

控制与决策

Control and Decision



不同担保模式下考虑零售商公平关切的闭环供应链博弈模型

马晓平, 刘志, 李帮义, 唐娟, 郑小雪

引用本文:

马晓平, 刘志, 李帮义, 等. 不同担保模式下考虑零售商公平关切的闭环供应链博弈模型[J]. 控制与决策, 2021, 36(6): 1489–1498.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1328>

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>

联合定价下果农对零售商的选择与优化

Fruit-producer's strategy of selecting and optimizing retailers under joint-pricing

控制与决策. 2021, 36(3): 747–753 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0564>

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>

损失厌恶下考虑参照利润效应的供应链决策模型

Decision model of supply chain considering reference profit under loss aversion

控制与决策. 2020, 35(11): 2810–2816 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0094>

不同担保模式下考虑零售商公平关切的 闭环供应链博弈模型

马晓平¹, 刘志^{1,2†}, 李帮义¹, 唐娟¹, 郑小雪³

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 安徽工程大学 管理工程学院,
安徽 芜湖 241001; 3. 福建农林大学 交通与土木工程学院, 福州 350002)

摘要: 针对由一个制造商和一个零售商构成的闭环供应链, 运用 Stackelberg 动态博弈理论, 构建不同担保模式下考虑零售商公平关切的决策博弈模型, 探讨产品担保模式及零售商公平关切对闭环供应链定价及担保期决策、经济效益和环境效益的影响, 分析不同担保模式的担保效率. 研究表明: 当消费者对新产品和再制造品差异化担保期较为敏感时, 制造商或零售商会为再制造品提供长期担保服务; 零售商公平关切会降低新产品和再制造品批发价格, 其对再制造品销售价格、担保期以及供应链经济环境效益的影响与产品担保模式密切相关; 两种担保模式的经济环境效益与担保成本和再制造品相对环境优势相关, 当零售商担保的相对成本优势和再制造品相对环境优势显著(微弱)时, 零售商(制造商)担保模式是闭环供应链利益相关者的一致选择; 零售商担保模式能够减缓零售商公平关切对闭环供应链经济效益及环境效益的负面影响.

关键词: 闭环供应链; 再制造; 担保模式; 公平关切; Stackelberg 博弈

中图分类号: F253

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2019.1328

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 马晓平, 刘志, 李帮义, 等. 不同担保模式下考虑零售商公平关切的闭环供应链博弈模型[J]. 控制与决策, 2021, 36(6): 1489-1498.

Game models of closed-loop supply chain under different warranty modes considering retailer's fairness concerns

MA Xiao-ping¹, LIU Zhi^{1,2†}, LI Bang-yi¹, TANG Juan¹, ZHENG Xiao-xue³

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. College of Management Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241001, China; 3. College of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In a closed-loop supply chain (CLSC) consisting of a manufacturer and a retailer, we construct the decision-making game model by considering fairness concerns under different warranty modes. The impact of warranty modes and retailer's fairness concerns on CLSC pricing and warranty period decisions as well as the economic and environmental benefit is discussed, and the warranty efficiency of different warranty models is analyzed. The results show that when consumers are more sensitive to different warranty periods between new and remanufactured products, manufacturers or retailers will provide long-term warranty services for remanufactured products; retailers' fairness concerns will reduce the wholesale prices of both the new and remanufactured products; the impact of the fairness concerns on the sale price and warranty period of remanufactured products and the economic and environmental benefits of the supply chain are closely related to different product warranty modes. The economic and environmental benefits of the two warranty modes are contingent on the warranty costs and the relative environmental advantages of the remanufactured products. When the relative cost advantage of retailer warranty and the relative environmental advantage of remanufactured products are significant (weak), the retailer (manufacturer) warranty mode is the consistent decision made by stakeholders in the CLSC. The retailer warranty model can reduce the negative impact of retailer's fairness concerns on the economic and environmental benefits of the CLSC.

Keywords: closed-loop supply chain; remanufacturing; warranty model; fairness concerns; Stackelberg game

收稿日期: 2019-09-21; 修回日期: 2020-03-06.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71801003, 71901002); 教育部人文社科青年项目(18YJC630110); 安徽省高校优秀青年人才支持计划项目(gxyqZD2019048); 福建省科技计划项目(2019J05049).

责任编辑: 李勇建.

†通讯作者. E-mail: liuzhi0551@126.com.

0 引言

再制造作为废旧产品回收再利用的一种理想模式^[1],其发展打通了“资源-产品-报废-再制造产品”的循环型产业链条,构筑了节能、环保、可持续的工业绿色发展模式,为工业的绿色发展和循环发展奠定了基础.为扶持再制造产业的发展,我国政府相继出台了各项规制政策.如:2013年,国家发改委等5部门联合下发了《关于印发再制造产品“以旧换再”试点实施方案的通知》;2017年,国务院办公厅印发了《生产者责任延伸制度推行方案》,支持回收报废汽车,推广再制造产品;2019年,国务院发布新版《报废机动车回收管理办法》,允许对具备再制造条件的报废机动车“五大总成”进行再制造.国家对再制造的高度重视和大力支持,促使再制造产业取得了积极的进展.2017年,我国汽车零部件再制造产业规模超过40亿元.

再制造在学术界也引起了极大的关注.在再制造闭环供应链运作层面,国内外学者大多从以下5个角度进行建模研究:1)法律法规角度,以探讨补贴、奖惩机制、回收率等政府政策对闭环供应链产品竞争、经济效益和环境效益的影响为主进行建模研究^[2-3];2)回收模式角度,对制造商回收、零售商回收、第三方回收、混合渠道回收等正规和非正规回收渠道的选择问题展开了深入的研究^[4-5];3)再制造授权角度,在假设制造商通过收取专利许可费或软件注册许可费进行再制造生产和销售授权的条件下,分析其对闭环供应链决策及运行效率的影响^[6];4)产品设计角度,分析制造商和再制造商分别从事再制造时的最优产品可再制造水平设计策略,并深入探讨了产品设计策略与闭环供应链生产和定价决策的相互关系^[7];5)协调机制设计角度,多采用收入共享契约和两部定价契约对各类结构的闭环供应链进行协调,并对协调效果进行比较和分析^[8-9].

虽然再制造在实践和理论上取得了较大的发展,但是,仍面临着诸多挑战,如消费者对再制造品质量认知不足或不确定性高,购买意愿较低等.在现实中,再制造品和新产品具有相同的质量水平,但是,大部分消费者对再制造品质量的估计低于新产品.产品担保是一种能够向消费者传递产品质量信息的有效信号机制,较长的担保期限能够提高消费者对产品质量的信任^[10].因此,再制造品的生产者或零售商可通过为再制造品提供合适的担保期,向消费者传递再制造品的高质量信息,以刺激再制造品的市场需求.再制造品担保期越长,担保费用越高,且对新产品的蚕食力度越高,因此,如何权衡担保收益和担保费用,设

计再制造品担保期,是闭环供应链运作管理中需要考虑的一个重要问题.

目前,有学者针对再制造品担保服务设计及其对闭环供应链运作决策的影响进行了研究,如:Liao^[10]运用报童模型,分析了最优再制造品部分退款担保策略及其对再制造商的产品定价策略及经济效益的影响;Yazdian等^[11]运用统计数学模型和微粒群优化算法,联合优化线性和非线性需求函数下废旧产品的回收定价、再制造水平、再制造品定价及担保期限;Alqahtani等^[12]基于再制造商角度,设计担保服务成本模型,以在激励消费者购买意愿的基础上最小化担保服务成本;Zhu等^[13]针对卡车发动机再制造品,设计免费更换担保及延长担保服务下的再制造商的担保期决策模型,并分析了两种担保模式的担保效率;程晋石等^[14]研究了再制造商购买制造商的商标许可和再制造品担保策略的选择问题.

