

控制与决策

Control and Decision

考虑绿色网络效应的再制造产品最优生产决策及产品之间的竞争

李倩茹, 陈伟达

引用本文:

李倩茹, 陈伟达. 考虑绿色网络效应的再制造产品最优生产决策及产品之间的竞争[J]. *控制与决策*, 2021, 36(4): 993–1002.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0366>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[两周期双寡头竞争环境中再制造影响](#)

Effect of remanufacturing on duopoly competition in two-period

控制与决策. 2021, 36(5): 1213–1222 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0840>

[模糊环境下考虑零售商风险偏好的绿色供应链博弈模型](#)

Modeling green supply chain games considering retailer's risk preference in fuzzy environment

控制与决策. 2021, 36(3): 711–723 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0646>

[制造商竞争下创新投资对零售商信息分享策略的影响](#)

Optimal information sharing strategy for retailer under competitive manufacturers' innovation investment

控制与决策. 2020, 35(12): 3006–3016 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0377>

[考虑扶贫偏好的三级农产品供应链决策及协调](#)

Decision making and contract coordination of three-level agricultural products supply chain with consumer poverty alleviation preference

控制与决策. 2020, 35(11): 2589–2598 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0201>

[低碳环境下双渠道供应链线上线下广告策略的微分博弈分析](#)

Differential game analysis of online and offline advertising strategies in a dual channel supply chain under low-carbon background

控制与决策. 2020, 35(11): 2707–2714 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1721>

考虑绿色网络效应的再制造产品最优生产决策 及产品之间的竞争

李倩茹, 陈伟达[†]

(东南大学 经济管理学院, 南京 211189)

摘要: 提出由两个再制造商组成的环保质量和价格竞争的双寡头博弈模型. 在一个再制造市场中, 同时考虑消费者环保意识以及包括污染税和回收补贴在内的政府财政政策的情况下, 探讨绿色网络效应对生产决策的影响, 以期使企业的利润最大化. 数值实验表明: 高质量(低质量)产品的绿色网络效应系数越高(低), 可能会反常地减少(增加)两种产品的环保质量和价格, 但会促进(削弱)高质量(低质量)产品的销售和利润, 而产品差异性不受影响; 此外, 相比较没有外部网络性的情况, 在绿色网络效应的影响下, 回收补贴的增加使得高质量(低质量)产品的需求和利润都得到了一定改善(削弱). 结果表明, 在最优化条件下, 监管者总是可以使企业利润和消费者剩余构成的“经济盈余”最大化, 并使排放总量最小化.

关键词: 绿色网络效应; 再制造; 消费者环保意识; 环保质量; 税收; 回收补贴

中图分类号: F273

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2019.0366

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 李倩茹, 陈伟达. 考虑绿色网络效应的再制造产品最优生产决策及产品之间的竞争 [J]. 控制与决策, 2021, 36(4): 993-1002.

Optimal production for remanufacturing products and competition among consumers in the presence of green network effect

LI Qian-ru, CHEN Wei-da[†]

(School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: This paper presents a model of duopolistic competition in terms of both environmental quality and price, which investigates the impact of the green network effect (GNE) considering consumer environmental awareness (CEA) and government financial policies combining of pollution tax and recovery subsidy, with the objective of profit maximization for the remanufacturing firms. Numerical results reveal that a higher (resp. lower) GNE coefficient of a high-quality product may abnormally reduce (resp. increase) both the environmental quality and price of products but raise (resp. shrink) the consumption and profit of the high-quality (resp. low-quality) product, although product differentiation is not impacted by it. Moreover, the increase of recovery subsidy allows for better (resp. worse) market demand and profit for the high-quality (resp. low-quality) product in the presence of positive GNE compared to that in the absence of GNE. However, under best optimum, the regulator can always maximize the “economic surplus” consisting of firm’s profits and consumer’s surplus and minimize the amount of emissions.

Keywords: green network effect; remanufacturing; consumer environmental awareness; environmental quality; tax; recovery subsidy

0 引言

近年来,随着资源短缺和环境污染问题的加剧,企业的环保意识逐渐增强,环保产品的市场份额也在不断增长^[1]. 根据麦肯锡的一项调查显示,41%的美国高管和53%的欧洲高管认为,未来几年环境问题将对股东价值产生重大影响^[2]. 基于此,许多行业纷

纷开发了一系列的替代性减排技术,其中大部分需要大量投资,导致可变生产成本增加. 因此,监管机构有必要利用财政激励措施,包括环境税、补贴,以及各种其他机制来促使再制造商担负起回收处理废旧产品^[3-7]和进行再制造^[8-10]的责任.

另一方面,一定程度的消费者环保意识

收稿日期: 2019-03-27; 修回日期: 2019-10-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71971058, 71571042).

[†]通讯作者. E-mail: cwd@seu.edu.cn.

(consumer environmental awareness, CEA)和社会规范会激励绿色购买. 根据Brécard^[1]的调查, 83%的欧洲人在购买产品时非常注重产品对环境的影响, 75%的人“更愿意购买环保产品, 即使这些产品稍微贵一点”. 因此, 环保的绿色消费者在购物时会关注产品的碳排放, 并从消费生态产品中获益, 这与污染税或补贴可以减少污染, 提高社会福利的效果一样^[9-10].

事实上, 如Lombardini-Riipinen^[11]所说, 企业业绩不仅仅受到CEA的影响, 也受网络外部性的影响, 它最初是由Katz等^[12]提出的, 定义为市场中当购买相同或兼容产品(服务)的用户数量增加时, 消费者加入此网络的效用也会增加, 典型产品包括: 手机、传真设备、计算机软硬件等. 根据这个定义, 消费者的效用不仅取决于产品属性、价格和质量水平, 还取决于消费者购买产品的数量和网络外部性的强弱. 在这种情况下, 制造商就必须考虑由网络效应引起的市场需求变化的影响, 并调整价格和质量决策以及实现利润最大化.

自从Katz等^[12-14]发表了开创性论文以来, 许多文献都关注网络外部性对市场的影响. Cheng等^[15]通过建立垂直差异化模型, 研究了网络外部性对专有软件与开源软件兼容策略的影响. Chirco等^[16]讨论了在企业所有者的管理委托下, 网络外部性对价格和数量策略选择的影响. Etzion等^[17]发现, 当所提供的服务具有网络外部性时, 战略选择取决于竞争对手的决策和服务质量. Liu等^[18]研究了网络外部性对信息产品营销渠道策略和版本化策略的影响, 结果表明, 与单一版本策略相比, 多版本策略更有利于供应商. 基于以上研究, 网络外部性对企业和消费者都产生了重要的影响. 而绿色网络效应是指低碳环境下, 消费者的绿色支付偏好对绿色购买的影响. 根据这一定义, Grilo等^[19]将消费者虚荣心和消费者从众心理对产品差异化和消费者之间竞争的影响形式化. 此外, 欧洲委员会强调, 在绿色网络效应下, 如果绿色产品的售价与污染程度较高的产品相同, 大部分消费者会转向绿色产品. 在此假设下, Brécard^[1]指出“绿色网络效应”对企业的环境质量和价格竞争有相当大的影响. 与Grilo等^[19]的分析不同, 本文主要研究由两个再制造商组成的双寡头竞争模型中GNE对竞争企业生产策略的影响, 而且还将模型扩展到了产品差异化的情况.

