

电商平台协同下废旧电池回收动态博弈与营销成本分担机制分析

王太飞, 杨彦龙*

贵州大学数学与统计学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年5月9日; 录用日期: 2025年5月23日; 发布日期: 2025年6月19日

摘要

随着新能源汽车产业的快速发展, 动力电池规模化退役带来的环境与经济挑战日益凸显。本文基于微分博弈理论, 构建新能源汽车企业联合电商平台零售商的废旧电池回收动态博弈模型, 探讨了各自决策与营销成本分担决策两种情境下的均衡策略。通过数值仿真与参数敏感性分析发现: 引入营销成本分担机制能显著提升废旧电池回收效率, 但新能源汽车企业的最优成本分担比例需根据市场动态优化。分析结果表明, 新能源汽车企业与电商平台零售商通过建立动态协同机制, 实现个体收益增长, 通过线上废旧电池回收渠道创新, 形成了新能源汽车企业、电商平台零售商与电商平台三方协同发展的良性机制, 为废旧电池回收的发展提供了新的实现路径。

关键词

废旧电池回收, 微分博弈, 成本分担机制

Analysis of Dynamic Game and Marketing Costs Sharing Mechanism for Waste Battery Recycling under E-Commerce Platform Collaboration

Taifei Wang, Yanlong Yang*

School of Mathematics and Statistics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: May 9th, 2025; accepted: May 23rd, 2025; published: Jun. 19th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王太飞, 杨彦龙. 电商平台协同下废旧电池回收动态博弈与营销成本分担机制分析[J]. 电子商务评论, 2025, 14(6): 1912-1923. DOI: 10.12677/ecl.2025.1461940

Abstract

With the rapid development of the new energy vehicle (NEV) industry, the environmental and economic challenges posed by large-scale decommissioning of power batteries have become increasingly prominent. Based on differential game theory, this paper constructs a dynamic game model for waste battery recycling through the collaboration between the NEV enterprise and the e-commerce platform retailer, investigating equilibrium strategies under two scenarios: independent decision-making and marketing cost-sharing decisions. Numerical simulations and parameter sensitivity analysis reveal that implementing a marketing cost-sharing mechanism can significantly enhance the efficiency of waste battery recycling. However, the optimal cost-sharing ratio for the NEV enterprise requires dynamic market-based optimization. The findings demonstrate that through establishing a dynamic coordination mechanism, the NEV enterprise and the e-commerce platform retailer achieve individual profit growth and create a tripartite synergistic development model involving NEV enterprises, e-commerce platform retailers, and the e-commerce platforms themselves. This innovative online recycling channel mechanism provides a novel implementation pathway for waste battery recycling development.

Keywords

Waste Battery Recycling, Differential Game, Cost-Sharing Mechanism

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着新能源汽车企业的快速发展,关于废旧电池回收的诸多问题也随之显现。中国工业节能与清洁生产协会数据显示,预计我国动力电池退役量 2028 年将突破 260 万吨,2030 年将超过 300 万吨,我国正进入动力电池规模化退役期,废旧动力电池回收的碳减排行为对促进资源节约与环境保护至关重要[1]。若废旧电池未得到科学妥善处理,贵金属无法回收再利用,将导致严重环境污染,对土壤及水质造成破坏性影响[2][3]。现有文献大多研究传统的线下电池回收与政府补贴机制。例如冯章维[4]研究了政府的生产或回收补贴对新能源电动汽车供应链的影响机理;Chen 等[5]比较政府补贴形式差异对电池回收的影响机理;Wang 等[6]探究补贴对电池回收供应链的作用机制;Gu 等[7]则基于损失规避理论,研究政府补贴机制与电池回收措施对新能源汽车制造商生产策略优化的影响,其结论表明此类政策可显著降低制造商财务损失并缓解经营风险;Xing 等[8]构建了由电池供应商、第三方回收商和新能源汽车制造商组成的新能源汽车供应链,分析了政府奖惩机制对电池回收渠道选择与电池回收率的影响。

然而传统的电池回收方式效率低下,消费者参与积极性不高。随着互联网的迅速发展,有学者开始探索如何将电池回收与互联网技术相结合。例如陈锬仪等[9]提出“互联网 + 02C2B20 模式”智慧信息环保一体化回收平台系统,进一步推动新能源汽车废旧锂电池回收行业发展;朱俊杰[10]研究了回收商公平关切且补贴回收商情形下,动力电池制造商、新能源汽车制造商及线上回收平台回收模式的回收决策模型;刘磊[11]提出利用手机线上 APP,建立了一种汽车电池回收平台,通过使用 API 接口函数来实现动力电池回收的线上运营。针对新能源汽车废旧锂电池的回收平台设计呈现多元化探索,然而不同的回收平台设计各具特色,其服务侧重点与优劣势各有不同。例如上述提及的已有研究陈锬仪等[9]设计的“锂

应循环”回收平台, 以用户体验和线下闭环为核心, 适合解决回收网络覆盖和公众参与问题。其优势在于用户触达能力强、回收闭环完整, 但存在线下运营成本较高、检测技术依赖外部合作的局限。而刘磊[11]设计的“池鸣天下”回收平台以技术检测和数据驱动为优势, 更关注电池状态的精准评估和全生命周期管理, 但线下回收网络布局模糊、用户激励机制单一。

