

增程式动力系统测试台架开发及应用

刘雷^{1,2}, 李超^{1,2}, 孟昭阳^{1,2}, 周利伟^{1,2}, 赵国朋¹

(1. 中通客车股份有限公司, 山东 聊城 252000; 2. 山东省新能源客车安全与节能重点实验室, 山东 聊城 252000)

摘要:开发电动城市客车增程式动力系统测试台架,实现电机、发电机及发动机的耦合试验,在整车批量生产前完成增程式动力系统控制策略验证、比油耗验证、安装设计验证及整车性能验证,使某电动城市客车开发周期降低30%。

关键词:增程式动力系统; 测试台架; 耦合试验

中图分类号:U467.5⁺22

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2023)04-0031-04

Development and Application of Test Bench for Range Extended Power System

LIU Lei^{1,2}, LI Chao^{1,2}, MENG Zhaoyang^{1,2}, ZHOU Liwei^{1,2}, ZHAO Guopeng¹

(1. Zhongtong Bus Holding Co., Ltd., Liaocheng 252000, China;

2. Shandong Provincial Key Laboratory of Safety and Energy Conservation of New Energy Buses, Liaocheng 252000, China)

Abstract:The authors develop test bench for the range extended power system of an electric city bus, in order to achieve the coupling tests of the motor, generator, and engine, and before the mass production of the vehicles complete the verification of the range extended power system control strategy, specific fuel consumption, installation design and the vehicle performances, which reduces the development cycle of an electric city bus by 30%.

Key words:range extended power system; test bench; coupling test

在增程式电动城市客车开发中,为保证整车性能的可靠性和良好的燃油性,增程式动力系统的试验验证尤为重要,试验项目包括动力系统模拟整车性能验证、控制策略验证、最低比油耗验证等。本文针对某增程式电动城市客车研发了增程式动力系统的测试台架^[1],并进行应用验证。

1 测试台架开发

1.1 组成

测试台架由测功机控制系统(油门、转矩控制、冷

却温度控制)、测功机(提供负载)、电池模拟器(提供直流电源)、功率分析仪(电压采集及功率计算)、霍尔传感器(电流采集)、扭矩环(转速/转矩测量)、温湿度计(温湿度采集)、发动机/电机/发电机冷却系统、增程式动力系统(电机、发动机、电机控制器MCU、发电机控制器GCU、发动机控制器ECU、增程式控制器RCU、整车控制器VCU)等组成^[2]。其按照实车结构进行布置,架构如图1所示。

收稿日期:2023-03-24。

第一作者:刘雷(1988—),男,工程师;主要从事新能源汽车整车及核心部件的测评技术研究工作。E-mail:liulei@zhongtong.com。

通讯作者:李超(1987—),男,硕士;工程师;主要从事新能源汽车整车及电驱系统的测评技术研究工作。E-mail:284349731@qq.com。

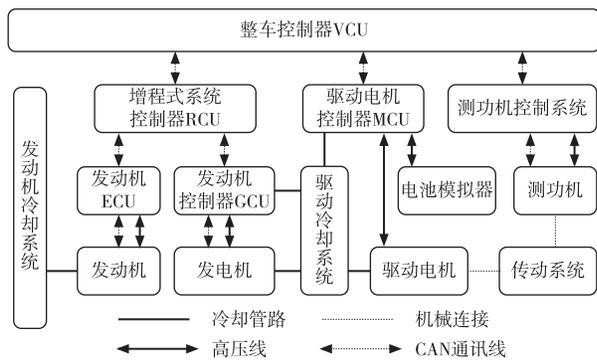


图1 测试台架架构图

1.2 信号模拟

CAN网络测试中,整车控制器与测功机控制系统通过油门信号、刹车信号、转速信号、转矩信号等进行通讯,为避免出现因个别控制信号报警而无法上电的情况,将整车控制器的部分信号进行屏蔽。部分信号(如钥匙开关、油门信号等)采用硬线模拟装置^[3],为此采用翘板开关模拟开关信号。特定测试时电驱系统只接收台架发送的报文,保证整车试验的顺利进行。

1.3 高低压信号干扰处理

鉴于增程式动力系统较为复杂,为避免高低压线束相互交叉带来的信号干扰,采取如下措施:所有高压部件均接地;电机、发电机等高压部件相线均加磁环进行抗干扰;结构上高低压线束尽可能分开布局。

1.4 冷却系统搭建

为真实地模拟整车的试验环境,冷却系统采用与整车配套的ATS散热系统,并严格按照整车控制逻辑设定各子冷却系统的开启温度。该水箱分为两部分,发动机端温度设定为 85°C ,电机端温度设定为 45°C 。

2 增程式动力系统试验及结果分析

2.1 逻辑验证测试

2.1.1 上下电控制逻辑验证

1) 测试方法。通过不断调整整车控制器及电机控制器程序,保障系统顺利实现上下电,满足不同(纯电、混合动力)模式切换^[4-5]。

2) 测试步骤。上电逻辑:先打开ON开关,低压上电;电池模拟器运行高压上电,整车控制器收到电

机控制器端发送的电压使能信号后,完成高压上电;发动机根据整车SOC值判断是否启动发动机。下电逻辑:先关闭ON开关,低压下电,整车控制器发送发动机停机指令,同时发电功率请求为0;整车控制器在增程式系统控制器反馈就绪状态报文后,清除ready信号;系统在增程式系统控制器反馈未激活状态后,控制电池模拟器进行下高压,完成高压下电。

2.1.2 制动能量回馈验证试验

利用测试台架油门和挡位模拟行车功能。挡位设为前进挡,给定油门开度,系统能够正常执行行车命令,当电机达到最高转速后给定制动踏板开度,系统能够正常反馈设定的反拖峰值扭矩进行制动能量回收(如图2所示),完成制动程序逻辑验证。

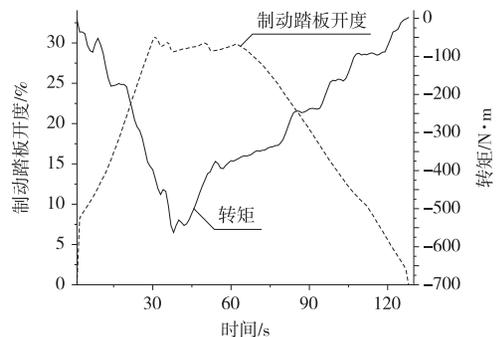


图2 制动能量回收验证

2.1.3 发动机启动逻辑验证试验

利用测试台架油门和挡位模拟行车功能。台架挡位设定为前进挡,油门根据需要自适应模拟行车功能,电池模拟器给定相当于SOC值为51%的模拟电压值,观察发动机是否正常启动。由图3可知,在SOC值达到50%时启动正常,并按照设定程序的发电功率进行,且SOC稳定在特定的区间内^[6],未出现其他报警及限功率等异常情况,完成发动机启动逻辑验证。

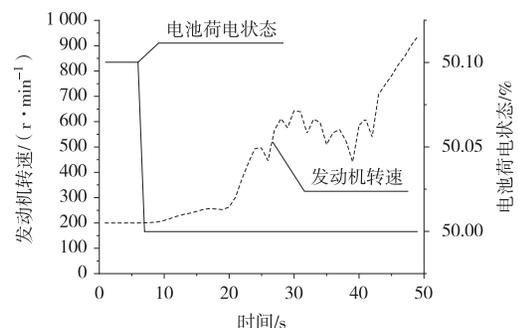


图3 发动机启动验证

2.2 比油耗测试及结果分析

为了真实地模拟整车状况,测试台架利用电池模拟器提供和实车一样的 520 V 电压平台,使其工作在高效低排放的工况内^[7-8]。试验发现增程式控制器在执行-80 kW(控制逻辑驱动为正,发电为负)发电功率时比油耗最低,故发电功率设为-80 kW 能达到最佳状态且满足整车功率设计需求。从能量转化角度来看,该混合车型与匹配较好的常规车差别不大^[9],测试结果见表 1。

表 1 系统发电测试结果

发电功率/ kW	油耗/ L	发电率/ [(kW·h)·L ⁻¹]	比油耗/ [g·(kW·h) ⁻¹]
-70	0.55	4.09	205.6
-75	0.58	4.10	204.8
-80	0.63	4.11	204.4
-85	0.69	4.02	208.9
-90	0.73	4.00	210.2
-95	0.78	3.96	212.0
-100	0.82	3.98	211.2

3 增程式动力系统整车性能试验及结果分析

增程式动力系统模拟整车进行测试,采用 AVL 开发的 PUMA 测功机控制系统,在控制系统里输入整车整备质量、最大设计质量、速比、迎风面积及标准要求试验质量的国标推荐阻力系数 a、b、c 值等信息,控制系统根据输入整车信息控制测功机模拟整车阻力,达到整车性能测试目的。整车部分参数见表 2。

