

汽车喷油器噪声测量系统的设计

朱均超 王 坦 张宝峰

(天津理工大学电气电子工程学院 天津 300384)

摘要 针对国内外相关标准对喷油器噪声测量技术的要求,设计了一套汽车喷油器噪声测量系统。该系统包括喷油器驱动模块、系统控制模块、系统供油模块、噪声测量模块和人机交互模块。供油模块的压力控制采用薄膜传导结合 PID 反馈的气动调节方式,提高了压力控制的可靠性和精度;系统软件设计采用 Windows VS2010 开发平台,利用 CAN 通讯、RS232 等串口通讯技术以及多线程并行技术实现人机交互界面对喷油器工作噪声检测系统的整体控制;基于声压法对汽车喷油器的噪声进行测量和分析,依据测量结果对喷油器的性能进行评价。经实验验证,A 计权下的最大声压级和平均声压级均小于标准中的 70dB(A),满足标准对汽油机喷油器噪声值的要求。

关键词 喷油器,压力控制,PID 算法,噪声测量

中图分类号 TH89 文献标识码 A

Design of Noise Measurement System for Automobile Injector

ZHU Jun-chao WANG Tan ZHANG Bao-feng

(School of Electrical and Electronic Engineering, Tianjin 300384, China)

Abstract Aiming at the technical requirements of injector noise measurement at home and abroad, a set of noise measurement system for automobile injector was designed. The system includes an injector drive module, a system control module, a system oil supply module, a noise measurement module and a man-machine interaction module. The pressure control of oil supply module adopts the pneumatic control method of the membrane conduction combined with the PID feedback to improve the reliability and the precision of pressure control. The system software is designed by using the Windows VS2010 development platform. Using CAN communication, RS232 serial communication technology and multi-thread parallel technology, the whole control of man-machine interaction interface to the noise detection system of injector is achieved. Based on the sound pressure method, the noise of the fuel injector is measured and analyzed, and the performance of the injector is evaluated according to the measurement result. Experimental results show that the maximum sound pressure level and average sound pressure level under A weighting are less than 70db (A) in the standard, meeting the requirements of the standard on fuel tanker's noise value.

Keywords Injector, Pressure control, PID algorithm, Noise measurement

1 引言

喷油器是汽车发动机的关键部件,其性能直接影响着汽车的质量,因此对其进行准确、全面的检测具有重要意义^[1]。世界主要汽车大国早在 1960 年就开始关注汽车喷油器的性能检测^[2],并制定相应的标准对其进行规范。美国制定的《SAE J1832-2001 Low Pressure Gasoline Fuel Injector》对汽油机喷油器检测进行了系统的要求和规范^[3];我国也于 2008 年专门制定了汽油机喷油器的检测标准《GB/T 10398-2008》,对汽油机喷油器的检定项目和指标进行规范^[4]。喷油器噪声的检测是汽油机喷油器规定的重要检测项目^[5],故上述国家标准对喷油器噪声的测量做出了明确的要求和规定。

国内一些研究机构先后开展了发动机噪声方面的研究。文献[6]利用基于 HELS 算法的近场声全息测试系统对某直列四缸汽油机的整车发动机噪声进行测量和分析,并准确定位出噪声源,为进一步降噪提供了依据;文献[7]利用声阵列技术研究了柴油发动机的噪声,准确识别出了不同频带的噪

声辐射,为进一步的低噪声改进指明了方向;文献[8]针对柴油机喷油器工作时的喷油故障诊断展开了研究;喷油器检测多集中于喷油器的流量特性、喷射锥角和贯穿距等^[9-11]。这些研究主要聚焦于发动机本身,尚未发现专门对汽车发动机喷油器噪声进行检测的系统。

本文依据国家标准设计了一套专用的汽车喷油器噪声测量系统,对汽油机喷油器的噪声进行检测和评定,为喷油器整体性能参数指标的设定提供依据。

2 噪声的测量

2.1 噪声测量的原理

噪声可以利用声功率进行度量,但是声功率不能直接测量得到,现有大多方法通过测量声压级或声强级,再经换算后得到声功率^[12]。声压级(SPL)是指以对数尺衡量有效声压相对于一个基准值的大小,用分贝(dB)来描述其与基准值的关系。声压级的定义:对待测声压的有效值 $p(e)$ 与参考声压 $p(ref)$ 的比值取常用对数,再乘以 20。其单位是分贝 [dB

