

激光器出口散射测试和影响分析

赵琳锋,姚梅,李华,郭豪,赵宏鹏
(63892部队,河南洛阳471003)

摘要:介绍了激光制导半实物仿真中1064 nm激光散射微弱能量的测试方法。并对某激光器出口散射进行了测试分析,总结了其分布规律,并建立模型。结果表明,激光器出口散射角度较广,且在近场散射能量比大气气溶胶散射能量高几倍,而远场时散射能量又明显低于大气气溶胶散射能量。因此,在近场仿真实验中,需要采取光阑遮挡等相应措施,合理处理出口散射激光,这对增大仿真实验测量的可控可知性具有重要意义。

关键词:出口散射;气溶胶散射;仿真测试;弱激光能量

中图分类号:TN247 **文献标识码:**A

Scattering energy in laser emergence test and affect analysis

ZHAO Lin-feng, YAO Mei, LI Hua, GUO Hao, ZHAO Hong-peng
(63892 Army Unit, PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: A test method of 1064 nm laser scattering weak energy in laser-guided hardware in the loop simulation was introduced in this paper. The scattering energy in emergence of a certain type of laser was tested and analyzed. The distributing rule of scattering energy was summarized and the simulation model was established. The results show that in near field the laser's scattering energy is some times larger than which scattered by aerosols and the scatterly angel is wide. But in the far field, the laser's scattering energy is significantly lower than which scattered by aerosols. Therefore some measures such as aperture blocking must be taken to deal with scattering energy in emergence in near field simulation test and it's of great significance to reduce the measurement error.

Key words: scattering in emergence; aerosols scattering; simulation test; weak laser energy

1 引言

激光是一种具有高亮度、高相干性和高方向性的特殊光源,对激光辐射的截获主要有五种途径:主瓣直接截获、旁瓣截获、散射截获、漫反射截获及复合截获^[1]。激光告警设备是一种用于截获、测量、识别敌方激光威胁信号并实时告警的光电侦察设备。散射探测式激光告警设备通过接收激光器出口、目标表面、地面、大气气溶胶等散射的激光辐射来实现激光探测和告警。在协同作战中探测这种散射光可实现对临近保护目标受到激光威胁的告警。在目前的技术条件下,外场实验大多只能获取单一或少数特定环境下的测试结果,要获得可能战场环

境下的较为全面的实验数据仍很困难,因此必须借助内场仿真实验手段,评估设备在实验/作战环境下的战技指标。在内场仿真实验和分析中,我们发现,激光器出口散射对仿真实验结果作用明显,因此对激光器出口散射进行系统的测试和影响分析是十分有必要的。本文旨在通过实验探讨内场仿真中出口散射的规律和对实验结果的影响。

2 激光器出口散射效应分析

典型激光器产生的激光,其输出光束空间强度

作者简介:赵琳锋(1983-),男,助理工程师,主要从事光电对抗方面的工作。E-mail:jackyalbert@sina.com

收稿日期:2010-06-24;修订日期:2010-12-04

分布通常是按照高斯型分布的,很少能均匀地照射到输出光学系统的光学镜片上,故其离轴光束的强度通常相对较低,但相对于激光大气传输中的散射则较高。产生这一现象的原因是激光器光学镜片材料及安装的各种元器件的内部结构等引起的光散射和反射,相当于旁瓣能量。这种寄生的散射光大多是在激光发射时产生的,称之为出口散射光。出口散射光通常有三种特殊来源:

(1)由激光器准直透镜的光学材料引起的散射光,这是相对全向的,幅值要比主光束低3~6个数量级;

(2)在各个透镜及激光器表面之间的多次反射,其强度与特定结构密切相关;

(3)由发射光学系统的不完善或不洁净,部分激光能量偏离主光束而形成。

3 实验装置与测试方法

对辐射式激光接收设备进行内场测试时,为了减小背景影响,被测设备、激光辐射信号源及其架设平台均需要安置在激光消光暗室内,测试及其记录系统则安置于另外的工作间内^[2]。本测试以一特定激光器作为激光辐射信号源,以某激光接收设备作为被测设备。实验布局如图1所示,激光器出光口位于A点,激光接收设备位于激光光束传输路径的西侧并连接示波器,设为B点,激光接收设备到光路垂线的交点为C点。该激光接收设备的探测光学系统光轴与激光光束间的夹角为 θ ,此即为出口散射激光的出口角度,激光器到激光接收设备的距离为AB,激光接收设备到激光光束的垂直距离为BC,激光器到垂线交点的距离为AC。为了最大限度地减小激光反射对测试结果造成的影响,必须使激光光束由实验室激光消光窗口射出到激光消光暗室之外,再由实验室外放置的平面镜反向天空。

