

文章编号: 1001-3806(2012)01-0141-04

光学暗室内杂散激光能量分布模型仿真与测量

徐成伟¹ 姚梅¹ 许振领¹ 张文攀¹ 胡欣¹ 王军² 刘艳芳¹

(1. 中国人民解放军 63892 部队 洛阳 471000; 2. 中国人民解放军 63893 部队, 洛阳 471000)

摘要: 为了模拟 1.06 μm 脉冲激光在暗室内壁多次漫反射后的能量分布,在对暗室内激光目标反射特性研究的基础上提出了神经网络叠加的算法,并建立了暗室内杂散激光能量分布数学模型;利用模型仿真得到了入射能量为 1J 的 1.06 μm 脉冲激光漫反射能量分布图,分布图表明暗室的整体消光性能较好,但是个别壁面存在局部较强的反射区域,该区域的激光能量最大值约为 3.5×10^{-4} J;通过模型的理论计算与实际测量分别得到了监测探头的能量密度理论值与实测值,对两组数据的比对分析表明,理论值与实测值的最大和最小相对误差分别为 10.7% 与 1.3%,并且两者的分布规律一致。结果表明,此模型具有较高的可信度和仿真精度,能够满足内场仿真试验的实际需求。

关键词: 激光光学; 仿真模型; 神经网络叠加算法; 光学暗室; 漫反射; 内场仿真试验

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.01.037

Simulation and measurement of scattering laser energy distribution in extinctive chambers

XU Cheng-wei¹, YAO Mei¹, XU Zhen-ling¹, ZHANG Wen-pan¹, HU Xin¹, WANG Jun², LIU Yan-fang¹

(1. 63892 Unit, Chinese People's Liberation Army, Luoyang 471000, China; 2. 63893 Unit, Chinese People's Liberation Army, Luoyang 471000, China)

Abstract: To simulate the scattering laser energy distribution of 1.06 μm pulsed laser reflected multiple times by the inner wall of an extinctive chamber, after analyzing the laser scattering characteristics, a neural network superposition algorithm was put forward and the mathematical model for energy distribution was created. The laser energy distribution pattern under was simulated with 1J 1.06 μm laser incident in the chamber. In some reflection area, the reflectance was high with maximal energy of 3.5×10^{-4} J. Actual measurement and theoretical calculation were carried out respectively. Theoretical and measurement results were compared, the maximal and minimum relative error of actual and theoretical value was 10.7% and 1.3%, and both were in the consistent changing rule. All the results show the precision of model can meet the practical requirements of infield simulation tests.

Key words: laser optics; simulation model; neural network superposition algorithm; extinctive chamber; diffuse reflection; infield simulation test

引言

在激光被动侦察告警、激光欺骗/压制干扰等光电对抗内场仿真试验中,试验环境消光性能的优劣是影响仿真试验结果的重要因素,具备良好的光电净空环境是保证仿真试验顺利开展的前提。光学暗室是光电内场仿真试验的主要环境,是在土建基础上对暗室各个内壁进行激光消光处理,而构建成的一个近似无反射能量的激光信号传播空间^[1-2]。暗室的消光不仅要求对暗室内表面作基础性的特殊材料处理,还需要对一些杂散激光反射较强的区域实施重点的消光处理。

作者简介: 徐成伟(1985-),男,硕士,研究实习员,主要研究方向为光电对抗仿真与试验。

E-mail: jackyxu1985@hotmail.com

收稿日期: 2011-04-17; 收到修改稿日期: 2011-07-05

作者主要研究了光学暗室内 1.06 μm 脉冲激光经过暗室内壁(已作基础性的消光处理)多次漫反射后的杂散激光能量分布,为暗室内杂散激光重点反射区域的确定和消光处理研究提供一定的参考。

