

文章编号: 1009-444X(2014)01-0030-05

电动汽车动力测试平台与整车模拟试验

满 敏¹, 陈凌珊¹, 何志生²

(1. 上海工程技术大学 汽车工程学院, 上海 201620; 2. 上海鲁交测控科技有限公司, 上海 201602)

摘要: 电动汽车测试技术在电动汽车的发展中具有重要作用. 通过比较 3 种电动汽车测试方法的特点, 选择了室内平台测试方法, 并据此设计了电动汽车动力测试平台. 基于高级车辆仿真软件 (ADVISOR) 将欧洲实行的汽车行驶油耗测试工况 (ECE - EUDC) 循环工况转化为驱动电机的转速/转矩-时间历程. 利用所设计的电动汽车测试平台进行了整车道路工况模拟试验, 通过对比整车测试数据, 验证了模拟试验平台的有效性.

关键词: 电动汽车; 测试平台; ADVISOR 软件; 驱动电机; 整车模拟试验

中图分类号: U 467; U 469. 72 **文献标志码:** A

Electric Vehicle Powertrain Test Platform and Vehicle Simulation Test

MAN Min¹, CHEN Lingshan¹, HE Zhisheng²

(1. College of Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. Shanghai LUJAO Technology Co., Ltd., Shanghai 201602, China)

Abstract: Electric vehicle testing technology is playing an important role in the development of electric vehicles. By comparing three kinds of electric vehicle testing methods, a indoor bench testing method was chosen to design an electric vehicle power test platform. Based on ADVISOR simulation software, ECE - EUDC cycle was transformed into the cycle of speed/torque with time for drive motor. Finally, a vehicle simulation test was conducted on the designed platform and by comparing with the data of vehicle test, the validity of vehicle simulation test platform was verified.

Key words: electric vehicle; test platform; ADVISOR software; drive motor; vehicle simulation test

电动汽车从开发到整车成型, 直至进入市场, 每个环节都离不开电动汽车的测试与评价^[1]. 目前国内外进行电动汽车性能测试的方法主要包括 3 类: 道路测试、计算机仿真测试和室内平台测试^[2]. 道路测试通过在实际道路上进行实车测试来评价汽车的性能, 该方法最直观准确, 但可控性较差、投入大、时间长; 计算机仿真利用软件获取电

动汽车的性能参数, 成本低、实用、灵活, 但缺乏真实感和实时性; 室内平台测试综合了整车测试与计算机仿真的优势, 能对电动汽车各个关键件测试评价, 为电动汽车研发提供了大量详细测试数据. 在电动汽车研发初期, 整车道路测试很难发挥其应有的作用; 而在室内平台上完成电动汽车驱动系统的性能测试、动力系统匹配、控制策略开发, 可以实现

收稿日期: 2013-12-14

作者简介: 满 敏 (1988 -), 男, 在读硕士, 研究方向为汽车测试技术. E-mail: manmin2008@126.com

整车道路工况试验的模拟,能为电动汽车各项研发工作提供强有力的技术支持.本研究设计了电动汽车动力测试平台,提出基于高级车辆仿真器(Advanced Vehicle Simulator, ADVISOR)软件整车仿真转化工况的方法,实现了整车道路工况试验在电动汽车动力测试平台上的模拟.

1 电动汽车测试平台

电动汽车测试平台因测试需求的不同,其系统结构也不同,可简单分为驱动电机测试平台、动力总成测试平台、混合动力总成测试平台.目前,国外AVL、Horiba、GIF等公司已相继开发出汽车动力测试平台^[3-5]. Horiba公司开发的道路载荷模拟(Road Load Simulation, RLS)平台实现了整车道路工况的模拟.美国阿肯色大学的Schupbach等通过开发电动汽车动力总成试验平台,对电动汽车动力系统的工作过程进行了模拟,并对驱动电机系统及能源系统进行了研究^[6].国内各大汽车企业及高校也在开发研究,北京理工大学建立了电动汽车用电动机测试基地.黄万友等^[7]通过采集车辆行驶过程的数据信息,开发了济南市道路工况模拟平台,并在此平台上进行了动力系统的匹配研究.

