

系统工程方法在风云三号极轨气象卫星地面应用系统工程中的应用

董超华,杨忠东,施进明,张 鹏

(国家卫星气象中心,北京 100081)

[摘要] 简要介绍了基于需求分析的风云三号(FY-3)卫星观测能力设计,并阐述了卫星地面应用系统如何利用系统工程方法进行地面系统顶层设计,统筹FY-3卫星和地面系统工程需求,合理布局地面接收站,科学划分地面系统各功能单元的任务,实现建成后的地面应用系统整体能力最大化。

[关键词] FY-3卫星;观测能力;地面应用系统;系统工程;顶层设计

[中图分类号] P414.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)10-0024-09

1 前言

风云三号卫星(FY-3)是我国新一代极轨气象卫星系列,规划发射6颗卫星,其中前两颗(FY-3A/B)已分别于2008年5月和2010年11月发射入轨,至今在轨运行状态良好。新一代卫星和风云一号卫星(FY-1)系列相比,观测能力大幅提升^[1]:观测光谱从可见光和红外扩展到了紫外、短波红外和微波;由二维观测发展到三维探测,具有对地球表面至50 km高度的大气进行分层观测的能力;空间分辨率由原来的千米级提高到了250 m,对地表环境和大气状态观察得更加仔细;实现了红外、微波协同工作的全球全天候大气探测能力。

卫星观测能力是应用的基础,应用好卫星观测数据离不开地面系统的支持^[2]。气象卫星工程具有系统工程的基本特点,即工程的整体性、层次性和关联性^[3]。依靠自主力量设计与建设的我国FY-3卫星地面应用系统的规模和复杂程度与美国和欧洲相当,代表目前国际气象卫星地面系统的最高水平^[4]。该地面应用系统首次利用国内外5个接收站组网,实现了上下午卫星全球数据的高时效获取和地理定位、辐射定标以及大气温度、湿度、臭氧和辐射收支等高精度定量处理;具备为天气预报特别是

数值天气预报提供全球范围的气象、水文参数的能力;可以监测自然灾害、生态环境变化、全球冰雪覆盖和臭氧分布等^[5~7]。

本文从气象应用需求出发,阐述卫星地面应用系统如何利用系统工程方法指导FY-3卫星地面应用系统工程的设计,统筹天-地需求和数据处理技术方案,发挥卫星观测系统的整体效能。

2 FY-3卫星气象应用需求和观测能力设计

2.1 气象应用需求分析

观测是天气预报的基础,也是监测气候变化和预测气候的关键。气象应用对FY-3卫星的基本观测需求大致归纳为以下几个方面。

1) 观测数据全球范围覆盖。数值天气预报需要全球观测数据,用常规手段获取的数据多在陆地地区,而地球70%以上的海洋、高原、沙漠和极区受环境条件限制常规观测数据严重匮乏,即便是常规资料较密集的地区,也难以满足中小尺度天气预报对观测时空密度的要求。极轨气象卫星能够做到全球覆盖观测,但要求卫星平台的存储能力、传输速率和地面站接收卫星下传数据的能力要在FY-1卫星基础之上大幅提升^[8]。

2) 对目标物观测的时间分辨能力应高于目标

[收稿日期] 2013-01-14

[作者简介] 董超华(1945—),女,河南三门峡市人,研究员,研究方向为大气科学与工程与技术;E-mail:dchua@cma.gov.cn

物本身随时间的变化,或能满足当前数值模式能力对观测数据时效的基本要求。气象观测对象是大气温度、压强、湿度、风、云、辐射等,这些要素和地表特征变化相比均属快变量。目前数值天气预报模式吸纳观测数据的时间窗口为 ± 3 h,而一颗卫星一天(24 h)对一个地点仅有2次观测,试验表明4颗气象卫星且等间隔时间观测是最理想的全球观测系统^[9]。

3)定量应用与定性应用的最大不同是对观测质量要求高。气象卫星从太空遥感地球大气与地面常规直接测量介质物理量完全不同。对于被动遥感而言,星载仪器感应的是在一个时间段内、一定的目标物面积、一定的电磁波谱宽度的发射辐射或反射辐射能量值。实际应用表明,只有当卫星对大气的三维观测精度达到常规观测水平时,才有可能大幅提高数值天气预报精度^[10]。

4)稳定、连续的观测是天气预报、气候研究和预测的关键支撑。大气是人类赖以生存的自然环境,需要有稳定可靠的观测系统对其进行不间断地监测,获取变化信息,为天气预报提供支持。气候和气候变化研究不仅需要高精度的观测数据,而且需要观测系统至少在10年内的观测精度稳定度要远高于其观测精度。

