

·测试、试验与仿真·

基于红外成像探测器的烟幕遮蔽率测试方法研究

周利存, 李斌

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

摘要: 遮蔽率是评估烟幕遮蔽性能的重要参数, 提出了两种红外烟幕遮蔽率测试方法: 单黑体温度对比法和双黑体电平差值法, 分析了两种方法的测试原理, 并进行了实验验证。通过分析比较测试误差小于3.5%, 最后分析了两种测试方法适合的使用场景。

关键词: 干扰药剂; 遮蔽率; 测试方法

中图分类号: TN214

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-03-0070-04

Research on Smoke Obscuring Ratio Testing Method Based on Infrared Imaging Detector

ZHOU Li-cun, LI Bin

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: The obscuring ratio is an important parameter to assess the smoke obscuring performance, two methods for testing the obscuring ratio of infrared smoke are proposed, which are the temperature contrast method based on single blackbody and the electrical level difference method based on double blackbody. The testing principles of the two methods are analyzed and experimental verification is performed. According to analysis and comparison, the test error is less than 3.5% and the scenarios suitable for the two methods are presented.

Key words: jamming agent; obscuring ratio; testing method

光电探测和光电制导技术的迅猛发展, 提高了光电制导武器的打击精度和抗干扰能力。烟幕作为对抗光学制导武器的主要手段之一, 一直受到各国的重视, 其作战效果在多次战争中得到了检验。烟幕干扰就是通过在空中施放大量气溶胶微粒, 改变电磁波介质传输特性来实施对光电探测、观瞄和制导武器系统干扰的一种技术手段, 与其他干扰手段相比, 具有对抗形式简单、使用方式快速灵活、器材设备通用性强和价格低廉等特点^[1-2]。遮蔽率用于表征烟幕遮蔽前后目标可探测程度的变化, 它是评估烟幕性能的重要指标, 开展烟幕遮蔽率测试方法研究是烟幕性能评估工作的基础^[3]。介绍了两种

红外烟幕遮蔽率测试方法, 分别为单黑体温度对比法和双黑体电平差值法, 通过实验对两种方法的测试结果进行了比较分析。

1 红外烟幕遮蔽率测试原理

1.1 红外热像仪测温原理

采用单黑体温度对比法测试红外烟幕遮蔽率, 使用的关键数据是温度, 而热像仪测得的温度并不是目标、背景和烟幕的真实温度。探测器将接收的红外辐射转化为电信号, 经过放大处理, 以直观的灰度图像或者彩色图像显示出来, 接收的辐射能量

收稿日期: 2018-05-17

作者简介: 周利存(1985-), 男, 山西大同人, 工学硕士, 主要研究方向为光电工程; 李斌(1991-), 男, 天津武清人, 工学学士, 主要研究方向为光电工程。

越高,探测器产生的电信号越强,对应的图像像元的灰度值越大^[4-6]。热像仪测温时,输入测试距离、环境温度、大气温度、湿度和目标发射率等,进行校准处理,然后根据目标辐射值等效黑体(热像仪自带)同样辐射度时的温度,测得的温度为同辐射度的黑体温度,并不是真实温度,称之为视在温度,黑体的精度决定视在温度的测量精度。

1.2 单黑体温度对比法测试原理

在热像仪中首先输入测试距离、大气温度、环境温度和相对湿度等参数,并设定目标的发射率。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,测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

$$P_{\Delta\lambda} \propto \varepsilon M_{\Delta\lambda T} + (1 - \varepsilon) M_{\Delta\lambda T_b} \quad (1)$$

式中, ε 为热像仪设定的发射率(视场发射率); T_b 为周围环境温度, $M_{\Delta\lambda T}$ 为波段辐射出射度。

$$M_{\Delta\lambda T} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)} d\lambda \quad (2)$$

式中, 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_b' , 则 ε' 和 T_b' 与热像仪视场发射率 ε 和烟幕的视在温度 T_b 满足下面关系式

$$\varepsilon' M_{\Delta\lambda T_b'} = \varepsilon M_{\Delta\lambda T_b} \quad (3)$$

