

# 一种激光起爆系统检测技术\*

匡治兵

贵州久联民爆器材发展股份有限公司(贵州贵阳, 550001)

[摘 要] 介绍激光起爆系统的主要构成及研究进展,针对激光起爆系统检测的难点,提出了一种简单、可行的检测方法。该文重点进行了激光起爆系统的外置式检测技术研究,包括激光起爆器的光路设计、检测光纤设计和耦合结构设计,并通过试验验证,解决了激光起爆器光路定量反射的问题,可为武器、航空航天等高可靠系统提供一定借鉴。

[关键词] 激光起爆器 检测 反射

[分类号] TJ450.4

## 引言

近年来,由于静电、射频和杂散电流等因素导致了大量弹药系统的意外事故,而这些系统中均使用了电火工品。为此电火工品对电磁环境的适应能力引起人们的广泛注意。而激光火工品技术的发展,无疑是解决这一问题的极好途径。据有关资料报道,在 90 年代美国国防部、能源部、航天航空局将激光火工技术列入重点关键技术进行发展,目前已装备于小型洲际导弹、F—16A 飞机用飞行员逃生系统以及空空导弹系统;1992 年美军 MIL—STD—1901 首次要求把激光点火用于直列式点火,把激光点火应用在航空、航天和军事领域<sup>[1]</sup>。

激光起爆系统的自诊断技术,是指在发火前,控制激光器产生微弱的荧光信号对光纤传输网络进行无损检测的技术,一直以来都是系统设计的难点。国外从 20 世纪 80 年代开始对激光起爆系统的光纤传输网络进行光路连续性和完整性的研究。先后提出了内置式和外置式两种自诊断技术,且已配备于部分武器型号,如麦道道格拉斯导弹系统公司在为空空导弹设计的激光起爆子系统中<sup>[2]</sup>,就采用了外置式自诊断技术。它利用一条专用的检测光纤,收集反射光信号并传输至光电探测器,根据接受的光信号强弱来进行诊断。采用外置式诊断技术的激光发火系统,其结构原理示意图见图 1。

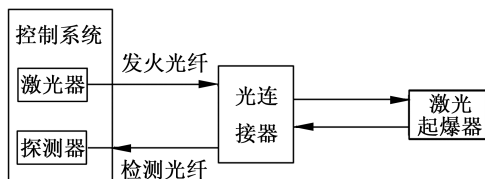


图 1 外置式自诊断激光发火系统原理图

激光起爆系统的检测涉及到激光起爆器的结构以及光纤连接、光学透镜等光学元器件的设计、加工以及安装<sup>[3-6]</sup>。本文结合激光起爆器系统的检测试验,提出了一种满足外置式系统检测的设计方案。

## 1 激光起爆系统检测设计

本试验设计了三级多路激光起爆系统,结构见图 2。

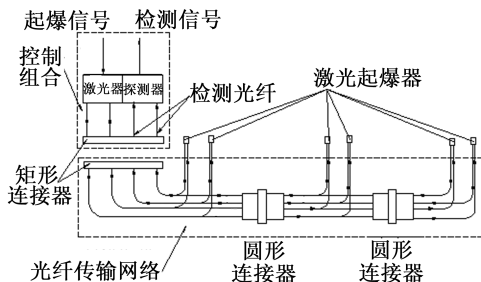


图 2 激光起爆系统结构图

激光起爆系统由控制系统、激光器、光纤网络、激光起爆器等组成。其中控制系统驱动激光器,发火时给出高功率激光;检测时给出低功率荧光。当系统自检时,激光器发出功率很小的荧光信号,荧光信号通过发火光纤传输至激光起爆器。激光起爆器按照规定的反射比例将荧光信号耦合进入检测光纤,并传输至探测器。根据探测器接受的荧光信号强弱,可计算出光纤系统的传输效率,从而诊断光纤系统的完好性,该检测模式实为定量检测。

因此,激光起爆系统的检测设计主要包括 3 个方面:激光起爆器的光路检测设计、检测光纤设计、耦合结构设计。

### 1.1 激光起爆器检测设计

从系统检测原理可以看出,激光起爆器在系统

\* 收稿日期:2012-02-21

作者简介:匡治兵(1977~),男,工程师,主要从事火工品设计及工艺研究。E-mail: kzhibi@126.com

自检时,起到一个荧光信号反射的作用,为系统诊断提供一定比例的反射光返回到控制系统的探测器,使其能判断光路传输连续性。为实现这种定量检测模式,激光起爆器的反射率,作为激光发火系统自检的关键技术之一,必须被严格要求。因此,起爆器必须内置一个光窗口来完成此项功能。

