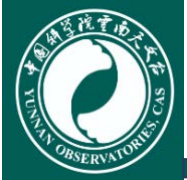


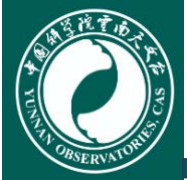
800mm环形拼接实验样机 的主动光学研究进展

戴懿纯 王斌 王昆延 谭旭 杨德华 马琳 金振宇
第十届海峡两岸天文望远镜与观测前沿技术研讨会
台北 2023. 11. 23

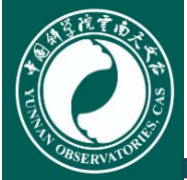


主要内容

- 项目的背景和意义
- 项目的基本情况
- 主动光学装调和研究进展
- 总结和展望



项目的背景和意义



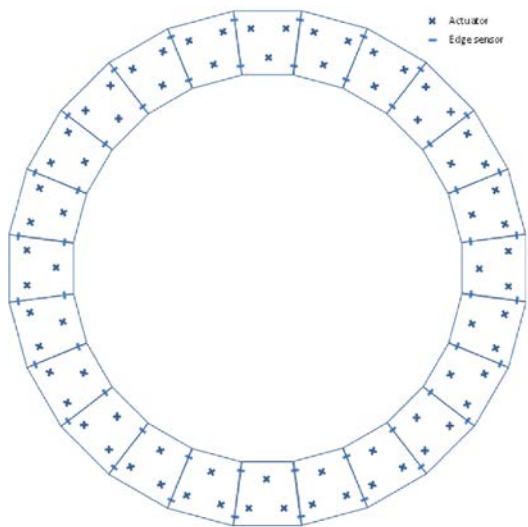
中国巨型太阳望远镜（CGST）环形拼接主镜方案的预研和推进

CGST环形拼接主镜实现的挑战（**首个采用拼接镜面的太阳望远镜**）

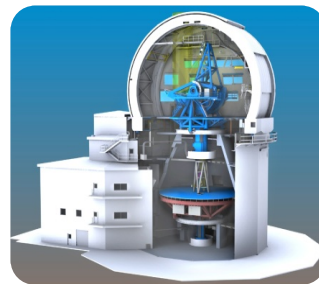
- CGST要实现在**可见光**波段的衍射极限成像（TiO：705.8nm；H α ：656.3nm；磁场测量：532.4nm）
- 环形拼接方案与全孔径拼接方案具有显著的区别
- 太阳望远镜相对夜间望远镜具有更为复杂的运行环境



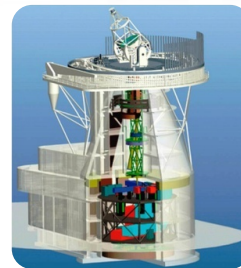
8m CGST



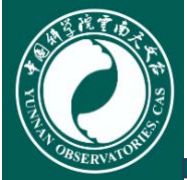
CGST拼接主镜方案
(24块子镜拼接)



4m DKIST : thin mirror
Diameter : 4260mm
Thickness : 73.66mm
Actuator : 120



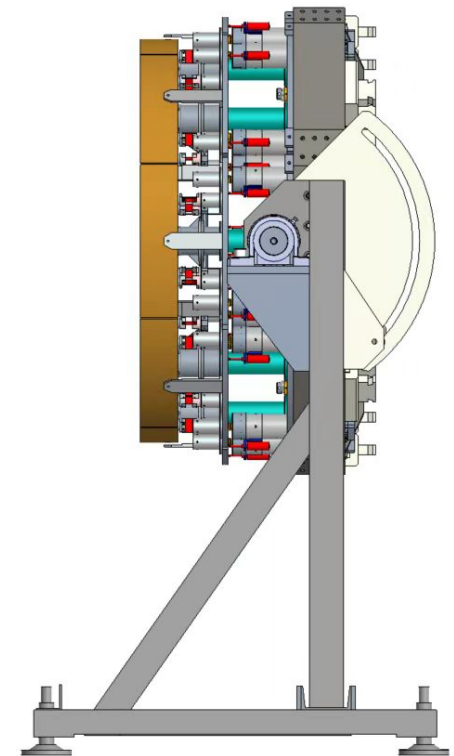
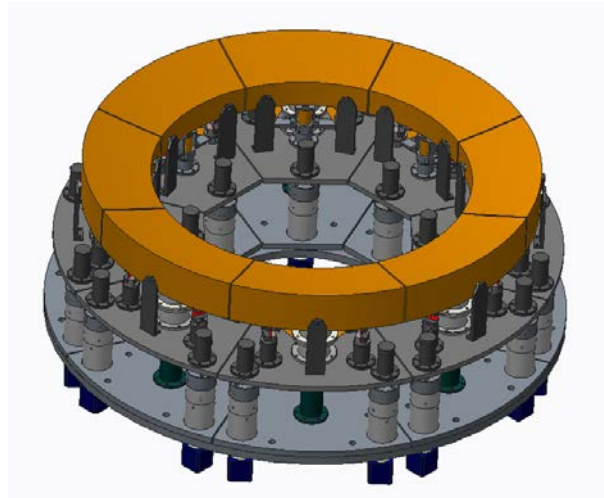
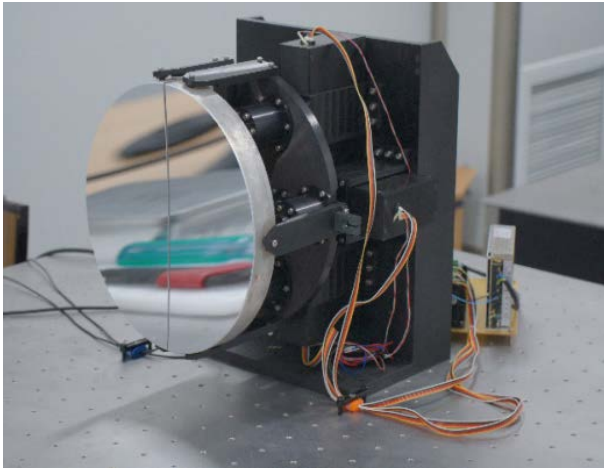
4m EST : honey comb
Diameter : 4200mm
Thickness : 250mm

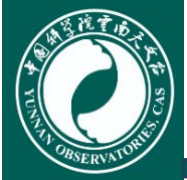


CGST主镜样机研制的必要性

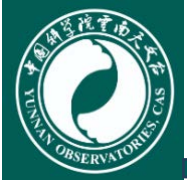
- 前期理论研究工作需要进一步实验验证
- 已建成的2镜拼接系统不能反映完整环形拼接方案的特性
- 亟需研制一台完整的环形拼接实验样机