(A)],计算公式如下:

$$L_p = 20 \lg \frac{p_e}{p_0}$$

其中, p_e 为有效声压值,单位为 Pa; $p_0(ref)$ 为基准声压,其值为 2×10^{-5} Pa。

当多个声源同时作用时,产生声压级的叠加计算公式如下:

$$L_p = 20 \lg \frac{p_e}{p_0} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{pi}} \right)$$

由于扩散、吸收、散射等作用,声波能量随着与声源的距离的增加而衰减,所以噪声声压级的大小会受测试环境、测试距离等因素的影响。因此采用声压级表示噪声强弱时,需要在特定的环境下进行,并尽量减少背景的影响,否则就没有比较的意义^[13]。

2.2 噪声测量方法

声压级主要由声级计来测量。声级计是最基本的噪声测量仪器,各种类型的声级计的工作原理基本相同的,不同点往往在于附加的一些特殊性能,这些特殊性能使它们能完成不同的任务。声级计主要由传声器、前置放大器、衰减器、频率计权网络、检波器和显示器组成^[14]。声级计的工作原理如图 1 所示。

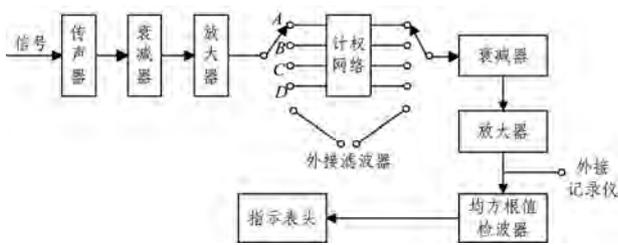


图 1 声级计的工作原理图

传声器将被测声信号变成电信号,再经过前置放大器变换阻抗,使传声器与衰减器匹配。放大器将输出信号加到计权网络上,对信号进行频率计权(或者外接滤波器),再经过衰减器及放大器将信号放大到一定的幅值,然后送到均方根值检波器(或者外接记录仪),最后在指示表头上给出噪声声级的数值^[15]。

3 喷油器噪声测量系统

3.1 喷油器噪声测量的要求

国家标准《GB/T 10398-2008》要求在半消声室或消声室中测量喷油器噪声。喷油器噪声的检测介质是正庚烷;喷油介质压力稳定在 400 ± 2 kPa;喷油压力的温度控制在 21 ± 1 °C。喷油器的喷油周期为 100 ms,喷油脉宽为 4 ms,喷射次数为 100。

3.2 喷油器噪声测量系统的结构

喷油器噪声测量系统如图 2 所示,系统包括中央控制模块、喷油器驱动模块、供油模块和噪声测量模块,其中中央控制模块包括工控机和控制模块两部分。

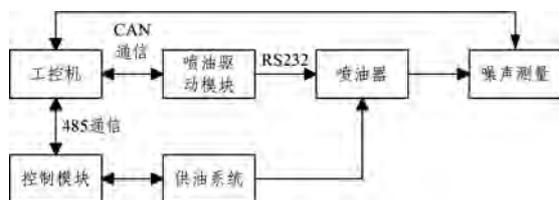


图 2 噪声测量系统

系统采用工控机作为中央控制单元,采用 CAN 总线向喷油器驱动发出指令,驱动喷油器按照设定周期和脉宽工作;供油系统负责向喷油器提供标准压力和温度的工作介质(正庚烷);系统采用声级计测量喷油器的噪声,测量结果通过 RS232 直接传入工控机。工控机作为人机交互界面,负责控制所有模块工作,对噪声数据进行分析 and 计算,并生成相关报表。

3.2.1 喷油器驱动模块

喷油器驱动模块如图 3 所示,它能够驱动电流型喷油器和电压型喷油器,驱动电压、保持电压、驱动脉宽、驱动电流、保持电流、驱动周期等参数可以设定。该驱动模块与工控机之间采用 CAN 总线通讯,根据待测喷油器的驱动参数在工控机上进行设置,再将设置的参数通过 CAN 总线发送至驱动模块,为喷油器提供额定的驱动信号,保证喷油器正常工作。



