

## 摘要

“碳达峰”“碳中和”目标的提出对各行各业低碳发展提出了更高要求。双积分政策正是乘用车领域达成“双碳”目标的重要抓手。新能源车企如何进行创新决策，生产出符合市场需求，满足双积分政策要求，为企业争取长足发展并获取长远利益是一个值得深究的问题。本文主要利用最优控制模型，刻画新能源车企实际生产情况，并结合消费者行为效应，力图为企业或者政策制定者提供最优方案。

构建垄断新能源汽车企业生产单款新能源汽车的最优控制模型，分析企业利润最大化和社会福利最大化两种不同视角下的不同决策特点。新能源车企采取前瞻性行动即进行创新投入能为车企带来长期的收入增长并助推新能源汽车保持高定价、高科技水平，新能源汽车的利润率受到需求对价格弹性、积分价格、创新投资水平等因素的影响。在基本模型的基础上考虑参考质量效应和干中学对于车企进行创新投入的动态影响，积分价格会影响垄断汽车企业的定价策略，创新研发的瞬时投资变化率受产品科技水平、参考质量效应、知识积累水平的影响。在考虑参考质量效应的基础上，假设消费者同时受参考价格的影响，创新研发的瞬时投资变化率受产品科技水平、参考质量效应和参考价格效应的影响，且参考质量效应与参考价格效应的作用方向是相反的，不同的目标不会改变新能源汽车企业决策的总体趋势，但社会福利最大化能促进新能源汽车企业加大创新投入力度，提升新能源汽车企业的科技含量，降低产品的售价。

**关键词：**双积分政策；最优控制；参考质量；干中学；参考价格

## ABSTRACT

The proposal of the "carbon emissions peak" and "carbon neutral" goals puts forward higher requirements for low-carbon development in various industries. The dual credit policy is an important way to achieve the "carbon peaking and carbon neutrality" goals in the field of passenger vehicles. How new energy vehicle enterprises make innovative decisions, produce products that meet market demand, meet the requirements of the dual credit policy, and strive for significant development and long-term benefits for the enterprise is a question worth exploring. This article mainly uses optimal control models to depict the actual production situation of new energy vehicle companies, and combines consumer behavior effects to provide optimal decision-making reference for monopoly vehicle companies or policy makers.

Construct an optimal control model for monopolistic new energy vehicle enterprises to produce a single new energy vehicle, and analyze the different decision-making characteristics from two different perspectives: profit maximization and social welfare maximization. We conclude that innovative investment by new energy vehicle companies can bring long-term revenue growth to vehicle companies and help them maintain high fixed prices and high-tech levels. The profit margin of new energy vehicles is affected by factors such as price elasticity of demand, point prices, and innovation investment level. On the basis of the basic model, the dynamic impact of reference quality effects and learning by doing on innovation investment of automotive enterprises is considered. We conclude that the integral price will affect the pricing strategy of monopoly car companies, and the instantaneous investment change rate of innovative research and development is affected by product technology level, reference quality effect, and knowledge accumulation level. Based on the consideration of the reference quality effect, it is assumed that consumers are also affected by the reference price. We conclude that the instantaneous investment change rate of innovative research and development is influenced by the level of product technology, reference quality effect, and reference price effect, and the direction of action of the reference quality effect and the reference price effect is opposite. The

## ABSTRACT

---

goal of not changing the overall trend of decision-making by new energy vehicle companies will not change, but maximizing social welfare can promote vehicle companies to increase innovation investment, improve the technological content of their products, and reduce the price of their products.

**Key Words:** Dual-credit policy; Optimal control method; Reference quality; learn by doing; reference price

## 一、学位论文独创性声明

本人声明所提交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南昌大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名（手写）：**揭彧峰** 签字日期：2023年6月8日

## 二、学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解南昌大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权南昌大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编本学位论文。同时授权北京万方数据股份有限公司和中国学术期刊（光盘版）电子杂志社将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》和《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》中全文发表，并通过网络向社会公众提供信息服务，同意按“章程”规定享受相关权益。

学位论文作者签名（手写）：**揭彧峰** 导师签名（手写）：

签字日期：2023年6月8日

签字日期：2023年6月8日

论文题目	双积分政策下基于最优控制的新能源汽车企业创新决策行为分析				
姓名	揭彧峰	学号	402204220005	论文级别	博士 <input type="checkbox"/> 硕士 <input checked="" type="checkbox"/>
院/系/所	公共政策与管理学院/ 管理科学与工程系		专业	管理科学与工程	
E_mail					
备注：					

公开 保密（向校学位办申请获批准为“保密”，\_\_\_\_年\_\_月后公开）

## 目录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究意义 .....	3
1.2.1 理论意义 .....	3
1.2.2 现实意义 .....	3
1.3 研究内容与技术路线 .....	4
1.3.1 研究内容 .....	5
1.3.2 技术路线 .....	5
1.4 研究方法与创新点 .....	7
1.4.1 研究方法 .....	7
1.4.2 创新点 .....	7
第 2 章 文献综述 .....	9
2.1 企业创新研究 .....	9
2.1.1 企业创新的实证研究 .....	9
2.1.2 企业创新的静态最优化研究 .....	11
2.1.3 企业创新的动态最优化研究 .....	13
2.2 “双积分”政策研究 .....	14
2.2.1 “双积分”政策下的生产决策 .....	14
2.2.2 “双积分”政策的创新研发决策 .....	15
2.3 参考质量/价格与干中学的相关研究 .....	16
2.4 文献评述 .....	17
第 3 章 双积分政策下新能源汽车企业动态创新决策 .....	19
3.1 问题描述及符号说明 .....	20
3.1.1 问题描述 .....	20

3.1.2 符号说明 .....	20
3.2 新能源汽车企业利润最大化视角 .....	21
3.2.1 模型分析与最优特性 .....	21
3.2.1 稳态分析 .....	24
3.3 社会福利最大化视角 .....	27
3.3.1 模型分析与最优特性 .....	27
3.3.2 稳态分析 .....	29
3.4 小结 .....	31
第 4 章 双积分政策下考虑参考质量和干中学时新能源汽车企业动态创新决策	32
4.1 基本模型及符号说明 .....	33
4.1.1 基本模型 .....	33
4.1.2 符号说明 .....	34
4.2 新能源汽车企业利润最大化视角 .....	35
4.2.1 模型分析与最优特性 .....	35
4.2.2 稳态分析 .....	38
4.2.3 数值算例 .....	41
4.3 社会福利最大化视角 .....	42
4.3.1 模型分析与最优特性 .....	43
4.3.2 稳态分析 .....	44
4.3.3 数值算例 .....	46
4.4 一般解的数值模拟 .....	47
4.4.1 新能源汽车企业最优情况下一般解的数值模拟 .....	47
4.4.2 社会福利最优情况下一般解的数值模拟 .....	48
4.5 小结 .....	50
第 5 章 双积分政策下考虑参考质量和参考价格时新能源汽车企业动态创新决策	52
5.1 基本模型及符号说明 .....	53

5.1.1 基本模型 .....	53
5.1.2 符号说明 .....	53
5.2 新能源汽车企业利润最大化视角 .....	54
5.2.1 模型分析与最优特性 .....	55
5.2.2 稳态分析 .....	58
5.2.3 数值算例 .....	64
5.3 社会福利最大化视角 .....	66
5.3.1 模型分析与最优特性 .....	67
5.3.2 稳态分析 .....	69
5.3.3 数值算例 .....	72
5.4 一般解的数值模拟 .....	73
5.5 小结 .....	76
第 6 章 结论与展望 .....	78
6.1 研究结论 .....	78
6.2 研究展望 .....	80
致谢 .....	81
参考文献 .....	82

## 第 1 章 绪论

### 1.1 研究背景

本研究基于国家自然科学基金项目：双积分政策下基于 Online Review 的新能源汽车企业跨链决策优化研究（项目编号：71964023）。

二十一世纪以来，世界正在经历一场运输电气化的革命，即全球性的传统不可再生燃料汽车向可持续发展的电动汽车的过渡。作为一个主要且快速增长的经济体，中国在过去二十年中引领了世界乘用车需求的增长，在 2008 年超过美国成为最大的汽车市场(Ou et al., 2018)。2020 年，尽管受到新冠病毒的影响，中国的汽车销量仍达到 2531 万辆，连续八年超过 2000 万辆,汽车拥有量已达到 2.81 亿，预计到 2050 年将达到 6 亿(Cheng et al., 2021)。然而，按人均计算，中国的汽车保有量仍然相对较低，仅超过美国在 1923 年达到的约 13%（即每 100 人拥有 13 辆汽车）的水平，而今天的美国约为 80%(Hsieh et al., 2020)。在没有任何约束或有效对策的情况下，随着购买力的进一步增长，我国私人乘用车的需求将继续增加。在现代交通系统中，以内燃机为主要动力的私人汽车出行日益增多，造成了更多的污染物和温室气体排放，也增加了中国对石油进口的依赖。2013 年中国交通运输部门的能源消耗已达到 2.58 亿吨标准油，几乎是 2000 年的两倍。与此同时，中国对外国原油的依赖度逐年增加，从 2019 年的 70.8%上升到 2020 年的 73%预计到 2035 年，进口石油消费量将高达石油总消费量的 76%。如此巨量的化石能源消耗，也使得中国成为了世界上最大的二氧化碳排放国，占全球二氧化碳排放量的 27.6%，其中 9%来自交通部门，而道路运输占行业总碳排放量的 80%。如果施行相应限制政策，到 2050 年中国乘用车预计将消耗 5.2 亿吨当量的石油，产生 21.5 亿吨二氧化碳排放(Hao et al., 2011)。

中国共产党第十九次全国代表大会指出，中国经济已经从高速增长阶段，转向高质量发展阶段。经济高质量发展要求转变经济发展方式，要通过持续的效率改进，尤其是全要素生产率的提高，实现向中高端协调发展模式的转变。



在 2020 年的第七十五届联合国大会上，中国承诺全国二氧化碳排放量将在 2020 至 2030 年间达到峰值，在 2060 年前实现碳中和。“做好碳达峰、碳中和工作”是 2022 年的重点任务之一。“碳达峰”和“碳中和”的目标对各行业的低碳发展提出了更高的要求。作为中国实现“碳中和”目标的重要领域，汽车工业对节能减排有着重要影响。根据《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》提出的面向 2035 年我国汽车产业发展的六大目标，我国汽车产业碳排放将于 2028 年左右先于国家碳减排承诺提前达峰，至 2035 年，碳排放总量较峰值下降 20%以上；新能源汽车将逐渐成为主流产品，汽车产业基本实现电动化转型，有助于实现国家“碳达峰”和“碳中和”的总体目标。

人民日益增长的私人乘用车需求与国家能源安全、“碳达峰”和“碳中和”目标的矛盾日益突显。而新能源汽车在燃油效率和温室气体排放方面的优势，使得化解这一矛盾成为可能。于是，中国政府将新能源汽车视为未来交通运输的关键技术革命(Ou et al., 2019)，出台了一系列措施推动中国新能源汽车的发展。2012 年发布的《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020）》设定了到 2020 年在中国销售 500 万辆新能源汽车的目标。《十三五发展规划》重申了这一目标（国务院，2016 年）。工信部制定的《汽车工业中长期发展规划》要求 2025 年我国新能源汽车的销量将占汽车市场的 20%，2030 年将占 40%。为实现这些目标，我国率先从强力拉动消费者需求端拉开战略，通过直接货币补贴新能源汽车销售（包括中央政府和地方政府的补贴），或非货币激励如：新能源汽车牌照优惠、城市免费停车、免费充电桩安装等。2010 年 6 月，《关于试行新能源汽车私人采购试点的通知》发布，确认杭州、深圳、上海、合肥、长春等五个城市启动补贴。尽管有人批评补贴政策可能扭曲市场需求，放大地方保护主义，但这些激励措施在新能源汽车市场开发的初期切实地推动了新能源汽车的销售，扩大了新能源汽车用户群体。2015 年，中国的新能源汽车产销量超过美国，位居世界第一。2019 年，中国新能源汽车的销量超过 120 万辆，约占全球新能源汽车市场的 45%。

然而，需求端推动政策给政府带来了巨大的额外财政负担，同时也出现了一些“骗保”问题。2017 年 9 月，国家工信部实施了一项新政策，即《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》（双积分政策），从 2018 年开始生效。中国的双积分政策包括两部分：企业平均燃油消耗积分，它为汽

车制造商/进口商设定了生产加权平均燃油消耗率目标，若汽车未达到平均油耗水平则会获得负积分；以及新能源汽车积分，它规定了每生产一辆新能源汽车所能获得的积分值。新能源积分可以进行交易，而油耗积分不能进行交易；同时，同一家汽车企业的新能源积分能够抵消油耗负积分。每年年末，汽车制造商必须清空自己的负积分，否则会面临处罚。

