

测试条件对杂光系数测试结果的影响

曹智睿¹, 荀显超², 袁理¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘要:针对同一光学产品的杂光系数由于测试条件的不同,测试结果往往差别很大,无法进行准确比较的问题,对几种光学镜头在不同的测试条件下反复进行了杂光系数测试实验。通过理论分析和实验测试给出了不同黑体目标尺寸和接收光阑孔径以及是否加装准直镜对杂光系数测量结果的影响。结果表明,对同一光学产品,选取的黑体目标尺寸越大,测试结果杂光越小;选取的光电接收器件接收光阑孔径越大,测试结果杂光越大。另外,准直物镜的使用会引入新的杂光,令杂光测试结果增大,但增大的量值可视为定值,进而从测试结果中减除。

关键词:杂光系数;测试条件;杂光测量

中图分类号:TH703 **文献标识码:**A

Effect of measuring conditions on measuring results of stray light coefficients

CAO Zhi-rui¹, XUN Xian-chao², YUAN Li¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. *Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)*

Abstract: The same optical product can show different stray light coefficients in different measuring conditions, and it is impossible to compare the different results correctly. According to this situation, the stray light coefficients of several kinds of optical lenses have been experimentally investigated in different measuring conditions, such as sizes of block body, receiving apertures of photoelectric device and mounting the collimating objective or not, and the theoretical analysis and experimental results supply the dependences of stray light coefficients on test conditions. The experimental results indicate that the larger size of the black body, the smaller value of stray light; the larger receiving aperture of photoelectric receiving device, the larger value of stray light; the use of collimating objective will induce new stray lights which increase the value of stray light in experiments, but the increased part can be deducted from the results, as the value can be seen a fixed one.

Key words: stray light coefficient; measuring condition; stray light measurement

1 引言

杂光系数是反映光学系统成像质量的重要指标之一,特别是在航空摄像系统和目标测试识别系统中对该指标均有较高的要求。《GB/T 8248.4-1999》作为摄像镜头杂光系数测试的国家标准,对杂光系数的测试方法、测试环境、扩展光源、接收器件等一系列测试条件均做出了具体明确的规定,其中一些测试条件在测试系统创建时已满足了国家标准的要求,作为不可变的因素确定下来;还有一些测试条件作为可改变因素,需要测试人员针对不同的被测系统作出适当的选择。工作经验表明,这部分需要灵活掌握的测试条件是造成光学系统杂光测试结果不准确的主要因素。

本文通过理论分析,在实际工作中对不同光学镜头的杂光系数进行了测试,以实验数据给出各可变测试条件对杂光系数测试结果的影响,使得同一光学系统的杂光测试结果具备一定的可比性。

2 基本测试原理

目前检测杂光的常用方法有点源法和面源法(又称黑斑法)。面源法是假定杂光在像平面上呈均匀分布而提出的;针对杂光在像面分布不均匀的情况人们又提出点源法,这一方法直接测量点光源在像面上的杂光分布。在实际的成像光学系统中,成像光线在像面上的有效扩散范围总是有限的,因此,由一均匀的面光源在像面上造成的杂光光强分布,可以看成是由面光源上的各个点光源在像面上造成的杂光的叠加。此时,像面上的杂光光强分布可以认为是比较均匀的,因此可以采用面源法检测杂光系数。即模拟一个亮度均匀的背景和该背景下亮度趋于零的黑目标,首先测量出均匀亮背景下的黑目标在像面上的平均光强 I_0 ,再测量出均匀亮背景在像面处的平均光强 I_1 ,根据杂光系数(Veiling Glare Index, VGI)的定义:

$$\text{VGI} = I_0/I_1. \quad (1)$$

由理论计算可得出:

$$I_0 = \iint_{\infty} \text{PSF}(x,y) \times Q(x,y) dx dy, \quad (2)$$

$$I_1 = \iint_{\infty} \text{PSF}(x,y) dx dy, \quad (3)$$

其中 $\text{PSF}(x,y)$ (Point Spread Function, PSF) 为被测光学系统的点扩散函数, $Q(x,y)$ 为物和接收器的互相关函数。设黑目标和均匀亮背景的照度比为 e , 黑目标的孔径为 d_1 , 接受器的接收孔径为 d_2 , 黑目标经放大倍率为 M 的非相干光学系统成像, 则 $Q(x,y)$ 值由 d_1, d_2, M, e 和 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 决定。 $\text{PSF}(x,y)$ 和 $Q(x,y)$ 关于 r 的函数曲线如图1所示。

