

# Determining Recycling Fees and Subsidies in Remanufacturing Green Supply Chains

Xiaohang Ren, Qian Liu

Academy of Chinese Energy Strategy, China University of Petroleum (Beijing), Beijing  
Email: [632824435@163.com](mailto:632824435@163.com)

Received: Apr. 6<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jul. 10<sup>th</sup>, 2015; published: Jul. 17<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

---

## Abstract

Primarily due to environmental concerns and legislative mandates, the disposition of end-of-life electronics products has attracted much attention. Recycling fees and government subsidies played important roles in encouraging or curtailing the recycled flows. Due to the environmental protection problem attracting great importance by more and more countries and regions around world, our country launched a series of regulations and laws to standardize the recycling market. At the same time, though taxing recycling fees on manufacturers and giving the recycling subsidy to the recyclers, the government can control the recycling quantity and production quantity. This paper establishes the green supply chain game model to explore the government implementations for the realization of social welfare maximization, and the different incentive strategy of enterprises corresponding to different implementations. Then, we analyze the optimal equilibrium decision results of the game model in a variety of circumstances, and compare effectiveness of the government subsidies strategies based on the recovery percent or recovery quantity. The results show that the government using any kind of incentive strategy can improve the product recovery; and the government's subsidy incentive strategy that is based on the recovery percent could improve the recovery efficiency more effectively, realizing the maximum social welfare.

## Keywords

Green Supply Chains, Stackelberg Model, Subsidy, Recycling Fees, Social Welfare

---

# 再制造绿色供应链中政府关于补贴与费用的策略分析

任晓航, 刘 乾

中国石油大学(北京)中国能源战略研究院, 北京  
Email: [632824435@163.com](mailto:632824435@163.com)

收稿日期: 2015年4月6日; 录用日期: 2015年7月10日; 发布日期: 2015年7月17日

## 摘要

由于环境保护问题越来越受到世界各国和地区的高度重视, 我国出台了一系列相关法规条例, 以规范回收市场。同时, 通过对生产商征收环保回收税费并对回收进行补贴的策略, 在控制回收数量和生产数量的过程中起到了越来越重要的作用。本文为探究政府为实现社会福利最大化而实施的不同激励策略的效果, 以及企业相应进行的不同决策, 建立了绿色供应链博弈模型, 分析了该模型在多种情况下的最优均衡结果。对比了政府基于回收率补贴与回收量补贴这两种激励策略的有效性。研究结果表明: 政府采用任一种激励策略均能提高产品回收率; 若政府若采用基于回收率补贴激励策略将更有效提高回收效率, 实现社会的最大福利。

## 关键词

绿色供应链, 斯塔克伯格模型, 补贴, 再循环费, 社会福利

## 1. 引言

随着当今社会经济的快速发展, 环境保护问题受到世界各国和地区的高度重视。目前我国报废或“被报废”的各类计算机、手机、家用电器等电子垃圾增量惊人。2010年联合国环境规划(UNEP)发布的报告显示, 自2003年起, 中国每年至少报废500万台电视机、400万台电冰箱、500万台洗衣机、500万台电脑及上千万部手机。这些垃圾, 每年会产生5亿多吨的危险有毒废物, 成为巨大的污染源。

我国相继出台了《汽车产品回收利用技术政策》、《废弃电器电子产品回收处理管理条例》等关于产品回收、再制造的相关规定, 鼓励生产商及其供应链相关企业进行回收, 以减少给环境造成的污染。如何鼓励回收渠道的发展、推动废弃电器电子的规范化回收是当前中国在推进循环经济方面所面临的重大问题。

