

我国海洋卫星数据应用发展现状与思考

文质彬¹, 吴园涛¹, 李琛¹, 殷建平²

1. 中国科学院重大科技任务局, 北京 100864;

2. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301

摘要: 海洋科学是一门依赖于观测的学科, 而卫星是海洋研究的重要观测平台之一, 海洋卫星数据在海洋科学研究中具有重要的意义。21 世纪初以来, 我国陆续发射了多颗专门用于海洋观测的卫星, 初步拥有自主海洋卫星全球观测网络。本文针对国内外海洋卫星资源基本情况, 总结了我国海洋卫星数据应用发展现状, 特别是海洋卫星数据接收、处理、管理、应用等方面的情况, 并分析、探讨了我国海洋科学研究对卫星数据的需求, 以及我国海洋卫星数据科学应用存在的问题和发展策略。

关键词: 海洋卫星; 数据应用; 发展策略

中图分类号: P715.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-5470(2021)06-0023-8

The current situation and consideration of the application and development of marine satellite data in China

WEN Zhibin¹, WU Yuantao¹, LI Chen¹, YIN Jianping²

1. Bureau of Major R&D Programs, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China;

2. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

Abstract: The development of marine sciences depends on observations. Satellite is one of the most important observation platforms for marine research. Satellite data are of great significance in marine research. Since the beginning of this century, China has successfully launched several satellites dedicated to ocean observations, and preliminarily established a global ocean satellite observation system. According to the basic situation of marine satellite resources at home and abroad, we study and analyze the current situation of the application and development of marine satellite data in China, especially in terms of receiving, processing, management and application of marine satellite data, put forward the scientific research demand for satellite data in China's marine research, and probe into the existing problems and development strategies of the scientific application of marine satellite data in China.

Key words: ocean satellite; data application; development strategy

为服务海洋经济与海洋科技的发展, 国内外众多机构发射的海洋卫星不断增加, 卫星数据资源不断丰富, 数据精度及应用的深度和广度也日臻完

善。利用海洋卫星可开展海洋水色、海洋动力、海冰、台风、海洋渔业等业务化应用, 在海洋环境保护、海洋预报(刘娜 等, 2018)、海洋监测与减灾防

收稿日期: 2020-10-24; 修订日期: 2021-01-29。林强编辑

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA13000000); 基于高分航空应用校飞数据的大湾区近海水环境遥感应用研究(30-H30C01-9004-19/21)

作者简介: 文质彬(1984 年—), 女, 四川省成都市人, 硕士, 研究方向为主要从事光电空天领域重大任务管理工作。email: zbwen@cashq.ac.cn

通信作者: 殷建平。email: yjp@scsio.ac.cn

Received date: 2020-10-24; Revised date: 2021-01-29. Editor: LIN Qiang

Foundation item: Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences(XDA13000000); Application research with Aviation calibration data of National major project of high-resolution earth observation system(30-H30C01-9004-19/21)

Corresponding author: YIN Jianping. email: yjp@scsio.ac.cn

灾(蒋兴伟 等, 2019; 林明森 等, 2018)、海洋资源开发(官文江 等, 2017)、海上公共安全与重大工程建设、海洋科学研究和区域海洋应用等方面都发挥了重要作用。伴随大数据时代的来临, 海洋卫星数据的应用前景广阔。本文总结了国内外海洋卫星的基本情况和我国海洋卫星数据应用发展的现状, 在此基础上提出我国海洋卫星数据应用发展中存在的主要问题, 以及未来的发展策略。

1 国内外海洋卫星资源基本情况

全球航天大国均具有较为完备的海洋空间观测系统。作为目前世界航天的最强国, 美国从 20 世纪 70 年代就发射了专门的海洋卫星, 首颗专门用于海洋观测的卫星 SEASAT 于 1978 年成功发射, 40 年来发展了海洋环境、海洋水色、海洋动力等不同类型的专用海洋卫星, 实现了从空间快速获取海洋信息的强大能力, 并形成了多种业务应用。我国海洋卫星发展起步较晚, 21 世纪初才发射第一颗海洋卫星 HY-1A(蒋兴伟 等, 2008)。我国海洋卫星发展迅速, 已经逐步构建起我国自主海洋卫星的全球观测网。目前海洋卫星系列已经成为我国卫星对地观测系统的重要组成部分, 也是《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025)》中遥感卫星的重要组成部分。“十三五”到“十四五”期间, 我国将要发射 10 颗以上海洋系列卫星或以海洋为主要应用方向的卫星; 到 2025 年, 我国将建立完备的海洋卫星体系。

1.1 海洋卫星主要类别

国际上的海洋卫星大体分为 3 类: 海洋水色卫星(如 SeaWiFS)、海洋动力环境卫星(欧洲中心的 Jason 系列卫星)、海洋综合探测卫星(如 Sentinel-3 卫星)。

