

退役动力电池逆向供应链 多主体利益博弈模型构建

吴凡, 柯思佳, 朱亭华, 张文熙

(南京审计大学, 江苏 南京 211815)

摘要 随着国家绿色发展理念的号召, 新能源汽车呈现爆发式增长, 退役动力电池回收问题也日益成为社会焦点。但我国动力电池回收行业存在正规渠道不通畅、经济效益差、政策标准不完善等问题。本文构建了一个由政府、回收处理商和消费者三方构成的博弈演化模型, 分别探讨多主体采取不同回收态度下的收益, 通过对比分析找到最佳策略, 促进三方更好地协同运作。研究表明, 只有当政府、回收处理商和消费者三方都对退役动力电池回收持有积极态度, 才能构建出一个良性的退役动力电池逆向回收供应链。

关键词 退役动力电池; 逆向供应链; 多主体利益博弈

中图分类号: F713.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)02-0068-04

1 研究背景

大力发展新能源汽车是国家实现“碳达峰”“碳中和”目标和贯彻绿色发展理念的重要国策, 也是我国在汽车行业实现弯道超车, 从汽车制造大国到汽车制造强国的重大机遇。传统的内燃机正逐步给新能源汽车让步, 新能源汽车逐渐走入我们消费者的生活。新能源汽车市场的壮大以及第一轮动力电池回收高峰的来临带来了大量的废旧新能源电池^[1]。这些退役电池中有大量如锰、镍等对环境有害的重金属, 如果不及及时进行处理将造成严重的环境污染。并且, 退役的动力电池并不意味着毫无价值, 退役动力电池中含有一些贵金属, 如果能够正确通过梯次利用的方式回收会带来巨大的经济价值^[2]。所以, 如何高效、环保地回收这些电池是一个我们目前必须解决的问题。随着退役动力电池回收产业的不断扩张, 尤其是在未来三年内我国将迎来第一波新能源动力电池退役潮的背景下, 我们如何快速搭建一个适应我国新能源动力电池回收业的市场体系显得尤为重要^[3]。现如今的新能源退役动力电池回收市场尚在发展、探索时期, 很多方面都还不成熟, 从政府、回收处理商再到回收需求者之间都存在着一些信息差或者误解, 致使废旧动力电池的回收效率低下, 造成了极大的资源浪费。多主体之间权责不明、回收渠道不畅、监督机制不完善等问题, 致

使三方对于退役动力电池回收产业的信心下降, 从而消极应对^[4]。综上所述, 本项目的研究重点主要放置在通过构建多主体利益博弈论模型, 对新能源退役动力电池回收逆向供应链多主体的博弈分析和协同策略进行研究, 找到最优的协作方式。

以多主体协同构建退役动力电池逆向供应链为切入点, 设置政府、回收处理商和消费者三方逆向供应链主体, 构建多主体的协同行为演化路径, 进一步丰富了逆向供应链多主体协同行为演化理论, 促进三方更加协调的发展^[5]。本文设置了三方主体在不同情况下的博弈与协同演化的可能结果, 从中找寻最适合我国目前新能源退役动力电池回收市场的多主体合作协同体系, 为我国新能源退役动力电池回收市场提供最优的市场基本架构体系, 以求构建一个高效、互信、完整的新能源退役动力电池逆向供应市场, 从而进一步提高我国市场对新能源退役动力电池的回收效率、处理效率, 为我国退役动力电池回收市场的良好发展建言献策。

2 不同行为模式下参与主体的收益与成本因素

退役电池逆向供应链构建的参与主体主要包括政府、回收处理商和消费者, 这三者具有不同的目标和利益诉求, 如政府追求政绩, 产业是否能带动当地经济发展; 企业更关注品牌形象收益、经营生产收益,

