

纯电动汽车与传统燃油汽车的生命周期成本评估

周 谧(副教授), 卢利霞

【摘要】我国目前的环境污染问题和石油能源紧张问题使得新能源汽车得到政府的大力推广,关于电动汽车环境污染问题已有广泛研究。基于生命周期成本理论,系统而详细地分析电动汽车和燃油汽车使用过程中所耗费的所有经济成本和环境成本,并建立全面的汽车生命周期成本评估模型。而后针对两个具有代表性的品牌,首先对它们同一车型的燃油汽车和纯电动汽车进行全生命周期成本评估,并对共享经济情形下的汽车生命周期成本进行探讨,然后对相关敏感参数进行敏感性分析,最后得出家用电动汽车相比燃油汽车并不具有经济优势的结论,从而提出相关政策建议。

【关键词】生命周期成本; 电动汽车; 燃油汽车; 现值分析理论; 成本评估

【中图分类号】F279;U469.7 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1004-0994(2018)19-0062-7

一、引言

我国经济持续高速增长促进了能源资源消费的快速增长,随着汽车产业步入高速发展时期,我国所面临的石油能源紧张问题与环境污染问题将更加严峻。2012年6月28日,《国务院关于印发节能与新能源汽车产业发展规划(2012~2020年)的通知》声明,我国将加快培育和发展节能汽车与新能源汽车,到2020年,纯电动汽车和插电式混合动力汽车生产能力将达200万辆、累计产销量超过500万辆,当年生产的乘用车平均燃料消耗量将降至5.0升/百公里,节能型乘用车燃料消耗量将降至4.5升/百公里以下^[1]。随着石油资源的消耗,这将对我国整个电动汽车和混合动力汽车市场产生重大影响。考虑到石油价格上涨的预期,关于汽车生命周期私有成本的研究不断获得关注,该研究对汽车经济评价和市场可行性分析具有重要意义。

生命周期成本(Life Cycle Cost, LCC)最早是在

1969年被美国国防部用于评估、核算军工产品的成本,目前已逐渐发展成为从另一个尺度上定义和衡量可持续发展的概念和工具,它是指产品、过程、项目或行为在其整个生命周期(从原材料获取、加工到废弃物的回收或最终处置)内所消耗的资源(如人力、物力、财力、环境等)^[2]。关于汽车环境生命周期的研究已很成熟,艾江鸿等^[3]以生命周期理论为基础,将电动汽车和燃油汽车对环境造成的影响进行了比较,认为政府应大力推广电动汽车。随着新能源汽车受到的关注越来越广泛,一些学者开始利用生命周期成本理论对汽车成本进行实证研究。Delucchi等^[4]将生命周期成本与汽车产业相结合,以电池电动汽车为研究对象,建立了电动汽车生命周期成本分析模型。Wu等^[5]和Al-Alawi等^[6]分析比较了新能源汽车与传统燃油汽车的全生命周期使用成本,认为超微电动汽车较传统燃油汽车更有优势;而混合动力汽车比普通汽车拥有更低的能源成本,但当电池较大时其能源成本优势难以弥补增加的电池

【基金项目】国家自然科学基金项目“大数据环境下产品多维度全生命周期评价方法研究”(项目编号:71601060); NSFC-浙江两化融合联合基金项目“船舶电力推进系统状态监测与故障诊断的信息融合方法”(项目编号:U1709215); 安徽省自然科学基金项目“基于关联指标的模糊多属性证据推理方法及应用研究”(项目编号:1508085QG148)

成本。Eaves等^[7]和Lipman等^[8]对汽车全生命周期成本中的制造成本、燃料成本进行了评估；而吴添等^[9]引入了汽车的空调使用成本，认为纯电动客车成本高于燃油客车。Zhao等^[10]考虑到政府补贴对经济竞争的影响，得出了电动汽车在2031年前相对于内燃机汽车并不具有经济优势的结论。张环^[11]和Diao等^[12]将生命周期成本分为有形成本和无形成本，评估了几种不同类型燃油汽车和电动汽车的生命周期成本，Hao等^[13]则考虑了不同的汽车使用寿命对成本的影响。

目前生命周期成本理论已逐渐成熟，但对于新能源汽车的研究大多局限于能源成本、补贴政策层面，在限购政策成本、维护成本、电池技术发展层面还有所欠缺。随着“互联网+”发展战略的施行和共享经济的蓬勃发展，共享单车、共享汽车相继在北京、上海、重庆、合肥等大中城市亮相。