虽然已有部分学者通过构建博弈模型,对再制造品担保服务及其影响开展了研究,但是,其研究均假设决策主体完全理性,且缺少同时为新产品和再制造品提供担保时两者之间交互作用及其影响的考虑.在现实中,决策主体是有限理性的,可表现为公平关切、互惠偏好等多种形式,且会影响闭环供应链的运作决策及运作效率^[15-16].那么,当担保主体同时为新产品和再制造品提供担保服务时,其为再制造品提供长于或短于新产品担保期的影响因素是什么?制造商或零售商进行产品担保时,谁的担保效率更高?供应链成员的有限理性对产品担保服务及其担保效率有何影响?为回答上述问题,本文在考虑决策主体有限理性事实的基础上,将新产品/再制造品担保和公平关切同时纳入闭环供应链决策模型中,构建两种担保模式(制造商提供担保服务的制造商担保模式和零售商提供担保服务的零售商担保模式)下考虑零售商公平关切的闭环供应链博弈模型,以研究新产品和再制造品定价及再制造品担保服务决策问题,分析再制造品担保期长于或短于新产品担保期的边界条件;从闭环供应链经济效益和环境效益角度,研究两种担保模式的担保效率,分析零售商公平关切下制造商、零售商和其他环境利益相关者对两种担保模式的选择偏好.

1 问题描述和相关假设

在由一个制造商和一个零售商构成的闭环供应链中,制造商负责新产品生产,并在其使用寿命结束后进行回收再制造;零售商负责新产品和再制造品的销售.制造商作为领导者,依据新产品和再制造品

的市场需求,组织生产,新产品和再制造品的产量分别为 q_n 和 q_r ;生产后,新产品和再制造品分别以价格 w_n 和 w_r 批发给零售商进行销售.零售商作为跟随者,依据市场需求,制定新产品和再制造品的销售价格 p_n 和 p_r .为简化分析,将多周期决策问题归化为单周期问题,且假设制造商回收的废旧产品能够满足再制造品的生产需求^[17].

相对于新产品,消费者认为再制造品的质量偏低,具有损失厌恶.为促进再制造品销售,制造商(零售商)会分别为新产品和再制造品提供差异化的担保期.考虑市场中同品牌同产品的担保期具有一致性,因此,假设市场中新产品的担保期相同,但再制造品的担保期因担保主体的不同而存在差异.为简化分析,设新产品担保期 t_n 为外生变量,再制造品担保期 t_r 为内生变量. $t_r < t_n$ ($t_r = t_n$)表示制造商或零售商为再制造品提供了短期(同期)担保服务, $t_r > t_n$ 表示为再制造品提供了长期担保服务.

假设消费者对新产品的支付意愿为 v , v 在整个市场容量1上均匀分布;对再制造品的支付意愿为 δv , $\delta \in [0, 1]$ 反映了再制造品对新产品的替代程度.在新产品担保期 t_n 和再制造品担保期 t_r 下,消费者购买新产品和再制造品的效用分别为 $u_n = v - p_n$ 和 $u_r = \delta v - p_r + \beta(t_r - t_n)$,其中参数 $\beta > 0$ 反映了新产品和再制造品差异化担保期对消费者再制造品购买效用的影响.消费者依据效用最大化原则,进行新产品和再制造品的购买决策.若 $v - p_n > \delta v - p_r + \beta(t_r - t_n)$,则消费者选择购买新产品,有

$$q_n = 1 - \frac{p_n - p_r + \beta(t_r - t_n)}{1 - \delta};$$

若 $v - p_n < \delta v - p_r + \beta(t_r - t_n)$,则消费者选择购买再制造品,有^[18]

$$q_r = \frac{\delta p_n - p_r + \beta(t_r - t_n)}{\delta(1 - \delta)}.$$

设新产品和再制造品的单位生产成本分别为 c_n 和 c_r ,为保证再制造活动的盈利性,设 $c_r < \delta c_n$ ^[11].当制造商或零售商向消费者提供新产品和再制造品担保服务时,其担保成本分别为 $\theta_j t_n^2/2$ 和 $\theta_j t_r^2/2$ ^[19].其中: θ_j 是新产品和再制造品担保的固定成本参数, $j \in \{M, R\}$ 分别表示制造商和零售商.

在该闭环供应链中,零售商作为跟随者,在供应链的利润分配过程中表现出一定的公平关切,且制造商可获知其公平关切信息,并在制定决策时加以考虑.设 λ 为零售商的公平关切系数,且有 $\lambda \geq 0$. $\lambda = 0$ 表示零售商公平中性,即对公平不关注; $\lambda \rightarrow \infty$ 表示零售商对公平极度关注.制造商以利润最大化为决

策目标,零售商则以公平效用最大化为决策目标^[20].

为分析零售商公平关切下两种担保模式对闭环供应链决策及运行效率的影响,本文构建公平关切下制造商担保和零售商担保的两种博弈决策模型,并分别以符号MF和RF加以表示.设符号 Π_j^i 为模型 i 下决策者 j 的利润, u_R^i 为模型 i 下零售商的公平效用值.

2 模型构建与分析

2.1 零售商公平关切下制造商担保博弈模型MF

当零售商具有公平关切且在制造商担保模式下,制造商的利润函数

$$\begin{aligned} \Pi_M^{\text{MF}}(w_n, w_r, t_r) = \\ (w_n - c_n)q_n + (w_r - c_r)q_r - \frac{1}{2}\theta_M t_n^2 - \frac{1}{2}\theta_M t_r^2; \end{aligned}$$

零售商的利润函数

$$\Pi_R^{\text{MF}}(p_n, p_r) = (p_n - w_n)q_n + (p_r - w_r)q_r.$$

依据文献[20],零售商的公平效用函数构建如下:

$$u_R^{\text{MF}}(p_n, p_r) = (1 + \lambda)\Pi_R^{\text{MF}} - \lambda\Pi_M^{\text{MF}}.$$

同理,根据逆向归纳法可解得,当 $\phi_{\text{MF}} = 4\delta\theta_M(1 - \delta)(1 + 2\lambda) - (1 + \lambda)\beta^2 > 0$ 时,模型MF存在唯一最优解.对模型求解,可得制造商最优决策

$$\begin{aligned} w_n^{\text{MF}*} &= c_n + \frac{\lambda(1 - c_n)}{2(1 + 2\lambda)}, \\ w_r^{\text{MF}*} &= c_r + \frac{\phi_1(1 + \lambda)}{2(1 + 2\lambda)} + \frac{\beta^2\phi_0(1 + \lambda)^2}{2(1 + 2\lambda)\phi_{\text{MF}}}, \\ t_r^{\text{MF}*} &= \frac{\phi_0\beta(1 + \lambda)}{\phi_{\text{MF}}}; \end{aligned}$$

零售商最优决策

$$\begin{aligned} p_n^{\text{MF}*} &= \frac{1}{4}(c_n + 3), \\ p_r^{\text{MF}*} &= c_r + \frac{3\phi_1}{4} + \frac{3\beta^2\phi_0(1 + \lambda)}{4\phi_{\text{MF}}}. \end{aligned}$$

其中: $\phi_0 = \delta c_n - c_r - t_n\beta$, $\phi_1 = \delta - c_r - t_n\beta$.

