

# 零售商信息分享对闭环供应链回收模式的影响<sup>①</sup>

聂佳佳

(西南交通大学经济管理学院, 成都 610031)

**摘要:** 研究了信息分享对制造商回收模式选择的影响. 分别建立了集中式回收模式下的信息分享模型以及零售商不分享和分享信息下的3种分散式回收模型(零售商、制造商和第3方回收模型). 研究发现: 1) 分散式回收模式下零售商分享其私有预测信息对其收益是不利的, 但信息分享使得制造商回收模式下供应链预期利润增加; 2) 通过建立信息分享补偿机制使得零售商有动机分享其需求预测信息; 3) 零售商对信息的分享策略和制造商对回收模式的选择取决于预测信息精度和回收旧产品价格的高低.

**关键词:** 闭环供应链; 再制造; 信息分享; 回收模式; 预测精度

**中图分类号:** F270   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2013)05-0069-14

## 0 引言

随着人们对环保的日益关注, 越来越重视废旧物品的重新利用, 许多国家加大了这方面的立法力度<sup>[1, 2]</sup>. 这种努力提升了物料循环利用的理念——达到资源再生、物料增值和成本节约的目的, 产生了与传统物流方向相反的新型物流——从消费者回到生产商的“逆向物流”<sup>[1-4]</sup>, 含有逆向物流的供应链被称之为逆向供应链<sup>[5, 6]</sup>, 同时含有正向和逆向物流的供应链称之为闭环供应链(closed-loop supply chain)<sup>[7-9]</sup>.

由于逆向供应链在环境保护、资源有效利用、实现可持续发展方面发挥了积极的作用, 越来越多的学者将注意力投向了逆向供应链的研究. 在逆向供应链管理中, 确定逆向供应链结构是极其重要而又非常复杂的工作, 并且系统结构对其运作绩效起着决定性作用. Savaskan 等<sup>[10]</sup>分析了闭环供应链的最优回收模式问题, 证明在其假设条件下零售商负责回收模式优于制造商和第3方负责回收模式. Savaskan 和 Wassenhove<sup>[11]</sup>在此基础

上考察了当零售商之间存在竞争时制造商回收旧产品的回收模式选择. 他们认为回收模式的选择在一定程度上受零售商之间的竞争程度的影响. 易余胤<sup>[12]</sup>建立了具有竞争零售商的再制造闭环供应链博弈模型, 比较分析了不同力量结构对回收率、零售价、渠道成员利润、渠道总利润的影响. 魏洁和李军<sup>[13]</sup>研究了生产者责任延伸制度下的逆向物流模式选择. 以上研究均没有考虑对回收旧产品的定价问题. 顾巧论等<sup>[14]</sup>和王玉燕等<sup>[15]</sup>分别对这一问题进行了研究, 并且后者对这样的供应链系统进行了协调. 另外黄祖庆和达庆利<sup>[1]</sup>以及黄祖庆等<sup>[2]</sup>研究了再制造闭环供应链在不同决策结构下的供应链收益, 并与集成式“超组织”结构进行了比较分析.

现有闭环供应链文献集中在研究回收渠道选择、回收品定价以及决策结构对供应链收益的影响, 而忽略了信息对供应链回收渠道结构选择的影响. 对于零售商而言, 新信息技术的发展极大地改进了零售商获取产品市场需求、消费者采购行

① 收稿日期: 2011-01-06; 修订日期: 2012-12-05.

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(71090402); 国家自然科学基金资助项目(71101120); 教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(10YJC630183); 中央高校基本科研业务专项资助项目(SWJTU11BR059).

作者简介: 聂佳佳(1981—), 男, 河南襄城人, 博士, 讲师, 硕士生导师. Email: nie\_jia@126.com

为信息的途径和效率<sup>②</sup>,使得零售商比制造商掌握了更多的市场需求信息.同时,由于竞争和社会经济环境的持续变化,产品需求也不断演化,密切跟踪和预测需求的变化对零售商而言显得日益重要<sup>[16]</sup>.零售商获取市场信息的重要性也日益成为学术关注的焦点,大量文献研究了信息分享对供应链影响. Li<sup>[17]</sup>很好地研究了信息分享对横向竞争零售商的直接和间接影响,表明零售商不愿分享市场预测信息而愿意分享成本信息.陶文源等<sup>[18]</sup>研究了两个供应商和一个制造商的供应链系统,发现信息分享降低了系统的不确定性,但成本较高的供应商并未从中受益.申悦等<sup>[19]</sup>在价格竞争环境下研究了多个零售商与制造商成本信息共享策略的选择问题,发现零售商不会自愿分享其成本信息,必须通过一定的合同机制才能实现. Yao等<sup>[20]</sup>以及 Yue和Liu<sup>[21]</sup>研究了信息分享对双渠道供应链绩效的影响.前者考察的是返还策略下零售商单方面的信息分享问题,而后者考虑的是制造商和零售商双方预测信息分享对供应链的影响,发现在一定条件下信息分享能带来更高收益. Yao等<sup>[22]</sup>研究了零售商价格和服务竞争情形下,零售商分享服务成本信息对供应链的影响,并得到了零售商愿意分享成本信息的条件.以上供应链信息分享文献主要研究了信息分享对正向供应链绩效的影响,而忽视了信息分享对逆向供应链的影响.本研究旨在考察零售商预测信息分享对闭环供应链回收模式选择的影响,并设计零售商自愿分享预测信息机制.期望所得到的结论能为零售商在信息分享策略和制造商在回收渠道选择等方面的问题提供科学决策依据.

## 1 问题描述

考虑由1个制造商和1个零售商组成的供应

链系统.制造商生产一种产品,既可以完全使用原材料进行生产,也可以使用回收产品进行生产<sup>③</sup>.制造商通过零售商进行销售,而回收旧产品的模式有4种(如图1所示):集中式回收(模型C)、零售商负责回收(模型R)、制造商负责回收(模型M)和第3方负责回收(模型3P),其中后3种为分散式回收模式<sup>[10]</sup>.集中式回收为3种分散式回收模式提供了比较的基准,这种做法是常见的分析方法,如 Savaskan等<sup>[10]</sup>.这3种分散式回收模式在现实当中是常见的,如:柯达通过零售商回收一次性照相机(零售商回收模式),惠普直接从消费者回收电脑(制造商回收模式)以及美国的3大汽车制造商(福特、通用和克莱斯勒)通过第3方回收报废汽车(第3方回收模式).

### 1.1 符号约定

将用到如下符号和变量.

$c_m$ ——制造商采用原材料生产新产品的单位成本.

$c_r$ ——制造商采用回收旧产品进行生产的单位成本.

$p$ ——零售商的零售价格,为零售商的决策变量.

$\omega$ ——制造商的批发价格,为制造商的决策变量.

$D(p) = a - bp$ ——产品的需求函数,其中  $a$  为市场潜在需求,  $b$  为价格敏感系数.

$\tau$ ——回收到的旧产品占需求的比例,为回收方的决策变量,且  $\tau \in [0, 1]$ .该比例越高,说明制造商使用回收到的旧产品进行再制造的产品越多.当  $\tau = 1$  时,说明制造商全部采用回收旧产品进行生产以满足市场需要.当  $\tau = 0$  时,说明制造商全部采用原材料生产以满足市场需要.

$\varpi$ ——制造商支付给零售商或第3方回收品的单位价格.

- ② 信息技术使得零售商获得了大量的历史数据,零售商可以通过定性或定量的方法对未来的市场需求进行预测.定性预测方法有集思广义法和德尔菲法(又称专家调查法或专家意见法),定量预测方法有时间序列预测法和回归分析预测法,另外市场需求预测方法还有综合分析判断法,是定性预测和定量预测相结合的方法.
- ③ 对回收再制造的研究分为两类.第1类是将回收废旧产品作为节约成本的手段,将回收到的废旧产品作为原料重新投入生产.这类研究的目的在于探讨不同回收渠道对再制造闭环供应链决策与绩效的影响,如文献[1],[2],[10-15].第2类研究是将回收再制造作为“产品再生”的过程,通过回收再生产出与新产品在性能上有所差距的再制造产品.这类研究的目的在于探讨新产品与再制造产品的替代对生产企业的定价及绩效的影响,如文献[23,24].作为本文的后续研究方向可以考虑当新产品与再制造产品存在差异时信息分享对回收渠道选择的影响.