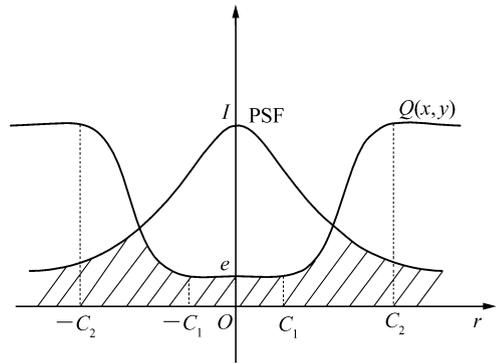


图1 PSF 和 Q 关于 r 的函数曲线

Fig. 1 Function curves of PSF and Q regard to r

图中,

$$C_1 = |d_1 M - d_2|, \quad (4)$$

$$C_2 = |d_1 M + d_2|. \quad (5)$$

$\text{PSF}(x,y), Q(x,y)$ 和 r 轴所围成的面积(图中阴影部分)即为 I_0 。

面源法测量杂光系数的具体试验方法和装置如下:通过光电探测器件测量出黑斑在光学系统所要求像面处的光电信号值 E_1 ;将黑斑置换为涂层与积分球内壁涂层完全相同的“白塞子”,此时光电信号值为 E_2 ;完全遮挡光电探测器的入光孔,此时光电信号值为 E_0 。则该光学系统的杂光系数:

$$\text{VGI} = (E_1 - E_0)/(E_2 - E_0). \quad (6)$$

杂光系数的测量装置主要由黑体目标、光度积分球、准直物镜、光电接收器等组成,如图2所示。

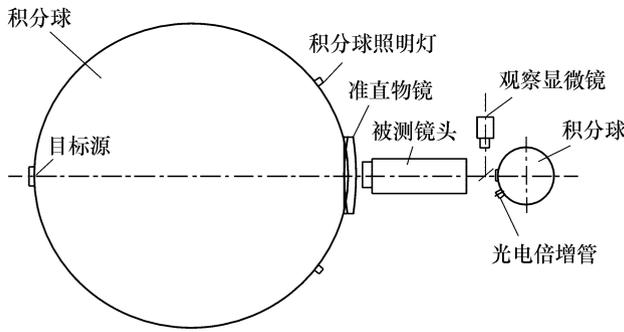


图2 杂光系数测试装置示意图

Fig.2 Stray light coefficient measuring equipment

3 测试条件对测试结果的影响

影响杂光测试结果的因素有很多,一些是测试原理本身所造成的,而更多的则是测试条件所引起的。在这些测试条件中,需要测试人员灵活掌握的部分是造成测试结果差异大,无法比较的主要因素。如黑体目标的尺寸的选择,是否使用准直物镜及准直物镜自身的杂光系数,光电接收器件接收孔径的大小等等。

3.1 黑体目标尺寸

由式(4),式(5)可知,当黑体目标孔径 d_1 增大时, C_1, C_2 同时增大,则曲线 $Q(x, y)$ 变化如图3所示,此时 I_0 变小,减小的量值为图中阴影部分面积,所以杂光系数测量值变小。

