

·测试、试验与仿真·

烟幕红外消光系数的热像仪测试

阎俊宏, 高 磊, 闵 江

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘 要: 阐述了烟幕的消光原理, 提出了红外消光系数是评定烟幕对红外消光性能的基本依据, 简单介绍了3种红外消光系数测试方法, 即傅里叶光谱仪测试方法、红外辐射计测试方法、热像仪测试方法。并对其中热像仪测试材料红外消光系数的方法进一步探讨, 并指出, 通过材料消光系数测试, 热像仪可以对烟幕材料消光性能进行定量评价。

关键词: 消光系数; 热像仪; 测量方法

中图分类号: TN219

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)02-0079-04

Testing Method of Infrared Extinction Coefficient of Smoke Screen by Thermal Imager

YAN Jun-hong, GAO Lei, MIN Jiang

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The extinction principle of the smoke screen is explained, the infrared extinction coefficient is the basic foundation to assess the infrared extinction performance. The three test methods of the infrared extinction coefficient are introduced: the testing methods of Fourier spectrometer, infrared radiometer and thermal imager, and the testing method of infrared extinction coefficient for thermal imager is discussed further. The thermal imager can assess the extinction performance of the smoke screen materials by testing the extinction coefficient of the materials.

Key words: extinction coefficient; thermal imager; measure method

烟幕是人工产生的气溶胶, 是一种具有突出优点的无源干扰手段。烟幕的无源干扰能力取决于烟幕材料的红外消光能力, 红外消光系数测试是对烟幕材料的消光能力的客观、准确表征的一种方法, 红外消光系数的数值愈大, 遮蔽红外辐射效果愈佳。

1 红外消光机理

烟幕是由许多固体的和液体的微粒悬浮于大气中所形成的气溶胶体系。当目标发出的红外辐射入射到烟幕中时, 烟幕微粒对其产生吸收和散射, 红外能量就遭到衰减。烟幕对红外波的吸收有2种方式: 一是SiO₂、C粒、尘埃和金属盐之类的气溶胶凝聚核

的吸收, 二是水蒸气在核上聚集而形成的液态水滴的吸收。当红外波入射到烟幕时, 分子或原子就产生诱导极并以一定的频率作强迫振动, 形成振动偶极子, 这些振动偶极子形成二次波源向各个方向发射电磁辐射。由于烟幕是非均匀介质体系, 其中掺有许多进行布朗运动的微粒子, 而这些微粒的热运动引起的介质密度和浓度的变化又破坏了二次波的相干性, 所以使入射辐射在原传播方向上的能量减少, 而且在其他方向上的能量分布也各不相同, 这一过程就称为散射。

理论研究和实验结果均表明, 烟幕对红外消光作用是由于烟幕微粒对红外的吸收和散射的共同作用的结果^[1]。

烟幕对红外消光不象对可见光那样能直观地为人眼可见,烟幕的红外消光原理如图1所示。

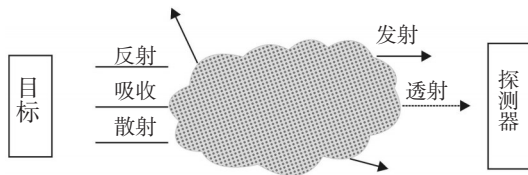


图1 红外消光原理

红外烟幕就是靠其每立方米中数亿个尺寸近似或大于入射波长的微粒或液滴的吸收和散射作用来衰减目标的红外辐射,或凭借形成烟幕的热效应产生比目标红外辐射更强的红外辐射来覆盖目标,或在目标附近形成一个假目标^[2]。

红外消光系数是评定烟幕对红外消光性能的基本依据,它的数值愈大,遮蔽红外辐射效果愈佳。

红外消光系数几种测试方法

确定烟幕的红外消光系数通常有理论计算方法和实验测定法。实验测定法所依据基本原理是比尔-朗伯定律。目前测试方法有3种^[3]。

(1)傅里叶光谱仪测试方法

傅里叶光谱仪测试方法是基于分振幅干涉原理获得对象的光谱信息的一种装置,见图2。和传统的色散型光谱仪相比较,傅里叶光谱仪能同时测量、记录所有光谱信号,并以更高的效率采集来自光源的辐射能量。傅里叶光谱仪是目前中红外波段中最有

