

激光器性能综合测试设备研制

Integrated Test Facility for Performance Parameter of Laser

中航工业洛阳电光设备研究所 梁雪驰
河南科技大学 徐丹昀

[摘要] 介绍了激光器的主要性能指标,根据实际需要进行了激光性能测试设备的研究,提出了一种周全的激光性能测试设备研制方案,对该设备的结构设计、光路设计、以及测试方法作了详尽论述。设备中利用两对相互垂直的 P 分光镜和 S 分光镜以补偿偏振光在 45° 面上透反射率不同而造成的测量误差,进一步保证了激光能量测试的准确性。误差分析结果表明该设备满足实际应用中对激光器性能的测试要求。

关键词: 激光器 激光性能测试 光束质量 分光镜

[ABSTRACT] The performance parameters of lasers are introduced briefly. Based on practical requirement, test facility for performance parameter of lasers is studied, one detailed project is put forward, the design of optical-mechanical structure, optical path, and test methods of the test facility in detail are dissertated. In order to make up for measurement error caused by the different transmittance and reflectance when polarized beam incidence on 45 degrees plane, two pair perpendicular P-spectroscopes and S-spectroscopes are constructed in this test facility, in this way it can improve the veracity of measure of laser energy further. The result of error analysis shows that the test facility can satisfy the test requirements in engineering use.

Keywords: Laser Laser performance test Quality of laser beam Spectroscope

激光器在国防、军事以及民用领域有着广泛的应用,如激光测距、照射,激光制导,激光雷达等。衡量激光器优劣的主要性能指标,比如能量、功率、光束发散角和脉宽等,对其应用是至关重要的。因此,在实际的激光器应用中,非常需要对激光辐射器的主要性能指标作出快速准确的测量^[1-5],以检测激光器件实际上是否达到设计要求和应用要求。而现有的激光性能检测仪是针对各参数独立测量的,没有一个综合的激光参数、功

能测试平台,这样不仅测量的精度和效率低,而且测量参数不齐全,因此需研制高精度技术指标及要求的综合测试设备。

1 激光器性能综合测试设备设计

1.1 结构设计

激光器测试设备主要由光学系统、能量测试单元、波形分析仪、光束分析仪、光轴测量单元和控制系统等

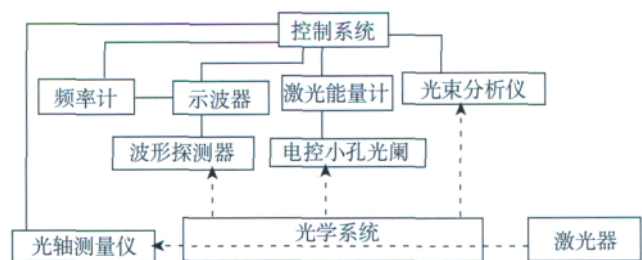


图1 测试系统原理框图

Fig.1 Diagram of test facility

组成。测试系统示意图如图 1 所示。

光轴测量仪由 CCD 摄像机、显示器和图像采集卡等组成,完成激光光轴与安装基准偏角测量。光分仪由探测器、图像采集和显示、分析和计算软件等组成,完成激光光束性能分析,如光斑形状、光斑尺寸和远场发散角等。波分仪由快速响应探测器、示波器和频率计等组成,用于完成激光波形和脉冲宽度测量、脉冲频率精度分析。能量测量单元由电控小孔光阑、能量探测器和显示器等组成,用于完成激光单脉冲能量测量和光束发散角套孔法测量。电控小孔光阑由 CCD 摄像机、小孔光阑阵列及驱动装置组成,采用自动变换的闭环控制,用 CCD 采集图像对准位置,信息送入计算机,由计算机给出位置误差,然后反馈控制小孔的位置移动。