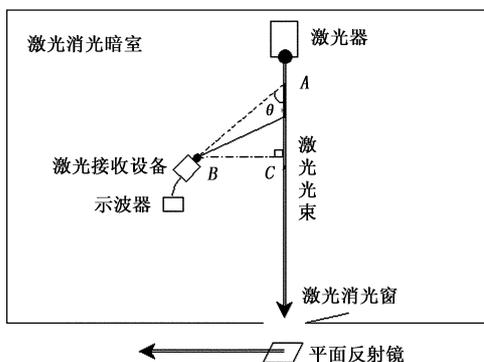


图1 室内1064 nm弱激光能量测试系统组成示意图

4 测试结果与分析

4.1 出口散射测量结果及其分布分析

实验中仪器及环境参数为:激光器单脉冲能量为4 mJ,脉冲宽度为 ε ns;用于测试的光电探测器组件灵敏度为 f J/cm²量级,视场为 ρ° ;示波器带宽为1 GHz。光电探测器和激光器的高度均为1.1 m,实验室温度5℃,相对湿度50%。

为了分析激光器出口散射的影响规律,首先进行了未加光阑情况下的测试,并使激光接收设备分别位于激光光束的东西两侧,测试的数据如表1所示。

表1 测试结果1

序号	离轴距离 BC/m	轴上距离 AC/m	$\theta/(\circ)$	实测得 能量密度 /($\mu\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$)	备注
1	8	22	19.9	19.67	激光接收设备 位于激光器光 路的东侧
2	12	6	63.4	2.40	
3	12	2	80.5	1.25	
4	8	22	19.9	19.2	激光接收设备 位于激光器光 路的西侧
5	12	6	63.4	1.82	
6	12	2	80.5	1.11	

由表1可以看出,激光器出口散射的角度很大,接近 $\pm 90^\circ$ 。对比激光器光路东、西两侧的激光能量测试数据,可以看出,位于光路两侧、轴上距离和离轴距离均相等的对称点处,光电探测器的激光能量响应非常接近。可以认为激光器的出口散射能量分布相对于激光光路是对称分布的^[3]。因此,下面主要以激光光路一侧的测量数据来进一步分析出口散射的能量分布特性。

设出口散射激光在 θ 方向单位立体角的激光辐射强度为 E_θ ,在 θ 方向上、距离为 B 处的能量密度为 $E_{\theta AB}$,则有:

$$\tan \theta = \frac{BC}{AC} \quad (1)$$

$$E_{\theta AB} = \frac{E_\theta}{(AB)^2} \quad (2)$$

所以:

$$E_\theta = E_{\theta AB} \times (AB)^2 \quad (3)$$

经过多次实验测试,得到激光出口散射单位立体角内的激光辐射强度与出口方向 θ 的分布特性,如图2所示,其中离散点为实测数据,实线为拟合曲线。

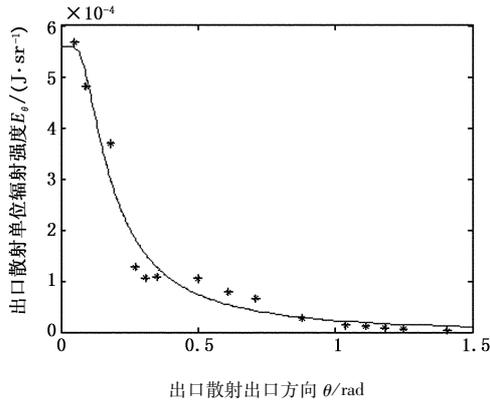


图2 出口散射方向-散射辐射强度分布

通过曲线拟合可得:

$$E_{\theta} = 0.000559 - 0.000563 \exp(-0.0485\theta^{-1.62}) \quad (4)$$

可知,激光器出口散射角度越大,辐射强度越小。将式(1)、式(4)代入式(2),可得激光器出口散射的轴上距离、离轴距离与出口散射能量密度的关系:

$$E_{\theta AB} = \left[0.000559 - 0.000563 \times \exp\left(-0.0485 \left(\arctan \frac{BC}{AC}\right)^{-1.62}\right) \right] / \left((AC)^2 + (BC)^2 \right) \quad (5)$$

