

# 超级电容与燃料电池发动机混合动力系统测试研究

张冰战<sup>1</sup> 赵 韩<sup>1</sup> 张炳力<sup>1</sup> 朱 可<sup>2</sup>

(1.合肥工业大学; 2.博世技术中心(苏州)有限公司)

**【摘要】**构建了包括混合动力系统、负载系统、数据采集系统及控制系统的超级电容与燃料电池混合动力系统测试平台,并对该系统进行了测试试验。测试结果表明,道路仿真软件 RLS 能有效模拟实际道路工况;超级电容可弥补燃料电池发动机的缺陷;CAN 总线技术采集设备的使用提高了数据采集系统的可靠性。该混合动力系统测试平台为燃料电池汽车的开发提供了试验手段。

**关键词:** 超级电容 燃料电池发动机 混合动力系统 数据采集

**中图分类号:** U467.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000- 3703(2008) 04- 0044- 03

## Testing Study on Ultra Capacitor and Fuel Cell Engine Hybrid Powertrain System

Zhang Bingzhan<sup>1</sup>, Zhao Han<sup>1</sup>, Zhang Bingli<sup>1</sup>, Zhu Ke<sup>2</sup>

(1.Hefei University of Technology; 2.Bosch Engineering Center(Suzhou) Co.,Ltd.)

**【Abstract】**The testing platform of ultra capacitor and fuel cell engine hybrid powertrain system which are comprised of hybrid power system,load system,data acquisition system and control system was established,and this system was tested. The results showed that the road simulation software RLS could simulate the actual roads;ultra capacitor could recuperate the defect of battery;the use of CAN bus acquisition equipment enhanced the reliability of data acquisition system.The testing platform of hybrid powertrain system provided test methods for the development of fuel cell car.

**Key words:** Ultra capacitor,Fuel cell engine,Hybrid powertrain system,Data acquisition

### 1 前言

由于燃料电池发动机效率高、清洁无污染、不依赖石油资源,因而燃料电池汽车被认为是未来电动汽车发展的主流<sup>[1]</sup>。在燃料电池汽车开发中,动力系统的结构选型、参数匹配和控制策略的制定等是关键技术。动力系统测试平台可以用于动力总成控制模块的调试和标定、动力性和经济性的测试、控制策略的分析和评价等,能大幅减少整车试验时间、标定时间及工作量并降低风险<sup>[2]</sup>,因而建立满足要求的动力系统测试平台,对于燃料电池汽车的开发具有重要意义。为此,本文对燃料电池发动机混合动力系统测试平台的构建、功能设计及典型试验等进行了研究。

### 2 测试平台构建

燃料电池发动机混合动力系统测试平台如图 1 所示,主要包括燃料电池发动机混合动力系统、负载系统、数据采集系统及控制系统。

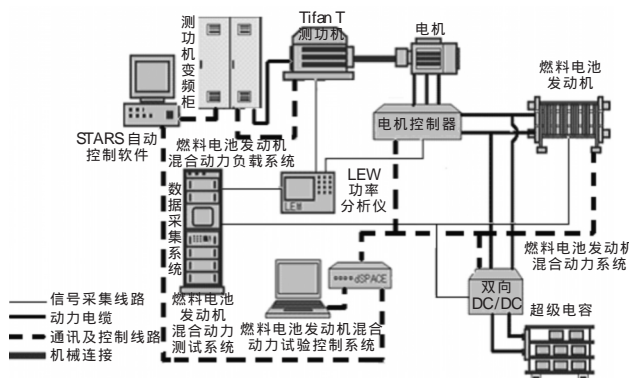


图 1 燃料电池发动机混合动力系统测试平台示意

#### 2.1 混合动力系统组成

混合动力系统由燃料电池发动机、超级电容、双向 DC/DC、电机及其控制器等部件组成,采用比能量高的燃料电池发动机作为其主动力源<sup>[3]</sup>。由于燃料电池发动机动态响应能力差、起动和加速时间长及比功率较低,还必须增加辅助动力源,为此选用充电和放电速度快、寿命长(循环充、放电约 10 万次)和放电深度大的超级电容作为辅助动力源。在动力系统中,超级电容一方面用于燃料电池发动机起动,

另一方面可以储存燃料电池发动机发出的电量和电机回馈时的能量,在燃料电池发动机功率不足时提供支持以实现快速功率响应;电机及其控制系统采用矢量控制的交流异步电机,该系统结构紧凑、效率高、可靠性好。

