

国际海洋科技领域研究热点及未来布局

王金平^{1,2}, 吴秀平¹, 曲建升^{1,2}, 宋姗姗^{1,2}, 党敏文^{1,2}

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100035)

摘要: 近年来, 全球海洋研究呈现出若干新的特点。本文基于对近年来全球重要海洋研究进展信息, 分析了全球环境变化背景下几个重要研究热点方向的最新进展, 包括全球海洋物理环境变化研究、海洋塑料污染研究、海洋酸化研究、南北极和印度洋研究以及海洋技术开发等。基于对美国、英国、日本和俄罗斯等重要海洋国家最新发布的海洋科技创新政策和计划, 分析了各国海洋科技未来布局 and 重点关注领域。最后, 总结了全球海洋领域的发展趋势: (1) 气候变化问题在海洋中的延伸效应将持续受到关注; (2) 全球性海洋环境问题的导向作用更加明显; (3) 海洋技术向智能化方向发展; (4) 海洋战略规划的引领作用日渐加强。

关键词: 海洋科技; 全球变化; 发展态势; 科技布局

中图分类号: P74

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2021)02-0152-09

DOI: 10.11759/hyxx20200825002

21 世纪以来, 随着技术的进步和需求的增长, 全球海洋资源开发和科技创新进入新的发展时期。近年来, 世界格局发生深刻变革, 海洋在地缘政治、国家安全和经济发展中的作用愈加明显, 海洋科学研究和技术创新的重要基础作用也愈加受到重视。

“海洋强国”战略的提出, 为我国的海洋事业发展指明了方向, 同时对海洋科学研究和技术创新提出了更高的要求。我国海洋科技水平近年来取得了较显著的提升, 但与传统海洋强国差距依旧明显。全面深入了解全球海洋科技发展态势及重要海洋强国的发展布局, 对把握海洋科技前沿具有重要参考价值, 对我国涉海科技战略制定具有重要支撑意义。本文对近年来国际海洋科技领域的相关研究热点进行了分析, 结合对美国、英国、日本和俄罗斯的海洋科技发展方向的分析, 阐述了全球海洋科技发展的几个趋势特点和启示。

1 重要热点前沿问题

基于对近年来国际海洋科技领域的研究进展的监测和分析, 我们遴选出 6 个方面较为突出的研究热点: 海洋物理环境变化研究、海洋塑料污染研究、海洋酸化研究、极地研究、印度洋研究以及海洋技术开发。这些研究之间存在一定的内在逻辑: 在全球变化的大背景下, 海洋物理环境正在发生全方位的变化; 物理环境的变化与人类活动的影响引发一系

列全球性海洋问题, 其中最受关注的是海洋酸化研究和海洋塑料污染问题; 科学价值和地缘政治的影响促使重点区域(如北极)相关研究受到关注; 作为关键支撑的海洋新技术的开发和应用受到全球普遍重视。见图 1。

1.1 海洋物理环境变化

全球气候变化对海洋的直接影响是引发了海洋的物理环境变化。气候变化问题在海洋中拓展延伸, 导致海洋温度升高、热含量增加, 同时海水受热膨胀和冰川融化引发全球海平面上升。物理环境的变化是多种海洋环境问题的主要诱因。

(1) 海洋升温

海洋温度的升高在科学界已有广泛共识。海洋温度升高的定量化评估和未来升温趋势研究是近年来主要关注方向。2019 年发表在《科学》(Science)上的一项研究成果表明, 温室气体捕获的太阳能有

收稿日期: 2020-08-25; 修回日期: 2020-09-19

基金项目: 2020 年中国科学院文献情报能力建设专项“科技领域战略情报研究咨询体系建设”(E0290001); 中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部青年学者”A 类项目“西部环境与发展智库平台建设”(Y7AX011001)

[Foundation: 2020 Chinese Academy of Sciences' Capacity Building Special Project of Literature and Information, No. E0290001; Chinese Academy of Sciences "Western Light" Talent Training Program, No. Y7AX011001]

作者简介: 王金平(1981-), 男, 山东德州人, 汉族, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 从事国际海洋科技战略情报研究, 电话: 0931-8276781, E-mail: wangjp@llas.ac.cn

