

DOI: 10.14092/j.cnki.cn11-3956/c.2021.01.005

● 电力经济研究

# 后补贴时代私人电动汽车消费者行为与“车电分离”模式

杨淑霞, 程晓钰, 朱春旭

(华北电力大学 经济与管理学院, 北京 102206)

**摘要:**我国电动汽车(EV)市场迅速发展, 政府补贴政策既起到了积极作用, 同时也阻碍了电动汽车市场的进一步发展, 补贴退坡直至完全退出成必然结果。后补贴时代EV消费者行为发生了变化, 要求电动汽车企业选择新的商业模式。“车电分离”无疑是企业可以考虑的且有价值的商业模式之一, 那么“车电分离”模式是否符合后补贴时代EV消费者行为特征这一问题值得研究。本文首先设计调查问卷分析后补贴时代EV消费者行为特征, 基于效用理论构建整车销售模式和“车电分离”模式的效用模型, 然后以蔚来ES6运动版电动汽车为例, 计算两种模式下电动汽车的效用。最后, 分析“车电分离”模式与后补贴时代EV消费者行为特征之间的联系。研究表明, EV消费者主要重视成本、环保意识以及动力电池三个方面, “车电分离”模式的效用大于整车销售模式的效用, “车电分离”模式更加符合后补贴时代EV消费者行为, 并且有利于环境保护。

**关键词:**私人电动汽车; 后补贴时代; 消费者行为; “车电分离”

**中图分类号:**F426.471; F426.61 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-2603(2021)01-0035-13

随着对能源危机和环境保护的日益重视以及对世界汽车市场竞争力的考虑, 我国开始投身于新能源汽车产业的发展建设中<sup>[1]</sup>。经过近十余年的努力, 我国的新能源汽车市场发展已初具规模, 各类车企纷纷加入其中, 积极进行科技创新, 与政府一道构建更加完善的电动汽车生产、销售、售后以及回收利用的完整体系<sup>[2]</sup>。据汽车工业协会统计, 截至2020年6月底, 我国新能源汽车保有量已达到417万辆, 虽然新能源汽车保有量逐年增加, 但占国内汽车保有总量的比例却很小, 仅为1.16%, 因此企业仍需努力提高新能源汽车的产销量。

政府发布的补贴激励政策在一定程度上推动着电动汽车市场的发展。Li W等人(2020)认为取消限购限行、政府直接补贴、购置税减免、车牌专用等措施显著地促进了电动汽车的扩散<sup>[3]</sup>。Wang N等人(2017)证明限行、限购两项交通政策使得消费者对电动汽车接受度的正向影响最为

收稿日期:2020-12-20

基金项目:国家社会科学基金资助项目“能源互联网环境效应研究”(16BJY055)。

作者简介:杨淑霞,女,华北电力大学经济与管理学院教授,博士生导师;程晓钰,女,华北电力大学经济与管理学院硕士研究生;朱春旭,男,华北电力大学经济与管理学院硕士研究生。

显著,是推动电动汽车保有量增加的主力<sup>[4]</sup>。Yu J 等人(2018)证明购买补贴、购买限制以及驾驶限制是电动汽车推广最有效的政策<sup>[5]</sup>。我国的电动汽车补贴政策从 2009 年开始实施,逐步合理规划,适应市场环境变化。2015 年起,政府规定了每年的补贴退坡幅度,并预计 2021 年,新能源电动汽车的补贴政策将完全退出。

政府发布的补贴政策促进我国电动汽车市场的发展,吸引更多企业投身于电动汽车行业,吸引更多消费者购买电动汽车,上述研究都证明了补贴政策有助于电动汽车市场的发展。了解补贴政策的成功之处,为本文分析商业模式的有效性提供思路。但是由于补贴政策的门槛低,导致电动汽车企业的质量参差不齐,产业发展方向不明确,同时补贴政策缺乏监管,执行力的稳定性差,从长远来看,这将阻碍电动汽车市场的进一步发展。在未来,电动汽车行业必须由政策驱动转换为市场驱动才能够有进一步的发展,因此补贴退坡直到完全退出是必然结果。补贴取消后,EV 消费者的消费行为特征会如何改变、电动汽车企业如何应对,这值得我们深入探究。

影响 EV 消费者购买行为的因素有很多方面,有许多学者对此作了研究。Tu J 等人(2019)认为周围环境的咨询意见、环保意识和对技术产品的接受程度影响消费者购买电动汽车的行为意图<sup>[6]</sup>。Du H 等人(2020)认为低碳意识、主观规范以及政策的可接受性对消费者购买行为的影响作用很大<sup>[7]</sup>。Wei W 等人(2020)发现六个影响消费者购买行为的因素,分别为汽车的设计特性、国民意识、动力电池、政府政策、购买使用成本以及从众心理<sup>[8]</sup>。Huang X 等人(2019)证明消费者态度、知觉行为控制、认知状态、产品知觉和货币激励政策措施对消费者购买电动汽车的意愿有显著影响<sup>[9]</sup>。Jung 等人(2019)的研究结果表明具有绿色自我认同的消费者的购买意愿有显著影响<sup>[10]</sup>。以上研究提出的影响消费者购买意愿的因素指标如表 1 所示。政府政策也会对 EV 消费者购买行为产生影响。Wolbertus Rick 等人(2018)发现特定补贴政策对电动汽车的使用和充电行为有显著影响<sup>[11]</sup>。Xiong Y 等人(2020)发现 EV 消费者的政策认知对购买意愿的敏感度非常显著<sup>[12]</sup>。

