

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2020.06.024

考虑风险与资金约束的闭环供应链定价与回收决策

刘春怡¹, 尤天慧¹, 曹兵兵²

(1. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169; 2. 广州大学 工商管理学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 针对回收商资金约束的闭环供应链, 考虑成员面对需求不确定时表现出不同风险态度, 研究闭环供应链的定价与回收决策问题. 通过均值-方差法刻画闭环供应链各成员的风险态度, 分别给出集中决策和分散决策下的最优批发价格、零售价格和回收率, 分析各成员的风险态度、贷款利率和需求不确定性对最优决策以及成员和闭环供应链效用的影响. 研究表明: 风险中性的回收商对供应链成员均有利, 风险中性的零售商和制造商只对自身有利; 贷款利率的增加会降低供应链成员的效用; 较低的需求不确定性对零售商、回收商和分散决策下的闭环供应链有利.

关 键 词: 闭环供应链; 回收商资金约束; 风险态度; 定价与回收决策; Stackelberg 博弈

中图分类号: C 934; F 272 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2020)06-0902-07

Pricing and Recycling Decision of Closed-Loop Supply Chains Considering Risks and Capital Constraints

LIU Chun-yi¹, YOU Tian-hui¹, CAO Bing-bing²

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China; 2. School of Management, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China. Corresponding author: YOU Tian-hui, E-mail: thyou@mail.neu.edu.cn)

Abstract: Based on a closed-loop supply chain with recycler capital constraints, the pricing and recycling decision of closed-loop supply chains is studied considering participators' risk attitudes faced with stochastic demands. The risk attitudes of participators are described based on mean-variance. The optimal wholesale price, retail price and recycling rate in centralized and decentralized decisions are determined respectively. Then the impacts of risk attitudes of participators, loan interest rates and demand uncertainty on the optimal strategies and the utility of members and closed-loop supply chains are analyzed. The results show that the recyclers of risk neutrality is beneficial to all participators, while the retailers and manufacturers of risk neutrality are only beneficial to themselves. The increase of loan interest rates will reduce the utility of participators, while lower demand uncertainty is beneficial to the retailers, recyclers and closed-loop supply chains in decentralized decisions.

Key words: closed-loop supply chain; recycler capital constraints; risk attitudes; pricing and recycling decision; Stackelberg game

随着市场竞争日趋激烈和消费者环保意识逐渐增强,越来越多的企业开始关注考虑产品回收再制造的闭环供应链^[1]. 现实中,由于企业在成本支出和获得收入之间存在时间差,一些企业会面临运营资金不足的窘境^[2],通常会向银行等金融机构融资,以此来弥补资金缺口^[3]. 回收商作为产品回收再制造的重要环节,其资金状况倍受关注. 此外,面对市场需求的不确定性,供应链成员表现出不同的风险态度会影响其最优决策^[4]. 面对市场需求不确定风险,回收商资金约束的闭环供应链中各成员企业如何制定其最优定价与回收率决策,以及成员企业风险态度和贷款利率如

何影响最优定价和回收率策略是本文需要解决的问题. 基于此, 本文针对考虑成员风险态度且回收商资金约束的闭环供应链定价与回收决策进行研究.

目前, 针对闭环供应链定价与回收决策的相关研究已引起了有关学者的关注^[5-7], 例如, Savaskan 等^[5]针对集中回收、制造商回收、零售商回收和第三方回收这4种不同的回收模式, 分别给出了闭环供应链的最优定价与回收决策. 但已有研究大都仅考虑闭环供应链成员风险中性且回收商资金充足的情形, 未考虑成员的风险态度和回收商资金约束对闭环供应链定价与回收决策的影响.

已有研究指出成员的风险态度能够影响供应链的决策制定^[8-10], 例如, 陈宇科等^[9]分析了随机需求条件下考虑零售商风险规避时闭环供应链的最优定价与订货决策; Ke 等^[10]研究了零售商风险规避态度对闭环供应链定价决策的影响. 也有研究表明资金短缺对供应链决策具有影响, 例如, Wang 等^[11]针对再制造商资金约束的闭环供应链, 对比了有贷款和无贷款下的定价决策, 指出再制造商的初始资金和贷款利率能够影响闭环供应链定价决策; 石丹等^[12]指出相较于制造商和零售商, 回收企业所面临的资金约束问题尤其突出, 并从收益成本角度研究了回收商资金约束下, 不同融资方式对闭环供应链收益的影响. 此外, 也有一些学者研究了成员风险态度和资金约束对供应链定价等决策的影响, 如 Yan 等^[13]针对零售商资金约束的供应链, 研究了零售商风险规避和融资方案对供应链定价与订货决策的影响. 需要指出的是, 上述针对考虑成员风险态度的供应链定价决策的研究和考虑成员资金约束的供应链定价决策的研究, 较少考虑成员风险态度对资金约束的闭环供应链最优定价与回收决策的影响.

