



中国航天

风云气象卫星发展现状及设想

中国航天科技集团有限公司第八研究院

二〇一八年十一月



中国航天

目 录

- 一、概述
- 二、在研卫星介绍
- 三、后续卫星设想
- 四、结束语

一、概述

1、概述

风云系列气象卫星历经40年的发展，实现了**两代四型高低轨**两个系列共**17**颗卫星的研制和发射，目前共有**10**颗在轨稳定运行。

1980s

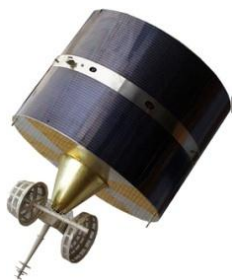


第一代极轨气象卫星

FY-1 A/B/C/D

88/90/99/02

1990s

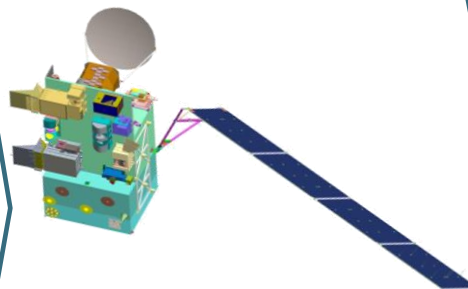


第一代静止气象卫星

FY-2 A/B/C/D/E/F/G/H

97/00/04/06/08/12/14/18

2000s

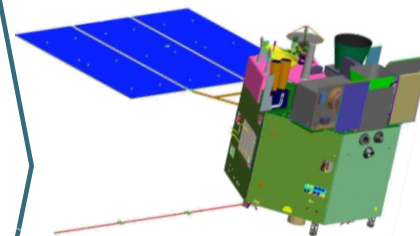


第二代极轨气象卫星

FY-3 A/B/C/D

08/10/13/17

2010s



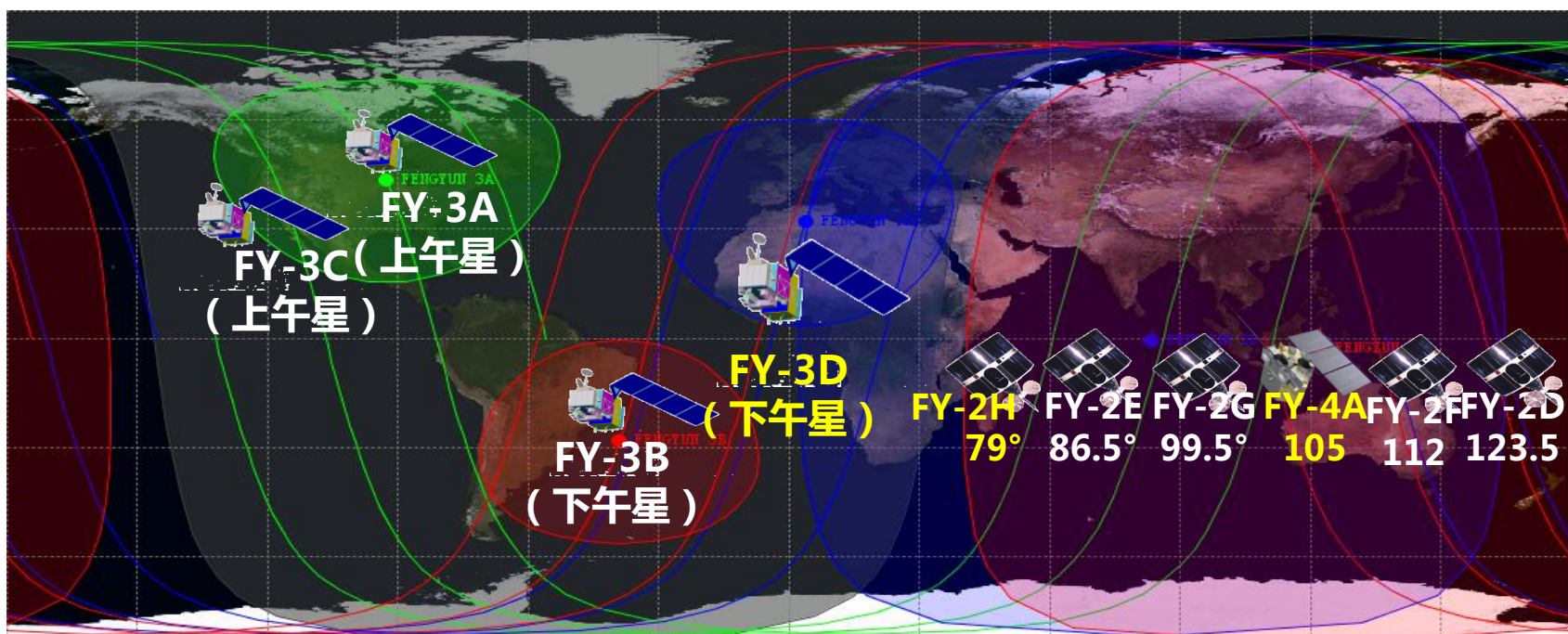
第二代静止气象卫星

FY-4 A

16

1、概述

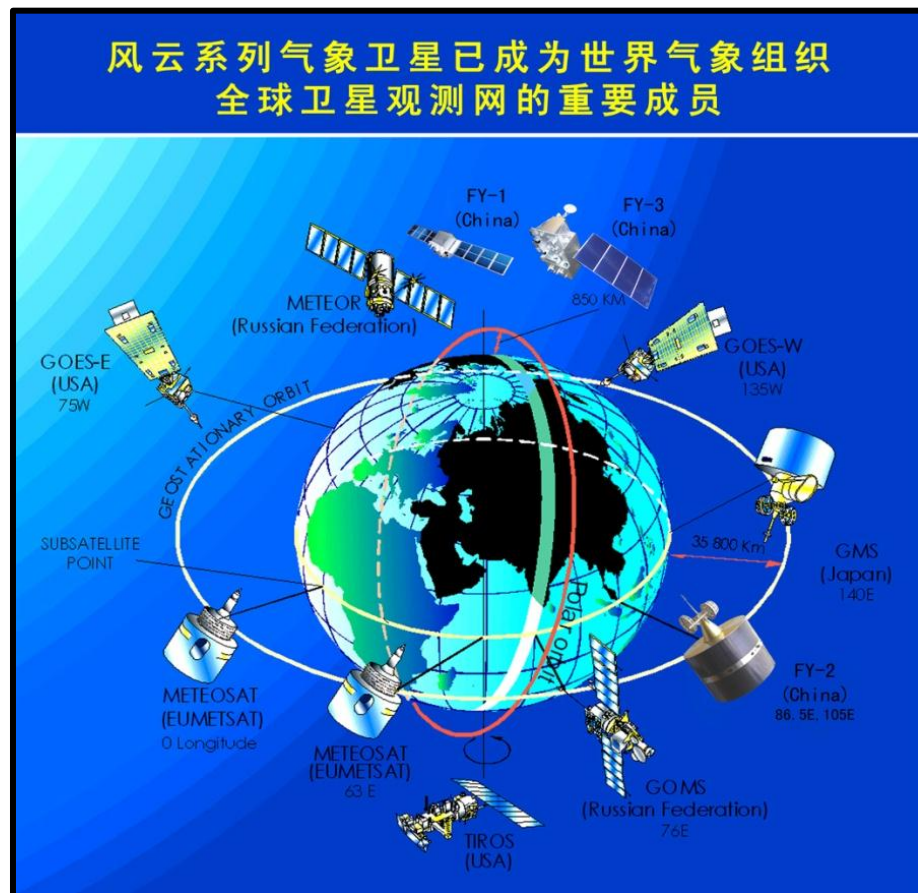
高轨卫星已形成“多星在轨、互为备份、统筹运行、适时加密”、低轨卫星已形成“上、下午星组网观测”运行格局。



中国已经建立了长期、稳定、连续运行的气象卫星业务运营系统！

1、概述

中国已成为国际上同时拥有高轨和低轨两个系列业务运行气象卫星的国家或区域组织之一。风云系列气象卫星已经成为世界气象组织观测网的重要成员。



二、在研卫星介绍

2、在研卫星介绍

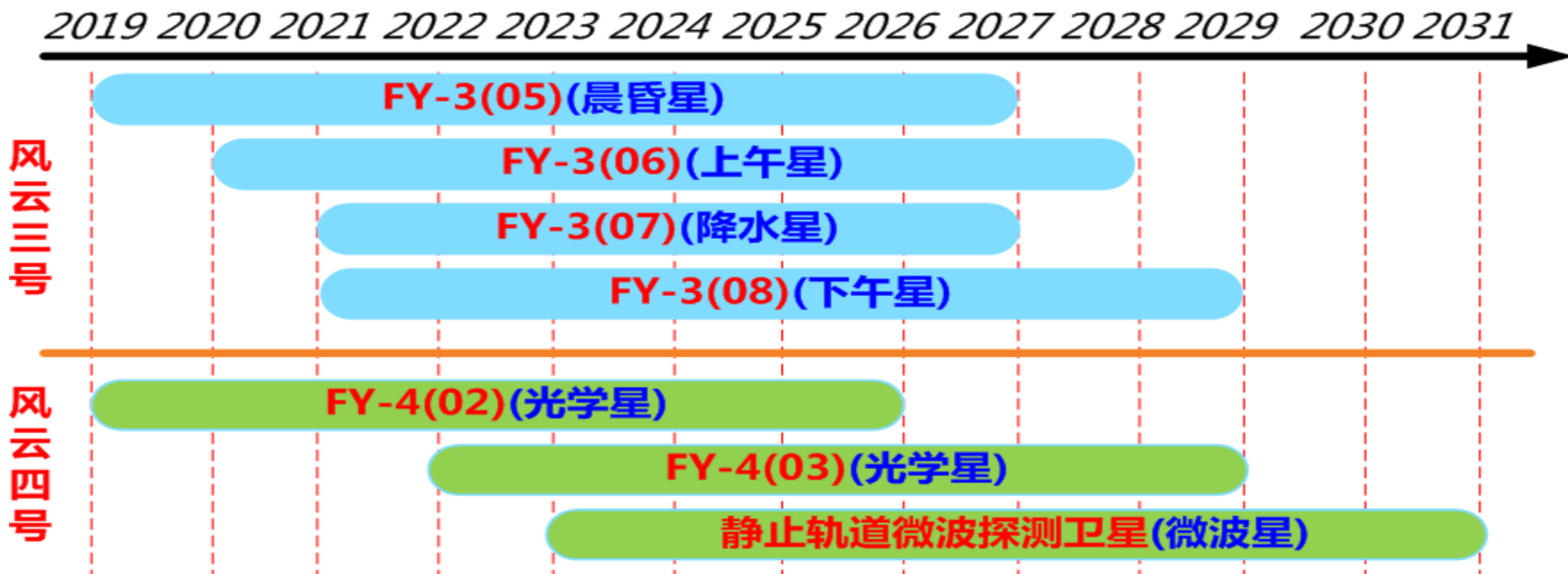
中国在研的气象卫星共7颗：

低轨系列：FY-3(05)(晨昏轨道)、FY-3(06)(上午轨道)、FY-3(08)(下午轨道)

FY-3(07)(低倾角轨道)

高轨系列：FY-4 (02、03)(光学星)

