DOI：10.20271/j.cnki.1673-9833.2026.4011

政府分级式补贴对制造商以旧换新策略的影响机制研究

丁宇斐[1]，闵　杰[2]，欧　剑[2]

（1. 安徽建筑大学 经济与管理学院，安徽 合肥 230022；2. 安徽建筑大学 数理学院，安徽 合肥 230601）

摘　要：考虑一个同时生产普通产品和绿色创新产品的制造商，首先基于优化理论分析制造商的以旧换新策略选择；其次构建政府、制造商之间的博弈模型，探究政府差异化以旧换新补贴对制造商、消费者以及环境的影响。研究表明：在没有政府补贴的情形下，制造商的最优以旧换新策略为同时对两种产品提供相同的以旧换新返利；对制造商来说，差异化以旧换新补贴会带来差异化的以旧换新返利，增加了绿色创新产品的需求，提高了制造商利润，但是降低了普通产品的需求；对消费者来说，差异化以旧换新补贴降低了老消费者的支付净价，提高了消费者的换新意愿，但是当政府的环境偏好与旧产品耐用性均较高时，补贴始终会降低老消费者的剩余；对环境来说，当创新产品的绿色度与旧产品的残值均较低时，有无补贴均可能无法正向改善环境。

关键词：运营与供应链管理；绿色消费；分级式以旧换新补贴；环境改善；消费者剩余

中图分类号：F272　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1673-9833(2026)04-0080-10

引文格式：丁宇斐，闵　杰，欧　剑 . 政府分级式补贴对制造商以旧换新策略的影响机制研究 [J]. 湖南工业大学学报，2026，40(4)：80-89.

Research on the Influence Mechanism of Governmental Hierarchical Subsidy on Manufacturers' Trade-In Strategy

DING Yufei[1]，MIN Jie[2]，OU Jian[2]

（1. School of Economics and Management，Anhui Jianzhu University，Hefei 230022，China；
2. School of Mathematics & Physics，Anhui Jianzhu University，Hefei 230601，China）

Abstract：With a manufacturer simultaneously producing both ordinary products and green innovative products taken into consideration, firstly, an analysis is made of the trade-in strategy choice of the manufacturer based on optimization theory; secondly, a game model is constructed between the government and manufacturers for an inquiry into the influence of governmental differentiated trade-in subsidies on manufacturers, consumers, and the environment. Research results show that in the absence of government subsidies, the optimal trade-in strategy for manufacturers is to simultaneously provide the same trade in rebate for both products. For manufacturers, differentiated trade-in subsidies bring differentiated trade-in rebates, thus increasing the demand for green innovative products and improving manufacturer profits, but reducing the demand for ordinary products. For consumers, differentiated trade-in subsidies reduce the net payment price of old consumers and increase their willingness to trade-in. However, when there is a high

收稿日期：2024-12-09

基金项目：国家自然科学基金资助项目（72271004）

作者简介：丁宇斐，男，安徽建筑大学硕士生，主要研究方向为供应链管理，E-mail：2396566780@qq.com

通信作者：闵　杰，男，安徽建筑大学教授，博士，硕士生导师，主要研究方向为物流与供应链管理，E-mail：minjie@ahjzu.edu.cn

environmental preference and durability of old products on the part of the government, subsidies will always reduce the surplus of old consumers. For the environment, when there is a low degree of greenness of innovative products and the residual value of old products, subsidies or not may not be able to positively improve the environment.

Keywords：operation and supply chain management；green consumption；hierarchical trade-in subsidy；environmental improvement；consumer surplus

1　研究背景

随着科技的迅速发展，产品更新换代速度加快，企业需要推动消费者尽快淘汰旧产品，以拓展新产品的销路，企业提供以旧换新（trade-in）可以加速这一过程。以旧换新旨在通过向拥有旧产品的消费者提供一定的经济补贴，引导他们将不再使用或即将淘汰的旧产品交给指定回收机构，同时购买新的、更环保、更节能的产品 [1]。有数据显示，55% 的数码相机、63% 的智能手机、82% 的电脑、57% 的汽车销售都是通过以旧换新促销机制完成的 [2]，且以旧换新策略可以带来更高的环境效益 [3]。企业通过以旧换新策略的方式，可以将旧产品回收，并以合理拆解、再利用等方式获取产品的剩余价值，如报废汽车约 75% 的材料可以回收再利用 [4]，既符合环保要求，又能为新产品的推广创造条件。

以旧换新机制作为契合循环经济和可持续发展理念的优秀商业模式 [5]，同样受到政府的青睐。例如，2009—2012 年间，国家首次大规模推行以家电为主的以旧换新补贴政策；2024 年 3 月起，国家第二次大规模实施涵盖家电、电子产品、汽车乃至住房的以旧换新补贴政策。另外，政府的绿色消费补贴旨在通过经济激励手段，降低绿色产品的购买成本，提高消费者的购买意愿，从而促进绿色产业的发展和环境保护 [6]。如中华人民共和国财政部印发的《关于 2016—2020 年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知》，明确实施财政补贴政策支持新能源汽车的推广应用。将以旧换新补贴与绿色消费补贴相结合，诞生了基于绿色产品的分级式以旧换新补贴。分级式以旧换新补贴以引导老消费者通过以旧换新的方式更新自身拥有的旧产品为主，并且通过设定不同的补贴标准，进一步鼓励消费者购买环境效益更高的绿色产品。相关以旧换新行动方案明确规定，对报废符合标准的燃油车并且购买新能源乘用车的消费者补贴 1 万元，对报废符合标准的燃油车并且购买 2.0 L 及以下排量燃油乘用车的消费者补贴 7 000 元。2024 年 3 月国务院印发的《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》，明确支持对以旧家电换购节能家电的消费者给予优惠，却未明确给出优惠方案。但 2025 年 1 月中华人民共和国国家发展和改革委员会与财政部联合发布的《关于 2025 年加力扩围实施大规模设备更新和消费品以旧换新政策的通知》中，明确规定了换购 1 级能效或水效标准的产品，补贴标准为产品销售价格的 20%，换购 2 级能效或水效标准的产品，补贴标准为产品销售价格的 15%。

本文以国家不断支持以旧换新并明确推行分级式以旧换新补贴为切入点，探讨分级补贴的影响。对企业来说，实行以旧换新可以加速淘汰旧产品、节约成本、促进消费，但针对多种差异化产品，企业如何制定以旧换新策略，企业是否会分级制定以旧换新返利？对于政府来说，分级式的以旧换新补贴是否一定能促进环境改善、提高消费者剩余和企业利润？这些问题值得进一步讨论。

与本文相关的文献主要围绕企业以旧换新策略和政府补贴展开，其中大量文献研究了企业的以旧换新策略及其影响。颜波等 [7] 指出，零售商的以旧换新策略选择受产品成本、客户比例和旧产品折旧程度的影响。Yin R. 等 [8] 考虑一个要求客户支付前期费用的以旧换新策略，得知以旧换新可以使企业受益匪浅。Wang W. 等 [9] 通过比较制造商以旧换新和质量改进策略，发现质量改进可以导致较低的零售价格，而以旧换新可能导致更高价格。文献 [10−13] 均从竞争角度研究了以旧换新策略。其中，李四杰等 [10] 指出，二手市场的存在对企业有利。V. V. Agrawal 等 [12] 则指出当面临第三方再制造商竞争时，制造商以旧换新策略对自身可能是有害的。不难看出，现有对企业以旧换新策略研究通常局限于一种产品的以旧换新，而针对同一企业不同产品的以旧换新策略选择研究相对较少。

政府补贴作为强有力的外部财政支持，其对供应链、消费者及环境的影响受到众多学者关注。Dou G. W. 等 [14] 认为，以旧换新和绿色创新同时存在并不一定对环境有利，当消费者具有环保意识时，有政府补贴并不改变该结论。杜鹏琦等 [15] 考虑一个垄断制造商，同时进行回收再制造与以旧换新两阶段差异化定价模型，发现政府补贴可能导致制造商总利润下降。Li B. 等 [16] 研究了政府消费补贴和以旧换新补贴在双

