

# 中国新一代极轨气象卫星——风云三号<sup>\*</sup>

杨 军 董超华 卢乃锰 杨忠东 施进明 张 鹏 刘玉洁 蔡 斌

YANG Jun DONG Chaohua LU Neimeng YANG Zhongdong SHI Jinming ZHANG Peng LIU Yujie CAI Bin

中国气象局国家卫星气象中心, 北京, 100081

*National Satellite Meteorological Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*

2009-01-31 收稿, 2009-04-06 改回.

Yang Jun, Dong Chaohua, Lu Neimeng, Yang Zhongdong, Shi Jinming, Zhang Peng, Liu Yujie, Cai Bin. 2009. FY-3A, the New Generation Polar-Orbiting Meteorological Satellite of China. *Acta Meteorologica Sinica*, 67(4): 501–509

**Abstract** FY-3 is the second generation polar-orbiting meteorological satellite series of China. The first satellite named FY-3A of this series was launched from Taiyuan in Shanxi Province at 03:02 UTC on 27 May 2008. The new generation satellites series are to provide three-dimensional, quantitative, multi-spectrum global remote sensing data under all weather conditions, which will greatly help the operational numerical weather prediction, global change research, climate diagnostics and prediction, and natural disasters monitoring. They will also provide help for many other fields such as agriculture, forestry, stock raising, oceanography, hydrology and so on.

Observations from all of the 11 instruments aboard this satellite are broadcast on L and X bands. Ground receiving stations operated by National Satellite Meteorological Center (NSMC) receive the data from FY-3A and then send the data to Center of Data Processing and Service (CDPS) at NSMC in Beijing routinely. The remote sensing data are processed by using various algorithms and different kinds of products are generated routinely with the high-speed computers and networks of NSMC. The data and products are available to users worldwide.

The trial run of FY-3A took about six months following its launch. FY-3A has been officially in operation since January 2009. This paper introduces the FY-3A platform, data transmission, payloads, and products. Major technical peculiarity and application examples are given as well.

**Key words** FY-3A, New generation, Instrument, Technical peculiarity, Products

**摘 要** 风云三号(简称 FY-3)是中国第 2 代极地轨道气象卫星系列。它的第 1 颗星——风云三号 A 星(FY-3A)于 2008 年 5 月 27 日上午 11 时 02 分 33 秒在山西太原卫星发射中心发射升空。新一代极轨气象卫星主要是实现全球、全天候、三维、定量、多光谱遥感, 以满足现代气象业务, 特别是数值天气预报业务的发展, 同时监测大范围气象及其衍生自然灾害和生态环境变化, 为研究全球气候变化规律, 进行气候诊断和预测提供地球物理参数, 为农、林、交通、海洋、水文等多领域提供服务。FY-3A 携带 11 个对地观测仪器, 其观测数据通过星地链路进入地面接收站, 并在数据处理和服务中心(国家卫星气象中心大楼内)汇集。在强大的计算机和网络支撑下, 利用科学算法对仪器遥感数据进行处理, 生成各类产品, 提供给用户使用。

FY-3A 发射后, 经过半年的在轨测试和试运行, 于 2009 年初正式投入业务运行, 卫星和地面系统状态稳定, 工作正常。文中较系统地介绍了卫星轨道、数传、仪器、数据接收、处理和产品等, 尤其分析了星载仪器的主要技术特征, 并给出了部分产品应用实例。

**关键词** FY-3A, 新一代, 仪器, 技术特点, 产品

中图法分类号 P405

资助课题: 风云三号气象卫星应用系统一期工程项目资助(发改农经[2005]2267号文件)。

作者简介: 杨军, 主要从事卫星工程和卫星气象学研究。Email: Junyang@cma.gov.cn

## 1 引言

1988年9月7日中国发射了自行设计和研制的第1颗气象卫星——FY-1A。该星为太阳同步轨道,也叫极地轨道卫星,装载一台可见光和红外共5个光谱通道的扫描辐射计。直到2002年中国共发射4颗太阳同步轨道气象卫星,其中后两颗业务气象卫星FY-1C/D较FY-1A/B两星在仪器探测能力方面有重要改进,光谱通道数量由5增加到10,其中有3个为红外通道,使监测云和地表的能力大大增强。这两颗星的实际运行时间均超过了其设计寿命,在中国的气象、气候、环境,尤其是在由气象衍生的自然灾害监测方面发挥了重要作用,产生了很大的经济和社会效益(Fang, et al, 2004)。

2008年5月27日,中国新一代极轨气象卫星系列首发星FY-3A在山西太原卫星发射中心成功发射。该星携带11台仪器,其中9台为初次上星。仪器探测波段覆盖紫外、可见光、红外和微波,最大特点是具有全天候大气探测能力,可为数值天气预报提供初始场资料,在环境监测方面具有可达250 m分辨率的可见光和红外波段资料(中国气象局研制任务书<sup>①</sup>, 2004)。由于探测资料数据量大,传输信道多,同时要求高时效获取,因此, FY-3地面应用系统是一个全新设计和建设的系统。

2008年6月30日至10月31日对FY-3A的功能和性能进行了在轨全面测试,分析评估其与设计指标的满足程度,为后续星的改进提供科学依据,更

重要的是通过在轨测试和调试,使星地接口匹配达到了最佳状态,数据处理流程进一步优化,提高了运行质量。11月FY-3A进入业务试运行,2009年1月该星进入业务运行并提供服务。本文根据在轨测试结果,重点给出FY-3A卫星平台、遥感仪器技术指标,分析其特点;简要介绍数据接收和处理流程以及业务产品,并给出典型产品应用示例。