表 1 影响消费者购买意愿的因素指标及代表性文献

作者(年份)	影响消费者行为的因素
Tu J(2019)	周围环境的咨询意见、环保意识和对技术产品的接受程度
Du H(2020)	低碳意识、主观规范以及政策的可接受性
Wei W(2020)	汽车的设计特性、国民意识、动力电池、政府政策、购买使用成本以及从众心理
Huang X(2019)	消费者态度、知觉行为控制、认知状态、产品知觉和货币激励政策措施
Jung, Moon Sun(2019)	环境心理因素(绿色自我认同、环境知识、绿色信任)

EV 消费者的消费行为特征受到多方面因素的影响。人口统计因素、电动汽车产品性能、心理因素以及消费者的主观规范和知觉行为控制等因素都影响 EV 消费者的购买意愿,另外消费者对补贴政策的认知会影响其购买意愿。这些研究所涉及的因素指标为本文中用到的调查问卷的内容设计提供了参考。

电动汽车企业需要寻找新的商业模式来应对后补贴时代市场发生的变化。有许多学者对此进行相关的研究。Zhang J 等人(2017)评价电动汽车分时租赁商业模式的创新程度,并对其提出改进建议和措施<sup>[13]</sup>。Toglaw Sam 等人(2018)提出一种新的自主电动汽车,用于应对交通行业的过渡期,为客户提供真正的价值<sup>[14]</sup>。Yang S 等人(2018)根据电动汽车消费者行为特点,提出企业可采用“车电分离”的商业模式来获取更多利润<sup>[15]</sup>。“车电分离”是指电动汽车的电池与底盘不是一个整体,可以分离,消费者购买电动汽车后不需要自己充电,而是租赁电池。Zhang T 等人(2018)的研究结果

表明换电站能够提供更大的财务和社会效益<sup>[16]</sup>。Liang Y 等人(2017)发现电池的价格以及数量是影响换电站最大日收益的重要影响因素<sup>[17]</sup>。Shao S 等人(2017)的研究结果表明由电池更换货车来为车主提供电池更换活动的方法合理且车主满意度高<sup>[18]</sup>。目前大多学者都是对换电站进行研究,对“车电分离”模式经济性的研究较少。

后补贴时代背景下,电动汽车企业寻找新的商业模式,以应对补贴退坡带来的打击并提高利润水平。以上研究为企业提供一些可供选择的商业模式。“车电分离”模式中一个最重要的环节就是换电站的建设与经营,有很多学者也对其进行了研究,包括换电站的经营模式、充电技术以及经济性。这都为“车电分离”模式的分析奠定了基础。

效用论通常用来帮助企业做出决策。Warren Geoffrey J(2019)<sup>[19]</sup>, Abbas Ali E 等人(2018)<sup>[20]</sup>, 吴国莹(2015)<sup>[21]</sup>, 郑常龙(2013)<sup>[22]</sup>的研究都用到了效用论,效用反映消费者的偏爱程度,可以用于解决企业如何竞争选址以及城市居民如何选择出行方式等问题。同时也可帮助企业做出决策,在考虑消费者方面因素的基础上,分析各方案的可行性,从而选择最优的投资方案。

综上所述,(1)后补贴时代电动汽车企业无法应对补贴退坡过快带来的负面影响,直接导致电动汽车产销量下降,净利润下降,因此电动汽车企业应当寻找新的商业模式来提高利润率;(2)EV 消费者消费行为特征直接影响其购买意愿,后补贴时代 EV 消费者表现出不同的消费行为特征,针对具有不同消费行为特征的消费者,企业应当采取不同的商业模式;(3)在众多可供电动汽车企业选择的商业模式中,“车电分离”模式是一种有价值且易实现的商业模式,通过改变传统的续能模式,实现车身和电池价值的延长。但是专家学者对“车电分离”模式的技术要求、政策法规以及经济性的量化研究较少。

本文在补贴政策退坡、消费者购买行为变化以及效用论等研究成果的基础上,通过调查问卷分析后补贴时代 EV 消费者行为,同时建立整车销售模式与“车电分离”模式下电动汽车的效用模型,通过计算比较,分析整车销售模式和“车电分离”模式,哪一种更能够适应后补贴时代市场发展和消费者行为的变化。

## 一、后补贴时代消费者行为特征分析

### (一) 研究方法

#### 1. 调查问卷设计

本文通过问卷调查的方式来分析和研究补贴时代 EV 消费者的消费行为特征。本文调查问卷内容主要包括调查受访者个人信息的单选题,包括性别、年龄、月收入和教育程度等基本信息以及调查影响 EV 消费者购买电动汽车因素的重要程度的量表题。

