

控制与决策

Control and Decision

两周期双寡头竞争环境中再制造影响

黄福玲, 黄晓慧, 何娟

引用本文:

黄福玲, 黄晓慧, 何娟. 两周期双寡头竞争环境中再制造影响[J]. *控制与决策*, 2021, 36(5): 1213–1222.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0840>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

考虑成员企业风险态度的制造商资金约束闭环供应链定价与回收决策

Pricing and recycling decisions of a closed-loop supply chain considering participators' risk attitudes and manufacturer capital constraint

控制与决策. 2021, 36(5): 1239–1248 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1305>

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>

考虑定向能力的竞争性企业优惠券定向投放与定价策略

Strategy of targeted delivery and pricing for competitive corporate coupon with orientation capability

控制与决策. 2020, 35(12): 3035–3044 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0356>

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>

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>

两周期双寡头竞争环境中再制造影响

黄福玲, 黄晓慧, 何娟[†]

(西南交通大学 交通运输与物流学院, 成都 610031)

摘要: 针对两周期双寡头竞争市场, 分别构建单个企业实施再制造和两个企业实施再制造的产量决策模型, 探讨再制造对双寡头竞争市场的产品供应、产品价格、企业利润、消费者福利以及环境污染的影响. 研究表明: 1) 当且仅当再制造补贴与再制造成本节约之和满足一定条件时, 双寡头才会进入再制造市场. 2) 再制造可增加企业利润、提高消费者剩余, 并在一定条件下降低环境污染; 当再制造成本优势明显时, 再制造企业会扩大第1周期的新产品供给. 3) 若只有一个企业具备再制造条件, 则再制造能帮助企业提高市场份额, 当再制造成本优势明显时, 再制造企业可在第1周期实现对新产品的完全垄断, 从而改变市场竞争格局.

关键词: 供应链管理; 双寡头竞争; 再制造; 博弈论; 消费者异质性; 两周期

中图分类号: TP273

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2019.0840

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 黄福玲, 黄晓慧, 何娟. 两周期双寡头竞争环境中再制造影响[J]. 控制与决策, 2021, 36(5): 1213-1222.

Effect of remanufacturing on duopoly competition in two-period

HUANG Fu-ling, HUANG Xiao-hui, HE Juan[†]

(School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: This study focuses on the effect of remanufacturing on duopoly competition in a two-period planning horizon. To conduct a convincing analysis, we develop two models to derive the conditions under which one manufacturer implements remanufacturing and two manufacturers implement remanufacturing in a duopoly situation. Furthermore, we analyze the influence of remanufacturing on quantity, price, corporate profits, consumer surplus, and the environmental pollution. The results show that: 1) Only when the sum of the remanufacturing subsidy and the cost savings of remanufactured products meet certain conditions, the duopoly will implement remanufacturing; 2) Remanufacturing can increase the remanufacturer's profit, total consumer surplus in two-period, and leads to a better outcome for the environment if the unit pollution of remanufacturing is low enough. In addition, if the value of the remanufacturing subsidy is high and the cost savings of remanufactured products is large, remanufacturing can increase the supply of new products in the first period; 3) If only one firm adopts remanufacturing, remanufacturing could bring competitive advantage for remanufacturer in terms of market share and profit, and if the sum of the remanufacturing subsidy and the cost savings of remanufactured products is large enough, the remanufacturer will monopolize the first period market.

Keywords: supply chain management; duopoly competition; remanufacturing; game theory; consumers' heterogeneity; two-period

0 引言

在可持续发展实践中, 再制造因低能耗、少污染而被广泛应用. 目前, 我国再制造产业发展势头良好, 已形成湖南长沙、江苏张家港、上海临港和河北河间4个再制造产业示范基地, 再制造产品涵盖汽车零部件、工程机械零配件等多个品种, 上千种规格. 工信部《高端智能再制造行动计划(2018-2020年)》提出, 到2020年我国再制造产业规模将达到2000亿元, 发

展空间巨大.

再制造不仅在实践领域广受欢迎, 有关再制造的理论研究也十分丰富. 总结国内外再制造研究: 从纵向时间维度上可分为单周期、双周期或多周期; 从横向企业竞争维度上可分为一个垄断企业和存在多个企业竞争或合作的情形. 两种维度的组合衍生出不同再制造研究情境. 例如文献[1-4]研究了一个垄断企业第1周期生产新产品, 第2周期同时提供新产品

收稿日期: 2019-06-12; 修回日期: 2019-11-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71273214, 71873111); 教育部人文社科规划基金项目(18YJAZH024).

责任编辑: 李勇建.

[†]通讯作者. E-mail: hejunlin93@163.com.

和再制造品的生产决策.也有很多学者考虑市场竞争因素,研究竞争环境中单周期、两周期或多周期的再制造产量或价格决策.例如文献[5-6]研究了制造商和第三方再制造商关于再制造生产的单周期竞合决策.由于本研究与企业竞争环境中的双周期再制造研究最为密切,将重点对此类文献进行总结评述.此类研究中,根据新产品和再制造品的生产来源不同分为以下2类:

1) 新产品和再制造品分别由制造商和第三方再制造商生产.例如,文献[7]证实了第三方再制造有利于提高消费者对制造商新产品的感知价值;文献[8]研究了有专利授权、无专利授权和合作模式下制造商与再制造商的两周期生产决策;文献[9]构建了政府参与情形下制造商和再制造商竞争的两期决策模型,分析了没有补贴、竞争中有补贴和竞争中既有补贴也有税收3种情景下制造商和再制造商决策的变化;在相同的背景下,文献[10]分析了政府补贴前后3种市场领导(制造商领导、再制造领导和无领导)模式下的决策变化.此类研究中的第2周期可以看作是在不同条件下生产非同质产品的两企业的竞争决策,只是由于再制造品受回收产品的限制而增加了第1周期在位制造商的生产决策.

2) 新产品由制造商生产,再制造品由制造商和第三方再制造商生产.文献[11]研究了消费者对新产品和再制造产品存在异质需求情况下,制造商与再制造商的两周期生产决策问题;文献[12]研究了消费者区分制造商的再制造产品与独立再制造商的再制造产品的两周期价格决策;文献[13]研究了考虑绿色消费者和产品生命周期的制造商再制造策略的影响,研究表明再制造可作为一种有效的营销策略阻止新产品竞争者进入市场.在此类研究中产品竞争程度更为激烈,即第三方再制造商的再制造品同时与原制造商的新产品和再制造品竞争.

