

文章编号: 1672-8785(2012)05-0027-05

红外烟幕干扰效能测量方法研究

陆 斌¹ 吴轶男²

(1. 海军航空工程学院控制工程系, 山东烟台 264001;

2. 91550 部队装备部, 辽宁大连 116023)

摘 要: 烟幕对红外成像跟踪的干扰效能需要用相应的外场试验进行验证。在试验中使用某型发烟源并结合外场运动目标, 通过合理规划烟幕、目标和成像传感器的相对位置关系, 改变烟幕施放的时机和条件, 完成对各种典型干扰环境情况的配置, 进行烟幕对红外波段的消光和遮蔽效果试验。通过红外成像传感器采集数据, 并验证和修正该类型烟幕的消光模型, 得到了其红外干扰规律, 为该类型烟幕的使用和其对红外成像跟踪的干扰效果的研究提供了可靠依据。

关键词: 红外; 烟幕; 外场试验; 干扰; 成像

中图分类号: TN972 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.05.004

Measurement of Disturbance Performance of Infrared Smoke

LU-bin¹, WU Yi-nan²

(1. Control Engineering Department, Navy Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Equipment Ministry, 91550th Unit, Dalian 116023, China)

Abstract: The disturbance performance of smoke against infrared imaging and tracking needs to be verified through field test. The field test includes the use of a given smoke and a moving target, the reasonable planning of the relative positions of the smoke, target and imaging sensor, the changing of the releasing time and condition of the smoke and the test of the extinction and disturbance effectiveness of the smoke. According to the data obtained by the infrared imaging sensor, the extinction and disturbance model of the given smoke is verified and revised. Its infrared disturbance rule is derived. This work provides reliable basis for the correct use of the given smoke and the study of its effectiveness in disturbing infrared imaging and tracking.

Key words: infrared; smoke; field test; disturbance; imaging

0 引言

在针对红外成像跟踪测量的各类对抗措施中, 烟幕已经成为一种得到广泛应用的无源干扰手段, 它具有成本低和战术使用简便等特点。通

常烟幕干扰技术就是通过在空气中释放大量特定气溶胶微粒来改变红外辐射的传输特性的。该技术是用于对抗红外探测、观瞄和制导武器的有效干扰手段, 尤其是它能够对红外成像精确探测与制导武器的作战效能产生很大的影响。

收稿日期: 2012-03-10

基金项目: 国家“863”创新自然基金项目(2110AAJ211)

作者简介: 陆斌(1966-), 男, 辽宁辽阳人, 副教授, 主要研究方向为动态图像探测及处理。E-mail: painel@sina.com

烟幕试验是用于研究和验证其干扰效能的最直接、最有效的手段。烟幕的扩散会受大气和地形等多种因素的影响(一旦释放,便难以控制)。因此,烟幕武器的研制工作离不开理论指导、科学试验以及相应的测试和评估,它们对确保装备的性能和质量以及在实战使用中发挥最大的潜能都具有举足轻重的作用^[1]。

利用大量外场试验来研究烟幕对红外成像武器的干扰效果,不仅需要花费大量的人力和物力,而且外场烟幕试验容易受到多种不可控因素的影响。因此,充分发挥每次试验的测量效率,科学规划各种测量对象、环境条件和测量方法是非常重要的。

目前,国内的外场红外烟幕测试方法主要有四种:一是探测器点阵高速扫描测试方法;二是使用发烟罐生成烟幕的测试方法;三是使用烟幕对红外成像设备进行非定量干扰测试的方法;四是利用自动跟踪平台上的红外成像设备

对烟幕进行自动跟踪的图像处理测试方法。其中,第二种方法虽然应用范围有限,但其测量结果最为具体和准确。因此,本文根据课题任务的需要及各种方法的特点,采用某型发烟罐结合运动目标的外场试验方法,采集其定量的红外传感器相关测量数据,修正典型的爆炸型和扩散型烟幕模型,并根据外场试验环境的实际背景,归纳与总结典型地貌条件和气象条件下红外烟幕的干扰规律,为该类型烟幕的使用及红外成像跟踪对抗烟幕研究提供依据。

1 烟幕的红外消光机理与模型

烟幕由于构成的物质不同、粒子的形状不同、粒子按质量(粒数)的分布不同,其在自然环境下对红外辐射产生的吸收、散射和折射性能不同,对红外辐射的消光效应也不同(见图1)^[1-2]。所以各种烟幕对红外成像探测与跟踪装备具有不同的遮蔽或干扰效果。

