



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

刘春怡, 尤天慧, 曹兵兵

引用本文:

刘春怡, 尤天慧, 曹兵兵. 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[J]. 控制与决策, 2021, 36(5): 1239–1248.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1305>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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>

低碳环境下双渠道供应链线上线下广告策略的微分博弈分析

Differential game analysis of online and offline advertising strategies in a dual channel supply chain under low-carbon background

控制与决策. 2020, 35(11): 2707–2714 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1721>

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

刘春怡¹, 尤天慧^{1†}, 曹兵兵²

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

摘 要: 针对制造商资金约束的闭环供应链, 考虑制造商、零售商和回收商面对市场需求不确定性表现出不同的风险态度, 研究闭环供应链如何确定其最优定价与回收决策. 首先, 依据均值-方差法给出制造商、零售商、回收商和闭环供应链的效用函数; 然后, 基于博弈论的思想分别确定集中式决策下闭环供应链的最优策略和效用, 以及分散式决策下制造商、零售商和回收商的最优策略和效用; 最后, 分析相关参数对最优策略和效用的影响. 研究结果表明, 制造商、零售商和回收商的风险态度在很大程度上能够影响其最优批发价格、最优零售价格及最优回收率, 进而影响其效用. 贷款利率能够影响制造商、零售商、回收商和闭环供应链的效用, 且对资金约束的制造商的效用影响最为显著.

关键词: 闭环供应链; 资金约束; 风险态度; 权力结构; 均值-方差; 定价与回收决策

中图分类号: C934; F272

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2019.1305

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 刘春怡, 尤天慧, 曹兵兵. 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[J]. 控制与决策, 2021, 36(5): 1239-1248.

Pricing and recycling decisions of a closed-loop supply chain considering participants' risk attitudes and manufacturer capital constraint

LIU Chun-yi¹, YOU Tian-hui^{1†}, CAO Bing-bing²

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China; 2. School of Management, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: For a closed-loop supply chain where the manufacture is capital constrained, this study focuses on the pricing and recycling decisions of a closed-loop supply chain considering risk attitudes of the manufacturer, the retailer and the recycler. Firstly, the utility functions of supply chain members and the closed-loop supply chain are constructed according to mean-variance. Then, based on the game theory, the optimal strategy and utility of the closed-loop supply chain under the centralized system and the optimal strategies and utilities of supply chain members under the decentralized system are determined respectively. Finally, the impacts of parameters on the optimal strategies and utilities are analyzed. The results show that, the risk attitudes of supply chain members and the closed-loop supply chain can affect the optimal wholesale price, retail price and return rate to some extent, and then affect the utilities of supply chain members and the closed-loop supply chain. The loan interest rate can affect the utilities of supply chain members and the closed-loop supply chain, and it has the most significant effect on the utility of the capital constrained manufacturer.

Keywords: closed-loop supply chain; capital constraint; risk attitude; power structure; mean-variance; pricing and recycling decisions

0 引 言

随着环境污染与资源浪费问题日益严重, 以及废旧资源回收再制造中蕴藏的经济价值逐步显现, 回收再制造越来越受到重视^[1-4]. 如: 福特公司早在 1999

年就建立了废旧汽车回收中心; 2017 年国务院第 84 号令公布的《国务院办公厅关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》指出, 要落实生产者责任延伸制度, 促进产品回收和再制造发展. 在现实中, 随着生

收稿日期: 2019-09-15; 修回日期: 2019-11-21.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71771043).

责任编委: 李勇建.

[†]通讯作者. E-mail: thyu@mail.neu.edu.cn.

性,制造商、零售商和回收商在决策制定过程中常常会表现出不同的风险态度. 本文研究的问题是,针对制造商资金约束情形,考虑制造商、零售商与回收商面对市场需求的不确定性表现出不同的风险态度,研究闭环供应链如何确定最优零售价格、最优批发价格和最优回收率. 本文涉及的变量、参数和函数的说明如表1所示.

2 效用函数的构建

2.1 需求函数

现实中,产品的市场需求常常与其零售价格负相关,即市场需求量随零售价格的增加而降低,随着零售价格的降低而增加. 此外,由于市场环境瞬息变化,产品市场需求还会表现出一定的随机性. 依据文献[25]和文献[26],考虑市场需求函数为零售价格的线性减函数,且表现出一定的随机性,即

$$D(p) = \bar{a} - \beta p + \varepsilon. \quad (1)$$

其中: $\bar{a} > 0, \beta > 0$.

2.2 平均单位生产成本

闭环供应链中,制造商可以用原材料生产新产品,也可以用废旧品加工无差异再制造品. 于是,依据文献[9]、文献[10]和文献[14],制造商平均单位生产成本可以表示为

$$\bar{C} = c_n(1 - \tau) + c_r\tau, \quad (2)$$

其中 $0 \leq \tau \leq 1$. 此外,本文假设 $c_n \geq c_r + b$,这表明制造商总能够从再制造活动中获利.

2.3 回收成本函数

现实中,回收废旧品时需要回收网点建设费用和宣传费用等固定投资. 依据文献[9]、文献[14]和文献[27],回收商的固定投资 I 与回收率相关,且固定投资是回收率的凸增函数,即

$$I = C_L\tau^2. \quad (3)$$

式(3)表明随着回收率的增加,回收商的固定投资将急剧攀升,这符合投资收益递减规律. 此外,回收成本还与回收数量 $\tau D(p)$ 相关,因此,依据文献[9]和文献[14],废旧品的回收成本函数可以表示为如下形式:

$$C(\tau) = C_L\tau^2 + A\tau D(p). \quad (4)$$

其中,为了使回收活动经济可行,应有 $b > A$.

