



# 政府奖惩机制下的快递包装回收问题研究

胡觉亮<sup>a</sup>, 钱聪丽<sup>b</sup>, 韩曙光<sup>a</sup>

(浙江理工大学, a.理学院; b.经济管理学院, 杭州 310018)

**摘要:** 针对快递包装回收难、资源浪费以及环境污染严重等问题, 提出政府以社会总福利最大化为目标制定奖惩机制, 在此前提下构建快递包装闭环供应链模型, 运用博弈理论, 得到快递包装制造商与快递企业的最优回收决策, 并通过数值算例验证模型求解得出的结论, 进一步讨论有无政府奖惩机制以及政府奖惩力度变化带来的影响。研究表明: 政府奖惩机制能够有效引导快递包装制造商提高回收再利用率, 促使快递企业提高回收价格, 而且适度加强奖惩力度有利于增加社会总福利。

**关键词:** 政府奖惩机制; 快递包装回收; 闭环供应链; 社会总福利

**中图分类号:** F203.9, F272.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851 (2019) 06-0223-09

## Research on express packaging recovery under the government reward-punishment mechanism

HU Jueliang<sup>a</sup>, QIAN Congli<sup>b</sup>, HAN Shuguang<sup>a</sup>

(a.School of Sciences; b.School of Economics and Management,  
Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the difficulties in recycling of express packaging, waste of resources and serious environmental pollution, the paper proposed that the government should establish a reward-punishment mechanism with the goal of maximizing total social welfare. Based on this background, a closed-loop supply chain model of express packaging was established. Then, the optimal recycling decisions of express packaging manufacturers and express enterprises were obtained through game theory. Further, a numerical analysis was presented to demonstrate the effectiveness of the conclusions of the model. And the effects of the government reward-punishment mechanism and different reward-punishment level were discussed. This study showed that the government reward-punishment mechanism could have a positive effect on improving the recycling rate of express packaging manufacturers and raising the recycling price of express enterprises. Moreover, improving the reward-punishment level reasonably is beneficial to increase the total social welfare.

**Key words:** government reward-punishment mechanism; express packaging recovery; closed-loop supply chain; total social welfare

收稿日期: 2018-10-31 网络出版日期: 2019-02-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(11471286, 11701518)

作者简介: 胡觉亮(1958—), 男, 浙江杭州人, 教授, 主要从事运筹学理论与应用方面的研究。

通信作者: 韩曙光, E-mail: zist001@163.com

随着电子商务的迅猛发展与“互联网+”战略的实施,中国快递业务量呈爆发式增长。据国家邮政局数据<sup>[1]</sup>显示,2017年国内快递业务量已经超过400亿件,与此同时,快递包装数量迅速攀升。国内快递包装使用频率高但回收再利用率却很低,大部分被当作生活垃圾直接丢弃。假如按照丢弃一个快递包装产生0.2千克垃圾的标准计算<sup>[2]</sup>,2017年因为国内快递包装产生的垃圾就会超过800万吨,这使得垃圾泛滥、资源损耗和环境污染等问题越发严重。针对这些问题,国家陆续出台了一些相关政策,比如《推进快递业绿色包装工作实施方案》、《快递暂行条例(草案)》以及《关于协同推进快递业绿色包装工作的指导意见》等,但在制定政策鼓励企业和消费者共同参与快递包装回收等具体操作层面仍然存在很多空白。国内日益严格的环保法规和来自公众的环保压力,迫使苏宁易购等电商企业开展了快递包装闭环供应链管理实践,企业希望以此提升自身的环保形象及经济效益。快递包装闭环供应链是指快递包装制造商生产的快递包装通过快递服务到达消费者手中,再从消费者返还到快递包装制造商的闭环流动过程<sup>[3]</sup>。目前,中国快递包装主要由个体散户进行回收,然后转卖给第三方回收公司,他们往往只回收经济价值高的快递包装,其他快递包装大多作为生活垃圾被焚烧处理。

快递企业在全国范围内已经形成完善的快递网络,可以直接接触消费者,他们有条件对各类快递包装进行回收,并运输到原快递包装制造商手中。但是,对中国大多数快递包装制造商和快递企业来说,快递包装回收成本过高,回收困难,同时快递包装消费者环保意识不高,返还快递包装的意愿不强,导致回收活动常常无法有效地进行。快递包装回收问题在国内外引起了广泛的关注,并取得了一定的研究成果。Kondo等<sup>[4]</sup>基于生命周期理论讨论分析了各类包装的最优资源循环策略。Silva等<sup>[5]</sup>通过实例分析提出了可回收包装的逆向物流系统,目的在于降低成本,减少环境污染。Pati等<sup>[6]</sup>基于纸质包装的回收系统,构建了目标规划模型,并通过实例分析验证模型的有效性,旨在降低逆向物流成本,改善环境。Molina-Besch等<sup>[7]</sup>比较了供应链视角下绿色包装的实践方法与理论,由案例分析得出现实中企业往往会以提高经济效益为目的应用各种绿色包装方法的结论,对企业实施环境管理具有一定的指导意义。Cobb<sup>[8]</sup>基于闭环供应链,建立了不同情况下可回收容器的库存模型。朱磊等<sup>[9]</sup>研究了快递行业

