The Design of Electromagnetic Valve Intelligent Control System Based on STM32*

HAN Xu[1], *FAN Zhengji*[2], *JING Jinrong*[2], *HE Xin*[2], *HONG Yingping*[2]*

(1.*Beijing Aerospace Long March Vehicle Research Institute*, *Beijing* 100076, *China*; 2.*Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement*, *Ministry of Education*, *North University of China*, *Taiyuan Shanxi* 030051, *China*)

Abstract: Real-time monitoring and controlling of electromagnetic valve parameters in high-temperature environment is critical to the normal operation of large-scale equipment such as aero-engines. In order to solve the failure of propulsion system because of improper operation problems of electromagnetic valve, an electromagnetic valve intelligent control system is designed. Modular design and signal isolation design were adopted to improve stability and flexibility of system. The system realized start-stop and action control of eight electromagnetic valves and real-time monitoring of current value of eight current sensors, at the same time, the relevant parameters can be changed through the upper computer. The test results show that the system has the characteristics of strong practicability and high stability, which provides a reliable solution for the stable control of electromagnetic valve parameters under high-temperature environment.

Key words: electromagnetic valve; intelligent control; STM32; real-time; modularization

EEACC: 7210 **doi**: 10.3969/j.issn.1005-9490.2021.06.009

基于 STM32 的电磁阀智能控制系统设计*

韩 旭[1], 范正吉[2], 景金荣[2], 何 鑫[2], 洪应平[2]*

(1.北京航天长征飞行器研究所, 北京 100076; 2.中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

摘 要: 高温环境下电磁阀参数的实时监测与控制对航空发动机等大型装备的正常运行至关重要。针对电磁阀操作不当导致设备动力系统故障等问题, 设计了基于 STM32 的电磁阀自动控制系统。该系统采用模块化设计, 并对各功能模块均进行了信号隔离设计, 增加了系统的灵活性和稳定性; 可实现对 8 路电磁阀进行启停控制以及动作模式的选择, 还具有对接入该系统的 8 路电流传感器进行数据实时监控的功能, 并可以通过上位机设置相关参数。试验表明, 该系统具有实用性强、稳定性高的特点, 为高温环境下电磁阀参数的稳定控制提供了一种可行的方案。

关键词: 电磁阀; 智能控制; STM32; 实时; 模块化

中图分类号: TP306 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9490(2021)06-1333-06

在航空航天等领域, 随着大型装备(如: 航空发动机)性能的不断提升, 其关键部件(电磁阀, 压力传感器)在工作状态下往往处于高温、高压、腐蚀等恶劣环境下[1-3], 且通常伴随着操作失灵出现, 电磁阀的启停与动作参量不仅使装备的正常运行受阻, 而且会降低其有效使用年限, 严重情况下还会使关键部件脱落, 造成灾难性事故发生[4-9]。因此, 实现高温等恶劣环境下电磁阀参数的实时监测对于大型装备安全、稳定、可靠运行具有非常重要的意义[10-12]。

针对上述电磁阀在运行过程存在的问题, 本文设计了一种基于 STM32 的电磁阀智能控制系统, 用于高温环境下的电磁阀参数和压力传感器参数的控制与监测。本系统的主要功能是在上位机上对多路电磁阀和多路压力传感器进行参数监控和控制, 提高发动机的稳定性, 减轻压力过高给动力系统的损害。结果表明, 该系统可完成对电磁阀的准确控制与电流传感器电流的实时监控, 为高温环境下的电磁阀参数的控制提供了一种可靠的系统, 具有实用性强的特点。

项目来源: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51705475)
收稿日期: 2021-01-08 **修改日期**: 2021-03-15

1 系统总体设计

1.1 技术要求

1.1.1 测试系统装置技术要求

(1)系统可接入 8 路 4 mA~20 mA 两线制传感器,将 4 mA~20 mA 转换为 1 V~5 V 输出,同时以数据形式通过以太网接口 RJ45 发送至上位机实时显示。

