深海开发的海洋环境保障需求、现状与发展建议

陈长林

(中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室 北京 100101)

摘要: 深海开发建设是人类发展的新方向,但实施过程对海洋环境的依赖性更强,对海洋环境信息保障的需求更加迫切。为满足国家战略发展需求,需提前筹划布局。文章从需求端分析海洋环境保障在深海开发建设中可发挥作用的领域和相应的保障内容;从航海导航、海洋测绘、海洋调查3个方面分析研究美国和我国在深海海洋环境保障方面的能力现状,从导航定位、信息获取、信息处理、信息应用、信息传输、信息整合6个方面深入剖析目前存在的差距;从学科发展角度提出重点发展建议,为科研选题和规划制定提供有益参考。

关键词: 深海环境;海洋测绘;海洋调查;深海基地;水下环境

中图分类号:P76;P751

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2023)02-0079-06

Research Status, Problems and Suggestions of Marine Environment Support for Deep Sea

CHEN Changlin

(State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The exploitation and construction of deep sea is a new direction for human development. In order to meet the national strategic development needs, it should be well planned in advance. Deep sea development is more dependent on the marine environment, and the demand for marine environment information is more urgent. This paper analyzed the fields in which the marine environmental service could play a role in the development and construction of deep sea and the corresponding service contents; from the aspects of navigation, hydrographic surveying and charting, and oceanographic survey, it analyzed the current status of the US and China's capabilities in deep sea marine environment support; then the gap between China and the United States in six aspects was analyzed; at last, some proposals were proposed from a disciplinary perspective.

Keywords: Deep sea environment, Hydrographic surveying and charting, Oceanographic survey, Deep sea base, Underwater environment

0 引言

我国“十三五”国家科技创新规划提出,为建立保障国家安全和战略利益的技术体系,要发展“深空、深海、深地、深蓝”等领域的战略高新技术。深海是构建海洋命运共同体的新领域,是开展科技创新和推动科技进步的新场所,是保障国家安全和维护国际海洋秩序的重要领域^[1]。对于深海的定义,不同领域有不同的界定,海洋生物领域一般定义为200 m,海洋工程及资源勘探开发领域一般定义为1 000 m^[2]。从人类探索海洋的长远角度考虑,本研究认为深海问题研究应聚焦1 000 m以深的海域。

我国台湾岛以东、南海大部分海域以及第一岛链以外至西太平洋和北印度洋都属于深海范畴。深海蕴含丰富的自然资源,应用空间广阔,战略价值极高,是我国海洋强国战略的重要组成部分^[3-4]。加强深海认知与开发,不仅是我国自身发展的需要,而且是为人类谋取更大生存空间的重要方向。抢占深海先机即可获得未来海洋权益的主动权。因此,深海控制权成为海洋强国竞相争夺的战略制高点^[5-7]。作为深海认识和开发的基础,海洋环境保护建设必然成为关注的焦点和研究的重点。

深海开发海洋环境保护涉及平台^[8]、装备^[9]和技术^[10-12]等多个层面,但目前国内外尚无体系层面的分析总结。本研究首先分析深海开发建设对海洋环境保护的需求,然后从航海导航、海洋测绘、海洋调查3个方面分别分析国内外现状,最后提出发展建议,以期为深海开发科研和建设提供工作提供参考。

1 需求

深海海域具有广阔性、连通性、隐蔽性特点,但开发探索尚浅、经略潜力巨大,愈发呈现出战略地位和应用价值,各海洋强国近些年都在加紧深海基地、潜航器、通信等领域的科技研发。认知环境是开发利用的前提条件,因此海洋环境保护必须与时俱进,深入研究深海对海洋环境信息的需求,加强深海海洋环境保护建设。

