

动力电池及充电基础设施技术发展对电动汽车 能量补给方式的影响研究

叶楚天

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 电动汽车能量补给有两种典型模式—电池充电和电池更换, 选择何种模式与动力电池的尺寸重量、能量密度、制造成本、电池管理系统及充电设施均有着密切的联系。对目前在国内外电动汽车上应用最广泛的磷酸铁锂和三元材料锂离子电池的发展水平进行了描述, 同时分析了电动汽车充电和换电两种模式对电动汽车动力电池及充电基础设施等因素的要求, 提出了电动汽车能量补给在何种条件下适合采用充电或换电模式的结论。

关键词: 电动汽车; 动力电池; 充电设施; 换电设施

中图分类号: TM756.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)02-0069-04

Research on the Influence of Power Battery and Charging Infrastructure Technology on the Energy Supply Mode of Electric Vehicles

YE Chutian

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Electric vehicle energy supply has two kinds of typical model—battery charging and battery replacement, the choice is closely related to battery size, energy density, manufacturing cost, battery management system and charging infrastructure. This paper describes the development level of the lithium iron phosphate and ternary material lithium ion battery which are most widely used in electric vehicles at home and abroad. At the same time, we analyze the requirements on electric vehicle batteries and charging infrastructure for the two modes, then draw the conclusion that which condition is suitable for battery charging or battery replacement.

Key words: electric vehicle; power battery; battery charging facility; battery replacing facility

在我国政府的大力支持和引导下, 电动汽车及充电设施产业从“十二五”末期至今得到了蓬勃的发展, 中国在电动汽车生产量及保有量、动力电池产能、充电设施数量等指标上均排名世界前列。电动汽车产业是我国实现能源替代、环境保护、汽车产业弯道超车等战略的重要抓手。

电动汽车行业在蓬勃发展的过程中, 出现了许

许多多的问题, 其中以电动汽车价格及续航里程、动力电池安全性、充换电便利性三个方面为主。其中, 前两者是影响用户购买的决定性因素。同时, 电动汽车车主是否能真正由“充上电”过渡到“充好电”也是影响电动汽车整体产业发展的重要条件。

1 电动汽车动力电池技术

动力电池是电动汽车的“心脏”, 其为电动汽车行驶提供能量支撑, 重要性不言而喻。电动汽车动力电池主要由正极、负极、电解液、隔膜四部分组成。结合国内外的动力电池发展历史和目前的应用规模, 锂离子电池凭借着其能量密度高、自放电低、循环寿命长的优势^[1]在电动汽车动力

收稿日期: 2017-05-30

基金项目: 中国能建广东院科技项目“南方电网公司电源资产管理
系统信息化解决方案研究及充电设施典型设计”(X03881W)

作者简介: 叶楚天(1989), 男, 湖北监利人, 工程师, 硕士, 主要
从事企业信息化及充电基础设施规划设计的工作(e-mail) yechutian@
gedi.com.cn。

电池上得到广泛应用。目前投入到商业运营中的动力电池使用的正极材料主要以三元材料和磷酸铁锂为主。

1.1 动力电池性能

动力电池性能包括电池能量、高倍率下充放电能力、循环寿命三个部分。电池能量是指动力电池的带电量，其直接影响到电动汽车的续航里程。如表1所示，据不完全统计，国内目前以三元材料为正极的动力电池单体质量能量密度最高可达到240 Wh/kg，成组后的动力电池系统质量能量密度可达到160 Wh/kg左右。以磷酸铁锂为正极的动力电池单体质量能量密度最高可达到为160 Wh/kg，成组后的动力电池系统质量能量密度可达到120 Wh/kg左右。按照中国汽车工程学会在2016年10月26日发布的《节能与新能源汽车技术路线图》中的数据，2020年我国要实现锂离子电池单体质量能量密度达到350 Wh/kg，电池系统质量能量密度达到260 Wh/kg^[2]。基于目前及规划的数据，动力电池质量能量密度在未来几年对电动汽车产业的技术要求满足度将会越来越高。