本文主要工作如下: (1) 从电商平台零售商和新能源汽车企业切入, 采用微分博弈理论分析线上废旧电池回收系统博弈均衡策略; (2) 揭示新能源汽车企业声誉与市场需求随时间变化的动态演化规律; (3) 构建融合新能源汽车企业与电商平台零售商联合营销成本分担契约机制, 以增强供应链协同效率。

2. 数学模型

2.1. 模型假设

在本文构建的博弈模型中, 新能源汽车企业负责生产新能源汽车和回收废旧电池, 电商平台零售商负责通过线上广告投放及促销等活动提升品牌曝光度, 并依托平台物流网络促进新能源汽车销售。博弈过程分为两个阶段: 远期销售阶段和废电池回收阶段。在远期销售阶段, 新能源汽车企业确定批发价格, 电商平台零售商向企业购买产品并设定零售价格。在废电池回收阶段, 新能源汽车企业对废旧电池进行回收利用, 加大废旧电池回收力度, 塑造绿色企业形象, 提高企业声誉从而增加销量, 同时, 电商平台零售商开展广告宣传, 促进废旧电池的回收利用, 辅助新能源汽车企业声誉提升从而增加产品销量。我们做了以下假设:

假设 1: 参考 He 等[12]和 Kopalle 等[13]研究中成本函数的构建方法, 我们假设新能源汽车企业线上结合线下广告宣传的努力程度为 $E_1(t)$, 电商平台零售商线上广告营销的努力程度为 $E_2(t)$, 其宣传措施包括利用电商平台对新能源汽车企业增加曝光度, 宣传新能源汽车企业废旧电池回收公益广告等措施, 促进新能源汽车企业在电商平台进行绿色企业认证标签展示, 提升消费者信任度, 从而提升企业商誉。其成本表达函数如下:

$$C_i(t) = \frac{1}{2} k_i E_i^2(t) \quad i=1,2 \quad (1)$$

参数 k_1 和 k_2 分别代表新能源汽车企业、电商平台零售商的成本参数, 函数 $C_1(t)$ 和 $C_2(t)$ 分别表示新能源汽车企业和电商平台零售商在 t 时刻的努力成本, 是双方各自努力水平的凸函数, 使用符合边际成本递增规律的二次表达式。

假设 2: 新能源汽车企业与电商平台零售商不断优化广告宣传, 新能源汽车企业积极响应环保号召, 树立绿色环保的企业形象, 提升企业商誉。因此, 新能源汽车企业的商誉与新能源汽车企业与电商平台零售商的努力水平有关。参照 Luhta 等[14]研究中的企业商誉方程构建方法, 企业商誉方程的动态描述如下:

$$\dot{G}(t) = \frac{dG(t)}{dt} = \lambda_1 E_1(t) + \lambda_2 E_2(t) - \delta G(t) \quad (2)$$

在初始条件下, $G(0) = G_0$, λ_1 和 λ_2 分别表示新能源汽车企业广告宣传投入和电商平台零售商营销投入对企业声誉的影响系数。由于企业声誉具有时效性, 因此 δ 表示企业商誉的边际递减系数。新能源汽车企业和电商平台零售商的营销努力越多, 如加大广告投放力度, 电商平台零售商加大小城市营销宣传, 就会导致新能源汽车企业的知名度越高, 从而提高企业的商誉。例如小米汽车曾花巨资承包下纽北赛道进行“刷圈”, 这与提高它们的商誉有关。

假设 4: 废电池的理论回收量主要取决于新能源汽车企业的废电池回收力度和市场上愿意主动向企

业交付废电池的用户规模, 而企业废旧电池的回收力度跟企业的商誉相关, 当新能源汽车企业成功树立绿色企业形象后, 企业为了保持绿色企业形象, 企业需要加大努力, 增强消费者的信任度, 所以企业会加大废旧电池的回收力度。因此, 新能源汽车企业声誉与废旧电池理论回收量之间存在正相关关系。参考 Zhang 等[15]等研究中的理论回收量方程, 废旧电池的理论回收量表示为:

$$Q = \alpha + \beta_1 G(t) \quad (3)$$

其中, α 表示市场中自愿将废旧电池提供给企业处理的潜在用户数量, β_1 表示新能源汽车企业商誉对废旧电池理论回收量的影响系数。

假设 5: 参考 Yi 等[16]研究中的市场需求函数。线上市场需求函数用下式表示:

$$D = (a - bp)(\beta_2 G(t)) \quad (4)$$

其中, a 表示潜在线上市场需求, p 表示零售价格, b 表示消费者对价格的敏感程度, 价格敏感系数反映消费者对线上促销等活动的响应程度, β_2 表示企业商誉对线上市场需求的影响系数。

假设 6: 假设 C_m 表示新能源汽车企业生产每辆新能源汽车的边际成本, C_r 表示电商平台零售商销售每辆汽车的边际成本。

2.2. 模型构建

本文构建了包含新能源汽车企业和电商平台零售商在两种不同情境下的博弈模型(在不导致混淆的前提下, 后续将简称新能源汽车企业为企业, 电商平台零售商为零售商)。

2.2.1. 各自决策情形

情境 1: 企业与零售商单独决策, 追求自身利益最大化。在这种情况下, 企业和零售商形成了一个 Stackelberg 博弈。决策过程如下: 企业首先确定批发价格 W 和广告宣传投入的努力水平 $E_1(t)$ 。然后, 零售商根据企业确定的批发价格 W 和销售每辆新能源汽车的边际成本 C_r 来确定零售价格 p , 根据企业宣传投入的努力水平确定广告营销努力水平 $E_2(t)$ 。该博弈情境下各博弈者的收益函数如下:

$$\begin{cases} \max_{E_1, W} J_1^P = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \left[(W - c_m)D + \Delta Q - \frac{1}{2}k_1 E_1^2(t) \right] dt \\ \max_{E_2, p} J_2^P = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \left[(p - W - c_r)D - \frac{1}{2}k_2 E_2^2(t) \right] dt \end{cases} \quad (5)$$