海洋水色卫星是对海洋水色要素(如叶绿素、悬浮沙和可溶性的有色有机物质等)和水温及其动态变化的探测(Hooker et al, 1993; Gregg et al, 1998)。有效载荷通常选用灵敏度高、信噪比高、光谱分辨率高、波段多、带宽窄的海洋水色扫描仪(张可立 等, 2018)。通常空间分辨率在 300-1000 米, 地面覆盖周期 2-3 天。发展海洋水色卫星的目的在于掌握海洋初级生产力分布、海洋渔业及养殖业资源状况和环境质量, 了解河口港湾的悬浮泥沙分布规律, 监测近海溢油(孙乐成 等, 2019)、赤潮富营养化、循环水排海热污染、海冰冰情(张树德 等, 2019)、浅海地形等。

海洋动力环境卫星是对海洋风场、海面高度、浪场、流场以及温度场等动力环境要素探测的卫星(林明森 等, 2018), 有效载荷通常是微波散射计、微波辐射计、雷达高度计等, 并具有多种模式和多种分辨率。发展海洋动力环境系列卫星的主要目的在于利用微波散射计监控全球海洋表面风场, 得到全球海洋上的风矢量场和表面风应力数据, 利用雷达高度计提供全球海洋地形数据, 得到全球高分辨率的大洋环流、海洋大地水准面、重力场和极地冰盖的变异等(Chelton et al, 1985)。海洋动力环境卫星获取的实时高精度海面动力和海底拓扑资料, 具有重要的战略价值。

海洋综合探测卫星是对全球与近海(包括海岸带)海洋动力环境和生态环境各种信息的综合遥感监测, 同时具备多种载荷。有效载荷包括可见光、红外、主动、被动遥感器, 如多光谱成像仪、合成孔径雷达、微波散射计、辐射计、高度计等(Donlon et al, 2012)。发展海洋环境综合卫星的主要目的在于提供全天时、全天候海况实时资料, 用于改进海况数值预报模式, 提高中长期海况预报准确率。同时提供海上目标、海岸带调查、海洋污染的实时同步海洋要素, 为海洋环境监测、海洋权益维护和海岸带资源调查、综合利用与管理服务。

1.2 国外海洋卫星发展现状

目前国外主要海洋卫星包括美国的 SeaWiFS、MODIS 和 VIIRS; 欧洲空间局的 MERIS(陈双 等, 2014)和 Sentinel-3 卫星, 以及韩国的静止轨道卫星 GOCI(李冠男 等, 2014)等, 用于海洋水色的测量。此外, 还有用于测量全球海表温度的 AVHRR 系列卫星; 用于构建海面高度数据的 TOPEX/POSEIDON(陈双 等, 2014), Jason-1/2/3 和 ERS/Envisat 等多颗高度计卫星; 用于提取海面高度的 GRACE 和 CHAMP 重力卫星; 用于海面风速测量的快速散射计 QUICKSCAT 卫星; 用于海面风速、降雨和海温反演的卫星 AMSR-E、AMSR-2、WindSat、TRMM 等; 用于海面盐度(电导率)反演的美国 Aquarius 卫星和欧空局 SMOS 卫星; 用于海冰参数测量的 ICESat, CryoSat-2, SSM/I、SSMIS 等(蒋兴伟 等, 2018)。

同时, 很多陆地卫星也用于海洋的研究中, 包括传统的陆地卫星 Landsat 系列(段广拓 等, 2018)、高分辨率光学卫星 SPOT、Quickbird、Pleiades 以及 Worldview 系列卫星, 用于海面目标、近海岸带生态系统、海岛以及海岸线变迁研究; 一些高分辨率雷达卫星, 如加拿大的 Radarsat 系列卫星、德国的

