

第十届海峡两岸天文望远镜及观测前沿技术研讨会



南极天文进展

2023.11.20

概述

2005年，由中国人从地面首次首次抵达冰穹A“人类不可接近之极”开始，这一地区优异的天文台址条件逐渐为人所知，天文学家们敏锐的抓住了这一机遇，开始了持续至今的南极天文和内陆科考工作，几乎全部的天文机构和天文高校都参与其中，也有充分的国际合作，设计研制安装运行了一批天文仪器也有诸多产出。

内容介绍

将重点介绍昆仑站视宁度测量仪、极地极端环境空间碎片望远镜研制、南极巡天望远镜项目AST3、2m级南极塔架设计及分析，以及南极Dome A太赫兹望远镜实验望远镜

❖ 昆仑站视宁度测量仪 (KL-DIMM)



目前常规台址最好的天文台位于高海拔和中海拔地区（智利和夏威夷），视宁度范围在0.6-0.8角秒。

南极地区自由大气的湍流较弱，其视宁度更好，冰穹 C 的视宁度范围估计在0.23-0.36角秒。

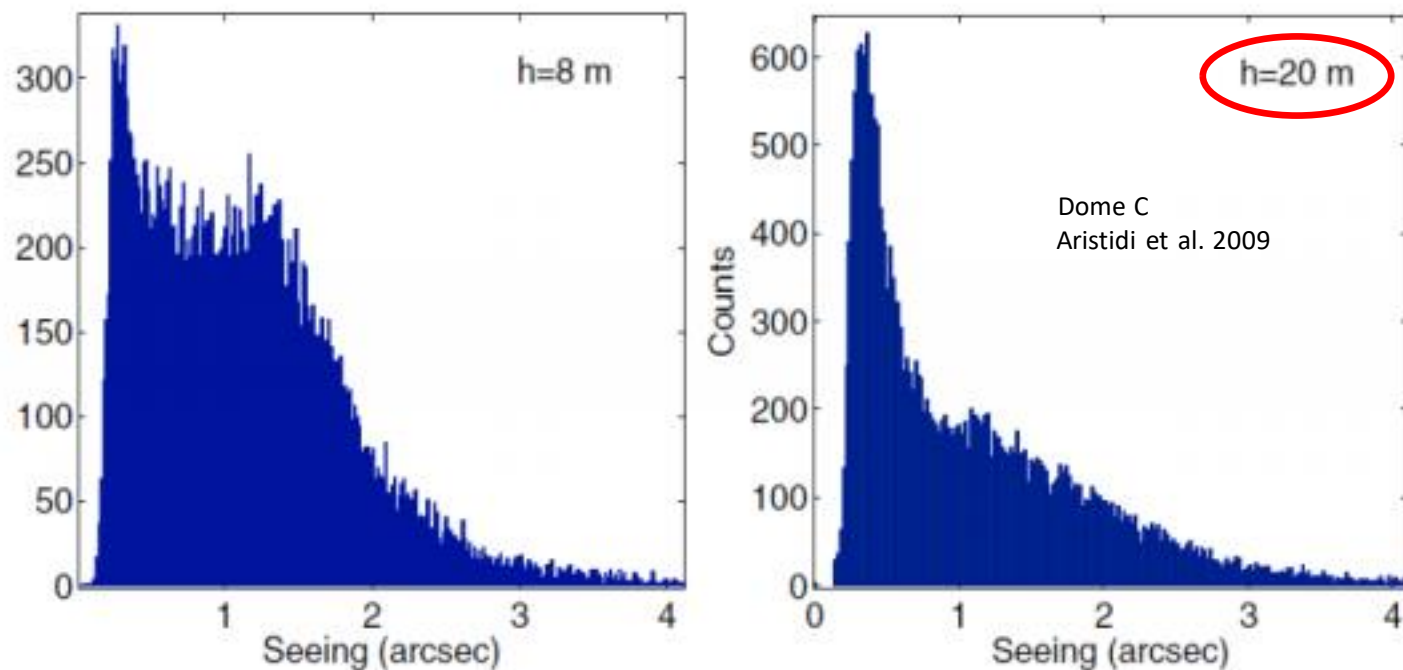
南极冰穹 A 地区的边界层比冰穹 C 更薄，但是此前的测量都在白天进行，马斌和商朝晖等人利用昆仑站视宁度测量仪在夜间测量冰穹 A 视宁度的中值为0.31角秒，最低可达0.13角秒。

南极冰盖最高点冰穹 A 也许是地球上夜间观测恒星最清晰的地方。

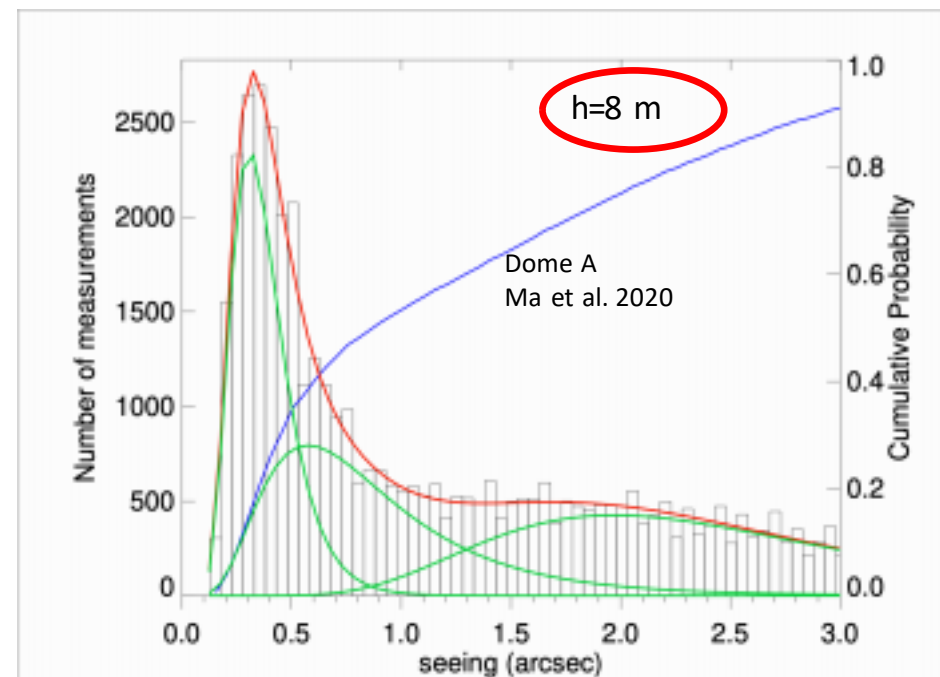
Ma, B., Shang, Z., Hu, Y. *et al.* Night-time measurements of astronomical seeing at Dome A in Antarctica. *Nature* **583**, 771–774 (2020).

❖ 昆仑站视宁度测量仪 (KL-DIMM)

冰穹A在8米高位置的测量比冰穹C在同高度的测量更佳，几乎与冰穹C在20米高度的测量相当。由于冰穹A上方的边界层较薄，在该位置建造望远镜的难度更小。



Dome C seeing

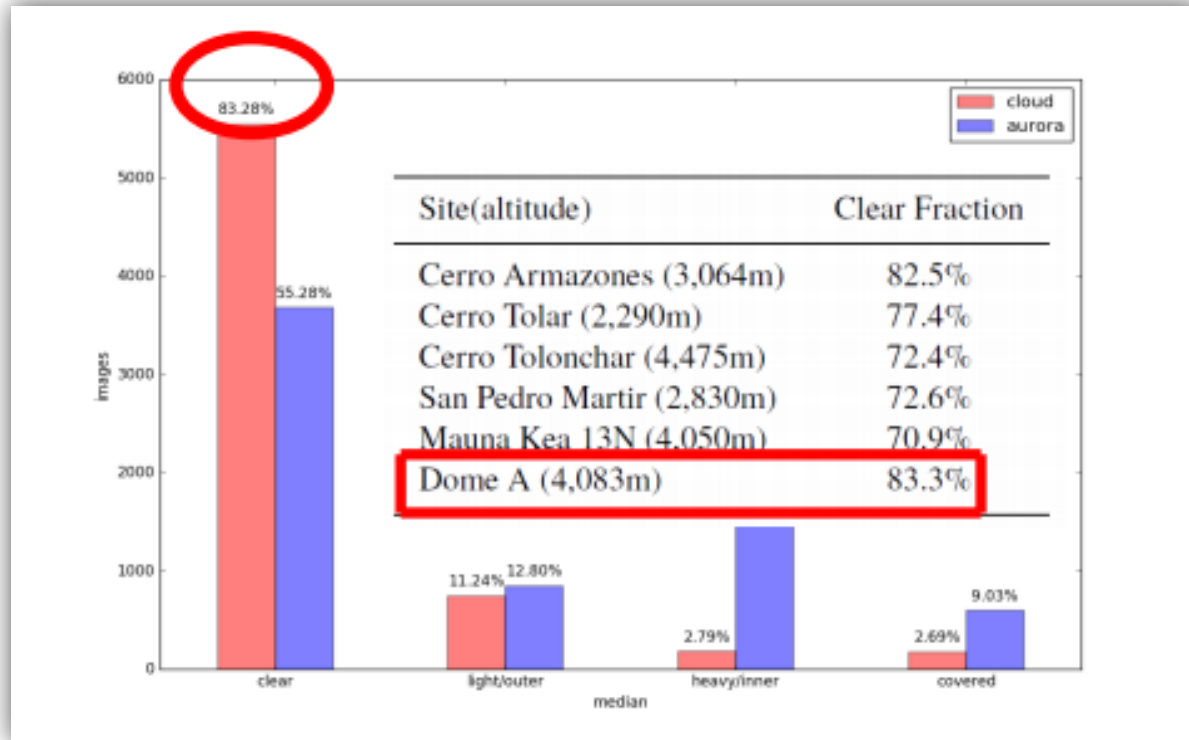


Dome A seeing

❖ 昆仑站全天相机

利用全天相机KLCAM，杨栩等人测量冰穹 A地区的云量覆盖和极光污染。

- Cloud: clear sky for 83% of the time; (晴天数占83%)
- Aurora: detected ~45% of the time, (strong auroral emissions can be filtered out) (极光发射线可以被滤除)



❖ 极地极端环境空间碎片望远镜研制

近地球轨道中，以极轨轨道应用最频繁，极地是密集交会区，空间碎片的密度最高。利用极地地区特殊地理位置优势，开展空间碎片探测，能有效提升空间碎片探测感知能力。

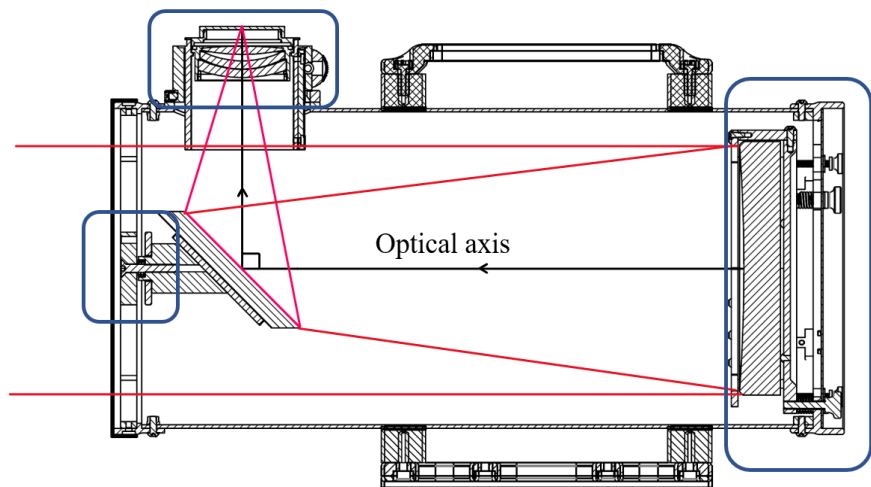
极区多波段空间碎片望远镜作为前期技术探索，对望远镜研制、观测及数据处理等做技术路线的储备。由4台150mm望远镜组成多波段观测阵列，2023年3月安装在南极中山站。

