

## 高斯光束的判别和测量

朱延彬 沈孝伟 周和平

(中国科学院安徽光机所)

**提要:** 提出一种判别和测量高斯光束的新方法。在截面内对任意等距四点采光测量,就可判别和测量此高斯光束。

## Judgement and measurement of Gaussian beams

Zhu Yanbin, Shen Xiaowei, Zhou Heping

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei)

**Abstract:** Gaussian beams can be judged and measured using a new method described here which measures only the intensities on four coordinate points in the same cross section of the measured beam.

## 一、前言

由于高斯光束在光学中的重要性,特别是在激光领域中的重要性,所以对高斯光束的研究及测量就一直是一个重要课题。曾经有过许多方法来研究和测量高斯光束的束径。例如扫描针孔法<sup>[1]</sup>、扫描刀口法<sup>[2]</sup>、扫描狭缝法<sup>[3]</sup>、扫描 Ronchi 刻尺法<sup>[4]</sup>以及作者提出的等距三点采光测量法<sup>[5]</sup>等等,这些测量方法的重要前提都是确认该测量光束是高斯光束。而为了确定该测量光束是否为高斯光束就必须反复多次测量,因此是较为繁琐的。本文在作者提出的等距三点采光测量求得此光束的径向强度分布及束径的基础上,改三点测量为四点测量,就可以较准确地判别被测光束是否为高斯光束,而且可同时求得此

光束(如为高斯光束)的束径及径向强度分布。

## 二、基本原理

假定所测量的高斯光束的径向强度分布为:

$$I(r) = I_0 \exp \left[ -2 \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

式中  $I_0$  为光束中心的峰值强度,  $r_0$  为光束半径。

如采用直角坐标系表示,在  $x$  轴的径向强度分布将为:

$$I(x) = I_0 \exp \left[ -2 \left( \frac{x}{r_0} \right)^2 \right] \quad (2)$$

在  $x$  坐标轴有任意四个坐标点  $x_1, x_2,$

$x_3$ 、 $x_4$ ，而且，如图 1 所示，这几个坐标点取值

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= c; \\ |x_2 - x_1| &= |x_3 - x_2| = |x_4 - x_3| = d. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

于是，高斯光束在这四个坐标上所对应的强度分别为：

$$\left. \begin{aligned} I(x_1) &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{-c}{r_0}\right)^2\right]; \\ I(x_2) &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{d-c}{r_0}\right)^2\right]; \\ I(x_3) &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{2d-c}{r_0}\right)^2\right]; \\ I(x_4) &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{3d-c}{r_0}\right)^2\right]. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

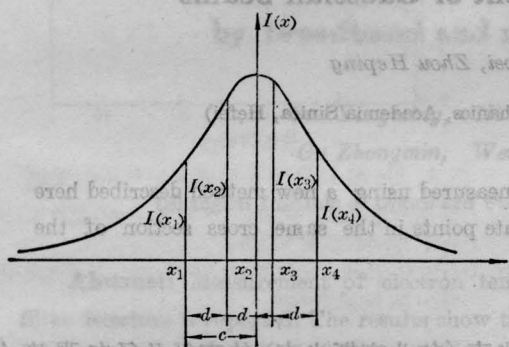


图 1

根据在高斯光束截面内对任意等距三点采光测量即可求得此光束的径向强度分布及束径的基本原理<sup>[5]</sup>，由  $I(x_1)$ 、 $I(x_2)$ 、 $I(x_3)$ 、 $d$  一组数据以及  $I(x_2)$ 、 $I(x_3)$ 、 $I(x_4)$ 、 $d$  另一组数据，可分别求得此高斯光束的束径为：

$$\left. \begin{aligned} r_{01} &= \sqrt{\frac{4d^2}{A_1}}; \\ r_{02} &= \sqrt{\frac{4d^2}{A_2}}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(5)式中的  $A_1$ 、 $A_2$  是由两组数据所确定的系数：

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \ln \frac{I(x_1)}{I(x_3)} - 2 \ln \frac{I(x_1)}{I(x_2)}; \\ A_2 &= \ln \frac{I(x_2)}{I(x_4)} - 2 \ln \frac{I(x_2)}{I(x_3)}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

