

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.03.012

电控喷油器流量特性及动态响应测试系统研究^{*}

唐 超¹, 张振东^{1*}, 丁 力², 尹丛勃¹

(1. 上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093; 2. 上汽大众汽车有限公司, 上海 201805)

摘要:针对当前喷油器检测的过程繁琐及人工读取结果参数误差大、精度低的问题,对高阻电控喷油器的工作原理进行了研究,分析了其流量特性及动态响应的检测意义,提出了一种基于 ARM Cortex-M4 内核单片机以及 LabVIEW 软件的电控喷油器流量特性及动态响应检测系统;系统以 ARM 单片机为控制核心,控制喷油器运作并采集相关信号,使用 LabVIEW 作为上位机显示结果曲线,后台结合 Matlab script 脚本对结果曲线数据进行了滤波及计算,帮助测试人员得出了精确结果。试验结果表明:该测试系统可以对电控喷油器的流量特性及动态响应进行高效率的自动检测,流量特性的测量误差小于 0.02 mg,动态特性的测量误差小于 7.1 us。

关键词:电控喷油器;流量特性;动态响应;测试系统;LabVIEW;单片机

中图分类号:TH814;U464.236;TP27

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)03-0274-04

Flow characteristics and dynamic response measuring system for electronic controlled injectors

TANG Chao¹, ZHANG Zhen-dong¹, DING Li², YING Cong-bo¹

(1. School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Volkswagen Automotive Company, Shanghai 201805, China)

Abstract: Aiming at measuring the flow characteristics and dynamic response for electronic controlled injectors with high accuracy and efficiency, a new kind of measuring system was designed based on the working principle of high resistance electronic controlled injectors. A microchip was used to control the operation of injector and get signal. LabVIEW was used as the upper computer to display curves. Combined with the Matlab script, the data was filtered and calculated to help testers obtain accurate results. The results indicate that the measurement error of the flow characteristics is less than 0.02 mg and measurement error of dynamic response is less than 7.1 us. The system can test the flow characteristic and dynamic response of the injector automatically with high accuracy.

Key words: electronic controlled injectors; flow characteristics; dynamic response; test system; LabVIEW; single chip microcomputer

0 引 言

电控喷油器是发动机燃油喷射系统中的一个重要部件。在发动机不同转速及不同负荷的运行工况下,喷油器根据电控单元命令的喷油脉宽来喷射所需的油量。喷油量的控制精确性对发动机的动力性、燃油经

济性和排放性能有着重要的影响。新一代喷油器开发设计的核心要求和理念是:提高喷油器开启和关闭的响应速度、加大电磁阀开启和关闭过程对燃油量非线性因素的控制、进一步加大喷油器的线性动态流量范围和延长喷油器的使用寿命^[1]。因此,对喷油器工作性能的高精度及高效率测量是喷油器生产质量的保证

收稿日期:2017-08-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51275309)

作者简介:唐 超(1992-),男,上海人,硕士研究生,主要从事发动机电子控制方面的研究。E-mail: harrytangchao@126.com

通信联系人:张振东,男,教授,博士生导师。E-mail: zzd@usst.edu.cn

手段。流量特性和动态响应是评定电控喷油器性能的关键指标。目前许多企业依旧在使用人工操作及读数,导致测量精度差,测量效率低。

本研究将采用单片机并结合 LabVIEW 设计开发出一套可实现电控喷油器流量特性及动态响应自动测试的系统。

1 电控喷油器的工作原理及特性

1.1 电控喷油器的工作原理

电控喷油器是一种高速电磁阀,喷油器的喷射过程可分为针阀开启、全开和关闭 3 个主要过程。其在工作过程中受到液体压力、弹簧力、惯性力、摩擦力和电磁力的综合作用^[2-4],针阀开启过程由电控单元发出开启信号,电磁线圈通电产生电磁力增大至克服弹簧的压力、燃油压力、磁体组件重力以及摩擦力等,磁体组件被升起,喷油器开始喷油;关闭过程中,线圈断电,电磁力迅速衰减,针阀回落到阀座上,喷油停止。