#### 2. 调查样本选取

本文研究的是后补贴时代电动汽车的商业模式,结合问卷调查的内容,调查对象界定为拥有电动汽车和对电动汽车有研究、感兴趣的消费者。本文问卷调查取样为未知大样本,其最小样本量是根据公式(1)计算的。

$$n = \frac{Z^2 \times P(1 - P)}{\Delta^2} \quad (1)$$

其中Z为统计量,当置信区间为90%时,Z=1.64;P为概率值,取P=0.5;Δ为抽样误差,取Δ=5%。计

算得到本文问卷调查最小样本量为 269。

### 3. 调查过程

收集问卷主要通过两种方式:(1)现场拦截,学校内设有充电桩,选择上下班时间,在充电桩周围寻找电动汽车车主来填写问卷,收集到 128 份问卷;(2)网络调查,通过问卷星、微信以及微博等社交平台发放问卷,收回 229 份问卷。总共收集到 357 份问卷,有效问卷为 357 份。

#### (二) 信度及效度分析

##### 1. 信度分析

本文采用  $\alpha$  信度系数法考察问卷的信度情况。利用 SPSS19.0 对收集到的数据进行处理,可以得到问卷的克隆巴赫系数如表 2 所示,  $\alpha=0.926$ , 该量表信度很高, 数据可用。

表 2 可靠性统计

克隆巴赫系数	基于标准化项目的克隆巴赫系数	项数
.922	.926	17

##### 2. 效度分析

一般运用因子分析法来对问卷的效度进行分析,利用 SPSS19.0 对收集到的数据进行处理,可以得到问卷的 KMO 值和巴特利特球度检验显著性,如表 3 所示,  $KMO=0.851$ ,  $P=0.253$ , 该量表数据适合做因子分析。

表 3 KMO 和巴特利特球度检验

KMO 取样适切性量数		.851
Bartlett 的球形度检验	上次读取的卡方	1803.008
	自由度	.253
	显著性	.000

#### (三) 后补贴时代 EV 消费者行为特征

##### 1. 个人信息的描述性统计

本文利用 SPSS19.0 将涉及受访者基本信息的问题数据进行统计分析。根据问卷数据反馈,受访者涉及不同地区、不同年龄段,这使得问卷更具有效性和代表性。根据表 4 可知,本次调查男性偏多,占比 73.11%,女性偏少,占比 26.89%;在年龄段方面,大部分受访者年龄都在 45 岁以下,其中 26-35 岁的受访者最多,占比 51.26%;受访者的教育程度主要集中在本科阶段,占比 52.10%,其次为硕士及以上,占比 18.49%。在家庭月收入方面,各收入档位的人数比较平均,月收入在 20000 元以上的受访者最多,占比 27.73%;在购买电动汽车理想价格方面,有一半的受访者会选择购买 15 万以下的车, 15.97% 的受访者会追求高端品牌,愿意购买 31 万以上的电动汽车。

表 4 受访者个人特性

变量	频率	百分比
性别	男	73.11%
	女	26.89%

续表 4

	变量	频率	百分比
年龄	25岁以下	72	20.17%
	26-35岁	183	51.26%
	36-45岁	57	15.97%
	46-55岁	39	10.92%
	55岁以上	6	1.68%
教育程度	初中及以下	30	8.40%
	高中	24	6.72%
	大专	51	14.29%
	本科	166	52.10%
	硕士及以上	66	18.49%
家庭月收入	5000元以下	72	20.17%
	5000-10000元	90	25.21%
	10000-15000元	45	12.61%
	15000元-20000元	51	14.29%
	20000元以上	99	27.73%
购买电动汽车理想价格	6-10万	90	25.21%
	11-15万	78	21.85%
	16-20万	48	13.45%
	21-25万	45	12.61%
	26-30万	39	10.92%
	31万以上	57	15.97%

## 2. 因子分析

结合相关的文献资料, 本文在问卷量表题中提出了对 EV 消费者购买意愿会产生影响的 17 种因素。问卷调查过程中, 受访者需要对各个因素的重要程度打分。利用 SPSS 进行主成份分析, 以特征值大于 1 为标准, 提取三个主成份因子, 旋转后的成分矩阵可以表示提取的因子是怎样构成的。根据表 5 可知, 与因子 1 关系密切的影响因素包括电池的使用寿命、电池维修更换方便性、电池的安全性以及续航里程; 与因子 2 关系密切的影响因素包括环保意识、电动汽车绿色环保以及权威人士对电动汽车的评价; 与因子 3 关系密切的影响因素包括购置成本、使用成本以及维修保养成本。

表 5 旋转后的成分矩阵

影响因素	组件		
	因子1	因子2	因子3
电动汽车使用寿命	.700	.090	.137
购置成本	.358	.000	.769
使用成本	.381	.033	.769
维修保养成本	.284	.215	.801
电动汽车经济合理	.710	.312	.216
电池使用寿命	.881	.120	.061
电池维修更换方便	.802	.238	.199
电池的安全性	.920	.107	.071
充电时间	.744	.147	.168

续表 5

影响因素	组件		
	因子1	因子2	因子3
续航里程	.896	.110	.120
充电设施建设	.853	.136	.138
环保意识	.235	.794	.109
电动汽车绿色环保	.329	.792	.093
权威人士的言论引导	.054	.912	.026
周围人的影响	.110	.854	.063
电动汽车提升自身形象	.113	.641	.288
售后服务保障	.622	.134	.442
是否选择购买电动汽车	-.156	.188	.479

