

碳交易政策下考虑消费者低碳偏好的再制造产品定价决策

刘怀尚, 王文轩, 李 雷

江苏大学, 管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2023年4月13日; 录用日期: 2023年6月23日; 发布日期: 2023年6月30日

摘 要

在碳交易政策和考虑消费者低碳偏好的背景下, 本文以一个制造商、一个零售商和一个回收商组成的供应链为研究对象, 构建了集中决策和分散决策的Stackeberg博弈定价模型, 分析碳交易政策下碳交易价格和消费者低碳偏好对零售价以及供应链利润的影响。研究表明: 随着碳交易价格的增加, 供应链总碳排放量会降低, 集中决策的总利润会降低, 分散决策下制造商的利润会随着碳交易价格的增加而增加, 零售商的利润与之相反。

关键词

碳交易, Stackeberg博弈, 消费者低碳偏好, 定价决策

Pricing Decision of Remanufactured Products Considering Low Carbon Preference of Consumers under Carbon Trading Policy

Huashang Liu, Wenxuan Wang, Lei Li

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 13th, 2023; accepted: Jun. 23rd, 2023; published: Jun. 30th, 2023

Abstract

In the context of carbon trading policy and consideration of consumers' low-carbon preferences,

文章引用: 刘怀尚, 王文轩, 李雷. 碳交易政策下考虑消费者低碳偏好的再制造产品定价决策[J]. 运筹与模糊学, 2023, 13(3): 2464-2473. DOI: 10.12677/orf.2023.133247

this paper takes a supply chain consisting of a manufacturer, a retailer and a recycler as the research object, constructs Stackeberg game pricing model with centralized decision-making and decentralized decision-making, and analyzes the impacts of carbon trading price and consumers' low-carbon preferences on retail prices and supply chain profits under carbon trading policy. The research shows that with the increase of carbon trading price, the total carbon emissions of supply chain will decrease, the total profit of centralized decision-making will decrease, and the profit of manufacturers under decentralized decision-making will increase with the increase of carbon trading price, while the profit of retailers is on the contrary.

Keywords

Carbon Trading, Stackeberg Game, Consumer Low-Carbon Preference, Pricing Decision

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

过去三十年,经济的快速发展对环境和地球气候系统产生了不可避免的毁灭性影响[1]。环境问题和经济发展密切相关,在全球变暖的背景下,温室气体排放的问题已经引起全世界的关注。许多国家和当局已经逐渐认识到环境可持续性的重要性,特别是最大的发展中国家。根据中国关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划的建议,中国提出了2030年达到碳峰值、2060年实现碳中和的目标。在2017年我国初步启动碳交易市场。2021年碳交易市场公布了《碳排放权交易管理办法(试行)》。我国是制造业大国,《中国制造2025》中明确提出要发展制造业,而回收再制造可以在发展制造业的同时解决部分环境问题,再制造产品除了有利于经济发展外,还有利于节能和环境可持续发展[2]。人们的环保意识在逐渐增强,许多消费者在购买商品时会考虑商品的环境影响,并愿意支付更高的价格购买具有低碳属性的商品,这对企业的决策产生了新的影响[3]。

近几年国内外学者对于碳交易政策问题进行了广泛的研究,碳交易政策对企业定价决策与运营产生了重要的影响。张旭等研究了受遗憾值约束的影响,在鲁棒优化模型下考虑碳交易价格和需求双重不确定下的最优多式联运有效方式[4]。郭军华等人研究了在碳限额和碳税政策下,消费者低碳偏好对不同类型制造商产品零售价和最优减排量的影响,结果显示政府应对不同类型的制造商应给予不同的补贴[5][6]。Lamba等人分析研究了碳税政策下单一制造商和单一零售商在碳交易政策下的供应商问题,发现碳交易价格会对供应链碳排放产生积极影响[7]。Pang等人研究了不同类型的制造商在碳税政策下考虑消费者偏好的问题,表明消费者的偏好会更倾向于购买清洁商品[8]。夏良杰等人研究表明交叉持股可以协调制造商单位产品减排量,使供应链绩效达到最优[9]。张令荣等人研究了碳交易政策下不同模式下的减排策略,研究发现制造商在生产中同时使用低碳减排技术和回收再制造,这种模式下可以使自身利润最大化[10]。柏庆国等人还研究了在碳税政策中风险规避对两部定价契约下系统协调的影响[11]。马秋卓等探讨了制造商和供应商产品产量及定价决策,分析了采取碳交易可以使供应链的整体绩效最大[12]。侯玉梅等人研究了碳权交易价格对闭环供应链中定价的影响。研究表明,提高碳权交易价格有利于废旧品回收,但会降低产品销售量[13]。

