

装备防护

基于 LabVIEW 的航空炮弹包装盒密封性检测方案设计

郭含¹, 张鹏², 王茜¹, 邵曦浩³

(1.空军勤务学院, 徐州 221000; 2.61267 部队, 北京 101114; 3.93088 部队, 赤峰 024000)

摘要: **目的** 针对当前航空炮弹包装盒密封性检测存在的不足, 设计一种基于 LabVIEW 的航空炮弹包装盒和小型航空弹药引信, 以及火工品包装密封性检测系统。**方法** 将待检包装置于检测平台密封箱内, 将 PLC 控制器作为下位机, 控制加气机和气体电磁阀工作。先向密封箱内充气, 达到设定压力后保压一段时间, 再利用气压传感器采集箱内的气压信号, 经调理后送入 USB 数据采集卡, 并传到以 LabVIEW 作为开发平台的上位机中, 对采集的信号进行存储、处理与显示。**结果** 对预先选取的 2 个包装盒进行验证, 分别置于 1, 2 号密封箱内, 测得气压下降率分别为 13.82% 和 3.45%, 经分析认为气压下降率 > 5% 即认定包装失封, 因此判定 1 号包装盒密封失效, 2 号密封良好。**结论** 基于 LabVIEW 的测试系统具有自动化程度高、可扩展性强、搭建方便等特点, 对提升航空弹药的保障效率有一定意义。

关键词: LabVIEW; 航空炮弹包装盒; 密封性检测; PLC; 方案设计

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)07-0239-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.07.036

Airtight Detection System of Aircraft Shells Packaging Box Based on LabVIEW

GUO Han¹, ZHANG Peng², WANG Qian¹, SHAO Xi-hao³

(1. Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China; 2. 61267 troops of the PLA, Beijing 101114, China; 3. 93088 troops of the PLA, Chifeng 024000, China)

ABSTRACT: The work aims to design a kind of airborne shells packaging box, small aerial ammunition fuze and packaging airtight detection system based on LabVIEW for making up the shortcomings of airtight detection of airborne shells packaging box. The packaging to be inspected was placed in the sealed box on the testing platform, and the PLC controller was used as the lower computer to control the inflator pump and the gas solenoid valve. First, the gas was inflated into the sealed box, and the pressure was kept for a period of time when reaching the set pressure. The gas pressure signal in the box was collected by the gas pressure sensor and then sent to the USB data acquisition card after conditioned, and transmitted to the upper computer with LabVIEW as the development platform. Then, the collected signals were stored, processed and displayed. Two packing boxes were pre-selected for verification and placed in No.1 and No.2 sealed boxes. The pressure drop rates were 13.82% and 3.45%, respectively. After analysis, when the pressure drop rate was $\varphi > 5\%$, the packing lost sealing property, so the sealing property of No.1 packing box was poor and that of No.2 sealing was judged to be good. The test system based on LabVIEW has the characteristics of high automation, strong expansibility and easiness in construction, which has certain significance for improving the support efficiency of aerial ammunition.

KEY WORDS: LabVIEW; airborne shells packaging box; airtight detection; PLC; conceptual design

收稿日期: 2018-11-27

作者简介: 郭含 (1995—), 男, 空军勤务学院硕士生, 主攻机载武器系统与运用。

通信作者: 王茜 (1967—), 女, 硕士, 空军勤务学院副教授, 主要研究方向为机载弹药技术维护。

随着空军战略转型不断深化,飞行训练实战化特点突出,实弹打靶任务增多,对航空弹药保障提出了新的要求。从航空弹药技术保障角度来说,弹药在搬运、装卸、存储等作业过程中,不可避免地受外部条件影响。航空弹药包装盒/盒就是为了在保障过程中,使弹药免受或减轻外部环境影响,防止由于外部因素使弹药出现性能下降、受潮变质、腐蚀霉变等问题,降低了弹药作用的可靠性和保障安全性,因此,在航空弹药技术保障前,应对航空弹药的外包装进行细致检查。