本文运用均值-方差法刻画各成员风险态度, 针对回收商资金约束的闭环供应链, 给出不同权力结构下闭环供应链的最优定价与回收率; 并探讨各成员的风险态度、贷款利率和需求不确定性对最优策略以及成员和闭环供应链效用的影响.

1 问题描述、符号说明与研究假设

考虑由制造商、零售商和资金约束的回收商构成的闭环供应链, 制造商使用原材料或二手产品生产新产品, 零售商从制造商处批发产品并以

一定的零售价格卖给消费者; 资金约束的回收商向银行融资, 然后以一定的回收率回收市场中的二手产品, 并以一定的转移价格将其卖给制造商, 回收商收到货款后偿还银行贷款. 本文涉及的符号与说明如表1所示. 为了简化模型和便于分析, 做出下列假设:

1) 制造商使用原材料或二手产品生产的新产品在功能、质量等方面完全相同. 2) 考虑回收成本 $C(\tau)$ 与回收规模参数和市场需求相关, 即 $C(\tau) = C_L\tau^2 + A\tau D, 0 \leq \tau \leq 1$ ^[5, 10]. 3) 为了保证制造商使用二手产品生产是有利可图的, 假设单位节约成本大于0, 即 $\Delta = c_n - c_r - b \geq 0$. 4) 需求函数为 $D = \bar{a} - \beta p + \varepsilon$ ^[8], 其中, $\bar{a} > 0, \beta > 0$. 5) 为了保证回收商回收二手产品是有利可图的, 假设回收商边际收益大于0, 即 $b - A(1 + f_T) > 0$.

表1 符号与说明
Table 1 Symbols and instructions

| 符号 | 说明 |
|---------------|--|
| w | 制造商决定的单位产品的批发价格 |
| p | 零售商决定的单位产品的零售价格 |
| τ | 回收商决定的二手产品的回收率 |
| \bar{a} | 所售产品的平均潜在固有需求 |
| β | 描述需求随零售价格变化而变化的弹性系数 |
| ε | 市场需求随机波动的随机变量, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ |
| c_n | 购买并使用原材料生产新产品的单位成本 |
| c_r | 使用二手产品生产新产品的单位制造成本 |
| b | 制造商回收单位二手产品需要支付的转移价格 |
| C_L | 回收规模参数, C_L 越大表明回收越困难 |
| A | 回收商从消费者手中回收单位二手产品的费用 |
| f_T | 银行公布的贷款利率 |
| λ_i | 风险容忍程度 |
| $E(U_i)$ | 效用函数. $i = M, R, T, SC$ 分别表示制造商、零售商、回收商和闭环供应链. |

2 效用函数的构建

考虑资金约束的回收商以贷款利率 f_T 向银行融资, 融资金额等于回收成本, 则回收商利润函数为 $b\tau(\bar{a} - \beta p + \varepsilon) - [C_L\tau^2 + A\tau(\bar{a} - \beta p + \varepsilon)] \times (1 + f_T)$. 依据文献[8], 采用均值-方差法刻画回收商的风险态度, 则回收商的效用函数为

$$E(U_T) = [b - A(1 + f_T)]\tau(\bar{a} - \beta p) - C_L\tau^2(1 + f_T) - \frac{[b - A(1 + f_T)]^2\tau^2\sigma^2}{2\lambda_T}.$$

(1)

同理, 制造商、零售商和闭环供应链的效用函

数分别为

$$E(U_M) = (w - c_n + \Delta\tau)(\bar{a} - \beta p) - \frac{(w - c_n + \Delta\tau)^2 \sigma^2}{2\lambda_M}, \tag{2}$$

$$E(U_R) = (p - w)(\bar{a} - \beta p) - \frac{(p - w)^2 \sigma^2}{2\lambda_R}, \tag{3}$$

$$E(U_{SC}) = [p - c_n + (c_n - c_r)\tau - A(1 + f_T)\tau] \cdot (\bar{a} - \beta p) - C_L \tau^2 (1 + f_T) - \frac{[p - c_n + (c_n - c_r)\tau - A(1 + f_T)\tau]^2 \sigma^2}{2\lambda_{SC}}. \tag{4}$$

3 最优解及其分析

3.1 集中决策

针对集中决策(CD),以闭环供应链整体效用最大化为目标求解 p_{CD}^* 和 τ_{CD}^* ,可得定理 1.

