

文章编号: 1672-8785(2013)11-0001-07

欧洲下一代气象卫星及其红外遥感仪器概要

陆 燕

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 总结了欧洲气象卫星组织 (EUMETSAT) 与欧空局 (ESA) 的气象卫星发展情况以及他们对下一代地球同步轨道和极轨气象卫星的规划。下一代地球同步轨道气象卫星计划为 MTG 系列, 将以 MTG-I (成像卫星) 和 MTG-S (探测卫星) 双星运行, 各自承载不同的探测仪器, 计划发射 6 颗卫星 (4 颗 MTG-I 和 2 颗 MTG-S)。而极轨气象卫星 MetOp-SG 则与美国国家海洋和大气管理局 (NOAA)/ 美国航空航天局 (NASA) 的卫星系统联合。ESA 当前的 MetOp 卫星和下一代 MetOp-SG 卫星在“上午”轨道上运行, NOAA/NASA 的下一代 JPSS 卫星在“下午”轨道上运行, 双方共享两个轨道卫星数据。

关键词: 下一代气象卫星; 遥感仪器; 红外传感器

中图分类号: TN215 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.11.001

Survey of the Next-generation Meteorological Satellites and Infrared Sensors of EUMETSAT/ESA

LU Yan

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The development of meteorological satellites of EUMETSAT/ESA is summarized and its program of next generation weather satellites used both in geostationary orbit and in polar orbit is presented. The next generation of geostationary weather satellites in MTG series will include an imaging satellite (MTG-I) and a sounding satellite (MTG-S). Both satellites will operate simultaneously and each of them will load different detection instruments. Six satellites (four MTG-I satellites and two MTG-S satellites) in MTG series are planned to be launched in the future. The polar orbit weather satellite named MetOp-SG will operate cooperatively with the satellite system of NOAA/NASA. The next generation satellite MetOp-SG of ESA will provide “morning” service just as the current MetOp satellite, and the next generation of JPSS satellite of NOAA/NASA will provide “afternoon” service. The data or information from MetOp-SG and JPSS satellites will be shared by both sides.

Key words: next-generation; meteorological satellite; remote sensing instrument; infrared sensor

0 欧洲气象卫星概况

ESA 最初于 1972 年提出气象卫星计划, 开始重点发展地球同步轨道应用, 并于 1977 年 11 月 23 日成功发射了 Meteosat-1 卫星。表 1 列出了

迄今欧洲已发射的气象卫星情况。其中, 地球同步轨道 (简称 GEO) 卫星有 10 颗, 近极太阳同步轨道 (简称极轨或 LEO) 卫星 (MetOp) 有 2 颗; 此外, MSG-4 卫星和 MetOp-C 卫星分别计划于 2015 年和 2017 年发射。1983 年, 欧洲 16 国筹建

收稿日期: 2013-10-10

作者简介: 陆燕 (1965-), 女, 上海人, 研究员, 主要从事空间红外探测器制冷和低温光学研究。

E-mail: luyan420@mail.sitp.ac.cn

了 EUMESAT。从 1989 年发射的 Meteosat-4 卫星开始, EUMESAT 负责管理气象卫星的发射和运行工作。在 Meteosat-1 ~ 7 地球同步轨道卫星

中, Meteosat-4 ~ 7 卫星被定义为第一代业务运行气象卫星 (MOP), 其装载的主要探测仪器是可见光红外成像仪 (MVIRI)。1993 年, 他们开

表 1 欧空局已发射气象卫星纵览

编 号	发射时间	主要探测仪器的名称及代号	简 介
Meteosat-1 ~ 3	1977-11-23 1981-08-16 1988-08-11	可见光红外成像仪 (MVIRI)	Meteosat-1 ~ 3 为欧空局试验卫星; Meteosat-4 开始进入业务运行后改为 MOP, 即第一代业务运行地球同步轨道气象卫星, 并由 EUMESAT 接手业务运行工作。是自旋稳定卫星平台, 从 1991 年开始双星运行。
Meteosat-4 ~ 7 (MOP-1 ~ 4)	1989-06-19 1991-05-02 1996-10-12 1997-09-02		
Meteosat-8 ~ 10 (MSG-1 ~ 3)	2002-08-22 2005-12-22 2012-07-05		
MetOp-A	2006-10-19	微波湿度探测仪 MHS、干涉式红外大气探测仪 IASI、H-IRS/4 和 AVHRR/3	· 上午轨道运行, 轨道高度为 817 km, 倾角为 98.7°, 降交点 9:30; · 2013 年 4 月 24 日, MetOp-B 代替 MetOp-A 作为主要业务观测卫星; · 设计寿命为 5 年。
MetOp-B	2012-09-17	微波湿度探测仪 MHS、干涉式红外大气探测仪 IASI、H-IRS/4 和 AVHRR/3	