综上所述,在以往文献碳交易研究中没有同时将消费者的低碳偏好、碳交易价格、产品回收价格等同时考虑到再制造产品定价决策中。基于此本文同时考虑消费者的低碳偏好、碳交易价格、产品回收价

格等，构建了制造商为主导的供应链定价模型，并推导出集中决策和分散决策下的最优定价，最后通过数值仿真进一步验证。

2. 问题描述与研究假设

本文以一个制造商、一个零售商、第三方回收商和消费者组成的闭环供应链为研究对象，制造商作为供应链主导者，同时生产新产品和再制造产品，确定产品的批发价格，零售商为跟随着，向消费者出售新产品和再制造产品，两种产品可相互替代，产品之间存在竞争关系。第三方回收商则回从消费者手中回收废旧产品并出售给制造商进行再制造，零售商依据制造商的决策来确定产品的零售价格，以实现自身利润最大化。

相关参数说明：(表 1 和图 1)

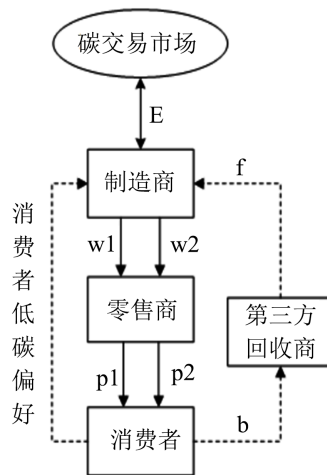


Figure 1. Remanufactured product pricing decision model considering consumers' low-carbon preference
图 1. 考虑消费者低碳偏好的再制造产品定价决策模型

Table 1. Explanation of relevant parameters and meanings

表 1. 相关参数及含义说明

符号	含义
w_1	新产品批发价格
w_2	再制造产品批发价格
p_1	新产品的零售价格
p_2	再制造产品的零售价格
c_1	新产品的单位生产价格
c_2	再制造产品的单位生产价格
E	制造商的碳配额总量
P_c	单位碳交易价格
e	新产品的单位碳排放量
e_0	再制造产品的单位碳排放量
k_1	新产品的低碳系数

Continued

k_2	再制造产品的低碳系数
b	回收商产品回收价格
f	回收商单位转移价格
π_m	制造商的利润函数
π_r	零售商的利润函数
π_t	第三方回收商商的利润函数
π	供应链整体的利润函数

假设 1: 市场整体规模为 a , 消费者的支付意愿分别为 $\mathcal{G}, \varepsilon\mathcal{G}$, 随机变量 \mathcal{G} 服从 $(0, a)$ 的均匀分布。 ε 表示消费者价格敏感系数, $0 < \varepsilon < 1$ 。根据文献[14]消费者购买新产品和再制造品的效用函数分别为:

$$U_1 = \mathcal{G} - p_1 \quad (1)$$

$$U_2 = \varepsilon\mathcal{G} - p_2 \quad (2)$$

假设 2: 制造商需要进行碳减排研发等一次性投入[5], 本文定义企业碳减排一次性投入成本函数为 $\frac{1}{2}k(\Delta e)^2$, k 为减排成本系数。

