

我国“风云”气象卫星及其应用的回顾与展望

杨 军

(中国气象局 国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘 要 气象卫星和卫星气象是气象现代化的重要标志。自 1988 年至今,我国已先后成功发射了 4 颗风云-1 极轨气象卫星和 4 颗风云-2 静止气象卫星,顺利完成了极轨和静止两个系列气象卫星从试验到业务卫星的跨越。由“风云”气象卫星获取的地球大气和地表信息已广泛应用于天气预报、气候预测、环境和自然灾害监测与分析等多个领域。文章介绍了我国“风云”系列气象卫星的发展历程、地面应用系统组成、“风云”卫星产品及应用,最后展望了“风云”系列气象卫星的发展。

关键词 “风云”气象卫星 极轨气象卫星 静止气象卫星 遥感应用

中图分类号: V52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8748(2008)03-0023-06

Development and Applications of China's Fengyun (FY) Meteorological Satellite

YANG Jun

(National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration
Beijing 100081, China)

Abstract: With more than 30 years' development, China has successfully launched 4 FY-1 polar and 4 FY-2 geostationary orbit satellites, and become one of a few countries in the world to operate both polar-orbit and geostationary meteorological satellites. Now FY-1D, FY-2C and FY-2D are working in orbit daily and providing operational services. A large amount of atmosphere and earth surface data observed by FY satellites has been extensively used in weather forecast, climate prediction, eco-environment and natural disaster monitoring in China. This paper introduces the development of FY satellites, ground segments, products generated from FY satellites and their applications. Future development of China's meteorological satellite is also described.

Key words: FY meteorological satellite; polar-orbiting meteorological satellite; geostationary meteorological satellite; remote sensing application

1 前言

1988 年 9 月 7 日我国成功发射风云-1A 极轨气象卫星,揭开了我国气象卫星及其应用事业的新篇章。到 2007 年 12 月,我国已成功发射了 4 颗风云-1 极轨气象卫星和 4 颗风云-2 静止气象卫星,目前

风云-1D 星和风云-2D 星在轨稳定运行。我国的气象卫星已初步实现了业务化、系列化,率先达到应用卫星从试验应用型向业务服务型转变的目标,我国已成为国际上同时拥有静止气象卫星和极轨气象卫星的少数几个国家之一。世界气象组织(WMO)已将风云-1 和风云-2 系列卫星纳入全球业务应用气象卫星序列,使我国“风云”气象卫星成为全球综合

收稿日期: 2008-04-01; 修回日期: 2008-04-28

作者简介: 杨军(1964—),男,硕士,研究员,清华大学无线电系毕业,国家卫星气象中心主任。

地球观测系统的重要成员。正是由于我国气象卫星及应用事业在国际上的地位和影响,我国已经成为全球综合地球观测组织执委会成员,与美国、欧盟和南非共同主持全球综合地球观测系统计划的实施,推动全球综合地球观测系统的建设,造福于人类。

我国“风云”卫星的数据政策是全球免费共享,目前已经应用在天气预报、气候预测、自然灾害、环境监测、信息传输、科学研究等多个重要领域;在气象、海洋、农业、林业、水利、航空、航天等部门及企业得到了越来越广泛的应用,为我国国民经济建设、国防建设、防灾减灾和全球许多国家的经济发展做出了重要贡献。

2 发展历程^[1-3]

我国的气象卫星分极轨和静止两个系列。早在 20 世纪 70 年代我国就开始实施自己的气象卫星计划,与此同时,也开展了接收国外气象卫星资料的应用研究,经过不到 20 年的时间,完成了从引进接收设备接收国外气象卫星资料,到研制发射我国自己的气象卫星与研制具有自主知识产权的地面应用系统的全部历程。到目前为止,无论是气象卫星,还是卫星资料的应用,在国际上已经占有一席之地。

2.1 “风云”极轨气象卫星发展

1988 年 9 月 7 日,我国自行研制的第一颗极轨气象卫星风云-1A 星发射成功,卫星图像纹理清晰,层次丰富。在轨工作 39 天。1990 年 9 月 3 日发射成功的风云-1B 星在轨正常运行了 5 个半月。

