

网络效应、新兴产业演化与生态位培育^①

——来自电动汽车行业的 ABM 仿真研究

孙晓华, 孙 瑞, 涂安娜

(大连理工大学管理与经济学部, 大连 116024)

摘要: 有限的需求规模是制约电动汽车产业发展的关键因素, 如何促进市场培育是电动汽车产业演化中亟待解决的重要问题. 本文在分析汽车产业网络效应的特征及其存在性基础上, 利用 ABM 框架构建了异质性厂商和消费者的决策模型, 模拟仿真了网络效应下汽车产业演化的基本过程和市场需求的分布演化特征, 进而讨论了充电基础设施建设对于电动汽车市场培育的差异化作用. 结果表明: 汽车产业中既存在着与用户规模有关的直接网络效应, 也存在着与配套基础设施有关的间接网络效应; 在汽车产业的演化过程中, 传统汽车始终占据市场主导地位, 电动汽车的市场份额十分有限; 空间分布上, 电动汽车市场需求呈现出“分散—集中”的态势; 充电设施建设通过增强网络效应有效地刺激了消费者购买, 其政策效果在电动汽车需求分布由分散趋于集中的阶段体现出来; 与全局建设相比, 局部建设依靠提高特定区域充电站的密度集中强化网络效应, 从而增加了潜在消费者购买电动汽车的动力, 加速了电动汽车市场需求规模的扩大.

关键词: 网络效应; ABM; 电动汽车; 产业演化

中图分类号: F403.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2018)11-0001-17

0 引 言

随着全球石油能源短缺和环境污染问题的加剧, 电动汽车成为新一轮经济增长的突破口和实现交通能源转型的根本途径^[1]. 作为世界主要国家共同的战略选择, 电动汽车产业发展对于推动中国从汽车大国向汽车强国的转变具有重要意义. 经过“十五”、“十一五”两个五年计划的科技攻关, 以及“十城千辆”和“试点城市”等示范工程的实施, 中国电动汽车产业得到了快速发展, 技术体系得以初步建立, 自主研发产品开始批量进入市场, 逐渐由导入期步入成长期. 然而根据中汽协最新发布的数据, 2016年国内的电动汽车销量仅为40.9万辆, 占同期乘用车销售总量的1.5%, 且多为政府采购, 私人购买占比仅为24.2%.

当前电动汽车销量与工信部制定的2020年的200万销量和2025年700万的销量目标还有较大差距, 电动汽车“久推不广”的难题依然严峻. 在财政补贴等优惠政策逐步退坡的情况下, 电动汽车如何与占据优势的传统燃油汽车竞争, 政府该如何促进私人消费者的自发购买是理论界和政策制定者普遍关心的问题, 也是本文将要探讨的核心议题.

产业演化是单一产业形成、发展、成熟和衰退的动态过程, Vernon^[2]基于产品生命周期理论分析了产业演化的基本过程及特征, 衍生出A-U模型、G-K模型和K-G模型. Abernathy和Utterback^[3]阐述了产品创新和工艺创新促进产业成长的机制, 为理解产业演化中创新模式的选择问题提供了重要线

① 收稿日期: 2017-01-12; 修订日期: 2018-07-27.

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(18BGL016).

作者简介: 孙晓华(1978—), 男, 辽宁抚顺人, 博士, 教授. Email: sxh_dut@sina.com

索. Gort 和 Klepper^[4] 分析了产业发展不同时期厂商数目的变化,按照净进入的厂商数将产品生命周期划分为厂商引入、大量厂商进入、厂商数目稳定、大量厂商退出或淘汰和成熟五个阶段. Klepper 和 Graddy^[5] 对 G-K 模型加以修正,将产业生命周期重新划分为成长、淘汰和稳定三个阶段. 在产业演化过程中,技术创新、学习效应、协同演化和产业政策被认为是重要的影响因素. Schumpeter^[6] 最早指出创新在产业变迁中的核心作用, Sabel 和 Graddy^[7] 通过对制药业发展的考察发现,只有当技术变革触发了商业模式创新时,才会重塑产业价值链并最终推动产业演化. Yildizogl^[8] 认为学习行为作为技术变革的动力,可以提高企业效率进而推动产业演化. Grodal 等^[9] 基于技术设计和产品类别协同的假设,构建了一个考察产业演化的综合模型. Blankenberg^[10] 在对德国激光行业演化过程的研究中指出,区域人口规模、私营部门专利和公共研究之间存在协同演化现象. Kale 和 Little^[11] 在研究印度制药业的发展时发现,产业政策会通过影响企业决策而影响产业演化进程. Waha^[12] 检验了政府支出对产出增长的影响,得到对新技术实行更为优惠的税收制度、补贴和财政支出将有利于产业演化的结论.

Schuitema^[13]、周亚虹^[14]、孙晓华等^[15] 认为如何扩大市场需求规模,是当前电动汽车产业发展亟待解决的问题. 技术、成本和个人偏好则被认为是阻碍消费者购买电动汽车的三个关键要素. 从技术上看,续航里程限制与充电缓慢是制约消费者选择最重要的原因^[16-18]. 尽管电动汽车的后续支出比传统燃油汽车更加便宜,但更高的购买价格大幅提高了购买成本,现阶段多数消费者还没有习惯将后续使用支出纳入到真实总成本中以考虑电动汽车的成本优势^[19]. 就个人偏好而言,环境保护主义者和追求新奇的创新者更容易接受电动汽车^[20],信息传递、社会规范和同伴压力也会改变消费者对电动汽车的认知,从而影响消费者选择^[21-23].

关于电动汽车产业的网络效应,用户规模和配套设施构成了电动汽车使用的网络基础,二者与消费者购车所获得的效用水平密切相关. 一方面,随着购买电动汽车的人数增多,电动汽车的相关知识扩散加快,增加了消费者对其认知,使用价

值得到提升^[24],而作为一种生活方式和价值观念的象征,电动汽车使用人数越多,消费者从中获得的满足感越强烈^[25-26]. 另一方面,充电基础设施作为互补品,很大程度上决定着电动汽车的扩散速度^[27-28]. 从网络效应的角度,前者可视为与用户规模相关的直接网络效应,后者则是与基础设施相关的间接网络效应. 如何发挥网络效应,是电动汽车市场培育需要解决的核心问题.

迄今为止,产业演化的分析方法主要包括两类: 计量经济方法和产业动态模型. 前者是应用逐步完善的计量经济学工具分析产业演化过程,如 Klepper 和 Simons^[29] 使用计量经济模型分析了汽车、轮胎、电视机和青霉素四个产业衰退的原因,发现产业衰退不是源于技术变革,而是在位企业依靠技术创新保持市场主导地位的结果. 产业动态模型由 N-W 模型衍生而来,包括第一代、第二代熊皮特式演化模型^[30],以及基于主体的计算演化模型(ABM). 其中,ABM 基于微观行为主体的异质性决策,分析不同行为模式下多主体交互作用的复杂过程及其结果,由于不需要大量数据对模型进行修正,因而被越来越多地运用于产业演化问题的讨论,尤其是电动汽车扩散的研究之中^[31-35].

综观现有研究,演化经济理论的不断拓展为产业演化分析奠定了基石,产业动态模型则为新兴产业演化研究提供了有益的方法论基础. 本文将基于网络效应的新视角对中国电动汽车的产业演化问题进行研究. 首先,利用离散选择试验方法检验汽车产业网络效应的存在性;其次,在 ABM 的建模框架下,选择行为主体和设置主体属性,构建异质性厂商和消费者的决策模型;进一步,通过初始参数的设定,对汽车产业演化过程进行模拟,分析电动汽车市场需求分布的演化特征;最后,将充电设施建设政策分为全局建设和局部建设两类,比较不同类型充电设施建设的政策效果.

1 汽车产业的网络效应及其存在性

在讨论网络效应对汽车产业演化的作用之前,需要先分析汽车产业网络效应的表现,并对其存在性进行检验和识别.

