

闭环供应链制造商需求信息共享与回收渠道设计

张 盼¹, 雷鸣宇²

(1. 南昌大学经济管理学院, 江西 南昌 330031;

2. 华中科技大学管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 在零售商负责回收和制造商负责回收的闭环供应链中建立制造商需求信息共享模型, 利用精炼贝叶斯均衡理论求得两种回收模式下均衡结果, 探讨制造商分享需求预测信息对供应链成员利润影响, 研究促进信息共享激励机制和均衡信息共享策略, 对比分析两种回收模式下信息共享价值和期望利润。研究发现, 在零售商回收模式中, 制造商自愿分享需求信息和通过讨价还价博弈机制分享需求信息都可能是均衡策略; 在制造商回收模式中, 信息不分享是唯一均衡; 相对于零售商回收模式, 制造商回收模式下信息对于零售商价值更高, 对于供应链和制造商的价值更低; 当回收效率较高时, 零售商回收模式要优于制造商回收模式, 反之, 制造商回收模式要优于零售商回收模式。

关键词: 闭环供应链; 回收模式; 需求预测; 信息共享; 激励机制

中图分类号: F273

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2020)02-0232-12

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2020.02.009

Demand information sharing of the manufacturer and reverse channel design in closed-loop supply chains

Zhang Pan¹, Lei Mingyu²

(1. School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2. School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A manufacturer information sharing model is established for closed-loop supply chains where either the retailer or the manufacturer undertakes recovery. By using the refining Bayesian equilibrium theory, this paper derives equilibrium results of the two modes and investigates the impact of information sharing. Moreover, the equilibrium information sharing strategies are investigated and the two recovery modes are compared. The results show that in the retailer recovery mode, both voluntarily information sharing and information sharing as a result of bargaining game could be the equilibrium strategies. However in the manufacturer recovery mode, non sharing is the unique equilibrium. Compared with the retailer recovery mode, the information sharing in the manufacturer recovery mode is more valuable to the retailer, but less valuable to the supply chain and the manufacturer. When the recovery efficiency is high, the retailer recovery mode is better than the manufacturer recovery mode, Otherwise, the manufacturer recovery mode is better.

Key words: closed-loop supply chain; recovery mode; demand forecast; information sharing; incentive mechanism

收稿日期: 2018-10-15; 修订日期: 2019-05-16.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71961019); 江西省高校人文社会科学研究资助项目(GL18240).

1 引言

鉴于政府法规的强制要求以及回收再制造活动的利益诱惑,越来越多的制造企业开始从事回收再制造活动. 根据回收模式不同,主要分为两类. 一种是制造商直接从消费者处回收废旧产品的模式,如施乐和佳能等. 另一种是制造商依赖零售商回收的模式,如国美和苏宁等^[1,2]. 在上述两种回收模式的闭环供应链中,产品需求的不确定会增加制造商和零售商生产、定价和回收再制造等决策的难度. 鉴于此,制造商可以通过大量投资来对消费者偏好和需求进行广泛市场调查,从而对产品市场的需求进行预测. 此外,制造商还可以通过网上平台直接面对消费者,收集消费者需求和消费信息,从而对市场需求进行预测. 在上述因素的影响下,制造商相对于零售商会拥有市场需求信息优势^[3],进而导致闭环供应链中需求信息不对称. 需求信息不对称会降低闭环供应链中的生产和供应链绩效,还会影响回收再制造的效率.

信息分享被认为是有效解决需求信息不对称问题的理论工具^[3-14]. 因此,本文在上述两种回收模式的闭环供应链中主要探讨以下问题: 两种回收模式中均衡的信息分享策略是什么? 是否通过设计一个讨价还价机制可以促进制造商进行信息分享? 哪一种回收模式下的信息分享价值更高? 在均衡的信息分享策略下,哪一种回收模式更好?

本文在上述两种回收模式的闭环供应链中分别建立了需求信息分享模型,利用精炼贝叶斯均衡理论求解每种回收模式下的均衡信息分享策略,并设计讨价还价博弈机制促进信息分享. 针对每种回收模式下的均衡结果,本文依次对比分析了不同回收模式对信息分享价值的影响、供应链成员对两种回收模式的偏好程度. 研究发现,在零售商回收模式中,一定条件下制造商会自愿分享需求信息,这相对于之前信息分享研究文献是一个新的发现. 此外,制造商和零售商可能都偏好制造商回收模式,这个结论是对文献[1, 2]的一个发展,因为文献[1, 2]是在需求确定情形下探讨回收渠道设计问题,发现制造商和零售商只偏好的零售商回收模式.

与本文研究相关的文献主要有以下三类: 在其它供应链中研究需求信息分享问题、在闭环供应链中研究回收渠道设计问题和需求信息分享问题. 在其它类型供应链中,已有大量学者研究其中需求信息分享问题. 如 Ha 等^[4]在一个存在供应链竞争且其中制造商的生产方式是规模不经济的模型中,分别在零售商们进行 Cournot 竞争和 Bertrand 竞争情形下,研究了零售商们的均衡信息分享策略. 滕文波等^[5]在一个厂商和一个经销商组成的供应链中,求得了厂商是否开通电子渠道和零售商是否分享预测信息组合而成的四种情形下的均衡结果,并探讨了信息分享的价值和供应链成员均衡的策略. Lei 等^[6]在一个由一个制造商和多个零售商构成的双渠道供应链中,研究了水平和垂直信息分享问题. Li^[7]针对上游制造商是备货型的供应链中,研究了促使零售商进行信息分享的激励合同. 谢文明等^[8]考察供应商需要在直销市场和分销商中进行产能分配,当分销商拥有需求信息优势时,研究了供应商如何设计合同菜单问题,并提出了产能再分配模型. Shang 等^[9]在存在竞争制造商的供应链模型中,分别在制造商生产规模经济和不经济两种情形下,研究了零售商的均衡信息分享策略,即零售商向一或两个制造商分享、零售商都不分享. Jiang 等^[3]考察制造商能够获取更多的需求预测信息时,探讨了制造商信息不分享、自愿分享和强制分享三种模式下的均衡结果并进行了对比分析. Bian 等^[10]在一个进行 Bertrand 竞争的两条供应链模型中,当零售商的需求信息是不对称时,探讨了供应链间的均衡信息分享策略. Zhou 等^[11]在一个存在集团采购的供应链中,当制造商的需求预测信息是不对称时,探讨了促使制造商信息分享的奖励机制. Huang 等^[12]在由存在竞争供应商的供应链中,探讨零售商不分享、部分分享、完全分享需求预测信息时供应链均衡结果,并分析了信息分享对库存和利润的影响. Scheele 等^[13]以一个公司内的采购部门和销售部门为研究对象,为保证销售部门真实分享其需求信息,研究了采购部门的激励机制设计问题. Dominguez 等^[14]在一个零售商异质的多级供应链中探讨了部分零售商需求信息分享问题. 需要指出的是,这类文献在研究需求信息分享时都只考察了正向供应链,而没有考察整合正向供应链和逆向供应链的闭环供应链.

