

特色专题

世界海洋科技中长期发展趋势及其对中国的启示

刘明

摘要 美国、俄罗斯、日本、韩国、欧盟等世界主要海洋国家和地区,以及联合国等主要涉海国际组织出台多部中长期海洋战略和规划,加大力度推动重点海洋科技领域发展,力图在海洋基础研究、深海科技、北极领域科技、航运业、海洋可再生能源,以及海洋电子信息技术领域取得突破和进展。未来中长期世界海洋科技将呈现诸多新的发展趋势。从世界主要发达国家和主要涉海国际组织出台的规划角度总结分析世界海洋科技在海洋基础研究、深海领域、船舶航运业、海洋可再生能源开发、全球海洋观测等领域的主要趋势,梳理总结中国海洋科技仍存在诸多短板,如基础研究水平与世界海洋科技强国仍有差距、深海技术装备创新不足关键核心技术仍依赖进口等。在此基础上,建议加强海洋科技基础研究,加强重点海洋技术领域的攻关力度。

关键词 海洋科技; 中长期; 发展趋势; 短板分析

以美国为代表的世界主要海洋国家和以联合国为代表的主要国际组织通过发布新的海洋发展战略规划和政策,强化对海洋基础科学、深海科技、北极海洋科技与装备、智能清洁船舶、海洋可再生能源、全球海洋观测网技术 6 个重点海洋科技领域的投入和研究力度,力图提升海洋业务支撑能力和海洋科技总体实力。未来世界海洋科技呈现诸多新的发展趋势。同时,也应看到中国在相关领域仍存在诸多短板,仍须结合中国海洋科技中长期发展方向,在相关领域加大研究和攻关力度。

1 世界海洋科技中长期发展趋势分析

1.1 高度重视海洋基础研究

“联合国海洋科学促进可持续发展十年”2020 年

自然资源部海洋发展战略研究所,北京 100860

8 月发布了《联合国海洋科学促进可持续发展十年(2021—2030 年)实施计划摘要》(以下简称《摘要》)。该《摘要》提出了 3 个发展目标。一是确定可持续发展所需的知识,提高海洋科学提供所需海洋数据和信息的能力。二是开展能力建设,形成对海洋的全面认知和了解,包括海洋与人类的相互作用、海洋与大气层和冰冻圈的相互作用以及陆地与海洋的交互关系。三是加强对海洋知识的利用及对海洋的了解,开发有助于形成可持续发展解决方案的能力。3 个目标从不同角度阐述了“海洋十年”重视和加强海洋基础研究的愿景^[1]。

美国国家科学技术委员会(National Science and Technology Council, NSTC)2018 年 11 月发布了《美国海洋科技发展未来十年愿景》报告。该报告确定了 2018—2028 年推进美国海洋科技和国家发展的 5 个目标,即理解地球系统中的海洋、促进经济繁荣、确保海洋安全、保障人类健康和打造具有韧性的沿海社

收稿日期: 2024-05-15; 修回日期: 2024-07-23

作者简介: 刘明,研究员,主要研究方向为海洋经济与科技,电子信箱: liuming@cimamnr.org.cn

引用格式: 刘明. 世界海洋科技中长期发展趋势及其对中国的启示[J]. 科技导报, 2025, 43(14): 34-41; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.05.00521

区。该报告将“理解地球系统中的海洋”设定为美国海洋科技发展的首要目标,是实现其他目标的基础。报告在“理解地球系统中的海洋”中强调开展海洋基础研究,强调必须综合考虑海洋、陆地、冰和大气之间的联系,以及人类的作用,从地球系统整体的角度,通过多学科交叉融合来研究海洋过程与现象,解决海洋问题,推动海洋科技发展,进而更好地理解过去和预测未来^[2]。

1.2 深海将成为国际海洋科技探索与实践的新阵地

深海成为新一轮国际竞争的目标,世界主要海洋国家和国际组织在海洋战略规划中突出深海科技发展,逐步加大对深海科技的投入,推动深海科技不断取得新突破。

《美国海洋科技发展未来十年愿景》提出“加强对深海……全球海洋欠采样区域的观测”^[2]。《摘要》强调提出,“需要掌握有关世界沿海陆地海洋交界到开阔洋、海面到深海海床的知识”^[3]。

