

国外地球同步轨道气象卫星成像观测模式发展分析

张晓虎 陆风 窦芳丽 许健民
(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要: 经过多年的发展, 国外气象卫星从定时开展全圆盘观测逐步发展到定时全圆盘观测与灵活的区域观测相结合的灵活机动观测模式。定时全圆盘观测主要用于支持大尺度天气系统追踪, 数值预报应用以及气候数据集建设; 区域观测主要是充分发挥新一代卫星成像仪器时间空间分辨率的优势, 开展1000~2000km尺度天气系统, 尤其是中小尺度快速变化的对流系统和台风的监测, 为天气分析和预警服务。选取有代表性的新一代静止气象卫星两类成像仪器, 以采用长线列二维扫描成像机制的美国GOES-R成像仪/欧洲MTG成像仪和采用焦平面成像机制的韩国气象海洋卫星海洋水色仪作为典型光学成像类仪器, 讨论其灵活成像模式, 以期为我国第二代静止气象卫星风云四号的观测模式优化提供参考。

关键词: 静止气象卫星, 风云二号, 风云四号, 区域观测, 高频次

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.01.020

Analysis on the Observation Model of Foreign Geostationary Meteorological Satellite

Zhang Xiaohu, Lu Feng, Dou Fangli, Xu Jianmin
(National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081)

Abstract: After years of development, the observation mode of foreign geostationary meteorological satellite was progressively developed from regular full disk to a combination of regular full disk and regional mode. Regular full disk observations used to support tracking of large-scale weather systems, applications of numerical weather prediction and construction of climate data sets, while regional observations used to monitor 1000-2000 km scale weather systems, especially typhoon and rapidly changing small and medium-scale convective systems. Regional observation gives a full play to the new generation of satellite imaging instruments advantage of temporal and spatial resolution in weather analysis and early warning service. In order to provide reference of the observation mode optimization for China's second generation geostationary meteorological satellites (fengyun 4 series), two representative typical optical imaging instruments of new generation geostationary meteorological satellites, linear array two-dimensional scanning imaging instrument of GOES-R(US) & MTG(Europe) and focal plane array ocean color instrument of Korea Meteorological ocean satellite, are selected to discuss its flexible imaging mode.

Keywords: geostationary meteorological satellite, FY-2, FY-4, regional observation, high frequency

0 概述

自1997年发射第一颗风云静止气象卫星FY-2A至今, 我国共累计成功发射7颗风云二号静止气象卫星, 目前在轨运行静止气象卫星有四颗, 其中FY-2E/G 两颗卫星承担东亚区域全圆盘定时观测任务, FY-2F专门用于区域观测任务, FY-2D承担在轨备份任务。由于风云二号系列卫星均采用自旋稳定的姿态控制方式, 仪器只能在南北方向进行成像区域调整。因此, 我国静止气象卫星组网观测模式采用了FY-2F专门支持区域3~6分钟间隔的观测, FY-2G、FY-2E两颗

卫星专门用于北半球和全圆盘观测的协同组网观测方式。这种组网观测模式充分利用了风云二号气象卫星的观测资源, 实现了专星专用, 区域观测和全球观测各自开展, 互不冲突。然而, 新一代静止气象卫星寿命设计寿命达到10年, 很难在轨部署多颗卫星分别承担全圆盘观测和区域观测任务, 因此要求一颗卫星同时承担全圆盘观测和区域观测任务^[1-2]。

为了同时满足用户对全圆盘观测和灵活区域观测的要求, 国际上采用了两种方式满足用户需求, 第一是充分利用新一代长线列探测器技术突破, 将观测任务切割成碎片, 将分时观测的碎片拼接成全圆盘云图和区域观测云图; 第二是充分利用焦平面探测器技术的发展, 发展专门承担区域快速成像的仪器。第一种方式的实现难点是仪器工作方式的重新设计, 即从仪

收稿日期: 2015年10月19日; 修回日期: 2015年12月26日
通信作者: 陆风 (1973-), Email: lufeng@cma.gov.cn
资助信息: 国家自然科学基金 (41175023)

器分时进行区域和全圆盘观测,变为将区域和全圆盘观测任务碎片化后穿插实现,然后通过数据拼接实现满足用户需求的区域和全圆盘观测,这需要重新定义仪器工作方式,增加了仪器可靠性的要求和数据处理的难度;第二种工作方式的难点主要是仪器研制。