$\Pi_i^j (i = R, M, 3P, S; j = C, R, M, 3P)$  ——  $j$  模型下  $i$  的利润函数  $j = R, M, 3P, S$  分别表示零售商、制造商、第 3 方和供应链  $j = C, R, M, 3P$  分别表示集中式、零售商、制造商和第 3 方回收模型。为区分无信息分享和信息分享两种情形下的利润, 以  $\Pi_{NI}^j$  表示无信息分享下的利润, 其中 NI 表示无信息分享, 而以  $\Pi_{IS}^j$  表示信息分享下的利润, 其中 IS 表示信息分享。

$V_i^j (i = R, M, 3P, S; j = C, R, M, 3P)$  ——  $j$  模型下信息分享对  $i$  的价值。

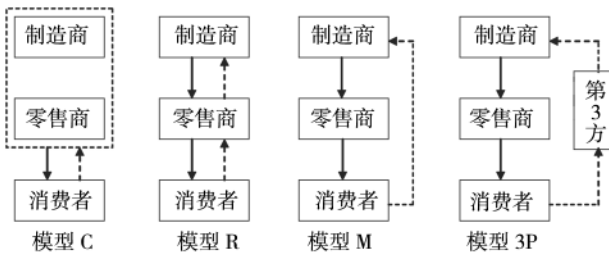


图 1 4 种回收模型

Fig. 1 Four collecting models

1.2 信息结构

根据艾兴政等<sup>[16]</sup>和 Li<sup>[17]</sup>的研究, 假设市场潜在需求为随机变量, 且  $a = a_0 + e$ , 其中  $a_0$  为市场潜在需求的确定性部分,  $e$  为市场潜在需求的不确定性因素。随机变量  $e$  的期望为 0, 方差为  $v$ 。假设零售商可以对市场潜在需求进行预测<sup>④</sup>, 面对不确定的需求, 零售商对市场信息的预测有助于零售商进行决策, 大量的研究进行了类似的假设, 如: 艾兴政等<sup>[16]</sup>、Li<sup>[17]</sup>以及 Yue 和 Liu<sup>[21]</sup>等。设其预测值为  $f$ , 且  $f = a + \varepsilon$ ,  $\varepsilon$  为误差项, 且其期望为 0, 方差为  $s$ 。随机变量  $e$  和  $s$  相互独立。由 Li<sup>[17]</sup> 的研究得

$$E(a | f) = \frac{s}{v+s}a_0 + \frac{v}{v+s}f \tag{1}$$

$$E((f - a_0)^2) = v + s$$

类似于文献 [16, 17, 21] 的描述, 可以将  $t = \frac{v}{v+s}$  作为市场信息预测精度的度量指标, 显然  $t \in (0, 1)$ , 其值越大说明零售商预测越准确, 越小零售商预测越不准确。考虑两种极端情形: 当  $s \rightarrow 0$  时,  $t = 1$  表示预测值与实际值相同, 预测精度最高; 当  $s \rightarrow \infty$  时  $t = 0$  表示预测值与实际值相差甚

远, 预测精度最低。

1.3 模型假设

将用到如下假设。

假设 1 制造商生产 1 件新产品的单位成本大于使用回收旧产品进行再制造的单位成本, 即  $c_m > c_r$ , 这表示制造商进行再制造可以节约成本, 是有利可图的。令  $\Delta = c_m - c_r$ , 假设  $\Delta > w$ , 表示制造商节约的单位成本大于其购买单位回收产品的价格。

假设 2 制造商为渠道的领导者, 零售商和第 3 方为追随者。

假设 3 假设市场潜在需求  $a$  为渠道双方的共同知识, 且除了零售商的预测信息  $f$  为其私有信息, 其余信息也均为制造商和零售商的共同知识。

假设 4  $\tau$  与回收方的投资量相关, 根据 Savaskan 等<sup>[10]</sup>以及 Savaskan 和 Wassenhove<sup>[11]</sup>的研究, 设  $\tau = \sqrt{I/k}$ , 其中  $k$  为投资成本系数,  $I$  为投资成本, 这表明随着回收比例的增加, 回收投资成本将急剧增加, 即过分的追求高回收比例是不经济的(文献 [1, 2] 及 [12, 13] 也采用类似的假设)。

假设 5 制造商按订单生产方式生产产品, 这意味着零售商和制造商均没有库存(艾兴政等<sup>[16]</sup>、Li<sup>[17]</sup>以及 Yue 和 Liu<sup>[21]</sup>均采用类似的假设)。

假设 6 设回收方支付给消费者的费用为  $\zeta_1$ , 零售商的单位销售成本为  $\zeta_2$ , 且均为常数。为不失一般性, 设  $\zeta_1 = \zeta_2 = 0$ 。这一假设的目的在于简化模型的推导, 即便这两个参数不为 0, 也不会改变本文的基本结论, 仅会增加数学处理的复杂性。(文献 [10, 11] 也采用类似的假设)。

2 模型 C——集中式回收

在集中式回收模式下, 制造商和零售商将以供应链利润最大化为目标进行零售定价和回收比例决策。此时供应链将依据零售商的预测信息进行决策, 其预期利润决策模型为

④ 实际上, 制造商也可以对市场潜在需求进行预测, 作为一个后续研究方向, 可以考虑零售商和制造商同时进行需求信息预测。

$$\max_{p, \tau} E(\Pi_{SIS}^C | f) = E((p - c_m + \tau\Delta) \times (a - bp) - k\tau^2 | f) \quad (2)$$

求解得最优零售价格和回收比例分别为

$$p^c = \frac{(2k - b\Delta^2) [(1 - t)a_0 + tf] + 2bkc_m}{b(4k - b\Delta^2)}$$

$$\tau^c = \frac{\Delta [a_0 - t(a_0 - f) - bc_m]}{4k - b\Delta^2} \quad (3)$$

为使二阶条件大于0,需  $4k - b\Delta^2 > 0$ ,即  $k > b\Delta^2/4$ . 这表示进行回收的成本不是很低,这与现实是相符合的(现实中进行回收往往要花费大量成本). 后文假设  $k > b\Delta^2/4$  成立,此条件总能使后文模型的二阶条件成立. 基于期望值规则,得到供应链的无条件预期利润为

$$E(\Pi_{SIS}^c) = \frac{k[tv + (a_0 - bc_m)^2]}{b(4k - b\Delta^2)} \quad (4)$$

若没有零售商的预测信息,那么最优利润为  $\frac{k(a_0 - bc_m)^2}{b(4k - b\Delta^2)}$ . 因此,在集中式回收模式下零售商

需求预测信息的价值为  $V_s^c = \frac{ktv}{b(4k - b\Delta^2)}$ . 由此

可知,在集中式回收模式下,零售商预测信息精度越高,其信息的价值越高,使得零售商有积极性进行更高精度的预测.

### 3 分散式回收模式

#### 3.1 模型 R——零售商负责回收

在此模式下,零售商负责销售并进行回收,然后将回收品交付制造商进行再生产. 决策顺序为制造商制定批发价格,然后由零售商选择零售价格和回收比例. 若零售商的需求预测信息不与制造商分享,那么零售商将根据市场信息及其预测信息进行决策,而制造商仅能依据市场信息进行决策. 零售商的预期利润决策模型为

$$\max_{p, \tau} E(\Pi_{RNI}^R | f) = E((p - \omega + \varpi\tau)(a - bp) - k\tau^2 | f) \quad (5)$$

由于零售商没有分享其预测信息,因此制造商预期期望利润决策模型为

$$\max_{\omega} E(\Pi_{MNI}^R) =$$

$$E([\omega - c_m + (\Delta - \varpi)\tau](a - bp)) \quad (6)$$

类似地,若零售商的需求预测信息与制造商分享,制造商将根据市场信息及零售商的预测信息进行决策. 零售商的目标函数依然为式(5),此时制造商预期利润决策模型为

$$\max_{\omega} E(\Pi_{MIS}^R | f) = E([\omega - c_m + (\Delta - \varpi)\tau](a - bp) | f) \quad (7)$$

分散式回收模式下3种回收模型的最优解及最优利润见附录A中的表1和2. 限于篇幅,省略了模型M和模型3P的推导过程. 在附录B中仅给出了模型R的推导过程.

