



中国气象局
China Meteorological Administration

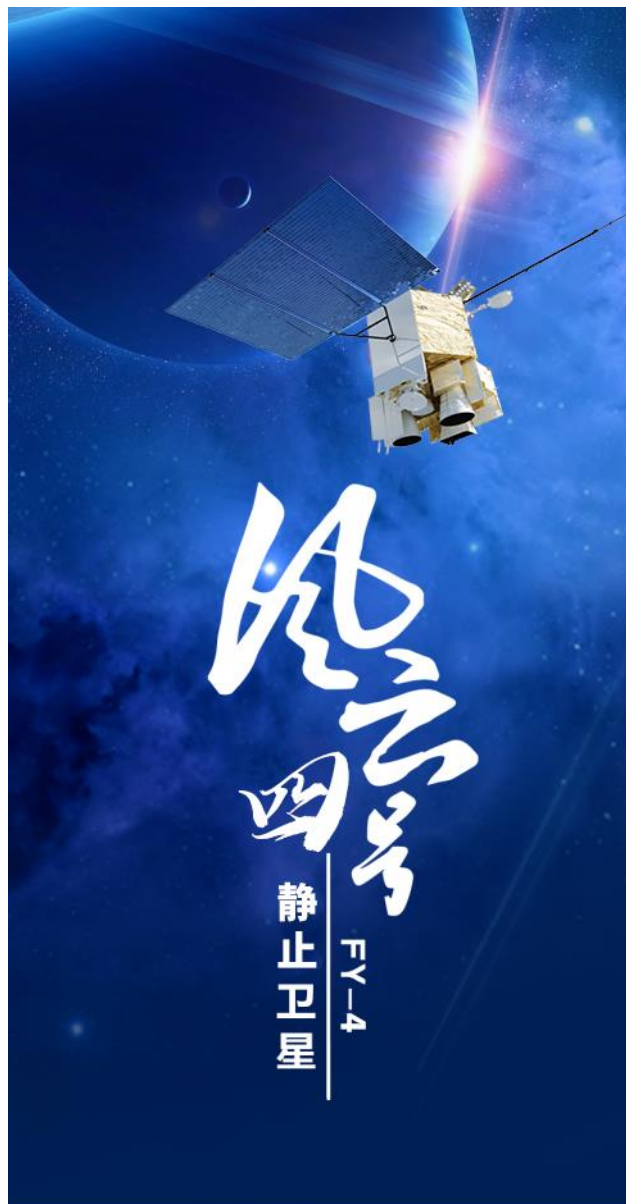


国家卫星气象中心
National Satellite Meteorological Centre

新一代静止轨道气象卫星FY-4B 静止轨道干涉式红外探测器GIIRS 仪器及数据介绍

报告人：李路

国家卫星气象中心
二〇二二年六月



仪器简介

01

仪器性能及L1数据质量

02

L1产品及使用指南

03

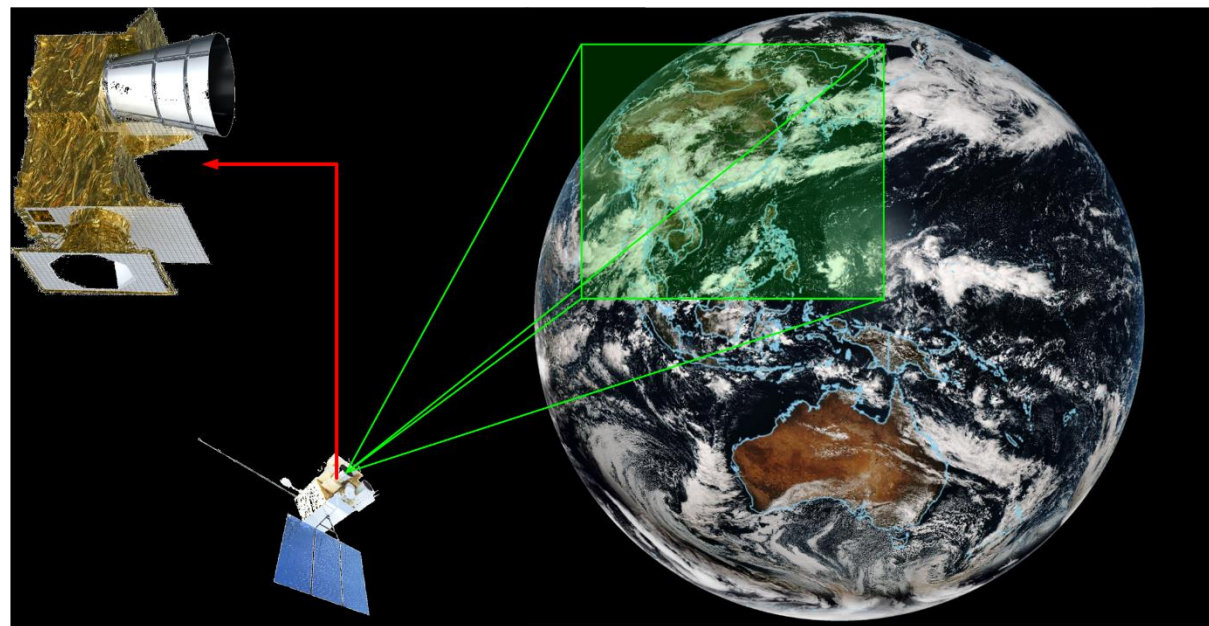
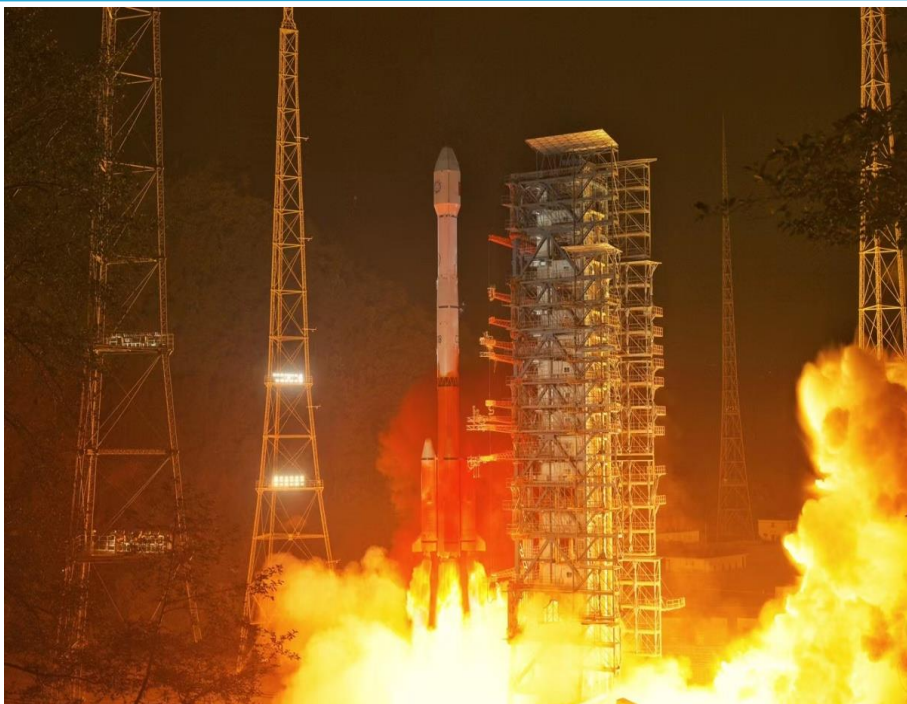
典型L1产品使用样例

