

文章编号 1004-924X(2012)05-0972-07

月基望远镜探测能力的地面标定

徐 亮*, 赵建科, 薛 勋, 刘 峰, 胡丹丹
(中国科学院 西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119)

摘要:采用模拟试验在地面测试了月基望远镜(LOT)的星等探测信噪比及弥散斑能量集中度,用以验证望远镜的探测能力。与传统的通过分析 CCD 各项参数对噪声的影响来获得信噪比的方法不同,本文提出的方法客观、直接地通过图像信息来计算星点目标信噪比,其目标信噪比测试不确定度可优于 8%。在测试弥散斑能量集中度时,通过质心算法求其弥散斑能量中心,进而提出了一种星点弥散斑高斯拟合方法来拟合弥散斑能量分布曲线。这种高斯拟合方法可使弥散斑能量集中度的测试精度提高 10%。最后,通过试验测试了 LOT 相机星等探测信噪比及弥散斑能量集中度,验证了 LOT 相机+15 Mv 的探测能力。

关键词:月基望远镜;探测能力;信噪比;能量集中度;定位精度

中图分类号:TH743;TN23 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20122005.0972

Detectability calibration of lunar-based optical telescope on ground

XU Liang*, ZHAO Jian-ke, XUE Xun, LIU Feng, HU Dan-dan

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Xi'an 710119, China)

* Corresponding author, E-mail: xuliang757@163.com

Abstract: The Signal-to-noise Ratio (SNR) of star-level detection and the energy concentration of a dispersed spot for an lunar-based Optical Telescope(LOT) are tested by using a simulation experiment on ground to verify its detection capability. Unlike the conventional methods that use the effect of CCD hardware parameters on the noise to test the SNR, the new test method directly uses the observation information to compute the SNRs of star targets and the tested uncertainty of object SNRs can be better than 8%. In the test of energy concentration, the centroid algorithm is used to computer the center of the dispersed spot and a Gaussian fitting method is proposed to fit the curve of the energy distribution. The Gaussian fitting method can significantly improve the detection precision of the energy concentration for the dispersed spot, and the testing precision has been improved by 10%. Finally, the detection capability of +15Mv of the LOT is verified by an experiment on the SNR of star level detection and the energy concentration of dispersed spot for the LOT.

收稿日期:2012-02-12;修订日期:2012-03-02.

基金项目:中国探月工程二期项目

Key words: lunar-based optical telescope; detectability; signal-to-noise ratio; concentration of energy; positioning accuracy

1 引 言

在月基天文目标星等探测中,为了监测各种天体在近紫外波段的亮度变化,需要研制一种紫外天体观测相机,该相机具有高灵敏度弱光星等探测性能,其星等探测能力为 +15 M_v。由于 +15 M_v 的照度极其微弱,目前还没有相应的标准测量设备能标定其星等探测能力。对于可见光星等探测相机探测能力的标定,国内通常采用在天文台观星的方法,直接将探测相机对准目标星等,在一定的条件下,采集目标星等的图像,然后通过图像处理来计算目标星等的信噪比,进而判断其探测能力是否满足要求^[1]。然而,月基望远镜 (LOT) 用于深空紫外星等目标的探测,若通过地面观星试验来验证其星等探测能力会由于大气对紫外光谱的严重吸收而很难在地面上拍摄到较高的星等目标,因此,通过地面观星来验证其探测能力是不可行的。

针对上述问题,作者研制了一种高精度星等模拟器,采用星等模拟的方法来验证月基望远镜的探测能力。其星等探测能力的评价标准是:利用图像处理来计算月基望远镜采集到的星模拟器模拟的 +15 M_v 的星点图像的信噪比与能量集中度,最后根据信噪比大小与弥散斑尺寸来判断其是否具有 +15 M_v 的探测能力。这种测试方法的研究,对完成月基望远镜的探测能力标定起着决定性的作用。因此,研究室内星等探测能力的标定方法,成为研制月基望远镜成败的关键。

