

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2024.09.018

考虑政府规制和二手市场的E-闭环供应链决策

白淳予, 关志民, 赵莹, 董经洋

(东北大学工商管理学院, 辽宁沈阳 110169)

摘要: 在政府规制下, 研究制造商和电商平台构成的E-闭环供应链决策问题. 考虑电商平台开辟与不开辟二手市场两种情形, 分析政府处理基金、补贴率、旧产品质量、平台佣金率等对制造商和电商平台决策与期望利润的影响. 研究发现: 开辟二手市场时, 最优的新产品销售价格与旧产品回收价格更低, 电商平台也会更加努力地销售新产品. 不开辟二手市场时, 制造商的期望利润更高, 电商平台的期望利润更低. 政府处理基金的提高会激励制造商对旧产品进行回收, 并对新产品的生产造成不利影响; 而补贴率的提高可以促进旧产品回收, 且不影响新产品的生产.

关键词: 二手市场; 闭环供应链; 旧产品质量; 政府规制; 电商平台

中图分类号: F 224

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2024)09-1360-09

E-Closed-Loop Supply Chain Decision-Making Considering Government Regulation and Second-Hand Markets

BAI Chun-yu, GUAN Zhi-min, ZHAO Ying, DONG Jing-yang

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: ZHAO Ying, E-mail: yannic_zhaowork@163.com)

Abstract: The E-closed-loop supply chain decision-making consisting of a manufacturer and an e-commerce platform under government regulation are considered when the e-commerce platform opens the second-hand market or not, respectively, and the impacts of government disposal fund, subsidy rate, quality of used products, and commission rate of the platform on the manufacturer's and e-commerce platform's decision-making and expected profits are analyzed. It is found that when the second-hand market is open, the manufacturer's optimal selling price for new products and optimal recycling price for used products are lower, and the e-commerce platform tries harder to sell new products. When the second-hand market is not open, the manufacturer's expected profit is higher and the e-commerce platform's expected profit is lower. Under government regulation, an increase in the disposal fund provides an incentive to the manufacturer to recycle used products and adversely affects the manufacturer's production of new products, whereas an increase in the subsidy rate promotes the recycling of used products and does not affect the production of new products.

Key words: second-hand market; closed-loop supply chain; quality of used products; government regulation; e-commerce platform

全球工业化的加速发展导致环境污染加剧, 资源逐渐匮乏, 构建资源循环型的供应链势在必行^[1]. 近年来, 为促进循环经济健康持续发展, 各国政府相继出台了众多法律法规, 以推动企业的供应链管理向绿色化转型^[2]. 同时, 越来越多的消

费者开始关注并愈发接受再制造产品与二手产品^[3]. 在政府与市场的双重压力之下, 许多企业与电商平台合作开展废旧产品的回收再利用业务, 并销售再制造产品与二手产品^[4]. 例如, 华为、OPPO等通过爱回收和乐回收平台回收旧产品^[5].

收稿日期: 2023-08-07

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N2206004).

作者简介: 白淳予(1987-), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学博士研究生; 关志民(1957-), 男, 辽宁开原人, 东北大学教授, 博士生导师.

阿里巴巴旗下的“闲鱼”以及京东旗下的“拍拍”等开通了二手产品交易业务^[1].

已有学者开展了相关研究.例如,He等^[6]探讨了第三方物流公司提供线上产品运输服务时制造商的最优线上渠道侵占策略.Xie等^[7]探讨了面对策略型消费者,通过电商平台销售产品的第三方卖家的最优定价策略.还有一些学者关注电商供应链中的竞争问题,比如Lin等^[8]研究了产品的线上定价与捆绑销售策略,并考虑了平台间竞争对最优决策的影响.Wei等^[9]考虑供应链成员主从关系、电商平台推广费和产品可替换性对供应链决策的综合影响,探讨了以电商平台为销售途径售卖产品的2个竞争制造商的最佳销售模式.Zennyo^[10]分析了垄断平台和以该平台为媒介销售产品的供应商之间的战略契约.也有学者研究了闭环供应链中的竞争问题,包括回收渠道间的竞争以及新产品与再制造产品间的竞争.Kleber等^[11]考虑2个再制造商间的回收与销售竞争,研究了如何对二手产品进行回收和销售定价,以获得更大的竞争优势.

众多学者在政府规制与政策的研究上各抒己见.Li等^[12]评估了政府法规对供应链成员利润的影响,为政策制定者提供了合理可行的方案,以缓解疫情大流行时的供应短缺问题.Wang

等^[13]基于碳限额规制,研究了制造商的碳减排和旧产品回收策略.研究表明,政府可以通过调节和控制碳交易价格来影响供应链决策.Gu等^[14]开发了由电池(再)制造商、二次用户和政府组成的闭环供应链决策模型,当回收电池剩余电量较高或再制造率较低时,政府可以对二次用户进行补贴,以鼓励电动汽车电池的二次使用.Wang等^[15]分析政府补贴对低碳电商闭环供应链绩效的影响.结果表明,政府补贴可以使供应链整体绩效以及社会福利提高.Zhao等^[16]分别构建了补贴消费者、零售商、制造商的利润分配模型,对比分析不同补贴方案对供应链决策的影响.

但是,上述针对E-闭环供应链的研究并未涉及政府规制以及电商平台的二手市场开辟策略.综上,本文针对一个E-闭环供应链,研究考虑政府规制和二手市场的E-闭环供应链决策问题,分析政府处理基金、补贴率、平台佣金率、旧产品质量等因素对最优决策及期望利润的影响.

1 问题描述

在E-闭环供应链中,电商平台为领导者,制造商为追随者,构成Stackelberg博弈,具体的E-闭环供应链结构如图1所示.

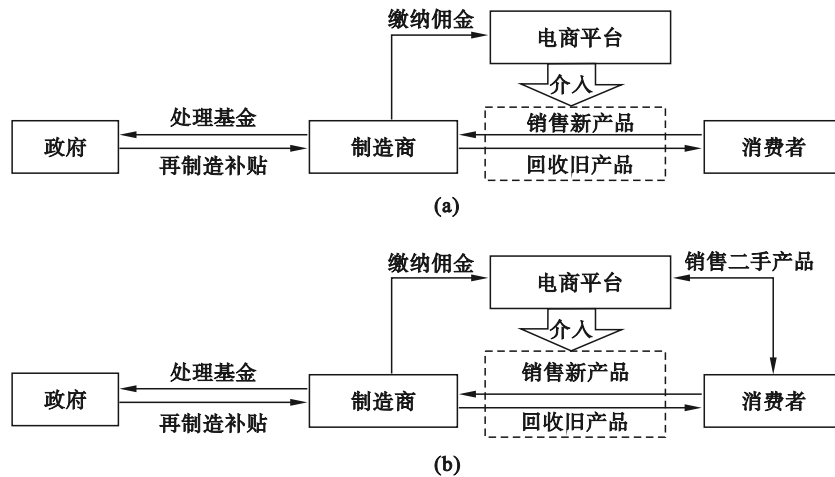


图1 E-闭环供应链结构

Fig. 1 E-closed-loop supply chain structure

(a)不开辟二手市场的E-闭环供应链结构;(b)开辟二手市场的E-闭环供应链结构.