04

小结

05

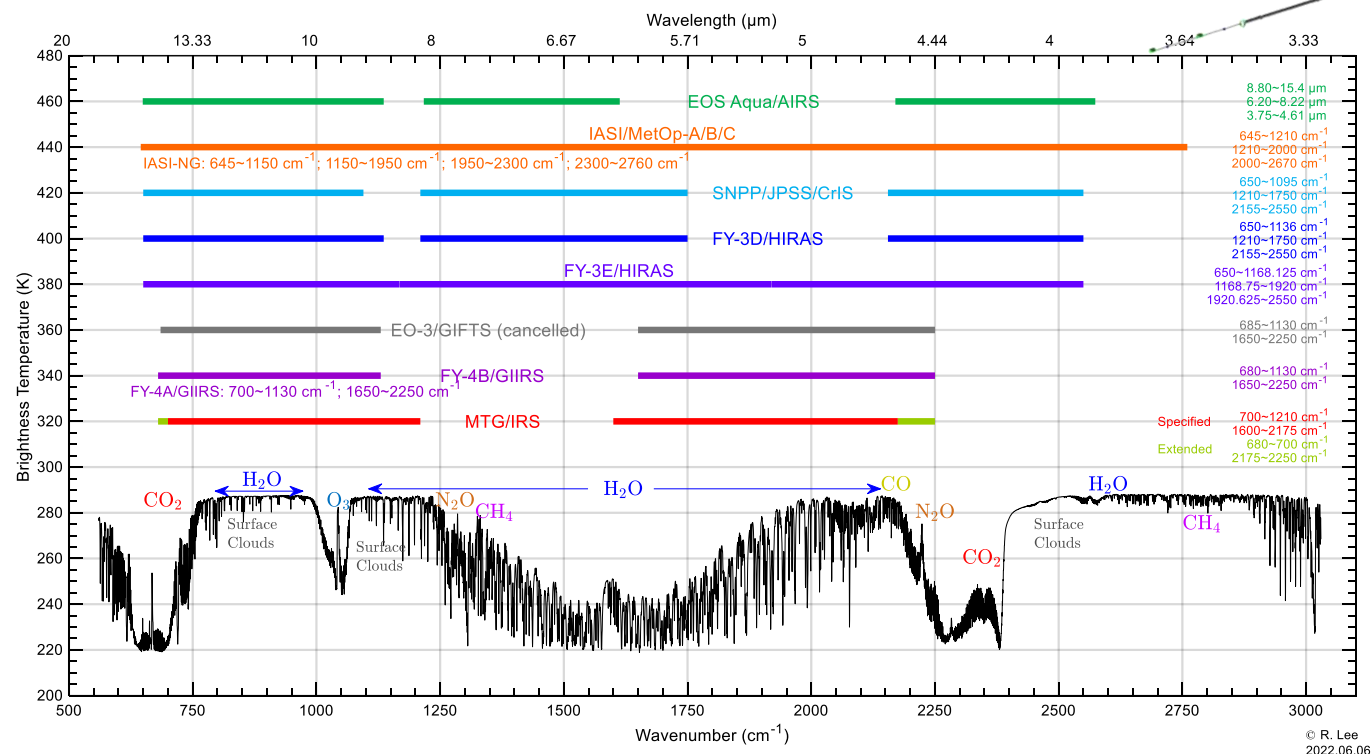
一、FY-4B/GIIRS仪器简介



风云四号B星静止轨道干涉式红外探测仪(FY-4B/GIIRS)

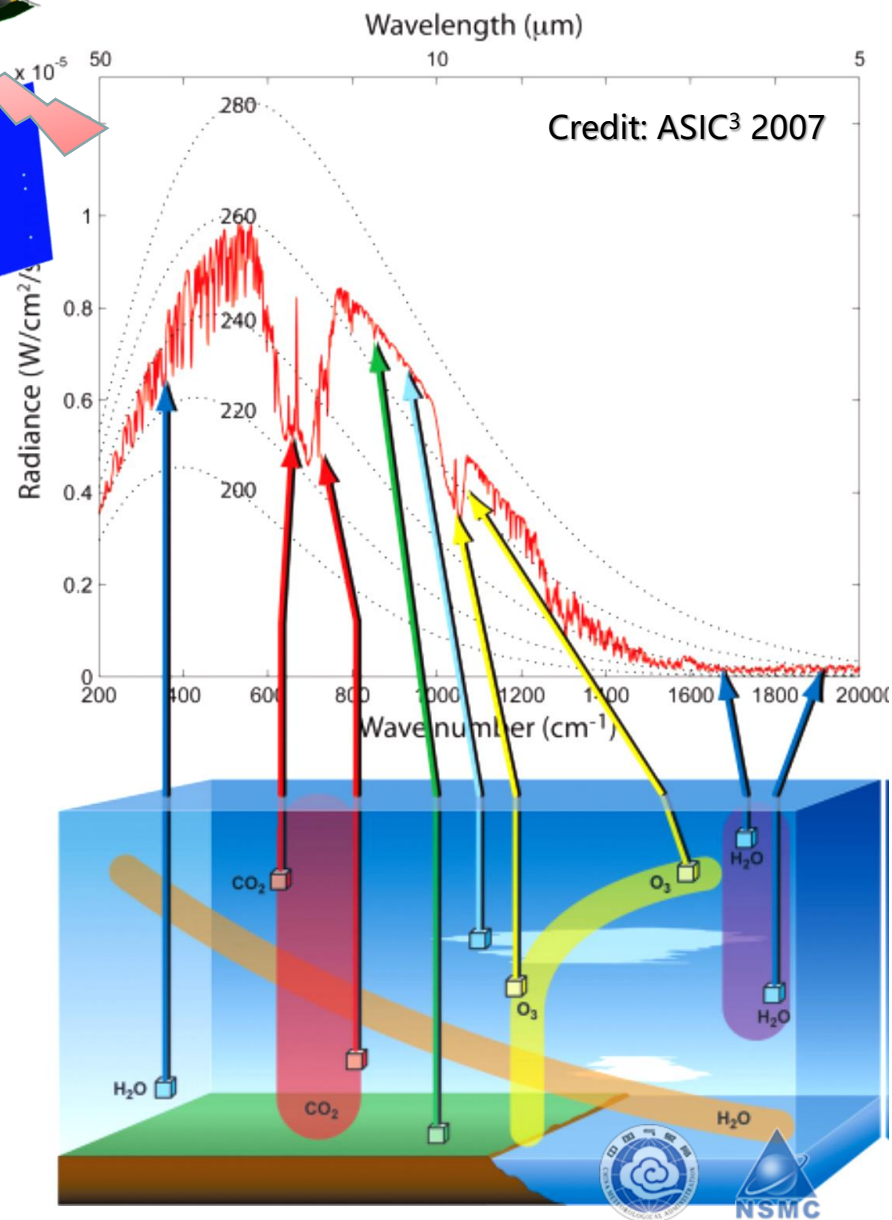
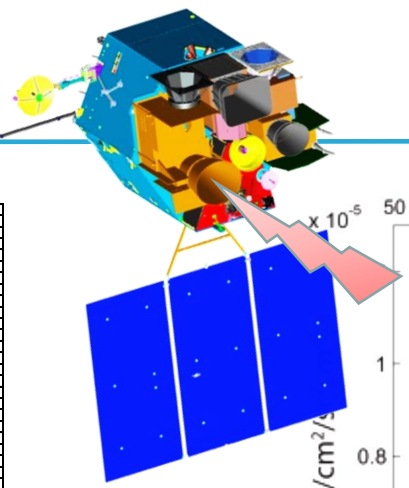
- 2021年6月3日，风云四号B星在西昌卫星发射中心成功发射，这是继科学试验卫星FY-4A后我国下一代静止轨道气象卫星风云四号系列的第二颗卫星，也是该系列首颗业务运行卫星。
- 静止轨道干涉式红外探测仪(GIIRS)是FY-4B卫星搭载的主要载荷之一，是一台红外高光谱大气探测仪器。

一、FY-4B/GIIRS仪器简介

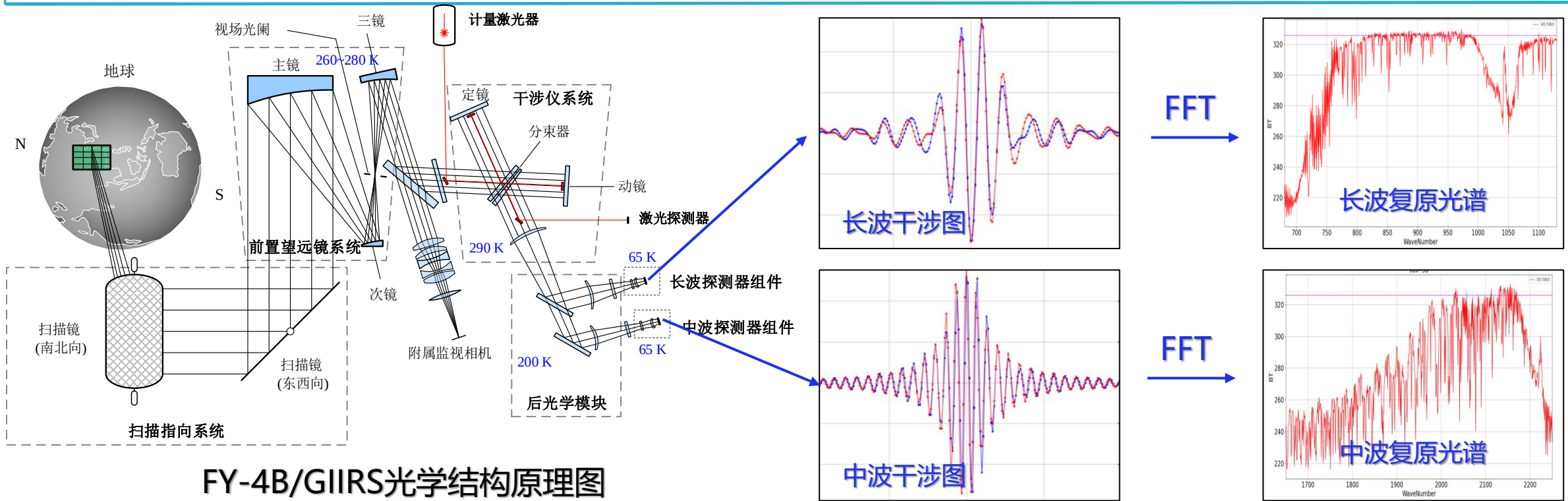


国内外主要红外高光谱探测仪光谱覆盖范围统计

- FY-4B/GIIRS主要通过观测大气层顶8.8 μm ~14.7 μm 长波红外和4.4 μm ~6.1 μm 中波红外两个波段的大气上行辐射光谱数据，以支撑大气三维温湿度场反演、数值天气预报资料同化、痕量气体监测、云和地表特性研究等应用。

