

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2021.12.004

异质行为下新能源汽车的技术采纳与扩散^①

杜慧滨, 邹宏阳*, 张永杰, 赵倩倩

(天津大学管理与经济学部, 天津 300072)

摘要: 推广新能源汽车已成为各国政府防治大气污染、减缓气候变化的重要举措。近年来, 新能源汽车补贴退坡明显, 在一定程度上降低了产业的发展速度。如何在后补贴时代推进新能源汽车的技术采纳与扩散, 已成为保障产业持续发展的关键。本研究从异质行为视角, 通过构建新能源汽车技术扩散模型, 模拟了消费者受自身意识和外界信息传播影响的购买决策行为; 并以天津市为例, 探讨了信息传播范围和传播渠道对新能源汽车技术扩散的影响机制。研究结果表明, 天津市新能源汽车私人购买量在2020年~2030年将以年均12.8%的速度增长, 随后购买增速将逐步放缓; 同时, 由于受到负面信息的干扰, 新能源汽车购买数量的饱和水平会随信息传播范围扩大而呈现出“微笑曲线”特征; 在信息传播渠道方面, 消费者在社交网络中的强联系更有利于新能源汽车购买数量达到较高饱和水平, 而弱联系则对提高技术扩散的效率更为有效。根据信息传播范围和渠道的作用规律, 本文最后从推进新能源汽车采纳的激励政策和企业营销策略两方面给出了具体建议。

关键词: 新能源汽车; 技术扩散; 主体建模; 信息传播

中图分类号: F206; N945.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2021)12-0062-15

0 引言

新能源汽车作为国家战略性新兴产业之一, 是交通行业协同应对大气污染与气候变化的重要举措。据统计, 自2010年国家正式开始实施新能源汽车补贴以来, 新能源汽车销售量年均增长率为86.6%, 2019年已达到120.6万辆^②。尽管新能源汽车销售量始终保持高速增长, 但其市场占有率在2019年仅为4.7%^③。当前新能源汽车市场渗透速度放缓的原因主要包括两个方面: 一方面, 新能源汽车购置补贴加速退坡一定程度降低了消费者的购买意愿, 同时使得生产企业趋向制定更加保守的生产计划; 另一方面, 新能源汽车市场当前仍然处于起步阶段, 与传统燃油汽车相比, 生产企

业无法充分了解消费者的选择偏好或购买意愿。因此, 如何了解消费者技术采纳意愿, 探寻新能源汽车技术扩散路径和规律, 对企业制定市场策略以及政府合理调整补贴力度至关重要。

从技术创新的生命周期来看, 我国新能源汽车产业已从研发阶段过渡到扩散阶段^[1]。区别于研发阶段依靠“供给推动”加速产业发展, 扩散阶段则需要依靠“需求拉动”推进新能源汽车的市场渗透^[2]。而需求市场中消费者偏好和行为的异质性会影响“需求拉动”发挥作用, 一方面, 消费者的技术采纳行为会受到自身态度、意识、价值观等主观因素的影响, 这些主观因素难以被量化分析, 导致无法对消费者的技术采纳行为进行准确

① 收稿日期: 2020-02-21; 修订日期: 2020-12-12。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71834004; 72004159; 71673198)。

通讯作者: 邹宏阳(1990—), 男, 天津人, 博士, 讲师。Email: zouhongyang@tju.edu.cn

② 数据来源于智研咨询《2020年~2026年中国新能源汽车行业发展现状分析及投资方向研究报告》。

③ 数据来源于智研咨询《2020年~2026年中国新能源汽车行业发展现状分析及投资方向研究报告》。

预测^[3];另一方面,在市场信息传播中,消费者的技术采纳行为会受到他人购车意愿的影响而呈现异质性.这种异质行为会进一步影响市场部署策略,如新能源汽车市场销量的规划、购车补贴的调整等.在新能源汽车的技术扩散中,如果忽视这种影响,部署策略将难以有效引导消费者的技术采纳行为^[4].综上,为了设计精准的新能源汽车市场部署策略,推进新能源汽车的技术扩散,实现污染物和温室气体的协同减排,需要明晰两个关键问题:一是消费者的异质性偏好如何影响其最终的技术采纳行为^[5];二是消费者的技术采纳如何推进新能源汽车的技术扩散^[6,7].

1 文献回顾

在技术扩散阶段,以补贴、减免税等方式为主的政策激励直接促进了新能源汽车的技术采纳;但随着产业扩张、市场商业化的出现,政策激励需要转变为市场化手段以保证新能源汽车产业的持续发展^[8].这就需要企业充分了解消费者信息,以制定合理的市场部署策略和营销策略.以往研究已对消费者购买新能源汽车的影响因素开展了广泛研究,总体可以分为三类:首先,心理因素直接影响消费者的购车意愿水平,并且能够通过调节消费者对客观因素的认知水平而影响其技术采纳行为,例如,Moons等^[9]将消费者的情绪反应嵌入到计划行为理论中,发现部分新能源汽车消费者更关注驾驶体验等反应性情绪而非对技术使用产生愉悦等行为性情绪.又如Burgess等^[10]发现对新能源汽车的体验经历会使消费者从怀疑态度转变为积极的支持态度,进而改变他们对新能源汽车的认知.其次,新能源汽车的技术效率、成本等客观因素也影响着消费者的技术采纳行为^[11],例如,Egbue和Long^[12]通过辨识消费者对新能源汽车技术采纳的社会技术障碍,发现消费者关于可持续发展和环境保护的态度和知识对其技术采纳确实存在促进作用,但作用效果要劣于消费者对成本和技术效益的关注.此外,Zarazua^[13]调查了新能源汽车的需求市场,并将消费者群体分为六类,其研究结果发现产品价格是影响短期内新

能源汽车技术采纳的决定因素,同时充电设施对经济和环境敏感型消费者的购买行为更具吸引力.最后,消费者的社会背景信息也是影响其技术采纳的因素之一,例如Carley等^[14]、Plötz等^[15]试图辨识出新能源汽车早期购买者的社会特征,他们发现这些早期采纳者以中青年为主,并且拥有较为良好的教育背景,特别是那些关注环境保护以及石油依赖度高的群体.

尽管众多研究者对新能源汽车技术采纳的影响因素进行了分析,但技术采纳是消费者面对新能源汽车和传统汽车进行选择决策的动态过程.因此,模拟消费者如何考虑不同影响因素做出最终决策,成为探寻新能源汽车技术扩散机理的必要前提^[16,17].例如Hackbarth和Madlener^[18]利用离散选择数据构建了混合logit模型,分析了德国新能源汽车的市场需求潜力和消费者的支付意愿,进而测算了不同激励水平下新能源汽车的市场占有率;类似地,Byun等^[19]利用离散选择模型分析了消费者对新能源汽车的技术偏好,同时预测了未来市场比例的动态变化,其研究综合考虑了燃料类型、购买价格、驾驶距离等一系列影响消费者技术采纳的因素,进而探寻了满足市场渗透目标中所需的政策机制以及充电桩数量、价格等客观条件.离散选择模型使学者们可以较为准确地描述消费者偏好对其技术采纳的影响,进而掌握影响市场渗透的关键因素^[20,21].但总体来说,这部分研究聚焦在“静态”的消费者偏好^[22],即消费者如何根据当前自身属性(收入、年龄等)和外部属性(技术成本、可靠性等)对新能源汽车购买做出决策^[17,23].事实上,消费者的心理因素会随政策、舆论等外界信息的干扰而改变,并会影响消费者对自身属性和外部属性的重视程度,进而引发技术偏好的变化^[24].因此,技术扩散不仅仅是个体对技术的选择决策,同时也是个体之间相互联系、相互影响的结果.

著名的Bass扩散模型将消费者分为创新者和模仿者,通过综合考虑两类群体间的信息传播及外界信息干扰,预测创新者数量变化、考察技术在市场中的扩散规律^[25].随着可再生能源技术在需求侧的引入(如屋顶光伏和新能源汽车等),

Bass 扩散模型已成为考察个体间信息传播对技术扩散作用的重要工具. 但无论是离散选择模型还是 Bass 扩散模型, 都是基于理性人假设建立的, 即假设个体偏好是同质性的、个体的加总行为结果近似于真实的市场运行结果, 忽略了现实中消费者偏好其实是异质性的^[26].