定理 1 集中决策下,当 $2C_L(1 + f_T)(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) > \beta\lambda_{SC}[c_n - c_r - A(1 + f_T)][\bar{a} - \beta c_r - \beta A(1 + f_T)]$ 时 p_{CD} 和 τ_{CD} 存在唯一最优解,分别为

$$p_{CD}^* = \frac{2C_L(1 + f_T)[\lambda_{SC}\bar{a} + (\beta\lambda_{SC} + \sigma^2)c_n] - \beta X_1^2 \lambda_{SC} \bar{a}}{2C_L(1 + f_T)(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) - X_1^2 \beta^2 \lambda_{SC}}, \tag{5}$$

$$\tau_{CD}^* = \frac{\beta\lambda_{SC}(\bar{a} - \beta c_n)X_1}{2C_L(1 + f_T)(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) - X_1^2 \beta^2 \lambda_{SC}}. \tag{6}$$

其中, $X_1 = c_n - c_r - A(1 + f_T)$.

推论 1 集中决策下,当 f_T 和 σ 为 0 时,说明此时回收商资金充足,不需要向银行融资,且闭环供应链是风险中性的,定理 1 中最优解存在条件变为 $4C_L > (c_n - c_r - A)(\bar{a} - \beta c_r - \beta A)$,此时最优解存在的条件与文献[5]一致.

依据式(4)~式(6),可进一步确定 $E(U_{SC}^{CD})^*$,即

$$E(U_{SC}^{CD})^* = \frac{C_L \lambda_{SC}(1 + f_T)(\bar{a} - \beta c_n)^2}{2C_L(1 + f_T)(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) - X_1^2 \beta^2 \lambda_{SC}}. \tag{7}$$

推论 2 集中决策下,闭环供应链最优零售价格 p_{CD}^* 、最优回收率 τ_{CD}^* 和闭环供应链最优效用 $E(U_{SC}^{CD})^*$ 均与转移价格 b 无关.

命题 1 集中决策下,当 $2C_L(1 + f_T) \geq \beta[c_n - c_r - A(1 + f_T)]^2$ 时, p_{CD}^* 是 λ_{SC} 的增函数,是 σ 的减函数,否则反之; τ_{CD}^* 是 λ_{SC} 的增函数,是 σ 的减函数; $E(U_{SC}^{CD})^*$ 是 λ_{SC} 的增函数,是 σ 的减函数.

由命题 1 可知,风险规避的闭环供应链会制定较低的回收率,获得的效用比风险中性的闭环

供应链更低.随着市场需求波动的增加,为了规避风险,闭环供应链会制定较低的回收率,从而导致闭环供应链效用降低.这符合风险规避决策特性,即风险规避的企业倾向做出更加保守的决策,获得的效用也会相对较低.

命题 2 集中决策下, p_{CD}^* 是 C_L 的增函数, τ_{CD}^* 是 C_L 的减函数, $E(U_{SC}^{CD})^*$ 是 C_L 的减函数.

由命题 2 可知,对于回收难度较高的产品,其回收率较低,导致产品再利用水平较低,因此闭环供应链倾向为该类产品制定较高的零售价格,从而在初次销售中获得较高的利润,由于该类产品只能从初次销售中获利,相比回收难度较低的产品,闭环供应链获得的效用较低.

3.2 分散决策

对于由制造商、零售商和回收商组成的闭环供应链,一般存在 3 种权力结构,分别是制造商主导、零售商主导和回收商主导.通过对不同权力结构下的最优批发价格、零售价格和回收率求解,发现零售商主导下该闭环供应链中市场需求的期望为 0,这不符合现实情形,因此,本文仅考虑制造商主导和回收商主导的情形.

制造商主导(MS)代表由大型制造商和相对较小的零售商和回收商组成的市场结构^[6].制造商率先决定 w_{MS}^* ,零售商和回收商依据制造商的决策结果给出 p_{MS}^* 和 τ_{MS}^* ,采用逆序求解法可得定理 2.

定理 2 制造商主导下,当 $-(1 - \Delta G_1)^2 \sigma^2 / \lambda_M - 2\beta(1 - \Delta G_1)F \leq 0$ 时,存在 w_{MS}^* , p_{MS}^* 和 τ_{MS}^* ,分别为

$$w_{MS}^* = \frac{\beta\lambda_M F[(1 - 2\Delta G_1)\bar{a} + \beta c_n] - \sigma^2(1 - \Delta G_1)[\Delta G_1 \bar{a} - \beta c_n]}{\beta[2\beta\lambda_M F(1 - \Delta G_1) + (1 - \Delta G_1)^2 \sigma^2]}, \tag{8}$$

$$p_{MS}^* = \frac{\bar{a} - F(\bar{a} - \beta w_{MS}^*)}{\beta}, \tag{9}$$

$$\tau_{MS}^* = \frac{G_1(\bar{a} - \beta w_{MS}^*)}{\beta}. \tag{10}$$

其中: $F = (\beta\lambda_R + \sigma^2) / (2\beta\lambda_R + \sigma^2)$, $G_1 = \beta[b - A(1 + f_T)] \times \lambda_T F / \{2C_L \lambda_T(1 + f_T) + [b - A(1 + f_T)]^2 \sigma^2\}$.

