

文章编号: 1001-0920(2016)07-1237-10

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2015.0311

考虑低碳消费者行为和专利保护的再制造产品定价决策

许民利, 莫珍连, 简惠云, 马本江

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘要: 考虑人们对再制造产品的偏好及专利保护, 建立基于不同消费者群体支付意愿的需求模型, 研究新产品和再制造品的定价决策. 结果表明: 低碳消费者比例和普通消费者对再制造品的接受程度同时影响定价决策; 无论是否存在专利保护, 低碳消费者比例始终影响再制造商的定价策略, 而原制造商的定价策略只有在普通消费者对再制造品的接受程度较低时, 低碳消费者比例才会影响其定价策略; 在有专利保护时, 再制造商倾向于高价策略.

关键词: 低碳消费者; 专利保护; 再制造产品; 定价决策

中图分类号: F203; F224.32

文献标志码: A

Pricing decision of remanufactured product considering behavior of low-carbon consumers and patent protection

XU Min-li, MO Zhen-lian, JIAN Hui-yun, MA Ben-jiang

(Business School, Central South University, Changsha 410083, China. Correspondent: XU Min-li, E-mail: XU_minli@163.com)

Abstract: Considering people's different preferences for the remanufactured product and patent protection, the demand model based on different consumer group's willingness to pay is built. The pricing strategies of new and remanufactured products are discussed. The results show that the proportion of low-carbon consumers and ordinary consumers' acceptance for remanufactured products affect the original manufacturer and remanufacturer's pricing strategy. Whether there is a patent protection, the proportion of low-carbon consumer always affects the remanufacturer's pricing strategy. Only when ordinary consumers' acceptance for remanufactured products is low, the proportion of low-carbon consumer affects the original manufacturer's pricing strategy. Under the condition of patent protection, the remanufacturer is more inclined to adopt high pricing strategy.

Keywords: low-carbon consumers; patent protection; remanufactured product; pricing decision

0 引言

随着人们环保意识增强, 更多消费者选择资源消耗少、环境污染小的产品. 为了响应政府政策以及满足消费者需求, 越来越多的企业进入再制造行业. 相关研究表明, 再制造能减少资源消耗, 节约40%~65%的生产成本^[1], 为企业带来更大的利润空间, 由此再制造供应链便成为研究的热点.

已有文献对再制造进行了研究^[2-3]. 文献[4]认为新产品与再制品无差异, 应统一定价, 并研究了单一垄断制造商和双寡头(OEM和IO)垄断环境下不同阶段产品的定价问题; 文献[5]探讨了两阶段闭环供应链中新产品与再制品的动态差异定价问题; 文

献[6]认为减小产品间互换性可降低新产品与再制造商的竞争强度; 文献[7]在两个制造商和一个零售商的闭环供应链中, 分析了非合作、渠道合作、共同合作3种情况下新产品和再制品的定价和供应链协调问题; 文献[8]研究了以制造商为主导的两阶段闭环供应链, 比较了第3方回收和零售商回收的总效益, 结果表明, 零售商回收能给制造商带来更大收益; 文献[9]研究了在OEM和IO同时回收再制品时的产量和回收价格决策. 以上研究考虑了新产品和再制品的差异化定价问题, 但没有考虑消费者支付意愿. 对此, 部分学者考虑了消费者支付意愿或者专利保护对再制造供应链的影响. 文献[10]考虑了市场上

收稿日期: 2015-03-13; 修回日期: 2015-06-12.

基金项目: 国家社会科学基金项目(14BGL196); 国家社会科学基金重大项目(14ZDB136); 国家自然科学基金项目(71372061); 湖南省自然科学基金项目(2015JJ2177).

作者简介: 许民利(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理研究; 莫珍连(1990—), 女, 硕士, 从事供应链管理的研究.

存在异质消费者,在对新产品和再制品存在不同支付意愿的情形下,研究了新产品和再制品的定价策略;文献[11]探讨了在二手产品、翻新产品和新产品并存的IT市场中,OEM通过向消费者收取费用,激励或者阻碍IT行业二手市场的发展;文献[12]运用消费者效用模型,研究了二手市场条件下耐用品垄断商回购并进行再制造的两周期动态决策问题;文献[13]分析了专利保护下政府补贴再制造的政策,论证了原制造商可通过专利保护分享再制造商利润和政府补贴;文献[14]研究了专利保护下的再制造供应链协调机制和再制造模式.这些文献没有将消费者支付意愿与专利保护结合在一起.

近年来,人们的环保意识逐步增强,低碳消费者的比例越来越大,其购买行为越来越受到重视.一些学者从实证的角度考虑消费者环保意识对其行为因素的影响,以及再制品质量对消费者支付意愿的影响^[15-16].文献[17]研究了消费者环保意识对制造商产品质量设计策略的影响;文献[18]认为再制造可作为制造商的一种市场竞争策略,它虽然考虑了低碳消费者的行为,但认为低碳消费者比例较小,没有深入探讨;文献[19]考虑了消费者的低碳偏好,研究了零售商的订货水平和供应商的碳减排问题,但没有从再制造的角度研究低碳消费者行为.

以上研究没有深入研究低碳消费者行为对再制造的影响,而低碳消费者比例正在逐渐增大,其行为越来越值得研究;同时,专利保护对再制造产品定价有重要影响,虽然已有文献进行了这方面的研究,但没有结合低碳消费者行为和支付意愿.为此,本文基于低碳消费者行为,同时考虑专利保护和消费者支付意愿,研究再制造产品定价策略.本文的创新之处在于考虑了低碳消费者行为,根据低碳消费者和普通消费者对再制品的不同支付意愿建立需求模型,同时考虑专利保护,研究再制造产品的定价问题.

1 问题描述和基本假设

设原制造商生产新成品,再制造商回收旧产品进行再制造,并将产品出售给消费者,原制造商与再制造商通过产品定价策略进行竞争.部分再制造商要先得到原制造商的授权许可才能进行再制造,否则原制造商将对再制造商提起法律诉讼.如历时43个月历经3审的Canon公司诉Recycle Assist进口、销售的再生墨盒侵犯其专利权,最终以Canon公司胜诉而尘埃落定^[20].2014年,佳能又起诉韩国感光鼓制造商AlphaChem侵犯其专利权,法院判定AlphaChem不能再制造或销售侵权的感光鼓.因此,出于对专利的保护,本文采用单位费用专利许可模式^[15-16];再制造商每出售一个再制品,需支付给原

制造商单位专利费用 h .然而,由于我国专利保护法律还不完善,同时部分原制造商主导地位不强,导致其在不收取专利费用时,也不阻止再制造商进行再制品的生产.因此,本文不仅研究有专利保护下的再制品定价策略,同时也研究无专利保护下的再制品定价策略.

假设新产品和再制品质量相同,新产品的价格为 p_n ,单位生产成本为 c_n ,再制品的价格为 p_r ,单位生产成本为 c_r , $p_n > p_r, c_n > c_r$.市场上的消费者是异质的,支付意愿(WTP)为 θ .其中: $\theta \sim U(0, 1)$,密度函数为 $f(\theta)$.为了方便计算,假设市场规模标准化为1.市场上存在以下两种类型的消费者.

类型1:普通消费者,所占比例为 $1 - \beta, 0 < \beta < 1$,对再制品的接受程度为 $\sigma, 0 < \sigma < 1$,对新产品和再制品的估价分别为 θ 和 $\sigma\theta$;

类型2:低碳消费者,所占比例为 β ,此类消费者更加关注产品的低碳属性.

与新产品相比,再制品可节材70%,几乎不产生固体废物,大气污染物排放量降低80%以上.再制造技术日渐成熟,产品质量与新产品相当.普通消费者不关注低碳属性,对再制品的接受程度较低,对再制品的估价始终低于新产品.相比之下,低碳消费者由于受教育程度较高,环保意识较强,更加重视产品的低碳属性和其本身的功能质量,在其心中,新产品与再制品质量功能无差异,对新产品和再制品估价同为 θ ^[18].由于估价相同,而新产品的价格高于再制品,低碳消费者选择购买再制品.

2 基于消费者支付意愿的需求模型分析

普通消费者购买新产品的效用函数为 $U_n^1 = \theta - p_n$,购买再制品的效用函数为 $U_r^1 = \sigma\theta - p_r$;低碳消费者购买再制品的效用函数为 $U_r^2 = \theta - p_r$.具体可分为以下两种情形.

