

激光引信光学组件参数综合测试技术

谭佐军^{1,2}, 陈海清², 康竟然², 张 坤²

(1. 华中农业大学理学院应用物理系, 湖北 武汉 430070;

2. 华中科技大学光电子科学与工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要:对激光引信光学组件的综合测试技术进行了研究, 研制了激光引信光学组件测试系统, 该系统分为发射机光学组件调试单元和接收机光学组件调试单元, 实现了激光引信光学组件的光波长、光功率、发散角、灵敏度、响应时间、视场角、静态噪声等参数的全自动综合测试。测试结果表明: 系统重复性好、可靠性高、自动化程度高。

关键词:激光引信; 光学组件; CCD 成像; 综合测试

中图分类号:V271.4; TN249

文献标识码:A

Synthetical Measurement Technology on Optic Component in Laser Fuze

TAN Zuo-jun^{1,2}, CHEN Hai-qing², KANG Jing-ran², ZHANG Kun²

(1. College of Basic Sciences, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China; 2. Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Synthetical measurement technology on optic component in laser fuze was researched. The testing system of laser fuze component was developed. This system is composed of the sending and the receiving component module debugging unit. It realized the synthetical measurement of parameter such as wavelength, power, the angle of laser beam, sensitivity, the field angle, response time and noise figure automatically. The test result indicates that the fuze optical part measuring system performances well in repetition, dependability and automatization.

Key words: laser fuze; optic component; CCD; synthetical measurement

1 引 言

引信是导弹武器系统和各种弹药的重要组成部分, 其性能优劣直接关系到导弹武器对目标的毁伤效果^[1]。常用的引信有无线电引信、惯性引信、电子引信、激光引信等几类。激光引信是随着激光技术的发展而实现的一种新型的近感引信, 利用激光束探测目标, 具有极窄的光束和极小的旁瓣, 有很强的抗外界电磁场干扰的能力, 能够实时测距准时引爆, 并能精确控制起爆点位置。近年来在航空炸弹、火箭、夜航导弹和反坦克导弹上大量采用, 并取得了满意的效果。据统计, 目前有 80% ~ 90% 的空空导弹配备了激光近爆引信, 国外反坦克导弹所使用的引信也几乎全是激光引信, 可以说其应用已达到了令人瞩目的地步^[2]。

激光引信是一种主动型的引信, 其光学组件主

要由发射组件激光器和接受组件探测器组成。它本身发射激光, 这一束光通常以重复脉冲形式发送, 光束到达目标发生反射, 有一部分反射激光为引信接收系统所接收变成电信号, 经过适当处理, 使引信在距目标一定距离上起爆^[3], 因此激光引信光学组件的各项性能指标直接关系到引信乃至整个武器系统的质量, 对激光引信光学组件各项参数的测试显得极为重要。目前, 国内外都致力于研制各种自动测量激光器、探测器的各种性能指标的系统, 但是目前研制的系统对于激光器和探测器的测试都是独立的, 没有实现联合测试。对于激光引信光学系统来

作者简介:谭佐军(1977-), 男, 讲师, 博士研究生, 从事光电检测, 自适应光学与引信光学, 图像处理等的研究。E-mail: tanzuojun@163.com

收稿日期:2008-02-02; **修订日期:**2008-03-28

说,激光器和探测器是密不可分的,测试激光引信光学系统的各项性能指标必须实现激光器和探测器的各项参数的综合测试以及系统的联调。为此,我们对激光引信光学组件的综合测试技术进行了研究,研制了激光引信光学组件测试系统,实现了激光引信光学组件各项参数的全自动综合测试。

2 系统组成

激光引信光学组件测试系统主要用于实现如下功能:实现引信光学部件的光学基准和机械基准的位置和角度,以及对应关系的全自动调整;实现引信光学部件中 LD 发射机组件的发射光功率、光束发散角、光谱特性以及 PD 接收机组件的接收视场角、灵敏度、响应时间 7 个参数的全自动测量;实现引信光学部件的准直度以及基准的相对位置关系的全自动测量。工控机作为整个测试系统的控制中枢,通过各种不同的接口形式,如串口、GPIB 卡、USB 口、PCI 卡,与各测试仪器进行通信和数据交换。控制软件采用 VC 编写控制程序,整个系统需要测试的参数较多,涉及多种的测试设备和数据处理方法。为了提高测试系统的可扩展性,降低程序代码编写的复杂性,整个测试程序以面向对象的思想设计被测器件和测试仪器,这种利用 C++ 的对象观念来描述测量仪器的思想,大大提高了程序开发的效率,缩短了开发周期,同时也降低了二次开发的难度。利用多线程程序设计思想实现了多个参数的同时测量和步进电机的多轴运动控制,大大缩短了测试时间。激光引信光学组件测试系统基本设备如图 1 所示。