1.1 不开辟二手市场(模型N)

当不开辟二手市场时,制造商通过电商平台回收旧产品进行再制造,并向电商平台交付佣金.政府对制造商生产新产品与再造品征收单位处理基金 κ ,同时给予单位再制造补贴 $\lambda\kappa$,其中 λ 为单位补贴率^[17].假设再造品与新产品无差异,

统一视为新产品.电商平台销售给消费者的那部分旧产品统称为二手产品.

新产品单位零售价格为 p_n ^[18-19],单位生产成本为 c_n ,再造品的单位成本节约 c_Δ 与旧产品质量水平正相关, $c_\Delta = \delta q$ ^[3].其中, $q \sim U(0, 1)$ 为旧产品质量水平,且在区间 $U(0, 1)$ 内服从均匀分布, δ 为质

量成本系数. 电商平台的销售努力水平为 s , 其付出的销售努力成本为 $hs^2/2$, 其中, h 为销售努力成本系数^[20]. 此外, 针对电商平台销售新产品与回收并转卖旧产品, 制造商需要缴纳的单位佣金率均为 ρ , 其中, $0 < \rho < 1$. 在实践中, 电商平台往往会针对所销售产品的品类设置一个统一且较为固定的佣金率. 因此, 可将 ρ 视为外生变量.

旧产品回收价格为 $p_r = \gamma q$, 其中, γ 为旧产品的质量价值系数(后简称“价值系数”)^[3]. 旧产品转卖价格为 $p_t = (\gamma + t)q$, tq 为转卖加价, t 为加价系数. 旧产品的回收数量 Q_r 与回收价格 p_r 正相关, 设 $Q_r = Q_0 + lp_r$. 其中, Q_0 为旧产品回收基数, 即不设置回收价格, 消费者也会退回旧产品的数量, l 为回收价格敏感系数^[21]. 回收数量 Q_r 不会超过市场中现存的旧产品总量^[2].

$v \sim U[0, 1]$ 代表消费者对新产品的支付意愿. 消费者购买新产品的效用函数为 $U_n = v - p_n + s$ ^[3, 21], p_n 为新产品单位零售价格. 当 $U_n > 0$, 即 $v > p_n - s$ 时, 消费者会购买新产品, 需求函数为 $Q_n = \int_v^1 1 dv = 1 - p_n + s$.

综上, 在模型 N 下, 制造商和电商平台的利润函数分别为

$$\begin{aligned}\pi_m^N &= (1 - \rho) [Q_n(p_n - c_n - \kappa) + Q_r(c_\Delta - p_t + \lambda\kappa)], \\ \pi_c^N &= \rho [Q_n(p_n - c_n - \kappa) + Q_r(c_\Delta - p_t + \lambda\kappa)] + \\ & Q_r(p_t - p_r) - \frac{1}{2}hs^2.\end{aligned}$$

制造商和电商平台的期望利润函数分别为

$$E(\pi_m^N) = (1 - \rho) \left[(1 - p_n + s)(p_n - c_n - \kappa) + \left(Q_0 + \frac{ly}{2} \right) \lambda\kappa + \frac{(3Q_0 + 2ly)(\delta - \gamma - t)}{6} \right],$$

$$E(\pi_c^N) = \rho(1 - p_n + s)(p_n - c_n - \kappa) + \rho \left(Q_0 + \frac{ly}{2} \right) \lambda\kappa + \left(\frac{3Q_0 + 2ly}{6} \right) [\rho(\delta - \gamma) + (1 - \rho)t] - \frac{1}{2}hs^2.$$

1.2 开辟二手市场(模型 Y)

在开辟二手市场时, 电商平台将高于质量基准 a 的回收旧产品作为二手产品再次出售, 低于 a 的旧产品将被电商平台转卖给制造商进行再制造. 故二手市场中的二手产品数量为 $Q_{r1} = \int_a^1 (Q_0 + lyq) dq$, 制造商获得的旧产品数量为 $Q_{r2} = \int_0^a (Q_0 + lyq) dq$, 旧产品的回收数量为 $Q_r = Q_{r1} + Q_{r2}$. 制造商获得的总补贴为 $\lambda\kappa Q_{r2}$.

根据消费者效用理论, 假设消费者对制造商

提供的新产品的支付意愿为 v , 并假设消费者对二手产品的支付意愿为 εv , 其中 ε 为二手产品价值折扣系数, ε 越大, 代表消费者越认可二手产品. 二手产品的销售价格为 p_c . 故消费者购买新产品和二手产品的效用函数分别为 $U_n = v - p_n + s$ 和 $U_c = \varepsilon v - p_c + s$. 消费者购买新产品的条件为 $U_n > 0$ 且 $U_n > U_c$; 购买二手产品的条件为 $U_c > 0$ 且 $U_c > U_n$. 进而可以推导出, 新产品和二手产品的需求量分别为 $Q_n = 1 - \frac{p_n - p_c}{1 - \varepsilon}$ 和 $Q_c = \frac{\varepsilon p_n - p_c}{\varepsilon(1 - \varepsilon)} + \frac{s}{\varepsilon}$. 此外, 受旧产品回收数量限制, 假设市场中二手产品数量大于或等于其需求量, 即 $Q_{r1}^Y \geq Q_c^Y$.

