

海洋二号卫星主被动微波遥感探测技术研究

蒋兴伟,林明森,宋清涛

(国家卫星海洋应用中心,北京 100081)

[摘要] 介绍了海洋二号(HY-2A)卫星4个微波有效载荷(雷达高度计、微波散射计、扫描微波辐射计和校正微波辐射计)的功能、性能和设计指标。HY-2A卫星突破了我国微波遥感设备技术上的瓶颈,为海洋环境监测预报业务化和防灾减灾提供了必要的海洋观测手段,解决了我国自主海洋动力环境参数遥感观测有无的问题。HY-2A卫星的成功发射和业务化运行为我国海洋卫星发展规划打下了坚实的基础。

[关键词] HY-2A卫星;微波遥感;海洋遥感;雷达高度计;微波散射计;微波辐射计

[中图分类号] V474.2*91 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)07-0004-08

1 前言

2011年8月16日6时57分,海洋二号(HY-2A)卫星在太原卫星发射中心成功发射。HY-2A卫星是我国第一颗海洋动力环境卫星,星上搭载微波散射计、雷达高度计、扫描微波辐射计和校正微波辐射计共4个微波遥感器,具有全天时、全天候、全球连续探测的能力(见图1)^[1]。另外, HY-2A卫星还载有多普勒卫星测定轨系统(DORIS)、双频全球定位系统(GPS)天线和激光反射器等高精度定轨设备。HY-2A卫星能够实现全球海面风场、海面高度、浪高、海面温度等多种海洋动力环境要素的高精度同步测量,是海洋开发、资源利用、防灾减灾的重要空间监测平台,能够直接为灾害性海况预警和海洋科学研究提供实测数据,服务于国民经济建设和国防建设。

HY-2A卫星成功发射后,地面应用系统依据HY-2A卫星研制总要求、在轨测试大纲和细则,开始了为期4个月的在轨测试。在轨测试结果表明, HY-2A星地数据传输与控制系统运行正常,各项设计技术指标满足研制总要求。自2012年1月开始, HY-2A地面应用系统实现了微波散射计、雷达高度计、扫描微波辐射计和校正微波辐射计各级数据产品制作和业

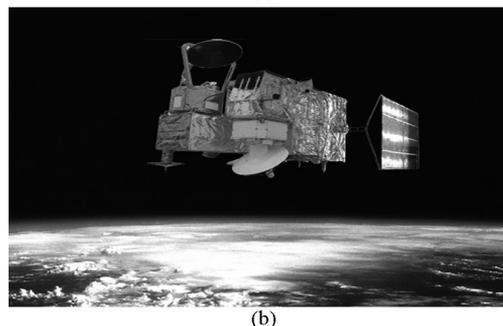
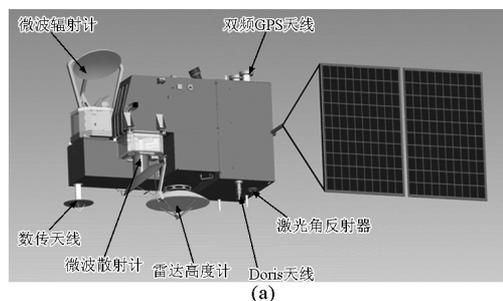


图1 HY-2A卫星结构图

Fig.1 Schematic representation of HY-2A platform and payloads

务化运行,通过与国外同类卫星和现场实测等数据源的比对,结果表明:HY-2A卫星观测的海面风场、有效波高、海面高度、海面温度等海洋动力环境参

[收稿日期] 2013-04-22

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(41076012,41276019);海洋公益性行业科研专项(201105032,201305032)

[作者简介] 蒋兴伟(1959—),男,山东莒南县人,研究员,博士生导师,主要从事海洋遥感应用研究;E-mail:xwjia@mail.nsoas.gov.cn

数的数据产品精度满足在轨测试的要求,达到或接近了国外同类卫星的观测水平^[2]。HY-2A卫星的观测数据有效填补了国际上同类微波遥感卫星的观测空白,保证了全球海洋动力参数观测的连续性,为全球海洋动力观测提供了重要的数据源,在全球对地观测体系中发挥了重要作用。

在系统回顾国内外与HY-2A卫星相关的主、被动微波遥感技术发展现状及趋势的基础上,本文主要介绍HY-2A雷达高度计、微波散射计、扫描微波辐射计和校正微波辐射计的功能、性能和设计指标,概述了各载荷数据产品在海洋科学领域内的应用状况。进一步分析了HY-2A卫星对于全球海洋动力环境参数观测连续性的重要作用,阐述了HY-2A卫星解决的关键技术问题以及其在我国海洋卫星系列发展规划中的重要地位。