从 1999 年开始发射的风云-1C, 1D 卫星是我国第一代极轨业务气象卫星,风云-1C, 1D 使我国成为世界上第二个具有全球观测能力的国家。星上遥感仪器由风云-1A, 1B 试验星的 5 通道增加到 10 通道(见表 1)。其中风云-1C 星是我国的第一颗三轴稳定太阳同步极地轨道业务气象卫星,自 1999 年 5 月 10 日发射成功,一直到 2004 年 2 月 12 日,共工作了 4 年 9 个月,揭开了我国气象卫星长寿命高可靠连续稳定业务化运行的序幕。风云-1D 星于 2002 年 5 月 15 日在太原发射中心成功发射,至今一直保持稳定运行。风云-1C, 1D 两颗卫星在森林草原火灾、水灾、大雾、雪灾、沙尘暴等灾害、环境监测和国防建设方面发挥了非常重要的作用,同时也被世界气象组织纳入全球业务应用气象卫星序列之中。

表 1 风云-1 卫星多通道可见红外扫描辐射计通道特性
Table 1 Characteristics of FY-1C/ D 10 Channel Visible and Infrared Radiometer

通道号	波长/ μm	主要用途
1	0.58~0.68	白天云层, 冰, 雪, 植被
2	0.84~0.89	白天云层, 植被, 水
3	3.55~3.93	火点热源, 夜间云层
4	10.3~11.3	洋面温度, 白天/夜间云层
5	11.5~12.5	洋面温度, 白天/夜间云层
6	1.58~1.64	土壤湿度 冰雪识别
7	0.43~0.48	海洋水色
8	0.48~0.53	海洋水色
9	0.53~0.58	海洋水色
10	0.90~0.965	水汽

2.2 “风云”静止气象卫星发展

2004 年 10 月 19 日在西昌发射的风云-2C 是我国第一颗业务静止气象卫星。与前两颗试验卫星风云-2A, 2B 相比, 2C 星在性能上有较大的改进与提高。风云-2C 星是一个直径 2.1m, 高 1.6m 的圆柱体。远地点发动机分离后, 包括天线在内卫星总高 3.1m, 重约 600kg。卫星姿态为自旋稳定, 自旋速率为 $98 \pm 1 \text{r/min}$, 卫星设计工作寿命为 3 年。

- 风云-2C 星在技术状态上主要有两大变化:
- 1) 扫描辐射计的观测通道由 3 个增加为 5 个, 其中红外通道的数据量化等级由 8bit 增加到 10bit, 这将增强卫星的对地观测能力。
 - 2) 星上蓄电池的容量由 17Ah 增加到 25Ah, 这将使卫星在地影期间工作更加稳定可靠。

风云-2C 的有效载荷包括多通道扫描辐射计和空间环境监测器。五通道扫描辐射计是风云-2C 的主要观测仪器, 与风云-2A, 2B 的三通道扫描辐射计相比, 把红外长窗区($10.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$)分裂成两个通道, 用以改进海面温度的反演精度。增加一个中红外通道($3.5 \sim 4.0 \mu\text{m}$), 用以改进云参数探测, 增加对森林和草场火灾的监测能力。可见光通道由原来 $0.5 \sim 1.05 \mu\text{m}$ 改为 $0.55 \sim 0.90 \mu\text{m}$, 可减少水汽吸收对可见光观测数据的影响(见表 2)。

2006 年 12 月 8 日发射成功的风云-2D 星是我国第二颗业务静止气象卫星, 和正在运行的风云-2C 星组网观测, 正在台风、暴雨等灾害性天气及沙尘暴、森林草原火灾的监测中发挥着重要作用。风云-2D 卫星发射成功和业务运行, 填补了亚太区域上空静止气象卫星观测的空白, 为卫星覆盖区域各国防灾减灾和经济发展也做出了巨大贡献。

表 2 风云-2 C 卫星五通道扫描辐射计各通道观测性能
Table 2 Characteristics of FY-2C 5 Channel Radiometer