(2)输出 13 V~30 V DC 可调,给智能减压阀供电。

(3)可通过 CAN 或 485 接口与智能减压阀通信,通信波特率分别为 1 Mbit/s,9 600 bit/s,485 接口为标准 Modbus 协议,上位机通过寄存器值和地址输入框配置/读取智能减压阀参数。

(4)输出 5 V/0 V 的高低电平信号到智能减压阀的程序/单点接口,通过上位机配置该接口高低电平。

(5)设备提供 1 V~5 V 输出接口、13 V~30 V DC 供电接口、CAN 及 485 接口、4 mA~20 mA 传感器接入接口、电磁阀接入接口,接口形式为插拔式接线柱形式。

1.1.2 测试系统转接盒技术要求

设备提供 1 V~5 V 输出接口、13 V~30 V DC 供电接口、CAN 及 485 接口、4 mA~20 mA 传感器接入接口、电磁阀接入接口,接口形式为插拔式接线柱形式。

设备提供智能减压阀的硬件接口,包括电源连接器接口(插座规格 J599/20KC98PN-H)和信号连接器(插座规格 J599/20KC12PA-H),提供对智能减压阀的供电、通信、程序/单点接口控制功能。同时,设备将对备用压力传感器接口、出口压力传感器接口、单点进气电磁阀接口、单点排气电磁阀接口完成转接,以方便智能减压阀接入工装后连接外部传感器和电磁阀。

1.2 总体设计

根据系统的技术要求,为增加整体的稳定性和可维修性,测试系统采用模块化设计,根据不同的功能划分不同模块,整体系统设计框图如图 1 所示。分为智能减压阀模块、8 路电磁阀控制模块、8 路 4 mA~20 mA 传感器控制模块,以及上位机控制模块 4 个模块。其中,智能减压阀模块负责对减压阀进行自动/手动模式切换的选择以及动作、循环操作的选择,当为手动模式时,减压阀由 8 路开关按钮控制;当为自动模式时,上位机通过 RS232 端口将控制流程和代码发给 MCU 处理,MCU 处理结束后实现具体的计数、定时、循环控制电磁阀开关;8 路电磁阀控制模块通过电磁阀驱动单元对 8 路电磁阀分别进行动作模式的选择;8 路 4 mA~20 mA 传感器控制模块可以对任意输出信号为 4 mA~20 mA 电流的传感器处理,通过电流转电压单元(电压变送器)将电流信号转为 1 V~5 V 电压信号。同时当设备得到电压信号,一边通过接线端子将电压信号输出,一边通过 ADC 模数转换单元发给 MCU,用以电流数据通过 RS232 通信单元上传。

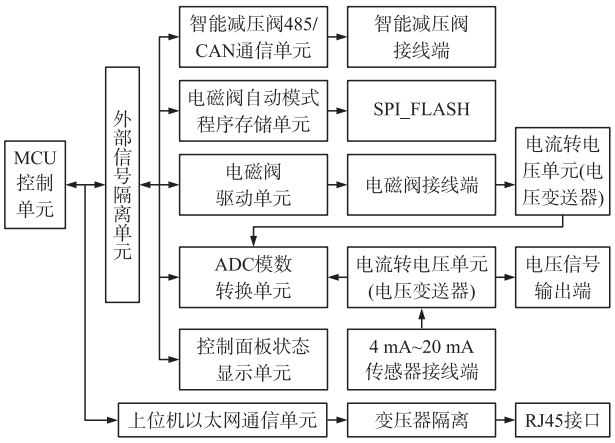


图 1 智能减压阀整体设计框架

2 系统硬件设计

本测试系统选用 STM32F407ZET6 芯片作为主控芯片,设计了统一的通信协议,利用上位机对电磁阀、智能减压器以及电流传感器实现控制,完成操作指令的下发和数据的接收,通过测试软件完成对外接设备的控制。

