DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.1991.05.031

物 理 实 验
第11卷 第5期

# 狭缝扫描法测量高斯光束光斑尺寸

孙 定 源

（辽宁大学物理系）

在激光束参数测量中，常常使用针孔扫描法来测量光束光强的轮廓分布，但该法要求扫描的针孔必须通过光斑中心，否则会引起较大的测量误差，另外，若被测光斑较小，所需针孔就较小，亦增加了测量的难度。本文介绍利用狭缝作一维扫描，同样可以得到高斯光束的光强分布，但是避免了对中的麻烦，而且由于通过狭缝的光能较强，方便了操作，提高了信噪比。

设高斯光束横向光强分布为

$$I(x,y)=I_0\exp\left[-\frac{2(x^2+y^2)}{\omega^2}\right] \tag{1}$$

式中，$I_0$为光束中心点的光强，$\omega$为光斑半径。若扫描狭缝宽为$\varDelta$，缝中心在$x'$处，缝长远大于光斑直径，那末通过狭缝的光能是

$$P(x')=\int_{x'-\Delta/2}^{x'+\Delta/2}\int_{-\infty}^{\infty}I_0\exp\left(-\frac{2x^2}{\omega^2}\right)\times\exp\left(-\frac{2y^2}{\omega^2}\right)dydx$$

即

$$P(x')=\omega I_0\sqrt{\frac{\pi}{2}}\int_{x'-\Delta/2}^{x'+\Delta/2}\exp\left(-\frac{2x^2}{\omega^2}\right)dx \tag{2}$$

对（2）式作变量替换，令$x=\dfrac{\omega}{\sqrt{2}}t$，则（2）式变为

$$P\left(\frac{\omega}{\sqrt{2}}u\right)=\omega^2I_0\frac{\sqrt{\pi}}{2}\int_{u-\delta}^{u+\delta}\exp(-t^2)dt$$

$$=\frac{1}{2}\omega^2I_0\sqrt{\pi}\left[\int_0^{u+\delta}\exp(-t^2)dt-\int_0^{u-\delta}\exp(-t^2)dt\right] \tag{3}$$

式中，$u=\dfrac{\sqrt{2}}{\omega}x'$，$\delta=\dfrac{\varDelta}{\sqrt{2}\,\omega}$。根据积分公式

$$\int_0^x\exp(-t^2)dt=x-\frac{1}{1!}\frac{x^3}{3}+\frac{1}{2!}\frac{x^5}{5}-\cdots$$

（3）式可写成

$$P\left(\frac{\omega}{\sqrt{2}}u\right)=\frac{1}{2}\omega^2I_0\sqrt{\pi}\left\{\left[(u+\delta)-(u-\delta)\right]-\frac{1}{3}\left[(u+\delta)^3-(u-\delta)^3\right]+\frac{1}{2!}\cdot\frac{1}{5}\left[(u+\delta)^5-(u-\delta)^5\right]-\cdots\right\}$$

一般有$\varDelta\ll\omega$，即$\delta\ll1$，这时展开上式，略去$\delta^5$以上各项，得到

$$P\left(\frac{\omega u}{\sqrt{2}}\right)=$$



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$=\omega^2 I_0\sqrt{\pi}\delta\left\{\left(1-u^2+\frac{u^4}{2!}-\frac{u^6}{3!}+\cdots\right)\right.$$

$$-\frac{\delta^2}{3}\left(1-u^2+\frac{u^4}{2!}-\frac{u^6}{3!}+\cdots\right)$$

$$\left.+\frac{2}{3}u^2\delta^2\left(1-u^2+\frac{u^4}{2!}-\frac{u^6}{3!}+\cdots\right)\right\}$$

$$=\omega^2 I_0\sqrt{\pi}\cdot\delta$$

$$\times\exp(-u^2)\left[1+\frac{1}{3}\delta^2(2u^2-1)\right] \quad (4)$$

说明狭缝扫描得到的是一个近似的高斯分布，其修正项是$\delta^2(2u^2-1)/3$，若取$\varDelta=0.2\omega$，即$\delta=0.14$，则$u=0$时，该项为0.0065；$u=\sqrt{2}$时，该项为0.02，可见该修正项的影响很小。

若以这个近似分布的轴上值$P(0)=\omega^2 I_0\sqrt{\pi}\delta(1-\delta^2/3)$降到$\exp(-2)$的相应的$u$值作为被测光斑半径的度量，则解下列方程

$$P(0)\cdot\exp(-2)=P\left(\frac{\omega}{\sqrt{2}}u\right)$$

$$=\omega^2 I_0\sqrt{\pi}\delta\exp(-u^2)$$

$$\times[1+\delta^2(2u^2-1)/3]$$

得到

$$u\approx\sqrt{2}(1+\delta^2/3) \quad (5)$$

所以相应的光斑半径测量值是

$$x=\frac{\omega}{\sqrt{2}}u=(1+\delta^2/3)\omega \quad (6)$$

这表明由此近似分布得到的光斑半径测量值与真正的高斯分布光斑半径$\omega$相比，仅增加了一修正项$\delta^2/3$。若$\delta=0.14$，所测半径与真值相差0.7％，这远远小于测量误差。即使狭缝宽到光斑半径的1/2，即$\delta=0.354$时，被测值的误差也仅为4％，与测量误差相当。

我们对沈阳灯泡厂出产的JHN－1－250氦氖激光管的输出光束进行了实测，结果验证了上述结论。该管设计参数是平凹谐振腔，腔长$l=250$mm，基模输出，反射镜$R=1000$mm，我们在离输出镜为$z_1=1040$mm和$z_2=2940$mm两处进行了测量，使用狭缝宽度$\varDelta=0.26$mm，测得两处光斑半径为$\omega_1=0.78\pm0.03$mm，$\omega_2=2.02\pm0.03$mm。计算值是$\omega_1=0.77$mm，$\omega_2=2.03$mm，两者非常一致。我们同时使用针孔扫描法进行了测量，针孔直径$2r=0.30$mm，结果是$\omega_1=0.79\pm0.03$mm，$\omega_2=2.015\pm0.05$mm，也是一致的。

综上所述，利用狭缝扫描来测量高斯光束的光强分布，要比针孔扫描方便，省去对中的麻烦，且精度不低，即使狭缝宽达被测半径的1/2，其原理误差也仅为4％，还在一般测量误差范围内，同时，由于透过狭缝光能大大高于针孔的光能，因而可以使用更窄的狭缝，来测量较小的光斑或较弱的光束。

## 参考文献

〔1〕杨之昌，激光，1979，6，N8，39．

〔2〕R.L.McCally, *Appl.Opt.*, 1984．23，N14，2227

（收稿日期：1988年3月8日）

（上接239页）

$$R=\frac{\pi}{4}\times500=393\text{mm}$$

而屏幕上光斑直径一般取为$\phi$20mm。显然，上述结论是明显的。

此法用He－Ne激光作光源。等厚的双光学平板也简单易取，一般的薄玻璃片或云母片都可使用。同光栅莫尔技术特征类似，也可进行一定的精密测量。教学中，采用此实验可增进学生对莫尔技术的感性认识，增加对现代光学技术的了解。

## 参考文献

〔1〕毋国光、战元令，光学，人民教育出版社，p.123—218，p.359—360．

〔2〕王因明，光学计量仪器设计，机械工业出版社，p.121—134．

（收稿日期：1990年1月6日）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net