观测波段	IR1	IR2	IR3	IR4	VIS
波长/ μm	10.3~11.3	11.5~12.5	6.3~7.6	3.5~4.0	0.55~0.90
视场角/ $^\circ$	140	140	140	140	35
空间分辨率/km	5	5	5	5	1.25
动态范围	180~330K	180~330K	190~300K	180~340K	0~98%
温度分辨力	0.4~0.2K	0.4~0.2K	0.5~0.3K	0.6~0.5K	$\frac{1.5@0.5\%}{50@95\%}$
传感器数目	1(主)+1(备)	1(主)+1(备)	1(主)+1(备)	1(主)+1(备)	4(主)+4(备)
数据量化等级	1024	1024	1024	1024	64
定标	黑体定标				太阳定标

2.3 “风云”卫星地面应用系统组成(见图 1)

我国气象卫星地面应用系统目前以建立在国家卫星气象中心的资料处理及应用中心和位于北京、广州和乌鲁木齐 3 个卫星地面站为主体,辅之以 31 个省级卫星遥感应用中心和 500 多个卫星资料接收利用站,形成了国家、省、地三级的卫星遥感应用体系。目前,我国气象卫星地面应用系统可接收我国风云-1D 卫星、风云-2C、2D 卫星,美国 NOAA 系列, EOS 系列,日本 MTSAT-1R 以及欧洲 METEOSAT 系列等 10 余颗卫星资料。

2.3.1 “风云”极轨气象卫星地面应用系统

风云-1 极轨地面应用系统是一个集遥感、气象、电子、通信、计算机等多学科、高技术于一体的大型工程系统,由我国自行设计建设。极轨地面系统由北京、广州和乌鲁木齐 3 个气象卫星地面站和北京数据处理中心组成。3 个地面站接收的数据通过地面通信网络实时传递到北京。北京数据处理中心将数据处理后,形成图像和产品,通过 9210 系统和地面通信网络分发。该系统成功解决了高速、大容量气象卫星数据的实时采集、卫星资料预处理、产品处理、存档、分发、应用等关键技术,解决了双星运行给应用系统带来的技术困难,实现了系统的业务化稳定可靠运行,拥有自主知识产权。该系统在接收处理我国卫星资料的同时,还可以兼容接收处理国外极轨气象卫星资料。

风云-1 的 4 颗卫星在轨运行情况证明,风云-1 气象卫星地面应用系统与卫星匹配良好,运行稳定。其接收和处理的大量风云-1 卫星及美国 NOAA 卫星资料,在气象业务和服务中发挥了重要作用。风云-1 气象卫星地面系统是我国建设的第一个大型气象卫星地面应用系统,在建设过程中培养出一支掌握了系统建设、资料接收处理和系统运行管理的技术队伍,为以后我国气象卫星地面应用系统的建设和发展奠定了基础。

2.3.2 “风云”静止气象卫星地面应用系统

风云-2 静止轨道气象卫星的地面系统由数据和指令接收站(CDAS)、系统运行控制中心(SOCC)、数据处理中心(DPC)、计算机网络及存档系统(CNAS)、应用服务中心(ASC)、用户利用站(USS)组成。CDAS 是风云-2 卫星资料接收与业务测控的主站,是卫星与地面系统的接口和界面。SOCC 是卫星和地面全系统的指挥和控制中心,负责卫星和整个地面系统的业务调度和管理。DPC 将卫星观测数据处理成各种图像和产品。CNAS 由含计算机、网络、存储设备和软件组成,是地面系统中 SOCC、DPC、ASC 的基本运行支撑平台。ASC 生成人机交互产品,将各种气象卫星观测数据和定量产品综合加工成信息,并进行风云-2 产品的示范应用工作。USS 分布在全国各地,使台站可以接收和利用风云-2 气象卫星的观测数据和产品。