从以上研究可以看出,关于企业竞争情况下再制造决策的两周期模型,大多研究均假定第1周期仅有一个企业,竞争主体是第2周期“制造商”和“第三方再制造商”.针对双周期双寡头竞争环境下的再制造决策的文献较少,仅有文献[14-15]研究了第1周期两企业新产品存在竞争,第2周期再制造品和新产品也存在竞争的生产决策.然而,在现实生活中双寡头竞争市场很常见,例如饮料行业的可口可乐和百事可乐,客机制造业的波音和空客,家用空调行业的格力与美的等.在汽车发动机、工程机械等领域,第1周期新产品竞争,第2周期新产品和再制造竞争的现象也

不少见.以我国柴油发动机领域的领军者潍柴动力和玉柴机器为例,两企业在商用多缸柴油发动机领域市场占有率一直稳居行业前两名,而且两企业分别在2008年、2010年先后进入了发动机再制造领域.随着国家对发动机排放标准的升级需求,两企业积极布局热门细分市场,并研发同类产品,例如,在“国六”排放标准的强制实施前,潍柴动力和玉柴机器都将“天然气重汽发动机市场”作为主攻方向,分别上市了13L排量的WP13NG和YC6K13N国六天然气发动机.如果两企业考虑上述型号产品的再制造,则两种产品不仅在再制造领域相互竞争,在进入再制造领域之前新产品竞争也十分激烈.同样,打印机行业的佳能和富士施乐,工程机械行业卡特彼勒和小松不仅在新产品市场竞争激烈,在再制造领域也存在竞争.

综上,本文针对双寡头竞争市场中,第1周期存在新产品竞争,第2周期存在新产品和再制造竞争的现实情况,构建单个企业再制造和两个企业再制造的双周期产量决策模型.本文通过建模求解和对比分析试图解决以下问题:

1) 两周期都存在双寡头竞争的市场中,企业再制造需要满足什么前提,再制造成本节约和政府再制造补贴对企业再制造策略有何影响?

2) 企业再制造能否帮助其获得比对手更多的利润、市场份额,并给新产品售价和销量、企业利润、消费者剩余以及环境带来什么影响?

尽管本文与文献[14-15]的研究都是基于第1周期为双寡头竞争的市场,但本文研究与它们有显著差别:文献[14]假定再制造产品投放于二手市场,即再制造品与新产品不存在竞争,本文则假设再制造品与新产品投放于同一市场进行竞争,且消费者对新产品与再制造品的感知价值存在差异^[7,13];文献[15]假设第1周期决策独立于第2周期,然而第1周期的产量规划与第2周期再制造紧密相关^[16],本文假设两周期决策相互影响.

1 问题描述与基本假设

假设在一个相对独立的市场上,双寡头制造商(企业M和企业C)生产无差异、可替代的产品.在第1周期,两制造商生产新产品,新产品只能使用1个周期;在第2周期,制造商可以回收第1周期的旧产品进行再制造.再制造企业须依法对再制造产品进行明显标识,便于消费者区分新产品和再制造品.假设每周市场消费者的容量为常数,并标准化为1,且每个消费者最多购买一件产品^[14,16].

设 c 为双寡头生产新产品的单位可变成本, 一般而言, 再制品产生的成本相比新产品可节约 40%~60%^[17-18], 因此设 $c - \Delta$ 为再制造产品的单位可变成本, 其中 Δ 为再制造产品的单位生产成本节约. 同时考虑到政府对再制造行业的鼓励政策, 设 b 为相关部门对单位再制品给予的生产补贴. 令 $s = \Delta + b$, s 可视为再制造相对于新产品的单位节约总成本, 代表生产再制品相对于新产品的综合成本优势. 则 $s_M = \Delta_M + b$ 为企业 M 生产单位再制品的节约总成本, $s_C = \Delta_C + b$ 为企业 C 生产单位再制品的节约总成本. 假定一周期结束后, 旧产品的回收率为 $\rho \in (0, 1)$ ^[19].

尽管再制品的质量、使用性能与新产品并无差异, 但消费者对新产品和再制品的感知价值不同. 一般而言, 消费者认为再制品的价值不如新产品, 因此消费者对再制品支付意愿较新产品低^[7,13]. 参考文献[1,16]的假设, v 为消费者对新产品的支付意愿, 并服从 $[0, 1]$ 的均匀分布, δv 为消费者对再制造产品的支付意愿, $\delta < 1$ 为消费者对再制造产品的感知价值. 因消费者对新产品和再制品的感知价值不同, 新产品和再制品的价格也不同, 设 p_i 为第 $i (i \in \{1, 2\})$ 周期新产品价格, p_r 为第 2 周期再制造产品的价格. 因此, 第 i 周期消费者对新产品的效用函数为 $U_i = v - p_i$, 消费者对再制造产品的效用函数为 $U_r = \delta v - p_r$.

根据消费者效用函数, 当消费者的效用满足 $U_1 = v - p_1 > 0$ 时, 消费者会在第 1 周期购买新产品. 在第 2 周期: 当消费者的效用满足 $U_2 \geq U_r$ 且 $U_2 \geq 0$ 时, 直接购买新产品; 当 $U_r \geq U_2$ 且 $U_r \geq 0$ 时, 购买再制品. 参考文献[9-11,20]的推导方法, 可得第 1 周期的反需求函数为

$$p_1 = 1 - q_1^k. \tag{1}$$

第 2 周期的反需求函数为

$$p_2 = 1 - q_2^k - \delta q_r^k, \tag{2}$$

$$p_r = \delta(1 - q_2^k - q_r^k). \tag{3}$$

其中: 上标 $k \in \{O, T\}$, O 和 T 分别为单一制造商实施再制造和两个制造商实施再制造的情形. $q_i^k = q_{Mi}^k + q_{Ci}^k$ 为 k 情形下周期 i 新产品的需求, q_{Mi}^k 、 q_{Ci}^k 分别为 k 情形下周期 i 消费者对企业 M 和企业 C 新产品的需求; $q_r^k = q_{Mr}^k + q_{Cr}^k$ 为 k 情形下消费者对再制品的需求, q_{Mr}^k 、 q_{Cr}^k 分别为 k 情形下第 2 周期消费者对企业 M 和企业 C 再制品的需求.

2 模型构建与分析

2.1 考虑单一制造商实施再制造的博弈模型

假定企业 M 再制造, 企业 C 暂不考虑再制造. 此种情形下, 企业 M 和企业 C 同时确定各自的产品的产量 (企业 M 的决策变量是 q_{M1}^O 、 q_{M2}^O 和 q_r^O , 企业 C 的决策变量是 q_{C1}^O 、 q_{C2}^O). 由于再制品数量小于或等于回收数量, 企业 M 的最优化问题可表示为

$$\begin{aligned} \max_{(q_{M1}^O, q_{M2}^O, q_r^O)} \Pi_M^O &= (p_1 - c)q_{M1}^O + (p_2 - c)q_{M2}^O + (p_r - \\ &c + \Delta + b)q_r^O. \\ \text{s.t. } 0 \leq q_r^O &\leq \rho(q_{M1}^O + q_{C1}^O); q_{M1}^O, q_{M2}^O \geq 0. \end{aligned} \tag{4}$$

相应地, 企业 C 的最优化问题可表述为

$$\begin{aligned} \max_{(q_{C1}^O, q_{C2}^O)} \Pi_C^O &= (p_1 - c)q_{C1}^O + (p_2 - c)q_{C2}^O; \\ \text{s.t. } q_{C1}^O, q_{C2}^O &\geq 0. \end{aligned} \tag{5}$$

从式(4)和(5)可以观察到两制造商的产量决策互为影响, 用 K-T 条件求解可得如下命题.

