

林明森,张有广,袁欣哲. 海洋遥感卫星发展历程与趋势展望[J]. 海洋学报, 2015, 37(1): 1—10, doi. 10. 3969/j. issn. 0253-4193. 2015. 01. 001

Lin Mingsen, Zhang Youguang, Yuan Xinzhe. The development course and trend of ocean remote sensing satellite[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(1): 1—10, doi. 10. 3969/j. issn. 0253-4193. 2015. 01. 001

海洋遥感卫星发展历程与趋势展望

林明森¹, 张有广¹, 袁欣哲¹

(1. 国家卫星海洋应用中心, 北京 100081)

摘要: 海洋是对地观测卫星的重要领域, 在对地观测卫星中就具有专门用于海洋观测的海洋遥感卫星。海洋遥感卫星是一种利用所搭载的遥感器对海面进行光学或微波探测来获取有关海洋水色和海洋动力环境信息的卫星。海洋卫星有效弥补了传统海洋观测手段的不足, 基于多种遥感器连续对海洋的观测, 使人类极大的加深了对海洋的认识, 在海洋灾害的防灾减灾、资源开发、海洋维权、海洋生态和环境保护等诸多领域发挥着重要作用。本文在详细梳理西方主要航天大国海洋遥感卫星(包括了对地观测卫星中具有海洋观测功能的卫星)的发展历程, 在此基础上对未来海洋遥感卫星的发展趋势进行了论述, 可为我国海洋遥感卫星的发展提供技术发展参考。

关键词: 海洋遥感卫星; 对地观测卫星; 历程; 趋势

中图分类号: TP79

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2015)01-0001-10

1 引言

海洋占地球表面积的 70% 以上, 是生命的源泉和资源的宝库。海洋对维持当前的气候, 调节地球的热量平衡, 控制地球上的水循环和碳循环起着重要作用。海洋本身也是人类活动的场所, 它是人类社会生存和可持续发展的有机组成部分, 并对沿海国家的安全和社会经济发展产生重大影响。21 世纪是海洋的世纪, 深刻并全面地了解海洋、认识海洋, 是实现海洋强国、提高我国综合国力、预防及减少海洋灾害、维护海洋权益和海洋资源开发等领域的迫切需要。

海洋卫星能够对全球海洋大范围、长时期的观测, 为人类深入了解和认识海洋提供了其他观测方式都无法替代的数据源。海洋遥感卫星通过搭载各类

遥感器来探测海洋环境信息, 按照功能可分为海洋水色卫星、海洋动力环境卫星和海洋监视监测卫星。目前, 全球共有海洋卫星或具备海洋探测功能的对地观测卫星 50 余颗。美国、欧洲、日本和印度等国家和地区均已建立了比较成熟和完善的海洋卫星系统^[1]。我国已经发射了两颗海洋水色卫星(HY-1A/B)和一颗海洋动力环境(HY-2A)卫星, 初步建立了我国的海洋卫星监测体系, 为完善海洋环境立体监测体系的建立奠定了坚实基础。但是, 我国的海洋卫星监测体系尚不完善, 观测要素相对较少, 数据服务的连续性还有待加强^[2]。

本文将通过详细梳理国内外海洋遥感卫星的发展历程与应用状况, 进而对未来海洋遥感卫星的发展趋势进行论述, 为我国海洋遥感卫星的发展提供技术发展参考。

收稿日期: 2014-10-04; 修订日期: 2014-10-26。

基金项目: 科技部《创新方法工作专项》—海洋科学创新方法研究(2011M010700); 国家基金委联合基金项目——海洋环境动力学和数值模拟——海洋遥感观测技术发展(U1406404)。

作者简介: 林明森(1963—), 男, 福建省莆田市人, 主要从事海洋遥感技术研究。E-mail: mslin@mail.nsoas.gov.cn

2 海洋遥感卫星发展历程

对地观测卫星先后经历了 20 世纪 60 年代的起步阶段,70 年代的初步应用阶段,80 年代到 90 年代的大发展阶段,直到近十余年来,对地观测卫星中专门用于海洋观测的海洋卫星及对地观测卫星中具备部分海洋信息观测功能的卫星开始向高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率、高信噪比和高稳定性等方向发展。国外主要航天大国,均有专门的海洋卫星观测计划,并形成了多种业务应用,在海洋环境的监测和军民应用中对海洋卫星的依赖程度不断加大。

下面按时间顺序分别介绍国内外海洋卫星和对地观测卫星中具有海洋观测功能的卫星的发展历程。

2.1 美国

2.1.1 海洋卫星

美国是世界上首个发展海洋卫星遥感技术的国家,在 1978 年发射了世界上第一颗海洋卫星 SAE-SAT,近 40 年来美国发展了海洋环境卫星、海洋动力环境卫星和海洋水色卫星等不同类型的专用海洋卫星,实现了从空间获取海洋水色和海洋动力环境信息的能力。

“地球轨道测地卫星”(GEOS)是美国“国家测地卫星计划”的一部分,由 JPL 负责设计和制造。GEOS 卫星共有 3 颗,前两颗卫星 GEOS-1 和 GEOS-2 用于重力测量;第三颗 GEOS-3 主要用于海洋动力学实验。GEOS-3 卫星于 1975 年 4 月 9 日发射,主要技术指标见表 1^[3]。

