

800mm环形拼接实验系统的精共焦调整方案研究

戴懿纯、金振宇、杨德华、王昆延、王斌、谭旭
中国科学院云南天文台 天文技术实验室

报告人：王昆延

台北

CONTENTS

- 1 背景介绍**
- 2 系统介绍**
- 3 调整方案**
- 4 实验结果**



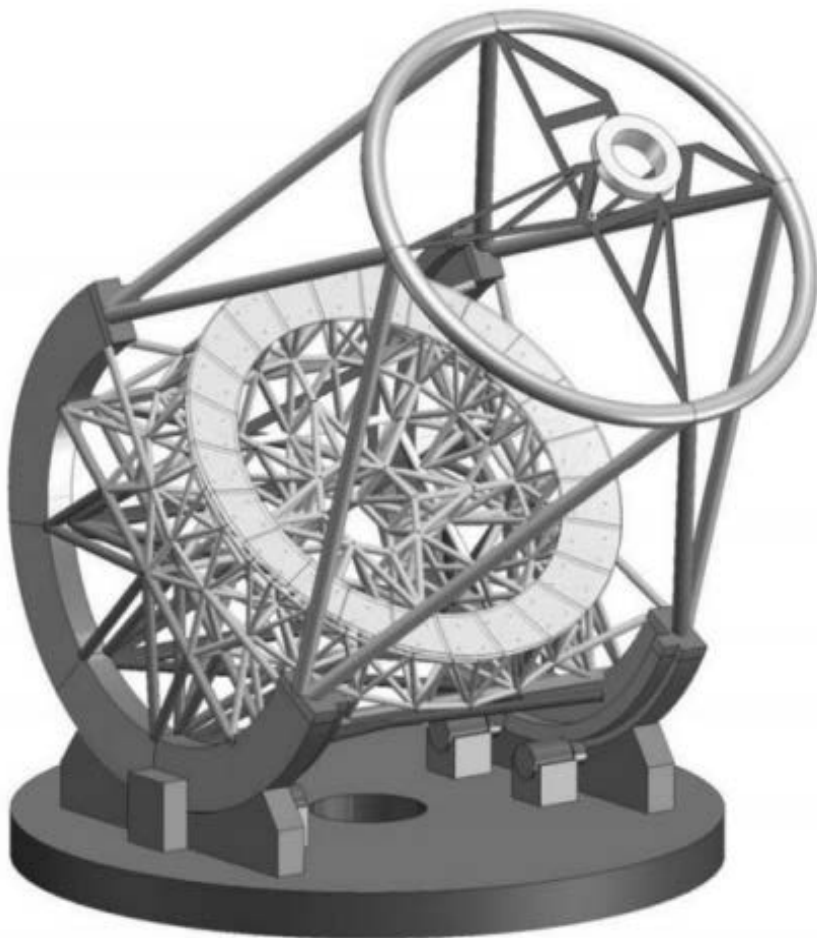
1

背景介绍



背景

中国巨型太阳望远镜（ Chinese Giant Solar Telescope, CGST）

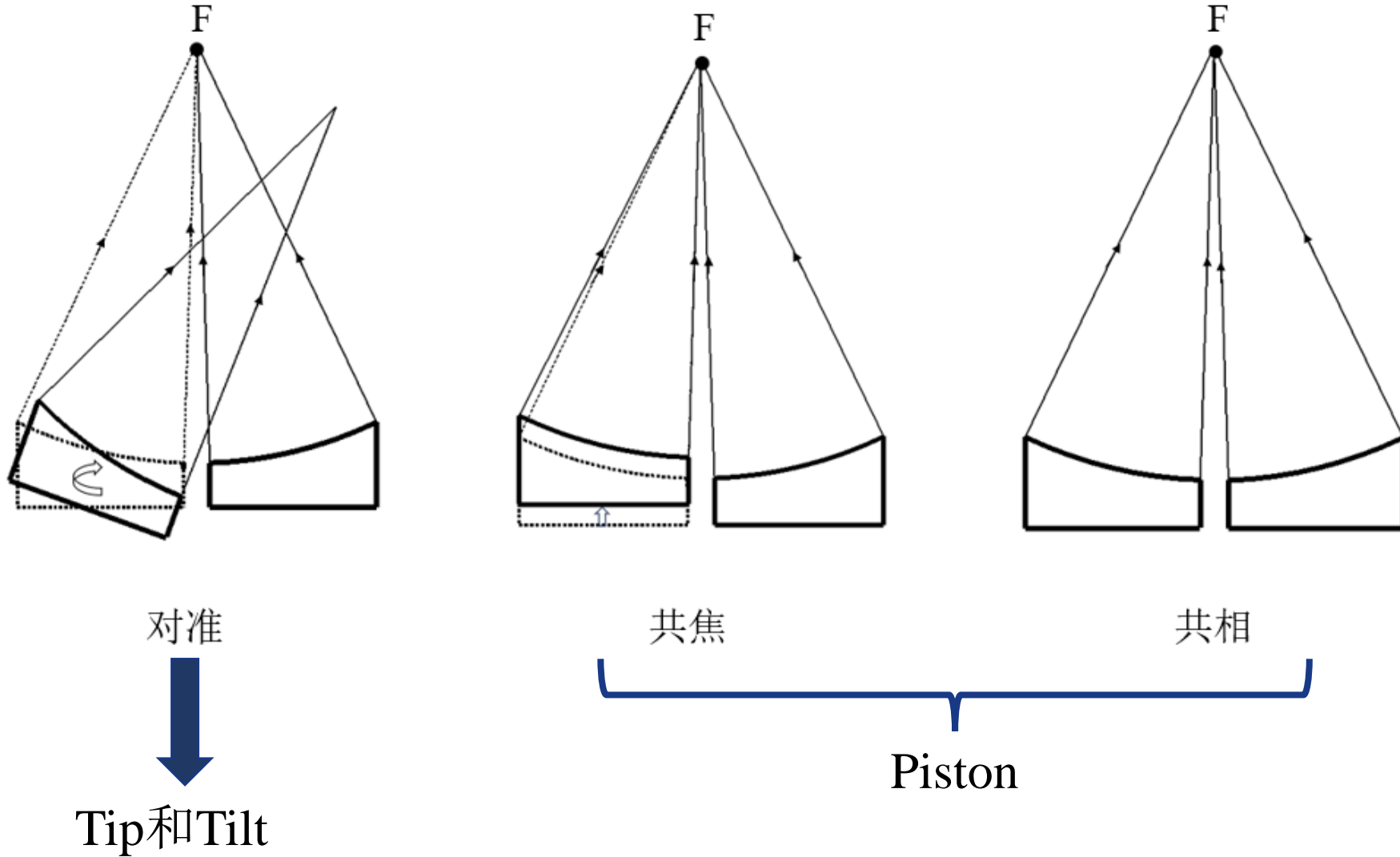


- 主镜重要备选方案：环形拼接，主镜的外径为**8m**，由**24**块环宽**1m**的子镜拼接而成。



背景

共相调整的步骤





2

系统介绍



系统介绍



8块环扇形球面子镜拼接而成

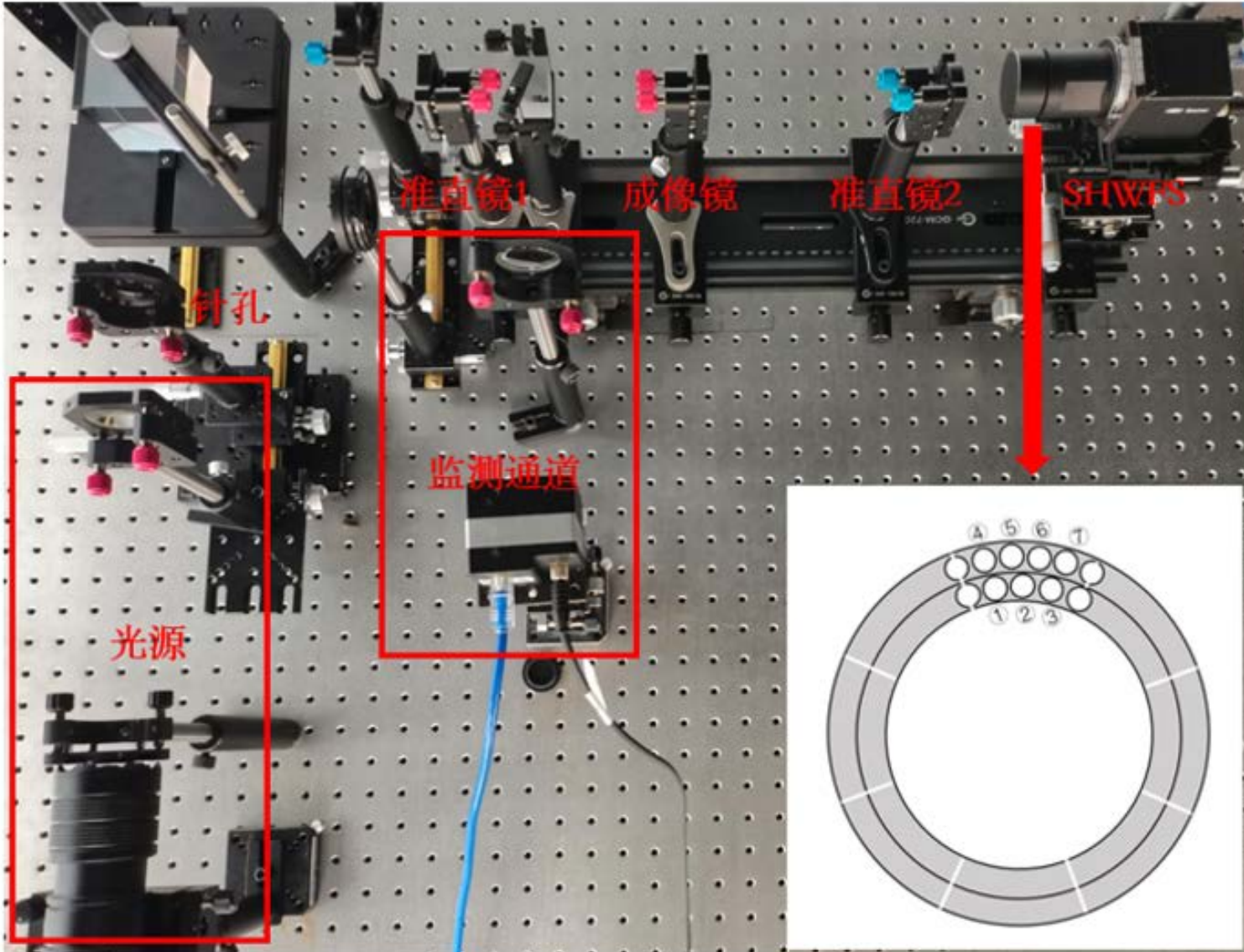
- 口径：800mm
- 环宽：120mm
- 焦比：2





