

# 电动汽车换电技术与标准需求研究

胡建, 徐泉, 郝维健

(中国汽车技术研究中心有限公司, 天津 300300)

**[摘要]**在阐述电动汽车换电模式发展必然性的基础上,分析换电产品方案的专业需求以及需要解决的关键技术问题。依据分析结果,论述换电应用的阶段性特点。结合未来应用前景分析,描绘换电标准体系蓝图,提出下一步工作建议。

**关键词:**电动汽车;换电;技术;标准

## Study on Technical and Standard Demands for Electric Vehicle Battery Swap

Hu Jian, Xu Xiao, Hao Weijian

(China Automotive Technology & Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300)

**[Abstract]**Based on the expression of inevitability developing of the EV battery swap mode, the specific demands of the product and the key technical issues need to solved are analyzed. The feature of the battery swap in this application stage is discussed according to the above conclusions. With the analyses of the prospect of future application, a standard system blue map is described, and the working proposals of the coming next step are provided.

**Keywords:** EV, battery swap, technical, standard

## 0 引言

近年来,伴随电动汽车产业的快速发展,电动汽车技术也逐渐提升。作为电动汽车运行能量来源,能源供给系统是电动汽车的重要基础支撑系统,也是电动汽车商业化、产业化过程中不可或缺的重要环节<sup>[1]</sup>。

当前,电动汽车的能源供给模式主要以插充和换电为主。相比插充模式,换电模式通过集中型充电站对大量电池集中存储、集中充电、统一配送,并在电池配送站内对电动汽车进行电池更换服务或者集电池的充电、物流调配、以及换电服务于一体的方式,在减少用户充电等待时间,可延长电池循环寿命,提升电池安全性<sup>[2-3]</sup>。

电动汽车换电模式的市场化应用较早,但最终并没有大规模推广开来,近期,由于国家政策鼓励,换电模式的关注度不断提升。本文通过介绍电动汽车换电的实现方案、关键技术、以及与推广应用相关的关键问题,并基于此分析电动汽车换电的标准化需求,进而对标准化方向及工作重点提出建议。

## 1 产品方案的特殊需求

电动汽车换电的大规模推广应用,需要系统考虑不同品牌、不同车型的换电实现方案,尽可能地实现互换性和兼容性,以摊薄建设运营成本,提升换电的可行性。在动力电池包外形尺寸、电气接口、热管理接口、换电机构、参数匹配、通信控制以及操作设备等多个方面,应按照换电的方案需求进行专门设计。电动汽车进行换电,应能实现的基本功能包括:可更换、可连接、可识别、可通信、可控制。

### 1.1 结构互换

结构互换是指动力电池包及其附件与车辆车体在形状轮廓、物理结构、大小尺寸上的匹配,是实现换电的基本条件。

#### 1.1.1 动力电池包

换电即更换电动汽车的动力电池包,为此,动力电池包的可换性成为实施换电的关键。通过对比研究发现,尺寸统一、外形平滑、便于操作,是考察可换

性的通用指标。

尺寸方面。动力电池包由一定数量的单体组成。电池单体一般具备较为规整的尺寸,能够符合其批量化、规模化和标准化生产的特点,而动力电池包体现的是车辆的个性化需求,车型、续航里程、空间尺寸、单体的型式与数量、成组方式、热量管理系统的布置位置等多个方面都可能存在差异。

外形方面。与尺寸的情况类似,虽然电池单体常具有圆柱体或长方体的规则外形,但动力电池包的外形则较为复杂,呈不规则状,不同车型之间较难统一。造成问题的主要原因有两个,一是车体预留的电池包空间差异较大,动力电池包置于车辆底盘处时,车辆轴距、轮距、离地高度、悬挂类型及尺寸都会影响电池包空间形状。二是电池单体成组及包内空间利用方式差异大,同时为了追求包内空间利用率,产生了形状各异的电池包外形。另外,为强化碰撞安全性、追求整车轻量化以及提升电池能量密度,未来电动汽车的动力电池包将更加集成化,与车辆的融合将更为紧密。