2 国内外主、被动海洋微波遥感技术

海洋微波遥感是利用电磁波在海面的反射和散射特性(主动式)以及海面自然发射的微波频段特性(被动式)对海面动力和热力信息进行获取的

一种技术手段,并通过极化、相位、干涉等技术获得更多更精确的海洋表面信息^[3]。无论是主动或被动方式来获取海面信息,微波遥感都具有全天候的观测能力,几乎不受日照影响和天气系统的影响。大气中的云层对于红外和可见光电磁辐射是完全不透明的。相对而言,云层对于微波辐射是几乎透明的,这是海洋微波遥感对于红外和可见光遥感的一个最主要的优势^[4]。

2.1 星载雷达高度计

星载雷达高度计属于主动微波遥感器,它通过测量微波脉冲双程传输时间并结合卫星平台位置和海洋基准面来确定海面高度以及分析雷达回波波形来确定海面波动状况(有效波高)。星载雷达高度计从发展至今已经历了40年的发展历程,在20世纪90年代测高技术趋于成熟,包括1973年的高度计实验卫星Skylab、1978年的SEASAT卫星、1985年的GEOSAT卫星、1992年的Topex/Poseidon(T/P)卫星、2001年的Jason-1卫星和2008年的Jason-2卫星,具体参数见表1。我国于2011年发射了自主研制的HY-2A卫星,星上装载了雷达高度计。

表1 国外近年来星载雷达高度计

Table 1 Recent radar altimetry satellite missions at abroad

| 卫星(高度计) | 运行时间 | 机构 | 波段/GHz | 轨道高度/km | 测高精度/m |
|---------|------------|-----------|-----------------------|---------|--------|
| T/P | 1992-2001年 | NASA/CNES | 5.3/C, 3.6 & 13.65/Ku | 1 300 | 0.03 |
| Jason-1 | 2001年至今 | NASA/CNES | 5.3/C & 13.6/Ku | 1 360 | 0.03 |
| Envisat | 2002-2012年 | ESA | 13.5/Ku | 800 | 0.03 |
| Jason-2 | 2008年至今 | NASA/CNES | 5.3/C & 13.6/Ku | 1 360 | 0.025 |

注:NASA—美国航空航天局;CNES—法国国家太空研究中心;ESA—欧洲空间局

随着卫星精确定轨技术、大气折射校正技术、电离层传输延迟校正技术、海洋潮和大气潮混频消除技术的提高,卫星测量海面高度的准确度从20世纪70年代的米级提高到目前的厘米量级^[1]。目前,雷达高度计的最大限制是它只能观测卫星沿轨星下点的海面高度,造成雷达高度计在观测全球海面高度的空间和时间采样率不足,限制了高度计数据在中小尺度海洋气象领域的应用。针对这一问题,美国、欧洲和中国已经开始研制具备宽刈幅(200 km以上)观测能力的新一代高度计;同时,多星数据融合也可以有效改善目前雷达高度计采样率不足的问题,如欧洲的AVISO海面高度融合产品。多星观测数据的积累和融合为人们提供了更多认识海洋现象的信息,促进和加深了对全球海洋动力环境的

实时监测。

2.2 星载微波散射计

星载微波散射计属于主动微波遥感器,它利用不同风速条件下海面粗糙度对雷达后向散射系数的不同响应以及多角度观测数据来反演海表风速和风向^[5~7]。星载微波散射技术的发展也已经有近40年的发展历程。1973年美国发射了天空实验室(Skylab)飞船,船上搭载了Ku波段散射计,这是世界上第一次进行天基微波散射计的试验。星载散射计测风技术从20世纪90年代开始成熟,标志性的业务化运行卫星包括美国和日本在1996年联合发射的NSCAT卫星和美国1999年发射的QuikSCAT卫星以及ESA和欧洲气象卫星开发合作组织(EUMETSAT)联合发射的MetOp-A卫星

(2006年)。表2给出了截至目前国内外主要微波 散射计卫星发射时间及其所属国别。

表2 国内外主要微波散射计卫星发射时间

Table 2 Launch time of primary microwave scatterometer missions at home and abroad

| | 1973年 | 1978年 | 1991年 | 1995年 | 1996年 | 1999年 | 2002年 | 2006年 | 2011年 | 2012年 |
|-----|--------|--------|-------|-------|-------|----------|---------|---------|-------|---------|
| 美国 | Skylab | SeaSat | — | — | NSCAT | QuikSCAT | — | — | — | — |
| ESA | — | — | ERS-1 | ERS-2 | — | — | — | MetOp-A | — | MetOp-B |
| 日本 | — | — | — | — | NSCAT | — | ADEOS-2 | — | — | — |
| 中国 | — | — | — | — | — | — | — | — | HY-2A | — |

