

中国新能源汽车市场扩散研究

——基于修正的Bass模型

王欢¹, 张绪美¹, 鲍婷婷²

¹武汉科技大学汽车与交通学院, 湖北 武汉

²浙江交通职业技术学院汽车学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年12月21日; 录用日期: 2024年1月11日; 发布日期: 2024年2月29日

摘要

为了探究中国新能源汽车政府补贴退坡背景下的市场扩散情形, 本文在广义的Bass模型上进行了修正, 探究中国新能源汽车在不同情形下的扩散路径。研究发现新能源汽车在推广过程中受已采用者的影响较大, 已购买者的宣传和推荐可以加速新能源汽车的扩散, 消费者在购买新能源汽车时重点关注使用成本, 油价变化不会对新能源汽车的市场扩散产生较大影响, 以及电池技术与新能源汽车的扩散速度成正比。

关键词

新能源汽车, 修正Bass模型, 插电式混合动力汽车, 差分进化算法

Research on Market Diffusion of New Energy Vehicles in China

—Based on the Improved Bass Model

Huan Wang¹, Xumei Zhang¹, Tingting Bao²

¹School of Automotive and Transportation Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei

²Department of Automotive, Zhejiang Polytechnic of Communications, Hangzhou Zhejiang

Received: Dec. 21st, 2023; accepted: Jan. 11th, 2024; published: Feb. 29th, 2024

Abstract

For the purpose of investigating the diffusion of China's new energy vehicle market in the context of government subsidy withdrawal, this paper modifies the Bass model to investigate the diffusion

文章引用: 王欢, 张绪美, 鲍婷婷. 中国新能源汽车市场扩散研究[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(1): 872-878.

DOI: 10.12677/orf.2024.141080

paths of new energy vehicles in China under different scenarios. It is found that the promotion of new energy vehicles is strongly influenced by adopters, the publicity and recommendation of purchasers can accelerate the diffusion of new energy vehicles, consumers focus on the cost of use when purchasing new energy vehicles. In addition, changes in oil prices do not have a large impact on the market diffusion of new energy vehicles, and battery technology is directly proportional to the speed of diffusion of new energy vehicles.

Keywords

New Energy Vehicles, Modified Bass Model, Plug-In Hybrid Electric Vehicles, Differential Evolution Algorithm

Copyright © 2024 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

我国早期新能源汽车的发展主要依赖政府推动, 2013 年我国政府发布了相关的新能源汽车购买补贴政策, 补贴持续到 2022 年年底[1]。新能源汽车的发展能否实现由政府驱动过渡到市场驱动的成功转型, 这是该产业现阶段所面临的重要问题。而对新能源汽车的扩散路径进行探究, 对新能源汽车潜在消费者未来的采纳情况进行预测, 能够以期揭示新能源汽车市场扩散的规律, 为新能源汽车企业在进行营销推广方式的选取方面提供科学依据。

王璐等[2]基于复杂网络演化博弈理论, 探究了绿色消费者对企业决策以及新能源汽车市场扩散的影响。李英等[3]利用智能体建模方法探究中国新能源汽车的扩散路径。何伟仪等[4]从消费者和产品两个角度探究了影响消费者采用决策的影响因素, 以此研究中国新能源汽车市场扩散情形。而新能源汽车的扩散是一个涉及社会环境、政策、技术等多方因素的复杂系统, 以往的研究并未从系统的角度研究新能源汽车的扩散, 缺乏变量间互动关系的研究。本文在 Bass 模型的基础上对模型进行改进, 建立了一个包含多个影响因素, 适用于中国新能源汽车市场发展情形的修正模型, 并利用差分进化算法进行参数拟合, 最终探究不同情景下的中国新能源汽车产业扩散路径。