命题 1 当只有企业 M 再制造时, 再制造单位节约总成本 s 存在 3 个关键值 s_1, s_2, s_3 , 企业 M 会根据再制造节约总成本所处的不同区间, 选择不同的制造规模, 如图 1 所示, 其中有

$$\begin{aligned} s_1 &= c(1 - \delta), \quad s_2 = \frac{1}{3}(1 - \delta)(3c + 4\delta\rho - 4\delta\rho c), \\ s_3 &= \\ &\frac{1}{\rho} + 2(1 - \delta)\delta\rho + \frac{c(-1 + \rho - \delta\rho - 2(1 - \delta)\delta\rho^2)}{\rho}. \end{aligned}$$

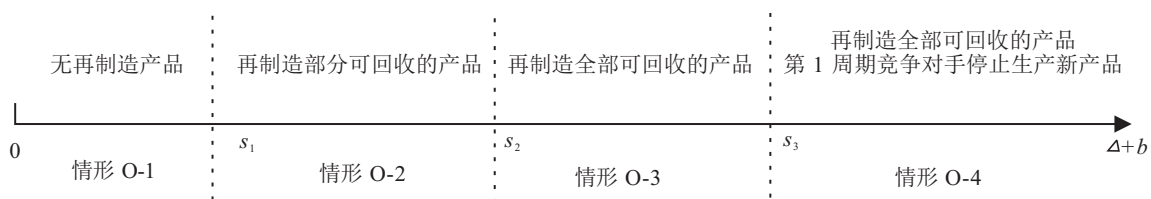


图 1 企业生产决策与关键值 s_1, s_2, s_3

证明 根据式(3)和(4)可得企业M关于变量 q_{M1}^O 、 q_{M2}^O 和 q_r^O 的目标函数的海塞矩阵为

$$H_M^O = \begin{bmatrix} -2 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & -2\delta \\ 0 & -2\delta & -2\delta \end{bmatrix},$$

企业C关于变量 q_{C1}^O 和 q_{C2}^O 的目标函数的海塞矩阵为

$$H_C^O = \begin{bmatrix} -2 & 0 \\ 0 & -2 \end{bmatrix}.$$

因 $0 < \delta < 1$,可知两个海塞矩阵都是负定的,因此,企业M利润函数对于 q_{M1}^O 、 q_{M2}^O 和 q_r^O ,企业C利润函数对于 q_{C1}^O 和 q_{C2}^O 存在最优解.根据目标函数可得企业M利润最优化问题的K-T条件为

$$\frac{\partial \Pi_M^O}{\partial q_{M1}^O} = 1 - c - q_{C1}^O - 2q_{M1}^O + \rho\lambda_2 + \lambda_3 = 0,$$

$$\frac{\partial \Pi_M^O}{\partial q_{M2}^O} = 1 - c - q_{C2}^O - 2q_{M2}^O - 2\delta q_r^O + \lambda_4 = 0,$$

$$q_{M1}^{O*} = \frac{-1 - 2b\rho - 2\Delta\rho + 2\delta\rho^2 - 2\delta^2\rho^2 + c(1 - 2(-1 + \delta)\rho + 2(-1 + \delta)\delta\rho^2)}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{C2}^{O*} = \frac{-1 + b\rho + \Delta\rho - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2 + c(1 + (-1 + \delta)\rho - 2(-1 + \delta)\delta\rho^2)}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{M2}^{O*} = \frac{-3 + 2\delta^2\rho^2 + \delta\rho(6 + (-2 + 3b + 3\Delta)\rho) + c(3 + \delta^2\rho^2 - \delta\rho(6 + \rho))}{-9 - 6\delta\rho^2 + 6\delta^2\rho^2}, \quad q_{C2}^{O*} = \frac{1 - c}{3},$$

$$q_r^{O*} = \frac{\rho(2 + b\rho + \Delta\rho + c(-2 + (-1 + \delta)\rho))}{3 + 2\delta\rho^2 - 2\delta^2\rho^2},$$

$$s_2 < s < s_3 = \frac{1}{\rho} + 2(1 - \delta)\delta\rho + \frac{c(-1 + \rho - \delta\rho - 2(1 - \delta)\delta\rho^2)}{\rho}. \quad \square$$

命题1说明,再制造生产成本的节约和再制造补贴对企业再制造有重大影响,再制造相对于新产品的单位节约总成本 s 越大,再制造规模越大,当 $s > s_3$ 导致再制造实际生产成本极低时,企业M可以在第1周期将竞争对手挤出市场.

不同情形下的最优解对 b 求偏导数,可得单一制造商再制造时政府的再制造补贴对企业最优决策的影响,详见表1.

表1 单一制造商再制造时 b 对最优决策的影响

	情形O-1	情形O-2	情形O-3	情形O-4
q_{M1}^{O*}	0	0	+	+
q_{C1}^{O*}	0	0	-	-
q_{M2}^{O*}	0	-	-	-
q_{C2}^{O*}	0	0	0	0
q_{Mr}^{O*}	0	+	+	+

由于 $s = \Delta + b$,由表1结合命题1可以看出:当

$$\frac{\partial \Pi_M^O}{\partial q_r^O} = b - c + \delta + \Delta - \delta q_{C2}^O - 2\delta q_{M2}^O - 2\delta q_r^O +$$

$$\lambda_1 - \lambda_2 = 0,$$

$$\lambda_1 q_r^O = \lambda_2(\rho(q_{M1}^O + q_{C1}^O) - q_r^O) = \lambda_3 q_{M1}^O = \lambda_4 q_{M2}^O = 0.$$

同时,企业C的最优产量决策满足以下条件:

$$1 - c - 2q_{C1}^O - q_{M1}^O + \lambda_5 = 0,$$

$$1 - c - 2q_{C2}^O - q_{M2}^O - \delta q_r^O + \lambda_6 = 0.$$

对决策变量求解,满足两周期双寡头竞争条件具有经济意义的有以下3种情况:

1) $\lambda_1 > 0, \lambda_2 = 0: q_{M1}^{O*} = q_{C1}^{O*} = q_{M2}^{O*} = q_{C2}^{O*} = \frac{1 - c}{3}, s \leq s_1 = c(1 - \delta).$

2) $\lambda_1 = 0, \lambda_2 = 0: q_{M1}^{O*} = q_{C1}^{O*} = q_{C2}^{O*} = \frac{1 - c}{3}, q_{M2}^{O*} = \frac{2 - 3(b + \Delta) + c(1 - \delta) - 2\delta}{6(1 - \delta)}, q_r^{O*} = \frac{b + \Delta - (1 - \delta)c}{2\delta - 2\delta^2}, s_1 < s \leq s_2 = \frac{1}{3}(1 - \delta)(3c + 4\delta\rho - 4\delta\rho c).$

3) $\lambda_1 = 0, \lambda_2 > 0:$

Δ 为某一确定数值时,再制造补贴 b 要达到一定条件,企业才会再制造;当企业实施再制造时,再制造补贴 b 越大,再制造产量越高,再制造企业第2周期新产品产量越低.

