

低温红外光学系统的研制

报告人：张露

报告时间：2023年11月21

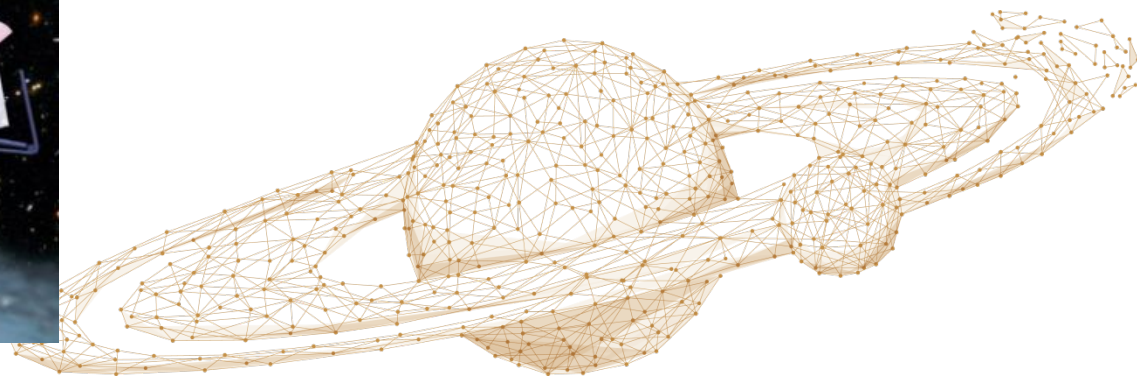
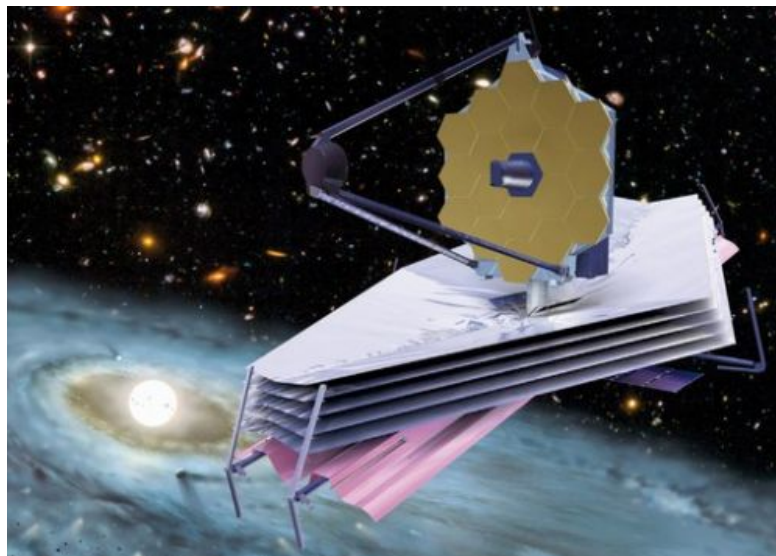
日

一、概述

随着科技水平的不断发展，人们在红外天文观测、高分辨率红外对地观测、微弱目标探测等多个领域的应用中，对红外仪器提出了更高灵敏度的探测需求。低温光学系统可以充分地降低仪器自身背景，有效地提高红外系统的探测灵敏度。

发展低温光学技术对于提高红外系统探测能力，拓展红外应用领域，具有非常重要的意义。

红外天文是低温光学最主要的应用领域和技术牵引方向！



二、低温光学系统案例

近十年来，中科院南京天文仪器有限公司研制了大量的低温红外光学系统

功能

用于红外光学系统在真空罐内开展红外辐射定标；低温性能测试，包括低温环境下的MTF测试、能量集中度测试、性噪比测试、视线标定等。

口径范围

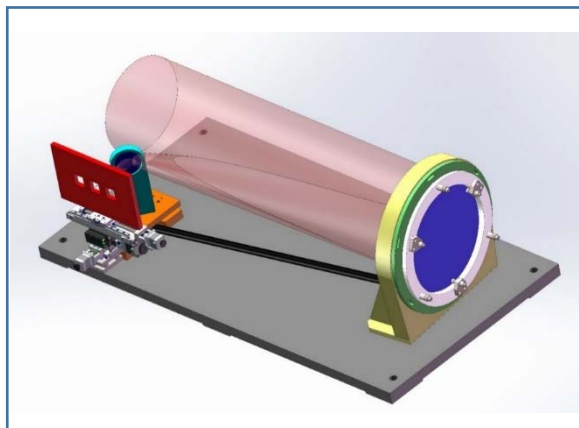
100mm~1500mm

光学系统

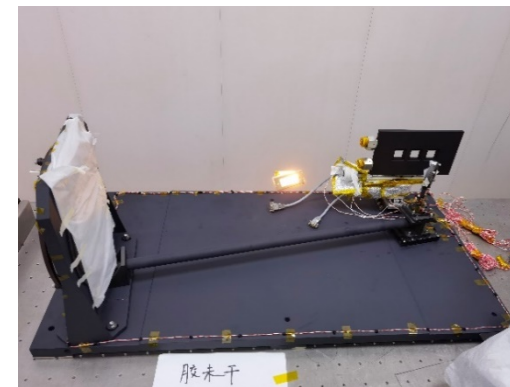
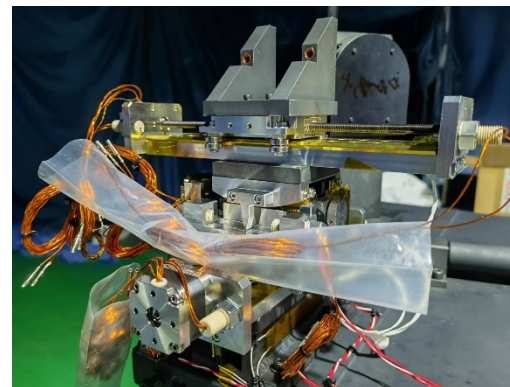
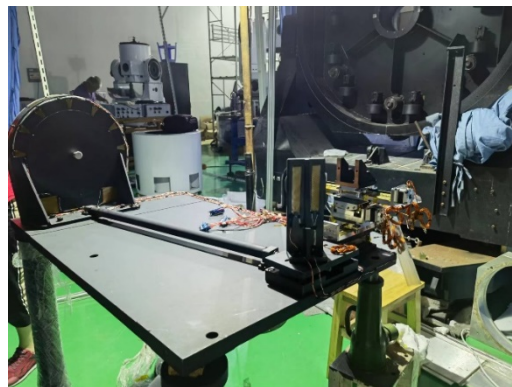
单离轴、离轴RC、离轴三反等

温度范围

90K~常温



光学系统：单离轴
通光口径：Φ250mm



工作波段：0.35μm~16μm
工作温度：90K

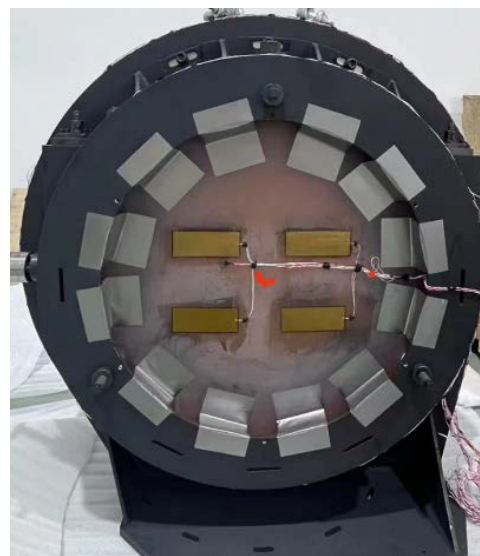
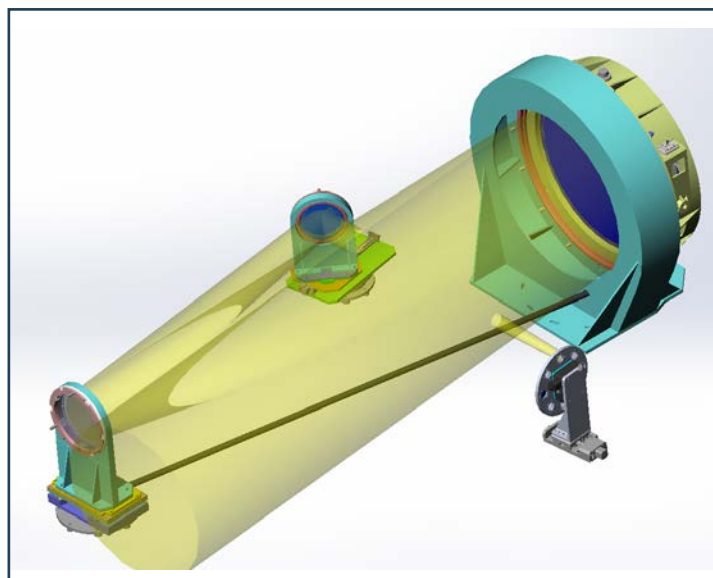
二、低温光学系统案例



光学系统：离轴三反+两片折转镜
通光口径：Φ350mm
焦距：6000mm
视场：1.7° X 1.7°
工作波段：3um~14um
工作温度：130K



光学系统：离轴三反
通光口径：Φ400mm
焦距：3200mm
视场：1° X 0.5°
工作波段：0.4um~14um
工作温度：150K



- ◆ 光学系统：离轴RC
- ◆ 通光口径：Φ800mm
- ◆ 焦距：12000mm
- ◆ 视场：±18mm
- ◆ 工作波段：0.35um~16um
- ◆ 工作温度：常温、低温173K