为了研究适用于空间碎片密集交会区观测策略决策系统，以及同国内外其他空间碎片观测站点的组网联测调度系统，将研制空间碎片与极光探测望远镜。由5台全自动折反射式光电望远镜组成，其中4台为固定式望远镜，口径150毫米，1台可跟踪望远镜，口径310毫米，组成观测阵列，总观测视场对角线不小于10度。该望远镜阵列将于2025年前安装到南极中山站，开展探测能力试验。

❖ 极地极端环境空间碎片望远镜研制

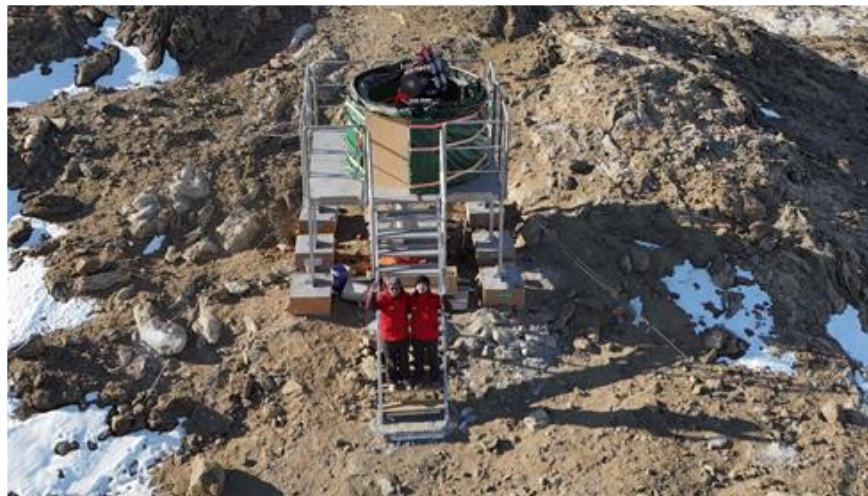
极区多波段空间碎片望远镜

- 2022年10月出所；2023年3月，安装在南极中山站。
- 4台150mm望远镜组成多波段观测阵列（LRGB）。



参数	数值
口径	150 mm
焦比	F2.8
视场	>6.5° (4.9°×4.9°)
焦距	420 mm
设计像质 (80%光能量)	80% EE<5"
焦面比例尺	4.89"/10 μm
观测波段	400nm – 700 nm
光学系统形式	双曲面牛顿反射式光学系统

❖ 极地极端环境空间碎片望远镜研制

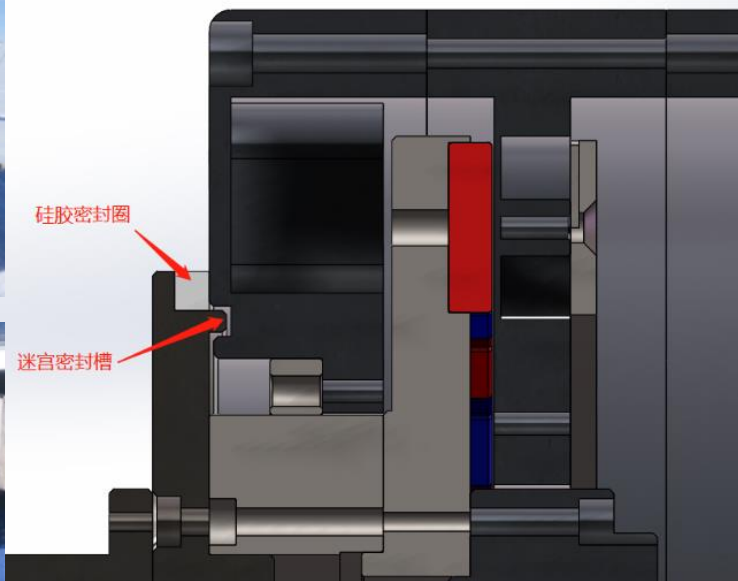
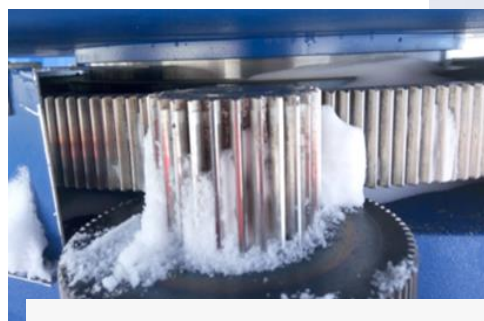
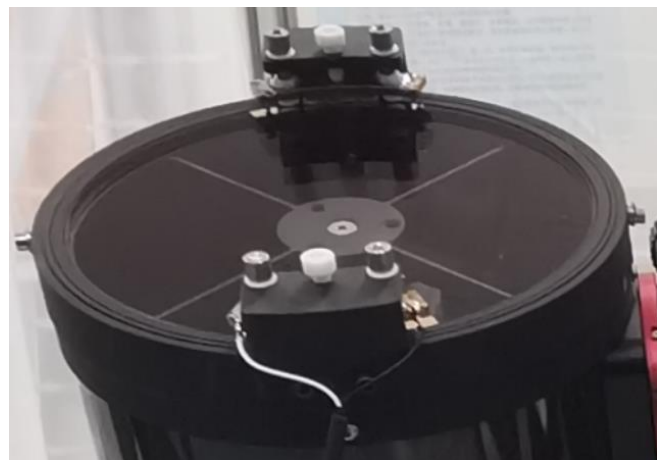
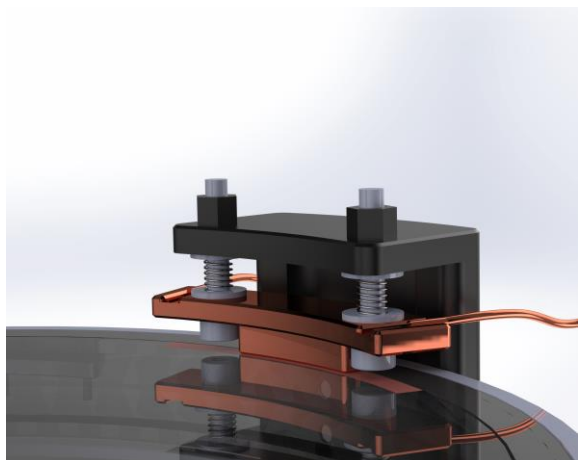


多波段空间碎片望远镜实物、望远镜安装现场与实测图像

❖ 极地极端环境空间碎片望远镜研制

极地极端恶劣环境适应性的独特设计

- 易装调维护、公差敏感度低的，大视场快焦比光学系统设计
- 基于镜面可加热ITO镀膜的，极区大口径光学镜面防霜技术
- 基于迷宫动密封结构的，直接驱动电机高精度传动装置技术



镜面可加热ITO膜设计概念与安装实物

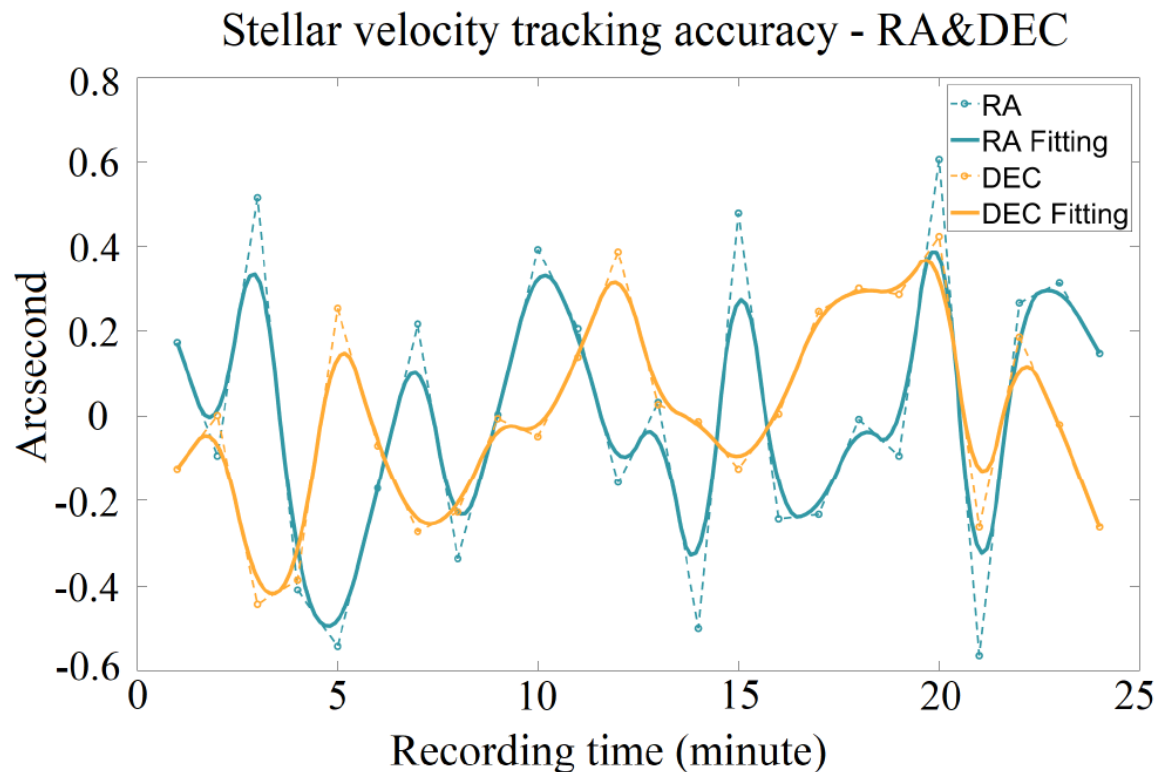
保持镜面比环境温度略高2-5°C，避免镜面结霜

(左) 受饱和水汽凝结与风吹雪影响的望远镜转台

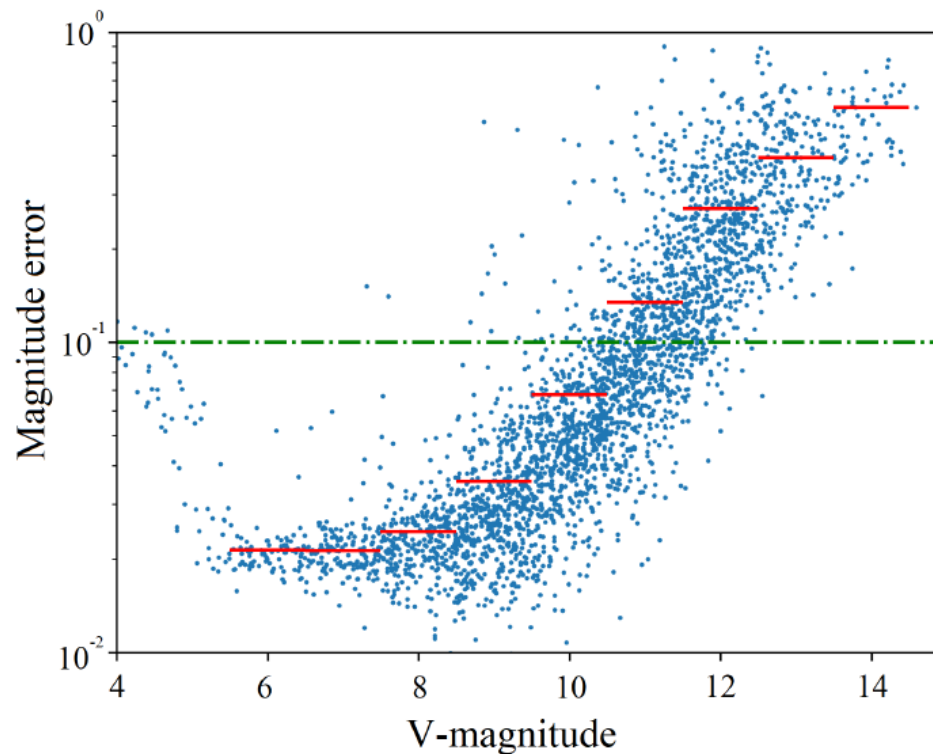
(右) 采用迷宫动密封结构的耐低温直驱电机转台

❖ 极地极端环境空间碎片望远镜研制

跟踪精度与测光精度实测结果分析



30分钟跟踪精度(RMS): RA 0.33" DEC 0.24 "