图 3 喷油器驱动模块

3.2.2 供油系统

供油系统负责提供设定压力和温度的工作介质,其结构如图 4 所示。

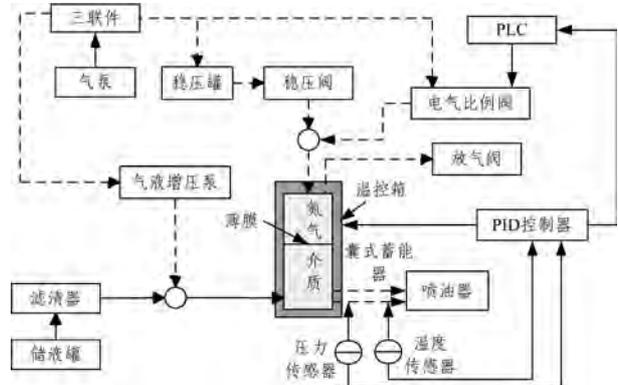


图 4 供油系统的结构图

当工作罐需要补液时,气泵中的压缩氮气驱动气液增压泵工作,储液罐中的介质经滤清器处理后进入工作罐完成补液工作。

压力控制采用气动调节方式,气泵作为动力源提供压缩氮气,其经三联件,即过滤、干燥、稳压后进入稳压罐作为气源。控制器根据设定的压力值来调节电气比例阀的开启程度以控制介质上方的氮气充入量,进而调节喷油介质的压力。压力传感器安装在喷油器的工装系统中,实时测量喷油管道的压力并反馈给工控机。当实际压力值大于设定值时,控制器打开放气阀,排出介质上方的压缩氮气以泄压;当实际压力值小于设定值时,控制器打开电气比例阀,增加介质上方的压缩氮气量,通过加压来使喷油管道的压力维持稳定。氮气和喷油介质之间的薄膜保证了喷油介质压力调节的稳定性与方便性,能避免回流。

温度的稳定控制采用热交换的方式来实现。温控装置对

其内部的冷却液进行加热或冷却来控制工作罐内介质的温度。同时,将安装喷油器的工装系统放置在密封性及保温性良好的附属控温装置中,并使温控装置与附属控温装置用管路联通,使得冷却液可以自由循环,从而达到相对准确地控制喷油器及其内部介质温度的目的。温度传感器安装在喷油器工装系统附近,实时测量喷油介质的温度并反馈至工控机,工控机进而通过控制冷却液的温度来使喷油介质的温度保持稳定。

喷油器噪声测量供油系统的温压控制采用PID算法。控制器的输入变量为温度或压力传感器实时采集的信号,其经过控制器计算调整为合适的控制因子,相应地控制调压阀增压或减压来维持压力稳定;控制温控箱加热或制冷来维持整个系统温度的稳定。

3.2.3 噪声测量

根据国家标准的要求,喷油器噪声测试需要两个声级计。如图5所示,声级计A放置在喷油器水平方向上,距喷油器0.5m处;声级计B放置在喷油器喷射口斜上方,与喷油器轴线呈45°夹角,距喷射口距离0.5m。为消除喷油介质喷射时产生的气流噪声,国家标准要求在喷油器下方用0.5m长的橡胶软管收集喷射介质,消除燃料出射口的噪声。

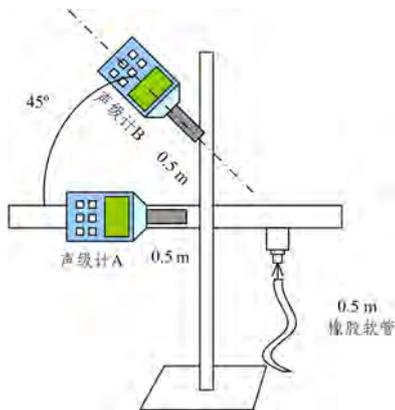


图5 噪声测量方案

在喷油器噪声测量系统中,主要测量其A计权声压级。根据喷油器噪声测量标准及精度要求,选用HS5618A型积分声级计测量喷油器噪声。选用其自动测量功能,设定计权方式、测量时间等参数进行测量分析。整个测试过程分为3个部分:首先,关闭喷油器,测量背景噪声;然后,开启喷油器,测量总噪声;最后,对测量的数据进行处理、分析后输出喷油器的噪声,判定其性能是否合格。

4 系统的软件设计

4.1 软件功能

喷油器噪声测量系统的软件系统使用C#语言开发,主要功能包括喷油器的开启时间以及工作时间的精准控制、供油系统的控制、噪声的测量和分析以及各个模块和工控机的通信等,如图6所示。