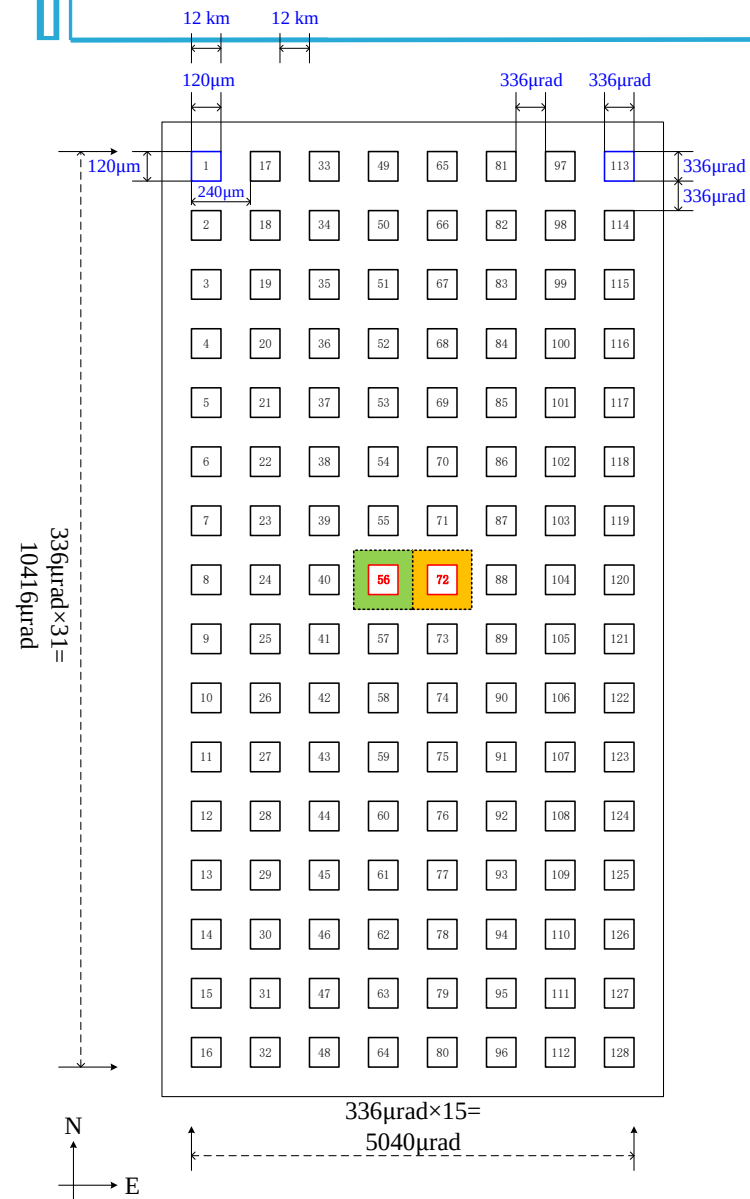


一、FY-4B/GIIRS仪器简介：仪器结构与工作原理



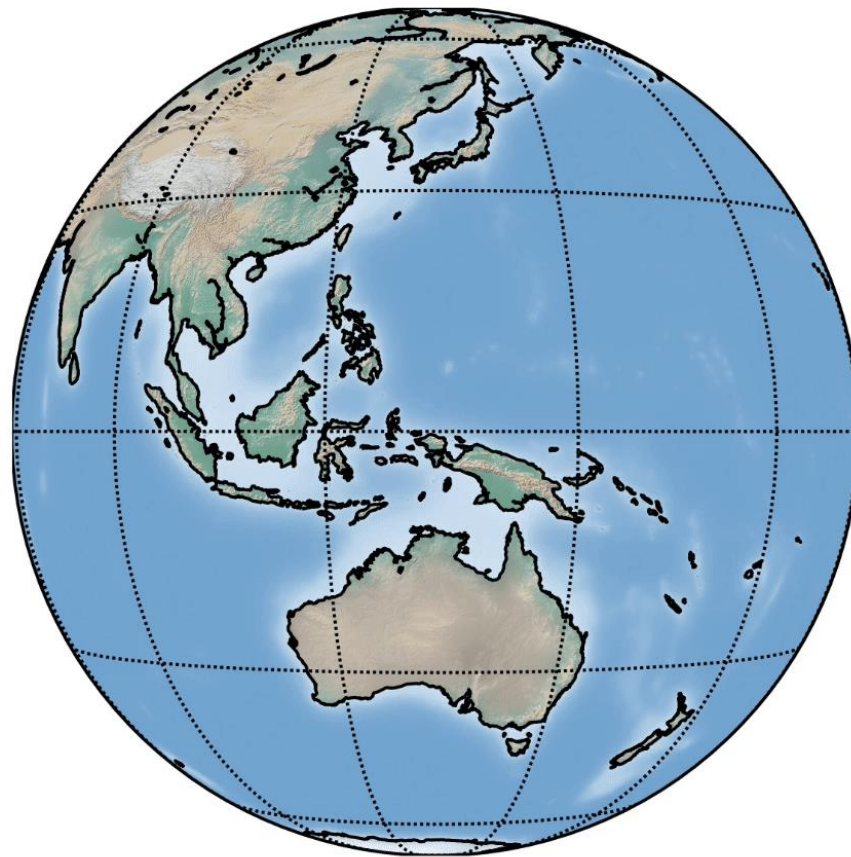
- FY-4B/GIIRS由中国科学院上海技术物理研究所承担研制，仪器主要由二维扫描指向机构、前置望远镜系统、Michelson干涉仪系统、后光学模块、双波段探测器组件、可见光附属监视相机、星上电子学系统、星上制冷系统等构成。
- 由于仪器采用傅里叶变换光谱仪体制，因此干涉仪至红外探测器是测量大气红外辐射光谱的主要部分。红外探测器直接测量干涉图信号，须经傅里叶变换解算得到复原光谱。

一、FY-4B/GIIRS仪器简介：扫描模式与观测范围



红外探测器几何布局

FY-4B/GIIRS Scanning Mode



- 仪器由二维指向机构控制实施“步进-凝视”扫描观测，在2小时以内完成一次包含中国疆域在内的东亚区域观测，观测范围为：53°E~148°E，2.2°N~66°N。

- FY-4B/GIIRS红外探测器采用16×8的稀疏面阵布局，单探元在星下点投影距离为12km×12km (空间分辨率)。

二、FY-4B/GIIRS仪器性能及L1数据质量

FY-4B/GIIRS主要技术指标		
	项目	要求
光谱范围	长波红外	$680\text{ cm}^{-1} \sim 1130\text{ cm}^{-1}$
	中波红外	$1650\text{ cm}^{-1} \sim 2250\text{ cm}^{-1}$
	可见光	全色
光谱分辨率	长波红外	$\leq 0.8\text{ cm}^{-1}$
	短中波红外	
灵敏度	长波红外	$\leq 0.5\text{ mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$
	中波红外	$\leq 0.1\text{ mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$
可见光波段信噪比		$S/N \geq 200$
星下点空间分辨率	红外通道	12km
	可见光	1km
光谱定标精度	10ppm	
辐射定标精度	0.7K@300K	

- 良好的数据质量是红外高光谱数据在数值天气预报中得到有效使用并产生正效果的前提。
- 为了获得高精度和高稳定性的辐射定标精度，不仅需要优良的仪器设计，还需要精细的发射前定标和密集的发射后定标和数据检验工作 (Calibration/Validation)。