循环包装共享系统及其构建,通过综合分析得出租赁模式比自购模式更加符合循环经济理论要求的结论,并建议企业应该根据实际经营模式选择合适的回收方式。王世君等<sup>[10]</sup>运用成本收益分析法对快递行业成本收益进行定义,比较分析了快递包装的现有模式与标准化模式,并且通过实验数据计算出标准化模式的运行条件。邹筱等<sup>[11]</sup>利用循环经济理论研究高校与快递企业协同回收快递包装的策略,运用斯坦克尔伯格博弈构建模型,求出最优快递包装价格和回收率的关系式,并分析两者的主要影响因素。张慧<sup>[12]</sup>针对快递包装垃圾泛滥现象,研究了由消费者、生产商、物流服务商与第三方回收商组成的快递包装回收系统,结果表明生产商对不同回收渠道采用不同回收策略可以实现低碳环保。李平<sup>[13]</sup>考虑了激励机制,建立了一个基于博弈模型的快递包装回收处理方案。

一些文献探讨政府如何制定政策激励企业采取闭环供应链管理战略,以实现经济效益与环境效益的双赢。朱庆华等<sup>[14]</sup>在绿色供应链中系统考虑了产品绿色度水平、消费者环境偏好和政府补贴策略等因素,建立了政府、采取主动绿色供应链战略的生产商、采取被动绿色供应链战略的生产商之间的三阶段博弈模型,并通过数值仿真讨论了不同的政府补贴策略对绿色产品制造商决策的影响。Heydari等<sup>[15]</sup>考虑了在逆向供应链与闭环供应链中政府用免税和补贴这两种不同措施激励制造商和零售商的情形,得出政府对生产商采取激励机制更能提高供应链利润的结论。张汉江等<sup>[16]</sup>考虑政府补贴作为内生变量,构建了政府、制造商、回收商的三重主从博弈模型,得出了政府的最优决策与闭环供应链的最优决策。Hong等<sup>[17]</sup>证明了先进的回收费用和政府补贴能最大化社会福利。徐朗等<sup>[18]</sup>以社会福利最大化为目标,建立了政府与不同产品制造商之间的博弈模型,对比研究了不同政策激励下补贴与碳税变化带来的影响,得出无论政府采取哪种财税政策都会增加社会福利的结论。郑卫彦等<sup>[19]</sup>考虑政府奖惩机制与物流负外部约束,设计了有无政府干涉情形下的快递包装逆向物流网络,构建了以快递包装回收总成本最小化为目的逆向物流模型。李辉<sup>[20]</sup>以社会福利最大化为目标,建立了基于双渠道销售与三渠道回收模式下的博弈模型,比较分析了无主导、制造商主导以及零售商主导这三种市场力量结构对政府补贴、消费者购买产品支出、成员利润以及社会福利的影响。高广阔等<sup>[21]</sup>重点分析城市

快递包装的回收处理现状,运用全过程管理思想构建政府、企业、消费者三方快递包装处理模式,明确三者之间的联系与各自职责。

虽然已有文献分别对快递包装与政府激励机制进行研究,但是基于政府激励机制研究快递包装回收问题的研究尚不多见。大多数文献忽视了政府在快递包装回收中发挥的作用,少数文献虽有提及,却未给出政府激励机制的定量描述以及具体的激励措施。基于此,本文基于政府奖惩机制,结合快递包装回收成本高且回收经济价值低的特点,在系统考虑消费者返还率、环境效益等因素的基础上构建了快递包装闭环供应链模型,并通过数值算例分析了不同的政府奖惩力度对快递企业利润、快递包装制造商利润、消费者剩余、环境效益以及社会总福利的影响。研究结论对于政府奖惩机制的制定,以及快递包装制造商和快递企业的决策具有参考价值和指导意义。

## 一、模型描述与构建

### (一)问题描述与假设说明

本文建立由快递包装制造商、快递企业、政府与消费者构成的快递包装闭环供应链模型,见图1。其中,根据生产者责任延伸制度与污染者付费的原则,快递包装制造商作为快递包装生产者,所应承担的责任不仅在快递包装的生产过程中,还要延伸到快递包装的整个生命周期,特别是快递包装的回收与再利用处理。同时,消费者作为快递包装正向物流的终点与逆向物流的源头,需要为其造成的环境污染支付一定的费用。因此,政府根据制定的标准对快递包装制造商与消费者回收快递包装的行为进行相应的奖励或惩罚。快递包装制造商负责用原材料生产新快递包装,同时负责对可再利用的快递包装进行再利用处理,对无法再利用的快递包装进行无害化处理。快递企业提供快递服务时,将快递包装销售给消费者,同时通过快递网点向消费者回收快递包装,并转移给快递包装制造商。消费者根据快递企业支付的回收价格将使用过的快递包装集中送到其附近的快递网点返还给快递企业。

模型假设如下:

a)假设快递包装闭环供应链中快递包装制造商和快递企业的信息完全对称,两者均按照自身利益最大化为目标进行决策。

b)假设回收的快递包装是单一品种(如快递纸箱),其销售价格是在期初就是确定的。

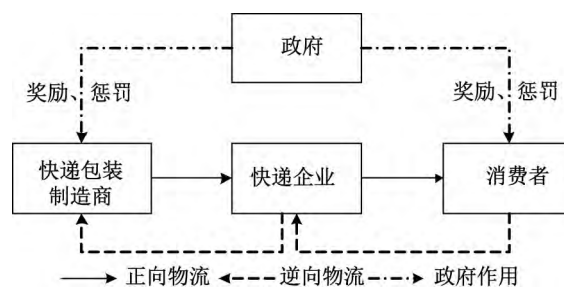


图1 快递包装闭环供应链模型

c)参考文献[16],假设快递包装潜在需求量 $Q=a-bp$ ,其中: $a$ 为市场总容量, $b$ 为市场需求的销售价格敏感程度, $a,b>0,p$ 表示快递包装的销售价格。