情形1:当 $\sigma p_n > p_r$ 时,普通消费者的效用函数满足

$$U_n^1 = \theta - p_n \geq U_r^1 = \sigma\theta - p_r,$$

且 $U_n^1 = \theta - p_n \geq 0$,即

$$\theta \geq \max \left\{ p_n, \frac{p_n - p_r}{1 - \sigma} \right\} = \frac{p_n - p_r}{1 - \sigma},$$

故当普通消费者的支付意愿为 $\theta \in \left(\frac{p_n - p_r}{1 - \sigma}, 1 \right)$ 时,购买新产品,其新产品的需求为

$$D_n^1 = (1 - \beta) \int_{\frac{p_n - p_r}{1 - \sigma}}^1 f(\theta) d\theta = (1 - \beta) \left(1 - \frac{p_n - p_r}{1 - \sigma} \right).$$

当普通消费者的效用函数满足

$$U_r^1 = \sigma\theta - p_r \geq U_n^1 = \theta - p_n,$$

且 $U_r^1 = \sigma\theta - p_r \geq 0$,即 $\theta \in \left(\frac{p_n - p_r}{1 - \sigma}, \frac{p_r}{\sigma} \right)$ 时,购买再

制造品, 其再制品的需求为

$$D_r^1 = (1 - \beta) \int_{\frac{p_n - p_r}{\sigma}}^{\frac{p_n - p_r}{1 - \sigma}} f(\theta) d\theta = (1 - \beta) \left(\frac{\sigma p_n - p_r}{\sigma(1 - \sigma)} \right).$$

当低碳消费者的效用函数满足 $U_r^2 = \theta - p_r \geq 0$, 即 $\theta \in (p_r, 1)$ 时, 购买再制造品, 此时低碳消费者对再制造品的需求为

$$D_r^2 = \beta \int_{p_r}^1 f(\theta) d\theta = (1 - p_r)\beta.$$

因此新产品的总需求为

$$D_n = D_n^1 = (1 - \beta) \left(1 - \frac{p_n - p_r}{1 - \sigma} \right),$$

再制造品的总需求为

$$D_r = D_r^1 + D_r^2 = (1 - \beta) \left(\frac{\sigma p_n - p_r}{\sigma(1 - \sigma)} \right) + (1 - p_r)\beta.$$

情形 2: 当 $\sigma p_n < p_r$ 时, $U_n^1 > U_r^1$, 此时 $U_n^1 = \theta - p_n \geq 0$, 普通消费者购买新产品, 其总需求为

$$D_n = (1 - \beta)(1 - P_n),$$

再制品的需求来源于低碳消费者的购买, 其总需求为

$$D_r = (1 - p_r)\beta.$$

3 考虑专利费用的再制造产品定价策略

3.1 模型 N —— 无专利保护下再制造产品定价策略

在模型 N 中, 由于无专利保护, 原制造商和第三方再制造商处于平等地位, 进行 Bertrand 博弈. 双方风险中性, 均以期望利润最大化为目标决策. 具体可分为以下两种情形.

情形 1: 当 $\sigma p_n \geq p_r$ 时, 两者的利润函数为

$$\begin{aligned} \max_{p_r} \Pi_T^{1N} &= (p_r - c_r)D_r = \\ &(p_r - c_r) \left((1 - \beta) \left(\frac{\sigma p_n - p_r}{\sigma(1 - \sigma)} \right) + (1 - p_r)\beta \right), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \max_{p_n} \Pi_M^{1N} &= (P_n - c_n)D_n = \\ &(P_n - c_n)(1 - \beta) \left(1 - \frac{p_n - p_r}{1 - \sigma} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

命题 1 当 $\sigma p_n > p_r$ 时, 在无专利保护情形下, 得到最优价格和最优产量为

$$\begin{aligned} p_n^{1N} &= \frac{(-2\sigma^3 + \sigma(2c_n + c_r + 5)(\sigma - 1))\beta}{(4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4} + \\ &\frac{(2c_n + c_r + 2)(\beta - 1) + 2\sigma}{(4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4}; \\ p_r^{1N} &= \frac{(1 + (2c_r + 1)\beta)\sigma^2 + (c_n - 2c_r - 1)\sigma}{(4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4} + \\ &\frac{2c_r(\beta - 1)}{(4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_n^{1N} &= \\ &\frac{\beta(1 - \beta)(2\sigma^3 + (2c_n - c_r - 5)\sigma^2)}{((4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4)(\sigma - 1)} + \\ &\frac{\beta(1 - \beta)((5 + c_r - 3c_n)\sigma - c_r - 2 + 2c_n)}{((4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4)(\sigma - 1)} + \\ &\frac{(1 - \beta)((c_n - 2)\sigma + 2 - 2c_n)}{((4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4)(\sigma - 1)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_r^{1N} &= \\ &\frac{\sigma^2((2c_r - 1)\beta - 1)(\sigma^2\beta - \sigma\beta + \beta - 1)}{((4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4)(\sigma - 1)\sigma} - \\ &\frac{\sigma(\sigma^2\beta - \sigma\beta + \beta - 1)((1 - 3c_r - c_n)\beta + c_n)}{((4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4)(\sigma - 1)\sigma} - \\ &\frac{(c_r(\beta - 1 + \sigma) + \sigma)(\sigma^2\beta - \sigma\beta + \beta - 1)}{((4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4)(\sigma - 1)\sigma}. \end{aligned}$$

证明 当 $\sigma p_n \geq p_r$ 时, 令

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_T^{1N}}{\partial p_r} &= \beta(1 - p_r) + \frac{(1 - \beta)(\sigma p_n - p_r)}{(1 - \sigma)\sigma} - \\ &(p_r - c_r) \left(\beta + \frac{(1 - \beta)}{(1 - \sigma)\sigma} \right) = 0, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \Pi_M^{1N}}{\partial p_n} = \frac{(1 - \beta)(1 - \sigma - 2p_n + p_r + c_n)}{(1 - \sigma)} = 0,$$

求解得到 p_n^{1N} 和 p_r^{1N} . 因为

$$\frac{\partial^2 \Pi_T^{1N}}{\partial p_r^2} = -\frac{2(1 - \beta + \sigma\beta(1 - \sigma))}{(1 - \sigma)\sigma} < 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_M^{1N}}{\partial p_n^2} = -\frac{2(1 - \beta)}{1 - \sigma} < 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_T^{1N}}{\partial p_r \partial p_n} = \frac{\partial^2 \Pi_M^{1N}}{\partial p_n \partial p_r} = \frac{1 - \beta}{1 - \sigma},$$

海塞矩阵

$$|H| = \frac{(1 - \beta)((4 - \sigma)(1 - \beta) + 4\sigma\beta(1 - \sigma))}{(1 - \sigma)^2\sigma} > 0,$$

所以 p_n^{1N} 和 p_r^{1N} 是原制造商和再制造商利润最大的唯一解. \square

命题 1 表明, 新产品和再制造品的价格和最优产量都与低碳消费者的比例、普通消费者对再制造品的接受程度以及两种产品的成本相关. 通过对参数敏感性分析可以得到以下推论.

推论 1 p_n^{1N} 和 p_r^{1N} 在区间 $\sigma \in (0, 1)$ 上是 β 的单调递增函数.

证明 因为

$$\frac{\partial p_n^{1N}}{\partial \beta} = \frac{2\sigma(1 - \sigma) \left(2 + \sigma^2 - \left(c_n + \frac{1}{2}c_r + \frac{3}{2} \right) \sigma \right)}{((4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4)^2},$$

$$\frac{\partial p_r^{1N}}{\partial \beta} = \frac{4\sigma(1 - \sigma) \left(2 + \sigma^2 - \left(c_n + \frac{1}{2}c_r + \frac{3}{2} \right) \sigma \right)}{((4\sigma^2 - 5\sigma + 4)\beta + \sigma - 4)^2},$$

所以只需要判断

$$\varphi(\sigma) = \sigma^2 - \left(c_n + \frac{1}{2}c_r + \frac{3}{2} \right) \sigma + 2$$

的正负即可. 令 $A = c_n + \frac{1}{2}c_r + \frac{3}{2}$, 则有 $\varphi(\sigma) = \sigma^2 + A\sigma + 2 = 0$, 其中 $\Delta = A^2 - 8$. 因为 $0 < c_r < c_n < 1$, 不考虑 $A = c_n + \frac{1}{2}c_r + \frac{3}{2} \geq 2\sqrt{2}$ 的情况, 当 $A = c_n + \frac{1}{2}c_r + \frac{3}{2} < 2\sqrt{2}$, $\Delta < 0$ 时, 在 $\sigma \in (0, 1)$ 内 $\varphi(\sigma) > 0$, 从而可得 $\partial p_n^{1N} / \partial \beta > 0$, $\partial p_r^{1N} / \partial \beta > 0$. \square

推论 1 表明, 在无专利保护的情形下, 新产品和再制造品的价格随着低碳消费者的比例增大而增大, 原因是低碳消费者的比例增大, 再制造商通过提高再

制造品的价格获取更多的利润,当再制造品价格提高时,原本购买再制造品的普通消费者转而购买新产品,但是当原制造商同时提高新产品的价格时,具有较低支付意愿的普通消费者继续选择购买再制造品,此时原制造商和再制造商都能通过提高价格来获取更多利润.