## 1.2 研究意义

### 1.2.1 理论意义

1) 国内外学者对于“双积分”政策的研究主要聚焦于产品生产决策研究和创新研发决策两个角度。而且创新研发决策构造的也基本上是静态最优化的模型，但不管“双积分”政策还是消费者需求都是动态的，恰巧关于这部分内容的动态最优化模型鲜有考虑。本文构建的动态模型能够更好得刻画出新能源汽车企业创新研发的决策过程，丰富了双积分政策下新能源汽车企业创新决策研究形式，拓展了优化的技术创新领域。

2) 前人在“双积分”政策下，关于创新决策的研究大都只考虑了某种消费者行为，例如只考虑消费者的参考质量或只考虑消费者的参考价格，而忽略了两种效应往往是同时产生作用的。本文不仅考虑了消费者的参考质量效应，同时还考虑了消费者的参考价格效应。另外，还额外考虑了干中学带来的知识积累对成本的影响效应。

### 1.2.2 现实意义

“双积分”政策是政府进行环境监管以实现“碳达峰”和“碳中和”目标，提高社会全要素生产率的措施。研究“双积分”政策下汽车企业创新研发活动符合社会总体发展方向，有助于新能源汽车企业在新政策下制定更加长远的良性发展目标，促进传统汽车生产企业制定符合新政策的生产决策，为政府部门提供增大社会福利决策的参考，具有现实意义。

对新能源汽车企业而言，鉴于目前新能源汽车正积分过剩，市场交易价格

偏低等问题的存在，最新的双积分修正案对其创新水平提出了更高的要求，增加了积分的获取的难度。进行恰当的创新投入决策不仅有利于新能源汽车企业适应新的政策，还有利于增加消费者需求。对生产传统燃料汽车的企业而言，由于以前的双积分政策在促进传统能源乘用车油耗水平下降方面的作用有限，新的积分修正案提高了传统燃料汽车生产所需新能源正积分的比例。新能源汽车企业的创新决策研究为传统燃料汽车生产企业的产品转型提供参考。对政府部门而言，对汽车制造商进行环境监管在影响全要素生产率的诸多因素中起着关键作用。新古典经济学认为，环境监管增加了企业的环境成本，从而挤出了最初用于研发投资的资金，降低了产品的市场竞争力，并导致企业的全要素生产率下降(Zhang et al., 2019)。然而，根据波特假说，环境监管迫使企业进行创新改革，并抵消环境监管的额外成本(Cheng et al., 2021)。这种监管在短期内可能会抑制企业的竞争力，但从长期来看，它将提高整个行业的全要素生产率(Porter and Van der Linde, 1995)。

### 1.3 研究内容与技术路线

本文首先研究了垄断新能源汽车企业在“双积分”政策下如何安排最优的创新投入的问题，然后考虑消费者参考质量效应和新能源汽车企业干中学带来的知识积累效应，并分析新能源汽车企业利润最大化和社会福利最大化两种不同视角下决策的异同。最后，充分考虑消费者行为带来的影响，将参考质量效应和参考价格效应都纳入模型考虑，同时不同视角下决策的异同，两种效应的相互作用等内容。

首先建立了一个动态最优控制模型，垄断新能源汽车企业只生产一款新能源汽车企业。新能源汽车企业的创新旨在提升新能源汽车企业科技含量或者说提升产品的质量。模型中，创新投入水平和产品的定价为输入控制，而新能源汽车的科技含量为状态变量，输出为垄断新能源汽车企业的总收益（包括汽车销售额及积分收入）或者社会总福利（包括垄断新能源汽车企业的利润和消费者剩余）；控制目标则为最大化相应目标。接着文章在基础模型上考虑消费者参考质量效应和干中学的知识积累效应，并分析两种不同视角下各变量的变化。紧接着在基础模型上即考虑消费者参考质量效应又参考价格效应，同样分析新

能源汽车企业利润最大化和社会福利最大化两种不同视角下的决策和状态的变化。

### 1.3.1 研究内容

本文的研究内容共分为六个部分，分别如下：

第一章，绪论。介绍本文的研究背景，说明研究的由来及意义，并指出研究内容，研究方法及研究计划。

第二章，文献综述。梳理国内外相关领域的研究成果，围绕“企业创新研究”及“双积分政策相关研究”两方面进行，说明本论文的创新之处。

第三章，双积分政策下新能源汽车企业动态创新决策。运用最优控制模型，将垄断车企新能源汽车企业科技水平含量作为运动方程纳入模型中，对车企利润最大化和社会福利最大化两种不同视角下的决策进行分析。

第四章，双积分政策下考虑参考质量和干中学时新能源汽车企业动态创新决策。运用最优控制模型，将垄断新能源汽车企业新能源汽车企业科技水平含量、消费者参考质量、垄断新能源汽车企业干中学带来的知识积累作为运动方程纳入模型中，对新能源汽车企业利润最大化和社会福利最大化两种不同视角下的决策进行分析。

第五章，双积分政策下考虑参考质量和参考价格，时新能源汽车企业动态创新决策。运用最优控制模型，将垄断汽车企业新能源汽车企业科技水平含量、消费者参考质量、消费者参考价格作为运动方程纳入模型中，对汽车企业利润最大化和社会福利最大化两种不同视角下的决策进行分析。

第六章，结论与展望。将全文三个模型的结论横向比较，分析不同效应对于垄断汽车企业决策的影响及各种效应之间的相互影响等内容，同时将指出文章的不足之处，并提出完善和改进方向。

### 1.3.2 技术路线

本论文的研究主题为运用最优控制这个动态最优化方法求解“双积分”政策下汽车企业的动态创新决策问题。前期工作为学习企业创新、“双积分”政策、最优控制、微分博弈研究领域的相关文献，将这些方面的研究成果进行汇

总，找到自己研究的问题与前人研究的异同，然后借鉴前人的研究成果并将其与自己的问题相适应。然后找到自己问题的展开方向后，便进行相应的精细化阅读，提炼出更加深入的研究方法，进而静心思考找到自己研究的问题的研究方法。首先本文运用最优控制理论建立了以新能源汽车企业创新投入水平、产品定价为控制，构建新能源汽车企业科技水平为运动方程的最优控制模型（模型一），以及以新能源汽车企业创新投入水平、产品定价为控制，构建新能源汽车企业科技水平、参考质量、知识积累为运动方程的最优控制模型（模型二），和以新能源汽车企业创新投入水平、产品定价为控制，构建新能源汽车企业科技水平、参考质量、参考价格为运动方程的最优控制模型（模型三），然后运用“最大值原理”求解模型的均衡解，然后分析均衡解的路径，再进行数值模拟得到数值解并分析。最后，进行三个模型最优解、决策量、状态量的比较，得出相关结论。具体流程见下图。

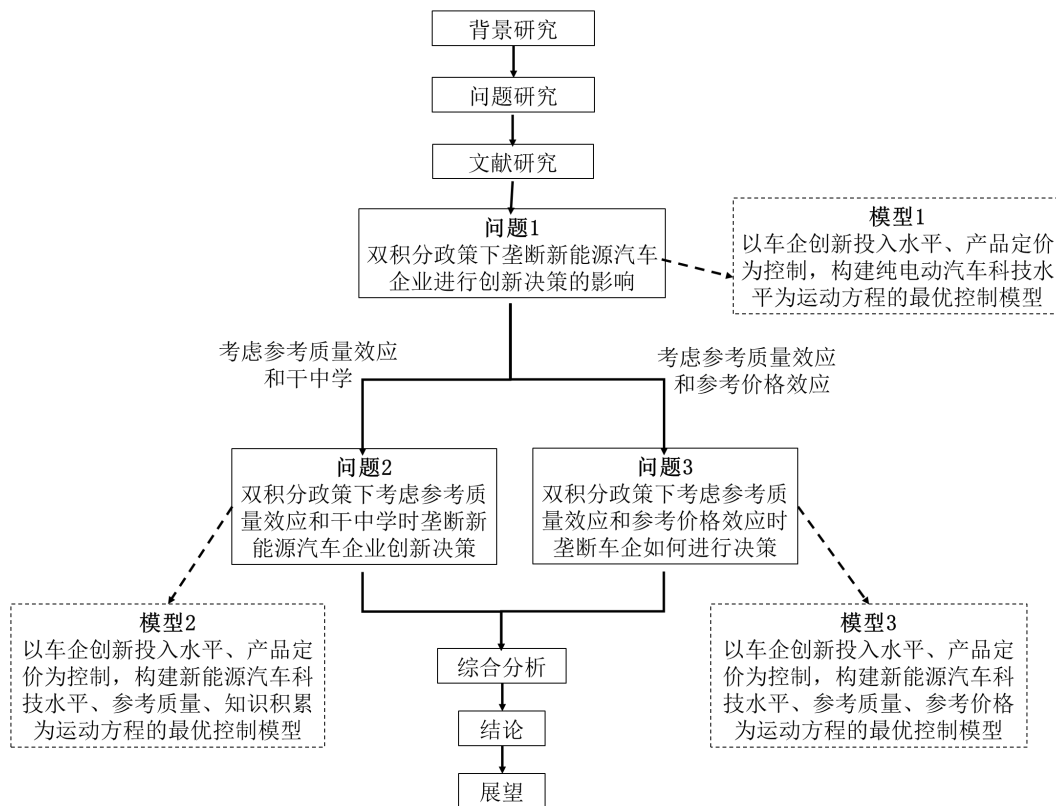


图 1.1 技术路线图

## 1.4 研究方法与创新点

### 1.4.1 研究方法

1) 文献归纳法。本文以新能源汽车企业创新决策为问题导向,通过分析梳理国内外相关领域的研究成果,理清相关研究脉络,明确本文研究方向。本文关注的研究方面包括企业创新研究、双积分政策相关研究及消费者行为研究等方面。借鉴前人的研究方式方法,确定使用最优控制理论的动态最优化方法,并考虑多种消费者行为的影响。

2) 最优控制理论方法。本文建立的三个模型都是最优控制模型,以新能源汽车企业的创新研发水平为控制输入,新能源汽车的科技含量水平、参考质量、干中学的知识积累水平、参考价格等为状态输出。通过寻找最佳的控制输入路径,使得相应目标(新能源汽车企业总利润或社会福利总和)最大化,来解决新能源汽车企业动态决策问题。

3) H-J-B 方程法。为了解决本文建立的三个最优控制模型,我们采用 H-J-B 方程法。通过构建汉密尔顿函数,列出函数的一阶条件、共态变量的运动方程等方式,分析最优目标下控制决策的特点及均衡状态的特点,再将模型的控制函数和状态函数的整体看作一个系统,并进行系统性分析得出系统稳定性、稳态均衡的特点等信息。

### 1.4.2 创新点

1) 学者们对于“双积分”政策的研究下创新研发决策的研究多数聚焦于静态最优化模型,但不管是新能源汽车企业的创新投入决策还是消费者需求都是动态的,这对决策者来说是一个不能忽视的因素。本文构建的三个模型都是动态最优化模型,通过动态分析,确定最优决策的特点,稳态均衡特点,系统的稳定性及特定参数下的一般解。为新能源汽车企业或政策制定者提供了长期决策以达到长远目标最优的参考;

2) 对于以往关于政策的动态最优化模型研究,大都只考虑某一种消费者行为对决策者的影响,即要么只考虑参考质量效应,要么只考虑参考价格效应。

本文构建的最优控制模型在考虑参考质量效应的还考虑了干中学带来的知识积累对新能源车企决策的影响。另外，还构建了同时考虑参考质量效应和参考价格效应的动态最优化模型，分析了两种消费者行为对新能源汽车企业决策的影响方向的区别及相互影响，区别于以往考虑单一消费者行为的研究，考虑多种消费者行为的研究能更实际地反映现实决策环境，一定程度上提高了所给决策建议的准确性。

## 第 2 章 文献综述

本章为文献综述部分，主要梳理国内外相关领域的研究成果。鉴于本文研究的是双积分政策下新能源汽车企业的动态创新决策问题，本章的文献综述将围绕四方面展开：“企业创新研究”、“双积分政策相关研究”、“参考价格/质量与干中学的相关研究”及“文献评述”。

企业创新研究文献综述包括企业创新的实证研究、企业创新的静态最优化研究、企业创新的动态最优化研究三个方面。“双积分”政策研究文献综述包括“双积分”政策的产品生产决策研究和“双积分”政策的创新研发决策两个方面。

