

# 动力电池回收的环境质量成本控制模型构建

尤建新<sup>1</sup>, 段春艳<sup>1</sup>, 黄志明<sup>2</sup>, 钟之阳<sup>1</sup>

(1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 2. 上海挚达科技发展有限公司, 上海 200433)

**摘要:** 针对新能源汽车普及化后将存在大量废弃动力电池对环境造成污染, 提出废弃动力电池回收处理过程中的环境质量成本控制问题, 运用委托代理理论和博弈分析, 分别构建对称信息条件下废弃动力电池回收的环境质量成本控制模型, 以及非对称信息条件下废弃动力电池回收商的单边道德风险环境质量成本控制模型和政府的单边道德风险环境质量检测成本控制模型, 并运用 Matlab 对数值算例进行计算和分析。研究表明: 在对称信息条件下, 存在回收商和政府期望收益同时最优的环境质量成本预防水平和环境质量检测水平; 在非对称信息情况下, 无论回收商还是政府存在单边道德风险时, 回收商在环境质量成本控制过程中, 始终处于负收益状态, 整个逆向供应链的联合期望收益也始终处于负收益状态。

**关键词:** 环境质量成本; 博弈论; 委托代理关系; 动力电池回收

中图分类号: F253.3

文献标志码: A

## Environmental Quality Cost Control Modeling Based on Power Battery Recycling

YOU Jianxin<sup>1</sup>, DUAN Chunyan<sup>1</sup>, HUANG Zhiming<sup>2</sup>, ZHONG Zhiyang<sup>1</sup>

(1. College of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Zhida Technology Development Co. Ltd., Shanghai 200433, China)

**Abstract:** Based on agent theories and game theories, we built an environmental quality cost control model of waste battery under symmetric information, unilateral moral risk environmental quality control model of waste battery recyclers under asymmetric information, and government unilateral moral risk environmental quality test cost control model separately. Moreover, we calculated and analyzed the data with Matlab. The results show that under symmetric information, there is common optimal environmental quality

cost prevention level and environmental quality test level for both government and recyclers; with asymmetric information, no matter when the government or recyclers exists unilateral moral risk, recyclers have always been in negative income status during environmental quality control process, and so to the joint average income of the entire reverse supply chain.

**Key words:** environmental quality cost; game theory; principal-agent relationship; power battery recycling

由于环境污染和能源危机的加剧, 世界各国加快了新能源汽车产业发展的步伐, 为大力发展新能源汽车产业, 制定了各种战略和政策, 新能源汽车将快速成为汽车产业的发展核心。随着新能源汽车市场份额的提升, 作为新能源汽车关键零部件之一的动力电池, 其寿命远低于汽车整车寿命<sup>[1]</sup>。因此, 新能源汽车普及化后的未来几年将有大量的废弃动力电池需要回收。由于废弃动力电池含有大量锂、镍、钴等有色金属资源, 且回收处理过程中具有较高的环境风险<sup>[2]</sup>, 在废弃动力电池回收过程中的环境污染控制问题将成为新能源汽车产业化过程中亟待解决的问题。由此, 废弃动力电池能否有效回收利用将直接影响新能源汽车产业的可持续发展和国家节能减排战略的有效实施。

新能源汽车产业正处于产业化初期和市场推广阶段, 尚未大规模使用, 暂时并未产生大量废弃动力电池, 大部分国家尚未建立新能源汽车废弃动力电池回收体系, 其地方政府也尚未实施废弃动力电池回收行业的环境污染控制。以我国为例, 我国政府已经意识到我国电池回收再生利用网络不健全, 有组织的回收率过低, 再生利用技术装备落后, 给环境带来的二次污染非常严重。2010 年工信部为推进电池

收稿日期: 2013-07-14

基金项目: 上海市优秀学术带头人计划(11XD1405100); 上海市战略性新兴产业重点项目(第二批沪经信技(2013)152 号); 上海市信息化发展专项资金项目(1374648649906)。

第一作者: 尤建新(1961—), 男, 管理学博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为管理理论与工业工程, E-mail: yjx2256@vip.sina.com

通讯作者: 段春艳(1987—), 女, 博士生, 主要研究方向为管理理论与工业工程, E-mail: duanchunyan77@163.com

行业重金属污染的综合预防,专门组织编制了《电池行业重金属污染综合预防方案(征求意见稿)》,但目前尚未建立专业的车用动力电池回收利用体系,更未实施废弃动力电池回收行业的环境污染控制.与此同时,我国从事废旧车用电池(目前主要是铅酸蓄电池)回收的大部分为没有资质的个体经营者,再生利用的企业(再生铅企业)数量多、规模小、再生利用技术装备落后、环保设施缺乏,导致废弃电池回收商回收再生利用成本高,环境污染高.随着我国新能源汽车快速推进,废弃动力电池的规模将大幅上升.据预计,到 2015 年,我国动力电池累计报废量约在 2~4 万 t 左右.而到 2020 年前后,我国仅纯电动(含插电式)乘用车和混合动力乘用车动力电池的累计报废量将会达到 12~17 万 t 的规模<sup>[3]</sup>.因此迫切需要地方政府和企业尽早制定和实施废弃动力电池回收再利用的环境污染控制策略.

