

天然气发动机燃气喷射部件总成自动测试平台设计

宋君花, 宋元, 杨萍

上海东海职业技术学院机电学院, 上海 200241

摘要:为自动检测天然气发动机燃气喷射部件总成的气密性,开发燃气喷射部件总成自动测试平台。确定测试平台的主要功能和测试参数;完成包括电源电路、喷嘴驱动电路、通信电路、信号采集电路在内的硬件采集板电路模块设计;基于 LabVIEW,开发平台的软件系统,采用多线程、C++混合编程的方法设计监测界面,并在某燃气喷射部件生产车间进行实际应用验证。实际应用结果表明:自动测试平台能够有效测试多个不同喷嘴数的燃气喷射部件总成的气密性,可以快速、直观地显示测试过程,实时采集喷嘴测试中的信息,准确判断各个喷嘴及传感器的工作状态,具有良好的实用性及可靠性,可提高燃气部件总成的生产效率,降低生产成本。

关键词:自动测试平台;燃气喷射部件;LabVIEW;多线程

中图分类号:TK434.6

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2025)02-0027-05

引用格式:宋君花,宋元,杨萍.天然气发动机燃气喷射部件总成自动测试平台设计[J].内燃机与动力装置,2025,42(2):27-31.

SONG Junhua, SONG Yuan, YANG Ping. Design of an automatic testing platform for natural gas engine fuel injection component assembly[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2025, 42(2): 27-31.

0 引言

随着石油能源日益紧张以及汽车尾气造成的环境污染问题日益加剧,天然气汽车作为一种清洁能源交通工具,因其较低的排放和成本效益在全球范围内受到青睐^[1-2]。随着排放标准日益严格和天然气发动机技术的不断创新,天然气汽车市场持续扩大,在公共交通及重型运输领域展现出强劲发展态势。燃气喷射部件是天然气发动机的关键组件,精确控制燃气供给,直接影响发动机的动力性、燃料经济性和排放水平^[3-5]。为了对天然气发动机的燃气喷射部件总成进行自动检测,本研究设计开发燃气喷射部件总成自动测试平台,并对平台的功能和测试参数进行相关的试验验证。

1 系统功能

LabVIEW^[6]是一款图形化编程语言,具有庞大的函数库,功能强大且灵活易用,因此本研究采用 LabVIEW 开发天然气发动机燃气喷射部件总成自动测试平台。

1.1 功能设计

燃气喷射部件总成自动测试平台的主要功能是直接采集燃气喷射部件总成(燃气喷射部件、喷嘴、温度压力传感器等)的特性参数,具有较高的兼容性,可以检测不同数量喷嘴(同端和异端布置均可)的燃气喷射部件,一次可以测量最多 6 个燃气喷射部件总成。

1.2 测试的主要参数

喷嘴喷射流量是决定天然气发动机燃气经济性和动力性能的关键参数之一,为保证发动机高效运行

收稿日期:2024-12-16

第一作者简介:宋君花(1982—),女,山东聊城人,工学博士,高级工程师,主要研究方向为汽车发动机电控技术、新能源汽车电控技术, E-mail:64921540@qq.com。

应精确控制喷射正时和脉宽。喷嘴的气密性和流量特性也是影响发动机性能的重要因素,喷嘴气密性不足或流量特性与标准流量的偏差较大,将直接导致燃气经济性和动力性下降。因此,燃气喷射部件总成自动测试平台主要测量喷嘴喷射脉宽、喷嘴流量及气密性,主要检测参数及范围如表 1 所示。

表 1 主要测试参数及范围

喷嘴喷射周期/ms	喷嘴喷射脉宽/ms	进气压力/kPa	燃气喷射部件数	燃气喷射部件实测压力/kPa
0~800	0~300	0~800	1~6	0~800
故障标志位	进气温度/℃	喷嘴数	燃气喷射部件初始压力/kPa	燃气喷射部件结束压力/kPa
0、1	-20~50	3~6	500	500

