

激光合成波长干涉仪的准直方法研究

魏若飞, 严利平, 姚喜国, 杨 涛, 陈本永

(浙江理工大学纳米测量技术实验室, 杭州 310018)

摘 要: 对激光合成波长干涉仪的准直方法进行研究。提出采用四象限探测器实现激光合成波长干涉仪的准直方法,描述激光合成波长干涉仪的准直原理与信号处理方法;对参考角锥棱镜进行准直测量实验,实验结果表明:在 x 方向所测数据的标准偏差从 7.038 mV 减小到 1.6 mV,在 z 方向所测数据的标准偏差从 30.118 mV 减小到 1.119 mV;对测量角锥棱镜进行准直测量实验,实验结果表明:在 x 方向所测数据的标准偏差从 3.204 9 mV 减小到 1.202 mV,在 y 方向所测数据的标准偏差从 2.831 231 mV 减小到 0.673 mV。验证了所用准直方法的可行性和实用性。

关键词: 激光干涉仪; 准直; 四象限探测器
中图分类号: TH741 **文献标识码:** A

0 引 言

激光干涉仪具有高测量灵敏度和高测量精度,可广泛应用于位移、长度、角度、面形、介质折射率、振动等方面的测量^[1-2]。为了保证激光干涉仪高测量精度的实施,就要同步地监测整个激光干涉仪测量过程的准直状况,减小或消除不必要的误差。四象限光电探测器作为一种位置敏感器件,具有较高的测量和定位精度,常用于目标方位测量和跟踪的应用中,如激光制导^[3-4]、准直^[5-6]、测角^[7-8]、位移测量^[9]等。本文采用四象限探测器实现激光合成波长干涉仪的准直,并进行实验验证。

1 激光合成波长干涉仪的准直方法

激光合成波长干涉仪由激光器、分光镜 BS、偏振分光镜 PBS、参考角锥棱镜 M_1 和测量角锥棱镜 M_2 组成,其准直测量原理如图 1 所示:从激光器发出的激光经分光镜 BS 分为两束,其中反射光束经参考角锥棱镜 M_1 、分光镜 BS 反射后,射向四象限探测器 QD,当参考角锥棱镜 M_1 沿着导轨移动时,导轨的直线度误差使激光光束照射在四象限光电探测器 QD 上的位置产生变化,从而使四象限探测器 QD 输出的信号也随之变化,将此信号送入到数字信号处理器(digital signal processor, DSP)进行数据采集,通过串口送入计算机进行处理与显示;同样地,透射光束经偏振分光镜 PBS、测量角锥棱镜 M_2 反射后再次透过分光镜 BS,也射向四象限探测器 QD,采用数字信号处理器 DSP 和计算机进行数据处理与显示,从而完成对整个干涉仪系统的准直。

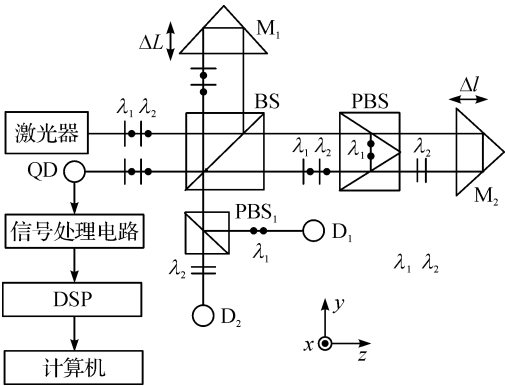


图 1 激光合成波长干涉仪的准直测量原理

2 信号处理方法

基于四象限探测器的激光合成波长干涉仪准直信号处理包括电流电压转换、滤波放大、加减运算、除法运算、DSP 数据处理和显示等。其电路原理如图 2 所示。首先将四象限光电探测器输出的光电流信号 I_A 、 I_B 、 I_C 、 I_D 经 I/V 转换电路转换成电压信号,这时,垂直和水平方向的输出电压 V_x 、 V_y 为:

$$V_x = V_A + V_D - V_B - V_C \tag{1}$$

$$V_y = V_A + V_B - V_C - V_D \tag{2}$$

式中: V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 分别为四象限探测器 QD 4 个电极的输出电压。为避免激光束的输出功率发生变化和大气传输引起的衰减^[10],通常附加一个除法电路,可得:

$$d_x = \frac{V_A + V_D - V_B - V_C}{V_\Sigma} \tag{3}$$

$$d_y = \frac{V_A + V_B - V_C - V_D}{V_\Sigma} \tag{4}$$

式(3)与式(4)中, $V_\Sigma = V_A + V_B + V_C + V_D$,则光斑在 x 方向和 y 方向的偏移量可由式(3)和式(4)求出。然后将 d_x 、 d_y 送入数字信号处理器 DSP 进行 A/D 采样,并通过串口送入计算机,在计算机上进行处理与显示。