从分析消费者技术采纳的影响因素到模拟消费者的购买决策, 再到考虑消费者间的交互行为^[27], 这一系列研究的目的是逐步还原市场的真实情况, 以更准确地预测出未来新能源产业的发展路径. 而现实中, 消费者的异质性偏好造成了其对外界信息干扰承受程度和对技术接受程度的差异^[28]: 一方面, 由于理性人的假设, 这些差异较难在以往的扩散模型中进行刻画考虑^[29, 30]; 另一方面, 这些差异直接影响了消费者的技术采纳, 并进一步决定了新能源汽车未来的技术扩散路径^[31, 32]. 主体建模方法 (agent-based modelling, ABM) 提供了一种灵活的建模框架, 通过考虑主体偏好、行为选择等异质性因素, 对复杂系统进行模拟, 在探究宏观系统运行特征的同时考察微观行为动机^[33, 34]. 这种方法已经广泛应用于创新技术扩散的研究当中, 例如 Robinson 和 Rai^[35] 利用主体建模方法, 并结合地理信息系统, 探究了屋顶光伏技术在空间和时间上的扩散特征; 又如 Eppstein 等^[36] 以插电式混合动力汽车为研究对象, 通过模拟消费者的决策行为, 探究技术在市场中的扩散规律和特征; Wolf 等^[37] 以纯电动车为例, 通过比较不同政策机制下的技术扩散路径, 分析出试点城市的建立相对于补贴和减免税政策更有利于产业的发展. 总体上, 上述研究一般以消费者的收入、年龄、购车年限等社会背景信息作为主体的异质性属性^[32, 38]. 尽管部分研究已利用问卷调查等方式考察了消费者对产品技术的态度或购买意愿, 并将其作为消费者异质性属性, 但仅限于消费者对价格成本、技术属性等客观因素的感知, 而忽略了消费者心理、态度等主观因素的影响, 无法全面刻画出消费者的异质性偏好, 从而造成对产品技术扩散潜力的估计不足^[39-41].

为了探寻新能源汽车的技术扩散路径, 不仅需要理清消费者购买意愿是如何支配其技术采纳

行为的, 同时需要从不同维度全面刻画消费者的异质性偏好, 从而更准确地预测出消费者行为. 鉴于此, 本研究从主体意识和行为间的联系出发, 首先基于计划行为理论和价值—信念—规范理论, 设计了新能源汽车购买意愿的调查问卷, 从行为态度、主观规范等方面全面刻画了消费者偏好, 弥补了以往研究较少关注消费者社会心理因素对行为决策影响的不足; 进而, 利用主体建模方法, 模拟了消费者购车意愿和技术采纳行为在信息传播中的动态变化, 预测出未来新能源汽车的扩散特征和路径; 最后, 借助消费者社交网络关系中信息传播范围和渠道的敏感性分析, 探讨了消费者购车意愿对技术采纳行为的影响机理, 给出政府关于产业规划的合理建议以及促进市场渗透的企业营销策略.

2 仿真模型与数据假设

2.1 新能源汽车技术扩散模型

在新能源汽车市场中, 消费者的购买行为是推动技术扩散的基础. 以往研究通常以新能源汽车为对象, 在假设消费者同质性的前提下, 采用回归分析方法对市场整体的演化特征进行分析, 造成了对真实情况的估计偏差. 而本研究基于主体建模方法, 选择新能源汽车的消费者作为活动主体, 构建了新能源汽车技术扩散模型, 通过调查消费者主体的技术选择偏好和技术采纳行为, 分析新能源汽车市场的发展路径, 获得其技术扩散特征. 如图 1 所示, 新能源汽车技术扩散模型主要包括三个部分, 分别为购买意愿调查、社会网络搭建、信息传播模拟.

在仿真模型运行之初, 需要进行参数初始化设置, 即对模型中的主体状态进行定义. 本研究中的模型主体为新能源汽车的消费者群体, 其初始化状态包括其购买行为的影响因素以及其是否已经购买新能源汽车等信息. 模型的迭代流程主要围绕消费者的新能源汽车购买行为进行.

具体地, 首先利用实证研究调查影响消费者主体购买意愿的因素, 量化其技术选择偏好;

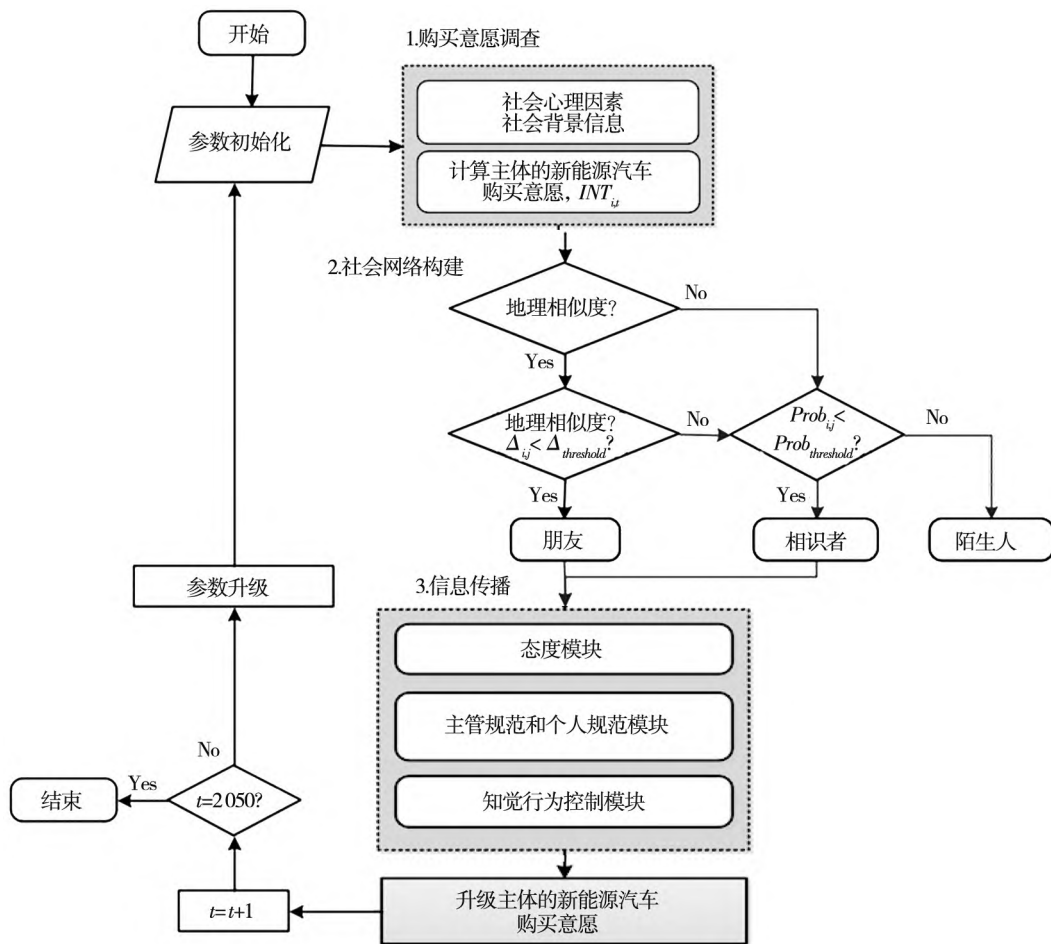


图 1 新能源汽车技术扩散模型的基本框架

Fig. 1 Basic framework of new energy vehicle (NEV) technology diffusion model

其次,利用消费者主体的地理位置、技术偏好等信息搭建其社交网络,确定新能源汽车的信息传播渠道;再次,通过设计信息传播规则,分析消费者主体的新能源汽车购买意愿因信息传播引起的变化,模拟技术扩散过程;最后,通过消费者主体的意愿变化程度判定其最终购买行为是否发生,从而探寻新能源汽车的技术扩散路径,获得影响技术扩散的微观行为特征,为新能源汽车市场的合理发展提供政策建议。

2.2 消费者主体购买意愿的实证调查

消费者的新能源汽车购买意愿通过《天津城市居民低碳意识与交通行为调查》问卷进行实证调查。量表的设计以计划行为理论为基础,加入个人规范和政策因素,同时考虑社会背景信息因素(如图 2 所示),其中社会心理因

