

文章编号:1000-582X(2009)01-0011-06

# 重型汽车机械自动变速传动试验台测控系统开发

秦大同, 张志龙, 叶明

(重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400030)

**摘要:** 重型汽车是机械自动变速器(automatic mechanical transmission, AMT)合适的应用对象。台架试验是 AMT 研究开发的重要环节。通过台架试验,进行 AMT 性能测试和分析,优化发动机和传动系统的匹配参数及控制策略,为 AMT 的装车应用奠定基础。针对所开发的 AMT 样机,在分析重型汽车 AMT 台架试验的功能需求基础上,提出了试验台测控系统方案,分析了数据采集及通信的方法;分析了 AMT 执行机构的特点,提出了执行机构的控制方法,在 Delphi 软件平台基础上开发了 AMT 试验台试验测控软件,使试验系统具备了先进的试验功能。

**关键词:** 机械自动变速器;传动试验台;测控系统;软件开发

中图分类号:U467.5

文献标志码:A

## Research and development of a testing-control system for a heavy duty vehicle automatic mechanical transmission test bench

QIN Da-tong, ZHANG Zhi-long, YE Ming

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University,  
Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** Automatic mechanical transmissions (AMT) are suitable for use in heavy duty vehicles. Bench testing is an important task of the research and development. Many objectives, such as AMT performance testing, matching AMTs with engines, and optimizing control rules, can be achieved through bench testing, thereby laying a foundation for AMT application. An AMT testing bench is built up based on a developed AMT. By analyzing the performance requirements of AMT bench testing for heavy duty vehicles, a testing-controlling system scheme is proposed and methods of data acquisition and communication are analyzed. Control methods for actuators are proposed based on analyzing the characteristics of AMT actuators. A testing-control program for AMT bench testing is developed based on the Delphi platform. The entire bench testing system possesses advances test functions.

**Key words:** automatic mechanical transmission; bench test; test control system; program development

重型汽车载荷变化较大,燃油经济性要求较高,因此,往往装备手动多档变速器。这就不仅需要重型汽车驾驶员具有较高的驾驶技巧,且劳动强度也

较大。电控机械自动变速传动(automatic mechanical transmission, AMT)是在传统固定轴式齿轮变速箱的基础上,把选档、换档、离合器及发动机供油操纵

收稿日期:2008-09-10

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA110114);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2007BB6158)

作者简介:秦大同(1956-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事机械传动与动力传动研究,(Tel)023-65106506;(E-mail)dtqin@cqu.edu.cn。

用以微处理器为核心的控制器及相应执行机构来实现的自动变速系统<sup>[1]</sup>。AMT 由于自身的结构特点,在起步和换档过程中,不可避免地出现冲击和动力中断的现象,阻碍了其在轿车上的应用。在重型汽车应用领域,对乘坐舒适性的要求没有轿车高。同时,自身较大的质量和传动系统较大的转动惯量,减小了动力中断对换档品质的影响程度<sup>[2]</sup>。因此,重型汽车是 AMT 搭载的较理想对象。国外已经出现产品化的搭载 AMT 变速系统的重型汽车,国内“十一·五”期间也开始着手这方面的研发工作。

AMT 研究开发的一个重要阶段就是台架试验。通过台架试验,调试自动离合器驱动机构,优化执行机构的控制策略,保证离合器能可靠迅速地分离与结合;验证离合器结合规律,并进行参数修正,使其满足起步品质的要求;调试换档执行机构及传感器,使其能迅速准确地换档;优化换档规律,使发动机与变速器匹配具有最佳的动力性和经济性<sup>[3]</sup>;调试下位机,完善功能,确保其稳定性,为下一步的装车奠定基础<sup>[4]</sup>。为此,在车辆传动系统试验平台的基础上,根据自行设计的全新 AMT 系统,搭建了重型汽车 AMT 试验台架,完成了试验测控软件的开发。