进一步可得,新产品和再制造品的最优产量分别为

$$\begin{aligned} q_n^{\text{MF}*} &= \frac{1}{4}(1 - c_n) - \frac{\delta\theta_M\phi_0(1 + 2\lambda)}{\phi_{\text{MF}}}, \\ q_r^{\text{MF}*} &= \frac{\theta_M\phi_0(1 + 2\lambda)}{\phi_{\text{MF}}}; \end{aligned}$$

制造商、零售商和闭环供应链总系统的最优利润分别为

$$\begin{aligned} \Pi_M^{\text{MF}*} &= \frac{(1 - c_n)^2(1 + \lambda)}{8(1 + 2\lambda)} + \frac{\theta_M\phi_0^2(1 + \lambda)}{2\phi_{\text{MF}}} - \frac{\theta_M}{2}t_n^2, \\ \Pi_R^{\text{MF}*} &= \\ &= \frac{(1 - c_n)^2(1 + 4\lambda)}{16(1 + 2\lambda)} + \frac{\theta_M^2\delta(1 - \delta)\phi_0^2(8\lambda^2 + 6\lambda + 1)}{\phi_{\text{MF}}^2}, \\ \Pi_T^{\text{MF}*} &= \end{aligned}$$

$$\frac{\theta_M \phi_0^2 (6(1-\delta)\delta\theta_M(1+2\lambda)^2 - \beta^2(1+\lambda)^2)}{2\phi_{MF}^2} - \frac{\theta_M t_n^2 + \frac{3(1-c_n)^2}{16}}{2}.$$

将再制造品担保期与新产品担保期进行比较,可得如下结论.

结论1 当

$$\beta < \frac{4\delta(1-\delta)(1+2\lambda)t_n\theta_M}{(1+\lambda)(\delta c_n - c_r)}$$

时,有 $t_r^{MF*} < t_n$; 当

$$\beta \geq \frac{4\delta(1-\delta)(1+2\lambda)t_n\theta_M}{(1+\lambda)(\delta c_n - c_r)}$$

时,有 $t_r^{MF*} \geq t_n$.

结论1表明,当消费者对新产品和再制造品担保期差异性较为敏感时,较长的再制造品担保期能够较大地提高消费者对再制造品的支付意愿,进而刺激再制造品的销量.虽然此时再制造品产量的增加会蚕食新产品部分市场,但是制造商总利润增加.反之,当消费者对两种产品担保期差异性不敏感时,为再制造品提供较长的担保期并不会增加其利润,此时,其将会为再制造品提供短期担保服务.

推论1 零售商公平关切不影响新产品销售价格,但随着公平关切程度的增强,新产品批发价格、再制造品批发价格和销售价格降低,再制造品的担保期降低.

推论1表明,随着零售商公平关切的增强,制造商将降低两种产品的批发价格,以激励零售商的新产品和再制造品销售努力.当制造商提供产品担保服务时,再制造品批发价格的降低促使其缩短了再制造品的担保期,以减少担保费用的支出;而担保期的缩短又降低了消费者的再制造品购买效用.为提高再制造品销量,零售商将降低其销售价格,但销售价格对再制造品销量的影响低于担保期,所以再制造品销量降低,新产品销量增加.

2.2 零售商公平关切下零售商担保博弈模型RF

当零售商具有公平关切且提供担保时,制造商的利润函数为

$$\Pi_M^{RF}(w_n, w_r) = (w_n - c_n)q_n + (w_r - c_r)q_r;$$

零售商的利润函数为

$$\Pi_R^{RF}(p_n, p_r, t_r) =$$

$$(p_n - w_n)q_n + (p_r - w_r)q_r - \frac{1}{2}\theta_R t_n^2 - \frac{1}{2}\theta_R (t_r^{RF})^2;$$

其公平效用函数为

$$u_R^{RF}(p_n, p_r, t) = (1+\lambda)\Pi_R^{RF} - \lambda\Pi_M^{RF}.$$

同理,根据逆向归纳法可解得,当 $\phi_{RF} = 2\theta_R\delta(1$

$-\delta) - \beta^2 > 0$ 时,模型RF具有唯一最优解.制造商最优决策为

$$w_n^{RF*} = c_n + \frac{(1+\lambda)(1-c_n)}{2(1+2\lambda)},$$

$$w_r^{RF*} = c_r + \frac{(1+\lambda)\phi_1}{2(1+2\lambda)};$$

零售商最优决策为

$$p_n^{RF*} = \frac{1}{4}(c_n + 3),$$

$$p_r^{RF*} = c_r + \frac{3\phi_1}{4} + \frac{\beta^2\phi_0}{4\phi_{RF}},$$

$$t_r^{RF*} = \frac{\beta\phi_0}{2\phi_{RF}}.$$

进一步可得,模型RF下的新产品和再制造品最优产量分别为

$$q_n^{RF*} = \frac{1-c_n}{4} - \frac{\delta\theta_R\phi_0}{2\phi_{RF}}, \quad q_r^{RF*} = \frac{\theta_R\phi_0}{2\phi_{RF}};$$

制造商、零售商和闭环供应链的最优利润分别为

$$\Pi_M^{RF*} = \frac{(1-c_n)^2(1+\lambda)}{8(1+2\lambda)} + \frac{\theta_R\phi_0^2(1+\lambda)}{4\phi_{RF}(1+2\lambda)},$$

$$\Pi_R^{RF*} = \frac{(1-c_n)^2(1+4\lambda)}{16(1+2\lambda)} + \frac{\theta_R\phi_0^2(1+4\lambda)}{8\phi_{RF}(1+2\lambda)} - \frac{\theta_R t_n^2}{2},$$

$$\Pi_T^{RF*} = \frac{3}{16} \left((1-c_n)^2 + \frac{2\theta_R\phi_0^2}{\phi_{RF}} \right) - \frac{\theta_R t_n^2}{2}.$$

将再制造品担保期与新产品担保期进行比较,可得如下结论.

结论2 1) 当 $\theta_R < \frac{(\delta c_n - c_r)^2}{2\delta(1-\delta)t_n^2}$ 时,存在 $\bar{\beta}_1^{RF} < \bar{\beta}_0^{RF}$. 若 $0 \leq \beta < \bar{\beta}_1^{RF}$, 则有 $t_r^{RF*} < t_n$; 若 $\bar{\beta}_1^{RF} \leq \beta < \bar{\beta}_0^{RF}$, 则有 $t_r^{RF*} \geq t_n$.

2) 当 $\theta_R \geq \frac{(\delta c_n - c_r)^2}{2\delta(1-\delta)t_n^2}$ 时,有 $t_r^{RF*} < t_n$.

证明 在模型RF下,有

$$t_r^{RF*} - t_n = \frac{\beta(\delta c_n - t_n\beta - c_r) - 4t_n\theta_M\delta(1-\delta)}{2\phi_{RF}}.$$

令 β 为变量,求解等式 $t_r^{RF*} - t_n = 0$, 得

$$\bar{\beta}_1^{RF} = \frac{\sqrt{(\delta c_n - c_r)^2 + 16t_n^2\theta_R\delta(1-\delta)} - (\delta c_n - c_r)}{2t_n}.$$

当 $\theta_R \geq \frac{(\delta c_n - c_r)^2}{2\delta(1-\delta)t_n^2}$ 时,有 $\bar{\beta}_1^{RF} \geq \bar{\beta}_0^{RF} = \sqrt{2\theta_R\delta(1-\delta)}$; 当 $\theta_R < \frac{(\delta c_n - c_r)^2}{2\delta(1-\delta)t_n^2}$ 时,有 $\bar{\beta}_1^{RF} < \bar{\beta}_0^{RF}$.

由 $t_r^{RF*} - t_n|_{\beta=0} = -t_n < 0$ 和 $\frac{\partial(t_r^{RF*} - t_n)}{\partial\beta} > 0$, 结论得证. $\square$

结论2与结论1类似,表明仅当消费者对新产品和再制造品担保期差异性较为敏感时,零售商才为再制造品提供长期担保服务;否则,再制造品的担保期将短于新产品.在现实中,再制造品担保期一般短于或与新产品相同,一方面可能由于消费者对再制造品和新产品差异化担保期的敏感性较低,另一方面可能

是出于再制造品对新产品市场蚕食或担保成本的考虑而定. 结论1和结论2表明,当消费者对新产品和再制造品担保期差异性较为敏感时,制造商或零售商有可能为再制造品提供长于新产品的担保期.