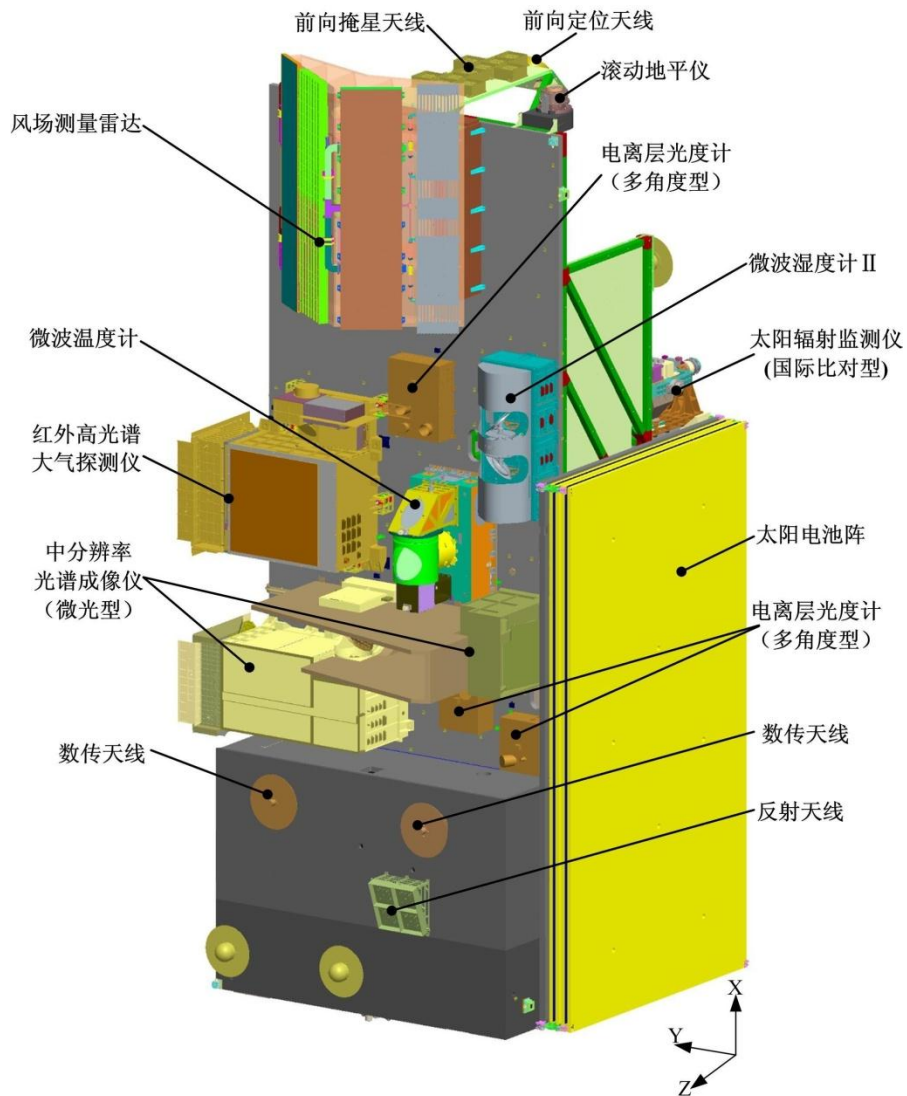
静止轨道微波探测卫星(微波星)



2.1、在研卫星—低轨系列

FY-3(05)(晨昏轨道)

晨昏星以全球数值天气预报为主要应用目标，对天气会商、热带气旋和其他极端气象灾害预警、气候监测、空气质量监测、太阳和空间天气观测具有独特优势。预计2019年发射。



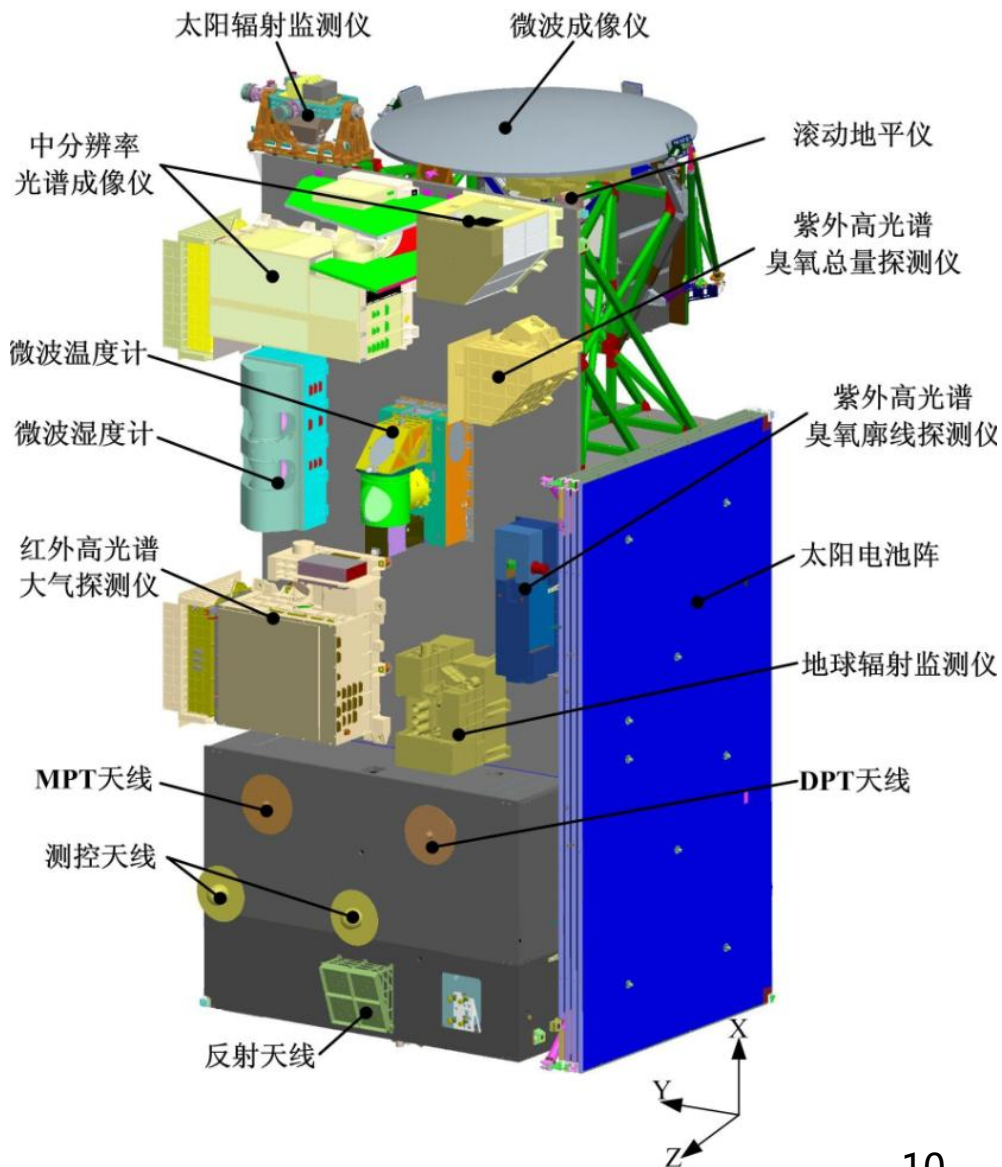
序号	有效载荷	备注
1	中分辨率光谱成像仪Ⅲ型	微光型
2	微波温度计Ⅲ型	
3	微波湿度计Ⅱ型	
4	全球导航卫星掩星探测仪Ⅱ型	
5	风场测量雷达	新载荷
6	红外高光谱大气探测仪Ⅱ型	
7	太阳辐射监测仪 (国际比对)	国际比对型
8	太阳辐照度光谱仪	新载荷
9	空间环境监测器Ⅱ型	
10	电离层光度计Ⅱ型	多角度型
11	太阳X-EUV成像仪	新载荷

2.1、在研卫星—低轨系列

FY-3(06)(上午轨道)

上午星以地球表面成像观测为主，观测数据主要用于天气预报、生态、环境、灾害监测业务及研究，预计于2020年发射。

序号	有效载荷	备注
1	中分辨率光谱成像仪Ⅲ型	
2	微波温度计Ⅲ型	
3	微波湿度计Ⅱ型	
4	微波成像仪Ⅱ型	
5	全球导航卫星掩星探测仪	
6	红外高光谱大气探测仪Ⅱ型	
7	紫外高光谱臭氧廓线探测仪	新载荷
8	紫外高光谱臭氧总量探测仪	新载荷
9	地球辐射探测仪Ⅱ型	
10	太阳辐射监测仪	

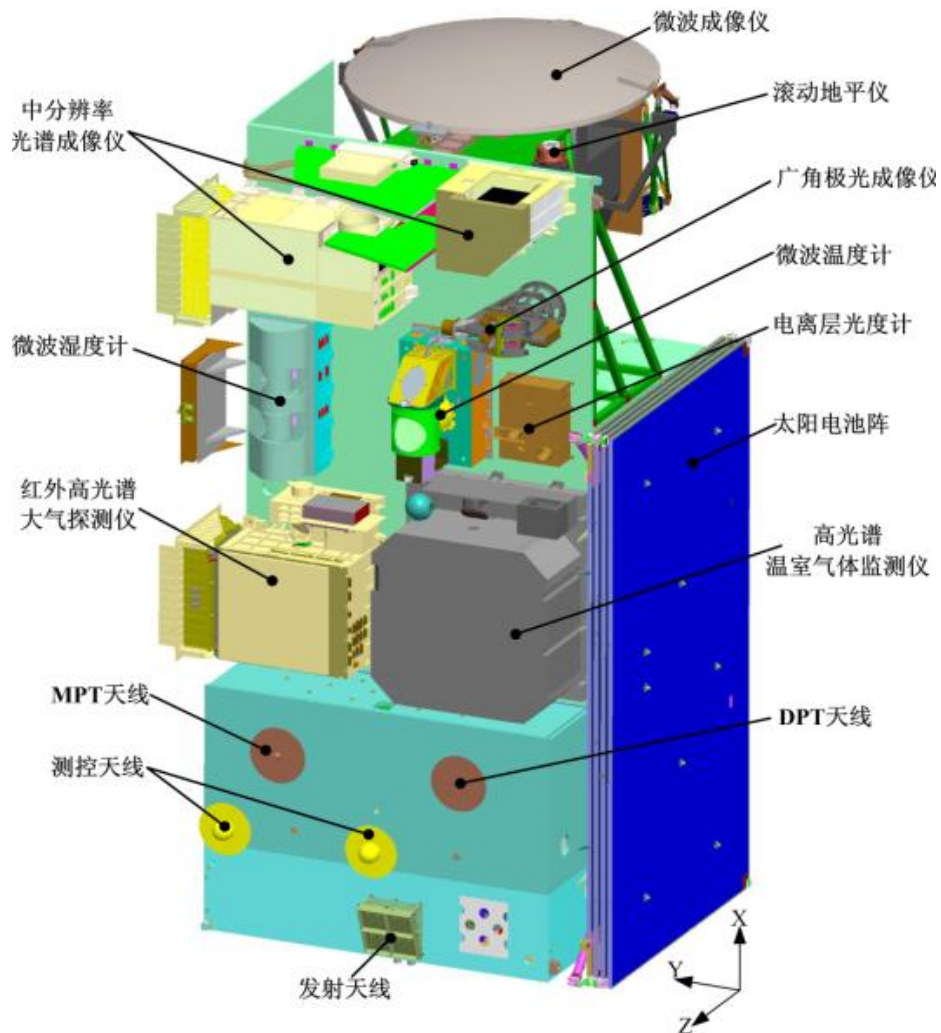


2.1、在研卫星—低轨系列

FY-3(08)(下午轨道)

下午星以大气定量探测和气候变化监测为主，探测数据主要用于天气预报、大气化学和气候变化监测业务及研究等方面，预计于2021年发射。

序号	有效载荷
1	中分辨率光谱成像仪Ⅲ型
2	微波温度计Ⅲ型
3	微波湿度计Ⅱ型
4	微波成像仪Ⅱ型
5	全球导航卫星掩星探测仪
6	红外高光谱大气探测仪Ⅱ型
7	高光谱温室气体探测仪
8	广角极光成像仪Ⅱ型
9	电离层光度计



