

文章编号: 1001-2486 (2000) 01-0069-04

激光四光束与 PSD 测量运动物体瞬时位置姿态系统的研究*

李国顺

(长沙铁道学院机电工程学院, 湖南 长沙 410075)

摘要: 介绍了一种新的光学非接触测量的方法。采用激光四光束与位敏元件 (PSD) 测量物体的位置、角度, 从而确定运动物体某一瞬时的位置姿态。对系统内部结构与信号处理进行了分析研究。实验证明, 该测量系统具有测量精度高, 重复稳定性好, 系统响应速度快, 测量范围宽等优点, 且结构紧凑, 制造成本低, 应用前景相当广泛。

关键词: 四光束; 位敏元件; 位置测量; 角度测量; 位置姿态

中图分类号: TN206; TP206; TP202 **文献标识码:** A

Research on Real-time Measuring System about Position Posture of Motional Object with Four Beams of Laser and Position Sensitive Detector

LI Guo-shun

(Institute of Mechatronics Engineering, Changsha Railway University, Changsha 410075, China)

Abstract: This paper introduces a new method of optical non-contact measurement, by using four beams of laser and position sensitive detector to measure position and angles, so as to determine position's posture of the motional object at some instant. The analysis and research on the internal composition of the system and its signal processing are made. The experiment proves that the system has many advantages: high accuracy, good restability, fast response, wide measurement range, composition compactness and low cost. So, this measuring system has a good future to apply in industry because of its attractive performance/cost ratios.

Key words: four beams; position sensitive detector; position measurement; angle measurement; position's posture

机电设备的动态监测和故障诊断中对目标位置姿态的实时探测, 机械制造技术中对工件的精密计量测试, 经常采用接触式测量的方法。譬如: 在三坐标测量机上, 普通的探头为球形探头, 它与被测物体相互接触, 可以确定接触瞬间球心的位置, 从而测出被测物体的三个坐标。这种接触测量的主要问题是被测物体与探头都要发生变形, 影响测量精度, 同时, 测量速度也难以提高。况且某些物体在其运动过程中, 不宜采用接触式测量。所以, 高精度非接触测量的研究越来越引起广泛的重视^[1,5-7]。

本文介绍一种新的光学非接触测量的方法和系统, 该系统可以测量被测物体的位置、位移和倾斜角度, 实现三坐标测量, 从而确定运动物体某一瞬时的三维位置姿态。

1 测量原理

如图 1 所示, 在 XOZ 平面, 两束探测光 B_1 和 B_2 交替投射到被测面上, 并在被测面上或被测面附近相交, B_1 和 B_2 在被测面的反射光经透镜成像在位敏元件 (PSD) 上。当被测面处于位置 2 时, PSD 上只有一个光点, 否则, 有两个光点。若被测面沿 Z 方向移动, 则两光点间的距离正比于移动距离 δ_z 。但是, 如果两束光同时入射, 则无法判断出被测面移动的方向, 因此使 B_1 和 B_2 交替入射, 即 B_1 和 B_2 交替输入光脉冲(方波)。另外, 在 YOZ 平面也有两束探测光 B_3 和 B_4 , 其测量原理与前面 B_1 和 B_2 的分析结果相同。

* 收稿日期: 1999-09-25

基金项目: 铁道部专项基金资助项目 (J98Z102)

作者简介: 李国顺 (1962), 男, 讲师, 硕士。

1.1 光轴 Z 方向的位移测量^[2]

如图 1 所示, 假设被测面垂直于 Z 轴, 被测面位于位置 1 时, 光斑 S_{11} 和 S_{21} 在 PSD 上成像为 I_{11} 和 I_{21} ; 被测面位于位置 2 时, 光斑 S 在 PSD 上成像为 I ; 被测面位于位置 3 时, 光斑 S_{13} 和 S_{23} 在 PSD 上成像为 I_{13} 和 I_{23} 。由 PSD 可以测出其上面的光斑中心到 Z 轴的距离, 即 X_{i1} 和 X_{i2} , 由透镜成像性质可知 X_{S1} 和 X_{S2} 正比于 X_{i1} 和 X_{i2} 。用光束 B_1 的信号对 PSD 输出波形进行解调, 即得

$$D_{fX} = k_i(X_{i1} + X_{i2})/2$$

输出值的符号代表了被测面的移动方向, 若被测面从位置 2 向位置 1 方向移动, 输出为正, 则被测面从位置 2 向位置 3 方向移动, 输出为负。

1.2 光轴 Z 方向的位置探测

如图 1 所示, 当被测面位于位置 2 时, PSD 的输出为 0, 即输出电压 D_{fX} 为 0。利用这一性质可以进行位置探测。在位置探测时, 光探测器的线性输出范围可以比较小, 因此, 并不要求被测表面垂直于 Z 轴。

