

风云三号 A 星 (FY-3A) 的主要性能与应用

董超华, 杨 军, 卢乃锰, 杨忠东, 施进明, 张 鹏, 刘玉洁, 蔡 斌

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要: 我国的气象卫星发展计划始于上世纪 70 年代, 它包括极轨和静止两个系列卫星, 以及相应的地面应用系统。气象卫星由航天科技集团公司负责组织研发, 第二代极轨气象卫星系列的第一颗星——风云三号 A 星 (FY-3A) 于 2008 年 5 月 27 日在太原卫星发射中心成功发射, 它又如太空中一个流动气象观测站, 对地球大气进行全天候、全天时、三维、定量、多光谱的不间断观测。卫星观测资料通过地面加工处理后生成各类产品数据, 例如, 大气温度和湿度随高度的分布及变化、云参数、雪和冰、大雾、气溶胶、臭氧、辐射等, 可用于气象、气候、农、林、牧业、海洋、水文等多领域。风云三号 A 卫星数据和产品可通过多种方式向用户提供使用。两年来, 在奥运、汛期、生态和自然灾害监测中发挥了重要作用。风云三号 A 星已是世界气象组织全球对地观测系统的重要成员, 不仅为我国经济社会提供服务, 同时也服务于世界各国。本文综合性地介绍了我国第二代极轨气象卫星系列首发星的主要特点, 分析了可能的应用领域, 并给出代表性的产品和应用实例。

关键词: 气象卫星; 全球覆盖; 光谱通道; 天气应用; 自然灾害监测

1 引言

风云气象卫星始于 20 世纪 70 年代初, 它包括极地轨道和静止轨道两个系列卫星, 以及相应的地面应用系统^[1-4]。1988 年至今, 我国共发射 5 颗极地轨道气象卫星, 其中, 前 4 颗是第一代, 2008 年 5 月 27 日发射的一颗风云三号 A 星 (简称 FY-3A 下同) 是我国第二代极地轨道系列的首发卫星。A 星携带 11 台仪器, 除其中的两台为继承性仪器外, 其余 9 台为新研制开发的仪器。A 星仪器的光谱通道数量高达 100 个, 光谱覆盖紫外、可见光、近红外、红外和微波宽广范围, 获取的目标信息十分丰富, 成像能力大大增强, 探测是新增功能。A 星下传信息量是第一代一颗卫星的 70 倍, 由 5 个地面接收站组网 (国内 4 个, 国外高纬度 1 个) 接收, 我国之外资料从卫星观测到地面获取, 最快 1.5 小时, 比第一代卫星时效提高约 5 倍。二年多来, 卫星和地面应用系统运行稳定, 其数据经处理和分发服务, 发挥了重要的应用价值。

2 FY-3A 星的性能特点

FY-3A 卫星运行在 831 km 高度, 太阳同步轨道, 绕地球一周约需 102 分钟, 降交点地方时为 10 点 05 分, 回归周期 5 天。三轴稳定, 单翼太阳能板自动对日跟踪, 为卫星和仪器工作提供能源。卫星设计寿命 3 年。

FY-3A 携带 11 个仪器, 光谱通道达百个, 覆盖紫外、可见光、红外和微波波段的宽广范围, 除对大气温度、湿度进行三维立体观测外, 还可监测云、雨、 O_3 分布、地表特征参数等^[5]。表 1 给出 FY-3A 星载仪器的主要特征, 包括光谱范围、通道数量、扫描宽度、星下点分辨率、数据量化等级以及主要应用^[6]。

FY-3A 星载仪器实测数据保留原始分辨率, 全球覆盖, 其数据下传速率高达 94 Mbps, 是 FY-1 的 70 倍, 5 个地面站 (北京、广州、乌鲁木齐、佳木斯和基律纳) 组网完成日常接收任务, 境外数据自观测到传至北京, 最快 1.5 小时, 大大提高了数据的应用时效。在没有境外接收站时, FY-1 卫星数据到达