1.1 深海导航定位

深海导航定位是深海航行的基础和难点问题。水上方向,可使用多种导航定位方式,其中卫星导

航是主要方式。水下方向,深海导航定位无法依靠卫星导航系统,可运用惯性导航、声学导航和海洋地球物理导航及组合导航等多种方式,其特点分别如下^[13]:惯性导航仅能在入水前根据初始点推算导航定位,无法实时反馈和修正位置信息,随着深海航行距离和时间的累积,不可避免存在偏差;声学导航利用信标发射和接收声学信号,通过一定的算法推算导航定位,分为长基线、短基线和超短基线3类,但受海水介质制约,存在严重延迟、易受干扰和易暴露等问题;海洋地球物理导航的误差与作业距离和时间无关,具有受限少和隐蔽性强等优势,是全球研究热点,通过识别和提取采集到的实时地球物理信息和内置数字图像的特征点,实现深海探测定位和环境地图合成,但是匹配精度与海域特征变化程度相关。

1.2 深海航行操控

深海航行需要可靠的海洋环境信息提供保障。深海潜器使用需要掌握海流、内波、跃层、海底地形、海底底质等海洋环境要素信息;深海装备使用需要海流、海洋声速场、海洋重力场、海洋地磁场、海底地形等海洋环境要素信息的支撑;海流、内波等海洋环境参数对水下平台装备的使用效能影响很大。此外,深海生物、化学物质、地震、火山等环境也对航行安全带来影响。

1.3 深海基地建设

深海基地是以深海海底为基础的人工构筑物,可用于水下物资和能源储存,是深海开发的重要基站。海流、内波、温度、盐度、密度、地形、底质、重力、磁力、声道、噪声、生物、化学等环境要素深刻影响深海基地的施工建设、使用寿命和效能发挥等方面,因此必须在充分考虑深海环境的前提下,认真开展空间选址、规划和建设。

1.4 深海救援打捞

潜航器失事及海上沉船等海难事故时有发生,催生了深海救援与打捞技术的发展。深海救援打捞需要通过声呐探测技术获得海底地形数据和失事海域图像,判别失事舰艇及其人员方位信息,综合分析海风、海流、海浪、海温等信息,研究并确定搜救方案。

2 现状与差距

2.1 现状

当前,美国具有国际领先的全球海洋环境数据获取与处理能力,在深海海洋环境综合观测与信息应用的技术水平和保障能力均处于国际领先^[14];我国在海洋科技领域起步较晚,近些年开始在海洋方向加大投入,相应的支撑保障能力在不断提升,部分领域达到国际先进水平。

2.1.1 航海导航

(1)水上方向。美国的GPS是世界上最先进的全球卫星导航定位系统,其军用定位精度水平可达0.1 m,民用单点定位精度优于5 m、高程精度优于10 m,可以为地球表面98%的地区提供准确的定位服务,在世界各国的船舶、军舰上得到广泛应用。我国卫星导航应用设备可接收GPS、GLONASS、北斗二号导航卫星信号;我国的北斗三号已实现全球大部分覆盖,性能与GPS相当。

(2)水下方向。美国的惯性导航技术属国际领先。环形激光陀螺导航系统已经大批量生产并得到广泛应用。“深海导航定位系统”项目通过在海床安装声呐信标,帮助水下平台精准定位。水下潜航装备配有海洋物理场辅助导航模块。我国水下导航装备研制取得一定突破,惯性导航设备精度不断提高,长基线定位和差分水下GPS定位系统处于技术吸收与消化阶段,声学定位集成应用已为深海石油勘探提供重要技术保障^[15]。海洋地球物理导航方面目前处于理论体系研究与仿真验证阶段。

2.1.2 海洋测绘

美国方面:①航天测量装备已成规模。在轨测高卫星、地球物理场测量卫星和遥感卫星众多,可快速获得并更新海面浪高、重力场、磁力场、海底地形等海洋环境信息。②水面测量装备性能先进。美国测量船自动化程度高,电子设备齐全,综合测量能力强,可准确测量多种海洋环境参数。③水下测量装备技术领先。广泛使用水下无人航行器,加装测深仪、多波束测深系统、侧扫声呐、合成孔径声呐等装备,用于海底地形等测量。