相关文献中针对产品回收渠道的研究很多。Ferguson 和 Toktay [1]、Vlachos 等[2]、Oraiopoulos 等[3]对单个企业再制造管理问题进行了探讨。计国君和黄位旺[4]在对各种回收处理模式进行比较之后, 提出制造商自行处理模式所带来的社会福利最大。Bansal 和 Gangopadhyay [5], Palmer 等[6] [7], Wojanowski 等[8], 周垂日等[9]研究了基金补贴和税收在逆向物流中的作用。Mitra 和 Webster 等[10]认为政府在补贴回收再生产企业的同时也应该给予生产企业一定的补贴。朱庆华和窦一杰[11]主要分析了政府补贴对生产企业从事绿色生产的影响, 以此推动环保回收的实现。

我国出台了一系列相关法规来对回收进行规范, 但如何进行补贴策略可以使得社会福利最大化, 仍需要进一步讨论。本文在上述相关文献的研究基础之上, 建立了闭回路供应链博弈模型, 得到了多种情形下的最优均衡决策结果, 并且引入政府价格补贴机制, 对比绿色供应链中政府采用补贴激励策略前后的社会福利的变化, 最后进一步分析了政府两种激励策略的有效性。

## 2. 问题描述和模型假设

本文考虑由生产商、回收商、消费者和政府组成的绿色供应链, 如图1所示, 文中的物流过程为:

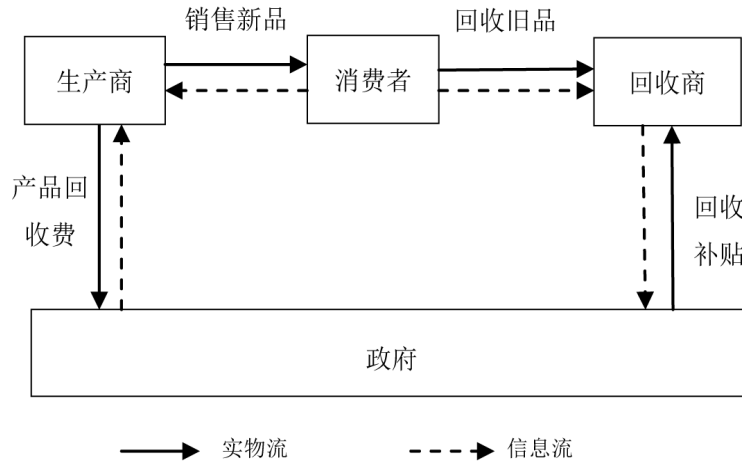


Figure 1. The flow chart of the supply chain  
图 1. 供应链流程图

首先，生产商制造新产品销售给消费者，其次，产品通过回收商进行回收。文中政府是指以实现社会福利最大化目的，对企业进行监督管理的相关部门。政府行使考察企业能耗情况、对生产者征收费用和给予回收商补贴等职责。

假设 1 在再制造绿色供应链中，政府是供应链的 Stackelberg 领导者，能决定征收费用和给予补贴的数量。

假设 2 消费者类对新品的需求为  $P_x = a - bQ_x$ ， $a$ ， $b$  为大于 0 的常数。回收商面临的供给函数为  $Q_c = c + dP_w$ ， $c$ ， $d$  为大于 0 的常数。

假设 3 生产商生产成本  $C_s$ ，交税费  $t$ 。回收商回收费用  $P_w$ 。 $\theta = \frac{Q_c}{Q_x}$  为回收率 ( $0 \leq \theta \leq 1$ )， $s$  为基于回收率的价格补贴系数， $C_r$  为拆解费用， $r$  为拆解后售卖零件利润。

假设 4 再制造绿色供应链中的生产商、回收商和政府等各主体均为风险中性、信息完全。

### 3. 模型建立和分析

#### 3.1. 情形 1：政府采用不实施补贴策略

生产商面临的需求函数为：

$$P_x = a - bQ_x \quad (1)$$

生产商的利润函数为：

$$\pi_s = (P_x - C_s - t)Q_x \quad (2)$$

$C_s$  为生产商生产一单位商品的成本， $t$  为政府对生产商生产一单位产品征收的环保费用。

对  $t$  求导，求得最优解：

$$\begin{cases} Q_x^* = \frac{a - C_s - t}{2b} \\ P_x^* = \frac{a + C_s + t}{2} \end{cases} \quad (3)$$

