

文章编号:1003-207(2014)05-0131-07

考虑政府引导激励的电子废弃物回收处理 决策模型研究

余福茂¹, 钟永光², 沈祖志³

(1. 杭州电子科技大学管理学院, 浙江 杭州 310018;

2. 青岛大学管理科学与工程系, 山东 青岛 266071; 3. 浙江大学管理学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 本文主要讨论政府引导激励下的电子废弃物回收处理决策模型。结合实践情况把电子废弃物回收处理归纳为四种模式, 建立了相应模式下考虑回收补贴激励的决策模型, 并讨论了其最优参数。研究表明: 四种模式下的电子电器产品最优零售价及市场需求量均相等; 当补贴额度不变时, 生产商回收模式下的电子废弃物回收率以及各主体收益与补贴对象无关; 若赋予生产商一定的回收责任, 则经销商回收和第三方回收模式下的回收率均高于生产商回收模式。数值分析表明, 理论上并不存在绝对占优的电子废弃物回收模式, 实施生产者责任延伸下的专业处理企业回收模式可达到较高的回收率, 建议从制度、对象和过程等角度完善对相关回收主体的引导激励机制。

关键词: 电子废弃物; 回收处理; 政府补贴; 激励机制

中图分类号: F224.9; C934 **文献标识码:** A

1 引言

电子废弃物的回收处理关系到环境和能源两大主题。我国是世界上最大的家用电器生产和消费国之一, 正面临着越来越严重的电子废弃物回收处理的压力。考虑到我国电子废弃物回收处理的现实情况, 2011年1月1日正式实施的《废弃电器电子产品回收处理管理条例》规定“国家对废弃电器电子产品实行多渠道回收和集中处理制度”, 并明确了生产者、销售者、回收经营者和消费者等相关主体的回收责任。鉴于现行的多渠道电子废弃物回收处理体系仍将在今后较长一段时间存在, 因此有必要对我国现行电子废弃物回收处理模式的优劣进行实践总结及理论探讨。

近年来, 许多学者研究了电子废弃物回收处理的渠道决策问题。Gu Qiaolun等^[1]假设回收率是回收价的递增函数, 对比了生产商回收、销售商回

收、第三方回收三种模式的决策结果。Toyasaki等^[2]用两阶段序贯博弈模型分析了生产商和回收商之间的竞争决策。韩小花^[3]用Stackelberg博弈研究了闭环供应链回收渠道的决策过程。易余胤^[4]探讨了零售商主导闭环供应链的协调机制问题。Wee等^[5]分析了销售价格、库存成本、回收率等对绿色电子产品的逆向供应链模型的影响。Dat等^[6]运用数学规划模型的方法以达到最优化电子废弃物逆向回收网络结构的成本。Hong等^[7]比较分析了两种回收处理模式下的回收率、制造商利润、回收渠道成员总利润等。

关于电子废弃物回收处理的环境规制和激励机制也有许多研究成果。Webster等^[8]通过建立两阶段模型分析生产商回收和生产商委托回收下的竞争策略, 并讨论回收法律的影响; Atasu等^[9]研究了政府、生产商和消费者之间的博弈, 分析了回收法规的环境和经济影响; 周永圣等^[10]对三种回收模式下的政府监控行为进行了定量描述。Ozdemir等^[11]研究了环境规制对生产商回收处理积极性的影响; Aksent等^[12]采用双层规划模型分析政府对回收进行补贴的最优策略; Kaya等^[13]研究了制造商对回收商的激励和最优生产决策问题, 设计了一种基于转移支付的线性合同协调机制; 王文宾和达庆利^[14]讨论了电子类产品逆向供应链的政府奖惩机制及最

收稿日期: 2012-06-21; 修订日期: 2013-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70903021, 71273149, 71373064); 浙江省高校“决策科学与创新管理”人文社科重点研究基地课题(RWSKZD03-201202); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2010SF008)

作者简介: 余福茂(1975-), 男(汉族), 山西应县人, 杭州电子科技大学管理学院副教授, 博士, 研究方向: 逆向物流、资源环境政策与管理。

优参数。王玉燕等^[15]讨论了政府规制下逆向供应链的激励问题。王文宾和达庆利^[16]比较了基于回收率与回收量的奖惩机制下闭环供应链的决策。范体军等^[17]建立了考虑激励因素和不考虑激励因素两种情况下废旧产品回收外包的决策模型。朱庆华等^[18]建立了考虑产品绿色度和政府补贴的三阶段供应链博弈模型。

