前　言

红外焦平面阵列(以下简称焦平面)是红外凝视成像和成像光谱仪等新一代红外系统的核心器件。国外焦平面已经处于实用阶段。国内在国家高技术计划安排下已进行了十年的研究。在硅化铂、锑化铟和碲镉汞等三类焦平面研究方面,分别取得了良好进展。在应用方面开展了双波段红外凝视成像辐射计和红外成像制导等研究,受到用户的重视。

焦平面拥有成千上万个像元,并带有读出电路,具有信号获取与信号读出双重功能,比之红外单元探测器,完全是一种新颖器件,因此,对焦平面特性的描述带来许多新的内容。至今尚未见到国外发表的焦平面特性参数测试技术规范。国内技术人员都从各自的需要和理解定义了一些参数,互不统一。随着焦平面研究和应用工作的发展,迫切需要统一的特性参数名称和测试方法来评价器件。本规范是为满足这种需要而制定的。

本标准的附录A、附录B和附录C是标准的附录。

本标准的附录D是提示的附录。

本标准由中国科学院提出并归口。

本标准起草单位:中国科学院上海技术物理研究所。

本标准主要起草人:董亮初、丁瑞军、梁平治、唐红兰、陈世军。

中华人民共和国国家标准

红外焦平面阵列特性参数测试技术规范

GB/T 17444—1998

The technical norms for measurement and test of characteristic parameters of infrared focal plane arrays

1 范围

本标准所指的焦平面，是敏感红外辐照(以下简称辐照)的光敏元阵列并带有读出电路的器件。

本标准对焦平面特性参数及相关量进行了定义。

本标准给出了焦平面主要特性参数的测试方法及测试条件。

本标准适用于线列和面阵焦平面。

2 特性参数及相关量的定义

本标准采用下列定义。

2.1 积分时间(integration time)

像元累积辐照产生电荷的时间，符号为 t_{int}，单位为秒(s)。

2.2 帧周期(frame period)

面阵焦平面一帧信号读出所需要的时间，符号为 t_{frame}，单位为秒(s)。

2.3 行周期(line period)

线列焦平面一行信号读出所需要的时间，符号为 t_{line}，单位为秒(s)。

2.4 最高像元速率(maximum pixel rate)

焦平面像元信号读出的最高速率，符号为 f_{max}，单位为赫兹(Hz)。

2.5 电荷容量(charge capacity)

焦平面像元能容纳的最大信号电荷数，符号为 N_S，单位为电子电荷(e)。

2.6 辐照功率(irradiation power)

入射到一个像元上的恒定辐照功率，符号为 P，单位为瓦(W)。

2.7 辐照能量(irradiation energy)

辐照功率 P 与积分时间 t_{int} 之积，符号为 E，单位为焦耳(J)。由式(1)表示：

$$E = P \times t_{int} \quad \cdots\cdots(1)$$

2.8 饱和辐照功率(saturation irradiation power)

焦平面在一定帧周期或行周期条件下，输出信号达到饱和时的最小辐照功率，符号为 P_{sat}，单位为瓦(W)。

2.9 响应率(responsivity)

2.9.1 像元响应率(pixel responsivity)

国家质量技术监督局 1998-07-18 批准　　1999-05-01 实施

焦平面在一定帧周期或行周期条件下，在动态范围内，像元每单位辐照功率产生的输出信号电压，符号为 $R(i,j)$，单位为伏特每瓦(V/W)。由式(2)表示：

$$R(i,j)=\frac{V_S(i,j)}{P} \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：$V_S(i,j)$——第 i 行第 j 列像元对应于辐照功率 P 的响应电压(V)；

P——第 i 行第 j 列像元所受的辐照功率(W)。

响应率的其他表示见附录 A。

2.9.2 平均响应率(average responsivity)

焦平面各有效像元响应率的平均值，符号为 $\overline{R}$，单位为伏特每瓦(V/W)。由式(3)表示：

$$\overline{R}=\frac{1}{M\cdot N-(d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}R(i,j) \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：M,N——分别为焦平面像元的总行数和总列数，见 2.11；

d,h——分别为死像元数和过热像元数，见 2.10。

求和中不包括无效像元，见 2.10。

2.9.3 响应率不均匀性(responsivity non-uniformity)

焦平面各有效像元响应率 $R(i,j)$ 均方根偏差与平均响应率 $\overline{R}$ 的百分比，符号 U_R，单位为%。由式(4)表示：

$$U_R=\frac{1}{\overline{R}}\cdot\sqrt{\frac{1}{M\cdot N-(d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[R(i,j)-\overline{R}]^2}\cdot 100\% \qquad \cdots\cdots(4)$$

求和中不包括无效像元，见 2.10。

响应率不均匀性可归纳为空间噪声，见附录 B。

2.10 无效像元(non-effective pixel)

无效像元包括死像元和过热像元。

2.10.1 死像元(dead pixel)

像元响应率小于平均响应率 1/10 的像元，死像元数记为 d。

2.10.2 过热像元(over hot pixel)