2.4 利润函数

零售商的利润函数为其销售收入 $pD(p)$ 减去订货成本 $wD(p)$,依据式(1),零售商的利润函数为

$$\pi_R = (p - w)(\bar{a} - \beta p + \varepsilon). \quad (5)$$

回收商的利润函数为废旧品销售收入 $b\tau D(p)$ 减去回收成本 $C(\tau)$,依据式(1)和(4),回收商的利润函数为

$$\pi_T = (b - A)\tau(\bar{a} - \beta p + \varepsilon) - C_L\tau^2. \quad (6)$$

期初,资金约束的制造商收到零售商订单后需要向银行融资以组织生产活动,融资金额为其平均生产成本和向回收商采购废旧品所需要支付的费用之和,即 $L_M = \bar{C}D(p) + b\tau D(p)$,贷款利率为 f_M . 期末,制造商收到零售商货款 $wD(p)$ 后需要偿还银行本息 $L_M(1 + f_M)$. 令 $\Delta = c_n - c_r - b$,依据式(1)和(2),制造商的利润函数为

$$\pi_M = [w - (c_n - \Delta\tau)(1 + f_M)](\bar{a} - \beta p + \varepsilon). \quad (7)$$

依据式(5)~(7),闭环供应链的利润函数为

$$\pi_{SC} = [p + (b - A)\tau - (c_n - \Delta\tau)(1 + f_M)](\bar{a} - \beta p + \varepsilon) - C_L\tau^2. \quad (8)$$

2.5 效用函数

现实中,面对需求不确定风险,制造商、零售商和回收商在决策制定过程中会表现出不同的风险态度,参考文献[26],采用均值-方差法描述闭环供应链各成员企业的风险态度,依据式(5)~(8),制造商、零售商、回收商和闭环供应链的效用函数分别为

$$E(U_R) = (p - w)(\bar{a} - \beta p) - \frac{(p - w)^2\sigma^2}{2\lambda_R}, \quad (9)$$

$$E(U_T) = (b - A)\tau(\bar{a} - \beta p) - C_L\tau^2 - \frac{(b - A)^2\tau^2\sigma^2}{2\lambda_T}, \quad (10)$$

$$E(U_M) = [w - (c_n - \Delta\tau)(1 + f_M)](\bar{a} - \beta p) - \frac{[w - (c_n - \Delta\tau)(1 + f_M)]^2\sigma^2}{2\lambda_M}, \quad (11)$$

$$E(U_{SC}) = [p + (b - A)\tau - (c_n - \Delta\tau)(1 + f_M)] \times (\bar{a} - \beta p) - C_L\tau^2 - \frac{[p + (b - A)\tau - (c_n - \Delta\tau)(1 + f_M)]^2\sigma^2}{2\lambda_{SC}}, \quad (12)$$

其中 $\lambda_i > 0$. 由文献[26]可知:当 $\lambda_i < \infty$ 时,表示闭环供应链成员企业或闭环供应链是风险规避的;当 $\lambda_i \rightarrow \infty$ 时,表示闭环供应链成员企业或闭环供应链是风险中性的,且有 $\lambda_{SC} = \lambda_R + \lambda_M + \lambda_T$.

3 最优策略分析

3.1 集中式决策(CD)

针对情形CD,闭环供应链被视为一个整体,以整个闭环供应链的效用最大化为目标. 依据式(12),确

定最优零售价格和回收率,可以得到如下定理.

定理1 针对情形CD,当 $2C_L(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) > \beta^2\lambda_{SC}X^2$ 时,制造商资金约束的闭环供应链中零售价格和回收率存在唯一最优解,最优解分别为

$$p_{CD}^* = \frac{(2C_L - \beta X^2)\lambda_{SC}\bar{a}}{2C_L(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) - X^2\beta^2\lambda_{SC}} + \frac{2C_L(1 + f_M)(\beta\lambda_{SC} + \sigma^2)c_n}{2C_L(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) - X^2\beta^2\lambda_{SC}}, \quad (13)$$

$$\tau_{CD}^* = \frac{\beta\lambda_{SC}[\bar{a} - \beta c_n(1 + f_M)]X}{2C_L(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) - X^2\beta^2\lambda_{SC}}, \quad (14)$$

其中 $X = \Delta f_M + c_n - c_r - A$.

证明 依据式(12),可以确定 $E(U_{SC}(p, \tau))$ 的海塞矩阵 H ,即

$$H = \begin{bmatrix} -2\beta - \frac{\sigma^2}{\lambda_{SC}} & -\frac{X(\beta\lambda_{SC} + \sigma^2)}{\lambda_{SC}} \\ -\frac{X(\beta\lambda_{SC} + \sigma^2)}{\lambda_{SC}} & -\frac{2C_L\lambda_{SC} + [b - A + \Delta(1 + f_M)]^2\sigma^2}{\lambda_{SC}} \end{bmatrix}.$$

为保证 $E(U_{SC})$ 在 (p_{CD}^*, τ_{CD}^*) 处取得最大值,海塞矩阵 H 应该是负定的. 由于 $|H_{1 \times 1}| < 0$,当 $|H_{2 \times 2}| > 0$ 时,即当 $2C_L(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) > \beta^2\lambda_{SC}X^2$ 时, $E(U_{SC})$ 是关于 p 与 τ 的凹函数. 令 $\partial E(U_{SC})/\partial p = 0$ 且 $\partial E(U_{SC})/\partial \tau = 0$,可以确定零售价格与回收率的最优解 p_{CD}^* 和 τ_{CD}^* . 依据文献[9]、文献[10]和文献[14]:当 $\tau = 0$ 时,表示市场中不存在回收活动;当 $\tau = 1$ 时,表示市场中的废旧品全部可以被回收. 这表明 $\tau = 0$ 和 $\tau = 1$ 均不存在实际意义,可知 $0 < \tau < 1$,因此,本文假设参数满足约束条件 $2C_L(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) > \beta\lambda_{SC}X\{\bar{a} - \beta[c_r(1 + f_M) + A + bf_M]\}$. □

由式(12)~(14),可得闭环供应链的最优效用为

$$E(U_{SC}^{CD})^* = \frac{C_L\lambda_{SC}[\bar{a} - \beta c_n(1 + f_M)]^2}{2C_L(2\beta\lambda_{SC} + \sigma^2) - X^2\beta^2\lambda_{SC}}. \quad (15)$$

依据式(13)~(15),可得如下命题1和推论1.

命题1 针对情形CD, p_{CD}^* 、 τ_{CD}^* 和 $E(U_{SC}^{CD})^*$ 与各相关参数满足如下关系:

1) 当 $2C_L \geq \beta X^2$ 时, p_{CD}^* 与 λ_{SC} 正相关,与 σ 负相关;当 $2C_L < \beta X^2$ 时, p_{CD}^* 与 λ_{SC} 负相关,与 σ 正相关.

2) τ_{CD}^* 与 λ_{SC} 正相关,与 σ 负相关.

3) $E(U_{SC}^{CD})^*$ 与 λ_{SC} 正相关,与 σ 负相关.