渠道供应链中对绿色产品的影响。唐飞等[17]探讨了政府应提供以旧换新补贴还是消费补贴，发现当产品耐用度较低但成本较高时，以旧换新补贴对制造商、零售商、环境和社会福利都更有利。Bai J. R. 等[1]通过比较政府的单位以旧换新补贴与共享以旧换新补贴，发现政府偏好共享补贴，企业偏好单位补贴。而 Zhang L. H. 等[18]基于不同成本构成的绿色产品，发现在政府补贴预算有限的条件下，固定补贴在单位绿色度和总体绿色度水平上均优于折扣补贴。Huang J. 等[19]考虑一个有限制条件的政府以旧换新补贴，发现当制造商的新产品零售价格很低时，即使政府补贴很高，制造商也可能没有资格参加该项目。

综上所述，在企业以旧换新策略和政府补贴的相关研究中，已有文献大多基于一种产品的以旧换新（如文献 [9−12]），而现实中制造商往往同时生产多种产品以满足不同消费者的需求，那么制造商的以旧换新策略选择会发生怎样的变化？虽然有部分文献研究了多种产品的以旧换新，但并未考虑政府分级式以旧换新补贴（如文献 [15]），即当消费者以旧产品换取不同产品时，政府是否会给予不同的补贴额度。基于此，本文首先研究制造商在生产具有环境影响差异化的不同产品时如何选择以旧换新策略；然后在政府分级式以旧换新补贴政策下，构建政府、制造商之间的博弈模型，探讨政府分级式以旧换新补贴对制造商、消费者及环境的影响。

2 模型框架

2.1 问题描述和假设

考虑一个制造商（M）通过自身的直销渠道向消费者提供价格为 p_A 的普通新产品（A 产品）以及价格为 p_B 的绿色创新产品（B 产品）。为方便分析，将 B 产品的生产成本设为 c，A 产品的生产成本标准化为 0，表示制造商生产 B 产品需要付出比生产 A 产品更高的成本。

假设市场上存在一批拥有旧产品的老消费者（后文简称老消费者，O）和未拥有旧产品的新消费者（后文简称新消费者，N）。消费者对制造商提供的新产品 A 的估值为 θ，服从 [0, 1] 上的均匀分布，同时将新产品的绿色度标准化为 0；消费者对新产品 B 的估值为 $(1+\alpha)\theta$，$\alpha>0$，为 B 产品的绿色度；老消费者对持有的旧产品估值为 $\beta\theta$，$\beta\in(0, 1)$，为旧产品的耐用性，同时 $\beta-1$ 为旧产品的绿色度。产品绿色度为衡量环境影响的重要指标，是指产品在其整个生命周期中对环境的友好程度或绿色性的综合评价。这包括了产品从原材料选择、生产制造、包装运输、使用维护到报废回收等各个环节对环境的影响。为重点关注分级补贴对环境的影响，本文主要将绿色度体现为消费者在使用产品环节对环境的影响。有数据表明，一台使用了 15 a 的旧冰箱，其耗电量比全新冰箱高出 30%，且通过认证的绿色产品相较于新产品可以节省 30% 的能源消耗，并避免超过约 2.5 t 的温室气体排放[1]。即新产品 A 的绿色度低于绿色创新产品 B，但高于旧产品。假设 $c<\alpha$，表示绿色度的提升大于付出的成本，否则生产绿色创新产品是不经济的。此外，假定市场总规模为 1，拥有旧产品的老消费者占比 λ，未拥有旧产品的新消费者占比 $1-\lambda$，每个消费者只能同时拥有一种产品。

面对两类消费者，制造商选择是否为购买普通新产品 A 的老消费者提供以旧换新返利 t_A，是否为购买绿色创新产品 B 的老消费者提供以旧换新返利 t_B。由此制造商存在 4 种以旧换新策略：无以旧换新返利策略（T_N）、仅对以旧换 A 返利策略（T_A）、仅对以旧换 B 返利策略（T_B）、两种以旧换新返利共存策略（T_{AB}）。为重点关注制造商以旧换新返利和政府（G）补贴的影响，将二手市场回收价设为 0[11]。此时对于老消费者来说，制造商回收价值始终优于或等于二手市场回收价值。因此，假设只要消费者做出以旧换新决策，旧产品都是通过制造商处理，同时制造商能够得到旧产品的剩余价值，即产品的残值 r。本文涉及的参数见表 1。

表 1 参数的符号及含义

Table 1 Symbols of parameters with their meanings

参数符号	含 义	参数符号	含 义
α	绿色创新产品的绿色度	β	旧产品耐用性
λ	老消费者市场规模	r	旧产品残值
θ	消费者对新产品的估值	μ	政府的环境偏好
c	绿色创新产品的成本	g_i	政府补贴，i=A, B
t_i^j	以旧换新返利，i=A, B，j=T_N, T_A, T_B, T_{AB}, T_S	p_i^j	零售价，i=A, B，j=T_N, T_A, T_B, T_{AB}, T_S
q_i^j	需求，i=OA, OB, NA, NB, K，j=T_N, T_A, T_B, T_{AB}, T_S	π_i^j	利润，i=M, G，j=T_N, T_A, T_B, T_{AB}, T_S
E^j	环境改善，j=T_{AB}, T_S	CS^j	老消费者剩余，j=T_{AB}, T_S

注：NA、NB、OA、OB、K 分别代表新消费者购买 A、新消费者购买 B、老消费者以旧换 A、老消费者以旧换 B、老消费者保留旧产品；T_S 表示政府分级式以旧换新补贴。

2.2 需求函数

根据表 1 中的参数及其含义，可以得到制造商选择不同以旧换新策略时，两类消费者购买不同产品所获得的效用。接下来先推导两种以旧换新返利同时存在时，需求函数的一般表达形式。

老消费者以旧换购新产品 A 的净效用 U 为 $U_{OA}=\theta-p_A^j-\beta\theta+t_A^j$；老消费者以旧换购绿色创新产品 B

的净效用 U 为 $U_{\mathrm{OB}}=(1+\alpha)\theta-p_{\mathrm{B}}^{j}-\beta\theta+t_{\mathrm{B}}^{j}$。

1）当 $U_{\mathrm{OB}}>U_{\mathrm{OA}}$ 且 $U_{\mathrm{OB}}>0$ 时，老消费者选择以旧产品换绿色创新产品 B，此时

$$q_{\mathrm{OB}}^{j}=\lambda\left[1-\max\left(\frac{p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}+t_{\mathrm{A}}^{j}-t_{\mathrm{B}}^{j}}{\alpha},\ \frac{p_{\mathrm{B}}^{j}-t_{\mathrm{B}}^{j}}{1+\alpha-\beta}\right)\right]。$$

2）当 $U_{\mathrm{OA}}>U_{\mathrm{OB}}$ 且 $U_{\mathrm{OA}}>0$ 时，老消费者选择以旧产品换新产品 A，此时

$$q_{\mathrm{OA}}^{j}=\lambda\left(\frac{p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}+t_{\mathrm{A}}^{j}-t_{\mathrm{B}}^{j}}{\alpha}-\frac{p_{\mathrm{A}}^{j}-t_{\mathrm{A}}^{j}}{1-\beta}\right)。$$

为确保 $q_{\mathrm{OA}}^{j}\geqslant 0$，得到 $\dfrac{p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}+t_{\mathrm{A}}^{j}-t_{\mathrm{B}}^{j}}{\alpha}\geqslant\dfrac{p_{\mathrm{B}}^{j}-t_{\mathrm{B}}^{j}}{1+\alpha-\beta}$。

