

# Evolutionary Game Analysis of Data Synergy in the NEV Aftermarket Under the High-Quality Development Perspective

Yunsen Zhong Lihua Yang

School of Automotive Business, Hubei University of Automotive Technology, Shiyan, Hubei, 442002, China

## Abstract

As the New Energy Vehicle (NEV) aftermarket enters the stage of high-quality development, shifts in both internal and external industrial environments necessitate a redistribution of data elements and technological dividends among stakeholders. Consequently, digital synergy mechanisms have emerged as an inevitable choice for enhancing service quality and responding to market demands. This study constructs a two-player evolutionary game model involving supply chain enterprises and digital platforms within the NEV aftermarket to analyze the evolutionary trajectories of stakeholder strategy selections and identify key sensitivity factors. The results indicate that the evolutionary game system of the digital synergy mechanism in the NEV aftermarket exhibits complex path dependency. The evolutionary stable state (ESS) is contingent upon the initial willingness of both parties and the cost-and-risk premium mechanisms inherent in the digital transformation process. Specifically, the strategy selection of digital platforms is highly sensitive to fluctuations in technology empowerment efficiency, R&D investment, and management costs. Conversely, the strategic choices of supply chain enterprises are more responsive to variations in data risk losses, free-riding gains, and organizational coordination costs. These findings contribute to refining digital transformation governance theory, optimizing the synergy mechanisms of the NEV aftermarket, and promoting the high-quality, sustainable development of the industry.

## Keywords

digital platforms; new energy vehicle (NEV); automobile aftermarket; high-quality development

# 高质量发展视角下新能源汽车后市场数据协同的演化博弈研究

钟云森 杨丽华

湖北汽车工业学院汽车商学院, 中国·湖北·十堰 442002

## 摘要

当新能源汽车后市场迈入高质量发展阶段, 产业内外部环境的变化将会导致各利益相关者有关数据要素和技术红利的再分配, 数字化协同机制成为提升服务质量、响应市场需求的必然选择。构造新能源汽车后市场供应链企业与数字平台两方演化博弈模型, 从而解析利益相关者策略选择演化规律及其关键敏感性因素。结果表明: 新能源汽车后市场数字化协同机制演化博弈系统具有复杂的路径依赖性, 演化稳定状态取决于博弈双方策略选择的初始意愿和数字化转型过程中成本与风险的溢价机制; 数字平台的策略选择对于技术赋能效率、研发投入以及管理成本的变动比较敏感; 供应链企业的策略选择则对于数据风险损失、搭便车收益以及组织协同成本的变动比较敏感。研究成果有助于完善数字化转型治理理论, 优化新能源汽车后市场协同机制, 促进产业高质量可持续发展。

## 关键词

新能源汽车后市场; 演化博弈; 数字平台; 高质量发展

**【项目基金】**2023年度教育部人文社会科学研究规划基金项目(项目编号: 23YJAZH060); 湖北省社科基金前期资助项目(项目编号: 23ZD134); 湖北汽车工业学院2024年度揭榜制项目(项目编号: 2024JBB06); 湖北省教育科学规划2024年度重点课题“湖北高校科技成果转化的现状与优化策略研究”(项目编号: 2024GA156)。

**【作者简介】**钟云森(2001—), 男, 中国云南曲靖人, 在读硕士, 从事新能源汽车后市场与文献计量研究。

## 1 引言

随着新能源汽车产业的快速发展, 后市场服务需求日益增长。据统计, 2021年前11个月我国新能源汽车产销量约300万辆, 市场渗透12%左右<sup>[1]</sup>; 计划到2025年新能源汽车新车市场占比要达到20%, 公共领域用车实现全面电动化<sup>[2]</sup>。与此同时, 《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》要求深入实施发展新能源汽车国家战略, 推动我国新能源汽车产业高质量可持续发展, 加快建设汽车强国<sup>[2]</sup>。