光窗口性能上需要满足在系统发火时可透过大部分的激光能量;在系统检测时可反射一定量的荧光信号。激光起爆器的检测光路设计见图 3,图中显示了光窗口反射的原理。

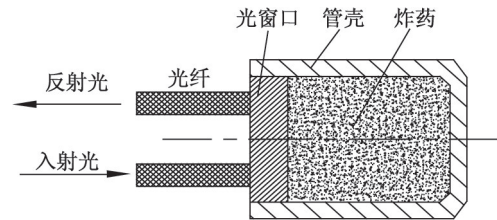


图 3 激光起爆器检测光路原理图

检测光信号通过光纤网络传输到激光起爆器中,检测光信号在光纤末端出光后进入光窗口,光窗口按照预定的光路设计,将检测光信号进行定量反射,通过结构设计使反射信号耦合进入检测光纤,再传输至探测器中进行判定。

作为激光起爆器的光窗口,需要满足以下性能要求:一是对透射光能量尽可能地减少损耗;二是尽可能减小对光斑的发散;三是对光有一定的反射作用,且能够便于将反射光信号耦合进入检测光纤。为此,采用了光学玻璃材料进行多种平面透镜组合的设计,比如:平面镜、单凸透镜、双凸透镜组<sup>[7-8]</sup>,但是光在这些窗口反射率较低,且个体间差异较大,为光路检测设计带来问题。自聚焦透镜的引入很好地满足了上述性能要求,经过多次试验,最后采用 1/4P 自聚焦透镜作为光学窗口<sup>[9]</sup>。

根据要求设计了激光起爆器的结构,见图 4。

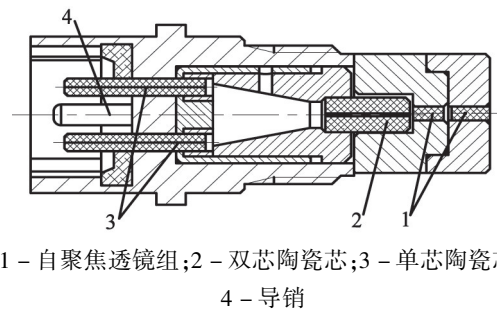


图 4 激光起爆器结构图

激光起爆器的结构设计包括两个单芯陶瓷芯:一个装有检测光纤,一个装有发火光纤;一个双芯陶瓷芯,它是把检测光纤和发火光纤装入陶瓷插芯的内孔中,有较好的对称分布性,其加工的同轴度、尺

寸精度均要求控制在微米的量级;光学窗口采用的是自聚焦透镜组,两种自聚焦透镜设计状态如下:在第一个透镜后端面镀 15% 定量反射膜,在第二个透镜的两端面镀大于 99% 的增透膜。检测时,入射光通过第一个自聚焦透镜的后端面反射到检测光纤中,通过反射光通量的大小可以诊断系统的完好性。

1.2 检测光纤设计

从自聚焦透镜的光路原理可以看出,通过 1/4P 自聚焦透镜后端面反射的光斑位置,始终与入射光斑位置呈中心对称。因此,检测用的光纤设计上,要保持与入射光纤的中心对称,这样才有利于接受到较多的反射光能量。试验采用的方法是使用两根直径一样的光纤,装入 2 倍直径的精密内孔中,周围用胶液填充固化后再进行端面打磨。

陶瓷插芯是提供精密内孔的理想元件,其优点是外表光滑且精度很高,便于清洁。目前通信行业广泛使用于光纤连接的耦合,它们是一种由纳米氧化锆( $ZrO_2$ )经一系列配方,加工而成的高精度特种陶瓷元件,见图 5。

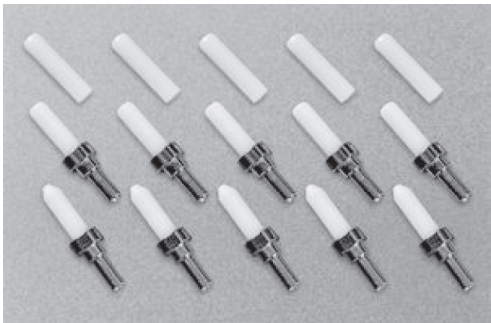


图 5 陶瓷插芯及带金属座陶瓷插针

激光起爆器内装的检测光纤和发火光纤,装入陶瓷插芯的内孔中,其内孔已经被精确地加工至  $\varnothing 250\mu m$ 。内装 2 根直径为  $\varnothing 125\mu m$  的光纤。所以光纤装入陶瓷插芯后,能较好地对称分布。光纤分布的结构示意图见图 6。其内孔直径为  $\varnothing 0.25^{+0.005}_{+0.002}$  mm,外圆直径为  $\varnothing 2.5^{+0.005}_0$  mm。其加工的同轴度、尺寸精度均可控制在微米的量级。

