



中国科学院南京天文光学技术研究所

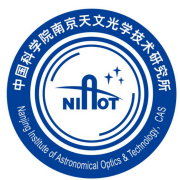
Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, CAS

盱眙长基线光干涉研制进展

徐腾 **侯永辉** 崔向群

中国科学院南京天文光学技术研究所

yhou@niaot.ac.cn, 18952023316



报告提纲

□ 项目背景

- 中国科学院南京天文光学技术研究所
- 科学驱动

□ 盱眙长基线光干涉研制进展



中国科学院南京天文光学技术研究所

南京天光所：主要开展专业天文仪器的研制、研究和发展
与现代天文学密切相关的新技术、新方法；



1958

中国科学院南京天文仪器厂



1991

中科院南京天文仪器研制中心



2001

中科院南京天文光学技术研究所

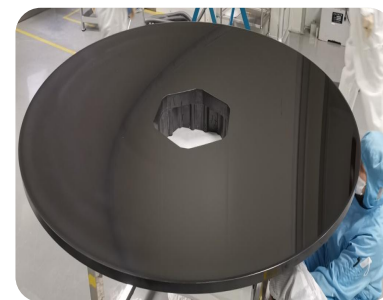
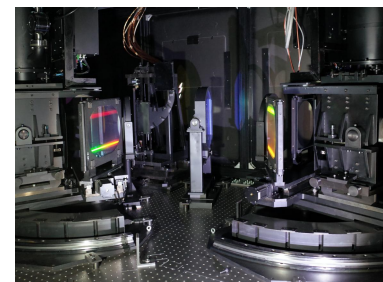


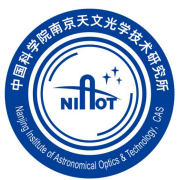
科研部门：

- 望远镜新技术研究室
- 天文光谱与高分辨成像技术研究室
- 天文与空间镜面技术研究室

开展批量化磨制平台建设和相关镜面技术的研究、空间光学镜面及光学系统研制

- 太阳与空间仪器研究室
- 望远镜工程中心

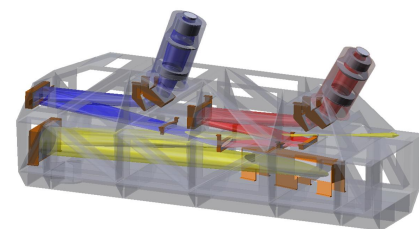
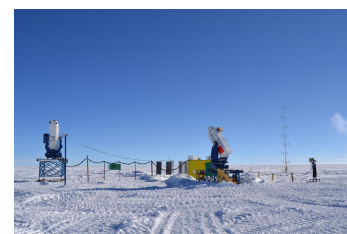
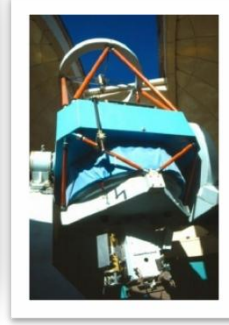




中国科学院南京天文光学技术研究所

承研了绝大部分光学天文专业观测设备，获得国家、院及省部级奖励76项，其中国家奖18项：

- II型光电等高仪（全国科学大会奖）
- 太阳磁场望远镜（国家科技进步一等奖）
- 太阳精细结构望远镜（国家二等奖）
- 多通道太阳望远镜（国家科技进步二等奖）
- 一米新真空太阳望远镜NVST（云南省科技特等奖）
- 1.26米红外望远镜的研制（国家二等奖）
- **2.16米光学望远镜（国家科技进步一等奖）**
- 13.7米毫米波射电望远镜（国家二等奖）
- 光学和近红外太阳爆发探测望远镜ONSET（教育部高校一等奖）
- **大天区面积多目标光纤光谱巡天望远镜LAMOST（中国科学院杰出科技成就奖）**
- 南极巡天望远镜AST3等...
- 国内主要天文光谱观测设备

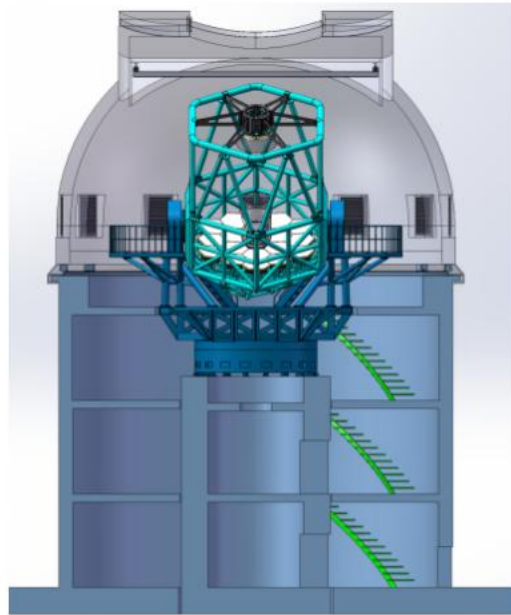




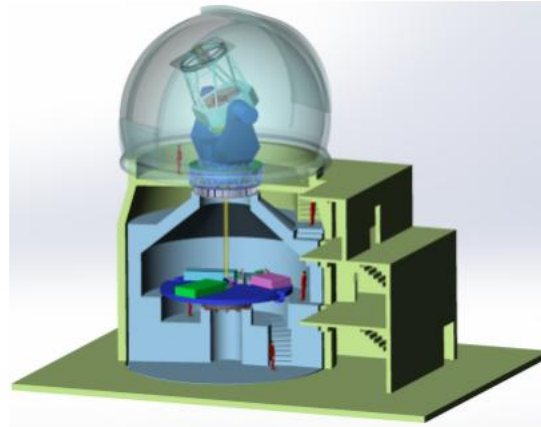
中国科学院南京天文光学技术研究所



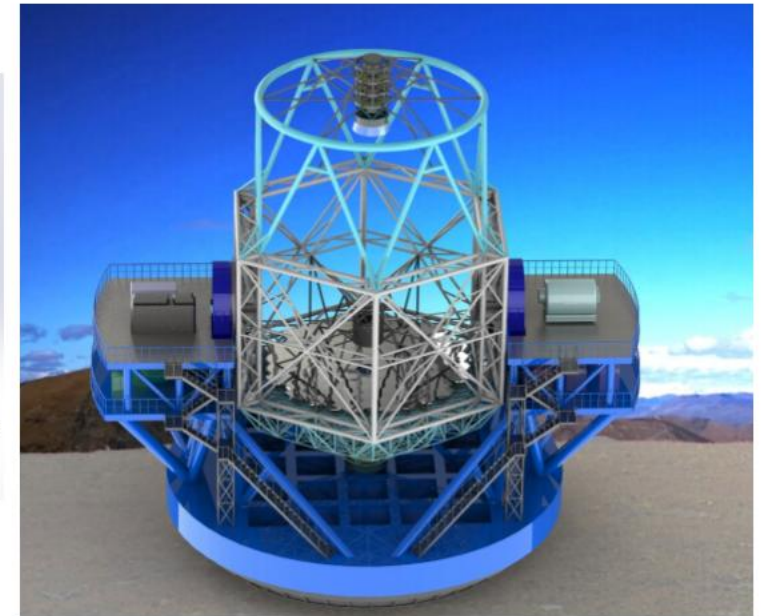
1.6米多通道测光
巡天望远镜



4米光谱巡天望
远镜（上海交大）



南大2.5米大视场
高分辨率太阳望
远镜



大型天文光学红外望远镜

- 光子和近红外太阳爆发探测望远镜UNSEI（教育部高校一等奖）
- 大天区面积多目标光纤光谱巡天望远镜LAMOST（中国科学院杰出科技成就奖）
- 南极巡天望远镜AST3等
- 国内主要天文光谱观测设备