2.1 电磁阀控制模块设计

2.1.1 电磁阀启停电路设计

为实现对电磁阀的启停控制,本次设计选用的是单通道高速低侧栅极驱动芯片 UCC27517DBVR 以及 MOS 管器件 ADD2610 来实现电磁阀的启停控制。电磁阀的控制信号经过栅极驱动芯片,有了出色的抗扰度,再驱动 MOS 管 Q1,最终在 CN1E 接插件处输出高低电平,电磁阀接入此处,便可实现启停的控制。此电路还有一个功能,如图 2 所示的 INA225 IN+可提供电磁阀电流采样的电流值。

2.1.2 8 路电磁阀采集电路设计

为了实现对电磁阀电流信号的采集,电路设计中,选用的是 12 位 8 通道的 ADC 转换器 MCP3208 芯片,该芯片具有采样速度快、低功耗的特点;通信采用的是标准的 SPI 总线的串行方式,分别将输入 8 路电磁阀的电流信号转换为 SPI 信号,输出的 SPI 数字信号通过 ADUM1401BRWZ 芯片进行数字隔离,增加了电路的稳定性,最后将输出的信号送给主控芯片控制。该采集电路最突出的特点是增加了数字隔离设计。具体的电路设计如图 3 所示。

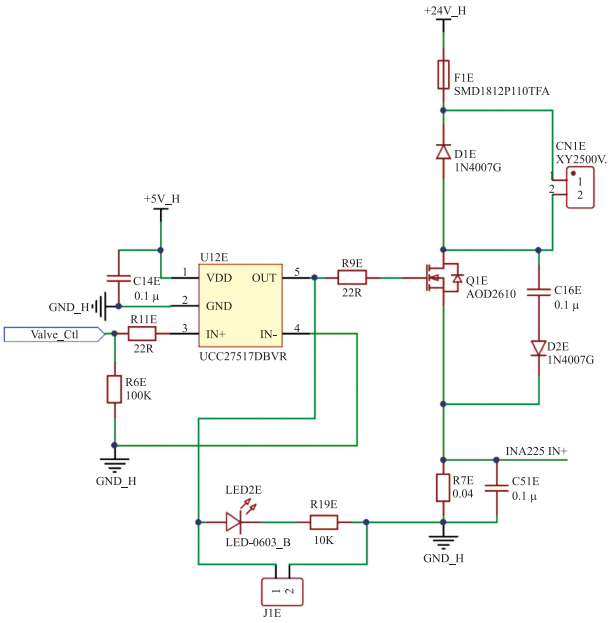


图 2　电磁阀启停控制电路设计

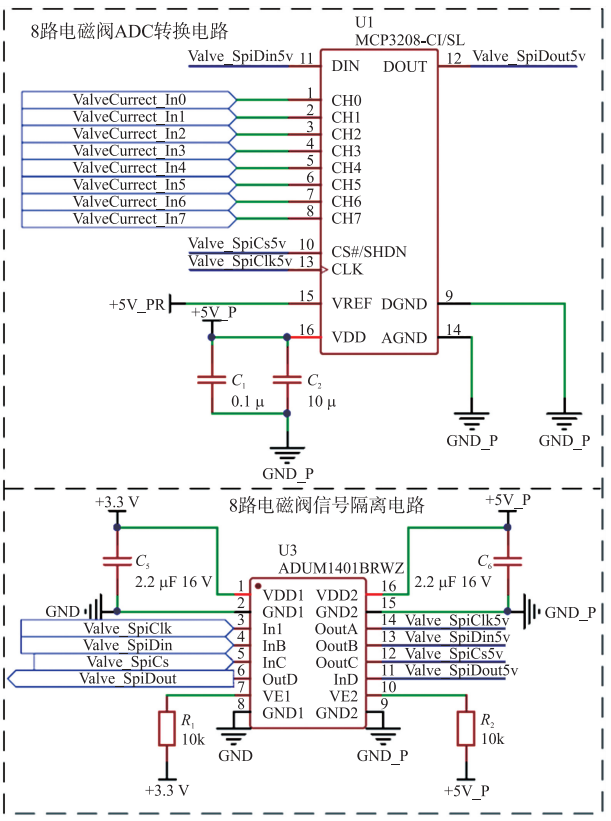


图 3　电磁阀采集电路设计

2.2　智能减压阀模块设计