1.3 垂直于光轴 Z 方向的倾斜角度测量

如图 2 所示, 被测面绕 Y 轴转动所处的倾斜位置, 当被测面位于位置 1 时, PSD 上光斑 I_{11} 到 Z 轴的距离比 I_{21} 到 Z 轴的距离大, 即 $X_{i1} > X_{i2}$; 当被测面位于位置 2 时, 情况相反, 即 $X_{i1} < X_{i2}$; 当被测面位于位置 3 时, 被测面通过 S 点, PSD 输出为 0, 即 $X_{i1} = X_{i2} = 0$, 可见此时不能探测出被测面的倾斜角度, 因此, 作物体位置姿态测试时必须避开此位置(称 S 点为盲点位置)。

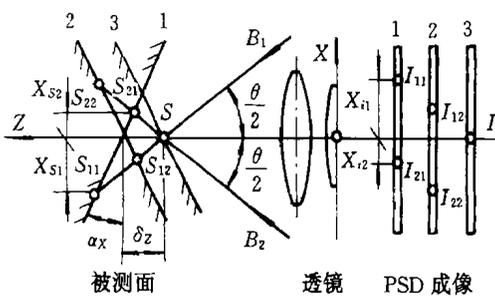


图 1 位置测量

Fig 1 Position measurement

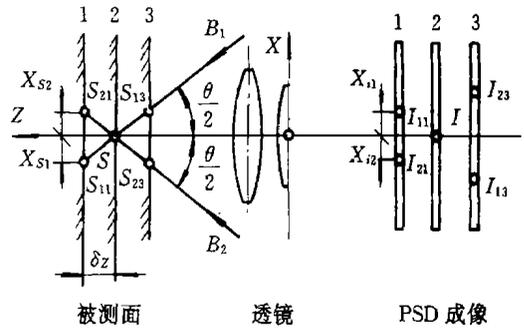


图 2 角度测量

Fig 2 Angle measurement

由图 2 可知: $X_{S1} = \delta_Z / (\tan \alpha_X - \tan(\pi - \theta)/2)$

$X_{S2} = \delta_Z / (\tan \alpha_X + \tan(\pi - \theta)/2)$

则有 $\tan \alpha_X = [(X_{S1} + X_{S2}) / (X_{S1} - X_{S2})] \tan(\pi - \theta)/2$

由透镜成像性质可知 X_{S1} 和 X_{S2} 正比于 X_{i1} 和 X_{i2} 。

假若 $O_{fX} = (X_{i1} + X_{i2})/2$

$D_{fX} = (X_{i1} - X_{i2})/2$

则有 $\tan \alpha_X = (O_{fX} / D_{fX}) \cdot \tan(\pi - \theta)/2$

α_X 可测, 限制为: $\alpha_X = (\pi - \theta)/2$

同理, 被测面绕 X 轴转动所处的倾斜角度 α_Y , 可以由 YOZ 面设置的两束探测光 B_3 和 B_4 来测量。

1.4 物体三维位置姿态的确定

如图 3 所示, 当被测物体沿 Z 轴移动, 绕 Y 轴、X 轴转动时, 其被测表面与 X、Y、Z 轴的交点分别为 l , m , n 。由前面介绍的测量原理, 可测得被测面与 Z 轴的交点位置 δ_Z , 及其绕 Y 轴、X 轴转过的角度 α_X , α_Y , 从而由被测面的空间位置(δ_Z , α_X , α_Y) 确定物体某一瞬间在空间的三维位置姿态。