本研究的电动汽车测试平台系统是在传统发动机测试台架的基础上,参照电动汽车测试需求加以改进而设计完成的.

2 测试平台设计

如图1所示,基于模块化的思想设计了包含动力电池模块①、驱动电机模块②、数据采集模块③、测功机负载模拟模块④、主控机系统模块⑤的电动汽车动力测试平台,完成测试平台设备的选型,布置搭建了实验室.

动力电池模块配有模拟电源、动力电池和智能充放电仪.模拟电源可模拟动力电池特性,代替蓄电池进行试验;动力电池为电动汽车车载电池,试验时为驱动电机供电.动力电池管理系统监测电池状态;智能充放电仪可以对蓄电池进行充放电试验,用以研究电池特性.测功机负载模拟模块采用长沙湘仪动力测试仪器有限公司生产的交流电力测功机来模拟被测驱动电机负载,它具有大功率、合适的恒功率和恒转矩范围、响应快和精度高的特点.数据采集模块包括YOKOGAWA WT 3000高精

度功率分析仪和集成于测功机内的转速转矩传感器,同时还有温度、电流和电压传感器等.主控机系统模块采用研华工业控制计算机,基于控制器区域网络(CAN)总线实现数据采集与通讯,并用LabVIEW设计了上位机软件.

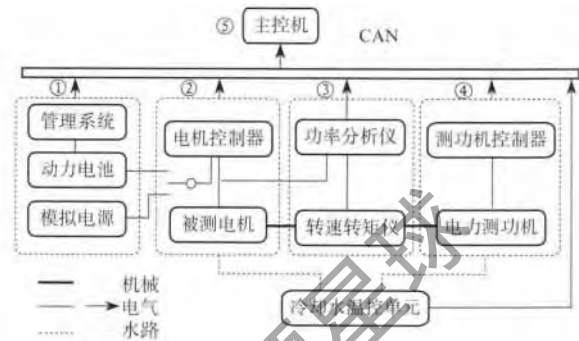


图1 电动汽车动力测试平台结构

Fig.1 Structure of electric vehicle powertrain test platform

3 道路循环工况的转化

3.1 道路循环工况

道路循环工况针对不同类型车辆制定,用来表示特定行驶环境下的汽车运行情况,即车辆行驶速度-时间历程.道路循环工况试验可以用来对车辆排放性能测试,也可以评价车辆的经济性,同时可以测试整车及其零部件的可靠性、耐久性,可为新车开发提供大量的数据支持.美国FTP75、日本JC08和欧洲ECE-EUDC等道路循环工况测试标准都是基于各自国家或地区的车辆行驶状况,通过大量数据统计而得.本试验选择ECE-EUDC道路循环工况进行模拟试验.

ECE-EUDC工况包含市区和市郊两个工况,如图2所示.市区循环是城市行驶过程的一个简化代表,由15种行驶方式组成,共进行4个(十五工况)循环,测试时间持续780s,总行驶里程为4.052km,平均车速18.7km/h;市郊循环为一个附加的反映车辆在市郊的行驶工况,测试时间为400s,行驶里程6.955km,平均车速62.6km/h,最高车速为120km/h.

3.2 道路循环工况的转化

本试验所设计的电动汽车动力测试平台为驱动电机测试平台,测试对象为驱动电机,试验时电机转速与转矩作为控制参数,而道路循环工况是整车的车速-时间历程,需要将其转化为驱动电机的转速/转矩-时间历程.转化方法是基于ADVISOR

