

# 全球海洋可持续发展公共产品发展现状、挑战与建议

殷晓斌<sup>1</sup>, 蒋兴伟<sup>2\*</sup>, 秦艳萍<sup>3</sup>, 潘嵩<sup>4</sup>, 王丹<sup>5</sup>, 王久珂<sup>6</sup>, 王兆徽<sup>2</sup>, 吕乐恬<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学, 山东青岛 266100; 2. 国家卫星海洋应用中心, 北京 100081; 3. 海南卫星海洋应用研究院有限公司, 海南三亚 572025; 4. 国家海洋信息中心, 天津 300171; 5. 自然资源部海洋减灾中心, 北京 100194; 6. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

**摘要:** 全球海洋可持续发展公共产品在全球海洋可持续发展中具有重要作用, 是推动全球海洋可持续发展的关键因素之一。为了解全球海洋资源的利用和保护情况, 以及各国在海洋可持续发展领域的合作情况和发展趋势, 本文对全球海洋可持续发展公共产品的发展现状和趋势进行了梳理, 剖析了我国在相关领域面临的重大科技问题和挑战; 提炼了我国工程科技在全球海洋可持续发展公共产品领域的优先发展方向。为解决全球海洋可持续发展公共产品领域存在的问题与挑战, 提出我国需要继续加强海洋科技和综合国力建设; 建立有效的海洋观测和数据共享机制; 加强国际合作和战略规划, 提高在全球海洋可持续发展公共产品领域的地位和影响力, 促进全球海洋的可持续发展。

**关键词:** 全球海洋可持续发展; 公共产品; 海洋科技; 共享机制; 国际影响力

**中图分类号:** T01 **文献标识码:** A

## Public Goods for Global Ocean Sustainable Development: Current Status, Challenges, and Recommendations

Yin Xiaobin<sup>1</sup>, Jiang Xingwei<sup>2\*</sup>, Qin Yanping<sup>3</sup>, Pan Song<sup>4</sup>, Wang Dan<sup>5</sup>, Wang Jiuke<sup>6</sup>, Wang Zhaohui<sup>2</sup>, Lyu Letian<sup>1</sup>

(1. Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China; 2. National Satellite Ocean Application Service, Beijing 100081, China; 3. Hainan Institute of Satellite Ocean Application, Sanya 572025, Hainan, China; 4. National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China; 5. National Marine Hazard Mitigation Service, Ministry of Natural Resources, Beijing 100194, China; 6. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Public goods for the global ocean sustainable development (GOSD) are key to promoting the sustainable development of oceans globally. To understand the utilization and protection status of global ocean resources as well as the international cooperation and trend regarding GOSD, this study summarizes the current status and development trends of the GOSD public goods in China and abroad, analyzes the major scientific and technological problems and challenges faced by China in related fields, and proposes the development priorities of the GOSD public goods in terms of engineering technologies. Furthermore, it proposes that China should boost its comprehensive strength in ocean science and technology by establishing an effective mechanism for ocean observation and data sharing and enhance international cooperation and strategic planning to promote its international influence in the field of GOSD public goods.

**Keywords:** global ocean sustainable development; public goods; marine science and technology; sharing mechanism; international influence

收稿日期: 2023-03-25; 修回日期: 2023-04-30

通讯作者: \*蒋兴伟, 国家卫星海洋应用中心研究员, 中国工程院院士, 主要研究方向为海洋遥感; E-mail: xwjjiang@mail.nsoas.org.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“深度参与全球海洋治理的重大科技问题战略研究”(2022-XBZD-11)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

### 一、前言

全球海洋可持续发展面临着严峻的挑战，海洋生态环境的恶化、资源的过度开发、海洋污染等问题已经影响到全球经济和社会的可持续发展。单个国家或地区难以解决这些问题，需要全球协同合作。因此，发展全球海洋可持续发展公共产品具有重要的现实意义和战略意义。全球海洋可持续发展公共产品是指由主权国家和非国家行为体共同提供和使用的，用以解决各种海洋问题和促进良好海洋秩序的各种有形和无形的公共产品的总称，包括：海洋法律体系、海洋政策和规划、海洋科学研究等。它可以为世界各国提供一个共同的框架和平台，协调各国的海洋可持续发展政策和行动，促进全球海洋生态环境的保护和海洋资源的可持续利用。

目前，全球海洋可持续发展公共产品的研究已经逐渐成为全球海洋可持续发展研究领域的热点之一，并取得了一定进展，包括：海洋观测技术不断发展，数据共享机制逐步建立，海洋法律体系不断完善等，促进了全球海洋可持续发展公共产品的发展和保护。同时，各国和国际组织纷纷加强对全球海洋可持续发展公共产品的研究和投入，例如：签署国际公约、制定国际标准和规则、共享海洋信息和技术等，推动了海洋科技和产业的发展<sup>[1]</sup>，有力地促进了全球海洋可持续发展。尽管全球海洋可持续发展公共产品研究已经有了一定进展，但在实践中仍然存在许多挑战和难题。海洋可持续发展公共产品的范围非常广泛，其中海洋基础数据、国家海洋科学合作、海洋环境数值预报模式和电子海图等方面尤为重要。本文将以此类典型公共产品为视角，分析全球海洋可持续发展公共产品的现状和趋势，探讨面临的挑战，并提出针对性对策建议，以为海洋可持续发展公共产品研究提供参考。

### 二、全球海洋可持续发展公共产品的发展现状和趋势

#### (一) 海洋基础数据发展现状和趋势

作为全球海洋可持续发展公共产品之一，海洋基础数据可为全球海洋可持续发展、科学合理的海洋政策和管理措施的制定提供重要的信息支持。目

前，海洋基础数据在国外的的发展日趋成熟，许多国家已经建立了完善的海洋数据收集、处理、共享和利用机制，为全球海洋可持续发展提供了有力支持。其中，欧洲海洋观测系统、美国国家海洋和大气管理局、澳大利亚海洋数据中心等机构已经成为全球海洋基础数据领域的重要领军者。此外，随着卫星技术的不断发展，海洋卫星数据已成为海洋基础数据中的重要组成部分，其应用范围不断扩大，数据品质逐步提高，数据共享和开放也更加普及。例如，欧洲航天局的 Sentinel 卫星系列提供了高分辨率的海洋图像、海洋温度<sup>[2]</sup>、海洋水色<sup>[3]</sup>等信息，可应用于海洋环境、海洋气象、海洋生态等领域；美国和法国联合研制的 TOPEX/Poseidon 和 Jason 系列高度计卫星提供了高精度的海面高度、地转流等数据<sup>[4,5]</sup>，可应用于海洋动力环境监测等领域。未来，海洋基础数据将向更加全面、优质和共享的方向发展，为促进全球海洋可持续发展提供坚实的基础。