通过海洋卫星散射计对全球海面风场的近实时观测,克服了传统海面风场观测(大洋航行船只、考察船和浮标)的不足^[8]。星载散射计具有大面积、准同步、多次测量和全天候的观测能力,在全球业务化数值天气预报和海洋环境预报中发挥了重大的作用。

2.3 星载微波辐射计

星载微波辐射计属于被动微波遥感器,通过接

收海水分子热运动产生的在微波频段的自然辐射强度和微波极化特性随波长、海面粗糙度、海水介电特性的变化,来反演海表温度、海面风速、风向和表层海水盐度等海洋动力和热力参数^[4]。目前业务化运行的星载微波辐射计主要用来观测大洋海表温度、全球大气水汽积分含量和降雨量。表3列出了国际上用来观测大洋海表温度的星载微波辐射计。

表3 SMMR、SSM/I、TRMM和AMSR-E扫描微波辐射计的频率、极化方式和入射角比较

Table 3 Comparison of frequency, polarization and incident angle for SMMR, SSM/I, TRMM and AMSR-E scanning microwave radiometers

| 仪器 | 频率和极化(频率单位为GHz) | | | | | | 入射角/(°) |
|--------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SMMR | 6.6V,H | 10.7V,H | 18.0V,H | 21.0V,H | 37.0V,H | — | 51 |
| SSM/I | — | — | 19.3V,H | 22.2V | 37.0V,H | 85.5V,H | 53 |
| TRMM | — | 10.7V,H | 19.3V,H | 21.3V | 37.0V,H | 85.5V,H | 53 |
| AMSR-E | 6.9V,H | 10.7V,H | 18.7V,H | 23.8V,H | 36.5V,H | 89.0V,H | 55 |

注:SMMR—多通道扫描微波辐射计;SSM/I—特别微波辐射/成像计;TRMM—热带测雨任务卫星;AMSR-E—先进多通道微波扫描辐射计;V—垂直极化;H—水平极化

由于海洋表面自然微波辐射强度大约是红外辐射强度的百万分之一^[3],微波辐射计在接收信号的信噪比技术上要求严格,通常采用大尺寸天线、多通道和多极化设计来提高信号测量精度。例如,TRMM(TMI)是一台设计有9个通道的微波辐射计,用来观测热带区域海表温度和降雨量;AMSR-E搭载于2002年5月AQUA卫星上,具有12个通道、6个频段。

使用微波辐射计在大洋海面风场和盐度观测方面还处于试验阶段。2003年1月美国发射了全球第一颗全极化微波辐射计WindSat,具有5个频率和22个通道,能够测量海面微波亮温的所有极化特性(由4个Stokes分量给定),用来观测海面风速和风向。盐度观测微波辐射计包括ESA发射的土壤湿度与海面盐度辐射计(SMOS)^[9]和美国与阿根廷联合发射的

海表盐度辐射计(Aquarius)^[10],目前使用微波辐射计观测海面风场和盐度还处于试验阶段。

2.4 神舟四号(SZ-4)飞船多模态微波遥感器

我国在海洋一号(HY-1)水色卫星成功业务化运行的基础上,开展了主、被动星载海洋微波遥感载荷的研制和试验,在SZ-4飞船上首次搭载了多模态微波遥感器(M³RS),成功验证了载荷性能和技术指标。M³RS于2002年12月由SZ-4送入太空,在轨期间获得了大量的主动和被动微波遥感数据,为我国航天微波遥感技术的发展积累了宝贵的数据和经验,同时为我国后继星载微波遥感器(HY-2A卫星)的研究和应用打下了基础^[11]。

多模态微波遥感器由雷达高度计、微波散射计和微波辐射计组成,国内相关文献对M³RS的系统设计^[11]、工作原理^[12]、性能评价^[10]等作了详细介绍。

多模态传感器数据在后期处理和分析过程中发现的主要问题包括辐射模没有采用实时星上两点定标技术;高度模态在飞船从陆地向海洋方向飞行时出现失锁情况;散射模态的天线于发射后不久停止转动等,这些技术问题的后期解决为HY-2A各个微波载荷的顺利研制积累了宝贵经验。2011年8月我国成功发射了搭载雷达高度计、微波散射计和微波辐射计的HY-2A卫星,到目前为止HY-2A卫星运行稳定,各个传感器未出现上述类似的问题。