在卫星和测量平台方面,我国处于国际先进水平,但是在测量设备仪器方面远落后于世界先进国

家。近些年由于国内加大投入,取得了一些突破,如研制成功具有自主知识产权的浅水多波束测深系统,此外深水多波束测深系统、侧扫声呐和浅地层剖面仪正在研制中,重磁力测量信息采集平台逐步实现多样化,海洋重力和磁力测量仪器研制国产化取得成效^[16]。在数据处理方面,具备数据融合处理和误差处理能力,如构建全球海域 $2' \times 2'$ 平均海平面高模型,建立 $15' \times 15'$ 全球海洋潮汐模型^[15];构建多尺度多专题海洋测绘数据库,初步建立数据库驱动的海图生产体系,具备数字海图、纸质海图、航海书表、航海通告等产品数字化生产能力^[17],基本具备深远海航海安全保障能力。

2.1.3 海洋调查

美国方面:①卫星遥感海洋环境监测能力较强。通过在轨20余颗气象卫星和海洋卫星,可获取各种大气和海洋环境参数,提供风场、海水透明度、海表温度等海洋环境信息,用于保障飞机和船舶航行等。②海洋调查船性能先进。美国拥有专业调查船500余艘,可实现全球作业,配装的调查装备性能先进,综合调查能力强。③水下调查装备发展快。温盐深仪、声速剖面仪等装备能够实时获取海洋环境信息。广泛使用水下无人航行器、潜标和浮标,能够实现水下环境的大范围自主测量。美国重视海洋环境无人值守监测技术的发展,研制成功ARGO浮标并被世界各国广泛使用,目前在用3600余枚,能够实时获取海洋0~2000 m的温盐深数据;重视深海潜器的发展,引领全球深海环境探测技术。

我国航天测量平台共有海洋系列卫星3组、风云系列卫星(FY-2、FY-3、FY-4)9颗、高分系列卫星33颗。民方共有48艘调查船,个别调查船已经具备国际同等或者领先水平^[8]。除平台外,另有系列海洋水文气象装备,主要包括温/盐/密、潮汐、海浪、流速/流向、海水透明度、云、风、温/压/湿、降水、能见度、天气现象等12类设备;声学调查装备包括底质取样与测量系统、水声探测浮标系统、拖曳式水声信号发射系统、海底表层底质探测系统,具备海洋声传播、海洋环境噪声、海洋混响、海底底质分类、海底底质取样等调查能力。同时,我国也在

努力发展国产化的水下无人飞行器、潜标和浮标,并在南海开展了中尺度涡观测实验^[9]。

2.2 差距

进入 21 世纪以来,国内外在深海开发海洋环境保护方面已取得不少成绩,但与人类认知海洋、开发海洋、经略海洋的迫切需求仍有不少差距。

2.2.1 深海导航定位能力不足,时空精度有待增强

无论是北斗还是 GPS,在海上都难以建立常规 CORS 站,同时水下无法使用卫星导航技术;惯性导航设备自主定位精度不断提升,但是高精度设备造价太高,难以大范围推广。同时,海洋地球物理导航理论方法研究有待深化,未能形成实用化辅助导航能力。

2.2.2 深海信息获取手段有限,自主保障能力待提升

尚未建立深海立体探测技术体系,大面积快速探测能力与需求存在差距;水下潜器与海底观测平台有待建设,对重要海域自主观探测能力不足;基于无人平台的观探测设备在续航能力、稳定性、可靠性等方面仍有较大提升空间。

2.2.3 深海信息处理水平较低,业务化运行有差距

基于现代海洋科学技术的多源海量异构海洋环境数据处理、分析、预报、辅助决策等能力建设还需加强,大数据、云计算和人工智能等高新技术未能有效落地应用;海底地形、重力场、磁场等模型数据标准未统一,未建立生产和应用体系;缺乏新型装备观探测数据质量控制与标准化处理手段,缺乏多源同步观测数据融合处理、典型复杂海洋环境诊断分析、海洋环境信息检验评估与典型海洋现象高精度诊断装备。