随着国家对海洋经济和科技发展的日益重视，中国海洋基础数据的整合和共享工作已经启动，并逐步建立了数据开放共享的政策制度以及各具特色的海洋数据资料共享发布平台。其中，国家海洋科学数据中心是国内最重要的海洋数据管理和服务机构之一，致力于整合、管理和服务国家海洋科学数据资源，提供包括观测数据、调查数据、试验数据和模型数据在内的海洋科学数据服务。此外，海洋科学大数据中心也在国家大力支持下逐渐发展壮大，为全球范围内的海洋科学家和海洋产业提供数据资料和相关技术服务。未来，中国海洋基础数据研究将会持续加强，国家将会进一步加大对海洋科学数据资源的投入和支持力度，推动数据集成、共享和服务，实现数据的高效利用和价值最大化。同时，随着新技术的应用和不断发展<sup>[6,7]</sup>，海洋基础数据的处理能力和利用效益将会不断提升，为中国海洋经济和海洋可持续发展提供更加精准的数据支撑。

#### (二) 电子海图发展现状和趋势

电子海图是指利用电子计算机技术和卫星导航技术所制作的航海地图，相比传统的纸质海图，具有精度更高、可更新性更强、信息量更大、可交互性更强等优势。作为海洋基础数据，电子海图在保障海上安全、促进海洋资源开发和环境管理、支持

海洋科学研究等方面具有重要意义。因此, 本文将电子海图作为一个单独的话题, 进行深入探讨。在国外, 电子海图已经成为航海领域的标配, 被广泛应用于商业、军事和科研等领域。电子海图最早的技术标准源于1987年在北海进行的一项实验, 随后国际海道测量组织(IHO)发布了电子海图技术的标准规范<sup>[8]</sup>。这一标准规范的制定和实施, 极大地促进了全球电子海图技术的发展和运用, 促进了海洋运输和海上安全的提升。2018年, 日本财团宣布启动了一项全球海底测绘计划<sup>[9]</sup>, 旨在通过全球性的合作, 利用现代测绘技术和数据处理技术, 对全球海底地形进行高精度测绘, 实现对全球海洋环境的全面了解和保护。该计划的实施将有助于提高全球海底地形数据的质量和准确性, 为全球海洋管理和保护提供更好的基础数据和支持。未来的电子海图将更加高精度、可靠和智能化, 以更好地满足航海领域的需求。此外, 随着人工智能技术的不断应用, 电子海图的信息处理和分析能力也将得到进一步提升, 从而更好地支持航海决策和保障海上安全。

我国开始研究电子海图可以追溯到20世纪80年代末和90年代初, 当时, 我国海军在引进和开发现代化导航技术的过程中, 开始关注电子海图的研究和应用。此后, 我国基于电子海图国际标准逐步建立了适应电子海图制作和使用的技术体系。随着我国海洋事业的快速发展<sup>[10]</sup>, 电子海图的研究和应用也得到了进一步推进和发展。目前, 各高校和研究中心已经研制了完整、覆盖面广的电子海图系统, 包括东海、南海、黄海和中国近海等海域的电子海图系统, 例如: 中国船舶科学研究中心研制的“东海电子海图”、中国海洋大学研制的“南海电子海图”、中国地质大学研制的“黄海电子海图”、中国科学院海洋研究所研制的“中国近海电子海图”。同时, 我国在电子海图的制作、更新、发布和共享等方面也取得了不少成果, 积极推进了电子海图的标准化和规范化。未来, 随着技术的不断革新和应用范围的扩大, 中国的电子海图研究将会在数据共享、信息更新、安全保障等方面不断发展, 为我国海上航行和海洋经济的发展提供更加准确、高效、安全的支持。

### (三) 海洋环境数值预报模式发展现状和趋势

海洋环境数值预报模式是指利用数值模拟方法

对大气、海洋、陆地等自然环境进行预测的技术, 可以为政府、企业和个人提供重要的气象、海洋和环境信息, 帮助人们做出更加明智的决策, 促进可持续发展。它是海洋可持续发展公共产品的重要组成部分, 包括海流模式、海浪模式、海气耦合模式等。海流模式按照研究区域又可划分为区域海流模式和全球海流模式, 用于模拟从中小尺度到大尺度的海洋流动现象。目前, 国际上比较常用的区域海流模式包括ROMS (Regional Ocean Modeling System)<sup>[11]</sup>、FVCOM (Finite-Volume Coastal Ocean Model)<sup>[12]</sup>、POM (Princeton Ocean Model)<sup>[13]</sup>等, 全球海流模式包括MITgcm (Massachusetts Institute of Technology General Circulation Model)<sup>[14]</sup>、HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model)<sup>[15]</sup>、OFES (Ocean General Circulation Model for the Earth Simulator)<sup>[16]</sup>、MOM (Modular Ocean Model)<sup>[17]</sup>、NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean)<sup>[18]</sup>等, 海浪模式包括WAM (Wave Modeling)、WW3 (Wave Watch III)<sup>[19]</sup>、SWAN (Simulating Waves Nearshore)<sup>[20]</sup>、STWAVE (Steady-State Spectral Wave Model)<sup>[21]</sup>、SWASH (Simulating Waves till Shore)<sup>[22]</sup>等, 海气耦合模式主要包括CESM (Community Earth System Model)<sup>[23]</sup>、GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)<sup>[24]</sup>、NorESM (Norwegian Earth System Model)<sup>[25]</sup>等。这些海洋环境数值预报模式正不断得到完善和优化, 模式的精度和可靠性将持续提高, 以适应不断变化的海洋环境预报需求。此外, 随着技术的进步和应用场景的拓展, 海洋环境数值预报模式将会继续得到广泛的研究和应用。

从20世纪80年代末和90年代初起, 我国也相继自主发展了各类海洋环境数值预报模式, 其中, 海流模式包括LICOM (LASG/IAP Climate System Ocean Model)<sup>[26]</sup>、MaCOM (Mass Conservation Ocean Model)<sup>[27]</sup>等, 海浪模式包括LAGFD-WAM (LAGFD-Wave Modeling)<sup>[28]</sup>、MASNUM (Marine Science and Numerical Modeling)<sup>[29]</sup>、YE-WAM (YE-Wave Modeling)<sup>[30]</sup>等, 海气耦合模式有BCC\_AGCM2.0.1\_CUACE<sup>[31]</sup>、FGOALS-g2<sup>[32]</sup>、COSMO-CLM/ROMSCFSv2<sup>[33]</sup>等。中国的海洋环境数值预报模式已经逐步实现了全球覆盖和高精度预报, 已经成为中国海洋科学和技术领域的重要研究方向。未来的发展趋势是多尺度、多分辨率预报模式的发展、数据同化技术的应用、

