

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0140-03

三维曲面激光扫描光三角检测系统

张国玉, 徐熙平, 宋甲午, 杨琳, 李成志, 安志勇

(长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要 基于激光三角测量原理和现代光电传感技术,提出了一种用于三维曲面轮廓测量的激光扫描光三角检测系统,其采用半导体激光测头,并与二维光栅位移检测系统和伺服控制系统相结合,实现了对被测曲面的多点扫描,通过计算机实时数据处理,给出了被测曲面的轮廓。介绍了系统的测量原理和总体结构,详细讨论了半导体激光测头、光栅位移检测系统和计算机实时控制与数据处理系统,并对系统的测量精度进行了分析。

关键词 精密工程测量; 三维曲面; 光三角测量法; 激光扫描; 位置敏感器

中图分类号 TP216

文献标识码 A

3-D Curved Surface Profile Measuring System Using Laser Scanning Optical Triangulation

ZHANG Guo-yu, XU Xi-ping, SONG Jia-wu, YANG Lin, LI Cheng-zhi, AN Zhi-yong

(College of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology,
Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract Based on the principle of laser triangulation and the technology of modern photoelectric sensor, a laser scanning optical triangulation measuring system which is used to measure 3-D curved surface profile is presented. The system uses a semiconductor laser probe, and combines with 2-D grating displacement measuring systems and servo-control systems to realize scanning several points of measured curved surface. Through the data processing in real time by using the computer, the profile of measured curved surface is given. The measuring principle of system, and design of overall structure are introduced in this paper. And the semiconductor laser probe, grating displacement-measuring system, real-time control and data processing system by the computer are discussed in detail. The measuring accuracy of the system is analyzed.

Key words precision engineering measurement; 3-D curved surface; optical triangulation method; laser scanning; position sensitive device (PSD)

1 引言

目前,三维曲面轮廓检测在工业控制与生产中有着广泛的应用。本文所提出的具有现实意义的检测技术,是一种采用半导体激光技术^[1]与激光扫描光三角检测技术^[2-4]相结合的光电传感技术来研究复杂形状三维曲面非接触测量^[5]的理论与方法,它与电子学技术、光栅位移检测技术、伺服控制技术和计算机实时控制与数据图像处理技术相结合可构成具有实际应用价值的自动检测系统,其具有非接触、高速度、高精度、便于数字化,适于在线检测等特点;

可对造型材料(如油泥、石膏、塑料、木材等)、软质材料(如橡胶、软塑料)及硬质材料(如金属、油漆面硬物等)三维曲面进行自动非接触测量。

随着科学技术的发展,该检测系统将在自动检测、机器人视觉、实物仿形、医学诊断、计算机辅助设计/计算机辅助制造等领域得到广泛的应用。

2 系统组成与测量原理

三维曲面激光扫描光三角检测系统主要由半导体激光测头、光栅位移检测系统、精密测量机械系

基金项目: 教育部高等学校骨干教师资助计划资助课题。

作者简介: 张国玉(1962-),男,吉林省松源市人,教授,博士研究生,主要从事激光、光电检测技术及仪器科研与产品开发工作。E-mail: yuoyu4535_cn@sina.com

