

我国风云四号气象卫星与日本Himawari-8/9卫星比较分析

张鹏 郭强 陈博洋 冯绚
(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要: 从观测仪器种类、观测波段设置、观测时空分辨率、仪器灵敏度、仪器定标精度、数据服务能力等六个方面比较和分析了我国风云四号(FY-4)试验星与日本Himawari-8/9卫星的水平和差距。从观测仪器种类方面来看, Himawari-8/9卫星只装载了辐射成像仪(AHI), FY-4试验星除装载一台与AHI性能基本相当的扫描辐射成像仪(AGRI)外, 更将首次在静止轨道上同时实现红外干涉式高光谱探测和闪电探测; 观测波段设置方面, FY-4试验星搭载的AGRI与Himawari-8/9 AHI基本相当; 时空分辨率方面, AHI略优于AGRI; 仪器灵敏度方面, AHI和AGRI在发射波段基本一致, AHI在反射波段明显优于AGRI; 仪器定标精度方面, AHI和AGRI基本相当; 数据服务能力方面, FY-4试验星仍然采用传统的卫星直接广播和借助通信卫星转发两种模式, 而Himawari-8/9以互联网云服务为主, 可按需灵活调配服务内容和性能且运维成本较低。

关键词: 风云四号试验星, Himawari-8/9卫星

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.01.010

The Chinese Next-Generation Geostationary Meteorological Satellite FY-4 Compared with the Japanese Himawari-8/9 Satellites

Zhang Peng, Guo Qiang, Chen Boyang, Feng Xuan
(National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081)

Abstract: The Chinese next-generation geostationary meteorological satellite FY-4 will be launched in 2016, equipped with advanced geostationary radiation imager (AGRI), geostationary interferometric infrared sounder (GIIRS) and lightning mapping imager (LMI). This paper, from several aspects, such as spectral region, spatial resolution, temporal resolution, sensitivity, calibration accuracy and the way of data broadcasting, compares the FY-4 satellite with the Himawari-8/9 satellites developed by the Japan Meteorological Agency.

Keywords: the FY-4 satellite, the Himawari-8/9 satellites

0 引言

经过四十多年的发展,我国已经独立自主发展了风云极轨与静止两个系列气象卫星,成功发射了14颗,实现了系列化发展、业务化运行,实现了从“试验应用型”到“业务服务型”的转变。这其中,一方面,第一代静止气象卫星(FY-2)已有三颗卫星,即FY-2E/F/G星在轨业务运行,分别定点于86.5°E、112°E和105°E,形成了“双星观测、互为备份”的

业务观测格局,并可在需要时实现机动加密观测的业务能力;另一方面,第二代静止气象卫星(FY-4)的首颗试验卫星计划于2016年发射,除了常规的成像探测外,该星将在国际上首次同时实现红外高光谱垂直探测和闪电探测^[1],这将在很大程度上提高我国在短临天气预报、应对气候变化等防灾减灾方面的观测能力,巩固国际气象卫星大国的地位。

自1977年以来,日本的静止系列气象卫星已经经历了两代,即第一代GMS卫星(共发射5颗,一直服役到2003年)和第二代MTSAT卫星(MTSAT-1R和MTSAT-2,计划工作到2015年),其第三代静止气象卫星首发星Himawari-8已于2014年10月7日发射并在2015年业务化,接替正在服役的MTSAT-2卫星。

收稿日期:2015年4月30日;修回日期:2015年9月19日
第一作者:张鹏(1970—), Email: zhangp@cma.gov.cn
通信作者:郭强, Email: guoqiang@cma.gov.cn
资助信息:国家自然科学基金(41275034, 91338203)

该系列的第二颗Himawari-9星计划于2016年发射。Himawari-8/9最显著的特点就是装载了国际上最先进的静止轨道成像仪AHI，它与美国下一代静止气象卫星（GOES-R）上计划装载的先进基线成像仪（ABI）同为ITT EXELIS公司研制，二者仅有个别波段在性能指标上稍有差异。显然，在充分研究和分析Himawari-8/9系列卫星探测和应用技术的基础上，客观认识我国静止系列气象卫星在发展水平和能力上的差距和不足，是十分必要的，这对于后续气象卫星规划和研制有重要参考意义。

1 主要比较分析

本节从观测资料种类、观测波段设置、观测时空分辨率、仪器灵敏度、仪器定标精度、数据服务能力等六个方面，展开对比分析。同时，简要介绍一下FY-4卫星特有的红外高光垂直探测仪和闪电成像仪。

1.1 观测资料种类

由表1可知，从观测资料种类上来说，Himawari-8/9和FY-4试验星都具有满足气象、环境监测所需的传统的二维成像观测，而FY-4试验星还具备对空间环境要素进行探测的能力。特别是，FY-4试验星新增了静止轨道的红外波段三维垂直探测（具有913个探测波段）和闪电探测能力，这对于进一步提高中小尺度上的短临天气监测和预报水平至关重要。