云南省“中国巨型太阳望远镜科技攻关”项目支持

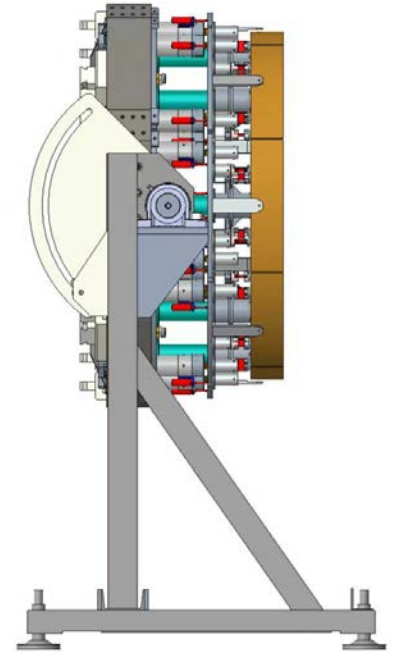
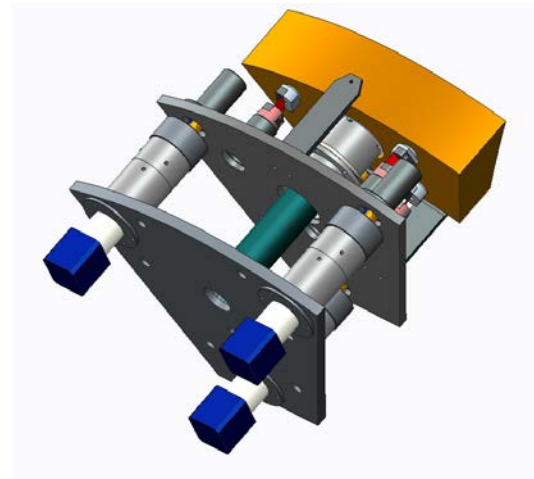
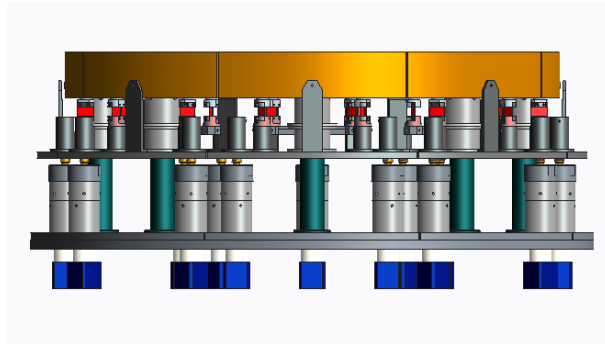
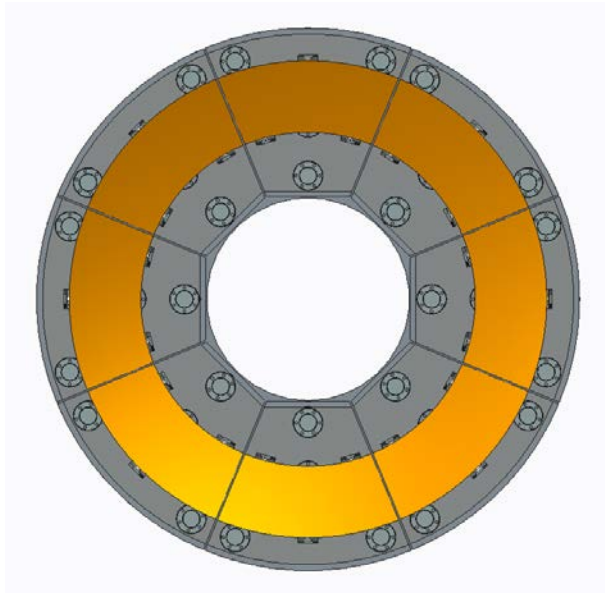




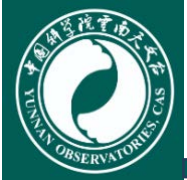
项目的基本情况



800mm环形拼接实验样机

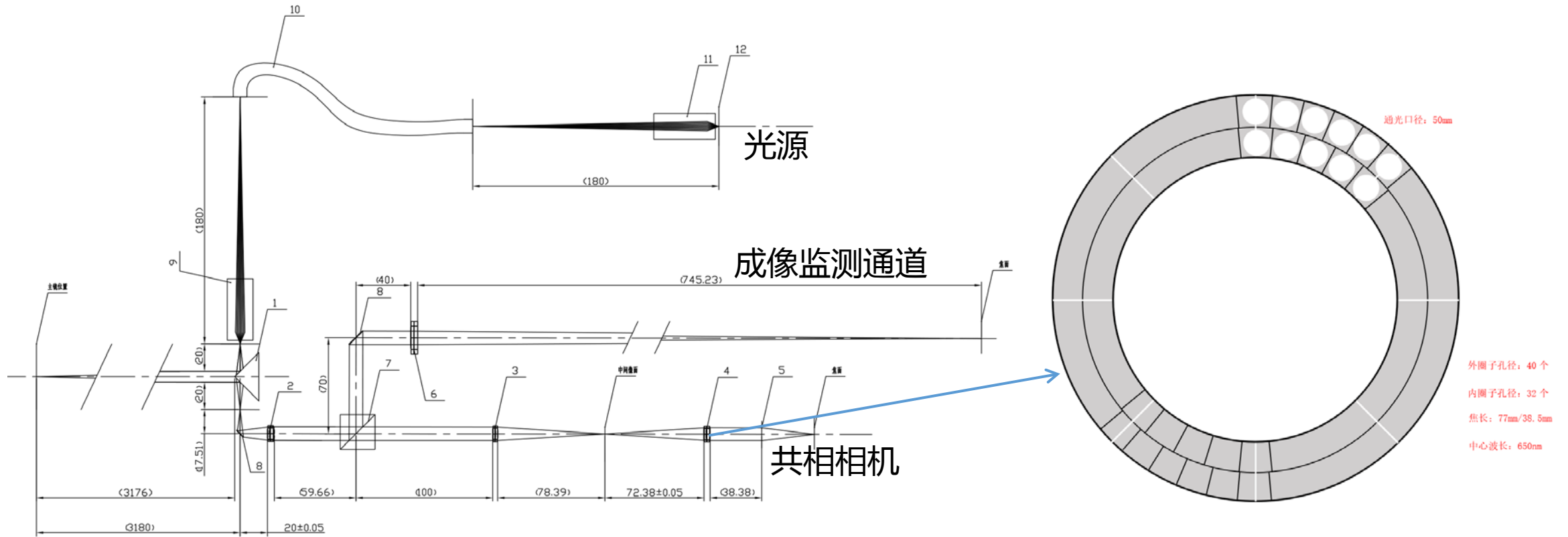


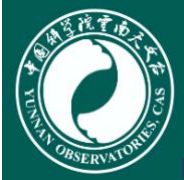
拼接直径	镜面宽度	子镜数量	镜面类型	镜面焦比	边缘厚度	子镜间隙
800mm	120mm	8	球面	F/2	75mm	3mm