2.1、在研卫星—低轨系列

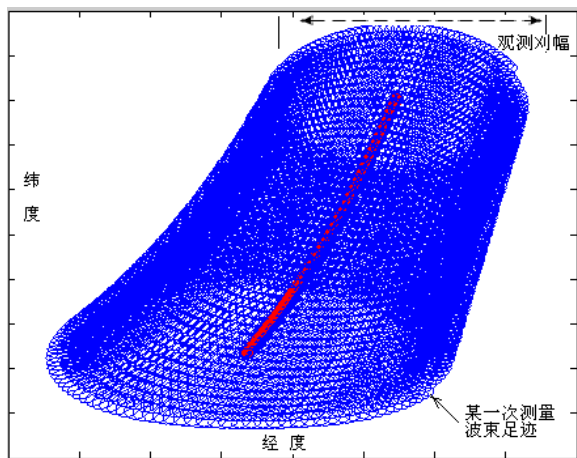
作为全球首个覆盖晨昏和上下午的极轨气象卫星系统，将新增：

➤1 主动风场精确探测能力

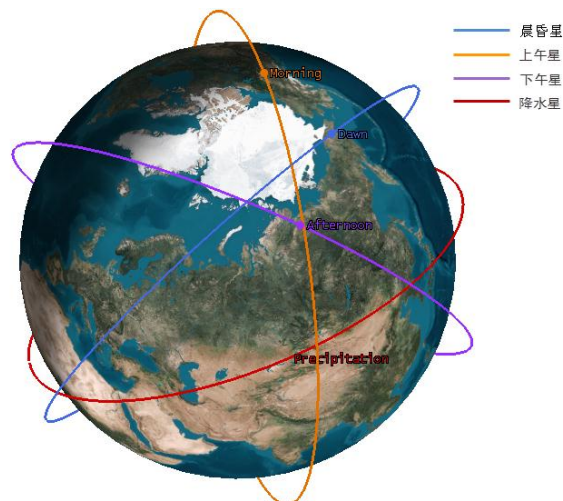
通过双频双极化后向散射测量获取全球海洋表面风场信息，达到1200km幅宽，3~30m/s风速风向测量。

➤2 高实效全球中高分辨率高精度观测能力

通过微光探测和多项探测灵敏度提升技术，实现可见灵敏度提升50%，红外0.3K灵敏度，0.4K定标精度和5ppm的光谱稳定度。



主动风场观测刈幅示意图



2.1、在研卫星—低轨系列

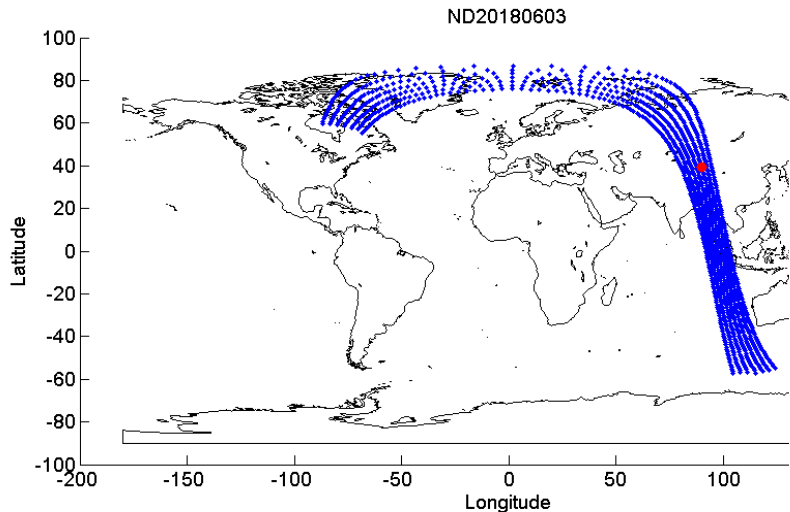
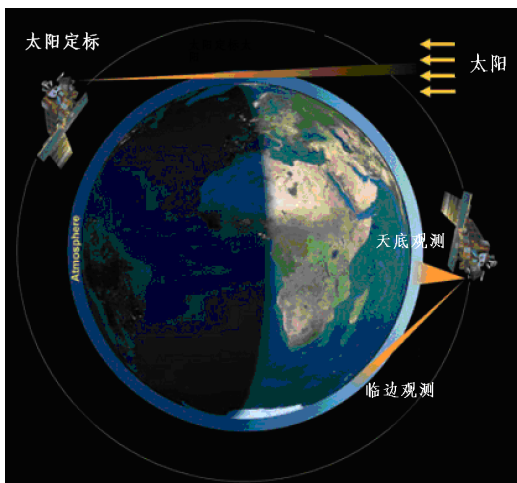
作为全球首个覆盖晨昏和上下午的极轨气象卫星系统，将新增：

➤3 高精度天底+临边大气探测能力

通过天底+临边高光谱探测，实现宽谱段、高光谱分辨率、高探测信噪比的O₃、NO₂、SO₂、平流层气溶胶等总量和廓线信息获取

➤4 气候变化温室气体精确探测能力

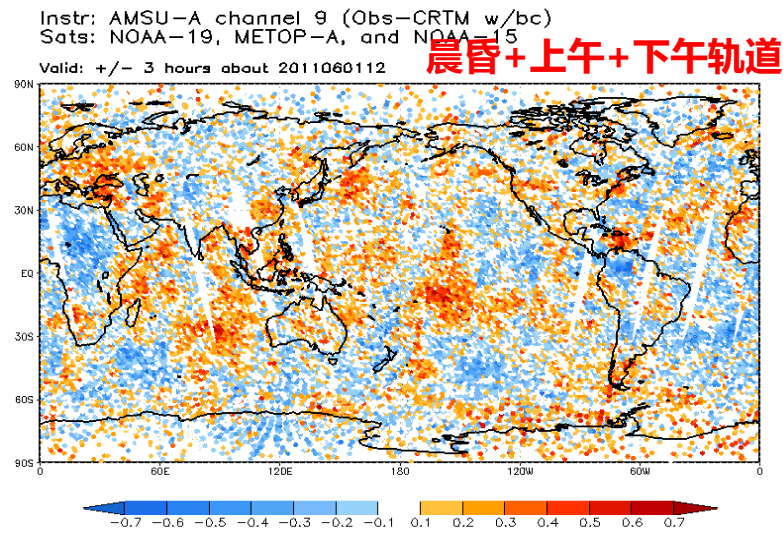
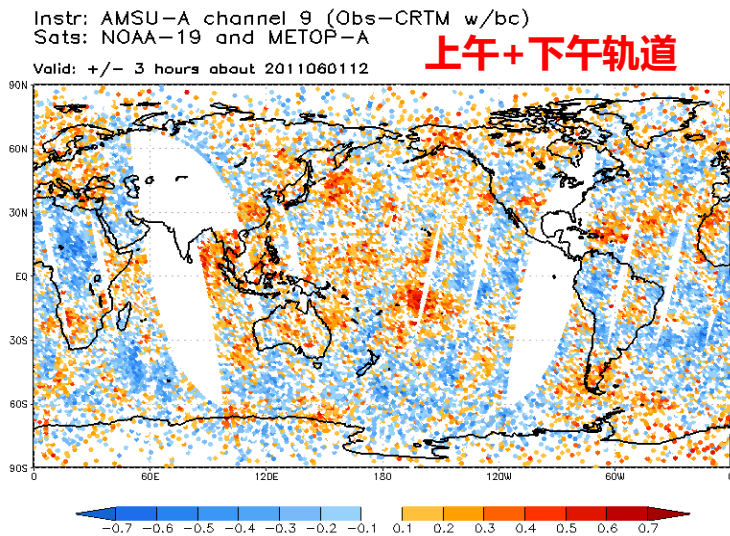
通过高性能大规模面阵探测器+高效率全息浸没衍射光栅等技术提升，实现0.04nm光谱分辨率、3km空间分辨率、2ppm探测精度，长期稳定的探测能力



2.1、在研卫星—低轨系列

作为全球首个覆盖晨昏和上下午的极轨气象卫星系统，将实现：

- 对全球资料覆盖性的贡献：填补原有NWP 6h同化窗内卫星观测资料的空白
- 对NWP预报的贡献：提高全球4-7d天气预报的准确性



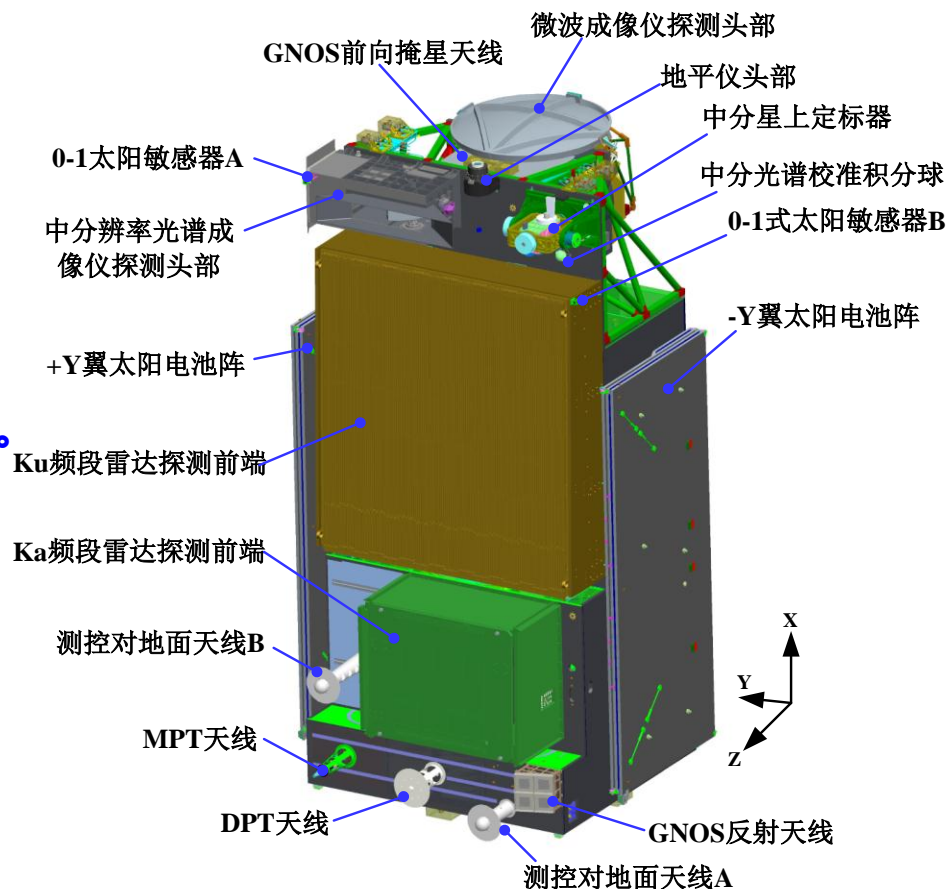
双星6小时可以观测全球85%左右的区域
三颗卫星组网观测6小时全球观测资料覆盖率为100%

2.1、在研卫星—低轨系列

FY-3(07)(低倾角轨道)

