

# “双碳”背景下新能源汽车动力电池闭环供应链合作机制与减排效益研究

刘鑫鹏

同济大学经济与管理学院, 上海

收稿日期: 2026年2月12日; 录用日期: 2026年3月5日; 发布日期: 2026年3月13日

## 摘要

随着我国新能源汽车产业的不断发展, 动力电池的回收利用正逐渐成为制约行业可持续发展与实现“双碳”目标的一大瓶颈。本文基于闭环供应链理论, 运用系统动力学方法, 构建了包含电池生产、梯次利用、废料回收及碳交易成本测算全过程的仿真模型。研究重点引入了横向技术合作与纵向供应链上下游协同两个维度, 模拟了在自主发展与国际合作两种情景下供应链的经济效益与环境效益演化路径。仿真结果表明: 1) 在两种情景下, 提高纵向合作程度均能在显著提升利润的同时还能降低净碳排放量, 实现经济效益和环境效益的双赢; 2) 相较于自主发展情景, 国际合作情景虽然能让供应链以更快的速度降低碳排放, 率先实现供应链低碳化, 但受技术进步产生的“消费者剩余”现象导致其经济效益略低于自主发展情景。基于此, 本文从加强国际技术交流、构建多方协同回收体系等方面提出了针对性的政策建议, 为后补贴时代动力电池产业的高质量发展提供理论依据。

## 关键词

动力电池, 回收利用, 系统动力学, 新能源汽车, 企业合作

## Study on Closed-Loop Supply Chain Cooperation Mechanism and Emission Reduction Benefits of NEV Power Batteries under the “Dual Carbon” Goals

Xinpeng Liu

School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai

Received: February 12, 2026; accepted: March 5, 2026; published: March 13, 2026

## Abstract

With the continuous expansion of China's new energy vehicle (NEV) industry, the recycling and utilization of power batteries have increasingly become a critical bottleneck hindering sustainable development and the realization of "Dual Carbon" goals. Drawing upon closed-loop supply chain theory and utilizing System Dynamics (SD), this paper constructs a simulation model encompassing the entire life cycle, including battery production, echelon utilization, waste recycling, and carbon trading cost estimation. The research focuses on two dimensions: horizontal technological cooperation and vertical supply chain coordination, simulating the evolutionary paths of economic and environmental benefits under "Independent Development" and "International Cooperation" scenarios. The simulation results indicate that: 1) Under both scenarios, enhancing the degree of vertical coordination significantly boosts profits while reducing net carbon emissions, achieving a "win-win" for both economic and environmental outcomes. 2) Compared to the independent development scenario, the international cooperation scenario enables the supply chain to reduce carbon emissions more rapidly, taking the lead in achieving decarbonization. However, due to the "consumer surplus" phenomenon triggered by accelerated technological progress, its economic benefits are slightly lower than those of the independent development scenario. Based on these findings, this paper proposes targeted policy recommendations, such as strengthening international technical exchange and establishing a multi-party collaborative recycling system, to provide a theoretical basis for the high-quality development of the power battery industry in the post-subsidy era.

## Keywords

Power Batteries, Recycle and Reuse, System Dynamics, New Energy Vehicles, Enterprises Cooperation

Copyright © 2026 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

随着全球气候变化问题的加剧、全球低碳转型和我国“碳达峰”“碳中和”双碳政策的不断推进，新能源汽车(New Energy Vehicles, NEV)已经成为各国政府和企业应对环境挑战的过程中的关键战略支点。近年来，在相关政策支持下，我国的新能源汽车产业发展迅速，新能源汽车大国优势持续凸显。如图 1 所示，根据中国汽车工业协会统计数据，2025 年，国内新能源汽车产销量分别达到 1662.6 万辆和 1649 万辆，同比分别增长 29%和 28.2%，市场渗透率达到 47.9%。预计到 2026 年，这一势头仍将延续，新能源汽车销量将进一步攀升，并有望达到 1900 万辆，继续巩固中国作为全球最大新能源汽车消费市场的地位。在新能源汽车产业快速发展的背景下，动力电池作为核心动力源的重要性日益增强。作为新能源汽车的“心脏”，动力电池不仅提供车辆行驶所需的能量，也是推动全球能源结构转型的关键力量。随着技术的不断进步和市场需求的持续增长，动力电池行业正经历前所未有的变革与发展。

随着“双碳”目标的纵深推进，构建循环经济体系成为提升产业韧性与绿色竞争力的必然选择。在《“十四五”循环经济发展规划》中，废旧动力电池的循环利用被列为核心行动之一，动力电池的回收和再利用成为动力电池供应链中的重要一环。动力电池回收部分主要是对已到使用寿命的报废电池的处理，通过梯次利用或资源再生的方式，将电池中的有价值材料回收并用于中游动力电池制造企业进行新电池的生产，或将尚有剩余容量的电池用于储能等其他应用。这一过程不仅可以降低环境污染，还能缓