本文将我国新能源汽车市场为背景，从消费者视角，首先介绍汽车车型选择和数据来源，综合考虑纯电动汽车与燃油汽车使用过程中产生的全部经济成本，构建纯电动汽车与燃油汽车生命周期成本分析模型。然后，就汽车行驶里程、限购政策影响、电池技术发展做敏感性分析，对共享经济下的汽车生命周期成本进行探讨，并给出共享汽车发展的政策建议。

二、汽车生命周期成本评价模型及数据

(一)汽车样本选择

本文旨在分析电动汽车和燃油汽车的生命周期成本，而比亚迪作为新能源汽车生产的引领企业，对新能源汽车的研究有着重大意义，奇瑞汽车则是安徽本土知名汽车企业，在汽车行业的发展中具有一定的代表作用，因此，选择这两个不同品牌分别对其同一车型的电动汽车和燃油汽车进行对比分析。

(二)数据来源

本文数据来源为：①汽车车型相关参数信息主要来自于比亚迪官网和奇瑞官网；②汽车购买相关政策信息及维护信息主要通过国务院通知公告以及工信部、搜狐汽车、汽车之家、途虎养车等网站获取；③其他数据主要来源于文献。

(三)关键假设

本文假设：①所有汽车模型全生命周期使用寿命均为10年，总行驶里程均为15万公里，汽车每年平均行驶里程为1.5万公里；②汽车全生命里程中，

汽油和电能的市场价格保持不变，汽油的市场价格为6.63元/升，电能市场价格为0.58元/千瓦时；③电动汽车充电时，电能转换效率为80%^{[14][15]}；④电动汽车车主使用自安装充电桩充电，安装充电桩费用为8000元；⑤纯电动汽车每15万千米更换一次电池，对旧电池进行回收。

三、汽车成本生命周期评价模型建立

(一)汽车生命周期成本框架

汽车全生命周期成本主要包括私有成本和环境成本，其中私有成本主要包括购置成本、运营成本与处置成本。汽车生命周期私有成本框架见图1。

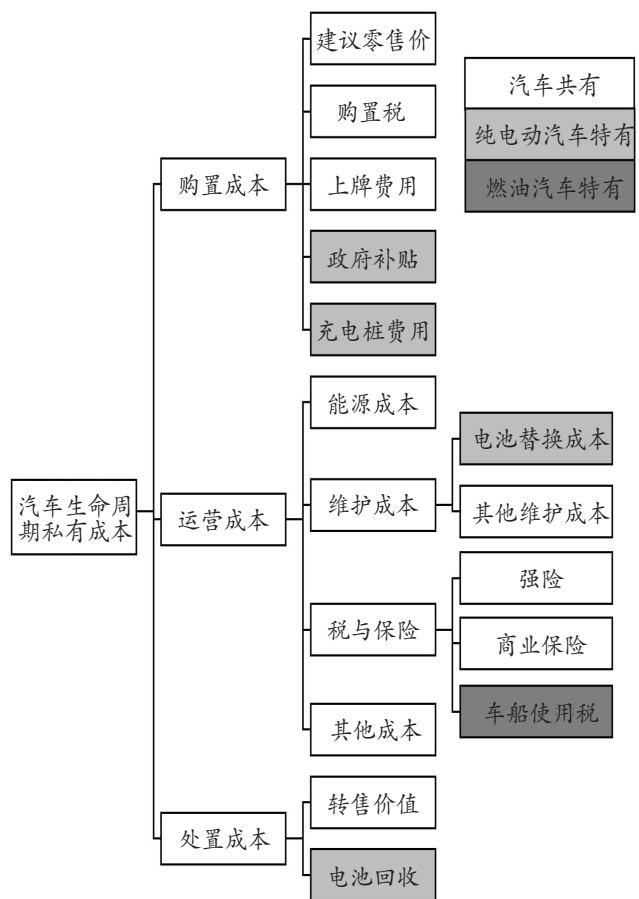


图1 汽车生命周期私有成本框架

(二)汽车生命周期私有成本评价模型

汽车生命周期私有成本评价，是指定量评价消费者在购买、使用和处置汽车的过程中所花费的全部经济成本。本文假设消费者在2017年购买汽车，并以2017年为基准年，从消费者角度计算汽车使用过程生命周期内即未来10年内所发生成本的贴现值。其全生命周期成本模型为：

$$TC=IC+OC_n-SV$$

其中:TC表示纯电动汽车或燃油汽车在全生命周期所发生的总成本的贴现值;IC表示购置成本,是指消费者购买汽车所发生的一次性成本的总和;OC_n表示运营成本,是指汽车n年使用过程中所花费的能源费用、维护费用、税与保险、其他成本的总和的贴现值;SV表示汽车处置时的残值贴现值。

