

12-12-2019

## Design and Simulation Analysis of EPR Contract from the Perspective of Government Regulation

Benhong Peng

*1. School of Management Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; ;2. China Institute of Manufacturing Development, Nanjing 210044, China;*

Yuanyuan Wang

*1. School of Management Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; ;*

Tu Yu

*1. School of Management Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; ;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Design and Simulation Analysis of EPR Contract from the Perspective of Government Regulation

## Abstract

**Abstract:** Government regulation is an important means to promote the extension of producer responsibility. Through the establishment of the agency model based on the public, the government and the producer, the situation of non-cooperation and the cooperation regulation between the public and the government respectively is modeled and analyzed, and the simulation is carried on. *The study finds that the cooperation regulation is better than the non-cooperation regulation. The cooperation regulation should take into account the factors such as the risk aversion degree of the manufacturers, the uncertainty of the external environment, the cost coefficient, the comprehensive ability level, the economic benefit and the environmental benefit. The government should mobilize the enthusiasm of the parties to fulfill the responsibility of resources and environment, improve the level of public participation, innovate incentive and restraint mechanism, according to the specific circumstances of the manufacturers, take differentiated incentives, strengthen the implementation of producer responsibility extension system supervision and evaluation, and continuously improve Management level.*

## Keywords

government regulation, EPR, principal-agent model, simulation analysis

## Recommended Citation

Peng Benhong, Wang Yuanyuan, Tu Yu. Design and Simulation Analysis of EPR Contract from the Perspective of Government Regulation[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(9): 1811-1818.

## 政府规制视角下 EPR 契约设计及仿真分析

彭本红<sup>1,2</sup>, 王圆缘<sup>1</sup>, 屠羽<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学管理工程学院, 江苏 南京 210044; 2. 中国制造业发展研究院, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 政府规制是推进生产者责任延伸制度的重要手段。通过建立公众、政府、生产商之间的委托代理模型, 分别对公众与政府非合作以及合作两种规制情况进行建模分析, 并进行仿真分析。研究发现: 政府与公众合作规制要优于非合作规制; 合作规制过程中应考虑到生产商的风险规避程度、外部环境的不确定性、成本系数、综合能力水平、经济效益和环境效益等因素。政府在规制时应提高公众参与水平; 创新激励约束机制, 采取差异化激励措施; 加强生产者责任延伸制度实施的监督评价, 提高监管水平。

**关键词:** 政府规制; EPR(Extended Producer Responsibility); 委托代理模型; 仿真分析

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 09-1811-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0322

## Design and Simulation Analysis of EPR Contract from the Perspective of Government Regulation

Peng Benhong<sup>1,2</sup>, Wang Yuanyuan<sup>1</sup>, Tu Yu<sup>1</sup>(1. School of Management Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;  
2. China Institute of Manufacturing Development, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Government regulation is an important means to promote the extension of producer responsibility. Through the establishment of the agency model based on the public, the government and the producer, the situation of non-cooperation and the cooperation regulation between the public and the government respectively is modeled and analyzed, and the simulation is carried on. *The study finds that the cooperation regulation is better than the non-cooperation regulation. The cooperation regulation should take into account the factors such as the risk aversion degree of the manufacturers, the uncertainty of the external environment, the cost coefficient, the comprehensive ability level, the economic benefit and the environmental benefit. The government should mobilize the enthusiasm of the parties to fulfill the responsibility of resources and environment, improve the level of public participation, innovate incentive and restraint mechanism, according to the specific circumstances of the manufacturers, take differentiated incentives, strengthen the implementation of producer responsibility extension system supervision and evaluation, and continuously improve Management level.*

**Keywords:** government regulation; EPR; principal-agent model; simulation analysis

## 引言

近年来电子废弃物不断增加, 但大部分电子废



收稿日期: 2017-07-05 修回日期: 2017-11-06;  
基金项目: 国家自然科学基金(71263040, 71571103),  
江苏省社会科学基金(17GLD013), 江苏高校哲学社  
会科学重点项目(2017ZDIXM119), 江苏高校优势学  
科建设工程资助项目(PAPD);  
作者简介: 彭本红(1969-), 男, 湖北潜江, 博士后,  
教授, 研究方向为环境治理、物流与供应链管理。

弃物流向“走街串巷”的废品收购商等非正规渠道, 被简单拆解处理, 造成了环境污染和资源浪费。另一方面, 我国实行生产者责任延伸(EPR)制度, 规定了生产商的回收责任, 但生产商并没有积极地承担相应的责任。针对这些现象, 政府应采取措施对生产企业的回收行为进行规制, 激励生产商更好地承担自己的责任, 加快生态文明建设和绿色循环低