在前人研究的基础上,本文在考虑政府引导激励的前提下研究我国现行四种回收处理模式的决策模型及最优参数,以期为电子废弃物回收处理实践提供参考。

2 基本假设与符号变量

参与电子废弃物回收处理的行为主体主要有生产商(M)、经销商(D)、消费者(C)、第三方回收企业(T)、专业处理企业(R)等。根据我国电子废弃物回收处理实践,本文主要考虑如图1所示的四种回收处理情形,即生产商回收模式(MDC-CMR)、经销商回收模式(MDC-CDR)、第三方回收模式(MDC-CTR)以及专业处理企业回收模式(MDC-CR)。

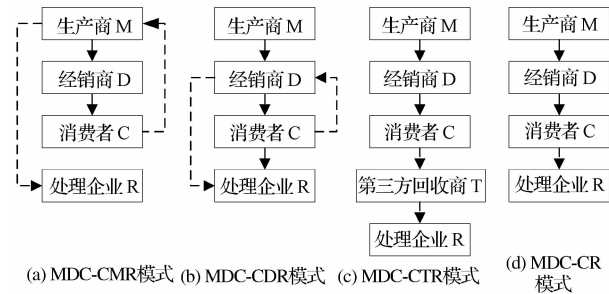


图1 电子废弃物回收处理的四种常见模式

2.1 基本假设

假设1:所有电子废弃物由生产商负责回收,或者由生产商委托其他主体回收,被回收的电子废弃物都由专业处理企业进行处理。

假设2:电子废弃物回收处理后的最终流向为材料再利用或无害化处理。

假设3:不考虑对第三方回收商和专业处理企业等进行征税。

假设4:假设电子电器产品的需求函数和电子废弃物的供给函数均为简单线性函数。

假设5:由于企业规模、专业化程度及渠道差异等原因,不同主体的回收成本不同。

假设6:不考虑政府用于引导激励所投入资金的成本收益分析。

假设7:各类电子电器产品均通过经销商进行销售,即不考虑直销情形。

假设8:不考虑消费者使用或交投电子电器产品时所获得的方便性、满足感等间接收益,而只考虑直接经济收益。

2.2 变量定义

记 $I = \{M, D, C, R, T\}$ 为利益相关主体集合; $U = \{M_1, M_2, M_3, M_4\}$ 为回收模式集合,分别代表MDC-CMR、MDC-CDR、MDC-CTR及MDC-CR模式; π_V^Z 为Z模式下主体V的收益。

记 P_{iz}^m 为Z模式下产品*i*的单位批发价格; P_{iz}^d 为Z模式下产品*i*的单位零售价格; P_{iz}^r 为Z模式下回收方向消费者支付的单位回收价格; P_{iz}^b 为Z模式下处理方向回收方支付的单位转移价格; P_i^c 为产品*i*中再循环材料的销售价格。

记 C_i^m 为产品*i*的单位生产成本; C_{iv}^m 为产品*i*的单位销售成本; C_{iv}^r 为主体V回收产品*i*的单位回收成本; C_i^c 为产品*i*的单位处理成本; r_i^c 为产品*i*的材料再循环比例; C_i^u 为产品*i*无害化处理部分的单位处理成本。 W_i^c 为生产商向其他回收主体支付的产品*i*的单位委托回收费用; ϵ_1 为生产商的税收比例; ϵ_2 为经销商的税收比例。

记 Q_{iz} 为产品*i*的需求量,假设 $Q_{iz} = a_i - b_i P_{iz}^d$, 其中 a_i 为市场最大的可能需求, b_i 为产品零售价格的敏感系数,且 $a_i > 0, b_i > 0$; Q_{iz}^c 为电子废弃物*i*的供给量,供给函数为 $Q_{iz}^c = a_i^c + b_i^c P_{iz}^r$, 其中 a_i^c 为市场最小的可能供给(表示在社会上存在着一定数量的消费者主动无偿返还使用后的产品数量, a_i^c 越大,说明消费者的环保意识越高), b_i^c 为电子废弃物回收价格的弹性系数,且 $a_i^c > 0, b_i^c > 0$, 一般有 $Q_{iz} > Q_{iz}^c$ 。记 S_i^c 为政府给予生产商的产品*i*的单位回收补贴; S_i^r 为政府给予处理企业的产品*i*的单位处理补贴; S_{iz} 为Z模式下政府支出的总补贴费用,显然有 $S_{iz} = Z(S_i^c + S_i^r)Q_{iz}$; τ_z 为Z模式下的回收率,易见 $\tau_z = Q_{iz}^c / Q_{iz}$ 。