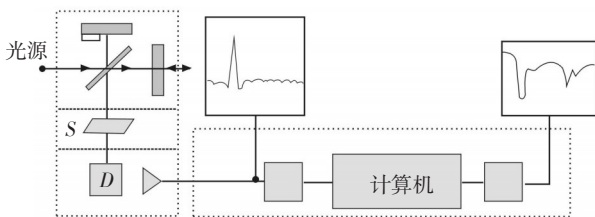


图2 傅里叶光谱仪测试原理图

力的光谱工具,并向近红外、可见波段扩展。

由于溴化钾化学性质稳定,有很好的红外透光性,压片易自作,是傅里叶光谱仪测试经常使用的。一般采用烟幕材料与溴化钾混合制成溴化钾压片,然后在傅里叶光谱仪上进行材料吸收光谱的测定,然后再换算其消光系数。

傅里叶光谱仪测试方法所测消光系数最主要只体现材料的吸收特性对红外辐射衰减的影响,而没有体现散射特性对红外辐射衰减的影响,因此是不全面的。

(2)红外辐射计测试方法

红外辐射计与标准黑体构成测量干扰材料红外辐射强度衰减率的基本测试单元。以有烟和无烟时红外辐射强度相比来获得衰减率,然后再换算其消光系数。

$$u = 1 - I_{\text{有烟}}/I_{\text{无烟}} \quad (1)$$

红外辐射计测试方法与冷烟幕测试是准确的,而实际使用的烟幕有的采用爆炸分散或燃烧分散,成烟瞬间及一段时间烟幕温度高于环境温度,甚至高于靶标的温度,红外辐射计测得有烟时的红外辐射能量高于靶标在无烟时的红外辐射能量,这时。以有烟和无烟时红外辐射强度相比来获得衰减率就毫无意义。

(3)热像仪测试方法

热像仪对冷烟幕测试与红外辐射计测试方法是相同的,但在实际过程中,其他如爆炸分散烟幕、燃烧型烟幕等种类很多,均可采用热像仪进行测试,热像仪测试方法用途很广。

2 红外消光系数的热像仪测试

2.1 测试原理

热像仪测试,首先输入测试距离、大气温度、周围环境温度、相对湿度等参数,并设定视场观测目标的发射率。热像仪根据接收的辐射强度,并以输入的各参数及内部校正参数进行补偿计算,求得视场内各点的视在温度值 T 。

热像仪视场接收的辐射强度正比于目标及其反射周围环境的辐射出射度之和

$$P_{\Delta\lambda} \propto \epsilon M_{\Delta\lambda T} + (1 - \epsilon) M_{\Delta\lambda T_{amb}} \quad (2)$$

式中, ϵ 为热像仪设定的发射率(整个视场取一个值); T_{amb} 为周围环境温度; $M_{\Delta\lambda T}$ 为波段辐射出射度

$$M_{\Delta\lambda T} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)} d\lambda \quad (3)$$

C_1 为第一辐射常数($3.7415 \times 10^8 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \mu\text{m}^4$), C_2 为第二辐射常数($1.439 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$), λ_1, λ_2 在中红外波段对应 $3 \mu\text{m}, 5 \mu\text{m}$,在远红外波段对应 $8 \mu\text{m}, 12 \mu\text{m}$ 。

设烟幕的实际发射率为 ϵ' ,实际温度为 $T'_{\text{烟}}$,则二者与视场发射率 ϵ 和烟幕的视在温度 $T_{\text{烟}}$ 满足下面关系式

$$\epsilon' M_{\Delta\lambda T'_{\text{烟}}} = \epsilon M_{\Delta\lambda T_{\text{烟}}} \quad (4)$$

因此,在视场发射率条件下,烟幕的视在温度已

经反映了烟幕的辐射强度。

有烟幕遮蔽时,热像仪接收的辐射强度满足下面关系式

$$p_{\text{烟}\Delta\lambda} \propto \tau \epsilon M_{\Delta\lambda T^0} + \tau(1-\epsilon)M_{\Delta\lambda T_{\text{amb}}} + \epsilon M_{\Delta\lambda T_{\text{烟}}} + (1-\epsilon)M_{\Delta\lambda T_{\text{amb}}} \quad (5)$$