收稿日期: 2009-12-28; 修回日期: 2010-06-24

基金项目: 风云三号气象卫星应用系统一期工程项目 (发改农经 (2005) 2267 号)。

作者简介: 董超华 (1945-), 女, 河南人, 本科学历, 研究员。研究方向: 卫星气象学和卫星应用工程。

Email: dchua@nsmc.cma.gov.cn

表 1 FY-3A星载仪器的主要特征
Tab 1 Main Characteristics of FY-3A Instruments

仪器名称	光谱范围(μm) 通道数目(个)	扫描宽度	星下点 分辨率(km)	量化等级 (bit)	应用目标
可见光红外扫描辐射计 (VIRR)	0.44~12.5 10	$\pm 55.4^\circ$	1.1	10	云、植被、雪、冰、陆海表温度、气溶胶、火点等。
红外分光计(IRAS)	0.69~15.5 26	$\pm 49.5^\circ$	17.0	13	大气温、湿度廓线、射出长波辐射等
微波温度计(MWTS)	50~57GHz 4	$\pm 48.6^\circ$	50	13	大气温度廓线、地表辐射率
微波湿度计(MWHS)	150~183GHz 5	$\pm 53.35^\circ$	15	14	大气湿度廓线、降水强度
中分辨率光谱成像仪 (MERSI)	0.41~12.5 20	$\pm 55.4^\circ$	0.25~1.1	12	自然景观图像、云、植被、地表覆盖类型、海色等。
紫外臭氧垂直探测仪 (SBUV)	252~340nm 12	星下点	200	12	O_3 垂直分布
紫外臭氧总量探测仪 (TOU)	309~361nm 6	$\pm 54.0^\circ$	50	12	O_3 总量
微波成像仪(MWRI)	10.65~89GHz 10	圆锥扫描天线 偏置 45°	9~85	12	降水和云、大气可降水、地表土壤水分、积雪等。
地球辐射 监测仪 (ERM)	0.2~3.8 2	$\pm 50.0^\circ$	35	16	反射太阳辐射通量 射出长波辐射通量
太阳辐射监测仪 (SM)	0.2~50 1			16	太阳常数
空间环境监测仪 (4个仪器组成, SEM)	3.0~300MeV 0.15~5.7MeV				探测高能粒子、星体内辐射容量、卫星表面电位差和粒子事件等

国家卫星气象中心的时延时间则达 7 到 8 个小时,极大地影响了卫星应用效益的发挥。

FY-3A 数据处理和服务中心(CDPS)位于国家卫星气象中心大楼内,北京地面接收站数据通过地面千兆网线路传到 CDPS 国内其他三站(广州、乌鲁木齐和佳木斯)数据则通过 60Mbps 线路传到 CDPS 国外站在接收完当条轨道数据后,即可在 45 分钟以内全部传到位于北京的数据处理和服务中心^[2]。

卫星资料经地面接收和计算处理,生成 1 级、2 级和 3 级产品。1 级是仪器原始分辨率资料经质量检验、地理定位、辐射定标生成的基本产品^[7]; 2 级是在 1 级的基础上通过科学算法生成的可表征大气、海洋、生态环境、气象灾害及其衍生灾害等状态的产品,其分辨率或保持原始高分辨率,或依据使用要求降低分辨率^[8-11]; 3 级是指对 2 级产品进行日或旬或月平均后生成的产品,主要用于气候和气候变化监测和预测。产品均是全球覆盖,数据格式

为国际通用 HDF 这些数据和产品通过 CDPS 的共享系统服务于国内外用户。

FY-3A 卫星已是世界地球观测系统的重要成员,服务于全人类。

3 FY-3A 星的应用分析

3.1 数值天气预报应用

天气系统的不断变化,为准确预报天气增加了难度。全球和区域数值天气预报质量的提高强烈依赖于它所使用的初始场质量,即初始场与实际大气状态的接近程度、初始场资料的代表性(覆盖范围和覆盖频次等)。由于地球上 70% 以上是广阔的海洋、高原、沙漠和两极地区,常规观测极难实现时空密度需求;即使在目前常规探测资料较密集的地区,其时空密度也难以满足中、小尺度天气预报需求。卫星遥感则是解决这一问题的唯一途径,它不受时间和环境条件约束,有规范的数据定位和辐

射定标,有长时间连续观测和覆盖全球的均匀分辨率多光谱辐射资料,卫星探测能力的提高可以改善数值天气预报模式的初始场质量^[12]。两年来,通过国内外专家对FY-3A大气探测资料(红外分光计、微波温度计、微波湿度计)在区域和全球同化模式中的初步应用表明,无论在南半球、北半球,不仅预报精度有所提高,而且延长了预报时效,这说明FY-3A在数值预报模式中的应用效果与国外同类仪器相当^[3]。图1和图2分别是微波温度计和微波湿度计大气窗通道辐射亮度温度全球拼图,表征地表的辐射温度状况,可用于改进同化模式近地面层分析场质量,图中红色表示辐射值较大。