一期目标：环形拼接镜面主动光学的研究和实验

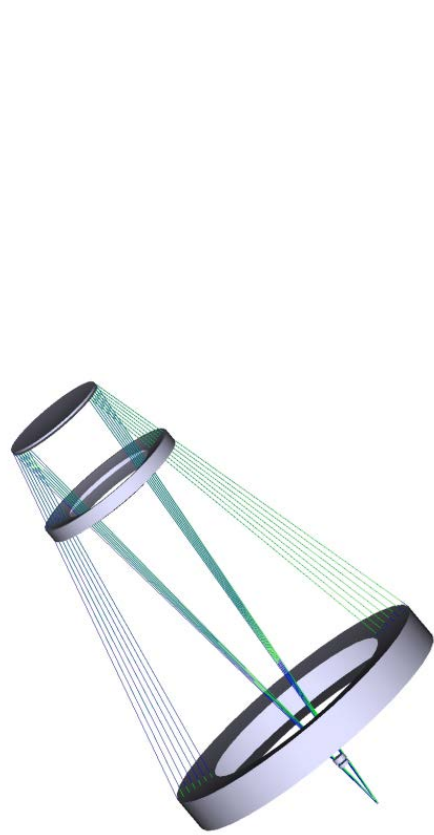
共相测量系统





二期目标：实现夜间或者日间的天文观测

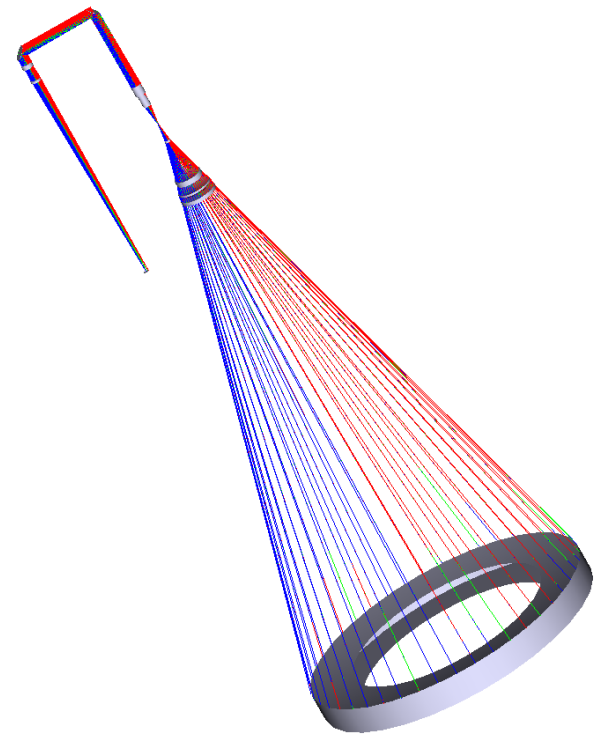
天文观测光学系统的概念设计



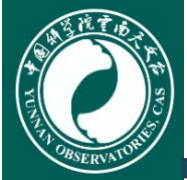
RC系统



Gregory系统

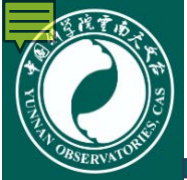


主焦系统

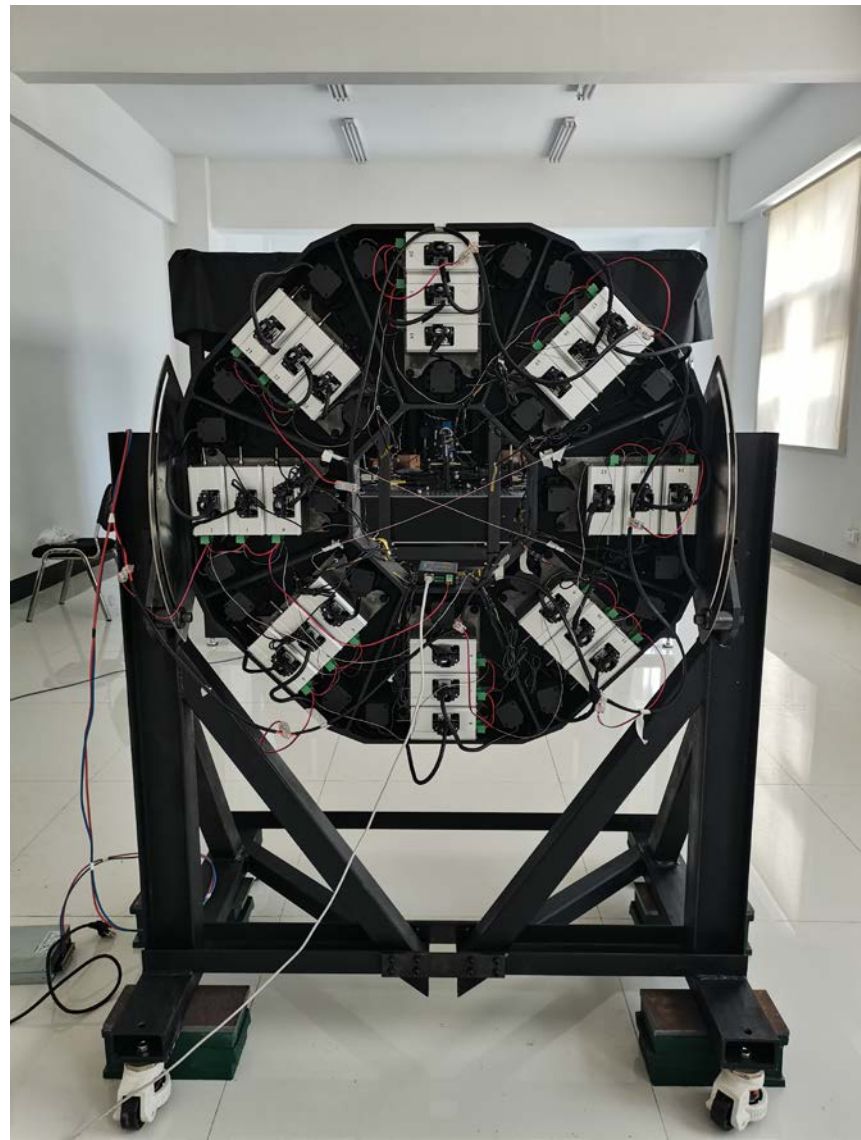


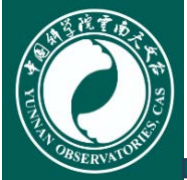
项目的进展情况

2021年7月	项目启动
2021年7-9月	整体方案设计 主镜基本参数和加工方案 机械系统方案 光学系统 拼接方案
2021年10月-2022年8月	主镜加工
2022年5月-9月	机械系统的加工
2022年10月初	主镜和机械系统的实验室安装
2022年10月-12月	机械系统的升级、完善和机械装调
2023年1月-3月	共相测量系统的光学装调
2023年4月-9月	共相调整实验
2023年10月	子镜系统曲率修正，电控系统升级