2 硬件设计

测试平台硬件采集板主要由 MPC5604 单片机和外围电路组成。外围电路模块主要包含电源电路、信号采集电路、喷嘴驱动电路和控制器局域网络(controller area network, CAN)通信电路。模块化硬件设计方法,提高了自动测试台硬件采集板的可靠性,同时也降低了开发成本。

2.1 电源电路

燃气喷射部件总成自动测试台硬件采集板的供电电压为 24 V,但单片机的供电电源和各模块电路的驱动电源的电压均为 5 V,因此设计了 24 V 转 5 V 的 DC(直流)/DC 电源模块。电源模块设计采用开关电源和低压差线性稳压器相结合的方案。实际应用表明,该电源模块可在 18~36 V 内为测试台硬件采集板提供稳定的电源,满足电源输入电压范围、电源纹波、电磁干扰和稳定性的要求。

2.2 喷嘴驱动电路

天然气发动机电控系统中,喷嘴作为燃气喷射系统的关键组成部分,通过调节喷嘴开启时刻实现发动机喷气正时的控制,通过调节喷嘴通电时间实现喷气量的控制。燃气喷射部件总成自动测试平台需检测各喷嘴的气密性,其硬件驱动电路采用低端开关配合高端脉冲宽度调制(pulse-width modulating, PWM)的控制架构^[7]。喷嘴驱动电路原理如图 1 所示。当喷嘴工作时,通过导通低端开关 M2 使喷嘴接地,同时利用 PWM 信号调节高端开关 M1 的占空比,从而精确控制喷嘴驱动电流,确保其满足工作要求。

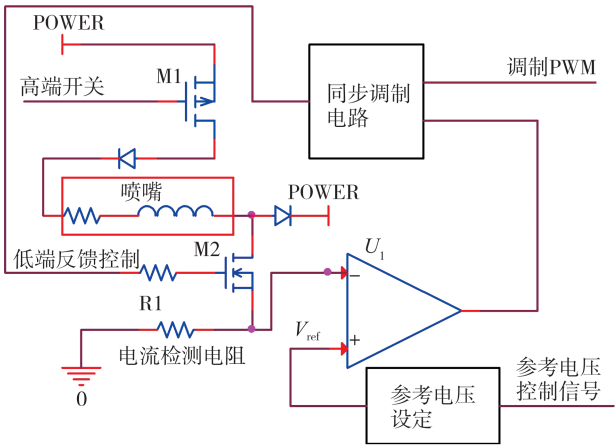


图 1 喷嘴驱动电路原理图

2.3 CAN 通信电路

燃气喷射部件总成自动测试台硬件采集板内有 CAN 通信电路,测试台监控软件与硬件采集板之间的通信采用 CAN2.0B 协议。硬件电路采用 CAN 收发器 TJA1051 芯片,通信速率高达 1 Mbit/s。为了提高抗干扰能力,在输入信号与 CAN 收发器之间配置 PESD36VS2UT 保护电路。采用 DC/DC 隔离电源为 CAN 通信模块提供稳定电源,为了提高 CAN 通信信号的抗干扰能力,在 CAN 总线两端配置 120 Ω 终端电阻抑制信号反射,通信电缆采用屏蔽双绞线降低外界的电磁干扰。

2.4 信号处理电路

信号处理电路处理燃气喷射部件压力和温度、测试开关、发动机转速等信号。燃气压力传感器的量程为 50~1 200 kPa,对应输出电压为 0~5 V。由于燃气喷射部件总成测试的压力为 550~600 kPa,且气密性测试中燃气喷射部件漏气导致的压降较小,需要较高的采集精度才能确保检测结果的可靠性,因此,

对燃气压力传感器输出的模拟信号进行差分放大处理。燃气压力传感器差分放大电路如图2所示。

转速信号处理电路将转速传感器输出的正弦信号转换为微控制器可识别的方波脉冲信号,该信号通过微控制器的专用输入捕获单元进行精确采集和计数,为后续转速计算提供可靠数据。采集板硬件设计采用多重抗干扰措施:1)在信号调理前端配置截止频率可调的低通滤波器,有效抑制高频噪声干扰;2)设置开路检测电路,当传感器连接异常时自动触发软件报警机制;3)信号传输采用屏蔽双绞线结构,并实施合理的接地处理,确保系统在复杂电磁环境下稳定工作。

