

充电基础设施对新能源汽车推广的影响研究

李晓敏, 刘毅然

(河南大学经济学院, 河南 开封 475004)

摘要:以2010—2020年中国37个城市为样本,研究充电基础设施对新能源汽车推广的影响。研究发现:充电基础设施的完善显著提高了中国新能源汽车的销量,以城市商业服务业设施用地面积作为公共充电桩的工具变量,以城市居民住宅竣工面积作为私人充电桩的工具变量,上述结论依然成立;在人口稠密、交通拥挤的大城市,与单纯增加充电桩数量相比,改进充电技术缩短充电时间更有助于刺激新能源汽车消费,特别是纯电动汽车;充电基础设施可用性的提高、可见度的增加和充电时间的缩短均能够显著增加新能源汽车的销量。

关键词:充电基础设施;新能源汽车推广;间接网络效应;充电时间

中图分类号:F423

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2023)01-0063-10

Research on the impact of charging infrastructure on the promotion of new energy vehicles

LI Xiaomin, LIU Yiran

(School of Economics, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: Based on panel data of 37 cities in China from 2010 to 2020, this paper firstly quantifies the effect of charging infrastructure on the promotion of new energy vehicles. The study finds that the improvement of charging infrastructure significantly increases the sales of new energy vehicles in China. For the consideration of reverse causality, this paper takes the land area of urban commercial service facilities as the instrumental variable of public charging points, and the completed area of urban residential buildings as the instrumental variable of private charging points. The above findings still hold. In densely populated and congested large cities, improving charging technology to shorten charging time is more helpful to stimulate new energy vehicle consumption, especially pure electric vehicles, than simply increasing the number of charging posts. Improved availability of charging infrastructure, increased visibility and shorter charging time can significantly increase the sales of new energy vehicles.

Key words: charging infrastructure; new energy vehicles; indirect network effect; charging time

作为新型基础设施建设的重要内容,充电基础设施建设对于促进新能源汽车推广具有重要作用。广泛分布的充电基础设施能够缓解消费者的里程焦虑,从而增加消费者在新能源汽车上的使用效用并促进新能源汽车的普及^[1-2]。充电基础

设施作为新能源汽车的互补品,很大程度上决定着新能源汽车的扩散速度^[3]。为了加快新能源汽车的推广步伐,促进交通领域“碳达峰、碳中和”目标的实现,国家高度重视充电基础设施的建设。2022年5月,国务院印发了《扎实稳住经济的一揽

收稿日期:2021-12-20 修回日期:2022-12-08

基金项目:国家社科基金项目“绿色转型背景下新能源汽车发展的阻滞与突破路径研究”(21FJYB014)。

作者简介:李晓敏(1982—),男,河南洛阳人,河南大学经济学院教授,博士生导师,经济学博士,研究方向为能源经济。通信作者:刘毅然。

子政策措施》,文件中指出要优化新能源汽车充电桩(站)投资建设运营模式,逐步实现所有小区和经营性停车场充电设施全覆盖,加快推进高速公路服务区、客运枢纽等区域充电桩(站)建设^[4]。随后,商务部等 17 部门发布了《搞活汽车流通扩大汽车消费若干措施》,措施明确要支持新能源汽车消费和充电设施建设,加快推进居住社区、停车场、加油站、高速公路服务区、客货运枢纽等充电设施建设,引导充电桩运营企业适当下调充电服务费^[5]。国家发展改革委等 10 部门更是在《关于进一步提升电动汽车充电基础设施服务保障能力的实施意见》中明确提出,到“十四五”末,要进一步提升我国电动汽车充电保障能力,形成适度超前、布局均衡、智能高效的充电基础设施体系^[6]。在当前经济下行压力下,这些措施的出台有利于提振新能源汽车消费和刺激内需,从而加快我国汽车产业的转型升级和高质量发展。截至 2021 年年底,全国充电设施规模达到 261.7 万台,换电站 1 298 座,为近 800 万辆新能源汽车提供服务^[7]。

得益于一系列相关政策的支持,我国充电基础设施建设已取得了长足的进步,并且在未来会得到继续完善。但是从已发生的实践来看,充电基础设施对于我国新能源汽车推广的促进效果究竟如何?鉴于充电基础设施建设与新能源汽车推广之间存在类似“先有鸡还是先有蛋”的争论,充电基础设施对新能源汽车推广影响的“净”效果究竟如何?目前,国内学者对上述问题尚缺乏规范的经济学研究 and 系统的量化评估。鉴于此,本文首次基于 2010—2020 年中国 37 个城市的面板数据,通过构建多元回归模型,实证研究充电基础设施对新能源汽车推广的影响效果,考虑到反向因果带来的内生性问题,本文还选取城市商业服务业设施用地面积作为公共充电桩的工具变量,城市居民住宅竣工面积作为私人充电桩的工具变量,以检验结论的稳健性;然后,从车型、充电桩类型、人口密度 3 个方面研究充电基础设施对新能源汽车推广影响的异质性;最后,进一步从充电基础设施的可用性、可见度以及充电时间 3 个方面进行了更加深入的量化分析。

