

文章编号 1004-924X(2012)03-0484-08

红外探测器件在低温背景下的探测率测试

王世涛, 张 伟, 王 强*

(哈尔滨工业大学 空间光学工程研究中心, 哈尔滨 黑龙江 150001)

摘要:建立了红外探测器件低温背景探测率测试系统, 实验研究了红外探测器件在低温背景下的探测特性, 用于支持红外探测低温光学系统的合理设计。首先, 介绍并分析了红外探测系统的噪声和响应特性, 建立了低温光学系统设计与红外探测器件在低温背景下探测性能之间的关系; 在热真空环境下搭建了基于变温面源黑体的低温背景探测率测试系统。然后, 针对某红外器件在低温背景下的探测率进行了实验测量。最后, 通过计算得到了低温背景下极限积分时间及探测特性相对于常温背景下的一般变化规律。实验结果表明: 低温背景下极限积分时间及探测率均比常温背景下提高近 20 倍, 提出的测试技术可为低温光学系统的指标设计提供依据与参考。

关键词:红外探测器件; 探测率检测; 低温背景; 低温光学系统; 光学设计

中图分类号: TN215; TP732.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122003.0484

Measurement for detectivity of infrared detectors in low temperature background

WANG Shi-tao, ZHANG Wei, WANG Qiang*

(Research Center for Space Optical Engineering, Harbin Institute of Technology,
Harbin 150001, China)

* Corresponding author, E-mail: hitwq@hit.edu.cn

Abstract: To support the correct design of cryogenic optical systems, a measuring system for the detectivity of infrared detectors in low temperature background was established and applied to some infrared detectors for testing their detection characteristics. First, the theoretical analysis for noise and response characteristics of an infrared acquisition system was introduced, and the relationship between the design of a low temperature optical system and the detectivity of infrared detector in the low temperature background was established. Then, a measurement system of detectivity in the low temperature background based on thermal vacuum environment was proposed, and experimental research on some infrared detectors in the low temperature background was accomplished. Finally, the variation regularities of limiting integration time and detectivity in low temperature compared with those in normal temperature case were discussed as well. Experimental results indicate that both of the integration time and detectivity in the low temperature background are 20 times that in normal temperature background. The regularity derived can

收稿日期: 2012-02-03; 修订日期: 2012-02-10.

基金项目: 航天科技集团第五研究院 CAST 基金资助项目

satisfy the requirements of system index design of low temperature optical systems.

Key words: infrared detector; detectivity test; low temperature background; low temperature optical system; optical design

1 引言

高分辨率高灵敏度是空间探测系统的发展方向。随着光电子技术和器件工艺水平的不断发展,凝视型红外焦平面探测器件越来越多地应用于红外天文观测与空间碎片探测等研究领域^[1-2]。这些红外探测系统通常都是以深空为观测背景,由于目标距离远或温度低,最终到达红外焦平面上的信号一般都非常微弱,对于红外探测系统,光机系统自身热辐射引起的热背景辐射噪声是限制其探测灵敏度提高的关键之一。因此,从20世纪70年代开始,以美国为首的发达国家开始研究低温光学技术,通过降低光机元件的工作温度来抑制热背景辐射噪声。

为了最大限度地提高红外探测器件的探测灵敏度,发挥背景极限探测器的作用,必须采用全低温光学系统。空间低温光学技术是宇宙中低温物质探测的最好手段,对降低仪器辐射噪声、提高系统探测灵敏度、发现和锁定观测目标、解决天体的起源和演化等问题具有重要意义^[3]。

空间低温光学系统的设计核心是综合考虑观测目标与背景的红外辐射特性、红外探测器件自身的探测性能确定探测器背景辐射噪声的极限允许值,从而合理地确定光学系统的制冷温度,发挥背景极限探测的能力,同时保证光学系统各项参数达到系统的指标要求^[4]。为了支持红外探测器件低温光学系统的合理设计与研制,亟需开展低温背景下红外探测器件的性能检测与评价方法研究^[5-6],但目前这方面的研究还鲜有报道。