降水测量卫星用于主动降水测量，提供全球中低纬度地区降水三维结构信息，采用主、被动微波和光学遥感相结合，提高降水数值预报准确率。预计2021年发射。

序号	有效载荷	备注
1	中分辨率光谱成像仪	(简化型)
2	微波成像仪	(降水型)
3	全球导航卫星掩星探测仪	
4	降水测量雷达	新载荷



2.1、在研卫星—低轨系列

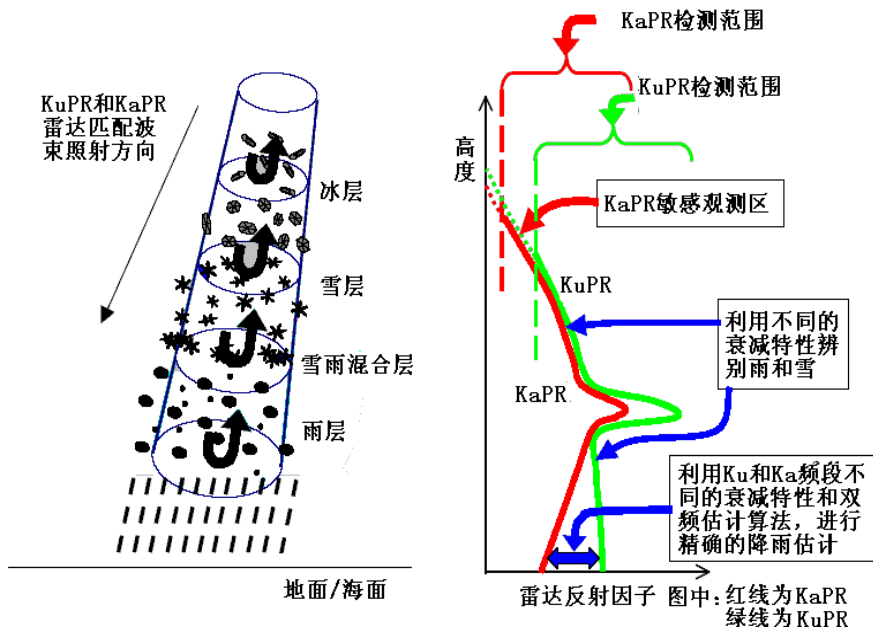
作为中国首颗降水测量卫星，将**新增**：

➤主动降水测量雷达

通过主动辐射微波信号，并接收大气中雨、雪的后向散射回波，实现对降水的**三维探测**。

➤高精度基准比对传递定标器

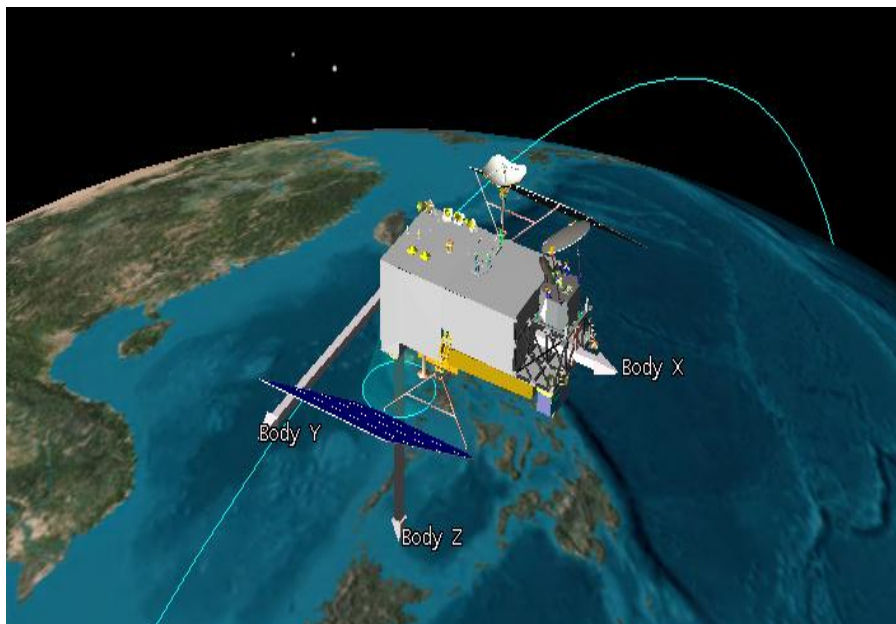
通过高精度的地面辐射标准传递和星上校准，对中分进行高精度基准比对传递及溯源，实现可见光谱段定标精度从**5%提高至2%**，并可实现极轨气象卫星可见光交叉定标。



2.1、在研卫星—低轨系列

作为中国首颗降水测量卫星，将实现：

- 主动降水三维测量能力和高精度辐射定标能力
- 覆盖：南、北纬 50° 热带和中纬地区，对影响全球区域的台风系统结构进行三维探测
- 主动微波探测能力：与美日第二代降水测量GPM搭载的降水雷达DPR性能相当
- 被动微波探测能力：相比GPM增加了 $50\sim 60\text{GHz}$ 、 118GHz 双氧吸收通道，对陆地弱降水反演等具有应用潜力

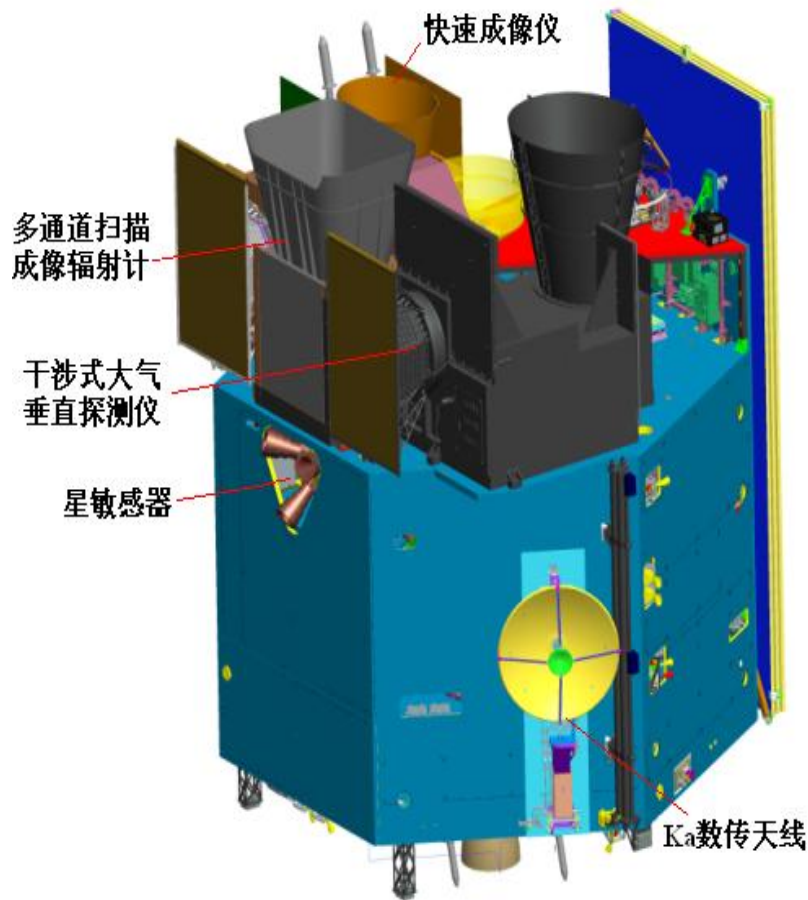


2.2、在研卫星—高轨系列

FY-4(02)星（光学星）

获取地球表面和云的多光谱、高精度定量观测数据和图像；实现大气温湿度垂直结构观测；以及对区域进行连续、快速多通道成像观测。预计于**2019年**发射。

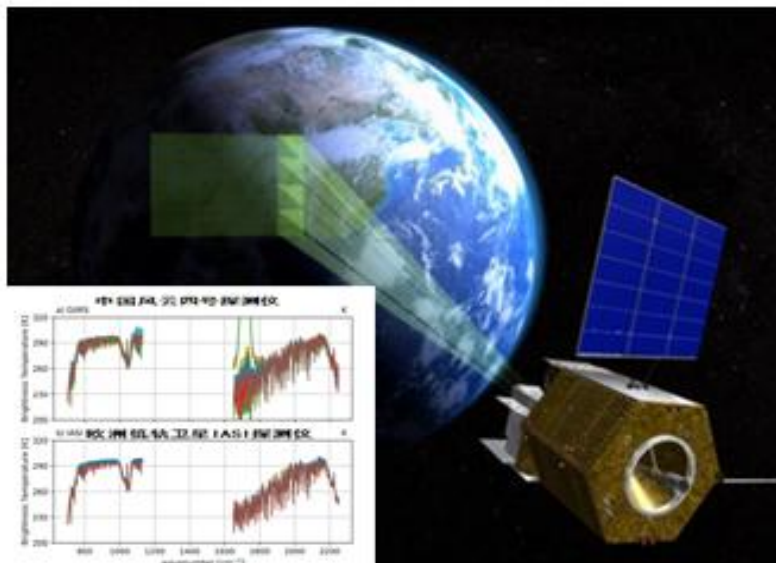
序号	载荷配置
1	先进的静止轨道辐射成像仪
2	静止轨道干涉式红外探测仪
3	快速成像仪
4	空间环境监测器



2.2、在研卫星—高轨系列

实现更高分辨率、更灵活的区域观测能力

- 新增快速成像仪和Ka数传通道，实现250m全色，500m真彩色，分钟级区域高空间分辨率连续观测能力；
- 辐射计新增（7.24-7.60 μm ）通道、中短波空间分辨率提升到2km，增强水汽和中短波探测能力；
- 探测仪优化红外探测器面阵排列，红外空间分辨率提高到12km，光谱范围从扩展到680~1130 cm^{-1} ，实现更优的应用效能。

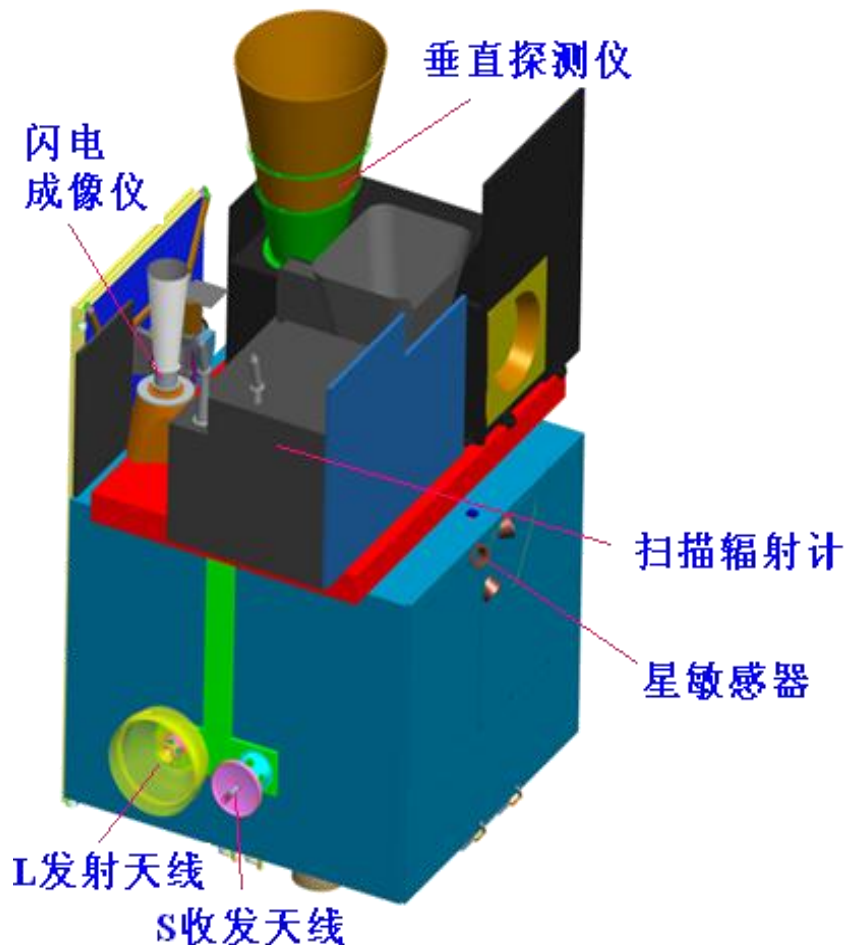


2.2、在研卫星—高轨系列

FY-4(03)星（光学星）

在02星的基础上，卫星和载荷进行**全面优化设计**，大幅提升仪器观测能力，**全面达到国际先进水平**。预计于**2022年发射**。

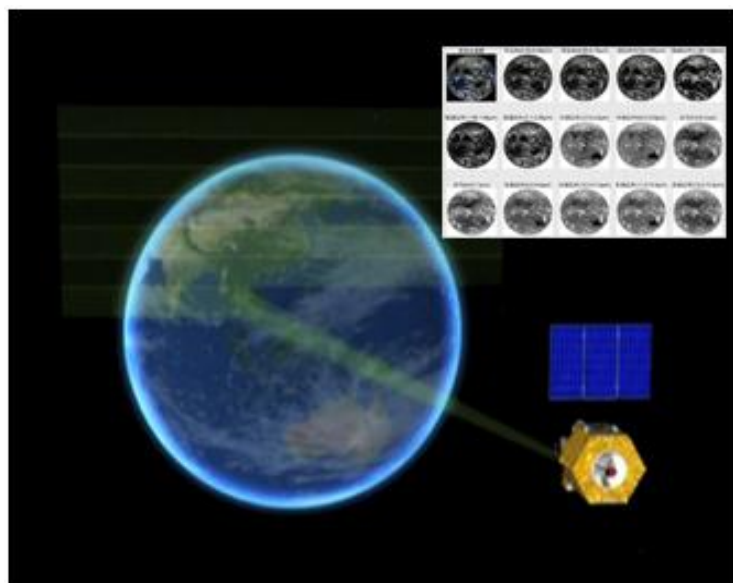
序号	载荷配置
1	先进的静止轨道辐射成像仪
2	静止轨道干涉式红外探测器
3	闪电成像仪
4	空间环境监测器
5	远紫外多波段电离层成像仪
6	太阳X-EUV成像仪
7	太阳X-EUV流量计



