

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.04.021

# 基于燃油经济性评价标准的混动汽车电气 零部件检测方法研究\*

谢秋慧<sup>1</sup>, 张昊<sup>1</sup>, 童琮<sup>2</sup>, 周洋<sup>2</sup>, 杨帆<sup>2</sup>

(1. 上海出入境检验检疫局, 上海 200002; 2. 上海大众汽车有限公司, 上海 201805)

**摘要:**针对混合动力汽车燃油经济性的问题,对电气零部件的节能指标检测方法进行研究,分别提出了针对驱动电机、控制器和动力电池检测台架的设计方案。对国内外相关检测标准进行了总结,简述了适用于各零部件节能指标的检测方法。对混动汽车整车节能技术进行了分析,指出了零部件检测试验中存在一些项目与整车燃油经济性密切相关,同时对驱动电机和动力电池在不同工况中的节能指标进行了探讨。利用零部件检测台架分别对电机和电池进行了相关试验,分析了试验结果对整车燃油经济性方面的影响。研究表明,混动汽车电气零部件检测对提高整车燃油经济性具有促进作用。

**关键词:**混动汽车;零部件;燃油经济性;检测技术

中图分类号:TM306;U469.72

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)04-0488-05

## Method of hybrid power automobile electrical components based on fuel economy evaluation standard

XIE Qiu-hui<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>1</sup>, TONG Zhen<sup>2</sup>, ZHOU Yang<sup>2</sup>, YANG Fan<sup>2</sup>

(1. Shanghai Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Shanghai 200002, China

2. Shanghai Volkswagen Automotive Company, Shanghai 201805, China)

**Abstract:** Aiming at the issue of fuel economy of hybrid electric vehicle(HEV), a testing method for energy saving indexes of electrical components was studied and design schemes of test benches were proposed for testing motors, controller and power batteries. After the analysis of relevant national and overseas testing standards, brief testing methods for component energy saving indexes were presented. Based on summaries of energy-saving technologies of HEV, test items related closely with fuel economy of HEVs were indicated and the energy saving indexes of the driving motor and power batteries under different working conditions were discussed. A motor and a set of power batteries as components in HEV were tested by the proposed test benches. And the influence on fuel economy of the vehicle drew from the test results about these two components was analyzed. The research results indicate that the production test of electric components of HEVs can improve the fuel economy of HEVs.

**Key words:** hybrid electric vehicle(HEV); components; fuel economy; testing technology

## 0 引言

2012年国务院发布的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》明确了我国汽车节能水平的

提升目标,即到2020年乘用车新车平均燃料消耗量降至百公里5.0 L以下。目前发布的最新国家标准《乘用车燃料消耗量限值》、《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》的征求意见稿将目前的国家乘用车燃料消耗量标准

收稿日期:2015-11-10

基金项目:上海检验检疫局科技计划资助项目(HK038-2014)

作者简介:谢秋慧(1962-),男,浙江绍兴人,硕士,主要从事进出口工业品检验监管方面的研究. E-mail: xieqh@shciq.gov.cn

通信联系人:张昊,男,硕士. E-mail: zhangh@shciq.gov.cn

降低了20%,某些车型比原来降低了25%。目前国内车企现有的车型中大约只有40%~50%可以满足新国标,但要实现国务院提出的2020年油耗目标,依靠常规汽车技术改进将无法完成,必须发展新能源汽车技术。

新能源汽车包含纯电动汽车、燃料电池汽车和混合动力汽车3个主要产品类型。新能源汽车的动力系统和能量储存介质与传统的内燃机汽车有一定区别。其中,纯电动汽车和燃料电池汽车并不消耗汽油,乘用车油耗标准不适用于这两种车型。混合动力汽车作为一种新能源汽车,其动力系统由内燃机和电动机组成,两套动力来源通过类似行星齿轮等转矩合成器驱动车辆。两种动力源在不同工况,可以实现优势互补,有效地降低燃油消耗和排放水平。针对混动汽车能耗试验,目前国家质检总局已经颁布了GB/T 19753和GB/T 19754两套国家标准,上述两套国家标准属于是针对混合动力汽车能量消耗试验方法。混动汽车的长距离行驶过程主要消耗的还是汽油,因此国家乘用车油耗标准是适用于混动汽车这类产品的。随着油耗标准不断下降,不仅会促进整个汽车节能技术的发展,而且会促进混动汽车生产规模的扩大,这也将促进动力电池、驱动电机等混动汽车零部件的研发和生产。