一个企业,如果希望成为有竞争力的企业,就必须成功地进行环境成本管理,同时保持或提高他们作为负责的企业角色<sup>[4]</sup>.联合国统计署在 1993 年发布的“环境与经济综合核算体系”中,将环境成本定义为:环境成本是为了防止环境污染而发生的各种费用、为了恢复自然资源的质量或数量、改善环境而发生的各种支出,是自然资源数量消耗和质量减退而造成的经济损失和环境保护方面的实际支出.环境成本的全面质量管理措施包括降低包装成本、能源和水的使用、废物处理、环境罚款、废弃和废水的排放和行政成本等<sup>[5]</sup>.环境质量成本是在全面环境质量管理(TQEM)中<sup>[6]</sup>,根据全面质量管理中零缺陷的目标,将企业对环境的污染和损坏视为环境质量的缺陷,通过对环境质量的持续改进,以此来减少甚至消除环境质量缺陷,从而达到降低企业环境成本、降低环境污染的过程<sup>[7]</sup>.然而对单个企业而言,随着环境治理成本的不断增加,企业将难以实现环境与经济的双赢<sup>[8]</sup>.穆昕等<sup>[9]</sup>通过构建纵向差异化模型,针对不同环境质量产品生产厂商的收益进行定量分析表明,政府环境法规越严格,污染产品生产厂商利润越低,清洁产品生产厂商利润越高.陈亮等<sup>[7]</sup>通过构建企业动态环境质量成本控制模型,得出通过将环境成本控制研究予以量化和模型化,将有效提升环境成本的控制效果.

目前,国内外研究者对于质量成本问题有较多的研究,而针对环境质量成本控制的研究还不多.对质量成本的研究,主要集中在运用不同的研究方法对质量成本控制和考虑不同因素或问题下的质量成

本控制博弈两方面进行研究.在运用不同的研究方法对质量成本控制进行研究方面,比较有代表性的质量成本控制研究方法主要有:(1)构建质量成本控制模型进行质量成本控制.如 Valtteri<sup>[10]</sup>通过引入成本模型,构建了不同检测策略下汽车质量控制的成本模型,并运用所构建的模型进行实证研究,得出在质量控制过程中选择正确的检测策略,将使企业的边际利润显著增加.(2)使用博弈分析,构建数学模型进行质量成本管理和质量控制策略的实施.如朱立龙等<sup>[11]</sup>建立供应商质量预防水平隐匿或采购商质量检测水平隐匿情况下的单边道德风险决策模型,以及二者同时隐匿情况下的双边道德风险决策模型,以进行质量成本控制和策略实施.在考虑不同因素或问题下的质量成本控制博弈进行研究方面,比较有代表性的主要有:(1)考虑质量契约设计问题下的质量成本控制.如 Puelz 和 Snow<sup>[12]</sup>研究了供应链各节点企业间质量契约设计的问题,并通过建立质量控制模型对质量成本控制进行分析和实证检验.(2)考虑信息不对称情况下的质量成本控制.Yehezkel<sup>[13]</sup>对非对称信息条件下道德风险对零售商产品质量控制的影响进行了研究.

在废弃动力电池回收过程中,废弃动力电池回收商如何控制其环境质量成本?政府如何使废弃动力电池回收商按照政府的标准进行环境质量成本控制?政府如何激励废弃动力电池回收商进行环境质量成本控制,减小其对环境的污染和损坏?政府和废弃动力电池回收商之间往往存在着信息不对称问题,在信息不对称情况下双方如何进行环境质量成本控制?在解决供应链各参与主体之间由于信息不对称所引致的各类问题中,委托代理理论是有效的解决方法<sup>[14]</sup>,本文将从这些问题出发,运用委托代理理论和博弈分析分别构建对称信息及非对称信息条件下动力电池回收的环境质量成本控制模型,并通过数值算例分析,分别为废弃回收商的环境质量成本控制及政府的环境质量检测成本控制提供策略支撑.

