

红外探测器灵敏度的测量方法^{*}

徐海涛¹, 许路铁¹, 俞卫博¹, 朱 剑²

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 73909 部队, 江苏 徐州 221004)

摘要:针对试验场条件下难以实现某型灵巧弹药的核心元件——红外探测器灵敏度的测量问题,对红外探测器入射辐照度的影响因素进行了研究,提出了在外场环境条件下测量红外探测器灵敏度的一种方法.最后对影响测试精度的主要因素进行了分析,并提出了提高测试精度的方法.

关键词:红外探测器;入射辐照度;灵敏度;测量方法

中图分类号: T410.6

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)11-0123-02

为提高抗复杂地面背景干扰的能力,某型灵巧弹药采用了双色红外探测体制^[1].作为其核心元件,红外探测器的性能参数特别是灵敏度指标是否满足要求直接决定了该型灵巧弹药能否有效检测并识别目标.红外探测器灵敏度的测量方法有单光路直接比较法、双光路直接比较法和双光路替代法,上述方法均在试验场条件下进行^[2].由于红外探测器及其组件封装于灵巧弹药内部,因此不能在试验场条件下测量红外探测器的灵敏度.

本文中根据红外辐射测量原理,对红外探测器入射辐亮度的影响因素进行了研究,提出了利用双波段红外辐射源作为目标光源测量红外探测器灵敏度的方法.该方法通过测量红外探测器在设定的目标表观温度和探测距离下的入射辐亮度,并将测量结果进行数学处理,得到红外探测器的目标表观温度灵敏度和探测距离灵敏度.该方法消除了目标光源和测量仪器标定误差的影响,提高了红外探测器灵敏度的测量精度.

1 红外探测器入射辐亮度的影响因素^[3]

当探测距离为 r 时,黑体辐射造成的探测镜头处的总辐照度

$$E_{ap} = F(r) \int_0^{\lambda} \left\{ \alpha(\lambda, r) M(\lambda, T_t) + [1 - \alpha(\lambda, r)] M(\lambda, T_a) \right\} d\lambda \quad (1)$$

式中: $F(\lambda, r)$ 为与距离有关的几何因子; $\alpha(\lambda, r)$ 为大气光谱透射率; T_t 为目标温度; T_a 为气温; r 为目标与探测器镜头间的探测距离.式(1)右边第1项是接收到的目标光谱辐射度;第2项是大气路径的辐照度,其中方括号内是大气光谱发射率.

绝对黑体是不存在的,因此目标会将环境辐射反射到

光路中而被探测系统接收,此时镜头处的辐照度为

$$E_{ap} = F(r) \int_0^{\lambda} \left\{ \alpha(\lambda, r) \left[\epsilon_t M(\lambda, T_t) + (1 - \epsilon_t) M(\lambda, T_{ae}) \right] + [1 - \alpha(\lambda, r)] M(\lambda, T_a) \right\} d\lambda \quad (2)$$

式中: ϵ_t 为目标的光谱发射率; ϵ_l 为长波光谱反射率, $\epsilon_t + \epsilon_l = 1$; T_{ae} 为环境表观温度; $M(\lambda, T_t)$ 为目标的光谱辐射度; $M(\lambda, T_{ae})$ 为目标反射的光谱辐射度;其他标识与式(1)相同.

如果目标区域完全充满红外探测镜头的瞬时视场,则 $F(\lambda, r)$ 就是系统的瞬时视场,即 ω_s ,此时目标的入射辐亮度

$$L = \frac{E_{ap}}{F(r)} = \frac{E_{ap}}{\omega_s} \quad (3)$$

若背景反射的辐射 $M(\lambda, T_{ae})$ 或目标的发射率未知,则整个区域可看作黑体,此时入射辐亮度可表示为

$$L = \int_0^{\lambda} \left\{ \alpha(\lambda, r) L(\lambda, T_{ap}) + [1 - \alpha(\lambda, r)] L(\lambda, T_a) \right\} \cdot R(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

式中: $R(\lambda)$ 为系统的相对光谱响应,正常情况下是恒定的,可利用单色仪在实验室内进行测定; T_{ap} 为目标表观温度,与式(2)中的环境表观温度 T_{ae} 的计算方法相同,可在用红外探测器测量辐射度的前提下,根据普朗克定律反推得到.

式(4)表明,入射辐亮度由红外波长、探测距离、目标表观温度、环境表观温度、系统相对光谱响应以及大气透过率决定.在实际工程测试中,由于红外探测器工作在特定波长下,故红外波长恒定;在选定红外探测器的前提下,系统的相对光谱响应恒定,且可在实验中利用单色仪进行确定;在用红外探测器测量环境辐射度后,环境表观温度可由普朗克定律得到.因此入射辐亮度主要受目标表观温度、探测距离和大气透过率的影响.同时由于大气透过率是光谱波长和探测距离的函数,因此可认为入射辐亮度仅受目标表观温度和探测距离影响.

* 收稿日期:2009-09-28

作者简介:徐海涛(1984—),男,江苏赣榆人,硕士研究生,主要从事弹药技术与保障研究.

