

基于 LabView 的激光束发散角测量系统

王茜茜¹ 刘佳^{1,2} 彭中¹ 刘莉¹

(¹北京理工大学光电学院, 北京 100081
²内蒙古科技大学信息工程学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要 为了满足激光器生产过程中快速检测激光发散角的需求,研制了一套激光发散角快速测量系统。测量系统采用焦点法测量激光发散角,利用可变光阑法确定透镜焦点处激光束的直径。为了提高测量系统的自动化程度,基于 LabView 软件开发平台开发了测控软件。可实现对不同孔径小孔光阑的自动更换测量,记录相应的透过能量值,计算激光束发散角,并进行保存和打印。实验结果表明,测量系统测量结果准确,测量误差小于 0.05 mrad,自动化程度高、操作简便,能够满足激光发散角快速测试的要求。

关键词 测量;脉冲激光;发散角;可变光阑法;LabView

中图分类号 TP312 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.1108005

Measurement System for Laser Divergence Angle Based on LabView

Wang Qianqian¹ Liu Jia^{1,2} Peng Zhong¹ Liu Li¹

(¹School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
²College of Information Engineering, Inner Mongolia University of Technology,
Baotou, Inner Mongolia 014010, China)

Abstract In order to measure the laser beam-divergence on-line during the laser manufacture, a divergence angle measurement system for pulse laser is established. It is based on the focus method. The laser beam widths are measured by using variable aperture method. In order to improve its automation, a test software is built based on LabView software. It will realize automatic measurement with different diameter apertures, record the relevant energy, compute the divergence angle of laser, save and type the results. Experimental results show that the error of this measurement system is below 0.05 mrad which can fulfill the requirements of divergence angle test.

Key words measurement; pulse laser; divergence angle; variable aperture method; LabView

OCIS codes 140.3295; 140.3538; 120.4640

1 引 言

激光束的发散角是评价激光器性能的重要指标^[1,2]。不论是在实验室研究中对光束质量的分析^[3,4],还是在诸如激光测距、激光雷达等远距离激光探测应用中都需要对激光束的发散角进行测量。目前,激光束发散角的测量技术已经相当成熟,提出了多种可行的测量方法^[5~9]。常用的有焦点刀口扫描法^[10]、CCD 摄像法^[11]以及可变光阑法,此外,还有如偏硼酸钡(BBO)倍频法^[12]和偏振光干涉法等。

其中,BBO 倍频法和偏振光干涉法的精度依赖于所采用的晶体材料,成本高;焦点刀口扫描法需要的测量时间长;CCD 摄像法和可变光阑法的测量误差较大。如何实现激光发散角快速、准确、自动的测量,是激光器生产过程中亟需解决的问题。

本文介绍了一种专门为激光器生产线应用而研制的激光束发散角测量系统。针对被试激光器的输出特性以及测量精度要求,选用可变光阑法进行发散角的测量。并基于 LabView 软件开发平台开发

收稿日期: 2012-06-10; **收到修改稿日期**: 2012-07-19

基金项目: 国家自然科学基金(60978035)资助课题。

作者简介: 王茜茜(1970—),女,博士,副教授,主要从事激光参数测量方面的研究。E-mail: qqwang@bit.edu.cn
(中国光学学会会员号: s040421091s)

了测量控制软件,能够完成数据的采集、处理,测量结果的显示、存储和打印等功能。

2 测量原理及方法

2.1 测量原理

测量系统采用焦点法测量激光束发散角。即利用一个透镜对激光器输出的光束进行变换,如图 1 所示。经推导可知,激光束的远场发散角 θ 与透镜的焦距 f 和光束在透镜焦点处的光斑直径 d 之间满足关系

$$\theta = d/f. \quad (1)$$

由于透镜的焦距是已知的,因此只要测量出透镜焦点处光斑的直径,即可通过(1)式计算出光束发散角。

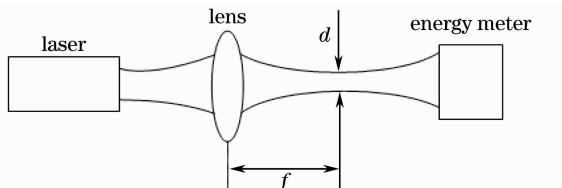


图 1 发散角测量原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of principle of laser divergence angle measurement

激光参数测试国际标准 ISO/TR 11146-3 规定^[13],激光光斑直径测量可采用可变光阑法、刀口扫描法^[14]和狭缝扫描法等测试方法。其中,可变光阑法和刀口扫描法在实际中应用较多。因为可变光阑法完全可以满足测量精度的要求,并且简单易行、测量速度快,所以决定选用可变光阑法测量光斑直径,即将一个孔径可变的光阑置于激光束测量平面上,改变孔径的大小,测量透过的功率或能量值。当透过的能量减小到总能量的 86.5% 时,对应的小孔尺寸 d 即可认为是激光束的直径。