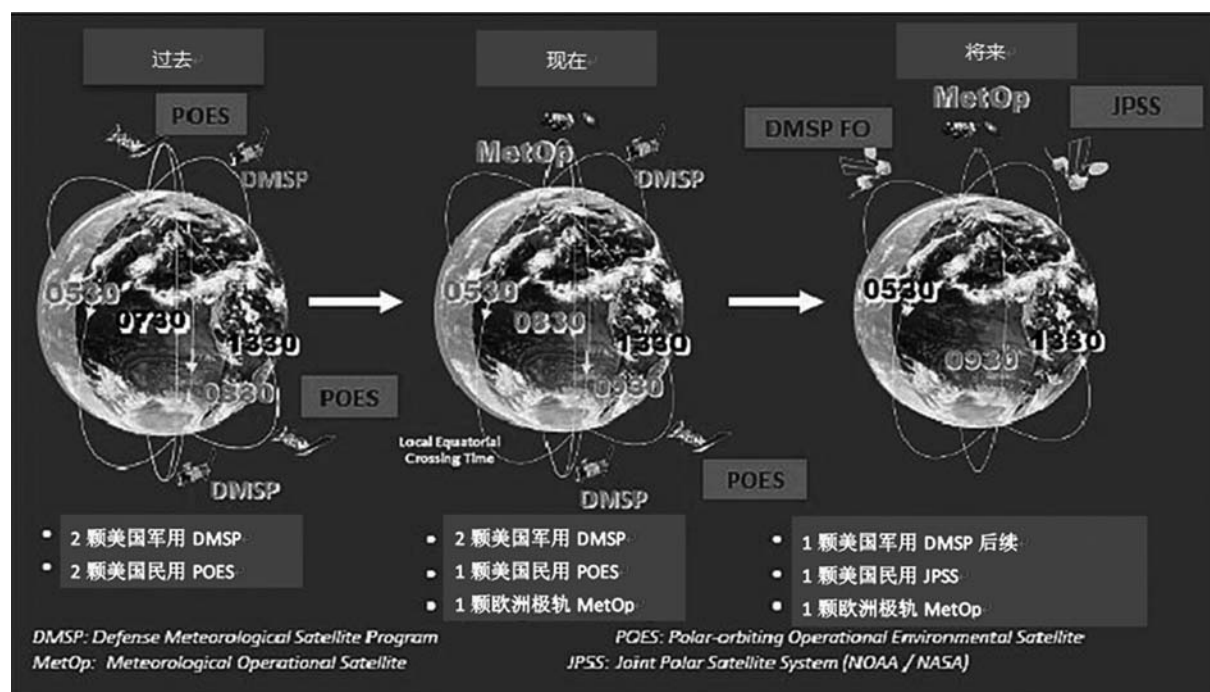


图 1 欧洲与美国的联合极轨气象卫星

始研制第二代 GEO 轨道气象卫星 (MSG), 并规划了 4 颗可至少持续工作到 2018 年的卫星。其中, 首发星于 2002 年 8 月 22 日发射成功, 现已发射了 3 颗卫星。MSG 卫星上的主要探测载荷为先进的可见光红外成像仪 (SEVIRI)。它具有 12 个通道, 包括 2 个可见光通道 (硅探测器)、2 个近红外通道 (InGaAs 探测器) 和 8 个红外通道 (HgCdTe 探测器); 其光谱范围为 $0.64 \sim 13.5 \mu\text{m}$ 。自 2000 年起, EUMESAT 和 ESA 开始规划下一代 GEO 轨道气象卫星 (简称 MTG), 现已完成前期的方案论证工作, 随即进入设计阶段。

