文章编号:1002-2082(2011)06-1197-05

原向反射屏剩余发散角测试

章晓眉,赵冬娥,丁江霞

(中北大学 电子测试技术重点实验室,仪器科学与动态测试教育部重点实验室,山西 太原 030051)

摘　要:提出了玻璃微珠原向反射屏的剩余发散角概念和测试方法:将激光光束投射到原向反射屏,其反射回的激光光束成像到硫酸纸(接收屏)上。利用相机拍摄不同距离下原向反射屏的成像光斑,得到光斑的图像数据;并处理相应图像数据,计算出剩余发散角。通过实验测得所用的玻璃微珠原向反射屏的剩余发散角为 0.447 8°。

关键词:玻璃微珠;原向反射屏;剩余发散角

中图分类号: TN29　　**文献标志码**: A　　**doi**:10.5768/JAO201132.0603008

Remained divergence angle test of Scotchlite retroreflector

ZHANG Xiao-mei, ZHAO Dong-e, DING Jiang-xia

(Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: This paper proposed the concept of the remained divergence angle of Scotchlite retroreflector, and designed the testing system. The laser beam was transmitted to the Scotchlite retroreflector, the reflected laser beam was imaged on the sulfuric acid paper(equivalent to receiving screen), and the image data of the laser spots at different distances were captured by using a camera. In order to calculate the remained divergence angle, a program for corresponding image data was written. Experiment results showed that the remained divergence angle of Scotchlite retroreflector used in the test was 0.447 8°.

Key words: glass bead; Scotchlite retroreflector; remained divergence angle

引言

微珠玻璃原向反射屏是由玻璃微珠[1]涂敷在压敏胶膜上,再粘贴到平板上构成。其结构示意图如图 1 所示。微珠玻璃原向反射屏的主要特性是原向反射。如将其后表面镀上铝或银膜,就能大大提高反射亮度。在光测领域,玻璃微珠原向反射屏[2]不失为一种价廉物美的定向反射器件。根据其特性,原向反射屏可以用于测速与告警等场合。为了表征玻璃微珠这种原向反射屏的反射特性,可将其反射光束的光强分布面的渐近圆锥面的锥顶角定义为剩余发散角[3]。本文介绍了一种测试玻璃微珠原向反射屏剩余发散角的方法[4]。

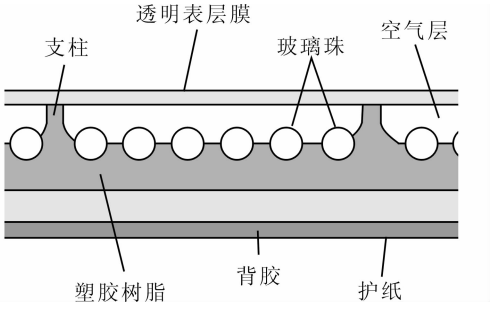

图 1　玻璃微珠原向反射片结构示意图

Fig. 1　Schematic diagram of grass head Scotchlite retroreflector

收稿日期:2011-01-29;　**修回日期**:2011-05-10

基金项目:山西省科技基础条件平台建设项目(201009101)

作者简介:章晓眉(1987—),女,浙江玉环人,硕士研究生,主要从事光电检测技术研究。E-mail:zhangzxm@qq.com

1 剩余发散角的测试原理

测试玻璃微珠原向反射屏的剩余发散角[3,5],是利用相机拍摄原向反射屏反射回来的光束在硫酸纸上成像的光斑的大小来计算的。图 2 是测试发散角实验装置的示意图,激光(线光源红光激光 50 mw)光束入射到半透半反的分光镜(尺寸大小 80 mm×65 mm)上,光束经过透射,投射到一定距离的原向反射屏上。根据原向反射特性,反射回的光束经过分光镜反射成像到硫酸纸上,调整相机的位置,聚焦到硫酸纸上的光斑部分,拍摄不同距离下的原向反射屏反射回的光斑,利用 MATLAB 算法处理图像中光斑的大小,并根据相应的比例关系,得出原向反射屏的剩余发散角。实验中的硫酸纸是一种质地坚实、密致且微透明的材料,在这里用的是其微透明特性,将其作为接收光斑的接收屏[6]。实验中采用的相机是德国的一款相机,其性能:

1) 分辨率:1 280×1 024 像素;
2) CMOS 传感器,像素尺寸 14 μm×14 μm;
3) 灰度等级:高达 1 024 即 10 位分辨率;
4) 可编程的 CameraLink 接口,异步触发;
5) 宽电源电压范围。

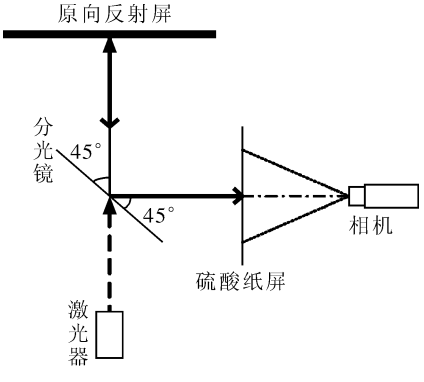

图 2 测试发散角装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of device for testing divergence angle

2 剩余发散角的理论计算

2.1 总的计算模式

利用 MATLAB 软件编写相应的程序,对图像进行处理,得到不同距离下的光斑的直径。剩余发散角的计算示意图如图 3 所示。

图 3 中 AB 与 CD 为两种不同距离下所测得的光斑直径;AD 及 BC 的反向延长交于 O 点。EF 为两种不同距离的差距(这里的距离指原向反射屏距离激光器出孔的垂直距离)。发散角的计算过程如下:

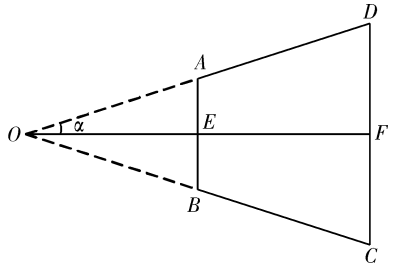

图 3 发散角计算示意图

Fig. 3 Schematic diagram of divergence angle calculation

在 $Rt\triangle OAE$ 中 $\alpha = actan(|AE|/|OE|)$,而 $|AE|=|AB|/2$,$|AB|$ 是光斑的直径,即 $|AB|$ 为已知量。同时 $|EF|$ 是两种不同距离的差距,也是已知量。关键在于求 $|OE|$ 的值。

由于 $\triangle OAE$ 与 $\triangle ODF$ 相似,可得出比例关系式:$|AE|/|DF|=|OE|/|OF|$,其中 $|OF|=|OE|+|EF|$,又因为对称性,$|AE|=|AB|/2$,$|DF|=|CD|/2$,故此比例式又可以写为:$|AB|/|CD|=|OE|/(|OE|+|EF|)$可以得出:$|OE|=|AB|\times|EF|/(|CD|-|AB|)$,进而得出发散角 α 为

$$\alpha = actan\ (|CD|-|AB|)/(2\times|EF|) \tag{1}$$

根据可以求得的已知量:光斑直径与原向反射屏的距离以及(1)式,即可得出原向反射屏的剩余发散角。

2.2 光斑直径计算

我们依照局部图像领域的性质来改变阈值的方法来对图像进行二值化[7]。光斑图像对应 $f(x,y)$,该图像以背景上的较亮对象组成,采用这种方法,目标和背景像素会具有两种主要模式的灰度级。一种从背景上提取对象的明显方法是选取一个阈值 T 来分离这两种模式。任何满足 $f(x,y)\geqslant T$ 的点 (x,y) 称为对象点,其他点则称为背景点。换言之,阈值处理后的图像 $g(x,y)$ 定义为

$$g(x,y)=\begin{cases}1 & f(x,y)\geqslant T\\ 0 & f(x,y)\leqslant T\end{cases} \tag{2}$$

标注为 1 的像素对应对象,而标注为 0 的像素则对应于背景。T 为常数时,这种方法称为全局阈值处理。利用这种方法进行二值化。

截取光斑区域是先找出图像中亮度最大值与

光强最强点对应,以像素最大值作为圆心,以最大值的 $1/e^2$ 作为光斑的边界[2],将符合条件的像素值置为 1,其他的均置为 0,进行二值化处理,处理时由于在边界和靠近中心之间部分并不是所有的像素值均为 1,所以处理时边界取的是平均值。最后根据像素和距离的标定值转换成光斑的直径。