1 光学暗室漫反射激光干扰分析

在激光内场仿真试验中,激光导引头的探测灵敏度非常高,经过暗室内壁多次漫反射的杂散激光,会对激光导引头闭环半实物仿真试验产生很大的影响^[3-6]。以图 1 所示的激光角度欺骗干扰仿真试验为例,试验原理是角度欺骗干扰设备利用其接收转发的激光照射假目标,诱使激光导引头偏离真目标跟踪假目标,以达到保护真目标的作用^[7-8]。如果试验过程中暗室内壁消光不符合标准,则经过内壁多次漫反射形成的杂散激光(方向无法确定),就可能进入到激光导引头的视

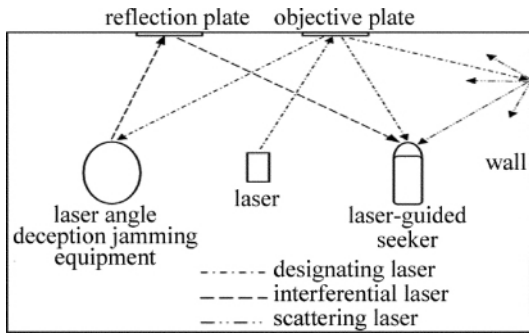


Fig. 1 Map of scattering laser's effect on angle deception jamming field,从而干扰激光导引头正常跟踪假目标^[9-11]。

2 激光目标反射特性分析

分析暗室内激光目标反射特性时,作如下基本假设:(1)激光在暗室中的传播遵循几何光学规律,暗室内大气均匀、各向同性;(2)激光光束内的能量分布近似均匀,忽略激光的高斯光束效应;(3)暗室内壁(经过特殊消光材料处理)以及激光漫反射屏均为标准朗伯体,用漫反射率来度量激光的目标反射特性^[4]。

如图2所示,一束激光入射到暗室某内壁面上O处,入射光的束散角为1mrad,入射距离小于20m,故O处的激光光斑尺寸很小,可将O视为辐射点源。P是位于其它内壁上的点,N₁和N₂分别是O处和P处的面法向量,则P点处的激光能量密度为:

$$I = \frac{E_0 \tau_1 \tau_2 \rho_0 \cos\theta \cos\varphi}{\pi R^2} \quad (1)$$

式中E₀为入射激光能量值;τ₁为入射光路的大气透过率;τ₂为OP光路的大气透过率;ρ₀为点源O处的激光漫反射率;θ为OP光路与N₁之间的夹角;φ为OP光路与N₂之间的夹角;R为O和P两点之间的距离。

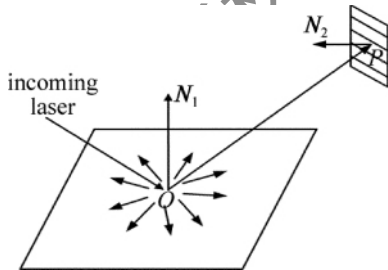


Fig. 2 Model of laser objective diffuse reflection

3 仿真模型的建立

数学仿真模型的建立,旨在模拟激光在暗室内壁上多次漫反射的过程,以及各个内壁面上杂散激光的能量分布。

如图3所示,建立光学暗室的3维直角坐标系并标记各个内壁面。光学暗室长Xm,宽Ym,高Zm;暗室内壁I~IV的漫反射率为ρ₁,顶面V和地面VI的漫反射率为ρ₂;漫反射屏固定在内壁I上,长Lm,高Hm,距离墙

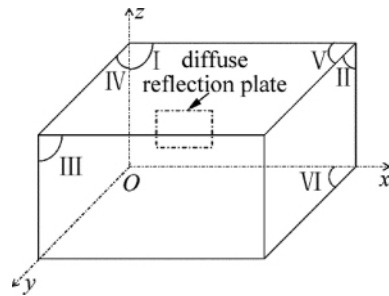


Fig. 3 3-D coordinate system of a laser extinctive chamber

面IV为am,距离地面VI为bm,漫反射率为ρ₃。

将暗室6个内壁以ΔX=ΔY=ΔZ=0.1m为步长进行网格化(漫反射屏作为内壁I的一部分),则各个内壁面均由面积为0.01m²的小网格所组成。

规定当一定能量的激光入射到内壁I漫反射屏上(此时只有漫反射屏上的入射点有激光能量分布)经过漫反射屏反射后,内壁II~VI均形成激光能量分布为第1次漫反射;内壁II~VI将接收到的杂散激光分别向其它各个内壁进行漫反射,使得内壁I~VI上的激光能量重新分布,规定为第2次漫反射,以此类推。由于暗室内壁已经过消光材料处理,经过3次漫反射后的杂散激光能量,经估算要低于光电内场仿真试验中激光导引头的灵敏度,因此,本模型只计算2次漫反射后的激光能量分布情况。

