

文章编号:1000-582X(2009)06-614-06

重型商用车性能测试系统开发与应用

胡建军¹, 伍国强¹, 秦大同¹, 张青²

(1. 重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400030; 2. 长安汽车(集团)有限公司, 重庆 400021)

摘要:针对目前车用性能测试系统体积庞大、功能单一、安全性和可靠性低等缺点,采用基于 Matlab/Simulink 平台的 dSPACE 开发环境,开发了以 dSPACE 实时仿真系统为核心的重型商用车性能测试系统,完成了测试系统布置,开发步骤设计,实现了整车性能试验数据的采集、处理、分析、显示以及保存。应用所开发的测试系统完成了重型商用车性能道路试验,获得了经验驾驶员的操纵数据和原型车的动力性指标,为 AMT 系统的研制开发奠定了基础。

关键词:重型商用车;数据采集;动力性能

中图分类号:TH132.32

文献标志码:A

Development and application of a performance test system for heavy duty commercial vehicles

HU Jian-jun¹, WU Guo-qiang¹, QIN Da-tong¹, ZHANG Qing²

(1. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China;
2. Automotive Engineering Institute, Chang'an Automobile (Group) Co., Ltd., Chongqing 400021, P. R. China)

Abstract: To address limitations of vehicle performance testing systems such as huge size, single functions, low degrees of accuracy, and low stability a performance test system for heavy duty vehicle is developed using the dSPACE development environment based on Matlab/Simulink. Test system layout and development steps are designed. Vehicle performance testing data are acquired, displayed and saved. Based on this testing system, a heavy duty commercial vehicle performance road test is conducted, and operating data regarding experienced drivers and dynamic indices are obtained. The research results provide a theoretical basis for AMT development.

Key words: heavy duty commercial vehicle; data acquisition; dynamic performance

电控机械式自动变速器 AMT 是在以干式离合器和定轴齿轮式有级机械变速传动组成的手动变速器基础上加装液压/电动驱动机构和控制装置所组成的系统^[1-2]。AMT 具有传动效率高、结构简单、成本低并可适用于各种车型等优点。由于国内重型车辆普遍装备的是机械变速器,因此对手动机械变速器进行 AMT 技术改造,实现车辆的自动换挡,具有广阔的

应用前景。在 AMT 的开发过程中,进行原型车性能试验是必不可少的,一方面通过原型车性能试验可以获得 AMT 设计中需要的换挡点等数据资料,另一方面获得的试验数据为后期 AMT 开发提供了对比分析依据。笔者以 dSPACE 为核心开发了重型商用车性能测试系统,并完成了重型商用车原型车性能试验,为重型商用车 AMT 系统的研制开发奠定了基础。

收稿日期:2009-02-10

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA110114)

作者简介:胡建军(1973-),男,重庆大学副教授,主要从事车辆动力传动及其控制研究,(Tel)023-65106506;

(E-mail)hujianjun@cqu.edu.cn.

欢迎访问重庆大学期刊社网 <http://qks.cqu.edu.cn>

1 重型商用车性能测试系统组成

重型商用车性能试验中需要测量变速器挡位、加速踏板位置、发动机转速、离合器行程、车速等信息,其中涉及开关量、模拟量以及通过 CAN 通信读出的发动机相关信息,信息量大,种类多。传统的测试仪器体积庞大、功能单一、价格昂贵、开放性差,难以适用于车辆性能道路测试,而自己开发的单机测试系统,开发周期长,安全性和可靠性难以保障^[3-4]。而以 dSPACE 实时仿真系统为核心的测试系统具有扩展能力强、过渡性好、组合性强等优点,因而大大减少了测试费用,缩短了测试周期,增加了测试的精度和可靠性。

dSPACE 实时仿真系统是由德国 dSPACE 公司开发的基于 Matlab/Simulink/RTW(美国 MathWorks 公司开发的用于算法开发、系统建模、离线仿真及代码生成的软件)的控制系统开发及半实物仿真的软硬件工作平台,拥有高速计算能力的硬件系统 dSPACE 原型, I/O 接口库 RTI(Real-Time Interface),以及实验/调试软件 ControlDesk^[5]。