3 回收处理决策模型建立与求解

在电子电器产品生产 and 销售过程中,生产商是价格的制定者,经销商是价格的跟随者。生产商在制定产品批发价时,会预料到经销商的可能反应。经销商基于生产商的决定,制定产品零售价。同样,在电子废弃物回收处理过程中,处理方是价格的制定者,回收方是价格的跟随者。处理方在制定产品转移价格时,会预料到回收方的可能反应。回收方

基于处理方的决定,制定产品回收价格。因此,批发价格 P_{iz}^m 和零售价格 P_{iz}^d 、转移价格 P_{iz}^b 和回收价格 P_{iz}^r 之间构成 Stackelberg 博弈关系,彼此通过价格博弈达到均衡。

3.1 MDC-CMR 决策情形——生产商回收

MDC-CMR 模式下,生产商所生产的电子电器产品经由经销商销售给消费者使用之后,由生产商负责电子废弃物回收,最后交由专业处理企业进行最终回收处理。因此,生产商收益由产品销售利润、回收补贴、处理方支付的转移价格收入、生产商向消费者支付的回收价格、回收成本等组成,即:

$$\pi_{M_1}^M = (1 - \varepsilon_1)(P_{iM_1}^m - C_i^m)Q_{iM_1} + (S_i^r + P_{iM_1}^b - P_{iM_1}^r - C_{iM_1}^r)Q_{iM_1}^r$$

生产商的决策变量则包括批发价格 $P_{iM_1}^m$ 和回收价格 $P_{iM_1}^r$ 。

在 MDC-CMR 模式下,由于经销商不承担具体的回收业务,故经销商收益只包括产品销售利润,即 $\pi_{M_1}^D = (1 - \varepsilon_2)(P_{iM_1}^d - P_{iM_1}^m - C_i^d)Q_{iM_1}$, 经销商的决策变量为销售价格 $P_{iM_1}^d$; 专业处理企业的收益则包括由生产商所支付的委托处理费用、由政府奖励的电子废弃物处理补贴、产品处理成本、再利用材料的销售收益、不可回收部分的无害化处理成本以及向回收方支付的转移价格,即 $\pi_{M_1}^R = [P_i^r r_i^c - C_i^a(1 -$

$r_i^c) - C_i^p + S_i^r - P_{iM_1}^b]Q_{iM_1}$, 专业处理企业的决策变量为转移价格 $P_{iM_1}^b$; 至于消费者收益,则为 $\pi_{M_1}^K = P_{iM_1}^r Q_{iM_1}$]。

经销商为了实现收益最大化需要满足 $\frac{\partial \pi_{M_1}^D}{\partial P_{iM_1}^d} = 0$, 于是可求出 $P_{iM_1}^d$ 。专业处理企业收益最大化则要满足 $\frac{\partial \pi_{M_1}^R}{\partial P_{iM_1}^b} = 0$ 于是可求出 $P_{iM_1}^b$ 。生产商收益最大化需要同时满足 $\frac{\partial^2 \pi_{M_1}^M}{\partial P_{iM_1}^m^2} < 0, \frac{\partial^2 \pi_{M_1}^M}{\partial P_{iM_1}^r^2} < 0,$
 $\frac{\partial^2 \pi_{M_1}^M}{\partial P_{iM_1}^m \partial P_{iM_1}^r} > \left(\frac{\partial^2 \pi_{M_1}^M}{\partial P_{iM_1}^m \partial P_{iM_1}^r} \right)^2, \frac{\partial \pi_{M_1}^M}{\partial P_{iM_1}^m} = 0$ 及 $\frac{\partial \pi_{M_1}^M}{\partial P_{iM_1}^r} = 0$, 于是可求出批发价格 $P_{iM_1}^m$ 和回收价格于是可求出 $P_{iM_1}^r$ 。