本文通过对红外探测系统噪声源及系统噪声组成的理论分析,搭建了红外器件探测特性测试装置,设计了无镜头条件下常温背景、低温背景两组检测方案。其中,采用高性能面源黑体对某典型制冷型红外探测器件低温背景下的探测特性进行检测,通过连续采集 F 帧 ($F \geq 100$) 器件各像元在两个不同黑体温度 T_1 及 T_2 下的输出电压值,由探测特性参数的表征模型计算得到了红外探测器在低温背景下的极限积分时间以及探测率 D^* 等性能

指标相对于常温背景的一般变化规律。

2 系统噪声及灵敏度分析

2.1 红外探测系统的噪声特性表征^[7-10]

红外探测系统的噪声主要包括光子噪声、探测器噪声以及其他电子学噪声。

2.1.1 光子噪声的表征模型

光子噪声就是探测器的散粒噪声,描述的是因辐射量起伏造成的光子起伏,并在探测器上体现出粒子运动的一种统计结果。严格来说,光子噪声应属于探测器的内部噪声。光电探测器的内部噪声主要包括热噪声、散粒噪声、产生-复合噪声、 $1/f$ 噪声和温度噪声。其中,热噪声与温度噪声与探测器的温度密切相关,所以通过制冷可以降低其影响;数字横向滤波器可以抑制杂波,可以降低 $1/f$ 噪声,因此一般忽略 $1/f$ 噪声。光电探测器的噪声具有随机性,无法用确定的时间函数来表示,但是噪声的峰值幅度概率分布满足高斯分布。下面仅讨论光伏探测器的情况,它与光导探测器基本类似。

根据普朗克辐射理论,光谱辐射由一定频率的光子组成,经探测器转换为电子,进而形成电流或电压。转换过程见图1, h 为普朗克常数, c 为光速, G 为光电转换效率, η 为量子效率, τ_{int} 为积分时间, C_{int} 为积分电容, q 为电子电量。



图1 光伏转换过程

Fig. 1 Process of photon-electron conversion

光伏探测器的基本噪声是散粒噪声,噪声总电流为:

$$\bar{I}_n^2 = uq \left[q\eta(P_s + P_b)G^2 + I_d(V) + \frac{k_B T}{qR} \right] \Delta f. \quad (1)$$

其中, $I_d(V)$ 为暗电流大小,与电压大小相关; k_B 为玻尔兹曼常数; R 为探测器电阻; T 为电阻绝对

温度; Δf 为噪声频率带宽; P_s 为信号光子率; P_b 为背景光子率。

光谱比探测率为:

$$D^*(\lambda) = \frac{(A_d \Delta f)^{1/2}}{NEP(\lambda)} = \frac{(A_d \Delta f)^{1/2} \mathcal{R}_i(\lambda)}{I_n}, \quad (2)$$

其中, $\mathcal{R}_i(\lambda)$ 为电流响应率(A/W), 且有

$$\mathcal{R}_i(\lambda) = \frac{q\eta\lambda G}{hc}, \quad (3)$$

将式(3)带入式(2)得到

$$D^*(\lambda) = \frac{\eta\lambda}{hc \sqrt{\eta \frac{2(P_s + P_b)}{A_d} + \frac{I_d(V)}{q} \frac{1}{A_d} + \frac{k_B T}{q^2} \frac{1}{RA_d}}}, \quad (4)$$

由此可见, $D^*(\lambda)$ 与背景/信号光子率密度、暗电流以及热噪声等因素密切相关; 且可以得出结论, 当 $\frac{I_d(V)}{q} \frac{1}{A_d}, \frac{k_B T}{q^2} \frac{1}{RA_d} \leq \eta \frac{(P_s + P_b)}{A_d}$ 时, 探测器内部噪声主要由信号和背景的光子散粒噪声决定, 而其他噪声可以忽略, 这称为光子噪声限系统。在强背景或者强信号的情况下, 通常该条件可以满足。 $D^*(\lambda)$ 可简化为:

$$D^*(\lambda) = \frac{\lambda}{hc} \sqrt{\frac{\eta A_d}{2(P_s + P_b)}}. \quad (5)$$

