

许健民, 杨军, 张志清, 等. 我国气象卫星的发展与应用[J]. 气象, 2010, 36(7): 94-100.

我国气象卫星的发展与应用

许健民 杨 军 张志清 孙安来

国家卫星气象中心, 北京 100081

提 要: 本文介绍了风云系列气象卫星的现状, 从观测内容、技术水平、业务运行、数据共享、应用等多个方面比较了国际和中国气象卫星的发展状况, 并且提出了我国为提高气象卫星应用水平应该做的工作。经过四十多年的努力, 我国已经成功地发展了风云一号、三号极轨和风云二号静止两个系列的气象卫星, 并实现了业务化。从气象卫星获取的大气和地表信息, 已被广泛应用于天气预报、气候预测、环境和自然灾害监测、农业等多个国民经济领域, 为国家经济发展、社会进步做出了贡献。风云气象卫星不仅提供数据直接分发广播, 而且通过 Internet 网络与用户广泛共享; 不仅提供云图和观测数据, 还提供大量的定量产品。但是风云气象卫星的定量产品精度不够高, 影响了使用效果, 我国气象卫星资料和产品进入数值预报模式的工作进展缓慢, 基层台站预报人员对风云气象卫星云图的判读和应用水平不够高。提高卫星观测仪器的研发水平, 做好数据预处理、处理、同化方面所涉及的基础理论研究工作, 从根本上提高数据应用的水平是当务之急。

关键词: 气象卫星, 卫星应用, 数据共享

Chinese Meteorological Satellites, Achievements and Applications

XU Jianmin YANG Jun ZHANG Zhiqing SUN Anlai

National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: Status of FY series meteorological satellites of China is introduced. Comparisons between Chinese and international meteorological satellites are made in observation items, technical indicators, operation reliability, data sharing level and applications. With great efforts in the past 40 years, FY1/3 polar orbiting and FY2 geostationary meteorological satellites are now both in operation. Data and products from Chinese meteorological satellites on atmosphere and earth environment status have been broadly used in weather forecast, short range climate prediction, environmental/natural hazard monitoring, agriculture and other economical fields. Data and products from Chinese meteorological satellites are not only broadcasted in real time, but also accessed through Internet web site. But, quantitative accuracy of data from Chinese meteorological satellites, assimilation of data into numerical model and skills of forecaster at image interpretation need to be improved. Fundamental research at raising instrument accuracy, improving data pre-processing, processing and simulation levels and applications must be enhanced.

Key words: meteorological satellite, satellite data application, data sharing

引 言

从周恩来总理提出要发展我国的气象卫星至今已经 40 年。我国已经成功地发展了风云一号、三号极轨和两个业务系列的风云二号静止气象卫星。从

气象卫星获取的大气和地表信息, 已被广泛应用于天气预报、气候预测、环境和自然灾害监测、农业等多个国民经济领域, 为国家经济发展、社会进步做出了贡献, 成为我国现代化气象业务系统中不可或缺的重要组成部分, 也被世界气象组织正式列为世界天气监视网全球观测系统的一个组成部分。本文把

2009 年 12 月 7 日收稿; 2010 年 1 月 5 日收修定稿

第一作者: 许健民, 从事静止气象卫星数据预处理, 卫星风推导, 气象卫星资料在天气分析和预报中的应用. Email: xujm@cma.gov.cn

我国气象卫星的发展现状与国际同行的工作做一个对比,既肯定我们已经取得的成就,也指出未来努力的方向。

本文第一节介绍风云气象卫星的情况,第二节对我国与先进国家的气象卫星进行比较,第三节指出为提高我国气象卫星的应用水平亟待解决的问题。

1 我国风云系列气象卫星的发展历程

1.1 风云气象卫星情况

我国气象卫星的发展开始于20世纪60年代末70年代初。发展我国自己的气象卫星的最初设想,是周恩来总理于1969年11月提出来的。当时他还指出要充分利用从外国气象卫星所获得的信息。我国的气象卫星工程由星体、运载、发射、测控、地面应用五大系统组成,在前国防科工委统一领导下工作。航天工业总公司负责星体和运载火箭的研制,其中星载主要观测仪器由中国科学院上海技术物理研究所研制,国防科工委下属有关基地负责发射和测控,中国气象局负责草拟卫星系统计划规划,提出卫星应用需求和设计指标,建设并运行地面应用系统。