将数据结果与实际相结合可知,后补贴时代消费者行为特征主要表现在三个方面:(1)动力电池相关因素。消费者看重动力电池的使用寿命和安全性,希望动力电池的续航里程能够满足消费者的需求,并且维修更换更加方便;(2)对环保的认知。消费者具备较强的环保意识,比较看重电动汽车绿色环保特性,并由此选择购买电动汽车;(3)成本因素。消费者看重电动汽车的购买成本、使用成本以及维修保养成本,最终支付的费用越少,消费者就更倾向于选择它。

## 二、整车销售模式与“车电分离”模式效用模型

### (一) 效用模型构成

利用效用的序数性,比较不同商品的效用大小,从而可以得到消费者对商品的偏爱程度。本文将分析整车销售模式和“车电分离”模式下电动汽车效用的构成,得到EV消费者对二者的偏爱程度,考察两种模式对个人、企业、社会的综合影响,以此判定哪种模式更符合社会发展的要求。分析电动汽车企业生产和销售电动汽车的整个过程发现,主要对企业、消费者和社会这三个方面产生影响。因此,本文将从消费者效用、生产者效用和社会效用三个方面来比较整车销售模式和“车电分离”模式下电动汽车的效用。

1. 消费者效用 $U_C$ 。消费者剩余是消费者交易效用的一种测度方法<sup>[23]</sup>,因此本文用EV消费者剩余来表示在购买电动汽车过程中消费者所获得的效用。整车销售模式和“车电分离”模式下动力电池所有权的归属方式不同,消费者在购买电动汽车时会考虑续航能力和电池性能等因素,因此,两种模式的消费者剩余会有所不同,并且剩余越大,消费者对其偏爱程度越大。

$$U_C = CS = M - N \quad (2)$$

公式(2)中 $U_C$ 为消费者效用, $U_C > 0$ ;  $CS$ 为消费者剩余; $M$ 为消费者的最高支付意愿; $N$ 为消费者的实际支付价格。

比较EV消费者的最高支付意愿与实际支付价格之间的大小关系,可以得到消费者剩余的正负。关于最高支付意愿,本文假设EV消费者对同一型号电动汽车的最高支付意愿是一致的;关于实际支付价格,本文用总拥有成本来衡量,从消费者的角度来看,它包括购置成本、使用成本以及维修保养成本等。实际产生成本的计算公式见式(3)。

$$N = TCO = C_b + C_u + C_r \quad (3)$$

$TCO$ 为总拥有成本;  $C_b$ 为购置成本;  $C_u$ 为使用成本;  $C_r$ 为维修保养成本。

2. 生产者效用 $U_P$ 。同样根据经济学原理一书中的理论, 本文用生产者剩余来代替电动汽车企业在生产和销售电动汽车时所产生的生产者效用。生产者剩余是指由于生产要素和产品最低供给价格与当前市场价格之间存在差异而给生产者带来额外的收益。生产要素和产品最低供给价格也就是电动汽车的制造成本。计算公式见式(4)。

$$U_P = P_0 - C \quad (4)$$

$U_P$ 为生产者效用,  $U_P > 0$ ;  $P_0$ 为电动汽车市场售价;  $C$ 为电动汽车制造成本。

3. 社会效用 $U_S$ 。本文的研究对象是整车销售模式和“车电分离”模式下的电动汽车, 二者最根本区别在于动力电池是否与车身分离。动力电池的生产、使用及回收过程都会对环境产生影响, 因此, 本文将主要考虑电动汽车的环境效用来比较整车销售模式和“车电分离”模式的社会效用。

两种模式下, 动力电池的使用和回收过程对环境产生的效果是相同的, 与燃油车相比, 电动汽车在使用过程中不会排放污染物, 可以做到“零污染”; 动力电池的回收过程涉及重金属的使用, 对环境可能会产生不好的影响, 而电池的种类决定了对环境产生影响的不同, 整车销售模式和“车电分离”模式使用的动力电池种类是一样的, 因此对环境产生的影响也是相同的。

对于动力电池来讲, 一个完整的充放电过程才是一个循环。影响动力电池的循环寿命的因素有充放电时截止电压、充放电倍率、充电时剩余电量、使用温度和存放条件等。电池的所有权归属的不同导致了动力电池的充电方式、充电条件、存放条件以及回收方式等都不同, 进而动力电池的寿命会不同, 在这个过程中, 产生的环境效用也是不同。

因此, 两种模式下电动汽车环境效用的区别主要表现在动力电池的生产过程中。用动力电池生产使用的成本来表示电动汽车的效用。所花费的成本越低, 则说明该模式下电动汽车的效用越大, 因此环境效用取值为负。计算公式见式(5)。

$$U_S = Q \quad (5)$$

$U_S$ 为社会效用,  $U_S < 0$ ;  $Q$ 为动力电池的生产成本。

综上所述, 电动汽车的效用计算公式为式(6)。

$$\begin{cases} U = U_C + U_P + U_S \\ U_C = CS = M - N = M - TCO \\ U_P = P_0 - C \\ U_S = Q \end{cases} \quad (6)$$