拍摄光斑图像后需要得出光斑的实际尺寸,所以需要进行相机的实际距离与像素值之间的标定,在一张黑纸上贴上两条反光膜拍摄一幅图像进行标定。光斑直径的计算方法为光斑图像所占的像素乘以每个像素所占长度;光斑图像所占的像素,采用截取方法,先在二值化后的光斑图像上选取上下左右 4 个方向的边缘值,通过这 4 个值大致确定光斑位置,然后在这个大致位置上调整截取图像,最后得出较为理想的截取图像。

3　测试步骤及结果

3.1　测试步骤

根据实验原理调整激光器[8]、分光镜、硫酸纸的位置,鉴于实验用的分光镜的尺寸为 80 mm×65 mm,激光器入射到分光镜上长度不能超出分光镜的尺寸,最终调整的位置为激光器与分光镜的夹角为 45°,分光镜与硫酸纸所在平面的夹角也调为 45°。原向反射屏贴在与激光器的光轴垂直与激光器出射的光线平行的方向,相机位于硫酸纸的正后面,拍摄所成的光斑。实验装置:激光器、分光镜及硫酸纸屏的相对位置如图 4 所示。

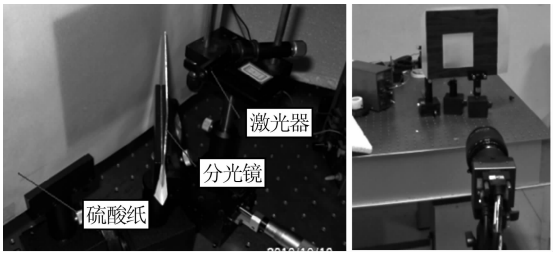

图 4　总体装置:激光器、分光镜、硫酸纸、相机相对位置图

Fig. 4　Overall devices: laser, beam splitter, sulfuric acid paper and camera

将原向反射屏分别放在距激光器出孔不同距离的位置上,用钢卷尺测量其距离分别为 1.22 m 和 1.50 m,用相机分别拍摄不同状态下硫酸纸上所成的光斑图像。

图像标定:拍摄光斑图像后需要得出光斑的实际尺寸,所以需要进行相机的实际距离与像素值之间的标定,在一张黑纸上贴上两条反光膜拍摄一幅图像进行标定。

3.2　试验数据处理及结果

相机的标定图像如图 5 所示。

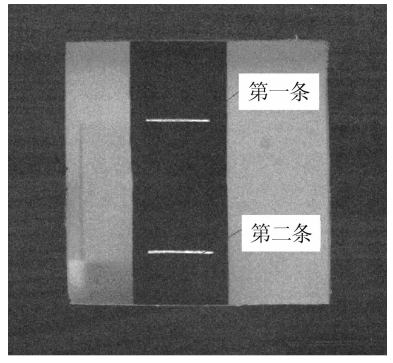

图 5　用于标定图像

Fig. 5　Images to be calibrated

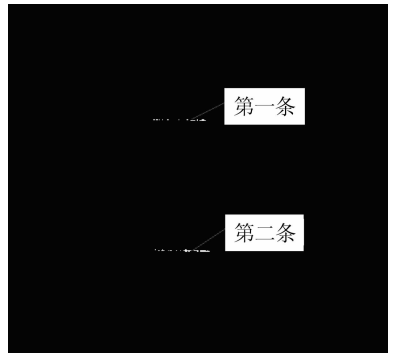

图 6　处理后的标定图像

Fig. 6　Calibration images after processing

利用 MATLAB 算法处理图像[3],考虑到列方向还有两条反光膜的宽度,所以选择横方向的最大值与最小值进行计算;经测量图 4 中第 1 条的长度为 24.4 mm,所占像素为 67 个,得出标定系数为 0.364 18 mm/pixel;第 2 条的长度为 25.2 mm,所占像素为 69 个,则标定系数为 0.365 22 mm/pixel。取两个标定系数的平均值得出标定系数为 0.364 7 mm/pixel。

根据文中 1.2 部分的介绍;截取范围:横向像素从 260 至 370,纵向像素从 225 至 335,得出较为理想的截取图像如图 7(右)所示。即距离为 1.22 m 时的光斑直径所占像素为 110 个,则根据像素标定系数得出直径为 40.117 mm。由于光斑边界发散较为厉害,所以无法很好确定光斑大小,误差是必然存在的;只能是通过横向和纵向不同值的