#### 3.2 模型 M——制造商负责回收

在此模式下,零售商负责销售,制造商负责回收并进行再制造. 决策顺序为制造商制定批发价格,同时确定回收比例,然后由零售商选择零售价格. 零售商的预期利润决策模型为

$$\max_p E(\Pi_{RNI}^M | f) = E((p - \omega)(a - bp) | f) \quad (8)$$

制造商预期利润决策模型为

$$\max_{\omega, \tau} E(\Pi_{MNI}^M) = E((\omega - c_m + \tau\Delta)(a - bp) - k\tau^2) \quad (9)$$

若零售商将预测信息与制造商分享,零售商的决策模型依然为式(8),制造商的决策模型为

$$\max_{\omega, \tau} E(\Pi_{MIS}^M | f) = E((\omega - c_m + \tau\Delta)(a - bp) - k\tau^2 | f) \quad (10)$$

#### 3.3 模型 3P——第3方负责回收

在第3方负责回收模式下,零售商负责销售,第3方负责回收,制造商负责生产. 决策顺序如下:首先由制造商确定批发价格,然后由第3方选择回收比例,最后由零售商决策零售价格. 在无信息分享下,制造商和第3方仅能根据市场信息进行决策. 零售商的预期利润决策模型为

$$\max_p E(\Pi_{RNI}^{3P} | f) = E((p - \omega)(a - bp) | f) \quad (11)$$

第3方和制造商的预期利润决策模型分别为

$$\max_{\tau} E(\Pi_{3PNI}^{3P}) = E(\varpi\tau(a - bp) - k\tau^2) \quad (12)$$

$$\max_{\omega} E(\Pi_{MNI}^{3P}) = E((\omega - c_m + \tau\Delta)(a - bp))$$

若零售商将预测信息与第3方和制造商均分享,此时第3方和制造商的预期利润决策模型分

别为

$$\begin{aligned} \max_{\tau} E(\Pi_{3PS}^{3P} | f) &= E(\varpi \tau (a - bp) - k\tau^2 | f) \\ \max_{\omega} E(\Pi_{MIS}^{3P} | f) &= E((\omega - c_m + \tau\Delta)(a - bp) | f) \end{aligned} \quad (13)$$

#### 4 不同回收模式下信息分享的价值

下面将比较分析零售商信息分享前后对供应链上下游企业预期利润的影响。在零售商回收模式下, 比较无信息分享和信息分享下预期利润得

$$\begin{aligned} V_R^R &= E(\Pi_{RIS}^R) - E(\Pi_{RNI}^R) \\ &= \frac{ktv(4k + b\varpi^2 - 2b\Delta\varpi)}{4b(4k - b\Delta\varpi)^2} \times \\ &\quad - \frac{12k + b\varpi^2 + 2b\Delta\varpi}{(4k - b\varpi^2)} < 0 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} V_M^R &= E(\Pi_{MIS}^R) - E(\Pi_{MNI}^R) = \\ &\quad \frac{ktv(4k + b\varpi^2 - 2b\Delta\varpi)^2}{2b(4k - b\varpi)^2(4k - b\Delta\varpi)} > 0 \end{aligned} \quad (15)$$

则信息分享对供应链的价值为

$$\begin{aligned} V_S^R &= V_M^R + V_R^R \\ &= -\frac{ktv(4k + b\varpi^2 - 2b\Delta\varpi)H_1(k)}{4b(4k - b\varpi)^2(4k - b\Delta\varpi)^2} < 0 \end{aligned} \quad (16)$$

其中

$$\begin{aligned} H_1(k) &= 8k(2k - 3b\varpi^2 + 2b\Delta\varpi) + \\ &\quad b^2\varpi^2(\varpi^2 + 4\Delta\varpi - 4\Delta^2) > 0 \end{aligned}$$

在制造商回收模式下, 比较无信息分享和信息分享下预期利润得

$$\begin{aligned} V_R^M &= \frac{tv(4k - b\Delta^2)(-12k + b\Delta^2)}{4b(8k - b\Delta^2)^2} < 0 \\ V_M^M &= \frac{ktv}{b(8k - b\Delta^2)} > 0 \end{aligned} \quad (17)$$

则信息分享对供应链的价值为

$$\begin{aligned} V_S^M &= \frac{tv(-16k^2 + 12b\Delta^2k - b^2\Delta^4)}{4b(8k - b\Delta^2)^2} \\ \text{容易看出 当 } k \in \left(\frac{b\Delta^2}{4}, \frac{(3+\sqrt{5})b\Delta^2}{8}\right) \text{ 时 } V_S^M &> 0. \end{aligned}$$

在第 3 方回收模式下, 比较无信息分享和信息分享下预期利润得出信息分享对零售商、制造商和第 3 方供应链的价值分别为

$$\begin{cases} V_R^{3P} = \frac{tvH_3(k)}{4b(H_2(k))^2} < 0 \\ V_M^{3P} = \frac{ktv}{2bH_2(k)} > 0 \\ V_{3P}^{3P} = \frac{ktv\varpi^2}{4(H_2(k))^2} > 0 \\ V_S^{3P} = -\frac{tvH_4(k)}{4b(H_2(k))^2} < 0 \\ H_2(k) = 4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2 > 0 \\ H_3(k) = (2k - b\Delta\varpi + b\varpi^2) \times \\ \quad (-6k - b\Delta\varpi + b\varpi^2) < 0 \\ H_4(k) = k(4k + 5b\varpi^2 - 6b\Delta\varpi) + \\ \quad b^2\varpi^2(\Delta - \varpi)^2 > 0 \end{cases} \quad (18)$$

命题 1 1) 在集中式回收模式下, 信息分享使得供应链预期利润增加; 2) 在分散式回收模式下, 信息分享使得零售商的预期利润减少, 制造商预期利润增加; 3) 在第 3 方回收模式下, 信息分享使得第 3 方预期利润增加; 4) 在零售商和第 3 方回收模式下, 信息分享使得供应链利润下降, 然而, 在制造商回收模式下, 当  $k \in \left(\frac{b\Delta^2}{4}, \frac{(3+\sqrt{5})b\Delta^2}{8}\right)$  时, 信息分享使得供应链利润增加。

在零售商单向信息分享情形下, 分享信息会损害其预期利润。其原因在于当零售商分享其需求预测信息时, 供应链的其他成员(制造商或第 3 方)可以根据其分享的预测信息更好地进行决策。另一方面, 原因在于零售商在分散式决策中处于劣势地位, 不能根据供应链其他成员的决策进行相应的决策。若零售商分享预测信息是无偿的, 那么零售商没有动力为供应链其他成员分享信息。而在集中式回收模式下, 零售商有动机进行信息分享, 这是因为零售商预测信息有助于供应链更好地进行决策。在零售商和第 3 方回收模式下, 信息分享并没有使得供应链利润增加。而在制造商回收模式下, 信息分享使得供应链利润增加。这是因为在制造商回收模式下, 制造商有更强的动力提高回收率(越大的回收率意味着制造商单位成本降低)。以上分析表明零售商信息分享有助于制造商回收模式的实施。但是零售商信息分享若是无偿的, 那么零售商没有进行信息分享的动机, 因此制造商向零售商支付一定的信息分享费用是有必要的, 其值至少等于零售商信息分享的

损失. 这样, 在制造商负责回收模式下, 零售商的信息分享使得供应链双方利润都有所增加.

### 5 不同回收模式的比较

容易发现, 无信息分享和信息分享下回收比例的期望相等, 即

$$E(\tau^j) \triangleq E(\tau_{NI}^j) = E(\tau_{IS}^j)$$

其中  $j = R, M, 3P$ . 下面的命题给出了不同回收模式下期望回收比例的大小关系.

命题2 4种回收模式下期望回收比例的大小关系如下.

1) 当  $\frac{b\Delta^2}{4} < k < \frac{b\varpi\Delta^2}{8(\Delta-\varpi)}$  时

$$E(\tau^C) > E(\tau^R) > E(\tau^M) > E(\tau^{3P})$$

2) 当  $k > \frac{b\varpi\Delta^2}{8(\Delta-\varpi)}$  时

$$E(\tau^C) > E(\tau^M) > E(\tau^R) > E(\tau^{3P})$$

该命题的第1部分与 Savaskan 等<sup>[10]</sup> 所得结论一致. 第2部分说明当回收旧产品的投入较大时, 相对于零售商回收模式, 制造商回收模式下的回收率更高. 同时, 该命题指出集中式回收模式下回收率最高, 这是因为集中式回收模式下决策完全协调. 而第3方回收模式下回收率最低, 原因在于第3方加入供应链致使决策更加难以协调.

推论1 零售商和制造商回收模式下, 当  $2\Delta/3 < \varpi < \Delta$  时, 零售商回收模式下的回收率高于制造商回收模式下的回收率; 当  $0 < \varpi < 2\Delta/3$  时, 制造商回收模式下的回收率高于零售商回收模式下的回收率.

$$E(\Pi_{RNI}^R) - E(\Pi_{RNI}^M) = \frac{k [4tv(8k - b\Delta^2)(4k - b\varpi\Delta)^2 - (4k - b\varpi^2)(a_0 - bc_m)^2 H_5(k)]}{4b(4k - b\varpi\Delta)^2(4k - b\varpi^2)(8k - b\Delta^2)} \quad (19)$$

其中

$$H_5(k) = 32k^2 + 4bk(\Delta^2 - 8\varpi\Delta + 2\varpi^2) + 3b^2\varpi^2\Delta^2$$

当  $k > b\Delta^2/4$  时, 易知  $H_5(k) > 0$ . 令

$$t_1 = \frac{(4k - b\varpi^2)(a_0 - bc_m)^2 H_5(k)}{4v(8k - b\Delta^2)(4k - b\varpi\Delta)^2} \quad (20)$$

因此得到  $E(\Pi_{RNI}^R)$  和  $E(\Pi_{RNI}^M)$  的大小关系. 下面

该推论表明只要零售商回收单位产品得到的收益大于  $2\Delta/3$ , 零售商回收模式可以回收更多的旧产品. 零售商回收模式下最优的回收比例随  $\varpi$  的增加而增加, 这意味着制造商提高回收旧产品的价格有利于零售商更多地回收旧产品. 对于制造商而言, 回收旧产品价格的提高意味着进行再制造所节约单位成本降低. 下面比较不同模式下零售商和制造商的预期利润<sup>⑤</sup>.

