

# NVST偏振分析器设计和偏振定标 —研究进展

侯俊峰

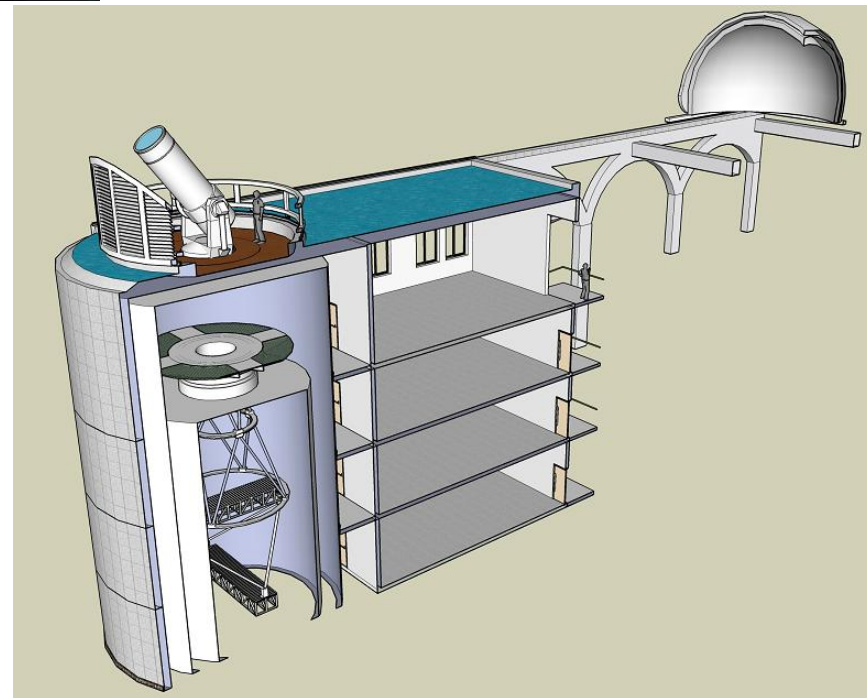
怀柔太阳观测基地

2013-11-7

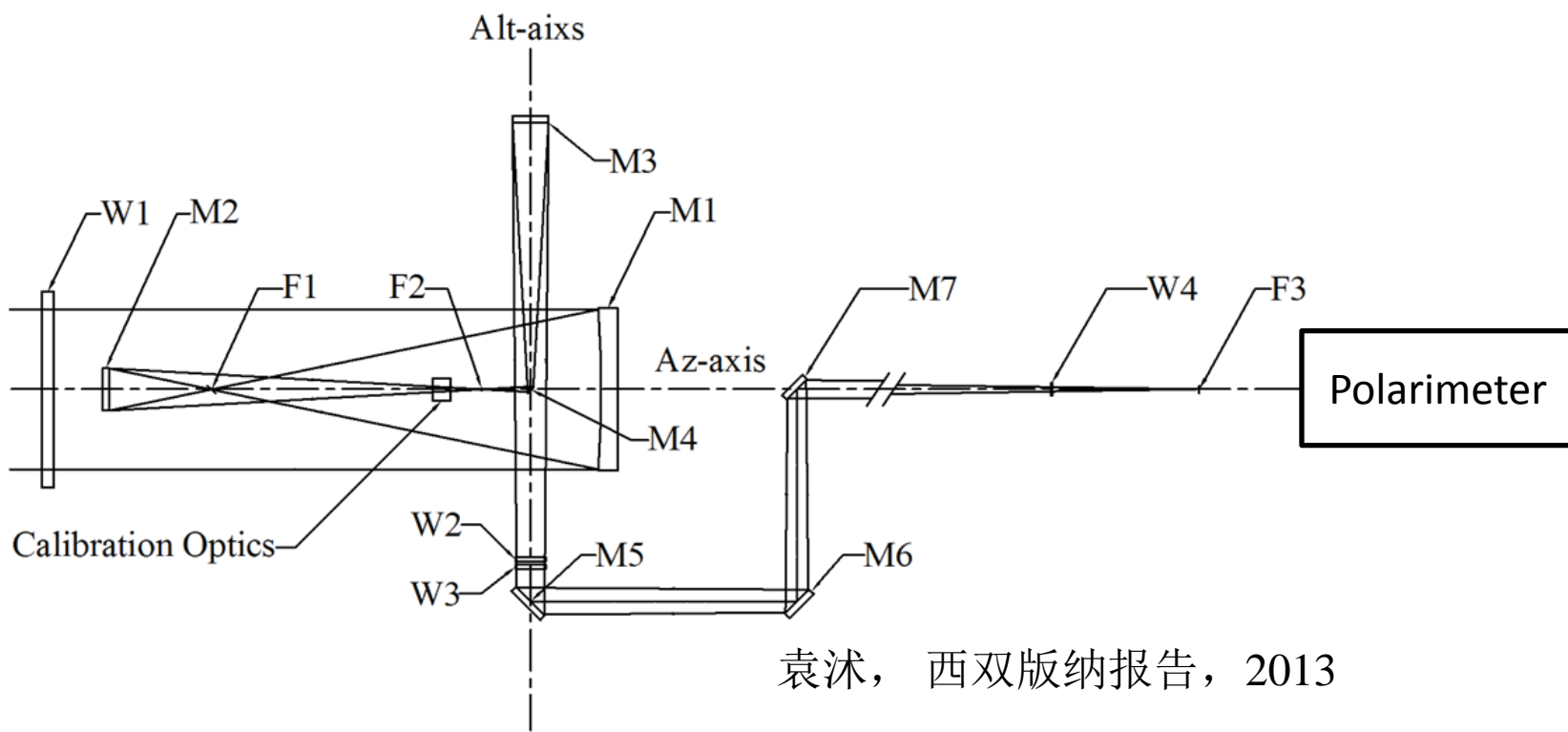


- ◆ 我国口径最大、综合性能最好的太阳望远镜
- ◆ 获得了长时间亚角秒的高空间分辨率和很好的光谱分辨率资料

偏振测量？

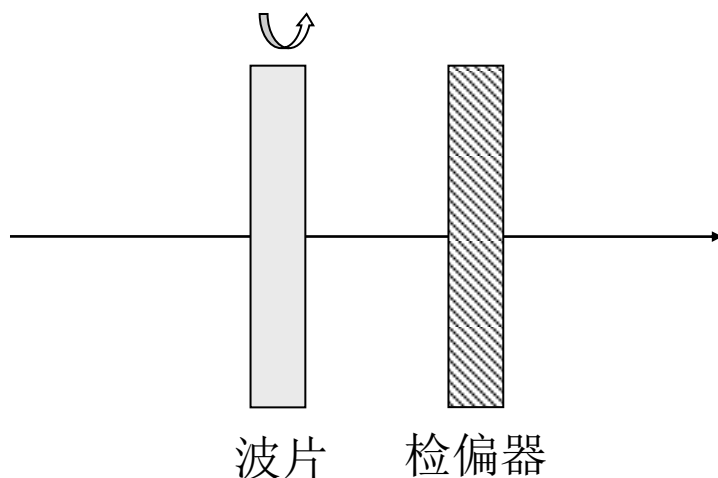


# NVST光学系统



袁沐，西双版纳报告，2013

# NVST偏振分析器设计

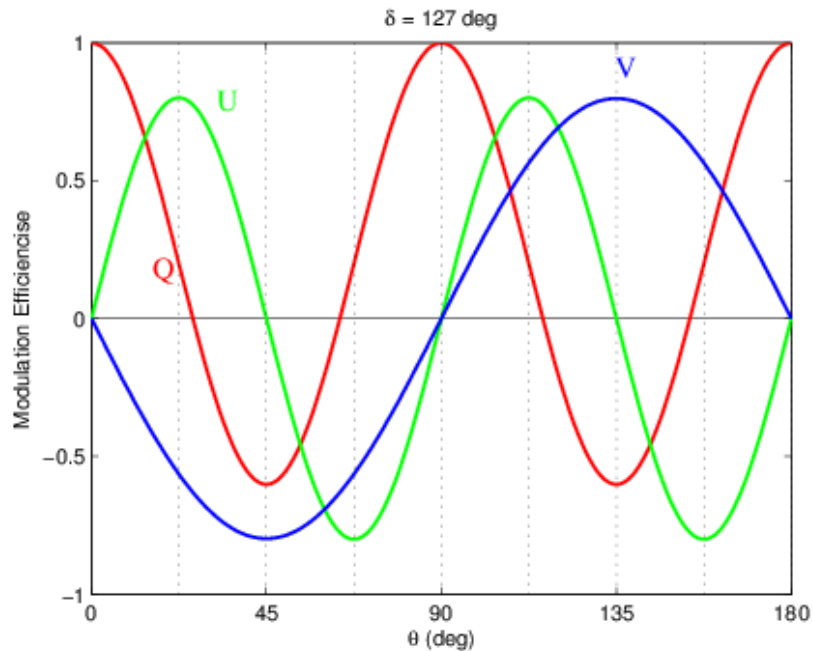


优势：稳定性高，受温度影响小

偏振分析器装置示意图

- 波片和检偏器组合；
- 波片的相位延迟约为**127度**（消色差）；
- 检偏器方位角固定，仅旋转波片；
- 工作模式：**步进式和连续式。**

# 调制：步进式

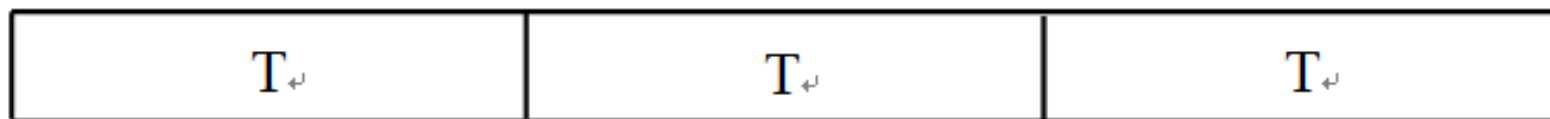


$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & (1+c_\delta)/2 & 0 & 0 \\ 0 & (1-c_\delta)/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (1-c_\delta)/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_\delta(1+\sqrt{2})/4 \end{bmatrix}$$