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。烟幕施放后,热像仪接收的辐射强度满足下面关系式

$$P_{\text{烟幕}} \propto \tau \varepsilon M_{\Delta\lambda T_m} + \tau(1 - \varepsilon) M_{\Delta\lambda T_b} + \varepsilon M_{\Delta\lambda T_b} + (1 - \varepsilon) M_{\Delta\lambda T_b} \quad (4)$$

在热像仪视场、光学系统及测试参数不变时,可以将式(4)改写为

$$\tau \left[\varepsilon M_{\Delta\lambda T_m} + (1 - \varepsilon) M_{\Delta\lambda T_b} \right] + \varepsilon M_{\Delta\lambda T_b} + (1 - \varepsilon) M_{\Delta\lambda T_b} = \varepsilon M_{\Delta\lambda T_c} + (1 - \varepsilon) M_{\Delta\lambda T_b} \quad (5)$$

式中, τ 为烟幕透过率; T_m, T_c 分别为烟幕施放前后目标的视在温度,烟幕视在温度 T_b 的观测点尽可能接近目标。

烟幕的遮蔽率定义为 η , 则 $\eta = 1 - \tau$, 即

$$\eta = 1 - \frac{M_{\Delta\lambda T_c} - M_{\Delta\lambda T_b}}{M_{\Delta\lambda T_m} + (1 - \varepsilon / \varepsilon) M_{\Delta\lambda T_b}} \quad (6)$$

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

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

1.3 双黑体电平差值法测试原理

在热像仪视场内布设两个黑体,一个黑体设置为高温黑体,另一个设置为低温黑体。烟幕施放前,热像仪采集的高温黑体和背景的电平值为 DL_{m1} , 低温黑体和背景的电平值为 DL_{m2} ; 烟幕施放后,热像仪采集的高温黑体、背景以及烟幕的电平值为 DL_{c1} , 热像仪采集的低温黑体、背景以及烟幕的电平值为 DL_{c2} 。

假设目标红外辐射强度为 I , 烟幕施放后,由于烟幕对目标辐射能量的散射和吸收,热像仪测得的目标红外辐射强度变化为 I' , 烟幕的红外透过率 τ 为^[7]

$$\tau = \frac{I'}{I} \quad (7)$$

根据式(7),假设烟幕施放均匀,且背景温度恒定,则烟幕的透过率 τ 可定义为

$$\tau = \frac{DL_{c1} - DL_{c2}}{DL_{m1} - DL_{m2}} \quad (8)$$

烟幕遮蔽率 η 为

$$\eta = 1 - \tau \quad (9)$$

2 红外烟幕遮蔽率测试

2.1 测试方法

在烟箱内施放一定量的干扰药剂,采用单黑体温度对比法和双黑体电平差值法计算烟幕的红外遮蔽率。烟箱测试系统布局图如图1。

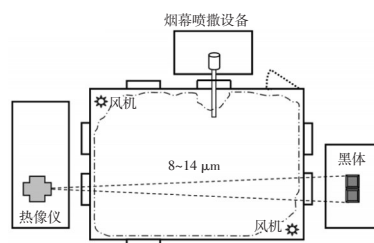


图1 烟箱测试布局图

以烟箱为主体,采用喷撒装置施放干扰药剂材料形成烟幕,测试烟幕的遮蔽率和干持续时间等参数。

(1) 试验装置及仪器

烟箱:体积为 31.2 m^3 ($4\text{ m}\times 3\text{ m}\times 2.6\text{ m}$),光程 4 m ,内置搅拌装置;

喷撒装置:高压气流喷撒装置;

红外热像仪:FLIR SC7000型,工作波段 $8\sim 14\ \mu\text{m}$;

黑体靶标:采用恒定温差的红外热辐射源,一个温度设为 $65\text{ }^\circ\text{C}$,一个温度设为 $95\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2) 实验步骤

①按烟箱测试布局,架设测试设备和仪器,两个黑体靶标分别设置 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $95\text{ }^\circ\text{C}$,并调试长波红外热像仪;

②测试设备、仪器正常工作后,热像仪开始采集靶标和背景的红外图像;

③利用喷撒装置将测试样品快速喷撒到烟箱中;

④测试样品喷撒完毕,立即启动搅拌装置并工作 $5\sim 10\text{ s}$,保证烟幕均匀分散;

⑤测试结束后,热像仪停止采集图像,并启动排烟装置,将烟箱内的样品材料抽空;