1. 购置成本。购置成本(Initial Cost, IC)是指消费者在购买汽车时所花费的所有费用,主要包括厂商建议零售价、购置税、上牌费用、政府补贴和充电桩费用。计算公式为:

$$IC = MSRP + PT + LF - GS + CPC$$

$$= MSRP + \frac{MSRP}{1 + 17\%} \times r + LF - GS + CPC$$

厂商建议零售价(Manufacturer's Suggested Retail Price, MSRP)是指付给汽车经销商的费用,包括汽车零部件成本、制造成本、员工薪资、设计成本等。购置税(Purchase Tax, PT)与汽车价格有关,通常是购车款扣除增值税(17%)的一定比例r,购买排量为1.6L及以下的乘用车,其购置税比例为7.5%;排量大于1.6L时,购置税比例为10%。上牌费用(License Fee, LF)通常按商家提供的一条龙服务费用(约为500元)计算。对于充电桩费用(Charging Pile Cost, CPC),本文假设电动车车主采用自安装充电桩方式为纯电动汽车充电。

政府补贴(Government Subsidy, GS)包括国家补贴和地方补贴,其中国家补贴是指中央财政依据新能源汽车的节能减排效果向消费者给予补助以推广新能源汽车的应用。2017年新能源汽车国家补贴政策^[16]如表1所示。各个城市的地方补贴有所不同,北京、天津、广州、厦门、甘肃、山西、深圳等省市按照中央财政补贴额的50%进行补贴,合肥对纯电动续航里程大于150公里的乘用车按1:0.5的比例给予地方补助,其余类乘用车按1:0.2的比例给予地方补助。

表1 2017年新能源汽车国家补贴政策 单位:万元/辆

车辆类型	纯电动续航里程R(工况法、公里)			
	100≤R<150	150≤R<250	R≥250	R≥50
纯电动乘用车	2.0	3.6	4.4	/

2. 运营成本。运营成本(Operation Cost, OC)是指消费者作为该汽车所有者并为保证汽车的正常运行所支付的能源、维护、税、保险等必要成本费用。计算公式为:

$$OC_n = \sum_{i=1}^n \frac{EC + TIC + OC}{(1+k)^{i-1}} + \sum_{i=1}^n \frac{MC_i}{(1+k)^i}$$

$$= (EC + TIC + OC) \times \frac{1-p^n}{1-p} + \sum_{i=1}^n \frac{MC_i}{(1+k)^i}$$

其中:EC表示年能源成本;TIC表示年车船使用税与保险费;OC表示年其他成本;MC_i表示第i年的维护成本;k表示贴现率,本文假定贴现率为6%;p=1/(1+k)。

(1)能源成本(EC)。计算公式为:

$$EC = N \times P \times D \div R$$

其中:N表示电动汽车每百公里电力消耗(度)或燃油汽车每百公里燃油消耗(升);P表示单位电力价格(元/度)或单位燃油价格(元/升);D表示年电动汽车或燃油汽车行驶里程(公里/年);R表示电动汽车充电效率,对于燃油汽车,R=1。

(2)维护成本(MC)。维护成本是指为了使汽车保持正常运行所必须花费的保养和维护费用,主要包括电池替换成本和其他维护成本。计算公式为:

$$MC_i = BRC_i + OMC_i$$

其中:MC_i表示第i年的维护成本;BRC_i表示第i年的电池替换成本;OMC_i表示第i年的其他维护成本。

动力电池是电动汽车的关键零部件之一,随着电动汽车的使用以及电池的不断充放电,电池会发生退化现象。现车用锂离子蓄电池不仅容量大且具有高达1200次的循环寿命,电池成本约为1200元/千瓦时,本文假定纯电动汽车电池使用寿命为10年,总行驶里程为150000km。

