375—378

第15卷第5期 红外与毫米波学报 Vol. 15, No. 5
1996年10月 J. Infrared Millim. Waves October, 1996

红外光学系统杂光 *PST* 的研究与测试*

TN211
TN216

廖 胜 沈忙作
(中国科学院光电技术研究所,四川,成都,610209)

摘要 介绍了表征光学系统抑制水平的定量指标——点源透过率 *PST*. 提出了红外光学系统杂光指标 *PST* 的一种测试方法,并在 10.6μm 波长处,测试了口径为 180mm 的全反射 Ritchey-Chretien 红外系统在不同入射角时的点源透过率 $PST(\theta)$.

关键词 红外光学系统,杂散光,点源透过率.

引言

视场外明亮物体(如太阳)的强烈辐射经红外光学系统后以杂散光形式在探测器上产生背景噪声辐射,影响红外光学系统的探测能力. 因此须研究红外光学系统杂散光的抑制问题.

点源透过率 *PST*(Point Source Transmittance)[1]是一个科学的、可检测的光学系统杂光指标. 它已被广泛用于设计和评价高灵敏的红外探测系统[2][3],并取得了良好的结果.

1 点源透过率 *PST*

过去,常采用单位时间内到达红外光学系统探测器上的杂光总能量,或到达探测器的杂光光子数来表征光学系统对杂光抑制的要求. 但这些指标不单是光学系统对杂光的抑制,还包含了杂光源本身的辐射强度.

随着空间光学的发展,高灵敏度、低探测阈值的红外光学系统越来越多,它们对杂光抑制要求也极为严格. 于是提出了一个科学的、可检测的、表示光学系统本身对杂光抑制水平的指标,即点源透过度 *PST*.

PST 的定义是:光学系统视场外视场角为 θ 的点源目标的辐射,经光学系统后在像面产生的辐照度 $E_d(\theta)$ 与其在光学系统入瞳处辐照度 E_i 的比值. 其数学表达式为:

$$PST(\theta) = \frac{E_d(\theta)}{E_i}. \tag{1}$$

点源透过率 *PST* 体现了光学系统本身衰减杂光的能力,而与杂光源的辐射强度无关. 显然,*PST* 小,则表示系统杂光抑制能力强,系统性能好. 如果规定了系统的 *PST* 值,当点源在入瞳上杂光辐照度已知时,通过式(1)便能方便地计算出探测器上的杂光辐照度,提供出系统杂光噪声水平的数据. 另一方面,若对系统像面的杂光辐照度有一定的要求时,在已知杂光入瞳辐照度的条件下,我们就可以对系统的杂光指标 *PST* 提出要求. 对于实际扩展

* 国家高技术研究计划资助项目
本文 1995 年 9 月 7 日收到,修改稿 1996 年 3 月 8 日收到

的杂光源，则可以通过 PST 的积分，求扩展光源在系统像面上造成的杂光辐照度，获得系统杂光噪声的水平. 故点源透过率 PST 不失为一个设计和评价红外光学系统的重要指标.

从式(1)可知，一个红外光学系统的 PST 是一个可以实测的值，测量入射的点源辐照度 E_i 和像面上的出射辐照度 $E_d(\theta)$ 后，点源透过率 PST 便能用式(1)计算出来.

在实际测量 PST 时，往往存在一定的难度. 这主要是因为 PST 的值一般很小，在 10^{-5}～10^{-11}的量级范围. 因此要求有相当强的模拟杂光入射光源，以及探测率非常高的红外探测器，并严格消除探测器噪声.

2 PST 的测试

我们在实验室里建立了一套红外光学系统杂光指标 PST 的测试装置(见图 1). 为了产生足够强的杂光入射强度 E_i，采用功率为 10W，波长 $\lambda=10.6\mu m$ 的 CO_2 连续波激光. 斩光盘将激光束调制成 1000Hz 的方波. 发散反射镜使激光束发散，在足够远的被测系统入瞳处形成近似平行入射的杂光辐射. 发散反射镜高速旋转，以避免高能量 CO_2 激光束长时间照射发散镜固定点而损伤镜面. 为保证测量精度，消除激光束边缘能量分布疵病的影响，入射光束直径应比红外光学系统入瞳直径大 $2/3$[4].