2.2.2. 新能源汽车企业与电商平台零售商共同分担营销成本

情境 2: 企业为激励零售商加大营销力度, 选择对零售商的营销成本进行一定比例的补贴。在这种情况下, 企业和零售商形成了一个 Stackelberg 博弈。决策过程如下: 首先, 企业首先确定批发价格 W 和广告宣传的努力水平 $E_1(t)$ 。为了鼓励零售商加大线上营销宣传力度, 按一定比例 σ 补贴电商平台零售商的营销投资成本 $C_2(t)$, 其中 $\sigma \in (0, 1)$ 。企业的决策, 零售商确定零售价格 p 和营销努力水平 $E_2(t)$ 。该博弈情境下各博弈者的收益函数如下:

$$\begin{cases} \max_{E_1, W} J_1^B = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \left[(W - c_m)D + \Delta Q - \frac{1}{2}k_1 E_1^2(t) - \frac{1}{2}\sigma k_2 E_2^2(t) \right] dt \\ \max_{E_2, p} J_2^B = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \left[(p - W - c_r)D - \frac{1}{2}(1 - \sigma)k_2 E_2^2(t) \right] dt \end{cases} \quad (6)$$

3. 主要结果

情境 1: 在该情境中, 企业是领导者, 零售商是追随者。零售商获取企业的决策信息, 并做出相应的

追随者决策, 以实现收益最大化。从反馈平衡的充分条件出发, 假设连续有界的可微收益函数为 $V_i^{NP}(S, G), i=1, 2$ 。对于任意的 $S \geq 0, G \geq 0$, 应该满足 Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程[17]。由式子(2)和(5)可得以下式子(在不导致混淆的前提下, 为了方便起见, 将在后续的方程中省略 t):

$$\rho V_1^{NP} = (W - C_m)(a - bp)(\beta_2 G) + \Delta(\alpha + \beta_1 G) - \frac{1}{2} k_1 E_1^2 + \frac{\partial V_1^{NP}}{\partial G} (\lambda_1 E_1 + \lambda_2 E_2 - \delta G)$$

$$\rho V_2^{NP} = (p - W - c_r)(a - bp)(\beta_2 G) - \frac{1}{2} k_2 E_2^2 + \frac{\partial V_2^{NP}}{\partial G} (\lambda_1 E_1 + \lambda_2 E_2 - \delta G)$$

通过求解上述方程, 我们可以得到命题 1。

命题 1: (1) 新能源汽车企业、政府和电商平台零售商的最优均衡策略如下:

$$E_1^{NP} = \frac{\lambda_1 (A_1 \beta_2 + \Delta \beta_1)}{k_1 (\rho + \delta)} \tag{7}$$

$$E_2^{NP} = \frac{\lambda_2 A_1 \beta_2}{2k_2 (\rho + \delta)} \tag{8}$$

$$W^{NP} = \frac{a + bc_m - bc_r}{2b} \tag{9}$$

$$p^{NP} = \frac{3a + bc_m + bc_r}{4b} \tag{10}$$

其中

$$A_1 = \frac{(a - bc_m - bc_r)^2}{8b^2}$$

(2) 企业声誉的最优轨迹分别为:

$$G(t) = \frac{A_2}{\delta} + \left(G_0 - \frac{A_2}{\delta} \right) e^{-\delta t} \tag{11}$$

其中

$$A_2 = \frac{A_1 \beta_1 (2k_2 \lambda_1^2 + k_1 \lambda_2^2) + 2k_2 \lambda_1^2 \Delta \beta_1}{2k_1 k_2 (\rho + \delta)}$$

(3) 企业和零售商的最佳效益函数分别为:

$$V_1^{NP} = \frac{A_1 \beta_2 + \Delta \beta_1}{\rho + \delta} \left[\frac{A_2}{\delta} + \left(G_0 - \frac{A_2}{\delta} \right) e^{-\delta t} \right] + \frac{1}{\rho} \left[\Delta \alpha + \frac{A_2 (A_1 \beta_2 + \Delta \beta_1)}{\rho + \delta} - \frac{\lambda_1^2 (A_1 \beta_2 + \Delta \beta_1)^2}{2k_1 (\rho + \delta)^2} \right] \tag{12}$$

$$V_2^{NP} = \frac{A_1 \beta_2}{2(\rho + \delta)} \left[\frac{A_2}{\delta} + \left(G_0 - \frac{A_2}{\delta} \right) e^{-\delta t} \right] + \frac{1}{\rho} \left[\frac{A_1 A_2 \beta_2}{2(\rho + \delta)} - \frac{\lambda_2^2 A_1^2 \beta_2^2}{8k_2 (\rho + \delta)^2} \right] \tag{13}$$

(4) 线上市场需求最佳轨迹为:

$$D = \frac{\beta_2 (a - bc_m - bc_r)}{4} \left[\frac{A_2}{\delta} + \left(G_0 - \frac{A_2}{\delta} \right) e^{-\delta t} \right] \tag{14}$$