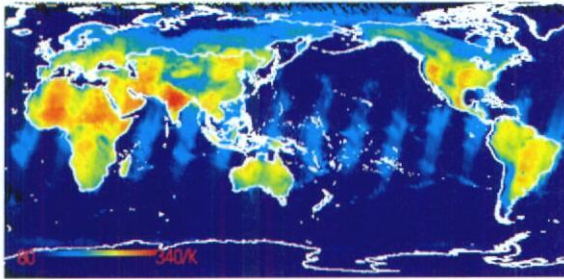


图1 MWTS大气窗通道(50.3GHz)亮度温度全球白天拼图(2009年5月22日)

Fig. 1 Global image mosaic from MWTS window channel (50.3 GHz) brightness temperature, daytime on 22 May, 2009

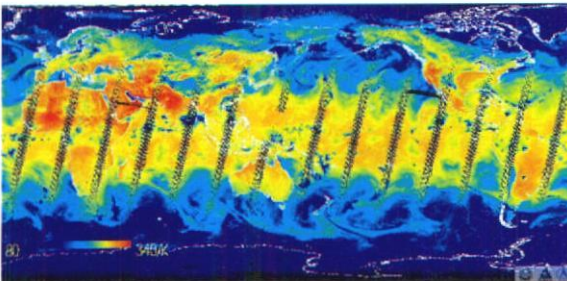


图2 MWHS大气窗通道(150GHz)亮度温度全球白天拼图(2009年5月22日)

Fig. 2 Global image mosaic from MWHS window channel (150 GHz) brightness temperature, daytime on 22 May, 2009

3.2 区域天气系统和气候变化监测

FY-3A可提供一天两次全球覆盖的大气温、湿度廓线,全球云图资料、云参数定量计算结果(包括云相态区分、云光学厚度、云顶高度(温度)等)、极区风矢量、大气可降水、微波监测降水、大气不稳定性、大雾、海面温度等,为全球和区域天气系统监测

和分析预报提供了丰富的信息。

A星的大气柱臭氧总量、臭氧垂直分布、冰雪覆盖和厚度、植被覆盖、地表温度和湿度、干旱和洪涝指数、地表反照率、地球一大气顶向外长波红外辐射等数据产品,为气候和气候变化监测预测提供了宝贵的资料^[13-15]。A星寿命为3年,B星将于2010年秋季发射,A和B分别为上、下午轨道,双星组成的星座可提供一天4次全球观测资料,长时间序列的资料积累,以及稳定的辐射定标,对于气候和气候变化监测十分有利。图3为ERM全波段(0.2~50 μ m)全球辐射能量图,可用于大气顶红外长波射出辐射计算,进行地球一大气能量平衡研究。

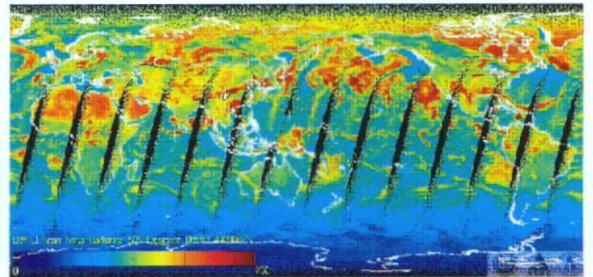


图3 ERM全球白天全波段(0.2~50 μ m)辐射拼图(2009年5月22日)

Fig. 3 Global radiation image mosaic from ERM in 0.2~50 μ m band daytime on 22 May 2009

3.3 自然环境与灾害监测

监测大气和空间环境,以及气象和其衍生自然灾害是风云三号卫星的另一重要应用目标。风云三号A星中分辨率光谱成像仪有3个可见光、1个近红外和1个长波窗通道是250m空间分辨率,对于台风精细结构、极区海冰消融、城市热环境、森林草场火灾、麦桔焚烧、黄河凌汛、草原雪灾、海冰等监测分析非常有利。风云三号A卫星提供的气溶胶、臭氧总量和垂直分布等产品可用于大气环境监测和评价,连续监测南极地区臭氧变化和臭氧洞的形成过程;监测植被、土地覆盖变化,监测暴雨、大雾、积雪冰冻、洪涝和干旱、沙尘暴、河口泥沙、海洋赤潮、大湖藻类污染等等,为环境治理,防灾减灾提供科学依据^[14-17]。