TerraSAR-X / TanDEM-X 卫星, 以及 ENVISAT-ASAR、Sentinel-1 等卫星, 可用于海面粗糙度、海

浪谱估算等的海洋动力过程研究。表 1 展示了世界主要海洋遥感卫星的信息。

表 1 世界主要海洋遥感卫星信息

Tab. 1 Information of major ocean remote sensing satellites in the world

类别	国家和地区			
	美国	欧洲	中国	其他
海洋光学/ 热红外卫星	Nimbus 7(CZCS); SeaStar (SeaWiFS), Terra & Aqua (MODIS); Suomi NPP & JPSS-1/NOAA-20 (VIIRS); AVHRR, NOAA (AVHRR)	ENVISAT(MERIS); Sentinel-3A/B (OLCI)	HY1-A; HY1-B; HY1-C; HY1-D (COCTS, CZI) FY-3 (MERSI)	COMS (GOCI)(韩国); GCOM-C(SGLI)(日本)
海洋动力环境 卫星	QuikSCAT(Seawinds)、 TOPEX/Poseidon(Poseidon-3 Altimeter)、Jason-2(Poseidon-3A)、 SAC-D(Aquarius)、SMAP	GOCE, SMOS, Jason-1 (Poseidon-2)(美法); Jason-3(Poseidon-3B)(美-欧-法); MetOp-A; MetOp-B; MetOp-C(ASCAT); CryoSat-2(SIRAL-2); Sentinel-3 (SLSTR, SRAL); ERS-2	HY-2A; HY-2B; HY-2C; CFOSAT(中 国、法国)	Saral(印度、法国); ADEOS-2(Seawinds)(日本)
海洋监视系列 卫星	Sir-A; Sir-B; Sir-C; LACROSSE SAR; LightSAR; Medsat SAR	Sentinel-1; COSMO-SkyMed; TerraSAR-X	GF-3	RADARSAT-1; RADARSAT-2

国外海洋卫星发展形成了多种海洋业务化的卫星数据产品, 包括以海面风场、海浪、海表层流、海面温度、水汽含量等为代表的海洋动力环境及多源遥感融合数据产品; 以叶绿素、有色溶解有机质、悬浮物、初级生产力、光合有效辐射等为代表的海洋光学参数、海洋生态环境参数及其衍生的(如海洋渔业等)遥感产品; 以海底地形、重力场等为代表的海洋地球物理产品。

1.3 我国海洋卫星发展现状

我国海洋卫星包括海洋水色卫星星座、海洋动力卫星星座和海洋监视监测卫星等 3 个系列。

1) 海洋水色卫星。这是以可见光和红外成像观测为手段的海洋遥感卫星。我国海洋水色卫星星座的发展包括 3 个阶段。第一阶段为海洋 1A 和海洋 1B 卫星。其中, 海洋 1A 卫星作为试验型业务卫星, 有效载荷包括 1 台十谱段海洋水色水温扫描仪(Chinese Ocean Color and Temperature Scanner, COCTS)和 1 台四谱段海岸带成像仪(Coastal Zone Imager, CZI), 对中国邻近海域的重访周期为 3 天。海洋 1A 卫星在轨运行 685 天, 成像约 1900 轨, 在海洋环境保护和海洋科学研究等领域发挥了重要作用。海洋 1B 卫星是海洋水色系列卫星的第二颗实验星, 同样装载了 1 台 COCTS 和 1 台 CZI, 可实现对中国邻近海域的每天重复观测。海洋 1B 卫星在轨运行 8 年 10 个月, 共成像 19233 轨, 获得原始数据 8.84TB。

第二阶段为海洋 1C 和海洋 1D 卫星。其中, 海洋 1C 卫星于 2018 年 9 月成功发射, 是中国海洋系列卫星的首颗业务卫星。海洋 1C 卫星上的 COCOTS

信噪比大幅提升, 可以分辨出更加细微的水色变化; CZI 的空间分辨率提高到 50m, 卫星技术状态达到了国际先进水平, 能够提供每天全球海洋空间全覆盖海洋水色卫星资料; 海洋 1D 卫星于 2020 年 6 月成功发射, 将与海洋 1C 卫星组网运行, 开展大幅度、高精度、高时效观测, 具备全球 1 天 2 次的水色水温探测覆盖能力, 使海洋观测更加全天候。

第三阶段为实现国产水色卫星技术性能和应用能力达到国际先进水平的新一代水色卫星, 包括正在规划的静止轨道卫星, 以及预计于 2022 年发射的新一代 HY1E 卫星, 后者将实现全球海洋水色的高空间分辨率和高光谱分辨率观测, 相应载荷已经在“天宫二号”进行了实验(林明森等, 2019)。

2) 海洋动力环境卫星。包括海洋 2 号系列卫星、中法海洋卫星与海风海浪卫星和海洋盐度卫星。海洋 2 号系列卫星以海面风场、高度、温度等动力环境要素为探测对象。2025 年前的发展包括 3 个阶段: 第一阶段为海洋 2A 卫星; 第二阶段为海洋 2B/C/D 卫星; 第三阶段为新一代海洋动力环境卫星。

中法海洋卫星(China-France Oceanographic Satellite, CFOSAT)于 2009 年立项, 2018 年 10 月 29 日在酒泉卫星发射中心成功发射(王丽丽等, 2018)。航天科技集团东方红卫星有限公司负责卫星平台研制, 有效载荷包括法国 CNES 研制的海洋波谱仪(Surface Waves Investigation and Monitoring, SWIM)和中国科学院国家空间科学中心研制的微波散射计(SCAT), 较 HY-2B/C/D 星具有更高的空间分辨率和风向精度(Lin et al, 2011, 2019; Xu et al, 2019; Liu et al, 2020)。

