

风云四号静止轨道气象卫星成像仪 典型观测区域设计

赵磊 商建 冯小虎 张志清
(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要: 风云四号气象卫星是我国新一代静止轨道气象卫星, 采用三轴稳定姿态控制方式, 极大地提高对地观测精度及观测频次, 同时也对有效载荷观测模式的灵活设计提出了更高要求。星上装载的静止轨道辐射成像仪是我国静止轨道气象卫星携带的同类仪器中最为先进的。利用最先进的观测仪器, 提高观测效率, 在气象服务中发挥更大的作用是气象卫星应用的根本。深入探讨了风云四号静止轨道气象卫星成像仪的工作模式, 首次针对不同的观测需求提出了灵活的成像仪观测区域设计方案, 有效满足典型区域的不同观测需求, 在成像仪在轨测试中发挥了重要作用, 为开展业务运行奠定了坚实的基础。

关键词: 风云四号, 气象卫星, 成像仪, 观测区域设计, 区域成像

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.01.006

Typical Observation Area Design of FY-4 Geostationary Meteorological Satellite Imager

Zhao Lei, Shang Jian, Feng Xiaohu, Zhang Zhiqing
(National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081)

Abstract: Fengyun-4 (FY-4) is a new generation of geostationary meteorological satellite in China. The newly used three-axis stabilized attitude control platform can greatly improve observation precision as well as frequency. It also puts forward improved requirements towards flexible observation mode design of the instruments. Advanced geostationary radiation imager (AGRI) is the most advanced equipment of its kind. Making good use of advanced equipment and improving observation efficiency play an important role in meteorological services, which is the essence of the meteorological satellite application. This paper discusses the observation modes of the FY-4 imager, and puts forward flexible area observation schemes for different needs for the first time. These flexible observation schemes can satisfy different observation requirements over typical areas. This research plays an important role in the FY-4A in orbit tests, which lays a foundation for AGRI's daily operation.

Keywords: FY-4, meteorological satellite, imager, observation area design, regional imaging

0 引言

2016年12月11日, 我国新一代静止轨道气象卫星的首发星风云四号A星由长征-3B运载火箭发射升空。它采用大型三轴稳定姿态控制平台, 代替第一代静止轨道气象卫星风云二号采用的自旋稳定平台, 可以大大提高对地观测精度及观测频次, 实现技术上的重大跨越, 提高我国静止轨道气象卫星的探测水平。卫星的辐射成像通道由风云二号的5个增加到14个, 接近欧美第三代静止气象卫星的16个通道。风云四号

还配备了有912个光谱探测通道的干涉式大气垂直探测仪, 可在垂直方向上对大气结构实现高精度定量探测, 这在国际上尚属首次。

风云四号卫星采用的大型三轴稳定姿态控制平台, 使其可以装载多种有效载荷, 包括先进的静止轨道辐射成像仪(简称“成像仪”)、静止轨道干涉式红外探测仪(简称“探测仪”)、闪电成像仪和空间环境仪器组。其中, 成像仪的性能是我国静止轨道气象卫星携带的同类仪器中最先进的; 探测仪是国际上第一台装载在静止轨道气象卫星上使用的同类仪器; 闪电成像仪是国内首次装载在卫星上, 可对大气中发生的闪电进行连续监测。首发星为科研试验卫星, 其主要任务是: 1) 获取地球表面和云的多光谱、高精度定量观测数据和图像, 特别是高频次的区域图像;

收稿日期: 2018年8月15日; 修回日期: 2018年10月18日
第一作者: 赵磊(1980—), Email: zhaolei@cma.gov.cn
通信作者: 商建(1983—), Email: shangjian@cma.gov.cn
资助项目: 科技部国家重点实验室科研仪器专项资金子课题(412412)

全面提高对地球表面和大气物理参数的多光谱、高频次、定量探测能力；2) 实现大气三维结构探测，获得垂直分辨率和精度更高的温度和湿度参数；3) 实现闪电成像观测，获取观测覆盖区范围内的闪电分布图；4) 利用星载转发器进行卫星图像和产品的广播分发和自然灾害警报信息发布；5) 利用数据收集系统自动收集多种地球环境参数资料；6) 监测太阳活动和空间环境，为空间天气预报业务和研究提供观测数据^[1]。