2.2 测量方法

为了保证测量精度,应使能量计的测量孔径与待测光束同心,并使主平面垂直于传播轴,其接收面要求能截获 99% 的总激光能量。测量时,首先记录激光脉冲的总能量,然后逐步减小光阑孔径,直至能量减小到总能量的 86.5% 为止。但是由于实际测量时很难正好找到透过能量等于总能量的 86.5% 的情况,因此需要找到最接近 86.5% 的两个能量值 E_1 和 E_2 及其对应的光阑孔径 d_1 和 d_2 ,利用线性插值的算法求出透过能量等于总能量 86.5% 时所对应的孔径值。

记录较小孔径 d_1 和较大孔径 d_2 所对应的能量值 E_1 和 E_2 ,可计算出能量为 $E_{86.5}$ 时的光束直径

$$d_{86.5} = d_1 + \frac{E_{86.5} - E_1}{E_2 - E_1}(d_2 - d_1), \quad (2)$$

将 $d_{86.5}$ 代入(1)式即可计算得到发散角的值。

3 测量系统

3.1 测量系统硬件实现

激光光束发散角测试台的组成如图 2 所示,将一个孔径可变的光阑置于物镜的焦平面上。激光器出射的激光,经过透镜会聚后,再经过光阑和衰减片到达能量计,由能量计将测得到的能量值传给计算机。计算机控制调整机构改变光阑孔径,同时记录相应的能量测量值,最后通过(2)式和(1)式计算出发散角的大小。

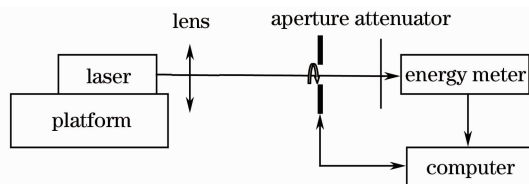


图 2 激光发散角测试台组成框图

Fig. 2 Constitutive frame diagram of the laser divergence angle measurement

由于连续可变光阑片形成的孔不是标准的圆形,且直径大小较难精确测量,其叶片也比较薄,易被激光打坏。最重要的是,可变光阑片能够达到的最小孔径为 $\phi 1.2$ mm,不能满足测试精度要求。因此,本系统采用装有多个不同直径小孔光阑的光阑盘代替连续可变光阑。其中最大的孔径要保证发散角为 10 mrad 的激光束能量完全通过。

测试系统的透镜焦距为 1.5 m,不同发散角所对应的小孔光阑尺寸可由(1)式计算。为了便于不同直径小孔光阑间的自动切换,将小孔光阑安装在一个可绕中心轴转动的金属圆盘上,由计算机驱动步进电机控制其绕轴转动。圆盘上开有 15 个孔,其中最大孔的直径为 $\phi 15$ mm,对应 10 mrad 的激光发散角。另外 14 个是 $\phi 12$ mm 的通孔,用于安装不同尺寸的小孔。为了便于调整、对中和更换,小孔均打在直径为 $\phi 12$ mm 的钢制结构上,通过 4 个螺钉固定在对应的通孔中。根据测量要求选择的 14 个小孔光阑所对应的激光束发散角值、光阑直径名义值以及实测值见表 1。

图 3 为测量系统效果图。由于在透镜焦点位置附近激光光斑很小,为了防止激光能量密度太高对能量计探头造成损害,在其前面增加了一个扩束衰减装置。能量计选用以色列 OPHIR 公司的 PE25BB 探

头配 NOVA II 表头。PE25BB 探头为热释电探头，其光敏面为 24 mm×24 mm 的方孔，能满足直径为 $\phi 21.3$ mm 光斑的测量要求。NOVA II 表头可通过

USB 或 RS232 接口与计算机连接，将测量数据传送到计算机中显示、存储和处理。

表 1 小孔光阑直径

Table 1 Diameters of the apertures

No.	Divergence angle /mrad	Aperture diameter /mm		No.	Divergence angle /mrad	Aperture diameter /mm	
		Nominal value	Measured value			Nominal value	Measured value
1	0.20	0.30	0.353	8	1.63	2.45	2.502
2	0.33	0.50	0.502	9	2.00	3.00	3.052
3	0.40	0.60	0.598	10	2.50	3.75	3.796
4	0.50	0.75	0.785	11	3.00	4.50	4.545
5	0.60	0.90	0.898	12	3.50	5.25	5.334
6	0.70	1.05	1.098	13	4.00	6.00	6.019
7	0.80	1.20	1.183	14	5.00	7.50	7.511