目前,已有较多学者关注闭环供应链管理^[15-17],其中回收渠道设计是一个重点探讨话题.如 Savaskan 等^[1]在一个双边垄断的闭环供应链中,研究了零售商回收、制造商直接回收和第三方回收等三种回收渠道模式下的最优决策问题,并进行了对比分析. Savaskan 等^[2]进一步考察了零售商竞争的闭环供应链,研究了上述三种回收渠道对比问题. Atasu 等^[18]基于案例调查得出的不同于文献[1, 2]的回收成本函数,并在此基础上对上述三种回收渠道进行了对比分析. 付小勇等^[19]构建了两条逆向供应链竞争模型,研究了每条逆向供应链中处理商回收渠道选择问题,即是选择直接回收还是委托给回收商回收. Hong 等^[20]在三种回收模式的闭环供应链中考虑了零售商的广告行为,分别研究了三种模型下的最优决策并进行了对比分析,最后研究供应链协调策略. Wu 等^[21]从闭环供应链竞争的角度,当制造商有两种渠道选择时,即选择直接回收或者委托零售商回收,研究了供应链均衡的回收渠道结构. 陈军等^[22]在一个面临随机需求的闭环供应链中,利用报童模型研究了制造商选择直接回收还是委托零售商回收问题. 需要指出的是,这类文献都是在需求信息对称情形下进行研究,而本文是在需求不确定的市场中,当制造商的需求预测信息是不对称时探讨回收渠道设计问题.

近年来,已有一些学者从需求信息不对称的角度对闭环供应链中的信息分享问题进行了研究. 如聂佳佳^[23]分别在零售商回收、制造商直接回收和第三方回收的闭环供应链中,研究了零售商分享预测信息对于供应链成员的价值,并对几种回收模式进行了对比分析. 聂佳佳^[24]研究了再制造商与制造商的需求预测信息分享问题,并设计了一个信息分享补偿机制以促进再制造商进行信息分享. 肖群等^[25]在闭环供应链中,研究了备货型生产和订货型生产模式下信息分享对供应链成员最优决策和价值的影响,并探讨了促进信息分享的机制. 与文献[23-25]的主要区别在于,文献[23-25]探讨的是零售商的需求信息分享问题,而本文基于制造商可能拥有需求信息优势这一现实背景^[3],探讨了制造商的需求信息分享问题.

综上所述,大多数学者都是在正向供应链中研究需求信息分享问题,只有少数学者在研究需求信息分享时考察了闭环供应链,但是他们都是研究的零售商的需求信息分享,而忽略了制造商也可能拥有需求信息优势这一现实背景. 基于已有研究的不足,本文在不同回收模式的闭环供应链中探讨了制造商的需求信息分享问题,并在需求不确定的市场中探讨了回收渠道设计问题.

2 闭环供应链需求信息分享模型

本文分别考察制造商回收模式的闭环供应链和零售商回收模式的闭环供应链. 在两种模式的闭环供应链中,制造商有两种新产品制造方式:一种是完全用原材料制造新产品,另一种是完全用回收品再制造成新产品. 假设两种生产方式的单位成本分别为 C_n 和 C_r . 令 $\Delta = C_n - C_r$, 假设 $\Delta > 0$, 表示制造商从事再制造活动节约的单位生产成本. 由于再制造技术高度发达,因此假设消费者认为再制造产品的质量与新产品的质量一样. 在零售商回收模式中,针对零售商回收的废旧产品,制造商给予零售商的单位赎回价格 c . 假设 $\Delta > c$, 即制造商的节约单位成本大于废旧产品的单位回收成本,表示在零售商回收模式下,制造商从事回收再制造活动有利可图.

在两种回收模式中,假设制造商再制造的新产品占市场需求的比例为 τ , $\tau \in [0, 1]$, 当 $\tau = 0$ 时,表明制造商全部用原材料制造新产品来满足市场; 当 $\tau = 1$ 时,表明制造商全部用回收产品再制造新产品来满足市场. τ 亦可以理解为废旧产品的回收再制造比率,参考文献[2], 假设 $I = \eta\tau^2$, 其中 I 为回收投资成本, η 为回收成本系数. 在制造商回收模式中,回收再制造比率 τ 由制造商决策,在零售商回收模式中,回收再制造比率 τ 由零售商决策.

市场中产品需求函数 $q = a - bp$, 其中 a 代表潜在的市场需求, b 代表需求对价格的敏感性, p 代表零售商单位产品零售价格. 假设 w 为制造商单位产品的批发价格, m 为零售商销售单位产品的边际利润, 因此 $p = w + m$.

为构造市场需求不确定, 本文采用与 Li^[26]相同的假定, 即

$$a = a_0 + \varepsilon, \quad (1)$$

其中 a_0 代表市场需求确定部分, ε 代表市场需求不确定部分. ε 为服从正态分布的随机变量, 期望为零方差为 v .

虽然市场需求不确定, 但是制造商可以通过收集分析历史数据等方法对市场需求进行预测. 因此, 假设制造商的预测需求为 f , 且

$$f = a + \varepsilon_1, \quad (2)$$

其中 ε_1 表示预测误差, 且服从期望为零方差为 s 的正态分布. ε_1 与 ε 相互独立, 并且 ε_1 越大, 预测越不准确.