3 HY-2A 卫星介绍

3.1 简介

HY-2A卫星工程研制于2007年1月获得批复。该卫星由航天科技集团公司中国空间技术研究院研制,于2011年8月16日6时57分在太原卫星发射中心采用CZ-4B运载火箭发射成功。HY-2A卫星不仅是我国第一颗海洋动力环境卫星,而且在国际海洋微波遥感卫星计划中具有重要地位。海面温度、海面高度和海面风场等海洋动力环境参数的持续观测和多频次观测对于海洋灾害监测预警和全球业务化数值预报至关重要,图2列出了近期世界各国主要的微波遥感卫星发射计划,目前HY-2A卫星是世界上唯一能够进行高纬度海面温度和海面高度观测的微波遥感卫星。HY-2A卫星在填补海面温度和海面高度数据的空白方面起到重要作用,与其他海洋微波遥感卫星(Jason-1/Jason-2、ASCAT和TMI)观测数据的融合产品将显著提高海面高度、海面风场和海表温度的时间以及空间采样率和准确率。

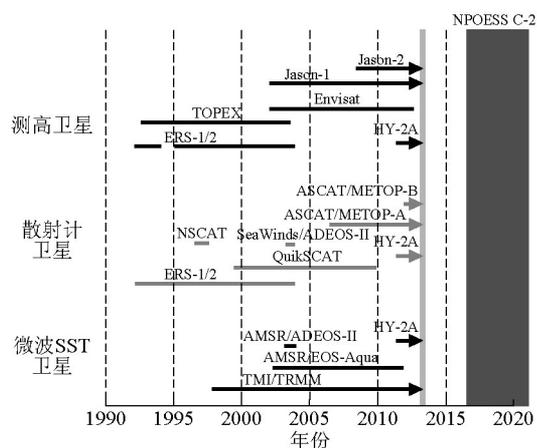


图2 主要海洋微波遥感卫星^[1]

Fig.2 Recent ocean microwave satellite missions^[1]

注:美国极轨环境卫星发射计划在2016—2021年没有微波遥感卫星发射计划;该图修改自参考文献[1]内的图1

3.2 HY-2A 卫星功能性能指标

HY-2A卫星是我国海洋立体观测网的重要组成部分,实现对海洋动力环境的全球观测,获得包括海面风场、海面高度场、有效波高、海表温度、海洋重力场、大洋环流等重要海况参数的实时监测。HY-2A卫星装载了雷达高度计、微波散射计、扫描微波辐射计和校正微波辐射计以及DORIS、双频GPS和激光测距仪^[2]。卫星轨道为太阳同步轨道,倾角为99.34°,降交点地方时为6:00 a.m.,卫星在寿命前期采用重复周期为14 d的回归冻结轨道,高度为971 km,周期为104.46 min,每天运行13+11/14圈;在寿命后期采用重复周期为168 d的回归轨道,卫星轨道高度为973 km,周期为104.50 min,每天运行13+131/168圈,以便进行全球重力场的观测。HY-2A卫星设计寿命为3年,自2012年1月起进入业务化运行阶段。HY-2A卫星采用了较高的平台定位和姿态控制技术,三轴指向精度小于0.1°,姿态稳定度小于0.003°/s,测量精度小于0.03°。HY-2A卫星雷达高度计主要用于测量海面高度、有效波高,它采用双频技术来修正电离层延时误差,其技术指标如表4所示,实现了对全球海面高度和有效波高的实时观测(见图3)。

表4 HY-2A 卫星雷达高度计技术指标

Table 4 Technical specifications of HY-2A radar altimeter

| 工作频率/GHz | 脉冲有限足迹/km | 海面测高精度/cm | 有效波高测量范围/m |
|-------------|-----------|-----------|------------|
| 13.58, 5.25 | ≤2 | ≤8(星下点) | 0.5 ~ 20 |

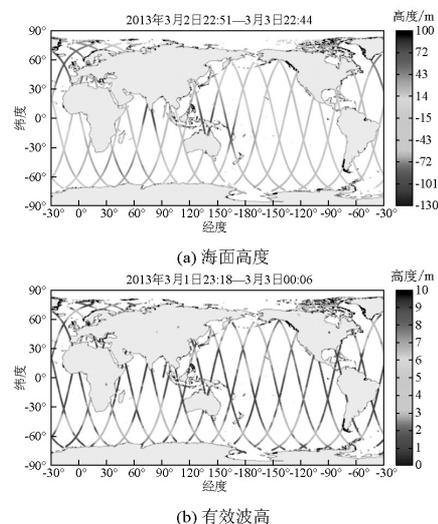


图3 HY-2A 卫星雷达高度计海面高度和有效波高产品示例

Fig.3 An example of HY-2A radar altimeter measurements of sea surface height and significant wave height