推论2 零售商的产品定价和担保期不受其公平关切的影响,但随着公平关切强度的增加,新产品和再制造品的批发价格将降低.

当零售商提供产品担保服务时,其可通过担保机制调控产品的销量,影响产品利润的分配,此时,公平关切对两个产品销售价格及再制造品的担保期没有影响,新产品和再制造品销量不变. 这意味着在零售商公平关切下,相对于制造商担保模式,零售商担保能够缓减公平关切对闭环供应链决策的影响,提高废旧产品的再制造水平.

2.3 利润与环境影响分析

结论3 1) 制造商担保模式下,零售商的公平关切会损害供应链总利润,当 $e_n/e_r < 1/\delta$ 时,其会降低供应链的环境影响;

2) 零售商担保模式下,零售商的公平关切对供应链总利润和环境无影响.

零售商公平关切总会降低制造商利润,提高零售商利润. 在制造商担保模式下,零售商公平关切对制造商利润的影响高于零售商,供应链利润降低. 此时,公平关切越强,制造商利润损失越大,零售商利润虽然提高,但提高速度低于制造商利润降低速度,系统总利润损失增加. 在环境影响方面,零售商公平关切的增强会提高新产品产量,降低再制造品产量,且新产品销量的增加量是再制造品销量降低量的 δ 倍(即 $\frac{\partial q_n^{MF*}}{\partial \lambda} = \delta \frac{\partial q_r^{MF*}}{\partial \lambda}$). 因此,当再制造品相对环保优势较小(较强)时,新产品销量增加引发的环境影响低于再制造品销量降低减少的环境影响,供应链的环境影响将会降低(提高). 当 $e_n/e_r = 1/\delta$ 时,零售商公平关切不影响闭环供应链的环境影响. 在零售商担保模式下,公平关切对制造商和零售商利润的影响幅度相同,供应链总利润不变;另一方面,其对新产品和再制造品的销量没有影响,因此,供应链的环境影响也不受其影响.

结论4 在两种担保模式下:

1) 当 $\beta < \bar{\beta}_2^{i-j}$ 时,制造商和零售商的利润均与 β 负相关;反之,其与 β 正相关.

2) 当 $e_n/e_r < 1/\delta$ 时,存在 $\bar{\beta}_3^i$. 若 $\beta < \bar{\beta}_3^i$,则环境影响值与 β 负相关;若 $\beta > \bar{\beta}_3^i$,则与 β 正相关.

证明

$$\frac{\partial \Pi_M^{MF*}}{\partial \beta} =$$

$$\begin{aligned} & \phi_0 \theta_M (1 + \lambda) \times \\ & \frac{\beta (1 + \lambda) (\delta c_n - c_r) - 4 t_n \theta_M \delta (1 - \delta) (1 + 2\lambda)}{\phi_{MF}^2}, \\ & \frac{\partial \Pi_R^{MF*}}{\partial \beta} = \\ & \frac{2 \phi_0 \theta_M^2 \delta (1 - \delta) (1 + 6\lambda + 8\lambda^2) (2\beta (1 + \lambda) \phi_0 - \phi_{MF})}{\phi_{MF}^3}, \\ & \frac{\partial \Pi_R^{RF*}}{\partial \beta} = \frac{1 + 4\lambda}{2(1 + \lambda)} \frac{\partial \Pi_M^{RF*}}{\partial \beta} = \\ & \frac{\phi_0 \theta_R (1 + 4\lambda) (\beta (\delta c_n - c_r) - 2 t_n \theta_R (1 - \delta))}{4 \phi_{RF}^2 (1 + 2\lambda)}. \end{aligned}$$

由此可知,当

$$\beta < \bar{\beta}_2^{MF-M} = \frac{4 t_n \theta_M \delta (1 - \delta) (1 + 2\lambda)}{(1 + \lambda) (\delta c_n - c_r)},$$

$$\beta < \bar{\beta}_2^{MF-R} =$$

$$\frac{\delta c_n - c_r}{t_n} - \frac{1}{t_n} \sqrt{(\delta c_n - c_r)^2 - \frac{4(1 + 2\lambda) t_n^2 \theta_M \delta (1 - \delta)}{1 + \lambda}},$$

$$\beta < \bar{\beta}_2^{RF-M} = \bar{\beta}_2^{RF-R} = \frac{2 t_n \theta_R \delta (1 - \delta)}{\delta c_n - c_r}$$

时, $\frac{\partial \Pi_M^{MF*}}{\partial \beta} < 0$, $\frac{\partial \Pi_R^{MF*}}{\partial \beta} < 0$, $\frac{\partial \Pi_R^{RF*}}{\partial \beta} < 0$ 和 $\frac{\partial \Pi_M^{RF*}}{\partial \beta} < 0$; 反之, 则 $\frac{\partial \Pi_M^{MF*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial \Pi_R^{MF*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial \Pi_R^{RF*}}{\partial \beta} > 0$ 和 $\frac{\partial \Pi_M^{RF*}}{\partial \beta} > 0$. 环境影响值的分析与此类似. $\square$

结论4表明,随着消费者对新产品和再制造品担保期差异性的敏感度增加,制造商和零售商利润均先降低再增加,意味着当 $\beta = \bar{\beta}_2^{i-j}$ 时,制造商(零售商)利润达到最低. 另一方面,随着参数 β 的递增,新产品产量先增加后减少,再制造品产量先减少后增加,在 $\beta = \bar{\beta}_3^i$ 处,新产品(再制造品)产量最低(最高). 由此可知,参数 β 对环境的影响与再制造品相对环境优势相关. 当再制造品的相对环境优势较弱时(即 $e_n/e_r < 1/\delta$),环境影响值随着参数 β 的递增先递减后递增,在 $\beta = \bar{\beta}_3^i$ 处,环境影响值最低;当再制造品的相对环境优势较强时(即 $e_n/e_r > 1/\delta$),环境影响则随着参数 β 的递增先递增后递减,在 $\beta = \bar{\beta}_3^i$ 处,环境影响值最高;当再制造品的相对环境优势尚可时(即 $e_n/e_r = 1/\delta$),随着参数 β 的递增,再制造品产量变化和新产品产量变化对环境造成的影响相互抵消,环境总影响值不变.

3 模型结果对比

3.1 均衡解比较

将MF模型和RF模型下新产品和再制造品定价及再制造品担保期进行比较,可得如下结论.

结论5 1) $w_n^{MF*} = w_n^{RF*}$, $p_n^{MF*} = p_n^{RF*}$ 和 w_r^{MF*}

$> w_r^{\text{RF}*}$.

2) 若 $\bar{\theta}_{R1} < \theta_R \leq \bar{\theta}_{R1}$, 则有 $p_r^{\text{MF}*} \leq p_r^{\text{RF}*}$, $t_r^{\text{MF}*} < t_r^{\text{RF}*}$; 若 $\bar{\theta}_{R1} < \theta_R \leq \bar{\theta}_{R2}$, 则有 $p_r^{\text{MF}*} > p_r^{\text{RF}*}$, $t_r^{\text{MF}*} \leq t_r^{\text{RF}*}$; 若 $\theta_R > \bar{\theta}_{R2}$, 则有 $p_r^{\text{MF}*} > p_r^{\text{RF}*}$, $t_r^{\text{MF}*} > t_r^{\text{RF}*}$.