假设 3: 碳交易市场上的碳配额交易为市场出清状态, 交易市场中的被购买者完全购买[10]。新产品的市场需求函数为:

$$D_1 = a - \frac{p_1 - p_2}{1 - \varepsilon} + k_1 e \quad (3)$$

再制造产品的市场需求函数为:

$$D_2 = \frac{\varepsilon p_1 - p_2}{1 - \varepsilon} + k_2 e_0 \quad (4)$$

产品的总市场需求为:

$$D = D_1 + D_2 \quad (5)$$

制造商的利润函数为:

$$\pi_m = (w_1 - c_1)D_1 + (w_2 - c_2 - b)D_2 + P_c(E - eD_1 - e_0D_2) - \frac{1}{2}k(\Delta e)^2 \quad (6)$$

零售商的利润函数为:

$$\pi_r = (p_1 - w_1)D_1 + (p_2 - w_2)D_2 \quad (7)$$

回收商的利润函数为:

$$\pi_t = (f - b)D_2 \quad (8)$$

3. 模型构建及与分析

3.1. 分散决策模型的定价决策

在分散决策下, 供应链各成员都以自身利益最大化为目标, 其中制造商作为 Stackelberg 博弈中的领导者, 负责碳减排技术研发和回收再制造, 零售商作为跟从者同时负责新产品和再制造产品的销售, 制

造商首先决定单位产品的减排量 Δe ，再以 f 的转移从回收商处回收废旧产品并进行再制造生产，将产品以 w_1, w_2 卖给零售商；零售商根据前者的决策从而决定产品的销售价格 P_1, P_2 。该情形下制造商和零售商的利润函数分别为：

$$\max \pi_m^M = (w_1 - c_1)D_1 + (w_2 - c_2 - b)D_2 + P_c(E - eD_1 - e_0D_2) - \frac{1}{2}k(\Delta e)^2 \tag{9}$$

$$\max \pi_r^M = (p_1 - w_1)D_1 + (p_2 - w_2)D_2 \tag{10}$$

定理 1: 制造商在回收在制造过程中，有最优单位减排量 Δe ，使制造商的期利润最大。

证明：将 $D_1 = a - \frac{p_1 - p_2}{1 - \varepsilon} + k_1(e - e_0)$ ， $D_2 = \frac{\varepsilon p_1 - p_2}{1 - \varepsilon} + k_2(e - e_0)$ (3) (4) 代入公式中，得到 Π_r^M 的海塞矩阵为：

$$H = \begin{bmatrix} \frac{2}{\varepsilon - 1} & \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon} \\ \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon} & \frac{2}{\varepsilon - 1} \end{bmatrix} \tag{11}$$

由于 $0 < \varepsilon < 1$ ，可知海塞矩阵一阶顺序主子式小于 0，二阶顺序主子式大于 0，该矩阵负定，存在最优值。

根据 Stackelberg 逆向求解法，假设 $w_1, w_2, \Delta e$ 已知，令 $\frac{\partial \pi_r^M}{\partial P_1} = 0$ ， $\frac{\partial \pi_r^M}{\partial P_2} = 0$ ，联立得到新产品和再制造产品的最优零售价格 P_1^M 和 P_2^M 分别为：

$$P_1^M = 3 \frac{w_1 + w_2 + 2\alpha + \Delta e [2k_1 + k_2(1 + \varepsilon)]}{3 + \varepsilon} \tag{12}$$

$$P_2^M = \frac{(k_1 + 2k_2)\Delta e - w_1 + 2w_2 + \alpha + (k_1\Delta e + w_2 + \alpha)\varepsilon}{3 + \varepsilon} \tag{13}$$