### 2.1 企业创新研究

1912 年，美籍奥地利经济学家约瑟夫·熊彼特在其经济学著作——《经济发展理论》一书中首次提出“创新”的概念，并用社会经济生活中的“创新”来解释经济发展和经济波动等宏观经济问题。他将“创新”分为五种，分别为：（1）产品创新——提供一种新的产品，也就是消费者还不熟悉的产品或一种产品的一种新的特性；（2）工艺创新——采用一种新的生产方法，或者对现有生产方式进行改进使得生产力发生改变；（3）市场创新——开辟一个新的市场；（4）资源配置创新——掠取或控制原材料或半制成品的一种新的供应来源；（5）组织创新——实现任何一种工业的新的组织，比如造成一种垄断地位或打破一种垄断地位。鉴于本文研究的问题，企业创新研究的文献综述将侧重于产品创新与工艺创新。

#### 2.1.1 企业创新的实证研究

自从认识到创新是企业成功的关键因素以来，国内外学者对“创新”已经进行了大量实证研究。Younas 等学者研究并确定了促进企业创新的各种方式 (Younas and Rehman, 2021 , Zhang et al., 2015b)。 (Dervitsiotis, 2010)研究了创新



的举措，包括企业改进现有产品形式、优化当前流程或创建新业务。(Damanpour, 1991)从公司的角度出发认为创新包括采用公司新的任何产品、流程、服务、系统或政策。随着对“创新”研究的深入，学者们也不局限于对创新形式和措施的研究，开始着手研究“创新”对企业的影响。(Sharma and Bhat, 2020b)研究发现企业可以通过“创新”来提高企业自身的竞争优势从而提高自身在市场中的地位。(Gunday et al., 2011, Sharma and Bhat, 2020a)则承接前者的研究成果，得出企业可以通过“创新”来提高自身的市场地位进而提高企业绩效。随着人们对创新重要性的日益认识，人们也对各种类型的创新进行了更深入的研究。(Carboni and Russu, 2018, García-Piqueres et al., 2020)认为每种创新类型看似彼此独立，但却不能完全摆脱相互间的依赖关系，不同创新类型间总有着些许关联。学者们除了研究单个创新类型对企业带来的直接影响外，也开始日渐关注创新类型之间的关系：(Damanpour et al., 2009, García-Piqueres et al., 2020)通过分析英国 428 个公共服务组织四年来的创新活动来检验不同创新活动之间的组合效应。(Damanpour et al., 2009, García-Piqueres et al., 2020)开发了一种新的方法来测试条件相关性，通过对西班牙社区 2008-2014 年间创新调查数据进行实证研究得出与传统方法认为的产品和工艺创新之间存在着很强相关性相反的结论。(Gunday et al., 2011)研究了创新类型之间的相互作用，(Mohnen and Hall, 2013)分析了创新类型之间的互补性，(Lee et al., 2019)则发现了通过创新之间调节效应产生的协同效应。

然而，在现实中，并不是所有的企业都能像他们所希望的那样应用多种创新类型，因为创新本身就需要付出巨大的努力和投资。很明显，创新程度越高意味着更好的绩效，但企业的创新能力有限，无法同时在不同的领域进行创新。学者们不断尝试以不同的方式对创新活动进行分类，有时这些分类在文献中不同类型的概念之间会有所重叠(Evan, 1966, Knight, 1967, Rigby, 1994)。(Kostopoulos et al., 2011, Lee et al., 2019)认为产品创新是一个重要的绩效因素，通过引入新的、显著改进或重新设计的产品或服务，提供创新能力，以扩展到新的行业和市场，从而提高生产力(Mohnen and Hall, 2013)。工艺创新是一种新的或显著改进的生产或交付方法。这包括技术、设备和/或软件方面的重大变化。工艺创新有助于改进应用方法和降低成本(Fritsch and Meschede, 2001)，从而提高企业的生产率和效率(Terjesen and Patel, 2017)。工艺创新通过节省劳动力或资

本提高生产效率，从而降低产品价格(Edquist, 2001)。

### 2.1.2 企业创新的静态最优化研究

虽然“创新”对于企业的成功有着举足轻重的影响，但企业的创新能力和资金投入都是有限。所以，如何充分地利用有限的创新能力及投入资金成了企业值得思考的重要问题。学者们对于不同竞争环境、不同产品类型、不同消费者心理、不同创新策略选择、创新策略相互作用关系等多方面进行了研究。企业对特定技术的投资通常与他们想要提供的产品的种类和数量有关(Dasgupta and Maskin, 1987)。上文提及“创新”有多种形式及途径，现有文献主要致力于沿着两个不同的方向进行，即产品创新和工艺创新。通常而言，多数文献通常将这两种创新分开处理，但(Rosenkranz, 1996)将二者合并分析考虑 Cournot 竞争情形下受消费者支付意愿、研发投入、创新成本、市场规模等影响的两种创新之间的最优决策。(Bonanno and Haworth, 1998)考虑了垂直差异产品市场，企业可以投资降低边际成本或引入新品种。然而，他们没有考虑企业同时追求两种创新形式的情形。

我们现在能发现大量引入多产品公司概念的文献。这方面的早期研究表明，企业自身产品生产量很大程度上受产品的生产成本制约。(MspenceBaumol、Panzar and Willig, 1982, Panzar, 1989)在可竞争市场理论中通过范围经济证明了多产品企业存在的合理性。需求方因素在影响公司最佳产品系列中的作用受到的关注要少得多，原因是多产品企业试图内部化的外部性可能会使该问题的分析变得复杂。也就是说企业必须控制属于同一产品线的产品之间的竞争，以便尽可能地限制同类产品的相互蚕食。(Brander and Eaton, 1984)关注了消费者对差异化产品的需求与战略和技术影响之间的相互作用，这两方面都会影响客户的行为。(Brander and Eaton, 1984)通过分析具有高度可替代性产品情形下，涉及 Cournot 竞争的理论模型，验证了企业关于产品种类和产量水平的战略决策可能存在市场均衡。该结果是每个企业的产品数量和种类都给定的情况下得出的，自然学界就存在很多质疑的声音，即企业可能出于战略原因而改变其产品的种类和数量。(Wernerfelt, 1986)对引导企业进行创新的激励进行了研究，发现其驱动力包含两个方面，一方面是消费者偏好的异质性，另一方面是产品扩

散的成本。

在垄断和寡头垄断条件下，企业选择最优生产策略的行为已在产品差异的模型中得到广泛研究(Bonanno, 1987, Champsaur and Rochet, 1989, Gabszewicz et al., 1986, Maskin and Riley, 1984, Mussa and Rosen, 1978)。这一研究的主要问题是，垄断者有动机将质量和数量与社会最优值相比较，并试图在不同愿意为质量付费的客户之间进行歧视。另一个问题是产品扩散作为一种阻止进入的手段(Bonanno, 1987)。多产品公司理论已经沿着几个研究方向发展，一个相关的研究方向是消费者可能承担与购买产品相关的转换成本，无论是真实成本还是感知成本。因此，消费者的品牌忠诚度可能会非常高，以至于他们只从一家公司购买商品，而公司的定价行为则变为准共谋形式(Klemperer, 1995, Klemperer and Padilla, 1997)。

(Fritsch and Meschede, 2001)研究并得出了不同竞争程度下两种创新类型在企业决策中的均衡结果：在 Bertrand 和 Cournot 博弈模型下，不同质量、创新能力不同、体量不同的企业可能会选择完全不同的创新类型，但竞争程度使企业倾向于产品创新（由于怕被模仿）。(Bonanno, 1986, Gabszewicz and Thisse, 1979, Martinez-Ros, 1999, Shaked and Sutton, 1982)专注于研究不同竞争程度对于企业创新类型选择的影响。研究结果显示，在竞争更为激烈的“赢者通吃”博弈模型——Bertrand 竞争下，企业更加倾向于选择提高产品竞争力的产品创新（害怕本企业产品被模仿）。而在 Cournot 竞争中，企业则更有动力进行降低产品边际成本的工艺创新（减少开销）。

随着(d'Aspremont and Jacquemin, 1990)第一次提出产品创新和工艺创新的两阶段博弈模型(AJ 模型)，众多学者紧随其后对“AJ 模型”进行了扩展和改进，并取得了大量优秀研究成果。(Etro, 2004)建立了关于企业产品创新与工艺创新的 Stackelberg 博弈模型，结果表明创新能力强的企业往往在创新方面的投入也更多。(Amir et al., 2000)等对企业的研发阶段进行研究，通过建立序贯博弈和静态博弈模型，并进行结果比较，得出了序贯博弈对于企业收益的溢出水平。(Ghosh and Morita, 2017)则从不同企业间合作研发的角度出发，研究了企业间技术输出与利润分配问题。(Che and Gale, 2003)构建了一种基于消费者视角的产品创新与工艺创新竞赛模型，为激励企业提升产品创新与工艺创新的努力水平提出了建议。(孙晓华, 郑辉等, 2013)研究了在买方强势时，两类创新之间

的异质影响。(周晓晗, 张江华等, 2021)研究了企业与研究机构合作的研究策略。(Letina and Schmutzler, 2019)顺承前者的研究成果,用更一般化的创新方案变量代替创新研发努力程度变量,证明了增加创新方案的种类与数量将提高最优的创新研发质量。

### 2.1.3 企业创新的动态最优化研究

近年来,越来越多的学者注意到企业进行产品创新和工艺创新是一个多阶段、长时间跨度的过程,静态博弈模型已经不能全面地刻画出这一过程。所以,越来越多的研究开始构建动态模型以便对企业的产品创新和工艺创新进行更加深入的研究。(Utterback and Abernathy, 1975)是最早构建动态模型来研究企业产品创新和工艺创新问题的一批学者,探讨了竞争战略与创新之间的关系,以及生产过程特征与创新的关系。(Bayus, 1995)将产品需求量建模为关于售价和边际产品创新的动态函数,而工艺创新则变现为减少企业生产成本。(El Ouardighi and Tapiero, 1998)首次引入动态最优控制模型来研究企业产品创新和工艺创新。(Lin and Saggi, 2002)在三阶段模型中研究了产品创新和工艺创新之间的关系。(Mantovani, 2006)进一步提出了一个动态模型,以研究垄断环境下促进市场的产品创新和降低成本的工艺创新之间的互补性。(Lambertini and Mantovani, 2009)考虑了一个动态控制模型,以研究投资于过程创新和产品创新的多产品垄断者的动态行为。(Chenavaz, 2012)构建了一个产品和工艺创新模型,用于在给定时变需求条件下确定最优产品价格、产品和工艺创新投资策略。(Pan and Li, 2016)的模型扩展为一个模型,其中公司的产品和工艺创新成本函数既依赖于创新投资,也依赖于产品和工艺创新的知识积累。此外,(Lambertini and Orsini, 2015)进一步将分析扩展到产品和过程创新的动态控制模型。他们发现垄断力量抑制了产品创新的投资。(Zhang et al., 2015a)提出了一个研究模型,以研究社会资本对大规模定制能力和产品创新能力的联合影响。(Choi et al., 2016)考虑了战略创新政策,并提出产品和工艺创新同时进行而不是顺序进行的新范式可以保证企业的可持续增长。(De Guimarães et al., 2016)对企业在产品创新上投入组织资源的绩效进行了调查。(Li, 2017)考虑了多产品企业的产品创新和工艺创新问题。(Ni and Li, 2018)研究了在第三方质量授权的存在

下，制造企业的联合产品创新和生产决策，结果表明：虽然在获得质量授权之前，产品创新的投资高于获得质量授权之后的投资，但在获得质量授权之前，产量较低。（钟根云，张娴等）构建动态最优化模型，研究了负外部性条件下两种创新的分析。（Li, 2020 , Li et al., 2020c)分别构建了动态最优控制模型分别考虑参考质量和网络外部性等条件下的企业创新决策及两类创新间的交互性。

## 2.2 “双积分”政策研究

尽管“双积分”政策问世不久，但已有学者进行了数项研究并取得了一定的研究成果。学者们力求在“双积分”政策实施的早期阶段，探索出汽车制造企业在这一新政策下的发展方向。现有的研究主要包括两个方面：生产决策和创新研发决策。

