

柴油机EGR瞬态参数采集处理与诊断系统*

胡明江

(河南城建学院建筑环境与能源工程系 平顶山, 467036)

摘要 基于PCL-818HG型总线数据采集卡和S3C2410型高性能低功耗微处理器,开发了一种便携式柴油机废气再循环(exhaust gas recycle,简称EGR)瞬态参数的采集与诊断系统。运用DASYLab和Linux软件编写接口、标定与诊断程序,实现了对柴油机EGR系统的位移、压力、温度和转速等信号实时采集、处理与诊断等功能。依据柴油机瞬态测试循环法进行增压柴油机废气再循环系统的EGR阀自诊断、EGR率过大诊断和瞬态响应特性等试验。结果表明,该系统性能可靠、处理能力强、诊断精度高,能满足增压柴油机EGR性能瞬态参数的采集与诊断要求。

关键词 柴油机;瞬态采集;废气再循环;传感器;废气再循环率;诊断

中图分类号 TK421+.5

引言

随着汽车排放标准的进一步严格,轻型汽车必须安装车辆在线诊断监测排放控制装置,发动机废气再循环监测与诊断技术显示出迫切性和重要性^[1]。由于汽车发动机瞬态性能研究的深入,高精度、高频率的瞬态参数采集与诊断系统显得非常重要^[2]。目前,内燃机瞬态参数的采集与诊断方法较多,但大部分适用于固定的内燃机台架试验^[3-5]。在柴油机废气再循环过程中,柴油机转速、EGR阀和节流阀的位移、冷却器前后的进、排气温度等参数的瞬态波动频率和幅值变化很快,信号采集的同步性要求较高^[6]。另外,EGR系统部件受温度影响较大,易出现劣化和失效等软故障^[7]。一般的数据采集与诊断仪器无法同时完成发动机EGR过程的实时采集处理与诊断的要求。

笔者介绍了一种适用于柴油机废气再循环的便携式、可靠的瞬态参数测量与诊断系统。试验表明,该系统能够对柴油机、EGR阀和节流阀在不同工况的各种瞬时参数进行实时监控和测量,并可对采集的数据进行实时存储与诊断。

1 系统总体结构

柴油机EGR采集处理与诊断系统如图1所示。

它由增压压力、位移、温度和转速等传感器、F/V转换器、滤波器、总线数据采集卡、诊断显示单元及有关软件和硬件等组成。系统中的增压压力、位移、温度和转速等传感器分别采集进气压力、EGR阀和节流阀的位移、废气和冷却液的温度以及柴油机转速等信号,经滤波器放大滤波,由总线采集卡实现采集并转换为数字信号,经DASYLab和诊断显示单元进行处理、诊断与显示,使EGR系统良好工作。

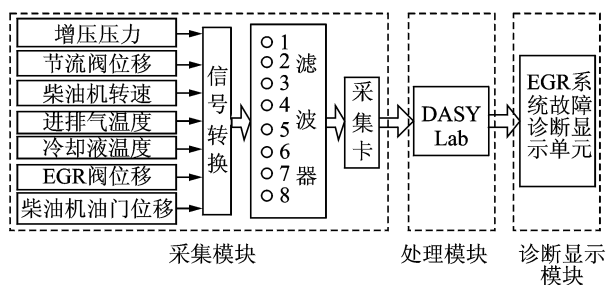


图1 EGR采集处理与诊断系统

1.1 系统硬件

1) 温度传感器选用热线温度传感器,用于检测冷却器、冷却液和EGR前后的进、排气温度;EGR阀和节流阀的位移均采用差动变压器式传感器进行测量;柴油机油门位移采用可调电位器调节;进气压力和转速传感器采用磁电式传感器,F-V转换器型号为2FV-5000A。

2) 8通道高性能程控滤波器作为总线数据采

* 河南省高等学校青年骨干教师资助项目(2010GGJS-150);河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2008A470008, 2010B470003)