将 P_1^M 和 P_2^M 代入到制造商利润函数中，得到 Π_m^M 的海塞矩阵为：

$$H2 = \begin{bmatrix} -\frac{4}{(1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)} & -\frac{2(1 + \varepsilon)}{(1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)} & \frac{(2 + \varepsilon)k_1 - P_c + k_2}{3 + \varepsilon} \\ -\frac{2(1 + \varepsilon)}{(1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)} & -\frac{4}{(1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)} & \frac{k_2 - k_1 - P_c}{3 + \varepsilon} \\ \frac{(2 + \varepsilon)k_1 - P_c + k_2}{3 + \varepsilon} & \frac{k_2 - k_1 - P_c}{3 + \varepsilon} & \frac{2P_c [(1 + \varepsilon)k_1 + 2k_2] - \lambda(3 + \varepsilon)}{3 + \varepsilon} \end{bmatrix} \tag{14}$$

由于 $0 < \varepsilon < 1$ ，可知海塞矩阵一阶顺序主子式小于 0，二阶顺序主子式 $\frac{16 - 4(1 + \varepsilon)^2}{[(1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)]^2} > 0$ ，三阶顺序主子式 $-\frac{(P_c + k_2)^2 + (1 + \varepsilon)(P_c + k_2)k_1 + k_1^2 - \lambda(3 + \varepsilon)}{(1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)^2} < 0$ ，则该矩阵负定，存在最优值。令 $\frac{\partial \pi_m^M}{\partial w_1} = 0$ ，

$\frac{\partial \pi_m^M}{\partial w_2} = 0$ ，联立得到新产品和再制造产品的最优批发价格 w_1^M 和 w_2^M 分别为：

$$w_1^M = \frac{1}{2} [c_1 + (k_1 + k_2)\Delta e + eP_c + \alpha] \tag{15}$$

$$w_2^M = \frac{1}{2}(b + c_2 + (\varepsilon k_1 + k_2)\Delta e + e_0 P_c + \alpha \varepsilon) \quad (16)$$

最后将 w_1^M , w_2^M 带入到 P_1^M , P_2^M 中化简可得最优零售价格为:

$$P_1^R = \frac{b + c_1 + c_2 + (e + e_0)P_c + 2k_2\Delta e(2 + \varepsilon) + (k_1\Delta e + \alpha)(5 + \varepsilon)}{2(3 + \varepsilon)} \quad (17)$$

$$P_2^R = \frac{-c_1 + 2c_2 - eP_c + (k_1 + 5k_2) + (2 + \varepsilon)P_c e_0 + \alpha + b(2 + \varepsilon) + \varepsilon [c_2 + \Delta e k_2 + (k_1\Delta e + \alpha)(4 + \varepsilon)]}{2(3 + \varepsilon)} \quad (18)$$

推论 1: 分散决策下新产品和再制造产品的最优零售价格和单位产品减排量呈一次函数正相关, 表明制造商的减排策略有助于提高产品的零售价格。

证明: 用分散决策下的零售价 P_1^R , P_2^R 求关于减排量 Δe 的一阶导数, 由于 $0 < \varepsilon < 1$,

$$\frac{\partial P_1^R}{\partial \Delta e} = \frac{2k_1 + k_2(1 + \varepsilon)}{3 + \varepsilon} > 0, \quad \frac{\partial P_2^R}{\partial \Delta e} = \frac{k_1(1 + \varepsilon) + 2k_2}{3 + \varepsilon} > 0。$$

推论 2: 在分散决策下, 回收价格 b 的提高可以减少单位产品减排量。因为回收价格的降低使得制造商在生产的时候更倾向于进行再制造生产, 再制造产品的产量和总产量都会增加。

证明: 根据分散决策下制造商的海塞矩阵可以算出其三阶顺序主子式, 为了保证海塞矩阵的负定性, 三阶顺序主子式需要小于零, 因此 λ 需要满足 $\lambda > \frac{(P_c + k_2)^2 + (1 + \varepsilon)(P_c + k_2)k_1 + k_1^2}{3 + \varepsilon}$ 。