—发射前定标：预测仪器性能、设计定标算法与数据预处理软件、制定发射后测试计划和准备测试用工具软件；

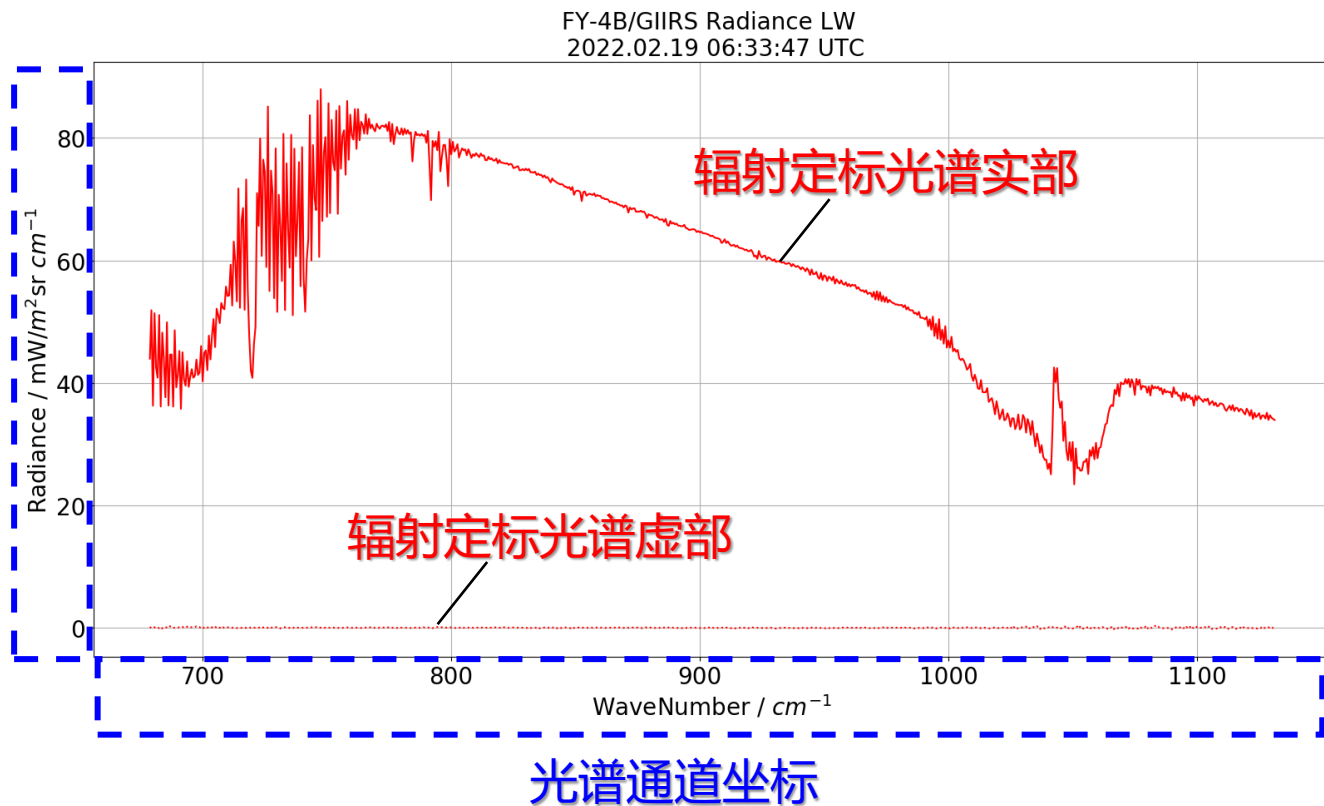
—发射后定标：配置仪器运行条件、检查仪器功能、细化定标算法和调整定标参数、检验Level-1级数据精度。

- 自2021年8月24日FY-4B/GIIRS开机工作以来，国家卫星气象中心仪器科学家团队进行了为期8个月左右的发射后仪器定标和数据检验工作；2022年6月1日，仪器转入试运行阶段，并将同步发布Level-1级定标数据。



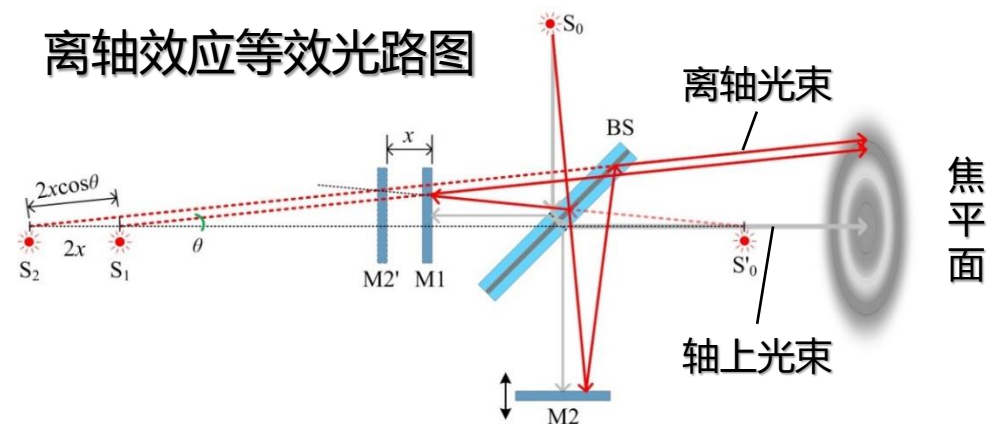
二、FY-4B/GIIRS仪器性能及L1数据质量：辐射定标原理简介

光谱辐射强度

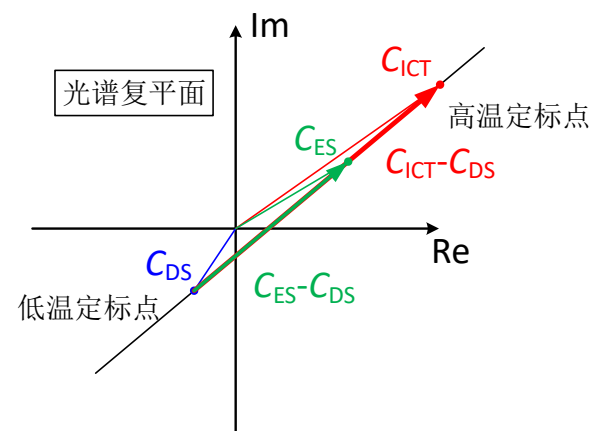


- 对地观测数据辐射定标是数据预处理的核心工作，目标是将星上上传Level-0原始数据经过地面数据预处理系统输出为Level-1定标数据。
- 辐射定标的主要工作是给由干涉图解算的原始光谱分配具有绝对物理单位的通道坐标[单位: cm^{-1}]和辐射值[单位: $\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$]。
- 而为了得到准确的辐射值，需首先将根据激光采样间隔计算的原始光谱坐标调整为数据用户需求的光谱坐标，这就是光谱定标过程。

离轴效应等效光路图



辐射定标原理图



$C_{\text{ICT/ES/DS}}$:
黑体/大气/冷空原始
FFT解算光谱(复矢量);

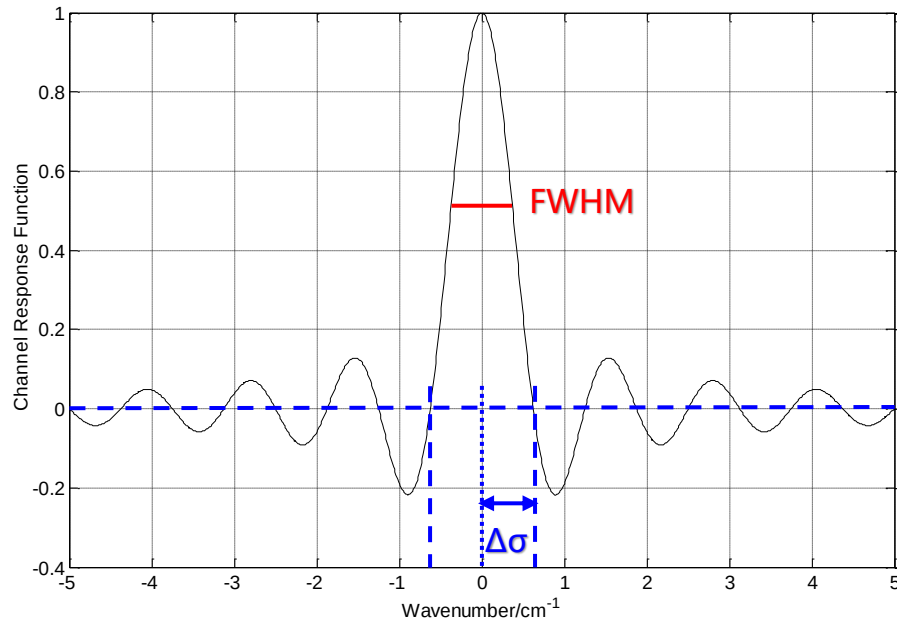
$C_{\text{ICT}} - C_{\text{DS}}$:
黑体光谱净矢量;