模式耦合的发展、高性能计算技术的应用以及预报产品的多样化。这些趋势将进一步提高中国海洋环境数值预报的准确性、可靠性和实用性，有助于保护海洋环境，促进海洋经济的可持续发展。

### （四）国际海洋科学合作发展现状和趋势

国际海洋科学合作是指各国在海洋科技、海洋经济、海洋环境等领域开展合作，以促进全球海洋可持续发展<sup>[34]</sup>。全球第一个国际海洋科学组织是国际海洋考察理事会，成立于1902年。随着1960年政府间海洋学委员会的成立，全球海洋科学的国际合作得到了进一步推动。同时，海洋观测也成为全球海洋国际合作中必不可少的组成部分<sup>[35]</sup>。自20世纪80年代以来，为了开展海洋观测，各国相继实施了热带海洋与全球大气计划（TOGA）、世界大洋环流实验（WOCE）计划、全球海洋观测系统（GOOS）<sup>[36,37]</sup>、地转海洋学实时观测阵（Argo）计划<sup>[38,39]</sup>等。在全球海洋观测系统中，Argo计划是其中的主要组成部分，旨在监测上层海洋温度和盐度的变化。此外，为了更好地推进国际海洋学数据和信息的交流，于1961年建立了“国际海洋学数据和信息交换计划（IODE）”，该计划的目标是加强海洋的研究、开发和利用。2021年，IODE进一步扩大了合作范围，吸纳了国际海底管理局（ISA）加入该计划，这使得ISA的生物多样性数据和关键环境数据能够更广泛地向全球开放。这些国际合作项目的实施，充分体现了各国在海洋领域的共同合作和努力，为推动全球海洋观测和研究做出了重要贡献。未来，国际海洋科学合作将继续保持良好的发展势头，特别是在应对气候变化、海洋污染和海洋生态保护等方面，国际合作将发挥更为重要的作用。同时，随着科技的不断发展，海洋科学合作将进一步拓展到数据共享、人才培养和技术创新等领域，推动全球海洋科学的发展。

自改革开放以来，中国与全球各海洋国家在海洋领域的合作不断加强并逐渐深入。目前，中国已经加入了多个海洋领域的合作组织，与多个国家和地区签署和开展了众多成功的合作项目。自1998年我国先后加入大洋钻探计划（ODP）、综合大洋钻探计划（IODP）、国际大洋发现计划（IODP），与其他国家共同开展海底钻探及相关研究，并在南海、东海、太平洋等区域参与了多次IODP钻探。

此外，中国、日本、韩国三国在海洋调查、海洋卫星应用、海洋能源开发等领域展开了合作，合作项目取得了不少成果，如中国、日本、韩国三国共同开展的“南海水深环境调查”。在南极科学考察方面，中国已有超过30年历史，包括南极综合科考、南极环境变化与地球系统科考、南极生态系统科考、南极冰川科考等，以及在南极建设的“长城”站、“昆仑”站等科考站点。此外，中国积极参与了国际海洋观测项目，如GOOS、全球海洋数据同化实验（GODAE）等。未来，作为全球第三大海洋国家，中国将继续加强与东盟、南亚、非洲等国家和地区的海洋科学合作，推进“一带一路”建设中海洋合作的深入发展，为提高中国在国际海洋事务中的话语权、推进全球海洋可持续发展做出更大的贡献。此外，中国将加强海洋科学领域的国际交流和合作，与国际海洋组织和其他国家和地区的科研机构合作，共同推动海洋科学研究的进展和应用。

## 三、我国在海洋可持续发展公共产品领域面临的重大科技问题与挑战

### （一）海洋基础数据来源相对单一，共享机制不够完善

海洋基础数据在全球海洋可持续发展公共产品中扮演着重要角色，支持海洋管理、科学研究以及海洋产业等多个领域。虽然我国在海洋基础数据的研究和应用方面取得了一定的进展，但与国外相比，仍存在一些不足。

（1）相比国外，我国海洋观测和数据收集体系相对薄弱，海洋部门和相关机构主要负责海洋基础数据的收集和管理，但由于各种限制和困难，数据的来源相对单一，缺乏多元化的获取手段和数据来源。同时，数据的时空分布和覆盖范围也存在局限性，数据的质量和时效性难以得到有效保证。

（2）国内在海洋基础数据的共享方面还存在一定的欠缺。国内一些机构和单位对海洋基础数据的共享意识不够强烈，存在着不愿意共享和不愿意接受共享的情况，限制了海洋基础数据的共享和使用。此外，国内海洋基础数据共享机制不够完善，涉及到海洋数据的单位和机构之间的共享方式、共享数据范围、共享数据的使用权限等问题，并且数据安全和隐私问题也可能影响数据共享。

(3) 国内在海洋基础数据的应用推广方面还有待加强。由于缺乏应用场景和应用模式的研究和推广以及专业技术人员对海洋基础数据的理解和应用,导致海洋基础数据的应用方式和方法不够多样化和创新化。例如,海洋卫星数据作为海洋基础数据的重要组成部分,虽初步形成了稳定、可靠的海洋卫星数据服务体系,但其整体应用不多。

## (二) 电子海图服务形式单一,更新维护不足

随着我国海洋经济的快速发展,海洋航行活动日益频繁,电子海图作为航海和海洋资源开发的重要工具和基础设施,具有不可替代的作用。然而,尽管我国在电子海图制图技术方面取得了很大进步,但在实际应用中,仍然存在一些不足,需要进一步加强研究和改进。

(1) 国内在电子海图制作技术方面还有待提高。当前电子海图制作技术尚未达到发达国家水平,制图精度和准确度有待提高。这主要是因为电子海图制作技术需要结合高精度的地形地貌数据和遥感数据,而这些数据的获取和更新在我国仍存在一些困难和限制,导致制图数据精度和准确度不够高。另外,电子海图制作技术还需要结合一些先进的算法和软件工具,而这方面在国内的研究和应用相对较少,需要进一步加强研究和开发。

(2) 国内在海图更新和维护方面存在一些困难。由于海洋环境的复杂性和变化性,海图更新和维护是一个持续不断的工作<sup>[40]</sup>。然而,国内目前在海图更新和维护方面的投入还比较有限,限制了海图的及时更新和高频率维护。

(3) 国内在海图服务方面还需要加强。海图服务是指将海图与其他海洋数据进行集成,提供给用户一系列功能和服务的过程,其在现代海洋产业中有着举足轻重的作用,对保障海上安全、促进海洋经济发展具有重要的意义。然而,国内在海图服务方面还存在一些问题。一方面,国内海图服务的创新和研发水平相对滞后,缺乏前沿的技术和手段;另一方面,国内现有的海图服务形式相对单一,缺乏针对不同行业的定制化服务,无法满足各行业的需求。此外,海图服务的普及度和可应用性也需要进一步提高。