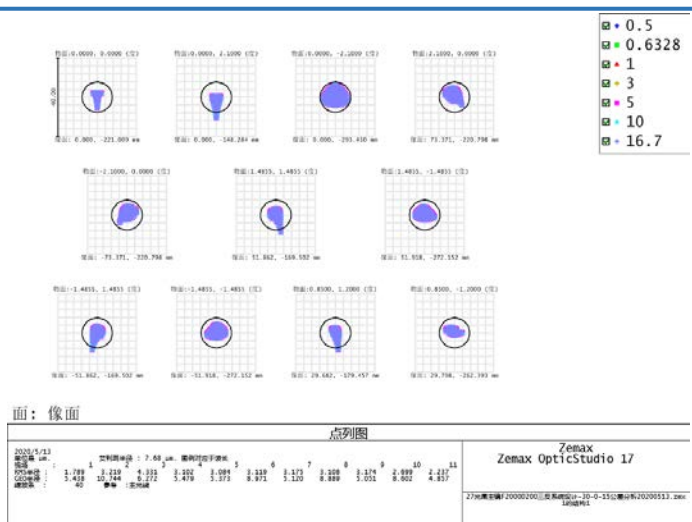
三、系统研制实例



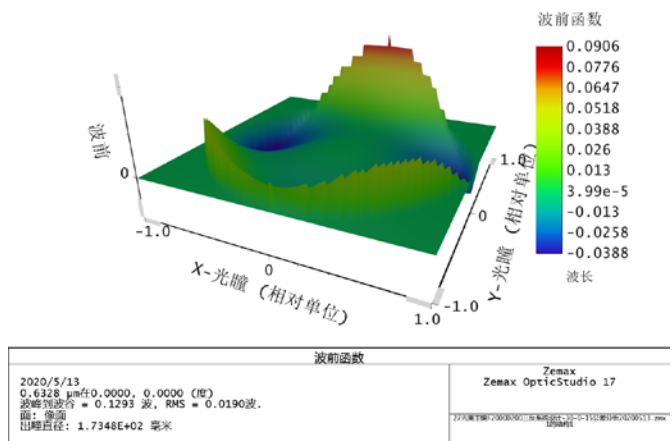
设计阶段

光学元件材料：微晶玻璃

点列图

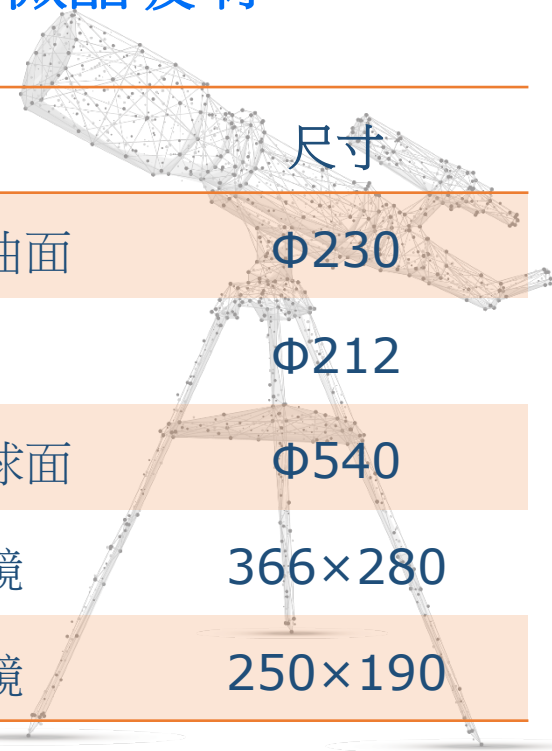


波前函数



轴上RMS设计值为0.019λ

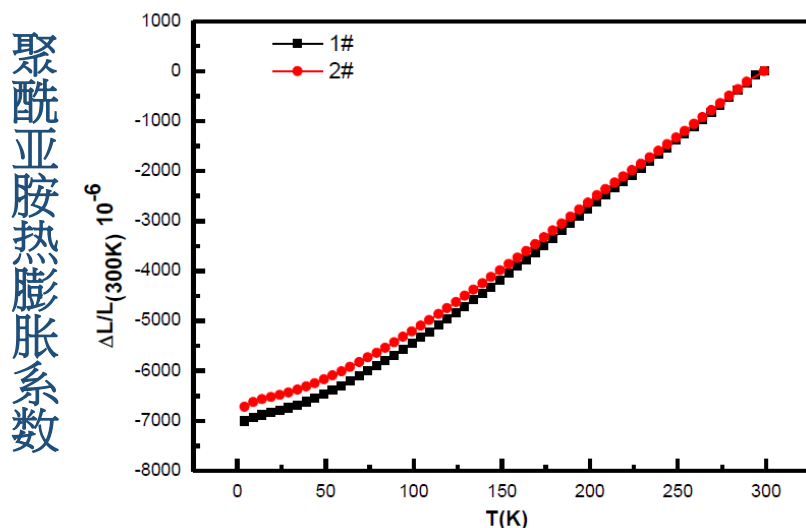
名称	类型	尺寸
主镜	离轴双曲面	Φ230
次镜	球面	Φ212
三镜	离轴扁球面	Φ540
折转镜	平面镜	366×280
指向镜	平面镜	250×190



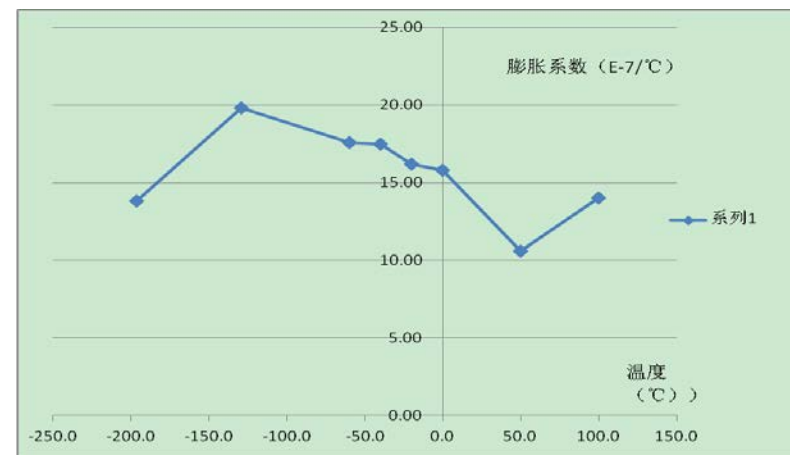
三、系统研制实例 ★ 设计阶段

材料选择考虑 { 满足常温、低温指标要求 (满足系统光学像质要求)
防污染要求 (在真空环境下使用, 不易腐蚀、放气性小, 无可凝性挥发物)

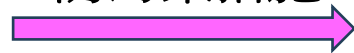
选用的结构材料包括: 不锈钢、殷钢4J36、聚酰亚胺



殷钢热膨胀系数



防污染措施



进行超声波清洗

传动机构的润滑为固体润滑, 无需使用常规润滑油脂

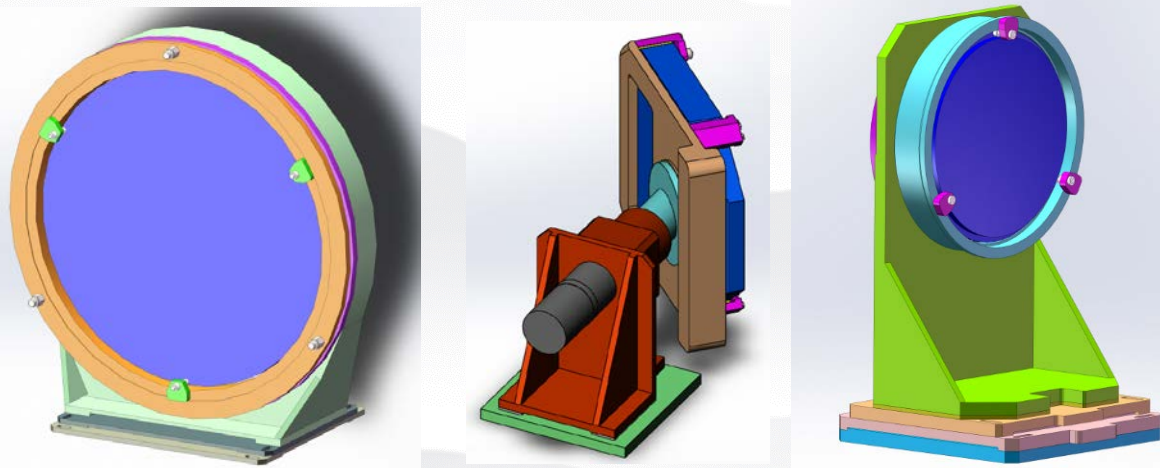
三、系统研制实例 ✦ 设计阶段

总体温度变化，能够改变光学元件的间隔、方向，或改变元件本身的形状。



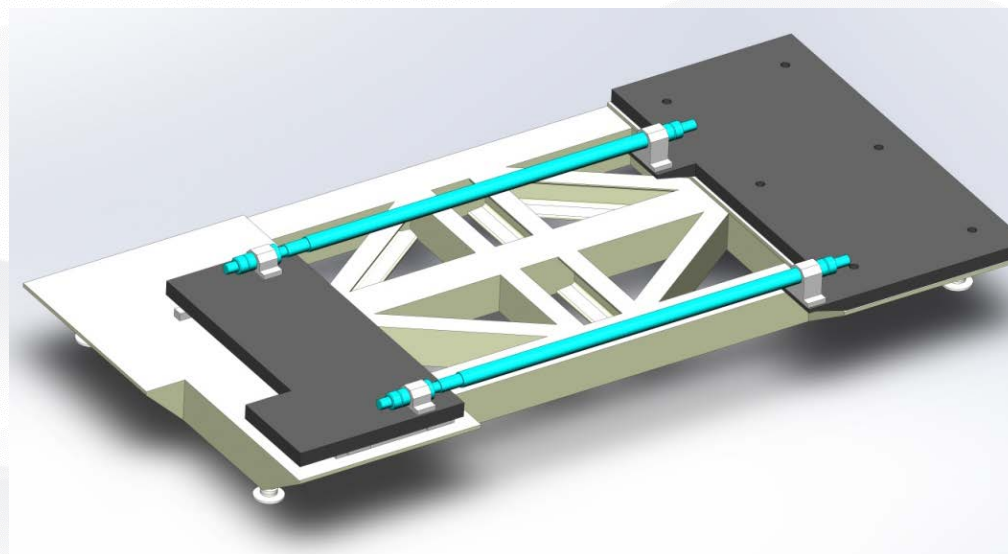
无热化设计——是指总体温度变化不影响光学性能的光机系统设计。
采用方法——被动补偿的方式，即用热膨胀本身来补偿温度的影响。