<http://www.china-simulation.com>

• 1811 •

碳发展。

电子废弃物的回收处理问题一直是研究的热门话题之一。童昕等<sup>[1]</sup>以 EPR 制对技术创新的影响为研究对象, 构建了我国 EPR 系统评估体系以完善 EPR 制度。Savaskan 等<sup>[2]</sup>考虑在竞争环境下, 分别建立生产商自主回收和委托销售商回收模式下的决策模型, 分析了回收渠道的选择对供应链利润的影响, 提出了回收方式选择的决策建议。Giovanni<sup>[3]</sup>通过定量分析, 提出在电子废弃物的回收过程中只有获得足够大的利润时, 生产商才偏向选择自主回收的方式。Giovanni 等<sup>[4]</sup>结合经济效益和环境效益, 利用模型定量分析并结合实际, 得出了生产商选择第三方回收的条件。

还有学者从政府规制角度进行研究。Chi 等<sup>[5]</sup>提出单纯取缔或竞争并不能从根本上解决非正规回收问题, 而要考虑进行适当的激励和监督。Li 等<sup>[6]</sup>构建了正规与非正规回收渠道整合起来的双渠道逆向供应链网络, 建立了混合整数多目标线性规划逆向物流模型, 得到了收编激励的适用条件。刘慧慧等<sup>[7]</sup>比较正规渠道和非正规渠道的回收途径和盈利模式, 建立了回收竞争模型, 得到适量提高翻修质量门槛能控制电子废弃物流向的结论。余福茂等<sup>[8]</sup>建立了系统动力模型, 引入正规回收渠道的激励因素以及非正规渠道的约束因素, 根据仿真结果提出了回收建议。Norom 等<sup>[9]</sup>等以发展中国家为对象, 研究了电子废弃物回收现状, 指出了政府应出台相关的管理细则, 要求生产商承担回收责任。Sheu<sup>[10]</sup>结合台湾的实际情况, 分析了政府财政补贴在逆向供应链上的影响。Mitra 等<sup>[11]</sup>发现由生产商和处理商共同拥有政府补贴, 有利于电子废弃物的回收。Lau 等<sup>[12]</sup>探索了影响生产商实施回收的原因, 以及各个因素之间的关系, 指出政府补贴能有效提高生产商实施电子废弃物回收的积极性。王文宾等<sup>[13]</sup>运用动态博弈的方法建立了回收再制造决策模型, 通过比较奖惩机制和税收补贴机制得出奖惩机制对鼓励逆向供应链上的成员效果最好

的结论。张保银等<sup>[14]</sup>运用委托-代理理论对循环经济下政府对推行逆向物流的激励与监督问题展开研究。任鸣鸣<sup>[15]</sup>运用委托-代理理论从政府角度设计电子企业实施生产者责任制的激励机制。

以上研究主要分两大方向, 一是 EPR 制角度, 主要探索在电子废弃物领域怎样推行和完善, 而在生产商回收模式上存在很大分歧, 选择由生产商自主回收, 还是委托销售商或第三方回收都应该有一定的假设条件; 二是政府规制角度, 介绍政府回收规制集中在对非正规回收群体的规制, 以及对生产商回收的法律规制和激励措施。同时, 从政府规制角度研究 EPR 契约设计的文献目前相对较少, 运用委托-代理理论对 EPR 展开研究的文献也不多见。另一方面, 研究角度单一, 大多也只局限于研究政府与企业两个角色。现有文献中关于对生产商进行回收规制模型仿真和定量分析方面还有待于加强, 研究的主体也有待拓展。本文在政府规制视角下, 通过建立基于委托代理的政府、公众与企业的最优激励契约模型, 并进行数值仿真, 探索政府对生产商的回收责任的规制的具体对策。

## 1 政府规制下的生产者责任延伸制度

生产者责任延伸制度是指将生产者对其产品承担的资源环境责任从生产环节延伸到产品设计、流通消费、回收利用、废物处置等全生命周期的制度。实施生产者责任延伸制度, 对当前我国推进供给侧结构性改革和制造业转型升级具有积极意义。作为一项环境保护制度, 它的特点在于将环境责任由政府转交给生产商; 同时对生产商的责任要求反馈至产品的设计阶段。EPR 下, 生产商主要承担的延伸责任有经济责任、实体责任、信息责任和赔偿责任。经济责任指生产商应承担产品全部或部分的回收费用; 实体责任指生产者直接参与产品的后消费阶段的环境责任; 信息责任指生产者应向其余相关主体提供信息的责任; 赔偿责任指生产商对环境造成污染须支付费用的责任。然而仅靠这一制度并

不能有效督促生产商履行自己的责任, 作为电子废弃物回收的相关主体, 政府与公众也责无旁贷。

EPR 制度的实施需要政府的引导与推动, 政府对 EPR 制度主要运用法律法规与财政手段进行规制。我国政府提出科学发展观, 鼓励发展循环经济等, 借助相关政策法规来引导生产商对产品进行回收处理; 另一方面, 为激励生产商积极回收, 对回收的产品提供财政补贴, 对生产商污染环境的行为征收税收。这些手段都是政府为落实生产者责任做出的努力。

