

政府补贴和碳税对服装闭环供应链的影响

胡觉亮¹, 张明霞², 韩曙光¹

(1. 浙江理工大学 理学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:在全球碳减排共识之下,探索服装产业绿色低碳发展之路极具价值。基于消费者对传统服装和再制造服装的需求差异,构建了由原材料供应商、制造商、零售商及回收商组成的4级服装闭环供应链模型,着重探究政府补贴政策和碳税策略对服装再制造产业发展的影响。研究表明:政府补贴政策能够降低再制造服装的零售价,提升再制造服装的需求量,并增加供应链成员的利润;政府碳税策略使再制造服装的零售价上涨,需求量增加,但降低了企业生产再制造服装的积极性;征税和补贴同时实施的复合策略有助于减缓企业及政府的财政压力。研究结论可为政府政策制定及服装企业生产决策提供参考。

关键词: 服装闭环供应链;再制造服装;政府补贴;碳税

中图分类号: F 768.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2024)04-0348-10

Influence of Government Subsidy and Carbon Tax on Clothing Closed-Loop Supply Chain

HU Jueliang¹, ZHANG Mingxia², HAN Shuguang¹

(1. School of Science, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Under the consensus of global carbon emission reduction, it is of great value to explore the way of green and low carbon development of clothing industry. Based on the differences between consumers' demands for traditional clothing and remanufactured clothing, a four-level clothing closed-loop supply chain was established, which consist of raw material suppliers, manufacturers, retailers and collectors. The impact of government subsidy policies and carbon tax strategies on the development of the clothing remanufactured industry was emphatically explored. The research shows that the government subsidy policies can reduce the retail price of remanufactured clothing, increase the demand for remanufactured clothing, and improve the profits of the members of supply chain. The government's carbon tax strategies increase the retail price and the demand of remanufactured clothing, but reduce the enthusiasm of enterprises to produce remanufactured clothing. The combination of tax and subsidy helps ease the financial pressure on enterprises and governments. The conclusions can provide reference for the government to formulate policy and the clothing enterprises to make production decisions.

Key words: clothing closed-loop supply chain, remanufactured clothing, government subsidy, carbon tax

全球气候变暖已成为人类共同面临的挑战,积极应对气候变化是可持续发展的核心任务^[1]。

2020年9月习近平总书记提出“碳达峰”和“碳中和”的美好愿景,为中国今后的发展指明了方向,控

收稿日期:2024-03-26; 修订日期 2024-06-10。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(12071436)。

作者简介:胡觉亮(1958—),男,教授,硕士生导师。主要研究方向为运筹学及相关应用。Email:hujlh@163.com

制碳排放、推动经济高质量发展是大势所趋^[2]。

服装产业作为支撑国民经济的重要民生产业,其发展过程中消耗了大量的石油资源,产生了较多的碳排放^[3]。随着快时尚消费的盛行,服装的生命周期被大大缩短;同时人口日益增长,服装的消费亦呈指数级增长,然而废旧服装的处置问题却未得到妥善解决。相关数据^[4]显示,中国每年产生废旧纺织品超过 2 000 万 t,但仅有 5% 实现了循环再利用,其余或被填埋,影响土地的利用效率和农业发展,或被焚烧,释放出大量二氧化碳,造成严重的资源浪费以及环境污染。服装回收再制造则是将废旧服装回收后经过化学或物理方法重新生成纱线、制成新的服装,可以实现废旧服装的循环利用,推进服装产业的绿色低碳变革。

随着纺织品再生利用技术的不断发展、革新,越来越多的服装企业已具备生产再制造服装的能力,但服装再制造产业并未得到良好发展。主要原因是服装再制造技术成本较高,消费者对再制造服装的认知存在偏差,接受度较低,再制造企业难以从中获利^[5]。推进废旧服装再制造能够促进低碳经济发展,加快实现碳达峰。目前政府补贴和碳税是促进碳减排的有效措施^[6-7]。

已有诸多国内外学者探讨了政府补贴对再制造的影响。MITRA S 等^[8]研究发现,政府同时对制造商和再制造商实施补贴能够激励制造商设计再制造产品。LI Z 等^[9]分析了政府补贴前后,制造商主导、再制造商主导和无主导模式下的决策变化。WANG K Z 等^[10]探讨了政府补贴再制造商情形下,再制造商是否与制造商合作的最佳渠道选择问题。碳税对再制造供应链的影响也是研究的热点。焦建玲等^[11]研究发现,随着碳税率的升高,企业对回收的投入先减后增,再制品价格低于新品价格,因此碳税政策以降低利润为代价。王娜等^[12]构建了制造商和再制造商之间的竞争与合作博弈模型,探讨了碳税对制造/再制造决策的影响。DOU G W 等^[13]研究了碳税价格变化对碳排放强度及制造商生产决策的影响。CAO K Y 等^[14]讨论分析了再制造补贴和碳税政策下,双渠道供应链中销售再制品和新产品的最优策略。高举红等^[15]研究了分散决策下基于补贴、碳税及两者复合的闭环供应链定价策略。LI Z 等^[16]研究了无政府补贴、有政府补贴、既有政府补贴又有税收情形下,再制造供应链的竞争模型。

现有研究大多是通过构建 2 级或 3 级供应链分析政府补贴、碳税对供应链的影响,对 4 级供应链模型的研究较少。然而,随着经济的发展、产品需求的多元化,企业的供应链节点势必更加复杂,传统的 3 级供应链已不能全面反映企业实际生产状况。在废旧服装回收再制造过程中,再制造纤维的重生亦是不可缺少的环节,为了较为真实地反映服装再制造供应链的运行状况,使研究更具代表性,文中考虑构建由原材料供应商(S)、制造商(M)、零售商(R)及回收商(V)组成的 4 级闭环供应链,探讨政府如何设计补贴和碳税才能更好地助力低碳经济,推动服装再制造产业的发展。