至此可得如下结论：

(1) 由于采用了光束截面上任取等距四点采光测量其强度，并分成两组数据（一组为  $I(x_1)$ 、 $I(x_2)$ 、 $I(x_3)$ 、 $d$ ；另一组为  $I(x_2)$ 、 $I(x_3)$ 、 $I(x_4)$ 、 $d$ ）。按上面导出的公式分别求得此高斯光束的束径  $r_{01}$ 、 $r_{02}$ ，如无测量误差， $r_{01} = r_{02}$  必然无疑。

(3) 如果所测光束不是高斯光束，而是其他强度分布的光束，在其截面内等距四点的光强将不遵守(4)式所给出的值。此时，利用  $I(x_1)$ 、 $I(x_2)$ 、 $I(x_3)$ 、 $d$  一组数据及利用  $I(x_2)$ 、 $I(x_3)$ 、 $I(x_4)$ 、 $d$  这一组数据代入(5)、(6)式所求得的  $r_{01}$  和  $r_{02}$  必不相同或等于无穷大。举例如下：

(a) 如激光束为均匀强度分布， $I(x_1) = I(x_2) = I(x_3) = I(x_4)$ ，则  $A_1 = 0$ ， $r_{01} = \infty$ ； $A_2 = 0$ ， $r_{02} = \infty$ ；

(b) 如光束为反余弦函数强度分布， $I(x_1) = I(x_4)$ ； $I(x_2) = I(x_3)$ ，在  $c = 2d$ ， $I(x_2) = \frac{I(x_1)}{2}$  时，则  $A_1 = -\ln 2$ ， $A_2 = -\ln \frac{1}{2}$ ， $r_{01} = 0.64r_{02}$ ，即  $r_{01} \neq r_{02}$ 。

上述几点表明，如能在光束截面上测得任意等距四点的光强值并分为两组数据加以计算及处理后，就可实现下述两个目标：1) 判别该光束是否为高斯光束。如果是高斯光束，则由两组数据求得的束径  $r_{01}$  和  $r_{02}$  相同（如有测量误差，则相近）；反之，如果  $r_{01} \neq r_{02}$ ，或  $r_{01} = r_{02} \rightarrow \infty$ ，则不是高斯光束；2) 如该光束经判别后确认为高斯光束，就可根据(4)~(6)等式求得此高斯光束的束径，并根据(1)式写出其径向强度分布式。

### 三、测量装置及测试结果

我们研制了一台判别和测量高斯光束的束径及一维径向强度分布的装置，如图 2 所示。摄像机把激光束成像于硅靶摄像管的靶面上，输出的电视信号及行场同步脉冲由专用电路(图 2 方框图所示)进行处理之后送到

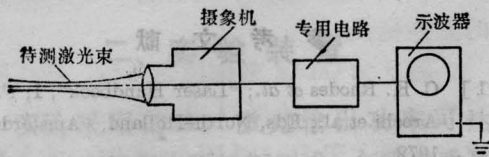


图 2

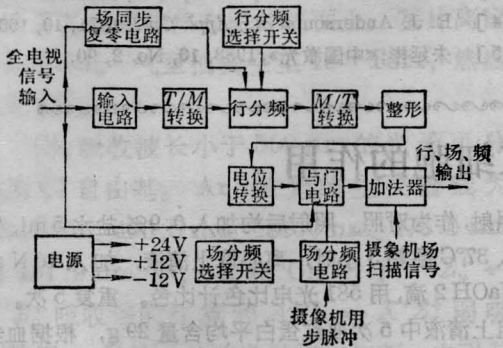


图 3

示波器观测及测量，也可送到计算机去打印并显示。

举例：

### (1) 对非高斯光束的判别

图 4 为模式极差的 He-Ne 激光束示波器照片，这是专用电路对摄像机行同步脉冲采取十分频后拍摄的，行分频间距（相当于  $x$  坐标）在摄像机靶面上计量相当于  $d=0.3$  mm。如任取靠近光斑中心的四根分频线的高度，则测得  $I(x_1)=18$ ,  $I(x_2)=34.8$ ,  $I(x_3)=36.3$ ,  $I(x_4)=34.8$ 。于是利用 (5)、(6) 两式就可求得此激光束在摄像机靶面的束径为： $r_{01}=0.76$  mm,  $r_{02}=2.12$  mm，即  $r_{01} \neq r_{02}$ 。根据前述判别高斯光束的基本原理，此激光束不是高斯光束。这一点在示波器的照片中已清楚看出，本方法于此取得数据加以定量判别。