由此，当制造商选择两种以旧换新返利共存策略时，老消费者对两种产品的以旧换新需求和继续使用旧产品的需求分别如下：

$$q_{\mathrm{OB}}^{j}=\lambda\left[1-\left(p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}+t_{\mathrm{A}}^{j}-t_{\mathrm{B}}^{j}\right)/\alpha\right];\qquad(1)$$

$$q_{\mathrm{OA}}^{j}=\lambda\left[\left(p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}+t_{\mathrm{A}}^{j}-t_{\mathrm{B}}^{j}\right)/\alpha-\left(p_{\mathrm{A}}-t_{\mathrm{A}}^{j}\right)/(1-\beta)\right];\qquad(2)$$

$$q_{\mathrm{K}}^{j}=\lambda\left[\left(p_{\mathrm{A}}^{j}-t_{\mathrm{A}}^{j}\right)/(1-\beta)\right]。\qquad(3)$$

新消费者购买新产品 A 的效用为 $U_{\mathrm{NA}}=\theta-p_{\mathrm{A}}^{j}$；购买创新产品 B 的效用为 $U_{\mathrm{NB}}=(1+\alpha)\theta-p_{\mathrm{B}}^{j}$。当 $U_{\mathrm{NB}}>U_{\mathrm{NA}}$ 且 $U_{\mathrm{NB}}>0$ 时，新消费者选择购买绿色创新产品 B，此时 $q_{\mathrm{NB}}^{j}=(1-\lambda)\left[1-\max\left(\left(p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}\right)/\alpha,\ p_{\mathrm{B}}^{j}/(1+\alpha)\right)\right]$；当 $U_{\mathrm{NA}}>U_{\mathrm{NB}}$ 且 $U_{\mathrm{NA}}>0$ 时，新消费者选择购买新产品 A，此时 $q_{\mathrm{NA}}^{j}=(1-\lambda)\left[\left(p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}\right)/\alpha-p_{\mathrm{A}}^{j}\right]$，为确保 $q_{\mathrm{NA}}^{j}\geqslant 0$，得 $\dfrac{p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}}{\alpha}\geqslant\dfrac{p_{\mathrm{B}}^{j}}{1+\alpha}$。由此，可得新消费者的直接购买需求为

$$q_{\mathrm{NB}}^{j}=\lambda\left[1-\left(p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}\right)/\alpha\right],\qquad(4)$$

$$q_{\mathrm{NA}}^{j}=\lambda\left[\left(p_{\mathrm{B}}^{j}-p_{\mathrm{A}}^{j}\right)/\alpha-p_{\mathrm{A}}^{j}\right]。\qquad(5)$$

3　制造商的以旧换新策略选择

3.1　无以旧换新返利策略（$\mathrm{T_N}$）

将 $t_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}=0$、$t_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}}=0$ 代入 2.2 节各类需求函数中，可得到无以旧换新返利策略下各类需求函数：

$$q_{\mathrm{K}}^{\mathrm{T_N}}=\lambda\cdot p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}/(1-\beta),\ q_{\mathrm{OB}}^{\mathrm{T_N}}=\lambda\left[1-\left(p_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}}-p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}\right)/\alpha\right],$$

$$q_{\mathrm{OA}}^{\mathrm{T_N}}=\lambda\left[\left(p_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}}-p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}\right)/\alpha-p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}/(1-\beta)\right],$$

$$q_{\mathrm{NB}}^{\mathrm{T_N}}=(1-\lambda)\left[1-\left(p_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}}-p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}\right)/\alpha\right],$$

$$q_{\mathrm{NA}}^{\mathrm{T_N}}=(1-\lambda)\left[\left(p_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}}-p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}\right)/\alpha-p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}\right]。$$

制造商的利润函数为

$$\max_{p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}},\,p_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}}}\pi_{\mathrm{M}}^{\mathrm{T_N}}=q_{\mathrm{OA}}^{\mathrm{T_N}}\left(p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}+r\right)+q_{\mathrm{NA}}^{\mathrm{T_N}}p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}}+q_{\mathrm{OB}}^{\mathrm{T_N}}\left(p_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}}+r-c\right)+q_{\mathrm{NB}}^{\mathrm{T_N}}\left(p_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}}-c\right),\qquad(6)$$

求解该优化问题，得到命题 1。

命题 1　无以旧换新策略下，当 $\left[(1-\lambda)(\alpha+c)\beta-c\right](1-\beta)/(\alpha\lambda)<r<(1-\beta)/\lambda$ 时，存在最优零售价 $p_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_N}*}$、$p_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_N}*}$ 使得制造商利润最大。均衡结果见表 2。

表 2　制造商不同以旧换新策略下的均衡结果

Table 2　Equilibrium results under different trade-in strategies of manufacturers

均衡解	$\mathrm{T_N(T_B)}$	$\mathrm{T_A}$	$\mathrm{T_{AB}}$
p_{A}^{j*}	$\dfrac{-\lambda r-\beta+1}{2+(2\lambda-2)\beta}$	$\dfrac{-\lambda r+\alpha-\beta+1}{(-2+2\lambda)\beta+2\alpha+2}$	1/2
p_{B}^{j*}	$\dfrac{(\alpha+c)\lambda\beta-r\lambda+(c+\alpha+1)(1-\beta)}{2+(2\lambda-2)\beta}$	$\dfrac{(1+\alpha-\beta)(1+\alpha+c)-(c\beta-(1+\alpha)r)\lambda}{(-2+2\lambda)\beta+2\alpha+2}$	$\dfrac{1+\alpha+c}{2}$
t_{i}^{j*}	N/A	$t_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_A}*}=\dfrac{\alpha(\beta+r)}{(-2+2\lambda)\beta+2\alpha+2}$	$t_{\mathrm{A}}^{\mathrm{T_{AB}}*}=t_{\mathrm{B}}^{\mathrm{T_{AB}}*}=(\beta+r)/2$
q_{OA}^{j*}	$\dfrac{(c-(1-\lambda)(\alpha+c)\beta)(1-\beta)\lambda+\alpha r\lambda^{2}}{2(1-\beta)(1+(-1+\lambda)\beta)\alpha}$	$\dfrac{(\alpha r+c(1-\beta))\lambda}{2\alpha(1-\beta)}$	$\dfrac{(\alpha r+c(1-\beta))\lambda}{2\alpha(1-\beta)}$
q_{NA}^{j*}	$\dfrac{(((\alpha+c)\beta+r\alpha)\lambda+c(1-\beta))(1-\lambda)}{2(\beta\lambda-\beta+1)\alpha}$	$\dfrac{c(1-\lambda)}{(2\alpha)}$	$\dfrac{(1-\lambda)c}{2\alpha}$
q_{OB}^{j*}	$\dfrac{(\alpha-c)\lambda}{2\alpha}$	$\dfrac{\lambda(\alpha-c)(1+\alpha+(\lambda-1)\beta)-\alpha\lambda(1-\lambda)(\beta+r)}{2(1+\alpha+(\lambda-1)\beta)\alpha}$	$\dfrac{(\alpha-c)\lambda}{2\alpha}$
q_{NB}^{j*}	$\dfrac{(\alpha-c)(1-\lambda)}{2\alpha}$	$\dfrac{((\alpha-c)(1+\alpha(\lambda-1)\beta)+\alpha\lambda(\beta+r))(1-\lambda)}{2(1+\alpha+(\lambda-1)\beta)\alpha}$	$\dfrac{(\alpha-c)(1-\lambda)}{2\alpha}$
π_{M}^{j*}	$\dfrac{X_1}{4(1+(\lambda-1)\beta)(-1+\beta)}$	$\dfrac{X_2}{4(-1+\beta)((-1+\lambda)\beta+\alpha+1)}$	$\dfrac{X_3}{4\alpha(\beta-1)}$