重型商用车性能测试系统通过 dSPACE 来完成对传感器发出信号以及通过 CAN 读取发动机相关信号的采集、处理、分析、显示以及保存。

测试系统由硬件和软件两部分组成^[6]。硬件主要由挡位传感器、离合器位移传感器、加速度传感器、电荷放大器、AutoBox、350 W 电源逆变器(由车载蓄电池给笔记本供电)以及笔记本电脑组成。软件部分是测试系统的核心,测试系统通过程序将计算机和 dSPACE 硬件结合起来,用户首先在 Simulink 环境下建立测试系统模型,验证算法的正确性,控制模型框图生成后,用 RTW/ Build 工具自动生成 C 代码,再经过编译、连接生成可执行代码并下载至 AutoBox 中。最后用 ControlDesk 软件建立测试系统监控界面,监控实验过程并且保存试验数据。

2 测试系统开发

2.1 测试系统布置

根据 dSPACE 硬件结构和测试项目要求,定义试验中所需要的 I/O 接口、A/D 接口和 CAN 接口。各传感器和 dSPACE 接线方式如下:

1)通过在换挡杆处安装 2 个接触传感器 S1/S2(选挡)、2 个非接触传感器 H1/H2(换挡)以及在换挡手柄处安装 1 个非接触传感器 H/L(高、低挡)来测量变速器所在挡位,5 个传感器输出接 dSPACE 的 I/O 输入端口;

2)采用 CAN 通讯从发动机电控单元(ECU)中读取加速踏板位置、发动机转速等信息,ECU 中接出的 CAN_H 和 CAN_L 分别接 dSPACE 的 CAN_H 和 CAN_L 输入端口;

3)通过在离合器分离臂处加装位移传感器来测量分离臂行程,位移传感器输出接 dSPACE 的 AD 输入端口;

4)通过分别在车架后部和中部安装加速度传感器来采集车体纵向加速度信号,采集的加速度信号通过电荷放大器放大后接 dSPACE 的 AD 输入端口。

测试系统整体布置如图 1 所示。



图 1 重型商用车性能测试系统整体布置

2.2 发动机参数读取

试验原型车发动机装备的是康明斯 ISME 420 30 高压共轨电喷发动机,采用 SAE J1939 通信协议进行数据传输。

SAE J1939 标准是美国汽车工程师协会(SAE)发布的以 CAN 总线为核心的车辆网络串行通信和控制协议^[7]。它是按照 ISO 的开放式数据互联模型定义的七层基准参考模型制定的,采用串行通信协议 CAN 2.0B 作为网络核心协议,通信速率可达到 250 Kbps。最新的 SAE J1939 协议由 12 个文件组成,与汽车应用的文件主要是 J1939-11, J1939-21 和 J1939-71,它们分别对应 ISO/OSI 7 层模型的物理层、数据链路层和应用层^[8]。SAE J1939 协议的特点是:使用多路复用技术(Multiplexing),为车辆上各传感器、执行器和控制器提供建立在 CAN 总线基础上的标准化的高速网络连接,在车辆电子装置之间实现高速数据共享,有效减少电子线束的数量,有利于提高车辆电子控制系统的灵活性、可靠性、可维修性和标准化程度。目前,SAE J1939 标准已经成为世界各大车辆部件制造商均支持的重要通信标准,尤其在大客车、载货汽车、特种车辆和工程机械

中得到广泛的应用^[9-10]。

SAE J1939 中帧的定义完全遵循 CAN2.0B 的规定,其中 SOF、CRC、ACK 以及 EOF 由数据链路层自动完成,SAE J1939 只是在 CAN2.0B 允许的范围对 32 位标识符中的 29 位进行了如表 1 所示的定义^[11-12]。

表 1 SAE J1939 中 32 位标识符的定义

| CAN 扩展帧格式 | J1939 帧格式 | J1939 帧位置 |
|-----------|-------------|-----------|
| SOF | SOF | 1 位 |
| | 优先权 P | 2~4 位 |
| 11 位标识符 | R | 5 位 |
| | DP | 6 位 |
| | PDU 格式(PF) | 7~12 位 |
| SRR | SRR | 13 位 |
| IDE | IDE | 14 位 |
| | (PF) | 15~16 位 |
| 18 位标识符 | PDU 特定域(PS) | 17~24 位 |
| | 源地址(SA) | 25~32 位 |