## 1 模型假设与描述

本文将构建的数学模型是由一个风险中性的废弃动力电池回收商和一个风险中性的政府组成的逆向供应链系统.在回收处理过程中,废弃动力电池回收商按照政府制定的环境污染标准控制其环境质量成本,为降低环境质量成本,可以采取环境质量成本

预防策略,并确定其环境质量成本预防水平,而政府对其回收处理过程采取环境质量检测策略,并确定环境质量检测水平。

鉴于废弃动力电池回收包括收集、运输、分解、无害化处理、资源化利用等众多环节,不同环节的特点不同,不同环节的环境污染控制也不同.在这一系列的环节中,无害化处理在环境污染控制过程中较为重要,如果在此环节中未能控制好,将对环境造成较大的危害,同时给环境污染治理带来较大的挑战.本文将废弃动力电池回收商的环境污染控制界定在其无害化处理环节中的环境质量成本控制。

假设:(1)当废弃动力电池回收商在无害化处理环节中对环境不造成污染时,政府的环境质量检测过程将证实它,且政府为激励该回收商将奖励其一定金额的奖金  $G$ ; (2)当废弃动力电池回收商无害化处理环节中对环境造成污染时,如果政府的环境质量检测过程检测出环境污染,将责令该回收商对其污染进行治理,同时对该回收商实施高额罚款,该回收商将同时产生污染治理成本  $G_1$ ,缴纳罚款金额  $G_2$ ,该回收商的这两项成本均设为环境内部损失成本,即为  $G_1 + G_2$ ,且政府为了使废弃动力电池回收商降低其无害化处理环节对环境的污染程度,现实实践中一般罚款金额远远大于污染治理成本,即  $G_1 \ll G_2$ ,其中  $G_1, G_2 > 0$ ; (3)当废弃动力电池回收商无害化处理环节中对环境造成污染时,如果政府的环境质量检测过程未检测出环境污染,污染治理成本  $G_1$  将由政府承担,即为环境外部损失成本; (4)政府的环境质量检测过程不改变废弃动力电池回收商的环境质量预防水平; (5)政府与废弃动力电池回收商均是理性参与者,都追求各自期望效用最大化。

参数描述:  $P_X$  为废弃动力电池回收商的环境质量预防水平,即该回收商的决策自变量,设  $P_X \in [0, 1]$ ;  $C_X$  为废弃动力电池回收商的环境质量预防成本函数,设  $C_X = C_X(P_X, \theta_X)$ ,  $\theta_X$  为影响该回收商环境质量预防成本的外生随机变量,设  $\theta_X \sim N(\mu_X, \sigma_X^2)$ ,假设  $C'_X(P_X) > 0$ ,  $C''_X(P_X) > 0$ ,当  $P_X > 0$  时,  $C_X(0) = C'_X(0) = 0$ ,  $C'_X(1) = \infty$ ;  $P_Y$  为政府的环境质量检测水平,即政府的决策自变量,设  $P_Y \in [0, 1]$ ;  $C_Y$  为政府的环境质量预防成本函数,设  $C_Y = C_Y(P_Y, \theta_Y)$ ,  $\theta_Y$  为影响政府环境质量预防成本的外生随机变量,设  $\theta_Y \sim N(\mu_Y, \sigma_Y^2)$ ,假设  $C'_Y(P_Y) > 0$ ,  $C''_Y(P_Y) > 0$ ,当  $P_Y > 0$  时,  $C_Y(0) = C'_Y(0) = 0$ ,  $C'_Y(1) = \infty$ 。

基于上述假设和分析,可以建立废弃动力电池

回收商的期望收益函数模型如式(1),政府的期望收益函数模型如式(2)所示:

$$EU_X(P_X) = P_X P_Y G - (1 - P_X) P_Y (G_1 + G_2) - C_X(P_X, \theta_X) \quad (1)$$

$$EU_Y(P_Y) = (1 - P_X) P_Y (G_1 + G_2) - C_Y(P_Y, \theta_Y) - P_X P_Y G - (1 - P_X) (1 - P_Y) G_1 \quad (2)$$

式(1)~(2)中:  $EU_X$  为废弃动力电池回收商的期望收益;  $EU_Y$  为政府的期望收益。

## 2 对称信息条件下动力电池回收的环境质量成本控制模型

在对称信息条件下,对政府而言,废弃动力电池回收商的环境质量预防水平  $P_X$  是可观测的;对废弃动力电池回收商而言,政府对环境质量的检测水平  $P_Y$  也是可观测的.不存在“道德风险问题”,激励相容约束不起作用,委托代理问题即转化为逆向供应链联合优化问题,由式(1)和式(2)可以得出逆向供应链联合期望收益函数如下:

$$EU_{XY}(P_X, P_Y) = -C_X(P_X, \theta_X) - C_Y(P_Y, \theta_Y) - (1 - P_X)(1 - P_Y)G_1 \quad (3)$$

