

考虑新能源投入水平的新能源汽车市场扩散与动态定价研究

傅淳新, 李庆颖

东华大学旭日工商管理学院, 上海

收稿日期: 2024年12月10日; 录用日期: 2024年12月19日; 发布日期: 2025年4月28日

摘要

本文旨在研究新能源汽车市场扩散与动态定价问题, 特别是在新能源投入水平的考量下。文章基于广义巴斯扩散模型, 引入新能源技术投入水平和价格因素, 构建了一个综合市场因素和新能源投入水平的市场扩散预测模型。通过Hamilton方程求解最优动态定价, 并进行敏感度分析和数值模拟, 揭示了新能源投入水平和价格敏感系数对市场扩散和定价策略的影响。研究发现, 新能源投入水平的提升能够加快市场扩散速度, 而价格敏感系数是影响最优动态定价策略的关键因素。文章最后提出了未来研究方向, 旨在为新能源汽车市场的健康发展提供理论和实践指导。

关键词

新能源汽车, 市场扩散, 动态定价, 新能源投入

Research on the Market Diffusion and Dynamic Pricing of New Energy Vehicles Considering the Level of New Energy Investment

Chunxin Fu, Qingying Li

Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai

Received: Dec. 10th, 2024; accepted: Dec. 19th, 2024; published: Apr. 28th, 2025

Abstract

This paper aims to study the market diffusion and dynamic pricing issues of new energy vehicles,

文章引用: 傅淳新, 李庆颖. 考虑新能源投入水平的新能源汽车市场扩散与动态定价研究[J]. 世界经济探索, 2025, 14(2): 276-286. DOI: [10.12677/wer.2025.142029](https://doi.org/10.12677/wer.2025.142029)

especially considering the level of new energy investment. Based on the Generalized Bass Model (GBM), the paper introduces new energy technology investment levels and price factors, and constructs a market diffusion prediction model that integrates market factors and new energy investment levels. By solving the optimal dynamic pricing using the Hamiltonian equation, and conducting sensitivity analysis and numerical simulations, the paper reveals the impact of new energy investment levels and price sensitivity coefficients on market diffusion and pricing strategies. The study finds that an increase in new energy investment levels can accelerate the speed of market diffusion, while the price sensitivity coefficient is a key factor influencing the optimal dynamic pricing strategy. Finally, the paper proposes future research directions, aiming to provide theoretical and practical guidance for the healthy development of the new energy vehicle market.

Keywords

New Energy Vehicles, Market Diffusion, Dynamic Pricing, New Energy Investment

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

在全球应对气候变化和推动可持续发展的背景下, 新能源汽车的崛起已成为现代交通领域的重要趋势。随着全球对环境保护和能源效率的关注日益加深, 各国政府纷纷实施一系列政策, 以促进新能源汽车的市场扩散。然而, 新能源汽车市场近年来也迎来了激烈的价格战, 许多车企通过降低价格来争夺市场份额。这种竞争不仅改变了消费者的购买决策, 也推动了行业的快速发展。例如, 特斯拉在其电动汽车的定价策略上采取了积极的降价措施, 以吸引更多消费者, 进而提高市场渗透率。与此同时, 比亚迪和蔚来等国内品牌也纷纷加入价格战, 通过不断优化生产成本和供应链管理, 实现更具竞争力的售价。

在这种竞争背景下, 定价策略成为新能源汽车企业获取市场份额的重要手段。新能源汽车的价格战不仅仅是企业之间的简单博弈, 更揭示了绿色产品在消费者心中的价格敏感性以及市场扩散的复杂性。为了更好地理解绿色产品的定价策略及其对市场扩散的影响, 学者们通过构建理论模型和实证研究, 对绿色产品的定价进行了深入分析。Zhu 等[1]聚焦于竞争环境中绿色产品的设计, 研究了供应链结构和产品类型对产品设计的影响。江世英等[2]发现集中决策时产品绿色度最高, 而斯塔克尔伯格博弈中最低。冯颖等[3]分析了制造商社会责任和政府补贴对绿色供应链决策的影响。余娜娜等[4]研究了双渠道供应链中消费者“搭便车”行为对价格的影响。熊峰等[5]考虑了制造商和零售商风险偏好对双渠道供应链决策的影响。朱庆华等[6]探讨了政府补贴政策对不同制造商和零售商决策的影响。Choudhary 等[7]研究了垄断企业在环境敏感市场中的策略。Chen 等[8]在考虑价格和碳排放敏感性的需求下, 分析了制造商间的竞争。

在新能源汽车的研发与推广中, 技术路径与传统燃油车有着显著的区别。传统燃油车主要依赖内燃机技术, 面临着日益严格的排放标准和市场竞争的压力。因此, 许多传统汽车制造商, 如福特和通用汽车, 正进行大规模转型, 投入巨额资金研发电动化战略。然而, 这种前期研发投入往往给企业带来成本压力, 尤其是在新能源汽车尚未形成规模效应之前, 企业需要承担高额的研发和生产成本。因此, 动态定价策略对于新能源汽车企业至关重要, 它能够帮助企业在应对高研发成本的同时, 通过灵活的价格调