## 1 测控系统的组成

AMT 试验系统由动力源、AMT 样机、加载装置和数据采集及控制系统几大部分组成。动力源采用与开发样车相匹配的高压共轨柴油机;加载装置采用电涡流测功机,通过 PID 闭环控制,调节励磁电流来控制加载扭矩,从而模拟行驶阻力;数据采集及控制系统由传感器、电控单元(ECU)、测功机控制器、下位单片机和上位微机系统组成。传感器和 ECU 将信号传送给单片机或工业控制计算机。传感器传送给数据采集器的信号经过数据采集器运算处理转变为数字信号,通过 RS232 串口,发送给上位微机;传感器传送给微机的信号,通过数据采集卡运算处理,由上位微机程序读写端口获取数据。上位机的控制指令通过串口发送至单片机,由单片机完成执行机构的控制。AMT 综合性能试验台测试原理如图 1 所示。它主要由数据采集及控制系统和试验平台组成。

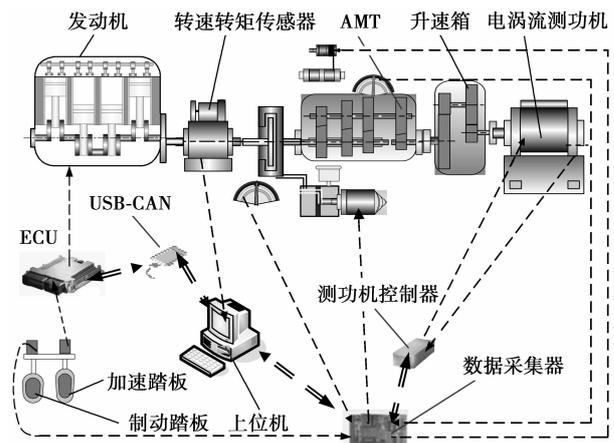


图 1 AMT 综合性能试验台测试原理

## 2 数据采集及控制系统

### 2.1 系统原理

数据采集及控制系统框图如图 2 所示。下位机数据采集器采用 DSP 芯片自行设计,通过 RS232 与上位机及测功机控制器之间进行数据通信,实现对模拟信号、开关信号和脉冲信号等信号转换,采集所需参数。通过对数字量的转换和驱动放大,控制执行机构<sup>[5]</sup>。

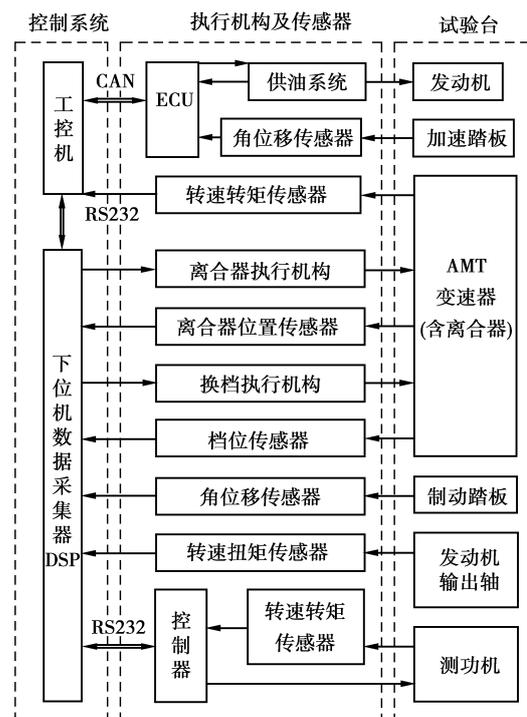


图 2 数据采集及控制系统框图

制动踏板位置采用 CP 电位计角位移传感器;档位传感器采用机械式行程开关;离合器位置由角位移传感器的角度信号经过换算得到。这些信号由下位单片机采集处理,通过 RS232 串口发送给上位微机。加速踏板位置(采用角位移传感器测量)、发动机转速、发动机转矩和燃油消耗率信号由发动机 ECU 采集并通过控制局域网(CAN)总线发送给工业控制计算机<sup>[6]</sup>。上位机通过 USB-CAN 设备接受 CAN 总线上的数据。离合器从动盘转速转矩信号采用 JC 型转速扭矩传感器,配合卡式扭矩仪,通过编写上位机程序,读取扭矩仪的端口,实现转速扭矩信号的采集。电涡流测功机的转速和转矩信号由传感器发送给测功机控制器,控制器通过 RS232 串口再将信号传输给数据采集器,由数据采集器发送给上位机。