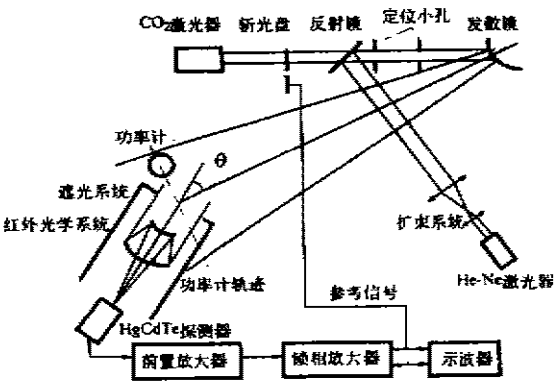


图 1 红外光学系统 PST 的测试装置
Fig. 1 PST measurement setup for infrared optical system

He-Ne 激光经扩束后，形成与 CO_2 激光相同直径的光束、它经过可切换的反射镜和两个定位小孔，产生形状和方向与 CO_2 激光一致的可见光光束，便于系统调整.

光学系统入瞳边上的激光功率计在读取像面杂光辐照度的同时，测量入射杂散光辐照度. 因为激光光斑辐照度分布不均匀，功率计的读数要经过换算，才能代表入射到光学系统入瞳上的平均辐照度 E_i.

被测红外光学系统装在一个旋转平台上. 旋转光学系统，可测量不同视场角 θ 时的光学系统 $PST(\theta)$.

用液氮致冷的 8～14μm 波段高探测率 HgCdTe 探测器探测光学系统像面上的出射杂散光. 探测器与匹配的前置放大器连接，输出电压信号.

红外探测器上周围环境的背景热辐射功率 P_n 为

$$P_n = \xi \cdot E(\lambda_1,\lambda_2,T) \cdot \sin^2\varphi \cdot A_d, \tag{2}$$

式(2)中 ξ 是灰体发射率，取典型值 $\xi=0.8$；$E(\lambda_1,\lambda_2,T)$ 是环境温度 $T=300K$，波段为 8-14μm 的黑体出射度；探测器冷屏角 $\varphi=30°$；HgCdTe 探测器灵敏元面积 $A_d=2.5\times10^{-5}$ cm^2. 这时，探测器接收到的背景热辐射功率 $P_n=8.6\times10^{-6}W$，比估算的被测红外系统像面

杂光辐射功率 $P_d \approx 6\times10^{-10}$W 大 4 个数量级. 信号(系统杂光)完全湮没在背景辐射中.

为了在强背景辐射中提取出非常微弱的信号，我们采用锁相放大器的调制检测法[5]，利用经过斩波调制后的信号周期性和噪声随机的特点，通过锁相放大器的相关运算，抑制噪声，提取出被测 R-C 红外系统杂光辐照度 $E_d(\theta)$.

在图 1 测试装置中，HgCdTe 探测器的输入噪声等效带宽 $\Delta f_{N_i}=1000$Hz；经过锁相放大器相关运算后的输出噪声等效带宽 Δf_{N_o}仅为 $10^{-1}\sim10^{-2}$Hz. 其信噪改善比 $SNIC$ 为：

$$SNIC=\sqrt{\frac{\Delta f_{N_i}}{\Delta f_{N_o}}}=1\times10^{2}-3.2\times10^{2}. \tag{3}$$

地压缩了检测的噪声等效带宽，使得在强背景中检测极微弱的杂光信号成为可能.

从激光功率计读数 P_i 换算成入射杂光辐照度 E_i：

$$E_i=\frac{P_i}{\pi\times r^2}. \tag{4}$$

式(4)中，r 为激光功率计灵敏元半径，$r=1$cm；P_i 为激光功率计读数.

系统像面处杂光辐照度 E_d 按下式计算：

$$E_d=\frac{\sqrt{2}\cdot V_i}{K_p\cdot R_p\cdot A_d}, \tag{5}$$

式(5)中，V_i 为锁相放大器方均根电压输出；K_p 为前置放大器增益，$K_p=830$；R_p 为 HgCdTe 探测器响应率，$R_p=2.5\times10^{4}$V/W；A_d 为 HgCdTe 探测器灵敏元面积，$A_d=2.5\times10^{-5}$cm^2.