在热像仪探测视场、光学系统及测试参数都一样的条件,可以得到下面关系式

$$\tau[\epsilon M_{\Delta\lambda T^0} + (1-\epsilon)M_{\Delta\lambda T_{\text{amb}}}] + \epsilon M_{\Delta\lambda T_{\text{烟}}} + (1-\epsilon)M_{\Delta\lambda T_{\text{amb}}} = \epsilon M_{\Delta\lambda T'} + (1-\epsilon)M_{\Delta\lambda T_{\text{amb}}} \quad (6)$$

式中, τ 为烟幕透过率, T^0 、 T' 分别为烟幕遮蔽前后目标的视在温度,烟幕视在温度 $T_{\text{烟}}$ 的观测点尽可能接近目标,在烟幕遮蔽前,其温度与周围环境的温度基本相同。

烟幕的透过率 τ :

$$\tau = \frac{M_{\Delta\lambda T'} - M_{\Delta\lambda T_{\text{烟}}}}{M_{\Delta\lambda T^0} + (1-\frac{\epsilon}{\tau})M_{\Delta\lambda T_{\text{amb}}}} \quad (7)$$

$$\text{式中, } M_{\Delta\lambda T^0} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T^0}} - 1 \right)} d\lambda,$$

$$M_{\Delta\lambda T'} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T'}} - 1 \right)} d\lambda,$$

$$M_{\Delta\lambda T_{\text{烟}}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T_{\text{烟}}}} - 1 \right)} d\lambda,$$

$$M_{\Delta\lambda T_{\text{amb}}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T_{\text{amb}}}} - 1 \right)} d\lambda.$$

根据上述公式,通过烟幕遮蔽率计算,可得出烟幕的透过率 τ ,进而求得消光系数。

$$\text{消光系数 } \alpha_{\lambda} = -\frac{\ln \tau}{C_n L} \quad (8)$$

式中, α_{λ} 为对应 t 时刻单位距离、单位质量浓度的消光系数, m^2/g ; C_n 为红外干扰材料的质量浓度, g/m^3 ; L 为光程, m ^[4]

2.2 测试方法

红外测试主要用热像仪。热像仪主要由摄像头部、显示器、支撑架和辅助部件等构成,在摄像头部安装有红外光学机械扫描系统,红外探测器组件,计算机、前置放大器、扫描控制器及有关机械结构装置,摄像头分 3~5 μm 、8~14 μm 两种,同时采集数据。热像仪中红外

探测器输出的信号与它所接收的辐照度成比例,因此显像管屏上射线的强弱亦随着探测器所接收的辐照度成比例变化,高温部位辐射强,对应于热图中明亮部位,低温部位则灰暗^[4]。热像仪可以长时间地连续采集视场内温度分布的热图,并在显示屏上测试出任意点的温度,以不同色彩来显示出物体的温度,最小温度测量精度一般小于 0.1 $^{\circ}\text{C}$, AGEMA900 热像仪采用下述数字模型来精确描述。

$$I(\tau) = A/(e^{B/T} - F) \quad (9)$$

式中, $I(\tau)$ 为红外探测器接收到的绝对温度为 T 的黑体辐射能量, A 、 B 、 F 是定标常数。 A 为探测器的响应因子, B 为光谱因子, F 为探测器形状因子。热像仪开机后,在热像仪视场内的目标的红外热图即显示在热像仪上,这时给出目标的发射率、目标与热像仪的距离、目标周围的温度、环境的温度、湿度,则热像仪自动给出了目标的温度,并采用假彩色显示视场内景物的图像。

热像仪开机后,在热像仪视场内的目标的红外热图即显示在热像仪上,这时给出目标的发射率、目标与热像仪的距离、目标周围的温度、环境的温度、湿度,则热像仪自动给出了目标的温度,并采用假彩色显示视场内景物的图像;测试没有抛撒物时靶源中心的温度 T^0 ,和远离靶源中心的背景温度 $T_{\text{。}}$;当抛撒物(某种粉状材料 20 g)经过靶源中心时,能够完全遮蔽,采集该靶源中心温度 T' 和靶源中心附近处 1 个点温度 T 。在显示屏上能够同时显示 3~5 μm 、8~14 μm 两个热图,在数据处理时可得 3~5 μm 、8~14 μm 温度-时间 2 个曲线图,将相应的温度代入遮蔽率公式,求得遮蔽率^[5]。