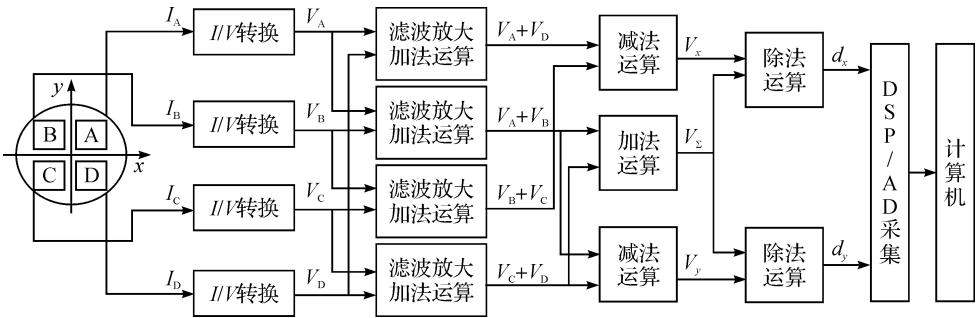


图 2 准直信号处理电路框图

3 实验

根据图 1 构建实验装置,验证提出的准直方法的可行性和实用性。在进行准直测量前,让光斑分别照射四象限探测器的 4 个象限和中心位置,如图 3(a)、图 3 (b)所示,测到的 d_x 与 d_y 的值分别如表 1、表 2 所示,这些电压值可作为激光合成波长干涉仪准直调试时的位置参考信号。

参考角锥棱镜 M_1 运动方向的准直测量实验:挡住来自偏振分光镜 PBS 的光束,参考角锥棱镜 M_1 从 0 ~ 300 mm,记录四象限探测器输出信号的变化,实验结果如图 4 所示。图 4(a)表示激光束在 x 方向的偏移结果,所测数据的平均值为 1.196 058 V、标准偏差为 7.038 mV,在 x 方向所测电压值越来越大,说明光斑朝着 x 轴的正半轴移动;图 4(b)表示激光束在 z 方向的偏移结果,所测数据的平均值为 1.126 505 V、标准偏差为 30.118 mV,在 z 方向所测电压值越来越小,说明光斑朝着 z 轴的负半轴移动。

根据上述实验结果,调整导轨位置,直至四象限探测器的输出信号如图 5 所示。图 5(a)表示激光束在 x 方向的偏移结果,所测数据的平均值为 1.211 98 V、标准偏差为 1.6 mV,由图 5(a)可知,在 x 方向,所测电压值基本保持恒定;图 5(b)表示激光束在 z 方向的偏移结果,所测数据的平均值为 1.137 158 V、标准偏差为 1.119 mV,由图 5(b)可知,在 z 方向,所测电压值基本保持恒定,从而完成了对参考角锥棱镜 M_1 运动方向的准直。

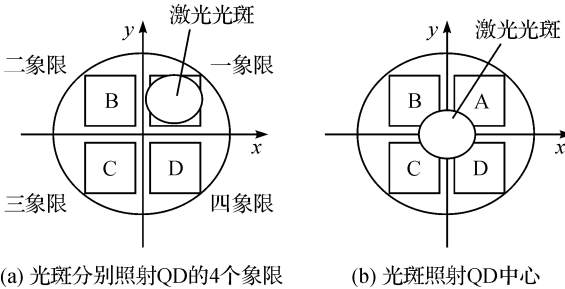


图 3 光斑照射 QD 不同位置示意

表 1 光斑分别照射 QD 4 个象限时所测电压

光斑所在位置	所测电压值/V			
第一象限	d_x	1.199 576	1.201 776	1.202 082
	d_y	1.159 056	1.160 414	1.160 344
第二象限	d_x	1.185 442	1.185 05	1.186 548
	d_y	1.165 634	1.164 576	1.166 426
第三象限	d_x	1.185 324	1.186 538	1.183 74
	d_y	1.110 41	1.111 66	1.111 522
第四象限	d_x	1.196 194	1.199 23	1.199 55
	d_y	1.118 304	1.118 816	1.118 776

表 2 参考光斑与测量光斑分别照射在 QD 中心时所测电压

参考导轨位置/mm	参考光斑		测量导轨位置/mm	测量光斑	
	d_x /V	d_y /V		d_x /V	d_y /V
0	1.20 435	1.136 362	0	1.204 444	1.135 96
100	1.205 18	1.135 854	50	1.205 336	1.136 294
200	1.205 08	1.136 748	100	1.204 896	1.135 118
300	1.204 254	1.136 96	200	1.205 052	1.134 63

