

海洋二号卫星工程研制及在轨运行简介

张庆君,张 健,张 欢,王 睿,贾 宏

(中国空间技术研究院总体部,北京 100094)

[摘要] 海洋二号卫星是我国首颗海洋动力环境探测卫星,也是目前国际上唯一一颗可全天候、全天时同步获取全球海面高度、有效波高、海面风场、海面风速、海面温度、大气水汽含量、云中液水含量等多种遥感数据的卫星。海洋二号卫星配置4种主、被动微波遥感载荷,采用全新遥感体制,实现关键部件国产化,具有精密测定轨、电磁兼容、高精度姿态控制等技术特点。海洋二号卫星作为国内首颗综合型微波遥感卫星,其工程实现意义重大。本文从系统组成与功能、研制阶段划分、大型试验验证、在轨测试与应用成果展示几个方面进行了介绍。

[关键词] 海洋二号;微波遥感;工程研制;在轨运行;应用成果

[中图分类号] P236 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)07-0012-07

1 前言

海洋二号卫星是我国首颗海洋动力环境探测卫星,主要用于监测和探测海洋动力环境参数,实现全天候、全天时对海面风场、海面高度场、浪场、海洋重力场、大洋环流和海表温度场等重要海洋参数的监测。同时,卫星还开展了国产行波管放大器在轨飞行寿命验证试验和星地激光通信试验。

随着社会的发展和科学的进步,海洋在人类社会的政治、经济、生活等多方面起到越来越重要的作用。为此,我国在“十五”期间启动了海洋动力环境卫星的论证工作,并作为重点背景型号之一,于2005年完成全部关键技术攻关。2007年1月海洋二号卫星通过立项批复,进入了工程研制阶段。

海洋二号卫星于2011年8月成功发射,已在轨运行超过19个月。其间获得了海面高度、有效波高、海面风场、海面温度等多种数据产品,并作为自主观测数据源进入海洋业务系统。卫星获得的数据产品精度达到了国际先进水平,不仅在海况预报、风暴潮监测、巨浪监测、重力场调查、海平面变化、厄尔尼诺监测和大洋极地航行保障等方面发挥了重要的作用,而且使我国具备了独立获取全球海

洋动力环境信息的能力,大大提高了我国在国际海洋研究领域的话语权。

2 卫星特点与系统组成

2.1 海洋二号卫星特点

海洋二号卫星是一颗三轴稳定的传输型遥感卫星,设计寿命为3年。卫星工作在降交点地方时为6:00(a.m.)的太阳同步轨道,寿命初期轨道高度约971 km,回归周期为14 d;寿命末期将轨道高度提升至973 km;回归周期调整为168 d,用于对大地水准面的精密测量。

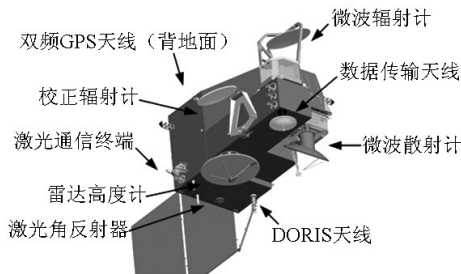


图1 海洋二号卫星外观图

Fig.1 The skeleton map of HY-2A

[收稿日期] 2013-04-10

[作者简介] 张庆君(1969—),男,江苏徐州市人,研究员,研究方向为航天器总体设计;E-mail: zhangqj@tom.com

海洋二号卫星具有以下特点:a.全新的遥感体制。卫星使用了雷达高度计、微波散射计、微波辐射计等多种新型微波遥感载荷,并实现了对海洋多种要素的综合观测,观测精度均为国际先进水平。b.精密测定轨。海洋二号卫星是国内首颗精密测定轨的航天器,星上双频全球定位系统(GPS)接收机等精密定轨设备均为国内首次应用,达到厘米级的定轨精度,处于国际先进水平。c.关键部件自主研制。海洋二号卫星实现了星敏感器、三浮陀螺和行波管放大器等关键部件的自主研制,这些关键部件的成功应用提升了我国低轨遥感平台自主研制能力。d.电磁兼容性设计。海洋二号卫星射频设备种类多,高功率发射与高灵敏接收并存,卫星在整星电磁兼容的设计、控制和试验技术上均实现了突破。e.高精度姿态控制。卫星使用了大型旋转载荷,转动部分达到整星质量的1/10,通过对扰性部件频率控制、转动稳定性及静动平衡控制,以及全新的整星动量管理技术,实现了大型旋转载荷不间断旋转工作情况下的高精度姿态控制。