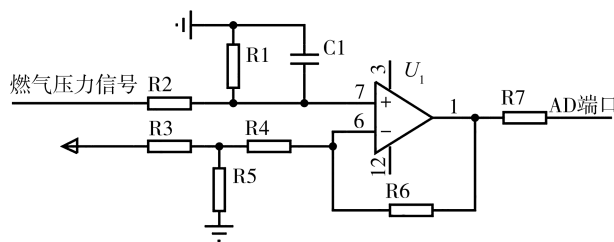


图2 燃气压力传感器差分放大电路

3 测试平台软件设计及气密性测试流程

3.1 软件功能设计

设计的燃气喷射部件总成自动测试平台主要的软件功能包括输入配置模块和输出模块,其中输出模块包含测试结果显示模块和报表生成模块^[8-10]。

1)输入模块:根据CAN标定协议(CAN calibration protocol,CCP)设计了设备配置和测试配置等可标定的配置接口。测试配置包括燃气喷射部件的型号、喷嘴数、测试标准等功能。

2)输出模块:结果显示模块通过CAN通信协议,负责将采集到的信号发送给上层监测界面,上层界面以数字、图形等方式实时显示测试结果,如果测试结果异常,报警灯显示红色进行示警;报表生成模块将测试过程中采集到的信号(输入的测试开关信号、燃气压力温度传感器信号、转速信号等),以及测试结果自动生成报表,用于生产测试数据存档。

上层监测软件整体框架图如图3所示。

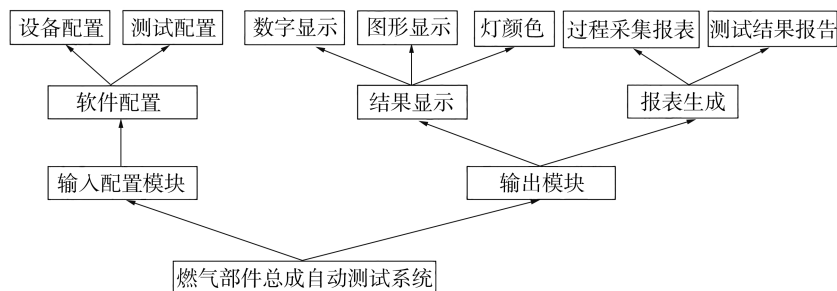


图3 上层监测软件功能框图

3.2 气密性测试流程

燃气喷射部件的气密性测试主要针对喷嘴、传感器,以及燃气喷射部件的上、下气轨接头等关键部位进行泄漏检测,以评估密封性能。传感器与上、下气轨接头的气密性可通过保压测试进行检测,即在规定的时间内观察压力变化判断是否存在泄漏。喷嘴的气密性可通过喷嘴在持续喷射过程中上气轨压力的变化进行评估。当燃气喷射系统气密性良好时,喷嘴在特定转速下正常工作,气轨压力呈现规律性下降,且压力降幅稳定在预定范围。基于此原理,自动测试台在进行气密性测试时,预先设定各喷嘴的工作时间,并在每个喷嘴工作前后分别采集气轨压力,通过对比分析喷嘴工作前后的压力变化,准确判断该喷嘴的气密性是否符合标准。

以具有3个喷嘴的燃气喷射部件为例,其气密性测试流程示意图如图4所示。测试过程中包含常压压力校核、气轨初始压力测试、每个喷嘴喷射前后气轨压力测试等。每段压力测试时间都可以根据燃气喷射部件的特性进行标定。