光学元件温度补偿



光学元件材料为微晶玻璃，降温时，镜室的收缩量大于镜体，直接安装热应力大，因此在镜体四周和端面采用聚酰亚胺材料进行补偿

间距变化补偿



保证光学元件位置不随温度变化，不锈钢底座上方安装两组殷钢平台，两平台之间采用殷钢杆连接，左端安装平移导轨

三、系统研制实例 ★ 设计阶段

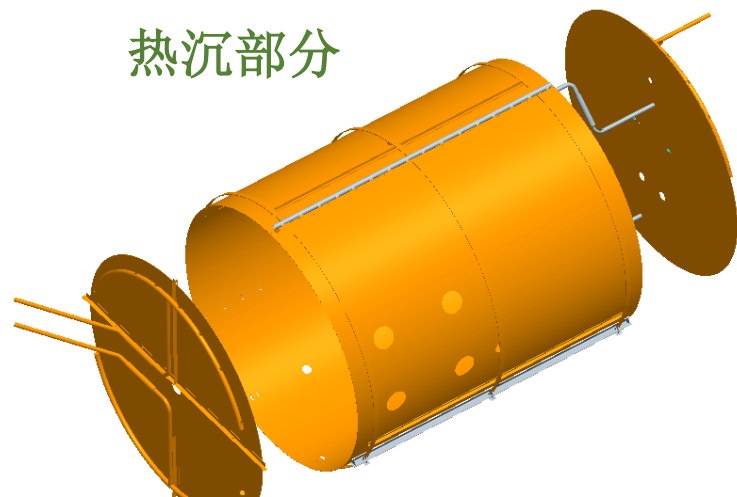
低温光学系统是通过降低温度的方式抑制自身的热辐射，因此制冷方案的选择非常关键！

微晶材料导热系数很低
表面比辐射率相对较低



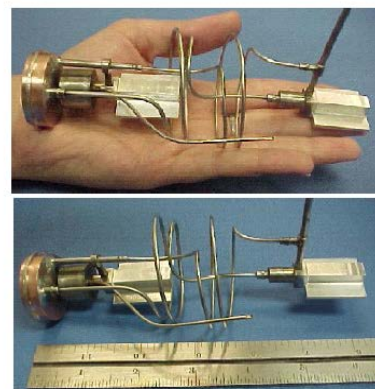
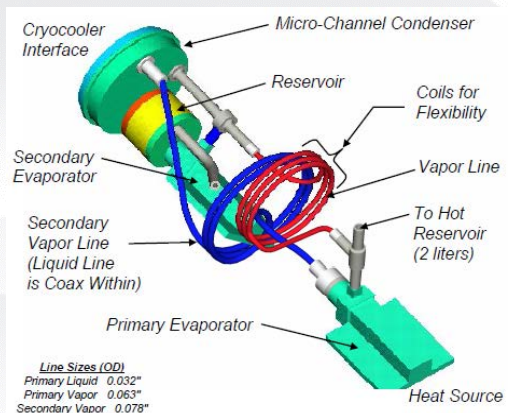
靠镜体自身热辐射要降低到低温时间长

热沉部分



冷链直接与镜体粘连会使得镜体温度梯度大，造成镜子的温度均匀性很差，从而产生较大的热变形，极端情况下还可能导致微晶玻璃破裂。

筒体热沉、大门热沉



设计利用回路热管技术，将冷量以柔性结构形式传输到镜框架，以实现镜框和镜子的低温要求

三、系统研制实例

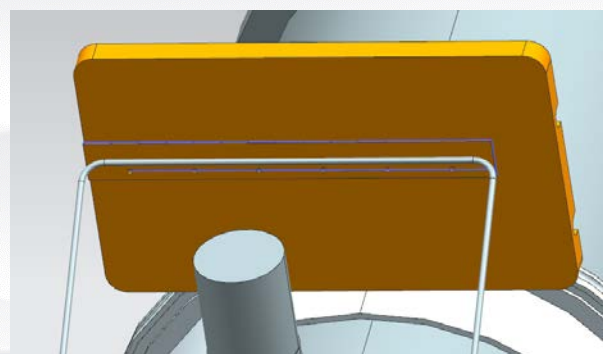
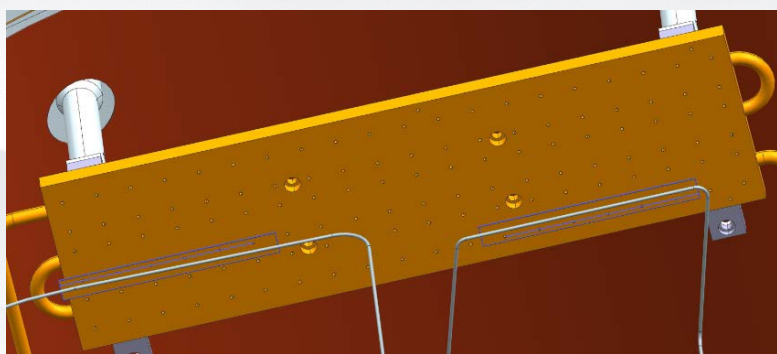
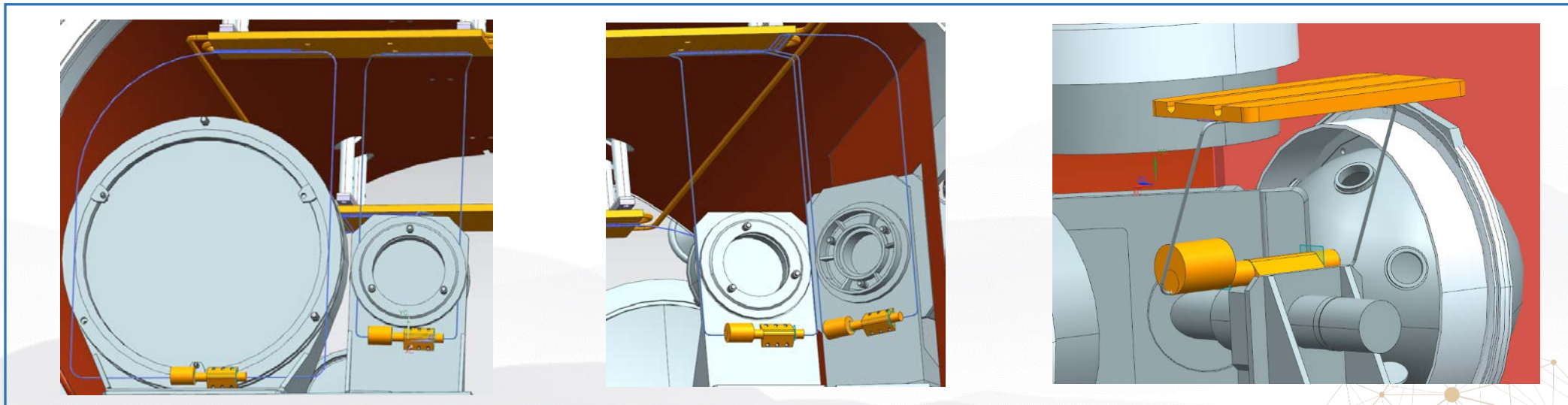