表 1 GEOS-3 卫星主要技术指标

Tab. 1 The main technical indicators of GEOS-3 satellite

参数	技术指标
卫星平台参数	卫星质量 345.91 kg,采用重力梯度稳定和三轴稳定。
轨道参数	近地点轨道高度 840 km,远地点轨道高度 860 km,轨道倾角 115°,周期 102 min。
仪器参数	雷达高度计:可测量卫星到卫星下点海面的距离,测量精度 60 cm,为海洋大地水准面的测量提供数据。定轨精度约 5 m。

该卫星为确定海洋学和地球动力学研究提供了 3 年有效数据,获取的大量高质量数据使人们的注意力从雷达高度计的试验阶段转向了应用阶段。

SAESAT 卫星是美国航空航天局(NASA)发展的首颗海洋卫星,也是一颗“方案验证”卫星,主要任务是验证利用海洋微波遥感载荷从空间探测海洋及

有关海洋动力现象的有效性。SEASAT 于 1978 年 6 月 27 日在范登堡空军基地发射,1978 年 10 月 9 日,卫星电源系统发生故障,11 月 21 日卫星正式宣告失败。尽管该卫星工作了仅 3 个月,但获取的数据对后续雷达高度计遥感技术的发展意义重大。SAESAT 卫星的主要性能参数见表 2。

表 2 SAESAT 卫星主要性能参数

Tab. 2 The main performance parameters of SEASAT satellite

参数	性能参数
卫星平台参数	质量 2 274 kg,三轴姿态控制,卫星设计寿命 1 a。
轨道参数	轨道高度 800 km,轨道倾角 108°,周期 101 min,每天绕地球运行 14 圈,每 36 h 对全球 95%的海洋区域覆盖观测。
仪器参数	雷达高度计:用于测量海洋流场、海面风速和有效波高。工作频率 13.56 GHz,地面分辨率 1.6 km。定轨精度约 1 m。 L 频段合成孔径雷达:采用 HH 极化,视角 20°,分辨率 25 m,幅宽 100 km。 微波散射计:用于观测全球海面风场,工作频率 14.599 GHz,地面分辨率 280 km(天底点),幅宽 750 km。 扫描式多通道微波辐射计:用于监测海面温度、风速、降雨量和大气水汽含量等,工作频率为 6.6 GHz、10.7 GHz、18.0 GHz、21.0 GHz、37.0 GHz。

Geosat 卫星是美国海军早期发展的雷达测高卫星,目标是海军提供高密度全球海洋重力场模型,

以及进行海浪、涡旋、风速、海冰和物理海洋研究,获得高精度的全球海洋大地水准面精确制图。Geosat

卫星 1985 年 3 月 13 日发射,1990 年退役。Geosat 卫星的主要性能参数见表 3。

表 3 Geosat 卫星主要性能参数

Tab. 3 The main performance parameters of geosat satellite

参数	性能参数
卫星平台参数	卫星质量 635 kg,设计寿命 3 年,卫星指向精度 1°,采用重力梯度稳定器进行卫星姿态控制。
轨道参数	卫星分为“测地”和“精确重复轨道任务”两种,应用在不同的轨道高度,轨道倾角 108.1°,周期 100.6 min。精确重复轨道的周期 17.05 d,用于海洋地形测量。
仪器参数	单频雷达高度计:工作频率 13.5 GHz,测高精度 5 cm,定轨精度 30~50 cm。

TOPEX/Poseidon 卫星是美国和法国合作开发的海面地形测量卫星,用于全球高精度海面高度的测量,从而观测和了解潮汐以及大洋环流。1992 年 8 月 10 日 TOPEX/Poseidon 卫星发射,2005 年 10 月 9 日卫星停止运行,运行时间 13 年。TOPEX/Poseidon 卫

星在轨道设计、载荷配置和数据处理等方面的技术,使该卫星成为迄今海面高度观测精度最高的卫星,它与其后卫星也是用于潮汐研究最为合适的测高系统^[4]。TOPEX/Poseidon 卫星的主要技术指标见表 4。

表 4 TOPEX/Poseidon 卫星的主要技术指标

Tab. 4 The main technical indicators of TOPEX/Poseidon satellite

参数	技术指标
卫星平台参数	卫星采用“多任务模块化卫星”平台,三轴姿态稳定,天线指向精度 0.14°。
轨道参数	轨道高度 1336 km,倾角 66.039°,周期 112.4 min,轨道精确重复周期 10 d。
仪器参数	Ku 波段雷达高度计:由 JPL 研制,是第一个双频高度计,分别是 13.6 GHz 和 5.3 GHz。测高精度 2.4 cm。 TOPEX 微波辐射计:用于海面微波亮温的观测,获取大气湿对流层的信息,为 Ku 波段雷达高度计测高进行大气湿对流层路径延迟校正,工作频率 18 GHz,21 GHz 和 37 GHz,天底指向。 单频固态高度计:由 CNES 研制,是实验高度计,用于海面高度、海面风速观测,工作频率 13.65 GHz,测高精度 2.5 cm,定轨精度 2~3 cm。

海星(SeaStar)卫星又称轨道观测-2 卫星(Orb-view-2)是美国轨道科学公司的轨道观测系列卫星之一,于 1997 年 8 月 1 日发射,主要用于海洋水色观测、海洋生物和生态学研究,为美国地球探测计划提

供全球环境观测数据。SeaStar 卫星继承了 Nimbus-7 卫星上搭载的“海岸带水色扫描仪”的特性,所获取的海洋遥感数据广泛用于海洋研究各个领域^[5]。卫星的主要技术参数见表 5。