一、文献回顾

充电桩数量是影响新能源汽车推广的重要因素,充电设施的不完善会导致消费者产生里程焦虑,进而影响新能源汽车的采用^[8-9]。许多研究发现,消费者非常在意新能源汽车的及时充电问题,如果在合理的行驶距离内没有提供足够的充电基础设施,那么即使是对购买新能源汽车感兴趣的消费者,也会担心在旅途中没有可见充电设施的情况下耗尽了电量,这种所谓的“里程(范围)焦虑”会抑制新能源汽车的市场扩散^[10-12]。Sierchula 等^[13]调查了 30 个不同国家的新能源汽车采用因素,如激励措施、燃料价格和充电基础设施,通过进行相关分析和 OLS 回归评估了它们对新能源汽车市场份额的影响,结果显示,充电基础设施的完善程度是最重要的影响因素之一。Mersky 等^[14]和 Egner 等^[15]分别量化研究了挪威和瑞典新能源汽车销售的影响因素,发现充电站(充电桩)数量的增加对新能源汽车销量的提升最为明显。Wang 等^[16]和李晓敏等^[17]则基于中国的省市级数据进行了考察,结果同样表明,充电设施数量是影响新能源汽车推广的重要因素。

然而,与单纯增加充电桩数量相比,充电设施的可用性、可见度以及充电速度的提升对新能源汽车采用规模的扩大效果更为明显。学者们采用不同的衡量方法评估了充电基础设施的可用性对消费者购买意愿的影响。如 Hackbarth 等^[18]使用地区人均充电站(充电桩)数量和单位面积上充电站(充电桩)的数量,Rasouli 等^[19]使用充电基础设施和消费者居住地之间的距离,Javid 等^[20]使用充电站和加油站数量之比进行研究。这些研究表明,充电基础设施可用性的提高有助于缓解里程(范围)焦虑和降低消费者对充电站的搜索成本,进而提高其购买意愿。Bakker 等^[21]通过大规模访谈分析了欧洲 5 个国家新能源汽车激励措施的效果,发现单位面积充电设施数量增加能够增加充电设施的曝光度,进而坚定消费者采用新能源汽车的信心。Illmann 等^[22]使用德国 2012—2017 年间邮政编码区域的每月新车注册数据,并将其与充电站的官方注册表进行了匹配,评估了充电

基础设施的可用性、可见度以及充电速度对新能源汽车采用的影响。结果表明:与单纯增加充电桩数量相比,充电设施的可用性、可见度以及充电速度的提升对提高消费者的购买意愿更加明显,而其中充电速度最为重要。尽管学者们研究使用的样本和方法有所不同,但大多数研究认为充电基础设施对新能源汽车采用的影响是积极的,完善的充电基础设施是新能源汽车扩散的必要条件^[13,20]。与上述研究不同,Bailey 等^[23]从消费者认知的角度出发,重点分析了消费者关于充电设施的认知和新能源汽车普及率的关系。他们通过横截面回归分析得出,充电基础设施的完善对于新能源汽车普及率的贡献很低,但是如果潜在消费者能够准确掌握充电站的位置和相关信息,则统计相关性会增加。

此外,充电设施对新能源汽车需求的影响还存在车型、充电桩类型、地域方面的差异。

由于纯新能源汽车(BEV)和插电式混合动力汽车(PHEV)技术特点的不同,使用纯新能源汽车(BEV)的消费者对于充电基础设施的依赖性更强,尤其是在远离居住地区的时候,因此充电基础设施对新能源汽车销量的影响存在车型差异^[22]。Neaimeh 等^[24]通过使用 OLS 和稳健回归模型评估了不同类型充电桩(慢速充电桩,22 千瓦;快速充电桩, ≥ 50 千瓦)对新能源汽车购买意愿的影响。结果显示,如果日行驶距离超过 240 公里,快充比慢充的影响更为明显。孙晓华等^[25]通过构建一个互补品视角下的厂商决策和消费者决策模型分析发现,与慢速充电桩相比,快速充电桩的建设成本低、灵活性高,更能满足当前新能源汽车车主的充电需求,应该成为基础设施投资的主要对象。Egner 等^[15]基于瑞典新能源汽车销量的市级数据分析发现,由于生活在不同人口密度地区的居民,其“充电便利焦虑”和“里程焦虑”的程度不一致,地区充电基础设施的影响效果存在显著的人口密度差异。

还有学者基于间接网络效应理论考察了充电设施对新能源汽车采用率的影响。间接网络效应理论认为充电基础设施作为新能源汽车的互补

品,其数量的增加能够提高新能源汽车的使用效用^[26]。这种网络效应主要体现在提高使用便利性和降低使用成本两个方面。在提高使用便利性方面,充电桩和公共充电站的建设数量增加能够大幅降低消费者在新能源汽车充电过程中的等待时间,节约了消费者的时间成本^[1]。在降低使用成本方面,在市场经济的作用下互补品供给数量随着用户规模的不断扩大而增加。在这种规模经济效应的影响下竞争加剧从而导致互补品的价格下降,消费者后续的使用成本进而也下降,从而能够提高消费者的购买意愿^[3]。如果充电设施发展滞后,将会严重限制新能源汽车的市场扩散。Yu 等^[27]基于博弈模型描述了新能源汽车及充电站在美国市场的均衡,认为充电设施与新能源汽车需求之间“鸡与蛋”式的启动难题是新能源汽车发展缓慢的重要原因。因此,如何发挥与充电基础设施相关的间接网络效应,是新能源汽车市场培育需要解决的核心问题^[26]。