根据同样求解的方法, 可以得到情境 2 的主要结果, 其结果如下。

命题 2: (1) 企业和零售商在该情境中的最优均衡策略为:

$$E_1^P = \frac{\lambda_1(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1)}{k_1(\rho + \delta)} \quad (15)$$

$$E_2^P = \frac{A_1\lambda_2\beta_2}{2(1-\sigma)k_2(\rho + \delta)} \quad (16)$$

$$W = \frac{a + bc_m - bc_r}{2b} \quad (17)$$

$$p = \frac{3a + bc_m + bc_r}{4b} \quad (18)$$

(2) 新能源汽车企业的废旧电池回收技术与企业声誉的最优轨迹为:

$$G(t) = \frac{A_3}{\delta} + \left(G_0 - \frac{A_3}{\delta}\right)e^{-\delta t} \quad (19)$$

其中

$$A_3 = \frac{2(1-\sigma)k_2\lambda_1^2(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1) + k_1\lambda_2^2A_1\beta_2}{2(1-\sigma)k_1k_2(\rho + \delta)}$$

(3) 企业和零售商的最佳效益函数为:

$$V_1^P = \frac{A_1\beta_2 + \Delta\beta_1}{\rho + \delta} \left[\frac{A_3}{\delta} + \left(G_0 - \frac{A_3}{\delta}\right)e^{-\delta t} \right] + \frac{1}{\rho} \left[\Delta\alpha + \frac{A_3(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1)}{\rho + \delta} - \frac{\lambda_1^2(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1)^2}{2k_1(\rho + \delta)^2} - \frac{\sigma A_1^2\lambda_2^2\beta_2^2}{8(1-\sigma)^2k_2(\rho + \delta)^2} \right] \quad (20)$$

$$V_2^P = \frac{A_1\beta_2}{2(\rho + \delta)} \left[\frac{A_3}{\delta} + \left(G_0 - \frac{A_3}{\delta}\right)e^{-\delta t} \right] + \frac{1}{\rho} \left[\frac{A_1A_3\beta_2}{2(\rho + \delta)} - \frac{\lambda_2^2A_1^2\beta_2^2}{8(1-\sigma)k_2(\rho + \delta)^2} \right] \quad (21)$$

(4) 线上市场需求函数最佳轨迹为:

$$D = \frac{\beta_2(a - bc_m - bc_r)}{4} \left[\frac{A_3}{\delta} + \left(G_0 - \frac{A_3}{\delta}\right)e^{-\delta t} \right] \quad (22)$$

4. 结果分析

在第三节中, 我们得到了两种情况下的博弈均衡结果, 本节将通过下列推论对均衡结果进行分析。

推论 1. 两种情况中企业与零售商的最佳努力水平与 k_1 , k_2 , ρ 以及 δ 呈负相关关系。

证明:

$$\frac{\partial E_1^P}{\partial k_1} = \frac{\partial E_1^{NP}}{\partial k_1} = \frac{\lambda_1(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1)}{-k_1^2(\rho + \delta)} < 0, \quad (1-\sigma)\frac{\partial E_2^P}{\partial k_2} = \frac{\partial E_2^{NP}}{\partial k_2} = \frac{A_1\lambda_2\beta_2}{-2(1-\sigma)k_2^2(\rho + \delta)} < 0$$

$$\frac{\partial E_1^P}{\partial \rho} = \frac{\partial E_1^{NP}}{\partial \rho} = -\frac{\lambda_1(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1)}{k_1(\rho + \delta)^2} < 0, \quad (1-\sigma)\frac{\partial E_2^P}{\partial \rho} = \frac{\partial E_2^{NP}}{\partial \rho} = -\frac{\lambda_2A_1\beta_2}{2k_2(\rho + \delta)^2} < 0$$

$$\frac{\partial E_1^P}{\partial \delta} = \frac{\partial E_1^{NP}}{\partial \delta} = -\frac{\lambda_1(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1)}{k_1(\rho + \delta)^2} < 0, \quad (1-\sigma)\frac{\partial E_2^P}{\partial \delta} = \frac{\partial E_2^{NP}}{\partial \delta} = -\frac{\lambda_2A_1\beta_2}{2k_2(\rho + \delta)^2} < 0$$

从推论 1 中可以看出, 企业和零售商的决策均与成本参数, 收益贴现率和商誉的边际递减系数呈负相关, 显然这是符合实际生活情景的。当成本参数越高, 企业和零售商增加其努力程度会导致其成本增加, 这不得不使企业和零售商慎重选择投入的努力程度。同样, 当收益贴现率和商誉的边际递减系数过高时, 企业和零售商加大投入努力程度, 但其获得的成果增效不明显, 从而会使企业和零售商降低其投入努力程度。

推论 2. 从理性角度出发, 当补贴比例 $\sigma < \frac{\rho(B_1+B_2)}{(1+\rho)B_3}$ 时, 企业愿意对零售商的营销成本按比例进行补贴。

证明:

$$V_1^P - V_1^{NP} = \frac{A_1\beta_2 + \Delta\beta_1}{\rho + \delta} \left[\frac{A_3 - A_2}{\delta} - \left(\frac{A_3 - A_2}{\delta} \right) e^{-\delta t} \right] + \frac{(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1)(A_3 - A_2)}{\rho(\rho + \delta)} - \sigma \frac{A_1^2 \lambda_2^2 \beta_2^2}{8(1-\sigma)^2 \rho k_2 (\rho + \delta)^2}$$