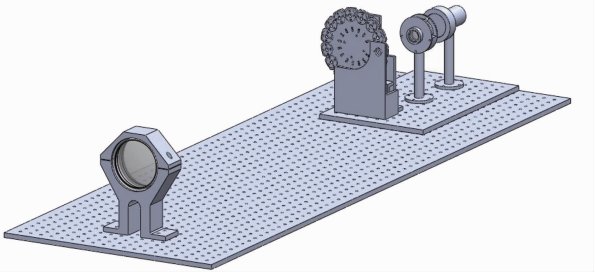


图 3 测量平台效果图

Fig. 3 Measurement plat for laser divergence angle

为了保证测量精度，要求小孔光阑的中心与激光光斑中心重合。安装时要仔细调整，确保每个小孔光阑的中心均与激光光斑中心一致。

3.2 测量系统软件设计

利用图形化编程语言 LabView 作为软件开发平台编制测量系统软件。测试软件主要由视图、数据采集、数据处理和数据存储等 4 个模块组成，其操作界面如图 4 所示。

能对小孔光阑盘进行快速、精确控制。软件设计详见文献[15]。

4 测量结果分析

测量系统安装调试好后，启动测试软件，设置初始参数之后进行测量。分别记录最大光阑孔时的能量值，以及最接近最大能量值 86.5% 的两个小孔的孔径值及对应的能量值，经过计算得到被测激光器的发散角值。

对某一 Nd:YAG 调 Q 固体激光器的发散角进行实际测量，得到的结果见表 2。测量分别在重复频率为 1 Hz 和 20 Hz 两种工作状态下进行，表 2 中每一个光阑直径所对应的激光能量值都是 30 个激光脉冲能量的平均值。

表 2 系统测量数据

Table 2 Measurement results

Repetition frequency / Hz	Aperture diameter / mm	Laser energy / mJ	Energy ratio	Divergence angle / mrad
1	15.000	4.460	1.000	
	3.000	3.540	0.794	2.403
	3.750	3.980	0.892	
20	15.000	5.925	1.000	
	3.000	5.156	0.870	1.934
	2.450	5.052	0.853	

所测量激光器在重复频率 1 Hz 和 20 Hz 时发散角的标称值分别为 2.4 mrad 和 1.9 mrad，本测试系统所得到的测量值与其非常吻合。对另一台 Q 调制 Nd:YAG 激光器进行测量，得到其在 1 Hz 和 20 Hz 重复频率下的发散角分别为 2.134 mrad 和 1.767 mrad，也与其标称值相吻合，从而说明本系统测量结果准确。

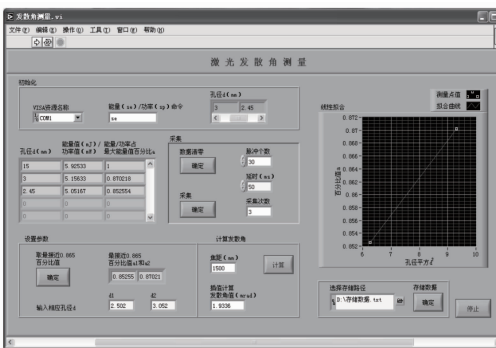


图 4 程序操作界面

Fig. 4 Operation interface of the measurement system

测试软件操作界面包含初始化、采集、设置参数、计算发散角、线性拟合和数据保存等 6 个组成部分，可完成对数据的实时采集、处理、显示和存储，并

在实际测量过程中有很多因素会影响发散角的测量精度,需采取相应的措施消除其影响。这种影响一方面来自周围的环境。例如,环境温度、背景光干扰、空气的波动等都会影响到激光光束的传播,对于同一孔径,即使在同样的测试条件下进行重复多次测量,所测得的能量值也均不相同。这种测量环境带来的测量误差是随机的,可通过多次测量取平均值的办法来降低其对测试结果的影响。

另一方面,测量系统本身也存在一定误差,会对测试结果造成影响。其中,光阑直径的测量误差影响最大。为了有效减小系统误差,需到计量部门对小孔光阑的直径进行校准。

5 结 论

利用可变光阑法测量原理,基于 LabView 软件平台开发的激光束远场发散角测量系统,可完成对激光束发散角的自动测量,并能对测量结果进行分析、记录和保存。实验结果表明,研制的测量系统测量结果准确,测量精度可达到 0.05 mrad。此外,测量系统的自动化程度高、操作简便,可提高测量效率,降低操作人员的工作强度。