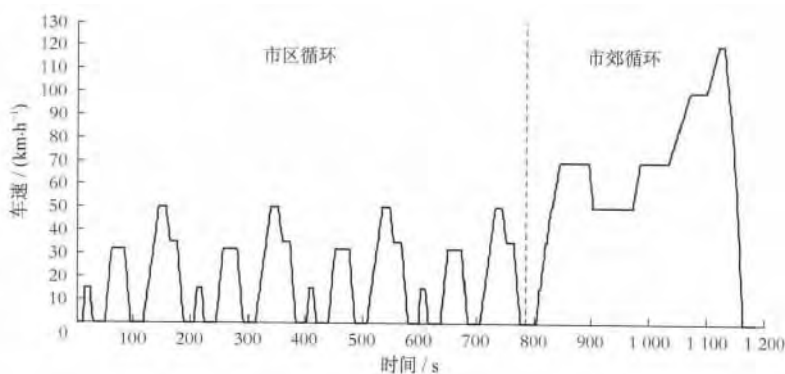


图 2 ECE - EUDC 循环工况
Fig.2 ECE - EUDC cycle condition

软件建立整车仿真模型,并在 ECE - EUDC 循环下仿真试验,从仿真试验结果中提取驱动电机的转速与转矩。

ADVISOR 是由美国国家可再生能源实验室 (NREL) 开发的高级车辆仿真器,采用的是向后仿真与向前仿真相结合的仿真结构^[8]。利用 ADVISOR 将整车工况转化为驱动电机工况的过程,就是从整车到车轮,经过传动系统,最后到驱动电机的转化过程,转换的实质可用式(1)表示

$$\left. \begin{aligned} F_t &= \frac{T i_g i_0 \eta_T}{r} \\ v &= 0.377 \times \frac{m}{i_g i_0} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: F_t 为车辆驱动力; v 为车速; T 为电机输出转矩; n 为电机转速; r 为车轮半径; η_T 为机械传动效

率; i_g 为变速器传动比; i_0 为主减速器传动比。

循环工况中车速已知,车辆驱动力 F_t 可由式(2)求得

$$\left. \begin{aligned} F_t &= mgf \cos \alpha + \frac{C_D A v^2}{21.15} + mg \sin \alpha + \delta_m \frac{dv}{dt} \\ \delta_m &= 1 + \frac{1}{m} \left(\frac{\sum I_w}{r^2} + \frac{I_f i_0^2 \eta_T}{r^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: m 为汽车质量; f 为滚动阻力系数; α 为爬坡度; δ_m 为旋转换算系数; C_D 为风阻系数; A 为车身迎风面积; dv/dt 为车辆行驶加速度; I_w 为车轮的转动惯量; I_f 为飞轮的转动惯量。