★基金项目: 南京审计大学大学生创新创业项目计划资助 202211287035Z。

是否能带动规模扩张、产业升级;消费者注重自身获利。他们各司其职,既相互利用又相互成就,达到合作共赢。

政府的支持退役动力电池逆向供应链中所追求的是政治性收益,如政绩、形象、公信力等。构建完善的退役动力电池逆向供应链是保证新能源汽车市场活力的关键环节,因此需要政府充分发挥领路人和监督者的角色,需要承担规范市场体系的重任:基于现有市场基础制定详尽的回收处理的标准,完善的奖惩政策,规范从生产到回收整个流程的监督体系;调动回收处理商和消费者的回收积极性,推动新能源汽车市场蓬勃发展。政府需要发挥宏观调控的作用,对回收商之间的竞合模式进行调控,减少各个回收处理商间的恶性竞争和资源内耗;通过大范围、长时间的宣传策略树立消费者的环境保护意识,以期消费者能主动承担绿色生活的重任,将退役动力电池出售给具有正规回收资质的回收处理商,提高动力电池回收率,预期利润和社会福利,降低回收处理不当造成的环境污染。政府根据市场现状制定相当补贴的力度,降低回收处理商的财政赤字风险,增加消费者收益。

回收处理商在支持退役动力电池逆向供应链的推行中起到了技术提供的作用,在其中追求的主要是经济利益。回收处理商在逆向供应链的运转中扮演回收处理者的角色,运用自己所掌握的技术将退役动力电池中的有价金属进行回收再利用,既降低生产成本,又充分发挥产能,获得更多的经济收益。参与逆向供应链的回收处理商还能优先获得政府优惠政策支持,提高市场竞争力以及抗风险的能力。同时,回收处理商还可以借此提高自身的品牌形象,提升社会知名度,从而获得隐性收益,增加规模效益。但是,回收处理商积极参与退役动力电池逆向供应链回收需要先进行技术革新、更新设备、培训人员等前期工作,需要投入大量资金,有财政赤字风险。并且我国仍处于行业发展的初级阶段,构建完善的逆向供应链体系需要时间。在此期间,回收处理商需要承担风险,面对市场的乱象就只能通过提高回收价格的方式争夺市场,不利于企业发展。

消费者在构建退役动力电池逆向供应链中起到了提供退役电池的作用,他们希望通过售卖不再适用于车辆的退役动力电池来获取一定的经济收益。消费者一般只关注自己的切身利益,而不像政府与回收处理商一样,在谋取自身利益的同时还要兼顾其他参与者的利益。但如今缺乏完善的市场回收体系,导致消费

者不能如愿出售退役动力电池,对政府及相关企业产生不满情绪。我们更侧重于通过政府、回收处理商的积极作为来给予消费者引导,向具有正规回收资格证的企业出售退役动力电池,并着手整治非正规回收的小作坊。对消费者尽量给予适当补贴,在满足消费者收益期望的同时,也满足其对恰当处理废旧电池获得舒适的无污染的生活环境的诉求。

3 多主体利益博弈的基本假设

根据上文分析,假定本文研究利益主体主要为政府、回收处理商、消费者三方,并提出了相关假设:

1. 假定政府、回收处理商以及消费者都是遵循效益最大化的原则进行理智选择。但现实中这三者的策略选择是十分复杂的,他们的决策不仅仅取决于效益最大化原则,比如政府还要考虑经济效益,回收处理商会追求长期利益最大化,而消费者往往追求短期利益。

2. 假定层政府、回收处理商以及消费者之间信息完全公开,各个主体不仅能了解到自身的盈亏状况,还能及时、清晰地了解到供应链中其他主体的损益情况,不存在消息的滞后。但是在现实生活中,不存在信息完全透明公开的情况。各个主体之间的信息并不透明公开,且存在严重的信息不对称现象,逆向供应链中的政府作为领导者,对于信息的搜集和掌握能力居多,其次是回收处理商,最后才是消费者。本文为简化模型假设,只对信息完全公开的情况进行研究。