表1 动力电池质量能量密度

Tab. 1 Energy density of power battery Wh/kg

类别	三元材料	磷酸铁锂
单体电芯	240	160
电池组	160	120

高倍率充放电性能是动力电池的另一大性能指标，其与锂离子电极、电解质及锂离子的迁移能力息息相关。当锂离子电池在高倍率条件下进行充放电时，其容量衰减会更快、安全隐患也更大。作为电池正极，三元材料比磷酸铁锂在充放电倍率和不同温度放电性能下更有优势，在其它条件一致的前提下，正极使用三元材料的电池比使用磷酸铁锂的电池放电容量约高20%，质量能量密度约高30%，放电比功率约高40%。添加过少量纳米硅或硅氧化物的负极材料可以有效提高锂离子动力电池的能量密度，但是其存在充放电后体积高度膨胀和收缩而导致的颗粒粉化、脱落及电化学性能失效的缺点^[3]。

在循环寿命方面，磷酸铁锂电池比三元材料电池优势明显，按照剩余容量/初始容量=80%作为测试结束点，目前在实验室1C充放电条件下，三

元材料电池循环寿命在2500次左右，磷酸铁锂电池在3500次以上，部分达到5000次以上。值得一提的是，电池寿命与使用频率、电池管控技术有较大关系，随着电池制造工艺的不断进步，三元锂与磷酸铁锂电池的寿命差距正在不断缩小。

表2 动力电池循环寿命比较

Tab. 2 Cycle life comparison of power battery 次

类别	三元材料	磷酸铁锂
循环次数*	2500	3500

注：*代表实验室1C充放电条件下。

1.2 动力电池安全性

在材料特性上，磷酸铁锂电池比三元锂电池更耐高温，磷酸铁锂在800℃的温度下会发生分解，而三元材料在200℃左右就开始分解，且化学反应比磷酸铁锂更为剧烈，会释放氧分子，更容易着火，安全性较之磷酸铁锂更低。需要指出的是，电动汽车动力电池是一个系统，单纯的以耐高温和易胀气去判断电池的安全性是不客观的，电动汽车动力电池没有绝对的安全。当三元锂电池在较好的电池管理系统下进行温度预警并辅以适当冷却措施后，其安全性也能得到更好的保障。反之如果磷酸铁锂电池没有经过较好的充放电过程监测和控制，除了电池性能衰减快，同样有造成电池爆炸和起火的可能。

1.3 动力电池成本

磷酸铁锂电池不含有任何重金属和稀有金属，对环境无污染且制造工艺成熟，我国磷矿资源丰富，相比之下，三元材料中的钴和镍属于稀有金属，在全球储量有限，价格较高。电动汽车飞速发展的今天，价格是决定用户是否愿意购买电动汽车的核心因素之一，而电池成本目前占电动汽车整体成本的40%以上。在原材料和制作工艺上，磷酸铁锂电池比三元锂电池有着较大的成本优势。

在我国电动汽车产业蓬勃发展的情况下，无论是以磷酸铁锂还是三元材料为正极的动力电池，其成本都会随着电动汽车产业的不断发展而逐渐降低，加上质量能量密度不断提升和电池系统研发技术的不断进步，可以预见的是，电动汽车在续航里程、价格、安全性等方面存在的问题会不断得到优化解决，人们对电动汽车的里程焦虑、价格、安全性存在的顾虑也会逐渐被打消。

2 电动汽车充换电因素分析

电动汽车一般分为固定线路或任务的运行车辆(如公交车、工程车、市政车辆)及随机线路运行车辆(如出租车、部分私家车)。不同类型的车辆选择能量补给的方式也不尽相同^[4]。目前电动汽车进行电能补给的方式主要包括车辆直接充电和电池更换两种方式。

