

激光数字化仪的光学系统设计

吴 民

(山东大学物理系, 济南, 250100)

赖康生

(大连理工大学物理系, 大连, 116024)

摘要: 本文根据光点扫描测量技术, 提出一种新型的激光数字化光学探头, 它是利用小型半导体激光器和高分辨率光电探测器件 CCD 设计而成的。它可对自由模具表面进行快速的、非接触的、精密的测量, 提取三维 NC (numerical control) 数据。其光学系统设计使用了针对特殊光路编写的光学 CAD 软件。

关键词: CCD 器件 激光数字化仪

Design of optical system for laser digitizer

Wu Min

(Dept. of Phys., Shandong University)

Lai Kangsheng

(Dept. of Phys., Dalian University of Science & Technology)

Abstract: In this paper, a new type of optical probe for laser digitizer, which uses the optical scanning technology, has been developed. The probe is composed of a small semiconductor laser and a high-resolution CCD sensor. It is able to measure the surface coordinates of a model quickly and accurately to provide 3-D NC (numerical control) data. A new optical CAD software is developed to design the optical system. With the software, one can design a superminiature laser scanning probe.

Key words: CCD sensor laser digitizer

一、引言

目前, 在数控机床仿形加工系统中, 仍普遍采用压力传感的接触式机械探头用来采集模具表面信息。它存在三个缺点^[1]:

(1) 存在摩擦力和弹性形变, (2) 测量速度慢; (3) 需补偿传感器的头半径。

针对这些不足,国外一些公司(例如,美国 Sharnoa 公司,英国 Renishaw 公司)都推出自己的利用激光的非接触式光学探头。

激光数字化如此迅猛发展,可归纳为以下几个原因:

(1)采用光点扫描技术的仪器体积小,效率高。(2)激光器的商品化。(3)电子技术新发展:单片机、高分辨率的光电器件 CCD 广泛使用。

本文的激光数字化仪,正是跟踪国外新技术,力求赶超国外产品,设计了其中光学探头。

二、测量原理

本系统利用光学反射原理来测量物体表面形状,测量其各点的空间坐标。测量原理如图 1 所示。激光源(S)发出一束激光,经过一个倒置的望远系统(L_1, L_2)细化,照到模具表面 B。这里,模具表面应是光学粗糙的,即发生光漫反射。设物面 B 上被照亮点 b,由 b 点反射光被与入射方向成 θ 角的透镜组(L_3, L_4)接收,会聚成象成一点 b' 。设物面高度变化,这里,假定模具表面在 C 位置,被照亮点为 c,其反射光也通过透镜组(L_3, L_4)成象在 c' 点。在象面上放置光电探测器件 CCD,则 $b'c'$ 位移就能记录下来。象面上象点坐标变化与模具表面高度变化有确定的关系。这样,通过传感器通道记录的 $b'c'$ 信息就能换算成模具表面高度信息。

系统中望远系统(L_1, L_2)对激光束进行细化,使直径 3mm 的激光束在模具面上呈很小光斑。接收反射光的光路中,透镜 L_4 起了放大和折射的作用(相当于棱镜)。

在测量中,由模具表面的光洁度不同和散射角度不同,都影响接收到的光强分布,引进误差。解决的方法是:用可记录空间光强分布的高分辨率 CCD 来做探测接收,进而用计算机软件来处理误差。

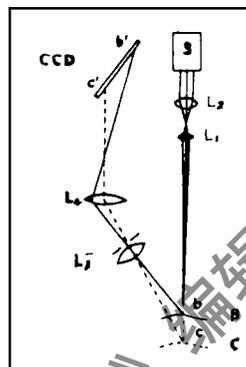


Fig. 1 Schematic of measuring system

三、设计原理

本光学系统设计采用计算机光学 CAD 软件,并达到了较好的成象质量,完成设计要求。采用 C 语言编程,具有扩展灵活的特点,并可编成窗口式图形软件(Windows 等),使设计更方便,更直观。它稍加改动便可设计其它工业测量用光学系统。

光迹追踪。球面的光路计算有两种方法,三角法和向量方法。前者适用于手算,精度和通用性差。后者适用于计算机计算,精度和通用性高,运算简单。

在向量公式中有关参数由统一的直角坐标系表示。如图 2。 x 轴与光轴重合,坐标原点与球面顶点重合。入(出)射光线用两个向量表示:一个表示光线上光点 P 的位置矢量,另一个表示光点 P 光线行进方向向量。

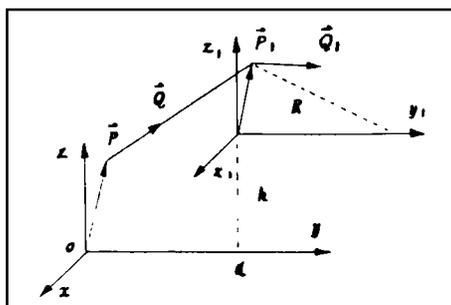


Fig. 2 Schematic of ray trace tracking

光路计算的向量公式就是在球面半径 R , 折射率 n 和 n' , 球面间距 d 已知条件下, 给出入

$$\text{射光线} \begin{cases} \vec{P} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \\ \vec{Q} = \alpha\vec{i} + \beta\vec{j} + \gamma\vec{k} \end{cases}, \text{就能算出出射光线} \begin{cases} \vec{P}_1 = x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k} \\ \vec{Q}_1 = \alpha_1\vec{i} + \beta_1\vec{j} + \gamma_1\vec{k} \end{cases}.$$