d)参考文献[15],假设消费者返还率 $\theta$ 表示消费者对快递包装的返还意愿,代表消费者的类型(即 $\theta$ 类型消费者的消费者返还率为 $\theta$ ),服从 $[0,1]$ 上的均匀分布,且 $\theta$ 受回收价格 $p_r$ 的影响。当 $p_r>0$ ,表示快递企业支付回收价格给消费者;当 $p_r=0$ ,表示快递企业不支付回收价格给消费者,消费者需要无偿返还快递包装;当 $p_r<0$ ,表示消费者需要承担回收费用,支付一定的回收价格给快递企业以达到返还快递包装的目的。后两种情况下消费者不愿意返还快递包装,会将快递包装直接丢弃,快递企业无法获得回收来源,因此快递包装供应链无法形成闭环。

$$\theta = \begin{cases} 0, & p_r \leq 0 \\ \frac{p_r}{p_{\max}}, & 0 < p_r < p_{\max} \\ 1, & p_{\max} \leq p_r \end{cases} \quad (1)$$

当 $p_r$ 达到消费者期望回收价格 $p_{\max}$ 时,消费者愿意全部返还快递包装,即消费者返还率为1。

e)假设新快递包装的单位制造成本为 $c_m$ ,通过回收的快递包装进行再利用所产生的单位成本为 $c_r$ (考虑到所回收快递包装质量的不同, $c_r$ 为快递包装再利用的平均成本),且通过再利用回收的快递包装所节省下来的单位成本 $c=c_m-c_r, c_m>c_r$ 。

f)由于现实中快递企业可以统一向快递包装制造商批发快递包装,却需要从各分散地回收快递包装转移给快递包装制造商,故假设快递企业销售快递包装所需承担的单位运营成本 $c_a$ ,快递企业回收快递包装所需承担的单位运营成本 $c_b$ ,满足 $0<c_a<c_b$ 。

g)假设快递包装制造商对快递包装的回收再利用率为 $\tau$ ,为 $\theta$ 和所回收快递包装可再利用率 $\varphi$ 的

乘积,即  $\tau = \theta\varphi$ 。

h)政府通过合理设置奖励与惩罚相结合的激励机制(简称奖惩机制)参数,可以引导企业走向积极回收快递包装的良性轨道。假设政府制定快递包装制造商应达到最低回收再利用率为  $\tau_0$ ,最低消费者返还率为  $\theta_0$ 。当快递包装制造商实际回收再利用率超过最低回收再利用率时,政府将对超额部分进行奖励;否则进行惩罚,且对快递包装制造商的单位奖惩额度不超过快递包装的批发价格。当实际消费者返还率大于最低消费者返还率时,政府将对超额部分进行奖励;否则进行惩罚,且对消费者的单位奖惩额度不超过快递包装的销售价格。 $f$  为政府对快递包装制造商与消费者的奖惩力度,取值范围为  $0 \leq f \leq 1$ 。

## (二)其他模型参数

文中模型涉及的其他参数的含义见表1。

表1 变量定义表

变量符号	变量含义
$w$	快递包装的批发价格
$c_d$	不可再利用的快递包装单位处理成本
$\pi_m$	快递包装制造商利润
$\pi_e$	快递企业利润
$v$	消费者寄快递时愿意支付的快递包装价格,即其对新快递包装的单位估价
$F(\theta)$	消费者效用函数
$U_c$	消费者剩余
$E$	快递包装回收后所产生的边际环境环保效益
$N$	快递包装未回收所产生的边际环境污染效益
$\pi_E$	环境效益,表示快递包装回收与否对环境所产生的总效益
$\pi_G$	政府收益
$SW$	社会总福利

## (三)快递包装闭环供应链模型构建

考虑政府奖惩机制,快递包装制造商利润函数表示为:

$$\pi_m = (w - c_m)Q + (c_m - c_r)Q\theta\varphi - (1 - \varphi)c_dQ\theta - p_mQ\theta + (\theta\varphi - \tau_0)Qwf \quad (2)$$

其中:第一部分  $(w - c_m)Q$  是由批发收入减去制造成本得出的批发利润;第二部分  $(c_m - c_r)Q\theta\varphi$  表示快递包装的回收再利用节约的成本;第三部分  $(1 - \varphi)c_dQ\theta$  表示当快递包装不可再利用时,对其的处理成本;第四部分  $p_mQ\theta$  表示快递包装制造商支付给快递企业的转移成本;最后一部分  $(\theta\varphi - \tau_0)Qwf$  是政府基于实际回收再利用率对快递包装制造商的奖惩金额。

快递企业利润函数表示为:

$$\pi_e = (p - w - c_a)Q + (p_m - p_r - c_b)Q\theta \quad (3)$$

其中:第一部分  $(p - w - c_a)Q$  给出了快递包装的销售利润;第二部分  $(p_m - p_r - c_b)Q\theta$  是指快递企业回收快递包装的回收利润。

本文研究的效用是指快递包装给消费者带来的满足程度。快递包装本身的销售价格不高,但是具有保护快递的作用。为了避免快递物品在运输途中被损坏,消费者寄快递时愿意支付的快递包装价格会远远高于快递包装本身的销售价格。因此,当消费者购买快递包装用于寄快递时,快递包装会带给消费者较高的效用。然而当消费者收到快递以后,快递包装便失去了其保护快递物品的功能,其本身价格低又占空间,对于消费者来说其效用几乎降为零。因此,本文构建的消费者效用函数为消费者对快递包装的估价、购买的价格、返还快递包装时获得的回收价格、政府对消费者的奖惩金额这几部分的总和:

$$F(\theta) = v - p + p_r\theta + (\theta - \theta_0)fp \quad (4)$$

其中:第一部分  $v - p$  表示  $\theta$  类型消费者购买快递包装保护快递物品时其愿意支付的快递包装价格超过快递包装销售价格的差额;第二部分  $p_r\theta$  表示  $\theta$  类型消费者通过返还快递包装所获得的补偿;第三部分  $(\theta - \theta_0)fp$  表示政府对  $\theta$  类型消费者的奖惩金额。