对于智能减压阀,本设备可通过 CAN/485 接口进行访问,根据智能减压阀状态,系统预留 CAN 接口,并主要通过 485 进行 Modbus 通信。上位机与智能减压阀通信主要通过 MCU 对 Modbus 数据包进行转发。该模块主要实现智能减压阀上传数据包的转发,CAN/485 电路设计如图 4、图 5 所示。

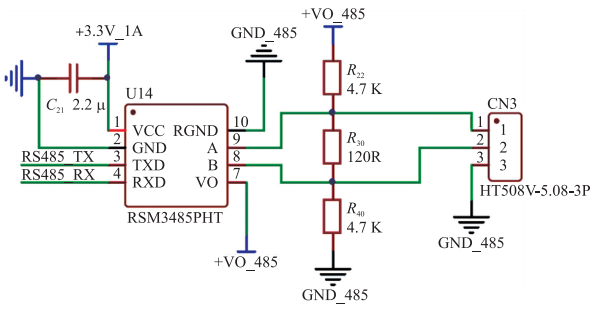


图 4　智能减压阀 485 电路设计

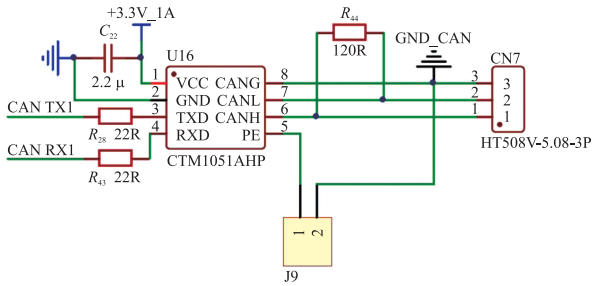


图 5　智能减压阀 CAN 电路设计

2.3　8 路 4 mA~20 mA 传感器模块设计

为了实现对传感器电流信号的采集,电路设计中,采用电磁阀采集电路的设计原理。选用的是 MCP3208 芯片,分别将输入 8 路传感器的电流信号转换为 SPI 信号,输出的 SPI 数字信号再通过 ADUM1401BRWZ 芯片进行数字隔离,增加了电路的稳定性,最后将输出的信号送给主控芯片控制。该采集电路最突出的特点是增加了数字隔离设计。具体的电路设计如图 6 所示。

3　系统软件设计

3.1　电磁阀通信协议设计

通信协议是上位机和下位机(此处指电磁阀)通讯的协议。上位机通过 TCP/UDP 接口接收下位机发送的数据包以及向下位机发送控制信号,电磁阀控制的数据包由图 7 所示的 5 部分组成,上位机通过解析这个数据帧,来得到里面回传的数据。其中 ID 表功能字,功能字的具体定义如表 1 所示。

