

政府规制下农村废弃电子电器产品闭环供应链策略研究*

魏秀林¹ 陈 钦^{2#} 曾 超³

(1.福州工商学院商学院,福建 福州 350715;2.福建农林大学经济管理学院,福建 福州 350002;
3.福建省电子信息(集团)有限责任公司,福建 福州 350001)

摘要 结合最新政策,按回收模式与政府补贴主体的不同,运用斯塔克尔伯格博弈论构建5种模式下农村废弃电子电器产品(WEEE)再制造闭环供应链(CLSC)模型,并对CLSC上各成员收益进行对比分析。结果表明:销售商与第三方申请拆解资质并不一定能更多获利;制造商回收、拆解WEEE模式下分散决策最优总利润、制造商最优利润均最大;集中决策最优总利润要高于分散决策。最后,提出一些建议以期为新政策下企业是否申请拆解资质及企业在农村的运营策略提供参考。

关键词 闭环供应链 斯塔克尔伯格博弈论 环境经济

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2021.09.023

Study on closed-loop supply chain strategy of rural waste electrical and electronic products under government regulation WEI Xiulin¹, CHEN Qin², ZENG Chao³. (1. Business College, Fuzhou Technology and Business University, Fuzhou Fujian 350715; 2. Economics and Management College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002; 3. Fujian Electronics & Information (Group) Co., Ltd., Fuzhou Fujian 350001)

Abstract: Combined with the latest policies, the closed-loop supply chain (CLSC) strategy of rural waste electrical and electronic products (WEEE) under five modes was constructed according to the different recovery modes and government subsidy subjects by Stackelberg game theory. And a comparative analysis of the benefits of each member on the CLSC was made. The results showed that sellers who applied for dismantling qualifications and the third parties both did not necessarily make more profits. In the decentralized decision system, the optimal total profit was the largest and the manufacturer's optimal profit was the largest under the WEEE mode of recycling and dismantling. The optimal total profit of centralized decision system was higher than that of decentralized decision system. Finally, some suggestions were put forward in order to provide reference for whether enterprises apply for disassembly qualification under the new policy and the operation strategy of enterprises in rural areas.

Keywords: closed-loop supply chain; Stackelberg game theory; environmental economics

由于缺乏环保意识且农村缺乏回收渠道,农村非正规的废弃电子电器产品(WEEE)回收处理的问题显得尤为严重。国务院2012年出台了《废弃电器电子产品处理基金征收使用管理办法》(简称《办法》),2018年颁布了《农村人居环境整治三年行动方案》,2021年颁布了《关于调整废弃电器电子产品处理基金补贴标准的通知》(简称《补贴通知》)。在《补贴通知》颁布后,供应链上的企业面临是否应当申请拆解资质以获取补贴,如何在农村开展回收业务,以及供应链上的企业是否展开合作等问题。结合以上政策,研究在政府规制下,农村WEEE的闭环供应链(CLSC)上销售商、制造商、第三方的策略具有重要意义。

国内学者主要从3个角度研究CLSC:(1)农村WEEE的研究。目前针对农村WEEE的CLSC的研究较少。王维等^[1]对农村废弃物展开了综述研究,指出农村废弃物问题涉及多个层次和主体,模型设计较复杂,暂缺乏农村废弃物CLSC的定量分析。高艳红等^[2]基于实地调研发现,农村WEEE被随意丢弃且拆解处理不规范,需加强农村WEEE管理。(2)CLSC模式研究。一些学者对CLSC模式的研究主要聚焦于单一回收模式和仅以回收方式划分模式的研究^{[3]76-78,[4-5]},而我国的CLSC现状是拆解补贴仅发放给具有拆解资质的企业,并非回收企业。(3)政府影响下的CLSC研究。公彦德等^[6]指出,有关政府对CLSC的研究大多根据国外的经验来设计

第一作者:魏秀林,女,1991年生,硕士,讲师,研究方向为环境经济、绿色供应链。*通讯作者。

*国家自然科学基金青年科学基金项目(No.71501046);教育部人文社科项目(No.19YJC630194);福建省高等学校应用型学科建设项目(闽教高[2017]44号);福建省中青年骨干教师教育科研项目(科技类)(No.JAT201019)。