由于制造商生产再制造产品的低碳价值系数理应高于新产品, 故本文假设 $k_2 \geq k_1$, 则可以得到

$$\frac{\partial \Delta e}{\partial b} = -\frac{2P_c + (k_2 - k_1)(1 - \varepsilon)}{(P_c + k_2)^2 + (1 + \varepsilon)(P_c + k_2)k_1 + k_1^2 + (1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)\lambda} < 0, \quad \frac{\partial D_1}{\partial b} = \frac{1 + \varepsilon}{6 - 4\varepsilon - 2\varepsilon^2} > 0,$$

$$\frac{\partial D_2}{\partial b} = -\frac{1}{(1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)} < 0, \quad \frac{\partial (D_1 + D_2)}{\partial b} = -\frac{1}{6 + 2\varepsilon} < 0。$$

推论 3: 分散决策下, 新产品和再制造产品的零售价均随着低碳价值系数的提高而不断提高。然而, 新产品与再制造产品的价格差却随着低碳价值系数的提高而降低。

证明: 以分散决策下的新产品和再制造产品零售价 P_1^R , P_2^R 分别求关于低碳价值系数 k_1 , k_2 的一阶导数, $\frac{\partial P_1^R}{\partial k_1} = \frac{2\Delta e}{3 + \varepsilon} > 0$, $\frac{\partial P_2^R}{\partial k_2} = \frac{\Delta e(5 + \varepsilon)}{2(3 + \varepsilon)} > 0$ 。新产品与再制造产品的价格差

$$\Delta P = P_1^R - P_2^R = \frac{1}{2} \left(-b - c_2 + \Delta e(k_2 - P_c) - (\Delta e + \alpha)\varepsilon + \frac{2(b + c_1 + c_2 + (e + e_0)P_c + \Delta e(2k_1 - 2k_2) + 2\alpha)}{3 + \varepsilon} \right) \quad \text{令}$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial k_1} = -\frac{\Delta e(-4 + 3\varepsilon + \varepsilon^2)}{6 + 2\varepsilon} < 0, \quad \frac{\partial \Delta P}{\partial k_2} = -\frac{\Delta e(1 - \varepsilon)}{6 + 2\varepsilon} < 0。$$

推论 4: 随着碳交易价格的升高, 制造商会减少新产品的生产, 从而提高再制造产品的产量以实现自身利益最大化。

证明: 以分散决策为例, 用分散决策下的新产品销量和再制造产品销量 D_1 , D_2 分别求 P_c 的一阶导数, 可得 $\frac{\partial D_1}{\partial P_c} = -\frac{2e - \Delta e(1 + \varepsilon)}{2(1 - \varepsilon)(3 + \varepsilon)} < 0$, $\frac{\partial D_2}{\partial P_c} = \frac{e(1 - \varepsilon) - 2\Delta e}{6 - 4\varepsilon - 2\varepsilon^2} > 0$ 。同理可证集中决策情形。

3.2. 集中决策模型的定价策略

在集中决策模型下, 制造商零售商和回收商。供应链的决策问题可以转换为系统利润最大化问题求解。

供应链的总体利润为:

$$\pi = \pi_m + \pi_r + \pi_t \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \pi = & (w_1 - c_1) D_1 + (w_2 - c_2 - b) D_2 + P_c (E - eD_1 - e_0 D_2) - \frac{1}{2} k (\Delta e)^2 \\ & + (P_1 - w_1) D_1 + (P_2 - w_2) D_2 + (f - b) D_2 \end{aligned} \quad (20)$$

定理 2: 集中决策下存在唯一最优单位减排量 Δe , 使得供应链总利润最大化, 并且新产品和再制造产品的零售价达到最优。

证明: 对供应链总利润函数 π 求海塞矩阵可以得到:

$$H = \begin{bmatrix} 2 & 1+\varepsilon \\ \varepsilon-1 & 1-\varepsilon \\ 1+\varepsilon & 2 \\ 1-\varepsilon & \varepsilon-1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

由于 $0 < \varepsilon < 1$, 可知海塞矩阵的一阶顺序主子式小于 0, 二阶顺序主子式大于 0, 该矩阵负定, 可知供应链总利润函数为凹函数, 存在最优值。