海风海浪卫星是中法海洋卫星的后续星。国家卫星海洋应用中心于 2017 年底启动了该星立项论证工作。海洋盐度卫星列入国家空间基础设施“十二五”科研星计划, 于 2015 年开展先期攻关, 目前已经批准立项。该星载荷包括二维综合孔径海洋盐度计和多频主被动微波成像仪, 分别由航天科技集团西安分院和中国科学院国家空间科学中心牵头论证。

3) 海洋监视监测卫星。将包括低轨 SAR 卫星、高轨 SAR 卫星和高轨海洋卫星, 通过高分辨率成像观测实现对海洋的综合监测监视。低轨 SAR 卫星(高分 3 号卫星)于 2016 年(杨劲松 等, 2017)发射。高轨 SAR 卫星列入国家民用空间基础设施“十二五”科研星计划, 于 2015 年启动先期攻关。高轨海洋卫星列入国家民用空间基础设施“十四五”科研星计划, 是国内首次在静止轨道上开展海洋水色观测, 并以紫外成像为手段开展溢油观测, 可以得到高时间分辨率的海洋环境光学观测数据, 对海洋、环境等学科和应用有重要意义。

目前国内发射的光学卫星, 如高分(程益锋 等, 2018)系列卫星(GF-1、GF-2、GF-4)、资源系列卫星(ZY-3)、环境系列卫星(HJ-1A/B)也用于海岸带海岛的研究中。

2 我国海洋卫星数据应用发展现状

2.1 海洋卫星数据接收、处理与管理

我国海洋水色、海洋动力环境卫星数据由国家卫星海洋中心负责接收和处理; 海洋监视监测 SAR 卫星数据由中国资源卫星中心、中科院相关研究所负责。海洋卫星数据处理主要由国家卫星海洋应用中心负责, 中科院主要作为有效载荷研制责任单位, 参与部分数据产品处理算法研究和软件研制工作。海洋卫星数据产品的开发也由国家卫星海洋应用中心负责, 并负责数据分发。目前国内海洋卫星已经初步形成了多样的海洋卫星数据产品, 并由国家卫星海洋应用中心统一分发(<https://osdds.nsoas.org.cn/>)。初步形成了稳定、可靠的海洋卫星数据服务体系, 但海洋卫星数据的数据质量、数据分发能力尚需改进和提高。

2.2 海洋卫星数据应用

通过对近年来报告的分析, 我国海洋卫星数据应用与海洋卫星的能力相比有很大的提升空间。国外对于我国海洋卫星给予很大关注, 特别是 HY-2A/2B 卫星。法国、欧洲气象卫星组织(European

Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT) 都通过双边合作获得 HY-2A/2B(雷达高度计、微波散射计)数据, 并开展了应用试验, 取得了较好的效果, 也验证了卫星载荷的性能(张有广 等, 2018)。但这些应用主要是获取部分低级产品数据进行处理, 生成高级试验产品进行试验。例如对海洋 1C 的 CZI 载荷在浑浊二类水体和清洁水体的不同带外响应(out-of-band response)特性进行评估(Cui et al, 2018); 利用海洋光学浮标(marine optical buoy, MOBY)和 MODIS/Terra 观测的气溶胶信息对海洋 1C 的 COCTS 载荷进行辐射定标(Song et al, 2019); 对于利用海洋卫星数据开展的科学研究, 对数据的要求更强调量化、易获取和质量保证, 并具有一定时长的数据积累, 我国海洋卫星数据在这几个方面相对国外数据还有一定的差距, 因此在科学研究方面, 国产卫星数据的应用存在一定限制。

国产海洋卫星数据整体应用不多, 主要原因在于以下几个方面。

1) 国产海洋卫星数据时间较短。国产卫星起步较晚, 早前卫星数据的精度不够, 很难形成业务化应用产品, 近年来卫星数据质量明显提高, 但时间长度不够, 对于需要较长时间序列分析的研究和应用, 国产卫星数据时间长度不够。

2) 国产海洋卫星数据产品需要进一步丰富。目前共享的国产卫星数据产品最高级别为 2 级产品, 并没有可以直接用于业务化分析的 3 级和 4 级产品, 这使没有任何卫星遥感知识的科研工作者在进行业务化应用时存在一定的困难。

3) 国产海洋卫星的推广不够。目前国产海洋卫星的分发机构较少, 数据主要由国家卫星海洋应用中心分发, 尚未在国内其他数据共享系统中进行共享分发。

4) 国内海洋卫星全球近实时的观测处理和数据发布(时效性)能力尚未形成, 是制约数据应用的重要因素之一。

2.3 海洋科学研究对卫星数据的需求

经初步调研, 我国海洋科学家使用海洋卫星数据的学科领域主要集中在物理海洋学、海洋遥感、地球物理学、应用海洋学、地图学与地理信息系统等, 海洋卫星数据多用于海洋数值模拟、海洋环流与涡旋、海洋内波(孙丽娜 等, 2018)、海洋防灾减灾(贾永君 等, 2018)、气候与环境变化(丁庆霞 等, 2016)、北极海冰(马雪沂 等, 2019)等科学研究。目