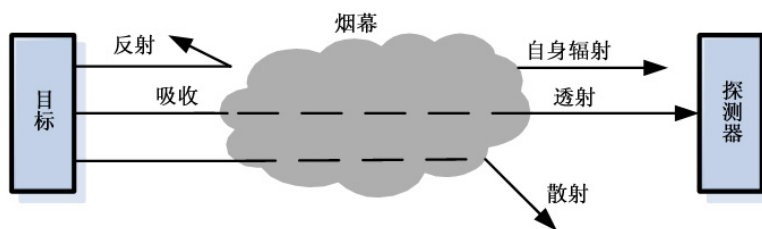


图1 烟幕对红外辐射的消光机理

作为一种传输介质,烟幕被红外辐射穿过时会对红外辐射产生衰减作用。如果红外辐射的强度为 $I(\lambda)$, 那么红外辐射通过厚度为 dy 的烟幕后便会产生 $dI(\lambda)$ 大小的变化:

$$dI(\lambda) = -I(\lambda)\sigma_e(\lambda, y)dy \quad (1)$$

式中, $\sigma_e(\lambda, y)$ 为烟幕的线性消光系数。

则有

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp \left[- \int_{y_1}^{y_2} \sigma_e(\lambda, y) dy \right] \quad (2)$$

红外辐射被烟幕吸收时的 σ_e 与烟幕浓度 c 成正比, 这个比值被称为质量消光系数 α_e 。线

性消光系数的增加与烟幕浓度的提高成一定比例。对于单个球形粒子:

$$\alpha_e = \frac{GQ_e}{\rho V} \quad (3)$$

对于粒子数为 N 的单分散烟幕:

$$\alpha_e = NA_pQ_e = N\pi d_i^2Q_e/4 = N\pi r^2Q_e \quad (4)$$

式中, G 为粒子的几何截面积; Q_e 为米氏散射因子; ρ 为质量密度; V 为粒子的体积; A_p 为多个均匀烟幕粒子条件下的各粒子的截面(假设为半径为 d 的球形)。

α_e 通常需要通过实验方法测得。

外场烟幕系统受气象、地形和环境等因素的影响较为明显。一般模型的建立需要采用典型的外部条件^[3-4]。

2 基于发烟罐外场试验的红外消光效果测量

由于消光系数需要用实验方法测得, 尤其是以外场试验的测量数据更为丰富、客观、准确, 因此采用具体类型烟幕的试验方法才会具备有准确性与针对性的试验基础。试验中需要充分考虑影响烟幕的各种因素, 同时合理规划各种环境条件、气象条件和时间条件下的烟幕燃放、红外传感器的配置以及与烟幕的相对距离和位置。此外, 用于定量测量的红外波段激光器与接收功率计的准直与位置规划也可直接决定试验测量结果的精度。

影响烟幕的大气扩散及分布的主要气象因素包括风向、风速、湍流强度、垂直温度梯度、混合层高度以及空气湿度等。其中, 风向可决定烟幕流动的方位; 风速可表征大气对烟幕的输送速率; 湍流强度可显示大气的扩散能力; 混合层高度可决定烟幕的扩散空间大小; 空气相对湿

度可影响烟幕的产率及浓度。而对于烟幕红外干扰试验来说, 更重要的是烟幕的浓度和烟流的形状, 因为它们与大气温度分布有着密切的联系。

大气温度随高度变化的分布有三种类型: 一种是不稳定状态, 即温度随高度的增加而降低; 一种是中性平衡状态, 即温度随高度没有变化(称为等温); 另一种是平衡态, 即温度随高度的增加而增加(气温逆转, 简称逆增)。

在晴朗无云的夜晚, 当风比较小时, 地面由于受到强烈的天空有效辐射而很快冷却, 近地面的气温也随之下降。离地面越近的空气受地表的影响越大, 因而降温越厉害, 于是形成了自地面开始的逆温, 如图2(b)所示。然后随着地面辐射冷却的加剧, 逆温逐渐向上扩展, 至黎明时达到最强, 如图2(c)所示。日出以后, 太阳辐射逐渐加强, 地面迅速增温, 逆温自下而上地消失, 如图2(d)和图2(e)所示(其中, 横轴为绝对温度, 纵轴为距地面的高度)。在试验过程中, 为了能够与理论分析的条件相配合, 烟幕干扰试验应尽可能选择逆温状态, 以较好地保证测量及遮蔽效果。