1 历史发展回顾

1.1 卫星发展历程

美国从1975年10月17日发射第一颗业务地球静止气象卫星GOES-A到现在的GOES-N已经历两代卫星。美国从1994年4月13日发射第二代业务地球静止气象卫星GOES-I-M开始,卫星的姿态控制方式采用三轴稳定,观测仪器可以实现区域的灵活观测。美国新一代业务静止气象卫星GOES-R预计2016年秋季发射。

欧空局(ESA)自1977年11月23日发射第一代地球静止气象卫星METEOSAT到现在的MSG(METEOSAT Second generation)经历两代卫星。这两代卫星均采用自旋稳定的观测方式,其卫星仪器工作方式与目前中国静止轨道业务气象卫星类似。欧洲下一代MTG卫星将采用三轴稳定方式,支持观测仪器的区域灵活观测。目前MTG卫星尚处于设计阶段,从公开文献调研得知,其继承了MSG卫星的观测模式,建立针对少数观测通道的高时间分辨率局地观测,以及较低空间分辨率的多通道全球观测^[3]。

日本自1977年7月14日发射第一颗气象卫星以来,已经历两代卫星,从日本2005年2月26日成功发射的第二代气象卫星静止气象卫星MTSAT开始,日本静止气象卫星全面采用三轴稳定方式工作。2014年日本成功发射的第三代静止气象卫星葵花八号,具有最高500m分辨率、分钟级的连续区域观测能力^[4]。

从上述分析可见,国际静止轨道气象卫星的工作方式都是从自旋稳定向三轴稳定发展,因此首先回顾一下自旋稳定和自旋稳定两种卫星工作方式。

自旋稳定气象卫星绕自旋轴以一定的角速度旋转,本身具有较高的角动量,在宇宙空间卫星的角动量近于守恒,因而自转轴的方向始终不变的指向宇宙空间中的某一点。自旋稳定气象卫星自转轴与轨道平面近于垂直,成像仪器安装在卫星侧面,扫描成像是依靠卫星的自旋实现东西向扫描,以及仪器光学系统在南北向的步进来完成的。由于地球在静止卫星高度的视角只有18°,因此卫星每自转一周,只有20%的时间朝向地球,因此仪器观测效率不高,很难提高卫星观测的时间频次^[2]。

三轴稳定卫星是在相互垂直的三个轴都进行姿态控制,不允许任何一个轴向产生超出规定值的转动

和摆动,这样可以保证在对地面安装的成像仪始终对准地球,此时的成像过程是通过星载成像仪的二维扫描(线列扫描)实现或者指向机构把相机指向观测目标(焦平面器件),极大提高对地观测效率。

1.2 静止气象卫星观测需求

静止气象卫星主要的应用是为天气预报和监测预警服务,天气预报的基础是大气环流和大气扰动变化的时间、空间尺度。大气环流和大气扰动是气象现象的重要特征,它们不是无序发生、发展和衰减的,而是分别具有代表性的时间和空间尺度。

Orlansky^[5]、世界气象组织大气科学委员会以及日本气象厅,根据中尺度分析理论和大量天气现象,总结出了大气环流和各类扰动特征的水平尺度和时间尺度(表1)。归纳起来,大气扰动通常划分为天气尺度(水平尺度为2000km以上,时间尺度为1日以上至数日)、中尺度(水平尺度为2~2000km,时间尺度为几小时至一天)以及小尺度(水平尺度为2km以下,时间尺度为几十分钟至几小时)。近20年来的研究表明,暴雨、台风、冰雹、雷雨大风、闪电、龙卷等强对流天气以及沙尘暴和雪暴等是最为主要的突发性强灾害性天气,它们是在一定的天气尺度形势背景下由中尺度系统直接造成的,也是预报的重点和难点。从表1列出的这些中尺度系统的种类以及它们的水平尺度和时间尺度可以看出,常规气象观测资料的时间和空间分辨率远远不能满足捕捉和分析这些系统的要求,从而要想预报它们几乎是不可能的,因此。需要发展气象卫星,提供高时空分辨率的观测。