另一方面, 随着环境政策(如补贴或税收政策)的实施, 政府在企业生产中发挥着重要的作用. 例如, 一些研究者在基于消费者环保意识存在的情况下, 考

虑了政府税收和补贴两种政策, 激励制造商部署绿色生产策略^[20-21]. 在此基础上, Krass等^[4]研究的几个重要方面包括利用环境税来激励创新和“绿色”减排技术的选择以及固定成本补贴和消费退税的作用. 此外, 为了抑制碳排放以及保持经济可持续发展, Miao等^[7]解决了在碳税和碳限额与交易等碳排放法规和政府补贴机制下的再制造折价交易问题, 致使总排放量减少.

由以上文献可以看出, 尽管在环境政策和绿色生产方面, 研究人员取得了一定的开创性成果, 但仍存在一些关键性的具有挑战的问题. 本文首先考虑了在监管机构的环保政策下, 竞争再制造企业的最优回收和生产决策问题, 随后分析了GNE对企业价格和质量策略以及对消费者的效用和社会最优化的影响. 在碳税与回收补贴相结合的环保政策下, 监管者总能使企业利润、消费者剩余和排放量构成的“经济盈余”最大化. 结果表明: 1) GNE并没有改变产品差异化, 但它使差异化竞争更加激烈; 2) 在有回收补贴的情况下, 存在正的GNE, 其均衡价格和均衡质量均低于没有GNE时的数值; 3) 如果高质量产品的GNE足够强于低质量产品, 相比较两者相等的情况, 高质量(低质量)产品的需求/利润曲线会向上(向下)移动, 而若高质量产品的GNE较低, 其变化趋势恰好相反; 4) 在最优化条件下, 绿色市场均衡往往导致过度差异化, 而政府的环保政策往往可以协调和优化.

1 问题描述与基本假设

考虑在单周期设置下, 两个再制造企业同时回收和生产再制造产品, 并在相同的市场上竞争, 两企业的产品根据环保质量分别为“高质量”和“低质量”, 但两版本的产品在功能上相同. 两家企业都将废旧产品的再制造过程融入原有的生产体系中, 也就是说, 他们不仅可以直接利用原材料生产新品, 还可以选取废旧产品的部分或整体生产新品. 最后, 再制造商将新品与再制品以相同的价格出售给市场. 假设所有回收产品都可进行再制造(再制造率 = 1), 回收量为需求的一定比例. 定义 c_i/c_{ir} 分别为新产品和再制造产品的单位生产成本, 其中 $i \in (1, 2)$ 代表高质量产品($i = 1$)或低质量产品($i = 2$). 同时, 假设不失一般性, $c_i > c_{ir} > 0, c_1 > c_2, i = 1, 2$ ^[22]. 因此, 产品的平均单位生产成本可以表示为 $c_i(1 - \tau) + c_{ir}\tau$ 或 $c_i(1 - \beta_c\tau)$ ^[22-23]. 根据Wei等^[23]的描述, 假设回收过程的总回收成本为 $I\tau^2$, I 为规模参数, τ 为生产一单位再制造产品所需的回收材料的比例. 值得注意的是, 本文不考虑回收产品的废料处理成本和残值, 也不限

制回收品的供应.

本文将探讨两家企业在价格和环保质量上的竞争. 为简便起见, 只描述无GNE时的基本情况, 其中产品 $i(i = 1, 2)$ 的环保质量 (q_i) 由该企业的减排努力程度来定义: $q_i = \Delta e_i = e_i - e_{ir}$, e_i 是单位产量的初始排放量, e_{ir} 是企业引入再制造后的单位排放量^[1]. 质量 q_i 的定义区间为 $[0, e_i]$. 此外, 再制造企业提高环保水平的单位成本为 Bn^2 , 其中 n 表示再制造企业的环保努力水平, B 为努力成本系数, 在具体行业中具有特定的意义. 例如, 这里 n 可以表示为单位排放的减排量, 即 $n = \Delta e$ ^[24]. 因此, Bq_i^2 表示生产单位产品减少碳排放量 Δe_i 所花费的成本. 此外, 假设回收数量 $G(\tau, \bar{k})$ 基于需求 $d_i(p_i, q_i)$ 且 $G(\tau, \bar{k}) \leq d_i(p_i, q_i)$, 其中随机变量 k 为CEA参数, 服从 $[\underline{k}, \bar{k}]$ 上的均匀分布, 满足条件 $\underline{k} = \bar{k} - \delta$ 且 $\bar{k} > 1$ ^[1], δ 为购买产品的消费者的人数, $0 < \delta < 1$.

基于以上问题假设, 本文首先探究在无GNE的情况下, 消费者效用函数、CEA差异、不同再制造商的消费者需求、利润函数以及社会福利的模型分析与优化; 然后将模型扩展到考虑GNE的情况, 讨论在绿色网络环境下, 消费者支付偏好对两家再制造企业在价格和环保质量竞争上的影响.

2 模型分析与优化

2.1 初始情况

根据 Bulmus 等^[25] 所述, 考虑到每个消费者只从第1个消费的产品处获得满意度且最多购买一单位产品. 因此, 对于消费者效用函数 $u_i(k)$, 采用了与 Ward 等^[26] 和 Leibenstein^[27] 相同的建模方法, 即

$$u_i(k) = kq_i - p_i, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

其中 kq_i 是质量为 q_i 的产品支付意愿. 消费者对购买高质量还是低质量产品的敏感度由CEA差异 k^* 来表示, 即

$$k^* = \frac{p_1 - p_2}{q_1 - q_2}. \quad (2)$$

在本文的设定中, 需求函数是一个非线性随机模型, 具有可替代的价格和环保质量水平, 这与 Lombardini-Riipinen^[11] 讨论的一致. 简单来说, 假设潜在的标准化市场规模为1, 再制造商的需求为 $d_i = \bar{k} - k^*$ 和 $d_j = \delta - d_i$, 即

$$\begin{aligned} d_i &= \frac{\bar{k}(q_i - q_j) - (P_i - P_j)}{q_i - q_j}, \\ d_j &= \frac{(\delta - \bar{k})(q_i - q_j) - (P_j - P_i)}{q_i - q_j}, \end{aligned} \quad (3)$$

其中 $i, j \in (1, 2), i \neq j$.

如满足条件 $q_i - q_j > 0, p_i - p_j \in [(\bar{k} - \delta)(q_i - q_j), \bar{k}(q_i - q_j)]$, 则两企业都享有积极的市场份额. 在此基础上, 引入碳排放税, 以限制过度的环境破坏, 并给予回收高质量产品的再制造商一定的回收补贴^[1,11], 即总的补贴金额小于总回收成本. 这些财务政策可以激励企业向消费者提供高质量的产品, 同时也积极带动了消费者对高质量产品的需求.