2 LOT 探测能力验证的主要技术指标

2.1 LOT 相机星等探测信噪比判据

LOT 相机主要用于深空光变天体的高精度监测,因此,要求相机具有大动态范围的星等探测能力及星等分辨能力。为了验证 LOT 相机的星等探测能力,本文主要对其拍摄的 +15 M_v 图像信噪比及弥散斑能量集中度进行计算分析,判断

其是否满足弱光星等探测的要求。

由于 LOT 相机目标信号的检测是对所拍摄或跟踪的星图的星识别过程,研究 LOT 相机的探测能力,就是要在天空背景下对星体目标图像进行探测和识别。由经典检测理论(对应信噪比的门限作为判决有无目标的准则)可知,对星等探测信噪比测试进行判定时,实现最佳检测的原则是在一定条件下,获取最大的探测率和最小的虚警率,它们与信噪比之间满足一定的关系,如图 1 所示。根据经典检测理论,在给定探测概率和虚警概率的条件下,LOT 相机的检测依据为:

$$SNR = S/N \geq T, \quad (1)$$

式中 SNR 为信噪比, S 为信号光电子数, N 为噪声均方根值, T 为最小可探测信噪比阈值。LOT 相机的探测概率不小于 99%, 虚警率小于 1%。结合图 1 可知, LOT 相机的信噪比阈值 T 为 5。

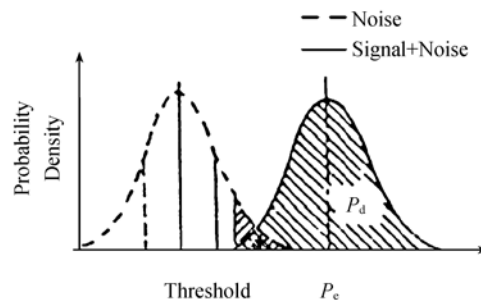


图 1 探测率、虚警率与信噪比阈值

Fig. 1 Detectability, FAR and SNR threshold

2.2 LOT 相机主要技术指标

根据上述分析, LOT 相机主要技术指标如表 1 所示。

表 1 LOT 相机主要技术指标

Tab. 1 Parameters of LOT system

工作波长/ μm	0.2~0.4
星等探测能力/M _v	+6~+15
信噪比(SNR)/ σ	≥ 5
F 数	3.75
弥散斑能量集中度/%	80($\leq 3 \text{ pixel} \times 3 \text{ pixel}$)
CCD 像元尺寸	13 $\mu\text{m} \times 13 \mu\text{m}$

3 目标星等探测能力标定方法

3.1 星等信噪比测试方法

在月基望远镜探测灵敏度的测试中,星等信

$$\frac{S}{N} = \frac{R_* \times t}{[R_* \times t + R_{\text{sky}} \times t \times n_{\text{pix}} + R_{\text{sca}} \times t \times n_{\text{pix}} + RN^2 \times n_{\text{pix}} + \text{Dark} \times t \times n_{\text{pix}}]^{1/2}}, \quad (2)$$

式中: R_* 为目标辐射的光子单位时间被焦平面探测器转换为电子的光电子数, t 为积分时间, R_{sky} 为背景辐射单位时间在单个像元上产生的光电子数, R_{sca} 为太阳等强光源造成的散射光单位时间在单个像元产生的光电子数, RN 为读出噪声, R_{pix} 为目标所占像元, Dark 为单位时间单个像元的暗电流电子数。

由式(2)可以看出,星等信噪比的大小与星点目标所占像元的尺寸有直接关系,即当焦平面上成像的光斑尺寸越小,像元信号的能量越强,信噪比越大^[5]。考虑能量集中度对信号和信噪比的影响有实际意义,若信号值按照 1×1 或 2×2 个像元计算,则受光斑中心与像元中心偏移的影响,信号值测试的重复性不高,通常有40%或20%的变化,因此信号窗口的选择将直接影响信噪比的测试精度。另外,考虑到目标探测定位精度的计算要求,在星等信噪比计算时,信号窗口一般按照 3×3 个像元计算(此时目标定位精度最高)。