目前,风云-2 的 02 批地面应用系统可提供 5 种图像产品、16 种定量产品和 6 种人机交互产品(见表 3),受到全国多部门各类用户的一致欢迎和好评。

3 “风云”卫星应用效益

据统计,我国每年因各种气象灾害造成的农田受灾面积达 3 400 万公顷,受干旱、暴雨、洪涝和热带风暴等重大气象灾害影响的人口约达 6 亿人次,造成的经济损失约占国内生产总值(GDP)的 3%~6%。随着我国经济的快速增长,气象灾害造成的经济损失越来越大。从 20 世纪 90 年代以来,我国每年因气象灾害造成的直接经济损失均超过千亿元,1998 年高达 3 000 亿元。考虑到气象灾害引发的生态、环境、地质等次生灾害,则损失更为严重。2006 年 8 月,中国气象局利用气象卫星等多种观测资料和数值预报模式,对在浙江、福建沿海登陆的超强台风“桑美”进行了成功的预报和实时警报。“桑美”是

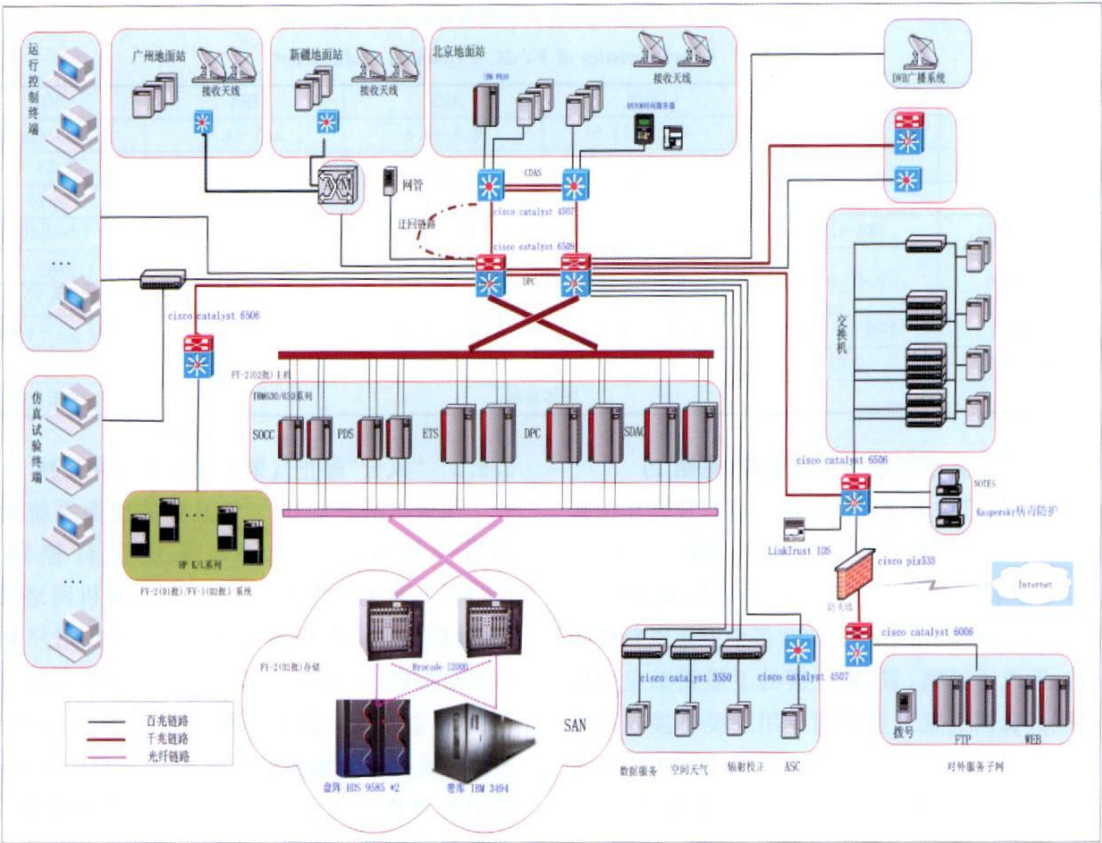


图 1 “风云”卫星地面应用系统组成

Fig 1 Schematic chart of FY satellite ground segments

表 3 风云-2 C 卫星定量产品

Table 3 Quantitative Products of FY-2C Satellite

名 称	覆 盖 区 域	时 次
云风矢量	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	4 次/ 日
海面温度	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	8 次/ 日
对流层上中层水汽含量	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	8 次/ 日
ISCCP 数据集、降水指数	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	8 次/ 日
降水估计	70°E ~ 140°E, 5° ~ 55°N	4 次/ 日
云检测	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	8 次/ 日
云参数(云顶温度、云顶高度、云量)	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	8 次/ 日
用云分析出的湿度廓线	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	8 次/ 日
射出长波辐射	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	8 次/ 日
入射太阳辐射	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	1 次/ 日