表 1 中 R、DP、PF 和 PS 合称为参数群编号 PGN(Parameter Group Number),它表征了后面数据区里参数的数目和类型^[13]。

SAE J1939 对 CAN 协议标识符的重新定义,使 CAN 的标识符排列组合具有更丰富的含义,也使开发者在进行控制系统开发时有了统一的标准。

发动机 ECU 通过 CAN 接口以 CAN 扩展数据帧的形式向 dSPACE 的 CAN 引脚发送发动机相关数据,如发动机转速、发动机转矩比、加速踏板开度等。通过在 Matlab 的 RTI 库中拖放实时测试所需的 CAN 接收模块到 Simulink 环境下,根据发动机 ECU 的 J1939 协议中关于发动机节点发送参数的设置,配置 CAN 接收模块,就可以实现发动机相关参数的读取。

2.3 挡位判断方法

本试验原型车采用陕汽德隆重型商用车(图 2)。变速器为陕西法士特生产的 12 挡手动变速器,挡位分布如图 3 所示。



图 2 试验原型车及试验场地

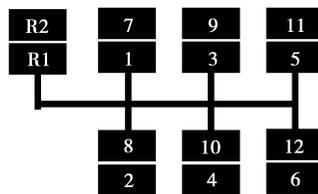


图 3 变速器挡位分布图

通过安装在换挡杆(H1 和 H2)、换挡手柄(S1 和 S2)以及高低挡(H/L)处的 5 个挡位传感器输出信号的组合来判断当前变速器所在的挡位,挡位传感器输出信号与变速器实际挡位的逻辑关系如表 2 所示。

表 2 挡位传感器输出信号与变速器实际挡位的关系

| H1 状态 | H2 状态 | S1 状态 | S2 状态 | H/L 状态 | 挡位 |
|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 空挡 |
| | | | | 1 | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 挡 |
| | | | | 1 | 7 挡 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 挡 |
| | | | | 1 | 8 挡 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 挡 |
| | | | | 1 | 9 挡 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 挡 |
| | | | | 1 | 10 挡 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 挡 |
| | | | | 1 | 11 挡 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 6 挡 |
| | | | | 1 | 12 挡 |

说明:表中 H1、H2、S1、S2 状态为 0 表示断开,为 1 表示接通;H/L 为 0 表示低挡,为 1 表示高挡。

2.4 软件开发过程

基于 dSPACE 的测试系统开发步骤如下:

1) Matlab/Simulink 模型建立及离线仿真。

利用 Matlab/Simulink 建立测试系统的数学模型,设计测试系统,并对测试系统进行离线仿真,测试系统包含加速度测量模块、挡位测量模块、离合器行程测量模块以及 CAN 通信模块等。

2) 输入/输出(I/O)的接入。

在 Matlab/Simulink 中保留需要下载到 dSPACE 中的模块,从 RTI 库中拖放实时测试所需的 I/O,替换原来的逻辑连接关系,并对 I/O 参数进行配置^[14]。

3) RTW build。

由于 Matlab 和 dSPACE 之间的无缝连接,完

成目标实时代码的生成、编译连接和下载,将模型下载为 AutoBox 上可独立运行的程序^[15]。

4)dSPACE 综合试验和测试。

在 dSPACE 提供的 ControlDesk 环境下对硬件进行注册和管理,编写数据采集界面(如图 4 所示),进行重型商用车性能测试试验。

试验在路面状况良好的市郊公路上进行,考虑到道路有略微的坡度,所有加速试验均为对开循环试验。首先进行的是不同挡位下 0~70 km/h 加速试验,其次是不同挡位下 400 m 加速试验,最后进行不同挡位下坡道起步试验。

