

红外光学镜头光学传递函数的实验室评价

金 辉 张晓辉

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所检测室, 吉林 长春 130033)

摘要 调制传递函数(MTF)是评价红外光学镜头性能的最基本的技术指标之一。对刃边扫描法测量红外光学镜头的 MTF 进行了研究,并对 $f=50\text{ mm}$, $F=1.2$ 波长范围为 $8\sim 12\ \mu\text{m}$ 的红外光学镜头的 MTF 进行了测量。得到了在几个特征频率下的 MTF 值,并给出了 MTF 的曲线图。

关键词 红外光学镜头; 调制传递函数; 刃边扫描法

中图分类号 TN215 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200929s1.0412

Lab Measuring Method of the Modulation Transfer Function of the Infrared Optical Lens

Jin Hui Zhang Xiaohui

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract The modulation transfer function (MTF) is one of the fundamental parameters to evaluate the infrared optical lens. In this paper, the knife-edge scanning method is put forward to evaluate the MTF of infrared optical lens. Then measure the MTF of a infrared lens with $f=50\text{ mm}$, $F=1.2$ and wavelength= $8\sim 12\ \mu\text{m}$. And MTF is got at several characteristic frequencies. At last the curve of MTF is presented.

Key words infrared optical lens; modulation transfer function; the knife-edge scanning method

1 引 言

在红外系统中,光学系统是一个重要的组成部分,决定着整个系统的工作精度和工作距离,设计和生产高质量的光学系统是获得高性能红外光学系统的基础。因此,红外光学系统的成像质量非常重要。

调制传递函数(MTF)能客观地反映红外光学系统的空间频率响应特性,是表征红外光学系统性能的主要指标之一。红外光学系统的 MTF 是用于红外热成像系统设计、分析和性能说明的基本参数^[1~3]。本文介绍了刃边扫描测量红外光学系统 MTF 的方法,给出了在几个特征频率下的 MTF 值和 MTF 的曲线图。

2 红外光学系统 MTF 的测量

测量 MTF 的方法要考虑光学和电子信号。它是系统对空间正弦信号的响应。

对于 MTF 的测量和计算有多种方法,如点扩散函数法、线扩散函数法、刃边函数法等。但对于红外光学系统,由于探测器像元尺寸较大,因此存在着空间采样的频谱混迭和不等晕现象,使得系统获得的线扩散函数(LSF)与狭缝像相对于探测器的相对位置有关。为了解决这一问题,目前通常采用改进线扩散函数法和随机空间目标法。其中,改进线扩散函数法包括最值法、扫描法和斜缝法。确定 MTF 通常有两种方法:直接方法,它测量不同正弦靶的响应;间接方法,由 LSF 的傅里叶变换得到一维 MTF。

调制度定义为

$$M = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max} + B_{\min}} \quad (1)$$

式中 B_{\max} 和 B_{\min} 定义为最大和最小强度电平。调制传递函数为

$$F_{MT} = M_{img}/M_{obj} \quad (2)$$

其中 M_{img} 为像方调制度, M_{obj} 为物方调制度。

3 刃边扫描法测量 MTF

测量 MTF 的方法与所研究的光信号和电信号有关, 为方便起见, 在两个相互垂直的轴上测量 MTF(通常与阵列的轴是一致的) 得到两个一维的 MTF, 一维的 MTF 是 LSF 的傅里叶变换, 这里 LSF 是红外成像系统观察一条理想线产生的波形。因为可以微分一个阶跃脉冲获得理想线, 则 MTF 也能从阶跃响应获得(也称边缘响应和刀口响应)。

检测装置如图 1 所示。

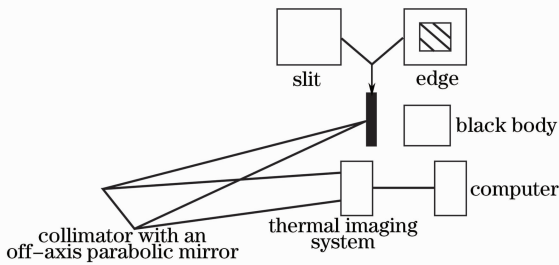


图 1 检测装置原理图

Fig. 1 Sketch of experiment equipment

用刀口靶的优点是靶的结构比窄狭缝简单, 用作狭缝时不必对 MTF 作校正。对刃边缘微分得到 LSF, 然后进行傅里叶变换。

4 数据处理和实验结果

当一个边缘孔径通过一个狭缝的图像时, 在检测器上的信号描述一个刀形边缘函数。微分产生线扩散函数。因为一个边缘在扫描方向上为无限小, 所以在计算 MTF 时只须计算与狭缝有关的正弦函数。边缘可以是单方向边缘, 转动它来改变扫描方位, 也可以是一个鱼尾形。