空间环境监测仪器在极地轨道卫星上工作,可探测这一高度区带电粒子辐射环境,监测太阳活动情况,不仅为风云三号A星安全提供保障,也可为其他飞行器提供安全飞行服务。下面给出台风、云、水体

变化、臭氧、火灾、沙尘暴天气监测应用个例。

图 4是利用微波成像仪 (MWRI)3个通道监测 2008年 9月 12日“森拉克”台风,图 4由三幅图组成,左中右分别是 10Ghz 36Gh和 89 Gh 辐射亮度温度图像,由图 4个可知,低频通道 (10Ghz)对大气不敏感,对台风森拉克强降雨带则产生强散射,引起亮温增高;微波频率越高则散射特性越强,例如,高频 36和 89GHz反映台风二维结构更加清晰,

由散射信号的强弱很易判断出台风降雨带的分布情况。

图 5为 VIRR云量、云分类和云相态全球日产品。总云量、高云量图中,白色→蓝色对应云量为 0 →100 云相态图中,白色为冰云、浅兰色为薄卷云、棕黄色为混合相态云、绿色为水云;云分类图中,白色为高云、浅兰色为薄卷云、棕黄色为中云、绿色为低云。

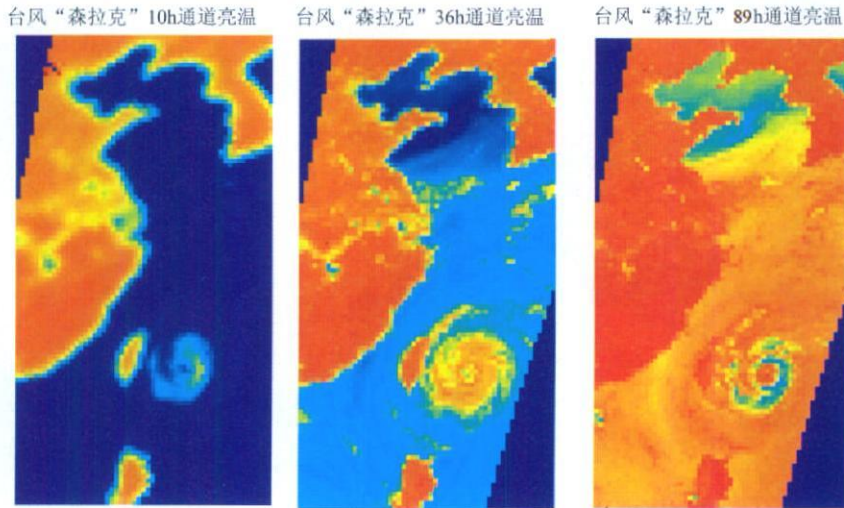


图4 9月12日微波成像仪监测热带风暴“森拉克”台风

Fig. 4 Monitoring tropical storm Sinlaku with MWRI observations from 10Ghz(left) ,36Ghz(Middle) and 89Ghz (right) in the images on 12 September,2008