做好混动汽车零部件检测工作有两方面原因:一方面,混动汽车的电机、电池和DC/DC变换器等零部件产品的市场中将会出现一批新企业和新产品,这就需要完善检测标准和方法;另一方面是混动汽车的整车性能,特别是燃油经济性,是受到电机、电池等零部件性能的影响。现有检测标准和检测方法都没有过多关注零部件对混动汽车整车燃油经济性方面的影响。

本研究针对混合动力汽车燃油经济性的问题,对电气零部件的节能指标检测方法进行研究。

## 1 检测对象

并联式混合动力汽车的典型结构框图如图1所示。

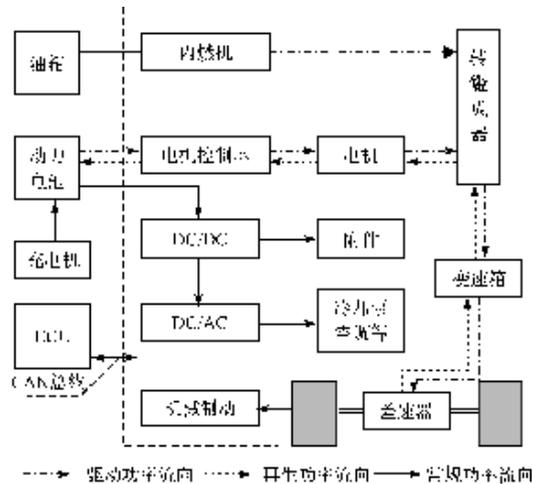


图1 并联式混合动力汽车动力系统功率流向

相比常规内燃机动力汽车,混动汽车动力部分主要增加了电机、控制器、电池等几部分零部件单元。其中电机和电池产品的输入输出接线端子定义单一,产品检测的基本方法明确。控制器属于电力电子电路,包含DCAC变换器(电机控制器)、ACDC变换器(车载充电机)和DCDC变换器(车内辅助电源),部分车型还配有峰值电源、备用电源等控制器元件。针对这几类新的零部件产品,国家质检总局已经出台了几个国家标准:《电动汽车用电机及其控制器》(GB/T 18488.1—2006)及(GB/T 18488.2—2006)、《电动汽车用锂离子蓄电池》(QC/T 743—2006)和《电动汽车DC/DC变换器》(GB/T 24347—2009)等。

制定产品检测标准时,适用于混动汽车的驱动电机有异步电机、永磁电机和磁阻电机等多个种类。即使是异步电机也存在绕组结构的变化,比如绕组结构可以分别采用三相星型、三相开放式绕组和多相绕组的电机,其产品检测设备、方法和评价体系都是有很大区别的。相对应不同的电机,控制器的种类也是多种多样,单独检测一个控制器产品的难度也很大。当电机和控制器作为一个整体产品进行检测试验时,这个产品的输入侧就是母线提供的直流电,而输出侧就是与电机轴直接相连的负载。这个产品的输入输出特性就变得比较明确,检测工作也就更有针对性,可以通过一个台架对不同规格和种类的电机和控制器产品进行检测。对动力电池的检测,也是将动力电池及其电池BMS控制器作为一个整体进行检测。

此外,对这类零部件产品的检测,本研究认为更应该注重零部件在某些工况下的性能表现,而这些工况与混动汽车的节能指标有着密切关系。如图1所示,并联混动汽车存在两种主要工况,一种工况是电驱动,另一种工况是再生制动,这两种工况的功率流向是相反的。混动汽车的再生制动是一项重要节能技术,检测试验就需要考察电机和电池零件的哪些性能指标是和整车再生制动过程的能量回收效率有关系的,需要设定这些指标的规定范围用来保证其整车制动过程的能量回收效率。