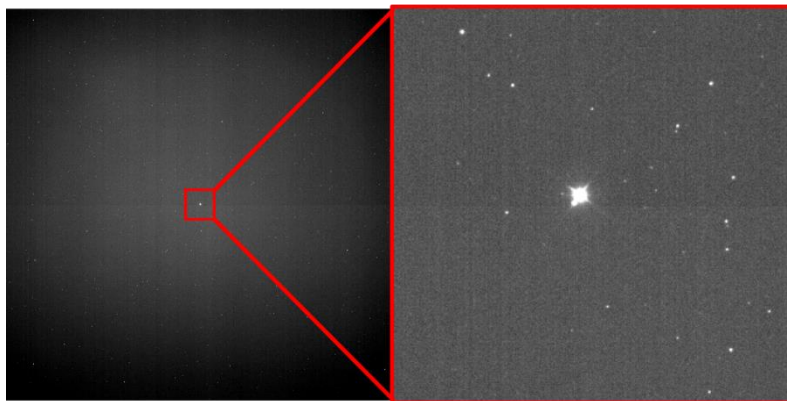
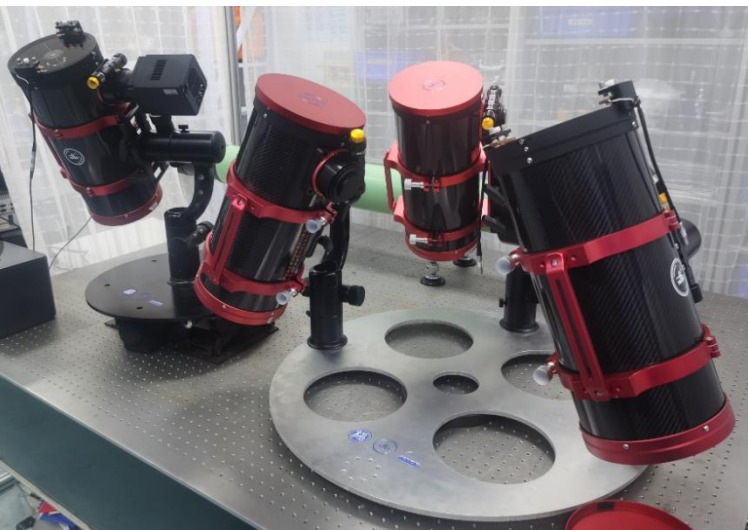


V波段600s多幅曝光: 测光精度~0.1星等

❖ 极地极端环境空间碎片望远镜研制

极区空间碎片望远镜项目

- 2023年11月，已经随40次南极科考团队前往南极
- 4台150mm固定指向望远镜+ 1台耐低温直驱电机转台



4台150mm固定指向望远镜实物及国内测试拍摄星象



-80°C低温测试中的耐低温直驱电机转台

❖ 南极巡天望远镜项目

CSTAR 2008-2011

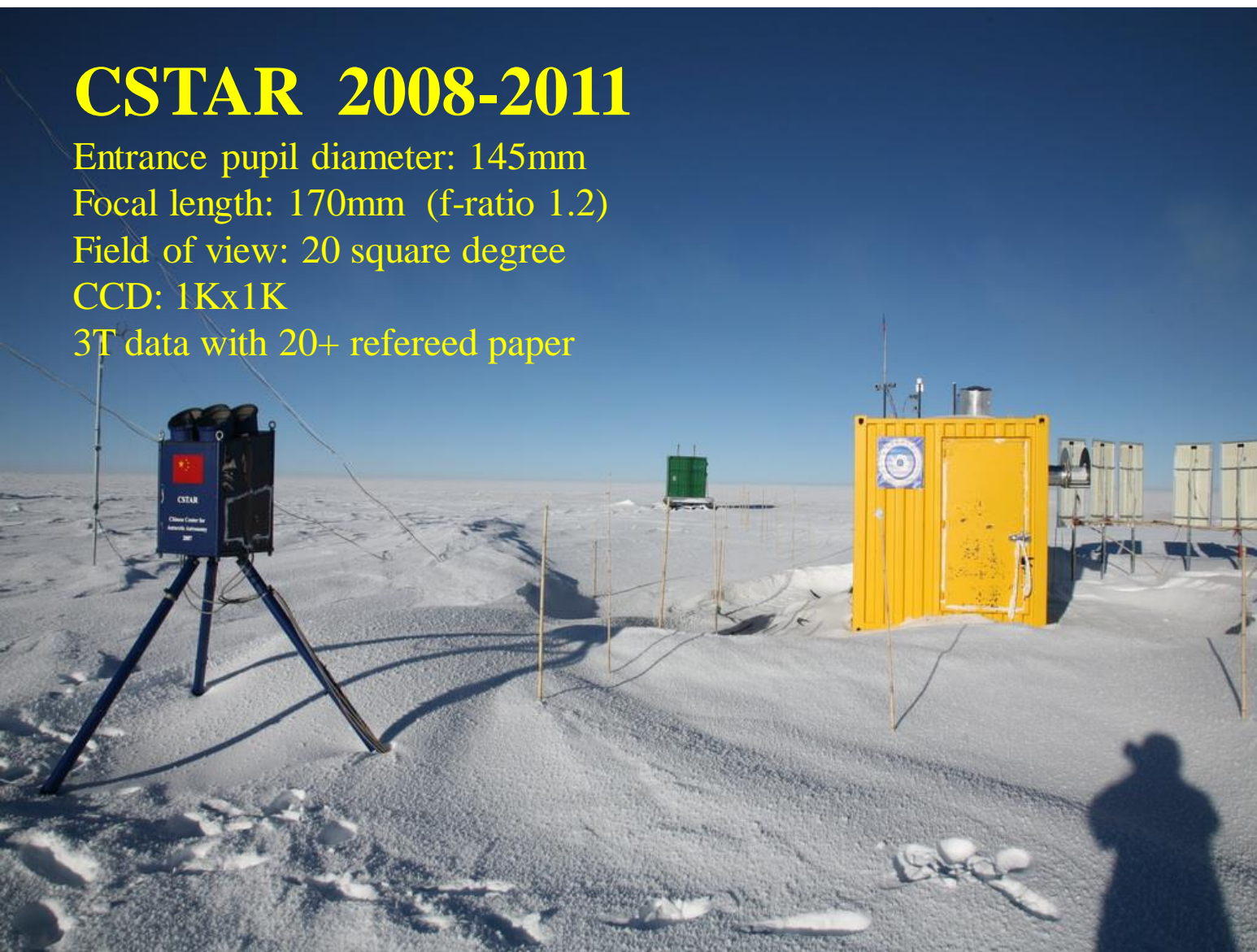
Entrance pupil diameter: 145mm

Focal length: 170mm (f-ratio 1.2)

Field of view: 20 square degree

CCD: 1Kx1K

3T data with 20+ refereed paper



CSTAR是由4台14.5厘米口径的大视场望远镜装在同一个机架上构成的小望远镜阵,角视场为 $4.5^{\circ} \times 4.5^{\circ}$,焦比1.2,分别配置白光和g、r、i四种滤光片,探测器为1kx1k的帧转移CCD。CSTAR的科学目标主要是进行变星监测及统计分析,寻找系外行星、超新星等。

I波段, 350 G (2008年)

I: 259 GB, G: 240 GB, N: 240 GB, R:
460 GB, 共1.2 TB (2009年)

I: 363GB, G: 178GB, 共541 GB (2010年)

I: 212GB, G: 138GB, 共350GB (2011年)

❖ 南极巡天望远镜项目

AST3 – three Antarctic Survey Telescopes

Entrance pupil diameter: 500/680mm

Field of view: 4.1 degree

CCD: 10Kx10K

AST3-2

AST3-1

□ 变星观测

利用AST3-I于2012年的测试观测数据，处理得出的一批恒星光变曲线，进行分析和研究，发现一批新变星。

□ 变源方面工作

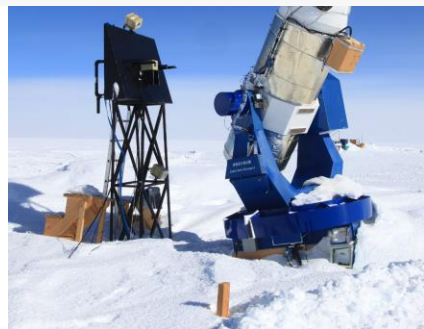
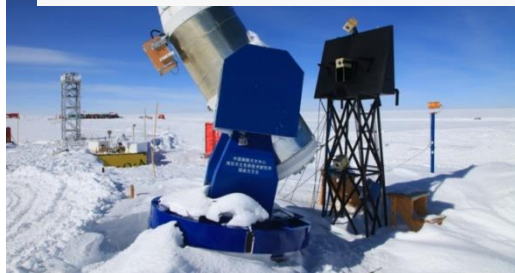
通过分析AST3-1指向银盘的一个天区8天时域测光数据 ($i < 16.5$ 星等)，一共探测到560颗变源，285颗是食双星，其中34颗双星存在OC效应，且效应最强的一颗食双星可能存在星周介质。此外还探测到27颗是脉动变星，其余的248颗的分类是未知的。其中339颗是新发现变源。