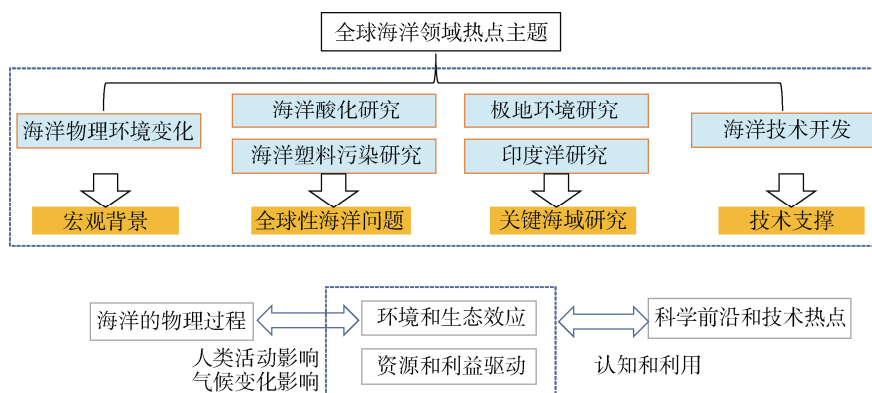


图1 国际海洋研究热点及内在关系

Fig. 1 International ocean research hotspots and internal relations

93%都累积在海洋中，温室气体捕获的热量导致海洋变暖的速度比之前预想的更快^[1]。在热含量估算方面，英美科学家重建了全球和全深度范围的海洋温度变化，提供了首个自 1871 年以来全球海洋升温的估计：自 1871 年以来，全球海洋热含量大幅增加（增加了 436×10^{21} J）^[2]。近年来海洋热量的增加速度也越来越快，1987—2019 年的增加速度比 1955—1986 年快了 4 倍多^[3]。

(2) 海平面上升

海平面上升对沿海地区产生潜在影响。英美德科学家联合研究指出，自 1960 年以来全球海平面一直在加速上升，主要源于陆冰融化和海洋吸热引起的热膨胀^[4]。2018 年，英国科学家研究指出，如果将全球气温上升保持在工业化前 2°C 以内的目标无法实现，到 2100 年全球海平面上升每年将造成 14 万亿美元损失^[5]。此外，近年来南极冰的不稳定性增加了海平面上升预测的不确定性^[6]。

1.2 海洋塑料污染

相对于其他海洋污染问题，海洋塑料污染的影响广度、研究难度和治理难度较大^[7]。海洋塑料污染已被列为与臭氧耗竭、海洋酸化、气候变化等并列的全球性环境问题。

海洋塑料污染的严重程度超过预期，并有向生态系统、深远海渗透的趋势^[8]。太平洋大型垃圾带漂浮着超过 7.9 万吨海洋塑料，比之前估计的多近 16 倍^[9]。智利和德国的研究人员在世界上最偏远的地区——复活节岛和南美洲之间南太平洋发现近 100 种不同物种受到塑料污染的影响。马里亚纳海沟 10 898 m 深处也受到了塑料污染的影响^[10]。

海洋塑料污染引发了国际社会普遍关注：欧盟、英国和加拿大相继发布塑料污染的相关战略及科学议程，主要从资源利用价值最大化、废弃物及其对环境的影响最小化、实现循环经济等方面加以考虑。2018 年 1 月，欧洲委员会发布《欧洲循环经济中的塑料战略》，到 2030 年消除不可回收的塑料，削减一次性塑料和限制微塑料，实现塑料循环经济^[11]。2018 年 6 月，多国联合签署《海洋塑料宪章》，承诺采取五项总体行动来解决海洋塑料问题^[12]。2018 年 11 月，加拿大发布《零塑料废物战略》，利用循环经济的方法在整个生命周期中解决塑料问题^[13]。2018 年 12 月，英国发布《废物处理与资源利用战略》，到 2042 年消除所有可避免的塑料垃圾^[14]。

从研究现状来看，海洋塑料污染的分布、来源、迁移和归宿等研究是近年来科学家关注的几个方面。在未来研究重点方面，主要将围绕环境中塑料的量化检测、对人类健康的影响机理等方面^[15]。阐明颗粒大小对风化和生物降解性的影响、揭示微塑料与环境相互作用的机理、利用实验室研究评估环境中塑料的毒性差异也将成为重要关注方向^[16]。

1.3 海洋酸化

海洋 pH 值降低对多数甲壳类生物造成不利影响。海洋酸化的趋势若得不到充分遏制，可能引发整体海洋生态结构发生调整。从全球来看，海洋酸化的研究主要关注 3 个方面：海洋酸化问题的来源研究、海洋酸化的影响以及海洋酸化的适应和减缓研究。在海洋酸化问题来源研究方面，主要关注不同区域海洋酸化的评估。比利时和美国等国科学家发现，沿海地区的海水吸收了更多的 CO_2 ^[17]，是引发海洋酸

化问题重点区域。挪威科学家研究发现,未来北大西洋碳吸收速度比先前预期的要慢^[18]。海洋酸化的影响研究方面,主要关注方向为酸化对海洋生物、生态系统和渔业资源的不利影响,如美国伍兹霍尔海洋研究所(WHOI)的模型研究显示,随着大气中 CO₂ 的增加,在最坏的情况下,未来 30 到 80 年内海扇贝数量将减少 50%以上^[19]。在海洋酸化减缓和适应研究方面,2018 年 1 月,美国生态学家发文指出,浅水海岸生态系统中的海洋植物和海藻在降低海洋酸化影响方面发挥了关键作用,这对未来解决海洋酸化问题具有重要意义^[20]。