由聂佳佳^[23]和 Winkler^[27]的研究可得

$$E[a|f] = (1 - t)a_0 + tf, \quad (3)$$

其中 $t = \frac{v}{v+s}$, t 为制造商需求信息预测的精确度, t 越大(越小)说明制造商信息预测得越准确(越不准确).

供应链成员博弈顺序如下: 首先, 制造商和零售商通过讨价还价机制决定是否分享需求预测信息 f . 其次, 制造商和零售商进行序贯博弈. 具体地, 在零售商回收模式中, 零售商先同时决策回收率 τ 和边际利润 m , 制造商随后决策批发价 w . 在制造商回收模式中, 零售商先决策边际利润 m , 制造商随后同时决策回收率 τ 和批发价 w . 采用逆向递推法对两种模型进行求解.

下文中的符号描述如下: Π_{jk}^i 表示 j 模式 k 情形下 i 的利润, j 取 M 和 R, 分别代表制造商回收模式和零售商回收模式, k 取 N 和 S, 分别代表信息不分享和信息分享, i 取 M, R 和 S, 分别代表制造商, 零售商与供应链. 另令 V_j^i 表示在 j 模式下信息分享对 i 的价值.

2.1 零售商回收模式下需求信息分享模型

1) 信息不分享

当制造商不分享需求信息时, 零售商没有得到制造商的预测信息, 所以只能依据市场潜在需求 a 和制造商的信息结构进行决策, 而制造商将依据潜在市场需求 a 和自己的需求预测信息 f 进行决策. 因此, 制造商的期望利润

$$E[\Pi_{RN}^M] = E[(q(w_{RN}^M - C_n + (\Delta - c)\tau_{RN}^M) | f)]. \quad (4)$$

为表达方便, 令 $E[a|f] = a_1$. 由制造商的需求信息结构可得 $E[a_1] = a_0$. 由 $\frac{dE[\Pi_{RN}^M]}{dw_{RN}^M} = 0$ 可得制造商最优策略

$$w_{RN}^M = (a_1 - b(m - c\tau + \tau\Delta) + bC_n)/(2b). \quad (5)$$

零售商的期望利润为

$$E[\Pi_{RN}^R] = E[(a - b(m_{RN}^R + w_{RN}^R)(m_{RN}^R + c\tau_{RN}^R) - \eta\tau_{RN}^R)^2]. \quad (6)$$

假设 $\eta > b\Delta^2/8$, 联立 $\frac{\partial E[\Pi_{RN}^R]}{\partial m_{RN}^R} = 0$ 和 $\frac{\partial E[\Pi_{RN}^R]}{\partial \tau_{RN}^R} = 0$ 求解, 可得零售商的最优策略

$$m_{RN}^R = (a_0 - bC_n)(b\Delta - 4\eta)/(b(b\Delta^2 - 8\eta)), \quad (7)$$

$$\tau_{RN}^R = (bC_n\Delta - a_0\Delta)/(b\Delta^2 - 8\eta). \quad (8)$$

进一步化简可以求出零售商和制造商最优期望利润为

$$E[\Pi_{RN}^R] = \eta(a_0 - bC_n)^2/(b(8\eta - b\Delta^2)), \quad (9)$$

$$E[\Pi_{RN}^M] = tv/(4b) + 4\eta^2(a_0 - bC_n)^2/(b(8\eta - b\Delta^2)^2). \quad (10)$$

2) 信息分享

在此模式下, 制造商和零售商都可以依据潜在市场需求 a 与预测信息 f 进行决策. 制造商期望利润为

$$E[\Pi_{RI}^M] = E[q(w_{RI}^M - C_n + (\Delta - c)\tau_{RI}^M)|f]. \quad (11)$$

对 $E[\Pi_{RI}^M]$ 求关于 w_{RI}^M 的一阶导数, 并令其等于 0, 可得制造商最优策略

$$w_{RI}^M = (a_1 - b(m - c\tau + \tau\Delta) + bC_n)/(2b). \quad (12)$$

进而可得零售商的期望利润

$$E[\Pi_{RI}^R] = E[(a - b(m_{RI}^R + w_{RI}^R)(m_{RI}^R + c\tau_{RI}^R) - \eta\tau_{RI}^{R^2})|f]. \quad (13)$$

联立 $\frac{\partial E[\Pi_{RI}^R]}{\partial m_{RI}^R} = 0$ 和 $\frac{\partial E[\Pi_{RI}^R]}{\partial \tau_{RI}^R} = 0$ 求解, 可得零售商最优策略

$$m_{RI}^R = (4\eta - bc\Delta)(bC_n - a_1)/(b\Delta^2 - 8\eta), \quad (14)$$

$$\tau_{RI}^R = (bC_n\Delta - a_1\Delta)/(b\Delta^2 - 8\eta). \quad (15)$$

进一步化简可得零售商和制造商最优期望利润

$$E[\Pi_{RI}^R] = \eta(tv + (a_0 - bC_n)^2)/(b(8\eta - b\Delta^2)), \quad (16)$$

$$E[\Pi_{RI}^M] = 4\eta^2(tv + (a_0 - bC_n)^2)/(b(8\eta - b\Delta^2)^2). \quad (17)$$

3) 均衡信息分享策略

通过对比分析信息分享和信息不分享两种情形下的期望利润, 可得下列结论.

命题 1 在零售商回收模式下, 制造商分享需求预测信息会使零售商利润增加, 当 $b\Delta^2/8 < \eta \leq b\Delta^2/4$ 时, 会使自己利润增加. 当 $\eta > b\Delta^2/4$ 时, 会使自己利润减少. 当 $b\Delta^2/8 < \eta \leq (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, 制造商分享需求预测信息会使供应链利润增加, 当 $\eta > (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, 会使供应链利润减少.