最终求得 MDC-CMR 模式下的回收率、生产商的利润、经销商的利润、消费者的收益、专业处理企业的利润等最优参数见表 1。

3.2 MDC-CDR 决策情形——经销商回收

MDC-CDR 模式下,生产商将废旧电子电器产品回收及废旧产品处理外包给其他主体,其中,经销商负责商品销售以及从消费者手中回收废旧电器电

表 1 不同电子废弃物回收模式下的最优结果

	MDC-CMR 模式	MDC-CDR 模式	MDC-CTR 模式	MDC-CR 模式
$P_{iz}^d^*$	$\frac{3a_i + b_i(C_i^d + C_i^m)}{4b_i}$	$\frac{3a_i + b_i(C_i^d + C_i^m)}{4b_i}$	$\frac{3a_i + b_i(C_i^d + C_i^m)}{4b_i}$	$\frac{3a_i + b_i(C_i^d + C_i^m)}{4b_i}$
$P_{iz}^m^*$	$\frac{a_i + b_i(C_i^d + C_i^m)}{2b_i}$	$\frac{a_i + b_i(C_i^d + C_i^m)}{2b_i}$	$\frac{a_i + b_i(C_i^d + C_i^m)}{2b_i}$	$\frac{a_i + b_i(C_i^d + C_i^m)}{2b_i}$
$P_{iz}^b^*$	$\frac{-3a_i^r + T_1 b_i^r}{4b_i^r}$	$\frac{-3a_i^r + T_2 b_i^r}{4b_i^r}$	$\frac{-3a_i^r + T_2 b_i^r}{4b_i^r}$	$\frac{-a_i^r + T_2 b_i^r}{2b_i^r}$
$P_{iz}^r^*$	$\frac{a_i - b_i(C_i^d + C_i^m)}{4}$	$\frac{a_i - b_i(C_i^d + C_i^m)}{4}$	$\frac{a_i - b_i(C_i^d + C_i^m)}{4}$	$\frac{a_i - b_i(C_i^d + C_i^m)}{4}$
$Q_{iz}^d^*$	$\frac{a_i^r + T_1 b_i^r}{4}$	$\frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{4}$	$\frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{4}$	$\frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{4}$
$\tau_{iz}^d^*$	$\frac{a_i^r + T_1 b_i^r}{a_i - b_i(C_i^d + C_i^m)}$	$\frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{a_i - b_i(C_i^d + C_i^m)}$	$\frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{a_i - b_i(C_i^d + C_i^m)}$	$\frac{2(a_i^r + T_2 b_i^r)}{a_i - b_i(C_i^d + C_i^m)}$
$S_{iz}^d^*$	$\frac{a_i^r + T_1 b_i^r}{4}(S_i^r + S_i^f)$	$\frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{4}(S_i^r + S_i^f)$	$\frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{4}(S_i^r + S_i^f)$	$\frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{4}(S_i^r + S_i^f)$
$\pi_{M_1}^M^*$	$\frac{(1 - \varepsilon_1)H^2}{8b_i} + \frac{(a_i^r + T_1 b_i^r)^2}{16b_i^r}$	$\frac{(1 - \varepsilon_1)H^2}{8b_i} + \frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{4}(S_i^r - W_i^r)$	$\frac{(1 - \varepsilon_1)H^2}{8b_i} + \frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{4}(S_i^r - W_i^r)$	$\frac{(1 - \varepsilon_1)H^2}{8b_i} + \frac{a_i^r + T_2 b_i^r}{2}(S_i^r - W_i^r)$
$\pi_{M_1}^D^*$	$\frac{(1 - \varepsilon_2)H^2}{16b_i}$	$\frac{(1 - \varepsilon_2)H^2}{16b_i} - \frac{(a_i^r + T_2 b_i^r)^2}{16b_i^r}$	$\frac{(1 - \varepsilon_2)H^2}{16b_i}$	$\frac{(1 - \varepsilon_2)H^2}{16b_i}$
$\pi_{M_1}^R^*$	$\frac{(T_1 b_i^r - 3a_i^r)(T_1 b_i^r + a_i^r)}{16b_i^r}$	$\frac{(T_2 b_i^r - 3a_i^r)(T_2 b_i^r + a_i^r)}{16b_i^r}$	$\frac{(T_2 b_i^r - 3a_i^r)(T_2 b_i^r + a_i^r)}{16b_i^r}$	$\frac{(T_2 b_i^r)^2 - (a_i^r)^2}{4b_i^r}$
$\pi_{M_1}^K^*$	$\frac{(a_i^r + T_1 b_i^r)^2}{8b_i^r}$	$\frac{(a_i^r + T_2 b_i^r)^2}{8b_i^r}$	$\frac{(a_i^r + T_2 b_i^r)^2}{8b_i^r}$	$\frac{(a_i^r + T_2 b_i^r)^2}{4b_i^r}$
$\pi_{M_1}^T^*$	/	/	$\frac{(a_i^r + T_2 b_i^r)^2}{16b_i^r}$	/