素包括影响消费者购买意愿的态度、主观规范、知觉行为控制、个人规范四个变量,这些测量项可量化消费者的新能源汽车购买意愿。具体地,态度变量主要刻画了消费者对新能源汽车技术的观念、情感等稳定的心理倾向,这些心理倾向会受到技术成本、性能、服务等客观因素影响;主观规范代表了个体的技术选择受外界的公众意见、社交媒体以及朋友、同事观点的影响程度;个人规范则代表了个体的技术选择受自身道德标准、感觉的影响程度;知觉行为控制在本研究中主要反映在个体对新能源汽车的支付能力,主要受到消费者的收入水平和新能源汽车购置成本的影响。此外,问卷还设计了针对社会背景信息的调查,包括了年龄、教育程度、收入水平等,这些信息也会对消费者的新能源汽车购买意愿产生影响。

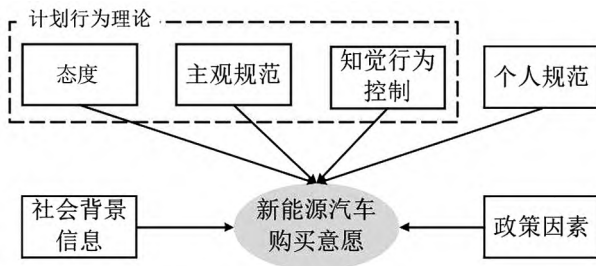


图 2 新能源汽车购买意愿量表的理论框架

Fig. 2 Theoretical framework of NEV purchase intention scale

问卷调查采用随机抽样法在天津市进行,一部分采用专业问卷调查网站进行付费发放;另一部分通过微信链接邀请填写. 问卷总计发放 930 份,其中收回有效问卷 811 份,有效回收率为 87.2%. 问卷设置问题采用五分制李克特量表,分为五个等级:非常赞同、比较赞同、一般、比较不赞同、完全不赞同,分值由 5 分到 1 分递减. 通过信度效度检验,问卷被证明具备高质量测量能力. 最后,利用层次回归分析法对问卷结果进行整理,分析消费者的新能源汽车购买意愿与社会心理、社会背景信息等变量间的因果关系,具体表达如式 (1) 所示

$$INT_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 AT_{i,t} + \beta_2 SN_{i,t} + \beta_3 PN_{i,t} + \beta_4 PBC_{i,t} + \beta_5 POL_{i,t} + \beta_6 CONTROL + \varepsilon \quad (1)$$

其中 INT 表示购车意愿; $\beta_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ 代表自变量和购车意愿之间的系数; AT 、 SN 、 PN 、 PBC 、 POL 分别表示购车态度、主观规范、个人规范、知觉行为控制、政策变量; $CONTROL$ 表示控制变量; ε 表示测量误差.

消费者的购车态度、主观规范、个人规范和知觉行为控制将作为描述消费者偏好的主体属性输入新能源汽车技术扩散模型. 这些属性会在主体信息传播过程中发生改变,进而影响主体的购车意愿,致使新能源汽车购买行为的发生.

2.3 消费者主体的社会网络构建

现实中,消费者主体的社交网络由不同身份的若干主体构成,其组成结构决定了主体的信息传播范围和渠道. 基于小世界网络理论,假设消费

者主体的社交网络由朋友、相识者和陌生人三类主体构成. 其中,朋友与消费者主体为固定关系,相识者和陌生人与消费者主体随机连接. 新能源汽车信息主要在朋友和相识者群体间进行交换或传播.

本研究定义的朋友群体并非代表现实中的朋友,而是指频繁交流新能源汽车信息的群体. 因此,主体社交网络中朋友群体的选择需满足两个条件,即相近的地理位置和社会属性^[42](如图 3 所示). 具体来讲,对于主体 i ,他的朋友首先将从与他临近的主体中选择. 在模型中,两个主体间的直线距离将代表现实中主体的居住或工作地点的邻近性. 然后,这些潜在的朋友群体将根据主体 i 的社会属性进行筛选,即主体 i 和主体 j 的社会差异性 $\Delta_{i,j}$. 借助 Blau 空间中的欧氏距离定义,社会差异性 $\Delta_{i,j}$ 的计算方法如式 2 所示

$$\Delta_{i,j} = \sqrt{\sum_{i,j \in X} (S_i - S_j)^2} \quad (2)$$

其中 S_i 和 S_j 代表消费者主体 i 和 j 的社会背景信息变量,包括性别、年龄、收入水平、教育程度、家庭成员等. 如果 $\Delta_{i,j}$ 低于预设的相似度门槛 $\Delta_{threshold}$,主体 j 将被最终定义为消费者主体 i 的朋友. 一旦消费者主体 i 已经辨识出他全部的朋友,这些朋友关系将被固定,即不会随模型运行而发生改变,因为现实中志同道合的挚友不会经常改变.

消费者主体的社交网络中相识者群体指的是那些与消费者联系不密切、但能够交流新能源汽车信息的群体. 与朋友群体相比,相识者群体代表了一种更为广泛的社交关系. 如图 3 所示,消费者主体 i 会从非朋友群体中随机连接 n 个主体,然后每个连接关系将产生一个 0 到 1 间的随机概率 $Prob_{i,j}$,如果该随机概率 $Prob_{i,j}$ 低于预设的概率门槛 $Prob_{threshold}$,主体 j 将被定义为消费者主体 i 的相识者. 在每期的模拟中,消费者主体的相识者群体将会改变而再次随机选择,这是与朋友关系的差异所在.

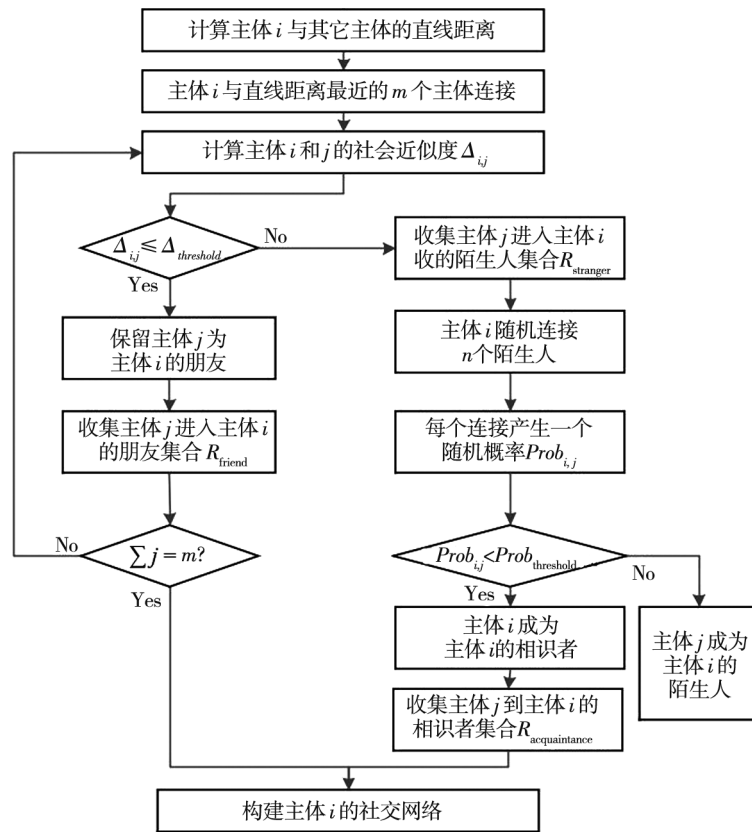


图 3 主体的朋友和相识者关系辨识的迭代流程

Fig. 3 Iterative process of identifying the relationship between friends and acquaintances of agents

2.4 消费者主体间新能源汽车信息传播

消费者主体对新能源汽车的购买意愿主要受到社会心理因素影响,如态度、道德标准等.在信息传播过程中,这些社会心理因素将会受到不同程度的影响.因此,对信息传播规则的设计主要围绕这些社会心理因素展开.

