

## 某炮弹药筒内孔尺寸在线检测系统研究

庞明超, 王俊元, 胡振华, 曾志强

(中北大学, 太原 030051)

**摘要:** **目的** 研究炮弹药筒内孔几何尺寸在线自动检测系统。**方法** 根据炮弹药筒内孔几何尺寸的设计要求和加工工艺特点,应用气电测量系统对其进行测量。根据气电测量系统的测量特点设计机械运动结构;设计自动检测系统实现自动上下料、在线测量、数据采集处理和触摸屏监测。以 PLC 作为自动控制、数据采集和数据处理的核心。针对测量数据的特点提出了一种高效通讯数据处理方法,解决了串行通信数据格式分散、运算困难和数据显示不匹配等问题;运用标准环规对该自动检测系统的重复度、线性度进行了实验研究,并将测量结果准确地显示在触摸屏上。**结果** 该系统的最大测量偏差为  $4\text{ }\mu\text{m}$ ,测量数据的离散程度小,系统的重复性精度高;由拟合直线可知系统的线性特性好。**结论** 通过对该在线检测系统的实验研究,保证了其对炮弹药筒的检测效率达到 800 件/h,且检测精度和运行可靠性高。

**关键词:** 内孔尺寸;气电测量;数据处理;测试系统;检测精度;触摸屏

**中图分类号:** TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)17-0006-05

## Online Detecting System for Inner Hole Size of Certain Cartridge

PANG Ming-chao, WANG Jun-yuan, HU Zhen-hua, ZENG Zhi-jiang

(North University of China, Taiyuan 030051, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the online automatic detection system for geometric size of cartridge inner hole. **Methods** Firstly, on the basis of the design requirement and processing technical characteristics of the geometric size of cartridge inner hole, the gas electric measurement system was used for measurement. According to the measuring characteristics of gas electric measurement system, the mechanical movement structure was designed. Secondly, the automatic detection system was designed to realize automatic loading and unloading, online measurement, data acquisition and processing and touch screen monitoring. PLC was used as the core of the automatic control, data acquisition and data processing. Based on the characteristics of measurement data, a highly efficient communication data processing method was put forward to solve the problems of serial communication data format dispersion, operation difficulty and data mismatching. Finally, the standard ring gauge was used to study the multiplicity and the linearity of the automatic detection system, and accurate measurement results were displayed on the touch screen. **Results** Research showed that the maximal deviation of the system was measured to be  $4\text{ }\mu\text{m}$ , the discrete degree of measurement data was low, and the repeatability precision of the system was high. As seen from the fitting straight line, the linear characteristics of the system was good. **Conclusion** Through the experimental study of the system, it was ensured that the detection efficiency of cartridge was 800 pieces per hour with high detection accuracy and reliability.

**KEY WORDS:** inner hole size; gas electric measurement; data processing; test system; detection precision; touch screen

收稿日期: 2014-01-06

基金项目: 山西省自然科学基金项目(2013011025-1); 山西省回国留学人员科研资助项目(20101477)

作者简介: 庞明超(1988—),男,山西大同人,中北大学硕士研究生,主攻机电系统运行状态检测与控制。

某军工企业所生产的某型号炮弹的药筒,由于是刚定型的产品,其批量尚不是很大,因而从节约成本考虑,目前通过检验人员使用内孔塞规对药筒内孔尺寸进行测量,但其测量精度和测量效率均较低<sup>[1-3]</sup>。该产品在将来进行大批量生产时,就要求有较高的内孔尺寸测量精度,这需要设计自动在线监测装置进行在线检测。该装置不仅要保证对药筒内孔的测量精度和足够的检测效率,而且还需对检测过程实施在线监测控制<sup>[4-6]</sup>。根据药筒设计制造特点,一般的接触式测量方法不能满足在线自动测量的要求。为此,将非接触式气电测量系统引入到药筒内孔尺寸测量中。其原理是通过气电转换内置模块将内孔尺寸的变化转换为电信号的变化,通过PLC采集数据,并对其进行运算处理和分析。使用触摸屏对测量过程及测量数据进行监测,并对相关校验参数进行设定,从而实现对药筒内孔尺寸的精确自动化检测。