根据上述假设, 生产高质量产品企业的利润函数 $\pi_1(p_1, q_1)$ 表示为

$$\begin{aligned} \pi_1(p_1, q_1) &= \\ &(p_1 - c_1 - te_1 - Bq_1^2) \left(\frac{\bar{k}(q_1 - q_2) - (p_1 - p_2)}{q_1 - q_2} \right) + \\ &(\beta_c c_1 + tq_1 + s) \tau \left(\frac{\bar{k}(q_1 - q_2) - (p_1 - p_2)}{q_1 - q_2} \right) - I\tau^2. \end{aligned} \quad (4)$$

函数的第1项是产品销售利润, 第2项是产品回收收益, 第3项是回收成本. 同理, 生产低质量产品企业的利润函数 $\pi_2(p_2, q_2)$ 表示为

$$\begin{aligned} \pi_2(p_2, q_2) &= \\ &(p_2 - c_2 - te_2 - Bq_2^2) \times \\ &\left(\frac{(\delta - \bar{k})(q_1 - q_2) - (P_2 - P_1)}{q_1 - q_2} \right) + \\ &(\beta_c c_2 + tq_2) \tau \left(\frac{(\delta - \bar{k})(q_1 - q_2) - (P_1 - P_2)}{q_1 - q_2} \right) - I\tau^2. \end{aligned} \quad (5)$$

两个再制造商之间的竞争属于两阶段博弈, 在第1阶段由生产的产品决定环保质量 q_i , 在第2阶段决定价格 p_i .

为了分析此问题, 将社会福利定义为消费者剩余加上企业利润和政府收入并减去环境损害. 因此, 社会福利被定义为

$$\begin{aligned} SW &= CS + PS + GR - D(E) = \\ &CS_i(q_i, q_j) + CS_j(q_i, q_j) + \pi_i(q_i, q_j) + \\ &\pi_j(q_i, q_j) + GR - \gamma E. \end{aligned} \quad (6)$$

其中, 在 Brécard^[1] 和 Gu 等^[2] 的启发下, 产品 i 的消费者剩余定义为 $CS_i(q_i, q_j) = \int_{k_i^*}^{\bar{k}_i} u_i(k) df(k), k_2^* = \bar{k} - \delta = \underline{k}, \bar{k}_2 = k_1^* = k^*$ 且 $\bar{k}_1 = \bar{k}$. 如上文所示, 环境损害定义为总排放量 E 的线性函数 $D(E) = \gamma E, \gamma \geq 0$, 为与碳排放相关的环境损害系数且低于碳税. 因此财政收入 $GR = tE - sG_1(\tau, \bar{k})$ 由企业缴纳的环境税扣除对企业高质量产品的回收补贴构成, 其中 $G_1(\tau, \bar{k}) = \tau D_1(p_1, q_1)$, t 为企业缴纳的单位环境税, s 为高质量产品的单位回收补贴.

为了保证子博弈完美均衡和最优解的存在,假设最优值必须满足条件

$$(C1) \quad -9\delta^2 < A_1 < 9\delta^2.$$

其中: $A_1 = 16B\beta_c\tau(c_1 - c_2) - 16B(\phi_1 - \phi_2 - s\tau)$, $\phi_1 = e_1t + c_1$, $\phi_2 = e_2t + c_2$.

2.2 模型优化

本节利用逆向归纳方法对上述模型进行求解,以达到子博弈完美均衡.同时,为了保证两家再制造企业的市场份额为正,需要其满足条件(C1).

在第2阶段,企业根据第1阶段确定的产品质量进行价格竞争.对式(4)和(5)的价格求导,将其利润最大化,得到如下均衡价格:

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{3}[B(2q_1^2 + q_2^2) - t\tau(2q_1 + q_2) + (\bar{k} + \delta)(q_1 - q_2) + (2\phi_1 + \phi_2 - s\tau) - \beta_c\tau(2c_1 + c_2)], \\ p_2 &= \frac{1}{3}[B(q_1^2 + 2q_2^2) - t\tau(q_1 + 2q_2) - (\bar{k} - 2\delta)(q_1 - q_2) + (\phi_1 + 2\phi_2 - s\tau) - \beta_c\tau(c_1 + 2c_2)]. \end{aligned} \quad (7)$$

在第1阶段,企业通过将式(4)和(5)的利润最大化来决定质量水平,并预测第2阶段的价格如式(7).利用社会福利最大化定义最优价格 $(p_1)'$ 和 $(p_2)'$,并将最优价格代入利润函数(4)和(5),求解获得最佳质量的极大化条件.可计算出最优解的3个候选项,其中只有一个解合适,满足2阶导数的条件.

此外,纳什均衡还必须满足非偏条件

$$\begin{aligned} \pi_1(q_1^*, q_2^*) &\leq \pi_1(q_1, q_2^*), \quad q_1 \in [0, e_1]; \\ \pi_2(q_1^*, q_2^*) &\leq \pi_2(q_2^*, q_1), \quad q_2 \in [0, e_2]. \end{aligned}$$

对于 $q_2 = q_2^*$, $\pi_1(q_1, q_2^*)$ 在 $q_1 = q_1^*$ 时取得最大值,且当 $d_1(q_1, q_2^*) \in [0, 1]$ 时大于0.

当满足条件(C1)时,可得到质量博弈后的最优解

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{1}{24\delta B}[3\delta(4\bar{k} + \delta) + 12\delta t\tau - A_1], \\ q_2 &= \frac{1}{24\delta B}[3\delta(4\bar{k} - 5\delta) + 12\delta t\tau - A_1]. \end{aligned} \quad (8)$$

根据式(7)和(8),得出产品的价格、需求、CEA的差异以及高质量和低质量产品的利润

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{1728B\delta^2}\{2[A_1 - 12\delta t\tau - 3\delta(4\bar{k} + \delta)]^2 + [A_1 - 12\delta t\tau - 3\delta(4\bar{k} - 5\delta)]^2\} + \\ &\quad \frac{t\tau}{24B\delta}[A_1 - 12\delta t\tau - 3\delta(4\bar{k} - \delta)] - \\ &\quad \frac{1}{3}\beta_c\tau(2c_1 + c_2) + \frac{\delta(\bar{k} + \delta)}{4B} + \end{aligned}$$

$$\frac{1}{3}(2\phi_1 + \phi_2 - 2s\tau);$$

$$\begin{aligned} p_2 &= \frac{1}{1728B\delta^2}\{[A_1 - 12\delta t\tau - 3\delta(4\bar{k} + \delta)]^2 + 2[A_1 - 12\delta t\tau - 3\delta(4\bar{k} - 5\delta)]^2\} + \\ &\quad \frac{t\tau}{24B\delta}[A_1 - 12\delta t\tau - 3\delta(4\bar{k} - 3\delta)] - \\ &\quad \frac{1}{3}\beta_c\tau(c_1 + 2c_2) + \frac{\delta(2\delta - \bar{k})}{4B} + \\ &\quad \frac{1}{3}(\phi_1 + 2\phi_2 - s\tau); \end{aligned} \quad (9)$$

$$d_1 = \frac{A_1 + 9\delta^2}{18\delta}, \quad d_2 = -\frac{A_1 - 9\delta^2}{18\delta}; \quad (10)$$

$$k^* = -\frac{A_1 - 9\delta(2\bar{k} - \delta)}{18\delta}; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{1}{432B\delta}A_1^2 + \frac{\delta(2A_1 + 9\delta)}{48B} - I\tau^2, \\ \pi_2 &= \frac{1}{432B\delta}A_1^2 - \frac{\delta(2A_1 - 9\delta)}{48B} - I\tau^2. \end{aligned} \quad (12)$$

由式(9)~(12)可以看出,无论 \bar{k} 怎么变化,高质量产品的质量和价格总是高于低质量产品.此外,由式(10)和(12)推断出,若 $A_1 > 0$,则高质量产品的需求和利润会高于低质量产品,消费者更倾向于购买高质量的产品;反之,若 $A_1 < 0$,则消费者更倾向于购买低质量的产品.

