

· 光电子学工程与应用 ·

一种内径尺寸光电非接触测量方法

张连存^{1,2}, 张亚婷², 张国玉¹, 田庆元³, 宋金城⁴, 胡放荣⁵

(1. 长春理工大学光电工程学院 长春 130022; 2. 中国航天时代电子公司导航与控制设备设计制造中心 光纤惯导工程部 北京 海淀区 100854;

3. 集美大学轮机工程学院 福建 厦门 361021; 4. 中国航天科技集团102所 北京 丰台区 100076;

5. 桂林电子工业学院电子工程系 广西 桂林 541004)

【摘要】基于光三角测量原理,提出了一种内径尺寸的非接触测量方法。对单光三角测量原理进行了分析,给出了相应的内径尺寸计算公式,并建立了解决单光三角法光探头偏心的数学模型。应用单光三角测量原理,结合半导体激光准直技术、现代传感技术、伺服控制技术和计算机技术研制了一种非接触式内径尺寸测量系统。论述了系统的组成和总体结构,并通过实验对系统的测量精度进行了验证。结果表明:测量系统分辨率可达0.01 mm,测量极限误差不大于0.03 mm,该测量方法是可行的。

关键词 内径; 光三角法; 非接触测量; 光电测量系统
中图分类号 TN472 文献标识码 A

Research of Optoelectronic Non-Contact Inspecting Method for Dimension of Inner Diameter

ZHANG Lian-cun^{1,2}, ZHANG Ya-ting², ZHANG Guo-yu¹, TIAN Qing-yuan³, SONG Jin-cheng⁴, HU Fang-rong⁵

(1. School of Photo-Electronic Engineering Changchun University of Science and Technology Changchun 130022;

2. Inertial Navigation Center, China Aerospace Times Electronics Corporation Haidian Beijing 100854;

3. Marine Engineering Institute, Jimei University Xiamen Fujian 361021;

4. 102nd Institute of China Aerospace Science and Technology Corporation Fengtai Beijing 100076;

5. Department of Electronic Engineering, Guilin University of Electronic Technology Guilin Guangxi 541004)

Abstract Based on optical triangulation measuring principle, an inner diameter non-contact measuring method is presented in this paper. First, the principle of optical single-triangulation which is used for non-contact measurement of inner diameter is analyzed and described. The corresponding formula for calculating the dimension of inner diameter is presented. The mathematics model for solving eccentricity of optical head which is adopted in the optical single-triangulation method is founded. The paper adopts optical single-triangulation measuring principle to design a system of inner diameter non-contact measurement with the technique of laser collimation, modern sensor, servocontrol, computer, etc. In this paper, the constitution and overall structure of the system are described, and also, the accuracy of system is verified by experiments. The measuring system resolving power can reach 0.01 mm, the limited measuring error not more than 0.03 mm. It indicates that the measuring method is applicable.

Key words inner diameter; optical triangulation; non-contact measurement; optoelectronic measuring system

对内径尺寸的测量,国内目前测量的方法多以接触式测量为主。但接触式测量由于测量工具磨损、人为因素等原因造成测量误差较大,不能满足快速、精确的内径尺寸检测要求。本文采用光三角测量原理^[1-6],结合半导体激光准直技术、现代传感技术、伺服控制技术和计算机技术,研制了一种非接触式内径尺寸光电测量系统,实现了内径尺寸的无损、高精度测量。

1 内径测量原理及理论基础

应用光探针扫描被测件内径是单光三角测量原理实现非接触测量的基础^[1-6]。单光三角方案测量原理框

收稿日期:2004-06-03

基金项目:中国兵器工业集团技术改造项目(F102-030047)

作者简介:张连存(1977-),男,硕士,主要从事光电和激光检测技术及光纤陀螺结构设计方面的研究。

图如图1所示。图中,1为半导体激光器;2为发射光学系统;3为光束转向系统;4为反射分光棱镜;5为接收成像光学系统;6为光电位置传感器;7为信号处理系统;8为稳功率激光电源。

系统测量的位置尺寸^[1-4]

$$H = \frac{sL \sin \phi}{L' \sin \alpha + s \sin(\alpha + \phi)} \quad (1)$$

式中 α 为接收成像光学系统5光轴和理论基准面的法线夹角; ϕ 为接收成像光学系统5光轴与光电位置传感器6的夹角; L 和 L' 分别为接收成像光学系统5的物距和像距; s 为被测点 o 在光电位置传感器6上成像的像点位置。设单光三角光探头扫描测量系统的位置系统常数为 A ^[1-4], 则被测表面与光探头回转中心的长度

$$\rho = A + H \quad (2)$$

测量内径时,光探头应旋转一周,每隔一定的角度 $\theta_i (i=1,2,3,\dots)$ 测量出一个 ρ_i 值,由这组数据可以得到内径最大、最小和平均值。

