

非接触测量中激光扫描探头研究

张小红

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文基于光学三角测量原理设计了一种高精度、多功能的非接触激光扫描探头装置, 对该装置的性能特点进行了系统地研究, 并用所设计的探头装置对几种不同的漫射面进行了实际测量, 给出了实验结果, 实验表明该装置精度优于 $2\mu\text{m}$ 。

关键词: 精密测量; 非接触测量

1 引言

随着科学技术的高速发展, 传统的接触测量技术以一些软质材料、不允许接触或根本不能接触的产品应用的局限性显得越来越明显, 因此发展非接触测量具有十分重要的意义, 它是对接触性测量的必要的、有利的补充, 能完成接触性测量所不能检测的领域, 从另一个角度上来说, 对产品也起到保护和安全的作用。本文基于光学三角测量原理设计了一种高精度、多功能的非接触激光扫描探头装置, 对该装置的性能特点进行了系统地研究。

2 光学三角测量原理

图1为光学三角测量装置:

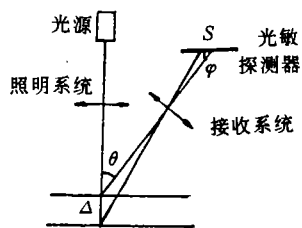


图1 三角测量原理

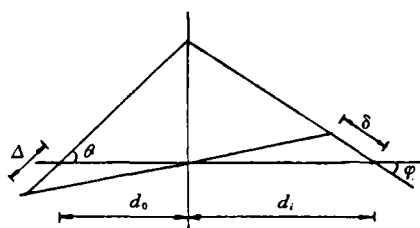


图2 Δ - δ 关系理论推导

从光源发出的光束经照明光学系统聚焦到被测表面, 在被测表面上形成光强均匀的光点。其中一部分被表面散射的光, 经过接收透镜成像, 由放置在透镜焦面上的光电位置灵敏探测器

接收并进行检测。当被测表面接近或离开探头时,成象光点在检测器上的横向位置将随之变化,设两者的位移量分别为 Δ 和 δ ,参照图 2:

根据几何关系:

$$\frac{\Delta \sin \theta}{d_o + \Delta \cos \theta} = \frac{\delta \sin \Phi}{d_i - \delta \cos \Phi}$$

整理得:

$$\delta = \frac{d_i \sin \theta \times \Delta}{\Delta \sin(\theta + \Phi) + d_o \sin \Phi} \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{d_o \sin \Phi \times \delta}{d_i \sin \theta - \delta \sin(\theta + \Phi)} \quad (2)$$

由于上述的推导没有任何前提假设和近似,因此上式的关系满足于任何表面位移,并且能够精确地测定位移量。

值得说明的是,当 Δ 很小时,

$|\Delta \times \sin(\theta + \Phi)| \ll |d_o \times \sin \Phi|$, 等式(1)可以近似写成:

$$\delta = \frac{d_i \sin \theta}{d_o \sin \Phi} \Delta = T \times \frac{\sin \theta}{\sin \Phi} \Delta$$

由此可见:在 T 、 θ 、 Φ 为定值情况下, Δ — δ 与成正比关系。

3 激光扫描探头的总体设计

我们针对八五攻关课题“高精度非接触激光扫描探头及数据处理系统”的要求,主要设计出一种同精度充的测量探头。在光学系统中,对照明系统与接收系统的夹角 θ 、照明系统、接收系统的参数选择都作了精心的安排和分析;从技术上要实现这种高精度的位移测量系统,必须有一个发散度相当小的光源,还需要一个精度较高的位敏传感器(PSD),将象的位移转换成电信号。

图 3 为总体设计结果:

光源 LD

功率 3mW

光斑直径 24—26 μ m

工作距离 20mm

测量范围 ± 2 mm

照明系统与测量系统

光轴夹角 θ 30°

接收系统共轭距 D 80mm

接收系统倍率 T 1

位敏元件 PSD

尺寸 1 \times 6mm²

PSD 与光轴夹角 Φ 30°

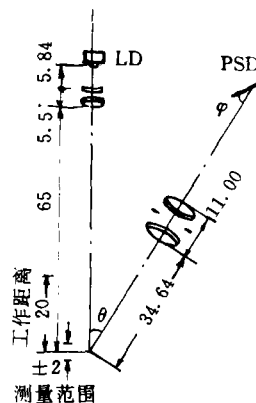


图 3 总体设计结果

4 实验结果与误差分析、校正

我们把设计的探头与电子学处理线路安装在一起,通过电流的放大、 $I-V$ 变换、输出信号的相减和相加,最后在除法器中得出计算结果,将其显示在数字电压表中。实验装置图如 4。

以被测物位移量为横坐标,输出电压为纵坐标,将测量结果分别用图 5 表示:

实验中我们对不同的散射面(锡铂纸、白纸、硫酸纸、铁片、橡皮、陶瓷等)进行了测量,均能达到良好的测量目的,测量精度优于 $2\mu\text{m}$ 。对不同颜色的材料测量结果也很明显(除黑色)。

从图中我们可以得知:在所测的 $\pm 0.9\text{mm}$ 范围内,物体的位移量 Δ 与输出电压 V 线性比较好,尤其是在 $\pm 0.5\text{mm}$ 范围内,更是明显,但正向、负向测量结果不对称,对不同材料测量结