整来促进销量增长, 逐步实现规模效应和成本回收。

本文将分析“新能源研发投入 - 电动汽车销量 - 电动汽车动态定价”这个复杂回路中的相互作用。巴斯扩散模型为理解这一复杂关系提供了重要的理论框架。根据该模型, 市场的扩散不仅依赖于早期采用者的接受程度, 也受限于价格的合理性和消费者的感知价值。在此之前, 已有诸多国内外学者基于巴斯扩散模型对动态定价展开研究。Kalish [9]的研究集中于广告如何影响产品定价。Peres 等[10]在不同市场环境下探讨了定价策略, 特别关注了社交网络的扩展和技术进步对新产品价格设定的作用; 他们还考察了在不同市场和品牌间, 国家经济增长和竞争如何影响定价。Tsai 等[11]将价格弹性整合进扩散模型中, 以更好地理解液晶电视市场的定价机制。Shen 等[12]则进一步将产能限制纳入模型, 用以评估在生产能力受限时如何为新产品定价。Kumar 和 Swaminathan [13]探讨了在产能限制下, 制造商如何定价环保产品, 并使用扩散模型来模拟市场需求。Wu 等[14]则将 DLS 与巴斯扩散模型结合, 为绿色产品定价提供了更精确的决策支持。这些研究为环保产品的市场策略提供了理论基础。

为了更好地进行分析, 本文引入了广义巴斯扩散模型(Generalized Bass Model, 以下缩写为 GBM), 该模型被广泛用于预测新产品的市场扩散情况, 它考虑了创新因子、模仿因子等参数以及市场变量对产品扩散的影响。本文将通过在 GBM 中加入价格因素, 考虑新能源投入水平对创新因子和模仿因子进行改造, 并引入成本因素, 解决以下问题: 1) 考虑新能源研发投入水平时, 新能源汽车的市场销量趋势怎样? 2) 考虑新能源研发投入水平时, 新能源汽车的最优动态定价策略是什么? 3) 上述引入的诸多市场因素会怎样影响动态定价策略?

2. 考虑新能源投入水平的新能源汽车市场扩散

2.1. 模型假设

新能源汽车发布后, 其产品采用的新能源技术会吸引一批热衷于创新技术的创新者购买。与此同时, 这些购买者的使用体验建立起的产品口碑会通过口头传播的形式, 吸引越来越多的模仿者进行购买。这两种购买行为的动力均和新能源投入水平以及价格敏感系数等因素有关。

故本文提出如下假设: 1) 假设市场中所有潜在消费者的数量是固定的, 总量为“1”, 即后续提到的新能源汽车购买人数均以比例的形式呈现。这简化了市场规模的考量, 使得能够更专注于分析消费者行为和产品特性对市场扩散的影响。这种假设有助于将重点放在如何通过定价策略来吸引和扩大消费者基础, 而不是市场上消费者数量的变化。2) 新能源投入水平 e_w 。新能源汽车研发过程中需要投入大量资源在电池容量、能耗降低等方面, 这种技术投入体现了产品的创新性, 也打造了产品的核心竞争力。3) 绿色创新影响系数 k_p 。新能源汽车上市初期会通过各种线上、线下渠道宣传其产品在新能源技术方面的优势与投入的资源, 接收到这些信息并认可产品本身实际技术的消费者会有概率发生购买行为, 因此将绿色技术对这类创新型消费者购买行为发生概率的影响称为绿色创新影响系数。4) 绿色模仿影响系数 i 。当有创新型消费者购买了新上市的新能源汽车后, 其使用体验会传播给市场中的其他潜在消费者, 这类消费者会通过产品的口碑以及对新能源汽车的认可, 也可以看作是市场中消费者的绿色偏好, 决定自己是否进行购买, 本文将口碑与绿色偏好对这类模仿型消费者购买行为发生概率的影响称为绿色模仿系数。

本文的模型假设构建了一个综合考虑技术创新、市场动态和消费者行为的分析框架。通过这个框架, 可以更深入地理解新能源汽车市场的发展机制, 以及如何通过定价策略来优化市场表现和增强竞争力。这些假设不仅为本文的研究提供了坚实的理论基础, 也为新能源汽车制造商在制定市场策略时提供了有价值的参考。基于上述假设, 可以构建如下新能源汽车扩散示意图, 如图 1 所示。

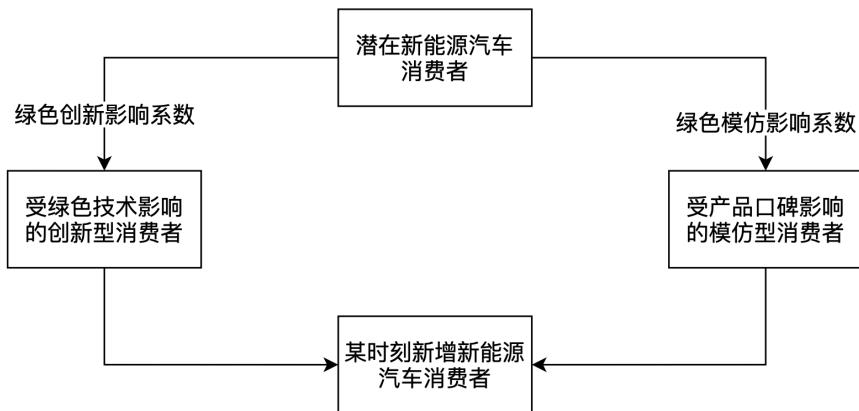


Figure 1. Diffusion mechanism of new energy vehicles
图 1. 新能源汽车扩散示意图

2.2. 改进 GBM

GBM 被广泛用于预测新产品的市场扩散趋势, 它充分考虑了产品内部因素和外部市场因素的影响。但是一方面没有明确地定义市场影响的因素及刻画形式, 另一方面也没有结合具体行业特点进行分析。故本文将从价格的角度定义市场影响, 并基于上一节新能源投入相关假设构建改进 GBM。