1 问题描述及基本假设

1.1 问题描述

在由原材料供应商、制造商、零售商及回收商组成的闭环供应链中,回收商从消费者处收购废旧服装,并对其进行分拣、消毒、拆分等处理,而后出售给原材料供应商。原材料供应商通过相应的再生利用技术将废旧服装加工成再生面料,此外原材料供应商也负责传统面料的生产。制造商利用原材料供应商提供的传统面料和再生面料生产同一款式的服装,分别将其称为传统服装和再制造服装。两种服装除原料来源不同外,在功能、外观和质量方面并无差异,零售商负责两种服装的销售。文中考虑了以下 3 类政府决策:①政府为原材料供应商、制造商和零售商提供与再制造服装相关部分的补贴;②政府向原材料供应商、制造商和零售商征收与传统服装相关部分的碳税;③政府既为零售商提供与再制造服装相关部分的补贴,又向其征收与传统服装相关部分的碳税。构建 4 级服装再制造闭环供应链模型,具体如图 1 所示。文中, μ 为回收商支付给消费者的平均价格; f 为回收商回收废旧服装的价格; b 为原材料供应商支付给回收商的废旧服装转移价格; c_r 为单位再生面料的加工成本; c_n 为单位传统面料的生产成本; k_r 为单位再生面料批发价; k_n 为单位传统面料批发价; m 为生产每件传统服装制造商所获利润; r 为生产每件再制造服装制造商所获利润; w_r 为再制造服装的批发价, $w_r = k_r + r$; w_n 为传统服装的批发价, $w_n = k_n + m$; p_r 为再制造服装的零售价; p_n 为传统服装的零售价; t 为政府为再制造服装提供的单位补贴; k 为政府向传统服装征收的单位碳税。

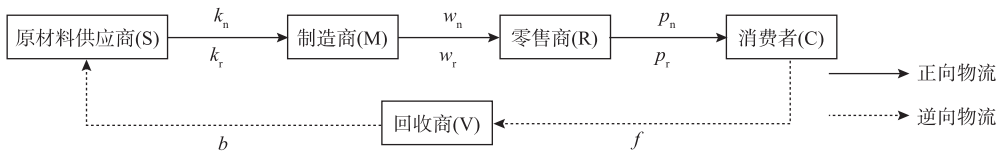


图 1 4 级服装再制造闭环供应链

Fig. 1 Four-level closed-loop supply chain for clothing remanufacturing

1.2 需求函数

基于消费者效用理论提出消费者异质性需求函数^[10]。

假设 Q 为消费者对传统服装的最高支付意愿价格, v 为消费者对传统服装的支付意愿价格, $v \in [0, Q]$, 服从均匀分布。消费者对传统服装的剩余效用为 $U_n = v - p_n$ 。

ρ 为相较于传统服装, 消费者对再制造服装的接受度, $\rho \in (0, 1)$ 。消费者对再制造服装的剩余效用为 $U_r = \rho v - p_r$ 。

当 $U_n > U_r$ 时, 消费者选择购买传统服装; 当 $U_n < U_r$ 时, 消费者选择购买再制造服装; v_1 为 $U_n = U_r$ 时的临界值, $v_1 = \frac{p_n - p_r}{1 - \rho}$ 。当 $U_r < 0$ 时, 消费者不

购买服装; v_2 是 $U_r = 0$ 时的临界值, $v_2 = \frac{p_r}{\rho}$ 。

消费者对传统服装和再制造服装的需求量 D_n , D_r 分别为

$$D_n = Q - v_1 = Q - \frac{p_n - p_r}{1 - \rho}; \quad (1)$$

$$D_r = v_1 - v_2 = \frac{\rho p_n - p_r}{\rho(1 - \rho)}. \quad (2)$$

1.3 基本假设

1) 为促进服装再制造产业发展, 同时参考快时尚服装品牌 H&M 和优衣库的再制造服装和传统服装零售价, 假设文中再制造服装的零售价低于传统服装零售价, 即 $p_n > p_r$ 。

2) 再制造服装产业目前面临一些挑战, 再制造服装技术尚未完全成熟, 在生产过程中需要额外进行分拣、处理和改造, 因此假设再制造服装的生产成本高于传统服装生产成本, 即 $c_n < c_r + b$ 。

3) 由于服装面料回收再制造过程中会产生一定的面料损耗, 假设平均每 h 件废旧服装可用于制造一件再制造服装, $h \geq 1$ 。

4) 假设废旧服装的回收量^[17] $I = n + \lambda\mu$, 是再制造服装需求量 D_r 的 h 倍。由 $hD_r = I$, 可得 $\mu = \frac{hD_r - n}{\lambda}$, 回收商的回收成本 $\mu hD_r = Bh^2D_r^2 - nhBD_r$ 。

式中: n 为废旧服装的自愿回收量; λ 为废旧服装回

收价格的敏感系数; $B = \frac{1}{\lambda}$ 。

5) 假设政府剩余资金 J 可反映政府同时实行补贴和碳税政策后的财政收支状况, 则政府剩余资金可表示为 $J = kD_n - tD_r$, 其中 $k \times D_n$ 表示政府实行碳税政策后的财政收入, $t \times D_r$ 表示政府实行补贴政策后的财政支出。

6) Stackelberg 博弈中的领导者在供应链中拥有较高的决策权, 可以事先得知跟随者的决策, 而后依据跟随者的决策调整自身策略, 以达到自身利润最大化。服装供应链中制造商作为领导者的模式也屡见不鲜, 如服装品牌 SHEIN 等。假设文中制造商是 Stackelberg 博弈的领导者。

2 政府补贴下的决策分析

文中, T 表示集中决策下的政府补贴模式; TS 表示分散决策下政府补贴原材料供应商模式; TM 表示分散决策下的政府补贴制造商模式; TR 表示分散决策下的政府补贴零售商模式。

2.1 分散决策模型

分散决策博弈中, 原材料供应商、制造商、零售商和回收商均以各自利润最大化为目标。决策顺序如下: ①制造商作为决策模型的领导者, 决定传统服装批发价 w_n 和再制造服装批发价 w_r ; ②供应商作为跟随者, 确定传统面料批发价 k_n 和再生面料批发价 k_r ; ③回收商决定废旧服装的转移价格 b , 零售商决定传统服装零售价 p_n 和再制造服装零售价 p_r 。

2.1.1 政府补贴原材料供应商模式 政府对原材料供应商制造的再生面料给予补贴, 激励原材料供应商从事再制造活动。零售商、回收商、制造商和原材料供应商的利润模型分别为

$$\begin{cases} L_R^{\text{TS}} = (p_r^{\text{TS}} - w_r^{\text{TS}})D_r^{\text{TS}} + (p_n^{\text{TS}} - w_n^{\text{TS}})D_n^{\text{TS}}; \\ L_V^{\text{TS}} = (b^{\text{TS}} + nB)hD_r^{\text{TS}} - B(hD_r^{\text{TS}})^2; \\ L_M^{\text{TS}} = (w_r^{\text{TS}} - k_r^{\text{TS}})D_r^{\text{TS}} + (w_n^{\text{TS}} - k_n^{\text{TS}})D_n^{\text{TS}}; \\ L_S^{\text{TS}} = (k_n^{\text{TS}} - c_n)D_n^{\text{TS}} + (k_r^{\text{TS}} - c_r + t)D_r^{\text{TS}} - hb^{\text{TS}}D_r^{\text{TS}}. \end{cases} \quad (3)$$