推论 2 1) 当 $\beta \leq \frac{4c_n + 2c_r - 3}{3}$, 且 $\sigma \in (0, 1)$ 时, p_r^{1N} 为 σ 的单调递增函数.

2) 当 $\beta > \frac{4c_n + 2c_r - 3}{3}$, 且 $\sigma < \sigma_2^*$ 时, p_r^{1N} 为 σ 的单调递增函数; $\sigma > \sigma_2^*$ 时, p_r^{1N} 为 σ 的单调递减函数.

3) 若低碳消费者比例较大, 则当 $0 < \sigma < \sigma_3^*$ 时, p_n^{1N} 为 σ 的单调递增函数; 当 $\sigma_3^* < \sigma < 1$ 时, p_n^{1N} 为 σ 的单调递减函数.

4) 若低碳消费者的比例较小, 则当 $\sigma \in (0, 1)$ 时, p_n^{1N} 为 σ 的单调递减函数.

证明 由于

$$\begin{aligned} \partial p_r^{1N} / \partial \sigma = & \frac{(\beta - \beta^2)((4c_n + 2c_r + 1)\sigma^2 - 8\sigma + 4 - 4c_n - 2c_r)}{(4\sigma^2\beta - 5\sigma\beta + \sigma + 4\sigma - 4)^2} + \\ & \frac{(1 - \beta)(4c_n + 2c_r + \sigma^2 - 8\sigma + 4)}{(4\sigma^2\beta - 5\sigma\beta + \sigma + 4\sigma - 4)^2}, \end{aligned}$$

令

$$g(\sigma) = \beta(4c_n + 2c_r + 1)\sigma^2 - \beta(8\sigma + 4 - 4c_n - 2c_r) + 4c_n + 2c_r + \sigma^2 - 8\sigma + 4,$$

则只需证明 $g(\sigma) = 0$ 在 $0 < \sigma < 1$ 时是否有解. 由

$$\partial^2 g(\sigma) / \partial \sigma^2 = 2 + 2(4c_n + 2c_r + 1)\beta > 0$$

可得

$$\partial g(\sigma) / \partial \sigma = -8\beta - 8 + \sigma(2 + 2(4c_n + 2c_r + 1)\beta),$$

在 $\sigma \in (0, 1)$ 内为增函数. 因为

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial g(\sigma)}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} &= -8(\beta + 1) < 0, \\ \left. \frac{\partial g(\sigma)}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=1} &= 4 \left(\left(2c_n + c_r - \frac{3}{2} \right) \beta - \frac{3}{2} \right) < 0, \end{aligned}$$

所以有

$$\partial g(\sigma) / \partial \sigma < 0, 0 < \sigma < 1,$$

由此得到 $g(\sigma)$ 在 $\sigma \in (0, 1)$ 内单调递减, 有

$$g(0) = 4(1 + \beta) + (4c_n + 2c_r)(1 - \beta) + 4 > 0,$$

$$g(1) = (4c_n + 2c_r) - 3(1 + \beta).$$

当 $\beta < \frac{4c_n + 2c_r - 3}{3}$ 时, $g(1) > 0$, 当 $0 < \sigma < 1$ 时, $g(\sigma) > 0$, 由此推论 1) 得证; 当 $\frac{4c_n + 2c_r - 3}{3} \leq \beta < 1$ 时, $g(1) < 0$, $g(\sigma) = 0$ 在 $0 < \sigma < 1$ 有唯一解, 由此推论 2) 得证.

由于 $\partial p_n^{1N} / \partial \sigma$ 的解析式较复杂, 难以判断正负,

下文的推论 3) 和推论 4) 将通过数值分析进行说明. 分别选取以下 4 组数据: $\beta = 0.2, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\beta = 0.2, c_n = 0.05, c_r = 0.02$; $\beta = 0.8, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\beta = 0.8, c_n = 0.05, c_r = 0.02$. 运用 Matlab 对 $\partial p_n^{1N} / \partial \sigma$ 进行仿真分析, 结果如图 1 所示. 图 1 中: 纵坐标表示在无专利保护时, 在情形 1 下, 新产品的价格对参数 σ 求导的值; 横坐标表示普通消费者对再制造品的接受程度.

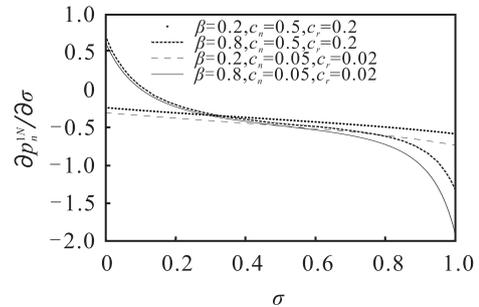


图 1 $\partial p_n^{1N} / \partial \sigma$ 随 σ 变化的取值

由图 1 可知: 当低碳消费者比例较大 ($\beta = 0.8$) 时, 存在临界值 σ_3^* 使 $\partial p_n^{1N} / \partial \sigma = 0$, 得到的 σ_3^* 很小; 当 $0 < \sigma \leq \sigma_3^*$ 时, 有 $\partial p_n^{1N} / \partial \sigma > 0$, 当 $\sigma_3^* < \sigma < 1$ 时, 有 $\partial p_n^{1N} / \partial \sigma < 0$, 由此推论 3) 得证. 反之, $\partial p_n^{1N} / \partial \sigma = 0$ 无解, 在 $\sigma \in (0, 1)$ 内, $\partial p_n^{1N} / \partial \sigma < 0$, 由此推论 4) 得证. \square

推论 2 表明, 在无专利保护下有以下结论成立:

1) 在低碳消费者比例较小 ($\beta < (4c_n + 2c_r - 3)/3$) 时, 再制造品价格始终随 σ 的增大而增大, 此时当普通消费者对再制造品接受程度增大时, 再制造商希望通过提高再制造品的价格来获取更多利润. 2) 在低碳消费者比例较大 ($\beta > (4c_n + 2c_r - 3)/3$), 普通消费者对再制造品的接受程度较低 ($\sigma < \sigma_2^*$) 时, 再制造品的价格随着 σ 的增大而增大; 在普通消费者对再制造品的接受程度较高 ($\sigma > \sigma_2^*$) 时, 再制造品的价格随着 σ 的增大而减小, 此时再制造商通过降低价格吸引更多支付意愿低的普通消费者, 通过增加再制造品的销售量获取更多利润. 3) 若低碳消费者的比例较大, 则在 $\sigma < \sigma_3^*$ 时, 新产品的价格随着普通消费者对再制造品的接受程度的增大而增大; 在 $\sigma > \sigma_3^*$ 时, 新产品价格随普通消费者对再制造品的接受程度的增大而减小. 4) 若低碳消费者的比例较小, 则新产品的价格始终随普通消费者对再制造品的接受程度的增大而减小, 此时普通消费者的比例较大, 原制造商通过提高新产品价格来获取更多利润.

情形 2: 当 $\sigma p_n < p_r$ 时, 再制造商和原厂商的利润函数分别为

$$\max_{p_r} \Pi_r^{1N} = (p_r - c_r)D_r = (p_r - c_r)(1 - p_r)\beta, \quad (3)$$

$$\max_{p_n} \Pi_M^{2N} = (p_n - c_n)D_n = (p_n - c_n)(1 - \beta)(1 - p_n). \quad (4)$$

命题 2 当 $\sigma p_n < p_r$ 时, 最优价格和最优产量分别为

$$p_n^{2N} = \frac{c_n + 1}{2}, \quad p_r^{2N} = \frac{c_r + 1}{2},$$

$$D_r^{2N} = \frac{(1 - c_r)\beta}{2}, \quad D_n^{2N} = \frac{(1 - c_n)(1 - \beta)}{2}.$$

将 p_n^{2N} 、 p_r^{2N} 、 D_r^{2N} 和 D_n^{2N} 代入式 (3) 和 (4), 可得 Π_T^{2N} 和 Π_M^{2N} .