像元噪声电压大于平均噪声电压 10 倍的像元，过热像元数记为 h。

2.11 像元总数与有效像元率(pixel amount and operable pixel factor)

2.11.1 像元总数(pixel amount)

焦平面像元的总行数 M 与总列数 N 之积，记为 $M\cdot N$。

2.11.2 有效像元率(operable pixel factor)

焦平面的有效像元数占总像元数的百分比，符号为 N_{ef}，单位为%。由式(5)表示：

$$N_{ef}=\left(1-\frac{d+h}{M\cdot N}\right)\cdot 100\% \qquad \cdots\cdots(5)$$

2.12 噪声(noise)

2.12.1 像元噪声电压(pixel noise voltage)

焦平面在背景辐照条件下，像元输出信号电压涨落的均方根值，符号为 $V_N(i,j)$，单位为伏特(V)。

2.12.2 平均噪声电压(average noise voltage)

焦平面各有效像元噪声电压的平均值，符号为 $\overline{V}_N$，单位为伏特(V)。由式(6)表示：

$$\overline{V}_N=\frac{1}{M\cdot N-(d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}V_N(i,j) \qquad \cdots\cdots(6)$$

求和中不包括无效像元，见 2.10。

2.13 噪声等效辐照功率(noise equivalent irradiation power)

信噪比为1时，焦平面像元所接受的辐照功率。即焦平面的平均噪声电压 $\overline{V}_N$ 与平均响应率 $\overline{R}$ 之比，符号为 NEP，单位为瓦(W)。由式(7)表示：

$$NEP = \frac{\overline{V}_N}{\overline{R}} \quad \cdots\cdots(7)$$

2.14 噪声等效温差(noise equivalent temperature difference)

平均噪声电压与目标温差产生的信号电压相等时，该温差称为噪声等效温差。即目标温差与信噪比之比，符号为 $NETD$，单位为绝对温度(K)。由式(8)表示：

$$NETD = \frac{T - T_0}{(V_S/\overline{V}_N)} \quad \cdots\cdots(8)$$

式中：T——面源黑体温度，K；

T_0——背景温度，K；

V_S——对应面源黑体与背景温差的焦平面信号电压，V。

2.15 探测率(detectivity)

2.15.1 像元探测率(pixel detectivity)

当1瓦辐照，投射到面积为1平方厘米的像元上，在1赫兹带宽内获得的信噪比。即像元响应率 $R(i,j)$ 与像元噪声电压 $V_N(i,j)$ 之比，并折算到单位带宽与单位像元面积之积的平方根值，符号为 $D^*(i,j)$，单位为厘米·赫$^{1/2}$·瓦$^{-1}$(cm·Hz$^{1/2}$·W^{-1})。由式(9)表示：

$$D^*(i,j) = \sqrt{\frac{A_D}{2 \cdot t_{int}}} \cdot \frac{R(i,j)}{V_N(i,j)} \quad \cdots\cdots(9)$$

式中：A_D——像元面积，cm^2；

t_{int}——积分时间，s。

2.15.2 平均探测率(average detectivity)

焦平面各有效像元探测率的平均值，符号为$\overline{D^*}$，单位为厘米·赫$^{1/2}$·瓦$^{-1}$(cm·Hz$^{1/2}$·W^{-1})。由式(10)表示：

$$\overline{D^*} = \frac{1}{M \cdot N - (d+h)} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} D^*(i,j) \quad \cdots\cdots(10)$$

求和中不包括无效像元，见2.10。

2.16 动态范围(dynamic range)

饱和辐照功率 P_{sat} 与噪声等效辐照功率 NEP 之比，符号为 DR。由式(11)表示：

$$DR = \frac{P_{sat}}{NEP} \quad \cdots\cdots(11)$$

2.17 相对光谱响应(relative spectral response)

焦平面在不同波长 λ，相同辐照能的单色光照射下的光谱响应 $S(\lambda)$ 与其最大值 S_m 之比值，符号为 $S_r(\lambda)$。由式(12)表示：

$$S_r(\lambda) = \frac{S(\lambda)}{S_m} \quad \cdots\cdots(12)$$

2.18 光谱响应范围(spectral response range)

相对光谱响应为0.5时，所对应的入射辐照最短波长与最长波长之间的波长范围。

2.19 串音(cross-talk)

由于像元对相邻像元的串扰，使相邻像元引起的信号 V_{NB} 与本像元信号 V_{LC} 之百分比，为该像元对相邻像元的串音，符号为 CT，单位为%。由式(13)表示：

$$CT = \frac{V_{NB}}{V_{LC}} \cdot 100\% \quad \cdots\cdots(13)$$

还有一些特性参数和相关量，见附录C。

3 测试方法及测试条件

3.1 响应率、响应率不均匀性、噪声、探测率和有效像元率等(简称响应率等)参数测试

3.1.1 原理概要

响应率等参数的测试,可归结为两种辐照条件下的响应电压测试。即背景辐照条件下的响应电压测试,及背景加黑体辐照条件下的响应电压测试,简称背景响应电压测试及黑体响应电压测试。这两种辐照都必须是恒定均匀的。在测得背景响应电压和黑体响应电压后,响应率等各特性参数可根据定义计算得到。