三轴稳定卫星平台可以实现仪器的灵活观测，大大提高观测效率。相比于我国风云四号气象卫星携带的成像仪AGRI (Advanced Geostationary Radiation Imager)，国外同类静止轨道三轴稳定卫星中，美国GOES-R卫星携带的成像仪ABI (Advanced Baseline Imager) 与AGRI性能相近，分辨率更高，频段略多，在观测任务设计上都综合考虑了观测区域范围和观测频次，对地观测模式包括全圆盘观测、美国大陆观测和中小尺度区域观测^[2]；日本Himawari卫星携带的成像仪AHI (Advanced Himawari Imager) 则设计了全圆盘观测和多种不同的区域观测^[3]。

针对风云四号气象卫星首发星装载的核心仪器——成像仪，为了发挥三轴稳定卫星平台高效率观测的特点，最大化仪器的观测灵活性，本文在探讨成像仪复杂工作模式的基础上，考虑不同的观测需求，开展灵活的观测区域设计，包括中国大陆区域、中国大陆+海区、东海海域、东南亚+南海海域、澳大利亚及其周边海域、新版中国地图区域，提出切实可行的适用于风云四号成像仪的观测区域设计方案。

1 成像仪的观测特点

成像仪采用双扫描镜结合三反射光学系统、线列探测器和辐射制冷器的扫描成像技术。来自地球景物的辐射经南北扫描镜和东西扫描镜反射到离轴三反主光学系统 (图1)，通过中继光学系统将入射辐射分裂成3个可见波段、2个近红外波段和8个红外波段。

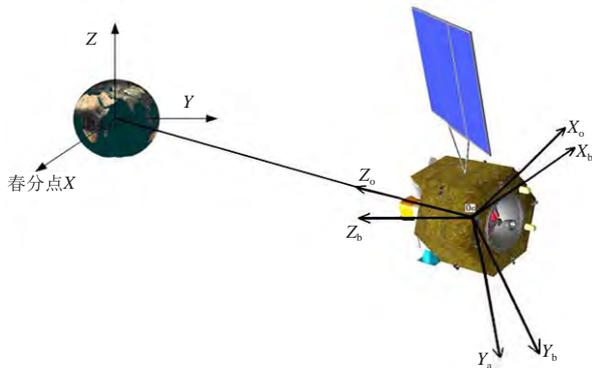


图1 成像仪探测示意图^[4]
Fig. 1 AGRI schematic diagram

探测器把景物辐射转换成电信号，经过前放、主放和滤波电路，在扫描同步信号的控制下，进行A/D转换并缓存，通过背景和噪声抑制、图像配准、校正等环节，将数字量编码送到卫星平台，经数传分系统下传^[4]。

1.1 工作模式和观测时间

成像仪的主要工作模式分为4种：扫描模式、定标模式、指向模式和调试模式，其中最重要的两类模式为扫描模式和定标模式。

扫描模式包括地球全圆盘常规成像、区域常规成像、地球全圆盘高灵敏度成像、区域高灵敏度成像和月球成像等。几种成像模式分时进行，设计观测任务时根据观测需求和时间约束，在某个时段内选取其中的一种成像模式，把观测区域范围和精确的起止时间通过观测指令上注卫星，操控仪器自动开展对地观测。成像仪在轨观测的最基本模式是全圆盘观测，即针对整个地球圆盘开展成像观测，确保以固定的时间频次获取整个地球圆盘的观测数据；在有特定区域观测的需求时，添加区域观测任务，针对指定的较小区域范围开展观测，以获取更高频次的观测数据，区域的位置和大小可以灵活设计，例如中国大陆区域、台风区域、海洋区域等任意感兴趣的区域。

定标模式包括冷空间定标、黑体定标、漫反射板定标和恒星敏感，用于获取定标所需的冷空、黑体、漫反射观测数据和定位所需的恒星观测数据，实现成像仪的高精度辐射定标和几何定位。

