doi: 10.7690/bgzdh.2016.03.010

便携式激光指示器综合检测与校准仪设计

刘　飞，孙心珲
（南京炮兵学院，南京 211132）

摘要：为了提高激光指示器的检测效率，设计一种一体化的综合检测与校准装置。该装置采取大口径折反式平行光管和半反半透平面镜进行光路设计，利用光路分光技术、CCD 成像技术和激光定量测试技术同时检测激光的能量、束散角和光轴平行性，并运用数字图像重建技术辅助进行光轴平行性的在线校准。结果表明：该装置提高了光轴平行性检测的精度和安全性，能够安全、快速、准确地对激光指示器进行检测和校准，符合装备器材综合集成和一体化的要求。

关键词：激光指示器；检测与校准；一体化设计
中图分类号：TP206　　**文献标志码**：A

Design of Integrated Detector and Calibrator for Portable Laser Designator

Liu Fei, Sun Xinhui
(*Nanjing Artillery Academy of PLA*, *Nanjing* 211132, *China*)

Abstract: The integrated detector and calibrator was designed to improve detection efficiency of laser designator. The device applied large diameter folded back type parallel light tube and semi inverse semi permeable mirror to design optical path, and utilized optical path splitting technology, CCD imaging technology and laser quantitative measurement technique to detect the laser energy, beam divergence angle and optical axis parallel at the same time, and used digital image reconstruction technology to assistant on-line calibration for optical axis parallel. The results show that the device improved the accuracy and security of optical axis parallelism detection, and it could detect and calibrate the laser designator safely, quickly and accurately. The device conform to the requirement for integrated equipment.

Keywords: laser designator; integrated detector and calibrator; integrated design

0　引言

激光指示器是末制导武器系统的关键部件，在武器系统中主要完成发射激光束指示目标的功能，其发射的激光脉冲能量、激光光束的发散角、瞄准轴与发射轴的平行性、激光编码的频率精度是激光末制导弹药能否正常工作的关键指标[1]。目前这些指标要使用多部检测设备进行检测，尤其是发现激光平行性较差时，由于光轴调校的难度大，通常要返厂修理，这大大影响了装备的使用；因此，迫切需要研制激光指示器综合检测和校准的仪器，集成检测功能，提高检测精度，实现在线校准，方便操作与携带，以保证检测人员的安全。

笔者基于光电检测技术，设计便携式激光指示器综合检测与校准仪，实现激光的全封闭检测，保证检测人员的安全；通过对光斑的定量分析，实现激光束散角和光轴平行性的数字化检测[2]，大大提高检测精度；通过数字图像重建技术辅助光轴平行性的在线校准，使检测人员可以方便地完成光轴平行性的校正；同时进行激光能量的检测，实现对激光指示器的综合检测。

1　总体设计方案

1.1　总体设计

影响激光指示器导引性能的主要指标有：激光脉冲能量、发射激光的束散角、激光指示器激光发射通道和瞄准通道的平行性。通常的检测方法是采用 2～3 套设备对上述性能参数分别测试，即采用激光能量计测量激光脉冲能量；采用激光能量计和小孔光阑的组合测量激光的束散角；采用由折返光学元件构成的卡赛格林平行光管与红外相纸测量激光发射通道和瞄准通道的平行性[3]。全参数测量过程复杂，操作困难，耗费时间，增大了测量者暴露在激光中的概率。鉴于此，激光指示器综合检测仪拟将上述参数的测量集成在一起，采用一体化的设计方法，将激光脉冲能量、发射激光的束散角、激光指示器激光发射通道和瞄准通道的平行性等参数的测量集于一体，并采用全光封闭的方法，防止有害