## 1 在线检测基本原理及检测方案

### 1.1 气电测量基本原理

气电测量系统是利用压缩空气的流量特性,把被测尺寸变化量转换为空气物理参数变化来实现测量<sup>[7-9]</sup>。气电测量系统的基本原理见图1,由气源输出的压缩空气经过滤器、减压阀和稳压器后,具有恒定的压力 $p_1$ ,并分成2路流动。其中,一路经节流孔1和出气节流孔流入大气,另一路经节流孔2通过测量喷嘴与被测工件之间的间隙流入大气,压力值为 $p_2$ 。稳压器输出压力 $p_1$ 与测量压力 $p_2$ 经差压传感器、信号放大、模数转化以及微机系统处理后将被测工件的内孔尺寸值显示出来。差压传感器的输出压力 $\Delta p$ 是稳压

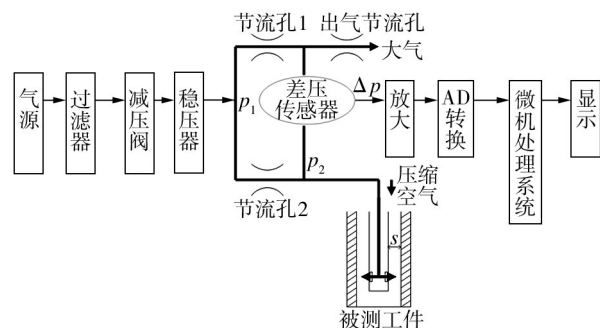


图1 气电测量系统基本原理

Fig.1 The basic principle of gas-electric measurement system

器输出压力 $p_1$ 与测量压力 $p_2$ 的差值。

$p_1$ 在测量过程中保持恒定不变,而 $p_2$ 与间隙 $s$ 符合函数关系,因而 $\Delta p$ 与间隙 $s$ 也为函数关系。若将测头固定不动,则 $\Delta p$ 的变化就反映了间隙 $s$ 的变化,即工件尺寸的变化。其函数关系式为:

$$\Delta p = p_1 - f(s)$$

式中, $f(s)$ 为 $p_2$ 与 $s$ 的函数, $p_2 = f(s)$ 。

### 1.2 检测方案设计

该系统采用非接触式气电测量原理,由PLC和上位机等构成在线实时测量系统,孔径内尺寸在线检测机械系统见图2。机械系统主要由总体固定支撑机构、测量头装夹机构、测量头运动机构、测量基座、自动上下料机构和气电测量系统组成。

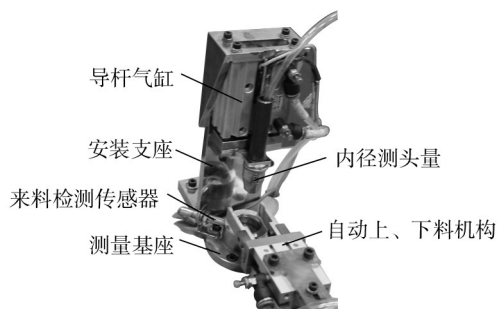


图2 检测系统机械机构

Fig.2 Mechanical mechanism of the detection system

药筒内孔尺寸在线监测系统工作原理见图3。为了保证系统在运行过程中的稳定性和测量结果的准确性,在正式测量前,操作人员启动空压机调节压力控制阀,使气体压力稳定在0.4~0.5 MPa之间。高压气体经过过滤、减压等气源处理方式处理后流入气电测量系统,经过其内部第2次降压和内部测量微电路处理后,由孔径内尺寸测量头中后部径向2个互为180°的测量喷嘴排向大气。在正式测量开始时,操作人员通过触摸屏向PLC发送开始测量命令,PLC进行检测系统初始化,确保气电测量系统与PLC通信正常及机械运动系统处于初始状态,若发生异常情况系统将报警。PLC驱动上料机构将药筒放入测量基座内,测头延时下移进入药筒内,与药筒孔壁形成挡板机构,此时,与测量喷嘴置于大气时相对比,气电测量系统测量腔内的空气压力发生了改变,气电转换器将压力变化量转换成相关的电信号,由内置微电路临时