证明 由于需求是非负的,且 $p > c_n(1 + f_M)$,可知 $\bar{a} - \beta c_n(1 + f_M) \geq 0$. 由于 $c_n \geq c_r + b$,且 $b > A$,可知 $(c_n - c_r - b)f_M + c_n - c_r - A > 0$. 依据式(13)~(15),分别求 p_{CD}^* 、 τ_{CD}^* 和 $E(U_{SC}^{CD})^*$ 对 λ_{SC} 和 σ 的一阶导数,可知命题1成立. □

由命题1中的1)可知,集中式决策情形下,产品

零售价格除与闭环供应链的风险容忍程度和市场需求波动相关,还与回收难度、生产单位新产品的成本和生产单位再制造品的成本等相关. 具体地,当产品回收难度较大时,随着供应链的风险容忍程度的增加,即随着供应链风险态度从风险规避到风险中性,产品零售价格随之增加,随着市场波动增加,产品零售价格随之减少;当产品回收难度较小时,随着供应链的风险容忍程度的增加,产品零售价格随之降低,随着市场波动增加,产品零售价格随之增加.

由命题1中的2)和3)可知:随着供应链的风险容忍程度的增加,即随着供应链风险态度从风险规避到风险中性,回收率与闭环供应链效用均随之增加;随着市场需求波动的增强,回收率与闭环供应链效用均随之减少. 这表明,集中式决策情形下,与风险规避的供应链相比,风险中性的供应链并不一定会制定较低零售价格,但会制定较高的回收率,并最终获得较高的效用.

推论1 当 λ_{SC} 趋向无穷大时,即当闭环供应链为风险中性时,零售价格、回收率以及闭环供应链效用的最优解分别退化为

$$\lim_{\lambda_{SC} \rightarrow \infty} p_{CD}^* = \frac{2C_L[\bar{a} + \beta c_n(1 + f_M)] - \beta X^2\bar{a}}{4C_L\beta - X^2\beta^2}, \quad (16)$$

$$\lim_{\lambda_{SC} \rightarrow \infty} \tau_{CD}^* = \frac{\beta[\bar{a} - \beta c_n(1 + f_M)]X}{4C_L\beta - X^2\beta^2}, \quad (17)$$

$$\lim_{\lambda_{SC} \rightarrow \infty} E(U_{SC}^{CD})^* = \frac{C_L[\bar{a} - \beta c_n(1 + f_M)]^2}{4C_L\beta - X^2\beta^2}. \quad (18)$$

3.2 分散式决策

对于由单一制造商、零售商和回收商组成的闭环供应链,一般存在纳什博弈、制造商主导、零售商主导和回收商主导4种权力结构. 通过对4种权力结构下的最优批发价格、零售价格和回收率求解可以发现,零售商主导情形下不存在唯一确定的最优解. 因此,本文仅分析纳什博弈、制造商主导和回收商主导的情形下闭环供应链的最优定价与回收决策.

3.2.1 纳什博弈(VN)情形

情形VN代表闭环供应链由中小型制造商、零售商和回收商构成,他们以最大化各自效用为目标,同时做出决策. 该情形下,零售商决定零售价格,回收商决定回收率,制造商决定批发价格. 依据式(9)~(11),可以得到如下定理.

定理2 针对情形VN,制造商资金约束的闭环供应链中零售价格、回收率和批发价格存在唯一确定的最优解,最优解分别为

$$p_{VN}^* = \frac{F_1\{\bar{a}[\lambda_R\sigma^2 + (\sigma^2 + \beta\lambda_R)\lambda_M] + c_n\sigma^2 F_2\}}{F_1X_1 - (b - A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\beta} -$$

$$\frac{(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\bar{a}}{F_1X_1-(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\beta}, \quad (19)$$

$$\tau_{VN}^* = \frac{\sigma^2\lambda_T(b-A)[(\sigma^2+\beta\lambda_R)\bar{a}-c_n\beta F_2]}{F_1-(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\beta}, \quad (20)$$

$$w_{VN}^* = \frac{[\lambda_M F_1(\sigma^2+\beta\lambda_R)-(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T]\bar{a}}{F_1X_1-(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\beta} + \frac{F_1\sigma^2(\sigma^2+2\beta\lambda_R)(1+f_M)c_n}{F_1X_1-(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\beta}. \quad (21)$$

其中: $\Delta = c_n - c_r - b$, $F_1 = 2C_L\lambda_T + (b-A)^2\sigma^2$, $F_2 = (\sigma^2 + \beta\lambda_R)(1 + f_M)$, $X_1 = \sigma^2(\sigma^2 + 2\beta\lambda_R) + (\sigma^2 + \beta\lambda_R)\beta\lambda_M$.

证明 依据式(9)~(11), 分别求 $E(U_R)$ 、 $E(U_T)$ 及 $E(U_M)$ 针对 p 、 τ 及 w 的二阶偏导数, 可知 $\partial^2 E(U_R)/\partial p^2 = -2\beta - \sigma^2/\lambda_R < 0$, $\partial^2 E(U_T)/\partial \tau^2 = -2C_L - (b-A)^2\sigma^2/\lambda_T < 0$, $\partial^2 E(U_M)/\partial w^2 = -\sigma^2/\lambda_M < 0$, 即 $E(U_R)$ 、 $E(U_T)$ 和 $E(U_M)$ 分别存在唯一使其最大化的 p_{VN}^* 、 τ_{VN}^* 和 w_{VN}^* . 令 $\partial E(U_R)/\partial p = 0$ 、 $\partial E(U_T)/\partial \tau = 0$ 以及 $\partial E(U_M)/\partial w = 0$, 可确定零售价格、回收率和批发价格的最优解 p_{VN}^* 、 τ_{VN}^* 和 w_{VN}^* . $\square$

命题2 针对情形VN, p_{VN}^* 、 τ_{VN}^* 和 w_{VN}^* 与各相关参数满足如下关系:

1) p_{VN}^* 随 λ_T 的增加而减少, 随 λ_M 和 λ_R 的增加而增加.

2) τ_{VN}^* 随 λ_T 的增加而增加, 随 λ_M 和 λ_R 的增加而减少.

3) w_{VN}^* 随 λ_T 的增加而减少, 随 λ_M 的增加而增加. 当 $2C_L\lambda_T\lambda_M + \lambda_M\sigma^2(b-A)^2 \geq \sigma^2\Delta\lambda_T(b-A) \times (1+f_M)$ 时, w_{VN}^* 随 λ_R 的增加而减少; 当 $2C_L \times \lambda_T\lambda_M + \lambda_M\sigma^2(b-A)^2 < \sigma^2\Delta\lambda_T(b-A)(1+f_M)$ 时, w_{VN}^* 随 λ_R 的增加而增加.

证明过程与命题1类似, 此略.