Figure 1. China's new energy vehicle production and sales from 2019 to 2025

图 1. 中国 2019~2025 年新能源汽车产销量情况

解原材料供应压力，形成绿色循环经济的闭环。

目前，对动力电池的回收利用这个话题，国内外学者已从不同的角度，运用不同的模型和理论进行了广泛的研究。张子健等通过研究不同决策条件，探讨了梯次利用模式下的最优收益分配与共享契约[1]。黄铭煌和马汉武探讨了企业社会责任在电池回收中的作用，分析不同主体的回收策略及对供应链利润的影响[2]。Fan 等在新能源汽车厂商和第三方回收企业两种回收模式下，分析消费者环保意识对废旧动力电池回收价格及供应链利润的影响[3]。类似地，叶崧研究了消费者责任意识对动力电池回收的影响，构建 Stackelberg 模型来分析回收价格与供应链利润的关系[4]。Zhang 等模拟了奖惩机制下的多种回收模式中多元利益相关者的回收行为组合[5]。胡文婕等提出了两种双渠道回收模型，探讨了双渠道退役动力电池的回收闭环供应链模式[6]。Li 研究了包括 NEV 制造商、NEV 零售商和第三方回收商的动力电池供应链，并比较了不同回收模式的最优定价和收集决策[7]。此外，Ikasari 等使用 SCOR 模型，对电池工厂的运营绩效进行了量化评价[8]。

同时，系统动力学作为一种研究和管理复杂反馈系统的仿真方法，被国内外众多学者广泛应用于供应链领域。Saarinen 等利用系统动力学模拟模型，分析了芬兰杂货店供应链中的应急效应，揭示了供应链的运营动态是如何影响关键韧性能力的有效性[9]。Malik 等运用系统思维，采用系统动力学建模方法，分析和建立了建筑供应链风险和韧性能力之间的互联互通和功能性，并评估了供应链风险对建筑项目的复杂性和综合影响，以增强其韧性[10]。Yu 等采用系统动力学模型，分析了到 2060 年低碳转型进程中电煤供应的动态演化趋势，并为提升电煤供应链韧性提出了相应策略[11]。蒋含明等通过系统动力学方法，构建反映原油供应链系统遭遇突发扰动事件时各内部复杂关系的风险调控模型，并通过设置不同原油进口受限情景，讨论了不同情景下供应链最优的调控措施[12]。曹允春和赵柯焱以国际航空货运系统为研究对象，利用系统动力学方法，结合系统关键指标研究其供应链韧性[13]。

通过以上国内外学者的研究，我们发现现有关于新能源汽车动力电池研究大多集中于动力电池的回收模式与定价决策方面，很少有用系统动力学从动态演化视角来研究企业间协同合作程度对新能源汽车动力电池回收再利用的影响，尤其是在双碳政策背景下，探究动力电池回收与利用的碳排放与碳交易成本情况。因此，本文以新能源汽车动力电池闭环供应链为研究对象，构建系统动力学仿真模型，旨在深度解构国内外技术合作及上下游纵向协同对系统运行绩效的作用机理，为优化回收生态提供决策参考。

## 2. 模型构建

### 2.1. 问题描述

本研究所涉及的动力电池供应链体系由七大核心主体构成，如图 2 所示。正向价值链包括了动力电池及整车的制造商、分销商与最终客户；而逆向循环体系则涵盖了第三方回收商、梯次利用企业以及动力电池拆解中心。这些主体通过信息流、资金流与物质流的交互，共同支撑起闭环供应链的协同运行。

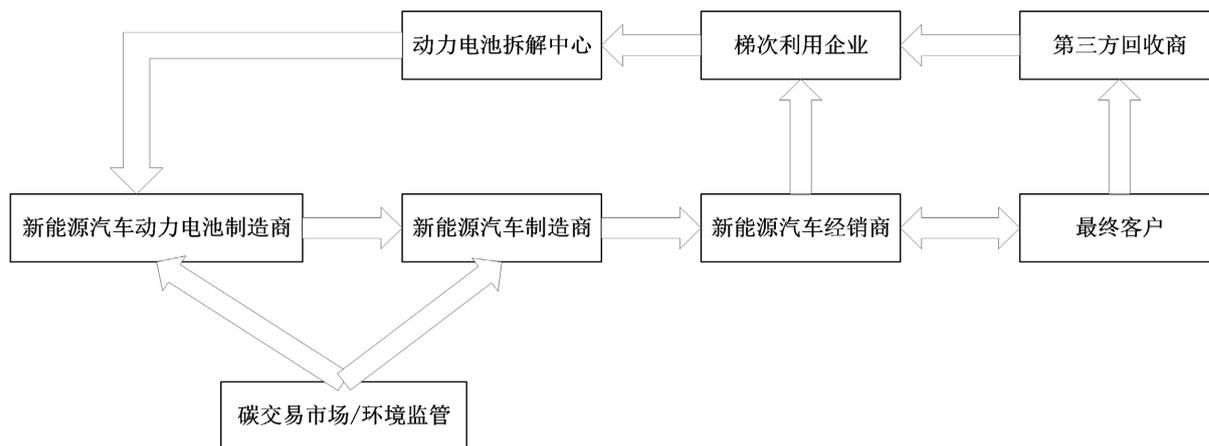


Figure 2. System dynamics model boundary diagram

图 2. 系统动力学模型边界图

### 2.2. 基本假设

本研究系统动力学模型的构建基于以下几个假设条件：

- 1) 供应链中动力电池制造商只生产一种动力电池，新能源汽车制造商与经销商只生产与销售一种新能源汽车产品，同时第三方回收商、梯次利用企业以及动力电池拆解中心只处理一种动力电池。
- 2) 假设动力电池退役回收后的处理流向比例：25%直接进入拆解再生环节，75%进入梯次利用循环。
- 3) 假设论文中回收的金属主要为金属锂。
- 4) 横向合作程度指的是同在动力电池供应链各环节中的国内企业与国外企业之间的合作程度，纵向合作程度指的是同在动力电池供应链中不同环节的国内企业之间合作的程度。