工控机根据采集的转速、扭矩、位置和档位等信号,由控制程序根据控制策略计算出发动机、离合器、变速器和测功机的控制指令,通过 CAN 总线发送给 ECU 或由串口发送给下位单片机。ECU 接受工控机的控制信号,对燃油系统进行控制,实现对发动机的控制。数据采集器将上位机发送来的离合器及换挡执行机构控制指令转换成电压或脉宽调制(PWM)信号,以控制执行机构,从而实现对 AMT 的自动控制。数据采集器将电涡流测功机的目标转矩信号通过串口发送给测功机控制器,实现对测功机的自动加载控制。这样,就完成了所有信号的采集及执行机构的控制。

2.2 数据通信

通过上面的分析可以看出,该试验系统采用了 CAN 与 RS232 两种通信方式进行数据传输。

大客车、载货汽车、特种车辆和工程机械中的 CAN 通信往往采用 J1939 协议<sup>[7-9]</sup>。该试验台架测控系统采用的是 SAEJ1939 通信协议,它以 CAN2.0B 作为网络核心协议,只是在 CAN2.0B 允许的范围内对 32 位标识符中的 29 位进行了如表 1 所示的定义<sup>[10]</sup>。

表 1 SAEJ1939 中 32 位标识符的定义

名称	11 位标识符				18 位扩展标识符		
CAN 扩展帧格式	优先权 P	R	DP	PDU 格式(PF)	PF	PDU 特定义域(PS)	源地址(SA)
J1939 帧格式	1~3			3~8	1~2	1~8	1~8
J1939 帧位位置	4~2	5	6	12~7	16~15	24~17	32~25
CAN ID 位位置	26~28	25	24	18~23	16~17	8~15	0~7

表中 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。

SAEJ1939 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,使控制系统开发有了统一的标准。

该试验台中,CAN 总线传输速率为 500 kB/s,所用到的参数格式主要如表 2。串口通信采用 RS232 标准串口通信协议,在此不再叙述。

表 2 基于 J1939 协议的主要参数

地址 (ox)	参数	系数	偏移量	起始位	信号长度
CF00300	加速踏板开度	0.400	0	8	8
CF00400	发动机转速	0.125	0	24	16
CF00400	发动机转矩	1.000	-125	16	8
C00000B	发动机目标转速	0.125	0	8	16
18FEF200	燃油消耗率	0.050	0	0	16

3 执行机构的控制

3.1 离合器执行机构的控制

该试验台中,原型车离合器为气动助力,液压操纵的形式。在试验台的研发过程中,为了实现离合器的自动分离与结合,采用普通直流电动机推动离合器总泵,这样,不仅保留了原型车气动助力的功能,还将液压操纵转换为电动控制,简化了控制方式。因此,实现离合器的控制最终成为对直流电机的控制。

对直流电机控制最简单的方法就是采用开关控制。这种方法实现起来最为简单,但是它仅能控制使电动机运转和停止,无法准确地控制电动机的旋转速度和转矩大小,不能满足离合器控制的需要。PWM 控制的突出优点是既能提高控制精度,又能缩短控制时间,通过改变脉冲信号占空比,就能改变电动机两端的平均电压,实现对电机的有效控制<sup>[11]</sup>。因此,该试验台中,离合器的控制方式是 PWM 控制电动机,电动机推动离合器总泵,从而控制气动助力机构,实现离合器的自动分离与结合。