因此, 可得模型 Y 下, 制造商和电商平台的利润函数分别为

$$\begin{aligned}\pi_m^Y &= (1 - \rho) [Q_n(p_n - c_n - \kappa) + Q_{r2}(c_\Delta - p_t + \lambda\kappa)], \\ \pi_c^Y &= \rho [Q_n(p_n - c_n - \kappa) + Q_{r2}(c_\Delta - p_t + \lambda\kappa)] + Q_{r2}(p_t - \\ & p_r) + Q_c p_c - Q_{r1} p_r - \frac{1}{2}hs^2.\end{aligned}$$

制造商和电商平台的期望利润函数分别为

$$\begin{aligned}E(\pi_m^Y) &= (1 - \rho) \left[(p_n - c_n - \kappa) \left(1 - \frac{p_n - p_c}{1 - \varepsilon} \right) + a\lambda\kappa Q_0 + \right. \\ & \left. [3\lambda\kappa ly + (\delta - \gamma - t)(3Q_0 + 2ly)a] \frac{a^2}{6} \right], \\ E(\pi_c^Y) &= \rho(p_n - c_n - \kappa) \left(1 - \frac{p_n - p_c}{1 - \varepsilon} \right) + \\ & \frac{a^2}{6} (3Q_0 + 2ly) [\rho\delta + (1 - \rho)(\gamma + t)] + \\ & \frac{a\rho\lambda\kappa(aly + 2Q_0)}{2} - \frac{3Q_0\gamma + 2ly^2}{6} + \\ & \left[\frac{\varepsilon p_n - p_c}{\varepsilon(1 - \varepsilon)} + \frac{s}{\varepsilon} \right] p_c - \frac{1}{2}hs^2.\end{aligned}$$

2 均衡结果与分析

2.1 不开辟二手市场(模型 N)

命题 1 当 $\rho < 2h$ 时, 模型 N 存在最优决策,

$$\text{其中, } p_n^{N*} = \frac{h + (h - \rho)(c_n + \kappa)}{2h - \rho}, s^{N*} = \frac{\rho(1 - c_n - \kappa)}{2h - \rho},$$

$$\gamma^{N*} = \frac{3}{4l} (l\lambda\kappa - Q_0) + \frac{1}{2\rho} (t - tp + \rho\delta),$$

$$E(p_r^{N*}) = \frac{3}{8l} (l\lambda\kappa - Q_0) + \frac{1}{4\rho} (t - tp + \rho\delta),$$

$$E(p_t^{N*}) = \frac{3}{8l} (l\lambda\kappa - Q_0) + \frac{1}{4\rho} (t + tp + \rho\delta),$$

$$Q_n^{N*} = \frac{(1 - c_n - \kappa)h}{2h - \rho}, E(Q_r^{N*}) = \frac{5Q_0 + 3l\lambda\kappa}{8} + \frac{l(t - tp + \rho\delta)}{4\rho},$$

$$E(\pi_m^{N^*}) = (1-\rho) \left[\frac{5\lambda\kappa Q_0}{8} + \frac{h^2(1-c_n-\kappa)^2}{(2h-\rho)^2} + \frac{\lambda\kappa}{8\rho} [3\lambda\kappa\rho + (2t-2t\rho+2\rho\delta)] + \frac{(3Q_0+2l\delta-2lt)^2}{48l} - \frac{l(3\lambda\kappa\rho+2t)^2}{48\rho^2} \right], E(\pi_c^{N^*}) = \frac{\rho\lambda\kappa(3\lambda\kappa l+10Q_0)}{16} + \frac{\lambda\kappa(t-t\rho+4\rho\delta)}{4} + \frac{h\rho(1-c_n-\kappa)^2}{2(2h-\rho)} + \frac{[3\rho Q_0+2l(1-\rho)+2\rho l\delta]^2}{48\rho l}.$$

证明 由于 $\frac{\partial^2 E(\pi_m^N)}{\partial p_n^2} < 0$, 故存在最优解 $p_n^{N^*}$ 使 $E(\pi_m^N)$ 取得最大值, 解得 $p_n^N(s) = (c_n + \kappa + s + 1)/2$. 将 $p_n^N(s)$ 代入 $E(\pi_c^N)$ 并求 $E(\pi_c^N)$ 关于 s 和 γ 的二阶导数, 可知当且仅当 $\rho < 2h$ 时, $E(\pi_c^N)$ 关于 s 和 γ 的海森矩阵负定, 令 $E(\pi_c^N)$ 关于 s 和 γ 的一阶导数为零可解得 (s^{N^*}, γ^{N^*}) , 将其代入 $p_n^N(s)$ 中, 可得 $p_n^{N^*}$.

推论 1 在模型 N 中, 随着参数 κ 的增大, s^{N^*} 和 $Q_r^{N^*}$ 减小; $\gamma^{N^*}, E(p_r^{N^*}), E(p_i^{N^*})$ 和 $E(Q_r^{N^*})$ 增大; 当 $h < \rho < 2h$ 时, $p_n^{N^*}$ 减小, 当 $\rho < h$ 时, $p_n^{N^*}$ 增大.

证明 计算可得 $\frac{\partial s^{N^*}}{\partial \kappa} = \frac{-\rho}{2h-\rho} < 0, \frac{\partial Q_r^{N^*}}{\partial \kappa} = \frac{-h}{2h-\rho} < 0, \frac{\partial \gamma^{N^*}}{\partial \kappa} = \frac{3\lambda}{4} > 0, \frac{\partial E(p_r^{N^*})}{\partial \kappa} = \frac{3\lambda}{8} > 0, \frac{\partial E(p_i^{N^*})}{\partial \kappa} = \frac{3\lambda}{8} > 0, \frac{\partial E(Q_r^{N^*})}{\partial \kappa} = \frac{3l\lambda}{8} > 0, \frac{\partial p_n^{N^*}}{\partial \kappa} = \frac{h-\rho}{2h-\rho}$, 推论 1 得证.

随着处理基金的提高, 制造商生产新产品的成本支出增大, 故其会提高旧产品的转卖价格, 促使电商平台提高回收价格, 以回收更多旧产品. 此时, 回收收入的提高也会导致电商平台降低销售努力水平, 从而降低新产品的销售量. 当佣金率较高时, 随着处理基金的提高, 制造商会降低新产品销售价格, 试图通过低价销售更多的新产品; 反之, 当佣金率较低时, 其会提高新产品的销售价格, 降低新产品的销售量, 从而降低缴纳的基金费用总额, 节约成本.

推论 2 在模型 N 中, $\gamma^{N^*}, E(p_r^{N^*}), E(p_i^{N^*})$ 和 $E(Q_r^{N^*})$ 与 λ 呈正相关.

证明 经计算可得 $\frac{\partial \gamma^{N^*}}{\partial \lambda} = \frac{3\kappa}{4} > 0, \frac{\partial E(p_r^{N^*})}{\partial \lambda} = \frac{\partial E(p_i^{N^*})}{\partial \lambda} = \frac{3\kappa}{8} > 0, \frac{\partial E(Q_r^{N^*})}{\partial \lambda} = \frac{3l\kappa}{8} > 0$, 推论 2 得证.