总体而言,学者们对充电设施和新能源汽车推广的关系进行了比较广泛而细致的研究,但仍然存在以下不足:一是基于问卷调查和仿真模拟的研究较多,基于宏观数据的实证研究不足。本文基于 2010—2020 年中国充电设施数量和新能源汽车销量的市级数据,采用双重固定效应模型对两者之间的关系进行了实证研究。二是充电设施和新能源汽车推广关系的异质性研究缺位,当前少有文献从车型、充电桩类型、地域差异方面考察两者之间的异质性关系,本文对其异质性影响进行了深入分析。三是当前文献关于充电设施与新能源汽车需求之间“鸡与蛋”式的逆向因果关系没有得到有效解决,本文选取城市商业服务业设施用地面积作为公共充电桩的工具变量,城市居民住宅竣工面积作为私人充电桩的工具变量来解决这个问题。

二、研究设计

(一) 变量选取和数据来源

该研究是基于我国 2010—2020 年 37 个城市新能源汽车销量的面板数据来进行的。这些城市

包括 25 个新能源汽车试点城市^①以及 12 个省会城市^②,样本具有代表性。

1. 被解释变量

实证研究关注的因变量是我国各城市当年新能源汽车的销售数量,为了消除城市规模差异带来的影响,参照李明珊等^[28]的做法,采用各城市平均每万人新能源汽车销售数量作为被解释变量。鉴于纯电动汽车和插电式混合动力汽车的动力技术差异会导致它们对充电设施的依赖程度不同,被解释变量还包括各城市平均每万人纯电动汽车销售数量和各城市平均每万人插电式混合动力汽车销售数量。数据来源为《节能与新能源汽车年鉴 2011—2021》。

2. 核心解释变量

核心解释变量为充电设施数量,用我国各城市当年的充电桩保有量来衡量。从充电速度来看,充电桩可分为快速充电桩(简称“快充”)和慢速充电桩(简称“慢充”)^③。考虑到快充和慢充保有量的差异可能对新能源汽车推广产生不同的影响,因此本文在进一步的异质性分析中研究了这种影响差异。这部分数据来源于《节能与新能源汽车年鉴 2011—2021》和中国充电基础设施促进联盟官网。

3. 控制变量

控制变量包括地区车辆购置补贴、车辆限行、车辆限购、新能源汽车价格、新能源汽车技术水平、居民可支配收入、受教育水平以及人口密度。

车辆购置补贴用各城市当年私人购买单辆新能源汽车所获得的最高补贴金额来表示。各城市对纯电动汽车和插电式混合动力汽车实施不同的补贴标准,对纯电动汽车的补贴标准普遍高于插电式混合动力汽车,因此本文中车辆购置补贴等同于对纯电动汽车的购置补贴。车辆限行和车辆限购是指各城市是否对燃油车辆实施限行和限购,分别用两个虚拟变量来表示。

新能源汽车价格采用 2010—2020 年比亚迪公司每年的新能源汽车销售额与新能源汽车销量的比值来衡量。这样做一是基于数据可得性的考虑,二是比亚迪公司作为中国国内新能源汽车行业的龙头企业,其新能源汽车年度均价的变化可以反映出中国新能源汽车售价的整体变动情况。此外,为了在不同车型的异质性分析中更好地控制价格因素的影响,本文还分别采用比亚迪 E6 的年度成交价格和比亚迪秦的年度成交价格来作为纯电动汽车和混合动力汽车价格的代理变量。

当前新能源汽车推广的三大障碍(成本焦虑、里程焦虑和安全焦虑)都源于电池技术的不成熟,电池技术的改进是未来新能源汽车大规模采用的决定性因素^[29]。基于李晓敏等^[30]的研究,本文用各城市当年电池储能领域平均每万人拥有的专利申请数量来衡量新能源汽车行业技术水平。

收入水平用我国各城市当年居民人均可支配收入表征。受教育水平用各城市本专科在校生数量同总人口数量之比来表示。Egner 等^[15]认为,收入水平和受教育水平作为消费者自身重要的社会经济变量,能够显著影响其购买决策行为。现有研究表明,地区人口规模是影响新能源汽车销量的重要因素^[15,17],因此本文用各城市单位面积上的人口数量来作为人口密度的代理指标。

控制变量数据来源于《节能与新能源汽车年鉴 2011—2021》、《比亚迪股份有限公司年度报告 2011—2021》、汽车之家官网、易车官网、智慧牙专利检索网站、《中国城市统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》、Wind 数据库、东方财富网。表 1 列出了所有变量的英文名称、含义和描述性统计结果。

(二)方法和模型

为了考察充电基础设施对新能源汽车推广的影响,本文参照 Egner 等^[15]关于瑞典新能源汽车影响因素的研究模型,构建如下计量模型:

① 参见: <https://baike.baidu.com/item/新能源汽车试点城市/3585235>。

② 12 个省会城市包括石家庄、太原、哈尔滨、南京、福州、南宁、贵阳、西安、西宁、银川、兰州、乌鲁木齐。

③ 根据第一电动网,慢充是利用车辆自带的充电系统进行慢速充电的,慢充充电对电池有好处,电量也足一些,慢充 8~10 小时充满电池。快充一般都是直流大电流直接对车内电池充电,半小时左右就能充满 80%,比较适合中途补电用。