航空炮弹一般储存在专用的铁质密封包装盒中,如果包装盒密封性不好,在长期储存过程中会出现受潮、腐蚀、霉变等问题,使整盒弹药报废,因此,对航空炮弹包装盒密封性检查是保证炮弹在长期贮存后能正常作用的重要措施。目前,航空炮弹包装盒密封性检查在专用的操作间内进行,检查装置操作繁琐、维护复杂,每次只能对单盒进行检查,保障效率低,而且没有相应的结果显示和数据存储功能,仅给出合格与否的指示,因此,需要设计一种新型航空炮弹包装盒密封性检测系统,满足当前航空炮弹保障需求。

1 系统总体分析

系统主要针对航空炮弹包装盒的密封性检测,设计时可兼顾部分小型航空弹药引信及火工品包装的密封性检查。由于被测对象具有一定的危险性,所以系统必须满足安全性和可靠性要求。另外,系统采集的对象是密闭空间内的气压信号,所以可利用气压传感器实时采集密封空间内的气压状况,并将测得的信号传到计算机进行处理,通过气压变化情况判断包装盒密封性是否完好。此外,系统在设计时要满足检测精度的要求,为提高保障效率还要操作简单、检测耗时短;为方便转移运输,系统结构要小巧紧凑;为方便数据管理应具有数据查询、存储和打印等功能。

目前应用较多的密封性检测技术有压差法、加压法、背压法、微波检漏法、氦质谱法、放射性气体示踪法等。通过对比,选择背压式密封检测法,即测试时先将被测件放入密闭容器内,向容器内迅速充入空气,达到设定压力后停止充气,并保压一段时间,对比保压前后密闭空间内的压力变化,由此判断被测件密封性是否良好^[1-2]。随着虚拟仪器技术在测控领域的广泛应用,“软件代替硬件”的理念深入人心^[3],即利用必要的硬件对所需要的信号进行采集,通过软件对信号进行测量和处理等,基于 LabVIEW 的航空炮弹包装盒密封性检测系统的设计就是基于这个思想。利用 LabVIEW 图形化的编程语言和以“数据流”为核心的编程思路快速构建测试系统,利用其软件强大的程序处理能力对测试信号进行处理^[4-6]。

系统总体设计框图见图 1。主要分为硬件和软件 2 部分,硬件部分用于搭建检测系统平台和,软件部分实现系统自动运行和信号的控制与处理。采用 LabVIEW 作为上位机对传感器采集的数据进行处理,根据系统总体运行程序,以可编程逻辑控制器(PLC)作为下位机对加气机和电磁阀进行控制。

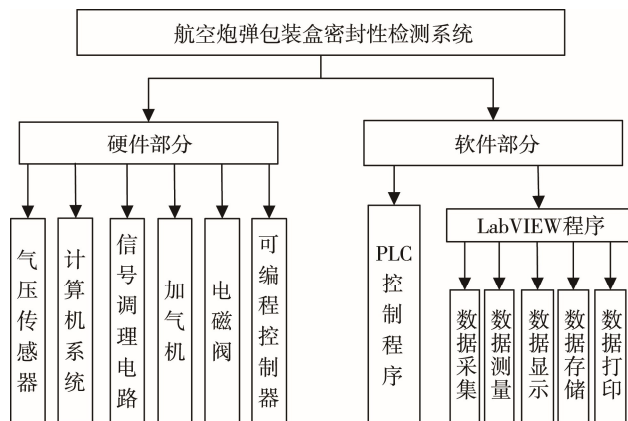


图 1 检测系统总体设计

Fig.1 Overall design of detection system

2 系统硬件设计

基于检测系统功能的分析,系统硬件主要由计算机系统和检测平台 2 部分组成。检测平台包括气路系统、电源模块、气压传感器、信号调理板、多层密封箱和 PLC 控制器等,实现对气压信号的采集和对气路系统的控制。计算机系统是数据控制和处理的主体,连接数据采集卡用于信号采集、传输和处理,同时根据通讯协议和总线对下位机 PLC 控制器实现控制信号的传输,通过 PLC 控制器控制气路系统的工作。检测系统硬件设计见图 2。