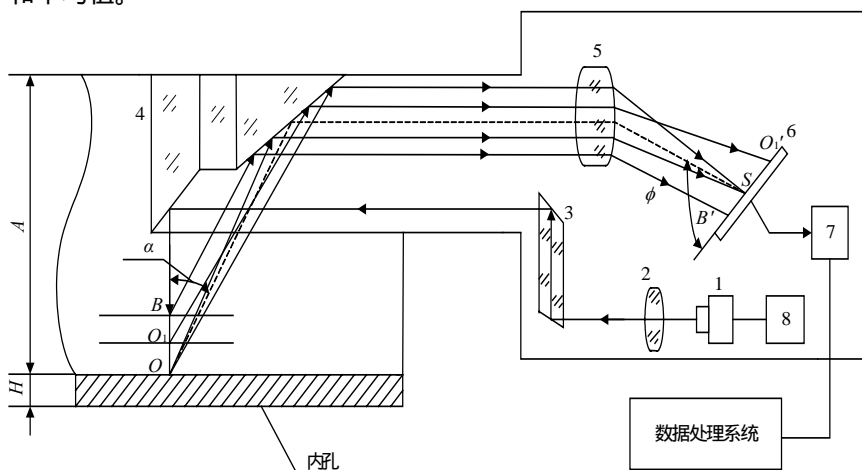


图1 激光单光三角内径测量原理

实际测量中,光探针回转中心与被测内孔实际中心不可能重合,为了消除光探针的几何中心位置偏离内孔中心对测量结果带来的误差,可以在同一截面内使光探针回转360°,等间隔测量多点,通过建立数学模型加以消除。为此以光探针回转中心为原点,建立如图2所示的测量数学模型。

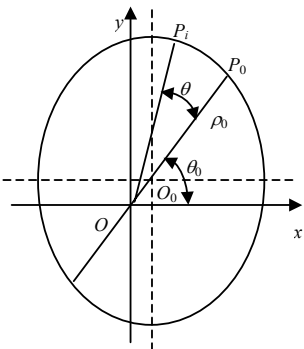


图2 测量数学模型分析

角度的测量采用绝对光电编码器,并取编码器的绝对零位对准所建坐标系 x 轴的正向,起始角度 θ_0 可由光电编码器测出,而此时 ρ_0 由光探针测出。测量点 P_0 的坐标为:

$$x_0 = \rho_0 \cos \theta_0, \quad y_0 = \rho_0 \sin \theta_0 \quad (3)$$

然后,光探针逆时针旋转一周,并等间隔 θ 角测量 N 个点。设在内孔 P_i 处测量出一个 $\rho_i (i=1,2,\dots,N)$, 则该点坐标为:

$$x_i = \rho_i \cos(i\theta + \theta_0), \quad y_i = \rho_i \sin(i\theta + \theta_0) \quad (4)$$

那么,该截面对应的内孔实际中心的坐标 $O_0(x'_0, y'_0)$ 为:

$$x'_0 = \sum_{i=0}^N \rho_i \cos(i\theta + \theta_0), \quad y'_0 = \sum_{i=0}^N \rho_i \sin(i\theta + \theta_0) \quad (5)$$

这样中心点 O_0 到 P_i 点的距离就是内孔该测量点对应中心的半径 r_i , 则:

$$r_i = \sqrt{(x_i - x'_0)^2 + (y_i - y'_0)^2} \quad (6)$$

由这组 r_i 值可得到被测截面半径的平均值 \bar{r} 、最大值 r_{\max} 和最小值 r_{\min} :

$$\bar{r} = \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N r_i, \quad r_{\max} = \max\{r_i\}, \quad r_{\min} = \min\{r_i\} \quad (7)$$

这样就可得到被测内孔截面内径

$$D = 2\bar{r} \quad (8)$$

在进给伺服系统的带动下,用同样的方法可测量其他截面的直径。

2 测量系统的组成及总体结构

采用单光三角回转法设计的内径尺寸非接触测量系统如图3所示。这套测量系统主要由光探针扫描内径测量系统、直线与回转伺服控制系统、主体精密机械系统、计算机控制与数据处理系统等组成。