表 2 中：

$$X_1=\left(\left(4r\lambda^2+\left(-2c-4r\right)\lambda+2c-1\right)\beta^2+\left(-4r\lambda^2+\left(2c+6r\right)\lambda-4c+2\right)\beta-\lambda^2r^2-2\lambda r+2c-1\right)\alpha+\left(-1+\beta\right)\left(1+\left(-1+\lambda\right)\beta\right)\alpha^2+\left(-1+\beta\right)c^2\left(1+\left(-1+\lambda\right)\beta\right),$$

$$X_2=\left(-1+\beta\right)\alpha^3+\left(-\beta^2+\left(2\lambda r-2c+3\right)\beta+\left(-r^2-2r\right)\lambda+2c-2\right)\alpha^2+\left(-1+\beta\right)c^2\left(1+\left(-1+\lambda\right)\beta\right)+\left(\left(\left(-2\lambda+2\right)c+4r\lambda^2-4\lambda r-1\right)\beta^2+\left(c^2+\left(2\lambda-4\right)c-4r\lambda^2+6\lambda r+2\right)\beta-c^2+2c-\left(\lambda r+1\right)^2\right)\alpha,$$

$$X_3=\left(-1+\beta\right)\alpha^2+\left(-\beta^2\lambda+\left(\left(2r+1\right)\lambda-2c+1\right)\beta+\left(-r^2-2r\right)\lambda+2c-1\right)\alpha+\left(-1+\beta\right)c^2。$$

由命题 1 可以得知当$r<\dfrac{\left[\left(1-\lambda\right)\left(\alpha+c\right)\beta-c\right]\left(1-\beta\right)}{\alpha\lambda}$时，以旧换 A 产品的需求等于 0。这是因为较小的残值使得回收旧产品带来的单位利润减少，此时制造商会侧重于新消费者，从而定价较高，导致估值较低的那部分老消费者放弃以旧换 A 产品，只有估值较高的老消费者以旧换 B 产品。当残值$r>\dfrac{\left(1-\beta\right)}{\lambda}$时，A 产品的价格小于 0。这是因为较大的残值使得回收旧产品带来的单位利润增加，此时制造商会不断降低 A 产品价格以获取旧产品残值收益。

3.2 仅对以旧换 A 返利策略（T_A）

将$t_B^{T_A}$=0代入 2.2 节各类需求函数中，可得到仅有以旧换 A 返利策略下的各类需求函数：

$$q_{OB}^{T_A}=\lambda\left[1-\left(p_B^{T_A}-p_A^{T_A}+t_A^{T_A}\right)/\alpha\right],$$

$$q_{NB}^{T_A}=\left(1-\lambda\right)\left[1-\left(p_B^{T_A}-p_A^{T_A}\right)/\alpha\right],$$

$$q_{OA}^{T_A}=\lambda\left[\left(p_B^{T_A}-p_A^{T_A}+t_A^{T_A}\right)/\alpha-\left(p_A^{T_A}-t_A^{T_A}\right)/\left(1-\beta\right)\right],$$

$$q_K^{T_N}=\lambda\left[\left(p_A^{T_A}-t_A^{T_A}\right)/\left(1-\beta\right)\right],$$

$$q_{NA}^{T_N}=\left(1-\lambda\right)\left[\left(p_B^{T_A}-p_A^{T_A}\right)/\alpha-p_A^{T_A}\right]。$$

制造商的利润函数为

$$\max_{p_A^{T_A},\,p_B^{T_A},\,t_A^{T_A}}\pi_M^{T_A}=q_{OA}^{T_A}\left(p_A^{T_A}+r-t_A^{T_A}\right)+q_{NA}^{T_A}p_A^{T_A}+q_{OB}^{T_A}\left(p_B^{T_A}+r-c\right)+q_{NB}^{T_A}\left(p_B^{T_A}-c\right),\quad(7)$$

求解该优化问题，得到命题 2。

命题 2 仅有以旧产品换 A 产品的返利策略下，当$r<\min\left(\dfrac{\left(\alpha+1\right)\left(1-\beta\right)}{\alpha+\lambda},\dfrac{\left(2\alpha-c\right)\left(1+\left(\lambda-1\right)\beta-\alpha\left(c+1-\alpha\right)\right)}{\alpha\left(1-\lambda\right)}\right)$时，存在最优零售价$p_A^{T_A^*}$、$p_B^{T_B^*}$和以旧换新返利$t_A^{T_A^*}$使得制造商利润最大。均衡结果见表 2。

由命题 2 可以得知，当残值$r>\dfrac{\left(\alpha+1\right)\left(1-\beta\right)}{\alpha+\lambda}$时，老消费者购买新产品 A 的支付净价值小于 0，表示较大的残值使得回收旧产品带来的残值收益提高，此时制造商倾向于回收尽可能更多的旧产品以获取残值收益，以至于其以旧换新返利 t_A 大于新产品 A 的零售价，即导致老消费者在免费以旧换 A 产品的基础上还可以获取部分额外的收益。当残值$r>\dfrac{\left(2\alpha-c\right)\left(1+\left(\lambda-1\right)\beta-\alpha\left(c+1-\alpha\right)\right)}{\alpha\left(1-\lambda\right)}$时，以旧换 B 产品的需求等于 0，表示较大的残值会激励制造商提供较高的以旧换新返利 t_A，此时老消费者从 B 产品中获取的效用远不及免费以旧换 A 产品基础上获取的额外收益，导致老消费者以旧换 B 产品的需求等于 0。

3.3 仅对以旧换 B 返利策略（T_B）

将$t_A^{T_B}$=0代入 2.2 节各类需求函数中，得到仅有以旧换 B 策略下的各类需求函数：

$$q_{OB}^{T_B}=\lambda\left[1-\left(p_B^{T_B}-p_A^{T_B}-t_B^{T_B}\right)/\alpha\right],$$

$$q_{NB}^{T_B}=\left(1-\lambda\right)\left[1-\left(p_B^{T_B}-p_A^{T_B}\right)/\alpha\right],$$

$$q_{OA}^{T_B}=\lambda\left[\left(p_B^{T_B}-p_A^{T_B}-t_B^{T_B}\right)/\alpha-p_A^{T_B}/\left(1-\beta\right)\right],$$

$$q_K^{T_B}=\lambda\left(p_A^{T_B}/\left(1-\beta\right)\right),$$

$$q_{NA}^{T_B}=\left(1-\lambda\right)\left[\left(p_B^{T_B}-p_A^{T_B}\right)/\alpha-p_A^{T_B}\right]。$$

制造商 M 的利润函数为

$$\max_{p_A^{T_B},\,p_B^{T_B},\,t_B^{T_B}}\pi_M^{T_B}=q_{OA}^{T_B}\left(p_A^{T_B}+r\right)+q_{NB}^{T_B}\left(p_B^{T_B}-c\right)+q_{OB}^{T_B}\left(p_B^{T_B}+r-t_B^{T_B}-c\right)+q_{NA}^{T_B}p_A^{T_B},\quad(8)$$

求解该优化问题，得到命题 3。

命题 3 制造商始终不会选择仅对以旧换 B 返利策略，即$t_B^{T_B^*}=0$，均衡结果与命题 1 中无以旧换新返利策略相同，见表 2。

以旧换新的目的是降低老消费者换新的成本，从而提高老消费者的换新需求。但是，若只对 B 产品提供以旧换新返利，虽然增加了老消费者以旧换 B 产品的需求，但是蚕食了以旧换 A 产品的需求，故老消费者以旧换新的总需求并没有提高，所以制造商如果不对 A 产品提供以旧换新返利，也就不会对 B

产品提供以旧换新返利。

3.4　两种以旧换新返利共存策略（T_{AB}）

T_{AB} 策略下制造商 M 的利润函数为

$$\max_{p_A^{T_{AB}},p_B^{T_{AB}},t_A^{T_{AB}},t_B^{T_{AB}}}\pi_M^{T_{AB}}=q_{NA}^{T_{AB}}p_A^{T_{AB}}+q_{OB}^{T_{AB}}\left(p_B^{T_{AB}}+r-t_B^{T_{AB}}-c\right)+q_{OA}^{T_{AB}}\left(p_A^{T_{AB}}+r-t_A^{T_{AB}}\right)+q_{NB}^{T_{AB}}\left(p_B^{T_{AB}}-c\right),\quad(9)$$