## 2 FY-3A 卫星和仪器

### 2.1 卫星轨道

FY-3A卫星轨道高度831 km,轨道倾角 $98.81^\circ$ ,白天自北向南绕地球运行。卫星绕地球一周大约需要102 min,降交点地方时约为10时05分,回归周期约5 d。

FY-3A采用三轴稳定姿态方式,单翼太阳能帆板自动对日进行定向跟踪,为卫星和仪器工作提供能源。卫星设计寿命3年。

### 2.2 星地数据传输

星上有两类数据,一是遥测数据,即卫星和仪器状态方面的信息,一是仪器探测数据。这些数据通过星上数传信息处理器,按国际通用的CCSDS格式进行编排,再通过S、L和X波段3个传输信道发送到地面。S波段主要发送遥测数据,L波段主要发送星上直接广播数据HRPT(中分辨率光谱成像仪数据除外),X波段主要发送星上直接广播的中分辨率光谱成像仪数据,即MPT和星上存储的仪器在中国境外的探测数据,即DPT。主要参数见表1。

表1 星地数据传输技术指标

Table 1 FY-3A data transmission characteristics

波段	载波频率	信道	内容	速率
S		测控	遥测和控制	2000—4096 bps
L	1698—1710 MHz	HRPT	10种仪器探测数据	4.2 Mbps
X	7750—7850 MHz	MPT	中分辨率光谱成像仪探测数据	18.7 Mbps
	8025—8400 MHz	DPT	星上存储的11种仪器探测数据	93.0 Mbps

### 2.3 星载仪器

FY-3A携带了11台探测仪,光谱通道达百余个,覆盖紫外、可见光、红外和微波波段的宽广范围,除对大气温度、湿度进行三维立体观测外,还可监测云、雨、O<sub>3</sub>分布、地表特征参数等。表2列出FY-3A

仪器的基本参数,仪器的光谱特征详见表3—10。

## 3 FY-3A 主要技术特点

在轨测试结果表明,仪器技术指标满足设计要求。由FY-3A星载仪器指标分析可知,该星具有以

<sup>①</sup>中国气象局. 2004. 风云三号(01批)气象卫星探测仪器技术指标要求研制任务书. 中国气象局, 20pp

表2 FY-3A 星载仪器基本参数

Table 2 Primary parameters of the instruments onboard FY-3A

仪器名称	光谱范围	光谱通道数	扫描宽度	星下点分辨率	量化等级	主要应用
可见光红外扫描辐射计(VIRR)	0.44—12.50 $\mu\text{m}$	10	$\pm 55.4^\circ$	1.1 km	10 bit	云、植被、雪、冰、陆/海表温度、气溶胶、火点等
红外分光计(IRAS)	0.69—15.5 $\mu\text{m}$	26	$\pm 49.5^\circ$	17.0 km	13 bit	大气温、湿度廓线、射出长波辐射等
微波温度计(MWTS)	50—57 GHz	4	$\pm 48.3^\circ$	50 km	13 bit	大气温度廓线、地表辐射率
微波湿度计(MWHS)	150—183 GHz	5	$\pm 53.35^\circ$	15 km	14 bit	大气湿度廓线、降水
中分辨率光谱成像仪(MERSI)	0.41—12.5 $\mu\text{m}$	20	$\pm 55.4^\circ$	0.25—1.0 km	12 bit	真彩色图象、云、植被、陆地覆盖类型、海色等
紫外臭氧垂直探测仪(SBUS)	252—340 nm	12		200 km	12 bit	O <sub>3</sub> 垂直分布
紫外臭氧总量探测仪(TOU)	309—361 nm	6	$\pm 54.0^\circ$	50 km	12 bit	O <sub>3</sub> 总量
微波成像仪(MWRI)	10.65—89 GHz	10	圆锥扫描, 天线偏置 $45^\circ$	9—85 km	12 bit	降水和云水、大气可降水、地表土壤水分、积雪等
地球辐射监测仪(ERM)	0.2—3.8 $\mu\text{m}$ 0.2—50 $\mu\text{m}$	2	$\pm 50.0^\circ$	35 km	16 bit	反射太阳辐射通量 射出长波辐射通量
太阳辐射监测仪(SIM)	0.2—50 $\mu\text{m}$	1			16 bit	太阳常数
空间环境监测仪(4个仪器组成, SEM)	3.0—300.0 Mev 0.15—5.70 Mev					探测高能粒子、星体内辐射、卫星表面电位差和粒子事件等

表3 VIRR 光谱特征

Table 3 VIRR spectral characteristics

通道	波段范围( $\mu\text{m}$ )	噪声等效反照率 A(%) 或噪声等效温差(300 K)	动态范围(A 或 K)
1	0.58—0.68	0.1	0—100%
2	0.84—0.89	0.1	0—100%
3	3.55—3.93	0.3 K	180—350 K
4	10.3—11.3	0.2 K	180—330 K
5	11.5—12.5	0.2 K	180—330 K
6	1.55—1.64	0.15	0—90%
7	0.43—0.48	0.05	0—50%
8	0.48—0.53	0.05	0—50%
9	0.53—0.58	0.05	0—50%
10	1.325—1.395	0.19	0—90%