3. 假定在退役动力电池逆向供应链中政府、回收处理商以及消费者都只有积极参与和消极参与两种行为策略可供选择。

政府在多主体协同中的行为策略选择有:积极扶持和消极扶持。如果政府选择积极扶持策略,即在整条逆向供应链中,政府首先要出手规范整体市场环境,设置准入门槛;对相关基础设施投入建设,设置官方回收网点;其次,对回收处理商进行扶持和监督,并会颁布有关条例对满足要求的个体进行嘉奖激励,从而引导回收处理商合理回收废旧电池;最后,对于规范进行回收的消费者给予补贴。如果政府选择消极扶持策略,表示政府不会对退役动力电池逆向供应链的建设投入资源,不主动引导和监督回收处理商以及消费者的回收行为。

回收处理商在整个退役动力电池逆向供应链中的地位举足轻重,其行为策略选择包括:投入退役动力电池回收项目的技术革新和不投入技术革新。投入退役动力电池回收项目是指回收处理商在经过利益权衡

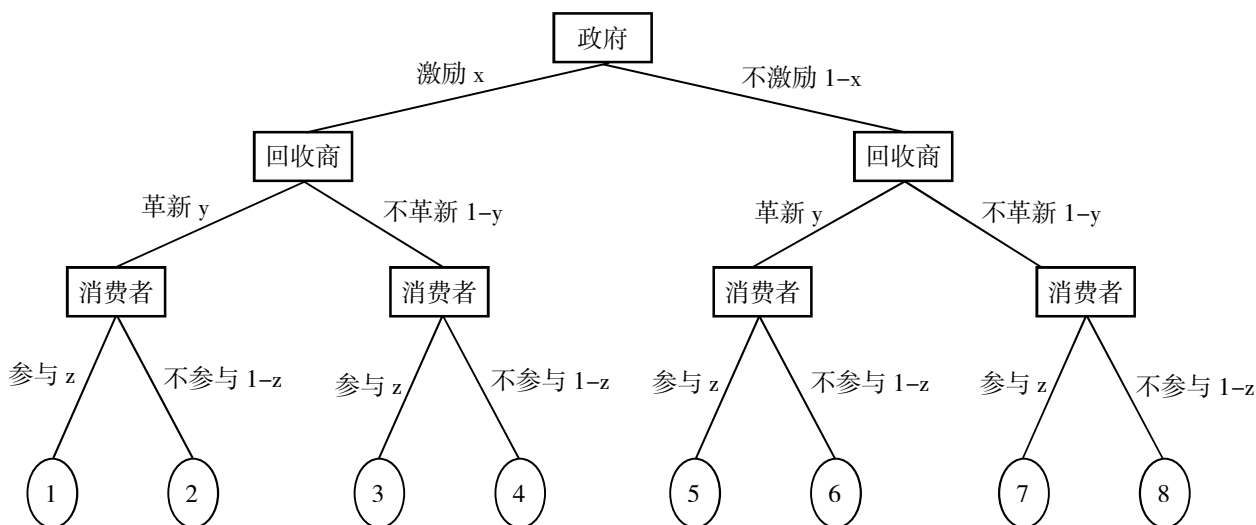


图1 三方行为博弈图

之后选择对退役动力电池回收项目进行投资经营，从而获取更高的利润。不投入退役动力电池回收项目是指回收处理商只进行正常的经营活动，如回收日常使用电池，不参与动力电池的回收与再制造。

消费者在多主体协同行为中的行为策略包括：积极供应和消极供应两种策略。积极供应是指消费者主动积极地将所拥有的废旧电池出售给回收处理商，获取相应的报酬，使得废旧电池通过正常渠道回收，有利于环境保护。消极供应是指消费者不将废旧电池出售给回收处理商，而是出售给一些黑作坊或者随意丢弃等选择，此举不仅不利于环境保护，也不能发挥废旧电池的最大经济效益。