风云气象卫星工程是一个复杂的系统工程。从卫星到地面应用系统全部由我国自己设计研制,均拥有自主知识产权。从1988年第一颗风云一号气象卫星发射成功到现在,我国已成功地发射了四颗风云一号、一颗风云三号极轨气象卫星,以及四颗风云二号静止气象卫星。风云一号气象卫星的多通道扫描辐射计有10个光谱通道。风云二号气象卫星搭载的多通道扫描辐射计有5个光谱通道。目前卫星和地面应用系统的工作状况都好。

由两颗静止气象卫星风云二号组成双星业务系统,对我国和周边地区的天气系统进行了有效的监视。主业务星位于 105°E ,备份业务星位于 86.5°E 。每年的9月至第二年5月的非汛期,执行“非汛期观测模式”,“主业务星”正点开始全圆盘图观测,“备份业务星”半点开始全圆盘图观测,每颗卫星每天获取28幅全圆盘图,两颗卫星的共同观测区域每天可以进行48次观测。每年的6月至第二年的8月汛期,执行“主汛期观测模式”,“主业务星”正点开始全圆盘图观测,半点开始北半球图观测,每颗卫星每天共获取28幅全圆盘图、20幅北半球图,两颗卫星在北半球的共同观测区域每天可以进行96次观测,即每

15分钟获取一幅云图。每15分钟一幅原始分辨率云图组成的动画,大大提高了对中小尺度天气系统的监视能力,也有利于预报人员和公众认识天气系统。现在,广大天气预报人员在业务工作中离不开卫星云图。卫星云图已经成为中国气象局业务系统中不可或缺的重要组成部分。

风云三号是我国自主研制的新一代极轨气象卫星,实现了全球、全天候定量遥感,对大气可进行立体观测,具有全球250 m分辨率地表、环境监测能力,对台风等灾害性天气进行微波探测。

1.2 风云气象卫星地面应用系统情况

地面应用系统是气象卫星系统工程中十分重要的组成部分,负责卫星发射后对卫星有效荷载的运行管理,以及从卫星下传数据的接收、处理、分发、应用、服务。尤其对于静止气象卫星,它的观测功能是通过卫星和地面应用系统协同工作完成的,地面应用系统是星地系统中不可分割的组成部分,由中国气象局负责建设和运行。

气象卫星地面应用系统大致由以下4个部分组成:卫星数据和指令收发站、卫星运行控制中心、卫星数据处理中心,以及分布在各地的数据利用站。卫星数据和指令收发站要确保从卫星下传的各种数据,以及从地面应用系统向卫星发送的指令和数据正确无误地收发存取。卫星运行控制中心是全系统的指挥中枢,它要监视从卫星传下的各种工作状况信息,判断卫星的工作是否正常,在卫星工作状况发生异常时及时做出响应;它还要监视地面应用系统各个组成部分的工作状况,调度地面应用系统的资源及时、正确地完成任务。卫星数据处理中心负责从卫星下传各种观测数据的处理,形成各种图像和数字产品,分发给用户,它还要形成指挥卫星未来工作的参数,指导卫星的工作。数据利用站分布在各地,它接收从数据处理中心下发的各种图像和产品,供当地气象业务和研究单位使用。对于极轨气象卫星,用户还可直接接收利用卫星下发的低分辨率观测数据。

风云气象卫星的数据处理工作由国家卫星气象中心人员自己承担。气象卫星的数据处理,是要从卫星遥感观测数据中,提取遥感目标物所在地点的关于地表、云和大气状态的定量参数产品。其中有三个基本的科学问题要解决。

