

一种朗琴尺型激光光束参量测量仪

周晨波 杨 力 马文礼 王肇志

(中国科学院光电技术研究所 成都 610209)

江荣熙

(烟台大学物理系 烟台 264005)

提要 针对气体激光器细光束的尺寸参数的工业测量和质量控制,提出一种朗琴栅尺扫描 TEM₀₀ 基模高斯激光光束的测量分析仪。所研制的仪器可以测量分析光斑 1/e² 直径、横场分布和调制对比度等光束参数,特别是可以在近场测定 1/e² 光束远场发散角。描述了该仪器的基本原理、结构及测量结果。

关键词 朗琴尺, 发散度, 1/e² 光束, 单片微机, 误差

1 引 言

曾有人研究利用针孔、刀口、狭缝、光栅等方法测量 1/e² 光束轮廓参数^[1,2],并作了比较^[3],其中,朗琴栅尺或光栅法由于测量简单快速而受到关注。根据以往我们的研究基础^[4~6],提出了朗琴尺型激光光束参量测量分析仪^[7],该仪器的主要特点是能在瑞利距离附近的近场测量远场光束发散角,这非常适用于激光器产品光束质量的监测控制。此外,该仪器还能够监测激光输出光功率、1/e² 光斑直径和光束横场分布及光束调制对比度等相关光束参数。该仪器采用了 8031 单片微机芯片中央处理器程控扫描测量,以及进行数据处理和输出(5 位 LED 数显窗和 TPμP-40 微型打印机)。该仪器测量范围为,波段: 400~ 1150 nm; 光功率: 20 μW ~ 200 mW; 使用不同空间频率(线对/mm)朗琴尺可测量 0.01~ 1.5 mm 范围的 1/e² 光斑直径; 发散角 ≤ 3.0 mrad。本文还描述了对 He-Ne 激光器产品大量实测的分析结果。结果表明,朗琴尺型激光光束参量测量分析仪的测量重复性误差非常小。

2 测量原理

考察透明与不透明线宽之比为 1:1 的朗琴尺扫描 1/e² 激光细光束光斑直径之间的关系^[8] 式为

$$K = \frac{1 - 2 \left[\Phi \left(\frac{W}{r_0} \right) - \frac{1}{2} \right] - \left[\Phi \left(\frac{3W}{r_0} \right) - 1 \right]}{2 \left[\left| \Phi \left(\frac{W}{r_0} \right) - \frac{1}{2} \right| - \left| \Phi \left(\frac{3W}{r_0} \right) - 1 \right| \right]} \quad (1)$$

其中 $\Phi(\)$ 为正态分布函数; W 为朗琴尺线条宽度; r_0 为 1/e² 光束半径。同时有

$$K = \frac{1 - P_F}{P_F} \quad (P_F = P_{\max}; 1 - P_F = P_{\min}) \quad (2)$$

式中 P_F 为光束透过线栅时的光功率。进而通过线性回归方程计算分析, 推导得到测量 $1/e^2$ 光束直径的线性方程^[6]

$$D_0 = 2r_0 = 0.5(2.16K + 1.01) \quad (0.66 \leq D_0 \leq 1.35) \quad (3)$$

另外, 根据激光理论, 可得到在瑞利范围 $Z_0 = \pi\alpha_0^2/\lambda$ 附近, 利用朗琴尺在近场测量远场发散角公式^[6]

$$2\theta = \frac{2\lambda \sqrt{E^2 + 4}}{\pi[r(Z_1) + r(Z_2)]} \quad (4)$$

其中

$$E = \frac{\pi[r^2(Z_2) - r^2(Z_1)]}{\lambda(Z_2 - Z_1)}$$

λ 为被测光束波长; Z_1 和 Z_2 为传输光束路上距激光束腰 w_0 的两个不同位置。

3 测量系统结构

该仪器测量系统原理结构如图 1 所示。其中 1 是被检测激光光束; 2 是朗琴尺精密扫描机构; 3 是带模拟量接口的激光功率计; 4 是主机装置。激光器和扫描头机构同时装在一个精密滑动导轨上的光学调节架上。朗琴尺前方放置一个变密度圆盘, 根据不同的测量要求旋转变密度圆盘改变入射光功率。扫描头上的朗琴尺由一单片微机控制的微型步进电机带动扫描光束横截面。光电探测器靠在朗琴尺的另一面, 对准光束, 所接收的经朗琴尺扫描而周期起伏的光信号进入激光功率计, 功率计面板上的显示窗指示出功率变化值。同时, 功率计面板上的直流电压表指示出与光功率相关的模拟电压值。通过与此电压值一致的模拟电压输出口, 将周期信号传递给仪器主机的前级运算放大器和 A/D 接口, 单片机开始工作,

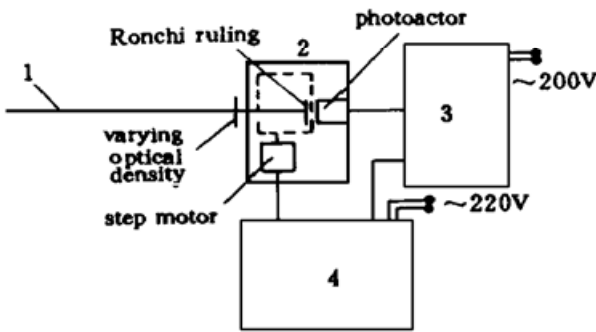


图 1 朗琴尺型激光光束参量测量分析仪结构

Fig. 1 The instrument of Ronchi ruling type for measuring laser beam parameters

采样方式是逐次采样, 步进电机每转动一个步距, 待信号采集到后, 再转下一步, 每相邻两个采样值两两相比较, 比较后的值再和下一个采样值相比较, 爬坡式寻找周期信号的最大值, 然后, 经中央处理器主程序判断后存储到片外 RAM 内, 同理, 下坡式寻找同一周期信号的最小值, 也存储起来。最后, 由微机进行数据处理再通过 LED 显示窗和微型打印机两种方式输出测量结果。在测量过程中, 机器还可以判断采样是否足够。为了防止由于信号的抖动、噪声干扰等随机误差而造成的误判, 特别选择了时间预置方式。当扫描测量结束后, 主机控制电机自动快速回归使朗琴尺回到初始位置。经大量运行实验, 没有发现丢步现象。