❖ 南极巡天望远镜项目

AST3-2望远镜

- 2015年1月，安装在**南极Dome A**地区。
- 2019年1月，最后一次**现场维护**。
- 2023年1月，**现场检查及远程测试**。

2023年1月，抵达Dome A时原始状态



远程测试发现：

- ✓ 主轴电机和编码器等工作正常；
- ✓ 调焦电机及反馈等工作正常；
- ✓ 仪器舱内主要设备工作正常；
- 需要更换CCD、清理积雪、线缆维护等。

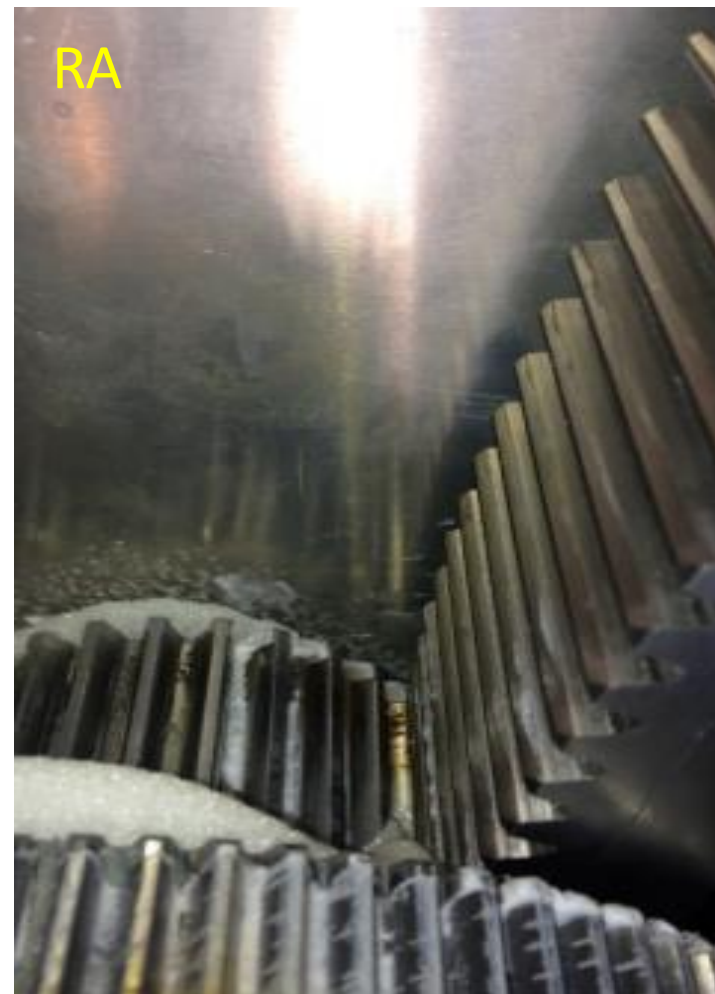
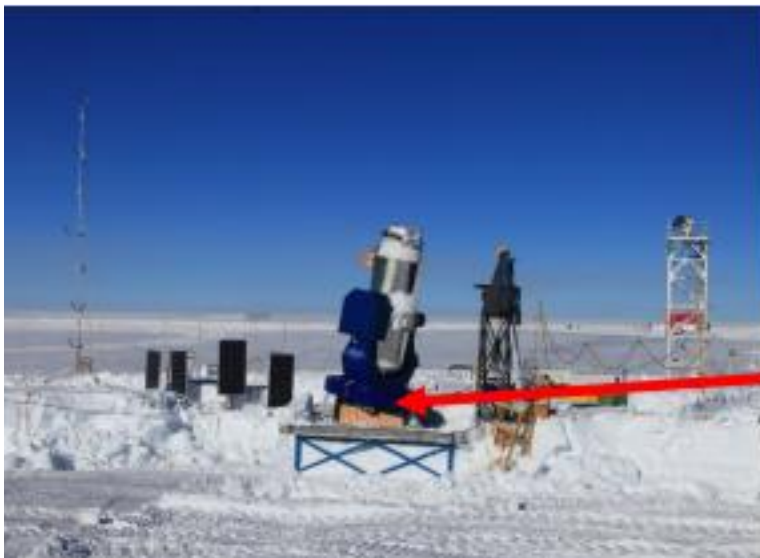