2 测量原理

红外探测器的灵敏度是指红外探测器的输出信号与入射到探测器的辐射功率之比^[4]。辐射功率是入射辐亮度与探测器标称面积的乘积,因此红外探测器的灵敏度表现为探测器输出信号变化与入射辐亮度变化的比值。在一定增益设置下,假设输出信号电压 V 与入射辐亮度 L 存在如下线形关系:

$$V = gL \left(T_a, r \right) + V_{\text{off}} \quad (5)$$

式中: g 表示系统的响应系数; V_{off} 表示直流偏置电压。

由于红外探测器入射辐亮度仅受目标表观温度和探测距离的影响,因此可将红外探测器灵敏度分为目标表观温度灵敏度和探测距离灵敏度。目标表观温度灵敏度和探测距离灵敏度分别指目标表观温度和探测距离的变化对红外探测器入射辐亮度变化的影响。

2.1 目标表观温度灵敏度测量原理。设探测距离为 r , 设置 2 个目标表观温度 T_{a1} 和 T_{a2} , 通过测量红外探测器入射辐亮度并由公式

$$\begin{cases} V_1 = gL(T_{a1}) + V_{\text{off}} \\ V_2 = gL(T_{a2}) + V_{\text{off}} \end{cases} \quad (6)$$

求得系统响应系数 g 和直流偏置电压 V_{off} , 并根据式(5)得到红外探测器目标表观温度灵敏度。

2.2 探测距离灵敏度测量原理。设目标表观温度为 T , 设置 2 个探测距离 r_1 和 r_2 , 通过测量红外探测器入射辐亮度并由公式

$$\begin{cases} V_1 = gL(r_1) + V_{\text{off}} \\ V_2 = gL(r_2) + V_{\text{off}} \end{cases} \quad (7)$$

求得系统响应系数 g 和直流偏置电压 V_{off} , 并根据式(5)得到红外探测器探测距离灵敏度。

3 测量装置^[5]

根据上述测量原理,设计出红外探测器灵敏度的测量装置,其组成如图 1 所示。

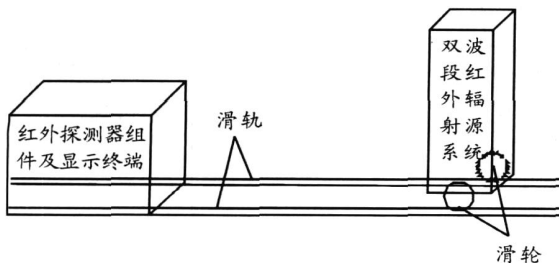


图 1 红外探测器灵敏度测量装置组成

双波段红外辐射源系统包括长波红外和短波红外 2 个波段,其中长波红外波段采用中温黑体源,短波红外波段采用高温黑体源。该辐射源系统配备有光学耦合器和吸收腔,用于保证长、短波红外辐射互不干扰。另外系统还配备

有长、短波自检辐射计,可用于测量平行光管端口处 $0.8 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 波段及 $7 \sim 14 \mu\text{m}$ 波段的辐照度。红外探测器组件包括待测红外探测器和红外探测器供电装置。显示终端通过电缆与红外探测器组件连接,实现信号的采集和处理。测量时,中、高温黑体温度可通过电控箱的操作面板进行调节,探测距离可通过设置在双波段红外辐射源系统辐射源系统下端的滑轮和滑轨进行调节。

4 影响测试精度的主要因素

4.1 红外辐射通过大气导致衰减的影响。红外辐射在大气中传输时会发生衰减,导致衰减的主要因素是大气分子的吸收、散射,以及云、雾、雨、雪等微粒的散射^[6]。根据探测距离等测量条件可以得知,测量时导致红外辐射衰减的主要因素是大气的吸收衰减,从而使测量产生误差。为最大限度地避免误差,测量时选取的中、高温黑体温度对应的红外波长(通过双波段红外辐射源系统的长、短波自检辐射计读取)应避免大气中主要吸收气体的红外吸收带。进行批量测量时,应设定相同的探测距离。

4.2 光源辐射能量漂移的影响。测试中,2 次测量中光源的波动会引起测量误差,因此要求使用高稳定性的电源。本装置采用高精度直流稳压源,开机预热 10 min 后,精度可达万分之一。

4.3 中、高温黑体温度稳定性的影响。所采用的双波段红外辐射源系统中,中温黑体的温度稳定性为 ± 0.05 , 高温黑体的温度稳定性为 ± 0.2 , 满足了测试要求。

5 结束语

本文中根据红外辐射测量原理,对红外探测器入射辐亮度的影响因素进行了研究,提出了一种红外探测器灵敏度的测量方法,实现了某型灵巧弹药红外探测器灵敏度的外场测量。实测表明,使用该方法测量红外探测器的目标表观温度及探测距离灵敏度能够满足精度要求。

参考文献:

- [1] 王儒策,刘荣忠. 灵巧弹药的构造及作用[M]. 北京:兵器工业出版社,2001:33-35.
- [2] 徐小焱,陈海清,齐哲明. 四象限红外探测器光电参数测试技术研究[J]. 光学仪器,2007,29(1):7-11.
- [3] Pieter A J. 地面目标和背景的热红外特性[M]. 吴文健,译. 北京:国防工业出版社,2004:12-14.
- [4] 王义玉,叶文,王彬. 红外探测器[M]. 北京:兵器工业出版社,2005:5-8.
- [5] 申小萍. 红外探测器参数测试系统的改进[J]. 激光与红外,2007,37(3):252-254.
- [6] 石晓光,王蓟,叶文. 红外物理[M]. 北京:兵器工业出版社,2006:63-77.