2.2、在研卫星—高轨系列

实现更高的观测性能、更多的观测要素

- 辐射计性能将全面达到ABI水平，时间分辨率提高到**5分钟**，空间分辨率红外提高到**2km**，通道数提高到**18个（含真彩色）**，实现更加灵活的探测能力；
- 探测器保持先行优势，进一步提升探测性能，空间分辨率提高到**8km**，光谱范围扩展到**650~1130cm⁻¹**。
- 实现**全圆盘闪电探测**，新增**太阳和电离层观测能力**。



2.2、在研卫星—高轨系列

静止轨道微波探测卫星

具备对地球全圆盘范围及重点区域**台风、流域性降水**等气象现象的**全天候立体监测**。

载荷配置：毫米波亚毫米波探测仪

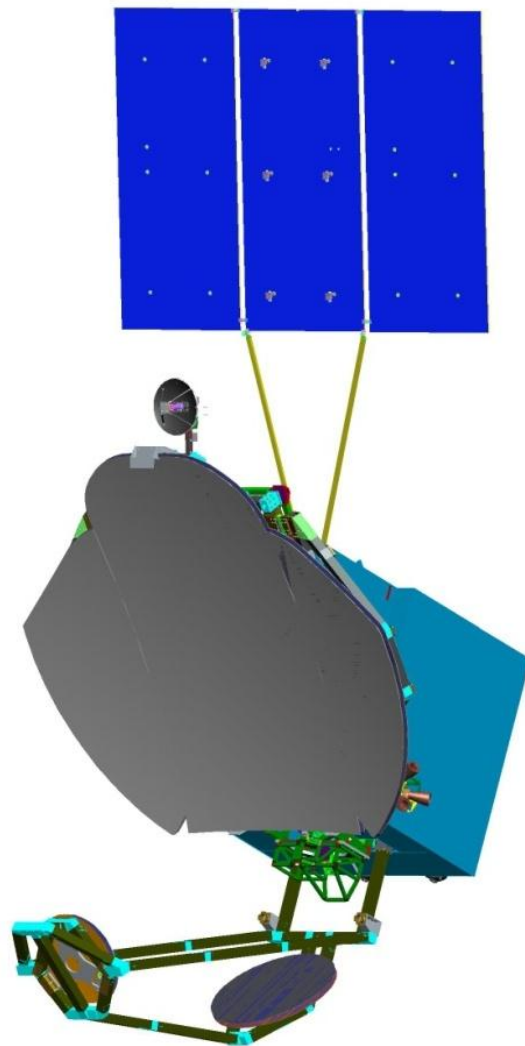
波段范围：54~425GHz；

灵敏度：优于1.0K；

测量精度：优于2K；

空间分辨率：50km。

预计于2023年发射。



2.2、在研卫星—高轨系列

探测模式灵活、探测频段新突破

微波探测可以穿透云雨大气，对于极端天气、台风监测和预报是极其重要的新观测手段。

➤ 中国及周边区域观测模式

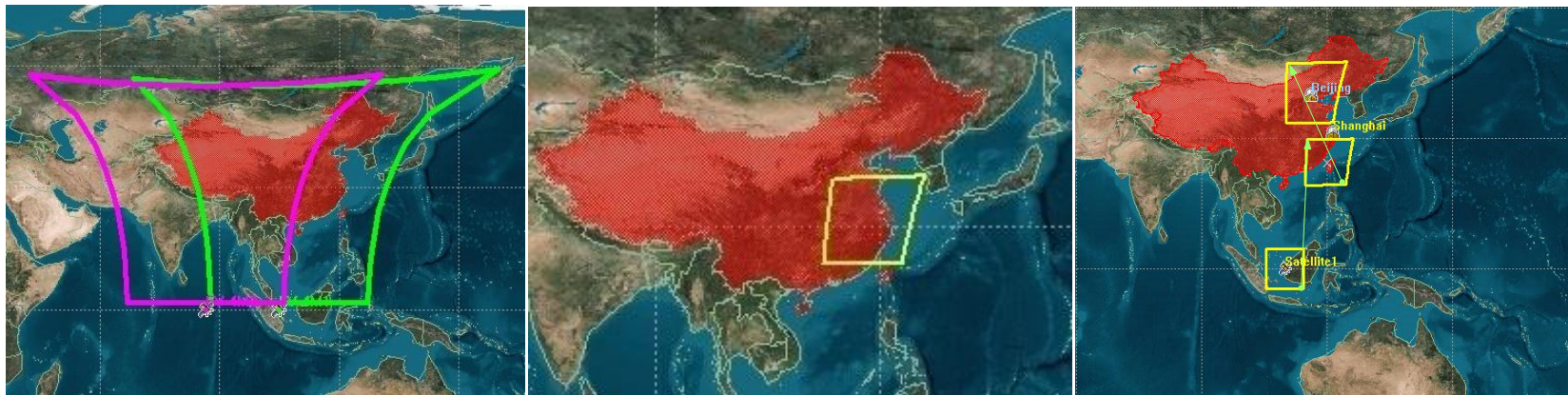
生成中国区域温湿度廓线资料：4500km×4500km，90min

➤ 灾害性天气区域观测模式

关注台风和流域性降水：1500km×1500km，15min

➤ 快速区域指向灵活观测模式

关注台风和局地暴雨：400km×400km，3min



2.2、在研卫星—高轨系列

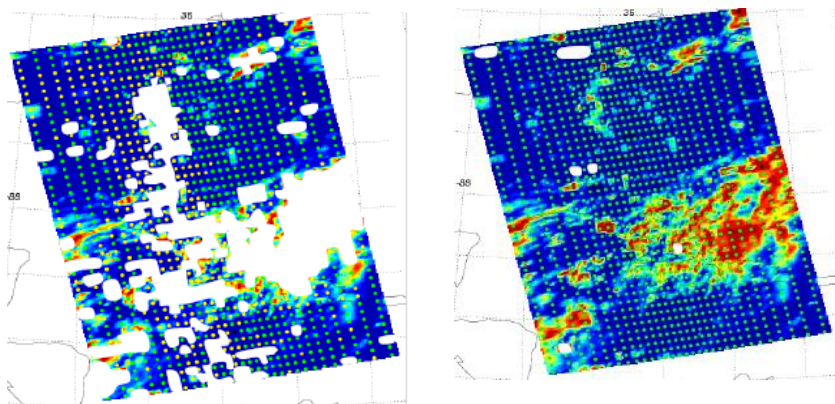
作为全球首个静止轨道**光学+微波组网**的气象卫星系统，将实现：

➤1、大气三维连续精细探测能力的提升

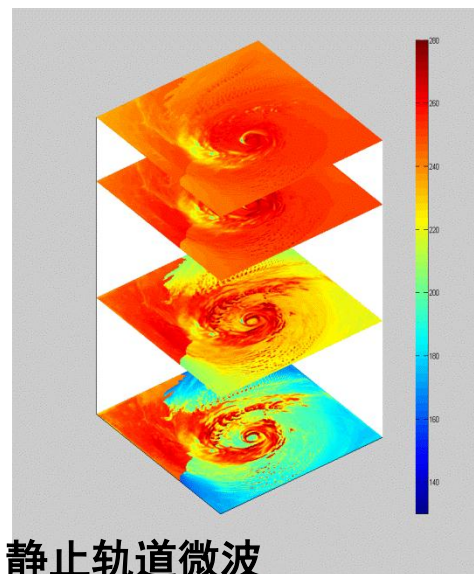
实现晴空区和云雨天气下大气内部三维微物理结构的观测，可对台风、暴雨等的演变过程进行连续跟踪监测，兼顾中长期预报和临近预警