欧盟是 1993 年以后才开始考虑发展极轨气象卫星的。1998 年, EUMESAT 与 NOAA 就极轨气象卫星达成合作协议。EUMESAT 的极轨系统负责提供“上午”轨道的业务观测服务, 而其“下午”轨道服务则在国际气象协议框架内由 NOAA 极轨系列卫星提供。这样, 欧洲极轨系统 (EPS) 与 NOAA 极轨系统便联合形成了用于提供全球气象数据的极轨联合系统 (IJPS)。其中, MetOp 卫星主要是作为 NOAA 极轨气象卫星和欧洲 MSG 地球同步轨道气象卫星的补充。图 1 所示为目前 IJPS 中极轨气象卫星的运营组合情况。他们已发射了 MetOp-A 卫星和 MetOp-B 卫星 (MetOp-C 卫星计划于 2017 年发射), 其轨道高度为 817 km, 降交点地方时为 9:30, 倾角为 98.7° , 设计寿命为 5 年。该卫星上装载了 12 个有效载荷:

- (1) 先进的高分辨率辐射计 (AVHRR/3);
- (2) 高分辨率红外探测仪 (HIRS/4);
- (3) 两台先进的微波探测仪 (AMSU-A1 和 AMSU-A2);
- (4) 微波湿度探测仪 (MHS), 由英国 EADS Astrium 公司负责研制;
- (5) 干涉式红外大气探测仪 (IASI), 由法国空间中心 (CNES) 和 EUMETSAT 合作研制, 其光谱范围为 $3.62 \sim 15.5 \mu\text{m}$, 光谱分辨率为 $8 \sim 70 \text{ nm}$, 视场为 $\pm 47.85^\circ$, 空间分辨率为 12 km (圆环);
- (6) 先进的散射仪 (ASCAT);
- (7) 全球臭氧监测试验仪器 (GOME-2);
- (8) 大气探测的 GNSS 接收器 (GRAS);
- (9) 遥测数据接收系统 (Argos-3);
- (10) 搜救系统 (S&R);
- (11) 空间环境监视仪 (SEM-2)。