2.2 载荷组成及功能

海洋二号卫星共配置5个有效载荷,分别为雷达高度计、微波散射计、微波辐射计、校正辐射计、激光通信终端,其中遥感载荷的探测要素及用途如表1所示。

表1 遥感载荷探测要素与用途

Table 1 The detection elements and use of remote sensing payloads

遥感有效载荷	探测要素	用途
微波散射计	海面风场	海面风场、海况预报、风暴预警
雷达高度计	海面高度、有效波高、重力场、大洋环流、大地水准面	局部海面/底拓扑图、局部海洋重力场、局部大地水准面、大洋环流、厄尔尼诺现象、海气交换海洋动力过程研究、大中尺度天气过程、降水预报、地表分类、全球变化研究
微波辐射计	海面温度、海面风速、水汽含量	过程研究、降水预报、地表分类、全球变化研究
校正辐射计	大气和水汽含量	为高度计提供校准服务

1)雷达高度计。雷达高度计是一种主动微波遥感器,通过向海面垂直发射脉冲信号,分析回波特征,得到海面高度(SSH)、有效波高(SWH)和风速等信息,经过处理可获得全球大地水准面、重力

场、海表面地形、海流、海浪、潮汐等动力参数信息。海洋二号卫星雷达高度计采用Ku、C双频工作体制,用于校正电离层时延(见表2)。

表2 海洋二号卫星雷达高度计主要技术指标

Table 2 The main technical indicators of HY-2A radar altimeter

主要技术指标	技术指标数据
工作中心频率/GHz	13.58、5.25
工作带宽/MHz	320 /80 /20 在轨实时自适应
发射机峰值功率/W	Ku 频段:10 ,C 频段:20
脉冲重复频率/kHz	脉冲期 Ku 波段 2.30,C 波段 0.76
测距精度/cm	不大于4(海面星下点)
地面足迹/km	小于2(平静海面)
AGC 动态范围/dB	55

2)微波散射计。微波散射计也是主动微波遥感器,通过观测海面后向散射系数反演海面风矢量。海洋二号卫星微波散射计采用笔形波束圆锥扫描的工作体制,具有观测幅宽大、无星下点盲区的特点,可快速对全球海面进行观测,每天可覆盖全球90%的海域(见表3)。

表3 海洋二号卫星微波散射计主要技术指标

Table 3 The main technical indicators of HY-2A radar scatterometer

主要技术指标	技术指标数据
工作中心频率/GHz	13.256
发射脉冲功率/W	120
极化方式	HH,VV
扫面方式	圆锥扫描
地面入射角/(°)	内波束:41,外波束:48
观测幅宽/km	内波束:1 400,外波束:1 700
空间分辨率/km	25
AGC 动态范围/dB	60

3)微波辐射计。微波辐射计是被动的微波遥感器,接收海面及路径上的辐射亮温,反演海面温度信息。海洋二号卫星微波辐射计采用圆锥扫描工作方式,根据海洋应用需求选取了5个频段、9个极化通道测量海洋表面辐射亮温度(见表4)。

4)校正辐射计。海洋二号卫星校正辐射计是微波辐射计的一种,其与雷达高度计同程观测,通过对上层大气液态水和水汽含量的测量,专门用于向雷达高度计提供同程大气校正数据。探测频率

表4 海洋二号卫星微波辐射计主要技术指标

Table 4 The main technical indicators of HY-2A scanning microwave radiometer

主要技术指标	技术指标数据				
工作中心频率/GHz	6.6	10.7	18.7	23.8	37
工作带宽/MHz	350	250	250	400	1 000
极化方式	VH	VH	VH	V	VH
辐射灵敏度/K	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8
空间分辨率/km	97	69	35	32	22
地面入射角/(°)	48				
扫描形式	圆锥扫描				
观测幅宽/km	1 600				
测温精度/K	1 (180~320)				
动态范围/K	3~350				