证明 当 $\sigma p_n < p_r$ 时, 令

$$\frac{\partial \Pi_M^{2N}}{\partial p_n} = (1 - \beta)(1 - 2p_n + c_n) = 0,$$

$$\frac{\partial \Pi_T^{2N}}{\partial p_r} = (1 - p_r)\beta - (p_r - c_r)\beta = 0,$$

可得 p_n^{2N} 和 p_r^{2N} . 因为

$$\frac{\partial^2 \Pi_M^{2N}}{\partial p_n^2} = 2(\beta - 1) < 0, \quad \frac{\partial^2 \Pi_T^{2N}}{\partial p_r^2} = -2\beta < 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_T^{1N}}{\partial p_r \partial p_n} = \frac{\partial^2 \Pi_M^{1N}}{\partial p_n \partial p_r} = 0,$$

海塞矩阵为正, 所以 p_n^{2N} 和 p_r^{2N} 为原制造商和再制造商利润达到最大值的唯一解, 将 p_n^{2N} 和 p_r^{2N} 代入需求函数可得 D_n^{2N} 和 D_r^{2N} . □

命题 2 表明, 当再制造商实行高价策略时, 由于普通消费者购买新产品获得的效用始终大于购买再制造品的效用, 不会考虑购买再制造品, 此时新产品和再制造品的定价只与各自成本有关, 与低碳消费者比例无关, 低碳消费者的比例会影响新产品和再制造品的产量.

推论 3 存在临界值 β^{1N*} 使得 $\Pi_T^{1N} = \Pi_T^{2N}$, 当 $0 < \beta \leq \beta^{1N*}$ 时, $\Pi_T^{1N} > \Pi_T^{2N}$, 再制造商实行低价定价策略 $p_r = p_r^{1N}$; 当 $\beta^{1N*} < \beta < 1$ 时, $\Pi_T^{1N} < \Pi_T^{2N}$, 再制造实行高价定价策略 $p_r = p_r^{2N}$.

由于得到的 β^{1N*} 很复杂, 推论 3 采用数值分析进行说明. 分别选取以下 4 组数据: $\sigma = 0.8, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\sigma = 0.2, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\sigma = 0.8, c_n = 0.05, c_r = 0.02$; $\sigma = 0.2, c_n = 0.05, c_r = 0.02$. 运用 Matlab 进行仿真分析, 如图 2 所示. 图 2 中: 纵坐标表示在无专利保护时, 再制造商在情形 1 下与在情形 2 下的利润差, 横坐标表示低碳消费者比例, 存在 β^{1N*} 使得 $\Pi_T^{1N} = \Pi_T^{2N}$, 当成本不变时, β^{1N*} 随着 σ 的增大而增大.

推论 3 表明: 第 3 方再制造商应根据低碳消费者比例来实行不同的定价策略, 当低碳消费者的比例较小 ($\beta \leq \beta^{1N*}$) 时, 再制造商实行低价定价策略吸引支付意愿低的普通消费者; 但是, 当低碳消费者比例足够大 ($\beta > \beta^{1N*}$) 时, 再制造商实行高价策略, 利润全部来自低碳消费者, 原因是来源于低碳消费者的利润

足以弥补因实行高价策略所失去的普通消费者带来的损失. 由图 2 可知, 在成本不变时, 临界值 β^{1N*} 随着 σ 的增大而增大, 普通消费者对再制造品的接受程度越大, 再制造商越愿意实行低价策略来吸引对再制造品接受程度大的普通消费者.

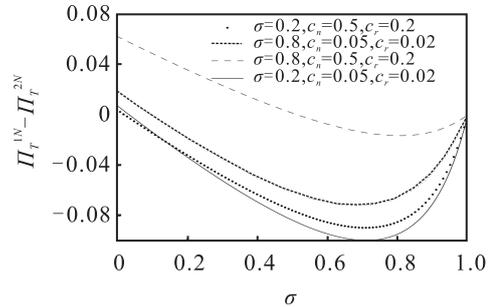


图 2 不同低碳消费者比例下 Π_T^{1N} 与 Π_T^{2N} 的大小比较

推论 4 1) 当新产品与再制造品的成本较高, 且普通消费者对再制造品的接受程度较低时, 若 $\beta \leq \beta^{2N*}$, $\Pi_M^{1N} > \Pi_M^{2N}$, 则原制造商对新产品实行高价定价策略 $p_n = p_n^{1N}$; 若 $\beta > \beta^{2N*}$, $\Pi_M^{1N} < \Pi_M^{2N}$, 则原制造商对新产品实行低价定价策略 $p_n = p_n^{2N}$.

2) 当新产品与再制造品的成本比较低, 或普通消费者对再制造品的接受程度较高时, 若在 $\beta \in (0, 1)$ 内有 $\Pi_M^{1N} < \Pi_M^{2N}$, 则原制造商对新产品始终采取低价定价策略 $p_n = p_n^{2N}$.

$\Pi_M^{1N} - \Pi_M^{2N} = 0$ 求解的结果很复杂, 在此只通过数值分析进行说明. 分别选取以下 4 组数据: $\sigma = 0.2, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\sigma = 0.8, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\sigma = 0.8, c_n = 0.05, c_r = 0.02$; $\sigma = 0.2, c_n = 0.05, c_r = 0.02$. 用 Matlab 进行仿真, 如图 3 所示. 图 3 中: 纵坐标表示在无专利保护时, 原制造商在情形 1 和情形 2 下的利润差, 横坐标表示低碳消费者比例. 由图 3 可知, 在 $\sigma = 0.2, c_n = 0.5, c_r = 0.2$ 情况下存在临界值 β^{2N*} 使得 $\Pi_M^{1N} = \Pi_M^{2N}$, 其余情况不存在临界值 β^{2N*} .

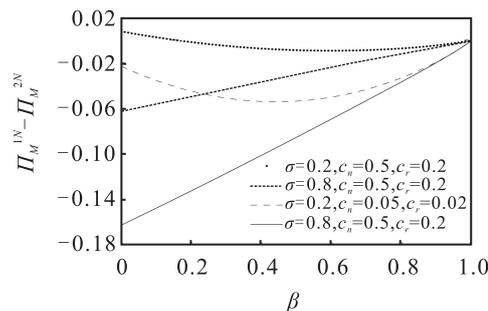


图 3 不同低碳消费者比例下 Π_M^{1N} 与 Π_M^{2N} 的大小比较

推论 4 表明, 只有在新产品和再制造品成本较高, 且普通消费者对再制造品的接受程度较低时 (如图 3 中 $\sigma = 0.2, c_n = 0.5, c_r = 0.2$ 的曲线所示), 低碳消费者比例会影响原制造商对新产品的定价策略. 当

低碳消费者比例较低时,对新产品实行高价策略,一部分支付意愿低的普通消费者购买再制品.由于低碳消费者的比例低,市场对于再制品的需求总量较少,原制造商实行高价策略获得的利润足以弥补失去部分普通消费者带来的损失.当低碳消费者比例较高时,普通消费者比例相应减少,原制造商对新产品实行低价策略,以吸引支付意愿低或者对再制品接受程度低的普通消费者.

3.2 模型 S —— 专利保护下再制造产品定价策略

在模型 S 中,第 3 方再制造商每出售一个再制品,需支付给原制造商专利费用为 h . 由于原制造商具有决定专利费用的权利,在专利保护下,原制造商属于领导者,第 3 方再制造商属于追随者. 双方进行两阶段 Stackelberg 博弈,第 1 阶段原制造商先确定新产品的价格 p_n 和专利费用 h ,第 2 阶段再制造商根据 p_n 和 h 确定再制品的价格 p_r . 设双方风险中性,均以期望利润最大化为目标进行决策. 具体可分为以下两种情形.