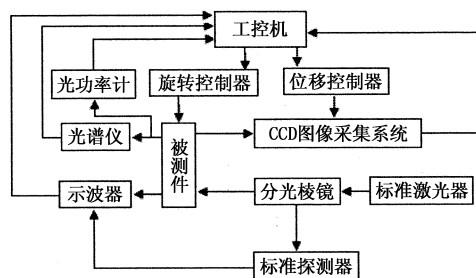


图1 系统设备组成框图

图1中光谱仪和光功率计分别用来测量发射机组件的光波长和出射光功率,CCD图像采集系统用来测量发散角。示波器用来测量接收机组件的灵敏度、视场角、响应时间和噪声。旋转控制器用来带动被测件旋转,以测量引信各个窗口各发射机和接收机参数。位移控制器用来控制测量装置沿纵轴移动,以及被测引信沿横轴移动。整个测试系统由检测平台、电气柜、测试软件三部分组成。按引信光学组件功能不同,可分为两个调试单元:发射机光学组

件调试单元和接收机光学组件调试单元。在具体测试过程中,根据引信的特点和要求,我们测量环境是室温,约24℃,对每个引信只测量5次,以减少通电时间,延长引信寿命。

3 系统测试原理

3.1 发射机光学组件测试单元

发射机光学组件测试单元用来测量发射机组件的激光特性参数^[4],激光参数是用来表征激光辐射在时域、空域、频域的微分、积分、分布等特性^[5]。对于激光引信,在众多参数中,光波长、光功率、发散角是三个基本参数,直接影响激光引信的质量。

(1) 光波长的测量

不同的波长,对于探测器来说,对应的就是不同的灵敏度,直接关系到探测器输出电压信号的强弱。我们采用光谱仪测量引信6个象限发射机光学组件发射出的激光光谱特性,LD发出的激光束首先入射到光谱仪的狭缝中,光谱仪通过串口线与工控机相连,传输数据和控制信号。由此可很方便地扫描出光谱曲线,并且给出波长中心值。测量结果如表1所示。

表1 中心波长

	1	2	3	4	5	重复性精度
λ/nm	866.1	866.3	866.3	866.2	866.3	+0.01%

激光器的中心波长对温度比较敏感,一般在同一温度环境下,波长的稳定性是相当好的。测量一次只需要不到1min的时间,从表1可以看出,结果全部符合指标,并且重复性精度相当高。

(2) 光功率的测量

我们利用脉冲光功率计测量引信6个象限发射机光学组件发射出的激光光功率,功率计显示测量得到的功率值,同时该功率值就通过GPIB线和采集卡读进了工控机。功率计的型号为Newport公司的1835-C,还有818-SL/CM探头,它的测量功率可以达到纳瓦(nW)级,完全满足激光引信的测试要求。

测量结果如表2所示。

表2 光功率

	1	2	3	4	5	重复性精度
光功率/W	32.85	33.12	33.23	33.66	33.51	$\pm 1.7\%$

所有数据都是在室温下测得,同一个窗口的每次测量间隔约6min。每个窗口的重复测量误差都在 $\pm 1.7\%$ 之内,大大小于 $\pm 5\%$ 的指标要求,并且每个窗口的光功率都不小于25W,全部合格。

(3) 发散角的测量

我们采用CCD成像方法测量发散角^[7]。LD位

于透镜的焦点处(对于具有较大发散角的激光光束,在测量时,CCD 到透镜的距离要有所变化,由光束分析软件对成像光斑的进行分析计算,得出散角。

CCD 图像采集系统装置包括平移台、成像屏、滤光片、衰减片、CCD 摄像机、图像采集卡及计算机。如图 2 所示,被测引信的光发射机单元输出激光光束经过衰减后,照射在成像屏上,成像屏上的光斑在 CCD 摄像机内成像,由图像采集卡将图像转化为数字信号,最后数字图像在计算机中进行处理。对 CCD 采集到的图像数据使用二阶矩算法^[8]选取适当的积分区域即可计算出相关的光束参数,如光束中心位置、光束半径等;通过光轴上的多点测量,可得发散角及光束质量因子^[9];通过光束位置的确定和重复多次测量,可检测激光器的稳定性。