其中,  $EU_{XY}$  为逆向供应链的联合期望收益。

设式(3)的最优解为  $\{P_X^*, P_Y^*\}$ ,将式(3)两边同时对  $P_X$  求一阶偏导,得:

$$\partial EU_{XY}(P_X, P_Y) / \partial P_X = (1 - P_Y)G_1 - C'_X(P_X, \theta_X) = 0, \text{ 则 } (1 - P_Y)G_1 = C'_X(P_X^*, \theta_X) \text{ 且 } P_X^* = P_X(P_Y, \theta_X). \text{ 同理,将式(3)两边同时对 } P_Y \text{ 求一阶偏导得: } \partial EU_{XY}(P_X, P_Y) / \partial P_Y = (1 - P_X)G_1 - C'_Y(P_Y, \theta_Y) = 0. \text{ 则 } (1 - P_X)G_1 = C'_Y(P_Y^*, \theta_Y) \text{ 且 } P_Y^* = P_Y(P_X, \theta_Y).$$

其中,  $\{P_X^*, P_Y^*\}$  为对称信息条件下废弃动力电池回收商的最优环境质量预防水平和政府的最优环境质量检测水平.且在此情况下,  $P_X$  和  $P_Y$  都是可观测的.因此,废弃动力电池回收商和政府均不存在道德风险问题,废弃动力电池回收商的期望收益为  $EU_X(P_X^*, P_Y^*)$ ,政府的期望收益为  $EU_Y(P_X^*, P_Y^*)$ 。

## 3 非对称信息条件下动力电池回收的环境质量成本控制模型

假设在此委托代理模型中,不存在“逆向选择问题”,由于信息不对称,代理人的隐藏行动会产生“道德风险问题”,而委托人可以设计激励合同,使代理人在追求自身效用最大化的同时,选择对委托人最

有利的行动。

### 3.1 废弃动力电池回收商的单边道德风险环境质量成本控制模型

在此种情形下,废弃动力电池回收商的环境质量预防水平  $P_X$  是隐匿的,其拥有环境质量的私人信息为代理人,该回收商存在隐藏环境质量缺陷率的道德风险问题,此时政府设计激励合同为委托人,则此情形即转化为政府的环境质量成本控制问题:

$$\max_{P_Y, \theta_Y} EU_Y(P_Y, \theta_Y) \quad (4)$$

$$\text{s. t. (IR)} EU_X(P_X, \theta_X) \geq 0 \quad (5)$$

$$\text{(IC)} P_X^{NE} = \arg \max_{P_X} EU_X(P_X, \theta_X) \quad (6)$$

式(4)–(6)中: $P_X^{NE}$  为废弃动力电池回收商存在道德风险时的质量预防水平(子博弈 Nash 均衡解);IR 表示个人理性约束条件;IC 表示激励相容约束条件。

由激励相容约束条件(6),其两边同时对  $P_X$  求一阶偏导得:

$$P_Y(G + G_1 + G_2) = C'_X(P_X^{NE}, \theta_X) \quad (7)$$

将式(4)与式(5)联立,然后将其两边同时对  $P_X$  求一阶偏导得:

$$(1 - P_Y)G_1 = C'_X(P_X^*, \theta_X) \quad (8)$$

通过借鉴 Baiman 等<sup>[15]</sup>对质量预防成本函数和质量检测成本函数分别假定  $C_B(\pi_B) = \frac{K_B}{2} \pi_B^2$ ,  $C(q) = \frac{K_q}{2} q^2$ ,其中, $\pi_B$  为质量预防水平, $q$  为质量检测水平, $k_B, k_q$  均为待定系数。本文将环境质量预防成本函数设为  $C_X(P_X, \theta_X) = \frac{1}{2} K_X P_X^2 \theta_X^2$ ,环境质量检测成本函数  $C_Y(P_Y, \theta_Y) = \frac{1}{2} K_Y P_Y^2 \theta_Y^2$ ,其中  $K_X, K_Y$  是待定系数,并设  $K_X > 0, K_Y > 0$ 。

由(7)得:

$$P_X^{NE} = \frac{P_Y(G + G_1 + G_2)}{K_X \theta_X^2} \quad (9)$$

由(8)得:

$$P_X^* = \frac{(1 - P_Y)G_1}{K_X \theta_X^2} \quad (10)$$

则

$$\Delta P_X = |P_X^{NE} - P_X^*| = \left| \frac{P_Y(G + 2G_1 + G_2) - G_1}{K_X \theta_X^2} \right| \leq \frac{P_Y(G + 2G_1 + G_2)}{K_X \theta_X^2} + \frac{G_1}{K_X \theta_X^2} \quad (11)$$