其他维护成本主要包括保养费用、零部件更换费用、维修费用等。随着汽车的使用,汽车零部件会发生老化,汽车需要日常保养与维修。计算公式为:

$$OMC_i = C_i + 10\% \times \sum_{j=1}^{i-1} C_j$$

其中:C_i表示第i年的固定维护成本;10%×∑_{j=1}ⁱ⁻¹C_j表示第i年由于汽车的长距离行驶而增加的维护费用。

经过相关调查比较发现,由于纯电动汽车完全靠电机驱动,所以纯电动汽车无需使用机油,而燃油汽车靠发动机驱动,且其速度一般都有多个档位,故相比电动汽车会增加机油滤清、燃油滤清、空气滤清、变数箱等的维护保养费用。汽车的保养费用因车

而异,汽车档次越高,保养费用也越高。本文假定汽车每年进行一次常规保养与清洁保养,每2.5年进行一次深度保养。其次,汽车年维修费用会随着汽车行驶里程的增长而增加。

(3)税费与保险费。主要包括车船使用税和强险、商业保险费。为鼓励新能源汽车的推广,国家对使用新能源汽车免征车船使用税^[17]。计算公式为:

$$TIC=VUT+SALI+CI$$

其中:TIC表示汽车年使用税与保险费;VUT表示年车船使用税;SALI表示强险费;CI表示商业保险费。

(4)其他成本。其他成本主要包括道路通行费、停车费等,无论是燃油汽车还是纯电动汽车,其他成本是相同的,通行费与停车费每年约为1800元^[18]。

3. 处置成本。汽车到达一定使用年限或行驶一定里程之后,可对汽车零部件进行循环利用,但目前我国并没有一个系统的回收机制。本文假设所有汽车将在10年后以年折旧率r折损后的价值进行转卖。则汽车转售价值为:

$$SV = \frac{(1-r)^n \times MSRP + C_B}{(1+k)^n}$$

其中:r为年折旧率,本文采用双倍余额递减法,汽车使用寿命为10年,年折旧率r为20%;C_B为电池回收价格,电池回收价格为8000元^[19]。

四、汽车生命周期成本评价

(一)汽车生命周期私有成本

依照本文提出的汽车生命周期成本评价模型,利用两品牌四款汽车在合肥使用的实际数据得出汽车生命周期各阶段单位成本贴现值,如图2所示。

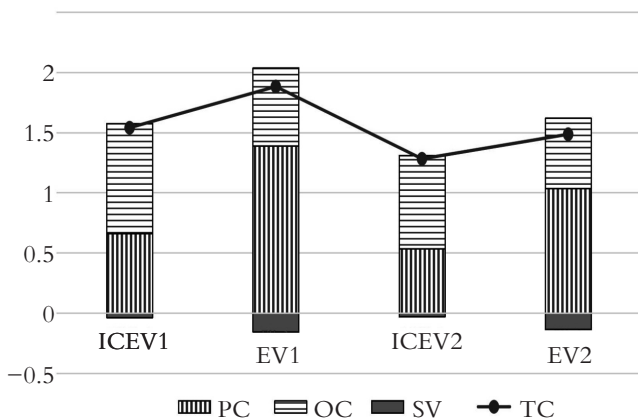


图2 汽车生命周期各阶段单位成本贴现值(单位:元)

从图2可以看出,燃油汽车1(ICEV1)每公里成

本约为1.54元,电动汽车1(EV1)单位成本约为每公里1.88元;燃油汽车2(ICEV2)单位成本约为每公里1.28元,电动汽车2(EV2)单位成本约为每公里1.49元。电动汽车1全生命周期总成本约是其燃油汽车的1.22倍,电动汽车2全生命周期总成本约是燃油汽车2的1.16倍。虽然电动汽车完全靠电力驱动,拥有明显较低的运营成本,且其转售价值高于燃油汽车,但因政府补贴的下降导致电动汽车购买价格接近燃油汽车的两倍多,使得电动汽车在全生命周期内同一品牌的同一车型较燃油汽车不具有经济优势。