注:图片制作单位为国家卫星海洋应用中心

HY-2A 卫星微波散射计采用笔形圆锥扫描方式,能够实现全球海面风场的宽刈副观测(1 800 km)。HY-2A 卫星微波散射计的设计技术指标与美国

SeaWinds 散射计相当(见表 5)。图 4 为 HY-2A 卫星微波散射计海面风场产品示例。

表 5 HY-2A 卫星微波散射计技术指标

Table 5 Technical specifications of HY-2A microwave scatterometer

| 工作频率/ GHz | 极化方式 | 地面足迹 | 刈幅 | | 风速测量精度/ ($m \cdot s^{-1}$) | 风速测量范围/ ($m \cdot s^{-1}$) | 风向测量精度/ ($^{\circ}$) |
|-----------|-------|----------|-------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | | | H 极化 | V 极化 | | | |
| 13.256 | HH、VV | 优于 50 km | 优于 1 350 km | 优于 1 700 km | 2 | 2~24 | 20 |

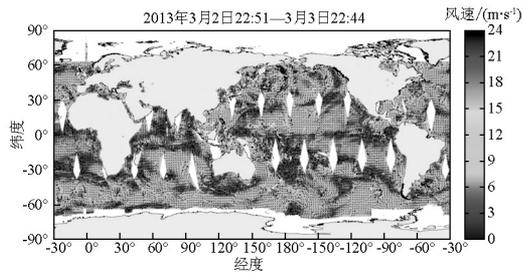
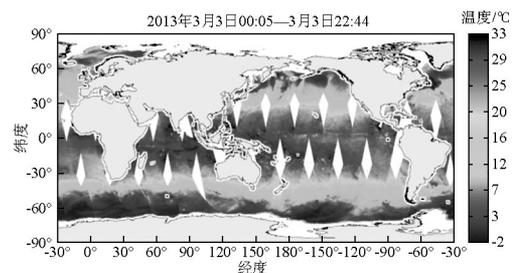


图 4 HY-2A 卫星微波散射计海面风场示例

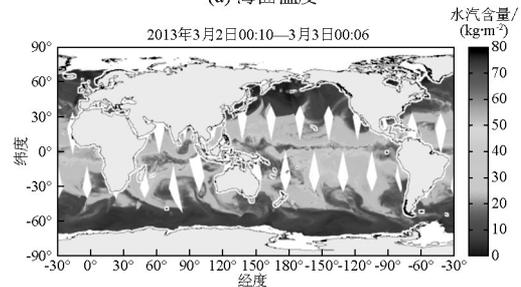
Fig.4 An example of HY-2A microwave scatterometer measurements of sea surface vector wind

注:图片制作单位为国家卫星海洋应用中心

HY-2A 卫星扫描微波辐射计主要用于获取全球海面温度,同时可以反演海面风速、大气水汽含量、云中水含量、降雨量和海冰信息等。HY-2A 卫星扫描微波辐射计采用多通道和多极化设计来提高信号信噪比,其技术指标如表 6 所示。图 5 为 HY-2A 卫星微波辐射计海表温度和大气水汽含量产品示例。



(a) 海面温度



(b) 大气水汽含量

图 5 HY-2A 卫星扫描微波辐射计海面温度和大气水汽含量产品示例

Fig.5 HY-2A microwave scanning radiometer measurements of sea surface temperature and atmospheric water vapor

注:图片制作单位为国家卫星海洋应用中心

HY-2A 卫星校正微波辐射计的主要任务是为雷达高度计和微波散射计提供大气水汽校正所必须的参数。校正微波辐射计在设计上采用较少的通道和较高的灵敏度,能够实现大气参数的快速处理,为雷达高度计和微波散射计的实时数据处理提供服务(见表 7)。

表 6 HY-2A 卫星扫描微波辐射计技术指标

Table 6 Technical specifications of HY-2A microwave scanning radiometer

| 工作频率/ GHz | 极化方式 | 扫描刈幅 | 地面足迹/ km | 灵敏度/ K | 动态范围/ K | 定标精度/ K |
|-----------|------|-------------|----------|--------|---------|-----------------|
| 6.6 | VH | | 100 | | | |
| 10.7 | VH | 优于 1 600 km | 70 | 优于 0.5 | 3~350 | 1.0 (180~350 K) |
| 18.7 | VH | | 40 | | | |
| 23.8 | V | | 35 | | | |
| 37 | VH | | 25 | 优于 0.8 | | |

表 7 HY-2A 卫星校正微波辐射计技术指标

Table 7 Technical specifications of HY-2A microwave calibration radiometer

| 工作频率/ GHz | 极化方式 | 灵敏度/ K | 定标精度/ K | 动态范围/ K |
|-----------|------|--------|----------------|---------|
| 18.7 | | 0.4 | | |
| 23.8 | 线极化 | 0.4 | 1.0(180~320 K) | 3~300 |
| 37 | | 0.4 | | |