选择包含大气水汽吸收谱线和大气窗通道的3个微波频段(见表5)。

表5 海洋二号卫星校正辐射计主要技术指标

Table 5 The main technical indicators of HY-2A microwave calibration radiometer

主要技术指标	技术指标数据		
观测天线指向	与雷达高度计同程		
工作中心频率/GHz	18.7	23.8	37
极化方式	线极化	线极化	线极化
地面分辨率/km	24	19	10
灵敏度/K	0.4	0.4	0.4
动态范围/K	3~300		

5)激光通信终端。海洋二号卫星搭载的激光通信终端利用激光作为数据传输的载体,完成星地双向数据传输任务。系统具有与地面激光通信终端进行光束的瞄准、捕获和跟踪,通过光信号传输数据至地面激光通信终端,接收和检测地面激光通信终端上行信号光以及故障诊断和在轨维护等多项功能。

2.3 平台组成及功能

海洋二号卫星平台由结构与机构、热控、姿态与轨道控制、供配电、测控、数据传输、数据管理7个分系统组成,其主要指标见表6。

表6 平台系统主要指标

Table 6 The main technical indicators of SM

	主要技术指标	技术指标数据
供电能力	太阳电池阵输出功率(寿命末期)/W	>1 550
	Ni-Cd 蓄电池容量/Ah ²	50(组)
	最大放电深度/%	20
姿态控制能力	三轴指向精度	<0.1(3)
	三轴姿态稳定度	<310 ⁻³ /s(3)
	三轴姿态测量精度	<0.03(3)
数据传输能力	工作频段	X 频段
	码速率/(Mbit·s ⁻¹)	20

1)结构与机构分系统。结构与机构分系统包括卫星主结构、对接段、星箭解锁装置、太阳翼机械部分以及力学环境测量系统。海洋二号卫星在资源卫星平台基础上对载荷舱结构进行了重新构形设计,以适应多种有效载荷的安装要求。

2)热控分系统。热控分系统通过控制航天器内外热交换过程,为星上仪器设备提供合适的热环境,确保所有仪器、设备以及星体本身构件的温度都处在要求的范围内。海洋二号卫星的热设计采取分舱隔热原则,服务舱和载荷舱相对独立,各自单独进行热设计。

3)姿态与轨道控制分系统。姿态与轨道控制分系统完成卫星的姿态与轨道控制功能,实现卫星对地定向、整星零动量三轴稳定控制。分系统包括测量部件、控制器和执行机构三大部分。姿态与轨道控制分系统充分继承资源卫星的控制方案和技术,卫星正常轨道运行模式采用“星敏感器+陀螺”的姿态确定方式、动量轮控制的整星零动量姿态控制方式。

4)数据管理分系统。数据管理分系统以中央处理单元为核心,通过1553B总线连接远置单元、数据复接器、固态存储器、高速复接器和其他分系统设备,完成遥测、遥控和数据管理功能。卫星数据管理采用空间数据系统咨询委员会相关标准,对整星多信源不同速率数据进行统一管理,实现测控信道数据的高效率调度以及平台低速和载荷高速数据的复接合路,提高了数传通道数据传输的有效性。

5)测控分系统。测控分系统由USB子系统、双频GPS子系统、激光测距子系统、DORIS(多普勒地球轨道和无线电定位系统)子系统4个部分组成。USB子系统完成星地测控任务,同时为数据管理分系统和双频GPS接收机提供高稳定时钟信号。双频GPS子系统提供给地面精密定轨系统原

始观测数据。DORIS子系统提供给地面应用系统的数据为相对测量值,需要角反射器提供的激光测距信息作为初始位置信息进行精密定轨。DORIS子系统联合激光测距子系统在精密定轨任务上与双频GPS子系统互为冗余设计。

6)数据传输分系统。数据传输分系统主要完成应用数据和星务数据的传输任务。数据传输分系统在国内地面站作用范围外时处于等待工作模式,仅行波管放大器和晶振处于预热状态;在国内地面站作用范围内时,根据地面控制进入传输工作模式,将需要下传的数据调制、放大,传输至地面接收站。

同时,数据传输分系统使用的X波段行波管放大器是我国自主研制的,在轨运行期间将对其工作性能和寿命进行验证,达到在轨考核的目的。

7)供电分系统。供电分系统负责向卫星提供各个飞行阶段所需要的能源,以保证星上各有效载荷与服务分系统的正常工作,主要包括一次电源子系统、二次电源子系统和总体电路子系统。一次电源子系统采用能量直接传递的控制方式,统一调节太阳阵能量输出。