(4) 国内在海图标准和规范方面还比较薄弱。中国的海图标准和规范相对落后,与国际标准存在

差距。这是因为过去几十年来,中国的航海测绘技术和设备相对落后,导致海图制作的标准和规范相对简单和不完善。同时,国际海事组织(IMO)和IHO等国际组织不断更新和完善海图制作的标准和规范,加大了国内与国际标准之间的差距。此外,我国电子海图的制作和发布缺乏统一的标准和规范,导致不同制图单位之间的海图数据存在差异。

## (三) 海洋环境数值预报模式数据采集不充分,应用推广不足

虽然我国在海洋环境数值预报领域已取得了重要的进展和成果,并逐步与国际先进水平接轨,但与一些海洋大国相比,仍存在一定的差距。

(1) 国内海洋环境数值预报模式发展相对较晚,目前的技术水平和应用范围与国外相比仍有一定差距。国外在海洋环境数值预报模式的研究和应用方面已经有了很长时间的积累和经验,采用了先进的技术手段和方法,模型性能和预报结果精度较高,而我国在这方面的研究起步相对较晚,尚需进一步提高技术水平和扩大应用范围<sup>[41]</sup>。

(2) 我国的海洋环境数值预报模式主要集中在近海海域和部分远洋海域,而在复杂海域、极地海域和深海等领域的研究还比较薄弱。这些海域的环境因素复杂多样,例如海冰、洋流、海气交互作用、水文特征等,这些因素之间相互影响,相互制约。要建立有效的预报模型,需要采集更多、更准确的数据,并建立更加精细、高精度的数值预报模型。然而,这些海域的环境数据采集难度大,观测手段相对有限,因此对于这些海域环境的预报仍然存在很大的不确定性。

(3) 国内海洋环境数值预报数据的开放程度和共享机制有待加强。在国外,很多国家和地区都建立了海洋环境数值预报数据的开放共享平台,为广大用户提供了方便的数据获取和使用渠道,促进了海洋环境数值预报的广泛应用和发展。但是,在国内,由于涉及到数据安全、知识产权等问题,海洋环境数值预报数据的共享机制尚未得到充分发展。

## (四) 国际海洋合作缺乏战略指导,存在较大阻力

国际海洋科学合作是全球海洋可持续发展的重要组成部分,也是实现各国共同利益的最佳选择之一。随着经济全球化的不断深化和互联互通的加

强，各国在海洋资源开发中既有竞争又有合作。在这种情况下，各国需要基于合作共赢的原则，共同建立国际合作机制，以确保海洋资源的可持续开发和利用<sup>[42]</sup>。

(1) 我国已加强了国际海洋科学合作的意识，但是在海洋科学合作方面缺乏明确的政策文件，缺乏对海洋科学合作的具体指导和战略规划，导致合作方向和目标不够明确，并且缺乏统一的组织和协调机构，海洋科学合作的工作程序和流程不够规范，各合作方的分工和职责不够明确。

(2) 中国与其他国家的海洋科技合作主要以双边合作为主，多边合作相对较少。并且合作领域也相对较窄，主要集中在海洋观测、海洋资源开发、海洋环境保护等方面，而在一些新兴领域的合作还比较有限。

(3) 中国在参与全球海洋可持续发展体系建设方面面临着议程设置与规则制定能力不足和国际政治环境的双重挑战。一方面，中国在国际海洋事务中的话语权和参与度仍然较低，无法主导议程设置和规则制定，导致其在全球海洋可持续发展体系建设中的发言权不足。另一方面，美国及其诸海洋强国的盟友和伙伴国在全球海洋可持续发展体系中占据着重要地位<sup>[43]</sup>，他们会利用自身优势在规则制定和实践推动中对中国施加压力，使中国难以在全球海洋可持续发展中发挥更大的作用。因此，中国需要提升议程设置与规则制定的能力，加强与各国的合作，争取更多的发言权和影响力，同时与国际社会共同推动建立公正、平衡、包容的全球海洋可持续发展体系，促进海洋资源的可持续利用和保护。

## 四、我国海洋可持续发展公共产品领域工程技术优先发展方向分析

### (一) 海洋基础数据优先发展方向分析

在海洋观测技术不断发展、国际合作不断加强以及国家政策的大力支持下，我国海洋基础数据将展现出多个发展方向。

#### 1. 深度挖掘海洋基础数据

通过大数据分析、人工智能等手段，对已有的海洋基础数据进行进一步的挖掘和分析，从中发现更深层次、更有价值的信息。这种方法的应用将为

海洋领域提供更加全面、准确、实用的数据支持。例如，通过对数据的深度挖掘，可以发现海洋生物、海底地形、海洋气候等方面的新信息，为海洋科学研究提供更多的数据支持。同时，还可以为海洋经济的发展提供更加详实的数据支撑，帮助企业更好地规划和决策。

#### 2. 建设标准化和规范化海洋基础数据

随着海洋科技的不断进步和应用需求的不断增加，海洋基础数据向标准化和规范化方向发展已成为海洋领域中的共识。规范化和标准化的数据能够提高数据的质量和可靠性，减少数据的重复采集和处理，提高数据的共享和交流效率，同时还能够促进各个领域之间的数据互通和共享，为海洋经济和海洋科学研究提供更加强有力的数据支持。

#### 3. 完善海洋数据共享平台

共享平台可以促进数据的交叉利用，促进不同领域的合作和交流，激发新的科学发现和创新。通过数据的共享，研究人员可以访问到更多、更全面的海洋数据资源，从而开展更深入的研究和分析。此外，还能够更好地监测和控制数据的来源、采集方法、处理过程等，确保数据的可信度和一致性。随着数据共享技术的不断进步和数据安全保障技术的不断提高，数据共享将呈现出更加广泛、深入的趋势。

## (二) 电子海图优先发展方向分析

#### 1. 发展多维化电子海图数据

科技的不断进步和应用需求的不断增加使得电子海图正向多维化方向发展<sup>[44]</sup>。多维化是电子海图未来发展的重要方向，它不仅包括海图的立体化、动态化、可视化等方面，还将涉及到更多的海洋信息和航行数据的整合和展示。这将为航海工作者提供更加全面、准确、实用的航行信息，提高航海安全性。同时，多维化的电子海图也将为航海科技和海洋环境研究提供更可靠的数据，推动航海科技的进一步发展。