2.1.2 政府补贴制造商模式 政府对制造商生产的再制造服装给予补贴, 解决再生面料批发价较高的问题, 鼓励再制造服装的生产。零售商、回收商、

制造商和原材料供应商的利润模型分别为

$$\begin{cases} L_{\text{R}}^{\text{TM}} = (p_{\text{r}}^{\text{TM}} - w_{\text{r}}^{\text{TM}})D_{\text{r}}^{\text{TM}} + (p_{\text{n}}^{\text{TM}} - w_{\text{n}}^{\text{TM}})D_{\text{n}}^{\text{TM}} ; \\ L_{\text{V}}^{\text{TM}} = (b^{\text{TM}} + nB)hD_{\text{r}}^{\text{TM}} - B(hD_{\text{r}}^{\text{TM}})^2 ; \\ L_{\text{M}}^{\text{TM}} = (w_{\text{r}}^{\text{TM}} - k_{\text{r}}^{\text{TM}} + t)D_{\text{r}}^{\text{TM}} + (w_{\text{n}}^{\text{TM}} - k_{\text{n}}^{\text{TM}})D_{\text{n}}^{\text{TM}} ; \\ L_{\text{S}}^{\text{TM}} = (k_{\text{n}}^{\text{TM}} - c_{\text{n}})D_{\text{n}}^{\text{TM}} + (k_{\text{r}}^{\text{TM}} - c_{\text{r}})D_{\text{r}}^{\text{TM}} - hb^{\text{TM}}D_{\text{r}}^{\text{TM}}。 \end{cases} \quad (4)$$

2.1.3 政府补贴零售商模式 政府对服装零售商售卖的再制造服装提供补贴,以促进再制造服装的销售。零售商、回收商、制造商和原材料供应商的

利润模型为

$$\begin{cases} L_{\text{R}}^{\text{TR}} = (p_{\text{r}}^{\text{TR}} - w_{\text{r}}^{\text{TR}} + t)D_{\text{r}}^{\text{TR}} + (p_{\text{n}}^{\text{TR}} - w_{\text{n}}^{\text{TR}})D_{\text{n}}^{\text{TR}} ; \\ L_{\text{V}}^{\text{TR}} = (b^{\text{TR}} + nB)hD_{\text{r}}^{\text{TR}} - B(hD_{\text{r}}^{\text{TR}})^2 ; \\ L_{\text{M}}^{\text{TR}} = (w_{\text{r}}^{\text{TR}} - k_{\text{r}}^{\text{TR}} + t)D_{\text{r}}^{\text{TR}} + (w_{\text{n}}^{\text{TR}} - k_{\text{n}}^{\text{TR}})D_{\text{n}}^{\text{TR}} ; \\ L_{\text{S}}^{\text{TR}} = (k_{\text{n}}^{\text{TR}} - c_{\text{n}})D_{\text{n}}^{\text{TR}} + (k_{\text{r}}^{\text{TR}} - c_{\text{r}})D_{\text{r}}^{\text{TR}} - hb^{\text{TR}}D_{\text{r}}^{\text{TR}}。 \end{cases} \quad (5)$$

通过逆向求解法可得分散决策下政府补贴原材料供应商、制造商和零售商的闭环供应链最优均衡解,具体见表 1。

表 1 分散决策下补贴模式的最优均衡解
Tab.1 Optimal equilibrium solution of subsidy mode under decentralized decision making

项目	补贴模式		
	TS	TM	TR
m		$\frac{Q - c_{\text{n}}}{2}$	
r	$\frac{\rho Q + t - c_{\text{r}} + nhB}{2}$	$\frac{\rho Q - t - c_{\text{r}} + nhB}{2}$	$\frac{\rho Q + t - c_{\text{r}} + nhB}{2}$
k_{n}		$\frac{Q + 3c_{\text{n}}}{4}$	
k_{r}	$\frac{E(l - 3t) + h^2B(X + 2t)}{4(h^2B + E)}$	$\frac{E(l + t) + h^2B(X + 2t)}{4(h^2B + E)}$	$\frac{E(l + t) + h^2B(X + 2t)}{4(h^2B + E)}$
w_{n}		$\frac{3Q + c_{\text{n}}}{4}$	
w_{r}	$\frac{E(F - t) + h^2BO}{4(h^2B + E)}$	$\frac{E(F - t) + h^2BO}{4(h^2B + E)}$	$\frac{E(F + 3t) + h^2B(O + 4t)}{4(h^2B + E)}$
p_{n}		$\frac{7Q + c_{\text{n}}}{8}$	
p_{r}		$\frac{E(A - t) + h^2B\rho(7Q + c_{\text{n}})}{8(h^2B + E)}$	
D_{n}		$\frac{\rho(H - t) + h^2B(Q - c_{\text{n}})}{8(h^2B + E)}$	
D_{r}		$\frac{nhB - c_{\text{r}} + \rho c_{\text{n}} + t}{8(h^2B + E)}$	
b		$\frac{h^2B(Y + t) - 4nhBE}{4(h^2B + E)}$	

注: $X = \rho Q + \rho c_{\text{n}} + 2c_{\text{r}} - 2nhB$, $Y = -3nhB - c_{\text{r}} + \rho c_{\text{n}}$, $O = 3\rho Q + \rho c_{\text{n}}$, $F = 3\rho Q + c_{\text{r}} - nhB$, $H = Q(1 - \rho) + c_{\text{r}} - c_{\text{n}} - nhB$, $E = \rho(1 - \rho)$, $A = 7\rho Q + c_{\text{r}} - nhB$, $l = \rho Q + 3c_{\text{r}} - 3nhB$ 。

2.2 集中决策模型

在集中决策模型中,原材料供应商、制造商、零售商和回收商作为一个整体,均以供应链总利润最大化为目标来决定传统服装和再制造服装的零售价。

供应链总利润模型为

$$L^{\text{T}} = (p_{\text{r}}^{\text{T}} - c_{\text{r}} - hb^{\text{T}})D_{\text{r}}^{\text{T}} + (p_{\text{n}}^{\text{T}} - c_{\text{n}})D_{\text{n}}^{\text{T}}。 \quad (6)$$

式中: $(p_{\text{r}}^{\text{T}} - c_{\text{r}} - hb^{\text{T}})D_{\text{r}}^{\text{T}}$ 表示再制造服装的总利润;