4 多主体利益博弈模型的参数设置

4.1 参数变量设定

政府相关参数设定。根据政府在多主体协同中的行为策略选择有积极协同和消极协同两种情况，对政府进行相关参数设定。当政府采取积极协同策略时，会做好相应的扶持和引导监督工作，其投入的人力、物力、财力等记为额外投入成本 C_1 ，政府对于积极落实废旧电池回收项目的回收处理商给予奖励和优惠政策 E_1 ，比如税费减免、低息贷款、项目优先审批等。此外，正确回收退役动力电池能够带来一定的社会效益，且对于环境保护具有重大意义，因此回收处理商是否投入退役动力电池回收项目对于政府的政绩考核影响很大，这里把回收处理商回收退役动力电池所带来的经营总收益作为政府政绩考核的重要指标，并且设定政府在此项目中的政绩考核经济指标系数为

K 。而且当政府采取积极策略时，对于社会有着积极的引导作用，能够无形中提高其在社会大众的公信力和认可度，收益记为 I 。

回收处理商相关参数设定。其在整个退役动力电池逆向供应链中的行为策略选择包括投入退役动力电池回收项目和不投入退役动力电池回收项目。当其采取投入退役动力电池回收项目时进行回收技术革新时，需要投入的人力、物力、财力等资本记为 C_2 ，其在此项目中所获取的经济总收益为 S_1 。当回收处理商不投入退役动力电池回收项目时，所获得的经济总收益为 S_2 ($S_1 > S_2$)。如果消费者积极出售废旧动力电池，那就能够为回收处理商带来一定的额外收益以及品牌的形象收益等，记为 S_3 ，回收处理商为了吸引消费者出售废旧电池，会对出售废旧电池的消费者进行一定的物质奖励和附赠服务，例如赠送小礼品、上门回收等，记为 E_2 。

消费者相关参数设定。当消费者选择出售废旧电池给回收处理商时，投入极低，现忽略不计，且消费者出售电池所获收益为 S_4 。当消费者不将废旧电池出售给回收处理商时，将电池出售给黑作坊等不正规回收途径，所获效益为 S_5 。

4.2 决策变量决定

政府对回收处理商积极扶持的概率设为 x ，消极扶持的概率为 $1-x$ ；回收处理商选择投入退役动力电池回收项目的概率设为 y ，选择不投入退役动力电池回收项目的概率设为 $1-y$ ；消费者选择积极参与供应废旧电池的概率设为 z ，选择消极供应电池的概率为 $1-z$ ，且需满

足条件 ($0 < x, y, z < 1$)。以此构建政府、回收处理商、消费者三方行为策略博弈树图, 如图 1 所示。

5 退役动力电池多主体利益博弈模型构建

5.1 政府博弈策略分析

当政府采取积极扶持策略时的政府收益记为 U_r ;

$$\begin{aligned} U_x &= yz(K(S_1+S_3)+I-C_1-E_1)+y(1-z)(KS_1+I-C_1- \\ &E_1)+z(1-y)(K(S_2+S_3)+I-C_1)+(1-y)(1-z)(KS_2+I-C_1) \\ &= y(KS_1-E_1-S_3)-zKS_3+KS_2+I-C_1 \end{aligned}$$

当政府采取消极扶持策略时的政府收益记为 U_{1-x} ：

$$\begin{aligned} & U_{1-x}=yzK(S_1+S_3)+y(1-z)(KS_1+I-C_1-E_1)+z(1-y) \\ & (K(S_2+S_3)+I-C_1)+(1-y)(1-z)(KS_2+I-C_1) \\ & =yK(S_1-S_2)+zKS_3+KS_2 \end{aligned}$$

5.2 回收处理商博弈策略分析

当回收处理商选择投入退役动力电池回收项目时的收益记为 U_n :

$$\begin{aligned} Uy &= xz(S_1 + S_3 + E_1 - E_2 - C_2) + x(1-z)(S_1 + E_1 - C_2) + z(1-x) \\ &\quad (S_1 + S_3 - E_2) + (1-x)(1-z)(S_1 - C_2) \\ &= xE_1 - xzC_2 + z(S_3 - E_2) + S_1 + (z-1)C_2 \end{aligned}$$