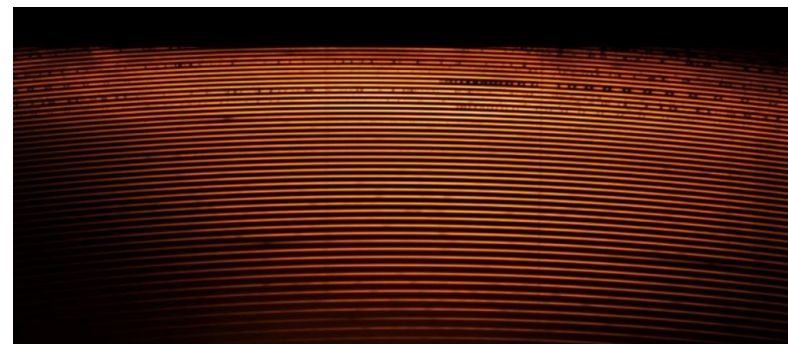




中国科学院南京天文光学技术研究所

代表性成果：天文光谱与高分辨率成像

- 2.16米望远镜折轴阶梯光栅分光仪；
- LAMOST多目标中低分辨率光谱仪集群；
- LAMOST高分辨率光谱仪；
- 威海1米高分辨率光谱仪；
- 泰国2.4米中分辨率光谱仪；
- 丽江2.4米高分辨率光谱仪；
- 2.16米望远镜的高分辨率光谱仪；
- 大口径光电成像望远镜的成像光谱仪IMSP²；
- 国际合作：TMT、GTC、NGPS、MSE

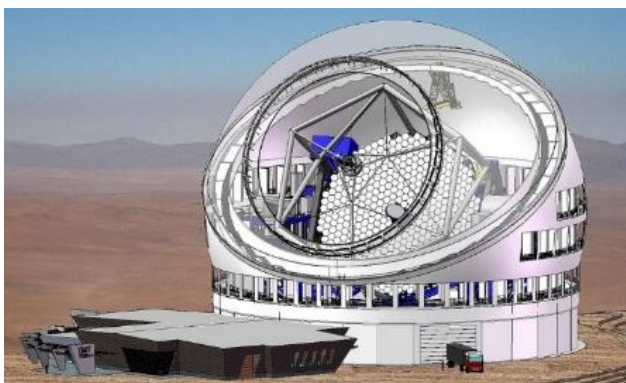




中国科学院南京天文光学技术研究所

大口径天文与空间光学先进制造技术：非球面子镜批量化磨制技术

- ❑ 在国际上首先提出并成功实现**预应力环抛方法** (SMAP), 可实现**快速批量子镜磨制**, 突破了大口径望远镜研制瓶颈;
- ❑ 美国TMT主镜由492块子镜拼接而成, 天光所负责1/6子镜的磨制工作;
- ❑ 研制了1.5米离轴子镜的预应力加载装置;
- ❑ 研制了3.6米、5米预应力环抛机;





中国科学院南京天文光学技术研究所

大口径天文与空间光学先进制造技术：成功研制世界上最大口径的超薄非球面改正镜

Caltech光学天文台对我所的光学镜面研制能力和项目组织管理能力给予了高度评价



Caltech

30 November 2007

Directors Tinghua Zhu, Yuerie Gong, & Drs. Xiaolan Li, Chen Xu
Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology
National Astronomical Observatories, CAS
38B Banning Street, Nanjing 210046
People's Republic of China

Dear Directors Zhu, Gong, and Drs. Li and Xu:

Recently, California Optical Observatories (COO) announced the first light of the Zwickl Transient Facility (ZTF) - a camera with a field-of-view of 4 square degrees (1/4 behind the Oschin Schmidt g_r wide telescope (Schmidt camera) of Palomar Observatory. In the field of time domain astronomy (TDA), ZTF is widely seen as a stepping stone to the Large Synoptic Survey Telescope which is a flag ship facility of the US astronomical community and expected to be fully commissioned by 2018. In recognition of the leadership played by ZTF, in 2013, the US National Science Foundation awarded COO \$2M towards the completion of ZTF.

In mid 2006, COO and ZTF were in danger of a severe schedule slip because of under size performance to deliver a large 1.32 meter diameter aspheric optic. This optic is essential to obtain the best image quality across the large ZTF field. In an excellent example both technical skill and organizational cooperation, Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology (NIAOT) was able to deliver the required optic on time, with excellent optical performance.

Such a large aspheric lens requires both patience and skill to fabricate. NIAOT was able to meet the contradictory goals of urgency and patience in a very professional way. Thanks to the commitment of NIAOT management (as well as organizational cooperation with the National Astronomical Observatories of China - NAOC), the fabrication team was able to begin work almost immediately. To ensure good progress, we made several technical requests, including new manufacturing run across from design iterations, and detailed information about the mill lens design and validation. NIAOT cooperated fully with these requests, providing the requested material promptly and accurately. In the end, the lens met both our stringent optical requirements and our ambitious schedule, enabling the timely start of ZTF (www.zwicky.caltech.edu).

Caltech

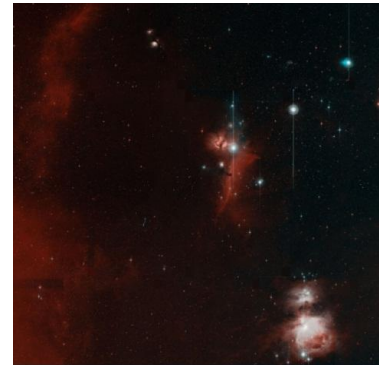
Please convey my sincere thanks to the entire NIAOT team. We will shortly send a high quality print of our ZTF "first light" image - 42 square degrees of sky centered on the Orion belt, along with signatures of team members. We hope that you will find the picture attractive enough to showcase it in your institutes. We will also send a copy to Deputy Director Peixin Yu, NAOC (Peixin who was very helpful in facilitating the discussions between COO and NIAOT).

Finally, the ZTF project will set aside funds to pay for an undergraduate student chosen by NAOC to come and work with the project during summer time. The student will have to apply to Caltech's fund (NSF Summer Undergraduate Research Fellowship). This program will last during the 3 year period of ZTF (announced in 2008-2010). The program, being a global program, is very competitive and I would advise that an internal competition be held across NAOC (China). Being by my October and the winner to get in touch with Dr. Liu Yan so that a competing application (which is due in February) can be submitted.

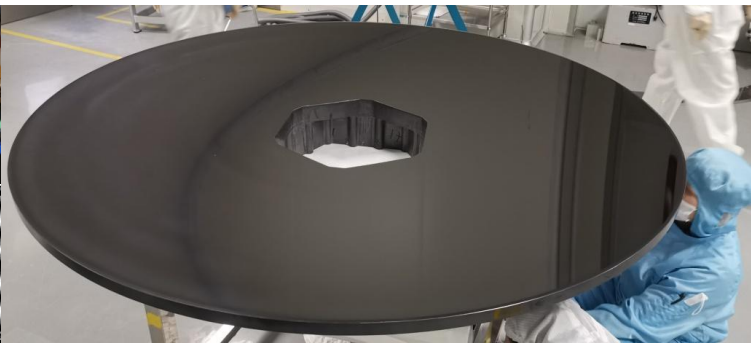
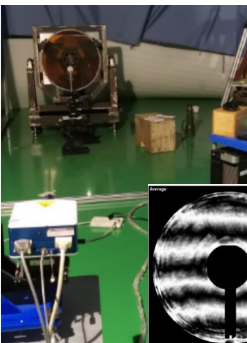
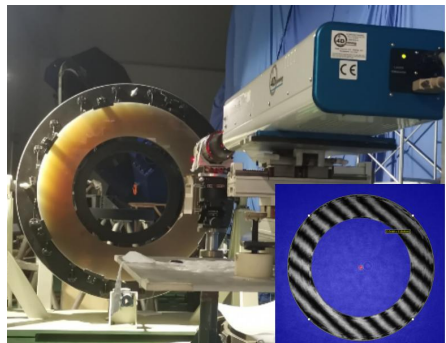
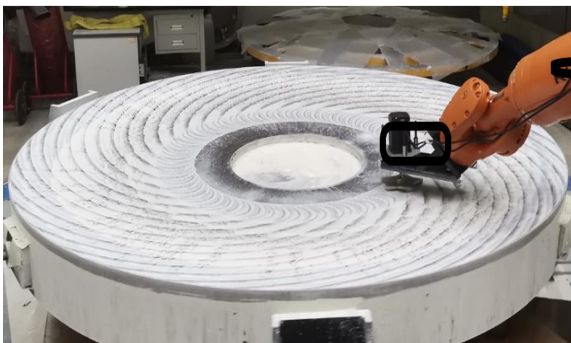
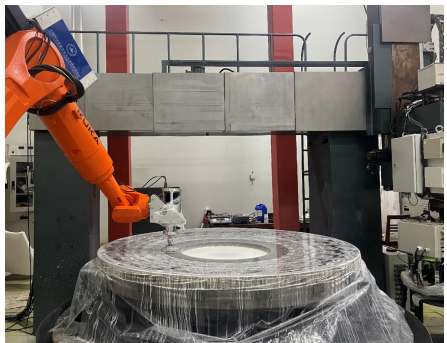
Once more, thank you for all you and your organization has done in this important contribution to ZTF. We hope that the forthcoming picture will be a token of our gratitude and serve as a reminder that cooperation and good will between institutions always leads to wonderful outcomes.