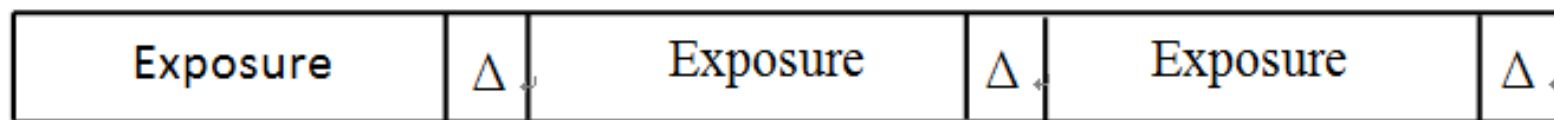
$$\sum DI_m = \mathbf{X} \mathbf{S}_{in}$$

Demodulation $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	2 $\leftrightarrow$	3 $\leftrightarrow$	4 $\leftrightarrow$	5 $\leftrightarrow$	6 $\leftrightarrow$	7 $\leftrightarrow$	8 $\leftrightarrow$
I $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$
Q $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$
U $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$
V $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	-1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$	1 $\leftrightarrow$

# 调制：连续式



Modulation period of rotating waveplate $\leftarrow$

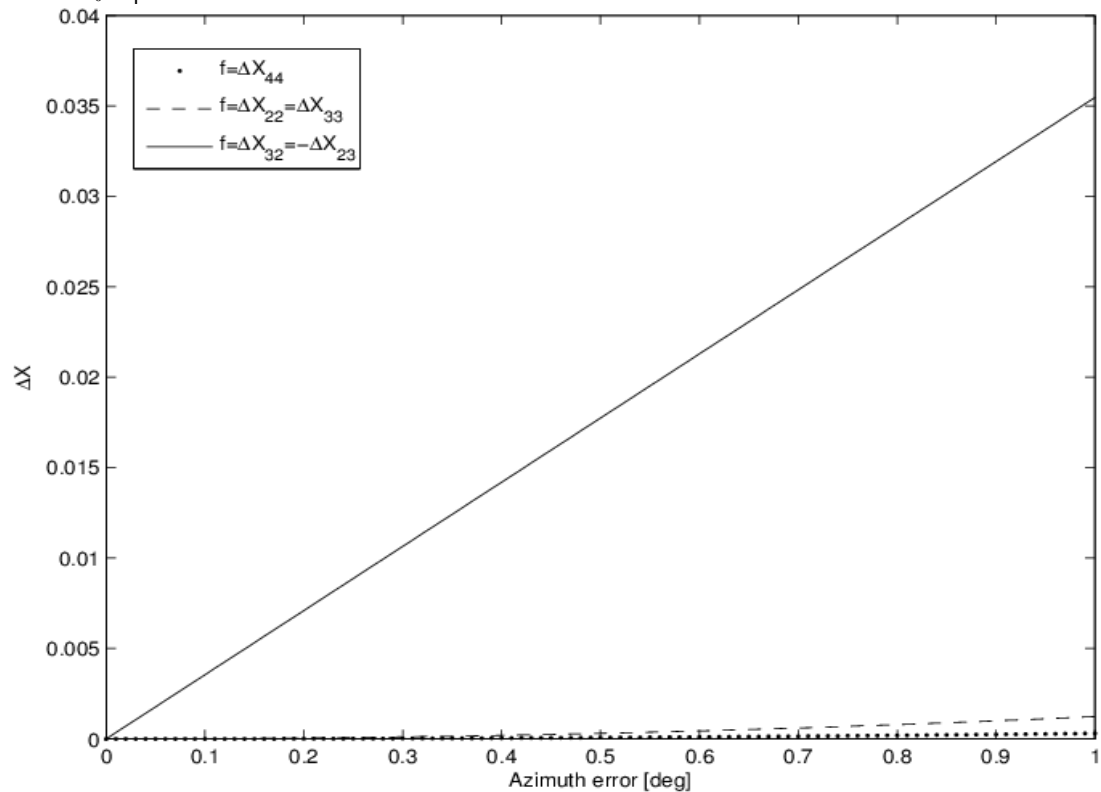


Demodulation period of CCD

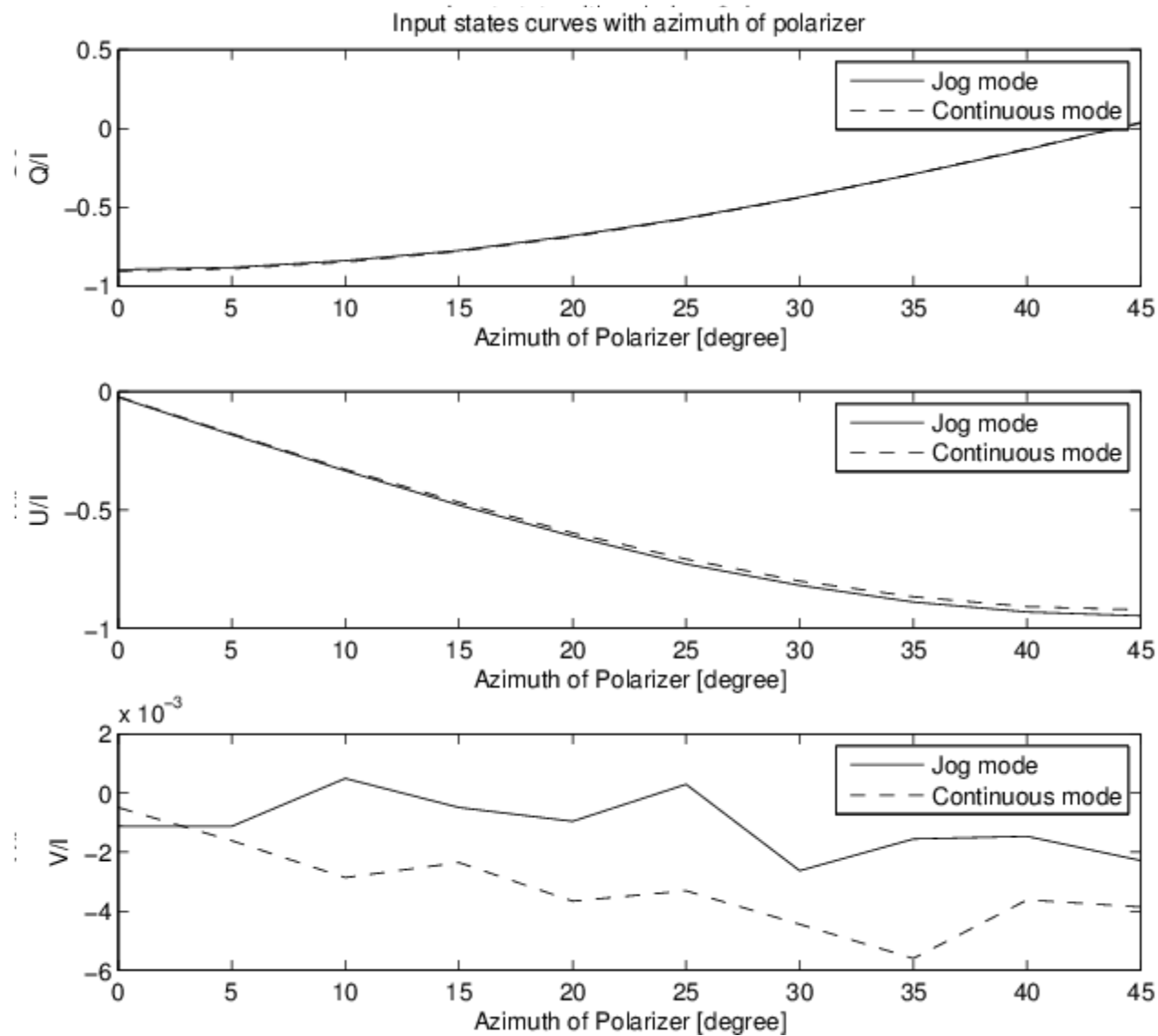
$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix}