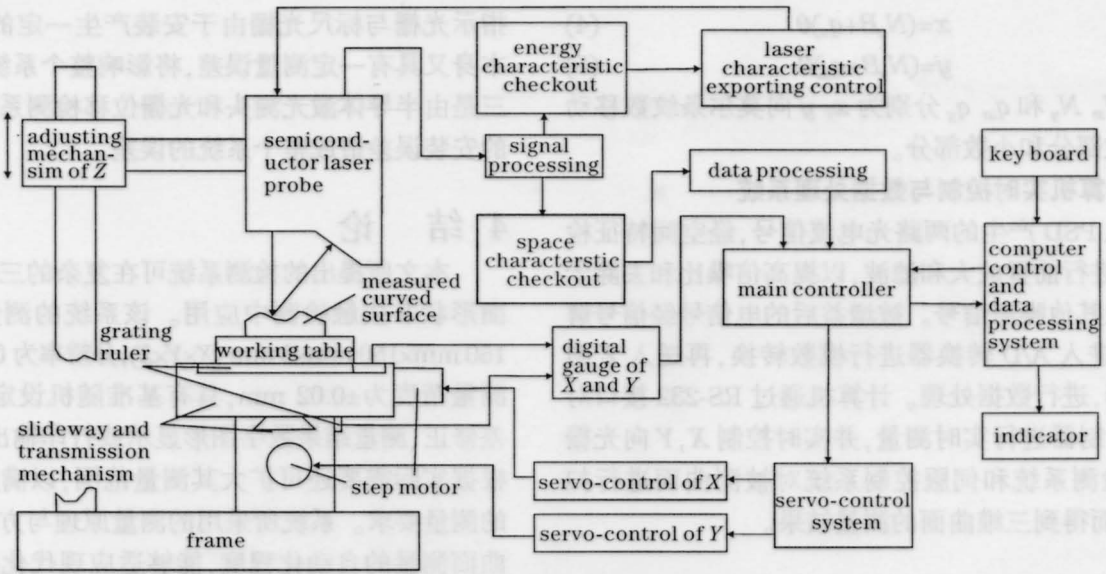


图1 系统总体结构框图

Fig.1 Overall structure of the system

统、伺服控制系统和计算机实时控制与数据处理系统等组成,其总体结构布局如图1所示。

该系统用半导体激光测头代替传统的接触式探头,并将其安装在Z轴上,对置于测量工作台上的被测表面进行测量信息采集,通过X,Y向光栅位移检测系统和伺服控制系统,并在计算机控制下,可对整个被测表面进行扫描,从而实现三维曲面形状的非接触测量。其中,X,Y坐标分别由X,Y向光栅位移检测系统给出,Z坐标由半导体激光测头给出,通过计算机数据处理,可得到三维曲面的测量结果。

2.1 半导体激光测头

测头工作原理如图2所示。由半导体激光器1发出的光束经激光准直系统2准直,再经缩束光学系统3缩束后形成很小的光斑,垂直入射到被测曲面4上,漫反射后经接收成像光学系统5成像于PSD位置敏感器6上。若被测曲面沿着入射激光束

方向发生位移,则PSD像面上的像点也会随之移动。根据PSD上的像点位置S,可得到被测面上各点的Z轴坐标

$$Z = \frac{SL_0 \sin \varphi}{L_i \sin \alpha + S \sin(\alpha + \varphi)} \quad (1)$$

式中 L_0 和 L_i 分别为接收成像光学系统的物距和像距; α 和 φ 分别为入射光和 PSD 与接收成像光学系统光轴的夹角

$$S = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \frac{L}{2} \quad (2)$$

I_1 和 I_2 分别为 PSD 两极输出的光电流; L 为 PSD 有效敏感面长度。

2.2 光栅位移检测系统

将两个栅距相等的光栅以很小的间隙重叠起来,二者的栅线相交成一个很小的角度,当平行光通过光栅后,会形成莫尔条纹,其条纹宽度 $B = \omega / \theta$, 其中 ω 为光栅的栅距, θ 为两光栅的栅线夹角。这就是光栅测量的基本方程,栅距是一个较小的定值,当取很小的 θ 时,光栅相对移动一个栅距就具有放大作用,其放大率 $K = B / \omega = 1 / \theta$, 因而可实现高分辨率的位移测量。此外,它还具有一对光栅中的任一光栅若沿垂直于刻线方向运动,莫尔条纹就沿近似垂直于光栅运动方向运动,而且移动过的条纹数与栅距数一一对应的特点。莫尔条纹的测量方程为

$$H = NB + q \quad (3)$$

式中 H 为莫尔条纹的移动量; N, q 分别为莫尔条纹移动的整数部分和小数部分。若 x, y 向光栅的 B, θ 相同,则 x, y 向移动量,即 x, y 坐标由下式给出