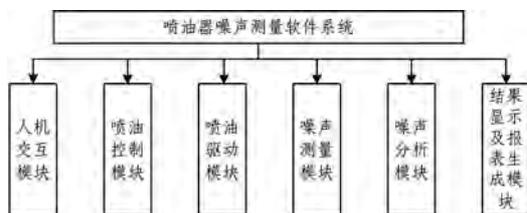


图6 软件模块组成图

4.2 软件流程

该软件系统控制的设备包括两个声级计、喷油器驱动模块和PLC控制器,同时需要完成人机交互工作;为防止其相互干扰,该软件采用多线程技术。其中人机交互界面作为主线程,两个声级计各为一个线程,喷油器驱动和PLC控制器也分别是一个单独的线程。用户通过主界面线程设置参数,控制测试流程;声级计线程负责采集喷油器的噪声数据,并将其传送至主界面;喷油器驱动线程负责接收主界面的操作命令,并将其发送至喷油器驱动模块;PLC线程负责与PLC控制器通讯,把主界面的设置与控制信息发送到PLC中,完成压力和温度控制。

根据国标要求,喷油器噪声测量需要稳定的压力和温度、喷油脉宽、喷油周期等信号。用户通过主界面发送控制信号、开始测量信号等,并根据相应的通信协议来接收声级计测量的噪声数据,并对其进行处理分析,最终输出一个评定喷油器噪声性能的报表。图7(a)是噪声测量线程,图7(b)是喷油器驱动线程的流程图。

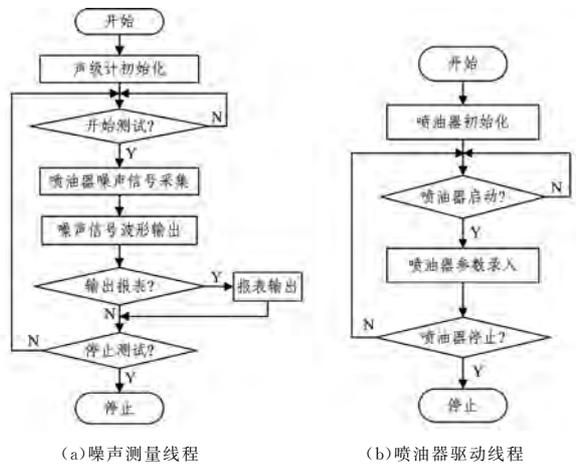


图7 软件流程图

喷油器噪声测量的软件界面如图8所示。



图8 软件界面图

4.3 实验结果及分析

根据相关国家标准设置实验环境,采用正庚烷作为喷油介质,对某类型喷油器噪声进行测量分析。喷油器噪声测量系统的压力、温度、噪声测量结果如图9—图11所示。

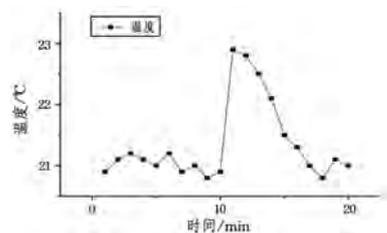


图9 温度变化曲线

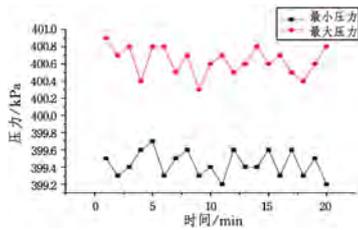


图10 压力变化曲线

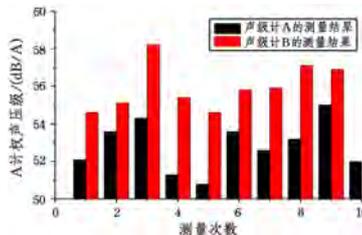


图11 实验结果

由上述测试结果图中可以看出:在压力控制方面,压力设定值为400 kPa,压力的波动的最大值为400.9 kPa,最小值为399.2 kPa,即 400 ± 0.9 kPa,压力的波动范围为 $\pm 0.3\%$,低于标准规定值 $\pm 0.5\%$;在温度控制方面,设定温度值为 21°C ,系统将温度一直控制在 21°C 左右,满足标准要求;上述喷油器在设定的实验环境下进行噪声测量,A计权下的最大声压级和平均声压级均小于标准中的70 db(A),满足标准对汽油机喷油器噪声值的要求。

结束语 本文依据国家标准中对汽车噪声性能检测的要求,设计了一套专用的汽车喷油器噪声测量系统。本系统在硬件开发方面设计了能提供稳定温度和压力的喷油介质、驱动喷油器正常工作的驱动电路以及自动测量喷油器工作噪声的单元等;在软件开发方面设计了一套专用于喷油器噪声测量的上位机系统。实验表明:本系统能够快速、准确、便捷地测量汽车喷油器噪声,极大地完善了汽车和发动机噪声控制技术。

(上接第572页)