### 2.3. 模型构建

在 Yang 等人研究[14]的基础上，本文引入了碳排放与碳交易模块，突破了原模型仅关注物理流与资金流的局限，将全生命周期碳排放核算纳入系统边界。在变量选择上，新增了碳交易价格与净碳排放量等关键环境参数，将隐性的环境外部性转化为显性的企业成本；以模拟“双碳”背景下动力电池产业的真实运行环境。本文所构建的系统动力学模型如图 3 及图 4 所示，包括因果回路图与存量流量图。

### 2.4. 参数设置

系统动力学模型的部分参数是根据以下最新的实际情况设置的，全部参数设置可见表 1。

- 1) 根据中保研的最新数据显示，动力电池组单件零整比达 50.96%。因此，设置动力电池价格占新能源汽车价格比重为 0.5096。

- 2) 根据不同情景，本文设置技术进步为自主研发速度或技术转型速度。
- 3) 目前的政府补贴主要是车辆购置税减免及以旧换新补贴两部分，其中购置税自 2026 年起由之前的全免变为减半征收，同时以旧换新补贴也按车价比例评估。因此，平均下来本文将政府补贴的公式设置为：IF THEN ELSE (Time ≤ 2, 2.5, IF THEN ELSE (Time ≤ 4, 1.25, 0))。