首先, 定义价格因素对扩散的影响函数 $x(t)$ 。价格对市场扩散的影响主要分为价格变动影响和发行价格影响两方面。在价格变动方面, 将消费者对价格变动的敏感系数定义为 β , 产品在 t 时刻的价格定义为 $Pr(t)$, 其导数 $Pr'(t)$ 表示为产品在 t 时刻的变化量, 那么可以用 $\beta \cdot \frac{Pr'(t)}{Pr(t)}$ 来表示价格变动对扩散的影响。在发行价格方面, 将消费者对发行价格的敏感系数, 也称基准价格系数(baseline price parameter)定义为 γ , $Pr(0)$ 表示产品在 $t=0$, 即产品上市时的发行价格, 于是可以用 $\gamma \cdot \ln[Pr(0)]$ 来表示发行价格对扩散的影响, 采用对数的形式是确保发行价格对市场扩散的影响边际递减。因此, 价格这一市场因素对扩散的影响函数 $x(t)$ 可以表示为:

$$x(t) = 1 + \gamma \cdot \ln[Pr(0)] + \beta \cdot \frac{Pr'(t)}{Pr(t)} \quad (1)$$

然后, 刻画新能源投入水平分别对创新型消费者以及模仿型消费者的影响。根据上文的假设, 两种类型的消费者在进行购买决策时都会考虑的一个因素是对绿色技术的认可, 而这种认可的依据是企业在绿色技术上的实际投入, 比如材料、人员投入等, 基于这种实际投入, 消费者才可以评估自己是否认可新能源技术进而认可产品并发生购买行为。模型假设中定义新能源投入水平为 e_w , 绿色创新影响系数 k_p , 绿色模仿影响系数为 i , 因此, 新能源投入水平分别对创新型消费者以及模仿型消费者的影响可以定义为 $e_w \cdot k_p$ 和 $e_w \cdot i$ 。

综上, 考虑新能源投入水平的改进 GBM 可以表示为:

$$\frac{f(t)}{1-F(t)} = [e_w \cdot k_p + e_w \cdot i \cdot F(t)] \cdot \left\{ 1 + \gamma \cdot \ln[Pr(0)] + \beta \cdot \frac{Pr'(t)}{Pr(t)} \right\}, \quad (2)$$

通过微分方程求解上述模型, 可以得到以下命题。

命题 1: 新能源汽车在 t 时刻的累计购买量和当期购买量, 也就是改进 GBM 的累积密度函数 $\tilde{F}(t)$ 与概率密度函数 $\tilde{f}(t)$ 分别为:

$$\tilde{F}(t) = \frac{1 - e^{-(e_w \cdot k_p + e_w \cdot i)X(t)}}{1 + \frac{e_w \cdot i}{e_w \cdot k_p} e^{-(e_w \cdot k_p + e_w \cdot i)X(t)}}, \quad (3)$$

$$\tilde{f}(t) = \alpha \cdot \frac{(e_w \cdot k_p + e_w \cdot i)^2}{e_w \cdot k_p} \cdot \frac{e^{-(e_w \cdot k_p + e_w \cdot i)X(t)}}{\left[\left(1 + \frac{e_w \cdot i}{e_w \cdot k_p} \right) e^{-(e_w \cdot k_p + e_w \cdot i)X(t)} \right]^2} \cdot \left[\alpha + \beta \cdot \frac{Pr'(t)}{Pr(t)} \right], \quad (4)$$

其中 $X(t) = \int_0^t x(\tau) d\tau$, 表示价格因素截止至 t 时刻的累积影响, $\alpha = 1 + \gamma \cdot \ln[Pr(0)]$ 。

命题 1 表明, 新能源汽车市场的累计购买量 $\tilde{F}(t)$ 受新能源研发投入和价格因素的共同影响。随着新能源研发投入 e_w 的增加, 消费者对新能源技术的认可度提高, 从而推动市场扩散。特别是, 创新型消费者的购买决策往往受到企业在新能源技术上的投入的直接影响, 这些投入体现在 $e_w \cdot k_p$ 中。新能源研发投入提升了消费者对环保和可持续技术的认可, 这种认可度可以看作是“消费者绿色偏好水平”, 即消费者在选择新能源汽车时更倾向于选择那些体现了更高新能源投入的产品。这种偏好水平不仅反映了消费者对绿色技术的认同, 也影响了他们的购买行为。消费者绿色偏好水平的提高意味着, 随着研发投入的增加, 消费者更加倾向于成为创新型消费者进而影响模仿型消费者, 从而加速新能源汽车的市场扩散。

2.3. 市场扩散分析

上一节中, 本文引入新能源投入相关参数对 GBM 进行了改造, 并将价格作为 $x(t)$ 表示的市场因素。现在通过数值模拟的方式研究新能源投入水平 e_w 对市场扩散的影响, 并绘制市场扩散曲线展示不同情况下的市场扩散过程。

在分析特定参数影响之前, 先设定必要参数的数值。本文将新能源投入水平对创新系数和模仿系数的影响参数分别设定为 $k_p = 0.02$, $i = 0.4$ 。将消费者对发行价格和价格变化的敏感系数 β, γ 分别设定为 -1 和 -0.5 。最后, 将发行价格设定为 $Pr(0) = 0.9$, 这表示发行价格应该是企业心理价位的 90%。通常来讲, 企业会通过市场调研与分析得出心理价位。