目前国内外学者对新能源汽车后市场的研究存在以下

不足之处：演化博弈模型在新能源汽车后市场的应用研究较为匮乏，数字平台赋能新能源汽车后市场机制的研究尚不深入，尤其是新能源汽车后市场各主体的合作策略选择以及利益相关分配的研究。因此，本文通过结合各利益相关者可能的策略选择，以新能源汽车后市场供应链企业和数字平台服务企业作为主要研究对象，通过构建演化博弈模型，系统探讨数字平台赋能下的供应链协同优化和数据共享行为，并结合博弈模型分析结果，提出推动新能源汽车后市场高质量发展的策略和建议。

## 2 新能源汽车后市场各主体的两方演化博弈模型

### 2.1 两方演化博弈模型假设

假设1：博弈主体属性。考虑一个由新能源汽车后市场供应链企业（简称供应链企业，S）与数字平台服务企业（简称数字平台，D）构成的两方博弈系统。

假设2：策略空间与概率描述。参考金杨华<sup>[3]</sup>等、何培育<sup>[4]</sup>等和钱贵明<sup>[5]</sup>等的研究，供应链企业有两种策略选择：一是共享部分或全部数据给数字平台企业的策略S1；二是不共享数据的策略S2。数字平台企业也有两种策略选择：一是强服务策略D1；二是弱服务策略D2。因此，供应链企业和数字平台的策略选择构成四种策略组合：（共享，强服务）、（共享，弱服务）、（不共享，强服务）和（不共享，弱服务）。假设供应链企业S选择共享的概率为  $x \in [0,1]$ ，则选择不共享的概率为  $1-x$ 。数字平台企业D选择强服务的概率为  $y \in [0,1]$ ，则选择弱服务的概率为  $1-y$ 。

假设3：收益分配与数据主权溢价。设新能源汽车后市场数字化转型的总基准收益为  $R (R > 0)$ 。供应链企业占有的利益分配比例为  $\alpha (0 < \alpha < 1)$ ，则数字平台占有  $1-\alpha$ 。当供应链企业选择共享数据时，数字平台在基础收益中的分配比例增加  $\beta (0 < \beta < \alpha)$ 。

假设4：数字化协同增值与赋能效率。当双方达成（共享，强服务）的策略组合时，产生的协同增值收益  $\theta R$ 。其中  $\theta (0 < \theta < 1)$  为数字平台的数字化赋能效率系数。设定  $\gamma (0 < \gamma < 1)$  为供应链企业获得的增值收益分配比例，则数字平台获得的份额为  $1-\gamma$ 。此时，供应链企业共享数据的组织协同成本为  $C_s (C_s > 0)$ ；数字平台提供强服务所需的技术研发投入为  $C_d (C_d > 0)$ 。

假设5：风险损失与搭便车机制。供应链企业共享核心数据面临泄露风险，设其潜在风险损失为  $L (L > 0, \text{且 } L > \omega_1)$ 。当数字平台选择强服务时，由于其具备高水平安全保障，该风险可忽略。当数字平台选择弱服务时，平台仅进行基础撮合且缺乏安全投入，供应链企业遭受确定性风险损失  $L$ 。此时，数字平台需支付给供应链企业风险补偿  $\omega_1 (\omega_1 \geq 0)$ ，同时数字平台自身遭受信誉或潜在损失  $\omega_2 (\omega_2 \geq 0)$ ，

且  $\omega_2 \geq \omega_1$ 。若数字平台提供强服务而供应链企业不共享，供应链企业被动接受数字平台的基础引流获得溢出增益  $\pi R (0 < \pi < \theta)$ ，但需向数字平台支付小额的资源使用费  $k$ 。此时，数字平台需额外支付协调管理成本  $C (C \geq 0)$  以维持系统运转。

### 2.2 两方演化博弈模型构建

基于前文的假设与分析，构建双方的博弈支付矩阵。按照演化博弈理论，可分别计算出供应链企业和数字平台企业的期望收益及平均期望收益，进而得到供应链企业S和数字平台D的复制动态方程为：

$$F(x) = x(1-x)[(\omega_1 - L - \beta R - C_s) + y(\gamma \theta R - \pi R + k + L - \omega_1)] \quad (1)$$

$$F(y) = y(1-y)[(k - C_d - C) + x((1-\gamma)\theta R - k + C + \omega_1 + \omega_2)] \quad (2)$$