## (二) 整车销售模式下电动汽车效用模型

设 $U_1$ 为整车销售模式下电动汽车的效用, 则其计算公式见式(7)。

$$U_1 = U_C + U_P + U_S = CS_1 + (P_0 - C_1) + Q_1 \quad (7)$$

1. 从消费者角度来看, 整车销售模式下, 购置成本包括消费者一次性购买车体和动力电池的费用, 使用成本包含安装充电设施的费用以及充电时所支付的成本, 维修保养成本包含车辆的保养费用;

2. 从生产者角度来看, 电动汽车制造成本就是电动汽车生产企业制造整车所花费的制造成本;

3. 从社会角度来看, 整车销售模式下, 电动汽车的车身和动力电池为一体, 无法拆卸, EV 消费者日常需要通过充电桩来为动力电池蓄能。大多数 EV 消费者选择快充的方式, 无法对动力电池进行维护保养, 电动汽车的存放环境也不尽相同, 导致动力电池的容量快速衰减, 使用寿命降低。

(三)“车电分离”模式下电动汽车效用模型

设 $U_2$ 为“车电分离”模式下电动汽车的效用,则其计算公式见式(8)。

$$U_2 = U_C + U_P + U_S = CS_2 + (P_0 - C_2) + Q_2 \quad (8)$$

1. 从消费者角度来看,购置成本只包含购买车体的费用,使用成本包括租赁电池的费用,维修保养成本是指车辆的保养费用;

2. 从生产者角度来看,电动汽车制造成本包括电动汽车生产企业制造车体所花费的成本与电池资产公司生产电池所花费的成本;

3. 从社会角度来看,“车电分离”模式下,动力电池独立于车身存在, EV 消费者按照自己的日常用车需求,向电池资产公司租用合适的动力电池,并且在电能耗费完之后,在换电站更换新的电池。动力电池由换电站进行保存、充电、维修以及保养,在一定程度上可以延长动力电池的寿命。

### 三、基于蔚来 ES6 运动版整车销售模式和“车电分离”模式效用计算

(一) 基于蔚来 ES6 运动版整车销售模式效用计算

本文选取蔚来公司生产的蔚来 ES6 运动版(0 选装)作为研究对象,收集相关数据,计算整车销售模式下电动汽车的效用。蔚来 ES6 运动版配备 70 kwh 的三元锂电池,动力电池一次充放电循环预计可行驶 360 km,三元锂电池充放电循环 1000 次,可保证电池容量不会下降超过 20%,也就是说该款电动汽车有效行驶里程为 360000 km,假定私人电动汽车外部无其他损坏,平均每天行驶 120 km,可以行驶 2920 天,蔚来 ES6 的使用寿命为 8 年。根据以上假设,分别从以下三个方面计算整车销售模式下蔚来 ES6 运动版的效用(单位为元)。

1. 消费者效用

整车销售模式下,整车购买 ES6 运动版(0 选装)的价格是 358000 元,国家对于个人车主的补贴为 14400 元,因此总的购置成本为 343600 元;使用电动汽车时, EV 消费者需要安装私人充电桩为电动汽车充电,蔚来公司为消费者免费提供私人充电桩并且免费安装,私人充电桩充电的电价执行居民用电价格中的合表用户电价,为 0.4733 元/度,蔚来 ES6 的电池容量为 70 kwh。因此,一个循环周期内充电需要耗费 70 度电,也就是 33.13 元,在整个寿命周期内,循环周期次数为 1000 次,充电成本为 33130 元,因此总的使用成本为 33130 元;维修保养时,官方给出的建议是一年或者两万公里维修一次,本文设定消费者一年的行驶里程为 43800 km,一年需要进行两次基础保养,根据官方给出的各项保养费用可知,平均每年的保养费用为 1000 元,因此总的保养费用为 8000 元;设 EV 消费者实际支付意愿为 a,因此整车销售模式下蔚来 ES6 运动版的消费者效用  $U_C = a - 343600 - 33130 - 8000 = a - 384730$ 。

2. 生产者效用

整车销售模式下,蔚来 ES6 运动版的当前市场价格是 358000 元。整车购买,生产企业需要承担车体和动力电池的成本,设车体的制造成本为 b,根据麦肯锡 2017 年发布的电动汽车动力电池调研报告可知,三元锂电池的市场价格是 1500 元一度电,蔚来 ES6 配备的 70 kwh 的制造成本为 105000 元。因此整车销售模式下蔚来 ES6 的生产者效用  $U_P = 358000 - (b + 105000) = 253000 - b$ 。

3. 环境效用

根据以上车辆信息假设,蔚来 ES6 的动力电池容量为 70 kwh,寿命周期为 8 年,三元锂电池市



场价格是 1500 元一度电, 8 年期限内动力电池的生产成本为 105000 元。因此整车销售模式下蔚来 ES6 运动版的环境效用  $U_s = -105000$  元。

因此, 整车销售模式下蔚来 ES6 运动版的效用  $U_1 = (a - 384730) + (253000 - b) + (-105000) = a - b - 236730$ 。具体计算如表 6 所示。

表 6 整车销售模式和“车电分离”模式效用对比

项目	整车销售模式	“车电分离”模式
消费者剩余	购买价格	288000
	政府补贴	14400
	使用成本	94080
	维修保养成本	8000
	实际支付意愿	a
	合计	a-375680
	市场价格	288000
生产者剩余	车体制造成本	b
	动力电池制造成本	/
	合计	288000-b
环境效用	动力电池生产成本	-52500
总效用合计	a-b-236730	a-b-140180