为提高检测效率,同时考虑到 LabVIEW 具有较强的多路信号处理能力,设计时可采用多层密封箱结构,这样每次可检测多盒弹药。检测平台结构见图 3。1—4 密封箱用于航空炮弹包装盒的密封性检测,5—7 密封箱用于小型航空弹药引信以及火工品包装密封性检测。外部电源经电源调理模块给 PLC 控制器、加气机、电磁阀和传感器供电。加气机在 PLC 控制器的作用下,实现启动或关闭,根据测试程序,PLC 控制器对相应的密封箱电磁阀进行控制,实现密封箱气体的充入与泄放。

对比市面上现有的气压传感器,结合设计需求,选择 MPX4115 压力传感器采集密封箱气压信号,它属于电阻传感器,价格便宜,输出值与压力信号呈线性关系,传感器本身集成了放大器,不需要外部放大电路,可直接输出 0.2~4.8 V 模拟电压信号,采用 5 V 直流电源供电^[7]。为提高检测精度,需要对采集信号进行放大、滤波等处理,然后再输入到数据采集卡中。

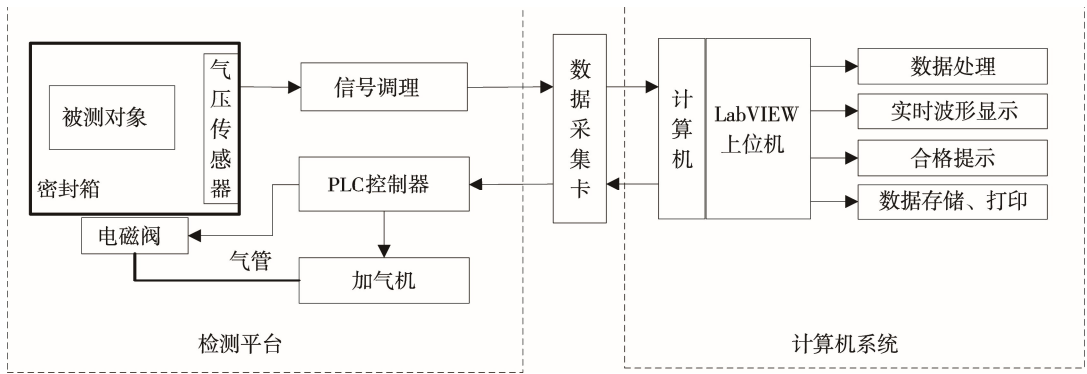


图 2 系统硬件组成及连接
Fig.2 System hardware composition and connection

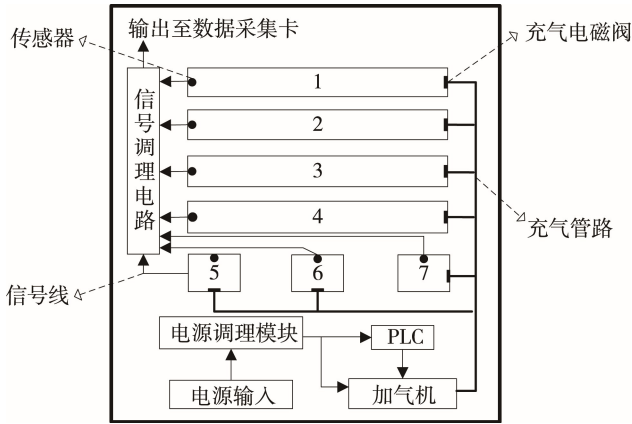


图 3 系统检测平台结构设计
Fig.3 Structural design of system detection platform

为实现多路气压信号实时同步采集,对比市场现有的 USB 数据采集卡,NI USB-6009 型数据采集卡在性能上满足测试需求,其具有 8 路模拟输入通道(14 位分辨率,48 kS/s),2 路模拟输出通道(12 位分辨率,150 S/s),12 条数字 I/O 线和一个 32 位定时器,信号输入范围为 $-10\sim 10\text{ V}$,而且价格合理。另外,作为 NI 公司的产品,其与 LabVIEW 开发平台的数据交互接口设计较为容易^[8-9]。采用 PLC 作为下位机,接收上位机指令实现加气机和电磁阀的控制并实时与上位机通信,将气路系统运行情况传给上位机^[10-11]。基于便携的考虑,系统计算机采用笔记本电脑,将其内嵌到检测平台上部,由检测平台的电源模块提供电源。