作为电子废弃物回收的另一个直接相关主体, 公众的影响力也不可忽视。公众作为产品的消费主体, 其态度也能影响产品的回收。公众的环保意识越强, 参与回收的积极性越高, 对回收工作的配合度越高, 生产商回收的阻力越小。同时, 公众可以行使自己的权利, 参与制度的制定, 对生产者进行监督与约束。通过公众的参与与监督能有效地激励生产商承担责任, 积极树立良好的企业形象。

## 2 生产者责任延伸下的政府规制契约模型

生产者责任延伸制度作为一项环境政策, 需要政府、社会及企业的共同努力。尽管我国实施了环境规制, 但在以企业为主体的 EPR 的实践过程中, 仍然需要政府的引导和推动以及公众地参与。因而 EPR 下, 电子废弃物的回收体系中主要包括 3 个主体, 即公众、政府、生产商和三层委托代理关系。委托代理理论研究的是在信息不对称的情况下, 委托人怎样激励代理人选择使委托人效用最大化的行动。简单的来说, 委托代理关系是一种契约关系, 其基本内容规定了代理人为实现委托人的利益选择采取何种行动, 委托人相应地向代理人支付相应的报酬。国内外的相关实践表明, 大多数生产企业回收电子废弃物的积极性不高, EPR 制度的实施离不开政府的激励与约束及社会各方的参与。因而, EPR 制度实施时, 政府、公众及生产商存在着典型

的委托代理关系。近年来社会公众的绿色环保意识逐渐加强, 需要政府制定政策、法律法规等一套机制来对回收环节进行规制, 保障公众的环境权益。其中, 政府对公众的环境权进行保护是一种公共服务, 公众的环境权益只通过单一的市场机制约束很难达到目标, 需要政府发挥作用, 规制回收环节。

因此, 公众和政府之间构成了第 1 层的委托代理关系, 委托人(公众)将自身的环境权益委托给代理人(政府)进行回收规制来保证自己的合法权益; 其次, 政府制定实施的 EPR 制中规定生产商进行电子废弃物的回收, 委托生产商承担 EPR 所规定的回收责任, 政府和生产商形成了第 2 层委托代理关系; 最后, 生产商在政府规制政策的细则上, 将自己的利益反馈给政府求得法律政策支持, 等同于公众将自己的合法权益委托给政府, 形成第 3 层委托代理关系。

### 2.1 政府与公众在非合作状态下的规制模型

政府代表社会公共利益, 其职能是实现经济效益与环境效益在内的社会总体效用最大; 而公众在市场活动中, 期望以低价获取高收益。因此, 在非合作状态下, 双方对生产商有不同的激励契约, 对生产商产生影响。

#### 2.1.1 模型假设

假设 1 代理人(生产商)受政府和公众两方的规制, 这里用接受两项委托任务来表示, 用 1 表示公众, 2 表示政府, 每个任务的预期收益为:

$$R_i = K_i e_i + \varepsilon_i \quad i=(1,2)$$

式中:  $e_i$  是生产商对委托人  $i$  委托任务的努力程度,  $i=1,2$ , 非合作状态下  $e_1$ 、 $e_2$  相互独立;  $K_i$  表示边际效益产出系数, 与生产商努力水平有关, 影响生产商收益的因素,  $K_i \geq 0$ ;  $\varepsilon_i$  表示不确定性因素, 是均值为 0, 方差为  $\sigma^2$  的随机正态分布变量, 即  $\varepsilon_i \sim (0, \sigma^2)$ 。

假设 2 生产商的努力成本为<sup>[16]</sup>:

$$C(e_1, e_2) = \frac{1}{2} \beta_1 e_1^2 + \frac{1}{2} \beta_2 e_2^2 \quad (\beta_1 > 0, \beta_2 > 0)$$

式中:  $\beta_1$  是生产商接受公众任务时的成本系数;  $\beta_2$

是接受政府任务时的成本系数。

假设 3 生产商的努力水平不可观察，但是努力的结果是可以被观测到的。政府和公众独立决策，这里假设采用线性函数支付报酬，可表示为：

$$\omega_i = a_i + b_{ii}R_i + b_{ij}R_j \quad i=(1,2) \quad i \neq j$$

式中： $a_i$  为委托人  $i$  给予生产商的固定报酬，与产出无关，这里可以认为是生产商的正常收益； $b_{ii}$  为委托人带给生产商的经济效益方面的激励系数，即产出  $R_i$  每增加一个单位，生产商的报酬就增加  $b_{ii}$  个单位； $b_{ij}$  为委托人  $i$  带给生产商的环境效益方面的激励系数，生产商完成两项任务时获得的外部效应，包括政府对生产商进行电子废弃物回收时给予的财政补贴、奖励或税收优惠，公众对生产商良好的市场评价，以及绿色消费偏好，带来品牌形象推广、客户量增加、销售量扩大等潜在收益。