命题3 1) 无信息分享情形下, 3种分散式回收模式的零售商预期利润比较结果如下: 当  $t > t_1$  时

$$E(\Pi_{RNI}^R) > E(\Pi_{RNI}^M) > E(\Pi_{RNI}^{3P})$$

当  $t < t_1$  时

$$E(\Pi_{RNI}^M) > E(\Pi_{RNI}^R) > E(\Pi_{RNI}^{3P})$$

其中  $t_1$  为式(20)所示.

2) 信息分享情形下, 零售商预期利润大小关系为

$$E(\Pi_{RIS}^M) > E(\Pi_{RIS}^R) > E(\Pi_{RIS}^{3P})$$

3) 无信息分享情形下, 3种分散回收模式下制造商预期利润比较结果如下: 当  $t > t_2$  时

$$E(\Pi_{MNI}^R) > E(\Pi_{MNI}^M) > E(\Pi_{MNI}^{3P})$$

当  $t < t_2$  时

$$E(\Pi_{MNI}^M) > E(\Pi_{MNI}^R) > E(\Pi_{MNI}^{3P})$$

其中  $t_2$  为式(24)所示.

4) 信息分享情形下, 3种分散式回收模式下制造商预期利润比较结果如下: 当  $\varpi > \Delta/2$  时

$$E(\Pi_{MNI}^R) > E(\Pi_{MNI}^M) > E(\Pi_{MNI}^{3P})$$

当  $\varpi < \Delta/2$  时

$$E(\Pi_{MNI}^M) > E(\Pi_{MNI}^R) > E(\Pi_{MNI}^{3P})$$

证明 1) 首先比较  $E(\Pi_{RNI}^R)$  和  $E(\Pi_{RNI}^M)$ , 有

比较  $E(\Pi_{RNI}^M)$  和  $E(\Pi_{RNI}^{3P})$  的大小以及  $E(\Pi_{RNI}^R)$  和  $E(\Pi_{RNI}^{3P})$  的大小, 有

$$E(\Pi_{RNI}^M) - E(\Pi_{RNI}^{3P}) = \frac{k(a_0 - bc_m)^2(\Delta^2 - 2\varpi\Delta + 2\varpi^2)}{2(8k - b\Delta^2)(4k - b\varpi\Delta + b\varpi^2)} > 0 \quad (21)$$

⑤ 相对于3种分散式回收模式而言(包含无信息分享和信息分享两种情形), 容易证明集中回收模式下供应链预期利润是大于分散式回收模式下的供应链预期利润.

$$E(\Pi_{RNI}^R) - E(\Pi_{RNI}^{3P}) = \frac{ktvb\varpi^2}{4b(4k - b\varpi^2)} + \frac{kb\varpi^2(a_0 - bc_m)^2 H_6(k)}{4b(4k - b\varpi\Delta)^2(4k - b\varpi\Delta + b\varpi^2)^2} \quad (22)$$

其中

$$E(\Pi_{MNI}^R) - E(\Pi_{MNI}^M) = \frac{k[4tv\varpi(\Delta - \varpi)(8k - b\Delta^2)(4k - b\varpi\Delta) - H_7(k)]}{2(4k - b\varpi^2)^2(4k - b\varpi\Delta)(8k - b\Delta^2)} \quad (23)$$

其中

$$H_7(k) = \Delta(\Delta - 2\varpi)(a_0 - bc_m)^2(4k - b\varpi^2)^2$$

令

$$t_2 = \frac{H_7(k)}{4v\varpi(\Delta - \varpi)(8k - b\Delta^2)(4k - b\Delta\varpi)} \quad (24)$$

因此得到  $E(\Pi_{MNI}^R)$  和  $E(\Pi_{MNI}^M)$  的大小关系. 比较可知  $E(\Pi_{MNI}^R)$  和  $E(\Pi_{MNI}^M)$  均大于  $E(\Pi_{MNI}^{3P})$ .

4) 首先比较  $E(\Pi_{MIS}^R)$  和  $E(\Pi_{MIS}^M)$ , 有

$$E(\Pi_{MIS}^R) - E(\Pi_{MIS}^M) = \frac{k\Delta(2\varpi - \Delta)[tv + (a_0 - bc_m)^2]}{2(4k - b\varpi\Delta)(8k - b\Delta^2)} \quad (25)$$

因此有  $E(\Pi_{MIS}^R)$  和  $E(\Pi_{MIS}^M)$  的大小关系. 而且  $E(\Pi_{MIS}^R)$  和  $E(\Pi_{MIS}^M)$  均大于  $E(\Pi_{MIS}^{3P})$ .

在无信息分享下,若零售商预测精度较大, ( $t > t_1(t_2)$ ),不同模式下零售商(制造商)预期利润的上述结论方与 Savaskan 等<sup>[10]</sup>所得结论一致. 这表明只有零售商预测精度比较高,才能在零售商回收模式下获得更多利润(相对于制造商和第 3 方回收模式而言). 若零售商预测精度较小 ( $t < t_1(t_2)$ ),那么零售商(制造商)在零售商和制造商回收模式下预期利润的结论与 Savaskan 等<sup>[10]</sup>的结论相反. 原因为过低的预测精度不利于零售商进行决策. 在信息分享下,零售商总是偏好于制造商回收模式,而在第 3 方回收模式下零售商预期利润最低. 在信息分享下,若制造商获得回收品所支付的成本较高 ( $\varpi > \Delta/2$ ),制造商偏好于制造商回收模式,若支付的成本较低 ( $\varpi < \Delta/2$ ),则制造商偏好于零售商回收模式. 以上分析说明零售商预测信息精度的高低和回收品支付成本的大小会影响零售商和制造商对回收模式的偏好.

推论 2 1) 无信息分享情形下,当  $0 < \varpi < \frac{\Delta}{2 + \sqrt{2}} \approx 0.293\Delta$  时  $t_1 < t_2$  这时 3 种分散式供应链预期利润大小关系如下

$$E(\Pi_{SNI}^R) > E(\Pi_{SNI}^M) > E(\Pi_{SNI}^{3P})$$

$$H_6(k) = 16k^2 - 4kb\varpi^2 - b^2\varpi^2(\Delta - \varpi)^2$$

易知  $H_6(k) > 0$  则  $E(\Pi_{RNI}^R) > E(\Pi_{RNI}^{3P})$ .

2) 该部分的证明较为简单,限于篇幅,略.

3) 首先比较  $E(\Pi_{MNI}^R)$  和  $E(\Pi_{MNI}^M)$ , 有

2) 无信息分享情形下,存在一个  $\varpi^*$  使得

$$\frac{\Delta}{2 + \sqrt{2}} < \varpi^* < \Delta, \text{ 当 } \varpi > \varpi^* \text{ 时 } t_1 > t_2, \text{ 则当 } t < t_2 \text{ 时,}$$

3 种分散式供应链预期利润大小关系如下

$$E(\Pi_{SNI}^M) > E(\Pi_{SNI}^R) > E(\Pi_{SNI}^{3P})$$

3) 信息分享情形下,当  $\varpi < \Delta/2$  时,供应链利润满足

$$E(\Pi_{SIS}^M) > E(\Pi_{SIS}^R) > E(\Pi_{SIS}^{3P})$$

证明 此推论证明的关键在于比较  $t_1$  与  $t_2$  的大小,两者之差经化简得

$$t_1 - t_2 = \frac{(4k - b\varpi^2)(a_0 - bc_m)^2(4k + b\varpi^2 - 2b\Delta\varpi)H_8(k)}{\varpi v(\Delta - \varpi)(8k - b\Delta^2)(4k - b\varpi\Delta)^2} \quad (26)$$

其中

$$H_8(k) = 4k(\Delta^2 - 4\varpi\Delta + 2\varpi^2) + b\Delta^2\varpi^2$$

当  $\Delta^2 - 4\varpi\Delta + 2\varpi^2 > 0$  时,即  $\varpi < \frac{\Delta}{2 + \sqrt{2}}$ ,  $H_8(k) >$

0 则  $t_1 < t_2$ . 当  $\varpi = \frac{\Delta}{2 + \sqrt{2}}$  时  $H_8(k) > 0$ ,而当

$\varpi = \Delta$  时  $H_8(k) < 0$ ,又因为  $H_8(k)$  为关于  $\varpi$  的减函数,则存在一个  $\varpi^*$  使得  $\frac{\Delta}{2 + \sqrt{2}} < \varpi^* < \Delta$ ,且

当  $\varpi > \varpi^*$  时  $t_1 > t_2$ . 依据命题 3 所得的相关结论即可得到此推论.