通过修改 ADVISOR 的整车行驶、车轮、传动系统、驱动电机、动力电池和控制策略等各模块的模型参数,建立了符合仿真汽车的仿真模型,如图 3 所示。

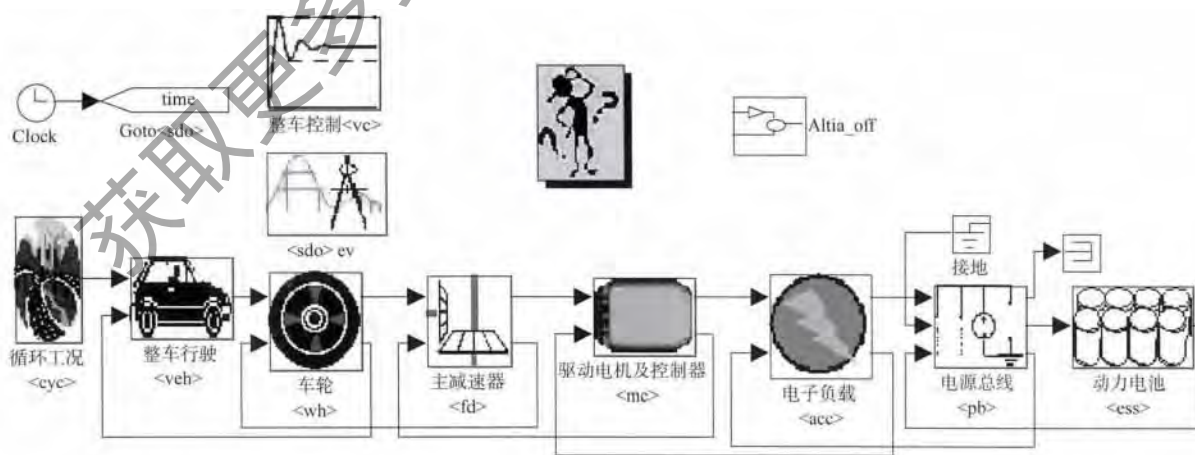


图 3 电动汽车整车仿真模型
Fig.3 Electric vehicle simulation model

选择 ECE - EUDC 循环工况进行仿真试验,从仿真结果中得到了该循环工况下被测驱动电机的

转速与转矩,如图 4 所示。

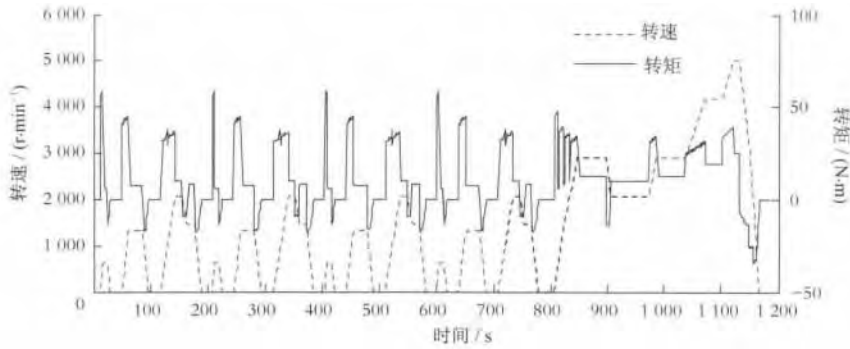


图 4 驱动电机转速与转矩

Fig. 4 Speed and torque of drive motor

4 道路工况整车模拟试验

4.1 模拟试验的评价

电池的荷电状态 SOC 值定义为电池剩余容量与电池总容量的比值,用来反映电池的剩余容量状况^[9].对于同一电池, SOC 值同时也反映了动力电池的储能状况.通过检测在道路循环工况下动力电池 SOC 变化,可以评价电动汽车的能耗状况.所以,本试验通过测量动力电池的 SOC 值来评价模拟试验的效果,即对比整车测试 SOC .

电池 SOC 的检测采用开路电压与安时积分法结合的估计方法,计算如下

$$SOC = Q_c / C_A \quad (3)$$

$$SOC = SOC_0 - \left[\int_0^{\Delta t} (I/I_A)^{1-n} K_2 dt \right] / C_A \quad (4)$$

式中: Q_c 为电池剩余容量; C_A 为电池总容量(以标准恒定电流 I_A 放电所具有的容量); SOC_0 为初始电池剩余容量; K_2 为温度修正系数.

4.2 模拟试验

试验模拟的纯电动汽车整车采用 75 kW 交流感应电机,动力电池是由 25 个子模块组成的 12 V、26 A 铅酸蓄电池.考虑到动力电池 SOC 值在靠近 0 或 1 时,电压明显下降或上升,故设定试验电池 SOC 值为 0.9 时,开始试验;当 SOC 值小于 0.1 时,停止试验.严格按照试验规范进行试验,记录数据.试验流程如图 5 所示.

4.3 试验结果与分析

试验中 SOC 值变化情况如图 6 所示.由于电池容量有限,由图 6 可见,模拟试验完成 3 个完整循环工况,当运行到第 4 个循环,即市郊工况,模拟行驶距离达到 38 km 处时, SOC 值小于 0.1,试验停止.每个循环工况后的 SOC 值和总模拟行驶距离可见表 1.