存储,待PLC读取测量数据。PLC将读取到的测量数据处理并发送至触摸屏。与此同时,PLC驱动导杆气缸带动测量头回到初始位置,测量完毕。操作人员可以在相应界面中查看孔径的内尺寸值,系统根据检测结果对药筒进行合格判断并下料分拣。

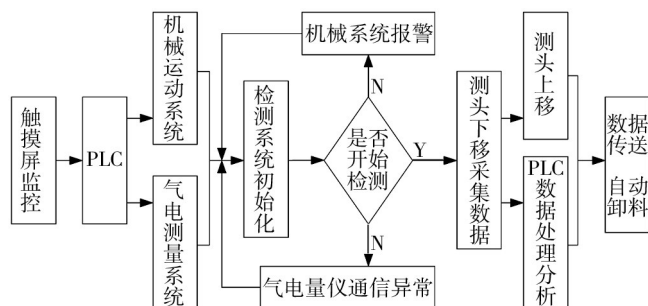


图3 药筒内尺寸在线检测系统工作原理

Fig.3 Working principle of the cartridge inner hole size online detecting system

### 1.3 测控系统通信

采用台达ES2系列PLC,应用RS485串口实现PLC与气电测量系统的通信,将PLC的RS232串口与触摸屏通讯,实现数据的传送、存储和监测功能<sup>[10-13]</sup>。PLC与气电测量系统之间的通信格式由用户自己定义。台达ES2系列PLC的串行通信使用RS指令实现,该指令是通信功能扩展板发送和接收串行数据的指令,指令的前半部分用来发送指定数据的地址和字节数,后半部分用来接收指定数据的地址和字节数。

在串行通信中,检测指令通过触摸屏经PLC编译向气电测量系统发送测量命令,PLC立刻读取测量数据并进行处理。数据处理分为两部分:数据转换,将原始数据的ASCII码数值转换为十进制数;将原始数据的判断字符转换为相应的信息,经PLC编译显示在触摸屏。最后将压缩完毕的数据移位存储,存储完毕后对数据进行运算处理,将最终结果反馈至触摸屏。

## 2 触摸屏软件设计开发

系统采用台达DOP-B系列高彩宽屏型触摸屏,其具有800像素×600像素显示效果,内置3MB/82MB,支持RS232和以太网通信方式。由于系统数据交互量不是很大,因而采用RS232通信方式。

应用Screen Editor画面编辑软件,开发系统主界面、参数设定、屏保界面、测量时间与测量数据曲线监测界面等。操作者通过触摸屏设定相关校验参数值,并将设定参数传送至PLC,检测完成后PLC将数据转换后的整数寄存器与小数寄存器的值传送至触摸屏,并将辅助继电器M100的状态发送至触摸屏。若辅助寄存器M100置“0”,则测量数据超差,此时“超差报警”灯闪烁,工件不合格。每测量1组数据,在监测曲线上标注1个点,当1批药筒测量完成后,可在监测曲线中观察到测量数据曲线的变化,能更加直观地反映药筒的合格情况。

## 3 数据通信及处理

### 3.1 数据处理基本思路

数据处理可以分为数据压缩和数据分析判断,相比之下数据压缩是核心问题。数据压缩是解决不同数据格式之间的联系问题,可使PLC更加方便地进行运算,而其关键的问题是保证格式转换之后数据的一致性。气电测量系统传送至PLC的每帧数据格式为<sup>[14-16]</sup>:1个起始位,8个数据位,1个偶校验位,1个停止位,串行传输波特率为9600 bps。首先将可用部分提取出来分为数据位和判断位,然后进行数据处理,并显示处理结果。