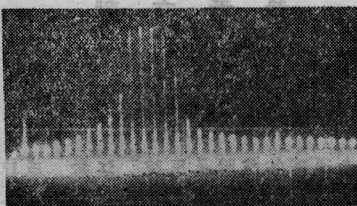


图 4

### (2) 对高斯光束的判别与测量

图 5 所示为一张单模 He-Ne 激光束的示波器照片。对它的测量结果是： $d=0.3$  mm,  $I(x_1)=4.85$ ,  $I(x_2)=8.38$ ,  $I(x_3)=10.0$ ,  $I(x_4)=8.35$ 。按 (5)、(6) 等式分别求得： $A_1=0.37$ ,  $r_{01}=0.986$  mm  $\approx 1$  mm;  $A_2=0.35$ ,  $r_{02}=1.01$  mm  $\approx 1$  mm,  $r_{01} \approx r_{02}$ 。因此可以认为此光束是高斯光束，而且它的束径  $r_0 \approx 1$  mm，它的径向强度分布为： $I(r) = I_0 \exp(-2r)$ 。

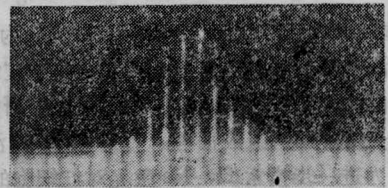


图 5

## 四、测量误差及高斯光束的判别

微分 (5) 式可得本方法对高斯光束的束径测量的相对误差表示式：

$$\frac{dr_0}{r_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial A}{A} + \frac{\partial d}{d} \quad (7)$$

通常  $\frac{\partial d}{d}$  很小，可忽略。因此束径的测量误差主要是取决于光束截面内采光测量其光强的精度。由于四点光强测量相对误差大体相同，即

$$\frac{\partial I(x_1)}{I(x_1)} = \frac{\partial I(x_2)}{I(x_2)} = \frac{\partial I(x_3)}{I(x_3)} = \frac{\partial I(x_4)}{I(x_4)} = \varepsilon \%$$

因此

$$\frac{dr_0}{r_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4I(x_1)}{I(x_1)} \cdot \frac{1}{A} = \frac{2\varepsilon}{A} \% \quad (8)$$

这也就是说，本文提出的方法对高斯光束束径的测量相对误差将取决于采光测量光强的相对误差。本文前面介绍的测量装置对四点光强的相对测量误差小于  $\pm 2.5\%$ 。

现在可以提出在有一定光强测量误差的



条件下,利用前面叙述的  $r_{01}$  和  $r_{02}$  的差值来判别所测光束是否为高斯光束的判据为:

当  $|r_{01} - r_{02}| \leq \bar{r}_0 \cdot \frac{2\varepsilon\%}{A}$  时, 为高斯光束;

当  $|r_{01} - r_{02}| > \bar{r}_0 \cdot \frac{2\varepsilon\%}{A}$  时, 非高斯光束。

其中,  $\bar{r}_0 = \frac{r_{01} + r_{02}}{2}$ ;  $A = \frac{A_1 + A_2}{2}$ 。

## 参 考 文 献

- [1] C. K. Rhodes *et al.*; "Laser Handbook", 1, F. T. Arechi *et al.*, Eds, North-Holland, Amsterdam, 1972.
- [2] Y. Suzuki *et al.*; *Appl. Opt.*, 1975, 14, 2809.
- [3] J. E. Pearson *et al.*; *JOSA*, 1969, 59, 1440.
- [4] R. J. Anderson *et al.*; *Appl. Opt.*, 1971, 10, 1605.
- [5] 朱延彬;《中国激光》, 1983, 10, No. 2, 90.