1.2 电控喷油器的流量特性

流量特性是指喷油器单次喷油量与喷油脉宽的关系曲线^[5]。喷油器的理想流量特性是瞬时开关,喷油量与喷油脉宽是严格的正比例函数关系。在理想情况下,通过喷油器的燃油量 m_d 可表示为:

$$m_d = t \sqrt{2g\rho\Delta p}A \quad (1)$$

式中: m_d —喷油器喷出的燃油量; t —喷射时间; g —重力加速度; ρ —燃油密度; Δp —喷油器内部与喷射出口外的压差; A —喷孔有效流通面积。

其流量特性可表示为:

$$m_d = Kt \quad (2)$$

式中: m_d —喷油器喷出的燃油量; t —喷射时间; K —流量特性系数。

1.3 电控喷油器的动态响应

电控喷油器的动态响应包括开启时间和关闭时间。开启时间是指从电控单元发出开启信号到喷油器针阀完全开启所耗费的时间;关闭时间是指从电控单元发出关闭信号到喷油器针阀完全关闭所耗费的时间^[6]。

电控喷油器的工作电流变化曲线可用来表征衔铁及钢球组件的位移特性,如图 1 所示。

图 1 中, O 点的电磁线圈收到驱动电压控制信号,线圈内的磁通量逐渐增大,衔铁及钢球组件所受电磁力增大并克服弹簧预紧力、燃油压力及自身重力。由于此时钢球还没有动,即工作气隙不变,电感为一常数。

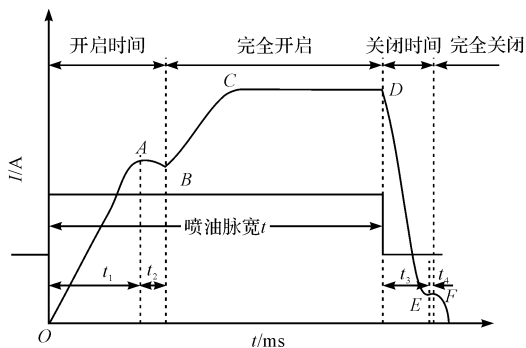


图 1 电控喷油器工作过程中电流变化曲线

在 AB 阶段,衔铁及钢球组件以很大的加速度上升,工作气隙变小,回路中的电感发生变化,电流也随之发生微变,并引起喷油器内部流体的不稳定流动,直到碰到铁芯的下端面。

当钢球达到最大升程时,线圈电流从 I_B 逐渐增大到最大 I_C ,并持续到线圈驱动电压断开(图 1 中的 D 点)。

当电控喷油器电磁线圈的驱动电压被切断时(图 1 中的 D 点),由于电感的存在,电流逐渐减小,气隙磁通也由稳定值开始下降,当下降到所产生的电磁吸力不足以克服弹簧力等作用力时(图 1 中的 E 点),衔铁及钢球组件将准备复位。这一阶段成为电控喷油器的关闭迟滞阶段。

在衔铁复位运动阶段(图 1 中的 EF 段),由于电感的变化使线圈中的电流稍有微小增加,最终下降为零。

2 喷油器测试系统设计方案

2.1 测试系统硬件

喷油器测试系统主要由燃油泵、油轨、压力调节器、喷油器驱动电路、精密电子天平等组成。

硬件框架如图 2 所示。

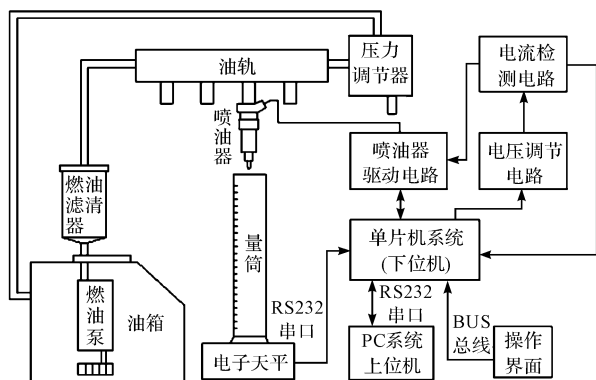


图 2 测试系统整体方案

基于喷油器的工作特点,流量特性的测量采用称重法对不同喷油脉宽和周期的燃油喷射量进行称重测量,使用高精度电子天平进行测量,测量精度为 0.01 mg,并具有串口输出功能,可以将数据直接发送给下位机,下位机发送测量数据给计算机进行处理,形成流量特性曲线。动态特性的检测主要通过在喷油器回路中加入一高精度采样电阻,对电流进行 AD 采样,信号通过运放缩放至 AD 硬件的采样范围内。主控芯片选用恩智浦的 K60 系列单片机为下位机主控核心,该单片机为 Kinetis 的 32 位微控制器,内核为 ARM Cortex-M4,最高运行频率可达 250 MHz,满足该系统的测试需求。