表 5 SeaStar 卫星主要技术指标

Tab. 5 The main technical indicators of SeaStar satellite

参数	技术指标
卫星平台参数	卫星质量 309 kg,设计寿命 5 a。
轨道参数	太阳同步轨道,轨道高度 705 km,轨道周期 99 min,重访周期 1 d。
仪器参数	宽视场遥感器(SeaWiifs):观测刈副 1502 km,空间分辨率 1.1 km/4.5 km。SeaWiifs 有 8 个波段,能够观测海面温度和叶绿素浓度等海洋水色要素。

QUIKSCAT 卫星是 NASA 研制用于海洋风场观测的卫星。该卫星的目标是重启 NASA“海洋风测量”计划,以满足改善天气预报和气候研究的需要。

卫星上载有一台“海洋风场”微波散射计 SeaWinds,主要用来全天候、连续测量和记录全球海洋风速和风向数据。QUIKSCAT 卫星 1999 年 6 月 20 日从美国

的范登堡空军基地发射,成功运行了 10 年,在 2009 年 11 月 23 日不再提供观测数据。QUIKSCAT 卫星

的主要技术指标见表 6。

表 6 QUIKSCAT 卫星的主要技术指标
Tab. 6 The main technical indicators of QUIKSCAT satellite

参数	技术指标
卫星平台参数	QUIKSCAT 采用 BDP-2000 卫星平台,三轴姿态稳定,指向精度优于 1° ,卫星质量 970 kg,设计寿命 2 a。
轨道参数	QUIKSCAT 是一颗太阳同步轨道卫星,轨道高度 803 km,倾角 98.6° ,重复周期 1~2 d。
仪器参数	工作频率 13.4 GHz,空间分辨率 25 km,入射角 46° 和 54° ,使用圆锥扫描式笔形天线进行 HH 和 VV 极化方式测量。

2.1.2 对地观测卫星中具备海洋观测功能的卫星

“国防气象卫星计划”卫星(DMSP)是美国国防部发展的军用极轨气象卫星,主要用于获取全球气象、海洋和空间环境信息,为军事作战提供信息保障。DMSP 系列卫星首发时间是 1962 年 5 月 23 日,截至 2012 年 6 月 30 日,DMSP 卫星共发展 12 个型号,发射卫星 51 颗,成功 46 颗^[1]。在 DMSP-5D3 卫星中的“微波成像仪/探测器”可用于海冰和海面温度的观测。

“雨云”卫星(Nimbus)是美国早期的实验型气象卫星,主要用来实验地球环境卫星上使用的新传感器,同时也提供部分气象探测资料。Nimbus 系列卫星从 1964 年 8 月到 1978 年 10 月共发射了 8 颗卫星。其中,Nimbus-7 卫星上搭载的“海岸带水色扫描仪”用于测量海洋和海岸带水色,测量叶绿素浓度、沉积物分布等,具有 5 个通道,波长分别为 $0.44 \mu\text{m}$ 、 $0.56 \mu\text{m}$ 、 $0.67 \mu\text{m}$ 、 $0.75 \mu\text{m}$ 、 $11.5 \mu\text{m}$ 。幅宽 1 556 km,空间分辨率 825 m;“多通道微波辐射仪”可实现海冰和海面温度的观测,工作中心频率分别为:6.6 GHz、10.7 GHz、18.0 GHz、21.0 GHz、37.0 GHz。

NOAA 卫星是美国发展的民用极轨气象卫星,也可用于全球海洋、陆地和空间等环境监测。NOAA 卫星是由 NASA 和 NOAA 合作研制,其他国际合作伙伴有法国、加拿大、英国和欧洲气象卫星组织(EUMETSAT)。NASA 负责卫星设计、研制、总装和发射,NOAA 负责卫星的运行、数据的接收、存档和分发。NOAA 卫星自 1970 年 12 月发射第一颗以来,共经历了 5 代。目前使用较多的是第五代 NOAA 卫星,1998—2009 年发射的 NOAA-15~19 卫星搭载的“第三代先进甚高分辨率辐射计”可用于海面温度的观测;“先进微波探测仪”可用于海冰的监测。

“土”卫星(Terra)美国、日本和加拿大联合发展

的对地观测卫星,属于美国“地球观测系统”(EOS)计划,主要用来观测地球气候变化。Terra 卫星搭载的有效载荷“中分辨率成像光谱仪”可以获取海面温度和海洋水色信息。Terra 卫星 1999 年 12 月 18 日发射,现仍在轨运行。

“水”卫星(Aqua)是美国 NASA 发展的对地观测卫星,属于“地球观测系统”(EOS)计划,原名为“上午星”(EOS/PM-1),后 NASA 改名为“水”卫星。它的主要任务是对地球上的水循环进行全方位的观测,可以获取海洋温度和海洋水色信息。Aqua 卫星 2002 年 5 月 4 日发射,现仍在轨运行。

“冰”卫星(ICESAT)是美国 NASA、工业界和大学联合研制的对地观测卫星,属于“地球观测系统”(EOS)计划,主要任务包括监测极地冰盖的质量平衡及其对全球海平面变化的影响。ICESAT 卫星 2003 年 1 月 13 日发射,2010 年 8 月退役。

2.2 中国

我国在海洋卫星方面经过多年的建设,取得了显著进展。自 2002 年 5 月—2011 年 8 月分别发射了 HY-1A/B 和 HY-2A 三颗卫星,已经初步建立海洋水色和海洋动力环境卫星监测系统。