$(p_{\text{n}}^{\text{T}} - c_{\text{n}})D_{\text{n}}^{\text{T}}$ 表示传统服装的总利润。

通过逆向求解法,可得集中决策下供应链的最优零售价($p_{\text{r}}^{\text{T}*}$, $p_{\text{n}}^{\text{T}*}$)、需求量($D_{\text{n}}^{\text{T}*}$, $D_{\text{r}}^{\text{T}*}$)和总利润($L^{\text{T}*}$),分别为

$$\begin{cases} p_{\text{r}}^{\text{T}*} = \frac{E(\rho Q + c_{\text{r}} - nhB - t) + h^2B(\rho Q + \rho c_{\text{n}})}{2(h^2B + E)}, \\ p_{\text{n}}^{\text{T}*} = \frac{Q + c_{\text{n}}}{2}; \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} D_n^{T*} = \frac{\rho(H-t) + h^2B(Q-c_n)}{2(h^2B+E)}, \\ D_r^{T*} = \frac{\rho c_n - c_r + nhB + t}{2(h^2B+E)}; \end{cases} \quad (8)$$

$$L^{T*} = \frac{Q-c_n}{2} \times \frac{\rho(H-t) + h^2B(Q-c_n)}{2(h^2B+E)} +$$

$$\left[\frac{h^2B(\rho Q + \rho c_n + 2t + 2nhB - 2c_r)}{2(h^2B+E)} + \right.$$

$$\left. \frac{E(\rho Q - c_r + nhB + t)}{2(h^2B+E)} \right] \times \frac{\rho c_n + nhB + t}{2(h^2B+E)} -$$

$$h^2B \left[\frac{\rho c_n - c_r + nhB + t}{2(h^2B+E)} \right]^2. \quad (9)$$

根据政府补贴下的决策分析结果,可得以下性质:

性质1:在3种分散决策和集中决策补贴模式下,随着补贴的增加,传统服装零售价不变,再制造服装零售价降低,传统服装需求量减少,再制造服装需求量增加。

由此表明,企业为获得更多补贴,应降低再制造服装零售价,增加再制造服装的价格优势,吸引更多消费者购买再制造服装;补贴策略对传统服装零售价没有影响,且降低了传统服装的竞争力,削减了其市场份额;再制造服装需求的增加大于传统服装需求的减少,总市场规模扩大,补贴策略增加了服装市场的消费潜力,有助于服装再制造产业的发展。

性质2:在3种分散决策补贴模式下,废旧服装转移价格随补贴的增加而上涨,表明废旧服装转移价格与政府补贴呈正相关。政府对再制造服装的补贴,降低了供应链中再制造服装的生产成本,通过提升废旧服装转移价格可以实现供应链成员间政府补贴的转移,从而调动回收商的积极性。

性质3:在3种分散决策补贴模式下,供应链各成员的利润均一致,表明3种分散决策补贴模式对供应链各成员利润的影响相同。

性质4:在3种分散决策补贴模式下,传统服装和再制造服装的零售价和需求量均分别相同;废旧服装的转移价格相同;传统面料及传统服装的批发价相同且表达式均不含补贴 t 。

由此表明,政府补贴再制造服装对传统服装生产线内部各产品交易价格没有影响;结合性质3可得,从零售价、需求量及利润看,3种分散决策补贴模式对闭环供应链的影响相同,在实际补贴时,政府可更多地从实施可行性方面考量补贴对象。

3 政府碳税下的决策分析

碳税以价格控制为特征,征收碳税是减少温室气体排放的重要手段。将碳税策略引入服装产业,可引导企业扩大对再制造服装的生产规模,以实现服装产业的碳减排。文中研究对服装闭环供应链中与传统服装生产、销售相关部分征收碳税,分析碳税策略的效果。 Z 表示集中决策下的政府征收碳税模式; ZS 表示分散决策下政府对原材料供应商征收碳税模式; ZM 表示分散决策下政府对制造商征收碳税模式; ZR 表示分散决策下政府对零售商征收碳税模式。

3.1 分散决策模型

3.1.1 政府对原材料供应商征税 政府对原材料供应商生产的传统面料征收碳税,可降低闭环供应链中的碳排放。零售商、回收商、制造商和原材料供应商的利润模型分别为

$$\begin{cases} L_R^{ZS} = (p_r^{ZS} - w_r^{ZS})D_r^{ZS} + (p_n^{ZS} - w_n^{ZS})D_n^{ZS}; \\ L_V^{ZS} = (b^{ZS} + nB)hD_r^{ZS} - B(hD_r^{ZS})^2; \\ L_M^{ZS} = (w_r^{ZS} - k_r^{ZS})D_r^{ZS} + (w_n^{ZS} - k_n^{ZS})D_n^{ZS}; \\ L_S^{ZS} = (k_n^{ZS} - c_n - k)D_n^{ZS} + (k_r^{ZS} - c_r) - hb^{ZS}D_r^{ZS}. \end{cases} \quad (10)$$

3.1.2 政府对制造商征税 政府对制造商生产的传统服装征收碳税,有利于引导企业减少传统服装的生产。零售商、回收商、制造商和原材料供应商的利润模型分别为

$$\begin{cases} L_R^{ZM} = (p_r^{ZM} - w_r^{ZM})D_r^{ZM} + (p_n^{ZM} - w_n^{ZM})D_n^{ZM}; \\ L_V^{ZM} = (b^{ZM} + nB)hD_r^{ZM} - B(hD_r^{ZM})^2; \\ L_M^{ZM} = (w_r^{ZM} - k_r^{ZM})D_r^{ZM} + (w_n^{ZM} - k_n^{ZM} - k)D_n^{ZM}; \\ L_S^{ZM} = (k_n^{ZM} - c_n)D_n^{ZM} + (k_r^{ZM} - c_r)D_r^{ZM} - hb^{ZM}D_r^{ZM}. \end{cases} \quad (11)$$

3.1.3 政府对零售商征税 政府对服装零售商销售的传统服装征收碳税,引导消费者购买再制造服装。零售商、回收商、制造商和原材料供应商的利润模型分别为

$$\begin{cases} L_R^{ZR} = (p_r^{ZR} - w_r^{ZR})D_r^{ZR} + (p_n^{ZR} - w_n^{ZR} - k)D_n^{ZR}; \\ L_V^{ZR} = (b^{ZR} + nB)hD_r^{ZR} - B(hD_r^{ZR})^2; \\ L_M^{ZR} = (w_r^{ZR} - k_r^{ZR})D_r^{ZR} + (w_n^{ZR} - k_n^{ZR})D_n^{ZR}; \\ L_S^{ZR} = (k_n^{ZR} - c_n)D_n^{ZR} + (k_r^{ZR} - c_r)D_r^{ZR} - hb^{ZR}D_r^{ZR}. \end{cases} \quad (12)$$