#### 2. 提高电子海图的自主环境感知能力

通过整合无人机、传感技术等手段，实现对海洋环境的感知和监测<sup>[45]</sup>，并将这些感知和监测的数据集成到电子海图中，使其能够提供更准确、实时的海洋信息。使用无人机巡航海面并实时监测海洋环境变化，将提高电子海图的准确性，为航海工作

者提供可靠的导航支持。此外,通过传感器技术获取水深、水流等数据,并将其传输给航海工作者,有助于规划航线和避免风险,进一步提升航行效率,保障航海安全。

### 3. 加快新技术融合,为智能航运提供支撑

人工智能、大数据、云计算等技术的应用将极大地提升电子海图的功能和应用价值。通过人工智能技术的运用,电子海图可以自动化生成、更新和修正,减少了人力成本和错误率。大数据的应用则可以为航海工作者提供更加全面、详实的海洋信息,对危险及时预报和预警,帮助他们更好地规划航线,避免突发状况造成的伤亡和损失。云计算则可以将海图数据保存在云端,实现数据共享和协同工作,提高海图数据的传输和处理速度。可以说,新技术的融合将大幅度提升电子海图的可靠性、精准度和实用性,为航海事业带来更多的便利和效益。

## (三) 海洋环境数值预报模式优先发展方向分析

随着海洋环境数值预报技术的不断完善,海洋观测技术的快速发展,未来海洋环境数值预报模式将向以下几个方向发展。

### 1. 发展高精度预报技术,提高环境预报时效

随着科技的不断发展,海洋环境数值预报模式正向高精度和高时效方向不断发展。准确和及时的环境预报可以提供重要的安全信息,帮助人们应对海洋和气象等自然环境的变化和灾害,例如:预报海洋风暴、海浪、潮汐和海冰等可以帮助航海者、渔民和沿海居民做出更安全的决策。同时,高质量的环境预报对于海洋经济活动的规划和决策至关重要。此外,预测海洋气候变化、温度、盐度、海流等因素可以帮助渔业、航运、油气勘探和海洋旅游等行业进行优化管理,提高效率并减少损失。

### 2. 促进人工智能和数值模式相互协作

海洋数值预报模式正向与人工智能相互协作的方向不断发展<sup>[46]</sup>。相比传统的基于物理学原理的海洋数值预报模式,人工智能技术可以通过学习和分析大量历史数据,从而提升预报准确性和时效性。通过将海洋数值预报模式与人工智能技术结合,可以使预报准确性提高、预报范围扩大、预报时效性更强。此外,人工智能技术还能通过数值预报模式的反馈机制不断优化和改进自身的学习和预测能力,形成良性循环。

### 3. 加强高性能计算和大数据技术的应用

高性能计算技术具备更为强大的计算能力,能加快数值预报模式的运算速度;大数据技术则可以利用大量的历史数据进行学习和分析,提高预报的准确性。通过将高性能计算和大数据技术与海洋数值预报模式相结合,可以更迅速地分析和预测海洋环境变化,并为海洋环境监测和海上作业等提供更为精准的数据信息和实时的安全保障。

## (四) 国际海洋科学合作优先发展方向分析

根据我国参与国际海洋科学合作的现状,未来参与国际海洋科学合作的优先发展方向应该是拓宽合作领域和方式,加强国际科学和技术标准的制定和推广等。

### 1. 加强同周边国家的海洋合作与交流

日本、韩国、朝鲜、越南和菲律宾等国家拥有丰富的海洋资源,同时也面临着许多共同的海洋问题,如海洋污染、海洋生态系统破坏等。加强海洋合作与交流可以共同应对这些问题,推动亚太地区海洋事业的可持续发展。此外,通过海洋合作与交流,可以加强技术和经验的共享,加速科学研究和技术创新,共同推动海洋环境保护和可持续利用。

### 2. 加强参与国际科学和技术标准的制定和推广

科学和技术标准是国际科学合作的重要基础和保障,可以促进不同国家和地区之间的技术和经验交流,消除技术壁垒和障碍,加速科技创新和发展,从而为全球海洋可持续发展公共产品提供更为坚实的基础。此外,国际科学和技术标准的制定和推广还可以提高海洋科技研究和应用的质量和效率,规范海洋产业的发展和应用。同时,还可以促进全球海洋事业的协调和合作,推进国际海洋法律和治理体系的建设,实现全球海洋事业的可持续发展和共赢。

### 3. 强化深海资源勘探与开采以及极地领域开发合作

随着全球海洋经济的发展,深海资源勘探与开采以及极地领域的开发成为了海洋科技创新和合作的重要方向。深海和极地环境具有极高的复杂性和危险性,需要更为先进的技术和设备进行勘探和开采。加强国际间的深海资源勘探与开采以及极地领域开发的合作可以共同攻克技术难关,帮助人们开展更为安全、高效的勘探和开采活动,为全球经济和社会发展注入更多的活力。

## 五、发展建议

### （一）推进海洋基础数据标准化建设，加强数据共享

#### 1. 高效整合数据资源，增强海洋资源基础设施建设

高效整合数据资源，增强海洋资源基础设施建设，促进数据应用服务的融合，实现协同合作和协同效应。建立完善的数据采集系统，将海洋气象、水文、生态等各种基础数据资源整合到一个全面的海洋基础数据库中。同时，建立高效的数据存储和管理系统，以确保海洋基础数据资源的可靠性、安全性和可用性。开发数据应用和服务平台，为海洋科研、海洋经济、海洋环保等领域提供数据支持和应用服务。此外，促进海洋基础数据资源的共享和开放，为不同领域的研究人员和应用者提供便利和支持。

#### 2. 加强管理和监督，协调布局，共同推动建立标准化数据产品的技术框架

面向国内，吸取美国等发达国家在海洋可持续发展公共产品研制方面的相关经验，建立协调机制，加强对政策实施和投资力度的监督和管理，推动海洋可持续发展公共产品的系统化发展，营造有利于广泛使用数据的政策环境。面向国际，以组织国际合作项目为主要契机，联合多个海洋国家和地区，成立项目工作组并规范其管理，定期召开年会并建立报告机制，以促进国际标准和技术规范的制定。

#### 3. 创新合作，推动海洋科学数据的业务化更新

采用“技术攻关+业务化应用”模式，即通过“研究机构/科学家团队+数据中心/涉海单位”的合作，共同推进海洋科技创新和应用。研究机构和科学家团队将负责关键技术攻关和前沿科学研究，数据中心和涉海单位则负责数据采集、处理、管理和业务化应用。同时，我们应加强合作，共同推进技术与业务的有机结合，推动海洋科技成果向实际应用转化，促进海洋经济可持续发展。