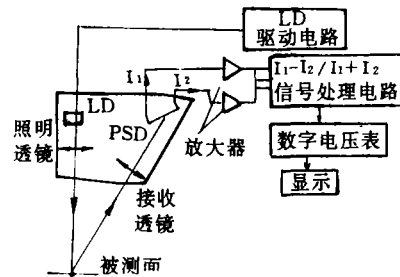


图 4 实验装置

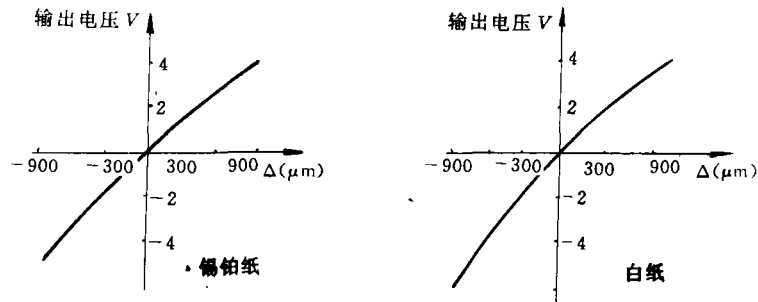


图 5 实验结果

果有差异,边缘有非线性的弯曲,这主要是由以下几方面原因造成的:

(a) PSD 的非线性:

虽然 PSD 具有高的分辨率,但以 $p-i-n$ 层为结构的 PSD 线性很差,它是造成测量结果非线性的最主要原因。

(b) 三角测量方法本身引起的误差:

从三角测量原理(1)、(2)公式中我们可以看出, $\Delta-\delta$ 并非线性关系,只是在很小范围内可近似看成线性关系, Δ 越大,线性偏差越大,曲线也越弯曲,在我们设计的装置中, Φ 角的 30° 倾斜必然会带来正、负向距离不等。

(c) 被测面的影响:

由于被测面的倾斜、凹凸、表面颜色、加工方法、光泽度发生变化,一般可使接收光量发生几倍甚至几十倍的剧烈变化。实验中我们可以对 $\pm 30^\circ$ 左右的倾斜面进行良好测量。

(d) 电子学产生的误差:

由于电子学中两电流输出端的放大器性能的差异, $I-V$ 转负工率、加法、减法、除法器各环节的性能的偏差、输出电压数字显示器的不稳定以及读数的不准确都将给测量带来一定的误差, 在电子线路中应尽可能地选择高精度、性能稳定的电子转换元器件。

(e) 机械系统安装偏差引起的误差

机械安装方面 PSD 安装角度的偏差, 中心位置的错位, 接收系统双胶合透镜的安置位置偏差等都将直接影响测量的结果。

此外, 环境因素如振动及温度变化等, 都将给实验结果带来一定的误差。

光学系统、机械系统和电子线路中产生的非线性误差, 可用只读存储器 (ROM) 中存储的表格进行校正。固定光学系统, 将对应于高精度微动装置移被测面的位移量 Δ 时电压 V 值输入计算机中, 在计算机中构成由 V 值可查知 Δ 的变化表格, 并预先将其存贮入 ROM 中。以便今后调用和读出。

由于时间的限制, 本实验对三角测量探头只是一个初步性能研究, 输出电压只是一个模拟量, 今后将对模拟输出进行 A/D 转换, 通过单片机进行数据运算和非线性校正, 再设计一个自增益电路, 使它对不同材料的测量都能达到稳定的信号电流, 并将数字数据与计算机接口。

5 应 用

非接触激光扫描探头具有非接触、高精度、快速响应、不破坏表面面形及结构、自动化程度高等优点。它可以替代接触性探头单独使用, 对固定的点、特征线、表面粗糙度、尺寸等进行非接触测量; 将它安装在已有的设备上, 如三坐标测量机 (CMM), 通过探头的扫描, 将位置光栅尺及回转轴数码管的读数输入计算机, 经微机处理后, 能准确地对物体的表面轮廓、外形等进行测量, 在工厂自动化检测及产品质量评估中具有十分可观的实用价值。

6 结 束 语

利用光学三角测量方法研制的新型的非接触激光扫描光学探测器, 具有体积小、质轻、结构简单、操作方便, 容易与计算机接口, 能自动处理和显示数据等优点, 可以代替接触式探头, 对物体面形及尺寸进行无损伤精确测量; 若将它安装在三坐标测量机 (CMM) 上, 通过探头的上下移协或扫描工作台的二维移动, 则能达到高速、自动检测的效果, 其应用前景是十分可观的。

参 考 文 献

- [1] Amir Modjarred, Non-contact measurement using a laser scanning probe • SPIE, 1988, 11012: 229~239
- [2] Bill Light, Optical position sensing using silicon photodetector. Laser & Application, 1988, 75~79
- [3] E. JL, et al., Design of optical triangulation devices. Optics & laser technology, 1989, 21(5): 335~338
- [4] 丁洪林编著, 《半导体探测器及其应用》. 原子能出版社
- [5] J. Torkel wallark, A new semiconductor photocell using lateral photoeffect. Proceedings of the IRE, 1959, (4): 474~483

A Study of Laser Scanning Probe in Non-Contact Measurement

Zhang Xiaohong

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

Abstract

This paper we report a design of a high accuracy, versatile non-contact laser scanning probe based on optical triangulation principle, and make a preliminary experiment on different diffuse surfaces, analyse the nonlinear deviation of the laser scanning probe.

Key words: Precision measuring, Non-contact measuring