通过逆向求解法,可得政府对原材料供应商、制造商、零售商征税模式下的最优均衡解,具体见表2。

表2 分散决策下征税模式的最优均衡解
Tab.2 Optimal equilibrium solution of taxation mode under decentralized decision making

项目	征税模式		
	ZS	ZM	ZR
m	$\frac{Q-c_n-k}{2}$	$\frac{Q-c_n+k}{2}$	$\frac{Q-c_n-k}{2}$
r	$\frac{\rho Q-c_r+nhB}{2}$		
k_n	$\frac{Q+3c_n+k}{4}$	$\frac{Q+3c_n-k}{4}$	$\frac{Q+3c_n-k}{4}$
k_r	$\frac{EL+h^2B(\rho k+X)}{4(h^2B+E)}$		
w_n	$\frac{3Q+c_n+k}{4}$	$\frac{3Q+c_n+k}{4}$	$\frac{3Q+c_n-3k}{4}$
w_r	$\frac{EF+h^2B(O+\rho k)}{4(h^2B+E)}$		
p_n	$\frac{7Q+c_n+k}{8}$		
p_r	$\frac{EA+h^2B\rho(7Q+c_n+k)}{8(h^2B+E)}$		
D_n	$\frac{\rho(H-t)+h^2B(Q-c_n-k)}{8(h^2B+E)}$		
D_r	$\frac{nhB-c_r+\rho c_n+\rho k}{8(h^2B+E)}$		
b	$\frac{h^2B(Y+\rho k)-4nhBE}{4(h^2B+E)}$		

注: $X=\rho Q+\rho c_n+2c_r-2nhB$, $Y=-3nhB-c_r+\rho c_n$, $O=3\rho Q+\rho c_n$, $F=3\rho Q+c_r-nhB$, $H=Q(1-\rho)+c_r-c_n-nhB$, $E=\rho(1-\rho)$, $A=7\rho Q+c_r-nhB$ 。

3.2 集中决策模型

碳税模式下供应链总利润模型为
$$L^Z=(p_n^Z-c_n^Z-k)D_n^Z+(p_r^Z-c_r^Z+nhB)D_r^Z-B(hD_r^Z)^2。$$
 (13)

通过逆向求解法,可得集中决策下闭环供应链最优零售价(p_n^{Z*} , p_r^{Z*})、需求量(D_n^{Z*} , D_r^{Z*})和总利润(L^{Z*}),分别为

$$\begin{cases} p_n^{Z*}=\frac{Q+c_n+k}{2}, \\ p_r^{Z*}=\frac{E(\rho Q+c_r-nhB)+\rho h^2B(Q+c_n+k)}{2(h^2B+E)}; \end{cases}$$
 (14)

$$\begin{cases} D_n^{Z*}=\frac{h^2B(Q-c_n-k)+\rho(H-k)}{2(h^2B+E)}, \\ D_r^{Z*}=\frac{\rho c_n+\rho k-c_r+nhB}{2(h^2B+E)}; \end{cases}$$
 (15)

$$L^{Z*}=\left[\frac{h^2B(\rho Q+\rho c_n-2c_r+\rho k+2nhB)}{2(h^2B+E)}+\frac{E(\rho Q-c_r+nhB)}{2(h^2B+E)}\right]\times\frac{\rho c_n+\rho k-c_r+nhB}{2(h^2B+E)}+$$

$$\frac{Q-c_n-k}{2}\times\frac{h^2B(Q-c_n-k)+\rho(H-k)}{2(h^2B+E)}-h^2B\left[\frac{\rho c_n+\rho k-c_r+nhB}{2(h^2B+E)}\right]^2。$$
 (16)

根据政府碳税下的决策分析结果,可得以下性质:

性质5:在3种分散决策和集中决策碳税模式下,随着碳税的增加,传统服装零售价上涨,再制造服装零售价也上涨,传统服装需求量减少,再制造服装需求量增加。

由此表明,针对传统服装的碳税策略增加了传统服装的生产成本,企业通过提升传统服装零售价,将碳税造成的经济压力部分转移至消费者,降低了消费者的购买力;随着传统服装零售价的上涨,部分消费者转向购买再制造服装,再制造服装需求量增加,企业为获得更大收益,适当增加再制造服装零售价,此时再制造服装仍具有价格优势,但再制造服装需求的增加不足以弥补传统服装需求的下降。碳税策略推动了再制造产业的发展,但抑制了服装市场整体的消费活力,长此以往不利于服装消费市场的良性运行。

性质6:在3种分散决策碳税模式下,随着碳税的增加,废旧服装的转移价格上涨,表明废旧服装转移价格与碳税正相关,碳税策略能够推动回收产业的发展。

性质7:在3种分散决策碳税模式下,供应链各方的利润均一致。表明3种分散决策碳税模式对供应链成员利润的影响相同。

性质8:在3种分散决策碳税模式下,再生面料及再制造服装的批发价分别一致,传统服装和再制造服装的零售价和需求量分别一致;废旧服装的转移价格相同。结合性质7可得,从零售价、需求量及利润看,3种分散决策碳税模式对服装再制造产业的作用效果相同。

4 复合策略下的决策分析

为调动供应链成员的积极性,文中探讨政府对零售商销售的传统服装征收碳税,同时对其销售的再制造服装提供补贴的复合策略机制。TZ表示集中决策下政府同时对零售商补贴和征收碳税模式;TZR表示分散决策下政府同时对零售商补贴和征收碳税模式。

4.1 分散决策模型

复合策略的实施有利于服装再制造闭环供应链的良性发展。零售商、回收商、制造商和原材料

供应商利润模型分别为

$$\begin{cases} L_R^{TZR} = (p_r^{TZR} - w_r^{TZR} + t)D_r^{TZR} + (p_n^{TZR} - w_n^{TZR} - k)D_n^{TZR}; \\ L_V^{TZR} = (b^{TZR} + nB)hD_r^{TZR} - B(hD_r^{TZR})^2; \\ L_M^{TZR} = (w_r^{TZR} - k_r^{TZR})D_r^{TZR} + (w_n^{TZR} - k_n^{TZR})D_n^{TZR}; \\ L_S^{TZR} = (k_n^{TZR} - c_n)D_n^{TZR} + (k_r^{TZR} - c_r)D_r^{TZR} - hb^{TZR}D_r^{TZR}. \end{cases} \quad (17)$$