表1 Himawari-8/9和FY-4试验星观测资料种类对比

Table 1 Comparison of the payloads onboard Himawari-8/9 and FY-4

	Himawari-8/9	FY-4试验星
有效载荷与观测资料种类	AHI, 二维成像观测	AGRI, 二维成像观测
	—	GIIRS, 三维垂直探测
	—	LMI, 闪电探测
	—	SWMS, 空间探测

由于Himawari-8/9系列卫星仅有辐射成像仪（AHI）^[2]，因此，以下在观测波段设置、观测时空分辨率、仪器灵敏度、仪器定标精度等方面的比较，也仅限于与FY-4 AGRI进行对比。

1.2 观测波段设置

由表2可知，日本第三代Himawari-8/9和我国第二代FY-4同属新一代静止气象卫星，其通道设置和数量上比较接近。

1.3 观测时空分辨率

在空间分辨率方面，Himawari-8/9的可见光通道空间分辨率为0.5~1km，红外通道空间分辨率为2km；FY-4试验星的空间分辨率，可见光波段达到0.5~1km，中短波红外达到2km，长波红外达到4km（表2）。这其中，与Himawari-8/9相比，FY-4在长波

表2 Himawari-8/9和FY-4试验星观测波段设置及空间分辨率对比

Table 2 Comparison of spectral region and spatial resolution of Himawari-8/9 and FY-4

Himawari-8/9		FY-4 (A星)	
中心波长 (μm)	分辨率 (km)	中心波长 (μm)	分辨率 (km)
0.47	1	0.47	1
0.51	1	—	—
0.64	0.5	0.65	0.5~1*
0.86	1	0.825	1
—	—	1.375	2
1.6	2	1.61	2
2.3	2	2.225	2~4*
3.9	2	3.725H	2
—	—	3.725L	4
6.2	2	6.25	4
6.9	2	7.1±0.2**	4
7.3	2	—	—
8.6	2	8.5±0.5***	4
9.6	2	—	—
10.4	2	10.8±0.5	4
11.2	2	—	—
12.4	2	12.0±0.5	4
13.3	2	13.5±0.3	4

注：*表示这两个波段的原始观测数据分辨率分别为1km和2km，但通过采用特殊的采样和处理手段后，用户获得图像分辨率可以达到0.5km和1km；**表示B星时调整为2个通道，即6.75~7.15μm和7.24~7.60μm；***表示C星时调整为2个通道，即8.4~9.0μm和9.42~9.8μm。

红外波段上空间分辨率相对较低，主要是受制于探测器和制冷器研制水平，预计该项技术可在FY-4第二颗业务星上得到全面解决。

在观测时间分辨率方面（表3），Himawari-8/9全圆盘观测需10分钟，台风尺度区域观测需2.5分钟；FY-4试验星全圆盘观测需15分钟，台风尺度的区域观测需3分钟^[5]，略逊于Himawari-8/9，但与GOES-R相当^[6]，基本达到了国际静止气象卫星同期水平。

表3 Himawari-8/9和FY-4试验星观测时间分辨率对比

Table 3 Comparison of temporal resolution of Himawari-8/9 and FY-4

	Himawari-8/9	FY-4试验星
全圆盘观测	10分钟	15分钟
区域观测	2.5分钟（日本本土、台风尺度系统）	3分钟（2500km×2500km）

1.4 仪器灵敏度

由表4不难看出，FY-4业务星可见光、近红外波段主要波段的典型信噪比约为200，比Himawari-8/9低50%；除高温探测波段（3.8_B）和13.3μm波段外，FY-4试验星红外波段典型灵敏度为0.2K，与Himawari-8/9相当，具体指标对比详见表4。上述差距主要也是由探测器制造工艺、整星温度控制水平等因素造成，有望在FY-4后续业务星中逐步解决。

表4 Himawari-8/9和FY-4试验星仪器灵敏度指标对比
Table 4 Comparison of sensitivity of Himawari-8/9 and FY-4

中心波长 (μm)	Himawari-8/9	FY-4试验星
0.470	300@100%	90@100%
0.510	300@100%	—
0.645	300@100%	150@100%
0.860	300@100%	200@100%
1.375	—	150@100%
1.610	300@100%	200@100%
2.260	300@100%	200@100%
3.8_A	0.2K@300K	0.2K@300K
3.8_B	—	0.7K@300K
6.30	0.2K@300K	0.2K@300K
6.95	0.2K@300K	0.25K@300K
7.35	0.2K@300K	—
8.70	0.2K@300K	0.2K@300K
9.66	0.2K@300K	—
10.50	0.2K@300K	0.2K@300K
11.20	0.2K@300K	—
12.30	0.2K@300K	0.2K@300K
13.3	0.2K@300K	0.5K@300K