将 2.2 节各类需求代入该利润函数中，并求解该优化问题，得到命题 4。

命题 4　两种以旧换新共存策略下，当 $r<1-\beta$ 时，存在最优零售价 $p_A^{T_{AB}^*}$、$p_B^{T_{AB}^*}$和以旧换新返利 $t_A^{T_{AB}^*}$、$t_B^{T_{AB}^*}$，使得制造商利润最大。均衡结果见表 2。

由命题 4 可以得知，制造商对于两种产品的以旧换新策略下所提供的返利相同，即制造商不会差异化地制定以旧换新返利。这是因为以旧换新的目的是为了区分新老消费者，从而实现差异化定价，而制造商可以针对绿色度不同的 A 产品和 B 产品分别定价，并不需要通过不同的以旧换新返利实现不同产品的差异化定价，所以制造商对两种产品提供的以旧换新返利相同。

3.5　制造商以旧换新策略的比较和选择

由命题 3 可知，不存在仅为以旧换 B 提供返利的情形，因此仅比较无以旧换新返利策略、仅对以旧换 A 返利策略、两种以旧换新返利共存策略之间的均衡利润大小。

推论 1　制造商以旧换新策略的利润比较：$\pi_M^{T_N^*}<\pi_M^{T_A^*}<\pi_M^{T_{AB}^*}$ 恒成立。

显然，同时提供两种以旧换新返利策略能够完全实现差异化定价，即针对不同消费者制定不同的价格，这有助于提高企业的市场占有率，从而实现较高利润。仅有以旧换 A 产品返利实际上为部分差异化定价，只区分了购买 A 产品的新老消费者，没有对购买 B 产品的新老消费者实现差异化定价，故而利润相对较低。无以旧换新返利策略的定价始终是一种折中选择，有利于新消费者但不利于老消费者，没有实现新老消费者的差异化定价，故该策略下利润最小。因此，制造商始终会选择两种以旧换新返利共存策略。图 1 直观展现了制造商不同以旧换新策略间的利润大小关系，其中 α=0.4、β=0.5、λ=0.6、c=0.2。由图可知，制造商利润始终与残值正相关，因为残值代表了老消费者以旧换新的价值，而老消费者换购的价值越高使得制造商提供以旧换新返利的意愿越强，这促进了利润的提高。

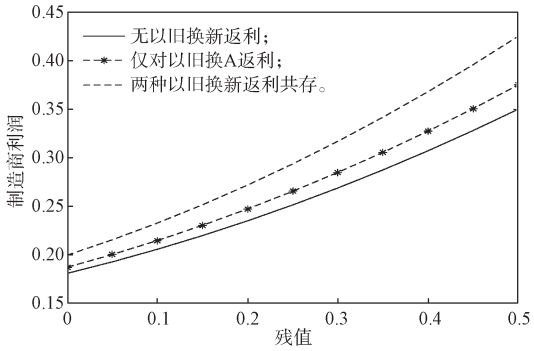


图 1　不同以旧换新策略下的残值与制造商利润关系曲线

Fig. 1　Relationship curves between residual value and manufacturer profits under different trade-in strategies

4　政府分级式以旧换新补贴

面对同时存在的两类消费者和两类产品，为推动消费品以旧换新及促进绿色可持续发展，基于绿色创新产品的分级式以旧换新补贴应运而生。该补贴以引导老消费者通过以旧换新的方式更新自身拥有的旧产品为主，并通过设定不同的补贴标准进一步鼓励老消费者换购环境效益更高的绿色产品。

4.1　政府分级式以旧换新补贴（T_S）

当政府采取分级式以旧换新补贴激励消费者以旧换新时，政府与制造商构成 Stackelberg 博弈，政府作为领导者以最大化环境改善与支出之差为目标先决策 A 产品的单位以旧换新补贴 g_A 与 B 产品的单位以旧换新补贴 g_B，然后制造商以自身利润最大化为目标决策 $p_A^{T_S}$、$p_B^{T_S}$、$t_A^{T_S}$、$t_B^{T_S}$，最后两类消费者依据效用最大化做出购买决策。由于制造商的最优以旧换新策略为两种以旧换新返利共存，因此在 3.4 节的基础上进一步考虑政府分级补贴的影响，此时需求函数的推导与前文相似，在此不再赘述。该情形下各类产品需求如下：

$$q_{OB}^{T_S}=\lambda\left[1-\left(p_B^{T_S}-p_A^{T_S}+t_A^{T_S}-t_B^{T_S}+g_A-g_B\right)/\alpha\right],$$

$$q_{NB}^{T_S}=(1-\lambda)\left[1-\left(p_B^{T_S}-p_A^{T_S}\right)/\alpha\right],$$

$$q_K^{T_S}=\lambda\left[\left(p_A^{T_S}-g_A-t_A^{T_S}\right)/(1-\beta)\right],$$

$$q_{OA}^{T_S}=\lambda\left[\left(p_B^{T_S}-p_A^{T_S}+t_A^{T_S}-t_B^{T_S}+g_A-g_B\right)/\alpha-\left(p_A^{T_S}-g_A-t_A^{T_S}\right)/(1-\beta)\right],$$

$$q_{NA}^{T_S}=(1-\lambda)\left[\left(p_B^{T_S}-p_A^{T_S}\right)/\alpha-p_A^{T_S}\right]。$$

根据每种购买行为所带来的绿色度改善，可以得到环境改善为：$E^j=\alpha q_{OB}^j-(1-\beta)q_K^j+\alpha q_{NB}^j$，其中保留旧产品的绿色度为 $\beta-1<0$，表示保留旧产品对环境改善起到负面影响。政府与制造商的目标函数如下：

$$\max_{g_A,g_B} G^{T_S}=\mu E^{T_S}-\left(g_B q_{OB}^{T_S}+g_A q_{OA}^{T_S}\right), \quad (10)$$

$$\max_{p_A^{T_S},p_B^{T_S},t_A^{T_S},t_B^{T_S}} \pi_M^{T_S}=q_{OA}^{T_S}\left(p_A^{T_S}+r-t_A^{T_S}\right)+q_{NA}^{T_S}p_A^{T_S}+q_{OB}^{T_S}\left(p_B^{T_S}+r-t_B^{T_S}-c\right)+q_{NB}^{T_S}\left(p_B^{T_S}-c\right), \quad (11)$$

式（10）中，μ 为政府的环境偏好，反映政府对环境改善的重视程度，为外生参数，同时假设 $1<\mu<3$。

采用逆向归纳法求解该 Stackelberg 博弈问题，可得命题 5。

命题 5 分级式以旧换新补贴策略下，当 $r<r_1=\min\left[(\mu-1)(1-\beta),(3-\mu)(1-\beta),1-\beta\right]$ 时，博弈存在如下均衡结果：

$$g_A^*=\frac{(\mu-1)(1-\beta)-r}{2},\ g_B^*=\frac{(\mu-1)(1+\alpha-\beta)+c-r}{2};$$

$$p_A^{T_S^*}=\frac{1}{2},\quad p_B^{T_S^*}=\frac{1+\alpha+c}{2};\quad t_A^{T_A^*}=\frac{(\mu+1)\beta+1-\mu+3r}{4},$$

$$t_B^{T_S^*}=\frac{(\beta-\alpha-1)\mu+1+\alpha+\beta+3r-c}{4};\quad q_{OB}^{T_S^*}=\frac{\lambda(\alpha\mu+\alpha-c)}{4\alpha},$$

$$q_{NB}^{T_S^*}=\frac{(1-\lambda)(\alpha-c)}{2\alpha},\ q_{NA}^{T_S^*}=\frac{(1-\lambda)c}{2\alpha},\ q_{OA}^{T_S^*}=\frac{(\alpha r+c(1-\beta))\lambda}{4\alpha(1-\beta)},$$

$$q_K^{T_S^*}=\frac{\left((3-\mu)(1-\beta)-r\right)\lambda}{4-4\beta};\ \pi_M^{T_S^*}=\frac{X_4}{16\alpha(-1+\beta)},\ \text{其中}$$

$$\begin{aligned}X_4=&(-1+\beta)\left(4+\left(\mu^2+2\mu-3\right)\lambda\right)\alpha^2+\\&(1-\beta)(3\lambda-4)c^2+\left(\left(-(\mu+1)^2\beta^2+\right.\right.\\&\left(2\mu^2+(-2c+2r+4)\mu+6c+2r-2\right)\beta-\mu^2+\\&(2c-2r-2)\mu-r^2-6c-2r+3)\lambda+\\&\left.(-8c+4)\beta+8c-4\right)\alpha;\end{aligned}$$

$$E^{T_S^*}=\frac{\left((\mu-1)\alpha+(1-\beta)(\mu-3)+r+c\right)\lambda+2\alpha-2c}{4}。$$