命题2中的1)表明, 对于情形VN, 零售商最优零售价格决策受制造商、零售商和回收商的风险容忍程度的影响. 具体地, 回收商风险容忍程度越高, 零售价格越低; 而制造商和零售商风险容忍程度越高, 零售价格相应地越高. 这意味着, 风险中性的制造商和风险中性的零售商会促使零售商制定较高的零售价格, 而风险中性的回收商会促使零售商制定较低的零售价格.

命题2中的2)表明, 对于情形VN, 回收商最优回收率决策受制造商、零售商和回收商的风险容忍程度的影响. 具体地, 回收商风险容忍程度越高, 回收率越高; 而制造商和零售商风险容忍程度越高, 回收率越低. 这意味着, 风险中性的回收商会制定较高的回

收率以获得更多利润, 而风险中性的制造商和风险中性的零售商会促使回收商制定较低的回收率.

命题2中的3)表明, 对于情形VN, 制造商最优批发价格决策受制造商、零售商和回收商的风险容忍程度的影响. 具体地, 回收商风险容忍程度越高, 批发价格越低; 制造商风险容忍程度越高, 批发价格越高; 零售商风险容忍程度对批发价格的影响趋势还受其他参数的影响. 这意味着, 风险中性的制造商会制定较高的批发价格以获得更多利润, 而风险中性的回收商会促使制造商制定较低的批发价格.

依据式(9)~(11)以及式(19)~(21), 可确定制造商、零售商和回收商的最优效用分别为

$$E(U_M)^* = \frac{\sigma^2\lambda_M F_1^2(\sigma^2+\beta\lambda_R)^2[\bar{a}-\beta c_n(1+f_M)]^2}{2[F_1X_1-(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\beta]^2}, \quad (22)$$

$$E(U_R)^* = \frac{\sigma^4\lambda_R F_1^2(\sigma^2+2\beta\lambda_R)[\bar{a}-\beta c_n(1+f_M)]^2}{2[F_1X_1-(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\beta]^2}, \quad (23)$$

$$E(U_T)^* = \frac{\sigma^4\lambda_T F_1(\sigma^2+\beta\lambda_R)^2(b-A)^2[\bar{a}-\beta c_n(1+f_M)]^2}{2[F_1X_1-(b-A)F_2\sigma^2\Delta\lambda_T\beta]^2}. \quad (24)$$

3.2.2 制造商主导(MS)情形

情形MS代表闭环供应链中制造商拥有较强的议价能力, 如丰田、通用等大型汽车制造商通常拥有市场主导权^[14]. 该情形下制造商是主导者, 先行确定批发价格, 零售商与回收商作为跟随者, 在观察到制造商的决策后做出最利于己方的零售价格与回收率决策. 依据式(9)~(11), 可得如下定理.

定理3 针对情形MS, 当 $-2\beta F[1 - \Delta G_1(1 + f_M)] - [1 - \Delta G_1(1 + f_M)]^2\sigma^2/\lambda_M \leq 0$ 时, 制造商资金约束的闭环供应链中批发价格、零售价格和回收率存在唯一确定的最优解, 分别为

$$w_{MS}^* = \frac{\lambda_M F[(1-2X_2)\bar{a} + \beta(1+f_M)c_n]}{(1-X_2)[2\beta\lambda_M F + (1-X_2)\sigma^2]} - \frac{\sigma^2(1-X_2)(1+f_M)(\Delta G_1\bar{a} - c_n)}{(1-X_2)[2\beta\lambda_M F + (1-X_2)\sigma^2]}, \quad (25)$$

$$p_{MS}^* = \frac{\bar{a} - F(\bar{a} - \beta w_{MS}^*)}{\beta}, \quad (26)$$

$$\tau_{MS}^* = G_1(\bar{a} - \beta w_{MS}^*). \quad (27)$$

其中: $\Delta = c_n - c_r - b$, $F = (\beta\lambda_R + \sigma^2)/(2\beta\lambda_R + \sigma^2)$, $G_1 = (b-A)\lambda_T F/[2C_L\lambda_T + (b-A)^2\sigma^2]$, $X_2 = \Delta\beta G_1(1 + f_M)$.

证明 依据式(9)和(10), 令 $\partial E(U_R)/\partial p = 0$ 且 $\partial E(U_T)/\partial \tau = 0$, 能够分别确定零售商和回收商的

反应函数 $p = \bar{a}\lambda_R + (\beta\lambda_R + \sigma^2)w / (2\beta\lambda_R + \sigma^2)$, $\tau = (\beta\lambda_R + \sigma^2)\lambda_T(b - A)(\bar{a} - \beta w) / \{(2\beta\lambda_R + \sigma^2) \times [2C_L\lambda_T + (b - A)^2\sigma^2]\}$. 将其代入式(11), 然后可以确定制造商的效用函数 $E(U_M)$ 针对 w 的二阶导数 $\partial^2 E(U_M) / \partial w^2 = -2\beta F[1 - \Delta G_1(1 + f_M)] - [1 - \Delta G_1(1 + f_M)]^2 \sigma^2 / \lambda_M$. 由此可知, 当 $-2\beta F[1 - \Delta G_1(1 + f_M)] - [1 - \Delta G_1(1 + f_M)]^2 \sigma^2 / \lambda_M > 0$ 时, $E(U_M)$ 在 $[w, \bar{w}]$ 的两端有最大值; 当 $-2\beta F[1 - \Delta G_1(1 + f_M)] - [1 - \Delta G_1(1 + f_M)]^2 \sigma^2 / \lambda_M \leq 0$ 时, $E(U_M)$ 在一阶导数为0处取得最大值. 令 $\partial E(U_M) / \partial w = 0$, 可以确定最优批发价格 w_{MS}^* , 将 w_{MS}^* 代入零售商和回收商的反应函数, 可以确定最优零售价格 p_{MS}^* 和最优回收率 τ_{MS}^* . $\square$

命题3 针对情形MS, w_{MS}^* 、 p_{MS}^* 和 τ_{MS}^* 与 λ_M 满足如下关系:

- 1) w_{MS}^* 随 λ_M 的增加而增加;
- 2) p_{MS}^* 随 λ_M 的增加而增加;
- 3) τ_{MS}^* 随 λ_M 的增加而减少.

证明过程与命题1类似, 此略.

命题3表明, 对于情形MS, 制造商风险态度能够影响零售商的零售价格决策、回收商的回收率决策以及制造商的批发价格决策. 具体地, 随着制造商风险容忍程度的增加, 即随着制造商的风险态度从风险规避到风险中性, 批发价格和零售价格随之增加, 而回收率随之降低. 该影响趋势与纳什博弈情形中 λ_M 对 p_{VN}^* 、 τ_{VN}^* 和 w_{VN}^* 的影响趋势一致, 此处不再赘述.