4 HY-2A 卫星解决的关键技术与问题

4.1 微波遥感设备获得突破

HY-2A 卫星是迄今为止我国最为复杂的对地遥感卫星之一,它集主、被动微波遥感器于一体,实现海洋动力环境参数的同时对地观测。HY-2A 卫星电子兼容性复杂,对地天线多达 10 余副,而且卫星具有我国遥感卫星中最高精度的测定轨能力,通过采用 GPS、DORIS 和激光测距这 3 种精密定轨手段,首次实现了我国民用遥感卫星领域的厘米级轨道定轨精度。首次使用的星敏感器、三浮陀螺、双频 GPS 接收机、X 波段行波管放大器等国产化关键部件替代同类进口产品,其性能指标达到国际同类产品水平。

HY-2A 卫星同时搭载了 4 个微波传感器,具备了 T/P、QuikSCAT 和 AMSR-E 的观测功能。微波传感器采用低功耗和小体积设计方案,利于同一卫星平台集成多传感器。HY-2A 卫星采用先进的数据布线、星上供电系统和电磁屏蔽设计,以保证设备的稳定运行和多海洋参数数据的有效传输。

国产三浮陀螺作为高精度陀螺首次在 HY-2A 卫星上在轨应用,能实现对长寿命航天器姿态的精确测量。HY-2A 卫星装备国产星载双频 GPS 接收机,为卫星提供三维位置、速度、时间、轨道根数以及校时数据,并输出原始观测数据,实现了我国首次在轨自主精密轨道测量。HY-2A 卫星姿态与轨道控制分系统使用了两台中等精度星敏感器;国产 X 波段行波管放大器 and 国产 Ku 频段脉冲行波管放大器作为卫星载荷的主要运行设备,分别首次在 HY-2A 卫星数传分系统和 HY-2A 微波散射计分系统进行在轨应用。

4.2 为我国海洋预报业务提供动力参数

目前, HY-2A 卫星能够实时获取全球海洋的动力环境信息,实现了全球海面高度、有效波高、海面风场、海表温度等海洋动力环境要素的高精度、全天候、全天时连续的观测。HY-2A 卫星微波散射计 24 h 内可以覆盖全球 90% 以上的海域面积,是目前世界上在轨运行的唯一具有该能力的海洋微波遥感卫星,而 ESA 在轨运行的 MetOP-A/ASCAT 卫星仅可以覆盖 78% (见图 6)。

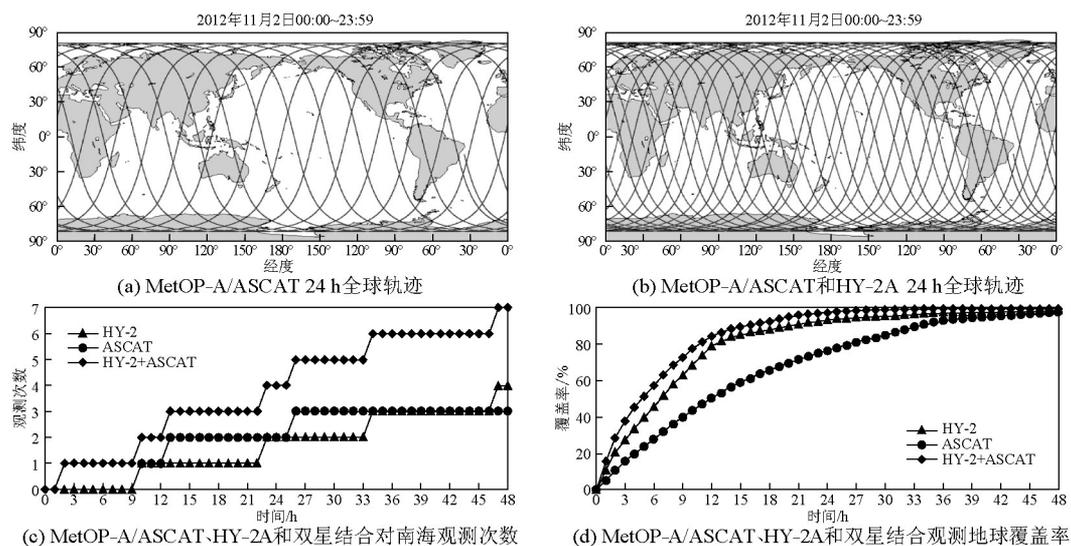


图 6 HY-2A 卫星和 MetOP-A/ASCAT 卫星全球观测范围和覆盖率

Fig.6 Spatial coverages of HY-2A satellite and MetOP-A/ASCAT

HY-2A 卫星完善了我国海洋环境的立体监测系统,从总体上提高了我国海洋环境监测、预测和预报能力。HY-2A 卫星微波散射计、雷达高度计等有效载荷能够及时监测到台风的生成和发展过程,确定台风强度、位置和移动路径、速度等要素,是应对台风灾害直接有效的监测手段。图 7 给出了 HY-2A