证明 基于信息分享和不分享情形下的结果, 可得信息分享对于制造商和零售商的价值

$$V_R^R = E[\Pi_{RI}^R] - E[\Pi_{RN}^R] = \frac{\eta tv}{b(8\eta - b\Delta^2)} > 0, \quad (18)$$

$$V_R^M = E[\Pi_{RI}^M] - E[\Pi_{RN}^M] = -\frac{tv(12\eta - b\Delta^2)(4\eta - b\Delta^2)}{4b(8\eta - b\Delta^2)^2}. \quad (19)$$

由于假设 $\eta > b\Delta^2/8$, 因此对式(19)进一步分析可知, 当 $b\Delta^2/8 < \eta \leq b\Delta^2/4$ 时, $V_R^M \geq 0$, 当 $\eta > b\Delta^2/4$ 时, $V_R^M < 0$.

进一步可得信息分享对整个供应链的价值

$$V_R^S = V_R^M + V_R^R = -\frac{tv(16\eta^2 - 12b\eta\Delta^2 + b^2\Delta^4)}{4b(8\eta - b\Delta^2)^2}. \quad (20)$$

对 V_R^S 进行分析可得, 当 $b\Delta^2/8 < \eta \leq (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, $V_R^S \geq 0$, 当 $\eta > (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, $V_R^S < 0$.

证毕.

命题 1 表明, 当零售商的回收效率较高时, 即 $b\Delta^2/8 < \eta \leq b\Delta^2/4$ 时, 制造商向零售商分享需求信息会使自己的利润增加, 即使丧失了信息优势. 相对于之前大多数文献, 如文献[3-9], 这个结论是一个新的发现. 因为之前相关文献都认为制造商或零售商丧失信息优势后会自己的利润受损. 因此, 当零售商的回收效率较高时, 制造商会自愿分享自己的需求信息给零售商.

当零售商的回收效率满足条件 $b\Delta^2/4 < \eta \leq (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, 制造商分享需求信息尽管会使

自己的利润减少,但是会使整个供应链利润增加.因此,在此情形下零售商可以通过设计 Nash 讨价还价机制弥补制造商信息分享的损失,从而促使制造商分享需求预测信息.当零售商的回收效率较低,即 $\eta > (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时,需求信息分享不能提高整个供应链的利润,因此无法设计补偿机制促使制造商分享需求信息,使得信息分享是此情形下的唯一均衡.

接下来主要讨论当零售商的回收效率较高,即 $b\Delta^2/8 < \eta \leq (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时,如何设计促进需求信息分享的讨价还价机制.假设制造商和零售商的讨价还价能力分别为 α_1 和 α_2 , 其中 $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$. 供应链成员就信息分享后的供应链利润 $E[\Pi_{RI}^M] + E[\Pi_{RI}^R]$ 进行讨价还价,令 x 和 y 分别代表讨价还价后制造商和零售商分配到的利润.由个人理性约束可知,讨价还价机制被制造商与零售商接受的前提是,制造商与零售商都能获得不低于信息不分享情形下的利润.综上所述,构造以下纳什讨价还价模型

$$\begin{cases} \text{Max}_{x,y} (x - E[\Pi_{RN}^M])^{\alpha_1} (y - E[\Pi_{RN}^R])^{\alpha_2} \\ \text{s.t.} \\ x - E[\Pi_{RN}^M] \geq 0 \\ y - E[\Pi_{RN}^R] \geq 0 \\ x + y \leq E[\Pi_{RI}^M] + E[\Pi_{RI}^R]. \end{cases} \quad (21)$$

求解上述最优化问题可得 $x = E[\Pi_{RN}^M] + \alpha_1 V_R^S$, $y = E[\Pi_{RN}^R] + \alpha_2 V_R^S$. 进一步可得零售商回收模式下的均衡信息分享策略.

命题 2 当 $b\Delta^2/8 < \eta \leq b\Delta^2/4$ 时,制造商自愿分享需求信息是唯一均衡.当 $b\Delta^2/4 < \eta \leq (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时,制造商需求信息分享是讨价还价机制下的唯一均衡.在讨价还价机制下,制造商的利润为 $E[\Pi_{RN}^M] + \alpha_1 V_R^S$, 零售商的利润为 $E[\Pi_{RN}^R] + \alpha_2 V_R^S$. 当 $\eta > (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时,制造商需求信息不分享是唯一均衡.

2.2 制造商回收模式下需求信息分享模型

1) 信息不分享

当制造商不分享需求信息时,零售商未得到制造商预测信息,所以只能根据市场潜在需求 a 和制造商信息结构进行决策,而制造商将依据潜在市场需求 a 和自己的需求预测信息 f 进行决策.因此,制造商的期望利润为

$$E[\Pi_{MN}^M] = E[(q(w_{MN}^M - C_n + \Delta\tau_{MN}^M) - \eta\tau_{MN}^M)^2 | f]. \quad (22)$$

为保证 $E[\Pi_{MN}^M]$ 是关于 w_{MN}^M 和 τ_{MN}^M 的联合凹函数,假设 $\eta > b\Delta^2/4$. 联立 $\frac{\partial E[\Pi_{MN}^M]}{\partial w_{MN}^M} = 0$ 和 $\frac{\partial E[\Pi_{MN}^M]}{\partial \tau_{MN}^M} = 0$ 求解,可得制造商的最优策略

$$w_{MN}^M = \frac{2a_1\eta + 2b\eta C_n - 2b\eta m_{MN}^M - a_1b\Delta^2 + m_{MN}^M b^2 \Delta^2}{4b\eta - b^2 \Delta^2}, \quad (23)$$

$$\tau_{MN}^M = \frac{(a_1 - b(C_n + m_{MN}^M))\Delta}{4\eta - b\Delta^2}. \quad (24)$$

此时,零售商的期望利润

$$E[\Pi_{MN}^R] = E[(a - b(m_{MN}^R + w_{MN}^M))m_{MN}^R]. \quad (25)$$

由 $\frac{dE[\Pi_{MN}^R]}{dm_{MN}^R} = 0$ 可得零售商最优策略

$$m_{MN}^R = \frac{a_0 - bC_n}{2b(4\eta - b\Delta^2)}. \quad (26)$$

进一步化简可以求出零售商和制造商最优期望利润为

$$E[\Pi_{MN}^R] = \frac{\eta(a_0 - bC_n)^2}{2b(4\eta - b\Delta^2)}, \quad (27)$$

$$E[\Pi_{MN}^M] = \frac{\eta(4tv + (a_0 - bC_n)^2)}{4b(4\eta - b\Delta^2)}. \quad (28)$$