进而可得 $E(U_M^{MS})^*$, $E(U_R^{MS})^*$ 和 $E(U_T^{MS})^*$ 分别为

$$E(U_M^{MS})^* = \frac{[(2\beta\lambda_M F - G_1 \Delta \sigma^2)(\bar{a} - \beta w_{MS}^*) - \beta \sigma^2(w_{MS}^* - c_n)]}{2\beta^2 \lambda_M}.$$

$$[G_1 \Delta (\bar{a} - \beta w_{MS}^*) + \beta (w_{MS}^* - c_n)], \quad (11)$$

$$E(U_R^{MS})^* = \frac{(1-F)(\bar{a} - \beta w_{MS}^*)^2}{2\beta}, \quad (12)$$

$$E(U_T^{MS})^* = \frac{FG_1[b - A(1+f_T)](\bar{a} - \beta w_{MS}^*)^2}{2\beta}. \quad (13)$$

回收商主导 (TS) 代表由大型回收商和相对较小的制造商和零售商组成的市场结构^[6]. 回收商先决定 τ_{TS} , 然后制造商决定 w_{TS}^* , 最后零售商决定 p_{TS}^* , 采用逆序求法可得定理 3.

定理 3 回收商主导下, $F\beta G_2 X_2 - 2C_L(1+f_T) - X_2^2 \sigma^2 / \lambda_T \leq 0$ 时, τ_{TS} , w_{TS} 和 p_{TS} 有唯一最优解, 分别为

$$\tau_{TS}^* = \frac{G_2 F \lambda_T (\bar{a} - \beta c_n) X_2}{2\Delta \lambda_T [C_L(1+f_T) - \beta G_2 F X_2] + \Delta X_2^2 \sigma^2}, \quad (14)$$

$$w_{TS}^* = \frac{(\Delta - G_2)\bar{a} + \beta G_2(c_n - \Delta \tau_{TS}^*)}{\Delta \beta}, \quad (15)$$

$$p_{TS}^* = \frac{(\Delta - FG_2)\bar{a} + \beta FG_2(c_n - \Delta \tau_{TS}^*)}{\Delta \beta}. \quad (16)$$

其中: $G_2 = (\beta F \lambda_M + \sigma^2) \Delta / (2\beta F \lambda_M + \sigma^2)$, $X_2 = b - A(1+f_T)$.

进而可得 $E(U_M^{TS})^*$, $E(U_R^{TS})^*$ 和 $E(U_T^{TS})^*$ 分别为

$$E(U_M^{TS})^* = \frac{[2\beta \lambda_M F G_2 - (\Delta - G_2)\sigma^2](\Delta - G_2)X_3^2}{2\beta^2 \lambda_M \Delta^2}, \quad (17)$$

$$E(U_R^{TS})^* = \frac{[2\beta \lambda_R F - (1-F)\sigma^2](1-F)G_2^2 X_3^2}{2\beta^2 \lambda_R \Delta^2}, \quad (18)$$

$$E(U_T^{TS})^* = \frac{FG_2 \tau_{TS}^* X_2 X_3}{\Delta} - \frac{[2C_L(1+f_T)\lambda_T + X_2^2 \sigma^2] \tau_{TS}^*}{2\lambda_T}. \quad (19)$$

其中, $X_3 = \bar{a} - \beta c_n + \beta \Delta \tau_{TS}^*$.

4 数值分析

为分析各成员的风险态度、贷款利率和需求不确定性对最优决策以及各成员和闭环供应链效用的影响, 依据文献[8]、模型假设和最优解条件, 取 $\bar{a} = 750$, $\beta = 20$, $C_L = 600$, $A = 2$, $b = 5$, $c_n = 17$, $c_r = 10$, $f_T = 4.35\%$, $\lambda_M = 80$, $\lambda_T = 50$, $\lambda_R = 40$ 和 $\sigma = 60$, $\lambda_{SC} = \lambda_R + \lambda_T + \lambda_M$, 具体分析结果如图 1 ~ 图10 所示.

由图 1 和图 2 可知, 随着 λ_M 的增加, 制造商风险态度从风险规避转为风险中性, 批发价格和零售价格随之提高, 回收率在集中决策下提高, 在分散决策下降低. 制造商和闭环供应链的效用增

加, 零售商和回收商的效用降低. 这表明风险中性的制造商会制定较高的批发价格, 并获得较高的效用, 但会促使回收商降低回收率, 零售商提高零售价格, 导致市场需求降低, 从而降低零售商和回收商效用.