其中, AVHRR/3、HIRS/4、AMSU (2 台) 和 SEM-2 均由 NOAA 提供。

1 下一代气象卫星 MTG 和 MetOp- SG

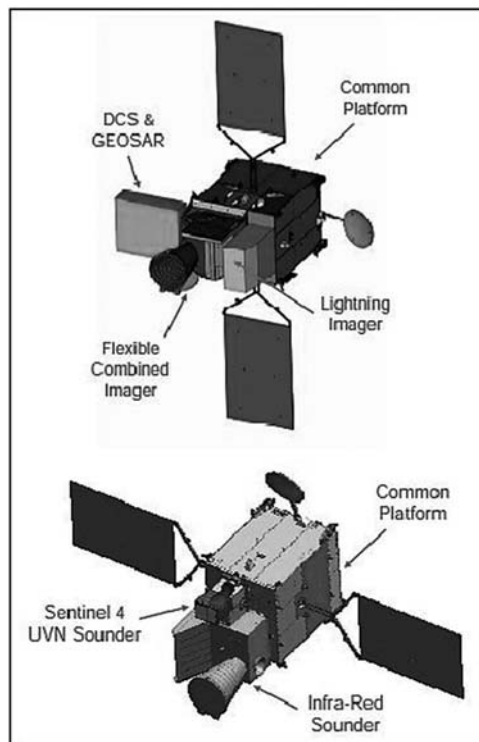


图 2 MTG 卫星的结构简图

MTG 是下一代欧洲地球同步轨道业务气象卫星系列, 该计划由 EUMETSAT 和 ESA 联合提出。其前期准备活动始于 2000 年末, EUMETSAT 理事会通过咨询 MSG 用户获取了他们在 2015 ~ 2035 年内对 EUMETSAT 卫星数据的需求情况。复杂空间系统的开发周期通常为 10 年或者更长的时间。当前的 MSG (第二代 Meteosat) 系统预计提供的观察服务至少能够持续到 2018 年。2008 年 10 月, EUMETSAT 和 ESA 就 MTG 计划的未来工作签署了相关协议, 明确了各自的任务、职责和财政义务以及对有效载荷的需求和对探测光谱的选择等内容。MTG 计划将由两颗卫星组成 (基本结构见图 2), 包括一颗成像卫星 MTG-I 和一颗探测卫星 MTG-S, 均采用三轴稳定平台。他们计划发射 6 颗卫星 (4 颗成像卫星和 2 颗探测卫星)。2011 年, 他们完成总体方案设计后进入正式研制阶段, 预计于 2018 年发射首颗 MTG-I 卫星。MTG-I 卫星上的主要载荷包括灵活的组合成像仪 (FCI)、闪电成像仪

(LI)、数据采集系统(DCS)以及GEO的搜救系统(GEOSAR); MTG-S卫星上的主要载荷包括红外探测器(IRS)和紫外可见光近红外探测器(同环境与安全全球监视计划GMES中Sentinel-4)。

欧洲下一代极轨气象卫星是从2006年开始规划,于2012年形成明确方案的。该系统也将由两颗承载不同载荷的卫星成对工作,计划发射6颗卫星。首批MetOp-SG-A和MetOp-SG-B卫星分别计划于2020年和2021年发射。MetOp-SG-A卫星将承载8个载荷:(1)气象成像仪(METImager),由德国的DLR负责研制,是用于气象领域的多光谱中分辨率成像辐射计,继承了NOAA的AVHRR-3和VIIRS技术;(2)微波探测器(MWS);(3)新一代干涉式红外大气分

光计(IASI-NG);(4)无线电掩星探测器(RO);(5)多视场多通道多偏振成像仪(3MI),用于气候监视中的气溶胶特性分析、数值天气预报、大气化学成分和空气质量监测;(6)辐射能量探测器(RER);(7)紫外可见光近红外探测器(UVNS/Sentinel-5);(8)低亮度成像仪(LLI)。MetOp-SG-B卫星将承载7个载荷,包括微波成像辐射计(MWI)、冰云成像仪(ICI,毫米波和亚毫米波圆锥扫描辐射计)、散射仪(SCA)、无线电掩星探测器(RO)、数据收集服务器(Argos-4)、搜救系统(S&R)以及空间环境监视仪(SEM)。

2 地球同步轨道灵活组合成像仪 (FCI)

表 2 FCI 仪器的光谱特性

光谱带 (μm)	中心波长 (μm)	光谱宽度 (μm)	空间采样距离 SSD (km)
VIS 0.4	0.444	0.060	1.0
VIS 0.5	0.510	0.040	1.0
VIS 0.6	0.640	0.050	1.0, (0.5) *
VIS 0.8	0.865	0.050	1.0
VIS 0.9	0.914	0.020	1.0
NIR 1.3	1.380	0.030	1.0
NIR 1.6	1.610	0.050	1.0
NIR 2.2	2.250	0.050	1.0, (0.5) *
IR 3.8	3.800	0.400	2.0, (1.0) *
WV 6.3	6.300	1.000	2.0
WV 7.3	7.350	0.500	2.0
IR 8.7	8.700	0.400	2.0
IR 9.7 (O_3)	9.660	0.300	2.0
TIR 10.5	10.50	0.700	2.0, (1.0)*
TIR 12.3	12.30	0.500	2.0
TIR 13.3 (CO_2)	13.30	0.600	2.0

FCI 将继承 EUMETSAT 自 2002 年 8 月 28 日发射 MSG-1 (Meteosat-8) 开始的 MSG 系列改进型自旋可见光红外成像仪 (SEVERI) 技术并加以改进。研究人员将高分辨率快速成像 (HRFI) 和全圆盘高光谱分辨率成像 (FDHSI) 功能合并在一台仪器 (FCI) 中实现。与 SEVERI 相比, FCI