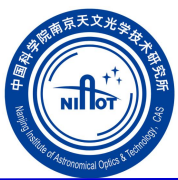
Sincerely,

Professor Shunzhi Fuhrman
George Ellery Hale Professor of Astronomy & Planetary Science
Director, Caltech Optical Observatories
California Institute of Technology

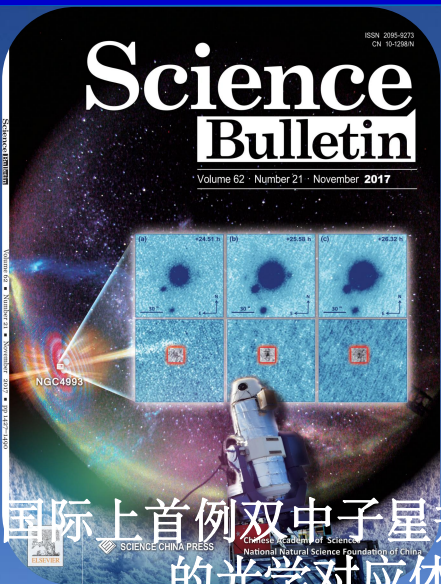


大口径镜面磨制技术（1.93米望远镜、2.5米夜天文望远镜、2.5米太阳望远镜、云南台2米太阳望远镜、空间口径1.55米**碳化硅**主镜磨制）





中国科学院南京天文光学技术研究所



国际上首例双中子星并合引力波源的光学对应体信号



下一代南极天文台主力设备:
2.5 光学/红外望远镜 KDUST

中等口径500/680mm
(南极口径最大的光学望远镜)



小口径145mm
国内首次探测到凌星系外行星候选体,也是国际上首次利用南极巡天探测到凌星系外行星候选体

2017年首次实现全年越冬观测
“凌星法”共探测到**222**
个系外行星候选体

AST3-2

第二台于2015年1月 (第**31**次科考)

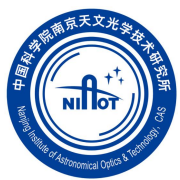
AST3-1

首台于2012年1月 (第**28**次科考)

CSTAR

2008年1月 (第**24**次科考)