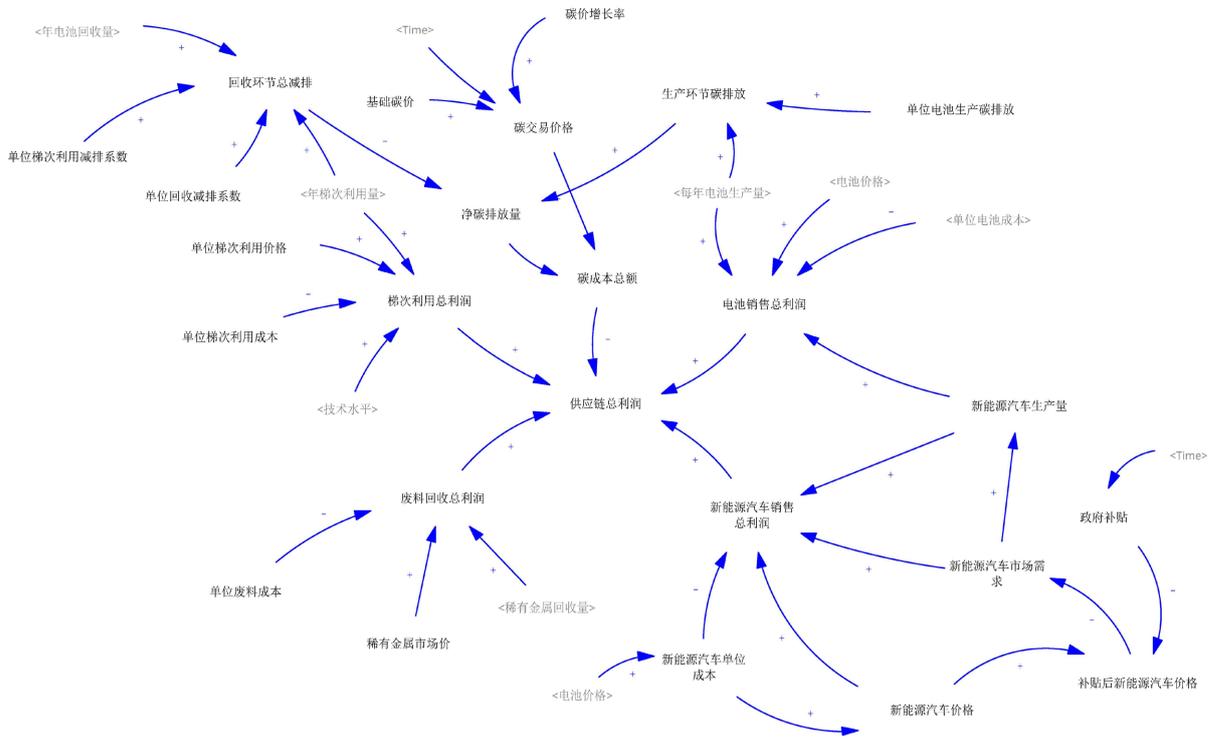


Figure 3. Causal loop diagram  
图 3. 因果回路图

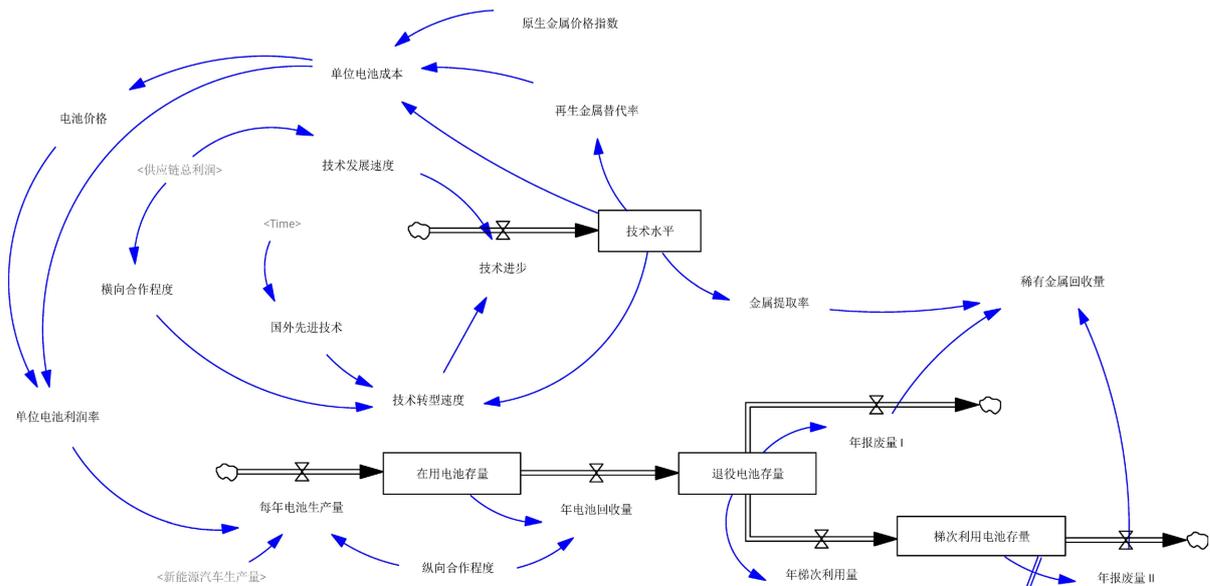


Figure 4. Stock and flow diagram  
图 4. 存量流量图

**Table 1.** Parameters settings  
**表 1.** 参数设置

变量名称	单位	表达式/值
INITIAL TIME, FINAL TIME, TIME STEP	年	0, 10, 1
供应链总利润	亿元	废料回收总利润 + 新能源汽车销售总利润 + 梯次利用总利润 + 电池销售总利润 - 碳成本总额
废料回收总利润	亿元	(稀有金属市场价 - 单位废料成本)*稀有金属回收量
新能源汽车销售总利润	亿元	新能源汽车价格*新能源汽车市场需求 - 新能源汽车单位成本*新能源汽车生产量
梯次利用总利润	亿元	IF THEN ELSE (技术水平*2 < 1.3, (单位梯次利用价格 - 单位梯次利用成本)*年梯次利用量*12.688, (单位梯次利用价格 - 单位梯次利用成本)*年梯次利用量*15.268)
电池销售总利润	亿元	电池价格*新能源汽车生产量 - 单位电池成本*每年电池生产量
碳成本总额	亿元	(净碳排放量 * 碳交易价格)/1e + 08
单位电池利润率	-	(电池价格 - 单位电池成本)/单位电池成本
单位电池成本	万元/组	(1 - 技术水平*0.7)*7
在用电池存量	万组	INTEG (每年电池生产量 - 年电池回收量, 0)
年报废量 I	万组	退役电池存量*0.25
年报废量 II	万组	DELAY II (梯次利用电池存量, 20, 0)
年梯次利用量	万组	退役电池存量*0.75
年电池回收量	万组	DELAY II (每年电池生产量*纵向合作程度, 6, 0)
横向合作程度	-	WITH LOOKUP (供应链总利润, [(0, 0)-(1000, 1)], (0, 0), (10, 0.2), (100, 0.5), (200, 0.8), (300, 0.9), (400, 0.95), (600, 0.97), (1000, 1)))