假设 4 委托人风险中性，风险为 0。

假设 5 生产商作为代理人是风险规避的，采用 Arrow-pratt(风险厌恶)结论，生产商的效用函数为  $u = -e^{-\rho s}$ ，确定性等价收益为：

$$CE = E(s) - \frac{1}{2} \rho \beta^2 \sigma^2$$

式中： $\rho$  为风险规避程度； $s$  为生产商实际收益； $\frac{1}{2} \rho \beta^2 \sigma^2$  为生产商的风险成本，即宁愿在随机收益  $E(s)$  中放弃  $\frac{1}{2} \rho \beta^2 \sigma^2$  的收益，换取确定性收益。

### 2.1.2 模型构建

生产商代理公众和政府两项不同的任务时，得到的总报酬为  $\omega_1(R_1) + \omega_2(R_2)$ 。

公众和政府会从自身的利益目标出发设计激励机制，生产商会根据激励机制选择最优的组合，得出自身效用最大化函数为：

$$\begin{aligned} \max_{e_1, e_2} E[U(s)] = \\ \max_{e_1, e_2} E\{U[\omega_1(R_1) + \omega_2(R_2) - C(e_1, e_2)]\} = \\ \max_{e_1, e_2} E(CE) \end{aligned}$$

将假设 1, 2, 3, 5 中所有公式带入该效用最大化函数中可得：

$$\begin{aligned} \max_{e_1, e_2} \left\{ (a_1 + a_2) + k_1(b_{11} + b_{12})e_1 + \right. \\ \left. k_2(b_{21} + b_{22})e_2 - \left[ \frac{\beta_1}{2}(e_1)^2 + \frac{\beta_2}{2}(e_2)^2 \right] - \right. \\ \left. \frac{\rho \sigma^2}{2} [(b_{11} + b_{12})^2 + ((b_{21} + b_{22}))^2] \right\} \end{aligned}$$

求一阶导可得激励相容约束条件(IC)：

$$e_1 = \frac{k_1(b_{11} + b_{12})}{\beta_1} \quad e_2 = \frac{k_2(b_{21} + b_{22})}{\beta_2}$$

同时生产商的参与约束条件(IR)：

$$\max_{e_1, e_2} E(CE) \geq \bar{U}$$

式中： $\bar{U}$  为生产商自身的保留收入水平，政府和公众设计的激励契约带来的报酬只有大于  $\bar{U}$ ，生产商才会接受契约。因此，政府和公众为了让生产商完成代理任务，必须同时满足 IC 和 IR 条件。

由假设 4，公众风险中性，期望效用等于期望收入，表示为：

$$\begin{aligned} \max_{b_1, b_2} E\{U_1[R_1 - a_1 - b_{11}R_1 - b_{21}R_2]\} = \\ \max_{b_1, b_2} E(R_1 - a_1 - b_{11}R_1 - b_{21}R_2) \end{aligned}$$

将 IC 和 IR 带入，可得：

$$\begin{aligned} \max_{b_1, b_2} \left\{ \frac{k_1^2(b_{11} + b_{12})}{\beta_1} - \frac{(k_1^2 + \beta_1 \rho \sigma^2)(b_{11} + b_{12})^2}{2\beta_1} - \right. \\ \left. \frac{(k_1^2 + \beta_2 \rho \sigma^2)(b_{21} + b_{22})^2}{2\beta_2} + \right. \\ \left. \frac{k_1^2 b_{12}(b_{11} + b_{12})}{\beta_1} + \frac{k_1^2 b_{22}(b_{11} + b_{12})}{\beta_2} + a_2 - \bar{U} \right\} \end{aligned}$$

求一阶导得，公众的最优激励契约为：

$$\begin{aligned} \frac{k_1^2}{\beta_1} - \left( \frac{k_1^2}{\beta_1} + \rho \sigma^2 \right) (b_{11} + b_{12}) + \frac{k_1^2 b_{12}}{\beta_1} = 0 \\ - \left( \frac{k_2^2}{\beta_2} + \rho \sigma^2 \right) (b_{21} + b_{22}) + \frac{k_2^2 b_{22}}{\beta_2} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

同理，政府的最优激励契约为

$$\begin{aligned} \frac{k_2^2}{\beta_2} - \left( \frac{k_2^2}{\beta_2} + \rho \sigma^2 \right) (b_{21} + b_{22}) + \frac{k_2^2 b_{21}}{\beta_2} = 0 \\ - \left( \frac{k_1^2}{\beta_1} + \rho \sigma^2 \right) (b_{11} + b_{12}) + \frac{k_1^2 b_{11}}{\beta_1} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