详细工作模式为：

1) 地球全圆盘常规成像：观测范围约 $21^{\circ} \text{EW} \times 17.6^{\circ} \text{NS}$ ，有效图像范围为 $17.6^{\circ} \text{EW} \times 17.6^{\circ} \text{NS}$ ，观测时间约13 min，按常规扫描方式完成对地球全圆盘的观测。

2) 区域常规成像：按常规扫描方式完成对指定区域的观测。观测位置和区域大小任意可选，区域观测重复次数可调。最小观测区域 $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$ 。

3) 地球全圆盘高灵敏度成像：按高灵敏度扫描方式完成对地球全圆盘的观测。

4) 区域高灵敏度成像：按高灵敏度扫描方式完成对指定区域的观测。其他要求与区域常规成像模式相同。

5) 月球成像：按常规扫描模式完成对月球全圆盘的观测。

6) 恒星敏感：恒星敏感范围 $23^{\circ} \text{EW} \times 21^{\circ} \text{NS}$ ，具有观测亮度不小于六等恒星的能力。

7) 黑体定标：扫描镜指向星上黑体，进行黑体定标。

8) 漫反射板定标：扫描镜指向漫反射板，漫反射板定标门展开，进行漫反射定标。

1.2 各工作模式下的运动特性

1) 地球全圆盘常规成像

当前设计的对地球全圆盘常规成像的观测时间约 13 min, 因此观测范围设定为刚好能够覆盖整个地球的最小张角 $17.4^{\circ}\text{EW} \times 17.4^{\circ}\text{NS}$, 为了确保地球边界信息的完整性, 南北东西各加 0.1° 余量, 范围约定为 $17.6^{\circ}\text{EW} \times 17.6^{\circ}\text{NS}$, 由于需要定期进行冷空间定标, 定标位置在地球东侧或西侧 0.5° 以上, 图2以在西侧进行冷空间定标为例, 全圆盘常规成像有效图像范围确定为 $18^{\circ}\text{EW} \times 17.6^{\circ}\text{NS}$, 其中东西范围为地球西侧增加 0.5° , 东侧增加 0.1° , 按常规扫描方式完成对地球全圆盘的观测 (图3)。

扫描镜运动定义西、北为正方向, 东、南为负方向。春分、秋分前后地球东西两侧会出现较强的杂散光, 届时考虑在东侧进行冷空观测, 扫描起始位置相对应变为东北。其他时间默认以西北为扫描起始位置, 东南为扫描结束位置。由于在扫描过程中冷空定