推论 2 表明, 随着政府补贴率的提高, 旧产品的回收价格与回收数量均会提高. 这是由于当补

贴率提高时, 单位再制造补贴增加, 制造商更乐于投身回收事业, 提高旧产品的转让价格, 督促平台回收更多的旧产品.

推论 3 在模型 N 中, $s^{N^*}, p_n^{N^*}$ 和 $Q_n^{N^*}$ 与 h 负相关.

证明 计算可得 $\frac{\partial p_n^{N^*}}{\partial h} = \frac{\partial Q_n^{N^*}}{\partial h} = \frac{\rho(c_n + \kappa - 1)}{(2h-\rho)^2}$, $\frac{\partial s^{N^*}}{\partial h} = \frac{2\rho(c_n + \kappa - 1)}{(2h-\rho)^2}$. 因为 $s^{N^*} > 0$, 且均衡解存在条件为 $\rho < 2h$, 故 $\frac{\partial s^{N^*}}{\partial h} < 0, \frac{\partial p_n^{N^*}}{\partial h} < 0, \frac{\partial Q_n^{N^*}}{\partial h} < 0$.

推论 3 表明, 电商平台的销售努力水平与其销售努力成本系数呈负相关. 此时, 由于消费者对制造商新产品的需求随销售努力成本系数降低, 故制造商必须降低其销售价格才能继续维持其新产品的销售. 因此, 随着销售努力成本系数的增大, 新产品的销售价格降低. 但是因为电商平台销售努力的下降速度快于制造商新产品销售价格的下调速度, 所以即使制造商降低了新产品的销售价格, 新产品的销量仍将降低.

推论 4 在模型 N 中, $\gamma^{N^*}, E(p_r^{N^*}), E(p_i^{N^*})$ 和 $E(Q_r^{N^*})$ 与 t, l 和 δ 呈正相关.

证明 经计算可得 $\frac{\partial \gamma^{N^*}}{\partial t} = \frac{1-\rho}{2\rho} > 0, \frac{\partial E(p_r^{N^*})}{\partial t} = \frac{1-\rho}{4\rho} > 0, \frac{\partial E(p_i^{N^*})}{\partial t} = \frac{1+\rho}{4\rho} > 0, \frac{\partial E(Q_r^{N^*})}{\partial t} = \frac{(1+\rho)l}{4\rho} > 0$; 同理可证得 $\gamma^{N^*}, E(p_r^{N^*}), E(p_i^{N^*})$ 和 $E(Q_r^{N^*})$ 与 l 和 δ 的关系.

推论 4 表明, 首先, 随着旧产品转卖加价系数的增大, 电商平台获得的单位旧产品转卖收入增加, 这将激励其提高价值系数, 以更高的回收价格回收更多的旧产品. 其次, 回收价格敏感系数的增大意味着电商平台提高回收价格可以回收更多的旧产品. 因此, 随着回收价格敏感系数的增大, 电商平台也会提高价值系数, 进而提高回收价格. 最后, 旧产品质量成本系数的增大意味着制造商对旧产品进行回收处理的边际利润增加, 这将使电商平台分得更多的制造商收益, 电商平台有动机提高价值系数, 回收更多的旧产品以扩大收益.

2.2 开辟二手市场(模型 Y)

命题 2 当 $M_1 < 0$ 时, 模型 Y 存在最优决策, 其中, $p_n^{Y^*} = -\frac{h\varepsilon^2 M_2}{2M_1} + \frac{1-\varepsilon}{2} + \frac{c_n + \kappa}{2}, p_c^{Y^*} = \frac{-h\varepsilon^2 M_2}{M_1}, s^{Y^*} = \frac{-\varepsilon M_2}{M_1}, \gamma^{Y^*} = \frac{M_3}{4lM_4}, E(p_r^{Y^*}) = \frac{M_3}{8lM_4} + \frac{t}{2}, E(p_i^{Y^*}) =$

$$\begin{aligned} \frac{M_3}{8lM_4}, Q_n^{Y^*} &= \frac{1}{2} - \frac{c_n + \kappa}{2(1-\varepsilon)} - \frac{h\varepsilon^2 M_2}{2(1-\varepsilon)M_1}, Q_c^{Y^*} = \frac{1}{2} - \\ \frac{M_2}{M_1} + \frac{c_n + \kappa}{2(1-\varepsilon)} + \frac{h\varepsilon(2-\varepsilon)M_2}{2(1-\varepsilon)M_1}, E(Q_r^{Y^*}) &= Q_0 + \frac{M_3}{8M_4}, \\ E(\pi_m^{Y^*}) &= (1-\rho) \left[\frac{[(1-\varepsilon-c_n-\kappa)M_1-h\varepsilon^2 M_2]^2}{4(1-\varepsilon)M_1^2} - \right. \\ \frac{a^2(6Q_0M_4+aM_3)}{48M_4^2} [M_3-4M_4(\delta-t)] + \lambda\kappa \left(aQ_0 + \frac{a^2 M_3}{8M_4} \right) \Big] & \\ E(\pi_c^{Y^*}) &= \frac{a^2}{12M_4} (6Q_0M_4+aM_3) \left[\rho\delta+(1-\rho) \left(\frac{M_3}{4lM_4} + t \right) \right] + \\ \frac{h\varepsilon^2(h\varepsilon^2-2h\varepsilon-\varepsilon+1)M_2^2}{2(1-\varepsilon)M_1^2} + \frac{\rho[(1-c_n-\varepsilon-\kappa)M_1-h\varepsilon^2 M_2]^2}{4(1-\varepsilon)M_1^2} + & \\ \rho\lambda\kappa \left(Q_0 + \frac{aM_3}{8M_4} \right) - \frac{M_3}{4lM_4} \times \left(\frac{Q_0}{2} + \frac{M_3}{12M_4} \right) - & \\ \frac{h\varepsilon^2(c_n+\kappa-\varepsilon+1)M_2}{2M_1(1-\varepsilon)}. & \end{aligned}$$

式中: $M_1=h\varepsilon(2\varepsilon+\varepsilon\rho-4)+2(1-\varepsilon)$; $M_2=(c_n+\kappa)(1-\rho)+(1-\rho)+(1+\rho)(1-\varepsilon)$; $M_3=a^2\rho l(2a\delta+3\kappa l)+3Q_0(a^2-a^2\rho-1)+2(1-\rho)a^3lt$; $M_4=a^3\rho-a^3+1, M_1 < 0$.