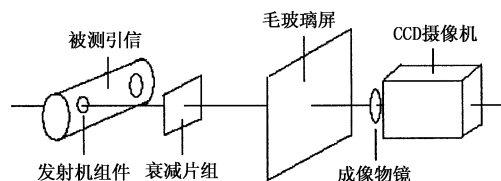


图2 CCD成像法光束发散角测量系统示意图

测试结果如表3所示。

表3 发散角

垂直方向发散角(平均值)/(°)	0.64	重复性精度	±2.9%
水平方向发散角(平均值)/(°)	6.47	重复性精度	±1.1%

当 CCD 接通电源之后约 15min 开始测量,以便 CCD 达到稳定的工作状态。每测量一次用时近 2min,同一窗口的各次测量间隔约 12min。从表 3 的测量结果可以得出:垂直方向的重复性精度均在 ±3.7% 之内,符合指标要求。

3.2 接收机光学组件测试单元

(1) 灵敏度的测量

光电探测器的电流灵敏度表示探测器把入射光信号转化为电信号的能力。探测器电压(电流)灵敏度定义为,入射光垂直入射到探测器表面时,探测器开路输出的基频电压(电流)的均方根值与入射基频功率均方根值之比^[10]。

针对激光引信实际检测要求,考虑到待测探测器的实际外观和辅助器件的摆放问题,我们最终选择了双光路比较法作为测量方法。如图 3 所示,双光路直接比较法就是红外激光照射到位于不同位置上的标准探测器(灵敏度已知)和被测探测器上,分别测量他们的响应输出,通过计算求出被测探测器的响应灵敏度。这种方法对于光源和标准探测器的稳定度要求比较高。

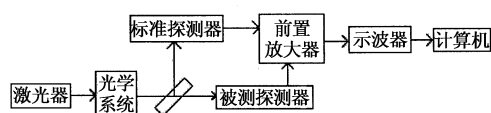


图3 双光路比较法原理图

激光器输出的脉冲经过准直整形和适当衰减后,由一块半透半反的分束器,将光束分成两路,分别照射在标准探测器和待测探测器上,由示波器同时获得两探测器的响应输出,通过 GPIB 接口接到计算机,通过计算,即可获得被测探测器的相对灵敏度,测试结果如表 4 所示。

表4 探测器灵敏度

	1	2	3	4	5	重复性精度
灵敏度 /(V·W ⁻¹)	441765	445873	450810	448503	447131	±1.3%

我们在激光器正常开机工作半小时后进行测试工作,每个窗口重复测试 5 次,由此计算得出测试的重复精度。以下的三个参数测试的条件和此相同,由表 4 可见该测试的重复精度都小于 5%,满足设计要求。

(2) 响应时间特性的测量

响应时间是用来描述光电探测器对入射的辐射响应快慢的一个特征参量。它是指探测器将入射光辐射转化成为电信号输出的驰豫时间。入射光照射时,探测器经过一定时间才能上升到与入射光辐射值相对应的稳定值;辐射结束时,也要经过一定时间才能降到无辐射时的稳定状态。这种从开始变化到上升或者下降到稳定值所需要的时间称为探测器的响应时间^[11]。

对于激光引信中使用的红外探测器,利用脉冲响应法是最佳的选择。脉冲响应法一般用于测量响应时间较快的探测器,该方法使用的仪器不多,操作简单,基本原理如图 4 所示。目前数字示波器的模拟带宽已能达 500MHz 以上,能够精确测量纳秒(ns)级前沿的脉冲波,完全可以达到引信探测器测试的指标要求。

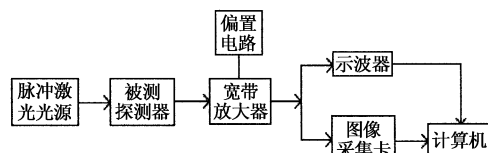


图4 脉冲响应法测量探测器响应时间原理框图

测量时,标准的红外激光光源输出高能光脉冲,经过衰减后,形成微弱的光信号,垂直入射到待测的光电探测器上,探测器的输出电信号经过低噪声前置放大器的放大后,在示波器上进行实时显示和调整观察,从而得到探测响应时间,主要用带有 GPIB

接口卡的数字示波器,与计算机相连,可实现实时观察和检测,显示信号波形和测试数据,测试结果如表5所示。

表5 探测器响应时间

	1	2	3	4	5	重复性精度
响应时间/ns	11.5	11.9	11.7	11.6	11.8	$\pm 1.7\%$

(3) 视场角的测量

当入射光垂直入射到探测器上时,对应输出电压达到峰值。如果入射光相对于探测器光轴有偏转,那么探测器的输出电压就会下降。探测器的输出功率下降到原来峰值功率的一半时,此时对应的入射光与探测器光轴之间的夹角的2倍,定义为探测器光学组件接收视场角。

