



海洋观测和探测技术国际化的动态、挑战与展望

马乐天^{1,2*}, 李家彪^{1,2}, 冯旭文², 陈大可^{2,3,4}, 丁巍伟^{1,2}, 卫小冬^{1,2}, 王瑶⁵, 刘超⁶

1. 海底科学与划界全国重点实验室, 杭州 310012

2. 自然资源部第二海洋研究所, 杭州 310012

3. 卫星海洋环境监测预警全国重点实验室, 杭州 310012

4. 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 珠海 510275

5. 中国船舶科学研究中心, 无锡 214082

6. 中国海洋大学计算机科学与技术学院, 青岛 266100

* 联系人, E-mail: malt@sio.org.cn

海洋科学探究海洋的自然现象、性质及其变化规律, 是对海洋资源进行高效开发利用的基础。海洋技术是深化研究的条件和手段, 已应用于海洋观测、探测等多个领域, 深潜、深钻、深海工作站、海洋观测系统等均属于海洋技术^[1,2], 其产业规模不断扩大, 是大国竞争的一个重要支点。

基于全球共识的国际标准可以提升海洋技术研发和获取的效率, 提高产业规范程度, 是海洋技术产业发展的重要支撑, 也是各国在国际市场上扩大技术优势的有效途径^[3-5]。从海洋观测、探测到海洋资源的开发、利用, 产业链的各个环节都有标准化需求。例如, 海洋观测和探测装备的测试验证、设备性能评估、成果统一输出, 不仅需要试验方法、性能测试和操作规程的标准, 也需要产品质量指标、兼容性和安全性方面的标准。

正是预见到海洋技术的巨大发展前景和标准化需求, 我国在2013年向国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)提出成立一个海洋技术领域的分支机构, 2014年, 经ISO技术管理局批准, 船舶与海洋技术委员会海洋技术分委会(ISO/TC 8/SC 13)正式成立, 主席和秘书处均由中国承担。本文围绕ISO/TC 8/SC 13的现状, 分别从名词术语、海洋观测和深海探测三个方面阐述海洋技术国际标准研制的动态、面临的挑战及未来发展趋势。表1概括了海洋观测和探测技术ISO国际标准发展的整体情况, 可以看出, 随着我国标准管理部门、标准组织、学术界和产业界等标准制定方和使用方对国际化工作越来越重视, 我国在海洋观测探测领域国际标准化工作中的发展态势已呈现突破, 工作范围实现全覆盖、标准制定主导权占据主要地位。

1 海洋观测探测技术的名词术语标准化

海洋技术从业者来自不同学科背景和工业领域, 为保证



马乐天 博士, 主要研究方向为海洋地质及海洋技术的国际化, 为国际标准化组织海洋技术分委会(ISO/TC8/SC13)创始团队成员。

信息交换的一致、形成产业内统一的概念、提高技术交流效率, 有必要开展术语和定义的标准化工作。例如, 潜水器作为深海探测高技术装备的代表, 在全球深海科学研究、资源勘探、海洋工程等领域发挥了重要作用, 但究竟哪些水下装备隶属于“潜水器”这一基础的问题, 国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)、国际海事承包商协会(International Marine Contractors Association, IMCA)、国际船级社协会(International Association of Classification Societies, IACS)以及各国船级社提供的概念不尽相同^[6]。2024年出版的ISO 5411《船舶与海洋技术-潜水器-术语》明确规定载人潜水器、有缆潜水器、无缆潜水器、运输潜水器、载客潜水器、深潜救生艇、闸式潜水器、拖航潜水器、单人常压潜水装具、干式潜水钟、饱和潜水系统和海底实验室均属于“潜水器”的范畴^[7]。我国标准根据这一国际标准的定义, 正在对1992年出版的《潜水器与水下装置术语》^[8]进行修订。

术语标准不仅可以起到统一定义的作用, 而且有助于优

引用格式: 马乐天, 李家彪, 冯旭文, 等. 海洋观测和探测技术国际化的动态、挑战与展望. 科学通报

Ma L, Li J, Feng X, et al. Dynamics, challenges, and prospects of international standardization for marine observation and exploration technologies (in Chinese). Chin Sci Bull, doi: [10.1360/CSB-2025-5170](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-5170)

表 1 海洋观测探测技术领域ISO/TC8/SC13标准概况

Table 1 Overview of ISO/TC8/SC13 standards in terms of marine observation and exploration

	海洋观测	深海探测		
		地质地球物理探测	环境生态探测	潜水器技术
国际标准数	4	1	6	3
我国主导的国际标准数	3	1	2	3

化标准体系的结构、提高标准体系管理的效率^[9]。例如,随着人们对深海采矿相关环境问题的日益关注,与深海生物多样性密切相关的海底区域环境与生态调查活动受到国际社会的广泛关注。ISO发布的系列海洋环境影响评估标准包含了国际海底区域巨型、小型、微型底栖生物调查的技术建议及通用技术规程,为国际海底管理局(International Seabed Authority, ISA)发布的《关于指导承包者评估区域内海洋矿产勘探可能产生的影响的建议》^[10]在环境基线调查领域的实施提供了具体标准的技术支撑,已初步具备建立海底区域环境影响评估标准体系的基础,但仍存在不同分类体系之间术语定义交叉重叠、缺少标准体系的基础框架等问题。因此,结合我国已制定的相关国家标准《海洋学综合术语》^[11]、行业标准《海洋生态保护综合术语》^[12],推进由我国主导的海洋环境影响评估领域基础性名词术语国际标准的起草工作、建立国际标准体系的基本框架结构,将有助于为后续具体技术标准制定界定范围、减少争议。

