

文章编号: 1001-3806(2005)03-0322-03

五维信息同时测量的激光方法

匡萃方, 冯其波*, 刘 斌
(北京交通大学 理学院, 北京 100044)

摘要: 发展同时测量多维信息的激光系统是计量和工业等许多领域普遍提出并有待发展的技术问题。介绍了国内外现有激光五维信息同时测量系统, 分析了其优缺点, 给出了其发展趋势。

关键词: 五维信息; 同时测量; 激光测量; 数控机床

中图分类号: TH741; TN247 文献标识码: A

Methods for simultaneously measuring five-dimensional information by laser

KUANG Cui Fang, FENG Qi Bo, LIU Bin
(School of Sciences, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract Development of laser systems for simultaneous measurement of multidimensional errors is a trend in the machine tool metrology and industry application. Several methods for simultaneously measuring five-dimensional information were surveyed and discussed, some ideas about its trend were given.

Key words five-dimensional information; simultaneous measurement; laser measurement; CNC machines

引 言

数控机床和加工中心精度的检测是机床工具行业和机械加工行业的关键环节,也是保证机床加工精度和产品质量的重要手段。对数控机床进行检测与校正时,需要数控机床停机并使用熟练的技术劳动力,故对检测与校正的一个基本要求是要省时省力。现在最常用的数控机床检测方法是采用激光干涉仪,基本的测量过程还是单参数测量。一般三轴数控类加工设备总共需要检测 21 项误差分量,安装一次仅测量一项误差分量,其检测过程烦琐与漫长。因此,发展同时测量多维信息的激光系统是机床工具行业普遍提出的技术问题。国内外相关领域对以上问题进行了研究,出现了应用激光同时测量五维信息的几种方法,下面对这些方法分别进行概述。

1 基于衍射光栅测量

如图 1 所示为一个基于全息光栅透射分光特性的五维信息测量系统^[1]。激光器发出的光经过准直扩束后平行投射到与其垂直位置的全息光栅上。激光束

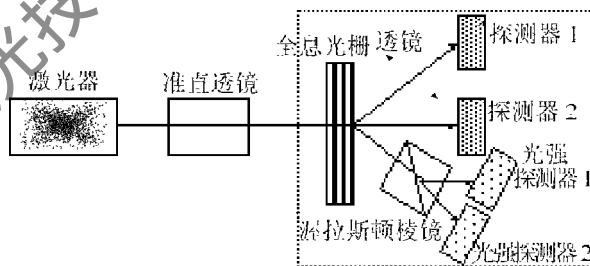


图 1 基于全息光栅五维信息测量系统

透过全息光栅后分为 3 路。方向没有改变的一束光为非衍射光束。由二维探测器 2 测得到直线度 Δx , Δy ; 由探测器 1 探测衍射光(汇聚光)可以得出俯仰角 θ 和偏摆角 θ_0 ; 在另一衍射光(发散光)的渥拉斯顿棱镜后通过光强探测器 1, 2 输出信号强弱来测量滚转角 θ_r 。该系统方法简单,需要光学器件少、成本低。但测量靶移动的范围相对较小,滚转角通过测量光强来得出精度较低。周富强、孙长库等人提出了采用磁光调制技术减小光强不稳定因素对滚转角测量精度的影响^[2,3]。

MILLER 等^[4]提出了另外一种基于平面衍射光栅五维信息同时测量系统。测量原理如图 2 所示,中间的非衍射光通过一个分光器,透射光用透镜聚焦在探测器 2 上,得到二维角度信息(俯仰角、偏摆角),用探测器 4 接收反射光得到二维直线度信息。两边的第 1 阶衍射光分别通过一个偏折棱镜使其产生平行光,在通过柱面透镜 1, 3 后,分别用探测器 1, 3 接收,通过计算可以得到滚转角信息。此方法对滚转角的测量与光