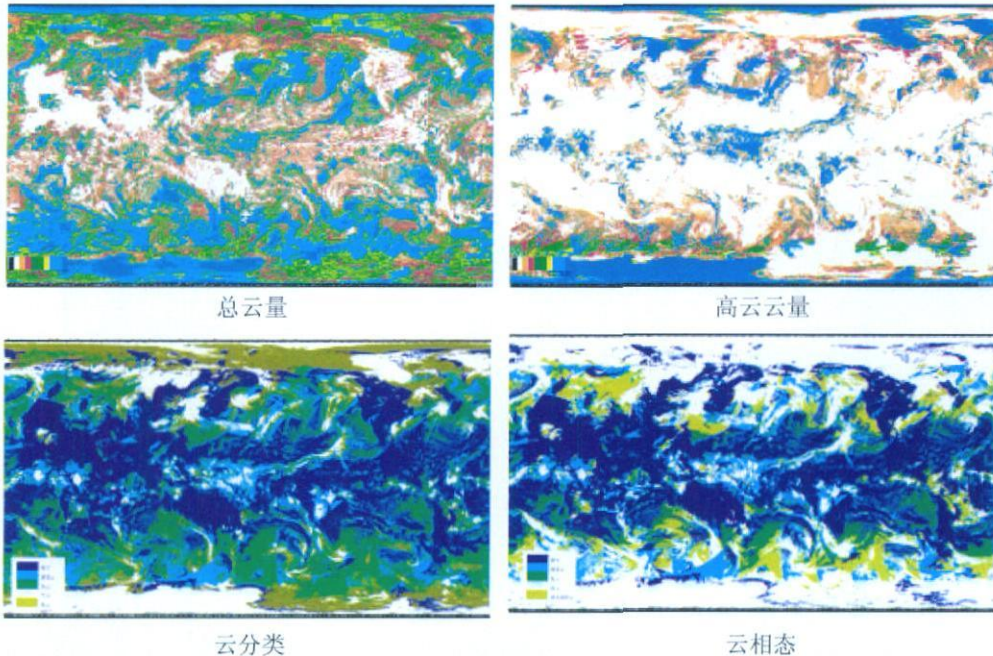


图5 VIRR 云量、云分类和云相态全球日产品

Fig. 5 Daily products of cloud coverage ,cloud classification ,cloud thermodynamic phase produced with VIRR data

图 6为利用 FY-3A/MERSI2009年 9月 28日 11时资料 (图 6左) 和 2008年 9月 22日 10时卫星资料 (图 6右) 制作的洞庭湖水情监测图, 对比分析两图可知, 2009年 9月下旬洞庭湖水体范围较 2008年同期减少约 4成。

图 7是利用 FY-3A/MERSI2009年 9月 27日 11时资料 (图 7左) 和 2008年 9月 22日 10时卫星资料 (图 7右) 制作的鄱阳湖水情监测图, 对比分析表明, 2009年 9月下旬鄱阳湖水体范围较 2008年同期减少约 4成。

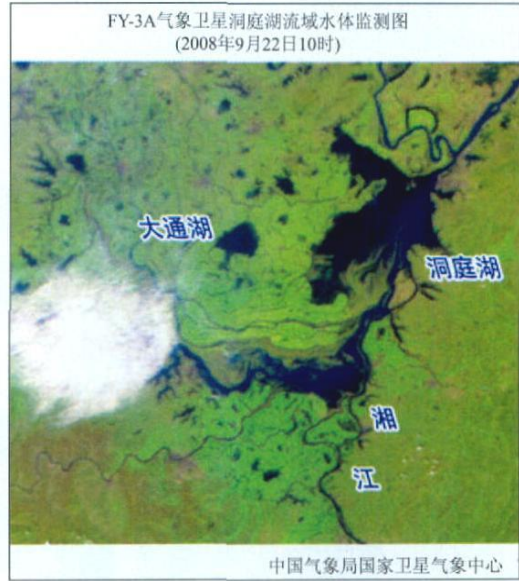


图 6 FY-3A 气象卫星洞庭湖水情变化监测图

Fig. 6 Water body image of Dongting Lake taken from MERSI observation on (left) 28 September 2009 at 1100 and (right) 22 September 2008. By comparing the two images it can be seen that the water body area for the lake in the end of September in 2009 was reduced by 40% than in 2008 during the same period

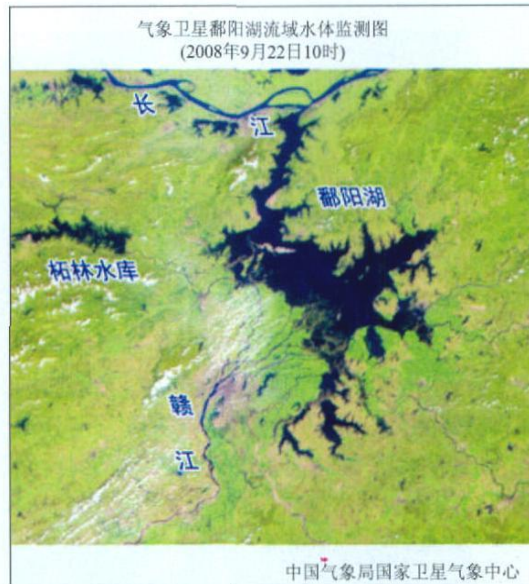
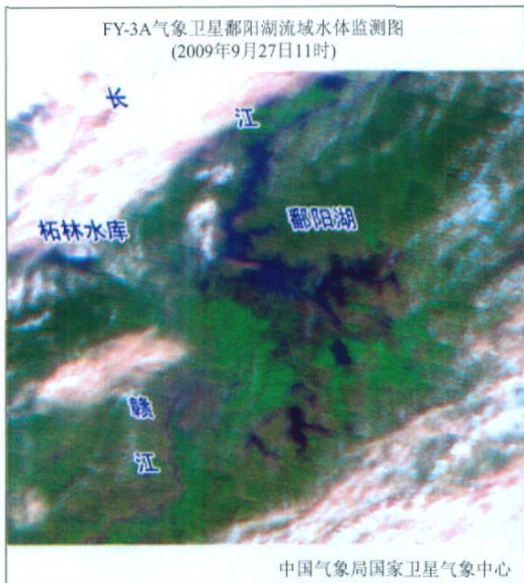