 1 & (1+c_{\delta})/2 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{1-c_{\delta}}{\pi-8\Delta} \frac{1-s_{4\Delta}+c_{4\Delta}}{2} & \frac{1-c_{\delta}}{\pi-8\Delta} \frac{1-s_{4\Delta}-c_{4\Delta}}{2} & 0 \\
 0 & \frac{1-c_{\delta}}{\pi-8\Delta} \frac{s_{4\Delta}+c_{4\Delta}-1}{2} & \frac{1-c_{\delta}}{\pi-8\Delta} \frac{1-s_{4\Delta}+c_{4\Delta}}{2} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \frac{s_{\delta}}{\pi-8\Delta} (1-s_{2\Delta}+c_{2\Delta}-\sqrt{2}s_{2\Delta})
 \end{bmatrix}$$

# 波片初始方位角误调

$$\Delta \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(1-c_\delta)(1-c_{4\theta_0})}{\pi} & -\frac{(1-c_\delta)}{\pi} s_{4\theta_0} & 0 \\ 0 & \frac{(1-c_\delta)}{\pi} s_{4\theta_0} & \frac{(1-c_\delta)(1-c_{4\theta_0})}{\pi} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{2s_\delta}{\pi}(1-c_{2\theta_0}) \end{bmatrix}$$