已知产品的最优质量(式(8))和最优价格(式(9))时,污染排放量、消费者剩余和社会福利分别定义如下:

$$\begin{aligned} E &= (e_1 - q_1\tau)d_1 + (e_2 - q_2\tau)d_2 = \\ &\quad 2BA_1(e_1 - e_2) + 18B\delta^2(e_1 + e_2) + \\ &\quad 9\delta^2\tau(2t - 2\bar{k} + \delta), \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} CS &= -\frac{1}{1728\delta B}A_1^2 + \frac{\delta}{32B}A_1 + \\ &\quad \frac{\delta}{64B}[16(t\tau + \bar{k} - \delta)(t\tau + \bar{k}) - 23\delta^2], \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} SW &= \frac{A_1}{108}\left[\frac{7A_1}{16B} - 6(e_1 - e_2)(\gamma - t) - 6s\tau\right] + \\ &\quad \frac{1}{2}[(\beta_c\tau - 1)\delta(c_1 + c_2) - \delta\gamma(e_1 + e_2) - \\ &\quad 4I\tau^2] + \frac{\delta}{64B}[16t\tau^2(2\gamma - t) + \\ &\quad 16\gamma\tau(2\bar{k} - \delta) + (4\bar{k} - \delta)^2 - 8\bar{k}\delta]. \end{aligned} \quad (15)$$

由式(8)~(15)可以发现,回收补贴对质量、价格、碳排放和社会福利都有负面影响.但另一方面,不同质量水平的需求和利润受到的影响不同.针对高质量产品,其需求和利润对补贴 s 是正相关的,而低质量产品的需求和利润对补贴 s 是负相关的.

如下命题阐述了有关补贴 s 和消费者环保意识

上限 \bar{k} 的主要结论.

命题1 在子博弈完全均衡条件下, 补贴越大, 两种产品的环保质量、价格、CEA 的差异性、碳排放和福利都趋于减小, 但它同时将两种产品的需求(利润)函数向不同的方向延伸; 当满足条件(C1)时, 两种产品的价格和质量都随着 \bar{k} 的增加而增加, 碳排放量却随之减少.

证明 定义 $x_s = \partial x / \partial s, i = 1, 2$, 当满足条件(C1)时, 对式(8)~(15)求导, 得

$$\begin{aligned} q_{1s}^* &= -\frac{2\tau}{3\delta} < 0, \quad q_{2s}^* = -\frac{2\tau}{3\delta} < 0; \\ p_{1s}^* &= \frac{\tau}{18\delta^2} [A_1 - 3\delta(4\bar{k} + 3\delta)] < 0, \\ p_{2s}^* &= \frac{\tau}{18\delta^2} [A_1 - 3\delta(4\bar{k} - \delta)] < 0; \\ d_{1s}^* &= \frac{8B\tau}{9\delta} > 0, \quad d_{2s}^* = -\frac{8B\tau}{9\delta} < 0; \\ E_s^* &= \frac{8B(e_1t - e_2t)}{9\delta} < 0, \quad k_{1s}^* = -\frac{8B\tau}{9\delta} < 0; \\ \pi_{1s}^* &= \frac{2\tau}{27\delta} [A_1 + 9\delta^2] > 0, \\ \pi_{2s}^* &= \frac{2\tau}{27\delta} [A_1 - 9\delta^2] < 0; \\ CS_s^* &= -\frac{\tau}{54\delta} [A_1 - 27\delta^2] > 0; \\ SW_s^* &= \frac{8B\tau}{27\delta} \left[\frac{A_1}{4B} + 3(t - \gamma)(e_1 - e_2) - 3s\tau \right] < 0. \end{aligned}$$

另一方面

$$\begin{aligned} q_{1\bar{k}}^* &= 1/2B > 0, \quad q_{2\bar{k}}^* = 1/2B > 0; \\ E_{\bar{k}}^* &= -\frac{\delta\tau}{2B} < 0; \\ p_{1\bar{k}}^* &= -\frac{\tau}{24B\delta} [A_1 - 3\delta(4\bar{k} + \delta)] > 0, \\ p_{2\bar{k}}^* &= -\frac{1}{24B\delta} [A_1 - 3\delta(4\bar{k} - 5\delta)] > 0. \end{aligned}$$

参数 d^* 和 π^* 与 \bar{k} 无关. \square

命题2 无论补贴怎样变化, 高质量产品的质量 and 价格总是高于低质量产品; 特别地, 回收补贴越高, 高质量和低质量产品的市场份额或利润差距越大.

证明 很明显, 当没有 GNE 时, 无论 s 和 \bar{k} 怎样变化, 总能导出式(8)~(12), 有

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= -\frac{A_1 - 9\delta(2\bar{k} - \delta)}{24B} > 0; \\ q_1 - q_2 &= \frac{3\delta}{4B} > 0; \\ d_1 - d_2 &= \frac{A_1}{9\delta} > 0, \text{ 且随着补贴 } s \text{ 的增加而增加;} \\ \pi_1 - \pi_2 &= \frac{\delta A_1}{12B} > 0, \text{ 且随着补贴 } s \text{ 的增加而增加. } \square \end{aligned}$$

2.3 考虑绿色网络效应

本节将引入 GNE, 并假设消费者知晓相同产品的购买量^[28].

消费者偏好由以下效应函数来表示(上标 n 代表绿色网络效应):

$$u_i^n(k) = kq_i^n - p_i^n + \alpha_i d_i^n, \quad i = 1, 2. \quad (16)$$

参数 α_i 表示产品 $i (i = 1, 2)$ 的 GNE 程度. 不失一般性, 只考虑 α_i 为正的情况, 且设定 $\alpha_i \in [0, 0.5], \alpha_1 + \alpha_2 \in [0, 1], i \in \{1, 2\}$. 考虑到 GNE, 根据式(2), 消费者的差异为

$$k^{n*} = \frac{p_1^n - p_2^n - \bar{k}\alpha_1 - (\bar{k} - \delta)\alpha_2}{q_1^n - q_2^n - \alpha_1 - \alpha_2}. \quad (17)$$

考虑网络效应的需求函数定义为 $d_i^n = \bar{k} - k^{n*}, d_j^n = \delta - d_i^n$, 即

$$\begin{aligned} d_1^n &= \frac{\bar{k}(q_1^n - q_2^n) - (p_1^n - p_2^n) - \delta\alpha_2}{q_1^n - q_2^n - \alpha_1 - \alpha_2}, \\ d_2^n &= \frac{(\delta - \bar{k})(q_1^n - q_2^n) - (p_2^n - p_1^n) - \delta\alpha_1}{q_1^n - q_2^n - \alpha_1 - \alpha_2}. \quad (18) \end{aligned}$$

与上面的分析一样, 当 $q_1^n - q_2^n > \alpha_1 + \alpha_2$, 且 $p_1^n - p_2^n \in [(\bar{k} - \delta)(q_1^n - q_2^n) + \delta\alpha_1, \bar{k}(q_1^n - q_2^n) - \delta\alpha_2]$ 时, 需求为正. 在其他条件相同的情况下, 引入绿色网络效应系数 α_i 往往会增加产品 i 的需求. 因此, 已知需求函数, 与上节相似, 可以定义高质量产品企业的利润函数 $\pi_1^n(p_1^n, q_1^n)$ 及低质量产品企业的利润函数 $\pi_2^n(p_2^n, q_2^n)$.

