

中国的极轨气象卫星

孟执中

(中国航天科技集团公司第八研究院, 上海 200235)

[摘要] 气象卫星是具有巨大经济和社会效益的应用卫星, 中国的极轨气象卫星经历了从试验阶段到业务应用阶段的发展历程。文章简要介绍了“风云一号”(FY-1)极轨气象卫星的发展概况和技术性能, 星载十通道扫描辐射计和长寿命、高可靠极轨卫星平台取得的成功; 重点介绍了中国新一代的极轨气象卫星“风云三号”(FY-3)的总体概况, 归纳了卫星的技术特点。

[关键词] 极轨气象卫星; FY-1卫星; FY-3卫星

[中图分类号] P414.4; V474.2⁺4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)10-0001-05

1 前言

气象卫星是具有巨大经济和社会效益的应用卫星。自从1960年美国的Tiros-1卫星在轨道上获取了第一批地球的影像图片以来, 世界各国已发射了130多颗气象卫星, 它们每天昼夜不断地向地面发回全球各个地区的图像照片和气象资料。用卫星来观察地球表面和大气已经成为现今气象观测的最重要的手段, 也是气象事业现代化的重要标志。

气象卫星从外层空间观测地球表面和大气层, 居高临下, 观测区域宽广, 观测的频次高, 对地面进行大范围的动态观测是它的特点。一颗极轨气象卫星每天能获取全球的气象资料两次, 一颗静止气象卫星每30 min就能获得地球近1/4面积的气象图片。气象卫星不但可以得到大范围的地球表面和云顶的图像照片, 而且可以获得地球大气的三维空间温度、湿度、压强、辐射等定量的数值气象资料, 它对天气预报、气候预测具有重要作用。现在气象卫星的应用已远超出传统含义的气象范畴, 在生态环境和自然灾害的动态监测, 以及海洋、农业、渔业、航空、航海等方面都具有广泛的用途。

目前, 我国极轨和静止两种气象卫星的发展已初步取得成功, 是继美国和俄罗斯(苏联)之后, 第三个自行研制和运行两种轨道气象卫星的国家。

2 “风云一号”极轨气象卫星^[1,2]

“风云一号”(FY-1)极轨气象卫星从20世纪70年代开始研究, 80年代正式研制。1988年9月和1990年9月先后发射FY-1A, FY-1B两颗试验卫星。1999年5月和2002年5月成功发射FY-1C, FY-1D两颗业务应用卫星, 卫星质量为950 kg, 轨道高度910 km, 倾角98.79°, 轨道周期102.36 min, 卫星设计工作寿命为2 a; 主要有效载荷为10通道可见光、红外扫描辐射计。FY-1C交付运行至今已达5 a, FY-1D于2002年9月正式交付用户, 在轨运行已超过2 a的设计要求, 实现了气象业务应用卫星长期稳定运行的目标。

FY-1C与FY-1D卫星技术状态相同, 其任务是获取全球云图和海洋资料, 用于天气预报, 气象和海洋研究。卫星定时向世界各地气象卫星地面接收站发送10个通道1.1 km分辨率的数字云图, 为全世界提供图像和环境监测资料。研制10通道辐射计涉及光学系统、高灵敏度红外与可见光探测器、薄膜光学、轻量化和高强度机械结构、镀金属反射镜、超高真空长寿命润滑、空间电子学、可见光与红外辐射定标、防污染设计和电磁兼容等一系列复杂且难度很大的技术。FY-1卫星图像质量

很好,与最近发射的美国 NOAA-17 卫星性能相当,而通道数多了 4 个,具有中国特色。卫星首次采用可靠性高、性能好的半导体存储器,实现了每天获取一次全球气象图像资料的能力。

FY-1 卫星的设计以长寿命、高可靠为目标。在 FY-1A, FY-1B 两颗星的基础上,重点在卫星的姿态控制系统进行了很有成效的改进:增强了故障自主识别、系统重构能力;选择最简洁、最安全的偏置动量轮加磁控方案,使硬件配置减少到最低限度;充分进行冗余和容错设计,使整个系统不存在单点失效;为克服空间单粒子翻转和闩锁效应可能引起的星上计算机故障,中央控制器改用由抗单粒子效应能力很强的计算机专用芯片组成的微计

算机,并在软件设计上加强了容错和纠错功能。采用这些改进设计后,解决了近地轨道卫星三轴姿态控制系统长期稳定运行的难题。

卫星平台其他分系统也加强了可靠性设计、防污染设计和电磁兼容设计,使平台的可靠性大为提高。目前, FY-1 卫星平台设计已经为正在研制的几种卫星所借鉴,经过进一步优化后将成为一个公用极轨卫星平台。

由于运行可靠和图像的高质量, FY-1C、FY-1D 已被世界气象组织(WMO)列入世界业务极轨气象卫星的序列,为世界各国提供服务。FY-1 卫星见图 1, FY-1C 卫星云图见图 2 及封面。

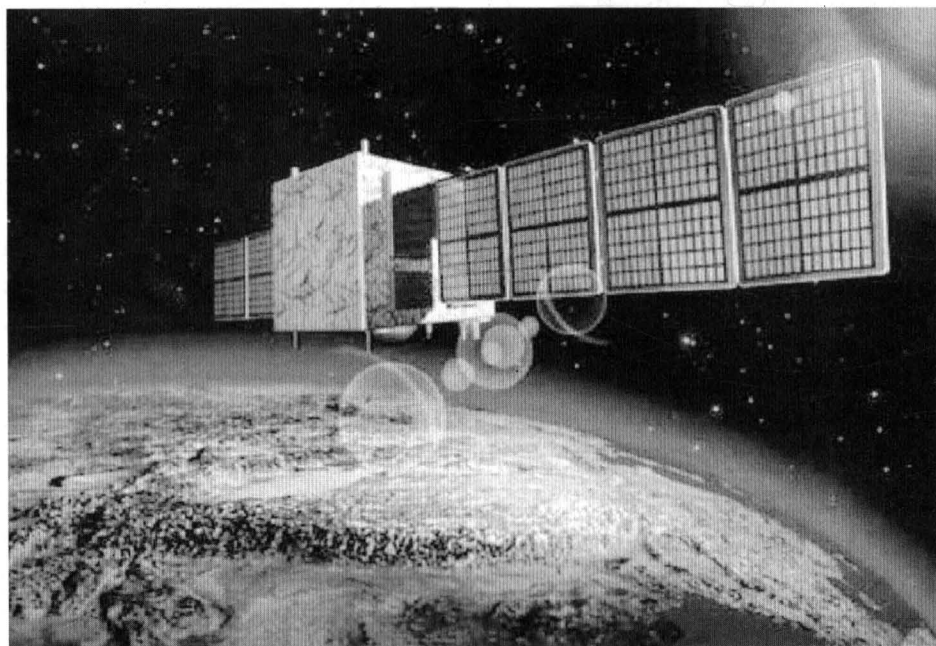


图 1 FY-1 卫星

Fig.1 FY-1 satellite

3 “风云三号”极轨气象卫星

“风云三号”(FY-3)是我国新一代的极轨气象卫星,1994 年开始预研,2000 年经国务院批准立项研制,现已进入初样研制阶段。

FY-3 卫星的目标是获取地球表面和大气环境的全球、全天候、多光谱、三维、定量的遥感资料,其主要任务是:**a.** 为天气预报,特别是中期数值天气预报,提供全球的温、湿、云和辐射等气象参数;**b.** 监测大范围自然灾害和生态环境;**c.** 研究全球环境变化,探索全球气候变化规律,并为

气候诊断和预测提供所需的地球物理参数;**d.** 为军事气象和航空、航海等专业气象服务,提供全球及地区的气象信息。

3.1 总体技术方案概要

FY-3 卫星发射总质量为 2 450 kg,发射尺寸为 $4.38\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$,发射状态构形见图 3; FY-3 飞行尺寸为 $4.44\text{ m} \times 10\text{ m} \times 3.79\text{ m}$,飞行状态构形如图 4。整星长期电功耗为 1 130 W。

FY-3 卫星由探测仪器、数传、数据收集等有效载荷分系统与结构、热控、姿轨控、推进、电源、测控、数管、太阳电池阵等服务分系统组成。

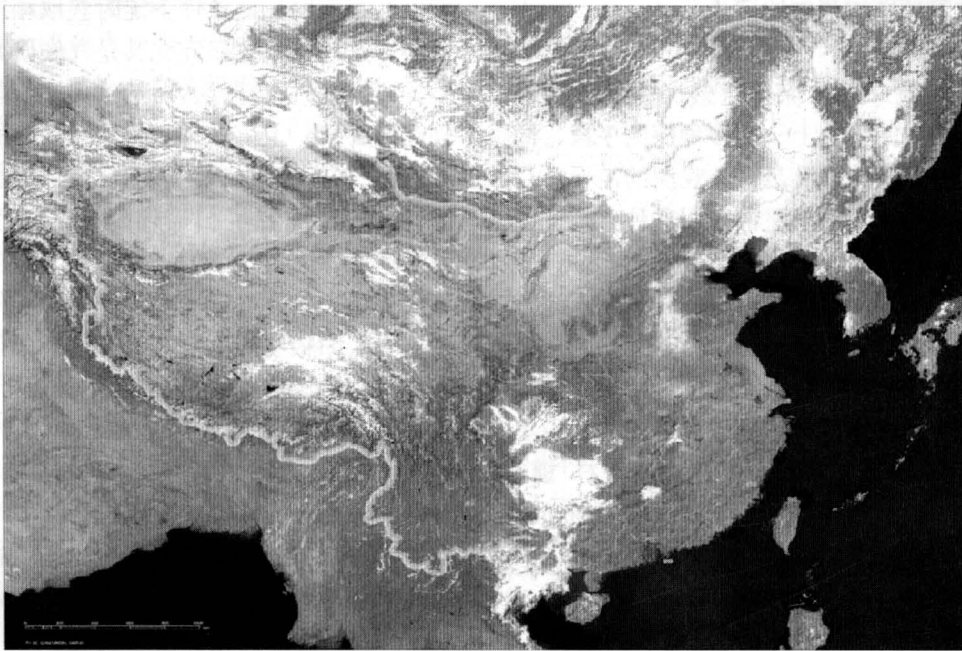


图 2 FY-1C 中国四季影像镶嵌图 (冬)
 Fig.2 FY-1C seasonal image mosaic (winter)

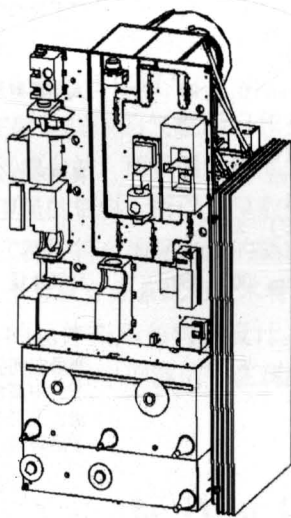


图 3 FY-3 卫星发射状态构形图
 Fig.3 The image of launching of FY-3

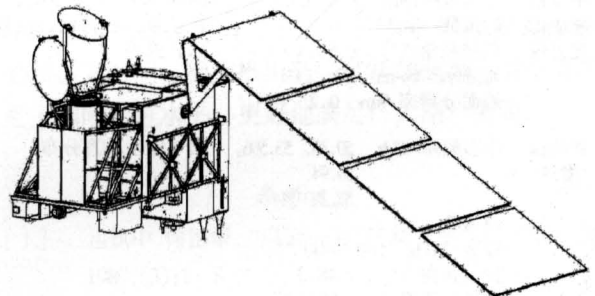


图 4 FY-3 飞行状态构形图
 Fig.4 The image of flying of FY-3

卫星本体由服务舱、推进舱与有效载荷舱构成。
 姿轨控分系统采用偏置动量轮加磁控的方案，实现三轴稳定对地定向的姿态控制。
 推进分系统采用 4 只 20 L 的贮箱，携带 64 kg 无水肼，24 个推力器，分成互为备份的二组，供卫星初始姿态建立、初始轨道调整和轨道保持、必要时姿态重捕和飞轮卸载所用。
 测控分系统采用统一 S 波段测控体制进行跟

踪、遥测和遥控，并辅以全球定位系统 (GPS)。
 卫星数据管理分系统采用串行数据总线控制的二级分布数据网路体制，完成数管计算机、姿轨控计算机、各遥感仪器及其他远置单元的运行管理。
 电源分系统采用太阳电池阵与镉镍电池联合供电方案。太阳电池阵设计成单翼、可偏置、对日定向跟踪电池阵，由 4 块基板组成，总面积 22.46 m²。蓄电池由二组 50AH 镉镍蓄电池组构成，每组有 36 个单体电池。
 中分辨率成像光谱仪和微波成像仪等 8 种 11 台遥感仪安装在卫星顶端的有效载荷舱。
 遥感数据用 2 个实时传输信道 (HRPT 和 MPT) 和 1 个延时回放信道 (DPT) 进行传输，

星上延时数据用半导体存储器记录。

3.2 主要技术特点

FY-3 是对地球进行综合遥感探测的大型极轨卫星。在一个空间平台上,用多种探测手段,同步进行探测,能够较好地满足气象观测的需要。目前,国际上业务应用气象卫星都采用这种方案。

3.2.1 卫星轨道设计特点 FY-3 设计为 836 km 高度的近极地太阳同步轨道,选定的轨道交点地方时漂移在 3 a 工作寿命内小于 15 min。

太阳同步轨道的主要优点在于卫星每天对同纬度地区是在固定的相同地方时刻进行观测的,卫星

可以在相同的光照条件下定时获取相应地区的观测资料,这对于气象研究尤其是气候研究尤为重要。

要保证轨道特性,对运载火箭入轨精度提出了较高的要求,卫星还须具备轨道调整的能力。

3.2.2 遥感探测仪器 为了实现卫星综合遥感探测, FY-3 配置了扫描辐射计、红外分光计、中分辨率成像光谱仪、微波温度计、微波湿度计、微波成像仪、紫外臭氧垂直探测器、紫外臭氧总量探测器、太阳辐射照度监测仪、地球辐射探测仪和空间环境监测器等 11 台仪器。详见表 1。

表 1 遥感仪器性能参数

Table 1 The property parameter of the remote sensing instrument

名称	性能参数	探测目的	名称	性能参数	探测目的
扫描辐射计	光谱范围/ μm 0.43~12.5 通道数 10 扫描张角/ $^\circ$ ± 55.4 地面分辨率/km 1.1	云图, 植被, 泥沙, 卷云及云相态, 雪, 冰, 地表和洋面温度, 水汽总量, 森林和草原火灾	微波成像仪	中心频率/GHz 10.65, 18.7, 23.8, 36.5, 89 通道数 10 带宽/MHz 180~4 600 扫描张角/ $^\circ$ ± 52 空间分辨率/km 15~85	降雨量、云含水量、水汽总量、土壤湿度、海冰、海温
红外分光计	光谱范围/ μm 0.69~15.0 通道数 26 扫描张角/ $^\circ$ ± 49.5 地面分辨率/km 17	大气温度、湿度廓线, 臭氧含量, 二氧化碳浓度, 气溶胶, 云参数等	地球辐射探测仪	光谱范围/ μm 0.2~50, 0.2~3.8 通道数 2, 2 扫描张角/ $^\circ$ ± 50	地气系统的长波辐射和地气系统反射的太阳辐射
中分辨率成像光谱仪	光谱范围/ μm 0.4~12.5 通道数 20 扫描张角/ $^\circ$ ± 55.4 光谱分辨率/nm 20~2500 地面分辨率/km 0.25~1	海洋水色, 气溶胶, 水汽总量, 云特性, 植被, 冰、雪等	太阳辐射照度监测仪	光谱范围/ μm 0.2~20	太阳辐射照度
微波温度计	中心频率/GHz 50.30, 53.596, 54.94, 57.290 344 通道数 5 带宽/MHz 180~400 扫描张角/ $^\circ$ ± 48.3 空间分辨率/km 50~80	大气温度垂直分布	紫外臭氧垂直探测器	光谱范围/nm 250~340 通道数 12 扫描张角/ $^\circ$ ± 56 空间分辨率/km 200	臭氧垂直分布
微波湿度计	中心频率/GHz 183.31 \pm 1, 183.31 \pm 3, 183.31 \pm 7, 150 通道数 5 带宽/MHz 500~2 000 扫描张角/ $^\circ$ ± 48.95 空间分辨率/km 16	大气湿度垂直分布, 云中含水量和强降雨	紫外臭氧总量探测器	光谱范围/nm 300~380, 通道数 6	臭氧总量
			空间环境监测器		测量空间重离子, 高能质子, 中高能电子, 辐射剂量, 卫星表面电位, 单粒子翻转等

FY-3 的遥感探测仪器有如下特点:

1) 遥感仪器多达 8 类 11 台, 光学谱段从紫外 (0.25 μm) 到远红外 (50 μm); 微波频段从 10 GHz 到 183 GHz, 通道总数 99 个。多台仪器在一个卫星平台上同时工作, 给卫星设计带来许多复杂而又必须解决的难题, 其中多数仪器在国内是第一次研制。

2) 宽视场、较高的空间分辨率、高时效。天气变化的时间尺度从几分钟到数年。极轨气象卫星主要为中期数值天气预报和气候预测的分析演算提供初始数值场, 需要每天获得 4 次以上全球气象资料。一颗

极轨卫星每天可获得 2 次全球资料。WMO 已在协调美国、欧洲和中国新一代极轨气象卫星组网工作, 以解决这个问题。为实现卫星观测的覆盖问题, 相邻两条轨道探测地域应无间隙拼接, 在 836 km 高度的轨道上工作的仪器对地扫描的视场应在 110° 以上。

天气变化的地理尺度远大于地球资源调查和地面目标识别的几何尺度, 气象卫星遥感仪器空间分辨率的选择范围为: 光学成像仪器 0.250~1 km, 大气探测仪器 10~20 km, 微波探测仪器 5~80 km。

3) 高灵敏度、高光谱分辨率、高精度、定量遥

感探测。气象参数是通过物质对特定波长的光和电磁波反射、散射、吸收以及自身辐射特性的测量得到的。因此对探测通道的中心频率准确度、带宽、灵敏度和精度都有很高的要求。例如,光学遥感器的温度灵敏度达到 0.2 K, 最高的光谱分辨率达到 20 nm, 绝对精度达到 1 K (红外通道)。为此, 遥感仪器的光学系统和敏感元件, 微波遥感仪器的天馈系统和毫米波接收机必须具有很高的性能水平。

为克服仪器工作稳定性对探测数据精确度的影响, 遥感仪采用星上定标和校准的方案。用冷空间、太阳光和星上的标准辐射源作为标准信号源, 定期对仪器的输出信号进行标定和校正。

为了提高仪器的精度并避免探测到的数据在变换、存放和传输过程中产生畸变, 遥感仪给出的都是定量的数字信息。

3.2.3 数传分系统的特点 数传分系统的任务是及时、完整地将卫星探测到的资料传送到用户的地面站, FY-3 的数传分系统的技术特点是:

1) 信息存储量大 (达 144 GB), 数传速率高 (最高下行码达 93 Mb/s), 多载荷、不同码速率信息处理技术复杂, 高速率级联编码技术研制难度高。

2) FY-3 的数传信道与国外同类卫星兼容。FY-3 的用户主要是我国的气象部门和有关单位, 以及其他国家的气象台站。而我国气象部门也要接收和使用国外气象卫星的资料, 所以卫星数传信道的特征和资料数据格式都要符合国际协议的规定。

3.2.4 卫星平台服务分系统的技术特点

1) 卫星的总体布局和构形设计。为了保证各个探测仪器接收的光和电磁波信号在观测视场内不受阻

挡和干扰, 对卫星的总体布局和构形做了精心安排。为满足红外探测器的辐射致冷要求, 设计了单翼、可偏置、对日定向跟踪的太阳电池阵。

分舱设计、模块化设计也是 FY-3 设计的特点。

2) 卫星的姿态控制。姿态控制继承了 FY-1 卫星的技术方案, 需要解决两个新问题: 一是卫星太阳帆板的单侧安装带来重力梯度力矩和光压力矩大大增加; 二是卫星遥感探测器有 21 个转动部件, 有匀速、步进、间歇、往返等多种转动方式。转动体造成对卫星的干扰力矩既复杂, 量值也很大。

为解决这两问题, 除了对原来按反馈原理设计的闭环姿控系统参数进行调整外, 增加了多种前馈补偿干扰力矩的措施, 保证了卫星的指向精度。

4 结语

中国的极轨气象卫星经过近 30 年的发展, 已经从试验阶段走进业务应用阶段。卫星获取的气象和环境资料在经济和社会发展的多方面发挥了重要作用, 并为其他国家和地区提供服务, 提高了我国在气象卫星领域的国际地位。但是, 从卫星技术和遥感仪器研制的总体上看, 我国与国际先进水平仍有较大差距; 必须抓紧时间, 努力推出新一代极轨气象卫星, 尽快赶上国际先进水平, 更好地满足广大用户需要。

参考文献

- [1] 孟执中, 何正华. “风云一号”气象卫星[J]. 宇航学报, 1989, (3): 1~8
- [2] 孟执中. FY-1C 极轨气象卫星[J]. 上海航天, 2001, (2): 1~7

The Polar Orbit Meteorological Satellite in China

Meng Zhizhong

(Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 200235, China)

[Abstract] Meteorological satellite is one kind of applied satellite that has tremendous benefit to both economic and society. The development of polar orbit meteorological satellite in China has experienced the processes from experiment to application. This paper introduces briefly the development and performance of the FY-1 polar meteorological satellite, and the success of space borne 10 channels scanning radiometer and the long life, high reliable polar satellite platform are described. Moreover, the general information of the new generation polar FY-3 meteorological satellite is presented. The technology specialty of the satellite is summarized.

[Key words] polar orbit meteorological satellite; FY-1 satellite; FY-3 satellite