3.2 换挡执行机构的控制

笔者采用某厂生产的 12 档手动变速器,根据其手动变速换挡机构的结构特点设计了换挡执行机构液压控制系统。该变速器为主副箱结构,主箱为 4 根换挡拨叉轴,分别控制 1~2 档、3~4 档、5~6 档和 R 档。如果采用传统的 X-Y 型式的选换挡机构,则选档液压缸必须有 4 个位置,使其结构复杂,位置控制难度加大。因此采用 4 只液压缸分别控制 4 个

换挡拨叉,其中 3 只液压缸为结构完全相同的双作用三位置缸,R 档缸为弹簧复位式两位置单作用液压缸<sup>[12]</sup>。副箱的高低档切换则保留了原有气动控制系统。换挡执行机构液压控制系统如图 3 所示。换挡系统中液压动力源由原车发动机上的辅助液压泵提供,采用蓄能器存储换挡执行机构所需的压力油,并起到稳定系统压力的作用。在进入换挡电磁阀的油路中设置了比例减压阀,由 AMT 单元控制,根据不同工况实时控制换挡液压缸的工作压力,从而调节不同档位时液压缸的换挡推力。

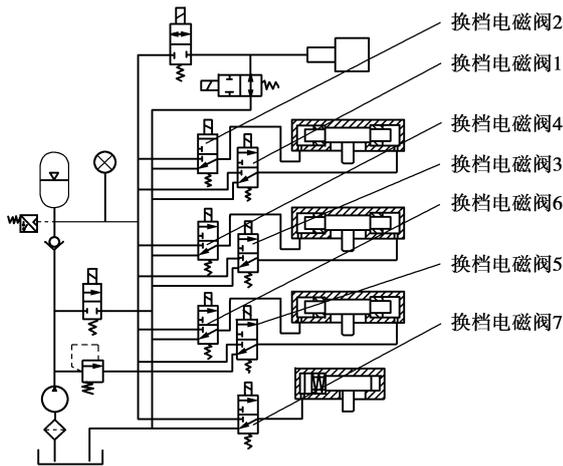


图 3 换挡执行机构液压控制系统

下面以 1、2 档为例说明换挡过程。当电磁阀 1 和电磁阀 2 都处于开启状态,换挡液压缸左右两端均受到液压力,在油压的作用下,活塞自动运动到平衡位置,这时,变速器处于空档。当电磁阀 1 关闭,电磁阀 2 开启,活塞在油压的作用下运动到右边,变速器换入 1 档。当电磁阀 1 开启,电磁阀 2 关闭,则变速器换入 2 档。配合副变速箱气动开关,变速器便能实现全档位的自动变速。表 3 为副变速箱处于低档时,档位与电磁阀的关系。

表 3 档位与电磁阀状态关系(低档)

档位	电磁阀						
	1	2	3	4	5	6	7
1	●	○	○	○	○	○	●
2	○	●	○	○	○	○	●
3	○	○	●	○	○	○	●
4	○	○	○	●	○	○	●
5	○	○	○	○	●	○	●
6	○	○	○	○	○	●	●
R1	○	○	○	○	○	○	○
N	○	○	○	○	○	○	●

说明:○为电磁阀开启;●为电磁阀关闭。

## 4 软件方案

AMT 试验的数据采集及执行机构的控制最终由上位微机系统软件实现。为了使软件系统稳定以及操作简便和观察直接,采用 Delphi 在 Windows 2000 环境下开发测控软件<sup>[13]</sup>。软件主要实现以下功能:通过卡式扭矩仪的读写采集转速扭矩信号;与下位单片机通过 RS232 串口传输数据;各个执行机构的控制;起步控制试验;经济性和动力性试验以及其他试验。

### 4.1 数据采集及控制

为了节省成本,缩短开发周期,转速扭矩信号利用原设备的 JC 型转速扭矩传感器将信号传送到上位微机 PCI 插槽中的卡式扭矩仪,由程序读取扭矩仪在微机上的端口,实现数据采集。端口读写程序采用 VC 编写动态链接库,由 Delphi 调用库函数完成。具体实现方法参考文献<sup>[14]</sup>。