### 2.2.1 “双积分”政策下的生产决策

大多数学者都认同“双积分”政策对新能源汽车的生产有积极影响。（Chen et al., 2018)研究了“双积分”政策下汽车制造商的生产决策优化问题，建立了传统制造商和电动汽车制造商联合决策的博弈模型。（Li et al., 2020d)研究发现传统燃料汽车的市场份额很大，汽车制造商必须生产大量新能源汽车，以产生足够的新能源汽车积分，从而补偿生产传统燃料汽车产生的负积分。（Ou et al., 2018)研究了企业在“双积分”政策下生产新能源汽车企业和油电混合动力汽车的生产决策问题，研究表明“双积分”政策更利好生产新能源汽车企业，且生产远程电动汽车比插入式混合动力汽车更高效。（Chen et al., 2018)将企业的生产决策分为短期决策和长期决策，认为中型电动汽车有利于企业在短期内快速抵消油耗负积分，但长远看来，生产小型电动汽车内更为有利。然而，（Tang et al., 2020)得出了相反的结论，认为只有当积分价格高于某一阈值时，新能源汽车才比传统燃料汽车更具竞争优势。（Ou et al., 2020)进一步分析了最新的政策修正案，并预测只有进一步收紧约束传统燃料车的油耗水平，才能显著提高低油耗传统燃料车的销量。除了探讨“双积分”政策对电动汽车发展的影响外，（Lou et al., 2020 , Zhao et al., 2019 , Zhou et al., 2019)还阐述了“双积分”政策对

环境的影响。有文献将“双积分”政策与汽车行业应用的其他政策进行了比较。研究了“双积分”政策和政府补贴（包括国家补贴和地方补贴）对电动汽车技术发展的协同效应。(Li et al., 2018)使用动态博弈模型比较了补贴政策和“双积分”政策，发现“双积分”政策在促进新能源汽车生产方面的效果大约是补贴政策的两倍。(于晓辉，许玖亮等，2020)建立两级供应链动态博弈模型，得出双积分政策在提高纯电汽车产品质量和供应商与零售商双边利润。(Li et al., 2020b)通过解决传统能源汽车和新能源汽车的生产决策，研究了在程式化生产模型下，建设电动汽车充电站的补贴方案和“双积分”方案之间的差异。(卢超、王倩倩等，2020)研究了价格、续航及减排之间的相互作用，以促进供应链协调。(Cheng and Fan, 2021)认为，保持较高的积分价格通常比设定较高的新能源汽车产量百分比更有利于促进新能源汽车行业的发展。(李旭，2021)构建双重差分模型得出双积分政策会显著促进新能源汽车企业进行创新投入的结论。(卢超、王倩倩等，2021)研究了双积分政策对于新能源汽车产品定价及环境减排方面的影响。

### 2.2.2 “双积分”政策的创新研发决策

“双积分”政策下，新能源汽车企业可以进行产品创新或工艺创新（或称绿色技术创新）来获得更多的“积分值”，从而获得更多的利润。前人的研究表明，激励新能源汽车企业进行绿色技术创新的因素包括：技术能力、财务水平、创新研发补贴、市场监管和市场需求。此外，还有一批学者从不同类型的技术创新角度进行了研究。(Gu et al., 2019)研究了电池回收和补贴下的最佳生产策略。(Li et al., 2020a)研究了考虑电池回收率的消费者补贴和“双积分”政策的可行性。(Choi and Rhee, 2020)强调了回收报废电池对电动汽车的促进作用。(Huang et al., 2018)提出汽车制造商可以在不损害车辆运行特性的情况下实施节油技术创新。不难发现，大多数研究集中在某一种类型的绿色技术创新上，即减少传统燃料汽车油耗水平或提高电动汽车科技水平（最大行驶里程、充电时间等方面)。(Lou et al., 2020)考虑了“双积分”政策下新能源汽车企业如何权衡降低油耗水平的绿色技术创新投入和生产传统燃料汽车之间的问题。(Greene et al., 2014)以美国为例分析得出，传统燃料汽车向电动汽车过渡可能产生超过

预期效益一个数量级或更多数量级的过渡超额成本，政府必须调整公共政策才能成功地实现向全球性的可持续发展的电动汽车的过渡。(Shin et al., 2018)对新能源汽车市场进行了事前市场模拟和市场细分分析，结果表明，尽管电动汽车进入汽车市场预计会对其他种类汽车（传统燃料汽车或者油电混合汽车）的销售量产生负面影响，但如果电动汽车的技术水平足够高还是能带动提高传统车辆的销售量。(Zhang et al., 2012)设计了一项补贴政策，并得出结论，企业可以通过这种补贴政策改变其初级产品设计，开发绿色和普通产品，以增加企业利润并改善环境质量。(Zheng et al., 2018)研究了在补贴政策下同时生产传统车辆和电动汽车的汽车制造商的最优生产决策，并得出了制造商决定提供电动汽车的条件。(Gao et al., 2020)专注于采用不同绿色技术的两类绿色产品，并探讨了当政府制定产品绿色标准并提供环境补贴时制造商和零售商的决策。(Zhou et al., 2019)研究了“双积分”政策下绿色技术创新和产品线设计的问题。

### 2.3 参考质量/价格与干中学的相关研究

企业在进行定价、创新投入等系列决策时，不仅需要考虑自生产品成本，自身产品品质，创新投入成本等方面，还需要考虑影响消费者端影响市场需求的消费者行为。本文主要侧重于消费者参考质量效应和参考价格效应的研究。

参考质量效应是指消费者将产品的当前质量与一个标准进行比较，进而影响其购买决策的现象。它被概念化为基于消费者对过去质量记忆的参考期望。消费者通过他们在锚定和调整的过程中对产品质量进行经验性修正。近期关于参考质量的研究主要集中在供应链协调，供应链质量提升及制造商决策研究等方面。(马德青、胡劲松，2020)通过利用微分博弈理论，分析了参考质量效应下消费者公平感觉对于供应链质量提升的影响。(纪雅杰、马德青，2021)建立静态博弈模型。(马德青、胡劲松，2022)通过构建动态最优化模型分析了参考质量效应对于 O2O 供应链各环节主体的决策影响。(李秀莲，颜李朝，2022)考虑在参考质量效应下双渠道供应链的决策和协调。(高莹、胡祥培，2023)将参考质量效应和体验类商品相结合，得出参考质量效应较大时，线下体验店能获得更多的收益。(李保勇、马德青，2021)在农超对接背景下考虑参考质量的影响，求得超市和农村合作利润的帕累托最优。

参考价格是消费者用来比较销售价格的个人基准，当实际售价高于参考价格时，销售价格就会看起来很大，进而使产品需求减少，而当实际售价低于参考价格时，销售价格看起来似乎会很低，进而刺激需求。近期关于参考价格的研究主要集中在定价策略、供应链协调等方面。（石纯来、廖治通，2022）研究了参考价格效应对供应链竞争主体的信息分享决策的影响，当几个参考效应比较强烈时，双方分享需求信息均增加制造商的利润。（孙康泰、许明辉 2021）研究了参考价格效应对于制造商战略库存的影响。（朱桂菊、游达明，2020）将参考价格效应和消费者溯源偏好纳入微分博弈模型中，实现供应链协调。（隋壮、孙浩，2020）研究了供应链系统中不同决策模式下，考虑参考价格效应的定价策略。（凌六一、夏宇等，2022）研究了考虑参考价格效应的众筹定价模型，发现消费者行为的强烈程度将影响众筹价格策略的提出。

在实践中学习是生产过程中经验积累知识的结果（Arrow, 1962），是渐进式创新的主要驱动力。在几乎所有的商品和服务生产领域，生产任务的重复都会导致生产过程的效率以及产品/服务的设计和性能的逐步提高。这种“干中学”过程的重要性早已得到承认，直接生产工人作为基于工作的学习来源在创新中的中心地位也是如此（Landes, 1972）。Hatch 和 Mowery（1998）分析了半导体行业中工艺创新和干中学之间的关系。他们通过学习提高制造业绩效并不是产出扩张的外生结果，而是主要受工程劳动力对解决问题活动的系统分配的影响。此外，学习曲线是有意提高产品质量和降低生产成本的活动的产物，而不是产量的附带副产品（Hatch 和 Mowery, 1998）。由于技术进步的一个重要来源是干中学（Thompson, 2010），近年来，许多作者在减排投资（Li 和 Pan, 2014）和积累技术（Clarke, 2006）中也考虑了干中学。

### 2.4 文献评述

企业创新的实证研究由关于创新形式和措施的研究逐渐向创新对企业的影响方向转变，研究了不同创新类型对于企业在市场占有率、企业绩效等方面的作用及不同类型创新之间的相互影响；企业创新的静态最优化模型主要利用古诺、伯特兰德、AJ 等经典模型，研究竞争情形下受消费者支付意愿、研发投入、创新成本、市场规模等影响的两种创新之间的最优决策，同时关注了消费者对



差异化产品的需求与战略和技术影响之间的相互作用；企业创新的动态最优化模型最初只是构建动态模型来研究企业产品创新和工艺创新问题之间的问题，探讨了竞争战略与创新之间的关系，以及生产过程特征与创新的关系，随后加入更多考虑因素，包括制造企业的联合产品创新、参考质量效应、外部性等。

双积分政策下的生产决策研究从传统制造商和电动汽车制造商联合决策博弈，生产新能源汽车企业和油电混合动力汽车的生产决策，双积分政策对新能源汽车企业、消费者、新能源汽车产品、环境等方面的影响，研究了双积分政策对比以前的补贴政策。双积分政策的创新研发决策从技术能力、财务水平、创新研发补贴、市场监管、市场需求和不同创新类型等方面进行，研究了电池回收、以往补贴政策与双积分政策对创新决策的影响、政府制定产品绿色标准并提供环境补贴的影响、绿色技术创新和产品线设计等问题。

参考质量效应的研究在供应链协调，供应链质量提升及制造商干中学是生产过程中知识积累的主要手段，为渐进式创新的主要驱动力。在几乎所有的商品和服务生产领域，生产任务的重复都会使生产过程的效率以及产品/服务的设计和性能的逐步提高。策研究等方面做出了相应贡献，为垄断企业提高产品质量决策提供了相应参考。参考价格效应的研究集中在定价策略、供应链协调、供应商库存管理、供应链竞争主体信息分享等方面，优化了零售商的定价和信息分享策略。干中学是生产过程中知识积累的主要手段，为渐进式创新的主要驱动力。在几乎所有的商品和服务生产领域，生产任务的重复都会使生产过程的效率以及产品/服务的设计和性能的逐步提高。

## 第3章 双积分政策下新能源汽车企业动态创新决策

中国的新能源汽车（NEVs）是指使用非传统燃料（生物乙醇、沼气和生物柴油）的四轮汽车，包括新能源汽车企业、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车。随着双积分政策的出台及日趋完善，新能源汽车企业在中国新能源汽车中的占有率不断升高，甚至出现部分城市只认可纯电汽车为新能源汽车的情况。对新能源汽车企业来说，重视纯电动汽车的发展已成为企业长远发展的重要战略目标，比如，比亚迪公司已经将传统燃料乘用车业务全部削减，全力发展纯电动汽车业务。为了能够获取更多积分值，或者说追求更多的收益，新能源汽车企业需要考虑是否进行创新投入，以提高生产的新能源汽车产品的性能（包括电池能量密度，续航里程，百公里能耗等指标）。如何制定长期的决策，设定长时间周期的创新投入水平，产品定价，让新能源汽车企业保持较高的性能质量，促进新能源汽车企业市场更好发展，是一个值得深思的问题。

本章主要讨论了垄断市场下，新能源汽车企业拥有长远视角或者短视行为（即进行创新投入或者拒绝创新）对于新能源汽车企业的长远影响，并分析了广义需求对于新能源汽车企业创新投入水平、投入占产品单位利润的比重、总投入占新能源汽车企业总利润的比重等因素的影响。在 Lambertini、Li 等研究基础上，考虑双积分政策的影响，构建最优控制模型，分析不同视角下新能源汽车企业的长期决策及不同因素对决策的影响。本章旨在回答三个问题：

- 1、新能源汽车企业进行创新投入决策能否获得长远的利益？
- 2、新能源汽车企业利润最大化视角下，新能源汽车企业该考虑哪些因素；社会福利最大化视角下，政府该考虑哪些因素？
- 3、作为本文的重要参数，积分价格  $h$ ，消费者需求弹性对企业利润及社会福利的影响如何？

