

本文引用格式: 么波,刘玉梅,梁志宏.基于三角法的小口径大内膛回转体工件内径测量装置设计[J].自动化与信息工程,2022,43(4):22-25.

YAO Bo, LIU Yumei, LIANG Zhihong. Design of measuring device for inner diameter of small bore large chamber rotary workpiece based on triangulation[J]. Automation & Information Engineering, 2022,43(4):22-25.

基于三角法的小口径大内膛回转体工件内径测量装置设计

么波¹ 刘玉梅¹ 梁志宏²

(1.沈阳理工大学机械工程学院, 辽宁 沈阳 110159

2.沈阳理工大学装备工程学院, 辽宁 沈阳 110159)

摘要: 小口径大内膛回转体工件内径测量需要专门的装置,通过对几何光学三角法的分析研究,设计一种基于三角法的小口径大内膛回转体工件内径测量装置。该装置以反射机构为核心,运用几何光学三角法和几何光学三点测距原理对待测回转体工件内径进行测量及计算。该装置对内径为45~60 mm的小口径大内膛回转体工件进行测量,并与高精度三坐标测量机测量结果对比,该装置的测量精度小于0.03 mm,满足中小企业对小口径大内膛回转体工件内径测量的快速化、自动化要求。

关键词: 几何光学三角法;小口径大内膛回转体工件;几何光学三点测距原理;内径;测量装置

中图分类号: TH122

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2022)04-0005-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2022.04.005

Design of Measuring Device for Inner Diameter of Small Bore Large Chamber Rotary Workpiece Based on Triangulation

YAO Bo¹ LIU Yumei¹ LIANG Zhihong²

(1.School of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China

2.School of Equipment Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: A special device is needed for measuring the inner diameter of small bore large chamber rotary workpiece. Based on the analysis and research of geometric optical triangulation, a device for measuring the inner diameter of small bore large chamber rotary workpiece is designed. The device takes the reflection mechanism as the core, and uses the geometrical optical triangulation method and the geometrical optical three-point distance measuring principle to measure and calculate the inner diameter of the rotary workpiece to be measured. The device measures small bore large chamber rotary workpiece with an inner diameter of 45-60 mm, and compared with the measurement results of high-precision CMM, the measurement accuracy of the device is less than 0.03 mm, which meets the rapid and automatic requirements of small bore large chamber rotary workpiece for small and medium-sized enterprises.

Keywords: geometric optical triangulation; small bore large chamber rotary workpiece; geometrical optical three-point distance measuring principle; inner diameter; measuring device

0 引言

小口径大内膛回转体工件广泛应用于各行业,其内径加工精度对提高产品质量具有重要意义。现有的小口径大内膛回转体工件测量方法有接触式和非接触式。其中,接触式测量一般采用通止规、内径千分

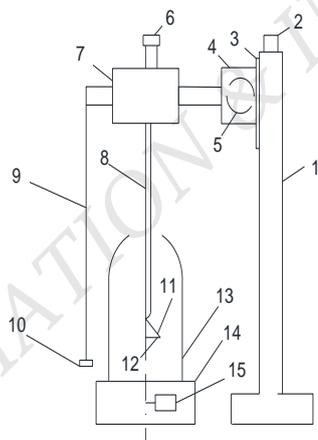
尺、三坐标测量机等设备。这些设备均存在测量时间长、对测量人员要求高等问题,尤其是三坐标测量机,虽然其测量精度高,但因测量效率低且机器昂贵,无法适用于企业的流水线测量流程。非接触式测量常利用数显光栅尺传感器^[1-3]或光学方法,如 CCD 检测法、