截取尽可能地去近似,如图 7(右)是较为理想的截取图像[9]。

在 1.22 m 处所拍摄的光斑图像,二值化后的光斑图像及二值化后截取的光斑图像分别如图 7 所示。

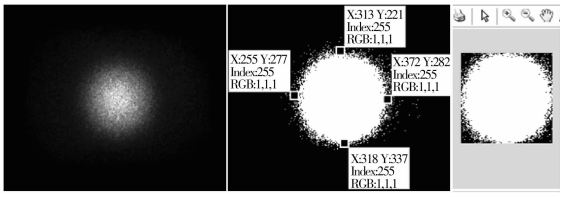

图 7 (左)1.22 m 光斑 (中)二值化后的光斑 (右)二值化后截取的光斑

Fig. 7 1.22 m laser spot(left), spot after binaryzation (middle) and intercepted binaryzation spot(right)

在 1.50 m 处所拍摄的光斑图像,二值化后的光斑图像及二值化后截取的光斑图像分别如图 8 所示。

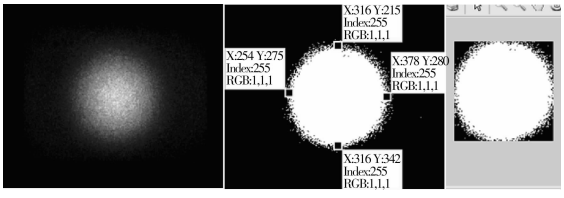

图 8 (左)1.50 m 光斑 (中)二值化后的光斑 (右)二值化后截取的光斑

Fig. 8 1.50m laser spot(left), spot after binaryzation (middle) and intercepted binaryzation spot(right)

同距离为 1.22 m 时的处理方法一样,图 8(右)为距离为 1.50 m 时范围较为理想的截取图像,此时的截取范围:横向像素从 254 至 376,纵向像素从 218 至 341;即距离为 1.50 m 时的光斑直径所占像素为 122 个,则根据像素标定系数得出直径为 44.493 4 mm。根据 (1)式计算得出剩余发散角的大小为 0.447 8°。

3.2 试验数据处理各过程误差分析

第一,用钢卷尺测量原向反射屏与激光器出孔距离。实验中使用的钢卷尺分度值为 1 mm,测量时常可估读到 0.1 mm。为了避免米尺端面磨损引起的零位误差,选择米尺上的某一刻度作为起点,测量时应把米尺的刻度面与待测物体贴紧(处在同一平面内),以尽量减小读数视差引起的测量误差。所以距离测量误差一定小于±2 mm,而试验测得的距离差为 282 mm,即误差小于 1%。

第二,像素标定处理过程。处理后的标定图像亮斑较为清晰,所以在读取像素时误差基本不存在可以忽略不计,而对反光膜长度是采用千分尺进行测量的,所以误差也较小可以忽略不计;且采取了取平均值来减小误差。

$$|0.365\ 22-0.364\ 7|/0.364\ 7=0.007\ 68$$

$$|0.364\ 18-0.364\ 7|/0.364\ 7=0.007\ 68$$

即相对误差小于 1%。

第三,光斑大小处理过程。由于光斑边界发散较为严重,无法很好确定光斑大小,所以误差是必然存在的。只能是通过横向和纵向不同值的截取尽可能地近似,如图 7(右)及图 8(右)均为较理想的截取图像。为了减小误差及验证结果,选用另一种 MATLAB 算法处理光斑。利用其算法找出二值化后的光斑的中心点;以这个中性点为圆心以 1 个像素为步长画同心圆;在光斑边界选取最佳圆;用最佳圆横坐标的最大值与最小值确定光斑直径[10]。如图 9(左)及(右)所示,为处理后的图像。从图中得出距离 1.22 m 及 1.50 m 时,光斑直径大小分别占 112 个像素和 124 个像素。两种算法处理得出像素差均为 12 个像素,通过计算得出剩余发散角都为 0.447 8°,两种算法处理后结果一致,说明该测试方法准确可靠。