相应的奖惩机制。诸多学者探讨了补贴方式、政府奖惩机制和税收等因素对 CLCS 的决策影响^{[7]95-104, [8-9]}, 这类研究可供政府拟定政策时作参考, 但目前仍缺乏我国现行政策下企业运营策略的研究。

国外学者也对 CLSC 做了实践与理论研究。PAL 等^[10]对孟加拉农村 WEEE 产生量进行了研究。GAN^[11]指出, CLSC 是政府实现可持续发展的重要途径。HE 等^[12]研究了政府补贴消费者对 CLSC 价格决策的影响。JENA 等^[13]研究了政府激励机制对 CLSC 的价格影响。以上文献多基于当地国情, 以政府的角度来探讨政府激励机制带来的影响, 但不同国家面临不同的成本结构, 且环保意识水平和市场竞争也都存在较大差异, 所以不能完全对他国的经验进行机械式照搬。

综上, 目前针对农村 WEEE 的研究大多仅做了规范性分析, 并未从理论与实践层面做系统的学理分析与论证, 同时也缺乏结合拆解与回收来划分 CLSC 模式的研究。以往的 CLSC 文献多从政府角度来研究政府最佳激励方式, 较少结合《补贴通知》政策进行企业运营策略的研究。本研究的创新点是在《补贴通知》政策下, 结合农村较高回收成本、较低环保意识的情况, 在传统 CLSC 的基础上, 进一步细化 WEEE 回收拆解流程, 并对比分析多种模式。运用斯塔克尔伯格博弈论构建 5 种模式下农村 WEEE 再制造 CLSC 模型(包括 CLSC 分散、集中决策模型), 为 CLSC 各成员是否申请拆解资质以及在农村的运营策略提供建议, 从而帮助企业实现降本增效, 增加 CLSC 中各成员的利润。

1 问题描述与研究假设

结合《办法》与《补贴通知》, 按照不同回收方式和政府补贴主体, 可将 CLSC 分为 5 种模式: (1) 销售商回收、制造商拆解 WEEE(简称 RM)模式; (2) 销售商回收、拆解 WEEE(简称 RR)模式; (3) 第三方回收、制造商拆解 WEEE(简称 TM)模式; (4) 第三方回收、拆解 WEEE(简称 TT)模式; (5) 制造商回收、拆解 WEEE(简称 MM)模式。

运用斯塔克尔伯格博弈论构建 5 种模式下 CLSC 分散决策模型, 求解 CLSC 上各成员利润均衡解, 并论证说明政府发放拆解补贴与征收处理基金的影响。

本研究需以下 4 个假设条件均成立方能有效: (1) 5 种模式的 CLSC 各成员均为独立决策者, 制造

商与回收方的再制造与回收能力均不受限制, 且各决策主体的决策信息完全共享。(2) 制造商对回收的 WEEE 全部进行再制造生产, 再制品与新品并无差异。消费者对再制品的接受度与新品一样, 两者的销售价和批发价也一样, 且制造商进行再制造可节约成本。(3) 产品市场需求量只与销售价有关, 回收量只与回收价有关。销售商销售产品的正向边际运营成本为零。(4) 研究一个单周期下 CLSC 上各成员的决策, 制造商为主导者, 其余成员作为跟随决策者。

基于以往研究基础^{[3]78}, RM 模式更具有典型特征, 限于篇幅, 本研究以 RM 模式为例, 展开深化研究, 其余 4 种模式类推。

2 CLSC 分散决策模型构建

在分散决策过程中的斯塔克尔伯格博弈决策过程如下: 制造商作为主导者, 决定批发价与回收转移价, 且在完全信息对称情况下, 销售商在得知批发价后确定销售价与回收价。因此, 构建 RM 模式分散决策模型, 探讨销售商回收、制造商拆解会对 CLSC 各成员利润产生何种影响。根据《办法》与《补贴通知》, RM 模式下, 政府向制造商征收新产品单位处理基金(f , 元), 并发放给制造商拆解 WEEE 的单位经济补贴(e , 元)。