### 3.1 问题描述及符号说明

#### 3.1.1 问题描述

考虑一个垄断新能源汽车企业，只生产一种新能源汽车企业产品，新能源汽车企业需要确定长时间周期的决策，包括创新投入水平和定价水平以达到自身目标。构建无限水平时间  $t \in [0, \infty)$  下的最优控制模型，新能源汽车企业需要决定任意时刻产品的定价  $p(t)$  及瞬时创新投资水平  $k(t)$ 。产品的定价会影响消费者需求，而新能源汽车企业的科技含量水平称为产品的质量用  $x(t)$  表示，会随着瞬时创新投资水平  $k(t)$  的增加而提升，随着时间的推移还需要考虑新能源汽车企业的折旧率  $\delta \in [0, 1]$ 。根据(Lambertini and Orsini, 2015)等的研究可以写出任意时间节点条件下函数  $x(t)$  的运动方程

$$\dot{x}(t) = k(t) - \delta x(t) \quad (2.1)$$

新能源汽车企业用以提升新能源汽车企业产品的瞬时投资成本为  $k^2(t)/2$ ，生产单位产品的成本用  $c$  表示，单位新能源汽车企业能够获取的积分收益与新能源汽车企业的质量有关，表示为  $h\gamma x(t)$ ，其中  $\gamma$  表示积分与新能源汽车企业科技水平含量的转换系数，而  $h$  表示单位积分的价格。消费者需求与新能源汽车企业产品价格和产品质量有关，为了不失一般性，将任意时刻的市场需求  $S(t)$  设置为广义的需求函数  $S(t) = S(p(t), x(t)), S(t) > 0$

接下来给出新能源汽车企业进行科技创新投资情况下在连续时间  $t \in [0, \infty)$  内的瞬时利润函数。

$$\pi(t) = (p(t) - c)S(p(t), x(t)) - \frac{1}{2}k^2(t) + hS(p(t), x(t))\gamma x(t) \quad (2.2)$$

接下来将从新能源汽车企业利润最大和社会福利最大两个不同视角分别探讨决策行为。

#### 3.1.2 符号说明

为了更好地表述模型，将本章中的各变量、参数汇总到如下表 3.1 中。

表 3.1 符号说明

类型	符号	定义
决策变量	$k(t)$	$t$ 时刻垄断新能源汽车企业创新投入水平
	$p(t)$	$t$ 时刻新能源汽车企业产品的价格
状态变量	$x(t)$	$t$ 时刻新能源汽车企业科技含量水平
	$S(t)$	$t$ 时刻消费者需求
	$\pi(t)$	$t$ 时刻垄断新能源汽车企业瞬时利润
	$\lambda(t)$	新能源汽车企业利润最大视角下的共态变量（影子价格）
	$sw(t)$	$t$ 时刻社会福利
	$cs(t)$	$t$ 时刻消费者剩余
	$\omega(t)$	社会福利最大视角下的共态变量（影子价格）
参数	$\delta$	新能源汽车企业质量提升衰减率, $\delta > 0$
	$c$	单位新能源汽车企业生产成本, $c > 0$
	$\gamma$	积分量转换系数, $\gamma > 0$
	$h$	积分单价, $h > 0$
	$r$	贴现率, $r > 0$

### 3.2 新能源汽车企业利润最大化视角

在这种情况下，给出贴现系数  $r$ ，并使贴现利润最大化。于是可得如下无限水平时间最优控制模型：

$$\max_{p(t), k(t)} \left[ \Pi = \int_0^{\infty} e^{-rt} \left[ (p(t) - c)S(p(t), x(t)) - \frac{1}{2}k^2(t) + hS(p(t), x(t))\gamma x(t) \right] dt \right],$$

$$\text{s.t.} \quad \dot{x}(t) = k(t) - \delta x(t) \quad (2.3)$$

其中初始条件为  $x(0) = x_0$ ，需求函数  $S(p(t), x(t))$  则满足如下设定，

$$\frac{\partial S}{\partial p} < 0 \text{ 且 } \frac{\partial S}{\partial x} > 0 \quad (2.4)$$

即产品的需求与价格呈负相关且与科技含量水平呈正相关。

#### 3.2.1 模型分析与最优特性

为了解决上述最优控制模型，利用庞特里亚金的最大值原理求解。需要利

用该模型的当前值汉密尔顿函数:

$$H = (p(t) - c)S(t) - \frac{1}{2}k^2(t) + h\gamma S(t)x(t) + \lambda(t)(k(t) - \delta x(t)) \quad (2.5)$$

其中  $\lambda(t)$  表示状态变量  $x(t)$  的共态变量或者称为影子价格。

为了方便后续的分析, 做出如下两个定义,

定义 1 需求对新能源汽车企业科技含量的弹性

$$\beta = \frac{x}{S} \frac{\partial S}{\partial x} \quad (2.6)$$

定义 2 需求对价格的弹性

$$\mu = -\frac{p}{S} \frac{\partial S}{\partial p} \quad (2.7)$$

接下来写出模型的一阶条件, 为了书写简便将关于  $t$  的函数统一略去。

$$\frac{\partial H}{\partial p} = S(x, p) + (p - c) \frac{\partial S}{\partial p} + h \frac{\partial S}{\partial p} \gamma x = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial H}{\partial k} = -k + \lambda = 0 \quad (2.9)$$

将式(3.8)、(3.9)解出来可得到当新能源汽车企业利润达到最大时的最优决策量。

$$p(t) = c - \gamma hx(t) + \frac{p(t)}{\mu} \quad (2.10)$$

$$k(t) = \lambda(t) \quad (2.11)$$

共态变量的运动方程如下:

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}(t) &= -\frac{\partial H}{\partial x(t)} + r\lambda(t) \\ &= (r + \delta)\lambda(t) + (c - h\gamma x(t) - p(t)) \frac{\partial S(p, x)}{\partial x} - \gamma hS(p, x) \end{aligned} \quad (2.12)$$

同时满足边界条件  $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt} \lambda(t) = 0$

根据最大利润问题, 公式(3.3)可知, 对于任意时间  $t, t > 0$ , 最优科技创新投入和定价策略  $(p^*, k^*)$  都满足一阶条件, 即式(3.10)与式(3.11); 同时还满足共态变量方程(3.12)和边界条件。

共态变量  $\lambda(t)$  的经济学意义为任意时间  $t, t > 0$  状态变量即科技含量水平的影子价格。也就是说，伴随变量的微分方程(3.12)阐述了每个时间点提高产品质量的价值大小。如果我们能把式(3.12)解出来，并把解出的  $\lambda(t)$  和  $x(t)$  带入式(3.10)和式(3.11)，就能得到关于时间的最优创新投入和定价决策轨迹  $(p^*(t), k^*(t))$ 。

现在考虑企业的短视行为（进行创新投入）和前瞻性行为（不进行创新投入）。如果我们忽略方程(3.3)中的关于纯电动车科技含量的运动方程  $\dot{x}(t) = k(t) - \delta x(t)$ ，就说企业的决策行为是短视行为，换言之，目光短浅的企业不进行创新投入以提高纯电动车的科技含量，忽视了创新研发的重要性。企业的短视行为在模型中的定量解释为，对应的  $\lambda(t) = 0$  恒成立。现在，方程(3.3)中的最优策略修改了企业的短视决策规则，考虑长期价格和创新投入效应。例如，如果企业可以通过提高电动车的科技含量水平增加收益（ $\lambda(t) > 0$ ），那么企业就会修改短视的政策来考虑这一点，进而使产品定价和科技创新投入更高，从而获取更多的企业利润。因此，影子价格  $\lambda(t)$  的正负性决定了企业的前瞻性行为下的定价和创新投入水平是高于还是低于相同条件下企业短视行为的决策。如果  $\lambda(t) > 0$ ，企业的前瞻性行为将决策更高的定价和更大规模的创新投入。接下来我们将讨论模型中  $\lambda(t)$ （纯电动车科技含量水平的影子价格）的正负性。

要判定任意时间点上  $\lambda$  的正负情况，首先从均衡状态入手。现假定均衡状态时  $\lambda(t)$  的值为  $\lambda^m$ ，均衡状态的  $p(t)$  值用  $p^m$  表示，则  $\lambda^m$  可通过令方程(3.12)等于 0 求得，因为在整个系统达到稳态时，共态变量的变化率一定等于 0 即  $\dot{\lambda}(t) = 0$ ，则，

$$\lambda^m = \frac{(p^m - c + \gamma h x^m) \frac{\partial S(p^m, x^m)}{\partial x} + \gamma h S(p^m, x^m)}{r + \delta} \quad (2.13)$$

根据式(3.4)我们可以判断

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = \lambda^m > 0 \quad (2.14)$$

判断出均衡状态时  $\lambda$  的正负性后，我们再用反证法证明对于任意  $t, t > 0$  均有  $\lambda(t) > 0$ 。

假设存在一点  $t_0, t_0 > 0$  有  $\lambda(t_0) < 0$ ，因为  $\lambda(t)$  为连续函数，且无穷处极限为正值，所以一定存在一点  $t_1, t_1 \in (t_0, \infty)$  有

$$\lambda(t_1) = 0 \text{ 同时 } \lim_{t \rightarrow t_1^-} \lambda(t) < 0 \quad (2.15)$$

将式(3.15)代入式(3.12)可得

$$\dot{\lambda}\Big|_{t=t_1} < 0 \quad (2.16)$$

但当式(3.16)成立时  $\lambda(t)$  的左极限值应该大于 0 这与式(3.15)矛盾, 即假设不成立, 不存在一点  $t_0, t_0 > 0$  使得  $\lambda(t_0) < 0$ , 所以在任意时间点  $t, t \in (0, \infty)$  都有  $\lambda(t) > 0$  恒成立, 得到如下命题 3.1

**命题 3.1** (i)  $\lambda(t) > 0, \forall t \in (0, \infty)$ ; (ii) 当企业具有前瞻性时, 最优定价和创新投入策略都要高于目光短浅情形下的决策。

命题 3.1 指出, 企业的最佳定价和创新投入水平, 即当前定价和创新投入决策对未来纯电动车科技含量水平的影响, 以及价格和创新投入水平的长期影响将高于企业短视情况下的价格水平。这一结果与促进更高定价和更高创新投入以维系新能源汽车科技含量水平 (更长的续航、更短的充电时间、电池更高的能量密度等), 助推国家新能源汽车行业不断良性发展, 向高端迈进的国家政策一致。

### 3.2.1 稳态分析

当系统达到稳态时, 所有状态变量、控制变量、共态变量的变化率都为 0, 即  $\dot{\lambda}(t) = \dot{k}(t) = \dot{x}(t) = 0$ 。设稳态时状态变量、控制变量、共态变量, 需求函数分别用  $\lambda^m, k^m, p^m, x^m, S^m(x^m, p^m)$  表示, 则式(3.6)和(3.7)在均衡状态下为

$$\beta^m = \frac{x^m}{S^m} \frac{\partial S(x^m, p^m)}{\partial x}, \mu^m = -\frac{p^m}{S^m} \frac{\partial S(x^m, p^m)}{\partial p} \quad (2.17)$$

令  $\dot{\lambda}(t) = \dot{k}(t) = \dot{x}(t) = 0$ , 得到均衡状态下满足的方程(3.13)及

$$k^m - \delta x^m = 0 \Rightarrow x^m = \frac{k^m}{\delta} \quad (2.18)$$

现在将式(3.13)、(3.17)和(3.18)代入模型的一阶条件(3.8)和(3.9)中得

$$\frac{(p^m - c)}{p^m} = \frac{1}{\mu^m} - \frac{h\gamma}{\delta} \frac{k^m}{p^m} \quad (2.19)$$

$$\frac{\frac{1}{2}(k^m)^2}{S^m(p^m - c)} = \frac{(\beta^m + 1)}{2(r + \delta)} \frac{h\gamma k^m}{(p^m - c)} + \frac{\beta^m}{2(1 + \frac{r}{\delta})} \quad (2.20)$$

式(3.19)等号左边项  $\frac{(p^m - c)}{p^m}$  表示均衡状态下产品的单位利润占产品售价的

百分比，式(3.20)左边项  $\frac{\frac{1}{2}(k^m)^2}{S^m(p^m - c)}$  表示均衡状态下产品创新研发投入占企业售

卖纯电动车所获总利润的百分比，式(3.20)右边项  $\frac{h\gamma k^m}{(p^m - c)}$  反应均衡状态下纯电

动车单位积分价格与单位利润的比值。

命题 3.2 均衡状态下，纯电动车单位利润占售价比例满足 (i)

$$\frac{\partial [(p^m - c)/p^m]}{\partial \mu^m} < 0; \quad (\text{ii}) \quad \frac{\partial [(p^m - c)/p^m]}{\partial h} < 0$$

命题 3.2- (i) 表明企业生产纯电动车单位利润占售价百分比随着需求的价格弹性的增大(减小)而减小(增加)，也就是说当市场需求对价格富有弹性时，企业生产纯电动车的单位利润率较低，当市场需求对价格缺乏弹性时，企业生产纯电动车的单位利润率较高。命题 3.2- (ii) 表明企业生产纯电动车单位利润占售价百分比随着市场上积分价格的上涨(降低)而减小(增加)，也就是说当市场上新能源积分的价格较高时，企业生产纯电动车的单位利润率较低，因为企业能从新能源积分处得到不菲的收益，所以更愿意降低自身产品的价格以求获得更多销量，赚取更多的新能源积分。当市场上新能源积分的价格较低时，企业生产纯电动车的单位利润率较高，因为靠出售新能源积分已经不能获取足够的收益了，所以企业更倾向于靠售卖高利润率的纯电动车产品增加收益。