首先将式对 P_1 , P_2 求一阶偏导并联立方程组可以得到:

$$P_1^M = \frac{2b + c_1 + c_2 - f + [2k_1 + (1 + \varepsilon)k_2] \Delta e + (e + e_0)P_c + 2\alpha}{3 + \varepsilon} \quad (22)$$

$$P_2^M = \frac{2c_2 - c_1 - 2f + [2k_2 + k_1(1 + \varepsilon)] \Delta e - eP_c + \alpha + (c_2 - f)\varepsilon + e_0P_c(2 + \varepsilon) + \alpha\varepsilon + 2b(2 + \varepsilon)}{3 + \varepsilon} \quad (23)$$

推论 5: 集中决策下的新产品零售价格和再制造产品零售价格均高于分散决策情形, 并且集中决策下的供应链总利润和最优减排量也高于分散决策。

证明: 用集中决策下的零售价格 P_1^M , P_2^M , π^M 减去分散决策下的 P_1^R , P_2^R , π^R 可知,

$$P_1^M - P_1^R = \frac{3b + c_1 + c_2 - 2f - [k_1(1 + \varepsilon) + 2k_2] \Delta e + P_c(e_0 + e) - \alpha(1 + \varepsilon)}{6 + 2\varepsilon} > 0, \text{ 同理可得 } P_2^M - P_2^R > 0,$$

$$\pi^M - \pi^R > 0, \Delta e_M - \Delta e_R > 0.$$

4. 算例分析

为了更直观的展示在碳交易政策下, 碳交易价格对碳排放总量和供应链利润的影响, 下面将进行数值分析。对相关参数赋值如下 $c_1 = 50$, $c_2 = 25$, $e = 5$, $e_0 = 2$, $k = 1000$, $k_1 = 10$, $k_2 = 12$ 。 $E = 500$, $a = 300$, $\varepsilon = 0.8$ 。

由图 2 可以看出随着碳交易价格的增加, 供应链碳排放总量不断降低。说明碳交易价格的增加可以促使供应链碳排放的减少, 较高的碳交易价格会提高再制造产品的产量。由图 3 可以看出, 碳交易价格的提高会使企业的生产策略发函俄国改变, 提高再制造产品的产量, 进而提高最优减排量。图 4 可以得知回收价格的增加会使再制造产品的零售价格增加, 随着回收价格的增加会增加产品的成本, 进而提高产品的零售价格。由图 5 可以看出随着碳交易价格的增加, 集中决策中的供应链总利润会降低, 分散决策中制造商的利润随着升高, 零售商的利润则与之相反。这是因为在集中决策中碳交易价格的升高会提高供应链的成本, 降低整条供应链的利润, 而在分散决策中制造商作为主导者会选择更适合自己的策略提高自身利润。当回收价格升高时, 也会导致再制造产品的零售价格升高。

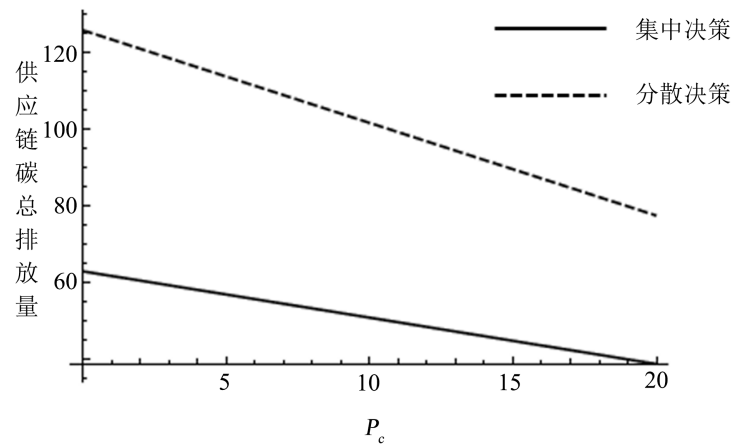


Figure 2. Influence of carbon trading price on total carbon emissions
图 2. 碳交易价格对碳总排放量的影响