依据式(9)~(11)以及式(25)~(27), 可确定制造商、零售商和回收商的最优效用分别为

$$E(U_M^{MS})^* = \frac{X_4 \sigma^2 [c_n(1 + f_M) - w_{MS}^*]}{2\lambda_M} + \frac{X_4 X_3 (\bar{a} - \beta w_{MS}^*)}{2\lambda_M}, \quad (28)$$

$$E(U_R^{MS})^* = \frac{\lambda_R (\bar{a} - \beta w_{MS}^*)^2}{2(2\beta\lambda_R + \sigma^2)}, \quad (29)$$

$$E(U_T^{MS})^* = \frac{\lambda_T F^2 (b - A)^2 (\bar{a} - \beta w_{MS}^*)^2}{2[(b - A)^2 \sigma^2 + 2C_L \lambda_T]}. \quad (30)$$

其中: $X_3 = 2\lambda_M F - \sigma^2 \Delta G_1(1 + f_M)$, $X_4 = w_{MS}^* - [c_n - \Delta G_1(\bar{a} - \beta w_{MS}^*)](1 + f_M)$.

3.2.3 回收商主导(TS)情形

情形TS代表闭环供应链中回收商拥有较强的议价能力, 如SIMS金属管理公司拥有其所在闭环供应链中市场的主导权^[14]. 该情形下, 回收商是主导者, 先行确定回收率, 制造商在观察到回收商的决策后做出最利于自身企业的批发价格决策, 零售商在观察到回收商与制造商的决策后做出最利于自身企业的零

售价格决策. 依据式(9)~(11), 可得如下定理.

定理4 针对情形TS, 当 $2F\beta G_2 \Delta(1 + f_M)(b - A) - 2C_L - (b - A)^2 \sigma^2 / \lambda_T \leq 0$ 时, 制造商资金约束的闭环供应链中回收率、批发价格和零售价格存在唯一确定的最优解, 分别为

$$\tau_{TS}^* = \frac{G_2 F \lambda_T (b - A) [\bar{a} - \beta(1 + f_M) c_n]}{F_1 - 2\lambda_T \beta G_2 F \Delta (b - A) (1 + f_M)}, \quad (31)$$

$$w_{TS}^* = \frac{\bar{a} - G_2 [\bar{a} - \beta(1 + f_M) (c_n - \Delta \tau_{TS}^*)]}{\beta}, \quad (32)$$

$$p_{TS}^* = \frac{\bar{a} - F G_2 [\bar{a} - \beta(1 + f_M) (c_n - \Delta \tau_{TS}^*)]}{\beta}. \quad (33)$$

其中: $\Delta = c_n - c_r - b$, $F = (\beta\lambda_R + \sigma^2) / (2\beta\lambda_R + \sigma^2)$, $G_2 = (\beta F \lambda_M + \sigma^2) / (2\beta F \lambda_M + \sigma^2)$.

证明 依据式(9), 令 $\partial E(U_R) / \partial p = 0$, 可确定零售商的反应函数 $p = \bar{a}\lambda_R + (\beta\lambda_R + \sigma^2)w / (2\beta\lambda_R + \sigma^2)$. 将零售商的反应函数代入式(11), 令一阶导数 $\partial E(U_M) / \partial w = 0$, 然后可以确定制造商的反应函数 $w = [\bar{a} F \lambda_M + (\beta F \lambda_M + \sigma^2)(c_n - \Delta \tau)(1 + f_M)] / (2\beta F \lambda_M + \sigma^2)$. 将制造商和零售商的反应函数代入式(10), 则回收商的效用函数 $E(U_T)$ 可被改写为 $E(U_T) = (b - A)\tau F G_2 [\bar{a} - \beta(1 + f_M)(c_n - \Delta \tau)] - C_L \tau^2 - (b - A)^2 \tau^2 \sigma^2 / 2\lambda_T$. 然后, 可以确定 $E(U_T)$ 针对 τ 的二阶导数 $\partial^2 E(U_T) / \partial \tau^2 = -(b - A)^2 \sigma^2 / \lambda_T - 2C_L + 2F\beta G_2 \Delta(1 + f_M)(b - A)$. 由此可知: 当 $-2C_L - (b - A)^2 \sigma^2 / \lambda_T + 2F\beta G_2 \Delta(1 + f_M) \times (b - A) > 0$ 时, $E(U_T)$ 在 $[\underline{\tau}, \bar{\tau}]$ 的两端取得最大值; 当 $-2C_L - (b - A)^2 \sigma^2 / \lambda_T + 2F\beta G_2 \Delta(1 + f_M) \times (b - A) \leq 0$ 时, $E(U_T)$ 在一阶导数为0处取得最大值. 令 $\partial E(U_T) / \partial \tau = 0$, 可以确定最优回收率 τ_{TS}^* ; 将 τ_{TS}^* 代入制造商的反应函数后可以确定最优批发价格 w_{TS}^* ; 将 w_{TS}^* 代入零售商的反应函数后可以确定最优零售价格 p_{TS}^* . $\square$

命题4 针对情形TS, τ_{TS}^* 、 w_{TS}^* 和 p_{TS}^* 与 λ_T 满足如下关系:

- 1) τ_{TS}^* 随 λ_T 的增加而增加;
- 2) w_{TS}^* 随 λ_T 的增加而减少;
- 3) p_{TS}^* 随 λ_T 的增加而减少.

证明过程与命题1类似, 此略.

命题4表明, 对于情形TS, 回收商风险态度能够影响零售商的零售价格决策、回收商的回收率决策以及制造商的批发价格决策. 具体地, 随着回收商风险容忍程度的增加, 即随着回收商的风险态度从风险规避到风险中性, 批发价格和零售价格均随之降低, 而回收率随之增加. 该影响趋势与纳什博弈情形中 λ_T 对 p_{VN}^* 、 τ_{VN}^* 和 w_{VN}^* 的影响趋势一致, 此处不再赘

述.

依据式(9)~(11)以及式(31)~(33),可确定制造商、零售商和回收商的最优效用分别为

$$E(U_M^{TS})^* = \frac{[2\beta\lambda_M FG_2 - (1 - G_2)\sigma^2](1 - G_2)(X_5)^2}{2\beta^2\lambda_M}, \quad (34)$$

$$E(U_R^{TS})^* = \frac{(G_2)^2[2\beta\lambda_R F - (1 - F)\sigma^2](1 - F)(X_5)^2}{2\beta^2\lambda_R}, \quad (35)$$

$$E(U_T^{TS})^* = \frac{FG_2\tau_{TS}^*X_5(b - A) - \frac{F_1(\tau_{TS}^*)^2}{2\lambda_T}}{2\lambda_T}, \quad (36)$$

其中 $X_5 = \bar{a} - \beta(1 + f_M)(c_n - \Delta\tau_{TS}^*)$.