消费者剩余<sup>①</sup>是指消费者使用一定数量的商品时愿意支付的总金额与实际支付的总金额之差。本文所指的消费者剩余为消费者在使用与返还一定数量的快递包装时所获得的总金额与实际付出的总金额之差。考虑到快递包装的闭环流动及政府的作用,参考朱庆华等<sup>[14]</sup>,并结合模型假设 d)与消费者效用函数,建立的消费者剩余函数为  $U_c = Q \int_0^1 F(\theta) d\theta$ , 即:

$$U_c = (v - p)Q + \frac{1}{2}p_rQ + \left(\frac{1}{2} - \theta_0\right)fpQ \quad (5)$$

其中:第一部分  $(v - p)Q$  指的是所有类型的消费者寄快递时其愿意支付的快递包装价格超过快递包装销售价格的总差额;第二部分  $\frac{1}{2}p_rQ$  为所有类型的消费者通过返还快递包装所获得的总补偿;第三部

① 1890年,马歇尔在《经济学原理》一书中首先提出了“消费者剩余”的概念,他认为消费者剩余是指消费者愿意支付的商品价格超过其实际支付的商品价格的差额。

分  $\left(\frac{1}{2} - \theta_0\right)fpQ$  是政府对所有类型的消费者进行奖惩的总金额。

环境效益表示为:

$$\pi_E = EQ\theta - (1 - \theta)NQ \quad (6)$$

其中:第一部分  $EQ\theta$  表示快递包装回收后所产生的总环境环保效益;第二部分  $(1 - \theta)NQ$  表示快递包装未回收所产生的总环境污染效益。

政府收益为政府对快递包装制造商与消费者的惩罚金额减去对两者的奖励金额:

$$\pi_G = (\tau_0 - \tau)fwQ + \left(\theta_0 - \frac{1}{2}\right)fpQ \quad (7)$$

其中:第一部分  $(\tau_0 - \tau)fwQ$  表示政府奖惩快递包装制造商的总收益;第二部分  $\left(\theta_0 - \frac{1}{2}\right)fpQ$  表示政府奖惩消费者的总收益。

社会总福利为消费者剩余、快递包装制造商利润、快递企业利润、环境效益、政府收益之和:

$$SW = U_c + \pi_e + \pi_m + \pi_E + \pi_G \quad (8)$$

## 二、模型求解

本文研究的是政府采取奖惩机制下的快递包装闭环供应链模型。式(2)与式(3)组成了斯坦克尔伯格博弈模型。在政府对快递包装制造商与消费者进行奖惩激励的情形下,快递包装制造商作为斯坦克尔伯格博弈的领导者,以自身利润最大化为目标决定支付给快递企业的转移价格;快递企业作为斯坦克尔伯格博弈的跟随者,根据快递包装制造商行为决策,决定快递包装的回收价格,使自身利润最大化。

### (一)企业最优回收决策分析

通过逆向归纳法对斯坦克尔伯格博弈模型进行求解。

首先由快递企业确定快递包装的回收价格,对快递企业利润函数求回收价格的一阶导数、二阶导数,得到:

$$\frac{d\pi_e}{dp_r} = \frac{(p_m - c_b - 2p_r)(a - bp)}{p_{\max}} \quad (9)$$

$$\frac{d^2\pi_e}{dp_r^2} = -\frac{2(a - bp)}{p_{\max}} \quad (10)$$

因为  $p_{\max} > 0, a - bp > 0$ , 因此  $\frac{d^2\pi_e}{dp_r^2} < 0$ , 故快递

公司利润函数是关于回收价格的凹函数,令  $\frac{d\pi_e}{dp_r} = 0$ , 求解得:

$$p_r = \frac{p_m - c_b}{2} \quad (11)$$

将式(11)代入快递包装制造商利润函数,对其求转移价格的一阶导数、二阶导数,得到:

$$\frac{d\pi_m}{dp_m} = \frac{[(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi + c_b - c_d - 2p_m](a - bp)}{2p_{\max}} \quad (12)$$

$$\frac{d^2\pi_m}{dp_m^2} = -\frac{a - bp}{p_{\max}} \quad (13)$$

显然  $\frac{d^2\pi_m}{dp_m^2} < 0$ , 快递包装制造商利润函数是关于

于转移价格的凹函数,令  $\frac{d\pi_m}{dp_m} = 0$ , 求得快递包装制造商的最优转移价格:

$$p_m^* = \frac{(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi + c_b - c_d}{2} \quad (14)$$

将式(14)代入式(11),可得到快递企业的最优回收价格:

$$p_r^* = \frac{(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi - c_b - c_d}{4} \quad (15)$$

结论 1:在政府对快递包装制造商回收行为进行奖惩时,快递包装制造商的转移价格与快递企业的回收价格随政府奖惩力度的增大而增大,而且转移价格的增加幅度要比回收价格的增加幅度大。

证明:对  $p_m^*, p_r^*$  关于  $f$  求导,有

$$\frac{dp_m^*}{df} = \frac{w\varphi}{2}, \frac{dp_r^*}{df} = \frac{w\varphi}{4}, \text{ 由于 } w > 0, \varphi > 0, \text{ 所以}$$