$C_{\text{ES}} - C_{\text{DS}}$:
大气光谱净矢量。

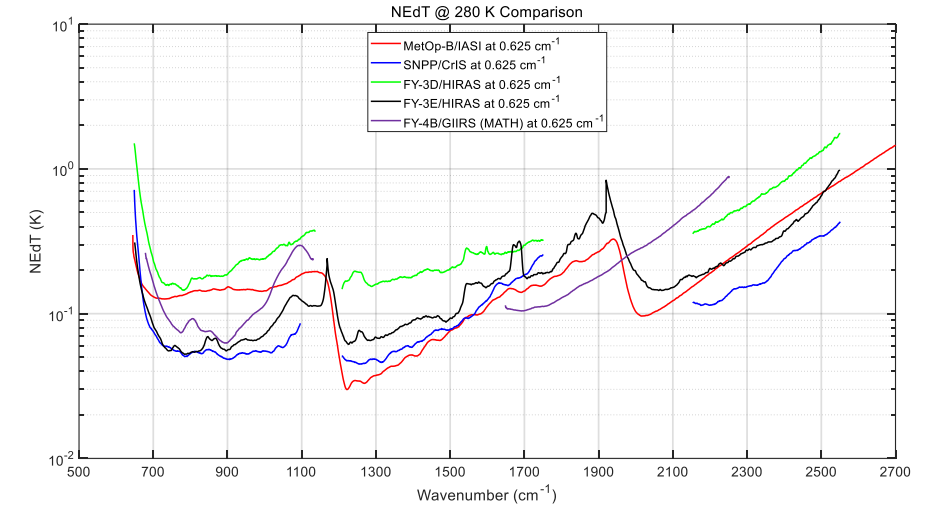
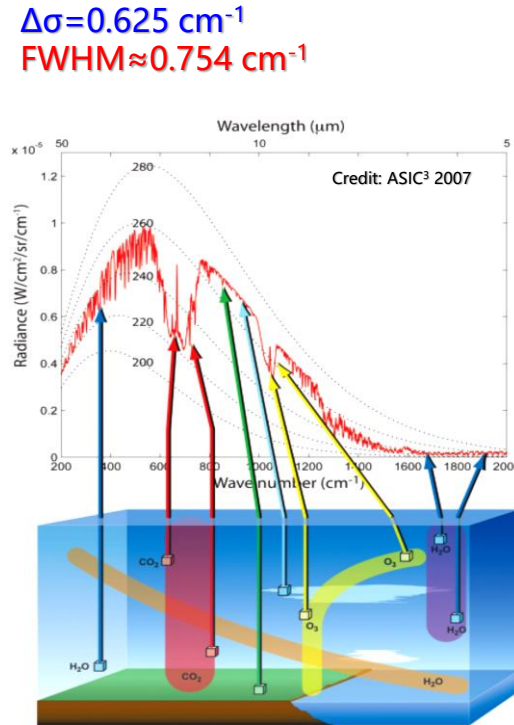
- 辐射定标则是以星上黑体和宇宙冷空间的辐射值为参考，采用两点定标方法，通过线性比律关系将地球大气观测的原始光谱值转换为绝对辐亮度值。



二、FY-4B/GIIRS仪器性能及L1数据质量：光谱分辨率与灵敏度

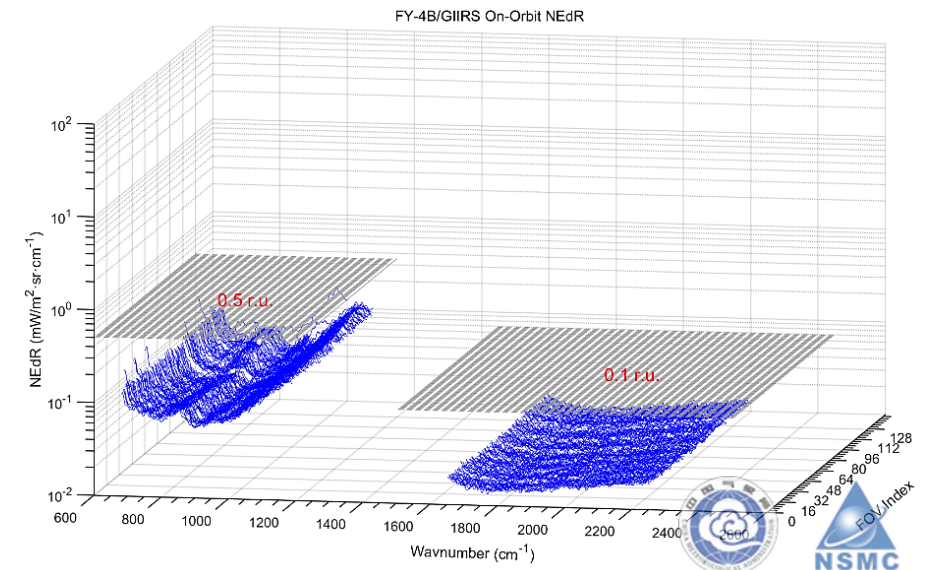


光谱响应函数、光谱采样间隔与光谱分辨率



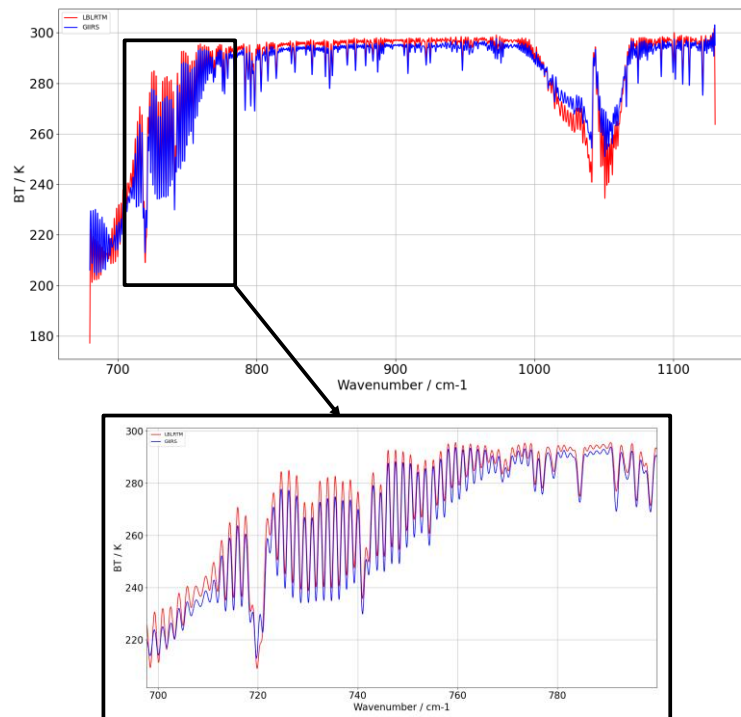
FY-4B/GIIRS与国内外同类仪器的灵敏度光谱对比

- 光谱分辨率：分辨率取决于干涉图采样长度，光谱响应函数表征了每个光谱通道对仪器入射辐射的响应特性。
- 灵敏度：采用噪声等效辐射方差(NEdR)进行表征，长波各通道NEdR小于0.5mW/(m²·sr·cm⁻¹)指标上限，中波各通道NEdR小于0.1mW/(m²·sr·cm⁻¹)指标上限。