4 仿真模型的计算

4.1 模型计算方法

模型采用神经网络叠加的算法,具体为每个网格化的内壁对应一个维数确定的2维矩阵A_i,矩阵中的元素与内壁上的网格一一对应。例如,内壁I网格化之后所具有的网格为(X/ΔX)×(Z/ΔZ)个,则对应的2维矩阵为A₁(X/ΔX,Z/ΔZ)。

将每个矩阵的元素用一个结构数组a(i,j)=struct{E,x,y,z,μ,ν,ω,ρ}来表示,其中,E为网格的激光能量值,(x,y,z)为网格的3维坐标,(μ,ν,ω)为网格面的法向量坐标,ρ为网格的激光漫反射率。

由于网格的面积很小,因此,可以近似认为网格表面处的激光能量密度是均匀分布的,并且等于网格中心点处的能量密度值,则网格面接收到的激光能量为:

$$a(i,j) \cdot E = A \cdot I(i,j) \quad (2)$$

式中A为网格面积(0.01m²),I(i,j)为网格中心点处的能量密度值。

在每次激光漫反射过程中,每个网格接收到的激光能量值是其它内壁所有网格对其辐照作用的叠加,例如内壁I上a(i,j)元素中的能量值为:

$$a(i,j) \cdot E_1 = a(i,j) \cdot E_2 + a(i,j) \cdot E_3 + \dots + a(i,j) \cdot E_6 \quad (3)$$

其中，

$$a(i, j) E_2 = A \cdot \sum_{m=1}^{Y/\Delta Y} \sum_{n=1}^{Z/\Delta Z} a(m, n) E \tau_1 \tau_2 \rho \cos \theta \cos \varphi / \pi R^2 \quad (4)$$

表示经内壁 II 表面所有网格漫反射的激光在 $a(i, j)$ 处的辐照能量。 $a(i, j) \cdot E_3$ 等的计算以此类推。激光在暗室内壁上每反射一次,所有内壁上的激光能量重新分布一次,则各个内壁上的网格相互之间根据(3)式和(4)式作一次能量值叠加运算。

将第 1 次漫反射后的网格激光能量值相应的赋予 6 个矩阵 $A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$ 中的元素 $a(i, j)$,并命名新的矩阵为 $A_{11} A_{21} A_{31} A_{41} A_{51} A_{61}$ 。同理,以第 1 次反射后的激光能量为初始值,计算得到的第 2 次漫反射后的网格能量值对应新的矩阵 $A_{12} A_{22} A_{32} A_{42} A_{52} A_{62}$ 。将 $A_{11} A_{21} A_{31} A_{41} A_{51} A_{61}$ 与 $A_{12} A_{22} A_{32} A_{42} A_{52} A_{62}$ 中对应元素的 $a(i, j) \cdot E$ 相加得到新矩阵 $A_{13} A_{23} A_{33} A_{43} A_{53} A_{63}$,表示经过 2 次漫反射后所有内壁上总的激光能量分布情况。

4.2 仿真计算结果

依次提取矩阵 $A_{13} A_{23} A_{33} A_{43} A_{53} A_{63}$ 中每个元素的 $a(i, j) \cdot E$ 可以得到 6 个激光能量值矩阵,表示暗室 6 个内壁面的网格经过两次漫反射后接收到的总的激光能量分布。如图 4 所示,在视图中分别显示 6 个激光能量值矩阵,即可近似模拟出对应 6 个内壁面