1.3 推动北极领域科技发展

随着全球气候变暖导致的海冰融化速度加快,北极潜在的科研、经济及军事价值引起国际社会广泛关注。美国、俄罗斯、加拿大等北极国家纷纷制定北极战略,加大极地科考、极地装备、极地监测预警及极地资源开发等方面的投入,未来极地领域的海洋科技必将快速发展。

美国政府 2022 年 10 月发布新版《北极地区国家战略》,实施期限为 2022—2032 年。该战略提出了美国将提高对北极作业环境的认知,以便为实时决策提供信息,并应对不断变化的北极环境。为实现这一目标,该战略提出,“将提高对北极的观测制图能力,提高通信、定位和导航能力,提高对天气、水和海冰的预报能力,提高对次季节和季节预测能力,提高对北极的海上和空中的卫星监测能力”^[4]。

俄罗斯 2020 年 3 月出台《俄罗斯 2035 年前国家北极基本政策》,其中,针对北极科技发展提出“加快研发和应用北极相关科技;加强重点科技发展方向上的基础和应用研究;研发和应用关乎国防、公共安全的关键技术;加强对北极自然灾害的研究,利用现代化技术手段预测气候变化,降低生命威胁;利用工程技术方案,防止全球气候变化对基础设施的破坏;完善北极科考船队等”^[5]。

加拿大政府 2019 年 9 月颁布《加拿大北极与北方政策框架》用于指导其 2030 年前的北极活动。该政策框架将推动北极地区科技创新作为加拿大北极政策的 8 个优先领域之一^[6]。

此外,北极周边国家以及域外国家纷纷推出北极政策,加大极地科考和开发方面的投入,有关极地领域的海洋科技和装备快速发展,尤其是极地特种船舶研制和建造。世界上拥有极地破冰船技术的国家包括俄罗斯、美国、加拿大、芬兰、中国等。环北极国家拥有的破冰船数量占世界绝大多数。俄罗斯是世界上拥有极地破冰船最多的国家,也是世界上唯一拥有核动力破冰船的国家。随着极地资源争夺持续升温,各国都加大了对极地破冰船的开发力度。

1.4 船舶航运业跨入绿色智能化时代

随着 5G(第 5 代移动通信)、人工智能、物联网等新一代信息技术的发展,船舶航运业与新兴技术的结合愈加紧密。随着全球气候治理的深入推进,航运业的环境污染和碳排放问题受到国际社会广泛而高度的关注,航运业的低碳环保标准不断提高。为此,世界航运大国纷纷制定中长期发展战略,加快设计研发智能船舶,推动航运业向低碳化零碳化发展。

英国交通部 2019 年 1 月发布《海事 2050 战略》(Maritime 2050),详细阐述了英国到 2050 年航运实现零排放的愿景,并且指出“英国政府目前在海事行业领域关注的重点是智能航运。智能航运强调技术和创新,特别是自动化和数字化”^[7]。英国政府 2019 年 7 月发布《清洁海事规划》(《Clean Maritime Plan》)。该规划是英国《海事 2050 战略》的环境路线图,目标是从 2025 年起在英国水域航行的所有新船将采用零排放技术设计^[8]。

日本船级社 2020 年 3 月发布《数字化总体设计 2030》(《Class NK Digital Grand Design 2030》),提出拟将日本船级社丰富的技术与经验拓展至海事相关业务,并着眼于海事及相关产业的创新。为达此目标,日本船级社提出将开发基于大数据的新技术服务,建立多样化规则,以便面对数字化技术所带来的社会转型和新挑战^[9]。日本政府 2020 年 5 月出台《零排放国际航运路线图》(《Roadmap to Zero Emission from International Shipping》),重点展示了 4 个新型“零排放生态船舶”,即氢燃料船、氨燃料船、二氧

化碳捕获船和超高效液化天然气燃料船^[10]。日本政府 2020 年 12 月发布《2050 碳中和绿色增长战略》，提出到 2050 年将现有船用传统燃料全部转化为氢、氨、液化天然气等清洁燃料^[11]。

韩国政府 2020 年 12 月出台《环保船舶十年规划》，指出到 2030 年前将公共和私营部门的 528 艘船舶改造成环保船，并开发可减排 70% 温室气体的减排技术^[12]。韩国海洋与渔业部和贸易、工业与能源部 2021 年 4 月联合发布《2030 绿色船舶推进倡议》（《2030 Green ship-K Initiative》），提出在未来 25 年内减排温室气体 40%，未来 30 年内将减排温室气体 70%^[13]。