1.5 仪器定标精度

由表5不难看出,对于FY-4试验星,在波段增加、空间分辨率提高的条件下,全部波段的定标精度有望优于1K,争取达到0.5K。总的来说,从定标精度来看,FY-4定标精度与Himawari-8/9基本相当。

表5 Himawari-8/9和FY-4试验星仪器定标精度对比
Table 5 Comparison of calibration accuracy of Himawari-8/9 and FY-4

卫星	反射波段定标		发射波段定标	
	定标指标	实际性能	定标指标	实际性能
Himawari-8/9	5%	—	1K	—
FY-4试验星	3%~5% (0.45~0.49μm除外)	优于5%	1K (13.2~13.8μm除外)	优于1K (争取0.5K)

1.6 数据服务能力

1.6.1 FY-4 试验星数据服务

FY-4试验星在数据服务方面,主要采用传统的高速率信息传输和低速率信息传输两种方式进行(表6)。

表6 FY-4试验星数据广播方式
Table 6 The way of data broadcasting of FY-4

FY-4试验星
HRIT1广播1路: 8Mbps
HRIT2广播1路: 3M/1Mbps
LRIT/EWAIB广播1路: 150Kbps/2Kbps

1.6.2 Himawari-8/9 数据服务

Himawari-8/9不携带用于数据直接分发的设备。卫星获取的所有图像通过互联网云服务(Internet cloud service)分发给国家气象和水文局(NWHs)。JMA还开展HimawariCast服务,即把基本的图像数据通过通信卫星分发给NMHSs。具体来说:

1) 互联网云服务

为了发布海量的图像数据,JMA为东亚和西太平洋地区的用户提供互联网云服务。为了能够使用云服务,要求用户的网速至少为25Mbps。

表7列出了Himawari-8/9通过云服务分发的观测数据集,可用于生成所有16个波段的最优空间分辨率产品。真彩色图像将以PNG格式提供。快速扫描观测的图像以NetCDF格式分发。

表7 Himawari-8/9通过互联网云服务分发的数据
Table 7 Imagery distribution via a cloud service

数据格式	观测区域	
Himawari标准数据	全圆盘	• 全圆盘: 每10分钟
	重点区域	• 重点区域: 每2.5分钟
真彩色图像 (PNG)	全圆盘	• 16 通道
	重点区域	• 最高空间分辨率
快速扫描图像 (NetCDF)	全圆盘	• 真彩色合成图像
	重点区域	• 全圆盘: 每10分钟
		• 重点区域: 每2.5分钟
		• 最高空间分辨率
		• 重点区域: 每2.5分钟
		• 16 通道
		• 最高空间分辨率

为了继续为在线JDDS(JMA Data Dissemination System)用户提供服务(表8),JMA保留通过JDDS数据分发系统提供HRIT文件数据。

表8 Himawari-8/9保留的JDDS连续分发数据集
Table 8 Imagery distribution via JDDS

数据格式	观测区域	
HRIT	全圆盘	• HRIT格式
		• 每30分钟更新一次
		• 仅有五个通道
		• 低空间分辨率

2) HimawariCast服务

HimawariCast分发的数据(表9)包括HRIT、LRIT格式的图像数据,以及一些气象数据,如:数值预报产品、场地观测资料等。

表9 Himawari-8/9通过通信卫星分发的数据集
Table 9 Imagery distribution via HimawariCast

数据	格式	备注
Himawari-8/9 全圆盘	HRIT	• 10分钟更新一次。
	LRIT	• HRIT: 5 bands
		• LRIT: 3 bands
		• 低空间分辨率
数值预报产品	SATAID	• JMA Global Model全球模式
		• 6小时更新
观测资料(地面、船舶、探空)	SATAID	• 覆盖东亚及西太平洋区域
洋面风(来自EUMETSAT)	SATAID	• 数据由EUMETSAT提供, JMA负责转换数据格式

3) Himawari-8/9数据服务能力分析

Himawari-8/9的观测图像数据主要通过两种方式向用户分发:互联网云服务和HimawariCast服务,其标准数据,即所有16个波段的最优空间分辨率、最高

时间分辨率的数据只通过互联网云服务的方式分发。同时, Himawari-8/9 互联网云服务的优点表现在: 一方面, 不用建设任何硬件设备从而可以降低成本; 另一方面, 管理层可根据业务发展的规模和需求, 调配所需的服务组合。