表 2 整车信息参数

主要参数	数值
整备质量/kg	12 500
最大设计质量/kg	18 000
迎风面积/m ²	6.7
车轮滚动半径/m	0.471
传动速比	6.19

3.1 经济性测试

测试方法:参考 GB/T 18386—2017 测试标

准^[10],采用控制系统录入的实地采集的路况路谱,在纯电模式下模拟工况能量消耗率测试,其车速跟随曲线如图 4 所示。由图 4 可知,目标车速与实际车速的偏差在允许的误差范围内,跟随性符合要求^[11],未发现报警信息。结果显示工况能量消耗率为 0.788 kW·h/km,实车道路工况能量消耗率为 0.765 kW·h/km,考虑到驾驶员操作等误差,测试台架与实车的测试值偏差在 3%之内,数据有效。

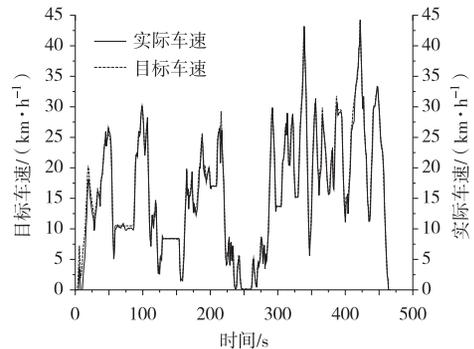


图 4 工况目标车速与实际车速跟随曲线

3.2 动力性测试

1) 爬坡性能。爬坡性能主要取决于动力系统的峰值扭矩、传动速比,测试结果见表 3。

表 3 增程式动力系统动力性测试结果

测试项目	测试值	实车值	备注
坡道起步能力/%	19	20	11 m 车型
	24	24	9 m 车型
0~30 km/h 加速时间/s	5.9	5.8	11 m 车型
30~50 km/h 加速时间/s	8.1	8.0	11 m 车型

通过试验发现该套动力系统 9 m 车型的坡道起步能力为 24%,11 m 车型的坡道起步能力为 19%,11 m 车型未能满足客户要求(不小于 22%),故需要对驱动系统进行优化或建议更换该车型的驱动系统规格。

2) 加速性能。加速性能主要取决于驱动系统的峰值扭矩、峰值功率,试验得出 0~30 km/h 加速时间为 5.9 s,30~50 km/h 加速时间为 8.1 s,均满足整车设计要求,完成系统模拟整车性能匹配验证。

4 结论

基于增程式动力系统测试台架开发,完成电机、发电机及发动机的耦合试验,发现安装问题二十余项,设计问题十余项,并在装车前进行了问题封闭,大大减少了装车后的质量问题,降低了开发周期,可以得出如下结论:

1) 测试台架实现增程式动力系统高压上下电、制动能量回馈逻辑验证试验,充分验证了既定的控制策略。

2) 测试台架验证了增程式动力系统发动机启动逻辑,确定系统最低比油耗的发电功率值,相比传统燃油车在同等工况下能大幅度降低整车油耗。

3) 通过台架测试发现该增程式动力系统能满足9 m车型的整车动力需求,但应用到11 m车型上动力性不足,为整车动力系统匹配提供了数据支撑。

参考文献:

- [1] 王家校. 新能源汽车电驱和电机测试台架系统设计与应用[J]. 电气传动, 2021, 51(4): 52-55.
- [2] 姚学松. 一种增程式电动汽车动力系统能耗分析[J]. 电子产品世界, 2020, 27(3): 82-84.
- [3] 汪双柱. 纯电动客车三电系统台架联调测试研究[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(15): 28-29.
- [4] 高龙, 强同磊. 增程式电动汽车的整车控制系统研究[J]. 汽车制造业, 2022(2): 24-25.
- [5] 孔维峰, 刘继红, 邵强, 等. 插电增程式混合动力客车动力电池系统性能分析[J]. 客车技术与研究, 2022, 44(4): 25-27.
- [6] 王笑乐, 干频, 陈凌珊. 增程式电动汽车发动机多工作点控制策略[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2015(2): 56-63.
- [7] 周苏, 牛继高, 陈凤祥, 等. 增程式电动汽车动力系统设计与仿真研究[J]. 汽车工程, 2011, 33(11): 924-929.
- [8] 聂立新, 刘同乐, 刘涛, 等. 增程式电动汽车动力参数选择及控制策略研究[J]. 客车技术与研究, 2019, 41(1): 16-18.
- [9] 黎程, 杜志良, 张有. 某增程式电动城市客车车性能开发与试验研究[J]. 汽车实用技术, 2020(11): 1-4.
- [10] 中华人民共和国工业和信息化部. 电动汽车 能量消耗率和续驶里程 试验方法: GB/T 18386—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-24.
- [11] 邓智辉, 陈勇, 霍为炜. 增程式电动城市客车车能量管理策略及能耗分析[J]. 计算机仿真, 2021(10): 170-175.