设计阶段

主、次、三、折镜的热管布置图，蒸发器安装于镜座上

蒸发器安装于指向镜轴承座上

热管布置示意图



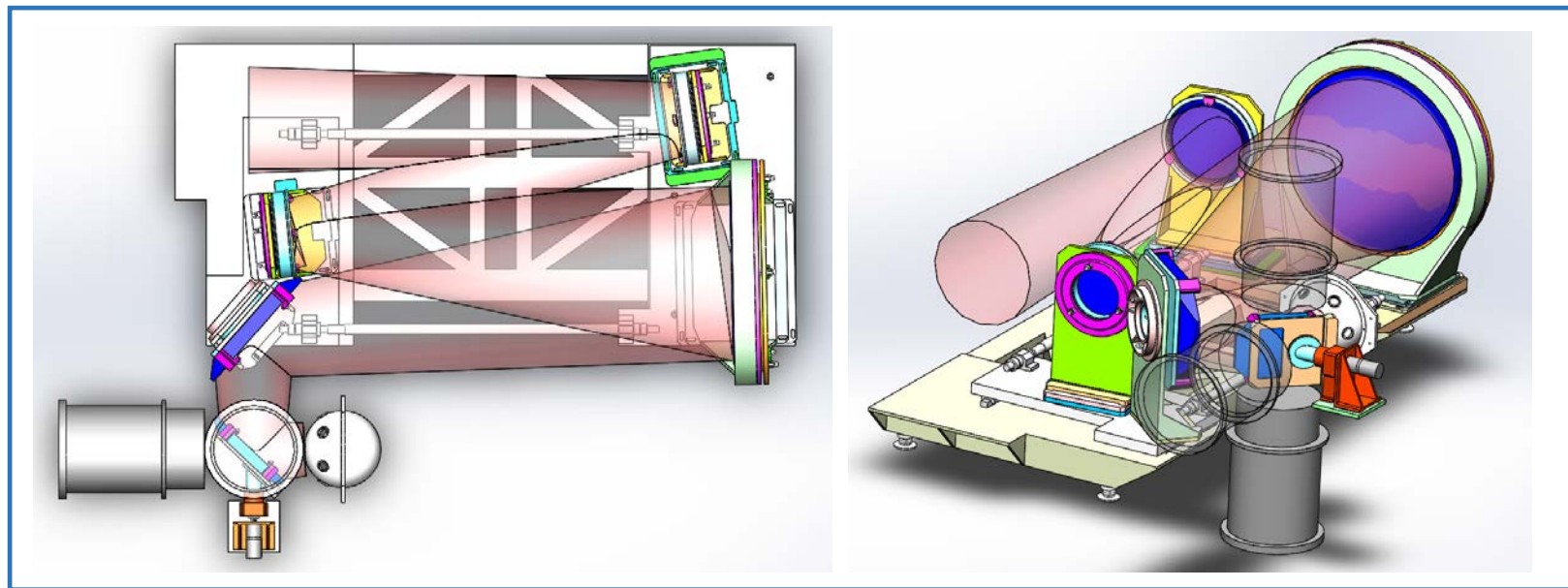
吸收的热量通过管线向上
传递至接触冷板的散热片
降温。

三、系统研制实例

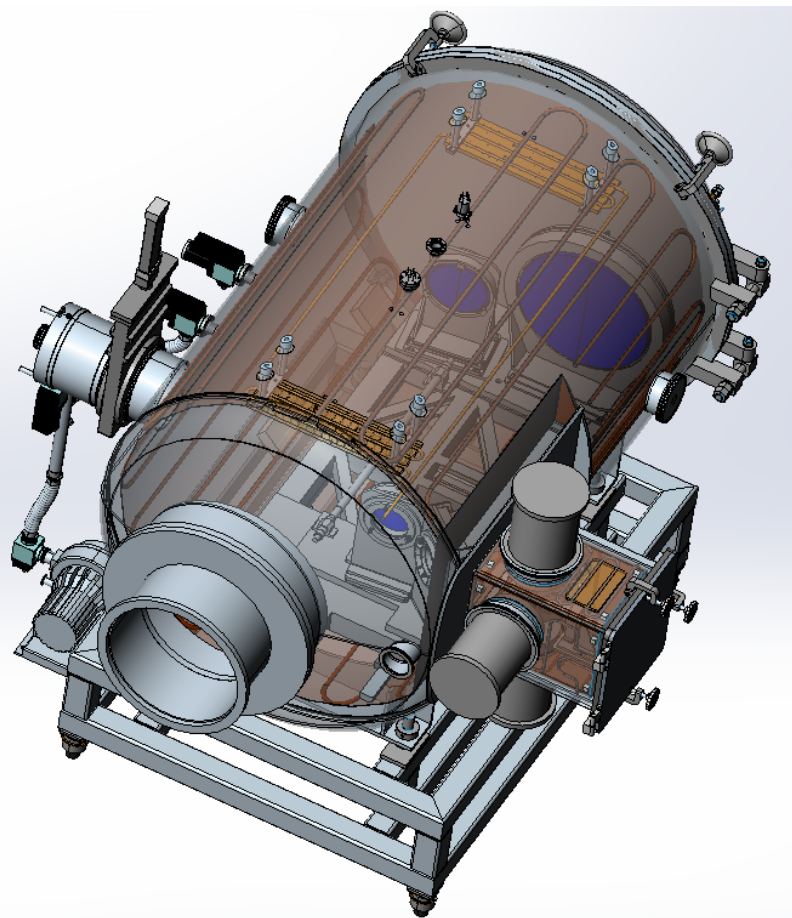


设计阶段

光机结构三维模型

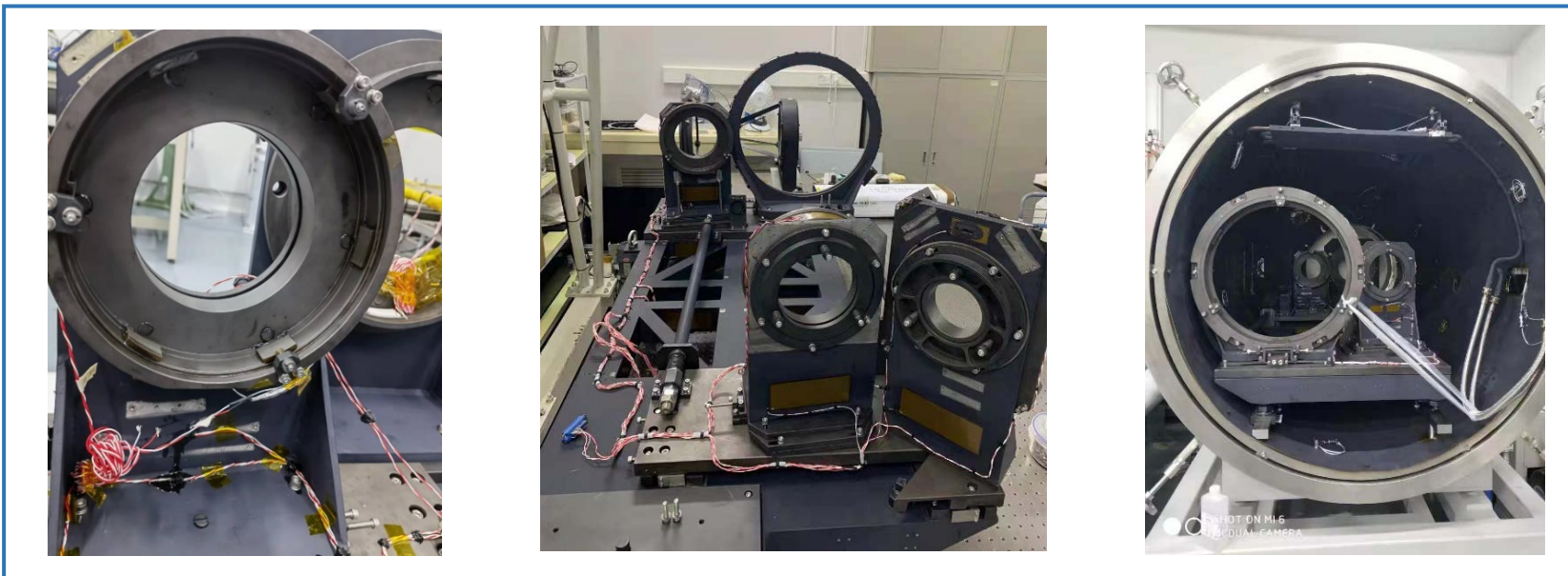


系统总长约1.7m，总宽约1.4m

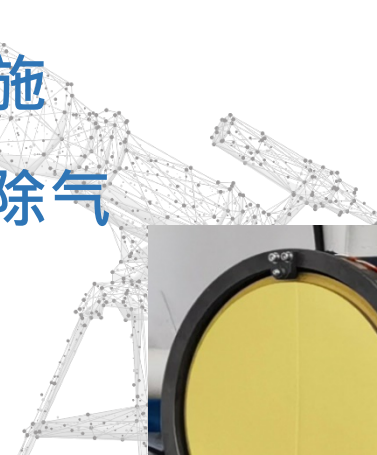


整体系统罐内布局图

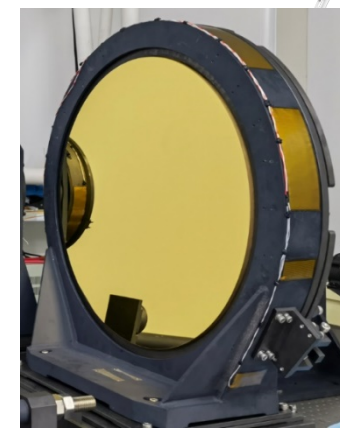
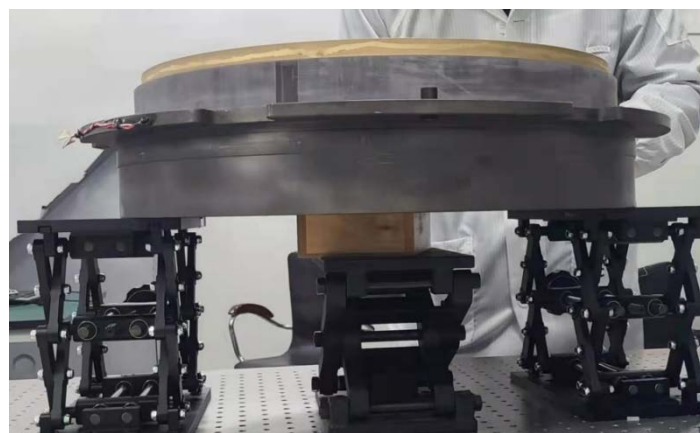
三、系统研制实例 实施阶段



