

寿命试验对激光引信光学系统性能的影响

刘云,张骏,彭新阁,姜飞,孙萍,王涛,王新平
(国营洛阳丹城无线电厂,河南 洛阳 471000)

摘要:引战系统中的激光引信性能影响装备的使用效能。本文以激光引信光学收发系统为研究对象,基于半导体激光器寿命评估、探测器寿命评估和装备寿命试验方法,开展了激光引信模拟寿命试验,分析了模拟寿命试验后,激光引信光学系统的性能变化和原因。

关键词:激光引信;光学收发系统;寿命试验

中图分类号:TJ765;TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2024.07.008

Effect of life testing on the performance of optical system for laser fuses

LIU Yun, ZHANG Jun, PENG Xin-ge, JIANG Fei, SUN Ping, WANG Tao, WANG Xin-ping
(State-run Luoyang Dan City Radio Power Plant, Louyang 471000, China)

Abstract: The performance of laser fuses in fuse-warhead system affects the effectiveness of the equipment. In this paper, taking the optical transceiver system as the object of study, based on the semiconductor laser life assessment, detector life assessment and equipment life test methods, a simulated life test of the laser fuse was carried out to analyze the changes in the performance of the optical system of the laser fuse and the reasons for such changes after the simulated life test.

Keywords: laser fuse; optical transceiver system; simulation life test

1 引言

近炸引信通过测量导弹与目标之间的相对位置,在适当时机产生起爆信号引爆战斗部,杀伤目标。随着电磁干扰技术、电磁探测技术的发展和应用,战场电磁环境和电磁干扰日趋复杂,无线电引信在抗电磁干扰能力上的不足日益凸显。激光引信随着半导体激光器发射功率、光束发散角、可靠性等方面性能的提升逐渐应用到各种产品上。

激光引信作为引战系统的炸点控制组件,其性能直接决定了对目标的杀伤效果。随着国际形势的变化,现代战争对武器装备的实战效能提出了更高的要求。武器装备具有“长期贮存、一次使用”的特点,在使用过程中的定期检测中,只在整个装备状态下,对各关键参数的电信号进行测量。激光引信在定期检测过程中,在其逻辑电路无故障的情况下一般不会由于光学系统性能的轻微退化而显示故障。

但激光引信中包含光电子器件和半导体器件,其光学收发系统性能的变化会影响激光引信的截止特性和启动特性。

2 激光引信性能评估方法

对激光引信中光电子器件性能退化的研究主要是对单独的半导体激光器、半导体探测器在寿命评估过程中的失效模式和性能变化进行了研究。

2.1 激光器性能退化评估

随着半导体生长工艺、制作工艺的提升,半导体激光器的寿命不断增长,可靠性不断提升,在激光通信中使用的电注入式双异质结半导体激光器的理论使用寿命可达上万小时。因此,直接研究半导体激光器性能在全寿命期的变化,以及评估性能退化到一定程度时的激光器寿命变得难以实施。

目前,针对半导体激光器的寿命评估主要集中为两种方式:一种是根据激光器的失效机理,在不改

变失效模式的情况下选取敏感应力作为加速应力,使用 Arrhenius 方程,利用研究的自动检测系统计算加速应力下的激活能和加速系数,推测器件的性能变化和寿命^[1-2];另一种是构建半导体激光器性能退化模型,拟合得到性能退化曲线,在与实际性能退化曲线对比后优化模型算法^[3]。

一般的半导体激光器(非高功率半导体激光器)的失效模式主要包含:由于谐振腔镜面机械损伤或功率密度过高,镜面迅速退化引起的突然失效;激光器内部存在缺陷和异质结的晶格失配形成的暗线缺陷,导致的快退化;激光器内部点缺陷积聚导致的慢退化^[4-5]。

2.2 探测器性能退化评估

激光探测器也属于半导体器件,对探测器性能随寿命的变化主要针对探测器杜瓦组件和探测器集成芯片进行了研究^[6-7]。激光探测器性能随寿命的变化可通过模拟实际工作条件估计产品寿命^[8]或通过加速寿命试验方法对产品性能进行测试和数值计算推测产品性能和寿命^[9-10]。