图 7 FY-3A 气象卫星鄱阳湖水情变化监测图。左:2009年 9月 27日;右:2008年 9月 22日

Fig. 7 Water Body image of Poyang Lake taken from MERSI observation on (left) 27 September 2009 at 1100 (BT) and (right) 22 September 2008 at 1100 (BT). By comparing the two images it can be seen that the water body area for the lake in the end of September in 2009 was reduced by 40% than in 2008 during the same period.

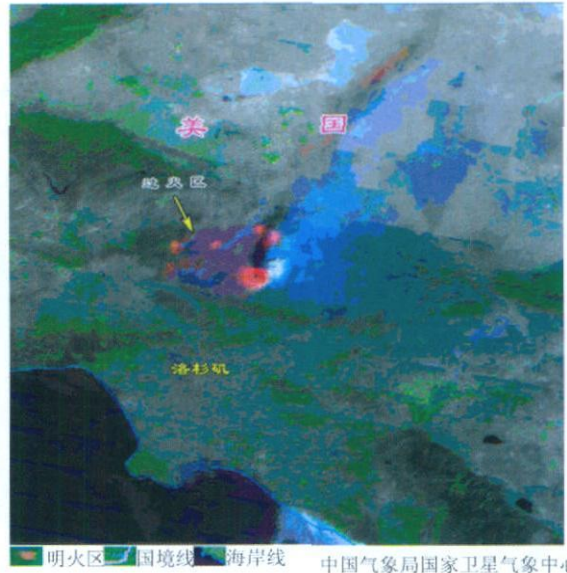
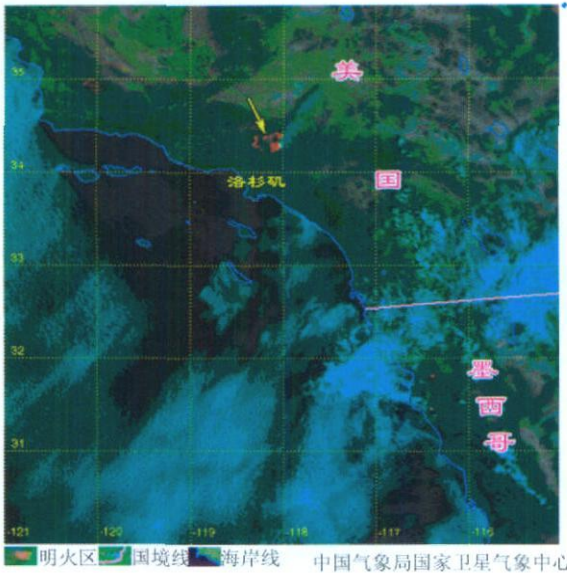


图 8 2009年 8月 31日 18时 45分 (世界时)MERSI监测到美国加利福尼亚州森林火灾
 Fig 8 Forest fire disaster image in California of USA observed byMERSI on 31 August 2009 at 1845 GMT

FY-3A不仅可监测我国及周边的森林和草原火灾,而且对全球火点也能进行有效监测。例如,图 8(左)为 FY-3A/VIRR 2009年 8月 31日 18时 45分(世界时)监测到美国加利福尼亚州洛杉矶市北部的山林大火情况,图中可见有多处火场(箭头所指处),明火区影响范围共约 150 km²。其中,东南部的一处火场最大,影响范围约 80 km²。图 8(右)是 FY-3A/MERSI监测的美国加州洛杉矶大火过火区,可见洛杉矶北部出现较大范围的过火区(箭头所指的暗红色区域),约 450 km²,同时,可见火场上空有浓密的烟雾,烟区长达近百公里。

图 9是 FY-3A卫星监测到 2009年 9月 26日澳大利亚东部地区出现的沙尘暴天气,图中的一条狭长的沙尘带影响澳大利亚东部的昆士兰州和新南威尔士州等地,对当地的能见度和空气质量产生严重影响。

图 10是利用 FY-3A/SBUS资料计算得到的北极地区臭氧垂直分布图,其中,(a)、(b)、(c)和(d)分别对应 100、63、1、40和 15.8 hPa高度层。