即生产商的最优销售价格跟销售数量。

回收商面临的供给函数。随着政府征收的费用增加，销售数量不断降低，相应销售价格有所提高。回收商面临的供给函数为：

$$Q_c = c + dP_w \quad (4)$$

当政府不进行补贴时，可以得到回收商的利润函数为：

$$\pi_R = (r - P_w - C_r)Q_c \quad (5)$$

求得最优解：

$$\begin{cases} Q_{c1}^* = \frac{c + d(r - C_r)}{2} \\ P_{w1}^* = \frac{r - C_r}{2} - \frac{c}{2d} \end{cases} \quad (6)$$

政府的目的是实现社会福利最大化。通过生产商和回收商的决策可知，消费者对新商品的消费者剩余为  $\frac{bQ_x^2}{2}$ ，对商品回收的消费者剩余  $Q_c P_w - \frac{1}{2} d P_w^2$ 。生产商的利润为生产者剩余，回收商的利润为回收商剩余。政府按回收率进行补贴时，政府的税收为  $tQ_x$ ， $E$  表示一单位没有回收的产品造成的污染成本， $e$  表示生产一单位新品的污染成本。 $\tau$  表示有意愿让回收商进行回收的比例。

因此社会福利函数为

$$\pi_{GI} = (P_x - C_s - t)Q_x + (r - P_w - C_r)Q_c + \frac{bQ_x^2}{2} + Q_c P_w - \frac{1}{2} d P_w^2 + tQ_x - [E(\tau Q_x - Q_c) + eQ_x] \quad (7)$$

对  $t$  进行求导，可得：

$$t_1^* = -a + C_s + 2e + 2E\tau \quad (8)$$

### 3.2. 情形 2：政府采用按回收数量进行补贴策略

生产商面临的需求函数为：

$$P_x = a - bQ_x \quad (9)$$

生产商的利润函数为：

$$\pi_s = (P_x - C_s - t)Q_x \quad (10)$$

$C_s$  为生产商生产一单位商品的成本， $t$  为政府对生产商生产一单位产品征收的环保费用。

对  $t$  求导，求得最优解：

$$\begin{cases} Q_x^* = \frac{a - C_s - t}{2b} \\ P_x^* = \frac{a + C_s + t}{2} \end{cases} \quad (11)$$

回收商面临的供给函数为：

$$Q_c = c + dP_w \quad (12)$$

当政府按数量进行补贴时， $g$  表  $c$  示单件补贴量同时  $g < s$ ，可以得到回收商的利润函数为：

$$\pi_R = (g + r - P_w - C_r)Q_c$$

求得最优解：

$$\begin{cases} Q_{c2}^* = \frac{c+d(g+r-C_r)}{2} \\ P_{w2}^* = \frac{g+r-C_r}{2} - \frac{c}{2d} \end{cases} \quad (13)$$

可以得到  $Q_{c2}^* > Q_{c1}^*$ ，政府按回收数量进行补贴时，回收数量有所提高。

当政府按数量进行补贴时，政府的税收为  $tQ_x - gQ_c$ 。

此时社会福利函数为

$$\pi_{G2} = (P_x - C_s - t)Q_x + (r + g - P_w - C_r)Q_c + \frac{bQ_x^2}{2} + Q_c P_w - \frac{1}{2}dP_w^2 + tQ_x - gQ_c - [E(\tau Q_x - Q_c) + eQ_x] \quad (14)$$