证明 $w_n^{\text{MF}*} - w_n^{\text{RF}*} = 0$, $p_n^{\text{MF}*} - p_n^{\text{RF}*} = 0$, $w_r^{\text{MF}*} - w_r^{\text{RF}*} = \frac{\beta^2 \phi_0 (1 + \lambda)^2}{2(1 + 2\lambda) \phi_{\text{MF}}} > 0$, $p_r^{\text{MF}*} - p_r^{\text{RF}*} = \frac{p(\theta_k)}{2\phi_{\text{MF}}}$, $t_r^{\text{MF}*} - t_r^{\text{RF}*} = \beta \phi_0 T(\theta_R)$. 其中

$$P(\theta_R) =$$

$$\frac{\beta^2 \phi_0 ((1 - \delta) \delta (3\theta_R (1 + \lambda) - 2\theta_M (1 + 2\lambda)) - \beta^2 (1 + \lambda))}{\phi_{\text{MF}}},$$

$$T(\theta_R) =$$

$$\frac{4\delta(1 - \delta)(\theta_R(1 + \lambda) - \theta_M(1 + 2\lambda)) - (1 + \lambda)\beta^2}{2\phi_{\text{RF}}\phi_{\text{MF}}}.$$

以 θ_R 为自变量, 求解等式 $P(\theta_R) = 0$ 和 $T(\theta_R) = 0$, 可得

$$\bar{\theta}_{R1} = \frac{\beta^2}{3\delta(1 - \delta)} + \frac{2(1 + 2\lambda)\theta_M}{3(1 + \lambda)},$$

$$\bar{\theta}_{R2} = \frac{\beta^2}{4\delta(1 - \delta)} + \frac{(1 + 2\lambda)\theta_M}{1 + \lambda}.$$

由

$$\frac{\partial T(\theta_R)}{\partial \theta_R} = \frac{\delta(1 - \delta)}{\phi_{\text{RF}}^2} > 0,$$

$$\frac{\partial P(\theta_R)}{\partial \theta_R} = \frac{\beta^2 \phi_0 \delta (1 - \delta)}{2\phi_{\text{RF}}^2} > 0,$$

和 $\bar{\theta}_{R2} > \bar{\theta}_{R1} > \bar{\theta}_{R0}$, 结论得证. 其中 $\theta_R > \frac{\beta^2}{2\delta(1 - \delta)}$ 是模型 RF 存在唯一最优解的条件. $\square$

结论5表明, 产品担保主体的差异性对新产品的定价决策没有影响, 制造商担保模式下再制造品的批发价格总是高于零售商担保模式, 因为此时制造商会将其所承担的担保固定成本通过批发价格进行转移. 在再制造品担保期和销售价格方面, 当零售商担保所需要的固定成本相较于制造商较小时 ($\bar{\theta}_{R0} < \theta_R \leq \bar{\theta}_{R1}$), 零售商能够提供更长的担保期, 此时, 零售商也会适当提高再制造品的销售价格以获得更多的再制造品利润. 当零售商担保的固定成本相对优势减弱时 ($\bar{\theta}_{R1} < \theta_R \leq \bar{\theta}_{R2}$), 零售商担保仍能为再制造品提供比制造商担保更长的担保期; 同时, 为刺激再制造品的市场销量, 零售商会提供更高的再制造品销售价格. 当制造商担保所需要的固定成本相较于零售商较小时 ($\theta_R > \bar{\theta}_{R2}$), 制造商能够提供更长的担保期, 并将担保成本通过批发价格转移给零售商, 零售商再通过销售价格将其转移给消费者, 使再制造品的销售价格提高. 另一方面, $\bar{\theta}_{R1}$ 和 $\bar{\theta}_{R2}$ 随着零售商公平关切强度增加而提高, 且 $\bar{\theta}_{R2}$ 更为敏感, 意味着零

售商公平关切的增强会提高其提供更长再制造品担保期的可能性.

由结论5, 进一步可得如下推论.

推论3 当 $\theta_R = \theta_M = \theta$ 时: 1) $t_r^{\text{MF}*} > t_r^{\text{RF}*}$. 2) 若 $\beta > \bar{\beta}_1$ ($\beta < \bar{\beta}_1$ 且 $\lambda > \bar{\lambda}_1$), 则有 $p_r^{\text{MF}*} < p_r^{\text{RF}*}$; 若 $\beta < \bar{\beta}_1$ 且 $\lambda \leq \bar{\lambda}_1$, 则有 $p_r^{\text{MF}*} \geq p_r^{\text{RF}*}$.

在市场中, 零售商更接近消费者, 其提供的产品担保服务和定价直接影响着消费者的购买意愿. 因此, 当制造商和零售商为产品提供担保的成本参数相同时, 零售商提供的再制造品担保期总是长于制造商的, 且该结果不受零售商公平关切的影响. 另一方面, 当消费者对新产品和再制造品担保期差异性较为敏感或不敏感但零售商的公平关切程度较高时, 为获得较高的利润分配, 零售商会上提高再制造品的销售价格; 但是, 当消费者对两个产品的担保期差异性不敏感且其公平关切程度不高时, 零售商会降低再制造品销售价格以刺激再制造品的市场需求.

3.2 利润与环境影响比较

将 MF 模型和 RF 模型下制造商和零售商的利润进行比较, 可得到如下结论.

结论6 1) 当 $\theta_M \geq \bar{\theta}_{M0}$ 时: $\Pi_M^{\text{MF}*} \leq \Pi_M^{\text{RF}*}$. 当 $\theta_M < \bar{\theta}_{M0}$ 时, 存在 $\bar{\theta}_{R3}$, 若 $\bar{\theta}_{R0} < \theta_R \leq \bar{\theta}_{R3}$, 则 $\Pi_M^{\text{MF}*} \leq \Pi_M^{\text{RF}*}$; 若 $\theta_R > \bar{\theta}_{R3}$, 则 $\Pi_M^{\text{MF}*} > \Pi_M^{\text{RF}*}$. 2) 若 $\bar{\theta}_{R0} < \theta_R \leq \bar{\theta}_{R4}$; 则 $\Pi_R^{\text{MF}*} \leq \Pi_R^{\text{RF}*}$; 若 $\theta_R > \bar{\theta}_{R4}$, 则 $\Pi_R^{\text{MF}*} > \Pi_R^{\text{RF}*}$.

证明

$$\Pi_M^{\text{MF}*} - \Pi_M^{\text{RF}*} = \frac{1}{4} \Pi_M(\theta_R),$$

$$\Pi_M(\theta_R) = 2\theta_M \left(\frac{\phi_0^2(1 + \lambda)}{\phi_{\text{MF}}} - t_n^2 \right) - \frac{\phi_0^2 \theta_R (1 + \lambda)}{\phi_{\text{RF}} (1 + 2\lambda)}.$$

当 $\frac{\phi_0^2(1 + \lambda)}{\phi_{\text{MF}}} - t_n^2 < 0$ 即 $\theta_M \geq \bar{\theta}_{M0} = \frac{(\phi_0^2 + t_n^2 \beta^2)(1 + \lambda)}{4t_n^2 \delta (1 - \delta) (1 + 2\lambda)}$ 时, $\Pi_M(\theta_R) < 0$; 当 $\theta_M < \bar{\theta}_{M0}$ 时, 令 θ_R 为变量, 求解方程 $\Pi_M(\theta_R) = 0$, 得

$$\bar{\theta}_{R3} =$$

$$\frac{2\beta^2 \theta_M (1 + 2\lambda) (t_n^2 \phi_{\text{MF}} - \phi_0^2 (1 + \lambda))}{4t_n^2 \delta (1 - \delta) \theta_M (1 + 2\lambda) \phi_{\text{MF}} - (\beta \phi_0 (1 + \lambda))^2} > \bar{\theta}_{R0}.$$