数据来源: 蔚来官方网站

## (二) 基于蔚来 ES6“车电分离”模式效用计算

同样选取蔚来公司生产的蔚来 ES6 运动版(0 选装)作为研究对象, 收集相关数据, 计算“车电分离”模式下电动汽车的效用。蔚来 ES6 运动版配备 70 kwh 的三元锂电池, 理想状态下续航里程为 420 km, 实际续航里程为 360 km, 使用寿命是 8 年。根据以上假设, 分别从以下三个方面计算“车电分离”模式下蔚来 ES6 的效用(单位为元)。

### 1. 消费者效用

“车电分离”模式下, 消费者采用电池租用服务, 购车价格为 288000 元, 国家对于个人车主补贴 14400 元, 因此总的购置成本为 273600 元; 使用成本时, 消费者需要每月支付 980 元, 即可在蔚来充电站免费更换动力电池, 在 8 年使用期限内, 消费者需要支付的电池租金为 94080 元; 维修保养时, 与整车销售模式一样, 官方给出的建议是一年或者两万公里维修一次, 本文假设消费者一年的行驶里程为 43800 km, 一年需要进行两次保养, 总的维修保养费用为 8000 元; 研究整车销售模式与“车电分离”模式, 选取的是相同配置的蔚来 ES6 运动版, 因此消费者对其实际支付意愿都是相同的, 因此“车电分离”模式下蔚来 ES6 运动版的消费者效用  $U_c = a - 273600 - 94080 - 8000 = a - 375680$ 。

### 2. 生产者效用

蔚来 ES6 运动版的当前市场价格是 288000 元, 根据以上假设车身的制造成本为 b。因此“车电分离”模式下蔚来 ES6 运动版的生产者效用  $U_p = 288000 - b$ 。

### 3. 社会效用

在相同的 8 年使用期限内, 车主只需要用半块电池, 因此动力电池的生产成本为整车销售模式的一半, 为 52500 元。因此, “车电分离”模式下蔚来 ES6 运动版的社会效用  $U_s = -52500$

因此, “车电分离”模式下蔚来 ES6 运动版的效用  $U_2 = (a - 375680) + (288000 - b) + (-52500) = a -$

b-140180。具体计算如表6所示。

上述计算可得到,整车销售模式的效用为 $a-b-236730$ 元,“车电分离”模式的效用为 $a-b-140180$ 元,“车电分离”模式下电动汽车的效用大于整车销售模式。首先,在消费者效用方面,对于同一款车,消费者的实际支付意愿相同,实际支付价格的差异导致“车电分离”模式的消费者效用大于整车销售模式;其次,在生产者效用方面,由于“车电分离”模式不考虑动力电池的制造成本,因而“车电分离”模式的生产者效用大于整车销售模式;最后,在环境效用方面,“车电分离”模式下动力电池的使用寿命更长,在相同的车辆使用周期内“车电分离”模式需要的动力电池就少,动力电池生产时对环境造成的污染就少,环境效用就高。综合来看,“车电分离”模式能够带来更多的效用。

#### 四、“车电分离”模式与后补贴时代消费者行为

根据上文后补贴时代EV消费者行为调查,可以得到EV消费者行为特征主要表现在三个方面:成本、对环保的认知和对动力电池的要求,在此讨论“车电分离”模式与后补贴时代EV消费者行为特征是否相符合。

##### (一)“车电分离”与成本因素

EV消费者尤为看重购买以及使用电动汽车过程中需要付出的成本,包括购置成本、使用成本以及维修保养成本。首先,在购置成本上,“车电分离”模式不需要购置动力电池,因而“车电分离”模式下电动汽车的购置成本低于整车销售模式;其次,在使用成本上,整车销售模式下电动汽车需要充电,“车电分离”模式需要向换电站租赁动力电池,租赁费用会高于充电费用,因而“车电分离”模式下电动汽车使用成本高于整车销售模式;最后,在维修使用成本上,两种模式下电动汽车的基础保养成本都是一致的。综合来看,“车电分离”模式下电动汽车的总成本低于整车销售模式。

有些学者认为由于购买及使用电动汽车的总成本低从而会提高了顾客让渡价值<sup>[15]</sup>,“从经济性角度考虑,换电模式性能优于充电模式”<sup>[24]</sup>,这些成果和本文结论一致,都支持“车电分离”模式确实会降低电动汽车购买与使用的总成本,这符合消费者重视成本这一消费行为。

##### (二)“车电分离”与对环保的认知

EV消费者对环保的认知极大程度地影响他们选择购买整车销售模式还是“车电分离”模式。对环保的认知主要包括两个影响因素:消费者的环保意识和电动汽车的绿色环保。电动汽车绿色环保以及价格低廉是吸引一部分消费者放弃燃油车、选择电动汽车的一个重要因素。消费者自身的环保意识使其对电动汽车产生兴趣,并想要购买,当政府补贴政策取消,电动汽车没有价格上的优势,EV消费者以环保意识为重,选择具有环保价值的电动汽车,与“环境价值观对新能源汽车购买意愿有正向作用”,这一结论是一致的<sup>[25]</sup>。在效用计算中,本文发现“车电分离”模式带来的环境效用比整车销售模式大,因此“车电分离”模式更符合消费者的环保意识。