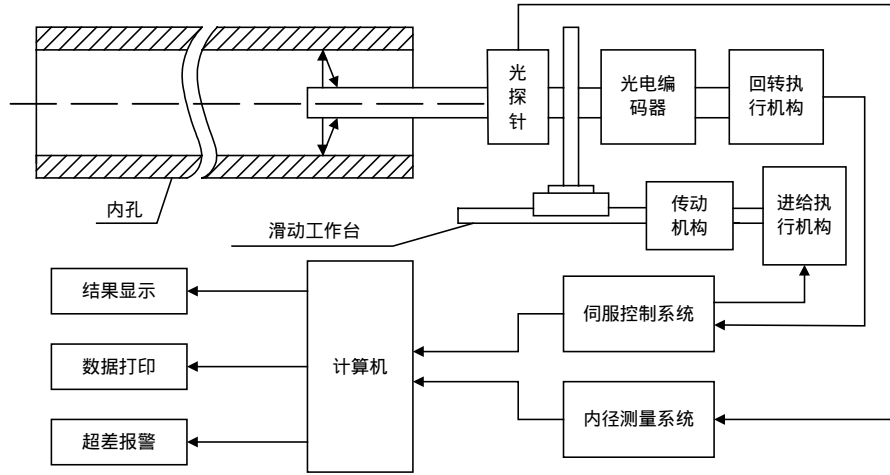


图3 内径尺寸非接触测量系统框图

光探针扫描测量系统在伺服系统配合下进行回转和直线进给运动来完成对内径尺寸的测量，计算机系统通过对各系统和测量过程的控制，对测量数据进行采集与数据处理，并且与外部设备进行通讯和数据交换，这样就可以得到内孔各个截面的内径尺寸，并形成数据文件、存储、显示或打印输出。系统的软件结构框图如图4所示。