### 2.1.3 激励效应分析

将式(1)~(2)相加得

$$b_{11} + b_{12} = \frac{k_1^2}{k_1^2 + 2\beta_1\rho\sigma^2} \quad (3)$$

将式(3)带入式(1)得:  $b_{12} < 0$

同理得:  $b_{21} < 0$

结果表明, 生产商得到的环境效益方面的激励系数为负, 可以看出, 当政府和公众赋予生产商两项任务进行共同激励时, 会给另一个委托人带来负面影响, 导致生产商受到的激励减弱。同时, 由于生产商的努力水平是既定的, 有约束条件  $e_1 + e_2 \leq e$ 。也就是说, 当政府提高激励时, 生产商将减少公众赋予其任务的努力水平; 在政府和公众同等提高激励的情况下, 生产商不会增加努力水平。因此, 在政府和公众是非合作状态下时, 双方利益会受到对方的负面影响, 并不能达到很好的激励效果。

## 2.2 政府与公众在合作状态下的规制模型

政府和公众在合作状态下, 以双方整体利益为目标, 对生产商进行激励契约机制设计。

### 2.2.1 模型假设

假设 1 用柯布道格拉斯生产函数(C-D 函数)表示政府和公众的总收益, 可以表示为:

$$R = f(e_1, e_2) + \varepsilon = \lambda e_1^\theta e_2^{1-\theta} \quad 0 < \theta < 1$$

式中:  $\theta \sim N(0, \sigma^2)$ , 表示外部环境的不确定性;  $\theta$  和  $1-\theta$  代表生产商的经济效益和环境效益的重要程度, 边际产出分别为  $\lambda\theta e_1^{\theta-1} e_2^{1-\theta}$ ,  $\lambda(1-\theta)e_1^\theta e_2^{-\theta}$ , 这里假设可以看出, 政府和公众在合作时, 生产商完成一个任务的边际产出, 是另一个任务的增函数;  $\lambda$  为生产商的综合能力水平。

假设 2 生产商的报酬采用线性函数方式:

$$W = a + bR$$

式中:  $a$  为生产商的固定报酬, 也就是正常收益;  $b$  为政府和公众作为共同委托人, 带给生产商的激励系数, 即总收益每增加一个单位, 生产商的报酬就增加  $b$  个单位。

生产商的确定性收益为:

$$\max_{e_1, e_2} CE = E(W) -$$

$$C(e) - \frac{1}{2}\rho b^2 \sigma^2 = a + b\lambda e_1^\theta e_2^{1-\theta} -$$

$$\frac{1}{2}\beta_1 e_1^2 - \frac{1}{2}\beta_2 e_2^2 - \frac{1}{2}\rho b^2 \sigma^2 \quad (4)$$

### 2.2.2 模型构建

对式(4)求一阶导, 得到激励相容约束条件(IC):

$$e_1 = \lambda \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^{1+\frac{\theta}{2}} \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{-\frac{\theta}{2}} b$$

$$e_2 = \lambda \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^{\frac{\theta}{2}} \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{\frac{\theta}{2}} b$$

政府和公众的利润为  $\pi = R - W$ , 期望效用为

$$E(\pi) = E(R - W):$$

$$\max_{a, b} E(\pi) = \max_{a, b} E(R - W) =$$

$$\max_{a, b} [\lambda e_1^\theta e_2^{1-\theta} - E(W)] \quad (5)$$

参与约束条件(IR):

$$E(W) - \frac{1}{2}\beta_1 e_1^2 - \frac{1}{2}\beta_2 e_2^2 - \frac{1}{2}\rho b^2 \sigma^2 \geq \bar{U}$$

将 IC、IR 约束式带入(5)得:

$$E(\pi) = \lambda^2 b \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^\theta \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{1-\theta} -$$

$$\frac{1}{2} \lambda^2 \beta_1 b^2 \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^{1+\theta} \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{1-\theta} -$$

$$\frac{1}{2} \lambda^2 \beta_2 b^2 \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^\theta \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{2-\theta} - \frac{1}{2} \rho b^2 \sigma^2 - \bar{U}$$

对  $b$  求一阶导得最优激励系数为

$$b^* = \frac{\lambda^2 \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^\theta \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{1-\theta}}{\lambda^2 \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^\theta \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{1-\theta} + \rho b^2}$$

$$\frac{1}{1 + \frac{\rho b^2}{\lambda^2 \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^\theta \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{1-\theta}}}$$

可见, 最优激励系数  $b^*$  受  $\rho$ 、 $\sigma^2$ 、 $\lambda$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\theta$  的影响。因此下节主要研究在合作状态下模型的最优激励系数  $b^*$  与  $\rho$ 、 $\sigma^2$ 、 $\lambda$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\theta$  的关系。