工控机通过 RS232 串口与数据采集器进行数据传送。程序采用 MSComm 控件进行串口通信。MSComm 控件提供了两种处理通信的方式<sup>[15]</sup>:一种为事件驱动方式,该方式相当于一般程序设计中的中断方式。当串口发生事件或错误时,MSComm 控件会产生 OnComm 事件,用户程序可以捕获该事件进行相应处理。另一种为查询方式,在用户程序中设计定时或不定时查询 MSComm 控件的某些属性是否发生变化,从而确定相应处理。由于测控软件在采集数据的同时,还需要控制执行机构,所以采用事件驱动的方式,较高地利用了计算机资源。

工控机与 ECU 之间的 CAN 通信是通过 USB-CAN 设备完成的。下面以接受 CAN 总线消息为例说明 CAN 通信的实现过程:

1) 设置地址

```
board_hdl := VCI2_PrepBoard (Config.
board_type, Config. board_no, NIL, 0, Nil, Nil, Nil);
```

2) 初始化 CAN 传输速率为 500 kB/s

```
iResult := VCI_InitCan(board_hdl, 0, VCI_
500KB_BT0, VCI_500KB_BT1, VCI_11B);
```

3) 配置传输队列

```
iResult := VCI_ConfigQueue(board_hdl, 0,
VCI_TX_QUE, 100, 0, 0, 10, que_hdl_tx);
```

4) 配置接收队列

```
iResult := VCI_ConfigQueue(board_hdl, 0,
VCI_RX_QUE, 50, 20, 20, 10, ReceiveQueue-
Handle_1);
```

5)设置获取制定 ID 的数据(CF00400)

```
iResult:= VCI_AssignRxQueObj ( board_hdl, ReceiveQueueHandle_1, VCI_ACCEPT, CF00400, $FFFF);
```

6)开始 CAN 通信

```
iResult:= VCI_StartCan(board_hdl, 0);
```

7)读取 CAN 消息值

```
iret:= VCI_ReadQueObj ( FBoardHandle, FQueueHandle, 5, @rx_obj);
```

如果要发送 CAN 消息,则配置相应的发送队列,并将第 7)步改为发送数据函数

```
iResult:=VCI_TransmitObj(Board_hdl, que_hdl_tx, $ C0000B, 8, @sen_data).
```

完成以上主要功能模块的编写后,就可以开发完整的 AMT 台架测控软件。

### 4.2 软件功能

软件其功能结构如图 4 所示。该软件主要实现以下功能:

- 1)对实验系统中的测控参数进行实时数据采集、显示及记录;
- 2)对 AMT 系统动力性、经济性等工况进行性能匹配控制实验,并进行换挡品质分析;
- 3)对试验进行管理,包括历史查询、用户管理、试验数据管理等。