### （二）实现电子海图标准化、多维化发展，加强技术融合

#### 1. 建立统一领导和协调机制，制定全局性规划

加强政策研究，制定符合国情和行业特点的电子海图发展战略和规划，以引导和规范电子海图数

据的生产和应用。同时，应加强电子海图数据的标准化和规范化建设，完善数据共享和开放机制，以提高数据的可信度和可用性。此外，建议加强电子海图数据的安全保障和信息化建设，提高海图数据的保密性和防护能力。

#### 2. 电子海图显示与信息系统多维化发展，提高电子海图质量

采用集成三维模型、水深、遥感影像以及水面纹理等要素的方法来增强其直观性、真实性和可视化效果。利用二维电子海图的海上数据补充三维水上信息的不足。具体做法是二维电子海图的水上对象与三维海岸线、地形、滨水建筑、港口和导航设施等数据叠加和融合，以在三维数字地球框架内全面展示各种数据来源和类型。同时，建议在二维、三维电子海图的基础上，积极发展多维电子海图技术。

#### 3. 加快新技术融合，为智能航运提供支撑

随着国家创新驱动发展战略的加快实施，我们应将云计算、人工智能<sup>[47]</sup>、虚拟现实等技术与海洋测绘技术有机地结合起来，以推动海事测绘产业的全面变革和升级调整。具体来说，运用这些技术，我们可以实现海事测绘生产组织体系和产品服务的个性化、智能化和知识化，以满足人们对海洋空间大数据的紧迫需求。此外，推动海事测绘产业适应数字化时代，向信息化、智能化方向不断发展，以实现产业的可持续发展。

### （三）促进海洋环境数值预报模式多元化发展，加强人工智能技术应用

#### 1. 实现非确定性预报技术

非确定性预报技术是一种预报方法，它在预报过程中考虑各种不确定性因素，如数据质量、模型精度和人为干扰等，以提高预报结果的可靠性和准确性。通过将多个模型的预报结果进行集成，可以减少单一模型的不确定性；同时，通过对模型参数和初始条件进行随机扰动，可以模拟不确定性因素的影响。这些方法的应用可以实现现在预报过程中考虑各种不确定性因素，从而提高预报结果的可靠性和准确性。

#### 2. 将人工智能技术融入海洋环境数值预报

利用人工智能技术对海洋环境数值预报模式进行优化和改进，提高模式的适应性和可靠性。同时，通过人工智能技术对大量的海洋环境数据进行深度



学习和分析<sup>[48]</sup>, 挖掘数据中的潜在规律和信息, 为预报提供更准确的数据支持。这些措施有望使海洋环境数值预报实现质的飞跃, 提高预报的准确性和可信度, 为海洋环境保护和利用提供更好的支持。

### 3. 研制耦合预报系统

尽管海洋数值模型取得了显著的进展, 但它们存在共性模拟偏差, 因此需要实现大气—海洋—海浪的完全耦合。为了解决在耦合界面上通量误差不稳定增长导致的气候漂移问题, 需要通过合理设置参数和调整参数值, 优化通量的计算, 减少误差的积累。同时, 为确保同化过程的一致性, 必须解决耦合模型偏差和优化耦合协方差权重, 以及建立统一的数据处理和同化框架。建立全球海洋—大气耦合预报系统可以实现海洋和大气同步的“天气”预报, 这是一个具有挑战性的领域, 需要研究如何处理不同的时间和空间尺度, 以确保预报结果的准确性和可靠性。

## (四) 推进国际海洋科学深度合作, 提高中国参与度和话语权

### 1. 发挥中国智慧, 制定中国特色国际海洋合作行动方案

为了制定中国特色的海洋合作行动方案, 我们需要深入研究国际海洋合作的最新趋势和发展动态, 了解全球海洋事务的现状和未来发展方向。同时, 借鉴国际海洋合作的先进经验, 结合中国自身的实际情况和长远发展需求, 积极参与并发挥长效作用, 加强与国内海洋科技工作发展规划的对接。我们应该积极发起和实施全球性或地区性<sup>[49]</sup>的海洋合作计划, 在其中争取发挥牵头和引领的作用, 推广中国的理念、技术、标准和方法等<sup>[50]</sup>。此外, 加强与国际海洋科学组织的合作, 参与全球海洋科学研究项目, 并向国际海洋科学领域提供中国的技术和经验。同时, 我们也应该推动海洋产业创新发展, 加强与国际海洋企业的合作, 在海洋资源开发、海洋环境保护、海洋科技创新等方面开展合作, 实现共赢发展。

### 2. 深化与国际科研机构和学者的合作

针对国际海洋科学领域的前沿热点问题, 深化与国际科研机构和学者的合作, 开展联合研究, 共同攻克难题。在开展联合研究时, 要注重提高合作质量和效率, 优化研究方案, 确保问题明确、方法

科学、数据可靠; 充分发挥各方优势, 合理分工合作, 形成协同效应; 同时, 加强沟通与协调, 建立良好的沟通机制, 确保研究进程的顺利推进; 注重技术与产业的结合, 推动研究成果的转化, 促进海洋科技产业的发展。

### 3. 积极参与全球海洋可持续发展

以“海洋十年”中国委员会成立为契机, 积极参与全球海洋可持续发展, 为推进可持续蓝色经济发展贡献力量<sup>[51]</sup>。加强与发达国家的交流与合作, 带动周边发展中国家的发展, 发起大型国际会议, 推动建立公平、公正、合理的国际海洋秩序, 促进海洋命运共同体建设。深化与沿海国家在海洋环境保护<sup>[52]</sup>、海洋安全等领域的务实合作, 共同维护全球海洋安全和实现全球数据共享, 推动海洋技术交流合作, 建立服务全球的海洋高端智库。

## 六、结语

全球海洋可持续发展公共产品作为全球海洋秩序的关键组成部分, 其发展将随着全球海洋可持续发展的变革而不断推进。中国需要做好充分准备, 在新一轮海洋秩序调整中扮演领导角色, 成为全球海洋可持续发展的关键参与者, 确保全球海洋公共产品的充分和稳定供应。为此, 我们应该采取相应的措施, 以推动全球海洋可持续发展公共产品的发展。首先, 我们应该加强国际合作, 并通过协商和合作, 建立更加紧密的国际合作机制和平台。其次, 我们应该加强海洋科技创新, 为推动关键技术的自主化研发和应用提供更加坚实的技术支撑。总之, 中国应以服务海洋强国建设为目标, 以自主化关键技术推动海洋可持续发展能力和治理体系现代化为主线, 聚焦海洋可持续发展过程中面临的全球治理共性问题, 构建海洋可持续发展公共服务产品谱系, 推动数据产品应用, 为政府事业单位、高校科研院所、社会公益服务提供产品服务支撑。