第一个问题是卫星所遥感的观测目标物在什么

地方。这个问题称为图像配准和定位。风云二号气象卫星是通过星地协同工作完成对地观测的。星载多光谱扫描辐射仪对地球进行扫描,获取地球图像数据。扫描阶段所获取的数据尚不能组成可用的图像。地面应用系统利用遥测数据,将扫描过程中所获取的对地观测数据,处理成一幅相当于在卫星所在位置直视地球所看到的可用图像,并指出图像上每一个观测像元所在的地理经纬度位置。这就是图像配准和定位。

第二个问题是卫星上的遥感器所感应到的辐射量是多少;以及离开遥感目标物的辐射,在传递到卫星的路径上,由于与大气介质的相互作用,改变了多少。这方面的问题称为定标和辐射的大气订正。气象卫星产品定量处理的目的,是要从卫星观测数据中提取地表、云和大气状态的定量参数产品。而卫星所观测到的,是遥感器测量计数值。根据遥感器测量计数值,求解地物状态参数,要做一系列的数据变换。先将遥感仪器的辐射观测数据标定为辐射当量,即定标。定标后,获得了进入卫星遥感仪器的人瞳辐射。然后要对入瞳辐射做一系列的数据处理。这些数据处理,实际上是对辐射从离开观测目标物开始,直到被扫描辐射仪测得为止,每一种物理过程所带来辐射附加值的订正。经过定标和大气订正处理,获得了离开遥感观测目标物的离物辐射。

第三个问题是,从来自位置已知遥感观测目标物的离物辐射数据中,提取出能代表地表、云、大气物理状态和运动的参数,或根据云图的时间序列,推导出代表地物和大气的状态和运动的产品。

上述前面两个问题统称卫星观测数据的预处理,第三个问题称为定量产品处理。数据处理工作要求研发人员对辐射在大气中的传递过程和气象卫星的工作方式两方面都有清晰的理解。国家卫星气象中心进行了与数据处理有关的基础和机理研究,立足于依靠自己的力量解决数据处理中的科学和技术问题;按照软件工程化的要求进行研发工作,自主开发了气象卫星数据处理的全套软件。由于软件是自行研制的,在工作实践中不断修改完善,其工作质量和可靠性日益提高。

1.3 风云气象卫星的产品和信息服务

风云系列气象卫星除了观测资料以外,还提供大量的产品和信息服务。风云一号极轨气象卫星除了全球图像以外,还提供射出长波辐射、海表温度、

积雪覆盖和环境监测数据产品。风云二号静止气象卫星提供 10 种图像产品,云风矢量、海面温度、对流层上中层水汽含量、ISCCP 数据集、降水指数、降水估计、云检测、云分类、用云分析出的湿度廓线、晴空大气可降水、射出长波辐射、地面入射太阳辐射、雪覆盖、海冰、水情监测、干旱监测、火情监测、热带气旋卫星定位、卫星监测沙尘暴、雾监测、亮度温度等 20 多种产品。风云三号气象卫星在大气和云的监测方面提供 19 种产品,在陆地和海洋监测方面提供 10 种产品。这些产品除了实时广播以外,都可以从互联网上调到。

除了图像和数字产品以外,风云气象卫星还提供信息服务。这里的信息是指从气象卫星的观测数据和产品中分析得出的信息。卫星信息服务内容上可分为:天气系统演变监测与分析、自然灾害监测与分析、环境变化监测与评估三类。天气类信息服务包括电视气象信息节目,向中共中央和国务院领导提供的卫星气象分析服务,向各级气象台站提供的热带气旋监测与分析、暴雨强对流系统监测与分析、沙尘暴监测、大雾监测、洋面风场产品等。灾害监测和环境变化类信息服务包括向社会公众提供的火情监测、水情监测、雪情监测、海冰监测、植被监测、干旱监测、地表温度监测、黄河冰凌监测等。这些信息服务有利于领导、气象台站和社会公众及时了解从气象卫星获得的信息。