2.3 装备性能的寿命评估试验方法

激光引信作为航空装备引战系统的重要组成部分,在实际使用过程中的性能会随着贮存、挂飞等环境试验而发生一定的变化。航空装备往往通过再延寿方式挖掘产品的薄弱环节,保证装备质量。常用的导弹定延寿方法有:跟踪加速法、厂内寿命试验法、领先使用法、外场信息法、工程分析法和加速试验法^[11]。对于激光引信光学收发系统,其产品性能不仅取决于半导体激光器和探测器等独立器件的性能,还与发射组件与接收组件之间的耦合有关。因此,依据装备定延寿中厂内寿命试验法对其性能进行研究。厂内寿命试验法是利用试验设备模拟外场使用条件对产品进行试验的方法,是一种比较常用的定延寿方法。

3 激光引信光学收发系统和测试

3.1 测试产品状态

激光引信本体包括电路板和8个收发探测通道,所研究的光学收发系统即8个收发探测通道。该激光引信共8个窗口,每个窗口中含两个发射器或两个接收器,激光引信外壳窗口结构如图1所示。激光引信光学收发系统示意图如图2所示。8组发射和接收光学系统光轴均朝探测方向前倾。每个通

道的发射视场和接收视场同轴。激光引信本体的发射和接收组件与引信壳体之间由硅橡胶垫隔离,激光引信本体两端的端盖用密封胶密封,因此,该激光引信具有一定的隔离水汽的能力。

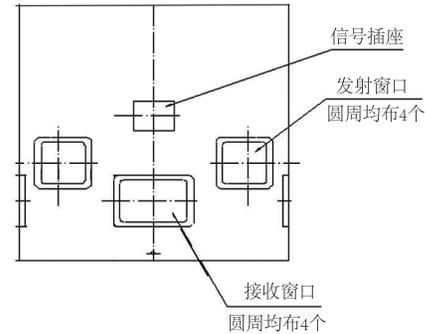


图1 激光引信外部示意图

Fig. 1 Schematic diagram of laser fuse external

注:1表示通道1的发射,1'表示通道1的接收;依次类推。

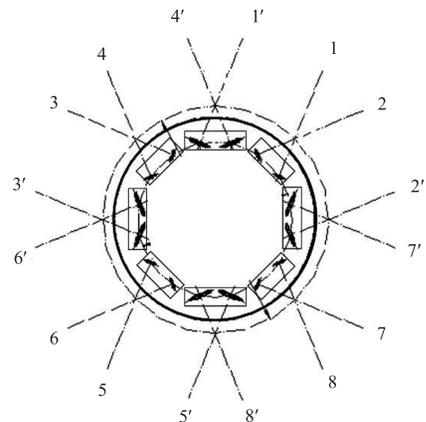


图2 光学收发系统示意图(沿轴向)

Fig. 2 Schematic diagram of optical transceiver system(along the axial direction)

3.2 光学收发系统发射部件性能测试

激光引信中发射组件为半导体激光器,发射光束布局为8个辐条激光束,半导体激光器经过简单的准直整形后直接出射出去,激光发射部件的性能包括光功率、光束发散角和光谱宽度等。对于该激光引信,在作用距离范围内,光斑尺寸较小,可完全作用于目标,可忽略光束发散角、光束质量等参数对引信探测的影响,选取光功率表征发射部件的性能。

由于在一个光学发射窗口中有两个发射部件,为避免两个发射部件发射功率测试相互干扰,在距发射窗口延光轴6 cm处测试光功率,此时出射光斑完全在光敏探头覆盖范围内。

3.3 光学收发系统接收部件性能测试

激光引信中接收组件为硅探测器,其在所探测

波长附近的响应度均比较高,该接收组件的探测器集成了放大电路,输出的为电压信号。选取光功率入射后的输出电压作为响应度指标,单位为 V/W。在进行探测器响应度测试时,为保证探测器的电压信号不饱和,激光发射器和接收部件之间的距离大于 1 m,通过红外观察仪保证激光发射器的出射光斑出现在接收窗盖的中心位置。测试接收窗盖中心位置的激光功率和每个通道探测器输出的电压信号。

3.4 光学收发系统作用距离性能测试

激光引信作为通过目标反射和散射实现探测的装置,其探测性能最终反映了其性能的好坏,选取收发光学系统的作用距离作为衡量光学收发系统性能的参数。该激光引信的作用距离即目标的回波信号满足一定要求时的距目标距离。为了避免信号处理板的阈值门限等对作用距离性能产生影响,在进行作用距离测试时,使用相同的信号处理板进行回波信号和目标信号采集。在进行作用距离测试时,由近及远移动产品,增大距目标的距离,记录回波信号由满足目标信号要求到发生改变时的距离。