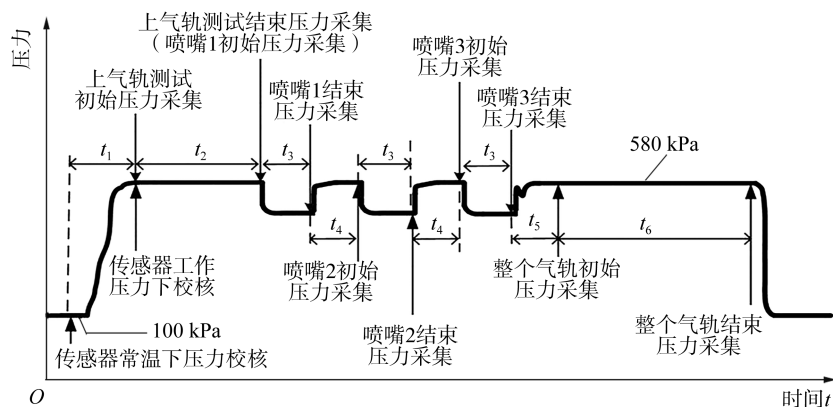


图4 燃气喷射部件气密性测试流程示意图

3.3 上层监测界面开发

燃气喷射部件总成自动测试平台的上层监测软件采用 LabVIEW 图形化编程环境开发^[10-13],并运用多线程技术实现系统功能。其中,通信模块采用 C++语言开发^[14]。在软件架构设计上,基于多线程编程技术^[15] 构建了系统三个核心功能线程:数据监测线程、通信线程和测试报告生成线程。数据监测线程作为主线程,既负责系统数据的实时监控,还负责着通信线程的启动与终止控制。通信线程只负责与硬件层的数据交互,包括接收硬件采集板发送的 CAN 总线报文以及发送相应的控制指令,确保系统与硬件设备之间的可靠通信。上层监测界面 LabVIEW 程序执行流程如图 5 所示。

4 实际应用效果分析

开发的燃气喷射部件总成自动测试平台已经成功应用于某公司车间燃气喷射部件的生产过程,其工作界面如图 6 所示。实际应用结果表明:该自动测试平台能够有效测试不同喷嘴数的燃气喷射部件的气密性,并快速、直观地显示测试过程,实时采集喷嘴测试中的信息,判断各个喷嘴及传感器的工作是否正常。另外,测试平台还可用于测试市场返回的故障件的检测。

5 结束语

通过对测试平台的主要功能和测试参数的系统分析和设计,完成燃气喷射部件总成自动测试台硬件采集板模块化电路设计;基于 LabVIEW、多线程技术和 C++混合编程设计了自动测试平台监测软件,并在某公司燃气喷射部件生产车间进行实际使用