强背景情况下, $P_b \geq P_s$, 这种情况称为背景限红外光电探测, 此时暗电流噪声、热噪声远远小于背景光子噪声, $D^*(\lambda)$ 可简化为:

$$D^*(\lambda) = \frac{\lambda}{hc} \sqrt{\frac{\eta A_d}{2P_b}}. \quad (6)$$

由式(1), 此时噪声电流的大小简化为:

$$\bar{I}_n^2 = 2q(q\eta P_b) \Delta f. \quad (7)$$

由图 1 可知, $\bar{n} = \frac{\bar{I}_n}{q} \tau_{int}$, 光子噪声等效电子数为:

$$\bar{n}_b^2 = \eta P_b \tau_{int} = N_b. \quad (8)$$

光子噪声主要来源于背景/目标辐射以及光学近场辐射。根据式(8)可知, 背景光子噪声的大小就是背景产生电子数的均方根:

$$\bar{n}_b^2 = \frac{\Omega A_0 \tau_{int}}{hc} \int L_b(\lambda) \cdot \lambda \eta \cdot \tau_a \cdot \tau_0 d\lambda. \quad (9)$$

探测器除了接收到目标和背景的辐射外, 还有来自光学系统元件的辐射和滤光片结构以及制冷结构的热辐射, 占主要部分的是光学系统的近

场辐射, 见图 2。它产生的光子噪声计算与镜片数和透过率相关, 假设镜片共 n 个, 第 i 个透过率为 τ_{oi} , 温度为 T_i , 则有:

$$\bar{n}_{nf}^2 = \sum_i \frac{\Omega A_0 \tau_{int}}{hc(1 + M_i)^2} \int L_0(T_i) \cdot \lambda \eta \cdot \tau_{oi} d\lambda, \quad (10)$$

式中, M_i 为放大倍率, 为计算方便常取为 1; $L_0(T_i)$ 为温度为 T_i 时镜片的光谱辐亮度。

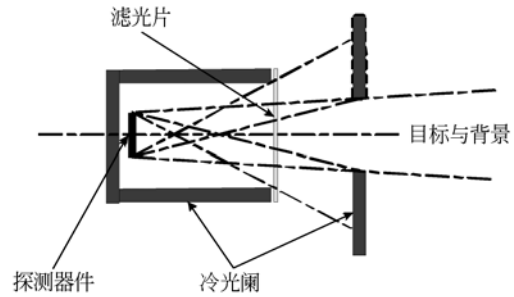


图 2 近场辐射示意

Fig. 2 Illustration of near-field radiation

以上讨论的仅是由探测器内部产生的噪声, 对整个系统而言, 焦平面特别是面阵的固有图形噪声、后续的电子学噪声等都是影响系统灵敏度的因素, 在计算系统灵敏度的时候, 还需要考虑它们的影响。

2.1.2 固定图形噪声的表征模型

对于面阵焦平面, 固定图形噪声是由阵列中每个探测器像元偏置不同或响应的差异引起的, 即为探测元对相同输入产生的不同输出。在凝视热成像系统中, 这种噪声是必须考虑的。这种噪声是由无照射条件时像元间暗电流的差别造成的; 而在有照射条件时, 主要来源于响应率的不均匀。因此, 需要对面阵红外探测器件进行非均匀性校正, 非均匀性校正残余误差成为红外图像的固定空间噪声。

均方和固定图形噪声调制因子 M 可以通过测量得到, 一般有:

$$M = 2U\Delta. \quad (11)$$

式中, U 为像元的非均匀性, 是均方和噪声除以平均曝光量, 一般由探测器给定; Δ 为像元尺寸。

每个像元的固定图形噪声为:

$$\bar{n}_{MFP} = \left[\frac{M\epsilon}{2} \right] \cdot \Delta = U\epsilon\Delta^2 = U\bar{n}_{ph}^2 = UN_{ph}, \quad (12)$$