前使用的卫星资料主要以国外资料偏多。

海温数据主要来源于 AVHRR、MODIS、TRMM、AMSR 等卫星；多用于海气数值预报与数值同化、海洋三维温盐场实时重构、群发性海洋灾害致灾机理、黑潮入侵、海洋内波、多尺度海气相互作用及气候变化、生态过程与物理过程相互作用、北极海冰等研究。数据产品的空间精度一般在 $1/12^\circ$ 到 $1/4^\circ$ 。风场数据主要来源于 QuikSCAT、ASCAT；多用于多尺度海气相互作用及气候变化、海洋环流与涡旋、台风对海洋(生态)环境影响、海洋灾害致灾机理等研究，空间分辨率通常在 25km 左右。海面高度数据主要来源于 AVISO 高度计合成产品及融合资料，GRACE 和 CHAMP 重力资料，空间分辨率在 $1/4^\circ$ 左右；多用于数值预报与资料同化、多尺度海气相互作用与气候变暖、海洋环流与涡旋、海洋环境场实时重构、大地水准面和重力异常、地球表面流体质量多时空尺度变化及全球水质分布研究。海面盐度数据主要来源于 SMOS, Aquarius，空间分辨率在 1° 左右。多用于数值预报与资料同化、多尺度海气相互作用与气候变暖、海洋环流与涡旋、海洋热通量估算、海洋热盐环流等研究。叶绿素数据主要来源于 MODIS、VIIRS、MERIS、SeaWiFS 及 Sentinel-3 等，分辨率在 300~1000m 之间。多用于海洋监测与防灾减灾、海洋初级生产力等研究。海面降雨数据主要来源于 TRMM、AMSR-E、AMSR-2 等。多用于海洋降水、海气通量、海洋气候等研究。

海洋科学部分研究尚需要更高精度的卫星数据，包括：(1)高空间分辨率海洋水色卫星数据，分辨率不低于 30m，波段配置信噪比等不差于 SeaWiFS 数据，用于近岸河口水质监测；(2)高分辨率海面高度数据(空间分辨率到公里级别)或海洋流场数据，用于研究海洋小尺度过程，如规划中的 SWOT 卫星数据(徐永生 等，2017)；(3)高空间分辨率卫星数据，包括米级和亚米级的光学、微波卫星数据，用于海岸带、海岛变迁等监测研究，如高分 2 号卫星数据；(4)高分辨率海洋盐度卫星数据(张庆君 等，2017)，比 SMOS, Aquarius 卫星数据的分辨率高，且受干扰少；(5)覆盖西太平洋海域(特别是 130°E 以东)的实时或准实时通信卫星数据；(6)其他如对静止轨道卫星数据的需求，用于中国近岸水体水质监测。

3 我国海洋卫星数据应用发展存在的主要问题

随着国家民用空间基础设施的建设，我国正逐

步建立较为完备的海洋卫星观测系统。目前海洋卫星数据的下载和使用已经没有问题，但由于我国海洋卫星发展较晚，时间长度不够，再加上科学研究长期以来一直使用国外数据，改变这种沿用国外卫星数据的习惯还需要一定时间。换言之，国产海洋卫星数据的推广应用还需要进一步提升。

3.1 海洋卫星发展起步较晚

我国海洋卫星起步较晚，早前的卫星与有效载荷性能和国际先进水平有一定差距。HY-1A 卫星在轨时间短，HY-1B 卫星有效载荷存在太阳照射污染观测数据存在问题，实际上不具备提供有效数据支持的能力。2018 年成功发射的 HY-1C(林明森 等，2019)光学卫星和 2020 年发射的 HY-1D 卫星已经达到国外同类卫星产品水平，但目前卫星在轨工作时间只有两年多，数据的时间长度较短，同时由于科研和业务工作者长期使用国外数据形成一定的惯性，国产海洋卫星数据的推广使用还需要时间。