2.2.4 深海信息应用层次不高,决策支撑能力不足

未充分掌握深海环境时空规律和分布特征,难以深入分析、挖掘、运用深海海洋环境信息,仅作为宏观了解之用;海洋环境数据对平台装备影响模型掌握不清,对深海基地研究与开发、各类平台装备运用难以形成具体、针对性评估指导。

2.2.5 深海信息传输接收困难,可靠性和效率待提升

深海水下信息传输是国际性难题,主要利用海底通信电缆、水声中继站、低频大功率声呐系统等

设备。目前,水下通信网发展尚未成熟,深海信息传输量少,限制了大规模使用。

2.2.6 深海信息整合能力薄弱,服务保障能力有限

海洋环境领域标准化体制机制相对不完善,更多是面向科学应用,导致海洋环境信息分析、评估、处理、应用等方面效率不高;海洋环境数据大多分散于各个涉海部门和单位,以满足部门需求为主,各自调查和搜集的重点和水平存在较大差异;近些年国内外通过数据共享计划实现部分资源的开放共享,但是仍有大量数据、软件、模型只在实验室内部,难以被外界了解,影响科技成果的价值发挥。

3 发展建议

从全球角度来看,深海开发海洋环境保护仍有较大发展空间。针对海洋环境保护存在的 6 个方面问题,本研究从学科发展与技术研究层面提出重点发展建议。

3.1 深海导航定位:组合导航、高精地图、量子导航

为满足深海作业时空框架建立和位置服务需求,应重点开展新一代高精度水下导航定位关键技术攻关,持续提升水下航行安全保障能力。针对水下平台长时间自主航行需要,应加强深海定位标校和被动定位理论方法研究,继续推进惯性导航系统、多普勒导航系统、重力场辅助导航系统、海底地形辅助导航系统和磁罗经等若干手段共同组成的组合导航技术研究;开展量子导航技术应用研究,推进完善高精度水下导航地图模型构建,推动高度集成化、模块化、小型化的导航定位装备研制。

3.2 深海信息获取:无人化、多平台、智能化

为提高深海数据获取能力,应重点开展水下监测系统、水下无人观探测和海底观测网组网技术等方面研究,增强水下信息获取保障能力。应深化海底观/监测技术研究,重点解决海底观/监测网水下数传以及水声通信区域网络接入、接驳、控制和供电等技术难题,形成布局合理、运行稳定、自动化程度高的海底观/监测网。重点突破 AUV 和水下机器人自主观探测作业能力建设,在重点海域形成自主观探测能力。重点开展具备多平台协同感知和机动组网能力的海底观/监测网络建设,突破海底观/监测网能源供给、水下通信传输、水下接驳安全

防护等技术瓶颈。突破水下无人自主测量系统智能诊断及远程测试、深海平台远程遥控等技术瓶颈,水下自主观测探测技术趋于成熟。

3.3 深海信息处理:大数据、空间站、实时化

为提高深海海洋环境掌控能力,应重点开展模型精化理论方法研究,提升海洋环境保护的算力和效率。依托岸基算力,面向长周期深海自主巡航,开展海洋温盐结构场、声速梯度场、地球物理场的标准化数据处理方法研究,提升高性能计算机、服务器、工作站性能,利用云计算和大数据相关技术,建立分布式数值预报和产品制作平台;精化深海海洋环境时空结构特征及其变化规律,丰富完善深海海洋环境对装备运用影响评估的理论方法体系,探索利用深海空间站作为海洋环境数据存储、分发和预处理的新平台,提升深海环境保护的自主性、安全性和时效性。