以上结果中：$r<(\mu-1)(1-\beta)$ 为 A 产品的补贴大于 0 的条件，$r<(3-\mu)(1-\beta)$ 为以旧换 A 产品的净价值大于 0 的条件，$r<(1-\beta)$ 为制造商采取两种以旧换新返利共存条件。

由命题 5 可知，政府会根据产品的绿色度差异化制定不同的以旧换新补贴，从而导致制造商设定不同的以旧换新返利。有趣的是，当在决策时将环境偏好设为 1，此时政府对普通新产品 A 最优补贴小于 0，这表示政府对环境改善的重视程度较低，并向以旧换新消费者征收环境税。这与研究不符，同时也是本研究设定环境偏好 μ 的重要原因之一。

4.2 分级式以旧换新补贴对均衡结果的影响

推论 2 政府分级式以旧换新补贴对产品价格、需求、制造商利润的影响如下：

1）$p_A^{T_{AB}^*}=p_A^{T_S^*}$，$p_B^{T_{AB}^*}=p_B^{T_S^*}$；$t_A^{T_{AB}^*}>t_A^{T_S^*}$，$t_B^{T_{AB}^*}>t_B^{T_S^*}$；$p_A^{T_{AB}^*}-t_A^{T_{AB}^*}>p_A^{T_S^*}-t_A^{T_S^*}-g_A^*$，$p_B^{T_{AB}^*}-t_B^{T_{AB}^*}>p_B^{T_S^*}-t_B^{T_S^*}-g_B^*$；

2）$q_{NB}^{T_{AB}^*}=q_{NB}^{T_S^*}$，$q_{NA}^{T_{AB}^*}=q_{NA}^{T_S^*}$，$q_K^{T_{AB}^*}>q_K^{T_S^*}$，$q_{OB}^{T_{AB}^*}<q_{OB}^{T_S^*}$，$q_{OA}^{T_{AB}^*}>q_{OA}^{T_S^*}$，$q_{OB}^{T_{AB}^*}+q_{OB}^{T_{AB}^*}+q_{NB}^{T_{AB}^*}+q_{NA}^{T_{AB}^*}<q_{OB}^{T_S^*}+q_{OB}^{T_S^*}+q_{NB}^{T_S^*}+q_{NA}^{T_S^*}$。

3）$\pi_M^{T_{AB}^*}<\pi_M^{T_S^*}$。

通过制造商提供的以旧换新返利条件区分了新老消费者，导致新老市场相对独立，所以政府对老消费者的以旧换新补贴不会影响新产品的定价和新消费者对两种产品的需求。但补贴降低了制造商的以旧换新返利值 t，这表明制造商通过降低以旧换新返利，侵吞了部分政府补贴，增厚了自身利润。政府的分级式以旧换新补贴是通过进一步区分换购 A 产品和 B 产品的老消费者，对以旧换 B 产品给予更大的补贴支持，实现更高程度的环境改善。根据本文对环境改善的刻画，绿色创新产品 B 能够直接提高环境效益，但普通产品 A 的绿色度为 0，无法产生环境改善。换言之，对政府来说补贴 B 产品是为了提高其换购需求，同时减少无环境改善作用的 A 产品的换购需求；但补贴 A 产品不是为了抢夺 B 产品的需求，而是为了减少具有环境负面效益的旧产品数量，因此分级式补贴压缩了换购普通产品的需求，提高了绿色创新产品的换购需求，也提高了总需求。

4.3 分级式以旧换新补贴对消费者剩余的影响

由推论 2 可知政府分级式以旧换新补贴不改变产品价格与新市场需求，故新消费者剩余不会改变。分级补贴只可能对老消费者剩余产生影响。基于 Han X. H. 等 [20] 关于消费者剩余的刻画，本文对老消费者剩余定义如下：

$$\begin{aligned}CS^{T_S}=&\lambda\int_{\left(p_B^{T_S}-p_A^{T_S}+t_A^{T_S}-t_B^{T_S}+g_A-g_B\right)/\alpha}^{1}\left((1+\alpha-\beta)\theta-p_B^{T_S}+g_B+t_B^{T_S}\right)\mathrm{d}\theta+\\&\lambda\int_{\left(p_A^{T_S}-g_A-t_A^{T_S}\right)/(1-\beta)}^{\left(p_B^{T_S}-p_A^{T_S}+t_A^{T_S}-t_B^{T_S}+g_A-g_B\right)/\alpha}\left((1-\beta)\theta-p_A^{T_S}+g_A+t_A^{T_S}\right)\mathrm{d}\theta+\\&\lambda\int_{0}^{\left(p_A^{T_S}-g_A-t_A^{T_S}\right)/(1-\beta)}(\beta\theta)\mathrm{d}\theta,\end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned}CS^{T_{AB}}=&\lambda\int_{\left(p_B^{T_{AB}}-p_A^{T_{AB}}+t_A^{T_{AB}}-t_B^{T_{AB}}\right)/\alpha}^{1}\left((1+\alpha-\beta)\theta-p_B^{T_{AB}}+t_B^{T_{AB}}\right)\mathrm{d}\theta+\\&\lambda\int_{\left(p_A^{T_{AB}}-t_A^{T_{AB}}\right)/(1-\beta)}^{\left(p_B^{T_{AB}}-p_A^{T_{AB}}+t_A^{T_{AB}}-t_B^{T_{AB}}\right)/\alpha}\left((1-\beta)\theta-p_A^{T_{AB}}+t_A^{T_{AB}}\right)\mathrm{d}\theta+\\&\lambda\int_{0}^{\left(p_A^{T_{AB}}-t_A^{T_{AB}}\right)/(1-\beta)}(\beta\theta)\mathrm{d}\theta。\end{aligned} \quad (13)$$

将 3.4 节与 4.1 节中的均衡结果代入老消费者剩余的表达式中，通过比较 $CS^{T_S^*}$ 与 $CS^{T_{AB}^*}$，得到推论 3。

推论 3 政府分级式以旧换新补贴对老消费者剩余的影响如下：

1）$\mu \leqslant 2$。当 $\beta<\beta_1$ 时，对任意 r，均有 $CS^{T_S^*} > CS^{T_{AB}^*}$。当 $\beta>\beta_1$ 时，若 $r\in(0, r_2)$，有 $CS^{T_S^*} < CS^{T_{AB}^*}$；若 $r\in(r_2, r_1)$，有 $CS^{T_S^*} > CS^{T_{AB}^*}$。

2）$\mu>2$。当 $\beta<\beta_1$ 时，对任意 r，均有 $CS^{T_S^*} > CS^{T_{AB}^*}$。当 $\beta_1<\beta<\beta_2$ 时，若 $r\in(0, r_2)$，有 $CS^{T_S^*} < CS^{T_{AB}^*}$；若 $r\in(r_2, r_1)$，有 $CS^{T_S^*} > CS^{T_{AB}^*}$。当 $\beta>\beta_2$ 时，对任意 r，均有 $CS^{T_S^*} < CS^{T_{AB}^*}$。