3.2 星等能量集中度测试方法

由于理想光学系统对无穷远处的目标在焦面上呈贝塞尔衍射像分布,根据衍射强度分布的计算关系可知,在第三级的能量分布范围内能量含99%左右。代入公式(3),可计算出第三级的弥散斑分布范围:

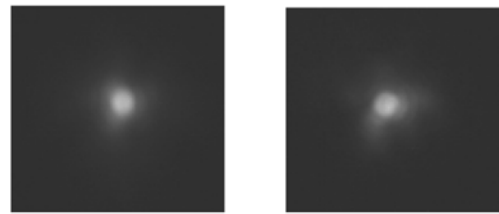
$$D = 2 \times 10.174 \times f' \times \lambda / d, \quad (3)$$

其中, D 为第三级弥散斑直径, f' 为LOT相机的焦距, λ 为中心波长, d 为相机的有效口径。则第三级弥散斑直径为 $21 \mu\text{m}$,即99%的弥散斑能量集中在 2×2 个像元内。另外,将光学系统设计结果代入ZEMAX软件可知,弥散斑100%的能量集中在 $23 \mu\text{m}$ 内,即100%的能量集中在 2×2 个像元内。

弥散斑的能量集中度常用的测试方法是:利用光学显微细分的方法,将光学系统的星点像成

噪比的测试是用LOT相机对准星模拟器,在一定的曝光时间和增益下,拍摄其模拟+15 Mv的星点像,再将光源关闭直接采集Dark图像,最后对采集的图像进行处理,采用公式(2)计算其图像信噪比^[2-4]。

像到显微采集系统CCD上,再利用图像处理来计算80%的能量集中范围。如图2所示,LOT相机光学系统采用光学细分的方法,将采集到的星点像经过图像处理,计算可知轴上弥散斑80%的能量集中在 $17.4 \mu\text{m}$ 内,100%的能量集中在 $24.4 \mu\text{m}$ 内;轴外弥散斑80%的能量集中在 $19.6 \mu\text{m}$ 内,100%的能量集中在 $26.5 \mu\text{m}$ 内。因此,可推算出弥散斑100%的能量均集中在 3×3 个像元内。



(a)轴上弥散斑图

(b)轴外弥散斑图

(a) Disc of confusion on axis (b) Disc of confusion out axis

图2 LOT相机光学系统弥散斑图

Fig. 2 Graph of disc of confusion for LOT optical system

然而,对于LOT相机整机的弥散斑测试,若用相机直接采集图像,利用上述图像处理方法计算其能量集中度,则会由于CCD像元尺寸太大,采样受内奎斯特截止频率的影响,弥散斑的能量集中度测试精度大大降低,整机弥散斑仿真如图3所示。因此,对于相机整机的弥散斑测试,不能采用以前的光学系统测试方法,这里采用一种高斯拟合的方法通过拟合弥散斑高斯曲线来计算80%能量所占的像元数。

理想情况下光学系统点扩散函数为 δ 函数,考虑到光学系统像差的影响,星点像能量有一定的分散,但仍集中在较少的几个像元内,一般相机采用离焦的方法获得一定大小的弥散斑星点像。这种情况下星点光斑能量分布可近似地由高斯点

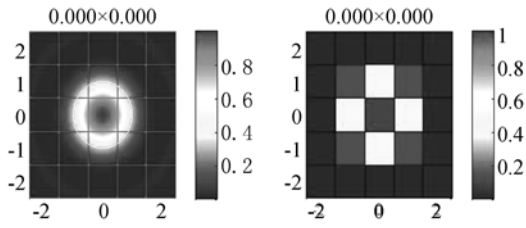


图 3 LOT 相机整机弥散斑仿真图

Fig. 3 Simulation graph of disc of confusion of LOT camera

扩散函数来表示^[6-9]:

$$I(x, y) = \frac{I_0}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (4)$$

最后,根据质心算法求出弥散斑能量中心位置,再以质心位置为能量中心,以各个像元到中心的距离为 x ,各像元灰度值为 y ,提取数组 (x, y) ,然后用高斯分布对此数据进行拟合,将拟合的高斯曲线以 3×3 个像元尺寸为直径,计算出 3×3 个像元内所占的能量集中度,即为 LOT 相机整机的弥散斑能量集中度。