为验证此推理的正确性,本文选取重复精度在 0.2% 之内的杂光测试系统,在保证其他测试

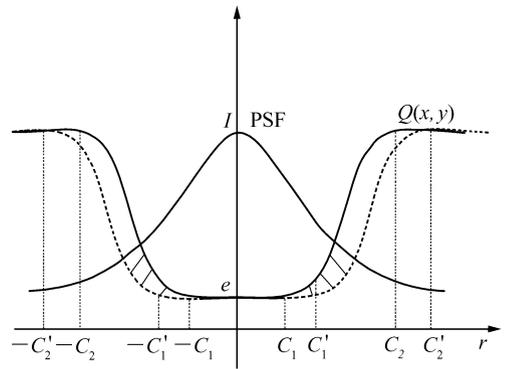


图3 黑体目标尺寸对杂光测试结果的影响

Fig.3 Effect of sizes of black body target on measuring results of stray light coefficients

条件一致的情况下,对同一光学系统采用不同的黑体目标尺寸进行测试,得出各测试条件下的杂光系数,如表1所示。

表1 黑体目标尺寸对杂光测试结果的影响

Tab.1 Effect of sizes of black target on measuring results of stray light coefficients

测试条件	测试结果					
黑体目标直径/mm	5	15	20	25	40	50
被测光学系统杂光系数/%	2.54	2.33	2.21	2.21	2.08	1.85

以上数据均为多次测量的平均值,可见,实验结果与理论推导一致,即黑体目标尺寸越大测试结果越小。目前我国以黑体目标像直径为像幅对角线尺寸的 1/10 来确定黑体目标尺寸。

3.2 接收光阑孔径的影响

由式(4),式(5)可知,随着接收器接受孔径

d_2 的增大, C_1 减小, C_2 增大,则曲线 $Q(x, y)$ 变化如图4所示,此时 I_0 变大,增大的量值为图中阴影部分面积,所以杂光系数测量值增大。为验证此推理的正确性,本文选取重复精度在 0.2% 之内的杂光测试系统,在保证其他测试条件一致的情况下,分别对 3 个不同的镜头在接收孔径变化

的情况下进行杂光测试,得到杂光系数如表2所示。

表2 接收光阑孔径对杂光测试结果的影响

Table 2 Effect of receiving apertures of photoelectric receiving device on measuring results of stray light coefficients

镜头	镜头 1	镜头 2	镜头 3
镜头参数/mm	$F = 300 D = 50$	$F = 250 D = 50$	$F = 200 D = 50$
接收光阑直径 1 mm 时杂光系数/%	4.24	3.23	2.41
接收光阑直径 1.5 mm 时杂光系数/%	4.35	3.37	2.54
接收光阑直径 2 mm 时杂光系数/%	4.50	3.49	2.70
接收光阑直径 2.5 mm 时杂光系数/%	4.62	3.62	2.81
接收光阑直径 3 mm 时杂光系数/%	4.77	3.80	2.98

大,测得的杂光系数也随之增大。目前我国以接收孔径直径为黑体目标直径的 $1/4 \sim 1/6$ 来确定光电接收器接收孔径。

3.3 准直物镜的影响

根据《GB/T 8248.4-1999》的规定,采用黑斑法进行杂光系数测量时所要求的物像关系为黑体目标到被测物镜的距离 L 应大于被测物镜焦距 f 的 10 倍,当焦距较长不满足这个关系时,测试时就应该使用准直物镜将黑体目标转变为远目标。

由于光学元件表面的多重反射,尤其偶次反射是造成杂光的一个重要原因,所以采用准直物镜势必会引入被测光学系统之外的杂光,如何从测试结果中将准直物镜引入的杂光区分出来非常重要。选取重复精度在 0.2% 之内的杂光测试系统,对 3 个不同的照相镜头分别加入和撤除同一个准直物镜反复进行杂光测试,得到各测试条件下杂光系数,结果如表 3 所示。

表3 准直物镜对杂光测试结果的影响

Table 3 Effect of collimating objective on measuring results of stray light coefficients