检测平台的电源模块用于电源的调节分配,在系统运行时由于大电流等因素影响,可能产生部分电磁干扰,为提高系统电磁兼容性,需要对该部分进行一定的电磁兼容性设计。将电源模块置于检测平台底部,增加与上层密封箱之间距离,沿着四周边角布置电源线,并设置相应的接地装置,也可采用屏蔽或隔离材料,将底部电源与上层密封箱隔开^[12-13]。另外,在系统内部电源线与信号线尽量采用隔离或分开配线,防止对信号产生干扰。

3 系统软件设计

3.1 上位机软件设计

上位机软件是基于 LabVIEW 的人机界面,该部分从数据采集、数据存储、数据处理和实时显示采用模块化进行设计。系统主要功能包括:系统登陆;气压传感器输出电压信号的采集;实时显示密封箱内气压数据,并绘制变化曲线;对接收的数据进行存储;数据查询与报表打印等。上位机软件设计流程见图 4。

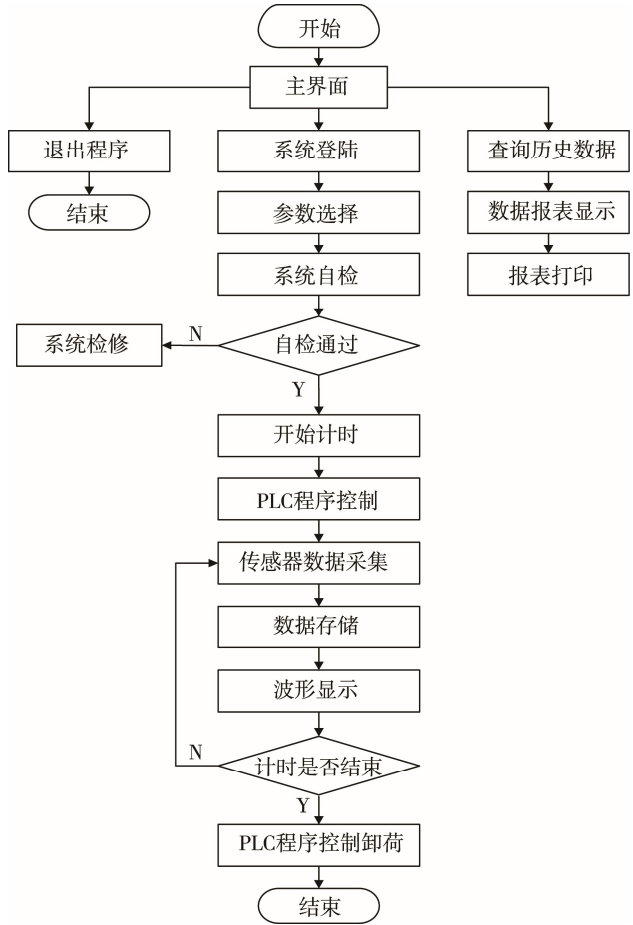


图 4 上位机软件设计流程
Fig.4 Upper computer programming process

根据系统功能,设计系统前面板见图 5,共有 2 个子面板。第 1 个子面板(图 5a)为系统测试界面,用于系统登陆,指定数据保存路径;根据弹药包装情况设置压力参数,点击开始测试,系统自动运行,选择密封箱查看正在工作的密封箱内气压变化情况,并在波形图中显示;测试完毕后给出合格(绿灯)或不合格(红灯)指示。系统自检用于在系统工作前对系统的状态进行检查,包括程序运行、硬件状态和密封箱气密性检查。帮助文档用于系统工作原理及相关故障处理建议,退出程序按钮用于测试结束后退出系统。第 2 个子面板(图 5b)可根据文件保存路径,对测试结果进行查询和显示,设置后可重新保存数据,打印按钮用于测试报表的打印。