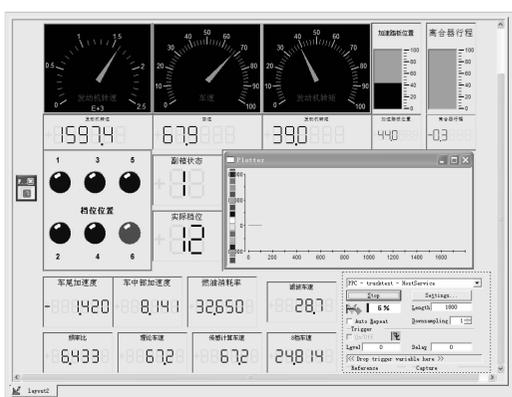


图 4 试验数据采集界面

3 实验结果分析

3.1 不同挡位下 0~70 km/h 加速试验

不同挡位下 0~70 km/h 加速试验中所测试的加速时间为车辆从静止状态加速到 70 km/h 所需要的时间。

图 5、6 分别表示 2 挡起步加速时加速踏板位置、离合器行程、发动机转矩比、车速和挡位随时间的变化关系。

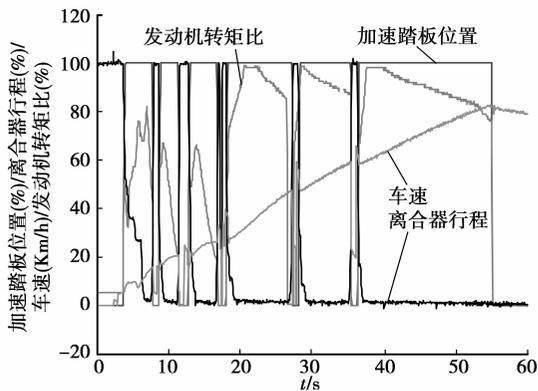


图 5 2 挡起步加速时,0~70 km/h 加速试验曲线

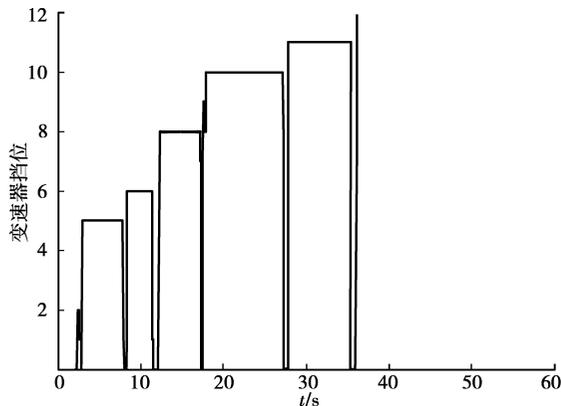


图 6 2 挡起步加速时变速器挡位变化曲线

试验数据以 Structure 结构保存,在 Matlab 环境下对试验数据进行处理,得到不同挡位下 0~70 km/h 加速试验结果,如表 3 所示。

表 3 不同挡位下 0~70 km/h 加速试验结果 s

| 起步挡位 | 加速时间 | 平均加速时间 |
|------|----------|--------|
| 2 挡 | 61.200 0 | 54.75 |
| | 56.840 7 | |
| | 55.500 0 | |
| | 46.000 0 | |
| | 55.915 6 | |
| 3 挡 | 46.880 9 | 51.07 |
| | 51.600 0 | |
| | 46.048 1 | |
| | 47.261 2 | |
| | 53.146 1 | |
| 4 挡 | 49.679 9 | 48.82 |
| | 53.585 8 | |
| | 41.457 1 | |
| | 51.518 6 | |
| | 40.035 2 | |
| 5 挡 | 52.763 5 | 47.36 |
| | 41.198 0 | |
| | 42.917 9 | |
| | | |
| | | |