南极天文

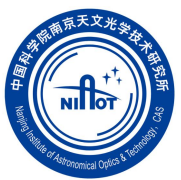


报告提纲

□ 项目背景

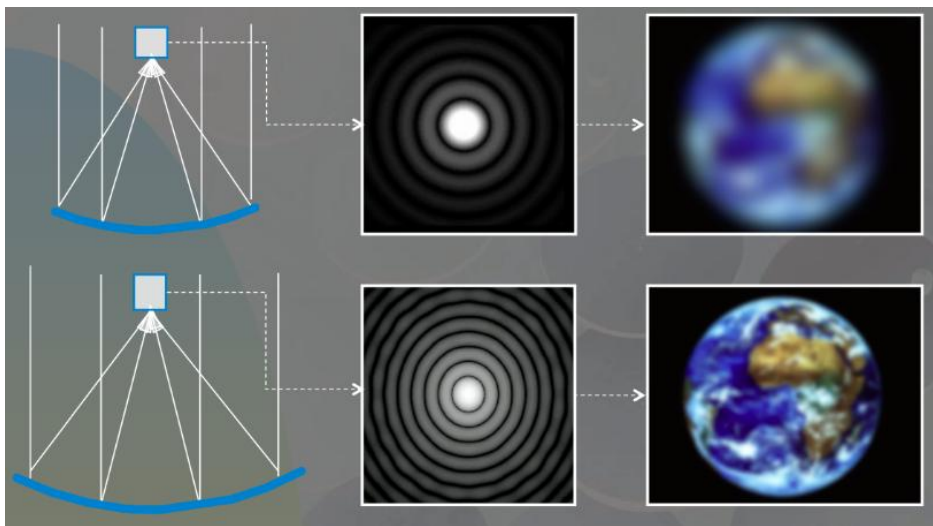
- 中国科学院南京天文光学技术研究所
- 科学及技术驱动

□ 盱眙长基线光干涉研制进展



望远镜口径VS空间分辨率

□ 单口径大型天文观测设备的空间分辨率

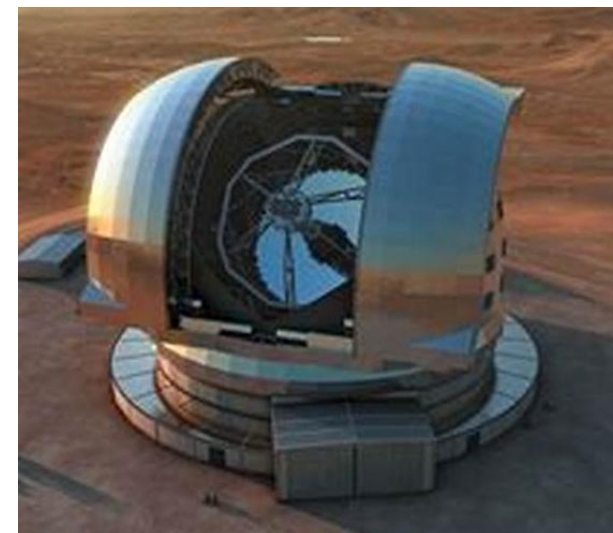


增加望远镜口径提升空间分辨率



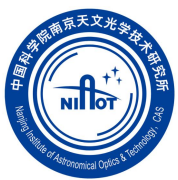
D=10.4m

西班牙GTC
成像分辨率: $\theta = \lambda/D \sim 20\text{mas}$

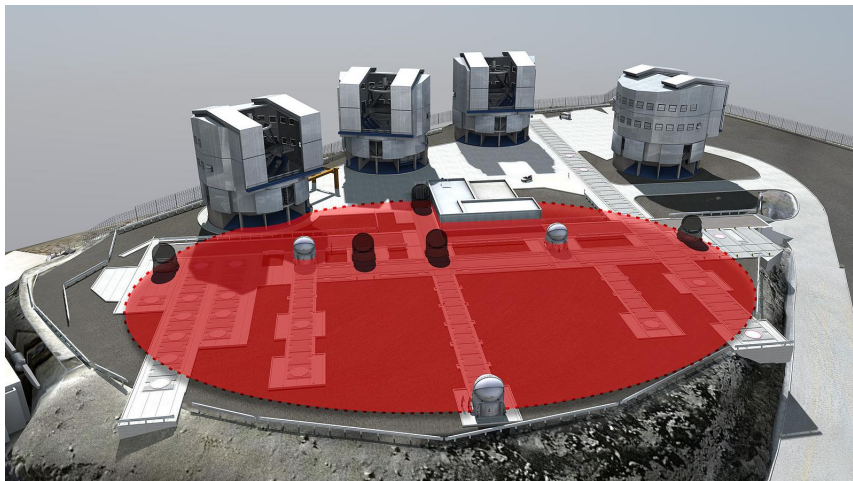


D=39m

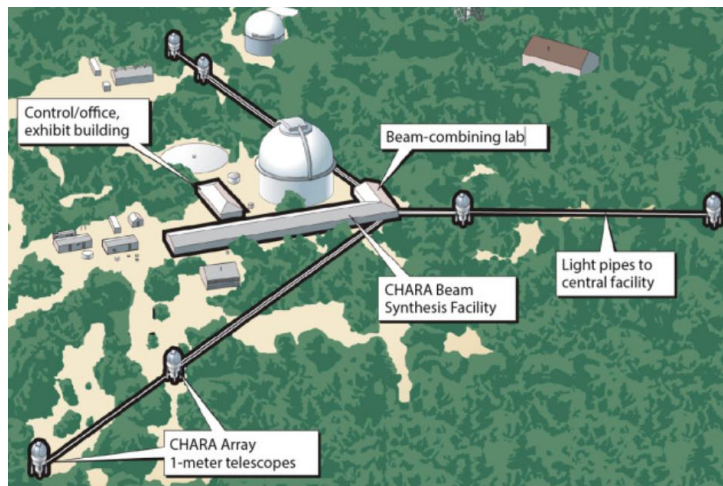
欧南台E-ELT
成像分辨率: $\theta = \lambda/D \sim 6\text{mas}$



长基线望远镜干涉阵



VLTI



CHARA

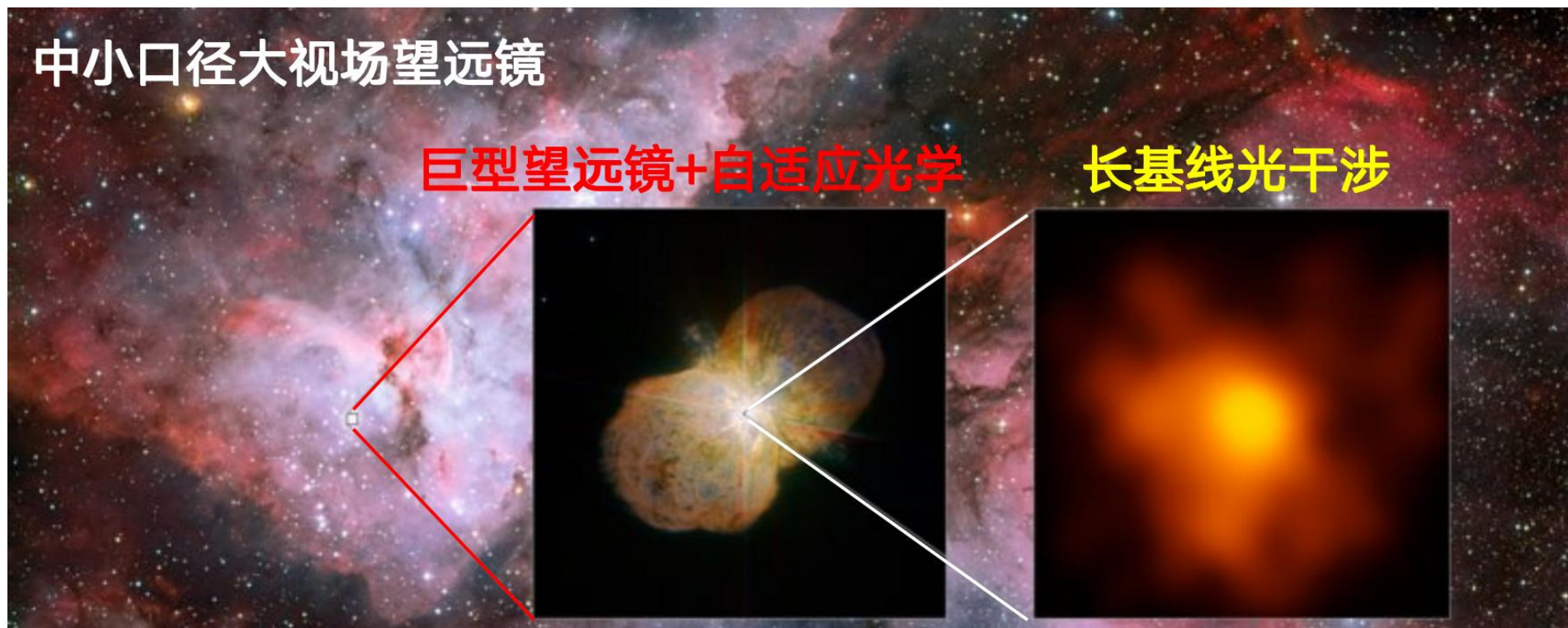


MROI

VLTI基线长度：130米/202米

H波段空间分辨率为1.65毫角秒；

长基线光干涉性能优势



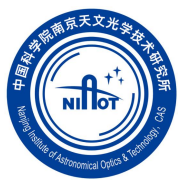
- 地基巨型望远镜即使在配备自适应光学的条件下，它的分辨能力仍然受到口径限制
- 长基线天文光干涉的基线长度可以达到数百米，具备毫角秒甚至亚毫角秒的分辨能力



国际上长基线望远镜干涉阵

□ 自1974年以来，国际上已经建造了一大批长基线式恒星光干涉仪及光干涉阵

装置	最长基线长度/m	集光器个数	口径/m	波段
GI2T (法国)	65	2	1.52	可见/近红外
Mark-III (美国)	31.5	4	0.25	可见
NPOI (美国)	435	6 (定天镜)	0.5	可见
CHARA (美国)	330	6	1.0	近红外/中红外
PTI (美国)	110	3 (定天镜)	0.4	近红外
COAST (英国)	100	5 (定天镜)	0.4	可见/近红外
SUSI (澳大利亚)	640	2 (定天镜)	0.2	可见
Keck-I (美国)	85	2	10.0	近红外/中红外
VLTI (欧南台)	130/200	4/4*	8.0/1.8	近红外/中红外
MROI (美国)	340	10	1.4	可见/近红外