通过逆向求解法,可得分散决策时最优零售价(p_n^{TZR*}, p_r^{TZR*})、需求量(D_n^{TZR*}, D_r^{TZR*})、废旧服装转移价格(b^{TZR*})和总利润(L_V^{TZR*}),分别为

$$\begin{cases} p_n^{TZR*} = \frac{7Q + c_n + k}{8}, \\ p_r^{TZR*} = \frac{E(A - t) + B(7\rho Q + \rho c_n + \rho k)}{8(B + E)}; \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} D_n^{TZR*} = \frac{\rho(H - t - k) + B(Q - c_n - k)}{8(B + E)}, \\ D_r^{TZR*} = \frac{\rho c_n + t - c_r + \rho k + nB}{8(B + E)}; \end{cases} \quad (19)$$

$$b^{TZR*} = \frac{B[L + \rho k + t - 4n\rho(1 - \rho)]}{4(B + E)}; \quad (20)$$

$$L_V^{TZR*} = B\left(\frac{\rho c_n + t - c_r + \rho k + nB}{8(B + E)}\right)^2. \quad (21)$$

4.2 集中决策模型

复合策略下闭环供应链总利润模型为

$$L^{TZ} = (p_n^{TZ} - c_n - k)D_n^{TZ} + (p_r^{TZ} - c_r + nhB + t)D_r^{TZ} - B(hD_r^{TZ})^2. \quad (22)$$

通过逆向求解法,可得到最优零售价(p_n^{TZ*}, p_r^{TZ*})、需求量(D_n^{TZ*}, D_r^{TZ*})和总利润(L^{TZ*}),分别为

$$\begin{cases} p_n^{TZ*} = \frac{Q + c_n + k}{2}, \\ p_r^{TZ*} = \frac{E(\rho Q + c_r - nhB - t) + \rho h^2 B(Q + c_n + k)}{2(h^2 B + E)}; \end{cases} \quad (23)$$

$$\begin{cases} D_n^{TZ*} = \frac{h^2 B(Q - c_n - k) + \rho(H - k - t)}{2(h^2 B + E)}, \\ D_r^{TZ*} = \frac{\rho c_n + \rho k - c_r + t + nhB}{2(h^2 B + E)}; \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} L^{TZ*} = & \frac{Q - c_n - k}{2} \times \frac{h^2 B(Q - c_n - k) + \rho(H - k - t)}{2(h^2 B + E)} + \\ & \left[\frac{h^2 B(\rho Q + \rho c_n - 2c_r + 2t + \rho k + 2nhB)}{2(h^2 B + E)} + \right. \\ & \left. \frac{E(\rho Q - c_r + nhB + t)}{2(h^2 B + E)} \right] \times \frac{\rho c_n + \rho k - c_r + t + nhB}{2(h^2 B + E)} - \\ & h^2 B \left[\frac{\rho c_n + \rho k - c_r + t + nhB}{2(h^2 B + E)} \right]^2. \end{aligned} \quad (25)$$

根据复合策略下的决策分析结果,得到以下性质:

性质 9:在集中决策和分散决策下,随着补贴和碳税的增加,再制造服装零售价上涨,表明碳税主导再制造服装零售价的变化;补贴和征税策略同时实施能够达到中和再制造服装零售价的作用,保证再制造服装零售价在一定范围内波动,提升消费者的信任感,保证服装品牌信誉。

性质 10:在分散决策下,随着补贴和碳税的增加,回收商的利润增加,传统服装的零售价上涨,传统服装的需求量降低,再制造服装的需求量增加。

由此表明,复合策略兼具补贴策略和碳税策略的优势,大幅调整了市场上再制造服装和传统服装的比例,迫使企业转向生产再制造服装,同时也极大调动了回收商的积极性。

5 算例分析

为了更直观了解政府补贴政策、碳税策略及复合策略的效果,文中结合数值算例,进一步对结果进行分析。假定 $\rho = 0.5, Q = 100, B = 1.6, n = 0.1, h = 1.3, c_r = 5.5, c_n = 5, t \in [0, 100], k \in [0, 100]$ 。由性质 4 和性质 8 可知,3 种分散决策补贴模式和 3 种分散决策碳税模式对传统服装和再制造服装的零售价、需求量及各供应链成员的利润作用效果相同,现以政府补贴制造商及对制造商征收碳税两种模式为例进行分析。

5.1 政府补贴和碳税对零售价的影响

政府补贴对零售价的影响如图 2 所示,碳税对零售价的影响如图 3 所示。由图 2 和图 3 可以看出,在采取补贴和征税策略时,集中决策下传统服装和再制造服装的零售价均较分散决策时的更低;随着补贴的增加,集中决策下再制造服装的零售价降低;随着碳税的增加,集中决策下传统服装和再制造服装的零售价均上涨。