图1 动力电池包的复杂外形

操作方面。换电是动力电池包的整包更换,电池包自身的体积和质量都相对较大,换电操作的开展空间又相对较小,换电时需要对电池包进行举升、搬运、姿态调整等操作。因此,进行换电人工操作的难度较大,一般需要使用换电的专用设备。另外,电池包与车辆安装点数量多、分布无规律、操作步骤多、安装精度高,只有采用自动化程度较高的换电专用设备,才能较好地符合换电的操作需求。

### 1.1.2 换电接口

换电接口是承载电能传输、信号传输和热能管理介质交换(通常为冷却液)的连接界面,分别位于电动汽车车体和动力电池包壳体上,接口完全连接后可执行电动汽车与动力电池包之间的通电、通信和通液功能。换电接口作为车体和电池包的核心附

件,其设计方案受到车辆和动力电池的全面影响,反映了车辆或换电方案的整体设计需求,因此,接口的布置位置、连接方向、连接型式、形状大小、通道数量、承载能力等多个设计参数都因方案而异。另外,为了应对不同的应用场景,换电接口的设计寿命会有所不同。为保证成本与性能的平衡,需要不同的接口设计方案。

### 1.1.3 换电机构

换电机构是车体和电池包的核心附件,在电动汽车车体和动力电池包上起到连接、承载与固定作用的机械装置,可以为独立的机械装置,也可以是车体或电池包壳体的一部分,如具有引导、定位、紧固等功能或类似功能的悬臂、导轨、卡槽、蜗轮蜗杆和螺栓等。电动汽车和动力电池包通过换电机构实现物理或结构上的结合。因此,电动汽车的动力电池包搭载方案取决于车体结构、搭载位置、更换空间等因素,导致不同换电机构需要采用不同的总体布局。为节省空间和提升连接强度,换电机构通常与车体或动力电池包壳体进行融合设计。通常,不同的换电方案配合不同的换电机构,换电机构之间的可换性较差。



图2 采用螺纹安装的换电机构  
(注:图片来源于蔚来汽车官方网站)



图3 采用滑块安装的换电机构  
(注:图片来源于北汽新能源汽车官方网站)

## 1.2 电气匹配

电动汽车换电方案是否可行,除了考察电动汽车和动力电池包在结构上的兼容性之外,还有电气性能、信号识别、通信协议等的匹配性。车载动力电池包作为车辆驱动系统电源,不仅向车辆提供电能,输出电池状态数据,还要接受车辆制动反馈的电流,接收车辆的控制指令,与车辆进行双向的能量流、信息流交换,能够相互感知、交互控制。

### 1.2.1 电气特征值

工作电压范围、充放电能力是动力电池包的基本电气参数,也是电动汽车整车的设计特征值。在电驱动回路,驱动电机及控制器的电压范围应与动力电池包协调,动力电池包的放电电流应满足整车的驱动功率需求,制动能量回馈时,动力电池包应能承受驱动系统产生的短时回馈电流。在直流传导充电回路,车辆充电电路载流能力应与动力电池包的最大充电电流保持对应。此外,动力电池包内的熔断器和接触器选型及预充电路需要按照整车驱动系统的工作特性进行设计,高压回路中涉及到的介电强度、绝缘电阻以及导线的短路容量均应统筹考虑、匹配设计。

由此可知,电气特征是电动汽车换电设计方案的核心要素,与项目规划、产品定义、设计目标、部件集成等众多因素密不可分。

### 1.2.2 信号及通信

电动汽车与动力电池包之间存在大量的电气信号和通信数据传输,用来保障电能传输的准确性和可靠性。电气信号及通信数据的产生与识别,除了与传感器类型、采样与控制电路、电控构架、通信芯片、通信协议直接相关外,还受到控制策略、逻辑判断、数据优先级等多方因素的影响。考虑到功能的相关性,信号和通信的兼容性需要考虑全面的,需要开放产品的底层控制逻辑。

## 1.3 专用的设施设备

电动汽车换电可看作是对整车结构的重置过程,从电动汽车卸下原有的动力电池包,到安装满电的动力电池包,需要使用换电的设施设备对整车和动力电池包进行操作。例如,对车辆的固定和举升,