在云、气溶胶、湿度和火灾探测等方面的性能都得到了改进,并增加了新通道,提高了时间分辨率、空间分辨率和辐射测量分辨率。表 2 列出了 FCI 的主要特性参数。

VIS 0.6、NIR 2.2、IR 3.8 和 IR 10.5 四个通道在 FDHSI 采样基础上同时配置了 HRFI 采

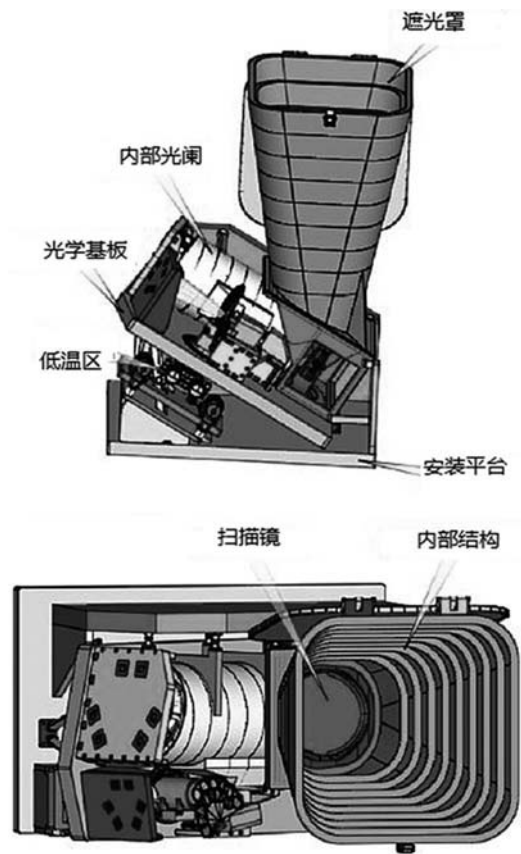


图 3 FCI 仪器的结构简图

样, 其余通道只有 FDHSI 采样。在正常的工作模式下, FDHSI 覆盖地球圆盘一次需要 10 min (即基本重复周期 BRC)。FCI 仪器由望远镜组件、光谱分离与探测组件以及 FCI 电子学组件构成, 其结构草图见图 3。FCI 的基本参数如下: 体积为 $1.57\text{ m}\times1.72\text{ m}\times2.2\text{ m}$, 重量 $<394\text{ kg}$, 电功耗 $<495\text{ W (max)}$, 数据率 $<68\text{ Mbit/s}$ 。

3 地球同步轨道的红外探测仪 (IRS)

红外探测仪 (IRS) 是 MTG-S 卫星上的主要探测仪器, 将为气象服务提供前所未有的大气水汽和温度水平、垂直的立体分布和瞬时分布 (即四维结构) 信息。IRS 具有 800 个长波红外 (波数在 $700\sim1210\text{ cm}^{-1}$ 或者波长在 $14.3\sim8.3\text{ }\mu\text{m}$ 之间) 光谱通道和 920 个中波红外 (波数在 $1600\sim2175\text{ cm}^{-1}$ 或者波长在 $6.25\sim4.6\text{ }\mu\text{m}$ 之间) 光谱通道, 能够在 60 min 内凝视和扫描整个地球圆盘。它可提供空间采样距离为 4 km、空间光谱分辨率为 0.625 cm^{-1} 的高光谱成像能力, 其主要光谱特性见表 3。IRS 工作在能穿透云和雨的毫米波波段, 其光学设计基于傅里叶变换干涉

表 3 IRS 仪器的特性

LWIR <Wavenumber> (cm^{-1})	Ref. Signal, T_{ref}	Noise (NEdT)	Noise (NEdT) excluding Spect. Calib.	Medium Term Stability	Long Term Stability	Absolute Accuracy
700	280 K	$<0.5\text{ K}$	$<0.489\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
714	280 K	$<0.5\text{ K}$	$<0.489\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
715	280 K	$<0.4\text{ K}$	$<0.387\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
729	280 K	$<0.4\text{ K}$	$<0.387\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
730	280 K	$<0.3\text{ K}$	$<0.282\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
769	280 K	$<0.3\text{ K}$	$<0.282\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
770	280 K	$<0.2\text{ K}$	$<0.173\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
1100	280 K	$<0.2\text{ K}$	$<0.173\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
1210	280 K	$<0.35\text{ K}$	$<0.335\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
MWIR <Wavenumber> (cm^{-1})	Ref. Signal, T_{ref}	Noise (NEdT)	Noise (NEdT) excluding Spect. Calib.	Medium Term Stability	Long Term Stability	Absolute Accuracy
1600	280 K	$<0.2\text{ K}$	$<0.173\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
1810	280 K	$<0.2\text{ K}$	$<0.173\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
1980	280 K	$<0.4\text{ K}$	$<0.387\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$
2175	280 K	$<0.85\text{ K}$	$<0.884\text{ K}$	$<0.1\text{ K}$	$<0.3\text{ K}$	$<0.5\text{ K}$