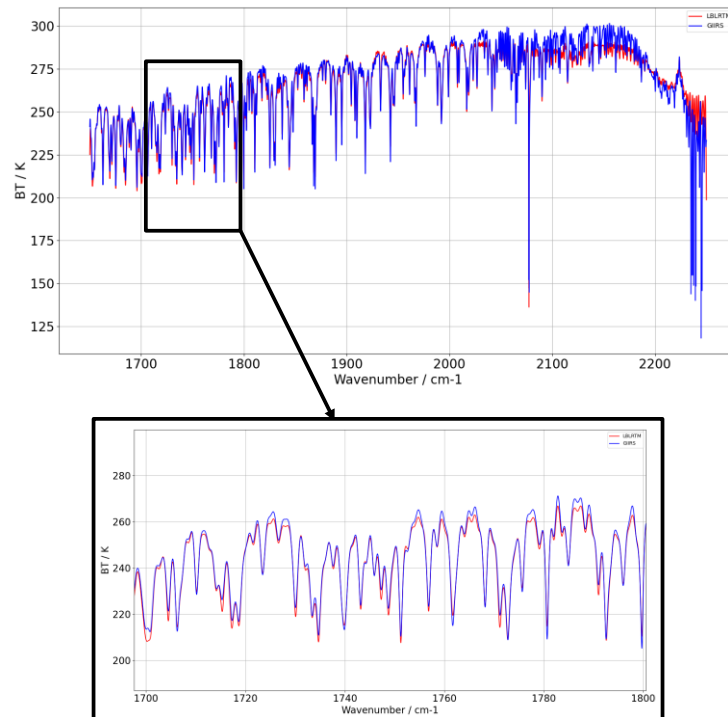


二、FY-4B/GIIRS仪器性能及L1数据质量：光谱定标精度

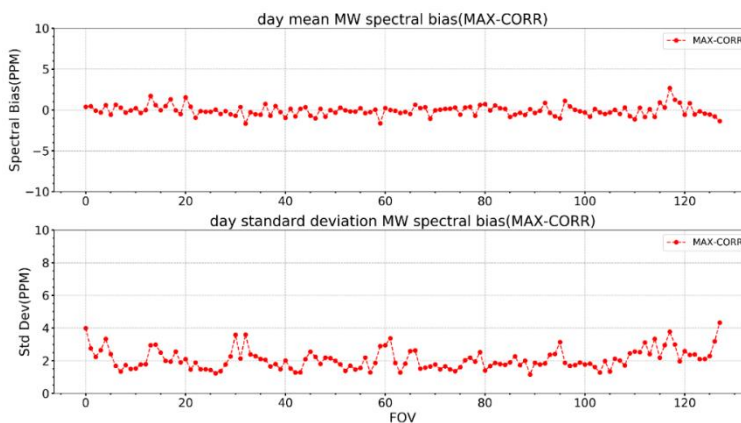
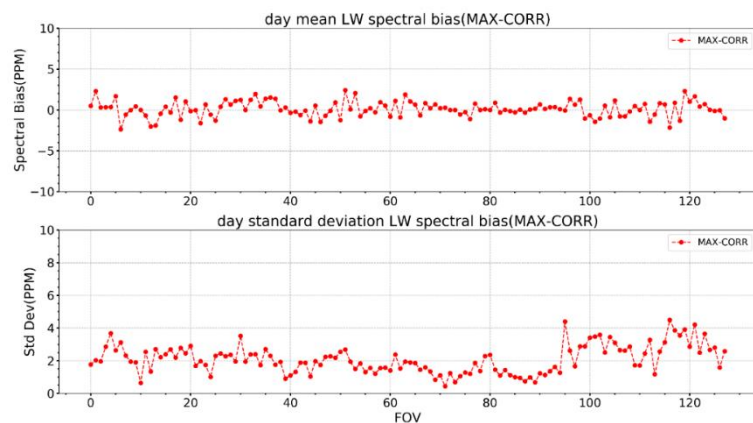
长波光谱比对示例及定标精度



中波光谱比对示例及定标精度



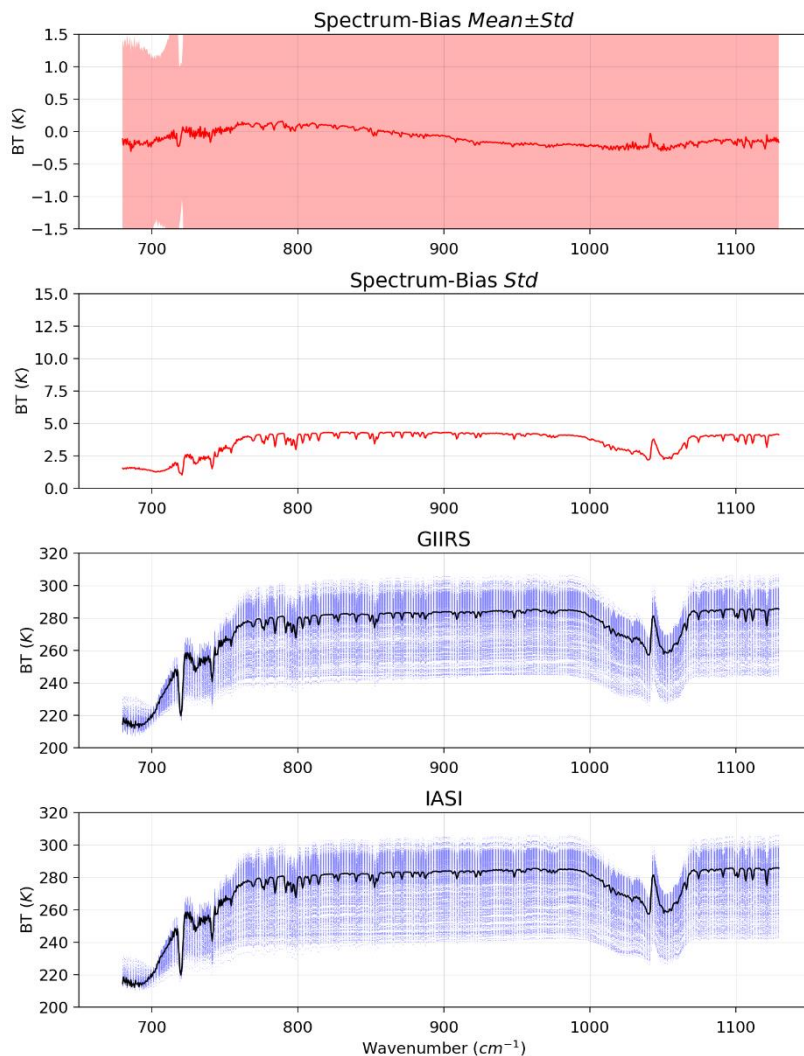
- 光谱通道坐标在L0~L1数据预处理过程中计算生成;
- 为了检验通道坐标计算的准确性(即光谱定标精度), 需采用大气辐射传输模式计算得到模拟光谱, 并以此为标准真值, 开发光谱定标精度检验程序, 计算观测光谱的通道坐标相对模拟真值坐标的相对偏差;
- 经过检验, FY-4B/GIIRS的光谱定标精度达到10 ppm, 满足设计指标。



二、FY-4B/GIIRS仪器性能及L1数据质量：辐射定标精度

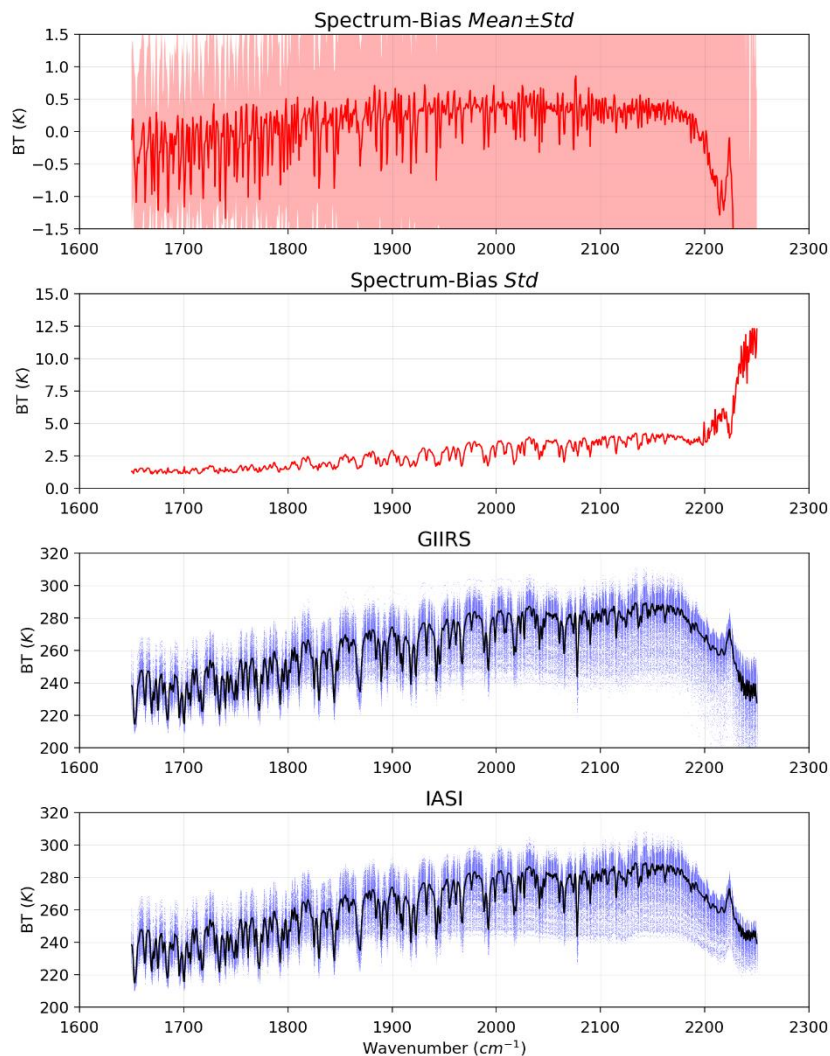
长波光谱辐射定标平均偏差示例

Bright Temperature Dif(GIIRS minus IASI)
2022-03-01~2022-03-20 FovAll



中波光谱辐射定标平均偏差示例

Bright Temperature Dif(GIIRS minus IASI)
2022-03-01~2022-03-20 FovAll



- 仪器观测地球大气光谱的辐亮度值也是在L0~L1数据预处理过程中计算生成;
- 为了检验辐射值计算的准确性(即辐射定标精度), 也需要开展工具性检验软件;
- FY-4B/GIIRS运行初期, 主要以WMO全球空间相互定标系统(GSICS)中同类仪器的观测为参考真值进行定标精度检验, 比对偏差以从辐亮度转换的亮温值进行表征;
- 当前, FY-4B/GIIRS长波定标光谱平均辐射偏差达到0.7 K指标要求, 中波定标光谱的非吸收通道平均定标偏差达到0.7 K以内, 1650~1850 cm^{-1} 吸收通道精度略差, 平均偏差在1 K左右。

