

弹药弹体尺寸自动测量系统*

解旭辉,罗志超

(国防科技大学 机电工程与自动化学院,湖南 长沙 410073)

摘要 :在对某系列特种弹药的弹体结构尺寸分析和归类的基础上,详细阐述了弹体几何尺寸的测量原理,并结合工厂的实际,采用激光位移传感器和计算机自动控制技术,实现了弹体的关键尺寸的数字化测量与评价。实际应用表明该系统可以有效地提高弹体尺寸的测量精度并定量评价弹体的尺寸误差,内外径和同轴度的测量精度可达 $10\mu\text{m}$ 以内,外长的测量精度可达 $100\mu\text{m}$ 以内,能有效地指导加工的工艺流程和加工的尺寸精度控制。

关键词 :激光位移传感器;数字化测量;计算机控制;弹药弹体尺寸

中图分类号 :TP273 文献标识码 :A

Automatic Measuring System for Projectile Dimension Measurement

XIE Xu-hui, LUO Zhi-chao

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :The measurement principles are discussed in detail for projectile dimension measurement, based on the analysis and classification of the structural dimensions of special projectiles. According to the practice in the factory, a measuring equipment is set up to measure those dimensions. Two high precision laser displacement sensors and motion controller are introduced to construct this automatic digital measurement system for digital inspection and evaluation of the key dimensions. Actual application shows that this system can effectively improve the projectile dimension measurement precision and give the error distribution. Testing result shows that the system measurement error is less than 10 microns for internal/external diameters and 100 microns for the external length. Hence the measurement system can guide the machining processes and helps to control the product quality.

Key words :laser displacement sensors; digital measurement; motion controller; dimension of projectile

目前,火炮发射的各种弹药的弹体加工的尺寸测量一直沿用的是各种卡规加自制量具的人工测量方法。例如,测量某型号大口径火炮发射的特种弹药的弹体尺寸用到的各种卡规和量竟有 30 余种,而且,这些量具只能对弹体的尺寸进行定性测量,而不能实现定量测量。为此,本文结合工厂的实际,采用数字化测量技术设计完成各种弹体的主要关键尺寸的数字化测量与评价。

1 测量系统的基本结构

图 1 是自动测量系统的结构示意图。该测量装置由计算机主控,采用两套激光位移传感器,实现弹体内外尺寸的数字化测量。为保证测量的稳定性,系统安装在一个稳定性很好的大理石平台上。整个测量系统由四大部分组成:测量机械台体,包括弹体 V 型支架、弹体内外尺寸测量传感器定位与驱动系统;弹体尺寸传感器测量系统,包括大量程的激光位移传感器、传感器处理电路;数据采集系统,系统采用高精度的 A/D 转换器构成传感器数据采集系统;主计算机数据处理系统,主计算机数据处理系统采用工业控制计算机(IPC - 586)控制数据采集系统实现对测量传感器数据采集。

* 收稿日期 :2005 - 06 - 27

作者简介 :解旭辉(1967—),男,副教授。

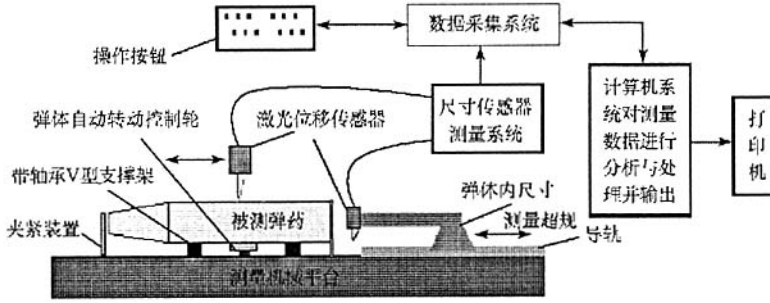


图1 测量系统总体结构示意图

Fig.1 Structure of the measuring system

2 弹体尺寸的测量原理

为了简化测量过程,方便工厂实际操作,降低设计成本,本文采用相对测量法。所谓相对测量法,就是在进行实际测量时,将实际弹体的测量结果与先前测得的标准弹体的测量结果进行比较,通过求解相对偏差值得出弹体的实际尺寸。该方法可以减小系统误差对测量结果的影响,以提高测量的精度和测量数据的一致性。