⑥根据热像仪持续采集的施放烟幕前后黑体靶标的特征数据及红外图像,计算烟幕的遮蔽率。

2.2 测试结果

在烟箱中喷撒一定量干扰药剂后,由于烟幕的散射和吸收作用,使得热像仪接收到的靶标红外辐射信号受到干扰,靶标的红外辐射信号电平值和视在温度减小。双黑体靶标的电平值测试曲线如图2所示。

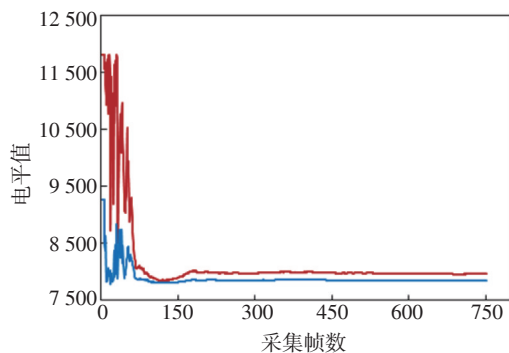


图2 双黑体靶标的长波红外信号电平值测试曲线

单(高温)黑体靶标的温度测试曲线如图3所示。

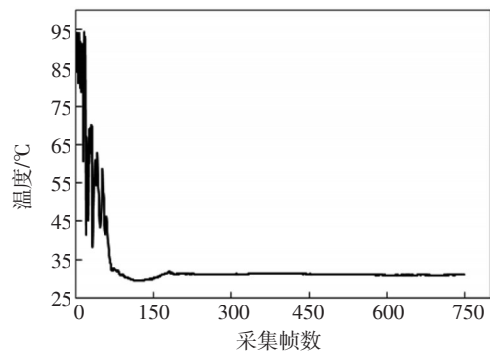


图3 单(高温)黑体靶标的温度测试曲线

根据双黑体靶标的电平值测试曲线,采用双黑体电平差值法计算烟幕的红外遮蔽率,将热像仪采集的数据代入式(8)和式(9),得到红外烟幕的遮蔽率曲线;根据高温黑体的温度变化曲线以及烟幕温度、背景温度,采用单黑体温度对比法计算烟幕的红外遮蔽率,将烟幕施放前后高温黑体的温度、烟幕温度和背景温度代入式(6),得到红外烟幕的遮蔽率曲线。

3 结果分析与讨论

采用单黑体温度对比法计算红外烟幕遮蔽率时,烟幕施放前单黑体温度为 $93.95\text{ }^\circ\text{C}$,烟幕温度和背景温度采用了多点取平均值的方法,即采集多个点的温度值,求取平均值作为烟幕温度和背景温度,最后烟幕温度和背景温度分别为 $25.02\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $27.51\text{ }^\circ\text{C}$ 。采用双黑体电平差值法计算红外烟幕遮蔽率时,烟幕施放前双黑体电平值为11791、9287,直接将热像仪采集的烟幕施放前后高低温黑体的电平值测试数据代入式(8)、式(9),得到红外烟幕的遮蔽率曲线,测试结果如图4所示。

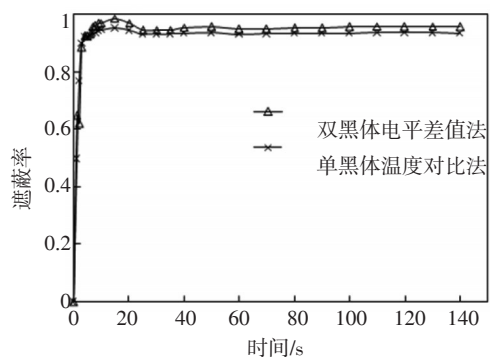


图4 测试样品的红外遮蔽率曲线

从图4中可以看出,当烟幕扩散稳定后,采用单黑体温度对比法得到的红外烟幕遮蔽率为96.8%~95.4%;采用双黑体电平差值法得到的红外烟幕遮蔽率为95.1~93.3%,最大误差小于3.5%,同时两种方法测得的烟幕遮蔽率变化趋势一致,说明可以采用单黑体温度对比法或双黑体电平差值法测试红外烟幕的遮蔽率。