激光光学三角法、激光干涉法等,这种测量方法因精度高、适应性强、自动化程度高等特点而成为未来的发展方向^[4]。李博^[5]利用 CCD 摄像机对金属管内径测量进行研究,通过图像处理技术实现金属管内径的精密测量。YANG 等^[6]利用激光三角法测量大口径回转体工件内径,为标定激光束方向,提出一种标定方法和数学模型,使测量误差从 $\pm 25 \mu\text{m}$ 减小到 $\pm 15 \mu\text{m}$,相对误差 $\leq 0.011\%$ 。徐熙平等^[7]设计一种非接触式测量内径的光电测量系统,测量误差 $\leq 0.03 \text{ mm}$,重复性测量精度优于 $\pm 0.03 \text{ mm}$ 。

本文针对小口径大内膛回转体工件口部小,检测传感器元件无法进入内膛实现自动测量;测量内径定心难;流水线内径测量快速的需求等问题,基于几何光学三角法^[8-9]设计一款小口径大内膛回转体工件内径测量装置。

1 测量装置结构

基于几何光学三角法的小口径大内膛回转体工件内径测量装置包括深入到回转体内膛的光学反射机构和实现测量运动的机械机构,结构示意图如图 1 所示,三维图如图 2 所示。



1—固定支架; 2—垂直驱动器; 3—升降支架; 4—水平位移支架;
5—水平驱动器; 6—第一激光测距传感; 7—光学反射机构支架; 8—第一测量杆; 9—第二测量杆; 10—第二激光测距传感器; 11—反射镜;
12—托架; 13—回转体工件; 14—旋转工作台; 15—旋转驱动器。

图 1 测量装置结构示意图

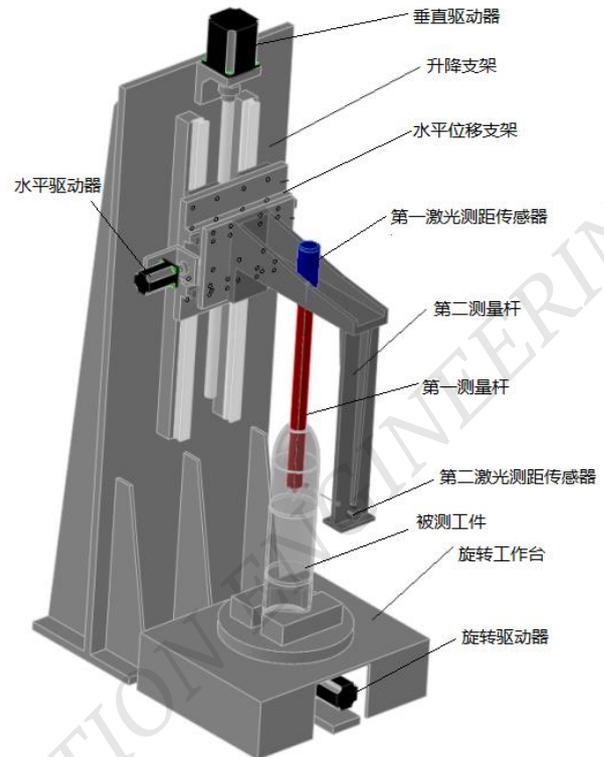


图 2 测量装置三维图

测量装置的固定支架上设置有滑动轨道,通过升降支架内置的滚珠丝杠控制水平位移支架沿轨道上下移动,使测量杆上下伸缩。

第一测量杆固定连接第一激光测距传感器,第一激光测距传感器位于光学反射机构支架上方。

第二测量杆与第一测量杆平行固定在同一个支架上,第二激光测距传感器垂直安装在第二测量杆末端。

小口径大内膛回转体工件内径测量装置要求如下:

- 1) 第二激光测距传感器测量与小口径大内膛回转体工件口部距离 70 mm 后,第一测量杆与该工件口部精确对位,可保证第一测量杆顺利伸入该工件内;
- 2) 第一测量杆可伸入小口径大内膛回转体工件不同截面内进行测量;
- 3) 测量小口径大内膛回转体工件每个截面时,第一测量杆与该工件每旋转 120° 测量一个值。