弹体的待测参数可以分成三大类:内外径尺寸、轴向尺寸、定心部同轴度尺寸。弹体直径尺寸的测量是其它参数测量的前提和基础。本文中同轴度尺寸的测量利用外径的测量数据,经过最小二乘法处理实现。下面先介绍激光位移传感器的测量原理,再阐述弹体内外径尺寸和轴向尺寸的测量原理。

2.1 激光位移传感器的测量原理

图2为激光位移传感器测量的原理图。传感器采用光学三角法测量被测物体相对于传感器的距离变化。当一束激光通过透镜照射到被测物体的表面时,其中一部分光被反射并散射到另一个接收透镜后,经过接收透镜的聚焦后在光电位置感应器(PSD)上产生相应的电信号,经过微处理器处理后在信号输出电路输出被测物体的位移信号。

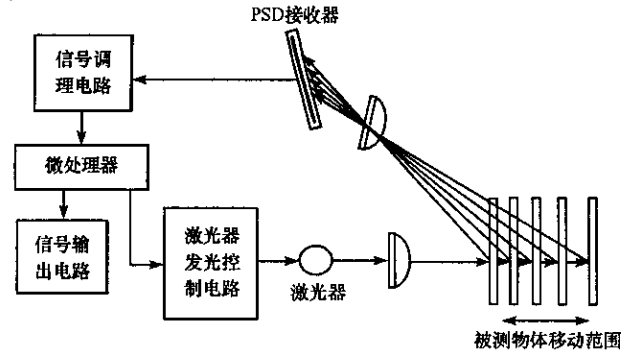


图2 激光位移传感器测量原理

Fig.2 Measurement principle of the laser displacement sensors

2.2 弹体直径尺寸的测量原理

如图3所示,弹体支撑在V型支架的半径为 R_0 的轴承上,两轴承圆心分别在A、B两点,A、B间距为 L ,连接A、B两点交垂直中心线于M点。设标准弹的支撑角 $\angle MAO_1 = \theta_1$,待测弹的支撑角 $\angle MAO_2 = \theta_2$,标准弹体在支撑位置的半径为 R_1 ,圆心为 O_1 ,传感器激光发射面到弹体被测面的距离为 H_1 ;某待测弹体在该支撑处的半径为 R_2 ,圆心为 O_2 ,传感器激光发射面到弹体被测面的距离为 H_2 ,两弹体的轴线在竖直方向上的高度差为 ΔH_0 。不妨设 $R_2 > R_1$,则有 $\Delta H = H_1 - H_2$ 。则在 $\triangle MAO_1$ 、 $\triangle MAO_2$ 中有:

$$\begin{cases} \Delta H_0 = (R_0 + R_2) \sin \theta_2 - (R_0 + R_1) \sin \theta_1 \\ \Delta H = \Delta H_0 + (R_2 - R_1) \end{cases} \quad (1)$$

进一步简化有:

$$\Delta H = \sqrt{(R_2 + R_0)^2 - \frac{L^2}{4}} - \sqrt{(R_1 + R_0)^2 - \frac{L^2}{4}} + (R_2 - R_1) \quad (2)$$

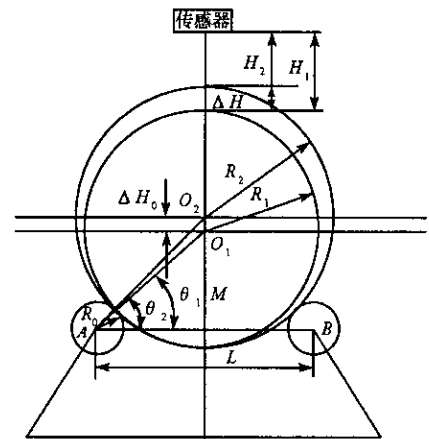


图3 径向尺寸测量原理图

Fig.3 Measurement principle of the radial dimensions

对于弹体尺寸测量装置 ΔH 可由传感器测出, R_0 、 L 由具体的机械结构确定且对于某种类型的弹体在测量过程中保持不变。 R_1 为标准弹体的半径, 为已知量, 下面给出基于相对测量法的被测弹体半径的计算公式:

$$R_2 = \frac{1}{2} \left(R_1 + \Delta H + \sqrt{(R_1 + R_2)^2 - \frac{L^2}{4}} - R_0 \right) + \frac{L^2}{8 \left(R_1 + \Delta H + \sqrt{(R_1 + R_0)^2 - \frac{L^2}{4}} + R_0 \right)} \quad (3)$$