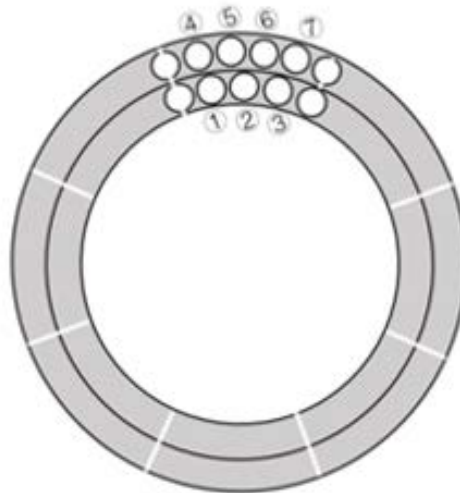
系统介绍

实验系统的光路



环形微透镜阵列

- 内部7个子孔径：倾斜和共焦调整的Piston测量；
- 边缘2个子孔径：共相调整的Piston测量；





系统介绍

800mm拼接实验系统的光学参数

参数	符号	数值
准直镜1的焦距	f_1/mm	37.5
准直镜2的焦距	f_2/mm	72.38
成像镜的焦距	f_3/mm	78.39
针孔的直径	$d_1/\mu\text{m}$	20
子孔径的直径	$d_2/\mu\text{m}$	583
微透镜阵列的焦距	f_4/mm	77
探测器分辨率	$p*p/(\text{pixel}*\text{pixel})$	2048*2048
像元尺寸	$d_1*d_1/(\mu\text{m}*\mu\text{m})$	5.5*5.5

A red box highlights the value 583 in the '子孔径的直径' row, with a red arrow pointing to the text '5cm'.