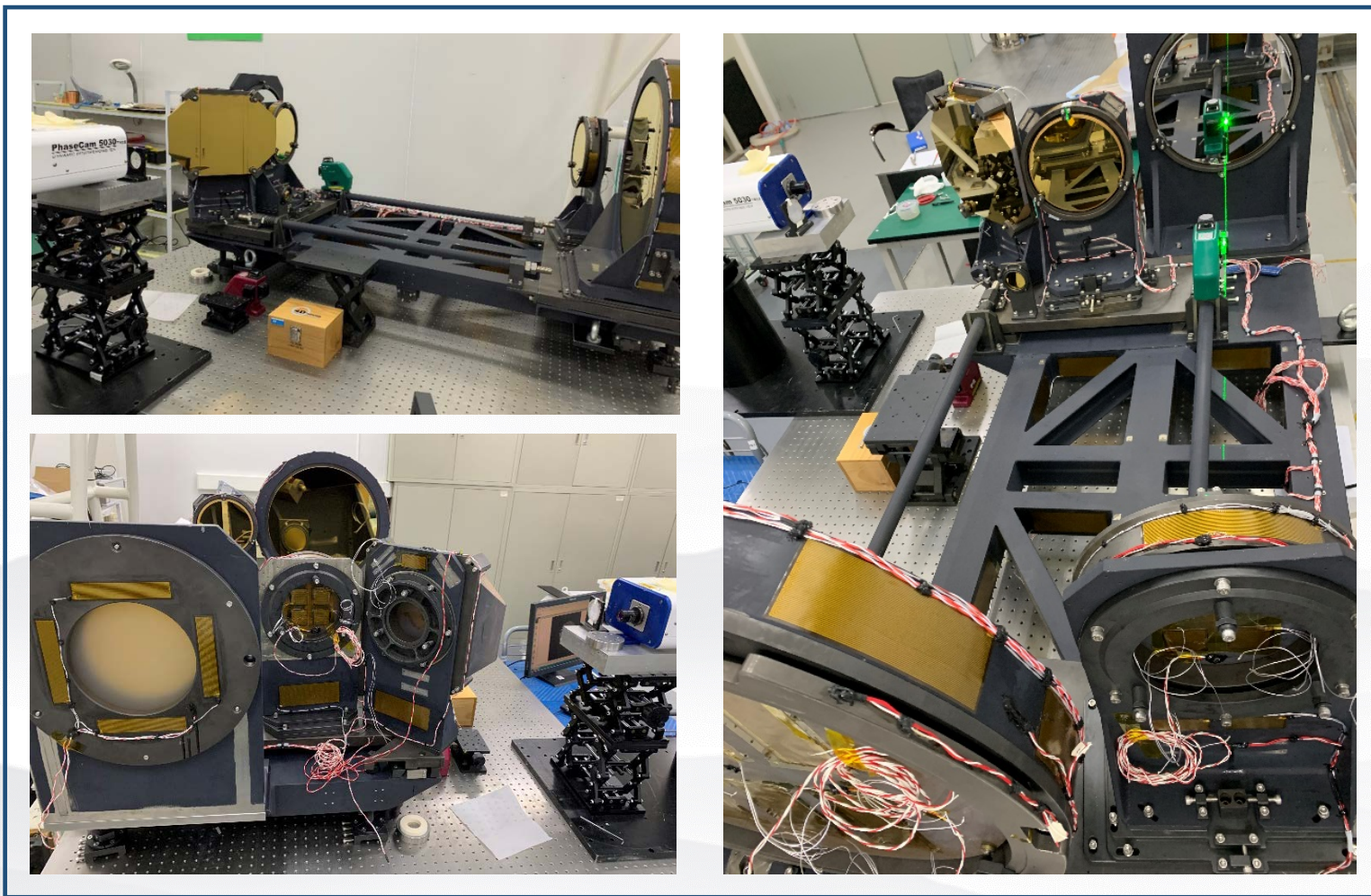
- 加工装配
- 热实施
- 加热除气



反射镜安装

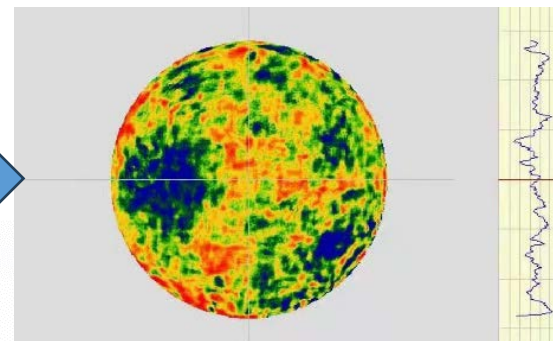


三、系统研制实例 ✦ 光学调试



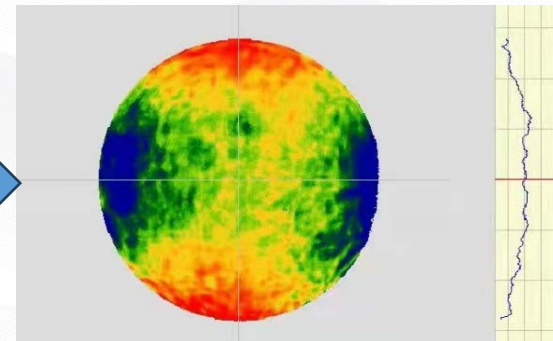
RMS=0.048λ

轴上



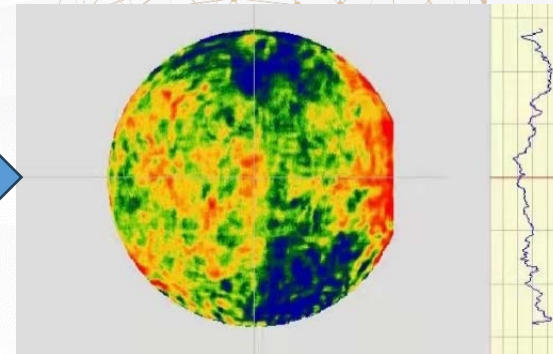
RMS=0.131λ

轴外左



RMS=0.064λ

轴外右

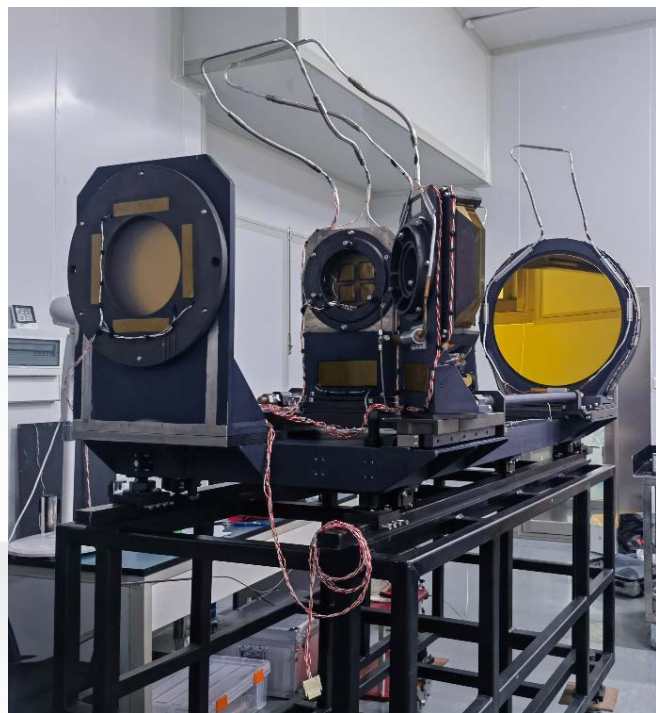


在实验室内的光学平台上，采用自准直检测方法进行光学检测

三、系统研制实例



光学调试

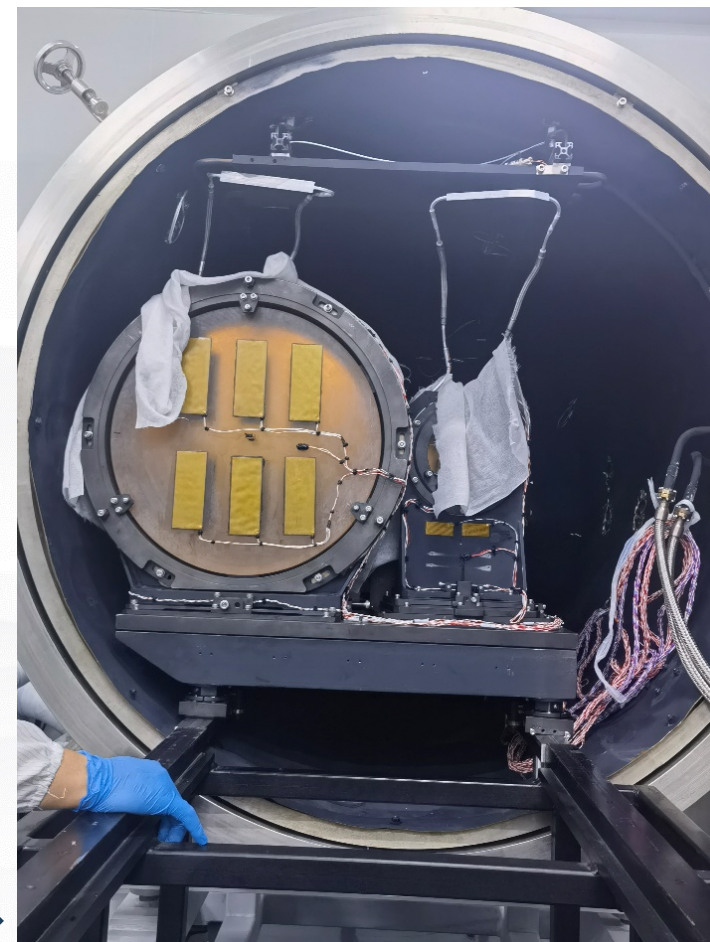


系统调试完成后，安装热管，
并将其安装至转运小车上



复测系统

与罐内导轨对接，将
设备转运至罐内



三、系统研制实例