随着海洋技术的发展,其精细化程度越来越高、覆盖面越来越广、技术要求越来越复杂。相关技术领域的标准化既需要适应技术的高速发展,又需要在具体学科和具体应用方面界定准确,因此,名词术语的标准化显得愈发重要。

2 海洋观测技术的标准化

2.1 海洋观测国际标准化现状及分析

海洋观测技术是通过声、光、电、磁等传感器及其平台,对海洋环境的物理、化学、生物等参数在一段时间内进行采集和分析的一系列技术的统称^[13,14]。作为人类认识和研究海洋的重要手段,海洋观测系统一直以来都受到各国海洋业界和国际组织的广泛关注,其在科学研究、资源开发、灾害预防、国防安全等领域起到了重要作用^[15]。近年来,国内外从海洋表面的浮标观测和船载仪器观测、水体的剖面观测到海底观测网建设都取得了长足发展,建立起空间、海表、水体、海底一体化的全球同步观测网络^[16],并展现出与海洋物联网、人工智能技术密切相关的智能化发展趋势^[17]。与此同时,海洋观测数据呈指数级增长,而数据和信息是实现联合国“海洋十年”计划的关键推动因素^[18,19]。

与持续、快速发展的技术相比,海洋观测国际标准工作的发展处于起步阶段。海洋观测技术的标准化主要针对数据

采集与处理、设备操作与规范、应用场景拓展、质量控制与合规性等核心领域开展研究,为提高技术统一性、数据可靠性及法律适配性提供支撑。例如,用海洋环境传感器观测到的大量数据测量了海水的物理、生态和化学参数,如盐度、温度、氧气、二氧化碳和酸度。这些数据对于制定海洋边界决策、开发海洋能源、扩展水道和监测水产养殖都有重要意义,越来越多的涉海企业被法律要求记录这些数据,以符合环境法规。但各国制造的海洋环境传感器的基本性能和规格,如精度和稳定性,却缺少统一的定义。这不仅削弱了法律的效用,也抑制了推动传感器技术创新的市场力量,因为最终用户难以对不同制造商的技术突破加以比较,或难以信任新进入市场的技术力量^[20]。因此,建立一套适用于海洋环境传感器通用性能的国际标准,从术语、定义、测试方法等角度为传感器的开发和测试进行规范,显得尤为必要。

ISO/TC 8/SC 13第二工作组(WG2)是海洋观测工作组,按照从海面、水体、到海底观测的工作思路开展国际标准研制工作。WG2已经发布国际标准4项(表2),其中1项是基于船舶气象仪的海面观测标准^[21]、2项是基于海洋温度-盐度-深度测量仪器(conductivity-temperature-depth profiler, CTD)的水体剖面观测标准^[20,22],另有1项标准展现了物联网技术在海洋水文气象观测领域的应用^[23],同时适用于海面和水体观测。例如,由于海洋水文气象观测系统设计标准的缺失,导致系统结构各异、接口通用性差、数据类型不一致等问题,各个系统之间形成了大量的信息孤岛,无法实现大规模系统集成和数据互操作。即便是先进的海洋实时观测计划Argo(array for real-time geostrophic oceanography)也受此影响,仅限于数据的文件交互,无法实现平台级的数据共享和交互^[24,25]。ISO 21851定义了基于物联网复杂虚拟仪器构建的分布式海洋水文气象观测软件系统框架,能够对获得的海洋观测仪器数据和元数据进行处理和显示;实现了海洋观测仪器的自动接入、观测数据的接收、管理和展示;并通过标准化的数据服务来实现本地以及异地的数据服务和信息共享,进而实现多个海洋观测复杂虚拟仪器之间的大规模集成^[23]。

2.2 标准化工作面临的挑战

相较于海面和水体的观测,由于海底极端环境的复杂性,海底观测技术的发展面临着更大的挑战^[14]。为了解决众多原位观测设备在海底长期运行面临的持续电能供给和海量数

表 2 ISO/TC8/SC13已发布的海洋观测标准
Table 2 Published marine observation standards under ISO/TC8/SC13

序号	标准编号	标准名称
1	ISO 23745: 2024	Ships and marine technology—General specification for shipborne meteorological instruments 船舶与海洋技术——船舶气象仪通用技术规范 ^[21]
2	ISO 22804: 2023	Marine technology—General technical requirement of marine conductivity-temperature-depth (CTD) measuring instrument 海洋技术——船用温盐深仪(CTD)通用技术要求 ^[22]
3	ISO 22013: 2021	Marine environment sensor performance—Specifications, testing and reporting—General requirements 海洋环境传感器性能——规范、测试与报告——通用要求 ^[23]
4	ISO 21851: 2020	Marine technology—Ocean observation systems—Design criteria Of ocean hydro-meteorological observation systems reuse and interaction 海洋技术——海洋观测系统——海洋水力观测系统复用与交互设计规程 ^[23]