## 2 零部件检测方法

针对混动汽车零部件的测试方法主要包括软件仿真、台架试验和整车测试3种<sup>[1-3]</sup>。软件仿真试验可以在产品研发过程中对零部件各项参数进行优化,匹配各个部分的设计参数和模拟整车运行环境。针对这些零部件的仿真试验适用于产品开发的阶段。而在车辆整车试验中,汽车在道路行驶过程中的工况比较复杂,路面输入为随机输入,且受行驶环境的干扰和影响较大。如果使用整车测试的方法对零部件进行测试,电

机、电池及调速系统的运行状态和参数都需要记录,以研究其参数间的匹配特性。这些电参数的测量是燃油汽车试验所不具备的,常规车载通用测试设备目前还不具备此类功能。针对混动汽车单一零部件采用整车测试的方法缺乏通用性,不适合在各个质检单位推广。混合动力汽车零部件的检测主要是采用台架试验的方法,试验台架需要能够模拟不同零部件各种运行工况。

在燃油经济性的标准下考察混合汽车中电气零部件的能耗水平,单一检测各个零部件的额定工作点能量转换效率是否符合规定,不能满足检测要求。需要从电机、控制器和电池等部件在整车运行工况出发,研究每个零部件的哪些性能或者参数对整车的燃油经济性或者能耗指标有重要影响,制定适用于零部件节能指标的试验方法和评价标准。

## 2.1 电机及控制器检测

混合动力汽车的运行环境要求驱动电机及控制器具有体积小、重量轻、效率高、可靠性强、免维护、转矩出力大等技术特点。电机与内燃机的位置更加集中,内燃机的工作使得环境温度高,对电机及其控制器的散热问题提出了很高的要求。车用电机的设计工艺有区别于传统电机的技术特点,而电机的控制器电路属于电力电子单元,这两部分电路设计上和电机和电池存在一定的耦合性。针对驱动电机台架测试,通常将电机和控制器作为一个产品进行检测。电机测试台架中电机负载可以采用两种方案,一种是采用磁滞制动器、电涡流制动等能量消耗的方案,这类方案不能进行能量再生制动试验;另一种方法就是采用基于负载电机的测试方案,这种方案可以大大减小测试能耗,并且可以方便地进行驱动电机的发电试验和再生制动试验。

驱动电机及控制器测试台架示意图如图 2 所示。

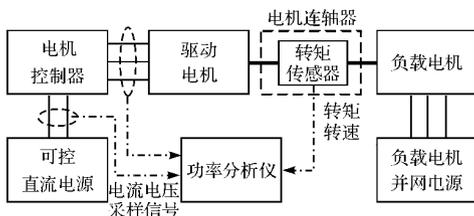


图 2 驱动电机及控制器测试台架示意图

在电机及其控制器检测台架中,由可控直流电源提供电机控制器所需的直流电压,被测试控制器直接对电机进行驱动。通过选用负载电机、负载电机控制器直接从实验中控台接收指令,动态加载负载阻力矩或者输出力矩,可以快速地在驱动和发电两种工况条件下进行切换。负载电机的控制电源可以直接与电网相连。测试台架的功率可以双向流动,功率流的起点和终点都是接入电网,这样的设计大大减小了测试能耗。测试电机和负载电机之间的连接轴安装了转矩传

感器,专用的功率分析仪可以接收来自转矩传感器的转矩和转速信号,将这两个信号与电机控制器输入输出的电流电压信号同步比较。

国标 GB/T 18488.2 中的第 7 条和第 8 条分别是针对转矩效率和再生能量回馈的试验方法。这两个试验项目与电机及控制器的节能指标有密切关系。这两个试验分别是评价系统处于稳定状态下的运行效率和再生回馈效率的。但是实际车辆工况中,再生制动过程大多数情况是一个短暂的瞬态过程,评价电气系统的能量回收效率需要考虑很多条件参数,评价整个电机及其控制器的性能也要全面考虑具体工况和参数的影响<sup>[4-7]</sup>。