2.2 FY-3卫星观测能力的设计

FY-3卫星于1994年列入国家“九五”型号发展规划,预期使用到2022年左右。FY-3卫星是综合性观测平台,气象部门从气象应用角度对卫星观测不仅提出了功能方面的需求,而且还要将其转化为卫星和载荷的技术性能指标,它包括:需要FY-3卫星观测什么?用什么仪器观测?选择的光谱范围多大?光谱通道宽度多少?观测精度达到何种程度才能满足应用?观测的时间、垂直、空间分辨率的最低要求是多少?等等,能否满足这些要求则需要应用部门和研制单位共同研究分析。事实上,需要和可能是一对相当大的矛盾,涉及3方面的问题:一是仪器的性能指标须与当时国家的技术水准相适应,例如元器件工艺水平,包括光学系统分束器能力、光谱定标、辐射定标、光谱通道对地观测视场配准等;二是需要考虑运载能力、卫星姿轨控、配重、能源、温控、数传等;三是数据传输、接收、处理能力^[11]。因此,在观测能力设计时往往需要通过用户和研制方之间较长时间的反复论证分析,才能寻求到一个相对可行的折中方案。FY-3A/B星设计的载荷配置相同,包括成像、大气探测、辐射收支、大气成分和空间环境,共5个仪器包,含11台(套)仪器(见表1)。

表1 FY-3A/B卫星仪器基本技术性能标设计
Table 1 Basic parameters of the all instruments flown on FY-3A/B

名称	技术参数	探测目的
可见光红外扫描辐射计(VIRR)	光谱范围:0.43~12.5 μm ;通道数:10;扫描范围: $\pm 55.4^\circ$; 空间分辨率:1.1 km;可见光近红外定标精度:5%~10%; 红外定标精度:1 K(270 K)	云图、植被、泥沙、卷云及云相态、雪、冰、地表温度、海表温度、水汽总量等
成像仪器包 中分辨率光谱成像仪(MERSI)	光谱范围:0.40~12.5 μm ;通道数:20;扫描范围: $\pm 55.4^\circ$; 空间分辨率:0.25~1 km;可见近红外定标精度:5%~10%; 红外定标精度:1 K(270 K)	海洋水色、气溶胶、水汽总量、云特性、植被、地面特征、表面温度、冰雪等
微波成像仪(MWRI)	频段范围:10~89 GHz;通道数:10;圆锥扫描: $\pm 55.4^\circ$; 空间分辨率:15~85 km;定标精度:1~2.8 K	雨率、云含水量、水汽总量、土壤湿度、海冰、海温、冰雪覆盖等
红外分光计(IRAS)	光谱范围:0.69~15.0 μm ;通道数:26;扫描范围: $\pm 49.5^\circ$; 空间分辨率:17 km;可见光定标精度:5%~10%; 红外定标精度:1 K(270 K)	
大气探测仪器包 微波温度计(MWTS)	频段范围:50~57 GHz;通道数:4;扫描范围: $\pm 48.3^\circ$; 空间分辨率:50~75 km;定标精度:1.2 K;灵敏度:0.4~0.55 K	大气温度和湿度廓线、O ₃ 总含量、CO ₂ 浓度、气溶胶、云参数、降水、极地冰雪等
微波湿度计(MWHS)	频段范围:150~183 GHz;通道数:5;扫描范围: $\pm 53.35^\circ$; 空间分辨率:15 km;定标精度:1.5 K;灵敏度:0.9 K	

续表

名称		技术参数	探测目的
辐射收支探测 仪器包	地球辐射探测仪 (ERM)	光谱范围:0.2~50 μm、0.2~3.8 μm;通道数:窄视场2个,宽视场2个;扫描范围:±50°(窄视场);灵敏度:0.4 W/(m ² ·sr);定标精度:1%(0.2~3.8 μm)、0.8%(0.2~50 μm);2年长期稳定度:<1%	地球辐射
	太阳辐射监测仪 (SIM)	光谱范围:0.2~50 μm;灵敏度:0.2 W/m ² ;定标精度:0.5%;2年长期稳定度<0.02%	太阳辐射
大气成分监测 仪器包	紫外O ₃ 垂直探测仪 (SBUS)	光谱范围:0.16~0.4 μm;通道数:12;星下点观测空间分辨率:200 km;辐亮度、辐照度相对定标精度:3%(160~250 nm)、2%(250~400 nm);漫反射板定标精度:3%	O ₃ 垂直分布
	紫外O ₃ 总量探测仪 (TOU)	光谱范围:0.3~0.36 μm;通道数:6;扫描范围:±54°;星下点分辨率:50 km;辐亮度、辐照度相对定标精度:2%	O ₃ 总含量
空间环境监测 器仪器包	空间环境监测器 (SEM)	能量测量范围:0.15~10 MeV、10~570 MeV、0.2~2.0 GeV; 辐射剂量测量范围:0~10 ⁴ rad(Si); 表面电位测量量程:-3 000~+300 V	SEM包含5台仪器,用于测量空间重离子、高能质子、中高能电子、辐射剂量;监测卫星表面电位与单粒子翻转事件等