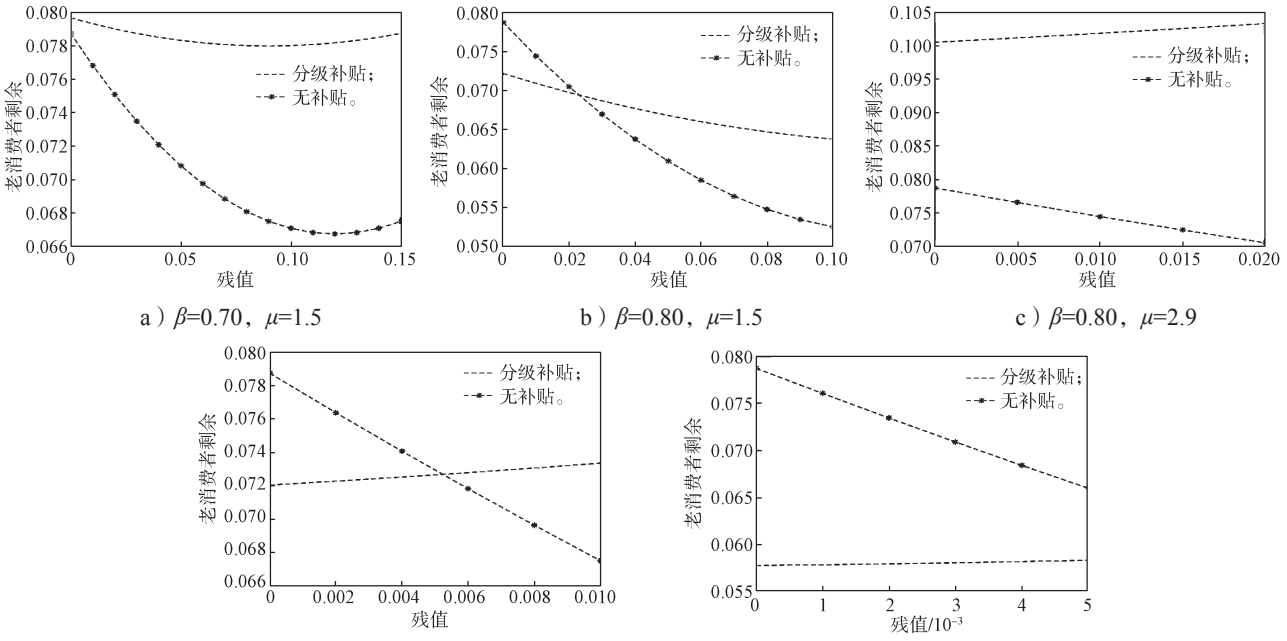
其中，

$$r_2=\frac{4\beta+\mu-3-\sqrt{3\alpha(\mu-1)(\mu+3)+4(\mu-2\beta)^2}(1-\beta)}{3},$$

$$\beta_1=\frac{(\mu^2+2\mu-3)\alpha^2+(\mu^2+(-2c+2)\mu+6c-3)\alpha-3c^2}{8\alpha(\mu-1)},$$

$$\beta_2=\frac{(\mu^2+2\mu-3)\alpha^2+(-4\mu^2+(-2c+32)\mu+6c-48)\alpha-3c^2}{16\alpha(\mu-2)}。$$

推论 3 表明，分级式以旧换新补贴策略对于老消费者剩余的影响与环境偏好、耐用性、残值等有关。概括而言，若旧产品的耐用性 β 较小，政府补贴情形下的老消费者剩余比无补贴时高；随着耐用性的提高，无补贴情形下的老消费者剩余可能比分级补贴高；但当耐用性充分大时，无补贴情形下的老消费者剩余始终比分级补贴的高。图 2 直观地展现了不同耐用性与环境偏好下分级补贴对老消费者剩余的影响，其中 α=0.2、c=0.1、λ=0.6。有趣的是，只有当政府的环境偏好与旧产品耐用性均较高时（图 2e），无补贴情形下的老消费者剩余始终比分级补贴的高，这是因为较高的环境偏好表示政府希望通过补贴实现更高程度的以旧换新和环境改善，但是较高的耐用性导致老消费者换新意愿不高，这造成了矛盾，损害了老消费者剩余。



a）β=0.70，μ=1.5　　b）β=0.80，μ=1.5　　c）β=0.80，μ=2.9

d）β=0.90，μ=2.9　　e）β=0.95，μ=2.9

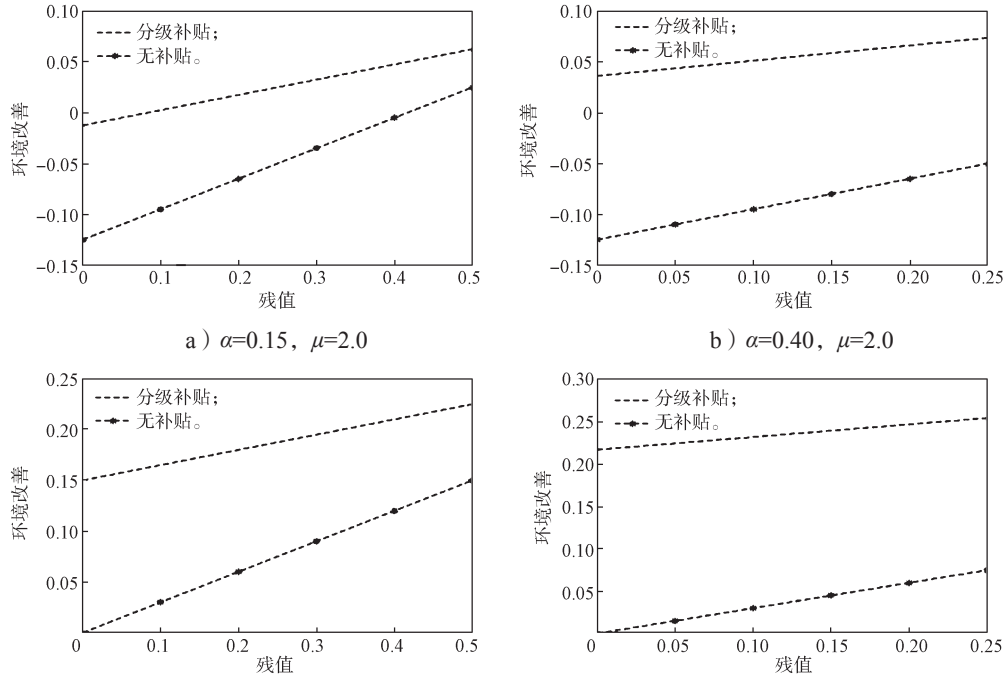
图 2　不同耐用性与环境偏好下分级式以旧换新补贴对老消费者剩余的影响

Fig. 2　Influence of hierarchical trade-in subsidies on the surplus of old consumers under different durability and environmental preferences

4.4　分级式以旧换新补贴对环境改善的影响

推论 4　政府分级式以旧换新补贴对环境改善的影响：对任意 r，均有 $E^{T_S^*}>E^{T_{AB}^*}$。

显然，政府通过分级补贴政策能够进一步区分新、老消费者，达到环境改善目标。图 3 直观展现了不同的环境偏好与绿色度下，分级补贴对环境改善的影响情况，其中 β=0.5、λ=0.6、c=0.1。由图 3 可以得知：首先，当绿色度较低（α=0.15），且残值也较低时，两种模式均有可能无法改善环境。一方面，较低的绿色度使得购买 B 产品所带来的环境改善降低；另一方面，较低的残值使得制造商提供以旧换新返利的意愿减小，导致消费者以旧换新的需求减小，保留旧产品的数量增大，二者均不利于实现环境改善目标。其次，当环境偏好不变时，随着绿色度的增大，环境改善增量（$E^{T_S}-E^{T_{AB}}$）会随之增大，这说明绿色度能够强化分级式补贴效果；随着残值增大，环境改善增量减小，说明残值不利于分级补贴。因为较高的残值使得老消费者的换新价值提高，制造商会提高以旧换新返利来吸引老消费者以旧换新，此时政府补贴的作用会相对减小。



a）α=0.15，μ=2.0　　b）α=0.40，μ=2.0

c）α=0.15，μ=2.5　　d）α=0.40，μ=2.5

图 3　不同的环境偏好与绿色度下分级式以旧换新补贴对环境改善的影响

Fig. 3　Influence of hierarchical trade-in subsidies on environmental improvement under different environmental preferences and greenness