以  $\frac{dp_m^*}{df} > \frac{dp_r^*}{df} > 0, p_m^*, p_r^*$  随着  $f$  的增大而增大。证毕。

结论 2:政府对制造商进行奖惩机制会引起转移价格与回收价格之差产生变化,而且转移价格与回收价格之差会随着政府奖惩力度的增加而增加。

$$\text{证明: } p_m^* - p_r^* = \frac{(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi + 3c_b - c_d}{4},$$

对  $f$  求导,得  $\frac{d(p_m^* - p_r^*)}{df} = \frac{w\varphi}{4} > 0$ , 因此  $p_m^* - p_r^*$  随着  $f$  的增大而增大。证毕。

将式(14)和式(15)代入快递包装制造商利润函数、快递企业利润函数以及消费者剩余,得到:

$$\pi_m^* = \frac{[(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi + c_b + c_d]^2(a - bp)}{8p_{\max}} + (w - c_m - \tau_0 wf)(a - bp) \quad (16)$$

$$\pi_c^* = \frac{[(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi + c_b + c_d]^2(a - bp)}{16p_{\max}} + (p - c_a - w)(a - bp) \quad (17)$$

$$U_c^* = \frac{1}{8}[(4 - 8\theta_0)pf + (c_m - c_r + wf)\varphi - c_b - (1 - \varphi)c_d + 8v - 8p](a - bp) \quad (18)$$

结论3:当政府设立的最低消费者返还率在 $\left[0, \frac{w\varphi}{8p} + \frac{1}{2}\right]$ 内时,消费者剩余会随着政府奖惩力度的增加而增加;当最低消费者返还率在 $\left(\frac{w\varphi}{8p} + \frac{1}{2}, 1\right]$ 内,消费者剩余会随着政府奖惩力度的增加而减少。

证明:对式(18)求 $f$ 得一阶导数,得到 $\frac{dU_c^*}{df} = \frac{1}{8}[(4 - 8\theta_0)p + w\varphi](a - bp)$ 。由于 $w > 0, p > 0, \varphi > 0, 0 \leq \theta_0 \leq 1, a - bp > 0$ ,当 $0 \leq \theta_0 \leq \frac{1}{2} \leq \frac{w\varphi}{8p} + \frac{1}{2}$ 时, $(4 - 8\theta_0)p + w\varphi > 0$ 成立,从而 $\frac{dU_c^*}{df} > 0$ ,故当 $0 \leq \theta_0 \leq \frac{w\varphi}{8p} + \frac{1}{2}$ 时, $U_c^*$ 随 $f$ 的增大而增大。当 $\frac{w\varphi}{8p} + \frac{1}{2} < \theta_0 \leq 1, \frac{dU_c^*}{df} < 0$ ,故 $U_c^*$ 随 $f$ 的增大而减少。证毕。

结论4:政府制定的最低回收再利用率越高,快递包装制造商的利润越低。

证明:对式(16)求 $f$ 的一阶导数,得 $\frac{d\pi_m^*}{d\tau_0} = -(a - bp)wf$ ,由于 $w > 0, Q = a - bp > 0, 0 \leq f \leq 1$ ,所以 $\frac{d\pi_m^*}{d\tau_0} < 0$ ,故 $\pi_m^*$ 随 $\tau_0$ 的增加而降低。证毕。

## (二)政府最优奖惩机制制定

政府以社会总福利最大化为目标,通过奖惩机制激励快递包装制造商回收再利用快递包装、消费者返还快递包装,减轻环境负担,提高资源利用率。

将式(14)和式(15)代入社会总福利函数,得到:

$$SW^* = \frac{1}{8}[(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi - c_b - c_d] + (p - c_m - c_a - N + v - p)(a - bp) + \frac{(a - bp)}{16p_{\max}}[c_b + c_d - (c_m - c_r + c_d + wf)\varphi][3c_b - c_d + (c_m - c_r + c_d + wf)\varphi] + \frac{(a - bp)}{4p_{\max}}[N + E - c_d +$$

$$(c_m - c_r + c_d)\varphi][(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi - c_b - c_d] \quad (19)$$

结论5:在可行域D内存在最优政府奖惩力度,使社会总福利达到极大值,其中可行域D为: $D = \{f | 0 \leq f \leq 1, 0 < c_r < c_m, 0 < c_a < c_b, a - bp > 0, p_{\max}, v, a, b, p, c_d, E, N, w, \varphi > 0\}$ 。

证明:通过对式(19)求 $f$ 的一阶导数、二阶导数,得到:

$$\frac{dSW^*}{df} = \frac{(a - bp)w\varphi}{8p_{\max}}[(c_m - c_r + c_d + wf)\varphi - c_b - c_d + 2E + 2N + p_{\max}] \quad (20)$$

$$\frac{d^2SW^*}{df^2} = -\frac{(a - bp)w^2\varphi^2}{8p_{\max}} \quad (21)$$

对于式(21),因为 $a - bp > 0, w > 0, \varphi > 0, p_{\max} > 0$ ,所以 $\frac{d^2SW^*}{df^2} < 0$ ,说明 $SW^*$ 是关于 $f$ 的凹函数。令 $\frac{dSW^*}{df} = 0$ ,可以得到:

$$f^* = \frac{p_{\max} + (c_m - c_r)\varphi - (1 - \varphi)c_d - c_b + 2E + 2N}{w\varphi} \quad (22)$$