测量前,第二激光测距传感器先对小口径大内膛

回转体工件口部进行粗定位；再根据该工件与第二激光测距传感器的长度进行精确定位，完成第一激光测距传感器与小口径大内膛回转体工件口部的正对准；光学反射机构支架里的步进电机控制反射机构向下运动，伸入到小口径大内膛回转体工件内，开始测量。

测量时，第一激光测距传感器发射激光光束，待感光元件接收反馈后，测得一个点；旋转驱动器驱动旋转工作台带动小口径大内膛回转体工件旋转 120° ，再测得一个点；旋转工作台再旋转 120° ，测得最后一个点后，根据几何光学三角法即可计算出所测小口径大内膛回转体工件截面的内径。

2 设计关键技术

光学反射机构由第一测量杆、托架和反射镜组成，如图 3 所示。

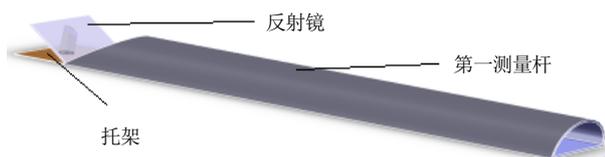


图 3 光学反射机构结构图

第一测量杆一端连接托架，托架上安装反射镜，反射镜与第一测量杆成 45° 固定角度。第一激光测距传感器发射的光线，经第一测量杆内管道照射到反射镜上；因反射镜与第一测量杆内管道成 45° ，光线由反射镜反射到待测回转体的测量点；再经过漫反射，光线沿原路径反射，并由第一激光测距传感器的感光元件接收；利用几何光学三角法将接收的光束信号通过三角函数计算阵列上的光点位置，从而得到反射镜上反射点与被测件测量点之间的距离。光线反射示意图如图 4 所示。

第一激光测距传感器每隔 120° 测得小口径大内膛回转体工件截面内反射镜上的反射点与被测件测量点之间的距离，完成 3 段数据测量后，通过几何光学三点测距原理可计算出被测小口径大内膛回转体工件截面内径。

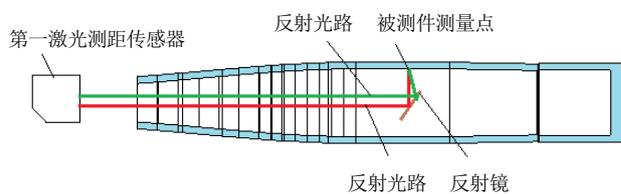


图 4 光线反射示意图

3 几何光学三点测距原理

几何光学三点测距原理是通过测量 3 个点的位置，并运用几何光学三角法得到小口径大内膛回转体工件的内径，且可消除定心带来的测量误差。测量原理如图 5 所示。

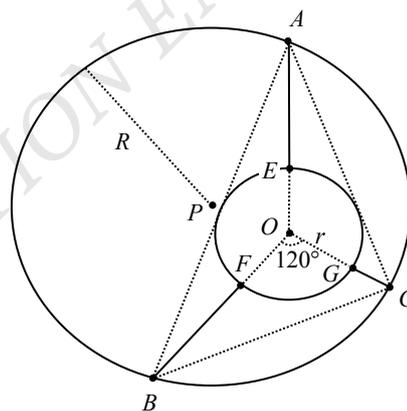


图 5 几何光学三点法测量原理图

$\triangle ABC$ 外接圆的半径是被测小口径大内膛回转体工件的内径， $\triangle ABC$ 里面的圆是第一测量杆的运动路线。 E 、 F 、 G 为小口径大内膛回转体工件内径的测量点，将 $\triangle ABC$ 里面的圆平均分为 3 部分，即 $\angle AOB = \angle BOC = \angle AOC = 120^\circ$ ，每 120° 第一激光测距传感器测量一次。