1.3 静止气象卫星观测模式的发展

早期静止气象卫星采用了自旋稳定的观测模式,卫星依靠高速自旋保持姿态稳定^[6]。辐射计光轴垂直于自旋轴,可在一定范围内($\pm 10^\circ$)沿南北方向作一维步进运动,沿东西方向的扫描是随卫星本体自旋实现,自身无法控制,在一周360°内只有20°对准地球观测成像,扫描效率只有5.6%。可以进行区域观测,形成一幅横贯地球东西的条带图像,对小区域观测远不如三轴稳定卫星灵活迅速。

2020年前后,国际主要的静止气象卫星均将进入三轴稳定的时代,具备提高观测效率的可能。目前美国GOES-R以及欧洲和日本为代表的新一代气象卫星成像仪采用长线列二维扫描方式实现全圆盘观测,并兼顾区域观测;而以韩国气象海洋卫星(COMS-1)为代表的海洋水色仪采用焦平面器件,利用指向机构把相机指向观测目标以实现区域快速观测。上述技术发展各有特点,其应用目标都是提供

表1 Orlansky^[5]的尺度定义及其相应的各种大气扰动时间和水平尺度特征
Table 1 Scale definitions and different processes with characteristic time and horizontal scales

L_s \ T_s	1月	1日	1时	1分	1秒	
10000km						大尺度 α
2000km		斜压波				大尺度 β
200km			锋面和飓风			中尺度 α
20km			夜间低空急流、 飚线、惯性波、 云团、山脉和湖 泊扰动点			中尺度 β
2km			雷暴、内重力波、 晴空湍流、城市 影响			中尺度 γ
200m				龙卷、 深对流		小尺度 α
20m					尘沙暴、 热泡、 尾流	小尺度 β
					柱状气流、 粗糙度、 湍流	小尺度 γ
大气科学委员会 建议的定义	气候尺度		天气 行星尺度	中尺度	微尺度	

卫星全天24小时，高频次高空间分辨率的对地观测。以下分别介绍。

1.3.1 线扫描仪器应用

随着探测器技术的发展，已经可以在静止卫星上应用可见光波段近千探元，红外通道数百探元的观测器件，这就使得成像仪器东西扫描一次，可以同时获取数百千米广大区域的成像（日本葵花八号一次扫描可以获取500km宽度的地球影像）。由于具备了

如此高效的仪器观测能力，在设计卫星应用观测模式前，首先凝练出美日新一代静止气象卫星成像仪的应用需求，即区域观测、全圆盘观测、凝视观测和南北观测，表2给出了这四种需求的典型应用。

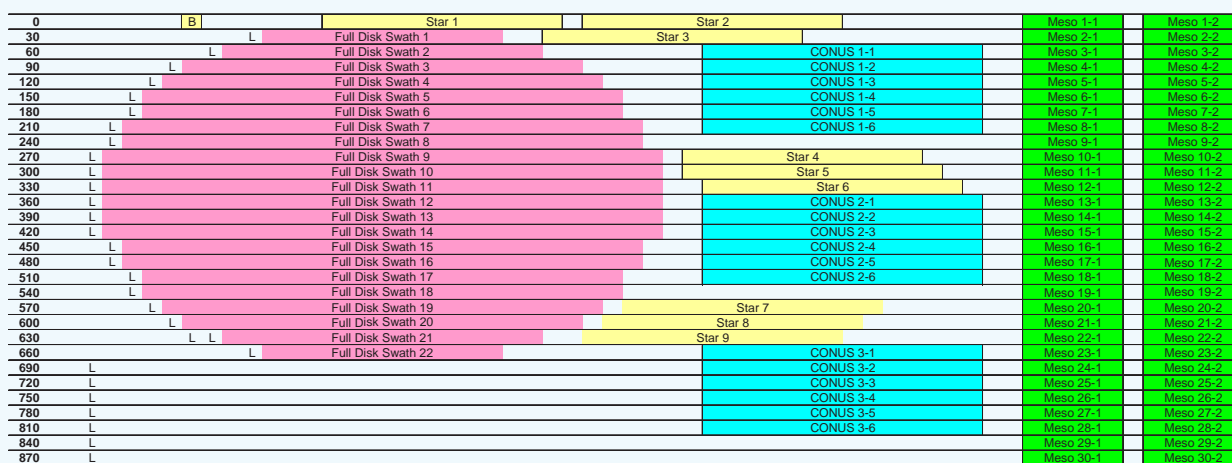
图1展示了美国最新一代GOES-R卫星成像仪观测模式，其中值得关注的要点是仪器观测时间的碎片化设计，即在全圆盘观测（粉色）在周期内插入区域观测（蓝色）和中尺度观测（绿色）^[7-8]。通过这样的