2.2 考虑两个制造商实施再制造的博弈模型

当两企业均具备再制造条件且都考虑再制造时,企业M的利润最优化问题可表达为

$$\max_{(q_{M1}^T, q_{M2}^T, q_{Mr}^T)} \Pi_M^T = (p_1 - c)q_{M1}^T + (p_2 - c)q_{M2}^T +$$

$$(p_r - c + \Delta_M + b)q_{Mr}^T.$$

$$\text{s.t. } 0 \leq q_{Mr}^T \leq \rho(q_{M1}^T + q_{C1}^T) - q_{Cr}^T; q_{M1}^T, q_{M2}^T \geq 0.$$

(6)

企业C的利润最优化问题可表达为

$$\max_{(q_{C1}^T, q_{C2}^T, q_{Cr}^T)} \Pi_C^T = (p_1 - c)q_{C1}^T + (p_2 - c)q_{C2}^T + (p_r - c +$$

$$\Delta_C + b)q_{Cr}^T.$$

$$\text{s.t. } 0 \leq q_{Cr}^T \leq \rho(q_{M1}^T + q_{C1}^T) - q_{Mr}^T; q_{C1}^T, q_{C2}^T \geq 0. \tag{7}$$

用K-T条件求解可得命题2.

命题2 当两制造商都实施再制造时,两制造商的再制造规模受各自再制造节约总成本的影响,根据再制造节约总成本所处区间,得出6种具有现实意义的情况.

情形1:当 $s_{M1} < s_M < \min(s_{M2}, s_{M3})$ 时,两制造商均再制造,且再制造总量为部分可回收产品;

情形2:当 $\max(s_1, s_{M2}) < s_M < s_2$ 时,企业M再制造部分可回收的产品;

情形3:当 $\max(s_2, A) < s_M < s_3$ 时,企业M再制造全部可回收的产品;

情形4:当 $s_M < s_1, s_C < s_1$ 时,两制造商均不再制造;

情形5:当 $\max(B, s_2) < s_C < s_3$ 时,企业C再制造全部可回收的产品;

情形6:当 $\max(s_{C2}, s_1) < s_C < s_2$ 时,企业C再制造部分可回收的产品.

其中 $s_{M1}, s_{M2}, s_{M3}, s_{C2}, A, B$ 表达式见命题2证明.

证明 企业M的利润最优化问题的拉格朗日方程为

$$L_M^T =$$

$$(1 - (q_{M1}^T + q_{C1}^T) - c)q_{M1}^T +$$

$$(1 - (q_{M2}^T + q_{C2}^T) - \delta(q_{Mr}^T + q_{Cr}^T) - c)q_{M2}^T +$$

$$(\delta(1 - q_{M2}^T - q_{C2}^T - q_{Mr}^T - q_{Cr}^T) - c + \Delta + b_M)q_{Mr}^T +$$

$$\lambda_1 q_{Mr}^T + \lambda_2(\rho(q_{M1}^T + q_{C1}^T) - q_{Mr}^T) + \lambda_3 q_{M1}^T + \lambda_4 q_{M2}^T,$$

$$\frac{\partial L_M^T}{\partial q_{M1}^T} = \frac{\partial L_M^T}{\partial q_{M2}^T} = \frac{\partial L_M^T}{\partial q_{Mr}^T} = 0,$$

$$\lambda_1 q_{Mr}^T =$$

$$\lambda_2(\rho(q_{M1}^T + q_{C1}^T) - q_{Mr}^T) = \lambda_3 q_{M1}^T = \lambda_4 q_{M2}^T = 0,$$

$$\lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0, \lambda_3 = \lambda_4 = 0.$$

同理可得企业C的利润最优化问题的拉格朗日方程,再用K-T条件求解可得6种具有现实意义的情况:

情形1:

$$q_{M1}^{T*} = q_{C1}^{T*} = \frac{1-c}{3},$$

$$q_{M2}^{T*} = \frac{1-\delta+s_C-2s_M}{3-3\delta},$$

$$q_{C2}^{T*} = \frac{1-\delta-2s_C+s_M}{3-3\delta},$$

$$q_{Mr}^{T*} = \frac{c-c\delta+s_C-2s_M}{3(-1+\delta)\delta},$$

$$q_{Cr}^{T*} = \frac{c-c\delta-2s_C+s_M}{3(-1+\delta)\delta},$$

$$q_{Mr}^{T*} > 0 \Rightarrow s_M > s_{M1} = \frac{1}{2}(c-c\delta+s_C),$$

$$q_{Cr}^{T*} > 0 \Rightarrow s_M < s_{M2} = c(-1+\delta) + 2s_C,$$

$$q_{M1}^{T*} + q_{C1}^{T*} > q_{Mr}^{T*} + q_{Cr}^{T*} \Rightarrow s_M < s_{M3} =$$

$$2(-1+\delta)(-\delta\rho+c(-1+\delta\rho)) - s_C.$$

情形2:

$$q_{M1}^{T*} = q_{C1}^{T*} = q_{C2}^{T*} = \frac{1-c}{3},$$

$$q_{M2}^{T*} = \frac{(2+c)(-1+\delta) + 3s_M}{6(-1+\delta)},$$

$$q_{Mr}^{T*} = -\frac{c(-1+\delta) + s_M}{2(-1+\delta)\delta},$$

$$q_{Cr}^{T*} = 0, \mu_1 = \frac{1}{2}(c-c\delta-2s_C+s_M),$$

$$q_{Mr}^{T*} > 0 \Rightarrow s_M > s_1, \mu_1 > 0 \Rightarrow s_M > s_{M2},$$

$$q_{M1}^{T*} + q_{C1}^{T*} > q_{Mr}^{T*} \Rightarrow s_M < s_2.$$

情形3:

$$q_{M1}^{T*} = -1+c - \frac{2(2+c(-2+(-1+\delta)\rho) + \rho s_M)}{-3-2\delta\rho^2+2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{C1}^{T*} = 1-c + \frac{2+c(-2+(-1+\delta)\rho) + \rho s_M}{-3-2\delta\rho^2+2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{M2}^{T*} = \frac{1-c}{3} + \frac{\delta\rho(2+c(-2+(-1+\delta)\rho) + \rho s_M)}{-3-2\delta\rho^2+2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{C2}^{T*} = \frac{1-c}{3},$$