4 数值分析

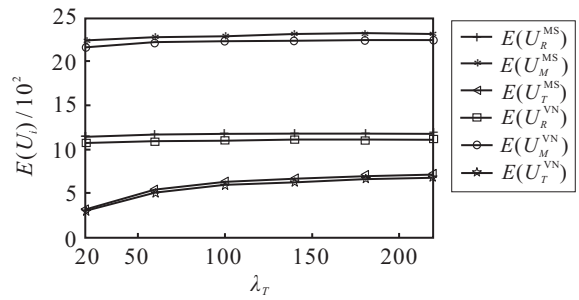
为了说明回收商的风险容忍程度、制造商的风险容忍程度、零售商的风险容忍程度以及贷款利率对链内成员企业和闭环供应链效用的影响,本文运用 Matlab R2013a,针对式(12)、(15)、(22)~(24)和式(28)~(30)进行数值分析.特别地,由于相关参数对情形MS与情形TS下链内成员企业效用的影响趋势无明显区别,不失一般性,本文只针对相关参数对情形MS下链内成员企业效用的影响进行分析.

由定理1~定理4可知,参数之间需同时满足模型结构下“方程存在唯一最优解”的条件,同时考虑客观现实的合理性,即 $c_n > c_r + b, 0 < \tau < 1, b > A, \bar{a} - \beta c_n(1 + f_M) > 0$. 依据文献[26]中的参数取值方式,将各参数值设置如下: $\bar{a} = 750, \beta = 10, \sigma = 60, A = 2, b = 5, c_n = 17, c_r = 10, C_L = 600, \lambda_M = 80, \lambda_T = 50, \lambda_R = 40$. 此外,依据工商银行短期贷款年利率,选取 $f_M = 4.35\%$.

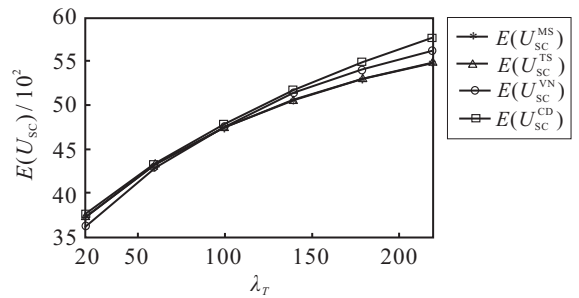
下面依据上述设置的参数值,针对回收商的风险容忍程度、制造商的风险容忍程度和零售商的风险容忍程度以及贷款利率对链内成员企业和闭环供应链效用的影响,给出简要的数值分析.

1) 将回收商的风险容忍程度 λ_T 视为变量,进行相关的数值分析. 依据文献[26],选取 λ_T 的变化范围为20到220,其他参数保持不变,可以得到集中式决策和分散式决策情形下链内成员企业和闭环供应链效用的变化趋势,如图2所示.

如图2(a)所示,随着回收商的风险容忍程度的增加,即随着回收商的风险态度从风险规避到风险中性,情形VN和情形MS下,制造商、零售商和回收商的效用均随之增加. 如图2(b)所示,随着 λ_T 的增大,集中式决策和分散式决策情形下闭环供应链效用均



(a) 回收商风险容忍程度对链内成员企业效用的影响

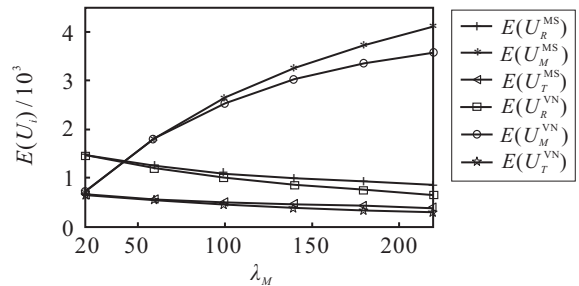


(b) 回收商风险容忍程度对闭环供应链效用的影响

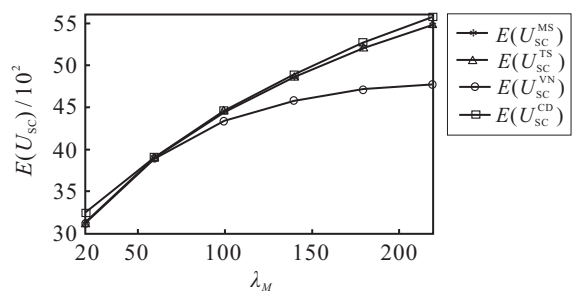
图2 回收商风险容忍程度对链内成员企业和闭环供应链效用的影响

随之增加. 这表明,回收商的风险态度能够影响制造商、零售商、回收商和闭环供应链的效用,且针对不同权力结构,其影响趋势相同. 具体地,风险中性的回收商能够使链内成员企业和闭环供应链均受益. 因此,制造商和零售商应选择风险中性的回收商作为合作伙伴,实现制造商、零售商、回收商和闭环供应链的共赢.

2) 将制造商的风险容忍程度 λ_M 视为变量,进行



(a) 制造商风险容忍程度对链内成员企业效用的影响



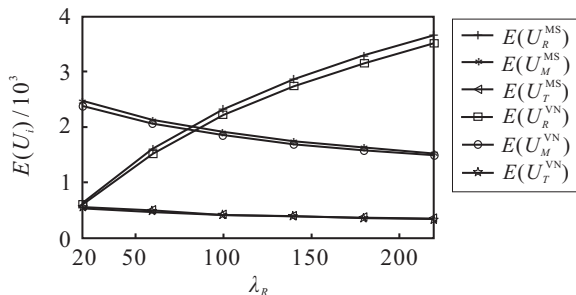
(b) 制造商风险容忍程度对闭环供应链效用的影响

图3 制造商风险容忍程度对链内成员企业和闭环供应链效用的影响

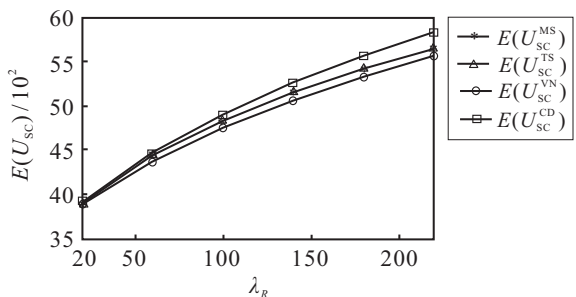
相关的数值分析. 依据文献[26], 选取 λ_M 的变化范围为20到220, 其他参数保持不变, 可以得到集中式决策和分散式决策情形下链内成员企业和闭环供应链效用的变化趋势, 如图3所示.