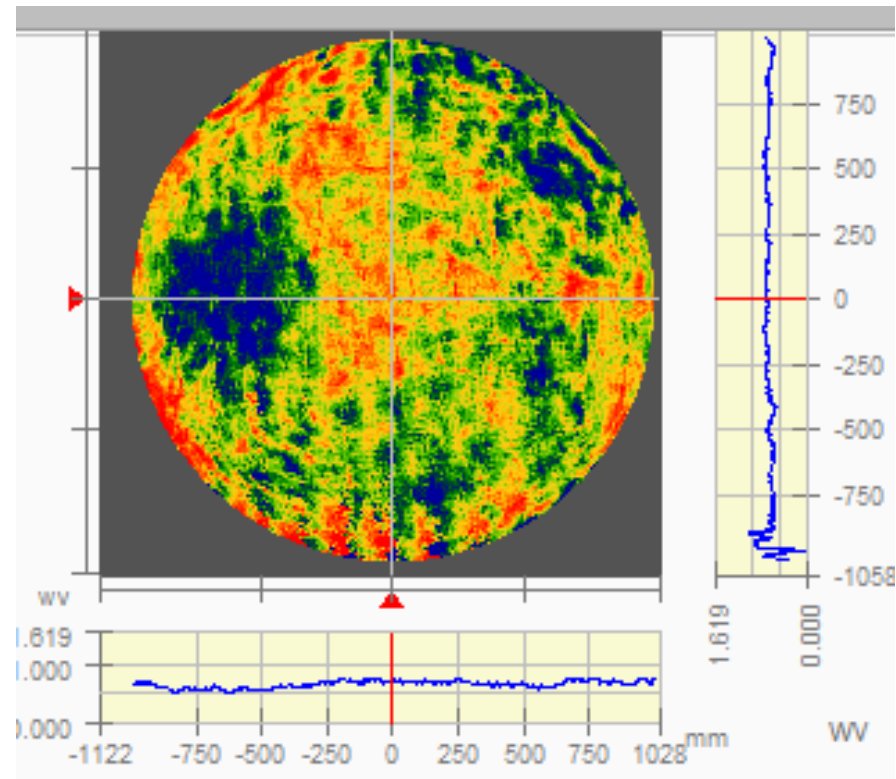
试验阶段——第一次低温试验



连接热管与冷板，复测系统，检查就绪后关闭罐门



抽真空后测试



初始值，系统RMS=0.0567λ

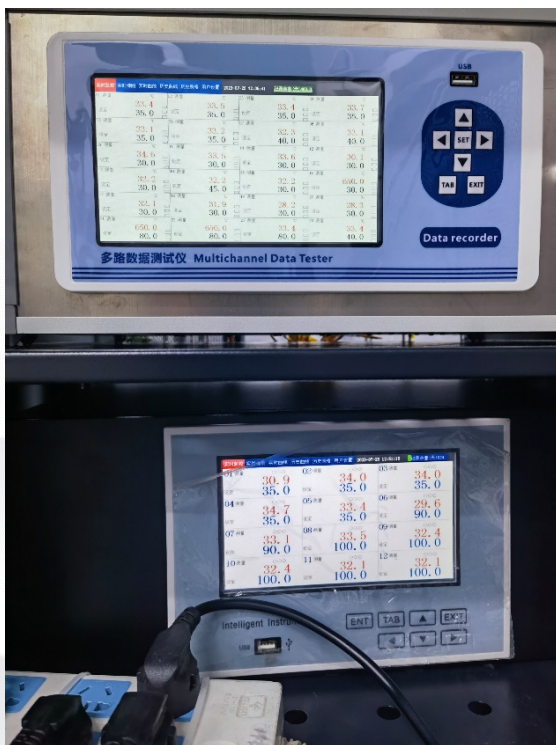


三、系统研制实例



试验阶段——第一次低温试验

记录压力数据，分阶段设定多组目标温度，待稳定后进行系统测试



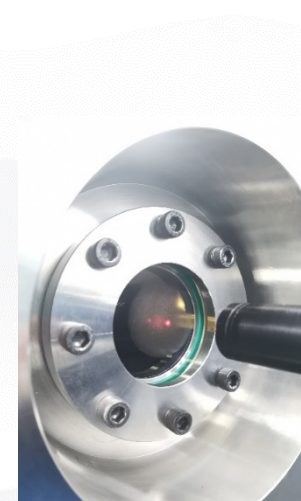
温度控制



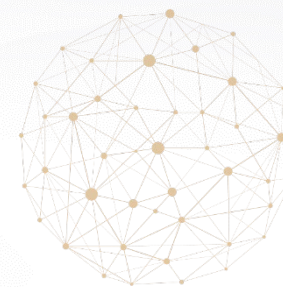
气压控制



测试现场



测试窗口

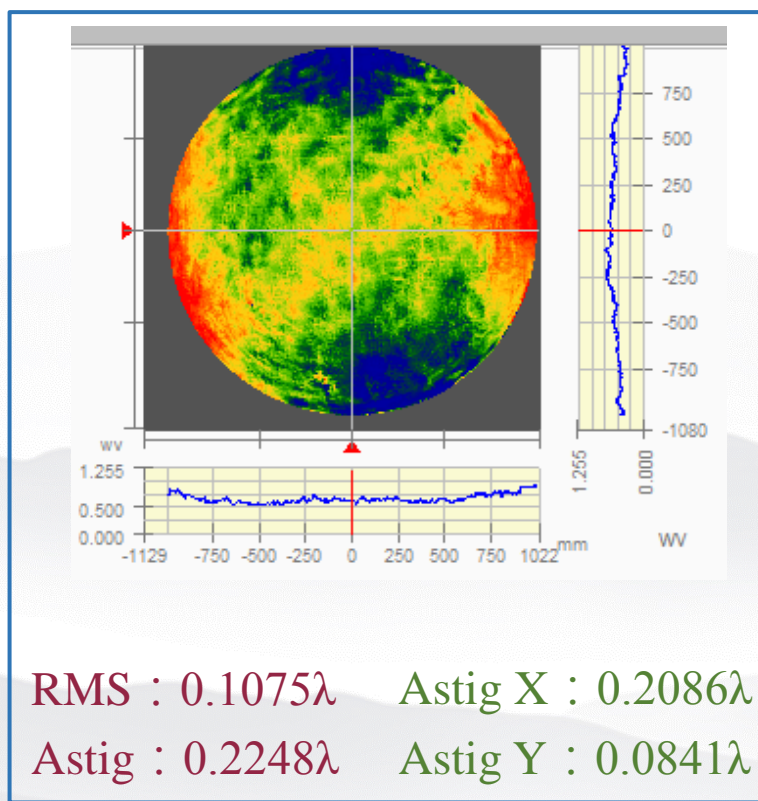


三、系统研制实例

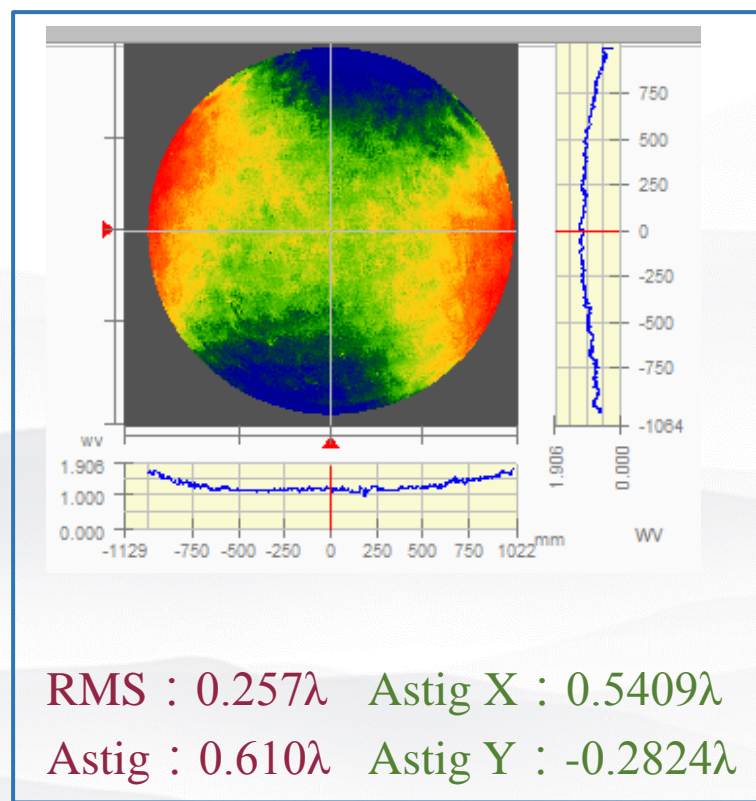


试验阶段——第一次低温试验

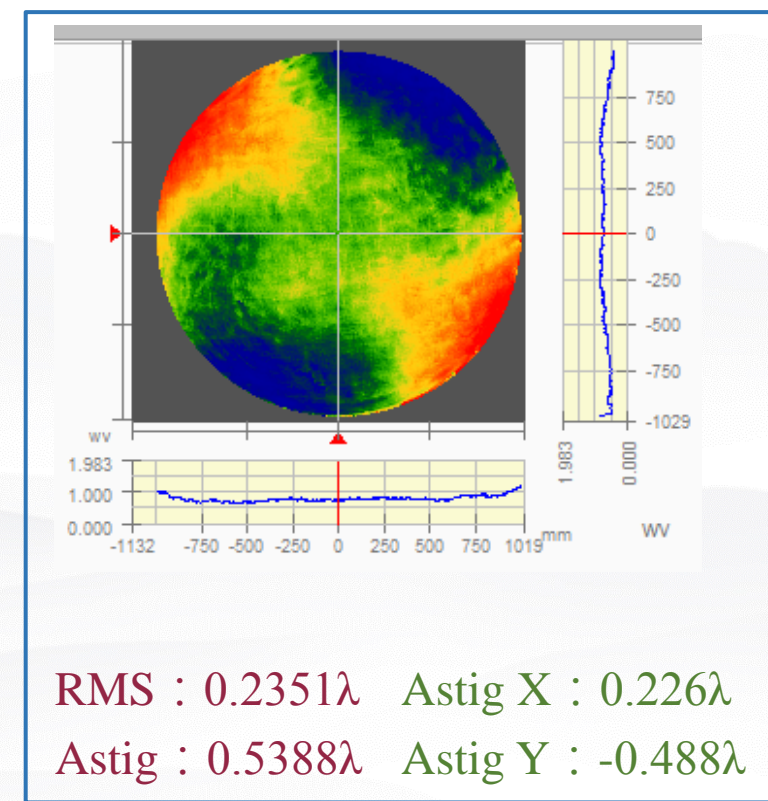