$$q_{Mr}^{T*} = -\frac{\rho(2+c(-2+(-1+\delta)\rho) + \rho s_M)}{-3-2\delta\rho^2+2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{Cr}^{T*} = 0,$$

$$\lambda_2 = \frac{(-1+\delta)(-4\delta\rho+c(-3+4\delta\rho)) - 3s_M}{-3-2\delta\rho^2+2\delta^2\rho^2},$$

$$\mu_1 = c-c\delta-s_C +$$

$$\frac{(-1+\delta)\delta\rho(2+c(-2+(-1+\delta)\rho) + \rho s_M)}{-3-2\delta\rho^2+2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{M1}^{T*} > 0 \Rightarrow s_M >$$

$$-\frac{1}{2\rho} + (1-\delta)\delta\rho + c\left(1 + \frac{1}{2\rho} + \delta^2\rho - \delta(1+\rho)\right),$$

$$q_{C1}^{T*} > 0 \Rightarrow s_M < s_3, \lambda_2 > 0 \Rightarrow s_M > s_2,$$

$$\mu_1 > 0 \Rightarrow s_M > A =$$

$$\frac{(-1 + \delta)(-2\delta\rho + c(-3 - \delta(-2 + \rho)\rho + \delta^2\rho^2))}{(-1 + \delta)\delta\rho^2} + \frac{(-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2)s_C}{(-1 + \delta)\delta\rho^2}.$$

情形4:

$$q_{M1}^{T*} = q_{C1}^{T*} = q_{M2}^{T*} = q_{C2}^{T*} = \frac{1 - c}{3},$$

$$q_{Mr}^{T*} = q_{Cr}^{T*} = 0, \lambda_1 = c - c\delta - s_M,$$

$$\mu_1 = c - c\delta - s_C, \lambda_1 > 0 \Rightarrow s_M < c - c\delta,$$

$$\mu_1 > 0 \Rightarrow s_C < c - c\delta.$$

情形5:

$$q_{M1}^{T*} = 1 - c + \frac{2 + c(-2 + (-1 + \delta)\rho) + \rho s_C}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{C1}^{T*} = -1 + c - \frac{2(2 + c(-2 + (-1 + \delta)\rho) + \rho s_C)}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{M2}^{T*} = \frac{1 - c}{3},$$

$$q_{C2}^{T*} = \frac{1}{3} - \frac{c}{3} + \frac{\delta\rho(2 + c(-2 + (-1 + \delta)\rho) + \rho s_C)}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{Mr}^{T*} = 0,$$

$$q_{Cr}^{T*} = -\frac{\rho(2 + c(-2 + (-1 + \delta)\rho) + \rho s_C)}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2},$$

$$\lambda_1 = c - c\delta + \frac{(-1 + \delta)\delta\rho(2 + c(-2 + (-1 + \delta)\rho) + \rho s_C)}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2},$$

$$\mu_2 = \frac{(-1 + \delta)(-4\delta\rho + c(-3 + 4\delta\rho)) - 3s_C}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2},$$

$$q_{M1}^{T*} > 0 \Rightarrow s_C < s_3,$$

$$q_{C1}^{T*} > 0 \Rightarrow s_C >$$

$$-\frac{1}{2\rho} + (1 - \delta)\delta\rho + c\left(1 + \frac{1}{2\rho} + \delta^2\rho - \delta(1 + \rho)\right),$$

$$\lambda_1 > 0 \Rightarrow s_C > B =$$

$$\frac{(-1 + \delta)(-2\delta\rho + c(-3 - \delta(-2 + \rho)\rho + \delta^2\rho^2))}{(-1 + \delta)\delta\rho^2} +$$

$$\frac{(-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2)s_M}{(-1 + \delta)\delta\rho^2},$$

$$\mu_2 > 0 \Rightarrow s_C > s_2.$$

情形6:

$$q_{M1}^{T*} = q_{C1}^{T*} = q_{M2}^{T*} = \frac{1 - c}{3},$$

$$q_{C2}^{T*} = \frac{(2 + c)(-1 + \delta) + 3s_C}{6(-1 + \delta)},$$

$$q_{Mr}^{T*} = 0, q_{Cr}^{T*} = -\frac{c(-1 + \delta) + s_C}{2(-1 + \delta)\delta},$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{2}(c - c\delta + s_C - 2s_M),$$

$$\lambda_1 > 0 \Rightarrow s_C > s_{C2} = c(-1 + \delta) + 2s_M,$$

$$q_{Cr}^{T*} > 0 \Rightarrow s_C > s_1,$$

$$q_{M1}^{T*} + q_{C1}^{T*} > q_{Cr}^{T*} \Rightarrow s_C < s_2. \quad \square$$

由于两制造商再制造成本节约程度不同时,所得的两制造商的最优解是非对称的,而对于一般的不对称问题,最优策略分析起来尤为复杂.为了便于分析比较,将再制造节约成本进行简化处理,令两制造商再制造节约成本相同(即 $\Delta_M = \Delta_C$).

由于上述6种情形中,情形6与情形2、情形3与情形5是对称的,当两企业再制造节约成本相同时,有 $s_M = s_C = b + \Delta$,只存在情形1和情形4,求解可得两企业同时再制造且两企业再制造节约成本相同时,有以下两种情况:

情形 T-1 ($s < s_1$): $q_{M1}^{T*} = q_{C1}^{T*} = q_{M2}^{T*} = q_{C2}^{T*} = \frac{1 - c}{3}, q_{Mr}^{T*} = q_{Cr}^{T*} = 0.$

情形 T-2 ($s_1 < s < s_{T1} = (1 - \delta)(c - \delta\rho + c\delta\rho)$): $q_{M1}^{T*} = q_{C1}^{T*} = \frac{1 - c}{3}, q_{M2}^{T*} = q_{C2}^{T*} = \frac{1 - \delta - b - \Delta}{3 - 3\delta}, q_{Mr}^{T*} = q_{Cr}^{T*} = \frac{c - c\delta - b - \Delta}{3(-1 + \delta)\delta}.$

从情形 T-1 和情形 T-2 的最优解可知,两企业最优解相同,企业 M 最优解对 b 求偏导数,可得两企业再制造时政府的再制造补贴对最优决策的影响,详见表 2.

表2 两制造商再制造时 b 对最优决策的影响

	情形 T-1	情形 T-2
q_{M1}^{T*}	0	0
q_{M2}^{T*}	0	-
q_{Mr}^{T*}	0	+

从表2可以看出,两企业实施再制造情况下再制造补贴 b 对再制造最优决策的影响与单一制造商再制造时的影响一致.