情形 1: 当 $\sigma p_n > p_r$ 时,双方的利润函数分别为

$$\max_{p_r} \Pi_T^{1S} = (p_r - c_r - h)D_r = (p_r - c_r - h) \left((1 - \beta) \left(\frac{\sigma p_n - p_r}{\sigma(1 - \sigma)} \right) + (1 - p_r) \beta \right), \quad (5)$$

$$\max_{p_n, h} \Pi_M^{1S} = (P_n - c_n)D_n + hD_r = (P_n - c_n)(1 - \beta) \left(1 - \frac{p_n - p_r}{1 - \sigma} \right) + h \left((1 - \beta) \left(\frac{\sigma p_n - p_r}{\sigma(1 - \delta)} \right) + (1 - p_r) \beta \right). \quad (6)$$

命题 3 当 $\sigma p_n > p_r$, 且有专利保护时, 最优价格和产量分别为

$$p_n^{1S} = \frac{(\sigma^2 \beta - \sigma \beta c_n - 2\sigma \beta + \beta c_n + \beta - c_n - 1)}{2(1 - \sigma \beta + \beta)},$$

$$h^{1S} = \frac{(\sigma \beta c_r - \beta c_r - \sigma + c_r)}{2(1 - \sigma \beta + \beta)},$$

$$p_r^{1S} = \frac{((1 + c_r)\sigma^2 + (c_n - c_r - 1)\sigma + c_r)(\sigma - 1)\beta^2}{4(1 - \sigma \beta + \beta)(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)} + \frac{((2c_n - 2c_r + 1)\sigma + 2c_r)\beta - (c_n + 2)\sigma - c_r}{4(1 - \sigma \beta + \beta)(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)} + \frac{(2\sigma^3 + (c_r - c_n - 1)\sigma^2)\beta}{4(1 - \sigma \beta + \beta)(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)},$$

$$D_n^{1S} = \frac{\beta(\beta - 1)((5 + c_r - 3c_n)\sigma - c_r - 2 + 2c_n)}{2(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)(\sigma - 1)} + \frac{\beta(\beta - 1)(2\sigma^3 - (c_r + 5 - 2c_n)\sigma^2)}{2(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)(\sigma - 1)} + \frac{(\beta - 1)((c_n - 2)\sigma + c_r + 2 - 2c_n)}{2(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)(\sigma - 1)},$$

$$D_r^{1S} = \frac{((c_r - 3)\sigma^2 + (c_n - c_r + 1)\sigma - 2c_n + c_r - 2)\beta^2}{4\sigma(1 - \sigma \beta + \beta)} + \frac{(2 - 4\beta)c_n + (2\beta - 1)c_r + 2 - 4\beta}{4\sigma(1 - \sigma)(1 - \sigma \beta + \beta)} + \frac{(\beta(4c_n - 2c_r + 1) + (2 - c_n)\sigma)}{4\sigma(1 - \sigma)(1 - \sigma \beta + \beta)} + \frac{2\beta\sigma^3 + \beta(c_r - c_n - 3)\sigma^2}{4\sigma(1 - \sigma)(1 - \sigma \beta + \beta)}.$$

将 p_n^{1S} 、 h^{1S} 和 p_r^{1S} 代入式 (1) 和 (2) 可得最优利润函数 Π_T^{1S} 和 Π_M^{1S} .

证明 首先令

$$\frac{\partial \Pi_T^{1S}}{\partial p_r} = \beta(1 - p_r) + \frac{(1 - \beta)(\sigma p_n - p_r)}{(1 - \sigma)\sigma} - (p_r - c_r - h) \left(\beta + \frac{(1 - \beta)}{(1 - \sigma)\sigma} \right) = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_T^{1S}}{\partial p_r^2} = \frac{2(\beta - 1)}{(1 - \sigma)\sigma} + \frac{2\sigma\beta(\sigma - 1)}{(1 - \sigma)\sigma} < 0,$$

有 $\partial \Pi_T^{1S} / \partial p_r = 0$, 故 p_r 为再制造商利润达到最大值的唯一解. 将 p_r 代入 Π_M^{1S} , 分别对 p_n 和 h 求一阶导数, 令一阶导数为零, 即

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_M^{1S}}{\partial p_n} &= \frac{\sigma^2 \beta (\beta - 1)}{(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)(\sigma - 1)} \left(\sigma + \left(2p_n - \frac{1}{2}c_r - h - \frac{5}{2} - c_n \right) \right) + \frac{\sigma \beta (\beta - 1)}{(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)(\sigma - 1)} \times \\ &\left(\frac{1}{2}c_r - 3c_n + h + \frac{3}{2}c_n + \frac{5}{2} \right) + (\beta - 1) \left(\left(p_n - \frac{1}{2}c_n - 1 \right) \sigma + \frac{1}{2}c_r - 2p_n + h + c_n + 1 \right) \\ &\frac{\beta(\beta - 1)}{(\sigma^2 \beta - \sigma \beta + \beta - 1)(\sigma - 1)} \cdot \frac{\left(2p_n - h - c_n - \frac{c_r}{2} - 1 \right)}{(\sigma - 1)} = 0, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \Pi_M^{1S}}{\partial h} = \frac{\left(h + \frac{c_r}{2} - \frac{1}{2} \right) \sigma^2 + \left(\frac{1}{2} - h + \frac{c_n}{2} - \frac{c_r}{2} \right) \beta}{\sigma(1 - \sigma)} + \frac{\left(p_n - \frac{1}{2}c_n \right) \sigma - \frac{1}{2}c_r - h}{\sigma(1 - \sigma)} = 0,$$

可得 p_n^{1S} 和 h^{1S} . 因为

$$\frac{\partial^2 \Pi_M^{1S}}{\partial p_n^2} = \frac{(2\sigma\beta(\sigma - 1) + (\sigma - 2)(1 - \beta))(1 - \beta)}{(\sigma\beta(\sigma - 1) + \beta - 1)(1 - \sigma)} < 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_M^{1S}}{\partial h^2} = \frac{\beta - 1}{\sigma(1 - \sigma)} - \beta < 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_M^{1S}}{\partial p_n \partial h} = \frac{1 - \beta}{1 - \sigma},$$

海塞矩阵

$$|H| = \frac{2\beta(\beta - 1)}{\sigma} + \frac{2(1 - \beta)}{(1 - \sigma)\sigma} > 0,$$

所以 p_n^{1S} 和 h^{1S} 为原制造商利润达到最大值的唯一解, 再将 p_n^{1S} 和 h^{1S} 代入 p_r 可得 p_r^{1S} , 从而可得 D_n^{1S} 和 D_r^{1S} . □

推论 5 1) p_n^{1S} 、 p_r^{1S} 和 h^{1S} 关于 β 单调递增;
2) h^{1S} 关于 c_r 单调递减.

证明 由于

$$\frac{\partial p_n^{1S}}{\partial \beta} = \frac{\sigma(1-\sigma)}{2(\sigma\beta - \beta + 1)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial h^{1S}}{\partial \beta} = \frac{\sigma(1-\sigma)}{2(\sigma\beta - \beta + 1)^2} > 0, \quad \frac{\partial h^{1S}}{\partial c_r} = -\frac{1}{2} < 0,$$

$$\frac{\partial p_r^{1S}}{\partial \beta} = \frac{\sigma(1-\sigma)\left(\sigma^4\beta^2 - \frac{1}{2}\beta^2\sigma^3(c_n+4) + \beta\left((c_n + \frac{7}{2})\beta - c_n - 2\right)\sigma^2\right)}{(2(\sigma\beta - \beta + 1)^2(\sigma^2\beta - \sigma\beta + \beta - 1)^2) - \left(\frac{1}{2}(\beta - 1)((c_n + 6)\beta - c_n)\sigma - \frac{3}{2}(\beta - 1)^2\right)\sigma(1-\sigma) / (2(\sigma\beta - \beta + 1)^2(\sigma^2\beta - \sigma\beta + \beta - 1)^2)},$$

现证明 $\partial p_r^{1S} / \partial \beta$ 的正负. 令

$$g(\beta) = \beta^2\left(\sigma^4 - \frac{1}{2}\sigma^3(c_n+4) + \left(c_n + \frac{7}{2}\right)\right) - \sigma^2\beta(c_n+2) - \frac{1}{2}(\beta-1)\times \left((c_n+6)\beta - c_n\right)\sigma + \frac{3}{2}(\beta-1)^2,$$

则有

$$\frac{\partial p_r^{1S}}{\partial \beta} = \frac{\sigma(1-\sigma)}{2(\sigma\beta - \beta + 1)^2(\sigma^2\beta - \sigma\beta + \beta - 1)^2} g(\beta),$$