据传输这两大难题，海底观测网技术将供电系统和通信系统直接从陆地延伸到海底。与船舶观测平台和遥感卫星观测相比，海底观测网具有可对海洋进行长期原位观测、并可实时观测海底物理、化学、生物和地质过程的优势，是海洋研究的革命性工具^[26]。自20世纪90年代末美国科学家提出建设海底科学观测网的概念与框架以来，世界上各海洋大国相继建设美国“海洋观测计划(OOI)”、加拿大“海王星(NEP-TUNE)”、欧洲“多学科海底观测系统(EMSO)”、日本“高密度地震海啸观测网系统(DONET)”、中国“海底科学观测网”等项目^[26,27]，在海洋环境监测与灾害预警中发挥了关键作用，该领域已积累了一定的技术成熟度和市场认可度，符合培育国际标准的前提条件。海底观测网涉及光电缆、传感器、通信设备等多种技术模块，国际标准可促进不同系统间的兼容性和协同能力。目前，海底观测网技术的标准化工作仍处于探索阶段，面临的挑战来自以下几个方面：(1) 海底观测网技术本身是海洋科学、地球科学、工程技术、信息技术等多个学科交叉融合的产物，采集到的数据涉及物理、化学、生物、地质等多个领域，制定标准界定难度大、涉及面广，技术指标、操作规范等需要协调统一；(2) 海底观测网的建设受到政府、学术界、工业界广泛关注，但工业界在标准提出阶段的参与度不高，导致标准推进过程中专家的工作领域较局限。

3 深海探测技术的标准化

人类社会的发展，离不开对海底资源的开发和利用。深海探测技术涵盖了调查技术和资源开发技术，是了解深海和地球内部演化过程的重要手段，也是实现资源开发利用的必要条件。前者海底调查技术是探明海底资源分布方式、提升资源勘探精度的前提，不仅包括通过多波束测深系统和地震勘探技术获取海底地形、地质构造、沉积层特征和深部结构的海洋地质地球物理调查^[28,29]，也包括通过对深海环境参数、生物多样性、污染状况进行系统性采样、分析的深海环境与生态调查^[30]。后者资源开发技术涵盖了应用深海钻井

平台与超长高压海底管线铺设技术的深海油气开发、应用深海采矿技术对海底多金属结核、多金属硫化物、富钴结壳进行的开发等^[31]。

3.1 海洋地质地球物理调查技术国际化现状及分析

海洋地质地球物理调查技术的标准国际化工作建立在全球海底地震探测、多波束测深、无人船和无人潜航器探测规模不断扩大、技术应用成熟、批量数据持续产出的基础之上。特别是近十五年以来，我国的海洋地质地球物理调查技术经历了高速发展^[31]，调查主体目标从近岸走向全球，从浅海走向大洋和极地；调查设备不断更新，正从单一技术应用向智能协同探测转型，无人机、无人艇纷纷投入使用^[29]。调查过程和数据处理的规范化和标准化对于推动海底地震和地形地貌数据实现在各领域的关键应用具有重要意义。如何有效降低探测设备的海上遗失率？如何破解不同设备间数据质量差异化明显所导致的不同来源数据无法进行有效整合？这些问题越来越引起人们的关注。

在ISO/TC 8/SC 13成立之前，海洋地质地球物理调查领域的国际标准多为来自不同组织的单个标准或技术指南，所覆盖的领域比较分散。ISO/TC 8/SC 13第六工作组(WG6)即开展海底地质地球物理探测方面的标准化工作，由中国主导，美国、日本、德国等海洋大国均有参与。海底探测工作组目前的标准集中在：(1) 海底地震仪调查技术，包括已经出版的主动源海底地震仪探测技术导则ISO 3482:2022^[32]和在研的被动源海底地震仪调查技术导则(表3)，研究目标都是实现对地震活动、地球深部结构、海洋环境、海底资源和地质灾害的监测探测活动的规范化。前者主动源海底地震仪探测采用专门设计的海底地震仪台阵与人工震源系统，针对特定目标区域开展探测，以揭示地下地质体或地壳-上地幔的结构构造与物质组成；后者被动源海底地震仪探测通过记录全球范围内天然地震事件，获取地球深部大尺度的结构信息。同主动源海底地震仪相比，被动源海底地震仪探测可以使用天然

表3 ISO/TC8/SC13已发布和在研的深海探测标准^{a)}

Table 3 Published and under-development submarine exploration standards under ISO/TC8/SC13