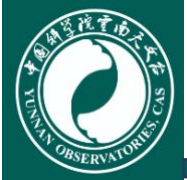


项目的进展情况





主动光学装调和研究进展

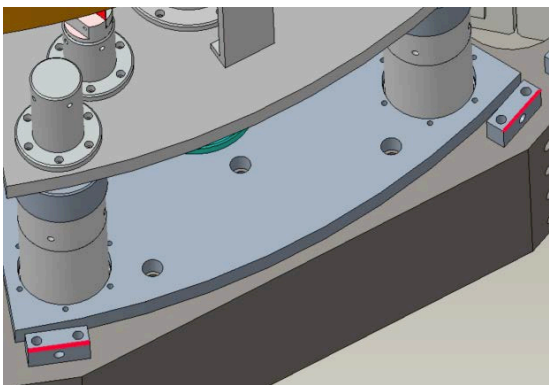
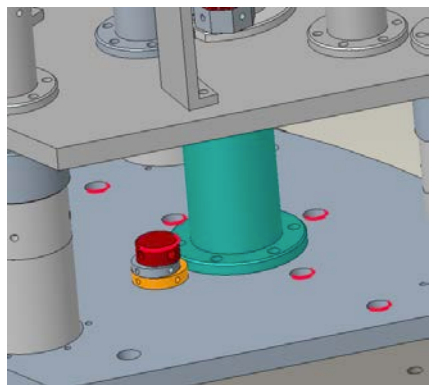
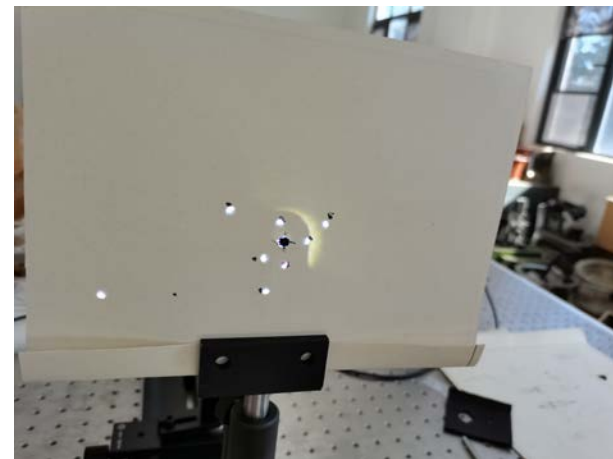
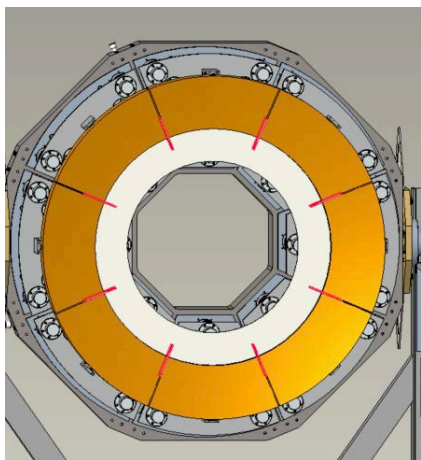
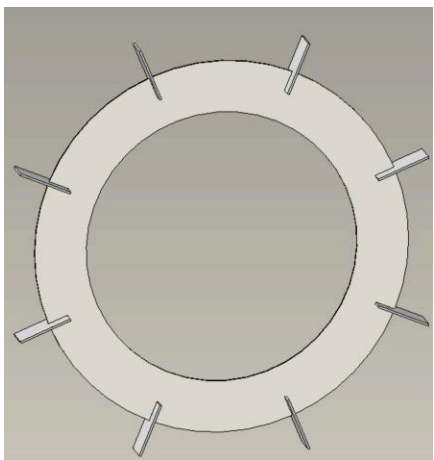