表4 IRAS 光谱特征

Table 4 IRAS spectral characteristics

通道序号	中心波长( $\mu\text{m}$ )	半功率带宽( $\text{cm}^{-1}$ )	主要吸收气体成份	NE $\Delta N$ (mW/ $\text{m}^2 \cdot \text{sr} / \text{cm}$ )	贡献最大层(hPa)
1	14.95	3	CO <sub>2</sub>	4.00	30
2	14.71	10	CO <sub>2</sub>	0.80	60
3	14.49	12	CO <sub>2</sub>	0.60	100
4	14.22	16	CO <sub>2</sub>	0.35	400
5	13.97	16	CO <sub>2</sub>	0.32	600
6	13.64	16	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	0.36	800
7	13.35	16	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	0.30	900
8	12.47	30	大气窗区	0.20	地表
9	11.11	35	大气窗区	0.15	地表
10	9.71	25	O <sub>3</sub>	0.20	25
11	7.43	50	H <sub>2</sub> O	0.23	800
12	7.33	40	H <sub>2</sub> O	0.30	700
13	6.52	55	H <sub>2</sub> O	0.30	500
14	4.57	23	N <sub>2</sub> O	0.01	1000
15	4.52	23	N <sub>2</sub> O	0.01	950
16	4.47	23	CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O	0.01	700
17	4.45	23	CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O	0.01	400
18	4.19	25	CO <sub>2</sub>	0.01	大气
19	3.98	35	大气窗区	0.01	地表
20	3.76	100	大气窗区	0.002	地表
21	0.69	1000	大气窗区	0.10%A	云
22	0.885	385	大气窗区	0.10%A	地表
23	0.94	550	H <sub>2</sub> O	0.10%A	地表
24	0.94	200	H <sub>2</sub> O	0.10%A	地表
25	1.24	650	H <sub>2</sub> O	0.10%A	地表
26	1.64	450	H <sub>2</sub> O	0.10%A	地表

注: A 表示反照率 albedo, 0.10%A 即 1/1000A.

下几个主要特点: (1) 仪器光谱范围十分宽广, 从真空紫外(160 nm)直到微波波段(2 mm), 实现了对地球大气的全天候的多用途综合探测; (2) 实现了宽视场(2000 km)和高分辨率(250 m)的全球云和地表特征监测, 也是世界上首次获得了全球地表和云特征的自然景观影像图谱(表 7, MERSI); (3) 突破了红外窄带滤光片(3  $\text{cm}^{-1}$ )的研制技术, 实现了较高光谱分辨率红外大气垂直探测(表 4, IRAS); (4) 微波温度计、微波湿度计和红外分光计组成的大气探测仪器包, 利于红外和微波探测优势互补, 协同反演, 提高大气参数反演精度; 同时, 可为数值天气预报模式提供全球覆盖的初始场资料, 提高模式预报精度和延长预报时效(表 4—6, IRAS, MWTS, MWHS); (5) 微波成象仪的双极化探测技术, 可进行全天候动态跟踪监测台风等强对流天气, 监测地面干湿程度,

获取洋面风速等(表 10, MWRI); (6) 两个紫外臭氧仪器, 不仅能获取大气柱臭氧总量, 而且可以探测臭

氧在不同大气压高度层的分布(表 8—9, SBUS, TOU); (7)SIM 和ERM 的首次上星, 为中国了解和研究太阳辐射及地气系统辐射收支提供了宝贵的资料(表 2); (8)空间环境监测仪器在极地轨道卫星上工作, 可探测这一高度区带电粒子辐射环境, 监测太阳活动情况, 为其他飞行器和中国神舟飞船安全飞

行提供服务(表 2, SEM) (Dong, et al, 2009)。

FY-3A 是目前国内综合探测能力最强的应用卫星, 除 VIRR 和 SEM 为继承性仪器外, 其余 9 台均为第 1 次上星。这些仪器中除个别通道灵敏度与国外存在一定差距, 以及微波温度和湿度探测通道还偏少, 影响大气垂直探测分辨率外, 总体上其探测能力与国际同类

表 5 MWTS 光谱特征

Table 5 MWTS spectral characteristics

通道序号	中心频率(GHz)	主要吸收气体	带宽(MHz)	NE $\Delta T$ (K)	天线波束效率(%)	动态范围(K)	定标精度(K)
1	50.30	窗区	180	0.5	>90	3—340	1.2
2	53.596±0.115	O <sub>2</sub>	2×170	0.4	>90	3—340	1.2
3	54.94	O <sub>2</sub>	400	0.4	>90	3—340	1.2
4	57.290	O <sub>2</sub>	330	0.4	>90	3—340	1.2

注: NE $\Delta T$  为 Noise Equivalent Differential Temperature 即 噪声等效温度差; NE $\Delta N$  为 Noise Equivalent Differential Radiance 即 噪声等效辐射率差。NE $\Delta T$  或 NE $\Delta N$  均表示仪器的灵敏度, 下同。

表 6 MWHS 光谱特征

Table 6 MWHS spectral characteristics

通道序号	中心频率(GHz)	主要吸收气体	单边带宽(MHz)	NE $\Delta T$ (K)	频率稳定度(MHz)	天线波束效率	接收机工作方式	动态范围(K)
1	150(V)	窗区	100	0.9	50	≥95%	双边带	3—340
2	150(H)	窗区	100	0.9	50	≥95%	双边带	3—340
3	183.31±1	H <sub>2</sub> O	500	1.1	30	≥95%	双边带	3—340
4	183.31±3	H <sub>2</sub> O	1000	0.9	30	≥95%	双边带	3—340
5	183.31±7	H <sub>2</sub> O	2000	0.9	30	≥95%	双边带	3—340

表 7 MERSI 光谱特征

Table 7 MERSI spectral characteristics

通道序号	中心波长( $\mu\text{m}$ )	光谱带宽( $\mu\text{m}$ )	空间分辨率(m)	噪声等效反照率 A(%) / 温差(300 K)	动态范围(A 或 K)
1	0.470	0.05	250	0.45	100%
2	0.550	0.05	250	0.4	100%
3	0.650	0.05	250	0.4	100%
4	0.865	0.05	250	0.45	100%
5	11.25	2.5	250	0.50K	330K
6	1.640	0.05	1000	0.05	90%
7	2.130	0.05	1000	0.05	90%
8	0.412	0.02	1000	0.1	80%
9	0.443	0.02	1000	0.1	80%
10	0.490	0.02	1000	0.05	80%
11	0.520	0.02	1000	0.05	80%
12	0.565	0.02	1000	0.05	80%
13	0.650	0.02	1000	0.05	80%
14	0.685	0.02	1000	0.05	80%
15	0.765	0.02	1000	0.05	80%
16	0.865	0.02	1000	0.05	80%
17	0.905	0.02	1000	0.10	90%
18	0.940	0.02	1000	0.10	90%
19	0.980	0.02	1000	0.10	90%
20	1.030	0.02	1000	0.10	90%

表 8 SBUS 光谱特征\*

Table 8 SBUS spectral characteristics\*

通道	中心波长(nm)	带宽(nm)
1	252.00±0.05	1+0.2-0
2	273.62±0.05	1+0.2-0
3	283.10±0.05	1+0.2-0
4	287.70±0.05	1+0.2-0
5	292.29±0.05	1+0.2-0
6	297.59±0.05	1+0.2-0
7	301.97±0.05	1+0.2-0
8	305.87±0.05	1+0.2-0
9	312.57±0.05	1+0.2-0
10	317.56±0.05	1+0.2-0
11	331.26±0.05	1+0.2-0
12	339.89±0.05	1+0.2-0
云盖光度计	379.00±1.00	3+0.3

\* 观测太阳连续光谱 160—400 nm

表 9 TOU 光谱特征

Table 9 TOU spectral characteristics

通道	中心波长(nm)	带宽(nm)
1	308.68±0.15	1+0.3-0
2	312.59±0.15	1+0.3-0
3	317.61±0.15	1+0.3-0
4	322.40±0.15	1+0.3-0
5	331.31±0.15	1+0.3-0
6	360.11±0.25	1+0.3-0

表 10 MWRI 光谱特征

Table 10 MWRI spectral characteristics

频率(GHz)	极化	带宽(MHz)	测温灵敏度(K)	定标误差(不含灵敏度)(K)
10.65	V, H	180	0.6	1.2
18.7	V, H	200	1.0	2.0
23.8	V, H	400	1.0	2.0
36.5	V, H	900	1.0	2.0
89	V, H	2×2300	2.0	2.8

卫星相当。详细情况可参阅与 FY-3A 仪器类似的国外同类卫星仪器, 例如美国 NOAA 卫星上的 AVHRR、HIRS、MSU、AMSU-A/B、SBUV、ERBS, 地球观测系统卫星 EOS/TERRA/AQUA 星载 MODIS, 国防气象卫星 DMSP 装载的 SSM/I 等 (Reale, 1994; Hollinger, 1990; Aumann, 2003; 刘玉洁等, 2001)。

## 4 地面数据获取和数据处理流程

### 4.1 地面数据获取和传输

由于FY-3A星载仪器探测数据是原分辨率全球覆盖,其数据下传速率比FY-1高70倍,传输频率也不同于FY-1,同时考虑到数值预报模式对数据时效的要求,因此,FY-3地面应用系统全部是重新设计和建设的(范天锡,1991;许健民等,2006)。为了满足FY-3数据接收要求,须对已有的北京和广州两个地面接收站进行扩建,新建一个位于中国东北地区的佳木斯接收站,租用位于高纬度地区的瑞典基律纳地面站。5站组成的数据接收网络,使FY-3A数据的完整获取和时效有了基本保证。与FY-1卫星比,境外数据从观测到传至北京,最快1h,最长2.5h,而FY-1资料时延则在8—10h。

FY-3A数据处理和服务中心(CDPS)位于国家卫星气象中心大楼内,北京地面站数据通过地面千兆网线路传到CDPS,国内其他3站(广州、乌鲁木齐和佳木斯)数据则通过60Mbps线路传到CDPS,国外站在接收完当条轨道数据后45min以内即可全部

传到位于北京的数据处理和服务中心。

为了充分利用通信带宽,提高时效,在地面站对接收到的卫星下发数据,按仪器进行分离和10s文件块自动切分。在切分的同时,自动传送到CDPS。

### 4.2 数据处理流程

FY-3地面应用系统包括10个技术系统:数据接收、运行控制、数据预处理、产品生成、产品质量检验、数据存档与服务、监测分析服务、应用示范、仿真与技术支持、计算机与网络。除数据接收和应用示范外,其他几个系统则构成数据处理和服务中心(CDPS)。运行控制系统是业务运行的指挥中心,其他各技术系统则依据运行控制系统制作的FY-3A轨道运行时间表,自动/半自动地启动相应作业流程完成各自任务。例如,各地面站数据到达CDPS后,需经过质量检验、格式编排、地理定位、辐射定标和表征各种地球大气物理参数反演等一系列自动化处理,生成可服务于不同用户的各类业务产品,并通过中国气象局业务网分发使用。在作业调度方面采用不同优先级别,以满足国内用户对区域资料高时效的要求,同时对产品进行质量检验、存档和分析服务等。地面应用系统主要功能如图1所示。

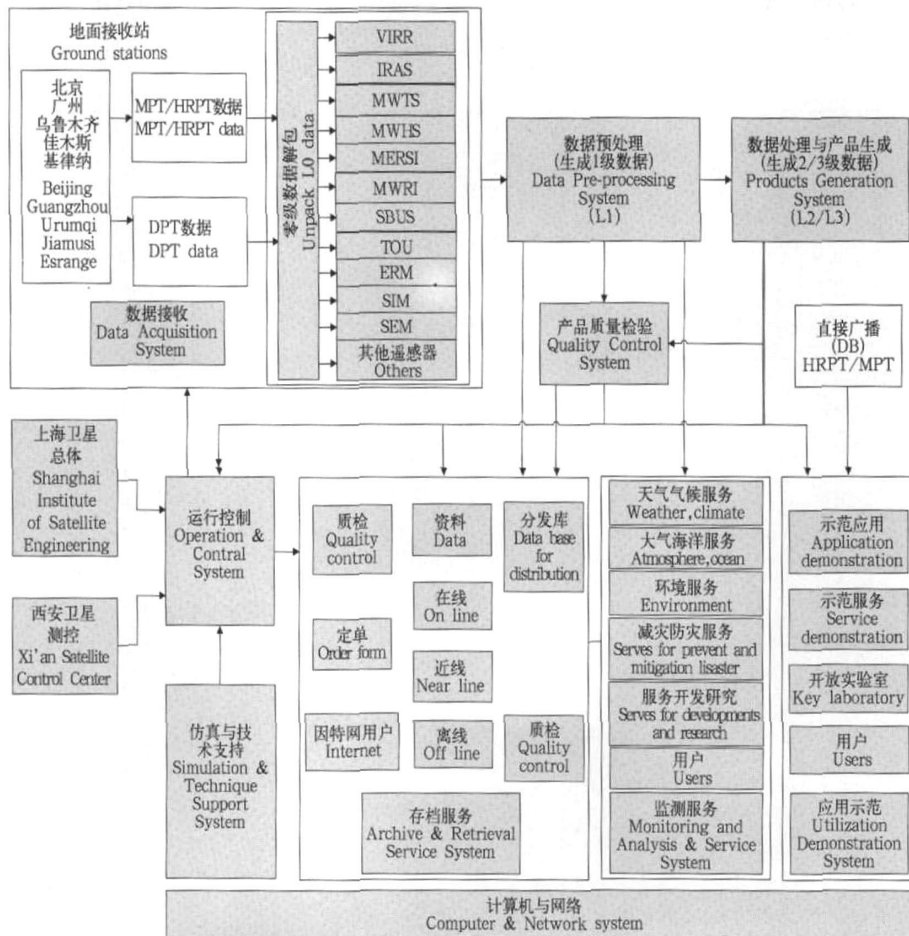


图1 地面应用系统功能

Fig. 1 Configuration of FY-3 ground segment

## 5 卫星产品及产品示例

FY-3A 数据通过科学算法,可处理生成大气、海洋、陆表和空间环境四大类产品。这些产品分为三级,一级是卫星仪器观测资料经过地理定位和辐射定标后生成通道辐射亮度温度和反射率等产品,二级是在一级的基础上生成的地球大气物理参数,

三级是在二级产品的基础上,进行统计平均后得到的候、旬、月结果。这些产品根据算法的成熟程度又分业务产品和试验产品,试验产品成熟后可转为业务产品。表 11 和表 12 是基本业务产品,均是全球覆盖,为方便使用,把产品分割成不同大小的数据包进行分发。产品格式采用国际通用的科学数据格式,即 HDF。

表 11 FY-3A 一级业务产品  
Table 11 FY-3A Level 1 products

仪器	产品名称	空间分辨率	覆盖范围
VIRR	可见光通道反射率和红外通道辐射率	1.1 km	每条轨道(102 min)按 5 min 数据分块(白天和晚上)
MERSI	可见光通道反射率和红外通道辐射率	0.25—1.0 km	同 VIRR(仅白天)
IRAS	红外通道辐射率和可见光通道反射辐射	17 km	中国区域和全球
MWRI	通道双极化亮度温度(10—89 GHz)	7.5—51 km	中国区域和全球
MWTS	通道亮度温度(50—57 GHz)	50—75 km	中国区域和全球
MWHS	通道亮度温度(150—183 GHz)	15 km	中国区域和全球
SBUS	通道辐亮度(252—379 nm)	200 km	中国区域和全球
TOU	通道辐亮度(308—360 nm)	50 km	中国区域和全球
SIM	太阳常数	/	每条轨道一个太阳常数测值
ERM	反射太阳辐射和总辐射亮度	28 km	中国区域和全球

表 12 FY-3A 二级业务产品  
Table 12 FY-3A Level 2 products

序号	产品名称	空间分辨率	覆盖范围	误差	频次
1	云检测	原分辨率	每条轨道(102 min)按 5 min 数据分块(白天和晚上)	5%—20%	每条轨道(102 min)按 5 min 数据分块(白天和晚上)
2	云顶温度	5 km	同上	0.5—2.0 K	1 次/日、候、旬、月
3	云顶高度	5 km	同上	50 hPa	1 次/日、候、旬、月
4	云光学厚度	5 km	全球	5%—20%	1 次/日
5	云分类	5 km	全球	5%—20%	1 次/日
6	云量(总云量、高云量)	5、10 km	全球	5%—20%	1 次/日、候、旬、月
7	射出长波辐射	5、10、17 km	全球	3—8 W/m <sup>2</sup>	2 次/日、候、旬、月
8	海洋气溶胶	1、10 km	全球海域	15%—30%	1 次/日、候、旬、月
9	雾	1 km	同云监测	RMS 小于 0.25	1 次/日、候、旬、月
10	大气可降水量	1.5 km、50 km、27 km×45 km	全球海域 全球陆地	15%—25% 10%—20%	1 次/日、候、旬、月
11	全球降水	18 km×30 km	全球	30%	2 次/日、候、旬、月
12	大气温度 1000—10 hPa	50 km	全球	1.5—2.5 K	2 次/日
13	大气湿度 1000—300 hPa	50 km	全球	15%—25%	2 次/日
14	位势高度 1000—10 hPa	50 km	全球	待定	2 次/日
15	大气稳定度指数	50 km	全球	待定	2 次/日
16	臭氧总量	50 km	全球	8%—15%	1 次/日、候、旬、月
17	臭氧垂直廓线	200 km	全球	8%—15%	1 次/日、候、旬、月
18	扫描视场大气 顶辐射和云	35 km	区域、全球	LW: 10 W/m <sup>2</sup> SW: 30 W/m <sup>2</sup>	2 次/日
19	非扫描场大气 顶辐射和云	120° 圆盘	逐条轨道	LW: 10 W/m <sup>2</sup> SW: 30 W/m <sup>2</sup>	2 次/日

大气探测仪器产品主要用于数值天气预报同化分析和预报, 国内外均有相关研究(Gadd, et al, 1995; 潘宁等, 2003)。FY-3A 大气探测资料, 例如红外分光计、微波温度计、微波湿度计光谱通道辐射率在数值天气预报模式同化中的初步试验结果表明, 不仅在南半球有正效应, 而且在北半球也有较明显效果, 分析表明 FY-3A 在数值预报模式中的应用效果与国外同类仪器相当。图 2—图 6 是首次上星仪器获取的资料及用该仪器资料反演的结果。其中, 图 2 是 FY-3A 2008 年 7 月 19 日中分辨率光谱成像仪可见光通道 4 km 分辨率的全球影像镶嵌图, 图中云系和地表清楚可辨。从 6 月 4 日中分辨率光谱成像仪可见光通道 250 m 分辨率数据监测到加拿大北部班克斯、梅尔维尔等多岛地区的冰、雪覆盖分布(图 3a)可见, 受气候影响海冰开裂和消融; 陆面上有结冰和积雪, 深蓝色为海水, 岛屿之间是海

冰覆盖; 图 3a 右下方浅蓝色可能是较薄的海冰; 尽管有冰雪覆盖, 但水陆交界仍可辨。为便于分析, 另附卫星监测区的地理位置(图 3b)。图 4 是 2008 年 8 月 22 日 11 时(北京时)微波湿度计水汽吸收带 150 GHz 窗区通道亮度温度图像, 图中蓝色表示强对流云区, 由于降水对微波产生散射, 使亮度温度降低, 图 4 中下方蓝色区域是台风“鹦鹉”。

图 5a 是红外分光计亮度温度图像, 20°N 以南蓝色区是台风“黑格比”, 深蓝色表示强对流; 图 5b 是利用台风“黑格比”空气较干和较湿区红外分光计、微波温度计和微波湿度计资料组合反演得到的大气温度廓线(绿色和灰色曲线)和 T213(蓝色和红色曲线)相近地点和时间分析结果的比较, 可以看出两者一致性较好。

图 6 是利用 7 月 23 日臭氧垂直探测仪资料反演的自地面到高空各气压层的臭氧分布曲线, 经与国外同类仪器反演结果比, 两者比较接近。

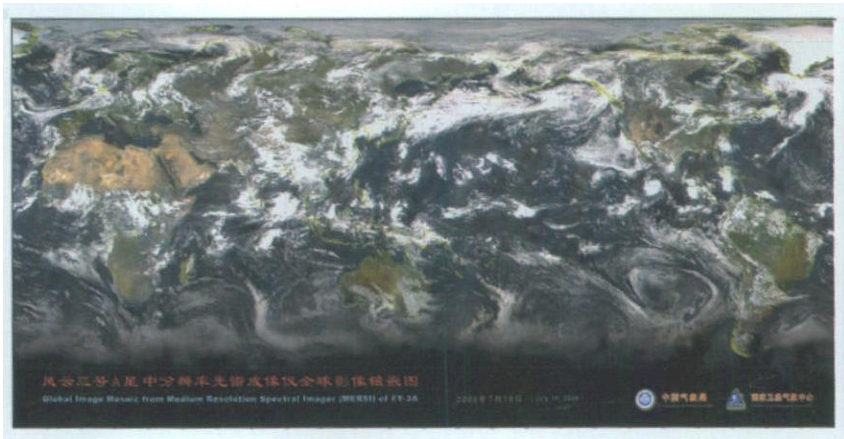


图 2 2008 年 7 月 19 日 FY-3A 中分辨率光谱成像仪可见光全球影像镶嵌图

Fig. 2 A global image mosaic from MERSI visible channel data on 19 July 2008

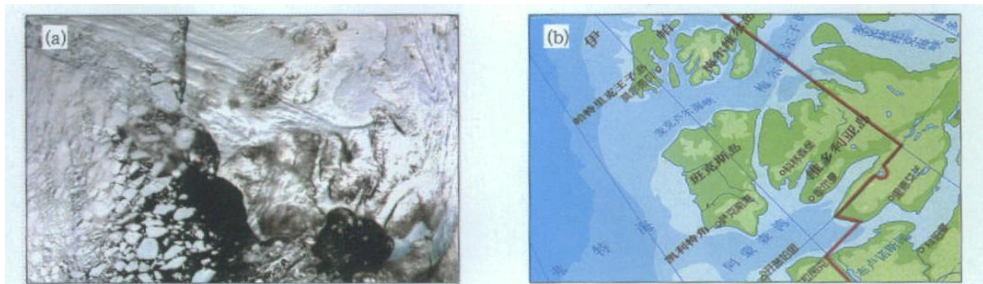


图 3 2008 年 6 月 4 日中分辨率光谱成像仪可见光 250 m 地面分辨率资料监测加拿大北部岛屿冰雪覆盖和融化分布(a)与其相对应的冰雪监测区域(b)

Fig. 3 (a) The ice and snow distribution over the island in the northern part of Canada observed by MERSI visible channel with a spatial resolution of 250 m on 19 June 2008. (b) The MERSI observation region

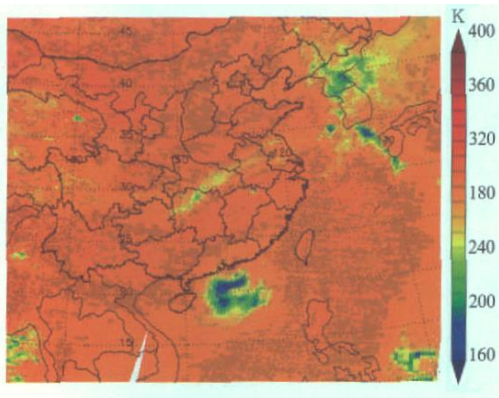


图 4 2008 年 8 月 22 日 11 时(北京时间)微波湿度计 150 GHz 窗区通道亮度温度图像(台风“鹦鹉”)。

Fig. 4 The typhoon “NURI” observed from MWS 150 GHz (window channel) brightness temperature at 03:00 UTC on 22 Aug 2008

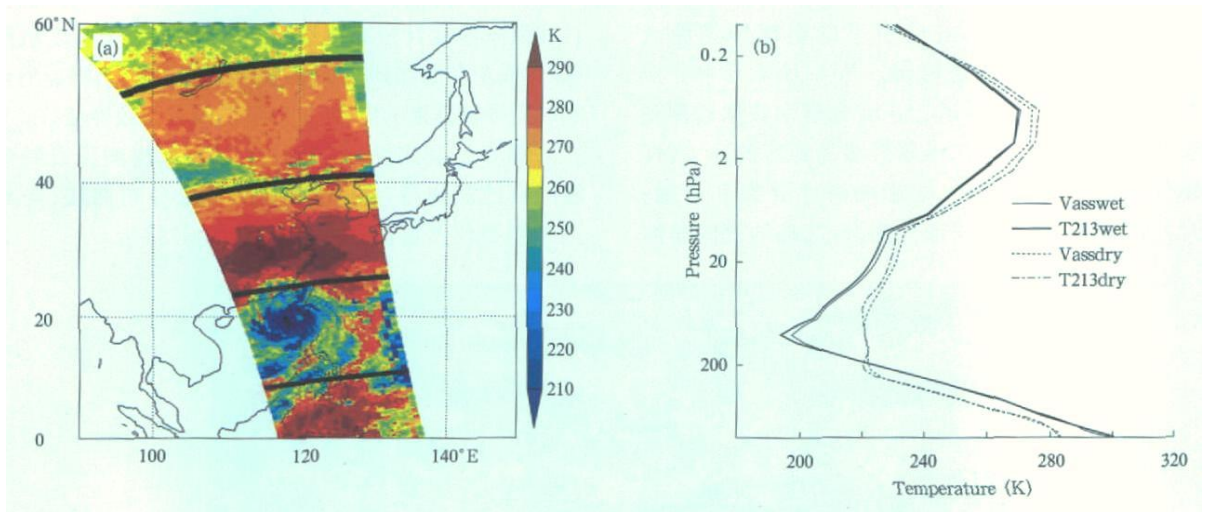


图 5 红外分光计红外窗区通道亮度温度(a)和“黑格比”台风区反演的大气温度廓线及与 T213 分析场结果比较(b)