通过引入 GNE, 高品质产品的广泛传播不仅增加了其内在价值, 而且通过消费者的认可, 也提高了其外在价值. 在建模时, 并没有区分这两种类型的价值, 因此将 GNE 包含在社会福利的函数 SW^n 中.

产品 i 的消费者剩余表达式为

$$CS_i^n(q_i, q_j) = \int_{k_i^{n*}}^{\bar{k}_i^n} u_i^n(k) df(k),$$

$$k_2^{n*} = \bar{k} - \delta = \underline{k}, \quad \bar{k}_2^n = k_1^{n*} = k^{n*}, \quad \bar{k}_1^n = \bar{k}.$$

综上所述, 为了保证最优解的存在, 需假设 GNE 满足以下条件, 且 \bar{k} 必须足够大以保证市场需求全覆盖:

$$(C2) \quad \alpha_1 + \alpha_2 < 3\delta/4B.$$

如果 $A_2 < 0$, 则

$$(C3) \quad A_1 < -4\delta A_2 - 3\delta^2,$$

$$(C4) \quad A_1 > (6 - 4\delta)A_2 - 3\delta^2;$$

如果 $A_2 > 0$, 则

$$(C5) \quad A_1 > -4\delta A_2 - 3\delta^2,$$

$$(C6) \quad A_1 < (6 - 4\delta)A_2 - 3\delta^2.$$

其中

$$A_1 = 16B\beta_c\tau(c_1 - c_2) - 16B(\phi_1 - \phi_2 - s\tau),$$

$$A_2 = 8B(\alpha_1 + \alpha_2) - 3\delta.$$

与第2节所述的情形相似,通过后推法验证存在一个唯一的子博弈完美均衡,并研究了网络效应参数 α_i 引入后如何得到最优解.其均衡质量

$$q_1^n = \frac{1}{8BA_2} [A_1 + 4(t\tau + \bar{k})A_2 + 16B\delta\alpha_1 - 3\delta^2], \quad (19)$$

$$q_2^n = \frac{1}{8BA_2} [A_1 + 4(t\tau + \bar{k})A_2 - 16B\delta(2\alpha_1 + 3\alpha_2) + 15\delta^2]. \quad (20)$$

与初始情况一样,无论GNE如何变化,产品的差异性保持不变.但是,GNE对高质量和低质量产品的质量的影响是根据 α_1 和 α_2 的相对大小决定的,它可以推动质量曲线向不同的方向移动.

高质量和低质量产品的需求

$$d_1^n = \frac{\bar{k} + \delta}{3} + \frac{A_1 - 4B\delta(\alpha_1 - \alpha_2)}{36\delta} - \frac{A_1 + 4\bar{k}A_2 - 8B\delta(\alpha_1 + 3\alpha_2) + 6\delta^2}{12A_2}, \quad (21)$$

$$d_2^n = \frac{A_1 + 4\delta A_2 + 3\delta^2}{6A_2}. \quad (22)$$

如果满足条件(C2)~(C6),则两企业的市场需求皆为正.引入GNE后, α_1 越大,对生产高质量产品的企业越有利,从而增加了其市场份额和利润.相反,低质量产品的企业会受到网络外部性的惩罚,削弱其市场份额.

其余变量例如价格、CEA差异及企业利润定义如下:

$$p_1^n = \frac{1}{192BA_2^2} \{2[A_1 + 4(\bar{k} + t\tau)A_2 + 16B\delta\alpha_1 - 3\delta^2]^2 + [A_1 + 4(\bar{k} + t\tau)A_2 - 16B\delta(2\alpha_1 + 3\alpha_2) + 15\delta^2]^2\} - \frac{t\tau}{8BA_2} [A_1 + 4(\bar{k} + t\tau)A_2 - 16B\delta\alpha_2 + 3\delta^2] + \frac{1}{3} [(2\phi_1 + \phi_2 - 2s\tau) - \delta(\alpha_1 + 2\alpha_2) - \beta_c\tau(2c_1 + c_2)] + \frac{\delta(\bar{k} + \delta)}{4B}, \quad (23)$$

$$p_2^n = \frac{1}{192BA_2^2} \{2[A_1 + 4(\bar{k} + t\tau)A_2 - 16B\delta(2\alpha_1 + 3\alpha_2) + 15\delta^2]^2 + [A_1 + 4(\bar{k} + t\tau)A_2 + 16B\delta\alpha_1 - 3\delta^2]^2\} - \frac{t\tau}{8BA_2} [A_1 + 4(\bar{k} + t\tau)A_2 - 16B\delta(\alpha_1 + 2\alpha_1) + 9\delta^2] +$$

$$\frac{1}{3} [(2\phi_1 + 2\phi_2 - s\tau) - \delta(2\alpha_1 + \alpha_2) - \beta_c\tau(c_1 + 2c_2)] + \frac{\delta(2\delta - \bar{k})}{4B}, \quad (24)$$

$$k^{n*} = \frac{A_1 + 6\bar{k}A_2 - 16B\delta(\alpha_1 + 2\alpha_2) + 9\delta^2}{6A_2}, \quad (25)$$

$$\pi_1^n - \pi_2^n = \frac{\delta(A_2 - 3\delta) \left[\delta(\alpha_1 - \alpha_2) + \frac{A_1}{8B} \right]}{3A_2}. \quad (26)$$

在其他条件相同的情况下,无论 α_1 和 α_2 如何变化,最优消费者差异曲线都可能呈现出一定的向下趋势,从而缓解两家企业的竞争压力.

命题3 当满足条件(C2)~(C6)时,考虑绿色网络效应时的最优解可以通过最佳的GNE获得,且GNE根据 α_1 和 α_2 的相对大小来影响高质量和低质量产品的质量.

1) 产品差异性与绿色网络效应无关,即无论有无网络外部性,产品差异化都保持不变.

2) 高质量和低质量产品的质量差异是独立于外部性的.而相比较于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 的情况, $\alpha_1 > \alpha_2$ 时,CEA差异有一定程度的减小,而 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时变化则相反.特别地,与情形 $\alpha_1 = \alpha_2$ 相比,无论 α_1 和 α_2 哪个更大,价格差异化都无限接近.

3) 相比较于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 的情况, $\alpha_1 > \alpha_2$ 时,高质量/低质量产品需求都得到了更少的分配,且加剧了高质量和低质量产品的利润差额(呈现出一个更高的值);而当 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时呈现出相反的变化趋势.且随着 α_1 增加利润差额越来越大, α_2 增加则情况相反.

证明 假设令 $\alpha_2 = \alpha$,当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时定义 $\alpha_1 = 2\alpha$,当 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时设 $\alpha_1 = \alpha/2$.当市场份额为正时,可以由式(19)~(26)推导得:

1) $q_1^n - q_2^n = \frac{3\delta}{4B}$,无论绿色网络效应 α 如何变化,产品差异性都保持不变.