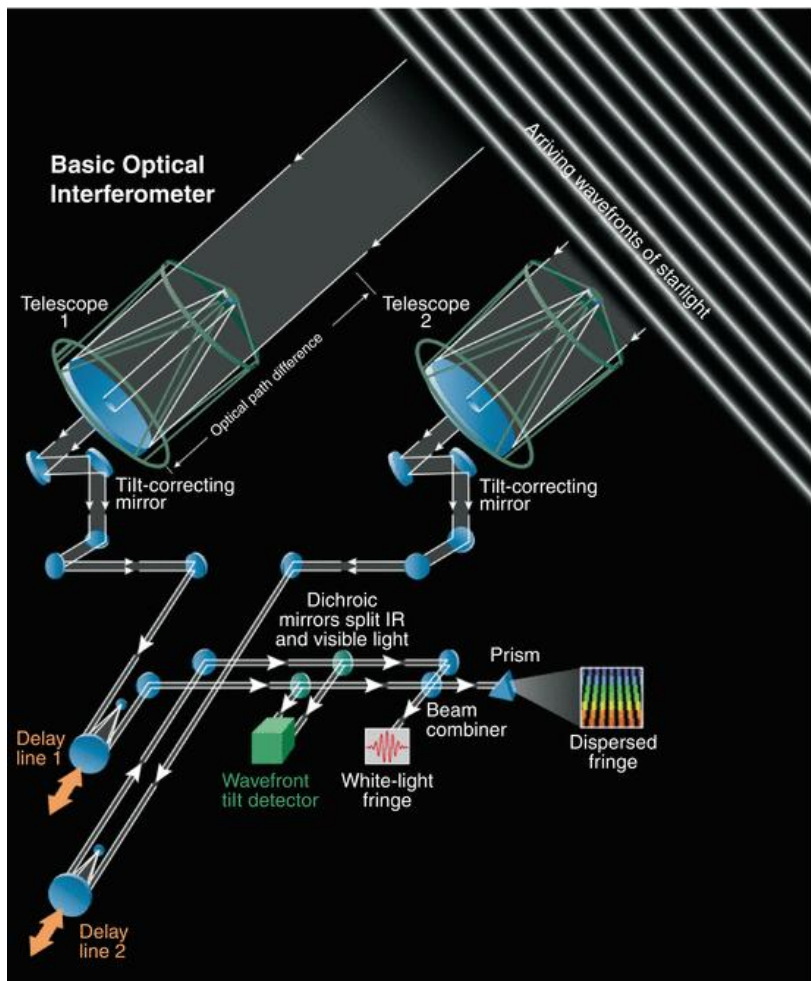


报告提纲

□ 项目背景

- 中国科学院南京天文光学技术研究所
- 科学及技术驱动

□ 基于差分延迟干涉的微角秒天体测量装置研制



关键子系统及其主要功能：

1. 集光器：收集星光
2. 光学延迟线：校正星光之间光程差。
3. 波前倾斜校正系统：校正星光之间波前倾斜
4. 合束器：实现星光的合束干涉
5. 条纹跟踪系统：检测光程差
6. 干涉成像系统：探测闭合相位信息