LabVIEW 具有功能强大的数据采集函数库 Data Acquisition,其中 DAQ Assistant 可以进行数据采集的快速设置,还可通过多路径启动数据采集助手。首先设置 DAQmx 物理通道创建采集任务,调用库函数 API 驱动 I/O 接口仪器,建立 USB 数据采集卡之间的通讯联系。将采集的信号送入“选择信号”VI,通过“下

拉列表”VI 选择不同通路,并将其波形显示在波形图中。程序采用多种结构,事件结构用系统登录,若为“真”,则进入测试程序,否则给出错误信息;循环结构用于数据采集模块、数据查询与打印模块、数据测试模块,用于控制系统自动对数据进行处理;在数据采集模块 While 循环内嵌入 For 循环,通过“写入测量文件”VI 对测试数据以数组的形式保存到指定路径,可由 Excel 等文本编辑器打开查看其内容^[14—15]。“已用时间”VI 用于显示当前时间与日期和测试时间。数据采集及保存程序框图见图 6。

数据查询与打印程序见图 7。点击数据查询选项,进行测量值的查询,首先找到数据保存的路径,打开文件读取数据。数据是以电子表格文件保存的,利用 LabVIEW 提供的“读取测量文件”VI 完成数据读取,读出的数据格式是字符串数组,通过格式化函数将数组格式化为双精度浮点型数值数组,即测试值。点击数据查询或打印布尔控件,系统通过事件结构自动调用“保存报表至文件”VI 和“打印报表”VI,实现数据的重新保存和测试结果打印^[16—17]。

