

海洋光学遥感技术的发展和前沿

潘德炉, 李 炎

(国家海洋局海洋动力过程和卫星海洋学重点实验室, 杭州 310012)

[摘要] 空间遥感与信息技术已经发展成为满足人类对海洋资源和环境不同尺度和不同层次连续、动态的信息需求的必要手段。海洋光学遥感在实施大范围海面瞬间信息监测、数年至几十年长序列全球海洋数据采集等方面, 发挥了常规调查方法所不能替代的优势。从 20 世纪 70 年代开始, 国际上发展了利用测量离水辐射率的原理, 用现代的卫星遥感技术来实时监测海洋水色环境。80 年代以来, 我国对该项高技术也十分重视, 并有了长足进展。文章回顾我国近 20 年来海洋光学遥感技术的发展; 讨论了当前国家在海洋权益、防灾减灾、海洋资源管理和开发等方面的进一步需求; 论述了该技术在环境监测应用导向下的前沿, 如: 高精度分析和定量化、高频率长序列监测和业务化趋向、多平台监测数据同化和核心技术合成。

[关键词] 海洋光学; 遥感技术; 发展前沿

[中图分类号] V19; P71

[文献标识码] A

[文章编号] 1009-1742 (2003) 03-0039-05

1 卫星海洋光学遥感的发展

从 20 世纪 70 年代末以来, 随着空间地球观察技术的发展, 海洋光学遥感应应用潜力日益显示, 1978 年美国 NASA 发射了装载有 CZCS 的 Nimbus-7 号卫星, 一直工作到 1986 年, 揭示了全球性海区色素的时空分布和变化图^[1]。1987 和 1989 我国分别发射了 FY-1A 和 FY-1B 卫星, 其中都配置了 2 个海洋水色通道的高分辨率扫描辐射计 VHRSR, 虽然 2 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。1996 年日本发射了装有海洋水色水温扫描仪 OCTS 的 ADEOS-1 号卫星, 运行了 10 个月, 失效。1997 年 9 月美国紧接着又发射了配置有 SeaWiFS 的专门海洋水色卫星 SeaSTAR, 它具有低噪声, 高灵敏度, 合理波段配置和倾斜扫描等功能, 是当今国际上最先进的海洋水色卫星。我国于 2000 年 5 月成功地发射了 FY-1C 卫星, 卫星上的甚高分辨率辐射计带有 3 个专

用海洋水色波段, 卫星 2 年多的运行, 已在海洋环境监测中发挥了很大作用。2002 年 3 月, 又发射了神舟三号飞船, 带有主要用于海洋水色环境监测的中分辨率成像光谱仪, 由于海洋水色遥感的大气校正和微弱信息的提取等自身的特点, 今年我国还将发射第一颗海洋水色卫星 (HY-1), 这一颗专用海洋水色卫星带有两个遥感器, 十通道的海洋水色扫描仪 COCTS 和 CCD 相机, 都十分适合于海洋水色环境的监测和管理, 它同时能测量水色和水温参数, 是美国 SeaSTAR 卫星所不能及的。有关以上卫星各遥感器性能见表 1^[2]。

在发展水色卫星遥感器的同时, 我国在国家科技部和国防科委支持下, 现在已初步建成了包括卫星资料接收、处理、分发和应用的海洋光学遥感技术系统, 发展了适用于我国海岸带的大气校正, 叶绿素、悬浮泥沙以及黄色物质的算法, 并在海岸带水质环境监测、赤潮监视, 动力环境研究和初级生产力调查等方面取得了可喜成果。

[收稿日期] 2002-07-08

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (40006011)

[作者简介] 潘德炉 (1945-), 男, 浙江东阳市人, 中国工程院院士, 国家海洋局第二海洋研究所研究员

表 1 各种不同水色遥感器的性能比较表

Table 1 The property comparison of different sensors for ocean color remote sensing