由于电动汽车相比传统燃油汽车不具有经济优势,因而虽然政府在大力推广新能源汽车,但是其销售量依旧不够理想,主要原因有三点:一是目前电动汽车政府补贴的下降,拥有更高电池技术要求的纯电动汽车购置价格依旧高昂;二是消费者对纯电动汽车安全性的质疑,电动汽车充电技术需要进一步完善;三是纯电动汽车充电方式的非便捷性,其行驶里程有限,充电耗时长,充电站匮乏。

(二)共享经济下的汽车生命周期成本分析

随着“互联网+”发展战略的施行以及共享经济的蓬勃发展,一种新兴的出行方式即共享单车和共享汽车纷纷在北京、上海、合肥等大中城市亮相,使出行更加便捷,并可以满足无车人群的用车需求。目前共享汽车多为新能源汽车,不仅有助于在一定程度上缓解城市交通拥堵问题,而且可以减少汽车碳排放对城市环境的污染问题。此外,共享汽车还提供保险服务,当用户发生违章行为时,由用户自行承担;当出现事故行为时,可申请保险理赔。而且,市面上的共享汽车多采用“时间计费+里程计费”模式,共享经济下的汽车全生命周期总成本贴现值见图3。

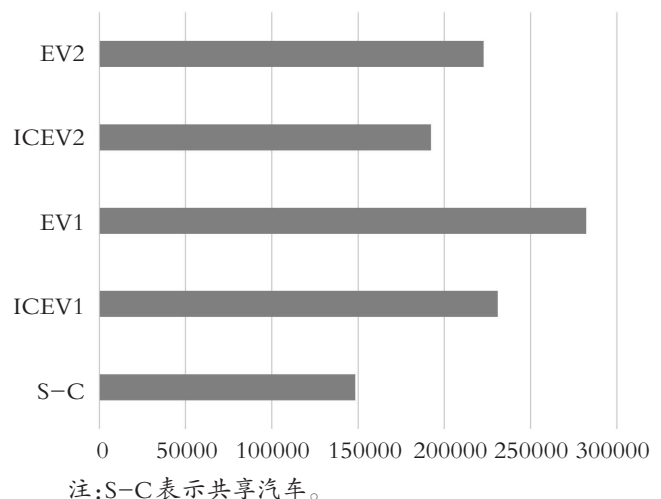


图3 共享经济下的汽车全生命周期总成本贴现值(单位:元)

注:S-C表示共享汽车。

从图3可以看出,相比传统燃油和纯电动家用汽车,共享汽车拥有绝对的经济优势,这主要是因为私家车需要支付维护费、保险费、能源成本、停车费等,而共享汽车可将这些费用分摊到每个用户,不需要由一个用户独立承担。但是,目前共享汽车也存在一些弊端,例如服务网点少、停车困难、过度占用公共空间等问题,而且对于共享汽车下放至个体的信用体系也有所欠缺。在管理上,政府应以鼓励扶持为主,科学监管,创造良好的运营环境,设立共享汽车运营规范,包含安全、责任、保险等问题。针对用户,应建立完善的租车信用体系和使用行为规范,为用户提供安全、便捷、优质的共享汽车租赁服务。

(三)灵敏度分析

在本文所提出的汽车全生命周期成本模型中,所有的参数在汽车全生命周期内都保持不变的假定是不成立的。因此,笔者将利用灵敏度分析某些重要参数发生改变时是否会对纯电动汽车和传统燃油汽车全生命周期成本评价产生影响以及产生何种影响。

1. 汽车行驶里程。本文假定所有汽车模型全生命周期行驶里程为15万公里,现分析当汽车全生命周期总行驶里程分别为15万公里、30万公里、45万公里、60万公里时对汽车全生命周期成本评估的影响。假设电动汽车电池每15万公里更换一次,电池成本为1200元/千瓦时。计算结果见图4(燃油汽车全生命周期总成本贴现率为1)。