4 应用测量结果

采用 1 对线/mm 的朗琴栅尺, 其线宽精度为 ± 0.005 mm, 我们与质检部门一起, 对 4 种管号的国产 He-Ne 激光管抽样产品的光束参量进行了测量分析。被检激光管的基本参数由表 1 给出。

表 1 被检激光器的基本参数

Table 1 The basic parameters of laser measured

No.	mode	output power /mW	wavelength / μm	design value w_0 /mm	Rayleigh distance/mm	length of tube	factory date
7837	TEM ₀₀	1.88	0.6328	0.2950	431.82	250	1991
3419	TEM ₀₀	0.88	0.6328	0.2504	311.10	190	1994
40	TEM ₀₀	1.98	0.6328	0.2950	431.82	250	1994
1120	TEM ₀₀	1.72	0.6328	0.2950	431.82	250	1993

由于制造工艺因素和新旧程度,激光管的光功率和光束参量都与理论设计值有一定的偏差。在实测中,对 Z_1 和 Z_2 的位置精度要求不是很高,主要是线宽精度和扫描归零的重复性精度要求比较高。测量是由主机按键式自动进行。测量光束直径和发散角的数据由表 2 给出。由表 2 可以看到测量重复性误差与测量系统的测量精度有关。表 2 的结果表明测量重复性误差很小,说明系统的一致性和稳定性相当好。我们认为,与理论设计值相比较主要说明了产品的设计与制造工艺的差别,而与测量系统的测量重复性精度没有直接关联。此参数主要用于监控产品一致性和工艺可靠性。

表 2 测量高斯激光光束 $1/e^2$ 直径和远场发散角数据Table 2 The data measured of far-field divergency and $1/e^2$ diameter

No.	7837			3419			40			1120		
	$Z = 500$ $d(Z_1)$ /mm	$Z = 800$ $d(Z_2)$ /mm	2θ /mrad	$Z = 450$ $d(Z_1)$ /mm	$Z = 750$ $d(Z_2)$ /mm	2θ /mrad	$Z = 500$ $d(Z_1)$ /mm	$Z = 800$ $d(Z_2)$ /mm	2θ /mrad	$Z = 500$ $d(Z_1)$ /mm	$Z = 800$ $d(Z_2)$ /mm	2θ /mrad
average over 10 measurements	0.926	1.334	1.54	0.878	1.315	0.894	1.244	1.39	0.879	1.256	1.46	
repeatability error σ	0.010	0.010	0.05	0.008	0.008	0.030	0.008	0.01	0.040	0.004	0.02	0.050
designed value			1.56			1.616			1.37			1.394
percentage			1%			1%			2%			6%

致谢 参加本工作的主要人员还有:魏惠林、何上封、严佩英、陈圣隆、范天泉等,作者在此一并表示感谢。被测量激光样品是由成都科谱激光研究所和成都宏远科技开发公司(中美合资)提供,在此表示谢意。

参 考 文 献

- 1 LeRoy D. Dickson. Rochi rulings method for measuring Gaussian beam diameter. *Opt. Engineering*, 1979, **18**(1): 70~ 76
- 2 Donaldk Coher *et al.*. Techiques for measuring $1 \mu\text{m}$ diam Gaussian Beams. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(4): 637~ 639
- 3 Zhou Chenbo. Review for ways to measure the diameter of laser Gaussian beam. *Opt. Engineering* (光学工程), 1988 (1): 48~ 57 (in Chinese)
- 4 Zhou Chenbo. Theoretical computation for measurement of Gaussian beam divergence using grating. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1989, **16**(10): 594~ 597 (in Chinese)
- 5 Zhou Chenbo. Study of method of reproducing radial phase grating. *Acta Optica Sinica* (光学学报),

- 1990, **10**(8) : 754~ 757 (in Chinese)
- 6 Zhou Chenbo, Ma Wenli, Wang Zhaozi *et al.*. Studies on system and measuring method of far-field beam divergency in near-field using Ronch ruling. *Proceedings, Photonics China '96, Automated Optical Inspection for Industry, SPIE*, 1996, **2899**(0-8194-2300-9) : 539~ 544
- 7 Zhou Chenbo, Yang Li, Wei Huilin. Patent of Invention, China. Patent number: ZL942365739
- 8 Zhou Chenbo. The relationship between the diameter of a Gaussian beam and the parameter of a radial rotatin grating. *Appl. Laser (应用激光)*, 1987, **7**(5) : 223~ 225 (in Chinese)

An Instrument of Ronchi Ruling Type for Measuring Laser Beam Parameters

Zhou Chenbo Yang Li Ma Wenli Wang Zhaozi

(*Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chendu 610209*)

Jiang Rongxi

(*Department of Physics, Yantai University, Yantai 264005*)

Abstract An analyzing instrument of the Ronchi ruling type for measuring TEM₀₀ made Gaussian beam parameters of lasers in quality control in industry is described. The instrument can be used to measure cross-field distribution of a Gaussian beam and used in the measurements of the $1/e^2$ beam diameter and the far-field beam divergence in the near field. The basic principle of the measurement and the experimental results are reported.

Key words Ronchi ruling, divergence, $1/e^2$ beam, microcomputer, error