注: $T_1 = P_i^r r_i^c - C_i^a(1 - r_i^c) - C_i^p - C_{iM}^a + S_i^r + S_i^f, T_2 = P_i^r r_i^c - C_i^a(1 - r_i^c) - C_i^p - C_{iZ}^a + S_i^r + W_i^r, H = a_i - b_i C_i^d - b_i C_i^m$ 。

子产品,而技术上更为专业的处理企业则负责对经销商所回收的废旧电子电器产品进行专业的回收处理。MDC-CDR 模式下,生产商收益为 $\pi_{M_2}^M = (1 - \epsilon_1)(P_{iM_2}^m - C_i^m)Q_{iM_2} + (S_i^c - W_i^r)Q_{iM_2}$, 生产商的决策变量为批发价格 $P_{iM_2}^m$; 经销商收益为 $\pi_{M_2}^D = (1 - \epsilon_2)(P_{iM_2}^d - P_{iM_2}^m - C_i^d)Q_{iM_2} + (P_{iM_2}^p + W_i^r - P_{iM_2}^r - C_{iD}^r)Q_{iM_2}$, 决策变量为销售价格 $P_{iM_2}^d$ 、回收价格 $P_{iM_2}^r$; 消费者收益 $\pi_{M_2}^C = P_{iM_2}^r Q_{iM_2}$; 专业处理企业收益 $\pi_{M_2}^R = [P_i^c r_i^c - C_i^a(1 - r_i^c) - C_i^p + S_i^r - P_{iM_2}^p]Q_{iM_2}$, 决策变量为转移价格 $P_{iM_2}^p$ 。求解思路与前述 MDC-CMR 决策情形类似,详细求解结果见表 1。

3.3 MDC-CTR 决策情形——第三方回收

MDC-CTR 模式下,生产商和经销商均不参与具体回收过程,而是由第三方回收商负责从消费者手中回收废旧产品,并由专业处理企业负责最终处理。因此,MDC-CTR 模式下生产商收益为 $\pi_{M_3}^M = (1 - \epsilon_1)(P_{iM_3}^m - C_i^m)Q_{iM_3} + (S_i^c - W_i^r)Q_{iM_3}$, 生产商决策变量为批发价格 $P_{iM_3}^m$; 经销商收益为 $\pi_{M_3}^D = (1 - \epsilon_1)(P_{iM_3}^d - P_{iM_3}^m - C_i^d)Q_{iM_3}$, 决策变量为销售价格 $P_{iM_3}^d$; 消费者收益 $\pi_{M_3}^C = P_{iM_3}^r Q_{iM_3}$; 第三方回收商收益 $\pi_{M_3}^T = (P_{iM_3}^p + W_i^r - P_{iM_3}^r - C_{iT}^r)Q_{iM_3}$, 决策变量为回收价格 $P_{iM_3}^r$; 专业处理企业收益为 $\pi_{M_3}^R = [P_i^c r_i^c - C_i^a(1 - r_i^c) - C_i^p + S_i^r - P_{iM_3}^p]Q_{iM_3}$, 决策变量为转移价格 $P_{iM_3}^p$ 。详细求解结果见表 1。

3.4 MDC-CR 决策情形——处理企业回收

MDC-CR 模式下,生产商和经销商都不参与具体的回收处理过程,而专业处理企业则不仅负责处理废旧电器电子产品,而且还负责从消费者手中回收废旧电器电子产品。因此,生产商收益为 $\pi_{M_4}^M = (1 - \epsilon_1)(P_{iM_4}^m - C_i^m)Q_{iM_4} + (S_i^c - W_i^r)Q_{iM_4}$, 生产商决策变量为批发价格 $P_{iM_4}^m$; 经销商收益为 $\pi_{M_4}^D = (1 - \epsilon_2)(P_{iM_4}^d - P_{iM_4}^m - C_i^d)Q_{iM_4}$, 经销商的决策变量为销售价格 $P_{iM_4}^d$; 废弃物处理企业收益为 $\pi_{M_4}^R = [P_i^c r_i^c - C_i^a(1 - r_i^c) - C_i^p + W_i^r + S_i^r - C_{iR}^r - P_{iM_4}^r]Q_{iM_4}$, 处理企业的决策变量为转移价格 $P_{iM_4}^r$; 消费者收益 $\pi_{M_4}^C = P_{iM_4}^r Q_{iM_4}$ 。详细求解结果见表 1。

4 讨论与分析

4.1 四种情形下最优参数的比较分析

根据表 1 所示的求解结果,当各主体的电子废弃物回收成本相同时可以得到以下推论。

推论 1: $P_{iM_1}^{d*} = P_{iM_2}^{d*} = P_{iM_3}^{d*} = P_{iM_4}^{d*}$; $Q_{iM_1}^* = Q_{iM_2}^* = Q_{iM_3}^* = Q_{iM_4}^*$ 。