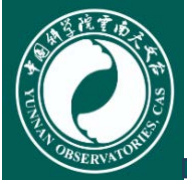
机械精调

子镜的面内位移

方法：采用了中心圆环与拼缝插片+下层子镜室板的偏心轮与螺丝

调节范围：~几个mm，调节精度：~ $\pm 0.5\text{mm}$





机械精调

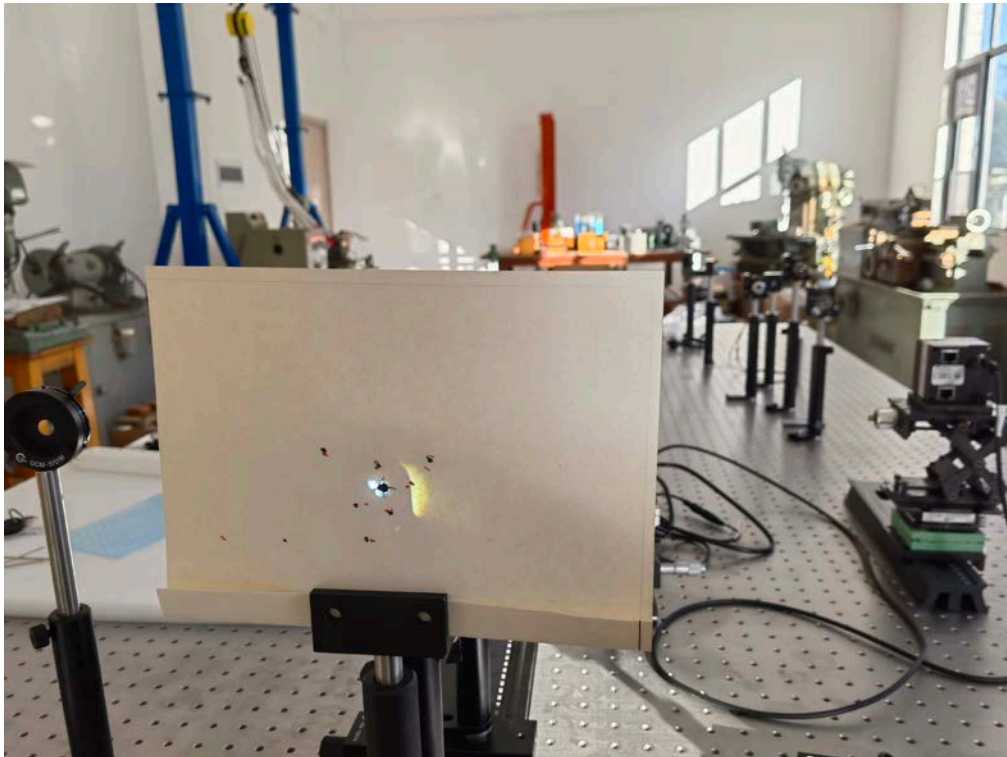
大范围的子镜面外位移

偏差较大

方法：光斑偏移法+子镜的倾斜调整

倾斜调节范围：~几十角分

倾斜调节精度：~±8角分（相机靶面 $7.4\mu\text{m} \times 2048$ ）

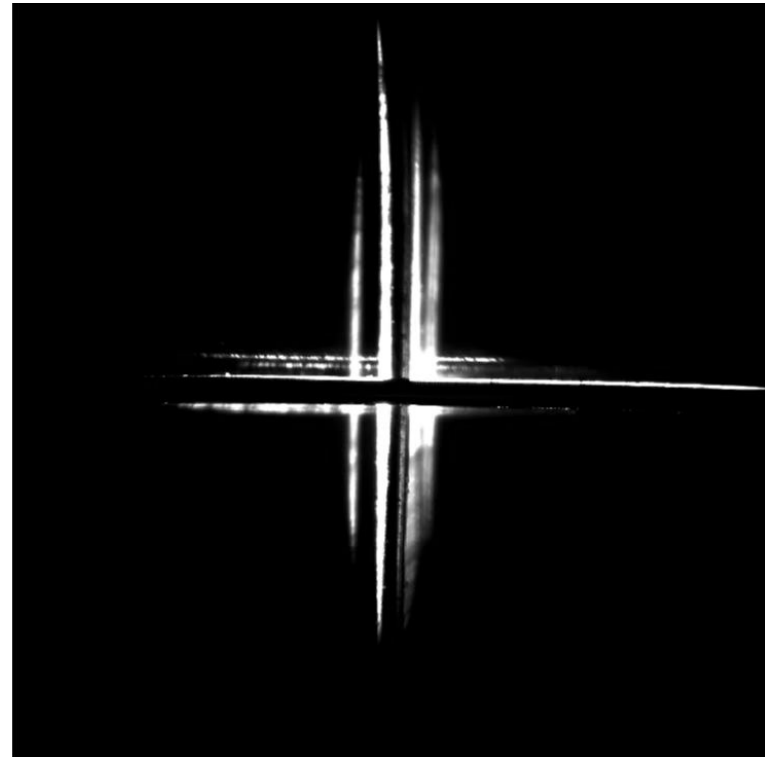


偏差较小

方法：十字叉丝对齐法+子镜的倾斜和Piston调整

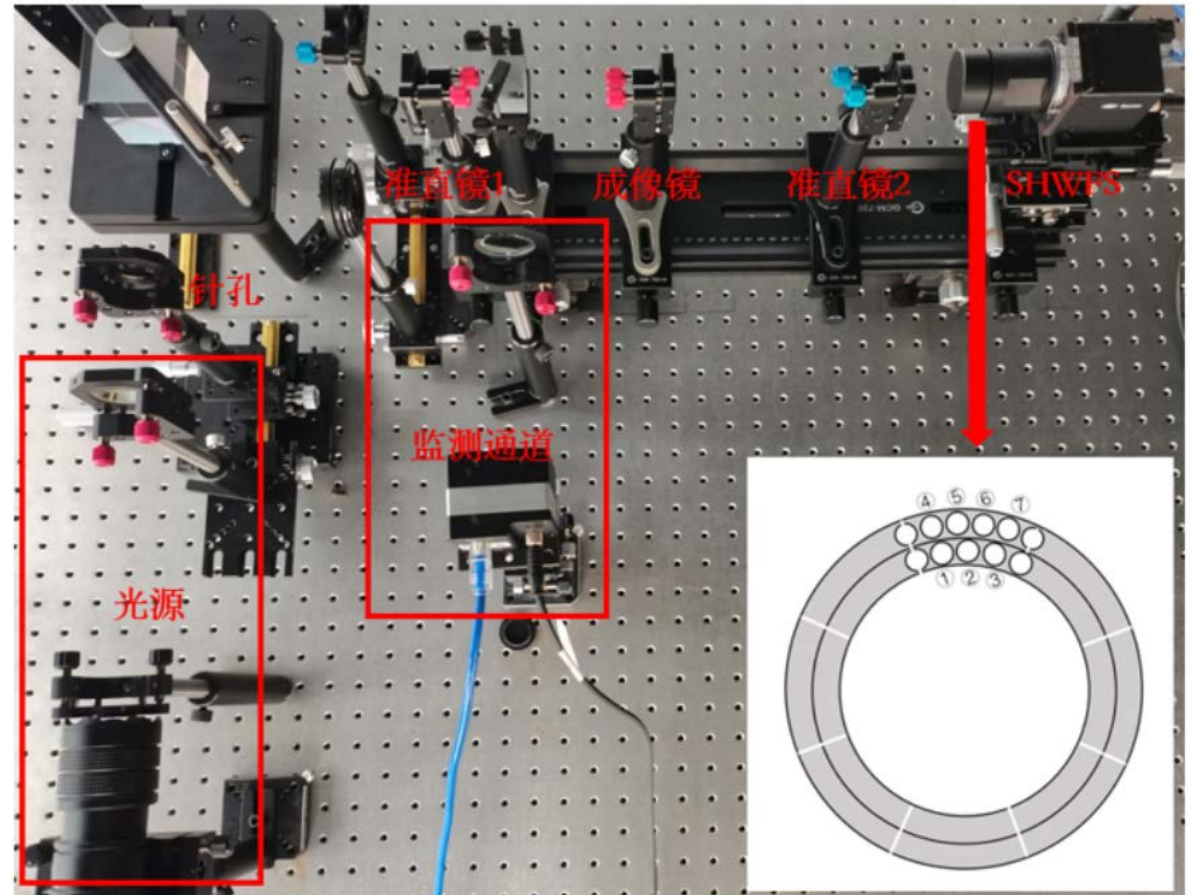
倾斜调节范围：~±8角分，倾斜调节精度：~±6角秒（叉丝 0.2mm ）
（共相测量系统倾斜捕捉范围：~±9角秒）

离焦量调节范围：~±几mm，离焦量调节精度：~±390 μm
（共相测量系统离焦量捕捉范围：~±1928 μm ）



共相测量系统

- 共相测量相机由掩模，微透镜阵列和CMOS构成。
- 微透镜阵列采用环带分布，掩模采用圆孔通光，通光孔在主镜上对应50mm。
- 子镜中心的7个子孔径用于子镜的倾斜测量，以及子镜的离焦量测量。
- 子镜拼缝上的2个子孔径用于子镜边缘的piston测量。



倾斜测量的捕捉范围	~±9角秒
倾斜测量分辨率	±0.085角秒
离焦量捕捉范围	±1928 μm
离焦量测量灵敏度	±18.2 μm



共相调整

子镜的对准和精共焦

子镜的对准

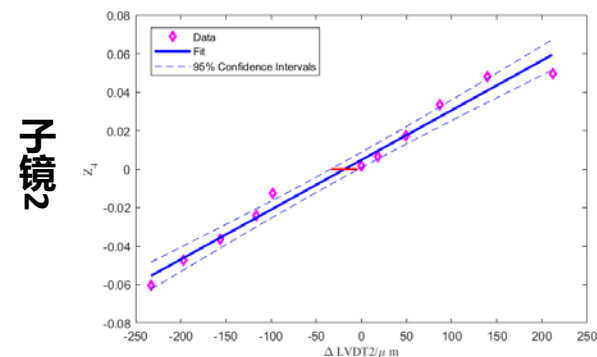
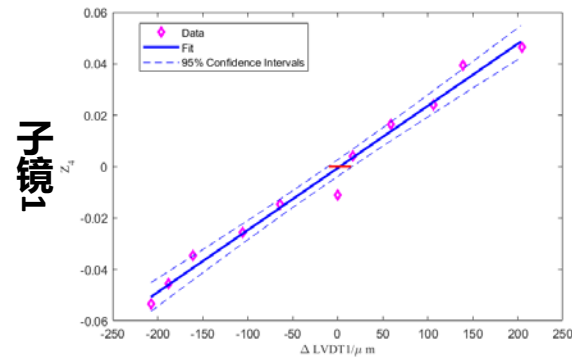
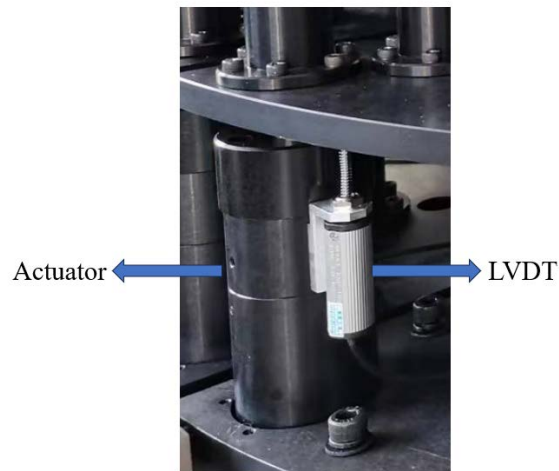
方法：利用共相相机对应子镜内部的 7 个子孔径进行波前探测，获得子镜的倾斜量，并调整子镜的 Tip / Tilt。