式中, $\Delta P_X$  为当废弃动力电池回收商的环境质量预防水平  $P_X$  隐匿时的单边道德风险值。

将式(9)和(10)分别代入式(1)和式(2)得:

$$\begin{aligned} \Delta EU_X^{NE} &= EU_X(P_X^*) - EU_X(P_X^{NE}) = \\ &= (G + G_1 + G_2) \cdot P_Y \cdot \\ &= \left( \frac{2P_Y G_1 + P_Y G_2 + P_Y G - G_1}{K_X \theta_X^2} \right) - C_X \cdot \\ &= (P_X^*, \theta_X) + C_X(P_X^{NE}, \theta_X) \end{aligned} \quad (12)$$

由于  $G_1 \ll G_2$  及其他假设条件,则  $\Delta EU_X^{NE} < 0$ , 则  $EU_X(P_X^{NE}) > EU_X(P_X^*)$ 。

$$\begin{aligned} \Delta EU_Y^{NE} &= EU_Y(P_X^*) - EU_Y(P_X^{NE}) = \\ &= \left( \frac{2P_Y G_1 + P_Y G_2 + P_Y G - G_1}{K_X \theta_X^2} \right) \cdot \\ &= [(2P_Y G_1 + P_Y G_2 - G_1) P_Y (G_1 + G_2) + P_Y G] \end{aligned} \quad (13)$$

由于  $G_1 \ll G_2$  及其他假设条件,则  $\Delta EU_Y^{NE} > 0$ , 则  $EU_Y(P_X^*) > EU_Y(P_X^{NE})$ 。

式(12)–(13)中: $\Delta EU_X^{NE}$  为当废弃动力电池回收商存在单边道德风险时,废弃动力电池回收商(代理人)期望收益的减少额; $\Delta EU_Y^{NE}$  为当废弃动力电池回收商存在单边道德风险时,政府(委托人)期望收益的增加额。

结论:在废弃动力电池回收商存在环境质量预防水平  $P_X$  隐匿的单边道德风险条件下,当政府的环境质量检测水平  $P_Y$  增大时,即政府检测出环境质量缺陷的概率增大,则由式(11)知该回收商的道德风险值  $\Delta P_X$  将随着  $P_Y$  的增加幅度而减小或增大,当  $P_Y$  的增加幅度小时,该回收商的道德风险值将减小,当  $P_Y$  的增加幅度大时,该回收商的道德风险值将增加;政府(委托人)为激励回收商(代理人)实施政府期望的行动而付出的信息激励成本为  $\Delta EU_Y^{NE}$  (也称为“信息租金”),而废弃动力电池回收商的期望收益将减少  $|\Delta EU_X^{NE}|$ ,此时整个逆向供应链将损失  $|\Delta EU_Y^{NE} + \Delta EU_X^{NE}|$ 。

### 3.2 政府的单边道德风险环境质量检测成本控制模型

在此种情形下,政府的环境质量检测水平  $P_Y$  是隐匿的,其拥有环境质量的私人信息为代理人,政府存在夸大环境质量缺陷率的道德风险问题,此时废弃动力电池回收商设计激励合同为委托人,则此情形即转化为废弃动力电池回收商的环境质量成本控制问题:

$$\max_{P_X, \theta_X} EU_X(P_X, \theta_X) \quad (14)$$

$$\text{s. t. (IR)} EU_Y(P_Y, \theta_Y) \geq 0 \quad (15)$$

$$\text{(IC)} P_Y^{NE} = \arg \max_{P_Y} EU_Y(P_Y, \theta_Y) \quad (16)$$

式中, $P_Y^{NE}$  为政府存在道德风险时的质量预防水平

(子博弈 Nash 均衡解)。

由激励相容约束条件(16),两边同时对  $P_Y$  求一阶偏导得:

$$(1 - P_X)(2G_1 + G_2) - P_X G = C'_Y(P_Y^{NE}, \theta_Y) \quad (17)$$

将式(8)与式(9)联立,然后两边同时对  $P_Y$  求一阶偏导得:

$$(1 - P_X)G_1 = C'_Y(P_Y^*, \theta_Y) \quad (18)$$

由式(17)得:

$$P_Y^{NE} = \frac{(1 - P_X)(2G_1 + G_2) - P_X G}{K_Y \theta_Y^2} \quad (19)$$

由式(18)得:

$$P_Y^* = \frac{(1 - P_X)G_1}{K_Y \theta_Y^2} \quad (20)$$

则:

$$\Delta P_Y = |P_Y^{NE} - P_Y^*| = \left| \frac{(1 - P_X)(G_1 + G_2) - P_X G}{K_X \theta_X^2} \right| \quad (21)$$