表2 国际新一代静止气象卫星仪器观测的应用需求
Table 2 Application requirements of next-generation geostationary meteorological satellite instruments

观测模式	典型应用	成像区域示意
区域观测	台风, 地标, 重点区域机动高频次观测	
全圆盘观测	全圆盘定时观测, 支持气候应用	
南北扫描	仪器测试	
凝视	黑体定标, 恒星观测	

安排, 在15min的一轮观测周期内区域观测 (蓝色为美国本土区域, 绿色为中尺度天气系统观测), 全圆盘观测 (粉色) 的开始时间均是等时间间隔的, 其时间特性为, 每15min一次全圆盘观测, 每隔5min一次美国本土观测, 每隔半分钟进行一次中尺度小区域观测。这三种资料均是等时间间隔, 非常有利于预报员对天气系统的分析, 最直观的应用就是云图动画, 同时也保证了卫星导风等定量大气参数反演对观测等时间间隔的需要。

欧洲第三代静止气象卫星MTG的成像仪定义了两种观测范围^[4]。一种覆盖地球圆盘 (FDC), 观测重复周期为10min; 另一种为四分之一圆盘, 观测重复



B: blackbody observation L: space look

图1 美国GOES-R卫星成像仪观测模式^[8]
Fig. 1 Observation mode of GOES-R Imager^[8]

周期为2.5min, 主要用于欧洲地区的观测。根据观测范围定义了三种观测模式: 全圆盘观测模式、区域观测模式和交错观测模式。全圆盘观测模式 (图2a) 是连续全圆盘覆盖观测, 重复周期为10min, 每个周期里进行1次全圆盘观测; 区域观测模式 (图2b) 是连续区域覆盖观测, 重复周期为2.5min, 每个周期里进行1次区域观测; 交错观测模式 (图2c) 是全圆盘观测和区域观测交错进行, 重复周期为15min, 每个周期里先进行1次全圆盘观测, 然后进行2次区域观测。

日本已经成功发射的葵花八号的成像仪与美国GOES-R卫星成像仪类似, 从制造GOES-R成像仪的Exelis公司购买。其成像仪设计与GOES-R相同, 由于日本国土狭小, 区域观测所需时间比较短, 因此将观测模式定义为每10min一次全圆盘观测, 每2.5min一次日本本土观测, 此外还设计了地标观测模式和台风区域观测模式^[5]。

1.3.2 焦平面观测仪器应用

在长线列扫描为基础的成像仪器迅速发展的同时, 基于焦平面器件的相机也开始在静止轨道搭载。韩国在世界上首次成功在静止卫星上搭载了用于观测海洋水色的地球同步海洋水色仪 (GOCI), 选用了e2v公司组装和筛选的千万像素规模的CMOS图像传感器, GOCI同时具备6个可见光通道和两个近红外通道, 仪器安置在一个二维驱动机构上, 卫星仍然采用三轴稳定工作方式, 保持面向地球, 通过驱动机构灵活调整成像仪实现不同观测区域的灵活观测。在GOCI成功获取了区域500m分辨率图像的基础上, 韩国正在发展新一代海洋水色仪GOCI-2, 预计将达到250m的高分辨率, 同样具备可见光和近红外通道观测能力。GOCI-2将同时具备全圆盘1km观测和区域250m观测能力, 计划新增大气订正通道和微光通道。