5　结论

本文针对同时生产普通新产品和绿色创新产品的制造商，首先分析了制造商最优的以旧换新策略；然后在政府分级式以旧换新补贴政策下，构建以环境改善为目标的政府与以利润最大化为目标的制造商之间的博弈模型，探究分级补贴对制造商、消费者、环境改善的影响。研究结果表明：1）制造商的最优以旧换新策略为同时对两种产品提供以旧换新返利，且制造商利润与残值呈正相关。2）对制造商来说，政府提供的分级式以旧换新补贴提高了绿色创新产品的需求，但降低了普通产品的需求和保留旧产品的数量，且制造商可通过降低以旧换新返利提高利润。3）对消费者来说，政府分级式以旧换新补贴不改变新消费市场的定价和需求，但降低了老消费者的支付净价，提高了消费者换新意愿；但当政府的环境偏好与旧产品耐用性均较高时，分级补贴会降低老消费者剩余。4）对环境来说，差异化以旧换新补贴提高了总需求，但当绿色度与残值均较低时，补贴可能无法改善环境。

基于以上结论，得到如下管理启示与政策建议：

1）对于制造商来说，针对多种产品共存，应同时对多种产品提供以旧换新返利，做到差异化定价；面对政府的分级补贴，及时调整以旧换新返利。

2）对政府来说，分级式以旧换新补贴需要根据环境偏好、产品的不同级别、消费者的差异化需求等分配补贴，通过调整补贴标准，引导消费者选择更符合环保或节能标准的产品，从而促进补贴资金的有效利用和环境改善；相关部门应做好市场监管，避免政府补贴情形下企业的恶意提价和蚕食补贴的发生。

本文研究的供应链结构与相关设定具有一定的局限性。首先，文章未考虑绿色制造商与普通制造商在新老市场中的竞争问题。其次，本文在考虑制造商进行绿色创新时，将成本看作外生参数，并未考虑成本与产品绿色度的关联性。在现实中，制造商开展绿色创新之际，需要巨额资金支持的同时又面临着产品竞争压力。在这种情形下，政府的分级式补贴或许能够进一步推动制造商绿色创新，进而带动环境改善。因此，在竞争环境下分析政府分级式以旧换新补贴对制造商绿色创新的影响值得进一步研究。

参考文献：

[1] BAI J R，HU S，GUI L Y，et al. Optimal Subsidy Schemes and Budget Allocations for Government-Subsidized Trade-In Programs[J]. Production and Operations Management，2021，30(8)：2689−2706.

[2] GORDON B R. A Dynamic Model of Consumer

Replacement Cycles in the PC Processor Industry[J]. Marketing Science，2009，28(5)：846−867.

[3] TANG F，MA Z J，DAI Y，et al. Upstream or Downstream：Who Should Provide Trade-In Services in Dyadic Supply Chains? [J]. Decision Sciences，2021，52(5)：1071−1108.

[4] 甘俊伟，贺政纲，彭　茂，等 . 基于 DEMATEL 方法的我国报废汽车回收利用产业发展影响因素分析 [J]. 科技管理研究，2016，36(1)：103−107.
GAN Junwei，HE Zhenggang，PENG Mao，et al. Influence Factors Analysis for China's Industry Development of Recycling of End-of-Life Vehicles Based on DEMATEL[J]. Science and Technology Management Research，2016，36(1)：103−107.

[5] 洪江涛，全禹亭 . 基于以旧换新和供应链结构差异的闭环供应链决策模型 [J]. 中国管理科学，2024，32(5)：147−157.
HONG Jiangtao，QUAN Yuting. Closed-Loop Supply Chain Decision Model Based on Trade-In and Supply Chain Structural Differences[J]. Chinese Journal of Management Science，2024，32(5)：147−157.

[6] CHEN S，SU J F，WU Y B，et al. Optimal Production and Subsidy Rate Considering Dynamic Consumer Green Perception Under Different Government Subsidy Orientations[J]. Computers & Industrial Engineering，2022，168：108073.

[7] 颜　波，李鸿媛，王　滔，等 . 考虑市场细分的零售商自主以旧换新策略研究 [J]. 管理科学学报，2017，20(3)：120−136.
YAN Bo，LI Hongyuan，WANG Tao，et al. Autonomous Trade-In Strategy for Retailer with Market Segmentation[J]. Journal of Management Sciences in China，2017，20(3)：120−136.

[8] YIN R，TANG C S. Optimal Temporal Customer Purchasing Decisions Under Trade-In Programs with Up-Front Fees[J]. Decision Sciences，2014，45(3)：373−400.

[9] WANG W，FENG L P，LI Y J，et al. Managing Demand Slowdown：The Interplay Between Trade-Ins and Quality Improvement[J]. Naval Research Logistics(NRL)，2023，70(8)：793−810.

[10] 李四杰，郑　斌 . 存在 P2P 二手产品市场时企业以旧换新策略研究 [J]. 管理科学学报，2022，25(7)：29−40.
LI Sijie，ZHENG Bin. Optimal Trade-In Strategy in the Presence of P2P Secondhand Market[J]. Journal of Management Sciences in China，2022，25(7)：29−40.

[11] ZHAO S L，YOU Z Z，ZHU Q H. Quality Choice for Product Recovery Considering a Trade-In Program and Third-Party Remanufacturing Competition[J]. International Journal of Production Economics，2021，240：108239.

[12] AGRAWAL V V，FERGUSON M，SOUZA G C. Trade-In Rebates for Price Discrimination and Product Recovery[J]. IEEE Transactions on Engineering Management，2016，63(3)：326−339.

[13] 刘靓晨，翟　昕 . 竞争环境下的以旧换新策略 [J]. 中国管理科学，2018，26(9)：75−84.
LIU Jingchen，ZHAI Xin. Trade-In Strategy in Competitive Markets[J]. Chinese Journal of Management Science，2018，26(9)：75−84.

[14] DOU G W，CHOI T M. Does Implementing Trade-In and Green Technology Together Benefit the Environment?[J]. European Journal of Operational Research，2021，295(2)：517−533.

[15] 杜鹏琦，景　熠 . 基于“以旧换再”和“以旧换新”策略的制造 / 再制造产品定价和生产决策 [J]. 计算机集成制造系统，2020，26(10)：2827−2837.
DU Pengqi，JING Yi. Product Pricing and Production Decision of Manufacturing/Remanufacturing Under Strategies of Old-for-Remanufacturing and Old-for-New[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems，2020，26(10)：2827−2837.

[16] LI B，CHEN W C，XU C C，et al. Impacts of Government Subsidies for Environmental-Friendly Products in a Dual-Channel Supply Chain[J]. Journal of Cleaner Production，2018，171：1558−1576.

[17] 唐　飞，代　颖，王永龙，等 . 基于社会福利最大化的政府促销补贴政策选择 [J]. 系统工程理论与实践，2024，44(10)：3280−3293.
TANG Fei，DAI Ying，WANG Yonglong，et al. Selection of Government Subsidy Policy for Promotion Based on the Maximal Social Welfare[J]. Systems Engineering-Theory & Practice，2024，44(10)：3280−3293.

[18] ZHANG L H，XUE B W，LI K W. Assessing Subsidy Policies for Green Products：Operational and Environmental Perspectives[J]. International Transactions in Operational Research，2022，29(5)：3081−3106.

[19] HUANG J，LENG M M，LIANG L P，et al. Qualifying for a Government's Scrappage Program to Stimulate Consumers' Trade-In Transactions? Analysis of an Automobile Supply Chain Involving a Manufacturer and a Retailer[J]. European Journal of Operational Research，2014，239(2)：363−376.

[20] HAN X H，YANG Q X，SHANG J，et al. Optimal Strategies for Trade-Old-for-Remanufactured Programs：Receptivity, Durability, and Subsidy[J]. International Journal of Production Economics，2017，193：602−616.

（责任编辑：廖友媛）