挪威船级社 2020 年 10 月发布第 4 版《2050 年海事展望》（《Maritime Forecast to 2050》），以提高航运利益攸关方特别是船东的能力，以应对航运业在技术、监管和市场方面的不确定性，推动航运业碳减排，提出到 2030 年远洋船舶采用碳中和燃料占比 14%，2040 年占比 60% 以上^[14]。

1.5 大力推动海洋可再生能源开发技术发展

美国能源部 2022 年 2 月发布的《海上风能战略》提出，到 2030 年美国海上风电装机容量需达到 30 GW 以实现碳减排 7800 万 t，到 2050 年达到 110 GW 的海上风电装机规模。通过技术创新和适当措施，降低海上风能成本，在全国范围内提供可负担得起的风电，并且新的风能设计要适应美国本地的运行环境。进一步加快浮动式海上风电平台建设以推动海上风电向深海拓展。扩大海上风能主要部件的本国化生产以及整体系统的测试和示范。推动海上风能设备的安装、操作和维护方面的创新^[15]。

美国能源部、内政部、商务部和交通部 2022 年 9 月联合启动《漂浮式海上风电行动计划》（《Floating Offshore Wind Shot》），旨在推动美国在漂浮式海上风电设计、开发和制造方面处于领先地位，该计划提出 3 个目标。一是重点在平台制造、海洋工程和浮式风机领域进行集中研究、开发和示范，到 2035 年将漂浮式海上风电的成本降低 70% 以上，达到每兆瓦时 45 美元（2021 年美国底部固定式海上风电平均成本为每兆瓦时 84 美元）。二是促进深水漂浮式风力发电技术发展，目标是到 2035 年部署 15 GW 的漂浮式海上风电装机容量，为超过 500 万美国家庭供电。三是拨款 5000 万美元为实现上述目标提供支持^[16]。

欧盟委员会 2020 年 11 月发布《欧盟海上可再生能源发展战略》，提出“到 2030 年欧洲海上风电装机容量从目前的 12 GW 增长到至少 60 GW，到 2050 年海上风电累计装机容量达到 300 GW”。为实现上述目标，该战略提出“将在海洋空间规划、海上可再生能源及电网基础设施、海上可再生能源监管框架、撬动私营投资、重点支持技术研究创新、建立更强大的欧洲供应链与价值链 6 方面采取关键行动。针对技术研究创新，将采取如下关键行动：在 2022 年启动一个大型高压直流输电网示范项目；支持开发海上风能的新型设计；提高整个海上风能价值链的工业效率，包括使用数据驱动方法和物联网设备的数字技术；启动一个战略能源技术计划（SETPlan）高压直流输电工作组。欧盟委员会将与成员国和地区（包括岛屿）合作，协调利用可用资金开发海洋能技术”^[17]。

1.6 部署全球海洋观测网以全面提升海洋观测能力

联合国教科文组织（United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, UNESCO）2019 年 5 月发布《全球海洋观测系统 2030 战略》（《The Global Ocean Observing System 2030 Strategy》）。该战略指出“在当前全球变暖和海洋灾害频发的背景下，各国对全球海洋观测的需求大幅增加，需要建立一个真正一体化的全球海洋观测系统。联合国教科文组织将建立更广泛的合作伙伴关系，加强对大气和海洋变化过程的监测，开发创新技术，降低观测成本，推动信息数据共享，以便在 2030 年建成综合海洋观测系统，满足终端用户需求”^[18]。

欧洲海洋观测系统（European Global Ocean Observing System, EuroGOOS）2021 年 5 月发布《欧洲海洋观测系统 2030 战略》，旨在“引领开发和实施欧洲持续、协调的业务化海洋观测”。该战略确定了 5 个战略目标，即“推动海洋观测最佳实践的实施；建设综合协调的欧洲海洋观测体系和业务化海洋观测系统；加强和扩大伙伴关系；促进海洋观测和业务化海洋服务价值的实现；加强宣传使公众认识到海洋和海洋服务的重要性”^[19]。

美国国家海洋和大气管理局 2020 年 8 月发布《海洋、沿海和五大湖酸化研究规划：2020—2029 年》（《Ocean, Coastal, and Great Lakes Acidification Research Plan: 2020—2029》），以帮助科学家、资源管理者