4.2 近场时对仿真中弱激光的影响分析

实验中,还进行了激光器出口有无光阑时的激光能量测试,测试数据如表2所示。

表2 有/无光阑时激光能量测试数据

离轴距离 BC/m	轴上距离 AC/m	实测得能量密度 /(pJ · cm ⁻²)	有无光阑
3	20.10	11.13	有
4	20.10	1.66	
2	22	98.81	无
4	22	73.87	
6	22	24.46	
7	22	20.15	

对比有无光阑时的激光能量测试数据表明,使用光阑时出口散射激光能量明显低于不使用光阑时的情况。由此可以看出,激光器光学系统自身引起的出口散射对光电探测器的影响不可忽视,其能量数倍于大气气溶胶等引起的激光散射。

激光角度欺骗仿真测试系统布局如图3所示,假设指示激光器与实验用激光器为同一类型激光器。令轴上距离 a 为指示激光器出口到导引头的距离,离轴距离 h 为指示激光器到漫反射板的垂直距

离,将其代入公式(5)可得出出口散射激光到达漫反射板上的能量密度 $E_{漫} = 1.285 \times 10^{-11} \text{ J/cm}^2$ 。利用漫反射公式^[4]:

$$E_R = \frac{\rho E_{初} \cos\theta}{\pi R^2} \quad (6)$$

其中, ρ 为漫反射系数,为70%; θ 为 90° 。因此计算可得出出口散射激光经漫反射板反射后到达导引头处的能量密度为 $E_d = 2.598 \times 10^{-14} \text{ J/cm}^2$,达到了导引头的灵敏响应范围,说明激光器出口散射可能对仿真实验结果产生一定影响。因此,在激光角度欺骗干扰仿真测试过程中,应采取相关控制措施,以减小出口散射激光能量对仿真结果的影响。

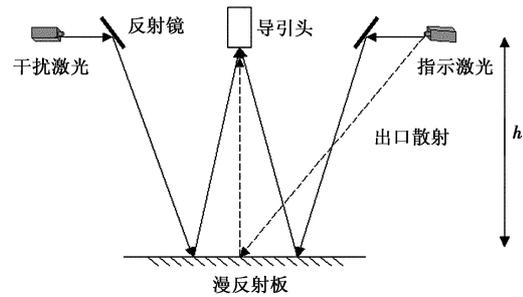


图3 激光角度欺骗干扰仿真布局图

4.3 远场时对激光告警散射截获半径的影响分析

根据激光告警散射截获半径的战情设定,利用式(5)计算得位于激光器轴上距离 AC 为5 km、离轴距离为25 m的点 W 处激光初始能量密度为 $E_0 = 2.23 \times 10^{-15} \text{ J/cm}^2$ 。而在实际传输过程中大气分子和气溶胶粒子对 $1.06 \mu\text{m}$ 激光产生消光作用,有:

$$E = E_0 \times \tau \quad (6)$$

$$\tau = \exp\left(-\frac{3.912}{V} \times \left(\frac{0.55}{1.06}\right)^q \times L\right) \quad (7)$$

其中,假设大气能见度 V 为10 km;则 q 取1.3; L 为传输距离。可得出点 W 处的能量密度为 $E = 9.69 \times 10^{-16} \text{ J/cm}^2$,远低于激光告警设备的响应灵敏度。因此,在远场实验时,激光器的出口散射激光对激光告警的影响很小。

5 结论

对特定激光器近场能量分布进行了系统测试,对其出口散射能量分布规律进行了分析,给出了该激光器的出口散射能量的仿真计算模型。表明,在近场测试中激光器的出口散射比大气气溶胶散射高出数倍,且出口角度很大;在远场测试中,激光器出口散射对激光告警设备的战技指标的影响较小。激光制导等仿真测试中必须充分考虑激光器出口散射

的影响因素,以保证高质量、高精度的完成仿真测试。进一步的研究工作是利用不同的激光器进行系统的出口散射测试,分析其规律及影响,并对模型进行进一步校验。

参考文献:

- [1] Wu Xinyu. Research of laser alarm correlation technique [J]. Infrared Monthly Magazine, 2003, 7: 6 - 11.
- [2] Li Hua, Zhao Hongpeng, Feng Liang. The influence of laser extinctive chamber extinction performance on laser reconnaissance and warning radiation simulation test [J]. Laser and Infrared, 2006, 36(8): 683 - 686.
- [3] Li Hua, Qin Shiqiao, Yao Mei. Test and model to extra laser energy in the lab on laser-guided weapon simulation [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2009, 20(3): 374 - 377.
- [4] Xiong Huifeng. Laser radar [M]. Beijing: Aerospace Press, 1994.