自主研发速度	-	WITH LOOKUP (供应链总利润, [(0, 0)-(1000, 0.2)], (0, 0), (360, 0.0175), (400, 0.0178), (420, 0.0182), (450, 0.0186), (480, 0.0189), (510, 0.0193), (540, 0.0195), (570, 0.02), (600, 0.0198), (630, 0.0197), (680, 0.0196)))
技术水平	-	INTEG (技术进步, 0.5)
技术转型速度	-	横向合作程度*(国外先进技术 - 技术水平)/3
政府补贴	万元	IF THEN ELSE (Time ≤ 2, 2.5, IF THEN ELSE(Time ≤ 4, 1.5, 0))
新能源汽车价格	万元/辆	新能源汽车单位成本*(1 + RANDOM NORMAL (0.143, 0.2343, 0.18, 1, 0))
补贴后新能源汽车价格	万元/辆	新能源汽车价格 - 政府补贴
新能源汽车单位成本	万元/辆	电池价格/0.5096
新能源汽车市场需求	万辆	30*(1 + (15 - 补贴后新能源汽车价格)/15)
新能源汽车生产量	万辆	新能源汽车市场需求*1.01
梯次利用电池存量	万组	INTEG (年梯次利用量 - 年报废量 II, 0)
每年电池生产量	万组	新能源汽车生产量*(1 + (1 - 纵向合作程度)*单位电池利润率)
电池价格	万元/组	单位电池成本*(1 + RANDOM NORMAL (0.1458, 0.2097, 0.17, 0.5, 0))
稀有金属回收量	万吨	(年报废量 I + 年报废量 II)*金属提取率*0.0095
金属提取率	-	WITH LOOKUP (技术水平, [(0, 0)-(1, 1)], (0.5, 0.85), (0.53, 0.86), (0.53, 0.88), (0.59, 0.87), (0.62, 0.9), (0.65, 0.91), (0.68, 0.92), (0.7, 0.93), (0.73, 0.95), (0.75, 0.98))