标准编号	标准名称	所属领域
ISO 3482: 2022	Ships and marine technology—Technical guidelines for active source exploration with ocean bottom seismometers (OBS) 船舶与海洋技术——海底地震仪主动源探测技术导则 ^[32]	海底地质地球物理调查
ISO/DIS 25451 (在研标准)	Ships and marine technology—Technical guidelines for seafloor mapping with marine unmanned vehicle 船舶与海洋技术——海洋无人载具海底地形地貌调查技术要求	
新标准提案	Ships and marine technology—Technical guidelines for passive source exploration with ocean bottom seismometers (OBS) 船舶与海洋技术——海底地震仪被动源探测技术导则	
ISO 22787: 2023	Marine environmental impact assessment (MEIA)—Technical specifications for marine biotic surveys in the international seabed area—General principles 海洋环境影响评估——国际海底区域生物调查技术规范——总则 ^[38]	深海环境与生态调查
ISO 23730: 2022	Marine technology—Marine environment impact assessment (MEIA)—General technical requirements 海洋技术——海洋环境影响评估——通用技术要求 ^[41]	
ISO 23040: 2021	Marine environment impact assessment (MEIA)—Specification for marine sediments in seabed areas—Survey of interstitial biota 海洋环境影响评估(MEIA)——海底区海洋沉积物调查规范——间隙生物调查 ^[37]	
ISO 23731: 2021	Marine technology—Marine environment impact assessment (MEIA)—Performance specification for <i>in situ</i> image-based surveys in deep seafloor environments 海洋技术——海洋环境影响评估——深海海底环境原位图像调查性能规范	
ISO 23732: 2021	Marine technology—Marine environment impact assessment (MEIA)—General protocol for observation of meiofaunal community 海洋技术——海洋环境影响评估——小型底栖生物群落观测通用规程	
ISO 23734: 2021	Marine technology—Marine environment impact assessment (MEIA)—On-board bioassay to monitor seawater quality using delayed fluorescence of microalga 海洋技术——海洋环境影响评估——利用微藻延迟荧光的船载生物检测法监测海水质量	
ISO 5411: 2024	Ships and marine technology—Submersibles—Vocabulary 船舶与海洋技术——潜水器——术语	深海探测高技术装备——潜水器
ISO 22252: 2020	Manned submersibles—Breathing air supply and CO ₂ adsorption systems—Performance requirements and recommendations 载人潜水器——呼吸气供应和二氧化碳吸收系统——性能要求与建议	
ISO 21173: 2019	Submersibles—Hydrostatic pressure test—Pressure hull and buoyancy materials 潜水器——静水压力测试——耐压壳体与浮力材料	
ISO/DIS 21321 (在研标准)	Manned submersibles—Manoeuvring test 载人潜水器——操纵性试验方法	
ISO/DIS 21319 (在研标准)	Submersibles—Toolings—Technology requirements 潜水器——工具——技术要求	
ISO/DIS 20682 (在研标准)	Autonomous Underwater Vehicles—Risk and Reliability 自主式水下航行器——风险与可靠性	
ISO/DIS 24037 (在研标准)	Competence Standards for Manned Submersible Crew and Key Personnel 载人潜水器船员与关键岗位人员适任标准	

a) DIS, 国际标准草案(Draft International Standard)

震源,但观测时间更长,对设备的耐用性和防腐蚀性等要求更高,并且在调查站位布设方面同主动源海底地震仪探测不同^[33],因此我国正在推动被动源海底地震仪探测国际标准的进程,以全面促进海底地震探测行业的规范化发展。(2)海底地形地貌调查技术,特别是使用先进的无人船、无人潜航器等载体作为调查装备的地形地貌调查,包括在研的无人载具海底地形地貌调查技术要求(表3)。国际海道测量组织(International Hydrographic Organization, IHO)发布的IHO S-44

《国际海道测量规范》^[34],规定了全球海域的海道测量等级分类和相应的测量技术要求,是制定更加细化的海道测量标准的重要基础文件和框架,但其规定的测量要求偏重于结果,对如何达到该要求的调查过程少有提及。因此,无人载具海底地形地貌调查技术要求这一新标准提案不仅可将通用指南IHO S-44《国际海道测量规范》中的部分内容转化为可执

行的技术标准,同时结合先进的无人船或无人潜航器技术,将适用于传统科考船调查的标准拓展至新兴无人平台。

3.2 深海环境与生态调查技术国际标准化现状及分析

深海环境与生态调查技术的标准化工作与国际海底区域采矿密切相关。根据《联合国海洋法公约》和国际海底管理局的勘探规章^[35,36],在国际海底区域矿产资源开发前,须由从事勘探工作的承包者在相关区域收集海洋生态环境数据并建立环境基线,然后利用这些数据和基线进行环境影响评估。因此,环境影响评估工作是深海采矿实践过程的重要程序之一。虽然国际海底管理局从科学操作、立法架构、组织机构、公众参与等多个维度对环境影响评价的内容不断进行完善,但在收集环境基线数据的科学操作层面,因海底矿物类型和技术方法差异造成的数据比对困难仍存在,因此如何系统地建立环境基线调查的技术标准,特别是海洋生物调查的技术标准显得尤为重要。ISO/TC8/SC13为此建立了海洋环境影响评估工作组(WG4),主要工作范围包括:(1)国际海底区域生物调查规范;(2)深海环境调查具体技术的规范,如成像测量技术;(3)采矿作业中环境检测技术规范,如地表水检测。WG4目前已经发布6项标准(表3),其中,我国牵头完成的ISO 23040:2021^[37]和ISO 22787:2023^[38]从不同尺度的国际海底区域生物类群着手,规范调查方法、实现站位设计和采样策略等流程的标准化,解决各国因技术规程差异导致的数据不可比问题,对提升环境基线数据的完整性和可靠性、减少全球勘探承包者环境评估的争议作出贡献,为国家管辖外海域生物多样性保护(BBNJ)等国际协定的谈判提供了技术标准的支撑。