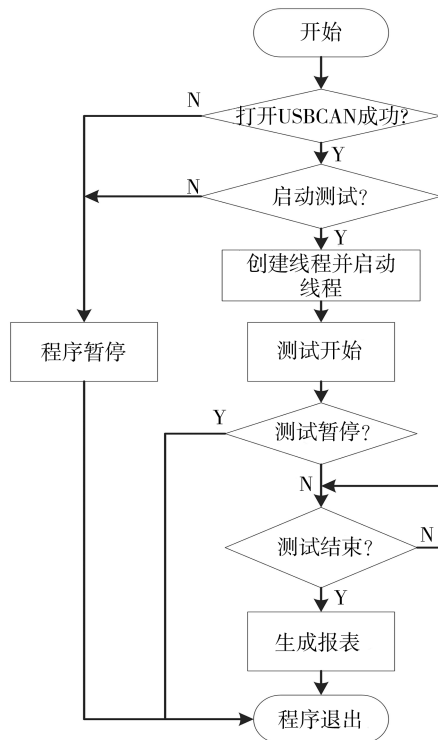


图5 上层监测界面 LabVIEW 程序流程图

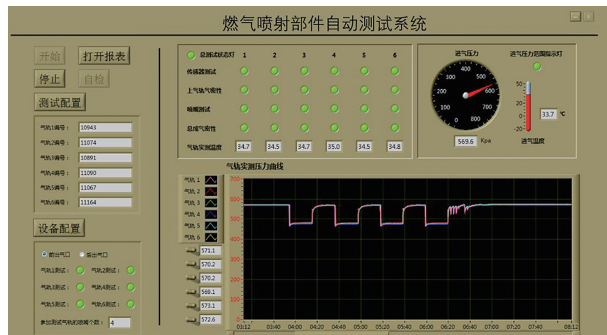


图6 燃气喷射部件总成自动测试平台工作界面

并在某公司燃气喷射部件生产车间进行实际使用

验证。实际应用结果表明:开发的燃气喷射部件总成自动测试平台提高了燃气喷射部件自动测试系统的响应速度,可以自动检测燃气喷射部件的气密性,提高了燃气喷射部件的生产效率,降低了成本。

参考文献:

- [1] 兰楠,张德福,陈万应,等. 压缩天然气汽车压力标准现状分析及发展建议[J]. 时代汽车,2024(14):4-6.
- [2] 李永昌. 发展天然气汽车有利于碳减排[J]. 中国石油和化工产业观察,2023(5):94-95.
- [3] 庞红岩. 船用低速发动机电控气体燃料喷射装置的喷射特性研究[D]. 镇江:江苏科技大学,2022.
- [4] 刘伟龙. 外开式天然气喷射阀喷射特性研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2021.
- [5] 刘文. 气体燃料发动机燃气供给系统仿真研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2019.
- [6] 毛琼,王敏. LabVIEW 2018 虚拟仪器程序设计[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,2018:201-217.
- [7] 白小劲,冒晓建,唐航波,等. 基于 MPC563xM 的天然气发动机电控单元设计[J]. 车用发动机,2011(6):12-15.
- [8] 高大友,杨雪,高优. 基于虚拟仪器的汽车控制板自动测试系统设计[J]. 山西电子技术,2025(1):1-3.
- [9] 谭玉玉. 无人机综合测试系统软件设计与实现[D]. 太原:中北大学,2024.
- [10] 王雨林. 可燃气体传感器测试方法研究与平台设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2023.
- [11] 广州致远电子股份有限公司. ZLGCAN 上位机二次开发库 & Demo[M]. 广州:广州致远电子股份有限公司,2025.
- [12] 冯啸秋,姚俊,童瑞,等. 基于 LabVIEW 的比例方向阀自动测试台[J]. 计量与测试技术,2025,52(2):76-79.
- [13] 陈玉霞. 基于二次开发技术的通用测试平台设计[D]. 桂林:桂林电子科技大学,2024.
- [14] 明日科技. C++从入门到精通[M]. 6版. 北京:清华大学出版社,2024.
- [15] 廖熹,刘强,郭元兴,等. 基于 DLL 和多线程的随机序列测试软件设计[J]. 计算机测量与控制,2024,32(11):153-160.

Design of an automatic testing platform for natural gas engine fuel injection component assembly

SONG Junhua, SONG Yuan, YANG Ping

School of Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Donghai Vocational & Technical College, Shanghai 200241, China

Abstract: To automatically detect the sealing performance of gas injection component assembly in natural gas engine, an automatic testing platform for gas injection component assembly has been developed. The main functions and testing parameters of the testing platform are clarified, the hardware acquisition board circuit modules, including power supply circuit, nozzle drive circuit, communication circuit, and signal acquisition circuit is designed, the software system of the testing platform is developed based on LabVIEW, the monitoring interface is designed using a multi-threading and C++ mixed programming methods, and practical application verification is carried out in a gas injection component production workshop. The actual application results show that the automatic testing platform can effectively test the sealing performance of multiple gas injection components with different numbers of nozzles, quickly and intuitively display the testing process, real-time collect information during nozzle testing, and judge the working status of each nozzle and sensor. The automatic testing platform has excellent practicality and reliability, improves the production efficiency of gas component assemblies, and reduces the product costs.

Keywords: automatic testing platform; gas injection component; LabVIEW; multithread

(责任编辑:臧发业)