从实验结果可知,在不同挡位下 0~70 km/h 加速试验中,起步挡位越高,加速时间越短。

3.2 不同挡位下 400 m 加速试验

在不同挡位下 400 m 加速时间为车辆从静止状态加速运行至 400 m 时所需要的时间。

图 7、8 分别表示 3 挡起步加速时加速踏板位置、离合器行程、车速和挡位随时间的变化关系。

不同挡位下 400 m 加速试验结果如表 4 所示。

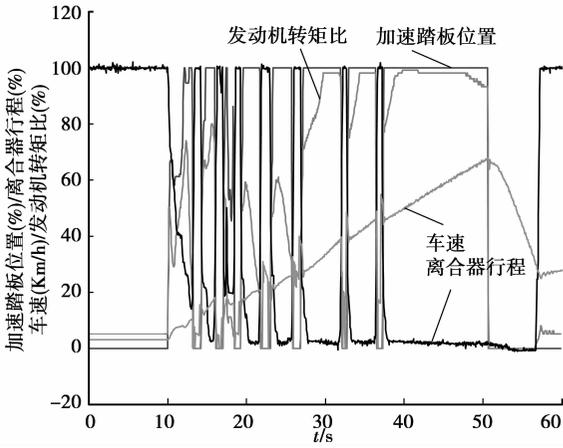


图 7 3 挡起步加速时, 400 m 加速试验曲线

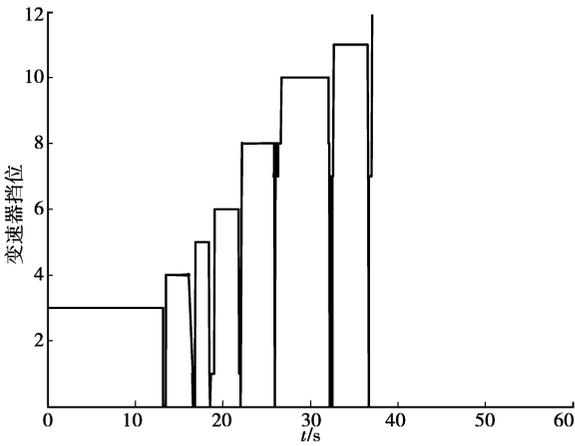


图 8 3 挡起步加速时变速器挡位变化曲线

表 4 不同挡位下 400 m 加速试验结果 s

| 起步挡位 | 加速时间 | 平均加速时间 |
|------|----------|----------|
| 1 挡 | 50.679 3 | 44.76 |
| | 38.604 2 | |
| | 44.020 1 | |
| 2 挡 | 45.409 8 | 43.43 |
| | 45.100 0 | |
| | 40.800 0 | |
| 3 挡 | 46.200 0 | 40.99 |
| | 41.600 0 | |
| | 45.100 0 | |
| 4 挡 | 40.500 0 | 39.072 9 |
| | 43.410 0 | |
| | 38.087 9 | |
| 5 挡 | 43.888 7 | 37.791 |
| | 39.072 9 | |
| | 37.791 | |

3.3 不同挡位下坡道起步试验

不同挡位下车辆坡道起步时间为从离合器完全分离到完全结合时的时间间隔。

图 9 为 4 挡起车时加速踏板位置和离合器行程的变化曲线。

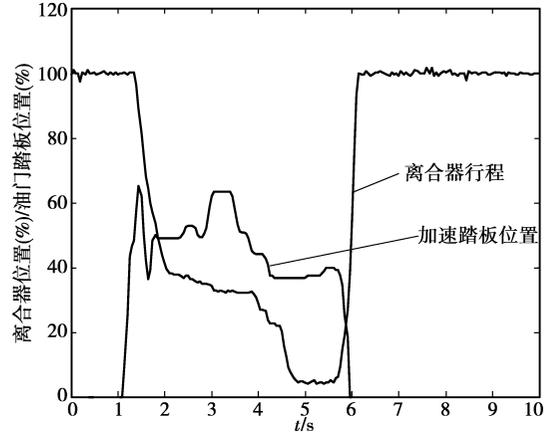


图 9 4 挡起车时加速踏板位置和离合器行程变化曲线

不同挡位下车辆坡道起步试验结果如表 5 所示。

表 5 不同挡位下坡道起步试验结果 s

| 起步挡位 | 起步时间 | 平均起步时间 |
|------|---------|---------|
| 1 挡 | 3.733 0 | 3.477 |
| | 3.690 2 | |
| | 3.007 5 | |
| | 3.879 0 | |
| | 4.624 7 | |
| 2 挡 | 4.216 6 | 4.019 |
| | 3.652 4 | |
| | 4.357 7 | |
| | 3.910 6 | |
| | 3.702 8 | |
| 3 挡 | 3.808 6 | 4.179 |
| | 4.216 6 | |
| | 5.088 1 | |
| | 3.866 5 | |
| | 4.634 8 | |
| 4 挡 | 3.551 6 | 3.643 |
| | 3.717 9 | |
| | 3.551 7 | |
| | 3.445 9 | |
| | 3.614 6 | |
| 5 挡 | 3.899 3 | 3.791 |
| | 3.702 8 | |
| | 4.068 1 | |
| | 3.778 4 | |
| | 3.614 6 | |
| 6 挡 | 3.702 8 | 3.702 8 |
| | 3.702 8 | |

从实验结果可知, 在不同挡位下 400 m 加速试验中, 起步挡位越高, 加速时间越短。

由试验结果可知,在一定的条件下,起步挡位越高,起步时间越短。

4 结 语

以 dSPACE 为核心研制开发了重型商用车性能测试系统,实现了发动机转速、加速踏板位置、离合器行程、挡位的实时采集,完成了重型商用车性能测试试验。

通过试验获得了经验驾驶员的操纵数据和原型车的动力性指标(不同挡位下 0~70 km/h 加速时间、不同挡位下 400 m 加速时间、不同挡位下坡道起步时间),为重型商用车 AMT 系统的研制开发提供了参考数据和比较依据,为 AMT 的研制开发奠定了基础。