由 $\frac{\partial \Pi_M}{\partial \theta_R} = \frac{\beta^2 \phi_0^2 (1 + \lambda)}{4\phi_{\text{RF}}^2 (1 + 2\lambda)} > 0$, 结论6的1)得证. 类似地, 将 MF 模型和 RF 模型下最优零售商利润进行对比, 可得

$$\Pi_R^{\text{MF}*} - \Pi_R^{\text{RF}*} = \frac{1}{8} \Pi_R(\theta_R),$$

$$\Pi_R(\theta_R) =$$

$$\frac{8\delta(1 - \delta)\phi_0^2 \theta_M^2 (1 + 2\lambda)(1 + 4\lambda)}{\phi_{\text{MF}}} +$$

$$4t_n^2\theta_R - \frac{\phi_0^2\theta_R(1+4\lambda)}{\phi_{RF}(1+2\lambda)}.$$

令 θ_R 为变量,求解方程 $\Pi_R(\theta_R) = 0$,得

$$\bar{\theta}_{R4} = \frac{4\beta A + \sqrt{A^2 + 32\delta(1-\delta)(1+2\lambda)^2 t_n^2 \beta^2 \phi_0^2 B}}{16t_n^2 \delta(1-\delta)(1+2\lambda)} > \bar{\theta}_{R0},$$

其中

$$A = 4\beta^2 t_n^2 (1+2\lambda) + \phi_0^2 (1+4\lambda - 2B\delta(1-\delta)(1+2\lambda)),$$

$$B = \frac{8\theta_M^2 \delta(1-\delta)(1+2\lambda)(1+4\lambda)}{\phi_{MF}^2}.$$

由

$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial \theta_R} = \frac{1}{8} \left(4t_n^2 + \frac{\beta^2 \phi_0^2 (1+4\lambda)}{\phi_{RF}^2 (1+2\lambda)} \right) > 0,$$

结论6的2)亦得证。□

当制造商提供产品担保的固定成本较高时($\theta_M \geq \bar{\theta}_{M0}$),制造商总是在零售商担保模式下获得较高利润. 当其固定成本参数不超过该临界值时($\theta_M < \bar{\theta}_{M0}$),其在两种模式下获得的利润大小与零售商提供产品担保的成本参数相关. 当零售商提供担保的相对成本优势较强时($\theta_R \leq \min\{\bar{\theta}_{R3}, \bar{\theta}_{R4}\}$),零售商担保具有较强的经济优势,制造商和零售商均在该担保模式下获得较高的利润. 当零售商提供担保的相对成本优势一般时($\min\{\bar{\theta}_{R3}, \bar{\theta}_{R4}\} < \theta_R < \max\{\bar{\theta}_{R3}, \bar{\theta}_{R4}\}$),任何一种担保模式都无法使双方同时获得较高的利润. 若 $\bar{\theta}_{R3} < \bar{\theta}_{R4}$,则制造商(零售商)的最优选择策略为己方担保模式;若 $\bar{\theta}_{R3} > \bar{\theta}_{R4}$,则双方的最优选择策略为对方提供产品担保,此时,供应链不具有稳定性. 当零售商提供担保无相对成本优势时($\theta_R > \max\{\bar{\theta}_{R3}, \bar{\theta}_{R4}\}$),制造商可通过提供担保服务减缓供应链双重边际效应,使得制造商和零售商获取更多的利润. 此时,制造商担保模式是供应链成员的一致选择,供应链具有稳定性. 另外,阈值 $\bar{\theta}_{u0}$ 随着零售商公平关切的增强而降低, $\bar{\theta}_{R3}$ 随着零售商公平关切的增强而提高,意味着零售商公平关切越强,制造商越倾向于零售商提供担保.

推论4 当 $\theta_R = \theta_M$ 时,闭环供应链利润总是在零售商担保模式下较高,在制造商担保模式下较低.

推论4表明,当制造商和零售商提供担保的固定成本参数相同时,相较于制造商担保,零售商担保对供应链的双重边际效应具有有效的调控作用,因为零售商直接面对消费市场,其可通过调控新产品和再制造品的销售价格及担保服务,直接影响产品的市场需求,进而提高系统利润. 因此,在供应链系统视角下,当供应链成员提供担保的成本投入相同时,应由接近

市场的供应链成员提供担保服务.

对两种担保模式下环境影响进行比较,可得到如下结论.

结论7 存在阈值 $\bar{\theta}_{R5}$,当 $e_n/e_r < 1/\delta$ 时,若 $\theta_R < \bar{\theta}_{R5}$,则有 $E^{MF*} < E^{RF*}$;若 $\theta_R \geq \bar{\theta}_{R5}$,则有 $E^{MF*} \geq E^{RF*}$.

结论7表明,不同担保模式对环境的影响不仅受到担保成本的影响,还与再制造品的相对环境优势相关. 当 $\theta_R < \bar{\theta}_{R5}$ 时,相较于制造商担保模式,零售商担保模式下新产品产量减少,但再制造品产量增加. 由 $\frac{|q_n^{MF*} - q_n^{RF*}|}{|q_r^{MF*} - q_r^{RF*}|}$ 可知:若再制造品相对环境优势较小($\delta e_n < e_r$),则增加的再制造品销量对环境造成的负面影响高于新产品销量减少的正面影响,零售商担保模式下供应链的环境影响更高;反之($\delta e_n > e_r$),则更低. 当 $\theta_R > \bar{\theta}_{R5}$ 时,相较于制造商担保模式,零售商担保下新产品产量增加,再制造品产量减少. 若再制造品相对环境优势较小($\delta e_n < e_r$),则减少的再制造品销量对环境的正面影响高于增加的新产品销量对环境的负面影响,零售商担保下环境总影响低于制造商担保模式;反之($\delta e_n > e_r$),则高于制造商担保模式. 当 $\delta e_n = e_r$ 或 $\theta_R = \bar{\theta}_{R5}$ 时,两种担保模式下的环境影响相同,表明担保主体的差异性不影响闭环供应链的环境影响.

4 数值仿真

根据模型中相关参数的假设,分别给出以下设定: $c_n = 0.5, c_r = 0.28, \delta = 0.65, \theta_M = 0.62$ 和 $t_n = 0.05$. 以 θ_R 为自变量,对两种担保模式下再制造品担保期、销售价格以及制造商、零售商和供应链利润进行比较,结果如图1和图2所示,其中,公平关切系数取 $\lambda = 0.3, \beta$ 分别取0.1和0.5.

由图1(a)可知:在制造商担保模式下,当消费者对新产品和再制造品差异化担保期的敏感性较低时($\beta < \frac{4\delta(1-\delta)(1+2\lambda)t_n\theta_M}{(1+\lambda)(\delta c_n - c_r)} = 0.772$),再制造品担保期总是低于新产品担保期. 在零售商担保模式下,当 $\beta = 0.1$ 时,在 θ_R 的有效取值范围内,总有 $\bar{\beta}_1^{RF} > \beta = 0.1$,因此,再制造品担保期总是短于新产品的担保期. 当 $\beta = 0.5$ 时,若 $\theta_R \leq 0.769$,满足 $\bar{\beta}_1^{RF} \leq \beta < \bar{\beta}_0^{RF}$,则再制造品担保期长于新产品;若 $0.769 < \theta_R < \frac{(\delta c_n - c_r)^2}{2\delta(1-\delta)t_n^2} = 1.78$,则再制造品担保期短于新产品. 以上结果与结论1和结论2相同. 当 $\beta = 0.1(\beta = 0.5)$ 时,若 $\theta_R \leq \bar{\theta}_{R1} = 0.5234(\theta_R \leq \bar{\theta}_{R1} = 0.8750)$,则再制造品销售价格和担保期在制造商担保模式下更高;若 $\theta_R > \bar{\theta}_{R2} = 0.7741(\theta_R >$