1.1 汽车产业网络效应的表现

1985 年, Katz 和 Shapiro^[36] 首次对网络效应进行了界定, 认为网络效应是用户从产品消费中获得的效用随着消费该产品的用户总人数的增加而增加的现象。按照来源的不同, 网络效应^②分为两类: 一是直接网络效应, 表现为消费者的效用随着消费同种商品的用户基数的增加而上升; 二是间接网络效应, 表现为消费者的效用随着互补品数量和质量的增加而提高。与无网络效应的产品市场相比, 具有网络效应的消费决策行为和市场竞争机制均有很大不同, 消费者在进行购买决策时不仅会考虑产品自身的性能特征, 还会综合考虑用户规模和未来发展趋势。尤其是存在网络效应的新旧技术竞争过程中, 新技术能否战胜旧技术不仅取决于生产成本和消费者偏好, 还与网络效应有着紧密的联系^[38]。正是由于网络效应的存在, 当传统产品已经取得了决定性的市场规模时, 即便新产品代表着产业未来的发展方向, 也很难在市场竞争中生存壮大^[39]。

网络效应不仅广泛存在于拥有互联内在需要的信息产品市场中, 如传真机、操作系统等, 也存在于部分传统产业中, 汽车产业就是一个典型。汽车产业的直接网络效应产生于使用水平兼容产品的消费者构成的直接网络, 当某一类型汽车的使用规模扩大时, 消费者之间的联系就变得更加频繁。根据《2014 年汽车消费行为调查报告》的分析结果, 消费者的购车行为与互联网平台的信息交流有关。在互联网平台的帮助下, 随着用户基数的增加, 消费者有更大概率获得更多的相关产品信息^[40], 更多的产品信息往往意味着更好的用户体验, 从而带来消费者效用的提升。同时, 由于示范效应和从众效应的存在, 消费者的购买决策会受到其他消费者选择的影响, 增加的用户基数能够提高消费者的效用。此外, 在维权活动中, 更大的用户基数意味着消费者能够争取到的利益更多, 消费者能够获得的潜在效用也会随着网络规模的扩大而增加。

汽车产业间接网络效应来自于使用垂直兼容

产品(互补品)的消费者构成的间接网络。作为一种耐用品, 消费者购买汽车的效用不仅取决于汽车产品本身的属性, 还与作为其互补品的售后服务以及加能站存在很强的正向关联。某一类汽车售后服务的质量和可获得性很大程度上依赖于服务网点的经验和规模, 用户规模的增加会催生更多的服务网点, 由于学习效应和规模经济效应的存在, 服务质量随之提升, 服务成本下降, 带来消费者效用的提高。同样, 加能站作为汽车使用的另一重要互补品, 会随着用户规模的扩大而不断建设, 加能站的建设不仅有利于提高加能的便利性, 而且能够降低加能等待产生的时间成本, 从而改善消费者使用的满足程度。

从技术范式上划分, 汽车产品包含传统汽车和新能源汽车两大类, 而新能源汽车又包括混合动力汽车(HEV)、纯电动汽车(PEV)、燃料电池电动汽车(FCEV)、氢发动机汽车、其他新能源(如高效储能器、二甲醚)汽车等, 前三种又统称为电动汽车。作为中国新能源汽车产业的技术发展方向, 电动汽车与传统汽车无论在产品性能还是驾驶体验方面都存在着明显差异, 使得两类产品之间直接的信息交流有一定的障碍。同时, 由于动力系统的不同, 电动汽车和传统汽车的售后、维修、加能等配套服务也存在显著差别, 分别属于不同的配套体系。对处于市场主导地位的传统汽车, 用户规模巨大且稳定增长, 加之完善的配套服务, 直接和间接网络效应都十分明显。比较而言, 电动汽车尚处于市场导入期, 用户使用数量增长较为缓慢, 配套设施建设相对滞后, 网络效应十分有限。

1.2 汽车产业网络效应的存在性检验

网络效应给用户带来的价值不仅来自于产品的内在属性, 还与用户使用规模和配套设施有关, 理论上表示为能够带来大于自身价值的潜在效用。在理性人假设下, 消费者根据效用最大化原则选择产品, 但由于消费者效用的准确数值难以测量, 因此可以通过消费者的决策行为间接考量网络效应的存在性。为了描述消费者购买汽车的选

② 早期研究中, “网络外部性”和“网络效应”经常被认为是相同的。但是 Liebowitz 和 Margolis^[37] 指出两个概念之间存在着一定的差别, 认为当网络中的其他参与者的影响能够被内部化时, 应该被称作网络效应, 反之则应称为网络外部性。本文研究中认为消费者的购车决策受到的其它参与者的影响会内化为效用影响, 因此后文均采用“网络效应”这一名词。

择行为过程,以识别消费者的购买意愿.本文选择离散选择实验方法(discrete choice experiment, DCE)进行研究.

DCE方法通过提供不同属性组合的产品来模拟符合实际的购买场景,识别消费者真实的选择意愿,从而分析其选择性偏好.在实验调查的过程中,参与者不需要对产品的某种关键性属性做出偏好类的评价,而是在模拟的产品组合中选择出实现效用最大化的产品,以有针对性地获得消费者的实际购买决策.离散选择实验的调查可以分为显示性偏好调查和陈述性偏好调查,前者基于已经发生过的事件,后者则是针对尚未发生的事件.对于网络效应的检验,是通过潜在消费者对于不同类型汽车的态度识别其偏好和购买意愿,因此陈述性偏好调查是更加适宜的方法.

在陈述性偏好调查中,本文通过问卷方式获取实证检验数据,问卷设计包含了车辆属性变量、个人属性变量和网络效应变量三部分.其中,车辆属性变量有汽车价格、补贴、总的后续支出费用、满油/满电行驶里程、加油/快速充电时间;个人属性变量包括家庭年收入、年行驶里程、能接受的最小性能^③、能接受的最高价格等;网络效应变量中,利用“周围人中使用电动汽车

的比例”表征用户规模,选择“公共加能站以及服务节点的密度”代表配套设施情况,分别衡量直接和间接网络效应.为了使样本范围更广、数据更具有代表性,采用网络调查方式发布1500份问卷,共回收1272份有效问卷,回收率达84.8%,将其作为研究样本.

在离散选择实验设计的基础上,需要构建离散选择模型对调研数据进行分析,以确定消费者的购买意愿.根据研究目标,消费者是在传统汽车和电动汽车之间做选择,解释变量不仅包括选择方案而变化的车辆属性变量,还包括只随个体而变的消费者人口统计变量.因此选择混合logit模型进行实证检验^④.假定消费者个体*i*选择第*j*种车辆受车辆属性、网络效应、个人情况和认知变量的影响,其随机效用函数可以表示为

$$U_{ij} = x_{ij}'\beta + z_i'\gamma_j + \varepsilon_{ij} \quad (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, J) \quad (1)$$

其中解释变量 x_{ij} 表示随方案*j*而变的车辆属性变量和既随方案*j*而变也随个体*i*而变的网络效应变量, z_i 为只随消费者个体*i*而变的个体特征变量, β 和 γ_j 是相应的解释变量系数, ε_{ij} 是误差项.根据效用最大化假设,当且仅当车辆*j*带来的效用高于所有其他车辆,消费者将选择车辆*j*^⑤(见表1).

表1 混合logit估计结果

Table 1 Mixed logit estimation results

变量	$\hat{\beta}_j$	$\exp(\hat{\beta}_j)$ (几率比)
用户规模(百分比)	0.873 ***	2.395 ***
加能站密度(每10km数目)	0.214 ***	1.239 ***
价格(万元)	-0.063 ***	0.939 ***
补贴(万元)	0.092 **	1.096 **
后续费用(万元)	-0.099 **	0.906 **
最大行驶里程(km)	0.004 ***	1.004 ***
加油/充电时间(min)	-0.007 **	0.993 **

以调研数据为样本,利用stata12.0进行拟合,得到表1所示的估计结果.限于篇幅,本文只展示消费者对汽车属性与网络效应的偏好.在混合logit模型中,估计量 $\hat{\beta}$ 并无直接含义,一般利用

几率比 $\exp(\hat{\beta})$ 表示选择该方案的变化倍数.可以看出,消费者购买决策对于价格的敏感性较强,价格每提高1万元,消费者选择该方案的概率降低6.1%.补贴每增加1万元或者后续费用降低

③ 汽车的性能指标很多,考虑到传统车和电动汽车之前的性能差异主要体现在续航里程上,故本文选择续航里程作为性能指标.下文所涉及到的性能均指续航里程.

④ 混合logit模型是在条件logit模型中加入只随个体而变的解释变量,因此本文只详细介绍更加复杂的混合logit模型,省略条件logit模型的介绍.

⑤ 限于篇幅,省略了具体计量方法及过程的详细说明,如有需要,可以向作者索取.

1 万元,能够分别提高 9.6% 和 9.4% 的方案选择概率。同时,车辆满油(满电)的最大行驶里程对消费者决策的影响也较为明显,而加能耗时间的的作用较弱。对于本文考察的重点变量,用户规模增长 1% 能够带来方案选择概率 1.395% 的提升,每 10km 加能站数目增加一个单位,可以提高 23.9% 的方案选择概率。因此,用户规模和加能站密度对消费者的购车意愿有显著影响,汽车产业不仅存在着与用户规模有关的直接网络效应,也存在着与配套基础设施有关的间接网络效应。下面将通过构建基于主体的决策模型,讨论网络效应对于汽车产业演化的影响机制。

2 模型构建

产业演化是微观主体行为相互作用的结果,为了准确刻画微观主体行为,本文选用基于主体建模的方法(agent based model, ABM) 构建模型。ABM 通过赋予主体感知、行动和决策的能力对行为主体加以抽象,能够在更加贴合现实的基础上分析产业演化过程。

2.1 主体选择与属性设置

产业演化在数量上表现为产业中企业数目、产品或服务规模的变动,质量上表现为产业经济效益和产业素质的提高。在汽车产业演化的过程中,不同行为主体做出异质性决策,来自于供给侧的汽车厂商选择生产何种类型的汽车,即传统汽车或者电动汽车,还要进行产量、价格和研发投入决策,来自于需求端的消费者则要以效用最大化为标准,选择当期购买还是延迟购买,如果当期购买的话,是选择传统汽车还是新能源汽车。同时,主体的选择行为不是独立的,而是相互影响的,厂商决策要视消费者偏好和市场销售情况而定,消费者的购买决策不仅要考虑其他消费者的选择行为,而且与配套设施建设情况密切相关。