Temperature :-10°C



Temperature :-60°C



Temperature :-80°C



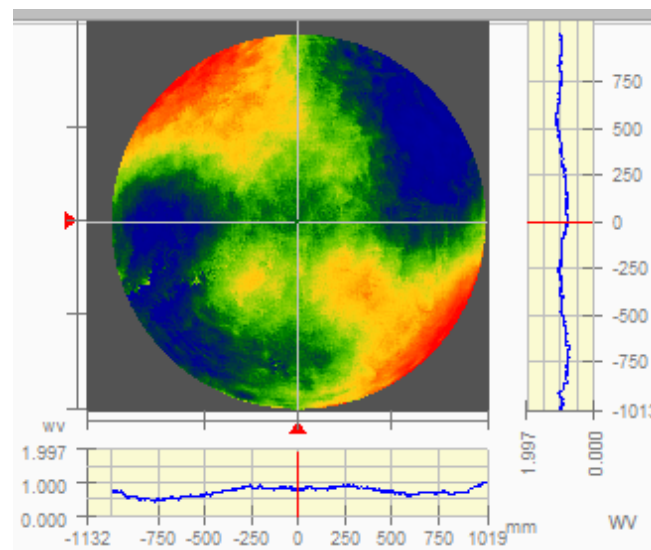
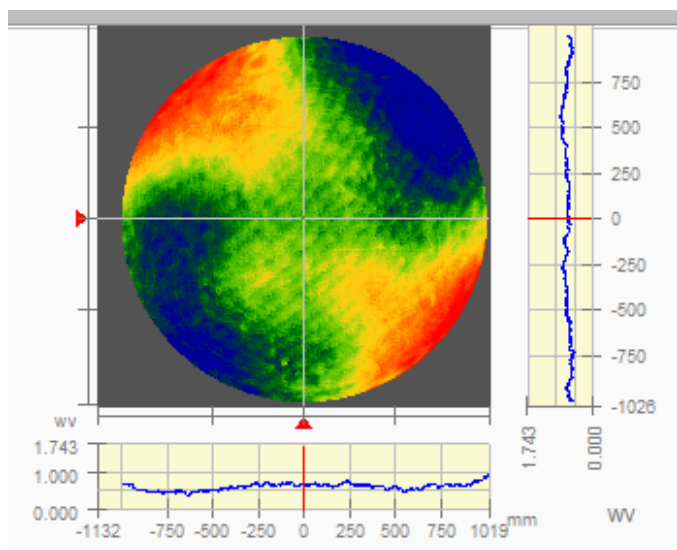
三、系统研制实例



第一次低温试验

Temperature :-100°C

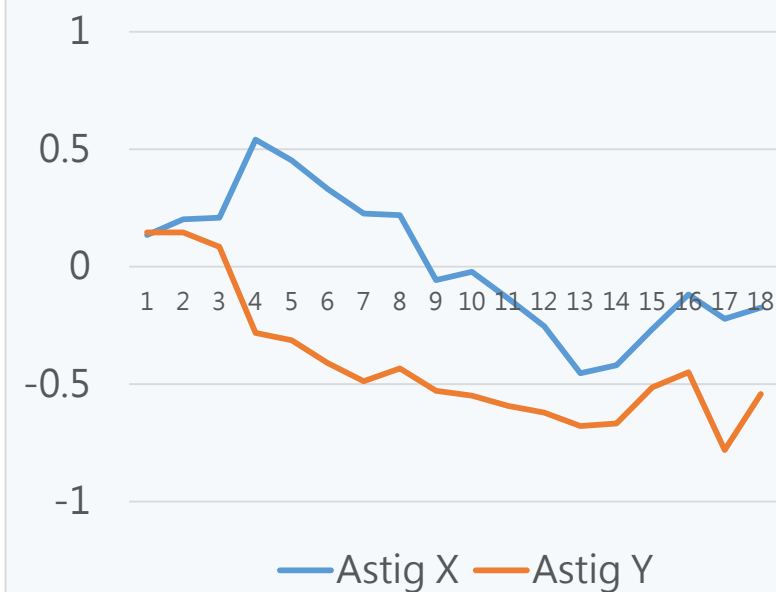
Temperature :-123°C



RMS : 0.2448λ Astig X : -0.0228λ
Astig : 0.5505λ Astig Y : -0.5501λ

RMS : 0.2681λ Astig X : -0.1752λ
Astig : 0.5703λ Astig Y : -0.5427λ

像散变化趋势

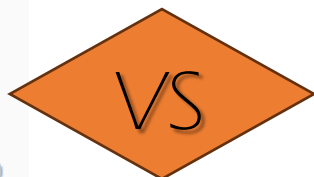
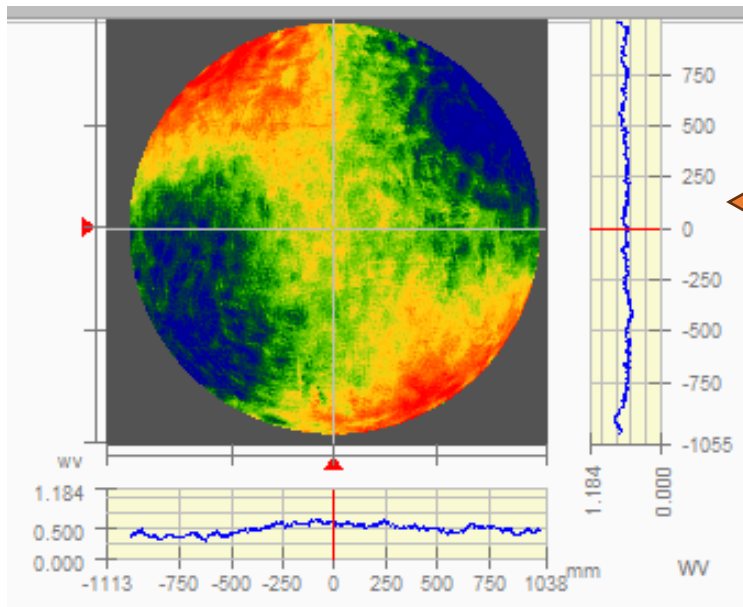