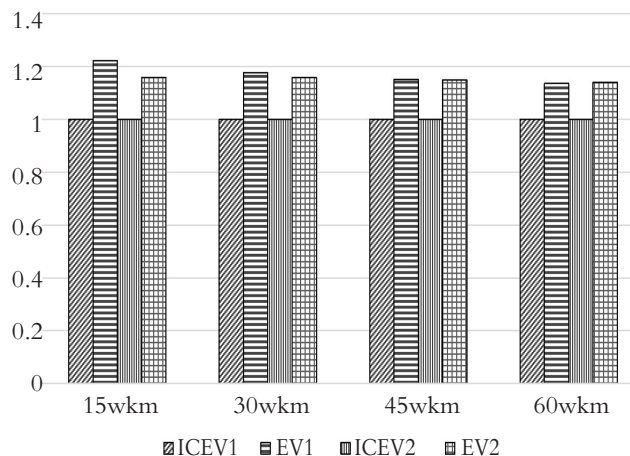


图4 汽车全生命周期总贴现成本相对值

由图4可知,电动汽车相比同一车型燃油汽车不具有经济优势,其生命周期总成本贴现值始终高于燃油汽车。但随着汽车全生命周期行驶里程的增加,电动汽车的相对成本在减少,燃油汽车的经济优势将逐渐减弱,甚至将不再具有经济优势,其原因主

要有两点:第一,汽车使用年限的增加使得最初车辆购置成本在较长时间得到利用;第二,燃油汽车年能源成本较同一车型电动汽车高。

2. 限购政策的影响。存在部分交通堵塞严重的城市为缓解交通压力出台了汽车限购政策,在这些城市要获取车牌主要通过摇号分配指标和竞价获取招标两种方案。2017年9月各城市车牌拍卖成交价及摇号中签率情况见表2。由于北京、贵阳车牌只能采用无偿摇号方式获得,故本文设定北京牌照获得价与上海相同,新能源汽车可免费获得汽车牌照。

表2 2017年9月各城市车牌拍卖成交价及摇号中签率情况

城市	上海	广州	天津	杭州	深圳	北京
最低成交价	91300	28800	27200	40000	56800	-
平均成交价	91415	30535	28978	48301	58538	-
中签率	-	0.800%	0.43%	0.703%	0.376%	0.12%

在考虑汽车限购政策条件下,汽车全生命周期总成本贴现值见图5。

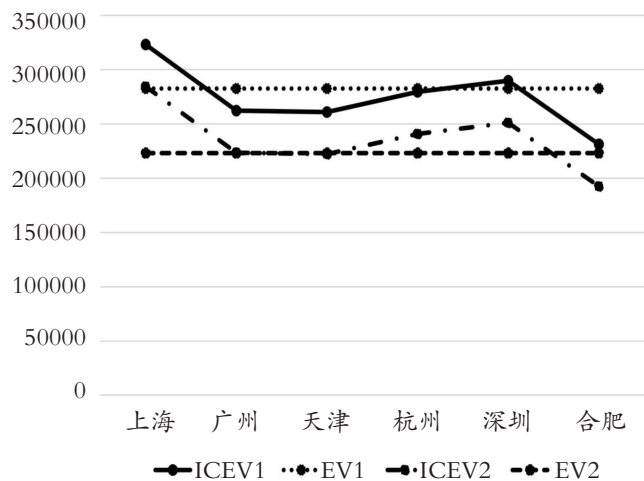


图5 限购政策下各城市汽车全生命周期总成本贴现值(单位:元)

由图5可知,电动汽车1在上海和深圳比同一车型燃油汽车全生命周期总成本贴现值更低,在其他限购城市稍高于燃油汽车;电动汽车2在上海、杭州、深圳与同一车型燃油汽车相比具有经济优势,故在北京、上海这种交通堵塞严重、高牌照拍卖价格城市或低摇号中签率城市,纯电动汽车与同一车型燃油汽车相比拥有绝对优势,对于需要买车的顾客电动汽车是最佳选择。而在广州、天津、杭州、深圳等汽车限购城市,纯电动汽车具有极大的发展潜力,考虑到燃油汽车限行政策和纯电动汽车行驶过程的“零排放”,纯电动汽车会优先被消费者所考虑。

3. 电池技术发展。纯电动汽车动力系统技术的不成熟、制造成本高造成了电动汽车售价高昂,再加上纯电动汽车续航里程有限、充电时间长以及使用中的安全因素等,使得电动汽车未能得到广泛应用。目前,对电池制造成本已有不少相关研究,但由于数据的缺乏使得其具有较大的不确定性。车用电池制造成本会随着大量制造和技术的发展逐渐下降^[20],据调查,电动汽车电池制造成本已从2010年的每千瓦时6827元下降到2016年的1200元,平均每年下降约13.7%。比亚迪作为新能源汽车引领企业,其很多材料是自制的,成本相对更低一些,约在每千瓦时1100元左右。工业和信息化部、国家发展改革委、科技部印发的《汽车产业中长期发展规划》规定:2020年新能源汽车动力电池单体比能量达到300瓦时/千克,力争实现350瓦时/千克,系统比能量力争达260瓦时/千克、成本降至每千瓦时1000元以下^[21]。锂电装备吉阳智云的阳如坤介绍,到2020年电动汽车动力电池成本有望降至约0.8元/瓦时,到2025年成本降至约0.6元/瓦时,2030年锂空气电池成本约降至0.4元/瓦时。据中国储能网数据,传统燃油汽车与电动汽车零部件成本构成见图6。