表1 变量名称、定义和描述性统计

变量名称	变量含义	观测值	均值	最小值	最大值
EV	平均每万人新能源汽车推广数量	407	7.464	0	70.846
BEV	平均每万人纯电动汽车推广数量	407	5.785	0	42.116
PHEV	平均每万人混合动力汽车推广数量	407	1.654	0	36.808
Charger	充电桩保有量(万个)	407	0.620	0	37.700
Fast	直流充电桩保有量(万个)	407	0.258	0	15.692
Slow	交流充电桩保有量(万个)	407	0.362	0	22.008
Subsidy	新能源汽车最高补贴金额(万元)	407	5.567	0	14
Road	机动车是否限行	407	0.459	0	1
Purchase	机动车是否限购	407	0.184	0	1
Price	新能源汽车售价(万元)	407	25.637	15.600	38.130
Price _{BEV}	纯电动汽车售价(万元)	407	33.330	28.980	36.980
Price _{PHEV}	混合动力汽车售价(万元)	407	18.700	13.290	24.250
Patent	平均每万人电池技术专利申请数量	407	0.205	0	2.551
Income	人均可支配收入(万元)	407	2.884	0.932	7.220
Education	本专科在校数量同总人口数量之比	407	0.054	0.005	0.121
Density	人口密度(万人/平方千米)	407	1.026	0.167	0.828

$$EV_{it} = \alpha + \beta Charger_{it} + \lambda X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中, i 表示城市, t 表示年份, ε_{it} 是随机误差干扰项。 EV_{it} 表示城市*i*在*t*年度平均每万人的新能源汽车销售数量, $Charger_{it}$ 表示城市*i*在*t*年度的充电设施数量, X_{it} 为控制变量。

三、实证结果和分析

(一)基准回归结果

首先对每个变量进行单位根检验,所有变量均为一阶差分平稳。然后采用方差因子分析来对各变量做多重共线性检验。方差因子分析结果显示,模型中解释变量最大的 VIF 为 4.54,小于 10 的临界值,1/VIF 均大于 0.1,因此模型不存在严重的多重共线性问题。

表 2 中模型 1~模型 4 分别显示了基准模型的 OLS 估计结果、控制城市效应的 OLS 估计结果、控制城市效应和时间效应的 OLS 估计结果以及控制城市效应和时间趋势项的 OLS 估计结果。由模型 3 的估计结果可知,各城市充电桩数量每增加 1 万个,平均每万人新能源汽车销量就增加 0.817 辆。估计结果表明,充电基础设施的完善有助于

增加新能源汽车的销量。这是因为更多数量的充电桩既能够克服消费者的里程焦虑、提高充电的便利性,又能够促进充电桩市场的竞争,减少消费者的使用成本,增强消费者的购买意愿。该发现与 Sierzechula 等^[13]和 Wang 等^[16]先前的研究相一致。2010 年我国充电桩数量仅为 2 000 多个,2020 年达到 161.4 万个。充电基础设施的不断完善缓解了消费者的充电焦虑和里程焦虑,使得各城市新能源汽车的销量不断增加。

表2 基准回归结果

变量名称	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
Charger	0.817 *** (6.16)	0.693 *** (5.14)	0.736 *** (5.61)	0.752 *** (5.76)
Subsidy	0.608 * (1.65)	0.554 * (1.77)	0.555 (1.61)	0.419 (1.57)
Road	1.575 *** (3.93)	1.890 *** (3.26)	0.751 *** (2.85)	0.708 *** (2.69)
Purchase	1.761 * (1.86)	0.406 (1.28)	0.870 (1.46)	0.930 (1.37)
Price	-0.622 *** (-7.25)	-0.381 *** (-3.23)	-0.481 *** (-4.06)	-0.663 *** (-2.89)
Patent	5.860 *** (3.35)	5.526 *** (2.83)	4.600 ** (2.42)	5.058 *** (2.68)
Income	1.438 * (1.89)	2.889 ** (2.57)	0.974 (0.85)	0.908 (0.79)
Education	7.736 (0.76)	8.173 (0.15)	4.606 (0.09)	9.572 (0.38)
Density	0.021 *** (3.56)	0.095 *** (5.90)	0.099 *** (6.34)	0.102 *** (6.57)
常数项	-16.581 *** (-4.00)	-8.002 *** (-3.01)	-8.969 *** (-4.26)	-6.872 *** (-3.81)
城市效应	否	控制	控制	控制
时间效应	否	否	控制	否
时间趋势项	否	否	否	控制
R ²	0.678	0.702	0.732	0.723
观测值	407	407	407	407

注: *、**、*** 分别表示 $p < 0.10$ 、 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 有统计学意义;括号内为 t 值。下同。

(二)内生性问题的讨论

关于充电桩数量和新能源汽车需求的关系,学界一直存在“先有鸡还是先有蛋”的争论^[26-28]。考虑到逆向因果可能带来的内生性问题,本文采用工具变量法进行处理。

公共充电桩的工具变量选取。本文借鉴李明珊等^[28]的做法,选取城市商业服务业设施用地面积作为公共充电桩的工具变量。按照《国务院办公厅关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见》的规定,独立的集中式充换电站用地供应模