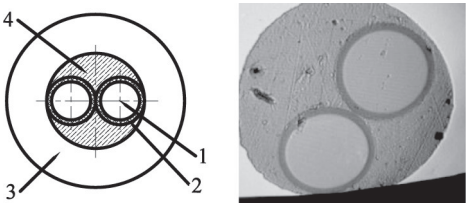


图 6 双芯光纤分布图

1.3 耦合结构设计

要使得检测光纤收集到检测光信号,必须保证

反射光路与检测光纤位置重合,匹配方式耦合通过零件精度来保证。

光纤传输中光连接器的作用是把光纤端面精密地对接,使传输的能量最大限度地耦合到接收光纤中。试验采用的光纤耦合技术是 C 形陶瓷套管和陶瓷插芯,因为其加工容易且精度很高。C 形陶瓷套管的结构示意图见图 7。套管的内孔直径精度在微米级,为  $\varnothing 2.493_{-0.004}^0\text{ mm}$ 。

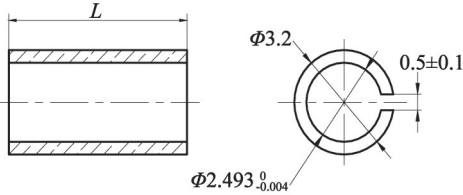


图 7 C 形陶瓷套管示意图(单位:mm)

2 试验

试验使用了 808 nm 半导体激光器、半导体驱动电源、光能量计、自制的双光纤等。将合格的激光起爆器与光缆插座连接,进行重复插拔 3 次的反射率测试。试验规定了入射光纤的能量为 100 mW,检测光纤的能量大小,根据其比值计算激光起爆器的反射率(表 1)。

表 1 测试数据

编号	反射能量/mW	反射率/%
1	4.93、5.05、4.86	4.86 ~ 5.05
2	5.24、5.13、5.26	5.13 ~ 5.26
3	4.82、5.01、5.09	4.82 ~ 5.09
4	5.18、5.23、5.26	5.18 ~ 5.26
5	4.85、4.91、5.03	4.85 ~ 5.03
6	5.20、5.05、5.15	5.05 ~ 5.20
7	5.06、5.04、5.21	5.04 ~ 5.21
8	5.03、5.03、5.16	5.03 ~ 5.16
9	4.86、4.96、5.01	4.86 ~ 5.01
10	5.29、5.36、5.27	5.27 ~ 5.36

从测试数据看,产品的反射率可控制在 4.82% ~ 5.36% 的范围。重复插拔测试反射率有一定的差异,最大的范围相差 0.27%。这是由于光连接器重复插拔,导致损耗不一致的原因。

目前,该问题是激光起爆器存在的固有特性,这是重复连接器插拔损耗不一致的原因。要解决该问题还有待光连接器的性能的提高。

3 结论

通过对激光起爆系统研制进程的介绍,对激光起爆系统的检测技术进行研究和试验分析,提出了一种外置式自诊断系统检测技术,并解决了激光起爆器的光路定量反射问题。

参 考 文 献

[1] 赵兴海,高杨,赵翔. 激光起爆技术研究进展[J]. 红外与激光工程,2009,38(5):797-802,810.

[2] 周浩,鲁建存,刘彦义,等. 激光起爆系统外置式自诊断检测[J]. 火工品,2008(1):43-45.

[3] Ewick D. W., Beckman T. M., Holy J. A., et al. Ignition of HMX Using Low Energy Laser Diodes[C]//14th Symposium on Explosives and Pyrotechnics. Burlingame, CA (USA),1990:2-15 ~ 2-17.

[4] Totaro I., Nobuhiko I. Diode Laser and Practical Trace Analysis[J]. Anal. Chem., 1990,62(6):363-371.

[5] 李乐霞,贺岭. 激光起爆与点火系统中光纤连接器[J]. 火工品,2002(1):12-14.

[6] 项仕标,项项,冯长根. 激光对含能材料作用特性分析[J]. 激光与红外,2002(4):233-236.

[7] 聂祥进,匡治兵. 激光起爆器光学窗口的研究[J]. 爆破器材,2011,40(5):22-25.

[8] 尹国福,鲁边存,刘彦义,等. 激光起爆系统光路完整性检测技术研究[J]. 激光技术,2011,35(4):554-558.

[9] 张思团,叶虎年. 一种自聚焦透镜的成像解[J]. 应用光学,2006,27(2):163-166.

A Detecting Technology in the Laser Initiation System

KUANG Zhibing

Guizhou Jiulian Industrial Explosive Materials Development Co., Ltd. (Guizhou Guiyang, 550001)

[ABSTRACT] Composition and research progress of the laser initiation system are discussed here. A simply and feasible detecting method is presented. This paper mainly introduces the external self-test technique of the laser initiation system, including the design of optical path in laser initiation device, detection optical fiber and coupling structure. It solves the problem of quota reflection on laser initiation device optical path by means of examination validation. The design can provide referenced value for high reliable application systems such as weapon and aerospace systems.

[KEY WORDS] laser initiation device, detection, reflection