收稿日期：2015-12-30；**修回日期**：2016-01-28
作者简介：刘　飞(1979—)，男，河南人，博士，讲师，从事作战指挥和机械设计研究。

激光的溢出，如图 1 所示。

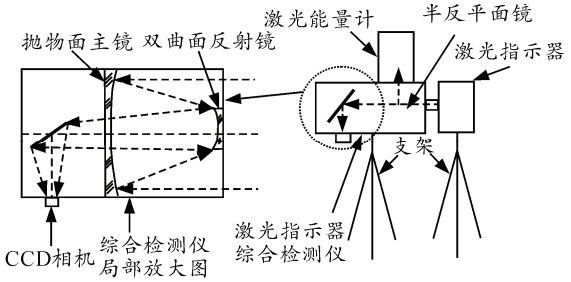

图 1　激光指示器综合检测仪

笔者采用一定比率的半反半透平面镜，将激光束一部分导向激光能量计，实现激光脉冲能量的测量，其余部分导向 CCD 相机，同时测量发射激光的束散角、激光指示器激光发射通道和瞄准通道的平行性。半反半透平面镜对不同能量激光束的反射比率可能会出现非线性，这可通过装置的标定校正，根据半反半透平面镜对不同能量激光束的反射比率曲线获得准确的激光脉冲能量值。导向 CCD 相机的激光束在 CCD 像面上成光斑像，根据光斑位置及 CCD 到激光指示器的距离，获得激光指示器激光发射通道和瞄准通道的平行性参数值，根据光斑的大小获得发射激光的束散角参数值。这 2 个参数仍需进行标定，以获取相对准确的参数值。该装置的计算机部分可采用便携式电脑，也可设计成与 CCD 相机一体的激光指示器综合性能测试显示仪器，为进一步减小装置纵向的厚度，可将光路反射到下方的 CCD 图像采集系统。

1.2　光路设计

目前的烧蚀法检测是将光学观瞄装置的十字分划对准在放置 1.5 m 外的红外相纸的十字分划进行检测[4]。该检测方法主要存在 2 个问题：1) 易造成激光外泄，对检测人员和在场人员造成威胁；2) 检测距离较远，不方便操作。研究激光的近距离封闭检测，能保证检测人员和现场人员的安全，并且操作方便。虽然新型的检测仪已进行了近距离封闭检测的设计，但仍然使用的是相纸烧蚀的方法，检测精度低。笔者通过光电转换，显示测量数值，检测精度高，并以仿真数字图像的形式显示给检测人员，方便在线校准。

折反式平行光管主反射镜为抛物面，次镜为双曲面，抛物面和双曲面具有一个共同焦点，双曲面的另一个焦点为系统的焦点。采用大口径折反式平行光管可有效减小体积和减轻质量，同时在轴上具有很好的成像质量，可满足多光轴之间的平行性检测要求[5]。由于系统只有 1 个物镜，系统自身只有 1 根光轴；因此，构成了一个光轴不失调系统。笔者采取折反式光路设计缩短检测距离，并通过光路的变向，把光路由水平变为竖直向下，将 CCD 图像接收装置加挂于下方，这样设计结构简单，能减小装置纵向的厚度，并使整体结构布局和配重更合理。可用于野外实时在线检测，既能缩短激光检测的距离，又能保证测量的精度，还节约了成本。

2　关键技术

2.1　激光指示器在线检测校准技术

目前激光指示器的检测校准，从总体上看分 2 大步骤：第 1 步检测激光脉冲能量；第 2 步进行发射激光的束散角、激光指示器激光发射通道和瞄准通道的平行性同时测量。而进行同时测量时，由于采用烧蚀法，在测试过程中需频繁更换相纸；因此，操作复杂激光指示器检测校准耗时且精度低。

笔者研究的激光指示器综合性能一体化测试校准技术，采用光路分光技术同时将激光脉冲送到激光能量计和 CCD，可实现激光脉冲能量、发射激光的束散角、激光指示器激光发射通道和瞄准通道的平行性同时测量。由于采用 CCD 替代相纸作为激光束的成像介质，可实时反映激光光斑的大小和位置信息，即发射激光的束散角、激光指示器激光发射通道和瞄准通道的平行性信息[6]。操作者可根据相关信息进行激光指示器校准，同时校准后的信息也得到实时反馈，以便连续校准，从而保证激光指示器检测校准 1 次完成。装置工作流程如图 2。

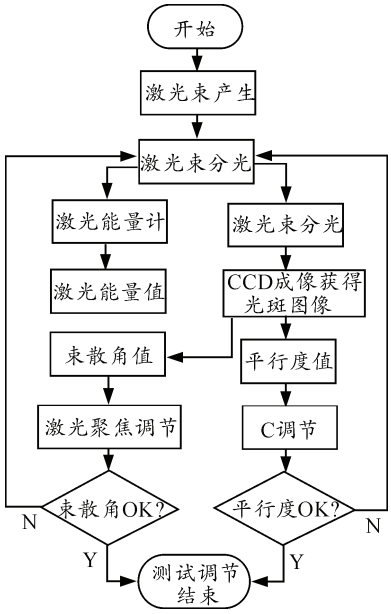

图 2　在线激光指示器检测校准流程

2.2　CCD 相机光谱拓展技术

目前使用的激光指示器的波长为 1 064 nm，CCD、CMOS 黑白相机的光谱响应范围一般为 400～800 nm。极少数相机的光谱响应范围可达到 400～950 nm，如日本的 WT902H 和台湾敏通的 MTV1881EX，而 CCD、CMOS 传感器的光谱响应范围一般为 400～1 100 nm；因此为实现对波长为 1 064 nm 的激光指示器的测试校准，现有相机难以满足条件。相关资料针对该问题采取激光频率上转换的方法，通过激光频率上转换部件将 1 064 nm 的红外激光转化为 672 nm 的可见红光，供 CCD 成像用[7]。激光指示器综合检测仪拟对 CCD、CMOS 黑白相机的光学部件进行光谱透射情况分析，对光学部件利用增透镀膜技术进行光谱拓展，从而实现 400～1 100 nm 光谱范围的 CCD、CMOS 成像，保证对波长为 1 064 nm 的激光指示器的测试校准。CCD 相机光谱拓展如图 3 所示。