2.1 充电因素分析

1) 充电便利性

充电便利性与充电设施数量及分布合理性、充电设施与电动汽车接口兼容性、充电支付便捷性三个部分有关。

根据《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》及《电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020年)》，到2020年，我国需要新增建成集中充换电站1.2万座，分散充电桩480万个，满足超过500万辆电动汽车的充电需求。同时针对加快发展地区、示范推广地区、积极促进地区分别制定了具体的充电服务半径标准，数量上可以满足电动汽车充电需求。

2015年12月28日，国家五部委联合发布了我国电动汽车传导充电系统、充电接口、通信协议等5项国家标准，同时随着国家组织的电动汽车传导充电系统互操作性测试活动的举办和相关国家标准的强制执行，可以预见充电接口、通信协议等方面存在的问题会得到逐步解决。

针对目前电动汽车车主存在充电时需要携带多张充电卡进行支付的现象，国家已制定电动汽车充换电服务信息交换系列标准(包括公共信息、业务信息、数据传输及安全)，目前国家电网、普天、特来电、星星充电等充电基础设施运营单位已经参照上述标准实现了互联，为电动汽车用户的充电便利性提升打下了坚实的基础。

2) 充电经济性

以比亚迪E6为例，其能耗为0.195 kWh/km，单次充满电最多行驶300 km，需要耗电58.5度电。按照每度电0.7元计算，单次充电电费成本为40.9元，按照深圳市电动汽车充电服务费最高限价为1.00元/kWh的标准，充电服务费最高为58.5元，合计成本99.4元。传统汽油车行驶300 km至少需要消耗24 L油，按照7元/L的单价，传统汽油车

行驶300 km需要油费168元，所以电动汽车充电成本相比传统汽油车降低了近40%。

3) 对电池寿命的影响

电动汽车充电时间是用户是否考虑购买的另一个重要因素，充电时间若要实现与传统汽油车加油的时间长度媲美，则必须采取大功率充电桩，而大功率的充电桩输出电流较大，会导致动力电池正极发生锂析出并与电解液进行反应产生气体，导致电池寿命衰减和胀气，从而影响动力电池寿命。因此，在能量密度、循环次数、安全性可以保证的前提下，如果研发能够适应大功率快充的动力电池，对电动汽车行业的发展会起到重要的推进作用。

2.2 换电因素分析

相比充电模式，电动汽车采取换电模式需要考虑更多的因素。除了给电池充电的充电基础设施，电池更换方式、电池与车辆的连接、电池箱体属性、电池损耗及成本是换电模式需要着重考虑的四个代表性因素。

1) 电池更换方式

电池更换方式与电动汽车电池设计位置有关，当动力电池放置于车辆前部或尾部时，可以采用机械臂或者人工叉车的方式在指定位置自动进行电池更换，当动力电池放置于车辆底部时，就必须通过专业支撑设备进行底盘换电。两种方式各有缺点，底盘换电耗时更长，电池碰撞安全性更好，前部或尾部换电更容易操作，消耗时间更短，但对电池的耐碰撞性提出了更高的要求。

2) 电池与车辆的连接

电池系统与车辆控制系统的连接和通信是保证电动汽车安全运行的必要条件。当电动汽车经常发生颠簸的时候，对电池与车辆连接的匹配度和强度要求更高，当电池箱体与车辆连接的某个高压接头导致接触不良或者发生松动时，就会造成电阻过大或车辆失控的结果，电池箱体与车辆的固定连接是采用换电模式的电动汽车必须解决的问题。此外，电池与车辆之间控制信号通信的稳定性和一致性也是需要重要考虑的因素之一，若要大规模的采取换电模式进行电动汽车运营，必须统一电池箱体与电动汽车之间的通信协议，除了动力电池企业和主机厂进行良好的协调之外，国家出台相关的通信协议标准也十分必要。

3) 电池箱体属性

电池箱体属性包括箱体尺寸及重量、整体电压及能量、防水等级等。不同款型的电动汽车意味着不同的工作电压、不同的承重能力,如果要设计适合大部分采用换电模式的电动汽车的动力电池箱,则需要车企与电池厂商联合对动力电池箱体的相关属性要求进行统一,但是由于市场竞争背景下,大多数车企由于存在技术水平和市场定位等方面的差异,往往不愿意共享自己的车辆设计标准,所以电池更换模式很难应用在两种不同的车型上。这也是换电模式无法大规模推广的重要原因之一。