海洋酸化对于渔业的不利影响逐步显现,对海洋生态的影响不容忽视,相关问题引起普遍重视。以美国为例,2019 年 4 月,美国国会发布了若干海洋酸化相关法案^[21],加强联邦政府对监测和研究海洋状况方面的投资,对美国沿海社区进行脆弱性评估。

1.4 极地研究

南极研究主要关注冰川消融的影响方面。南极冰川加速消融,增加了南极环境变化预测的不确定性。2018 年,美国科学家研究发现,南极冰融化一方面减缓了大气变暖,另一方面加速了海平面上升,并将会改变区域降水分布^[22]。美国科学家利用数学技术和大量最新的冰盖模拟数据,发现冰盖的崩塌扩大了未来海平面上升的可能情景范围^[23]。美国和德国联合研究指出,由于气候变化而快速消融的南极登曼冰川可能释放数十亿吨的冰,足以使全球海平面上升近 5 英尺^[24]。未来南极冰川融化的影响研究将持续成为科学界关注的焦点,同时南极生物资源研究或将成为新兴的研究焦点。

北极变暖和海冰融化使北极生态环境变化研究成为重要热点。北极研究的热点方向主要围绕生态环境和资源开发研究两方面。在生态环境研究方面,英国国家海洋学中心(NOC)研究发现,北极变暖造成冰下甲烷加速释放,其造成的温室效应有待评估^[25]。英国和以色列科学家研究指出,夏季海冰对于多年冻土的稳定性至关重要^[26]。美国和德国科学家联合研究发现,极地冰区的海洋鱼类物种形成率约为热带海洋的两倍^[27]。挪威科学家研究指出,太平洋偏暖可能导致北极冬季气温升高^[28]。在资源开发研究方面,美国国家科学基金会(NSF)研究指出,北极地质变迁史研究可能导致资源和权益格局变化^[29]。多项研究表明,北极多年冻土融化对俄罗斯油气

和矿业带来潜在风险^[30]。芬兰研究机构指出,采矿业带来极大利益的同时,对环境具有长远不利影响^[31]。

北极变暖促使其资源禀赋、航道价值、科学价值和地缘政治更加突出。未来该区域将长期成为研究热点区域。

1.5 印度洋研究

印度洋在全球海洋和大气循环中的角色受到重视。美国和法国科学家联合研究指出,变暖的印度洋强化大西洋径向翻转流,使欧洲的气候更加温和^[32]。2018 年 12 月,美国国家科学基金会(NSF)资助的一项研究发现,最近的冰川期,印度洋在推动气候变化方面发挥的作用比之前认为的要大得多。该研究的结果可能会改写有关热带气候变化是以太平洋为中心的理论^[33]。巴西、澳大利亚等国科学家联合研究发现,来自印度洋对流的大气波对南美和南大西洋的气候条件产生了巨大影响,所导致的干旱和海洋热浪可能持续发生^[34]。美国伍兹霍尔海洋研究所(WHOI)一项新研究发现,印度洋的表面温度发生了显著变化,使澳大利亚东南部的气候变得越来越炎热干燥^[35]。

此外,2017 年,美国提出“印太战略”构想,对印度洋及其周边国家的地缘政治产生新的影响。中国提出的“21 世纪海上丝绸之路”倡议中,印度洋是其中重要的区域之一。在战略地位凸显和科学价值提升的双重因素下,印度洋相关研究在未来预计会持续升温。

1.6 海洋技术开发

海洋观测探测技术是海洋研究的基础,也是全球科技竞争的重要前沿^[36]。近年来,国际海洋技术呈现两方面热点,一是传统海洋仪器装备的智能化改造,二是 AUV 技术的研发应用。

在传统海洋仪器的智能化改造提升性能方面。美国斯科里普斯海洋研究所(SIO)利用视觉和听觉技术升级改造传统物理海洋学仪器,使其能够在海底滑行时直接对周围的浮游生物成像^[37]。美国麻省理工学院(MIT)利用水下“物联网”技术解决水下设备供电问题^[38]。英国普利茅斯海洋实验室(PML)的科研人员建立漂浮碎片指数,采用地球观测卫星来探测海洋垃圾分布热点,这种新的方法可以区分海洋塑料等漂浮物的自然源和人为源^[39]。来自俄勒冈州立大学的研究人员成功地使用水听器记录了俄勒冈州海岸附近海底的甲烷气泡声,打开了使用声学来鉴别分析海洋中甲烷气体的大门^[40]。

