

文章编号: 1002-2082(2005)05-0007-03

# 提高室外遮蔽物透过率测量精度的一种方法

徐代升<sup>1,2</sup>, 胡以华<sup>2,3</sup>, 舒 嵘<sup>2</sup>, 王建宇<sup>2</sup>

(1. 河南洛阳 061 信箱, 河南洛阳 471003; 2. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 3. 中国人民解放军电子工程学院, 安徽合肥 230037)

**摘要:** 在深入了解遮蔽物的特性对军事对抗、环境保护和森林防火等具有重大现实意义的基础上, 针对目前室外测量遮蔽物激光透过率常用方法没有考虑激光脉冲发射能量起伏而导致测量精度低的问题, 设计了一种新的试验方案和数据处理方法。新的试验设计考虑脉冲能量起伏, 在早期设计方案的基础上增加了 1 个光分束器和 1 个激光接收机。这样设计的目的是为了得到遮蔽物释放后无法获得没有遮蔽物时测量处接收机所接收的每个激光脉冲的能量, 从而消除脉冲能量起伏对测量精度的影响。提出监测激光脉冲发射能量并用其对远场接收处能量进行反演的数据处理方法, 从而明显改善透过率测量的精度, 增强了决策的科学性和可靠性。

**关键词:** 遮蔽物; 激光透过率; 能量反演; 测量精度

中图分类号: O434.12-33

文献标识码: A

## An Improved Measurement Technique for Atmospheric Attenuation of Laser Transmittance

XU Dai-sheng<sup>1,2</sup>, HU Yi-hua<sup>2,3</sup>, SHU Rong<sup>2</sup>, WANG Jian-yu<sup>2</sup>

(1. P. O. Box 061, Luoyang 471003, China; 2. Shanghai Institute of Technical Physics, CAS,

Shanghai 200083, China; 3. Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037, China)

**Abstract:** It is understood that the characteristics of the atmospheric attenuation materials (haze, smoke, dust or aerosol) are important factors for applications such as military conflict, environmental protection and prevention of forest fire. However, the current atmospheric attenuation measurement method for laser transmittance could not achieve accurate results because it does not take the fluctuation of the laser pulse energy into account. In order to overcome such problem, a new test scheme and data processing method is designed. To take the laser energy fluctuation into consideration, a beam splitter and a laser receiver are added to the traditional design for monitoring the change of laser energy. Therefore, the emitting energy of the laser pulse is monitored and it can be used for inverse data processing for far field reception energy. Finally, the measurement accuracy of the transmittance is significantly improved and reliable data are provided to decision makers.

**Keywords:** atmospheric attenuation material; laser transmittance; energy inverse; measuring accuracy

## 引言

遮蔽物主要指烟幕、尘灰、暮霭和气溶胶等, 它与光作用表现为对光的吸收、反射和散射(通常用透过率表征)。目前常采用外场测量某点处遮蔽物释放前后所接收到的激光能量(激光器总发射能量

的一部分)的比值来获得遮蔽物在野外空间对某一波长激光的透过率。对遮蔽物来说, 由于激光的透过率不仅是波长的函数, 而且是时间的函数, 因此计算遮蔽物在某一时刻对激光的透过率时, 应在这一时刻同时获得测量点处无遮蔽物遮蔽和有遮蔽

收稿日期: 2004-02-26; 修回日期: 2004-05-18

作者简介: 徐代升(1968-), 男, 湖南常德人, 高级工程师, 博士生, 曾获军队科技进步二等奖 1 项, 三等奖 2 项, 目前主要从事目标光学特性、光电系统研制及综合性能的测试和评估等工作。

物遮蔽时的能量,而这在实际测量中是无法实现的。因为遮蔽物一旦释放,在测量处只能测得有遮蔽物遮蔽时的能量。于是人们采取了一种折衷的办法,即用遮蔽物释放前测量处激光接收机多次测量结果的平均值作为任意时刻测量点处无遮蔽物遮蔽的能量。试验表明,这种处理方法对脉冲重复频率低且脉冲激光能量稳定的激光器来说是可行的。但对脉冲重复频率高的激光器来说,由于脉冲发射能量的起伏较大(一般脉冲发射能量的起伏大于5%),如仍采用这种处理方法,将会大大影响透过率数据处理精度。针对这一问题,文中设计了新的试验方案和数据处理方法,从而提高了室外测量遮蔽物透过率的精度。