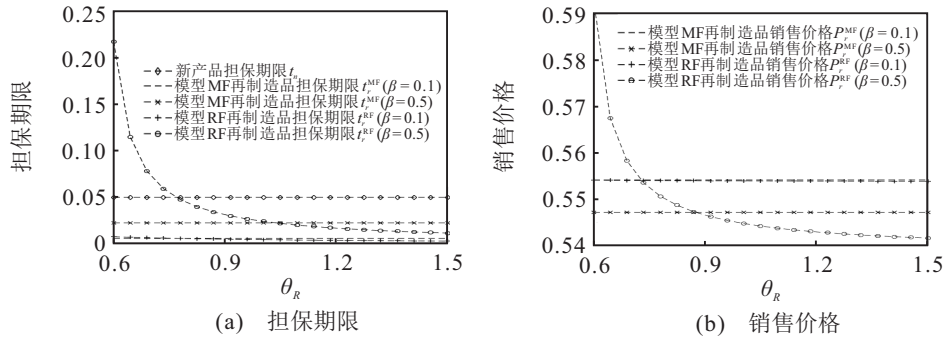


图1 两种担保模式下再制造品担保期和销售价格

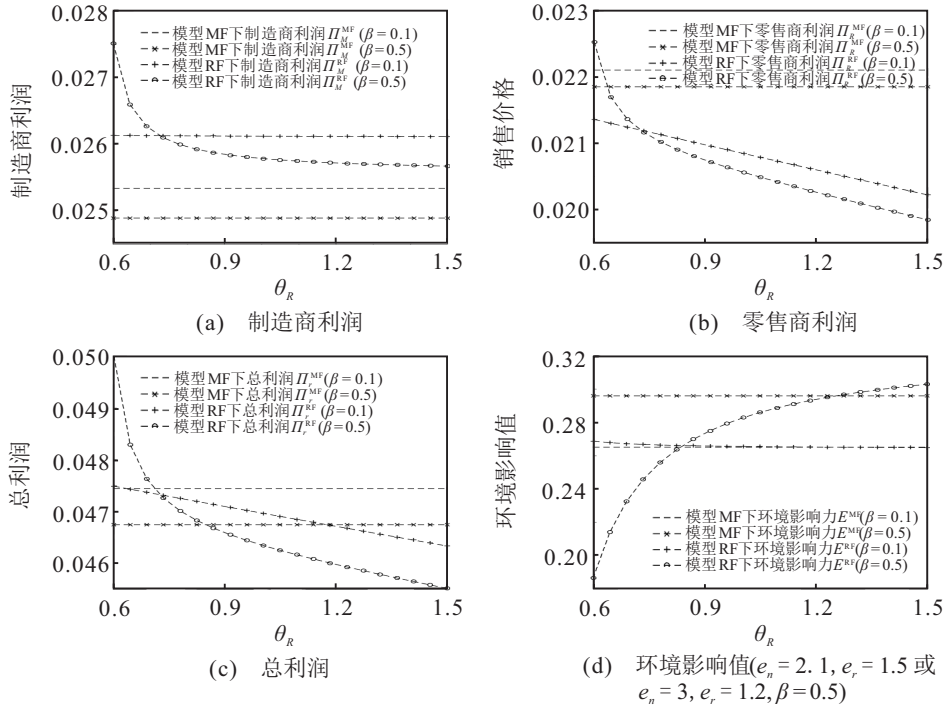


图2 供应链利润及环境影响值比较

$\bar{\theta}_{R2} = 1.0378$), 则再制造品销售价格和担保期在零售商担保下更高. 该结果与结论3一致.

由图2可知: 在MF(RF)模型中, 当消费者对新产品和再制造品担保期差异性的敏感度满足 $\beta < \min\{\bar{\beta}_2^{MF-M}, \bar{\beta}_2^{MF-R}\} = 0.56$ ($\beta < \frac{2t_n\delta(1-\delta)\theta_R}{\delta c_n - c_r} = 0.5056\theta_R$) 时, 制造商和零售商利润与 β 负相关; 当 $\beta > \max\{\bar{\beta}_2^{MF-M}, \bar{\beta}_2^{MF-R}\} = 0.7716$ ($\beta > \frac{2t_n\delta(1-\delta)\theta_R}{\delta c_n - c_r} = 0.5056\theta_R$) 时, 制造商和零售商利润与 β 正相关. 由此可知: 在MF模型中, 有 $\Pi_M^{MF}|_{\beta=0.1} > \Pi_M^{MF*}|_{\beta=0.5}$, $\Pi_R^{MF*}|_{\beta=0.1} > \Pi_R^{MF*}|_{\beta=0.5}$ 和 $\Pi_T^{MF}|_{\beta=0.1} > \Pi_T^{MF*}|_{\beta=0.5}$. 在RF模型中, 制造商和零售商利润对 β 变化的敏感性受到 θ_R 的影响, 当 $\theta_R < 0.7253$ 时, 有 $\Pi_M^{RF*}|_{\beta=0.1} < \Pi_M^{RF*}|_{\beta=0.5}$, $\Pi_R^{RF*}|_{\beta=0.1} < \Pi_R^{RF*}|_{\beta=0.5}$ 和 $\Pi_T^{RF*}|_{\beta=0.1} < \Pi_T^{RF*}|_{\beta=0.5}$; 反之, 则有 $\Pi_M^{RF*}|_{\beta=0.1} > \Pi_M^{RF*}|_{\beta=0.5}$, $\Pi_R^{RF*}|_{\beta=0.1} > \Pi_R^{RF*}|_{\beta=0.5}$, $\Pi_T^{RF*}|_{\beta=0.1} > \Pi_T^{RF*}|_{\beta=0.5}$. 该结论意味着当零售商担保时, 担保成本和消费者对

担保期差异性敏感度的高低组合可能会使供应链成员及系统更加受益. 另一方面, 当 $\beta = 0.1$ ($\beta = 0.5$) 时, $\bar{\theta}_{M0} = -0.001$ ($\bar{\theta}_{M0} = -0.001$), 此时, 由 $\theta_M > \bar{\theta}_{M0}$ 可知: 无论担保成本高低, 相对于制造商担保, 零售商担保总能为制造商提供更高的利润; 而不同主体提供担保对零售商利润的影响则与 θ_R 相关. 该结果与结论6相符. 在环境影响方面, 图2(d)结果与结论7一致, 在此不再详述.

零售商公平关切对闭环供应链最优决策、利润及环境效益的影响分别如表1和表2所示. 其中 $\beta = 0.5$, $\theta_R = 0.98$, $e_n = 3$, $e_r = 1.2$.

由表1和表2可知, 新产品和再制造品的批发价格、制造商的利润均随着零售商公平关切的增加而递减, 零售商利润随着公平关切的增加而递增, 这意味着公平关切会影响产品利润在供应链成员之间的分配. 作为供应链的领导者, 制造商的利润会高于零售商, 但是, 随着零售商公平关切的增强, 制造商的利

表1 零售商公平关切对模型MF的影响

λ	w_n	w_r	q_n	q_r	p_n	p_r	t_r	Π_M	Π_R	Π_T	E
0	0.750	0.460	0.099	0.039		0.551	0.032	0.030 87	0.015 98	0.046 85	0.345 4
0.1	0.729	0.444	0.100	0.037		0.549	0.027	0.028 21	0.018 59	0.046 80	0.347 2
0.2	0.714	0.433	0.102	0.035		0.548	0.024	0.026 31	0.020 46	0.046 77	0.348 4
0.3	0.703	0.425	0.103	0.034	0.875	0.547	0.023	0.024 89	0.021 85	0.046 74	0.349 2
0.4	0.694	0.418	0.103	0.033		0.546 6	0.021	0.023 79	0.022 94	0.046 73	0.349 8
0.5	0.688	0.413	0.103 6	0.032 9		0.546 2	0.019 9	0.022 91	0.023 81	0.046 72	0.350 3
0.6	0.682	0.409	0.103 9	0.032 4		0.545 9	0.019 2	0.022 19	0.024 52	0.046 71	0.350 7

表2 零售商公平关切对模型RF的影响

λ	w_n	w_r	q_n	q_r	p_n	p_r	t_r	Π_M	Π_R	Π_T	E
0	0.750	0.453						0.031 8	0.014 6		
0.1	0.729	0.438						0.029 1	0.017 3		
0.2	0.714	0.429						0.027 2	0.019 2		
0.3	0.703	0.420	0.098	0.040	0.875	0.543	0.017	0.025 8	0.020 6	0.046 4	0.337 4
0.4	0.694	0.414						0.024 7	0.021 7		
0.5	0.688	0.409						0.023 8	0.022 6		
0.6	0.682	0.405						0.023 1	0.023 3		

润将逐渐与零售商相等,甚至小于零售商.在模型MF下,当 $\lambda = 0.446$ 时,制造商利润小于等于零售商;在模型RF下,当 $\lambda > 0.584$ 时,制造商利润小于等于零售商.