2.2.1 海洋卫星

我国第一颗海洋水色卫星 HY-1A,于 2002 年 5 月 15 日成功发射。它实现了我国海洋卫星零的突破,完成了海洋水色功能及试验验证,使海洋水色信息提取与定量化应用水平得到了提高,促进了海洋遥感技术的发展,为我国的海洋卫星系列发展奠定了技术基础。到 2004 年 4 月 HY-1A 卫星停止工作,在轨运行 685 d 期间,获取了中国近海及全球重点海域的叶绿素浓度、海表温度、悬浮泥沙含量、海冰覆盖范围、植被指数等动态要素信息以及珊瑚、岛礁、浅滩、海岸地貌特征,研发制作了 42 种遥感产品。我国第二颗海洋水色卫星 HY-1B,于 2007 年 4 月 11 日成功

发射,该卫星在 HY-1A 卫星基础上研制,其观测能力和探测精度进一步增强和提高。目前在轨运行 7 年

多,实现了卫星由试验型向业务服务型的过渡^[6]。HY-1A/B 主要技术参数见表 7。

表 7 HY-1A/B 卫星主要技术参数
Tab. 7 The main technical parameters of HY-1A/B satellite

参数	技术参数
卫星平台参数	卫星质量:368 kg(HY-1A);442.5 kg(HY-1B),设计寿命 3 a。
轨道参数	太阳准同步近圆形极地轨道,轨道高度 798 km,轨道倾角 98.8°。
仪器参数	海洋水色扫描仪(COCTS):10 个波段,幅宽 1 800 km,光谱分辨率 20~49 nm。 海岸带成像仪(CZI):4 个波段,幅宽 500 km,光谱分辨 20 nm。 COCTS 和 CZI 用于探测叶绿素、悬浮泥沙、可溶有机物及海洋表面温度、海冰等要素,以及进行海岸带动态变化监测。

我国第一颗海洋动力环境卫星 HY-2A,于 2011 年 8 月 16 日发射,现仍在轨运行。该卫星集主、被动微波遥感器于一体,具有高精度测轨、定轨能力与全天候、全天时、全球探测能力。卫星主要载荷有:雷达高度计、微波散射计、扫描辐射计、校正辐射计。主要使命是监测和调查海洋环境,获得包括海面风场、浪

高、海流、海面温度等多种海洋动力环境参数,直接为灾害性海况预警预报提供实测数据,为海洋防灾减灾、海洋权益维护、海洋资源开发、海洋环境保护、海洋科学研究以及国防建设等提供支撑服务^[7]。HY-2A 卫星主要技术参数见表 8。

表 8 HY-2A 卫星主要技术参数
Tab. 8 The main technical parameters of HY-2 satellite

参数	技术参数
卫星平台参数	卫星质量 1 575 kg,设计寿命 3 a。
轨道参数	太阳同步轨道,轨道高度 973 km,倾角 99.34°。
仪器参数	雷达高度计:工作频率:13.58 GHz 和 5.25 GHz,空间分辨率 2 km。 微波散射计:工作频率:13.256 GHz,空间分辨率 50 km。 扫描辐射计:工作频率:6.6~13.256 GHz,空间分辨率 25~100 km。 校正辐射计:3 频段,工作频率:18.7~37 GHz。

2.2.2 对地观测卫星中具备海洋观测功能的卫星

1988 年 9 月我国发射了第一颗极轨气象卫星“风云一号”(FY-1A)卫星,搭载的主要传感器是多通道可见光和红外扫描辐射计(MVISR),1990 年 9 月发射了 FY-1B 卫星,配置了两个海洋水色通道的高分辨率扫描辐射计(VHRSR),虽然两颗卫星的寿命不长,但首次利用我国自己卫星获得了我国海区较高质量的叶绿素浓度和悬浮泥沙浓度的分布图。2008 年 5 月 27 日,我国新一代极轨气象卫星 FY-3A 发射,卫星装载 11 台仪器,光谱通道达百个。FY-3A 卫星上的微波成像仪(MWRI),频段范围 10~89 GHz,地面分辨率 15~85 GHz,能够获取的海洋信息包括海面温度、海面风速以及海冰信息。

2.3 俄罗斯

2.3.1 海洋卫星

苏联/俄罗斯—乌克兰研制的海洋卫星系列,分为两类:第一类传感器以可见光、红外探测器为主;第二类传感器只要为侧视雷达。1979 年 2 月 12 日第一颗海洋卫星(宇宙-1076)发射,用于卫星试验和海洋气象、大气物理参数的测量。1983 年 9 月 28 日发射了载有测试雷达的试验卫星宇宙-1500,观测结果表明侧视雷达作为海洋遥感的手段具有很大潜力。1988 年 7 月 5 日,第一颗实用型海洋卫星(Okean-O1)发射成功。海洋系列卫星共发展了 4 代,第一代 Okean-E 系列,共发射 2 颗;第二代 Okean-OE 系列卫星,共发射 2 颗;第三代 Okean-O1 系列卫星,

共发射 9 颗;最后一代为 Okean-O 系列卫星,发射 1 颗。Okean 系列卫星的用途是对海表温度、风速、海洋水色、冰覆盖等进行观测。其中,Okean-O1 系列卫星的技术指标见表 9。

2.3.2 对地观测卫星中具备海洋观测功能的卫星

“流星”卫星(Meteor)是俄罗斯/苏联发展的极轨气象卫星,目前已经发展了 4 代,即 Meteor-1/2/3/3M/M。其中,Meteor-M 是俄罗斯发展的第四代极轨气象卫星,也是俄罗斯现役气象卫星。Meteor-M 卫星搭载的低分辨率多光谱仪能够观测海