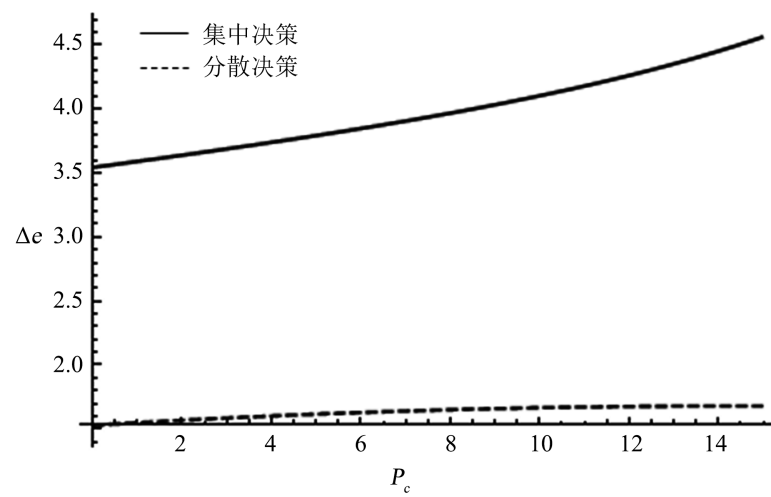


Figure 3. Influence of carbon trading price on optimal emission reduction
图 3. 碳交易价格对最优减排量的影响

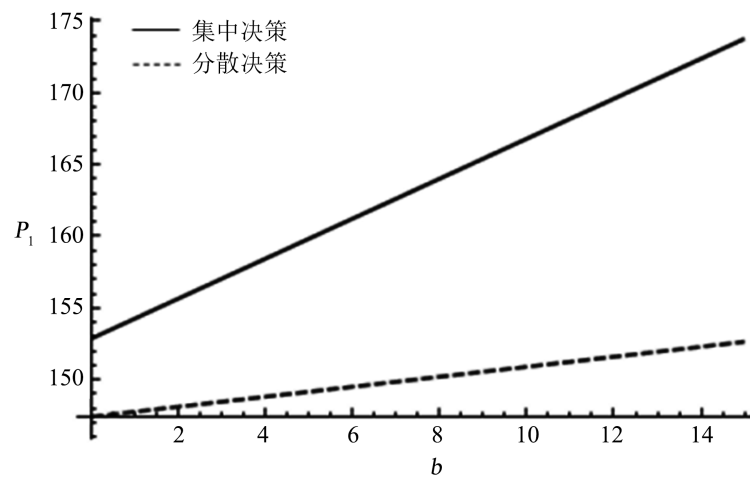


Figure 4. Influence of recovery price on retail price of remanufactured products
图 4. 回收价格对再制造产品零售价的影响

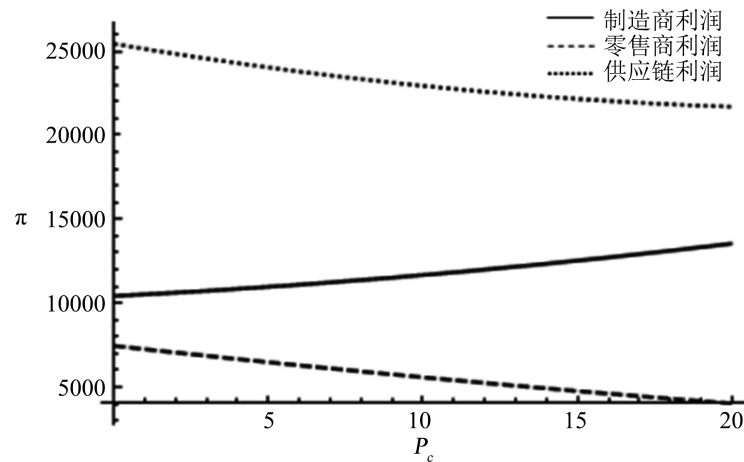


Figure 5. Influence of carbon trading price P_c on supply chain profits
图 5. 碳交易价格对利润的影响