## 2.2 动力电池检测

完整的动力电池试验台架如图 3 所示。

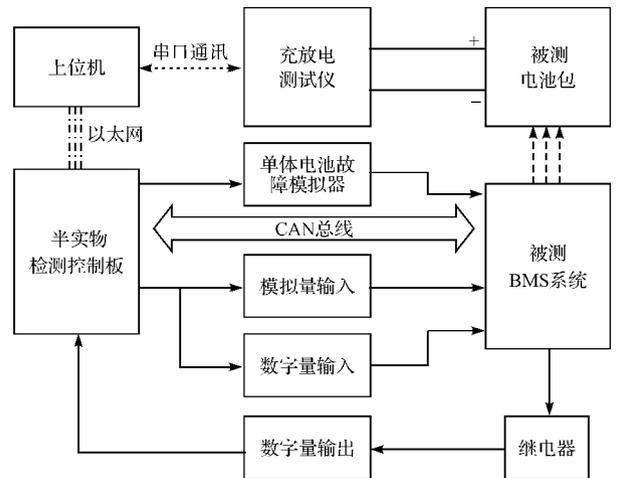


图 3 动力电池检测台架结构框图

电池台架试验将电池和电池管理系统 (battery management system, BMS) 作为一个整体进行检测。上位机分别通过串口通讯和以太网通讯控制充放电测试仪和半实物检测控制板。动力电池充放电测试仪同时需要具备大功率电子负载和充电设备的功能,能够模拟电池包的任何工作状况。BMS 系统正常工作需要很多外部模拟信号和数字信号的支持,外部模拟信号来自于电流、电压和温度等传感器,外部数字信号来自于 ECU 的输出。这些功能信号都可以采用半实物仿真设备进行模拟,同时半实物仿真设备还可以配合单体电池故障模拟器测试 BMS 能不能对电池故障进行保护。另外一方面,BMS 系统的输出信号是通继电器接到检测控制板上。

动力电池的电性能主要包括:容量、寿命、充电电压高低、放电电压、电池内阻、电池充放电表面温升及自放电率等。从一次充放电过程中就可测得上述大部分指标参数。电池恒流充电、电池恒流放电、电压测量精度、容量检测精度、系统稳定性,这些都是电池检测中的基本检测项目,对于电池的 SOC、寿命等数据

则需借助专用试验设备进行检测。

涉及到动力电池充放电能量转换效率的检测,通常行业内会参考标准 ISO 12405-2 中 7.3 的相关规定,对电池进行充放电内阻测试。充放电内阻测试是对动力电池在车辆处于反复启停过程中充放电损耗进行评估,将电池损耗功率折算为电池内阻。实际 HEV 运行过程中,当电池处于充电状态时,电机及控制器处于再生制动过程中。ISO 12405-2 中的 7.3 规定,每次充放电的测试时间为 2 s。

参照 NEDC 循环工况法,对电池产品进行循环充放电测试。具体方法如下:首先,对电池包进行充电,直到单体电池电压和总电压都达到截止电压;然后,试验台架按照预先设定的工况对电池包进行循环充放电测试,直到电池 SOC 低于试验下限值;最后,根据工况循环次数,折算电池包的续航里程数。

### 2.3 其他电源控制器检测

由于混动汽车配备了高压动力电池组,汽车中的风机、冷却泵、空调等附件的供电电源部件和普通汽车中对应的电源有很大的不同。这些电源都是从动力电池的几百伏直流母线直接取电,因此这些电源测试条件也会有很大区别。混动汽车中这些新增或改进的电源零部件,其产品技术和谱系尚处在不断发展的过程中,检测标准和试验方法还需要不断的更新和提升。

插电式混动汽车(PHEV)中还有车载充电机电源这一类零部件,而车载充电机电源检测工作需要结合电网的技术要求进行。国内外也将充电机与电机控制器集成在一起的产品样机,未来电机与电机控制器检测标准也需要相应作补充修改。因为 PHEV 使用电能目前大部分也是来自于火电厂的矿石燃烧的能量,考察插电式混动汽车的节能指标就需要考察 PHEV 所使用的电能<sup>[8-10]</sup>。因此充电机的检测也就涉及到有关汽车节能指标的内容,就是要对充电机的电网适应性进行判定。