面温度;X 波段合成孔径雷达能够实现冰的监测。

2.4 日本

2.4.1 海洋卫星

海洋观测卫星(MOS)是日本的第一个地球观测卫星系列,又称桃花卫星(Momo)。共发射了两颗。MOS-1 于 1987 年 2 月 18 日发射,是一颗试验型海洋观测卫星,用于测量海洋水色、海面温度和大气水汽含量。MOS-1B 于 1990 年 2 月 7 日发射,是一颗应用型海洋卫星,用于观测海洋洋流、海面温度、海洋水色等。MOS 系列卫星的技术指标见表 10。

表 9 Okean-O1 系列卫星主要技术参数

Tab. 9 The main technical parameters of Okean-O1 series satellite

参数	技术参数
卫星平台参数	卫星质量 1 950 kg,采用三轴姿态稳定,设计寿命 2 a。
轨道参数	采用近圆极轨道,轨道高度 650 km,轨道周期 98 min。
仪器参数	侧视真孔径雷达:是 Okean-O1 系列卫星的主载荷,工作在 X 频段(9.7 GHz),沿轨分辨率 2.1~2.8 km,交轨分辨率 0.7~1.2 km,幅宽 450 km,采用垂直极化。 被动毫米波扫描辐射计:工作频率 36.6 GHz,分辨率 15 km×20 km,幅宽 550 km。用于海冰、海面温度等监测,海温测量精度 1~2 K。 低分辨率多光谱扫描仪:分辨率 1.0 km×1.7 km,幅宽 1 700 km,用于海温和云的监测。 中分辨率多光谱扫描仪:分辨率 250 m,幅宽 1 100 km。

表 10 MOS 系列卫星的技术指标

Tab. 10 The main technical indicators of MOS series satellite

参数	技术指标
卫星平台参数	卫星采用箱式结构和零动量三轴稳定控制方式。卫星质量 745 kg,设计寿命 2 a。
轨道参数	太阳同步极轨道,轨道高度 909 km,倾角 99.1°,轨道周期 103 min,回归周期 10 d。
仪器参数	多光谱电子扫描辐射计:有 2 个可见光和 2 个红外谱段,分辨率 50 m,幅宽 100 km,用于海洋水色监测。 可见光与热红外辐射计:有 1 个可见光和 3 个热红外谱段,用于海面温度监测。 微波扫描辐射计:有 23 GHz 和 31 GHz 两个波段,用于大气水汽含量的观测。

2.4.2 对地观测卫星中具备海洋观测功能的卫星

“日本地球资源卫星”(JERS)是日本发展的首颗对陆地表明进行观测的卫星,星上装载的合成孔径雷达可以用于海岸以及溢油的监测;高分辨率相机能够获取海洋资源信息。JERS-1 于 1992 年 2 月 11 日发射,1998 年 10 月停止运行。

“先进地球观测卫星”(ADEOS)是日本的地球环境观测卫星主要用于监测全球环境变化,能够获取海洋水色和海面温度信息。其中,搭载的先进微波扫描

辐射计,可用于海面温度、海面风速和海冰分布观测;全景成像仪有 36 个谱段,幅宽 1 600 km,用于监测海洋碳循环;微波散射计用于观测全球海面风场;水色和海温扫描仪能够对海洋进行高精度观测,测量海洋水色和海面温度。ADEOS-1 卫星于 1996 年 8 月 17 日发射,1997 年 6 月 30 日因太阳翼破裂导致无法供电,导致整星失败。ADEOS-2 卫星 2002 年 12 月 14 日发射,整星于 2003 年 10 月失效。

“全球变化观测任务”(GCOM)是日本开发的

对地观测卫星,由3颗 GCOM-W 卫星和3颗 GCOM-C 卫星组成,旨在构建一个可以全面、有效进行全球环境变化监测的系统。卫星上搭载的载荷主要有:高性能微波辐射计-2 和新型圆锥扫描式微波辐射计,可用于海面风速、海面温度和海冰信息的获取。

2.5 法国

Jason 系列卫星是法国 CNES 和美国 NASA 联

合研制的海洋地形观测卫星,是 TOPEX/Poseidon 卫星的后继星,属于美国“地球观测系统”(EOS)的高度计任务。用于海洋表面地形和海平面变化的测量。CNES 负责平台、载荷和 DORIS 接收机的研制,NASA 负责卫星的发射。2001 年 12 月 7 日,Jason-1 卫星发射,2008 年 6 月 20 日,Jason-2 发射。目前 Jason-2 在轨正常运行。Jason-1/2 卫星的主要技术参数见表 11。

表 11 Jason-1 卫星主要技术参数

Tab. 11 The main technical parameters of Jason-1 satellite

参数	技术指标
卫星平台参数	卫星采用“可重构的观测、通讯与科学平台”,三轴姿态稳定。寿命 5 a。
轨道参数	卫星高度 1 336 km,倾角 66.038°,轨道精确重复周期 9.9 d。
仪器参数	Poseidon-2/3 雷达高度计;工作频率 13.575 GHz 和 5.3 GHz;测高精度 4.2 cm。 微波辐射计(JMR):3 波段,18.7 GHz、23.8 GHz 和 34 GHz,温度分辨率优于 1 K。

2.6 欧洲航天局

欧洲遥感卫星(ERS)是欧洲航天局(ESA)研制的对地观测卫星,用于环境监测。1991 年 7 月 17 日,ERS-1 卫星从法属圭亚那航天中心发射,2000 年 3 月 10 日由于

计算机和陀螺仪故障,ERS-1 服役结束。1995 年 4 月 21 日,ERS-2 卫星由阿里安-4 运载火箭发射;2003 年 6 月,ERS-2 失去星上数据存储能力,此后仅支持实时观测数据传输。ERS-1/2 主要技术指标见表 12。