在 AUV 的研发应用方面。2018 年,英国国家海洋学中心(NOC)设计建造的水下自动潜航器 Boaty McBoatface 号在南极洲西部的菲尔希纳冰架(Filchner Ice Shelf)下完成了第一次冰下任务后成功出海。对鱼类活动以及对海洋保护区的监测工作也逐渐转向由 AUV 开展^[41]。

人工智能等新技术逐渐在海洋装备中得到应用。德国科学家基于人工智能技术,开发了一套全新的用于海底图像分析的全自动工作系统,使得潜水器能够在深海中独立开展工作。英国国家海洋学中心(NOC)与微软合作共同开发可用于海洋研究的人工智能工具,以模拟波浪关键特征。

2 重点国家未来布局

2.1 美国

(1) 国家层面布局

美国国家科学技术委员会(NSTC)是美国最高级别科技委员会,通过协调相关部门的科技政策,促进美国科技发展。2018 年 11 月,该委员会发布题为《美国国家海洋科技发展:未来十年愿景》的报告^[42],确定了 2018—2028 年间海洋科技发展的迫切研究需求与发展机遇以及未来 10 年推进美国国家海洋科技发展的目标与优先事项:①了解地球系统中的海洋:现代化的基础设施研发;大数据利用;开发地球系统的模型;促进运营研究。②促进经济繁荣:扩大国内海产品生产;勘探潜在的能源;评估海洋关键矿物;平衡经济和生态效益;培养蓝色劳动力。③确保海上安全:提高海洋事务感知能力;了解北极的变化;维护和加强海上运输。④保障人类健康:防止和减少塑料污染;改进对海洋污染物和病原体的预测;减少有害藻华;开发天然产品。⑤发展具有恢复力的沿海社区:为自然灾害和天气事件做好准备;降低风险和脆弱性;赋予地方和区域决策权力。研究优先事项涵盖了海洋科学认知、社会经济服务、海洋安全和人类福祉等多方面内容,反映了美国未来海洋科技的全方位布局。

(2) 职能机构布局

美国国家大气与海洋管理局(NOAA)隶属于美国商务部,是美国海洋事务的重要管理机构和研究机构,负责落实联邦政府相关海洋战略,在美国海洋科技规划布局中发挥着主导作用。2019 年 7 月,NOAA 发布《2020—2026 年研究与发展计划》^[43]。

提出未来 7 年优先发展的 3 个愿景及关键问题。愿景一对应 NOAA 的大气领域相关研究,主题为“减少恶劣天气及其他环境现象对社会的影响”。关键问题包括:①如何改善恶劣天气及其他环境现象的预测及预警?②全球气候状况如何影响当地天气、增加环境危害、影响水质和可利用水量?③如何提高空间天气产品和服务的效用?④NOAA 如何加强沟通、产品和服务,使决策更明智?愿景二对应 NOAA 的海洋领域,主题为“海洋和沿海资源的可持续利用和管理”。关键问题包括:①如何利用知识、工具和技术更好地理解、保护和恢复生态系统?②如何在满足土著、娱乐和商业渔业社区需要的同时维持健康和多样化的生态系统?③如何加速美国可持续水产养殖的发展?④海岸及海洋资源、生境及康乐设施的保育等如何与旅游及康乐活动的增长相平衡?⑤在日益增加的海上交通和更大的船舶尺寸下,如何最大限度地提高海上交通效率和安全性?⑥在海洋的未开发地区存在着什么?⑦NOAA 如何利用和改善社会经济信息,以增强生态系统服务、公共参与实践和经济效益的可持续性?愿景三对应能力建设,主题为“一个强大而有效的研究、开发和转型事业”。关键问题包括:①如何集成和改进统一建模,使其在技能、效率和对涉众服务的适应性方面得到改进?②如何优化地球观测及其相关平台,以满足 NOAA 的需要?③如何利用和改进大数据和信息技术,加快和转变研发工作,形成新的业务和经济增长点?④NOAA 如何确保其投资得到可靠的社会科学研究的支持?

未了进一步提升新兴科学技术在海洋领域的应用能力,2019 年 11 月开始,NOAA 发布一系列新技术战略^[44],主要聚焦 5 个方面,分别为:无人系统、人工智能、生物组学、云战略和大数据。文件指出,将在 NOAA 内进行强有力的协调,并确保 NOAA 高级领导层为这些新兴的科学和技术重点领域的应用提供强有力的支持,以指导 NOAA 的科学、产品和服务的质量与效率的转型。

(3) 专题性研究布局

针对重要的海洋问题,美国也积极开展相关研究布局。比如,2018 年 7 月,美国国家研究理事会(NRC)发布《对耦合的自然—人类沿海系统长期演化的了解:美国墨西哥湾沿岸的未来》^[45],促进建立沿海社区和生态系统的恢复能力,支持政府决策。2019 年 2 月,美国国会发布《沿海和海洋酸化的压力与威胁研究法案》^[46],加强联邦政府在研究和监测