### 2.4 整车节能技术检测

车辆在城市道路中行驶过程中需要反复加减速和启停。当油门踏板和节气门有突变时,发动机处于一个瞬态过程,ECU 会使得发动机内进行过浓喷油,以满足动力性要求。因此,混动汽车节能技术中最重要的就是解决车辆在加速过程中过浓喷油问题。混动汽车可以在车辆启动或者加速过程中通过电机增加额外的转矩,避免了发动机加浓喷油。在减速或者刹车过程中,电气部分通过再生制动原理将车辆动能转换为动力电池中的电能。此外在车辆匀速行驶过程中,混动汽车中电气部分也可以优化发动机运行状况,使发动机始终工作在稳定的最佳效率点。

电机牵引起步或加速、再生制动过程和优化发动机工况是 3 种混动汽车主要节能技术手段。混动汽车两个关键零部件的节能指标的评价方法如表 1 所示。

表 1 混动汽车零部件节能指标评价指标

零部件	节能手段	节能指标
电机及控制器	启动加速	全速度范围转矩响应能力; 低速范围内转矩上限值; 电机及控制器效率; 电机再生制动能量转换效率;
	再生制动	电机再生制动的速度范围; 电机工作状态转换时间; 转矩控制精度;
	优化工况	转矩响应速度; 电动及行车充电效率;
动力	反复启停	冲击功率条件内阻测试; 短时输入输出电流容量;
电池	续航里程	NEDC 循环工况测试; 空载电量自损耗;

表 1 中这些零部件的指标与整车燃油经济性有很大关系。这些指标有一部在目前的国家标准中已经有涉及。在车辆起步和加速,电机应快速的提供足够的转矩,避免加浓喷油;在此工况下,电机转矩要比电机本身的效率重要。在再生制动过程中,电机能够进行再生制动的速度范围也是关系到回收能量率的重要因素。由整车工况再细化到局部电路的动态过程,对零部件产品检测方法和评价标准进行细化。

如表 1 所示,目前现有国家标准已经有针对零部件节能指标的试验项目,但是这些试验项目还需要不断地完善和提高以适应混动汽车产品和技术的更新。

## 3 检测案例及分析

本研究选取标准电机及其控制器和动力电池产品作为被检测对象,具体实施了第 2 节中几个关于节能指标的试验项目。其中电机是三相内置式永磁同步电机,额定电压 220 V,额定功率 90 kW;电机控制器输出额定电压 250 V,额定功率 150 kW;电池包为 100 节单体锂离子电池串联而成,电压范围是 320 V~400 V,最大充分电功率超过 80 kW,容量为 70 Ah。

本研究采用如图 2 所示的试验台架对电机及其控制器进行测试,连续的改变电机转速和转矩,测定每个工作点下的电机效率值,从而分别建立电机和控制器的效率分布图,如图 4 所示。

电机在低速大转矩测试条件下的效率情况也是不太理想,这一点对于车辆启动过程的燃油经济性非常不利。

不同工况电机控制器效率分布图如图 5 所示。

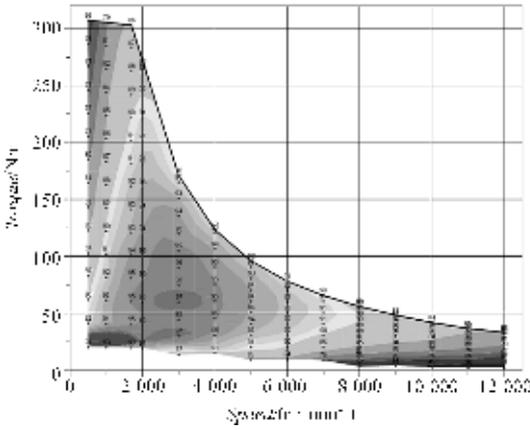


图 4 不同工况电机效率分布图

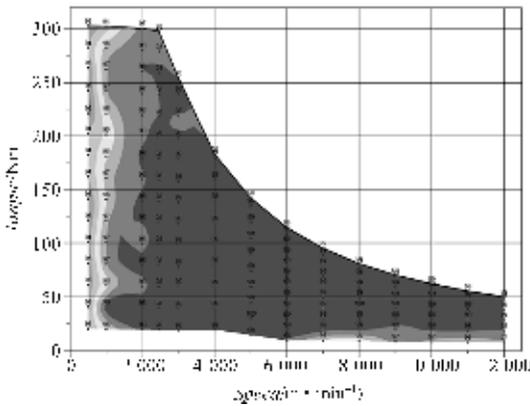


图 5 不同工况电机控制器效率分布图

电机控制器几乎没有效率低于 93% 的工作点。对比图 4 和图 5 的数据,该电机与控制器构成的系统整体效率由电机产品效率决定。

本研究针对电池产品主要进行了充放电内阻测定,参考标准 ISO 12405-2 的 7.3.2 节有关冲击功率特性的规定。按照每隔 2 s 交替对电池释放一次冲击放电电流和一次再生制动电流,试验结果如表 2 所示。