3.1.2 测试方法

3.1.2.1 测试系统

测试系统如图 1 所示,包括黑体源、杜瓦瓶、电子电路及计算机四大部分。

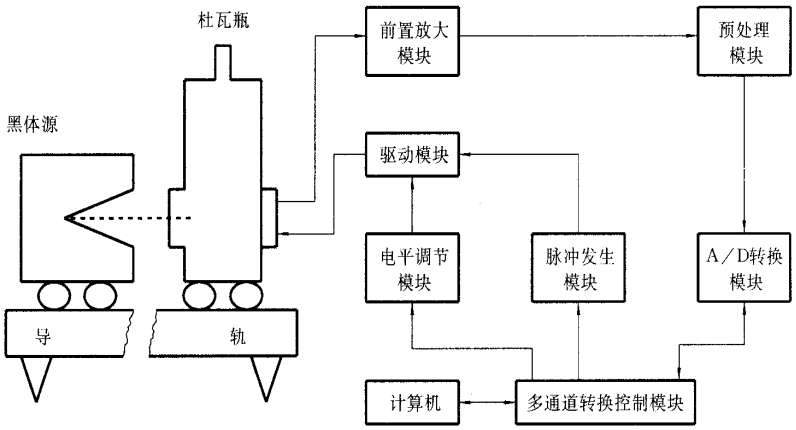


图 1 焦平面参数测试系统

3.1.2.2 测试条件

a) 黑体源温度范围:室温~1 000 K;输出不加调制。

b) 黑体辐射孔到焦平面的距离应大于辐射孔径的 20 倍,以保证点光源辐照。

c) 黑体辐射入射方向与焦平面光敏面的法线夹角小于 5°。

d) 焦平面的输出信号电压经放大和预处理后,不得超过 A/D 转换器的动态范围。

3.1.2.3 响应电压测试

利用图 1 所示的测试系统,分别在背景条件(用环境温度的挡板,挡住黑体源的出射孔)及黑体加背景条件(挡板去掉)下,连续采集 F 帧数据(一般取 $F\geqslant 100$),(若被测器件为线列焦平面,则连续采集 F 行数据),得到如图 2 所示的 2 组 F 帧两维数组。在背景条件下,测得的 F 帧两维数组为 $V_{DS}[(i,j),$背景$,f]$;在黑体加背景条件下,测得的 F 帧两维数组为 $V_{DS}[(i,j),$背景+黑体$,f]$。

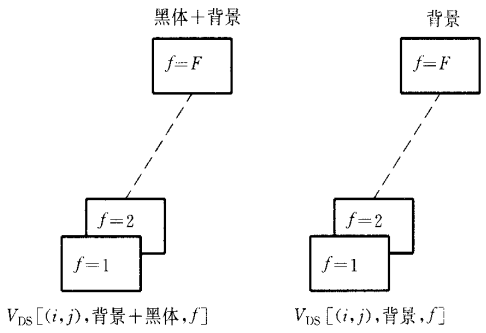


图 2 响应电压测试

3.1.3 响应率等参数计算

在测得如图 2 所示 2 组 F 帧两维数组后，响应率等参数，可按定义计算得到。

3.1.3.1 像元黑体响应电压计算：

a) 像元(黑体+背景)响应电压：

$$\overline{V}_{DS}[(i,j),\text{黑体}+\text{背景}]=\frac{1}{F}\sum_{f=1}^{F}V_{DS}[(i,j),\text{黑体}+\text{背景},f] \qquad \cdots\cdots(14)$$

式中：$\overline{V}_{DS}[(i,j),\text{黑体}+\text{背景}]$——在黑体+背景辐照条件下，第 i 行第 j 列像元输出信号电压，F 次测量的平均值，V；

$V_{DS}[(i,j),\text{黑体}+\text{背景},f]$——在黑体+背景辐照条件下，第 i 行第 j 列像元输出信号电压第 f 次的测量值，V；

F——采样总帧数(或行数)，(不小于 100)。

b) 像元(背景)响应电压

$$\overline{V}_{DS}[(i,j),\text{背景}]=\frac{1}{F}\sum_{f=1}^{F}V_{DS}[(i,j),\text{背景},f] \qquad \cdots\cdots(15)$$

式中：$\overline{V}_{DS}[(i,j),\text{背景}]$——在背景辐照条件下，第 i 行第 j 列像元输出信号电压，F 次测量的平均值，V；

$V_{DS}[(i,j),\text{背景},f]$——在背景辐照条件下，第 i 行第 j 列像元输出信号电压第 f 次的测量值，V。

c) 像元黑体响应电压

$$V_S(i,j)=\frac{1}{K}\{\overline{V}_{DS}[(i,j),\text{黑体}+\text{背景}]-\overline{V}_{DS}[(i,j),\text{背景}]\} \qquad \cdots\cdots(16)$$