3 结束语

通过以上分析、计算,可知热像仪测试方法可以对烟幕材料消光性能进行定量评价,为保证红外消光系数测试的准确,一定要在同一光程、同一浓度的条件下进行。当采用同一烟箱进行测试时,其光程是一定的,但喷撒的方法可能造成箱内浓度的不一致,所以每次喷撒间隔时间,喷撒次数要合理确定。

参考文献

- [1] 潘功配.烟火学[M].北京:北京理工大学出版社,2004:298.
- [2] 施德恒.红外烟幕述评[J].红外技术,2005,19(3).
- [3] 朱晨光.红外烟幕遮蔽率测试方法研究[J].红外技术,2004.

[4] 姚禄玖. 烟幕理论与测试技术[M]. 北京:国防工业出版社.

(上接第16页)

信号经过NI USB-6361的采集后,由Labview处理,图6所示即为参考信号与探测信号的比值随光纤光栅波长变化的关系,这两路信号是由耦合器等功率分成,一路经过滤波器后被探测电路探测放大,作为探测信号,另一路直接经过探测电路,作为参考信号,而如图6所示,光纤光栅波长的变化是随着温度的变化而变化的,因此可以由其对应关系得出所测环境温度。

4 结束语

FBG解调方案各有其优缺点,可根据场合的不同需要选择使用。在基于边缘滤波的FBG解调系统中,光源本身的强度波动及所处环境温度的变化会给系统测量带来不必要的影响,系统中通过引入参考光路消除了这种影响,同时系统体积可以做得很小。但它的分辨率不高,而且滤波曲线的线性近似会造成一定的误差,同时系统及实验过程中其他器件也会造成一定的影响,从而导致所得结果精度不高。文中所介绍的解调方案还需要在实验中不断改进和完善,以达到最优解调效果。

参考文献

[1] MOREY W W. Fiber optic Bragg grating sensors [C]//Proc SPIE, 1989, 1169:98-107.

(上接第20页)

- [8] 徐光辉. 基于FPGA的嵌入式开发与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [9] 田耕,徐文波. Xilinx FPGA开发实用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [10] Xilinx 文档. 用户指南《UG018 (VxWorks2.1),PowerPC 440 Processor Block Reference Guide,Embedded Development Kit》,2005.

[5] 刘国生. 微米铜粉对红外、10.6 μm激光的衰减性能研究[J]. 激光与红外,2009,39(6).

- [2] KERSEY A D, DAVIS M A. Progress towards the development of practical fiber Bragg grating instrumentation systems[C]//SPIE, 1996, 2839:40-63.
- [3] 王云新,刘铁根,江俊峰. 便携式光纤Bragg光栅波长解调仪的研制[J]. 仪器仪表学报,2007,28(6):1104-1107.
- [4] 胡勇勤. 光纤光栅传感器的解调方法的研究[J]. 自动化与仪器仪表,2004,(5):11-14.
- [5] 李宏男,李东升,赵柏东. 光纤健康监测方法在土木工程中的研究与应用发展[J]. 地震工程与工程震动,2002,22(6):76-83.
- [6] 刘杰,于海鹰,霍佃恒,等. 基于光纤光栅的加速度传感系统研究[J]. 山东建筑大学学报,2009,24(3):203-207.
- [7] 赵勇. 光纤光栅及其传感技术[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [8] 康彦深,王友波,张栋,等. 基于WPM的高精度光纤Bragg温度传感系统研究与设计[J]. 仪表技术与传感器,2010,(6):12-15.
- [9] 周倩,宁提纲. 光纤光栅传感器信号解调方法的研究[J]. 光通信技术,2010,(8):8-12.
- [10] 杜佳楠,刘泊. 基于MSP430单片机的光纤光栅匹配解调系统[J]. 哈尔滨理工大学学报,2009,14(增刊1):16-19.
- [11] 杨素行. 模拟电子技术基础简明教程[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [12] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2001.
- [13] 孙玲. 基于USB-6281的高速数据采集系统的设计[J]. 电子设计工程,2010,18(11):169-172.
- [11] 杨强浩. 基于嵌入式EDK的FPGA嵌入式系统开发[M]. 北京:机械工业出版社,2007:47-50.
- [12] 王静,刘蒙. 基于FPGA的高可靠接口模块设计[J]. 光电技术应用,2009,24(1):58-61.