4 目标星等探测能力测试结果

4.1 星模拟器的模拟星等能量标定

为了在地面验证 LOT 相机的探测能力,本文采用自研的星模拟器模拟 +15 Mv 的发光特性来标定其探测能力,因此,必须严格校准星模拟器的星等模拟精度。但 +15 Mv 的照度很低,没有相应的标准测量设备,用常规的方法难以标定。为了能够精确标定星模拟器出射光的辐照度,这里采用光子计数原理,用研制的弱光星等标定系统来精确校准其星等模拟精度,其星等校准精度可达到 0.1 等星。因此,采用精确校准后的星模拟器来标定 LOT 相机的探测能力,其测试精度将大大提高。

4.2 LOT 相机星等信噪比测试结果

由于 200~400 nm 波段 AB 星等 15 m 的目标在这个波段的光子流量为 $2.02 \times 10^4 \text{ s/m}^2$,200~400 nm 波段 AB 星等 15 m 的辐照度为 $1.242 \times 10^{-14} \text{ W/m}^2$ 。

在实验室内用紫外星等模拟器模拟 15 m,月

基望远镜以 30 s 曝光时间,4 倍增益对此目标进行拍摄。此时对星点目标图像进行判读,以星点像灰度最大的像元为中心,取 $3 \text{ pixel} \times 3 \text{ pixel}$ 为信号计算区域,取 $15 \text{ pixel} \times 15 \text{ pixel}$ 以外 $27 \text{ pixel} \times 27 \text{ pixel}$ 以内为背景的选定区域,信噪比 S/N 按照公式(2)计算。

另外,该测试是在实验室内通过星等模拟器模拟星等完成的,因此在计算信噪比时可采用近似公式(5)计算:

$$\frac{S}{N} = \frac{R_{\text{flux}}}{\sqrt{\frac{R_{\text{flux}}}{G} + N_{\text{pix}} \times \text{st}D_{\text{background}}^2 + \frac{N_{\text{pix}}^2 \times \text{st}D_{\text{background}}^2}{N_{\text{sky}}}}}, \quad (5)$$

其中,

$$R_{\text{flux}} = DN_{\text{sum}} - N_{\text{pix}} \times m_{\text{sky}}, \quad (6)$$

$$G = \frac{R_{\text{flux}}}{\sigma_s^2(DN) - \sigma_R^2(DN)}, \quad (7)$$

其中: DN_{sum} 是目标在 3×3 个像元内的 DN 值之和; N_{pix} 是 3×3 个像元内的像元数; m_{sky} 是背景平均值; $\text{st}D_{\text{background}}$ 是背景的标准偏差; N_{sky} 是参与背景计算的像元数; G 是增益; $\sigma_s(DN)$ 为光子散粒噪声标准差, $\sigma_R(DN)$ 为读出噪声标准差。

采用这种信噪比计算方法,比起以往从 CCD 入手计算各参数对噪声的影响能更客观、更直接地反应星等信噪比,很适用于外场星等信噪比测试。另外,本文将式(5)各项通过最小二乘法计算其信噪比测试不确定度,最后得出其测试不确定度优于 8%,完全满足 LOT 相机实际星等探测能力验证用信噪比的测试。图 4 为 LOT 相机测试实物图,图 5 为 LOT 相机整机的弥散斑实物图,根据式(5)可计算出其信噪比为 20,表明其满足 +15 Mv 的探测能力。