3 FY-3地面应用系统工程的顶层设计

FY-3卫星的主要使命是实现大气探测,为数值天气预报提供全球范围的大气、云、辐射等观测数据;监测中国地区、全球范围自然灾害和生态环境,为农业、水利、林业、海洋、交通和军事等领域提供气象信息;为政府决策、防灾减灾和国家经济社会发展服务。完成这一使命需要两个支撑点:一是星载遥感仪器的性能,二是地面应用系统的综合能力。对于地面应用系统,主要应用系统工程方法指导顶层设计,解决两个统筹问题:即天(卫星)-地(地面系统)统筹和地面系统各组成部分功能的统筹。统筹就是为完成系统整体目标任务,统一协调需求,统一设计方案,统一工程实施,统一进行星-地全系统的联调联试,统一进行在轨测试,协同解决相关问题。通过一体化统筹设计,明确系统工程各部分的功能任务分工、层次关系(接口关系)和协作关系^[12]。

3.1 天-地统筹设计

天-地统筹规划是气象卫星系统快速发展的关键。对于FY-3型号系统工程,天-地统筹主要体现在以下2个方面。

3.1.1 星-地数传方案设计

卫星发射后,星-地间主要是遥感、遥测数据以及控制指令等数据信息传递。卫星下传数据方案与地面接收站的位置、分布、卫星方位角、数据接收和处理密切相关,因此星-地数传方案包括数据格式编排、传输技术体制、何时何地回放、何时记录延

时数据等,在星-地两端必须严格一致。这样,卫星以8 km/s的速度运行,各仪器以不同方式对地连续观测,通过星上程控对数据进行自动编排,自动实时下传或通过接收站时自动回放星上记录的仪器观测数据,地面接收站则自主启动接收系统完成数据接收任务。

气象卫星的应用特点之一是时效性。为了提高卫星数据采集时效,美国计划利用遍布在全球的美军基地,负责接收它的新一代业务气象卫星数据,并将这些数据传送到华盛顿苏特兰地区的国家数据处理中心。这一方案可使美国的全球数据获取在18 min以内完成。我国只能根据国情进行站网布局总体设计,采用分布实施的办法,逐步提高时效。为适应FY-3A/B卫星大数据量和提高全球观测数据获取时效,除原有的3个站外另增佳木斯和瑞典的基律纳接收站,这样可以多获取我国东部一条轨道的实时数据,利于监测海上台风。同时,北极高纬度的基律纳接收站使FY-3卫星全球数据采集时间由FY-1时的12 h缩短到2 h以内。

3.1.2 星-地一体化的观测数据处理技术方案设计

星-地之间协同工作不仅是在气象卫星观测能力规划阶段,而且渗透到系统设计、研发、运行和提供服务的各个阶段。地面应用系统对卫星遥感数据的定量处理方案需要星-地协同设计和实施,主要包括以下3个基本的科学与技术问题。

1)地理定位。FY-3卫星仪器对地有多种观测方式,在对观测数据进行地理定位处理时,充分利用该星提供的卫星位置信息和姿态信息(星敏感

器),通过轨道数值积分计算模型,实现对FY-3卫星11台仪器的多元并扫、单元扫描、圆锥扫描和星下点等观测数据的高精度定位,例如MERSI观测数据定位精度为250 m(一个像素)^[12]。此外,还需对仪器安装时偏离地心带来的定位误差进行订正处理。

2)辐射定标。卫星仪器感应的是目标物的辐射(或反射辐射)能量(称入瞳辐射),但输出的是电压计数值,把电压计数值转换成观测目标的辐射(或反射辐射)能量的过程称为辐射定标。基本做法是:仪器上星前进行实验室定标,建立电压和辐射量间的数学关系式;上星后由于环境或仪器本身状态发生变化,地面通过卫星实时采集的星上定标黑体和冷空信息对实验室定标曲线进行及时校正。此外,为了提高辐射定标精度,地面系统对仪器的辐射校正设计了多种可选方案^[13~20]: a. 利用星-地(青海湖、敦煌戈壁、思茅的森林区)同步观测,对FY-3仪器的可见光、红外和微波谱段进

行辐射校正;b. 通过星-星同类仪器测值的时空匹配,进行交叉定标;c. 利用数值天气预报分析场数据(或预报场)和仪器设计指标,通过辐射传输仿真计算得到的卫星观测值与卫星实际观测值的对比分析,推导出仪器在轨实际技术指标;利用仪器指标推导值,计算新的辐射定标系数,实现对该仪器辐射测值的订正处理。后一方案的时空普适性更强,并已得到欧洲数值预报中心(ECMWF)的验证和在FY-3地面业务系统中应用。图1是2011年FY-3的MWTS辐射亮温订正前后结果和先进微波探测器(AMSU-A)通道辐射亮温订正前后的比较,订正后两仪器亮温与实测值偏差均为0.2 K,订正效果显著^[21]。此外,由于目标辐射传递到卫星仪器的过程中常与大气介质发生相互作用而增加或减少,因此还需对卫星测值(仪器入瞳辐射)进行大气订正处理,得到观测目标物的离物辐射量。