和沿海社区解决海洋、沿海和五大湖的酸化问题。该规划确定了3个主要研究目标:一是扩展和推进观测系统和技术,加深对海洋酸化趋势和过程的理解;二是了解海洋酸化如何影响重要物种及其生存的生态系统,并提高预测生态系统和物种对酸化和其他压力源的反应能力;三是促进利益相关者及合作伙伴参与该规划的实施,评估需求并生成支持管理、适应和抵抗海洋酸化的产品和工具^[20]。

澳大利亚综合海洋观测系统(Integrated Marine Observing System, IMOS)2021年3月发布了《IMOS 2030 战略》,确定了未来10年IMOS的海洋观测发展方向和研究重点。该战略提出了5个重点任务:一是增强海洋数据和信息的获取和应用水平,提高决策支撑能力;二是加深气候变化和海洋极端事件对环境、经济、社会和文化影响的认识,提升应对和恢复能力;三是加强对典型海洋环境系统、物种和栖息地的认知,为管理和保护海洋生境提供支撑;四是支持海洋科学研究、培训和教育,推动海洋观测技术和方法创新,加强面向未来的海洋观测能力开发;五是加强地方、国家、区域和国际层面的宣传推广,扩大海洋观测的影响力^[21]。

印度洋观测系统(Indian Ocean Observing System, IndOOS)2019年10月发布《印度洋持续海洋观测路线图(2020—2030年)》,确定了2020—2030年印度洋地区的海洋观测布局规划和实施计划,确定了未来IndOOS建设的优先事项,包括加强整个印度洋地区生物地球化学要素的观测,加强对边界流、印尼贯穿流和深海的观测,提高卫星海洋观测能力,加强数据的质控、管理和共享分发,加强印度洋周边国家间的合作和伙伴关系等^[22]。

2 中国海洋科技发展存在的短板

中国持续深耕海洋科技的重点关键领域,着力推进海洋科技向创新引领型转变,但和发达海洋国家相比,中国在海洋基础研究、深海技术装备、海洋无人装备、海洋可再生能源利用技术,以及海洋探测技术等领域仍存在一定差距。

2.1 基础研究水平与世界海洋科技强国仍有差距

海洋科学是综合学科,其问题的解决往往涉及多

个学科,需要多学科领域间深度交叉与融合。近10年来,随着综合国力的提升、科技经费投入的增加、科研条件的改善和对外合作交流加强,中国海洋科学表现出强劲的发展趋势。中国海洋基础研究领域研究成果数量快速增长、研究领域不断拓宽、影响力稳步提升。2019年,中国发表的海洋科学论文数量已位居世界第1位、篇均被引用频次为世界第3位,切实体现了国家科技研发投入对科学研究的促进作用。研究领域从中国近海拓展到深海大洋与极地海域,研究问题正在逐步从单一学科的科学问题向多学科交叉问题过渡,海洋领域各学科均取得了一系列重要的研究成果。

但是,当前中国海洋领域的研究水平相比其他海洋科技强国仍存在一定的差距。例如,海洋基础研究中缺乏对奠基性理论的实质贡献,尚未在整体上形成引领学科前沿发展的态势;科研经费投入不持续,海洋模式开放、观测体系建设、灾害监测预警方面仍受到技术瓶颈的制约;缺乏由中国发起或主导的国际大科学计划和大科学工程^[23]。

2.2 深海技术装备创新不足,关键核心技术仍依赖进口

中国深海装备快速发展,部分装备实现重大突破,处于世界领先水平,但关键核心技术仍依赖进口,与国外先进水平仍有差距,主要体现在3个方面。一是高精度深海传感器技术仍落后,尽管部分仪器实现了自主研发,但在探测精度、技术创新、设备类型及性能水平、仪器长期稳定性等方面仍不足,高精度仪器仍依赖进口。中国在深海专用的材料、通信、导航、定位、负载、动力设备等通用配套技术方面明显落后于发达国家。与发达国家相比,在深海极端环境仿真能力等方面还有较大差距。中国深海探测装备的观测能力存在“局部”和“短时间”等缺陷,仍缺乏可在原位进行长周期载人实验的装备^[24]。二是中国深海作业型载人潜水器已处于世界领先水平,但其产业化技术和市场培育有待发展,与国外相比仍有差距。中国载人潜水器主要是基于传统水动力线型设计,而美国的载人潜水器 Triton 36000/2 采用垂直立扁外形设计,能够不到2.5 h就下潜到海底。中国载人潜水器搭载人数为3人,而美国的载人潜水器搭载人数为5人,最多达到11人^[25]。中国大深度载人潜水器的壳