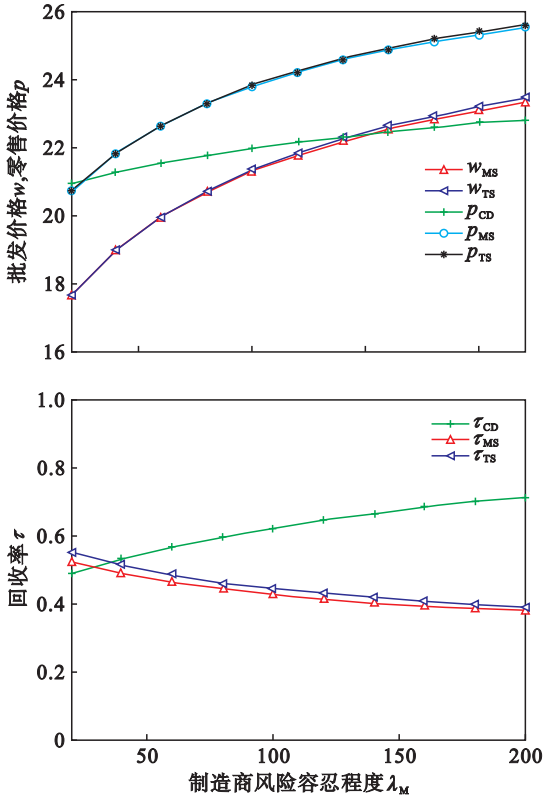


图 1 制造商风险容忍程度对最优决策的影响
Fig.1 Impact of manufacturers' risk tolerance on optimal decisions

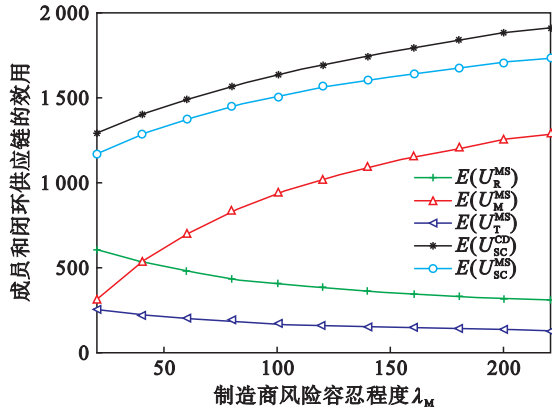


图 2 制造商风险容忍程度对成员和闭环供应链效用的影响
Fig.2 Impact of manufacturers' risk tolerance on the utility of participants and closed-loop supply chain

由图 3 和图 4 可知, 风险中性的回收商会制定较高的回收率, 从而降低产品制造成本, 并促使制造商和零售商制定较低的批发价格和零售价格, 导致市场需求增加, 进而零售商和制造商效用增加.

由图 5 和图 6 可知,风险中性的零售商会制定较高的零售价格并获得较高的效用,但会降低市场需求,并促使回收商降低回收率,制造商降低批发价格,导致制造商和回收商效用降低. 即,风险中性的零售商能够给零售商和闭环供应链带来更高效用,但这是以损失制造商和回收商的效用为前提的.

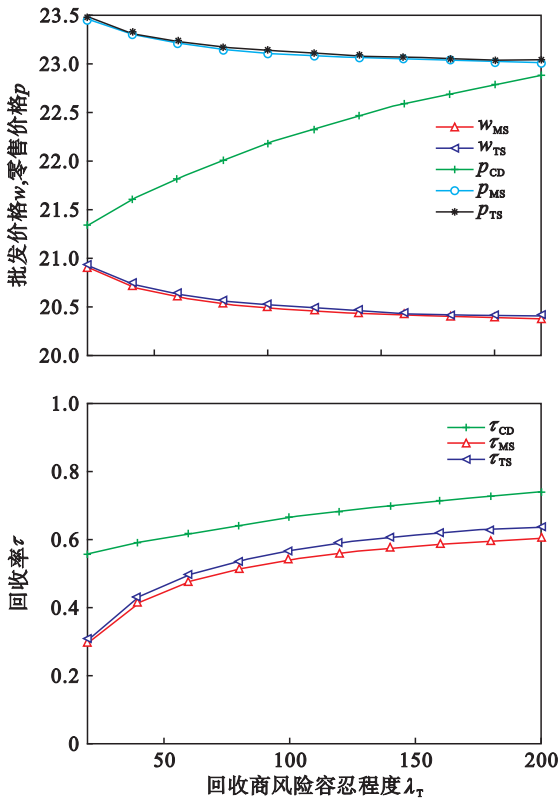


图 3 回收商风险容忍程度对最优决策的影响
Fig.3 Impact of recyclers' risk tolerance on optimal decisions