2) 信息分享

在此模式下, 制造商和零售商都可以依据潜在市场需求 a 与预测信息 f 进行决策. 制造商期望利润为

$$E[\Pi_{MI}^M] = E[(q(w_{MI}^M - C_n + \Delta\tau_{MI}^M) - \eta\tau_{MI}^{M^2})|f]. \quad (29)$$

联立 $\frac{\partial E[\Pi_{MI}^M]}{\partial w_{MI}^M} = 0$ 和 $\frac{\partial E[\Pi_{MI}^M]}{\partial \tau_{MI}^M} = 0$ 求解, 可得制造商最优策略

$$w_{MI}^M = \frac{2a_1\eta + 2b\eta C_n - 2b\eta m_{MI}^M - a_1b\Delta^2 + m_{MI}^M b^2 \Delta^2}{4b\eta - b^2 \Delta^2}, \quad (30)$$

$$\tau_{MI}^M = \frac{(a_1 - b(C_n + m_{MI}^M))\Delta}{4\eta - b\Delta^2}. \quad (31)$$

此时, 零售商期望利润为

$$E[\Pi_{MI}^R] = E[((a - b(m_{MI}^R + w_{MI}^R))m_{MI}^R)|f]. \quad (32)$$

由 $\frac{dE[\Pi_{MI}^R]}{dm_{MI}^R} = 0$ 可得零售商最优策略

$$m_{MI}^R = \frac{a_1 - bC_n}{2b}. \quad (33)$$

进一步化简得到零售商和制造商最优期望利润

$$E[\Pi_{MI}^R] = \frac{\eta(tv + (a_0 - bC_n)^2)}{2b(4\eta - b\Delta^2)}, \quad (34)$$

$$E[\Pi_{MI}^M] = \frac{\eta(tv + (a_0 - bC_n)^2)}{4b(4\eta - b\Delta^2)}. \quad (35)$$

3) 均衡的信息分享策略

通过对比分析信息分享和信息不分享两种情形下的期望利润, 得出以下结论.

命题 3 当 $\eta > b\Delta^2/4$ 时, 1) 在制造商回收模式下, 制造商分享需求预测信息会减少自己的利润, 使零售商利润增加, 供应链利润减少. 2) 在制造商回收模式下, 制造商需求信息不分享是唯一的均衡.

证明 基于上述信息分享和信息不分享结果, 可得信息分享对于制造商和零售商的价值

$$V_M^M = E[\Pi_{MI}^M] - E[\Pi_{MN}^M] = \frac{-3\eta tv}{4b(4\eta - b\Delta^2)} < 0, \quad (36)$$

$$V_M^R = E[\Pi_{MI}^R] - E[\Pi_{MN}^R] = \frac{\eta tv}{2b(4\eta - b\Delta^2)} > 0. \quad (37)$$

进一步得到信息分享对整个供应链的价值

$$V_M^S = V_M^M + V_M^R = -\frac{\eta tv}{4b(4\eta - b\Delta^2)} < 0. \quad (38)$$

由于信息分享并不能提高供应链绩效, 因此不存在一个讨价还价机制使得制造商信息分享后能获得更多的利润, 因此制造商缺少动力进行信息分享, 所以制造商不分享需求信息是最终结果. 证毕.

命题 3 表明, 因为制造商自己进行回收活动, 无论回收效率低或高, 分享需求信息都会减少整个供应链

的利润, 使得信息不分享是此情形下的唯一均衡.

3 两种模型比较与分析

3.1 两种模式的信息分享价值对比分析

对比两种回收模式下的信息分享价值, 可得以下结论.

命题4 当 $\eta > b\Delta^2/4$ 时, 相对于制造商回收模式, 零售商回收模式下信息分享对于制造商的价值更大, 即 $V_R^M > V_M^M$, 对于零售商的价值更小, 即 $V_R^R < V_M^R$, 对于整个供应链的价值更大, 即 $V_R^S > V_M^S$.

证明 通过对两种模式下的信息分享价值进行比较可得

$$\begin{cases} V_R^M - V_M^M = \frac{tv\Delta^2(b^2\Delta^4 - 17b\Delta^2\eta + 64\eta^2)}{4(4\eta - b\Delta^2)(8\eta - b\Delta^2)^2} \\ V_R^R - V_M^R = -\frac{tv\Delta^2\eta}{2(4\eta - b\Delta^2)(8\eta - b\Delta^2)} \\ V_R^S - V_M^S = -\frac{tv(b^2\Delta^6 - 15b\Delta^4\eta + 48\Delta^2\eta^2)}{4(4\eta - b\Delta^2)(8\eta - b\Delta^2)^2}. \end{cases} \quad (39)$$

由于 $\eta > b\Delta^2/4$, 因此可以验证 $V_R^M - V_M^M > 0$, $V_R^R - V_M^R < 0$, $V_R^S - V_M^S > 0$. 证毕.

由第2节分析可知两种模式下信息分享对于制造商的价值都为负值, 通过命题4进一步可知, 在零售商回收模型下信息分享使得制造商的损失更少. 原因在于在零售商回收模型下, 制造商分享需求信息会提高零售商的回收活动的效率, 进而会使制造商受益. 命题4还表明, 相对于零售商回收模式, 零售商在制造商回收模式下通过信息分享能获得更多的受益. 此外, 信息分享使得零售商回收模式的供应链获益更多.

3.2 两种模式的期望利润对比分析

由命题2可知, 当 $b\Delta^2/8 < \eta \leq (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, 需求信息分享是零售商回收模式下的唯一均衡; 当 $\eta > (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, 需求信息不分享是零售商回收模式下唯一均衡. 由命题3可知, 当 $\eta > b\Delta^2/4$ 时, 需求信息不分享是制造商回收模式下唯一均衡. 通过比较两种回收模式均衡时的期望利润, 可得如下结论.