2) 当 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时,有 $p_1^n - p_2^n \sim \frac{(\bar{k} - \delta/2)\alpha}{4B\alpha - 3\delta/4}$;

当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时,有 $p_1^n - p_2^n \sim \frac{(\bar{k} - 5\delta/12)\alpha}{4B\alpha - \delta/2} + \frac{\delta}{3}$,小于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时的值;

当 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时,有 $p_1^n - p_2^n \sim \frac{(\bar{k} - 5\delta/12)\alpha}{4B\alpha - \delta/2} + \frac{\delta}{3}$,小于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时的值;

3) 当 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时,有 $(k^n)^* \sim \frac{(\bar{k} - \delta/2)B\alpha}{B\alpha - 3\delta/16}$;

当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时,有 $(k^n)^* \sim \frac{(\bar{k} - 4\delta/9)B\alpha}{B\alpha - \delta/8}$,小于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时的值;

当 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时,有 $(k^n)^* \sim \frac{(\bar{k} - 5\delta/9)B\alpha}{B\alpha - \delta/4}$,大于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时的值.

4) 当 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时,有 $d_1^n \sim -\frac{(8\bar{k} + 4\delta)B\alpha}{24B\alpha - 9\delta/2}$, $d_2^n \sim$

$$\frac{16B\alpha}{24B\alpha - 9\delta/2};$$

当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时, 有 $d_1^n \sim -\frac{(12\bar{k} + 5\delta)B\alpha}{36B\alpha - 9\delta/2} - \frac{4B\alpha}{9}$, $d_2^n \sim \frac{16B\alpha}{24B\alpha - 3\delta}$, 均小于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时的值;

当 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时, 有 $d_1^n \sim -\frac{(6\bar{k} + 7\delta/2)B\alpha}{18B\alpha - 9\delta/2} + \frac{2B\alpha}{9}$, $d_2^n \sim \frac{16B\alpha}{24B\alpha - 6\delta}$, 均大于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时的值.

5) 当 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时, 有 $\pi_1^n - \pi_2^n \sim \frac{(B\alpha - 3\delta/8)A_1}{2B\alpha - 3\delta/8} \frac{A_1}{8B}$;

当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时, 有 $\pi_1^n - \pi_2^n \sim \frac{(B\alpha - \delta/4)}{2B\alpha - \delta/4} \left(\frac{A_1}{8B} + \delta\alpha \right)$, 大于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时的值;

当 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时, 有 $\pi_1^n - \pi_2^n \sim \frac{(B\alpha - \delta/2)}{2B\alpha - \delta/2} \left(\frac{A_1}{8B} - \frac{\delta\alpha}{2} \right)$, 小于 $\alpha_1 = \alpha_2$ 时的值.

上面公式中 $A_1 = 16B\beta_c\tau(c_1 - c_2) - 16B(\phi_1 - \phi_2 - s\tau)$. □

3 数值分析

为了更好地说明本文的理论结果并验证所提出的假设, 在本节中给出了数值实验.

首先, 考虑一个基础实例并给出了CEA平均上限值和回收补贴; 其次, 当没有GNE时, 分析了 \bar{k} 和 s 的变动将导致环保质量、价格、需求、最优利润和社会福利发生怎样的变化; 随后, 引入GNE以提高社会福利和减少污染并考察了GNE系数对系统性能的影响. 所有这些分析, 都探讨了均衡条件下, 两家公司如何通过最优的环保质量和价格来实现利润最大化. 最后, 为了比较不同的情景, 对相关利润和环境参数进行了评估并给出了一些管理上的见解.

3.1 基础实例

本文依照之前的研究^[28-29], 并结合再制造企业相关物流部门经理访谈调查的处理数据, 基础实例给出的关键参数如下: $B = 1/4, s = 0.5, t = 0.1, I = 0.6, \gamma = 0.06, \tau = 0.55, \delta = 0.85, \bar{k} = 5, \beta_c = 1/3, c_1/c_2 = 4.4/2.5, e_1/e_2 = 20/35$. 这些参数与假设和行业实践相一致.

如第2节所述, 当一个企业生产高质量产品、而另一企业生产低质量产品时, 可利用逆向归纳得到两家企业的最优环保质量、价格、利润和社会福利等参数, 得到的结果如表1所示. 可以看出, 根据基础情况设置的参数值, 高质量产品的环保质量必然大于低质量产品, 而绿色生产加工活动的成本越大, 高质量产品的价格就越高, 该企业获得的市场份额和利润就越多, 这与实际生产运营情况是相符的.

表1 基本情况的数值结果

结果值	环保质量		价格/元		需求		消费者环保差异
	q_1	q_2	p_1	p_2	d_1	d_2	k_i^*
	10.36	7.81	32.81	21.30	0.48	0.37	4.52
结果值	利润/元		消费者效用	碳排放/吨	社会福利		
	π_1	π_2	CS	E	SW		
	0.41	0.16	12.57	18.17	13.74		

3.2 回收补贴及CEA上限对系统的影响

下面分析 s 和 \bar{k} 的变化如何影响系统的表现. 将 s 值的变化范围设置为0.1到0.9, 且设定 $\bar{k}_1 = 3\bar{k}_2 = 5\bar{k}_3 = 7$, 并假设 $s\tau d_1 < I\tau^2$, 其余参数与基本情况一样保持不变. 针对初始情况和考虑GNE的情况, 两家公司最优的价格、环保质量以及碳排放总量结果如图1和图2所示.

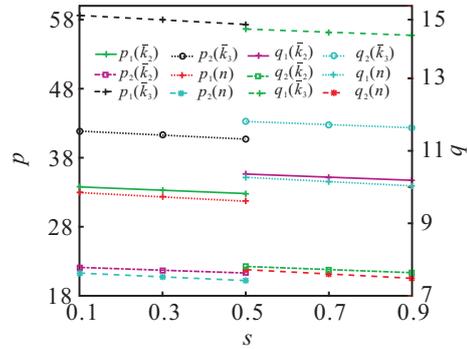


图1 补贴s变化对最优环保质量和价格的影响

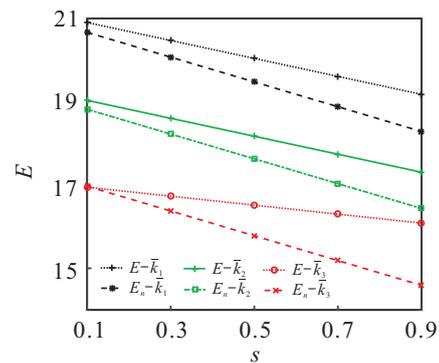


图2 补贴s变化对总的污染水平E的影响

与没有GNE的情况相比, 引入GNE降低了两家企业的均衡质量和价格, 这与直觉相反. 在GNE的影响下, 它直接导致了一个更高的高质量产品的需求(利润)和更低的低质量产品的需求(利润), 意味着高质量产品的市场份额略占优势. 与命题3的结论一样, 产品差异性保持不变.