另外,潜水器能快速精准地运载各种电子装置、机械设备和人员到达多场景的深海环境,其研发应用为深海环境监测和资源开发提供了高技术支持^[39],相关国际标准的研究可将各国的技术和实践经验通过标准的方式进行固化,有助于提高产品在国际市场的竞争实力。ISO/TC 8/SC 13潜水器工作组(WG1)工作状态活跃,中国、英国、美国、德国、伊朗等国均积极主导或参与标准制定,已发布和在研标准数量达到7项。因潜水器装备本身的设计、建造准则和入级规范在国际海事组织和国际船级社协会多有涉及,ISO的工作主要集中在试验类、设计类标准,并拓展至基础共性的操作标准、人员适应标准等。我国在潜水器的耐压壳体 and 浮力材料试验方法、呼吸气系统设计、工具技术要求、操纵性试验方法等方面主导制定ISO标准(表3),其中已出版的三项标准全部被英国等同采用。例如,ISO 21173是ISO/TC 8/SC 13的首项标准,它针对不同工作深度的载人潜水器、无人潜水器的耐压壳体和浮力材料,统一了开展静水外压强度试验的适用范围、试验程序、测试压力取值、加/卸压速率和保压时间等规定要求,是对各国相关技术标准、船级社规范的

协调和提升^[40],也有助于提高潜水器耐压壳体与浮力材料的可靠性,不仅可延长深海装备作业周期,使长期环境监测成为可能,也为传感器、机械臂等与耐压壳体性能密切相关的环境监测设备的运行精度提供保障。

3.3 标准化工作面临的挑战

海底地质地球物理调查类的标准在结构方面颇为相似,即都包含技术设计、外业勘测、数据资料处理、调查成果输出等环节;在面临的挑战方面也有一些共同点,例如:以装备智能化为发展趋势的海洋调查技术快速革新,而标准制定周期长,易出现新技术与标准的脱节,同时也需要考虑技术的先进性与市场成熟度如何兼顾。

与海底地质地球物理调查技术的标准国际化程度相比,国际海底区域环境与生态调查国际标准的制定已初步建立了环境评估标准体系的框架,并通过ISO 23730:2022^[41]明确了海洋环境影响评估的技术要求总则。但在深海资源开发领域,国际海底区域矿产资源的开发尚未到达商业开发的阶段,相关技术的应用广泛度、市场成熟度仍在探索中发展。近年来,以《联合国海洋法公约》为框架的国际深海法律不断健全,以海洋大国纷纷开展单体和综合海试为标志的深海采矿技术装备快速发展,以实现深海采矿与环境保护相平衡为目标的环境评估技术取得长足进步,但这一新兴行业目前仍缺乏绿色采矿和环境影响监测的系列标准,不利于行业的协同、可持续发展。我国目前在国际海底已拥有3种矿种(多金属结核、富钴铁锰结壳和多金属硫化物)、5块矿区,是拥有矿种齐全、矿区数量最多的国家^[42],可为开展标准研制提供充足的技术验证。因此,如何对接深海资源开发技术,特别是绿色智能采矿技术的国际标准化需求,如何与国际海底管理局等国际涉海机构建立更紧密的合作,使可执行的技术标准直接服务于国际海底区域矿产资源开发工作,颇具挑战性。

4 建议与展望

船舶领域ISO国际标准的制定工作始于1947年,与之相比,海洋观测探测技术领域的国际标准化事业仍处于起步阶段。新兴的海洋技术和装备制造业的发展势必影响到国家的战略格局和未来竞争力。我国及早布局、于2014年承担国际标准化组织海洋技术分委会(ISO/TC 8/SC 13)的主席和秘书处,随后成立与海洋观测探测标准密切相关的潜水器工作组、海洋观测工作组、海洋环境影响评估工作组和海底探测工作组,形成了较为全面的覆盖。ISO标准的制定周期一般至少需要3年。自2019年ISO/TC 8/SC 13的首项标准发布以来,由我国主导、已正式发布的海洋观测探测技术ISO标准已达9项,将我国海洋观测探测领域的优势技术从潜水器设计和测试方法、海洋观测物联网定制开发平台框架、深海探测技术和方法等角度进行研究和应用,形成了在国际上较为先



图1 海洋观测和探测技术ISO国际标准发展框架. WG: 工作组

Figure 1 The framework of marine observation and exploration standardization in the ISO. WG: working group

进的自主知识产权成果和实践经验,并在“蛟龙”号、“深海勇士”号、“奋斗者”号等深海载人潜水器和海洋调查国际合作航次中得到推广应用。

当前,海洋观测和探测技术的国际标准发展框架已初步形成共识(图1),但正如上文所述,仍面临着多重挑战:(1)涉及多学科交叉融合的复杂海洋装备系统(如海底观测网)技术与标准发展不同步;(2)标准受关注面广但工业界参与程度不高;(3)对接深海采矿技术的国际标准化需求存在困难。未来,海洋观测和探测领域国际标准化工作的推动,建议围绕以下几方面开展:

(1) 加强跨学科合作,技术与标准协同发展。海洋观测和探测技术飞速发展,国际标准制定既要整合前沿成果、规范现有技术方法,又要适度预留前瞻空间,平衡技术先进性和市场成熟度,做到先进和公认相结合。依托联合国“海洋十年”等深海领域大科学计划,将海洋观测探测领域积累的多源数据与数字化、物联网、人工智能技术结合,同步规划标准输出路径、制定深海观测探测装备互联互通标准,将智能化的技术创新转化为标准提案,促进深海科学研究与国际标准的成果转化。