1.2 光路设计

系统光路设计如图 2 所示。在光路中设置多个 P 分光镜和 S 分光镜,将激光脉冲分配到各个测量单元的探测器中,实现发射一个脉冲就可以同时检测多个数据的功能。

1.3 测试设备总体布局

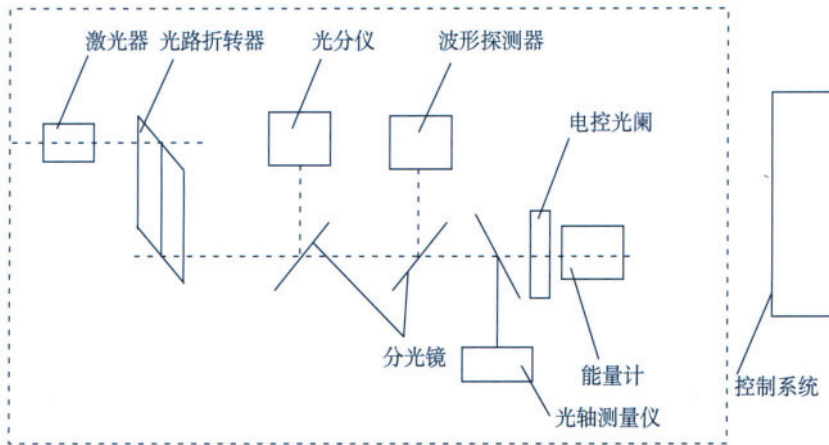


图2 光路原理框图

Fig.2 Diagram of optical system

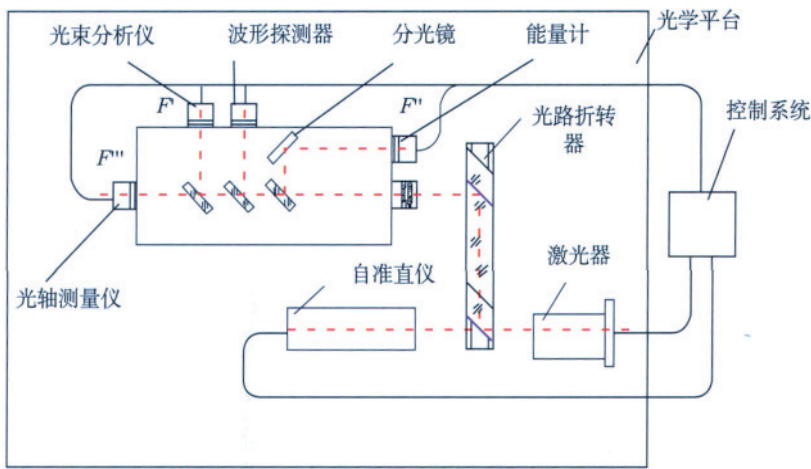


图3 测试设备布局图

Fig.3 The schematic diagram of the test facility placement

该设备布局合理、紧凑，机械接口对接方便、快捷，提高了设备的通用性。详细设计见图3。

在激光器正常工作下利用分光系统及测量仪器测量激光性能。在图3中光束分析仪探测器位于物镜组的焦点 F 的共轭焦点 F' 处，带可变光阑的能量计位于 F 的共轭焦点 F'' 处，光轴测量组件位于 F 的共轭焦点 F''' 处，分光系统采用了P分光镜和S分光镜。当激光器开始工作，发出的激光脉冲通过长焦物镜组进入分光系统。经各分光镜激光脉冲被送到位于共轭焦点处的各个测试单元（波分仪除外），即可测量激光脉冲的能量、波形、光斑和发散角等参数。这种设计的优势在于：

(a) 由于光靶在物镜组的焦点 F''' 上，激光光束通过物镜组在光靶上聚焦形成光斑，可以使激光光轴和基准轴偏角的测量更为准确；

(b) 带电控光阑能量计放置在物镜组的焦点 F'' 处，不仅可以精确地测出激光能量，而且由于得到的是

光斑的“远场图样”，还可以利用“套孔法”准确地测出激光发散角；

(c) 激光光束分析仪位于 F 的另一个共轭焦点 F' 处，可以使激光光束远场的分析更为准确；

(d) 利用两对相互垂直的P分光镜和S分光镜以弥补偏光在 45° 面上透反射率不同而造成的测量误差，可以进一步保证激光能量测试的准确性。

2 激光性能指标测试

2.1 激光脉冲输出能量的测量

利用带电控光阑能量计测量激光能量，衰减器选取合适的衰减比，使最大能量密度及最大功率密度在探头允许范围内。调整合适的量程正确测出激光能量。

2.2 激光发散角的测量

一个长焦距透镜在其焦平面上得到的光斑称为“远场图样”，因为远场图样代表了激光束在无穷远处的形状，因此它能确切地表达激光束的形状和结构。

通常以激光强度降到中心处的 $1/e^2$ 计激光束的全发散角。用长焦距透镜测激光发散角(如图4)，使激光束通过长焦距透镜，在透镜的焦平面上将得到激光光斑的远场图样，激光束的发散角

为 θ ，则

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{D}{2f}, \quad (1)$$

式中， f 为透镜的焦距， D 为光斑的直径。由于 θ 值很小，可以近似地将上式改写为

$$\theta \approx \frac{D}{f}. \quad (2)$$

在长焦距透镜的焦平面上，放置一组直径递增的光阑，分别在不同直径的光阑后面用能量计测量出各自的能量，那么就可以得到光束发散角的数据，而且可以大致得到能量在不同角度上的分布，这种方法被称之为