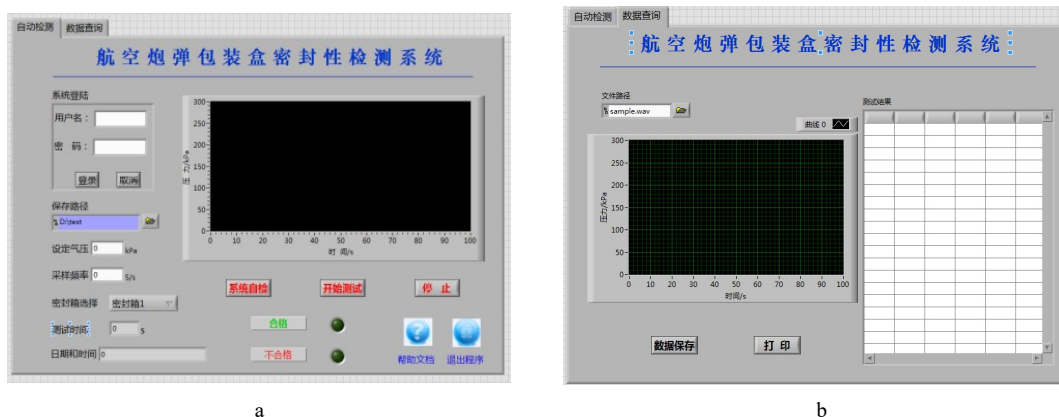


图 5 系统前面板
Fig.5 System front panel

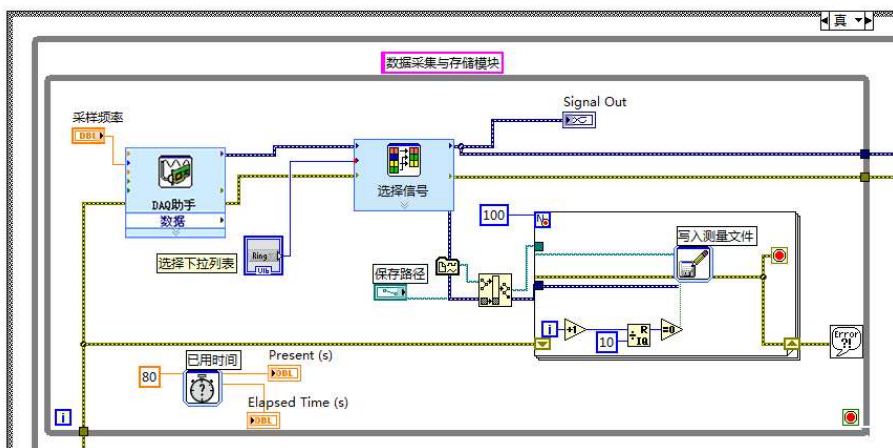


图 6 数据采集及保存程序
Fig.6 Data acquisition and preservation program

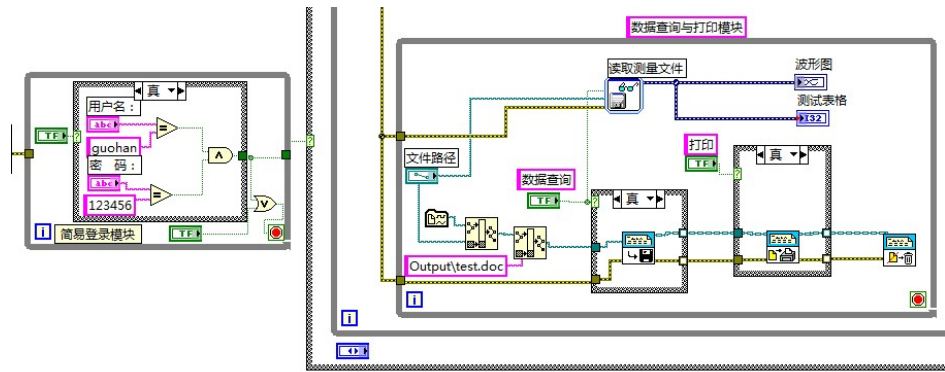


图 7 数据查询与打印程序
Fig.7 Data query and print program

3.2 下位机程序设计

下位机以 PLC 控制器为核心，在上位机指令作用下实现对气路系统的控制。PLC 控制程序由主程序和子程序构成，主程序见图 8，子程序包括中断程序等，通过 PC/PPI 传输线将程序内置到 PLC 上。上位机通过 RS232 串行总线将控制指令传输到 PLC，PLC 内部通过循环扫描的方式连续运行编写的程序，实现加气机电机或电磁阀开关的启动。当密封箱内达到设定压力后，上位机通过数据采集系统，采集到此时的压力信号，然后产生加气机停止工作的控制指令，加气机停止工作，并产生相应的电磁阀保持信号，进入密闭箱保压阶段。保压结束后，上位机产生电磁阀断开信号，相应的电磁阀断开，实现密封箱内压力的泄放。

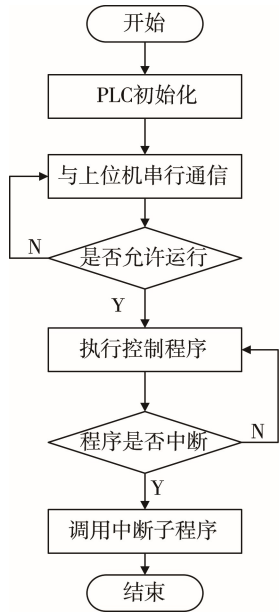


图 8 PLC 主程序运行流程
Fig.8 PLC main program running flow

4 实验验证

原设备由于检测原理的限制，检测结果只给出合格/不合格的判定，对包装漏气程度不能量化，因此，

该系统引入气压下降率 φ 这个参数。根据背压式密封检测原理，测得保压前箱内气压值为 P_1 ，保压后为 P_2 ，则气压下降率计算公式为：

$$\varphi = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100\%$$

如果 φ 在可接受范围内，则认为包装密封良好，否则认定包装失封。选取某型航空弹药包装盒若干，在原有设备和该系统中进行对比实验，根据该系统中气压变化情况及原设备判定结果，并结合原设备相关参数进行分析，初步认为该型航空炮弹包装盒气压下降率 φ 大于 5%，即可认定包装失封。