分别对  $g$  和  $t$  进行求导，可得：

$$g_2^* = 2E + r - C_r + \frac{c}{d} \quad (15)$$

$$t_2^* = -a + C_s + 2e + 2E\tau \quad (16)$$

### 3.3. 情形 3：政府采用按回收率进行补贴策略

生产商情形与情形 2 一致。

政府按回收率进行补贴时，根据回收商回收费用  $P_w$ ， $\theta = \frac{Q_c}{Q_x}$  为回收率 ( $0 \leq \theta \leq 1$ )， $s$  为基于回收率的价格补贴系数， $C_r$  为拆解费用， $r$  为拆解后售卖零件利润。可以得到回收商的利润函数为：

$$\pi_R = (r + s\theta - P_w - C_r)Q_c \quad (17)$$

对  $s$  进行求导，求得均衡解：

$$P_{w3}^* = -\frac{-a(c+d(C_r-r)) + d(C_r-r)(C_s+t) + c(C_s+4bds+t)}{2d(-a+C_s+2bds+t)} \quad (18)$$

$$Q_{c3}^* = -\frac{(c+d(-C_r+r))(a-C_s-t)}{2(-a+C_s+2bds+t)} \quad (19)$$

可以得到  $Q_{c3}^* > Q_{c1}^*$ ，表明采用基于回收率补贴激励策略，回收数量有所提高。政府按回收率进行补贴时，政府的税收为  $tQ_x - s\theta Q_c$ 。

因此社会福利函数为

$$\pi_{G3} = (P_x - C_s - t)Q_x + (r + s\theta - P_w - C_r)Q_c + \frac{bQ_x^2}{2} + Q_c P_w - \frac{1}{2}dP_w^2 + tQ_x - s\theta Q_c - [E(\tau Q_x - Q_c) + eQ_x] \quad (20)$$

分别对  $s$  和  $t$  进行求导，可得：

$$s^* = -\frac{(c-dC_r-2dE+dr)(-a+C_s+e+E\tau)}{2bd(c-dC_r-dE+dr)} \quad (21)$$

$$t_3^* = -a + C_s + 2e + 2E\tau \quad (22)$$

由社会福利函数可知，两种补贴均能提高社会福利，回收数量越多，社会福利水平越高。因此，应该选择同样补贴情况下，提高回收比例大的补贴方式。政府按回收率进行补贴时， $Q_{c3}^* > Q_{c1}^*$ ，回收数量有所提高。

为了对比政府按回收率跟按回收数量补贴的效果，当两种补贴方式的补贴量一致时来对比回收量，

即  $s\theta = g$ ，求解得：

$$s = \frac{g(a - C_s - t)}{b(c + d + 2dg)} \quad (23)$$

$$Q_{c3}^* = \frac{(c + d + 2dg)(c + d(-C_r + r))}{2(c + d)} \quad (24)$$

又因为  $Q_{c2}^* = \frac{c + d(g + r - C_r)}{2}$ ，所以：

$$Q_{c3}^* - Q_{c2}^* = \frac{dg(c + d(2r - 1 - 2C_r))}{2(c + d)} \quad (25)$$

当  $c + d(2r - 1 - 2C_r) > 0$  时， $Q_{c3}^* - Q_{c2}^* > 0$ ，而不进行补贴时， $r - P_w - C_r > 0$ ，当不补贴时的回收价格  $P_w > \frac{1}{2}$  时， $Q_{c3}^* - Q_{c2}^* > 0$ ，政府采用基于回收率补贴方式的激励策略更有利于提高产品的回收率。

#### 4. 算例分析

为了进一步说明本文模型的有效性，本节对模型进行数值算例分析。模型中相关参数选取为： $a = 33,000$   $b = 0.01$   $c = 5600$   $d = 80$   $C_s = 29,000$   $e = 1350$   $E = 135$   $\tau = 0.05$   $r - C_r = 1$ 。

图 2 为，政府不补贴时与按回收数量进行补贴时，在不同补贴值情况下的回收数量，可见按回收数量进行补贴时，回收数量远大于没有进行补贴的情况。当政府按回收率跟按回收数量补贴总额一致时，即  $s\theta Q_{c3}^* = gQ_{c2}^*$ 。由图 3 可知，产品回收总量均随着政府的补贴力度的增加而增加，但是情形 3 中的回收率均大于情形 2 的回收率。由此我们可以得到结论：在同一奖励力度下政府采用基于回收率补贴方式的激励策略更有利于提高产品的回收率。生产商的决策不会受到政府补贴政策变化的影响，只会被政府征收的回收费所影响。