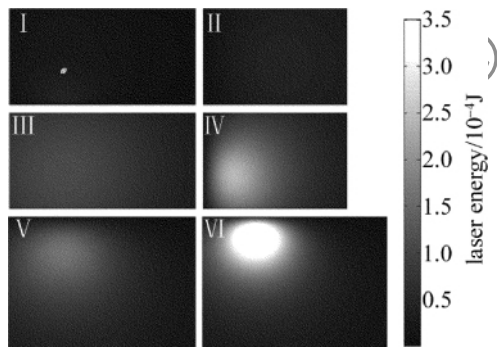


Fig. 4 Map of scattering laser energy distribution in an extinctive chamber

的激光能量分布情况。视图中颜色越深的区域表示的能量值越小。

由仿真结果可见,暗室内的整体消光性能较好,但是某些壁面(主要是内壁 IV 与内壁 VI)存在局部较强的反射区域,该区域的激光能量最大值约为 $3.5 \times 10^{-4} \text{J}$ 。在进行内场仿真试验过程中,这些主反射区域将是杂散激光的主反射源,需要对其进行重点的消光处理以进一步改善暗室的光电净空环境。消光措施可以考虑在主反射区域喷涂高性能的消光材料。

5 仿真模型的测量校验

5.1 测量方法

仿真模型建立之后,需要开展对杂散激光的实际测量以验证模型的精度。如图 5 所示,测量方案为在暗室内壁 IV 上选取 24 个测量点(测点按高度不同分为 3 排,测点水平方向等距分布),用光箔条散射测量系统分别对每排测点进行能量密度监测,测量次数为 5 次。当监测 1.5m 3m 和 4.5m 高度的测点时,探头分别置于距内壁 2m 4m 和 6m 的位置。

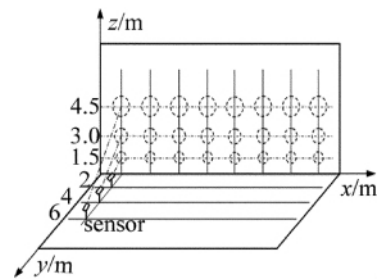


Fig. 5 Map of scattering laser measurement scheme

5.2 测量结果分析

根据测点和对应探头的坐标,利用仿真模型可以计算出每个探头在其视场范围内(视场 15°)接收到的能量密度理论值。将探头的能量密度理论值与探头的实际测量平均值进行比对分析,如表 1 所示。

Table 1 Comparison between theoretical and actual value of laser energy density

	1.5m			3.0m			4.5m		
	theoretical value $/(\text{pJ} \cdot \text{cm}^{-2})$	actual value $/(\text{pJ} \cdot \text{cm}^{-2})$	relative error/%	theoretical value $/(\text{pJ} \cdot \text{cm}^{-2})$	actual value $/(\text{pJ} \cdot \text{cm}^{-2})$	relative error/%	theoretical value $/(\text{pJ} \cdot \text{cm}^{-2})$	actual value $/(\text{pJ} \cdot \text{cm}^{-2})$	relative error/%
1	38.6	39.1	1.3	41.5	39.8	4.3	35.3	34.5	2.3
2	72.3	79.5	9.1	76.1	82.9	8.2	64.9	72.6	10.6
3	74.0	81.2	8.9	75.2	80.7	6.8	67.6	75.1	10.0
4	60.3	65.3	7.7	60.9	65.3	6.7	56.4	60.2	6.3
5	42.1	46.5	9.5	43.2	48.1	10.2	40.7	38.2	6.5
6	35.4	34.5	3.2	32.2	34.5	6.7	30.9	34.6	10.7
7	22.1	24.3	9.1	21.5	19.6	9.7	21.9	24.5	10.6
8	17.0	16.7	1.8	16.9	18.4	8.2	16.9	15.9	6.3