## He-Ne 激光对红细胞的作用

He-Ne 激光对红细胞的作用,有的认为可引起周围血液和凝血系统的变化,提高血液中红细胞和血红蛋白的含量<sup>[1]</sup>;1962年巴黎国际血液研究所报告:激光对红细胞造成损害,而对白细胞没有损害<sup>[2]</sup>。为进一步摸索 He-Ne 激光对红细胞的影响,我们作了如下实验。

### 一、实验条件

1. 由6根 He-Ne 激光管组成激光机,每根激光管输出功率 40 mW 左右,透镜聚焦损失 25%,故总功率 30~160 mW,光斑直径 0.4 cm。20 mW He-Ne 激光管,经透镜发散后输出功率为 15 mW,光斑直径 2 cm。

2. 标本:正常人鲜血,每立方毫米中含 380 万红细胞。

### 二、方法和结果

1. 取标本血 10 ml 加入 90 ml 琼脂中,配制成 5 只血琼脂平皿,每只 20 ml。用功率密度 238 mW/cm<sup>2</sup> 和 943 mW/cm<sup>2</sup> 的 He-Ne 激光分别在 5 只平皿上照射 60、30、15、10 和 5 分钟,然后置 37°C 温箱内 24 小时。在光功率密度 943 mW/cm<sup>2</sup> 的 He-Ne 激光照射处均形成透亮区(溶血区),而在 238 mW/cm<sup>2</sup> 的激光照射处则无溶血区。在 1000 倍显微镜下计数红细胞。用 943 mW/cm<sup>2</sup> 激光照射 60 分钟时平均每个视野内可见到 1 个红细胞;照射 30 分钟平均每个视野内有 2 个红细胞;15 分钟的 9 个;10 分钟的 15 个;5 分钟的 55 个。光功率密度 238 mW/cm<sup>2</sup> 的激光照射 60、30、15、10 和 5 分钟均与对照组相似,每个视野内有 102 个左右的红细胞。

2. 以 3.8% 枸橼酸钠抗凝标本血 15 ml 分成 A、B、C、D、E 5 组,每组 3 ml。离心去除上清液,使红细胞浓缩。用 943 mW/cm<sup>2</sup> 的 He-Ne 激光照射前 4 组,每组照射 3 点。A 组每点照射 30 分钟, B、C、D 3 组分别每点照射 20、15 和 5 分钟, E 组不

照射,作为对照。照射后均加入 0.9% 盐水 5 ml,置入 37°C 温箱 3 小时,离心取上清液,加入 10 N 的 NaOH 2 滴,用 581 光电比色计比色。重复 5 次。A 组上清液中 5 次血红蛋白平均含量 29 g,根据血红蛋白标准曲线,相当红细胞已破坏 1000 万。B 组血红蛋白平均含量 19.5 g,相当红细胞被破坏 665 万。C 组 17.4 g,相当于红细胞 588 万;D 组 9.5 g,相当于红细胞 330 万。对照组血红蛋白平均含量 5.2 g,相当红细胞被破坏 180 万。

同法,238 mW/cm<sup>2</sup> 的 He-Ne 激光每点分别照射 30、20、15 和 5 分钟,上清液中的血红蛋白含量均与对照组相近。

3. 从接受 He-Ne 激光治疗喉部疾病的患者中,用输出功率 15 mW,光斑直径 2 cm、功率密度 4.8 mW/cm<sup>2</sup> 的 He-Ne 激光每天照射喉结一次,每次 10 分钟,10 次为一疗程。随机检验 100 人末梢血液,分别化验激光照射一疗程前后的红细胞和血红蛋白。结果 100 人照射前的红细胞平均为 431.253 万/mm<sup>3</sup>,血红蛋白 12.548 g。照射后红细胞为 409.97 万/mm<sup>3</sup>,血红蛋白 11.952 g,平均每人比照射前红细胞减少 21.28 万,血红蛋白减少 0.596 g。经统计学处理,  $P > 0.05$ , 差异无显著意义。

本实验说明功率密度较大的 He-Ne 激光对红细胞有破坏作用,而功率密度较低的 He-Ne 激光对红细胞影响不大。

## 参 考 文 献

- [1] 许春帆,汪荫棠;“激光及其临床应用”,第一版,南京,江苏科学技术出版社,1983, p. 97.
- [2] 同上, p. 120.

(南通医学院附属医院 江新 戚琼芳  
徐子如 刘兰英 曹金德  
1985年5月21日收稿)