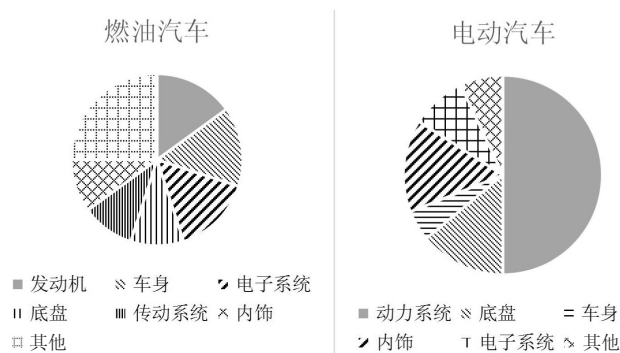


图6 传统燃油汽车与电动汽车零部件成本构成

由图6可知,燃油汽车发动机的传动系统成本约占总成本的25%左右,而电动汽车的动力系统成本占比约达50%。电动汽车电池动力系统成本的变化会引起汽车建议零售价的变化,随着电池成本的下降,电动汽车生命周期成本也会下降。电池成本的大幅下降对纯电动汽车对于消费者的吸引力至关重要。另外,纯电动汽车动力系统技术的进步会促使汽车整车电耗下降,科技部要求在2020年分布式纯电动轿车的每百公里整车电耗低于10千瓦时,整车电耗降低将使消费者能耗成本逐渐降低,并降低消费者年使用成本。因此,购置成本和运营成本的下降将使电动汽车对消费者更具吸引力。

五、结论与建议

本文从消费者角度出发,利用我国市场本土数据以及生命周期成本评估理论和现值分析理论,主要研究了市场上同一品牌下电动汽车和同一车型燃油汽车在使用过程中产生的购买成本、运营成本和处置成本,结果表明现阶段燃油汽车更具经济竞争优势。同时,针对目前共享单车、共享汽车的风靡,讨论了共享经济下的汽车生命周期成本评估。通过本文相关分析过程和研究提出以下几点建议:

第一,随着电动汽车政府补贴的下降,纯电动汽车的购置价格依旧高昂,在成本上相比燃油汽车不具有优势,这是制约纯电动汽车发展的重要原因之一。但是随着汽车全生命周期行驶里程的增加,电动汽车相对成本将逐渐减少,燃油汽车经济优势将逐渐减弱。因此,汽车制造商应致力于改善汽车制造技术,努力增加电动汽车行驶里程,增强消费者对电动汽车的信任度,同时降低汽车使用单位成本。

第二,新能源汽车享有政府和地方双重补贴,可以在一定程度上促进新能源汽车的销售,但是这种补贴方式也存在一定弊端,比如对企业新能源汽车相关技术发展进程存在反作用,“骗补”问题逐渐增加等。因此,政府应逐渐降低新能源汽车补贴力度,加强能源、车辆使用等方面的优惠政策,或转向按照新能源汽车行驶里程进行补贴。

第三,政府在大力推广新能源汽车的同时,可以采取奖励措施鼓励扶持优秀企业着力于动力系统的研发,提高动力电池单体比能量,降低汽车百公里电耗,降低制造成本,并延长电池动力系统乃至汽车的使用寿命。

第四,在交通严重堵塞、存在限购政策的城市,消费者会优先选购新能源汽车;考虑限行政策城市,限行等无形成本的影响会促使消费者更倾向于购买电动汽车。对此,政府应在这些城市制定相关政策以促进新能源汽车的发展,并针对不同城市推广不同车型的新能源汽车。

第五,新能源汽车电池在我国还不存在系统的回收处置方案,驱动电池的回收率低或处置方式不规范会使电池内重金属等材料对环境造成极大污染。因此,企业和政府应尽早制定并完善驱动电池的报废回收方案,优化最终处置工艺。