将式(19)和(20)分别代入式(1)和式(2),得:

$$\Delta EU_X^Y = EU_X(P_Y^*) - EU_X(P_Y^{NE}) = \frac{(P_X G - (1 - P_X)(G_1 + G_2))^2}{K_Y \theta_Y^2} \quad (22)$$

则  $\Delta EU_X^Y > 0$ , 且  $EU_X(P_Y^{NE}) < EU_X(P_Y^*)$ 。

$$\Delta EU_Y^X = EU_Y(P_Y^*) - EU_Y(P_Y^{NE}) = -[(1 - P_X)(2G_1 + G_2) - P_X G - \frac{1}{2}K_Y \theta_Y^2] \cdot$$

$$\frac{[(1 - P_X)(G_1 + G_2) - P_X G]}{K_Y \theta_Y^2} \quad (23)$$

由于  $G_1 \ll G_2$  及其他假设条件,则  $\Delta EU_Y^X < 0$ , 则  $EU_Y(P_Y^*) < EU_Y(P_Y^{NE})$ 。

其中,  $\Delta P_Y$  为当政府的环境质量检测水平  $P_Y$  隐匿时的单边道德风险值;  $|\Delta EU_Y^X|$  为当政府存在单边道德风险时,政府(代理人)期望收益的减少额;  $\Delta EU_X^Y$  为当政府存在单边道德风险时,废弃动力电池回收商(委托人)期望收益的增加额。

结论:政府存在环境质量检测水平  $P_Y$  隐匿的单边道德风险条件下,当废弃动力电池回收商的环境质量预防水平  $P_X$  降低时,即该回收商在无害化处理环节中存在环境质量缺陷的概率增大,则由式(21)知政府的道德风险值  $\Delta P_Y$  也将增加;废弃动力电池回收商(委托人)为激励政府实施其期望的行动而付出的信息激励成本为  $|\Delta EU_Y^X|$  (也称为“信息租金”),而废弃动力电池回收商的期望收益将增加  $\Delta EU_X^Y$ , 此时整个逆向供应链将损失  $|\Delta EU_Y^X + \Delta EU_X^Y|$ 。

## 4 数值算例分析

假设某废弃动力电池回收商无害化处理环节中对环境不造成污染时,经政府的环境质量检测过程证实,其将得到政府奖励 1 000 元;当其对环境造成污染时,政府的环境质量检测过程检测出污染时,该回收商进行污染治理的成本为 3 000 元,同时缴纳罚款 6 000 元;当其对环境造成污染时,政府的环境质量检测过程未检测出污染时,政府将承担其污染治理成本 3 000 元;该回收商的环境质量预防成本系数  $K_X$  为 4 000 元·次<sup>-1</sup>,政府的环境质量检测成本系数  $K_Y$  为 4 000 元·次<sup>-1</sup>;假设不考虑外部随机因素的影响,则  $\theta_X$  和  $\theta_Y$  为 1。