国家和地区	USA	PRC	Japan	PRC	USA	PRC
参数/卫星	CZCS	FY-1B	OCTS	FY-1C	SeaWiFS	HY-1/COCTS/CZI
寿命	1978—86	1990—91	1996—97.6	1999—	1997—	2002
视场角/(°)	78.68	110.8	80.0	110.8	116.6	90/34.78
周期/min	104.07	102.76		102.76	98.88	100.8/99.8
倾角/(°)	99.28	98.9		98.9	98.2	98.8
高度/km	955	888.8	804.6	870	705	798
飞行方向	升轨	降轨	降轨	降轨	降轨	降轨
发射窗	11: 00	7: 55	10: 30	9: 00	12: 00	9: 00
象元点/行	1968	2048		2048	1285	1024/2048
扫描倾角/(°)	0, ±20	0	0, ±20	0	0, ±20	0
量化等级/bit	8	8	10	10	10	10
CH	±10nm	(u)	±10nm	(u)	±10nm	COCTS
1	440	058~0.6	412	0.43~0.48	412	±10nm
2	520	0.725~11.0	443	0.48~0.53	443	412
通 3	560	0.48~0.53	490	0.53~0.58	490	443
4	670	0.53~0.58	520	0.58~0.68	510	490
5	0.7~0.8u	10.5~12.5	565	0.84~0.89	555	520
6	10.5u~12.5u		665	0.9~0.965	670	565
道 7			756±20	1.58~1.64	765±20	665
8			865±20	3.55~3.93	865±20	765±20
9			3.55~3.88μ	10.3~11.3		865±20
10			8.25~8.80μ	11.5~12.5		10.3~11.4μ
11			10.3~11.4μ			11.4~12.5μ
12			11.4~12.5μ			CZI:
						420~500nm
						520~600
						610~690
						760~890

2 当前国家的进一步需求

从国家主权和经济活动安全出发，国家对海洋光学遥感信息的需求可分为四个层次。

第一层次是我国的海岸带（包括大陆领海和岛屿领海），面积约 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。海岸带是海洋和陆地国土利用程度最高的区域，也是海洋灾害频度和危害程度最高的区域，人类的生存和发展空间已经受到严重的限制。从国家利益出发，科学和规范地规划、管理和监控海岸带资源环境状况，乃是缓解

海岸带人口、资源和环境的压力，保证社会经济体系安全运行的关键环节。当前，海岸带高分辨率高精度监测技术需求迅速发展。国家和地方的规划、管理和监控系统，对海岸带国土资源总量和开发利用现状、环境质量状况、灾害发生状况和危害程度的动态监测，提出更高的管理需求。为对海洋国土实施有效的管辖，国家对岛礁和邻近海域的现状也需高分辨率高精度监控。沿海工程开发业主为保证投资安全和通过国家强制性的环境影响评价，也需要采用高分辨率高精度监测技术的前期工作。

第二层次是我国的近海（包括大陆架和专属经济区），面积约 $300 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。大陆架和专属经济区是我国传统的海洋水产生产基地，又蕴藏着极为丰富的海洋油气资源，在国民经济中所占的地位日益重要。随着我国经济的高速发展，自然与人为海洋灾害造成的损失日益加剧，近海海域产生水质恶化、海洋生态失衡等重大海洋环境问题，传统的高价值的生物资源明显衰减。为了保证大陆架和专属经济区海洋资源的有序开发和海洋工程建设的安全，国家急需开展业务化的近海海洋环境和海洋灾害等多学科信息服务。

第三层次是对周边海域（包括西太平洋）的海洋信息需求。主要关注周边海域海洋动力和海洋气象条件及其对近海动力、气象和生态系统的影响。

第四层次是对全球尺度海洋信息的需求。主要关注大尺度海洋现象，比如 El-Nino 现象的研究需求，并支持我国在全球环境问题上的发言权。

目前海洋光学遥感技术在上述四个层次国家需求中所占的比例有明显的差别。基本趋势是离岸越远，海洋光学遥感信息的权重越大；离岸越近，海洋光学遥感应用需求的精度、频度、深度和广度越大，商业化趋向越明显，高新技术生长点越多，核心技术的合成越复杂。

在第一层次的海岸带管理、防灾和工程开发需求，主要由岸基和船载测量技术承担。光学遥感一直作为辅助调查手段，应用于陆地和潮间带的地质地貌和开发利用现状调查，以及河口流场结构、悬浮泥沙分布研究等有限任务。然而，在超浅水复杂海区，船载测量效率很低，遥感技术可能是今后完成地形、水动力和泥沙高分辨率工程调查的主要手段。对于赤潮、排污、溢油等突发性海洋灾害要素和抗灾条件现状，遥感是今后实时监测和预报模型检验的主要手段。超浅水复杂海区遥感调查工程化技术，以及海岸带大范围多学科实时数据遥感采集和多任务预报模型核心技术，将成为第一层次中最迫切的国家需求。