有一定的启发作用。该方法已在笔者所在数据中心得到了应用,增强了计算机设备运维工作的科学性和规范性。

参考文献

- [1] 卢明银,徐人平,李乃梁,等.系统可靠性[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 王海鹏,周兴社,张涛,等.面向用户的普适计算系统可用性度量模型[J].计算机科学,2006,33(11):89-93.
- [3] 刘慧敏.以ITIL为基础的IT服务管理应用研究[J].计算机技术与发展,2012,22(5):195-197.
- [4] PECHT M,KAPUR K C,KANG R,et al. Foundations of Reliability Engineering[M]. China:Publishing House of Electronics Industry,2011.
- [5] 刘昊.计算机可用性建模与评估工具的设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
- [6] TRIVEDI K S. Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications, Second Edition[M]. Publishing House of Electronics Industry,2015.
- [7] XIE M,POH K L,DAI Y S. Computing System Reliability: Models and Analysis[M]. Springer Publishing Company, Incorporated,2014.

参考文献

- [1] 杨金才,杨金榜,丁艳萍,等.发动机喷油噪声控制方法的研究[J].汽车工程,2011,33(10):898-901.
- [2] ANDRIANOV D I,MANZIE C,BREAR M J. Spark ignition engine control strategies for minimizing cold start fuel consumption under cumulative tailpipe emissions constraints[J]. Control Engineering Practice,2013,21(8):1007-1019.
- [3] ROBERTS A,BROOKS R,SHIPWAY P. Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions[J]. Energy Conversion and Management, 2014,82:327-350.
- [4] 刘瑞骏,郝志勇,郑旭,等.自适应广义S变换汽油机怠速振动分析[J].浙江大学学报,2016,50(3):43-50.
- [5] PAYRI R,GARCIA J M,SALVADOR F J, et al. Using spray momentum flux measurements to understand the influence of diesel nozzle geometry on spray characteristics[J]. Fuel, 2004, 84(5):551-561.
- [6] 孙宜权,王滨,张英堂,等.基于自适应平方因子的柴油机喷油故障诊断研究[J].兵工学报,2013,34(5):30-34.
- [7] 褚志刚,蔡鹏飞,蒋忠翰,等.基于声阵列技术的柴油机噪声源识别[J].农业工程学报,2014,30(2):23-30.
- [8] 罗福强,周群,薛福英,等.农用柴油机喷油器各孔喷油规律验证及流动特性模拟[J].农业工程学报,2016,32(2):58-63.
- [9] 仇滔,冯祥,雷艳,等.出口压力对柴油喷油器流量特性影响的实验研究[J].兵工学报,2015,36(5):33-36.
- [10] HATTOR H,NARUMIYA K. Analysis of initial breakup mechanism of diesel spray injected into high-pressure ambience[C]// SAE 2014 World Congress & Exhibition. 2004.
- [11] 刘凯敏,杨靖,朱继明,等.涡轮增压直喷汽油机变速器噪声的试验研究[J].汽车工程,2016,38(4):33-38.
- [12] 李梅林,谢惠民.车用发动机噪声测试研究[J].湖南大学学报,2004,31(3):28-31.
- [13] 刘帅,王忠,王林,等.柴油机表面辐射噪声源识别与降噪研究[J].汽车工程,2016,38(9):33-38.
- [14] 王谦,孙伟,何志霞,等.基于超高速摄影分析柴油机近场喷雾锥角变化特性[J].农业工程学报,2016,32(15):47-53.
- [8] BEAUDRY M D. Performance-Related Reliability Measures for Computing Systems[J]. IEEE Transactions on Computers, 2006,C-27(6):540-547.
- [9] SCHNEIDWIND N. Quantitative Methods to Ensure the Reliability, Maintainability, and Availability of Computer Hardware and Software[M]// Systems and Software Engineering with Applications. John Wiley & Sons, Inc. 2011:1-43.
- [10] EUSGELD I, FECHNER B, SALFNER F, et al. Hardware Reliability[M]// Dependability Metrics. Springer Berlin Heidelberg, 2008:59-103.
- [11] LOPEZ L D, BOUGAEV A A, GROSS K C, et al. Method and system for the assessment of computer system reliability using quantitative cumulative stress metrics: US, US20130138419[P]. 2013.
- [12] 张志华. 可靠性理论及工程应用[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [13] 冯懿. 复杂计算机系统可用性评测技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [14] 王宁,孙树栋,李淑敏,等.基于DD-HSMM的设备运行状态识别与故障预测方法[J].计算机集成制造系统,2012,18(8):1861-1868.
- [15] 刘克. 实用马尔可夫决策过程[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [16] 陆大钧. 随机过程及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,1986.