

激光束偏转方向定位方法研究及应用

王芳荣 王 鼎 杨晓萍
(吉林工业大学, 长春, 130025)

摘要: 提出一种高精度确定激光束中心位置的方法。该方法以激光衍射理论为基础, 利用 CCD 作为探测器, 结合曲线拟合技术, 使激光束在 CCD 上定位精度达到光敏元尺度的 1/10。利用此方法检测棱镜顶角, 精确度达到 0.004°。

关键词: 激光束 CCD 棱镜

Precise location of laser beam center and its applications

Wang Fangrong, Wang Ding, Yang Xiaoping
(Jilin University of Technology, Changchun, 130025)

Abstract: We use a area CCD to acquire the data of the beam profile of a He-Ne laser. According to the data, we utilize the minimum square deviation to get the intensity profile curve, and define the peak point as the center of the laser beam. The accuracy of center location can be about 1μm. Then we employ the method to measure the prism angle and get the measurement precision up to 0.004°.

Key words: laser beam CCD prism

一、引 言

利用激光束的良好方向性进行几何量的测量, 有着广泛的应用^[1]。但是, 激光束有一定口径和存在衍射现象, 导致落在探测器上光斑的位置难以确定。本文提出一种提高激光束定位精度的方法。这种方法以激光衍射理论为基础, 选用 CCD 做接收器件, 将离散位置信号拟合成连续曲线, 以曲线极值位置的坐标作为激光束在探测器上位置, 从而大大提高定位的精度, 而且不受探测器光敏元尺寸的限制。

三、原 理

当一束激光通过会聚光学系统和针孔时, 如图 1 所示。针孔一方面限制激光束口径, 另一方面会产生衍射, 将 CCD 放在透镜后焦面上, 在 CCD 上衍射光强度分布如图 2 所示。

其中主极大半径是

$$\rho_0 = (0.61/a)f\lambda \quad (1)$$

式中, a 是针孔半径, f 是透镜焦距, λ 是入射波长。对 $a = 0.5\text{mm}$, $f = 100\text{mm}$, 在 He-Ne 激光束 ($\lambda = 0.6328\mu\text{m}$) 入射下, $\rho_0 = 0.77\mu\text{m}$ 。这比 CCD 光敏元尺寸大得多, 导致光斑弥散在多个光敏元上, 使光斑中心位置难以精确定位。

上述分析表明, CCD 采集的信号是由若干分立的光敏元提供。对峰值附近测定一组离散数据 $(I_i, x_i) (i = 0, 1, 2, \dots, M)$, 利用 N 阶回归法确定连续分布衍射强度函数 $I(x)$ 。设 N 阶回归函数是

$$I(x) = \sum_{j=0}^N a_j x^j \quad (2)$$

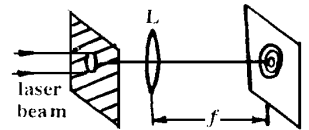


Fig. 1 The needle hole restricts laser beam

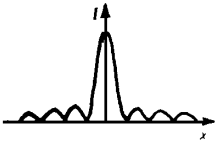


Fig. 2 Diffraction curve of the needle hole

$I(x)$ 要想与测量值有良好的拟合, 要求节点 x_i 处回归值 $I(x_i)$ 与实测值 I_i 的偏差平方和 $A = \sum_{i=0}^M [(\sum_{j=0}^N a_j x_i^j) - I_i]^2$

取极小。通过选择 a_k , 使 $\partial A / \partial a_k = 0$, 导出

$$\sum_{j=0}^N a_j S_{j+k} = T_k \quad k = 0, 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

式中, $S_k = \sum_{i=0}^M x_i^k, T_k = \sum_{i=0}^M I_i x_i^k$

利用测得的一组数据 (x_i, I_i) , 代入到 (3) 式中算出系数 a_k 和连续衍射曲线拟合函数 $I(x)$, 其极大值对应的坐标作为激光束落在 CCD 上光斑的中心位置。整个拟合过程由计算机完成。

三、棱镜顶角测量

1. 计算公式

棱镜结构如图 3 所示, 使激光束正入射, 折射光束的偏转角与棱

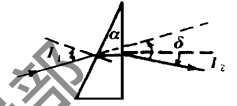


Fig. 3 The deviation of laser beam

镜顶角 α 有如下关系^[3] $\delta = \sin^{-1}(n \sin \alpha) - \alpha$ (4)

式中, n 是棱镜折射率, 约为 1.52, 通过测量 δ 计算出 α 。

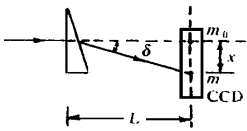


Fig. 4 The principle of measuring laser beam position by using CCD

利用激光束偏转和以 CCD 为探测器测量 δ 的原理如图 4

所示。从图示中看到, 偏转光束的方位是 $x = (m - m_0) S$ (5)

则有 $\delta = \tan^{-1} x / L$ (6)

式中, S 是 CCD 光敏元尺寸; m_0 和 m 分别是放置棱镜前后被激光束照亮的光敏元序数; L 是 CCD 到棱镜距离。由 (5) 式得到若干离散射点信号, 利用前述原理得到光束中心坐标 x , 再代入 (6) 式计算出 δ 值。

2. 测量实例

对顶角是 3° 的标准光楔进行检测, 其中: 采用 2mW 的 He-Ne 激光器, 经准直后通过直径为 1mm 的针孔, 再经过焦距为 120mm 会聚透镜入射到光楔上。折射光束经衰减片投射到 CCD 上。将 CCD 转换的离散信号送入计算机中数据处理, 确定出折射光束中心位置的坐标, 并利用 (6) 式和 (4) 式算出顶角 α , 计算结果列于附表中。

测试装置采用 TCD142D 型 CCD, 其光敏元数是 2048 个, 相邻光敏元间距是 14μm, 动态范围达 1500: 1。驱动电路数据输出率设计为 2MHz。采用帧存储器技术, 帧存储器由地址生成电路和通用存储器构成, 并加入四个锁存器以满足高速 ADC 和通用存储器的匹配。

Table Measurement data

	1	2	3	4	5
x (mm)	2.1831	2.1840	2.1829	2.1825	2.1854
δ	1.5632°	1.5638°	1.5630°	1.5627°	1.5648°
α	3.001°	3.002°	3.001°	3.000°	3.004°

参 考 文 献

- 1 张广军. 计量学报, 1994; 15(4):292~ 295
- 2 李志能. 现代光学系统原理. 北京: 北京理工大学出版社, 1994: 132~ 134
- 3 张以谟. 应用光学. 北京: 机械工业出版社, 1988: 100~ 105

* * *

作者简介: 王芳荣, 男, 1967 年 6 月出生。硕士, 讲师。现从事车灯配光系统测试仪器的研究。