2. Bass 模型描述

所谓扩散是指一项新产品随着时间的推移而被社会成员采纳或应用的过程。Frank M Bass 在 20 世纪 70 年代提出了基础的 Bass 模型, 并于 1994 年提出了包含广告营销、产品成本、价格等外部影响因素广义的 Bass 模型, 该模型考虑到了决策变量随时间变化的特性[5]。Bass 模型将新产品在扩散过程中的采用者成了两类, 一类是创新型采用者, 即受广告等因素影响自发购买, 另一种是模仿采用者, 即受创新型采用者口头推荐而购买的采用者, 如下式所示:

$$n(t) = \left\{ p \times [M - N(t)] + q \times \frac{N(t)}{M} \times [M - N(t)] \right\} \times x(t) \quad (1)$$

$$x(t) = 1 + \frac{\Delta pr(t)}{pr(t-1)} \beta_1 + \frac{\Delta ADV(t)}{ADV(t-1)} \beta_2 \quad (2)$$

式中, $n(t)$ 为 t 时刻购买新产品的采用者数量, $N(t)$ 为 t 时刻累计购买量, p 是创新型消费者对应的创新系

数, q 是模仿型消费者对应的模仿系数, M 是潜在客户数量, $x(t)$ 为映射函数, $pr(t)$ 和 $ADV(t)$ 分别表示 t 时刻新产品的价格和广告投入, β_1 和 β_2 分别表示这两个因素在产品扩散过程中的影响因子。

3. 修正 Bass 模型的构建

2012 年国务院颁发的《节能与新能源汽车产业发展规划》强调了插电式混合动力汽车是我国汽车工业转型的重要组成部分。插电式混合动力汽车兼具了纯电动汽车与传统燃油汽车的优点, 电池容量较大且具有多个动力源, 不仅具有燃油汽车的传动系统和内燃机, 而且具备纯电动汽车的电池和控制电路, 可以在电力驱动和燃油模式之间切换, 由于其独特的优势和良好的经济性广泛受消费者所喜爱, 因此本文选取的研究对象是插电式混合动力汽车。

在消费者购买新能源汽车时会综合权衡油价、电价以及政府补贴等使用成本, 其中政府补贴可以为新能源汽车提供价格优势, 因此在消费者决策影响系数中加入这一对比机制。以十年为一个生命周期, 十年间插电式混合动力汽车的使用成本主要涉及为购买价格、政府补贴费用、充电以及燃油费用。关于插电式混合动力汽车综合油耗计算来自工信部给出的计算公式。对于传统汽车, 十年的使用成本构成主要为购买费用以及十年间的油耗费用。另外, 对于插电式混合动力汽车而言, 动力电池的技术水平与汽车的性能和用户体验有直接的关系, 是消费者在做出购买决策时重点考虑的因素, 直接影响插电式混合动力汽车的潜在客户数量, 电池容量是衡量电池技术的一个重要指标, 体现了电池存储电量的能力, 并且直接关系到新能源汽车的续航里程, 因此本文采用电池容量来衡量电池技术。综上所述可以得到以下修正模型:

$$n(t) = \left\{ p \times [M(t) - N(t)] + q \times \frac{N(t)}{M(t)} \times [M(t) - N(t)] \right\} \times x(t) \quad (3)$$

$$x(t) = 1 + \frac{C_1(t) - C_2(t)}{C_2(t)} \beta_1 \quad (4)$$

$$C_1(t) = P_{EV} - subsidy + 10 \times AVMT \times \frac{25 \times fuel_{costEV} \times fuel_{bill} + mile_{EV} \times elec_{costEV} \times elec_{bill}}{mile_{EV} + 25} \quad (5)$$

$$C_2(t) = P_{FV} + 10 \times AVMT \times fuel_{costFV} \times fuel_{bill} \quad (6)$$