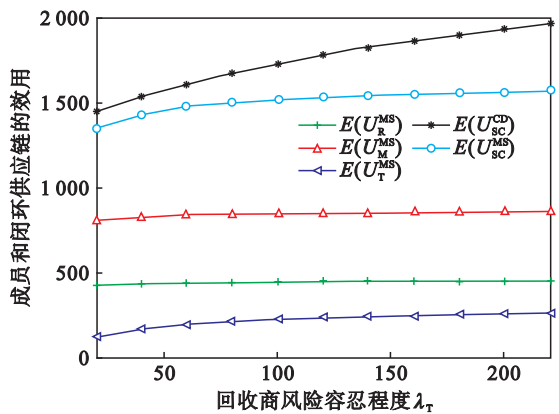


图 4 回收商风险容忍程度对成员和闭环供应链效用的影响
Fig.4 Impact of recyclers' risk tolerance on the utility of participants and closed-loop supply chain

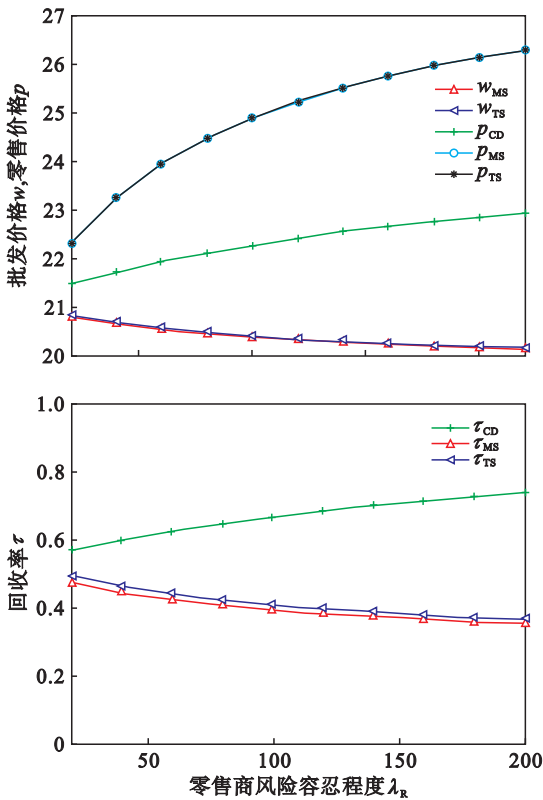


图 5 零售商风险容忍程度对最优决策的影响
Fig.5 Impact of retailers' risk tolerance on optimal decisions

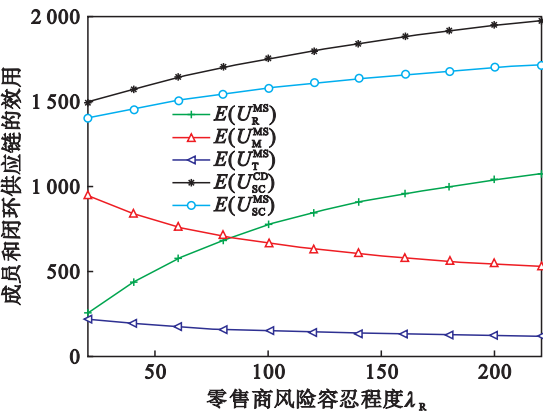


图 6 零售商风险容忍程度对成员和闭环供应链效用的影响
Fig.6 Impact of retailers' risk tolerance on the utility of participants and closed-loop supply chain

由图 7 和图 8 可知,随着贷款利率提高,不仅资金约束的回收商效用降低,资金充足的制造商和零售商效用也均随之降低. 这是因为,随着贷款利率的提高,资金约束的回收商会降低回收率,零售商、制造商和回收商从使用二手产品生产新产品中获得的收益减少,从而使批发价格和零售价格上涨,市场需求降低,进而降低闭环供应链中各成员效用.