只需证明 $g(\beta)$ 的正负,

$$\begin{aligned} \partial g(\beta) / \partial \beta &= 2\sigma^4\beta - \sigma^3\beta c_n - 4\sigma^3\beta + 2\sigma^2\beta c_n + \\ &7\sigma^2\beta - \sigma^2c_n - \sigma\beta c_n - 2\sigma^2 - 6\sigma\beta + \\ &\sigma c_n + 3\sigma + 3\beta - 3, \end{aligned}$$

令

$$\begin{aligned} f(c_n) &= \partial^2 g(\beta) / \partial \beta^2 = \\ &2\sigma^4 - \sigma^3c_n - 4\sigma^3 + 2\sigma^2c_n + 7\sigma^2 - \sigma c_n - 6\sigma + 3, \\ \partial f(c_n) / \partial c_n &= -\sigma(\sigma - 1)^2 < 0, \end{aligned}$$

故 $f(c_n)$ 在 $c_n \in (0, 1)$ 为单调递减函数. 由于

$$f(1) = 2\sigma^4 - 5\sigma^3 + 9\sigma^2 - 7\sigma + 3 > 0,$$

其图像如图4所示, 故在 $c_n \in (0, 1)$ 时有

$$f(c_n) = g''(\beta) > f(1) > 0,$$

由此可得 $g'(\beta)$ 在 $\beta \in (0, 1)$ 时为单调递增函数.

$$\begin{aligned} g'(\beta) &< g'(1) = \\ &2\sigma^4 - \sigma^3c_n - 4\sigma^3 + \sigma^2c_n + 5\sigma^2 - 3\sigma < 0, \end{aligned}$$

其图像如图5所示. 因此在区间 $\beta \in (0, 1)$, 有 $g'(\beta) < 0$, $g(\beta)$ 在 $\beta \in (0, 1)$ 时为单调递减函数.

$$g(\beta) > g(1) = \sigma^2\left(\sigma^2 - \left(\frac{1}{2}c_n + 2\right)\sigma + \frac{3}{2}\right) > 0,$$

其中

$$\Delta = \left(\frac{1}{2}c_n + 2\right)^2 - 6 < 0,$$

由此可得 $\partial p_r^{1S} / \partial \beta > 0$. □

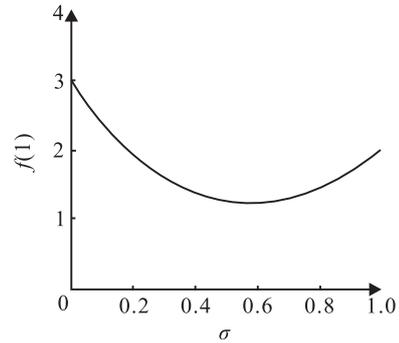


图4 $f(1)$ 在 $\sigma \in (0, 1)$ 取值的大小

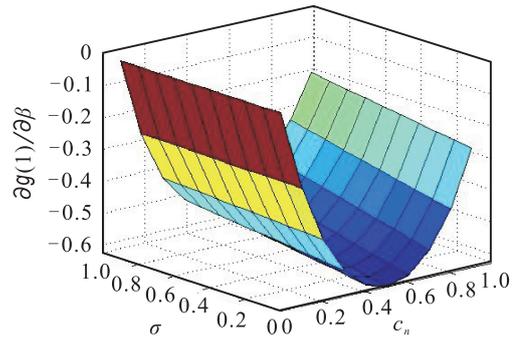


图5 $g'(1)$ 随着 σ 与 c_n 变化的取值

推论5表明: 当低碳消费者比例增大时, 新产品的需求减少, 原制造商通过提高新产品价格来获取更多利润; 当市场上再制品需求增大时, 原制造商通过提高专利费用来保护新产品市场; 当再制造产品成本增大时, 原制造商通过降低专利保护费用来保护再制造商积极性; 当低碳消费者比例增大时, 再制造商通过提价来获取更多利润.

推论 6 1) 当 $\sigma \in (0, 1)$ 时, h^{1S} 关于 σ 单调递减.

2) 当 $\sigma \geq \frac{\beta - 1 + \sqrt{1 - \beta}}{\beta}$ 时, p_n^{1S} 关于 σ 单调递减; 当 $\sigma < \frac{\beta - 1 + \sqrt{1 - \beta}}{\beta}$ 时, p_n^{1S} 关于 σ 单调递增.

3) 当低碳消费者的比例很大时, 存在 σ^{1S*} ; 当 $\sigma < \sigma^{1S*}$ 时, p_r^{1S} 关于 σ 单调递减; 当 $\sigma > \sigma^{1S*}$ 时, p_r^{1S} 关于 σ 单调递增.

4) 当低碳消费者比例较小时, $\sigma \in (0, 1)$, p_r^{1S} 关于 σ 单调递减.

证明 由于

$$\begin{aligned} \frac{\partial h^{1S}}{\partial \sigma} &= \frac{\beta - 1}{2(\sigma\beta - \beta + 1)^2} < 0, \\ \frac{\partial p_n^{1S}}{\partial \sigma} &= -\frac{\beta((\sigma - 1)^2\beta + 2\sigma - 1)}{2(\sigma\beta - \beta + 1)^2}, \end{aligned}$$

且由 $(\sigma - 1)^2\beta + 2\sigma - 1 = 0$ 可得 $\sigma = \frac{\beta - 1 + \sqrt{1 - \beta}}{\beta}$.

当 $\sigma > \frac{\beta - 1 + \sqrt{1 - \beta}}{\beta}$ 时, $\frac{\partial p_r^{1S}}{\partial \sigma} < 0$, 当 $\sigma < \frac{\beta - 1 + \sqrt{1 - \beta}}{\beta}$ 时, $\frac{\partial p_r^{1S}}{\partial \sigma} > 0$. 由此推论 1) 和 2) 得证.

由于 $\partial p_r^{1S} / \partial \sigma$ 的解析式较复杂, 这里只通过数值分析进行说明. 选取以下 4 组数据: $\beta = 0.8, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\beta = 0.8, c_n = 0.05, c_r = 0.02$; $\beta = 0.2, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\beta = 0.2, c_n = 0.05, c_r = 0.02$. 采用 Matlab 进行仿真, 如图 6 所示. 图 6 中: 纵坐标表示再制造品价格对参数 σ 求导的值; 横坐标表示普通消费者对再制造品的接受程度.

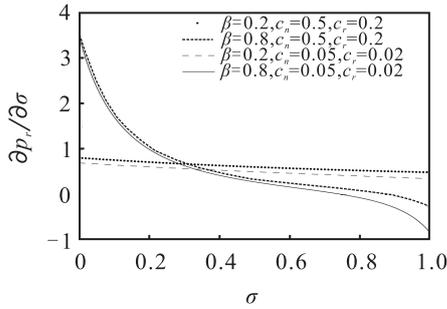


图 6 $\partial p_r^{1S} / \partial \sigma$ 取值随着 σ 变化的取值

由图 6 可知: 当低碳消费者的比例很大 ($\beta = 0.8$) 时, 存在临界值 σ^{1S*} 使 $\partial p_r^{1S} / \partial \sigma = 0$, 当 $\sigma < \sigma^{1S*}$ 时, 有 $\partial p_r^{1S} / \partial \sigma < 0$; 当 $\sigma > \sigma^{1S*}$ 时, 有 $\partial p_r^{1S} / \partial \sigma > 0$. 当低碳消费者比例较小 ($\beta = 0.2$), 且 $\sigma \in (0, 1)$ 时, 有 $\partial p_r^{1S} / \partial \sigma > 0$. 由此推论 3) 和 4) 得证. \square

推论 6 表明: 1) 专利费用随 σ 的增大而减小, 新产品需求随普通消费者对再制造品接受程度的增大而减少, 原制造商通过降低专利费来提高再制造商生产积极性. 2) 当普通消费者对再制造品的接受程度较低时, 即 $(\sigma < (\beta - 1 + \sqrt{1 - \beta}) / \beta)$, 新产品价格随 σ 的增大而增大; 当普通消费者对再制造品的接受程度较高时, 即 $\sigma > (\beta - 1 + \sqrt{1 - \beta}) / \beta$, 新产品价格随 σ 的增大而减小. 3) 由图 4 可知, 若低碳消费者比例很大 ($\beta = 0.8$), 则当 $\sigma < \sigma^{1S*}$ 时, 再制造品价格随 σ 的增大而减小; 当 $\sigma > \sigma^{1S*}$ 时, 再制造品价格随 σ 的增大而增大. 4) 若低碳消费者比例较小 ($\beta = 0.2$), 则再制造品价格始终随 σ 的增大而增大.