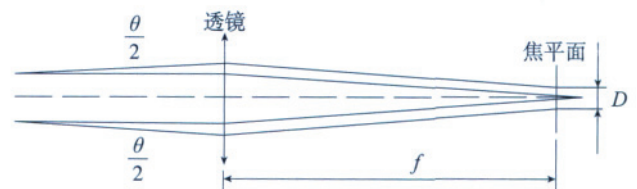


图4 激光光束发散角测量原理图

Fig.4 Diagram of test divergence angle

“套孔法”。

2.3 激光脉冲宽度和精度分辨率的测量

通过波形探测器对激光进行光电转换,然后使用波形显示器进行测量。通过波形显示器观察并测量脉冲波形和脉冲宽度,并根据显示器的读数计算出脉冲宽度误差。

2.4 激光光斑的显示

激光光斑分析仪位于 F 的另一个共轭焦点 F' 处,在激光辐射器的调试过程中,可以随时监视激光光束远场光斑,方便调试。

2.5 激光光轴稳定性和光束质量测量

测试光轴的稳定性时,利用激光光束的分析系统自动测试系统完成光轴稳定性测试,并测出三维光强图像。

2.6 激光光轴与安装基准偏角测量

首先在安装调试设备时,用基准直角反射镜调自准直平行光管的光轴,使 CCD 中心与自准直平行光管分划中心重合,其次,按基准安装激光器产品。启动激光光源使激光器正常工作,激光器输出的动态激光通过双不胶物镜聚焦在其焦平面上,聚焦光斑打在 CCD 上。通过 CCD 成像,利用软件中的激光光轴与安装基准面偏角测量子模块进行图像处理,测量并计算出聚焦光斑中心与 CCD 中心偏差,从而完成激光光轴对安装基准面偏角的测量。

3 精度分析

3.1 激光光轴和安装基准轴夹角测量误差分析

激光光轴和安装基准轴夹角测量误差设为 σ ,则

$$\sigma = \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \alpha_4^2 / (n - 1)}, \quad (3)$$

式中, α_1 为光斑基准定位误差;设靶十字线 s 中心与光斑中心的测量误差 $\delta=0.02\text{mm}$,物镜焦距 $f'=1500\text{mm}$,则

$$\alpha_1 = \arctan(0.02/1500) = 2.8''; \alpha_2 \text{ 为基准夹具加工}$$

装夹误差,要求 $< 5''$; α_3 为基准直角反射镜加工误差,要求 $< 5''$; α_4 为自准仪自准直测量误差,仪器误差为 $3''$,代入以上数据,计算得

$$\sigma = \sqrt{(7.8 + 25 + 25 + 9)/(4 - 1)} = 4.7''。$$

计算结果小于技术指标要求,所以满足测试精度要求。

3.2 套孔法发散角测量允许误差分析

发散角测量误差设为 ε ,则

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_4^2}{(n - 1)}}, \quad (4)$$

式中, ε_1 为基准夹具加工装夹误差,要求 $< 5''$; ε_2 为基准直角反射镜加工误差,要求 $< 5''$; ε_3 为光轴稳定度,要求 $\leq 3''$; ε_4 为小孔对中误差,设小孔重复定位精度为 0.01mm ;物镜焦距 $f'=1500\text{mm}$,则 $\varepsilon_4 = \arctan(0.01/1500) = 1.4''$ 。代入以上数据进行计算得 $\varepsilon = 4.5''$ 。

计算结果表明,测量的误差很小,可以满足使用要求。

4 结束语

随着激光及光电子技术的发展,激光器的应用也越来越广泛,其性能特性被越来越多地关注,因此研制优良、准确度高的激光性能测试设备是必要的。本项激光性能测试设备的研制和设计,对开发实用的和商品化的激光性能综合测试设备有实际的指导意义。测试设备采用成熟的商用设备,以提高系统的稳定性和测试成功率。在满足功能要求的前提下,优化测试光路,降低测试设备的数量和成本,提高性价比。目前该设备已投入使用,工作状态良好。

参考文献

- [1] Fang Qiwan, Chen zhaohui. Study on trans-mission loss in extinction test .SPIE, 1996, 2889:288-290.
- [2] Zhang Zaixuan, Chen Qing gen. The ability of measurement distance of lowe cost mini-LD laser rangfinder and the signa lnoise SNR of system .Aeta Photonica Siniea, 1998, 27(10):944-947.
- [3] Fang Qiwan, Rao Jionghui, Ying Zhi xiang. New determination equation for visibility. SPIE, 1996, 2889:292-293.
- [4] Chen Zhibin, Liang Yan, Long Shulin, et al. Computerized testing equipment to the resolution of night vision instrument with faintlight . SPIE, 2002, 4927:438-445.
- [5] 金国藩, 李景镇. 激光测量学. 北京: 科学出版社, 1998. 162~165.

(责编 晓立)

(上接第 95 页)

weld monitor// Proceedings of ICALEO' 97, San Diego, CA, 1997, C1-C10.

[3] Sanders P G, Leong K H, Keske J S, et al. Real-time monitoring of laser Beam welding using infrared weld emissions. J Laser Appl, 1998, 10: 205-211.

[4] Postma S, Aarts R, Meijer J. Penetration detection in Nd:YAG laser welding of sheet metal by optical sensors// Proceedings of ICALEO' 00, Dearborn, MI, 2000, E44-E51.

[5] 段爱琴, 陈俐, 丁立民. YAG 激光焊接钛合金 TA15 熔池特征. 航空制造技术, 2009(10): 73-76.

[6] Duan Aiqin, Chen Li. Characteristics of keyhole and molten pool during laser welding of TC4 Ti-alloy// Proceedings of the 36th International MATADOR Conference. Manchester, UK, 2010: 591-594.

(责编 良辰)