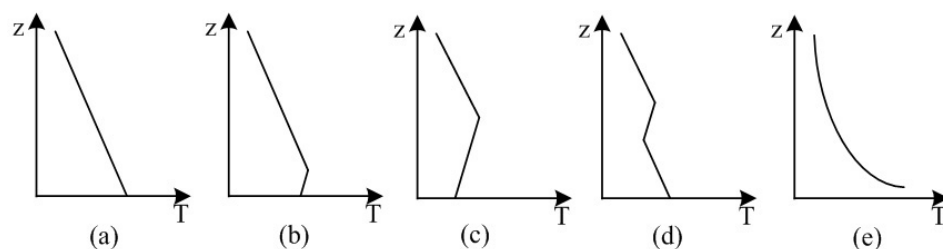


图2 辐射逆温的生消过程

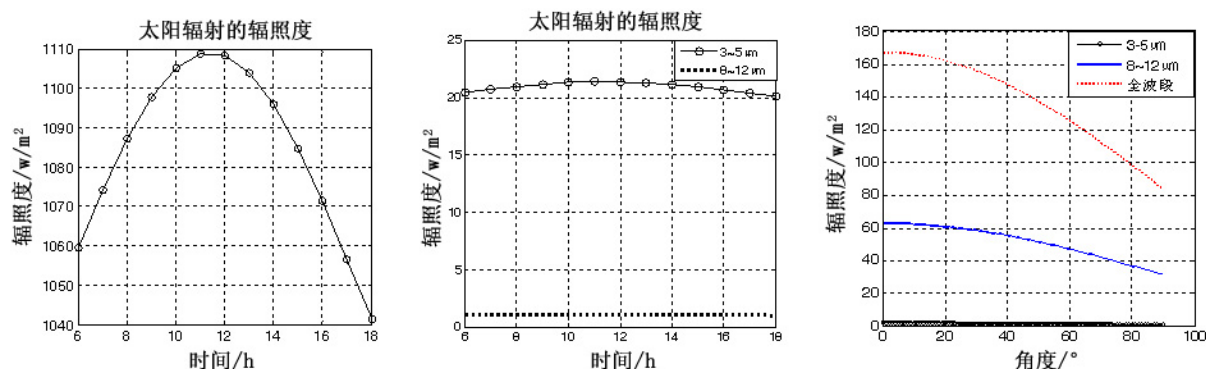


图3 试验中红外中波和红外长波波段的太阳辐射时间分布及天空辐照度情况



图 4 外场试验中各试验要素的基本组成

影响烟幕红外消光效果的重要因素包括太阳辐射和天空辐射等。试验中,在确定烟幕施放时机和进行测量时,必须考虑这些因素的影响。图 3 所示为红外中波波段和红外长波波段的太阳辐照度以及天空辐照度情况。

图 4 所示为外场烟幕红外试验的基本要素配置情况。

3 试验结果及分析

通过改变发烟罐的数量及其相对位置,可以测量不同烟幕条件的消光效果^[5]。在测量过程中有两个问题需要在烟幕施放之前予以解决。

一是红外波段激光器的准直,即激光光束必须能够被激光功率计准确接受(这在野外条件下非常重要),同时还需要进行反复而细致的调试,并随时记录激光功率值和测试条件^[6]。

二是红外成像传感器的校准。由于烟幕红外试验是针对典型的面源辐射进行的,使用红外成像传感器可以更加客观地反映空间的红外

消光效果。这里测量的重要参数是红外光谱的相对透过率。在相对稳定的状态下测量出一个参考值,并以此作为对比值,实现对红外光谱相对透过率的测量,从而得到烟幕的红外遮蔽和消光效果数据。

对于测量结果,值得注意的是,在施放浓密的烟幕时(尤其是多发烟罐施放时),可能会发生复散射。因此,典型的自然产生的烟幕可以通过用修正因子进行校正来得到真实的红外消光值。