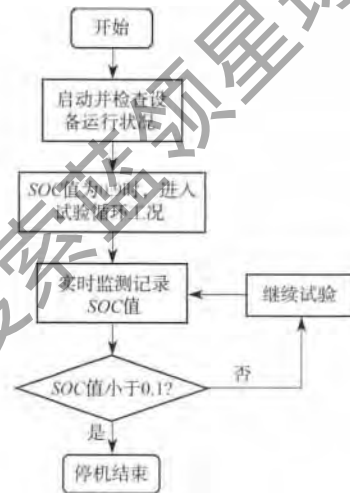


图 5 试验流程图

Fig. 5 Flowchart of test

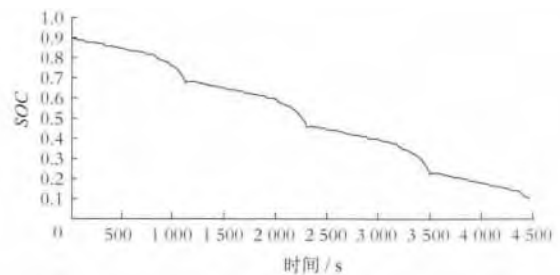


图 6 试验中的 SOC 值变化

Fig. 6 Variation of SOC in test

转毂试验台测试是整车测试的一种,可以真实反映车辆在循环工况下的运行状态,是评价车辆整车性能的有效方法.通过对比在转毂试验台整车测试数据可以看出,利用设计的动力测试平台模拟纯电动汽车整车测试, SOC 测试结果与整车测试结果基本偏差不大,相同条件下的行驶距离偏差也不大,说明两种测试方法得到的电动汽车能耗状况也基本一致.所以,通过转化循环工

况的方法,在电动汽车动力测试平台上模拟整车试验是可行的,可以用来评价初期电动汽车驱动

系统的性能,并能替代一些整车道路试验,缩短开发时间,节约开发成本。

表 1 模拟试验与转毂试验台整车测试 SOC 值对比

Table 1 Comparison of SOC values in simulation test and vehicle platform test

| | 循环 1 | 循环 2 | 循环 3 | 循环 4(未完成) | 行驶距离/km |
|-----------|-------|-------|-------|-----------|---------|
| 试验 1 | 0.768 | 0.535 | 0.291 | 0.099 | 37.7 |
| 试验 2 | 0.771 | 0.540 | 0.294 | 0.100 | 38.0 |
| 转毂试验台整车测试 | 0.763 | 0.530 | 0.287 | 0.100 | 37.5 |

5 结 语

本文设计了电动汽车测试平台系统,模拟纯电动汽车进行整车测试,得出以下结论:

1) 区别于计算机模拟、整车测试,电动汽车室内平台测试,可为电动汽车的研究开发提供大量的详细数据,具有不可替代的作用。

2) 利用 ADVISOR 转化道路循环工况,可在电动汽车动力测试平台上实现整车道路循环工况模拟试验,可替代部分整车测试,支持了电动汽车开发。而对于不用转化工况而直接进行模拟试验的测试平台,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 赵立军. 电动汽车测试与评价 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
- [2] Finley W R, Hussain M M, Hussain K S, et al. Understanding electrical and mechanical tests performed on induction motors [C] // Proceedings of Industry Applications Society 49th Annual, 2002 Petroleum and Chemical Industry Conference. New Orleans: IEEE, 2002:167-178.

- [3] Li J, Luo Y T, Zhao K G. Performance analysis of electromagnetic continuously variable transmission [J]. *Journal of System Simulation*, 2008, 20(3): 771-776.
- [4] Ceraolo M, Capozzella P, Baronti F. CAN-LabView based development platform for fine-tuning hybrid vehicle management systems [C] // Proceedings of 2005 IEEE Conference on Vehicle Power and Propulsion. Chicago: IEEE Power Electronics Society, 2005: 433-438.
- [5] Zheng P, Liu R R, Wu Q. Magnetic coupling analysis of four-quadrant transducer used for hybrid electric vehicles [J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2007, 43(6): 2597-2599.
- [6] Schupbach R M, Balda J C. A versatile laboratory test bench for developing powertrain of electric vehicles [C] // Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference. Vancouver: IEEE, 2002: 1666-1670.
- [7] 黄万友. 纯电动汽车动力总成系统匹配技术研究 [D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [8] 张翔. 电动汽车建模与仿真的研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2004.
- [9] 彭金春, 陈世全, 韩曾晋. 电动汽车铅酸电池充放电过程建模 [J]. *汽车技术*, 1997(6): 5-9.

(编辑: 李虹)