红外光学系统的点源透过率 PST 为：

$$PST=\frac{\sqrt{2}\cdot\pi r^2\cdot V_i}{K_p\cdot R_p\cdot A_d\cdot P_i}. \tag{6}$$

3　测试结果与分析

图 2 表示实验测量得到的被测红外系统入瞳上的模拟杂光 CO_2 激光的辐照度分布. 由图 2 可见，激光光束辐照度近似呈高斯分布. 在红外系统使用的入瞳直径为 $D=180$mm 时，平均辐照度为 $\overline{E}_i=3.3\times10^{-3}$W/cm^2. 而处在入瞳外放置激光功率计处参考点辐照度仅为 $E_r=8.05\times10^{-4}$W/cm^2. 因此，用偏置的激光功率计算红外系统入瞳平均辐照度时，需要乘以一个 $\overline{E}_i/E_r=4.10$ 修正因子.

图 3 是红外光学系统测得不同杂光入射角度 θ 的 $PST(\theta)$值. 由图 3 可见，当入射角小于 30°时，$PST(\theta)$随 θ 角的减小急剧增大. 其原因是，当 $\theta\geqslant30°$时，视场外杂光照射在光学系统主遮光筒上，经过主遮光筒与主镜的二次散射，在系统像面上形成的杂光辐照度比较小. 而在 $\theta<30°$的条件下，视场外杂光的一部分开始照射到主镜，主镜对杂光产生强烈的一次散射. 随着 θ 角的进一步减小，二次散射减小，一次散射增加，而且一次散射的比例越来越大，致使系统 $PST(\theta)$迅速上升. 这一测试结果与该红外光学系统的遮光筒设计要求是吻合的. 遮光筒的设计指标之一就是有效遮光的临界视场角 $\theta=30°$. 在不同入射度 θ 时实测的 $PST(\theta)$值的变化也和国外同类系统的报道结果相似[2].

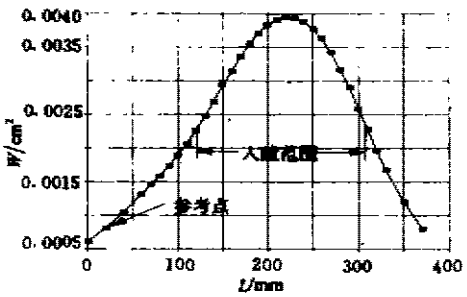


图2 模拟杂光源在系统入瞳处辐照度分布

Fig. 2 Irradiance distribution of simulated stray light at entrance pupil

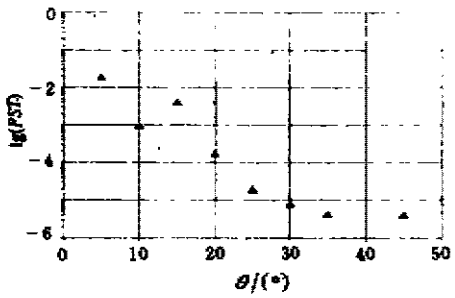


图3 不同入射角度 θ 时系统的 $PST(\theta)$ 值

Fig. 3 $PST(\theta)$ at various incident angles θ

4 结语

点源透过率 PST 是红外光学系统杂光分析和抑制的一个重要概念，它体现了光学系统抑制杂光的水平。本文给出了一个测试红外光学系统杂光 PST 的方法，并在 10.6μm 波长，实测了一大口径红外系统在不同入射角的 $PST(\theta)$。实测结果表明该测试方法有效可行，在红外光学和空间光学等领域具有参考意义。

参考文献

1 Wolfe W L. *SPIE*1980,**257**:2
2 Edward R F, *et al*. *SPIE*,1990,**1331**:107
3 Robert P B. *SPIE*,1977,**107**:2
4 Andraw A M, *et al*. *SPIE*,1992,**1765**:41
5 曾庆勇. **微弱信号检测**,杭州:浙江大学出版社,1986:**83**

POINT SOURCE TRANSMITTANCE OF STRAY LIGHT OF INFRARED OPTICAL SYSTEMS AND ITS MEASUREMENTS*

Liao Sheng Shen Mangzuo

(*Institute of Optics & Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan* 610209, *China*)

Abstract A quantitative specification of stray light suppression—Point Source Transmittance (PST) for infrared optical systems was introduced. A testing method for PST was presented. Using the method described in this paper, $PST(\theta)$ of an all-reflective Ritchey-Chretien infrared system with the entrance pupil diameter of 180mm for various incident angels of off-axis stray light source was obtained at the wavelength $\lambda=10.6\mu m$.

Key words infrared optical system, stray light, Point Source Transmittance (PST).

* The project supported by the National High-Tech Research Plan