作为汽车产业演化过程的主体,厂商和消费

者都是异质的。对属于不同技术经济范式的传统汽车与电动汽车厂商而言,其异质性主要体现在产品性能、销售价格和后续消费支出三方面。产品性能方面,电动汽车的电力发动系统技术产生的动力逊于传统的汽柴油发动机,加之电池技术的瓶颈尚未突破,续航能力受到极大的限制,使得新技术在性能上劣于旧技术;销售价格方面,处于萌芽期的电动汽车前期投入大量的研发经费,且尚未获得规模经济带来的好处,销售价格一般高于传统汽车^⑥;消费支出方面,电动汽车的后续耗主要为电能,使用成本大幅下降,远低于使用传统汽车的日常支出,消费支出属性要优于传统能源车。

尽管消费者会以效用最大化为标准选择购买何种汽车,但消费者的偏好是有差异的,这种异质性的偏好直观上体现为消费者对产品的最低要求,即属性门槛的差别^⑦,而属性门槛的高低很大程度上取决于收入水平。根据经验性事实,年收入不同的消费者购车时看重的汽车属性存在明显差异。一般来说,高收入消费者追求驾驶舒适和安全保障,会对操控感、舒适度、安全性和加速度等方面提出更高的要求。同时,较高的消费能力意味着能够接受的价格相对较高,驾车出游的机会也较多,对于后续消费支出的敏感程度较低。

2.2 厂商决策模型

对于汽车厂商来说,产量需要依据市场需求的情况而定。除此之外,主要面临着定价和研发投入决策。每一期期初,厂商首先决定产品的销售价格,假设按照成本加成法确定当期售价

$$P_{j,t} = (1 + \mu_{j,t}) \times C_{j,t} \quad (2)$$

其中 $C_{j,t}$ 为当期生产成本,反映了厂商的生产技术水平,出于简化考虑,将初始成本和性能之间的关系设成线性相关^⑧,初期成本越高性能越高。 $\mu_{j,t}$ 为成本加成率,加成幅度取决于产品竞争力,市场占有率越高,产品竞争力越强。

对于传统汽车来说,各项产品性能都可以满

⑥ 汽车的型号多种多样,价格差别也非常明显,但对于同一档次的车型而言,电动汽车价格要高于传统汽车。

⑦ Melerba^[41] 较早从性能和价格门槛角度探讨了试验性用户对产业演化的影响,本文据此设置了消费者对于购买车辆的性能和价格门槛。

⑧ $Ran_{j/n, \rho} = Ran_{c/n} + \frac{C_{j, \rho} - \min C_{j/n, \rho}}{\max C_{j/n, \rho} - \min C_{j/n, \rho}} \times r_{c/n} \cdot Ran_{c/n}$ 表示基础性能, $r_{c/n}$ 表示初始成本对初始性能的影响。

足消费者的基本要求,成本加成的程度与市场竞争力有关,而市场竞争力又取决于销售情况,因此将传统汽车的成本加成率设置为 $\mu_{jc,t} = (\frac{Sal_{jc,t-1}}{\max Sal_{jc,t-1}}) \times A$. 其中 A 为传统汽车成本加成率能达到的最大值, $Sal_{jc,t-1}$ 表示 j 品牌车第 $t-1$ 期时的实际销量, $\max Sal_{jc,t-1}$ 为第 $t-1$ 期时市场中企业的最大销量.

相对于传统汽车成熟的技术体系,电动汽车的技术瓶颈尚未完全突破,尤其是电池性能的限制导致多数电动汽车的续航里程无法符合消费者使用要求. 鉴于此,将电动汽车的成本加成率设为

$\mu_{jn,t} = (\frac{Ran_{jn,t}}{\max Ran_{jn,t}}) \times B$. 其中 B 代表电动汽车成本加成率的最大值, $Ran_{jn,t}$ 为 j 品牌电动汽车在第 t 期时的实际续航里程, $\max Ran_{jn,t}$ 表示第 t 期时市场中纯电动汽车的最大续航里程.

在定价决策的基础上,厂商会根据当期利润进行研发决策,公式为

$$RD_{j,t} = \psi_{j,t} \pi_{j,t} \quad (3)$$

$RD_{j,t}$ 代表第 t 期厂商 j 的研发投入额, $\pi_{j,t}$ 为厂商 j 第 t 期的利润, $\psi_{j,t}$ 为研发投入占当期利润的比例^⑨. 相较于技术成熟的传统汽车,电动汽车在性能和成本上都处于劣势,因此有更强的动机进行研发投入,因此两类厂商 $\psi_{j,t}$ 的取值不同. 厂商研发投资的主要目的之一是降低成本,将成本与研发投入之间的关系定为

$$\Delta C_{j,t+1} = a_{c/n} RD_{j,t}^v (C_{j,t} - C_{jc/n}) \quad (4)$$

$\Delta C_{j,t+1}$ 表示第 $t+1$ 期厂商 j 生产的成本变化量,考虑到生产成本不可能无限制地降低到零,将成本最小值设为 $C_{jc/n} \cdot a_{c/n}$ 和 v 为常数,分别表示用于改进成本的研发比例和研发对于成本改进的作用.

除了降低成本,技术创新活动的另一个主要目标是提高产品性能,将性能与研发投入之间的关系表示为

$$\Delta Ran_{j,t+1} = b_{c/n} RD_{j,t}^v (R_{c/n} - Ran_{j,t}) \quad (5)$$

其中 $\Delta Ran_{j,t+1}$ 为第 $t+1$ 期企业 j 的性能改进量. 同样,由于性能不可能无限制提升,将边界值定为 $R_{c/n} \cdot b_{c/n}$ 和 v 为常数,分别表示用于改进性能的研发比例和研发对于性能改进的作用.

鉴于技术范式上的差异,传统汽车和电动汽车的可变成本边界、性能边界及其变化速度均有所不同^⑩. 此外,为了真实反映产业发展状况,设置了厂商退出机制,当一段时期没有销量,就认定为厂商将退出市场^⑪.

2.3 消费者决策模型

依据前面的陈述性偏好调查,消费者在进行购车决策时,将综合考虑自身偏好、汽车属性和周围环境,选择合意的车型. 具体地,购车决策分为两个阶段: 第一阶段判断是否有购车需求; 第二阶段作出购车选择. 由于信息不完全与搜寻成本的存在,消费者往往无法考虑全部可选汽车,表现出一定的有限理性,只在有限范围内寻找和选择汽车品牌企业: 首先,消费者将在面积为 $r_i \times r_i$ ($r_i = M_i/365$, M_i 为消费者 i 的年行驶里程数) 的区域进行搜索,并依据性能和价格门槛对选车范围内的汽车产品进行初步筛选. 之后,在可行的选择集里选择使自己效用最大化的一辆汽车. 依据网络效应存在性检验中变量的显著性水平,可以将第 t 期消费者 i 购买厂商 j 生产的汽车获得效用表示为

$$U_{ij,t} = \beta_1 P_{j,t} + \beta_2 Sub_{j,t} + \beta_3 SC_{ij} + \beta_4 Ran_{j,t} + \beta_5 T_{j,t} + \gamma Ine_{ij,t} + \theta Dne_{ij,t} + \varepsilon_{ij,t} \quad (6)$$

被解释变量 $U_{ij,t}$ 为消费者获得的效用值,各解释变量的含义如下: $P_{j,t}$ 为企业 j 生产的汽车在时期 t 的价格; $Sub_{j,t}$ 为政府给予电动汽车的购买补贴; SC_{ij} 为消费者 i 使用 j 品牌汽车的后续支出费用, $SC_{ij} = PF(PE) \times EC_{jc/n} \times M_i/100 \times n$, $PF(PE)$ 代表油价(电价), $EC_{jc/n}$ 为百公里能耗, n 为使用时间; $Ran_{j,t}$ 为 j 品牌汽车的续航里程; $T_{j,t}$ 为品牌汽车的加能时间; 此外, $Ine_{ij,t}$ 和 $Dne_{ij,t}$ 分别代表间接与直接网络效应, $\varepsilon_{ij,t}$ 为随机误差项.

⑨ 不考虑厂商生产的固定成本及其他费用支出, 利润 $\pi_{j,t} = (P_{j,t} - C_{j,t}) \times Q_{j,t}$. 其中 $Q_{j,t}$ 表示第 t 期企业 j 的销量.

⑩ 比较而言,传统汽车的生产工艺较为成熟,成本下降和性能提升空间较小,速度较慢;电动汽车的成本下降和性能提升空间均较大,且速度较快.

⑪ 在本文中,第十期时消费者才全部进行完购车决策,因此第十一期设置退出机制,淘汰掉前十期一直没有销量的企业. 之后,当连续三期没有销量时,企业自动退出,且退出后不再进入.

直接网络效应强度由消费者周围使用同种类型汽车的占比决定,同种类型汽车的使用者越多,其直接网络效应强度越高。间接网络效应由消费者周围公共加能站以及服务节点的密度决定,本文利用充电桩/加油站密度代表间接网络效应。对于电动汽车而言,充电基础设施密度由政府建设和消费者使用密度共同决定,同时由于汽车作为耐用品,消费者购买汽车时会考虑使用汽车时间内而不仅仅是购买时的充电基础设施情况。具体地,消费者期初对周围充电站密度有一个心理预期,如果下一次换车时,周围充电站密度达到消费者事前的心理预期,消费者信心增强,对电动汽车未来前景看好,预期充电站的建设速度将加快,反之,消费者信心减弱,预期充电站的建设速度将减缓^⑫。

理论上,消费者会选择能带给其最大效用的汽车品牌,但由于具体效用值难以估计,所以采用离散选择模型将效用选择转化为概率比较。假设消费者 i 选择 j 品牌汽车的效用为 $U_{ij} = x_j\beta + \varepsilon_{ij}$ (详见公式 6),当且仅当 j 品牌汽车带来的效用高于可行解内所有其他车辆时,消费者 i 才会选择 j 汽车,用概率可以表示为

$$\begin{aligned} P(y_i = j | x_i) &= P(U_{ij} \geq U_{ik}, \forall k \neq j) \\ &= P(U_{ik} - U_{ij} \leq 0, \forall k \neq j) \end{aligned} \quad (7)$$

进一步,消费者 i 选择 j 品牌汽车的概率为

$$P(y_i = j | x_j) = \frac{\exp(x_j\beta + z_j\beta_j)}{\sum_{k=1}^J \exp(x_k\beta + z_k\beta_k)} \quad (8)$$

由此,可以计算出消费者选择不同品牌汽车的概率,并把影响因素导致的效用变化转变为购买概率的升高或降低。也就是说,消费者在可达范围内搜寻可供选择的汽车厂商及相应品牌,根据自身偏好的不同和汽车属性等因素的改变,选择

最有可能购买的汽车产品。

3 汽车产业与市场需求分布的演化模拟

在确定了主体属性和决策准则之后,本部分将对汽车产业的演化过程进行模拟,考察供给侧和需求侧主要参量的变化情况。

3.1 参数设定

汽车产业发展过程中,传统汽车出现较早且厂商数量较多,具有稳定的需求规模,目前居于市场主导地位。电动汽车作为潜在进入者,尽管在技术和生产成本上存在一定劣势,但是凭借新技术所代表的未来技术发展方向和节能环保优势,给在位的传统汽车带来冲击。为了更加贴近产业发展的实际情况,共设置 30 个时期,假定期初有 100 家潜在进入的传统汽车厂商,20 家潜在进入的电动汽车企业^⑬,消费者数量为 10 000。同时,每一个 Agent 的属性都是不完全相同的,厂商和消费者分布在 300×300 的二维网格中,每一个 Agent 占据一个网格。为了增强研究结果对现实产业发展的指导意义,有关厂商初始生产成本、产品性能、耗能情况、续航里程和政府补贴等的参数设定都来自于汽车行业的真实数据,影响消费者决策的主要因素及大小由表 1 给出,具体参数设置详见附表。

本文选择仿真软件 Repast 和统计软件 SPSS 来完成模型的仿真和数据处理,为了使仿真结果更加可靠,共运算 100 次,保证每次仿真的 Agent 位置是随机分布的,进而对结果取平均值,得到汽车产业与市场需求分布演化的模拟结果。

3.2 汽车产业演化模拟

汽车产业演化过程体现为市场需求、企业数

^⑫ $EXCS_{i+n} = (1 + ECS_i) \times CS_i$, $EXCS_{i+n}$ 表示第 i 期消费者对下次换车时周围充电站数量的心理预期, ECS_i 是心理预期调整系数, $ECS_{i+1} = ECS_i \pm \Delta ECS$, CS_i 表示第 i 期消费者周围的充电站数量。

^⑬ 公式(8)为条件 logit 模型,可以通过 MLE 估计得到系数估计值 $\hat{\beta}$ 。

^⑭ 在汽车产业演化过程中,传统汽车厂商作为在位企业居于市场主导地位,电动汽车厂商作为潜在进入者,与传统汽车厂商展开竞争。为了体现传统汽车厂商的先发优势,一种方法是让其提前进入市场,另一种方法是通过参数设置上的差别予以体现。经过几十年的发展,传统汽车的性能已经较为完善,价格和用户数量趋于稳定,配套基础设施建设也相对完备,因此本文选择第二种方式,即通过性能和价格属性,以及直接与间接网络效应的设定,反映其相对于电动汽车的比较优势。

量、汽车价格和性能等核心参量的演进,图1描绘出了各个主要参量的变动情况.由于市场中存在着传统汽车和电动汽车两种技术范式,因此分列出以进行对比分析.从市场需求上看,传统汽车的用户数量一直占据主导地位,电动汽车使用数量十分有限,通过对购买电动汽车的消费者属性分析发现,在前5期政府消费性补贴与优惠的贷款政策下,电动汽车吸引了一些收入较低但年行驶里程数相对偏大的消费者,这些消费者是电动汽车的早期接受者,也是仿真中电动汽车企业生存发展下去的基础.电动汽车的购买人数在缓慢增长至第15期之后,有了一个较为显著的增长,最终市场占有率达到4%左右.尽管传统汽车在性能和价格上均具有明显优势,但并未出现“赢者通吃”的情况,主体异质性的存在使得一些

消费者依然选择小众的电动汽车作为代步工具.电动汽车的后续能耗支出较低是受到一小部分消费者青睐的重要特征,然而并不能改变传统汽车的市场主导地位.

考虑厂商数量的变化,电动汽车与传统汽车的厂商数量同样存在明显差距.由于政府补贴和信贷优惠政策的扶持,20家电动汽车企业早期均能够维持生产经营.在第10期开始的退出机制作用下,厂商数量呈现“断崖式”下降,15家电动车企快速退出市场,厂商数量稳定在5家.传统汽车厂商的数量变化表现为“阶梯式”下降特征,经历了两个比较明显下降时期,第11期从100家减少至75家,第15期又锐减至32家,最终稳定在28家.另外,赫芬达尔指数基本在0.08左右,意味着市场集中度不高,企业规模分布较为均匀.

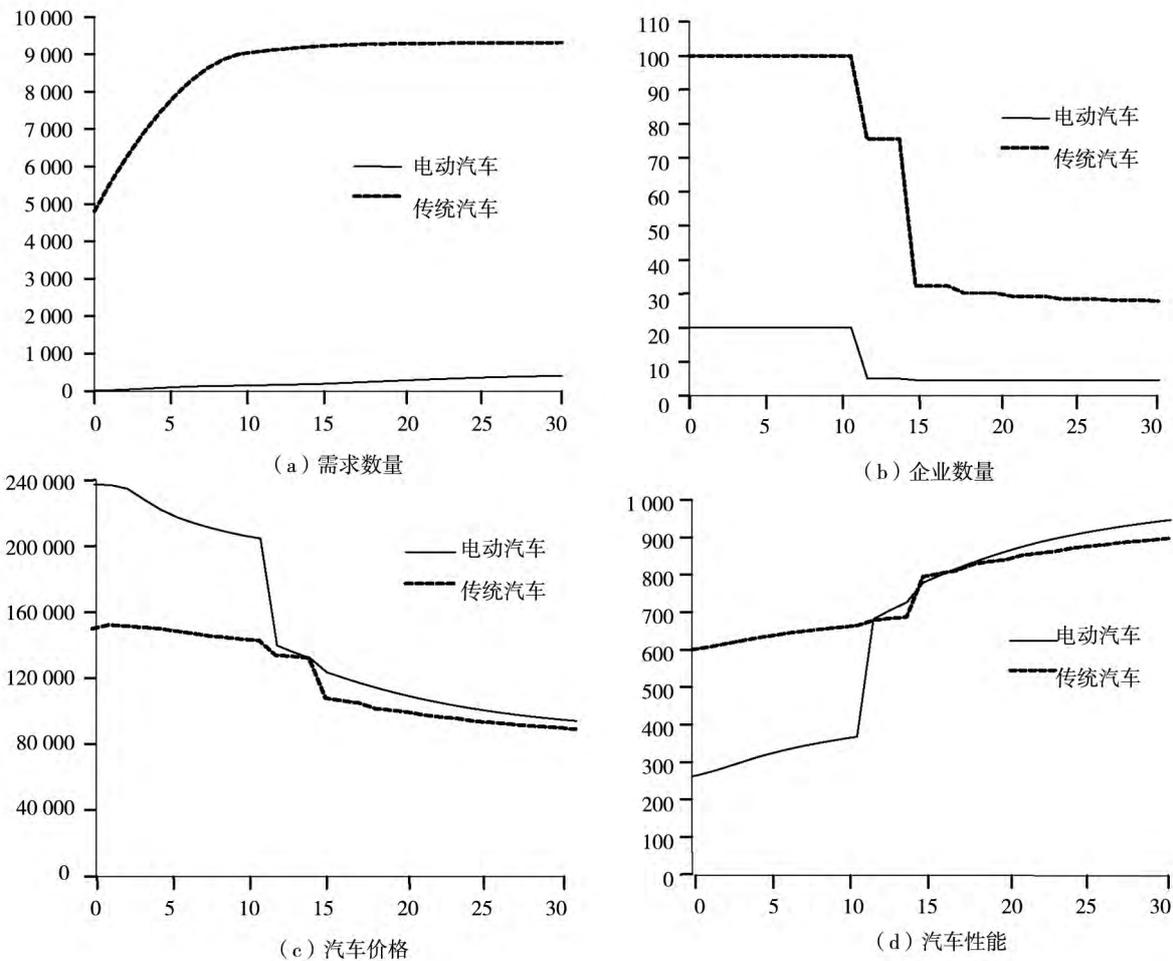


图1 汽车产业演化的基本过程

Fig. 1 Evolution process of the automobile industry

对于产品属性,无论是价格还是性能,处于发展初期的电动汽车都要劣于传统汽车,随着电动汽车厂商致力于提高技术水平和降低生产成本,二者的差距逐渐缩小^⑮。整体上,传统汽车的平均价格和性能属性在前期一直明显优于电动汽车,之后差距逐渐缩小,基本符合汽车产业发展的实际情况,说明模型构建和参数设定是较为合理的。

3.3 汽车市场需求的分布演化

在模拟汽车产业演化过程的基础上,还需要深入分析市场需求的分布特征,以考察网络效应对于消费者购买的影响。为了讨论市场需求变化的阶段性特征,本文选择将模拟的每 5 期分布结果描绘出来(如图 2 所示),深色圆点代表电动汽

车的消费者,浅色代表传统汽车的消费者。同时,为使图像便于观察,没有显示未购买汽车的消费者和作为供给主体的厂商位置(下同)。

可以发现,前 10 期电动汽车消费者的数量十分有限,随机分布在整个市场中,形态较为分散。从第 15 期到第 20 期,用户数量有了一定程度的改善,并且分布呈现出集中的倾向。也就是说,部分区域的电动汽车用户数量持续增加,其它区域的电动汽车用户数则在慢慢减少,呈现出“此消彼长”的作用过程。从第 25 期开始出现明显的消费集聚趋势,且消费者集聚的密度与范围随时间推移而提高和扩大,另外也存在第 20 期有集聚倾向的地区最终未形成集聚点的情况。

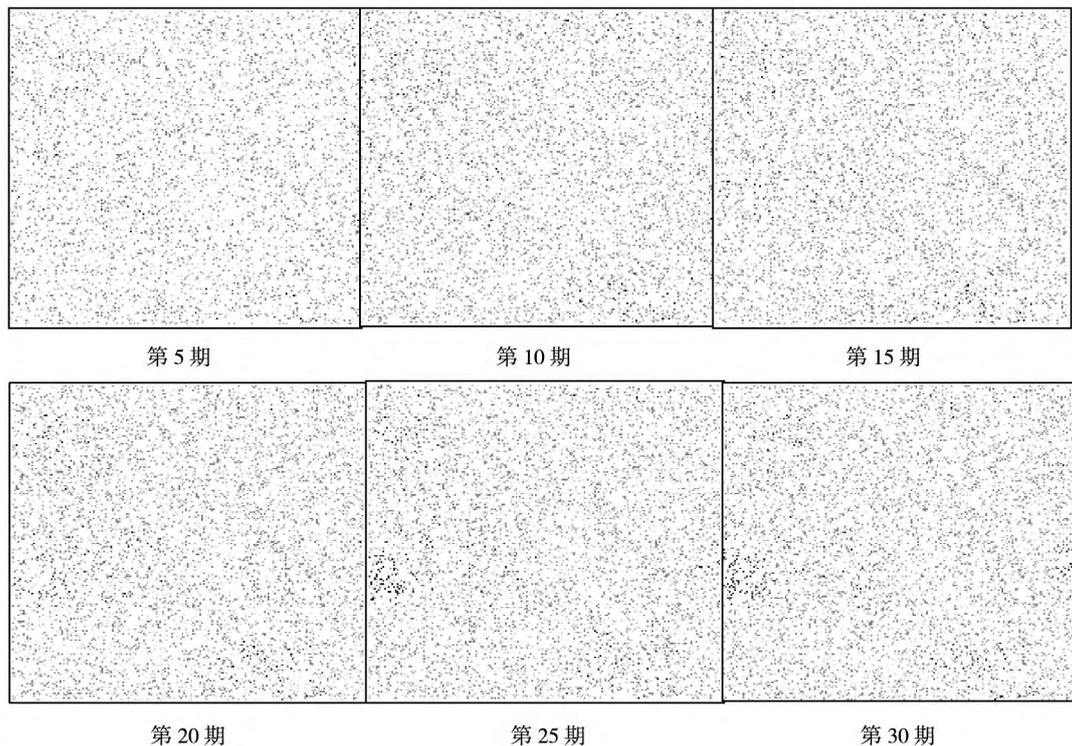


图 2 汽车市场消费者的分布演化

Fig. 2 Evolution of consumers' distribution in the automotive market

从市场需求的分布演化情况看,电动汽车消费呈现出“分散—集中”的特征。在具有网络效应的产业中,新产品的扩散是以用户群体的社会网络联系为前提的。对于电动汽车产业而言,无论是消费者之间关于汽车品牌的“口碑相传”,还是售

后服务与基础设施的配套建设,都需要经过一段时间的积累,只有形成空间上的集聚,才能发挥新兴产业发展所需要的网络效应。如果某区域初始用户数量偏少,不足以满足电动汽车企业的生产运营要求,同时潜在用户数量不足,将影响该区域

^⑮ 电动汽车的性能和价格之所以在第 10 期左右显著变化,很大程度上是由于第 10 期没有竞争力的厂商退出市场,而这部分厂商通常在价格和性能方面都处于落后水平。

电动汽车消费规模的扩张,前期购买用户也可能因此在换车决策中放弃电动汽车的选择,导致该区域用户日趋减少直至消失.反之,如果某区域早期的电动汽车用户达到一定数量,则会增强潜在消费者使用电动汽车的愿望,若配套设施跟进较为及时,网络效应将随之形成并逐渐增强.在正反馈的作用机制下,消费者在该区域不断汇聚.结合市场中消费者总量的变动情况可以更清楚的看清网络效应发挥作用的过程.根据图2对应的需求量变化数据,电动汽车的市场需求经历了“增长—停滞—再增长”:前8期消费数量快速上升,随后几期保持不变,甚至有轻微下降趋势,到第13期后用户数量开始缓慢增加,一直持续到第18期,之后电动汽车的消费者数量才又进入加速上升状态.整体形状呈现“拉伸的S型”.在这一过程中,前期电动汽车需求数量的增加主要来自于市场中存在的异质性潜在消费者,尽管传统汽车在性能和价格上具有比较优势,但仍然存在着极少数的试验型用户愿意尝试使用电动汽车.当然,试验型用户的数量有限,分布较为分散,使得市场渐趋饱和时电动汽车的购买基本处于停滞状态.进一步,经过市场选择的自发作用形成了消费集聚之后,在网络效应的作用下电动汽车的需求量才得到再次提升.

总的来看,在30期的汽车产业演化模拟中,传统汽车在市场需求方面始终占据绝对主导地位,由于初期性能和价格上的劣势,仅有极少量的消费者选择电动汽车,而由网络效应带来的“锁定效应”使得即便两类汽车在后期性能和价格上的差距逐渐缩小,电动汽车的市场需求仍十分有限,新兴产业发展的进程相对缓慢.

4 网络效应下充电设施建设的市场培育效果

电动汽车产业在发展初期存在诸多劣势,面

对自身属性和配套设施都更加成熟的传统汽车,在没有公共政策扶持的情况下,难以形成产业成长所需的利基市场.作为中国政府明确的七大战略性新兴产业之一,为了促进电动汽车产业发展,政府会制定相应的优惠政策加以培育.具体地,消费性补贴可以有效弥补价格劣势,激发电动汽车的“基础安装规模”;生产性补贴则有利于加快技术进步,消除电动汽车性能短板.除此之外,充电设施建设是提高电动汽车配套设施水平的重要措施,也是增强电动汽车网络效应的重要渠道.在政府部门建设充电站的过程中,面临着全局建设和局部建设两种可行方式,其对于电动汽车产业演化中的网络效应作用需要加以深入讨论.