对换电机构的拆卸和安装,以及对动力电池包的抓取、托举、移动和旋转等。在换电过程中,直接参与操作的设备不可或缺,同时,也需要操作台、防护装置以及其他辅助设施以确保换电的顺利实施。

### 1.3.1 换电设施

换电设施即换电站,是指以电动汽车换电为目的的设计建造的固定组合装置,可包括换电站的供电系统,动力电池包更换、转运、储存与充电的设备,人员防护,操作与监控,车道,土建,消防等。换电站能提供换电的全部流程,考虑到各子系统方案落地的可行性,需要提前明确电动汽车以及动力电池包的具体型式。

### 1.3.2 换电设备

换电设备除直接执行电动汽车换电操作外,还可对动力电池包进行前序及后续操作,如抓取换电站内满电的备用动力电池包,放置动力电池包至电池支架上,连接动力电池包与充电机等。由于换电设备需要与动力电池包配合,完成抓取、转运、换电等一系列动作,因此,换电设备与动力电池包应具有统一的机械接口。电池支架用于放置换电站内的动力电池包,在承载区域的尺寸和形状上,与动力电池包应相互配合。充电机可完成动力电池包在非车载状态下的充电与维护,两者之间应进行必要的电气和通信传输。

## 2 需解决的关键技术

电动汽车换电改变了汽车传统的能量补给模式,动力电池包作为核心部件,不再专属于特定的车辆,具有使用场景多样化、高耐久性和高可靠性的产品要求,对动力电池包、电气连接、固定机构提出了新的技术需求。

### 2.1 动力电池包的两个工作模式

动力电池包工作在车载和非车载两种模式。车辆搭载时,动力电池包为车辆驱动或其他功能提供电能,以及接受来自制动回馈或车外充电的电能。动力电池包的工作特性、状态管理、安全防护、充放电过程控制等所有功能都要围绕车辆需求而展开。动力电池包处在换电站内的非车载模式时,接受换电

站提供的充电电能,以及均衡管理等其他辅助服务,而充电机提供的功能不等同于电动汽车,动力电池包需要进行适应性调整。另外,在工作模式转换期间,动力电池包需要完成自检及自身的状态转变,以符合后续的工作模式。

## 2.2 换电接口的自调整能力

换电接口在连接时需要具备一定的自调整能力,如浮动底座设计等。采用专用设备进行换电操作时,车辆侧换电接口与电池侧换电接口会存在姿态或位移的偏差,尽管动力电池包自身具有一定的姿态或位移补偿功能,但在电池包补偿完成前,换电接口已开始连接,且连接过程较快,并伴随着一定的冲击,可导致换电接口的结构损坏。此外,由于动力电池包经常拆卸与安装,电池包与车体连接刚性降低或存在间隙旷量,车辆行驶时,车辆与动力电池包之间的振动能量将部分施加在换电接口上,加剧端子磨损。

## 2.3 换电机构的可靠性

换电机构一方面需适应高频次的换电操作,另一方面还要承受车辆长期的行驶载荷,这对其使用寿命和连接可靠性提出了较高的要求,而两者的要求往往是矛盾对立的,难以兼得。换电机构无论采用何种连接方式,都要能产生足够的加载力,使动力电池包牢固地连接在车辆上。螺纹连接是经常使用的连接方式,通过螺纹相互作用产生轴向预紧力,但连接副反复使用后,螺纹摩擦系数的改变或失稳将使预紧力大小发生畸变。其他的连接方式也在一定程度上会出现性能衰减或本体磨损,有时需要对这些变化进行监测,必要时进行换电机构的维修与更换。

## 3 阶段性应用结果

关键技术基本解决,产品方案初步确立后,企业按“标准”开发生产电动汽车、动力电池包、设施设备等产品,到达换电的应用实施阶段。但在实际的换电模式应用过程中,“非标”的应用形式则较为普遍。换电应用的经验教训将不断地融入到技术改进中,换