由图 4 可知，生产一单位新品的污染成本  $e$  变大时，三种情形的社会福利均会减小，但基于回收率补贴方式的第三种情形的社会福利减小的最慢，政府采用按回收数量进行补贴策略时的社会福利减小速度比不采取任何补贴情形下的速度慢，即  $\pi_{G3} > \pi_{G2} > \pi_{G1}$ 。由图 5 可知，当一单位没有回收的产品造成的污染成本  $E$  变大时，三种情形的社会福利也均会减小，但基于回收率补贴方式的第三种情形的社会福利

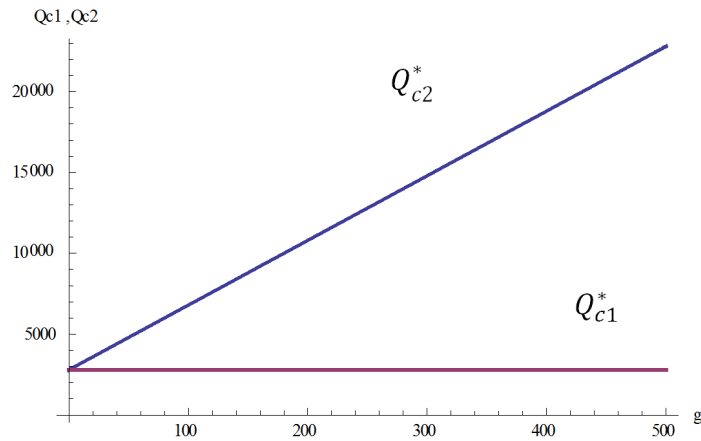
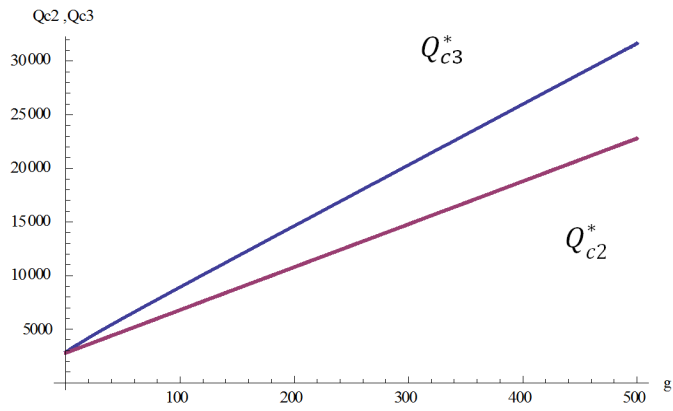
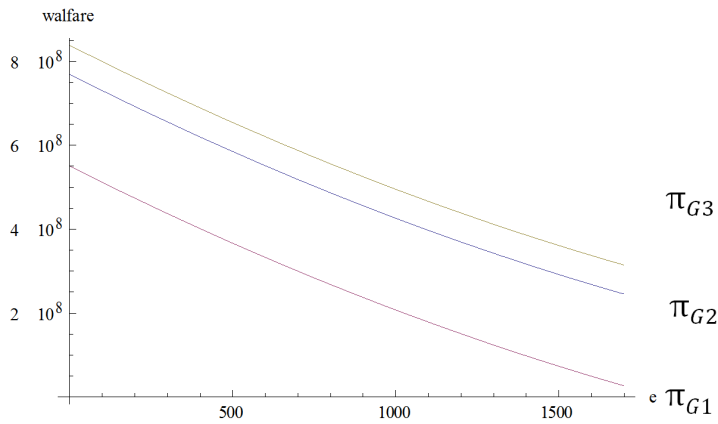