(2) 提升工业界的参与度。与传统的船舶产业相比,新兴的海洋技术和装备产业规模相对较小,在政策制定层面和学

术界受关注度较高,但工业界参与度较低。例如ISO/TC8/SC13已发布的16项标准中,超过12项标准的提案单位为高校和科研院所,只有少数提案来自技术公司和行业协会。亟需通过国际标准平台搭建科学界与工业界的桥梁,加大标准化宣传力度,提升涉海企业参与国际标准编制的动力,形成标准组织、学术界、工业界的及时互动,第一时间获得海洋观测探测领域内前沿技术动态,助力企业实现从“技术跟随”向“规则制定”转型,同时拓展标准使用的利益相关方。

(3) 突破国际组织协作困境,为国际涉海组织的政策、指南提供技术标准的支撑。针对深海采矿这一热点领域,ISO中央秘书处高度重视,多次向ISO/TC 8/SC 13和其上层组织船舶与海洋技术委员会(TC 8)提出推动深海采矿标准建设的目标。在ISO框架内,ISO/TC 8/SC 13应与TC 147(水质技术委员会)、TC 82(采矿技术委员会)、TC 67(油气工业及减碳能源技术委员会)等深海环境、矿产、能源领域的委员会及其分委会建立实践中的合作机制,以加强沟通、避免工作内容重复、扩展标准适用边界。在外部联络组织中,立足国际标准化组织层面的高度,与国际海底管理局、国际海道组织、世界气象组织等政策、指南的制定方建立标准联盟。政策、指南为ISO标准的制定提供战略规划,ISO标准为政策的实施提供技术支撑。

致谢 感谢国家自然科学基金(42025601)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(JG2501)和国家重点研发计划(2024YFF0506804)的资助。感谢马邦梁老师在本文构思之初给予的鼓励和指导,陈尚国老师帮助修改提高图1的设计。感谢审稿人提出的宝贵修改意见。

推荐阅读文献

- Jin X L. The development of research in marine geophysics and acoustic technology for submarine exploration (in Chinese). Prog Geophys, 2007, 22: 1243–1249 [金翔龙. 海洋地球物理研究与海底探测声学技术的发展. 地球物理学进展, 2007, 22: 1243–1249]
- Li S, Tang Y G, Huang Y, et al. Review and prospect for Chinese deep-sea technology and equipment (in Chinese). Bull Chin Acad Sci, 2016, 31:

- 1316–1325 [李硕, 唐元贵, 黄琰, 等. 深海技术装备研制现状与展望. 中国科学院院刊, 2016, 31: 1316–1325]
- 3 Zheng J, Lu M J, Cheng B, et al. High-quality development strategy of the industrial chain of marine equipment in China (in Chinese). *Engineering*, 2025, 27: 95–107 [郑洁, 卢明剑, 程兵, 等. 我国海洋装备产业链高质量发展战略研究. 中国工程科学, 2025, 27: 95–107]
- 4 Ma L, Li J, Feng X, et al. Marine exploration and its environmental impact assessment: insights from international standards. *Front Mar Sci*, 2024, 11: 1389906
- 5 Li Y Q. The future of international standardization in ships and marine technology (in Chinese). *Chin Standar*, 2022, 612: 18–21 [李彦庆. 船舶与海洋领域国际化的未来. 中国标准化, 2022, 612: 18–21]
- 6 Wang Y, Ye C, Ma L T. Interpretation of ISO 5411: 2024, Ships and marine technology—Submersibles—Vocabulary (in Chinese). *Chin Standar*, 2024, (S1): 156–161 [王瑶, 叶聪, 马乐天. ISO 5411: 2024《潜水器术语》国际标准解读. 中国标准化, 2024, (S1): 156–161]
- 7 International Organization for Standardization. ISO 5411: Ships and Marine Technology—Submersibles—Vocabulary. 2024
- 8 National Technical Committee for Sea Going Ships. GB/T 13407: terminology for submersibles and underwater installations (in Chinese). 1992 [全国海洋船舶标准化技术委员会. GB/T 13407: 潜水器与水下装置术语. 1992]
- 9 Xu L L, Zhang X J. Analysis on standardization of marine terminology (in Chinese). *China Quality Standards Rev*, 2023, (2): 12–13 [许莉莉, 张晓娟. 海洋术语标准化问题探析. 中国质量与标准导报, 2023, (2): 12–13]
- 10 International Seabed Authority ISBA/25/LTC/6/Rev.3: recommendations for the guidance of contractors for the assessment of the possible environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area. 2023
- 11 Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 15918: oceanography general terminology (in Chinese). 2010 [国家标准化管理委员会. GB/T 15918: 海洋学综合术语. 2010]
- 12 Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. HY/T 0418: general terminology for marine ecological protection (in Chinese). 2024 [中华人民共和国自然资源部. HY/T 0418: 海洋生态保护综合术语. 2024]
- 13 Wu Y T, Ren X B, Duan X N, et al. Thoughts on constructing self-reliance and self-strengthening marine scientific observation and detection technology system (in Chinese). *Bull Chin Acad Sci*, 2022, 37: 861–869 [吴园涛, 任小波, 段晓男, 等. 构建自立自强的海洋科学观测探测技术体系的思考. 中国科学院院刊, 2022, 37: 861–869]
- 14 Chen Y. On the ocean observing methodology (in Chinese). *Acta Oceanol Sin*, 2019, 41: 182–188 [陈鹰. 海洋观测方法之研究. 海洋学报, 2019, 41: 182–188]
- 15 Guo Z W, Liu C, Wang X. Design and Development for Internet of Things Engineering (in Chinese). Beijing: Science Press, 2022 [郭忠文, 刘超, 王玺. 物联网工程设计与开发. 北京: 科学出版社, 2022]
- 16 Li Y H, Wang F, Wang D X. The General situation and prospects of the construction of offshore marine observation and research network of CAS (in Chinese). *Bull Chin Acad Sci*, 2008, 23: 274–279 [李颖虹, 王凡, 王东晓. 中国科学院近海海洋观测研究网络建设概括与展望. 中国科学院院刊, 2008, 23: 274–279]
- 17 Leng S Y, Qiao F L, Zhang L, et al. Key scientific and technical issues for global ocean governance and international cooperation (in Chinese). *Bull Natl Nat Sci Found*, 2024, 38: 928–933 [冷疏影, 乔方利, 张亮, 等. 全球海洋治理与国际合作的关键科学问题. 中国科学基金, 2024, 38: 928–933]
- 18 Fang Y X, Li J B. Progress of UN Ocean Decade Programme on deep sea and China's participation-A case of Digital Deep-sea Typical Habitats Programme (in Chinese). *Pacif J*, 2024, 32: 54–66 [方银霞, 李家彪. 联合国“海洋十年”深海领域大科学计划进展和中国的参与. 太平洋学报, 2024, 32: 54–66]
- 19 Song X, Liang Z X. Marine big data towards standardization (in Chinese). https://www.mnr.gov.cn/dt/hy/202203/t20220316_2730771.html [宋晓, 梁志翔. 海洋大数据迈向标准化. https://www.mnr.gov.cn/dt/hy/202203/t20220316_2730771.html]
- 20 International Organization for Standardization. ISO 22013: marine environment sensor performance—Specifications, testing and reporting—General requirements. 2021
- 21 International Organization for Standardization. ISO 23745: ships and marine technology—General specification for shipborne meteorological instruments. 2024
- 22 International Organization for Standardization. ISO 22804: marine technology—General technical requirements of marine conductivity-temperature-depth (CTD) measuring instrument. 2023
- 23 International Organization for Standardization. ISO 21851: marine technology—Ocean observation systems—Design criteria of ocean hydro-meteorological observation systems reuse and interaction. 2020
- 24 Zhang P H, Du J P, Wu S, et al. Research progress on the construction of marine environment big data system (in Chinese). *Ocean Dev Manag* 2021, 11: 104–112 [张彭辉, 杜建平, 吴帅, 等. 海洋环境大数据系统建设研究进展. 海洋开发与管理, 2021, 11: 104–112]
- 25 Jayne S, Roemmich D, Zilberman N, et al. The Argo program: present and future. *Oceanography*, 2017, 30: 18–28
- 26 Lv F, Jian Z M. Technology research and application progress of seafloor observation network (in Chinese). *Sci Tech Foresight*, 2022, 1: 79–91 [吕枫, 翦知潜. 海底观测网技术研究与应用进展. 前瞻科技, 2022, 1: 79–91]

- 27 Wang P X. Seafloor observations: the third platform for Earth system observation (in Chinese). *Chin J Nat*, 2007, 29: 125–130 [汪品先. 从海底观察地球——地球系统的第三个观测平台. *自然杂志*, 2007, 29: 125–130]
- 28 Ruan A G. *Ocean Bottom Seismic Theory and Application* (in Chinese). 2nd ed. Beijing: Science Press, 2020 [阮爱国. 海底地震勘探理论与应用 (第二版). 北京: 科学出版社, 2020]
- 29 Wu Z Y. *High Resolution Submarine Geomorphology* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2017 [吴自银. 高分辨率海底地形地貌——探测处理理论与技术. 北京: 科学出版社, 2017]
- 30 State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 42629.3: code of practice for international seabed area and high seas environmental survey—Part 3: marine biological survey (in Chinese). 2023 [国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 42629.3: 国际海底区域和公海环境调查规程 第3部分: 海洋生物调查. 2023]
- 31 China strategy Institute of Ocean Engineering. *Annual Report on the Development of China's Marine Equipment* (in Chinese). Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2023 [中国海洋装备工程科技发展战略研究院. 中国海洋装备发展报告. 上海: 上海交通大学出版社, 2023]
- 32 International Organization for Standardization. ISO 3482: ships and marine technology—Technical guidelines for active source exploration with ocean bottom seismometers (OBS). 2022
- 33 Yang T, Nan F, Niu X, et al. The normalization of passive source ocean bottom seismometer data (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, doi: [10.1360/TB-2024-0721](https://doi.org/10.1360/TB-2024-0721) [杨庭威, 南方舟, 牛雄伟, 等. 被动源海底地震仪数据规范化研究. *科学通报*, 2024, doi: [10.1360/TB-2024-0721](https://doi.org/10.1360/TB-2024-0721)]
- 34 International Hydrographic Bureau. IHO S-44 (Edition 6.1.0): standards for hydrographic surveys. 2020
- 35 International Seabed Authority. ISBA/6/A/18, Annex: regulations on prospecting and exploration for polymetallic nodules in the area. 2000
- 36 International Seabed Authority. ISBA/16/A/12/Rev.1 Annex: regulations on prospecting and exploration for polymetallic sulphides in the area. 2010
- 37 International Organization for Standardization. ISO 23040: marine environment impact assessment (MEIA)—Specification for marine sediments in seabed areas—Survey of interstitial biota. 2021
- 38 International Organization for Standardization. ISO 22787: marine environmental impact assessment (MEIA)—Technical specifications for marine biotic surveys in the international seabed area—General principles. 2023
- 39 Xu Q N, Hu Z, Ye C, et al. Present situation and prospect of deep-sea manned submersible technology and its application (in Chinese). *Sci Tech Foresight*, 2022, 1: 36–48 [徐芑南, 胡震, 叶聪, 等. 载人深潜技术与应用的现状和展望. *前瞻科技*, 2022, 1: 36–48]
- 40 Wang Y, Ye C, Feng G. Interpretation of ISO 21173: 2019, Submersibles—Hydrostatic pressure test—Pressure hull and buoyancy materials (in Chinese). *Standard Sci*, 2023, (S1): 89–93 [王瑶, 叶聪, 冯光. 国际标准《潜水器耐压壳体和浮力材料静水压力试验方法(ISO 21173: 2019)解读》. *标准科学*, 2023, (S1): 89–93]
- 41 International Organization for Standardization. ISO 23730: marine technology—Marine environment impact assessment (MEIA)—General technical requirements. 2022
- 42 China Geological Survey. *Hundred Achievements of China Geological Survey* (in Chinese). Beijing: Geology Press, 2016 [中国地质调查局. 中国地质调查百项成果. 北京: 地质出版社, 2016]