为了研究新能源投入水平对市场扩散的影响, 固定上述参数, 令新能源投入水平 e_w 分别为 0.5 、 1 和 1.5 , 绘制市场扩散曲线如下。

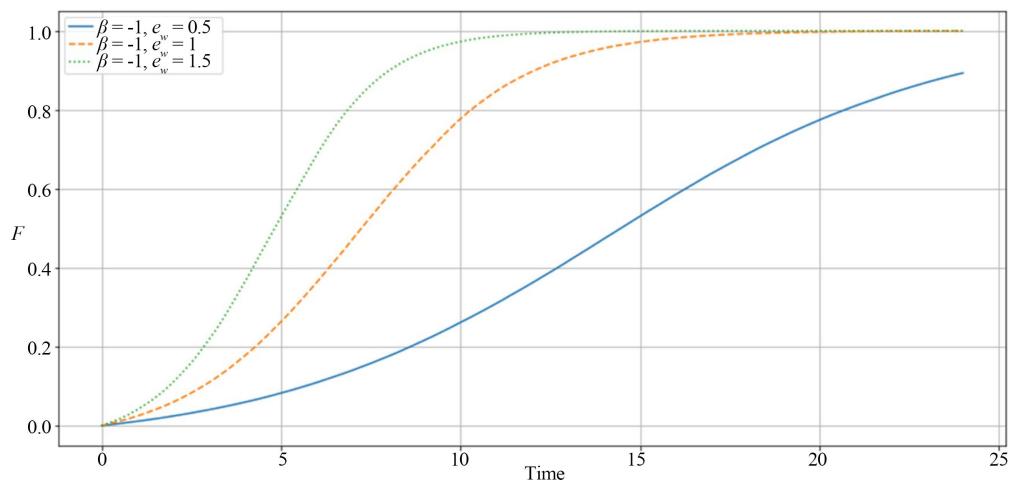


Figure 2. Market diffusion curve under the same level of new energy investment

图 2. 不同新能源投入水平下的市场扩散曲线

从图 2 中可以看出在其他参数固定的情况下, 更高的新能源投入水平会使市场扩散曲线变化得更加陡峭, 即市场扩散速度更快。当 $e_w = 1.5$ 时, 新能源市场在 $t = 10$ 的时候就会接近饱和。

但是, 新能源投入水平会同时影响创新系数与模仿系数进而对市场扩散速度产生影响, 因此固定新能源投入水平 e_w , 同时令新能源投入水平对创新系数的影响系数 k_p 分别为 0.01、0.02、0.03 和 0.04, 绘制了不同时间段的当期购买量, 来探究不同产品生命周期阶段影响市场扩散的主要因素是什么, 如图 3 所示。可以看到在市场初期 k_p 的不同会更多地影响销量, 这说明消费者在市场推广初期的购买意向主要受创新系数驱动。这种新能源投入水平对创新系数的影响取决于消费的新能源偏好, 高绿色偏好会使得消费者更加认可企业的新能源投入, 进而在市场初期更有可能发生购买行为。

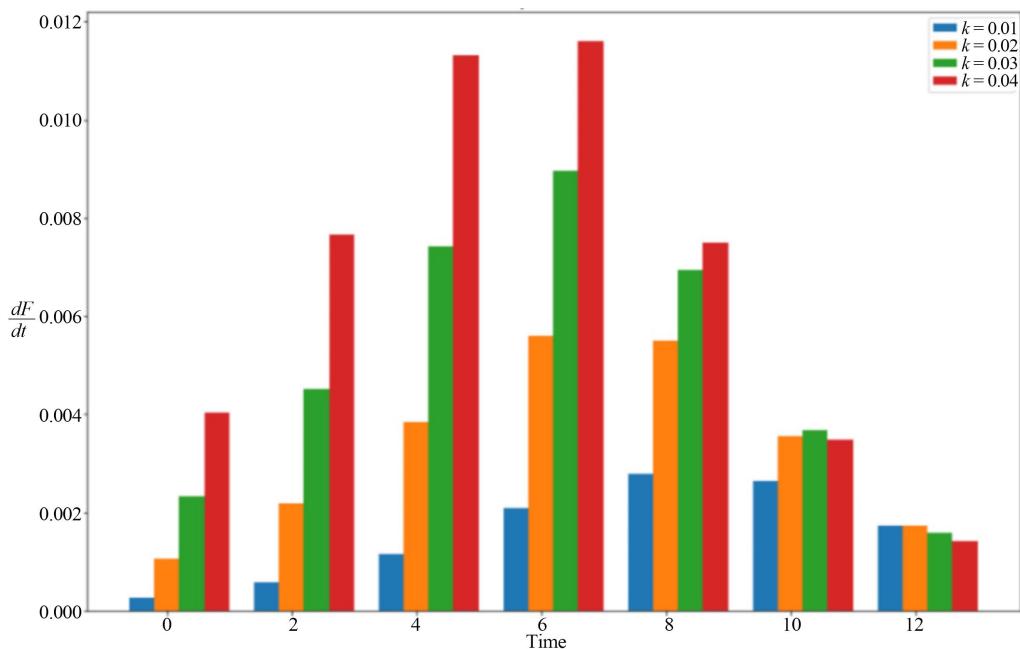


Figure 3. Sales of new energy vehicles under the same innovation impact coefficient
图 3. 不同新能源投入水平下的市场扩散曲线

3. 新能源汽车最优动态定价决策

3.1. 基于 Hamilton 函数的最优动态定价

基于第 2 节中建立的改进 GBM 求解一个最优化的动态定价。第一步, 建立如下目标函数:

$$\max \Pi = \int_0^T [Pr(t) - C(t)] \cdot \tilde{f}(t) dt, \quad (5)$$

$\tilde{f}(t)$ 是改进 GBM 的概率密度函数, T 表示规划的时间边界。 $C(t)$ 是电动汽车的成本函数, 并假定其边际成本遵循经验曲线效应, 即边际成本随着累积产量(或销售量)的增加而降低。同时, 电动汽车制造商前期的新能源研发投入也会造成成本的提高, 本文假设这部分由新能源研发投入带来的成本提升量为 $e_w^2 \cdot h$, e_w 为电动汽车制造商的新能源研发投入水平, h 为新能源研发投入的成本系数。结合经验曲线效应, 成本函数可以表示为:

$$C(t) = [C(0) + e_w^2 \cdot h] \cdot [\tilde{F}(t)]^{-l}, \quad (6)$$

其中 $C(0)$ 表示电动汽车的初始成本, l 为成本学习参数, l 越大则边际成本随累积产量的增加而降低的速

率就越快。

由于目标函数不只依赖价格, 还会依赖价格的变化量, 该优化问题成为了一个动态优化问题。为了尝试解决这个问题, 将目标函数重新整理为如下形式:

$$\max \Pi = \int_0^T [Pr(t) - C(t)] \cdot a \cdot m(t) \cdot [a + \beta R(t)] dt \quad (7)$$

$$\text{s.t. } m(t) = \frac{(e_w \cdot k_p + e_w \cdot i)^2}{e_w \cdot k_p} \cdot \frac{e^{-(e_w \cdot k_p + e_w \cdot i)X(t)}}{\left[\left(1 + \frac{e_w \cdot i}{e_w \cdot k_p} \right) e^{-(e_w \cdot k_p + e_w \cdot i)X(t)} \right]^2}, \quad (8)$$

$$Pr'(t) = R(t) \cdot Pr(t) \quad (9)$$

其中, 引入 $R(t)$ 作为控制变量, 相对应的 state 变量为 $Pr(t)$, 其与 $R(t)$ 的转换关系如式(9)所示。此时最优解受三个元素影响: 价格变化量、发行价格以及成本函数, 并假设电动汽车的发行价格是外生指定, 因为本次研究关注的重点并非发行价格, 而是更多聚焦于产品价格的变化上。

接下来可以根据式(7)、式(8)构建汉密尔顿方程为:

$H(t) = [Pr(t) - C(t)]m(t)[\alpha + \beta R(t)] + \lambda(t)R(t)[Pr(t) - C(t)]$, 其中 $\lambda(t)$ 表示哈密尔顿方程中的共态变量, 原优化问题转化为:

$$\max H(t)$$

$$\text{s.t. } \lambda'(t) = -\frac{\partial H}{\partial Pr}, \quad (10)$$

$$\lambda(T) = 0 \quad (11)$$

其中 $\lambda(T) = 0$ 使得超出计划时间边界获得的利润为 0。根据上述内容, 可以得到以下命题:

命题 2: 价格变化量的最优解 $R^*(t)$ 服从以下关系, 其中 $\bar{R}(t)$ 为 $R(t)$ 在 t 时刻变化的上界, $\underline{R}(t)$ 为下界:

$$R^*(t) = \begin{cases} \bar{R}(t), & g_1(t) > 0 \\ \underline{R}(t), & g_1(t) < 0 \end{cases}$$

式中的 $g_1(t) = \beta[Pr(t) - C(t)]m(t) + \lambda(t)[Pr(t) - C(t)]$ 。

证明: 令 $g_0(t) = \alpha[Pr(t) - C(t)]m(t)$, $g_1(t) = \beta[Pr(t) - C(t)]m(t) + \lambda(t)[Pr(t) - C(t)]$, 可以整理式出:

$$H(t) = g_0(t) + g_1(t) \cdot R(t). \quad (12)$$

通过式(12)可以看出哈密尔顿方程与控制变量 $R(t)$ 呈线性相关的关系。假设 $R(t)$ 在 t 时刻变化的上界为 $\bar{R}(t)$, 下界为 $\underline{R}(t)$, 可以得到价格变化量的最优解 $R^*(t)$ 服从以下关系:

$$R^*(t) = \begin{cases} \bar{R}(t), & g_1(t) > 0 \\ \underline{R}(t), & g_1(t) < 0 \end{cases}$$

这里 $R(t)$ 的边界是外生给出的。为了灵活性将 $\bar{R}(t)$ 定义为正值, $\underline{R}(t)$ 定义为负值, 这样问题可以简化为分析 $g_1(t)$ 以及评估其符号。当 $g_1(t)$ 为正时, 选择 $\bar{R}(t)$, 即电动汽车以 $\bar{R}(t)$ 的比率提高价格; 当 $g_1(t)$ 为负时, 选择 $\underline{R}(t)$, 即电动汽车以 $\underline{R}(t)$ 的比率降低价格。

根据这一结论, 企业在制定电动汽车的定价策略时, 可以根据市场反馈灵活调整价格。当企业发现 $g_1(t)$ 为正时, 即市场条件表明价格上涨会带来更多的收益和市场渗透率时, 企业应选择在定价策略中增加价格, 按照上界 $\bar{R}(t)$ 提高价格, 以实现更高的利润。在这种情况下, 消费者的需求尚未受到价格上涨的负面影响, 市场仍然能够接受价格的提高。相反, 当 $g_1(t)$ 为负时, 企业则应考虑降价策略。如果价格继续上涨可能会导致市场需求下降, 甚至影响销量, 企业应选择将价格调整至下界 $\underline{R}(t)$, 通过降低价格来刺激需求、增加销量, 并提升市场份额。在这种情况下, 降价能够吸引更多消费者, 尤其是对于价格敏感的消费者群体。

因此, 企业在定价时应关注市场反应和研发投入对 $g_1(t)$ 的影响, 灵活调整定价策略。具体来说, 企业需要密切监测市场需求、竞争态势以及消费者对价格变化的敏感度, 这种动态定价策略能够帮助企业应对市场的不确定性, 并在变化的市场环境中实现利润最大化。

3.2. 基于 Hamilton 函数的最优动态定价

3.2.1. 价格敏感系数影响分析

新能源研发投入水平的影响会在后续的数值实验部分进行分析, 本节先通过理论分析的方式探讨价格变化敏感系数的影响。为了更好地分析价格变化敏感系数 β 的影响, 令 $C(t)=0$ 来暂时排除利润率带来的复杂影响。