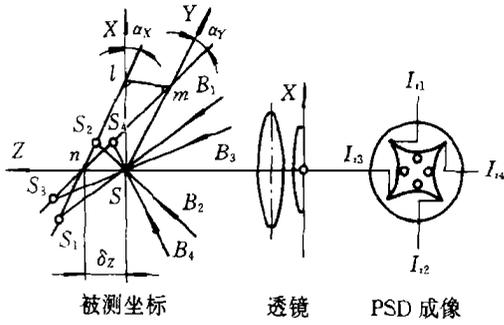


图3 物体三维面姿态测量

Fig 3 Object 3-D posture measurement

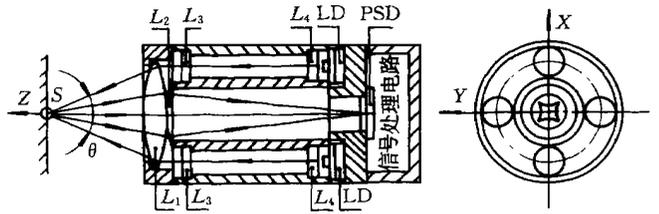


图4 测量系统内部结构图

Fig 4 The internal composition of the system

2 测量系统内部结构与信号处理分析^[3, 4]

如图4所示,为测量系统的内部结构,采用4只半导体激光器,波长为780nm,四束激光中同一入射面内的两束交替入射光的开关频率为2kHz,入射角为 $\theta = 30^\circ$,四束平行光经透镜 L_4, L_3 和 L_1 会聚于S点,光斑又经 L_1 和 L_2 成像在光电PSD上。接收器后面接有信号处理电路。

如图5所示,在信号处理电路中, V_{X1} 和 V_{X2} 正比于 X_{i1} 和 X_{i2} 及入射光强,用除法器将 $V_{X1} - V_{X2}$ 归一化,以消除光强变化的影响。所以,低通滤波器 F_2 对 $(V_{X1} - V_{X2}) / (V_{X1} + V_{X2})$ 滤波后得到 O_{dfX} , O_{dfX} 对应地 $X_{S1} + X_{S2}$ 检波器的输出信号经低通滤波器 F_1 得到 D_{jX} , D_{jX} 对应于 $X_{S1} - X_{S2}$,而 O_{dfX} / D_{jX} 反应绕Y轴转过的倾斜角度 α_X , D_{jX} 反应位移 δ_Z 。同理分析Y方向的 V_{Y1} 和 V_{Y2} , O_{dfY} / D_{jY} 反应绕X轴转过的倾斜角度 α_Y 。

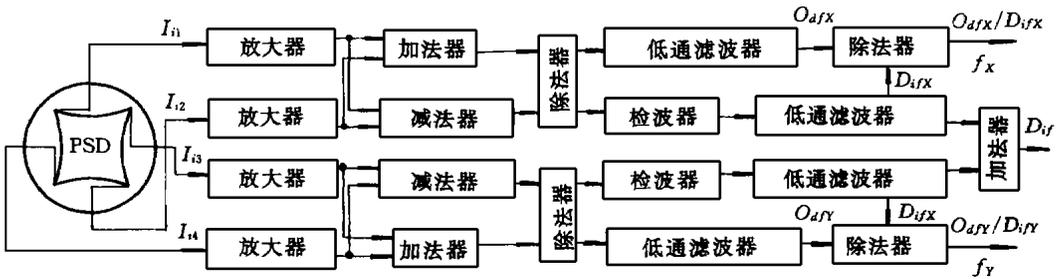


图5 信号处理电路

Fig. 5 Signal processing circuit

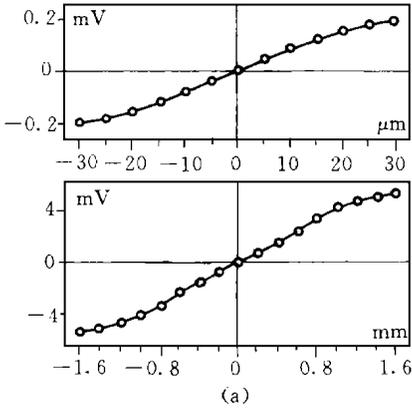
3 实验分析与结果

图6表示位移和位置的测量结果,被测表面为砂纸,重复性误差为 $0.2 \mu\text{m}$,探头的线性范围为 $\pm 1.2 \text{ mm}$,从最小二乘法线性拟合误差曲线反映出来的不确定度小于 $\pm 0.2 \mu\text{m}$,这种精度在实际应用中是足够的。此外,被侧面倾斜角为 30° 时,测量曲线的线性仍然很好,误差也无明显增加,所以在测量时,并不要求被测表面垂直于光轴。