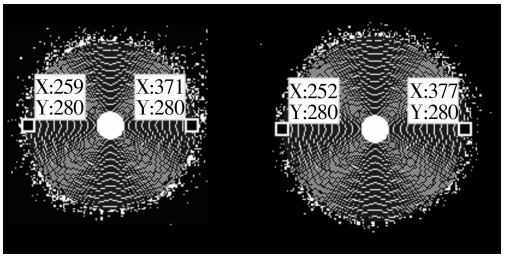

图 9 处理后光斑图像(左)1.22 m (右)1.50 m

Fig. 9 Spot images after processing

4 小结

剩余发散角的大小直观地反映了原向反射屏的性能精度,厂家和使用者可以通过这种方法测试原向反射屏的性能精度;通过剩余发散角的大小直接了解原向反射屏的性能精度。衡量原向反射屏性能的好坏及原向反射屏的反射率与光强分布等。可以根据本实验思路和方法进一步对不同材质的原向反射屏的剩余发散角进行测试;也可以利用文中介绍的装置对原向反射屏的反射率与

光强分布等方面进行测试。在光测领域,剩余发散角的大小测试对特定所需的光电探测器的制作也具有参考价值。

参考文献:

[1] 纪小辉,陈彤.基于光电技术的玻璃折射率测量[J].应用光学,2010,31(5):777-780.
JI Xiao-hui,CHEN Tong. Measuring refractive index of optical glass based on photo-electric technology [J]. Journal of applied Optics,2010, 31(5): 777-780.(in Chinese with an English abstract)

[2] 王圣佑,曹才艺.光测原理和技术[M].北京:兵器工业出版社出版,1992:164-166.
WANG Sheng-you, CAO Cai-yi. Optical measurement principles and techniques [M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 1992: 164-166.(in Chinese)

[3] 赵冬娥,周汉昌.原向反射式激光光幕测速技术研究[J].中北大学学报,2005,26(6):432-435.
ZHAO Dong-e,ZHOU Han-chang. The original to the reflection of the laser screen velocimetry[J]. North University Paper, 2005, 26(6):432-435. (in Chinese with an English abstract)

[4] 杨宏坤.高折射率玻璃微珠折射率的测量研究[D].成都:四川大学,2006:42-46.
YANG Hong-kun. Refractive index measurement of the high refractive index glass beads[D]. Chengdu: Sichuan University, 2006:42-46.(in Chinese)

[5] 杨述平.用于高速摄影的触发信号源[J].应用基础与工程科学学报,2005,13(1):93-98.
YANG Shu-ping. Trigger signal source for the high-speed photography [J]. Application of Basic Science and Engineering, 2005,13 (1): 93-98. (in Chinese with an English abstract)

[6] 王思冲.正字硫酸纸原版的晒版技巧[J].印刷技术,2006(16):87.
WANG Si-chong. Orthographic skills sulfuric acid paper the original printing technology[J]. Printing Technology, 2006(16): 87.(in Chinese with an English abstract)

[7] 冈萨雷斯.数字图像处(MATLAB版)[M]. 阮秋琦,译.北京:电子工业出版社,2005:76.
GONZALEZ RC. Digital image processing (MATLAB version) [M]. Ruan Qiu-qi, translation. Beijing: Electronic Industry Press, 2005: 76. (in Chinese)

[8] 杨耿,安宝林,薛晋生,等.基于"猫眼效应"的狙击手光电探测仪[J]. 应用光学,2010,31(5) :860-863.
YANG Geng, AN Bao-lin, XUE Jin-sheng et al. Sniper detector based on cat eye effect[J]. Journal of Applied Optics, 2010, 31(5): 860-863.(in Chinese with an English abstract)

[9] 赵明福,郗红丽,王慧中.激光远场光斑测量方式比较分析[J].中国科技博览,2010(21):131.
ZHAO Ming-fu, XI Hong-li, WANG Hui-zhong. Comparative analysis of laser far-field spot measurements[J]. China Science and Technology Review, 2010(21):131.(in Chinese with an English abstract)

[10] 魏振忠,高明,张广军.一种光斑图像中心的亚像素提取方法[J].光电工程.2009,36(4):7-12.
WEI Zhen-zhong, GAO Ming, ZHANG Guang-jun. A subpixel extraction method of the spot image center[J]. Optical Engineering,2009,36 (4):7-12.(in Chinese with an English abstract)