仪。IRS 的观测对象包括长波红外波段的臭氧带和中波红外波段的一氧化碳。通过对自由对流层进行测量,可以得到边界层以下的污染增强等级信息。

IRS 数据将以区域和全球数值天气预报模型统一传输,也可通过短时预报产品两种方式发布。图 4 为 IRS 仪器的结构图,其主要参数如下:体积为 $1.44\text{ m}\times 1.30\text{ m}\times 1.25\text{ m}$,重量为 438 kg,功耗为 858 W,数据率为 167 Mbit/s。

4 极轨气象成像仪 (METImage)

下一代极轨气象卫星的成像仪就是以前统称的可见红外成像仪 (VII)。它是一台先进的多

光谱中分辨率成像辐射计,由德国空间中心 DLR 研制,继承了当前的极轨 AVHRR-3 和美国下一

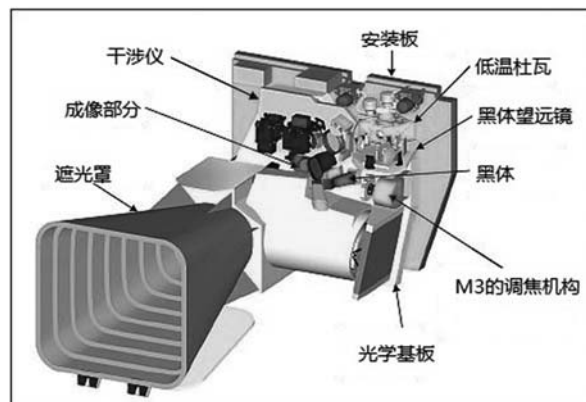


图 4 IRS 仪器的主要结构组成

表 4 METImager 的通道参数

λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	SNR/NE ΔT	IFOV	主要目标
443	30	221@42 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	500 m	气溶胶、“真彩成像”(蓝色通道)、植被
555	20	215@22 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	500 m	云、植被、“真彩成像”(绿色通道)
670	20	66@9.5 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	250 m	云、植被、“真彩成像”(红色通道)
763	10	333@20 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	1000 m	云和气溶胶的高度分布
763	40	500@20 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	1000 m	云和气溶胶的高度分布
865	20	60@6 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	250 m	植被、气溶胶、云、表面温度
940	50	250@15 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	500 m	水蒸汽成像、水蒸汽总量
1240	20	90@5.4 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	1000 m	云、气溶胶和植被
1365	40	300@6 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	500 m	高层气溶胶、卷云、水蒸汽成像
1630	20	300@7.3 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	500 m	云相、雪、植被、气溶胶、火灾
2250	50	110@1 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$	500 m	云顶的云微观物理分析、植被、陆地表面的气溶胶、火灾后
3740	180	0.050 K@300 K	500 m	云参数、云顶的云微观物理分析、吸收气溶胶、海洋表面温度 SST、陆地表面温度 LST、火、海洋和陆地冰
3959	40	0.074 K@300 K	1000 m	海洋表面温度 SST 和火灾
4040	60	0.074 K@300 K	1000 m	海洋表面温度 SST
6725	370	0.215 K@250 K	500 m	水蒸汽成像(包括极区风)和水蒸汽轮廓
7325	290	0.200 K@250 K	500 m	水蒸汽成像(包括极区风)和水蒸汽轮廓
8540	290	0.050 K@300 K	500 m	卷云、云发射率
10.79 μm	500	0.050 K@300 K	500 m	包括卷云探测的云参数、表面温度、表面成像(雪、冰)
12.02 μm	500	0.050 K@300 K	500 m	
13.345 μm	310	0.100 K@270 K	500 m	精确的云顶高度分层 CO_2 、温度轮廓