$$M(t) = r \times CE(t) + M_0 \quad (7)$$

β_1 是成本影响系数, $C_1(t)$ 和 $C_2(t)$ 分别表示新能源汽车和传统燃油汽车十年生命周期投入的成本。 P_{EV} 和 P_{FV} 分别为新能源汽车和传统燃油汽车的当期购买价格, $subsidy$ 为新能源汽车政府补贴, $AVMT$ 为乘用车年平均行驶里程, $mile_{EV}$ 为新能源汽车耗电行驶里程, $fuel_{costEV}$ 是新能源汽车油耗, $fuel_{costFV}$ 是燃油汽车油耗, $elec_{costEV}$ 是新能源汽车电耗, $fuel_{bill}$ 为当期汽油零售价, $elec_{bill}$ 为当期电价, $CE(t)$ 为 t 时刻新能源汽车电池技术, r 为电池技术因素影响系数, 代表受单位电池容量影响转为潜在客户的数量, M_0 是初始新能源汽车潜在客户数量。

4. 中国新能源汽车市场扩散分析

4.1. 参数估计与模型检验

4.1.1. 数据选取

2013 年是我国新能源汽车推广的开元之年, 近年来随着新能源汽车的不断推广普及, 政府补贴逐渐退坡, 并于 2022 年 12 月 31 日终止, 因此本文选取的研究时间段为 2013~2022 年。秦是我国最大的自主

汽车品牌比亚迪在 2013 年推出的国内首款插电式混合动力汽车, 在上市的第一年就成为全国新能源乘用车销量冠军, 有着强大的竞争力和市场影响力, 因此本文选取比亚迪秦作为插电式混合动力汽车的代表。另外, 朗逸作为上海大众生产的第一款车, 因为性能好并且经济实惠而成为近年来最为畅销的燃油汽车, 因此本文选取大众朗逸作为传统燃油汽车的代表。比亚迪秦与大众朗逸的新能参数以及当期购买价格、销量相关数据来源于易车官方网站, 汽油(95 号)价格、电价以及乘用车年行驶里程的历史数据来自 wind 数据库, 新能源汽车补贴相关数据来自财政部和工信部发布的《关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》。根据插电式混合动力汽车的市场表现, 最初市场潜量设为 1,000,000。

4.1.2. 参数估计与模型检验

由改进的 Bass 模型可知, 需要对 p , q , β , r 四个参数需要估计, 本文选取差分进化算法进行相关参数估计, 该算法相对于其他参数估计方法具有易于实现, 控制参数少、鲁棒性好的优点。参数拟合由 Matlab 实现, 初始种群数量设置为 100, 迭代次数设置为 10,000 次, 参数估计结果如下所示:

Table 1. Result of parameter estimation

表 1. 参数估计结果

参数	p	q	β	r	R^2
估计值	0.0030	0.8349	-0.9423	88671	0.9989

表 1 的参数拟合结果显示 R^2 的值接近 1, 为 0.9989, 这表明参数估计的精度高。创新系数 p 为 0.003, 模仿系数 q 为 0.8349, 说明中国新能源汽车市场的扩散是成功的, 并且模仿系数 q 值远大于创新系数 p 值, 符合一般的产品扩散情形, 说明消费者在做出购买决策时受到已购买者的影响较大, 已购买者的宣传推荐可以加快新能源汽车的扩散速度; 另外, β 的绝对值较大, 说明使用成本是消费者购买新能源汽车所考虑的重要因素, 符合实际情况; r 值为 88671, 这表明电池容量每增加一个单位就会增加 88671 个潜在消费者, 这说明电池技术是影响新能源汽车扩散的重要因素。将估计出的参数代入原模型中可以得到比亚迪秦 2013~2022 年累计销量预测值, 拟合结果如图 1 所示, 结果显示预测值与实际值基本一致, 本文建立的修正 Bass 模型能够很好的拟合中国新能源汽车扩散的实际情形。