三、FY-4B/GIIRS仪器L1产品及使用指南

➤ L1数据格式及文件命名

— FY-4B/GIIRS采用国际常用的分层数据格式HDF5进行L1级数据存储与分发。

— L1数据名称示例

FY4B-GIIRS-N-REGX_1330E_L1-IRD_MULT_NUL_YYYYMMDDHHMMSS_YYYYMMDDHHMMSS_012KM_001V1.HDF

FY-4B: 卫星名称;

GIIRS: 仪器名称;

N: 表示常规观测模式;

REGX: 表示观测区域类型 (详见一级产品使用说明) ;

1330E: 表示卫星星下点中心经度 (东经133.0°) ;

L1: 表示数据等级 (Level-1级) ;

IRD: 表示主要数据为红外辐亮度光谱;

MULT: 多光谱/高光谱标识号;

NUL: 表示观测数据未作空间投影转换;

YYYYMMDDHHMMSS: 扫描行起始/当前驻留观测时间 (年月日时分秒) ;

012KM: 表示星下点空间分辨率 (标称12km) ;

001: 表示当前驻留观测区域序号 (第001号) ;

V1: 表示数据生成所采用的预处理软件版本号。



三、FY-4B/GIIRS仪器L1产品及使用指南

L1使用说明

科学数据集				
分组名称	科学数据集		科学数据集英文描述	科学数据集中文描述
Geolocation	SDS1	Latitude_LW	Latitude of FOV	长波FOV的大地纬度
	SDS2	Longitude_LW	Longitude of FOV	长波FOV的大地经度
	SDS3	Latitude_MW	Latitude of FOV	中波FOV的大地纬度
	SDS4	Longitude_MW	Longitude of FOV	中波FOV的大地经度
	SDS5	Solar_Azimuth_LW	LW Solar Azimuth Angle	长波太阳方位角
	SDS6	Solar_Zenith_LW	LW Solar Zenith Angle	长波太阳天顶角
	SDS7	Sensor_Azimuth_LW	LW Sensor Azimuth Angle	长波仪器方位角
	SDS8	Sensor_Zenith_LW	Sensor Zenith Angle	长波仪器天顶角
	SDS9	Latitude_VIS	Latitudes of Imager Pixels	可见光相机像元的大地纬度
	SDS10	Longitude_VIS	Longitudes of Imager Pixels	可见光相机像元的大地经度
	SDS11	Solar_Azimuth_VIS	VIS Solar Azimuth Angle	可见光相机像元太阳方位角
	SDS12	Solar_Zenith_VIS	VIS Solar Zenith Angle	可见光相机像元太阳天顶角
	SDS13	Sensor_Azimuth_VIS	VIS Sensor Azimuth Angle	可见光相机像元仪器方位角
	SDS14	Sensor_Zenith_VIS	VIS Sensor Zenith Angle	可见光相机像元仪器天顶角

- L1数据文件分为地理定位(Geolocation)、辐射定标核心数据(Data)和质量标识(QA)3组共26个数据集；
- 为了用户后续对定标光谱做切趾处理方便，L1发布数据在每个波段两侧各增加了两个通道数据。

科学数据集				
分组名称	科学数据集		科学数据集英文描述	科学数据集中文描述
Data	SDS15	VIS_DN	VIS DN value	可见光图像DN值
	SDS16	VIS_CalTable	VIS Calibration table	可见光相机定标表
	SDS17	ES_RealLW	Earth Scene LWIR Real Radiance Spectrum	对地观测长波实部辐射
	SDS18	ES_RealMW	Earth Scene MWIR1 Real Radiance Spectrum	对地观测中波实部辐射
	SDS19	ES_ImaginaryLW	Earth Scene LWIR Imaginary Radiance Spectrum	对地观测长波虚部辐射
	SDS20	ES_ImaginaryMW	Earth Scene MWIR Imaginary Radiance Spectrum	对地观测中波虚部辐射
	SDS21	NEdR_LW	Long wave Noise equivalent spectral radiation value	长波噪声等效辐射方差
	SDS22	NEdR_MW	Middle wave Noise equivalent spectral radiation value	中波噪声等效辐射方差
	SDS23	WN_LW	LWIR Wavenumber	长波通道坐标
	SDS24	WN_MW	MWIR Wavenumber	中波通道坐标

波段	光谱范围(cm ⁻¹)	通道数目	光谱分辨率(cm ⁻¹)
LWIR	680- 1130 (标称)	721 (标称)	0.625
	678.75-1131.25 (扩展)	725 (扩展)	
MWIR	1650 - 2250 (标称)	961 (标称)	0.625
	1648.75-2251.25 (扩展)	965 (扩展)	



三、FY-4B/GIIRS仪器L1产品及使用指南

➤ L1使用说明

科学数据集				
分组名称	科学数据集		科学数据集英文描述	科学数据集中文描述
QA	SDS25	QA_LW	LWIR Quality Flag	长波质量标识
	SDS26	QA_MW	MWIR Quality Flag	中波质量标识

- FY-4B/GIIRS L1产品使用说明书将伴随L1数据对用户分发而同步发布，详细数据使用可参考说明书相关描述，如有疑问可按附属联系人信息进行咨询。

➤ 现有可提供使用的L1数据情况

- FY-4B/GIIRS将发布2022年6月以后的L1数据，详情请见风云卫星遥感数据服务网：

<http://satellite.nsmc.org.cn>

FY-4B/GIIRS L1产品使用说明封面图影

风云四号 B 星静止轨道干涉式红外探测仪
(GIIRS)

L1 产品使用说明

(V1.0)