推论 1 表明电子电器产品的零售价以及市场需求量在四种回收处理模式下没有差异,即电子电器产品的市场需求和价格与废弃物回收处理所采用的具体模式和回收处理补贴方式没有关系,也进一步说明电子废弃物回收处理模式选择不受厂商产品定价策略及市场消费需求的影响。

推论 2: 若 S_i^i 既定,则 $\tau_{M_1}^*$ 、 $\pi_{M_1}^V$ 与 S_i^c 、 S_i^r 在 S_i^i 中的份额大小无关。

推论 2 表明,只要政府提供的单位补贴数额固定不变,则 MDC-CMR 模式下的回收率以及各主体的收益与补贴对象和数额大小无关。

推论 3: $W_i^r = S_i^c$ 时, $\tau_{M_1}^* = \tau_{M_2}^* = \tau_{M_3}^* = \tau_{M_4}^* / 2$, $\pi_{M_1}^{M*} > \pi_{M_2}^{M*} = \pi_{M_3}^{M*} = \pi_{M_4}^{M*}$, $\pi_{M_1}^{D*} = \pi_{M_3}^{D*} = \pi_{M_4}^{D*} > \pi_{M_2}^{D*}$, $\pi_{M_1}^{R*} = \pi_{M_2}^{R*} = \pi_{M_4}^{R*} = \pi_{M_3}^{R*}$ 。

推论 4: $W_i^r > S_i^c$ 时, $\tau_{M_1}^* < \tau_{M_2}^* = \tau_{M_3}^*$, $\pi_{M_1}^{M*} > \pi_{M_2}^{M*} = \pi_{M_3}^{M*}$; $W_i^r < S_i^c$ 时, $\tau_{M_1}^* > \tau_{M_2}^* = \tau_{M_3}^*$ 。

推论 3 和推论 4 表明,如果生产商把回收补贴全部用于委托第三方回收(也即生产商不需承担回收责任),则生产商自行回收将获得更高的收益,而经销商和专业处理商也可以接受 MDC-CMR,各主体间的博弈将最终导致回收率更高的 MDC-CR 模式无法被实行。反之,若赋予生产商一定的回收责任(经济责任),则推行 MDC-CDR 和 MDC-CTR 比 MDC-CMR 模式更加助于提高回收率。然而,生产者这时更加愿意自己负责回收,而不是委托经销商或第三方回收。因此,政府部门在电子废弃物回收政策制定时,应该在生产者责任延伸制和引导激励机制的具体补贴方式之间做出适当权衡。

4.2 激励方式对回收率和各主体收益的影响

为了更直观地解释回收处理补贴方式对回收率和各主体收益的影响,我们给出理论模型的数值分析结果。取 $C_i^m = 80, C_i^d = 80, C_{iV}^r = 15, C_i^p = 15, r_i^c = 0.30, C_i^a = 5, W_i^r = 20, \epsilon_1 = \epsilon_2 = 0.17, a_i = 500, b_i = 0.10, a_i^r = 00, b_i^r = 3, S_i = 50, P_i^c = 20$ 。数值仿真结果如图 2 所示。

根据算例分析结果,在单位回收数量的回收补贴和处理补贴总额既定情况下,MDC-CMR 模式下的回收率以及各主体收益与回收补贴或处理补贴所占份额大小无关(也即推论 2),而其余三种模式下的回收率和各主体收益则随回收补贴/处理补贴的比值大小变化而发生改变。由图 2 还可发现,在多数可行的补贴方案(即回收补贴与处理补贴的份额划分)下,对各主体最有利的回收模式往往并非回收率最高的方案。