命题 3.3 均衡状态下，纯电动车创新研发投入占企业销售总利润比例满足

$$(i) \quad (k^m)^2 / 2S^m(p^m - c) \propto h\gamma k^m / (p^m - c); \quad (\text{ii}) \quad \frac{\partial [(k^m)^2 / 2S^m(p^m - c)]}{\partial \beta^m} > 0$$

命题 3.3- (i) 表明企业对于科技创新的投入占销售纯电动车总利润比例与单位积分收益占单位销售利润比例正相关，也就是说当企业在新能源积分获得



的收益与产品单位销售利润比值越高，即积分收益比起单纯销售产品更有利可图，则企业更愿意在销售利润中拿出更高比例的资金用于创新研发投入。相反，当企业在新能源积分获得的收益与产品单位销售利润相比，比例很小时，即单纯销售产品比起积分收益更有利可图，则企业缺乏将销售利润用于创新研发投入的动力。命题 3.3- (ii) 表明企业对于科技创新的投入占销售纯电动车总利润百分比随着需求的科技含量弹性的增大（减小）而增大（减小），也就是说当市场需求对纯电动车科技含量富有弹性时，即消费者对于电动车的科技含量比较敏感，科技含量上升（下降），需求量也会快速增加（减少）时，企业更愿意在销售利润中拿出更高比例的资金用于创新研发投入，当市场需求对纯电动车科技含量缺乏弹性时，企业将更专注于靠售卖产品获取利润，而非进行创新研发以获取积分收益。

在双积分政策下，企业采取前瞻性决策行为，即将销售总利润中的一部分用于创新研发，以提高纯电动车的科技含量水平，能使企业获得更多收益。当市场上新能源积分处于较高价位时，企业销售的纯电动车利润率将较低，对消费者而言购买纯电动车的性价比较高。同时，较高的新能源积分价格将促使企业投入更大比例的销售营收用于创新研发，从而推进我国新能源汽车行业的高端发展。由此可以看出，双积分政策在促进新能源汽车企业进行高端研发、普惠消费者等方面能够达到其目的，问题的重点在于如何保持新能源积分的价格高位和价格稳定。需求的价格弹性会反向影响企业纯电动车的单位利润率决策，当消费者对纯电动车的价格很敏感时，产品的单位利润率也应该适当减小。需求的科技水平弹性会正向影响企业纯电动车的创新研发投入占销售利润比例决策，当消费者对纯电动车的科技水平很敏感时，企业应该加大研发创新投入占销售总利润的百分比。需求的价格弹性和科技水平弹性，由消费者主观意识决定，不同的消费群体有不同的需求弹性，所以新能源汽车企业在面向不同消费群体时可采取不同的定价和创新研发策略，比如在一线城市，消费者普遍是科技水平敏感，而价格不敏感型，此时新能源汽车企业在最大化收益目标下，均衡时的最优决策应该是高定价、高研发投入比；当面向经济待发展地区消费者时，他们往往对价格敏感而对，科技水平不敏感，此时的决策应该为，低定价、低研发投入比。消费者的需求弹性虽由主观意识决定，但会受各方面的影响，新能源汽车企业可以通过广告、口碑等营销手段来改变消费者的需求弹性以获

得更多收益，但这些因素不是本文谈论的重点，便不再赘述。

### 3.3 社会福利最大化视角

将瞬时社会福利函数定义为连续时间  $t \in [0, \infty)$  上的函数  $sw(t) = \pi(t) + cs(t)$ ，其中  $\pi(t)$  是垄断新能源汽车企业的瞬时利润函数，由表达式(3.2)给出，而  $cs(t)$  是消费者剩余，由下式给出

$$cs(t) = \int_{p(t)}^{P(s,x)} S(z,x) dz \quad (2.21)$$

其中  $P(s,x)$  为取  $S(p,x) = 0$  时， $p$  的取值，即当  $p = P(s,x)$  时  $S(p,x) = 0$ 。 $P(s,x)$  标示着价格上界，当实际定价超过  $P(s,x)$  时，需求函数的值将小于 0，此时不符合实际。价格上界  $P(s,x)$  受到需求量  $s(t)$  和产品科技含量水平  $x(t)$  的影响。且满足  $\frac{\partial P}{\partial S} < 0$   $\frac{\partial P}{\partial x} > 0$ 。

综上，将社会福利最大化并添上状态转移方程可得如下模型：

$$\begin{aligned} \max_{p(t), k(t)} \left\{ \Pi = \int_0^{\infty} e^{-rt} \left[ (p(t) - c)S(p(t), x(t)) - \frac{1}{2}k^2(t) + h\gamma S(p(t), x(t))x(t) + cs(t) \right] dt \right\}, \\ \text{s.t.} \quad \dot{x}(t) = k(t) - \delta x(t), x(0) = x_0 \end{aligned} \quad (2.22)$$

同样，需求函数  $S(p(t), x(t))$  满足如下设定，

$$\frac{\partial S}{\partial p} < 0 \text{ 且 } \frac{\partial S}{\partial x} > 0 \quad (2.23)$$

#### 3.3.1 模型分析与最优特性

社会福利最大化视角下的当前值汉密尔顿函数为：

$$H = (p - c)S(p, x) - \frac{1}{2}k^2 + hS\gamma x + cs + \omega(k - \delta x) \quad (2.24)$$

其中  $\omega(t)$  表示状态变量  $x(t)$  的共态变量或者称为影子价格。

一阶条件为：

$$\frac{\partial H}{\partial p} = (p-c) \frac{\partial S}{\partial p} + h \frac{\partial S}{\partial p} \gamma x = 0 \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial H}{\partial k} = -k + \omega = 0 \quad (2.26)$$

求解式(3.25)与式(3.26)可得社会福利最大时的最优决策量。

$$p(t) = c - \gamma h x(t) \quad (2.27)$$

$$k(t) = \omega(t) \quad (2.28)$$

共态变量的运动方程

$$\begin{aligned} \dot{\omega}(t) &= -\frac{\partial H}{\partial x(t)} + r\omega(t) \\ &= (r + \delta)\omega(t) + (c - h\gamma x(t) - p) \frac{\partial S(p, x)}{\partial x(t)} - \gamma h S(t) + \frac{\partial cs(p, x)}{\partial x} \end{aligned} \quad (2.29)$$

同时满足边界条件  $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt} \omega(t) = 0$

根据社会福利最大化问题，公式(3.22)可知，对于任意时间  $t, t > 0$ ，最优科技创新投入和定价策略  $(p^*, k^*)$  都满足一阶条件，即式(3.27)与式(3.28)；同时还满足共态变量方程(3.29)和边界条件。

共态变量  $\omega(t)$  的经济学意义为任意时间  $t, t > 0$  状态变量的影子价格。也就是说，伴随变量的微分方程(3.29)阐述了每个时间点提高电动车科技含量的价值大小。如果我们能把式(3.29)解出来，并把解出的  $\omega(t)$  和  $x(t)$  带入式(3.27)和式(3.28)，就能得到关于时间的最优创新投入和定价决策轨迹  $(p^*(t), k^*(t))$ 。

现在考虑企业的短视行为（进行创新投入）和前瞻性行为（不进行创新投入）。影子价格  $\omega$  的正负性决定了企业进行创新投入时的定价和创新投入水平是高于还是低于相同条件下企业不进行相应投入的决策。如果  $\omega > 0$ ，新能源汽车企业进行创新投入将导致更高的定价和更大规模的创新投入。接下来我们将讨论  $\omega$ （纯电动车科技含量水平的影子价格）的正负性。

现假定均衡状态时  $\omega$  的值为  $\omega^m$ ，均衡状态的  $p$  值用  $p^m$  表示，则  $\omega^m$  可通过令方程(3.29)等于 0 求得，因为在整个系统达到稳态时，共态变量的变化率一定等于 0 即  $\dot{\omega}(t) = 0$ ，则，

$$\omega^m = \frac{(p^m - c + \gamma h x^m) \frac{\partial S(p^m, x^m)}{\partial x} + \gamma h S(p^m, x^m) + \frac{\partial cs(p^m, x^m)}{\partial x}}{r + \delta} \quad (2.30)$$

根据式(3.4)我们可以判断

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \omega^m > 0 \quad (2.31)$$

判断出均衡状态时  $\omega$  的正负性后, 我们再用反证法证明对于任意  $t, t > 0$  均有  $\omega(t) > 0$ 。

假设存在一点  $t_0, t_0 > 0$  有  $\omega(t_0) < 0$ , 因为  $\lambda(t)$  为连续函数, 且无穷处极限为正值, 所以一定存在一点  $t_1, t_1 \in (t_0, \infty)$  有

$$\omega(t_1) = 0 \text{ 同时 } \lim_{t \rightarrow t_1^-} \omega(t) < 0 \quad (2.32)$$

将式(3.32)代入式(3.29)可得

$$\dot{\lambda} \Big|_{t=t_1} < 0 \quad (2.33)$$

但当式(3.16)成立时  $\lambda(t)$  的左极限值应该大于 0 这与式(3.15)矛盾, 即假设不成立, 不存在一点  $t_0, t_0 > 0$  使得  $\lambda(t_0) < 0$ , 所以在任意时间点  $t, t \in (0, \infty)$  都有  $\lambda(t) > 0$  恒成立, 得到如下命题 3.1

**命题 3.4** (i)  $\omega(t) > 0, \forall t \in (0, \infty)$ ; (ii) 当企业具有前瞻性时, 最优定价和创新投入策略都要高于目光短浅情形下的决策。

命题 3.4 指出, 企业的最佳定价和创新投入水平, 即当前定价和创新投入决策对未来纯电动车科技含量水平的影响, 以及价格和创新投入水平的长期影响将高于企业短视情况下的价格水平。这一结果与新能源汽车企业利润最大化视角的结果相一致。

### 3.3.2 稳态分析

当系统达到稳态时, 所有状态变量、控制变量、共态变量的变化率都为 0, 即  $\dot{\omega}(t) = \dot{k}(t) = \dot{x}(t) = 0$ 。设稳态时状态变量、控制变量、共态变量, 需求函数分别用  $\omega^m, k^m, p^m, x^m, S^m(x^m, p^m)$  表示

令  $\dot{\omega}(t) = \dot{k}(t) = \dot{x}(t) = 0$ , 得到均衡状态下满足的方程(3.13)及

$$k^m - \delta x^m = 0 \Rightarrow x^m = \frac{k^m}{\delta} \quad (2.34)$$

现在将式(3.30)、(3.17)和(3.34)代入模型的一阶条件式(3.27)和式(3.28)中得

$$p^m = c - \frac{\gamma h k^m}{\delta} \quad (2.35)$$

$$\frac{(k^m)^2}{2S^m(p^m - c)} = \frac{\gamma h k^m}{2(r + \delta)(p^m - c)} + \frac{\frac{\partial cs^m}{\partial x} k^m}{2(r + \delta)S^m(p^m - c)} \quad (2.36)$$

命题 3.5 均衡状态下，纯电动车单位利润占售价比例满足 (i)

$$\frac{\partial \left[ \frac{(p^m - c)}{p^m} \right]}{\partial k^m} < 0; \quad (\text{ii}) \quad \frac{\partial \left[ \frac{(p^m - c)}{p^m} \right]}{\partial h} < 0$$

命题 3.5- (i) 表明企业生产纯电动车单位利润占售价百分比随着创新投资水平的增大(减小)而减小(增加)，也就是说，在稳态下创新投资水平越高，不仅不会提高产品的科技水平含量，还能使稳态价格水平下降。命题 3.5- (ii) 表明企业生产纯电动车单位利润占售价百分比随着市场上积分价格的上涨(降低)而减小(增加)，与企业利润最大视角情况相同。

命题 3.6 均衡状态下，纯电动车创新研发投入占企业销售总利润比例满足

$$(i) \quad (k^m)^2 / 2S^m(p^m - c) \propto \gamma h k^m / (p^m - c); \quad (ii) \quad (k^m)^2 / 2S^m(p^m - c) \propto \frac{\partial cs^m}{\partial x}.$$