### 1 远场测量处激光能量分析

目前野外测量遮蔽物透过率常用的试验布局如图1所示。由于激光具有一定的发射角,在远场会形成激光的照射光斑,因此在测量处接收机所接收到的激光能量只是激光器总发射能量的一部分。激光发射光束远场能量分布示意图如图2所示。为了分析方便,假定发射的激光束为一基模高斯光

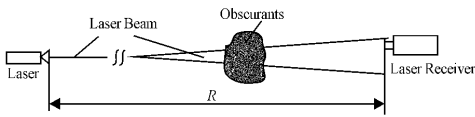


图1 目前外场遮蔽物透过率测量的布局示意图

Fig.1 Schematic diagram of measuring transmittance of obscuring objects at present

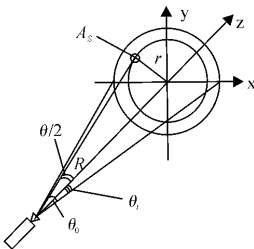


图2 远场激光能量分布示意图

Fig.2 Distribution of laser energy on the far field

束,则沿z轴方向传播的基模高斯光束的振幅和光强在x-y横截面内始终保持高斯分布特性,于是有:

$$\begin{aligned} \text{振幅: } I(r) &= Ae^{-r^2/\omega^2} \\ \text{能量: } E(r) &= I(r) = A^2e^{-2r^2/\omega^2} \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ; A为系数;  $\omega$ 为高斯曲线的形状参数。

由图2可知,  $r = R \tan(\theta/2) \approx R\theta/2$ , 式中R为激光器到激光接收机的距离,将其代入(1)式,得:

$$E(\theta) = A^2 e^{-\frac{R^2 \theta^2}{2\omega^2}} \quad (2)$$

由能量下降到中心值  $1/e^2$  的点所定义的光斑直径对应的激光发射角  $\theta_0$  (半角为  $\theta_i$ , 参见图2) 可得到  $\frac{1}{e^2} E(\theta=0) = E(\theta=\theta_i)$ ,  $\omega = \frac{1}{2} R\theta_0$ 。因此(2)式可进一步写成:

$$E(\theta) = A^2 e^{-\frac{2\theta^2}{\theta_0^2}} \quad (3)$$

(3)式说明激光照射光斑内不同区域的能量大小是不同的。因此,对于远场测试的激光接收机来说,当接收机处于光斑内不同位置时,接收机所接收到的能量是不一样的。由于能量遵循高斯分布,故对应于接收面积为  $A_s$  的激光接收机来说,其接收到的能量为

$$E_{A_s}(\theta) = \frac{4E_0}{\pi R^2 \theta_0^2} e^{-\alpha R} \times \int_{A_s} e^{\frac{2\theta^2}{\theta_0^2}} ds \quad (4)$$

式中,  $E_0$  为激光器发射的脉冲能量;  $\alpha$  为大气对激光波长的衰减系数。

试验用激光器光束的发射角为 1 mrad, 激光器和接收机间的工作距离为 1 km (为了安全起见,工作距离最小为 1 km)。接收机的接收口径为 40 mm 时,则接收机接收面积与光斑的面积之比为  $1.6 \times 10^{-3}$  (工作距离增加时比值将更小)。为了简化起见,可假定接收机接收的能量近似均匀,这样(4)式又可写成:

$$E_{A_s}(\theta) = \frac{4E_0 A_s}{\pi R^2 \theta_0^2} e^{-(\alpha R + \frac{2\theta^2}{\theta_0^2})} \quad (5)$$

(5)式即为远场测量处激光的能量大小。

激光接收机为新近研制的设备,可测量并记录每个激光脉冲的相关参数,包括给每个脉冲标记到达时间(其时间分辨率为 20  $\mu$ s)。

### 2 试验设计及数据处理方法

一般说来,脉冲激光器所发射的每个脉冲能量都是有起伏的,由(5)式可知,远场测量处所接收的能量也是不相等的。目前的透过率测量方法因在遮蔽物释放后无法获得无遮蔽物时每个脉冲能量的贡献,而用遮蔽物释放前测量处激光接收机多次测量结果的平均值作为遮蔽物释放后每个脉冲能量