4 激光引信模拟寿命试验

4.1 试验品的选择

由于可选择的产品有限,共选取了三枚引信进行性能研究,分别编号为:A、B、C。引信 A 为某一枚经历过贮存,未经历过挂飞的产品;引信 B、C 为同批次,贮存时间几乎相同(小于引信 A),已挂飞时间几乎相同。

4.2 试验条件的确定

对引信 C 进行模拟寿命试验。此处的模拟寿命试验是通过设立温度、湿度、振动、冲击等试验环境,模拟装备随载机起飞、挂机和降落的过程。关于挂飞架次,依文献^[11]取挂飞累计 150 架次;按照每次挂飞时间 1.5 h,使挂飞时间累计达到 225 h。

激光引信的模拟寿命试验依据环境应力的不同分为着陆冲击试验和模拟挂飞试验。着陆冲击试验包含横向冲击和纵向冲击,依据 GJB 150 使满足 150 次起落。

模拟挂飞试验,按照空中巡逻、中低空伴随护航和高空截击分别制定试验剖面,各试验剖面分热天、标准天和冷天^[12]。使引信 C 累计挂飞时间达到 225 h。

5 测试结果与分析

5.1 测试结果

三枚激光引信各 8 个收发光学系统的性能如图 3 所示。

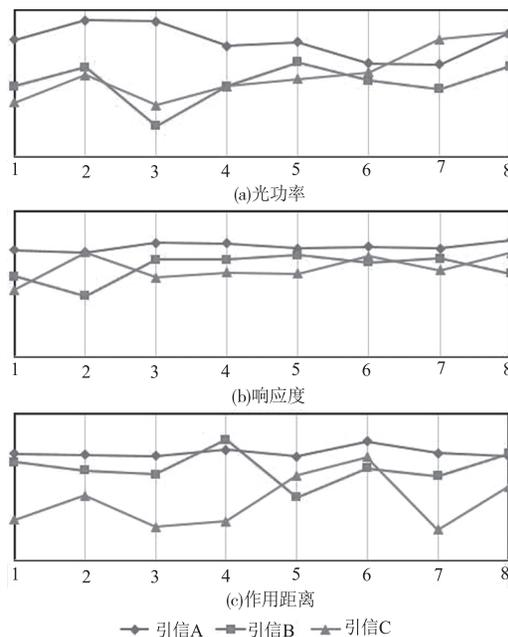


图3 三枚激光引信光学收发系统性能

Fig. 3 Performances of optical transceiver system for three laser fuses
测试结果如下:

(1)引信 A、B、C 光功率的平均值比为 1.57 : 1 : 1.12, 引信 A、B、C 光功率的标准差分别为 0.69 mW、0.84 mW、1.08 mW;

(2)引信 A、B、C 响应度的平均值比为 1.24 : 1.01 : 1, 引信 A、B、C 光功率的标准差分别为 143 V/W、468 V/W、459 V/W;

(3)引信 A、B、C 作用距离的平均值比为 1.83 : 1.58 : 1, 引信 A、B、C 作用距离的标准差分别为 0.69 m、2.33 m、3.67 m。

5.2 结果分析

通过试验结果可以看出,发射部件的发射功率随激光引信个体差异比较大;接收部件的响应度性能比较稳定,且离散性较小;光学收发系统的作用距离在经过模拟寿命试验之后退化较明显。通过对比同批次激光引信 B 和引信 C,引信 B 的平均功率小于引信 C 的,但引信 B 的平均作用距离大于引信 C,可能是由于模拟寿命试验后,发射组件的偏振度发生了变化导致发射光束经目标反射、散射后进入激光引信探测视场的能量发生了变化^[13]。通过对比

引信 A、B、C,可以看出,在激光引信经过挂飞、模拟寿命试验之后,激光引信发射组件的光功率、接收组件的响应度和光学收发系统的作用距离的离散型均有所增加。

6 结论

激光引信作为发射组件、接收组件、光学系统和电子组件组成的光电系统,其光学收发系统性能影响了其探测效果,通过对激光引信进行模拟寿命试验,发现在激光引信经历模拟寿命试验之后,发射部件的光功率,接收部件的响应度以及光学收发系统的作用距离离散性增加,在经过模拟寿命试验后,发射部件的激光偏振度可能产生了变化,使发射光束经目标反射、散射后进入激光引信探测视场的能量发生了变化。