1) 态度模块

信息传播对消费者秉持的新能源汽车态度影响主要通过态度不确定性和态度重合度两个机制进行描述.在新能源汽车购买意愿的调查问卷中,态度变量通过五分制的李克特量表测度.具体而言,态度变量的分值越接近 3,即消费者对新能源汽车秉持的态度越中立,其购买新能源汽车的意愿越不确定.相反地,如果主体的态度变量越接近 1 或 5,其对新能源汽车秉持的态度越低或越高,消费者购车意愿的不确定性越低.因此,消费者的态度波动范围假设服从正态分布,如式(3)所示

$$U_{i,t} \sim N(2, 0.1^2) \text{ if } AT_{i,t} \in [2, 4]$$

$$U_{i,t} \sim N(1, 0.2^2) \text{ if } AT_{i,t} \in [1, 2) \cup (4, 5] \quad (3)$$

其中 $U_{i,t}$ 是消费者主体 i 在阶段 t 的态度波动范围, $AT_{i,t}$ 是消费者主体 i 在阶段 t 的态度水平.在经过信息传播影响后,主体的态度水平将处于 $[AT_{i,t} - U_{i,t}, AT_{i,t} + U_{i,t}]$ 范围内.如式(4)所示,比较两个主体的态度波动范围,可计算出主体间的态度重合度 $Overlap_{i,j,t}$,进而依据态度重合度可计算出消费者主体态度受信息传播影响后的变化程度 $\Delta AT_{i,t}$,具体如式(5)所示

$$Overlap_{i,j,t} = \min(AT_{i,t} + U_{i,t}, AT_{j,t} + U_{j,t}) - \max(AT_{i,t} - U_{i,t}, AT_{j,t} - U_{j,t}) \quad (4)$$

$$\Delta AT_{i,t} = \begin{cases} \frac{|Overlap_{i,j,t}|}{4} \times (AT_{j,t} - AT_{i,t}), & \text{if } Overlap_{i,j,t} > 0 \text{ or} \\ Overlap_{i,j,t} \leq 0 \cap j \in R_{\text{friend}} \\ 0, & \text{if } Overlap_{i,j,t} \leq 0 \cap j \in R_{\text{acquaintance}} \end{cases} \quad (5)$$

其中 R_{friend} 和 $R_{\text{acquaintance}}$ 代表消费者主体 i 的朋友

群体和相识者群体,态度重合度的最大值为4.信息传播主要发生在两种情况下:如果消费者主体*i*和主体*j*的态度重合度为正,主体*i*的态度将会受到主体*j*的信息传播而发生改变;如果主体间的态度重合度为负,朋友间的信息传播仍然会发生,而主体*i*将不会受到相识者群体的影响.

2) 主观规范和个人规范模块

在影响消费者主体购买意愿的社会心理因素中,主观规范和个人规范反映了主体与环境的交互关系.但由于二者是主体经历学习、成长等长期过程累积的结果,因此这两个变量较难发生改变.通过刻画主观规范和个人规范对消费者主体态度的作用,本研究间接表达了二者受信息传播的影响.具体地,高水平的个人规范代表了主体更坚持自身所秉持的观点,其态度很难受到外界信息的影响;相反地,高水平的主观规范意味着主体态度对外界的传播信息更为敏感.据此,在主观规范和个人规范的影响下,消费者主体*i*的最终态度水平表达如式(6)

$$AT_{i,t+1} = AT_{i,t} + \frac{SN_{i,t}}{SN_{i,t} + PN_{i,t}} \times \Delta AT_{i,t} \quad (6)$$

其中 $AT_{i,t+1}$ 是消费者主体*i*在阶段*t+1*的态度水平, $SN_{i,t}$ 和 $PN_{i,t}$ 是消费者主体*i*在阶段*t*的主观规范和个人规范的水平.如果 $PN_{i,t} / SN_{i,t}$ 越高,主体的态度水平变化越小;相反地,较低的 $PN_{i,t} / SN_{i,t}$ 会引起较高级别的信息干扰,消费者主体的态度水平会因此变化更剧烈.

3) 知觉行为控制模块

在计划行为理论中,知觉行为控制代表了当主体采取某一特定行为时,主体感知的控制程度.本研究利用知觉行为控制来表达消费者主体的新能源汽车支付能力.一方面,知觉行为控制的水平越高,主体购买新能源汽车的可能性越高;另一方面,消费者主体的知觉行为控制水平受到新能源汽车成本变化的影响,拥有较高水平的主体将对成本下降表示出不敏感,而具有较低知觉行为控

制水平的主体更容易受到成本下降的诱导选择购买新能源汽车.因此,消费者主体的知觉行为控制水平 $PBC_{i,t+1}$ 的计算如式(7)所示

$$PBC_{i,t+1} = \frac{1}{PBC_{i,t}} \times \Delta cost + PBC_{i,t} \quad (7)$$

其中 $PBC_{i,t+1}$ 是消费者主体*i*在阶段*t+1*的知觉行为控制水平; $\Delta cost$ 是新能源汽车购置成本的年均下降率.新能源汽车购置成本变化越高,消费者主体的知觉行为控制水平变化越高,但该变化对知觉行为控制水平较高主体的作用不显著.

总体上,信息传播规则的设计同时考虑了消费者主体的技术选择偏好和受经济约束的影响.在经历信息传播后,消费者对新能源汽车的购买意愿将被重新计算,如式(8)所示

$$INT_{i,t+1} = INT_{i,t} + \beta_2(AT_{i,t+1} - AT_{i,t}) + \beta_5(PBC_{i,t+1} - PBC_{i,t}) \quad (8)$$

2.5 实证研究数据和假设

消费者主体购买意愿的实证调查在天津市开展,共回收811份有效问卷.在新能源汽车技术扩散模型中,每份调查问卷将代表一个消费者主体.调查中的社会心理和社会背景信息将作为主体的初始状态被输入到模型中,模型通过主体建模软件Netlogo进行.图4表示消费者主体信息输入Netlogo软件后的分布图,黑色点代表了消费者主体,颜色越深代表主体的新能源汽车购买意愿越高.分布图中主体的位置为随机给定,并被假设为真实世界中居住或工作的地理位置;灰色线代表了主体之间的联系,包括朋友和相识者关系,信息仅在灰色线连接的主体间传播并依据相应关系的传播规则进行.

消费者主体购买意愿的调查问卷中通过五分制李克特量表进行数据采集,5分代表了主体购买意愿的最高值.但在调查中,即使主体持有较高的购买意愿,其实际购买行为并不会必然发生.因此,为了分析市场中真实的新能源汽车购买行为,计算了由高购车意愿主体向实际购买主体的转移

比例. 根据 2015 年天津市新能源汽车私人保有量和劳动力数量比例, 测算 811 份样本中的新能源汽车购买主体的数量, 进而同高意愿主体的数量进行比较, 计算转移比例为 1.04%. 该比例将用于对未来购买新能源汽车的主体数量的预测, 以刻画出新能源汽车的技术扩散路径.

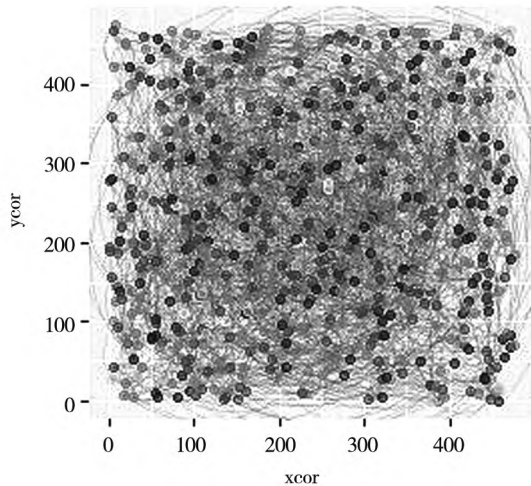


图 4 消费者主体在 Netlogo 软件中的分布

Fig. 4 Distribution of consumer agents in Netlogo software

3 新能源汽车技术扩散的实证分析 ——以天津市为例

3.1 新能源汽车技术扩散路径

利用新能源汽车的技术扩散模型, 本文测算了消费者主体在信息传播影响下的购买意愿变化, 并基于主体由高意愿水平到实际购买行为的转移假设, 预测出不同阶段天津市新能源汽车的私人购买数量. 模型迭代运行 840 次, 每两次迭代运行代表一个月时长. 图 5 显示了 2015 年 ~ 2050 年天津市私人购置新能源汽车数量的变化趋势, 整体呈现“S”形曲线变化, 符合技术扩散的一般规律.