方面的投资,帮助沿海社区更好地了解和应对环境压力因素对海洋和河口的影响。2019年3月,美国白宫科技政策办公室(OSTP)发布《以加强水安全为目标的海水淡化统筹战略规划》^[47],确定了支持美国海水淡化工作的3个首要目标:减少风险并简化当地规划,以支持海水淡化;减少技术和经济障碍,使海水淡化技术得以应用;鼓励国际合作,发展海水淡化技术。2019年3月,美国国家海洋渔业局、美国海洋能源管理局(BOEM)和近海开发责任联盟(RODA)发布《近海风能研发谅解备忘录》^[48],确定了共同利益的四个领域:可靠的离岸风能规划、风能项目选址、风能开发以及与渔业行业合作。

2.2 英国

早在2010年2月,英国政府发布《英国海洋科学战略(2010—2025年)》,明确了其海洋愿景:清洁、健康、安全、富饶、生物多样化的海洋。明确了3个高级优先领域:理解海洋生态系统运行机制、对气候变化及与海洋环境的相互作用做出反应、维持和提升生态系统带来的利益。

为了进一步对未来海洋发展指明方向,英国政府科学管理办公室(GOS)于2018年3月发布《预见未来海洋》报告^[49],从海洋经济发展、海洋环境保护、全球海洋合作、海洋科学等4个方面分析阐述了英国海洋战略的现状和未来需求。指出,海洋科学方面关键研究需求包括:提高海平面上升和沿海洪水的模拟水平,以便优化基础设施建设,降低沿海社区的不确定性;研究现代海洋通讯技术,提升数据传输和电池技术;研究海洋变暖和海洋酸化及其对海洋环境的累积影响;研究海洋生态系统在可预见的威胁下崩溃“临界点”;推进大数据成为创新的驱动力,确保英国有足够的存储能力和分析能力,协调政府内部在大数据方面的合作。

英国近年来十分重视海上运输的绿色低碳发展。2019年1月,英国交通部发布《海事2050战略》,详细阐述了到2050年实现零排放航运的愿景。2019年7月,英国交通部发布《清洁海事计划》^[50],提出《海事2050年战略》的环境路线图,确定了同时解决空气污染物和温室气体排放的方法,并确保英国的清洁增长机遇。

2.3 日本

日本是全球重要的海洋强国。《海洋基本计划》是

日本推进海洋事业发展的重要依据^[51]。2018年5月,日本发布新版《海洋基本计划》,为日本在未来五年间实施海洋政策和处理涉海事务提供指导。与前两期相比,其核心内容由海洋资源开发利用转向海洋权益维护和海洋安全保障^[52]。该计划指出,将确保领海和海洋权益。关注海上通道并加强国际海洋秩序的安全和发展,提升海上自卫队及海上保安厅的飞机及舰艇的数量和海巡力度,推进海洋调查和研究开发。加强国际合作,利用海洋资源,管理水产资源,促进海洋产业发展。加强收集和共享信息的体制,完善海洋产业,确保海洋可持续性开放、利用和环境保护,实施最先进的海洋技术创新性研发。

海洋资源的利用一直是日本关注的焦点。2019年2月,日本发布《海洋能源和矿产资源开发计划》,围绕具体海洋能源和矿产资源的勘查开发与技术研发等方面,确定了未来5年的工作方向,涉及天然气水合物、石油和天然气以及海洋矿产资源^[53]。

2.4 俄罗斯

俄罗斯海洋科技具有良好的积淀,其深潜器技术和极地破冰船、核动力破冰船等特殊科考船技术具有显著优势。为了维护俄罗斯海洋利益特别是北极利益,俄罗斯于2015年7月发布新版《海洋学说》,首次将南北极海域列入了利益范围,并详细规定了俄罗斯在北极地区的任务^[54]。2020年初,俄罗斯相继发布《北方航道计划》、《2035年前国家北极基本政策》,重点布局科学考察船建设、北极多年冻土融化对油气设施的影响、自然资源勘探以及国土安全相关技术。俄罗斯计划到2035年至少建造40艘北极船只,进一步加强其北极科考能力。

3 启示

(1) 气候变化问题在海洋中的延伸效应将持续受到关注

全球气候变化引起广泛的环境效应,对海洋的影响也不容忽视。海洋作为全球气候的调节器,吸收了温室气体所捕获的大部分热量,引起的一系列海洋环境影响正逐渐显现。随着人类活动导致的碳排放量进一步增加,海水对CO₂的吸收量也不断累积,持续改变着海洋的化学环境,对甲壳类动物造成较大影响的同时对整体海洋生态系统也构成潜在威胁。此外,全球海洋物理环境正发生不可逆转的深刻改变:气候变暖引起了极地冰川的融化,海水的