电模式以及所适用的产品方案进一步分化。

### 3.1 客车换电趋于沉寂

电动公交车出勤频次高,有专属场地,适宜建设专用的换电设施设备,具备使用换电模式的需求与基础。但在实际中,鲜有采用换电模式的电动公交车运行。出于换电可操作性的要求,动力电池包尽可能位于车体内靠近外侧的位置,如车辆底部、左右两侧等。考虑到动力电池在碰撞事故中的安全性,更倾向于将电池包布置在碰撞冲击较弱的区域,车辆左右两侧均不适宜。电动公交车通常为非承载式车身,底盘处存在主纵梁和多个横梁,难以布置动力电池包。因此,动力电池包的布置方案限制了电动客车换电模式的发展。

此外,电动客车车型较大,专用换电设施设备的一次性投入也相对较多,且直流传导充电能基本满足电动公交车线路运营的需求。



图4 电动客车的换电侧面换电

### 3.2 营运车辆换电存在地区差异

电动出租车在单位时间内运行里程高,对电能补给的速度较为敏感。在特定区域内投放大量采用换电模式的电动出租车,建设多座专用换电设施,一方面可保障电动出租车的快速换电需求,另一方面也能维持换电设施的正常运营,从而促进双方的良性、可持续发展。不过,营运车辆换电模式的成功与否,取决于规模化,也跟投放区域内车辆品牌占有率有很大关系。因此,地区差异性较大,成功经验也难以直接推广到更大的区域。

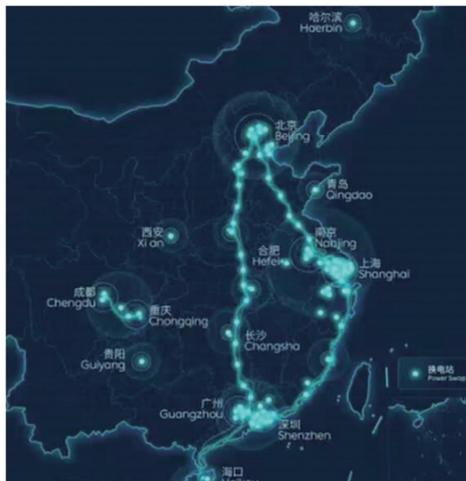


图5 私人车辆换电站以面布局



图6 营运车辆换电站以点为主

### 3.3 企业间换电步履维艰

不同企业开发的电动汽车产品若要实现换电,需要在产品方案与技术路线的众多方面达成统一。电动汽车用动力电池包的形状、尺寸、电压等关键指标差异巨大,电池包与整车的通信、控制、匹配较为复杂,而换电设施设备专业化和自动化程度较高,操作过程以及设备特性个性化程度高。

换电技术尚未在全行业广泛应用,而且在未来可预见的时间内,换电模式也难以全面推广。但在一个企业内部,一个或几个车型上,换电还是具有一定的可行性和可操作性。

## 4 对标准的需求

标准具有规范产品、统一要求和引导技术发展的普遍作用。电动汽车换电标准化虽尚未到达行业

普遍需求的节点,但应提前梳理换电的产品方案和技术路线,描绘标准体系的蓝图,并按照轻重缓急的需求级别,开展标准研究与制定。

### 4.1 互换性

兼容统一的结构和电气参数是电动汽车换电的基础。需要重点保证动力电池包的互换性,以及换电接口和换电机构的互换性。此外,要考虑动力电池包工作电压范围的统一,充放电性能的协调,以及通信接口的兼容。电池包热量管理系统也需要一定程度的匹配,如所采用冷却介质应是统一的。

### 4.2 设施设备

在满足电动汽车换电兼容性的前提下,实施换电操作的设施设备也需要统一。如换电站可容纳车辆的尺寸,换电设备与电池包的连接接口,操作空间路径与尺寸,换电站内电池包支架的尺寸、充电机的通信协议等。

### 4.3 安全性

在安全方面,一方面是换电过程中的安全性,与换电设施相关,要避免车辆或电池跌落、碰撞,防止人员出现安全生产事故。另一方面是换电车辆运行的安全性,动力电池包及其附件在车辆行驶状态下和换电操作冲击下,将承受复杂的振动、温度、湿度、污染物环境影响,具有一定的可靠性和安全性风险。

换电模式是新能源汽车发展的路径之一,近年来,采用换电模式的电动汽车进入市场、上路行驶。因换电而产生的特殊安全性问题,需要制定相应标准,解决换电操作和换电后车辆行驶可能引发的安全性问题。