基于差分延迟干涉的微角秒天体测量装置

项目类别：重点研发+基金委重大仪器

项目名称：基于差分延迟干涉的微角秒天体测量装置研制

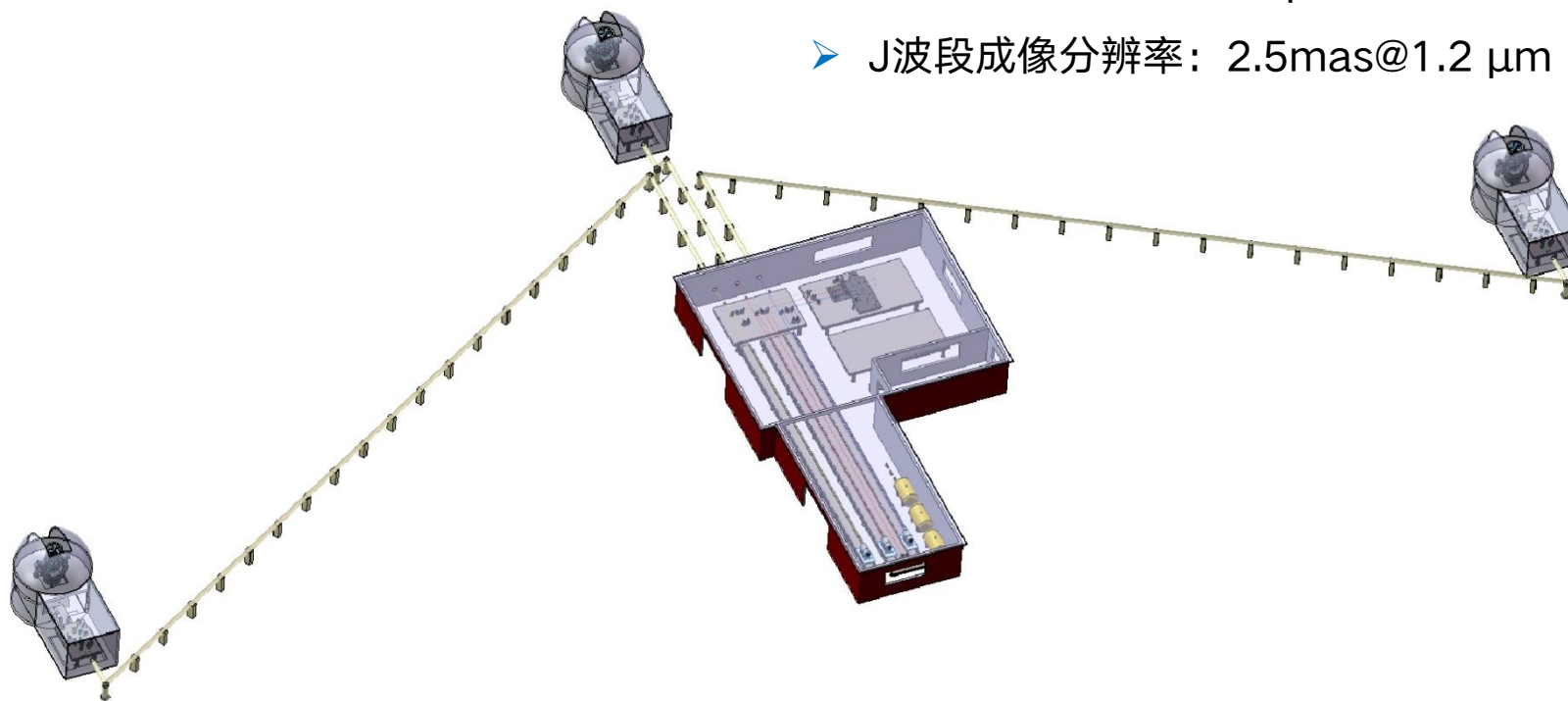
项目来源：基金委重大仪器+科技部重点研发

研制内容：拟通过研制三台600mm口径集光器组成最长100米基线光干涉阵列，**基于差分延迟干涉的技术实现**10 μ as级精度的天体测量能力。

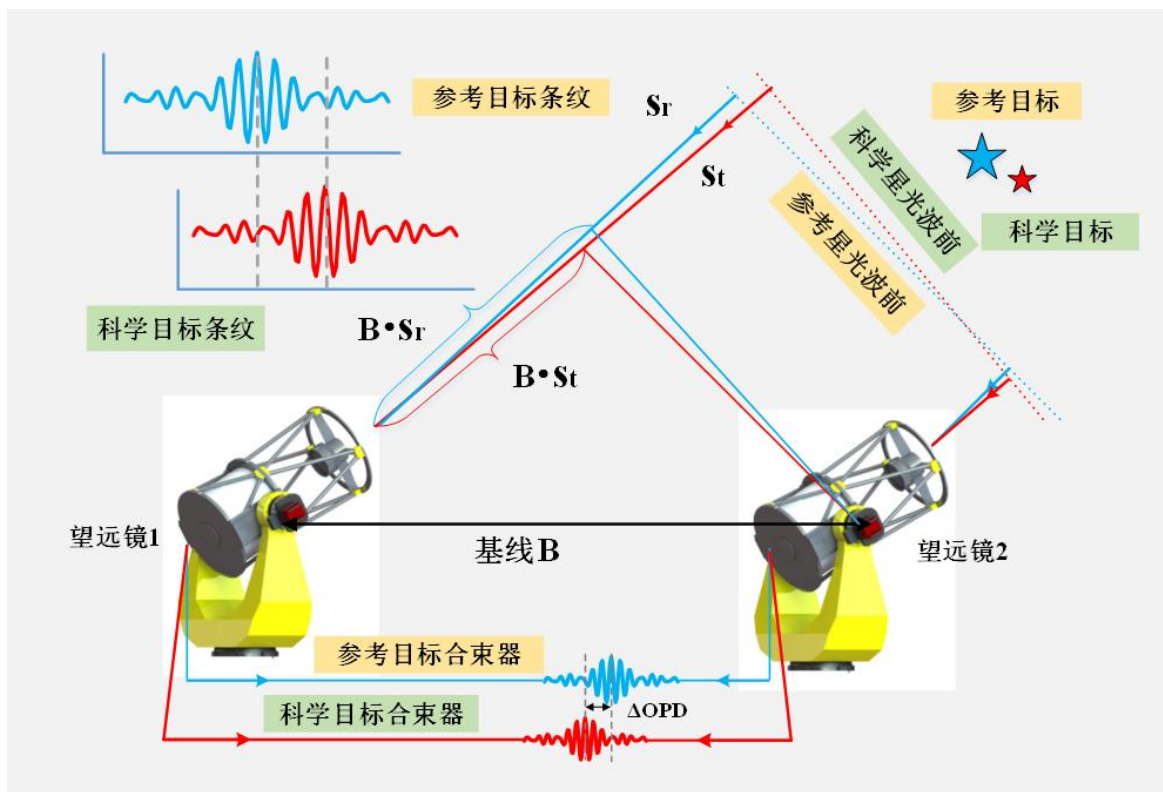
研制单位：南京天光所、紫金山天文台、高能物理所、上海天文台、南京理工大学

- 集光口径：600mm
- 集光器数量：3台
- 基线长度：100m
- 观测地：盱眙站

- 天体测量精度：10-20 μ as
- J波段成像分辨率：2.5mas@1.2 μ m

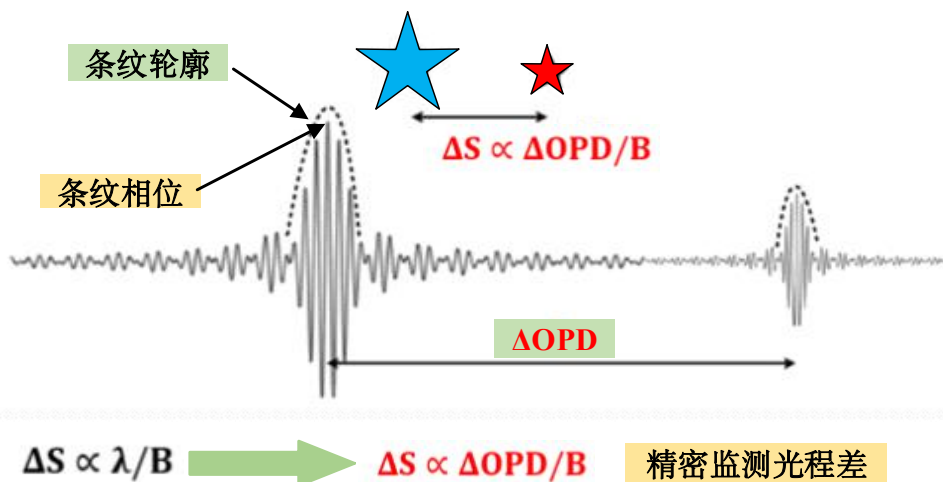


- 1992年，Michael Shao等人提出：利用差分延迟干涉测量技术，在窄角内实现10微角秒分辨率天文观测方案



- 差分延迟干涉仪：需要同时观测两个天体目标
- 差分延迟干涉天体测量精度对大气扰动等随机偏差不敏感
- 科学目标的探测星等可以比参考目标高7等甚至以上

差分延迟干涉技术



- 典型光干涉仪分辨能力与波长 λ 相关
- 差分延迟干涉分辨能力与差分光程差测量精度相关

差分延迟干涉空间分辨率：

$$\Delta S \approx \Delta OPD/B$$

ΔOPD 单次测量精度： $\sigma \approx 100\text{nm}$

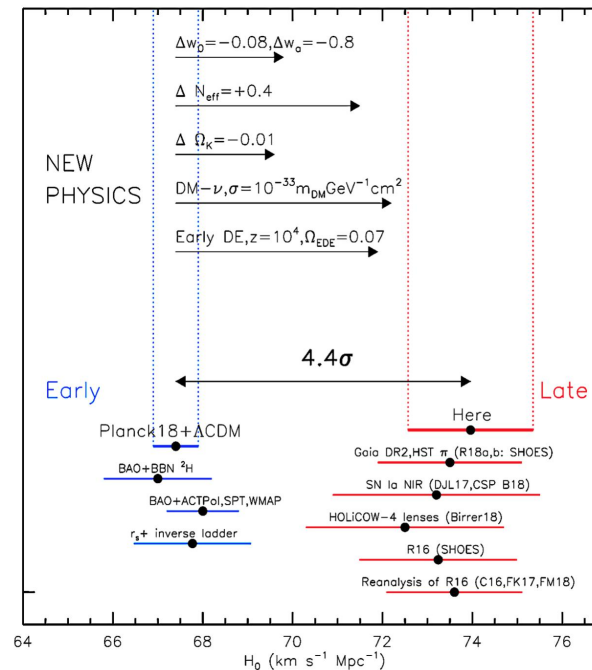
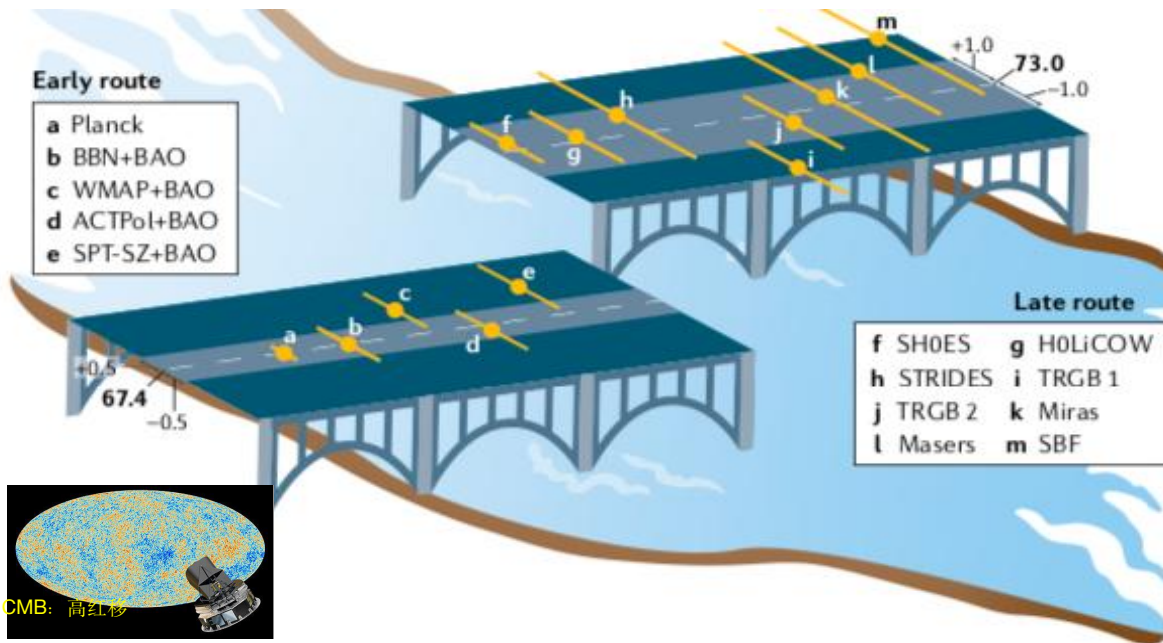
ΔOPD N 次测量精度： σ/\sqrt{N}