利用原设备筛选出 2 个航空弹药包装盒，一个密封性良好，另一个轻微泄露。系统通过自检后，将被测件放入 1，2 号密封箱内，通过查阅原设备对该型航空弹药包装盒密封性检测加压值，设置压力参数，然后开始测试，测试结果见图 9，横坐标为测试时间，

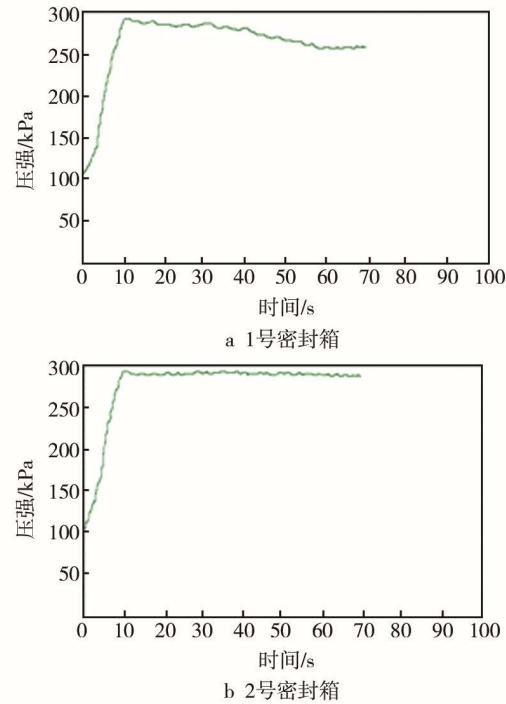


图 9 密封箱内气压变化情况
Fig.9 Change of air pressure in sealed boxes

纵坐标为压强。由图9可知,1号密封箱内的压力随时间略微下降并趋于稳定,2号密封箱内压力随时间基本保持稳定。经计算分析,1号密封箱的 ϕ 为13.82%,2号密封箱的 ϕ 为3.45%,因此,1号密封箱内的包装盒存在泄漏,2号密封箱内包装盒密封性完好。

5 结语

在传感器、检测平台和数据采集卡等硬件基础上,利用LabVIEW开发平台设计并实现了航空炮弹包装盒密封性检测系统,同时系统兼顾部分小型航空弹药引信及火工品包装的密封性检查,而且可以后续加装一些新型弹药、引信及火工品包装密封性检测需求。经初步实验验证,该系统能有效完成多路气压信号的采集与处理,可实时显示测量结果,具有操作简单、通用性强、系统可扩展等特点,实现了预期设计目标。随着自动化与虚拟仪器技术在航空弹药保障领域的广泛应用,将对促进航空弹药保障效率有着重要意义。

参考文献:

- [1] 朱湘莹. 包装密封性检测原理简析[J]. 世界包装, 2011(2): 11—14.
ZHU Xiang-ying. Brief Analysis on the Principle of Packaging Sealing Test[J]. World Packaging, 2011(2): 11—14.
- [2] 石更强. 基于虚拟仪器微压力真空包装气密性研究[J]. 包装工程, 2016, 37(21): 132—136.
SHI Geng-qiang. Study on Airtightness of Micro-pressure Vacuum Packaging Based on Virtual Instrument[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(21): 14—17.
- [3] 蔺佳哲, 王茜, 耿广龙. 基于 LabVIEW Vision 的航空炮弹缺陷检测方案设计[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(7): 129—133.
LIN Jia-zhe, WANG Qian, GENG Guang-long. Design of Aircraft Shell Defect Detection Based on LabVIEW Vision[J]. Firepower and Command Control, 2017, 42(7): 129—133.
- [4] PHILLIP W, HERBERT S, ALEX C. NASA Data Acquisition System Software Development for Rocket Propulsion Test Facilities[R]. NASA Report, 2015.
- [5] 陈树学, 刘萱. LabVIEW 宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
CHEN Shu-xue, LIU Xuan. LabVIEW Collection[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2011.
- [6] MITRA A C, BANERJEE N. A LabVIEW-based Data Acquisition System in a Quarter Car Test Rig to Optimize Vehicle Suspension System[J]. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2015, 343: 593—601.
- [7] 王晖, 李小民. 高精度小型无人机气压高度测量系统的设计[J]. 测控技术, 2012, 31(2): 12—19.
WANG Xuan, LI Xiao-min. Design of High Precision Air Pressure Height Measurement System for Small UVA[J]. Measurement and Control Technology, 2012, 31(2): 12—19.
- [8] 刘建国, 安振涛, 张倩, 等. 基于 LabVIEW 的弹药库房有害气体检测数据采集系统[J]. 测控技术, 2014, 33(6): 32—35.
LIU Jian-guo, AN Zhen-tao, ZHANG Qian, et al. A LabVIEW-based Data Collection System for Harmful Gas Detection in Ammunition Warehouse[J]. Measurement and Control Technology, 2014, 33(6): 32—35.
- [9] 王茜, 蔺佳哲, 谢楠. 基于 LabVIEW 的某型导弹电爆管引信测试仪的设计[J]. 航空兵器, 2016(3): 66—70.
WANG Qian, LIN Jia-zhe, XIE Nan. Design of A Type of Missile Electric Squib Fuze Tester Based on LabVIEW[J]. Aviation Weapon, 2016(3): 66—70.
- [10] 胡学林. 可编程控制器原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
HU Xue-lin. Principle and Application Of Programmable Controller[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2007.
- [11] 李小亭, 张琛, 方立德, 等. 基于 PLC 的小型高精度多相流实验装置测控系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(6): 670—674.
LI Xiao-ting, ZHANG Chen, FANG Li-de, et al. Design of Measurement and Control System for Small High-precision Multiphase Flow Experimental Device Based on PLC[J]. Journal of Electronic Instrument and Measurement, 2014, 28(6): 670—674.
- [12] 睢燕. 电子设备电磁兼容性设计研究[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(26): 34—35.
SUI Yan. Research on EMC Design of Electronic Equipment[J]. Computer Knowledge and Technology, 2018, 14(26): 34—35.
- [13] 王鹏, 栗苹, 郝新红, 等. 加固便携式 PXI 机箱的电磁兼容性设计[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(1): 162—165.
WANG Peng, LI Ping, HAO Xin-hong, et al. EMC Design for Ruggedized Portable PXI Chassis[J]. Computer Measurement & Control, 2014, 22(1): 162—165.
- [14] 鲁维佳, 潘玉恒, 果颖. 基于虚拟仪器和单片机的实时温度采集与控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2018(1): 120—122.
LU Wei-jia, PAN Yu-heng, GUO Ying. Real-time

- Temperature Acquisition and Control System Based on Virtual Instrument and Single Chip Microcomputer[J]. Instrument Technology and Sensor, 2018(1): 120—122.
- [15] QI F Q, CHI Z T. Data Acquisition and Processing Systems Based on LabVIEW[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 602/605: 2736—2739.
- [16] 罗钦文, 刘桂雄. 基于 LabVIEW 的电线电缆检测数据集成系统开发[J]. 中国测试, 2018, 44(5): 93—96.
- LUO Qin-wen, LIU Gui-xiong. A LabVIEW-based Wire and Cable Inspection Data Interation System Development[J]. China Test, 2018, 44(5): 93—96.
- [17] 罗伟锋, 王纪森, 周铨. 基于虚拟仪器的电液舵机测试系统[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(8): 14—17.
- LUO Wei-feng, WANG Ji-sen, ZHOU Xuan. Virtual Instrument-based Power and Hydraulic Steering Servo Test System[J]. Computer Measurement and Control, 2018, 26(8): 14—17.