2.3 再制造影响分析

为了分析双寡头竞争市场中,再制造对产品供应、产品价格、企业利润、消费者剩余以及环境污染的影响,本文将企业再制造的情形与两企业都不再制造的情形(模型 N)进行对比.

显然,在没有企业考虑再制造的情况下,模型 N 的最优解与 $s < s_1$ 的情形相同.同时,当 $s_M = s_C =$

$b + \Delta$ 时,在情形O-2与情形T-2中,企业M再制造部分可回收的产品. 由于 $s_2 > s_{T1}$,通过比较分析当 $s_1 < s < s_{T1}$ 时,O-2与T-2两种情形下,产品产量、产品价格、企业利润、消费者剩余和环境污染有何不同,可以得到两企业再制造竞争的影响.

2.3.1 再制造对产品产量、产品价格以及企业利润的影响

1) 再制造对产品产量的影响.

推论1 1) 当 $s_1 < s$ 时,第2周期新产品的供应减少,市场产品供应总量增加;2) 当模型O中 $s_1 < s < s_2$,模型T中 $s_1 < s < s_{T1}$ 时,第1周期产品供应量不受再制造的影响;3) 当模型O中 $s \geq s_2$,模型T中 $s \geq s_{T1}$ 时,再制造企业会增加第1周期产品的供应量.

证明 当 $s > s_2$ 时, $q_{M1}^{O*} - q_{M1}^{N*}$ 是关于 s 的增函数,令 $q_{M1}^{O*} = q_{M1}^{N*}$,求解得到 $s = s_2$. 因此当 $s > s_2$ 时, $q_{M1}^{O*} > q_{M1}^{N*}$. 其他情形证明类似,限于篇幅证明过

程略. □

推论1说明,再制造成本和政府补贴对再制造供应量有重要影响,当再制造成本优势明显,再制造政府补贴较高时,再制造企业为保证第2周期再制造产品的供应,会在第1周期增大新产品的供给;同时也说明,再制造会扩大第2周期市场产品供应总量,且如果企业不考虑再制造,则其市场份额会被再制造企业挤压. 因此,处于竞争市场的两个企业,面对政府的再制造鼓励政策,如果具备再制造技术条件,则应该实施再制造,避免市场份额被竞争对手获取.

2) 再制造对产品价格的影响.

根据命题1的4种情形,将最优产量代入式(1)~(3)可求得不同情形下新产品和再制造品的售价,具体见表3和表4. 根据两周期的产量和反需求函数,可求得情形T-2下新产品和再制造品的价格分别为 $p_1^{T*} = p_2^{T*} = \frac{1}{3}(1 + 2c)$, $p_r^{T*} = p_r^{O*} - \frac{1}{6}(b + \Delta + c(-1 + \delta))$.

表3 不同情形下新产品在两周期的售价

	p_1^{O*}	p_2^{O*}
情形O-1	$\frac{1}{3}(1 + 2c)$	$\frac{1}{3}(1 + 2c)$
情形O-2	$\frac{1}{3}(1 + 2c)$	$\frac{1}{3}(1 + 2c)$
情形O-3	$\frac{-1 + (b + \Delta)\rho - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2 + c(-2 + (-1 + \delta)\rho)}{-3 - 2\delta\rho^2 + 2\delta^2\rho^2}$	$\frac{1}{3}(1 + 2c)$
情形O-4	$1 - \frac{1 + (b + \Delta)\rho + c(-1 + (-1 + \delta)\rho)}{2 + 2\delta\rho^2 - 2\delta^2\rho^2}$	$\frac{1}{3}(1 + 2c)$

表4 不同情形下再制造品的售价

	p_r^{O*}
情形O-2	$\frac{(-3(\Delta + b) + 2\delta + c(3 + \delta))}{6}$
情形O-3	$\frac{\delta(-3 + 6(1 - \delta)\rho - (1 - \delta)(2\delta - 3(\Delta + b))\rho^2 - c(6 + 6(1 - \delta)\rho + (3 - 2\delta - \delta^2)\rho^2))}{-9 - 6\delta\rho^2 + 6\delta^2\rho^2}$
情形O-4	$\frac{\delta(-2 + 3(1 - \delta)\rho + (1 - \delta)(3b + 3\Delta - 2\delta)\rho^2 - c(4 + 3(1 - \delta)\rho + (3 - 2\delta - \delta^2)\rho^2))}{-6 - 6\delta\rho^2 + 6\delta^2\rho^2}$

推论2 再制造不影响第2周期新产品的价格,且 $p_r^{T*} < p_r^{O*}$;当在情形O中 $s \geq s_2$,在情形T中 $s \geq s_{T1}$ 时,再制造会使第1周期新产品价格降低.

推论2证明过程与推论1类似,证明略. 推论2说明,当再制造成本优势明显时,由于再制造产品数量受回收产品约束的企业会增加第1周期新产品的供给,从而导致产品售价的降低. 同时,两个企业的再制造品供应总量比只有一个企业再制造时增加,会导致再制造产品价格降低.

3) 再制造对企业利润的影响.

将最优产量和产品价格代入两企业的利润函数可得不同情形下的两制造商的最优利润. 对比各周期的利润,可得推论3.

推论3 1) 当 $s_1 < s$ 时,再制造能增加再制造企业利润, $\Pi_{M2}^{O*} > \Pi_{C2}^{O*}$, $\Pi_M^{O*} > \Pi_C^{O*}$, $\Pi^{T*} > \Pi^{O*}$. 2) 当 $s < s_2$ 时, $\Pi_M^{O*} = \Pi_C^{O*}$;当 $s_2 < s < s_3$ 时, $\Pi_M^{O*} > \Pi_C^{O*}$;当 $s > s_3$ 时, $\Pi_M^{O*} < \Pi_C^{O*}$. 3) $\Pi_M^{O*} > \Pi_M^{T*} = \Pi_C^{T*} > \Pi_C^{O*}$.

推论3的数理证明与推论1类似,过程略. 为了更直观地展现再制造对企业利润的影响,下面通过数值实验展示,如图2~图4所示. 根据问题假设和产量非负的要求,假定 $c = 0.8, \delta=0.6, \rho=0.5$, 通过 s 的范围变化对应不同的情形.