推论 2 指出,在无信息分享情形下,当零售商信息预测精度充分高时 ( $t > t_2$ ),零售商回收模式下供应链预期利润最大,而第 3 方回收模式下供应链预期利润最小;而当预测精度较小时 ( $t < t_2$ ),制造商回收模式下供应链预期利润最大,而第 3 方回收模式下供应链预期利润依然最小. 这说明无信息分享情形下零售商预测精度影响了供应链对回收模式的选择. 在信息分享情形下,当制造商支付回收品的单位费用比较低时 ( $\varpi < \Delta/2$ ),供应链选择制造商回收模式最有利可图. 这表明回收品的价格影响了供应链对回收模式的选择.

### 6 回收模式和信息分享选择

由于生产者责任延伸制度在欧美等国家的实施,同时制造商在供应链中处于领导地位,因此制造商对回收模式有选择权.那么制造商的策略空间为{R, M, 3P},而零售商的策略空间为{NI, IS}.假设两局中人同时选择各自的策略,下面将寻找该博弈的纯战略纳什均衡.

**命题4** 对于零售商和制造商的二人博弈,制造商的策略空间为{R, M, 3P},零售商的策略空间为{NI, IS},当  $t > t_2$  时,纯战略纳什均衡为{R, NI};当  $t < t_2$  时,纯战略纳什均衡为{M, NI}.

该命题指出,对于零售商而言,无信息分享为零售商的占优策略.这是因为预测信息为零售商的私有信息,私有信息的泄露会损害零售商的收益.因此,当零售商提供给制造商的信息无偿时,零售商总是不会分享私有信息.对于制造商而言,零售商信息预测精度影响了制造商对回收模式的选择.需要注意的是当  $t = t_2$  时,该博弈存在两个纯战略纳什均衡,这意味着存在一个混合战略纳什均衡.由于第3方回收模式对于制造商而言是劣策略,那么制造商选择3P策略的概率为0.同时信息分享对于零售商而言是劣策略,零售商选择IS策略的概率为0.设制造商选择R的概率为 $\beta$ ,则选择M的概率为  $1 - \beta$ .

**命题5** 对于零售商和制造商的二人博弈,制造商的策略空间为{R, M, 3P},零售商的策略空间为{NI, IS},当  $t = t_2$  时,混合战略纳什均衡为  $((\beta^*, 1 - \beta^*), (1, 0))$  其中

$$\beta^* = \frac{t_2 v + 16k^2 \beta_1 / \beta_2}{t_2 v \beta_5 / \beta_3 + k \beta_1 (16k / \beta_2 + \beta_3 / \beta_4)} \quad (27)$$

其中

$$\begin{aligned} \beta_1 &= (a_0 - bc_m)^2, \beta_2 = (8k - b\Delta^2)^2, \\ \beta_3 &= (4k - b\varpi^2), \beta_4 = (4k - b\varpi\Delta)^2, \\ \beta_5 &= 8k - b\varpi^2 \end{aligned}$$

$t_2$  为式(24)所示.

该命题指出制造商有  $\beta^*$  的概率选择零售商回收,同时有  $1 - \beta^*$  的概率选择制造商回收.但由于  $\beta^*$  表达式的复杂性,难以对其进行分析,在算例分析中将分析单位节约成本对  $\beta^*$  的影响.

### 7 信息分享补偿机制

由以上分析可知,零售商信息分享会损害其收益.这是由零售商无偿提供信息所造成的.本部分旨在建立信息分享补偿机制使得零售商有动机进行信息分享.因为3种分散式回收模式下只有制造商回收模式下信息分享使得供应链预期利润增加,所以下面建立制造商回收模式下的信息分享补偿机制.与无信息分享补偿机制相比,信息分享机制下双方利润需满足两个条件:一是零售商预期利润增加,而且大于无信息分享下的预期利润;二是制造商的预期利润不小于无信息分享下的预期利润.在无信息分享补偿机制下,制造商预期利润大大增加,而零售商预期利润减少.在信息分享补偿机制下,针对信息分享对供应链增值  $V_S^M$  进行重新划分,继而使零售商和制造商均增值.下面将借助于讨价还价模型来建立这一机制.设零售商和制造商所分得的利润分别为  $\Delta V_R^M$  和  $\Delta V_M^M$ .这里  $\Delta V_R^M$  相当于制造商向零售商支付的信息分享费用.效用函数分别为  $u_R = (\Delta V_R^M)^{\lambda_R}$  和  $u_M = (\Delta V_M^M)^{\lambda_M}$  和,其中  $\lambda_R$  和  $\lambda_M$  分别为零售商和制造商的风险规避程度,其值越大风险偏好程度越大.于是纳什讨价还价模型为

$$\begin{cases} \max_{\Delta V_R^M, \Delta V_M^M} u = u_R u_M = (\Delta V_R^M)^{\lambda_R} (\Delta V_M^M)^{\lambda_M} \\ \text{s. t. } \Delta V_R^M + \Delta V_M^M = V_S^M, \\ \Delta V_R^M > 0, \Delta V_M^M > 0 \end{cases} \quad (28)$$

上式的解为

$$\Delta V_R^M = \frac{\lambda_R}{\lambda_R + \lambda_M} V_S^M, \Delta V_M^M = \frac{\lambda_M}{\lambda_R + \lambda_M} V_S^M$$

这意味着零售商和制造商将共同分享信息分享所创造的价值,其分享比例与其分享规避程度相关.一旦  $\Delta V_R^M$  和  $\Delta V_M^M$  确定下来,那么在信息分享补偿机制下,零售商和制造商的利润分别为  $E(\Pi_{RIS}^M) + \Delta V_R^M$  和  $E(\Pi_{MIS}^M) - \Delta V_R^M$ .

**命题6** 设零售商和制造商风险规避程度相同,即  $\lambda_R = \lambda_M$ ,那么,当  $\frac{b\Delta^2}{4} < k <$

$(\frac{11 + \sqrt{37}}{14}) \frac{b\Delta^2}{4}$  时,信息分享补偿机制下零售商和制造商预期利润分别高于无信息分享情形下各



自的预期利润.

证明 当  $\lambda_R = \lambda_M$  时

$$\Delta V_R^M = \Delta V_M^M = V_S^M/2$$

因为  $V_S^M < V_M^M$ , 因此

$$E(\Pi_{MIS}^M) - \Delta V_R^M = E(\Pi_{MNI}^M) + V_M^M - \Delta V_R^M > E(\Pi_{MNI}^M) \quad (29)$$

化简处理  $E(\Pi_{RIS}^M) + \Delta V_R^M$  后得

$$E(\Pi_{RIS}^M) + \Delta V_R^M = \frac{tv(-112k^2 + 44b\Delta^2k - 3b^2\Delta^4)}{8b(8k - b\Delta^2)} \quad (30)$$

则当  $\frac{b\Delta^2}{4} < k < \left(\frac{11 + \sqrt{37}}{14}\right)\frac{b\Delta^2}{4}$  时

$$E(\Pi_{RIS}^M) + \Delta V_R^M > 0$$

由于供应链增值的条件为命题 1 中的 4) 所示, 又因为  $\left(\frac{11 + \sqrt{37}}{14}\right)\frac{b\Delta^2}{4} < (3 + \sqrt{5})\frac{b\Delta^2}{8}$ , 所以此命题成立.

此命题说明通过信息补偿机制可以使零售商和制造商利润增加, 进而零售商有动机进行信息共享. 下面考察信息分享补偿机制对回收模式和信息共享选择的影响.

命题 7 在信息分享补偿机制下, 对于零售商和制造商的二人博弈, 当  $t > \max\{t_1, t_2\}$  时, 纯战略纳什均衡依然为  $\{R, NI\}$ ; 当  $t < \min\{t_1, t_2\}$ ,  $\varpi < \Delta/2$  时, 存在一个  $k^*$ , 使得  $k > k^*$  时, 纯战略纳什均衡为  $\{M, IS\}$ .