##### (三)“车电分离”与动力电池因素

EV消费者非常重视动力电池的相关性能,包括电池的安全性、电池的使用寿命、维修更换电池的方便性以及续航里程。无论对整车销售模式还是“车电分离”模式,电池都是不可忽略的部分,有学者的研究中提到动力系统的不同是电动汽车产生价格差异的主要原因<sup>[15]</sup>。

“车电分离”模式下,动力电池可拆卸、可更换,在电动汽车使用过程中,由充电站统一管理动

力电池,管理方式更加科学,有效地增加动力电池的使用寿命,EV消费者在每次换电之后拿到的电池均为符合标准、电能充足的,也能保证电池具备足够的安全性。而整车销售模式下,动力电池与车身一体,不可拆卸,无法及时监测与维护电池的状态,动力电池的容量衰减较快,使用寿命降低,同时电池的安全性得不到保障,极易发生自燃现象。只有在整车销售模式下,EV消费者需要考虑自行维修更换动力电池的方便性,需要考虑续航里程是否够用,“车电分离”模式下这两个问题都由换电站负责解决。

自始至终,动力电池的性能是消费者主要担忧的问题<sup>[15]</sup>。“车电分离”模式下,动力电池的所有权归属于换电站,解决了EV消费者的里程焦虑、充电效率、电池衰减等方面的难题,因此消费者会更倾向于选择“车电分离”模式。“车电分离”模式符合消费者重视动力电池性能这一消费行为。

## 五、结论

依据问卷调查结果、“车电分离”模式和整车销售模式下电动汽车的效用分析以及“车电分离”模式与EV消费者行为的讨论,可以得到以下结论:

### (一) 后补贴时代,“车电分离”模式优于整车销售模式

通过上文计算,“车电分离”模式下电动汽车的总效用大于整车销售模式,可以看到,在消费者效用、生产者效用和环境效用这三个方面,“车电分离”模式下电动汽车的效用均大于或等于整车销售模式。“车电分离”模式能够为消费者续能带来更多的便利,满足消费者更加多种多样的出行需求,最重要的是减少消费者的花费,增加消费者对电动汽车的兴趣;能够增加电动汽车产销量,提高电动汽车的数量在汽车总量中的比例,为电动汽车生产企业形成更大的盈利空间;有利于社会可持续发展,有很高的社会价值。整体来看,“车电分离”模式要优于整车销售模式。

### (二) “车电分离”模式符合后补贴时代EV消费者的购买行为

首先,“车电分离”模式下,EV消费者只需要负担车身的购置成本,并且只从电池使用方便来讲,租赁比充电的经济性更强,“车电分离”模式更加符合后补贴时代EV消费者愿意选择成本低的电动汽车的行为;其次,“车电分离”模式对于电池的处理使得动力电池在生产和回收环节能够减少对环境的污染,符合EV消费者重视的环保意识;最后,“车电分离”模式下,换电站对动力电池的存放、续能及保养,可以增加动力电池的使用寿命以及安全性,消费者完全不需要考虑动力电池的维修更换问题,换电的便捷性也使得消费者不再会出现里程焦虑的问题,“车电分离”模式有效解决了消费者对于动力电池性能的担忧。

### (三) “车电分离”模式更有利于环境保护

整车销售模式下,动力电池的回收率在10%左右,而“车电分离”模式下,参与换电的动力电池全部由充电站进行集中管理、梯次利用以及回收处理,回收率可保证达到100%,避免不符合要求的动力电池再次进入流通领域、发生危险,避免对动力电池不正确的处置方式,对环境造成污染。

## [参考文献]

- [1] Jin S Y, Liu G. The Research of Electric Vehicles Industry Based on Business Model [C]. 2016 2nd International Conference on Sustainable Energy and Environmental Engineering. USA: Destech Publications. 2016: 96-101
- [2] Li X, Liu W, Zhang B, et al. New entrants versus establishers in China and US electric vehicle marketplace: a comparative analysis [J]. Asia Pacific Business Review, 2019(01): 19-39.