的贡献,显然没有恰当地处理脉冲能量起伏对测量精度的影响,因此必须探索新的试验方案,以提高遮蔽物透过率的测量精度。

考虑脉冲能量起伏后,透过率测试方案的试验布局如图3所示。和图1相比,可以看出图3增加了1个光分束器和1个激光接收机。这样设计的目的是为了得到遮蔽物释放后无法获得没有遮蔽物时测量处接收机所接收的每个激光脉冲的能量,从而消除脉冲能量起伏对测量精度的影响。对1次试验任务来说,试验布局确定后,  $R$  和  $\theta$  为不变参数,  $\theta_0$  也基本不变,气候条件一定时  $\alpha$  亦可看作常数。设光分束器的反射系数为  $\rho$ ,透射系数为  $k(\rho+k=1$ ,实际试验中  $k/\rho \geq 50$ ),对于第1个激光脉冲而言,无遮蔽物遮蔽时,激光接收机1所接收到的能量为

$$E_{11A_s}(\theta) = k \frac{4E_{10}A_s}{\pi R^2 \theta_0^2} e^{-(\alpha R + \frac{2\theta}{\theta_0})} \quad (6)$$

式中,  $E_{10}$  为激光脉冲1所发射的能量。

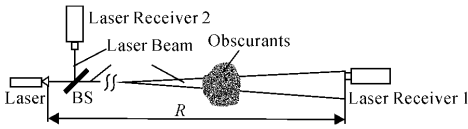


图3 改进的外场遮蔽物透过率测量布局示意图

Fig. 3 Improved schematic diagram of measuring transmittance of obscurants

激光接收机2所接收到的能量为

$$E_{21} = \rho E_{10} \quad (7)$$

对于第2个激光脉冲来说,有遮蔽物遮蔽时,激光接收机1所接收到的能量为

$$E'_{12A_s}(\theta) = \tau_s k \frac{4E_{20}A_s}{\pi R^2 \theta_0^2} e^{-(\alpha R + \frac{2\theta}{\theta_0})} \quad (8)$$

式中,  $\tau_s$  为遮蔽物对激光的透过率;  $E_{20}$  为激光脉冲2所发射的能量。假设此时无遮蔽物遮蔽,则激光接收机1所接收的能量(有遮蔽物释放时,这个量无法测量)为

$$E_{12A_s}(\theta) = k \frac{4E_{20}A_s}{\pi R^2 \theta_0^2} e^{-(\alpha R + \frac{2\theta}{\theta_0})} \quad (9)$$

激光接收机2所接收的能量为

$$E_{22} = \rho E_{20} \quad (10)$$

(6)式与(9)式相比,得:

$$\frac{E_{11A_s}(\theta)}{E'_{12A_s}(\theta)} = \frac{E_{10}}{E_{20}} \quad (11)$$

(7)式与(10)式相比,得:

$$\frac{E_{21}}{E_{22}} = \frac{E_{10}}{E_{20}} \quad (12)$$

比较(11)式和(12)式,可得到:

$$E_{21A_s}(\theta) = \frac{E_{22}}{E_{21}} E_{11A_s}(\theta) \quad (13)$$

根据遮蔽物对激光透过率的定义及(13)式,则有:

$$\tau_s = \frac{E'_{12A_s}(\theta)}{E_{12A_s}(\theta)} = \frac{E'_{12A_s}(\theta)E_{21}}{E_{11A_s}(\theta)E_{22}} \quad (14)$$

(14)式第二个等号右边的参数都是可测量的量。将标记同一时间的测量参数代入此式,可得到试验过程不同时刻的透过率值。同时(14)式也表明,运用新的试验方案测量遮蔽物对激光的透过率时,可将脉冲能量起伏对测量结果的影响消除。

### 3 结束语

对1次试验数据分析发现,采用图1所示方案进行数据处理时,测量误差为9.4%;而采用图3所示方案进行数据处理时,测量误差为1.9%。由此可见,测量精度提高了7.5%。

透过率是表征遮蔽物性能的重要参数。研究遮蔽物激光透过率的外场测试方法以及提高测量精度,不仅在军事对抗上具有重大意义,而且在森林火灾预防和大气污染监测等许多方面具有实用价值。在遮蔽场某点中,利用激光接收机连续测量可获得该点处遮蔽物透过率随时间变化的曲线。通过对遮蔽场中多点测量可获得遮蔽物透过率随时间变化的等高线。这些曲线的获得有助于进一步分析遮蔽物的特性,为科学决策提供有力依据。

### 参考文献:

[1] 方有培,钱建平.对红外成像制导导弹的干扰技术研究[J].红外与激光工程 2000,29(3):7-10,14.  
 [2] 周炳琨,高以智,陈侗嵘,等.激光原理[M].北京:国防工业出版社,2002.  
 [3] 徐代升,杨英科.红外烟幕对不同波长激光遮蔽性能外场评估的数学模型[J].红外技术,1998,20(6):31-34.  
 [4] 王乃宁,虞先煌,竺晓程.烟尘粉尘向大气排放的激光监测技术研究[J].中国激光,2001,28(11):1032-1036.