由表1的统计可知,探头的能量密度理论值与实测值的最大和最小相对误差分别为10.7%和1.3%,并且理论值与实测值的曲线变化规律也是一致的。由此可见,杂散激光能量分布模型的仿真精度较高,模型计算结果与实测值能够较好地吻合,基本满足了内场仿真试验的精度需求。

计算误差的来源可能是模型是对暗室内结构的简化,忽略了暗室内墙体梁、仿真设备等的存在带来的误差;其次,测量过程中环境因素也会引入一定的随机误差。

6 结论

主要在分析光学暗室内激光目标反射特性的基础上,针对暗室内激光多次漫反射后的能量分布,提出了神经网络叠加的算法并建立了数学仿真模型。模型初步模拟了暗室各个内壁面杂散激光能量的分布样式。模型建立后又对其进行了实测校验,将实测数据与模型的理论模拟数据比对分析。得出的结论是,模型理论值与实测值吻合程度较高,其精度能够满足内场仿真试验的精度需求。模型的建立将为暗室内壁重点反射区域的消光处理研究提供一定的理论参考。

参考文献

- [1] LI H, ZHAO H P, FENG L. The influence of laser extinctive chamber extinction performance on laser reconnaissance and warning radiation simulation test[J]. *Laser & Infrared* 2006, 36(8): 684-685 (in Chinese).
- [2] LI Sh G, NIE J S, LI H. Assessment of effectiveness on angle deceptive jamming to semi-active laser-guided weapon[J]. *Infrared and Laser Engineering* 2011, 40(1): 41-44 (in Chinese).
- [3] YE Sh L, ZHU Sh L, SUN Q B. Research on atmosphere-scattering influence on laser-angle-cheating jam[J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(12): 1306-1308 (in Chinese).
- [4] LIU Z X, LI X J, FAN X J. Measurement technology study of laser target reflection characteristic[J]. *Electro-optic Technology Application*, 2007, 22(8): 46-47 (in Chinese).
- [5] LI H, QIN Sh Q, HU X *et al.* Analysis to the effects of Mie scattering in 1.06 μ m laser simulation tests[J]. *Journal of National University of Defence Technology* 2008, 30(3): 5-10 (in Chinese).
- [6] SUN Y F, YE J S, HAO Y J. Research on counter-laser-guided bomb on artillery field[J]. *Infrared and Laser Engineering* 2007, 36(s1): 464-467 (in Chinese).
- [7] LIU K X, XU G R, WU Zh S *et al.* Measurement and analysis of the outfield target's laser scattering characteristics[J]. *Chinese Journal of Lasers* 2006, 33(2): 206-208 (in Chinese).
- [8] ZHANG L H, YANG Y, ZANG H G *et al.* Reflective characteristics of target in laser rangefinder[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, 33(7): 1001-1003 (in Chinese).
- [9] WANG K B. Latest development and trends of semi-active laser guidance technology[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(s1): 275-279 (in Chinese).
- [10] TONG Zh Ch, SUN X Q. Effective simulation on passive jam of laser-guiding-bomb[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(1): 82-85 (in Chinese).
- [11] ZHANG Ch Q. Development trends of electro-optical countermeasure technology[J]. *Laser Technology*, 2006, 30(3): 238-239 (in Chinese).
- [7] GUO X D, QIAO X G, JIA Zh A, *et al.* A simple high power L-band superfluorescent fiber source[J]. *Laser Technology*, 2005, 29(4): 364-369 (in Chinese).
- [8] HUANG W C, MING H, XIE J F. Study on L band erbium-doped optic fiber super-fluorescent light source and amplifier[J]. *Opto-Electronic Engineering* 2002, 29(6): 50-52 (in Chinese).
- [9] MI J, ZHANG Ch X, LI Zh, *et al.* Experimentally research on temperature stability of the mean wavelength of erbium-doped fiber super fluorescent source[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, 36(5): 825-829 (in Chinese).
- [10] WANG T SH, WANG K, GUO Y B, *et al.* Experimental investigation on high flattening Er-doped C + L band super fluorescent fiber source[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser* 2006, 17(7): 821-823 (in Chinese).

(上接第140页)