雪覆盖	全圆盘	1 次/ 日
海冰	全圆盘	1 次/ 日
水情监测	中国范围	1 次/ 日
干旱监测	中国范围	1 次/ 日
火情监测	中国范围	24 次/ 日
热带气旋卫星定位	西北太平洋 150°E 以西, 印度洋	24 次/ 日
卫星监测沙尘暴	中国范围	8 次/ 日
雾监测产品	中国范围	24 次/ 日
亮度温度	50°N ~ 50°S, 55°E ~ 155°E	8 次/ 日

建国以来登陆我国大陆最强的台风, 具有中心气压特别低、风速特别大、降雨特别集中、发展迅速、移动快等特点。“桑美”共造成 473 54 万人受灾, 因灾死

亡 273 人、失踪 223 人, 倒塌房屋 5. 52 万间, 直接经济损失 116 38 亿元。但正是因为有了气象卫星实时有效的监测和准确细致的预报服务, 才使得人员

伤亡和经济损失与历史上类似强度的台风相比大为减少。2005年和2006年的汛期,风云-2C星转入加密观测运行模式,每天进行48次观测,为台风暴雨的监测预报提供了更加详细的信息。气象卫星对森林和草原火灾、洪涝灾害的监测效果也很显著。2006年5月下旬,内蒙古、黑龙江相继发生森林火灾,“风云”系列气象卫星在火灾监测和扑救过程中得到充分应用,特别是风云-2C星的加密观测,每半小时就为灭火指挥部提供了一次最新火情信息;2003年利用卫星资料对淮河流域的特大洪涝灾害进行了严密的监测,为抗洪救灾提供了有力保障。利用气象卫星搭载的空间环境监测器,可以监测卫星轨道上的空间质子、重粒子以及高能粒子的数量和强度,这些观测数据,不仅是保障和分析卫星安全的重要科学数据,也是空间天气预报的重要数据源。气象卫星在提高天气预报和气候预测准确率、空中和地面水资源的调查、全国生态环境和大气污染的监测等方面都发挥了不可取代的作用。此外,我国气象卫星还对我国周边国家防灾减灾工作做出了积极贡献。

4 未来展望

进入21世纪,党中央、国务院确立了在21世纪头20年全面建设小康社会的宏伟目标,提出了坚持以人为本,树立全面、协调、可持续发展的科学发展观。针对新时期经济社会的发展需求,在国务院的领导下,中国气象局牵头组织全国经济、社会、科技、管理、资源、国情、可持续发展等方面的专家开展了中国气象事业发展战略研究,提出了“公共气象、安全气象、资源气象”发展理念,明确了中国气象事业发展总体战略目标。21世纪头20年,中国气象事业要按照“一流装备、一流技术、一流人才、一流台站”的要求,建设具有世界先进水平的气象事业现代化体系,率先基本实现现代化,实现从气象大国向气象强国的跨越,为全面建设小康社会提供更加优质的服务。

气象观测是整个气象卫星最根本的基础,卫星观测是气象综合观测系统的重要组成部分。纵观全世界,在全球关注极端天气和气候事件,关注全球气候和环境变化,对全球的气象服务提出更高需求的大背景下,21世纪头20年是全世界对地观测卫星革命性发展的关键阶段。在我国,全面建设小康社会的宏伟目标对气象工作提出了更高的要求,经济