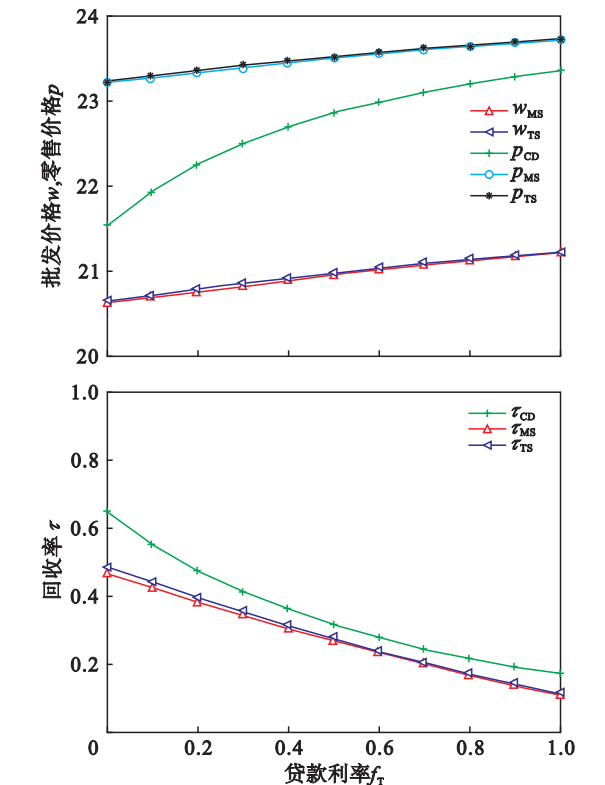


图7 贷款利率对最优决策的影响
Fig.7 Impact of loan interest rates on optimal decisions

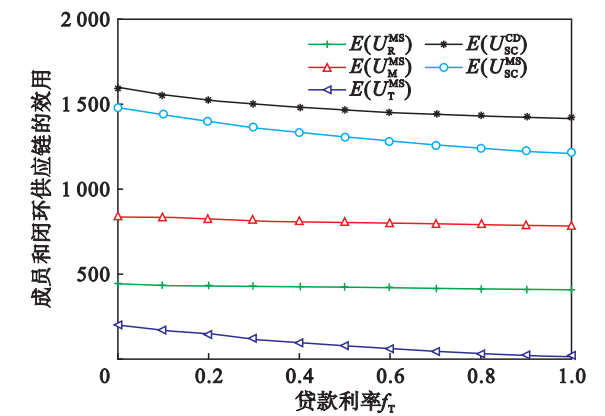


图8 贷款利率对成员和闭环供应链效用的影响
Fig.8 Impact of loan interest rates on the utility of participants and closed-loop supply chain

由图9和图10可知,需求不确定性对不同成员效用的影响趋势不同,且较低的需求不确定对零售商、回收商和分散决策下的闭环供应链有益.这是由于批发价格和零售价格随 σ 的变化速率不同,导致零售商边际收益随 σ 的增大先增加而后降低,从而使零售商效用随之先增加而后降低.同理,虽然批发价格和回收率随 σ 的变化趋势不同,但是在批发价格和回收率的共同影响下导致制造商生产单位产品获得的收益随 σ 的增大而降低,从而导致制造商效用随 σ 的增加而降低.回收率随 σ 的增大先提高而后降低,使得回收商效用随之先增加而后降低.

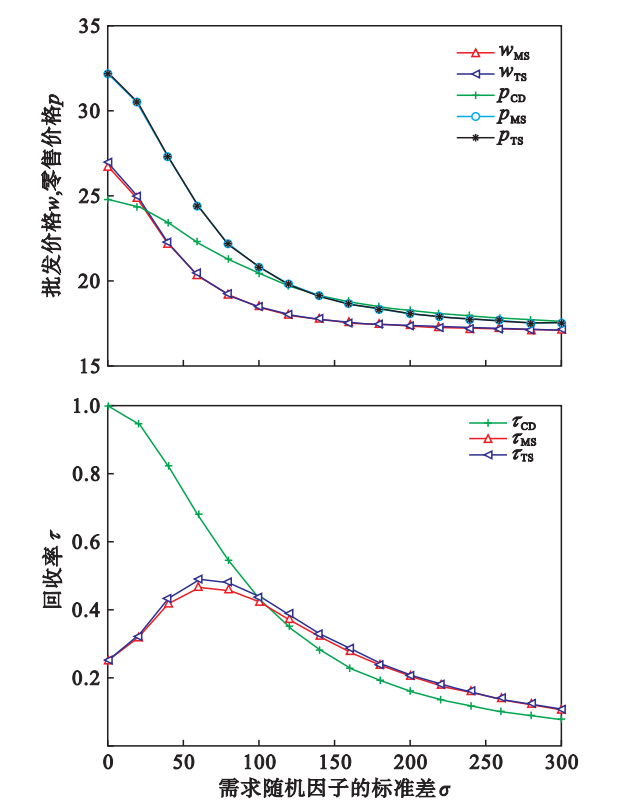


图9 需求随机因子标准差对最优决策的影响
Fig.9 Impact of standard deviations of demand random factors on optimal decisions