三、系统研制实例

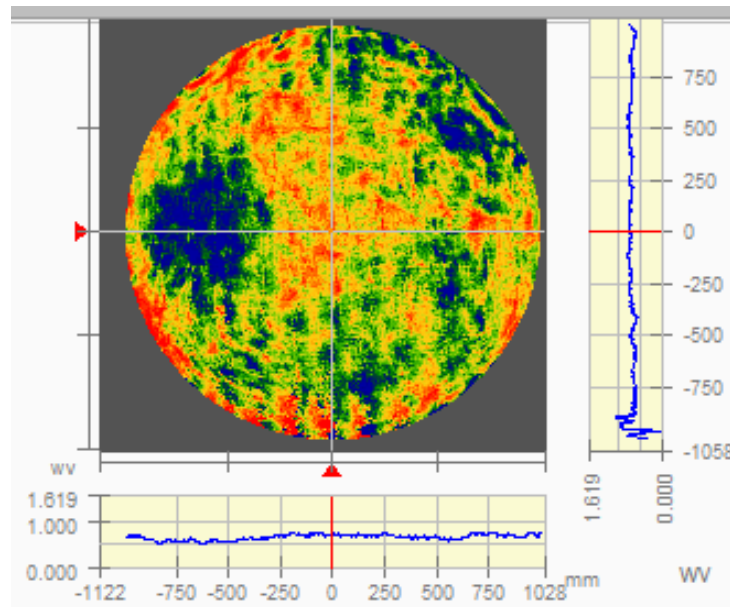


试验阶段——第一次低温试验

回温至常温时的面型



降温前的初始面型

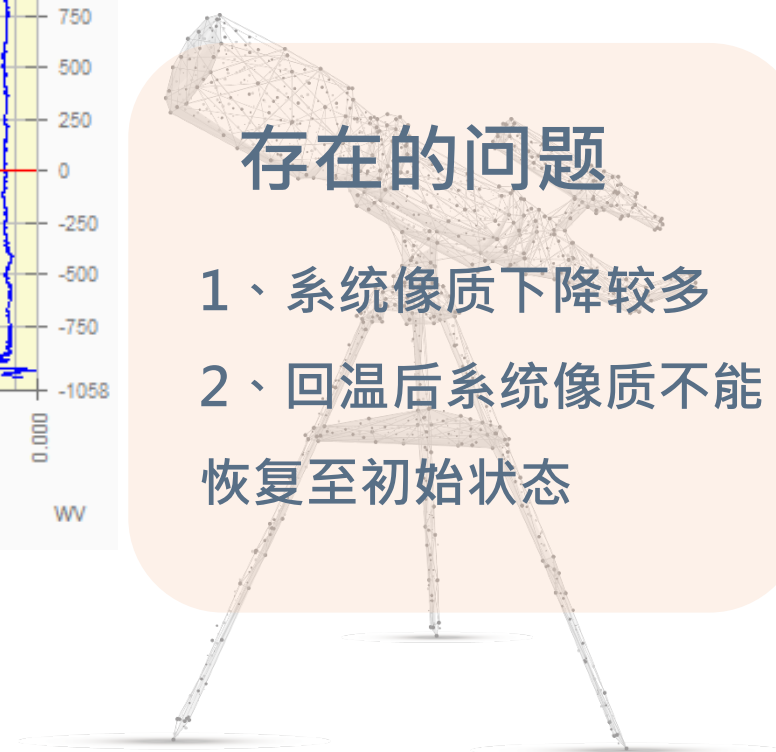


RMS	0.14526
Astig	0.3288
Astig X	-0.1419
Astig Y	-0.2966

RMS	0.0567
Astig	0.0192
Astig X	-0.0112
Astig Y	-0.0154

存在的问题

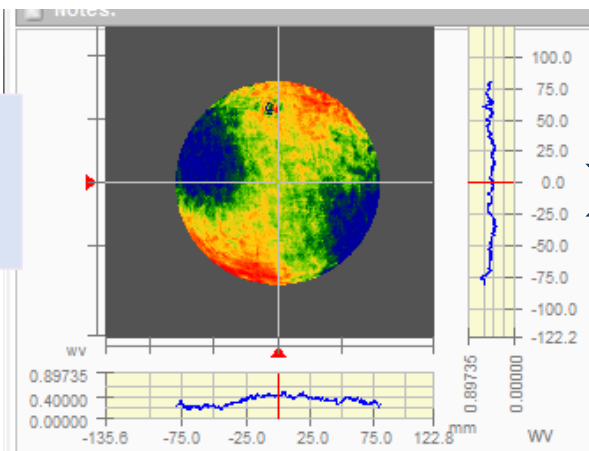
- 1、系统像质下降较多
- 2、回温后系统像质不能恢复至初始状态



三、系统研制实例

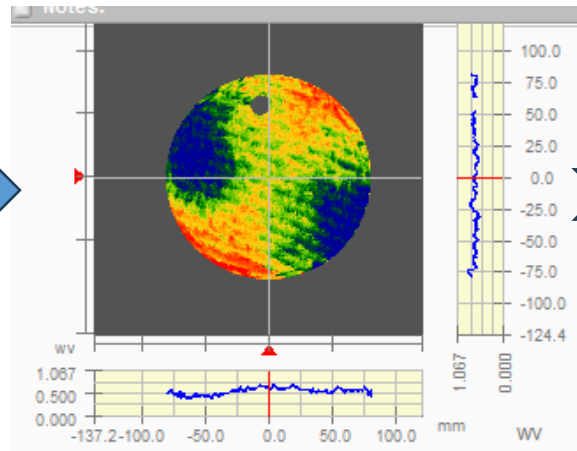
试验阶段——第二次低温试验

Temperature :
22°C



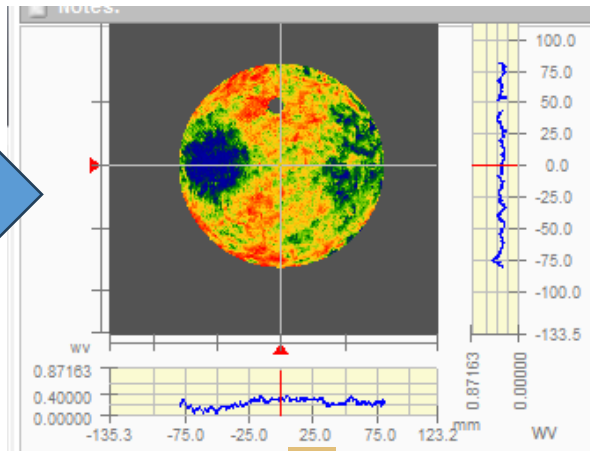
RMS:0.11841λ ; Astig:0.26025

-60°C



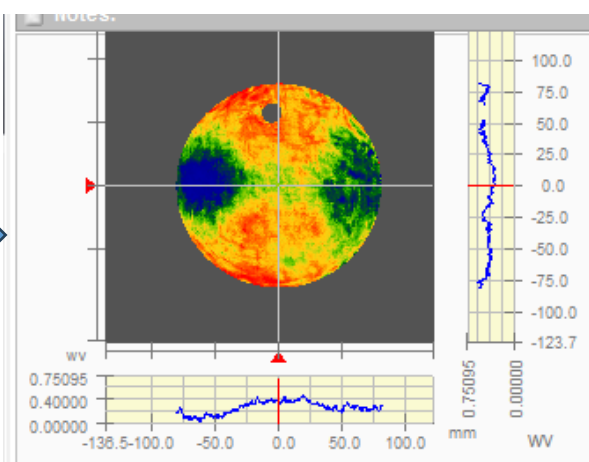
RMS:0.11441λ ; Astig:0.2444

-70°C



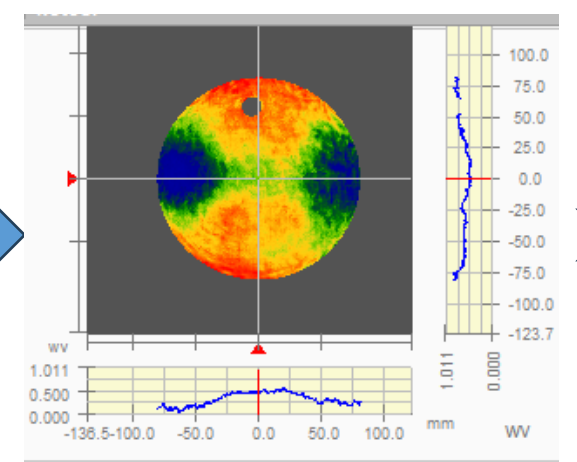
RMS:0.0746λ ; Astig:0.10365

-82°C



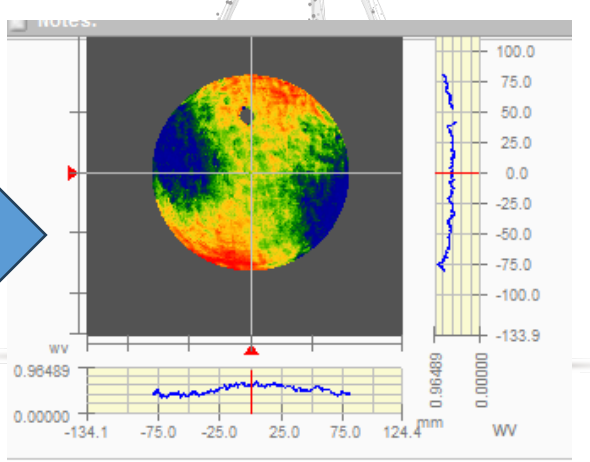
RMS:0.11468λ ; Astig:0.22157

-123°C



RMS:0.178λ ; Astig:0.3878

回温22°C



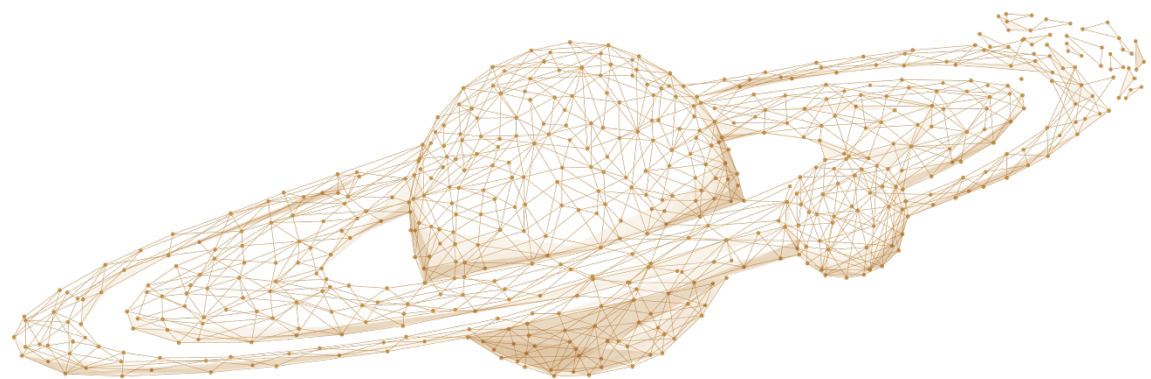
RMS:0.120λ ; Astig:0.27277

四、总结

我们采用的设计方法、实施工艺路线、低温测试方法是可行的，由于条件的限制，研制中也存在着一些不足。如降温过程中测试时，多个测试点温度差异较大；反向调整后最优面型是中间温度。这些问题，我们未来也将开展更深入的研究。

促进红外天文学与红外望远镜的发展，

为我们揭示更多宇宙中的奥秘！



感谢各位专家批评指正！

谢谢观看
Thanks