参考文献:

- [1] Xu Xiaohong. Development of a semi-conductor laser life test system[D]. Beijing:China University of Geosciences, 2005(in Chinese)
徐小红. 半导体激光器寿命测试系统研制[D]. 北京:中国地质大学,2005.
- [2] Yang Shaohua, Huang Yun. Progress in high power semiconductor lasers lifetime evaluation[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2007, 44(6):34-37. (in Chinese)
杨少华, 黄云. 高功率半导体激光器的寿命评价研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2007, 44(6):34-37.
- [3] Li Junxing, Li Yanke, Niu Kaicen, et al. Lifetime evaluation of semiconductor laser based on dual-variance stochastic process[J]. Journal of Engineering Design, 2022, 29(3):293-299. (in Chinese)
李军星, 李燕科, 牛凯岑, 等. 基于双方差随机过程的半导体激光器寿命评估[J]. 工程设计学报, 2022, 29(3):293-299.
- [4] 郑广富. 半导体 AlGaAs 激光器工作寿命研究[J]. 激光技术, 1983, (5):24-30.
- [5] Lei Zhifeng, Huang Yun, Yang Shaohua. Reliability and lifetime assessment of high-power diode laser[J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(1):90-95. (in Chinese)
雷志锋, 杨少华, 黄云. 高功率半导体激光器的可靠性与寿命评价[J]. 应用光学, 2008, 29(1):90-95.
- [6] Lin Ridong, Liu Wei, Wang Guan, et al. Vacuum life analyse of infrared detector & dewar assembly[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(7):779-783. (in Chinese)
林日东, 刘伟, 王冠, 等. 红外焦平面探测器杜瓦组件真空寿命分析[J]. 激光与红外, 2011, 41(7):779-783.
- [7] Deng Min, Sun Li, Zhou Xiaoyan, et al. Research on lifetime testing and failure analysis of silicon avalanche photoelectric detectors[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016, 37(8):160-163. (in Chinese)
邓敏, 孙莉, 周小燕, 等. 硅雪崩光电探测器工作寿命试验及失效分析研究[J]. 四川兵工学报, 2016, (8):160-163.
- [8] Cui Junsheng, Jia Weimin. An analysis about the factors affecting working life of infrared detector[J]. Aero Weapomry, 2011(5):39-42. (in Chinese)
崔军生, 贾卫民. 红外探测器工作寿命的影响因素分析[J]. 航空兵器, 2011(5):39-42.
- [9] Wang Weipeng. Reliability study of InGaAs photoelectric detector[D]. Guiyang:Guizhou University, 2019. (in Chinese)
王炜鹏. InGaAs 光电探测器的可靠性研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2019.
- [10] Zhou Xiaoyan, Liang Chenyu, Jiang Chao, et al. Study on accelerated life test and evaluation of missile borne laser detectors[J]. Laser & Infrared, 2021, 51(5):629-633. (in Chinese)
周小燕, 梁晨宇, 姜超, 等. 弹载激光探测器加速寿命试验与评估研究[J]. 激光与红外, 2021, 51(5):629-633.
- [11] Li Gencheng, Chen Zhifang. Application study of life estimation and prolongation technique for air-to-air missile[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018, 15(5):90-92. (in Chinese)
李根成, 陈智芳. 空空导弹定延寿技术应用研究[J]. 装备环境工程, 2018, 15(5):90-92.
- [12] Yang Beisong, Zhao Jinke, Wu Dong. Risk analysis of neutron tube failure based on fuzzy FMEA and grey theory[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Resting, 2023, 41(4):36-39. (in Chinese)
杨贝松, 赵进科, 吴栋. 空空导弹软硬件综合可靠性试验实践与思考[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2023, 41(4):36-39.
- [13] Wang Wenzhi, Jing Hongqi, Qi Qiong, et al. Reliability test and failure analysis of high power semiconductor laser[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2017, 38(2):165-169. (in Chinese)
王文知, 井红旗, 祁琼, 等. 大功率半导体激光器可靠性研究和失效分析[J]. 发光学报, 2017, 38(2):165-169.