集卡前置通道,完成对输入信号的调理工作,如程控增益、抗混滤波和 AC/DC 耦合等。系统选用 CM4016 的 8 通道高性能程控滤波器。每个通道设计了独立的程控放大器进行信号增益,通过编程实现高性能抗混滤波;选择了 ICP[®] 型加速度传感器实现高通滤波;各通道的参数均由软件进行控制,用于选定增益、截止频率及查询当前工作状态等;使用 RS-232 串口通讯进行在线参数设置和对动态信号的处理。

3) 总线数据采集卡是整个系统的核心部分。设计时考虑到要对各个通道进行同时采样与存储且采样频率高,设计时采用 PCL-818HG 型总线数据采集卡对采集的增压压力、EGR 阀和节流阀的位移、油门开度、进排气和冷却液的温度及柴油机转速等 8 个性能参数进行单端模拟采样输入,最大采样速率达到了 1 MS/s,设置了两个 12 位 D/A 模拟输出通道与计算机相连;输入电压在 ($\pm 1.25 \sim \pm 10$)V 之间调控;为有效减少 CPU 负荷,设计了 4K 的数据 FIFO;编写 DASYLab 程序对采样参数进行控制,实现与 CM4016 的 8 动态信号调理模块优化匹配,最终对柴油机 EGR 性能参数实现了同步采样、信号调理和差分输入/输出的采集处理等。

4) 故障诊断显示单元的任务是对柴油机 EGR 系统信号分析处理后进行显示。由于对数据处理运算和图像显示有较高的要求,因此选择三星公司的 S3C2410 作为该数据显示平台的微处理器,它是基于 ARM920T 内核的高性能低功耗微处理器,具有很高的工作频率(266 MHz)、丰富的片上资源和外围设备接口,能直观诊断、显示 EGR 系统的故障征兆与原因。

1.2 系统软件

1) DASYLab 是集数据采集、过程控制与分析的多功能组态软件,包含多达 118 个功能模块,可有效利用 Microsoft Windows 提供的全部功能和图形接口^[7],具备准确地试验再现功能。通过 DASYLab 编写接口与标定程序,实现了柴油机增压压力、EGR 阀和节流阀的位移、油门开度、进排气和冷却液的温度和柴油机转速等 8 个性能参数的实时采集、显示、存储、分析、运算、控制和再现等功能,设置图形化人机交换界面如图 2 所示。

2) EGR 系统故障诊断显示单元需要完成诸如数据获取、处理、显示和存储等大量操作。为实现在线实时诊断,采用嵌入式 Linux 操作系统,保证了系统更加稳定高效。EGR 系统故障诊断单元的软件框

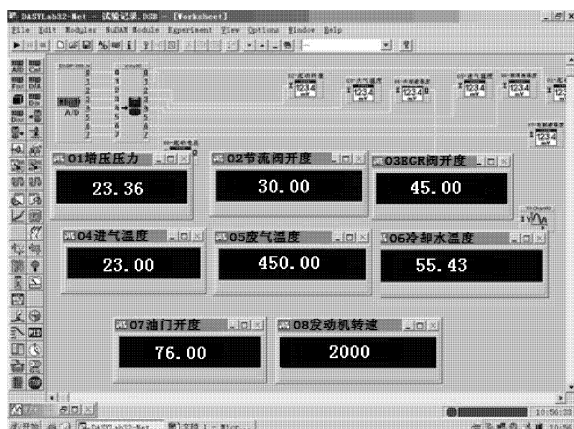
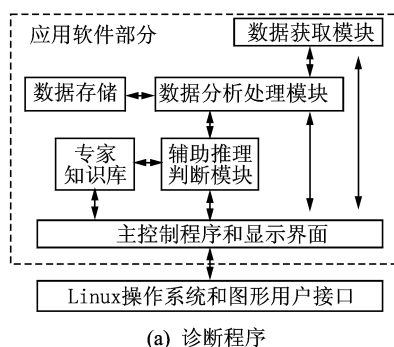
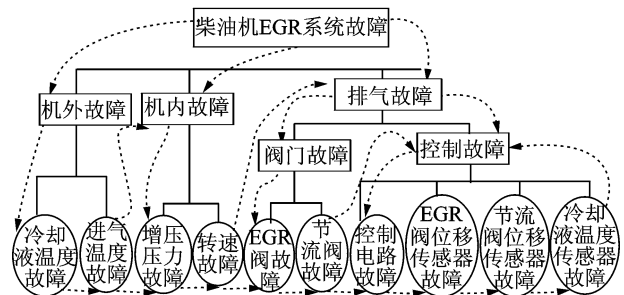