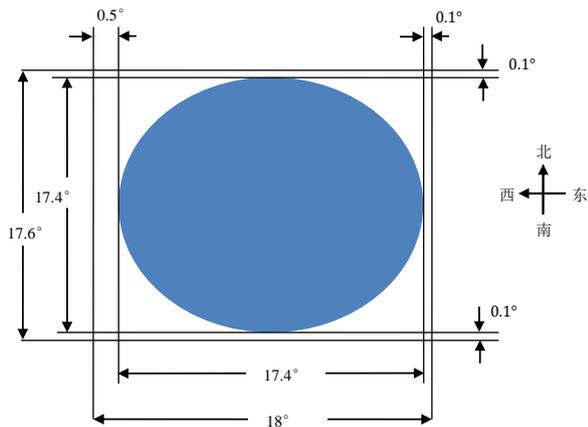


图2 地球全圆盘常规成像范围
Fig. 2 Full disk observation area

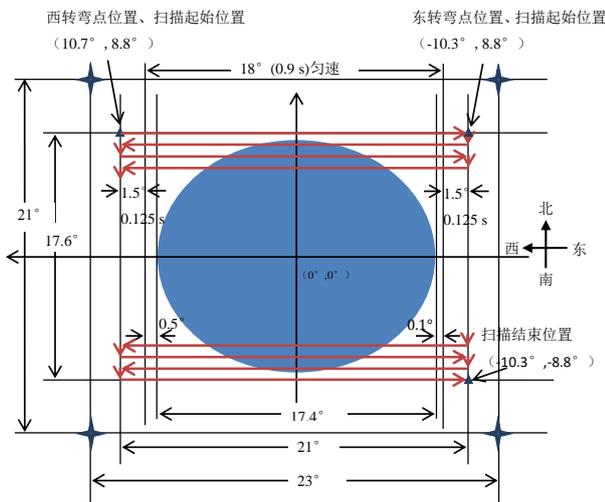


图3 地球全圆盘常规成像示意图
Fig. 3 Full disk observation diagram

标的耗时极少, 因此默认地球全圆盘常规成像时每一行都进行冷空间定标观测, 根据东西镜和南北镜的运动规律, 精确计算每次快速指向和扫描所需的时间。

2) 区域常规成像

区域成像 (图4) 可以按照需求灵活指定成像的区域, 每隔一定时间进行一次冷空间定标。

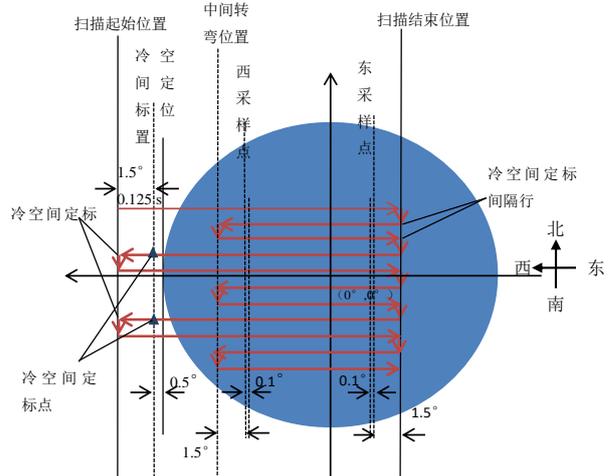


图4 常规区域成像示意图
Fig. 4 Area observation diagram

3) 地球全圆盘高灵敏度成像

与地球全圆盘常规成像扫描方式一致, 只是扫描速度较慢。

4) 区域高灵敏度成像

与区域常规成像扫描方式一致, 只是扫描速度较慢。可以按照需求灵活指定成像的区域, 每隔一定时间进行一次冷空间定标。

5) 月球成像

根据月球预报的位置, 在特定时间设计仪器的东西镜和南北镜指向月球区域开展常规观测或高灵敏度观测, 与区域成像的要求相同。

6) 恒星敏感

依据指向模式命令扫描镜指向恒星经过的预定位置, 进行恒星敏感。根据扫描镜运动规律和选定的观测颗数, 计算指向每一颗恒星所需的时间和驻留时间, 进而获得该观测任务的总时间。

7) 黑体定标

依据指向模式扫描镜指向冷空位置观测后, 依据指向模式扫描镜指向位于星下点背面的黑体, 驻留观测, 驻留进行黑体观测。依据指向模式扫描镜再次指向冷空位置, 驻留观测。

8) 漫反射板定标

依据指向模式扫描镜指向冷空位置观测后, 依据指向模式扫描镜指向漫反射板, 停留一定时间, 进

行漫反射板定标。

9) 快速指向

南北、东西扫描镜快速运动过程如下：首先在短时间内加速至最大运动速度,然后再以该速度匀速运动，最后在短时间内减速，并停在预定位置。

加、减速过程采用1/2正弦周期。若快速运动角度范围很小，扫描镜将没有匀速运动过程。

10) 匀速段稳定时间

对于常规成像和高灵敏成像，进入匀速段后均在

短时间内实现扫描控制误差优于3角秒。

上述10种工作模式完成后，扫描镜均停在当前位置，等待后续指令。

2 成像仪典型区域设计

假定卫星定点于105°E，针对不同观测需求，设计了业务应用中可使用的六种区域扫描模式，分别是：中国大陆区域、中国大陆+海区、东海海域、东南亚+南海海域、澳大利亚及其周边海域、新版中国地图区域（图5）。

