



中国科学院云南天文台

YUNNAN OBSERVATORIES, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

The multi-slit Spectro-Polarimeter of 2.5-meter Wide-field and High Resolution Solar Telescope

徐稚

中国科学院云南天文台

云南天文台研制团队：FASOT 团组、稻城无名山团组
合作团队：长春光机所



中国科学院云南天文台

YUNNAN OBSERVATORIES, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

2.5米大视场高分辨率太阳望远镜 多狭缝偏振光谱磁像仪研制

徐稚

中国科学院云南天文台

云南天文台研制团队：FASOT团组、稻城无名山团组
合作团队：长春光机所



提纲

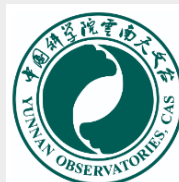
一 项目背景简介

- 科学目标（仪器的指标）

二 光谱磁像仪关键技术

- 多狭缝光谱仪（多狭缝、扫描）
- 偏振测量系统（偏振测量方法、定标、双光束交换）

三 观测址点介绍





一、项目背景简介

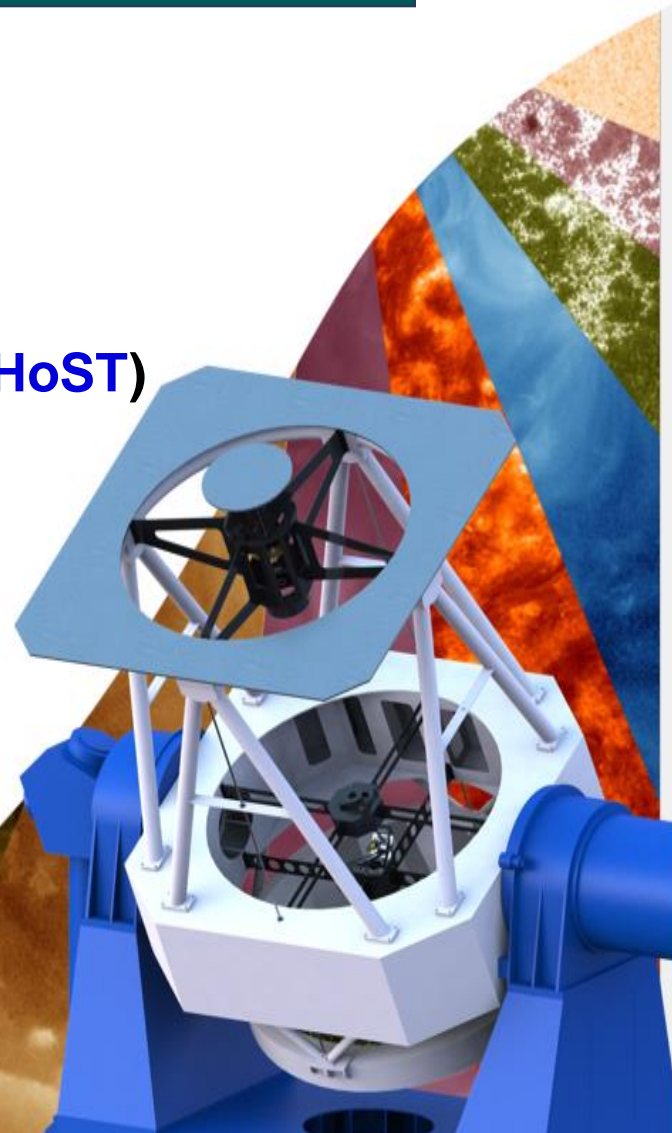
基金委国家重大科研仪器研制项目 (2022-2026)

2.5米大视场高分辨率太阳望远镜

2.5m **Wide-field** and **High-resolution** **Solar Telescope (WeHoST)**

承担单位： 南京大学

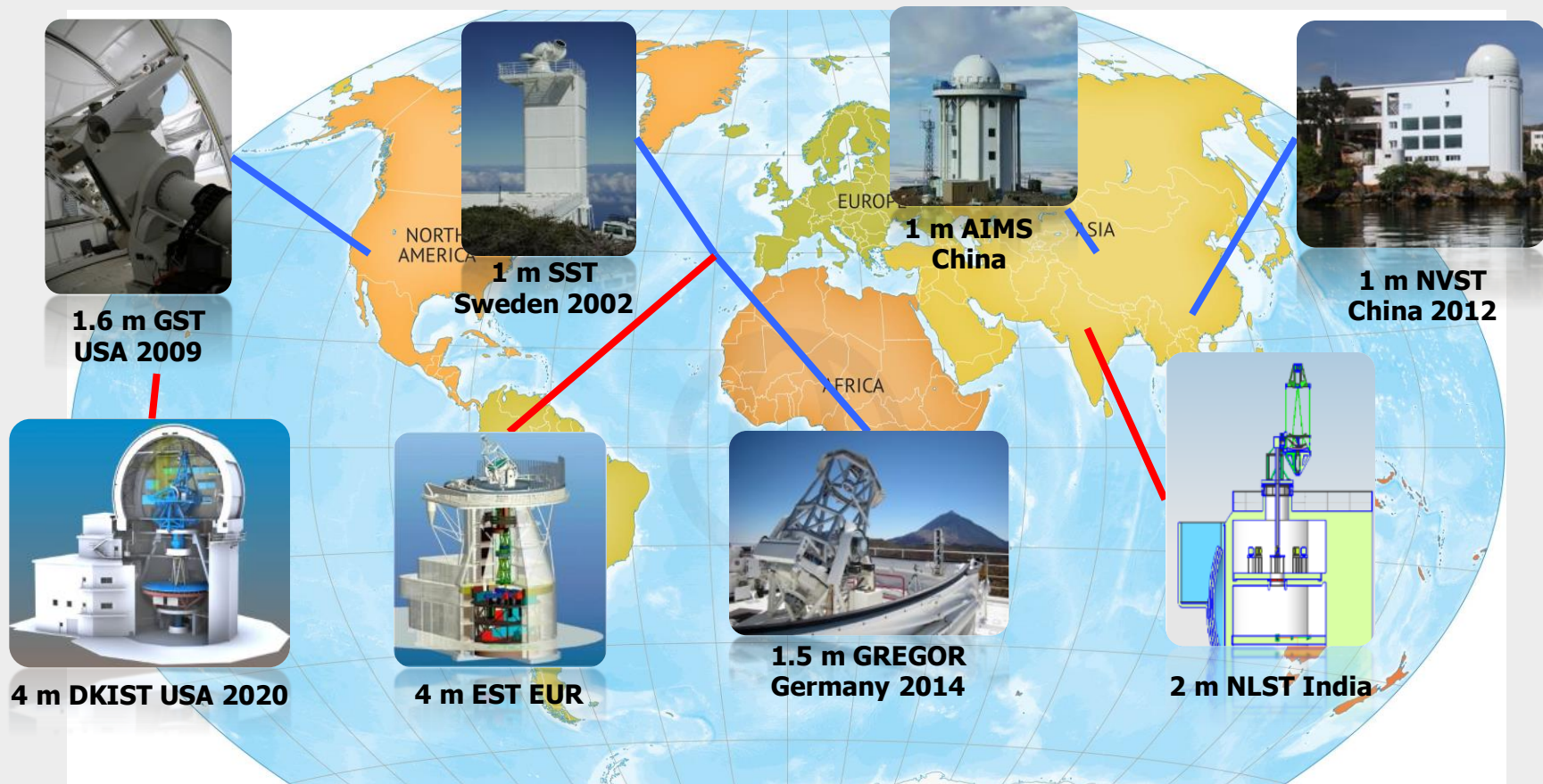
合作单位： 南京天文光学技术研究所
中国科学院云南天文台





一、项目背景简介

全球 > 1 米量级太阳望远镜



共同特点：小视场 ($1' \sim 3'$)、高空间分辨率 ($< 0.1''$ ，@优秀视宁度)



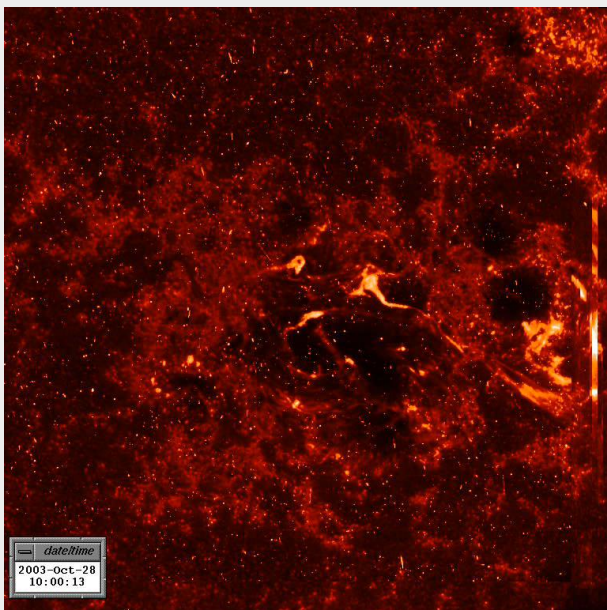


一、项目背景简介

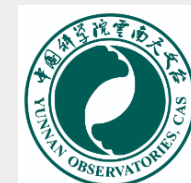
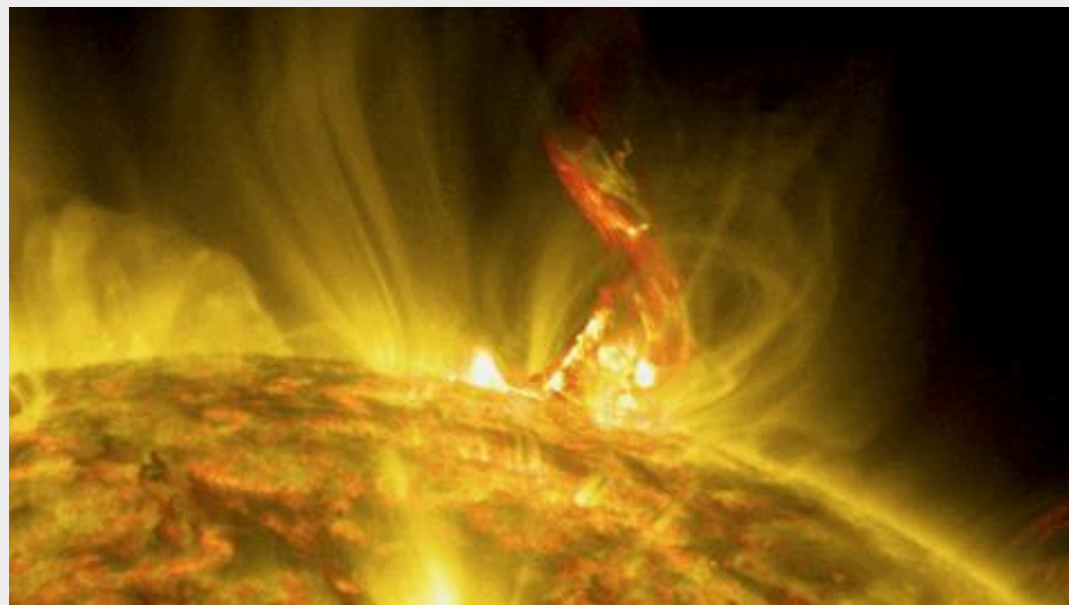
2.5米大视场高分辨率太阳望远镜科学目标