命题5 当 $b\Delta^2/8 < \eta < b\Delta^2/4$ 时, 供应链成员更偏好于零售商回收模式; 当 $\eta > b\Delta^2/4$ 时, 供应链成员更偏好于制造商回收模式.

证明 1) 当 $b\Delta^2/8 < \eta < b\Delta^2/4$ 时, 由于制造商回收模式不会经营, 因此零售商回收模式对制造商和零售商都更好.

2) 当 $b\Delta^2/4 < \eta \leq (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, 对比零售商回收模式下信息分享时供应链成员的期望利润和制造商回收模式下信息不分享时供应链成员的期望利润可得

$$E[\Pi_{RI}^M] - E[\Pi_{MN}^M] = E[\Pi_{RN}^M] + \alpha_1 V_R^S - E[\Pi_{MN}^M], \quad (40)$$

$$E[\Pi_{RI}^R] - E[\Pi_{MN}^R] = E[\Pi_{RN}^R] + \alpha_2 V_R^S - E[\Pi_{MN}^R]. \quad (41)$$

当 $\alpha_1 = 1$, $E[\Pi_{RI}^M] - E[\Pi_{MN}^M] = -\frac{\eta(64tv\eta^2 + b^2\Delta^4(a_0 - bC_n)^2)}{4b(b\Delta^2 - 8\eta)^2(4\eta - b\Delta^2)} < 0$. 由于 $0 \leq \alpha_1 \leq 1$, 所以 $E[\Pi_{RI}^M]$ 恒小于 $E[\Pi_{MN}^M]$.

当 $\alpha_2 = 1$, $E[\Pi_{RI}^R] - E[\Pi_{MN}^R] = -\frac{2b\Delta^2\eta(bC_m - a_0)^2}{4b(8\eta - b\Delta^2)(4\eta - b\Delta^2)} - \frac{tv(b^2\Delta^4 - 12b\Delta^2\eta + 16\eta^2)}{4b(b\Delta^2 - 8\eta)^2} < 0$. 由于 $0 \leq \alpha_2 \leq 1$, 所以 $E[\Pi_{RI}^R]$ 恒小于 $E[\Pi_{MN}^R]$. 因此, 在此种情形下制造商回收模式要优于零售商回收模式.

3) 当 $\eta > (3 + \sqrt{5})b\Delta^2/8$ 时, 比较两种模式下信息不分享时供应链成员的期望利润可得

$$E[\Pi_{MN}^R] - E[\Pi_{RN}^R] = \frac{\eta b\Delta^2(a_0 - bC_n)^2}{2b(4\eta - b\Delta^2)(8\eta - b\Delta^2)} > 0, \quad (42)$$

$$E[\Pi_{MN}^M] - E[\Pi_{RN}^M] = \frac{tv\Delta^2}{4b(4\eta - b\Delta^2)} + \frac{\eta b\Delta^4(a_0 - bC_n)^2}{4(4\eta - b\Delta^2)(8\eta - b\Delta^2)^2} > 0. \quad (43)$$

即 $E[\Pi_{MN}^R] > E[\Pi_{RN}^R]$, $E[\Pi_{MN}^M] > E[\Pi_{RN}^M]$. 所以此种情形下制造商回收模式要优.

综上三种情形, 可得命题5中结论.

证毕.

命题5说明, 在需求不确定的市场中, 当回收效率较高时, 零售商回收模式会使得制造商和零售商获得更高的利润; 而当回收效率较低时, 制造商回收模式会使得制造商和零售商获得更高的利润. 文献[1]是在需求确定的市场中对比研究不同的回收模式, 与它不同的是, 本文发现在需求不确定的市场中, 制造商回收模式也可能是一种更优回收模式.

4 算例分析

本节将对文中主要结论进行验证分析. 假设文中相关参数取值如下: $a_0 = 50$, $C_n = 6$, $\Delta = 2$, $v = 5$, $b = 0.8$, $t = 0.8$. 首先对命题1和命题2进行算例分析. 变动参数 $\eta (\eta \in [0.4, 3.1])$, 可得零售商回收模式下信息分享价值的变动情况, 如图1.

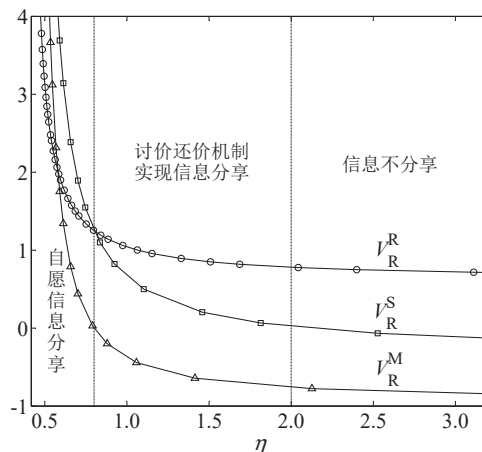


图1 零售商回收模式下信息分享价值

Fig. 1 The value of information sharing in the retailer recovery mode

从图1可以看出, 随着 η 的增加, 即回收效率的降低, 信息分享对于供应链成员的价值在不断降低. 当 η 较小时, 信息分享会使供应链成员都受益, 因此此时自愿信息分享会是均衡结果. 当 η 处于中间水平时, 只有制造商在信息分享后利润受损, 因此此时可以通过讨价还价机制促进制造商进行信息分享. 当 η 较大时, 只有零售商从信息分享中受益, 因此此时信息不分享是均衡结果.

接下来对命题3进行验证分析. 变动参数 $\eta (\eta \in [0.8, 3.1])$, 可得制造商回收模式下信息分享价值的变动情况, 如图2.

图2表明, 随着回收效率的降低, 信息分享对于供应链和制造商的价值会不断增加, 对于零售商的价值会不断降低. 此外, 制造商分享需求信息只会使零售商受益, 制造商本身以及供应链都会因此利润受损. 因此, 在制造商回收模式下, 信息不分享是唯一的均衡结果.