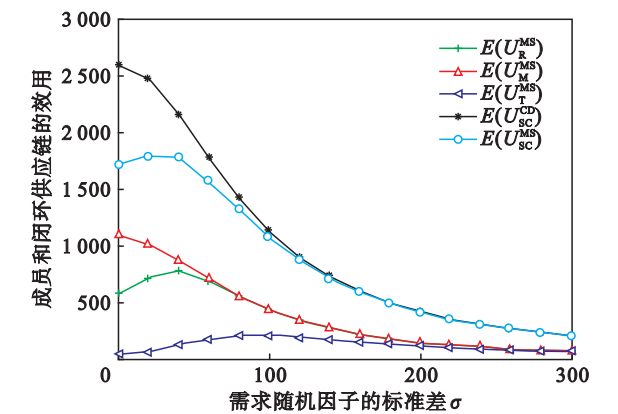


图10 需求随机因子标准差对成员和闭环供应链效用的影响
Fig.10 Impact of standard deviations of demand random factors on the utility of participants and closed-loop supply chain

5 结 论

- 1) 风险规避的成员会制定保守决策,从而降低企业自身的效用.因此,闭环供应链中风险规避的成员应该通过市场调查等手段,充分了解市场需求变动情况,及时调整销售策略,从而降低风险.
- 2) 不同成员的风险态度对最优决策和成员效用的影响趋势不同,风险中性的回收商对供应

链各成员均有利,风险中性的零售商和制造商会损害其他成员的利益,因此企业应该选择风险中性的回收商以及风险规避的制造商或零售商作为合作伙伴.

3) 贷款利率的提高会导致制造商和零售商制定较高的批发价格和零售价格,回收商制定较低的回收率,这不仅可以降低市场需求,还会增加产品制造成本,从而降低闭环供应链各成员的效用.因此,闭环供应链成员关注回收商的资金状况是必要的.

4) 适当的需求波动对零售商和回收商有利,而需求波动增加会降低制造商效用,因此,与制造商相比,零售商与回收商能够更好地适应需求波动.

参考文献:

[1] Cai X Q, Lai M H, Li X, et al. Optimal acquisition and production policy in a hybrid manufacturing/remanufacturing system with core acquisition at different quality levels[J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 233 (2): 374 – 382.

[2] Jin W, Zhang Q H, Luo J W. Non-collaborative and collaborative financing in a bilateral supply chain with capital constraints[J]. *Omega*, 2019, 88 : 210 – 222.

[3] Yan N N, Sun B W, Zhang H, et al. A partial credit guarantee contract in a capital-constrained supply chain: financing equilibrium and coordinating strategy [J]. *International Journal of Production Economics*, 2016, 173 : 122 – 133.

[4] Zhao S, Zhu Q. A risk-averse marketing strategy and its effect on coordination activities in a remanufacturing supply chain under market fluctuation [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 171 : 1290 – 1299.

[5] Savaskan R C, Bhattacharya S, Van Wassenhove L N. Closed-loop supply chain models with product

remanufacturing[J]. *Management Science*, 2004, 50 (2): 239 – 252.

[6] Choi T M, Li Y J, Xu L. Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains [J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 146 (1): 371 – 380.

[7] Modak N M, Kazemi N, Cárdenas-Barrón L E. Investigating structure of a two-echelon closed-loop supply chain using social work donation as a corporate social responsibility practice[J]. *International Journal of Production Economics*, 2019, 207 : 19 – 33.

[8] Xie G, Yue W Y, Wang S Y, et al. Quality investment and price decision in a risk-averse supply chain [J]. *European Journal of Operational Research*, 2011, 214 (2): 403 – 410.

[9] 陈宇科,熊龙,董景荣. 基于均值 – CVaR 的闭环供应链协调机制[J]. *中国管理科学*, 2017, 25 (2): 68 – 77.
(Chen Yu-ke, Xiong Long, Dong Jing-rong. Closed-loop supply chain coordination mechanism based on mean-CVaR [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25 (2): 68 – 77.)

[10] Ke H, Wu Y, Huang H. Competitive pricing and remanufacturing problem in an uncertain closed-loop supply chain with risk-sensitive retailers[J]. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 2018, 35 (1): 1 – 21.

[11] Wang Y Y, Zhang Y Y. Remanufacturer ’ s production strategy with capital constraint and differentiated demand [J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2017, 28 (4): 869 – 882.

[12] 石丹,魏超,戴明宏. 闭环供应链回收企业两种融资模式下决策分析[J]. *北京邮电大学学报(社会科学版)*, 2017, 19 (2): 66 – 74.
(Shi Dan, Wei Chao, Dai Ming-hong. Decision-making analysis of recycling enterprises in closed-loop supply chain under two financing modes[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications (Social Sciences Edition)*, 2017, 19 (2): 66 – 74.)

[13] Yan N N, He X L, Liu Y. Financing the capital-constrained supply chain with loss aversion: supplier finance vs. supplier investment[J]. *Omega*, 2019, 88 : 162 – 178