如图3(a)所示, 随着制造商的风险容忍程度的增加, 即随着制造商的风险态度从风险规避到风险中性, 情形VN和情形MS下, 制造商的效用随之增加, 但零售商和回收商的效用均随之减少. 如图3(b)所示, 随着 λ_M 的增大, 集中式决策和分散式决策情形下闭环供应链效用均随之增加. 这表明, 制造商的风险态度能够影响制造商、零售商、回收商和闭环供应链的效用, 且针对不同权力结构, 其影响趋势相同. 具体地, 风险中性的制造商能够使制造商和闭环供应链受益, 但是会损害零售商和回收商的收益. 因此, 零售商和回收商应选择风险规避的制造商作为合作伙伴.

3) 将零售商的风险容忍程度 λ_R 视为变量, 进行相关的数值分析. 依据文献[26], 选取 λ_R 的变化范围为20到220, 其他参数保持不变, 可以得到集中式决策和分散式决策情形下链内成员企业和闭环供应链效用的变化趋势, 如图4所示.



(a) 零售商风险容忍程度对链内成员企业效用的影响



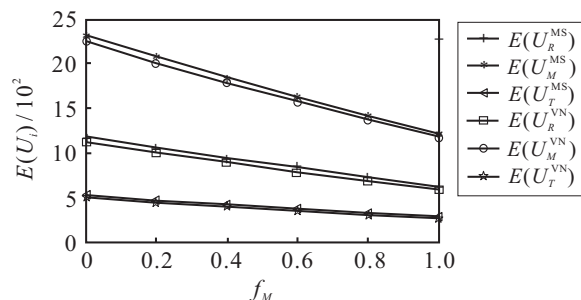
(b) 零售商风险容忍程度对闭环供应链效用的影响

图4 零售商风险容忍程度对链内成员企业和闭环供应链效用的影响

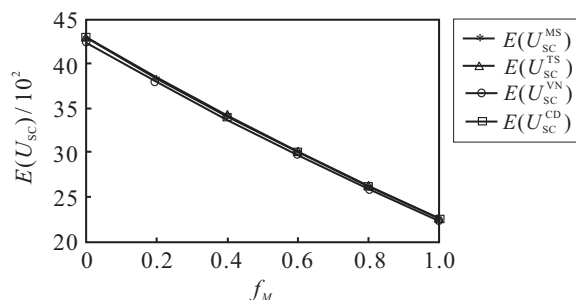
如图4(a)所示, 随着零售商的风险容忍程度的增加, 即随着零售商的风险态度从风险规避到风险中性, 情形VN和情形MS下, 零售商的效用随之增加, 但制造商和回收商的效用均随之减少. 如图4(b)所示, 随着 λ_R 的增大, 集中式决策与分散式决策情形下闭环供应链效用均随之增加. 这意味着, 零售商风险态

度能够影响制造商、零售商、回收商和闭环供应链的效用. 具体地, 风险中性的零售商能够使零售商和闭环供应链受益, 但是会损害制造商和回收商的收益. 因此, 制造商和回收商应选择风险规避的零售商作为合作伙伴.

4) 将贷款利率 f_M 视为变量, 进行相关的数值分析. 选取 f_M 的变化范围为0到1, 其他参数保持不变, 可以得到集中式决策和分散式决策下链内成员企业和闭环供应链效用的变化趋势, 如图5所示.



(a) 贷款利率对链内成员企业效用的影响



(b) 贷款利率对闭环供应链效用的影响

图5 贷款利率对链内成员企业和闭环供应链效用的影响

如图5(a)所示, 随着贷款利率的增加, 情形VN和情形MS下, 制造商、零售商和回收商的效用均随之减少. 如图5(b)所示, 随着 f_M 的增大, 集中式决策与分散式决策情形下闭环供应链效用均随之减少. 由此可知, 贷款利率能够影响制造商、零售商、回收商和闭环供应链的效用. 这说明, 制造商存在资金约束的闭环供应链中, 制造商、零售商和回收商都应时刻关注外部融资环境的变化. 由图5(a)还可知, 针对不同成员企业, 贷款利率对其效用的影响程度不同, 具体地, 资金约束的制造商受贷款利率影响最显著.

5 管理启示

通过上述分析可以得到如下管理启示:

1) 制造商、零售商和回收商对风险的态度能够在很大程度上影响闭环供应链最优零售价格、最优批发价格和最优回收率. 因此, 在实际决策过程中, 制造商、零售商和回收商需要同时考虑链内成员企业的风险态度以做出最优决策.

2) 风险中性的回收商能够使制造商、零售商、回收商和闭环供应链均获利,但是风险中性的制造商和零售商只能使自身企业和闭环供应链获利. 因此,在实际决策过程中,制造商和零售商应选择与风险中性的回收商合作,从而实现多方共赢;而回收商应选择与风险规避的零售商和制造商合作,这样对回收商有利,但是会降低闭环供应链整体收益.

3) 针对制造商资金约束的闭环供应链,制造商、零售商和回收商的风险态度对不同权力结构下最优策略和成员企业最优效用的影响并不存在较大差异. 这表明,制造商、零售商和回收商的最优策略应更多关注链内成员企业的风险态度,而不是供应链的权力结构.

4) 贷款利率的上升能够在很大程度上影响制造商、零售商、回收商和闭环供应链的收益. 因此,在实际决策过程中,不仅资金约束的制造商需要时刻关注外部融资环境的变化,资金充足的零售商和回收商同样需要关注融资环境的变化,并调整其最优批发价格、零售价格和回收率决策,从而实现最大收益.

6 结 论

本文针对制造商资金约束的闭环供应链,考虑成员企业面对需求不确定风险时表现出的不同风险态度,研究了闭环供应链的最优定价与回收决策问题,并依据博弈论的思想,分别给出了集中式决策和分散式决策情形下的最优批发价格、最优零售价格和最优回收率,并分析了成员企业风险态度对最优定价和回收决策的影响. 进一步地,分析了成员企业风险态度以及贷款利率对制造商、零售商、回收商和闭环供应链效用的影响. 研究结果表明,制造商、零售商和回收商的风险态度能够在很大程度上影响其最优批发价格、最优零售价格、最优回收率决策,进而影响其效用,且不同成员企业的风险态度对最优决策和成员企业效用的影响趋势不同. 结果还表明,贷款利率能够影响制造商、零售商、回收商和闭环供应链效用,且对资金约束的制造商的效用影响最为显著.