3.2 海洋卫星数据及其处理过程的开放度尚需加强

目前海洋卫星数据的分发已经有了明显的提升，国家卫星海洋应用中心已经通过中国海洋卫星数据服务系统将卫星数据进行了全面的共享(osdds.nsoas.org.cn)。但数据质量尤其是二级以上产品质量的改善需要广大用户的测试和反馈。数据用户，特别是具有研究能力的研究团队需要完整掌握数据处理过程，发现问题并提出改善数据质量的办法，从而参与数据的开发和利用，如 NASA 的水色数据产品，其数据参数和处理过程都集中在共享软件 SeaDAS 中，用户较容易掌握，而目前海洋卫星虽有共享相关的数据使用手册，但在数据处理及使用说明等方面还有待加强。另一方面，部分研究领域缺少相关数据支持，如在海冰研究领域，国内缺乏专门的数据或已处理并公开的相关数据；SAR 卫星数据经常处于购买状态，如发生重大事故，无法获取第一手卫星资料，同时缺少遥感影像使用；缺乏准实时业务化的多源卫星融合产品。

3.3 海洋卫星数据处理方面投入明显不足

重工程实现、轻数据处理与应用是我国遥感卫星规划和实施中普遍存在的现象。我国海洋卫星计划在实施中对于数据处理、反演模型优化、试验验证、地面和在轨标定等工作投入明显不足，处理技术研究组织的明显不足，导致数据定量化与稳定性不足，数据质量还有待提高。相关部门目前对于数据应用能力的提升关注不够，缺乏长时间序列、高质量、易于使用的卫星数据产品，使用

频率较低。

4 我国海洋卫星数据应用发展建议

海洋卫星数据在海洋科学研究中具有重要的意义, 获得长期稳定可靠的卫星数据产品是海洋科学研究对卫星数据产品的需求。充分利用好国际和国内海洋卫星资源, 将对提升我国海洋科学研究水平发挥积极的作用。对此, 本文提出以下几点建议。

1) 针对不同的应用目标, 制定海洋卫星的长期发展规划。进一步加强我国海洋卫星数据资源的利用研究, 加强科学卫星与业务卫星方面的协调和配合机制, 加强海洋科学家与卫星研制、数据应用等领域研究者的交流。针对全球海洋水色的观测、全球海面高度、中国近海海岸带生态环境监测、关键海区目标探测、海岛调查等重要科学问题, 制定我国海洋卫星的长期发展规划, 以获得长期稳定、可靠的卫星数据产品。

2) 加强海洋卫星定标和数据处理队伍建设。海洋卫星的数据定标和处理是后续卫星数据应用的保障。加强海洋卫星数据的处理是目前亟待解决的重要问题。应增加海洋卫星数据的后续处理力量, 针对不同应用的系列卫星, 成立稳定的海洋卫星数据处理、分发及技术支持队伍, 这将为海洋卫星数据质量的改进提供支撑和保障, 也是产出稳定高质量海洋卫星数据产品的基础。

3) 建立良好的卫星数据共享机制。卫星数据是国家的宝贵财富, 建立良好的共享机制是推广使用国产卫星数据的必要条件。除了卫星数据本身, 还应该将数据处理方法/算法写入数据手册并全面开放共享, 以便数据的推广和深入应用。同时建议将海洋卫星数据产品在国家海洋科学数据中心、国家地球系统科学数据中心、国家对地观测科学数据中心等多个科学数据平台进行全面的推广使用。