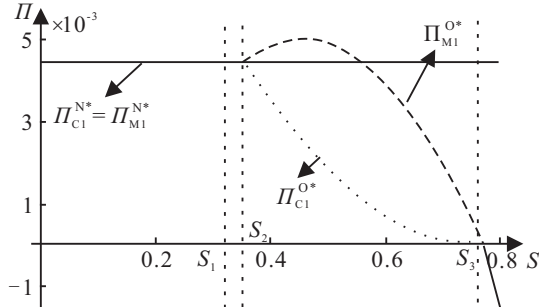


图2 第1周期两制造商利润

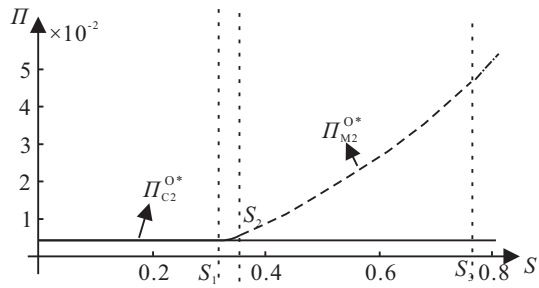


图3 第2周期两制造商利润

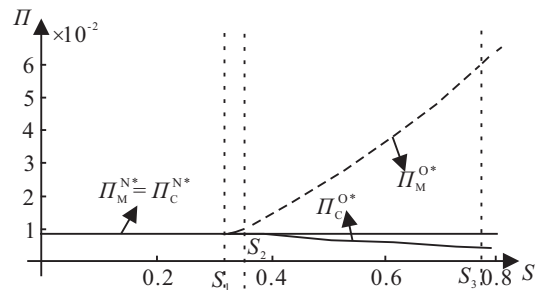


图4 两周期两制造商总利润

当再制造受回收产品约束时,从图2可知,在第1周期,企业M利润随 s 增加先增后减,企业C利润随 s 增加不断降低直到停止生产,当 s 增加到一定程度(即 $s > s_3$)时,为了在第2周期生产更多的再制造产品,企业M在第1周期即使亏本也要增加新产品的供给. 在第2周期,由推论1和推论2的结论可知,第2周期企业C的产量和新产品售价不受再制造影响,因此,企业C的利润也不受再制造影响.

由推论3和推论1的结论可以发现,再制造不仅可以帮助企业M提高市场占有率,还可以获得比竞争对手更多的利润(见图4);同时也说明,当只有企业M再制造时,企业M不是通过挤压企业C在第2周期的市场和利润来获取竞争优势的,而是通过扩大再制造规模来获取更多利润的(见图3). 对于企业C而言,

同样受益于自己的再制造策略,可以获得比情形O-2更多的市场份额和总利润. 同时也说明,当企业C再制造时,企业M在情形O-2下通过再制造获得的市场份额和利润优势被企业C削弱. 因此,当两企业再制造生产成本不同时,政府可以给再制造生产成本较高的企业更高的补贴,刺激再制造市场的竞争,避免出现企业完全垄断的情形.

2.3.2 再制造对消费者剩余与环境的影响

1) 消费者剩余分析.

根据第1周期和第2周期产品的供应情况,可分析得到第1周期的消费者剩余为

$$CS_1 = \int_{p_1}^1 (v - p_1)dv = \frac{1}{2}(q_{C1} + q_{M1})^2. \quad (8)$$

第2周期消费者剩余为

$$CS_2 = \int_{\frac{p_2 - p_r}{1 - \delta}}^1 (v - p_2)dv + \int_{\frac{p_2 - p_r}{\delta}}^{\frac{p_2 - p_r}{1 - \delta}} (\delta v - p_r)dv = \frac{(q_{M2} + q_{C2} + \delta q_r)^2 + \delta(1 - \delta)q_r^2}{2}. \quad (9)$$

则两周期的消费者总剩余为

$$CS = CS_1 + CS_2. \quad (10)$$

从式(8)、(9)可知,消费者剩余主要与产品的产量有关. 将不同情况下的最优产量代入式(10)可得各自情况下的消费者剩余的表达式,进一步对比分析可得以下推论.

推论4 当 $s_1 < s$ 时,再制造总能带来更大的消费者剩余,但两制造商同时再制造时消费者剩余更高.

证明 将模型O和模型T不同情形的最优产量代入消费者剩余公式,可得不同情形下消费者剩余,对比可得:当 $s \in (s_1, s_2)$ 时,有

$$CS^{O*} - CS^{N*} = \frac{(s + c(-1 + \delta))^2}{8(1 - \delta)\delta} > 0;$$

当 $s > s_2$ 时,有

$$\frac{\partial(CS^{O*} - CS^{N*})}{\partial s^2} = \frac{\rho^2 - (-1 + \delta)\delta\rho^4}{(3 + 2\delta\rho^2 - 2\delta^2\rho^2)^2} > 0.$$

令 $CS^{O*} = CS^{N*}$, 有

$$s_2 > \vec{s} = \frac{-2(1 - c)(3 + 2\delta\rho^2 - 2\delta^2\rho^2)\sqrt{(1 + \delta\rho^2 - \delta^2\rho^2)}}{3\rho(-1 - \delta\rho^2 + \delta^2\rho^2)} + \frac{-3c(2 + \rho - \delta\rho + 2(1 - \delta)\delta\rho^2 - (1 - \delta)^2\delta\rho^3)}{3\rho(-1 - \delta\rho^2 + \delta^2\rho^2)} + \frac{6 + 6\delta\rho^2 - 6\delta^2\rho^2}{3\rho(-1 - \delta\rho^2 + \delta^2\rho^2)}.$$

所以,当 $s \in (s_2, s_3)$ 时, $CS^{O*} > CS^{N*}$. 同理可证: 当 s

$> s_3$ 时, $CS^{O*} > CS^{N*}$; 当 $s_1 < s$ 时, $CS^{T*} > CS^{N*}$, $CS^{O*} < CS^{T*}$. □

推论4说明对于消费者而言,企业再制造可以增加市场产品总量,消费者会有更多的产品选择,同时再制品较低的价格也增加了产品的获得性,因而消费者剩余会提高. 当两制造商都再制造时,市场竞争程度更为激烈,导致再制品供应更多,价格更低,消费者更加受益.

2) 环境影响分析.

为分析再制造对环境造成的影响,假设单位新产品排污量为 e_n , 单位再制品排污量为 e_r ($e_r < e_n$), 则两周期生产产品带来的污染量为

$$E = (q_1 + q_2)e_n + q_r e_r. \quad (11)$$

对比不同情形下的污染物排放量有以下推论.

推论5 1) 当 $e_r < \delta e_n$ 时,企业再制造能降低环境污染,且 $E^{T*} < E^{O*}$; 2) 当再制造生产受回收产品约束时, s 越高,再制造带来的环境污染总量越高.

证明 1) 比较没有再制造情形、情形O-2、情形T-2三者的关系,有

$$E^{O*} - E^{N*} = \frac{(b + \Delta + c(-1 + \delta))(\delta e_n - e_r)}{2(-1 + \delta)\delta},$$

$$E^{T*} - E^{N*} = \frac{2(b + \Delta + c(-1 + \delta))(\delta e_n - e_r)}{3(-1 + \delta)\delta},$$

$$E^{O*} - E^{T*} = \frac{(b + \Delta + c(-1 + \delta))(\delta e_n - e_r)}{6(1 - \delta)\delta}.$$

因为 $(s + c(-1 + \delta)) > 0, \delta < 1$, 所以, 当 $e_r < \delta e_n$ 时, $E^{N*} > E^{O*} > E^{T*}$.