微波散射计和 MetOP-A/ASCAT 对风场的观测对比。对比可以发现, HY-2A 观测的海面风场与 MetOP-A/ASCAT 风场结构一致,但 HY-2A 的观测刈幅远远大于 MetOP-A/ASCAT,使其在海面风场观测中的优势十分明显^[13]。从 2011 年 10 月 1 日全部载荷开始工作起, HY-2A 卫星已经陆续观测到多次台风,

并向海洋预报单位和防灾管理部门及时提供台风监

测专题图,为应对和防范台风灾害发挥了重要作用。

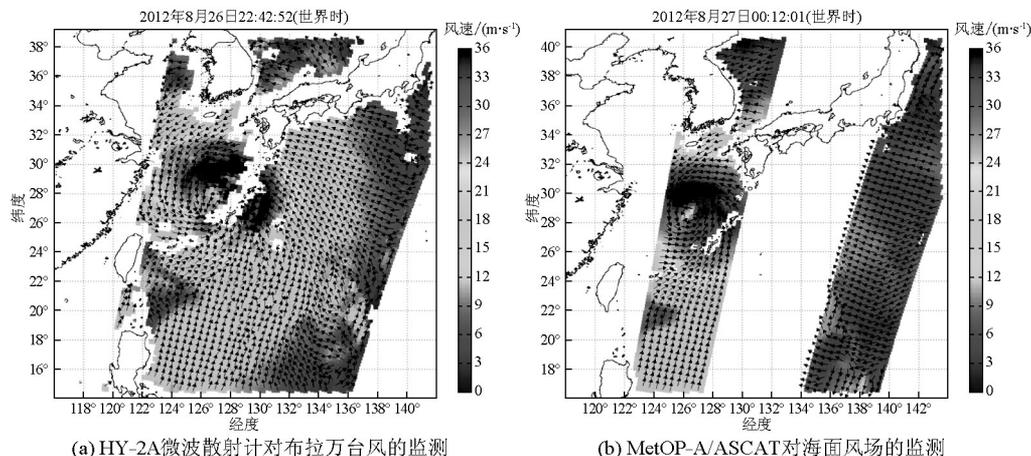


图7 HY-2A卫星和MetOP-A/ASCAT卫星对风场的观测对比

Fig.7 The comparison of sea surface vector wind measurements of HY-2A satellite and MetOP-A/ASCAT

HY-2A卫星微波载荷获取的海面高度、有效波高、海面风场、海表温度观测数据可直接同化进数值模式预报系统并用作海洋预报部门的数值预报初始场,在风暴潮预报、台风预报等预报领域发挥了重大作用,有效地提高了海洋预报精度。

4.3 解决我国卫星发展规划问题

我国以海洋一号(HY-1)水色卫星系列为起点,将陆续发射海洋水色卫星(HY-1系列)、海洋动力环境卫星(HY-2A系列)、中法海洋卫星(CFOSAT)和海洋监视监测卫星(HY-3系列),逐步形成以我国卫星为主导的全球海洋空间监测网。争取到2015年,使我国在海洋卫星研制、发射、测控技术和地面应用技术方面,最大限度地缩小与先进国家的差距,并在某些方面赶上和超过世界先进水平。

2020年前我国计划发射8颗海洋系列卫星,包括4颗海洋水色卫星,2颗海洋动力环境卫星和2颗海洋监视监测卫星(见图8)。由上述卫星形成海洋卫星观测网,同时推动海洋卫星与气象卫星、资源卫星、环境减灾小卫星星座等构成我国长期稳定运行的卫星对地观测体系。HY-2A卫星的成功发射和业务化运行有力地推进了我国海洋系列卫星发展规划的进程。

5 结语

HY-2A卫星自2011年8月成功发射以来,在轨运行与应用情况表明卫星工作状态良好,卫星上4台微波遥感器和精密定轨设备均工作稳定,卫星

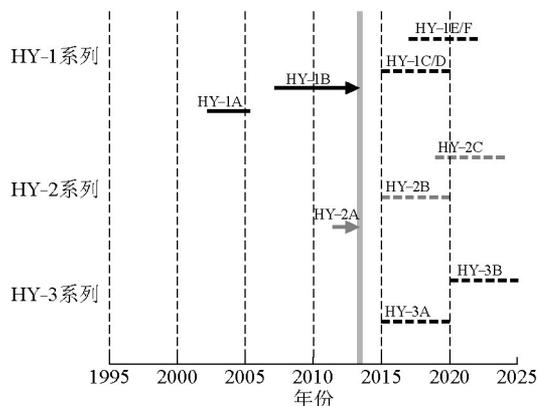


图8 我国海洋卫星发展规划

Fig.8 Past and future ocean satellite missions of China

数据质量良好,定轨精度高,卫星主要性能指标达到国际先进水平,具备了全天时、全天候探测全球海面风场、海面高度、有效波高、海表温度等多种海洋动力环境参数的能力,使我国成为继欧、美之后第3个具备研制和应用综合海洋动力环境卫星能力的国家。