## 5 结束语

电动汽车换电面临着较大的开发难度,应用规模与传导充电相比也相去甚远。企业仍然是推进换电模式的主体,在做好创新开发、生产制造、模式推广的同时,需要兼顾换电安全性,确保换电模式的健康可持续发展。

(下转第64页)

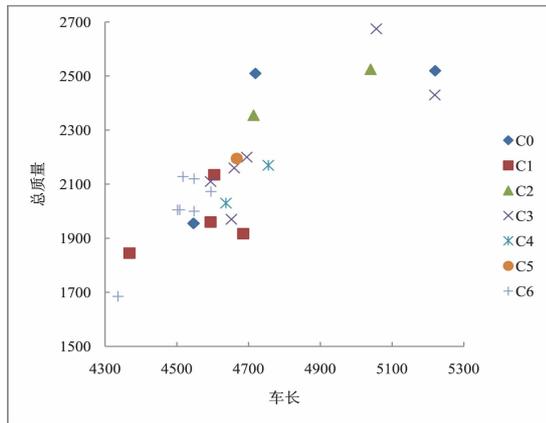


图5 模型预测结果与车长、总质量关系图

车尺寸、质量数据。

## 4 结束语

1) KMeans 聚类分析结果能够体现各组基本尺寸、质量数据之间的接近程度,可以很好的反映当前多用途乘用车市场车型分布情况、生产厂商的产品布局以及厂商间的竞争关系。

2)多层感知器与 BP 算法相结合的 MLP 神经网络预测模型能够较准确地实现通过汽车基本尺寸质

量参数对生产厂商的预测,模型准确率为 92.31%。各个厂商在车型基本尺寸质量参数设计上具有一定独特性。车长和总质量是影响模型预测结果的主要因素。

3)由于数据样本数量不充足,预测模型与训练集的划分选取有很大关联性。扩大样本数据量能够获得更具有说明性、包容性的泛化结果。

4)机器学习算法在多用途乘用车基本尺寸、质量数据中的应用能够实现多用途乘用车基本尺寸、质量数据的深度挖掘,分析得到数据中隐含的规律,也可以分析规律所代表的实际意义,体现数据的实际应用价值。

### 参考文献

- [1] 张良均,杨海宏,何子健,等.Python 与数据挖掘[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [2] 张良均,王路,谭立芸,等.Python 数据分析与挖掘实战[M].北京:机械工业出版社,2015.
- [3] Anon. Scikit-learn User Guide[EB/OL].[2020-04-30]. [https://scikit-learn.org/stable/modules/neural\\_networks\\_supervised.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/neural_networks_supervised.html).
- [4] 周志华.机器学习[M].北京:清华大学出版社,2016.
- [5] 詹庆涛,庄蓓蕾,邓世询.基于 BP 人工神经网络的汽车整备质量预测方法研究[J].时代汽车,2019(14):41-42.

(上接第 46 页)

- [17] 马春阳,周伟,杨林锋.仿生学方法在汽车设计上的应用[J].科技创新与生产力,2013(1):78-80.
- [18] 莫智勇.基于城市文化符号的城市形象传播建构探析——

以广府文化之广州形象为例[J].城市观察,2018(2):150-156.

- [19] 刘开春.客车车身设计[M].2 版.北京:机械工业出版社,2015.
- [20] 张安.基于文化仿生的汽车造型设计探究[J].工业设计,2017(12):51-52.

(上接第 51 页)

提出的结论如下:

(1)与不采用换电模式的产品相比,电动汽车换电方案需要符合额外的要求。

(2)换电模式成功应用的前提是解决换电相关的若干关键技术难题。

(3)在不同的车型、运行模式及区域内推进换电模式,优缺点较为清晰。

(4)除安全性外,换电的其他标准需求尚未达到

行业层级,仍由企业自行把握。

### 参考文献

- [1] 汤泉,王天一.电动汽车推广应用问题及对策研究[J].管理观察,2015(19):86-88.
- [2] 殷志.用于优化电网运行的电动汽车换电站充电控制策略研究[D].南京:东南大学,2012.
- [3] 高赐威,吴茜.电动汽车换电模式研究综述[J].电网技术,2013,37(4):891-898.