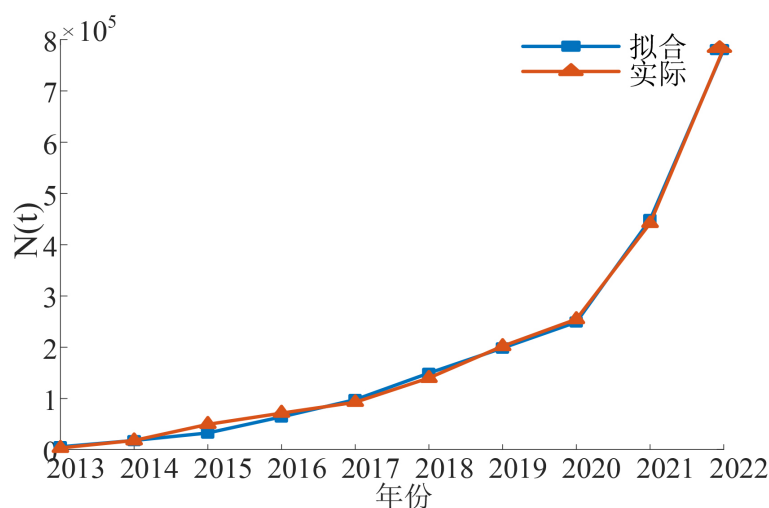


Figure 1. Result of model fitting

图 1. 模型拟合结果

4.2. 中国新能源汽车扩散模型

上节采用差分进化算法对改进的 Bass 模型进行了参数估计, 将 p 、 q 、 β 、 r 四个参数的估计值带入改进的 Bass 模型中可得, M_0 设置为 1,000,000, 可以得到以下模型:

$$n(t) = \left\{ 0.003 \times [M(t) - N(t)] + 0.8349 \times \frac{N(t)}{M(t)} \times [M(t) - N(t)] \right\} \times x(t) \quad (8)$$

$$x(t) = 1 - 0.9423 \times \frac{C_1(t) - C_2(t)}{C_2(t)} \quad (9)$$

$$C_1(t) = P_{EV} - subsidy + 10 \times AVMT \times \frac{25 \times fuel_{costEV} \times fuel_{bill} + mile_{EV} \times elec_{costEV} \times elec_{bill}}{mile_{EV} + 25} \quad (10)$$

$$C_2(t) = P_{FV} + 10 \times AVMT \times fuel_{costFV} \times fuel_{bill} \quad (11)$$

$$M(t) = 88671 \times CE(t) + 1000000 \quad (12)$$

4.3. 情景设置

为探究中国新能源汽车市场未来的扩散路径, 本节将对新能源汽车相关政策以及数据进行设定, 从而模拟该产业在 2023~2035 年的扩散情形。

通过观察以往汽车的零售价格的历史数据, 假设比亚迪秦和大众朗逸的每年售卖价格以 3.06% 的幅度下降。购买补贴方面, 由于 2023~2035 年补贴暂停, 因此设置为 0。另外在电池技术方面, 通过观察比亚迪秦的历年性能参数变化趋势, 假设电池容量在 2022 年的基础上逐渐增加到 70 kWh。由于目前多数新能源汽车制造商加大研发力度, 因此假设比亚迪秦的油耗在 2022 年基础上逐渐下降至 1.6 L/100km。由于观察传统燃油汽车油耗的历史数据, 发现其波动较小, 因此假设传统燃油汽车油耗不变。通过观察电价的历史数据, 发现其波动较小, 几乎可以忽略不计, 因此假设电价在 2023~2035 年中保持不变。