表 1　功能字定义

功能字	含义
0x00	写 flash
0x01	读 flash
0x02	写回应
0x03	读回应
0x04	Modbus 转接
0x05	状态定时回应

3.2　上位机软件设计

本设计的通讯结构如图 8 所示,上位机主要分

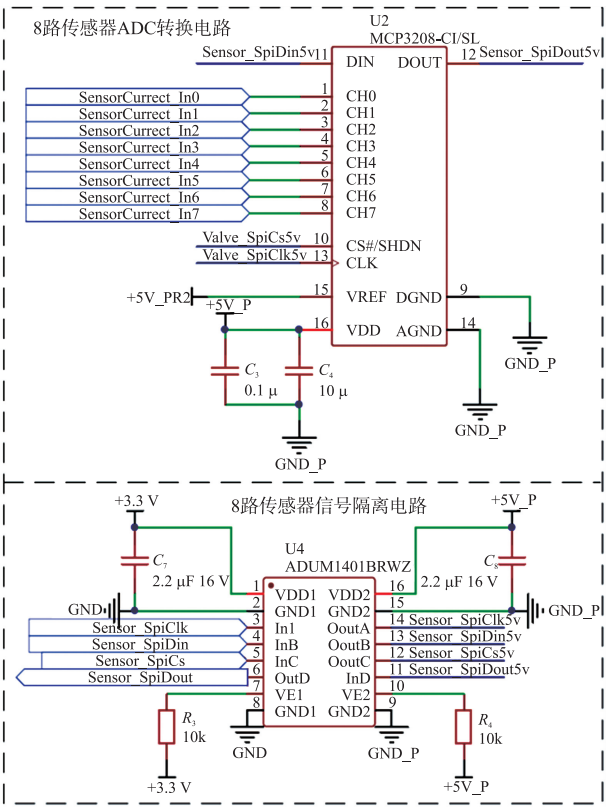


图 6 电流传感器采集电路设计

AAAF (帧头)	ID (功能字)	Length (数据长度)	Data (数据区)	Sum (校验和)
2 Byte	1 Byte	2 Byte	1~1 000 Byte	1 Byte

图 7 通讯数据包定义

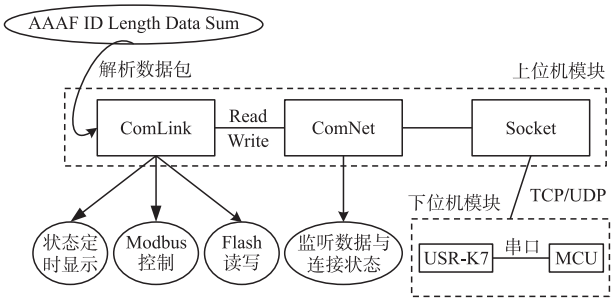


图 8 通讯示意图

为 3 部分,ComLink、ComNet 以及 Socket,通过 TCP/IP 接口与下位机相连。其中 ComLink 模块负责从每帧的数据中提取出数据信息,上位机通过 Modbus 总线协议对电磁阀进行控制。当电磁阀为自动模式时,读取 Flash 烧录进去的固定程序对电磁阀进行控制。此模块还负责将下位机打包发送过来的数据进行实时的可视化展示。ComNet 模块属于以太网传输控制类,主要有 2 个功能:一是通过线程监听电磁阀的连接状态,当为手动模式时,用户可通过界面对电磁阀进行开/关控制;二是监听数据的收发,起到连接 ComLink 模块与 Socket 模块的作用。Socket 模块是以太网传输层的 API 接口,上位机可通过该接口控制下位机动作。

4 系统实物及测试分析

4.1 系统连接实物

系统试验时,智能减压阀自动测试系统的测试装置通过以太网(RJ45)接口与计算机连接,同时通过 ZJ01、ZJ02 两根转接电缆连接于转接盒。转接盒上有若干接线柱和 FGG-2B-10 芯、FGG-2B-12 芯接口,通过接线柱可连接 8 路电磁阀和 8 路 4 mA~20 mA 传感器及外部 485/CAN 设备,FGG-2B-10 芯、FGG-2B-12 芯接口用于连接智能减压阀,通过 Modbus 总线控制。