社会发展对气象服务需求的日益提高和当前气象事业发展的能力不能满足日益增长的需求是现实存在的突出矛盾。未来15年,我国的气象卫星无论在质量和规模上都需要有一个长足的发展。我国气象卫星观测的发展方向是:向对地综合观测方向发展,充分利用卫星观测平台资源,安装多种遥感仪器,实现对地球系统全面综合的观测;向“四高、两全、一多”方向发展,即向高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率、高辐射准确度以及全球、全天候、多波段观测方向发展;向主动和被动多源遥感相结合方向发展;向量化观测方向发展;向卫星星座观测方向发展。

我国气象卫星观测的发展目标是:2010年前,建立由风云-2和风云-3两个系列卫星组成的对地综合观测业务平台,提高卫星数据的量化处理和天气分析、数值预报、地球环境领域的应用水平,完善卫星数据和产品的共享体系,使我国卫星观测及应用水平达到20世纪末世界先进水平。建成风云-2的02批、风云-3卫星及其应用系统,确保连续、稳定、可靠运行,通过卫星在轨备份保证卫星间的无缝隙衔接与应急观测。2015年前,建立由风云-3、风云-4系列卫星为代表的高、低轨道业务卫星组成的综合对地观测平台,实现对地球气候系统五大圈层及其相互作用的连续、稳定、可靠观测。卫星观测的时间、空间、光谱分辨率和辐射测量精度显著提高,对中、小尺度天气和地球环境的探测能力明显增强;量化的卫星数据和产品在气象预报以及地球环境监测预测中被各级业务、科研部门广泛应用,使我国天基(卫星)观测及应用整体水平接近同期世界先进水平。

5 结束语

经过几代人的艰辛努力,我国已经建立了自己的气象卫星观测体系和气象卫星应用服务系统,并在国民经济建设中发挥了重要作用。我国的气象卫星也已融入国际业务气象卫星观测体系,受到广泛赞誉的中国气象卫星的开放共享数据政策使世界各地的用户广泛受益。这体现了我国气象和航天事业对全国乃至全世界的贡献,同时也反映出气象事业与航天事业的密切联系。气象事业既是航天事业发展的重要保障服务力量,也是航天事业发展的推动力;同时,航天事业又是促进现代化气象事业发展的生力军。在新世纪新阶段,让我们共同携手,加快我

国气象卫星和应用事业的发展,为全面建设小康社会做出更大的贡献。

参考文献 (References)

- [1] 孟执中. 中国的极轨气象卫星[J]. 中国工程科学, 2004, 6(10): 1-5

- [2] 杨军, 张甲坤. 中国气象卫星发展与应用[A]. 中国遥感应用协会 2005 年年会论文集[C], 中国宇航出版社, 2005

- [3] 许健民, 钮寅生, 董超华, 等. 风云气象卫星的地面应用系统[J]. 中国工程科学, 2006, 8(11): 13-18

(编辑: 吴燕)

欧阳自远院士寄语《航天器工程》

2008 年 4 月 2 日,《航天器工程》编辑部拜访了嫦娥一号工程首席科学家欧阳自远院士,为他带去了最新一期的院庆专刊,并表达了编辑部对他最诚挚的敬意。

欧阳院士与《航天器工程》期刊的缘分可谓由来已久,他曾经在《航天器工程》尚未全国公开发行人前就在上面发表文章,介绍嫦娥一号工程的相关研究成果。2007 年 10 月,嫦娥一号成功发射之际,他再次将自己的最新力作《月球探测对推动科学技术发展的作用》郑重交给了《航天器工程》编辑部,并在本刊 2007 年第 6 期“嫦娥”特刊上发表,让全国的读者都能第一时间了解更多关于探月工程的详细情况。

百忙之中,欧阳院士欣然提笔,为《航天器工程》写下:“学无止境,毕生不息,求真务实,追求创新”和“发扬学术民主,办好《航天器工程》”两段寄语。

发扬学术民主,
办好《航天器
工程》。

欧阳自远
2008年4月2日

学无止境,
毕生不息,
求真务实,
追求创新。

欧阳自远
2008年4月2日

(《航天器工程》编辑部 供稿)