第二层次的近海海洋环境和海洋灾害等多学科信息业务服务需求，我国的近海海洋环境预报系统主要由潜标、浮标、断面调查、海洋遥感数据和海洋动力数值模型组成。由于潜标、浮标和船载测量技术的成本较高，我国仅维持有限的调查断面和少量的浮标站。海洋遥感数据，将逐渐成为海洋动力环境预报的主要数据源。在缺乏化学和生态参数的

潜标、浮标和船载走航测量网络时，近海物质输运的信息服务系统将更多地依赖海洋光学遥感等长序列监测数据。

第三层次和第四层次需求的数据源主要来自国际性的海洋和空间遥感数据中心，以及我国在有关海域参与或组织的专项调查和研究。海洋遥感数据在数据源中占主导地位。

3 发展的前沿

目前各国公布的海洋卫星遥感计划基本上是以海洋环境监测和资源管理为主要目标。这类计划都明确提出，其宗旨是为决策、规划提供连续的、实用的信息源。环境应用导向的遥感卫星计划，一方面迎合用户在时间和空间上自由、便捷获取数据的需求，另一方面有力地推动了科研成果的产品化，有利于缩短研究开发和应用的周期。应用驱动使科研立项的社会和经济效益明确，较易得到政府和纳税者或投资者的支持，使计划具有持续性和充满活力。纵观海洋光学遥感技术的现状和进一步的需求，海洋光学遥感技术发展的前沿如下：

3.1 高精度分析和定量化

与能够大量进行地面验证的陆地遥感技术不同，海洋遥感技术一起步就要求向定量测量方向发展。高精度定量技术的发展，一方面从遥感器硬件设计、制作、定标和稳定性入手，另一方面从后发射校正和信息提取模型等软件入手。美国 SeaStar 卫星的 SeaWiFS 遥感器要求测量的辐射精度为 5%，我国目前发射的水色遥感器要求达到的辐射测量精度为 10%。叶绿素信息的提取精度，一类水体的误差不大于 30%，二类水体的误差为 40%~50%。但是东亚地区实际产品的误差常高出此范围。东亚地区的大气校正，特别是二类水体的大气校正，仍是高精度定量技术面临的最大的挑战。迄今为止，光谱分辨率仍是遥感定量分析精度的主要影响因素。面对海岸带的赤潮、排污、溢油等污染事件的压力，人们希望通过高光谱技术的应用，对海洋环境中各种物质的成份进行遥感定量分析。因此，许多国家把图像-光谱合一的高光谱遥感技术作为新一代卫星的生长点。高光谱分辨率遥感器的海量光谱和空间（图像）信息，为研究海洋环境的理化特征和生物学特征提供了条件，同时也向像谱合一的高光谱分辨率海洋遥感数据处理能力提出了挑战。二类水体的大气校正，仍是高光谱技术应用

的最大障碍。

3.2 高频率长序列监测和业务化趋向

历时近 20 年的全球长序列海面水温遥感记录、历时近 10 年的全球长序列海面叶绿素遥感记录、历时数年的全球长序列海面形态和海面风场遥感记录等,是海洋遥感技术对人类最有意义的贡献。但是当人类的关注点重新回到多灾多难的海岸带和近海时,适应高频率海洋现象业务化监测需求的长序列卫星遥感数据明显不足。为此,拓展海岸带和近海业务监测项目成为当前海洋遥感发展的趋势。我国、欧洲和美国都已提出支持海岸带赤潮等环境灾害的遥感监测计划,支持与海洋工程开发有关的长序列海岸带悬浮泥沙监测计划。然而鉴于二类水体的大气校正的困难,目前还未出现业务化的海岸带叶绿素黄色物质长序列监测成果。针对海岸带的赤潮、排污、溢油等污染事件的识别需求的算法和软件也还未成熟。我国政府对海岸带赤潮等环境灾害的遥感监测系统的关注和我们海洋光学遥感科研人员在二类水体大气校正的研究进展,可以使我国率先形成实现业务化的海岸带长序列监测。