- 对**太阳活动区**和太阳爆发现象进行完整的 ($7'$)、分辨率比现有资料的精度高一个量级 ($0.1'' \sim 0.3''$) 的观测并取得重大成果，重点研究太阳爆发的起源和演化。
- 对太阳活动区**磁场**进行高精度、多层次测量。

太阳耀斑



日冕物质抛射



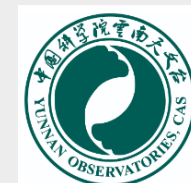
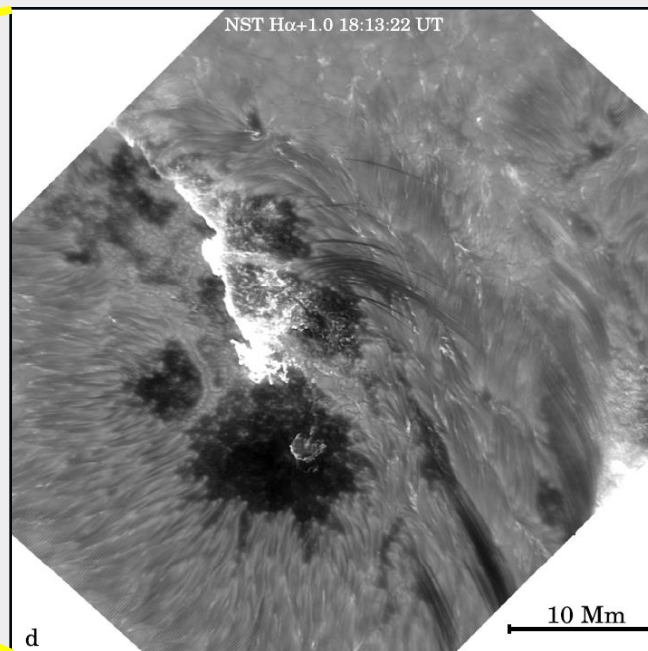
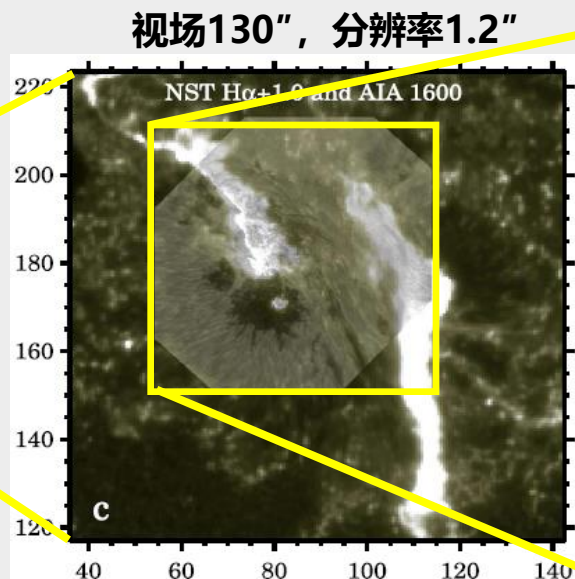
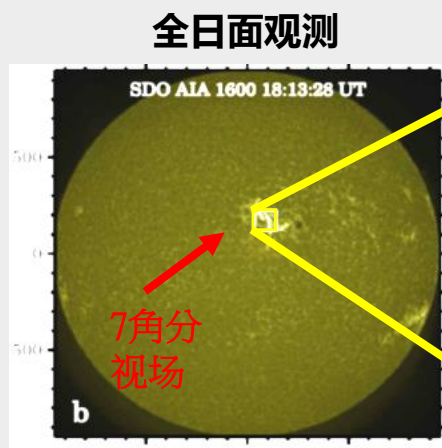


一、项目背景简介

2.5米大视场高分辨率太阳望远镜科学目标

- 对**太阳活动区**和太阳爆发现象进行完整的 ($7'$)、分辨率比现有资料的精度高一个量级 ($0.1'' \sim 0.3''$) 的观测并取得重大成果，重点研究太阳爆发的起源和演化。
- 对太阳活动区**磁场**进行高精度、多层次测量。

GST, 视场 $60''$, 分辨率 $0.15''$



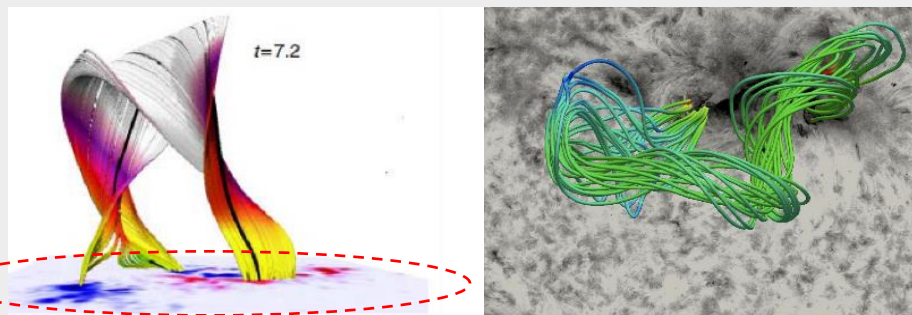
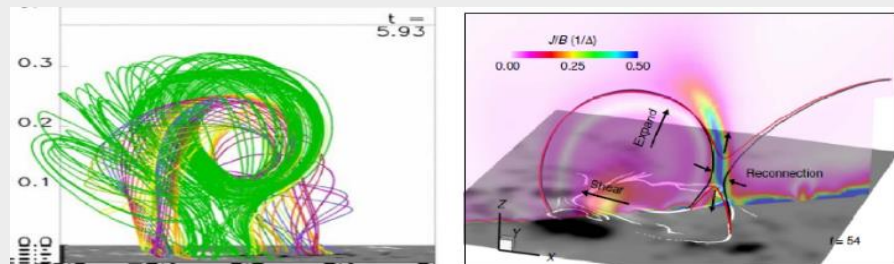


一、项目背景简介

2.5米大视场高分辨率太阳望远镜科学目标

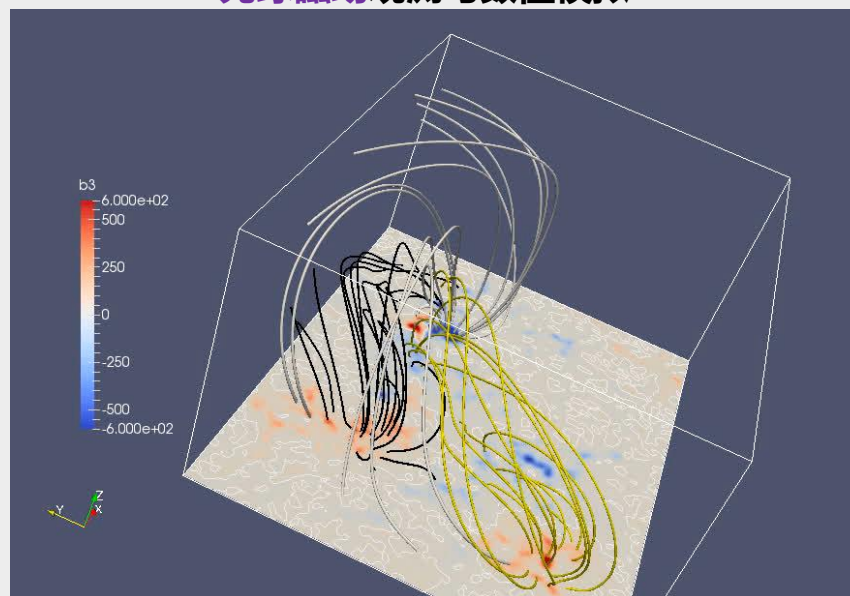
- 对**太阳活动区**和太阳爆发现象进行完整的 ($7'$)、分辨率比现有资料的精度高一个量级 ($0.1'' \sim 0.3''$) 的观测并取得重大成果，重点研究太阳爆发的起源和演化。
- 对太阳活动区**磁场**进行高精度、多层次测量。

光球磁场观测与外推



7角分视场

光球磁场观测与数值模拟





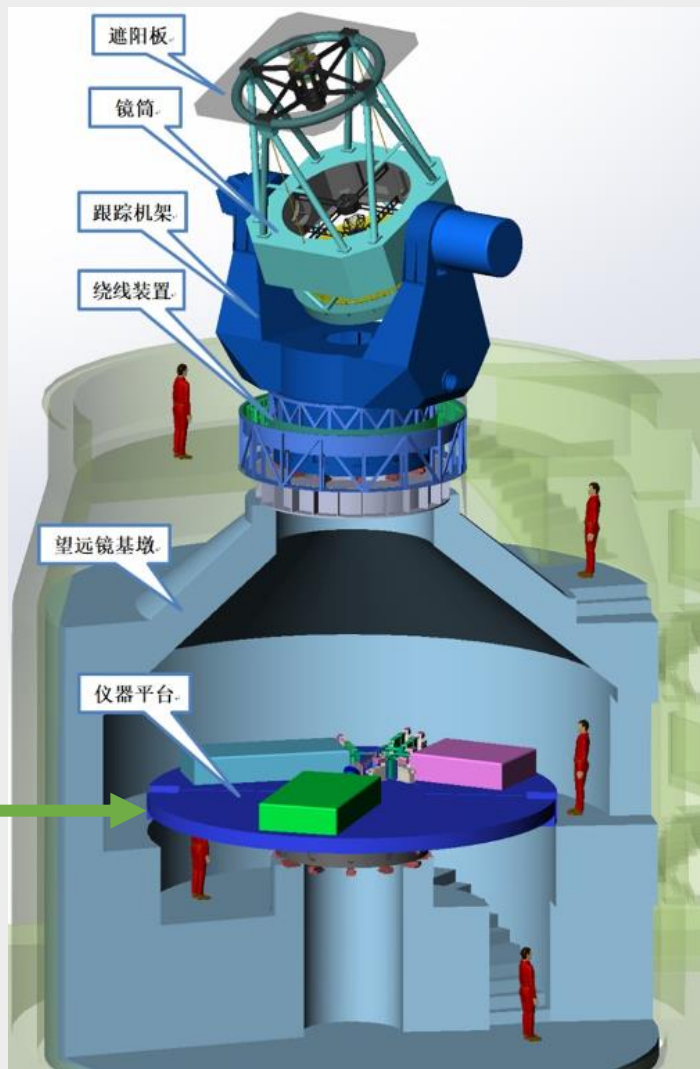
一、项目背景简介

2.5米大视场高分辨率太阳望远镜

2.5米望远镜系统

自适应光学系统

焦面仪器系统



焦面仪器系统

□ 成像观测 --- 高分辨图像

白光： 360.0 ± 1.0 nm, 430.5 ± 1.0 nm, TiO 705.8 nm

可调单色光：H α 656.3 ± 0.3 nm；CaII 854.2 ± 0.3 nm

；HeI 1083.0 ± 0.2 nm

□ 成谱观测 --- 偏振光谱

可见光：Mg I 517.3 nm；Fe I 617.3 nm



报告重点





二、光谱磁像仪关键技术

■ 研制目标

研制一套适合于WeHoST磁场测量的焦面仪器 --- **光谱磁像仪**，具备在二维空间上、多条谱线偏振光谱测量的能力，活动区内光球谱线偏振测量精度达到 $8 \times 10^{-4} I_c$ 水平。