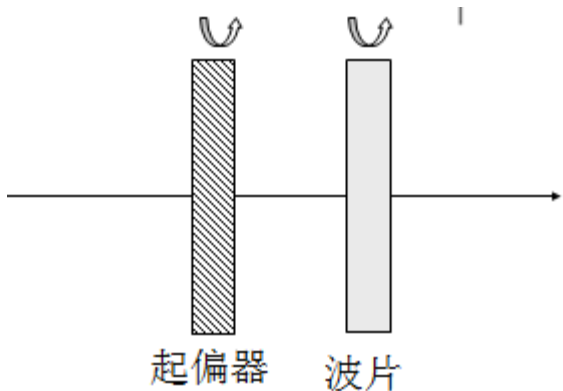
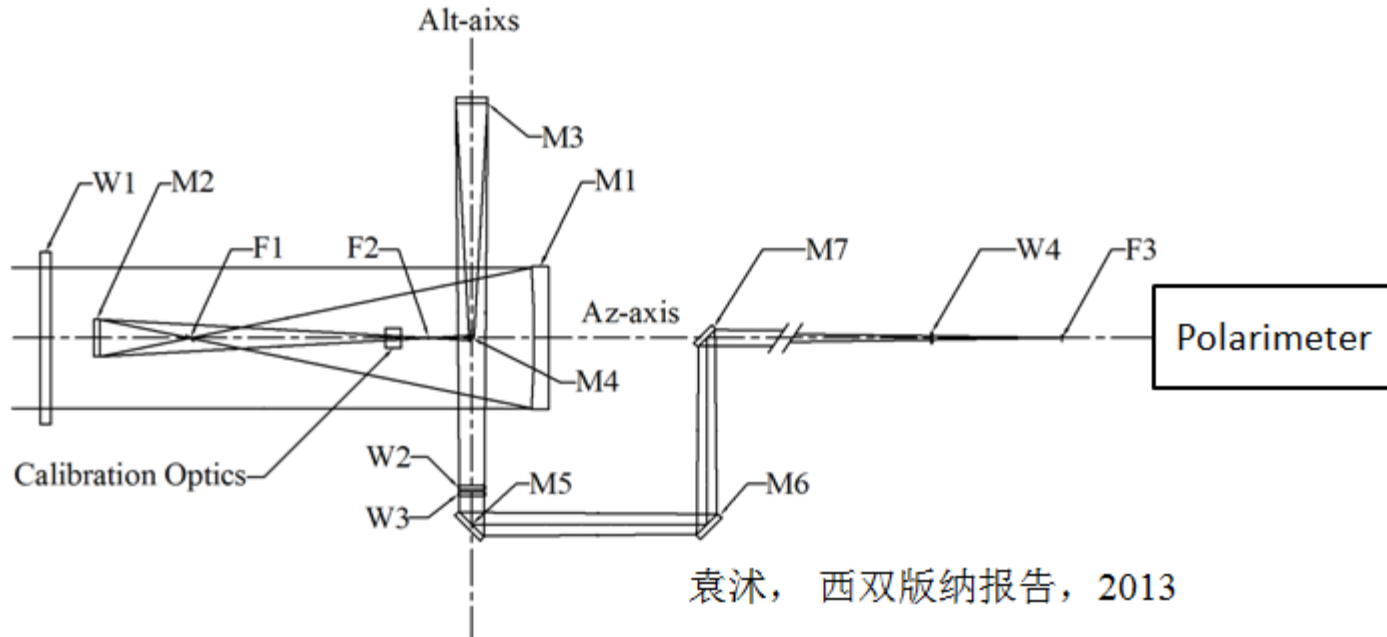


# 实验室初步验证



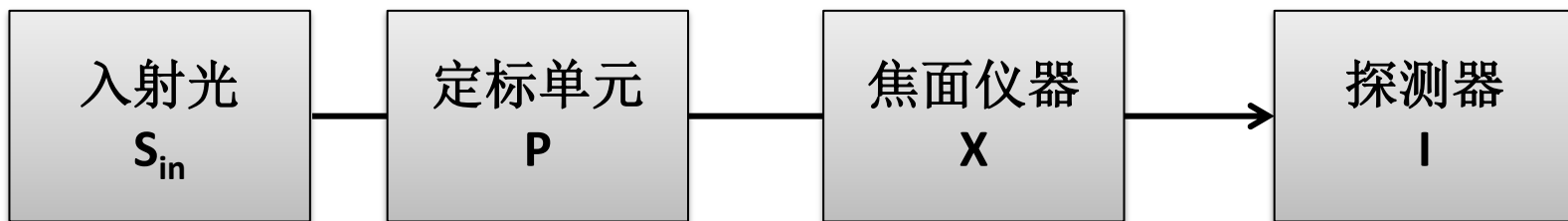


# NVST的偏振定标



定标单元装置示意图

- 波片和起偏器组合；
- 波片的相位延迟约为**90度**；
- 检偏器和波片均旋转；
- 工作模式：步进式



$$\mathbf{I} = \mathbf{XPS}_{in} \Rightarrow \mathbf{X} = \mathbf{I}(\mathbf{PS}_{in})^T * (\mathbf{PS}_{in} * (\mathbf{PS}_{in})^T)^{-1}$$