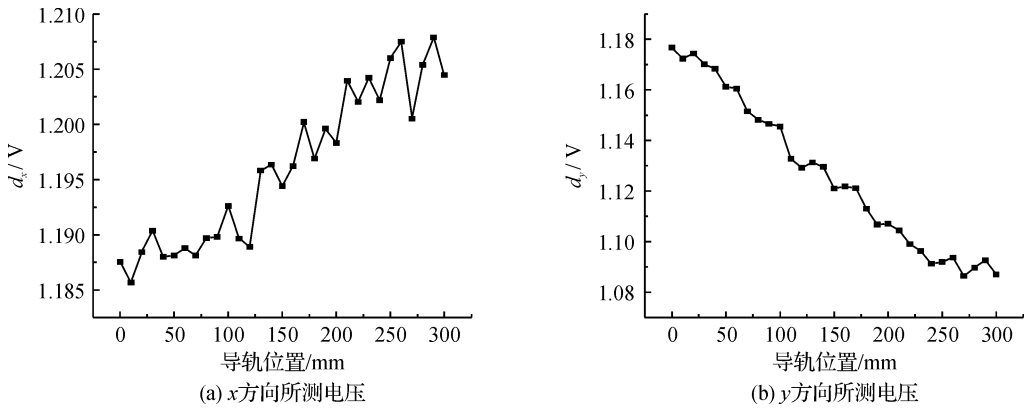


图 4 参考角锥棱镜 M_1 运动方向准直前测量结果

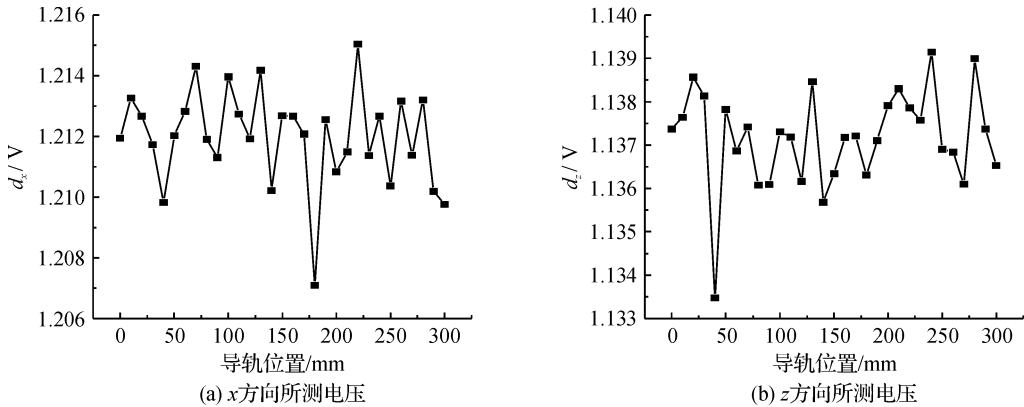


图 5 参考角锥棱镜 M_1 运动方向准直后测量结果

测量角锥棱镜 M_2 运动方向的准直测量实验:挡住来自参考角锥棱镜 M_1 的光束,测量角锥棱镜 M_2 从 0 ~200 mm,记录四象限探测器输出信号的变化,实验结果如图 6 所示。图 6(a)表示激光束在 x 方向的偏移结果,所测数据的平均值为 1.197 079 V、标准偏差为 3.204 9 mV,在 x 方向所测电压值越来越大,说明光斑朝着 x 轴的正半轴移动;图 6(b)表示激光束在 y 方向的偏移结果,所测数据的平均值为 1.151 345 V、标准偏差为 2.831 231 mV,在 y 方向所测电压值越来越小,说明光斑朝着 y 轴的负半轴移动。

根据上述实验结果,调整导轨位置,直至四象限探测器的输出信号如图 7 所示。图 7(a)表示激光束在 x 方向的偏移结果,所测数据的平均值为 1.207 956 V、标准偏差为 1.202 mV,由图 7(a)可知,在 x 方向,所测电压值基本保持恒定;图 7(b)表示激光束在 y 方向的偏移结果,所测数据的平均值为 1.135 803 V、标准偏差为 0.673 mV,由图 5(b)可知,在 y 方向,所测电压值基本保持恒定,从而完成了对测量角锥棱镜 M_2 运动方向的准直。