## 3 新能源汽车后市场各主体的两方演化博弈均衡点及其演化路径分析

### 3.1 均衡点分析

令复制动态方程组(1)和(2)式的  $\frac{dx}{dt} = 0$  和  $\frac{dy}{dt} = 0$ 。在平面  $M = \{(x,y) | 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1\}$  上，可以得到该协同演化系统的5个均衡点，分别为  $E_1(0,0)$ 、 $E_2(0,1)$ 、 $E_3(1,0)$ 、 $E_4(1,1)$  和  $E_5(x_0, y_0)$ 。其中， $0 \leq x_0, y_0 \leq 1$ 。

### 3.2 演化路径分析

通过对复制动态方程求偏导，构建雅可比矩阵，进而利用局部稳定性分析法来判定均衡点的稳定性。通过对复制动态方程的局部稳定性分析，发现系统在不同条件下存在三种演化态势，进一步对不同情景下的演化规律进行解读。

#### (1) 供应链企业S策略空间演化趋势分析

只要共享数据的潜在风险损失、控制权让渡溢价与组织协同成本之和，远大于数字平台提供的风险补偿及协同增值分享，即  $L + R + C_s > \omega_1 + \gamma \theta R$ （且受到搭便车收益  $R$  的负向激励），无论初始状态如何，企业最终都会收敛于不共享策略。当平台积极提供强服务的概率  $y$  低于临界值  $y_0$ （即  $y < y_0$ ）时，企业的演化趋势将不可避免地向不共享策略偏移，说明企业对平台赋能能力的信心是其打破数据壁垒的前提。

#### (2) 数字平台D策略空间演化趋势分析

如果数字化赋能效率提升所带来的增值份额，无法覆盖高额的技术研发成本  $C_d$  及管理成本  $C$ ，即  $1-\gamma \theta R + \omega_1 + \omega_2 < C_d + C - k$ ，平台将失去维持强服务的动力。平台是否选择强服务，高度依赖于供应链企业共享数据的确定性。如果共享概率  $x < x_0$ ，平台由于无法获得足够的数据要素支撑其数字化模型的运转，将选择退缩至仅提供基础撮合功能的弱服务状态。

#### (3) 博弈双方策略组合演化趋势与市场失灵态势分析

初始状态①：市场低效失灵区。此状态下  $\gamma \theta R - \beta R - C_s - \pi R + k < 0$ ，且  $(1-\gamma)\theta R - C_d + \omega_1 + \omega_2 < 0$ ，意味着即便对方选择合作，各方从协同中获得的增值收益也无法抵消其承担

的风险成本（如供应链企业的  $L$ ）或研发支出（如数字平台的  $C_d$ ）。由于缺乏外部风险分担机制，博弈双方即便感知到数字化趋势，但基于个体理性，最终都会被锁定在（不共享，弱服务）的陷阱中，此时， $E_1(0,0)$  是唯一的演化稳定策略（ESS）。

初始状态②：动力单边缺失区。此状态下  $\gamma\theta R - \beta R - C_s - \pi R + k > 0$ ，且  $(1-\gamma)\theta R - C_d + \omega_1 + \omega_2 < 0$ ，在这种局势下，系统无法锁定在最优合作状态。即便企业展现出极强的共享意愿，若平台的数字化赋能效率  $\theta$  存在短板，演化轨迹最终也会偏离  $(0,0)$  点。

初始状态③：路径依赖双稳态区。此状态下  $\omega_1 - L - \beta R - C_s < 0$ ， $k - C_d - C < 0$ ， $\gamma\theta R - \beta R - C_s - \pi R + k > 0$ ，且  $(1-\gamma)\theta R - C_d + \omega_1 + \omega_2 > 0$ ，系统在  $(0,0)$  与  $(1,1)$  两个均衡点之间摇摆。演化的最终归宿取决于合作意愿的初始存量。如果初始信任不足，系统极易产生锁死效应，掉入低水平的贫困陷阱中。在纯市场环境中，没有任何力量能够保证系统自发地从  $(0,0)$  跨越到  $(1,1)$ 。