图 2 系统操作界面

架如图 3(a)所示。由图可知:通过数据获取模块软件读取柴油机的 8 个性能参数数据,经数据分析处理模块进行归一化处理,辅助推理判断模块对数据样本进行故障推理与判断,得到相应的故障码和诊断数据。结合故障诊断专家知识库,基于柴油机 EGR 系统故障树推理机如图 3(b)所示,采用遍历跟踪与诊断方法^[8]对 EGR 系统故障征兆与原因进行诊断。



(a) 诊断程序



(b) 故障树推理图

图 3 故障诊断与显示单元

2 采集处理与诊断电路

2.1 位移信号处理电路

图 4 为 EGR 阀和节流阀的位移信号调理电路。EGR 阀位移传感器的初级线圈与新型高集成度信号

调节器 AD598 的端口 2,3 相连,输入激励电压信号;两个反向连接的次级线圈两端分别与 AD598 端口 10,11 相连,产生激励响应信号。电阻 R_{w1} 和电容 C_1 、 C_2 确定响应信号的大小与频率。为更好解决 EGR 阀位移传感器的零点误差、对称性、电源干扰、放大和线性度等问题,设计了 3 大电路模块:保护电路模块、对称电路模块和放大电路模块。由二极管 D_{w1} 、电解电容 C_{w11} 、电容 C_{w12} 和二极管 D_{w2} 、电解电容 C_{w13} 、电容

C_{w14} 构成的双滤波保护电路模块对 AD598 的 ± 12 V 电源进行滤波和保护,避免了电源干扰;由可调电位器 P_{w1} 和 P_{w3} 构成的信号对称电路模块调整位移信号的零点误差与对称性。由电位器 P_{w2} 、电容 C_4 和电容 C_5 构成的信号放大电路模块对输出信号大小进行调整,使 EGR 阀位移传感器性能达到最佳。节流阀位移传感器信号处理电路设计方法同 EGR 阀位移传感器信号处理电路完全一样。