情形 2: 当 $\sigma p_n < p_r$ 时, 再制造商和原制造商的利润函数分别为

$$\max_{p_r} \Pi_T^{2S} = (p_r - c_r - h)D_r = (p_r - c_r - h)(1 - p_r)\beta, \quad (7)$$

$$\max_{p_n, h} \Pi_M^{2S} = (p_n - c_n)D_n + hD_r = (p_n - c_n)(1 - \beta)(1 - p_n) + h(1 - p_r)\beta. \quad (8)$$

命题 4 当 $\sigma p_n < p_r$ 时, 在有专利保护的情形下得到最优价格和产量分别为

$$p_n^{2S} = \frac{1 + c_n}{2}, \quad h^{2S} = \frac{1 - c_r}{2}, \quad p_r^{2S} = \frac{c_r + 3}{4},$$

$$D_n^{2S} = \frac{(1 - \beta)(1 - c_n)}{2}, \quad D_r^{2S} = \frac{\beta(1 - c_r)}{4},$$

将 p_n^{2S} 、 h^{2S} 和 p_r^{2S} 代入式 (3) 和 (4) 可得最优利润函数 Π_T^{2S} 和 Π_M^{2S} .

证明 在有专利保护情形下, 当 $\sigma p_n < p_r$ 时, 首先由

$$\partial \Pi_T^{2S} / \partial p_r = \beta(1 - 2p_r + c_r + h) = 0$$

可得 p_r . 因为

$$\partial^2 \Pi_T^{2S} / \partial p_r^2 = -2\beta < 0,$$

所以 p_r 是再制造商利润达到最大值的唯一解. 然后将 p_r 代入 Π_M^{2S} , 有

$$\partial \Pi_M^{2S} / \partial p_n = (1 - \beta)(1 + c_n - 2p_n) = 0,$$

$$\partial \Pi_M^{2S} / \partial h = \frac{1}{2}\beta(1 - c_r + 2h) = 0,$$

通过求解可得 p_n^{2S} 和 h^{2S} . 因为

$$\partial^2 \Pi_M^{2S} / \partial p_n^2 = 2(\beta - 1) < 0,$$

$$\partial^2 \Pi_M^{2S} / \partial h^2 = -\beta < 0, \quad \partial^2 \Pi_M^{2S} / \partial p_n \partial h = 0,$$

海塞矩阵为正, 所以 p_n^{2S} 和 h^{2S} 为原制造商利润达到最大值的唯一解. 将 p_n^{2S} 和 h^{2S} 代入 p_r 和需求函数可得 p_r^{2S} 、 D_n^{2S} 和 D_r^{2S} . \square

推论 7 1) 存在 $\beta_1^* \in (0, 1)$, 使得 $\Pi_T^{1S} = \Pi_T^{2S}$, 当 $\beta \leq \beta_1^*$ 时, 有 $\Pi_T^{1S} \geq \Pi_T^{2S}$, 再制造商对再制造品实行低价定价策略: $p_r = p_r^{1S}$; 当 $\beta > \beta_1^*$ 时, 有 $\Pi_T^{1S} < \Pi_T^{2S}$, 再制造商对再制造品实行高价定价策略 $p_r = p_r^{2S}$.

2) 当 $c_r < \sigma c_n$ 时, 临界值 β^{1S*} 随 c_r 的增大而减小; 当 $c_r > \sigma c_n$ 时, 临界值 β^{1S*} 随 c_r 的增大而增大.

证明 由

$$\begin{aligned} \Pi_T^{1S} - \Pi_T^{2S} = & \frac{\sigma\beta(c_r - 1) - \beta(c_n + c_r - 1)}{16(\sigma - 1)(\sigma^2\beta - \sigma\beta + \beta - 1)} + \\ & \frac{\sigma c_n + \beta c_r - c_r}{16\sigma(\sigma - 1)(\sigma^2\beta - \sigma\beta + \beta - 1)} - \frac{\beta(1 - c_r)^2}{16}, \end{aligned}$$

可得临界值

$$\beta^{1S*} = \frac{(\sigma c_n - c_r)^2}{-(2c_n(c_r - 1)\sigma^3 + K\sigma^2 + (2c_n c_r + c_r^2 - 1)\sigma - c_r^2)},$$

其中

$$K = -c_n^2 + 2(1 - c_r)c_n - c_r^2 + 1,$$

只需证明 $\beta^{1S*} \in (0, 1)$ 即可. 令

$$\begin{aligned} \phi(c_n) = & (c_n^2 - 2(1 - c_r)c_n + c_r^2 - 1)\sigma^2 + c_r^2 - \\ & 2c_n(c_r - 1)\sigma^3 - (2c_n c_r + c_r^2 - 1)\sigma - (\sigma c_n - c_r)^2 = \\ & 2\sigma(1 - \sigma)\left(\frac{1}{2}(1 + c_r) - \sigma c_n\right)(1 - c_r), \end{aligned}$$

因为 $1 + c_r \geq 2\sigma c_n$ (只有在 σ 和 c_n 同时接近 1 时存在 $1 + c_r < 2\sigma c_n$, 本文不考虑此极限情况), 所以

$\phi(c_n) \geq 0, \beta^{1S*} \in (0, 1)$. 由于

$$\frac{\partial \beta^{1S*}}{\partial c_r} = \frac{\sigma(1-\sigma)(c_r - \sigma c_n)(\sigma c_n - 1)^2}{(2c_n(c_r - 1)\sigma^3 + K\sigma^2 + (2c_n c_r + c_r^2 - 1)\sigma - c_r^2)^2}$$

当 $c_r < \sigma c_n$ 时, 有 $\partial \beta^{1S*} / \partial c_r < 0$; 当 $c_r \geq \sigma c_n$ 时, 有 $\partial \beta^{1S*} / \partial c_r \geq 0$. □

推论7表明: 1) 当低碳消费者比例较小 ($\beta < \beta^{1S*}$) 时, 再制造品实行低价策略获取的利润高于高价策略获得的利润; 反之, 再制造品实行低价策略获得的利润低于高价策略获得的利润. 2) 当再制造品成本较低 ($c_r < \sigma c_n$) 时, 再制造商更愿意实行高价策略, 反之, 其更愿意实行低价策略.

推论8 1) 当普通消费者对再制造品的接受程度较高, 且 $\beta \in (0, 1)$ 时, 有 $\Pi_M^{1S} > \Pi_M^{2S}$, 原制造商对新产品和专利保护费用的定价为 $p_n = p_n^{1S}, h = h^{1S}$.

2) 当普通消费者对再制造品的接受程度较低, 且新产品和再制造品的成本较高时, 若 $\beta \leq \beta^{2S*}$, 则有 $\Pi_M^{1S} > \Pi_M^{2S}$, 原制造商采取的定价策略为 $p_n = p_n^{1S}, h = h^{1S}$; 若 $\beta > \beta^{2S*}$, 则有 $\Pi_M^{1S} < \Pi_M^{2S}$, 定价策略为 $p_n = p_n^{2S}, h = h^{2S}$.

3) 当普通消费者对再制造品的接受程度较低, 且新产品和再制造品的成本较低时, $\Pi_M^{1S} < \Pi_M^{2S}$, 原制造商定价策略为 $p_n = p_n^{2S}, h = h^{2S}$.

由于得到的 β^{2S*} 非常复杂, 不易分析, 这里只通过数值分析进行说明. 选取以下4组数据: $\sigma = 0.8, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\sigma = 0.2, c_n = 0.5, c_r = 0.2$; $\sigma = 0.8, c_n = 0.05, c_r = 0.02$; $\sigma = 0.2, c_n = 0.05, c_r = 0.02$. 通过 Matlab 模拟, 得到的结果如图7所示. 图7中: 纵坐标表示在有专利保护时, 原制造商在情形1和情形2下的利润差, 横坐标表示低碳消费者比例.