镜头	镜头 1	镜头 2	镜头 3
镜头参数/mm	$F = 300 D = 50$	$F = 250 D = 50$	$F = 200 D = 50$
不使用准直物镜时杂光系数/%	4.35	3.37	2.54
使用准直物镜时杂光系数/%	5.10	4.06	3.38
准直物镜的杂光系数/%	0.75	0.69	0.84

测试结果表明,准直物镜在相同的通光孔径下,引入的杂光系数大致相同,可视为固定值。由此,在必须使用准直物镜的情况下,可以根据被测

光学系统的孔径,计算出在此孔径下准直物镜所引入的杂光系数,并从最终的测试结果中将其剔除。

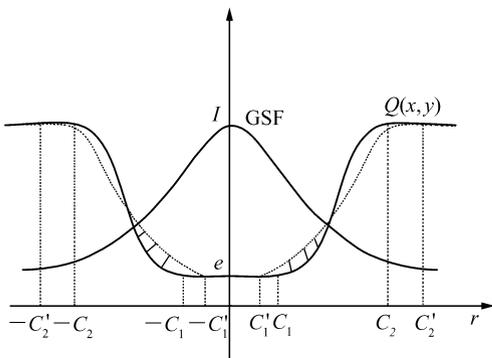


图4 接收光阑孔径对杂光测试结果的影响

Fig. 4 Effect of receiving apertures of photoelectric receiving device on measuring results of stray light coefficients

以上数据均为多次测量的平均值,可见,实验结果与理论推导一致,即随着接收光阑孔径的增

4 结 论

在光学系统的杂光测试过程中,测试人员选择不同的测试条件会对测试结果产生重大的影响。比如,随着黑体目标尺寸的增大,杂光测试结

果减小;随着光电接收器件接收光阑孔径增大,杂光测试结果增大;准直物镜使杂光测试结果增大等等。因此,测试人员应该尽量遵守相关国家标准,当测试条件无法满足国家标准的要求时,应对测试结果的准确度给予评价。

参考文献:

- [1] 张国玉,李凤春,高玉军. 光学系统杂光测试仪误差分析[J]. 长春光学精密机械学院学报,1996,19(3):17-20.
ZHANG G Y,LI F CH,GAO Y J. The error analysis of stray light measuring instrument for optical system[J]. *J. Changchun Inst. Opt. & Fine Mech.*,1996,19(3):17-20. (in Chinese)
- [2] 马冬梅,张晓辉,韩昌元. 大口径、长焦距光学系统杂光系数、渐晕系数、像面照度均匀性等参数的测试[J]. 应用光学,1998,19(5):44-47.
MA D M,ZHANG X H,HAN CH Y. Test of stray light coefficient, vignetting coefficient and image surface illumination uniformity of optical system with large aperture[J]. *J. Appl. Opt.*,1998,19(5):44-47. (in Chinese)
- [3] 高万荣,查冠华,苗兴华,等. 长焦距光学系统杂光系数测试仪[J]. 光子学报,1996,25(6):537-540.
GAO W R,ZHA G H,MIAO X H,*et al.*. The device for the measurement of the veiling glare index of long focal optical system[J]. *Acta Photonica Sinica*,1996,25(6):537-540. (in Chinese)
- [4] 高万荣,薛明球,苗兴华,等. 长焦距光学系统杂光系数测量的新方法及其理论分析[J]. 光学学报,1996,16(11):1626-1630.
GAO W R,XUE M Q,MIAO X H,*et al.*. A new method for measuring the veiling glare index of long focal optical system and analysis[J]. *Acta Optica Sinica*,1996,16(11):1626-1630. (in Chinese)
- [5] 杨鹏立. 准直物镜对杂光测量结果的影响[J]. 应用光学,1997,18(1):45-46.
YANG P L. Effect of collimating objective on the measuring result of stray light[J]. *J. Appl. Opt.*,1997,18(1):45-46. (in Chinese)

作者简介:曹智睿(1983—),男,吉林长春人,研究实习员,硕士,主要从事光机检测方法的研究。

E-mail:caozhirui_0503@163.com