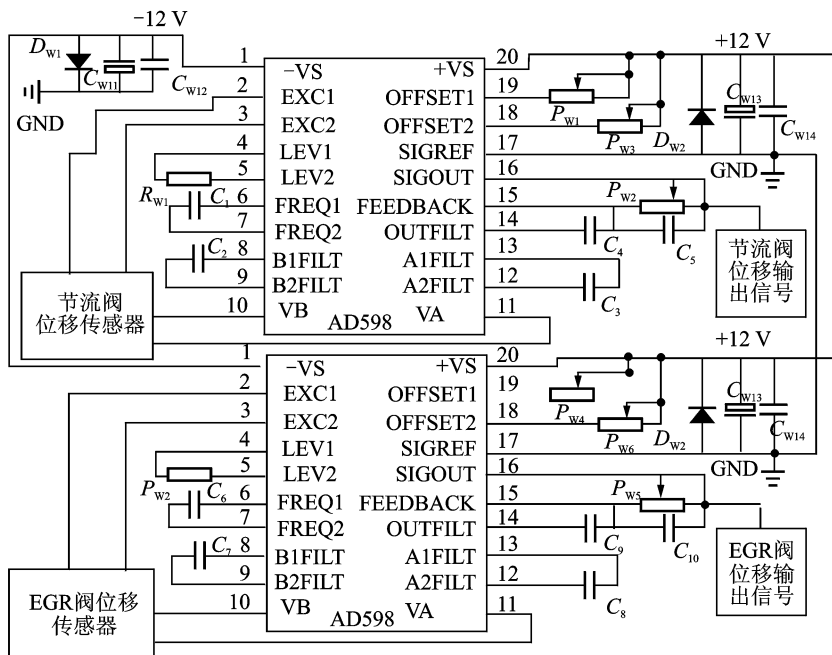


图4 位移信号处理电路

2.2 热线温度放大电路

热线温度放大电路如图 5 所示。由图 5 可知,感知电路为惠更斯电桥,热线电阻作为桥臂。由于热线电阻只有 4Ω 左右,热线通过的电流不能超过 10 mA ,电流过大,热线会因发热造成温度测量误差,因此增加了可变电阻 R_4 ,实现了热线电流控制在 $5 \sim 8 \text{ mA}$ 之间。热线上的电压只有 30 mV 左右,有利于使用 A/D 采集卡进行数据采集。

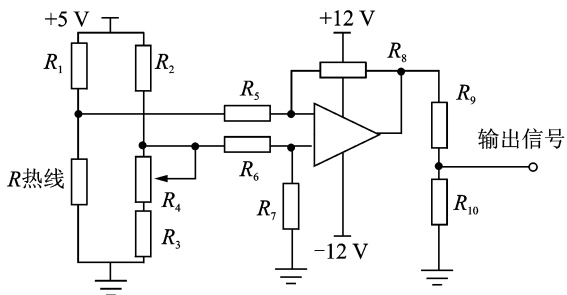


图5 热线温度放大电路

2.3 诊断显示电路

图 6 为故障诊断显示单元的硬件结构图。由图可知,故障诊断显示单元的硬件以处理器 S3C2410 为中心进行存储与扩展,在液晶控制器和触摸屏控制器的基础上外扩了 TFT LCD 和触摸屏,方便对数据和诊断信息进行调整;通讯接口分别为 RS232, USB 和 CAN,易于和单片机、计算机和 OBD 诊断仪

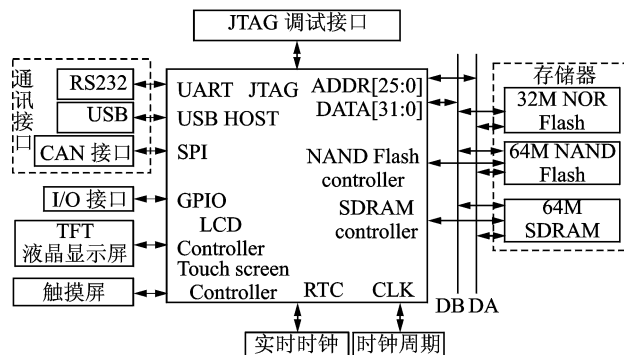


图6 诊断显示电路

进行通讯。还有一些必须的辅助电路,如电源电路、时钟电路和JTAG调试口等。系统通用I/O口为预留接口,便于对系统功能的进一步完善和加强,利于系统功能扩充。

3 试验验证

为验证开发的EGR瞬态参数采集处理与诊断系统的可行性,在4缸直喷增压柴油机上进行试验。

3.1 EGR阀自诊断试验

EGR阀故障主要有:开度故障(过大、过小、不变)和响应滞迟故障。当柴油机电子控制单元(ECU)提供的电压为12V时,EGR阀自行开闭两次,设定EGR阀开启开度分别为25%和75%,用EGR阀位移传感器检测EGR阀的实际开度,判断EGR阀的故障类型,诊断结果如图7所示。可知:与EGR阀正常状态相比,当EGR阀发生开度过大故障时,开度增大率为6.67%;当EGR阀发生开度过小故障时,开度减小率为6.85%。开度的增大率和减小率均大于设定开度率阈值4.5%;当EGR阀发生卡死、开度为20%的不变故障时,开度信号保持在20%;当EGR阀发生响应滞迟故障时,滞迟时间为0.09s,大于设定滞迟阈值0.05s。整个自诊断过程在1s内完成,表明了该诊断系统动态响应快,诊断精度高。