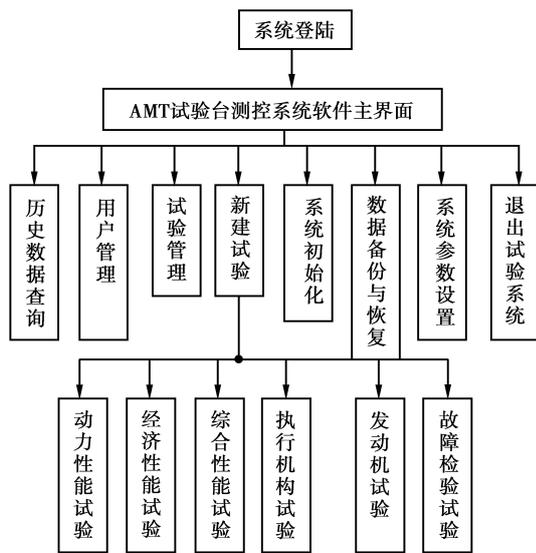


图 4 测控软件功能结构

软件测控界面如图 5 所示。它以数字和图形 2 种方式显示数据,便于观察和操作。

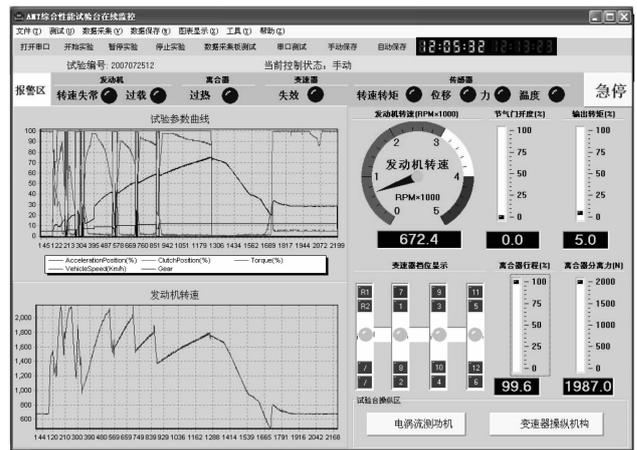


图 5 软件测控界面

### 5 试验

利用所开发的测控系统,进行了 AMT 部分试验,图 6 是在 0~70 km/h 加速时的试验结果,其中  $n_e$  为发动机转速;  $T_e$  为发动机转矩;  $a$  为加速踏板位置;  $x_c$  为离合器位置;  $n_g$  为档位;  $v_c$  为车速。从图中可以看出,该测控系统实现了与 ECU 的 CAN 通信和 AMT 的数据采集。