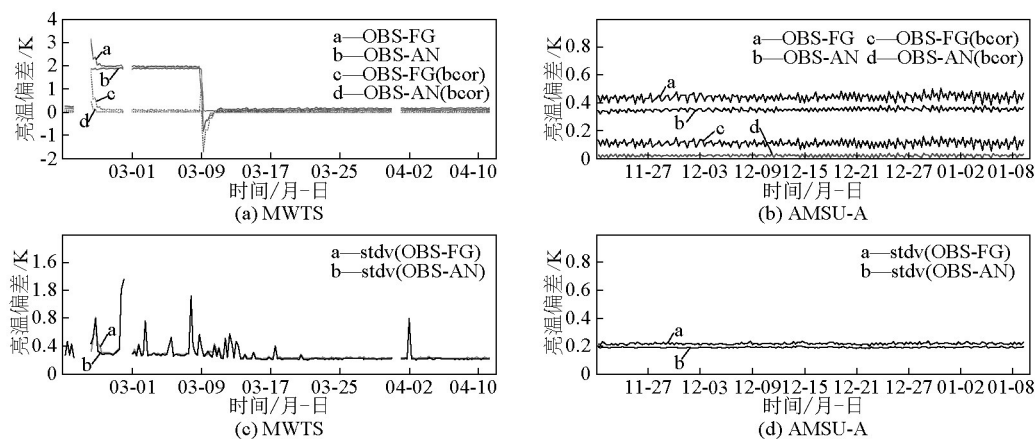


图1 FY-3/MWTS通道4辐射亮温订正前与订正后的效果比较

Fig.1 Comparison of FY-3/MWTS channel 4 brightness temperature bias of corrected with uncorrected

注:OBS-FG为卫星观测值与预报场的亮温偏差;OBS-AN为卫星观测值与分析场的亮温偏差;OBS-FG(bcor)为卫星观测值与预报场订正后的亮温偏差;OBS-AN(bcor)为卫星观测值与分析场订正后的亮温偏差;stdv(OBS-FG)为订正前卫星观测值与预报场的亮温标准偏差;stdv(OBS-AN)为订正前卫星观测值与分析场的亮温标准偏差

3)产品反演。离物辐射是地表、云、大气物理状态参数反演的基础数据。卫星发射前,FY-3地面系统遥感产品算法责任者参与仪器观测需求分析、仪器指标实验室测试方案制订与测试、实验室辐射定标方案制订与测试;了解仪器工作原理,计算分析测试数据,包括仪器的灵敏度、通道光谱宽度、响应度以及中心波数或频率等;利用测试结果开展卫星观测数据的模拟、遥感产品算法设计和产品精度估算等工作。卫星发射后,研发人员利用卫星实际

测值检验产品反演算法效果,确定是否对算法方案做调整。由于有发射前的工作基础,大大加快了产品算法的业务化^[22,23]。

3.2 地面应用系统工程各组成部分统筹设计

卫星发射后,FY-3地面应用系统主要负责监视卫星和仪器状态,依据应用需要调整仪器的增益以及卫星下行数据的接收、处理、分发、应用和服务。为完成这一任务,地面部分需要有一定的建设规模作保障,各组成部分既有明确的功能分工,又有紧

密的协作关系。

3.2.1 地面应用系统的组成

FY-3地面应用系统的规模是为保证该系统的整体功能和性能所设计和建设的,由5个接收站和1个国家级气象卫星数据处理和服务中心组成。为了使FY-3卫星发射后能尽快在全国范围形成应用网络,在FY-3地面系统设计时,依据不同的应用领

域和遥感应用基础,选择了12个应用示范点开展先期应用开发工作,增设微波辐射试验校正场。图2是FY-3地面接收站、示范应用点和辐射校正场分布图。FY-3地面应用系统工程按六大业务功能单元设计(见图3),即科学与技术支持;系统运行与控制;数据接收网络;产品处理与验证;监测与分析应用;数据存储、分发与共享,共包含10个技术分系统^[24,25]。