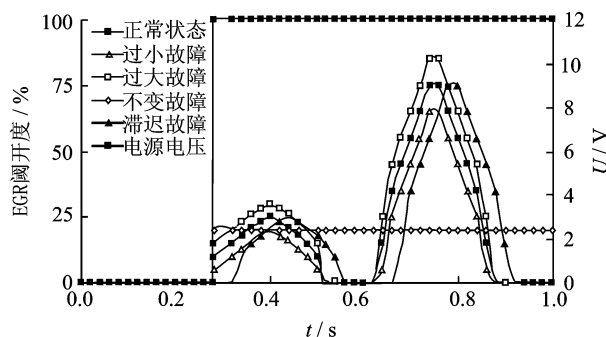


图7 自诊断结果

3.2 EGR率过大诊断试验

造成EGR率过大的故障类型有:冷却液温度故障,进气温度故障,增压压力故障,转速故障,EGR阀故障,节流阀故障,控制电路故障,EGR阀位移传感器故障,节流阀传感器故障和水温传感器故障。设定造成EGR率过大的EGR位移传感器硬故障类型,并用EGR瞬态采集与诊断系统进行诊断。试验结果如表1所示。用同样方法对造成EGR

率过大的10种故障类型分别进行EGR率过大的故障诊断试验,结果如表2所示。

表1 EGR阀位移传感器硬故障诊断结果 %

故障类型	正确率	故障类型	正确率
R_{w1} 短路	94.3	P_{w1} 短路	98.5
P_{w2} 短路	94.4	P_{w3} 短路	98.2
C_1 击穿	95.2	C_2 击穿	98.3
C_3 击穿	96.2	C_4 击穿	96.5
C_5 击穿	96.7		

表2 EGR率过大故障的诊断结果 %

故障类型	正确率	误识率	拒绝率
冷却液温度故障	96.28	0.51	0.14
进气温度故障	94.89	0.58	0.15
增压压力故障	95.92	0.57	0.13
转速故障	97.43	0.54	0.13
EGR阀故障	97.16	0.55	0.12
节流阀故障	96.84	0.55	0.11
控制电路故障	96.96	0.57	0.13
EGR阀位移传感器	94.30	0.60	0.15
节流阀传感器故障	98.12	0.52	0.12
水温传感器故障	98.50	0.50	0.10

由表1和表2可知:对造成EGR率过大的故障诊断的正确率为94.3%~98.5%,误识率为0.5%~0.6%,拒绝率为0.1%~0.15%,满足柴油机EGR系统的诊断规定。这表明该系统实时诊断性能好,能够实现柴油机EGR系统在线诊断。

3.3 瞬态响应特性试验

恒转速增扭矩、恒扭矩增转速工况是瞬态测试循环的重点工况。为深入研究瞬态工况EGR率与EGR阀两端压力差的内在关系,进行柴油机EGR瞬态响应特性试验。图8(a)为柴油机瞬态工况(转速为2kr/min且在10s内扭矩增加到225N·m)的EGR响应特性曲线和进气响应特性曲线。图8(b)为柴油机瞬态工况(扭矩为180N·m且在10s内转速从800r/min增加到3.6kr/min)的EGR响应特性曲线和进气响应特性曲线。由图可知:起始阶段时瞬态工况与稳态的EGR率和EGR阀前后压力差基本一致;中间阶段时瞬态工况的EGR率和EGR阀前后压力差明显大于稳态工况,这由EGR超调量和增压系统的延迟特性造成;结束阶段时瞬态工况的EGR率和EGR阀前后压力差趋近于稳态工况。试验表明,EGR瞬态响应特性符合柴油机EGR系统瞬态测试循环要求。