式中：K——系统增益。

上述式(14)、(15)和(16)的运算，可用图 3 表示：

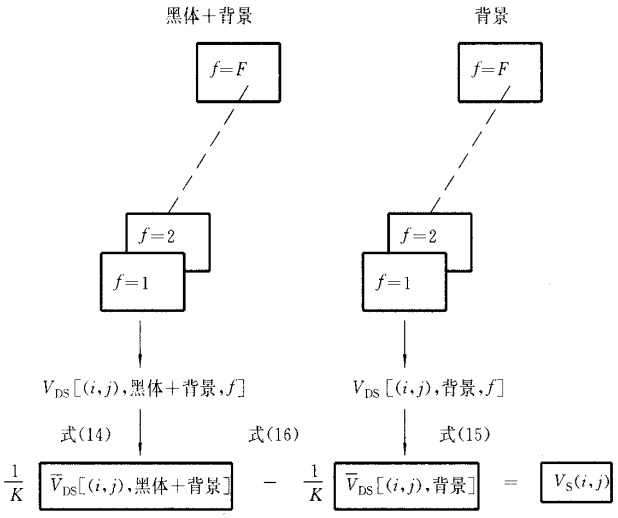


图 3 像元黑体响应电压计算

3.1.3.2 像元响应率计算

像元响应率按式(2)计算：

$$R(i,j)=\frac{V_S(i,j)}{P} \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：$V_S(i,j)$——由式(16)求得；

P——由式(17)求得：

$$P=\frac{\sigma\times(T^4-T_0^4)\times d^2\times A_D}{4\times L^2} \qquad \cdots\cdots(17)$$

式中：σ——斯忒潘常数 5.673×10^{-12}，$W\cdot cm^{-2}\cdot K^{-4}$；

T——黑体温度,K;

T_0——背景温度,K;

d——黑体辐射孔径,cm;

A_D——焦平面像元面积,cm^2;

L——黑体出射孔至焦平面像元面垂直距离,cm。

3.1.3.3 像元噪声电压计算

根据定义 2.12.1,将图 2 中背景条件下采集的 F 帧两维数组 $V_{DS}[(i,j),背景,f]$,及由式(15)求得的两维数组 $\overline{V}_{DS}[(i,j),背景]$代入式(18),求得像元噪声电压 $V_N(i,j)$:

$$V_N(i,j)=\frac{1}{K}\sqrt{\frac{1}{F-1}\sum_{f=1}^{F}\{\overline{V}_{DS}[(i,j),背景]-V_{DS}[(i,j),背景,f]\}^2} \quad \cdots\cdots(18)$$

式(18)的运算,由图 4 表示:

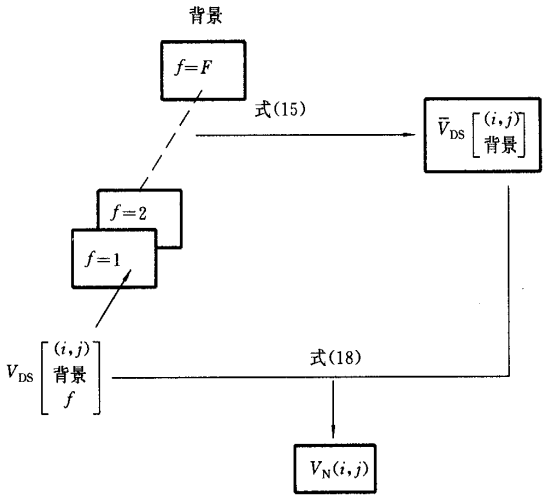


图 4 像元噪声电压运算

3.1.3.4 像元探测率计算

像元探测率按式(9)计算:

$$D^*(i,j)=\sqrt{\frac{A_D}{2t_{int}}}\cdot\frac{R(i,j)}{V_N(i,j)} \quad \cdots\cdots(9)$$

3.1.3.5 有效像元率计算

根据定义 2.11.2,有效像元率 N_{ef}的计算涉及四个参数:死像元 d、过热像元 h、平均响应率 $\overline{R}$ 和平均噪声电压 $\overline{V}_N$。这四个参数,前两个分别与后两个相互牵制,即要想求出前两个,必须先知道后两个;反之,要想求出后两个,又必须先知道前两个,因此,只能采取近似算法。作为一级近似,引入响应率和噪声电压的中间平均值$\overline{R}'$和$\overline{V}'_N$,按下列步骤求出死像元和过热像元。若需高级近似,推荐一种算法见附录 D。

a) 死像元

按下式,所有像元参加运算,求得中间平均响应率:

$$\overline{R}'=\frac{1}{M\cdot N}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}R(i,j) \quad \cdots\cdots(19)$$

根据死像元定义 2.10.1,符合下列不等式的像元为死像元,记为 d。

$$R(i,j)-\frac{1}{10}\overline{R}'<0 \quad \cdots\cdots(20)$$

b) 过热像元

按下式，扣除死像元 d 后，余下的像元参加运算，求得中间平均噪声电压：

$$\overline{V'}_N = \frac{1}{M \cdot N - d}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}V_N(i,j) \quad \cdots\cdots(21)$$