证明 当  $t > \max\{t_1, t_2\}$  时, 如果制造商选择 R, 那么零售商选择 NI; 若制造商选择 M, 那么零售商选择 IS. 如果零售商选择 NI, 那么制造商选择 R. 若零售商选择 IS, 那么制造商选择 R. 因此当  $t > \max\{t_1, t_2\}$  时, 纯战略纳什均衡为  $\{R, NI\}$ .

当  $t < \min\{t_1, t_2\}$  时, 如果制造商选择 R, 那么零售商选择 NI; 若制造商依然选择 M, 那么零售商依然选择 IS. 如果零售商选择 NI, 那么制造商选择 M, 若零售商选择 IS, 那么当  $E(\Pi_{MIS}^M) - \Delta V_R^M > E(\Pi_{MIS}^R)$  时, 制造商选择 M. 将  $E(\Pi_{MIS}^M) - \Delta V_R^M - E(\Pi_{MIS}^R)$  化简得

$$E(\Pi_{MIS}^M) - \Delta V_R^M - E(\Pi_{MIS}^R) = \frac{4bk\Delta(\Delta - 2\varpi)(8k - b\Delta^2)(a_0^2 - bc_m)^2 - H_9(k)}{8b(8k - b\Delta^2)^2(4k - b\varpi\Delta)} \quad (31)$$

其中

$$H_9(k) = 64k^3 - 16\Delta(5b\varpi + b\Delta)k^2 + b^2\Delta^3\varpi(20k - b\Delta^2)$$

由此知存在一个  $k^*$ , 当  $k > k^*$  时,  $H_9(k) > 0$ , 同时需要  $\varpi < \Delta/2$ . 因此当  $t < \min\{t_1, t_2\}$ ,  $\varpi < \Delta/2$  且  $k > k^*$  时, 给定零售商选择 IS, 那么制造商选择 M. 综上可知此时的纯战略纳什均衡为  $\{M, IS\}$ .

在信息分享补偿机制下, 若零售商信息预测精度比较高 ( $t > \max\{t_1, t_2\}$ ), 那么对于制造商而言, 零售商回收模式将是最佳选择. 与无信息分享补偿机制下的均衡相比, 信息分享补偿机制下需要更高的信息预测精度, 但零售商没有动力分享预测信息. 在一定条件下, 如零售商预测信息精度比较低 ( $t < \min\{t_1, t_2\}$ ), 制造商支付的回收品费用较小 ( $\varpi < \Delta/2$ ), 且回收成本比较高 ( $k > k^*$ ),  $\{M, IS\}$  为纯战略纳什均衡. 可以发现, 当零售商预测信息精度较高时, 信息分享补偿机制对均衡没有影响; 而当预测信息精度较低时, 信息分享补偿机制会改变博弈的均衡.

## 8 算例分析

算例分析的目的在于观察回收成本参数 ( $k$ ) 对供应链利润的影响, 同时比较分析集中回收模式与 3 种分散式回收模式的利润关系. 另外一个目的在于观察单位节约成本对 3 种分散式回收模式下供应链预期利润的影响. 最后分析单位节约成本对制造商选择回收模式的影响. 由于无信息分享和信息分享下所得结果类似, 因此仅给出了信息分享下参数对供应链利润的影响.

由图 2 和图 3 可以看出, 无论是零售商预测信息精度较高还是较低, 集中回收模式下供应链利润都是最高的, 第 3 方回收模式下供应链利润均最低, 而零售商和制造商回收模式下供应链利润居中. 这是由集中回收模式下制造商和零售商能够协同决策所致. 值得注意的是, 当零售商预测信息精度较高时, 如  $t = 0.7$ , 零售商回收模式下供应链利润高于制造商回收模式下供应链利润; 当零售商预测信息精度较低时, 如  $t = 0.4$ , 零售商回收模式下供应链利润低于制造商回收模式下供应链利润. 因此当零售商预测精度高时适合采用

零售商回收模式,而预测精度低时适合采用制造商回收模式. 同时还可以发现,一旦回收成本参数  $k$  比较大时 3 种分散式回收模式下供应链利润非常接近. 这表明当回收成本比较大时,无论采用何种回收模式对供应链影响不大. 图 4 显示了单位节约成本对供应链利润的影响. 单位节约成本越大那么供应链利润也最大. 当单位节约成本较小时,零售商回收模式下供应链利润较高;而单位节约成本较高时,制造商回收模式下供应链利润较高. 这表明,当回收旧产品更加有利可图时,适合采用制造商回收模式;而回收旧产品所节约成本较低时,适合采用零售商回收模式. 图 5 也说明了当回收旧产品所节约成本越高制造商采用制造商回收模式的可能性越大.

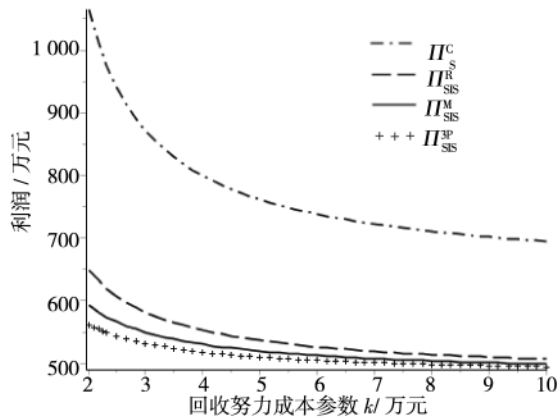


图 2 IS 下预测精度较高时  $k$  对供应链利润的影响

Fig. 2 Effect of  $k$  on supply chain's profits in IS with higher forecast accuracy

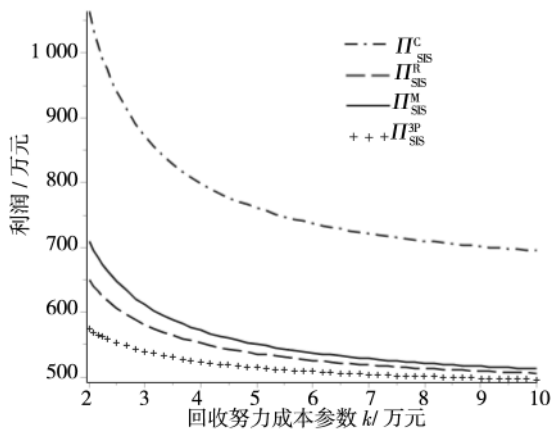


图 3 IS 下预测精度较低时  $k$  对供应链利润的影响

Fig. 3 Effect of  $k$  on supply chain's profits in IS with lower forecast accuracy

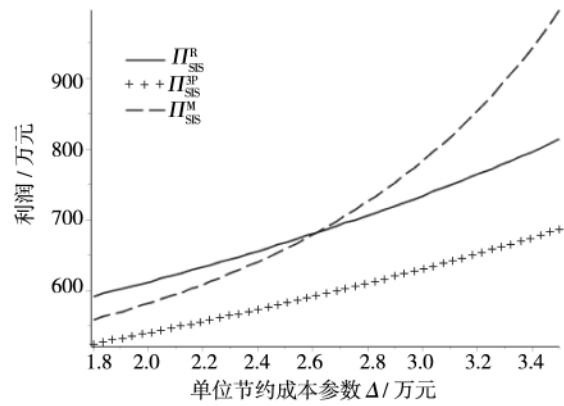


图 4 IS 下  $\Delta$  对 3 种分散式供应链利润的影响

Fig. 4 Effect of  $\Delta$  on three decentralized supply chain's profits in IS

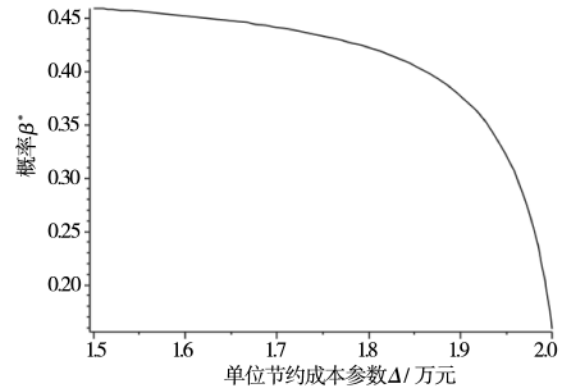


图 5  $\Delta$  对制造商回收模式选择的影响

Fig. 5 Effect of  $\Delta$  on manufacturer's choice of collecting modes

## 9 结束语

研究了零售商预测信息分享对闭环供应链回收渠道选择的影响. 首先建立了集中回收模式以及无信息分享与信息分享下 3 种分散式回收模式的闭环供应链模型; 考察了信息分享前后零售商、制造商和供应链利润的变化, 并比较分析了不同回收模式下零售商、制造商和供应链利润的大小关系; 得到了零售商信息分享和制造商回收模式选择的纯战略纳什均衡和混合战略纳什均衡; 最后设计出信息分享补偿机制, 并考察了该机制对零售商信息分享和制造商回收模式选择的影响. 总结起来得到了如下结论: 1) 零售商没有分享其私有需求预测信息的动机, 必须通过补偿机制才能使零售商自愿分享其需求预测信息, 虽然信息分享降低了零售商的预期利润, 但是却增加了制