式按照以往加油加气站的处理办法,纳入公用设施营业网点用地范围。根据国家《城市用地分类与规划建设用地标准》,公用设施营业网点用地被划分为商业服务业设施用地中的一类。公共充电设施一般占用的是城市商业服务业设施用地,有理由相信,城市商业服务业设施用地面积与公共充电桩的数量之间有高度的正相关关系,但城市商业服务业设施用地面积与新能源汽车销量之间并不存在明显的相关关系。因此,城市商业服务业设施用地面积适合作为公共充电桩的工具变量,该指标数据来源于《中国城市建设统计年鉴》。

私人充电桩的工具变量选取。本文采用房地产住宅竣工面积作为私人充电桩的工具变量。国家住房和城乡建设部在 2015 年颁布《关于加强城市电动汽车充电设施规划建设工作的通知》,明确规定各地区新建住宅的停车位要为充电设施的安装预留建设空间,同时对老旧小区采取统一改造、集体建设的方法,扩大充电桩数量,完善居民住宅充电设施,切实解决消费者充电难的问题。随后上海北京、杭州、深圳市等地方政府也出台了在住宅区和社会公共场所为新能源汽车充电桩预留安装空间的规定。有理由相信,城市居民住宅竣工面积与私人充电设施之间有高度的正相关关系,但城市居民住宅竣工面积与新能源汽车销量之间并不存在明显的相关关系。因此,城市居民住宅竣工面积适合作为私人充电桩的工具变量,该指标数据来源于《中国房地产统计年鉴》。由于 2015 年以后才出台住宅区必须预留充电设施的规定,本文采用 2015—2020 年的样本数据来进行估计。

表 3 列出使用工具变量进行两阶段最小二乘法(2SLS)回归的结果。其中模型 5 和模型 7 分别为工具变量第一阶段估计结果,其中模型 6 和模型 8 分别为工具变量第二阶段估计结果。由模型 5 ~ 模型 8 可知,工具弱识别检验和工具排他性检验统计值都超过了相关临界值,说明城市商业服务业设施用地面积 Commercial 和城市居民房地产住宅竣工面积 Housearea 满足作为工具变量的相关性和外生性条件。此外,充电基础设施 Charger 的系数在模型 6 和模型 8 中都显著为正,表明充电设施

的完善确实是新能源汽车销量增加的原因。

表 3 工具变量的 2SLS 回归结果

变量名称	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
Commercial	0.623 *** (3.84)	— —	— —	— —
Housearea	— —	— —	0.596 *** (4.29)	— —
Charger	— —	4.487 *** (4.43)	— —	4.505 *** (3.55)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	0.273 (0.83)	-6.479 *** (-4.58)	0.423 (1.22)	-7.462 *** (-3.91)
城市效应	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制
弱工具变量 识别检验	17.125		16.718	
过度识别检验	20.443		15.064	
观测值	407	407	222	222

(三)稳健性检验

1. 更换主要解释变量的代理指标

更换主要解释变量的具体做法为,在基准回归模型中用各城市公共充电桩数量来替换各城市充电桩总量。具体结果见表 4 中模型 9。在模型 9 中 Charger 的系数依然在 1% 的水平上显著为正,表明充电基础设施的完善显著提高了中国新能源汽车的销量。

2. 更换研究样本时间跨度

考虑到我国充电设施的飞速发展是在 2015 年国家发改委等 4 部门印发《电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020 年)》之后,本文进一步采用 2015—2020 年 37 个样本城市充电桩和新能源汽车销量的面板数据来考察充电基础设施对新能源汽车销量的影响,结果见表 4 模型 10,充电基础设施的完善提高新能源汽车销量的结论依然成立。

3. 更换省级样本数据

考虑到采用不同研究样本可能导致不同的研究结果,本文进一步采用 2010—2020 年除台湾地区、香港地区、澳门地区和西藏以外的中国其余 30 个省份的省际数据样本,使用双向固定效应模型考察充电基础设施对新能源汽车推广的影响。具体结果见到表 4 模型 11,充电基础设施的完善促进新能源汽车销量的结论依然成立。

4. 采用动态面板 GMM 估计

为了进一步检验结论的稳健性,本文采用动

态面板系统 GMM 模型来考察充电基础设施对新能源汽车推广的影响。具体做法为,在基准模型中加入新能源汽车销量的滞后项,估计结果见表 4 模型 12,动态面板 GMM 模型通过了自相关检验(AR 检验)和过度识别检验(Sargan 检验)。这表明,充电基础设施的完善促进新能源汽车销量的结论依然成立。

表 4 稳健性检验结果

变量名称	模型 9 更换 解释变量	模型 10 更换样本 时间跨度	模型 11 更换 省级样本	模型 12 更换估计 方法 GMM
<i>Charger</i>	2.714 *** (5.98)	0.968 *** (6.22)	0.218 *** (4.53)	1.399 *** (3.66)
$EV(t-1)$	— —	— —	— —	0.368 ** (2.13)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	-8.596 *** (-4.13)	-8.825 *** (-5.09)	-5.413 *** (-6.12)	-18.547 *** (-4.08)
城市效应	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制
$R^2/AR(2)$	0.709	0.679	0.518	0.265
<i>Sargan Test</i>	—	—	—	0.173
观测值	407	222	330	370

(四) 充电基础设施影响的异质性分析

这一部分从新能源汽车车型(纯电动汽车和混合动力汽车)、充电桩类型(快速充电桩和慢速充电桩)、人口密度(地区人口密度大小^④)3个方面考察充电设施对新能源汽车推广的影响。结果见表 5。