其中

$$B_1 = \frac{A_1\beta_2 + \Delta\beta_1}{\rho + \delta} \left[\frac{A_3 - A_2}{\delta} - \left(\frac{A_3 - A_2}{\delta} \right) e^{-\delta t} \right],$$

$$B_2 = \frac{(A_1\beta_2 + \Delta\beta_1)(A_3 - A_2)}{\rho(\rho + \delta)}, \quad B_3 = \frac{A_1^2 \lambda_2^2 \beta_2^2}{8(1-\sigma)^2 \rho k_2 (\rho + \delta)^2}$$

从理性角度出发, 当企业因零售商加大营销力度所增加的收益大于企业补贴的费用时, 企业愿意对零售商进行补贴。即 $V_1^P - V_1^{NP} > \frac{1}{2} \sigma k_2 E_2^2$ 时, 有

$$B_1 + B_2 - \sigma B_3 > \frac{\sigma}{\rho} B_3, \quad \text{即 } \sigma < \frac{\rho(B_1 + B_2)}{(1 + \rho)B_3}.$$

推论 3. 从“公平”角度出发, 若企业对零售商进行补贴所增加的收益小于零售商增加的收益时, 企业则会觉得“不公平”。因此, 当补贴比例 $\sigma < \frac{\rho(B_1+B_2)}{(1+\rho)B_3}$, $\sigma < \frac{B_1+B_2-B_4-B_5}{B_3-B_6}$ 时, 企业愿意对零售商进行补贴。

证明: 从“公平”角度出发, 当 $V_1^P - V_1^{NP} > V_2^P - V_2^{NP}$ 时, 有

$$B_1 + B_2 - \sigma B_3 > B_4 + B_5 - \sigma B_6$$

其中

$$B_4 = \frac{A_1\beta_2}{2(\rho + \delta)} \left[\frac{A_3 - A_2}{\delta} - \left(\frac{A_3 - A_2}{\delta} \right) e^{-\delta t} \right], \quad B_5 = \frac{A_1\beta_2(A_3 - A_2)}{2\rho(\rho + \delta)}, \quad B_6 = \frac{A_1^2 \lambda_2^2 \beta_2^2}{8(1-\sigma)\rho k_2 (\rho + \delta)^2}$$

$$\text{则有 } \sigma < \frac{B_1 + B_2 - B_4 - B_5}{B_3 - B_6}.$$

5. 仿真分析

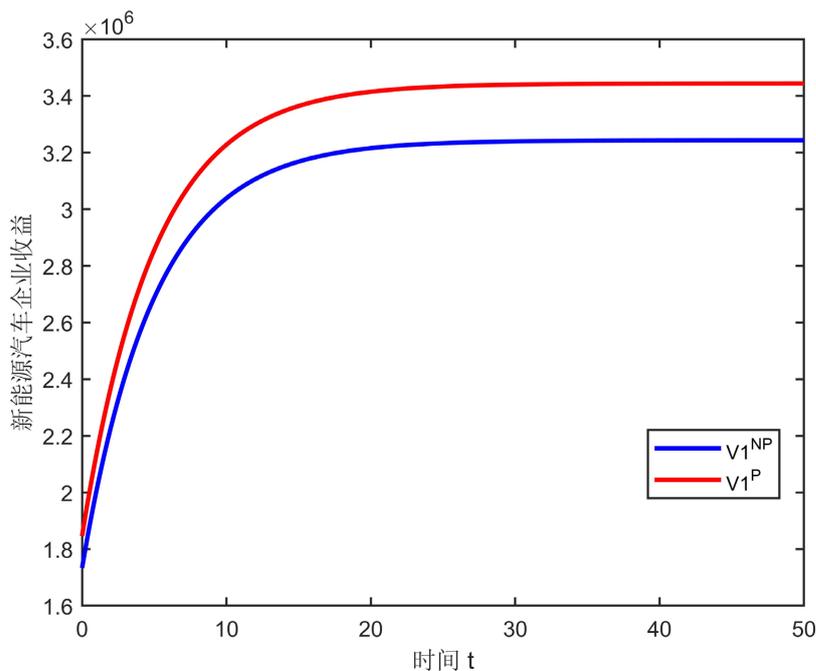
为了探究企业商誉, 决策者收益函数和市场需求在不同情况下的变化趋势以及与相关因素的关系, 本文利用 Matlab 软件模拟了不同情境下的博弈。本研究的参数设置根据已有研究[16] [18]以及本文模型和参数的实际含义而取。模型初始参数配置如表 1 所示:

Table 1. Parameter assignment in numerical analysis**表 1.** 数值分析中的参数赋值

参数	数值	参数	数值
a	100	k_1	0.5
b	0.5	k_2	0.4
c_r	50	λ_1	0.4
c_m	65	λ_2	0.2
Δ	2.5	σ	0.3
β_1	0.4	ρ	0.1
β_2	0.3	δ	0.2
α	10	G_0	5

利用上述参数的值, 我们进行仿真分析, 模拟了新能源汽车企业和平台零售商在两种博弈情境中的收益以及企业商誉和市场需求随时间的演化趋势, 考虑了不同的商誉边际递减系数值和商誉对市场需求的影响系数值对市场需求的影响。