1.4 风云气象卫星的数据共享

国家卫星气象中心的气象卫星数据存档和服务系统(SDAC)是目前国内遥感卫星数据规模最大的海量存储系统之一,保存了 1984 年至今国内时序最长的环境卫星遥感数据。气象卫星长时间序列产品是国家和社会非常急需的气象科学数据,尤其对生态环境演变和全球变化等科研更为重要。

在中国气象局的统一安排下,国家卫星气象中心积极开展历史卫星数据的整编工作,包括开展高精度(时间和空间)、长时间序列基础数据处理技术研究;研究面向用户的规范化、系列化的卫星气象、卫星气候和环境监测信息的加工处理方法;开展气象卫星资料定位信息重加工处理等工作,以建立长时间序列、精加工的气象卫星遥感数据和产品。目前,已经实现了对中国 FY2A/2B/2C/2D/2E 静止气象卫星、中国 FY1C/FY-1D 极轨气象卫星、美国 NOAA-7 至 NOAA-18 极轨气象卫星、美国 GOES-

9 静止气象卫星、EOS TERRA/AQUA 环境卫星、欧洲 Meteosat-5 静止气象卫星、日本 GMS3/4/5、MTSAT-1R 静止气象卫星等卫星的历史和实时数据的存档和对外共享服务,存档和共享的数据总量超过 100TB。

SDAC WEB 服务器域名: <http://satellite.cma.gov.cn>, FTP 服务器域名: <ftp://nsmc-ftp.cma.gov.cn>。中国气象局局大院用户可使用内部 IP 地址访问。WEB 服务器地址: <http://10.24.16.5>, FTP 服务器地址: <ftp://10.24.16.7>。

国家卫星气象中心卫星数据共享服务通过基于 Internet 的 WEB 方式对全国乃至全球的用户提供。用户仅需使用 WEB 浏览器就可以完成数据的检索、浏览、订购、定制和下载。检索系统提供完善的用户管理功能,实现用户的信息注册、信息修改、权限管理等控制流程;同时检索系统提供较为完整的帮助信息,用户可以方便地获取有关数据格式说明、应用范例和相关帮助资料。

1.5 风云气象卫星的业务运行

在气象卫星发展的初期,风云气象卫星的业务运行成功率不是很高,由于种种原因,丢失云图或数据质量不高的现象时有发生,对此,中国气象局对风云卫星提出了必须成为业务卫星的要求。所谓业务卫星有两个基本的含义。第一个含义是风云卫星所提供服务和内容和指标,都必须达到设计要求。第二个含义是风云卫星在设计寿命期间,必须提供连续不间断的服务。具体的考核指标是,极轨卫星运行成功率为 97.5%,静止卫星运行成功率为 98%。

国家卫星气象中心对业务运行中存在的问题进行了认真细致的分析研究。对于业务运行中出现的每一个故障,都进行诊断分析,找出故障发生点和发生原因。对由于硬件、软件、管理制度、人员责任不到位所造成的故障,分别通过设备修复和改善、软件更新、制度修订、教育培训措施加以解决。现在,风云气象卫星按月统计的业务运行成功率,都在 99% 以上,不仅我国地方台站广泛接收和利用风云气象卫星的资料,包括美国、澳大利亚、日本在内的许多外国气象部门,也接收和使用风云气象卫星的资料。

1.6 风云气象卫星的应用

从气象卫星获取的大气和地表信息,已被广泛应用于天气预报、气候预测、环境和自然灾害监测、

农业等多个国民经济领域,为国家经济发展、社会进步做出了贡献。风云系列气象卫星应用系统投入业务运行后,为台风、暴雨、冰雹、暴雪、沙尘暴、龙卷风等灾害性天气的监测提供了更有力的手段,为短期气候预测提供了更多有用的参数,如海表水温、雪盖、植被指数等,为改善天气预报和短期气候预测做出了贡献。

目前,中国气象局正大力开展卫星资料在数值预报中的应用研究,这是提高天气预报准确率的重要手段,将卫星探测资料加入到数值预报的三维同化系统中,能显著提高数值天气预报的精度和时效。