零售商公平关切对再制造品销售价格、销量及担保期、新产品销量、系统利润和环境的影响取决于再制造品的担保模式.在制造商担保模式下,新产品销量和环境影响与公平关切正相关,其余变量及系统利润与公平关切负相关;在零售商担保模式下,各个变量、系统利润及环境影响均不受公平关切的影响.该结果与推论1和结论3一致.

5 结 论

本文研究结论对现实中企业的策略选择具有一定的管理启示:

- 1) 消费者对新产品和再制造品差异化担保期的敏感性影响着担保主体的担保策略及经济效益.当消费者对两种产品的担保期差异性较为敏感时,担保主体会为再制造品提供长期担保服务.
- 2) 在零售商公平关切下,零售商作为担保主体,可通过调控新产品、再制造品价格以及再制造品担保服务,稳定供应链的经济效益和环境效益,使其不受其公平关切的负面影响.
- 3) 当零售商担保的相对成本优势和再制造品相对环境优势显著时,零售商担保模式下再制造品的担保期更长,销售价格更低,成员利润更高,环境影响更低,零售商担保成为了供应链利益相关者的一致选择,供应链具有稳定性;当零售商担保的相对成本优势尚可时,两种担保模式都无法使供应链成员同时获得较高的利润,供应链不稳定;当零售商担保成本优

势和再制造品相对环境优势微弱时,制造商担保模式将会产生更高的经济效益和环境效益,进而成为供应链利益相关者的共同选择.

此外,本文仅考虑了由一个制造商和一个零售商构成的闭环供应链,制造商对废旧产品进行回收再制造,并只委托一个零售商进行销售.然而,在现实中废旧产品的回收再制造多由第三方再制造商进行,且产品的销售也由多个零售商同时进行.因此,下一步将研究制造商和再制造商竞争与合作情境下以及多零售商竞争情景下再制造品担保服务的决策问题.

参考文献(References)

[1] Esenduran G, Kemahlolu-Ziya E, Swaminathan J M. Take-back legislation: Consequences for remanufacturing and environment[J]. Decision Sciences, 2016, 47(2): 219-256.

[2] 王文宾, 邓雯雯. 逆向供应链的政府奖惩机制与税收-补贴机制比较研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(4): 102-110.

(Wang W B, Deng W W. Comparison between the reward-penalty mechanism with the tax-subsidy mechanism for reverse supply chains[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(4): 102-110.)

[3] 夏西强, 朱庆华, 赵森林. 政府补贴下制造/再制造竞争机理研究[J]. 管理科学学报, 2017, 20(4): 71-83.

(Xia X Q, Zhu Q H, Zhao S L. Competition mechanism of manufacture/remanufacture considering government subsidies[J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(4): 71-83.)

[4] Savaskan R C, van Wassenhove L N. Reverse channel design: The case of competing retailers[J]. Management Science, 2006, 52(1): 1-14.

- [5] Liu H H, Lei M, Deng H H, et al. A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy[J]. *Omega*, 2016, 59: 290-302.
- [6] Oraopoulos N, Ferguson M E, Toktay L B. Relicensing as a secondary market strategy[J]. *Management Science*, 2012, 58(5): 1022-1037.
- [7] Wu C H. OEM product design in a price competition with remanufactured product[J]. *Omega*, 2013, 41(2): 287-298.
- [8] Xie J P, Liang L, Liu L H, et al. Coordination contracts of dual-channel with cooperation advertising in closed-loop supply chains[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 183: 528-538.
- [9] Zheng B R, Yang C, Yang J, et al. Dual-channel closed loop supply chains: Forward channel competition, power structures and coordination[J]. *International Journal of Production Research*, 2017, 55(12): 3510-3527.
- [10] Liao B F. Warranty as a competitive dimension for remanufactured products under stochastic demand[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 198: 511-519.
- [11] Yazdian S A, Shahanaghi K, Makui A. Joint optimisation of price, warranty and recovery planning in remanufacturing of used products under linear and non-linear demand, return and cost functions[J]. *International Journal of Systems Science*, 2016, 47(5): 1155-1175.
- [12] Alqahtani A Y, Gupta S M. Warranty as a marketing strategy for remanufactured products[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 161: 1294-1307.
- [13] Zhu Q H, Li H L, Zhao S L, et al. Redesign of service modes for remanufactured products and its financial benefits[J]. *International Journal of Production Economics*, 2016, 171: 231-240.
- [14] 程晋石, 李帮义, 龚本刚, 等. 考虑再制造品商标许可和担保的策略组合分析[J]. *管理工程学报*, 2018, 32(1): 146-153.
(Cheng J S, Li B Y, Gong B G, et al. Strategy combinations analysis considering trademark licensing and warranty of remanufactured products[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2018, 32(1): 146-153.)
- [15] 刘志, 李帮义, 龚本刚, 等. 再制造商公平关切下闭环供应链生产设计决策与协调[J]. *控制与决策*, 2016, 31(9): 1615-1622.
(Liu Z, Li B Y, Gong B G, et al. Production design decision and coordination of closed-loop supply chain considering remanufacturer's fairness concern[J]. *Control and Decision*, 2016, 31(9): 1615-1622.)
- [16] Ma P, Li K W, Wang Z J. Pricing decisions in closed-loop supply chains with marketing effort and fairness concerns[J]. *International Journal of Production Research*, 2017, 55(22): 6710-6731.
- [17] Örsdemir A, Kemahlolu-Ziya E, Parlaktürk A K. Competitive quality choice and remanufacturing[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(1): 48-64.
- [18] Ferguson M E, Toktay L B. The effect of competition on recovery strategies[J]. *Production and Operations Management*, 2009, 15(3): 351-368.
- [19] Giri B C, Mondal C, Maiti T. Analysing a closed-loop supply chain with selling price, warranty period and green sensitive consumer demand under revenue sharing contract[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 190: 822-837.
- [20] 杜少甫, 杜婵, 梁樑, 等. 考虑公平关切的供应链契约与协调[J]. *管理科学学报*, 2010, 13(11): 41-48.
(Du S F, Du C, Liang L, et al. Supply chain coordination considering fairness concerns[J]. *Journal of Management-Sciences in China*, 2010, 13(11): 41-48.)

作者简介

马晓平(1976—), 女, 副教授, 从事生产者责任延伸、循环经济等研究, E-mail: maxiaoping@nuaa.edu.cn;

刘志(1985—), 男, 副教授, 从事物流与供应链管理、再制造运作管理等研究, E-mail: liuzhi0551@126.com;

李帮义(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链建模与优化、委托代理理论等研究, E-mail: libangyi@nuaa.edu.cn;

唐娟(1985—), 女, 讲师, 博士生, 从事物流与供应链管理、生产者责任延伸理论的研究, E-mail: juan1985juan@163.com;

郑小雪(1981—), 女, 讲师, 博士后, 从事知识管理、决策分析等研究, E-mail: snowwie@126.com.

(责任编辑: 孙艺红)