由图 1, 图 2 和图 3 可以得出: 当新能源汽车企业实施营销成本分担策略时, 能够有效提升电商平台零售商的宣传投入强度, 激发其营销积极性。这种协同机制显著加速了企业商誉的动态积累过程, 具体表现为两方面: 其一, 企业商誉增长带动市场需求增加, 同步提升供应链成员的经营收益, 有效促进电商平台的发展; 其二, 基于品牌信任的强化效应, 高商誉企业能显著增强消费者对绿色回收服务的参与意愿, 促使废旧电池回收率实现有效提升, 最终形成良性循环机制。该模拟结果不仅证实了成本分担策略的协同有效性, 也说明了新能源汽车企业与电商平台零售商合作能有效构建绿色供应链, 实现双赢局面。

**Figure 1.** Evolution graph of revenue of the NEV enterprise over time t **图 1.** 新能源汽车企业收益随时间 t 的演变图

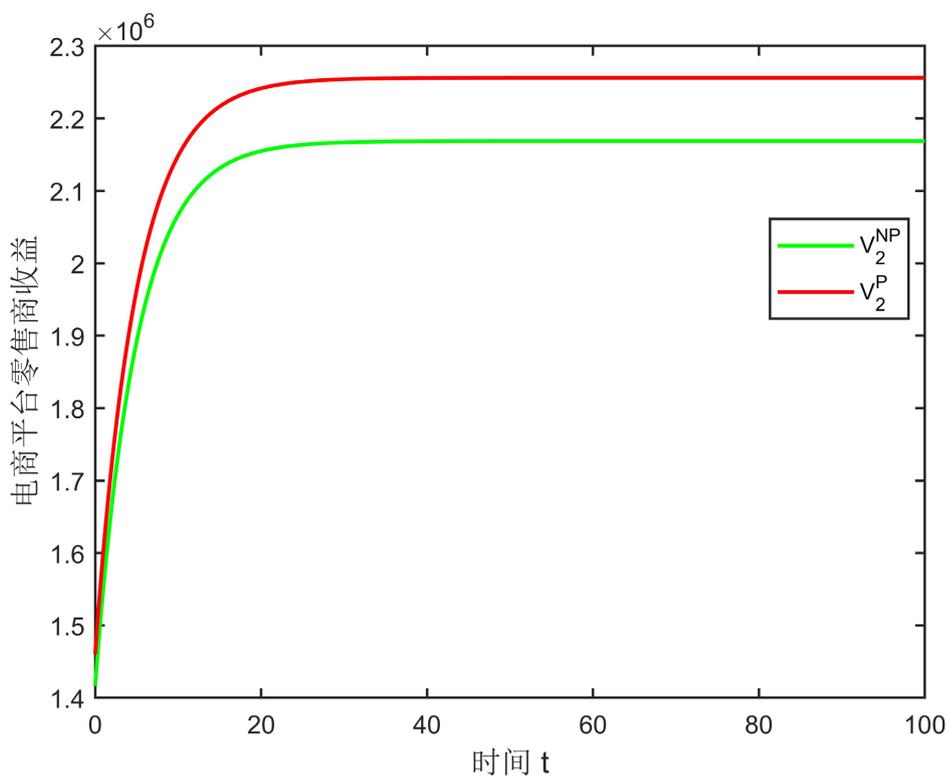


Figure 2. Evolution graph of revenue of the E-commerce platform retailer over time t
图 2. 电商平台零售商收益随时间 t 的演变图

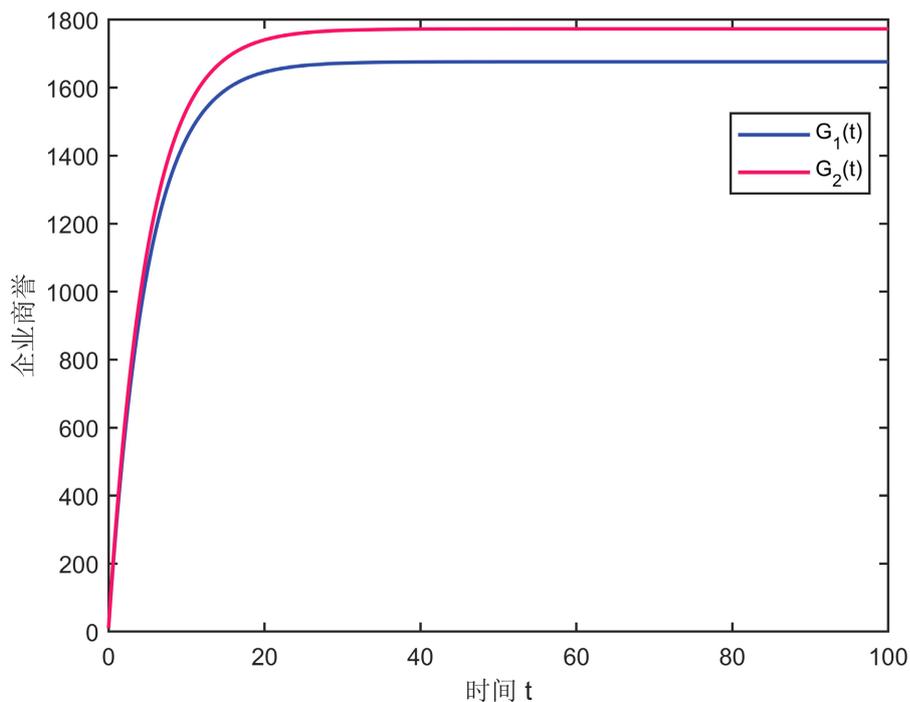


Figure 3. Evolution graph of goodwill of the NEV enterprise over time t
图 3. 新能源汽车企业商誉随时间 t 的演变图