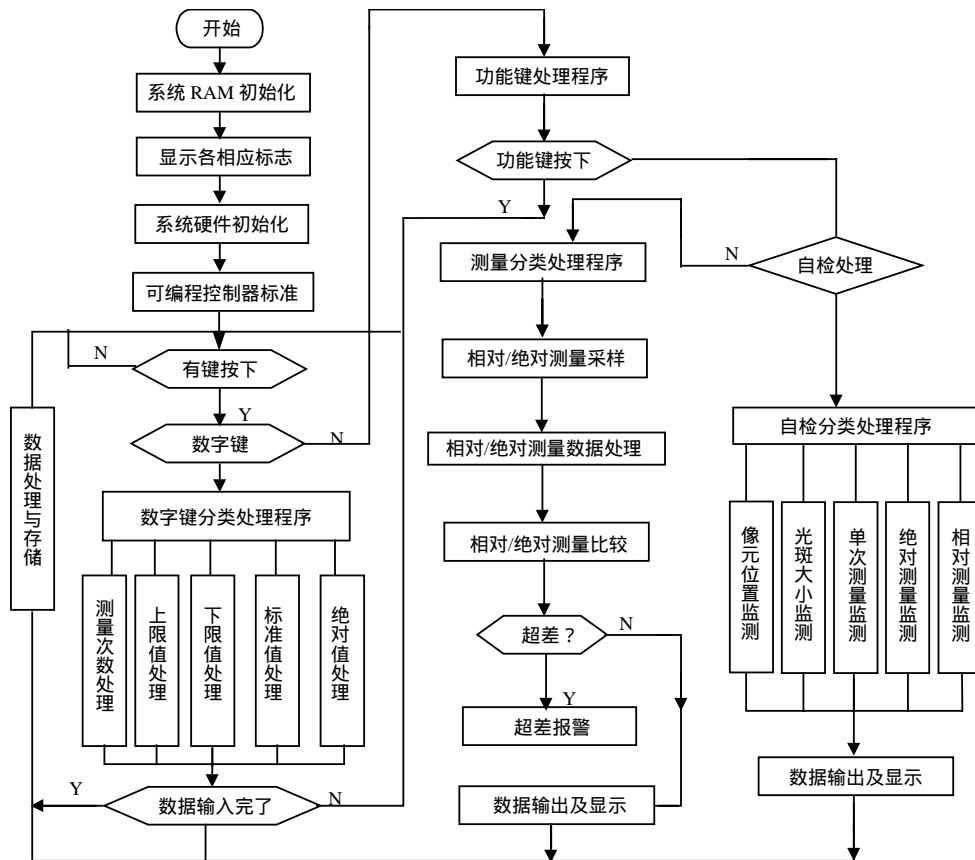


图4 测量系统软件框图

3 测量系统实验

该测量系统已对 $\varphi 25.01$ mm、 $\varphi 49.98$ mm的两个孔标准件进行了实测。测量中,测量系统分别对这两个标准件的某一截面的 x 、 y 方向($x \perp y$)各进行5次测量,测量系统示值分别为: D_{X_i} ($i=1 \sim 5$)、 D_{Y_j} ($j=1 \sim 5$),标准件 x 、 y 方向的标定值分别为 D_x 、 D_y 。设在 x 方向上,第 i 次测量误差为 δ_{D_i} ,测量误差的最大值为 $\delta_{D_i \max}$;在 y 方向上,第 j 次测量误差为 δ_{D_j} ,测量误差的最大值为 $\delta_{D_j \max}$,系统测量极限误差为 δ_D ,则有:

$$\delta_{D_i} = D_{X_i} - D_x, \quad \delta_{D_j} = D_{Y_j} - D_y \quad (9)$$

$$\delta_{D_i \max} = \max(\delta_{D_i}) - \min(\delta_{D_i}), \quad \delta_{D_j \max} = \max(\delta_{D_j}) - \min(\delta_{D_j}) \quad (10)$$

$$\delta_D = \max(\delta_{D_i \max}, \delta_{D_j \max}) \quad (11)$$

表1所示是内径测量系统分别对 $\varphi 25.01$ mm(记为标准件1)及 $\varphi 49.98$ mm(记为标准件2)两个孔标准件内径某截面实测数据及测量极限误差。

表1 $\varphi 25.01$ mm及 $\varphi 49.98$ mm孔标准件内径实测数据及测量极限误差

	D_{X_i} /mm	D_x /mm	δ_{D_i} /mm	$\delta_{D_i \max}$ /mm	D_{Y_j} /mm	D_y /mm	δ_{D_j} /mm	$\delta_{D_j \max}$ /mm
标准件1	24.99		-0.01		25.02		0.00	
	24.99		-0.01		25.01		-0.01	
	25.00	25.00	0.00	0.02	25.00	25.02	-0.02	0.03
	25.01		0.01		25.03		0.01	
	25.00		0.00		25.02		0.00	
标准件2	50.01		0.01		49.97		0.01	
	49.98		-0.02		49.98		0.02	
	49.99	50.00	-0.01	0.03	49.95	49.96	-0.01	0.03
	50.01		0.01		49.97		0.01	
	50.00		0.00		49.96		0.00	

实测的结果表明,内径测量系统在测量范围 $\varphi 24$ mm~ $\varphi 51$ mm,分辨率可达0.01 mm,测量标准偏差 $\sigma_{n-1} = 0.013$ mm,测量极限误差不大于0.03 mm。

4 结 论

本文对内径尺寸的测量方法和测量系统进行了论述,该测量系统具有测量精度高、测量速度快、计算机实时数据处理和控制等特点。实验结果表明,该测量方法是可行的。测量系统还可用于孔锥度、径向跳动等参数的测量,具备一定的通用性和功能扩展能力,具有应用和推广价值。

参 考 文 献

- [1] Kleuver W, Fub M, Justen D, et al. New triangulation sensor for inside inspection of small drillings and hollows with integrated image processing[C]// SPIE, 1997, 3100: 349-356.
- [2] Kleuver W, Fub M, Justen D, et al. Triangulation and surface inspection in the automatic inspection of hollows of drillings Machine Vision Application industrial inspection[C]// SPIE, 1996: 165-168.
- [3] 周会成, 陈吉红, 周 济. 光学三角法全视场自扫描测头的设计和研究[J]. 仪器仪表学报, 2000, 21(5): 493-496.
- [4] Zeng Lijiang, Matsumoto H, Keiji K, et al. Two-directional scanning method for reducing the shadow effect in laser triangulation[J]. Measurement Science & Technology, 1997, 8: 262-266.
- [5] Ji Z, Leu M C. Design of optical trigulation devices[J]. Optics&Laser Technology, 1989, 21(5): 335-338.
- [6] Xu Xiping, Zhang Guoyu, An Zhiyong, et al. Method of the 3-D curved surface profile measuring and figure processing[C]// SPIE, 2002, 4927: 708-713.

编 辑 漆 蓉