

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.05.021

圆柱工件同轴度参数测量系统

万俊珺, 苏新彦, 杨光, 郭亚丽
(中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要: 针对圆柱工件在实际测量过程中测量速度慢、精度低的问题, 介绍一种用几何位移光学精密测量快速完成圆柱工件同轴度参数测量的技术。简述圆柱(锥)体工件轴度参数测量系统的工作原理, 基于最小二乘原理, 阐述同轴度误差计算方法和同轴度测量系统误差的修正, 以及同轴测量系统软件结构及模块功能, 并通过实例进行验证。结果表明, 该算法简洁, 易于实现, 测量系统具有非接触和测量速度快、精度高等特点。

关键词: 同轴度; 激光位移传感器; 非接触测量
中图分类号: TP274 **文献标识码:** A

Cylinder Workpiece Coaxiality Parameter Measurement System

WAN Jun-jun, SU Xin-yan, YANG Guang, GUO Ya-li
(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aiming at the low accuracy and slow speed in actual measurement of column, put forward a method which uses geometrical displacement optics precision to measure coaxiality of column in a quick way. The principle of cylinder (cone) coaxiality measurement system is introduced. The principle of least square is used in it. Introduces coaxiality error computational method, error correction, measurement system software structure and module function. The system is validated by experiments. The results indicated that algorithm is concise and easy to realize. The system has the merits of high accuracy, fast speed, non-contact automatic measurement.

Keywords: Coaxiality; Laser displacement sensor; Non-contact measurement

0 引言

圆柱体工件尤其是特长圆柱体工件在使用一段时间后, 由于温度与本身的重力作用, 会发生弯曲与变形, 必须对其进行检测, 及时校正, 否则, 将对其使用精度和安全性都造成极大的影响^[1]。目前, 工厂实际生产过程的测量工具是量规等接触测量工具, 它只能对圆柱体两端面进行测量, 测量速度慢、精度低、耗费人力物力, 对产品容易造成损伤。准确评定同轴度误差不仅为圆柱体零件的检测提供依据, 而且为提高零件的加工和装配精度提供了保障^[2]。故提出一种利用激光位移传感器实现同轴度的光电非接触测量方法。

1 系统工作原理

圆柱工作同轴度参数测量系统采用螺旋线扫描投影与截面测量相融合的测量方法, 利用激光反射与接收信息的相关性, 精确计算出激光位移传感器与测量物体之间的距离。图 1 为圆柱工件同轴度参数检测系统结构的示意图。检测时, 设定合理的转速, 激光位移传感器与被测工件分别做上升和旋转运动, 测量轨迹呈螺旋状, 可得到被测物体每个横

截面上任意一点距离传感器的位置信号。将每个横截面上各点测量的数值向垂直于测量基准轴心线的基准面投影(以一个螺距为单位), 把采样数据转换为与平面相对应的坐标, 通过数据处理求取各投影截面的中心, 从而获得测量参数。

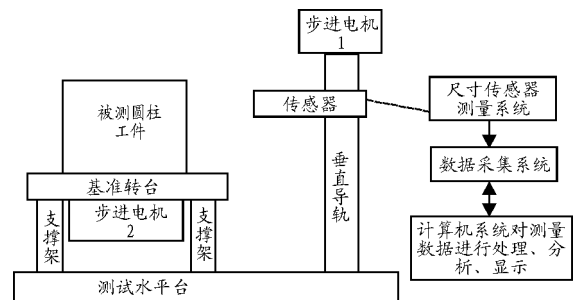


图 1 圆柱工件同轴度参数测量系统

2 同轴度计算方法

同轴度是指同一零件上圆柱面、圆锥面等的被测轴线对基准轴线不共轴的程度。同轴度误差由以基准轴线为轴线包容被测实际轴线的最小圆柱面中的区域来评定。如图 2, 与基准轴线同轴的包容圆柱面至少应有一点与被测实际轴线接触, 同轴度误差值为该包容圆柱面的直径 Φ , 它等于被测实际轴

收稿日期: 2009-12-28; 修回日期: 2010-03-03

基金资助: 受国家自然科学基金(60372073, 高分辨率工业 CT 算法研究)资助。

作者简介: 万俊珺(1984-), 女, 江西人, 硕士研究生, 从事测试技术、信号与信息处理研究。

线上的接触点至基准轴线距离的 2 倍^[3]。具体计算方法是: 求出圆柱体若干截面中心坐标 (x_{oi}, y_{oi}, z_{oi}) (其中 $i=1, 2, \dots, n$ 为截面数) 对其进行空间直线拟合, 求出中心点距离拟合直线的最大距离即为同轴度误差。