命题 3.6- (i) 与企业利润最大化情形相同，企业对于科技创新的投入占销售纯电动车总利润比例与单位积分收益占单位销售利润比例正相关。命题 3.6- (ii) 表明企业对于科技创新的投入占销售纯电动车总利润百分比与瞬时消费者剩余关于企业产品科技水平的偏导有关，而产品的科技水平对消费者剩余的影响是促进还是抑制与需求函数的形式有关。若企业产品科技水平对消费者剩余起促进作用，则这种促进效应越明显企业越会提高科技创新投入在利润中的占比，反之，企业产品科技水平对消费者剩余抑制作用越明显，企业越会降低科技创新投入在利润中的占比。

随着需求的科技含量弹性的增大(减小)而增大(减小)，也就是说当市

场需求对纯电动车科技含量富有弹性时，即消费者对于电动车的科技含量比较敏感，科技含量上升（下降），需求量也会快速增加（减少）时，企业更愿意在销售利润中拿出更高比例的资金用于创新研发投入，当市场需求对纯电动车科技含量缺乏弹性时，企业将更专注于靠售卖产品获取利润，而非进行创新研发以获取积分收益。

### 3.4 小结

作为本文的基本模型，本章主要分析了双积分政策下新能源汽车企业具备前瞻性视野或者采取短视行动时的决策行为。为了研究这一问题，我们采用最优控制这一数学模型来刻画新能源汽车企业生产实际，设置关于电动车科技水平的运动方程，力图通过分析积分价格、需求对科技含量的弹性、需求对价格的弹性等因素对决策的影响帮助新能源汽车企业提供有效行动指导，保持最佳的创新投入水平、产品科技含量水平和定价水平。

本章重点关注新能源汽车企业采取创新行为新能源汽车企业带来的积极影响，及稳态情形下新能源汽车企业创新投入占利润的比重及其影响因素。在新能源汽车企业利润最优和社会福利最优两种情况下：（i）新能源汽车企业采取前瞻性行动即进行创新投入能为新能源汽车企业带来长期的收入增长并助推纯电汽车保持高定价、高科技水平；（ii）纯电汽车单品利润率随需求对价格弹性的增大（减小）而减小（增加），随积分价格的上涨（降低）而减小（增加），随创新投资水平的增大（减小）而减小（增加）；（iii）纯电汽车创新研发投入占企业销售总利润比例随积分价格的上涨（降低）而减小（增加），受产品的科技水平对消费者剩余积极或消极影响相关；（iv）新能源汽车企业利润最大化视角或社会福利最大化视角不会影响新能源汽车企业的总体决策，但创新投入水平、定价水平、产品科技水平会有所不同，受需求函数形式的影响。

## 第4章 双积分政策下考虑参考质量和干中学时新能源汽车企业动态创新决策

随着我国对新能源汽车的大力推广及政策上的倾斜支持，国内新能源汽车市场迅速增长，市场占有率逐年提升，大有取代传统燃油汽车的趋势。消费者对于新能源汽车的认可度及需求也日益增长，这就导致消费者在选择新能源汽车时对于其科技含量水平或者说质量有了更高的要求。本章将在上一章的基础上，考虑消费者行为即消费者的参考质量效应。参考质量效应是指消费者将产品的当前质量与一个标准进行比较，进而影响其购买决策的现象。它被概念化为基于消费者对过去质量记忆的参考期望。消费者通过他们在锚定和调整的过程中对产品质量进行经验性修正。因此，如果将参考质量整合到决策者的规范模型中，就会对决策者制定的质量决策产生影响。同时，我们还考虑了干中学对于新能源汽车企业进行创新投入成本的动态影响，这也可能影响到企业的创新决策。干中学表示管理者或者决策者在实践中会不断的学习并积累知识经验，这将有助于提高后续学习的效率或节约后续学习的成本等，是进行渐进式创新的主要驱动力。

本章主要在上一章基础上，考虑参考质量效应和干中学对于决策者决策的影响，分析新能源汽车企业的决策过程和决策特点，通过稳态分析寻找能达到最优目标的长期决策。为了能得到更加具体的决策路径，将广义的需求函数设置为具体函数，并加入数值算例具象化相应决策变量及状态变量，并比较企业利润最大化情况和社会福利最大化情况下决策的差异。本章旨在回答三个问题：

- 1、考虑消费者参考质量和新能源汽车企业干中学，在不同视角下新能源汽车企业要如何进行决策？
- 2、参考质量效应对于决策有何影响？
- 3、作为本文的重要参数，积分价格 $h$ ，消费者对于产品质量的记忆参数 $\varphi$ ，对企业利润及社会福利的影响如何？

## 4.1 基本模型及符号说明

### 4.1.1 基本模型

首先考虑消费者参考质量效应，参考质量  $y(t)$  的函数形式是通过以往历史质量的指数平滑过程来体现的，该过程表示

$$y(t) = e^{-\varphi t} \left[ y_0 + \varphi \int_0^t e^{\varphi \varepsilon} x(\varepsilon) d\varepsilon \right] \quad (3.1)$$

其中  $y_0$  表示初始的参考质量； $\varphi$  表示消费者参考质量记忆参数，若  $\varphi$  处于较高水平则表示消费者拥有更短期的记忆或者说对于产品的忠诚度更低，另一种对于消费者参考质量记忆参数  $\varphi$  的解释是参考质量的调整速度。将式(4.1)两边同时对时间  $t$  求导可得如下关系式

$$\dot{y}(t) = \varphi(x(t) - y(t)) \quad (3.2)$$

当产品的质量  $x(t)$  大于参考质量  $y(t)$ ，此时  $\dot{y}(t) > 0$ ，参考质量随时间增长而增长，表示当产品实际质量高于消费者的参考质量时，消费者心里会留下一个记忆，这个记忆会提升该产品在消费者心中的预期，反之亦然。

接下来考虑垄断新能源汽车企业创新投入的干中学，知识积累  $A(t)$  的函数形式可以通过积分形式表示：

$$A(t)e^{\theta t} = \int_0^t \tau k(\varepsilon)e^{\theta \varepsilon} d\varepsilon + A_0 \quad (3.3)$$

其中  $A_0$  表示初始的知识量； $\tau$  表示垄断新能源汽车企业知识积累效率，若  $\tau$  处于较高水平则表示垄断新能源汽车企业拥有更高的学习效率，知识积累的速度也就越快，干中学效应也越强。 $\theta$  表示垄断新能源汽车企业知识累计衰减率，若  $\theta$  处于较高水平则表示垄断新能源汽车企业拥有更高的知识遗忘率，知识积累的速度将减慢。将式(4.3)两边同时对时间  $t$  求导可得如下关系式：

$$\dot{A}(t) = \tau k(t) - \theta A(t) \quad (3.4)$$

垄断新能源汽车企业进行创新决策所花费的费用则变成  $k^2(t)/2 - b(A(t) - A_0)$ 。

为了更加具体地分析新能源汽车企业的决策，将垄断新能源汽车企业生产单位产品的成本  $c = 0$ ，消费者需求函数  $S(t) = S(p(t), x(t), y(t))$  设定为：

$$S(x(t), p(t), y(t)) = a - a_1 p(t) + a_2 x(t) + a_3 (x(t) - y(t)) \quad (3.5)$$



则在考虑参考质量和干中学情况下，新能源汽车企业进行科技创新投资在连续时间  $t \in [0, \infty)$  内的瞬时利润函数表示为：

$$\pi(t) = (p(t) + h\gamma x(t))S(x(t), p(t), y(t)) - [\frac{1}{2}k^2(t) - b(A(t) - A_0)] \quad (3.6)$$

接下来将从新能源汽车企业利润最大和社会福利最大两个不同视角分别探讨决策行为。

### 4.1.2 符号说明

为了更好地表述模型，将本章中的各变量、参数汇总到如下表 4.1 中。

表 4.1 双积分政策下考虑参考质量和干中学时新能源汽车企业动态创新决策模型符号说明

类型	符号	定义
决策变量	$k(t)$	$t$ 时刻垄断新能源汽车企业创新投入水平
	$p(t)$	$t$ 时刻新能源汽车企业产品的价格
状态变量	$x(t)$	$t$ 时刻新能源汽车企业科技含量水平
	$y(t)$	$t$ 时刻消费者参考质量水平
	$S(t)$	$t$ 时刻消费者需求
	$\pi(t)$	$t$ 时刻垄断新能源汽车企业瞬时利润
	$\lambda_i(t)$	新能源汽车企业利润最大视角下的共态变量（影子价格） $i = 1, 2, 3$
参数	$sw(t)$	$t$ 时刻社会福利
	$cs(t)$	$t$ 时刻消费者剩余
	$v_i(t)$	社会福利最大视角下的共态变量（影子价格） $i = 1, 2, 3$
	$\delta$	新能源汽车企业质量提升衰减率， $\delta > 0$
	$\gamma$	积分量转换系数， $\gamma > 0$
	$h$	积分单价， $h > 0$
	$\varphi$	消费者参考质量记忆参数， $\varphi > 0$
	$\theta$	垄断新能源汽车企业干中学知识衰减效率， $\theta > 0$
	$\tau$	垄断新能源汽车企业干中学知识积累效率， $\tau > 0$
	$b$	知识积累转化率， $b > 0$
	$r$	贴现率， $r > 0$
	$a$	市场需求总量， $a > 0$
	$a_1$	价格对需求影响系数， $a_1 > 0$
$a_2$	产品科技含量水平对需求影响系数， $a_2 > 0$	
$a_3$	参考质量效应对需求影响系数， $a_3 > 0$	

## 4.2 新能源汽车企业利润最大化视角

根据式(3.1)、(4.2)、(4.4)及(4.6)可得出,考虑消费者参考质量、新能源汽车企业干中学,新能源汽车企业利润最大化视角下无限水平时间最优控制模型

$$\begin{aligned} \Pi = \max_{p(t), k(t)} \int_0^{+\infty} e^{-rt} \{ (p(t) + h\gamma x(t)) S(x(t), p(t), y(t)) - [\frac{1}{2} k^2(t) - b(A(t) - A_0)] \} dt \\ \text{s.t.} \begin{cases} \dot{x}(t) = k(t) - \delta x(t) \\ \dot{y}(t) = \varphi(x(t) - y(t)) \\ \dot{A}(t) = \tau k(t) - \theta A(t) \end{cases} \end{aligned} \quad (3.7)$$

### 4.2.1 模型分析与最优特性

为了解决上述最优控制模型,利用庞特里亚金的最大值原理求解。求得该模型的当前值汉密尔顿函数:

$$\begin{aligned} H = (p(t) + h\gamma x(t)) \left[ a - a_1 p(t) + a_2 x(t) + a_3 (x(t) - y(t)) \right] - \frac{1}{2} k^2(t) \\ + b(A(t) - A_0) + \lambda_1 [k(t) - \delta x(t)] + \lambda_2 [\varphi(x(t) - y(t))] + \lambda_3 [\tau k(t) - \theta A(t)] \end{aligned} \quad (3.8)$$

其中  $\lambda_i(t), i=1,2,3$  分别表示对应状态变量  $x(t), y(t), A(t)$  的共态变量或者称为影子价格。

写出模型的一阶条件:

$$\frac{\partial H}{\partial p(t)} = a - a_1 p(t) + a_2 x(t) + a_3 (x(t) - y(t)) - a_1 (h\gamma x(t) + p) = 0 \quad (3.9)$$

$$p(t) = -\frac{a_1 \gamma h - a_2 - a_3}{2a_1} x(t) - \frac{a_3}{2a_1} y(t) + \frac{a}{2a_1} \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial H}{\partial k(t)} = \tau \lambda_3(t) - k(t) + \lambda_1(t) = 0 \quad (3.11)$$

$$k(t) = \lambda_1(t) + \tau \lambda_3(t) \quad (3.12)$$

分析满足一阶条件无限水平生产周期下新能源汽车企业的定价策略。从式

(4.10)容易看出在新能源汽车企业的整个决策生命期内，产品在任意时刻 $t$ 的定价 $p(t)$ 与纯电动车的科技含量水平 $x(t)$ 、消费者的参考科技水平 $y(t)$ 相关，对相关变量分别求偏导得如下命题，

命题 4.1 新能源汽车企业在无限水平条件下，连续时间 $t \in [0, \infty)$ 内的定价

具有如下特征：(i) 当 $0 < h < \frac{a_2 + a_3}{a_1 \gamma}$ 时 $\frac{\partial p(t)}{\partial x(t)} > 0$ ，当 $h > \frac{a_2 + a_3}{a_1 \gamma}$ 时 $\frac{\partial p(t)}{\partial x(t)} < 0$ ；

$$(ii) \frac{\partial p(t)}{\partial x(t)} = -\frac{a_1 \gamma h - a_2 - a_3}{2a_1} < 0$$