3 卫星的工程研制

3.1 卫星的研制阶段

海洋二号卫星研制共划分为3个阶段:方案设计阶段、初样研制阶段、正样研制阶段。

方案设计阶段的主要工作是完成卫星总体与分系统的方案论证及设计,确定卫星技术状态基线,开展卫星与各大系统间的接口协调,明确卫星对各大系统的初步技术要求。

初样研制阶段的主要工作是对前期方案设计的验证和改进,完成总体及分系统的详细设计及产品研制,进行分系统间联试、电性星研制与测试、结构星研制与试验、热控星改装与热平衡试验、辐射星(RM星)研制与测试等相关工作,并开展大系统对接试验。

正样研制阶段的主要工作是在初样确定的技术状态基础上完成总体与分系统的正样详细设计及产品研制,开展整星总装测试、大型环境试验及老炼测试等工作项目。

卫星完成研制阶段工作后,进驻发射场进行射前准备测试并待命发射。

3.2 卫星研制中的大型试验

大型试验是检验卫星设计水平的重要手段。

海洋二号卫星为验证卫星总体设计,先后开展了电性、力学、热学、辐射、电磁兼容性等卫星系统试验;为验证大系统间接口设计,开展了测控对接、应用对接、激光星地对接等对接试验;除此之外,根据海洋二号卫星特点,还开展了若干项专项试验,包括航空校飞试验、气浮台试验、寿命试验和辐照试验。

3.2.1 卫星系统试验

1)电性星研制与测试。海洋二号卫星在初样研制阶段投产电性产品进行电性星的测试及分系统间桌面联试。电性星测试的主要目的是检验整星与各分系统的功能正确性和性能符合性情况,桌面联试包括数据管理分系统与姿态与轨道控制分系统、测控分系统GPS接收机和DORIS接收机、数据传输分系统、雷达高度计、微波散射计、微波辐射计、校正辐射计以及激光通信分系统的数据接口联试。

通过开展电性星的研制与测试,确保了整星与各分系统的功能正常,性能指标符合总体要求,针对测试中暴露出的质量问题进行了改进,同时也验证了上位机与下位机之间通信协议的匹配性及整星数据流传输的正确性。

2)结构星研制与试验。海洋二号卫星进行结构星的研制与试验,主要是考核海洋二号卫星主结构与机构设计的冗余度,验证总装设计方案的正确性。结构星研制主要包括3个阶段:结构星总装和测量、结构星力学环境试验以及机构解锁展开试验。

通过开展结构星的研制与测试,验证了整星主结构具有足够的设计裕度,良好的力学特性,能够适应地面和发射等状态的力学环境,整星总装设计方案和精度测量方案合理可行。同时通过试验获取的星上关键设备的加速度响应测试数据,可以为这些设备的正样设计提供修正依据。

3)热控星试验。海洋二号卫星进行热控星的研制与试验,通过热平衡试验获取卫星设备的工作温度数据,对整星初样热设计方案进行了全面验证,服务舱和载荷舱设备在各工况下的温度数据表明整星热设计基本满足要求,少数超出温度指标范围的设备对其热控措施进行了改进,并对整星热分析模型进行了修正。

4)辐射模型星研制与测试。海洋二号卫星是一颗微波遥感卫星,星上设备分布密集,天线数量较多,而且多集中在卫星对地面,海洋二号卫星既有大功率的发射,又有高灵敏度的宽带接收,其工作频段从米波段延伸到毫米波段。星体天线布局

空间十分有限,对地、对天面天线布局密集,而天线波束形式既有高增益的笔形波束天线,又有覆盖地球的宽波束天线和半球波束天线,其极化方式也各不一样,星体电磁环境十分复杂。由于整星电磁环境的复杂性及现有技术分析手段的局限性,进行整星级RM试验是产品研制中必不可少的重要环节。通过实测手段不仅可以对数值分析预测结果进行比对,验证数值分析的正确性、有效性,还可以通过实验调测手段,较为可靠地确定天线合理布局方案,同时可以进一步验证单元天线装星后技术指标是否还满足规定的要求。