智能减压阀自动测试系统连接关系如图 9 所示。硬件实物如图 10、图 11 所示。

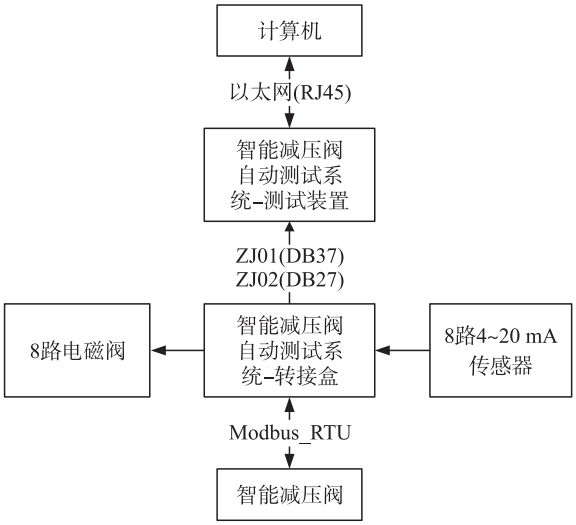


图 9 系统实物连接图

图 10 测试系统-测试装置实物图

对于 8 路电磁阀,本系统可通过自动模式或手动模式控制电磁阀运行,开启和关闭,程序设定方式通过上位机界面设定,程序功能具有多次定时开启、关闭电磁阀的功能。同时测量其通过的电流量大

图 11　测试系统-测试装置转接盒

小,转换为 1 V~5 V 输出。同时,电流大小以数据形式通过以太网接口 RJ45 发送至上位机实时显示,电流测量回路按测试数量设置。

对于 8 路 4 mA~20 mA 传感器,可将 4 mA~20 mA 转换为 1 V~5 V 输出,同时以数据形式通过以太网接口 RJ45 发送至上位机实时显示。

对于 CAN/485 接口及 FGG-2B-10 芯、FGG-2B-12 芯接口,该接口与智能减压阀通信,本设备通信波特率分别为 1 Mbit/s,9 600 bit/s,485 接口为标准 Modbus 协议,用户可上位机界面读取智能减压阀数据并下发命令。

设备同时可输出 13 V~32 V 可调电压,用于用户进行偏压实验。

4.2　测试结果

为了验证系统的可行性,将整个系统供电,然后分别连接一个电磁阀和电流传感器,在主面板上将模式切换为手动模式,如图 12 所示。按下面板上的手动开关,由上位机的波形图 14 可看出,电磁阀的电源通断得以控制;再将模式切换为自动模式,如图 13所示,电磁阀即自动执行存在 Flash 中的程序,无需手控便开始执行动作;接上电流传感器,可从上位机页面看出电流传感器的实时电流波形,重复多次试验可得,该系统可以高效无误地对电磁阀进行控制,其性能和可靠性都达到了预定的指标。