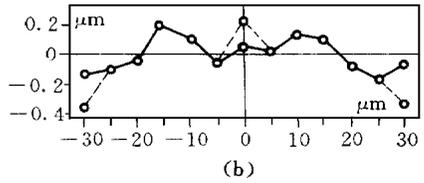
图7表示被侧面绕Y轴转动的角度测量的输出曲线,探测器输出为 f_X ,误差以最小二乘法线性拟合来计算,不确定度优于 $\pm 3''$,置信度95%。

4 结论

(1) 实验证明,用上述系统测量位移、位置和角度的方法,其精度较高,增大四光束的入射角可以提高测量精度;



(a) 位移测量实验数据处理
(a) Displacement measurement



(b) 误差最小二乘法线性拟合
(b) Linearity error by least square method

图6 砂纸表面的位移($\alpha_x = 30^\circ$)测量实验数据处理

Fig. 6 Displacement measurement of the surface of the sand paper ($\alpha_x = 30^\circ$)

(2) 被测表面的粗糙度对测量系统的灵敏度有一定影响, 而采用四光束入射对此有所改善。光衍射作用在 PSD 上引起散斑噪声对测量精度有一定的影响;

(3) 该测量系统可用作三坐标测量机的探头, 实现非接触测量, 提高测量精度, 实现复杂曲面的精密测量;

(4) 该测量系统可以对动态目标进行实时测量, 其结构紧凑, 经适当组合, 可进行多维测量;

(5) 作为一种新型光学非接触传感系统, 其应用领域相当广泛。

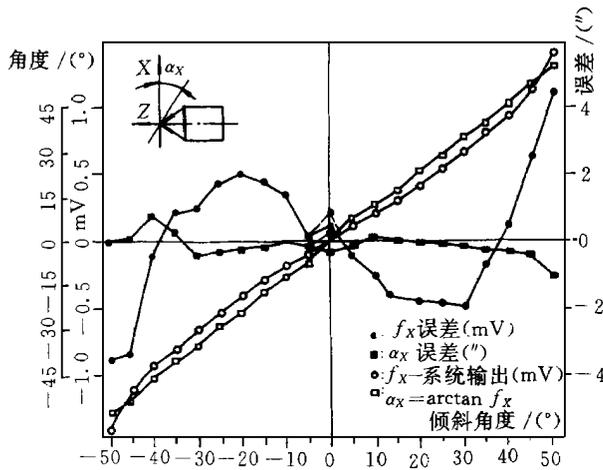


图7 砂纸表面的角度测量实验数据处理

Fig. 7 Angle measurement of the surface of the sand paper

参考文献:

[1] 苏显渝, 李继陶. 三维面形测量技术的新进展 [J]. 物理, 1996, 25 (10): 614.
 [2] 陈卫剑, 蒋月娟. CCD 在测量运动物体瞬时位置中的应用 [J]. 光学技术, 1998 (5): 57-60.
 [3] 吕爱民, 袁红星, 贺安之. 入射光强和背景光对二维光电位置敏感器件干扰的影响 [J]. 光学学报, 1998, 18 (6): 762-763.
 [4] 李国顺. 用激光准直与 PSD 测量内孔同轴度系统的研究 [D]. 清华大学, 1993.
 [5] Coodall A J, Burton D R, et al. The future of 3-D range image measurement using binary-encoded pattern projection [J]. Opt. Laser Eng. 1994, 21 (1): 99-110.
 [6] Dorsch R G, Hausler G. Laser Measurement: fundamental uncertainty in distance measurement [J]. App Opt. 1994, 33 (7): 1306.
 [7] Hausler G, Henman J M. Physical limits of 3D-sensing [J]. SPIE. 1992, 18 (8): 150.