续表

再生金属替代率	-	MIN (0.7, 技术水平)
退役电池存量	万组	INTEG (年电池回收量 - 年报废量 I - 年梯次利用量, 0)
生产环节碳排放	吨	单位电池生产碳排放*每年电池生产量
碳交易价格	元/吨	基础碳价 * (1 + 碳价增长率) ^ Time * (1 + RANDOM NORMAL (-0.1, 0.1, 0, 0.1, 0))
净碳排放量	吨	MAX(0, 生产环节碳排放 - 回收环节总减排)
回收环节总减排	吨	年梯次利用量*单位梯次利用减排系数 + 年电池回收量*单位回收减排系数
原生金属价格指数	-	100
稀有金属市场价	万元/吨	90
单位废料成本	万元/吨	55
单位梯次利用价格	元/kWh	0.7
单位梯次利用成本	元/kWh	0.4
单位回收减排系数	吨/万组	15,000
单位梯次利用减排系数	吨/万组	35,000
单位电池生产碳排放	吨/万组	50,000
碳价增长率	-	0.05
基础碳价	元/吨	80

### 3. 仿真结果分析

#### 3.1. 自主发展情景

在自主发展情景下，供应链中的企业完全依靠自主研发，未与国外领先企业开展技术合作，即技术进步 = 自主研发速度，为了探究供应链内部协同效应，本文将纵向合作程度作为灵敏度分析的关键变量，分别设定为 0.2、0.4、0.6 和 0.8 共四个梯度，依次代表从极低到极高的合作水平，其仿真结果分别对应图 5 中的曲线 1 至 4。

如图所示，在技术层面，纵向合作程度的变化对技术水平并未产生显著影响，曲线基本重合。这表明在缺乏外部技术引入的情况下，单纯依靠供应链上下游的协作，难以直接推动核心技术的突破。而在经济规模层面，随着供应链上下游纵向合作程度的加深，上述各项指标均呈现显著的上升趋势。供应链总利润、年梯次利用量和稀有金属回收量等指标，均对纵向合作程度表现出高度的敏感性。数据显示，当纵向合作程度处于 0.2 的低水平时，第 10 年的供应链总利润仅为 165.42 亿元；而当合作程度提升至 0.8 时，第 10 年总利润飙升至 317.15 亿元，增幅高达 91.7%。这表明，深化纵向协同能有效打通回收渠道，显著提升梯次利用量与稀有金属回收量，从而通过规模效应降低平均成本，实现利润最大化。

#### 3.2. 国际合作情景

在国际合作情景下，动力电池闭环供应链企业积极寻求与国外优秀企业的合作。为了反映外部技术的动态演进过程，本文将变量国外先进技术设定为阶梯式增长函数，前 3 年为 0.6，第 3~6 年为 0.7，第 6 年后为 0.8。同时，保持纵向合作程度的灵敏度参数与 3.1 节一致，即 0.2、0.4、0.6、0.8 共四个梯度，其仿真结果分别对应图 6 中的曲线 1 至 4。在此情景下，如图所示，纵向合作程度对技术水平产生了显著

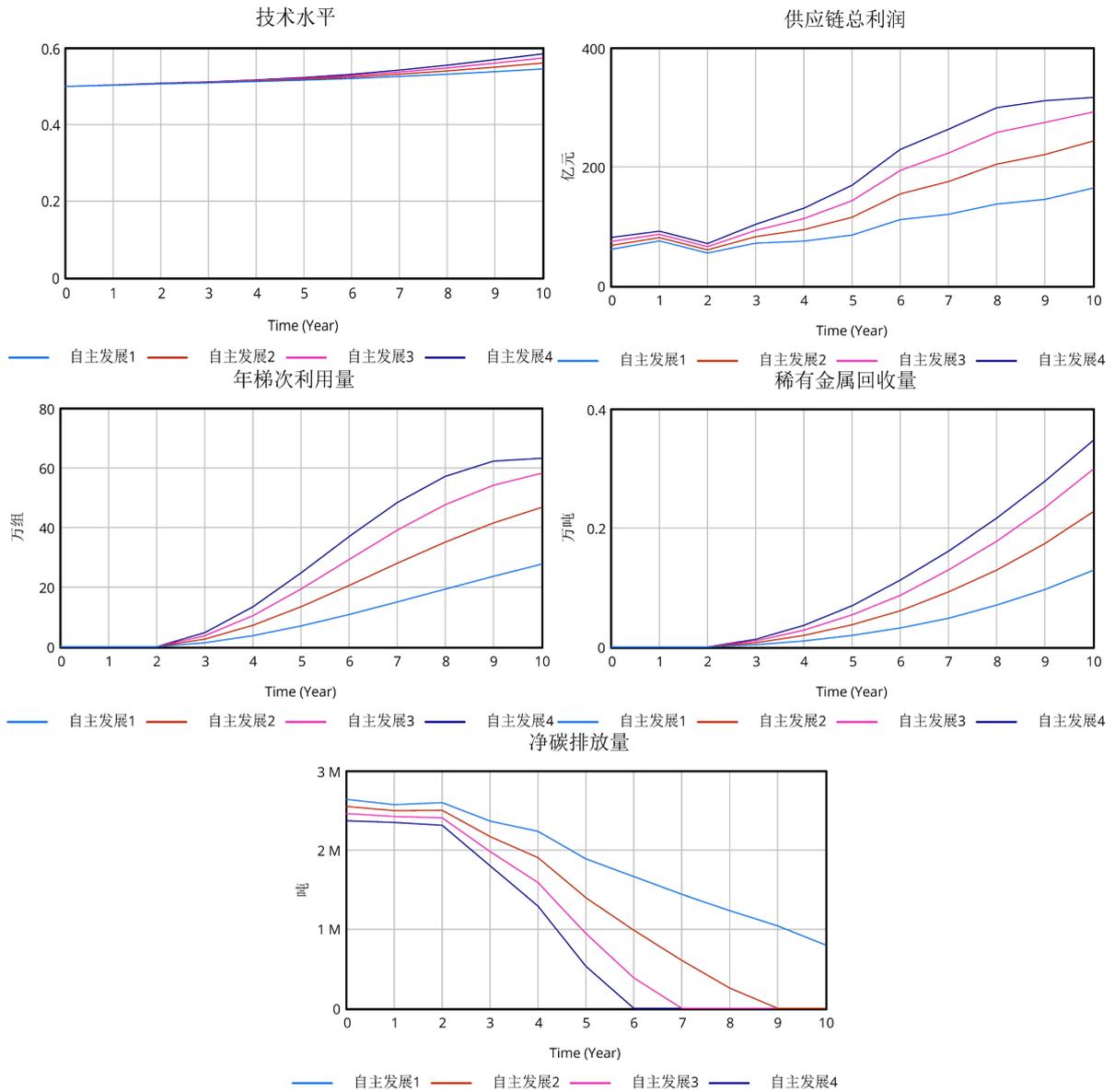
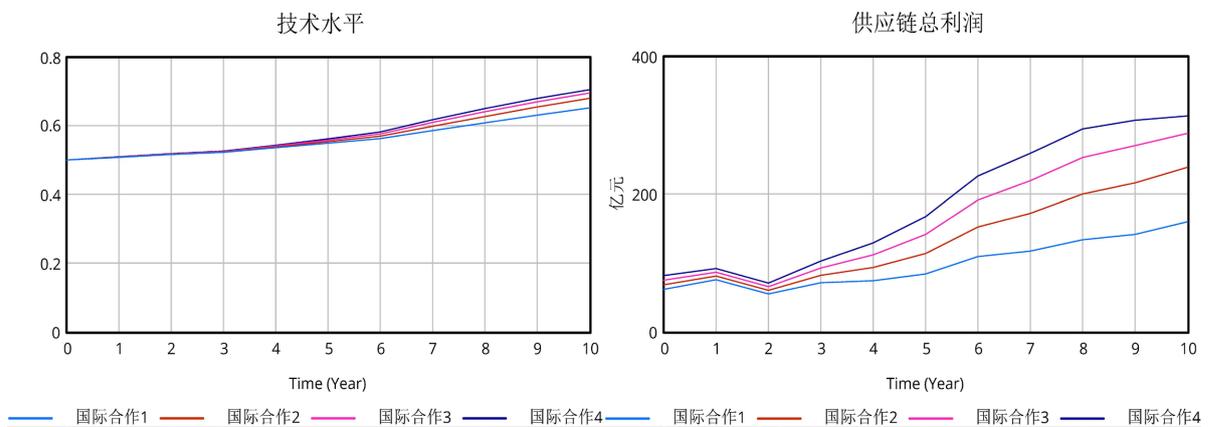


Figure 5. Simulation result under independent development scenario  
图 5. 自主发展情景下的仿真结果



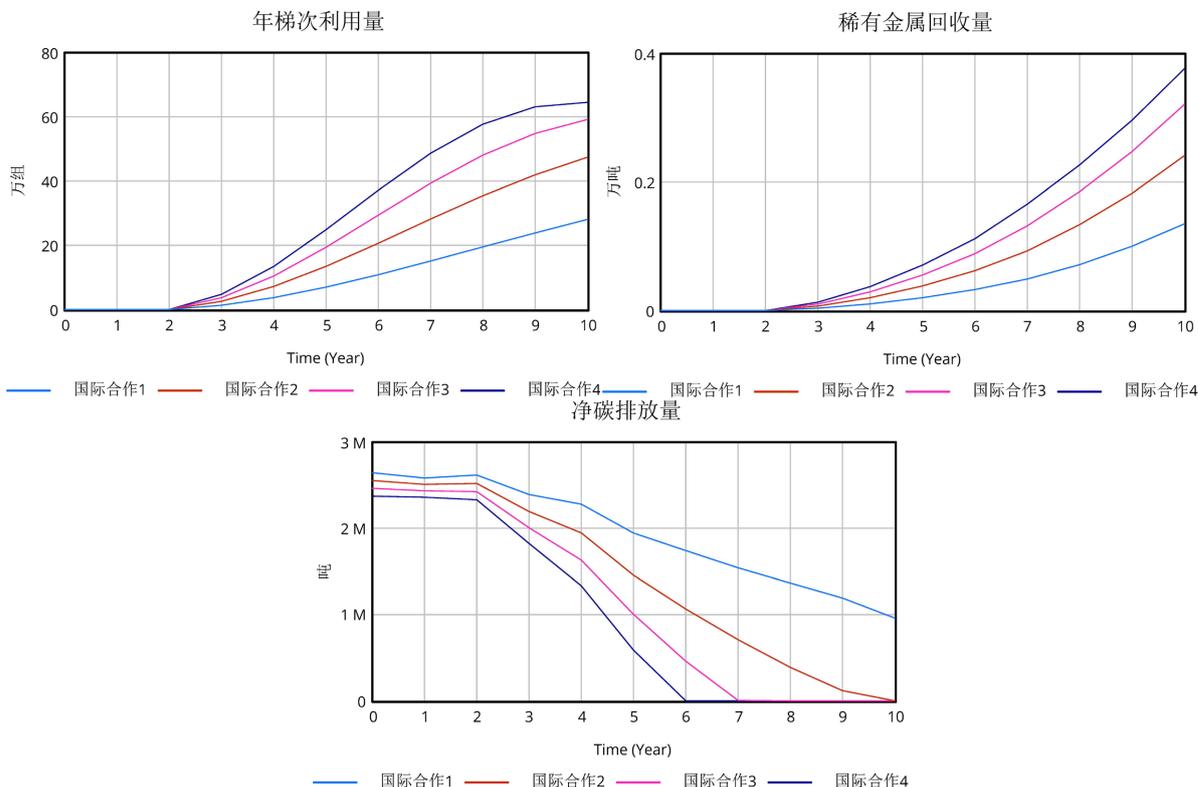


Figure 6. Simulation result under international cooperation scenario

图 6. 国际合作情景下的仿真结果

的驱动作用。这表明，在开放的创新环境下，供应链上下游的紧密协同有助于企业更高效地吸收和转化外部先进技术。同时，随着纵向合作程度的提高，供应链总利润的增加提供了更充裕的资金用于消化吸收国外技术，加快了技术转型速度。同样的，在国际合作情景下，供应链总利润同样随纵向合作程度的加深而显著增长。值得注意的是，在每一级纵向合作水平下，供应链均能保持稳定的增长斜率，验证了闭环供应链在开放环境下的稳健性。

### 3.3. 两种情景的比较分析

纵向合作具有显著的“利润放大”效应，且对两种情景均有效。无论采取何种技术路线，随着纵向合作程度从 0.2 提升至 0.8，供应链总利润均实现了近乎翻倍的增长。这再次印证了闭环供应链中“上下游协同”是打破资源约束、实现规模经济的基础性力量。

在环境效益上，引入国外先进技术能使得供应链能以更快的速度摆脱对碳排放的依赖，从而在碳交易市场中占据主动，大幅减少了碳税支出，甚至在后期可能通过出售碳配额获得额外收益，详见表 2。

同时仿真结果显示了一个有趣的现象，如表 3 所示：虽然国际合作显著提升了技术水平并降低了生产成本，但供应链总利润略有下降。结合需求价格弹性理论本文分析：在国际合作模式下，外部先进技术的快速引入导致生产成本大幅下降。在竞争性市场的假设下，这部分成本红利迅速转化为产品价格的降低，然而，仿真结果暗示在当前设定的市场环境下，新能源汽车的需求价格弹性相对较小。这意味着，虽然降价刺激了销量的增长，但销量增长带来的边际收益不足以弥补价格下降所造成的单车利润损失。换言之，技术进步带来的成本红利主要转化为“消费者剩余”，而非企业的超额利润。这提示企业在引入先进技术时，不能单纯依赖降价策略，而应结合品牌溢价策略，锁住因技术进步创造的价值，避免红

利过度外溢至消费端。

**Table 2.** Comparison of average net carbon emissions under two scenarios (Unit: million tons)

**表 2.** 两种情景下的净碳排放量平均值比较(单位: 百万吨)

	自主发展情景	国际合作情景	变化幅度
纵向合作程度 = 0.2	1.8955	1.8643	-1.65%
纵向合作程度 = 0.4	1.3756	1.3532	-1.63%
纵向合作程度 = 0.6	1.1179	1.1093	-0.77%
纵向合作程度 = 0.8	0.9752	0.9696	-0.57%

**Table 3.** Comparison of average supply chain profits under two scenarios (Unit: 100 million Yuan)

**表 3.** 两种情景下的供应链利润平均值比较(单位: 亿元)

	自主发展情景	国际合作情景	变化幅度
纵向合作程度 = 0.2	100.40	99.45	0.96%
纵向合作程度 = 0.4	136.92	135.46	1.08%
纵向合作程度 = 0.6	166.24	164.31	1.17%
纵向合作程度 = 0.8	189.23	186.96	1.21%

## 4. 结论与展望

### 4.1. 研究结论

本研究利用系统动力学方法,以新能源汽车动力电池闭环供应链为研究对象,引入碳排放约束模块,对供应链中上下游以及国内外合作关系进行了研究,得出如下结论:

1) 纵向协同是实现“减排增效”的双重引擎。无论在何种发展情景下,强化上下游企业间的纵向合作不仅能显著提升供应链总利润,还能有效降低净碳排放量。通过深化协同,利用回收环节的减排因子抵消生产环节的碳排放,企业成功实现了从“高碳低利”向“低碳高利”的转型。

2) 在开放环境下,加强企业间协作能显著加速外部先进技术的吸收与转化。然而,受当前市场需求价格弹性的影响,技术进步带来的成本红利主要转化为了“消费者剩余”,即产品售价大幅下降,导致国际合作情景下的短期利润略低于自主发展情景。这揭示了先进技术在转化为企业超额利润过程中可能存在一定的风险。

### 4.2. 对策建议

通过在两种不同发展情景下的仿真结果,结合我国目前动力电池回收行业现状,本文提出以下建议:

1) 强化企业间协同合作。目前我国闭环供应链发展尚不成熟,上下游企业间的合作程度相对不足,导致动力电池回收再利用业务难以形成规模效应。此外,废旧动力电池的特性决定了其回收、再利用及存储模式具有特殊性,若将衰减程度不同的电池混合使用,不仅会缩短电池使用寿命,还可能引发安全隐患。因此,企业应重点通过搭建新能源汽车动力电池管理平台,强化上下游信息共享。通过标准化的线下操作,确保电池全生命周期的可追溯性,利用纵向合作形成的规模效应打破盈利瓶颈,实现废旧电池的高效回收与溢价增长。同时,鉴于纵向合作对降低碳排放的显著作用,企业应搭建数字化管理平台,实现电池全生命周期的碳足迹追踪。