3.4 深海信息应用:全息仿真、全域赋能、全维融合

为促进深海海洋环境数据融合,应重点开展多源异构深海海洋环境信息的融合处理、仿真和辅助决策支持,提升深海海洋环境信息应用支撑能力。建立融合各类海洋环境信息的全空间信息表达模型和基础平台;为海底基地和设备部署等海洋建设提供空间选址辅助决策;利用虚拟现实、增强现实和混合现实等技术构建分布式动态仿真系统;建立支持云计算、边缘计算、物联网的泛地理信息管理系统,面向海洋各类传感器平台提供空间计算和管理能力,完成海洋环境分布式动态仿真与可视化系统,实现应用领域全覆盖。

3.5 深海信息传输:综合组网、远程控制、量子通信

为满足深海各平台之间以及深海平台与天基平台之间的互联互通需求,应重点开展潜基和天基信息传输能力建设,提升深海海洋环境保护的效率、安全性和可靠性。加强水下光缆、声学通信和卫星通信组网建设,实现多手段综合组网,提高网络覆盖、容量、接入、服务、管控、安全防护等能力,初步构建深海海洋环境数据传输和交换能力;进一步拓展通信手段,发展不同频段水下无线通信装备,实现深海水下设备的远程控制,为深海海洋环境信息提供传输服务保障,提升大深度通信能力,

满足远距离、大深度对潜通信需求。

3.6 深海信息整合:开放共享、众源众包、知识图谱

为解决当前海洋环境数据散乱问题,应重点开展多源数据融合、共享与互操作机制生成和技术方法研究,充分挖掘数据价值。加强对 ISO(国际标准委员会)和 IHO(国际海道测量组织)等国际组织最新行业内标准的跟踪分析、消化吸收和转化应用,推动国际范围内融合数据标准体系和评估体系的构建。整合多方渠道数据资源,建设海洋环境垂直搜索引擎,重点发展深海方向,构建多源数据评估、转换、同化、融合和应用技术体系和运行机制,形成可应用于深海环境的标准化产品数据集,构建海洋环境知识图谱,实现多源异构数据集成、关联与动态可视化。

4 结语

深海开发具有战略意义,又极具挑战。目前对于深海环境的认知程度与深海大开发的愿望还有较大差距。由于海水覆盖,人类对于海底信息的获取手段十分匮乏、精度十分有限,对其认知还不如月球表面,尤其对深海空间知之甚少。深海环境信息获取、处理与运用必然是当前及未来一段时间内需要重点发展的方向。

随着深海开发利用的逐步推进,人类对于海洋环境信息的需求将越来越迫切,对于海洋环境数据采集、存储、处理、应用、分发的研究与应用将不断丰富,对海洋环境的认识也将不断深化。从未来一段时间来看,深海开发海洋环境保护仍然“问题多、空白多、短板多”,本研究更多是从体系角度分析,给出一些全局思考和建议,希望能够抛砖引玉、启发思维。

参考文献(References):

- [1] 史先鹏,邬长斌.基于海洋命运共同体理念的深海战略新疆域建设[J].海洋开发与管理,2020,37(4):17-22.
SHI Xianpeng, WU Changbin. Construction of a deep-sea new strategy territory based on the concept of a maritime community with a shared future[J]. People Forum: Ocean Development and Management, 2020, 37(4): 17-22.
- [2] 胡波.中国的深海战略与海洋强国建设[J].人民论坛·学术前沿,2017(18):14-23.