受热膨胀效应加速了海平面的上升速度。在全球气候变暖趋势短期内难以得到缓解的情况下,海洋物理环境变化的相关问题将在未来持续成为科学界研究的重要方向。

(2) 全球性海洋环境问题的导向作用更加明显

海洋环境健康是进一步实现海洋价值、促进海洋可持续发展的重要前提。工业革命以来,随着人类海洋开发活动的不断加剧以及人类陆地活动带来的持续影响,海洋生态环境状况呈现出逐渐恶化的趋势。在全球范围内,海洋富营养化、海洋缺氧、海上溢油等所造成的经济损失越来越大,海洋塑料污染、重金属污染等问题长期存在且有逐渐向深远海以及南北极扩展的趋势。由于影响到人类健康和海洋相关产业发展,海洋生态环境污染问题近年来受到广泛关注。海洋微塑料污染机理、重金属污染治理、海洋溢油监测、深远海和南北极海洋生态环境变化等将成为研究的重点方向。

(3) 海洋技术向智能化方向发展

近年来,海洋探测监测技术进步为海洋科学的长足发展提供了技术保障。未来随着研究问题的不断深入和研究范围的不断扩展,海洋研究对技术能力将有更高的要求,一方面对数据规模的需求和对数据精度和传输速度的要求进一步提升,另一方面对深海、极地等极端环境数据的需求也不断增长。近年来,海洋技术开发逐步向智能化方向发展:一方面是传统海洋设备的智能化升级,另一方面是新兴技术在海洋领域的应用。未来随着相关技术的不断升级,特别是人工智能技术、大数据技术和云计算技术等不断在海洋科学中应用,海洋技术创新将迎来重要发展机遇。我国海洋技术装备技术水平总体与欧美存在一定的差距,应对关键核心技术研发给予充足和稳定的支持,并重视大数据和人工智能等新兴技术在海洋监测探测技术方面的应用研发。

(4) 海洋战略规划的领导作用日渐加强

海洋科技发展受到全球普遍重视,主要海洋强国纷纷加强海洋科技规划布局。美国密集出台相关战略和研究计划,从各个层面加强对海洋科技研究的未来规划。英国、日本和俄罗斯等国也根据各自国情和长远需求,制定相关的海洋发展战略和科技规划。国家自上而下的系统性战略规划布局对于海洋科技发展具有重要的指导意义。当前我国正值建设“海洋强国”的历史机遇期,建立和完善与国家战略需求相适应的海洋科技规划体系,对于优化整合

资源、协同提升海洋科技实力、实现海洋科技长足发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] Cheng L, Abraham J, Hausfather Z, et al. How fast are the oceans warming?[J]. *Science*, 2019, 363(6423): 128-129.
- [2] Laure Z, Samar K, Jonathan M G, et al. Global reconstruction of historical ocean heat storage and transport[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, 116(4): 1126-1131.
- [3] Cheng L, Abraham J, Zhu J, et al. 2020: Record-setting ocean warmth continued in 2019[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2020, 37(2): 137-142.
- [4] Dangendorf S, Hay C, Calafat F M, et al. Persistent acceleration in global sea-level rise since the 1960s[J]. *Nature Climate Change*, 2019, 9: 705-710.
- [5] NOC. Rising sea levels could cost the world \$14 trillion a year by 2100[EB/OL]. [2020-8-24]. <http://noc.ac.uk/news/rising-sea-levels-could-cost-world-14-trillion-year-2100>.
- [6] Alexander A R, Hélène S, Gerard H R. Marine ice sheet instability amplifies and skews uncertainty in projections of future sea-level rise[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, 116(30): 14887-14892.
- [7] Ostle C, Thompson R C, Broughton D, et al. The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series[J]. *Nature Communications*, 2019, 10(1): 1622. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09506-1>.
- [8] Kroon F J, Motti C E, Jensen L H, et al. Classification of marine microdebris: A review and case study on fish from the Great Barrier Reef, Australia[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 16422.
- [9] Lebreton L, Slat B, Ferrari F, et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 4666.
- [10] Sanae C, Hideaki S, Ruth F, et al. human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris[J]. *Marine Policy*, 2018, 96: 204-212.
- [11] European Commission. European Strategy for Plastics in a Circular Economy[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf>.
- [12] Group of Seven. Ocean Plastics Charter[EB/OL]. [2020-8-24]. https://www.consilium.europa.eu/media/40516/charlevoix_oceans_plastic_charter_en.pdf.
- [13] Canadian Council of Ministers of the Environment. Strategy on Zero Plastic Waste[EB/OL]. [2020-8-24]. https://www.ccme.ca/en/current_priorities/waste/waste/strategy-on-zero-plastic-waste.html.
- [14] HM Government. Our Waste, Our Resources: A Strategy for