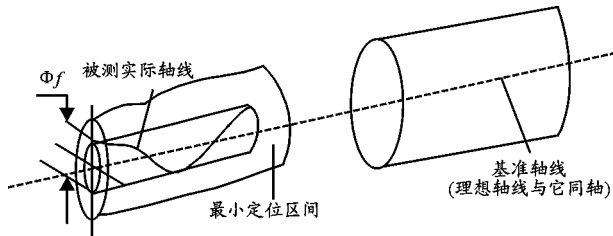


图2 同轴度误差示意图

2.1 各截面中心坐标计算

根据图 3 可以得到每个采样点的空间坐标值。

$$\begin{cases} x_i = (D - d_i) \cdot \cos(\theta_i) \\ y_i = (D - d_i) \cdot \sin(\theta_i) \\ z_i = z_1 + v \cdot t_i \end{cases} \quad (1)$$

其中, D 为传感器光敏面至基准转台轴线的距离值; d_i 为传感器光敏面至圆柱工件表面的距离值; z_1 为采样点的初始空间坐标值; v 为轴向步进电机的转速; θ_i 为各采样点处的角度值 ($\theta_i = 2\pi i/n$, $i=1, 2, \dots, n$ 为一周的采样点数)。

当电机每转一周, 选取传感器上升的一个螺距的中心截面为投影面, 利用变换的坐标值和椭圆拟合的方法, 求取椭圆中心。平面任意位置椭圆方程可简化为: $x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E = 0$, 令 $G(x_i, y_i) = \sum (x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E)^2$, 利用最小二乘原理分别对 A、B、C、D、E 求导, 并令其为零,

$$h_j = \frac{\sqrt{\begin{bmatrix} y_j - y_0 & z_j \\ v & 1 \end{bmatrix}^2 + \begin{bmatrix} z_j & x_j - x_0 \\ 1 & u \end{bmatrix}^2 + \begin{bmatrix} x_j - x_0 & y_j - y_0 \\ u & v \end{bmatrix}^2}}{\sqrt{u^2 + v^2 + 1}} \quad (4)$$

同轴度误差 Φ_f 为被测实际轴线上各点到基准轴线的距离 h_j 中最大值的 2 倍。因此, 最小二乘法评定同轴度误差 Φ_f 为:

$$\Phi_f = 2 \times \max \{h_j\} \quad (5)$$

2.3 系统误差的修正与校准

设被测圆柱工件没有形状和位置误差, 只是安

得到拟合椭圆方程各系数参数的最优解。最后, 由这些系数可求得平面拟合椭圆的中心坐标 (x_0, y_0) 。

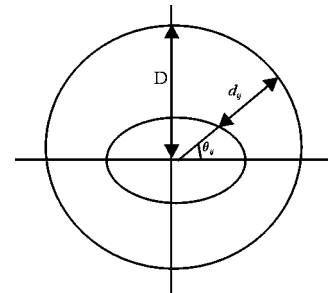


图3 坐标点求取的示意图

2.2 同轴度误差计算

假设各采样截面圆心坐标为 $O_j(x, y, z)$, 圆柱工件的最小二乘轴线 L 与 XOY 坐标平面的交点为 $L_0(x_0, y_0, 0)$, 方向向量为 $S(u, v, 1)$, 在离散采样的情况下, 圆柱工件的最小二乘轴线 L 的轴线方程可写成:

$$\begin{cases} x_j = x_0 + uz_j \\ y_j = y_0 + vz_j \end{cases}, j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

根据最小二乘原理并经正交化处理, 可得到四个待定参数:

$$\begin{aligned} x_0 &= \sum_{j=1}^m x_j / m, & y_0 &= \sum_{j=1}^m y_j / m, \\ u &= \frac{\sum_{j=1}^m x_j \cdot z_j}{\sum_{j=1}^m z_j^2}, & v &= \frac{\sum_{j=1}^m y_j \cdot z_j}{\sum_{j=1}^m z_j^2} \end{aligned} \quad (3)$$

各采样截面的最小二乘圆心 O_j 至最小二乘轴线 L 的距离为:

装时, 被测圆柱工件轴线相对测量基准转台轴线产生偏差而平移, 因而在各采样截面都产生相同的偏心^[4], 如图 4, 设偏心为 e , 初相角为 α , 极径 r_i 为:

$$r_i = O'N + NP = e \cos(\theta_i - \alpha) + [r_0^2 - e^2 \sin^2(\theta_i - \alpha)]^{1/2} \quad (6)$$

采样时, 半径增量为:

$$\Delta r_i = r_i - r_0 = e \cos(\theta_i - \alpha) + [r_0^2 - e^2 \sin^2(\theta_i - \alpha)]^{1/2} - r_0 \quad (7)$$