➤2、光学和微波联合反演使用

丰富卫星数据产品，提升现有产品精度和水平，尤其是全天时全天候连续观测能力，将大幅提升气象卫星观测体系的探测能力。



光学+微波联合反演



静止轨道微波
仿真观测（陈柯：2018）

三、风云卫星发展设想

3.1、卫星体系发展设想

风云卫星体系建设目标

◆全球广域高分辨率气候观测与局地高频次天气监测相结合

——高轨、低轨两大轨道系列，拓展中轨补充

◆全域全要素综合稳定观测与独特要素精细化探测相结合

——综合星、专用星两大主体系，技术试验星补充

◆要素成像与定量多维度观测

——对同一要素利用辐射计成像、高光谱垂直成分定量探测获取多维度信息

◆主被动结合多手段融合探测

——对同一要素利用被动光学、红外、微波及主动雷达不同手段获取相同参量，增强覆盖、空间分辨率、垂直分层等性能

3.1、卫星体系发展设想

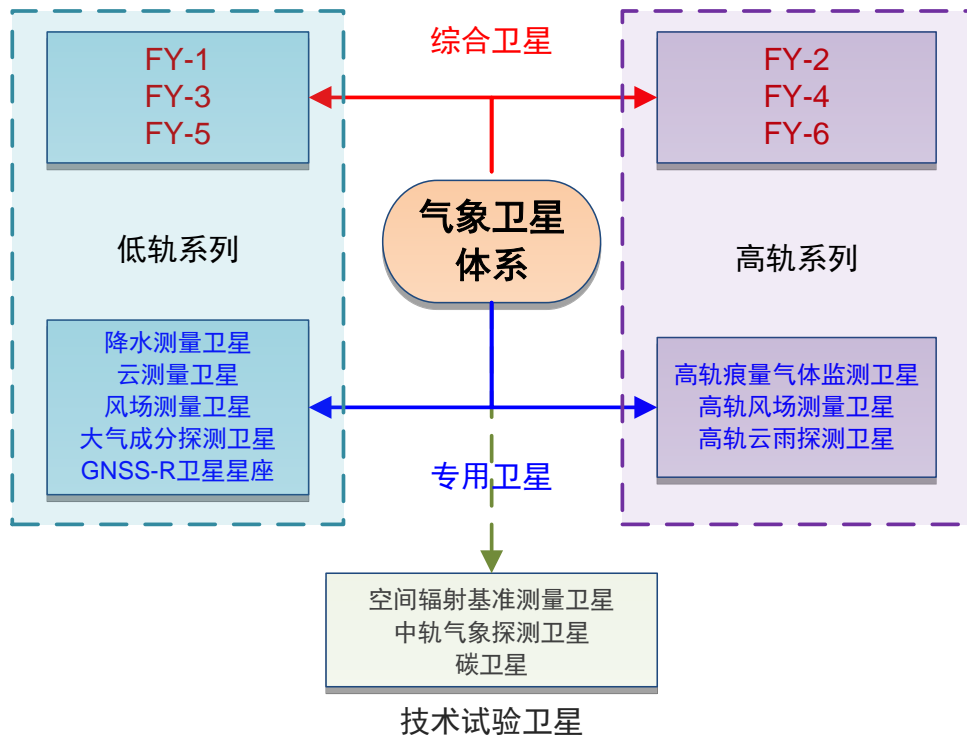
风云卫星体系构成

采用**综合+专用+技术试验卫星**的组网体系：

◆**综合观测卫星**：气象气候基本全要素综合手段观测系统

◆**专用观测卫星**：单一要素综合手段高精度观测系统

◆**技术试验卫星**：新技术试验及科学观测系统



3.1、卫星体系发展设想

风云卫星体系组网效能

1、多重组网实现天基气象综合观测体系

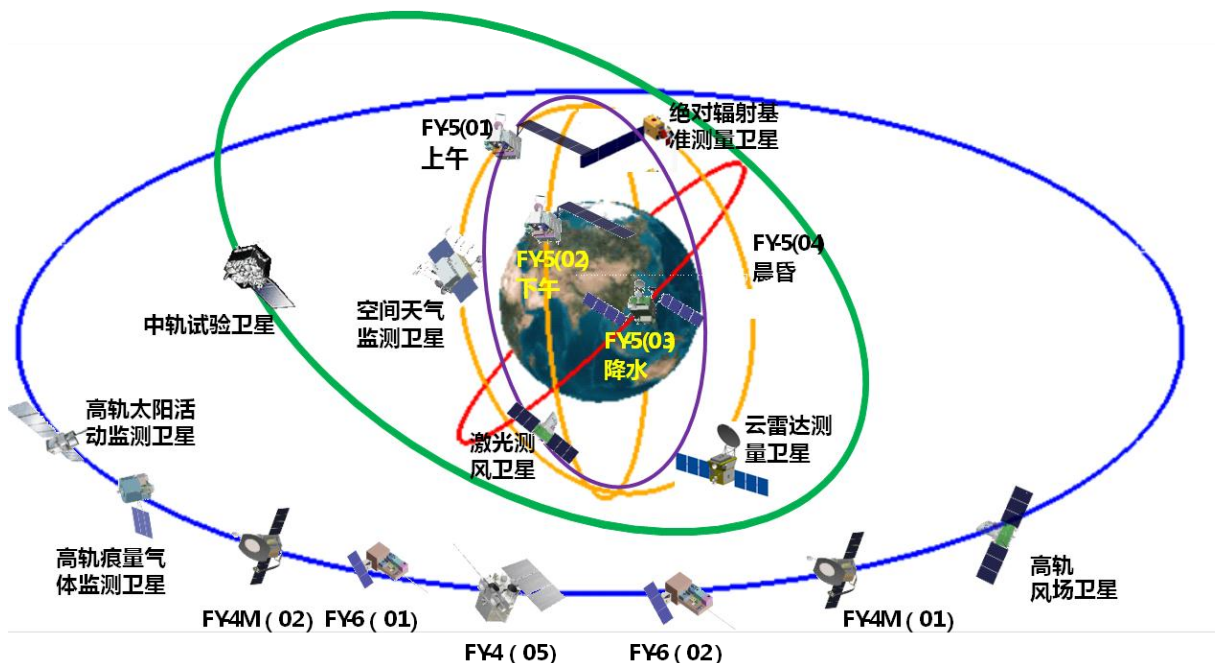
- ◆ 高低轨联合组网，1个独立国家实现
- ◆ 高轨光学和微波组网，2种手段互补观测
- ◆ 综合+专用+试验组网，3类卫星差异发展
- ◆ 低轨晨昏、上午、下午、低倾角组网，4个轨道完全覆盖

完备

精细

准确

实时



3.1、卫星体系发展设想

风云卫星体系组网效能

2、多类卫星多种手段实现多重应用

完备

◆综合星+专用星+技术试验星不同种类，实现更全面的要素探测和梯队发展

◆主动与被动、光学与微波、天底与临边不同手段，实现更精准的探测能力

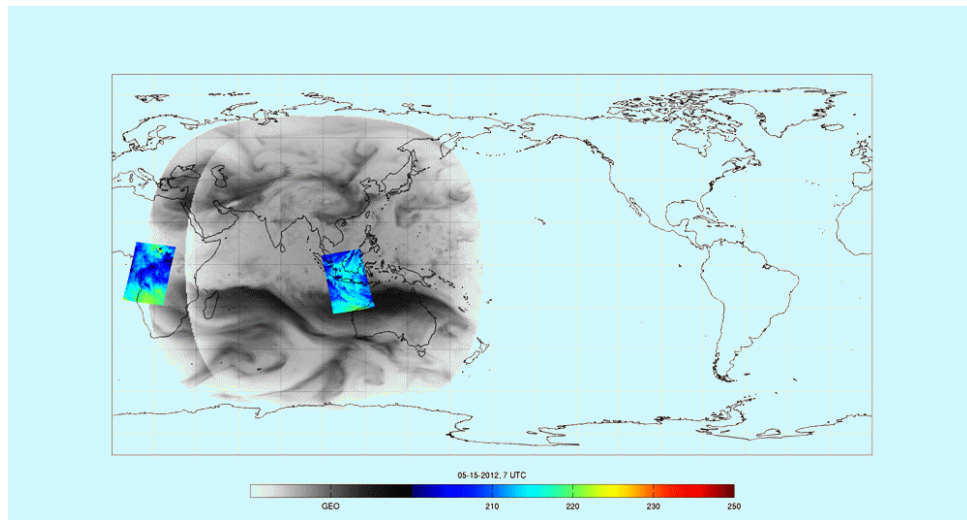
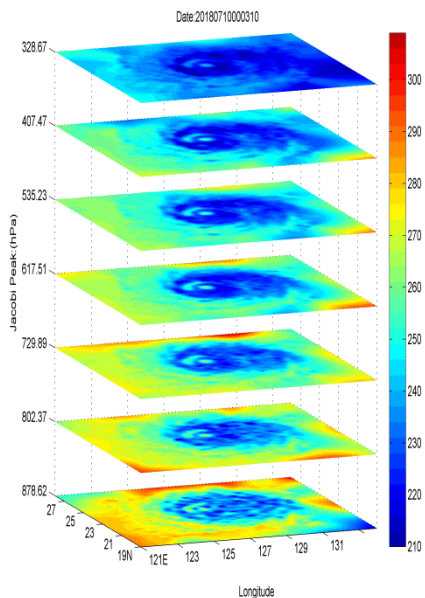
精细

◆高轨、中轨、低轨不同轨道，实现更丰富的轨道分类

◆气象、海洋、大气环境不同应用领域，实现更广泛的应用效益

准确

实时



3.1、卫星体系发展设想

风云卫星体系组网效能

3、全面的探测能力+辐射基准传递手段实现更高精度定量观测

完备

◆具备高精度的全谱段辐射测量和大气时空四维探测能力

◆具备降水、风场、云结构、大气成分等精细化定量观测能力

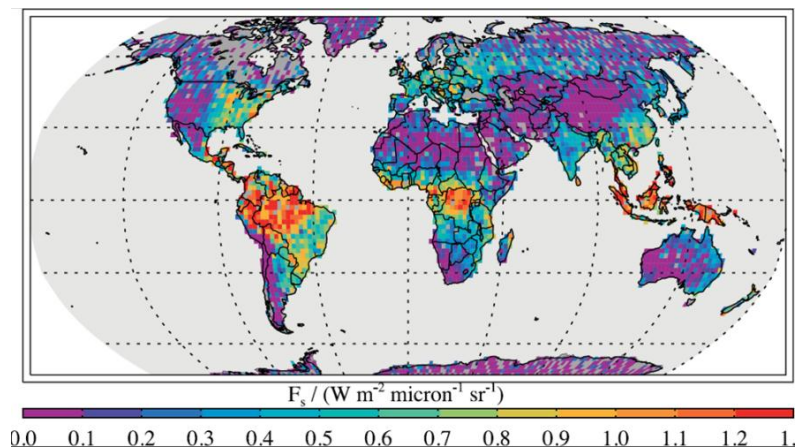
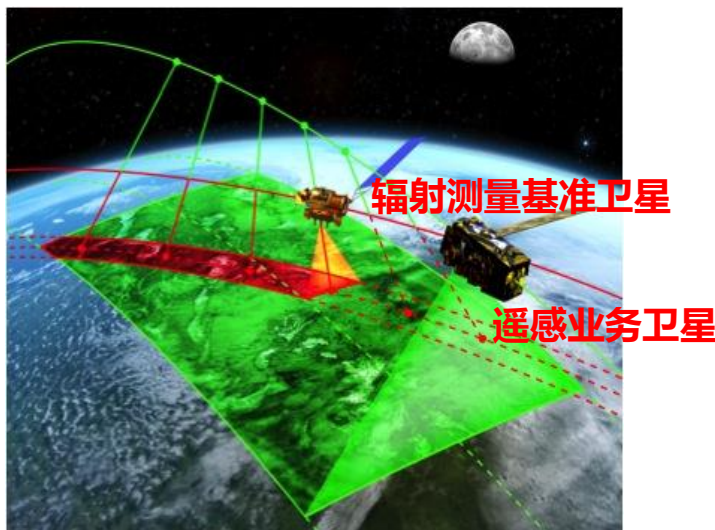
精细

◆具备天基辐射基准测量手段，通过天地一体化交叉定标解决被动光学定标精度瓶颈

准确

◆具备更高精度和稳定性要求的气候要素探测能力

实时



3.1、卫星体系发展设想

风云卫星体系组网效能

4、组网观测+星间通信+灵活机动实现终端应用实效的提升

完备

◆通过组网和仪器技术升级，提升观测覆盖频次

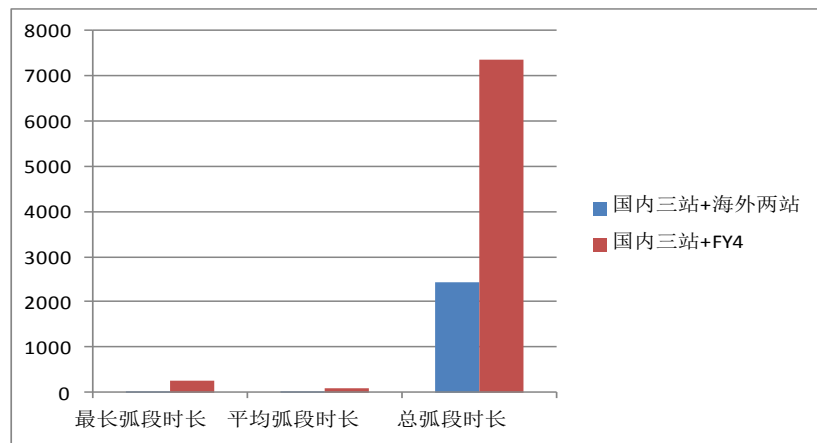
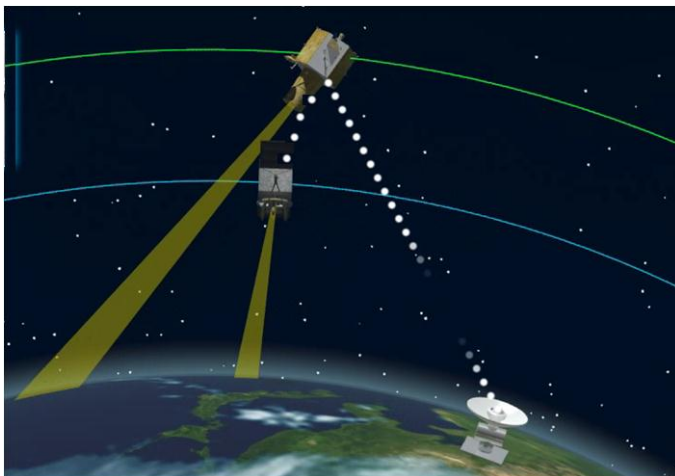
精细

◆通过星间通信技术，利用天基组网资源，提升低轨卫星数据时效

准确

◆具备灾害天气快速响应，超快成像和更灵活的机动观测能力

实时



数据传输时长增加

3.2、后续卫星设想

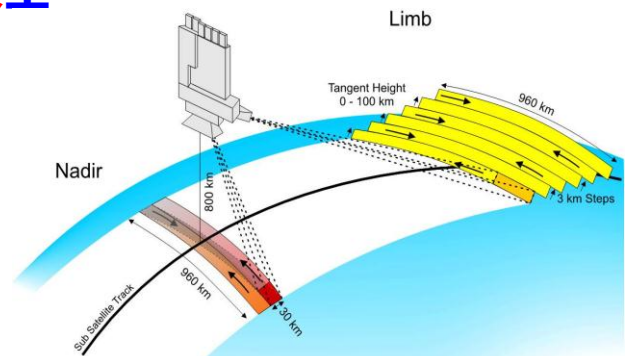
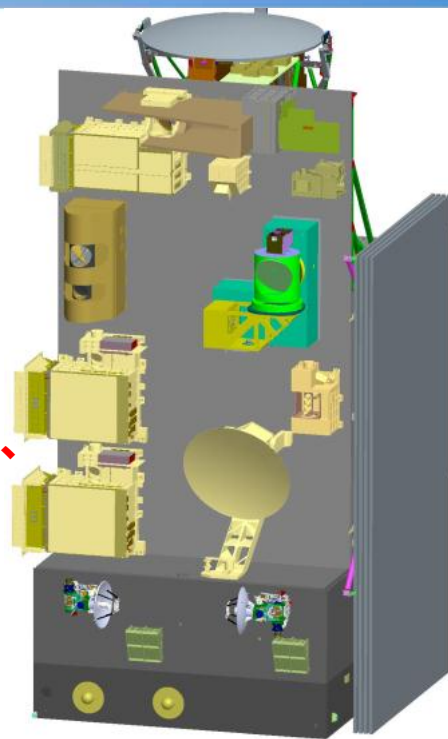
- ◆风云五号
- ◆测云专用星
- ◆测风专用星
- ◆大气成分星
- ◆空间辐射测量基准卫星
- ◆中轨气象探测卫星
- ◆GNSS-R卫星星座