造商回收模式下供应链的利润; 2) 无信息分享下, 比较3种分散式回收模式, 当零售商预测信息精度较高时, 无论是零售商还是制造商都偏好于零售商回收模式; 当预测信息精度较低时, 两者都偏好于制造商回收模式, 而第3方回收模式下两者的利润均最少; 3) 信息分享下, 比较3种分散回收模式, 零售商总是偏好于制造商回收模式, 而当 $\varpi < \Delta/2$ 时, 制造商同样偏好于制造商回收模式, 若 $\varpi > \Delta/2$ , 则制造商偏好于零售商回收模式; 4) 集中回收模式下供应链预期利润最高, 而3种分散式回收模式相比, 无信息分享下, 第3方回收模式下供应链利润最低, 而零售商和制造商回收下供应链预期利润的大小与零售商预测信息精度和回收产品价格相关; 5) 在无信息分享补偿机制下, 零售商的均衡策略为不分享信息, 而制造商的均衡策略为零售商回收模式或制造商回收模式, 并存在混合策略纳什均衡, 此时制造商选择两

种回收策略的概率与回收旧产品所能节约的单位成本相关; 6) 在信息分享补偿机制下, 当零售商预测精度充分大时, 零售商依然选择不分享信息, 而制造商选择零售商回收模式; 若预测精度比较小, 那么零售商选择信息分享, 同时制造商选择制造商回收模式。

可从以下几个方面进行后续研究: 1) 仅考虑了零售商单方面的预测信息分享, 研究零售商和制造商双向的预测信息分享对供应链回收渠道模式的影响; 2) 考虑零售商竞争下信息分享对供应链回收模式的影响; 3) 考虑非线性的需求函数可能会有一些与众不同的结果; 4) 本文将回收再制造作为成本节约的一种方式, 没有考虑新产品和再制造产品之间的差异, 因而, 当新产品与再制造产品存在差异时, 考察预测信息分享对回收再制造渠道选择将是有意义的研究问题, 研究方法可以参考文献[23-24]。

#### 参 考 文 献:

- [1] 黄祖庆, 达庆利. 直线型再制造供应链决策结构的效率分析[J]. 管理科学学报, 2006, 9(4): 51-57.  
Huang Zuqing, Da Qingli. Study on efficiency of serial supply chains with remanufacture[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(4): 51-57. (in Chinese)
- [2] 黄祖庆, 易荣华, 达庆利. 第三方负责回收的再制造闭环供应链决策结构的效率分析[J]. 中国管理科学, 2008, 16(3): 73-77.  
Huang Zuqing, Yi Ronghua, Da Qingli. Study on efficiency of the closed-loop supply chains with remanufacture based on third-party collecting[J]. Chinese Journal of Management Science, 2008, 16(3): 73-77. (in Chinese)
- [3] Fleischmann M, Bloemhof-Ruwaard J M, Dekker R, et al. Quantitative models for reverse logistics: A review[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 103(1): 1-17.
- [4] 达庆利, 黄祖庆, 张 钦. 逆向物流系统结构研究的现状及展望[J]. 中国管理科学, 2004, 12(1): 1-17.  
Da Qingli, Huang Zuqing, Zhang Qin. Current and future studies on structure of the reverse logistics system: A review[J]. Chinese Journal of Management Science, 2004, 12(1): 1-17. (in Chinese)
- [5] Guide J, Wassenhove L. The reverse supply chain[J]. Harvard Business Review, 2002, 80(2): 25-26.
- [6] Blackburn J D, Guide J, Souza G C, et al. Reverse supply chain for commercial return[J]. California Management Review, 2004, 46(2): 6-22.
- [7] Guide J, Jayaraman V, Linton J D. Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery[J]. Journal of Operations Management, 2003, 21(3): 259-279.
- [8] Nunen V J, Zuidwijk R A. E-enabled closed-loop supply chains[J]. California Management Review, 2004, 46(2): 40-54.
- [9] Schultmann F, Zumkeller M, Rentz O. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 171(3): 1033-1050.
- [10] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing[J]. Management Science, 2004, 50(2): 239-252.
- [11] Savaskan R C, Wassenhove L N. Reverse channel design: The case of competing retailers[J]. Management Science, 2006, 52(1): 1-14.

- [12] 易余胤. 具竞争零售商的再制造闭环供应链模型研究[J]. 管理科学学报, 2009, 12(6): 45-55.  
Yi Yuyin. Closed-loop supply chain game models with product remanufacturing in a duopoly retailer channel[J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(6): 45-55. (in Chinese)
- [13] 魏 洁, 李 军. EPR 下的逆向物流回收模式选择研究[J]. 中国管理科学, 2005, 13(6): 18-22.  
Wei Jie, Li Jun. The choice of different take-back models in reverse logistics with the restriction of EPR[J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(6): 18-22. (in Chinese)
- [14] 顾巧论, 高铁杠, 石连栓. 基于博弈论的逆向供应链定价策略分析[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(3): 20-25.  
Gu Qiaolun, Gao Tiegang, Shi Lianshuan. Price decision analysis for reverse supply chain based on game theory[J]. Systems Engineering-Theory and Practice, 2005, 25(3): 20-25. (in Chinese)
- [15] 王玉燕, 李帮义, 申 亮. 供应链、逆向供应链系统的定价策略模型[J]. 中国管理科学, 2006, 14(4): 40-45.  
Wang Yuyan, Li Bangyi, Shen Liang. The price decision model for the system of supply chain and reverse supply chain[J]. Chinese Journal of Management Science, 2006, 14(4): 40-45. (in Chinese)
- [16] 艾兴政, 唐小我, 马永开. 传统渠道与电子渠道预测信息分享的绩效研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(1): 12-21.  
Ai Xingzheng, Tang Xiaowo, Ma Yongkai. Performance of forecasting information sharing between traditional channel and E-channel[J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(1): 12-21. (in Chinese)
- [17] Li L. Information sharing in a supply chain with horizontal competition[J]. Management Science, 2002, 48(9): 1196-1212.
- [18] 陶文源, 寇纪淞, 李敏强. 信息共享对供应链影响[J]. 系统工程学报, 2002, 17(6): 486-561.  
Tao Wen yuan, Kou Jisong, Li Minqiang. Effect of information sharing on supply chain[J]. Journal of Systems Engineering, 2002, 17(6): 486-561. (in Chinese)
- [19] 申 悦, 于瑞峰, 吴 甦, 等. 零售商 Bertrand 竞争下供应链成本信息共享价值[J]. 清华大学学报, 2005, 45(11): 1581-1584.  
Shen Yue, Yu Ruifeng, Wu Su, et al. Value of cost information sharing in a supply chain with Bertrand retailers[J]. Journal of Tsinghua University, 2005, 45(11): 1581-1584. (in Chinese)
- [20] Yao D, Yue X, Wang X, et al. The impact of information sharing on a return policy with the addition of a direct channel[J]. International Journal of Production Economics, 2005, 97(2): 196-209.
- [21] Yue X, Liu J. Demand forecast sharing in a dual-channel supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(1): 646-667.
- [22] Yao D, Yue X, Liu J. Vertical cost information sharing in a supply chain with value adding retailers[J]. Omega, 2008, 36(5): 838-851.
- [23] Ferrer G, Swaminathan J M. Managing new and remanufactured products[J]. Management Science, 2006, 52(1): 15-26.
- [24] Atasu A, Sarvary M, Van Wassenhove L N. Remanufacturing as a marketing strategy[J]. Management Science, 2008, 54(10): 1731-1746.

## Effects of retailer information sharing on collecting modes of closed-loop supply chain

*NIE Jia-jia*

School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

**Abstract:** This research studies the effects of information sharing on the choices of collecting modes by one manufacturer. In a centralized collecting mode, one supply chain model is developed with information sharing, and three decentralized collecting models (the retailer, manufacturer and third party collecting models) are

developed without information sharing and with information sharing respectively. The results show that: 1) Forecasting information sharing would damage the retailer's profit, but the profit of the supply chain with information sharing is higher than without information sharing in the manufacturer collecting mode; 2) A mechanism of information sharing which compensates the retailer is developed to motivate the retailer to share his information with the manufacturer; 3) The forecast information accuracy and the price of used products have much effect on information sharing strategies of the retailer and the choices of the collecting modes for the manufacturer.