根据过热像元定义 2.10.2，符合下列不等式的像元为过热像元，记为 h。

$$V_N(i,j) - 10\overline{V'}_N > 0 \quad \cdots\cdots(22)$$

c) 有效像元率

由式(20)和式(22)求得的死像元 d 和过热像元 h，代入式(5)，可求得有效像元率 N_{ef}。

3.1.3.6 平均黑体响应电压计算

$$\overline{V}_S = \frac{1}{M \cdot N - (d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}V_S(i,j) \quad \cdots\cdots(23)$$

求和中不包括无效像元，见 2.10。

3.1.3.7 平均响应率计算

平均响应率按式(3)计算：

$$\overline{R} = \frac{1}{M \cdot N - (d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}R(i,j) \quad \cdots\cdots(3)$$

求和中不包括无效像元，参见 2.10。

3.1.3.8 平均噪声电压计算

平均噪声电压按式(6)计算：

$$\overline{V}_N = \frac{1}{M \cdot N - (d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}V_N(i,j) \quad \cdots\cdots(6)$$

求和中不包括无效像元，见 2.10。

3.1.3.9 平均探测率计算

平均探测率按式(10)计算：

$$\overline{D^*} = \frac{1}{M \cdot N - (d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}D^*(i,j) \quad \cdots\cdots(10)$$

求和中不包括无效像元，见 2.10。

3.1.3.10 响应率不均匀性计算

响应率不均匀性，按式(4)计算：

$$U_R = \frac{1}{\overline{R}} \cdot \sqrt{\frac{1}{M \cdot N - (d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[R(i,j) - \overline{R}]^2} \cdot 100\% \quad \cdots\cdots(4)$$

求和中不包括无效像元，见 2.10。

3.2 噪声等效温差测试

3.2.1 测试装置

如图 5 所示，条状孔板作为目标，经透镜聚焦，其像成在焦平面的像元上。条状孔板的孔内温度为面源黑体温度 T，条状孔板的温度为 T_0，故目标温差为 $T-T_0$。焦平面信号由图 1 测试系统处理。

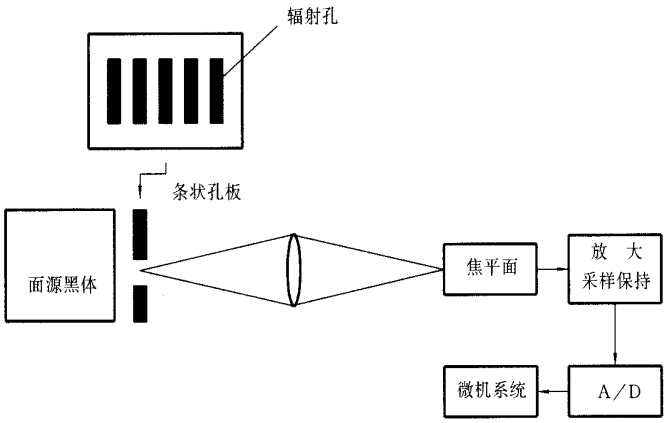


图 5 噪声等效温差测试装置

3.2.2 必要条件

a) 条状孔板及面源黑体应分别进行温控。

b) 聚集在焦平面上的条状孔和条状板的像的宽度，不得小于焦平面 4 个像元的宽度。

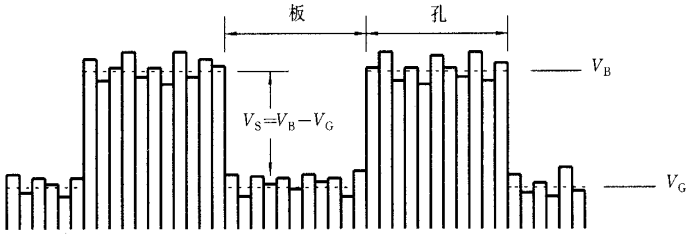
3.2.3 测试方法

条状孔板的像聚焦在焦平面上时，得到的焦平面某一行的输出信号，如图 6 所示。噪声等效温差按式(8)计算：

$$NETD = \frac{T - T_0}{(V_S/\overline{V}_N)} \qquad \cdots\cdots(8)$$

式中：$V_S = V_B - V_G$

$\overline{V}_N$——按 3.1.3.3 和 3.1.3.8 求得。



V_B 为对应条状“孔”的各像元信号的平均值，即对应温度 T 的面源黑体的平均信号；

V_G 为对应条状“板”的各像元信号的平均值，即对应温度 T_0 板的平均信号

图 6 焦平面某一行输出信号

3.3 动态范围测试

根据定义 2.16，只要分别测得饱和辐照功率 P_{sat} 和噪声等效辐照功率 NEP，动态范围可由式(11)求得。

3.3.1 饱和辐照功率测试

利用图 1 所示的测试系统，通过改变黑体与焦平面的距离，或改变黑体出射孔径，来改变黑体投射在焦平面像元上的辐照功率 P；按 3.1.2.3 响应电压测试方法和 3.1.3.6 平均黑体响应电压计算公式，测出各 P 值条件下的平均黑体响应电压 $\overline{V}_S$，得到如图 7 所示的关系曲线。