第一测量杆进入被测小口径大内膛回转体工件的内膛，被测工件旋转一周，第一激光测距传感器可测得线段 AE 、 BF 、 CG 长度，并形成一测量圆。因线段 EO 、 FO 、 GO 是固定长度，即为第一测量杆与反射镜上的反射点之间的垂直距离，故可求得线段 AO 、 BO 、 CO 长度。在 $\triangle AOB$ 中， AO 边和 BO 边夹角为 120° ，根据余弦定理可求出 AB 长度为

$$AB^2 = AO^2 + BO^2 - 2 \times AO \times BO \times \cos \angle AOB$$

同理可得 BC 、 AC 长度。在 $\triangle ABC$ 中, $\angle ACB$ 可通过余弦定理得到:

$$\cos \angle ACB = \frac{AC^2 + BC^2 - AB^2}{2 \times AC \times BC}$$

并根据 $\sin^2 \angle ACB + \cos^2 \angle ACB = 1$, 求得 $\sin \angle ACB$ 的值。

最后根据正弦定理可计算被测回转体工件内径为

$$R = \frac{AB}{2 \sin \angle ACB}$$

4 实验验证

利用该装置对内径为 45~60 mm 的小口径大内膛回转体工件内径进行测量, 得到 10 组测量数据, 与高精度三坐标测量机测得的数值进行对比, 结果如表 1 所示。

本文测量装置	三坐标测量机	差值
47.650	47.621	0.029
48.365	48.351	0.014
48.499	48.493	0.006
49.218	49.207	0.011
51.884	51.861	0.023
53.689	53.668	0.021
55.788	55.791	0.003
57.891	57.898	0.007
57.876	57.891	0.015
58.962	58.941	0.021

作者简介:

么波, 男, 1997 年生, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 机械系统检测与精密仪器。E-mail: 2206533326@qq.com

梁志宏 (通信作者), 男, 1967 年生, 硕士研究生, 副教授, 主要研究方向: 机、电、液及计算机控制系统集成生产线、机械自动化设备、液压系统、自动检测系统等设计。E-mail: liangzhihong1967@163.com

由表 1 结果可知, 本文装置测量精度 ≤ 0.03 mm, 满足设计要求。

5 结语

本文采用非定心的几何光学三角法对小口径大内膛回转体工件内径进行测量, 解决测量内径定心难的问题, 实现小口径大内膛回转体工件内径的快速、自动化测量。

参考文献

- [1] 苏丽梅, 马宏, 白素平. 管道内径光电检测技术研究[J]. 长春理工大学学报, 2005(1): 30-31, 19.
- [2] 高金锴. 高精度炮管静态参数自动测量系统的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 4-10.
- [3] 马鹤立, 陶天炯, 刘盛刚, 等. 基于频域干涉的小口径长身管内径测量系统[J]. 兵工学报, 2019, 40(5): 1077-1082.
- [4] 崔永俊, 张强. 基于激光三角法的火炮身管内径测量系统设计[J]. 电子测量技术, 2021, 44(9): 26-30.
- [5] 李博. 基于环形光切法的金属管内径测量系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2014: 8-18.
- [6] YANG T, WANG Z, WU Z, et al. Calibration of laser beam direction for inner diameter measuring device[J]. Sensors, 2017, 17(2): 294.
- [7] 徐熙平, 张连存, 张国玉, 等. 基于光学三角原理的内径非接触测量方法[J]. 光学技术, 2005, 31(4): 551-553, 556.
- [8] 张强. 基于激光三角法的火炮身管内径自动测量系统设计[D]. 太原: 中北大学, 2021: 8-13.
- [9] 贲春雨, 郑宇, 郭蕴纹, 等. 大尺寸直径非接触光电检测系统研究[J]. 仪器仪表学报, 2006(1): 72-74.
- [10] 沈阳理工大学. 一种高精度非接触工件内径测量装置和方法: CN103968768B[P]. 2016-07-06.