4) 电池损耗及成本

动力电池系统具备明显的“木桶效应”,其性能受其带电量最低的电池单体影响较大。当电池组存在一个损耗严重的单体时,另外性能较好的电池单体就会承担更多的放电任务,从而导致这些性能较好的电池单体加速损耗,进一步影响电池的性能和寿命。在对动力电池充电和换电的过程中,对电动汽车电池组进行同批次的充电和换电可以减缓电池损耗,有效保障其性能和寿命。

电动汽车换电必须要进行换电站建设,换电站的投资包括换电设备、充电设备、运行维护人员成本、站址用地和装修成本等费用,相比同等面积的充电站往往成本更高。目前国内投入运营的换电站运营收入测算方法包括按照车辆每次换电后的运行里程进行收费、按照国家要求的标准收取换电服务等。可以设想,当电动汽车电池箱体属性、与车辆连接等标准得到统一时,换电模式就具备了可以推广到私家车领域的条件。原因有三:第一,私家车主除了不需要为电池成本买单,日常也只需要支付类似于入网费和换电服务费,大大降低了购车费用;第二,相比电动汽车车主随机充电的方式,换电运营商可以更好的对电池状态进行监控,更好的保障电池的寿命和性能。同时,由于大规模的电动汽车充电会对电网的稳定性造成巨大影响,通过规划在夜间对电池进行集中充电的方式不仅可以降低电费成本,也可以起到对电网的削峰填谷作用^[5];第三,相比电动汽车充电,电池换电相比汽车充电耗时更短,时间成本更低,更容易为车主所接受。对于车主、电池运营商、电网公司三方面来说是“三

赢”。

3 结论

结合本文对动力电池及充电基础设施技术、充电因素、换电因素的综合分析,针对目前国内、外电动汽车及充电基础设施产业的发展现状,可以总结动力电池技术水平对置换电模式的影响如下:

1) 结合目前的动力电池及充电基础设施技术水平现状,在私家车领域仍然会以充电模式为主,换电模式只能在单个品牌电动汽车上进行应用,难以得到大规模推广。在公交、出租等运营时间和线路固定的应用场景下充电模式和换电模式将会并存。

2) 当电池的能量密度、安全性和循环寿命在大功率充电电流条件下可以得到有效保证(比如磷酸铁锂电池逐步提升其质量能量密度、三元锂电池系统提高更好的温度控制功能、固态电池的出现等)时,具体来说,当公交大巴、轿车、SUV的电池可以达到10 min充电及续航300 km以上,充电模式将得到更加广阔的应用。

3) 当电动汽车动力电池按照车辆类型完成尺寸与重量、电压(或电量)、与车辆连接的标准得到统一并大规模推广的时候(比如按照公交大巴车、轿车、SUV进行动力电池标准细分),电动汽车采用换电模式将比充电模式具备更高的时间及成本优势,市场上将会出现更多的换电服务运营商。具体来说,当一次电池更换可以供电动汽车在常规状态下行驶300 km以上时,将会极大的促进电动汽车的推广,换电模式也会得到更好的普及。

参考文献:

- [1] 张国安. 锂离子电池特性研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(10): 41-45.
- [2] 翁莎. 节能与新能源汽车技术路线图正式发布[J]. 汽车与配件, 2016(46): 30-31.
- [3] 刘柏男, 徐泉, 褚赓, 等. 锂离子电池高容量硅碳负极材料研究进展[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(4): 417-421.
- [4] 吴春阳, 黎灿兵, 杜力, 等. 电动汽车充电设施规划方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(24): 36-39+45.
- [5] 王海吉. 电网企业在电动汽车充电设施产业链的竞争分析[J]. 南方能源建设, 2016, 3(2): 27-31.