制造商、销售商最优目标利润函数分别表述为:

$$\max Q_{m1} = D(w_1 - c - f) + (\Delta c - b_1 + e)H = (\alpha - \beta p_1)(w_1 - c - f) + (\Delta c - b_1 + e)(k + hd_1) \quad (1)$$

$$\max Q_{n1} = D(p_1 - w_1) + (b_1 - d_1)H - C = (\alpha - \beta p_1)(p_1 - w_1) + (b_1 - d_1)(k + hd_1) - L(k + hd_1)^2 \quad (2)$$

式中: Q_{m1} 、 Q_{n1} 分别为 RM 模式下制造商、销售商的利润, 元; D 为农村确定性市场需求下的产品需求量; w_1 为分散决策的单位批发价, 元; c 为制造商生产新产品的单位成本, 元; Δc 为再制造时的单位节约成本, 元; b_1 为制造商支付给回收方单位回收转移价, 元; H 为 WEEE 回收量; α 为市场容量; β 为消费者对销售价的敏感程度, 元⁻¹; p_1 为 RM 模式下商品的单位销售价, 元; k 为消费者主动参与回收的 WEEE 量; h 为消费者对回收价的敏感程度, 元⁻¹; d_1 为回收方支付给顾客的单位回收价, 元; C 为回收总成本, 元; L 为回收成本系数, 元, $L > 0$, 农村回收成本相对城市更高^{[7]97}。

通过逆向归纳法求解销售商与制造商最优利

润,分别为式(3)和式(4)。

$$Q_{m1}^* = \frac{[\alpha - \beta(c+f)]^2}{8\beta} + \frac{[k+h(\Delta c+e)]^2}{8h(1+Lh)} = 2A + 2B \quad (3)$$

$$Q_{r1}^* = \frac{[\alpha - \beta(c+f)]^2}{16\beta} + \frac{[k+h(\Delta c+e)]^2}{16h(1+Lh)} = A + B \quad (4)$$

式中: Q_{m1}^* , Q_{r1}^* 分别为 RM 模式下制造商、销售商的最优利润,元; A , B 为简化函数。

3 CLSC 分散决策模型对比分析

由表 1 可见, RM、RR 模式下销售商利润相等,且均大于其余 3 种模式; TM、TT 模式下第三方利润相等,所以销售商与第三方竞争拆解并不一定有更多的获利。由此可得策略 1: 分散决策下销售商与第三方不应获取补贴而申请拆解资质,一般不参与拆解业务的竞争,而应积极在农村开展回收业务。

分散决策最优总利润为制造商、销售商、第三方最优利润之和,且 MM 模式下最大。可得策略 2: 制造商应当积极在农村建立便捷的回收网点,并开展拆解业务,政府应支持制造商开展回收与拆解业务。

4 CLSC 集中决策模型研究

集中决策是指将 CLSC 中各成员作为一个利益团体和决策体,追求系统整体利润最大化。为对比 CLSC 分散决策与集中决策系统的利润差距,同样以 RM 模式为例对 CLSC 集中决策模型进行研究。结合假设与式(5),可得 RM 模式下集中决策模型系

统总利润(q_1 , 元), 同理可得其余 4 种模式下集中决策系统总利润。

$$\max q_1 = D(p_1 - c - f) + (\Delta c + e - d_1)H - C \quad (5)$$

经计算和对比,最终可得 5 种模式下集中决策最优总利润均为 $4A + 4B$, 且均高于分散决策。政府仅补贴具有拆解资质的企业而不补贴回收企业,造成了供应链上其余成员建立回收渠道与宣传动力不足,难以达到集中决策的最优化利润。由此可得策略 3: CLSC 上各成员要以集中决策为目标,建立收益共享、费用共担的契约来约束权责,通过合作达到 CLSC 利润最大化。