5. 结论

本文研究了由一个制造商一个零售商和一个第三方回收商组成的具有消费者低碳偏好的闭环供应链系统，分别讨论了在集中决策和以制造商为领导者的分散决策情况下的最优定价决策。研究表明在集中决策和分散决策下碳排放总量会随着碳交易价格的升高而降低，碳排放总量与碳交易价格成反比，而供应链最优减排量与碳交易价格成正比。在分散决策下制造商的利润会随着碳交易价格的增加而增加，零售商的利润则随着增加而减少。根据研究可以得到的企业管理建议：企业通过考虑碳交易价格和回收再制造成本，制定最优的定价策略，使得自身利润最大化。通过合理分配碳配额额度，制定新产品和再制造产品的生产计划，控制碳排放量来达到企业利润和环境效益的最大化。

参考文献

- [1] Entezamina, A., Gharbi, A. and Ouhimmou, M. (2019) Environmental Hedging Point Policies for Collaborative Unreliable Manufacturing Systems with Variant Emitting Level Technologies. *Journal of Cleaner Production*, **250**, Article ID: 119539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119539>
- [2] 李新然, 李长浩. 消费者双重偏好下闭环供应链渠道差异研究[J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(3): 695-704.
- [3] 帅传敏, 张钰坤. 中国消费者低碳产品支付意愿的差异分析——基于碳标签的情景实验数据[J]. 中国软科学, 2013(7): 61-70.
- [4] 张旭, 袁旭梅, 降亚迪. 需求与碳交易价格不确定下多式联运路径优化[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(10): 2609-2620.
- [5] 郭军华, 孙林洋, 张诚, 倪明, 朱佳翔. 碳限额交易政策下考虑消费者低碳偏好的供应链定价与协调[J]. 工业工程与管理, 2020, 25(2): 134-145.
- [6] 郭军华, 孙林洋, 张诚, 倪明, 朱佳翔. 碳税政策下考虑消费者低碳偏好的供应链定价与协调[J]. 系统工程, 2020, 38(6): 61-69.
- [7] Lamba, K., Singh, S.P. and Mishra, N. (2019) Integrated Decisions for Supplier Selection and Lot-Sizing Considering Different Carbon Emission Regulations in Big Data Environment. *Computers & Industrial Engineering*, **128**, 1052-1062. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.028>
- [8] Pang, Q., Li, M., Yang, T., et al. (2018) Supply Chain Coordination with Carbon Trading Price and Consumers' Environmental Awareness Dependent Demand. *Mathematical Problems in Engineering*, **2018**, Article ID: 8749251. <https://doi.org/10.1155/2018/8749251>
- [9] 夏良杰, 孔清逸, 李友东, 等. 考虑交叉持股的低碳供应链减排与定价决策研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(4): 70-81.
- [10] 张令荣, 杨子凡, 程春琪. 碳配额交易政策下闭环供应链的减排策略选择[J]. 管理工程学报, 2022, 36(1):

172-180.

- [11] Bai, Q.G., Xu, J.T. and Chauhan, S.S. (2020) Effects of Sustainability Investment and Risk Aversion on a Two-Stage Supply Chain Coordination under a Carbon Tax Policy. *Computers & Industrial Engineering*, **142**, Article ID: 106324. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106324>
- [12] 马秋卓, 宋海清, 陈功玉. 考虑碳交易的供应链环境下产品定价与产量决策研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(8): 37-46.
- [13] 侯玉梅, 尉芳芳. 碳权交易价格对闭环供应链定价的影响[J]. 燕山大学学报(哲学社会科学版), 2013, 14(2): 103-108.
- [14] Liu, Z., Anderson, T.D. and Cruz, J.M. (2012) Consumer Environmental Awareness and Competition in Two-Stage Supply Chains. *European Journal of Operational Research*, **218**, 602-613. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.027>