假设被测圆柱工件的半径 $r_0 = 50 \text{ mm}$ ，偏心 $e = 8 \text{ }\mu\text{m}$ ，初相角 $\alpha = 4^\circ$ ，根据式 (6) 得出的采样值可得到最小二乘法同轴度误差 $\Phi_f = 2.15 \times 10^{-13} \text{ }\mu\text{m}$ ，因此，只要满足安装条件 $e \leq (2 \times r_0 \times \Phi_{f允})^{1/2}$ ，安装偏心对同轴度误差计算结果没有影响。

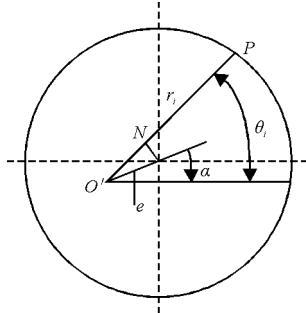


图 4 圆柱工件安装偏心的影响

3 测量系统的软件设计

测量系统的软件部分采用 visual c++6.0 实现。测量系统软件结构的主要功能有：系统标定、参数测试、测量结果显示与打印、数据查询 4 个模块^[5]。其中，系统标定模块是在参数测量前对测量系统进行标定，确定系统转台与基准面的水平安装是否达到要求，以及激光位移传感器故障检测；参数测量模块用于测量圆柱工件同轴度参数；测量结果显示与打印模块用于显示和打印测量结果；数据查询模块用于测量数据的查询和统计等。

4 同轴度参数测量实例

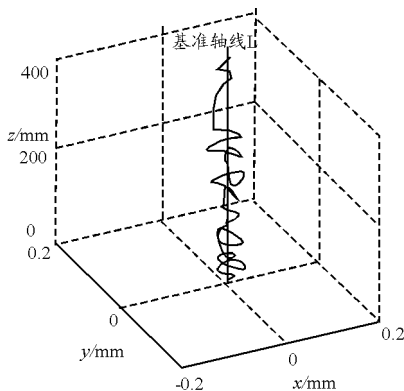


图 5 新坐标下的实际轴与基准轴 L

对某圆柱工件(半径为 50 mm, 高度为 300 mm, 其同轴度公差要求为 12 μm)采用本测量系统进行测量。测量方法如下：激光位移传感器距离基准坐标的距离为 100 mm，采集 1 521 点(其中一圈的采集点数为 76 个)，螺距为 15 mm，测量 20 圈。按

照式 (1)~式 (4) 可得到各采样截面的最小二乘圆心 O_j 至最小二乘轴线 L 的距离 h_j 。如图 5，根据式 (5)，可得到同轴度误差 $\Phi_f = 9.5 \text{ }\mu\text{m} < 12 \text{ }\mu\text{m}$ ，则该圆柱工件同轴度符合要求。

5 结束语

通过实验证明：该测量系统可实现非接触自动测量，算法简洁，易于实现，具有测量速度快、精度高等特点。

参考文献：

- [1] 唐力, 张琳娜. 基于新一代 GPS 的同轴度误差评定关键技术研究[J]. 工艺与检测, 2008, 17(11): 102-105.
- [2] 罗志超. 弹体几何尺寸数字化测量系统的研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学研究生院, 2005: 52-70.
- [3] 王振海, 王宇坤. 不透明圆柱体几何尺寸在线实时检测系统[J]. 激光与红外, 1998, 28(2): 93-95.
- [4] 王天煜, 马和, 张树森. 同轴度误差的非接触精密测量方法[J]. 测试技术学报, 2003, 17(2): 135-137.
- [5] 韦文斌, 潘盛辉, 李忠富. 某型导弹同轴度参数检测系统的设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(5): 128-130.

(上接第 63 页)

参考文献：

- [1] Defense Information Systems Agency. Net-Centric Enterprise Services Overview[M]. Washington: Department of Defense, 2004.
- [2] 王志强. 军事网格服务的组织与定位方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学硕士学位论文, 2008.
- [3] Zeng LZ, Benatallah B, Anne HH et al. QoS-Aware middleware for Web services composition[J]. IEEE Trans. on Software Engineering, 2004, 30(5): 311-327.
- [4] 王珩, 丁峰, 徐慧. SOA/Web 服务构建军事栅格应用的可行性[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(7): 69-72.
- [5] 郭得科, 任彦, 陈洪辉, 等. 一种 QoS 有保障的 Web 服务分布式发现模型[J]. 软件学报, 2006, 17(11): 2324-2334.
- [6] 胡旭东, 曾国荪, 陈波, 等. 一种基于非功能属性决策的可信 Web 服务发现模型[J]. 计算机科学, 2009, 36(2): 95-98.
- [7] Yu T, Lin K J. Service selection algorithms for Web services with end-to-end QoS constraints[C]//The IEEE Int'l Conf. on E2Commerce Technology. New York: IEEE Press, 2004: 129-136.
- [8] 刘书雷, 刘云翔, 张帆, 等. 一种服务聚合中 QoS 全局最优服务动态选择算法[J]. 软件学报, 2007, 18(3): 646-656.