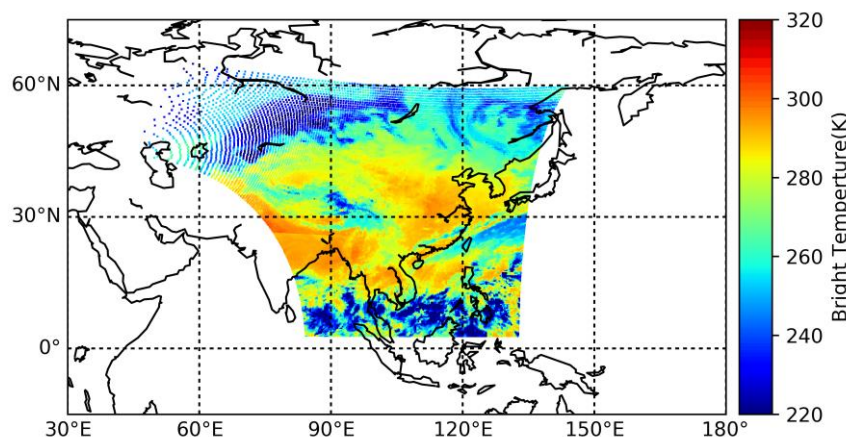
国家卫星气象中心

2022 年 06 月

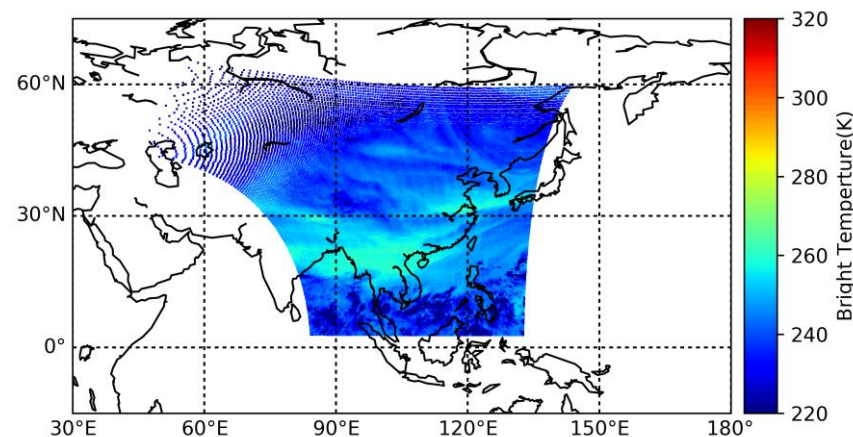


四、FY-4B/GIIRS仪器典型L1产品使用样例

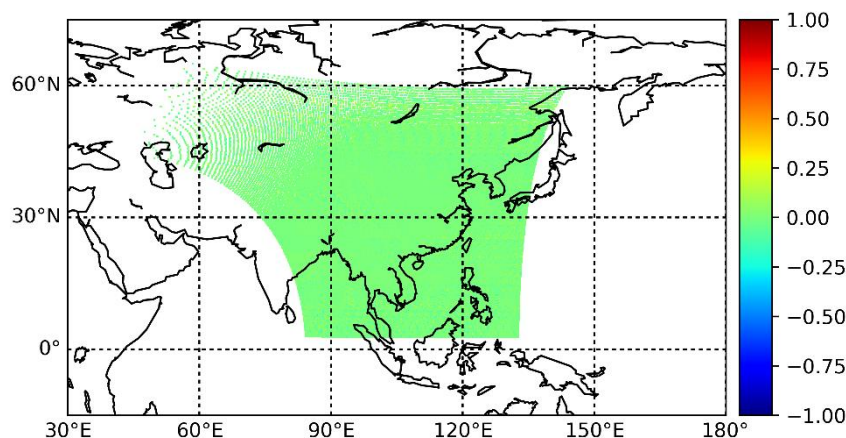
2021年11月25~30日亮温光谱合成动画



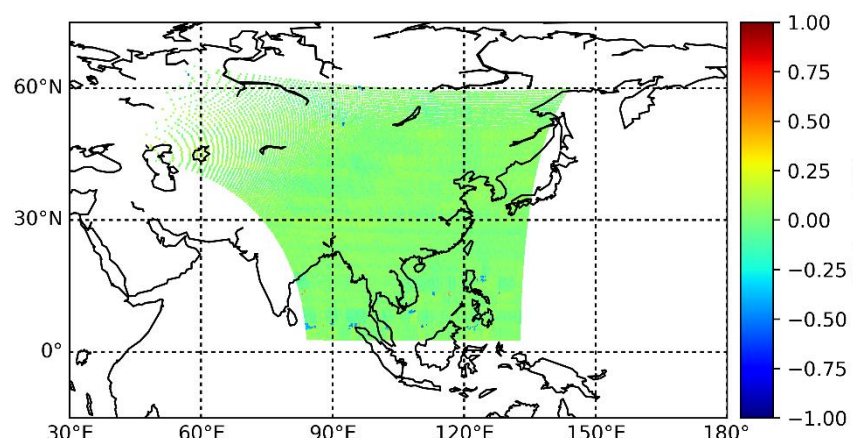
LW in 900 cm⁻¹ channel



MW in 1870 cm⁻¹ channel

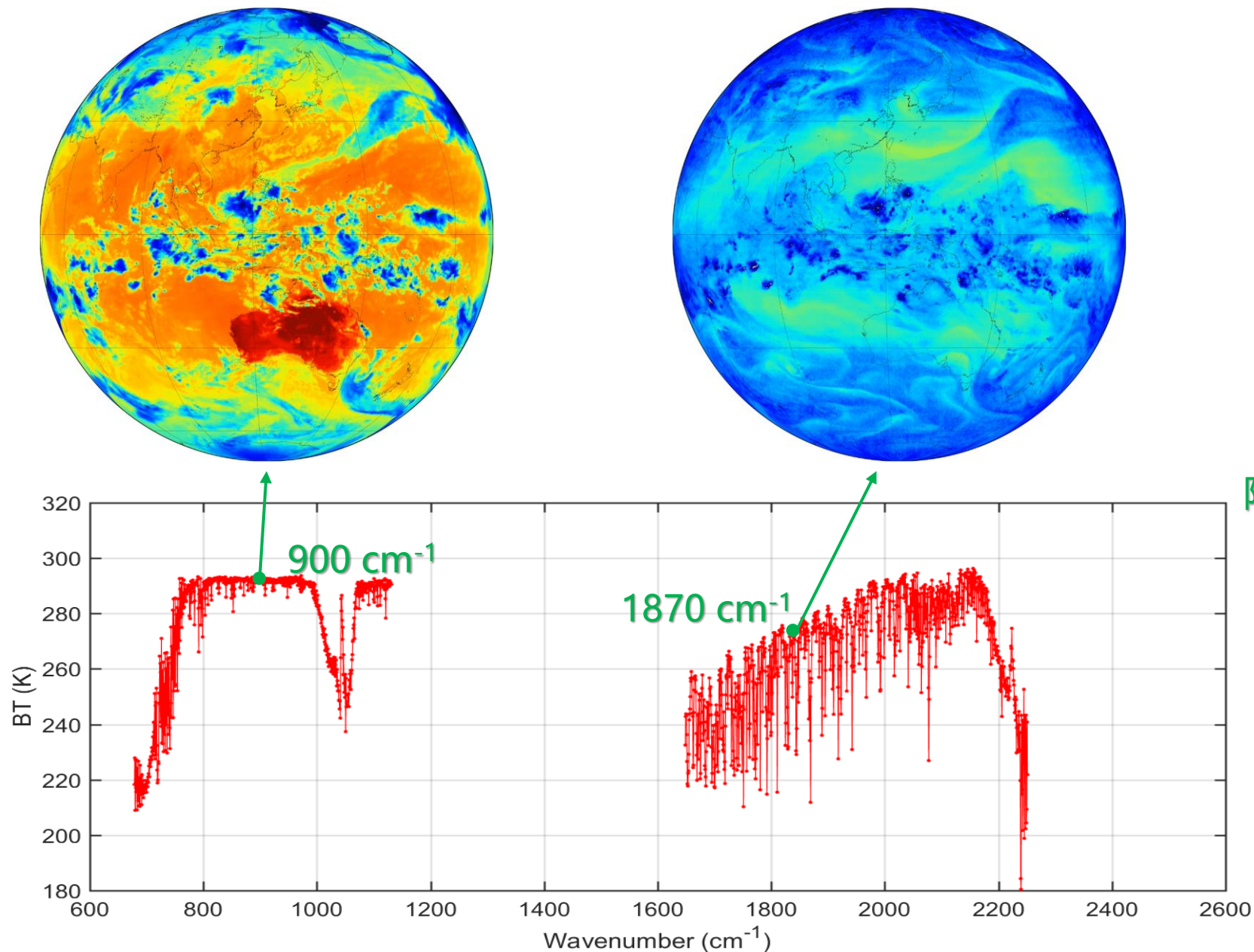


Imaginary Part



Imaginary Part

四、FY-4B/GIIRS仪器典型L1产品使用样例



附属相机550~750nm全色影像

- 2022年03月09日，FY-4B/GIIRS地球全圆盘扫描观测试验获得了首套高光谱全圆盘影像图集。
- 试验测试了仪器的工作潜力，为后续提高静止轨道红外高光谱仪器时间分辨率打下基础。



小结：

- 红外高光谱大气探测仪是一种空间大型精密定量化应用遥感设备，其观测资料具有丰富的信息含量和极高的测量精度，对于刻画地球大气三维精细结构、提高数值天气预报精度具有重要价值。
- 以辐射定标为核心的数据预处理向前连接卫星平台和遥感仪器研制，向后连接观测资料科学应用和公共事务决策，具有承前启后的纽带作用。红外高光谱仪器定标和数据预处理涉及大气物理、红外光学、仪器科学、计算机科学、航天工程、计量科学等等，是一项多学科、多技术相互交叉的综合技术工作，不断提高L1数据定标精度需要来自不同专业背景的科学家取长补短、紧密合作。
- 我国目前是在极轨卫星和静止卫星同时具备红外光谱高光谱仪器的唯一国家，高光谱数据开发应用方兴未艾，机遇与挑战并存。因此，需要我们把仪器设计好，把原始数据处理好，把定标数据应用好，只有各个技术主体相互配合、尽心竭力，形成一个平等、开放、健康、协作的发展社群，这项事业才能取得长足的进步。





中国气象局
China Meteorological Administration



国家卫星气象中心
National Satellite Meteorological Centre

谢谢

欢迎广大青年科学家积极参与、共创辉煌！

报告人：李路

Email: lilu@cma.gov.cn

国家卫星气象中心

二〇二二年六月