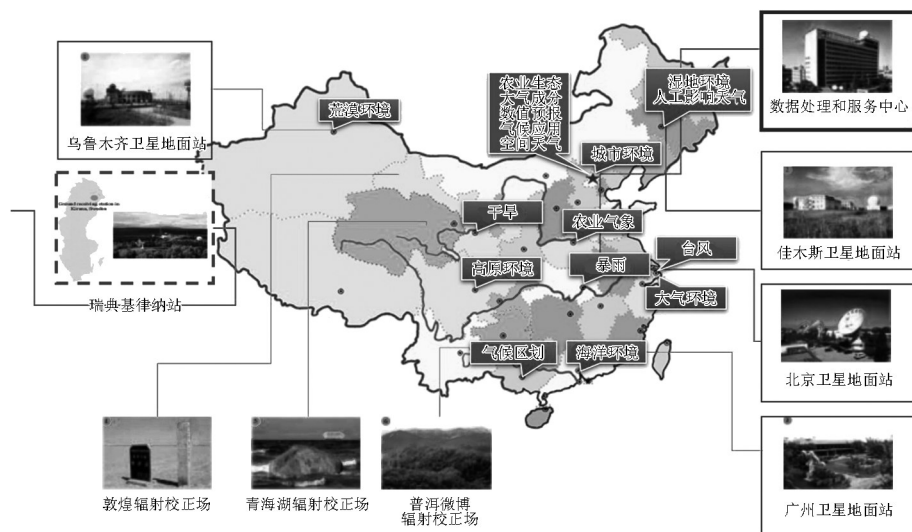


图2 FY-3地面接收站、示范应用点和辐射校正场分布图

Fig.2 Locations of data receiving station, application demonstration and calibration field for FY-3

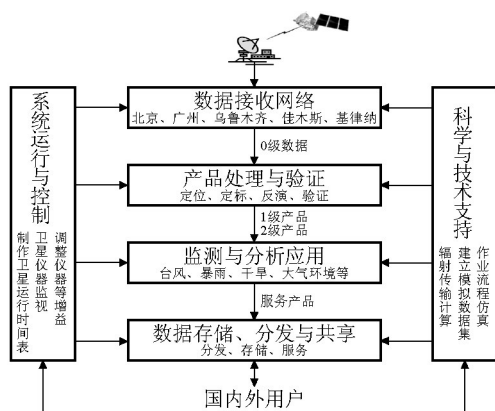


图3 FY-3卫星地面应用系统业务功能单元结构图

Fig.3 Functions and interface of FY-3 operational system

3.2.2 各单元的主要功能和任务

FY-3卫星地面应用系统各组成部分的主要功能和任务设计^[24,25]之间的数据流向如图3中箭头所表示。

1)科学与技术支持。本单元主要为其他各功

能单元提供科学和技术上的支撑:a. 卫星发射前通过辐射传输方程,模拟新仪器观测辐射值,为新产品算法开发提供模拟数据;b. 利用其他在轨卫星仪器观测数据,建立FY-3仪器模拟数据,开发应用方法;c. 利用FY-3卫星仿真器,验证星-地传输链路数据格式、接口关系的正确性;d. 仿真地面运行系统信息流程和作业调度流程;e. 为地面系统建成后业务流程的建立和系统故障诊断与排除提供模拟环境和技术支持等。

2)系统运行与控制。本单元是全系统业务运行的指挥中枢:a. 负责监视卫星、仪器运行状态,发现异常情况及时协调卫星总体解决;b. 承担对星载遥感仪器状态调整、光谱信道切换、信道增益调整等;c. 利用卫星测控中心提供的FY-3卫星轨道参数,编制每天的系统运行时间表,指挥各接收站对FY-3数据的实时接收和传送;d. 设计数据处理和服务中心的作业流程和调度方案,负责运行系统中各类作业的合理调度;e. 监视地面应用系统各组成部分的工作状况,协调和解决地面系统运行中各类问题等。

3)数据接收网络。本单元承担FY-3卫星全球数据接收任务:a.依据系统运行与控制中心(单元)制作的每日系统运行时间表,负责接收FY-3A/B双星三条链路(高分辨数字传输(HRPT)、中分仪器资料数字传输(MPT)、延时数据传输(DPT))广播的卫星观测数据,保证全球数据的完整接收;b.负责将各站接收的卫星数据通过地面宽带网、专线或通道卫星中转至FY-3数据处理和服务中心(国家卫星气象中心大楼内);c.及时响应系统运行与控制中心请求,负责异常情况时的数据重传工作等。

4)产品处理与验证。本单元承担多级别产品算法设计、开发与验证:a.设计遥感数据的地理定位、辐射定标、产品反演方案;b.对卫星观测数据进行定位、定标处理,生成仪器通道级入瞳辐射量;c.对卫星观测辐射进行包括太阳天顶角、大气窗光谱水汽吸收削弱、太阳光谱的荧光效应、扫描线边缘变暗、微波天线旁瓣效应等的各种订正处理,获取精确的离物辐射量,此称1级产品;d.对离物辐射量进行反演,生成仪器级的地球物理和化学参数,此称2级产品;e.对2级产品做旬、月统计处理,生成3级气候产品;f.负责设计遥感产品质量自动检验方案,包括检验用的真值确定,用于FY-3产品检验的真值选择方案有:地面观测(大气温度、湿度、臭氧、地表温度、海洋浮标温度等)、美国国家海洋和大气管理局(NOAA)卫星同类业务产品和数值天气预报分析场资料等;g.依据产品检验结果,不断改进业务反算法。