证明 由于 $\frac{\partial^2 E(\pi_m^Y)}{\partial p_n^2} < 0$, 故存在 $p_n^{Y^*}$ 使 $E(\pi_m^Y)$ 取得最大值, 求得 $p_n^Y(p_c) = (c_n + \kappa - \varepsilon + p_c + 1)/2$, 将其代入 $E(\pi_c^Y)$ 并求 $E(\pi_c^Y)$ 关于 p_c, s 和 γ 的二阶偏导数. 可知当 $h\varepsilon(2\varepsilon + \varepsilon\rho - 4) + 2(1 - \varepsilon) < 0$ 时, $E(\pi_c^Y)$ 关于 p_c, s 和 γ 的海森矩阵负定, 令 $E(\pi_c^Y)$ 关于 p_c, s 和 γ 的一阶导数等于 0 可求得 $(p_c^{Y^*}, s^{Y^*}, \gamma^{Y^*})$, 将其代入 $p_n^Y(p_c)$ 中可得 $p_n^{Y^*}$.

推论 5 在模型 Y 中, $p_c^{Y^*}, s^{Y^*}, \gamma^{Y^*}, E(p_r^{Y^*}), E(p_i^{Y^*})$ 和 $E(Q_r^{Y^*})$ 均与 κ 呈正相关.

证明 经计算可得 $\frac{\partial p_c^{Y^*}}{\partial \kappa} = \frac{-h\varepsilon^2(1-\rho)}{M_1} > 0$,

$$\begin{aligned} \frac{\partial s^{Y^*}}{\partial \kappa} &= \frac{-\varepsilon(1-\rho)}{M_1} > 0, \frac{\partial \gamma^{Y^*}}{\partial \kappa} = \frac{3\lambda\rho a^2 l}{4lM_4} > 0, \frac{\partial E(p_r^{Y^*})}{\partial \kappa} = \\ \frac{3\lambda\rho a^2 l}{8lM_4} > 0, \frac{\partial E(p_i^{Y^*})}{\partial \kappa} &= \frac{3\lambda\rho a^2 l}{8lM_4} > 0, \frac{\partial E(Q_r^{Y^*})}{\partial \kappa} = \\ \frac{3\lambda\rho a^2 l}{8M_4} > 0. & \end{aligned}$$

推论 6 在模型 Y 中, $\gamma^{Y^*}, E(p_r^{Y^*}), E(p_i^{Y^*})$ 和 $E(Q_r^{Y^*})$ 均与 λ 呈正相关.

证明 经计算可得 $\frac{\partial \gamma^{Y^*}}{\partial \lambda} = \frac{3a^2\rho\kappa}{4M_4} > 0$,

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(p_i^{Y^*})}{\partial \lambda} &= \frac{\partial E(p_r^{Y^*})}{\partial \lambda} = \frac{3a^2\rho\kappa}{8M_4} > 0, \frac{\partial E(Q_r^{Y^*})}{\partial \lambda} = \\ \frac{3a^2l\rho\kappa}{8M_4} > 0. & \end{aligned}$$

推论 5 与推论 6 表明, 政府可通过提高处理基金或补贴率激励供应链企业开展回收业务, 为可持续发展作出贡献. 补贴率的提高起到了降本增效的作用. 因此, 电商平台会提高价值系数与回收价格, 以提高旧产品的回收数量. 而处理基金的提高推动了制造商新产品生产成本的提高, 为了维持收益, 制造商会加大对旧产品的回收力度, 以获得更多的成本节约.

推论 7 在模型 Y 中, $p_n^{Y^*}, p_c^{Y^*}, Q_n^{Y^*}, Q_c^{Y^*}, s^{Y^*}$ 均与 h 呈负相关.

证明 计算可得, $\frac{\partial p_n^{Y^*}}{\partial h} = \frac{-\varepsilon^2(1-\varepsilon)M_2}{M_1^2}, \frac{\partial p_c^{Y^*}}{\partial h} =$

$$\begin{aligned} \frac{-2\varepsilon^2(1-\varepsilon)M_2}{M_1^2}, \frac{\partial Q_n^{Y^*}}{\partial h} &= \frac{-\varepsilon^2 M_2}{M_1^2}, \frac{\partial Q_c^{Y^*}}{\partial h} = \frac{\varepsilon(\varepsilon+\varepsilon\rho-2)M_2}{M_1^2}, \\ \frac{\partial s^{Y^*}}{\partial h} &= \frac{\varepsilon^2(2\varepsilon+\varepsilon\rho-4)M_2}{M_1^2}, \text{由于 } 0 < \varepsilon < 1, 0 < \rho < 1, \end{aligned}$$

因此 $M_2 > 0$, 根据均衡解存在条件 $M_1 < 0$, 故 $\frac{\partial p_n^{Y^*}}{\partial h} < 0, \frac{\partial p_c^{Y^*}}{\partial h} < 0, \frac{\partial Q_n^{Y^*}}{\partial h} < 0, \frac{\partial Q_c^{Y^*}}{\partial h} < 0, \frac{\partial s^{Y^*}}{\partial h} < 0$.

推论 7 表明, 随着销售努力成本系数的增大, 电商平台为避免成本上升将降低销售努力水平, 致使二手产品与新产品的需求减少, 对制造商利润产生负向影响. 因此, 制造商会适当降低新产品的销售价格以应对这一不利影响. 为了在竞争中处于有利地位, 此时, 电商平台将更大幅度地降低二手产品的价格. 但是由推论 7 可知, 即便制造商和电商平台都降低了产品的销售价格, 但受到平台销售努力水平下降的影响, 2 种产品的需求量仍与销售努力成本系数呈负相关.

推论 8 在模型 Y 中, $\gamma^{Y^*}, E(p_r^{Y^*}), E(p_i^{Y^*})$ 和 $E(Q_r^{Y^*})$ 均与 t, l 和 δ 呈正相关.

证明 经计算可得 $\frac{\partial \gamma^{Y^*}}{\partial t} = \frac{2a^3(1-\rho)}{4M_4} > 0$,

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(p_r^{Y^*})}{\partial t} &= \frac{2a^3(1-\rho)}{8M_4} > 0, \frac{\partial E(p_i^{Y^*})}{\partial t} = \frac{2a^3(1-\rho)}{8M_4} + \\ \frac{1}{2} > 0, \frac{\partial E(Q_r^{Y^*})}{\partial t} &= \frac{2a^3(1-\rho)}{8M_4} + Q_0 > 0; \text{同理可证得} \\ \gamma^{Y^*}, E(p_r^{Y^*}), E(p_i^{Y^*}) \text{ 和 } E(Q_r^{Y^*}) &\text{ 与回收价格敏感系数 } l \text{ 和旧产品质量成本系数 } \delta \text{ 的关系.} \end{aligned}$$

推论 8 表明, 与模型 N 相似, 在模型 Y 下, 回收价格敏感系数、旧产品转卖加价系数和旧产品质量成本系数的提高对回收决策有正向影响. 这是因为转让加价系数的提高增加了电商平台转卖旧产品所得的单位收益, 回收价格敏感系数的

提高使电商平台可以在相同的回收价格下回收更多的旧产品,而旧产品质量成本系数的提高使成本节约增加.以上 3 个变化都会增加电商平台的收入,会激励电商平台积极开展回收业务.