体一般为钛合金球壳,而美国载人潜水器为复合材料圆柱形耐压壳体。三是中国深海自主无人潜水器已处于世界先进水平,但技术与装备总体上仍以跟踪和仿制为主,智能化水平较低,核心部件缺少配套能力。6000~11000 m 级作业型远程遥控潜水器尚为空白。中国深海自主遥控潜水器研制与国外同步,“海斗一号”万米深潜与科考应用成功,标志着中国在全海深无人潜水器领域正在迈向国际领先水平^[26]。

2.3 海洋钻井设备自动化、智能化水平低,深水钻井设备核心技术仍未掌握

由于基础工业起步晚及国外封锁等原因,中国海洋钻井装备的自动化和智能化技术发展缓慢,水平远落后于发达国家。国内的石油机械设备公司先后研发了一系列海洋管柱自动化处理设备,但仅在陆地上实现了应用,还未在海上实现工业化应用。宝鸡石油机械设备公司 2017 年交付的全液压地质钻探系统在广州海洋地质调查十号船上完成了多次钻探取芯作业。该钻探系统具备一定的自动化水平,但提升能力仅为 600 kN,适用水深 600 m,最大钻探深度 400 m^[27]。尽管如此,技术和功能水平仍远低于国外全液压自动化钻机。目前,中海油在用的钻机平台中,仅有 HYSY941/942 和 HYSY981/982 等新建的高端钻井平台配置了全进口的自动化管柱处理系统和司钻集成控制系统,但这些设备大多是国外 20 世纪末和 21 世纪初的技术,自动化水平相对较低^[28]。中国全球最先进的超深水半潜式钻机平台“蓝鲸 I 号”,其主要钻机设备均来自美国 NOV 公司^[29]。

2.4 国内海洋无人智能装备技术仍在探索,产业化条件已具备

海洋无人智能装备技术主要包括智能感知技术、自主导航/避碰技术、先进动力源技术、新型推进技术。在智能感知技术领域中国处于起步阶段,只有部分产品开始进入小规模应用阶段。例如,广东华中科技大学工业技术研究院的无人艇环境感知及自主运动控制技术与产品、珠海云洲智能科技股份有限公司的无人水面艇蜂群技术^[30]。中国在先进动力源技术领域处于摸索阶段,但在无人水面艇可再生能源领域已取得了重大进展,代表性成果如中国船舶集团有限公司研制的“海蛟”波浪滑翔水面艇^[31]。国内智能船舶及无人系统仍处于起步阶段,仅有高校和少数企业对

其新型推进技术进行了研究,例如,珠海云洲智能科技股份有限公司开发的“便携式智能推进系统”专利技术^[32]。总体上看,中国海洋无人系统智能装备产业化条件已初步具备,相关产业处于萌芽期和成长期之间。

2.5 海洋可再生能源开发装机效率、装置可靠性上仍有差距

中国潮汐能技术与国际先进水平差距不大,潮流能发电技术处于关键技术研究及示范阶段,潮流能发电装置装机规模、年发电量、稳定性和可靠性等多个指标都达到世界领先水平,中国已成为亚洲首个、世界第 3 个实现兆瓦级潮流能并网发电的国家。中国波浪能发电技术处于样机海试阶段,温差能、盐差能等技术与国际先进水平存在一定的差距^[33]。国际上 150~750 kW 波浪能装置已完成了最长接近 10 年的海试^[34],而中国百千瓦级波浪能技术近些年才进入海试并网阶段,技术的成熟度和稳定性仍有待提高。

2.6 海底探测基础薄弱、海洋传感器与通用技术相对落后、海洋探测装备工程化程度和利用率低

中国在海洋观测网方面,技术起步较晚,海底探测基础薄弱。在海底固体矿产探测方面,缺乏系列化探测装备,虽然在国际海底发现了 30 多处海底热液喷口,但精确定位能力不足,而且受制于海底探测基础理论、调查和评价方法研究基础薄弱,致使深海资源评价技术存在发展瓶颈。同时,中国对富钴结壳和海底多金属硫化物矿的采矿方法和装备的研究还处于起步阶段。在深海生物基因资源研究方面,中国与发达国家之间的差距较大,尤其是在深海生物观测、精确采样、培养技术与极端微生物资源获取方面。