4 结论

我国的气象卫星自 1988年成功发射以来,经过 40年的发展,极地轨道气象卫星已进入新的发展时代。FY-3A携带的仪器多,获得的光谱信息极其丰富,不仅具有大气探测能力,为数值天气预报

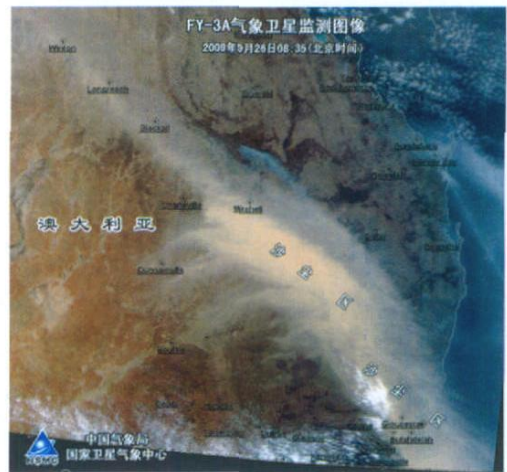


图 9 2009年 9月 26日 00时 35分(世界时)澳大利亚东部地区沙尘暴 MERSI监测图像
 Fig 9 Dust storm monitoring image in the eastern part of Australia with MERSI data on 26 September 2009 at 0035 GMT

模式提供高质量的初始场资料,而且在监测成像能力上也有很大提高,本文给出的多个应用实例足以显示其重要的应用价值。两年来, FY-3A已获取大量对地观测资料和地球物理参数,其资料和产品已有多种渠道方便用户共享,并将在气象、气候、环境监测和决策服务等方面发挥更重要的作用。

致谢:向参与风云三号 A卫星和地面应用系统建设的科技人员致谢。

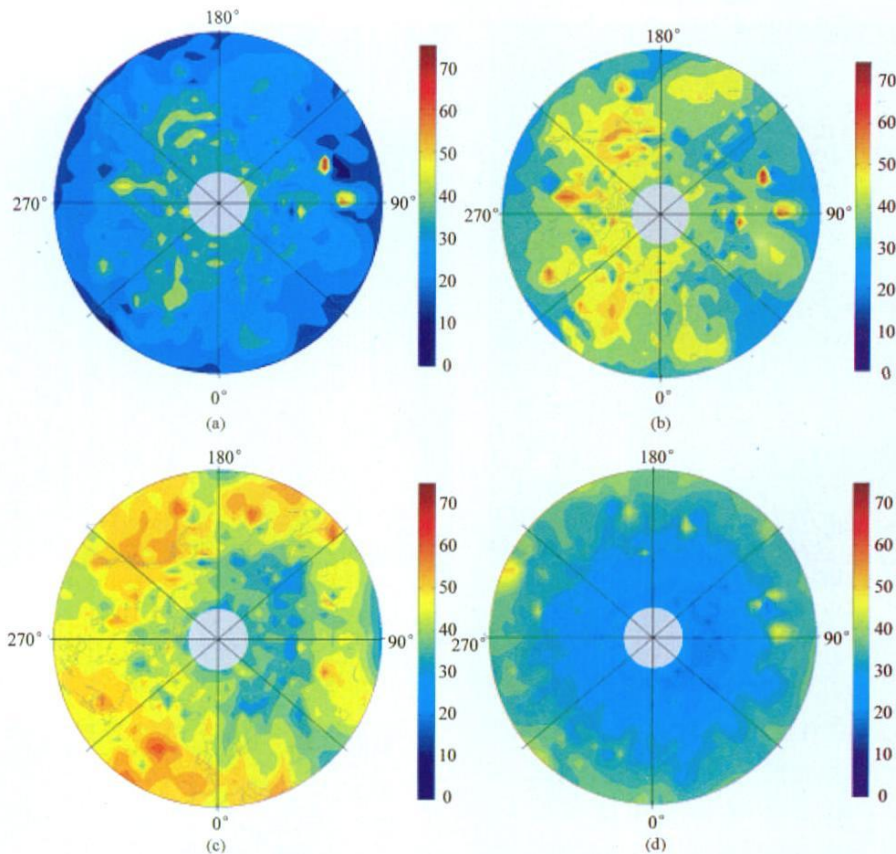


图 10 SBUS不同高度层臭氧分布的北极投影图

(a b c d分别对应 100、63、40和 15.8 hPa高度层)