5 算例分析

为更直观展示以上策略的正确性,更贴近现实情况,采用具体数值进行算例赋值来仿真计算。《办法》与《补贴通知》中拆解补贴与处理基金标准见表 2。结合现实情况、表 2 和参考文献[6]、文献[9]的参数赋值,由于微型计算机的补贴金额是中位数,较具有代表性,对相关参数的赋值如下: $e = 45$ 元, $f = 10$ 元, $c = 1\ 000$ 元, $\Delta c = 700$ 元, $h = 0.2$ 元 $^{-1}$, $\alpha = 300$, $\beta = 0.15$ 元 $^{-1}$, $k = 10$, $L = 1$ 元。5 种模式下各利润仿真最优解见表 3。

以分散决策销售商和第三方最优利润可推断,回收业务能带来较可观的利润,且销售商与第三方申请拆解资质并不一定能使自身获得更高的利润,所以不能盲目申请拆解资质。若企业仅因为获得补贴而去申请拆解资质,将会面临因补贴发放不到位

表 1 5 种模式下 CLSC 分散决策各成员及系统最优利润函数

Table 1 The optimal profit function of CLSC members and systems of decentralized decision-making under five mode

项目	RM	RR	TM	TT	MM
制造商最优利润	$2A + 2B$	$2A + 2B$	$2A + 2B$	$2A + 2B$	$2A + 4B$
销售商最优利润	$A + B$	$A + B$	A	A	A
第三方最优利润			B	B	
分散决策最优总利润	$3A + 3B$	$3A + 3B$	$3A + 3B$	$3A + 3B$	$3A + 4B$

表 2 拆解补贴与处理基金标准

Table 2 Dismantling subsidy and levy standard of disposing fund

WEEE		拆解补贴/元	处理基金/元
电视机	14~<25 寸	40	13
	≥25 寸	45	12
洗衣机	单桶洗衣机、脱水机(干衣量>3~10 kg)	25	7
	双桶、全自动洗衣机(干衣量>3~10 kg)	30	7
	空气调节器	100	7
	微型计算机	45	10
	电冰箱	55	7

表 3 5 种模式下各利润仿真最优解
Table 3 The optimal simulating profit solution under five modes

元

项目	RM	RR	TM	TT	MM
分散决策制造商最优利润	31 544	31 544	31 544	31 544	44 712
分散决策销售商最优利润	15 772	15 772	9 188	9 188	9 188
分散决策第三方最优利润			6 584	6 584	
分散决策最优总利润	47 316	47 316	47 316	47 316	53 900
集中决策最优总利润	63 088	63 088	63 088	63 088	63 088

而造成资金链短缺的风险。根据目前公布的补贴名单企业的收入显示,很多拆解企业非常依赖拆解补贴。如中国再生资源回收利用协会 2018 年底提交给相关政府部门的联名书中指出,国内 109 家拆解企业有近 1/3 仅能勉强维持生存、1/3 已停产、1/3 面临倒闭。福建省某环境资源有限公司也同样因补贴未到位的问题面临资金链断裂和停产风险, WEEE 主要通过福州市行政事业单位与合作回收商获得。据调研,该公司 2019 年度拆解 WEEE 共计 58.8 万台,其中电视机占 36.7%、电冰箱占 3.0%、洗衣机占 38.2%、废空调占 9.0%、废电脑占 13.1%。而表 2 中空气调节器与电冰箱拆解补贴最高,企业拆解的量却最少。如能拓宽回收网络,开展多元回收的业务,可降低对拆解补贴的依赖,从而降低企业资金链断裂的风险。因此,供应链上的成员应当积极开展多元回收业务,而是否积极参与申请拆解资质要结合公司自身竞争实力和所处供应链的环境和拆解处理成本等因素综合考虑。

分散决策制造商最优利润均高于销售商、第三方,且 MM 模式下分散决策最优总利润、制造商最优利润均最大。因此,非合作博弈下,制造商的策略是开展回收模式并申请拆解资质。制造商可通过科技创新提高 WEEE 的附加值,并通过“互联网+”的回收模式,建立 O2O 的回收平台,构建线上线下相融合的 WEEE 回收网络,实现科学回收和智能管理。政府应支持与引导制造商构建绿色制造、绿色回收、绿色拆解的全生命周期绿色供应链。