### 3.2 PLC数据转换

气电测量系统工作于公差模式时数据为小数,将测量值中的8个字节的数字位转换为十进制数,舍去小数点以整数形式存储。首先,将数字位从首地址开始存储在连续的8个寄存器中,每个寄存器分为高字节和低字节等2部分,使用PLC中的逻辑与指令,将各个寄存器中的高8位和低8位数据分别进行处理,高8位保留,低8位置0。然后,进行数据移位并减去ASCII码中对应数字与十进制中对应数字之间的固定差值“48”,可得到所需的十进制数字。处理完成后将数字分为符号部分、整数部分和小数部分,并将这3部分分别存储在不同的寄存器中。最后,使用比较指令将整数寄存器和小数寄存器中的数值与设定值相比较,符号寄存器中只存在2种数字“1”和“0”,“0”表示测量数值为正,“1”表示测量数值为负。数据处理流

程见图5,其中,辅助继电器 M100 置“1”表示测量药筒合格,否则 M100 置“0”为不合格。

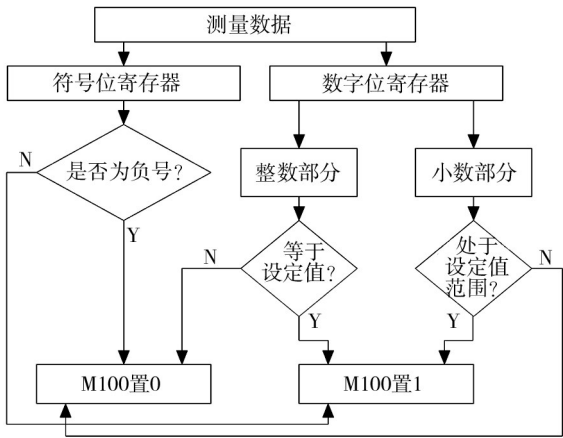


图5 数据处理流程  
Fig.5 Data processing flowchart

4 检测系统测量实验及结果分析

4.1 检测系统重复性精度分析

选取规格为  $\phi 19.380\text{ mm}$  的标准环规,对系统进行重复度精度验证,验证结果见表1。

表1  $\phi 19.380\text{ mm}$  标准环规重复精度测量  
Tab.1 Repeatability measurement of  $\phi 19.380\text{ mm}$  standard ring gauge

| mm   |        |      |        |
|------|--------|------|--------|
| 测量次序 | 测量值    | 测量次序 | 测量值    |
| 1    | 19.380 | 14   | 19.380 |
| 2    | 19.379 | 15   | 19.381 |
| 3    | 19.382 | 16   | 19.380 |
| 4    | 19.380 | 17   | 19.383 |
| 5    | 19.380 | 18   | 19.379 |
| 6    | 19.382 | 19   | 19.379 |
| 7    | 19.383 | 20   | 19.381 |
| 8    | 19.379 | 21   | 19.380 |
| 9    | 19.380 | 22   | 19.379 |
| 10   | 19.379 | 23   | 19.380 |
| 11   | 19.381 | 24   | 19.382 |
| 12   | 19.380 | 25   | 19.379 |
| 13   | 19.382 |      |        |