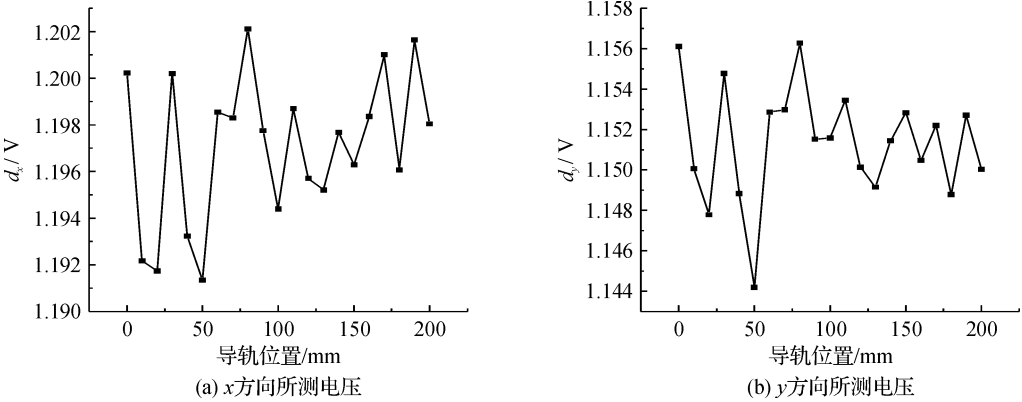


图6 测量角锥棱镜 M_2 运动方向准直前测量结果

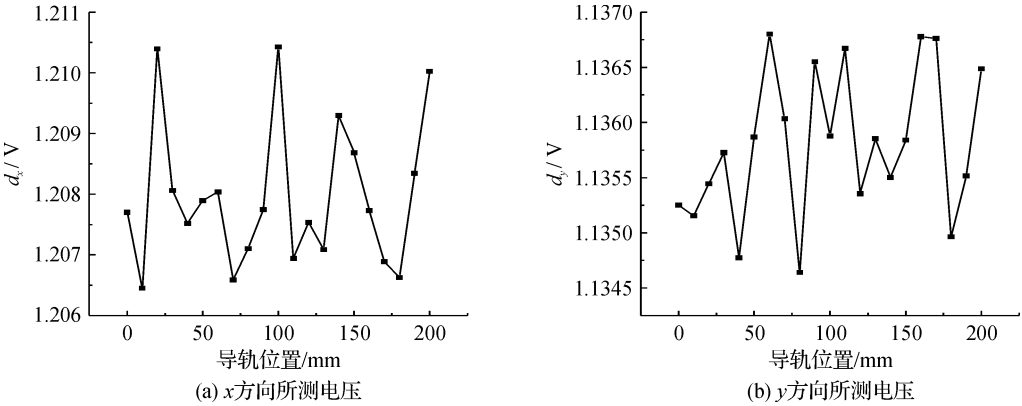


图7 测量角锥棱镜 M_2 运动方向准直后测量结果

4 结 论

对激光合成波长干涉仪的准直方法进行了研究,提出了采用四象限探测器实现激光合成波长干涉仪的准直方法,分别进行了参考角锥棱镜和测量角锥棱镜的准直实验,验证了该方法的可行性和实用性。该方法利用角锥棱镜的对称反射的特点,提高了准直精度,操作过程简单,测量方便。本方法也可推广应用于其它激光干涉仪的准直。

参考文献:

[1] Chen B Y, Yan L P, Yao X G, et al. Development of a laser synthetic wavelength interferometer for large displacement measurement with nanometer accuracy[J]. Opt Express, 2010, 18(3): 3000-3010.

[2] Kim J W, Kang C S, Kim J A, et al. A compact system for simultaneous measurement of linear and angular displacements of nano-stages[J]. Opt Express, 2007, 15(24): 15759-15766.

[3] 谭千里. 四象限探测器组件在激光制导技术中的应用[J]. 半导体光电, 2005, 26(2): 155-157.

[4] Li S G, Tong Z C. Effect of angular tracking error of quadrant detector on laser guidance[J]. Applied Laser, 2010, 30(2): 142-144.

[5] Fan K C, Zhao Y. A laser straightness measurement system using optical fiber and modulation techniques[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2000, 40(14): 2073-2081.

[6] 周建民, 白素平. 激光基准在机床工作台误差自动校正中的应用[J]. 长春光学精密机械学院学报, 2001, 24(1): 28-30.

[7] 张洪建, 方 斌, 李伟仁. 机载武器四象限测角制导新算法[J]. 激光与红外, 2002, 32(6): 425-427.

[8] 安 凯, 汪红慢, 任 戈, 等. 四象限探测仪测角新算法[J]. 激光与红外, 2001, 31(6): 328-329.

[9] 匡萃方, 冯其波, 陈士谦, 等. 基于激光准直直线度测量方法的研究[J]. 光学技术, 2003, 29(6): 699-701.

[10] 孙长库, 何明霞, 王 鹏. 激光测量技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.