当 $f = f^*, SW^*$ 在D上取得极大值。证毕。

## 三、数值算例

下面通过数值算例的方法来直观地阐述和解释前面的结论,并且试图发现一些在理论建模分析过程中尚未发现的规律。考虑到所列式子的复杂性,采用Matlab软件作为计算工具对各个公式求近似解。针对政府奖惩力度的变化及其带来的影响进行分析,以期得到有益的结论,为政府相关部门及快递包装闭环供应链各方的决策提供参考。参考Heydari等<sup>[15]</sup>与郑卫彦等<sup>[19]</sup>,结合快递包装回收的现实情况,对相关参数设置如表2所示。

表2 参数设置

快递包装制造商	快递公司	政府	消费者
$w = 4.5$ 元/件	$p = 5.5$ 元/件	$\theta_0 = 50\%$	$v = 10$ 元/件
$c_m = 2.1$ 元/件	$c_a = 0.3$ 元/件	$\tau_0 = 20\%$	$p_{\max} = 1.5$ 元/件
$c_r = 1.1$ 元/件	$c_b = 0.9$ 元/件		$a = 100$ 件
$\varphi = 80\%$			$b = 1$
$c_d = 0.5$ 元/件			

### (一)政府奖惩力度的变化对快递包装闭环供应链回收决策的影响

通过计算,进一步证实了结论1与结论2,得到政府未引入奖惩机制(即 $f = 0$ )与政府引入奖惩机制(即 $0 < f \leq 1$ )两种情形下快递包装闭环供应链

的最优回收决策,结果见表3与图2。随着政府奖惩力度的加大,转移价格、回收价格、消费者返还率、回收再利用率、快递企业利润都随之增加且都高

于政府未引入奖惩机制的情形,而快递包装制造商的利润则呈现先减小后增加的趋势,但仍有利可图。

表3 政府奖惩力度变化对快递包装闭环供应链决策的影响

政府奖惩力度	转移价格 /(元·件 <sup>-1</sup> )	回收价格 /(元·件 <sup>-1</sup> )	转移价格与回收价格 之差/(元·件 <sup>-1</sup> )	消费者 返还率/%	回收再 利用率/%	快递企业 利润/元
0.00	0.80	-0.05	0.80	0.00	0.00	66.15
0.10	0.98	0.04	0.94	2.67	2.13	66.25
0.20	1.16	0.13	1.03	8.67	6.93	67.21
0.30	1.34	0.22	1.12	14.67	11.73	69.20
0.40	1.52	0.31	1.21	20.67	16.53	72.20
0.50	1.70	0.40	1.30	26.67	21.33	76.23
0.60	1.88	0.49	1.39	32.67	26.13	81.28
0.70	2.06	0.58	1.48	38.67	30.93	87.34
0.80	2.24	0.67	1.57	44.67	35.73	94.43
0.90	2.42	0.76	1.66	50.67	40.53	102.54
1.00	2.60	0.85	1.75	56.67	45.33	111.67

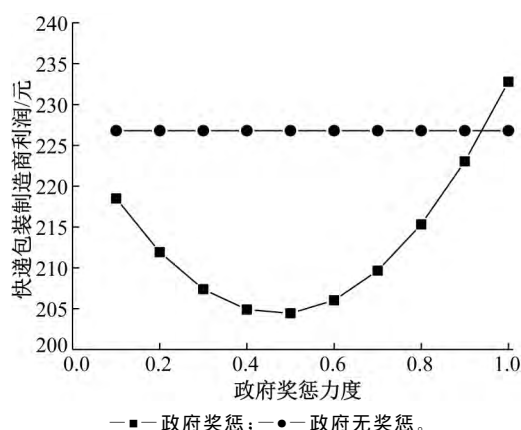


图2 快递包装制造商利润与政府奖惩力度的关系

这是因为当政府设置的奖惩力度为零,即对快递包装制造商与消费者的回收快递包装进行奖惩时,由于快递包装本身的回收经济价值低,快递包装制造商只愿意支付较低的转移价格给快递企业,从而使快递企业回收快递包装的成本高于转移价格( $c_b = 0.9$ 元/件, $p_m = 0.8$ 元/件)。快递企业出于自身利润最大化考虑便不愿意回收快递包装,其支付的回收价格为负( $p_r = -0.05$ 元/件),此时反而需要消费者支付费用返还快递包装,所以消费者返还率与回收再利用率为零,最终导致快递包装制造商无法从快递企业回收快递包装。当政府采取奖惩机制以后,快递包装制造商的实际回收再利用率不大于政府设置的最低回收再利用率,政府会对其未完成部分进行相应的惩罚,因此其利润随着政府奖惩力度的增加而减小;后来通过逐渐提高转移价格使得实际回收再利用率大于政府设置的最低回收再

利用率,超额的部分受到了政府的奖励,其利润又随着政府奖惩力度的增加而增加,甚至可以高于政府未引入奖惩机制的情形。与此同时,因为转移价格与回收价格之差随着政府奖惩力度的增大而变大,且高于快递企业回收快递包装的单位成本,所以快递企业愿意支付更高的回收价格以增加自身利润,从而消费者更愿意返还快递包装。

由此可知,将政府奖惩机制引入快递包装闭环供应链中,可以有效提高快递包装制造商与快递企业回收快递包装的积极性,缓解由快递包装高消耗量低回收再利用率引起的资源浪费与环境污染问题。

## (二) 政府奖惩力度的变化对消费者剩余的影响

表4表示不同最低消费者返还率下政府奖惩力度对消费者剩余的影响,充分验证了结论3:因为

$$\frac{w\varphi}{8p} + \frac{1}{2} = \frac{32}{55},$$

所以当政府规定的最低消费者返还率在 $\left[0, \frac{32}{55}\right]$ 内,消费者剩余随着政府奖惩力度的增大而增大;当政府规定的最低消费者返还率在 $\left(\frac{32}{55}, 1\right]$ 内时,消费者剩余随着政府奖惩力度的增大而减小。