集中决策最优总利润均高于分散决策,且均有明显的利润提高,说明供应链上的各成员要加强合作才有较大的利润空间。政府仅补贴拆解企业难以调动其他成员推动回收与再制造的积极性,CLSC 成员可签订收益费用共享契约来保障收益与风险。

6 结 语

销售商与第三方申请拆解资质并不一定能更多获利;分散决策系统中,MM 模式下最优总利润最大,制造商最优利润最大;集中决策最优总利润要高于分散决策。因此,提出以下建议以期为新政策下企业是否申请拆解资质及企业在农村的运营策略提

供参考:(1)销售商与第三方应积极开展回收业务,但一般不参与拆解业务的竞争。销售商可通过“以旧换新”、“回收积分”等多种方式鼓励农民参与 WEEE 回收。第三方可在农村推行 WEEE 回收站,由于农村地广人稀,可由村委统一集中后再统一回收。(2)制造商应积极在农村建立便捷的回收网点,并申请拆解资质,通过科技创新对 WEEE 再制造提质增效。政府有必要支持与引导制造商构建绿色设计、绿色生产、绿色消费、绿色物流、绿色回收和拆解处理的全生命周期的绿色供应链,并且对制造商实施再制造税率优惠或低息融资等政策。(3)CLSC 各成员要加强合作,共摊农村宣传环保费用。制造商协同农村快递网点及销售商共建回收网点,通过自主、联合或委托回收等方式开展全面回收,并通过收益共享、费用共担契约引导销售商、第三方企业共享数据信息,共同促进农村 WEEE 的有效回收,促使 CLSC 利润最大化。

参考文献:

- [1] 王维,熊锦.我国农村生活垃圾治理研究综述及展望[J].生态经济,2020,36(11):195-201.
- [2] 高艳红,赵胜利,熊小丽.农村电子垃圾流向问题研究——基于城口县李坪村的调研数据[J].安徽农业科学,2019,47(20):246-251.
- [3] 魏秀林.政府干预下第三方回收的 WEEE 再制造 CLSC 定价策略研究[J].物流工程与管理,2020,42(3).
- [4] 司凤山,王晶,戴道明.基于制造商回收的双渠道闭环供应链博弈分析[J].计算机集成制造系统,2020,26(3):849-859.
- [5] 高文军,冯玉琪.双公平关切下第三方回收再制造闭环供应链的动态演进[J].数学的实践与认识,2020,50(17):10-21.
- [6] 公彦德,达庆利,占济舟.基于处理基金和拆解补贴的电器电子产品 CLSC 研究[J].中国管理科学,2016,24(6):97-105.
- [7] 白世贞,张雪莲.基于不同补贴方式的双回收渠道闭环供应链定价研究[J].生态经济,2020,36(7).
- [8] 张晓青.基于政府奖惩的闭环供应链决策研究[J].技术经济与管理研究,2020(12):10-16.
- [9] 王奇琦.政府税收补贴下考虑销售努力的闭环供应链决策研究[D].大连:大连理工大学,2018.
- [10] PAL A,ROY P K.Fuzzy logic and statistical based modelling to predict rural solid waste generation of west bengal[J].International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering,2020,9(9):44-49.
- [11] GAN S.Closed-loop supply chain as an agent of sustainable development[J].Jurnal Teknik Industri,2015,17(1):7-16.
- [12] HE P,HE Y,XU H.Channel structure and pricing in a dual-channel closed-loop supply chain with government subsidy[J].International Journal of Production Economics,2019,213(5):108-123.
- [13] JENA S K P,SARMAH S S,PADHI S.Impact of government incentive on price competition of closed-loop supply chain systems[J].Information Systems and Operational Research,2018,56(2):192-224.

编辑:黄 苇 (收稿日期:2021-03-23)