5)监测与分析应用。本单元主要承担设计开发直接面向服务的高级别产品:a.利用系统生成的各级别产品,生成天气、环境和灾害监测分析产品;b.负责突发性自然灾害事件的及时响应;c.明确各应用示范点(见图2中台风、暴雨、干旱、大气环境等)的重点开发任务,协调、解决他们的需求。这些示范点的工作和地面应用系统工程几乎同时启动,初期阶段主要是建立模拟数据源,设计应用示范方案和试验研究等。FY-3卫星发射后,这些示范点能利用FY-3实测数据及时开展应用工作,为当地政府提供气象信息服务,并能带动FY-3卫星资料在全国范围内各领域的应用。

6)数据存储、分发与共享。本单元承担FY-3各级别数据的分发、存储管理与服务任务。a.为方便用户共享FY-3数据,地面系统数据产品全部采用国际兼容的HDF5格式;b.设计存储能力考虑到

FY-3数据处理和服务中心每天接收汇集各地面站接收的A/B双星数据量(达500GB)、处理原始数据和生成的遥感产品容量(达2.6TB),每天新增存储资料量(1600GB);c.设计实现多渠道和大用户量共享服务能力,提供在线数据实时分发、检索、下载、订购、发布等。

4 FY-3地面系统工程的应用

4.1 系统能力

FY-3地面应用系统于2008年上半年建成并投入使用,A/B星发射后经在轨功能和性能测试,达到设计指标。4年多来,全系统运行成功率达99.5%,优于97.5%设计指标(见表2)。每日生成包含大气、海洋和陆地共计23类遥感产品。产品通过文件传输协议(FTP)实时数据区、数据服务网站和专线分发等多种途径自动向中国气象局信息分发网(9210)、CMACast广播分发网发送,供国内用户使用;部分卫星数值产品通过世界气象组织全球通信系统(GTS)向全球用户分发。目前有近3万个国内外注册用户通过互联网从国家卫星气象中心网站直接下载FY-3产品数据。

表2 FY-3地面应用系统运行成功率统计

Table 2 Success percentage summary of FY-3 ground operational system

项目	%	
	设计指标	实际达到指标
分发服务成功率	99.0	99.7
数据接收成功率	99.5	99.7
计算机和网络传输成功率	99.7	99.9
运行控制成功率	99.7	99.9
定位、定标处理成功率	99.6	99.7
遥感产品生成成功率	99.0	99.7
存档和检索服务成功率	99.0	99.7
全系统运行成功率	97.5	99.5

4.2 产品质量

利用FY-3卫星90多个通道的光谱信息反演得到全球三维数值大气、多源云复合解析、温湿廓线光谱层析、云雨大气参数等。对定量产品进行日例行质量检验,例如温度反演与预报分析场资料相比,精度约2K,湿度反演误差小于20%;全球入射长波辐射和美国NOAA-18卫星结果的相关性达到90%以上;臭氧总量反演产品,经与瓦里关地面观

测数据以及欧洲的臭氧监测仪器(OMI)比对,误差为3%。图4是FY-3地面应用系统处理生成的2012年6月500 hPa高度全球大气温度反演值与预报分析场的平均偏差(BIAS,见图4a)和平均均方根误差(RMSE,见图4b)。平均BIAS值在 ± 2.2 K之间,平均RMSE值在1.2 K左右,最大值在南半球高纬度带,这可能与该区域预报分析场质量有关。图5是2012年10月FY-3和美国NOAA-18卫星全球入射长波辐射(OLR)结果的比较分析,两者的相关性很好。

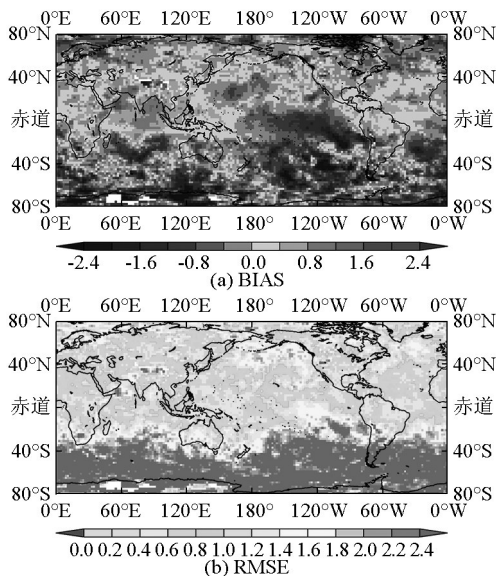


图4 2012年6月FY-3温度反演产品与时空匹配的预报分析场的比较

Fig.4 Comparison of FY-3 retrieved temperature with co-located analysis field data in June of 2012