(图 b 绿色(Vassdry 为较干)和灰色(Vasswet 为较湿)曲线代表大气探测仪器包资料反演结果,蓝色(T213dry 为较干)和红色(T213wet 为较湿)曲线代表 T213 分析场结果)

Fig. 5 (a) IRAS window channel brightness temperature. (b) Retrieved temperature profiles in the Typhoon “Hagupit” area, compared with T213 analysis in the same location and time on 22 Sep 2008

(The Vassdry and Vasswet indicate satellite retrievals for typhoon dry and wet areas respectively, T213dry and T213wet are T213 analysis results)

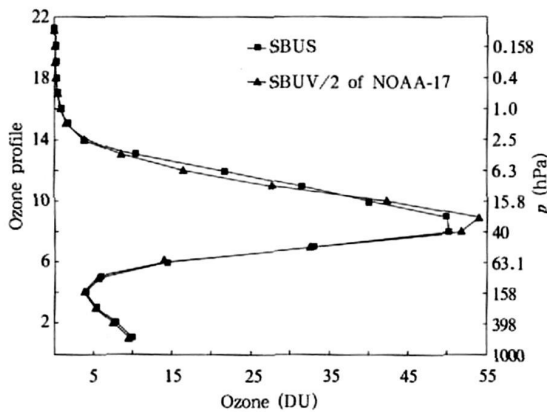


图 6 2008 年 7 月 23 日 FY-3A 卫星 SBUS 臭氧垂直廓线反演值与 NOAA-17 卫星 SBUV/2 反演结果的比较(Lat. = 17.53°, Lon. = -48.79°)

Fig. 6 Retrieved ozone profiles from FY-3A/SBUS compared with NOAA-17/SBUV/2 on 23 July 2008



## 6 结 论

中国的气象卫星自 1988 年发射成功以来, 极地轨道气象卫星进入了新一代。本文介绍了中国新一代极轨气象卫星 FY-3A 的基本情况, 包括卫星轨道、数传、仪器、地面数据接收、处理、基本产品和产品示例, 分析了该星的技术特点, 这将有助于读者对 FY-3A 的了解和使用。

FY-3A 发射后, 经过 2008 年试运行和试验应用, 2009 年初进入正常业务运行模式。已初步表现出其重要的应用价值。目前, 星地之间匹配良好, 星地运行状态稳定, 也已获取大量对地观测资料和地球物理参数, 其资料和产品已通过多种渠道提供给广大用户使用, 例如通过国家气象信息中心、FENGYUNCast、INTERNET 等对外服务。经业务、科研院所等单位的实际应用, 已初步显示出该星重要的应用价值, 相信在气象、生态、环境和自然灾害监测等方面将发挥重要作用。

致谢: 感谢参与 FY-3A 卫星及地面应用系统建设的所有科技工作者。

## References

- Aumann H H, et al 2003. AIRS/ AMSU/ HSB on the Aqua Mission: Design, science objectives data products and processing systems. *IEEE Trans. Geosc Remote Sens*, 41(2): 253-264
- Dong Chaohua Yang Jun Zhang Wenjian, et al. 2009. An overview of Chinese new weather satellite FY-3A. *Bull Amer Meteor Soc*. <http://ams.allenpress.com/EOR>, 10. 1175/ 2009BAMS2798. 1
- Fan Tianxi. 1991. FY-1 Meteorological Satellite Ground System. *Chinese Space Sci Tech (in Chinese)*, 2: 34-48

- Fang Zongyi, Xu Jianmin, Zhao Fengsheng. 2004. Progress and prospect of China meteorological satellite and satellite meteorology. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 62(5): 550-560
- Gadd A J, Barwell B R, Cox S J J, et al. 1995. Global processing of satellite sounding radiances in a numerical weather prediction system. *Quart J Roy Meteor Soc*, 121: 615-630
- Hollinger J, Peirce J, et al. 1990. Validation for the Special Sensor Microwave Imager (SSM/I). *IEEE Trns Geosci Remote Sens*, 28: 781-790
- Liu Yujie Yang Zhongdong, et al. 2001. MODIS Data Processing and Algorithms(in Chinese). Science Press, 346pp
- Pan Ning, Dong Chaohua Zhang Wenjian. 2003. The experiments on direct assimilating ATOVS radiances. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 61(2): 226-236
- Reale A L, et al. 1994. TOVS operational sounding upgrades: 1990-1992. NOAA Tech Report NESDIS 76: 67pp
- Xu Jianmin, Niu Yinsheng Dong Chaohua, et al. 2006. Ground segments for FY meteorological satellites. *Engin Sci (in Chinese)*, 8(11): 13-18

## 附中文参考文献

- 方宗义, 许键民, 赵凤生. 2004. 中国气象卫星和卫星气象研究的回顾和发展. *气象学报*, 62(5): 550-560
- 范天锡. 1991. 风云一号气象卫星地面系统. *中国空间科学技术*, 2: 34-48
- 刘玉洁, 杨忠东等. 2001. MODIS 遥感信息处理原理与算法. 北京: 科学出版社, 346pp
- 潘宁, 董超华, 张文建. 2003. ATOVS 辐射率资料的直接变分同化试验研究. *气象学报*, 61(2): 226-236
- 许键民, 钮寅生, 董超华, 张文建, 杨军. 2006. 风云气象卫星的地面应用系统. *中国工程科学*, 8(11): 13-18