式中 ϵ 为焦面电子数密度 (e/m^2); \bar{n}_{ph} 为总光子噪声。可见,固定图形噪声与入射光生成的电子数成正比。

2.1.3 读出噪声的表征模型

读出噪声描述了从焦面电子到放大电流到 A/D 转换整个过程中的所有电子学噪声,计算比较复杂,一般都通过实验测量得到:

$$\bar{n}_{read}^2 = \bar{n}_{floor}^2 + k \bar{n}_{rms}^2, \quad (13)$$

式中, \bar{n}_{floor} 为填底电荷数,一般由探测器给定; \bar{n}_{rms} 为像元率为 1 MHz 时的读出噪声 ($e/MHz^{1/2}$); $k = \frac{N_1 N_2}{\tau_{int}} \times 10^{-6}$, 为通道像元率 (MHz); N_1, N_2 为焦面像元数。

2.1.4 系统总噪声的表征模型

暗电流噪声虽然很小可以忽略,但为了分析全面,需考虑其影响,系统每个像元的总噪声为

$$\bar{n}_{tot}^2 = [\bar{n}_{ph}^2 + \bar{n}_{MFP}^2 + \bar{n}_D^2 + \bar{n}_{read}^2]^{1/2}, \quad (14)$$

式中, \bar{n}_D 为暗电流电子数,一般由探测器给定:

$$\bar{n}_{ph}^2 = \bar{n}_s^2 + \bar{n}_b^2 + \bar{n}_{ci}^2. \quad (15)$$

综上所述,虽然红外探测系统的各种噪声以及系统总噪声都可以量化表征,但实际应用特别是系统设计时却是相当复杂的。这主要是由于光电探测器的噪声具有随机性,无法用确定的时间函数来表示;加之各噪声项大都直接或间接地与温度相关,且随温度的变化趋势、变化规律各有不同,难以进行系统级的定量分析。

天文观测以深空作为观测背景,目标/背景的辐射量极其微弱,此时对光子噪声的抑制非常重要,但抑制多少能够刚好满足探测灵敏度的需要,同时又能保证低温光学制冷系统的合理设计及优化利用;则必须在红外探测系统设计,尤其是低温光学系统指标设计时,通过假定的目标/背景辐射特性,基于实验测试的方法考察红外探测器低温背景下的性能指标,而后反过来对低温光学系统整体提出噪声抑制要求及制冷温度要求。另外,由于红外探测器所给定的 D^* 一般都是 500 K 黑体背景辐射时的值,当实际辐射源的温度与测试 D^* 用的黑体温度不同时,红外系统设计和计算是不能直接引用 D^* 的,否则,会产生较大的设计偏差;同时,仅考虑目标到达靶面上的辐射功

率是否满足探测的要求是不够的,还需考虑背景的影响。这也是本文开展红外探测器低温背景探测性能测试技术的主要目的。

2.2 低温背景探测灵敏度分析

本文选择探测灵敏度 D^* 为考察对象,它与黑体温度 T 、调制频率 f' 、测量放大器的带宽 Δf 、探测器的偏置 b 有关,可记为 $D^*(T, f', \Delta f, b)$ 。为方便问题分析,在只考虑黑体温度因素的情况下,将归一化探测率简记为 D^* 或 $D^*(T)$ 。

红外探测器的归一化探测率 D^* 是对一定温度的黑体辐射进行测量得到的, D^* 的表达式为:

$$D^* = \frac{V_s/V_n}{HA_d} (A_d \cdot \Delta f)^{1/2}. \quad (16)$$

式中: V_s/V_n 为探测器输出的信噪比, A_d 为探测器的面积, Δf 为测量电路的带宽, H 则为一定温度的黑体(通常规定为 500 K)在探测器上形成的照度。 D^* 的意义可理解为在一个光敏面积为 1 cm^2 的探测器上辐照度为 1 W/cm^2 , 并用 1 Hz 带宽的测量电路测出的信噪比,它是衡量探测器性能的一个主要参数^[11-13]。