运用 Matlab 7.0 编程计算结果如图 1—2 所示。

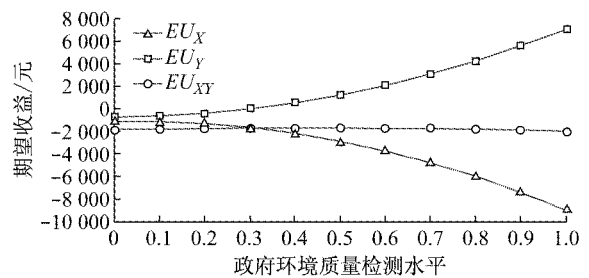


图 1 回收商存在道德风险时的收益输出结果

Fig.1 Output in the case of unilateral moral risk on the recycler

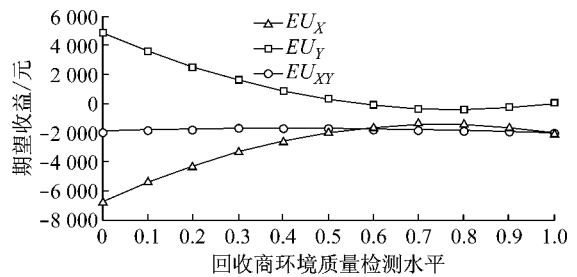


图 2 政府存在道德风险时的收益输出结果

Fig.2 Output in the case of unilateral moral risk on the government

由图 1 知:当废弃动力电池回收商环境质量预防水平隐匿时,即该回收商存在单边道德风险时,随着政府环境质量检测水平  $P_Y$  的提高,废弃动力电池回收商的期望收益  $EU_X(P_X)$  将逐渐减少,且一直为负值;政府的期望收益  $EU_Y(P_Y)$  将逐渐增加,且直到  $P_Y$  提高到 0.4 时  $EU_Y(P_Y)$  才为正值,联合期望收益  $EU_{XY}(P_X, P_Y)$  先增加后减小,且当  $P_Y$  提高到 0.5 时  $EU_{XY}(P_X, P_Y)$  开始减小并始终为负值。

由图 2 知:当政府环境质量检测水平隐匿时,即政府存在单边道德风险时,随着废弃动力电池回收商环境质量预防水平  $P_X$  的提高,废弃动力电池回收商的期望收益  $EU_X(P_X)$  将先增加后减少,且当  $P_X$  提高到 0.8 时  $EU_X(P_X)$  开始减少且一直为负值;政府的期望收益  $EU_Y(P_Y)$  将先减少后增加,当  $P_X$  提高到 0.8 时  $EU_Y(P_Y)$  开始增加,且当  $P_X$  提高到 0.6 时  $EU_Y(P_Y)$  开始为负值;联合期望收益  $EU_{XY}(P_X, P_Y)$  先增加后减小,而且当  $P_X$  提高到 0.5 时,  $EU_{XY}(P_X, P_Y)$  开始减小并始终为负值。

## 5 结论与展望

针对新能源汽车产业迅速发展带来的废弃动力电池回收过程中的环境污染问题,本文试图通过建立对称信息条件下动力电池回收的环境质量成本控制模型及非对称信息条件下动力电池回收的环境质量成本控制模型以支持环境污染的控制。在非对称信息条件下,重点考虑废弃动力电池回收商和政府分别存在单边道德风险时的环境质量控制问题,分别建立了废弃动力电池回收商的单边道德风险环境质量成本控制模型和政府的单边道德风险环境质量检测成本控制模型,并通过数值算例进行优化求解分析,结果表明:(1) 在对称信息条件下,存在使得废弃动力电池回收商和政府期望收益同时最优的环境质量成本预防水平和环境质量检测水平。(2) 在非对称信息情况下,无论废弃动力电池回收商还是政府存在单边道德风险时,废弃动力电池回收商在环境质量成本控制过程中,始终处于负收益状态。由于企业的经营始终处于政府的监管之下,政府的政策变化对企业具有重大影响。在政企博弈中,企业始终处于弱势。因此,废弃动力电池回收商必须降低回收和处理成本,提高可再利用零件的销售收入,否则将难以持续发展。由于此逆向供应链的联合期望收益始终处于负收益状态,这种负收益必须由政府和废弃动力电池回收商共同承担。政府为了鼓励和促进回收商进行环境质量成本控制,就必须加大对废弃动力电池回收经营活动的政策性补贴,这与现实中的环境污染控制的总体策略是一致的。

本文建立的动力电池回收的环境质量成本控制模型不仅可以很好地支持废弃动力电池无害化处理环节中的环境质量成本控制问题的改善,而且可以根据政府的环境质量检测实际情况为政府设计环境质量成本控制的相关政策和具体实施(如奖励金额

及惩罚金额)提供决策支持,并为废弃动力电池回收商制定环境质量成本预防水平提供方案支撑。更重要的是,此模型在改变相关假设条件等后,可以为整个新能源汽车回收过程中的其他环节的环境质量成本控制问题的解决提供参考,以及应用于供应链节点间的环境质量成本控制、新能源汽车生态系统中的供应链节点间的博弈研究,从而为各个不同参与对象提供优化策略的支持。