参考文献 References

- 陈双, 刘韬, 2014. 国外海洋卫星发展综述[J]. 国际太空, (7): 29–36. CHEN SHUANG, LIUTAO, 2014. Overview of the development of overseas ocean satellites[J]. Space International, (7): 29–36 (in Chinese).
- 程益锋, 黄文骞, 吴迪, 等, 2018. 基于高分一号卫星影像的珊瑚岛礁分类方法[J]. 海洋测绘, 38(6): 49–53. CHENG YIFENG, HUANG WENQIAN, WU DI, et al, 2018. Coral reefs classification methods based on GF-1 satellite image[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 38(6): 49–53 (in Chinese with English abstract).
- 丁庆霞, 陈文忠, 2016. 基于 VGPM 的中国近海净初级生产力的时空变化研究[J]. 海洋开发与管理, 33(8): 31–35. DING QINGXIA, CHEN WENZHONG, 2016. Spatial-temporal variation of China's offshore net primary production based on vertically generalized production model[J]. Ocean Development and Management, 33(8): 31–35 (in Chinese with English abstract).
- 段广拓, 陈劲松, 张彦南, 等, 2018. 基于 LANDSAT 8 卫星热红外影像反演珠江口海表温度[J]. 应用海洋学学报, 37(3): 348–355. DUAN GUANGTUO, CHEN JINSONG, ZHANG YANNAN, et al, 2018. SST retrieving of the Pearl River Estuary by thermal infrared images from LANDSAT 8 satellite[J]. Journal of Applied Oceanography, 37(3): 348–355 (in Chinese with English abstract).
- 官文江, 高峰, 陈新军, 2017. 卫星遥感在海洋渔业资源开发、管理与保护中的应用[J]. 上海海洋大学学报, 26(3): 440–449. GUAN WENJIANG, GAO FENG, CHEN XINJUN, 2017. Review of the applications of satellite remote sensing in the exploitation, management and protection of marine fisheries resources[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 26(3): 440–449 (in Chinese with English abstract).
- 贾永君, 林明森, 张有广, 2018. 海洋二号卫星 A 星雷达高度计在海洋防灾减灾中的应用[J]. 卫星应用, (5): 34–39. JIA YONGJUN, LIN MINGSEN, ZHANG YOUGUANG, 2018. Application of Haiyang-2 Satellite A satellite radar altimeter in marine disaster prevention and mitigation[J]. Satellite Applications, (5): 334–39 (in Chinese).
- 蒋兴伟, 林明森, 刘建强, 2008. 我国卫星海洋空间探测[J]. 中国工程科学, 10(6): 56–62. JIANG XINGWEI, LIN MINGSEN, LIU JIANQIANG, 2008. Satellite ocean exploration of space in China[J]. Engineering Science, 10(6): 56–62 (in Chinese with English abstract).
- 蒋兴伟, 林明森, 张有广, 等, 2018. 海洋遥感卫星及应用发展历程与趋势展望[J]. 卫星应用, (5): 10–18. JIANG XINGWEI, LIN MINGSEN, ZHANG YOUGUANG et al, 2018. Development history and trend prospects of ocean remote sensing satellites and applications[J]. Satellite Applications, (5): 10–18 (in Chinese).
- 蒋兴伟, 何贤强, 林明森, 等, 2019. 中国海洋卫星遥感应用进展[J]. 海洋学报, 41(10): 113–124. JIANG XINGWEI, HE XIANQIANG, LIN MINGSEN, et al, 2019. Progresses on ocean satellite remote sensing application in China[J]. Haiyang Xuebao, 41(10): 113–124 (in Chinese with English abstract).
- 李冠男, 王林, 王祥, 等, 2014. 静止水色卫星 GOCI 及其应用进展[J]. 海洋环境科学, 33(6): 966–971. LI GUANNAN, WANG LIN, WANG XIANG, et al, 2014. Geostationary ocean color imager and application progress[J]. Marine Environmental Science, 33(6): 966–971 (in Chinese with English abstract).