可见相对测量法测量径向尺寸的误差主要来源于 ΔH 、 R_0 、 L 。 ΔH 由测量系统的精度保证, R_0 由精密轴承的回转精度保证, L 由机械结构的刚度和安装精度保证。此公式也是分配各子系统设计精度的基础。令 $S = R_1 + \sqrt{(R_1 + R_0)^2 - L^2/4}$, 则 S 为一个由机械系统和被测弹种确定的常数, 将 S 代入公式(3)得:

$$R_2 = \frac{1}{2} (S + \Delta H - R_0) + L^2 / [8(S + \Delta H + R_0)] \quad (4)$$

定义被测弹体直径计算函数:

$$D_m = (S + \Delta H - R_0) + L^2 / [4(S + \Delta H + R_0)] \quad (5)$$

利用公式(5)可计算出被测弹体的直径。

2.3 轴向尺寸原理

轴向尺寸的测量也采用了相对测量法。在标定过程中找到了传感器的测量起点位置到传感器初始位置的距离 S_0 , 在测量外长的过程中, 只需测出各个待测台阶位置到传感器初始位置的距离 S_i ($i = 1, 2, 3, \dots$), 求出 $\Delta S_i = |S_0 - S_i|$, 即得外长值。

在相对测量法测量外长的过程中, 合理选定和准确找出测量起点是非常关键的。测量起点的误差将会带入到所有的轴向尺寸的测量值, 对测量结果影响很大。而在弹头和弹尾处, 传感器的工作状态在超量程状态和测量状态之间转换, 读数值有突变, 据此判断弹头和弹尾的位置比较准确。本项目中外长的测量是以弹头为起点的。

由此可知, 外长尺寸的起点都在弹头位置, 且这个尺寸在测量之前的标定工作中已经测得。除全长尺寸的终点是在弹尾外(全长尺寸的测量原理与测量起点标定类似), 外长尺寸的终点都在弹体表面的台阶处。本系统采用逐点扫描法确定这些台阶的位置。测量原理如图4所示。

程序根据给定尺寸找到各处台阶附近的一块测量区域, 伺服进给机构带动外径传感器该区域内等间距采样即可得到一系列测量点的外径值。设各测量点到测量零点长度为 $L_s, L_1, L_2, \dots, L_n, L_E$ 的各个位置处的外径值分别为 $D_s, D_1, D_2, \dots, D_n, D_E$ 。给定一个阈值 ΔD , 那么有两种情况:

(1) 如果测量点处直径由小变大, 则当外径值的变化小于这个阈值时, $|D_k - D_{k-1}| < \Delta D$ ($1 \leq k \leq i, k \in Z$)。

系统判定已经最后一点的前一点处即为台阶位置, 即

$$L = L_s - (n - 1)\Delta L \quad (6)$$

(2) 如果测量点处直径由大变小, 则当外径值的变化大于这个阈值时, 即 $|D_k - D_{k-1}| > \Delta D$ ($1 \leq k \leq i, k \in Z$)。

系统判定已经最后一点处即为台阶位置, 即

$$L = L_s - (n - 1)\Delta L \quad (7)$$

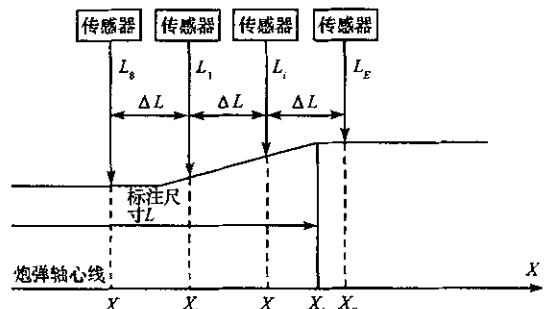


图4 轴向尺寸测量原理图

Fig.4 Measurement principle of the axis directional dimensions

逐点扫描法的步距选取必须适中,应该在不影响测量精度的前提下,尽量提高测量效率。本项目中根据不同的公差带大小选取不同的步距(约取公差的 $1/10$ 左右),最大限度地满足了精度与效率两方面的要求。