精度：好于 ± 0.05 角秒

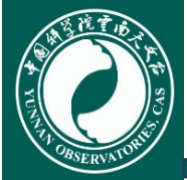
子镜的精共焦

方法：共相相机离焦量测量与LVDT交叉定标，并调整子镜的 Piston。

精度：从 $\sim \pm 60$ 微米提升到 $\sim \pm 20$ 微米以内，极大的简化了后续的共相调整方案



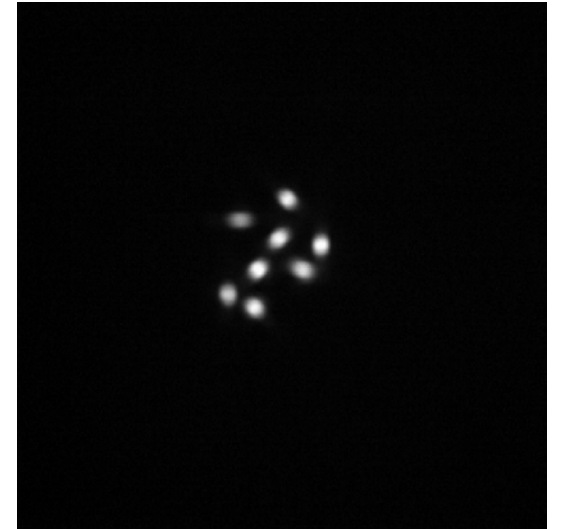
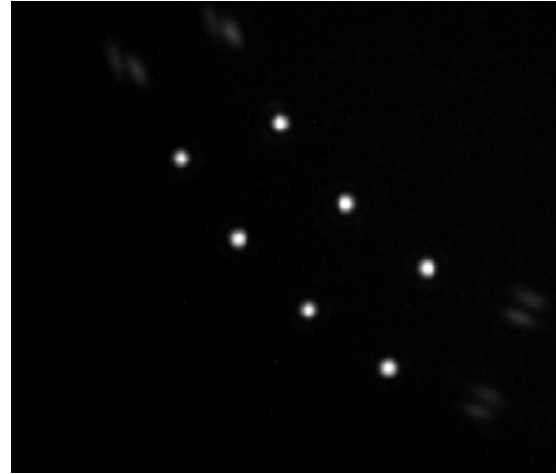
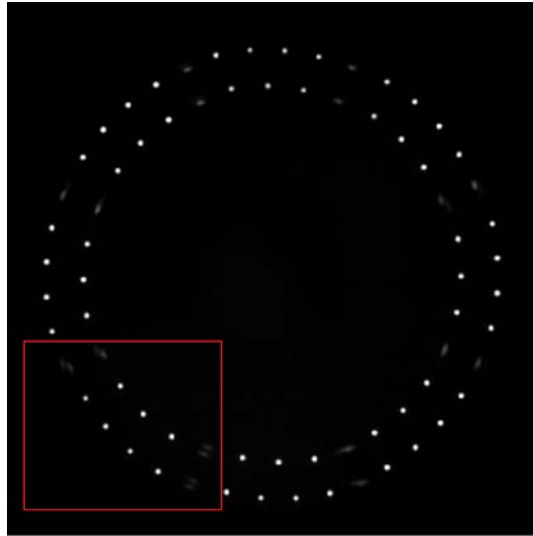
子镜	1	2	3	4	5	6	7	8
精度/ μm	± 12.5	± 14.5	± 10.5	± 10.0	± 15.5	± 6.0	± 7.5	± 10.5



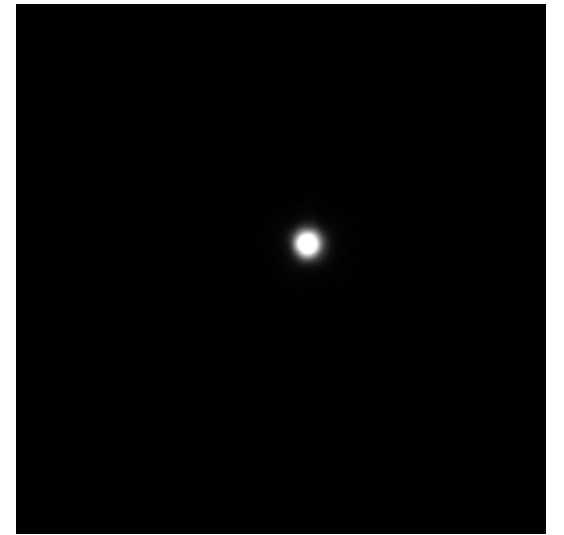
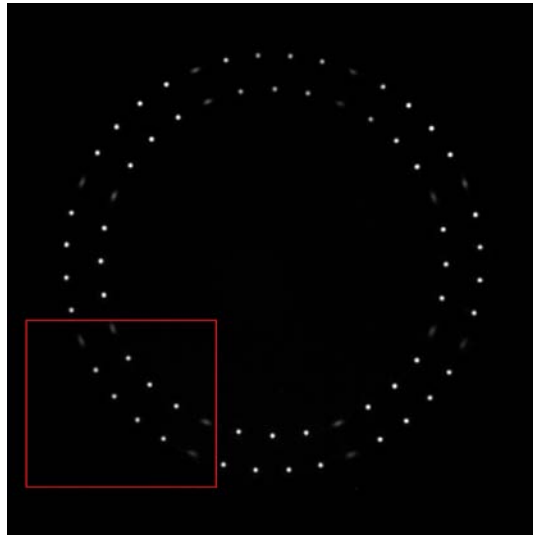
共相调整

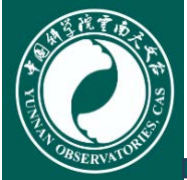
子镜的对准和精共焦

对准和精共焦前



对准和精共焦后





共相调整

子镜的共相

方法：依托子镜边缘两个子孔径进行宽波段PSF扫描或者双波长PSF测量，并调整子镜的Piston
精度：好于5nm

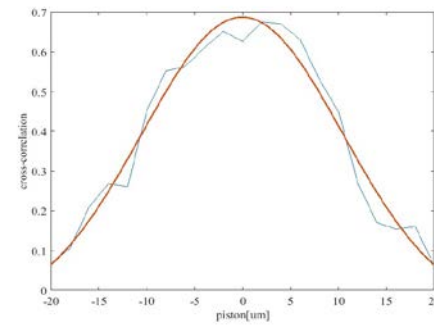
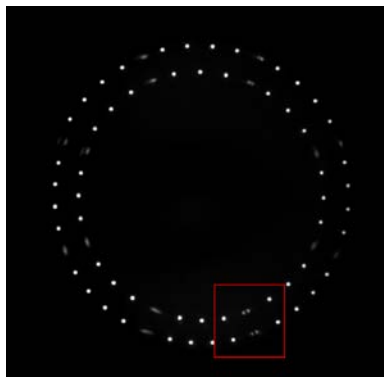
宽波段PSF扫描法
(636nm, 10nm, 步长2 μ m)

双波长PSF测量

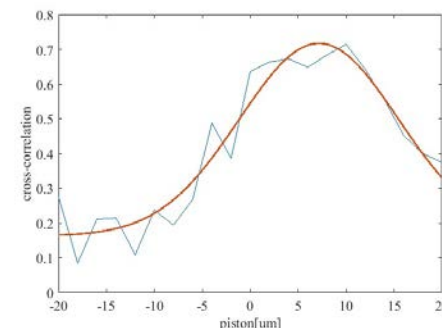
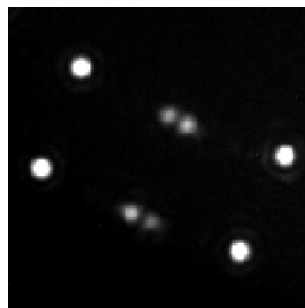
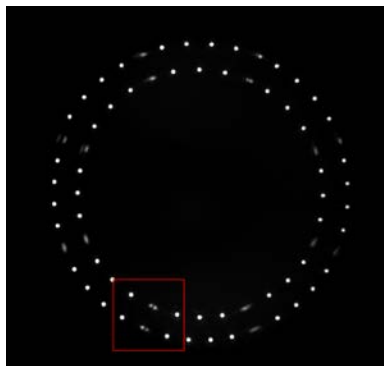
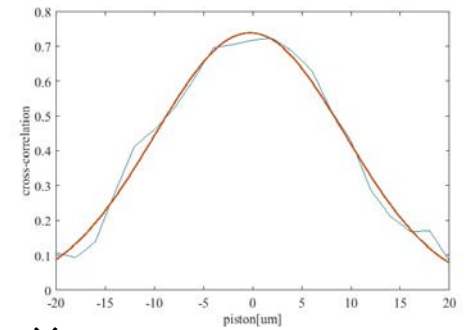
668nm, 10nm