### 定标难点:

- ❖ 定标单元存在制造误差
- ❖ 定标方法的可靠性估计



### 解决方案:

- ❖ 非线性最小二乘拟合, 建模
- ❖ 蒙特卡洛模拟

# 非线性最小二乘拟合偏振定标方法

$$\begin{aligned}\mathbf{I}_{\text{out}} &= \mathbf{XPS}_{\text{in}} = \tau \mathbf{X} \mathbf{M}_{\text{WP}} \mathbf{M}_{\text{P}} \mathbf{S}_{\text{in}} \\ &= \mathbf{Func}(\tau, S_1, S_2, \theta_0, \delta, \mathbf{X}, \theta_1, \theta_2)\end{aligned}$$

$$\theta_1 = m\Delta\theta, \theta_2 = n\Delta\theta, m, n = 1, 2, \dots, 8$$

$$\chi^2 = \min \left\{ \sum_{m=1}^8 \sum_{n=1}^8 \sum_{i=1}^4 (\tilde{\mathbf{I}}_{\text{out}}(m\Delta\theta, n\Delta\theta) - \mathbf{I}_{\text{out}}(m\Delta\theta, n\Delta\theta))^2 \right\}$$



求解

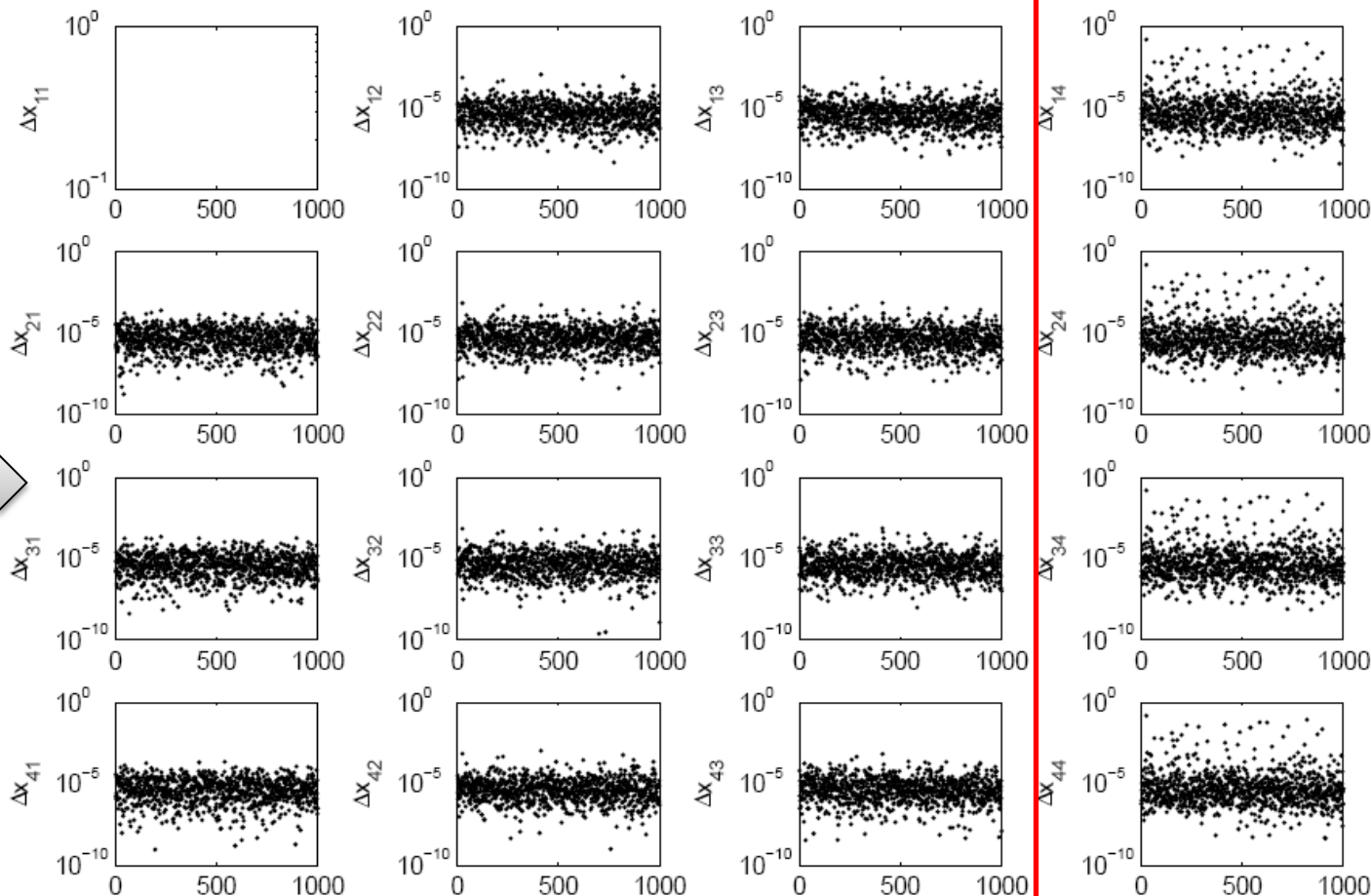
焦面仪器  $\mathbf{X}$

# 蒙特卡洛模拟

定标方法的可靠性估计:

- ❖ 初值依赖
- ❖ 被测目标依赖

同一组初值，  
任意被测目  
标的1000次  
模拟结果



相位延迟与被测目  
标的相互影响

# 定标精度估计

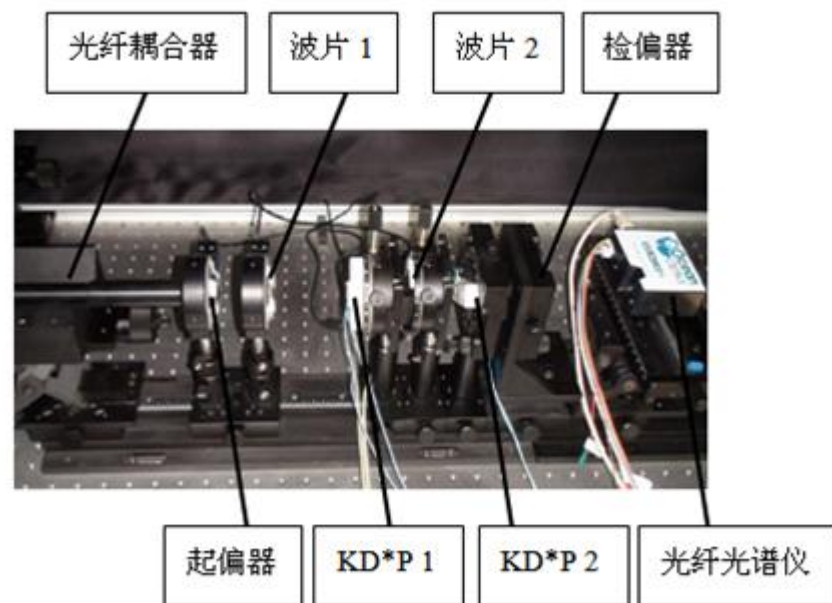
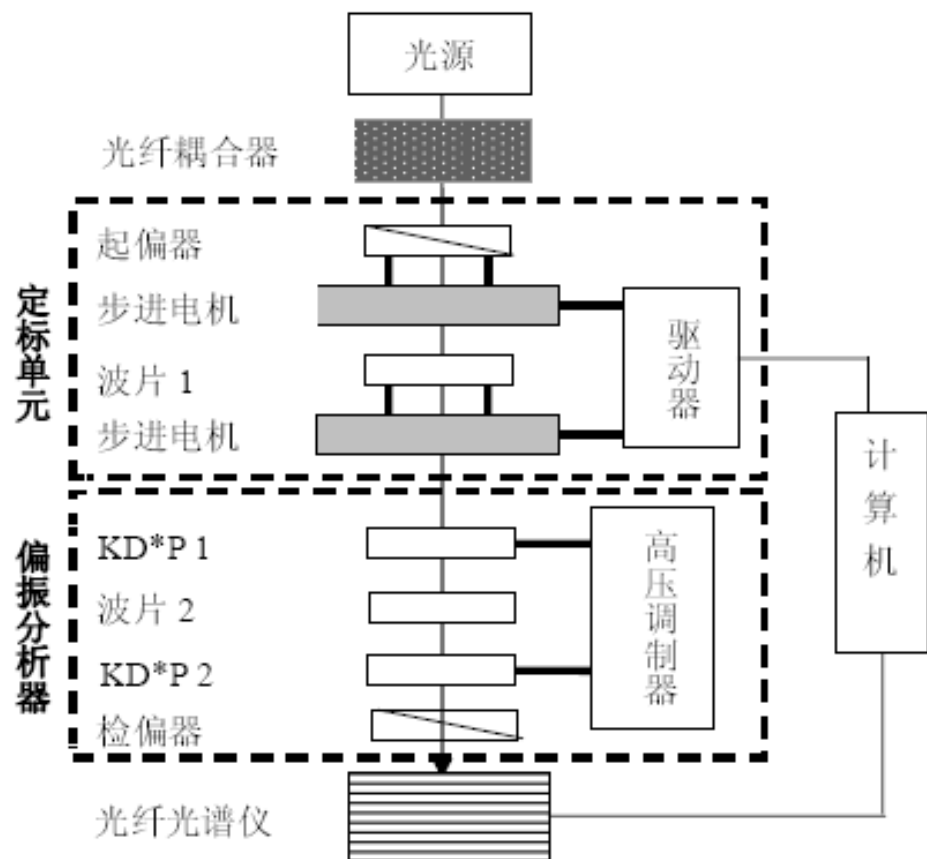
- ❖ 随机误差
- ❖ 系统误差