由图1可以看出, s 的增加(或者 s 的范围变大)会导致两家企业的环保质量都有轻微的下降, 从而使得价格下降, 表明补贴政策对再制造企业的生产有轻微

的影响,这与命题1的结论一致.与此同时,实验结果表明,当 s 取不同值时, $\bar{k}(\bar{k}_2, \bar{k}_3)$ 的增加在一定程度上会提高产品的环保质量和价格,使再制造商获益.此外, s 和 \bar{k} 的变化加强了减排力度,如图2所示.注意到,针对没有GNE的情况,在有GNE的影响下,随着 \bar{k} 的增加碳排放量减少得更多,在一定程度上削弱了环境压力.特别地,税收在产品单价中所占的比例很小,因此税收可能不会成为再制造企业的财务负担.

3.3 绿色网络效应对系统性能的影响

通过改变GNE系数对两家企业的决策和利润进行敏感性分析.基于前面的假设,为保证市场份额为正,对参数 α_1 、 α_2 的设置分为两种情况,即 $\alpha_1 = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35$, $\alpha_2 = 0.2$ 以及 $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.10, 0.20, 0.3$,其余参数与基本情况一致.图3~图5给出了该情境的分析结果,得出了几个重要的结论.

随着 α_1 增加,高质量产品的需求(利润)随着 α_1 增加而不断扩张,而低质量产品的需求(利润)则出现缩减.值得注意的是,高质量产品的需求总是高于低质量产品的需求,这说明仍有一些消费者愿意为高质量的产品支付更高的价格,且GNE引入后,生产高质量产品的企业更具有竞争优势.此外,图4显示 α_1 的增长促使了更高的消费者效用和更低的CEA差异,这表明GNE也同时给消费者带来了可观的利益.

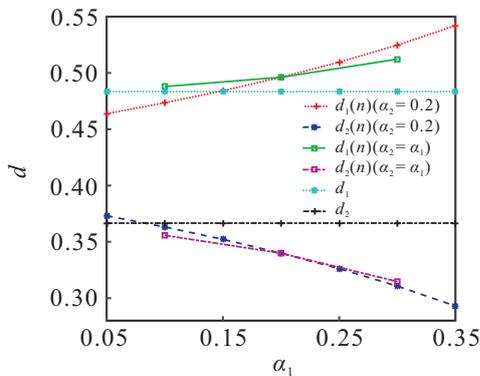


图3 系数 α_1 的变化对最优需求 d 的影响

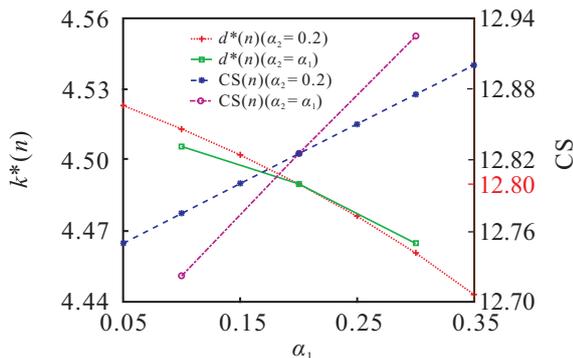


图4 系数 α_1 的变化对最优CEA差异 $k^*(n)$ 和消费者效用 CS^n 的影响

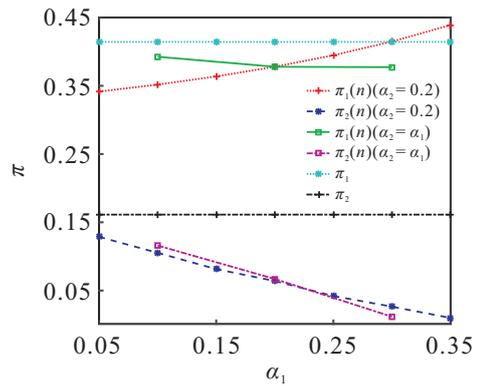


图5 系数 α_1 的变化对最优利润 π 的影响

此外,由图3~图5可以看出,相比较 $\alpha_1 = \alpha_2$ 的情况,当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时,高质量(低质量)产品的最优市场份额更高(更低),而两家企业的利润都有所增长.显然,对比 $\alpha_1 = \alpha_2$ 的情形,消费者效用和CEA差异都有了缩减.而当 α_2 更大时($\alpha_2 > \alpha_1$),其影响趋势相反,这与命题3的结论一致,说明高质量产品的网络效应占主导时,其竞争优势才更明显.因此,当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时,高质量产品的最佳购买量趋向最大,从而低质量产品的份额为0($d_1 \rightarrow 1, d_2 \rightarrow 0$).

值得注意的是,当 $\alpha_2 > \alpha_1$ 时,GNE更倾向于提升低质量产品的需求.然而,这一理念与环保政策的基本理念不一致.因此,监管者应该改变环境社会规范,消费者也应该转向绿色消费和进行环保行为^[1],按这种思路,就要使 α_1 上升以及 α_2 下降达到 $\alpha_1 > \alpha_2$ 的程度.

3.4 有无绿色网络效应下系统差异性比较

针对GNE系数的变化,对有无绿色网络效应时利润差异($\pi_i^n - \pi_i$)、社会福利差异($SW^n - SW$)以及碳排放差异($E^n - E$)的变化进行了比较.表2列出了当 $\alpha_2 = 0.2$ 时, α_1 的变化对应的不同差异值.

表2 考虑GNE时差异值的比较结果

α_1	α_2	利润差异		社会福利差 异 $\Delta SW/\%$	碳排放差 异 $\Delta E/\%$
		$\Delta\pi_1/\%$	$\Delta\pi_2/\%$		
0.05	0.20	-7.28	-3.26	8.22	-3.84
0.10	0.20	-6.26	-5.60	8.54	-19.17
0.15	0.20	-5.06	-7.99	8.91	-36.13
0.20	0.20	-3.65	-9.73	9.33	-55.00
0.25	0.20	-1.96	-11.93	9.82	-76.12
0.30	0.20	0.05	-13.49	10.41	-99.93
0.35	0.20	2.46	-15.14	11.14	-126.99
平均值		-3.10	-9.59	9.48	-59.60

由表2可以看出:

1) 随着 α_1 从0.05变化到0.35,产品1的利润差

距逐渐增大,而产品2的利润差距往反方向变化.说明高质量产品的网络效应越强,其生产企业获益越多,竞争优势越明显,相应地削弱了低质量产品的利益.其中,与基本情况的最优解相比较,产品1平均增长了3.10%.产品2平均缩减了9.59%.此外,可以看出,在GNE的影响下,生产高质量产品的企业占优势是因为市场需求高于生产低质量产品的企业.因此,GNE和市场需求相互影响对再制造企业的最优生产起重要的作用.这也符合假设,消费者愿意支付更多的钱来获得更高质量水平的产品,这一假设与现实相一致.

2) 随着 α_1 的增加,社会福利差异的百分比略有增加,碳排放差异急剧缩小,前者增加的平均值为9.48%,后者减小的均值为59.60%.从中可以得出,引入GNE后其系数的增加并不总是对经济、环境和社会的各项指标都有利,GNE系数既不应该太大也不应该太小,在实际应用中,应根据具体的行业内容、消费者偏好以及市场容量进行具体分析.

4 结论

本文建立了一个两阶段博弈模型,其中双寡头再制造商回收和生产不同质量水平的产品,并进行环保质量和价格的竞争以满足消费者不同偏好的需求.探讨了GNE在减少环境污染上的作用并促进企业生产高质量的产品以使其利润最大化.