685nm, 10nm

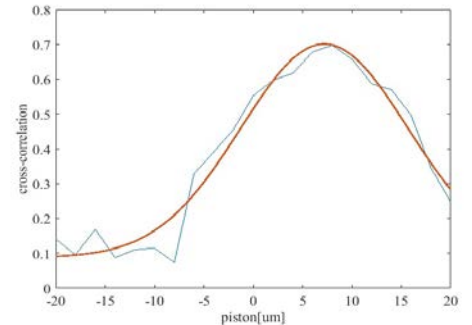
捕捉范围： ± 22 微米

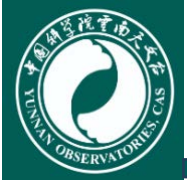


子镜2与子镜3相差562 μ m



子镜3与子镜4相差-348 μ m

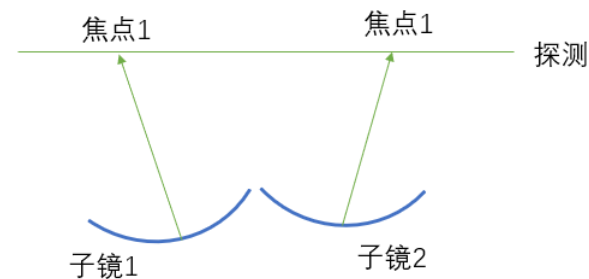
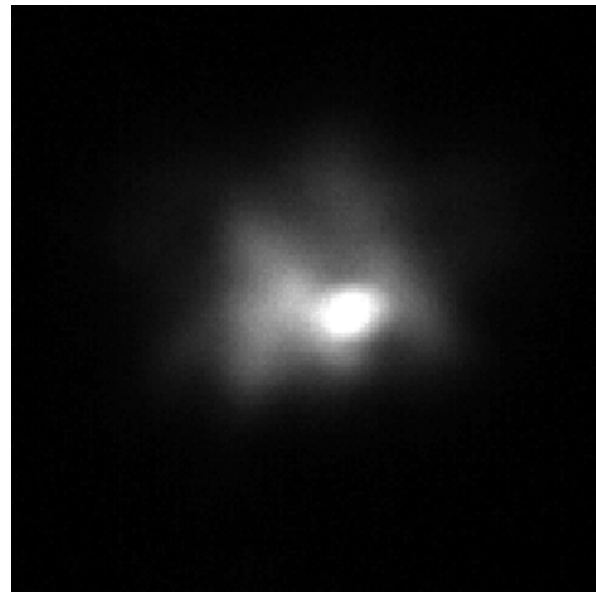
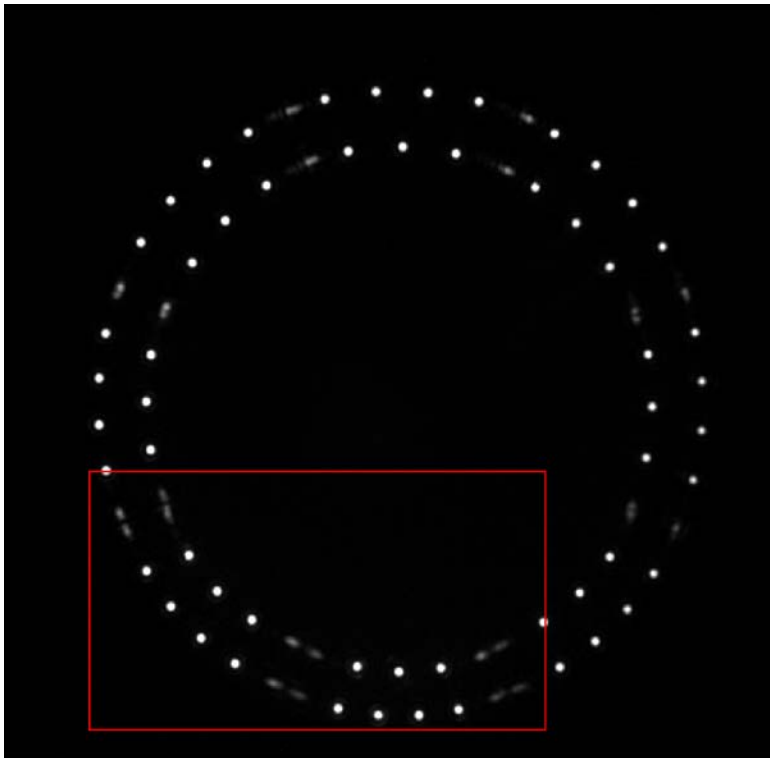




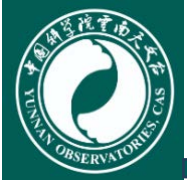
共相调整

子镜的共相

子镜曲率半径差异对共相调整的影响



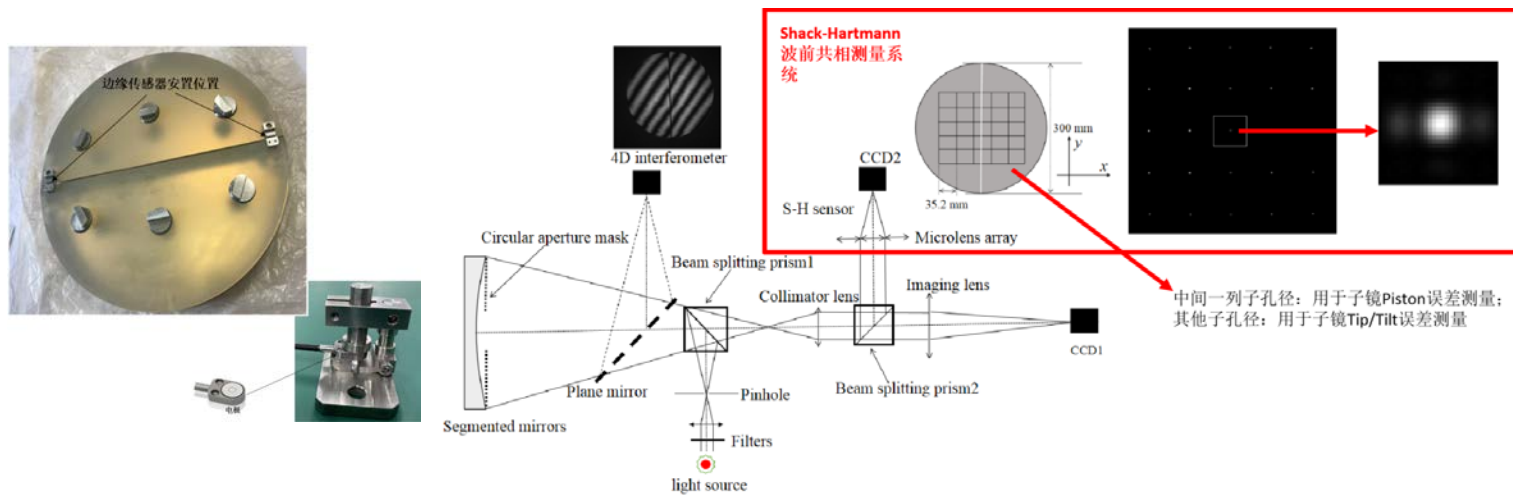
子镜	位置变化 (μm)
1	139
2	-698
3	-1123
4	-821
5	-413
6	689
7	828
8	776