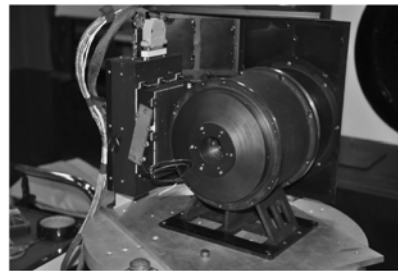


图 4 LOT 相机测试实物图

Fig. 4 Actual measurement graph of disc of LOT camera

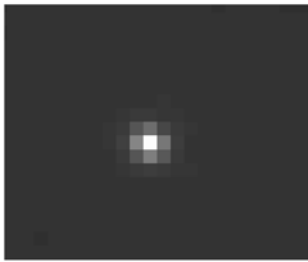


图 5 LOT 相机弥散斑测试实物图

Fig. 5 Actual measurement graph of disc of confusion of LOT camera

4.3 LOT 相机星等能量集中度测试结果

根据上述的分析可知, LOT 相机整机弥散斑的测试方法不同于以往的光学系统弥散斑测试, 由于其 CCD 像元尺寸的限制, 不能通过光学细分的方法对采集的图像进行能量积分, 进而计算其弥散斑的能量集中度。因此, 本文提出了一种高斯拟合的算法对采集的图像进行处理。具体方法是: 将采集到的图 3 通过质心法提取弥散斑能量中心位置, 计算以 3×3 像元尺寸为直径的弥散斑能量集中度, 即在 9×9 像元区域范围内, 将 81 个点的能量值按照中心点能量权重为 1, 依次计算不同点对应的能量权重值及其所在位置, 最后, 通过高斯拟合方法拟合成一条近似高斯分布的弥散斑曲线。图 6 所示为图 4 的高斯拟合曲线, 将其积分后可计算出 3×3 个像元所占的能量集中度为 88%; 80% 能量所占区域为 2×2 个像元, 100% 能量所占区域为 4×4 个像元。

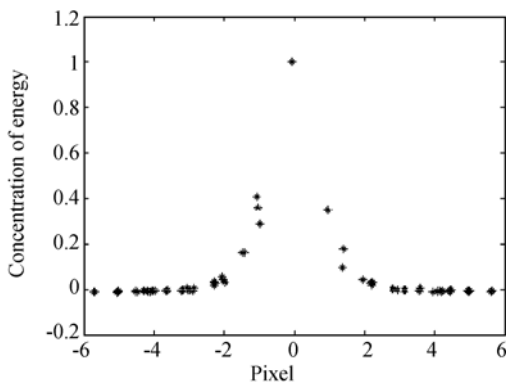


图 6 高斯拟合曲线

Fig. 6 Fitting curve of the Gauss

而以往的弥散斑测试采用公式(8)来计算:

$$E_{3 \times 3} = \frac{N_{3 \times 3} - N_b}{N_{9 \times 9} - N_b} \times 100\%, \quad (8)$$

其中, $E_{3 \times 3}$ 为 3×3 个像元所占的能量集中度, $N_{3 \times 3}$ 为 3×3 个像元所占的能量, $N_{9 \times 9}$ 为 9×9 个像元所占的能量, N_b 为 3×3 个像元所占的背景噪声, N_b' 为 9×9 个像元所占的背景噪声。上述公式由于受像元压偏现象的影响, 中心能量的集中度会变化 10% 左右, 因此, 这种方法的测试精度会大大下降。

考虑到前面理论设计与光学系统实际测试的 100% 能量均几乎集中在 2×2 个像元内, 而 LOT 相机系统实测 2×2 个像元内仅占 80% 的能量, 100% 能量要占 4×4 个像元, 充分说明光学系统是在离焦的情况下测试的, 因此, 其弥散斑近似于高斯分布, 而不是完全理想的贝塞尔衍射分布。使弥散斑散开的主要目的是提高相机的定位精度, 以至于目标星点图像 85% 以上的能量集中在 3×3 个像元内, 且能被精确定位 (3×3 个像元的目标定位精度最高)^[10-13]。

尽管从测试方法上讲, 这种弥散斑能量高斯拟合的方法比以往星点目标能量积分的方法复杂一些, 但由于不受像元压偏现象的影响, 其测试精度要比以往的测试精度高 10% 左右。因此, 这里提出了用高斯拟合法来求星点弥散斑能量集中度, 以便更加准确地验证 LOT 相机的实际探测能力。

5 结 论

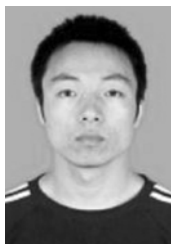
为了在地面对月基望远镜 (LOT) 的探测能力进行验证, 通过实验室内星等模拟的方法对其星等探测能力的信噪比和弥散斑能量集中度进行了测试, 验证了 LOT 相机 +15 Mv 的探测能力; 并结合理论分析, 提出了一种直接通过图像信息来计算星点目标信噪比的测试方法, 该方法能更客观、更直接地反应星等信噪比, 其目标信噪比测试不确定度可优于 8%。同时, 利用弥散斑能量高斯拟合的方法来计算弥散斑能量集中度, 其测试精度比以往方法的测试精度高 10% 左右。

从实验结果也可以看出, 信噪比与能量集中度关系尤为密切, 若提高能量集中度, 则信噪比也随之提高。因此, 对于弱光探测相机而言, 一般要在保证目标定位精度不受影响的前提下, 尽可能地提高弥散斑能量集中度来保证其信噪比满足要求, 进而保证其星等的探测能力。

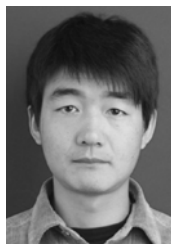
参考文献:

- [1] 张晨,陈朝阳,沈绪榜. APS星跟踪器探测灵敏度研究[J]. 光电工程,2004,31(10):17-20.
ZHANG CH, CHEN ZH Y, SHEN X B. Study on detection sensitivity of APS star tracker [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 31 (10): 17-20. (in Chinese)
- [2] 刘金国,李杰,郝志航. APS星敏传感器探测灵敏度研究[J]. 光学精密工程,2006,14(4):553-557.
LIU J G, LI J, HAO ZH H. Study on detection sensitivity of APS star tracker [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14 (4): 553-557. (in Chinese)
- [3] 李杰. APS星敏传感器关键技术的研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2005.
LI J. *Study on the Key Technology of APS Star Tracker* [D]. Beijing: Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 2005. (in Chinese)
- [4] WANG J, DENG J S, CUI J, *et al.*. Lunar exosphere influence on lunar-based near-ultraviolet astronomical observations[J]. *Advances in Space Research*, 2011, 48(12):1927-1934.
- [5] HANCOCK B R, STIRBL R C, CUNNINGHAM T J, *et al.*. CMOS active pixel sensor specific performance effects on star tracker/imager position accuracy [J]. *SPIE*, 2002, 4284: 44-47.
- [6] 袁家虎,张建荣,贺善金. 导航星敏传感器探测灵敏度研究[J]. 光电工程,1999,26(6):1-6.
YUAN J H, ZHANG J R, HE SH J. A study on detection sensitivity of navigation star sensor[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1999, 26(6): 1-6. (in Chinese)
- [7] 彭华峰,陈鲸,张彬. 天基光电望远镜极限星等探测能力研究[J]. 光电工程,2007,34(8):1-5.
PENG H F, CHEN J, ZHANG B. Limited magnitude detectivity of space-based opto-electronic telescope[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 34 (8): 1-5. (in Chinese)
- [8] 潘海斌,宋广华,解利军,等. 天基可见光相机探测灵敏度研究[J]. 光学学报,2010,30(10):2935-2940.
PAN H B, SONG G H, XIE L J, *et al.*. Research on detection sensitivity of space-based visible sensor [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30 (10): 2935-2940. (in Chinese)
- [9] 张科科,傅丹鹰,周峰,等. 空间目标可见光相机探测能力理论计算方法研究[J]. 航天返回与遥感,2006,27(4):22-26.
ZHANG K K, FU D Y, ZHOU F, *et al.*. The study on detect ability calculation method of space object visible camera[J]. *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 2006, 27(4): 22-26. (in Chinese)
- [10] PETER L, CHU. Optimal projection for multidimensional signal detection[J]. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1988, 36(5): 775-778.
- [11] 王辰,王宏强,陈明华. 成像器噪声对星敏传感器星等灵敏度的影响[J]. 红外与激光工程,2008,37(5):858-862.
WANG CH, WANG H Q, CH M H. Effect of image processor's noise on magnitude sensitivity of star sensor[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(5): 858-862. (in Chinese)
- [12] 王智,李朝辉. 月基极紫外相机光机结构设计[J]. 光学精密工程,2011,19(10):2427-2433.
WANG ZH, LI CH H. Design of optical-mechanical structure for lunar-based extreme ultraviolet camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19 (10): 2427-2433. (in Chinese)
- [13] 陈波,尼启良,王君林. 长春光机所软X射线-极紫外波段光学研究[J]. 光学精密工程,2007,15(12):1862-1868.
CHEN B, NI Q L, WANG J L. Soft X-ray and extreme ultraviolet optics in CIOMP [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15 (12): 1862-1868. (in Chinese)

作者简介:



徐亮(1984—),男,陕西西安人,工程师,2006年于西安工业大学获得学士学位,2009年于长春理工大学获得硕士学位,主要从事光学设计与弱光测试技术的研究。E-mail: xuliang757@163.com



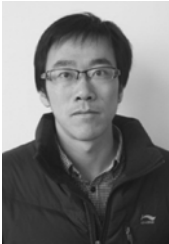
刘峰(1984—),男,陕西宝鸡人,工程师,2007年于郑州轻工学院获得学士学位,2010年于长春理工大学获得硕士学位,主要从事光学设计与光学检测技术的研究。E-mail: liufeng@opt.ac.cn



胡丹丹(1981—),女,陕西西安人,工程师,2004年于西安交通大学获得学士学位,2008年于西北工业大学获得硕士学位,主要从事 MTF 测试及光学检测技术的研究。E-mail:hdd@opt. ac. cn



赵建科(1975—),男,陕西宝鸡人,高级工程师,1999年于中国计量学院获得学士学位,2009年于西安交通大学获得硕士学位,主要从事航天、航空相机及光学跟踪测量设备总体指标测试工作。E-mail:zjk@opt. ac. cn



薛 勋(1986—),男,陕西蒲城人,工程师,2008年于西北大学获得学士学位,主要从事光学检测技术研究。E-mail:xx@opt. ac. cn

● 下期预告

光学元件表面的数字全息在线检测

王璠璟*,肖 文,潘 锋,丛 琳,李建毅
(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院,北京 100191)

本文针对光学元件表面质量在线检测的特点,设计了基于数字全息的三维再现检测系统。该系统采用离轴光路,避开了被测元件的光轴,并通过倾斜相差补偿技术的应用,在数字全息的再现过程中,去除了由于离轴检测引入的倾斜相位畸变。在检测过程中,检测系统利用围绕光轴旋转被测元件的方法,改变入射照明光方向矢量和相应观察方向,实现了多照明矢量合成孔径技术的应用,扩展了系统的检测距离,提高了系统分辨率。同时,多照明角度下检测数据的叠加,还能够有效的抑制检测过程中出现的散斑噪声等干扰因素对结果准确度的影响。通过对分辨率板、高精度玻璃反射镜的检测实验,验证了该系统在光学元件表面检测中的作用。当记录距离为 40 cm 的情况下,其分辨率能够达到 $10\ \mu\text{m}$,系统噪声也得到了有效抑制,满足光学元件表面检测的需要。