3 算例分析

本章将以算例分析的方式分析佣金率、政府处理基金和质量基准对均衡结果的影响,并得到关于电商平台是否开辟二手市场的相关结论.结合文献[22-23]设置参数值如下: $\rho=0.2, c_n=0.4, t=0.15, l=0.8, Q_0=0.1, \delta=0.2, h=0.9, \varepsilon=0.7, a=0.9, \lambda=1.2, \kappa=0.05$.

由图 2 可知,制造商新产品和二手产品的最优销售价格与佣金率呈正相关,旧产品的最优期望回收价格和期望转让价格与佣金率呈负相关.这是因为,当佣金率提高时,平台愿意付出更高的销售努力帮助制造商销售更多的新产品,即使这需要付出一定的努力成本.当电商平台开辟二手市场后,会提高销售努力,使得新产品与二手产品的需求增加,故制造商有动机提高新产品的销售价格以进一步增加收入.受与二手产品竞争的新产品价格上升和销售努力水平提高的影响,电商平台也有动机提高二手产品的销售价格.与之相反,在旧产品回收方面,随着佣金率的提高,制造商将降低旧产品的转让价格以获得更多利润,转让价格的降低会使电商平台降低旧产品回收价格.

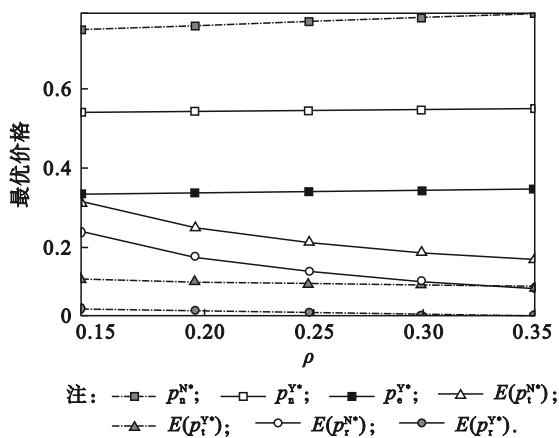


图 2 佣金率对最优价格的影响

Fig. 2 Impact of commission rate on optimal prices

由图 3 可知,新产品最优需求量与佣金率呈正相关,二手产品最优需求量和旧产品最优期望回收数量与佣金率呈负相关.这是因为,佣金率提高时平台的销售努力提高,消费者购买产品的

效用增大.因此,随着佣金率的提高,不开辟二手市场时,新产品的最优需求量增加;但开辟二手市场时,由于二手产品的销售价格增幅高于新产品(见图 2),因此价格竞争下,二手产品最优需求量降低,新产品最优需求量增加.在旧产品回收方面,佣金率的提高意味着电商平台分享到的利润增加.因此,制造商将降低旧产品的转让价格,增加单位回收收益.但电商平台也会降低旧产品的回收价格,故旧产品的期望回收数量会下降.

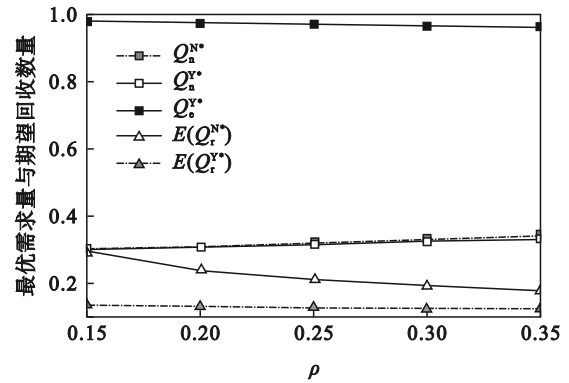


图 3 佣金率对最优需求量与期望回收数量的影响

Fig. 3 Impact of commission rate on optimal demand and expected recovery

由图 4 可知,如果处理基金较低,那么在不开辟二手市场时最优的制造商期望利润高于开辟二手市场的情形.如果佣金率较低且处理基金较高,那么不开辟二手市场时最优的制造商期望利润低于开辟二手市场的情形.由图 5 可知,开辟比不开辟二手市场时最优的电商平台期望利润更高.因为电商平台开辟二手市场后,其不再将部分质量水平较高的二手产品销售给制造商,而通过二手市场销售给消费者,这会给电商平台带来更多的收益.

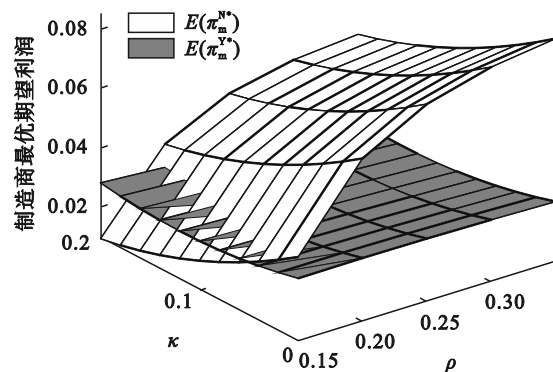


图 4 佣金率与处理基金对制造商最优期望利润的影响

Fig. 4 Impact of commission rate and processing fund on the manufacturer's optimal expected profit

由图6和图7可知,开辟二手市场时,随着质量基准的提高,最优的期望回收价格、转卖价格以及回收数量均增大,而且这些最优价格均低于不开辟二手市场的情形.这是因为随着质量基准的提高,电商平台会将更多的旧产品转移给制造商进行处理,而仅有少部分产品用于二手市场销售.此时电商平台的利润主要来源于对旧产品的转移,因此,其趋向于提高回收价格以回收更多的旧产品.随着回收价格的提高,制造商有动机提高转卖价格以扩大利润.