第六,共享汽车相比私家车拥有绝对的经济优势,并能满足“无车族”的用车需求,但是目前共享汽

车服务网点少、停车困难、信用体系欠缺等问题亟待解决。因此,在管理上,政府应以鼓励扶持为主,科学监管,创造良好的运营环境,设立共享汽车运营(包含安全、责任、保险等问题)规范,例如设立专属年检制度;针对用户,政府应建立完善的租车信用体系和使用者行为规范,必要时制定租车相关法律条例,为用户提供安全、便捷、优质的共享汽车租赁服务。

本文立足于消费者角度,分析了燃油汽车和纯电动汽车在购买、使用、处置过程中所发生的所有有形成本差异,并建立了汽车生命周期成本评估模型,但是本文未考虑汽车使用过程中的无形成本对消费者私有成本的影响以及相关社会成本等,这将是下一步研究的重点。

主要参考文献:

- [1] 国务院. 关于印发节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020年)的通知. 国发[2012]22号, 2012-06-28.
- [2] 陈莎,刘尊文. 生命周期评价与Ⅲ型环境标志认证[M]. 北京:中国质检出版社,2014:62.
- [3] 艾江鸿,李海锋,林鉴军. 电动汽车的全寿命周期环境影响分析[J]. 技术经济,2010(3):35~39.
- [4] Delucchi M. A., Lipman T. E.. An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2001(6):371~404.
- [5] Wu X., Dong J., Lin Z.. Cost analysis of plug-in hybrid electric vehicles using GPS-based longitudinal travel data[J]. Energy Policy, 2014(5):206~217.
- [6] Al-Alawi B. M., Bradley T. H.. Total cost of ownership, payback, and consumer preference modeling of plug-in hybrid electric vehicles[J]. Applied Energy, 2013(3):488~506.
- [7] Eaves S., Eaves J.. A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles[J]. Journal of Power Sources, 2004(1):208~212.
- [8] Lipman T. E., Delucchi M. A.. A retail and lifecycle cost analysis of hybrid electric vehicles[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2006(2):115~132.
- [9] 吴添,欧训民,林成涛. 从消费者的视角分析纯电

动城市客车的生命周期成本[J]. 汽车工程, 2012(12):1150~1154.

- [10] Zhao X., Doering O. C., Tyner W. E.. The economic competitiveness and emissions of battery electric vehicles in China[J]. Applied Energy, 2015(10):666~675.
 - [11] 张环. 基于生命周期成本的新能源汽车补贴政策研究[D]. 北京:北京理工大学,2015.
 - [12] Diao Q., Sun W., Yuan X., et al.. Life-cycle private-cost-based competitiveness analysis of electric vehicles in China considering the intangible cost of traffic policies[J]. Applied Energy, 2016(9):567~578.
 - [13] Hao H., Wang M., Zhou Y., et al.. Levelized costs of conventional and battery electric vehicles in China: Beijing experiences[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2014(20):1229~1246.
 - [14] 财政部,科技部,工业和信息化部,发展改革委. 关于2016-2020年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知. 财建[2015]134号,2015-04-22.
 - [15] 财政部,国家税务总局,工业和信息化部. 关于节约能源使用新能源车船车船税优惠政策的通知. 财税[2012]19号,2012-03-06.
 - [16] Lin C., Wu T., et al.. Life-cycle private costs of hybrid electric vehicles in the current Chinese market[J]. Energy Policy, 2013(4):501~510.
 - [17] Brant Price, Eric Dietz, Jeff Richardson. Life cycle costs of electric and hybrid electric vehicle batteries and end-of-life uses[A]. International Conference on Electro/Information Technology [C]. Indianapolis:IEEE, 2012:1~7.
 - [18] Nykvist Bjorn, Nilsson Mans. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles[J]. Nature Climate Change, 2015(4):329~332.
 - [19] 工业和信息化部,国家发展改革委,科技部. 关于印发《汽车产业中长期发展规划》的通知. 工业部联装[2017]53号,2017-04-25.
 - [20] 科技部. 关于发布国家重点研发计划新能源汽车等重点专项2017年度项目申报指南的通知. 国科发资[2016]305号,2016-10-13.
- 作者单位:合肥工业大学管理学院,合肥230009