性质 1: $-\beta > \alpha$ 时, 对于所有 t 都有 $g_1(t) < 0$, 此时的最优价格路径是单调递减的。

证明: 易得 $g_1(T)$ 是小于 0 的, 然后假设在 0 到 T 上有一点 t_1 使得 $g_1(t_1) > 0$, 此时由于 $g_1(T) < 0$, 所以存在一点 t_2 使得 $g_1(t_2) = 0$, 显然在这一点上 $g_1'(t_2) < 0$ 。经过计算得出

$$g_1'(t_2) = Pr \cdot m(t_2) \cdot [(-\beta) - \alpha],$$

此时若 $-\beta > \alpha$, 则 $g_1'(t_2) > 0$, 这说明假设的 t_1 使得 $g_1(t_1) > 0$ 不成立, 因此, $-\beta > \alpha$ 时, 对于所有 t 都有 $g_1(t) < 0$ 。

这说明电动汽车制造商采取怎样的价格策略不只取决于市场对价格变化的敏感性, 也取决于电动汽车的发行价格。即使市场对价格变化不敏感, 但是在初期定价较高的时候, 制造商们更倾向于降低售价, 通过加速市场扩散的方式拉动模仿型消费者的购买欲望, 削减高价带来的影响。

性质 2: $-\beta < \alpha$ 且 $g_1(0) > 0$ 时, 最优价格路径是先增后减的。该结论与此前的学者在文献中得出的结论基本一致, 都具有“增加 - 减少”的模式, 但需要说明的是 Kalish [15] 认为最优定价策略应该模仿扩散曲线, 即最优动态定价基本由扩散模型的创新、模仿系数控制, 从推导出的结论中可以看出最优动态定价曲线的“拐点”也取决于价格变化敏感系数与发行价格。

性质 3: $-\beta < \alpha$ 且 $g_1(0) < 0$ 时, 最优价格路径是单调递减的。性质 3 给出了最优价格单调递减的另一个条件。

通过以上 3 个性质可以看出, 最优动态定价曲线永远不会有单调递增的形状。换句话说即使在发行时降低价格, 制造商也不会发现在市场扩散的过程中持续提高价格是最佳的。本文认为出现这个现象的一个可能原因是, 当市场的价格变化敏感系数给定时, 决定价格是否会呈现下降趋势的一个重要因素是未来潜在的市场规模, 假设最优动态价格曲线会在 t_1 时刻下降, 那未来潜在的市场规模就是 $[t_1, T]$ 时刻的销售量。未来市场潜力越大, 消费者因降价而发生购买行为的概率越高, 这意味着某种程度上制造商的“成本”提高了, 因此他们需要提高价格来削减这种“成本”带来的影响。然而, 在市场扩散的过程中, 未来潜在的市场规模会单调减少。所以如果在 t_1 时刻发生了降价的情况, 那么在 t_1 时刻后的任何时间点价格都会下降, 也就是说理想情况下在价格发生下降后永远不会出现价格上涨。

然后, 基于上一节中的参数设置, 令价格变化敏感系数 β 分别为 -1 、 -2 以及 -3 绘制最优价格路径, 探究在性质 2 描述的场景中, 价格变化的“拐点”应该在哪里, 如图 4 所示。不难看出, 当消费者对价格变化敏感时, 企业会更早降低价格。这是因为高价带来的影响在价格变化敏感的市场中会产生更大的影响, 并且更早产生影响, 这造成了企业更早进行降价。

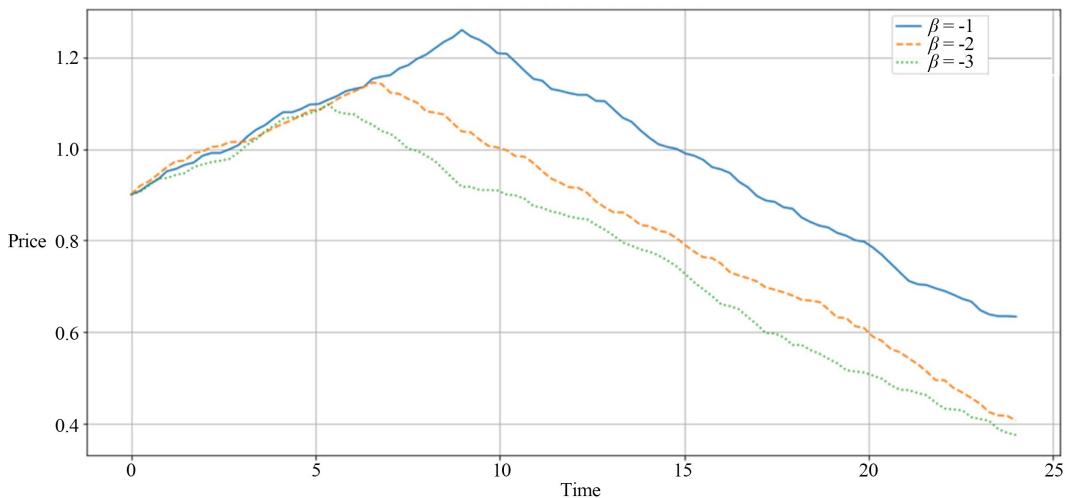


Figure 4. Optimal dynamic pricing under different price sensitivity levels
图 4. 不同价格变化敏感度下的最优动态定价