3 计算机测控系统

图5为计算机测控系统框图。计算机操作系统为Windows 98,控制语言为VC++。数据采集卡为PCL818L多功能模拟量输入/输出卡,12位可编程放大。最大采样频率为100kHz,具有3个定时器用于定时采样和步进电机驱动以实现准同步采样使弹体径向每 5° 分布一个数据采集区域并使分布基本均化。此外,由于测量系统存在测量的不稳定性和噪声干扰,本文用格拉布斯准则对测量的粗大误差进行判断并剔除。设对于每个采样区域系统高速连续采样50个测量值,测量数据为 x_1, x_2, \dots, x_{50} 。计算机计算测量数据的残差为 $v_i = x_i - \bar{x}$ 。

$$\text{用贝塞尔公式求得均方根差为: } \sigma = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}$$

如果 $\frac{|v_i|}{\sigma} > 3\sigma$ 则该数据 x_i 应剔除。然后再对剩余数据进行排序并驱除序列中首尾各5个测量数据,最后将余下数据作平滑处理得到当前采样点的测量值范围。实验表明该方法可以有效地减低系统噪声对测量精度的影响,较真实地反映弹体几何尺寸。

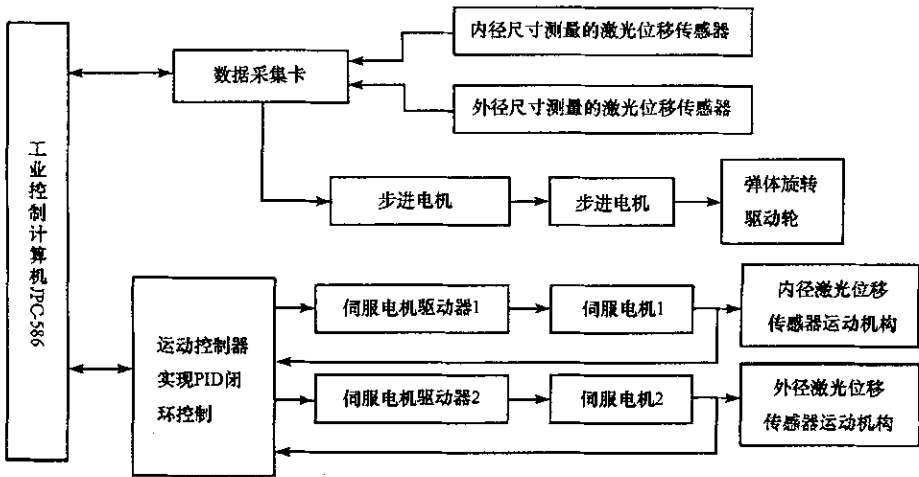


图5 计算测控系统框图

Fig.5 Block diagram of the automatic digital measurement system

4 结论

本文设计了一种用于弹药弹体尺寸测量的专用测量设备。该设备集成自动控制技术和数字化测量技术和光电检测技术解决工厂长期以来在弹体尺寸测量方面的自动化和定量化方面的问题。从实际应用和实验测试分析表明:该装置的内外径及同轴度尺寸的测量精度可达 $10\mu\text{s}$ 以内,外长尺寸的测量精度可达 $100\mu\text{s}$ 以内,完全满足弹体尺寸测量的要求。同时,测量效率较高,对于大口径的弹体尺寸测量,每发弹体平均检测时间为2min左右。

参考文献:

- [1] 熊有伦.精密测量的数学方法[M].北京:中国计量出版社,1982.
- [2] 温松明.互换性与测量技术基础[M].长沙:湖南大学出版社,1998.
- [3] 徐科军,等.自动检测和仪表中的共性技术[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [4] 阮德生.自动测试技术与计算机仪器系统设计[M].西安:西安电子科技大学出版社,1997.
- [5] 潘宁.几何量测量技术[M].北京:中国矿业大学出版社,1991.