- England[EB/OL]. [2020-8-24]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/765914/resources-waste-strategy-dec-2018.pdf.
- [15] Government of Canada. Environment and Climate Change Canada[EB/OL]. [2020-8-24].Canada's Plastics Science Agenda. <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/science-technology/canada-science-plastic-agenda.html>.
- [16] Hale R C, Seeley M E, La G, et al. A global perspective on microplastics[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2020, 125: e2018JC014719.
- [17] Laruelle G G, Cai W, Hu X, et al. Continental shelves as a variable but increasing global sink for atmospheric carbon dioxide[J]. Nature Communications volume, 2018, 9: 454.
- [18] Goris N, Tjiputra J F, Olsen A, et al. Constraining projection-based estimates of the future north Atlantic carbon uptake[J]. Journal of Climate, 2018, 31(10): 3959-3978.
- [19] Rheuban J E, Doney S C, Cooley S R, et al. Projected impacts of future climate change, ocean acidification, and management on the US Atlantic sea scallop (*Placopecten magellanicus*) fishery[J]. PLoS ONE, 2018, 13(9): e0203536.
- [20] Silbiger N J, Sorte C J B. Biophysical feedbacks mediate carbonate chemistry in coastal ecosystems across spatiotemporal gradients[J]. Scientific Reports, 2018, 8: 796.
- [21] Oceanleadership. Ocean Acidification Bills Coast To Committee[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://oceanleadership.org/ocean-acidification-bills-coast-to-committee/>.
- [22] Bronselaer B, Winton M, Griffies S M, et al. Change in future climate due to Antarctic meltwater[J]. Nature, 2018, 564: 53-58.
- [23] Alexander A R, Hélène S, Gerard H. Marine ice sheet instability amplifies and skews uncertainty in projections of future sea-level rise[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2019, 116 (30): 14887-14892.
- [24] Brancato V, Rignot E, Milillo P, et al. Grounding line retreat of Denman Glacier, East Antarctica, measured with COSMO-SkyMed radar interferometry data[J]. Geophysical Research Letters, 2020, 47(7): e2019 GL086291.
- [25] NOC. NOC sensors reveal that melting ice sheets release tons of methane into the atmosphere[EB/OL]. [2020-8-24]. <http://noc.ac.uk/news/noc-sensors-reveal-melting-ice-sheets-release-tons-methane-atmosphere>.
- [26] Vaks A, Mason A J, Breitenbach S F M, et al. Palaeoclimate evidence of vulnerable permafrost during times of low sea ice[J]. Nature, 2020, 577: 221-225.
- [27] GEOMAR. A cold paradox: Not warm coral reefs but icy polar seas are centres of species formation for marine fishes[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.geomar.de/en/news/article/ein-kalter-widerspruch/>.
- [28] Svendsen L, Keenlyside N, Bethke I, et al. Pacific contribution to the early twentieth-century warming in the Arctic Nature Climate Change, 2018, 8: 793-797.
- [29] NSF. Study of northern Alaska could rewrite Arctic history[EB/OL]. [2020-8-24]. https://www.nsf.gov/discoveries/disc_summ.jsp?cntn_id=298654&org=NSF&from=news.
- [30] Mining Weekly. Russia's thawing permafrost worrying for mining, oil and gas companies[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.miningweekly.com/article/russias-thawing-permafrost-worrying-for-mining-oil-and-gas-companies-2019-10-18>.
- [31] Natural Resources Institute Finland (Luke). Benefits, adverse effects and risks of Arctic mining should be evaluated more comprehensively[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.luke.fi/en/news/benefits-adverse-effects-and-risks-of-arctic-mining-should-be-evaluated-more-comprehensively/>.
- [32] Hu S, Fedorov A V. Indian Ocean warming can strengthen the Atlantic meridional overturning circulation[J]. Nature Climate Change, 2019, 9: 747-751.
- [33] DiNezio P N, Tierney J E, Otto-Bliesner B L, et al. Glacial changes in tropical climate amplified by the Indian Ocean[J]. Science Advances, 2018, 4(12): eaat9658.
- [34] Rodrigues R R, Taschetto A S, Sen G A. et al. Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic[J]. Nature Geoscience, 2019, 12: 620-626.
- [35] Abram N J, Wright N M, Ellis B, et al. Coupling of Indo-Pacific climate variability over the last millennium[J]. Nature, 2020, 579, 385-392.
- [36] 李大海, 吴立新, 陈朝晖. “透明海洋”的战略方向与建设路径[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2019, (2): 130-136.
Li Dahai, Wu Lixin, Chen Chaohui. Strategic direction and construction path of transparent oceans[J]. Journal of Shandong University(Philosophy and Social Sciences), 2019, (2): 130-136.
- [37] Ohman M D, Davis R E, Sherman J T, et al. Zooglider: An autonomous vehicle for optical and acoustic sensing of zooplankton[J]. Limnology Oceanography Methods, 2019, 17: 69-86.
- [38] MIT. A battery-free sensor for underwater exploration[EB/OL]. [2020-8-24]. http://news.mit.edu/2019/battery-free-sensor-underwater-exploration-0820?tdsourcetag=s_pcqq_aiomsg.
- [39] PML. Lauren Biermann. Identifying plastic hotspots from space[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.pml.ac.uk/>

