

动力电池回收政策与供应链协调机制研究综述

杨海

重庆交通大学 经济与管理学院, 重庆, 400074;

摘要: 随着新能源汽车产业快速发展, 动力电池退役潮引发的资源与环境问题日益凸显。本文系统梳理动力电池回收领域的政策工具设计与供应链协调机制研究, 发现现有文献已形成“政策工具—博弈行为—契约协调”三位一体的理论框架。研究聚焦于补贴策略优化、多元政策协同、区块链赋能、契约协调设计、渠道模式比较及行为偏好影响等核心议题, 但在动态博弈、实证检验与区域差异化方面仍存在拓展空间。

关键词: 动力电池回收; 闭环供应链; 政策工具; 博弈论; 契约协调

Review on Recycling Policy and Supply Chain Coordination Mechanism of Power Battery

Yanghai

School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 40007

Abstract: The rapid development of the new energy vehicle industry has triggered a wave of retired power batteries, exacerbating resource depletion and environmental concerns. This study systematically examines policy tool design and supply chain coordination mechanisms in battery recycling, revealing a tripartite theoretical framework encompassing "policy tools, game theory, and contractual coordination." Key research areas include subsidy strategy optimization, multi-policy synergy, blockchain empowerment, contractual coordination design, channel model comparisons, and behavioral preference analysis. However, further exploration is needed in dynamic game theory, empirical validation, and regional disparities.

Key words: power battery recycling; closed-loop supply chain; policy tools; game theory; contract coordination

DOI: 10.69979/3029-2700.26.01.064

引言

新能源汽车产业的爆发式增长催生了动力电池规模化退役浪潮, 预计到 2030 年全球退役量将达数百万吨级。废旧动力电池若得不到有效回收利用, 不仅会造成锂、钴、镍等战略资源浪费, 还将引发电解液泄漏、重金属污染等严重环境问题。在此背景下, 构建高效、规范的回收体系已成为实现“双碳”目标与保障资源安全的关键议题。现有研究表明, 动力电池回收体系建设面临双重困境: 政策层面, 如何设计科学合理的激励工具以引导企业参与; 供应链层面, 如何协调多方利益主体实现系统最优。既有文献主要运用博弈论方法, 围绕补贴政策、碳交易、区块链赋能等政策工具, 探讨回收渠道协调、契约设计及行为偏好影响等问题。然而, 研究呈现碎片化特征, 缺乏对政策工具效能与协调机制的系统整合。本文聚焦补贴政策、碳交易、区块链等核心工具, 梳理“政策设计—博弈行为—契约协调”研究脉络, 旨在为构建可持续的动力电池回收体系提供理论支撑。

1 补贴策略的差异化设计

补贴策略是动力电池回收政策研究的核心议题。现有文献主要从补贴对象与方式两个维度展开比较分析。补贴对象差异化方面, 贾俊秀等^[1]构建电池生产商主导、汽车制造商跟随的 Stackelberg 博弈模型, 比较了无补贴、生产商补贴、制造商补贴三种情形。研究表明, 补贴制造商能最大化回收率与汽车商利润, 而补贴生产商则在提升电池续航能力方面更具优势。当消费者绿色意识增强时, 生产商补贴的利润优势逐步显现。周向红^[2]进一步证实, 补贴制造商对供应链整体利润提升具有最大边际效应。王文宾^[3]运用演化博弈模型发现, 当补贴超过阈值时, 生产商与汽车商均倾向于选择回收策略, 且补贴政策可显著缩短回收体系构建周期。补贴方式设计方面, 楼高翔^[4]比较了按回收量补贴与按电池容量补贴的效能差异。研究揭示, 在按容量补贴下, 回收率可能随补贴系数增大而递减; 而在按量补贴下, 回收率始终优于无补贴情形。当补贴总额相等时, 按量补贴的回收率与制造商利润均显著高于按容量补贴, 但后者在提升零售商利润与消费者福利方面更具优势。这一发现为政府根据政策目标灵活选择补贴方式提供了依据。

单一补贴政策存在局限性,学者们转向多元政策工具协同研究。刘娟娟^[5]聚焦碳税与补贴组合政策,发现征收低碳环保税并配套回收补贴能有效提升回收量,且双渠道回收模式在回收量与企业利润上均优于单渠道模式。武文琪^[6]进一步引入成本分担-利润共享契约,证实该契约可使回收量与供应链总利润达到集中决策水平,实现帕累托改进。补贴-惩罚机制是另一重要研究方向。王文宾^[3]通过演化博弈模型证明,惩罚机制能显著缩短回收体系构建时间,且补贴与惩罚的最优配比存在阈值效应。当补贴成本高于收益增量时,政府可通过减税等方式间接激励企业参与回收。押金返还制度与区块链赋能作为新兴政策工具亦受到关注。姚锋敏^[7]研究发现,押金返还政策虽能提升回收率与回收商收益,却不利于梯次利用与制造商获利。当梯次利用市场规模较小时,补贴制造商或线上回收平台效果更佳。区块链溯源水平对回收率具有正向影响,但存在最优区间,过度投入会损害制造商利润与社会福利。