误差源可容忍误差范围对比

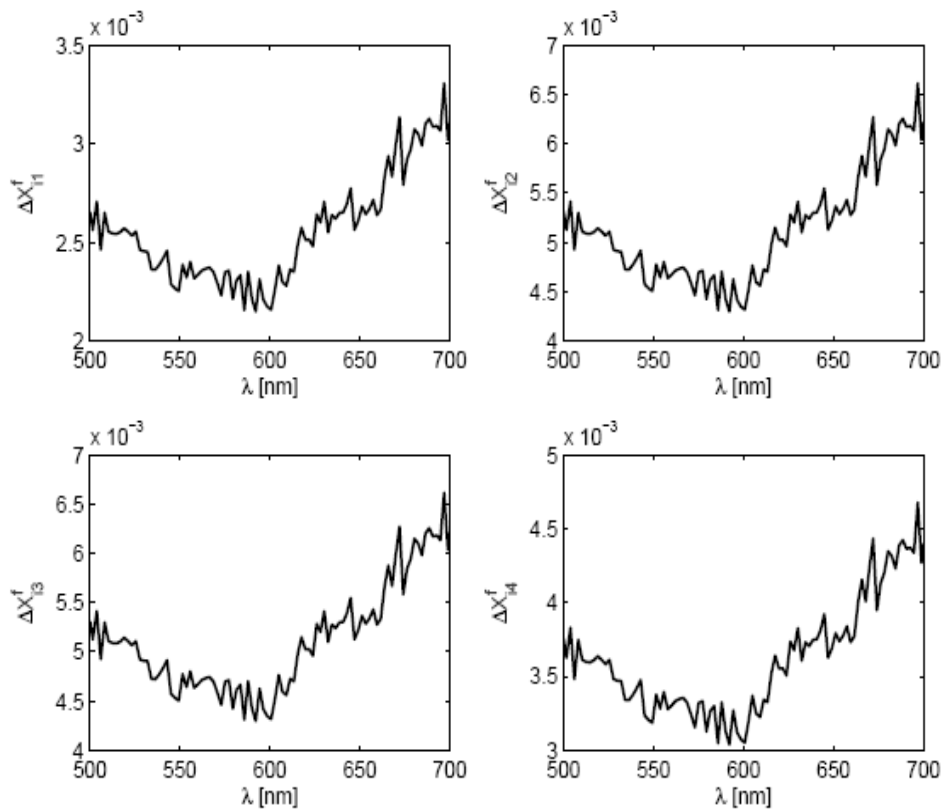
误差源	参量	可容忍误差范围 非线性拟合偏振定标
入射光的偏振效应	$q_{in}, u_{in}$	
线偏振片不理想	$p$	[0.99,1]
初始方位角误差	$\Delta\theta$	
相位延迟误差	$\Delta\delta$	
光强衰减	$r$	[0,0.01]
探测器非线性	$a$	[0,0.01]
随机误差	$\varepsilon$	[0,0.003]

可容忍误差在元器件制造误差以内!

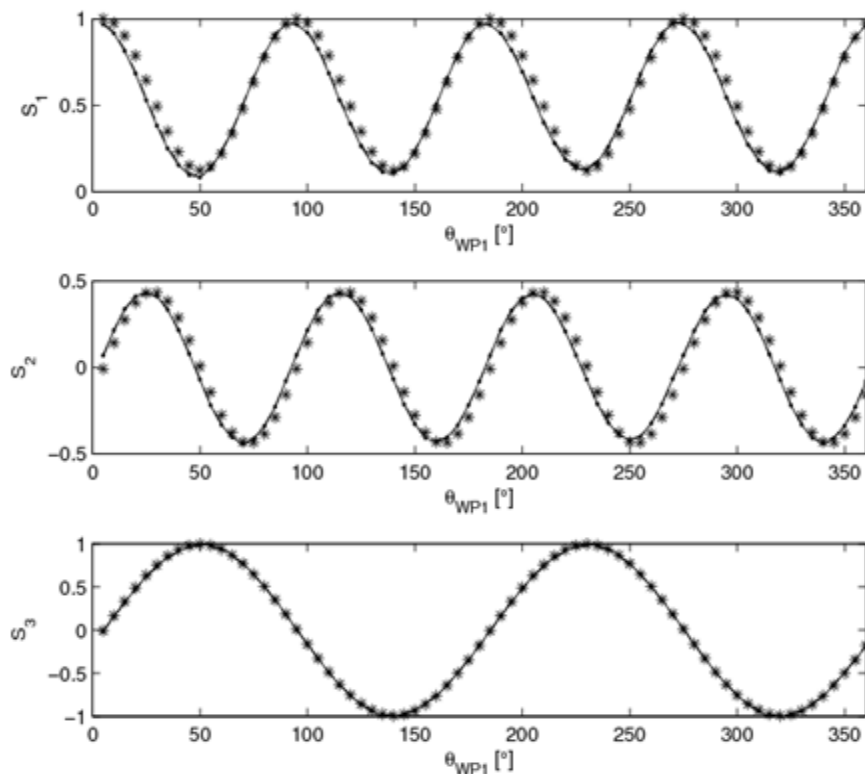
# 实测分析



# 实测分析



偏振响应矩阵的测量精度估计 $\Delta X^f$



波长 532.4nm 三种方法斯托克斯参量实验值与理论值的对比

# 下一步工作

- ❖ 偏振分析器的装调与初测；
- ❖ 偏振定标方法与NVST望远镜模型及实际机械结构综合考虑；
- ❖ 设计双光束偏振测量方案。