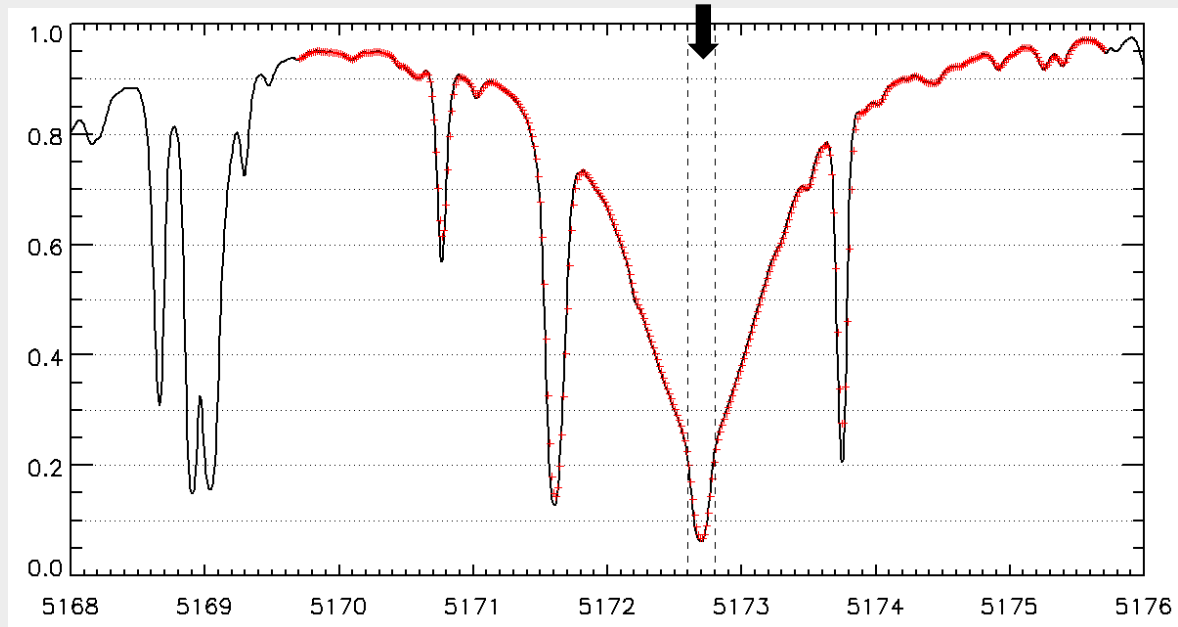
	参数	指标	目的
光谱仪	观测视场 (狭缝缝长/扫描)	5' x 5'	大视场
	空间采样 (狭缝缝宽)	0.25" 或 0.5"	高空间分辨率
	狭缝缝数	4	高空间采样
	狭缝间距	75"@5'视场	大视场
	工作谱线	光球谱线 FeI 617.3nm (g=2.5) 色球谱线: MgI 517.3nm (g=1.75)	光球、色球光谱同时
	光谱分辨率	3级; 120,000, 0.25"缝宽	高光谱分辨率
	光谱范围	$\pm 3\text{\AA}$ (综合考虑多狭缝情况)	高空间采样
扫描系统	扫描步长	狭缝缝宽或缝宽的倍数	空间二维观测
	扫描单步耗时	取决于调制速度 (相机采集频率)、信噪比等	时间分辨率
偏振测量系统	偏振定标	定标单元	高偏振测量精度
	偏振分析器	双光束; 连续式旋转波片调制	$8 \times 10^{-4} I_c$ @光球谱线



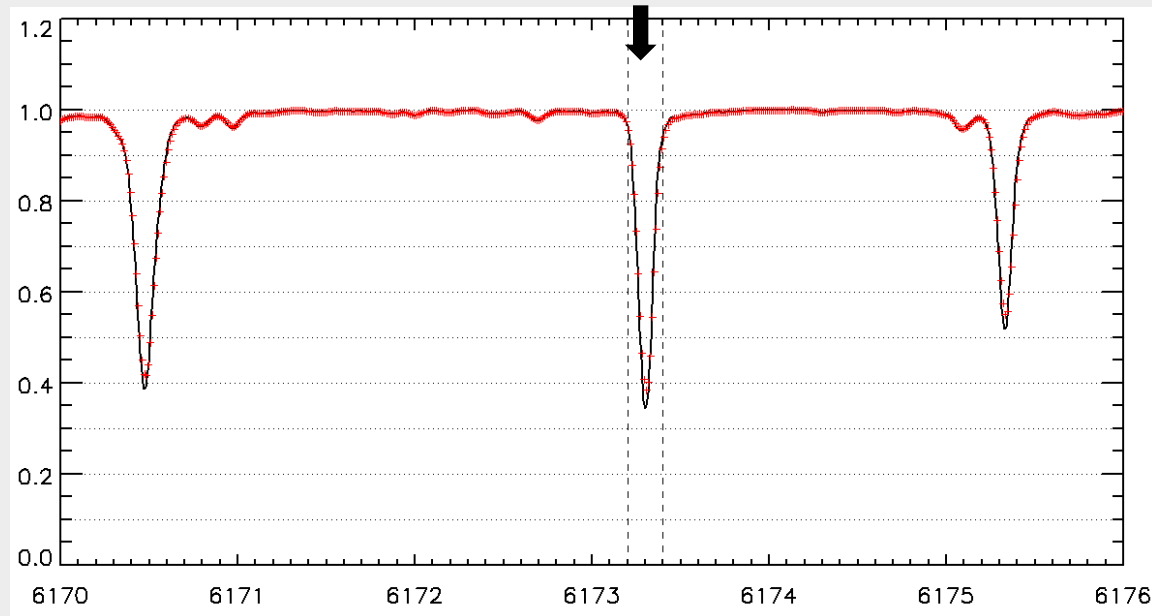
二、光谱磁像仪关键技术

■ 研制目标

色球谱线 Mg I 5173 Å (g=1.75)



光球谱线 Fe I 6173 Å (g=2.5)



双谱线；多普勒宽度较窄；较高光谱分辨率 ≈ 12 万 @ 0.25" 缝宽



二、光谱磁像仪关键技术

■ 研制内容

➤ 光谱仪

大视场 ($5' \times 5'$) ; 光球、色球**双谱线**同时观测; 高空间分辨率、高光谱分辨率、高空间采样 (**多狭缝**) ; 二维空间观测(**扫描**)。