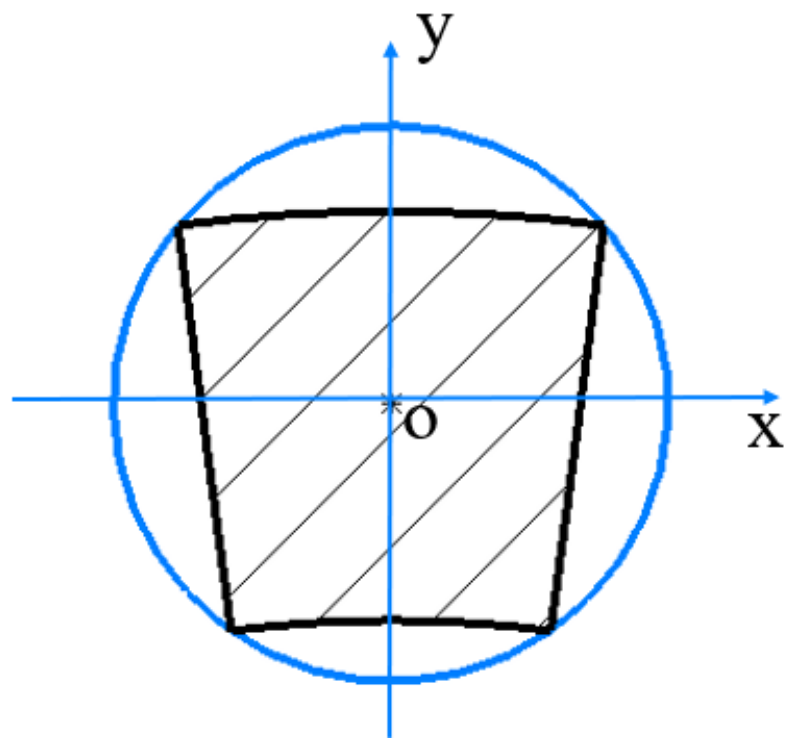
3

调整方案



SHWFS探测倾斜和Piston

原理：模式法波前重构



Zernike多项式的单位圆域

$$\begin{cases} \frac{1}{S} \iint_D (2x) * (2y) d\sigma = 0 \\ \frac{1}{S} \iint_D (2x) * \sqrt{3}(2(x^2 + y^2) - 1) d\sigma = 0 \end{cases}$$