当用单色光照射探测器时,不同波长的辐射线引起探测器的响应不同,即 D^* 将随入射光的波长 λ 而变,因而可表示成光谱探测率 $D^*(\lambda)$, 其表达式也可以写为^[11-13]:

$$D^*(\lambda) = \frac{V_s/V_n}{H(\lambda)A_d} (A_d \cdot \Delta f)^{1/2}, \quad (17)$$

其中, $H(\lambda)$ 为光谱辐照度。

以上是两种探测率的定义方式:一种是辐射源为一定温度的黑体,探测率是探测器对黑体从波长 $0 \rightarrow \infty$ (或 $\lambda_1 \rightarrow \lambda_2$) 连续光谱辐射的响应,用 D^* 表示,它与辐射源的温度有关,当辐射源的温度不同时,探测器对它的响应值也不同;另一种是辐射源为单色辐射,此时的探测率是探测器对单色辐射的响应,当单色光的波长不同时,探测率也将不同,用 $D^*(\lambda)$ 表示,它与辐射源的温度无关,从这个意义上说, $D^*(\lambda)$ 反映探测器的固有特性, D^* 没有完全反映探测器的固有特性^[14]。

推导得到 D^* 与 $D^*(\lambda)$ 的关系为^[12-13]:

$$D^* = \frac{\int_0^\infty D^*(\lambda) J(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty J(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}. \quad (18)$$

其中, $J(\lambda)$ 为辐射源的光谱辐射强度, $\tau(\lambda)$ 为考虑到大气、光学系统衰减后的总光谱透射率。当需要研究某一波段范围 ($\lambda_1 \rightarrow \lambda_2$) 内的探测器响应时 ($\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$) 有:

$$D_{\Delta\lambda}^* = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} D^*(\lambda) J(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}. \quad (19)$$

可以看出 D^* 与式中分子分母两个积分式有关, 分母为考虑大气等衰减后的辐射强度, 而分子上的积分是 $D^*(\lambda)$ 、 $J(\lambda)$ 、 $\tau(\lambda)$ 乘积的积分。由于 $D^*(\lambda)$ 随 λ 而变, 即使探测器上的照度相同, 但当辐射源的温度不同时, $J(\lambda)$ 不同, 两式的积分值也不同。因此, 在给出某种探测器材料的探测率 D^* 时, 必须给出相应的黑体温度。但目标的温度往往不会与测试 D^* 时的黑体温度相同, 因而在计算探测器对目标的响应时显然难以直接应用 D^* ; 另一方面, 目标的辐射往往又不是单色辐射, 所以也难以直接应用 $D^*(\lambda)$ 。因此, 为消除或减小设计差异, 在评价红外系统对任意温度辐射源的探测能力时, 需要通过计算探测率理论修正因子或实验检测来确定任意温度下的 D^* 。

本文使用实验检测的方法, 采用面源黑体对组件进行测试, 分别采集探测器组件各像元在两个不同黑体温度 T_1 及 T_2 下的输出电压值, 连续采集 F 帧 ($F \geq 100$), 各像元在 T_1 及 T_2 时输出电压的平均值为 V_{T_1} 及 V_{T_2} , 通过以下各式计算得到各特性参数。

各像元的响应信号电压 V_s :

$$V_s = V_{T_2} - V_{T_1}. \quad (20)$$

各像元的噪声电压 V_n 是指在 T_1 温度下各像元 F 次输出电压涨落的均方根。

各像元黑体响应率 R_{BB} :

$$R_{BB} = \frac{V_s}{\Delta I_{PFBB} \cdot FOV \cdot A_d}, \quad (21)$$

$$\Delta I_{PFBB} = \frac{1}{\pi} \cdot \sigma \cdot \epsilon (T_2^4 - T_1^4), \quad (22)$$

其中, ΔI_{PFBB} 为面源黑体在 T_1 和 T_2 时的辐照功率变化量; ϵ 为面源黑体的辐射率; $\sigma = 5.67 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, 为黑体辐射常数; FOV 为探测器组件的视场角; A_d 为探测元的光敏面积。