代 (NPP 和 JPSS) 的 VIIRS 技术。METImage 的主要目标是为人们提供高质量的全球成像数据和区域数值天气预测数据以及气候监测数据, 因此需要提供高分辨率的云、气溶胶、洋面和冰面温度产品, 共分 20 个通道 (见表 4)。

METImage 采用了旋转望远镜扫描器的光学设计, 其望远镜由以恒定速度旋转的消像散三反 (转轴平行于光线) 镜以及半角镜 (HAM) 组成, 如图 5 所示。其中, 半角镜是一块以望远镜转速一半的速度转动的平面镜。该系统能在焦平面上提供消像旋的成像, 其校准源被安装在 $\pm 55^\circ$ 地球视场的扫描角以外 (见图 5)。与两反望远镜相比, 消像散三反镜设计可以在较大的视场内

提供高质量成像, 并允许在焦平面上实现更多的探测器元数分布。至关重要是, 该设计在所有的光谱波段均能实现大的瞬时视场。此外, 大视场允许每个光谱波段增加探测器元数。这样便可以产生更大的地面视场, 从而降低望远镜转速以增加每个像元的积分时间, 最终提高辐射性能。主光学组件的后面是一个被动冷却的带有一个孔径光阑和一个场光阑的次光学组件, 它可以使杂散光和背景热辐射减至最小。然后分束器将光分为可见光和红外光两束, 分别对应于各自的焦平面阵列探测器。红外焦平面组件由主动制冷机维持低温环境。表 5 列出了 METImage 仪器的主要结构参数。

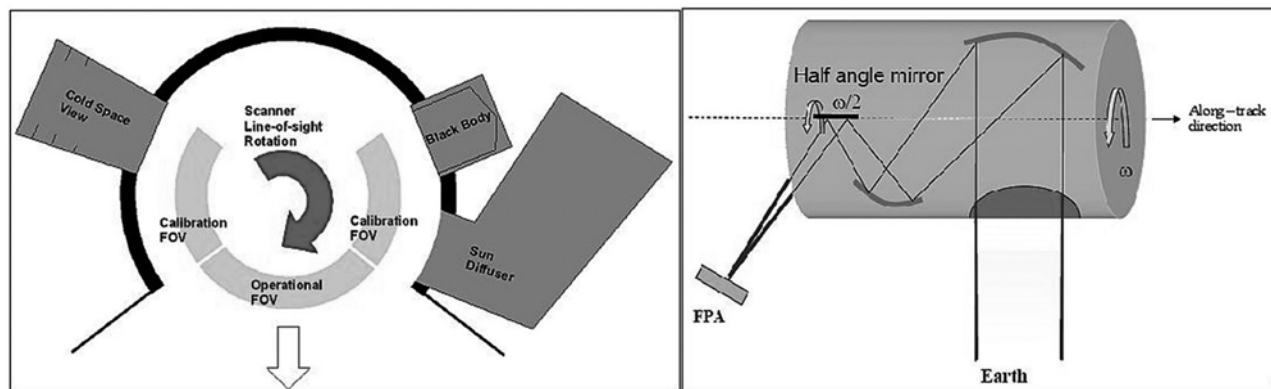


图 5 METImage 旋转望远镜的示意图

表 5 METImage 仪器的参数

参 数	说 明
扫描技术	行扫、旋转望远镜
刈幅	2800 km
光谱范围	0.4 ~ 13.4 μm
空间分辨率	根据不同通道, 分别为 0.25 km、0.5 km 或 1.0 km
覆盖范围 / 轨	全球覆盖 2 次 / 天 (长波通道) 或者 1 次 / 天 (短波通道)
重量	约 262 kg
功耗	140 W
数据率	20 Mbit/s

热辐射波段定标基于两点定标法, 即通过看冷空间测量“零”点和通过看高精度黑体测量高温点。黑体的工作温度接近仪器温度, 以减小因不完全的“黑”和黑色涂层退化而引起的误差。

在望远镜每次转动时, 通过扫描两个校准目标可以标定冷焦面上的所有探测器。黑体和冷空间视点位于望远镜的相对位置上 (见图 5 中的左 (下转第 36 页))