我国是环境和自然灾害种类较多、发生频繁的国家之一,风云系列气象卫星在洪涝、森林草原火情、沙尘暴、雪灾和海冰等监测中发挥了重要作用。

2 风云气象卫星与国际同行气象卫星的比较

《气象卫星:系统、资料及其在环境中的应用》一书^[1]比较全面地介绍了气象卫星发展的历史。世界气象组织的空间计划技术报告^[2-3]对气象卫星发展和应用的现状给出评估。我们根据这些文件中所表述的国际发展状况评估中国气象卫星的现状。

2.1 国际气象卫星发展的历史过程

1954 年,美国俘获了德国的 V2 火箭。用火箭携带相机从高空拍摄了地球的照片。这些照片得到了 Bjerknes 的认可。从此时开始,美国起步发展空间对地观测技术。1960 年 4 月,美国第一颗气象卫星发射,发回的云图与先前用探空资料得到的台风、温带气旋等天气系统概念模型十分相似,激发了多行业的科技工作者致力于从空间观测地球的热情。气象卫星事业得到了迅猛的发展。

1970 年 1 月,美国 ITOS-1 卫星实现了红外通道的观测。1972 年 10 月,ITOS-D 即 NOAA2 卫星开始进行数据直接广播。红外图像观测和数据直接广播使广大气象台站获得实时资料,标志着气象卫星的业务化。用户的广泛使用使气象卫星的应用水平快速提高。1978 年 10 月,TIROS-N 卫星实现了数据的数字化传递,气象卫星应用从定性走向定量。

1974 年 5 月,美国的静止轨道通信卫星 ATS 发射。其卫星平台有空余,Suomi 提议装载气象传感器,于是诞生了静止气象卫星云图。静止气象卫星实现了昼夜 24 小时不间断的气象观测,对天气预

报有重要意义。1975 年 11 月,美国的静止气象卫星 GOES-1 实现业务运行。1977 年 7 月,日本第一颗气象卫星发射。1978 年,欧空局的第二个模型卫星 F2 搭载了水汽通道的图像,创新地提出并实现了静止气象卫星的水汽通道图像。这对天气预报有重要意义。1994 年 4 月,美国三轴稳定静止气象卫星 GOES-8 发射成功,获得每分钟一幅的图像动画,看到了发展中强对流天气系统中的重力波。使静止气象卫星在监测中小尺度天气系统方面达到了新的水平。

1969 年 4 月,美国 Nimbus 卫星 SIRS 获取了垂直探测,使气象界十分惊喜。但是用卫星观测反演的温、湿度廓线在数值天气预报模式中没有获得正效果。卫星并不直接测量如温度、气压这样的传统地球物理参数,而是观测辐射。在卫星资料使用于数值天气预报的早期,人们很自然地试图使卫星测值与模式设计和使用的地球物理参数类似,如温度和湿度垂直廓线。用 20 世纪 80 年代的最佳内插技术同化卫星资料对数值天气预报没有什么影响,或甚至有负的影响。在 20 世纪 80 年代后期,卫星反演资料在许多数值天气预报中心被列入黑名单。1989 年,英国气象局的 Eyre 提出用变分同化方法在数值天气预报中直接使用辐射的方法,开创了卫星资料应用的新纪元。现在,来自卫星的信息,对数值天气预报做出了最重要的贡献。

1987 年,美国国防卫星装载微波成像仪。1998 年 5 月,NOAA-K 卫星装载了先进的微波探测仪 AMSU。AMSU 微波探测提供的全球资料,在全球数值天气预报中获得了非常好的效果,用两颗卫星的 AMSU 资料与不用 AMSU 资料比,欧洲地区上空 500 hPa 位势高度 5 天预报的技巧长进了一天。1992 年 4 月,欧洲 ERS-1 卫星用单侧扫描微波散射计获得了海面风资料。ERS-1 不久便失去工作能力。美国 JPL 看到洋面风对大气和海洋观测的巨大应用价值,迅速发展了 QuikSCAT 卫星,并于 1999 年 6 月将其业务化。1997 年 11 月,NASA-JAXA 合作的热带降雨测量卫星 TRMM 开始用雷达下视观测云中的降水结构。这些微波和主动遥感观测使气象工作者看到了云和降水系统的内部结构,以及海面上的风,为天气预报准确率的进一步提高打下了基础。