各像元的峰值响应率 R_p :

$$R_p = G \cdot R_{BB}, \quad (23)$$

式中 G 因子可通过相对光谱响应计算。

各像元的黑体探测率 D_{BB}^* :

$$D_{BB}^* = \sqrt{\frac{A_d}{2 t_{int}} \frac{R_{BB}}{V_n}}, \quad (24)$$

其中: t_{int} 为探测器的积分时间。

各像元的峰值探测率 D_p^* :

$$D_p^* = G \cdot D_{BB}^*. \quad (25)$$

3 测试设备与方案

3.1 面源黑体辐射源

面源黑体是测试过程的关键设备, 必须具备高发射率、高温度均匀性, 并且能够在宽温域高稳定性地工作。如果面源黑体没有满足以上要求, 将会给红外探测器件探测率的测试带来较大误差。为此本文测试过程中选择可变温杜瓦型面源黑体, 其发射率为 0.99, 温度均匀性满足 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 温度在 $20 \sim 500 \text{ K}$, 控温精度为 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$, 结构组成如图 3 所示。

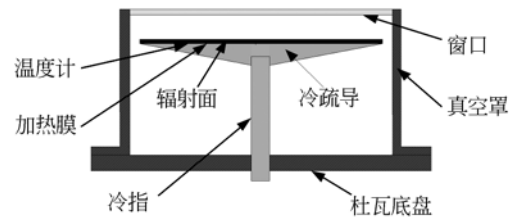


图 3 面源黑体结构示意图

Fig. 3 Illustration of surface blackbody structure

3.2 测试方案

测试系统原理如图 4 所示。本文采用中波 $320 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$ 、 $30 \text{ } \mu\text{m}$ 像元尺寸的某制冷型红外探测器进行性能检测, 为了满足检测试验的要求, 除了对探测器组件进行硬件改造外, 还要对器件电路进行相应的改造, 其目的是为了满足不同积分时间在大范围内可调、探测器噪声可测以及 D^* 可测的要求。进行试验时, 探测器件工作温度恒定在 85 K ; 常温、低温背景辐射采用高性能面源黑体及其加热、制冷装置, 黑体与探测器件间距为 70 mm ; 试验还需采用直流稳压电源、示波器、器件低温制冷组件、真空排气机组以及探测器噪声、 D^* 的专用焦平面性能综合测试系统。

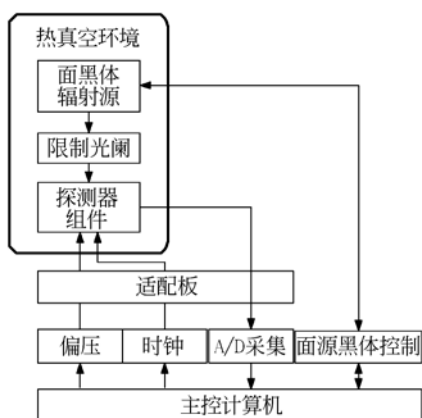


图 4 测试原理流程图

Fig. 4 Flow chart of measurement

探测器性能检测试验方案如图 5 所示。

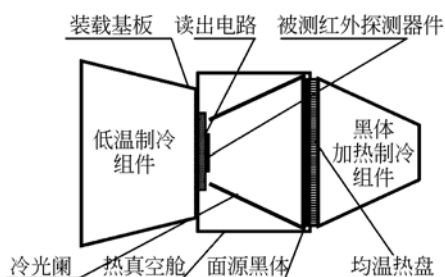


图 5 测试方案示意图

Fig. 5 Illustration of measurement scheme

将被测红外探测器件、黑体背景置于热真空舱中,通过调节装置使二者中心在同一条直线上,使黑体面充满探测器视场,并分别与制冷设备连接。黑体背景温度可调,可通过加热、制冷等措施进行变温。在常/低温条件下分别设定 2 个黑体温度点,接通探测器并通过专用的测试设备,连续采集 F 帧($F \geq 100$)器件各像元在两个不同黑体温度 T_1 及 T_2 下的输出电压值,在不同的探测器积分时间下完成红外探测器极限积分时间、探测器 D^* 等探测特性的检测。