基于提出的假设,将数值实验求出的均衡解进行比较,得到一些管理上的见解.首先, s 的增加可能会导致两家企业环保质量都降低,从而降低价格,但它确实有利于高质量产品的市场份额和利润.此外,相互矛盾的是,当高质量产品的GNE系数更强(较弱)时,与 $\alpha_1 = \alpha_2$ 的情况相比,这一情况促使两家企业产品的环保质量和价格都有轻微的降低(提升),而产品差异性不受影响;并且,当高质量产品的GNE系数更强时对其产品有利,其需求和利润得到了一定上升,从而削弱竞争对手.与此同时,政府财政政策的实施得以调节均衡状态使其最优化.此外,GNE的引入也有效地改善了社会福利和减少了污染.

本文主要研究企业对给定的回收补贴和碳税的反应,其实这些补贴和碳税可以根据不同的质量水平扩展到不同的值.但是,直接向消费者提供补贴可以进一步提高他们购买高质量产品的意愿.另外,可以细化引入GNE的方法,研究非线性网络效应是否会改变研究结果.最后,探索评估GNE的有效方法,并进行相应的实证研究也是未来重要的研究方面.

参考文献(References)

- [1] Brécard D. Environmental quality competition and taxation in the presence of green network effect among consumers[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2013, 54(1): 1-19.
- [2] Gu W J, Chhajed D, Petruzzi N C, et al. Quality design and environmental implications of green consumerism in remanufacturing[J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 162: 55-69.
- [3] 朱庆华, 窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型[J]. *管理科学学报*, 2011, 14(6): 86-95. (Zhu Q H, Dou Y J. Game model of green supply chain management based on government subsidy[J]. *Journal of Management Science in China*, 2011, 14(6): 86-95.)
- [4] Krass D, Nedorezov T, Ovchinnikov A. Environmental taxes and the choice of green technology[J]. *Production and Operations Management*, 2013, 22(5): 1035-1055.
- [5] 熊中楷, 何容瑶. 下游企业监督与政府介入对供应商减排影响的分析[J]. *管理工程学报*, 2017, 31(1): 93-101. (Xiong Z K, He R Y. Analysis of the impact of downstream enterprise supervision and government intervention on supplier emission reduction[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017, 31(1): 93-101.)
- [6] Liu Z, Tang J, Li B, et al. Trade-off between remanufacturing and recycling of WEEE and the environmental implication under the Chinese fund policy[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 167: 97-109.
- [7] Miao Z W, Mao H Q, Fu K, et al. Remanufacturing with trade-ins under carbon regulations[J]. *Computers & Operations Research*, 2018, 89: 253-268.
- [8] Ovchinnikov A, Blass V, Raz G. Economic and environmental assessment of remanufacturing strategies for product+ service firms[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(5): 744-761.
- [9] 杨宽, 刘信钰. 基于消费者低碳偏好和内部融资的供应链碳减排决策[J]. *系统工程*, 2016, 34(11): 87-97. (Yang K, Liu X Y. Supply chain carbon emission reduction decision based on consumer low-carbon preference and internal financing[J]. *Systems Engineering*, 2016, 34(11): 87-97.)
- [10] Yenipazarli A. Managing new and remanufactured products to mitigate environmental damage under emissions regulation[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 249(1): 117-130.
- [11] Lombardini-Riipinen C. Optimal tax policy under environmental quality competition[J]. *Environmental and*

- Resource Economics, 2005, 32(3): 317-336.
- [12] Katz M L, Shapiro C. Network externalities, competition, and compatibility[J]. American Economic Review, 1985, 75(3): 424-440.
- [13] Katz M L, Shapiro C. Technology adoption in the presence of network externalities[J]. Journal of Political Economy, 1986, 94(4): 822-841.
- [14] Katz M L, Shapiro C. Product introduction with network externalities[J]. The Journal of Industrial Economics, 1992, 40(1): 55-83.
- [15] Cheng H K, Liu Y, Tang Q. The impact of network externalities on the competition between open source and proprietary software[J]. Journal of Management Information Systems, 2011, 27(4): 201-230.
- [16] Chirco A, Scrimatore M. Choosing price or quantity? The role of delegation and network externalities[J]. Economics Letters, 2013, 121(3): 482-486.
- [17] Etzion H, Pang M S. Complementary online services in competitive markets: Maintaining profitability in the presence of network effects[J]. MIS Quarterly, 2014, 38(1): 231-248.
- [18] Liu Z, Li M, Kou J. Selling information products: Sale channel selection and versioning strategy with network externality[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 166: 1-10.
- [19] Grilo I, Shy O, Thisse J F. Price competition when consumer behavior is characterized by conformity or vanity[J]. Journal of Public Economics, 2001, 80(3): 385-408.
- [20] Bansal S, Gangopadhyay S. Tax/subsidy policies in the presence of environmentally aware consumers[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2003, 45(2): 333-355.
- [21] Zhang X, Xu X, He P. New product design strategies with subsidy policies [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2012, 21(3): 356-371.
- [22] 郭军华, 杨丽, 李帮义, 等. 不确定需求下的再制造产品联合定价决策[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(8): 1949-1955.
- (Guo J H, Yang L, Li B Y, et al. Joint pricing decisions for remanufactured products under uncertain demand[J]. System Engineering—Theory & Practice, 2013, 33(8): 1949-1955.)
- [23] Wei J, Zhao J. Pricing and remanufacturing decisions in two competing supply chains[J]. International Journal of Production Research, 2015, 53(1): 258-278.
- [24] Atasu A, Beril Toktay L, van Wassenhove L N. How collection cost structure drives a manufacturer's reverse channel choice[J]. Production and Operations Management, 2013, 22(5): 1089-1102.
- [25] Bulmuş S C, Zhu S X, Teunter R H. Optimal core acquisition and pricing strategies for hybrid manufacturing and remanufacturing systems[J]. International Journal of Production Research, 2014, 52(22): 6627-6641.
- [26] Ward D O, Clark C D, Jensen K L, et al. Consumer willingness to pay for appliances produced by green power partners[J]. Energy Economics, 2011, 33(6): 1095-1102.
- [27] Leibenstein H. Bandwagon, snob, and Veblen effects in the theory of consumers' demand[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1950, 64(2): 183-207.
- [28] 王文宾, 达庆利. 基于回收努力程度的逆向供应链激励机制设计[J]. 软科学, 2009, 23(2): 125-129.
(Wang W B, Da Q L. Design of incentive mechanism of reverse supply chain based on recovery effort[J]. Soft Science, 2009, 23(2): 125-129.)
- [29] 熊中楷, 梁晓萍. 考虑消费者环保意识的闭环供应链回收模式研究[J]. 软科学, 2014, 28(11): 61-66.
(Xiong Z K, Liang X P. The research of closed loop supply chain recycling model considering consumers' environmental awareness[J]. Soft Science, 2014, 28(11): 61-66.)

作者简介

李倩茹(1988—), 女, 博士生, 从事生产运作、物流供应链管理的研究, Email:230169156@seu.edu.cn;

陈伟达(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 从事再制造运作管理、低碳运作管理等研究, E-mail: cwd@seu.edu.cn.

(责任编辑: 孙艺红)