Figure 2. Subsidies contrast figure

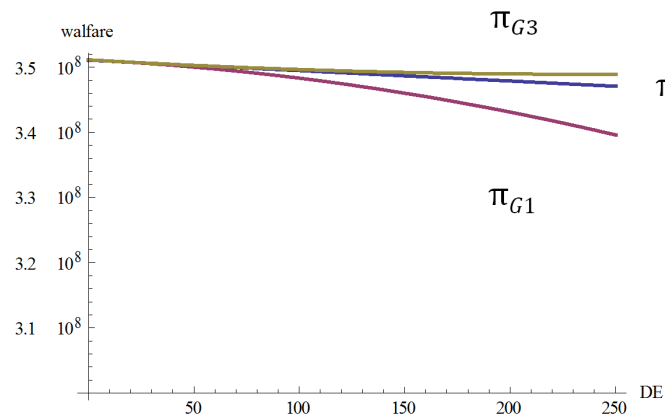
图 2. 政府不补贴时与按回收数量进行补贴对比图



**Figure 3.** Two subsidies contrast figure  
**图 3.** 两种补贴方式对比图



**Figure 4.** The influence of  $e$  to social welfare  
**图 4.**  $e$  的变动对社会福利的影响



**Figure 5.** The influence of  $E$  to social welfare  
**图 5.**  $E$  的变动对社会福利的影响

減小的最慢，即存在  $\pi_{G3} > \pi_{G2} > \pi_{G1}$ 。由此我们可以得到结论：在不同的  $e$  跟  $E$  的取值情况下，政府采用基于回收率补贴方式的激励策略更有利于提高社会福利。

## 5. 结论

本文研究了由独立的回收商负责回收背景下，政府为了提高全社会的福利，对生产商征收回收费用同时对回收商进行补贴，供应链中生产商以及回收商，根据政府的激励策略，以及消费者的需求供给函数进行决策。分别对比了政府不对回收进行补贴、政府按回收商的回收数量进行补贴、政府按回收商的回收率进行补贴的激励策略等 3 种情形下的最优均衡决策结果。研究表明：政府采用任一种激励策略均能提高产品回收率；若政府若采用基于回收率补贴激励策略将更有效提高回收效率，实现社会的最大福利。这些结论为绿色供应链的政策制定以及企业决策提供一定的借鉴意义。

## 参考文献 (References)

- [1] Ferguson, M.E. and Toktay, L.B. (2006) The effect of competition on recovery strategies. *Production and Operations Management*, **15**, 351-368.
- [2] Vlachos, D., Georgiadis, P. and Iakovou, E. (2007) A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. *Computers & Operations Research*, **34**, 367-394.
- [3] Oraiopoulos, N., Ferguson, M.E. and Toktay, L.B. (2012) Relicensing as a secondary market strategy. *Management Science*, **58**, 1022-1037.
- [4] 计国君, 黄位旺 (2012) WEEE 回收条例有效实施问题研究. *管理科学学报*, **15**, 1-10.
- [5] Bansal, S. and Gangopadhyay, S. (2003) Tax/subsidy policies in the presence of environmentally aware consumers. *Journal of Environmental Economics and Management*, **45**, 333-355.
- [6] Palmer, K. and Walls, M. (1997) Optimal policies for solid waste disposal: Taxes, subsidies and standards. *Journal of Public Economics*, **65**, 193-205.
- [7] Palmer, K., Sigman, H. and Walls, M. (1997) The cost of reducing municipal solid waste. *Journal of Environmental Economics and Management*, **33**, 128-150.
- [8] Wojanowski, R., Verter, V. and Boyaci, T. (2007) Retail-collection network design under deposit-refund. *Computers & Operations Research*, **34**, 324-345.
- [9] 周垂日, 梁樑, 许传永, 等 (2008) 政府在废旧电子产品逆向物流管理中的经济责任机制. *中国管理科学*, **S1**, 434-437.
- [10] Mitra, S. and Webster, S. (2008) Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies. *International Journal of Production Economics*, **111**, 287-298.
- [11] 朱庆华, 窦一杰 (2011) 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型. *管理科学学报*, **6**, 86-95.