我们的测量方法是,利用标准激光光源输出的脉冲信号,经过衰减后正入射到光电探测器,记录下峰值功率。利用电脑监控电机,带动被测产品旋转,同时将被测的探测器接收到的信号强度反馈给计算机,当向两个方向旋转均达到半功率点的时候,记录下这两点之间旋转过的夹角,就近似的等于探测器光学组件的视场角,测试结果如表6所示。

表6 探测器视场角

	1	2	3	4	5	重复性精度
视场角/(°)	7.5	7.3	7.5	7.2	7.4	$\pm 2.7\%$

视场角的测试以两个视场角的相加而得出的最终结果,即一个正视场角与一个负视场角相加。最终测试得出的数据表明该引信的视场角都在合格范围内,重复精度都不大于5%,满足设计的要求。

(4) 静态噪声的测量

探测器在提供偏置电压后就开始工作,当有光入射到它的光敏面上时,它就将光信号转换成电压(或者电流)信号,再通过后面的耦合、放大电路将信号进行放大输出。但是,当没有光入射时,探测器的最终输出电压并不等于零,这时候的输出就是它的噪声。这个噪声输出包括:探测器本身的暗电流,耦合电路和放大电路的噪声等^[12]。

具体的测量方法相对比较简单:首先,打开开关,让探测器及其放大电路正常工作;然后,关闭激光器。此时,探测器的光敏面上没有激光入射,它的最终输出电压就是我们要测量的噪声。需要说明的是,测试环境不可能达到一个完全无光的境界,它总是存在一定的背景光,这些背景光也会引起探测器的响应输出,但是它仍然属于噪声。测试结果如表7所示。

表7 探测器静态噪声

	1	2	3	4	5	重复性精度
静态噪声/mV	33.2	33.0	33.8	33.5	33.0	$\pm 2.1\%$

由表7可以看出,静态噪声基本都在33mV附近波动,故静态噪声基本稳定,而且都符合不大于50mV的规定,以及重复精度不大于5%。

4 结论

通过对激光引信光学组件综合测试技术的研究,我们研制了一套用于在线检测激光引信光学组件的性能指标的自动化测试设备,该设备将机械系统、光学系统与电子系统通过计算机软件结合起来,系统由工控机控制各测试单元完成测试,实现了激光引信光学组件参数全自动测量以及最终的数据处理。经实际运行表明,该系统运行可靠,测量准确,操作方便,达到了工程设计要求。

参考文献:

- [1] 王广生. 激光引信抗超低空地杂波干扰技术研究[J]. 探测与控制学报, 2004, 26(1): 13-17.
- [2] 薛谦忠, 吴振森, 李良超, 等. 激光引信目标近场散射特性理论研究[J]. 西安电子科技大学学报, 2000, 27(5): 594-596.
- [3] 李大社, 刘淑娥, 刘晶. 激光自适应引信的设计[J]. 光电与控制, 2006, 13(2): 69-72.
- [4] 黄代政, 陈海清, 杨国元, 等. 激光引信中发射机光学组件的测试研究[J]. 激光与红外, 2006, 36(1): 32-34.
- [5] 雷甸, 李强, 左铁钊. 大功率激光光束参数的测量方法[J]. 光电子·激光, 2000, 11(4): 372-374.
- [6] 杨国元, 陈海清, 刘彦, 等. 激光引信中阵列激光二极管光束参数的测量方法[J]. 光学与光电技术, 2005, 3(6): 57-60.
- [7] Cao Yilei, Gao Chunqing. Analysis on the accuracy of beam parameter measurement by using CCD array[J]. Optical Technique, 2004, 30(5): 583-586.
- [8] Peng Yuanjie, Lv Baida. Second-order moments matrix and M2 factor of optical beams[J]. Laser Technology, 2004, 28(6): 648-651.
- [9] ISO11146-3:2004, 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].
- [10] 孙可煦, 江少恩, 易荣清, 等. 滤片-XRD探测系统响应时间测量[J]. 强激光与粒子束, 2004, (12): 15-17.
- [11] 叶嘉雄, 常大定, 陈汝钧. 光电系统与信号处理[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 143-144.
- [12] 陈坤峰, 汪永忠, 应乘平. 红外探测器噪声的测量[J]. 红外技术, 1997, 19(6): 21-24.