- HU Bo. China's deep-sea strategy and marine power road[J]. People Forum: Frontiers, 2017(18):14-23.
- [3] 马培浩. 对加强深海环境力量建设实现海洋强国战略的几点思考[J]. 国防, 2015(11):60-62.
- MA Peihao. Some thoughts on strengthening the construction of deep-sea environmental forces and realizing the strategy of becoming a powerful marine country[J]. National Defense, 2015(11):60-62.
- [4] 陈舒, 冯梁. 聚焦深海, 占领战略新高地: 世界深海军事应用发展现状[J]. 世界知识, 2018(24):60-62.
- CHEN Shu, FENG Liang. Focusing on the deep sea and building a new strategic highland: the development status of the world's deep sea military applications[J]. World Affairs, 2018(24):60-62.
- [5] 赵利. 海军基地隐建深海: 军事大国欲把深海辟战场[J]. 海洋世界, 2001(6):39-41.
- ZHAO Li. The navy base is hidden in the deep sea: the military power wants to turn the deep sea into a battlefield[J]. Ocean World, 2001(6):39-41.
- [6] 奔昀, 陈莹. 深海环境试金石: 透视美海军水下无人舰队建设[J]. 国防科技, 2006(7):41-44.
- YI Yun, CHEN Ying. Perspective on the construction of U.S. navy's underwater unmanned fleet[J]. National Defense Technology, 2006(7):41-44.
- [7] 朱鹏飞. 美国研制深海反潜战监视系统[J]. 舰船科学技术, 2012, 34(3):49.
- ZHU Pengfei. A deep sea antisubmarine warfare surveillance system developed by America [J]. Ship Science and Technology, 2012, 34(3):49.
- [8] 孟庆龙, 李守宏, 孙雅哲, 等. 国内外海洋调查船现状对比分析[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(11):26-31.
- MENG Qinglong, LI Shouhong, SUN Yazhe, et al. Comparative analysis on research vessels at home and abroad[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(11):26-31.
- [9] 李硕, 唐元贵, 黄琰, 等. 深海技术装备研制现状与展望[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(12):38-47.
- LI Shuo, TANG Yuanguai, HUANG Yan, et al. Review and prospect for Chinese deep-sea technology and equipment[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(12):38-47.
- [10] 刘淮. 国外深海技术发展研究(上)[J]. 船艇, 2006(258):6-18.
- LIU Huai. Research on development of overseas deep ocean technologies (I) [J]. Ships & Yachts, 2006(258):6-18.
- [11] 刘淮. 国外深海技术发展研究(二)[J]. 船艇, 2006(260):18-23.
- LIU Huai. Research on development of overseas deep ocean technologies (II) [J]. Ships & Yachts, 2006(260):18-23.
- [12] 刘淮. 国外深海技术发展研究(三)[J]. 船艇, 2006(262):16-23.
- LIU Huai. Research on development of overseas deep ocean technologies (III) [J]. Ships & Yachts, 2006(262):16-23.
- [13] 丁忠军, 任玉刚, 张奕, 等. 深海探测技术研发和展望[J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(4):71-77.
- DING Zhongjun, REN Yugang, ZHANG Yi, et al. Research and prospect of deep-sea detection technology[J]. Ocean Development and Management, 2019, 36(4):71-77.
- [14] 高艳波, 李慧青, 柴玉萍, 等. 深海高技术发展现状及趋势[J]. 海洋技术, 2010, 29(3):119-124.
- GAO Yanbo, LI Huiqing, CHAI Yuping, et al. The development of deep ocean high technology[J]. Journal of Ocean Technology, 2010, 29(3):119-124.
- [15] 杨元喜, 徐天河, 薛树强. 我国海洋大地测量基准与海洋导航技术研究进展与展望[J]. 测绘学报, 2017, 46(1):1-8.
- YANG Yuanxi, XU Tianhe, XUE Shuqiang. Progresses and prospects in developing marine geodetic datum and marine navigation of China[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(1):1-8.
- [16] 翟国君, 黄谟涛. 海洋测量技术研究进展与展望[J]. 测绘学报, 2017, 46(10):1752-1759.
- ZHAI Guojun, HUANG Motao. The review of development of marine surveying technology[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10):1752-1759.
- [17] 申家双, 葛忠孝, 陈长林. 我国海洋测绘研究进展[J]. 海洋测绘, 2018, 38(4):4-13, 24.
- SHEN Jiashuang, GE Zhongxiao, CHEN Changlin. Research progress of China's hydrographic surveying and charting[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2018, 38(4):4-13, 24.