海洋二号卫星在初样研制阶段专门开展了辐射模型星的研制与试验工作。测试结果表明,卫星各天线间隔离度满足指标要求,数传天线、测控天线、GPS天线等平台天线星体辐射特性满足指标要求,雷达高度计、校正辐射计、微波散射计、微波辐射计等主要载荷天线的星体辐射性能与单机状态一致,微波散射计、微波辐射计等在星体上转动的天线在各个扫描位置的辐射特性一致。

3.2.2 大系统对接试验

1)与测控系统对接试验。海洋二号卫星测控和数据管理分系统在渭南站进行了星地测控对接试验。测试项目包括:星地接口技术指标测试;星地捕获试验;相干测速随机误差测试;测距及遥控遥测测试。

通过对接试验可以确保星地接口匹配,数据内容及格式正确,星地工作协调一致。

2)与地面应用系统对接试验。海洋二号卫星开展了卫星与海洋局北京地面接收站的对接试验,试验项目为卫星与北京地面站接收系统的有线、无线数据传输。

通过对接试验可以确保海洋二号卫星与北京地面站接收系统在数传指标、天线旋向和数据处理等方面接口匹配,一致性良好。

3)与激光通信地面系统对接试验。海洋二号卫星利用激光通信分系统初样鉴定件与长春光学地面站进行了对接试验。试验对激光链路的光束捕获、跟踪和通信功能进行了验证,同时对部分系统指标进行了估测。

星地激光链路系统由星上光通信终端和地面光终端组成。利用星上终端与地面站终端组成外场试验系统,进行1.28 km外场对接试验,组成空间光通信试验链路,验证地面终端激光通信能力及其接口

的正确性。通过试验链路的建立与保持,对星地激光链路的瞄准、捕获、跟踪过程进行演示验证,同时验证地面终端的瞄准、捕获、跟踪、通信性能。测试结果表明,地面终端功能及指标满足设计要求。

星地激光链路系统性能指标与设计一致,为成功进行星地激光通信科学试验奠定了基础。

4)激光测距对接。海洋二号卫星角反射器在武汉测量与地球物理研究所进行了激光星地对接试验,对接试验模拟了970 km的传输距离,验证不同入射角条件下地面激光测站和卫星激光角反射器之间激光链路的可靠性,测试并解算了地面激光测站与卫星激光角反射器之间的距离,定性评估了在不同入射角条件下激光角反射器相对有效反射率的变化。

通过激光测距对接试验可以确保地面激光测站和卫星激光角反射器之间激光链路的可靠性,由激光角反射器引入的测距误差满足总体设计要求。

3.2.3 专项试验

1)遥感载荷航空校飞。海洋二号卫星在南海海域分两批进行了雷达高度计、校正辐射计、微波散射计和微波辐射计4个遥感载荷的航空校飞试验。根据数据的处理结果,对观测要素测量得到的数据与国外卫星同步观测数据、海面浮标观测数据相比趋势一致,吻合性较好,对载荷的功能和性能进行了定性验证,达到了试验的预期目的。

2)气浮台试验。海洋二号卫星开展了旋转载荷气浮台试验,主要包括单轴气浮台的有效载荷转速波动测量试验和三轴气浮台的有效载荷转动对姿态影响的试验。通过不同状态的试验,进行有效载荷扰动数据的测量,确认载荷产品技术状态及其对卫星的扰动情况。试验结果表明载荷扰动对整星姿态影响在可控范围之内。

3)寿命试验。针对海洋二号卫星首次使用的X波段行波管放大器、微波散射计和微波辐射计扫描机构、国产三浮陀螺、激光通信装置固体润滑轴承等部件开展了寿命试验。

4)辐照试验。海洋二号卫星在中国科学院新疆理化技术研究所,进行了三结砷化镓太阳电池带电粒子辐照试验,通过摸底试验,可以确保三结砷化镓太阳电池满足海洋二号卫星在轨空间辐照环境的要求。

此外,激光角反射器也进行了辐照耐受试验,辐照试验结果表明激光角反射器在质子/电子和紫外辐照下,相关技术指标依然满足使用要求。

4 在轨验证和应用成果

海洋二号卫星在2011年8月16日发射入轨后,开展了为期4个月的在轨测试工作,对卫星工作状态和性能指标进行了全面考核。2012年1月18日,卫星通过了在轨测试评审,2012年3月2日,卫星正式交付用户使用。