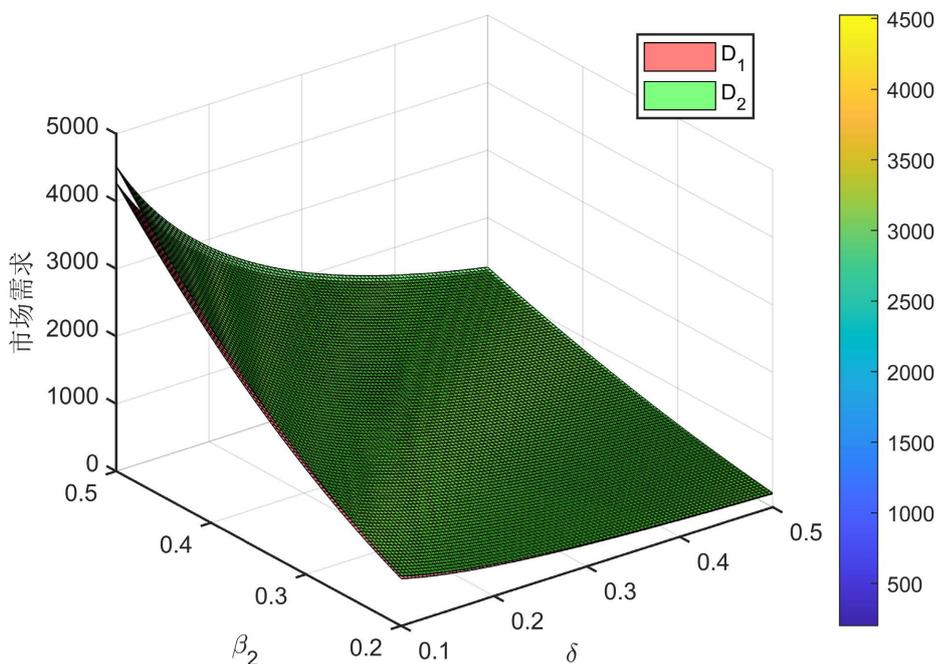


Figure 4. Evolution graph of market demand with δ and β_2

图 4. 市场需求随 δ 和 β_2 的演变图

从图 4 中可以看出：在新能源汽车企业实施营销成本分担机制和不实施成本分担机制的两个博弈情境中，市场需求与商誉对市场需求影响系数 β_2 均呈正相关关系，而与商誉边际递减系数 δ 均呈负相关。由图中可以看出，商誉对市场需求影响系数 β_2 在两种博弈情境中的增长速率不同，当 β_2 超过 0.3 后， D_2 的增速明显高于 D_1 ，反映出企业分担营销成本的行为加大了商誉的积极影响，使得市场需求快速增长。进一步观察发现，商誉边际衰减系数 δ 对市场需求存在动态调节作用。在 β_2 较高时，随着 δ 的逐渐增大，两种博弈情境中的市场需求均减小，但在企业分担营销成本博弈情境中的市场需求始终高于独自决策博弈情境中的市场需求，说明企业分担营销成本策略能有效延缓商誉衰减对市场需求带来的影响。

6. 结论与建议

为了探究新能源汽车企业与电商平台零售商进行线上合作对二者和电商平台的影响，通过微分博弈理论构建动态决策模型，运用 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程求解动态均衡策略，得出以下主要结论以及针对实际应用场景提出策略调整建议：

6.1. 主要结论

(1) 新能源汽车企业对电商平台零售商实施营销成本分担策略，能够有效缓解零售终端的成本压力，激发其市场拓展动能。这种协同机制通过优化供应链资源配置，不仅提升了废旧动力电池回收率，同时也通过线上线下渠道融合形成了价值共创效应，最终实现产业链成员企业的收益增长。

(2) 新能源汽车企业实施营销成本分担策略的激励效果存在阈值约束，其最优决策需遵循动态平衡原则。当企业分担比例突破特定阈值时，将会导致企业因实施成本分担政策所增加的收益低于所分担成本，此时企业将会降低实施成本分担意愿。这一发现为新能源汽车企业制定差异化合作策略提供了理论依据。

(3) 在电商平台主导的销售渠道中, 营销投入对品牌商誉的累积具有显著促进作用。新能源汽车企业的成本分担政策通过增强零售商的市场营销能力, 依靠电商平台信息传播优势, 能有效提升市场需求, 更重要的是构建了品牌认知的正向循环, 使电商平台零售商在获得即时收益的同时, 也为其可持续运营能力建设提供了战略支撑。

6.2. 实际应用策略建议

基于研究结论, 结合电商平台特性, 提出以下有关各决策者的策略调整方案, 以优化新能源汽车电池回收体系, 并推动电商生态协同发展:

(1) 新能源汽车企业应构建动态化的成本分担决策机制, 强化电商销售渠道信息利用价值。依托电商平台消费者行为数据以及收益进行动态调整, 将成本分担政策与企业商誉增长以及电池回收率进行适当挂钩, 与电商平台零售商深度合作, 优化合作方案, 促进线上产品销售与电池回收。