#### 4 新能源汽车后市场各主体的两方演化博弈初始状态及关键因素敏感性分析

假定初始状态下供应链企业  $S$  选择共享数据和数字平台  $D$  选择强服务的概率均为  $0.5$ ，设定基准参数组为： $R=100$ ， $\alpha=0.6$ ， $\beta=0.1$ ， $\theta=0.4$ ， $\gamma=0.5$ ， $C_s=20$ ， $C_d=25$ ， $L=30$ ， $\omega_1=10$ ， $\omega_2=15$ ， $\pi=0.2$ ， $k=5$ ， $C=10$ 。此时满足初始状态①，以该初始状态下供应链企业和数字平台策略演化的仿真结果作为演化比较分析的基础。当技术赋能效率  $\theta=0.4$  且风险损失  $L=30$  时，系统具有强烈的收敛性，所有的初始点轨迹都指向了  $(0,0)$ ，即双方的策略选择将收敛（不共享，弱服务）的均衡点。而在基准参数下，即便双方的初始合作意愿均为  $0.5$ ，系统也会快速跌落到  $(0,0)$ 。

趋势 1：当数字平台数字化赋能效率提升，且其他参数不变时。合作稳定策略选择发生变化，一部分演化轨迹开始向  $E_4(1,1)$ （共享数据，强服务）收敛，说明技术转化的内生突破是破除市场失灵的关键。在提升数字化赋能效率之后，数字平台收敛于最优均衡状态的速度快于供应链公司的收敛速度，且发生了逆转现象，双方均迅速收敛于  $1$ 。

趋势 2：当供应链企业风险损失降低，且其他参数不变时。合作稳定策略整体仍有向倾斜的压力，但供应链企业这

一侧向左移动的速度呈现出放缓的态势，演化曲线变得更加的平缓，说明了降低安全方面的顾虑能够有效延长博弈各主体的观察期，为双方达成协作争取一定空间。在提升数字化赋能效率之后，数字平台收敛于最优均衡状态的速度快于供应链公司的收敛速度，且供应链企业向共享数据演化的轨迹变得更加稳健。

趋势 3：当供应链企业不协作也能被动接受数字平台的基础引流获得较高的溢出增益，且其他参数不变时。合作稳定策略向收敛的速度大幅度加快，最优协同区域几乎消失，揭示出搭便车行为会对数字化生态产生巨大的破坏力。在提升数字化赋能效率之后，供应链公司收敛于最优均衡状态的速度快于数字平台的收敛速度。可见，即使处于较优的技术条件下，如果搭便车带来的收益过高，供应链企业依然会由于个体理性而选择不共享的策略。供应链企业的选择概率迅速跌到  $0$ 。

#### 5 结语

新能源汽车后市场数字化转型是实现汽车强国战略的重要路径。本文针对供应链企业与数字平台之间的数字化协同问题，通过构建两方演化博弈模型，揭示了数据共享与数字化赋能协同演化的内在机理。得到如下结论：（1）新能源汽车后市场数字化协同系统拥有复杂的演化路径依赖性。（2）博弈双方对关键敏感因素的响应具有显著的异质性。基于上述研究分析，提出以下管理启示：（1）强化技术红利释放，提升数字平台的赋能能力。（2）完善风险分担机制，打造安全稳健的数据生态。（3）遏制搭便车行为，构建科学有效的协同增值分配机制。

#### 参考文献

- [1] 郑雪芹. 2021年乘用车市场分析及2022年预判[J]. 汽车纵横, 2022(01): 23-26.
- [2] 国务院办公厅关于印发新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2020(31): 16-23.
- [3] 金杨华, 施荣荣, 吴波, 等. 产业集群赋能平台从何而来: 功能开发与信任构建共演的视角[J]. 管理世界, 2023, 39(5): 127-145.
- [4] 何培育, 杨莉. 数字经济时代企业数据知识产权保护困境与对策探析[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2023, 37(6): 80-90.
- [5] 钱贵明, 阳镇, 陈劲. 数字平台视角下新质生产力的形成机制与推进策略[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2024, 44(5): 15-26.