2) 积极推动技术创新。政府补贴力度下调后,动力电池行业进入发展攻坚期,众多动力电池生产企

业因无法生产出符合补贴要求的产品而被迫退出市场，这表明整个行业的技术发展水平尚未达到预期。为推动动力电池及相关技术实现更快、更稳健的发展，政府在利用补贴政策倒逼闭环供应链开展技术创新的同时，应加强对闭环供应链利润水平的监督与调控。与此同时，动力电池生产企业需采取更积极的措施降低对政府补贴的依赖，例如与韩国、德国等在动力电池领域具备较强竞争优势的企业合作，加速核心技术突破，研发生产高品质电池；梯次利用企业与拆解企业则应开展适配电池技术的专项研发工作，进一步提升逆向供应链的盈利空间。

3) 完善相关法规政策。相较于德国、日本等国家，我国新能源汽车动力电池闭环供应链的发展仍相对滞后。目前，动力电池回收再利用业务仅在深圳等试点城市开展，相关法规与配套措施尚未完善。对此，我国可结合自身国情，借鉴国外成功经验，制定科学有效的监管框架，规范回收再利用全流程；同时，政府应采取更多元化的措施，充分调动闭环供应链各参与方的积极性。

### 4.3. 研究局限

本研究采用系统动力学理论开展分析，但受参与主体的多样性及各类影响因素的复杂性影响，仍存在以下局限性：

1) 尽管构建了新能源汽车动力电池闭环供应链的系统动力学模型，但部分细节未得到充分考量。例如，在梯次利用场景中，模型仅假设回收电池用于储能领域，而实际中废旧动力电池还可应用于低速电动汽车等其他领域。

2) 研究虽揭示了闭环供应链内各项活动之间的因果关系，但对供应链内企业间的互动机制探讨不够深入。因此，可通过引入博弈论等方法对模型进行优化完善。

3) 目前关于新能源汽车动力电池回收再利用的定量研究较为匮乏，这给数据收集工作带来了一定挑战。在确定相关参数取值时，大多基于文献分析与研究假设，而非大量实证数据支撑。未来可通过实地调研、问卷调查等方式获取一手数据，提升研究的准确性与可靠性。

### 参考文献

- [1] 张子健, 郭明波, 陈全朋. EPR 下动力电池梯度利用的闭环供应链定价策略与协调机制[J]. 工业工程, 2020, 23(3): 10-18.
- [2] 黄铭煌, 马汉武. EPR 约束下考虑 CSR 行为和梯度利用的动力电池供应链回收策略[J]. 物流科技, 2021, 44(1): 144-149.
- [3] Fan, J., Teng, H. and Wang, Y. (2022) Research on Recycling Strategies for New Energy Vehicle Waste Power Batteries Based on Consumer Responsibility Awareness. *Sustainability*, **14**, Article 10016. <https://doi.org/10.3390/su141610016>
- [4] 叶崧. 闭环供应链下基于消费者责任意识的动力电池回收策略研究[J]. 物流科技, 2023, 46(6): 111-115+122.
- [5] Zhang, Q., Tang, Y., Bunn, D., Li, H. and Li, Y. (2021) Comparative Evaluation and Policy Analysis for Recycling Retired EV Batteries with Different Collection Modes. *Applied Energy*, **303**, Article 117614. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117614>
- [6] 胡文婕, 周佳, 马成霖, 等. 双渠道退役动力电池回收闭环供应链模式选择[J]. 系统工程理论与实践, 2024, 44(8): 2572-2595.
- [7] Li, X. (2022) Collection Mode Choice of Spent Electric Vehicle Batteries: Considering Collection Competition and Third-Party Economies of Scale. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 6691. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10433-3>
- [8] Ikasari, N., Sutopo, W. and Zakaria, R. (2020) Performance Measurement in Supply Chain Using SCOR Model in the Lithium Battery Factory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **943**, Article 012049. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/943/1/012049>
- [9] Saarinen, L., Oddsdottir, H. and Rehman, O. (2024) Resilience through Appropriate Response: A Simulation Study of Disruptions and Response Strategies—Case COVID-19 and the Grocery Supply Chain. *Operations Management Research*, **17**, 1078-1099. <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00487-z>

- 
- [10] Malik, A., Khan, K.I.A., Qayyum, S., Ullah, F. and Maqsoom, A. (2022) Resilient Capabilities to Tackle Supply Chain Risks: Managing Integration Complexities in Construction Projects. *Buildings*, **12**, Article 1322. <https://doi.org/10.3390/buildings12091322>
- [11] Yu, Z., Li, Z. and Ma, L. (2023) Strategies for the Resilience of Power-Coal Supply Chains in Low-Carbon Energy Transition: A System Dynamics Model and Scenario Analysis of China up to 2060. *Sustainability*, **15**, Article 7154. <https://doi.org/10.3390/su15097154>
- [12] 蒋含明, 胡灵芝, 陈洪章, 等. 突发扰动事件下原油供应链风险模拟与调控研究——基于系统动力学方法[J]. 系统工程理论与实践, 2025, 45(1): 326-344.
- [13] 曹允春, 赵柯焱. 完善我国国际航空货运系统的仿真研究——基于供应链韧性视角下的分析[J]. 价格理论与实践, 2022(7): 143-147.
- [14] Yang, J., Mu, D. and Li, X. (2020) A System Dynamics Analysis about the Recycling and Reuse of New Energy Vehicle Power Batteries: An Insight of Closed-Loop Supply Chain. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **508**, Article 012058. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/508/1/012058>