按最小二乘法，分别在曲线的线性区和饱和区拟合出两条直线，两直线的交点 A 对应的横坐标 P_{sat} 为饱和辐照功率的测量值。

3.3.2 噪声等效辐照功率计算

以式(6)及式(3)中求得的 $\overline{V}_N$ 及 $\overline{R}$，代入式(7)，求得噪声等效辐照功率：

$$NEP = \frac{\overline{V}_N}{\overline{R}} \quad \cdots\cdots(7)$$

3.3.3 动态范围计算

由图 7 曲线求得的 P_{sat} 和式(7)求得的 NEP，代入式(11)求得动态范围：

$$DR = \frac{P_{sat}}{NEP} \quad \cdots\cdots(11)$$

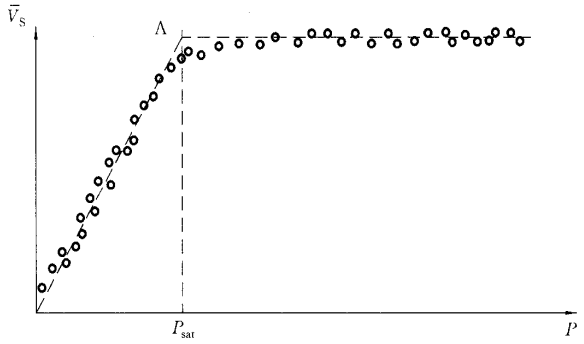


图 7 平均黑体响应电压与辐照功率关系曲线

3.4 相对光谱响应测试

3.4.1 测试装置

如图 8 所示，整个测试装置由辐射源、单色仪、分束光路、参考探测器、信号处理电路及微机系统组成。

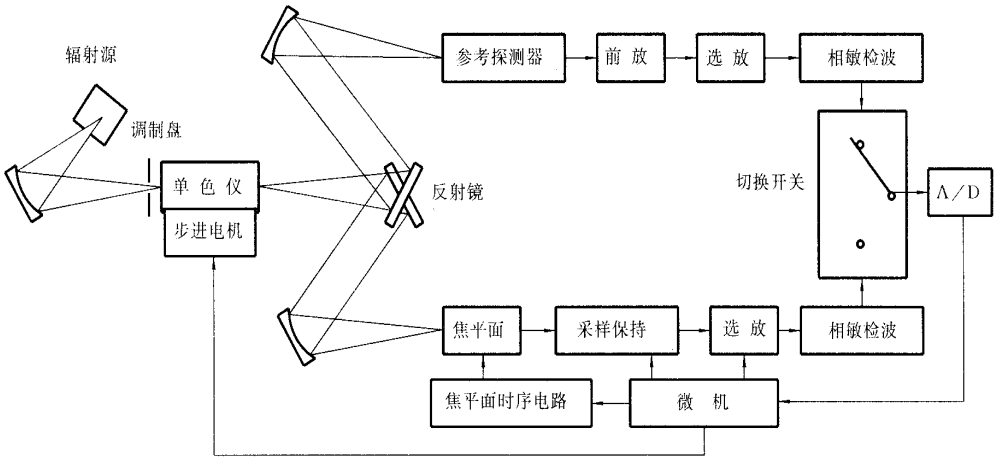


图 8 相对光谱响应测试

a) 辐射源

一般采用硅碳棒。

b) 单色仪

单色仪的波长鼓，由微机通过步进电机控制，以实现波长的逐点扫描。

c) 分束光路

由单色仪输出的单色光，经反射镜分成两束，一束输入参考探测器，一束输入被测焦平面。

d) 参考探测器

一般选用热释电器件，它的相对光谱响应 $S_{0r}(\lambda)$ 是已知的。

e) 信号处理电路

焦平面的信号必须先经过采样保持，而且，采样保持电路只对焦平面接受到单色仪出射的单色光的

像元中的某一个或某几个进行采样。经过采样保持后的信号，才进行与参考探测器信号一样的处理，即选放及相敏检波。

f) 微机系统

步进电机的步进脉冲、采样保持电路的采样脉冲、切换开关的控制脉冲及A/D转换脉冲均由微机系统统一协调产生；整个数据的采集处理和输出也由微机完成。

3.4.2 必要条件

辐射源调制频率必须低于十分之一的采样保持电路的采样重复频率。

3.4.3 测试方法

当单色仪的波长鼓在微机控制下，进行全波段扫描时，数据采集系统同时测得各波长点下参考探测器的信号电压$V_0(\lambda)$，和被测焦平面的输出信号电压$V(\lambda)$。被测焦平面的相对光谱响应$S_r(\lambda)$，根据定义2.17按式(24)求出：

$$S_r(\lambda)=S(\lambda)/S_m=\frac{1}{S_m}\left[\frac{V(\lambda)}{V_0(\lambda)}S_{0r}(\lambda)\right] \quad \cdots\cdots(24)$$