表 12 ERS-1/2 主要技术参数

Tab. 12 The main technical indicators of ERS-1/2 satellite

参数	技术参数
卫星平台参数	卫星采用 SPOT 多任务平台,卫星质量 2 157.4 kg,设计寿命 2 a。采用三轴稳定,姿态控制精度 0.11°(俯仰/滚动);0.21°(偏航)。
轨道参数	太阳同步近圆形轨道,轨道高度 785 km,周期 100 min,轨道倾角 98.52°。
仪器参数	C 波段 SAR:中心频率 5.3 GHz,是 ERS-1 上最大的仪器,具有 3 种工作模式:成像模式;空间分辨率 10~30 m,幅宽 100 km;波模式;波长 100~1 000 m,空间分辨率 30 m;风散射计模式;风向范围 0°~360°,精度 ±20°,风速精度 2 m/s。 雷达高度计-1:工作频率 13.8 GHz,工作模式有海洋模式和冰模式。 沿轨扫描辐射仪和微波探测仪:由微波辐射计和红外辐射计组成,用于高精度测量全球海面温度。ERS-2 卫星星载的沿轨扫描辐射仪和微波探测仪在红外辐射计的可见光范围内增加了 3 个波段,用于测量植被数据。

“环境卫星”Envisat 是 ESA 发展的对地观测卫星,用于综合性环境观测,是 ERS 的后继卫星,与“气象业务”(MetOp)卫星同属于“极轨地球观测任务”。Envisat-1 也是美国 EOS 的组成之一。2002 年 3 月 1 日,Envisat-1 卫星发射,2012 年 5 月 9 日,ESA 宣布 Envisat 任务终止,在轨服务 10 年。Envisat-1 主要技术参数见表 13。

“气象业务”卫星(MetOp)是欧洲发展的首个极轨

气象卫星,属于“欧洲极轨业务型气象卫星系统”。ESA 负责研制,欧洲气象卫星组织(EUMETSAT)负责卫星的运行和管理。MetOp 系列卫星共 3 颗,分别为 MetOp-A、MetOp-B 和 MetOp-C 卫星。MetOp-A 卫星 2006 年 10 月 19 日发射,MetOp 系列卫星将至少运行到 2020 年。MetOp-A 卫星上的“先进甚高分辨率辐射计”可用于获取海面温度和海冰信息;“先进散射计”可用于获取全球的海面风场和海冰信息。

表 13 Envisat-1 主要技术参数

Tab. 13 The Main Technical Indicators of Envisat-1 Satellite

参数	技术参数
卫星平台参数	卫星采用极轨平台(PPF),卫星质量 8 211 kg。三轴姿态稳定,姿态测量精度优于 0.03°。
轨道参数	卫星采用太阳同步轨道,轨道高度 800 km,轨道倾角 98.5°。
仪器参数	先进合成孔径雷达:有 5 种成像模式,即成像模式、交叉极化模式、宽幅模式、全球监测模式和波模式。其中,成像模式分辨率最高,为 28 m,幅宽 100 km。该设备可用于获取海浪、海冰信息。 雷达高度计-2:Ku 波段(13.575 GHz)和 S 波段(3.2 GHz),用于确定海面风速和提供海洋动力环境信息。 微波辐射计:双通道天底指向辐射计,工作频率 23.8 GHz 和 36.5 GHz,空间分辨率 20 km,幅宽 20 km。 先进沿轨扫描辐射计:为可见光/近红外成像多光谱辐射计,用于观测海面温度。它有 7 个通道,其中 4 个红外波段用于海洋观测,空间分辨率 1 km,幅宽 500 km,海温测量精度优于 0.3 K。

“重力与稳态洋流探测器”GOCE 是 ESA 独立发展的地球动力学和大地测量卫星,是全球首颗用于探测地核结构的卫星。GOCE 于 2009 年 3 月 17 日发射,GOCE 能够提供海洋重力场和海洋大地水准面的信息。

“土壤湿度和海洋盐度”(SMOS)是 ESA 首颗用于监测全球土壤湿度和海洋盐度的卫星。卫星于 2009 年 11 月 2 日发射,目前仍在轨运行。SMOS 搭载的“L 频段合成孔径微波成像辐射计”,具有全天候、全天时的对地观测能力,能够提供海面盐度信息,每 10 d 在 200 km×200 km 面积内的平均测量精度为 0.1。

“冷卫星”(Cryosat)是“欧洲地球探测计划”的一颗卫星,该卫星采用雷达高度计测量陆地和海洋冰盖厚度的变化,可对极地冰层海温海洋浮冰进行精确监测。Cryosat-1 卫星 2005 年 10 月 8 日发射失败,Cryosat-2 于 2010 年 4 月 8 日发射,目前在轨运行。

2.7 印度

“海洋卫星”(Oceansat)是印度发展的专用海洋卫星,包括 Oceansat-1 和 Oceansat-2,用于海洋环境探测,包括测量海面风场、叶绿素浓度、浮游植物以及海洋中的悬浮和沉淀物。Oceansat-1 是“印度遥感卫星系统”(IRS)中首颗用于海洋观测的卫星,它于 1999 年 5 月 26 日发射,2010 年 8 月 8 日退役。Oceansat-2 卫星于 2009 年 9 月 23 日发射,目前在轨运行。Oceansat-1 和 Oceansat-2 的主要载荷有“海洋水色监测仪”、“多频率扫描微波辐射计”和“扫描微波散射计”。