3.2.2. 新能源投入水平影响分析

基于上一节的参数设置, 令新能源投入水平 e_w 分别为 0.5 、 1 和 1.5 , 绘制最优价格路径, 如图 5 所示。

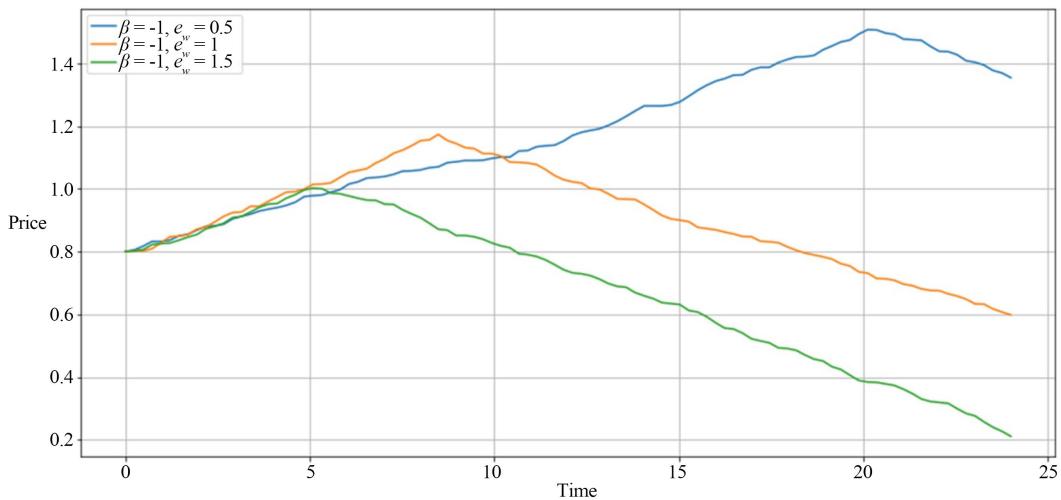


Figure 5. Optimal dynamic pricing under different levels of green R&D investment
图 5. 不同新能源投入水平的最优动态定价

从图 5 中可以看出随着新能源投入水平的增加, 最优动态定价呈现出明显的提前降价趋势。这是因为随着投入的增加, 市场上的新能源汽车保有量增加, 消费者对新能源汽车的接受度也随之提高。企业为了抢占市场份额, 会倾向于在产品生命周期的早期阶段就采取较低的价格策略, 以吸引更多的消费者。

另一方面, 剩余市场规模的快速下降也会促使企业提前降价。

当新能源投入水平较低时, 企业倾向于在产品生命周期的后期阶段降价。这可能是因为在投入较低的情况下, 市场上的新能源汽车保有量有限, 消费者对新能源汽车的接受度, 或者说“口碑”相对较低。企业可能会选择在产品生命周期的早期阶段保持较高的价格, 以回收研发和生产成本, 然后在市场接受度逐渐提高后, 通过降价来吸引更多的消费者。

3.2.3. 对比分析

本节将上文计算出的最优动态定价策略与市场中另外两种常用定价策略进行了总利润的比较分析。通过对这些策略在不同时间段的总利润表现, 可以更深入地理解各种定价策略对企业盈利能力的影响。

目前市场中存在两种常见的定价策略, 分别为渗透策略与撇脂策略。渗透策略指企业设定一个较低的发行价格, 并随着时间的推移逐步降低, 而撇脂策略则正好相反。假设两个策略的价格均以恒定的速度变化, 其中渗透策略的 Pr 由 1.2 逐步降低至 0.8, 而撇脂策略的 Pr 则由 0.8 逐步提高至 1.2。然后, 令 $e_w = 1$ 且 $\beta = -1$, 使得整体维持在一个中性的市场环境, 绘制如图 6 所示的总利润曲线。

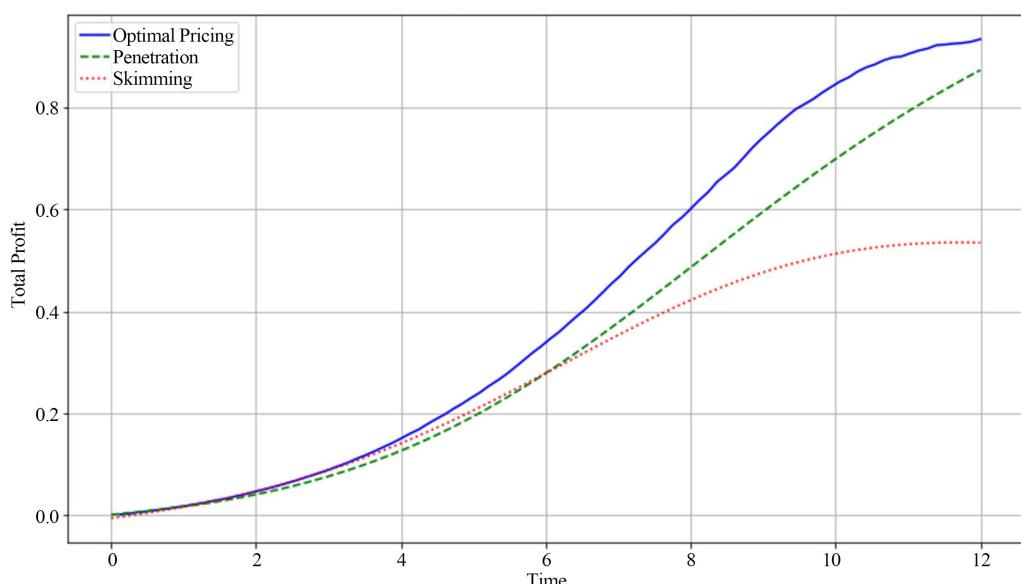


Figure 6. Total profit under different pricing strategies

图 6. 不同定价策略下的总利润

从图 6 中可以看出最优动态定价策略在整个时间段内实现了显著的总利润增长。通过结合新产品生命周期的特点, 调整价格以适应市场需求的变化, 确保了在不同阶段都可以保持较高的盈利水平。渗透策略虽然在初期能够迅速提高销量, 但长期来看, 其总利润增长较慢。撇脂策略在初期能够实现较高的利润率, 但销量增长较慢, 导致总利润未能超过最优动态定价策略。因此, 企业在制定定价策略时, 应综合考虑新产品的特点, 以实现长期的盈利目标。最优动态定价策略的灵活性和适应性使其成为提升销售利润的关键手段, 帮助企业保持领先地位。