对比图1和图2中的信息分享价值, 可以验证得到命题4中的主要结论, 即当 $\eta > b\Delta^2/4$ 时, $V_R^M > V_M^M$, $V_R^R < V_M^R$, $V_R^S > V_M^S$.

最后对命题5进行验证分析. 变动参数 $\eta (\eta \in [0.8, 2.1])$, 可得回收效率较高时两种模式中均衡信息分享策略下供应链成员的利润, 如图3. 再变动参数 $\eta (\eta \in [2.1, 3.1])$, 可得回收效率较低时两种模式中均衡信息分享策略下供应链成员的利润, 如图4.

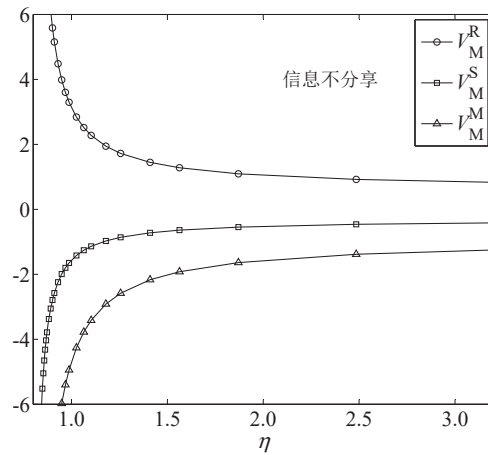


图2 制造商回收模式下信息分享价值

Fig. 2 The value of information sharing in the manufacturer recovery mode

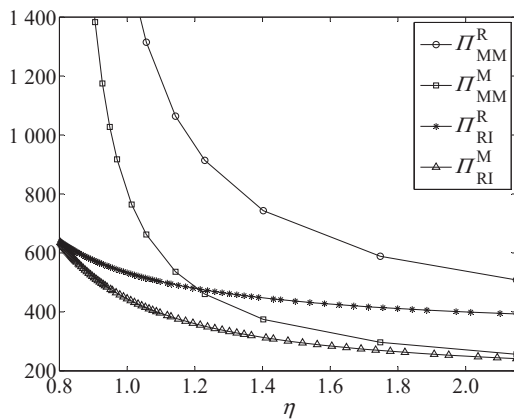


图3 回收效率较高时均衡情形下供应链成员利润

Fig. 3 Supply chain members' equilibria profits when recovery efficiency is high

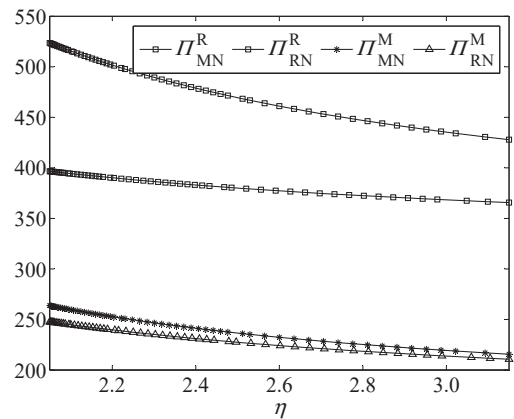


图4 回收效率较低时均衡情形下供应链成员利润

Fig. 4 Supply chain members' equilibria profits when recovery efficiency is low

图3和图4表明,在均衡情形下,随着回收效率的降低,供应链成员的利润都呈现下降趋势,且零售商回收模式下制造商获得的利润总是最低,制造商回收模式下零售商总能获得最高的利润.此外,供应链成员在制造商回收模式下能获得的利润总是高于在零售商回收模式下获得的利润.

5 结束语

本文在不同回收模式下的闭环供应链中研究了制造商信息分享问题,以及需求不确定情形下回收渠道设计问题.本文首先分别求得了制造商回收模式和零售商回收模式中的信息分享价值,针对信息分享价值的大小,探讨了促进制造商分享信息的Nash讨价还价机制以及制造商均衡的信息分享策略.其次对两种模式下的信息分享价值和供应链成员利润进行对比分析.研究结果表明,在制造商回收模式下制造商不会分享需求信息,而在零售商回收模式下制造商是否分享需求信息取决于零售商回收效率.制造商和零售商对回收模式的偏好取决于回收效率的高低.此外,信息分享对于供应链成员的价值受回收模式的影响.本文研究并未考虑竞争因素,后续可以在零售商竞争的闭环供应链中探讨制造商的需求信息分享问题.

参考文献:

- [1] Savaskan R C, Bhattacharya S, Van Wassenhove L N. Closed-Loop supply chain models with product remanufacturing. *Management Science*, 2004, 50(2): 239–252.
- [2] Savaskan R C, Wassenhove L N V. Reverse channel design: The case of competing retailers. *Management Science*, 2006, 52(1): 1–14.
- [3] Jiang B, Tian L, Xu Y, et al. To share or not to share: Demand forecast sharing in a distribution channel. *Marketing Science*, 2016, 35(5): 800–809.
- [4] Ha A Y, Tong S, Zhang H. Sharing demand information in competing supply chains with production diseconomies. *Management Science*, 2011, 57(3): 566–581.
- [5] 滕文波, 庄贵军. 基于电子渠道需求预测的渠道模式选择. *中国管理科学*, 2011, 19(5): 71–78.
Teng W B, Zhuang G J. Channel selection based on the demand forecast of e-channel. *Chinese Journal of Management Science*, 2011, 19(5): 71–78. (in Chinese)
- [6] Lei M, Liu H, Deng H, et al. Demand information sharing and channel choice in a dual-channel supply chain with multiple retailers. *International Journal of Production Research*, 2014, 52(22): 6792–6818.
- [7] Li T, Zhang H. Information sharing in a supply chain with a make-to-stock manufacturer. *Omega: The International Journal of Management Science*, 2015, 50: 115–125.
- [8] 谢文明, 江志斌, 储熠冰, 等. 需求信息不对称下存在直销模式的产能管理研究. *管理工程学报*, 2016, 30(1): 197–204.
Xie W M, Jiang Z B, Chu Y B, et al. Capacity management with direct selling demand under asymmetric demand information. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2016, 30(1): 197–204. (in Chinese)
- [9] Shang W, Ha A Y, Tong S. Information sharing in a supply chain with a common retailer. *Management Science*, 2016, 62(1): 245–263.
- [10] Bian W, Shang J, Zhang J. Two-way information sharing under supply chain competition. *International Journal of Production Economics*, 2016, 178: 82–94.
- [11] Zhou M, Dan B, Ma S, et al. Supply chain coordination with information sharing: The informational advantage of GPOs. *European Journal of Operational Research*, 2017, 256(3): 785–802.
- [12] Huang Y S, Hung J S, Ho J W. A study on information sharing for supply chains with multiple suppliers. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 104: 114–123.
- [13] Scheele L M, Thonemann U W, Slikker M. Designing incentive systems for truthful forecast information sharing within a firm. *Management Science*, 2018, 64(8): 3690–3713.
- [14] Dominguez R, Cannella S, Barbosa-Póvoa A P, et al. Information sharing in supply chains with heterogeneous retailers. *Omega: The International Journal of Management Science*, 2018, 79: 116–132.
- [15] 高举红, 滕金辉, 侯丽婷, 等. 需求不确定下考虑竞争的闭环供应链定价研究. *系统工程学报*, 2017, 32(1): 78–88.
Gao J H, Teng J H, Hou L T, et al. Pricing strategy of closed-loop supply chain considering competition under uncertain demand. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(1): 78–88. (in Chinese)
- [16] 郑本荣, 杨超, 杨珺. 专利保护下双渠道闭环供应链的定价与协调决策. *系统工程学报*, 2017, 32(1): 103–113.
Zheng B R, Yang C, Yang J. Pricing and coordination strategy of dual-channel closed-loop supply chain under patent protection. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(1): 103–113. (in Chinese)
- [17] 夏西强, 朱庆华. 主动再制造设计下制造/再制造博弈模型研究. *系统工程学报*, 2018, 33(3): 328–340.
Xia X Q, Zhu Q H. Study on game model of manufacture / remanufacture based on designing for remanufacturing. *Journal of Systems Engineering*, 2018, 33(3): 328–340. (in Chinese)
- [18] Atasu A, Toktay L B, Wassenhove L N V. How collection cost structure drives a manufacturer's reverse channel choice. *Production & Operations Management*, 2013, 22(5): 1089–1102.
- [19] 付小勇, 朱庆华, 赵铁林. 基于逆向供应链间回收价格竞争的回收渠道选择策略. *中国管理科学*, 2014, 22(10): 72–79.
Fu X Y, Zhu Q H, Zhao T L. Selection of the recovery channel based on recovery price competition between the reverse supply chains. *Chinese Journal of Management Science*, 2014, 22(10): 72–79. (in Chinese)
- [20] Hong X, Xu L, Du P, et al. Joint advertising, pricing and collection decisions in a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 2015, 167: 12–22.

- [21] Wu X, Zhou Y. The optimal reverse channel choice under supply chain competition. *European Journal of Operational Research*, 2017, 259(1): 63–66.
- [22] 陈 军, 田大纲. 闭环供应链模型下的产品回收模式选择. *中国管理科学*, 2017, 25(1): 88–97.
Chen J, Tian D G. Selection of the recycling mode based on closed-loop supply chain model. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(1): 88–97. (in Chinese)
- [23] 聂佳佳. 零售商信息分享对闭环供应链回收模式的影响. *管理科学学报*, 2013, 16(5): 69–82.
Nie J J. Effects of retailer information sharing on collecting modes of closed-loop supply chain. *Journal of Management Science in China*, 2013, 16(5): 69–82. (in Chinese)
- [24] 聂佳佳. 需求信息预测对制造商回收再制造策略的价值. *管理科学学报*, 2014, 17(1): 35–47.
Nie J J. Value of demand information forecast on remanufacturing strategy of manufacturer. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(1): 35–47. (in Chinese)
- [25] 肖 群, 马士华. 信息不对称闭环供应链MTO和MTS模式的影响研究. *中国管理科学*, 2016, 24(5): 139–148.
Xiao Q, Ma S H. The research on the effect of asymmetric information on MTO and MTS in closed-loop supply chain. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(5): 139–148. (in Chinese)
- [26] Li L. Information sharing in a supply chain with horizontal competition. *Management Science*, 2002, 48(9): 1196–1212.
- [27] Winkler R. Combining probability distributions from dependent information sources. *Management Science*, 1981, 27(4): 479–488.

作者简介:

张 盼(1989—), 男, 湖北黄冈人, 博士, 讲师, 研究方向: 低碳经济, 物流与供应链管理, Email: zhangpanyjs@163.com;
雷鸣宇(1995—), 男, 辽宁阜新人, 硕士生, 研究方向: 知识产权管理, 物流与供应链管理, Email: 632423019@qq.com.

(上接第 172 页)

- [21] Olah C. Understanding LSTM networks. URL <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs>, 2015.
- [22] Ioffe S, Szegedy C. Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. URL <https://arxiv.org/abs/1502.03167>, 2015.
- [23] Sutskever I, Vinyals O, Le Q V. Sequence to sequence learning with neural networks // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2014: 3104–3112.
- [24] 王晓辉, 张卫国, 刘玉芳. 融合 ICA 的 BP 网络在人民币汇率预测中的应用. *系统工程学报*, 2014, 29(3): 344–352.
Wang X H, Zhang W G, Liu Y F. Application of BP neural networks model combining with ICA in the RMB exchange rate prediction. *Journal of Systems Engineering*, 2014, 29(3): 344–352. (in Chinese)

作者简介:

罗澜峻(1996—), 男, 四川南充人, 博士生, 研究方向: 公共安全与应急管理, Email: lanjun@hust.edu.cn;
祁 超 (1977—), 女, 山西大同人, 博士, 副教授, 研究方向: 公共安全与应急管理, 智能规划, Email: qichao@hust.edu.cn;
王红卫(1966—), 男, 浙江宁波人, 博士, 教授, 研究方向: 公共安全与应急管理, Email: hwwang@hust.edu.cn;
王 雷(1980—), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 讲师, 研究方向: 治安管理, Email: 384823735@qq.com.