当回收处理商选择不投入退役动力电池回收项目时的收益记为 U_{1-y} :

$$U_{1-y} = xz(S_2 + S_3) + x(1-z)S_2 + z(1-x)(S_2 + S_3) + (1-x)(1-z)S_2 \\ = S_2 + zS_3$$

5.3 消费者博弈策略分析

当消费者选择积极出售电池时的收益为 U_1 ;

$$U_z = S_A + zE_z$$

当消费者选择积极出售电池时的收益为 U_{1-} :

$$U_{1-2}=S_5$$

6 结论

退役动力电池逆向供应链由政府、回收处理商和消费者三个主体构成,其中政府承担的是引导者和监督者的责任;电池回收商承担回收处理废弃电池以及提供技术支持的责任;消费者在引导带动下作为退役动力电池的提供来源之一。通过以上对于退役动力电池逆向供应链多主体利益博弈的分析,依据不同合作模式下各个主体行为策略损益情况,进行策略演化模拟可以得出最优的协同行为策略,进而可以分别基于政府、回收处理商和消费者三个主体分析各个主体在协同中的行为策略特点,并根据各主体的权责配置关系提出具有侧重点和针对性的协同行为策略调整建议。

研究发现,各主体在合作参与中存在监督体系不完善、资源整合力度不够、缺乏有效信息沟通、权责

利益分配不明、合作参与度不高等问题。通过计算可以分析出政府监督以及回收处理商、消费者的积极参与是实现合作共赢的必要条件,政府应该在监督和鼓励回收处理商和消费者积极参与回收,以及解决双方利益冲突方面发挥主导作用。消费者虽然在三者中所占体量最少,但是个体绿色观念的提高却能够有效推进回收处理商回收退役动力电池的进程,增大正规回收商在回收市场所占的份额。所以为了实现退役动力电池逆向供应链的顺利实施,我们还应继续坚持以政府为主体,以市场为导向,对整个过程进行协调引导和监督,充分发挥电池回收龙头企业的帮带作用,以及树立消费者正确的回收观念。

本文虽然构建了政府、回收处理商和消费者多主体利益博弈模型,探索了多主体协同策略,但是本文还是存在着一些不足之处:一是本文对于多主体之间的利益关系梳理的比较简单。随着退役动力电池逆向供应链的构建,参与的利益主体增多,各种利益关系相互交织连接,因此影响各自行为策略的因素也会更加复杂多变。这些都需要在后续的研究中继续加以深化和完善,需要更多地注重实际情况和真实数据的跟踪收集。二是只考虑了正规回收商在退役动力电池逆向供应链中发挥的作用,退役动力电池逆向供应链系统是一个复杂的系统,忽略了非正规回收商、零售商等主体在整个回收链中发挥的作用。下一步的研究方向将会着重于考虑退役动力电池逆向供应链中其他主体参与回收的演化博弈状况,并对构建完善的市场体系提出建议。

参考文献:

- [1] 罗堰,陈兰芳,吴刚,等. WEEE 拆解多主体利益协调模型及其动态演化研究[J]. 软科学, 2021, 35(11): 138-144.
- [2] 马瑜. EPR 下政府 动力电池生产商 消费者三方演化博弈分析[J]. 物流工程与管理, 2018, 40(02): 132-135.
- [3] Zhang Huiming, Zhu Kexin, Hang Zixuan, et al. Waste battery-to-reutilization decisions under government subsidies: An evolutionary game approach[J]. Energy, 2022 (259): 124835.
- [4] 邱泽国, 郑艺, 徐耀群. 新能源汽车动力电池闭环供应链回收补贴策略——基于演化博弈的分析[J]. 商业研究, 2020(08): 28-36.
- [5] 张灿, 申升, 陈凡, 等. 我国退役动力电池回收系统构建的问题分析与对策研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(12): 147-152.