4.4. 油价与电池技术灵敏度分析

为了探究新能源汽车的市场扩散对于油价变化的敏感程度, 本文参考我国以往的油价波动范围假设了三种油价变化的不同情形, 高油价情形为在 2022 年的油价基础上每年上涨 0.731 元/升, 低油价情形为在 2022 年的油价基础上逐渐下跌 0.731 元/升, 基本油价情形为在 2022 年的油价基础上每年上涨 0.402 元/升, 具体推广情况如图 2 所示。图中可以看到三种油价变化情形下, 中国插电式混合动力汽车在 2023~2025 年年销量持续上升, 并于 2025 年达到峰值。结果显示插电式混合动力汽车在研究期间内高、基本、低油价三种油价变化情形下的累计推广辆为 10,056,167、10,050,051 和 9,995,887 辆, 高、低油价情形相对于基本油价情形的波动分别为 0.06% 和 0.53%, 按照 10% 的差别标准, 可以认为油价对于插电式混合动力汽车扩散的影响较小。

另外, 电池容量关系到插电式混合动力汽车的安全性、续航里程以及使用寿命, 在实际购买过程中这也是消费者重点关注的, 本文假设其电池容量从 2023 年到 2035 年分别增加到 44 kWh、57 kWh、70 kWh、83 kWh、96 kWh, 五种情形下的插电式混合动力汽车在研究期间内的累计销量分别为 6,668,747 辆、8,643,071 辆、9,961,635 辆、10,905,832 辆和 11,616,206 辆, 由结果可知插电式混合动力汽车的电池容量增长速度越快, 其市场扩散速度越快, 这表明电池容量与插电式混合动力汽车的扩散速度正相关, 具体结果如图 3 所示。