2.2 测试系统软件

测试系统软件分为下位机与上位机两部分。下位机负责执行喷油及数据采集工作,上位机用于对数据进行进一步处理,提供给测试人员最终结果。下位机以恩智浦 K60 系列 ARM 单片机为核心,AD 采样精度为 12 位,采样时间设置为 2 us^[7]。对动态响应的检测,单次开启和关闭阶段各采样 4 ms 数据进行分析。

下位机测试系统流程图如图 3 所示。

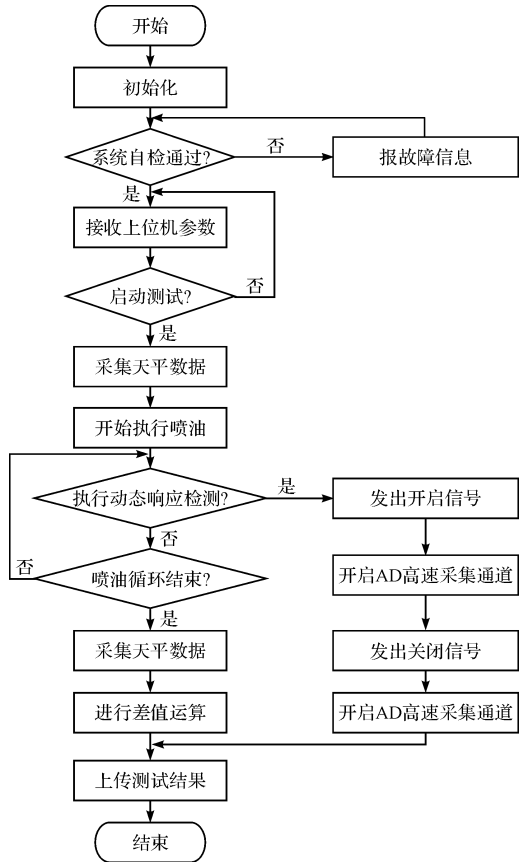


图 3 下位机流程图

上位机使用 LabVIEW 进行编写,通过界面可以

对测试参数进行设定,执行测试后,可以对测试结果进行显示,同时绘制流量特性及动态响应的曲线并进行数据处理^[8-9]。

测试界面如图 4 所示。



图 4 LabVIEW 测试界面

2.3 测试数据处理

曲线数据处理如图 5 所示。

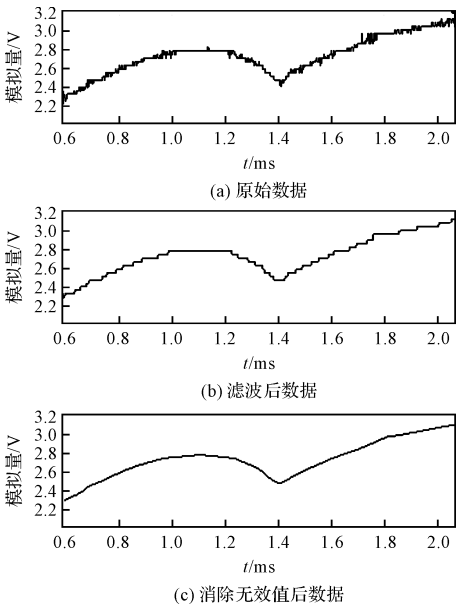


图 5 曲线数据处理

喷油器动态响应的原始数据曲线如图 5(a) 所示。

由于高速 AD 采集的噪声,数据波形有明显的杂波。需要先对数据进行后处理,再进行拐点判定。

本研究首先使用中值滤波,使用一维的滑动窗口,对一定范围内的数据进行排序,并取中值代替相邻的数据。根据采集到的数据特性,该测试系统使用的采样滑动窗口长度为 30,滤波效果如图 5(b) 所示。

由于 AD 采集存在精度损失,数据存在阶梯状的平台,不利于程序进行下一步的拐点求解。本研究在此认为每个平台的中间值是最接近真实值,而其余部分认定为无效数据。该测试系统在 LabVIEW 后台调用 Matlab Script,使用 m 语言编程,自动搜索每一段阶梯平台,并保留每个平台中间位置的值,剔除其他无效