1997 年,中国台湾地区和美国联合制定了 COSMIC(Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate) 计划。1999 年 1 月,台湾发射中华卫星。用掩星技术安排一系列

如 COSMIC 那样的星座提供实时无线电掩星探测,用于天气预报。无线电掩星探测比其他卫星遥感探测系统更有竞争力的地方是:高的垂直分辨率(500 m),但是其水平分辨率相对较低(150~200 km)。无线电掩星探测主要的优点是它的全天候观测能力。无线电波不受云和降水的影响。

从上面所列举的国际气象卫星发展大事记中可以看到,从 1960 年第一颗气象卫星发射半个世纪以来,气象卫星在极轨、静止、云图、垂直探测、光学、微波、主动遥感、掩星探测、数值预报应用等多个领域取得了长足的发展。

1969 年 11 月,冰凌致使我国大范围电信中断,周恩来总理敏锐地提出要发展我国自己的气象卫星。我国气象卫星的研制工作,起步大约只比美国晚 15 年。20 世纪 70 年代,我国陶诗言、丁一汇、方宗义等人敏感地意识到气象卫星云图对天气预报的重要意义,将国外卫星云图接收、使用技术介绍到中国来,并对云图在中国天气分析和预报中的应用做了大量的研究工作,使气象卫星云图应用技术在中国迅速普及。这些工作与外国气象卫星云图应用于天气分析和预报的工作基本上是同步的。可以说我国气象卫星的应用工作,起步并不晚。

1988 年 9 月 7 日,我国第一代风云一号气象卫星发射成功。2002 年 5 月 15 日,风云一号 C 星实现业务运行。我国数字化气象卫星的业务化比美国晚 20 年。1997 年 6 月 10 日,我国第一颗静止气象卫星风云二号 A 星发射成功。2004 年 10 月 19 日,风云二号 C 星实现业务运行。我国静止气象卫星的业务化比美国晚 29 年。现在我国风云二号的工作水平总体上相当于美国 20 世纪 90 年代初期的水平,比美国大致落后 15 年。这样的差距要待风云四号才能赶上。但是风云二号气象卫星在有些方面,如图像定位是有特色的,我们做得非常准,在多个正式场合得到国际同行的广泛认可。2008 年 5 月 27 日风云三号 A 星发射成功。FY-3A 卫星作为我国新一代风云极轨气象卫星的首发试验卫星,具有有效载荷多、运动部件多的特点,且大部分仪器属于首次上星,仪器的定量探测性能要求高、技术复杂、研制难度大,整星研制水平已经与国际同类气象卫星相当。风云三号气象卫星的资料已经受到欧洲中期预报中心的认可,进入他们数据同化系统。

2.2 我国与发达国家气象卫星观测水平的比较

中国、美国、欧洲极轨气象卫星仪器配置比较如表 1 所示。从表 1 中可以看到,在光学遥感方面,我

表 1 中国、美国、欧洲极轨气象卫星仪器配置比较表
Table 1 Instruments loaded by polar-orbiting meteorological satellites of China, USA and EU

仪器	卫星	中国 FY-3	欧洲 METOP	美国 NPOESS
1. 扫描辐射计		有	有	有
2. 红外分光计		有	有	无
3. 微波温度计		有	有	有
4. 微波湿度计		有	有	
5. 中分辨率光谱成像仪		有	无	无
6. 微波成像仪		有	无	有
7. 紫外臭氧垂直探测仪		有	有	有
8. 紫外臭氧总量探测仪		有	有	
9. 地球辐射探测仪		有	无	有
10. 太阳辐射监测仪		有	无	有
11. 空间环境监测仪		有	有	有
12. 高光谱大气探测器		无	有	有
13. 雷达散射计		无	有	无
14. 雷达高度计		无	无	有
15. GPS 大气探测器		无	有	有
16. 数据收集系统		无	有	有
17. 收索救索系统		无	有	有
18. 大气偏振探测仪		无	无	有