通过分析比较两种测试方法,在外场条件下测试红外烟幕的遮蔽率及干扰持续时间等参数时,需要布设大面积热源阵列,采用双黑体电平差值法比较困难,且测试误差较大,可以采用单黑体温度对比法测试红外烟幕的遮蔽率,且通过合理布设热源阵列,可以简单的计算出烟幕的形成面积和持续时间等参数。在内场条件下,由于试验测试设备和仪器布设方便,可以采用双黑体电平差值法测试红外烟幕的遮蔽率,且试验数据处理简单快捷。

4 结 论

重点研究了红外烟幕遮蔽率的测试方法,并分析了单黑体温度对比法和双黑体电平差值法的测试原理。单黑体温度对比法主要利用红外热像仪的测温功能,通过测得烟幕燃放前后黑体靶标的温度、烟幕温度和背景温度,计算得到红外烟幕的遮蔽率,而双黑体电平差值法计算比较简单,通过烟幕燃放前后高低温黑体的电平值,就可以计算得到红外烟幕的遮蔽率。通过在烟幕中燃放定量的干

扰药剂,比较了两种方法的测试结果,测试误差小于3.5%。通过分析比较两种方法的优缺点,单黑体温度对比法适合于外场条件下红外烟幕遮蔽率的测试,而双黑体电平差值法适合于内场条件下的红外烟幕遮蔽率测试。

参考文献

- [1] 时家明,路远.红外对抗原理[M].北京:解放军出版社,2002.
 - [2] 李志国,白云塔,张思将.基于热像仪的红外烟幕遮蔽率测试方法研究[J].红外,2008,29(11):25-28.
 - [3] 马德跃,李晓霞,郭宇翔,等.红外烟幕遮蔽率及其分布表征方法[J].应用光学,2014,35(4):707-712.
 - [4] 吕俊伟,卢毅,张鹏,等.一种用热像仪获得烟幕透过率的方法[J].红外技术,2006,28(10):602-605.
 - [5] 安刚,王玄玉,冯宗伟.利用热像仪测试烟幕红外消光系数方法研究[J].现代仪器,2006(4):38-39.
 - [6] 李云红,孙晓刚,原桂彬.红外热像仪精确测温技术[J].光学精密工程,2007,15(9):1336-1441.
 - [7] 朱晨光,潘功配,关华,等.红外烟幕遮蔽率测试方法研究[J].红外技术,2004,26(4):81-84.
 - [8] 马韬,耿敏.红外目标探测系统的仿真模拟[J].光电技术应用,2017,32(2):62-67.
 - [9] 于群,闵江.舰载多光谱液态烟幕干扰技术研究[J].光电技术应用,2017,32(6):1-5.
 - [10] 王铎.基于形态学和邻域差值的红外小目标检测算法[J].光电技术应用,2016,31(2):19-21.
-
- (上接第64页)
- 法,能很好验证系统的电磁特性,具有很好的实践作用。
- ## 参考文献
- [1] 刘培国.复杂电磁环境的认为可靠性分析[J].电磁兼容技术,2008:9-10.
 - [2] 汪鹏,张炜.舰船短驳天线隔离度的预测与分析[J].舰船电子工程,2007:3-4.
 - [3] 王红旭.高速数字电路设计技术的应用研究[J].西安电子科技大学,2006:31-32.
 - [4] 阎照文,苏东林,袁晓梅.FEKO5.4电磁场分析技术与实例详解[M].北京:水利水电出版社,2009:15-27.
 - [5] 侯冬云,孟凡民.舰船系统级电磁兼容性要求[J].舰船电子工程,2004:115-118.
 - [6] 杨强,高成,宋双,等.高强辐射场环境下电缆耦合规律分析[J].电工电气,2012:9-10.
 - [7] 侯扬,李伟.电子设备机箱的电磁屏蔽结构设计及仿真[J].光电技术应用,2018,33(2):59-62.
 - [8] 唐建华.飞机研制的新要求—谈高强度辐射场(HIRE)防护[J].国际航空,2007(11):65-66.
 - [9] 张庆达.电缆实用技术手册(安装、维护、检修)[M].北京:中国电力出版社,2006:50-51.
 - [10] 姜漫.大型光电设备的电磁兼容设计[J].安全与电磁兼容,2007.