在环扇形区域内，第2项Zernike多项式和第3项Zernike多项式正交，第3项Zernike多项式和第4项Zernike多项式正交；



采用模式法波前重构能够解耦倾斜和Piston

原理介绍

仿真分析

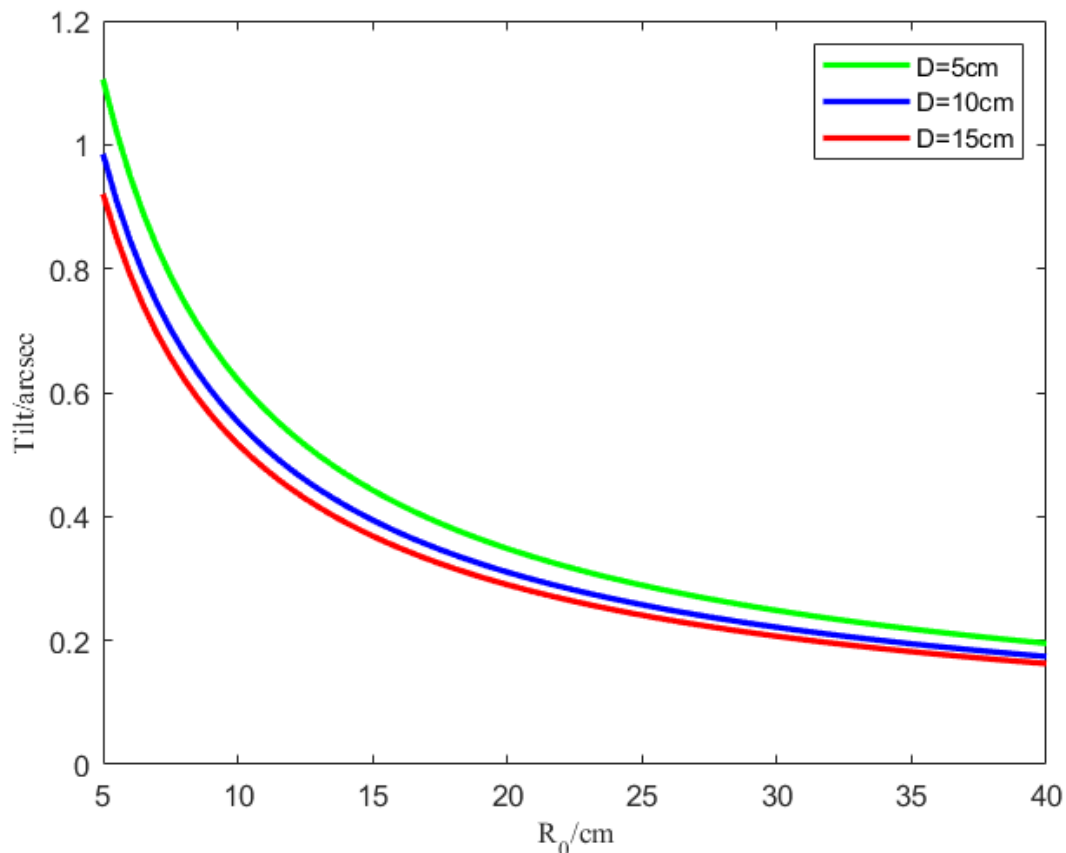


SHWFS探测倾斜和Piston

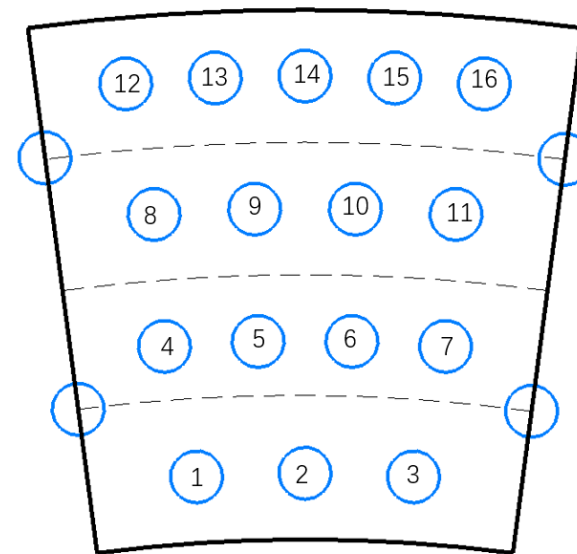
原理介绍

仿真分析

倾斜和大气相干长度 R_0 的关系



CGST的微透镜阵列



$D = 10\text{cm}$, $R_0 = 10\text{cm}$
倾斜的探测精度: $0.55''$

在一段时间范围内连续短曝光，对多帧测量数据进行积分来抑制大气湍流的影响

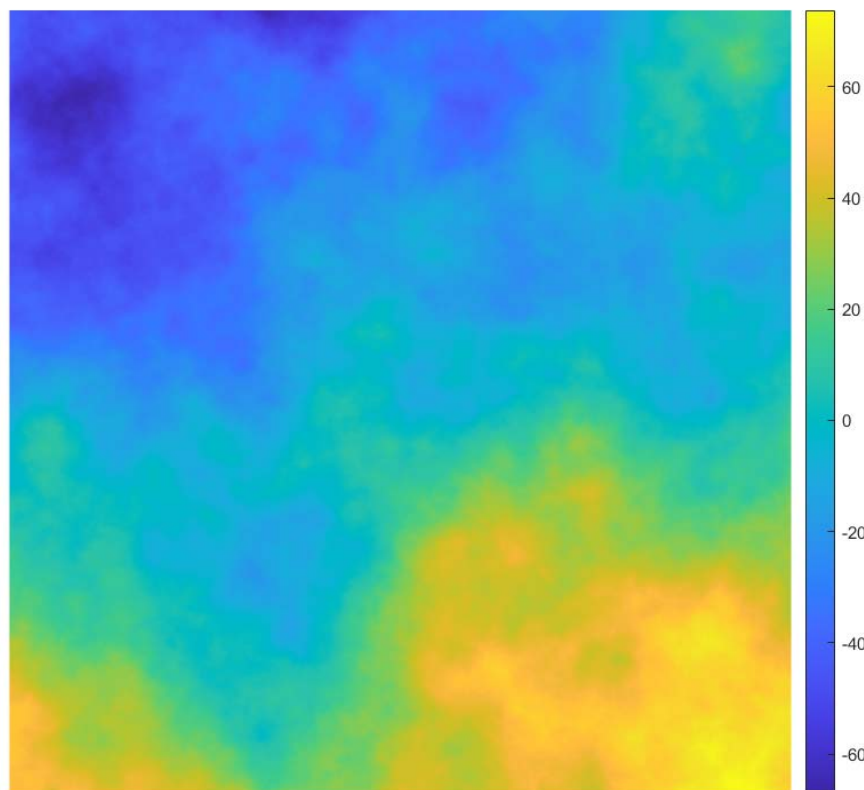


SHWFS探测倾斜和Piston

原理介绍

仿真分析

大气随机相位屏



失调量	Tx	Ty	Piston
误差（单帧）	0.130''	0.139''	195 μm
误差（10帧）	0.058''	0.052''	64 μm

存在的问题：光路中空气的温度梯度以及它缓慢的变化仍然会导致一个测量系统误差。相较于湍流引起的波前起伏，温度梯度的时空频率特性较低，这种波前畸变很难被平滑消除。



SHWFS和LVDT结合的精共焦调整方案

原理：以LVDT为参考源对SHWFS进行交叉定标