作者简介: 匡萃方(1977-),男,博士研究生,现从事光电检测研究。

* 通讯联系人。E-mail: qbfeng2004@126.com

收稿日期: 2004-05-26 收到修改稿日期: 2004-08-11

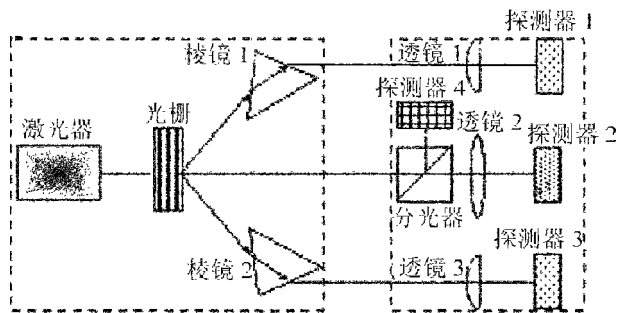


图 2 基于平面光栅五维信息同时测量系统

强的变化无关,但其光线的平行性影响其测量精度。

2 基于双光束基准测量

图 3 是以两平行光束 A 和 B 为基准的五维信息

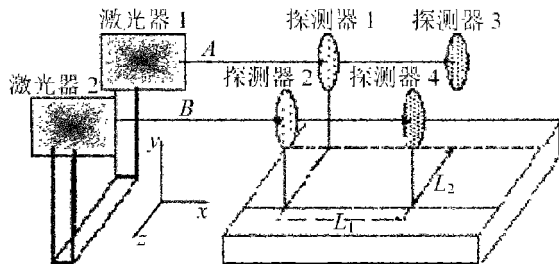


图 3 双光束基准五维信息测量系统

测量系统^[5]。除了定位误差 Δx 外,其它五维信息可由 4 个探测器 (其中探测器 1, 2 是透明探测器) 的输出得出:

$$\text{垂直直线度 } \Delta y: \Delta y = (v_1 + v_2 + v_3 + v_4) / 4 \quad (1)$$

$$\text{水平直线度 } \Delta z: \Delta z = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) / 4 \quad (2)$$

$$\text{滚转角 } \theta_x: \theta_x = [(v_1 + v_3) - (v_2 + v_4)] / 2L_2 \quad (3)$$

$$\text{俯仰角 } \theta_z: \theta_z = [(v_1 + v_2) - (v_3 + v_4)] / 2L_1 \quad (4)$$

$$\text{偏转角 } \theta_y: \theta_y = [(v_1 + v_2) - (v_3 + v_4)] / 2L_2 \quad (5)$$

h_i 和 v_i 是探测器接收到的激光束在水平方向和垂直方向的位移偏移量,下标 i 是探测器的编号。这种五维信息测量系统具有结构简单、3 个角度误差测量精度高等优点,在实际应用中也可以少用一个探测器。但由于其测量头体积大,且需放置于活动平台上,其应用范围受到限制,不能用于高速加工中心的动态测量。同时光线 A, B 的平行性误差给测量转滚角带来误差,且不易修正。为了克服这一缺点,另一种同时测量五维信息的方法被提出^[6]。它利用了角锥棱镜来测量两个方向直线度的误差,并用两套平行四边形来测量三维角度信息。但这一方法不能进行角度误差分离,测量精度难以提高。

TSAI^[7]提出了一种除了不能测量俯仰角的双光束基准五维信息测量系统。测量原理见图 4 通过四象限探测器 1, 2 得出两个方向的直线度误差,并可计算出滚转角误差。利用两套干涉仪可得出定位误差和偏摆角误差。该设计使移动部分不带电缆的优点,但不能测量俯仰角误差,且两套干涉系统增加仪器成本。