➤ 偏振测量系统

同时获得多条谱线的偏振光谱; **高偏振测量精度**; **仪器偏振定标**; 获得光球、色球二维矢量磁图。

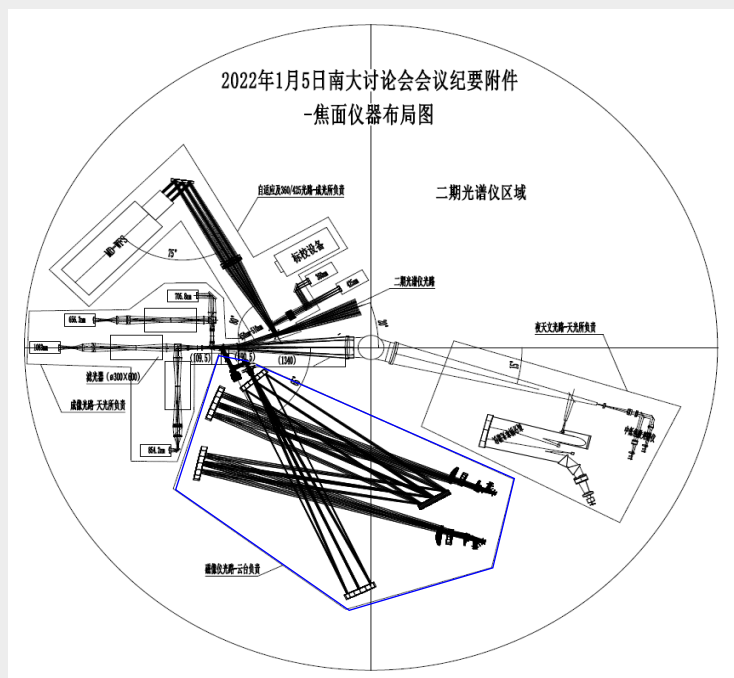


二、光谱磁像仪关键技术

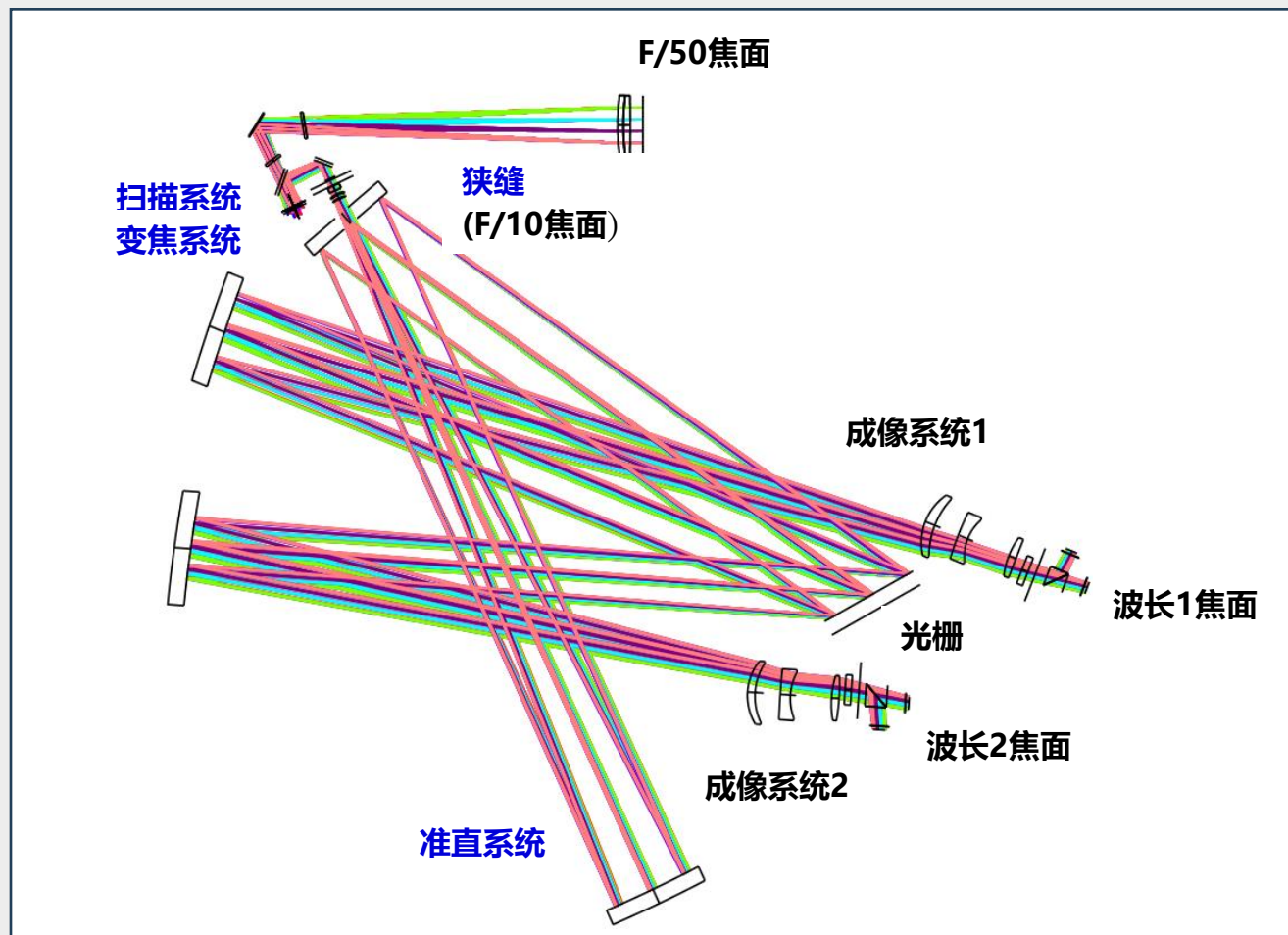
➤ 光谱仪关键技术

基本光路

可旋转焦面平台



光路示意图





二、光谱磁像仪关键技术

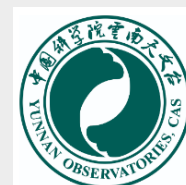
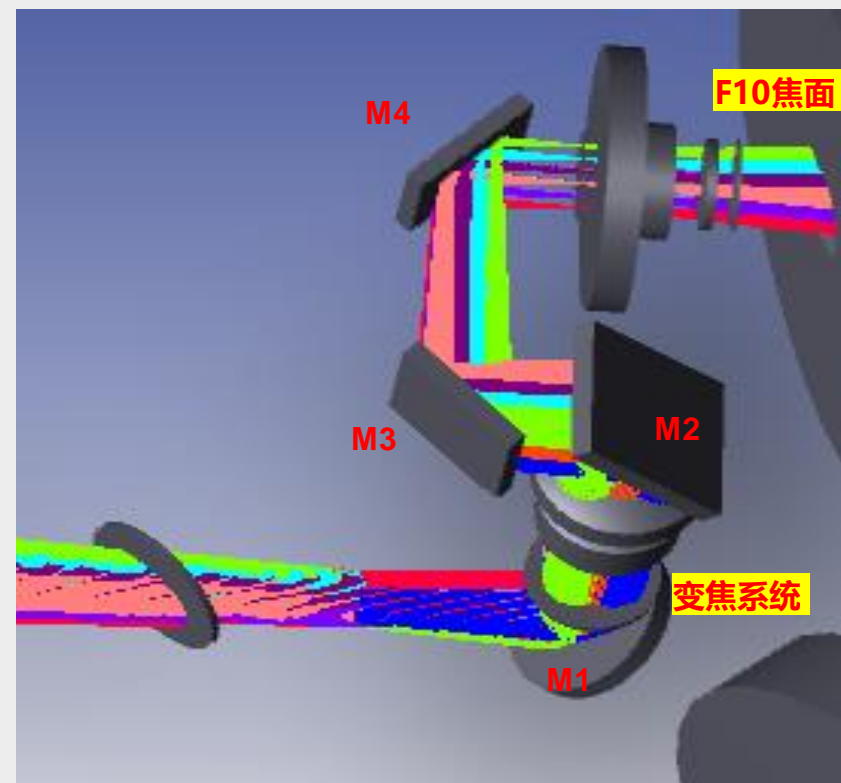
➤ 光谱仪关键技术

1. 扫描机构

功能：实现太阳像连续稳定移动，获得二维空间光谱

特点：1. 无（弱）偏设计
两组反射镜相互垂直

2. 反射镜平动实现扫描，仪器偏振特性稳定

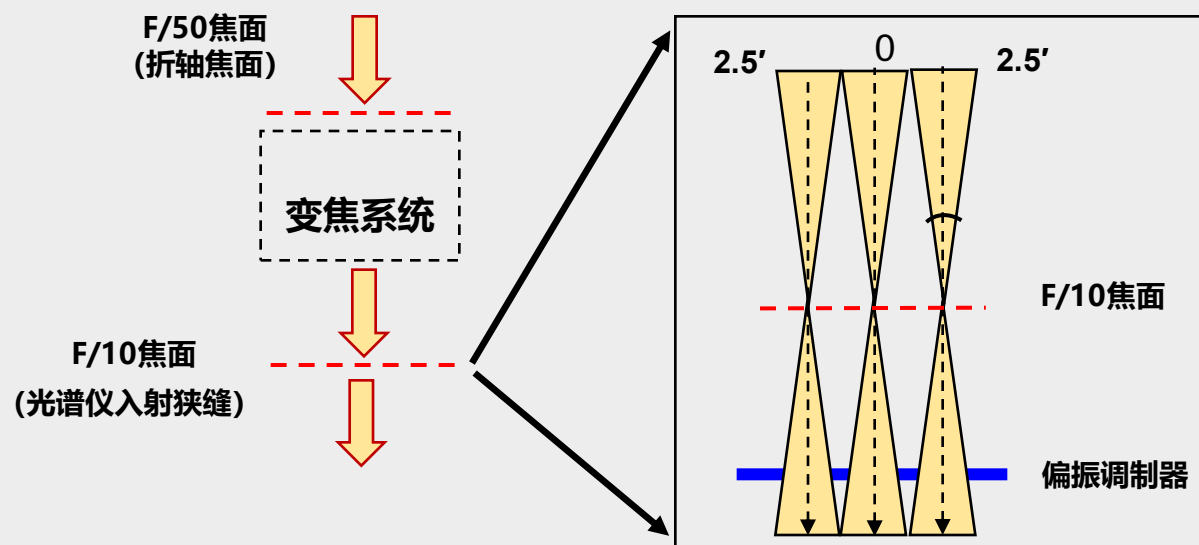


二、光谱磁像仪关键技术

➤ 光谱仪关键技术

2. 变焦系统

- 实现焦比转化： $F/50 \rightarrow F/10$ ：保证了后续元件（狭缝、偏振元件等等）尺寸选择的可行性。
- 实现像方远心光路：不同视场的主光线相互平行，保证不同视场的光线在光谱仪中传输路径一致，有利于偏振测量（大视场偏振测量）。



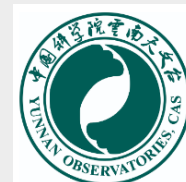
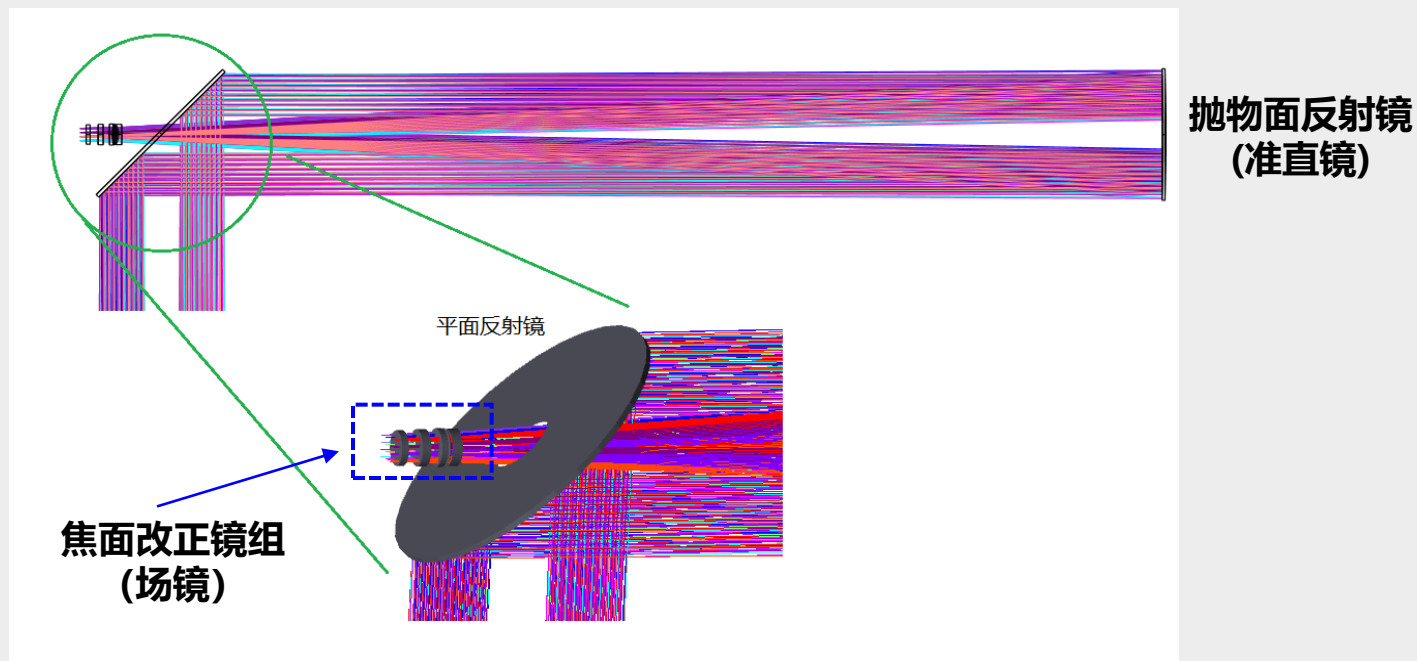