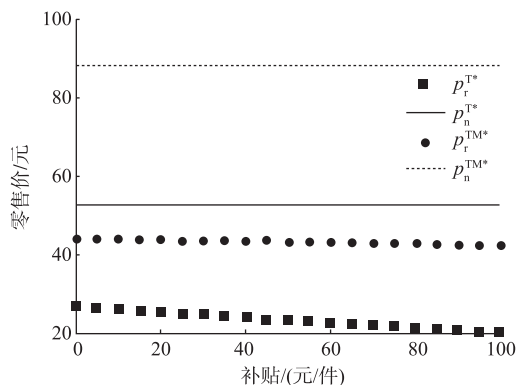


图 2 政府补贴对零售价的影响

Fig. 2 Effect of government subsidies on the retail prices

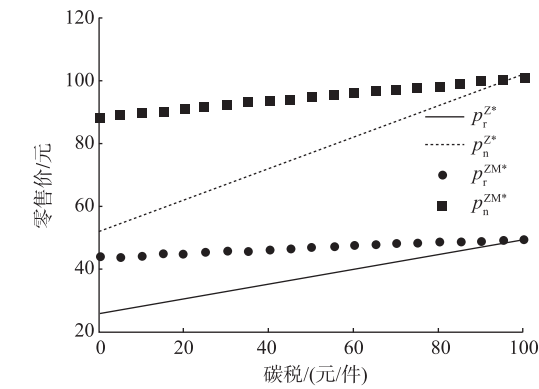


图3 碳税对零售价的影响

Fig.3 Effect of carbon taxes on the retail prices

由此表明,集中决策下传统服装和再制造服装的零售价更具价格优势,消费者的购买成本较低,且集中决策下零售价对补贴和碳税策略更为敏感,更有利于政府发挥调控作用。

5.2 政府补贴和碳税对需求量的影响

政府补贴对需求量的影响如图4所示,碳税对需求量的影响如图5所示。

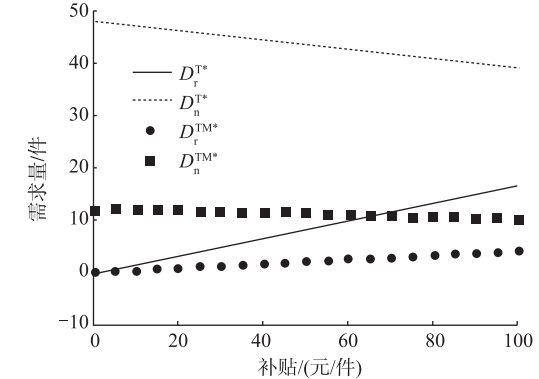


图4 政府补贴对需求量的影响

Fig.4 Effect of government subsidies on the demand

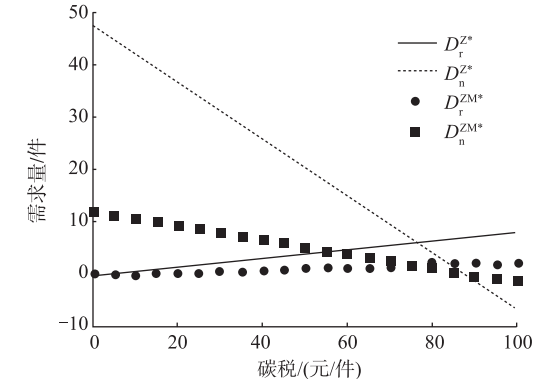


图5 碳税对需求量的影响

Fig.5 Effect of carbon taxes on the demand

由图4和图5可以看出,在采取补贴和征税策略时,集中决策下传统服装和再制造服装的需求量均较分散决策时的更高;随着补贴和碳税的增加,集中决策下再制造服装需求量增幅明显。由此表

明,相较于分散决策,集中决策更有利于扩大再制造服装需求量,促进服装供应链低碳循环发展。

5.3 政府补贴和碳税对利润的影响

政府补贴对利润的影响如图6所示,碳税对利润的影响如图7所示。由图6和图7可以看出,单独补贴和单独征税时,集中决策下供应链的总利润均大于分散决策下各成员利润之和。政府补贴模式下,供应链各成员的利润随补贴的增加而增长;政府碳税模式下,原材料供应商、制造商和零售商的利润均呈先降低后缓慢回升的趋势,回收商的利润平稳增长。由此表明,集中决策免除了“双重边际化”效应的影响,对服装供应链利润的增加作用明显,政府补贴时可大幅增加供应链总利润,政府征税时可减缓企业的经济损失,故供应链成员间的合作更有利于服装产业的绿色可持续发展。

图6中,原材料供应商、制造商和零售商的利润增幅较小,原因是随着补贴的增加,再制造服装需求量上升,传统服装需求量下降。由性质1可知,虽总需求增加,但再制造服装零售价低于传统服装零售价,因此平均每件服装的收益减小。

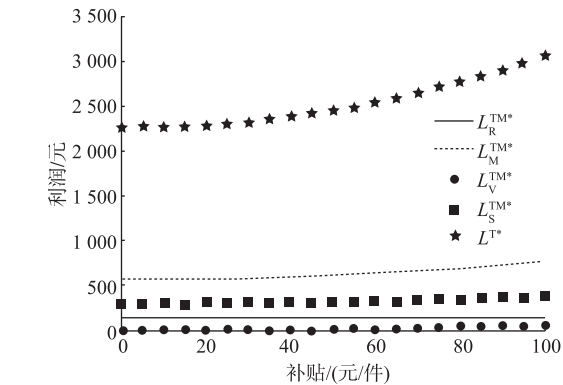


图6 政府补贴对利润的影响

Fig.6 Effect of government subsidies on the profits

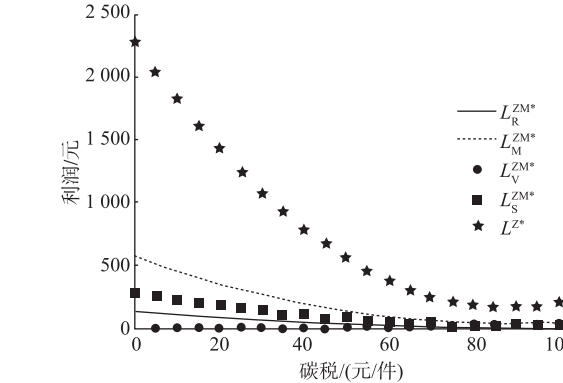


图7 碳税对利润的影响

Fig.7 Effect of carbon taxes on the profits

由图6和图7可知,在制造商领导的分散决策模型下,供应链成员利润由高到低依次是:制造商、

原材料供应商、零售商和回收商。回收商回收废旧服装,相关产品的附加价值较低,故其利润也较低。

结合图 5 和图 7 可以看出,在碳税 k 增加至约 90 元/件时,集中决策和分散决策下传统服装需求量均降至 0 附近,除回收商外,各供应链成员的利润均降至最低。由此表明,在传统服装和再制造服装并行的生产模式下,单独征收碳税易对企业造成较大负担,应合理控制碳税范围。

总之,在服装再制造产业发展初期,对再制造服装的生产销售进行补贴,能够扩大再制造服装的市场需求,促进低碳经济的发展;政府碳税策略则会降低以生产、销售传统服装为主的企业的收益,降低其发展低碳产业的积极性。但从长远来看,政府碳税策略可以加快服装企业的低碳转型。

5.4 复合策略下政府资金剩余分析

复合策略即政府并行实施碳税和补贴政策,根据政府剩余资金计算公式 $J = kD_n - tD_r$,得到复合策略下的政府剩余资金变化趋势,具体如图 8 所示。由图 8 可以看出,随着补贴的增加,政府剩余资金减少;随着碳税的增加,政府剩余资金先增加后减少。碳税增至一定阈值时,因传统服装需求量下降,再制造服装销量上升,征税所得难以弥补补贴支出,故政府剩余资金减少。图 8 可为政府在一定财政限制下设置补贴额及碳税额提供参考。