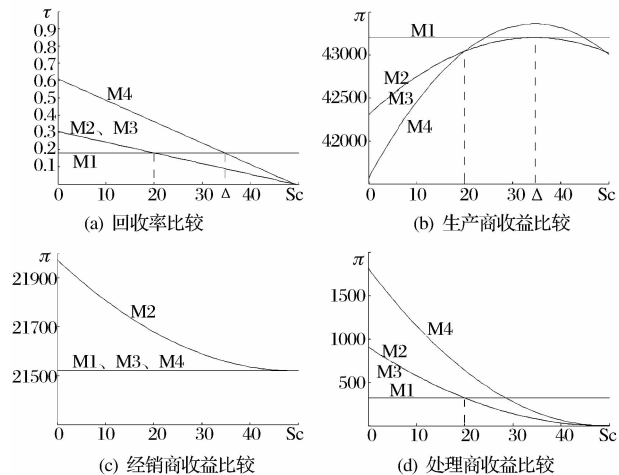


图 2 数值仿真结果

总之,理论上并不存在绝对占优的电子废弃物回收模式,政府部门在实施电子废弃物回收引导激励机制时,应该根据有关参数的实际经济含义做出综合权衡。

5 政策建议

5.1 关于电子废弃物回收处理模式

截至目前,我国尚未建立完善的电子废弃物回收处理体系,电子废弃物回收处理监管也存在诸多问题,最典型的表现在于电子废弃物回收率低以及环境污染严重。着眼于通过政府引导激励以提高电子废弃物回收率,本文重点讨论了 MDC-CMR、MDC-CDR、MDC-CTR 及 MDC-CR 四种情形下利益相关主体的回收处理决策模型,比较了四种情形下零售价、需求量、回收量、回收率及主体收益的最优参数,并通过算例分析了补贴方式对各模式下回收率和主体收益的影响。

综合有关推论和数值仿真,相对而言, MDC-CMR 是回收率最稳定的模式,若赋予生产商回收废弃物的经济责任,则也是生产商愿意接受的模式。然而, MDC-CMR 并非回收率最高的回收模式,也并非最适合我国国情的电子废弃物回收处理模式。首先,面临 Rohs、WEEE 等指令形成的技术贸易壁垒,以及流通渠道强势经销商的利润挤压,许多中小企业在改造生产线的同时,并不具备承担电子废弃物回收物流责任的经济、技术和管理能力。其次,即便是在发达国家广泛推行的 EPR 所规定的也仅仅是一种广义的生产者责任,生产商承担电子废弃物回收责任可以有多种形式,而并非一定要求生产商从回收物流到废弃物最终处理的全程完全参与^[19]。

再次,根据供应链管理理论,生产商把电子废弃物回收外包给第三方,从而专注于提升在产品设计及制造领域的核心竞争力,将有利于企业持续获得更多利润。最后,本文的数值仿真表明 MDC-CMR 并非对经销商和专业处理商最有利的回收模式。

5.2 关于电子废弃物回收处理的引导激励机制

从环境保护和能源可持续的角度,在给予专业处理企业补贴的同时也赋予生产商回收责任(即生产者责任延伸制下的 MDC-CR 模式),则可以达到相对更高的电子废弃物回收率。然而,该政策情境下生产商、经销商、专业处理企业和第三方回收企业均更加偏好自行回收。只有制定综合完善的激励机制,针对有关主体的回收处理补贴才能产生激励效果。为此,提出以下建议:

(1) 基于制度的引导激励。建议在强化生产者责任延伸制度的同时,探索并逐步推行电子废弃物回收责任分担政策。一方面,给予经销商、回收商和专业处理企业以资金补贴和政策优惠,促进相应主体积极参与电子废弃物回收处理,从而提高回收率;另一方面,还应明确赋予生产商、经销商、处理企业和消费者等主体参与规范化电子废弃物回收的法律、实体及经济责任。

(2) 基于对象的引导激励。我国目前的电子废弃物回收管理体系对于经销商、回收商、处理企业等主体较为有利,而对于电子电器产品生产企业则缺乏必要的引导激励。《废弃电器电子产品处理基金征收使用管理办法》的正式实施则将进一步挤压行业性能过剩生产企业的微薄利润。建议今后加强对电子电器生产企业在技术革新、工艺改进等方面的引导激励,从源头上减少有害物质使用。

(3) 基于过程的引导激励。电子废弃物回收处理过程需要生产商、经销商、第三方回收商及处理企业等主体的共同参与,各类主体的决策行为显然存在目标冲突,因此,应根据《废弃电器电子产品回收处理管理条例》所界定的监管部门分工,从多平台废弃物收集、第三方物流运输、多渠道基金征收、二手市场规范及信息化监管网络等方面完善电子产品废弃物回收体系。

6 结语

结合我国电子废弃物回收处理实践,本文重点研究了考虑政府引导激励的四种情形下的电子废弃物回收处理决策模型,并基于有关结论从回收处理模式选择和引导激励机制两方面提出建议。本文研

究在诸多方面尚待继续深入,如考虑产品再制造、产品不确定需求、多产品组合及引入时间因素等情形下的电子废弃物回收处理决策模型,以及对引导激励效果的数值模拟分析等等。

参考文献:

[1] Gu Qiaolun, Ji Jianhua, Gao Tiegang. Pricing management for a closed-loop supply chain [J]. *Journal of Revenue & Pricing Management*, 2008, 7(1): 45-60.