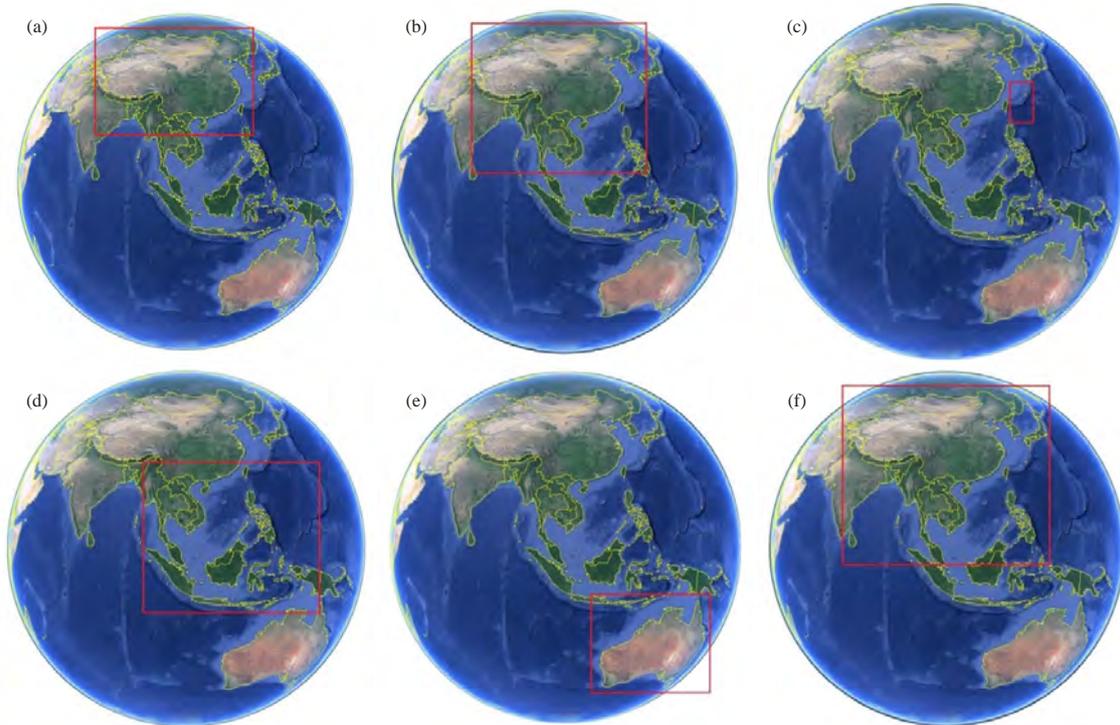


图5 典型区域设计：(a) 中国大陆区域扫描范围，(b) 中国大陆+海区区域扫描范围，(c) 东海海域区域扫描范围，(d) 东南亚+南海海域区域扫描范围，(e) 澳大利亚及其周边海域区域扫描范围，(f) 新版中国地图区域扫描范围
Fig. 5 Typical area design: (a) area of observation over China, (b) area of observation over Chinese mainland and sea region, (c) area of observation over the East China Sea region, (d) area of observation over Southeastern Asia and the South China Sea region, (e) area of observation over Australia and the surrounding sea, and (f) area of observation over China, the vertical map version

2.1 中国大陆区域

中国大陆区域是我国静止轨道气象卫星的最主要观测区域之一，也是天气预报的最主要分析对象。设计该区域的主要目的是对中国大陆区域进行高时间分辨率的扫描，获取大气和地表的高频次观测数据，充分发挥静止轨道卫星的优势。扫描范围设计为：17°—55°N，72°—136°E。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为189.3 s。

2.2 中国大陆 + 海区

为了对临近中国沿海地区的热带气旋等天气现象提前进行跟踪观测，需要设计一个含临近海域的观测

区域，即中国大陆+海区区域。设计该区域的主要目的是对中国大陆及海区进行高时间分辨率的扫描，获取陆地区域及海上台风区域的高频次观测数据。扫描范围：7°—55°N，73°—136°E。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为255.3 s。

2.3 东海海域

设计该区域的主要目的是针对东海海域台风的初生和发展阶段开展高频次观测。扫描范围：23°—34°N，125°—132°E。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为33.4 s。

(下转59页)