- 林明森, 张有广, 2018. 我国海洋动力环境卫星应用现状及发展展望[J]. 卫星应用, (5): 19–23. LIN MINGSEN, ZHANG YOUGUANG, 2018. The application status and development prospect of my country's marine dynamic environment satellite[J]. Satellite Application, (5): 19–23 (in Chinese).
- 林明森, 何贤强, 贾永君, 等, 2019. 中国海洋卫星遥感技术进展[J]. 海洋学报, 41(10): 99–112. LIN MINGSEN, HE XIANQIANG, JIA YONGJUN, et al, 2019. Advances in marine satellite remote sensing technology in China[J]. Haiyang Xuebao, 41(10): 99–112 (in Chinese with English abstract).
- 刘娜, 王辉, 凌铁军, 等, 2018. 全球业务化海洋预报进展与展望[J]. 地球科学进展, 33(2): 131–140. LIU NA, WANG HUI, LING TIEJUN, et al, 2018. Review and prospect of global operational ocean forecasting[J]. Advances in Earth Science, 33(2): 131–140 (in Chinese with English abstract).
- 马雪沂, 赵羲, 屈猛, 等, 2019. 北极海冰薄冰厚度遥感反演模型的船测验证[J]. 极地研究, 31(4): 431–440. MA XUEYI, ZHAO XI, QU MENG, et al, 2019. Assessing the accuracy of thin ice thickness retrieval by arctic ship observations[J]. Chinese Journal of Polar Research, 31(4): 431–440 (in Chinese with English abstract).
- 孙乐成, 周青, 王娟, 2019. 海洋溢油遥感探测技术现状及预见[J]. 海洋开发与管理, 36(3): 49–53. SUN LECHENG, ZHOU QING, WANG JUAN, 2019. The present situation and forecast of marine oil spill detection technology by using remote sensing[J]. Ocean Development and Management, 36(3): 49–53 (in Chinese with English abstract).
- 孙丽娜, 张杰, 孟俊敏, 2018. 基于遥感与现场观测数据的南海北部内波传播速度[J]. 海洋与湖沼, 49(3): 471–480. SUN LINA, ZHANG JIE, MENG JUNMIN, 2018. On propagation velocity of internal solitary waves in the Northern South China Sea with remote sensing and in-situ observations data[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 49(3): 471–480 (in Chinese with English abstract).
- 王丽丽, 丁振宇, 章雷, 等, 2018. “中法海洋卫星”成功发射, 两国载荷并肩探风测浪[J]. 中国航天, (12): 22–28. WANG LILI, DING ZHENYU, ZHANG LEI, et al, 2018. CFOSAT successfully launched with Chinese and French Payloads Observing Sea Winds and Waves alongside[J]. Aerospace China, (12): 22–28 (in Chinese with English abstract).
- 徐永生, 高乐, 张云华, 2017. 美国新一代测高卫星 SWOT——评述我国宽刈幅干涉卫星的发展借鉴[J]. 遥感技术与应用, 32(1): 84–94. XU YONGSHENG, GAO LEZHANG, ZHANG YUNHUA, 2017. New generation altimetry satellite SWOT and its reference to China's swath altimetrysatellite[J]. Remote Sensing Technology and Application, 32(1): 84–94 (in Chinese with English abstract).
- 杨劲松, 王隼, 任林, 2017. 高分三号卫星对海洋内波的首次定量遥感[J]. 海洋学报, 39(1): 148. YANG JINSONG, WANG JUN, REN LIN, 2017. The first quantitative remote sensing of ocean internal waves by Gaofen-3 satellite[J]. Acta Oceanologica Sinica Haiyang Xuebao, 39(1): 148 (in Chinese).
- 张可立, 白照广, 王丽丽, 2018. 我国海洋水色卫星发展回顾、现状及展望[J]. 卫星应用, (5): 24–27. ZHANG KELI, BAI ZHAO GUANG, WANG LILI, 2018. Review, current situation and prospect of my country's marine aqua satellite development[J]. Satellite Applications, (5): 24–27 (in Chinese).
- 张庆君, 殷小军, 蒋昱, 2017. 发展海洋盐度卫星 完善我国海洋动力卫星观测体系[J]. 航天器工程, 26(1): 1–5. ZHANG QINGJUN, YIN XIAOJUN, JIANG YU, 2017. Developing sea surface salinity satellite to promote ocean dynamical environments observation[J]. Spacecraft Engineering, 26(1): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- 张树德, 兰志刚, 2019. 基于卫星遥感图像的辽东湾海冰参数反演及空间分布特征分析[J]. 中国海上油气, 31(4): 147–153. ZHANG SHUDE, LAN ZHIGANG, 2019. Satellite remote sensing images-based parameters inversion and spatial distribution characteristics analysis of sea ice in the Liaodong Bay[J]. China Offshore Oil and Gas, 31(4): 147–153 (in Chinese with English abstract).
- 张有广, 林明森, 2018. 海洋二号卫星 A 星数据产品国际化应用实例[J]. 卫星应用, (5): 32–33. ZHANG YOU GUANG, LIN MINGSEN, 2018. Examples of internationalization application of Ocean Satellite A satellite data products[J]. Satellite Applications, (5): 32–33 (in Chinese).
- CHELTON D B, MCCABE P J, 1985. A review of satellite altimeter measurement of sea surface wind speed: With a proposed new algorithm[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 90(C3): 4707–4720.
- CUI TINGWEI, DING JING, JIA FUJUAN, et al, 2018. Out-of-band response for the Coastal Zone Imager (CZI) onboard China's Ocean color satellite HY-1C: Effect on the observation just above the sea surface[J]. Sensors, 18(9): 3067.
- DONLON C, BERRUTI B, MECKLENBERG S, et al, 2012. The Sentinel-3 Mission: Overview and status[C]//2012 IEEE international geoscience and remote sensing symposium. Munich, Germany: IEEE: 1711–1714.
- GREGG W W, WOODWARD R H, 1998. Improvements in coverage frequency of ocean color: Combining data from SeaWiFS and MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36(4): 1350–1353.
- HOOKE S B, ESAIAS W E, 1993. An overview of the SeaWiFS Project[J]. Eos Transactions AGU, 74(21): 241–246.
- LIN WENMING, DONG XIAOLONG, 2011. Design and optimization of a Ku-band rotating, range-gated fanbeam scatterometer[J]. International Journal of Remote Sensing, 32(8): 2151–2171.
- LIN WENMING, DONG XIAOLONG, PORTABELLA M, et al, 2019. A perspective on the performance of the CFOSAT rotating fan-beam scatterometer[J]. IEEE Transactions on

- Geoscience and Remote Sensing, 57(2): 627–639.
- LIU JIANQIANG, LIN WENMING, DONG XIAOLONG, et al, 2020. First results from the rotating fan beam scatterometer onboard CFOSAT[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 58(12): 8793–8806.
- SONG QINJUN, CHEN SHUGUO, XUE CHENG, et al, 2019. Vicarious calibration of COCTS-HY1C at visible and near-infrared bands for ocean color application[J]. Optics Express, 27(21): A1615–A1626.
- XU XINGOU, STOFFELEN A, 2019. Wind retrieval for CFOSCAT edge and nadir observations based on neural networks and improved principle component analysis[C]// 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Yokohama, Japan: IEEE: 8121–8124.