步骤1：先将SHWFS测出的Piston进行补偿，将此时LVDT的读数视为零点位置；

步骤2：在LVDT的零点前后移动促动器，同时记录下SHWFS的测量值 Z_4 和LVDT的探测值；

步骤3：对上述采样点进行最小二乘拟合得到式(1)， b 为SHWFS的探测误差引起的偏移量；

$$\widehat{LVDT} = f(Z_4) = k * Z_4 + b \quad (1)$$

步骤4：根据式（1）计算 Z_4 为0时LVDT的数值，将促动器移动到该位置；

方案介绍

仿真分析



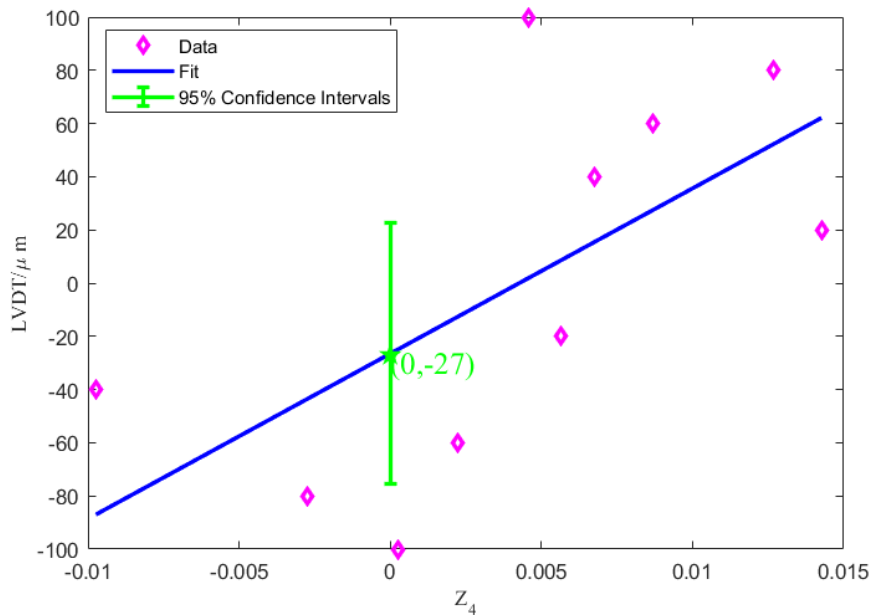
SHWFS和LVDT结合的精共焦调整方案

➤ 大气湍流的影响

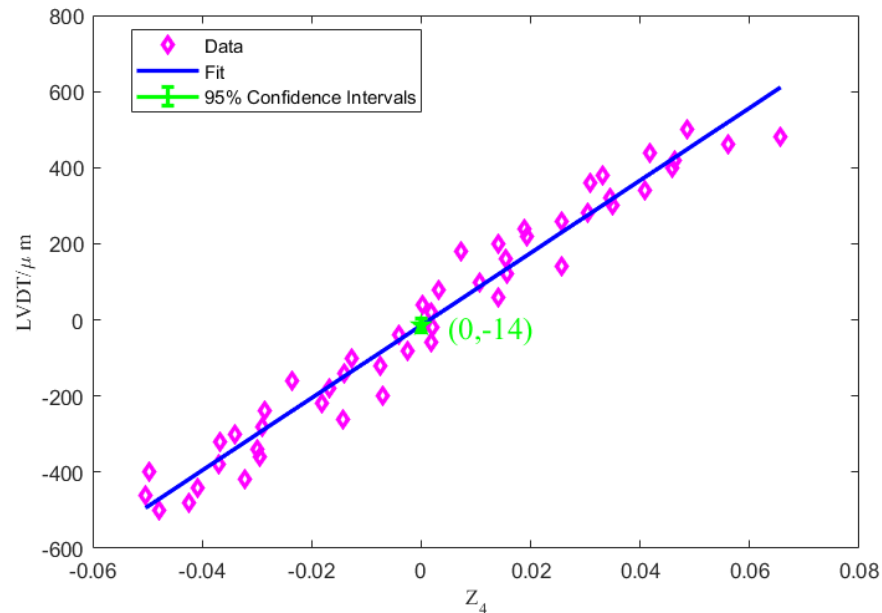
方案介绍

仿真分析

采样点数为10



采样点数为50



采样点数	10	20	30	40	50
RMSE/ μm	26.1	15.5	11.3	10.6	9.9
误差范围长度/ μm	98	61	43	38	34



SHWFS和LVDT结合的精共焦调整方案

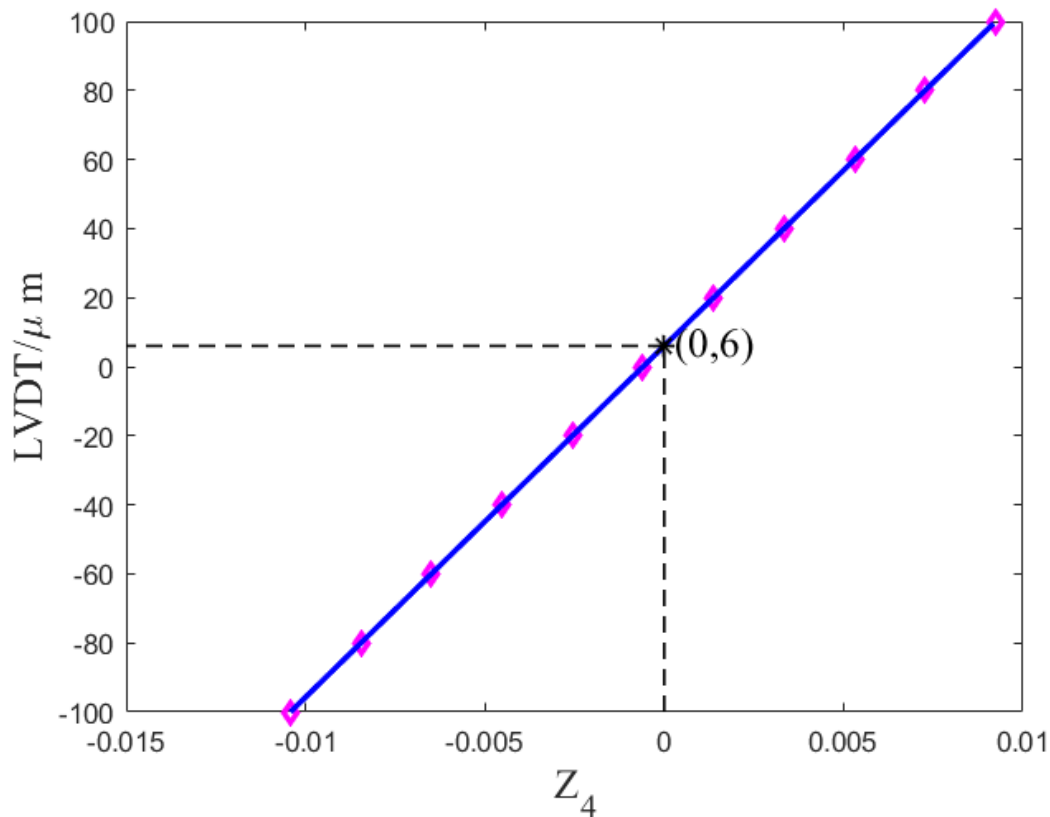
➤ 温度梯度的影响

由温度梯度引起的测距误差：
$$\Delta l = \int_L \Delta n dl = \frac{dn}{dT} \frac{dT}{dz} (z_2^2 - z_1^2)$$