表 5 异质性考察结果

变量名称	模型 13 纯电动汽车	模型 14 混合动力汽车	模型 15 快充	模型 16 慢充	模型 17 人口密度大	模型 18 人口密度小
<i>Charger</i>	0.489 *** (2.50)	0.249 ** (2.29)	0.726 *** (6.08)	0.231 (1.46)	0.693 *** (3.81)	0.413 ** (2.15)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-7.176 *** (-4.39)	-9.735 *** (-3.55)	-8.580 *** (-6.11)	-7.385 *** (-7.09)	-4.037 *** (-3.68)	-8.745 *** (-5.76)
城市效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
R^2	0.679	0.395	0.693	0.397	0.752	0.634
观测值	407	407	407	407	209	198

基于模型 13 和模型 14 结果可知,对于纯电动汽车而言,*Charger* 的估计系数为 0.489;对于混合动力汽车来说,*Charger* 的估计系数为 0.249,小于纯电动汽车的系数。这表明充电设施对新能源汽车需求的影响存在车型差异,与插电式混合动力汽车相比,充电桩数量的增加对提升纯电动汽车

的销量更为显著。这是因为:纯电动汽车的唯一动力来源是电池,对充电桩的依赖非常大;而插电式混合动力汽车除了可以充电,还可以通过燃油来续航,对充电桩的依赖较小。

由模型 15 和模型 16 的估计结果可知,慢速充电桩 *Slow* 的估计系数虽然为正,但在统计意义上不显著;快速充电桩 *Fast* 的估计系数在 1% 的水平上显著为正。可见与慢充相比,快充数量的增加更有助于刺激新能源汽车消费。这是因为当前我国新能源汽车推广主要集中在人口稠密的大城市,与充电桩数量(充电可得性)相比,消费者更在意充电时间的长短(充电便利性),这与 Egner 等^[15]和 Illmann 等^[22]的研究结论相一致。2010—2020 年,我国充电技术不断得到发展,快速充电桩比例由 2010 年的不足 1% 上升到 2020 年的 41.35%,充电速度的提高和快速充电桩比例的增加大大缩短了消费者充电的等待时间,消费者购买新能源汽车的意愿也在不断增强。

模型 17 和模型 18 分别研究了充电桩在人口密度大的城市和在人口密度小的城市的影响效果。结果显示,充电基础设施 *Charger* 的估计系数均在 5% 的水平上显著为正。但是在人口密度大的城市样本中 *Charger* 的估计系数(0.693)明显高于人口密度小的城市样本中的估计系数(0.413)。这表明充电基础设施对新能源汽车推广的促进效果在人口密度不同的城市有明显的差异。这是因为,充电设施作为一种公共基础设施,在人口密度较大的地区使用效率更高。这与 Egner 等^[15]和李晓敏等^[17]的研究结论一致。

(五) 进一步讨论

本文进一步从充电设施的可用性(*Usability*)、充电设施的可见度(*Visibility*)、充电时间(*Time*)3个方面进一步考察充电设施和新能源汽车销量之间的关系。由于私人充电桩的使用具有排他性,我们在进行充电桩可用性、可见度和充电时间的讨论时,排除了私人充电桩,着重考察了公共充电桩的影响。充电桩的可用性(*Usability*)用我国各

④ 在 37 个样本城市中,历年平均人口密度排名靠前的 19 个城市为人口密度大的地区,排名靠后的 18 个城市为人口密度小的地区。

城市当年平均每万人所拥有的公共充电桩数量来衡量,代表充电桩的人均可使用程度;充电桩的可见度(Visibility)用我国各城市当年每 km² 的公共充电桩数量来衡量,代表充电桩的地理分布密度;充电时间(Time)用公共直流充电桩(快充)数量与公共交流充电桩(慢充)数量之比作为代理变量,这是因为在充电桩总量既定的情况下,该比值越大,总体充电时间越短。数据来源于《节能与新能源汽车年鉴 2011—2021》和中国充电基础设施促进联盟官网。对充电桩细化考察的回归结果见表 6。

表 6 对充电桩细化考察的回归结果

变量名称	模型 19	模型 20	模型 21
	可用性	可见性	充电时间
Usability	0.670 *** (8.22)	— —	— —
Visibility	— —	1.231 *** (3.74)	— —
Time	— —	— —	0.253 ** (2.87)
控制变量	控制	控制	控制
常数项	-5.956 *** (-5.93)	-8.100 *** (-6.25)	-9.679 *** (-7.40)
城市效应	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制
R ²	0.731	0.692	0.683
观测值	407	407	407

如表 6 所示,充电设施可用性(Usability)系数在 1% 的水平上显著为正。表明充电设施可用性的提高能够显著增强消费者对新能源汽车的购买意愿,这与孙晓华等^[3]和 Illmann 等^[22]的研究结论一致。充电设施可用性的提高,大大提高了消费者的使用便利性。充电基础设施可用性的差异也解释了新能源汽车推广速度的地区差异。2010—2020 年,样本中充电可用性排名前 4 位的城市分别是北京、合肥、上海、深圳。这 4 座城市年均每万人所拥有的充电桩数量分别是 10.7、8.67、8.64、8.28 个,这 4 个城市年均每万人所拥有的新能源汽车销量也是最靠前的,分别是 18.2、21.3、17.78、22.71 辆。而销量排名倒数 4 位的城市分别是长春、乌鲁木齐、银川、西宁。其年均每万人所拥有的新能源汽车数量分别是 0.68、0.79、0.95、0.99 辆;充电可用性也是落后的,年均每万人所拥有的充电桩数量分别是 0.62、0.78、1.09、1.19 个。