### 2.2 负载系统

负载系统主要由硬件和软件两部分构成。硬件部分由电力测功机及其控制系统、上位机、下位机等部分组成;软件部分主要由功能强大、操作简单、具有开放式系统设计功能的测试软件 Test STARS 和道路加载仿真软件 RLS(Road Load Simulation) 组成。该负载系统可以在试验室条件下模拟各种道路工况,调节测功机负载按预定工况运行,实现动力系统的性能测试。

基于 Test STARS 的 RLS 道路加载仿真模型如图 2 所示,其是由发动机、离合器、变速器、动力传动系、车辆等 5 个模块组成的整车模型。根据目标车辆状态及参数,对每个模块设置参数进行相应的修改。RLS 提供了开放的道路工况模拟,根据选择的待测工况以 EXCEL 表格形式输入时间长度及相应车辆速度,通过整车仿真模型将输入的需求车速转化为测功机转速。

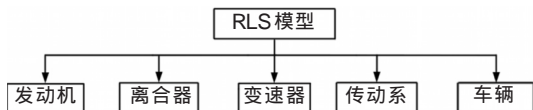


图 2 RLS 整车仿真模型

### 2.3 数据采集系统设计

#### 2.3.1 数据采集系统功能

数据采集系统可以实现实时数据采集、处理和输出,实时检测燃料电池发动机、超级电容、电机及控制系统、CAN 网络通讯等现场运行特性。此外还可以实现电机常规控制与运行数据的显示、系统效率测试与监控、电机电流与电压波形再现、最高车速测试、数据存储等功能。

#### 2.3.2 数据采集系统实现

数据采集系统结构如图 3 所示,由 2 台工控机来完成流量、电压、电流、温度、压力、浓度、转速和转矩等数据的采集及处理。该系统采用了基于 CAN 总线的采集设备,该设备包括现场总线的二次仪表和采集模块等,具有可靠性好、精度高、通讯协议简单、抗干扰性强等优点。功率分析仪可以实现电机、燃料电池发动机和超级电容的电流、电压及功率的实时采集和记录;采集模块和二次仪表及相应的 A/D 采集卡完成对流量、温度、压力、浓度等数据的采

集;转速传感器和转矩传感器完成测功机及电机的转速和转矩数据的采集;燃料电池发动机相关数据由工控机 1 采集,其它外围设备数据由工控机 2 采集,两者通过 RS485 总线进行数据交换。

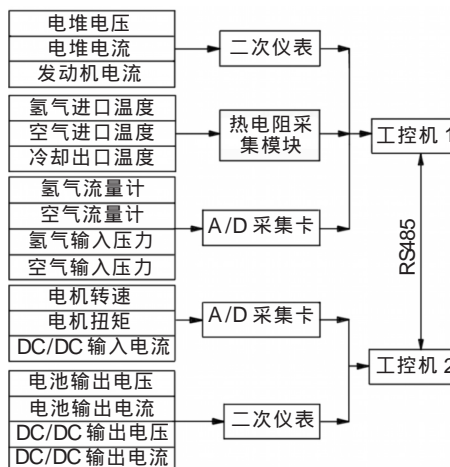


图 3 数据采集系统结构示意图

### 2.4 基于 dSPACE 的控制系统设计

#### 2.4.1 dSPACE 硬件在环仿真系统

dSPACE 硬件在环仿真系统是基于 MATLAB/Simulink 的控制系统开发及测试的工作平台,能实现与 MATLAB/Simulink 完全无缝链接<sup>[4]</sup>,它拥有强大的计算能力和丰富的硬件控制资源,包括微处理器、A/D、D/A、数字 I/O、CAN 模块、友好的 Control Desk 监控界面和各种虚拟仪表,还拥有实现代码生成/下载和试验/调试的软件环境,可以方便地进行参数的在线修改和实时控制。

#### 2.4.2 控制系统实现

图 4 为基于 dSPACE 的控制系统。在 dSPACE 上位机中基于 MATLAB/Simulink 建立控制器模型<sup>[5]</sup>,通过 I/O 板采集总线电流、电压等传感器信号,并与负载系统的测功机进行通讯,以获得相关的道路工况信息,通过 CAN 接口卡与其它部件节点进行通讯,获得电动机的转速和转矩、加速踏板和制动踏板的位置信号、燃料电池发动机的电流和电压、储氢瓶压力、超级电容的电流和电压及 SOC 值等。在得到各部件的工作状态和相关参数后,经 dSPACE 控制器模型处理得到当前的功率需求,再根据超级电容和燃料电池发动机的当前工作状态<sup>[6]</sup>,通过一定的控制规则确定燃料电池发动机和超级电容的功率分配因子,并将控制指令发送到各部件。控制系统还可实现 CAN 总线通讯功能,使各部件能够有效地进行状态信息和控制指令的传送和交流。此外,控制模型还进行各部件的工作监控及故障诊断和处理。