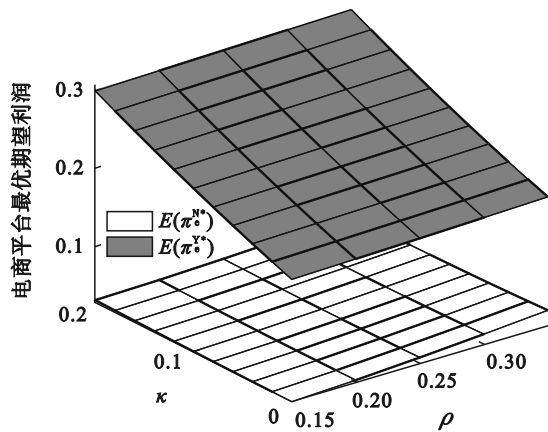


图5 佣金率与处理基金对电商平台最优期望利润的影响
Fig. 5 Impact of commission rate and processing fund on the optimal expected profit of e-commerce platforms

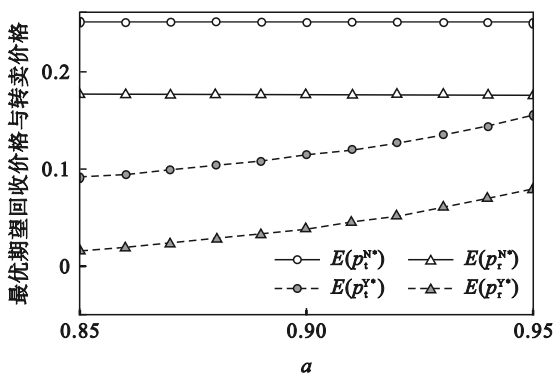


图6 质量基准对最优期望回收价格与转卖价格的影响
Fig. 6 Impact of quality benchmarks on the optimal expected recovery price and transfer price

图8和图9分别给出了制造商与电商平台最优期望利润随价值折扣系数和质量基准的变化.图8表明,开辟二手市场并不总是对制造商造成不利影响,当价值折扣系数低于某一阈值时,开辟二手市场时制造商最优期望利润更高.其原因在于当价值折扣系数较低时,消费者对二手产品

的认可程度较低,二手产品的需求量降低,缓解了2种产品间的竞争.

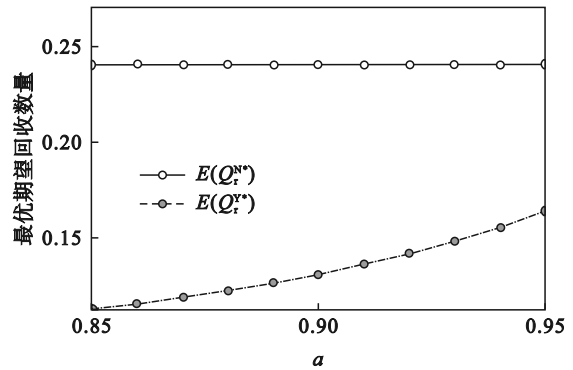


图7 质量基准对最优期望回收数量的影响

Fig. 7 Impact of quality benchmarks on the optimal expected recovery volume

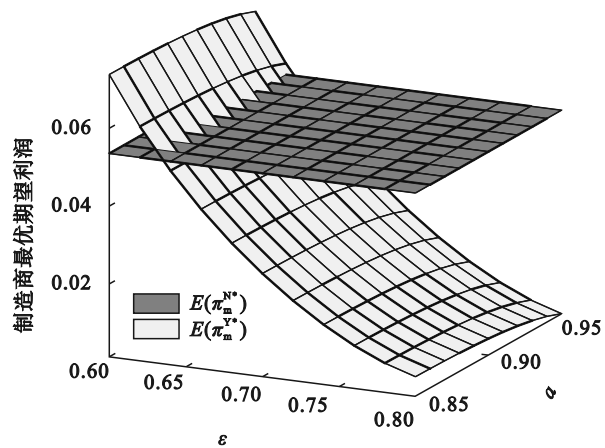


图8 价值折扣系数与质量基准对制造商最优期望利润的影响

Fig. 8 Impact of value discount coefficient and quality benchmarks on the manufacturer's optimal expected profits

由图9可知,当开辟二手市场时,电商平台的最优期望利润随质量基准的提高略有增加,而随着价值折扣系数的增大,电商平台的利润先降低后提高.这是因为根据图8可知,当开辟二手市场时,制造商的期望利润会随着价值折扣系数的增大而大幅度下降,但是,电商平台的利润部分来自制造商的利润分成,因此,受到制造商利润波动的影响,电商平台的利润也会下降.随着价值折扣系数的进一步提高,二手产品的需求量会有所提高,这将给电商平台带来额外的收益,使其利润上升.相较于不开辟二手市场的情况,电商平台开辟二手市场对自身总是更有利.

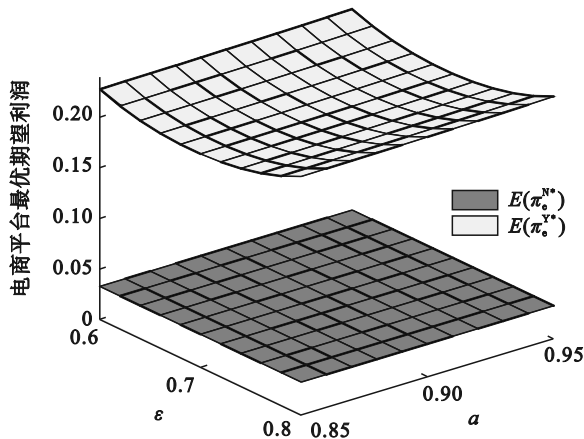


图9 价值折扣系数与质量基准对电商平台最优期望利润的影响

Fig. 9 Impact of value discount coefficient and quality benchmarks on the optimal expected profit of e-commerce platforms

4 结 语

本文在政府规制下,探讨一个E-闭环供应链系统的销售与回收决策问题.考虑了电商平台不开辟与开辟二手市场两种情形,构建了相对应的博弈模型,并分析政府处理基金、补贴率、平台佣金率、旧产品二次销售的价值折扣系数和质量基准等对企业最优决策与期望利润的影响.

研究表明:1) 政府处理基金的提高会使新产品和二手产品的需求量降低,但会导致旧产品的回收价格和回收数量增加.此外,在开辟二手市场的情形下,也会促使电商平台提高销售努力水平.2) 政府补贴率的提高会导致旧产品的回收价格和回收数量增加,但不会影响新产品和二手产品的销售.3) 开辟二手市场对电商平台总是有利的,而只有当价值折扣系数较低时,制造商才能从开辟二手市场中获利.4) 质量基准的提高会提高旧产品的期望回收价格和期望回收数量,但对二手产品的销售不造成影响.