进一步观察发现,当政府设立的最低消费者返还率在 $\left[0, \frac{1}{2}\right]$ 内时,消费者剩余都会随着政府奖惩力度的增加而增加;当 $\theta_0 \geq \frac{1}{2}$ 时,政府应根据快递包装的批发价格与零售价格设立合理

的最低消费者返还率,使其满足  $\theta_0 \in [\frac{1}{2}, \frac{w\varphi}{8p} + \frac{1}{2}]$ ,从而保证消费者剩余都随着政府奖惩力度的增加而增加。总而言之,政府科学

制定奖惩标准,可以使政府奖惩机制下的消费者剩余高于政府未引入奖惩机制的情形,更有助于促进消费者积极返还快递包装,降低快递企业回收快递包装的难度。

表4 不同最低消费者返还率下消费者剩余随政府奖惩力度的变化情况

政府奖惩力度	最低消费者返还率/%									
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
0.00	422.89	422.89	422.89	422.89	422.89	422.89	422.89	422.89	422.89	422.89
0.10	453.13	447.93	442.73	437.54	432.34	427.14	421.94	416.75	411.55	406.35
0.20	483.37	472.97	462.58	452.18	441.79	431.39	421.00	410.60	400.21	389.81
0.30	513.61	498.02	482.42	466.83	451.24	435.65	420.05	404.46	388.87	373.28
0.40	543.85	523.06	502.27	481.48	460.69	439.90	419.11	398.32	377.53	356.74
0.50	574.09	548.10	522.11	496.13	470.14	444.15	418.16	392.18	366.19	340.20
0.60	604.33	573.14	541.96	510.77	479.59	448.40	417.22	386.03	354.85	323.66
0.70	634.57	598.19	561.80	525.42	489.04	452.66	416.27	379.89	343.51	307.13
0.80	664.81	623.23	581.65	540.07	498.49	456.91	415.33	373.75	332.17	290.59
0.90	695.05	648.27	601.49	554.72	507.94	461.16	414.38	367.61	320.83	274.05
1.00	725.29	673.31	621.34	569.36	517.39	465.41	413.44	361.46	309.49	257.51

(三) 政府奖惩力度对环境以及社会总福利的影响

将表2中的参数代入式(21)和式(22),可得  $\frac{d^2 SW^*}{df^2} = -\frac{5103}{50} < 0, f^* = \frac{5}{9}(E+N) + \frac{13}{36}$ , 且  $E \geq 0, N \geq 0$ 。故  $SW^*$  在  $f=f^*$  处可取得极大值。参考徐朗等<sup>[18]</sup>,由于  $0 \leq f \leq 1$ ,可以得到:

$$f^* = \frac{5}{9}(E+N) + \frac{13}{36},$$

$$N \in [0, A-E] \text{ 且 } 0 \leq E \leq A \quad (23)$$

其中记  $A = \frac{20}{23}$ 。

观察式(23)可以发现,当不回收快递包装对环境损害的边际成本在区域  $[0, A-E]$  内且  $0 \leq E \leq A$  时,政府需要对快递包装制造商与消费者进行奖惩,这是因为不回收快递包装对环境的破坏不在可控范围内,供应链系统无法自行实现社会总福利最优。在现实生活中,回收快递包装可以保护环境,虽然在回收过程中对环境也存在一定程度的污染,但是不回收快递包装所产生的环境污染更严重。鉴于此,假设  $E=0.09$  元/件,  $N=0.35$  元/件,此时满足  $N \in [0, A-E]$  且  $0 \leq E \leq A$  的条件,政府应对快递包装制造商与消费者采用奖惩机制。

环境效益与政府奖惩力度的关系如图3所示,环境效益随着政府奖惩力度的增大而增大。政府实施奖惩机制以后,环境效益虽然仍为负数,但是明显高于政府无奖惩的情形,这说明政府奖惩机制有利于缓解快递包装带来的巨大环境压力。社会总福利

与政府奖惩力度的关系如图4所示,政府引入奖惩机制后的社会总福利明显高于政府未引入奖惩机制的情形,而且社会总福利随着政府奖惩力度的增大呈现先增加后减少的趋势,在可行域内存在最优政府奖惩力度使社会总福利达到最优,这与结论5是一致的。图3和图4说明虽然使用快递包装会对环境造成一定的影响,但是引入政府奖惩机制,可以明显降低快递包装对环境的负影响,促进快递包装绿色发展。

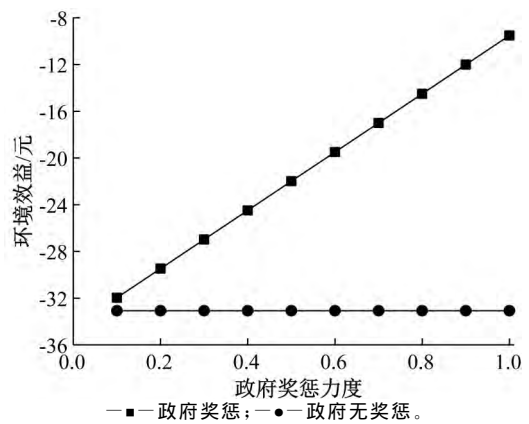


图3 环境效益与政府奖惩力度的关系

#### 四、结 语

快递包装回收再利用是一个涉及到政府、企业和消费者的社会性问题,但在实际情况中企业和消费者考虑到自身利益并不总是具有回收再利用快递包装的积极性,因此需要政府给予必要的引导。本