4. 结语

本文通过引入消费者环保意识和新能源技术投入水平, 对新能源汽车市场扩散与动态定价进行了研究。本文基于 GBM 建立了一个综合考虑市场因素和新能源投入水平的市场扩散预测模型。然后基于改进 GBM, 借助 Hamilton 方程对最优动态定价进行求解, 并通过敏感度分析和数值模拟揭露以下结论:

- 1) 随着新能源投入水平的增加, 市场扩散速度加快, 市场饱和点提前到来。这表明, 企业在新能源汽车研发上的投入能够显著提升产品的市场接受度和扩散速度。
- 2) 价格敏感系数是影响最优动态定价策略的关键因素。当市场对价格变化较为敏感时, 企业倾向于更早地采取降价策略, 以加速市场扩散和模仿型消费者的购买。
- 3) 最优的动态定价策略通常呈现“先增后减”或“单调递减”的模式, 具体取决于价格敏感系数和新能源投入水平。这为企业在不同市场环境下制定灵活的定价策略提供了理论依据。
- 4) 最优动态定价策略能够更好地适应市场变化, 实现利润最大化, 而渗透和撇脂策略则在特定条件下表现出局限性。企业应根据市场反馈和内部成本结构, 灵活调整定价策略, 以应对市场的动态变化。

尽管本文的研究结论为新能源汽车市场的动态定价和市场扩散提供了新的视角, 未来的研究仍需进一步探索和验证。首先, 模型的实际应用需要通过收集和分析真实市场数据来检验其预测能力。其次, 考虑到市场环境的复杂性, 未来的研究应将更多的市场因素, 如政策变化、技术进步、消费者行为多样性等纳入考量, 以提高模型的全面性和适用性。此外, 跨行业比较研究将有助于揭示不同行业在市场扩散和定价策略上的共性和差异, 为更广泛的市场策略制定提供参考。最后, 研究政策制定者如何与企业策略相结合, 共同推动市场的可持续发展, 也是未来研究的重要方向。通过这些研究, 本文期望为新能源汽车乃至更广泛的绿色产品市场的健康发展提供更加深入的理论和实践指导。

参考文献

- [1] Zhu, W. and He, Y. (2017) Green Product Design in Supply Chains under Competition. *European Journal of Operational Research*, **258**, 165-180. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.053>
- [2] 江世英, 李随成. 考虑产品绿色度的绿色供应链博弈模型及收益共享契约[J]. 中国管理科学, 2015, 23(6): 169-176.
- [3] 冯颖, 汪梦园, 张炎治, 等. 制造商承担社会责任的绿色供应链政府补贴机制[J]. 管理工程学报, 2022, 36(6): 156-167.
- [4] 余娜娜, 王道平, 赵超. 考虑产品绿色度的双渠道供应链协调研究[J]. 运筹与管理, 2022, 31(4): 75-81.
- [5] 熊峰, 魏瑶瑶, 王琼林, 等. 考虑成员风险规避的双渠道绿色供应链定价与绿色投入决策研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(8): 267-276.
- [6] 朱庆华, 夏西强, 王一雷. 政府补贴下低碳与普通产品制造商竞争研究[J]. 系统工程学报, 2014, 29(5): 640-651.
- [7] Choudhary, A., Suman, R., Dixit, V., Tiwari, M.K., Fernandes, K.J. and Chang, P. (2015) An Optimization Model for a Monopolistic Firm Serving an Environmentally Conscious Market: Use of Chemical Reaction Optimization Algorithm. *International Journal of Production Economics*, **164**, 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.10.011>
- [8] Chen, X., Luo, Z. and Wang, X. (2017) Impact of Efficiency, Investment, and Competition on Low Carbon Manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, **143**, 388-400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.095>
- [9] Kalish, S. (1985) A New Product Adoption Model with Price, Advertising, and Uncertainty. *Management Science*, **31**, 1569-1585. <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.12.1569>
- [10] Peres, R., Muller, E. and Mahajan, V. (2010) Innovation Diffusion and New Product Growth Models: A Critical Review and Research Directions. *International Journal of Research in Marketing*, **27**, 91-106. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2009.12.012>
- [11] Tsai, B., Li, Y. and Lee, G. (2010) Forecasting Global Adoption of Crystal Display Televisions with Modified Product Diffusion Model. *Computers & Industrial Engineering*, **58**, 553-562. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.12.002>
- [12] Shen, W., Duenyas, I. and Kapuscinski, R. (2014) Optimal Pricing, Production, and Inventory for New Product Diffusion under Supply Constraints. *Manufacturing & Service Operations Management*, **16**, 28-45. <https://doi.org/10.1287/msom.2013.0447>
- [13] Kumar, S. and Swaminathan, J.M. (2003) Diffusion of Innovations under Supply Constraints. *Operations Research*, **51**, 866-879. <https://doi.org/10.1287/opre.51.6.866.24918>
- [14] Wu, X., (Yale) Gong, Y., Xu, H., Chu, C. and Zhang, J. (2017) Dynamic Lot-Sizing Models with Pricing for New Products. *European Journal of Operational Research*, **260**, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.12.008>
- [15] Kalish, S. (1983) Monopolist Pricing with Dynamic Demand and Production Cost. *Marketing Science*, **2**, 135-159. <https://doi.org/10.1287/mksc.2.2.135>