下面是具体计算的向量公式:

$$a = \alpha(d - x) + \beta(h - y) - \gamma z$$

(非同轴球面镜光轴间距 h ; $h = 0$ 时, 同光轴)

$$M_x = x - d + \alpha a$$

$$M^2 = (x - d - \alpha a)^2 + (y - h + \beta a)^2 + (z + \gamma a)^2$$

$$C = 1.0/k$$

$$\Delta = (M^2 C - 2M_x) / (\alpha + \sqrt{\alpha^2 - M^2 C^2 + 2M_x \cdot C})$$

$$D = a + \Delta$$

$$x_1 = x - d + \alpha D$$

$$y_1 = y - h + \beta D$$

$$z_1 = z + \gamma D$$

$$\cos I = |\alpha(1 - x_1 \cdot C) - \beta \cdot y_1 \cdot C - \gamma \cdot z_1 \cdot C|$$

$$\cos I' = \sqrt{1 - n^2/n'^2(1 - \cos^2 I)}$$

$$g = n' \cos I' - n \cos I$$

$$\alpha_1 = n/n' \cdot \alpha - g/n' \cdot (1 - x_1 \cdot C)$$

$$\beta_1 = n/n' \cdot \beta - g/n' \cdot y_1 \cdot C$$

$$\gamma_1 = n/n' \cdot \gamma - g/n' \cdot z_1 \cdot C$$

四、具体设计及计算机模拟实验分析

1. 照明光路:

通过查文献[2], 利用一般显微物镜筒长 160mm, 左右恰好与设计要求的工作距离接近这一特点选定 L_1 组透镜为倒置的显微物镜组结构。又选一组有较大焦距的胶合透镜组 L_2 , 构成倒置的望远系统。运行光学 CAD 软件, 输入初始结构参数, 模拟光线通过该系统后成象情况, 反复设计各参数。在计算机辅助搜索下, 找到最佳结构参数。使通过激光束细化透镜组后, 在模具上呈光斑大小满足设计要求。由输出的计算机模拟实验成果, 在模具工作距离 150mm, 左右 20mm 高度变化范围内, 光斑直径小于 0.2mm。这样, 完成照明光路设计。如图 3 所示。

2. 接收光路:

设计要求: (1) 工作距离: 150mm, (2) 测量范围: 20mm, (3) 呈象范围: 25mm (相当 CCD 长度), (4) 象点会聚特性好, (5) 系统整体体积 150mm 左右。

查文献[2], 选定 L_3 为一组大入射光瞳的倒置显微物镜, L_4

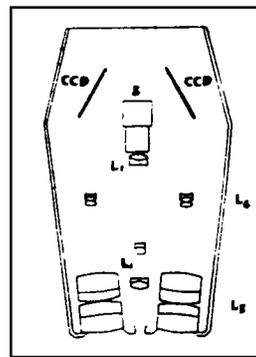


Fig. 3 Schematic of optical configuration of the system

选定为 D/F 值大的,且焦距短的一组望远物镜。同理,将透镜结构参数输入光学 CAD 软件。选一条近轴光线模拟实验,找到各组透镜的前后焦距等结构参数作为初始值输入。在计算机辅助搜索下,反复修改,不断人机对话。最后得到一组数据,满足设计要求。光学结构如图 3

由模拟实验数据结果拟合出象变化直线,即找到了线性 CCD 摆放的最佳位置。计算机模拟模具表面高低变化时对应的 CCD 上的象点位置变化。数据进行曲线拟合,发现模具高度(即其垂直方向坐标) H (mm) 与 CCD 上位置坐标 L (mm) 满足非线性关系。如图 4 这样激光数字化仪的光学系统设计就完成了。

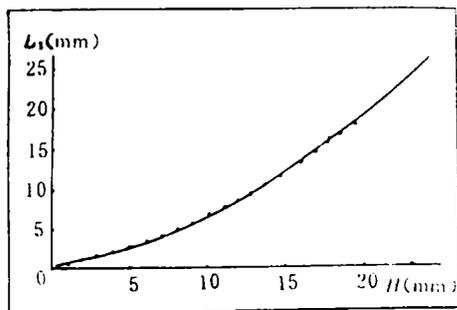


Fig. 4 Optimum position of CCD vs model height

照明部分已经加工出样品。

由于本设计使用了体积小的半导体激光器和结构紧凑的光路设计,使产品向微型化迈进一大步。相信这一新产品必将有广泛的应用。

本文写作在赖康生老师指导下完成,同时,在写作中还得到刘宜华老师的帮助。

参 考 文 献

- 1 Suito K, Miyoshi T. Noncontact 3-D digitizing and machining system for free-form surface. CIRP Annals, 1991, 40(1): 483~486
- 2 李士贤,郑乐年. 光学设计手册. 北京:北京理工大学出版社,1990:244~266

作者简介:吴 民,男,生于1970年11月,毕业于大连理工大学物理系,山东大学物理系磁学93级研究生。
赖康生,男,大连理工大学物理系讲师,从事光学应用研究。

收稿日期:1993-10-18 收到修改稿日期:1994-06-15

· 简 讯 ·

主动锁模激光器可发射两种波长的 ps 脉冲

一种主动锁模多通道光栅腔激光器可以同时产生两种波长的 ps 脉冲。英格兰巴思(Bath)大学的研究人员报导,脉宽为 60ps、光谱宽 11GHz 的脉冲光谱中心位于 1521nm,光谱间隔为 2.2nm。

三条独立的波长滤光片,准直棱镜和衍射光栅反射滤波器共同构成外置光学腔。该系统采用单级 RF 射频产生脉冲,其紧凑折叠式设计能扩展联立的八条通道。该研究小组认为多通道系统在高比特率波分复用及时分复用系统中具有较大意义。更多的电子部件的应用,请参阅纤维光学手册 94 页。

译自 L F World, 1994;30(6):9 中尧译 马理校