### 3 政府与公众在合作规制下的仿真分析

为更直观反映与  $b^*$  之间的关系, 下面借助 MATLAB 对模型进行仿真分析。

(1) 风险规避程度  $\rho$ 、外部环境不确定性的方差  $\sigma^2$  对  $b^*$  的影响

从图 1 中看出, 随着风险规避程度  $\rho$ 、外部环境不确定性的方差  $\sigma^2$  的增加, 图中曲面呈现出下降的趋势, 生产商的最优激励系数  $b^*$  随之降低,  $\frac{\partial b^*}{\partial \rho} < 0, \frac{\partial b^*}{\partial \sigma^2} < 0$ , 表示当生产商的风险规避程度高、外部环境不确定性大的时候, 应降低激励。(设  $\lambda=1, \theta=0.5, \beta_1=5, \beta_2=5$ )

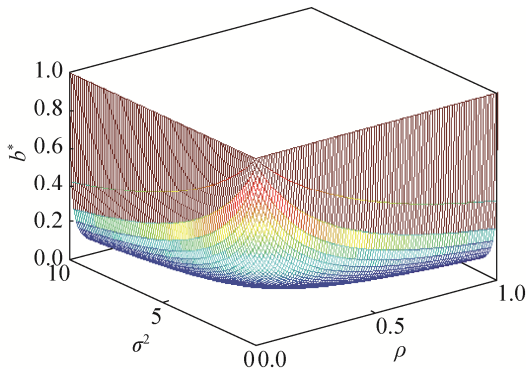


图 1  $\rho, \sigma^2$  对  $b^*$  的影响  
Fig. 1 Influence of  $\rho, \sigma^2$  on  $b^*$

可见, 委托人在设计激励契约时要考虑到生产商的风险规避程度, 以及外部环境的不确定性因素, 针对性地采取差别化激励。资金实力低, 经验少, 处在不利外部环境中的生产商, 倾向于规避风险, 追求确定性收益, 应降低激励; 而资金能力厚实、勇于挑战、积极性和风险承受能力相对高的生产商, 可加大激励, 以此调动回收的积极性。除此之外, 政府应采取措施来降低外部环境的不确定性, 完善回收的市场机制, 营造一个健康的外部环境。

(2) 生产商的综合能力水平  $\lambda$  对  $b^*$  的影响

如图 2 所示, 随着生产商的综合能力水平  $\lambda$  的提高, 生产商的最优激励系数  $b^*$  增大, 即  $\frac{\partial b^*}{\partial \lambda} > 0$ 。(设  $\rho=0.5, \sigma^2=9, \theta=0.5, \beta_1=5, \beta_2=5$ )

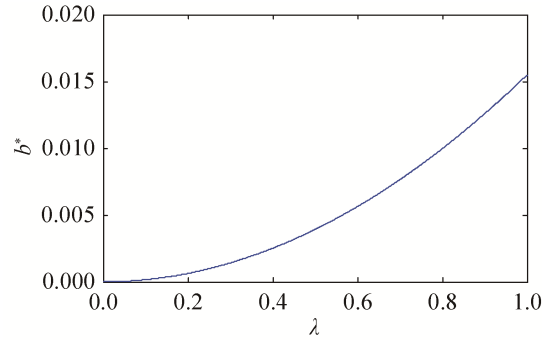


图 2  $\lambda$  对  $b^*$  的影响  
Fig. 2 Influence of  $\lambda$  on  $b^*$

可见, 委托人在设计激励契约时要考虑到生产商的能力水平, 给予差别化激励。对能力水平高、在资金和信息等方面具有优势的生产商来说, 更愿意投身到回收过程中来, 委托人应加大激励以创造更多的环境效益。

(3) 成本系数  $\beta_1, \beta_2$  对  $b^*$  的影响

由图 3, 当  $\beta_1$  一定时, 斜率  $\frac{\partial b^*}{\partial \beta_2} < 0$  即为负, 图中曲面呈下降趋势; 当  $\beta_2$  一定时,  $\frac{\partial b^*}{\partial \beta_1} < 0$ , 曲面也呈下降趋势。表明生产商的最优激励系数  $b^*$  与成本系数成反向关系即成本系数的增加会减弱对生产商的激励作用。(设  $\lambda=1, \rho=0.5, \sigma^2=9, \theta=0.5$ )