结合本文结论,进一步得到以下管理启示:

1) 对于政府来说,规制与政策可以有效激励企业进行旧产品回收,但处理基金不宜过高,否则不利于新产品的生产与销售.2) 电商平台开辟二手市场可以扩展获利渠道,大幅度提高利润.对二手产品进行定价可以成为电商平台调控市场的有效手段,与制造商构成合作竞争关系.3) 对于制造商来说,开辟二手市场会对其产生威胁,其需要降低新产品的销售价格以应对市场上2种

产品的竞争.

本文的研究仍有一定的局限性,未来可以深入探讨由多个制造商和电商平台组成的E-闭环供应链系统和多周期供应链决策模型,研究E-闭环供应链的动态定价方法.

参考文献:

- [1] 关志民,赵莹,牟玉霞,等.补贴政策下电商闭环供应链的绿色创新与定价决策[J].东北大学学报(自然科学版),2023,44(6):871-879.
(Guan Zhi-min, Zhao Ying, Mu Yu-xia, et al. Green innovation and pricing decisions in an E-commerce closed-loop supply chain under the subsidy policy [J]. *Journal of Northeastern University(Natural Science)*, 2023, 44(6):871-879.)
- [2] Zhang X M, Li Q W, Liu Z, et al. Optimal pricing and remanufacturing mode in a closed-loop supply chain of WEEE under government fund policy [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 151: 106951.
- [3] Li Y J, Feng L P, Govindan K, et al. Effects of a secondary market on original equipment manufacturers' pricing, trade-in remanufacturing, and entry decisions [J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 279(3): 751-766.
- [4] 李芳,马鑫,洪佳,等.政府规制下非对称信息对闭环供应链差别定价的影响研究[J].中国管理科学,2019,27(7): 116-126.
(Li Fang, Ma Xin, Hong Jia, et al. Pricing decision research of closed-loop supply chain under asymmetric information on government regulation [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(7): 116-126.)
- [5] 王玉燕,苏梅,申亮,等.电商闭环供应链中的“让利”公平关切回收决策研究[J].中国管理科学,2020,28(12): 87-97.
(Wang Yu-yan, Su Mei, Shen Liang, et al. Recovery decision of altruistic fairness concern on E-commerce closed-loop supply chain [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(12): 87-97.)
- [6] He P, He Y, Tang X Y, et al. Channel encroachment and logistics integration strategies in an e-commerce platform service supply chain [J]. *International Journal of Production Economics*, 2022, 244: 108368.
- [7] Xie J P, Wei L H, Zhu W J, et al. Platform supply chain pricing and financing: who benefits from e-commerce consumer credit? [J]. *International Journal of Production Economics*, 2021, 242: 108283.
- [8] Lin X G, Zhou Y W, Xie W, et al. Pricing and product-bundling strategies for E-commerce platforms with competition [J]. *European Journal of Operational Research*, 2020, 283(3): 1026-1039.
- [9] Wei J, Lu J H, Zhao J. Interactions of competing manufacturers' leader-follower relationship and sales format on online platforms [J]. *European Journal of Operational Research*, 2020, 280(2): 508-522.
- [10] Zenny Y. Strategic contracting and hybrid use of agency and wholesale contracts in e-commerce platforms [J]. *European Journal of Operational Research*, 2020, 281(1): 231-239.
- [11] Kleber R, Reimann M, Souza G C, et al. Two-sided competition with vertical differentiation in both acquisition and sales in remanufacturing [J]. *European Journal of Operational Research*, 2020, 284(2): 572-587.
- [12] Li D, Dong C W. Government regulations to mitigate the

- shortage of life-saving goods in the face of a pandemic[J]. *European Journal of Operational Research*, 2022, 301(3): 942-955.
- [13] Wang Z R, Wu Q H. Carbon emission reduction and product collection decisions in the closed-loop supply chain with cap-and-trade regulation [J]. *International Journal of Production Research*, 2021, 59(14): 4359-4383.
- [14] Gu X Y, Zhou L, Huang H F, et al. Electric vehicle battery secondary use under government subsidy: a closed-loop supply chain perspective [J]. *International Journal of Production Economics*, 2021, 234: 108035.
- [15] Wang Y Y, Fan R J, Shen L, et al. Recycling decisions of low-carbon e-commerce closed-loop supply chain under government subsidy mechanism and altruistic preference[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 259: 120883.
- [16] Zhao J H, Zeng D L, Che L P, et al. Research on the profit change of new energy vehicle closed-loop supply chain members based on government subsidies[J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, 19: 100937.
- [17] 任鸣鸣, 黄佳丽, 肖广来, 等. 政府补贴下考虑溢出效应的电器电子产品供应链环境自我规制决策[J]. *系统工程*, 2021, 39(6): 70-80.
(Ren Ming-ming, Huang Jia-li, Xiao Guang-lai, et al. Environmental self-regulation decision of electrical and electronic supply chain under government subsidy considering spillover effect[J]. *Systems Engineering*, 2021, 39(6): 70-80.)
- [18] 石纯来, 聂佳佳. 规模不经济下奖惩机制对闭环供应链制造商合作策略影响[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(3): 85-95.
(Shi Chun-lai, Nie Jia-jia. The effects of premium and penalty mechanism on manufacturer's cooperative strategies in the closed-loop supply chain with production diseconomies[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(3): 85-95.)
- [19] He Q D, Wang N M, Yang Z, et al. Competitive collection under channel inconvenience in closed-loop supply chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 275(1): 155-166.
- [20] 尚文芳, 滕亮亮. 考虑政府补贴和销售努力的零售商主导型绿色供应链博弈策略[J]. *系统工程*, 2020, 38(2): 40-50.
(Shang Wen-fang, Teng Liang-liang. Game strategy considering government subsidies and sales efforts in retailer-led green supply chain [J]. *Systems Engineering*, 2020, 38(2): 40-50.)
- [21] Wang N M, He Q D, Jiang B. Hybrid closed-loop supply chains with competition in recycling and product markets [J]. *International Journal of Production Economics*, 2019, 217: 246-258.
- [22] 马祖军, 胡书, 代颖. 政府规制下混合渠道销售/回收的电器电子产品闭环供应链决策[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(1): 82-90.
(Ma Zu-jun, Hu Shu, Dai Ying. Decision models for a closed-loop supply chain with hybrid sale/collection channels for electrical and electronic equipment under government regulations[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(1): 82-90.)
- [23] Ryan J K, Sun D, Zhao X Y. Competition and coordination in online marketplaces [J]. *Production and Operations Management*, 2012, 21(6): 997-1014.