4.1 全局建设的市场培育效果

对于政府部门而言,开展充电基础设施建设的一种选择是在整个市场范围内全面铺开,目标是提高所有潜在消费者使用电动汽车的效用,从而增加其购买电动汽车的可能性.假设政府考虑在产业演化的初始阶段第6期^{①⑥},实施全局新建电动汽车充电站的方案^{①⑦},为了比较不同政策强度的作用效果,考察分别投入90座、180座和270座充电站的情况.由于消费者分布在300*300的二维网格中,就相当于每10*10区域内新建0.1座、0.2座和0.3座充电站,并将三种政策强度分别记为低、中、高.为了保证结果的可靠性,同样进行100次运算,得到模拟结果.传统汽车产业的演化过程基本没有发生变化,下面将重点讨论电动汽车市场需求数量与需求分布的情况.图3表示了充电设施建设对电动汽车市场需求量的影响,将低、中、高政策强度与没有实施充电站政策的情况加以对比.可以看出,全局建设充电站的政策推行,提高了消费者购买电动汽车的效用,刺激了消费者的购买.当实施低强度的公共政策时,第30期购买电动汽车消费者的平均数量从403人上升至434人,提高约7.6%.但是,随着政策强度的增强,购买

^{①⑥} 与生产性补贴和消费性补贴的方式不同,充电基础设施建设的效果具有时间延续性.为了避免与前5期实施的政府补贴存在交互影响,本文选择在政府补贴停止的第6期投入充电设施建设,并且只在第6期实施一期.

^{①⑦} 充电站的建设来源于两方面,一是来源于电动汽车用户数增多带来的市场自发建设,二是来自于政府部门主导的建设,前者已经在模拟过程中予以考虑.

电动汽车的消费者人数仅有少量增加,激励效果有限,政策效应有所减弱。而且,充电设施建设在早期并没有取得明显效果,电动汽车的购买数量变化不大,直到第 17 期才开始显著增加,说明政策效果的发挥需要一定时滞。

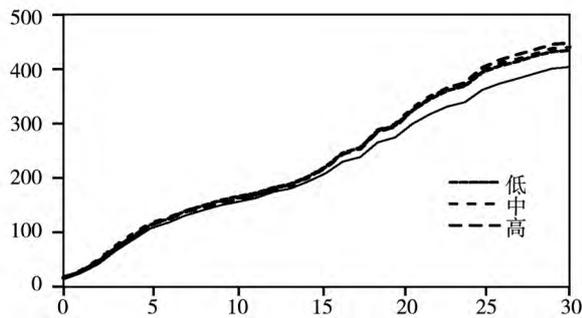


图 3 不同政策强度下全局建设的效果

Fig. 3 Effects of global construction under different policy intensity

限于篇幅,本文只描绘了中等强度充电设施全局建设政策下的市场需求分布状况(见图 4)。能够发现,与无政策扶持情形相同的是,有了更多的

充电站供给,购买电动汽车的消费者分布同样是由分散趋向集中。在前 10 期,电动汽车市场需求的分布较为分散,从第 15 期部分区域开始出现集聚的倾向,到第 20 期至第 30 期,全局建设充电设施的政策效果有所显现,电动汽车集中分布在固定的区域,但是并不十分密集。根据模拟的数据结果,第 10 期到第 20 期之间,电动汽车的消费者数量正在经历一个“此消彼长”的过程,此时网络效应开始发挥作用。结合图 4 的仿真结果,尽管全局建设充电设施也起到了增强网络效应的效果,但是主要在于阻止已经购买电动汽车的那部分消费群体在换车决策时转向传统汽车,对于潜在消费者的影响相对微弱,只有少部分消费者会放弃传统汽车转而购买电动汽车^⑮。此外,尽管是全局建设充电设施,但是电动汽车的消费者并没有在全域范围内普遍增加,意味着只有部分充电设施发挥了网络效应的作用,而另一部分充电设施没有如预期得到充分利用。

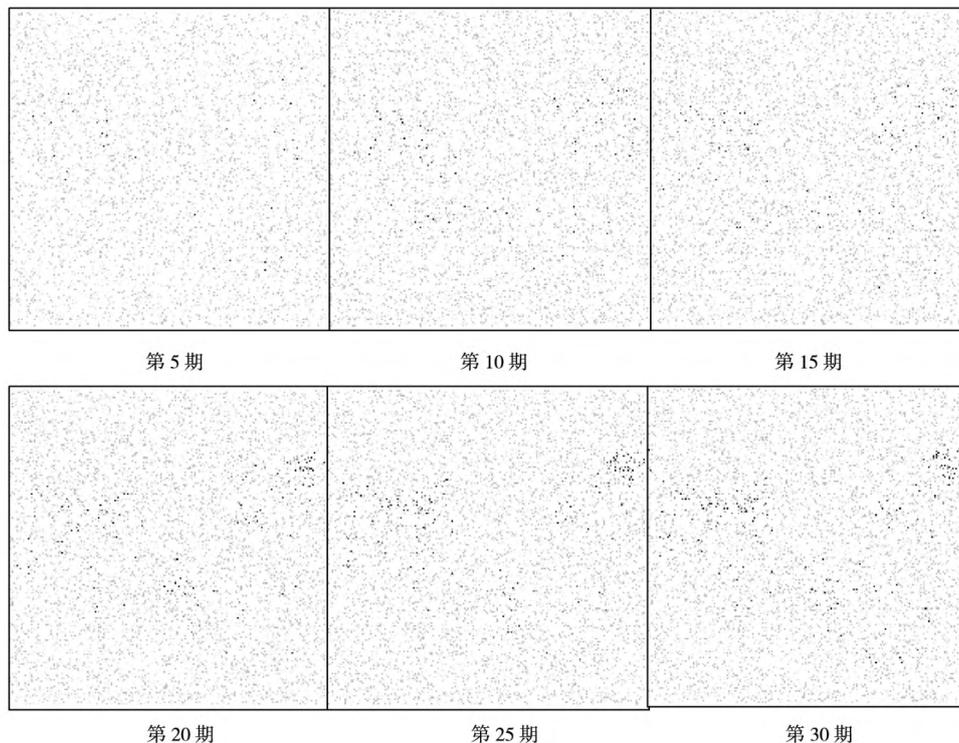


图 4 充电设施全局建设的市场培育效果

Fig. 4 Market cultivation effects under global charging infrastructure construction

^⑮ 这二者都会使全局建设政策下购买电动汽车的人数增加,但前者会使第 20 期左右电动汽车消费者的分布更集中,后者则会使第 20 期左右电动汽车消费者的分布相对分散

4.2 局部建设的市场培育效果

政府部门建设充电设施的另一种选择是,将充电站建设在已经出现电动汽车用户的周围,通过提高特定区域充电站的密度,集中强化网络效应,以突破消费者购买的效用门槛.具体地,假定政府计划在已经购买了电动汽车的消费者周围 $10*10$ 的范围内建设一定数量的充电站,同样在第6期实施该项政策.在全局建设的过程中,低、中、高三类政策强度分别对应90座、180座、270座充电站,为了便于比较,设政府部门投资一样的额度,总共建设90座、180座、270座充电站,只是建设地点有所差别.由于第5期末电动汽车用户约为90人,因此即使90人之间的距离都大于10,总量为90座、180座和270座充电站也会使电动汽车消费者附近 $10*10$ 范围内的充电站增量至少为1座、2座和3座.鉴于初期电动汽车的需求较为分散的事实,将局部建设低、中、高的三种政策强度等级,设定为已购买电动汽车用户可达范围内的充电站数量分别增加1座、2座和3座,进而运算100次,取均值得到模拟结果.

图5表示了不同政策强度下局部建设充电站的效果,同样比较了低、中、高三种政策强度与没有实施充电站建设政策的情况.低政策强度下,第30期购买电动汽车消费者的平均数量从403人提高到474人,用户比例上升约17.4%.随着政策强度提升至中等水平,电动汽车用户增加至581人,上升幅度达44.1%.但是当政府政策进一步调整为高强度时,电动汽车的购车人数不升反降,第30期电动汽车消费者的平均数量为561人,较中等强度下降了3.4%.过高强度充电设施建设效果不佳的原因可能在于,第6期过高的充电站密度增强了这部分地区消费者对于电动汽车发展的预期,消费者预期在下次换车时,其周围的充电桩密度会更大,然而由于性能和价格方面的弱势,电动汽车初期的需求有限,由市场自发建设充电站的速度较为缓慢,难以达到消费者事前的预期,进而影响到消费者对于电动汽车的信心,使得潜在消费者改变购车策略,也就在一定程度上阻碍了电动汽车市场需求规模的进一步扩张.

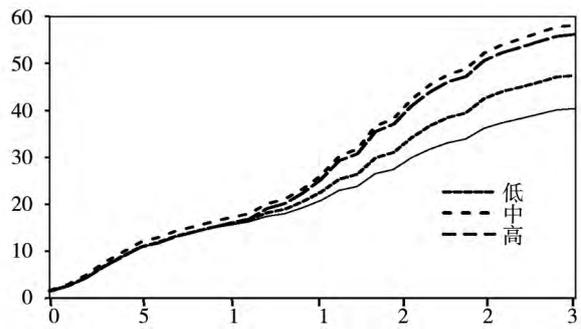


图5 不同政策强度下局部建设的效果

Fig. 5 Effects of local construction under different policy intensity

根据图6展示的电动汽车市场需求分布情况可以看出,与全局建设的情况相比,局部建设充电站在前十期并没有带来更多的电动汽车用户.随着考察时期的增加,在局部充电站建设的政策推动下,早期电动汽车消费者周围有了更为便利的基础设施,间接网络效应得到增强,到第20期汽车市场已经出现了较为清晰的电动汽车用户集聚区域,直接网络效应也有所提升,形成正反馈循环.至第30期,电动汽车用户的集聚范围继续扩大,分布更加集中,需求规模也有了显著的增加.相较于全局充电站的建设,局部建设充电站产业政策下的消费者集聚程度更高、范围更大,说明局部建设充电站在阻止已经购买电动汽车的消费者转变购车策略之余,也吸引了更多的潜在消费者购买电动汽车,其对于网络效应的强化作用更加直接和明显,更有利于加速电动汽车产业演化的进程.