3.2、后续卫星设想

◆风云五号

风云五号是下一代太阳同步轨道气象卫星，综合星仍按晨昏、上午、下午三种轨道进行部署，相比于风云三号，将提升全球风湿云气综合探测能力，提高大气成分和中高层大气的监测能力，在满足未来全球数值天气预报的同时，满足气候监测长期、稳定、高精度的需求。

- 具备光学+微波、主被动结合的多手段协同组合大气三维立体观测能力
- 全面提升时空分辨率指标，具备百米级光学成像、小时级全球云图获取能力
- 大幅提升卫星全波段定标性能，定标精度可见波段达2%、红外波段达0.2K
- 卫星具备一定的机动能力，实现对灾害天气的快速响应

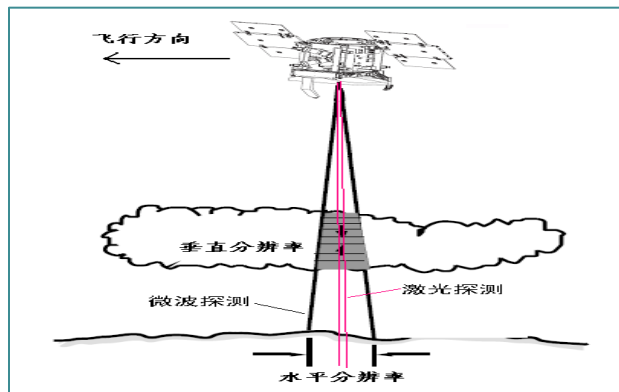
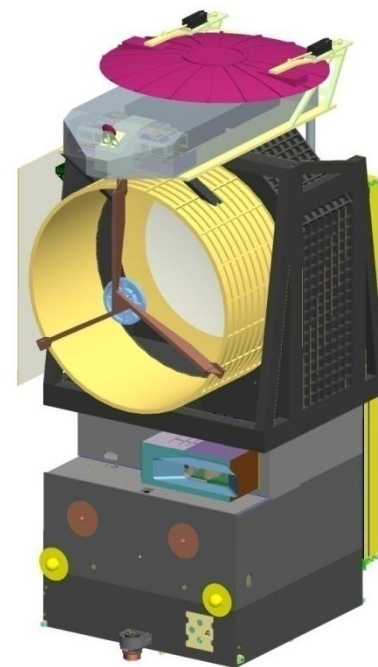


3.2、后续卫星设想

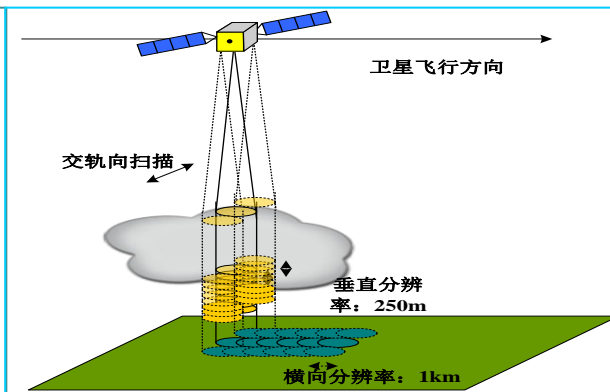
◆测云专用星

用于云-气溶胶参数的**三维结构探测**，探测云的几何廓线、云的冰水含量和液水含量廓线、云的光学厚度廓线、云粒子尺寸廓线以及降水层等云的三维结构和微物理参数。

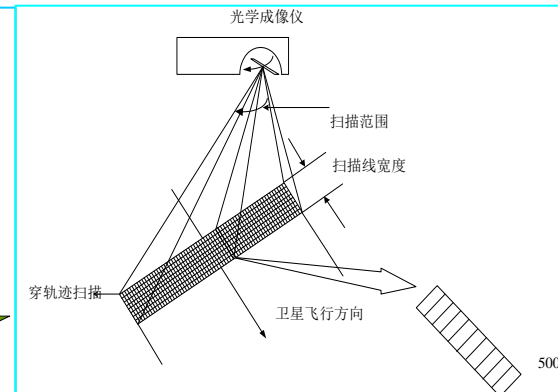
- 采用407km高度太阳同步下午轨道；
- 采用激光毫米波测云雷达/太赫兹测云雷达等**主动手段**；
- 弥补目前在云-气溶胶三维结构高精度探测的**空白**。



激光/毫米波测云雷达



太赫兹测云雷达



可见光红外扫描辐射计 34

3.2、后续卫星设想

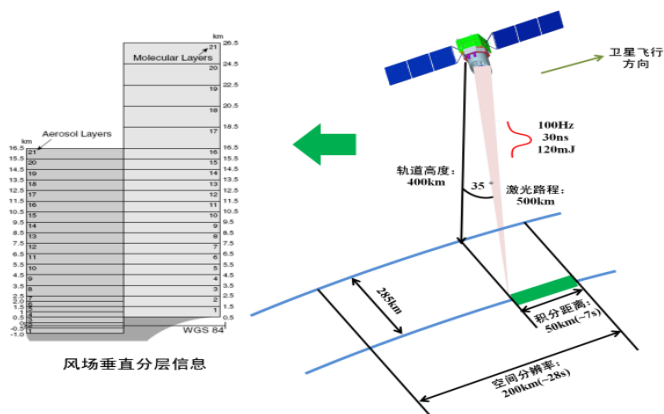
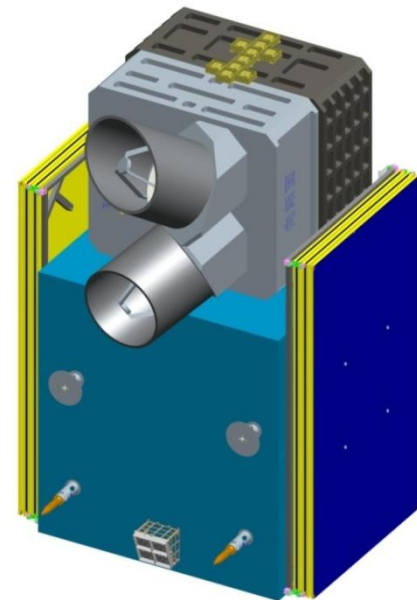
◆测风专用星

用于全球**三维风场定量观测**，提高对高/低空急流监测能力，提高大气环境监测、灾害性环境预测的准确性；

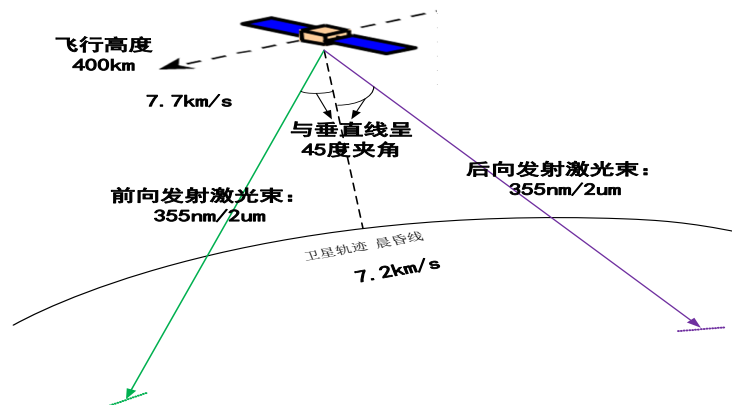
获取大气痕量气体传输的高层大气风场信息，改善气候模型，推动对平流层气候模式的研究。

➢采用405km高度太阳同步晨昏轨道；

➢采用激光测风雷达**主动手段**，提高风场**测量精度和观测时效**，改善数值天气预报模式**初始场条件**，将预报时效提高近**12小时**，更好地发挥专用卫星对地**气象与气候观测服务效能**。



直接测量工作模式



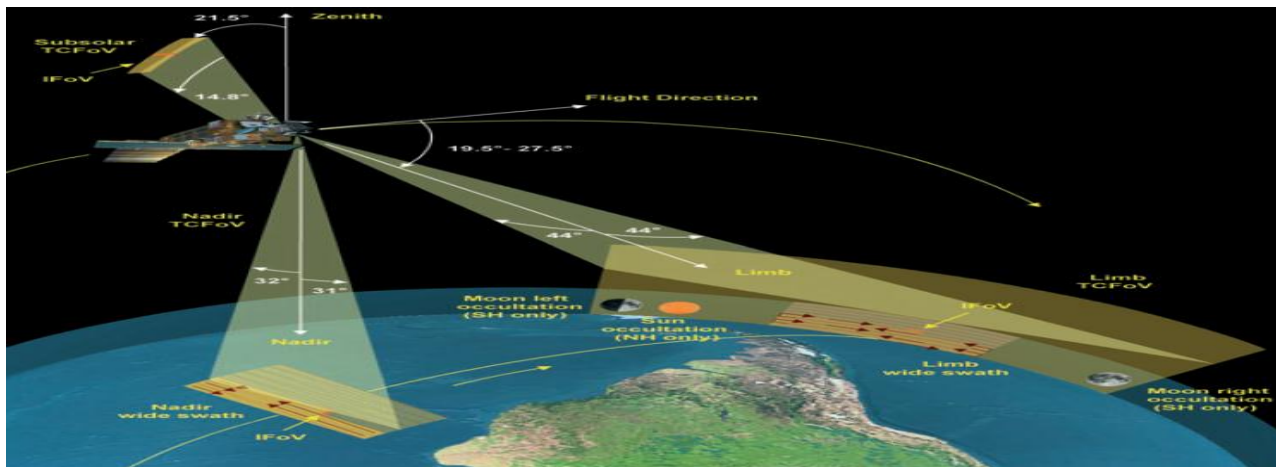
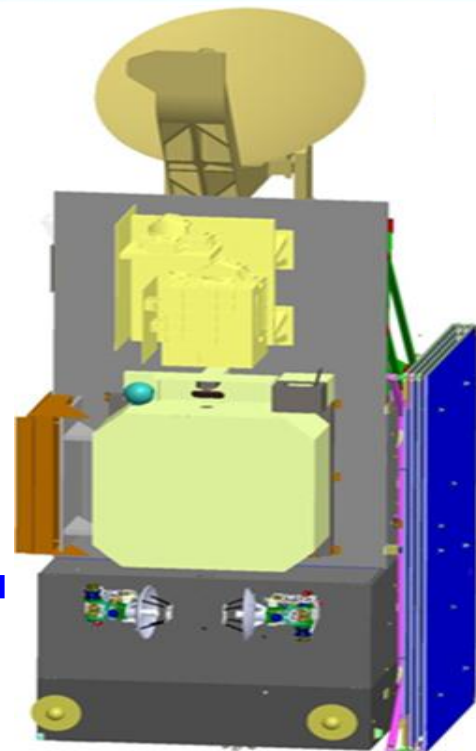
复合测量工作模式

3.2、后续卫星设想

◆大气成分星

对影响全球气候变化相关的中高层大气臭氧层、温室效应气体、对流层和平流层痕量气体和气溶胶等，进行**全球天底总量**和**临边垂直分布**探测，为全球气候变化预测提供长期、定量、高时空分布的大气成分综合观测信息。