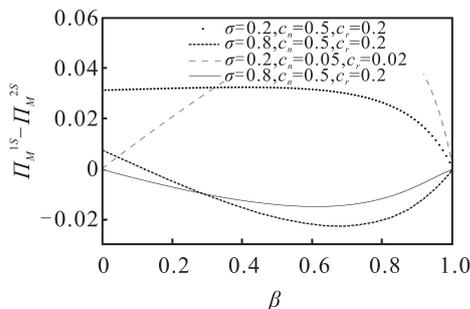


图7 不同低碳消费者比例下 Π_M^{1S} 与 Π_M^{2S} 的大小比较

由图7可知, 当 $\sigma = 0.8$ 时, 原厂商对新产品采取高价策略 $p_n = p_n^{1S}, h = h^{1S}$. 虽然一部分对再制造品接受程度高的普通消费者购买再制造品, 但原制造商通过对再制造品收取专利费用, 弥补因失去部分普通消费者带来的损失. 当普通消费者对再制造品的接受程度较低, 成本较高 (如 $\sigma = 0.2, c_n = 0.5, c_r = 0.2$) 时, 存在临界值 β^{2S*} , 使得 $\Pi_M^{1S} = \Pi_M^{2S}$, 低碳

消费者的比例影响原制造商的定价策略, 当低碳消费者的比例 $\beta \leq \beta^{2S*}$ 时, 原制造商的定价为 $p_n = p_n^{1S}, h = h^{1S}$, 其中

$$h^{1S} - h^{2S} = \frac{(\sigma - 1)(1 - \beta)}{2(1 - \sigma\beta + \beta)} < 0.$$

由于低碳消费者比例较低, 市场上对新产品的需求较多, 原制造商对新产品实行高价策略, 支付意愿较低的普通消费者转而购买再制造品, 增加了再制造品的需求, 同时降低了专利费用, 增大了再制造商生产再制造品的积极性. 当低碳消费者的比例 $\beta > \beta^{2S*}$ 时, 原制造商的定价为 $p_n = p_n^{2S}, h = h^{2S}$. 市场上低碳消费者比例较大, 通过低价策略吸引普通消费者, 增大新产品需求, 同时通过提高专利费用保护新产品市场. 但当产品的成本较低 (如图7所示, $\sigma = 0.2, c_n = 0.05, c_r = 0.02$) 时, 低碳消费者比例不影响原制造商定价策略, 对新产品实行低价策略 $p_n = p_n^{2S}, h = h^{2S}$. 由于普通消费者对再制造品的接受程度较低, 且新产品成本很低, 原制造商可通过高价策略获取更多利润.

4 结 论

本文考虑了专利保护, 利用博弈论分析了具有不同支付意愿的低碳消费者和普通消费者对原制造商和再制造商定价策略的影响, 可得到以下结论:

1) 在无专利保护且低碳消费者比例较低时, 再制造商通过低价策略吸引消费者; 在低碳消费者比例较高时, 再制造商采取高价策略. 原制造商在普通消费者对再制造品接受程度较低, 产品成本较高且低碳消费者比例较低时才采取高价策略, 其余情形下均采取低价策略.

2) 在有专利保护时, 原制造商处于主导地位, 当普通消费者对再制造品的接受程度较大时, 原制造商对新产品采取高价策略. 这样新产品需求虽然减少, 但向再制造商收取的专利保护费大于损失部分普通消费者带来的损失; 当普通消费者对再制品的接受程度较小时, 低碳消费者才对原制造商的定价策略产生影响.

3) 专利保护对再制造商的影响不同于原制造商, 无论普通消费者对再制造品接受程度多大, 低碳消费者比例始终影响再制造商的定价. 在低碳消费者比例较低时采取低价策略, 反之采取高价策略.

通过对再制造商和原制造商定价策略分析, 可得到以下几点管理启示:

1) 低碳消费者比例越大, 再制造品的需求越大, 再制造商应该利用各种途径提高低碳消费者的比例.

2) 原制造商在有专利保护的情形下可通过收取专利保护费获取收益, 并保护新产品市场; 当无专利保护时, 除了降价策略外还要努力提高新产品的质量来吸引消费者.

3) 政府要通过教育提高国民低碳意识和对再制

造产品的认识,增大低碳消费者的比例,提高消费者对再制造品的接受程度,完善对再制造品的补贴政策,实现经济效益与环境效益同步增长。

本文没有考虑旧产品回收数量约束的影响,未来可将回收率纳入到决策中,探讨再制造供应链契约的协调问题。

参考文献(References)

- [1] Ginsburg J. Manufacturing: Once is not enough[J]. *Business Week*, 2001, 4(16): 128-129.
- [2] Ayres R, Ferrer G, Van Leynseele T. Eco-efficiency, asset recovery and remanufacturing[J]. *European Management J*, 1997, 15(5): 557-574.
- [3] Guide V D R, Wassenhove L N. Managing product returns for remanufacturing[J]. *Production and Operations Management*, 2001, 10(2): 142-155.
- [4] Ferrer G, Swaminathan J M. Managing new and remanufactured products[J]. *Management Science*, 2006, 52(1): 15-26.
- [5] Chen J M, Chang C I. Dynamic pricing for new and remanufactured products in a closed-loop supply chain[J]. *Int J of Production Economics*, 2013, 146(1): 153-160.
- [6] Wu C H. OEM product design in a price competition with remanufactured product[J]. *Omega*, 2013, 41(2): 287-298.
- [7] Sarat Kumar Jena, Sarmah S P. Price competition and cooperation in a duopoly closed-loop supply chain[J]. *Int J of Production Economics*, 2014, 156(10): 346-360.
- [8] De Giovanni P, Zaccour G. A two-period game of a closed-loop supply chain[J]. *European J of Operational Research*, 2014, 232(1): 22-40.
- [9] Bulmus S C, Zhu S X, Teunter R. Competition for cores in remanufacturing[J]. *European J of Operational Research*, 2014, 233(1): 105-113.
- [10] Debo L G, Toktay L B, Van Wassenhove L N. Market segmentation and product technology selection for remanufacturable products[J]. *Management Science*, 2005, 51(8): 1193-1205.
- [11] Oraiopoulos N, Ferguson M E, Toktay L B. Relicensing as a secondary market strategy[J]. *Management Science*, 2012, 58(5): 1022-1037.
- [12] 刘东霞, 谭德庆. 基于消费者效用模型的耐用品垄断商回购与再制造决策研究[J]. *中国管理科学*, 2014, 22(4): 134-141.
(Liu D X, Tan D Q. Durables monopoly's buy-back and remanufacturing decision based on the consumer's utility model[J]. *Chinese J of Management Science*, 2014, 22(4): 134-141.)
- [13] 申成然, 熊中楷, 彭志强. 专利保护与政府补贴下再制造闭环供应链的决策和协调[J]. *管理工程学报*, 2013, 27(3): 132-138.
(Shen C R, Xiong Z K, Peng Z Q. Decision and coordination research for remanufacturing closed-loop supply chain under patent protection and government subsidies[J]. *J of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2013, 27(3): 132-138.)
- [14] 申成然, 熊中楷, 孟卫军. 考虑专利保护的闭环供应链再制造模式[J]. *系统管理学报*, 2015, 24(1): 123-129.
(Shen C R, Xiong Z K, Meng W J. Remanufacturing models of the closed-loop supply chain under patent protection[J]. *Systems Engineering—Theory Methodology Application*, 2015, 24(1): 123-129.)
- [15] Michaud C, Llerena D. Green consumer behaviour: an experimental analysis of willingness to pay for remanufactured products[J]. *Business Strategy and the Environment*, 2011, 20(6): 408-420.
- [16] Hazen B T, Overstreet R E, Jones-Farmer L A, et al. The role of ambiguity tolerance in consumer perception of remanufactured products[J]. *Int J of Production Economics*, 2012, 135(2): 781-790.
- [17] Wenjun Gu, Dilip Chhajed, Nicholas C Petruzzi, et al. Quality design and environmental implications of green consumerism in remanufacturing[J]. *Int J of Production Economics*, 2015, 162(4): 55-69.
- [18] Atasu A, Sarvary M, Van Wassenhove L N. Remanufacturing as a marketing strategy[J]. *Management Science*, 2008, 54 (10): 1731-1746.
- [19] 王芹鹏, 赵道致. 消费者低碳偏好下的供应链收益共享契约研究[J]. *中国管理科学*, 2014, 22(9): 106-113.
(Wang Q P, Zhao D Z. Revenue-sharing contract of supply chain based on consumer's preference for low carbon product[J]. *Chinese J of Management Science*, 2014, 22(9): 106-113.)
- [20] 张蕾. 专利侵权判定中修理与再造的界定——以 canon Vs Recycle Assist 再生墨盒案为背景[J]. *电子知识产权*, 2008, 17(9): 53-55.
(Zhang L. Definition of patent infringement determination between repair and reconstruction for Canon vs recycle assist renewable cartridge case as the background[J]. *Electronics Intellectual Property*, 2008, 17(9): 53-55.)

(责任编辑: 滕 蓉)