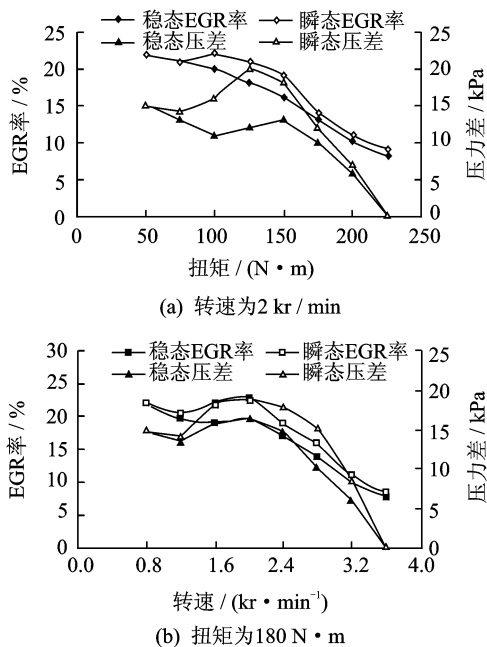


图8 响应特性曲线

4 结论

1) 系统以位移、压力、温度、转速传感器、F/V转换器、滤波器、总线数据采集卡和故障诊断显示单元组合成柴油机EGR的数据采集与诊断系统,运用DASYLab和Linux系统为编写接口、标定与诊断程序提供了方便。

2) 设计的采集处理与诊断系统以及信号处理与诊断电路的精度高、响应快、可靠性好、抗干扰能力强,实现了柴油机EGR系统8个性能参数的实时采集、显示、存储、分析、诊断与控制,满足柴油机EGR系统瞬态参数采集处理与诊断的要求。

参 考 文 献

[1] Buomsik S, Younqsoo C, Daeha H. Hydrogen effects on NO_x emissions and brake thermal efficiency in a diesel engine under low-temperature and heavy-EGR conditions[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2011, 36(2): 2378-2385.

[2] 胡明江,王忠,祁利巧,等. 柴油机低温起动工况的传感器在线诊断[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(3): 286-290.

Hu Mingjiang, Wang Zhong, Qi Liqiao, et al. Online sensor diagnosis during cold start of diesel engine [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2010, 30(3): 286-290. (in Chinese)

[3] Qi Donghui, Michael L, Lee C F F. Effect of EGR and injection timing on combustion and emission characteristics of split injection strategy DI-diesel engine fueled with biodiesel [J]. Fuel, 2011, 90(5): 1884-1891.

[4] 鄢腊梅,管力明,胡更生,等. 基于DWT和PNN的印刷过程实时监测和故障诊断[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(3): 236-239.

Yan Lamei, Guan Liming, Hu Gengsheng, et al. Real-time vibration monitoring and diagnosis of printing machine using discrete wavelet transform and probabilistic neural network [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2010, 30(3): 236-239. (in Chinese)

[5] Friedrich I, Liu C S, Oehlerking D. Coordinated EGR-rate model-based controls of turbocharged diesel engines via an intake throttle and an EGR valve [J]. Vehicle Power and Propulsion, 2009, 4(1): 247-251.

[6] 李爱娟,李舜酩,魏民祥,等. 车用柴油机冷EGR系统的设计与试验[J]. 南京航空航天大学学报, 2010, 42(5): 650-655.

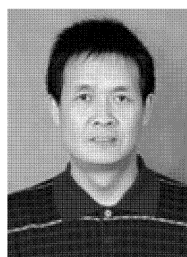
Li Aijuan, Li Shunming, Wei Minxiang, et al. Design and experiment of cooled EGR system on diesel engine of vehicles [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2010, 42(5): 650-655. (in Chinese)

[7] 孙万臣,朱昌吉,刘忠长,等. 车用柴油机EGR瞬态响应特性[J]. 汽车工程, 2007, 29(4): 333-336.

Sun Wanchen, Zhu Changji, Liu Zhongchang, et al. EGR transient response characteristics of automotive diesel engine [J]. Automotive Engineering, 2007, 29(4): 333-336. (in Chinese)

[8] 沈仁发,郑海起,金海薇,等. MMAS与粗糙集在轴承复合故障诊断中的应用[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(2): 128-131.

Shen Renfa, Zheng Haiqi, Jin Haiwei, et al. Application of max-min ant system and rough sets to compound fault diagnosis of bearing [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2010, 30(2): 128-131. (in Chinese)



作者简介:胡明江,男,1974年3月生,博士、副教授。主要研究方向为内燃机电子控制技术,故障诊断与排放检测等。曾发表《柴油机低温起动工况的传感器在线诊断》《振动、测试与诊断》2010年第30卷第3期)等论文。

E-mail: humingjiang@tom.com