温度梯度为0.1K/m，采用SHWFS测量Piston，上下两块子镜存在-6 μ m的系统误差。

方案介绍

仿真分析





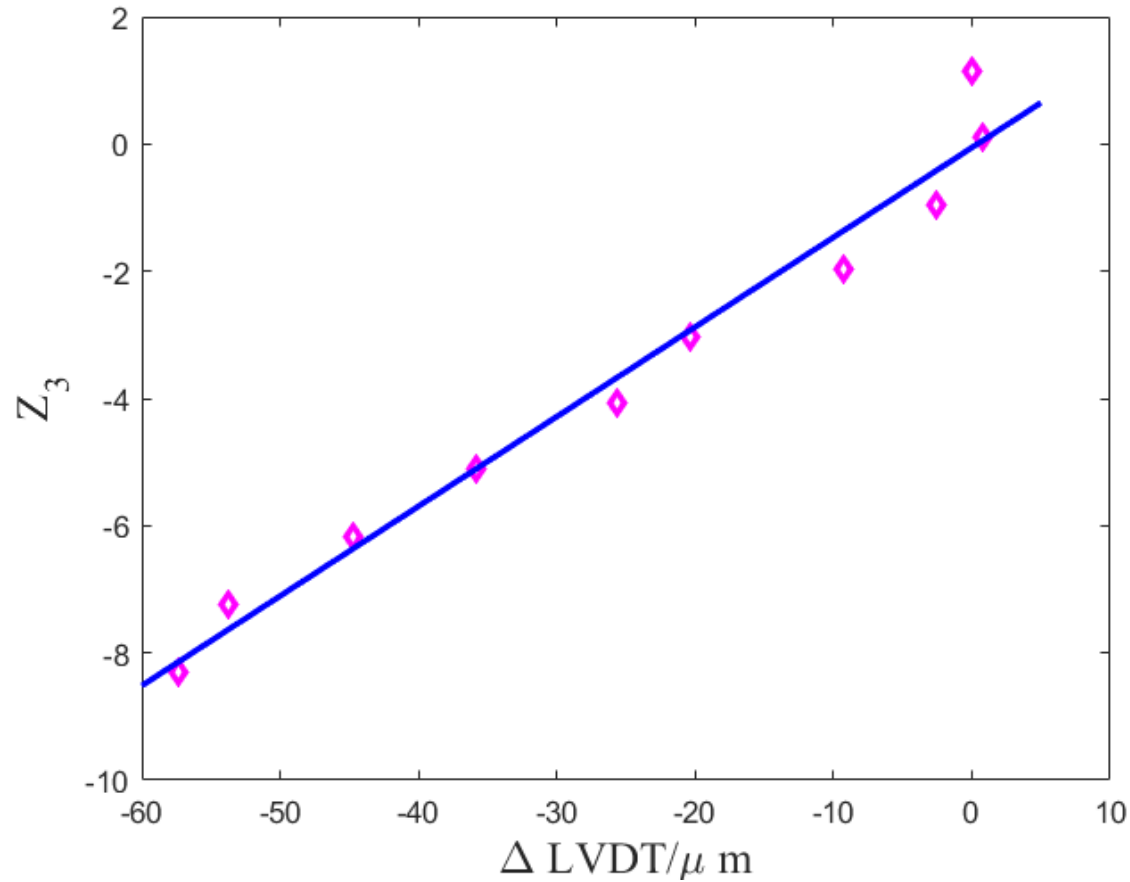
4

实验结果



LVDT的测量精度定标

利用SHWFS的倾斜测量对LVDT的测量精度进行定标

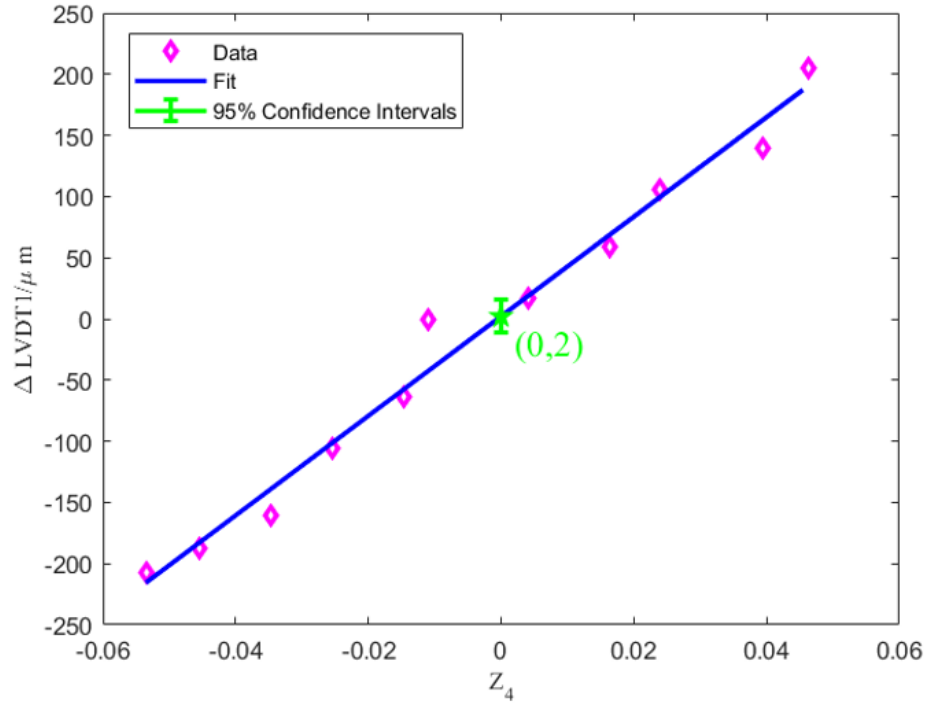


LVDT的测量精度优于 $3\mu\text{m}$

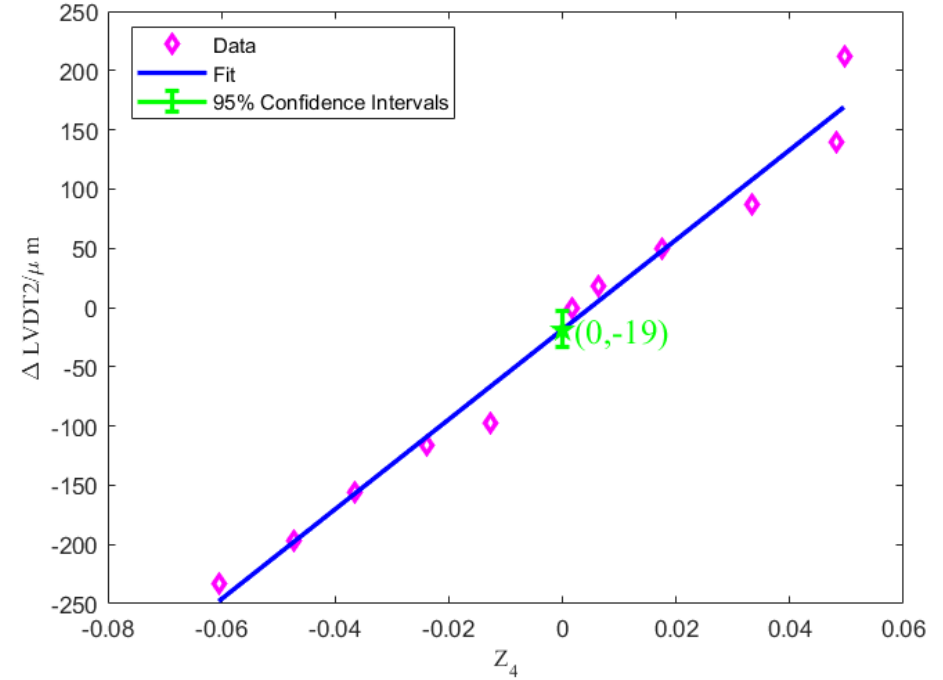


共焦调整

子镜1



子镜2



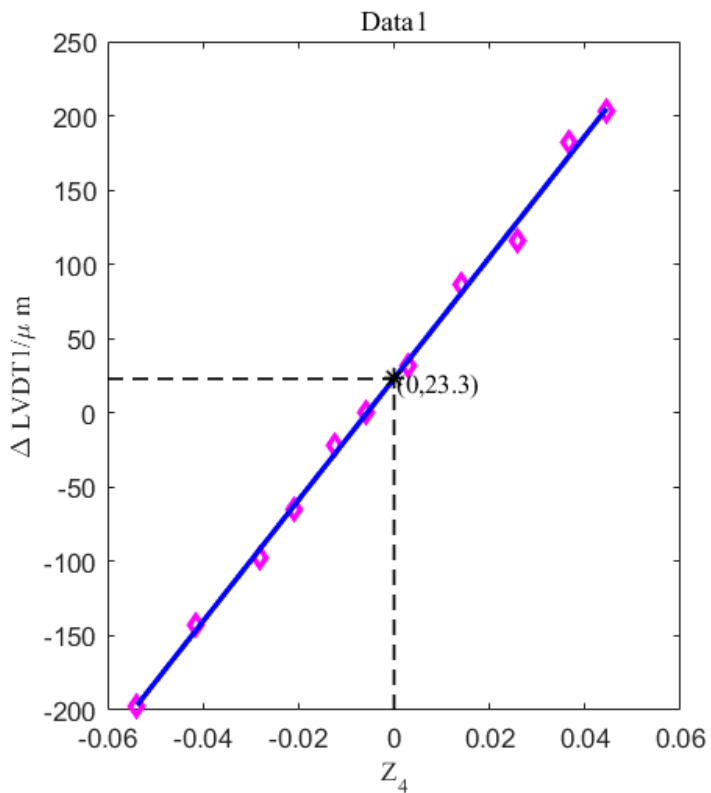
子镜	1	2	3	4	5	6	7
精度/ μm	25	29	21	20	31	12	15