二、光谱磁像仪关键技术

➤ 光谱仪关键技术

3. 准直光路

- 采用共轴系统：“焦面改正镜组（场镜） + 抛物面反射镜”结构，保证多狭缝的良好像质。





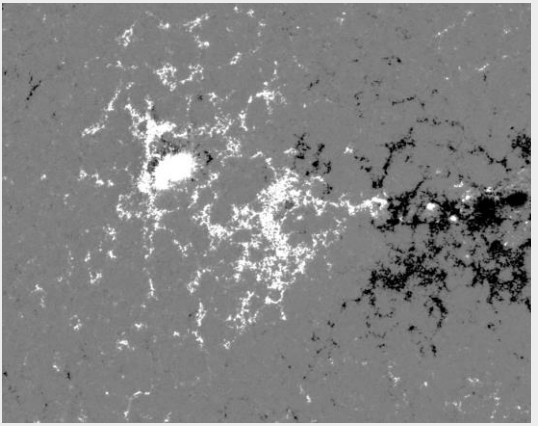
二、光谱磁像仪关键技术

➤ 光谱仪关键技术

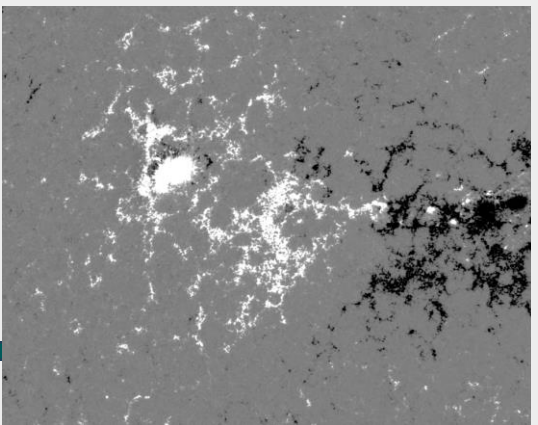
4.多狭缝

4.1 多缝必要性：提高扫描时间分辨率

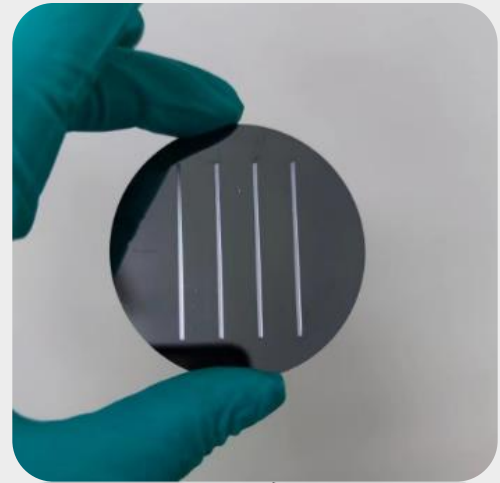
单缝扫描



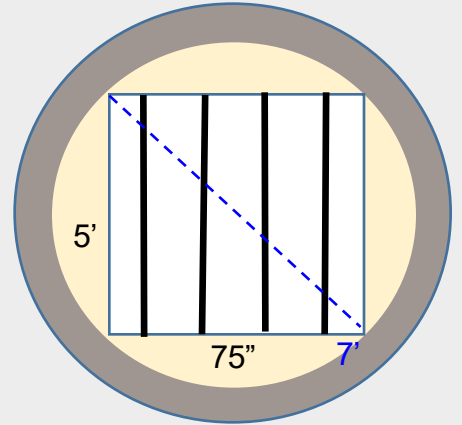
4缝扫描



4.2 狭缝制作：硅基深刻蚀技术（硅基CIP刻蚀）



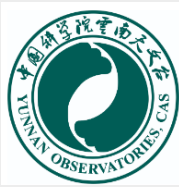
实物照片



视场大小

优点：保证多狭缝的共面性；
表面粗糙度可得到纳米量级；
保证狭缝边缘极高的平行度和直线度

- 狭缝缝宽： $30\mu\text{m} \pm 10\mu\text{m}$ ($0.25''$)； $60\mu\text{m} \pm 10\mu\text{m}$ ($0.5''$)
- 狭缝缝长： $36.4\text{mm} + 0.3\text{mm}$ ($300''$)
- 缝间距均： $9.1\text{mm} \pm 10\mu\text{m}$ ($75''$)
- 刀口厚度： $50 \pm 10\mu\text{m}$





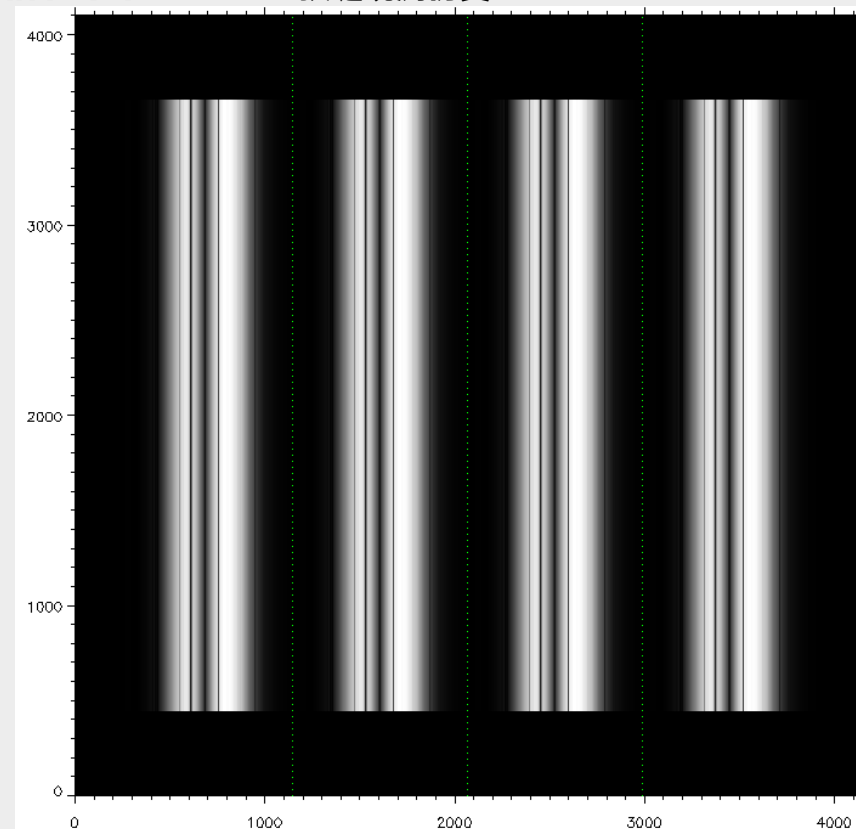
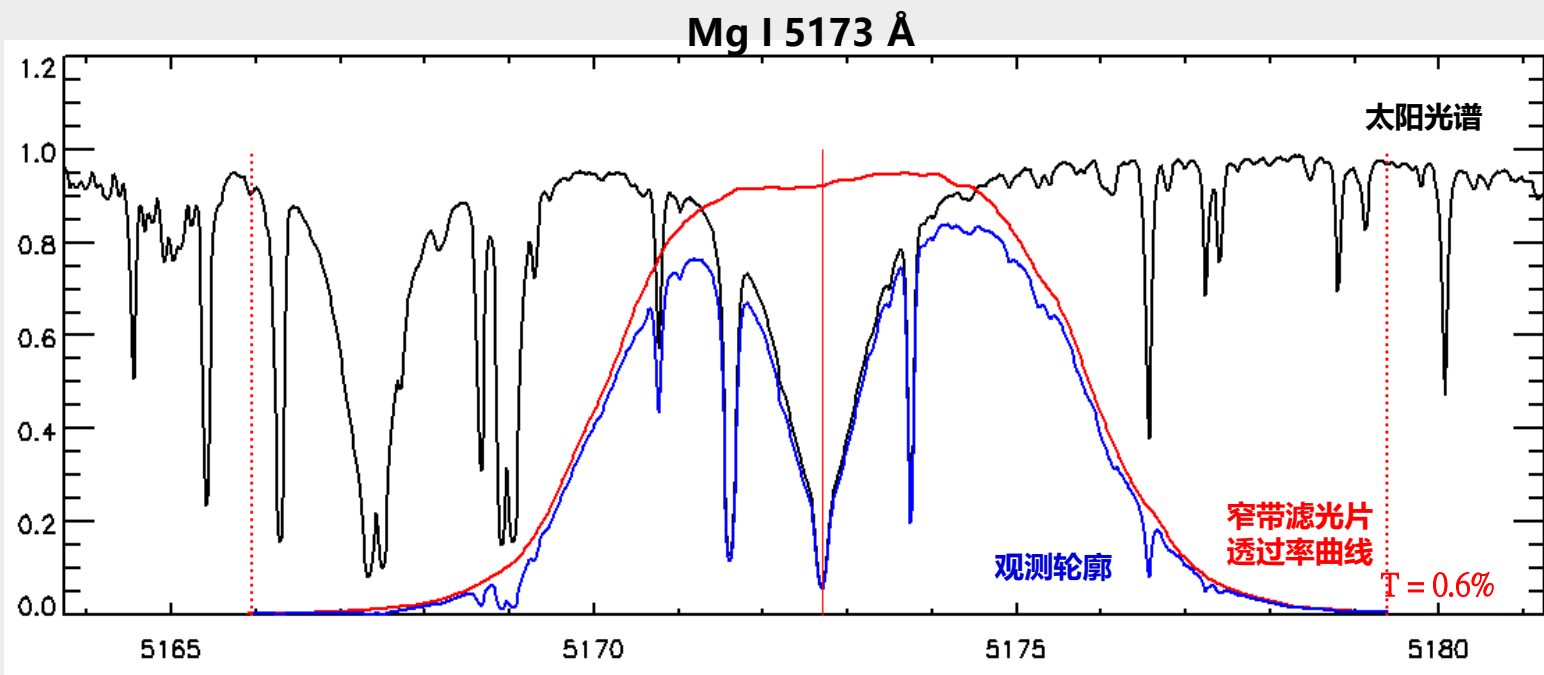
二、光谱磁像仪关键技术