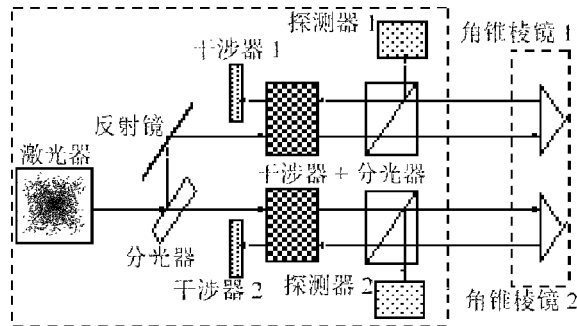


图 4 基于双光束基准干涉测量系统

3 基于三光束基准测量

图 5 所示为三光束 (A, B, C) 基准同时测量五维

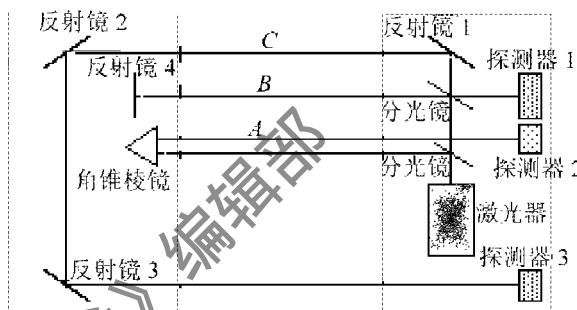


图 5 基于三光束同时测量五维信息系统

信息系统^[8]。光源采用线偏振氦氖激光器。该系统分为可动和固定两部分。其中可动部分包括 3 个平面镜和一个角锥棱镜,并置于机床的工作台上随其一起在导轨上移动;固定部分包括 He-Ne 激光器、两个分光镜、一个平面镜和 3 个探测器,它主要提供测量基准和测量信号。从角锥棱镜反射回的光束被探测器 2 接收,所得位置信息可得到水平和垂直方向上两个直线度误差。从平面镜反射回来的光束被探测器 1 接收,得到两个角位移误差。滚转角由探测器 1, 2, 3 获得位置信息求出,但滚转角分辨率较低。

HUANG 等^[9]介绍了一种类似的测量原理,如图 6 所示。俯仰角和偏转角误差由棱镜组成的自准直望远

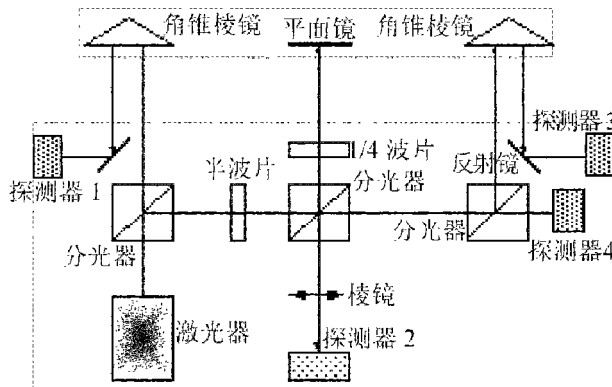


图 6 基于三光束基准五维信息测量系统

镜测得,两项直线度误差由两角锥棱镜以及相应的位敏元件 1, 2 同时测得,通过对位敏元件 1, 2 的读数进行处理可以得到滚转角误差。为克服位敏元件测量范

围小,背景噪声大等缺陷,可用 CCD 代替位敏元件^[10]。然而这并没有改变该测量方法测量体积大、实际应用中安装与调整困难等缺点,而且多束光线的平行很难得到保证,给滚转角的测量带来误差。

4 基于全反射原理测量

图 7 所示为基于全反射原理的五维信息测量原理

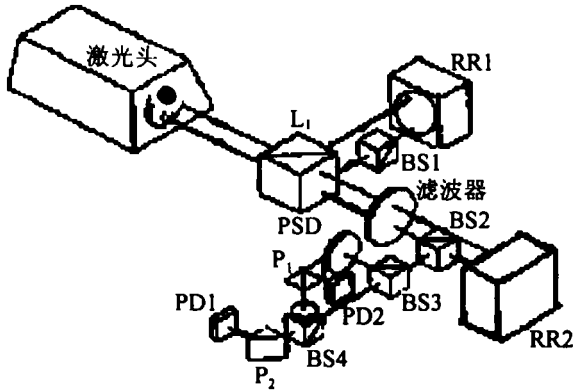


图 7 基于全反射原理的五维信息测量原理

图^[11],双频激光器发出的激光经偏光分光镜分为两束,由固定角锥棱镜 RR1 反射回来为参考光束,由运动的角锥棱镜 RR2 反射回来为测量光束。在这两束光路中插入两个完全相同的无极性半透半反镜 (BS1, BS2) 和一个干涉滤波器。RR2 反射回来的光束经 BS2 分为两束,透射光用来测距,反射光用来测量其它 4 个误差项。采用带通干涉滤波器是为了消除外界光线对光接收器的干扰。由 BS2 反射的光束在半透半反镜 BS3 处再一次分成两束。反射光由一个二维位置传感器 (PSD) 检测,根据 PSD 接收到的信号由以下公式可以得到水平和垂直方向的直线度误差:

$$S_x = K_1(x_1 - x_2) / (x_1 + x_2) \quad (6)$$

$$S_y = K_2(y_1 - y_2) / (y_1 + y_2) \quad (7)$$

式中, K_1, K_2 是比例常数,可由标定得到, x_1, x_2, y_1 和 y_2 是 PSD 的 4 个输出信号,注意 $(x_1 + x_2)$ 和 $(y_1 + y_2)$ 均为测量时激光束光强的测量值。BS3 的透射光束在 BS4 再一次进行分束,根据全反射的角度测量原理^[12],两束光分别用于俯仰角和偏转角的测量。俯仰角测量部分包括直角棱镜 P_1 和光电二极管 PD1,偏转角测量部分包括另一个直角棱镜 P_2 和光电二极管 PD2。俯仰角误差和偏转角误差可根据下式计算得到:

$$\theta_p = K_3(y_1 + y_2) / I_1 \quad (8)$$

$$\theta_y = K_4(y_1 + y_2) / I_2 \quad (9)$$

其中 I_1 和 I_2 分别是光电二极管 PD1 和 PD2 的输出信号, K_3, K_4 是比例常数,可由标定得到。俯仰角测量部分中半波片的作用是使激光束的极性发生旋转,从而使反射到 P_1 上的光束为 p 偏振光,偏转角测量部分中半波片有类似的作用。整个装置只能测量五维信息,并且采用了过多的光学元件,使得系统复杂,在实际中应用不多。

5 结论与发展趋势

上述这些方法各有其优点,能同时测量五维信息,但都受到测量带宽和测量头体积大的限制,不能广泛应用。现在国内外研究数控机床和加工中心精度的多维信息同时检测的一个趋势是朝着成本低、体积小、高速度方向发展。使用频率稳定的半导体激光器可使仪器体积大大减小。测量头无电缆连接方便快速测量。对于长距离检测,空气扰动对测量的影响也是有待于解决的问题。同时测量六维信息的方法也是当前研究的一大热点。

参 考 文 献

- [1] BERGIN M T, BARTOLOTTA C S Multi-axis optical alignment system, including a spatial filter [P]. US Patent 3701602, 1972-10-31
- [2] 周富强,孙长库,王春和 *et al* 同时测量物体五维几何偏差的新方法 [J]. 计量学报, 1999, 20(4): 247~ 251.
- [3] 孙长库. 激光全息分光法五自由度测量系统的研究 [D]. 天津: 天津大学, 1997. 12~ 25.
- [4] MILLER JM, BARTON R O Multi-axis alignment apparatus [P]. US Patent 4804270 1989-02-14
- [5] THOMAS B L, BASSH M, LOFTUS L K *et al* Laser aligned five-axis position measurement [P]. US Patent 5798828, 1998-08-25
- [6] TEN JMBAYASHIK. Straightness measurement of a moving table by using laser beams [J]. Proc SPIE, 2000, 4093: 47~ 57
- [7] TSAI J C. Rotation and translation measurement [P]. US Patent 2002/0093663 A1, 2002-07-18.
- [8] 孙长库,叶声华. 激光测量技术 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2001. 125~ 126
- [9] HUANG P S, NI J On-line error compensation of coordinate measurement machines [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacturing 1994, 35(5): 725~ 738
- [10] CHOU C, YU L, PENG C K *et al* CCD-based CMM geometrical error measurement using fourier phase shift algorithm [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacturing 1997, 37(5): 579~ 590
- [11] HUANG P S Laser measurement system for rapid calibration of machine tools [P]. US Patent 5900938 1999-04-04
- [12] K IYONO S, ZHANG Sh Zh, UDA Y. Self-calibration of precision angle sensor and polygon mirror [J]. Measurement 1997, 21(4): 125~ 136