3.3 多平台监测数据同化和核心技术合成趋向

实用的遥感监测系统与其他平台的数据采集系统具有不可分割的联系。由于遥感受直接探测海洋要素类型和探测精度、频度、深度的限制,海洋遥感的实用价值往往由间接导出成果体现,或者必须经过间接导出成果检验,比如海洋环流、海洋灾害性气象过程、海洋物质传输过程、海洋初级生产力等,因此对连接遥感数据与其他采集系统数据的同化载体提出了很高的要求。气象预报系统是以大气数值模型作为遥感与其他数据采集系统的数据同化载体,“数值地球”或“数值国土”系统则用地理信息系统作为遥感、地理信息系统和卫星定位系统(所谓 3S 技术)合成的载体。海洋遥感的对象,特

别是自然条件和人类活动十分复杂的海岸带,是气圈、水圈、岩石圈和生物圈相互剧烈作用的场所。因此,数据同化的载体,将同时包括大范围多任务的海洋数值模型和海洋地理信息系统。另一方面,要求模型和软件实现模块化,力求海洋监测系统中遥感资料的处理专用软件产品化和实用化,避免不必要的低效率重复现象。

4 结论

1) 20 世纪 80 年代以来,我国已成功发射了带有海洋光学遥感器的卫星,如 FY-1 系列卫星、神舟三号飞船、HY-1 卫星,并建成包括卫星遥感资料接收、处理、分发和应用的海洋光学遥感系统,已发挥了较好的社会和经济效益。空间遥感与信息技术已经发展成为满足人类对海洋资源和环境不同尺度与不同层次连续、动态信息需求的必要手段。

2) 当前我国在海洋权益、防灾减灾、海洋资源管理和开发等方面对海洋光学遥感技术有进一步需求。

3) 环境监测应用导向下的高精度分析和定量化、高频率长序列监测和业务化趋向、多平台监测数据同化和核心技术合成将成为海洋光学遥感技术发展的前沿。

参考文献

- [1] NASA. Nimbus-7 CZCS derived products scientific algorithm description[R]. NASA Rep. 1983, EACT-8085-0027
- [2] Pan Delu, Mao Tianming, Li shujing, et al. Study on detection of coastal water environment of China by ocean color remote sensing[J]. Acta Oceanologica sinica, 2001, 20, (1): 51~63

The Development of Marine Optical Remote Sensing and the Frontiers

Pan Delu, Li Yan

(Laboratory of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography
of State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

[Abstract] The space remote sensing and information technique have become a necessary tool to observe the different scale, different layer and continuous dynamical phenomenon of oceanic resources and environment. The

marine remote sensing has more advantage than the normal investigation in the collection of marine environment parameters of several years, even several ten years. In the 1970s the international scientists began the real time detection of oceanic environment by means of water leaving radiance measurement from satellite. China has paid great attention and has made great progress in this field since the 1980s. This paper, first, reviews the development of marine optical remote sensing in China over the last 20 years. Secondly, the needs of this technique in national rights and interests, preventing and reducing natural calamities and management and development of marine resources are discussed. Finally, the key technique and frontiers of the application of marine optical remote sensing in the monitoring of marine environment are expounded, such as marine satellite operational monitoring system, accuracy analysis and quantization, high frequency and long term monitor data collection, the combination application of multi sensor and key technique, etc.

[Key words] marine optics; remote sensing technique; development and frontiers

(cont. from p. 30)

The Sustainable Exploitation of Marine Fish Resources and the Research Directions of Science and Technology for Marine Fish

Lin Haoran

*(Institute of Aquatic Economic Animals and Guangdong Provincial Key Laboratory for Improved Variety
Reproduction of Aquatic Economic Animals, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)*

[Abstract] The implementation of proliferation and culture of marine fishes is the fundamental measure and effective avenue for the reasonable and sustainable exploitation of marine fish resources. Therefore, the establishment and development of modern techniques for the proliferation and culture of marine fishes is one of the important research areas in the marine biotechnology. The reproductive physiology and endocrinology, the growth and developmental biology, the immunology and the molecular biology are the theoretical basis of the proliferation and culture in marine fish. Deeply and systematically carrying out basic research and applied research of these disciplines nowadays has become the frontier and major research direction of the science and technology for marine fish.

[Key words] marine fish resource; sustainable exploitation; proliferation and culture of marine fish; science and technology for marine fish; marine biotechnology