参考文献(References)

- [1] Shankar R, Bhattacharyya S, Choudhary A. A decision model for a strategic closed-loop supply chain to reclaim end-of-life vehicles[J]. *International Journal of Production Economics*, 2018, 195: 273-286.
- [2] 郑本荣, 杨超, 杨珺. 回收渠道竞争下制造商的战略联盟策略选择[J]. *系统工程理论与实践*, 2018, 38(6): 1479-1491.
(Zheng B R, Yang C, Yang J. Manufacture's optimal alliance strategy in closed loop supply chains in the presence of competing recycling channels[J]. *System Engineering — Theory & Practice*, 2018, 38(6): 1479-1491.)
- [3] Raz G, Souza G C. Recycling as a strategic supply source[J]. *Production and Operations Management*, 2018, 27(5): 902-916.
- [4] 谢家平, 梁玲, 李燕雨, 等. 闭环供应链下收益共享契约机制策略研究[J]. *管理工程学报*, 2017, 31(2): 185-193.
(Xie J P, Liang L, Li Y Y, et al. Optimization research of revenue sharing contract mechanism in closed-loop supply chain[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017, 31(2): 185-193.)
- [5] 占济舟, 舒友国. 生产资金约束下供应商融资方式的选择策略[J]. *系统管理学报*, 2017, 26(4): 779-786.
(Zhan J Z, Shu Y G. Choice of financing strategies with suppliers' production capital constraint[J]. *Journal of Systems & Management*, 2017, 26(4): 779-786.)
- [6] Xu G Y, Dan B, Zhang X M, et al. Coordinating a dual-channel supply chain with risk-averse under a two-way revenue sharing contract[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 147: 171-179.
- [7] Hombach L E, Büsing C, Walther G. Robust and sustainable supply chains under market uncertainties and different risk attitudes — A case study of the German biodiesel market[J]. *European Journal of Operational Research*, 2018, 269(1): 302-312.
- [8] Zhou Y W, Li J C, Zhong Y G. Cooperative advertising and ordering policies in a two-echelon supply chain with risk-averse agents[J]. *Omega*, 2018, 75: 97-117.
- [9] 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.
- [10] Savaskan R C, Van Wassenhove L N. Reverse channel design: The case of competing retailers[J]. *Management Science*, 2006, 52(1): 1-14.
- [11] Alamdar S F, Rabbani M, Heydari J. Pricing, collection, and effort decisions with coordination contracts in a fuzzy, three-level closed-loop supply chain[J]. *Expert Systems with Applications*, 2018, 104: 261-276.
- [12] Heydari J, Govindan K, Jafari A. Reverse and closed loop supply chain coordination by considering government role[J]. *Transportation Research, Part D: Transport and Environment*, 2017, 52: 379-398.
- [13] 王文宾, 周维明, 张梦, 等. 考虑政府引导制造商节能的闭环供应链决策模型研究[J]. *中国管理科学*, 2018, 26(7): 108-118.

- (Wang W B, Zhou W M, Zhang M, et al. Closed-loop supply chain decision model of considering the government guidance on manufacturer energy saving[J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(7): 108-118.)
- [14] 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: 371-380.
- [15] 王玉燕, 申亮. 回收处理基金下闭环供应链的多元化主导模式[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(10): 2526-2541.
(Wang Y Y, Shen L. Diversified dominant modes of closed-loop supply chain under the recycling fund[J]. System Engineering — Theory & Practice, 2018, 38(10): 2526-2541.)
- [16] 史成东, 闫秀霞, 闫厚强, 等. Loss-averse测度下考虑政府补贴的双第三方回收再制造闭环供应链[J]. 中国管理科学, 2015, 23(7): 152-158.
(Shi C D, Yan X X, Yan H Q, et al. Closed loop supply chain with product remanufacturing by double third party reclaim under government subsidy, loss-averse measure and cournot portray[J]. Chinese Journal of Management Science, 2015, 23(7): 152-158.)
- [17] Ke H, Li Y, Huang H. Uncertain pricing decision problem in closed-loop supply chain with risk-averse retailer[J]. Journal of Uncertainty Analysis and Applications, 2015, 3(1): 1-14.
- [18] Hua K, Yong W, Hu 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): 1850003.
- [19] 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 Y K, Xiong L, Dong J R. Closed-loop supply chain coordination mechanism based on mean-CVaR[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 25(2): 68-77.)
- [20] Alamdar S F, Rabbani M, Heydari J. Optimal decision problem in a three-level closed-loop supply chain with risk-averse players under demand uncertainty[J]. Uncertain Supply Chain Management, 2019, 7(2): 351-368.
- [21] 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 D, Wei C, Dai M H. 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.)
- [22] 丁雪峰, 苏华敏, 王先甲, 等. 考虑资金约束的闭环供应链回收融资决策[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(10): 2643-2650.
(Ding X F, Su H M, Wang X J, et al. Financing decision for closed loop supply chain with capital constraints[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(10): 2643-2650.)
- [23] 高攀, 丁雪峰, 覃若兰. 资金约束条件下再制造商的融资策略研究[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(1): 240-249.
(Gao P, Ding X F, Qin R L. Financing strategies of the remanufacturer under the condition of capital constraints[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2020, 26(1): 240-249.)
- [24] 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.
- [25] Petruzzi N C, Dada M. Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions[J]. Operations Research, 1999, 47(2): 183-194.
- [26] 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.
- [27] 王文宾, 丁军飞, 达庆利. 奖惩机制下闭环供应链的成本共担-利润共享契约[J]. 控制与决策, 2019, 34(4): 843-850.
(Wang W B, Ding J F, Da Q L. Cost-profit sharing contract for a closed-loop supply chain under reward-penalty mechanism[J]. Control and Decision, 2019, 34(4): 843-850.)

作者简介

刘春怡(1990—), 女, 博士生, 从事运作管理的研究, E-mail: cyliu_neu@163.com;

尤天慧(1967—), 女, 教授, 博士生导师, 从事决策理论与方法、运作管理等研究, E-mail: thyou@mail.neu.edu.cn;

曹兵兵(1986—), 男, 副教授, 博士, 从事运作管理与决策分析等研究, E-mail: bbcao_neu@163.com.

(责任编辑: 李君玲)