ΔOPD 统计平均测量精度： 5nm

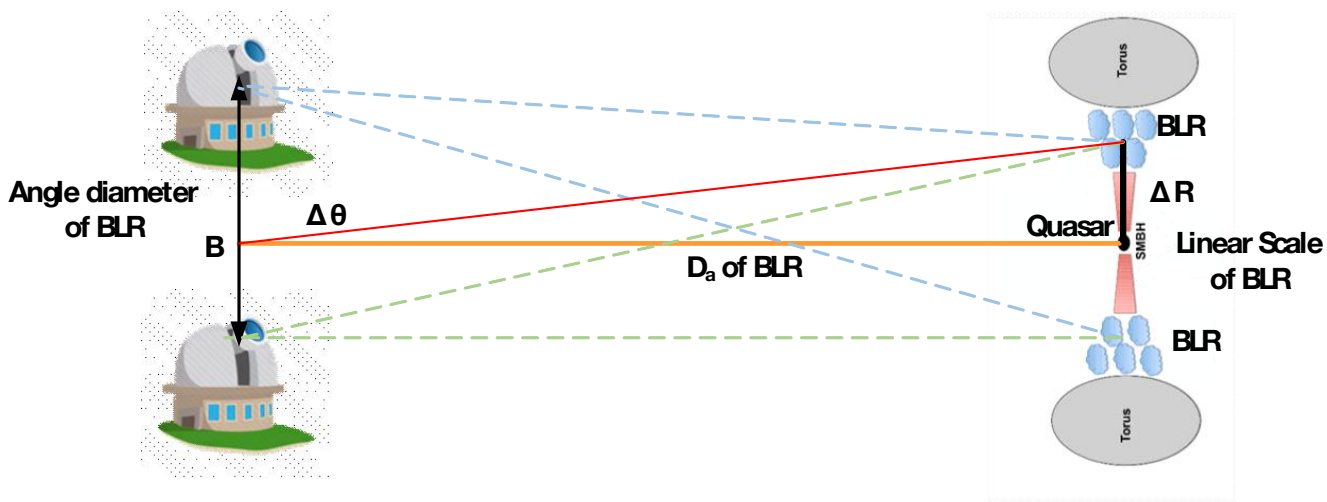
差分延迟干涉基线长度：**100m**

差分延迟干涉天体测量精度： **$\Delta S \approx 5\text{nm}/100\text{m} \approx 10\mu\text{as}$**

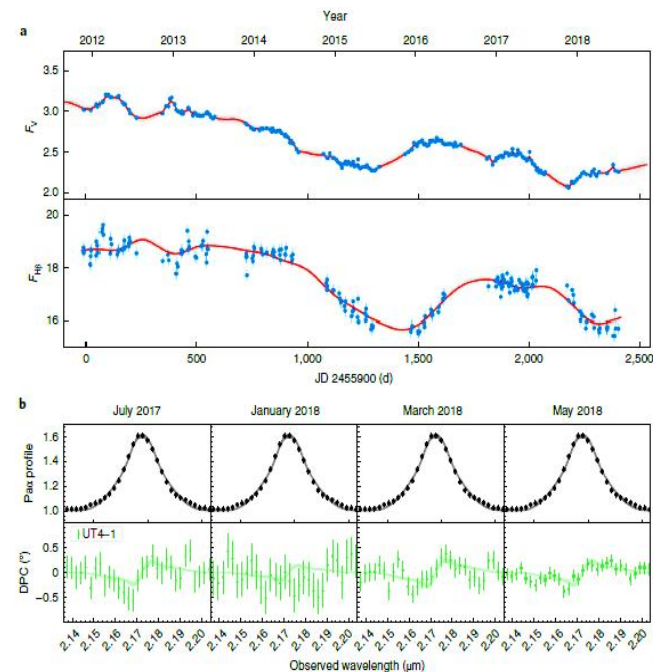
科学目标



- 传统宇宙学测距与微波背景辐射测量给出的 H_0 偏差达到 4.4σ 。高红移尚未测量。
- SMBH和活动星系核作为宇宙尺度上的天体，为宇宙学测距和哈勃常数测量提供全新思路。



(Jianmin Wang, et al.2020, Nature Astronomy)

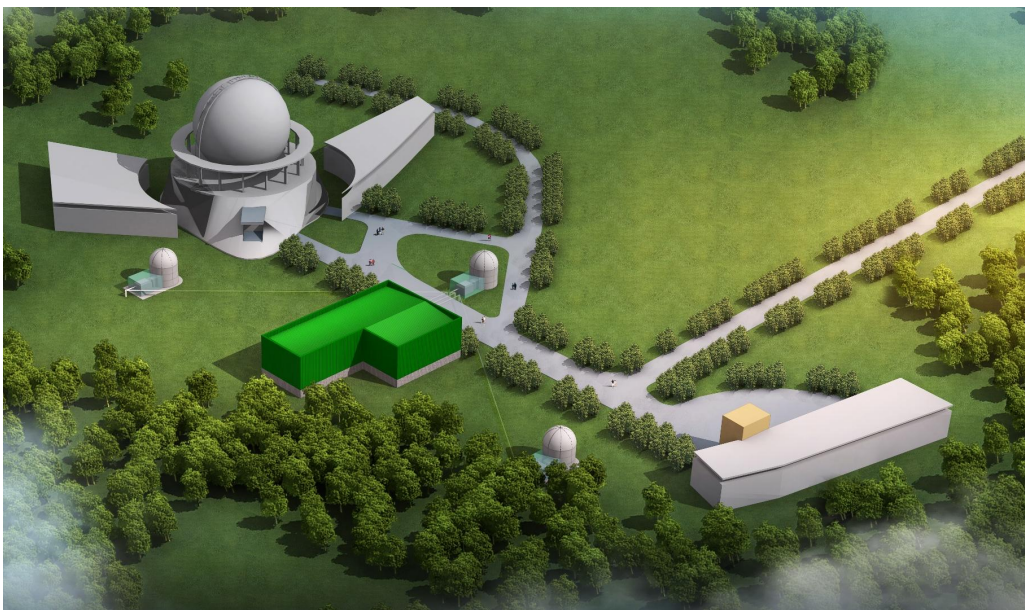


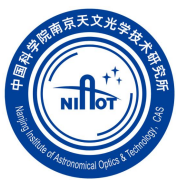
➤ 全新的宇宙学测距方案——解决哈勃常数精测的问题

- 合作团队，创新地发展了一种宇宙学测距方法。利用反响映射获得类星体宽线区线尺度，结合差分延迟干涉获得角距离，即可得到类星体的距离。
- 对单一类星体目标进行的哈勃常数统计学测量精度就可以达到16%!
- 通过对多目标测量进行统计平均，最终哈勃常数测量精度可以达到2%，将有望解决哈“勃常数危机”这一难题!