参考文献:

- [1] GONG J, ZHAO D X, CHEN Y, et al. Study on shift schedule saving energy of automatic transmission of ground vehicles [J]. Journal of Zhejiang University Science, 2004, 5(7): 878-883.
- [2] BAALEN J V. Optimal energy management strategy for the Honda Civic IMA[D]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2006.
- [3] 董正身, 邓建交, 曹晓燕, 等. 汽车动力性测试系统研究[J]. 仪器仪表学报, 2005(26): 445-447.
DONG ZHENG-SHEN, DENG JIAN-JIAO, CAO XIAO-YAN, et al. Study on automobile dynamic property measurement system [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005(26): 445-447.
- [4] 蔡萍, 何玉林, 吴茂盛. 汽车变速器机械能封闭式负荷试验台设计[J]. 压电与声光, 2008(3): 291-293.
CAI PING, HE YU-LIN, WU MAO-SHENG. The design of automobile gearbox load test bed with machine energy return [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2008(3): 291-293.
- [5] 张迎军, 周学建, 周志立. 概述 AMT 车辆起步的离合器控制方法[J]. 拖拉机与农用运输车, 2003(3): 3-6, 12.
ZHANG YING-JUN, ZHOU XUE-JIAN, ZHOU LI-ZHI. The clutch engagement control in the AMT vehicle starting [J]. Tractor & Farm Transporter, 2003(3): 3-6, 12.
- [6] 刘学瑜, 施光林, 范永健, 等. dSPACE 实时仿真系统在高压共轨 ECU 开发中的应用[J]. 现代车用动力, 2003(2): 20-25.

LIU XUE-YU, SHI GUANG-LIN, FAN YONG-JIAN, et al. The application of dSPACE in the development of high pressure common rail diesel engine [J]. Modern Vehicle Power, 2003(2): 20-25.

- [7] WANG JUN-XI, YANG LIN, FENG JING. Development of a new calibration system for electronic control units based on CCP [J]. Transaction of CSICE, 2005, 23(2): 147-154.
- [8] YANG S W, ZHU K Q, XU Q K, et al. Multiple electronic control units calibration system based on explicit calibration protocol and J1939 protocol [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 21(1): 42-46.
- [9] 陈家斌, 恭进, 谭祖香. SAE J1939 协议在发动机上的应用 [J]. 现代机械, 2006(2): 64-65.
CHEN JIA-BIN, GONG JIN, TAN ZU-XIANG. The application in engine of SAE J1939 Protocol [J]. Modern Machinery, 2006(2): 64-65.
- [10] 孙铁兵, 鞠宁. CAN 总线及高层协议 [J]. 微处理机, 2006(1): 24-26, 30.
SUN TIE-BING, JU NING. CAN bus and the higher layer protocol [J]. Microprocessors, 2006(1): 24-26, 30.
- [11] 李长问, 张宏波, 赵长禄, 等. ECU 硬件在环柴油机控制平台仿真研究 [J]. 北京理工大学学报, 2004(5): 407-410.
LI CHANG-WEN, ZHANG HONG-BO, ZHAO CHANG-LU, et al. Study on electronic control unit hardwares in the loop simulation platform of diesel IC control systems [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2004(5): 407-410.
- [12] KIM J, PARK S, SEOK C, et al. Simulation of the shift force for a manual transmission. Automotive Engineering, 2003, 217(16): 16-21.
- [13] KHAN M U, GEIHS K, GUTBRODT F, et al. Model-driven development of real-time systems with UML 20 and C [C] // MBD/MOMPES 2006. Potsdam, Germany, 2006: 33-42.
- [14] TANG X Q, HOU C Z, CHEN Y C. Study of controlling engagement for AMT based on fuzzy control [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2002, 11(1): 45-49.
- [15] MONTANARI M, RONCHI F, ROSSI C, et al. Control and performance evaluation of a clutch servo system with hydraulic actuation [J]. Contr Eng Practice, 2004, 12(11): 1369-1379.

(编辑 张小强)