链接：专家点评



国家气象中心强天气预报
中心首席郑永光

龙卷是地球大气中最强烈的对流风暴。美国是发生龙卷最多的国家，中国年龙卷发生数目不到美国的十分之一。龙卷通常分为两类，一类为中气旋龙卷，另一类为非中气旋龙卷。非中气旋龙卷的监测和预警十分困难；依靠新一代多普勒天气雷达有可能对中气旋龙卷进行有效预警，比如2016年6月23日江苏阜宁EF4级龙卷和2018年佛山的两次龙卷。EF2级及以上中气旋龙卷的发展环境条件包括一定的对流有效位能、强的0~6 km垂直风切变、低的抬升凝结高度和较大的低层垂直风切变。从天气形势来看，我国龙卷易于发生在暴雨或者台风这样的天气背景下，比如2015年10月4日广东彩虹台风龙卷、2016年6月23日江苏盐城龙卷（暴雨背景）、2018年的摩羯台风龙卷等个例，这增加了我国龙卷监测识别和预报的难度。

灾后现场天气调查工作依然是确认龙卷的最重要手段之一，但目前尚未有经过灾调确认的中国龙卷年度报告发布，因此《2018年中国龙卷活动特征》一文能够为进一步深入认识中国的龙卷提供较好的研究和业务基础资料。2018年是中国龙卷多发年，虽然其总体灾害不强，但从该年的这些龙卷个例中可看到，龙卷的监测识别和预报预警都有非常大的难度，因此未来需要在部分重点区域布设具有高空间分辨率的双偏振雷达和其他设备来提高对龙卷的综合探测能力，以加深对龙卷尤其是强致灾龙卷的认识，并发展监测识别算法和精细数值模式来提高对强龙卷的预报预警能力。

很好的专版内容。

建议可增加国外龙卷业务开展情况介绍，比如国外龙卷预警业务系统以及国外龙卷形成机理研究成

果、龙卷识别技巧、龙卷预报预警如何开展等内容的介绍。

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）

（上接40页）

2.4 东南亚+南海海域

针对东南亚及南海热点区域，需要特别设计一个东南亚及南海海域观测区域。设计该区域的主要目的是对东南亚及南海海域进行高时间分辨率的扫描，获取邻国及海上台风区域的高频次观测数据。扫描范围：25°N—11°S。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为203.7 s。

2.5 澳大利亚及其周边海域

设计该区域的主要目的是针对澳大利亚及其周边海域开展高频次观测，为相应国家提供高时间分辨率的观测资料。扫描范围：8°—50°S，108°—168°E。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为126.2 s。

2.6 新版中国地图区域

针对新版中国地图或竖版中国地图，专门设计了一个扫描区域，包含南海在内。扫描范围：0°—55°N，65°—140°E。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为301.9 s。

3 结语

风云四号静止轨道气象卫星是世界上最先进的静止轨道气象卫星之一，此次设计建设的地面应用系统是迄今最为复杂的地面系统。卫星发射入轨后，由空

间段的卫星和地面应用系统共同构成我国新一代静止气象卫星观测系统。本文探讨了三轴稳定平台上风云四号静止轨道气象卫星成像仪复杂的工作模式，首次提出了成像仪灵活多样的观测区域设计方案，在全圆观测时间之余，可以高效利用小块观测时间，按需灵活安排高频次的多种区域观测，充分发挥静止轨道卫星高时间分辨率的优势。重点设计的观测区域包括中国大陆区域、中国大陆+海区、东海海域、东南亚+南海海域、澳大利亚及其周边海域、新版中国地图区域，包含了天气预报最关注的中心区域、沿海区域、台风与热带气旋频发区域、东南亚热点区域等，在成像仪在轨测试中发挥了重要作用，为开展业务运行奠定了坚实的基础。

参考文献

- [1] 张志清, 董瑶海, 丁雷, 等. 我国首颗第二代静止气象卫星风云-4 升空. 国际太空, 2016(12): 6-12.
- [2] DOC, NOAA, NESDIS, et al., Product definition and users' guide (PUG) volume 4: GOES-R rebroadcast (GRB), <https://www.goes-r.gov/users/docs/PUG-GRB-vol4.pdf>, 2014.
- [3] Kotaro B, Kenji D, Masahiro H, et al., An introduction to Himawari-8/9 - Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2016, 94(2): 151-183.
- [4] 多通道扫描辐射计工作流程说明. 上海: 上海卫星工程研究所, 2014.