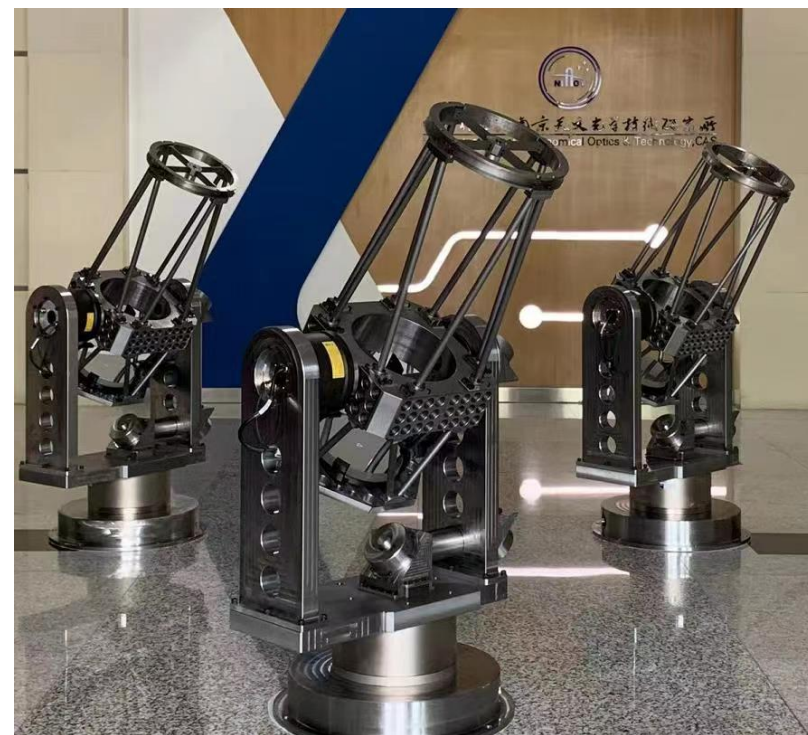
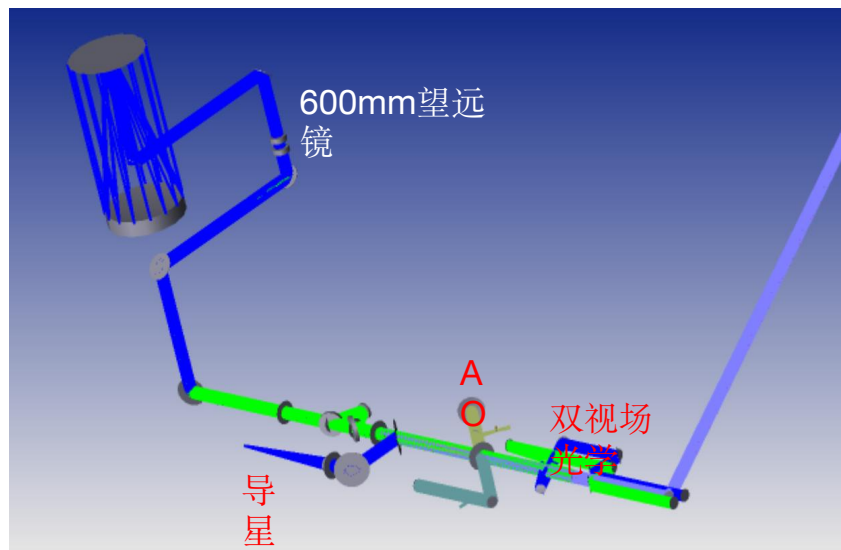
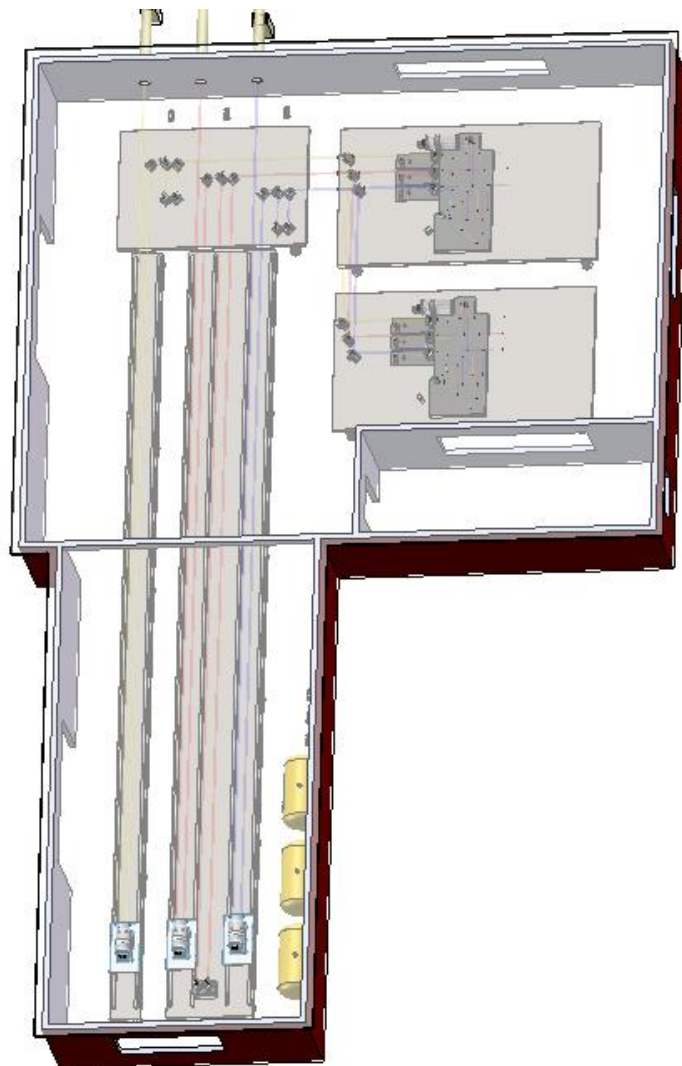
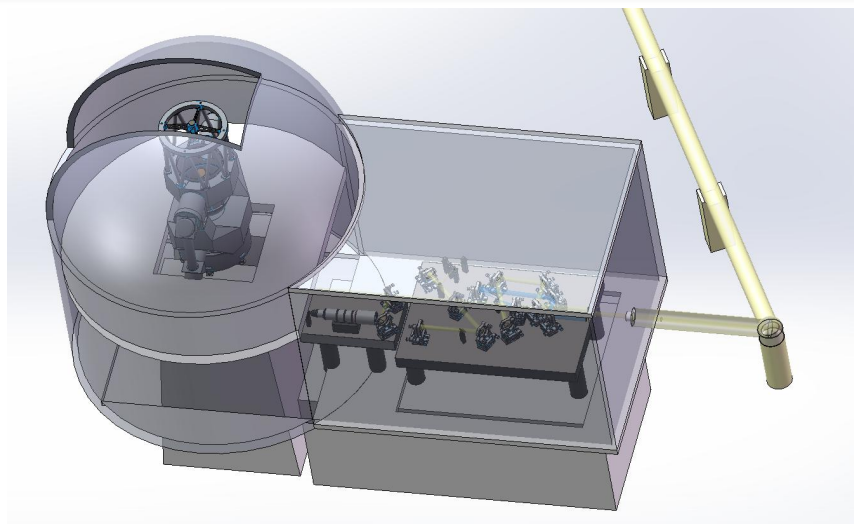


基于差分延迟干涉的微角秒天体测量装置





基于差分延迟干涉的微角秒天体测量装置

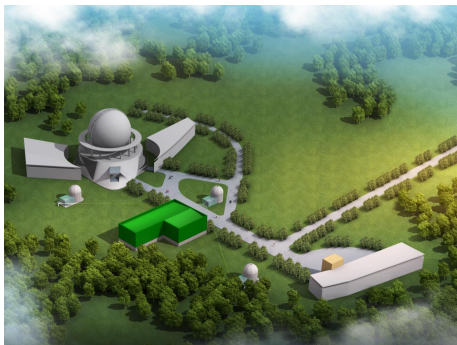




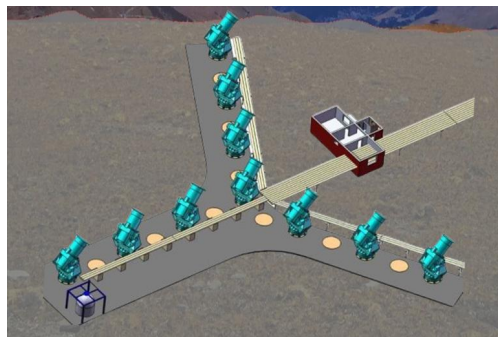
长基线光学望远镜阵发展路线

集光能力增强、单元数增多

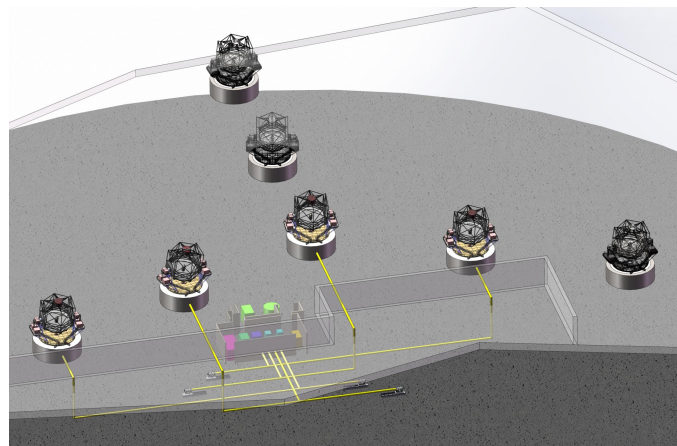
0.6米望远镜阵



米级望远镜阵



中大型望远镜阵



7架6-10米级望远镜阵

谢 谢!