2023年1月，清理积雪后的AST3-2望远镜

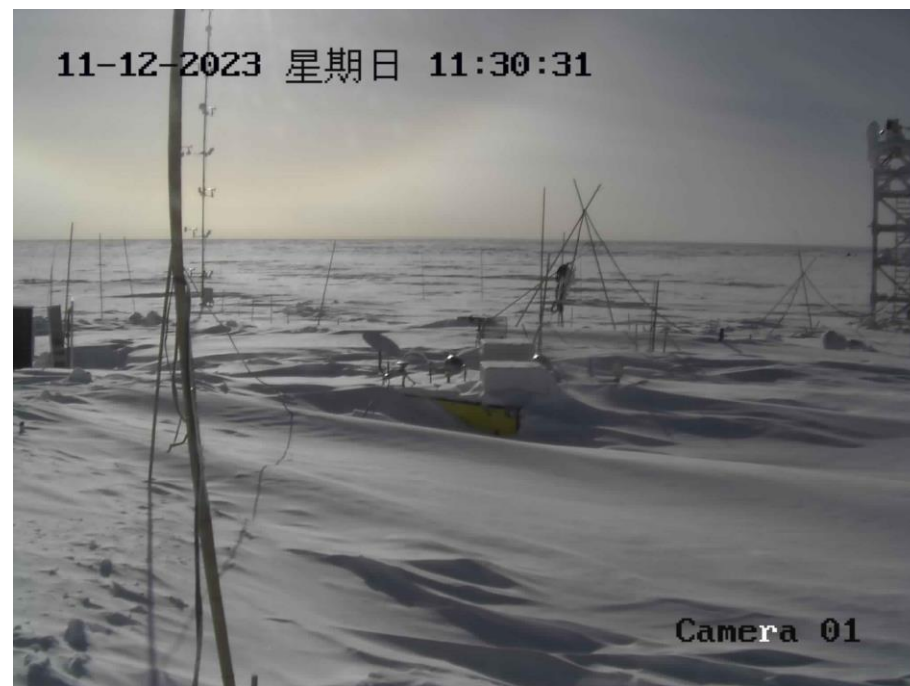
❖ 南极巡天望远镜项目

39次南极科考AST3-2 现场情况

- 赤纬轴可以运行
- 赤经轴无法运行，并且内部有大量的积雪
- CCD相机无法打开



❖ 南极巡天望远镜项目



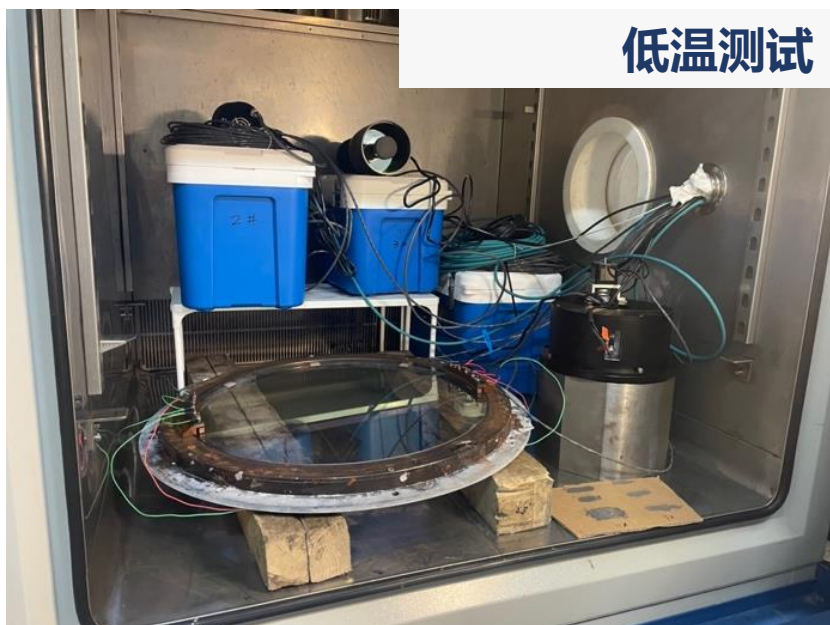
最新的积雪情况图

39次科考队到达时和35次科考队离开时积雪情况对比

❖ 南极巡天望远镜项目

第40次南极科考，AST3-2维护计划

- 更换CCD为CMOS相机
- 恢复AST3-2望远镜运行



拟使用CMOS及主要参数



对应视场 $1.10^{\circ} \times 0.73^{\circ}$



传感器
IMX455



画幅大小
36*24mm



分辨率
9576*6388



ADC数模转换器
16bit



读出噪声
1.2-3.5e



制冷温差
35°C



DDR3高速缓存
256MB



USB
3.0



最高帧数
2



满阱电荷
51400e



量子效率
91%



像素大小
3.76μm

❖ 南极巡天望远镜项目

2023年7月初

启动40次南极科考
准备工作

2023年9月至10月

仪器低温测试

2023年11月01日

40次南极科考船
雪龙号启程

2024年1月5日

完成南极科考任务
离开昆仑站

7

8

9

10

11

12

1

2023年7月至9月

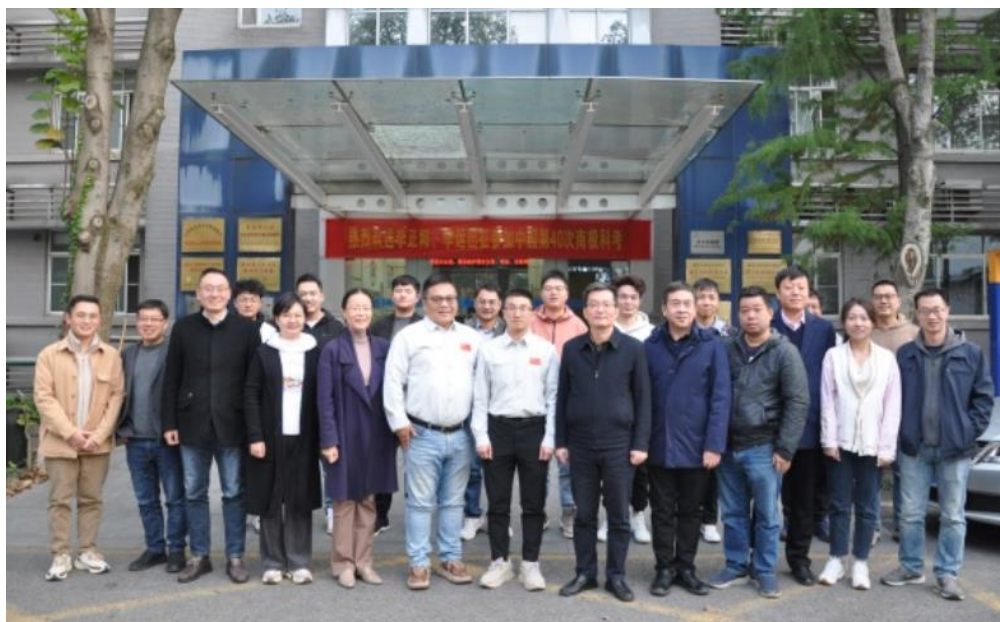
设计并落实维护方案，
准备科考物资，开发各类软件

2023年10月中旬

物资打包与起运

2023年12月15日

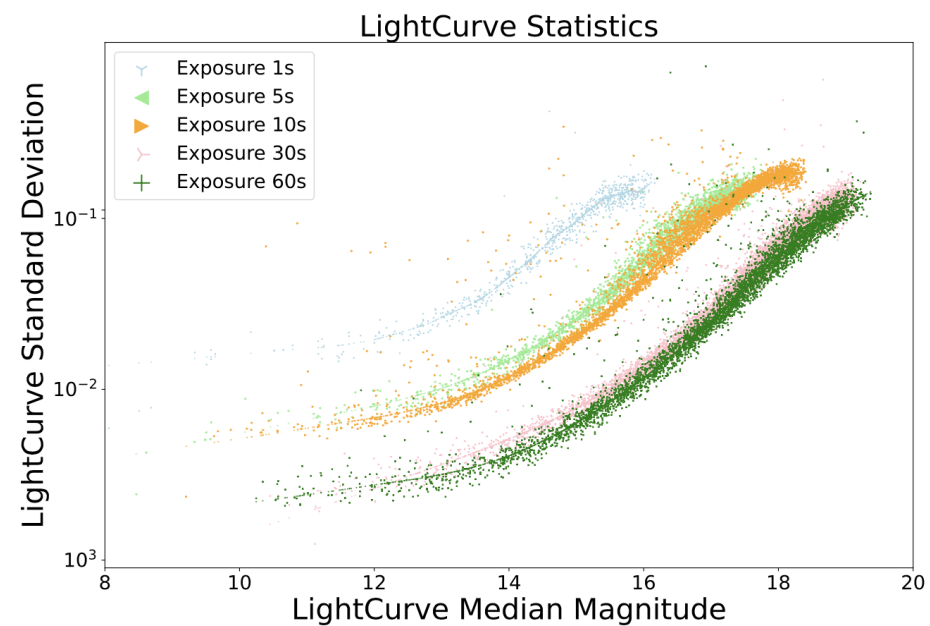
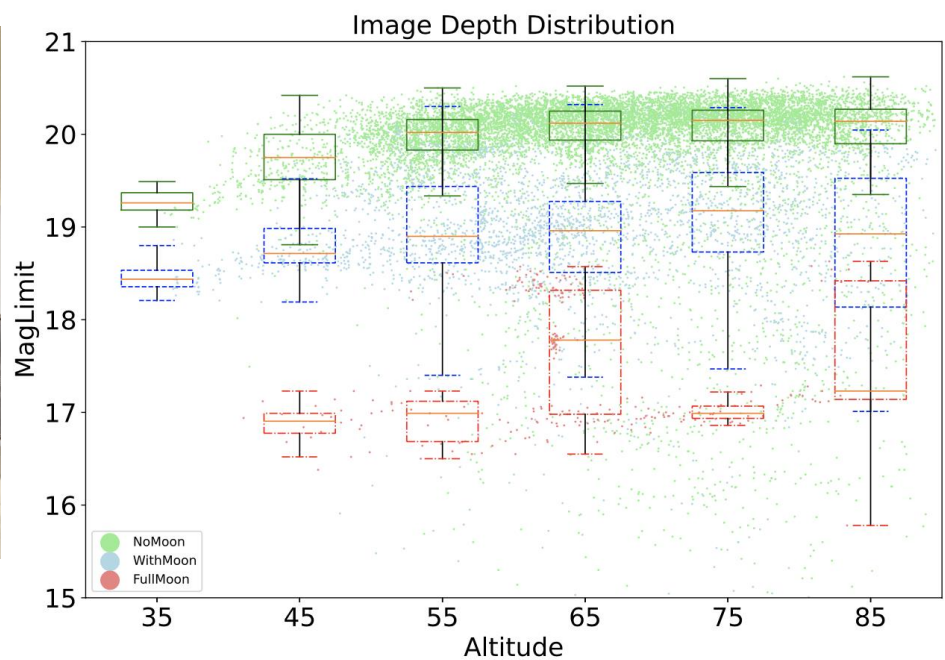
科考人员、物资
抵达昆仑站



❖ 南极巡天望远镜项目

AST3-3望远镜 云南姚安 (试观测)

- 2021年2月，安装在云南省姚安县观测站。
- 60秒曝光极限星等：~20等 (g -波段)；测光精度：1% (16等)
- 望远镜采用无人值守全自动观测模式。开展超新星、GRB后随观测等科学研究。



❖ 南极巡天望远镜项目

A shock flash breaking out of a dusty red supergiant

Gaici Li^{1,†}, Maokai Hu^{2,†}, Wenxiong Li^{3,4,†}, Yi Yang^{5,†,‡}, Xiaofeng Wang^{1,6}, Shengyu Yan¹, Lei Hu^{2,7}, Jujia Zhang^{8,9,10}, Yiming Mao¹¹, Henrik Riise, Xing Gao¹², Tianrui Sun², Jialian Liu¹, Dingrong Xiong^{8,9}, Lifan Wang¹³, Jun Mo¹, Abdusamatjan Iskandar^{12,14}, Gaobo Xi¹, Danfeng Xiang¹, Lingzhi Wang^{15,4}, Guoyou Sun¹⁶, Keming Zhang⁵, Jian Chen², Weili Lin¹, Fangzhou Guo¹, Qichun Liu¹, Guangyao Cai¹⁶, Wenjie Zhou¹⁶, Jingyuan Zhao¹⁶, Jin Chen¹⁶, Xin Zheng¹⁶, Keying Li¹⁶, Mi Zhang¹⁶, Shijun Xu¹⁶, Xiaodong Lyu¹⁶, A. J. Castro-Tirado^{17,18}, Vasilii Chufarin^{19,20}, Nikolay Potapov²¹, Ivan Ionov²², Stanislav Korotkiy²¹, Sergey Nazarov²³, Kirill Sokolovsky^{24,25}, Norman Hamann, Eliot Herman²⁶

¹Physics Department and Tsinghua Center for Astrophysics, Tsinghua University, Qinghua Yuan, Beijing, 100084, China

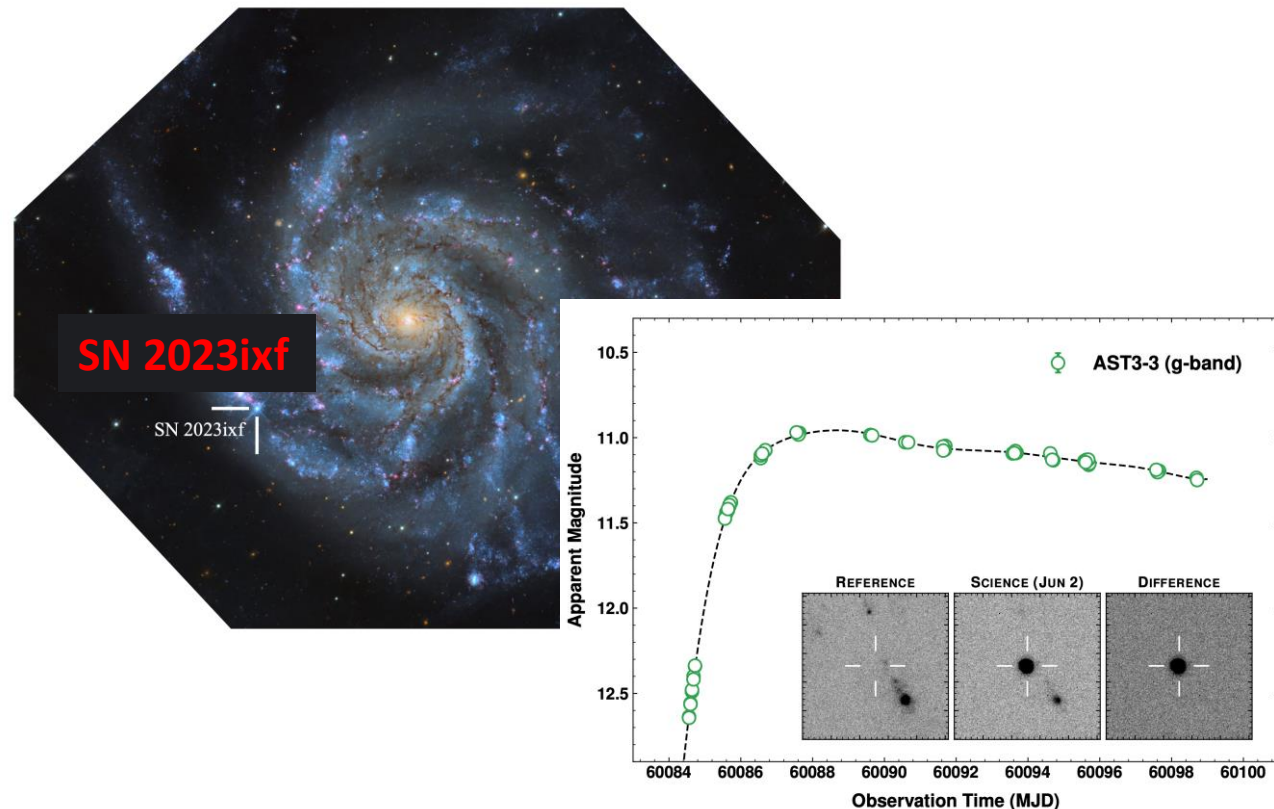
²Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences(CAS), Nanjing, 210023, China

³The School of Physics and Astronomy, Tel Aviv University, Tel Aviv, 69978, Israel

⁴Key Laboratory of Optical Astronomy, National Astronomical Observatories, CAS, Beijing 100101, China

⁵Department of Astronomy, University of California, Berkeley, CA 94720-3411, USA

⁶Beijing Planetarium, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing, 100044, China

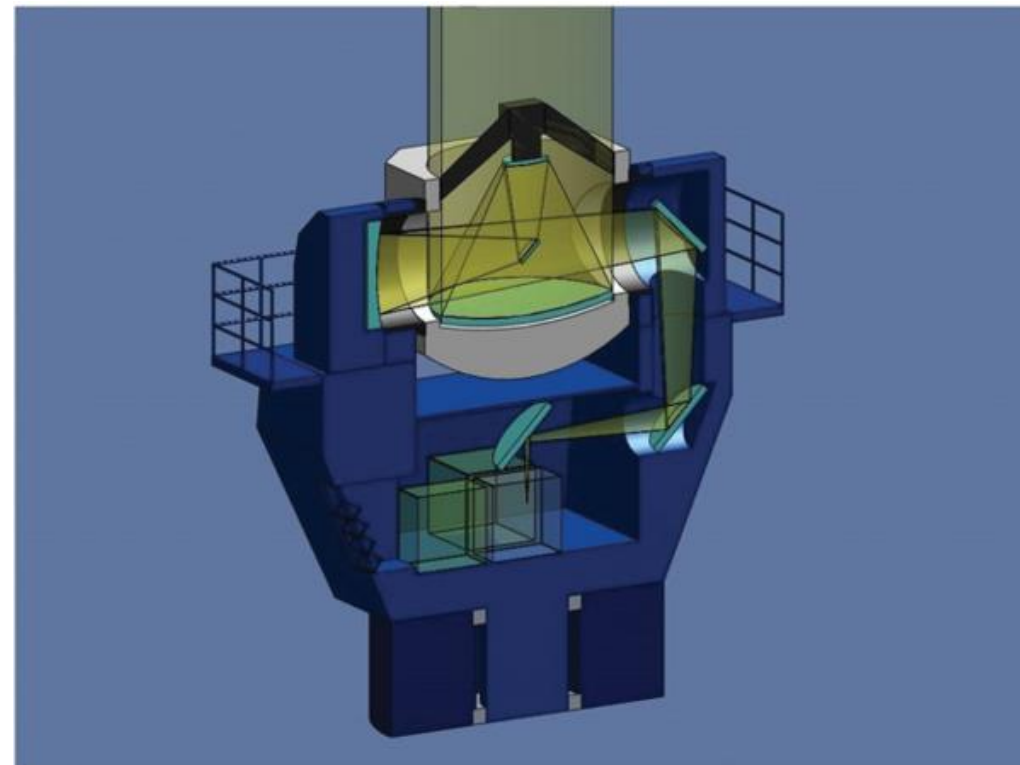
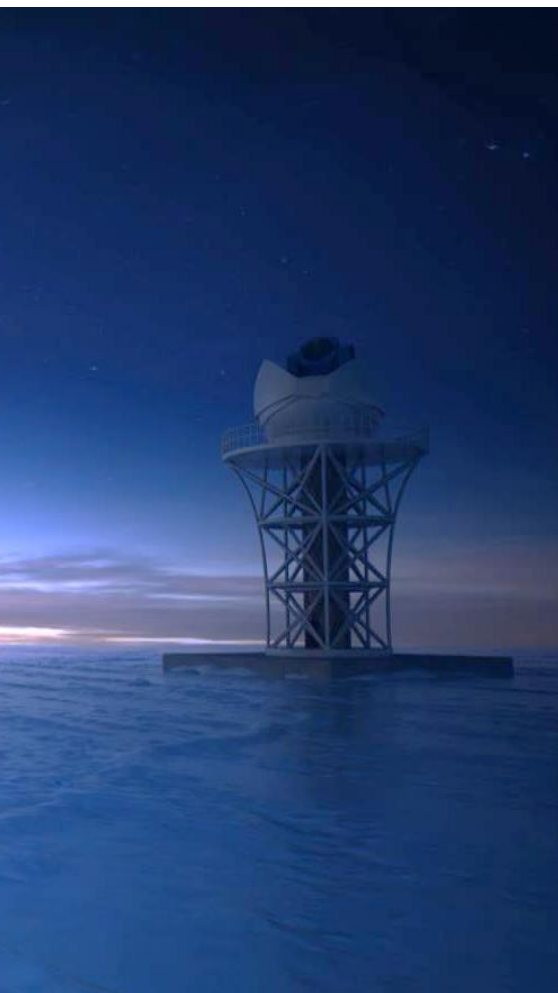