国与国际先进水平之间差距不大。主要的差距在主动遥感、GPS 掩星探测、高光谱大气探测方面。

表 2 是各国静止卫星携带主要有效载荷的对比。表 3 是各国静止气象卫星多通道扫描成像仪主要技术性能的对比。表 4 是美国静止气象卫星 GOES(I-M)垂直探测仪的性能。在轨业务运行的静止气象卫星携带的主要载荷是:多通道扫描成像仪、大气垂直探测仪、空间环境监视器、太阳 X 射线成像仪和地球辐射收支仪等。现在,各个国家的静止气象卫星都有多通道扫描成像仪和空间环境监视器,但是大气垂直探测仪和太阳 X 射线成像仪只有美国在静止气象卫星上搭载,地球辐射收支仪只有欧洲在静止气象卫星上搭载。多通道扫描成像仪的观测波段目前是欧洲的气象卫星最多。

目前在轨运行的静止气象卫星,中国和欧洲的卫星采用自旋稳定姿态的技术体制,不足是对地观测效率低,探测灵敏度不高,无法实现大气垂直探测。美国和日本的卫星采用三轴稳定姿态的技术体制。我国未来的风云四号卫星也要采用三轴稳定体制。

表 2 各国静止卫星携带主要有效载荷对比

Table 2 Comparison of GMS satellite-borne payloads in several countries

国家及卫星	多通道扫描成像仪	大气垂直探测仪	空间环境监视器	太阳 X 射线成像仪	地球辐射收支仪
中国	有	无	有	无	无
美国	有	有	有	有	无
欧洲	有	无	有	无	有
日本	有	无	有	无	无

表 3 各国静止气象卫星多通道扫描成像仪主要技术性能的对比

Table 3 Specification of multi-channel scanning imagers on-board GMS satellites in several countries

欧洲 MSG	波段带宽/ μm			星下点分辨率/km			
	美国 GOES	日本 MTSAT	中国 FY-2	欧洲 MSG	美国 GOES	日本 MTSAT	中国 FY-2
0.4~1.1				1			
0.56~0.71	0.55~0.75	0.55~0.8	0.55~0.90	3	1	0.5	1.25
0.74~0.88				3			
1.50~1.78				3			
3.48~4.36	3.80~4.00	3.5~4.0	3.5~4.0	3	4	2	5
5.35~7.15				3			
6.85~7.85	6.5~7.0	6.5~7.0	6.3~7.6	3	4	2	5
8.30~9.10				3			
9.38~9.94				3			
9.80~11.80	10.2~11.2	10.3~11.3	10.5~11.5	3	4	2	5
11.00~13.00				3			
	11.5~12.5	11.5~12.5	11.5~12.5		4	2	5
12.40~14.40				3			

关于静止气象卫星的卫星平台技术体制及设计寿命,美国、欧洲和日本的在轨静止气象卫星的设计寿命均为 5 年以上,我国在轨静止气象卫星的设计寿命为 3 年。

3 提高风云气象卫星的应用水平亟待解决的问题

从 1969 年周恩来总理提出要发展我国自己的

表 4 美国静止气象卫星 GOES(I-M)垂直探测仪的性能
Table 4 Specification of vertical sounder on-board
the US GOES satellite

探测器 通道	中心波长/ $\mu\text{m} (\text{cm}^{-1})$	NE Δ T/ $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	探测目的
1	14.71 (680)	1.99	温度垂直探测
2	14.37 (696)	1.27	温度垂直探测
3	14.06 (711)	1.09	温度垂直探测
4	13.96 (733)	0.89	温度垂直探测
5	13.37 (748)	0.79	温度垂直探测
6	12.66 (790)	0.38	温度垂直探测
7	12.02 (832)	0.23	表面温度
8	11.03 (907)	0.16	表面温度
9	9.71 (1030)	0.19	总臭氧
10	7.43 (1345)	0.10	水汽垂直探测
11	7.02 (1425)	0.09	水汽垂直探测
12	6.51 (1535)	0.13	水汽垂直探测
13	4.57 (2188)	0.018	温度垂直探测
14	4.52 (2210)	0.014	温度垂直探测
15	4.45 (2245)	0.015	温度垂直探测
16	4.13 (2420)	0.006	温度垂直探测
17	3.98 (2513)	0.007	表面温度
18	3.74 (2671)	0.003	表面温度
19	0.70 (14367)	10%反照率	云
	0.65 (15384)	6:1 信噪比	4 等星