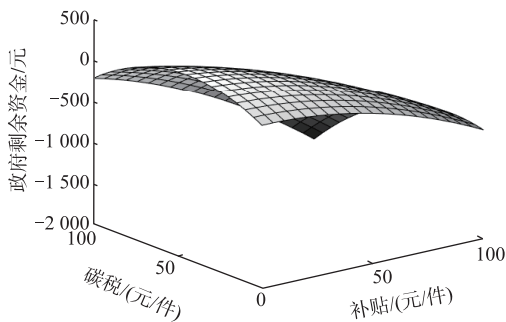


图 8 复合策略下的政府资金剩余

Fig. 8 Government surplus funds under the compound strategy

单独征收碳税易对企业发展造成不良影响,单独实施补贴策略会加重政府财政负担,因此两者结合既可为碳减排提供资金保障,又可实现经济增长。同时,根据不同成长期企业的特征,政府可灵活调整补贴及碳税的额度:对于以生产和销售传统服装为主的企业,政府应加大补贴力度,适当降低碳税额度,鼓励再制造服装的销售;对于以生产、销售再制造服装为主的企业,政府应适当加大碳税额度,以降低传统服装的竞争优势,加速企业低碳化

转型。

6 结 语

政府调控是低碳经济发展的强有力支撑,能够迅速调整产业发展方向,改变消费者的消费模式。文中基于消费者对传统服装和再制造服装的需求差异,构建了 4 级服装闭环供应链模型,采用 Stacklberg 博弈方法分析政府补贴和碳税策略对零售价、需求量、供应链成员利润及政府财政支出的影响,并对分散决策和集中决策下的结果进行比较。

结果表明,政府补贴政策 and 碳税策略均可降低再制造服装零售价,增加再制造服装需求量,推动服装再制造产业发展,助力碳减排,但碳税策略易加重服装企业的经济负担;复合策略可有效缓解企业及政府的财政压力,达到单一策略无法实现的效果;集中决策下的供应链更具决策力,是实现服装产业可持续发展的必要条件。

文中研究所考虑的再制造服装原材料完全来自回收服装,而现有服装企业中,一部分再制造服装是由回收材料和传统新材料(或再生材料)共同制成,后续研究可扩大再制造服装原材料的种类。

参考文献:

- [1] 柴麒敏. 积极推进“碳达峰”行动与“碳中和”国家建设[J]. 中国机关后勤, 2021(4): 34-35.
CHAI Qimin. Promote the "carbon peak" action and "carbon neutral" national construction actively [J]. Chinese Government General Services, 2021(4): 34-35. (in Chinese)
- [2] 李高. 凝聚全社会力量推进碳达峰目标实现[J]. 环境与可持续发展, 2021, 46(2): 6-10.
LI Gao. To push forward the carbon dioxide emission peaking goal by concentrating the power of the whole society[J]. Environment and Sustainable Development, 2021, 46(2): 6-10. (in Chinese)
- [3] 何承天, 董廷尉, 付晨昕, 等. 中国纺织服装行业绿色标准比较分析[J]. 现代纺织技术, 2023, 31(4): 11-19.
HE Chengtian, DONG Tingwei, FU Chenxin, et al. Analysis of green standards of China's textile and garment industry[J]. Advanced Textile Technology, 2023, 31(4): 11-19. (in Chinese)
- [4] 朱怀球, 叶翔宇, 楼才英, 等. 浙江省废旧纺织品循环利用的思考和建议[J]. 中国纤检, 2021(5): 44-45.
ZHU Huaiqiu, YE Xiangyu, LOU Caiying, et al. Some considerations and suggestions on recycling of waste textiles in Zhejiang Province[J]. China Fiber Inspection,

- 2021(5): 44-45. (in Chinese)
- [5] 郭晶,邵鹏. 全球旧衣物贸易额与网络特征分析[J]. 丝绸, 2022, 59(9): 55-61.
- GUO Jing, SHAO Peng. Analysis on the global used clothing trade value and network characteristics [J]. Journal of Silk, 2022, 59(9): 55-61. (in Chinese)
- [6] PROOST S, VAN REGEMORTER D. Economic effects of a carbon tax with a general equilibrium illustration for Belgium [J]. Energy Economics, 1992, 14(2): 136-149.
- [7] FOGARTY J J, SAGERER S. Exploration externalities and government subsidies: the return to government[J]. Resources Policy, 2016, 47: 78-86.
- [8] MITRA S, WEBSTER S. Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 111(2): 287-298.
- [9] LI Z, ZHANG J, MENG Q F, et al. Influence of government subsidy on remanufacturing decision under different market models [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2019(2): 9460315.
- [10] WANG K Z, ZHAO Y X, CHENG Y H, et al. Cooperation or competition? Channel choice for a remanufacturing fashion supply chain with government subsidy [J]. Sustainability, 2014, 6(10): 7292-7310.
- [11] 焦建玲, 汪耘欣, 李兰兰. 碳税政策对考虑消费者偏好的闭环供应链影响[J]. 软科学, 2016, 30(2): 107-111.
- JIAO Jianling, WANG Yunxin, LI Lanlan. The impact of carbon tax policy on a CLSC taking consumer preferences into consideration[J]. Soft Science, 2016, 30(2): 107-111. (in Chinese)
- [12] 王娜, 张玉林. 碳税政策下制造商和再制造商竞争与合作博弈分析[J]. 电子科技大学学报(社会科学版), 2021, 23(2): 75-85.
- WANG Na, ZHANG Yulin. Analysis of competition and cooperation between a manufacturer and a remanufacturer under carbon tax policy based on game theory[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China (Social Sciences Edition), 2021, 23(2): 75-85. (in Chinese)
- [13] DOU G W, GUO H N, ZHANG Q Y, et al. A two-period carbon tax regulation for manufacturing and remanufacturing production planning[J]. Computers and Industrial Engineering, 2019, 128: 502-513.
- [14] CAO K Y, HE P, LIU Z X. Production and pricing decisions in a dual-channel supply chain under remanufacturing subsidy policy and carbon tax policy[J]. Journal of the Operational Research Society, 2020, 71(8): 1199-1215.
- [15] 高举红, 王海燕, 孟燕莎. 基于补贴与碳税的闭环供应链定价策略[J]. 工业工程, 2014, 17(3): 61-67.
- GAO Juhong, WANG Haiyan, MENG Yansha. Pricing strategy of closed-loop supply chain based on subsidy and carbon tax[J]. Industrial Engineering Journal, 2014, 17(3): 61-67. (in Chinese)
- [16] LI Z, ZHENG W, MENG Q F, et al. The impact of government subsidy and tax policy on the competitive decision-making of remanufacturing supply chains[J]. International Journal of Sustainable Engineering, 2019, 12(1): 18-29.
- [17] 高举红, 张莹, 李梦梦. 具广告影响的再制造闭环供应链的决策与协调[J]. 系统科学与数学, 2019, 39(11): 1785-1807.
- GAO Juhong, ZHANG Ying, LI Mengmeng. Research on decision and coordination of remanufacturing closed-loop supply chains with advertising impact [J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2019, 39(11): 1785-1807. (in Chinese)

(责任编辑:沈天琦)