SN2023ixf超新星爆发后，姚安观测站的AST3-3对这颗源开展了快速响应观测。当晚的多次曝光观测获取到了其快速上升的光变曲线，这可以严格地限制超新星的星周环境。后随几天的持续监测，获取了SN2023ixf早期相对完整的g-band光变曲线。AST3-3的观测，作为重要的数据组成部分，参与到了清华王晓锋团队的工作中。相关结果已经被Nature期刊正式接收。

❖ KDUST望远镜及塔架设计

中国南极天文台
昆仑暗宇宙巡天望远镜
Kunlun Dark Universe
Survey Telescope

技术参数	设计指标
口径	2.5m
视场	1.5°
波段	光学波段0.4 μm - 1 μm 红外波段1 μm - 2.5 μm
光学像质	$\leq 0.2''$ FWHM
跟踪精度	$\leq 0.2''$ RMS
支撑塔	15米, 边界层之上
功耗	15千瓦, 峰值20千瓦
运行模式	无人值守、远程遥控

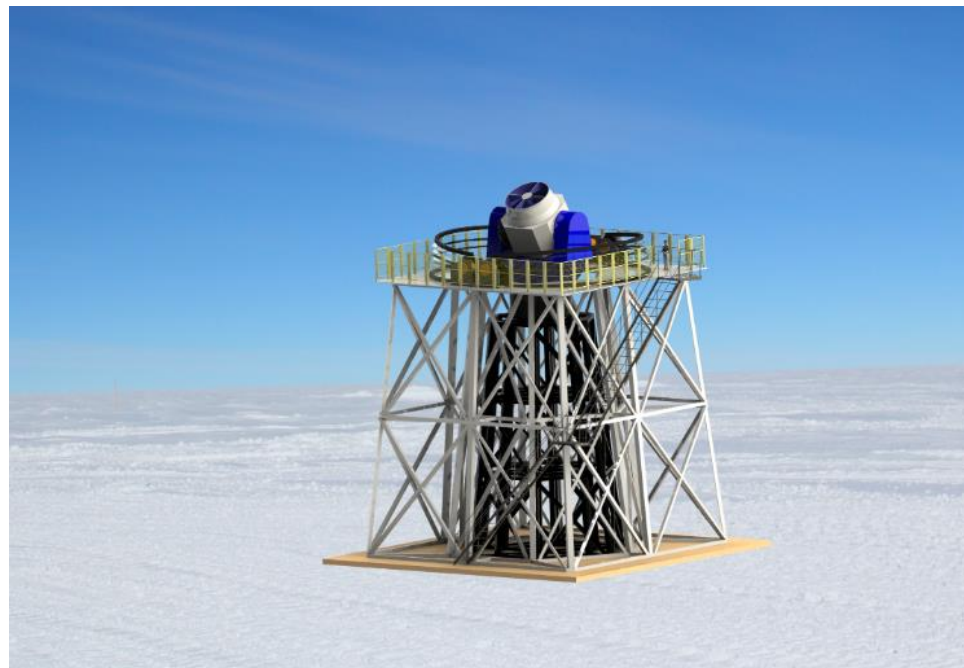


2.5m级南极望远镜

❖ KDUST望远镜及塔架设计

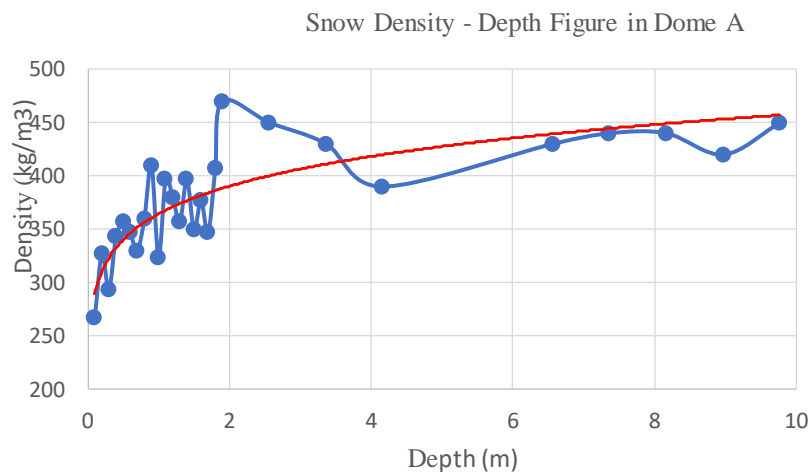


望远镜及圆顶塔架借鉴我国最古老的天文台-河南登封古观星台外观设计，在南极Dome A地区天文仪器的研制中体现中国古代的天文文化传承。结构上采用了桁架设计，能有较高的刚度/质量比，易于恶劣条件下的运输安装。

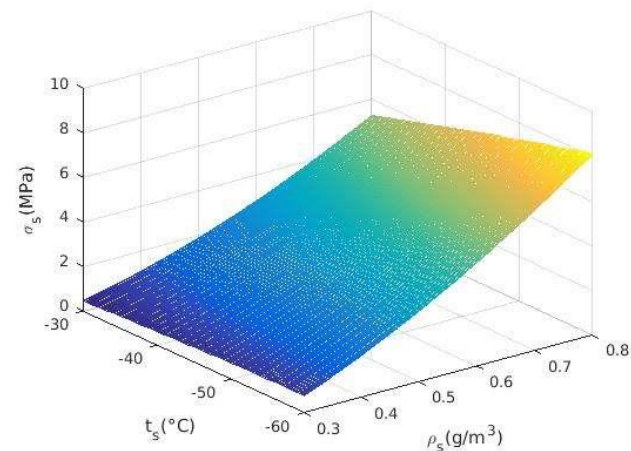


- 1.望远镜塔架高13.4m，塔架顶端的平台直径6m，底部为9m，圆顶塔架高12m，顶部为直径12m，底部为15m
- 2.回填雪1.5m，保证望远镜地基温度的稳定性
- 3.采用碳纤维板减少夏天太阳辐射通过望远镜塔架的热传导对已处理冰层产生破坏，造成冰层融化。

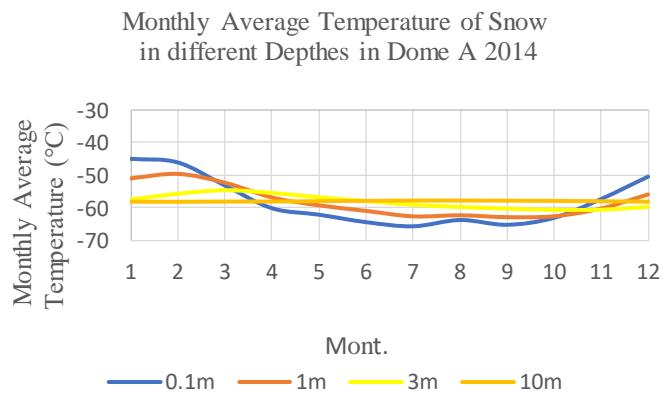
❖ KDUST望远镜及塔架设计



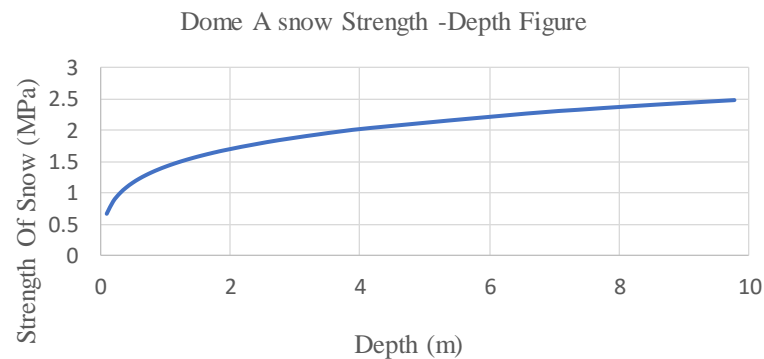
Dome A 0-10m深雪密度曲线



估算的冰力学-温度-密度曲线



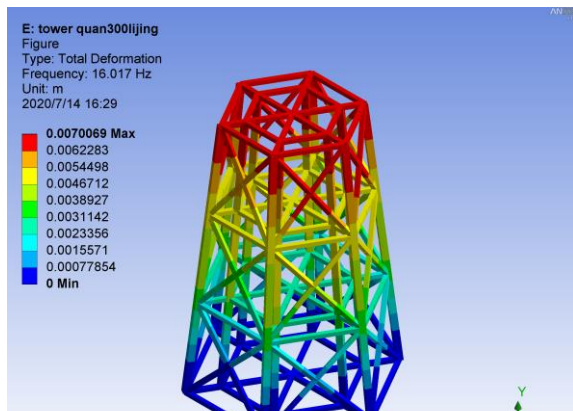
Dome A 2014年不同深度温度曲线



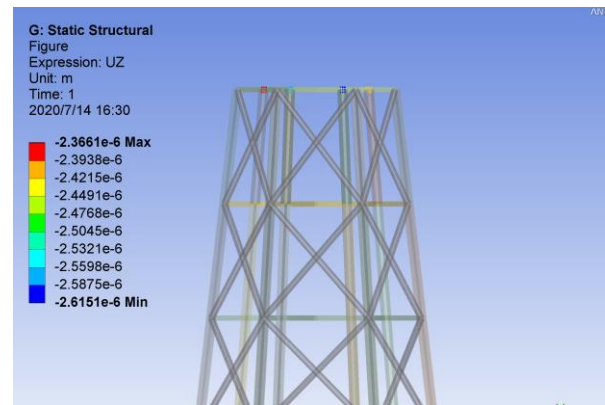
Dome A表层雪 (0-10m) 强度估算值

❖ KDUST望远镜及塔架设计

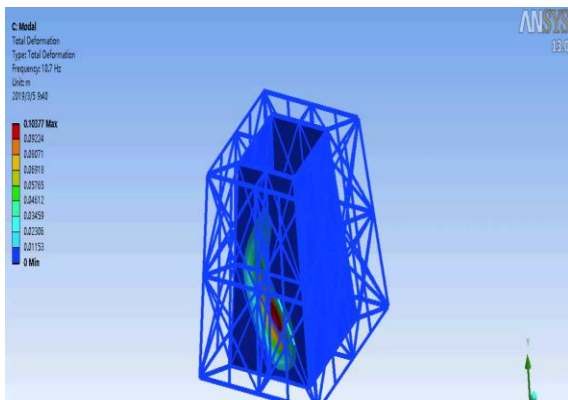
望远镜塔架力学分析



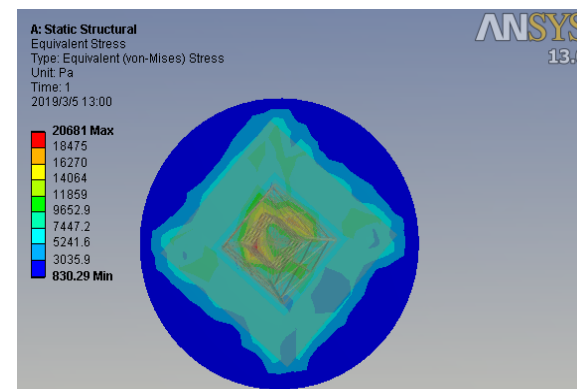
塔架第一阶自振频率16.017Hz



10m/s风速下望远镜顶端变形为0.08"