- 采用836km高度太阳同步下午轨道；
- 实现高精度紫外、可见、红外、微波天底+临边大气痕量气体和中高层大气的监测能力；
- 形成观测仪器**全波段**在轨星上绝对辐射和光谱定标能力。

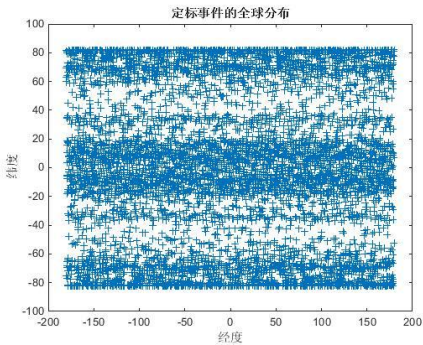
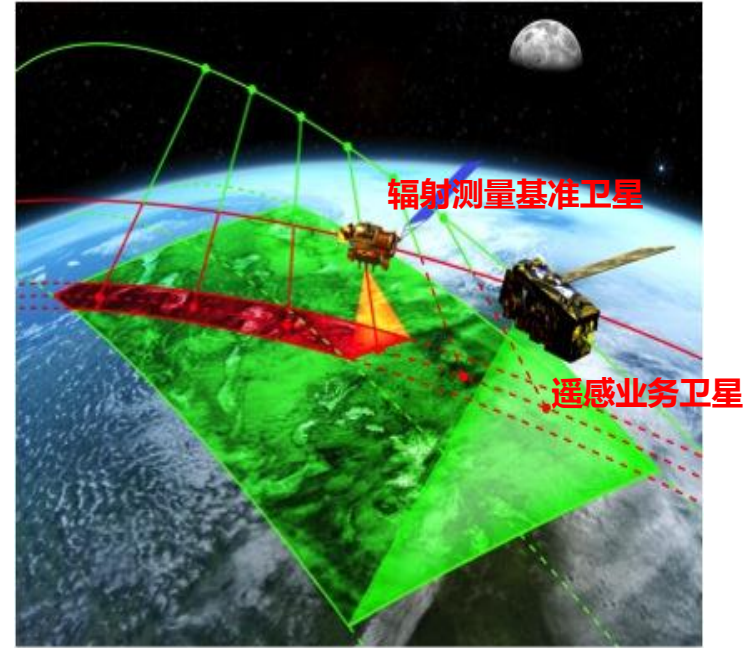


3.2、后续卫星设想

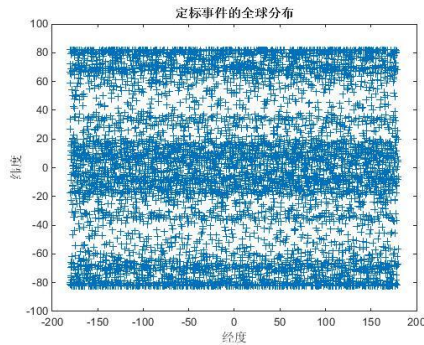
◆空间辐射测量基准卫星

在空间部署**独立的、精度得到精确控制的定标有效载荷**，在**轨道交叠条件下**，通过**交叉定标**的方式，实现其它载荷的在轨、周期性定标，同时满足气候要素测量需求。

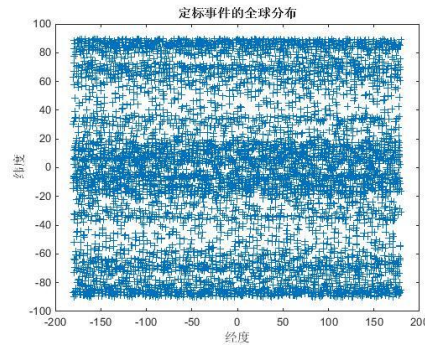
- 采用600km高度倾斜轨道（90°倾角）；
- 太阳反射波段辐射基准系统: 定标精度**0.3~1%**（ $k=2$ ）
- 红外波段辐射基准系统: 定标精度**0.1K**（ $k=2$ ）。



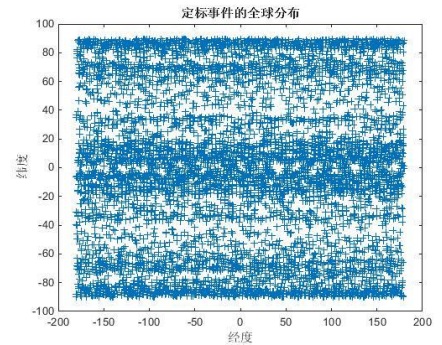
82°倾角轨道上午星
可定标6050次



82°倾角轨道下午星
可定标6035次



90°倾角轨道上午星
可定标6331次



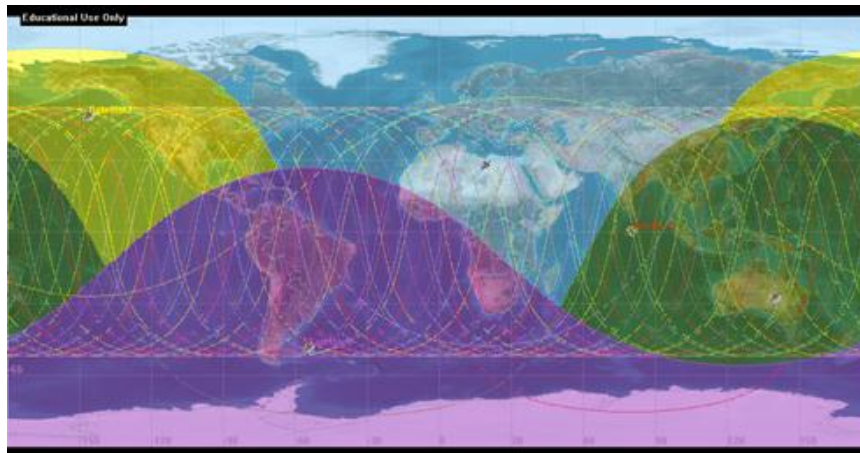
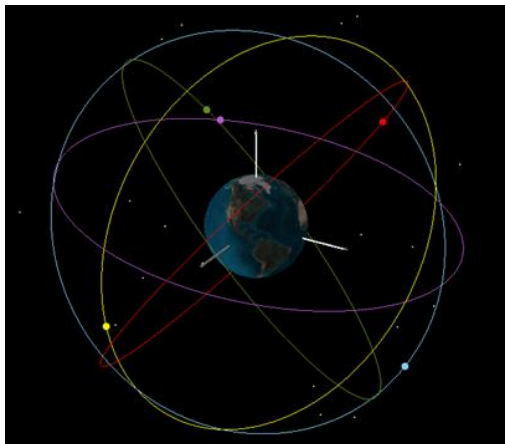
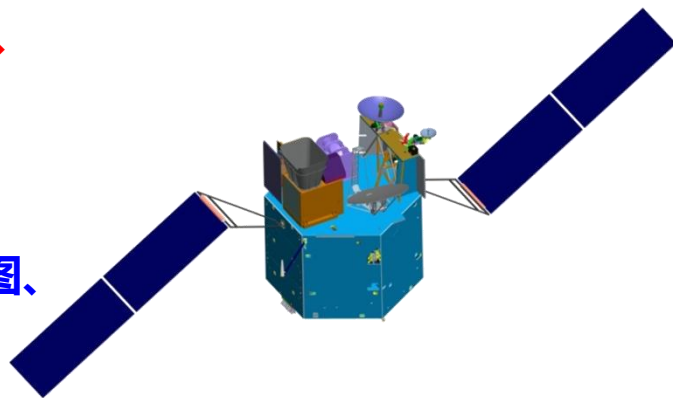
90°倾角轨道下午星
可定标6297次

3.2、后续卫星设想

◆中轨气象探测卫星

在中轨道 (MEO) 发展气象观测卫星系统，填补目前气象卫星体系空白，形成兼顾高时间分辨率和高空间分辨率、具备气象与海洋等信息全球覆盖24小时连续监测能力

- 5颗轨道高度20000km左右52° 倾角卫星组网
- 每颗卫星共同配置可见红外光谱仪和微波探测仪，实现对云图、气溶胶、海面风场、海洋温度等基础探测
- 每颗卫星分别配置雷达高度计、扫描辐射计、测云雷达、掩星信号接收机等其他专用载荷，互相配合使用

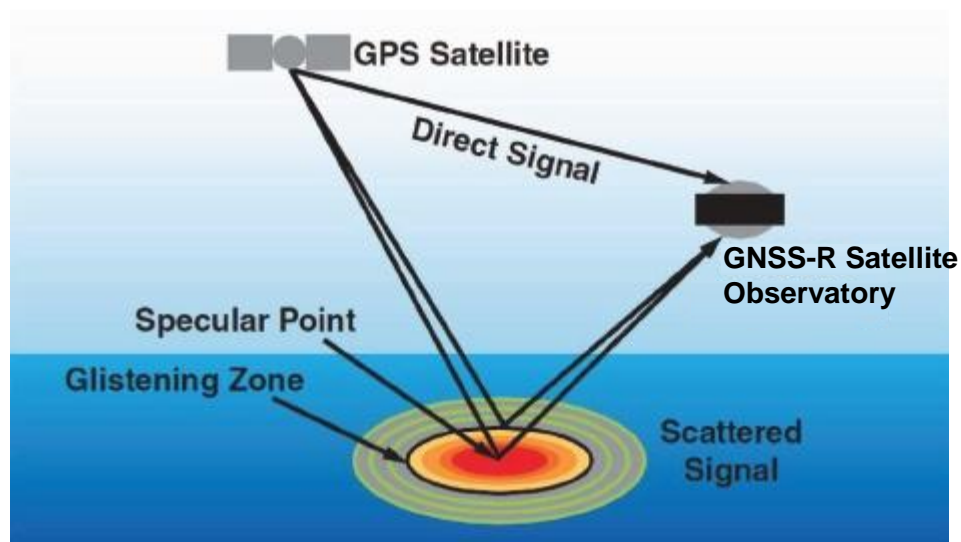
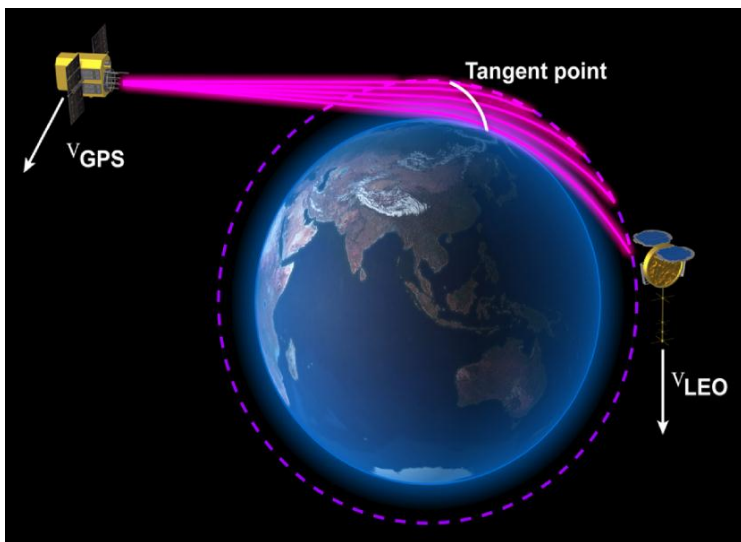


3.2、后续卫星设想

◆GNSS-R卫星星座

掩星探测可实现高精度的大气的折射率、温度、湿度等大气物理参数探测，弥补综合卫星在大气温湿压等物理参数探测时空覆盖中的不足。GNSS-R可实现海面风场的探测。

- 采用太阳同步轨道，实现全球尤其是中高纬度掩星事件密集覆盖
- 实现大气温湿度、海面高度、海面风场、有效波高、电离层探测
- 全天时、全天候、高分辨率、短重访



四、结束语

4、结束语

本报告在风云系列气象卫星的发展和现状的基础上，系统梳理了在研卫星和后续卫星的发展思路、探测能力和应用展望。并给出了风云系列后续重点卫星的初步思考。

期待国内外专家提出宝贵建议，共同促进我国气象卫星的发展。