4 测试结果与分析

由于采用了液氮冷屏保护措施,试验忽略环境对测量的影响。共进行了多组试验,选取其中的 2 组测量结果,如表 1、表 2、图 6、图 7 所示。

表 1 常温黑体(290~310 K)背景测试结果

Tab. 1 Measurement results in normal blackbody temperature background (from 290 to 310 K)

积分时间 t/ms	峰值探测率 $D_p^*/(10^{11} \text{cmHz}^{1/2} \text{W}^{-1})$
1	2.09
2	2.83
3	3.30
4	3.73
5	4.00
6	4.15
7	4.09
8	4.77
9	1.96
10	0.27

表 2 低温黑体(30~150 K)背景测试结果

Tab. 2 Measurement results in low blackbody temperature background (from 30 to 150 K)

积分时间 t/ms	峰值探测率 $D_p^*/(10^{12} \text{cmHz}^{1/2} \text{W}^{-1})$
1	24.33
5	10.34
10	8.32
20	7.01
30	6.72
40	6.65
50	6.91
60	6.94
70	6.99
80	7.23
90	7.31
100	7.44
110	7.73
120	7.84
130	8.13
140	8.39
150	8.50

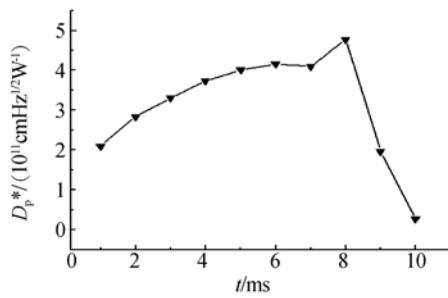


图 6 常温背景测试结果

Fig. 6 Measurement results in normal temperature background

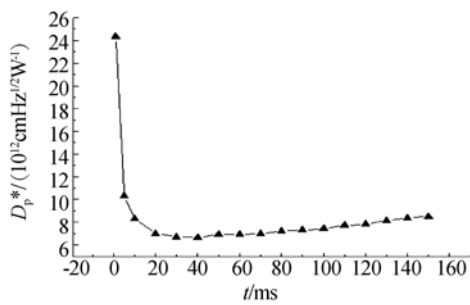


图 7 低温背景测试结果

Fig. 7 Measurement results in low temperature background

分析这 2 组试验数据,可以发现:

(1)在同一背景温度下,随着探测器积分时间的增长,探测器峰值比探测率总体呈逐渐升高的趋势;

(2)常温背景温度测试时,当积分时间为 9 ms 时,峰值比探测率开始大幅度下降,故检测出 290 K 时的极限积分时间为 8 ms;

(3)低温背景温度测试时,在 1~40 ms 积分时间内出现探测器探测率的反常增大,这主要是由于积分时间短,输出电压较低,测试系统的测量误差相对于输出电压的影响较大,有可能造成所测

量探测率的误差较大。而积分时间增长后,输出电压增大,测量系统本身带来的测量误差所占比例减小。所以,积分时间 40 ms 后测量数据的准确度更高;

(4)对比 2 组实验发现,当积分时间相同时,随着背景温度的降低,探测器的比探测率升高;且探测器在低温冷背景下,积分时间从常温 290 K 时的 11 ms 增加到低温 140 K 时的 120 ms 以上;

(5)探测器的比探测率随着背景温度的降低而增大,在深低温冷背景下,当积分时间为 150 ms 时,探测器探测率相对于常温背景环境,提高近 20 倍。

5 结 论

本文介绍了一种红外探测器件低温背景探测特性的检测方法,通过搭建红外器件探测特性检测系统以及试验研究,揭示了红外探测器件在低温背景下的极限积分时间以及 D^* 等探测特性相对于常温背景下的一般变化规律。实验结果表明,探测器件在低温背景下的极限积分时间比常温背景情况下大幅度增加;比探测率随着背景温度的降低而增大,在深低温冷背景下,极限积分时间和探测率相对于常温背景环境,都能够提高一个数量级,接近 20 倍。

测试结果还说明,当辐射源的温度与测试 D^* 用的黑体温度不同时,必须对探测器件进行实际背景温度的探测性能检测、标定试验,以便准确了解探测器件的实际使用性能并对积分时间等重要参数进行合理的选取。这对于确定探测器背景辐射噪声的极限允许值,支持红外探测器件低温光学系统的合理设计和研制,从而发挥背景极限探测器的作用具有重要的实际应用价值。

参考文献:

- [1] WOOJUNG K, MATSUHARA H. Optical performance evaluation of near infrared camera (NIR) on board ASTRO-F [J]. SPIE, 2005, 5904: 119-129.
- [2] SCHWALM M, BARRY M. Cryogenic telescope, scanner, and imaging optics for the Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) [J]. SPIE, 2005, 5904: 89-93.
- [3] TRIEM T H, TAMARA A O. Design optimization of a hydrogen advanced loop heat pipe for space-based IR sensor and detector cry cooling [J]. SPIE, 2003, 5172: 1120-1131.
- [4] MANG Z S, MANG Z S, WEN L M. Development

- of a cryogenic optical system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, 21(2): 202-205.
- [5] MASTANDREA A A, GLASHEEN R R, GUREGIAN J J. Development of the spirit III telescope: from design through test [J]. *SPIE*, 1992, 1765: 42-52.
- [6] ALFF W H, SCHMIDT J J. SIRFT a cryogenically cooled IR telescope [J]. *SPIE*, 1985, 590: 357-363.
- [7] 曹移明, 张伟, 丛明煜, 等. 星载红外凝视相机信噪比计算分析[J]. *宇航学报*, 2007(4): 189-193.
CAO Y M, ZHANG W, CONG M Y. Analysis of signal-to-noise ratio calculation for satellite-based infrared staring sensor [J]. *Journal of Astronautics*, 2007(4): 189-193. (in Chinese)
- [8] 张伟, 曹移明, 丛明煜, 等. 采用杂波模型进行天基目标红外探测波段的选择[J]. *光学精密工程*, 2010, 8(2): 341-348.
ZHANG W, CAO Y M, CONG M Y. Infrared detection waveband choices for space-based target based on clutter model [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 8(2): 341-348. (in Chinese)
- [9] 孟祥龙, 张伟, 丛明煜, 等. 天基红外图像的点目标检测[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(9): 2094-2100.
MENG X L, ZHANG W, CONG M Y, *et al.*. Point target detection of space-based infrared image [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(9): 2094-2100. (in Chinese)
- [10] 程军, 张伟, 鲍文卓, 等. 在轨光学相机探测图像数字仿真系统的设计与实现[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(9): 2136-2144.
CHENG J, ZHANG W, BAO W ZH, *et al.*. Design and implementation of digital simulation system for detecting image of orbiting optical camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(9): 2136-2144. (in Chinese)
- [11] RICHARD D H. *Infrared System Engineering* [M]. John Wiley & Sons, Inc., 1969.
- [12] MILLER J L. *Principle of Infrared Technology* [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [13] LLOYD J M. *Thermal Imaging Systems* [M]. New York: Plenum Press, 1975.
- [14] HAN P W. Operating distance equation for infrared point target detect system based on temperature characteristic of detectivity and background influence [J]. *Infrared Technology*, 2007, 29(6): 341-344.

作者简介:



王世涛(1966—),男,山东莱州人,博士研究生,研究员,1987年于北京理工大学获得学士学位,主要从事红外遥感理论与技术方面的研究。E-mail: wang-shitao@sina.com



张伟(1962—),男,黑龙江人,教授,博士生导师,1983年、1986年于哈尔滨工业大学分别获得学士、硕士学位,现为哈尔滨工业大学空间光学工程研究中心主任,主要从事空间光电信息获取技术的研究。E-mail: wzhang@hit.edu.cn

通信作者:



王强(1978—),男,山东临县人,博士,讲师,2001年、2003年、2009年于哈尔滨工业大学分别获得学士、硕士、博士学位,主要从事辐射定标与参数标定方面的研究。E-mail: hitwq@hit.edu.cn