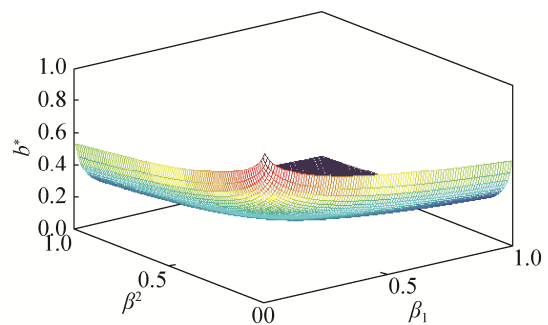


图 3  $\beta_1, \beta_2$  对  $b^*$  的影响  
Fig. 3 Influence of  $\beta_1, \beta_2$  on  $b^*$

可见, 若生产商回收成本高, 会削弱企业积极性, 减少在环境效益方面的产出。成本系数增加, 减弱了激励效果, 因此应降低激励的强度。而对努力成本系数低的生产商, 更愿意主动回收, 可以加大激励。

(4) 经济效益的重要性  $\theta$  对  $b^*$  的影响



结合成本系数验证

$$\mu = \lambda^2 \left[ \frac{\theta}{\beta_1} \right]^\theta \left[ \frac{1-\theta}{\beta_2} \right]^{1-\theta} \quad (6)$$

可得

$$b^* = \frac{1}{1 + \frac{\rho\sigma^2}{\mu}} \quad (7)$$

则

$$\frac{\partial \mu}{\partial \theta} = \mu \ln \left[ \frac{\frac{\theta}{\beta_1}}{\frac{1-\theta}{\beta_2}} \right] \quad (8)$$

由式(8)可知,  $\mu$  和  $\theta$  的关系受产出和成本系数的影响, 生产商的投入产出效率系数  $A = \frac{\theta}{\beta_1}$ ,

$B = \frac{1-\theta}{\beta_2}$ , 可得  $\frac{\partial \mu}{\partial \theta} = \mu \ln \left[ \frac{A}{B} \right]$ , 且二阶导

$\frac{\partial^2 \mu}{\partial \theta^2} = \mu \ln^2 \left[ \frac{A}{B} \right] + \frac{\mu}{1+\theta} > 0$ , 为凸函数。

当  $A > B$  时,  $\frac{\partial \mu}{\partial \theta} > 0$ , 根据式(7)得,  $\frac{\partial b^*}{\partial \theta} > 0$ ,

这表明当生产商经济效益的投入产出效率更高时, 最优激励系数  $b^*$  是  $\theta$  的增函数。同理, 当环境效益的投入产出效率更高时, 最优激励系数  $b^*$  是  $\theta$  的减函数。

可见, 当生产商经济效益的投入产出效率更高时, 生产商倾向于经济效益的努力, 忽略环境效益的投入, 此时应加强激励, 也就是加强在环境效益方面的激励, 提高生产商的积极性。当环境效益的投入产出效率更高时, 不需要政府和公众对其激励, 生产商也会自觉积极地参与回收, 此时可降低激励。

## 4 结论

本文对 EPR 下的政府规制现状进行分析, 通过建立基于公众、政府、生产商之间的多重委托代理的政府最优激励契约模型, 对模型进行仿真分析得出结论: 合作状态下生产商共同代理任务优于非合作状态下分别代理委托任务, 且在合作状态下应考虑到生产商个人的风险规避程度、外部环境的不确定性、成本系数等因素, 采取差别化激励。政府

应结合公众的力量, 并将这股力量扩大到动员各类环境保护组织、环保协会、媒介组织, 作为共同代理人对生产商进行社会全体的督促, 促使生产商有效落实 EPR 制度所规定的相关责任。

通过对政府与公众在合作状态与非合作状态下的契约设计及模型仿真分析, 提出如下建议:

(1) 政府在规制时应调动各方主体履行资源环境责任的积极性, 提高公众参与水平。单靠政府规制并不能很好地对生产商进行激励, 政府应结合公众的力量, 与公众合作规制共同对生产商进行激励。在合作状态下, 政府与公众的目标协调一致, 两者对生产商共同激励, 能得到很好的激励效果; 而在非合作状态下, 政府和公众由于不同的利益诉求, 当他们赋予生产商两项任务进行共同激励时, 双方利益会受到对方的负面影响, 并不能达到很好的激励效果。政府与公众合作规制, 调动各方的积极性对生产商进行监督与激励能更好地激励生产商承担责任。

(2) 创新激励约束机制, 根据生产商具体情况采取差别化激励措施。政府与公众合作规制下, 生产商个人的风险规避程度、外部环境的不确定性、成本系数、综合能力水平、经济效益和环境效益这些因素都会对最优激励系数造成影响。可见, 在这种情况下不能对生产商进行统一的激励。要想达到最优的激励效果, 政府首先应创新激励约束机制, 在政府与公众共同激励时, 应先对各个生产商情况进行全面地分析, 然后根据生产商具体情况选择不同的对策进行差别化激励, 这样对生产商的激励效果将达到最优。