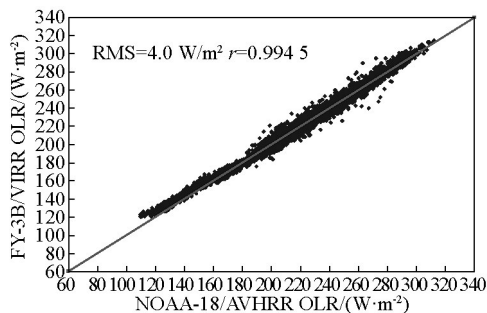


图5 FY-3B/VIRR和NOAA-18/AVHRR的OLR产品相关性比较

Fig.5 Correlation of OLR between FY-3B/VIRR and NOAA-18/AVHRR

4.3 产品应用特点

FY-3地面应用系统为数值预报模式提供了全球范围天气和气候状态观测事实,为改进预报预测

精度提供了有力支持,例如利用晴空透过率的快速精确计算和FY-3三维大气探测仪器的观测亮温质量控制,使全球模式初估场向观测亮温的高精度转化,应用表明,FY-3卫星数据的使用使我国全球数值天气预报结果得到正效应,时延大约1.5 d;3个微波遥感仪器可用于诊断降水区、分析台风暖心结构和强度;利用高时次(28次/24 h)和高空间分辨率(250 m)数据监测极区天气系统,监测格陵兰岛冰架消融的动态变化以及北极航道信息(见图6);监测全球和区域灾害性天气系统,包括台风、暴雨、大雾、沙尘暴等;监测全球大气环境、植被生态环境和自然灾害,例如气溶胶、臭氧总量和垂直分布,干旱、洪涝、火山灰、火点、冰雪覆盖、植被变化等;利用对植被、干旱和降水的监测,估算全球作物长势和作物产量等。

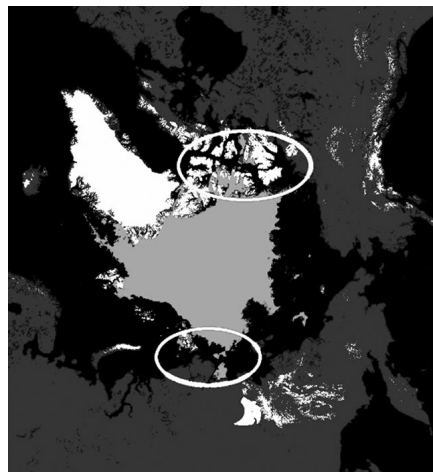


图6 2008年9月11日FY-3卫星监测北极航道(白色圈)
Fig.6 Ice monitoring in Arctic region in 11 September 2008 (passage can be seen in the white circle)

多年来,FY-3地面应用系统为科研、业务部门提供了大量数据产品,为政府防灾、减灾和救灾提供了科学依据,为国家重大活动提供了气象信息服务,例如北京奥运会、上海世博会期间的城市大气环境监测和台风预报服务等取得了良好效果。

5 结语

FY-3地面应用系统是为接收、处理我国新一代极轨气象卫星数据所设计和建设的。本文从系统工程方法入手,以系统工程的整体性、层次性和关联性3个基本特征为指导,对FY-3地面应用系统进行顶层设计与建设。由于系统整体设计思路清晰,

需求做到了统筹,尤其是数据处理技术方案的星—地—一体化设计,使得地面应用系统综合能力大大加强。4年多来系统运行稳定可靠,为气象业务提供了高质量的数据产品实时服务,为国内外用户共享FY-3气象卫星数据提供了强有力的支持,为气候和气候变化研究积累了宝贵数据,在环境变化和自然灾害监测服务中发挥了FY-3卫星高时间分辨率和强综合性观测能力的服务效益。