2.8 韩国

“通信、海洋和气象卫星”(COMS)是韩国发展的地球静止轨道卫星,用于朝鲜半岛及周边区域的

海洋和气象监测。COMS-1 于 2010 年 6 月 26 日发射,目前正在运行,COMS-2 正在研制。COMS-1 采用欧洲星-E-3000 平台,采用三轴稳定方式,天线指向精度优于 0.11°。COMS-1 于的主载荷是“地球静止海洋水色成像仪”,空间分辨率 500 m×500 m,波段为 0.4~0.9 μm,用于提供海岸带资源管理和渔业信息。

2.9 其他国家

“科学应用卫星”(SAC)是阿根廷国家空间计划的核心计划,共包括 4 颗卫星,其中 SAC-A、SAC-C 和 SAC-D 具备对地观测能力。SAC-D 卫星中的主载荷“宝瓶座”微波辐射计和散射计,NASA 负责研制,由 L 频段推扫式微波辐射计和 L 频段微波散射计组成,用于获取全球海面盐度信息,并用于研究海洋环流。另外,SAC-D 卫星搭载的“Ka 频段微波辐射计”可以用来测量海面风速以及海冰特征。SAC-D 卫星 2011 年 6 月 10 日发射,目前在轨运行。

“雷达卫星”(RADARSAT)是加拿大航天局(CSA)的成像雷达卫星,主要用于地球环境监测和资源调查。RADARSAT 卫星系列目前已经发射了 RADARSAT-1 和 RADARSAT-2 两颗。RADARSAT-1/2 卫星的主载荷为“合成孔径雷达”SAR,可用于海洋溢油和海冰的监测。RADARSAT-1 于 1995 年 11 月 4 日发射,1996 年 4 月 1 日投入运行;RADARSAT-2 卫星 2007 年 12 月 14 日发射,2008 年 4 月 24 日投入运行。

“X 频段陆地合成孔径雷达”(TerraSAR-X)是德国民用和商用高分辨率雷达成像卫星,可以用海冰和溢油监测。TerraSAR-X 卫星 2007 年 6 月 15 日发射。

3 海洋卫星发展趋势

3.1 提高观测精度与时空分辨率始终是海洋卫星发展方向

卫星的观测精度与时空分辨率是衡量卫星观测与应用能力的重要指标。日益增长的海洋研究水平和海洋应用能力对海洋卫星观测精度与时空分辨率提出了更高的要求,而遥感技术的进步则不断提高着上述指标以满足应用需要,这一直是海洋卫星的发展方向。在海洋要素的反演精度方面,主要海洋要素信息的反演精度:如叶绿素达到 35%;海面温度由 1 K 提高至 0.3~0.5 K;卫星测高精度由米级提高至 2~3 cm;海面风场观测精度中风速优于 2 m/s,风向优于 20°等,伴随着海洋遥感技术的发展和数据处理技术的提高,海洋环境要素的观测精度还会不断提高。随着电脑运算能力的提高,海洋环境预报模式的空间网格越来越细,未分辨的海洋环境过程具有更精细的尺度,这对海洋遥感的空间分辨率提出了更高的要求,需要提供亚中尺度或更精细尺度以及高时效的海洋过程的观测信息。这主要体现在以下主要海洋环境参数时空分辨率的提高上,如海面高度的观测需要由目前的 100 km 左右提高到 10 km,重复周期 10 d;海面风场由 25 km 提高到 3~25 km,重复周期 6 h;海面温度由 40 km 提高到 1~2 km,重复周期小于 1 d;海洋水色信息由现在的 1 km 提高到 0.1~1 km,重复周期 15 min 等^[8]。

3.2 定量遥感是海洋卫星的发展趋势

定量化应用是海洋卫星数据应用的特点。由海洋卫星数据生产的叶绿素、悬浮泥沙、海温、海面高度、海面风场、海浪场等遥感产品,都属于定量化反演应用的范畴。可靠完善的定标技术和检验手段是确保高质量海洋卫星数据产品的关键。为此,在国际上海洋卫星都建有定标与真实性检验场,专门用于海洋遥感载荷的定标和数据产品的真实性检验,如用于雷达高度计绝对定标的定标场就有美国的 Harvest 石油平台、法国南部的科西嘉岛和希腊的加夫多斯岛 3 个专用定标场。同时,遥感载荷的星上定标单元日益完善、外定标技术日趋成熟,定标精度不断提高。

早期的海洋水色传感器、雷达卫星数据都没有经过定标,雷达高度计卫星也没有精密定轨载荷,这些严重影响了海洋卫星数据精度和数据的应用。目前典型的星载海洋传感器定标精度不断提高,如海洋水色传感器总幅亮度绝对定标精度已优于 5%,雷达卫

星绝对辐射精度提升至 1.0 dB,这保证了海洋卫星定量化应用进一步的需求。

3.3 积极发展新型海洋遥感载荷是海洋卫星发展的重要推动力

积极发展海洋遥感新型载荷是海洋卫星发展的重要推动力。世界各国都在积极发展海洋遥感载荷技术,使得海洋卫星可观测要素不断增加,测量精度不断提高,推动拓展了卫星应用领域,有力推动了卫星应用水平的不断提高^[9]。

目前国际上列入发射计划的海洋卫星中,出现了一批新型海洋遥感载荷,例如,SWOT(Surface Water And Ocean Topography Mission)高度计卫星,该卫星的主载荷在传统雷达高度计基础上增加了高频的 Ka 频段雷达干涉仪,测高精度将达到 1.5~3 cm,空间分辨率达到 0.5~1 km,因而 SWOT 既满足了海洋动力现象的高精度观测,还能够观测陆地水体的变化,有效弥补了传统雷达高度计在观测中尺度或亚中尺度海洋动力现象中的不足。