利用国际公认的海洋浮标数据和国际上的同类高精度卫星遥感器数据,经检测证实, HY-2A卫星微波散射计经定标和反演的风场精度达1.4 m/s、风向精度达18.6°;雷达高度计测量海面高度精度为7.8 cm,性能指标均达世界先进水平^[2]。法国空间中心经过对HY-2A卫星雷达高度计数据的分析,结果表明:HY-2A卫星海面高度产品与ESA Jason-2雷达高度计的观测结果非常接近。作为我国首颗海

洋动力环境卫星, HY-2A卫星数据已成功应用于海洋防灾减灾、海洋环境预报、海洋资源开发、海洋军事保障、海洋科学研究及国际合作等领域, 在业务和科研等工作中均发挥了重要作用, 显示了突出的社会、经济和军事效益。

HY-2A卫星突破了我国微波遥感设备技术上的瓶颈, 为海洋气象监测预测业务化和防灾减灾提供了必要的海洋观测要素, 解决了我国自主海洋动力环境参数遥感观测有和无的问题。HY-2A卫星的成功发射和业务化运行对我国海洋卫星发展规划具有重要意义。HY-2A卫星是目前唯一同时搭载雷达高度计、微波散射计和扫描微波辐射计的海洋卫星, 是全球海洋动力环境观测的主要卫星平台, 在国际海洋遥感卫星观测领域具有重大影响。

参考文献

- [1] 蒋兴伟, 宋清涛. 海洋卫星微波遥感技术发展现状与展望[J]. 科技导报, 2010, 28(3): 105-111.
- [2] 张有广, 王睿. HY-2A卫星在轨测试总结报告[R]. 北京: 国家卫星海洋应用中心, 2012.
- [3] 马丁. 海洋遥感导论[M]. 蒋兴伟, 译. 北京: 海洋出版社,

2008.

- [4] Ulaby F T, Moore R, Fung A K. Microwave Remote Sensing, Active and Passive, Vol. I: Microwave Remote Sensing Fundamentals and Radiometry [M]. Reading: Addison-Wesley Publishing Co., 1981.
- [5] Spencer M W, Wu C. Tradeoffs in the design of a spaceborne scanning pencil beam scatterometer: Application to SeaWinds [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(1): 115-126.
- [6] 朱素云, 刘浩, 董晓龙. 海洋二号有效载荷微波散射计数据处理系统的设计[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(2): 152-154.
- [7] 许可, 董晓龙, 张德海, 等. HY-2A雷达高度计和微波散射计[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(1): 89-93.
- [8] 蒋兴伟, 宋清涛. 基于微波散射计观测的气候海面风场和风应力场[J]. 海洋学报, 2010, 32(6): 83-90.
- [9] Reul N, Tenerelli J, Boutin J. Overview of the first SMOS sea surface salinity products[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012, 50: 1636-1647.
- [10] Vine D M L, Lagerloef G S E, Torrusio S E. Aquarius and remote sensing of sea surface salinity from space [J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98: 688-703.
- [11] 蒋兴伟, 林明森. 微波多模态遥感器的性能评价[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(1): 18-24.
- [12] 张云华, 姜景山, 张祥坤. 神舟4号多模态微波遥感器散射计分系统[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(1): 58-63.
- [13] 张德海, 姜景山. 神舟4号主载荷——多模态微波遥感器[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(1): 74-79.

Active and passive microwave remote sensing technology of the HY-2A ocean satellite mission

Jiang Xingwei, Lin Mingsen, Song Qingtao

(National Satellite Ocean Applications Service, Beijing 100081, China)

[Abstract] The paper summarized the capabilities, performance, and technical characteristics of the 4 payloads onboard the HY-2A satellite including radar altimeter, microwave scatterometer, scanning microwave radiometer and microwave calibration radiometer. The HY-2A satellite is marked as a significant breakthrough for microwave remote sensing technology of China, a milestone for China's own ocean dynamic environment satellite that plays a crucial role in maritime applications, and a role model for China's future ocean satellite missions.

[Key words] HY-2A satellite; microwave remote sensing; ocean remote sensing; radar altimeter; microwave scatterometry; microwave radiometry