命题 4.1- (i) 表明当市场上的新能源积分价格 $h$ 处于较低水平，满足

$h < \frac{(a_2 + a_3)}{\gamma a_1}$ 时，新能源汽车企业对于纯电动车的定价将随着其科技含量水平的提高而提高，反之，当 $h > \frac{(a_2 + a_3)}{(a_1 + a_4) \gamma}$ 时，定价随科技含量水平的提高而降低。

这是因为当积分价格较高时，新能源汽车企业更看重新能源积分带来的收益，此时用依靠“薄利多销”的策略能获得更多的收益。当积分价格较低时，新能源汽车企业则更需要通过销售产品来获取利润，此时科技含量水平越高与商场上的竞品的差异度将越大，提高产品的售价是更好的获利手段。

命题 4.1- (ii) 表明新能源汽车企业对新能源汽车的定价高低与消费者心中的参考科技水平高低呈负相关，消费者心中的参考科技水平越高（低）新能源汽车企业对于产品的定价越低（高）。

模型的共态变量运动方程如下：

$$\dot{\lambda}_1 = r\lambda_1 - \frac{\partial H}{\partial x} = -h\gamma S - (\gamma hx + p)(a_2 + a_3) + (\delta + r)\lambda_1 - \lambda_2 \varphi \quad (3.13)$$

$$\dot{\lambda}_2 = r\lambda_2 - \frac{\partial H}{\partial y} = (\gamma hx + p)a_3 + (\varphi + r)\lambda_2 \quad (3.14)$$

$$\dot{\lambda}_3 = r\lambda_3 - \frac{\partial H}{\partial A} = (r + \theta)\lambda_3 - b \quad (3.15)$$

边界条件

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt} \lambda_1(t) = 0; \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt} \lambda_2(t) = 0; \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt} \lambda_3(t) = 0 \quad (3.16)$$

将式(4.10)及(4.12)分别带入系统和共态变量运动方程中，可得如下系统

$$\dot{x} = k - \delta x \quad (3.17)$$

$$\dot{y} = \varphi x - \varphi y \quad (3.18)$$

$$\dot{A}(t) = \tau(\tau\lambda_3 + \lambda_1) - \theta A \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}_1 = & -\frac{(a_1\gamma h + a_2 + a_3)^2}{2a_1}x + \frac{a_3(a_1\gamma h + a_2 + a_3)}{2a_1}y + (\delta + r)\lambda_1 \\ & - \varphi\lambda_2 - \frac{a(a_1\gamma h + a_2 + a_3)}{2a_1} \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\dot{\lambda}_2 = \frac{a_3(a_1\gamma h + a_2 + a_3)}{2a_1}x - \frac{a_3^2 y}{2a_1} + (r + \varphi)\lambda_2 + \frac{aa_3}{2a_1} \quad (3.21)$$

$$\dot{\lambda}_3 = (r + \theta)\lambda_3 - b \quad (3.22)$$

对式(4.12)两端同时对时间  $t$  求导可得

$$\begin{aligned} \dot{k}(t) = & (\delta + r)k(t) - \frac{(a_1\gamma h + a_2 + a_3)^2}{2a_1}x(t) + \frac{a_3(a_1\gamma h + a_2 + a_3)}{2a_1}y(t) \\ & - \varphi\lambda_2(t) - \delta\tau\lambda_3(t) - \tau b - \frac{h\gamma a}{2} - \frac{a(a_2 + a_3)}{2a_1} \end{aligned} \quad (3.23)$$

分析式(4.23)可知在企业的整个决策生命期内，产品在任意时刻  $t$  的创新研发努力的变化率  $\frac{dk}{dt}$  与纯电动车产品的科技含量水平  $x(t)$ 、消费者的参考科技水平  $y(t)$ 、消费者的参考价格  $z(t)$  以及各状态变量的影子价格  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  相关，对相关变量分别求偏导得如下命题：

命题 4.2 新能源汽车企业在无限水平条件下，连续时间  $t \in [0, \infty)$  内的创新

研发瞬时投资率具有如下特征：（i） $\frac{\partial k}{\partial x} = -\frac{(a_1\gamma h + a_2 + a_3)^2}{2a_1} < 0$ ，

$$\frac{\partial k}{\partial y} = \frac{a_3(a_1\gamma h + a_2 + a_3)}{2a_1} > 0。$$

命题 4.2 表明新能源汽车企业创新研发的瞬时投资率随纯电动车产品的科技水平含量的变大而减小，这说明在现有的双积分政策下，当纯电动车产品有

较高的科技含量水平时，企业将逐步减少创新研发的投入，因为单个产品能够获得的积分是有上限的，再加上随着科技含量水平的升高，提升产品单位科技含量水平所需要的成本也在快速增大；新能源汽车企业创新研发的瞬时投资率与消费者的参考科技水平呈正相关关系。消费者参考质量水平越高（低），则新能源汽车企业创新研发的瞬时投资率  $\dot{k}$  就会提升（降低）。

### 4.2.2 稳态分析

稳态条件下  $\dot{\lambda}_1(t) = \dot{\lambda}_2(t) = \dot{\lambda}_3(t) = 0$ ，则令式(4.13)、(4.14)、(4.15)等于 0，得到最优创新研发投资的稳态表达式如下：

$$k^m(x, y) = G(a_1\gamma h + a_2 + a_3)x(t) - Ga_3y(t) + \frac{b\tau}{r + \theta} + aG \quad (3.24)$$

其中

$$G = \frac{(a_1\gamma h + a_2 + a_3)r + \varphi(a_1\gamma h + a_2)}{2a_1(r + \varphi)(r + \delta)}$$

讨论稳态下状态变量  $x(t)$ 、 $y(t)$  对稳态条件下的决策变量  $k^m(x, y)$  的影响，将  $k^m(x, y)$  分别对状态变量求偏导可得如下命题

$$\frac{\partial k^m}{\partial x(t)} = G(a_1\gamma h + a_2 + a_3) > 0 \quad (3.25)$$

$$\frac{\partial k^m}{\partial y(t)} = -Ga_3 < 0 \quad (3.26)$$

命题 4.3 当系统到达稳定状态后，新能源汽车企业在连续时间  $t \in [0, \infty)$  内的创新研发投入具有如下特征： $\frac{\partial k^m}{\partial x(t)} > 0$ ， $\frac{\partial k^m}{\partial y(t)} < 0$ 。

命题 4.3 表明稳态条件下的企业创新研发投资水平  $k^m(x, y)$  会随着纯电动车产品的科技含量水平  $x(t)$  和参考价格水平  $z(t)$  的提高（减小）而提高（减小），而随着参考科技水平  $y(t)$  的提高（减小）而减小（提高）。

接下来讨论系统进入稳态时，状态变量及控制变量的均衡值。在稳态条件下，系统(4.17)-(4.22)中状态变量和共态变量的变化率为0，即 $\dot{x} = \dot{y} = \dot{A} = 0$ ， $\dot{\lambda}_1 = \dot{\lambda}_2 = \dot{\lambda}_3 = 0$ 。具体处理方式是令(4.22)等于0，解出稳定状态下共态变量 $\lambda_3^m$ 的表达式。同理，将 $\lambda_3^m$ 代入(4.21)并令其为零，可解出稳定状态下共态变量 $\lambda_2^m$ 的表达式。最后将 $\lambda_2^m$ 、 $\lambda_3^m$ 的值代入(4.20)并令其为零，可解出稳定状态下共态变量 $\lambda_1^m$ 的表达式。最后将 $\lambda_1^m$ 、 $\lambda_2^m$ 、 $\lambda_3^m$ 代入式(4.17)-(4.19)并令其都为零，可得到关于稳态下状态变量 $x^m$ 、 $y^m$ 、 $z^m$ 的三个方程，应用解方程方法便可求得稳态下状态变量 $x^m$ 、 $y^m$ 、 $k^m$ 的值如下，

$$x^m = y^m = \frac{G_1 r^2 + G_2 r - G_3 \varphi}{(r + \theta)(-2a_1 \delta r^2 + G_4 r + G_5 \varphi)} \quad (3.27)$$

$$G_1 = (-h\gamma a - 2\tau b)a_1 - a(a_2 + a_3)$$

$$G_2 = (-a\gamma\theta h - (h\gamma a + 2\tau b)\varphi - 2b\tau\delta)a_1 - (\theta(a_2 + a_3) + \varphi a_2)a$$

$$\text{其中 } G_3 = (a\gamma\theta h + 2b\tau\delta)a_1 + aa_2\theta$$

$$G_4 = a_1^2 \gamma^2 h^2 + (-2\varphi\delta + h(2a_2 + a_3)\gamma - 2\delta^2)a_1 + a_2(a_2 + a_3)$$

$$G_5 = a_1^2 \gamma^2 h^2 + (2a_2\gamma h - 2\delta^2)a_1 + a_2^2$$

根据式(4.17)并代入状态变量稳态时的值 $x^m$ 可得稳态下创新研发投入值

$$k^m = \delta x^m \quad (3.28)$$

根据式公式(4.10)可得

$$A^m = \frac{\tau}{\theta} k^m \quad (3.29)$$

$$p^m = -\frac{(a_1\gamma h - a_2 - a_3)x^m}{2a_1} - \frac{a_3 y^m}{2a_1} + \frac{a}{2a_1} \quad (3.30)$$

对稳态下创新研发投入水平 $k^m$ 关于积分价格 $h$ 、科技含量记忆参数 $\varphi$ 、干中学经验积累增长率 $\tau$ 、干中学经验记忆衰退率 $\theta$ 的敏感性分析、知识积累转化率 $b$ 等重要参数进行敏感性分析。

**命题 4.4** 稳态下，新能源汽车企业利润最优目标下，其最优创新研发投入

具有如下特征：(i)  $\frac{\partial k^m}{\partial A^m} > 0$ ；(ii)  $\frac{\partial k^m}{\partial h} > 0$ 、 $\frac{\partial k^m}{\partial \varphi} < 0$ ；(iii) 当

$$h > \frac{2\delta(\delta r + \varphi\delta + r^2 + r\varphi)}{\gamma(2a_2r + 2\varphi a_2 + a_3r)} \text{ 时, } \frac{\partial k^m}{\partial b} < 0, \frac{\partial k^m}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial k^m}{\partial \tau} < 0。$$

命题 4.4- (i) 表述了稳态下, 新能源汽车企业的创新研发投入随知识积累量的提高(降低)而增加(减少), 这是因为新能源汽车企业积累的知识量足够多时, 他们越善于进行创新, 创新投入的收益也更高, 从而促使新能源汽车企业更愿意增加研发投入。

命题 4.4- (ii) 表述了稳态下, 新能源汽车企业的创新研发投入随市场上新能源积分价格的走高(降低)而增加(减少), 这是因为积分价格较高时, 新能源汽车企业更愿意增加研发投入以获得更多积分收益; 新能源汽车企业的创新研发投入随消费者科技记忆参数的提高(减少)而减少(增加), 这是因为科技记忆参数越大意味着消费者对于纯电动车科技含量方面的忠诚度越低, 此时新能源汽车企业更不愿意研发投入来提高产品的科技含量。

命题 4.4- (iii) 表述了稳态下, 当新能源积分价格处于较高水平时, 新能源汽车企业创新研发投入与新能源汽车企业知识转化率、知识积累效率参数、知识积累遗忘参数有关。稳态时的创新研发投入水平随着新能源汽车企业创新研发投入与新能源汽车企业知识转化率的提高而减小, 随消费者参考质量记忆力的提高而减小, 随消费者参考质量遗忘性的提高而提高。

接下来我们要解决系统稳定性的问题, 研究系统能否达到稳态, 若能达到稳态则到达稳态的方式是什么。构建系统方程组如下:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{k}(t) = (\delta + r)k(t) - \frac{(a_1\gamma h + a_2 + a_3)^2}{2a_1}x(t) + \frac{a_3(a_1\gamma h + a_2 + a_3)}{2a_1}y(t) \\ -\varphi\lambda_2(t) + \tau(\theta - \delta)\lambda_3(t) - \tau b - \frac{h\gamma a}{2} - \frac{a(a_2 + a_3)}{2a_1} \\ \dot{\lambda}_2 = \left( \gamma h - \frac{a_1\gamma h - a_2 - a_3}{2a_1} \right) a_3 x - \frac{a_3^2 y}{2a_1} + (r + \varphi)\lambda_2 + \frac{aa_3}{2a_1} \\ \dot{x}(t) = k(t) - \delta x(t) \\ \dot{y}(t) = \varphi(x(t) - y(t)) \end{array} \right. \quad (3.31)$$

记  $J^m = \frac{\partial(\dot{k}, \dot{\lambda}_2, \dot{x}, \dot{y})}{\partial(k, \lambda_2, x, y)}$  为上述微分方程系统的雅可比矩阵, 则

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/056224015020010044>