参 考 文 献

- Huang Linhao, Liao Xuebing, Xie Zhengxi *et al.*. Study on the influence of the laser beam quality on the precision of long-range laser ranging [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2006, **27**(s2): 1219~1221
黄林昊, 廖学兵, 谢正喜等. 激光光束质量对远程激光测距精度影响研究[J]. *仪器仪表学报*, 2006, **27**(s2): 1219~1221
- Zhou Pu, Wang Xiaolin, Ma Yanxing *et al.*. Beam quality of partially coherent combining of laser array [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(4): 1066~1070
周 朴, 王小林, 马阎星等. 激光阵列部分相干合成的光束质量 [J]. *光学学报*, 2010, **30**(4): 1066~1070
- Feng Guoying, Zhou Shouhuan. Discussion of comprehensive evaluation on laser beam quality [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1643~1653
冯国英, 周寿桓. 激光光束质量综合评价的探讨[J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1643~1653
- Liu Zejin, Zhou Pu, Xu Xiaojun. Study on universal standard for evaluating high energy beam quality [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(4): 773~778
刘泽金, 周 朴, 许晓军. 高能激光光束质量通用评价标准的探讨[J]. *中国激光*, 2009, **36**(4): 773~778
- Wang Hui. Development of the Beam Divergence Measure System with Double Photo-Diodes [D]. Harbin: Harbin Institute

- of Technology, 2006. 51~60
王 慧. 双探头式激光发散角测量系统的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006. 51~60
- Chen Qiuling. Study on High-Power Laser Diode's Divergence Angle Testing System [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2008. 34~44
陈秋玲. 高能半导体激光器发散角测试系统研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2008. 34~44
- Zhu Zhaosheng, Wu Tingwan. Measurement and study on divergence angle of pulse solid-state laser beam [J]. *Journal of South China University of Technology*, 2001, **29**(3): 54~56
朱召胜, 吴庭万. 脉冲固体激光束发散角的测试与研究 [J]. *华南理工大学学报*, 2001, **29**(3): 54~56
- Zhao Tianzhuo, Fan Zhongwei, Yu Jin *et al.*. Multi-parameters real-time monitoring system for low-frequency laser beam [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(12): 3086~3090
赵天卓, 樊仲维, 余 锦等. 低重复频率激光光束多参数实时监测系统 [J]. *中国激光*, 2010, **37**(12): 3086~3090
- Zhang Xianliang, Yan Gaoshi. Fabrication of collimating module and measurement of far field divergence of laser beam of 1550 nm [J]. *High Power Laser & Particle Beams*, 2005, **17**(5): 651~654
张宪亮, 严高师. 1550 nm 光预准直模块研制与发散角测量的实验 [J]. *强激光与粒子束*, 2005, **17**(5): 651~654
- Chen Changshui, Xie Jianping, Wang Peilin. Using knife-edge method at the focus of a lens to measure the beam divergence of a giant pulse laser output [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2001, **18**(1): 38~40
陈长水, 谢建平, 王佩琳. 焦点刀口法测量巨脉冲激光的光束发散角 [J]. *量子电子学报*, 2001, **18**(1): 38~40
- Huang Zhanhua, Zhu Meng, Cai Huaiyu *et al.*. Speckle correlation used in measurement of elliptical Gaussian beam divergence [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(10): 2918~2922
黄战华, 朱 猛, 蔡怀宇等. 散斑相关在椭圆高斯光束发散角测量中的应用 [J]. *光学学报*, 2010, **30**(10): 2918~2922
- Sha Xianwu, Shi Dufang, Cheng Changshui *et al.*. Determination of light-beam dispersion Angle by BBO frequency-doubling [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2000, **17**(4): 374~376
沙先武, 是度芳, 陈长水等. BBO 倍频法测定光束发散角 [J]. *量子电子学报*, 2000, **17**(4): 374~376
- International Organization for Standardization Technical Committee. Lasers and Laser-Related Equipment-Test Methods for Laser Beam Widths, Divergence Angles and Beam Propagation Ratios-Part 3: Intrinsic and Geometrical Laser Beam Classification, Propagation and Details of Test Methods [S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006-5-31
- L. Bachmann, D. M. Zzell. Determination of beam width and quality for pulsed lasers using the knife-edge method [J]. *Instrum. Sci. & Technol.*, 2003, **31**(1): 47~52
- Liu Jia, Wang Qianqian. Development of laser divergence angle test software based on LabView [J]. *Optical Technique*, 2011, **37**(1): 120~123
刘 佳, 王茜茜. 基于 LabView 的激光发散角测试软件开发 [J]. *光学技术*, 2011, **37**(1): 120~123