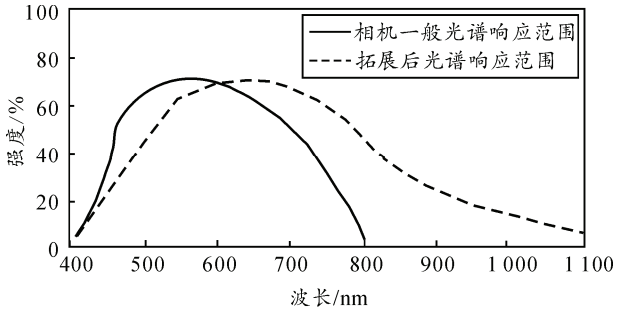

图 3　CCD 相机光谱拓展

2.3　防饱和及抗强光冲刷技术

一般来说，为实现数公里激光指示末制导功能，激光器的能量通常较高，单脉冲能量达到上百 mJ 数量级。同样能量的可见光激光在 CCD、CMOS 上成像时，会超出 CCD 的成像范围，造成光斑的扩散及响应速度的降低。激光指示器综合检测仪基于光谱拓展的 CCD 相机，简化了频率上转换部件，由于光学系统及 CCD、CMOS 的光谱透射的作用以及半导体器件的光谱响应，在 1 064 nm 波长时 CCD、CMOS 相机的总体光谱响应只有 5%；但激光束直接在 CCD 相机上成像，有可能会出现上述情况。本研究可通过实验测试修改半反半透平面镜的反射率，改变直接照射在 CCD 相机激光束的能量，以达到防饱和及抗强光冲刷的目的。

2.4　激光定量测试技术

目前采用的一些测试方法只能提供发射激光的束散角、激光发射通道和瞄准通道的平行性定性的测试结果，而无法提供相关参数的定量测量值。本研究可通过对激光光斑图像的数字图像处理，获得激光光斑几何质心位置信息与激光光斑的尺寸信息，结合 CCD 相机到激光指示器的距离信息，便可计算获得激光的束散角、激光发射通道和瞄准通道的平行性的定量参数。

3　结束语

从上述关键技术及其实施方案可知，激光指示器综合检测与校准仪设计涉及的 CCD 相机的光谱响应是一个瓶颈。而由于 CCD、CMOS 传感器的光谱响应范围一般可达到 400～1 100 nm；因此只要找到 CCD、CMOS 相机的组成部件中制约相机光谱响应的环节并加以改善，就有可能实现 400～1 100 nm 光谱波段的成像，光谱增透膜技术是其保障。另外，激光脉冲能量的测量既可通过激光能量计实现，又可通过激光能量与激光光斑的面积与灰度的对应关系获得，当然也离不开标定。其余如激光的束散角、激光指示器激光发射通道和瞄准通道的平行性测量则通过对激光光斑进行数字图像处理获得。

笔者基于光电检测技术设计了便携式激光指示器综合检测与校准仪，能实现对激光指示器的综合检测和校准，安全性好、精度高，操作简便，且体积小、质量轻，符合装备器材一体化和野战化要求。

参考文献：

[1] 曾飞鹏. 152 毫米激光末制导炮弹武器系统兵器与操作教程[M]. 北京: 解放军出版社, 2011: 3-7.
[2] 吕海宝. 激光光电检测[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2000: 133-150.
[3] 王永仲. 现代军用光学技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 275-290.
[4] 李刚, 周冰, 孙新华, 等. 激光制导装置出射激光束散角和光轴平行性的简易检测方法[J]. 光学技术, 2004, 30(5): 628-629.
[5] 陈志斌, 李义照, 王呈阳, 等. 激光测距机光斑及其光轴平行性检测方法研究[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(Z1): 261-264.
[6] 骆新新, 刘秉琦, 孙东平. 激光测距机三轴平行性智能检测校正方法研究[J]. 光学技术, 2008, 34(4): 590-592.
[7] 苏钊颐, 张海强, 邢宗义, 等. 基于激光位移传感器的轮缘尺寸测量方法研究[J]. 机电工程, 2015, 32(6): 793-797.