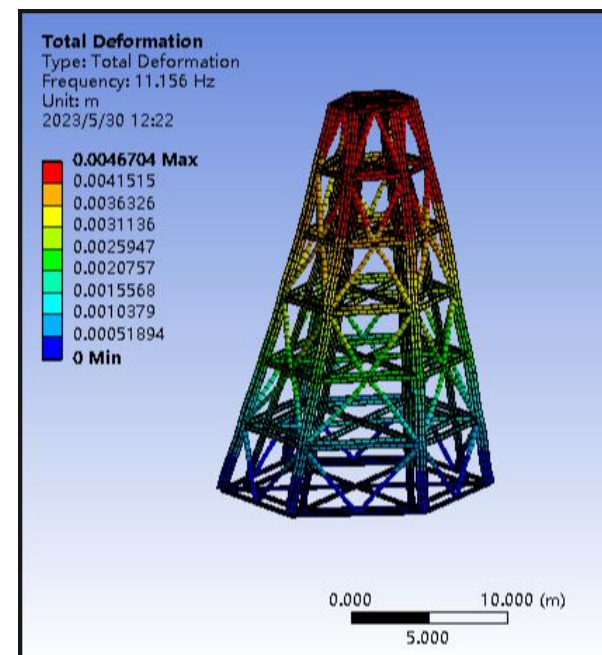
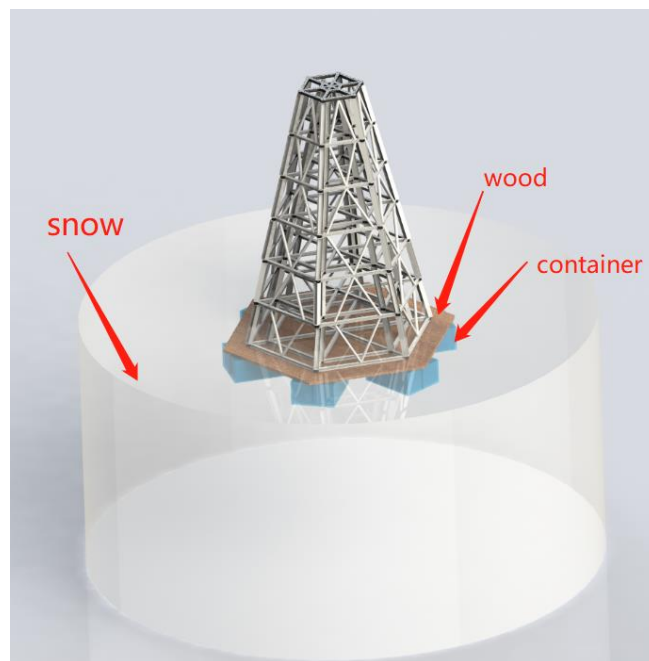
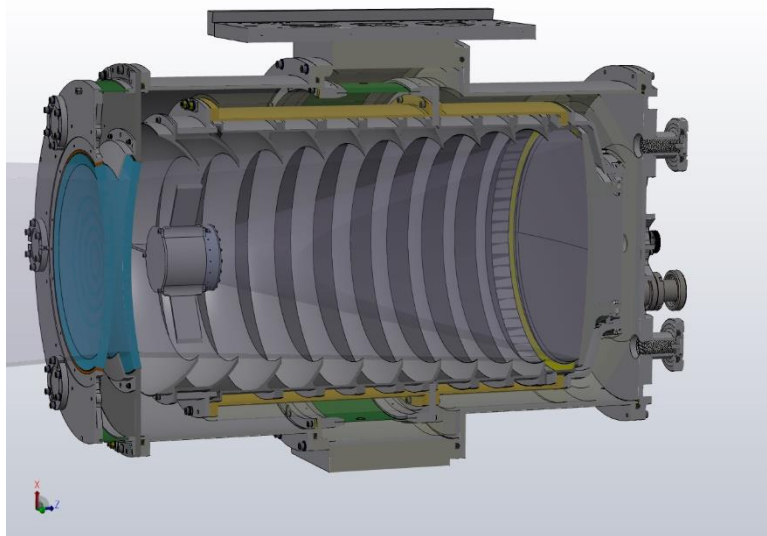
圆顶第一阶自振频率 10.7Hz



冰层最大压强0.02MPa (SPT要求

0.03MPa)

❖ Dome C 1m级望远镜塔架的设计与分析



- 塔架高25m
- 顶部直径6m，底部18m
- 底脚覆盖2m深的雪以保证基底温度不变
- 采用集装箱填充雪作为基墩用以稳固塔架。
- 塔架最小刚度为11.16Hz

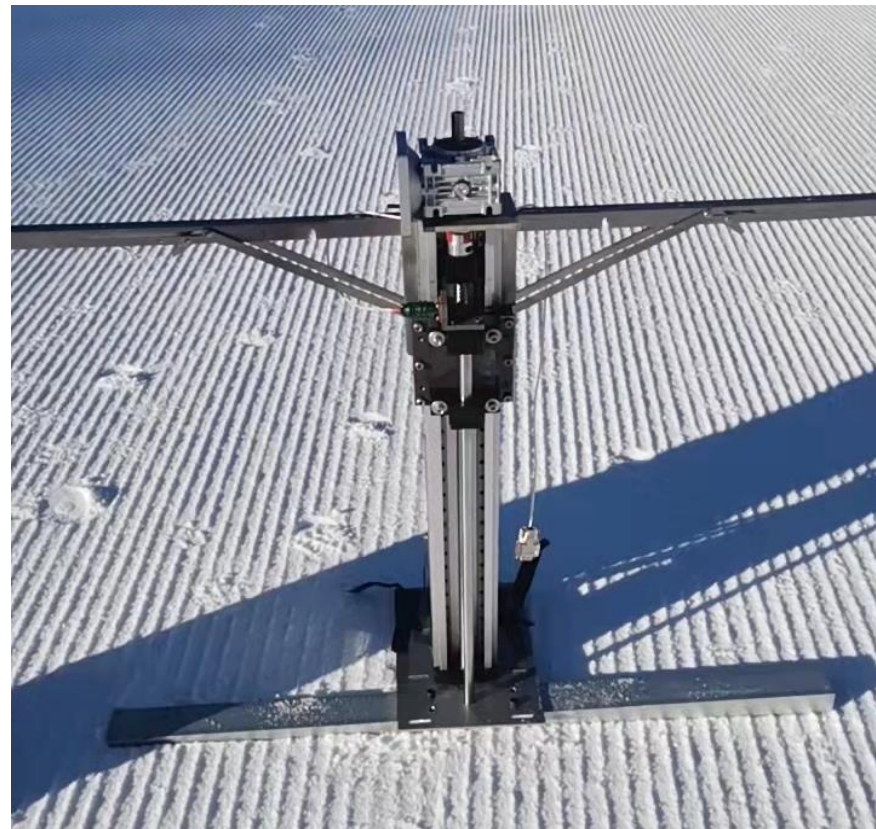
crosscope 望远镜，1.2m口径，计划2030年安装于冰穹 C地区 50deg² FOV, K-band

❖ 冰雪地基处理与应用

- 积雪颗粒的形状及大小是影响雪的力学性质的主要因素
- 漫反射强度与粒径大小相关，通过测量漫反射值获取粒径大小



冰雪粒径测量仪



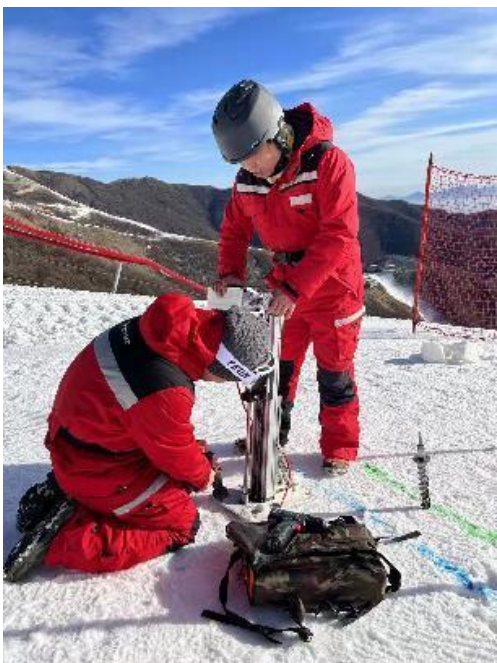
冰雪强度测量仪

- 通过测量反作用力的大小，从而测量出雪面的强度

❖ 冰雪地基处理与应用



- 2020年在亚布力滑雪中心进行模拟**南极冰雪环境**的强度测试。
- 自然雪**密实化处理**，使其密度与南极Dome A密度相似，
- 经过测试后，雪强度的RMS值为**2.38MPa**，与前文估算值相符。



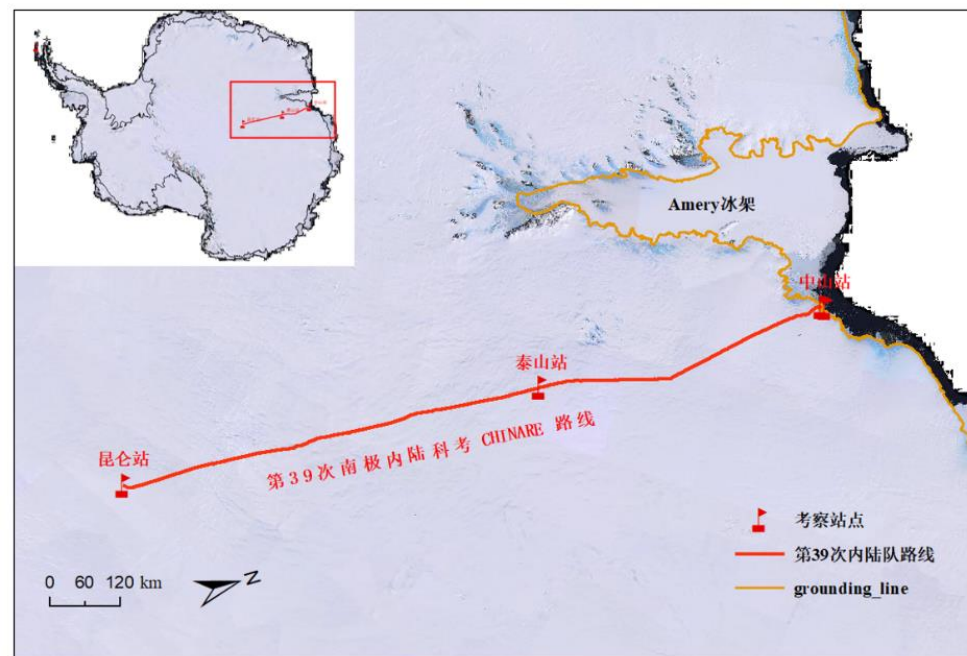
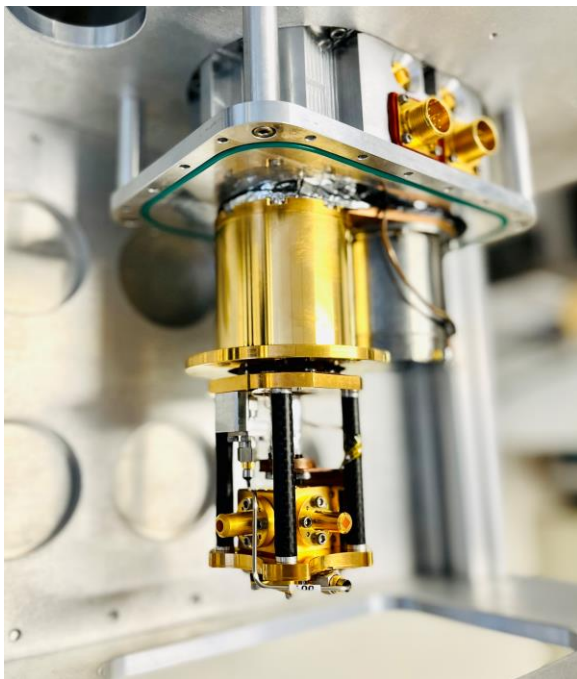
- 针对高山滑雪的赛道的现状，改进了使用于南极天文的雪质测量的冰雪粒径测量仪和冰雪硬度测量仪，将其用于**冰状雪赛道**的测量中，参加了“科技冬奥”重点专项的“不同气候条件下冰状雪赛道制作关键技术”项目。