海洋传感器与通用技术制约中国海洋观测网建设。传感器是海洋探测装备的核心技术,目前中国的观测平台搭载的海洋水文仪器设备(CTD)、光学传感器等海洋观测核心传感器仍严重依赖进口。此外,中国的浮力材料、能源供给、液压控制技术、信号无线传输等深海通用技术与材料在探测与作业范围、精度、使用的长期稳定性和可靠性等方面,差距仍很大。这种情况制约着中国深海探测与作业装备的发展,限制了中国深海海上作业整体水平的提高。

中国海洋探测装备工程化程度和利用率较低,海洋探测装备技术还处于发展阶段,在工程化、产业化

方面仍有较大差距。中国从事潜水器产品相关服务的公司多为国外产品代理商,大多没有和潜水器技术研究单位形成有效的产品化机制。同时,大型海洋探测装备参与研制部门过多,探测装备后期保障和维护困难,探测装备研制部门与用户脱节。

3 启示和建议

通过梳理世界主要发达国家和主要国际组织颁布的海洋科技领域规划可以看出,中长期世界海洋科技发展将呈现6方面如下发展趋势:海洋基础研究将不断加强、深海科技将成为国际海洋科技探索和实践的新阵地、北极领域科技和装备将成为热点、船舶航运业将进入智能化和绿色化时代、漂浮式风电技术将是海洋可再生能源技术的重点主攻方向、全球海洋观测网将不断完善。据此,建议编制中长期海洋科技发展战略规划,以便加强海洋科技基础研究和重点海洋科技领域的攻关力度。

3.1 加强海洋科技基础研究

2023年2月21日,习近平总书记在主持中央政治局第三次集体学习时强调,加强基础研究,是实现高水平科技自立自强的迫切要求,是建设世界科技强国的必由之路。加强海洋科技基础研究既是加快建设海洋强国的必由之路,也是参与世界海洋科技竞争的必然要求。

当前及未来中长期,中国海洋科技基础研究应围绕气候变化、全球变化中海洋作用、海洋升温、海洋酸化、海洋塑料污染等问题,组织国内科研力量进一步持续开展研究攻关。在西太平洋、南海、印度洋等关键海区,争取发起中国主导的多要素、跨尺度、跨圈层、高分辨率的海洋观测系统,抢占国际海洋科学的战略制高点,为中国海洋技术发展打好科学基础。

3.2 加大重点海洋技术领域的攻关力度

基于以上有关世界海洋科技中长期发展趋势分析,以及对中国海洋科技发展存在的短板的分析,建议就中国几个重点海洋技术领域加大攻关力度。一是制定实施国家极地科技战略和规划,实施极地环境观测和装备关键技术研发国家专项,促进极地科技领域的国际合作,开展极地科技装备研究,发展极地生态环境保护技术装备,推动深海远洋考察、冰区勘

探、大气和生物观测等领域的装备升级,促进在北极海域石油与天然气钻采、可再生能源开发、冰区航行和监测以及新型冰级船舶建造等方面的技术创新。二是加大深海矿产资源开发技术、深海钻井设备智能化技术、深海生物资源开发装备的研制、深海环境生态保护装备的研制攻关力度,支撑深海科学考察和勘探开发。三是不断突破关键技术,推动智能船舶向完全智能化发展。推动海洋信息技术向智能化方向发展,构建智慧海洋大数据平台。构建大气—岸基—水面—海底智能化、立体化海洋通信网络,扩大海洋通信覆盖范围。四是加快海洋可再生能源技术装备研发,重点开展深远海风电关键技术攻关。围绕长柔叶片、主轴承、发电机、箱式变压器等关键部件、深远海固定式基础等大容量风电机组关键技术领域开展攻关。围绕轻型化浮体设计、新材料应用、稳定协同控制等深远海漂浮式风电系统研制方向实现技术突破。突破高压大容量、紧凑型海上风电直流换流阀、直流气体绝缘开关设备(GIS)、高压大截面直流海缆等柔性直流输电关键装备技术。围绕海上制氢无人值守平台、制氢装备、绿氢储运消纳等海上风电制氢技术开展攻关。开展深远海风电与海洋牧场、海上油气平台、海上机场、融合发展的技术攻关,重点突破融合方案、功能布局、场域规划、养殖物种搭配、多源配比优化方案、源网荷储一体化方案设计、经营模式、融合运维等关键技术。围绕海上风电运维母船装备研发、无人运维设备、融合运维策略等方向开展攻关,降低深远海风电长距离运维成本。五是加快推进战略性海洋新材料研发。重点推动环保、节能、节约资源、高性能和功能化的船舶与海洋工程重防腐涂料的发展。促进易焊性、耐腐蚀、高强度、高韧性、高止裂的高性能钢研发。推动研发高强、可焊、耐蚀、加工性能优良的海工用合金材料。