Bergek 等^[1] 在分析技术创新系统时, 将技术扩散分为萌芽、桥接和成熟三个阶段. 根据新能源汽车产业发展潜力和模型预测结果, 将三阶段进行了时间序列的划定. 2009 年 ~ 2015 年(萌芽阶

段): 国家开始关注与扶持新能源汽车产业发展, 相关补贴激励政策陆续实施, 如《关于开展私人购买新能源汽车补贴试点的通知(财建[2010]230号)》作为我国第一份新能源汽车补贴政策于 2010 年开始实施. 但此时产业发展尚未形成规模、市场占有率较小. 到 2015 年, 天津市私人购置新能源汽车数量不足万量(4 925 辆), 仅占全市汽车总量的 0.21%. 2016 年 ~ 2030 年(桥接阶段): 如图 5 所示, 天津市新能源汽车个人购置数量分别在 2020 年和 2030 年达到 18.2 万辆和 60.4 万辆, 其中 2020 年预测数据高于其它机构预测结果, 一方面, 本文构建的技术扩散模型综合考虑了信息传播对技术采纳的影响, 其推进作用会加速新能源汽车的市场渗透; 另一方面, 参考其它新兴产业, 例如光伏发电产业, 由于技术创新的扩散作用, 其实际装机容量总是高于公共部门的规划目标. 因此, 本文的预测结果相对合理, 同时较为准确地描绘出未来十年新能源汽车快速发展的趋势. 2031 年 ~ 2050 年(成熟阶段): 该阶段的个人购置新能源汽车数量继续增长, 但增速放缓, 对比桥接阶段中 2020 年 ~ 2030 年年均增长 12.8%, 2031 年 ~ 2040 年、2041 年 ~ 2050 年增速分别下降到 4.14% 和 2.46%.

根据个人购置新能源汽车数量的变化趋势判断, 在信息传播下, 新能源汽车的技术扩散路径没有呈现平缓且持续增长的趋势, 而是先以高速增长随后增速逐渐放缓至市场饱和. 因此, 上述划分的桥接阶段(2016 年 ~ 2030 年)是新能源汽车产业发展的关键. 公共部门可针对此阶段的扩散特征调整或采取如下市场策略: 1) 政府可快速降低补贴额度, 在桥接阶段完成补贴退坡, 从而仅依靠信息传播机制保障新能源汽车技术的扩散; 2) 政府、电网企业等主体应加速充电桩在城市中的规划和建设以应对桥接阶段新能源汽车保有量的爆发式增长^[43].

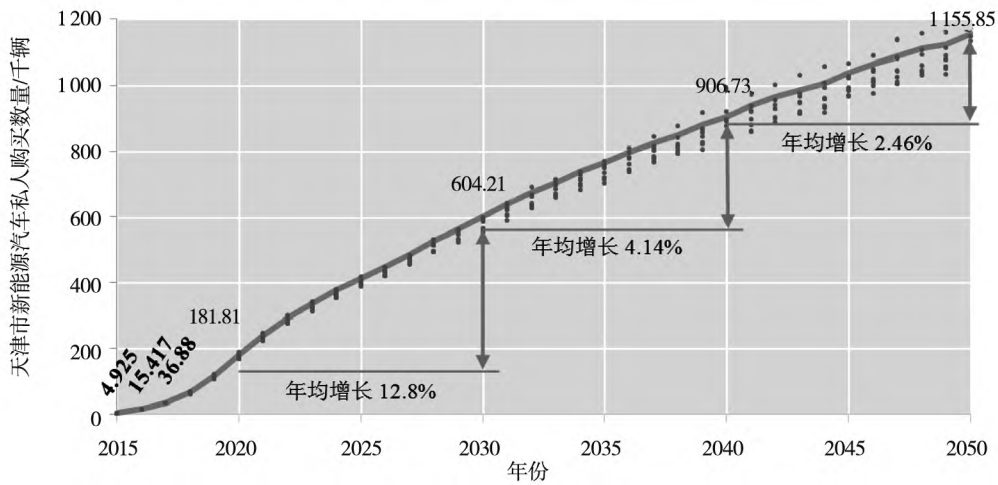


图 5 天津市个人购置新能源汽车预测数量

Fig. 5 Estimated number of NEV adopters in Tianjin

3.2 信息传播范围对新能源汽车技术扩散影响

在新能源汽车技术扩散模型中,消费者主体的社交网络由若干朋友和相识者构成.本节通过对消费者主体设定不同规模的社交网络,观察网络中朋友和相识者数量的增加是否会促进消费者的技术采纳行为,分析信息传播范围对新能源汽车技术扩散的影响.图 6 展示了消费者社交网络中朋友和相识者数量同时从 0 增加至 50 人下的新

能源汽车技术扩散路径.当朋友和相识者数量同时为 0 时,即消费者主体间无任何交流,消费者购买意愿水平仅依靠新能源汽车成本下降而发生改变,主体购置新能源汽车的数量会达到稳态,即市场饱和状态,但饱和水平远低于考虑信息传播情况下的新能源汽车市场饱和状态.因此,加强主体间的信息交流无疑将推进新能源汽车的技术扩散.

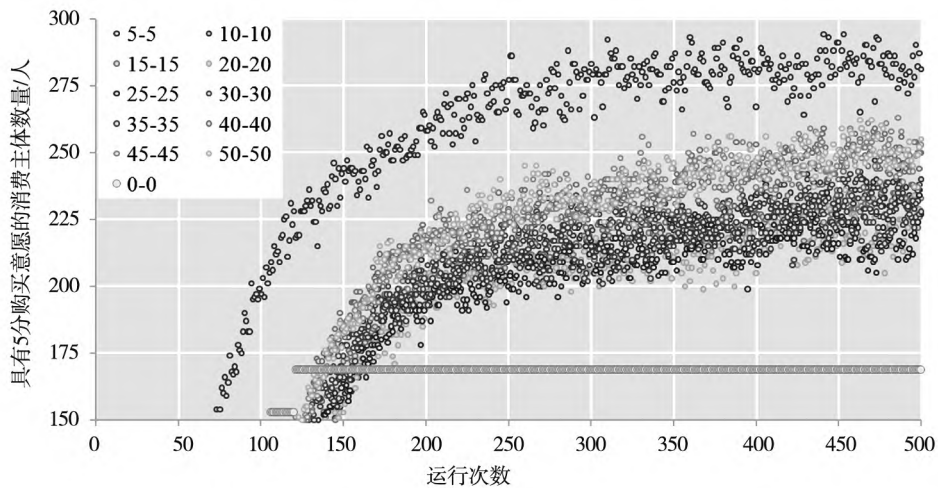


图 6 不同消费者社交网络下新能源汽车的技术扩散路径

Fig. 6 NEV technology diffusion under different social networks of consumer agents

当消费者主体社交网络中朋友和相识者数量从 5 人增长至 50 人时,信息传播范围的扩大并没有持续推进新能源汽车潜在购买者数量的增长.如图 6 所示,当主体社交网络中的朋友和相识者数量由 5 人增长至 20 人时,新能源汽车潜在购

买者数量的饱和水平呈现下降趋势,即圆点由深到浅的变化;相反地,当朋友和相识者数量从 25 人增长至 50 人时,潜在购买者数量的饱和水平呈现出升高趋势,即圆点由深变浅.为了更清晰地说明上述趋势,取各情况下新能源汽车潜在购

买者数量的饱和水平进行比较.如图 7 所示,各情况下的饱和水平整体呈现出“微笑曲线”特征,即潜在购置者数量先下降后升高.首先,当朋友和相识者的数量在 5 或 10 时,新能源汽车信息在主体间的传播存在交流壁垒,一方面是由于新能源汽车购买者的数量较少,另一方面是因为主体对于新能源汽车的主观态度差异性较大,影响了信息交流和传播的效率.在这样的情境下,具有高购买意愿的主体很难受到低购买意愿主体的干扰,潜在购买者数量的饱和水平会处于较高水平.其次,

随着朋友和相识者的数量增长,由于此时未购买新能源汽车的主体数量在市场上中仍占较大比重,市场中新能源汽车的负面信息起到了主要作用.这些负面信息会严重影响主体的新能源汽车购买意愿,从而导致较低的饱和水平.最后,当朋友和相识者数量继续增长,即此时新能源汽车的信息传播范围不断扩大、新能源汽车购买者数量不断增长,潜在购买者数量的饱和水平也会随之不断升高.但由于负面信息仍然存在,此时的增长速度较为缓慢.