(3) 加强生产者责任延伸制度实施的监督评价, 不断提高管理水平。政府与社会公众的监督评价能保障生产者责任延伸制度有效落实。政府可以设立专门的监督机构, 监督生产商执行 EPR 制度及回收的情况, 监督机构还可以建立回收资格认证机制对非正规回收商进行规制; 公众作为社会产品的消费者与生产商的关系更为密切, 公众对生产商进行监督, 积极配合生产商的回收处理工作能有效培养生产商的社会责任感, 激励生产商树立良好的

社会形象,同时,公众可以行使自己的权利对制度的制定与实施进行监督,并提出完善建议,不断提高政府的管理水平,督促生产商有效落实 EPR 制度所规定的相关责任。

### 参考文献:

- [1] 童昕, 颜琳. 可持续转型与延伸生产者责任制[J]. 中国人口资源与环境, 2012, 22(8): 48-54.  
Tong Xin, Yan Lin. Sustainable Transformation and Extended Producer Responsibility System[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(8): 48-54.
- [2] Savaskan R C, Wassenhove L N V. Reverse Channel Design: The Case of Competing Retailers[J]. Management Science (S0025-1909), 2006, 52(1): 1-14
- [3] Giovanni P D. Environmental Collaboration in a Closed-loop Supply Chain with a Reverse Revenue Sharing Contract[J]. Annals of Operations Research (S0254-5330), 2011, 220(1): 135-157.
- [4] Giovanni P D, Zaccour G. A two-period Game of a Closed-loop Supply Chain[J]. European Journal of Operational Research (S0377-2217), 2014, 232(1): 22-40.
- [5] Chi X, Streicher-Porte M, Wang M Y L, et al. Informal Electronic Waste Recycling: A Sector Review with Special Focus on China[J]. Waste Management (S0956-053X), 2011, 31(4): 731-742.
- [6] Li R C, Tee T J C. A Reverse Logistics Model for Recovery Options of E-waste Considering the Integration of the Formal and Informal Waste Sectors[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences (S1877-0428), 2012, 40: 788-816.
- [7] 刘慧慧, 黄涛, 雷明. 废旧电器电子产品双渠道回收模型及政府补贴作用研究[J]. 中国管理科学, 2013(2): 123-131.  
Liu Huihui, Huang Tao, Lei Ming. Research on Dual Channel Recycling Model of Waste Electrical Appliances and Electronic Products and the role of Government Subsidies[J]. China Management Science, 2013(2): 123-131.
- [8] 余福茂, 王聪颖, 魏洁. 电子废弃物回收处理渠道演化的系统动力学仿真[J]. 生态经济, 2016, 32(6): 147-151.  
Yu Fumao, Wang Congying, Wei Jie. Systematic Dynamics Simulation of Channel Evolution of E-waste Recycling[J]. Ecology and Economics, 2016, 32(6): 147-151.
- [9] Nnoroma I C, Osibanjo O. Overview of Electronic Waste E-waste Management Practices and Legislations, and their Poor Applications in the Developing Countries[J]. Resources Conservation and Recycling (S0921-3449), 2008, 52(6): 843-858.
- [10] Sheu J B. Bargaining Framework for Competitive Green Supply Chains under Government Financial Intervention[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review (S1366-5545), 2011, 47(5): 573-592.
- [11] Mitra S, Webster S. Competitive in Remanufacturing and the Effects of Government Subsidies[J]. International Journal of Production Economics (S0925-5273), 2012, 111(2): 287-298.
- [12] Lau K H, Wang Y M. Reverse Logistics in the Electronic Industry of China: a Case Study[J]. Supply Chain Management (S1359-8546), 2012, 14(6): 447-465.
- [13] 王文宾, 邓雯雯. 逆向供应链的政府奖惩机制与税收补贴机制比较研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(4): 102-110.  
Wang Wenbin, Deng Wenwen. Comparative Study of Government Reward and Punishment Mechanism and Tax Subsidy Mechanism in Reverse Supply Chain[J]. China Management Science, 2016, 24(4): 102-110.
- [14] 张保银, 汪波, 吴煜. 基于循环经济模式的政府激励与监督问题[J]. 中国管理科学, 2006(1): 136-141.  
Zhang Baoyin, Wang Bo, Wu Yu. Government Incentives and Supervision based on Cyclic Economic Model[J]. China Management Science, 2006(1): 136-141.
- [15] 任鸣鸣. 基于电子企业生产者责任制实施的激励机制设计[J]. 系统工程, 2009, 27(4): 116-120.  
Ren Mingming. The Design of Incentive Mechanism for the Implementation of the Producer Responsibility System of Electronic Enterprises[J]. System Engineering, 2009, 27(4): 116-120.
- [16] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996.  
Zhang Weiyang. Game Theory and Information Economics[M]. Shanghai: Shanghai people's press, 1996.