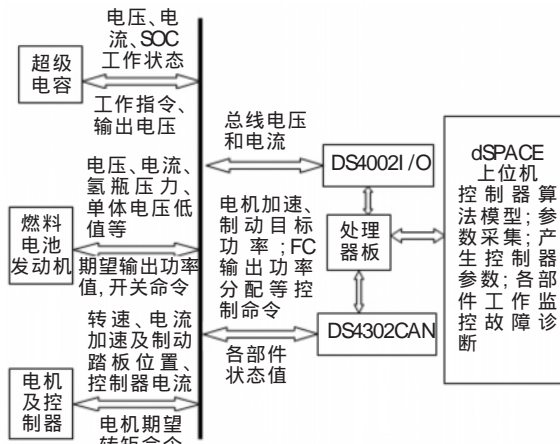


图 4 基于 dSPACE 测试平台的控制系统示意

### 3 测试系统应用

通过试验可以验证和改善燃料电池发动机的电流、电压及功率输出特性，为整车参数匹配提供依据。根据目标燃料电池汽车设计要求，经过相关计算，得到发动机的功率为 60 kW。考虑到后备功率及汽车附属设备消耗功率，最后选择额定功率为 70 kW、最大功率为 85 kW 的燃料电池发动机作为测试对象，测试结果如下。

燃料电池发动机功率效率如图 5 所示。由图 5 可见，燃料电池发动机在中低负荷 (15~70 kW) 时效率较高，因燃料电池汽车多行驶于该功率下的速度范围内，所以该燃料电池发动机能够满足车辆行驶要求。

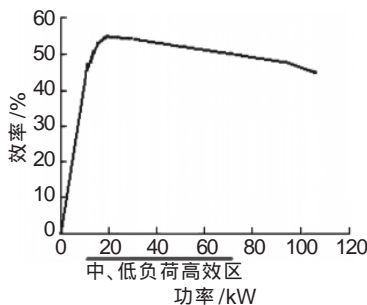


图 5 燃料电池发动机功率效率

图 6 为该燃料电池发动机输出电压与电流关系曲线。由图 6 可看出，当外界负载需要增大电流时，输出电压将减小，尤其是在初始阶段电压急剧下降。这个特性对于燃料电池汽车动力系统的动力特性非常不利，因此必须配备辅助能源源。

图 7 为该燃料电池发动机输出电压与输出功率关系曲线。由图 7 可看出，当外界需求功率增大时，尤其是低负载阶段，电压下降较快。试验测试时，燃料电池发动机的额定功率为 70 kW，此时工作电压为 350 V，工作电流为 200 A，最大功率达到 84 kW，

所以可满足燃料电池汽车的功率需求。

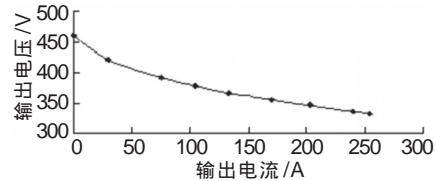


图 6 燃料电池发动机输出电压与输出电流关系曲线

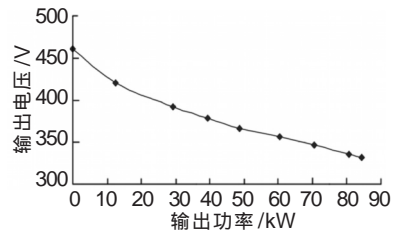


图 7 燃料电池发动机输出电压与输出功率关系曲线

图 8 为燃料电池发动机输出电流与输出功率关系曲线。由图 8 可看出，燃料电池发动机输出功率随输出电流的增大而增加。在燃料电池发动机经常工作的 20~70 kW 区间，电流的变化范围是 50~200 A，所以燃料电池发动机的功率能够满足整车动力性能需要。

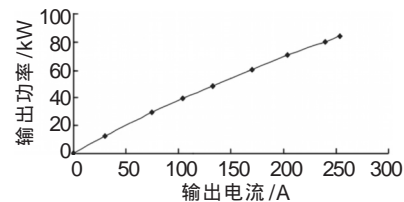


图 8 燃料电池发动机输出电流与输出功率关系曲线

参考适用于城市客车的四工况循环，在 RLS 道路仿真软件自定义了一个工况循环，试验结果如图 9 所示。由图 9 可看出，在 0~33 s 时间内，车辆从零加速到 25 km/h，驱动功率增大，超级电容放电，SOC 值从 0.7 下降到 0.42，此时超级电容作为辅助能源工作，提高了车辆的加速性能；而在 55~80 s 时间内，车速从 40 km/h 减速至零，车辆驱动功率减小，制动回馈能量对超级电容进行充电，SOC 值从 0.3 上升到 0.65。SOC 的充、放电特性与工况的加、减速能很好地吻合在一起。