由表1中的数据可知,标准环规的平均测量值为  $19.3804\text{ mm}$ ,最大偏差为  $0.003\text{ mm}$ ,实验标准差为

$0.0013\text{ mm}$ ,由此系统的重复性为  $0.0013\%$ 。可见,测量数据的离散程度很小,系统的重复性精度较高。

4.2 检测系统线性度分析

选取内尺寸为  $\phi 19.300 \sim 19.470\text{ mm}$  的一系列标准环规进行测量,测量结果见表2。

表2 标准环规系统线性度测量  
Tab.2 System linearity measurement results of standard ring gauge

| mm   |        |        |      |        |        |
|------|--------|--------|------|--------|--------|
| 测量次序 | 标准值    | 测量值    | 测量次序 | 标准值    | 测量值    |
| 1    | 19.300 | 19.301 | 10   | 19.390 | 19.389 |
| 2    | 19.310 | 19.309 | 11   | 19.400 | 19.401 |
| 3    | 19.320 | 19.319 | 12   | 19.410 | 19.413 |
| 4    | 19.330 | 19.332 | 13   | 19.420 | 19.420 |
| 5    | 19.340 | 19.340 | 14   | 19.430 | 19.431 |
| 6    | 19.350 | 19.353 | 15   | 19.440 | 19.439 |
| 7    | 19.360 | 19.361 | 16   | 19.450 | 19.450 |
| 8    | 19.370 | 19.370 | 17   | 19.460 | 19.461 |
| 9    | 19.380 | 19.380 | 18   | 19.470 | 19.469 |

根据测量数据,用 Matlab 作出标准环规内径值-测量值的散点图,见图6。由图6中的拟合直线可见,系统具有较好的线性度,拟合直线的最大偏差为  $0.0026\text{ mm}$ 。

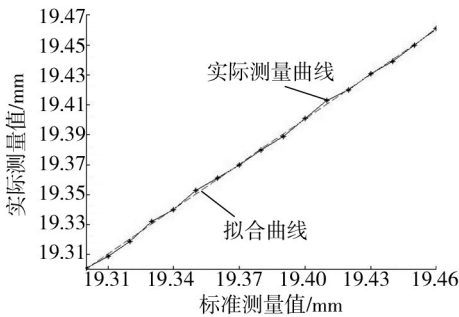


图6 标准测量值-实际测量值关系  
Fig.6 Relationship of standard measured values and practical measured values

5 结语

应用气电测量方法完成了对药筒内尺寸直径的测量。检测系统包含自动控制、数据信息处理、触摸屏控制及监测等部分。以 PLC 作为整个系统的核心实现自动控制和数据处理。通过对 PLC 通信方式的

研究,实现PLC与气电测量系统和触摸屏的通信及数据交换,根据气电测量系统测量数据和PLC数据处理方法的特点,提出转换压缩处理法并用于实践。自行开发了触摸屏控件,实现了对测量数据的监测并对药筒合格情况进行反映,并通过对检测系统重复度精度和线性度精度的分析,验证了其测量精度高且运行稳定,该系统对炮弹药筒的检测效率保持在800件/h。