4 结论

海洋科技领域的规划反映了一个国家中长期海洋科技发展的趋势,归纳总结世界主要海洋发达国家和国际组织的海洋科技领域的中长期规划的特点能够反映世界海洋科技中长期的发展趋势。世界海洋科技发展中长期主要趋势包括发达国家和国际组织

高度重视海洋基础研究、深海将成为国际海洋科技探索与实践的新阵地、推动北极领域科技发展、船舶航运业跨入绿色智能化时代、大力推动海洋可再生能源开发技术发展、全面提升海洋观测能力。目前,中国海洋科技发展存在诸多短板,包括海洋科学研究水平仍有差距、深海装备关键核心技术仍依赖进口、深水钻井设备核心技术仍未掌握、海洋无人智能装备技术仍在探索、海洋可再生能源开发技术仍有差距、海底探测基础薄弱。因此,当前亟待编制中长期海洋科技发展战略规划,以加强海洋科技基础研究和重点海洋科技领域的攻关力度。

参考文献 (References)

- [1] 实施计划摘要: 联合国海洋科学促进可持续发展十年 (2021–2030年) [EB/OL]. [2023–02–01]. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376780_chi.
- [2] NSTC. and technology for America's oceans: A decadal vision [EB/OL]. [2023–02–01]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/11/Science-and-Technology-for-Americas-Oceans-A-Decadal-Vision>.
- [3] The United Nations decade of ocean science for sustainable development (2021–2030): Implementation plan [EB/OL]. [2023–02–01]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377082>.
- [4] The White House. National strategy for the Arctic Region [EB/OL]. [2025–06–30]. https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/06/National-Strategy-for-a-Sustainable-Ocean-Economy_Final.
- [5] Указ Президента РФ от 05.03. 2020 N 164 "Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года [EB/OL]. [2023–02–04]. <https://legalacts.ru/doc/ukaz-prezidenta-rf-ot-05032020-n-164-ob-osnovakh>.
- [6] Arctic and northern policy framework [EB/OL]. [2023–03–26]. <https://www.rcaanc-cirnac.gc.ca/eng/1560523306861/1560523330587>.
- [7] Maritime 2050: Navigating the future [EB/OL]. [2023–02–13]. <https://www.gov.uk/government/publications/maritime-2050-navigating-the-future>.
- [8] Department for Transport. Clean maritime plan [EB/OL]. [2023–02–01]. <https://www.gov.uk/government/speeches/clean-maritime-plan>.
- [9] Class NK digital grand design 2030 [EB/OL]. [2023–03–26]. <https://www.classnk.or.jp/hp/zh/activities/techservices/dgd2030/index.html>.
- [10] Japan Ship Technology Research Association. Roadmap to zero emission from international shipping [EB/OL]. [2025–06–30]. <https://www.ship-technology.com/features/japan-zero-emissions-shipping>.
- [11] 内閣官房. 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 [EB/OL]. [2022–01–13]. <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai6/siryous>.
- [12] 更新改造528艘船!韩国环保船十年规划出台 [EB/OL]. [2022–02–03]. http://www.eworldship.com/html/2020/Ship-buildingAbroad_1224/166527.html.
- [13] 刘昭青. 韩国开发绿色航运倡议计划 [J]. 航海, 2021(1): 38.
- [14] 2050年海事展望 [EB/OL]. [2023–02–04]. https://www.xindemarinnews.com/pdf/DNVGL_2020_Maritime_Forecast_to_2050_Excutive_Summary_Chinese.
- [15] U. S. Department of Energy. Offshore wind energy strategies [EB/OL]. [2023–02–04]. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-01/offshore-wind-energy-strategies-report-january-2022>.
- [16] Fact Sheet: Biden-Harris Administration announces new actions to expand U. S. offshore wind energy [EB/OL]. [2023–02–04]. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/09/15/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-new-actions-to-expand-u-s-offshore-wind-energy>.
- [17] An EU strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future [EB/OL]. [2023–02–04]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0741>.
- [18] UNESCO. The global ocean observing system 2030 strategy [R/OL]. Paris: Brochure IOC, 2022.
- [19] EuroGOOS. EuroGOOS strategy 2030 [R/OL]. Brussels: Euro–GOOS, 2021.
- [20] NOAA. Ocean, Coastal, and Great Lakes Acidification Research Plan: 2020–2029 [EB/OL]. <https://oceanacidification.noaa.gov/LinkClick.aspx?fileticket=14qDwdxzgnI%3d&portalid=30>.
- [21] IMOS. IMOS strategy 2030 [EB/OL]. [2023–02–03]. <https://imos.org.au>.
- [22] Executive summary of IndOOS-2: A roadmap to sustained observations of the Indian Ocean for 2020–2030 [EB/OL]. [2023–02–03]. <https://doi.org/10.36071/clivar.rp.4-1.2019>.
- [23] “中国学科及前沿领域发展战略研究(–)”项目组. 中国海洋科学2035发展战略 [M]. 北京: 科学出版社, 2023.
- [24] 冯景春, 梁健臻, 张懿, 等. 深海环境生态保护装备发展研究 [J]. 船舶经济贸易, 2021(4): 37–44.
- [25] 胡震, 曹俊. 载人深潜技术的发展与应用 [J]. 中国工程科