图 12　手动模式下的电磁阀控制器

图 13　自动模式下的电磁阀控制器

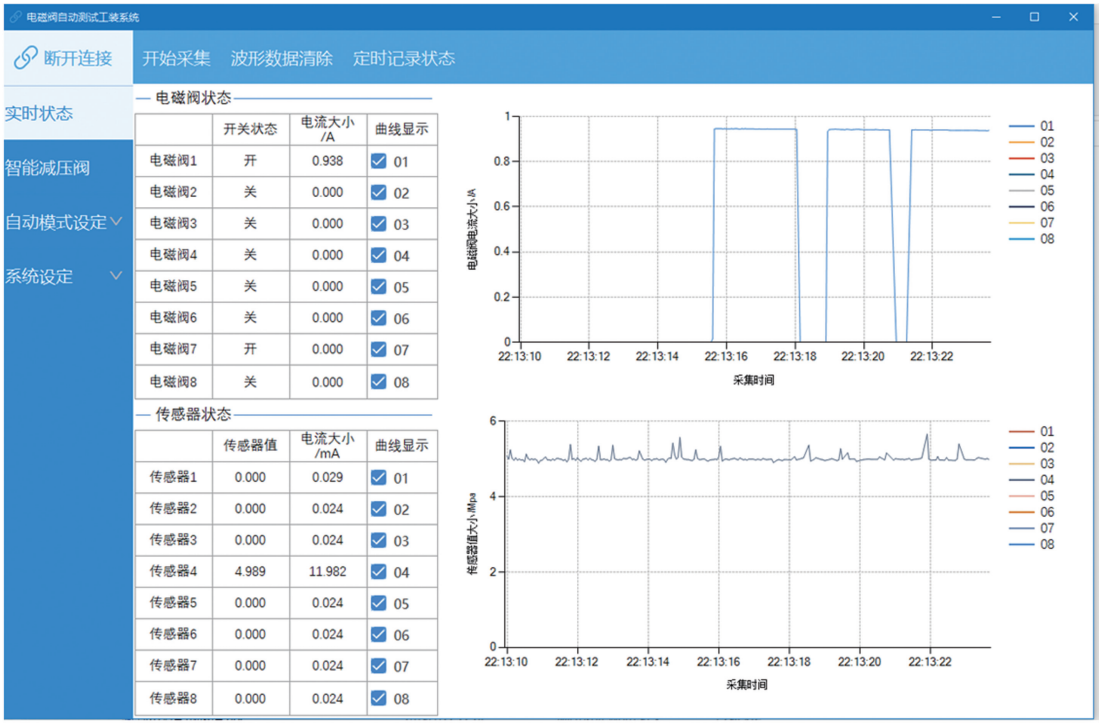


图 14　上位机界面

5 结论

本文从火箭发动机测试需求出发,设计了基于STM32 的智能电磁阀控制系统,对不同功能模块均进行了隔离设计,在完成技术指标的同时采用尽量少的元器件,减少了系统的复杂性,提高了系统的可靠性。本文所介绍的测试系统工作稳定,在满足测试需求的前提下,对各个指标均进行了优化设计。同时,该系统已投入到实际使用中,具有较好的实用价值。

参考文献:

[1] 马慧健. 火箭发动机电磁阀线圈绕制系统的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.

[2] 冯志远. 基于电磁阀电流闭环控制的柴油机电控系统设计及实现[D]. 成都:电子科技大学,2018.

[3] 姜伟. 多路电磁阀控制系统的故障检测与容错控制研究[D]. 成都:电子科技大学,2020.

[4] 孙玉慧. 航空阀用电磁机构的设计与研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2019.

[5] 向南. 减压阀智能监控测试系统的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2012.

[6] 林家祥,杨晓奇,薛金鑫,等. 基于 LabVIEW 的电磁阀控制系统设计[J]. 工程机械文摘,2020(4):10-14.

[7] 潘鹤立,郑超明,钟凤林,等. 基于超微型水轮发电机的智能电磁阀系统设计[J]. 节水灌溉,2020(7):89-95,100.

[8] 赵芳,李磊,陈曦,等. 某型电磁换向阀的测试系统[J]. 液压气动与密封,2019,39(8):46-49.

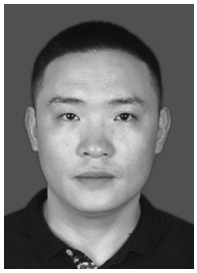
[9] 毛杉海. 工业流体电磁阀测试系统及测试方法[J]. 自动化应用,2018(12):41-43.

[10] 王强. 电磁阀检测系统的设计[J]. 仪表技术与传感器,2018(8):81-83,89.

[11] 沈海军,朱春颖. 舰船发动机燃油电磁阀的自动控制设计[J]. 舰船科学技术,2017,39(24):61-63.

[12] 樊瑞瑞,任勇峰,贾兴中. 一种电磁阀电流信号调理电路的设计[J]. 电子测量技术,2020,43(20):145-149.

韩 旭(1977—),女,汉族,高级工程师,研究方向为航天工程,807213618@qq.com;



洪应平(1984—),男,汉族,现为仪器与电子学院教师,研究方向为极端环境下测试技术及仪器研究,hongyingping@nuc.edu.cn。