式中：S_m——焦平面峰值波长处的相对响应值，即规一化基数；

$S_{0r}(\lambda)$——参考探测器的相对光谱响应(已知)。

以波长为横坐标，相对光谱响应$S_r(\lambda)$为纵坐标，绘制出相对光谱响应曲线，从曲线上查出光谱响应范围。

3.5 串音测试

3.5.1 测试装置

如图9所示，串音测试装置由红外小光点光路、低温杜瓦瓶、微动台及电子电气等四部分组成。

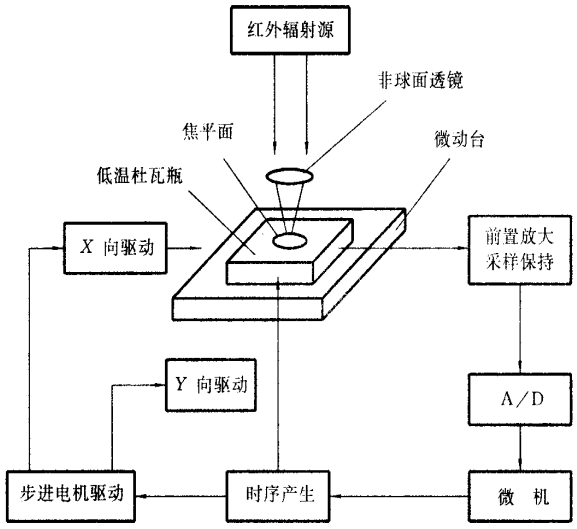


图9 串音测试装置

3.5.2 必要条件

a) 红外小光点直径必须小于焦平面像元尺寸，保证小光点只照到一个像元。

b) 微动台定位误差，需小于焦平面像元尺寸的十分之一。

3.5.3 测试方法

如图10所示，当红外小光点入射在第i行第j列像元中心时，测定该像元的信号$V_{LC}(i,j)$；同时，测得该像元相邻上下左右四个像元的信号$V_{NB}(i\pm1,j)$与$V_{NB}(i,j\pm1)$。

根据定义2.19，该像元对相邻各像元的串音，按式(25)和式(26)求出：

$$CT(i\pm1,j)=\frac{V_{NB}(i\pm1,j)}{V_{LC}(i,j)}\cdot100\% \quad \cdots\cdots(25)$$

$$CT(i,j\pm1)=\frac{V_{NB}(i,j\pm1)}{V_{LC}(i,j)}\cdot100\% \quad \cdots\cdots(26)$$

该像元对相邻像元的平均串音按式(27)求出：

$$CT(i,j)=\frac{1}{4}[CT(i+1,j)+CT(i-1,j)+CT(i,j+1)+CT(i,j-1)] \quad \cdots(27)$$

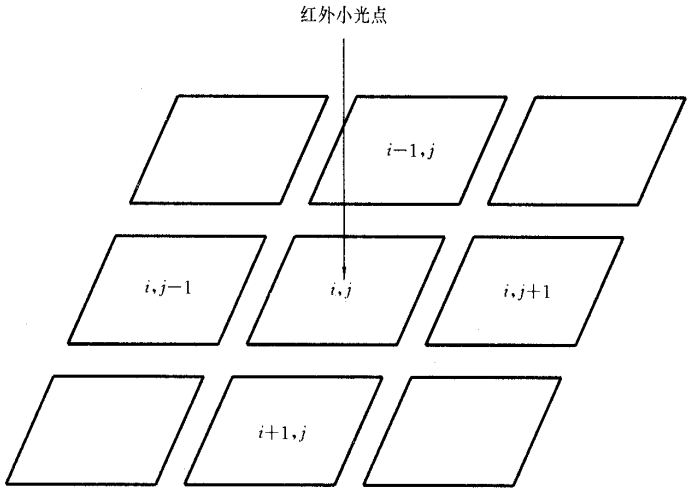


图 10　串音测试示意图

附 录 A
（标准的附录）
响应率的其他表示

A1 像元能量响应率(pixel energy responsivity)

在动态范围内，像元每单位辐照能所产生的输出信号电压，符号为 $R_H(i,j)$，单位为伏特每焦耳(V/J)。由式(A1)表示：

$$R_H(i,j)=\frac{V_S(i,j)}{E}=\frac{V_S(i,j)}{P\cdot t_{int}} \quad \cdots\cdots(A1)$$

式中：$V_S(i,j)$——第 i 行第 j 列像元对应于辐照能量 E 的响应电压，V；

E——第 i 行第 j 列像元所受的辐照能，J；

t_{int}——积分时间，s。

A2 像元电流响应率(pixel current responsivity)

焦平面在一定帧周期或行周期条件下，在动态范围内，像元每单位辐照功率所产生的信号电流，符号为 $R_i(i,j)$，单位为安培每瓦(A/W)。由式(A2)表示：

$$R_i(i,j)=\frac{i_S(i,j)}{P} \quad \cdots\cdots(A2)$$

式中：$i_S(i,j)$——第 i 行第 j 列像元对应于辐照功率 P 的响应电流，A。

A3 像元电荷响应率(pixel charge responsivity)

焦平面在一定帧周期或行周期条件下，在动态范围内，像元每单位辐照功率所产生的信号电荷，符号为 $R_Q(i,j)$，单位为库仑每瓦(C/W)。由式(A3)表示：

$$R_Q(i,j)=\frac{Q_S(i,j)}{P} \quad \cdots\cdots(A3)$$

式中：$Q_S(i,j)$——第 i 行第 j 列像元对应于辐照功率 P 的响应电荷，C。

附 录 B
（标准的附录）
空 间 噪 声

由于焦平面像元响应的不均匀分布，在信号顺序读出时，转换为随时间的涨落，表现为噪声，这种噪声称为空间噪声。引入空间噪声后，由 2.12 定义的噪声为时间的随机噪声称时间噪声。焦平面的总噪声由时间噪声和空间噪声两部分构成。

B1 空间噪声电压(spatial noise voltage)

响应率不均匀性 U_R 与平均黑体响应电压 $\overline{V}_S$ 的乘积，符号为 V_{SP}，单位为伏特(V)。由式(B1)表示：

$$V_{SP}=U_R\cdot\overline{V}_S \quad \cdots\cdots(B1)$$

B2 焦平面总噪声电压(focal plane total noise voltage)

平均噪声电压 $\overline{V}_N$ 与空间噪声电压 V_{SP} 的均方根和，符号为 V_{TOT}，单位为伏特(V)。由式(B2)表示：

$$V_{TOT}=\sqrt{\overline{V}_N^2+V_{SP}^2} \quad \cdots\cdots(B2)$$

B3 两维探测率(two-dimensional detectivity)

计入空间噪声的探测率为两维探测率。

平均响应率 $\overline{R}$ 与总噪声电压 V_{TOT} 之比，并折算到单位带宽与单位像元面积之积的平方根值，符号 2-D*，单位为厘米·赫$^{1/2}$·瓦$^{-1}$(cm·Hz$^{1/2}$·W^{-1})。由式(B3)表示：

$$2\text{-}D^{*}=\sqrt{\frac{A_D}{2t_{int}}}\cdot\frac{\overline{R}}{V_{TOT}} \quad \cdots\cdots(B3)$$

附 录 C
（标准的附录）
备用特性参数及相关量

C1 视场角(field of view)

以焦平面像元区的中心为中心，像元面法线方向为轴，受圆筒形冷屏限制，所张的立体角，符号为 FOV，单位为度(°)。(对于线列器件，冷屏为椭圆形截面，需分别标出长轴与短轴的视场角。)

C2 占空因子(fill factor)

像元光敏面积 A_D 除以相邻像元的横向中心距 D_X 与纵向中心距 D_Y 之乘积，符号为 FF。由式(C1)表示：

$$FF=\frac{A_D}{D_X\cdot D_Y} \quad \cdots\cdots(C1)$$

C3 量子效率(quantum efficiency)

在动态范围内，像元积累的信号电荷数与入射光子数的百分比，符号为 η，单位为%。

C4 固定图形噪声(fixed pattern noise)

在均匀背景条件下，各有效像元信号电压 $\overline{V}_{DS}[(i,j),背景]$ 均方根偏差与平均背景响应信号电压 $\overline{V}_{DS}(背景)$ 之百分比。符号 U_{dR}，单位为%。由式(C2)表示：

$$V_{dR}=\frac{1}{\overline{V}_{DS}(背景)}\sqrt{\frac{1}{M\cdot N-(d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[\overline{V}_{DS}[(i,j),背景]-\overline{V}_{DS}(背景)]^2}\cdot 100\% \quad \cdots\cdots(C2)$$

式中：$\overline{V}_{DS}(背景)=\dfrac{1}{M\cdot N-(d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[\overline{V}_{DS}[(i,j),背景]$ ……(C3)

$\overline{V}_{DS}[(i,j),背景]$——由式(15)求得。

求和中不包括无效像元，见 3.10。

C5 调制传递函数(modulation transfer function)

在奈奎斯特频率范围内，各正弦空间频率 ν 的调制辐照作用下，焦平面输出信号调制度 $M_o(\nu)$ 与辐照信号调制度 $M_i(\nu)$ 之比值，符号为 MTF。由式(C4)表示：

$$MTF=\frac{M_o(\nu)}{M_i(\nu)} \quad \cdots\cdots(C4)$$

C6 非线性度(non-linearity)

C6.1 像元非线性度

在动态范围内，像元响应率 $R(i,j)$ 变化的百分数，符号为 $NL(i,j)$，单位为%。由式(C5)表示：

$$NL(i,j)=\frac{\Delta R(i,j)}{R(i,j)}\cdot 100\% \quad \cdots\cdots(C5)$$

式中：$\Delta R(i,j)$——第 i 行第 j 列像元在动态范围内响应率的最大变化量(V/W)；

$R(i,j)$——第 i 行第 j 列像元在线性响应区的响应率值(V/W)。

C6.2 平均非线性度

各有效像元非线性度的平均值，符号为 NL，单位为%，由式(C6)表示

$$NL=\frac{1}{M\cdot N-(d+h)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}NL(i,j) \quad \cdots\cdots(C6)$$

求和中不包括无效像元，见 2.10。

附 录 D

（提示的附录）

死像元、过热像元及平均响应率 $\bar{R}$、平均噪声电压 $\bar{V}_N$ 的计算方法