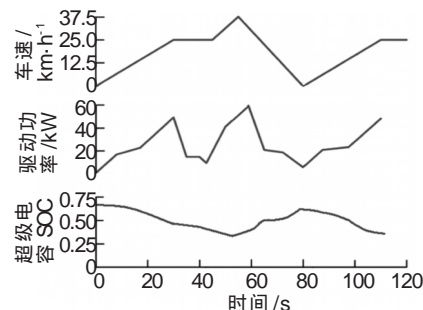


图 9 设定工况下驱动功率和超级电容 SOC 关系曲线

# 汽车燃油消耗量快速测量系统研究

刘 军<sup>1</sup> 姚 健<sup>2</sup> 高建立<sup>1</sup> 穆桂脂<sup>1</sup> 谢文磊<sup>1</sup>

(1.江苏大学;2.南通市汽车综合性能检测中心)

**【摘要】**介绍了开式排气稀释取样系统,建立了碳平衡法汽油车油耗测量模型及测量系统,设计了用于稀释排气流量测量的锥形流量计和用于稀释排气成分浓度测量的气体分析装置。可采用变频器调节电动机的转速来实现排气流量稀释系数的自动调节,并开发了自动测试软件。与油耗仪实测结果对比表明,该系统测量精度高、稳定性好,可实现在线车辆燃油消耗量的快速不解体测量。

**关键词:** 燃油消耗量 碳平衡法 开式稀释取样系统

**中图分类号:** U467.4<sup>98</sup> **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3703(2008)04-0047-04

## Research of Vehicle Fuel Consumption Rapid Testing System

Liu Jun<sup>1</sup>, Yao Jian<sup>2</sup>, Gao Jianli<sup>1</sup>, Mu Guizhi<sup>1</sup>, Xie Wenlei<sup>1</sup>

(1.Jiangsu University; 2.Nantong Center of Vehicle Comprehensive Performance Testing)

**【Abstract】**This paper introduced the opening exhaust dilution sampling system, established gasoline vehicle fuel consumption measurement model and system based on carbon balance method, designed the cone flowmeter that was used in dilute exhaust flow measurement and designed gas analysis device that was used in dilute exhaust composition concentration measurement. Frequency converter was used to adjust the revolution speed of electromotor and realize automatic adjustment of exhaust flow dilution coefficient, and the automatic testing software was developed. The comparison of measurement made by the test system and that made by fuel consumption gauge indicated that the system had a good accuracy and stability, could realize rapidly testing of vehicle fuel consumption.

**Key words:** Fuel consumption, Carbon balance method, Opening dilution sampling system

### 1 前言

自 20 世纪 70 年代中期始,国内外对汽油车燃油消耗量碳平衡测量方法进行了大量研究<sup>[1]</sup>,但由于当时尾气分析技术落后,均采用定容取样系统

(CVS)。该系统结构复杂、价格昂贵,因而阻碍了碳平衡法在油耗测量中的推广应用。

本文介绍了基于排气开式稀释取样的汽车燃油消耗量快速测量系统。该系统采用了先进的尾气分析及测量手段,可适于车辆不解体的全自动室内检

### 4 结束语

研究了超级电容与燃料电池发动机混合动力系统测试平台的构建并进行了试验。结果表明,道路仿真软件 RLS 能有效地模拟实际道路工况;超级电容弥补了燃料电池发动机的缺陷;CAN 总线技术采集设备的使用提高了系统的可靠性,并使系统便于维护和扩展。

#### 参 考 文 献

- 1 张炳力,朱可,赵韩.燃料电池城市客车动力系统结构研究.合肥工业大学学报,2006,29(11): 1358-1361.
- 2 谢起成,王冬,田光宇.混合动力电动汽车(HEV)动力系统试验台的模块化设计研究.交通运输工程学报,2001,1(2):

32-33.

- 3 Kim M J, et al. Testing, Modeling, and Control of a Fuel Cell Hybrid Vehicle. 2005 American Control Conference June 8-10, 2002. Portland, OR, USA.
- 4 包成,卢兰光,刘明基,等.燃料电池发动机测控系统控制平台开发.汽车工程.2004,26(4): 13-16,47.
- 5 Zhang Bingli, Zhao Han, Zhu Ke. A Study on Parameter Matching of Fuel Cell Electric Bus Powertrain. The 22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exposition 2006/10.
- 6 Oei D G. Fuel Cell Engines for Vehicles. Automotive Engineering International SAE, 1997, 105(2).

(责任编辑 文 楫)

修改稿收到日期为 2008 年 1 月 24 日。