测量时, 刀形边缘扫描仪平移一个边缘经过被测红外光学镜头的图像平面, 切过狭缝物体的图像。刀形边缘扫描仪有两个自动轴, 刀形边缘平移到刀形焦点位置。检测器安装到刀形边缘扫描仪上, 在扫描或通过焦点扫描期间不移动。刀形边缘扫描仪在正切和弧矢方位之间的中途以 45° 角平移边缘并且主要使用一个双边缘“鱼尾”扫描孔径来一次运动执行正切和弧矢扫描。

实验时我们对波长范围为: $8 \sim 12 \mu\text{m}$, 衍射极限为: 1459 lp/mm , $f = 50 \text{ mm}$, $F = 1.2$ 的长波红外镜头进行了检测。得到了它的 LSF 曲线图和 MTF 曲线图, 并给出了在不同输入频率下的 MTF

的值。图 2 为被测镜头的 LSF 曲线图, 图 3 为被测镜头的 MTF 曲线图, 表 1 为几个特征频率下的被测镜头的 MTF 的值。

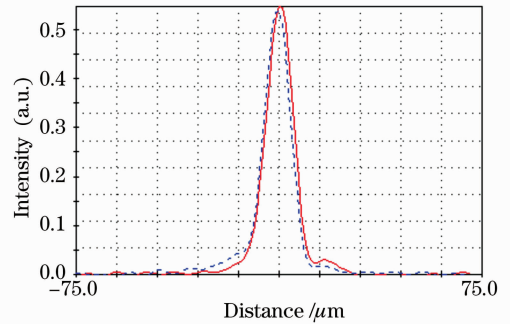


图 2 线扩展函数 (LSF) 曲线图

Fig. 2 LSF graph

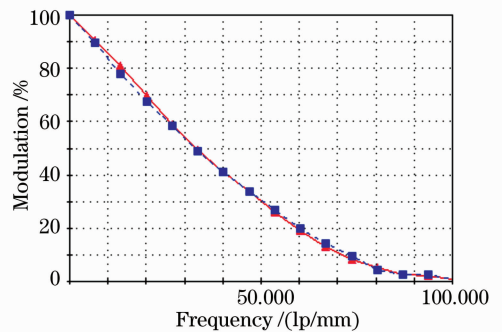


图 3 调制传递函数 (MTF) 曲线图

Fig. 3 MTF graph

表 1 特征频率下的 MTF 值

Table. 1 MTF of several characteristic frequencies

NO.	Frequency / (lp/mm)	MTF	
		(meridion)	(radius)
1	10	0.86	0.86
2	20	0.69	0.69
3	30	0.55	0.56
4	40	0.42	0.42
5	50	0.29	0.30

5 结 论

本文应用刃边扫描法测量了红外光学系统的 MTF, 克服了由于红外光线不可见而给检测带来的不便。通过刃边扫描得到 LSF 曲线图, 再经过傅里叶变换得到 MTF 曲线图, 从而全面地考察了被测红外光学系统的像质, 为红外光学系统的加工、装调和检测提供了依据。

参 考 文 献

1 Zhang Jingxian, Li Yudan, Jin Weiqi. Low-Light-Level and Thermal Imaging System [M]. Beijing: Beijing Institute of

- Technology Press, 2001
- 张敬贤,李玉丹,金伟其. 微光与红外成像技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2001
- 2 Paul A. B., Carl W. H. Standard NETD test procedure for FLIR systems with video outputs [C]. *SPIE*, 1993, **1969**: 194~206
 - 3 Liu Y., Liu W., Zhang B. Measurement and comparison of modulation transfer function and signal transfer function of image intensifiers [C]. *SPIE*, 2000, **4221**: 252~256
 - 4 Stephen W. M., Dave A. G., Eden Y. M. System response function: a new approach to minimize IR testing errors [C]. *SPIE*, 1990, **1309**: 258~266
 - 5 Scott Miller, Brian Backer, Margaret Kohin, *et al.*. Test methods and technology for uncooled imaging systems [C]. *SPIE*, 2004, **5407**: 30~37
 - 6 Li Yingwen, Pan Debin, Liu Aidong, *et al.*. Performance evaluation and acceptance of cooled infrared focal plane array and thermal imager [J]. *Optical Technique* 2005, **31**(2): 206~207
李颖文,潘德彬,刘爱东等. 制冷红外焦平面和热像仪的性能评价与验收[J]. 光学技术, 2005, **31**(2): 206~207
 - 7 Chi Xuefen, Han Changyuan. Assessment of sampled imaging system based on information-theory [J]. *Optical and Precision Engineering*, 2003, **11**(3): 207~211
迟学芬,韩昌元. 基于信息理论的采样成像系统评价方法[J]. 光学精密工程, 2003, **11**(3): 207~211