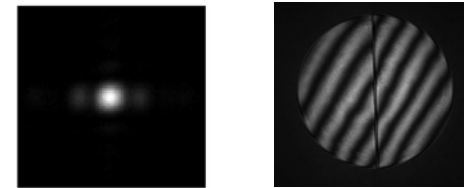
共相保持

方法：利用子镜内部的7个子孔径进行子镜倾斜测量，利用子镜边缘2个子孔径进行子镜边缘高度测量，同时进行子镜Tip/Tilt和Piston调整
(采用全光学测量的共相保持闭环控制)

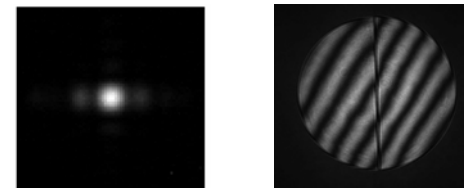
高精度高频率的子镜倾斜测量



开环100分钟两镜系统的性能

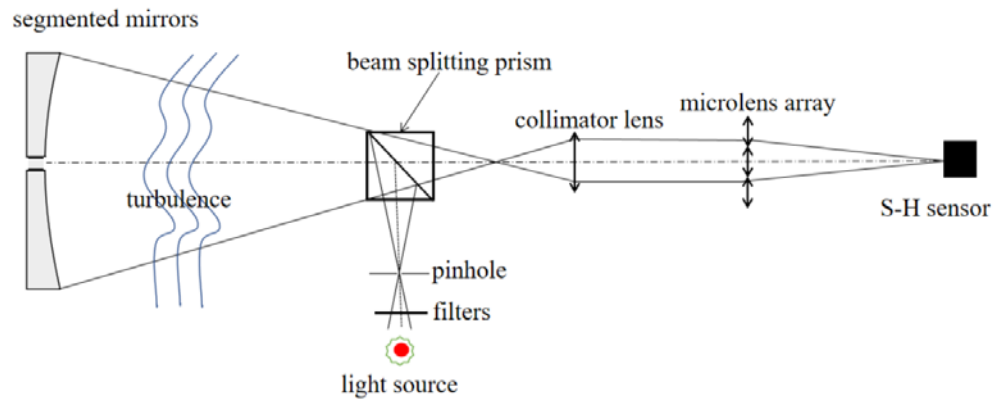


闭环100分钟两镜系统的性能



- 采用了电容型边缘传感器和**光学倾斜传感器**联合测量的方式实现2镜系统共相的闭环控制。
- 共相面形控制精度维持在18nm以内，稳定闭环的持续时间大于2小时。
- 子镜倾斜测量精度0.012角秒/0.5Hz，算法优化后能够好于5Hz。

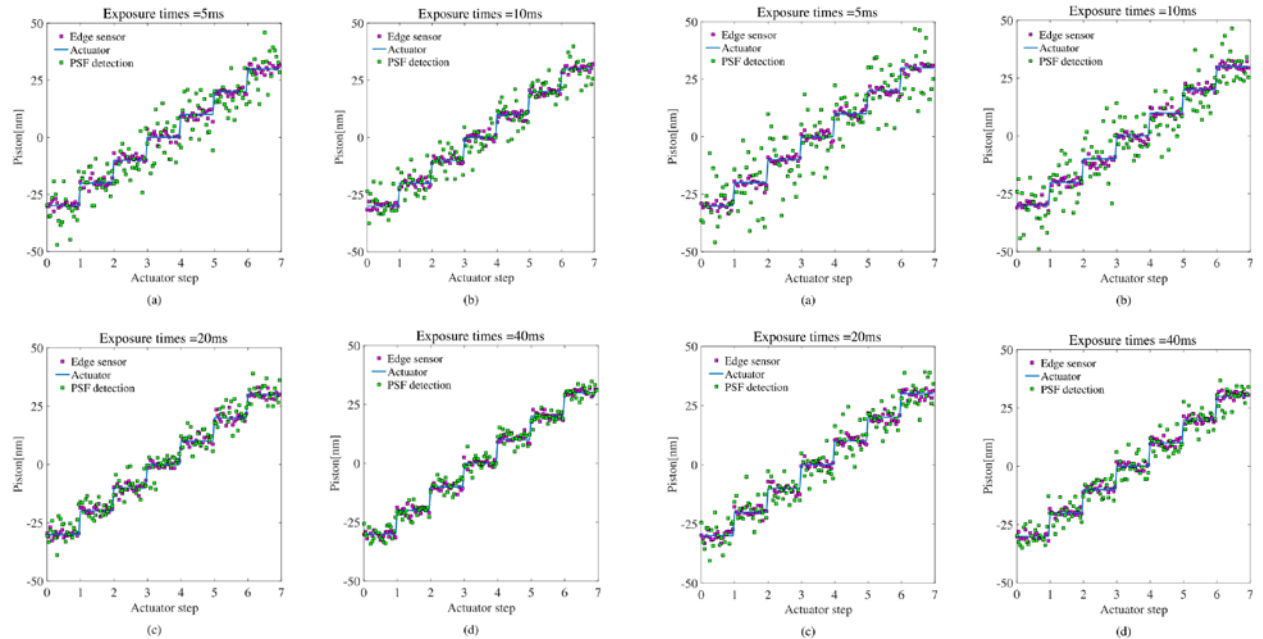
高精度高频率的子镜边缘高度测量



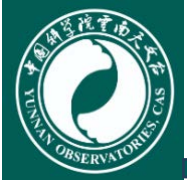
Exposure time	$D/r_0=0.82$		$D/r_0=1.21$	
	RMS(nm)	PV(nm)	RMS(nm)	PV(nm)
5 ms	7.43	38.33	9.58	48.22
10 ms	5.26	28.52	7.12	36.61
20 ms	3.79	19.47	5.19	26.98
40 ms	2.57	12.31	3.85	19.61

$D/r_0=0.82$

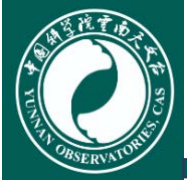
$D/r_0=1.21$



- 合理的匹配探测孔径和曝光时间，光学型边缘探测能够实现与机电型边缘探测精度相当的子镜边缘高度测量
- 测量频率可达20Hz



总结和展望



总结和展望

教训

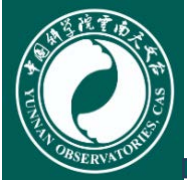
- 子镜曲率半径差异对子镜共相有很大影响，需要在子镜加工时对曲率半径进行更严格的限制

正在进行

- 控制系统的升级
- 控制软件的整合和升级

将要开展

- 子镜面形误差对子镜共相的影响
- 拼接镜面望远镜的机械精调方法



谢谢各位