2) 当 $s > s_2$ 时, $\frac{\partial E^{O*}}{\partial(\Delta + b)} > 0$. 令 $E^{O*} - E^{N*} = 0$, 有 $e_r^{O*} < \delta e_n$. □

推论5说明,当单位再制品排污量满足一定条件时,再制造能降低企业生产的环境污染. 同时也说明,再制造单位排污量越高,再制造的补贴应越低,这样才能保证企业再制造是有助于减少环境污染的.

3 结论

本文针对双寡头竞争市场,构建了一个企业再制造和两个企业再制造的两周期产量决策模型,研究了再制造对双寡头竞争市场的产品供应、产品价格、企业利润以及对消费者福利、环境污染的影响. 研究表明: 1) 再制造生产成本的节约与再制造补贴之和对企业再制造有重大影响. 2) 两个企业都实施再制造且再制造成本相同时,企业再制造会形成新产品双寡头和再制品双寡头的竞争市场. 3) 再制造不改变第2周期新产品的价格; 当只有一方企业具备再制造条件,且再制造节约总成本优势极为明显($s > s_3$)时,

再制造企业会在第1周期扩大生产,并将竞争对手挤出市场. 4) 再制造能增加消费者剩余,且再制造竞争能带来更大的消费者剩余; 当单位再制品排污量满足一定条件时,再制造能降低企业生产的环境污染,且再制造竞争更有助于环境污染总量的减少.

本文的研究结论对双寡头市场企业实施再制造策略和相关政府部分制定再制造补贴政策有一定的参考意义. 处于竞争市场的两个企业,面对政府的再制造鼓励政策,如果具备再制造技术条件,则都应实施再制造战略,避免市场份额和更多利润被竞争对手获取; 当两企业都具备再制造条件但再制造生产成本不同时,政府可以给再制造生产成本较高的企业更高的补贴,刺激再制造市场的竞争,避免出现企业完全垄断的情形. 另外,政府在制定再制造补贴政策时,还需考虑再制造污染物排放量对环境的影响,再制造单位排污量越高,再制造的补贴应越低. 然而,本文的研究只考虑了两周期决策,多周期和无限周期决策有待进一步研究. 此外,本文假定消费者对再制品的感知价值低于新产品,未来可考虑存在对再制品和新产品感知价值无差异的环保消费者的情况下的决策问题.

参考文献(References)

- [1] Ferrera G, Swaminathan J M. Managing new and differentiated remanufactured products[J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 203(2): 370-379.
- [2] Chen J M, Chang Chia-i. Dynamic pricing for new and remanufactured products in a closed-loop supply chain[J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 146(1): 153-160.
- [3] Zhang F, Zhang P. Trade-in remanufacturing, strategic customer behavior, and government subsidies[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2015: 1-170.
- [4] 申成霖, 张新鑫. 考虑消费者策略行为的再制造模式及动态定价决策[J]. *系统工程*, 2016, 34(6): 38-42. (Shen C L, Zhang X X. Remanufacturing mode and dynamic pricing decisions considering strategic consumer behavior[J]. *Systems Engineering*, 2016, 34(6): 38-42.)
- [5] Chen J M, Chang Chia-i. The co-opetitive strategy of a closed-loop supply chain with remanufacturing[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2012, 48(2): 387-400.
- [6] Ma Z J, Zhou Q, Dai Y, et al. To license or not to license remanufacturing business?[J]. *Sustainability*, 2018, 10(2): 347-368.
- [7] Vishal V Agrawal, Atalay Atasu, Koert van

- Ittersum. Remanufacturing, third-party competition, and consumers' perceived value of new products[J]. *Management Science*, 2015, 61(1): 60-72.
- [8] 孙浩, 叶俊, 胡劲松, 等. 不同决策模式下制造商与再制造商的博弈策略研究[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(1): 160-169.
(Sun H, Ye J, Hu J S, et al. Research on the game strategies for the oem and the remanufacturer under different decision structures[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(1): 160-169.)
- [9] Li Z, Zheng W, Meng Q F, et al. The impact of government subsidy and tax policy on the competitive decision-making of remanufacturing supply chains[J]. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2019, 12(1): 18-29.
- [10] Li Z, Zhang J, Meng Q, et al. Influence of government subsidy on remanufacturing decision under different market models[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019(2): 1-16.
- [11] 伍颖, 熊中楷. 制造商与在位再制造商的再制造生产决策研究[J]. *系统工程学报*, 2015, 30(4): 554-565.
(Wu Y, Xiong Z K. Remanufacturing production decision of the original equipment manufacturer and the existing remanufacturer[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2015, 30(4): 554-565.)
- [12] 孟丽君, 黄祖庆, 张宝友, 等. 基于OEM与IR竞争的产品差异定价研究[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(11): 111-121.
(Meng L J, Huang Z Q, Zhang B Y, et al. Optimal pricing for new and remanufactured products based on the competition between OEM and IR[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(11): 111-121.)
- [13] Atasu A, Sarvary M, Van Wassenhove L N. Remanufacturing as a marketing strategy[J]. *Management Science*, 2008, 54(10): 1731-1746.
- [14] Mitra S. Models to explore remanufacturing as a competitive strategy under duopoly[J]. *Omega*, 2016, 59(59): 215-227.
- [15] 郭军华, 李帮义, 倪明. 双寡头再制造进入决策的演化博弈分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(2): 370-377.
(Guo J H, Li B Y, Ni M. Evolutionary game analysis of duopoly's remanufacturing entry decision[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2013, 33(2): 370-377.)
- [16] 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.
- [17] Wang Y, Hazen B T. Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products[J]. *International Journal of Production Economics*, 2016, 181(181): 460-469.
- [18] Yan W, Xiong Y, Xiong Z K, et al. Bricks vs. clicks: Which is better for marketing remanufactured products?[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 242(2): 434-444.
- [19] 黄永, 孙浩, 达庆利. 制造商竞争环境下基于产品生命周期的闭环供应链的定价和生产策略研究[J]. *中国管理科学*, 2013, 21(3): 96-103.
(Huang Y, Sun H, Da Q L. Research on pricing and producing policy of closed-loop supply chain based on product life-cycle in manufacturer competing settings[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2013, 21(3): 96-103.)
- [20] 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.

作者简介

黄福玲(1986—), 女, 博士生, 从事再制造、绿色供应链管理的研究, E-mail: fumao723519@163.com;

黄晓慧(1992—), 女, 博士生, 从事供应链管理的研究, E-mail: 2443203018@qq.com;

何娟(1975—), 女, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理和供应链金融等研究, E-mail: hejunlin93@163.com.

(责任编辑: 闫妍)