- News_and_media/News/Identifying_plastic_hotspots_from_space.
- [40] Glowacki O, Deane G B. Quantifying iceberg calving fluxes with underwater noise[J]. *The Cryosphere*, 2020, 14: 1025-1042.
- [41] Benoist N M, Morris K J, Bett B J, et al. Monitoring mosaic biotopes in a marine conservation zone by autonomous underwater vehicle[J]. *Conservation Biology*, 2019, 33: 1174-1186.
- [42] National science & technology council. Science and technology for America's oceans: a decadal vision[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/11/Science-and-Technology-for-Americas-Oceans-A-Decadal-Vision.pdf>.
- [43] NOAA. NOAA Research and Development Plan 2020-2026[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://nrc.noaa.gov/Council-Products/Research-Plans>.
- [44] NOAA. NOAA releases new strategies to apply emerging science and technology[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://nrc.noaa.gov/NOAA-Science-Technology-Focus-Areas>.
- [45] National Academy of Sciences. Understanding the long-term evolution of the coupled natural-human coastal system: The future of the U.S. gulf coast[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.nap.edu/download/25108>.
- [46] The House Of Representatives. Bonamici, young, pingree, posey introduce bipartisan bill to address health of oceans and estuaries[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://bonamici.house.gov/media/press-releases/bonamici-young-pingree-posey-introduce-bipartisan-bill-address-health-oceans>.
- [47] National Science and Technology Council. Coordinated strategic plan to advance desalination for enhanced water security[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/03/Coordinated-Strategic-Plan-to-Advance-Desalination-for-Enhanced-Water-Security-2019.pdf>.
- [48] NOAA. NOAA, BOEM, fishing industry sign new memorandum of understanding[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/noaa-boem-fishing-industry-sign-new-memorandum-understanding>.
- [49] Government Office for Science. Foresight Future of the Sea[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-the-sea>.
- [50] Department for Transport. Clean maritime plan[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://www.gov.uk/government/speeches/clean-maritime-plan>.
- [51] 梁琛婧, 尹希刚, 韩明. 日本《海洋基本计划》研究[J]. *海洋开发与管理*, 2018, 35(5): 3-9.
- Liang Chenjing, Yin Xigang, Han Ming. The basic plan on ocean policy of Japan[J]. *Ocean Development and Management*, 2018, 35(5): 3-9.
- [52] 首相官邸. 海洋の年次報告について[EB/OL]. [2020-8-24]. <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/annual/annualreport.html>.
- Prime Minister's office of Japan. Annual report on the Oceans[EB/OL]. [2020-8-24]. <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/annual/annualreport.html>.
- [53] 《中国地质》编辑部. 日本公布第五次能源基本计划[J]. *中国地质*, 2019, 46(5): 1251-1252.
- Editorial Office of *Geology in China*. Japan promulgates fifth energy resources basic plan[J]. *Geology In China*, 2019, 46(5): 1251-1252.
- [54] Правительство Российской Федерации. развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://seanews.ru/wp-content/uploads/2019/12/plan-smp.pdf>.
- Government of the Russian Federation. Development of the northern sea route infrastructure up to 2035[EB/OL]. [2020-8-24]. <https://seanews.ru/wp-content/uploads/2019/12/plan-smp.pdf>.

International research hotspots and future layout in the field of marine science

WANG Jin-ping^{1, 2}, WU Xiu-ping¹, QU Jian-sheng^{1, 2}, SONG Shan-shan^{1, 2},
Dang Min-wen^{1, 2}

(1. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100035, China)

Received: Agu. 25, 2020

Key words: marine science and technology; global change; development trend; layout of science and technology

Abstract: In recent years, global ocean research has presented several new characteristics. This study analyzes the latest progress in several important research hotspots in the context of global environmental change based on some important global ocean research highlights, including research on the physical environmental changes of the global ocean, plastic pollution, ocean acidification, North and South Poles, Indian Ocean, and development of marine technology. Then, based on the relevant policies and plans for marine science and technology recently released by United States, United Kingdom, Japan, and Russia, the future layout and key focus areas are analyzed. Finally, this study summarizes the development trend of the global ocean research field, as follows: (1) the extended effect of climate change on the ocean continues to attract global attention; (2) the guiding role of global marine environmental issues is becoming more obvious; (3) marine technology is developing toward intelligence; and (4) the leading role of marine strategic planning is gradually strengthened.

(本文编辑: 赵卫红)