**Key words:** closed-loop supply chain; remanufacturing; information sharing; collecting mode; forecast accuracy

附录 A

3 种回收模型的最优解和最优利润

表 1 无信息分享下 3 种回收模型的最优解和最优利润

Table 1 The optimal solutions and profits under three collecting models with no information sharing

最优值	模型 R	模型 M	模型 3P
零售价格	$\frac{(2k - b\varpi^2)A + 2bk\omega_{NI}^R}{b(4k - b\varpi^2)}$	$\frac{b\omega_{NI}^M + A}{2b}$	$\frac{b\omega_{NI}^{3P} + A}{2b}$
批发价格	$\frac{bc_m(4k - b\varpi^2) + a_0(4k + b\varpi^2 - 2b\Delta\varpi)}{2b(4k - b\Delta\varpi)}$	$\frac{4bkc_m + a_0(4k - b\Delta^2)}{b(8k - b\Delta^2)}$	$\frac{2bkc_m + a_0(2k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)}{b(4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)}$
回收比例	$\frac{\varpi(a_0 - t(a_0 - f) - b\omega_{NI}^R)}{4k - b\varpi^2}$	$\frac{\Delta(a_0 - bc_m)}{8k - b\Delta^2}$	$\frac{\varpi(a_0 - b\omega_{NI}^{3P})}{4k}$
零售商利润	$\frac{ktv}{b(4k - b\varpi^2)} + \frac{k(4k - b\varpi^2)(a_0 - bc_m)^2}{4b(4k - b\Delta\varpi)^2}$	$\frac{tv}{4b} + \frac{4k^2(a_0 - bc_m)^2}{b(8k - b\Delta^2)^2}$	$\frac{tv}{4b} + \frac{k^2(a_0 - bc_m)^2}{b(4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)^2}$
制造商利润	$\frac{2\varpi ktv(\Delta - \varpi)}{(4k - b\varpi^2)^2} + \frac{k(a_0 - bc_m)^2}{2b(4k - b\Delta\varpi)}$	$\frac{k(a_0 - bc_m)^2}{b(8k - b\Delta^2)}$	$\frac{k(a_0 - bc_m)^2}{2b(4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)}$
第 3 方利润	N/A	N/A	$\frac{k\varpi^2(a_0 - bc_m)^2}{4(4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)^2}$

注:  $A = (1 - t)a_0 + tf$ .

表 2 信息分享下 3 种回收模型的最优解和最优利润

Table 2 The optimal solutions and profits under three collecting models with information sharing

最优值	模型 R	模型 M	模型 3P
零售价格	$\frac{(2k - b\varpi^2)A + 2bk\omega_{IS}^R}{b(4k - b\varpi^2)}$	$\frac{b\omega_{IS}^M + A}{2b}$	$\frac{b\omega_{IS}^{3P} + A}{2b}$
批发价格	$\frac{bc_m(4k - b\varpi^2) + (4k + b\varpi^2 - 2b\Delta\varpi)A}{2b(4k - b\Delta\varpi)}$	$\frac{4bkc_m + A(4k - b\Delta^2)}{b(8k - b\Delta^2)}$	$\frac{2bkc_m + A(2k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)}{b(4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)}$
回收比例	$\frac{\varpi(A - b\omega_{IS}^R)}{4k - b\varpi^2}$	$\frac{\Delta(A - bc_m)}{8k - b\Delta^2}$	$\frac{\varpi(A - b\omega_{IS}^{3P})}{4k}$
零售商利润	$\frac{k(4k - b\varpi^2)((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{4b(4k - b\Delta\varpi)^2}$	$\frac{4k^2((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{b(8k - b\Delta^2)^2}$	$\frac{k^2((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{b(4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)^2}$
制造商利润	$\frac{k((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{2b(4k - b\Delta\varpi)}$	$\frac{k((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{b(8k - b\Delta^2)}$	$\frac{k((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{2b(4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)}$
第 3 方利润	N/A	N/A	$\frac{k\varpi^2((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{4(4k - b\Delta\varpi + b\varpi^2)^2}$

注:  $A = (1 - t)a_0 + tf$ .

附录 B

模型 R 的推导过程

在零售商负责回收模式下,零售商负责销售并进行回收,然后将回收品交付制造商进行再制造.决策顺序为制造商制定批发价格,然后由零售商选择零售价格和回收比例.采用逆向归纳法求解.由于零售商具有将信息与制造商分享与否的权利,因此,将分两种情况对模型进行求解:无信息分享情形和零售商信息分享情形.

无信息分享情形

若零售商的需求预测信息不与制造商分享,那么零售商将根据市场信息及其预测信息进行决策,而制造商仅能依据市场信息进行决策.零售商的预期利润决策模型为

$$\max_{p, \tau} E( \Pi_{RNI}^R | f ) = E( ( p - \omega + \varpi \tau ) ( a - bp ) - k\tau^2 | f ) \tag{B1}$$

零售商的价格和回收比例决策分别为

$$p_{NI}^R(\omega) = \frac{(2k - b\varpi^2)((1-t)a_0 + tf) + 2bk\omega}{b(4k - b\varpi^2)} \quad \tau_{NI}^R(\omega) = \frac{\varpi(a_0 - t(a_0 - f) - b\omega)}{4k - b\varpi^2} \tag{B2}$$

制造商对零售商价格和回收比例的预期分别为

$$E(p_{NI}^R(\omega)) = \frac{a_0(2k - b\varpi^2) + 2bk\omega}{b(4k - b\varpi^2)} \quad E(\tau_{NI}^R(\omega)) = \frac{\varpi(a_0 - b\omega)}{4k - b\varpi^2} \tag{B3}$$

由于零售商没有分享其预测信息,因此制造商预期期望利润决策模型为

$$\max_{\omega} E( \Pi_{MNI}^R ) = E( ( \omega - c_m + (\Delta - \varpi) \tau ) ( a - bp ) ) \tag{B4}$$

于是得到贝叶斯均衡的批发价格表达式为

$$\omega_{NI}^R = \frac{bc_m(4k - b\varpi^2) + a_0(4k + b\varpi^2 - 2b\Delta\varpi)}{2b(4k - b\Delta\varpi)} \tag{B5}$$

相应地,贝叶斯均衡的零售价格和回收比例分别为

$$p_{NI}^R = \frac{(2k - b\varpi^2)((1-t)a_0 + tf) + 2bk\omega_{NI}^R}{b(4k - b\varpi^2)} \quad \tau_{NI}^R = \frac{\varpi(a_0 - t(a_0 - f) - b\omega_{NI}^R)}{4k - b\varpi^2} \tag{B6}$$

基于期望值规则,得到零售商与制造商的无条件预期利润分别为

$$\begin{cases} E(\Pi_{RNI}^R) = \frac{ktv}{b(4k - b\varpi^2)} + \frac{k(4k - b\varpi^2)(a_0 - bc_m)^2}{4b(4k - b\Delta\varpi)^2} \\ E(\Pi_{MNI}^R) = \frac{2\varpi ktv(\Delta - \varpi)}{(4k - b\varpi^2)^2} + \frac{k(a_0 - bc_m)^2}{2b(4k - b\Delta\varpi)} \end{cases} \tag{B7}$$

可以发现,无信息分享下,零售商和制造商的利润是随预测信息精度的提高而增加.

信息分享情形

若零售商的需求预测信息与制造商分享,制造商将根据市场信息及零售商的预测信息进行决策.零售商的决策与无信息分享下相同,如式(B1)所示.制造商对零售价格和回收比例的预期与零售商决策相同,此时制造商预期利润决策模型为

$$\max_{\omega} E( \Pi_{MIS}^R | f ) = E( ( \omega - c_m + (\Delta - \varpi) \tau ) ( a - bp ) | f ) \tag{B8}$$

于是得到信息分享下贝叶斯均衡的批发价格为

$$\omega_{IS}^R = \frac{bc_m(4k - b\varpi^2) + (4k + b\varpi^2 - 2b\Delta\varpi)(a_0 - t(a_0 - f))}{2b(4k - b\Delta\varpi)} \tag{B9}$$

零售商最优的零售价格和回收比例分别为

$$p_{IS}^R = \frac{(2k - b\varpi^2)((1-t)a_0 + tf) + 2bk\omega_{IS}^R}{b(4k - b\varpi^2)} \quad \tau_{IS}^R = \frac{\varpi(a_0 - t(a_0 - f) - b\omega_{IS}^R)}{4k - b\varpi^2} \tag{B10}$$

零售商与制造商的无条件预期利润分别为

$$E(\Pi_{RIS}^R) = \frac{k(4k - b\varpi^2)((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{4b(4k - b\Delta\varpi)^2} \quad E(\Pi_{MIS}^R) = \frac{k((a_0 - bc_m)^2 + tv)}{2b(4k - b\Delta\varpi)} \tag{B11}$$