卫星在轨测试分为两个阶段:第一阶段为期30 d,主要对卫星平台功能、有效载荷状态和传输信道与数据格式进行测试,目的包括考核整星服务系统功能和性能、验证有效载荷基本健康状态和长期工作能力、将星上服务系统和有效载荷工作参数调整至最佳状态、验证应用数据下行传输信道和数据格式;第二阶段为期90 d,主要开展载荷功能性能测试、精密定轨测试和现场试验,目的包括检验各个有效载荷的功能和性能、检验卫星精密定轨精度、通过现场观测数据比对方法对卫星遥感数据产品质量进行评价。在开展卫星在轨测试的同时,卫星工程的主任务之一——星地激光通信链路试验也在并行开展。

第一阶段在轨测试覆盖了卫星平台除安全策略、备份设备之外的全部要素,对卫星正常工作模式下的各项功能、性能进行了详细验证。测试结果表明:卫星供电能力充足,可以满足整个寿命期间的能源需求;卫星遥控、遥测、遥感数据复接与调度正常,对地数据传输信道性能良好,满足应用数据下传的接收和处理要求;在有效载荷旋转扫描的状态下,卫星三轴姿态指向精度优于 0.01 的 (3σ) ,三轴姿态稳定度优于 0.001 态稳定 (3σ) ,如图2所示,在国内外具有大型转动设备的卫星中属于最高水平;星上热控措施合理,确保了各设备在良好的温度条件下工作。

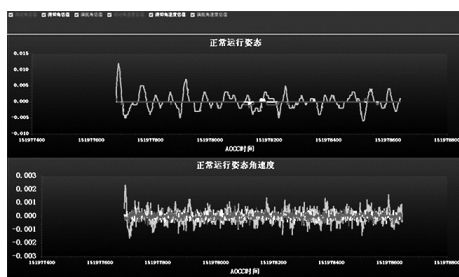


图2 正常运行时三轴姿态角和姿态角速度

Fig.2 The attitude angle and attitude angular velocity in normal running mode

第二阶段在轨测试对海洋二号卫星获取的海面高度、有效波高、海面风场、海表温度等数据产品

进行了质量检验,并通过国际上典型卫星产品数据、NCEP数据、现场实测数据进行对标。结果表明,卫星综合测高精度为 $5\sim 8$ cm,有效波高测量精度 0.4 m,海面风速测量精度 1.5 m/s,风向精度 19.5° ,海面温度测量精度 1 K,湿对流层路径延迟误差小于 20 mm。各种数据产品均满足指标要求,并达到了世界先进水平。

卫星精密定轨数据采用观测数据残差分析、重叠弧段轨迹检验、SLR轨道检核、独立轨道比较等方法检验。结果表明,卫星精密定轨径向精度达到了 $2\sim 3$ cm,具有国际领先水平。

图3~图6展示了海洋二号卫星在轨测试期间获得的部分数据图像产品。

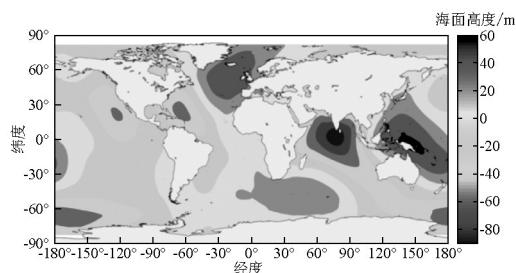


图3 全球海面高度产品

Fig.3 The product of global sea surface altitude

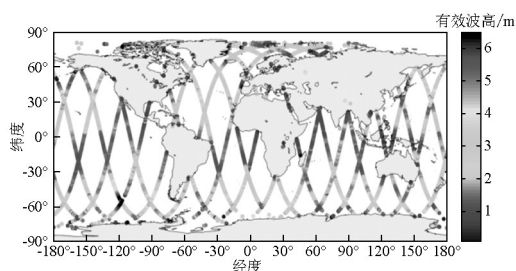


图4 全球有效波高产品

Fig.4 The product of global available wave altitude

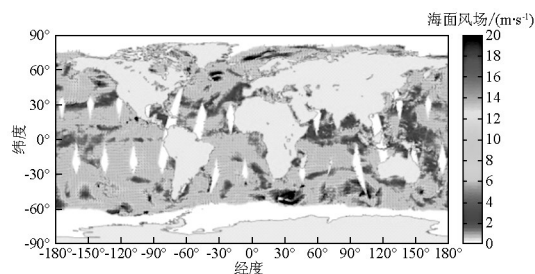


图5 24 h全球风场产品

Fig.5 The product of 24 h global wind field

海洋二号卫星在轨成功开展了星地激光通信链路试验,包括捕获跟踪性能试验和通信性能测试评估两部分。捕获校准和调试阶段共开展有效试验17次,完成捕获瞄准角度修正后的10次试验捕