❖ 南极Dome A太赫兹望远镜实验

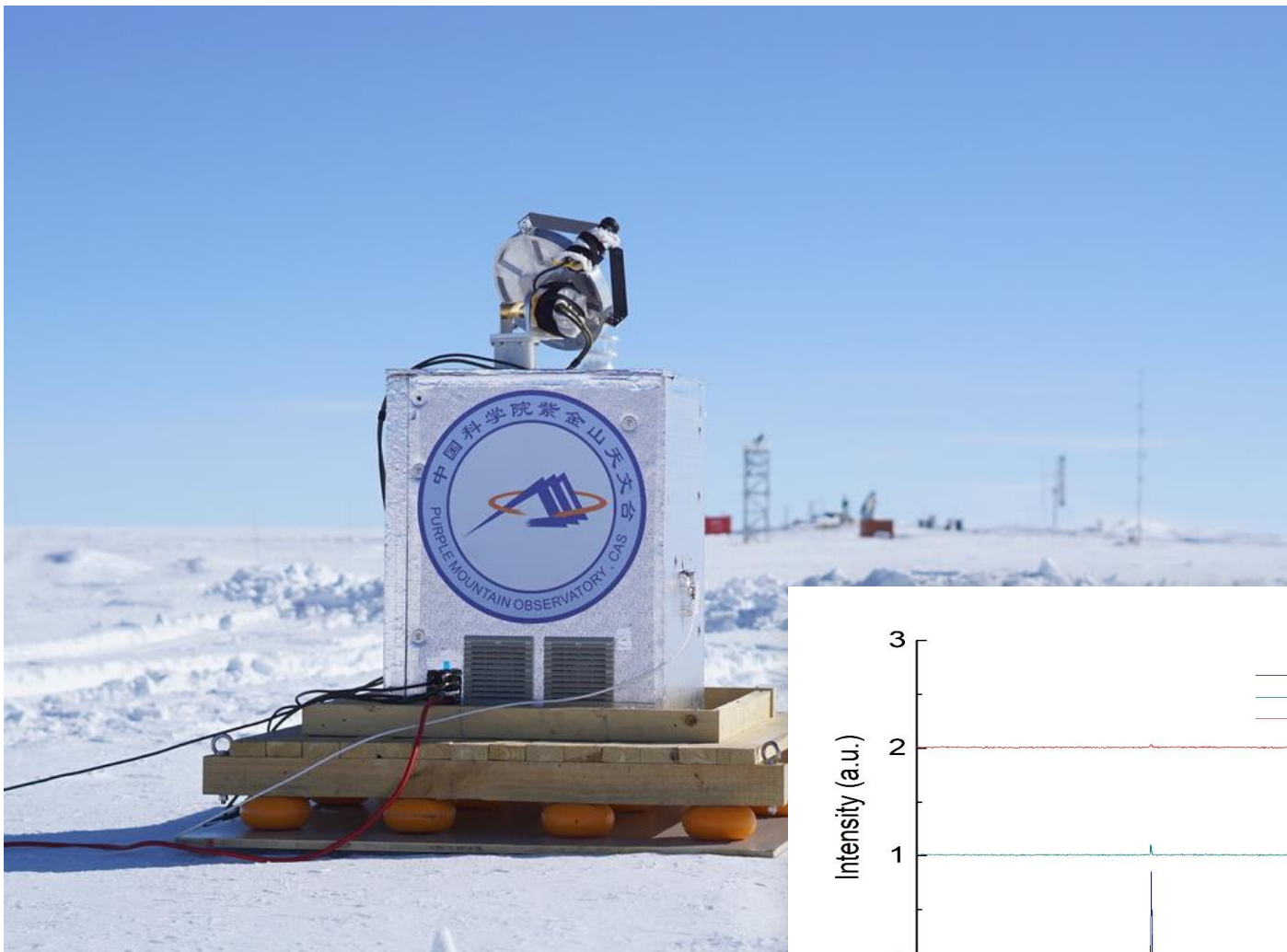
第39次南极科考冰穹A太赫兹实验：30cm亚毫米波望远镜系统

中国科学院紫金山天文台（牵头研制）、极地中心（联合组织）

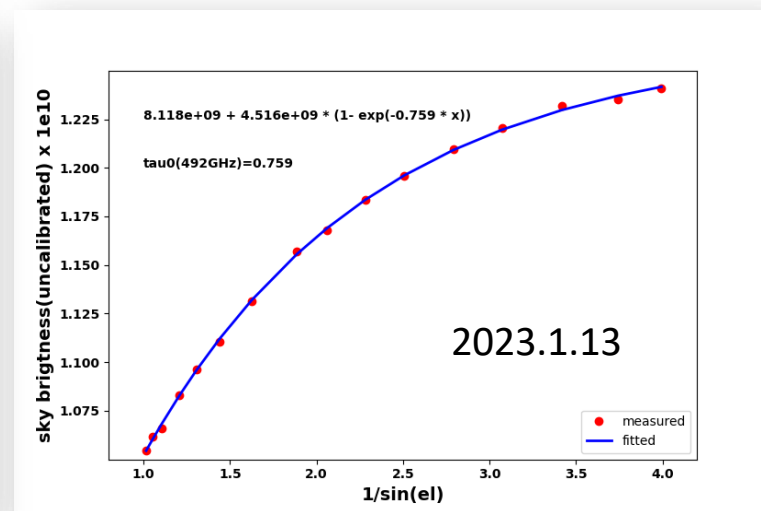
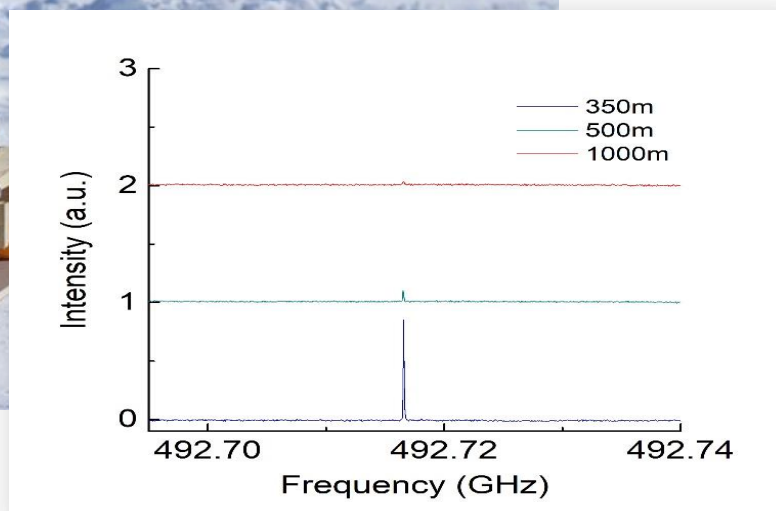
中国科学院理化所、网络通信研究院、中国工程物理研究院、上海师范大学（参与研制）



❖ 南极Dome A太赫兹望远镜实验



- 首次实现南极内陆地区公里级0.5THz频段太赫兹信号收发实验
- 首次实现自主研发太赫兹探测设备在南极内陆极端环境下的成功运行，精确测定冰穹A地区0.5THz观测窗口大气透过率



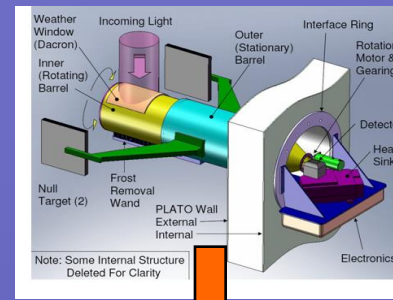


CSTAR



PLATO

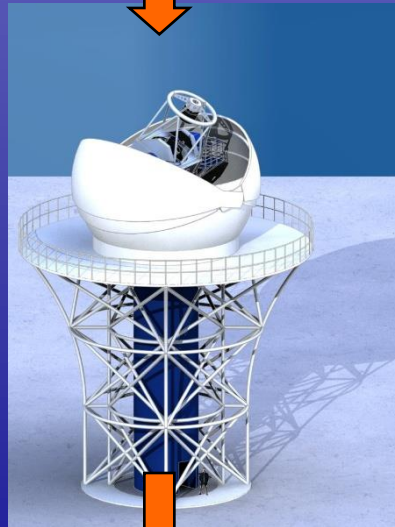
Pre-HEAT
HEAT



AST3

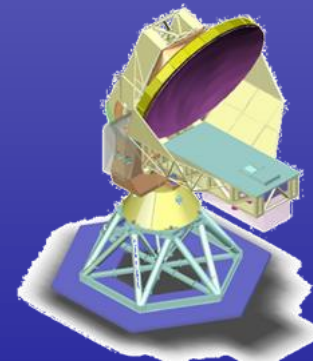
Chinese Center for
Antarctic Astronomy

FTS



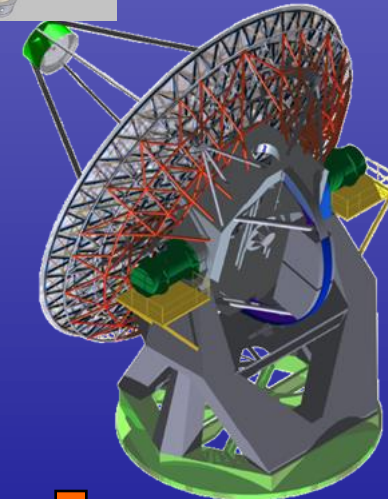
4m optical/IR

8-10m Optical/IR Telescope



5m THz

FIR Interferometer



15m THz

❖ 总结

- ❑ 虽然疫情的突发导致南极内陆科考的中断，但中国南极天文的工作一直在开展并取得了相当的成果，众多的台址测量和天文观测仪器在南极地区仍在工作。
- ❑ 随着中国南极科考的正常化，将有越来越多的天文仪器奔赴南极，充分发挥南极特别是冰穹A地区优良的天文台址作用。
- ❑ 欢迎台湾的天文专家加入到南极天文事业，共同合作携手发展。