R, HUISINGH D, CHINNAM R B. Remanufacturing for the automotive aftermarket-strategic factors: Literature review and future research needs[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(13): 1163-1174.
- [27] 刘渤海, 史佩京, 徐滨士, 黄铁. 机电产品的再制造补贴政策[J]. 中国表面工程, 2012, 25(4): 15-20.
- LIU B H, SHI P J, XU B S, et al. Subsidy policy of remanufacturing for electromechanical products[J]. China Surface Engineering, 2012, 25(4): 15-20 (in Chinese).
- [28] 张海咪, 刘渤海, 李恩重, 张頔, 周新远. 碳交易及补贴政策对再制造闭环供应链的影响[J]. 中国表面工程, 2018, 31(1): 165-174.
- ZHANG H M, LIU B H, LI E Z, et al. Effects of carbon trading and subsidy policy on remanufacturing closed-loop supply chain[J]. China Surface Engineering, 2018, 31(1): 165-174 (in Chinese).
- [29] 黄燕婷, 王宗军. 技术许可下信息分享和政府补贴对闭环供应链的影响分析——基于经销商再制造模式[J]. 运筹与管理, 2019, 28(3): 57-66.
- HUANG Y T, WANG Z J. The effect of information sharing and government subsidy in a closed-loop supply chain with technology licensing——based on distributor remanufacturing[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(3): 57-66 (in Chinese).