气象卫星以来,经过近 40 年的努力,我国极轨和静止两个系列的风云气象卫星都已经实现了持续稳定的业务运行。风云气象卫星不仅提供数据直接分发广播,而且通过 Internet 网络与用户广泛共享;不仅提供云图和观测数据,还提供大量的定量产品。我国自己的气象卫星在气象业务和研究工作中发挥了重要的作用,突出地表现在全国各级气象台站和国际同行对风云卫星云图的广泛使用。但是风云气象卫星的应用还有以下三方面的问题没有解决好。

(1) 风云气象卫星在数据定标和定量产品算法方面还有一些关键问题没有解决好。这些关键问题不仅存在于卫星和观测仪器,而且也存在于地面系统。结果,使得风云气象卫星的定量产品精度不够高,影响了使用效果。卫星观测仪器在低能量端的信噪比不够,观测数据中存在杂散光和噪声。地面系统中定标的算法也没有解决好,使得卫星数据的历史可比性不好。这些问题不解决,卫星数据的定量应用水平是提不上去的。

(2) 天气预报是中国气象局最重要的业务工作。提高天气预报准确率是中国气象局义不容辞的责任。发达国家的经验表明,天气预报准确率的提高必须走数值天气预报的路。近年来国际上数值天

气预报的改善,主要是由于卫星资料进入了数值预报初始场而获得的。但是我国气象卫星资料和产品进入数值预报模式的工作进展缓慢。其中的原因,在气象卫星和数值天气预报两方面都存在。气象卫星的数据处理与数值天气预报产品是相辅相成,密切相关的。气象卫星定量产品推导中要使用数值天气预报模式输出产品,数值天气分析同化中要使用气象卫星观测数据和定量产品。由于目前气象卫星的数据处理与数值天气预报模式两个方面各自都有一些问题没有解决好,两方面协同工作的力度又不够,使得风云气象卫星定量产品和数值模式的精度都不够高。目前这方面的工作力度远远不够,亟待提高。

(3) 虽然风云气象卫星在广大气象台站已经得到广泛的应用,但是广大预报人员对风云气象卫星云图的判读和应用水平不够高。云图中原本存在的关于天气系统发生、发展的信息还没有被天气预报人员广泛认识,影响了天气预报水平的提高。

针对气象卫星应用中目前存在的以上三方面的突出问题,在气象卫星应用发展规划中应包含以下五方面的内容:

(1) 继续做好气象卫星空间段的工作,使之不仅提供更多的观测内容,而且提高定量观测质量。

(2) 继续做好气象卫星地面系统的工作,提高定量产品的质量。其中尤其要做好数据预处理、数据处理方面所涉及的基础理论研究工作,从根本上提高空间数据应用的水平。

(3) 国家气象中心、国家卫星气象中心、中国气象科学研究所的有关工作人员要联合工作,共同做好气象卫星产品在数值天气预报同化中的工作。

(4) 气象院校的天气动力学专业要设卫星气象课程。

(5) 大力开展气象卫星云图在天气分析和预报中应用的研究工作。

参考文献

- [1] Rao P R et al. Weather satellites: systems, data and environmental applications[M]. American Meteorological Society, 1990.
- [2] WMO. The role of satellites in WMO programmes in the 2010s [H]. 2003, WMO/TD No. 1177.
- [3] WMO. Status of the availability and use of satellite data and products by WMO Members for the period 2006 - 2007[M]. 2009, WMO/TD No. 1483.