致谢

本文创作过程中,得到了刘玉洁、陆其峰、吴春强、吴晓、郑照军等同志的支持,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 杨军,董超华,卢乃锰,等.新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用[M].北京:科学出版社,2010.
- [2] 许健民,钮寅生,董超华,等.风云气象卫星地面应用系统[J].中国工程科学,2006,8(11):13-18.
- [3] 陈庆华,吕彬,李晓松.系统理论与实践(修订版)[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [4] 卢乃锰,董超华,杨忠东,等.我国新一代极轨气象卫星(风云三号)工程地面应用系统[J].中国工程科学,2012,14(9):10-19.
- [5] Dong C, Yang J, Zhang W, et al. An overview of a new Chinese weather satellite FY-3A [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2009, 90: 1531-1544.
- [6] Yang Zhongdong, Lu Naimeng, Shi Jinmin, et al. Overview of FY-3 payload and ground application system [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012, 50(12): 4546-4853.
- [7] Zhang P, Yang J, Dong C, et al. General introduction on payloads, ground segment and data application of Fengyun 3A [J]. Frontiers of Earth Science in China, 2009, 3(3): 367-373.
- [8] 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.
- [9] Bizzarri B. Gap analysis (opt-2/doc. 5, ITEM 5) [R]. Geneva Switzerland: WMO, 2007.
- [10] 国际地球观测组织.全球综合地球观测系统十年执行计划参考[M].GEO中国工作委员会,译.北京:气象出版社,2006.
- [11] 饶P克里希纳,苏珊J霍姆斯,拉尔夫K安德森,等.气象卫星——系统、资料及其在环境中的应用[M].许健民,方宗义,徐建平,等译.北京:气象出版社,2006.
- [12] 谭跃进,陈英武,罗鹏程,等.系统工程原理[M].北京:科学出版社,2010.
- [13] 关敏,杨忠东.星载GPS数据及高精度轨道模型在极轨卫星轨道计算中的应用[J].应用气象学报,2007,18(6):748-752.
- [14] Ling Sun, Hu Xiuqing, Guo Maohua, et al. Multisite calibration tracking for FY-3A MERSI solar bands [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012, 50(12): 4929-4942.
- [15] Wang Weihe, Lawrence Flynn, Zhang Xingying, et al. Cross-calibration of the total ozone unit (TOU) with the ozone monitoring instrument (OMI) and SBUV/2 for environmental applications[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012, 50(12): 4943-4955.
- [16] 邱康睦.中国遥感辐射校正场建设和科研成果及其应用前景[M]//中国遥感辐射校正场科研成果论文选.北京:海洋出版社,2001.
- [17] Lu Qifeng, William Bell, Peter Bauer, et al. Improved assimilation of data from China's FY-3A microwave temperature sounder (MWTS) [J/OL]. Royal Meteorological Society, Atmospheric Science Letters, 2011, doi:10.1002/asl.354.
- [18] Qiu Hong, Hu Liqin, Zhang Yanyan, et al. Absolution radiometric calibration of earth radiation measurement on FY-3B and its comparison with CERES/Aqua data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012, 50(12): 4965-4974.
- [19] Gu Songyan, Guo Yang, Wang Zhenzhan, et al. Calibration analyses for sounding channels of MWHS onboard FY-3A [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012, 50(12): 4885-4891.
- [20] Zhou X, Wang X, Weng F, et al. Assessments of Chinese Fengyun microwave sounder (MWTS) measurements for weather and climate applications[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2011, 28: 1206-1227.
- [21] Lu Qifeng, William Bell, Peter Bauer, et al. An evaluation of FY-3A satellite data for numeric weather prediction[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, doi: 10.1002/qj.834.
- [22] 漆成莉,董超华,张文建,等. FY-3A气象卫星红外分光计温度廓线模拟反演试验[J].应用气象学报,2005,16(5):576-582.
- [23] 黄富祥,刘年庆,杨昌军,等.风云三号卫星紫外臭氧垂直廓线反演算法及对比试验[J].自然科学进展,2008,18(10):1136-1142.
- [24] 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.
- [25] 董超华,杨军,杨忠东,等.风云三号A星(FY-3A)的主要性能与应用[J].地球信息科学,2010(4):458-465.

Systematic engineering method for FY-3 satellite ground segment engineering

Dong Chaohua, Yang Zhongdong, Shi Jinming, Zhang Peng

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

[Abstract] For application purpose, this paper gave an introduction on designing FY-3 function, planning the FY-3 satellite and the ground engineering system requirement as a whole with the systematic engineering method, reasonably locating the receiving stations, and scientifically allocating the task for each functional unit of the ground system, so that the ground application system was built with realization of optimized overall function and effectiveness.

[Key words] FY-3 satellite; instrument capability; ground segment system; systematic engineering; over all design

(上接23页)

Research progress of water conditioning in industry recirculating aquaculture mode at home and abroad

Wang Feng^{1,2,3}, Lei Jilin², Gao Chunren², Huang Bin², Zhai Jieming⁴

(1. Marine Science and Engineering College, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China; 2. Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, Shandong 266071, China; 3. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003, China; 4. Laizhou Mingbo Aquatic Co. Ltd., Laizhou, Shandong 261418, China)

[Abstract] Based on recirculating aquaculture mode technological process, combined with nearly years' aquaculture mode scientific research and industrial development, focused on water treatment and application, this paper summarized and discussed big particle filter, ozone disinfection, gas floating comprehensive treatment, biological filter, ultraviolet radiation sterilization, pH adjustment and other aspects of water conditioning respectively, which can provide corresponding reference for impelling the precision and practical water treatment process and establishing the high-end recirculating aquaculture mode for the situation of China in the future.

[Key words] recirculating aquaculture; aquaculture mode; water treatment process