Summary for “海洋观测和探测技术国际化的动态、挑战与展望”

Dynamics, challenges, and prospects of international standardization for marine observation and exploration technologies

Letian Ma^{1,2*}, Jiabiao Li^{1,2}, Xuwen Feng², Dake Chen^{2,3,4}, Weiwei Ding^{1,2}, Xiaodong Wei^{1,2}, Yao Wang⁵ & Chao Liu⁶

¹ State Key Laboratory of Submarine Geoscience, Hangzhou 310012, China

² Second Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Hangzhou 310012, China

³ State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Hangzhou 310012, China

⁴ Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Zhuhai 510275, China

⁵ China Ship Scientific Research Center, Wuxi 214082, China

⁶ Department of Computer Science and Technology, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

* Corresponding author, E-mail: malt@sio.org.cn

As the core component of the Earth's ecosystem and a vital resource base for human development, the ocean possesses irreplaceable value for global economic growth, ecological security, and scientific and technological progress. Marine technology, which underpins the observation, exploration, and protection of the ocean, serves as a key bridge between human activities and the marine system. In recent years, with the continuous expansion of the industrial scale of marine observation and exploration equipment, improving the level of industrial standardization and enhancing the efficiency of interdisciplinary and international cooperation have become key priorities for major maritime nations. The development of international standards based on global consensus is not only an important attempt toward: (i) improving the efficiency of marine technology research, development, and acquisition, and (ii) promoting standardized and large-scale industrial growth but also an effective way for countries to strengthen their technological competitiveness in the international market. From marine observation and exploration to the development and utilization of marine resources, every stage of the industrial chain has specific standardization needs. For example, the testing verification and equipment performance evaluation, for marine observation and exploration equipment not only require standards for test methods, performance assessment, and operating procedures but also for product quality indicators, compatibility, and safety.

In anticipation of the broad development prospects of marine technology and its growing need for standardization, the International Organization for Standardization (ISO) established the Subcommittee on Marine Technology in 2014 (ISO/TC 8/SC 13). The Subcommittee focuses on developing international standards in the fields of marine observation, exploration, and environmental protection. Over the 12 years since its establishment, the Subcommittee has published 14 international standards in the field of marine observation and exploration under ISO, with an additional five standards currently under development. The Subcommittee has recruited 20 member countries and maintains cooperation with international organizations involved in marine affairs, such as the International Seabed Authority and the World Meteorological Organization, making it one of the most important international bodies in the field of marine standards.

Based on the practical work of the Subcommittee, this study systematically reviews the development of international standardization for marine observation and exploration technologies, including the relevant organizations, technology advancements, and emerging standardization dynamics. Furthermore, the study identifies current challenges, namely the following: (1) the asynchronous development between technological innovation and standardization processes, (2) insufficient engagement from industry stakeholders, and (3) difficulties in addressing the standardization needs of deep-sea mining. Based on the findings, this study proposes the following solutions to address the aforementioned challenges: (1) balancing technological advancement with market readiness during standard development, (2) enhancing promotional efforts to improve industry participation, and (3) actively addressing collaborative barriers among international marine organizations.

We are committed to advancing international standardization in the emerging field of marine observation and exploration technologies, with a focus on standardizing technical specifications, eliminating trade barriers, and providing a common technical language to facilitate international cooperation in marine technology.

ISO standard, terminology, marine observation, deep-sea exploration

doi: [10.1360/CSB-2025-5170](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-5170)