5 结束语

电动汽车产业是缓解能源环境危机的重要途径,对于推动中国从汽车大国向汽车强国转变具有重要意义.尽管中国电动汽车产业已经从导入期步入成长期,但有限的市场需求规模极大地制约着产业发展.本文首先根据问卷调研数据检验了汽车产业网络效应的存在性,之后在ABM模型框架下构建了异质性厂商和消费者的决策模型,模拟了网络效应下汽车产业演化过程和市场需求分布情况,进而讨论了充电基础设施建设对于加速电动汽车市场培育的差异化作用,得到如下结论:

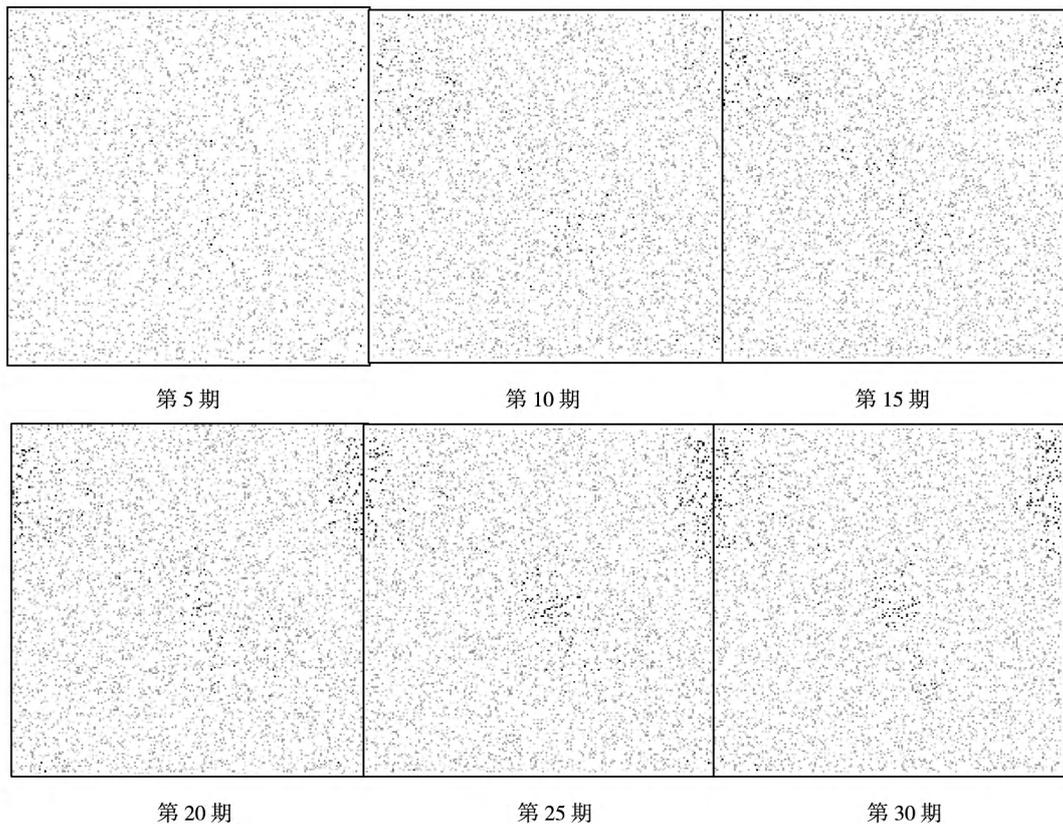


图 6 充电设施局部建设的市场培育效果

Fig. 6 Market cultivation effects under local charging infrastructure construction

第一,离散选择实验的分析结果显示,用户规模和加能站密度对消费者购买电动汽车的意愿具有显著影响,意味着汽车产业中不仅存在着与用户规模有关的直接网络效应,也存在着与配套基础设施有关的间接网络效应。

第二,在汽车产业演化过程中,传统汽车凭借价格和性能优势占领市场,虽然电动汽车的价格和性能属性不断改善,但市场份额仍然十分有限,无法改变传统汽车的主导地位。从市场需求的分布演化情况看,在网络效应的作用下,电动汽车消费在空间上呈现出“分散—集中”的特征,需求数

量上经历了“增长—停滞—再增长”三个阶段。

第三,充电站建设有利于提高电动汽车配套设施水平,通过增强网络效应促进了私人消费者的自发购买和电动汽车产业的发展,其政策效果在电动汽车需求分布由分散到集中的时期体现出来。比较而言,全局建设的效应相对较弱,主要在于阻止已有电动汽车使用者换车时转变购车选择;局部建设的效应相对更为明显,依靠提高特定区域充电站的密度强化网络效应,从而增加潜在消费者购买电动汽车的动力,加速电动汽车的市场培育。

参 考 文 献:

[1]林伯强,杜之利.中国城市车辆耗能与公共交通效率研究[J].经济研究,2018(6):142-156.

Lin Boqiang, Du Zhili. A study of China's urban vehicle energy consumption and public transport efficiency[J]. Economics Research Journal, 2018(6): 142-156. (in Chinese)

[2]Vernon R. International investment and international trade in the product cycle[J]. The Quarterly Journal of Economics,

1966: 190 – 207.

- [3] Abernathy W J , Utterback J M. Patterns of industrial innovation [J]. *Technology Review* , Ariel , 1978 , 64: 228 – 254.
- [4] Gort M , Klepper S. Time paths in the diffusion of product innovation [J]. *The Economic Journal* , 1982 , 92(367) : 630 – 653.
- [5] Klepper S , Graddy E. The evolution of new industries and the determinants of market structure [J]. *The RAND Journal of Economics* , 1990: 27 – 44.
- [6] Schumpeter J A. *Capitalism , Socialism , and Democracy* [M]. Fifth edition. London: George Allen and Unwin , 1976.
- [7] Sabatier V , Craig-Kennard A , Mangematin V. When technological discontinuities and disruptive business models challenge dominant industry logics: Insights from the drugs industry [J]. *Technological Forecasting and Social Change* , 2012 , 79(5) : 949 – 962.
- [8] Yildizoglu M. Competing R&D strategies in an evolutionary industry model [J]. *Computational Economics* , 2002 , 19(1) : 51 – 65.
- [9] Grodal S , Gotsopoulos A , Suarez F F. The coevolution of technologies and categories during industry emergence [J]. *Academy of Management Review* , 2015 , 40(3) : 423 – 445.
- [10] Blankenberg A K , Buenstorf G. Regional co-evolution of firm population , innovation and public research? Evidence from the West German laser industry [J]. *Research Policy* , 2016 , 45(4) : 857 – 868.
- [11] Kale D , Little S. From imitation to innovation: The evolution of R&D capabilities and learning processes in the Indian pharmaceutical industry [J]. *Technology Analysis & Strategic Management* , 2007 , 19(5) : 589 – 609.
- [12] Wahab M. Asymmetric output growth effects of government spending: Cross-sectional and panel data evidence [J]. *International Review of Economics and Finance* , 2011 , 20(4) : 574 – 590.
- [13] Schuitema G , Anable J , Skippon S , et al. The role of instrumental , hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* , 2013 , 48: 39 – 49.
- [14] 周亚虹 , 蒲余路 , 陈诗一 , 等. 政府扶持与新型产业发展——以新能源为例 [J]. *经济研究* , 2015 , 50(6) : 147 – 161.
- Zhou Yahong , Pu Yulu , Chen Shiyi , et al. Government support and development of emerging industries: A new energy industry survey [J]. *Economics Research Journal* , 2015 , 50(6) : 147 – 161. (in Chinese)
- [15] 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)
- [16] 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.
- [17] Carley S , Krause R M , Lane B W , et al. Intent to purchase a plug-in electric vehicle: A survey of early impressions in large US cites [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* , 2013 , 18: 39 – 45.
- [18] Krupa J S , Rizzo D M , Eppstein M J , et al. Analysis of a consumer survey on plug-in hybrid electric vehicles [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* , 2014 , 64: 14 – 31.
- [19] Hagman J , Ritzén S , Stier J J , et al. Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion [J]. *Research in Transportation Business & Management* , 2016 , 18: 11 – 17.
- [20] Moons I , De Pelsmacker P. Emotions as determinants of electric car usage intention [J]. *Journal of Marketing Management* , 2012 , 28(3 – 4) : 195 – 237.
- [21] Rezvani Z , Jansson J , Bodin J. Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* , 2015 , 34: 122 – 136.