下一步可采用中心波长636nm，带宽为10nm的滤波片进行宽波段PSF扫描来调整Piston，该方法的探测范围为 $\pm 20\mu m$ 。

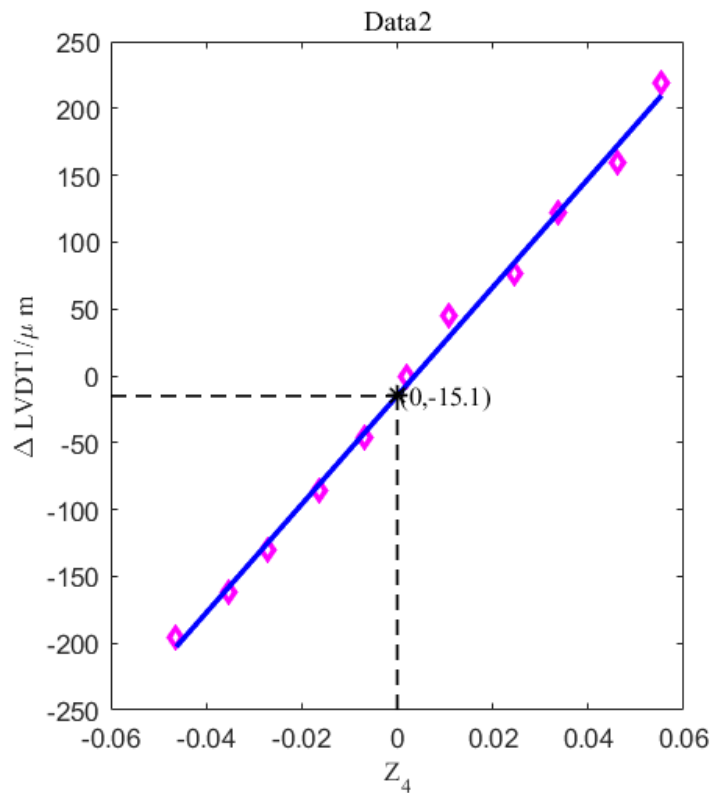


共焦调整

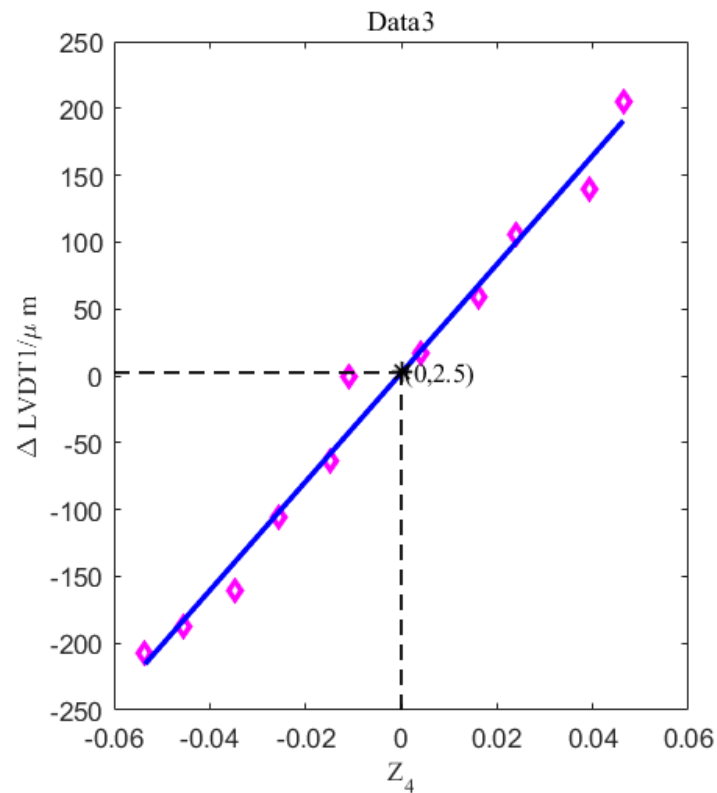
LVDT零点漂移情况



LVDT读数: $4226\mu m$



LVDT读数: $4139\mu m$



LVDT读数: $4156\mu m$

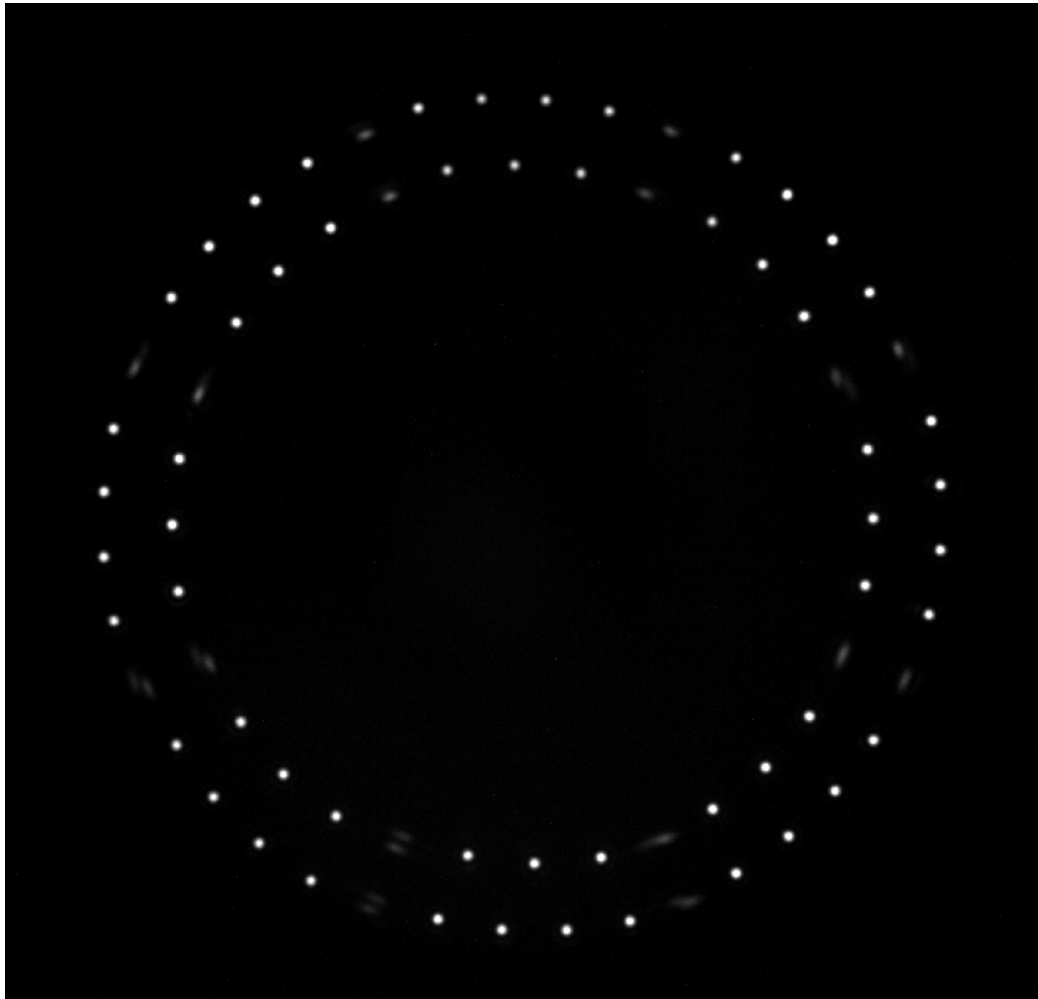
1个多月

5天