[2] Toyasaki F, Boyacı T, Verter V. An analysis of monopolistic and competitive take-back schemes for WEEE recycling [J]. *Production and Operations Management*, 2010, 20(6): 805-823.

[3] 韩小花. 基于制造商竞争的闭环供应链回收渠道的决策分析[J]. *系统工程*, 2010, 28(5): 36-41.

[4] 易余胤. 不同主导力量下的闭环供应链模型[J]. *系统管理学报*, 2010, 19(4): 389-396.

[5] Wee H M, Lee M C, Yu J C P, et al. Optimal replenishment policy for a deteriorating green product: life cycle costing analysis [J]. *International Journal of Production Economics*, 2011, 133(2): 603-611.

[6] Dat L Q, Linh D T T, Chou S Y, et al. Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products [J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39: 6380-6387.

[7] Hong I H, Yeh J S. Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry: A retailer collection application [J]. *Transportation Research*, 2012, 48(4): 817-829.

[8] Webster S, Mitra S. Competitive strategy in remanufacturing and the impact of take-back laws [J]. *Journal of Operations Management*, 2007, 25(6): 1123-1140.

[9] Atasu A, Van Wassenhove L N, Sarvary M. Efficient take-back legislation [J]. *Production and Operations Management*, 2009, 18(3): 243-258.

[10] 周永圣, 汪寿阳. 政府监控下的退役产品回收模式[J]. *系统工程理论与实践*, 2010, 30(4): 615-621.

[11] Özdemir Ö, Denizel M, Daniel V, et al. Recovery decisions of a producer in a legislative disposal fee environment [J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 216: 293-300.

[12] Aksen D, Aras N, Karaarslan A. Design and analysis of government subsidized collection systems for incentive-dependent returns [J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 119(2): 308-327.

[13] Kaya O. Incentive and production decisions for remanufacturing operation [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 201(2): 442-453.

[14] 王文宾, 达庆利. 考虑政府引导的电子类产品逆向供应链奖惩机制设计[J]. *中国管理科学*, 2010, 18(2): 62-67.

[15] 王玉燕, 申亮. 政府规制下 RSC 的激励研究[J]. *运筹与管理*, 2011, 20(1): 173-178.

[16] 王文宾, 达庆利. 奖惩机制下闭环供应链的决策与协调[J]. *中国管理科学*, 2011, 19(1): 36-41.

[17] 范体军, 楼高翔, 王晨岚, 等. 基于绿色再制造的废旧产品回收外包决策分析[J]. *管理科学学报*, 2011, 14(8): 8-16.

[18] 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.

[19] Sachs N. Planning the funeral at the birth: Extended producer responsibility in the European Union and the United States [J]. *Harvard Environmental Law Review*, 2006, (30): 51-98.

Decision Model on E-waste Collecting and Recycling Considering the Leading of Government's Premium Mechanisms

YU Fu-mao¹, ZHONG Yong-guang², SHEN Zu-zhi³

(1. College of management, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. Department of Management Science and Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China;

3. College of management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Most of e-waste have not been recycled and reused in an environment-friendly manner in China mainland, and there are mainly four kinds of collecting and recycling modes: manufacturers collecting (MDC-CMR), dealers collecting (MDC-CDR), third-party collecting (MDC-CTR) and registered e-waste treatment enterprises collecting (MDC-CR). Based on the practical situation, the decision-making problem about the e-waste collecting and recycling considering the leading of government's premium mechanisms is studied in this paper. Four collecting and recycling scenarios are discussed considering the government sub-

sity, decision models are established and the optimal parameters of the mechanism are discussed accordingly. It is found that the optimal retail price and the market demand of EEE in the four modes are equal. With the same amount of subsidies, the recycling rate of MDC-CMR mode as well as manufacturers, dealers and registered recyclers' profit does not change with government's premium mechanisms. It is also found that MDC-CDR mode and MDC-CTR mode are more desirable than MDC-CMR mode if given the manufacturer responsibility for collecting and recycling. Results of numerical simulations also shown that, the combination of EPR and MDC-CTR can achieve higher recycling rate. Therefore, it is suggested to encourage manufactures, dealers, consumers, and other collectors and recyclers to participate e-waste recycling program from the perspective of system, objectives and processes.

Key words: e-waste; recycling and processing; government subsidies; premium mechanism