Fig 10 Ozone distribution images in different atmospheric pressure levels produced by SBUS data using arctic projection

(a 100 hPa b 63 hPa c 40 hPa d 15.8 hPa)

参考文献:

- [1] 范天锡. 风云一号气象卫星地面系统 [J]. 中国空间科学技术, 1991, 2: 34—48
- [2] 董超华, 章国材, 邢福源, 等. 气象卫星业务产品释用手册 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 273
- [3] 方宗义, 许键民, 赵凤生. 中国气象卫星和卫星气象研究的回顾和发展 [J]. 气象学报, 2004, 62(50): 550—560
- [4] 许键民, 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
- [5] 杨军, 董超华, 卢乃锰, 等. 中国新一代极轨气象卫星—风云三号 [J]. 气象学报, 2009, 67(4): 501—509
- [6] 中国科学院上海技术物理研究所. FY-3卫星中分辨率光谱成像仪正样设计报告 [R], 2005: 12
- [7] 杨忠东, 关敏. 风云卫星遥感数据高精度地理定位软件系统开发研究 [J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 312—321
- [8] 孙凌, 李三妹, 朱建华, 等. FY-3A/MERS海洋水色产品技术报告 [R]. 国家卫星气象中心, 2008
- [9] 卢乃锰, 游然. 暴雨系统的遥感理论和方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1994: 175—206
- [10] 师春香, 谢正辉. 卫星多通道红外信息反演大气可降水量方法 [J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(4): 304—308
- [11] 黄富祥, 刘年庆, 赵明显, 等. “云三号”卫星紫外臭氧垂直廓线产品反演试验 [J]. 科学通报, 2009, 54(17): 2556—2561
- [12] 薛继善, 陈德辉, 等著. 数值预报系统 GRAPES的科学设计与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 383
- [13] 李小兵, 王瑛, 李克让. NDVI对降水季节性和年际变化的敏感性 [J]. 地理学报, 2000, 55(增刊): 82—89
- [14] 曾庆存, 董超华, 彭公炳, 等. 千里黄云—东亚沙尘研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 228
- [15] 戴声佩, 张渤, 王海军. 基于西北地区植被 NDVI的时空变化及其影响因子分析 [J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(3): 315—321
- [16] 罗敬宁, 范一大, 史培军, 等. 多源遥感数据沙尘暴强度监测信息可比方法研究 [J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 28—34
- [17] Dong C, Yang J, Zhang W, et al. An Overview of a New Chinese Weather Satellite FY-3A. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2009, 90: 1531—1544

Main Characteristics and Primary Applications of Polar orbiting Satellite FY-3A

DONG Chao-hua, YANG Jun, LU Nai-meng, YANG Zhong-dong, SHI Jim-ing, ZHANG Peng, LIU Yu-ji, CAI Bin
(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract The Chinese meteorological satellite program began from 1970's, consists of two series, i.e., polar orbiting satellite series and geostationary satellite series, as well as the ground operational segment. In partnership with the China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC), the second generation of polar orbiting meteorological satellite, i.e., FY-3A, the first of this series was developed and launched from the Taiyuan Satellite Launch Centre in China on 27 May 2008. The FY-3A in orbit serves as a moving meteorological observing station and is equipped with both sounding and imaging payload, providing three-dimensional quantitative multi-spectrum global remote sensing data under all-weather conditions. It has more powerful applications in several fields over the FY-1 satellites. This satellite provides a unique source of environmental observations of the earth's surface, oceans, atmosphere, and near space. The observations are used to derive profiles of atmospheric temperature and moisture, sea surface temperature, cloud parameters, precipitation rate at ground, snow and ice coverage, fog, aerosol, ozone profile, ozone amount, outgoing longwave radiation, and so on. The data and products are used in numerical weather analysis and prediction, climate change monitoring, oceanographic, hydrologic, agriculture, forestry, forage grass, and natural disasters monitoring and services. The applications of the satellite data can greatly improve the meteorological and climate service and thus benefit the society and national economy. Users in the world can get the data and products from National Satellite Meteorological Centre by some ways for further uses. Now the FY-3A is a necessary part of the World Meteorological Organization (WMO) space-based component of the Global Observing System (GOS). It is not just for China use, but also make contribution to the world. This paper briefly introduces the major characteristics of the satellite data and provides some products and application examples in numerical weather prediction, regional weather and climate change, environmental and nature disaster monitoring.

Key words meteorological satellite; global coverage; spectral channel; weather application; natural disaster monitoring