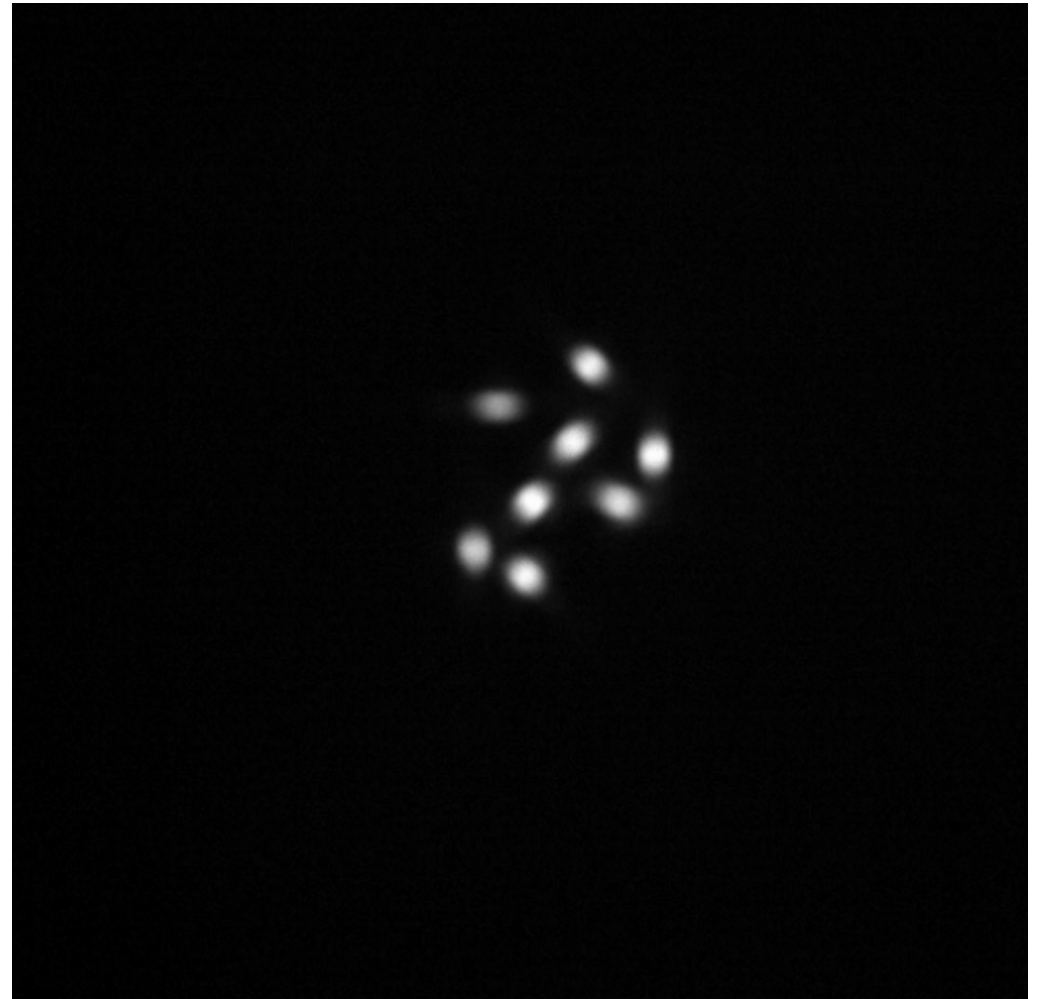


共焦调整结果

SHWFS



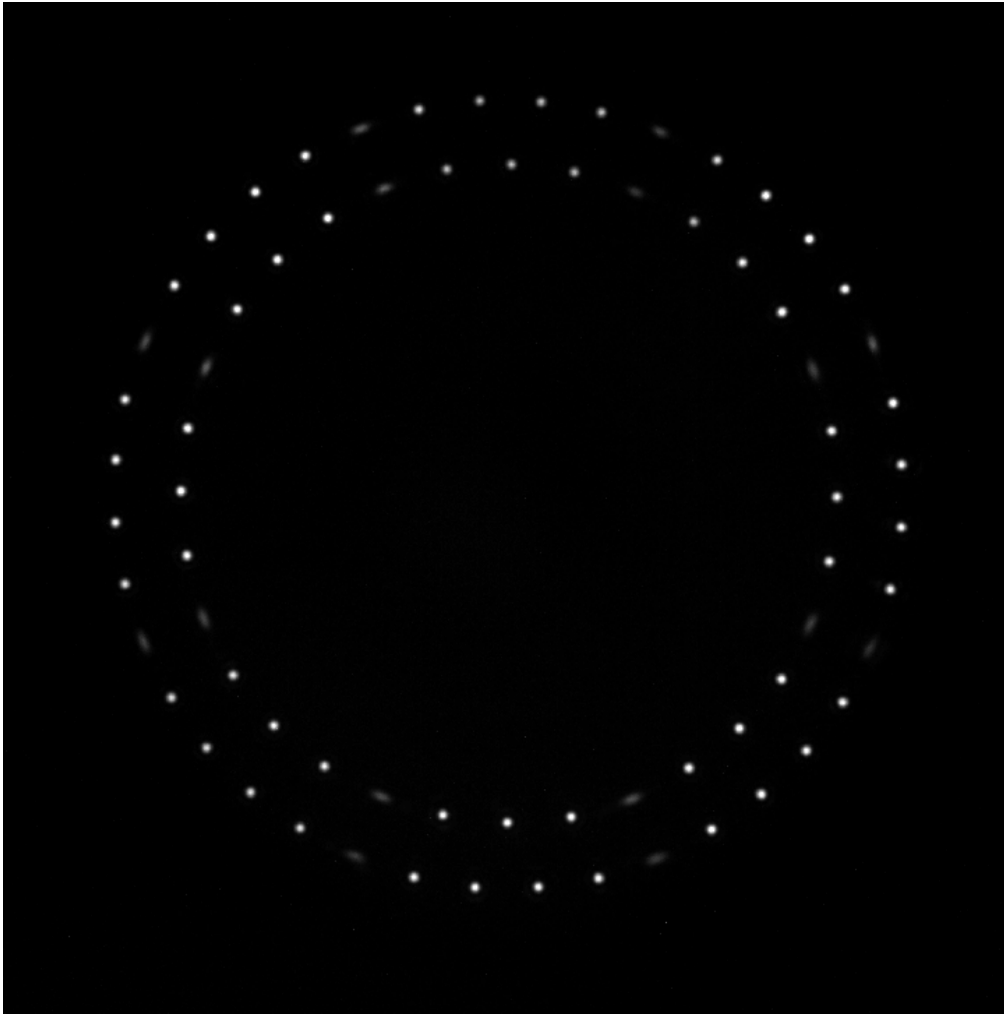
监测通道





倾斜调整结果

SHWFS



监测通道





总结

- **仿真分析：** SHWFS和LVDT结合的精共焦调整方案不仅能抑制大气湍流的影响，还能补偿温度梯度给SHWFS探测带来的系统误差。
- **实验结果：** 采用SHWFS和LVDT结合的精共焦调整方案，800mm拼接实验系统完成了精共焦调整的工作，且剩余的Piston在宽波段PSF共相算法的探测范围内。

谢谢！