1.7 FY-4 特有探测仪器简介

FY-4 试验星将装载红外干涉式高光谱探测仪 (GIIRS) 和闪电成像仪 (LMI), 实现我国在地球同步轨道上的首次红外高光谱探测和闪电成像探测, 表10和表11分别给出了GIIRS和LMI的主要性能指标。

GIIRS将极大提升我国在地球同步轨道上对大气温度、湿度和若干痕量气体特性参数的空间和时间四维结构及其变化规律的观测能力, 改进垂直分辨率, 为数值天气预报和气候研究服务。同时, LMI也将实现闪电成像观测, 获取卫星观测覆盖区内的闪电分布图, 为灾害性强对流天气预警和军事应用服务。值得一提的是, 如果FY-4试验星能在2016年如期发射, 将在全球范围内首次实现在一个卫星平台上同时完成光学成像、红外高光谱探测和闪电探测等一系列高精度对地观测, 具有里程碑式的意义。

表10 红外干涉式高光谱探测仪 (GIIRS) 主要性能指标
Table 10 Characteristics of GIIRS

	波长范围	分辨率 (cm ⁻¹)	通道数
光谱参数	长波红外: 700 ~ 1130cm ⁻¹	0.8	538
	中波红外: 1650 ~ 2250cm ⁻¹	1.6	375
	可见光: 0.55 ~ 0.75μm		
空间分辨率	长波/中波红外波段: 16km (星下点) 可见光波段: 2km (星下点)		
运行模式	中国区域: 5000km × 5000km 中尺度区域: 1000km × 1000km		
时间分辨率	中国区域: < 1h 中尺度区域: < 0.5h		
灵敏度	长波红外: 0.5 ~ 1.1; 中波红外: 0.1 ~ 0.14 (单位: mW/m ² ·sr·cm ²) 可见光: S/N > 200 (ρ = 100%)		
定标精度	辐射定标精度: 1.5K (3σ); 光谱定标精度: 10ppm (3σ)		
量化等级	13比特		

表11 闪电成像仪 (LMI) 主要性能指标
Table 11 Characteristics of LMI

空间分辨率	7.8km (星下点)
探测器规模	400 × 300 × 2
中心波长	777.4nm
带宽	1nm ± 0.1nm
探测率	>90%
虚警率	<10%
动态范围	>100
信噪比	>6
帧频	2ms
量化等级	12比特
测量误差	10%

2 结论

Himawari-8/9是日本第三代静止气象卫星, 装载了目前国际上最先进的AHI, 成像观测的综合性能优异。在我国, 第二代静止气象卫星 (FY-4) 首发星也计划于2016年发射, 整体探测性能和应用能力将在现有基础上有质的提高。对比中、日两国静止气象卫星, 二者在综合探测能力、仪器观测能力、定量化应用水平以及数据服务能力等四个方面各有优劣, 具体来说:

1) 在综合探测能力方面, FY-4具有对天气气候和空间环境的探测能力, 且FY-4试验星将首次在静止轨道上同时实现红外高光谱垂直探测和闪电探测。Himawari-8/9卫星则主要关注于对天气气候系统的辐射成像观测。

2) 在仪器观测能力方面, Himawari-8/9 AHI在观测波段设置和时空分辨率方面, 略优于FY-4试验星AGRI。

3) 在定量化应用水平方面, 除FY-4 AGRI反射波段灵敏度稍低, Himawari-8/9 AHI和FY-4 AGRI在仪器灵敏度和定标精度等性能上基本相当。

4) 在数据服务能力方面, FY-4卫星采用传统的卫星直接广播和借助通信卫星转发两种模式。Himawari-8/9卫星则采用了以更为灵活的互联网云服务方式为主, 并兼顾通过通信卫星来实现对HRIT/LRIT低分辨率资料的HimawariCast广播方式。需要指出的是, Himawari-8/9数据服务模式需要用户有高速互联网接入能力, 建议FY-4卫星可在未来条件成熟的时候借鉴采用。

参考文献:

- [1] 杨军, 等. 气象卫星及其应用. 北京: 气象出版社, 2012.
- [2] Himawari-8/9: User's guide. [Online]. <http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
- [3] 张如意, 王玉花. FY-2C星辐射定标及其结果分析. 上海航天, 2005, S1: 31-35.
- [4] 李卿, 董瑶海. 中国气象卫星技术成就与展望. 上海航天, 2008, 1: 1-10.
- [5] 王淦泉, 陈桂林. 地球同步轨道二维扫描红外成像技术. 红外与激光工程, 2014, 43(2): 429-433.
- [6] 周润松, 葛榜军. 美国新一代气象卫星系统发展综述. 航天器工程, 2008, 17(4): 91-98.
- [7] 郭强, 陈博洋, 张勇, 等. 风云二号卫星在轨辐射定标技术进展. 气象科技进展, 2013, 3(6): 6-12.