(2) 电商平台零售商需建立营销资源配置的动态优化机制, 在新能源汽车企业成本分担政策框架下, 精准实施营销资金分配, 将成本分担政策转化为品牌价值投资。利用电商平台网络优势, 开发服务创新模式, 降低消费者参与废旧电池回收的决策成本, 驱动回收率提升, 进而获取新能源汽车企业的额外政策激励以及消费者的信任。

(3) 电商平台应着力建立资源动态配置优化机制与完善规范化监管框架。电商平台从营销内容合规性和真实性、废旧电池回收基础设施、碳足迹管理等方面量化评估企业和零售商能力, 对达标企业和零售商提供平台曝光资源倾斜。平台加大信息真实度的审核管理以及安全维护, 通过提升交易透明度与风险防控效能, 有效增强用户与入驻平台企业和商家的信任度。

基金项目

国家自然科学基金资助项目[71961003]; 贵州省科技计划项目[QKH-LH(2017)7223]。

参考文献

- [1] Sun, Q., Chen, H., Long, R., Li, Q. and Huang, H. (2022) Comparative Evaluation for Recycling Waste Power Batteries with Different Collection Modes Based on Stackelberg Game. *Journal of Environmental Management*, **312**, Article ID: 114892. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114892>
- [2] Yi, J., Liao, J., Bai, T., Wang, B., Yangzom, C., Ahmed, Z., et al. (2022) Battery Wastewater Induces Nephrotoxicity via Disordering the Mitochondrial Dynamics. *Chemosphere*, **303**, Article ID: 135018. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135018>
- [3] Haefliger, P., Mathieu-Nolf, M., Locicero, S., Ndiaye, C., Coly, M., Diouf, A., et al. (2009) Mass Lead Intoxication from Informal Used Lead-Acid Battery Recycling in Dakar, Senegal. *Environmental Health Perspectives*, **117**, 1535-1540. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900696>
- [4] 冯章伟. 政府生产或回收补贴情境下新能源电动汽车动力电池运营决策研究[J]. *物流技术*, 2025, 44(4): 25-36.
- [5] Chen, J., Zhang, W., Gong, B., Zhang, X. and Li, H. (2022) Optimal Policy for the Recycling of Electric Vehicle Retired Power Batteries. *Technological Forecasting and Social Change*, **183**, Article ID: 121930. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121930>
- [6] Wang, Y., Zhang, Z., Li, X., Zhang, B. and Song, H. (2023) Collaborative Decision-Making Based on Effort Level: Power Battery Recycling Alliance. *Procedia Computer Science*, **221**, 1155-1161. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.08.101>
- [7] Gu, H., Liu, Z. and Qing, Q. (2017) Optimal Electric Vehicle Production Strategy under Subsidy and Battery Recycling. *Energy Policy*, **109**, 579-589. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.043>
- [8] Xing, P. and Wang, M. (2025) The Interplay of Recycling Channel Selection and Blockchain Adoption in the New Energy Vehicle Supply Chain under the Government Reward-Penalty Scheme. *Journal of Cleaner Production*, **487**, Article ID: 144384. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144384>
- [9] 陈锶仪, 邱文畅, 黄子凯. 新能源汽车废旧锂电池回收平台设计[J]. *合作经济与科技*, 2024(21): 93-95.

-
- [10] 朱俊杰. 公平关切下动力电池闭环供应链的回收及补贴策略研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2024.
- [11] 刘磊. 一种汽车电池检测及回收系统[J]. 科技与创新, 2022(15): 54-57.
- [12] He, Y., Xu, Q., Xu, B. and Wu, P. (2016) Supply Chain Coordination in Quality Improvement with Reference Effects. *Journal of the Operational Research Society*, **67**, 1158-1168. <https://doi.org/10.1057/jors.2016.10>
- [13] Kopalle, P.K. and Winer, R.S. (1996) A Dynamic Model of Reference Price and Expected Quality. *Marketing Letters*, **7**, 41-52. <https://doi.org/10.1007/bf00557310>
- [14] Luhta, I. and Virtanen, I. (1996) Non-linear Advertising Capital Model with Time Delayed Feedback between Advertising and Stock of Goodwill. *Chaos, Solitons & Fractals*, **7**, 2083-2104. [https://doi.org/10.1016/s0960-0779\(96\)00074-4](https://doi.org/10.1016/s0960-0779(96)00074-4)
- [15] Zhang, W., Shu, C., Chen, B. and Liu, H. (2024) Research on Digital Transformation Strategy of the Energy Industry Based on Differential Game under the Dual-Carbon Background in China. *Science of the Total Environment*, **906**, Article ID: 167297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167297>
- [16] Yi, Y., Fu, A., Li, Y. and Zhang, A. (2024) Battery Recycling and Coordination in Information Leakage Prevention under Blockchain Technology in a New Energy Vehicles Supply Chain. *Energy Economics*, **139**, Article ID: 107862. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107862>
- [17] Xu, S. and Han, C. (2019) Study on Basin Ecological Compensation Mechanism Based on Differential Game Theory. *Chinese Journal of Management Science*, **27**, 199-207.
- [18] Zhao, C., Ding, J., Taghizadeh-Hesary, F. and Sun, H. (2025) Bilateral Cooperation or Complete Autonomy? Research on the Trade-In of NEV Battery Using a Differential Game with Delay Effect. *Energy for Sustainable Development*, **85**, Article ID: 101644. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101644>