区块链技术的引入为回收监管提供了新思路。姚锋敏^[8]在制造商外包投资区块链情境下构建四种博弈模型,发现区块链赋能有利于提高回收率和梯次利用率,但溯源水平超过临界值后会产生负向效应。制造商自研投资区块链较外包更有利于自身获利,而当外包投资时,梯次利用补贴政策下的社会福利更大。这表明区块链技术应用需与政策工具精准匹配,避免过度投入导致效率损失。

2 供应链协调机制研究

契约设计是破解供应链分散决策效率损失的核心手段。武文琪^[6]构建的补贴环境下闭环供应链模型表明,成本共担-利润共享契约能显著改善决策变量、回收率及供应链利润。契约效果取决于分担与共享比例,且在制造商回收与第三方回收模式下存在差异。补贴与契约协调的综合情形始终优于无协调状态。刘娟娟^[5]进一步证实,在碳税与补贴组合政策下,回收成本分担与收益共享契约能有效协调动力电池闭环供应链。当成本分担比例与收益共享比例合理设置时,生产商与汽车制造商利润均高于分散决策水平,实现帕累托改进。这表明契约协调需与政策工具协同设计,方能发挥最大效能。

不同回收渠道的效率差异是研究热点。李峰^[9]对比

了制造商回收、零售商回收、第三方平台回收三种模式,发现碳交易价格对制造商碳减排投资具有激励作用,而对零售商低碳宣传努力存在抑制效应。政府回收量补贴增加时,制造商与零售商的最优定价下降,且敏感性取决于回收率水平。双渠道回收模式因引入竞争而优于单渠道,成为学者们推崇的方向。

企业行为偏好对供应链决策产生深刻影响。姚锋敏^[7]刘娟娟^[5]研究发现,线上回收平台的公平关切行为不利于系统整体获利,而梯次利用商的公平关切不影响其他主体决策。绿色设计水平提升未必总对制造商有利,但能改善系统整体绩效。当梯次利用市场规模较小时,补贴制造商或线上平台效果更优。这表明政策设计需考虑企业行为异质性,实现精准激励。

3 结论与展望

现有研究已形成“政策工具-博弈行为-契约协调”三位一体的理论框架,为动力电池回收体系构建提供了重要理论支撑。然而,研究仍存在三方面不足:第一,多数模型假设完全理性与信息对称,与现实存在偏差;第二,缺乏基于真实运营数据的大样本实证检验;第三,静态模型难以捕捉政策动态调整过程,且对区域异质性关注不足。未来研究可从以下方向拓展:一是构建动态博弈模型,引入政策时序调整与多期决策;二是开展基于真实交易数据的计量分析;三是优化政策组合设计,实现补贴、碳税、押金、区块链等工具的精准协同;四是探索区域差异化政策,考虑城乡与东中西部回收网络差异。上述方向将为我国动力电池回收体系优化提供更具操作性的理论支撑与实践指导。

参考文献

- [1] 贾俊秀,赵学科.政府补贴下新能源汽车供应链电池续航能力及回收策略[J].系统工程学报,2022,37(3):330-343.
- [2] 周向红,邱嘉欣,刘永.基于不同补贴政策的动力电池回收供应链契约协调策略[J].科学决策,2025(6):185-198.
- [3] 王文宾,刘业,钟罗升,等.补贴-惩罚政策下废旧动力电池的回收决策研究[J].中国管理科学,2023,31(1):90-102.

- [4] 楼高翔, 雷鹏, 马海程, 等. 不同回收补贴政策下新能源汽车动力电池闭环供应链运营决策研究[J]. 管理学报, 2023, 20(2): 267-277.
- [5] 刘娟娟, 薛晶, 张为四. 政府碳税和补贴下的动力电池回收渠道契约协调[J]. 科技管理研究, 2022, 42(22): 160-168.
- [6] 武文琪, 张明. 补贴政策下动力电池闭环供应链定价与协调策略[J]. 工业工程与管理, 2024, 29(5): 147-158.
- [7] 姚锋敏, 朱俊杰, 闫颖洛, 等. 公平关切下考虑绿色设计动力电池闭环供应链的补贴策略[J]. 系统科学与数学, 2024, 44(9): 2730-2750.
- [8] 姚锋敏, 盛卓. 考虑区块链赋能的动力电池闭环供应链回收及补贴策略[J]. 计算机集成制造系统, 2025.
- [9] 李峰, 张丹露. 碳交易背景下考虑回收量补贴的动力电池回收决策研究[J]. 工业技术经济, 2025, 44(3): 56-66.