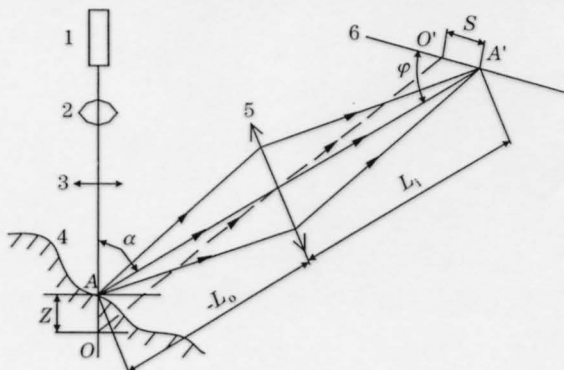


图2 激光测头工作原理图

Fig.2 Principle of the laser probe

$$x=(N_x B+q_x)\theta \quad (4)$$

$$y=(N_y B+q_y)\theta \quad (5)$$

式中 N_x , N_y 和 q_x , q_y 分别为 x , y 向莫尔条纹数移动的整数部分和小数部分。

2.3 计算机实时控制与数据处理系统

从 PSD 产生的两路光电流信号,经空间特征检出后,进行前置放大和滤波,以提高信噪比和去除干扰光及其他噪声信号。被增益后的电信号经信号解调后,进入 A/D 转换器进行模数转换,再送入 Z 向控制器,进行数据处理。计算机通过 RS-232 接口对 Z 向控制器进行实时测量,并实时控制 X, Y 向光栅位移检测系统和伺服控制系统对被测曲面进行扫描,从而得到三维曲面的测量结果。

3 系统误差分析

影响系统测量精度的因素很多,下面就主要误差进行分析:一是半导体激光测头测量误差,其中由接收成像光学系统因加工、装配和设计等原因所引起的像差,使像点偏移实际位置,影响 S 探测精度,这类像差主要是子午慧差和畸变;由入射光斑尺寸所产生的误差,通过实验发现,当入射光功率一定,入射光斑增大时,PSD 的接收光功率将减小,光电信号减弱,信噪比降低,信号波动增大,使测量精度降低,因此只有在较小的人射光斑下才能获得较高精度的测量结果;由非线性关系所引起的原理误差,因 Z 与 S 是一种非线性关系,即存在非线性原理误差,为提高系统的测量精度,必须对该误差进行补偿或曲线修正。二是光栅位移检测系统测量误差,当

指示光栅与标尺光栅由于安装产生一定的误差,它本身又具有一定测量误差,将影响整个系统的精度。三是由半导体激光测头和光栅位移检测系统及导轨的安装误差造成整个系统的误差。

4 结 论

本文所提出的检测系统可在复杂的三维轮廓曲面形状非接触检测中应用。该系统的测量范围为 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ ($X\times Y\times Z$),分辨率为 0.001 mm ,测量精度为 $\pm 0.02\text{ mm}$,具有基准随机设定、系统误差修正、测量结果数字图形显示或打印输出等功能。根据实际需要还可扩大其测量范围,以满足大曲面的测量要求。系统所采用的测量原理与方法提高了曲面测量的自动化程度,能够适应现代化生产的需要,具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- 1 An Zhiyong, Zhang Guoyu *et al.*. Research on flywheel and gear-ring assembly photo-automatic measuring machine[C]. *Proc. SPIE*, 1996, **2899**: 379-385
- 2 Zhang Guoyu, An Zhiyong *et al.*. A dimension measuring system using semiconductor laser[J]. *Acta Armamentarii* (兵工学报), 1997, **18**(2): 125-128 (in Chinese)
- 3 Jin Guofan. *The Laser Measuring Science*[M]. Beijing: Science press, 1998: 798-852(in chinese)
- 4 Z. Ji, M. C. Len. Design of optical triangulation devices [J]. *Opt. & Laser Technol.*, 1989, **21**(5): 335-338
- 5 Jiang Yi, Huang Shanglian. The Large-scale 3-D curved surface profile measurement lased on the projection grating[J]. *Acta Metrological Sinica*(计量学报), 1996, **17**(3):232 ~235 (in Chinese)



图 2 激光测头工作原理图
Fig. 2 Principle of the laser probe