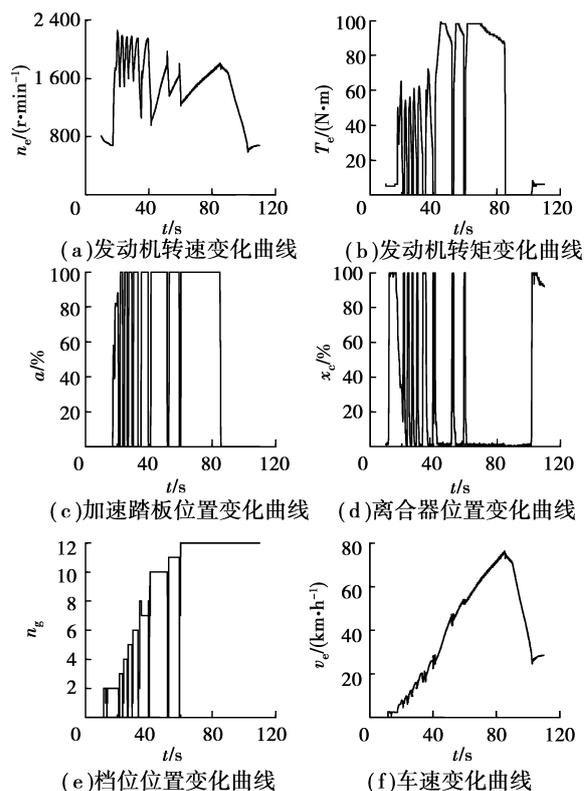


图 6 AMT 试验结果

## 6 结 语

1)在分析重型汽车 AMT 台架试验功能需求的基础上,针对自行开发的 AMT 系统的特点,提出了试验台测控系统方案。

2)根据测控系统方案,提出了数据采集和通信的解决方法,实现了基于 J1939 协议的重型车辆试验测控系统的 CAN 通信。

3)在对自行开发的 AMT 执行机构功能分析的基础上,提出了执行机构的电控方法。

4)开发了试验台测控系统软件,并进行了部分试验。结果表明,测控系统能完成重型汽车 AMT 系统的 CAN 通信和传感器数据采集,满足台架试验的需要

### 参考文献:

- [1] 葛安林. 自动变速器(六):电控机械式自动变速器(AMT)[J]. 汽车技术,2001(10):1-4.  
GE AN-LIN. Automotive transmission (sixth): automated mechanical transmission[J]. Automobile Technology, 2001(10):1-4.
- [2] NI J M, YE J, YAN Y H, et al. Optimization of heavy duty engines based on heavy commercial vehicle performance[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2005, 26(2):76-79.
- [3] JIANG F C, CHEN Q S, CAO Z Q. Optimal control of automated mechanical transmission clutches[J]. Journal of Tsinghua University, 2005, 45(2):242-245.
- [4] 李忠刚,姚文席. 微机控制的机械传动试验台研究及数据处理[J]. 机电工程,2005,22(1):5-8.  
LI ZHONG-GANG, YAO WEN-XI. Study and data processing of mechanical transmission test-bed by computer control[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2005, 22(1):5-8.
- [5] 程广伟,周志立,郭挺,等. 传动系试验台信号采集与控制系统方案研究[J]. 拖拉机与农用运输车,2006,33(1):21-26.  
CHENG GUANG-WEI, ZHOU ZHI-LI, GUO TING, et al. Research on signal acquiring and controlling system of powertrain test bench[J]. Tractor & Farm Transporter, 2006, 33(1):21-26.
- [6] ZHAO Z J, WANG J Y. RS232/CAN intelligent protocol converter and its communication network[J]. China Railway Science, 2007, 28(3):134-139.
- [7] 高松,高燕. 浅谈 J1939 协议在客车 CAN 总线中的应用[J]. 农业装备与车辆工程,2005,171(2):29-31.  
GAO SONG, GAO YAN. The preliminary discussion on the use of protocol J1939 in bus[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2005, 171(2):29-31.
- [8] HU J, LI G Y, YU X P, et al. Design and application of SAE J1939 communication database in city-bus information integrated control system development [C]// Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Harbin: Mechatronics and Automation, 2007: 3429-3434.
- [9] LI Y Q, SONG X G, XUE D X. Use of controller area network and protocol J1939 in truck and bus[J]. Automotive Engineering, 2003,25(4):377.
- [10] 陈家斌,恭进,谭祖香. SAEJ1939 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.
- [11] 叶明,秦大同,刘振军. 直流伺服电机驱动的自动离合器控制[J]. 机械设计与研究,2003,19(2):35-37.  
YE MING, QIN DA-TONG, LIU ZHEN-JUN. The control of automatic clutch driven by DC servo motor[J]. Machine Design and Research, 2003, 19(2):35-37.
- [12] 张辉,刘振军,秦大同. 重型汽车 AMT 液压换挡执行机构的分析与设计[J]. 液压与气动,2007(9):7-10.  
ZHANG HUI, LIU ZHEN-JUN, QIN DA-TONG. Analysis and design of hydraulic drive shift mechanism for the heavy-duty vehicle with AMT[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2007(9):7-10.
- [13] 叶明,秦大同,刘振军,等. 机械自动变速传动试验台及测控软件开发[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2004,27(1):1-4.  
YE MING, QIN DA-TONG, LIU ZHEN-JUN, et al. Automatic mechanical transmission test-bed and development of testing-controlling program[J]. Journal of Chongqing University : Natural Science Edition, 2004, 27(1):1-4.
- [14] 张立材. Delphi 编程中用 MSComm 控件实现串行通讯[J]. 微计算机信息,2001,17(3):26-27.  
ZHANG LI-CAI. Realization of serial communication with MSComm component in Delphi programming[J]. Control & Automation, 2001,17(3):26-27.
- [15] 闫通海,周到. 利用 MSComm 控件实现 PC 机与单片机串口通讯的研究[J]. 应用科技,2004,31(1):23-26.  
YAN TONG-HAI, ZHOU DAO. Use of MSComm to realize COM port communication between PC and singlechip[J]. Applied Science and Technology, 2004, 31(1):23-26.

(编辑 李胜春)