➤ 光谱仪关键技术

4.多狭缝

4.3 多狭缝之间的干扰：狭缝间距、光谱分辨率、窄带滤光片、探测器靶面

4狭缝观测仿真 517.3 nm

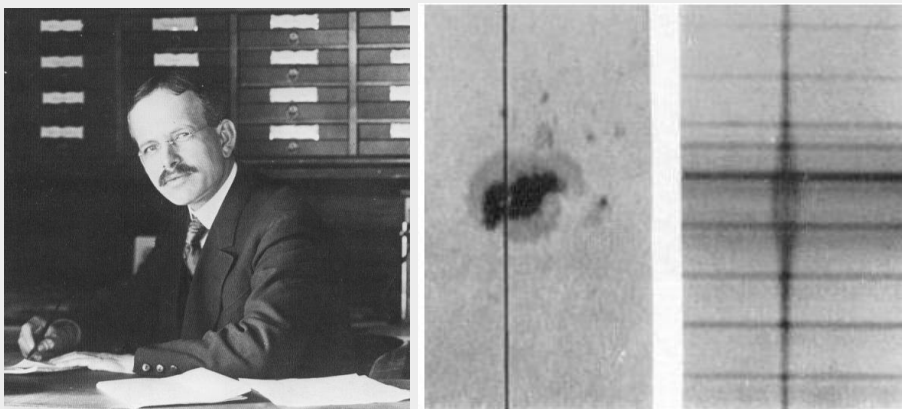




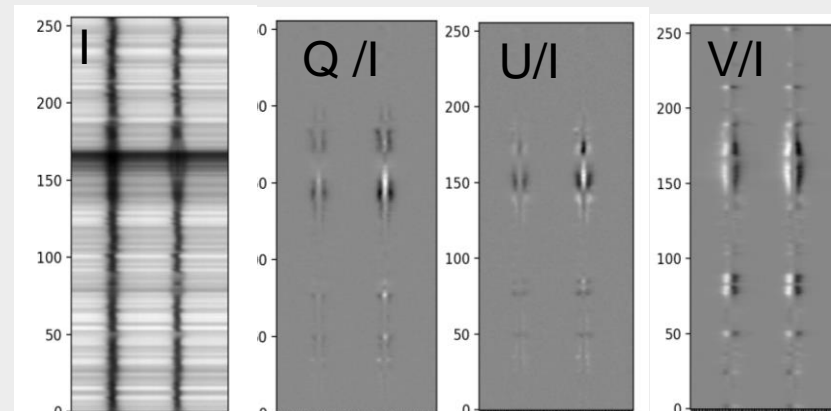
二、光谱磁像仪关键技术

➤ 偏振测量系统

偏振测量是目前遥感探测太阳矢量磁场的重要手段之一



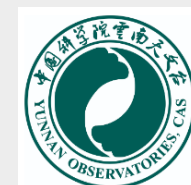
“现代太阳观测之父”：G. E. Hale 黑子磁场 1908



赛曼效应产生的偏振轮廓

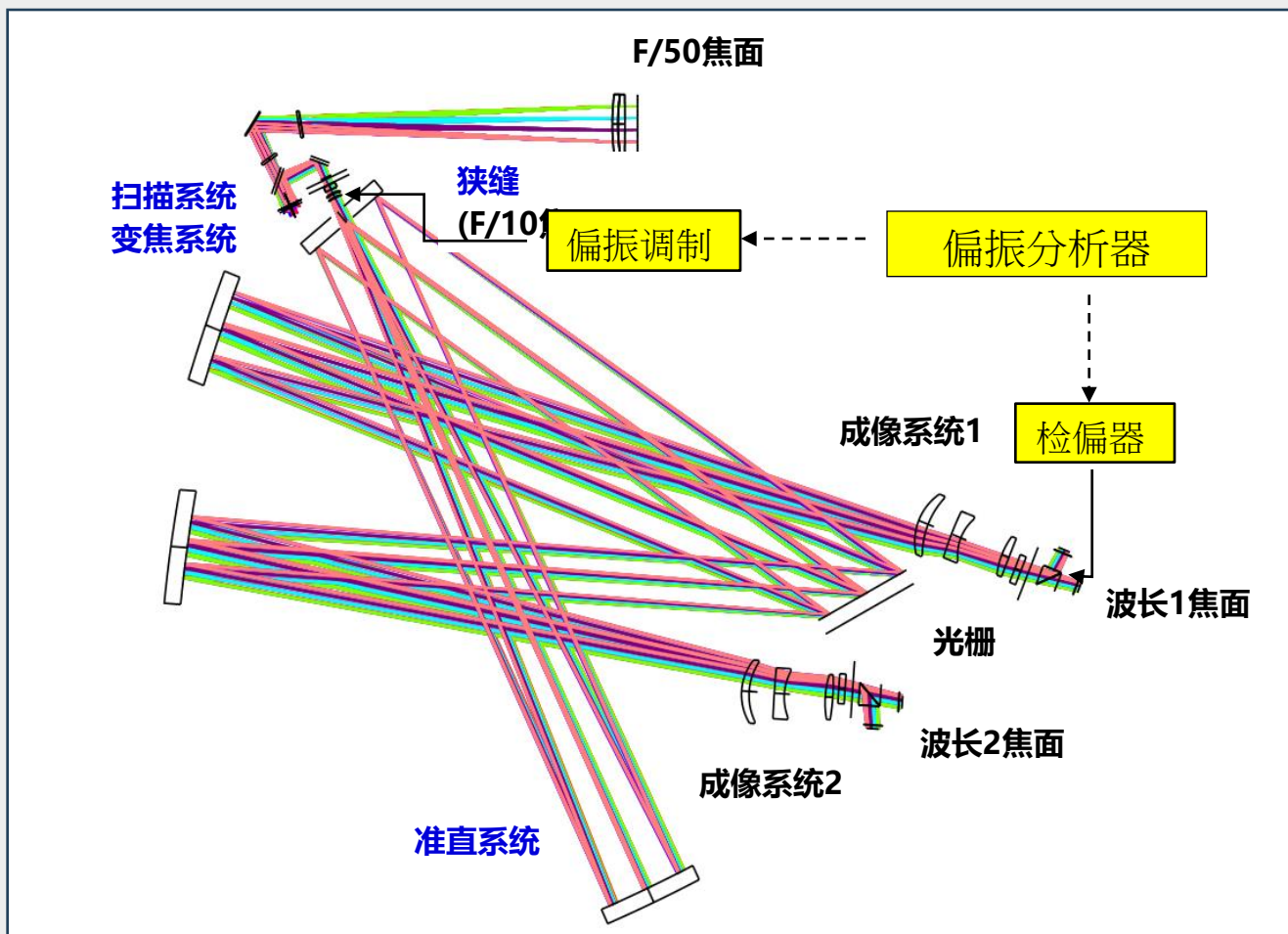
1.偏振测量方案： 双光束 + 旋转波片调制 (spatio-temporal modulation)

偏振分析器	{	偏振调制器： 旋转波片
		偏振检偏器： 偏振分束器



二、光谱磁像仪关键技术

➤ 偏振测量系统



连续式旋转波片:

偏振特性稳定、面型精度保证

调制速度与精确定位、探测器匹配

干涉条纹、图像晃动

双光束

减弱大气视宁度影响

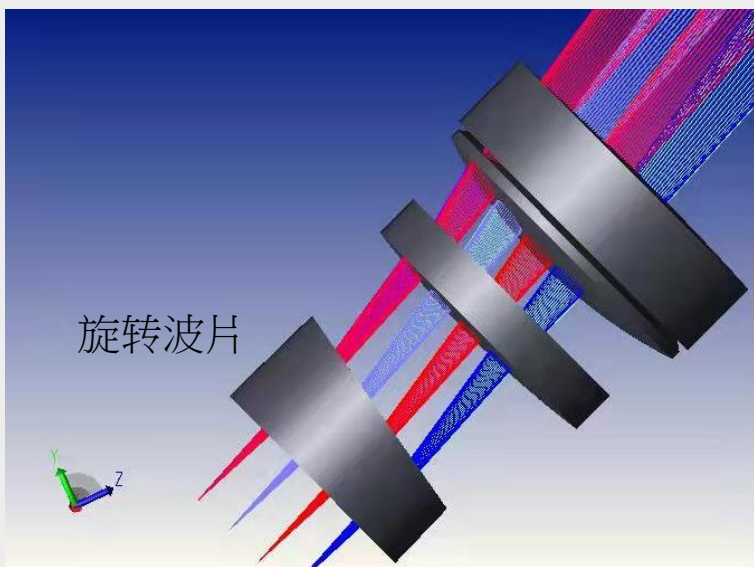
双探测器增益、同步触发

双光束空间匹配精度

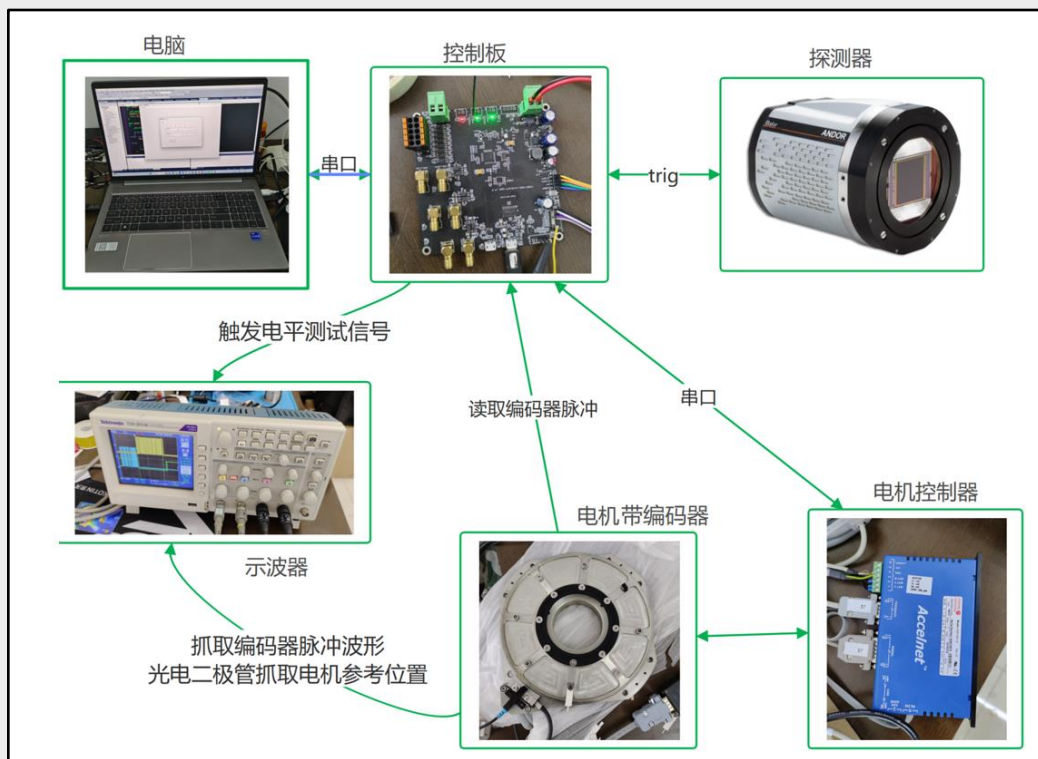
二、光谱磁像仪关键技术

➤ 偏振测量系统

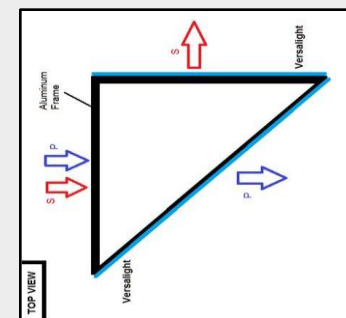
仿真波片旋转引起的图像晃动



波片旋转定位精度实验室测试



定制分束器



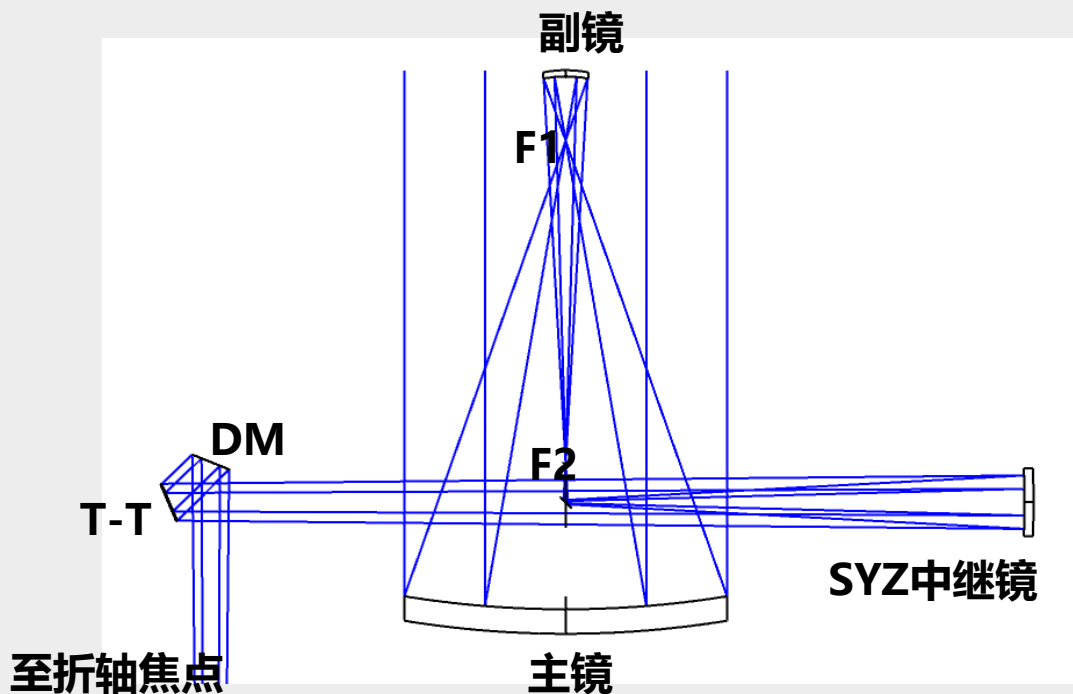


二、光谱磁像仪关键技术

➤ 偏振测量系统

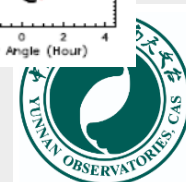
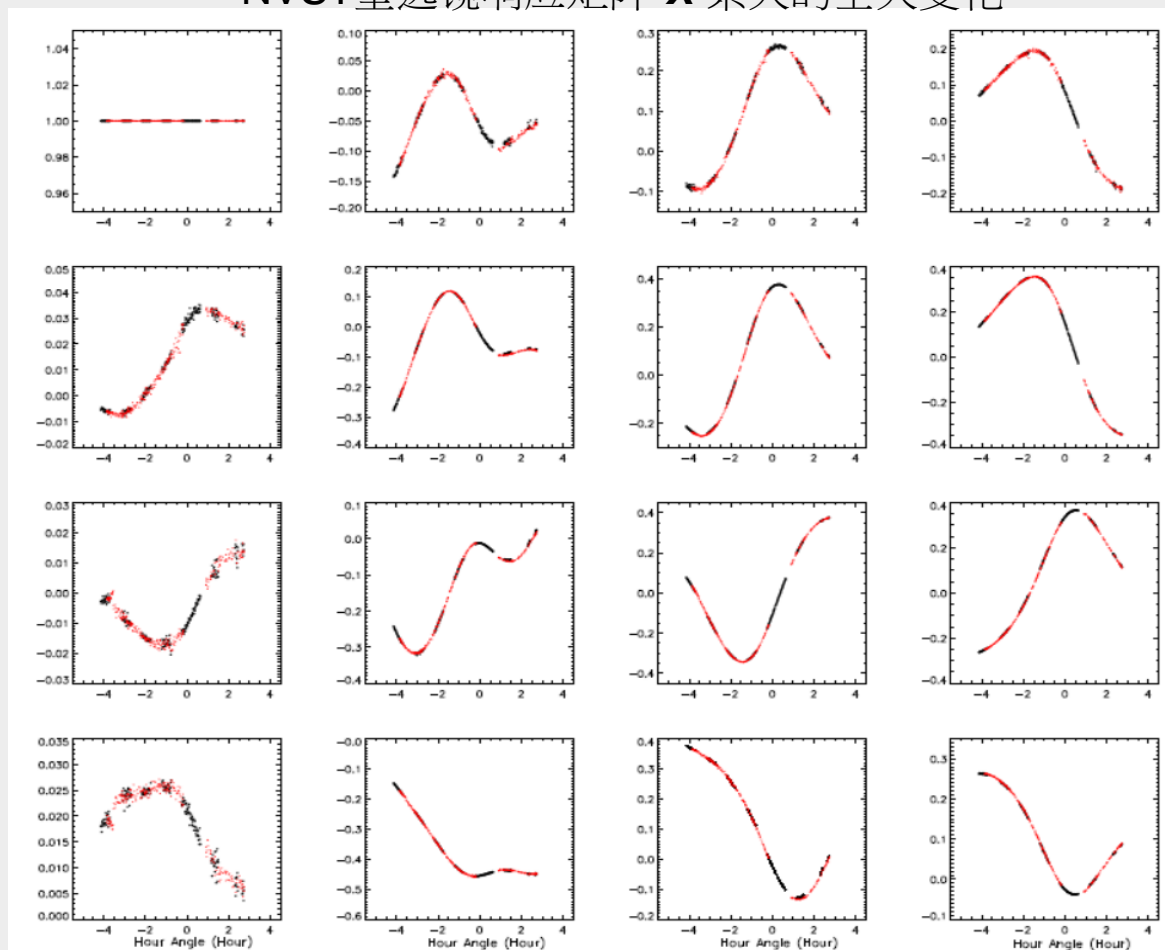
2. 望远镜的偏振定标

2.1 定标必要性 (主光路偏振信号串扰)



$$S_{obs} = X * S_{sun}$$

NVST望远镜响应矩阵 X 某天的全天变化



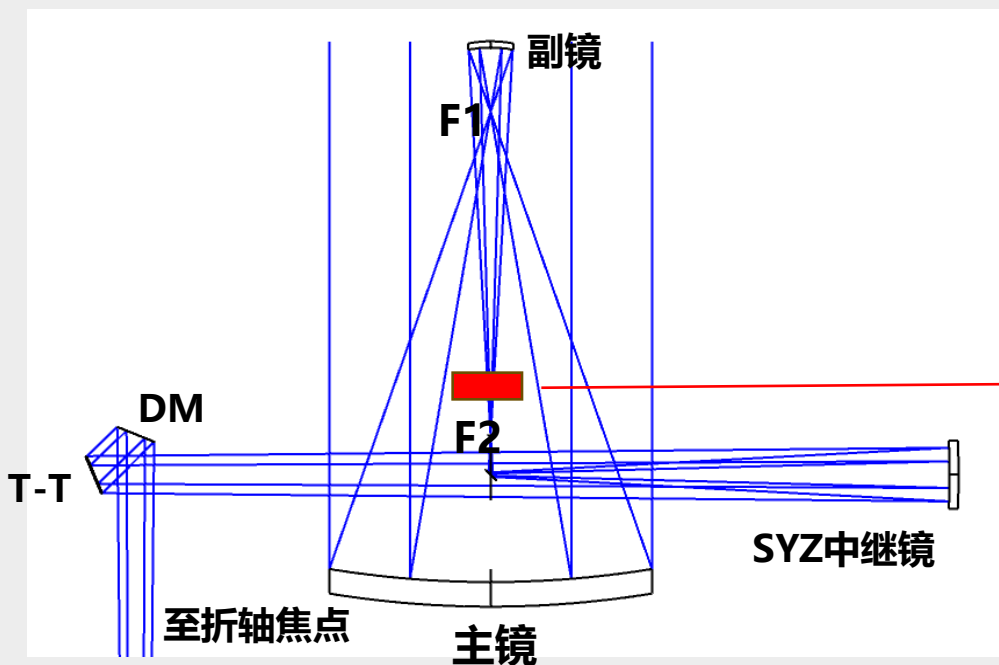


二、光谱磁像仪关键技术

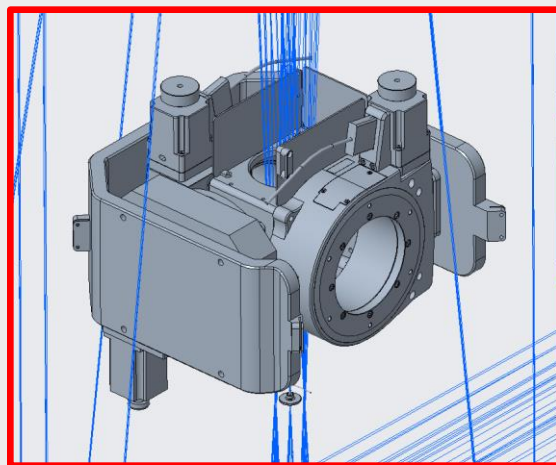
➤ 偏振测量系统

2. 望远镜的偏振定标

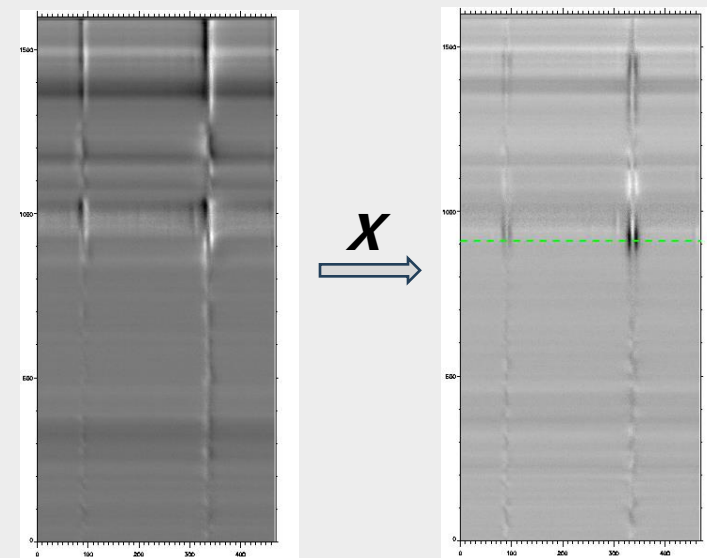
2.2 定标方法 \longrightarrow “偏振定标单元” (旋转波片 + 旋转偏振片) $\xrightarrow{S_{obs} = X * S_{cal}}$ 响应矩阵 X



定标单元的切入切出示意图



定标前后Q信号对比



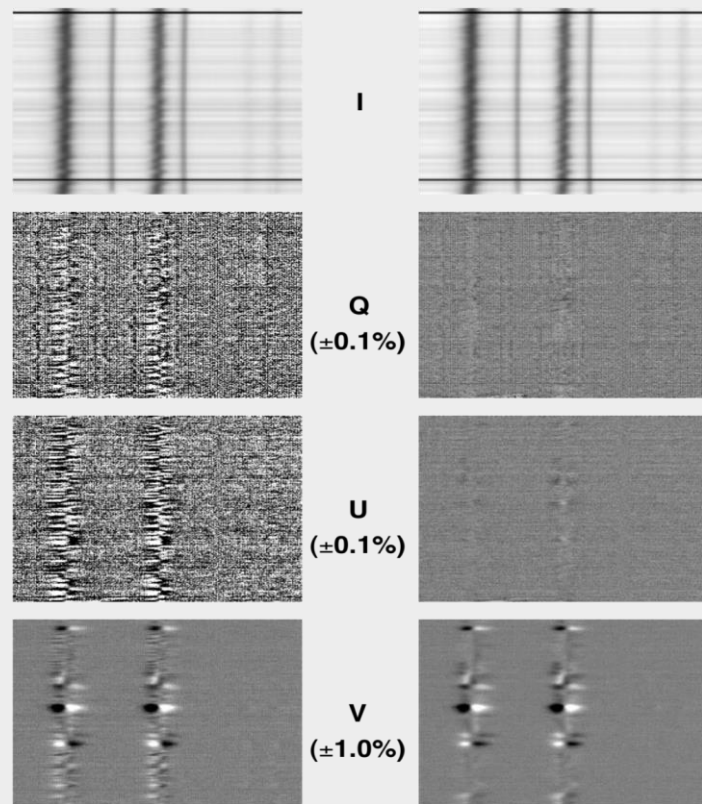
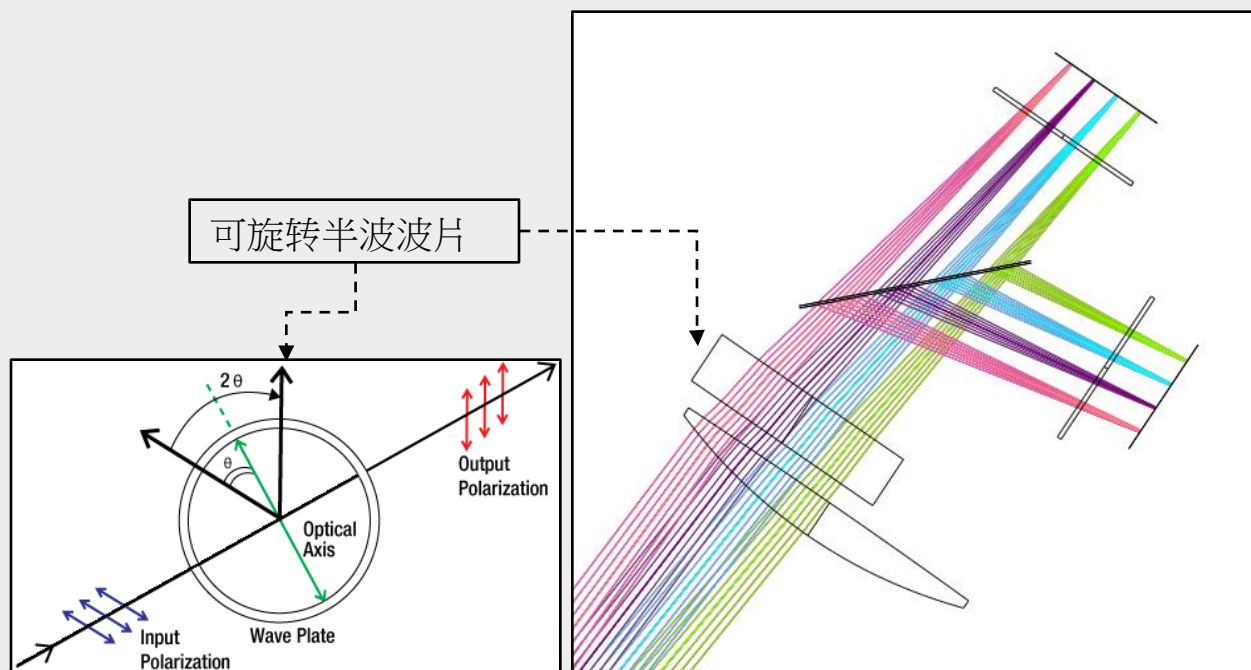
二、光谱磁像仪关键技术