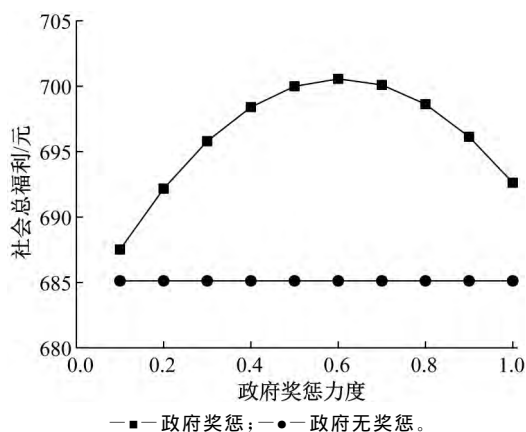


图4 社会总福利与政府奖惩力度的关系

文研究政府如何制定奖惩机制增进社会总福利,以及在快递包装闭环供应链中快递包装制造商与快递企业如何应对政府奖惩机制提高自身利润,目的是为了通过政府奖惩机制引导快递包装制造商、快递企业、消费者共同承担快递包装回收责任,降低快递包装对资源的消耗和环境的污染。研究表明,将政府奖惩机制引入快递包装闭环供应链中,能够明显改变快递包装回收难的现状,调动快递包装制造商回收再利用快递包装的积极性,起到引导快递企业提高回收价格的作用,并有效增强消费者返还快递包装的意识,从而形成高效的快递包装闭环供应链。此外,政府科学制定奖惩机制,能够提高资源利用率,减轻环境负担,达到社会总福利最优。

虽然本文在假设消费者返还率时,考虑了回收价格的影响,但未考虑其他因素影响,如消费者本身的环保意识等,未来可以继续研究。此外,本文虽然对快递包装回收问题中政府的奖惩机制进行了研究,但未对政府其他的激励机制进行讨论,这也是今后继续研究的方向。

#### 参考文献:

- [1] 国家邮政局. 2017 年邮政行业发展统计公报[EB/OL]. (2018-06-04) [2018-07-04]. [http://www.spb.gov.cn/xw/dttxx\\_15079/201806/t20180604\\_1581131.html](http://www.spb.gov.cn/xw/dttxx_15079/201806/t20180604_1581131.html).
- [2] 鹿伟. 一个快递包装产生 0.2 公斤垃圾[EB/OL]. 现代快报. (2018-03-16) [2018-04-04]. <http://3g.163.com/all/article/DD09DH8O0005227R.html>.
- [3] 方惠,韩曙光,丁晓韵,等. 基于回收率的多阶段闭环供应链模型研究[J]. 浙江理工大学学报, 2014, 32(4): 269-273.
- [4] Kondo Y, Hirai K S, Kawamoto R, et al. A discussion on the resource circulation strategy of the refrigerator [J]. Resources Conservation & Recycling, 2001, 33(3):153-165.

- [5] Silva D A L, SantosRenó G W, Sevegnani G, et al. Comparison of disposable and returnable packaging: A case study of reverse logistics in Brazil [J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 47(5):377-387.
- [6] Pati R K, Vrat P, Kumar P. A goal programming model for paper recycling system [J]. Omega, 2008, 36(3): 405-417.
- [7] Molina-Besch K, Palsson H. A supply chain perspective on green packaging development—theory versus practice [J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(1): 45-63.
- [8] Cobb B R. Inventory control for returnable transport items in a closed-loop supply chain [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016, 86:53-68.
- [9] 朱磊,李梦焱,杜艳平,等. 快递业循环包装共享系统及其回收模式研究[J]. 物流技术, 2017, 36(9): 21-26.
- [10] 王世君,王世民. 快递包装标准化成本收益分析[J]. 重庆工商大学学报, 2015, 32(9): 93-97.
- [11] 邹筱,付亚洲,李玉琴. 循环经济视角下高校快递包装物回收模式优化研究[J]. 包装学报, 2018, 10(2): 80-86.
- [12] 张慧. 基于差异化定价的快递包装纸箱回收策略研究 [J]. 价值工程, 2016, 35(20): 75-79.
- [13] 李平. 博弈模型下快递包装的回收激励机制 [J]. 北京邮电大学学报, 2017, 19(4): 35-40.
- [14] 朱庆华,窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型 [J]. 管理科学学报, 2011, 14(6): 86-95.
- [15] 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.
- [16] 张汉江,李聪颖,姚琴,等. 闭环供应链上的最优回收激励契约与政府补贴再制造政策的最优化 [J]. 系统工程, 2014, 32(8): 74-79.
- [17] Hong I H, Lee Y T, Chang P Y. Socially optimal and fund-balanced advanced recycling fees and subsidies in a competitive forward and reverse supply chain [J]. Resources Conservation and Recycling, 2014, 82: 75-85.
- [18] 徐朗,汪传旭,杨清荃. 低碳背景下政府财税行为对制造商决策影响 [J]. 工业工程, 2016, 19(3): 30-36.
- [19] 郑卫彦,孟燕萍. 政府引导下绿色逆向物流网络线性规划模型: 以快递包装为例 [J]. 华中师范大学学报, 2017, 51(4): 518-525.
- [20] 李辉,汪传旭. 政府补贴下多渠道回收的闭环供应链决策 [J]. 数学的实践与认识, 2017, 47(2): 48-57.
- [21] 高广阔,孙甜甜. 全过程管理下快递包装回收处理对策研究 [J]. 技术与创新管理, 2018, 39(3): 318-322.

(责任编辑:钱一鹤)