- [ 3 ] Li W, Long R, Chen H, et al. Effect of Policy Incentives on the Uptake of Electric Vehicles in China [J]. *Sustainability*, 2019(12): 3323.
- [ 4 ] Wang N, Tang L, Pan H. Effectiveness of Policy Incentives on Electric Vehicle Acceptance in China: A Discrete Choice Analysis [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2017(105): 210–218.
- [ 5 ] Yu J, Yang P, Zhang K, et al. Evaluating the Effect of Policies and the Development of Charging Infrastructure on Electric Vehicle Diffusion in China [J]. *Sustainability*, 2018(10): 3394.
- [ 6 ] Tu J C, Yang C. Key Factors Influencing Consumers' Purchase of Electric Vehicles [J]. *Sustainability*, 2019(14): 3863.
- [ 7 ] Huibin Du, Diyi Liu, Benjamin K. Sovacool, et al. Who buys New Energy Vehicles in China? Assessing Social-psychological Predictors of Purchasing Awareness, Intention, and Policy [J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2018(58): 56–69.
- [ 8 ] Wei W, Cao M, Jiang Q, et al. What Influences Chinese Consumers' Adoption of Battery Electric Vehicles? A Preliminary Study Based on Factor Analysis [J]. *Energies*, 2020(05): 1057.
- [ 9 ] Huang X, Ge J. Electric Vehicle Development in Beijing: An Analysis of Consumer Purchase Intention [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019(APR. 10): 361–372.
- [ 10 ] Jung, Moon Sun. Effects of Psychological Environment Factors on Electric Vehicle Adoption: Application of Expanded Theory of Planned Behavior [J]. *Journal of Consumer Studies*, 2019(06): 51–73.
- [ 11 ] Wolbertus R, Kroesen M, Hoed R V D, et al. Policy Effects on Charging Behaviour of Electric Vehicle Owners and on Purchase Intentions of Prospective Owners: Natural and Stated Choice Experiments [J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2018, 62(JUL): 283–297.
- [ 12 ] Xiong Y, Wang L. Policy Cognition of Potential Consumers of New Energy Vehicles and Its Sensitivity to Purchase Willingness [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 261: 121032.
- [ 13 ] Jing ZHANG, Ying-Qi LIU. Research on the Innovation of Electric Vehicle Time-sharing Rental Business Model in Beijing [C]. *DEStech Transportations on Economics Business and Management*. USA: Destech Publications, 2017.
- [ 14 ] Toglaw S, Aloqaily M, Alkheir A A. Connected, Autonomous and Electric Vehicles: The Optimum Value for a Successful Business Model [C]. 2018 Fifth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IoTSMS).USA:IEEE, 2018: 303–308.
- [ 15 ] Yang S, Li R, Li J. "Separation of Vehicle and Battery" of Private Electric Vehicles and Customer Delivered Value: Based on the Attempt of 2 Chinese EV Companies [J]. *Sustainability*, 2020(05): 2042.
- [ 16 ] Zhang T, Chen X, Yu Z, et al. A Monte Carlo Simulation Approach to Evaluate Service Capacities of EV Charging and Battery Swapping Stations [J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2018, 14(09): 3914–3923.
- [ 17 ] Yanni Liang, Xingping Zhang, Jian Xie, et al. An Optimal Operation Model and Ordered Charging/Discharging Strategy for Battery Swapping Stations [J]. *Sustainability*, 2017(05): 700.
- [ 18 ] Sujie S, Shaoyong G, Xuesong Q. A Mobile Battery Swapping Service for Electric Vehicles Based on a Battery Swapping Van [J]. *Energies*, 2017(10): 1667.
- [ 19 ] Geoffrey J. Warren. Choosing and Using Utility Functions in Forming Portfolios. 2019(03): 39–69.
- [ 20 ] Ali E Abbas, Andrea C Hupman. On the Use of Utility Theory in Engineering Design. 2015 (02): 1152–1161.
- [ 21 ] 吴国莹. 基于Logit效用函数的竞争选址研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [ 22 ] 郑常龙. 基于效用理论的城市居民出行方式选择分析 [D]. 北京: 北京工业大学, 2013.
- [ 23 ] 格里高利·曼昆. 经济学原理 [M]. 梁小民, 陈宇峰, 译. 美国: 美国德赖登出版社, 1988: 51–53.
- [ 24 ] Du R, Liao G, Zhang E, et al. Battery Charge or Change, Which Is Better? A Case from Beijing, China [J].

Journal of Cleaner Production, 2018(192): 698–711.

[25] 杨武. 消费者环境价值观对新能源汽车购买意愿的影响研究 [D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2018.

## **Consumer Behaviors of Private Electric Vehicles in Post Subsidy Era and "Separation of Vehicle and Electricity" Model**

YANG Shu-xia, CHENG Xiao-yu, ZHU Chun-xu

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** With the rapid development of China's electric vehicle (EV) market, the government subsidy policy has not only played a positive role, but also hindered the further development of the electric vehicle market. It is inevitable that subsidies will decline and be completely withdrawn. In the post subsidy era, EV consumer behavior has changed. It requires electric vehicle enterprises to choose a new business model. "Separation of vehicle and electricity" is undoubtedly one of the realizable and valuable business models that enterprises can consider. Therefore, it is worth studying whether the "separation of vehicle and electricity" mode can meet the behavior characteristics of EV consumers in the post subsidy era. This paper first designs a questionnaire to analyze the behavior characteristics of EV consumers in the post subsidy era. Based on the utility theory, the utility models of vehicle sales mode and "vehicle electricity separation" mode are constructed. Then, taking NIO ES6 sports electric vehicle as an example, the utility of electric vehicles under the two modes is calculated. Finally, it analyzes the relationship between the "separation of vehicle and electricity" mode and the behavior characteristics of EV consumers in the post subsidy era. The results show that EV consumers mainly pay attention to cost, environmental awareness and power battery. The utility of "vehicle electricity separation" mode is greater than that of vehicle sales mode. The "vehicle electricity separation" mode is more consistent with EV consumer behavior in the post subsidy era, and is conducive to environmental protection.

**Key words:** private electric vehicle; post subsidy era; consumer behaviors; “the separation of vehicle and electricity”

(责任编辑: 杜红琴)