充电设施可见度(Visibility)在模型 20 中同样都在 1% 的水平上显著为正。这表明充电设施可见度的增强对新能源汽车销量的提升起到了积极的作用,这同 Bakker 等^[21]和 Illmann 等^[22]的研究结论相一致。充电设施可见度的提高不仅意味着充电设施的布局更加合理,而且意味着充电设施曝光度的增加。Illmann 等^[22]指出,只有在合理的行驶距离内提供充电基础设施,才能减小里程焦虑。也就是说充电桩数量不仅要多,还要布局合理,才能有效解决里程焦虑问题。而 Bakker 等^[21]认为充电设施可见度的提高能够增加充电设施的曝光度,传递政府推广新能源汽车的态度,从而促进新能源汽车信息的传播,坚定消费者采用新能源汽车的决心。

充电时间方面,(Time)在模型 21 中的估计系数在 5% 的水平上显著为正。也就是说,在充电桩总数既定的前提下,快充数量与慢充电数量的比值越高,新能源汽车的市场需求就越旺盛。这表明缩短充电时间能够大大增强消费者对新能源汽车的购买意愿,提高充电便利性是加快新能源汽车推广的重要因素。这与 Neaimeh 等^[24]和 Illmann 等^[22]的研究结论相一致。

四、结论与启示

本文基于 2010—2020 年中国 37 个城市的面板数据,通过构建多元回归模型,量化研究充电基础设施对新能源汽车推广的影响效果。研究发现:①充电基础设施的完善显著提高了中国新能源汽车的销量;出于逆向因果问题的考虑,本文以城市商业服务业设施用地面积作为公共充电桩的工具变量,城市居民住宅竣工面积作为私人充电桩的工具变量,上述结论依然成立。②在人口稠密、交通拥挤的大城市,与单纯增加充电桩数量相比,改进充电技术缩短充电时间更有助于刺激新能源汽车消费,特别是纯电动汽车。③充电基础设施可用性的提高、可见度的增加和充电时间的缩短均能够显著增加新能源汽车的销量。

基于以上研究结果可知,充电基础设施的完善能够促进新能源汽车的推广。因此,要加快推进充电设施的建设进程,不断优化和完善充电基

基础设施的规划与布局,提高充电桩利用效率,缩短充电时间,有效满足新能源汽车充电需求。

第一,加快推进充电基础设施建设进程,完善充电网络。首先,优化投资环境、吸引社会资本。充电基础设施建设周期较长,资金投入大,在短期内不能带来明显的收益,因此导致社会资本难以融入充电基础设施建设。各级政府应制定和完善优惠政策鼓励更多的社会资本进入,充分调动社会资本参与投资建设的积极性。其次,不断完善和细化充电基础设施的建设要求。各地政府应积极动员和指导大型商场、文体中心、影院等,建设具备充电功能的停车场和配套服务设施。不仅要重点推进园区(景区)、公路沿线等公共服务领域的充电设施建设,还要重视居民住宅小区、企事业单位内部停车位等私人领域的充电设施建设,鼓励私桩共享,重点打造快充为主、慢充为辅的公共充电网络。

第二,加快普及换电模式,强化快充技术研发,积极引入新技术来缩短充电时间。首先,在各地积极开展换点模式的示范应用活动,组织协调相关企业和地区大学及科研机构联合攻关充电技术,加大对充电技术创新和研发的奖励力度,推进无线充电、闪速充电技术和电池技术协同发展。其次,顺应新基建发展趋势,利用大数据、互联网、物联网等移动互联网等技术创新运营服务方式,加强新能源汽车和充电桩之间的双向互动,进而形成预约、查询、支付及远程操控的“互联网+充电”的运营模式,切实提高充电桩的利用效率,缩短用户充电时间。

第三,合理布局充电网点,提高充电桩利用效率。首先,各地政府应按照合理布局、适当超前、统一标准、桩站优先的原则,在城乡战略规划中纳入充电桩布局,统筹考虑充电网点的选址和建设,有机衔接充电桩建设布局与交通道路和电网规划。其次,在城市充电设施建设的过程中要以用户需求为导向,在不同功能性用地上精准投放,通过提高充电设施网络整体联通性,实现充电设施网络在区域间的互联互通,进而提升城市充电设施网络的可用性。最后,通过移动互联、大数据等

技术的应用构建充电服务网络大数据平台、云端管理平台、运维平台等数据平台,改善充电服务能力,有效提高充电桩利用效率。

参考文献:

- [1] ZHU L, WANG P, ZHANG Q. Indirect network effects in China's electric vehicle diffusion under phasing out subsidies [J]. *Applied energy*, 2019(251): 113-124.
- [2] ZHANG Q, LI H, ZHU L, et al. Factors influencing the economics of public charging infrastructures for EV-A review [J]. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2018(94): 500-509.
- [3] 孙晓华, 孙瑞, 徐帅. 电动汽车产业的网络效应: 识别与异质性检验 [J]. *中国软科学*, 2018(4): 132-145.
- [4] 国务院. 《扎实稳住经济的一揽子政策措施》(国办发〔2022〕12号) [EB/OL]. (2022-05-31) [2022-06-11]. http://www.gov.cn/xinwen/2022-05/31/content_5693237.htm.
- [5] 商务部. 《商务部等17部门关于搞活汽车流通 扩大汽车消费若干措施的通知》(商消费发〔2022〕92号) [EB/OL]. (2022-07-05) [2022-07-07]. <http://scyx.mofcom.gov.cn/article/h/202207/20220703331482.shtml>.
- [6] 国家发展改革委. 《关于进一步提升电动汽车充电基础设施服务保障能力的实施意见》(发改能源规〔2022〕53号) [DB/OL]. (2022-01-10) [2022-01-22]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1722583525108854091&wfr=spider&for=pc>.
- [7] 国家发展改革委. 到“十四五”末充电设施将满足超2000万辆汽车充电需求 [EB/OL]. (2022-01-21) [2022-02-07]. http://k.sina.com.cn/article_1893892941_70e2834d020015p0n.html.
- [8] HIDRUE M K, PARSOBS G R, KENPTON W, et al. Willingness to pay for electric vehicles and their attributes [J]. *Resource and energy economics*, 2011, 33(3): 686-705.
- [9] AXSEN J, KURANI K S. Hybrid, plug-in hybrid, or electric—what do car buyers want? [J]. *Energy policy*, 2013(61): 532-543.
- [10] FRANKE T, KREMSREM J F. Understanding charging behaviour of electric vehicle users [J]. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 2013(21): 75-89.
- [11] NEUBAYER J, WOOD E. The impact of range anxiety and home, workplace, and public charging infrastructure on simulated battery electric vehicle lifetime utility [J]. *Journal of power sources*, 2014(257): 12-20.
- [12] HOEN A, KOETSE M J. A choice experiment on alternative fuel vehicle preferences of private car owners in the Netherlands [J]. *Transportation research part A: policy and*

- practice, 2014(61):199-215.
- [13] SIERZCHULA W, BAKKER S, MAAK K. The influence of finance incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption [J]. Energy policy, 2014 (68): 183-194.
- [14] MERSKY A C, SPREI F, SAMARAS C. Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway [J]. Transportation research part D: transport and environment, 2016(46):56-68.
- [15] EGNER F, TROSVIK L. Electric vehicle adoption in Sweden and the impact of local policy instruments[J]. Energy policy, 2018(121):584-596.
- [16] WANG N, PAN H, ZHENG W. Assessment of the incentives on electric vehicle promotion in China [J]. Transportation research part A: policy and practice, 2017 (101): 177-189.
- [17] 李晓敏, 刘毅然, 杨娇娇. 中国新能源汽车推广政策效果的地域差异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(8):51-61.
- [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] RASOULI S, TIMMERMAN H. Influence of social networks on latent choice of electric cars: a mixed logit specification using experimental design data[J]. Networks and spatial economics, 2016, 16(1): 99-130.
- [20] JAVID R J, NEJAT A. A comprehensive model of regional electric vehicle adoption and penetration [J]. Transport policy, 2017(54): 30-42.
- [21] BAKKER S, TRIP J J. Policy options to support the adoption of electric vehicles in the urban environment [J]. Transportation research part D: transport and environment, 2013, 25(8):18-23.
- [22] ILLMANN U, KLUGE J. Public charging infrastructure and the market diffusion of electric vehicles[J]. Transportation research part D: transport and environment, 2020 (86): 1361-1378.
- [23] BAILEY J, MIELE A, AXSEN J. Is awareness of public charging associated with consumer interest in plug-in electric vehicles? [J]. Transportation research part D: transport and environment, 2015, 36 (5): 1-9.
- [24] NEAIMEH M, SALISBURY S D, HILL G A, et al. Analysing the usage and evidencing the importance of fast chargers for the adoption of battery electric vehicles [J]. Energy policy, 2017(108): 474-486.
- [25] 孙晓华, 刘小玲, 于润群. 城市规模、充电设施建设与新能源汽车市场培育 [J]. 运筹与管理, 2018, 27 (7): 111-121.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 李明珊, 孙晓华, 唐卓伟, 等. “示范推广”模式带动了市场需求吗——来自电动汽车产业的实证研究 [J]. 南开经济研究, 2022(1): 3-21.
- [29] 李晓敏, 刘毅然, 杨娇娇. 技术创新与新能源汽车销量: 基于“创新引致需求理论”的经验检验 [J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2022, 43(4):31-41.
- [30] 李晓敏, 杨娇娇, 刘毅然. 技术进步对新能源汽车需求的影响——来自 15 个国家的经验证据 [J]. 软科学, 2020, 34(10):12-17.
- [31] 李国栋, 罗瑞琦, 谷永芬. 政府推广政策与新能源汽车需求: 来自上海的证据 [J]. 中国工业经济, 2019(4): 42-61.
- [32] SHAO L L, YANG J, ZHANG M. Subsidy scheme or price discount scheme? mass adoption of electric vehicles under different market structures [J]. European journal of operational research, 2017, 262(3):1181-1195.
- [33] MOCK P, YANG Z P. Driving electrification: a global comparison of finance incentive policy for electric vehicles [J]. Experimental physiology, 2013 (98):1244-1246.
- [34] QIU Y Q, ZHOU P, SUN H C. Assessing the effectiveness of city-level electric vehicle policies in China [J]. Energy policy, 2019(130):22-31.

(本文责编:王延芳)