加拿大 RCM(Radarsat Constellation Mission)是对 Radarsat-1/2 卫星后续任务计划,将继续为全球用户提供 C 频段 SAR 数据。RCM 包含 3 颗卫星,同一轨道面内最多可扩充到运行 6 颗卫星,使得整个系统能够适应未来的应用需求,并将显著提高观测的时空分辨率。在成像模式上,首次针对海冰/海面溢油、海上船舶观测设计了专用工作模式,即低噪声模式和船舶观测模式,这将极大提升海洋目标的观测能力。

以上这些新载荷代表了今后海洋卫星遥感发展的新趋势,从目前国际上列入研制计划的新型海洋遥感载荷的技术指标来看,今后技术创新主要体现在以下几个方面:

(1) 星载雷达传感器体积小、重量轻,电子部件低功耗;

(2) 高频段(尤其 Ka 频段)高效、高功率发射机;微波遥感载荷向高频、多频、多极化等方向发展以及微波与光学传感器的协同使用;

(3) 星上数据处理能力和数据下传能力进一步提高;

(4) 对于圆锥扫描模式传感器采用 6~12 m 可伸展天线,提高载荷微波辐射遥感和散射遥感的分辨;

(5) 针对不同空间尺度的海洋环境要素或海洋目标设计专用的工作模式;

(6) 多角度、多波段、多通道成像光谱仪,进一步

提高稳定性、信噪比和大气订正能力；

(7) 地球同步卫星搭载海洋水色成像仪,对海岸生态信息进行高频次的动态信息采集。

在开发新型遥感载荷和技术不断创新的同时,可采用稳定可靠的多星组网方式来进一步提高海洋要素观测的时空分辨率。地面数据处理的高时效和高精度也是更好满足实际应用需求的关键。

4 展望

通过分析世界海洋卫星发展历程与趋势可以看

出,卫星平台、载荷技术、地面设备以及数据处理技术不断进步,海洋遥感卫星观测的精度与时空分辨力不断提高,卫星数据定量化应用不断深入。不断出现的新型海洋遥感载荷,将具备更快、更精确获取更大范围、更多种海洋观测信息的能力。

随着海洋对全球气候和环境的影响越来越受到重视,对世界各国经济、军事的影响越来越密切,世界各国对海洋卫星的投入不断加大,可以预见海洋卫星遥感未来将获得更大的发展空间,取得更显著的应用成果。

参考文献:

- [1] 陈求发. 世界航天器大全[M]. 北京:中国宇航出版社,2012.
Chen Qiufa. The World Encyclopedia of spacecraft[M]. Beijing:China Aerospace Press,2012.
- [2] 2012—2013 航天科学技术学科发展报告[M]. 北京:中国科学技术出版社,2014.
2012—2013 Report on the Development of Aerospace Science and Technology Disciplines[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2014.
- [3] 吴培中. 美国海军海洋监视卫星系统[J]. 国际太空,2000(10):9—11.
Wu Peizhong. America naval ocean surveillance satellite system[J]. The International Space,2000(10):9—11.
- [4] 暴景阳,许军. 卫星测高数据的潮汐提取与建模应用[M]. 北京:测绘出版社,2013:12.
Bao Jingyan, Xu Jun. Tidal extraction and modeling applications of satellite altimetry data[M]. Beijing: Surveying and Map Press, 2013:12.
- [5] 石汉青,王毅. 海洋卫星研究进展[J]. 遥感技术与应用,2009(3):274—283.
Shi Hanqing, Wang Yi. Progress in Study of Ocean Satellite[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009(3):274—283.
- [6] 国家海洋局. 2013 年中国海洋卫星应用报告[R]. 2013.
State Oceanic Administrator. Chinese marine satellite application report 2013[R]. 2013
- [7] 蒋兴伟,林明森. 海洋动力环境卫星基础理论与工程应用[M]. 北京:海洋出版社,2014.
Jiang Xingwei, Lin Mingsen. The Based Theory and Engineering Application about Ocean Dynamic Environment Satellite[M]. Beijing: Ocean Press, 2014.
- [8] 国家海洋局. 国家海洋事业发展“十二五”规划纲要[R]. 2013.
State Oceanic Administration. The Development Plan of National Marine Programs during Twelfth Five Year[R]. 2013.
- [9] 国土资源部. 陆海观测卫星业务发展规划(2011—2020)[R]. 2012.
The Ministry of land and resources. The planning and development observation satellite on marine and land,(2011—2020)[R]. 2012.

The development course and trend of ocean remote sensing satellite

Lin Mingsen¹, Zhang Youguang¹, Yuan Xinzhe¹

(1. National Satellite Ocean Application Service, Beijing 100081, China)

Abstract: The ocean is an important field of the earth-observing satellites and which have some special ocean remote sensing satellite in the earth-observing satellites. The ocean remote sensing satellite can obtain ocean color and ocean dynamic environmental information by using optical and microwave sensors on satellites. The ocean satellite can make up for the lack for the traditional marine observation and which can help to deepen human to understanding of ocean on the basis of observation of some remote sensors. Ocean satellites have playing an important role in preventing and reducing marine hazards, resource development, marine rights, and marine ecological and environmental protection and so on. This paper has a detailed summary on development course of domestic and overseas ocean satellite and which has a discussion on the development trend of the future ocean satellite. In this paper, some discussion and suggestion can provide reference for our country's development of ocean satellite.

Key words: ocean remote sensing satellite; earth-observing satellites; development course; development trend