数据。最终得到的曲线如图 5(c) 所示。

最后本研究对曲线进行求导处理,并求得导数过零的坐标点,判定拐点位置。最终得出喷油器的动态响应参数。

3 喷油器测试结果

该系统测试大众某款车型的喷油器性能、流量特性结果如图 6 所示。

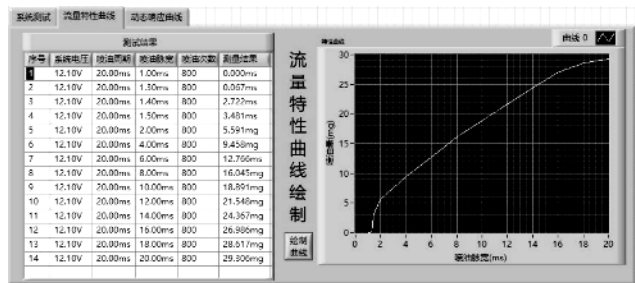


图 6 流量特性测试结果截图

动态流量特性测试结果如图 7 所示。

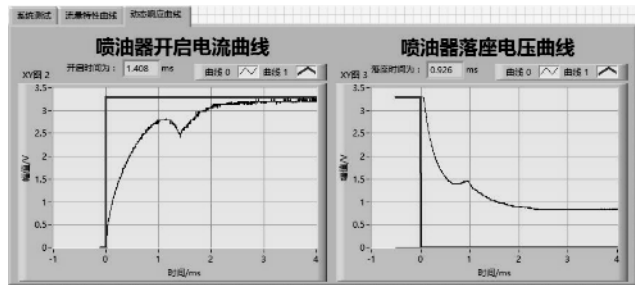


图 7 动态特性测试结果截图

测得开启时间为 1.408 ms,落座时间为 0.926 ms。可知影响测量精度的主要因素为:

- (1)电子天平的测量精度为 0.01 mg;
 - (2)单片机定时器精度误差不超过 0.1 μ s;
 - (3)电流采集转换电路产生的响应延时一般为 5 μ s;
 - (4)AD 采样导致的测量偏差,一般不超过 2 μ s,
- 根据以上影响因素可知,流量特性测量误差最大值为 0.02 mg,动态特性测量误差最大值为 7.1 μ s。

4 结束语

本研究使用 ARM 单片机作为下位机硬件平台,上位机基于 LabVIEW 进行软件开发,针对高阻喷油器

的流量特性及动态响应开发了一种喷油器工作特性测试系统,该系统性能稳定可靠、精度高、操作便捷,可以对电控喷油器的流量特性及动态响应进行快速高精度的测试,具有曲线显示、自动对数据进行后台处理并计算测量结果的功能。

该测试系统有以下几个优点:

- (1)每次测量过程可以同时实现电控喷油器流量特性及动态响应测试,测试效率高;
- (2)基于单片机和 LabVIEW 结合方式可以实现丰富的自动测试流程和复杂的数据处理计算,获取更高精度的测量结果,并且人机界面友好可方便测量人员操作;
- (3)使用电子天平及高速 AD 采集电路,测试结果精度,满足喷油器研发测试及发动机电控系统标定选型的精度要求。

参考文献 (References) :

[1] STRAUSS S, ZENG Y B. The effect of fuel spray momentum on performance and emission of direct injected two-stroke engines [C]. Small Engine Technology Conference, Graz: SAE,2004.

[2] 张振东. 电控喷油器流量特性测试研究[J]. 测量技术, 2001(5):7-8.

[3] 藕俊彦,王芳,余大维,等. R417A 喷气增焓热泵热水器低温环境下的变流量特性分析[J]. 流体机械,2016(9): 82-87,46.

[4] HEYWOOD J B. Internal combustion engine fundamentals [J]. Mc Graw-Hill,1988(9):723.

[5] 肖琼,颜伏伍,邹华,等. 电控喷油器流量特性试验台的开发与试验分析[J]. 中国机械工程,2005,16(16): 1419-1422.

[6] 叶昌,张振东,程强. 电控汽油喷射器无效喷油时间测试研究[J]. 计量学报,2015,36(4):389-392.

[7] 王宜怀,吴瑾,蒋银珍. 嵌入式系统原理与实践—ARM Cortex-M4 Kinetis 微控制器[M]. 北京:电子工业出版社, 2012.

[8] 陈树学. LabVIEW 宝典[M]. 北京:电子工业出版社, 2011.

[9] 李强生,周丽雯,蔡培力. 基于 LabVIEW 的串口仪器的开发[C]. 第二届全国虚拟仪器学术交流会,北京:中国仪器仪表学会,2007.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式: