

文章编号 2097-1842(2024)02-0390-08

# 大口径环形分段光学系统基准构建方法

安其昌<sup>1,2,3\*</sup>, 吴小霞<sup>1,2,3</sup>, 刘欣悦<sup>1,2,3</sup>, 王 勋<sup>4</sup>, 李洪文<sup>1,2,3</sup>

(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. 中国科学院大学, 北京 100039;

3. 吉林省智能波前传感与控制重点实验室, 吉林长春 130033;

4. 中国人民解放军 95975 部队, 甘肃 酒泉 735018)

**摘要:**为了更好地对大口径分段望远镜进行集成检测与稳定性保持基准构建, 本文提出一种大口径环形分段光学系统基准构建方法。首先, 采用局部光瞳投射的方式实现光瞳对准映射; 其次, 利用微透镜阵列构建系统共焦空间基准; 之后, 基于环带整体调控模式, 采用共焦与曲率半径联合分析, 实现曲率半径与系统对准的共同调节; 最后, 利用白光干涉所形成的条纹包络进行粗共相探测, 并利用通道光谱方法实现粗共相与精共相间的精度衔接, 空间共焦基准定位精度优于 125  $\mu\text{m}$ , 共相基准覆盖范围优于 20  $\mu\text{m}$ , 精度优于 0.5  $\mu\text{m}$ , 光谱基准不确定度优于 5%。实现了不同时空特征扰动的分层次、多模态抑制, 利用以上共基准原位测量新方法有效提升了光学系统原位计量检测精度并缩短了溯源链长度, 增加了检测效率与准确度。

**关键词:** 分段镜面; 波前像差; 共基准; 大口径望远镜

中图分类号: TH751 文献标志码: A doi: 10.37188/CO.2023-0149

## A benchmark construction method for large aperture circular segmented optical systems

AN Qi-chang<sup>1,2,3\*</sup>, WU Xiao-xia<sup>1,2,3</sup>, LIU Xin-yue<sup>1,2,3</sup>, WANG Xun<sup>4</sup>, LI Hong-wen<sup>1,2,3</sup>

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

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Jilin Provincial Key Laboratory of Intelligent Wavefront Sensing and Control, Changchun 130033, China;

4. Chinese People's Liberation Army 95975, Jiuquan 735018, China)

\* Corresponding author, E-mail: anjj@mail.ustc.edu.cn

**Abstract:** To realize integration detection and construct stability maintaining benchmark for large apertures of segmented telescopes, we propose a benchmark construction method. In this study, we use local pupil projection to perform pupil alignment mapping. In addition, we construct a system confocal spatial benchmark using a microlens array. On the basis of annular whole-body control mode, a joint analysis method of confocal and curvature radius enables joint adjustment of the curvature radius and system alignment. Finally, the

收稿日期: 2023-08-28; 修订日期: 2023-09-12

基金项目: 吉林省科技发展计划 (No. 20220402032GH)

Supported by Jilin Science and Technology Development Program (No. 20220402032GH)

stripe envelope formed by white light interference is used for coarse common phases detection, and the channel spectral method is used to obtain precise connection between coarse and fine common phases. Additionally, the spatial confocal reference positioning exhibits an accuracy of less than 125  $\mu\text{m}$ , and the common phase reference has a coverage range better than 0.5  $\mu\text{m}$  within a 20- $\mu\text{m}$ -range. Furthermore, the uncertainty of the spectral reference is less than 5%. We have effectively improved the accuracy of optical system in-situ measurement by achieving hierarchical and multimodal suppression of disturbances from different spatiotemporal features. We have shortened the length of the traceability chain and increased the efficiency and accuracy of detection by utilizing the new method of common reference in-situ measurement.

**Key words:** segmented mirror; wavefront aberration; common reference; large aperture telescope

## 1 引言

目前,不论是“一黑两暗三起源”等科学问题,还是对地高分遥感等国家重大项目,所需要的光学系统口径都越来越大。更大的口径可获得更高的分辨率与集光能力(即可观测到宇宙更加深远的地方),为探索宇宙中大尺度物质分布与暗能量之间的关系提供更丰富的数据。同时,更高的分辨率也可以降低视场中临近恒星对大尺度星系的影响,提高星系群集的观测精度。此外,在空间安全、碎片监测、导通测一体化等领域,大口径光学系统所带来的探测距离与灵敏度的提升,同样具有十分重要的意义。

地基方面。对于下一代在轨组装望远镜,国际空间站的光学试验台和集成计划,拟基于国际空间站构建 10 米级的空间望远镜,以实现对外太空生命的探索<sup>[1]</sup>。计划基于哈勃空间望远镜与詹姆斯韦布望远镜的技术基础,采用分段发射入轨、在轨组装的方式,实现 10 米口径望远镜的空间在轨组装<sup>[2]</sup>。大口径在轨组装光学系统与传统单镜系统不同,不仅存在与外界环境力热交互的外部边界,同时各子镜之间还存在位移协调与力系封闭等内部边界<sup>[3]</sup>,因此,需要更多的感知与调控环节以保证系统光学质量。而这一过程需要高精度高稳定的基准。目前,全世界最先进的拼接系统是 6.5 米口径詹姆斯韦布望远镜。其通过采用隔振平台以及镜面促动器等多种措施,使用曲率中心组件(CoCA)及多波长干涉仪等检测手段,确保后续过程中主镜单元的共相。利用中间像面实现三镜、快反镜与科学终端的精密对准,最终实现光轴稳定度优于 4 微角秒<sup>[4]</sup>。欧洲南方天

文台盖亚望远镜,由两台 1.5 米口径长条望远镜拼接而成,其后端的无缝光谱仪同时起到色散条纹传感的效果,通过对能量以及相位的探测,减少两台望远镜失调所造成的像质下降,实现更高的能量集中度。通过光学测距、波前传感以及调控机构,可实现 0.5 微角秒稳定性<sup>[5]</sup>。为了实现共焦稳定性,盖亚巡天望远镜离轴主镜尺寸为 1.46 m  $\times$  0.51 m,且由两台相对独立的望远镜合成。两台望远镜共用第五镜、第六镜以及焦面探测器,采用哈特曼进行波前拼接传感,共焦精度优于两个像素。

地基方面。单体镜面的极限为 8 米级(VLT, Subaru, GIMINI 等),10 米级望远镜镜面无法一次制造,需要采用拼接的方式实现。拼接的方式包括将独立望远镜精准对齐实现共相的稀疏孔径形式(GMT)以及减小拼缝效应近似连续镜面的拼接镜形式(TMT, ELT)。目前正在运行的大口径分段镜面望远镜包括 KECK GTC、HET 以及 SALT<sup>[6-7]</sup>。其口径均为 10 米级。暗物质会导致背景星系图像发生微弱扭曲(弱引力透镜效应),更高的成像质量可以有效降低后期图像处理中的初始误差,提高星系图像复原的准确度,提高引力透镜效应观测的效率与鲁棒性。针对暗物质、暗能量探索这一科学目标,科学家对下一代大口径望远镜提出了更高的分辨率与成像质量要求<sup>[8]</sup>。针对大口径望远镜,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所构建了内部度量系统,通过将主镜基准与探测器基准实现位置锁定,利用该结果对光线传播过程中的各个光学元件进行精度闭环,最终有效提升系统的指向精度,保证极深场曝光下的光强稳定<sup>[9-10]</sup>。云南天

文台在环形太阳望远镜计划的研究中,针对各个镜面光轴的对准,利用斜率计对环形望远镜的共焦进行辅助测量,同时避免在跟踪过程中发生元件光轴偏移<sup>[11]</sup>。

在此,通过曲率传感(利用系统焦面,不需要额外光路,不引入非公共光路像差)结合环带模式实现大范围的波前感知,并结合边界处的条纹探测,可实现高动态、高分辨系统边界异变感知。保证焦斑在空间位置上的最小包络。通过边缘干涉测量,基于多间隔双波长干涉测量方法实现分段系统边界粗、精共相及其精度衔接,即利用小间隔双波长干涉所形成的高斯特征包络实现粗共相。通过物理先验模型拟合大间隔双波长干涉条纹实现精共相,并在工作中心波长附近实现子镜间的台阶误差抑制。最后,基于光纤互联系统重量轻、光路折转便捷的优势,构建了大口径拼接镜的光谱基准。

## 2 分段镜光瞳对准基准

大口径分段镜光瞳对准方面,由于分段镜每个子镜均产生一个轴外光瞳采样,而采样的轮廓(假设子镜形状不变)会随着离轴量的增加而缩小,同时,在光瞳上间隔的投影也会发生变化。

以扇形拼接为例,通过分析可以获得大口径扇形拼接镜面。为保证分段镜拼缝的宽度均匀,其拼缝边缘处的拼缝角度与实际扇形角度间存在一定偏差。而系统子镜的切割无法沿着半径方向进行,因此拐角处半径与切线夹角不为 $90^\circ$ 。同时,基于环带的调控还需要保证各个环带的同心度,由于子镜间的间隔主要用于补偿大范围倾斜正弦差、热膨胀以及结构变形,因此,作为整体环带,在建立基准时,需要对其偏心误差进行严格控制。倾斜所引起的光瞳强度变化与边界偏移如图 1 所示。在小范围内,光瞳失调主要表现为光强分布变化。当倾角失调较大时,受渐晕光学像差影响,将导致边缘与强度均发生较大变化。对此,基于“化曲为直”的基本思路,采用孔径编码的方式,首先采用小口径采样,忽略弧度与强度分布,保证其基本平行,之后再调节光瞳光强。同时,利用剪切干涉原理,通过条纹的间

隔估计倾斜,可得光瞳基准分辨力优于 $20 \mu\text{rad}/30 \mu\text{m}$ 。

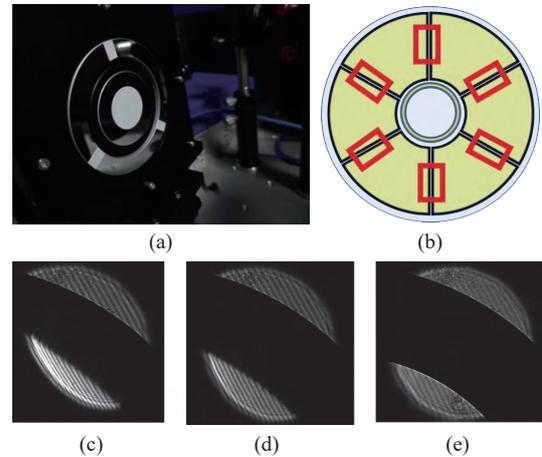


图 1 大口径分段镜光瞳对准基准。(a) 实验平台; (b) 采样区域分布图; (c)~(e) 倾斜所带来的光瞳强度变化与边界偏移

Fig. 1 Pupil alignment benchmark of large aperture segmented Mirror. (a) Experimental platform; (b) sampling area distribution; (c)~(e) changes in pupil intensity and boundary offset caused by tilting

### 2.1 分段镜共焦基准

大口径分段镜共焦基准的重点在于,仅使用相机靶面实现焦面测量,无法与实际机械光轴实现对准,即焦面上所形成的最小环围能量位置与自身存在偏差,导致离轴像差与焦斑能量分布耦合,同时,非球面拼接镜各镜面之间的光轴倾斜会产生附加像差的离面像差,进而产生附加像散与彗差,即,球面镜的曲率中心差异可通过光轴的倾斜进行补偿。该补偿过程仅对光瞳的投影形状产生影响,附加其他像差;而离轴抛物面光轴唯一,该补偿过程会产生波前倾斜。传统环围能量法无法确定焦斑的真实边界。同时无法准确寻找到其中心。利用微透镜阵列对焦斑进行重新分解,并由各离散子孔径的平均位置获得中心位置,也可由孔径光强差分获得边界异变。采用几何相位材料构建微透镜阵列,可实现大规模长焦距。在靶面上采用微透镜阵列可将光学基准与机械基准进行统一,在调节靶面后也不会影响光学基准的准确位置,基于透镜阵列的共焦检测验证结果如图 2 所示,在靶面前基于几何相位材料构建大尺寸微透镜阵列,空间共焦基准定位精度优于 $125 \mu\text{m}$ 。

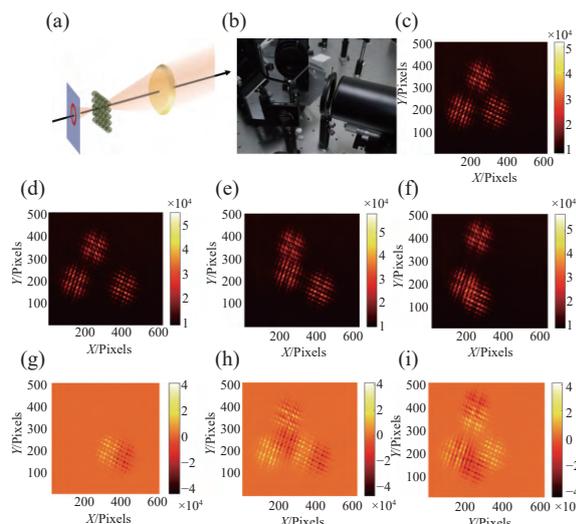


图2 基于微透镜阵列的共焦检测结果。(a)系统原理图; (b)实验现场; (c)原始焦面光强分布; (d)~(f)不同共焦状态焦面光强分布; (g)~(i)光强差分

Fig. 2 Co-focus detection results based on micro-lens array. (a) System schematic diagram; (b) experimental site; (c) intensity distribution of original focal plane; (d)~(f) intensity distribution of focal plane at different co-focus states; (g)~(i) intensity difference

## 2.2 曲率半径基准

环形拼接模式下, 每个环形带的整体曲率半径变化与轴向离焦存在部分补偿关系, 对于能量探测影响较小, 但是对于高分成像观测, 需采用高阶球差测量方法进行精细调节。针对环形拼接, 通过自由度锁定, 将同一圈层环带之上的扇形子镜看作一个整体进行调控。曲率传感基本原理如式(1)所示<sup>[12]</sup>:

$$\frac{I_+ - I_-}{2\bar{I}\Delta} \approx -\nabla^2\Phi(x, y) \quad (1)$$

其中,  $x$ 、 $y$  为光瞳坐标,  $I_+$ 、 $I_-$  分别为焦前焦后的能量分布,  $\Delta$  为离焦量,  $\bar{I}$  为拼接光通量。利用菲涅尔衍射理论, 构建透射波前远场能量分布规律化表达模型, 建立宏观参量(中心厚度、曲率半径等)以及微观特征(各界面面形)与最终波前多层次误差的定量化关系。

针对单一环带上的子镜, 利用曲率传感同时对共焦与曲率一致性进行感知与调节。基于圆形反射镜根据对称位置的测量结果, 获得对曲率半径与像差的联合感知。对于内部刚度较高的环形区域, 将在内环附近降低对改正力的响应。尤其

针对内圈拼接镜, 会造成较大的边缘翘曲, 影响边界的连续均一性。因此, 在调节时需要增加边界连续性约束。不仅如此, 对多个分段镜面进行调控的过程中, 会产生面形误差与系统失调像差的耦合, 因此需要采用不同的离焦量对其进行分离感知。由于系统失调所产生的低阶像差对离焦星点像光强分布与形态调制作用较强。因此, 可采用较少离焦量进行调节, 如图3(彩图见期刊电子版)。

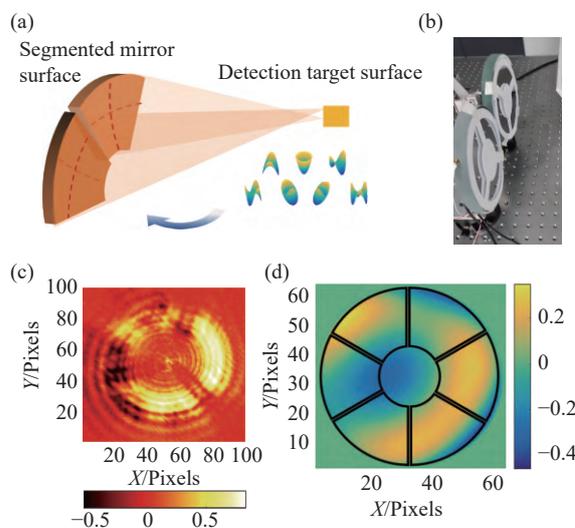


图3 曲率半径定标验证。(a)环带检测原理图; (b)实验平台; (c)光强差分; (d)像差估计

Fig. 3 Verification of curvature radius measurement standard. (a) Ring detection principle diagram; (b) experimental platform; (c) light intensity difference; (d) aberration estimation

## 2.3 共相测试基准

利用白光干涉所形成的条纹包络进行粗共相探测, 之后, 利用通道光谱方法实现粗共相与精共相间的精度衔接, 并在工作中心波长附近实现子镜间的台阶误差抑制。考虑孔径衍射极限下的二维条纹模型, 如式(2)所示。假设光束为半高全宽为  $A$  的高斯光束, 针对圆孔衍射为  $(x, y)$  面上的二维分布, 其特征衍射模式(艾里斑)与等倾干涉所形成的直条纹相似性最低, 矩形孔径所引入的直边衍射为单维度高斯分布。采用矩形采样孔径进行边界稳定性与共相误差测量<sup>[13]</sup>。

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\delta \quad (2)$$

其中  $\delta$  为光程差,

$$I_i(x,y) = I_0 \exp\left(-2\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{A^2}\right)$$

采用倾斜载波的方式, 首先利用子镜间的轻微倾斜对干涉条纹进行载波调制。对干涉条纹与衍射条纹进行身份辨认, 分离衍射条纹与干涉条纹。通过单色光照明, 可得到不同载波下, 条纹的对比度分别为 0.44 与 0.52。共相基准覆盖范围在 20 μm 的范围内优于 0.5 μm, 可实现多尺度(局部—整体), 多层次(镜面曲率—共焦—共相)的调节, 共相测试验证实验如图 4 所示。

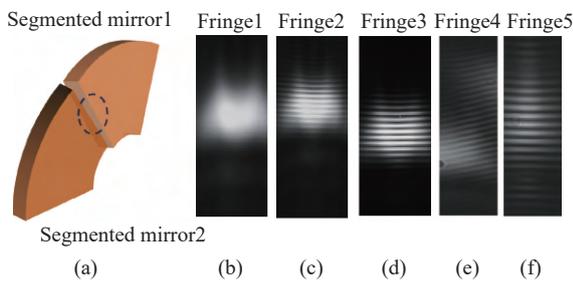


图 4 共相测试验证实验。(a) 测量原理; (b)~(d) 宽带干涉条纹; (e)~(f) 窄带干涉条纹

Fig. 4 Co-phase testing verification. (a) Experimental principle; (b)~(d) broadband interference fringes; (e)~(f) narrow band interference fringes

### 2.4 光谱测试基准

对于大口径望远镜, 更宽的波段意味着更强的能量与信息收集能力, 但是, 随着观测谱段的增加, 大口径环形望远镜系统设计色差、环形基准偏离(失调)所形成的色散以及大气色散等因素, 均会产生像质退化。针对色散影响, 在此通过单波长进行检测并构建响应基准。采用光纤

互联的方式, 构建大口径拼接镜的光谱基准。波前色散可分为两个部分: 一部分是由于波前在自由空间中传播所产生的色散, 另一部分是通过光学系统, 尤其是透射光学元件所产生的色散。如图 5(彩图见期刊电子版)所示, 入射光为 1560 nm 时获得的模态为基模。由此可知其耦合效率最高, 即对应的光谱能量最强, 其在多模光纤中主要以基模形式存在, 同时其入射的能量也最高。光子灯笼光谱测试验证结果如图 6(彩图见期刊电子版)所示, 其不同波长光谱基准不确定度优于 5%。

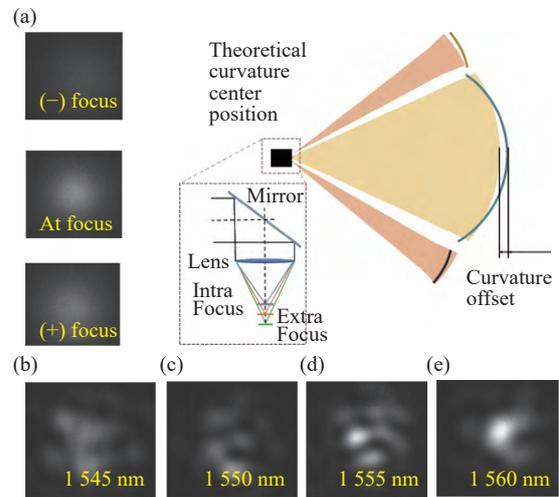
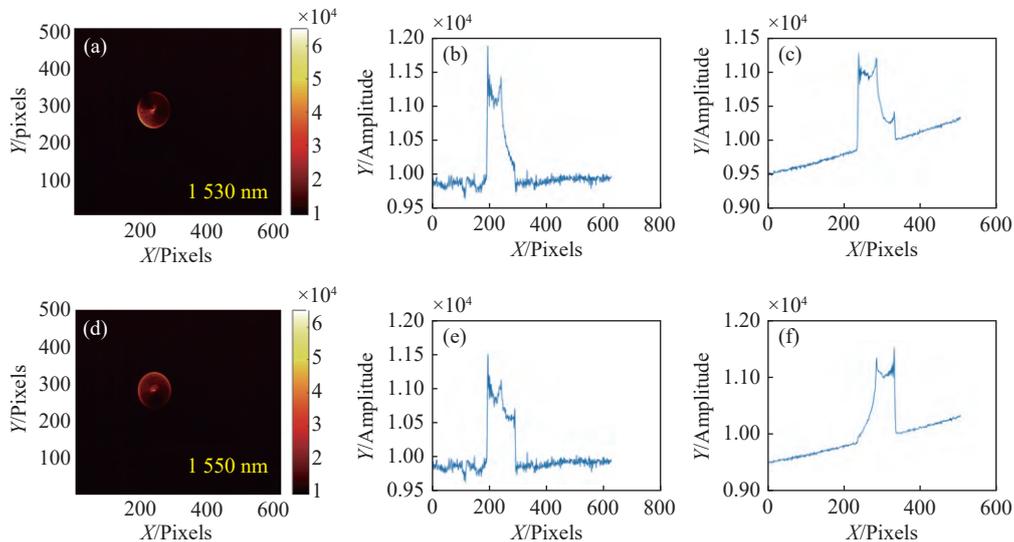


图 5 光纤互联大范围间距测试验证实验。(a) 实验原理示意图; (b)~(e) 不同入射波长下的光纤模态

Fig. 5 Verification experiment of large-scale spacing testing for fiber interconnections. (a) Experimental principle; (b)~(e) fiber modes at different incident wavelengths



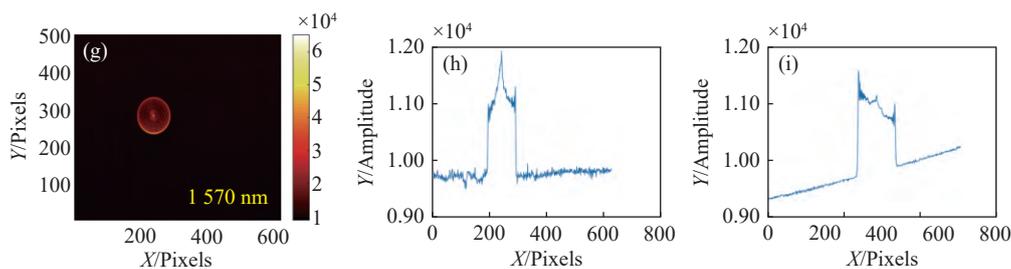


图 6 光子灯笼光谱测试验证实验。(a)~(c)1530 nm 下,少模端模场分布与两方向截面;(d)~(f)1550 nm 下,少模端模场分布与两方向截面;(g)~(i) 1570 nm 下,少模端模场分布与两方向截面

Fig. 6 Photon lantern spectrum testing verification. (a)~(c) At 1530 nm, the distribution of few-mode end mode field and cross sections; (d)~(f) at 1550 nm, the distribution of few-mode end mode field and cross sections; (g)~(i) at 1570 nm, the distribution of few-mode end mode field and cross sections

### 3 精度分析

六边形拼接中各个边缘所得的台阶差权重相同。对于扇形拼接,沿径向得到的调节权重低于周向方向,因此,在调节矩阵中需要调节权重或增加阻尼项以保证调节的有效性(控制矩阵不产生奇异)。通过构建高阶灵敏度矩阵实现边缘台阶差与波前整体共相误差的映射。同时,以曲率半径与共焦稳定性指标(环围能量等)作为阻尼项,保证共相稳定性补偿过程对几何光学像差影响的解耦。

利用曲率传感实现大范围的波前感知,并结合边界处的条纹探测,实现高动态、高分辨系统边界异变感知。针对子镜曲率半径稳定性保持层次,利用边缘处的能量差分确定焦斑中心位置后,利用离焦(大范围感知)与高阶球差(高分辨精细调节)进行轮换测量,保证焦斑在空间位置上的最小包络。针对分段式光学系统所有子镜像点均进入探测器后的共焦稳定性保持过程,探索基于曲率传感与边缘干涉测量的整体像差与局部台阶差的计算及融合处理方法,实现对系统基准的感知。通过仿真可得其相关度高于 0.8,结果如图 7 (彩图见期刊电子版)所示。

利用望远镜对自然导星成像,验证在大气、温度、色散等诸多外界因素影响下的探测能力,验证平台及其检测结果如图 8(彩图见期刊电子版)所示,大气(包括相机与圆顶)视宁角为  $1.5''$ ,旋转翻滚(方位俯仰)角为  $0.5''$ ,检测精度重复性为  $0.03''$ 。环形镜面不仅存在于环形拼接望远镜中,未来的大口径、大视场望远镜由于遮拦比较

大,也存在类似的误差模式。不仅如此,传统的六边形或圆形拼接镜面影响函数的边界约束对称性强,而环形镜面的调控函数在径向方向上,因此其影响函数会发生非对称异变。如图 8 所示,波前变化的基本模式较传统的像散模式,在边界处有着明显的截断效应。

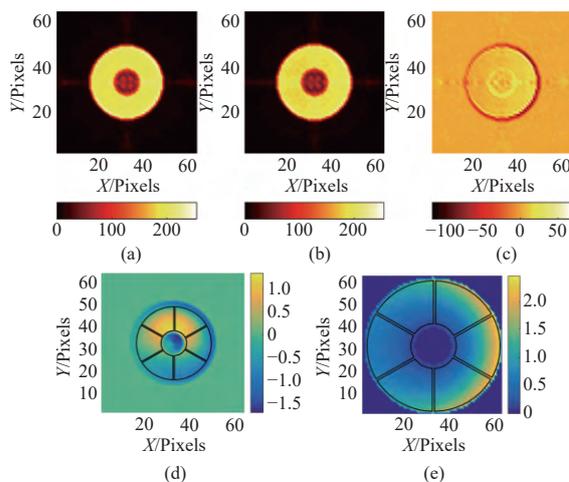
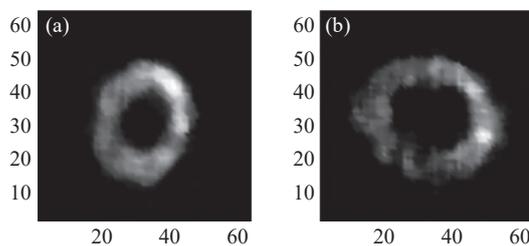


图 7 仿真分析测试验证结果。(a)焦前光强分布;(b)焦后光强分布;(c)光强差分;(c)重建波前;(d)原始波前

Fig. 7 Simulation analysis test verification results. (a) Intra-focal light intensity distribution; (b) extra-focal light intensity distribution; (c) light intensity difference; (c) reconstruction wavefront; (d) original wavefront



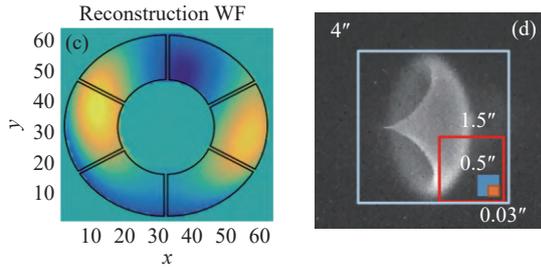


图 8 外场实验验证结果。(a)焦前光强分布;(b)焦后光强分布;(c)波前解算结果;(d)离焦星点图分析

Fig. 8 Verification results of field experiments. (a) Intra-focal light intensity distribution; (b) extra-focal light intensity distribution; (c) wavefront solution results; (d) analysis of defocused star point maps

## 4 结 论

本文通过光瞳几何特征获得系统多光瞳偏

移信息。空间共焦基准定位精度优于  $125\ \mu\text{m}$ , 实现了焦点空间位置的固化, 获得共相基准覆盖范围在  $20\ \mu\text{m}$  内优于  $0.5\ \mu\text{m}$ , 光谱基准不确定度优于 5%。基于曲率波前传感, 避免了环能量等传统方法共焦调控过程附加像差的耦合影响, 解决了光学系统固有设计像差与子镜倾斜、子镜曲率差异等所带来的像差串扰(相位)与渐晕(强度)等误差难以兼顾的难题, 实现了系统整体像差校正与边界稳定性的协同感知与并行校正。通过波前的感知与调控, 将大口径环形拼接镜的状态始终保持在其精度极限附近, 并通过“内部度量小闭环”+“环境适应大闭环”的多层次调控, 可有效地提升大口径望远镜获取能量与信息的能力, 为大口径系统多自由度调控精度与效率的增加提供了新路径。

### 参考文献:

- [1] GOULLIQUOD R, MCELWAIN M, BURDICK G M, *et al.*. OpTIIIX: An ISS-based testbed paving the roadmap toward a next generation, large aperture UV/optical space telescope[R]. 2012.
- [2] BASU S. Conceptual design of an autonomously assembled space telescope (AASST)[J]. *Proceedings of SPIE*, 2004, 5166: 98-112.
- [3] BOLCAR M R. The large UV/optical/infrared surveyor (LUVOIR): Decadal mission concept technology development overview[J]. *Proceedings of SPIE*, 2017, 10398: 103980A.
- [4] SIVARAMAKRISHNAN A, TUTHILL P, LLOYD J P, *et al.*. The near infrared imager and Slitless spectrograph for the James Webb space telescope. IV. Aperture masking interferometry[J]. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 2023, 135(1043): 015003.
- [5] CANUTO E, MUSSO F. Active angular stabilization of the GAIA space telescope through laser interferometry[J]. *IFAC Proceedings Volumes*, 2004, 37(6): 955-960.
- [6] KIM D W, ESPARZA M, QUACH H, *et al.*. Optical technology for future telescopes[J]. *Proceedings of SPIE*, 2021, 11761: 1176103.
- [7] 李斌, 杨阿坤, 邹吉平. 基于宽波段光源拼接镜新型共相检测技术研究[J]. *中国光学 (中英文)*, 2022, 15(4): 797-805.  
LI B, YANG A K, ZOU J P. A new co-phasing detection technology of a segmented mirror based on broadband light[J]. *Chinese Optics*, 2022, 15(4): 797-805. (in Chinese).
- [8] BIASI R, MANETTI M, ANDRIGHETTONI M, *et al.*. E-ELT M4 adaptive unit final design and construction: a progress report[J]. *Proceedings of SPIE*, 2016, 9909: 99097Y.
- [9] AN Q CH, WU X X, LIN X D, *et al.*. Alignment of DECam-like large survey telescope for real-time active optics and error analysis[J]. *Optics Communications*, 2021, 484: 126685.
- [10] AN Q CH, ZHANG H F, WU X X, *et al.*. Curvature sensing-based pupil alignment method for large-aperture telescopes[J]. *IEEE Photonics Journal*, 2023, 15(1): 6800705.
- [11] DAI Y CH, YANG D H, JIN ZH Y, *et al.*. Active control of the Chinese giant solar telescope[J]. *Proceedings of SPIE*, 2014, 9145: 914550.
- [12] WU Z L, KANG I, YAO Y D, *et al.*. Three-dimensional nanoscale reduced-angle ptycho-tomographic imaging with deep learning (RAPID)[J]. *eLight*, 2023, 3: 7.
- [13] SIROHI R. Shearography and its applications—A chronological review[J]. *Light: Advanced Manufacturing*, 2022, 3: 1.

## 作者简介:



安其昌(1988—),男,山西太原人,博士,副研究员。2011年于中国科学技术大学获得工学学士学位,2018年于中国科学院大学获得博士学位,主要研究方向为大口径光机系统检测装调。  
E-mail: anji@mail.ustc.edu.cn

---

## 向您推荐《液晶与显示》期刊

《液晶与显示》是由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国物理学会液晶分会联合主办的液晶学科和显示技术领域的专业性学术期刊。

《液晶与显示》被美国ESCI、荷兰Scopus、英国《科学文摘》(INSPEC)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、美国《史蒂芬斯数据库》(EBSCO)、北大《中文核心期刊要目总览》、中国科技论文与引文数据库、中国科学引文数据库、《中国学术期刊(光盘版)》等国内外数据库收录。

《液晶与显示》以创新性、综合性、实用性为办刊特色,主要刊载液晶与显示前沿及交叉领域的创新成果及综合评述,刊载范围包括:液晶物理、液晶光学、液晶化学、液晶非线性光学、液晶自适应光学、液晶光子学、液晶材料与器件、LCD/OLED/QLED/Micro-LED显示、激光显示、3D显示、柔性显示、印刷显示、成像与显示、显示材料与器件、图像处理、计算机视觉、模式识别、嵌入式系统、驱动与控制等。

《液晶与显示》入选2022中科院JCR分区,入选RCCSE中国核心学术期刊,入选《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告》和《光学工程和光学领域高质量科技期刊分级目录》,被评为科学出版社期刊出版质量优秀奖,多次获得中国科学院科学出版基金科技期刊排行榜三等奖。

《液晶与显示》编辑部热忱欢迎广大朋友踊跃投稿订阅。

地 址: 长春市东南湖大路3888号  
《液晶与显示》编辑部

邮 编: 130033

电 话: (0431) 86176059

E-mail: yjxs@ciomp.ac.cn

国内统一刊号: CN 22-1259/04

国际标准刊号: ISSN 1007-2780

国内邮发代号: 12-203

国内定价: 100元/期

网 址: www.yjyxs.com