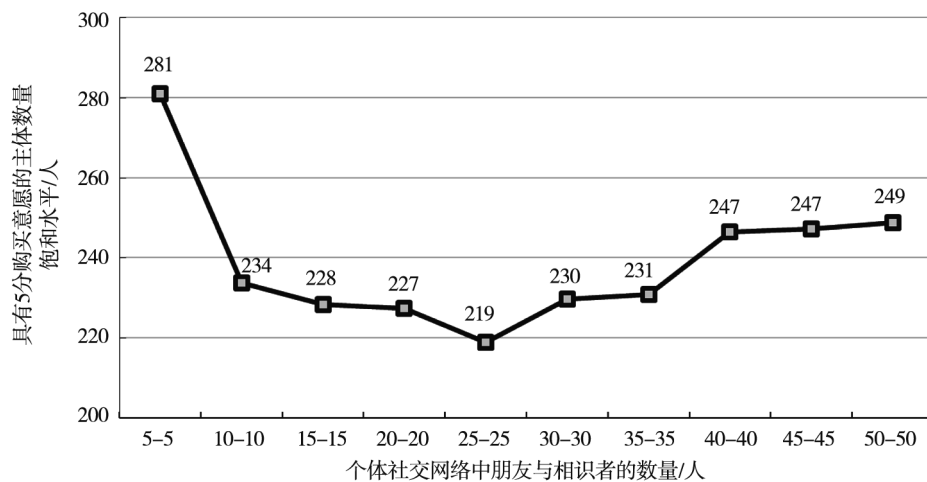


图 7 不同消费者社交关系网络下新能源汽车的市场饱和水平

Fig. 7 NEV market saturation level under different social networks of consumer agents

中国新能源汽车市场已经进入快速发展阶段,技术扩散对市场中的信息传播是敏感的.根据信息传播范围对新能源汽车技术扩散路径的影响,可以看出合理的产业发展需重点培养新能源汽车的正面信息,避免盲目推进新能源汽车的宣传、盲目扩大信息传播范围.具体而言,当前新能源汽车的市场占有率较低,其负面信息会在信息传播中产生较强作用,从而导致较低的新能源汽车购买数量的饱和水平.因此,公共部门和新能源汽车销售企业应调整当前以补贴或成本竞争手段提高销售量的市场策略,及时处理有关新能源汽车的正、负面信息以积累未来的销售潜力.一方面充分利用广告、媒体等力量传播新能源汽车在污染物减排、减缓气候变化、技术环保性等方面的优势,培养新能源汽车正面信息在用户侧的积累.另一方面,需要对补贴退坡、充电设施不足等市场负

面信息做出及时反馈,以降低主体间负面信息的传播影响.

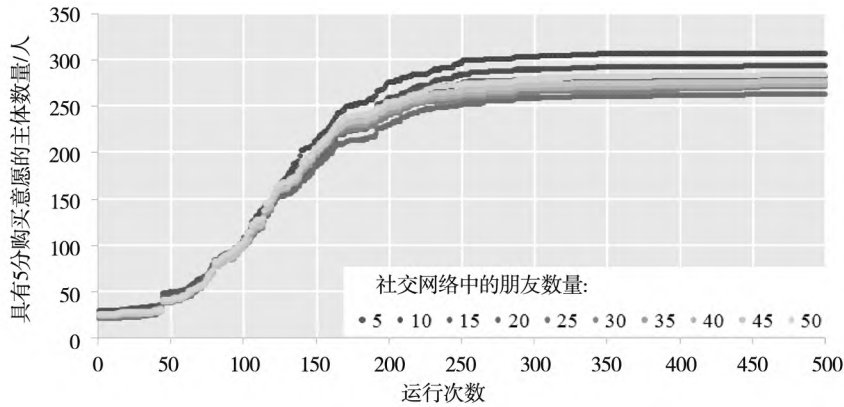
此外,新能源汽车技术扩散路径已经表明,中国新能源汽车市场将在 2030 年后步入“成熟阶段”.在这一阶段,新能源汽车的正面信息已经随购买数量的增长而不断积累,公共部门和汽车销售企业可在此时充分利用口碑效应使新能源汽车成为社会中的热点话题,利用正面信息的传播作用更为有效地推进新能源汽车的技术采纳和扩散.

3.3 信息传播渠道对新能源汽车技术扩散影响

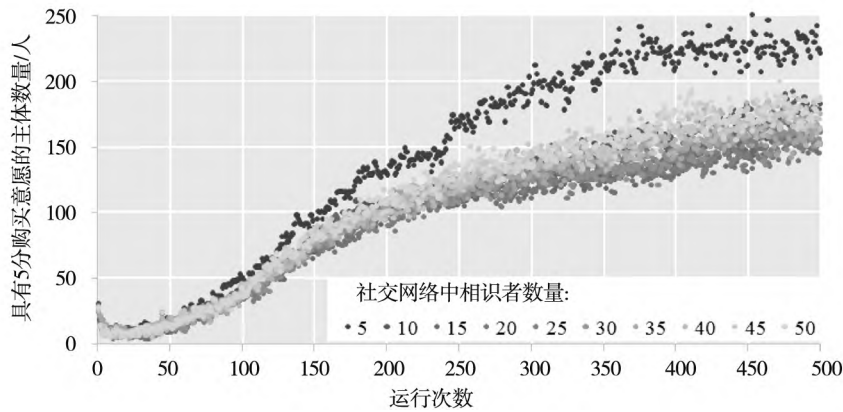
在明确信息传播范围对新能源汽车技术扩散的影响规律后,进一步探究了社交网络中不同群体对技术扩散的影响差异,即信息传播渠道对消费者技术采纳的影响.如前所述,“朋友”群体在本文中指一种稳定而范围有限的社会关系,包括亲人、密友等;“相识者”群体则指社会关系较浅

但范围较广的相识之人,如 4S 店销售人员等. 如图 8 所示,从新能源汽车购买数量的饱和水平上看,朋友间的信息传播相对于相识者间的信息传播更有利于新能源汽车的市场渗透,前者情况下的新能源汽车购置数量最终稳定在 250 辆~300 辆,而后的饱和水平则在 150 辆 ~ 200 辆. 此外,由于主

体的朋友关系相对固定,因此朋友间的信息传播可以产生更稳定的新能源汽车购置数量的饱和水平. 而主体可以从不同相识者关系中获得多元化的新能源汽车信息,这些信息包含了正面和负面信息,因此相识者间的信息传播会导致较为离散的饱和水平.



(a) 朋友间信息传播影响



(b) 相识者间信息传播影响

图 8 不同数量的朋友和相识者群体下新能源汽车的技术扩散路径

Fig.8 NEV technology diffusion under different numbers of friends and acquaintances

上述比较证明了朋友关系在信息传播中对新能源汽车技术扩散具有更有利的媒介作用. 但在现实中,相关政策的制定较难针对朋友这一群体设计相关的措施,以加强朋友关系之间的信息传播,这主要是因为朋友关系是主体长期交互的结果且不容易受到外界力量的干扰. 图 9 显示了社交网络关系中朋友和相识者的数量分别增长时新能源汽车购置饱和水平的变化幅度. 当朋友和相识者的数量分别增加 5 人时,相识者间的信息交流会使饱和水平增长得更快,最高可以达到 6.55%. 这意味着相识者数量的增加对技术扩散

有着更高的效率. Granovetter^[44] 提出了社交网络中一种“弱联系”的定义,即互动次数少、感情较弱的关系,并强调了弱联系对信息传播和扩散具有更重要的促进作用. 该弱联系的定义近似于本文的相识者关系. 由于主体的相识者关系不固定,其可以接触到更多元化的信息,一旦这些信息包含较多的正面信息,相识者间的信息传播将更有利于技术的扩散. 朋友作为一种强联系,拥有相近的社会背景信息或社会心理,其信息传播具有较高的传播重合度. 因此,朋友间新能源汽车的信息传播效率会低于相识者间的传播.