### 利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: March 25, 2023; Revised date: April 30, 2023

Corresponding author: Jiang Xingwei is a research fellow from the National Satellite Ocean Application Service and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research field is ocean remote sensing. E-mail: xejiang@mail.nsoas.org.cn

**Funding project:** Chinese Academy of Engineering project “Strategic Studies on Major Scientific and Technological Issues for Deeply Participating in Global Ocean Governance” (2022-XBZD-11)

参考文献

- [1] National Research Council. Sea change: 2015—2025 decadal survey of ocean sciences [M]. Washington, DC: National Academies Press, 2015.
- [2] Coppo P, Smith D, Nieke J. Sea and land surface temperature radiometer on sentinel-3 [J]. *Optical Payloads for Space Missions*, 2015: 701–714.
- [3] Nieke J, Mavrocordatos C, Donlon C, et al. Ocean and land color imager on sentinel-3 [J]. *Optical Payloads for Space Missions*, 2015: 223–245.
- [4] Ménard Y, Fu L L, Escudier P, et al. The Jason-1 mission special issue: Jason-1 calibration/ validation [J]. *Marine Geodesy*, 2003, 26(3–4): 131–146.
- [5] Lombard A, Garcia D, Ramillien G, et al. Estimation of steric sea level variations from combined GRACE and Jason-1 data [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 2007, 254(1–2): 194–202.
- [6] 蒋兴伟. 发展海洋卫星组网观测 助力海洋强国建设 [J]. *网信军民融合*, 2019, 31(12): 13–16.  
Jiang X W. Development of ocean satellite network observation to help build a strong ocean state [J]. *Civil-Military Integration on Cyberspace*, 2019, 31(12): 13–16.
- [7] 蒋兴伟, 何贤强, 林明森, 等. 中国海洋卫星遥感应用进展 [J]. *海洋学报*, 2019, 41(10): 113–124.  
Jiang X W, He X Q, Lin M S, et al. Progresses on ocean satellite remote sensing application in China [J]. *Haiyang Xuebao*, 2019, 41(10): 113–124.
- [8] 元建胜, 吴礼龙. 国际海道测量服务与技术标准进展研究 [J]. *海洋测绘*, 2016, 36(6): 5.  
Yuan J S, Wu L L. Progress of international hydrographic service and technical standards [J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2016, 36(6): 5.
- [9] Mayer L, Jakobsson M, Allen G, et al. The Nippon Foundation—GEBCO seabed 2030 project: The quest to see the world’s oceans completely mapped by 2030 [J]. *Geosciences*, 2018, 8(2): 63.
- [10] 陈连增, 雷波. 中国海洋科学技术发展 70 年 [J]. *海洋学报*, 2019 (10): 3–22.  
Chen L Z, Lei B. Marine science and technology development over the past 70 years in China [J]. *Haiyang Xuebao*, 2019 (10): 3–22.
- [11] Shchepetkin A F, McWilliams J C. The regional oceanic modeling system (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model [J]. *Ocean Modelling*, 2005, 9(4): 347–404.
- [12] Chen C. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system [J]. *Oceanography*, 2006, 19: 78–89.
- [13] Robertson R, Padman L, Levine M D. A correction to the baroclinic pressure gradient term in the princeton ocean model [J]. *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology*, 2001, 18(6): 1068–1075.
- [14] Adcroft A, Campin J M, Dutkiewicz S, et al. MITgcm user manual [R]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- [15] Chassignet E. Global ocean prediction with the HYbrid coordinate ocean model, HYCOM [C]. Jean-Paul Paillé. 35th COSPAR Scientific Assembly. Paris: Directorate of External Relations, ESA, 2004: 585.
- [16] Zhang X H, Liang X Z. A numerical world ocean general circulation model [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1989, 6(1): 44–61.
- [17] Pacanowski R C, Dixon K, Rosati A. The G. F. D. L modular ocean model users guide [R]. Princeton: G. F. D. L Ocean Group Technical, 1991.
- [18] Vichi M, Lovato T, Gutierrez Mlot E, et al. Coupling BFM with ocean models: The NEMO model (Nucleus for the European Modelling of the Ocean) [J]. *BFM report series*, 2015, 2(1): 31.
- [19] Zambresky L. A verification study of the global WAM model: December 1987–November 1988 [R]. Bracknell: European Center for Medium Range Weather Forecasts, 1989.
- [20] Booij N, Holthuijsen L H, Ris R C. The “SWAN” wave model for shallow water [C]. Billy L. Edge. Coastal Engineering. Orlando: American Society of Civil Engineers, 1996: 668–676.
- [21] Massey T C, Anderson M E, Smith J M K, et al. STWAVE: Steady-state spectral wave model user’s manual for STWAVE, version 6.0 [R]. Washington, DC: Coastal and Hydraulics Laboratory, 2011.
- [22] Guisado-Pintado E. Shallow water wave modelling in the near-shore (SWAN) [C]. Derek W. T. Jackson and Andrew D. Short Sandy Beach Morphodynamics. Netherlands: Elsevier, 2020: 391–419.
- [23] Danabasoglu G, Lamarque J F, Bacmeister J, et al. The community earth system model version 2 (CESM2) [J]. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2020, 12(2): e2019MS001916.
- [24] Jiang S, Stone P H, Malanotte-Rizzoli P. An assessment of the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory ocean model with coarse resolution: Annual-mean climatology [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1999, 104(C11): 25623–25645.
- [25] Iversen T, Bentsen M, Bethke I, et al. The Norwegian earth system model, NorESM1-M-Part 2: Climate response and scenario projections [J]. *Geoscientific Model Development*, 2013, 6(2): 389–415.
- [26] Liu H, Lin P, Yu Y, et al. The baseline evaluation of LASG/IAP climate system ocean model (LICOM) version 2 [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2012, 26(3): 318–329.
- [27] 崔爽. “妈祖”填补我国海洋环流数值预报领域空白 [N]. *科技日报*, 2021-12-30(002).  
Cui S. “MASNUM” fills the gap in the field of numerical prediction of ocean circulation in China [N]. *Science and Technology Daily*, 2021-12-30(002).
- [28] Yuan Y L, Hua F, Pan Z D, et al. LAGFD-WAM numerical wave model—I. Basic physical model [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1991 (4): 483–488.
- [29] 杨永增, 乔方利, 赵伟, 等. 球坐标系下 MASNUM 海浪数值模式的建立及其应用 [J]. *海洋学报(中文版)*, 2005 (2): 1–7.  
Yang Y Z, Qiao F L, Zhao W, et al. Establishment of MASNUM wave numerical model in spherical coordinate system and its application [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005 (2): 1–7.
- [30] Yin B S, Wang T. A third generation shallow water wave numeri-