- [22] Byrka K, Jedrzejewski A, Sznajd-Weron K, et al. Difficulty is critical: The importance of social factors in modeling diffusion of green products and practices [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 62: 723 – 735.
- [23] Jansson J, Nordlund A, Westin K. Examining drivers of sustainable consumption: The influence of norms and opinion leadership on electric vehicle adoption in Sweden [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 154: 176 – 187.
- [24] Axsen J, Orlebar C, Skippon S. Social influence and consumer preference formation for pro-environmental technology: The case of a UK workplace electric-vehicle study [J]. *Ecological Economics*, 2013, 95: 96 – 107.
- [25] Axsen J, Kurani K S. Interpersonal influence within car buyers' social networks: Applying five perspectives to plug-in hybrid vehicle drivers [J]. *Environment and Planning A*, 2012, 44(5): 1047 – 1065.
- [26] Nayum A, Klöckner C A, Mehmetoglu M. Comparison of socio-psychological characteristics of conventional and battery electric car buyers [J]. *Travel Behaviour and Society*, 2016, 3: 8 – 20.
- [27] Gnann T, Plötz P. A review of combined models for market diffusion of alternative fuel vehicles and their refueling infrastructure [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 47: 783 – 793.
- [28] Yu Z, Li S, Tong L. Market dynamics and indirect network effects in electric vehicle diffusion [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016, 47: 336 – 356.
- [29] Klepper S, Simons K L. Industry shakeouts and technological change [J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2005, 23(1): 23 – 43.
- [30] 盛昭瀚, 高洁, 杜建国. 基于 NW 模型的新熊彼特式产业动态演化模型 [J]. *管理科学学报*, 2007(1): 1 – 8.
Sheng Zhaohan, Gao Jie, Du Jianguo. Neo-schumpeterian evolutionary model of industrial dynamics based on NW model [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2007(1): 1 – 8 (in Chinese)
- [31] 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)
- [32] Eppstein M J, Rizzo D M, Lee B H Y, et al. Using national survey respondents as consumers in an agent-based model of plug-in hybrid vehicle adoption [J]. *IEEE Access*, 2015, 3: 457 – 468.
- [33] Zhang T, Gensler S, Garcia R. A study of the diffusion of alternative fuel vehicles: An agent-based modeling approach [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2011, 28(2): 152 – 168.
- [34] Kangur A, Jager W, Verbrugge R, et al. An agent-based model for diffusion of electric vehicles [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2017, 52: 166 – 182.
- [35] Karaaslan E, Noori M, Lee J Y, et al. Modeling the effect of electric vehicle adoption on pedestrian traffic safety: An agent-based approach [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 93: 198 – 210.
- [36] Katz M L, Shapiro C. Network externalities, competition, and compatibility [J]. *The American Economic Review*, 1985, 75(3): 424 – 440
- [37] Liebowitz S J, Margolis S E. Network externality: An uncommon tragedy [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1994, 8(2): 133 – 150.
- [38] Shankar V, Bayus B L. Network effects and competition: An empirical analysis of the home video game industry [J]. *Strategic Management Journal*, 2003, 24(4): 375 – 384.
- [39] Keith D, Sterman J, Struben J. Understanding spatiotemporal patterns of hybrid-electric vehicle adoption in the United States [R]. 2012.
- [40] 李永立, 陈杨, 樊宁远, 等. 考虑个体效用因素的社会网络演化分析模型 [J]. *管理科学学报*, 2018, 21(3): 41 – 53.
Li Yongli, Chen Yang, Fan Ningyuan, et al. Utility-based model for interpreting evolution patterns of social networks [J].

Journal of Management Sciences in China ,2018 ,21(03) : 41 -53 (in Chinese)

[41]Malerba F , Nelson R , Orsenigo L , et al. Demand , innovation , and the dynamics of market structure: The role of experimental users and diverse preferences [J]. Journal of Evolutionary Economics ,2007 ,17(4) : 371 -399.

Network effects , emerging industries evolution and niche cultivation: An agent-based modeling simulation from electric vehicle industry

SUN Xiao-hua , SUN Rui , TU An-na

Faculty of Management and Economics , Dalian University of Technology , Dalian 116024 , China

Abstract: The limited market demand is the key factor restricting the development of electric vehicle industry , and the market cultivation becomes an important and urgent problem to be solved in the evolution of electric vehicle industry. In this paper , the characteristics of network effects are firstly analyzed in the automobile industry and its existence is tested. A decision-making model including both heterogeneous manufacturers and consumers is constructed based on an agent-based framework to simulate the basic evolutionary process of auto industry under network effects and the distribution of market demand. The different effects of charging infrastructure construction for the electric vehicle market cultivation are then discussed. The results show that there exists both direct and indirect network effects separately concerning the user's size and complementary infrastructure in the auto industry. Conventional vehicles have been dominating the market during the evolution , leaving a very limited market share to EVs. Regarding the spatial distribution , the demand of electric vehicles shows a “decentralized-concentrated” trend in the simulation. The construction of charging infrastructure stimulates consumers' purchase willingness effectively by enhancing the network effects , which is demonstrated in the stage when the distribution of EV demand is turning from disperse to centralized. Compared with the overall construction , local construction can strengthen the network effects intensively by increasing the density of charging stations in specific areas to increase the willingness of potential consumers to buy electric cars , and therefore , accelerates the expansion of EVs' market demand.

key words: network effects; ABM; electric vehicle; industry evolution

附录

变量	取值	备注
C_{jcD}/C_{jnD}	$C_{jcD} \sim N(15, \frac{2.5 \times 10^5}{9})$ $C_{jnD} \sim N(20, \frac{2.5 \times 10^5}{9})$	单位(万元),参照市场情况经验取值 ($N(a, b)$ 表示均值为 a , 方差为 b 的正态分布)
Ran_c/Ran_n	$Ran_c = 500, Ran_n = 100$	参照市场情况经验取值
r_c/r_n	$r_c = 200, r_n = 300$	参照市场情况经验取值
A/B	$A = B = 25\%$	参照市场情况经验取值
ψ_{jc}/ψ_{jn}	$\psi_{jc} = r(0.01, 0.015)$ $\psi_{jn} = r(0.016, 0.02)$	数值设置参考 Wind 数据库数据 ($r(a, b)$ 表示在 a, b 之间区随机数下同)
a_c/a_n	$a_c = 0.01, a_n = 0.015$	参照市场情况经验取值
v	$v = 0.25$	根据模拟情况取值
C_{jc}/C_{jn}	$C_{jc} = 0.5C_{jcD}, C_{jn} = 0.375C_{jnD}$	参照市场情况经验取值
b_c/b_n	$b_c = 0.01, b_n = 0.015$	参照市场情况经验取值
R_c/R_n	$R_c = R_n = 1000$	参照市场情况经验取值
消费者收入 In	$In = random(5, 10) \dots 12.26\%$ $In = random(10, 20) \dots 56.24\%$ $In = random(20, 30) \dots 24.9\%$ $In = random(30, 100) \dots 6.6\%$	单位(万元),由问卷调查得到
年行驶里程 M	$In \in (5, 10)$ 则 $M = r(0.5, 1.5)$ $In \in (10, 20)$ 则 $M = r(1.5, 2)$ $In \in (20, 30)$ 则 $M = r(2, 2.5)$ $In \in (30, 100)$ 则 $M = r(2.5, 3)$	单位(万 km) 由问卷调查得到消费者的年行驶里程与收入之间的相关系数 0.377** 为,为简便处理忽略掉一些特殊情况
消费者性能门槛 $MinRan$	$In \in [5, 6.5)$ 则 $MinRan = 50$ $In \in [6.5, 12.5)$ 则 $MinRan = 100$ $In \in [12.5, 21)$ 则 $MinRan = 200$ $In \in [21, 29)$ 则 $MinRan = 300$ $In \in [29, 100)$ 则 $MinRan = 400$	由问卷调查得到消费者的性能门槛与收入之间的相关系数为 0.150** ,为简便处理忽略掉一些特殊情况
消费者价格边界 \bar{P}_c/\bar{P}_n	$\bar{P}_c = 2In$ $\bar{P}_c = 1.3In$	由问卷调查确定,且相关系数为 0.533**
购车补贴 Sub_j	2016: $Ran \in [100, 150)$ 则 $Sub = 2.5$ $Ran \in [150, 250)$ 则 $Sub = 4.5$ $Ran \geq 250$ 则 $Sub = 5.5$ 2017 年~2018 年补助标准在 2016 年基础上下降 20% , 2019 年~2020 年补助标准在 2016 年基础上下降 40%	参照国家财政部政策规定 http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefagui/201504/t20150429_1224515.html 地方政府实行等额补贴
PF/PE	$PF = 6, PE = 0.5$	参照市场情况取值
E_c/E_n	$E_c = r(5.78, 8.6), E_n = r(15, 30)$	参照市场情况取值
n	$n = r(1, 10)$	参照市场情况经验取值
T_c/T_n	$T_c = r(5, 10), T_n = r(60, 90)$	参照市场情况经验取值
加能站最大数量 (每 10km) max CS	4	参照市场情况经验取值
ECS_i	$ECS_0 \sim r(0, 1) \Delta ECS = 0.2$	