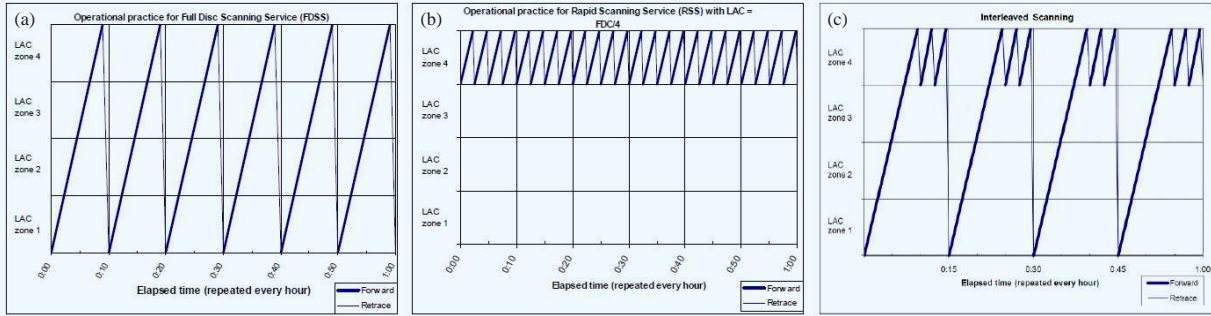


图2 欧洲MTG卫星成像仪观测模式
Fig. 2 Observation mode of MTG Imager

2 小结

风云系列卫星已经发展了40多年，其中静止气象卫星系列正在实现从自旋稳定的风云二号向三轴稳定的风云四号的升级换代。近年来，国际静止卫星应用不断创新，从单纯的定时全圆盘观测满足共性观测需求发展到专项应用目标驱动的观测系统设计，日本和韩国已经演示了技术可实现性，美国计划于2016年发射的GOES-R也采用这种观测应用需求驱动系统设计的发展思路。展望未来，观测应用需求驱动的卫星观测系统设计将是气象卫星发展的方向和目标，技术进步首先要满足行业应用需求，新一代静止气象卫星观测任务将会在典型应用驱动卫星仪器、卫星平台优化技术上构建，以突出典型应用，高时空分辨率、高光谱和高精度为特点的新一代对地观测系统。为了实现这一点，长线列为代表的首先满足全圆盘观测任务，同时兼顾区域灵活观测的仪器和以区域高时空分辨率观测为主要应用需求的焦平面成像仪两个技术体制也将在在较长时间平行发展，以满足不同产品应用领域的个性化需求。

需要说明的是，目前新技术发展迅猛，美国为主的GOES-R卫星成像仪体制（含日本葵花八号的成像仪）已经率先显示出灵活区域观测的优势，这种方案选取一台仪器同时兼顾区域观测和全球观测，技术复杂，其碎片化的观测虽然保证了观测开始时间的等间

隔，但是对于间隔一定距离空间的观测地点，观测时间会有微小的秒级别的差异。另外一种解决方案是放置两台成像仪器，一台侧重高灵敏度多光谱全圆盘应用，另外一台侧重高时间分辨率、有限通道的高空间分辨率应用。这种解决方案更面向气象应用需求，值得在风云四号后续业务卫星观测系统设计中重点关注。

参考文献

- [1] 董超华, 许健民, 张文建, 等. 风云三十年——国家卫星气象中心成立三十周年纪念. 国家卫星气象中心, 2001.
- [2] 杨军, 等. 气象卫星及其应用. 北京: 气象出版社, 2012.
- [3] MTG End-User Requirements Document [EURD], EUMETSAT, 30 March 2010. [Online]. http://www.eumetsat.int/website/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_FILE&dDocName=pdf_mtg_eurd&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Web.
- [4] Himawari-8/9 Himawari Standard Data User's Guide, Japan Meteorological Agency, 31 October, 2013. [Online]. http://www.data.jma.go.jp/mscweb/en/himawari89/space_segment/hsd_sample/HS_D_users_guide_en_v11.pdf.
- [5] Orlansky J. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bulletin of the American Meteorologists Society, 1975, 56: 527-530.
- [6] Lu F, Zhang X H, Xu J M. Image navigation for the FY2 geosynchronous meteorological satellite. J Atmos Oceanic Technol, 2008, 25: 1149-1165.
- [7] Geostationary Operational Environmental Satellite R-Series (GOES-R) Spacecraft Features that Allow Near-Continuous Observation. [Online]. <http://www.goes-r.gov/downloads/AMS/2013/presentations/J-3-3a-Linch.pdf>.
- [8] GOES-R Instrument Operations. [Online]. http://www.goes-r.gov/downloads/AMS_2009_GOES-R_Instruments_v4.pdf.