➤ 偏振测量系统

3. 双光束交换技术 提高偏振测量精度的方法

(Donati + 1990 恒星偏振测量)

时间调制 (减小双光束增益差异引起的测量误差) 和空间调制 (减小视宁度引起的测量误差) 进行优化耦合

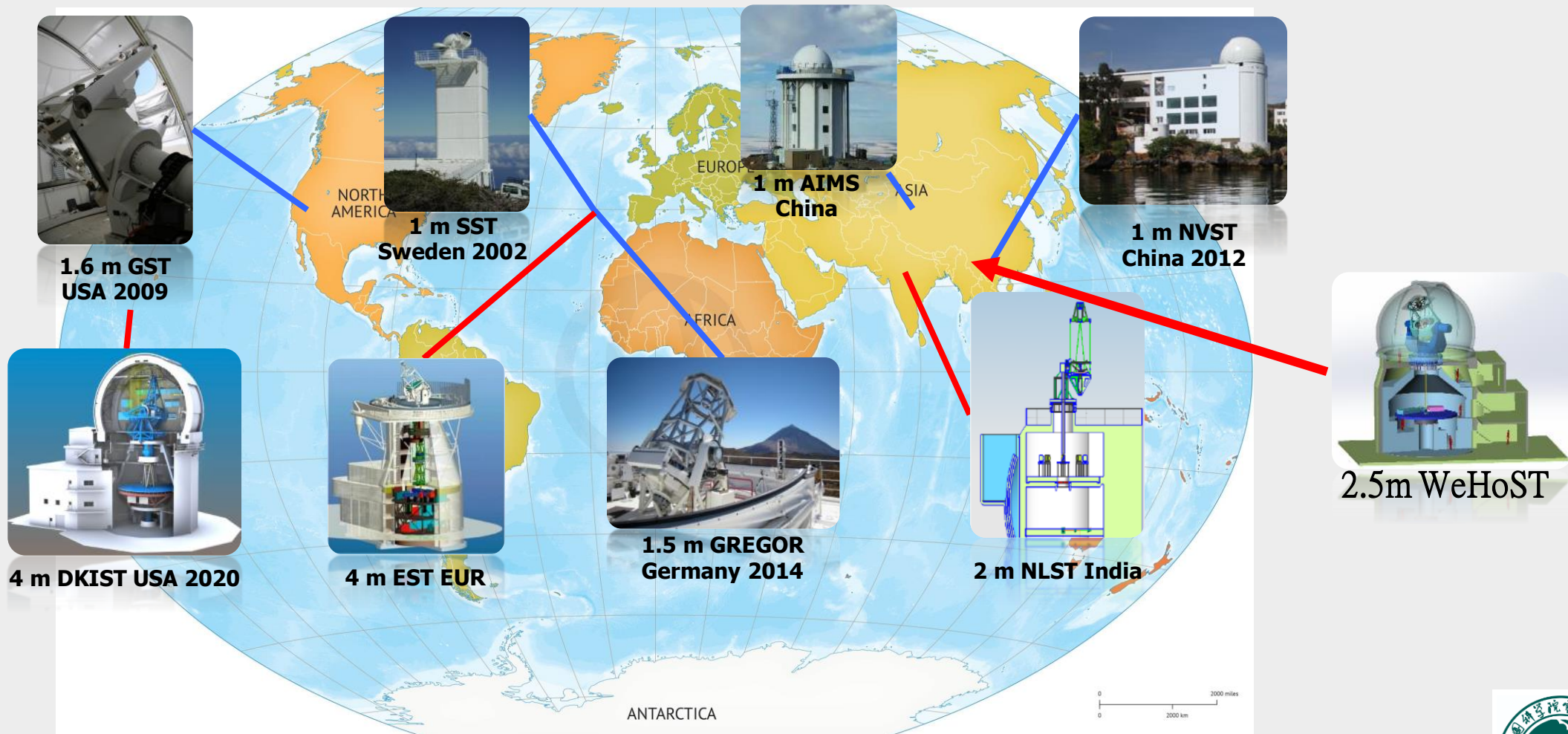


前后对比



三、观测址点介绍

- **观测台址** 经过40多个候选点监测，最佳观测台址是四川稻城无名山，海拔4700米。





三、观测址点介绍

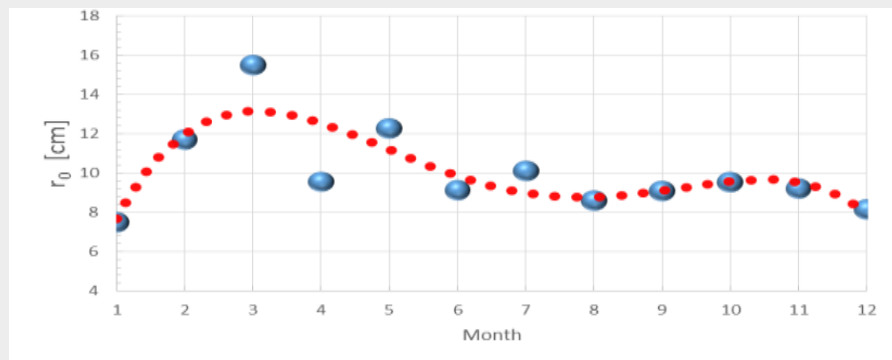
■ 观测台址

致谢云南天文台西部选址团队供图

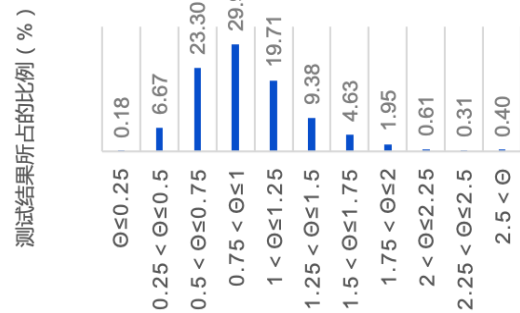


➤ 好视宁度

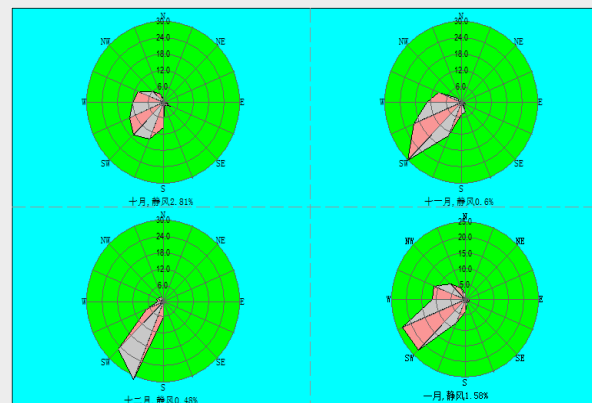
白天视宁度
平均 $r_0=10$ cm



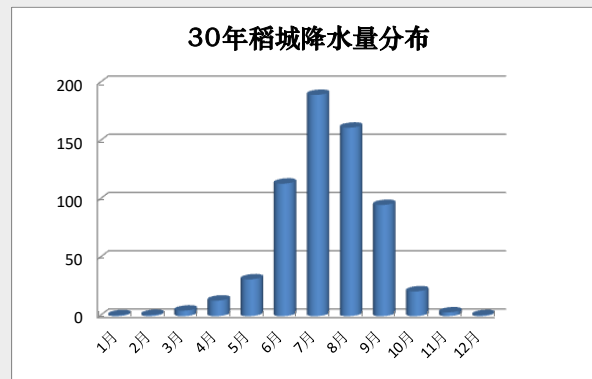
夜晚视宁度
平均0.9''
峰值区间
0.75~1''



稳定西南风
平均风速：
4.9 m/s



降水





三、观测址点介绍

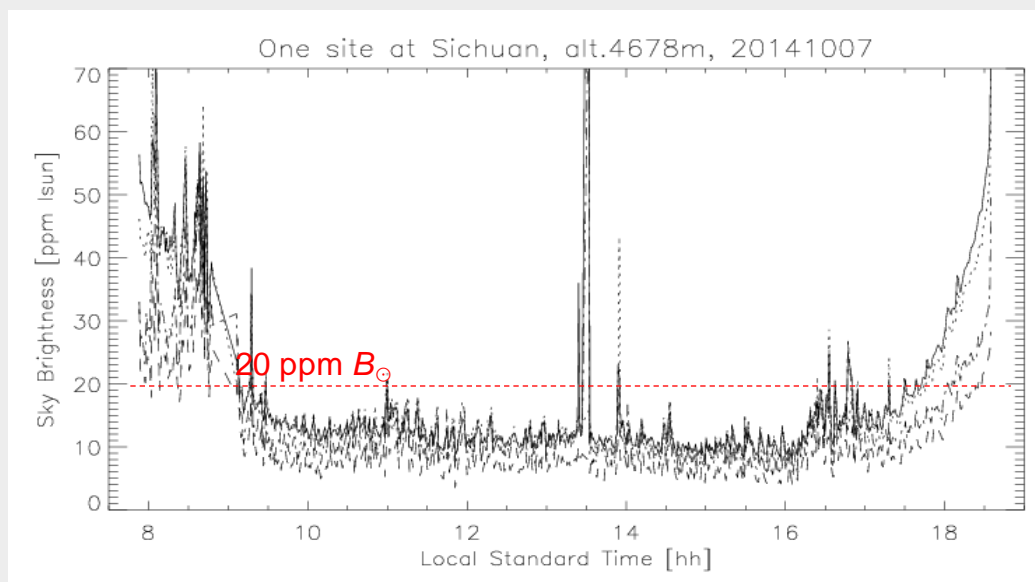
■ 观测台址

致谢云南天文台西部选址团队供图

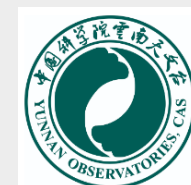


➤ 低杂散光

天光背景亮度



5cm 白光日冕仪实测试验





提纲

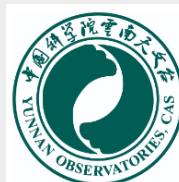
一 项目背景简介

- 科学目标（仪器的指标）

二 光谱磁像仪关键技术

- 多狭缝光谱仪（多狭缝、扫描）
- 偏振测量系统（偏振测量方法、定标、双光束交换）

三 观测址点介绍





中国科学院云南天文台

YUNNAN OBSERVATORIES, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

谢谢各位老师聆听

欢迎批评指正

期盼合作与交流