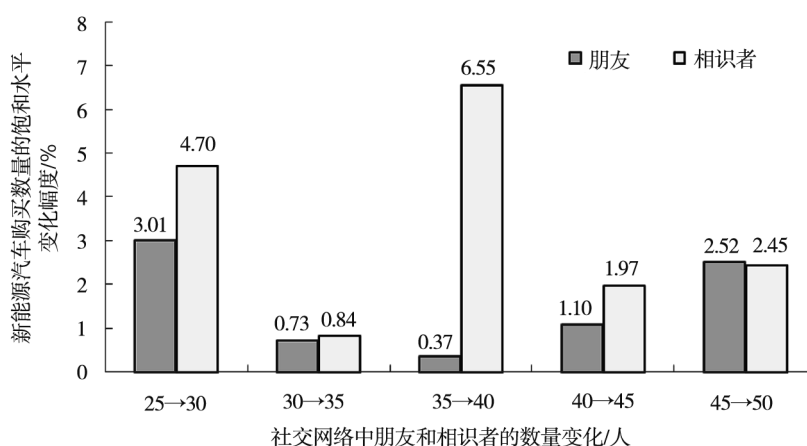


图9 朋友和相识者数量每增加5人时市场饱和水平的变化幅度

Fig. 9 Change in market saturation level for each 5 increase in the number of friends and acquaintances

对于新能源汽车的销售企业而言,传统的市场营销策略通过开发消费者市场吸引其购买行为,例如利用品牌推广或者价格营销等方式。而消费者的实际购买行为发生后,销售企业和消费者之间的联系将会断开或减弱。通过分析信息传播渠道对消费者技术采纳的影响发现,相识者间的信息传播能够带来更高的市场饱和水平。因此,加强已购新能源汽车主体的弱联系可作为企业一种间接营销策略,利用弱联系所具有的更广泛的传播范围以及更高的传播效率可以进一步推进新能源汽车的技术扩散。企业可采用推荐新用户返现、销售新闻分享奖励等方式加强新能源汽车购买者的弱联系,同时促进口碑效应的形成以积累新能源汽车在市场需求侧的正面信息。此外,相较于朋友群体,相识者间的信息传播会带来较为剧烈的市场饱和水平波动,波动范围在0.84%~6.55%间(如图9所示)。在现实中,这种饱和水平的变化将表现为市场销售量的波动。销售企业在利用弱联系促进技术扩散的同时,可采取分期付款、降价等方式影响消费者的知觉行为控制,从而短期内提高消费者的购买意愿,以应对市场销量波动中的低迷阶段。

4 结束语

我国新能源汽车产业已步入快速发展阶段,近5年年均增长速度达到74.7%,但到2019年,新能源汽车的市场渗透率不足5%。同时,随着技

术进步与成本下降,新能源汽车购置补贴的退坡一定程度上降低了消费者购买新能源汽车的积极性。本研究从消费者偏好出发,借鉴小世界网络、传染病特征以及主体建模方法,通过构建新能源汽车技术扩散模型,模拟了消费者受自身意识和外界信息传播影响下的购买决策行为,并以天津市为例,揭示了新能源汽车的技术扩散规律,为推进新能源汽车的市场渗透提供了政策建议。

首先,在考虑主体间信息传播下,天津市新能源汽车私人购买量将在2021年~2030年以年均12.8%的速度增长,随后在2031年~2040年、2041年~2050年增速分别降低到4.14%和2.46%,整体增长呈现出“S”形曲线特征,符合技术扩散的一般规律。从技术创新视角,我国新能源汽车产业已经从“萌芽阶段”过渡到“桥接阶段”。同时,根据上述预测出的新能源汽车技术扩散路径,产业将在2030年进入“成熟阶段”。因此,未来10年成为新能源汽车产业发展的关键,如何利用信息传播取代技术补贴的激励作用,持续推进产业发展是未来政策制定的主要方向。

其次,利用消费者主体社交网络中朋友和相识者的数量变化,探究了信息传播范围对新能源汽车技术扩散的影响。研究发现,在消费者主体的社交网络中朋友和相识者数量同时增长时,即信息传播范围不断扩大,新能源汽车的潜在购买者数量并没有持续增长,而呈现出“微笑曲线”特征,这主要是由于负面信息的干扰。因此,加强新

能源汽车信息传播需要及时与产业发展现状结合,避免由于负面信息造成较低的市场饱和水平.合理的产业发展建议应在市场快速发展初期注重正面信息的培养,如新能源汽车的减排作用等;同时,避免补贴退坡、充电设施不足等负面信息对消费者技术采纳行为的影响.

最后,通过比较朋友和相识者间信息传播的影响差异,本文发现了信息传播渠道对新能源汽车技术扩散的影响规律.在朋友间的信息传播作用下,实证调查样本中新能源汽车购置数量最终稳定在 250 辆~300 辆,高于相识者间信息传播下

的购置数量(150 辆~200 辆).这主要是由于朋友关系在主体社交网络中较为固定,而相识者关系间会涉及正面、负面等不同信息,导致较为离散的饱和水平.但是在信息传播过程中,不固定的相识者关系对推进新能源汽车技术扩散更为高效.这主要是因为朋友作为一种强联系具有较为相近的社会背景信息和社会心理,其信息传播的重合度较高.因此,新能源汽车销售企业可利用推荐新用户返现、奖励分享销售新闻等方式加强消费者的弱联系,促进口碑效应对新能源汽车技术扩散的作用.

参 考 文 献:

- [1] Bergek A, Jacobsson S, Carlsson B, et al. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis[J]. *Research Policy*, 2008, 37(3): 407 - 429.
- [2] 孙晓华, 王 昀, 刘小玲. 范式转换、异质性与新兴产业演化[J]. *管理科学学报*, 2016, 19(8): 67 - 83.
Sun Xiaohua, Wang Yun, Liu Xiaoling. Paradigm shift, heterogeneity and evolution of emerging industry[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(8): 67 - 83. (in Chinese)
- [3] 黄守军, 杨 俊. 发电成本垂直差异电力市场概率发电——基于大用户电量偏好视角[J]. *管理科学学报*, 2020, 23(6): 18 - 43.
Huang Shoujun, Yang Jun. Probabilistic generating in the vertical generation cost-differentiated electricity market: A perspective from the large user's generation capacity preference[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(6): 18 - 43. (in Chinese)
- [4] Kiesling E, Günther M, Stummer C, et al. Agent-based simulation of innovation diffusion: A review[J]. *European Journal of Operations Research*, 2012, (20): 183 - 230.
- [5] Salomé B, Dorothée C. Energy consumption in the french residential sector: How much do individual preferences matter[J]. *The Energy Journal*, 2019, (40): 77 - 99.
- [6] Carrico A, Vandenberg M, Stern P, et al. US climate policy needs behavioural science[J]. *Nature Climate Change*, 2015, (5): 177 - 179.
- [7] Axsen J, Kurani S. Interpersonal influence within car buyers' social networks: Applying five perspectives to plug-in hybrid vehicle drivers[J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2012, 44(5): 1047 - 1065.
- [8] Ma S, Fan Y, Feng L. An evaluation of government incentives for new energy vehicles in China focusing on vehicle purchasing restrictions[J]. *Energy Policy*, 2017, (110): 609 - 618.
- [9] Moons I, De Pelsmacker P. Emotions as determinants of electric car usage intention[J]. *Journal of Marketing Management*, 2012, (28): 195 - 237.
- [10] Burgess M, King N, Harris M, et al. Electric vehicle drivers' reported interactions with the public: Driving stereotype change?[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2013, (17): 33 - 44.
- [11] Fontánhas J, Cunha J, Ferreira P. Is investing in an electric car worthwhile from a consumers' perspective?[J]. *Energy*, 2016, (115): 1459 - 1477.
- [12] Egbue O, Long S. Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions[J]. *Energy Policy*, 2012, (48): 717 - 729.
- [13] Zarazua de Rubens G. Who will buy electric vehicles after early adopters? Using machine learning to identify the electric vehicle mainstream market[J]. *Energy*, 2019, (172): 243 - 254.
- [14] Carley S, Krause R, Lane B, et al. Intent to purchase a plug-in electric vehicle: A survey of early impressions in large US cities[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2013, (18): 39 - 45.
- [15] Plötz P, Schneider U, Globisch J, et al. Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany[J].

- Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014, (67): 96 – 109.
- [16] Qian L, Soopramanien D. Heterogeneous consumer preferences for alternative fuel cars in China[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2011, (16): 607 – 613.
- [17] Eggers F, Eggers F. Where have all the flowers gone? Forecasting green trends in the automobile industry with a choice-based conjoint adoption model[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2011, (78): 51 – 62.
- [18] Hackbarth A, Madlener R. Consumer preferences for alternative fuel vehicles: A discrete choice analysis[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2013, (25): 5 – 17.
- [19] Byun H, Shin J, Lee C-Y. Using a discrete choice experiment to predict the penetration possibility of environmentally friendly vehicles[J]. Energy, 2018, (144): 312 – 321.
- [20] Shin J, Bhat C, You D, et al. Consumer preferences and willingness to pay for advanced vehicle technology options and fuel types[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, (60): 511 – 524.
- [21] Ahn J, Jeong G, Kim Y. A forecast of household ownership and use of alternative fuel vehicles: A multiple discrete-continuous choice approach[J]. Energy Economics, 2008, (30): 2091 – 2104.
- [22] 刘志峰, 张婷婷. 投资者彩票偏好对股票价格行为的影响研究[J]. 管理科学学报, 2020, 23(3): 89 – 99.
Liu Zhifeng, Zhang Tingting. The effects of lottery preference on stock price behaviors[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(3): 89 – 99. (in Chinese)
- [23] Lee J, Cho Y. Demand forecasting of diesel passenger car considering consumer preference and government regulation in South Korea[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2009, (43): 420 – 429.
- [24] 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.
Li Ying, Hu Jian. Agent-based diffusion modeling and simulation of multiple classes of new energy vehicles[J]. Journal of Systems & Management, 2014, 23(5): 711 – 716. (in Chinese)
- [25] Bass F. A new product growth for model consumer durables[J]. Management Science, 1969, (15): 215 – 227.
- [26] Rai V, Henry A. Agent-based modelling of consumer energy choices[J]. Nature Climate Change, 2016, (6): 556 – 562.
- [27] 盛昭瀚. 管理: 从系统性到复杂性[J]. 管理科学学报, 2019, 22(3): 2 – 14.
Sheng Zhaohan. Management: From systematism to complexity[J]. Journal of Management Sciences in China, 2019, 22(3): 2 – 14. (in Chinese)
- [28] 徐淑贤, 刘天亮, 黄海军, 等. 自驾偏好、居民异质与居住选址——基于单中心城市模型的空间均衡分析[J]. 管理科学学报, 2020, 23(6): 73 – 89.
Xu Shuxian, Liu Tianliang, Huang Haijun, et al. Preference for auto driving, resident heterogeneity and residential location choice: Urban spatial equilibrium analysis based on the monocentric city model[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(6): 73 – 89. (in Chinese)
- [29] 鲜于波, 梅琳. 间接网络效应下的产品扩散——基于复杂网络和计算经济学的研究[J]. 管理科学学报, 2009, 12(1): 70 – 81.
Xian Yubo, Mei Lin. Diffusion of network product with indirect network effect—research based upon complex network and computational economics[J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(1): 70 – 81. (in Chinese)
- [30] 赵保国, 余宙婷. 基于网络效应的竞争性产品微观扩散研究[J]. 管理科学学报, 2013, 16(9): 33 – 43.
Zhao Baoguo, Yu Zhouting. Competitive product diffusion at the level of individuals based on network effect[J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(9): 33 – 43. (in Chinese)
- [31] Rai V, Robinson S. Agent-based modeling of energy technology adoption: Empirical integration of social, behavioral, economic, and environmental factors[J]. Environmental Modelling & Software, 2015, (70): 163 – 177.
- [32] 孙晓华, 孙瑞, 涂安娜. 网络效应、新兴产业演化与生态位培育——来自电动汽车行业的 ABM 仿真研究[J]. 管理科学学报, 2018, 21(11): 1 – 17.
Sun Xiaohua, Sun Rui, Tu Anna. Network effects, emerging industries evolution and niche cultivation: An agent-based modeling simulation from electric vehicle industry[J]. Journal of Management Sciences in China, 2018, 21(11): 1 – 17. (in Chinese)
- [33] 严云峰. 小世界网络中基于 Agent 的创新扩散建模及仿真研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2010.
Yan Yunfeng. An Agent-based Innovation Diffusion Model in the Small World Network[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2010. (in Chinese)
- [34] Welisch M, Kreiss J. Uncovering bidder behaviour in the German PV auction pilot: Insights from agent-based

- modeling[J]. *The Energy Journal*, 2019, (40): 23 – 39.
- [35] Robinson S, Rai V. Determinants of spatio-temporal patterns of energy technology adoption: An agent-based modeling approach[J]. *Applied Energy*, 2015, (151): 273 – 284.
- [36] Eppstein M, Grover D, Marshall J, et al. An agent-based model to study market penetration of plug-in hybrid electric vehicles[J]. *Energy Policy*, 2011, (39): 3789 – 3802.
- [37] Wolf I, Schröder T, Neumann J, et al. Changing minds about electric cars: An empirically grounded agent-based modeling approach[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, (94): 269 – 285.
- [38] 杨艳萍, 闫宏斌, 马铁驹. 基于模糊认知图的纯电动汽车扩散分析[J]. *系统管理学报*, 2018, 27(2): 359 – 365. Yang Yanping, Yan Hongbin, Ma Tiejue. Evolutionary analysis of battery electric vehicle based on fuzzy cognitive map[J]. *Journal of Systems & Management*, 2018, 27(2): 359 – 365. (in Chinese)
- [39] Hesselink L, Chappin E. Adoption of energy efficient technologies by households: Barriers, policies and agent-based modelling studies[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, (99): 29 – 41.
- [40] 姚志超. 新能源汽车扩散模型的仿真研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015. Yao Zhichao. A Simulation Research of New Energy Vehicle Diffusion Model[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2015. (in Chinese)
- [41] 向诗剑, 马铁驹. ABM 与 GIS 集成及在分析新能源汽车扩散中的应用[J]. *管理科学学报*, 2014, 17(1): 1 – 10. Xiang Shijian, Ma Tiejue. Integration of ABM and GIS and its application in analysis of diffusion of alternative energy vehicles[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(1): 1 – 10. (in Chinese)
- [42] Wolske K, Gillingham K, Schultz P. Peer influence on household energy behaviours[J]. *Nature Energy*, 2020, (5): 202 – 212.
- [43] Alova G. A global analysis of the progress and failure of electric utilities to adapt their portfolios of power-generation assets to the energy transition[J]. *Nature Energy*, 2020, (5): 920 – 927.
- [44] Granovetter M. The strength of weak ties[J]. *American Journal of Sociology*, 1973, 78(6): 1360 – 1380.

Technology adoption and diffusion of new energy vehicle (NEV) under heterogeneous behaviors

DU Hui-bin, ZOU Hong-yang^{*}, ZHANG Yong-jie, ZHAO Qian-qian

College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: Promoting new energy vehicle (NEV) has been considered an effective way to prevent air pollution and mitigate climate change. In recent years, the decline of NEV subsidies has become increasingly apparent, potentially affecting the NEV development. Relying on information dissemination to promote technology diffusion in the post-subsidy phase becomes the key for the sustainable development of the NEV industry. From the perspective of heterogeneous behaviors, this study builds the NEV diffusion model to simulate the NEV purchasing decision of consumer agents under the impact of own consciousness and information dissemination. Taking Tianjin as an empirical case, the study explores the impact of information dissemination scope and channel on NEV technology diffusion. The results show that the growth rate of the private NEVs in Tianjin between 2020 and 2030 reaches 12.8%, and then becomes slower and slower. Under the influence of negative NEV information, the saturation level of NEV adopters will show a “smile” trend as the scope of information dissemination becomes larger. The strong ties in consumers’ social network can lead to a high saturation level of NEV adopters. The weak ties have a higher efficiency for promoting technology diffusion of NEVs. According to the effect of information dissemination, some specific suggestions on the incentive policies and companies’ marketing strategies are given to promote NEV adoption.

Key words: new energy vehicle; technology diffusion; agent-based modelling; information dissemination