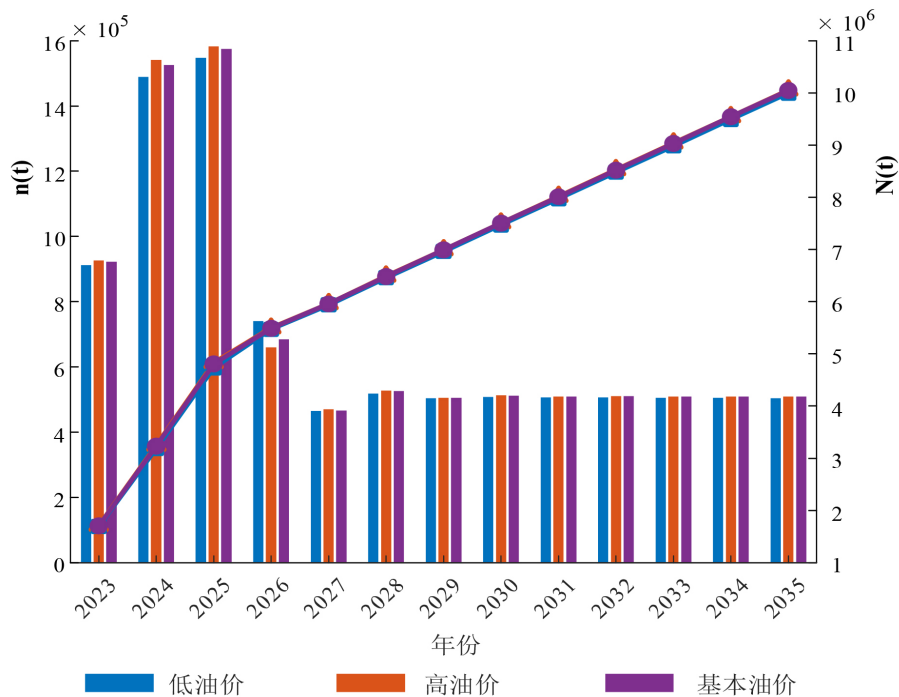


Figure 2. Sensitivity analysis of gasoline price
图 2. 油价灵敏度分析

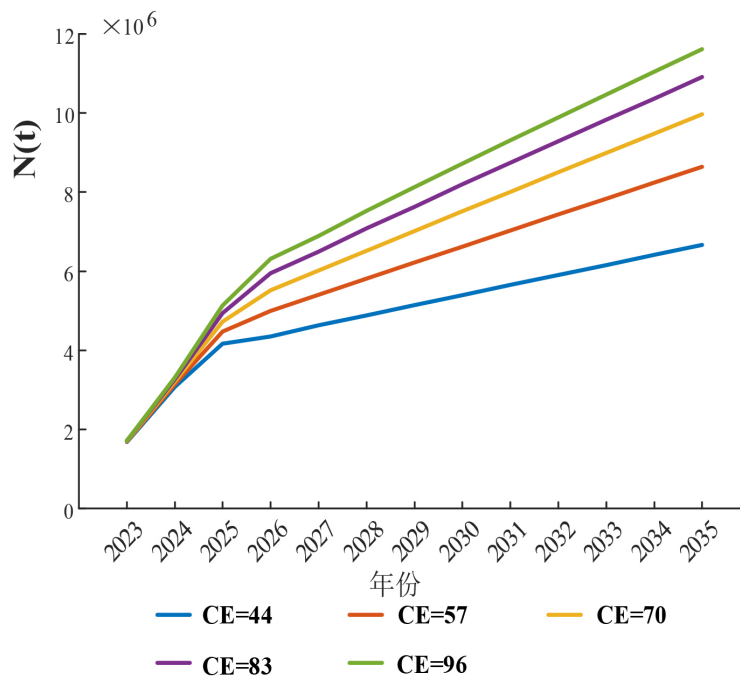


Figure 3. Sensitivity analysis of battery technology
图 3. 电池技术灵敏度分析

5. 结论

本文在广义的 Bass 模型基础上进行修正，通过 2013~2022 年的历史数据对模型进行参数拟合，分析

了不同场景下中国插电式混合动力汽车的扩散情形，具体结论如下：

1) 我国新能源汽车 Bass 扩散模型中的创新系数 p 为 0.003，模仿系数 q 为 0.8349，模仿系数远大于创新系数，这表明新能源汽车在推广过程受已采用者的影响较大，一部分采用者在前期政策激励作用下率先购买新能源汽车后，在潜在采用者中进行宣传和推荐，从而能够加速新能源汽车的扩散。

2) 修正 Bass 模型中的成本影响系数 β 较大，这表明消费者在购买新能源汽车时对使用成本会重点关注，相关的购买补贴政策是新能源汽车推广过程中的有效措施，另外新能源汽车在更新迭代过程中电耗与油耗的降低会减少使用成本，从而刺激新能源汽车的购买意愿。

3) 油价变化基本不会对新能源汽车的扩散产生较大影响，这是由于我国对油价的波动范围有一定的限制，油价在该范围内的波动导致的使用成本波动远低于新能源汽车与燃油汽车的使用成本差距；电池容量增长速度越快，新能源汽车的扩散速度越快，这表明政府部门应支持相关企业加大研发力度，鼓励自主创新。

基金项目

基于数字孪生的流程工业信息智能感知与管控平台，“十四五”湖北省优势特色学科(群)项目(2023B0405)。

双碳战略目标下浙江货物运输“公转水”转移潜力及对策研究，浙江省软科学研究计划项目(2023C35088)。

动力电池再生利用潜在效益及影响机理研究，教育部“春晖计划”科研项目(HZKY20220339)。

参考文献

- [1] 熊宇翔. 补贴十三年，中国新能源汽车的成长与代价[J]. 中国经济评论, 2023(1): 68-73.
- [2] 王璐, 马庆庆, 杨劫, 等. 基于复杂网络演化博弈的绿色消费者对新能源汽车扩散的影响研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(4): 74-85.
- [3] 李英, 胡剑. 基于智能体的多类新能源汽车市场扩散模型[J]. 系统管理学报, 2014, 23(5): 711-716.
- [4] 何伟怡, 何瑞. 新能源汽车公众市场扩散影响因素的实证分析——基于 TAM-IDT 理论[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2015(3): 28-33.
- [5] 刘腾飞, 陈凯. 基于 Bass 模型的中国新能源汽车扩散模式研究[J]. 企业经济, 2016(3): 115-118.