- cal model-ye-wam [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1996, 14(2): 106–112.
- [31] Wang Z, Zhang H, Lu P. Improvement of cloud microphysics in the aerosol-climate model BCC\_AGCM2. 0.1\_CUACE/Aero, evaluation against observations, and updated aerosol indirect effect [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2014, 119(13): 8400–8417.
- [32] Li L, Lin P, Yu Y, et al. The flexible global ocean-atmosphere-land system model, grid-point version 2: FGOALS-g2 [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2013, 30: 543–560.
- [33] Davin E L, Stöckli R, Jaeger E B, et al. COSMO-CLM 2: A new version of the COSMO-CLM model coupled to the Community Land Model [J]. *Climate Dynamics*, 2011, 37: 1889–1907.
- [34] 联合国教科文组织政府间海洋学委员会. 联合国“海洋科学促进可持续发展十年”(2021—2030) [EB/OL]. (2021-10-06) [2023-04-03]. <https://www.fao.org/3/cc0461zh/online/sofia/2022/undecade-ocean-science.html>.  
Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. United Nations “Decade of marine science for sustainable development” (2021—2030) [EB/OL]. (2021-10-06) [2023-04-03]. <https://www.fao.org/3/cc0461zh/online/sofia/2022/undecade-ocean-science.html>.
- [35] Ryabinin V, Barbière J, Haugan P, et al. The UN decade of ocean science for sustainable development [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 470.
- [36] Tanhua T, McCurdy A, Fischer A, et al. What we have learned from the framework for ocean observing: Evolution of the global ocean observing system [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 471.
- [37] UNESCO. The Global Ocean Observing System 2030 strategy [EB/OL]. (2019) [2023-04-03]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370104>.
- [38] Argo 野外站办公室. 从 Argo 到 OneArgo, 这一国际大科学计划有何新意? [EB/OL]. (2022-06-13) [2023-04-03]. <http://www.argo.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=7&id=1040>.  
Argo Field Station Office. From Argo to OneArgo, what's new about this international big science initiative? [EB/OL]. (2022-06-13) [2023-04-03]. <http://www.argo.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=7&id=1040>.
- [39] Owens W B, Zilberman N, Johnson K, et al. OneArgo: A new paradigm for observing the global ocean [J]. *Marine Technology Society Journal*, 2022, 56(3): 84–90.
- [40] 徐卫国, 雷海, 陈正杰. 电子海图数据更新及对航行安全的影响 [J]. *航海*, 2019 (5): 42–44.  
Xu W G, Lei H, Chen Z J. Electronic chart data update and the impact on navigation safety [J]. *Navigation*, 2019 (5): 42–44.
- [41] 王辉, 万莉颖, 秦英豪, 等. 中国全球业务化海洋学预报系统的发展和应用 [J]. *地球科学进展*, 2016, 31(10): 1090–1104.  
Wang H, Wan L Y, Qin Y H, et al. Development and application of the Chinese global operational oceanography forecasting system [J]. *Advances in Earth Science*, 2016, 31(10): 1090–1104.
- [42] 崔野, 王琪. 全球公共产品视角下的全球海洋治理困境: 表现、成因与应对 [J]. *太平洋学报*, 2019 (1): 60–71.  
Cui Y, Wang Q. The dilemma of global ocean governance in the perspective of global public goods: phenomenon, cause, and solution [J]. *Pacific Journal*, 2019 (1): 60–71.
- [43] 刘晓玮. 全球海洋治理的现实困境与中国行动 [J]. *江苏海洋大学学报(人文社会科学版)*, 2022, 20(1): 9–17.  
Liu X W. Realistic dilemma of global marine governance and China's action [J]. *Journal of Jiangsu Ocean University (Humanities & Social Sciences Edition)*, 2022, 20(1): 9–17.
- [44] 沙宏杰, 陆龙妹, 邵宇. 三维电子海图系统的实现与应用 [J]. *航海*, 2020 (6): 61–65.  
Sha H J, Lu L M, Shao Y. Implementation and application of three-dimensional electronic nautical chart system [J]. *Navigation*, 2020 (6): 61–65.
- [45] 郝江凌, 单雄飞, 赵丽宁, 等. 电子海图导航系统的研究进展与未来趋势 [J]. *大连海事大学学报*, 2021, 47(3): 1–7.  
Hao J L, Shan X F, Zhao L N, et al. Research progress and future trend of electronic chart navigation system [J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2021, 47(3): 1–7.
- [46] 韩鹏, 李宇航, 揭晓蒙. 国际全球海洋环流预报系统的现状与展望 [J]. *海洋预报*, 2020, 37(3): 98–105.  
Han P, Li Y H, Jie X M. The status and prospect of global ocean circulation forecasting system in foreign countries [J]. *Marine Forecasts*, 2020, 37(3): 98–105.
- [47] Bernstein M, Graham R, Cline D, et al. Learning-based event response for marine robotics [C]. 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Tokyo: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2013: 3362–3367.
- [48] 王立伟. 美国国家海洋科技发展: 未来十年愿景 [J]. *海洋世界*, 2019 (1): 6.  
Wang L W. U.S. National ocean science and technology development: A vision for the next decade [J]. *Ocean World*, 2019 (1): 6.
- [49] 郭华东, 刘洁, 陈方, 等. “数字丝路”国际科学计划(一期)进展 [J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(Z2): 55–60.  
Guo H D, Liu J, Chen F, et al. Progress of “Digital Silk Road” international science program (phase I) [J]. *Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(Z2): 55–60.
- [50] 薛桂芳. 海洋命运共同体构建: 条件准备与现实路径 [J]. *上海交通大学学报(哲学社会科学版)*, 2023, 31(3): 1–14.  
Han G F. Construction of a maritime community with a shared future: condition preparation and practical approaches [J]. *Journal of SJTU (Philosophy and Social Sciences)*, 2023, 31(3): 1–14.
- [51] 毛洋洋, 王云涛. 中国参与联合国框架下海洋合作的新机遇——“联合国海洋科学促进可持续发展十年”首批行动方案的思考 [J]. *海南热带海洋学院学报*, 2022, 29(6): 12–20.  
Mao Y Y, Wang Y T. New opportunities for China's participation in maritime cooperation under the UN framework—Reflections on the first action plan of United Nations decade of ‘Ocean science for sustainable development’ [J]. *Journal of Hainan Tropical Ocean University*, 2022, 29(6): 12–20.
- [52] 李洁. BBNJ 全球治理下区域性海洋机制的功用与动向 [J]. *中国海商法研究*, 2021, 32(4): 80–87.  
Li J. Functions and trends of regional ocean mechanism under BBNJ global governance [J]. *Chinese Journal of Maritime Law*, 2021, 32(4): 80–87.