$$M = \frac{\alpha_{\text{measured}}}{\alpha_{\text{real}}} \quad (5)$$

式中, α_{measured} 为满足朗伯-比尔定律条件下测量的消光系数; α_{real} 为高浓度条件下不满足朗伯-比尔定律时测量的消光系数。

图 5 所示为不同烟幕浓度时各成像传感器得到的光谱相对透过率以及通过典型条件下的工程经验值计算得到的通过率。从图 5 中可以看出,它们的变化规律基本相符。

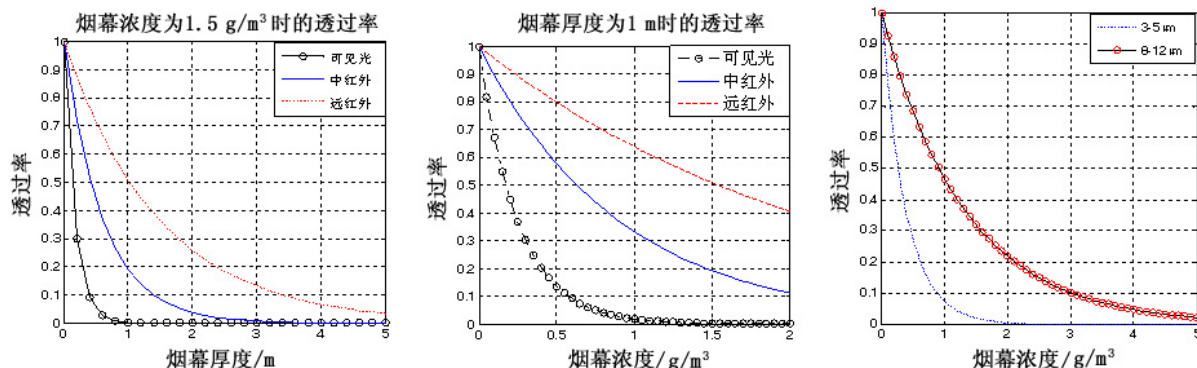


图 5 不同烟幕浓度时的光谱透过率

最后应对测量结果与理论计算进行对比分析, 并找出影响试验结果的因素, 修正消光系数因子。将红外成像传感器的测量数据反映为灰度变化 (对应着相应的空间辐照度变化), 并以此形成烟幕图像各像素的灰度关系。在图像的量化过程中采用均匀量化, 辐照度与灰度呈线性关系。设烟幕辐照度的最大值和最小值分别为 $E_{\max}$ 和 $E_{\min}$, 则每级灰度对应的辐射间隔为

$$n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{G_r} \quad (6)$$

图像对应的点的灰度值为

$$G(x, y) = \text{int} \left(\frac{E_{\max} - E_{\min}}{n} \right) \quad (7)$$

4 结论

在多种施放条件下对某型发烟罐进行野外试验测量, 得到了其红外中 / 长波波段的消光效果和遮蔽规律。通过各种试验条件的变化和组合, 得到了其透过率与烟幕浓度之间的关系。从试验结果中可以看出, 烟幕对于 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段的红外辐射有较好的遮蔽效果, 对于 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 波段的红外辐射有一定的遮蔽效果。这个曲线

与工程经验值的情况 (当烟幕浓度达到 1.9 g/m^3 时, 可对中波波段红外辐射削弱 90 % 以上) 基本符合。同时, 利用激光器和功率计测量了烟幕消光的绝对数值变化及其规律。以上这些测量结果为此类型烟幕的施放以及红外成像探测与跟踪制导等方面的研究提供了准确的依据。需要指出的是, 虽然该方法对于具体的烟幕具有针对性强和准确率高的优点, 但也存在应用局限性问题。在复合烟幕 (多种烟幕) 及复杂施放条件 (人工干扰与自然并存) 下实现精确测量还有待于进一步的研究。

参考文献

- [1] 焦清介, 霸书红. 烟火辐射学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [2] 姚禄玖, 高钧麟, 肖凯涛, 等. 烟幕理论与测试技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [3] 杜石明, 曾凯, 吕相银, 等. 对红外烟幕消光机理及性能的研究 [J]. 电光与控制, 2011, 18(1): 90-93.
- [4] 李毅. 非球形微粒及其形成烟幕的消光机理研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2001.
- [5] 沈涛. 动态烟幕透过率测试方法研究 [J]. 电光与控制, 2007, 14(5): 124-126.
- [6] 徐记伟. 激光光斑尺寸对烟幕干扰效果影响的研究 [J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(5): 303-306.

新闻动态 News

印度即将为欧洲 Astrium 公司发射 Spot 6 成像卫星

据 www.spacenews.com 网站报道, 印度空间研究组织 (ISRO) 于 4 月 3 日宣布, 根据合同他们将在今年年底利用其极地轨道卫星运载火箭 (PSLV) 为欧洲 Astrium 服务公司发射 Spot 6 商业对地观测卫星。与其一同发射的还有其它一些有效载荷, 对此 ISRO 并没有作出说明。Spot 6 卫星重 800 kg, 预计工作在高度为 694 km 的近极地低地球轨道上。

Astrium 服务公司正在自行投资制造和发射结构相同的 Spot 6 和 Spot 7 卫星。法国政府并没有给其研制工作提供援助, 也没有保证未来将会购买图像。Astrium 公司的相关人员已经表示,

他们预计将会花费大约 3 亿欧元来制造和发射这两颗卫星。Spot 7 卫星计划于 2014 年发射, 其运载火箭还未对外公布。

Spot 6 和 Spot 7 卫星将用于替代体积较大的 Spot 5 卫星。Spot 5 卫星于 2002 年发射, 并从 2008 年起就已经超出了其在轨服务寿命。该卫星已经成为 Astrium 公司地球信息业务收入的主要来源。

Spot 6 和 Spot 7 卫星预计工作在低地球轨道中相隔 180° 的位置上。人们通过其黑白和彩色图像可以分辨出直径分别为 1.5 m 和 6 m 的物体。如同以前的 Spot 系列卫星一样, 这些图像将会具有 60 km 大小的刈幅, 但是它们会表现得更加灵活。Spot 6 和 Spot 7 卫星可以将成像器在天底处前后移动 45° (这样便能对卫星的前后视场区域进行成像) 和在天底处横向移动 35° 。

□ 岳桢千