- 学, 2019, 21(6): 87–94.
- [26] 中国“海斗一号”全海深自主遥控潜水器取得世界级成果[N]. 科技日报, 2021–10–11(002).
- [27] 王维旭, 刘志桐, 张鹏, 等. 全液压海洋地质钻探系统的研制与应用[J]. 石油机械, 2019, 47(12): 58–63.
- [28] 李中. 中国海油深水钻井技术进展及发展展望[J]. 中国海上油气, 2021, 33(3): 114–120.
- [29] 杨俊成, 张俊奇, 陈亮. 中国海洋油气钻井装备技术现状及展望[J]. 石油石化物资采购, 2022(10): 94–96.
- [30] 李佳佳, 刘峰, 马维良. 国内外海洋无人系统智能装备产业发展现状[J]. 船舶工程, 2020, 42(2): 25–31.
- [31] OECD. The future of the ocean economy, Exploring the prospects for emerging ocean industries to 2030[EB/OL]. [2022–04–19]. <http://www.oecd.org/futures/Future%20of%20the%20Ocean%20Economy%20Project%20Proposal.pdf>.
- [32] 陈绍艳, 王芳, 张多, 等. 中国波浪能产业化进展现状分析[C]//第八届海洋强国战略论坛论文集. 厦门, 2016: 126–130.

Research on the medium and long-term development trend of world marine science and technology and its enlightenment and suggestions for China

LIU Ming

China Institute for Marine Affairs, Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, Beijing 100860, China

Abstract In recent years, major maritime countries and international organizations such as the United States, Russia, Japan, South Korea, the United Nations, and the European Union have issued multiple medium – and long-term ocean strategies and plans, intensifying efforts to promote the development of key marine science and technology fields, striving to make breakthroughs and progress in marine basic research, deep-sea technology, Arctic technology, shipping industry, marine renewable energy, and marine electronic information technology. In the medium to long term, the world's marine technology will present many new development trends. From the perspective of planning issued by major developed countries and international organizations involved in the ocean, this article summarizes and analyzes the main trends in the development of world ocean technology in areas such as ocean basic research, deep-sea fields, shipping industry, marine renewable energy development, and global ocean observation. It also summarizes that there are still many shortcomings in China's ocean technology, such as the gap between its basic research level and that of a world ocean technology powerhouse, insufficient innovation in deep-sea technology equipment, and reliance on imports for key core technologies. On this basis, it is suggested to strengthen the basic research of marine science and technology, and enhance the research and development efforts in key marine technology fields.

Keywords marine science and technology; medium and long term; development trend; short planks analysis ●



(责任编辑 王微)