### 参考文献:

- [1] 陈浩,郝继贵,谢洪,等. 光学式轴孔内径在线测量方法研究与误差分析[J]. 机械工程学报,2013,49(14):16—24.  
CHEN Hao, ZHU Ji-gui, XIE Hong, et al. Research on Optical Shaft Hole Diameter Online Measurement Method and Error Analysis[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(14):16—24.
- [2] 庞学慧,张治民. 高温弹体的精度综合测量系统[J]. 机械工程学报,2008,44(10):145—148.  
PANG Xue-hui, ZHANG Zhi-min. General Measuring System for Geometric Parameters of Shell Body in High Temperature[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(10):145—148.
- [3] MATANTSEV A B. Improvement in the Accuracy of Measuring Diameter by the Coordinate Method[J]. Measurement Techniques, 2007, 50(8):841—845.
- [4] 张积洪,赵海洋,赵海龙. 基于PLC和触摸屏的高精度皮革压花机控制系统[J]. 机械设计,2009,26(10):69—73.  
ZHANG Ji-hong, ZHAO Hai-yang, ZHAO Hai-long. Control System of High Precision Leather Embossing Machine Based on PLC and Touching Screen[J]. Journal of Machine Design, 2009, 26(10):69—73.
- [5] 蒋冰华,涂志威,王国庆. 基于PLC与触摸屏的磨皮机控制系统设计[J]. 合肥工业大学学报,2009,32(9):1351—1354.  
JIANG Bin-hua, TU Zhi-wei, WANG Guo-qing. Design of Control System of Derusting Machines Based on PLC and Touch-screen[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2009, 32(9):1351—1354.
- [6] 黄银花,赵仕奇,殷红梅,等. 管棒料包装自动上下料装置的设计开发[J]. 包装工程,2013,34(21):71—74.  
HUANG Yin-hua, ZHAO Si-qi, YIN Hong-mei, et al. Design Development of Automatic Loading and Unloading Device for Tube Bar Packaging[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21):71—74.
- [7] 王楷,吕科,石为人,等. 大口径光学抛光系统的气动压力控制[J]. 仪器仪表学报,2013,34(3):531—538.  
WANG Kai, LYU Ke, SHI Wei-ren, et al. Pneumatic Pressure Control of Large Caliber Optical Polishing System[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(3):531—538.
- [8] 朱庆保. 一种新型智能气动测微仪的研究[J]. 仪器仪表学报,2000,21(2):191—195.  
ZHU Qing-bao. The Research of a New Intelligent Pneumatic Micro Measuring Instrument[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2000, 21(2):191—195.
- [9] 张印辉,张云生,何自芬. 包装印刷设备离合压机机构气动系统设计[J]. 包装工程,2008,29(6):75—77.  
ZHANG Yin-hui, ZHANG Yun-sheng, HE Zi-fen. Pneumatic System Design for Package Printing Impression Mechanism[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6):75—77.
- [10] 陈愚,罗俊杰,李家良. 气压调节阀的设计探讨[J]. 包装工程,2012,33(11):91—96.  
CHEN Yu, LUO Jun-jie, LI Jia-liang. Discussion on Design of Pressure Regulating Valve[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11):91—96.
- [11] 刘志敏,叶怀储. 气动量仪不确定度分析[J]. 计量与测试技术,2009,36(6):69—70.  
LIU Zhi-min, YE Huai-chu. Measurement Uncertainty Analysis for Pneumatic Measuring Instrument[J]. Metrology & Measurement Technique, 2009, 36(6):69—70.
- [12] YUN S N, HAM Y B, PARK J H, et al. Pneumatic Valve with a Pressure Regulator for Bimorph Type PZT Actuator[J]. Journal of Electroceramics, 2008, 20(3):215—220.
- [13] 彭秀英,陈亚,胡园. 基于PLC控制的气动模拟测量系统的研究设计[J]. 液压与气动,2010(2):16—19.  
PENG Xiu-Ying, CHEN Ya, HU Yuan. The Research and Design on Aerodynamic System of Analogue Measurement Based on PLC Control[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2010(2):16—19.
- [14] 张恒毅,张红健,周春临. 开关量传感器电气接口及与PLC模块的电气连接[J]. 制造业自动化,2009,31(7):147—150.  
ZHANG Heng-yi, ZHANG Hong-jian, ZHOU Chun-lin. The Electrical Interface and the Electrical Connection with PLC Module of Switch Sensor[J]. Manufacturing Automation, 2009, 31(7):147—150.
- [15] 郭江,李朝晖,曾洪涛. PLC与上位机串行通信程序设计[J]. 华中理工大学学报,2000,28(11):60—62.  
GUO Jiang, LI Zhao-hui, ZENG Hong-tao. The Design of Serial Communication Program between PLC and Host Computer[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2000, 28(11):60—62.
- [16] 陈宝江. 一种包装机械手气动控制系统的研究[J]. 包装工程,2008,29(7):14—16.  
CHEN Ban-jiang. Research on the Pneumatic Control System of a Kind of Packaging Manipulator[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7):14—16.