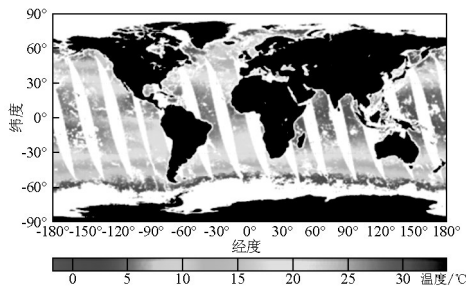


图6 全球轨道海面温度(白天)产品

Fig.6 The product of global sea surface temperature

获概率达到100%，最大捕获时间5s；跟踪通信校准和调试阶段开展有效试验20次，相继实现了星地激光链路低速通信试验(20 Mbit/s)和高速通信试验(504 Mbit/s)。此次试验是我国首次低轨卫星与地面站之间的激光通信试验，填补了国内的空白。

海洋二号卫星是目前国际上唯一一颗可全天候、全天时同步获取全球海面高度、有效波高、海面风场、海面风速、海面温度、大气水汽含量、云中液水含量等多种遥感数据的卫星。卫星获得的全球大洋实况资料数据是我国离岸海域唯一的自主观测数据，在预报业务系统、海洋防灾减灾和海洋公益服务中发挥着不可替代的作用。海洋二号卫星数据在海监船钓鱼岛和黄岩岛巡航、海军亚丁湾护航、神舟九号对接期间大洋测量船的航行保障等方面也都发挥了重要作用。

5 结语

海洋二号卫星于2007年1月立项进入工程研制阶段，经历方案、初样、正样的研制，于2011年8月16日由长征四号乙运载火箭从太原卫星发射中心发射升空。

海洋二号卫星使用的4个主、被动微波遥感载荷的研制以及在轨成功应用，推动了我国微波器件、精密制造、系统集成及地面验证等方面的技术进步，为航天微波遥感的进一步发展奠定了坚实的基础；首次突破的精密定轨技术，使我国测定轨技术实现了由几十米向厘米级的跨越，不仅为我国高分辨对地遥感卫星的精密定轨奠定了技术基础，也为我国地面测控网的测轨精度提供了技术保证；卫星进行的星地高速激光通信技术试验，对解决高分辨对地遥感卫星大容量的星地数据传输提供了技术途径；卫星关键部件自主研制技术的突破，促进了产品的升级，提高了卫星平台的研制能力，X波段行波管放大器在轨稳定运行，改变了我国依赖国外引进的研制模式；研制过程中突破的复杂电磁兼容设计与控制技术、大型转动部件静动平衡控制技术、整星数据控制与调度技术等，都将为我国后续卫星技术的发展奠定坚实的技术基础。

The study of HY-2A satellite engineering development and in-orbit movement

Zhang Qingjun, Zhang Jian, Zhang Huan, Wang Rui, Jia Hong
(Institute of Spacecraft System Engineering CAST, Beijing 100094, China)

[Abstract] HY-2A is China's first ocean dynamic environment satellite, and it is currently the only one satellite which is capable of all-weather, all-day synchronous access to the global sea surface altitude, available wave altitude, sea wind field, sea surface temperature, atmospheric water vapor, cloud liquid water and other remote sensing data. HY-2A satellite equips four kinds of active and passive microwave remote sensing load, adopts a new remote sensing system, realizes the localization of key parts and has certain characteristics of precision orbit determination, electromagnetic compatibility and high precision attitude control. As the first comprehensive type microwave remote sensing satellite, the realization of HY-2A engineering is significant. This paper is introduced about the aspects of system composition and functions, development stage, large-scale test, in-orbit test and application results show.

[Key words] HY-2A; microwave remote sensing; engineering development; in-orbit movement; application results