## 参考文献:

- [1] 俞会根,施绍有. 电动汽车电池相关问题探讨[J]. 北京汽车, 2010(6): 8.  
YU Huigen, SHI Shaoyou. Investigation to the related problems of electric vehicle battery [J]. Beijing Automotive Engineering, 2010(6): 8.
- [2] 黎宇科,周玮,黄永和. 建立我国新能源汽车动力电池回收利用体系的设想[J]. 资源再生, 2012(1): 28.  
LI Yuke, ZHOU Wei, HUANG Yonghe. The construction imagine of recycling system based on new energy vehicle power battery in China [J]. Resource Recycling, 2012(1): 28.
- [3] 黎宇科. 有效利用并完善我国车用动力电池回收体系[J]. 低碳世界, 2012(3): 30.  
LI Yuke. Effective use and improve vehicle power battery recycling system in China [J]. Low Carbon World, 2012(3): 30.
- [4] Russell W G, Skalak S L, Miller G. Environmental cost accounting: the bottom line for environmental quality management [J]. Environmental Quality Management, 1994, 3 (3): 255.
- [5] Anonymous. Study finds quality management promotes environmental benefits, cost reductions [J]. Water Engineering & Management, 1995, 142(12): 9.
- [6] 肖序. 环境成本论[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2002.  
XIAO Xu. Environmental cost theory [M]. Beijing: China Financial & Economic Publishing House Press, 2002.
- [7] 陈亮,徐应文. 企业动态环境质量成本控制模型的构建[J]. 商业研究, 2011(9): 43.  
CHENG Liang, XU Yingwen. Dynamic environmental quality cost control modeling [J]. Commercial Research, 2011(9): 43.
- [8] Walley N, Whitehead B. It's not easy being green [J]. Harvard Business Review, 1994(5): 46.
- [9] 穆昕,王浣尘,李雷鸣. 基于差异化策略的环境管理与企业竞争力研究[J]. 系统工程理论与实践, 2005(3): 26.  
MU Xin, WANG Huanchen, LI Leiming. Differentiation based analysis of environmental management and corporate competitiveness [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2005(3): 26.
- [10] Valtteri T. Cost modeling of inspection strategies in automotive quality control [J]. Engineering Management Research, 2012, 1(2): 33.
- [11] 朱立龙,尤建新. 非对称信息供应链道德风险策略研究[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(11): 2503.

- ZHU Lilong, YOU Jianxin. Supply chain moral hazard strategy under asymmetric information condition [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2010, 16(11):2503.
- [12] Puelz R, Snow A. Optimal incentive contracting with ex-ante and ex-post moral hazards: theory and evidence[J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1997, 14(2): 169.
- [13] Yehezkel Y. Retailer's choice of product variety and exclusive dealing under asymmetric information[J]. The RAND Journal of Economics, 2008, 39(1): 115.
- [14] 罗云峰. 博弈论教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007. LUO Yunfeng. Game theory [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [15] Baiman S, Fischer P E, Rajan M V. Performance measurement and design in supply chains [J]. Management Science, 2001, 47(1): 173.

(上接第 962 页)

(2) 加入涡流发生器后, 剪切层内的高湍流区向后移动, 三片涡流发生器的情况后移得最为明显, 并且在三片涡流发生器的情况下, 整个流场的湍流度也得到了降低, 有效降低了测试区内的湍流度, 提高了流场均与性。

(3) 对于整个流场的频谱特性, 加入涡流发生器后, 能量得以扩散, 不会加剧低频颤振现象, 尤其是三片涡流发生器的情况, 反而有利于减弱低频颤振敏感频率区的能量聚集。

参考文献:

- [1] YANG Zhigang, JIA Qing. Assessment of wind tunnel test section dimensions using CFD[R]. [S.l.]: AIAA, 2008.
- [2] 贾青, 杨志刚, 李启良. 汽车风洞试验段流场的试验研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2011, 39(6): 33. JIA Qing, YANG Zhigang, LI Qiliang. Test research of the flow field inside the test section of the automotive wind tunnel [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2011, 39(6): 33.
- [3] 贾青, 王毅刚, 杨志刚. 汽车风洞试验段非定常流场的试验[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2012, 40(1): 97. JIA Qing, WANG Yigang, YANG Zhigang. Test research of the unsteady characteristic of the flow inside the test section of the automotive wind tunnel [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2012, 40(1): 97.
- [4] 郑志强, 彭为, 靳晓雄. 汽车风洞声学控制研究. 噪声与振动控制[J]. 2006, 26(3): 64. ZHENG Zhiqiang, PENG Wei, JIN Xiaoxiong. The study of automotive wind tunnel acoustic control[J]. Noise and Vibration Control, 2006, 26(3): 64.
- [5] Amandolese X, Vartanian C. Reduction of 3/4 open jet low-frequency fluctuations in the S2A wind tunnel[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2010, 98(10): 568.
- [6] Fluent Inc. Fluent 6.0[M]. [S.l.]: Fluent Inc, 2002.
- [7] 郑志强, 王毅刚, 杨志刚. 一种抑制低频颤振的控制方法在模型风洞中的试验研究[J]. 汽车工程, 2007, 29(5): 369. ZHENG Zhiqiang, WANG Yigang, YANG Zhigang. An experimental study on the suppression of the low-frequency pulsation of model wind tunnel[J]. Automotive Engineering, 2007, 29(5): 369.