表 2 动力电池功率内阻测试结果

SOC/%	充电功率	充电内阻	放电功率	放电内阻
	/kW	/mOhm	/kW	/mOhm
85	26.86	31.23	83.04	51.26
70	77.31	46.41	82.87	44.13
50	79.86	49.84	81.61	45.30
35	78.89	48.45	81.56	31.22

表 2 中,电池电量为 85% 状态下,对产品施加的充电功率为 25 kW,低于其他工况下的功率值,这是因为电池厂商推荐的充电曲线的规定要求。

按照从试验结果来看,电池的内阻不超过 50 mΩ,

符合产品本身标称值。但是在电池全功率运行或者充电过程中,消耗在电池内阻上的功率为 1 kW ~ 2 kW,这个功耗值还是比较高。该试验说明了动力电池在混动汽车反复启停过程中的充放电损耗情况。

### 4 结束语

本研究从混动汽车的燃油经济性角度出发,总结了国内针对混动汽车零部件检测工作的现状。对电机及控制器、动力电池等零部件的检测标准和检测台架方案分别作了介绍,阐述了每个零部件有关节能指标方面的检测。

本研究阐述了在再生制动等混动汽车节能工况条件下,电池和电机等零部件的评价指标,并结合国内外标准给出了部分评价指标制定的依据。笔者分别选取了用于混动汽车的动力电池和驱动电机产品作了针对性试验,说明了相关试验与混动汽车整车燃油经济性之间的关系。该研究成果对相关单位和企业做好混动汽车零部件检测工作具有一定参考意义。

### 参考文献 (References) :

- [1] 张炳力,徐小东.混合动力汽车动力系统测试平台的研究[J].农业装备与车辆工程.2008,46(11):24-27.
- [2] 刘忠途,伍庆龙,宗志坚.基于台架模拟的纯电动汽车能耗经济性研究[J].中山大学学报:自然科学版,2011,50(1):44-48.
- [3] 罗永平,聂彦鑫.国内外电动汽车测试评价技术发展现状及趋势[J].汽车与配件,2011,31(15):18-21.
- [4] 王计广,李孟良,徐月云,等.电动汽车制动能量回收系统评价方法研究[J].汽车技术,2014,45(12):35-39.
- [5] 黄宜山,张文军,张昌凡,等.电动汽车用驱动电机系统评价体系的研究[J].大功率变流技术,2013(2):47-52.
- [6] 李大伟,付林,尹桥良,等.基于 ANSYS 的分数槽混合动力电机模态特性仿真[J].机械,2014,41(10):36-38.
- [7] 王伟,王庆年,初亮,等.混合动力汽车驱动电机性能评价体系研究[J].农业机械学报,2011,42(8):20-25.
- [8] 蔡汉琛,薛军.多款混合动力轿车车身后地板总成模块化拓展[J].机械设计,2015,32(7):52-55.
- [9] 王佳怡,陆文斌.混合动力电动汽车动力系统经济性检测与评价方法研究[J].质量与标准化,2012(8):40-42.
- [10] 秦孔建,陈海峰,方茂东,等.插电式混合动力电动汽车排放和能耗评价方法研究[J].汽车技术,2010,41(7):11-16.

[编辑:周昱晨]

### 本文引用格式:

谢秋慧,张昊,童珺,等.基于燃油经济性评价标准的混动汽车电气零部件检测方法研究[J].机电工程,2016,33(4):488-492.

XIE Qiu-hui, ZHANG Hao, TONG Zhen, et al. Method of hybrid power automobile electrical components based on fuel economy evaluation standard[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(4):488-492. 《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn