

陈连增, 雷波. 中国海洋科学技术发展 70 年[J]. 海洋学报, 2019, 41(10): 3–22, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.002

Chen Lianzeng, Lei Bo. Marine science and technology development over the past 70 years in China[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(10): 3–22, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.002

# 中国海洋科学技术发展 70 年

陈连增<sup>1</sup>, 雷波<sup>2</sup>

(1. 中国海洋学会, 北京 100081; 2. 自然资源部南海局, 广东 广州 510310)

**摘要:** 本文聚焦海洋调查、海洋科学研究和海洋技术与装备 3 个方面, 梳理和总结了新中国成立 70 年来取得的具有里程碑意义和国内外影响力的海洋科技成果, 说明了海洋科技实力的大幅度提升, 对于中国经济社会发展以及海洋强国建设起到了关键支撑作用。

**关键词:** 新中国成立 70 周年; 海洋科技; 发展历程

中图分类号: P74

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2019)10-0003-20

## 1 引言

新中国的成立, 开启了中华民族复兴的伟大征程。中国东濒太平洋, 是海洋大国, 发展海洋科学技术对于建设海洋强国、实现中华民族伟大复兴都具有重大意义。党和政府始终高度重视海洋科学技术发展, 伴随着国家整体实力的提升, 一代又一代海洋科技工作者不懈奋斗、艰苦求索, 中国海洋科学技术事业取得了可喜的成就。

在新中国成立 70 周年之际, 从历史和现实的角度, 总结和展示中国海洋科学技术发展的历程和成就, 有助于提高民族自信心, 增强中国海洋科技工作者建设海洋强国的使命感, 为推动全球海洋治理, 构建海洋命运共同体奉献中国智慧和方案。

中国海洋科学技术发展时间跨度大、涉及面广、专业性强, 本文仅就所掌握的资料进行梳理提炼和简要论述。

## 2 海洋科学技术发展历程

70 年来, 中国海洋科学技术发展从奠基起步到快速、全面加速发展, 主要经历了 3 个发展阶段, 实现了几乎从零起步到跟跑、并跑, 再到某些方面领跑的跨越式发展。

### 2.1 海洋科技的奠基起步期 (1949–1977 年)

新中国成立之初, 海洋科研人才和海洋调查装备极为匮乏。为尽快改变这一状况, 中国海洋科学技术发展在起步阶段, 主要筹建了一些海洋科研机构、人才培养机构和海洋管理机构, 出台了有关海洋规划, 开展了一些海洋调查, 为海洋科学技术发展奠定了一定的基础。

(1) 海洋科研机构、高校和管理机构筹建成立。1949 年 11 月, 中国科学院刚成立不久, 童第周、曾呈奎等联名致信时任中科院副院长陶孟和和竺可桢, 建议在青岛成立海洋研究所。1950 年 8 月, 中国科学院水生生物研究所建立海洋生物研究室, 成为新中国的第一个专业海洋研究机构。1959 年 1 月, 青岛海洋生物研究室扩建为中国科学院海洋研究所。同时, 中国科学院南海海洋研究所成立。1959 年 3 月, 山东海洋学院成立, 从此新中国拥有了第一所专门培养海洋人才的高等院校。

1964 年 7 月, 国家海洋局成立, 负责组织开展海洋科研、调查工作。建局初期, 国家海洋局围绕海洋发展规划任务, 聚焦海洋环境调查, 调整和新建了海洋科技研究队伍、海洋调查船队及相应的海区管理机构, 先后组建了第一、第二和第三海洋研究所, 北海、东海和南海分局, 以及各分局所辖海洋调查队伍

收稿日期: 2019-07-10; 修订日期: 2019-09-17。

作者简介: 陈连增(1956—), 男, 山东省莱芜市人, 主要从事海洋科技管理工作。E-mail: 13601390802m@sina.cn

和海洋预报台站,并组建了海洋水文气象预报总台、海洋科技情报研究所和海洋技术研究所等专业性海洋科技机构。由此,中国海洋科技研究力量的基础体制架构得到进一步扩展和壮大,开启了中国现代海洋科学技术全面、系统、规模发展的历程。

(2)国家首部海洋规划出台。1956年10月,国务院科学规划委员会制定了《1956年至1967年国家重要科学技术任务规划及基础科学规划》,提出了“向科学进军”的口号,并首次将海洋科学技术列入国家科学技术发展规划中,据此出台了《1956年-1967年海洋科学发展远景规划》。

(3)近海海洋调查及特定海域调查逐步开展。1958年9月至1960年12月,中国开展了第一次大规模的全国性海洋综合调查。1966-1977年,根据当时国内外形势,还开展了多次专项性海洋调查,如1966-1970年的“0701海岸带调查”、“太平洋特定海域调查”、“渤海海洋地球物理调查”和“渤海和黄海海洋断面调查”等,获得了大量的基础数据资料和成果。此后,大规模海洋综合调查与研究成为中国海洋科学技术事业发展的重点工作。

(4)海洋科学研究取得较好进展。在《1956至1967年海洋科学发展远景规划》以及《1963至1972年海洋发展规划》的指导下,全国海洋科学研究工作稳步推进,并逐渐取得显著成果。虽然10年“文革”对海洋科学研究有较大的干扰和冲击,但海洋科技工作者克服困难,坚持工作,仍然取得了较好的进展。1977年,中国正式加入联合国教科文组织政府间海洋学委员会(IOC/UNESCO),并当选执行理事会成员国,在制定和参与国际重大海洋科学计划等方面发挥了重要作用。同年12月,国家海洋局提出了“查清中国海、进军三大洋、登上南极洲,为在本世纪实现海洋科学技术现代化而奋斗”的战略目标,由此拉开了中国海洋科学技术全面发展的大幕。

## 2.2 海洋科技快速发展期(1978-2011年)

1978年党的十一届三中全会后,尤其是全国科技大会的召开,科学的春天来了。中国确定改革开放的总方针,经济建设被列为国家的头等大事。中国海洋科学技术事业也进入了快速发展期。

(1)国家规划、计划和政策相继出台,有力地指导和促进了海洋科学技术发展。1978年国家制定了《全国自然科学发展规划》,共提出108项研究任务,其中第1项和第24项涉及海洋科学技术发展;1991年全国海洋工作会议通过了《九十年代中国海洋政策和工作纲要》;1993年2月国家科委、国家计

委、国家海洋局等联合制定了《海洋技术政策要点》,1997年6月制定了《海洋应用基础研究计划》;同时,国家科技部、国家自然科学基金委分别出台了“863”计划、“973”计划及重点科学基金涉海项目,为这一时期海洋科学技术发展提供了良好的政策环境和资金支持。

(2)海洋科学技术事业焕发生机,蓬勃发展。1978年以来,中国海洋科学技术围绕“查清中国海、进军三大洋、登上南极洲”的战略目标,在加强海洋调查能力和调查仪器装备研发的基础上,开始走出中国近海,面向深海大洋和南北极,进行了大规模的海洋调查和探索研究工作,取得了丰富的科研成果。与此同时,在邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的重要论断指引下,中国海洋科学技术面向经济建设主战场,以开发利用海洋资源、发展海洋经济、保护海洋环境为中心,开展了一系列海洋重大调查研究专项,取得了骄人的业绩。

(3)国际海洋科技合作与交流成效显著。1978年11月,中国海洋代表团首访美国,就两国海洋资料交换、海洋沉积过程研究、水产养殖等合作项目举行了工作会议。1979年5月,中国国家海洋局与美国国家海洋和大气管理局共同签订了《中美海洋与渔业科技合作议定书》,自此开启了国际海洋科技合作与交流之门。随后,中国相继与美国、日本、德国、英国、法国、加拿大、澳大利亚、智利、韩国、朝鲜等国家及有关国际组织合作,实施了许多有重大影响的大型海洋科学调查与研究项目,显著地提升了中国参与国际海洋科学计划的能力和影响力。苏纪兰1999-2003年连续两届担任联合国教科文组织政府间海洋学委员会主席。

## 2.3 海洋科技全面加速发展期(2012年以来)

党的十八大作出了建设海洋强国的重大战略部署。党的十九大进一步强调,坚持陆海统筹,加快建设海洋强国。习近平总书记指出:我们要着眼于中国特色社会主义事业发展全局,统筹国内国际两个大局,坚持陆海统筹,坚持走依海富国、以海强国、人海和谐、合作共赢的发展道路,通过和平、发展、合作、共赢方式,扎实推进海洋强国建设。党中央的战略部署和习近平总书记一系列重要论述,极大地激发了广大海洋科技工作者的积极性和创造性,中国海洋科学技术发展呈现出前所未有的新局面。

(1)海洋科技向创新引领型转变。2011年7月30日,习近平总书记在中央政治局集体学习时强调,要发展海洋科学技术,着力推动海洋科技向创新引领

型转变。建设海洋强国必须大力发展海洋高新技术。要依靠科技进步和创新,努力突破制约海洋经济发展和海洋生态保护的科技瓶颈。要搞好海洋科技创新总体规划,坚持有所为有所不为,重点在深水、绿色、安全的海洋高技术领域取得突破。尤其要推进海洋经济转型过程中急需的核心技术和关键共性技术的研究开发。习近平总书记的重要讲话,为中国海洋科学技术发展指明了前进的方向。2016年12月,国家海洋局发布《全国科技兴海规划(2016–2020年)》,提出“到2020年,形成有利于创新驱动发展的科技兴海长效机制”。2017年5月,科技部、国土资源部、国家海洋局联合印发《“十三五”海洋领域科技创新专项规划》,明确了“十三五”期间海洋领域科技创新的发展思路、发展目标、重点技术发展方向、重点任务和保障措施。至此,中国形成了“十三五”海洋科技创新的顶层设计和政策制定。

(2)国家重大海洋科技基础设施建设成就斐然。2012–2019年,在国家科技重大专项、国家重点研发计划、国家自然科学基金以及海洋行业公益专项等的支持下,一大批重大海洋仪器装备的研发、建造顺利完成,并投入应用,极大地提升了中国海洋调查与研究的综合实力;在国家《陆海观测卫星业务发展规划(2011–2020年)》和《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015–2025年)》的引导推动下,2018年中国海洋一号C卫星(HY-1C)、海洋二号B卫星(HY-2B)以及中法海洋卫星(CFOSAT)相继研发和发射成功,不仅组建了我国首个海洋民用业务卫星星座,而且开启了世界首个海洋动力环境监测网建设的新征程。青岛海洋科学与技术试点国家实验室以及15个国家和86个省部海洋重点实验室的建设和运行,更有效汇聚起一大批优质海洋创新资源和创新团队,开展的许多原创性研究,进一步提升了中国海洋科技的自主创新能力,引领中国海洋科学技术的创新发展。另外,海洋信息共享平台和数据库、极地标本资源共享平台、中国大洋样品馆、海洋微生物菌种资源保藏中心、国家海洋博物馆等海洋科学研究基础设施的不断完善,也有力助推了海洋科技发展。

(3)深远海调查和大洋、南北极科考深入开展。2012–2019年,以“雪龙”号破冰科考船为主,多船次多时段对南大洋、北冰洋等海域进行综合科学考察。此期间,在南极内陆建成了“中国南极泰山站”,并在南极罗斯海地区开始筹建中国第五个南极科学考察站。以“向阳红09”号船、“探索一号”船为母船的“蛟龙”号、“深海勇士”号等载人深潜器在太平洋结

壳区、印度洋热液硫化物区、马里亚纳海沟等海域进行了海底锰结核、富钴结壳、热液硫化物、海洋环境、海洋生物多样性等方面的精细化调查研究。2010年,为增强应对气候变化的能力,提高深远海调查研究水平,中国开始实施为期10年以上的“全球变化与海气相互作用”专项。由此,中国海洋科学调查研究以“大区域、长周期、多尺度、多学科”为特点向深远海拓展。深远海调查和大洋、南北极科考推进中取得了一批富有特色的科研成果。

(4)国际海洋科技合作与交流取得新进展。2012年以来,为了促进南海及其周边海洋国家在海洋科技领域的务实合作,中国发起并实施了《南海及其周边海洋国际合作框架计划(2011–2015)》。该项计划聚焦南海及与其相连的印度洋和太平洋,重点推动南海及其周边国家共同关心的区域海洋可持续发展方面的合作,包括海洋与气候变化、海洋环境保护、海洋生态系统与生物多样性、海洋减灾防灾、区域海洋学研究、海洋政策与管理等六大领域。该项计划得到了印尼、泰国、柬埔寨、马来西亚、尼日利亚、巴基斯坦、斯里兰卡、瓦努阿图等20多个国家和有关国际组织的积极响应和参与,有力地配合和促进了21世纪海上丝绸之路建设。

### 3 海洋科学技术成就

70年来,中国海洋科技事业不断向前发展,特别党的十八大以来,海洋科学技术进入了跨越式发展期,海洋科技人才队伍呈“指数式”发展壮大,海洋科学研究能力和条件进一步优化提升。目前,中国已有涉海科研机构约180个,全国一级涉海科技社团10余个,整建制“海洋大学”超过10所,二级“海洋学院”近50个,海洋科技人员约5万人,加上地方的科研机构,中国海洋科技人员总量超过10万人。其中,涉海中国科学院院士和中国工程院院士50多人<sup>[1]</sup>,成为推动中国海洋科学技术发展的领军人才。70年来,广大海洋科技工作者为中国海洋科学技术发展做出了不懈努力和突出贡献。

#### 3.1 海洋调查

海洋调查是进行海洋科学研究的基础前提,也是开发利用海洋资源、保护海洋环境、维护海洋权益和建设海洋强国的重要支撑。

##### 3.1.1 中国近海海洋调查和专项调查

1958年9月至1960年12月,中国有60多家单位600多名人员参加,动用各种船舶50多艘,开展了“全国海洋综合调查”。这是中国第一次大规模的全

国性海洋综合调查<sup>[2]</sup>。通过这次调查,初步了解了中国近海海洋水文、化学、地质、生物等要素的基本特征和变化规律,出版了多部专著,并培养了一支海洋科技队伍,为进一步开展海洋调查研究和海洋开发利用奠定了基础。此后,中国又先后组织实施了“渤海海洋地球物理调查”、“渤海和黄海海洋断面调查”等多项海洋调查。从此,中国大规模海洋综合调查拉开序幕。

为维护国家海洋权益,在20世纪60年代中国还先后组织实施了“东海大陆架调查”和“南海中部调查”<sup>[3]</sup>,为大陆架划界提供了基本依据,为中国对南海海域的管理积累了基本资料。1976–1980年,根据第一次中国远程运载火箭试验的要求,中国先后5次在太平洋中部特定海区进行综合调查,为远程运载火箭远洋靶场的选址提供了重要依据。这是中国科技工作者首次挺进深海大洋开展现代海洋综合调查。

从1980年开始,中国开展了历时7年的“全国海岸带和海涂资源综合调查”,完成调查海域面积35万平方千米、观测断面9600条、观测站9万余个;编写了《中国海岸带和海涂资源综合调查报告》和各种专业、专题报告,共计500多份、700多册、6000多万字。其中,严恺、陈吉余等主编完成的《中国海岸带和海涂资源综合调查报告》获得1992年度国家科学技术进步奖一等奖。1988–1995年,中国进行了“全国海岛资源综合调查”,对中国面积在500 m<sup>2</sup>以上岛屿的资源、环境和社会经济进行实地调查和开发试验。专项调查初步掌握了中国海岸带、海涂和海岛的自然条件、资源数量以及社会经济状况,为开发利用和管理海岸带及海岛资源提供了重要科学依据。

1984–1995年,中国先后3次组织了大规模的南沙群岛及其邻近海区综合科学考察,较全面客观地查明了12°N以南、断续线以内南沙群岛72个主要礁体的状况,为南沙海区资源开发与保护,维护国家海洋权益,提供了有力科学依据。同期,在台湾海峡及邻近海域先后进行了3次较大规模的海洋环境综合调查,提高了对该区域海洋特征的认知水平。

1996–2002年,在第一次全国海洋污染基线调查(1975–1980年)的基础上,中国开展了第二次全国海洋污染基线调查,为掌握中国近海环境质量状况提供了重要的科学依据。为适应《联合国海洋法公约》生效后海域划界和管理的需要,首次进行了专属经济区和大陆架勘测专项调查,并建立了中国第一个专属经济区和大陆架综合数据库。

2000–2003年,中国组织实施了“西北太平洋海

洋环境调查与研究”专项,调查内容包括物理海洋、海洋地质、海洋生物、海洋化学等众多学科,所获调查数据填补了中国在该区域的海洋基础数据空白。

2002年,“国海域天然气水合物资源调查”专项开始实施,在南海珠江口盆地先后进行了40多个航次的勘查和研究。2007年,在南海北部陆坡首次成功钻获了“可燃冰”实物样品。2011–2013年,在珠江口盆地东部海域首次钻获了高纯度的“可燃冰”样品。2016年,在南海北部陆坡西部海域首次发现了规模空前、分布面积达618 km<sup>2</sup>的活动性冷泉“海马冷泉”,这是中国天然气水合物勘查的重大突破。2017年5月18日至7月19日,利用中国自主设计制造的“蓝鲸一号”深水半潜式钻井平台,在南海神狐海域对海底以下203~227 m的天然气水合物矿藏进行了试采。这次试采成功,中国在理论、技术、工程和装备完全自主创新,实现了在这一领域由“跟跑”到“领跑”的历史性跨越。

2012年,历时8年多的“中国近海资源环境综合调查与评价”专项调查(简称“908”专项)圆满完成。专项先后参与单位180余家,动用各类调查船536艘,执行1200多个航次任务,航行约200万km,调查面积约150万km<sup>2</sup>。“908”专项全面构建起中国现代海洋调查标准和海-地-空-天一体化调查技术体系,实现了对中国近海约150万km<sup>2</sup>海域和海岛海岸带环境资源的全学科、全要素、全方位、全覆盖系统掌握和综合认知,基本摸清了中国近海海洋环境资源家底;全面获得了中国近海环境资源高精度基础数据,系统更新了海洋基础图件,获得数据总量达260 TB,形成2036册数据集,整体调查精度较历史记录提高1~2个数量级,建成了中国近海高精度的海洋大数据源;集中获得了一批原创性研究成果,历史性地推进了中国近海环流、海洋生态和地质环境演变等基础理论向集成化、体系化的转变,夯实了中国区域海洋学学科理论和知识体系,奠定了中国在国际海洋科学研究体系中独特的优势地位;发表论文3000多篇,编著出版200余部集中反映中国最新海洋研究成果的系列专著、图集及大型工具志书,如:8部《中国区域海洋学》、27部《中国近海海洋》、27册《中国近海海洋图集》、10册《中国海洋生物图集》、9部《中华海洋本草》和8部《中国海岛志》等;建立了具有自主知识产权的中国近海环境资源评价技术体系,跨区域分类分级评价了中国近海生态系统和新兴资源等5个核心主题,实现了从单要素、定性评

价向多要素、定量评价的飞跃;研发建设了技术先进、信息丰富、应用广泛的第一代中国数字海洋系统,将中国海洋管理决策服务带入数字信息时代。

“十三五”以来,中国全面实施“全球变化与海气相互作用”专项调查、服务于21世纪海上丝绸之路建设的海洋专项调查,在南海、西太平洋和东印度洋海域开展了大规模综合调查,开启了中国对深远海调查与研究的新征程。阶段成果呈现了中国科学家对全球变化及海气相互作用的研究视角和创新观点。

此外,70年以来,中国有关部门、沿海省市还组织开展了许多近海海域专项调查。这些专项调查不仅加深了对中国近海环境资源的认识,而且还为海域使用管理、海底工程建设、海洋减灾防灾等提供了基础数据和科学依据,为国家和地方宏观决策、海洋经济建设、海洋管理和海洋安全保障提供了有效的支撑与服务。

在海洋调查国际合作方面,1978年12月中国首次参加国际全球大气试验(FGGE),海洋科学研究开始介入国际前沿科学。1980年,中美开展了“长江口及东海大陆架沉积作用过程联合调查”。1985至1990年,中美在赤道和热带西太平洋开展了“海洋大气相互作用合作科学考察”(TOGA-COARE)。从1986年开始,中日开展了著名的“中日黑潮合作调查研究”和“中日副热带环流合作调查研究”。近40年来,中国还与德国、法国、加拿大、俄罗斯、印尼、尼日利亚、泰国等国之间开展了许多重要的海洋科学调查研究项目。此外,中国积极参加了由联合国教科文组织政府间海洋学委员会(IOC-UNESCO)等国际组织发起的全球海洋观测系统(GOOS)、全球海洋生态动力学(GLOBEC)、海岸带陆海相互作用(LOICZ)、全球有害赤潮的生态和海洋学(GEOHAB)、大洋钻探(ODP)、国际Argo等重大国际海洋科学合作研究计划。2010年5月,中国发起西北太平洋海洋环流与气候实验(NPOCE)国际合作计划。2014年,中国设计并实施了新10年“国际大洋发现计划”349航次(IODP349航次),这也是中国加入大洋钻探(ODP)计划后在南海实施的第二次大洋钻探。2015年,世界气候研究计划(WCRP)下的4个核心子项目之一,“气候变率及可预测性项目”(CLIVAR)落户青岛,标志着中国在国际最高级别科学计划的影响力有了跨越性的进步。通过国际合作,中国海洋调查能力和水平全面提升,跨入到国际先进行列。

### 3.1.2 大洋资源环境调查

中国开展的大洋资源环境调查,主要围绕着大洋

多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物三大矿产资源以及深海环境和生物等领域,先后在太平洋、印度洋、大西洋开展了大量调查。通过调查,中国大洋矿产资源研究开发协会(简称:中国大洋协会)与国际海底管理局先后就大洋多金属结核、富钴结壳和多金属硫化物三大矿产资源签订勘探合同。近年来,中国五矿集团公司也与国际海底管理局就大洋多金属结核签订勘探合同。目前,中国是世界上第一个在国际海底区域拥有“三种资源、四块矿区”的国家。

在大洋多金属结核调查研究方面,自1978年“向阳红05”号海洋科考船在太平洋埃利斯群岛以西采集到第一份多金属结核样品起,中国就对该资源给予了高度重视。特别是1982年通过的《联合国海洋法公约》规定“区域(即国际海底)及其资源是人类共同继承财富”以后,为了维护海洋权益,1983年中国实施了首次“中太平洋多金属结核试验性调查”。1985-1990年,“向阳红16”号等海洋科考船在太平洋中部和东部进行了多个航次的多金属结核资源与海洋环境调查,调查面积超过200万 $\text{km}^2$ 。经过调查和研究,中国于1991年8月获得了由联合国颁发的国际海底开发《先驱投资者》证书,成为继印度、苏联、日本和法国之后第五个深海采矿先驱投资者,同时在东太平洋获得了15万 $\text{km}^2$ 的多金属结核开辟区。“八五”期间,“向阳红9”号等海洋科考船在中国开辟区进行了多个航次调查,根据调查结果详细绘制了中国开辟区的海底地形,并获得了多金属结核产状和丰度资料。2001年5月,中国大洋协会与国际海底管理局签订了《国际海底多金属结核资源勘探合同》,从而在法律上确定了中国对7.5万 $\text{km}^2$ 合同区内的多金属结核具有专属勘探权和优先商业开采权<sup>[4]</sup>。2017年5月,中国五矿集团公司在东太平洋获得多金属结核勘探合同区。2019年7月,北京先驱高技术开发公司提交的多金属结核勘探计划获得国际海底管理局批准,勘探合同待签。

对大洋富钴结壳资源调查和研究,一直伴随着大洋多金属结核勘查进行,而且始终是中国大洋调查航次的主要任务之一。特别是在2011年大洋第23航次调查中,不仅对调查区海山富钴结壳的分布做了进一步勘查,而且还对新海山展开了勘查,首次获取到最长1.36m的“白加黑”结壳岩芯样品。此外,还首次发现了多期成矿结壳和浅埋藏板状结壳,这对于富钴结壳资源评价和成矿模式研究具有重要意义。2014年,中国大洋协会与国际海底管理局签订了国际海底富钴结壳矿区勘探合同。

针对海底热液活动及热液硫化物,从2007至2011年中国连续进行了4个大洋航次(第19至22航次)的调查,调查区域涉及太平洋、大西洋和印度洋。到2011年,中国已在三大洋发现了30多处海底热液活动区,占30多年来在世界三大洋已发现海底热液活动区的十分之一还多。经过这些调查,2011年11月,中国大洋协会与国际海底管理局签订了国际海底多金属硫化物矿区勘探合同,获得了具有专属勘探权和商业开采优先权的国际海底合同矿区。通过在三大洋的热液硫化物调查,首次在西南印度洋取得大范围出露的超基性岩样品,为研究超慢速洋中脊的地质构造及热液成因提供了宝贵物料;首次在南大西洋捕获了深海热液鱼和大量热液盲虾,其中热液鱼可能为新物种,为热液区生态学研究提供了重要资料;首次使用自主研发的无人缆控潜水器完成了南大西洋硫化物新区探测,成功观测到非活动硫化物并取样;首次开展了中深钻在硫化物海区的试用,并在硫化物风化产物堆积体上钻得样品;首次利用自主研发的声学深拖系统在洋中脊复杂地形获得了热液区高精度的海底深度数据和侧扫数据,为硫化物资源调查与评价提供了支撑。2012年,大洋第26航次新发现海底热液活动区2处,其中在西北印度洋中脊发现非活动海底热液区1处,在北大西洋中脊赤道以北发现海底热液活动区1处;利用无人缆控潜水器在南大西洋中脊观测到了正在喷发的黑烟囱;利用电视抓斗在水深近3000m的海底成功获取到1.2t多金属热液硫化物。这是迄今中国单次获得多金属硫化物数量最多的一次,成为中国大洋科考史上的又一个里程碑。此外,在2017年大洋第46航次中,“向阳红01”号海洋科考船在南大西洋也成功地获取到海底热液硫化物样品。

2005年4月至2006年1月,“大洋一号”科考船横跨三大洋,首次开展环球大洋科学考察。这次考察航程43230n mile,历时297d,在中国大洋科考史上具有里程碑意义。

### 3.1.3 南极、北极科学考察

南极、北极是全球变化和地球系统科学研究的前沿,也是建立全球生态安全屏障、构建人类命运共同体的重要组成部分。为此,中国在进军三大洋的同时,于1984年组建了第一支中国南极科考队,乘“向阳红10”号科考船和海军“J121”打捞救生船在同年首次登上了南极洲,由此拉开了中国极地科学考察的序幕。这期间,中国对南大洋也开始了首次科学考察,并在物理海洋学、气象学、化学和生物学等方面获得

了大量宝贵的资料,填补了中国对南大洋调查与研究的空白,也为人类和平利用南极做出了贡献。“首次南大洋考察”获得国家科学技术进步奖一等奖。

自1984年以来,中国每年都派出科考队搭乘“极地”号科考船、“雪龙”号极地科考船前往南极,开展包括地质、气象、陨石、海洋、生物等在内的多学科考察。截至2019年3月,中国已对南极进行了35次科学考察,并圆满完成了各次考察预定的任务。在这期间,中国先后于1985年2月、1989年2月、2009年1月、2014年2月在南极建成了长城站、中山站、昆仑站和泰山站4个中国南极科学考察站。其中,昆仑站和泰山站为南极内陆科学考察站。2018年2月,中国第五个南极科学考察站——罗斯海新站已在南极的恩克斯堡岛破土建设,预计在2022年建成。

1997–1998年,中国开启了南极内陆冰盖考察的序幕,并第一次从南极带回陨石样品。2002年,中国首次在南极埃默里冰架钻探成功,收集了大量陨石,在南极冰盖研究、地质研究、陨石研究和南大洋研究等方面取得了丰硕成果。2005年1月,中国第22次南极考察科考队登上了海拔4093m的南极内陆冰穹A,这是人类首次登上南极内陆冰盖最高点。至此,南极的4个要点全部被人类征服:极点(美国),冰点(俄罗斯),磁点(法国),高点(中国)。2013年4月,在中国第29次南极考察中,成功地在昆仑站科考区域钻取南极深冰芯,使中国深冰芯科学钻探工程实现了零的突破,为中国开展全球气候变化研究创造了有利条件。

2016年11月至2017年4月,在中国第33次南极考察中,“雪龙”号极地科考船航行3.1wn mile,在罗斯海鲸湾水域抵达78°41'S,刷新了全球科考船在南极海域到达最南端的纪录,这在世界航海史上具有里程碑意义。2017年1月,中国首架极地固定翼飞机“雪鹰601”号成功降落在南极冰盖之巅,创南极航空新纪录,这标志着中国南极科考“航空时代”已由此来临。从此,“雪鹰601”固定翼飞机、“雪龙”号系列极地科考船和5个南、北极科考站,基本构成了中国极地海陆空立体化协同考察体系,为中国从极地大国迈向极地强国奠定了重要基础。

在北极科学考察方面,1999年7月1日,以“雪龙”号极地科考船为平台,中国开始了对北极的首次科学考察。此次考察不仅获得了一大批珍贵的数据和样品,而且还首次确认了“气候北极”的地理范围,发现了北极地区对流层存在偏高的现象,这对研究全球气候变化具有重大意义。继首次北极科学考察之

后,中国又于2003年、2008年、2010年、2012年、2014年、2016年、2017年和2018年先后开展了8次北极科学考察,对白令海、楚科奇海、加拿大海盆、东西伯利亚海、拉普捷夫海、喀拉海和巴伦支海等北冰洋区域进行了多学科综合考察;“雪龙”号极地科考船最北到达 $88^{\circ}26'N$ ,并成功地实施了环北冰洋考察,创造了中国航海史上新纪录;获得了一大批有价值的科学数据与样本,进一步提升了中国对北冰洋区域的科学认识。

2004年7月,在挪威的斯匹次卑尔根群岛建立了中国第一个北极科考站——黄河站。该站的建立,为研究空间物理、空间环境探测等众多学科前沿问题提供了极其有利的条件。2018年10月,中国和冰岛共同筹建的中-冰北极科学考察站建成并正式运行,成为中国第二个北极综合研究基地。

### 3.2 海洋科学研究

70年来,中国海洋科学研究涵盖各个海洋专业学科,取得了丰硕的成果。目前,中国海洋科研机构每年承担海洋科研课题1.8万余项,其中基础研究、应用研究、试验发展3类课题所占比重超过70%,发表科技论文1.7万余篇,出版海洋科技著作350多种,拥有发明专利总数超过2万件。在此,重点阐述中国在物理海洋学、海洋化学、海洋地质学、海洋生物学4个学科所取得的一些主要进展和成果。

#### 3.2.1 物理海洋学

物理海洋学是以物理的方法研究海洋中的各种要素(温度、盐度、流场等)的特征及其变化规律。伴随新中国成立,中国物理海洋学研究开始起步,至目前物理海洋学在观测方法、数值模式、理论分析、实验室实验等各方向都取得了巨大的成绩,个别研究方向走至世界前列。特别是新世纪以来,在一大批重大、重点专项计划的支持下,物理海洋学研究更趋活跃、创新成果不断涌现。

##### (1) 理论研究进展

经过70年发展,中国物理海洋学在海流、海浪、潮汐、风暴潮等海水运动方面的理论研究日趋完善,在一些新的研究领域如厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)、大洋能量传递等也走在了世界前列。

##### ① 近海海流

在新中国成立以来组织的几次大型调查及专项调查基础上,基本上摸清了中国近海海流特征、变化趋势,发现了中国近海众多复杂多样的海流结构。1964年,毛汉礼首次提出了台湾暖流的概念。之后,中国学者利用数据分析、理论分析等对其结构及来

源、水团成分有了进一步的认识。郝崇本、管秉贤对黄海冷水团及黄海暖流的分布形态和行程机制进行了一系列研究,对其季节、年际、多年际变化,其垂向结构变化,水体来源、水团和周围水体关系等有了一定的认识<sup>[5-6]</sup>。管秉贤首次指出在中国东南近海和南海北部冬季均存在逆风海流<sup>[7]</sup>。苏纪兰系统研究了中国海的多尺度动力过程,揭示了河口和陆架环流的物理图像。自1986年起,苏纪兰主持了历时7年的“中日黑潮合作调查研究”,对黑潮结构特征及其时空变异、机制的认识有了质的提升,论证了黑潮在台湾东北侧涌升东海陆架的季节特征及其动力机制、台湾暖流的内外侧分支结构及其与黑潮涌升的关联、琉球群岛东侧的琉球海流的结构与变化等。这是中国海洋研究走出近海的第一个项目,研究成果获1996年度国家科学技术进步奖二等奖。上升流是中国近海海流一个非常重要的特征,影响近海营养盐分布。通过现场观测、数值模拟、理论分析等,在黄海沿岸、东海沿岸、南海沿岸、长江口沿岸等均发现了上升流并对其机制进行了分析<sup>[8-9]</sup>。胡敦欣提出的浙江沿岸上升流非风生机制,修正了传统的风生沿岸上升流理论。

海流是物质运输的重要驱动因子。早在1989年,中国学者就开始了物质长期运输的研究。由冯士筭主导的“拉格朗日余流和长期运输过程的研究——一种三维空间弱非线性理论”获得国家自然科学奖三等奖。胡敦欣在太平洋发现“棉兰老潜流”,改变了有关太平洋西边界流动力学结构的传统认识,对海洋经向热量输送、平衡和气候有重要影响。2015年,胡敦欣领衔17位国内外海洋学家和气候学家合作撰写的《太平洋西边界流及其气候效应》评述文章在《自然》杂志正式发表。这是《自然》杂志首次发表有关太平洋环流与气候研究的评述性文章,也是中国学者在该杂志发表的首篇海洋领域研究综述性论文。王东晓等完成的“南海与邻近热带区域的海洋联系及动力机制”获得2014年度国家自然科学奖二等奖。近年来,借助新的调查观测技术及数值模拟,中国学者对近海海流结构特征及其机制提出了新的见解。

##### ② 太平洋—印度洋贯穿流南海分支

中国科学家最早依据模式结果提出了太平洋—印度洋洋际交换南海分支<sup>[10]</sup>。在2006年启动的中国、印尼和美国国际合作计划“南海—印尼海水交换及对鱼类季节性洄游的影响”的支撑下,利用丰富的现场观测资料证实了这一分支的存在。这一分支对于南海

的水团形成、海气热量交换和淡水交换有着重要作用,对中国南部海上能源通道环境保障和国防建设具有重要意义。这一研究方向,实现了浅海海床基观测技术突破并自主开发了达到国际同期水平的观测系统<sup>[11-12]</sup>。

### ③ 海浪

新中国成立后,中国开始了海浪理论、模拟、预测的研究,并在之后的 70 年里取得了巨大进展。20 世纪 60 年代,文圣常推导的“文氏风浪谱”<sup>[13]</sup>被多个国家翻译,被评为当年相关国际科学进展评论中的重要成果。后人在此理论基础上,进行了大量的延伸工作。基于此发展的“理论风浪谱”研究达到国际先进水平,获得国家自然科学奖。文圣常撰写的《海浪原理》和《海浪理论与计算原理》,成为指导国内外海浪理论研究的重要专著。1984 年,袁业立首次利用理论分析导出了风生波初生阶段成长过程的波面演化过程。近年来,海浪对海洋上层的动量与混合作用,风和海浪的相互作用等过程也得到了足够的重视<sup>[14]</sup>。

### ④ 潮汐和风暴潮

潮汐方面的工作主要为平衡潮理论、潮波动力学和潮汐调和分析。1959 年,中国出版了第一部由郑文振编写的有关潮汐分析和预报的手册《实用潮汐学》。1958-1960 年间的全国海洋综合调查期间,根据潮流观测编制了《潮流永久预报表》。1960 年初,方国洪提出的“准调和分析方法”,被采用为国家标准沿用至今。在《全国海洋综合调查报告》中,郑文振和方国洪执笔撰写的“中国近海潮波系统”,对中国近海潮汐潮流的分布做了系统的阐述,给出了潮波传播示意图和初步的动力解释。1970 年,方国洪等建立了二维潮汐潮流数值模式,计算了中国近海的潮流分布,同年开始了世界上最早潮汐同化模式的尝试。方国洪提出潮汐潮流永久预报的新方法<sup>[15]</sup>,其所需数据量仅为杜瓦宁法的 1/10。利用这些新的手段和方法,1973-1978 年间中国陆续编制并出版了覆盖中国近海大部分海区的《中国近海潮流永久预报图表集》,实现了中国近海全海区、多层次潮流预报。1980 年开始,中国学者在中国近海开展了大量的潮汐数值计算研究。到 1985 年,已经能够对 116 个分潮进行预报,并编制了太平洋及其邻近海域的潮汐表。20 世纪 90 年代后期,卫星高度计观测开始用于潮汐模式的同化<sup>[16-17]</sup>,且随着计算机的普及和计算能力的提升,大区域、高精度、可视化的潮汐潮流预报系统成为主流<sup>[18]</sup>,并直接服务于海洋预报减灾、海洋环境保障和海洋水深测量等。

冯士筭等在风暴潮动力学研究中创建了超浅海

风暴潮模型,并将风暴潮动力学和预报模型及方法系统化。其编著的《风暴潮导论》是世界上第一部系统论述风暴潮机制和预报的专著,获全国优秀科技图书一等奖。秦曾灏对大尺度海洋和大气相互作用及风暴潮研究造诣较深。秦曾灏、冯士筭等完成的“浅海风暴潮动力机制和预报方法的研究”获得 1982 年度国家自然科学奖三等奖。

### ⑤ 海洋锋面

海洋锋是水文要素特性不同的 2 个水团之间的狭窄过渡带,是一种重要的中尺度海洋现象,由于锋面能有效地聚集和输运悬浮物质,对渔业、军事和海洋环境保护等许多领域有重要影响。中国近海由于众多环流、水团和涡旋在此交汇,海洋锋现象十分显著,近年来,中国学者对中国近海的海洋锋产生机制和变化规律的研究取得了一定的进展。整体上看,中国近海海洋锋位置比较固定,但受季风影响,大多数海温锋面有季节变化特征。针对位于人类活动主要场所和河川泥沙、污染物质进入海洋必经之地或贮存之区的河口羽流锋的研究,苏纪兰等首先提出长江冲淡水次级锋面概念及其对杭州湾悬浮质输运的重要影响,提高了污染物、浮游生物的富集作用对杭州湾内泥沙输运规律的认识。他率先提出潮致底质冲淤的有效模拟方法,并系统揭示了浙闽沿岸上升流与沿岸锋的关系。

### ⑥ 大洋能量传递

吴立新领衔完成的成果“大洋能量传递过程、机制及其气候效应”,系统阐述了能量向深层海洋传递的通道以及驱动大尺度环流的过程与机理,揭示了深海大洋热量变异关键海区对大气环流及区域气候的重要调节作用,阐明了海洋环流变异影响全球气候的海洋和大气通道,为预测未来海洋环境与气候变化提供了理论基础。该项成果初步回答了全球气候变化下海洋能量及热量输运机制及造成的海温异常对大气的反馈作用<sup>[19-20]</sup>。该项成果获 2018 年度国家自然科学奖二等奖。

#### (2) 海洋数值模拟研究进展

随着计算机技术和数值计算方法的发展,20 世纪中期开始,国外相关研究机构逐渐发展了基于不同坐标系统、物理机制、网格剖分或参数化方案的环流模式。中国对海洋模式的研究起步较晚,直至上世纪 80 年代,才首次有了中国对海洋模式研究进展的报道。

#### ① 环流模式

曾庆存首创的“半隐式差分格式”是数值模式的主流算法之一。其研究的大气环流模式、海洋环流

模式和气候系统模式,能成功地模拟出亚洲季风雨带的推移、大洋环流和中国近海环流流系(如南海暖流等)。中国自主研发了浪-潮-流耦合数值模式耦合了海浪、潮汐等物理过程,对垂向参数化方法进行了改进<sup>[21-22]</sup>,采用了先进的并行及同化方法和自主研发的潮汐调和常数计算方法,具有强大的全球及中国近海的水文模拟能力,解决了模式中多个关键物理过程<sup>[23-24]</sup>,使得对海洋过程及台风等<sup>[25]</sup>的模拟预测能力有了显著提高。2018年,中国科学家在内的世界顶尖海洋模式专家共同发表了《海洋环流模式的进展、挑战及前景》,介绍了过去10年世界环流模式的进展及未来模式的发展方向,中国模式的发展成就被多次提到,表明中国海洋模式的理论发展及应用发展已进入国际先列水平<sup>[26]</sup>。

过去10年里,在国家重点研发计划支持下,中国海洋、气候模式研究有了飞速发展。2017年,中国学者研制了“南海及周边海域风浪流耦合同化精细化数值预报与信息服务系统”,在关键技术和业务化运行方面取得了重要突破。2018年12月10日,应联合国教科文组织政府间海洋学委员会西太平洋分委会的邀请,中国学者研制的“21世纪海上丝绸之路”海洋环境预报系统”向国际社会正式发布,并入选中国驻美使馆科技开放日展览活动。

### ② 海浪模式

文圣常开创了中国海浪数值预报模式研究,提出了一种特色显著的新型混合型海浪数值模式,并在国家海洋环境预报部门投入业务化应用。1992年,袁业立提出了LAGFD-WAM的基本物理模型,在此基础上,研发了MASNUM海浪数值模式<sup>[27]</sup>。基于此发展的非破碎波浪混合理论,大大提高了海洋模式中对海洋上层混合模拟能力和模拟精度<sup>[28]</sup>。非破碎波浪混合目前已被认为是海洋环流模式中一个非常重要的过程并被世界多个研究机构采用<sup>[29]</sup>。MASNUM获得了国内外同行的认可,被国际上认为是第三代海浪数值模式,并被广泛应用于海洋工程中。

### ③ 耦合模式

20世纪70年代以来,气候学研究注意到了海洋的作用。巢纪平首次建立中国海气耦合的滤波短平长期天气数值预报模式,成功地进行了月季天气预报试验;提出了Rossby波相互作用后可激发出一类向东西两个方向传播的不稳定波,以及在非线性作用下可激发出2~3年厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)型振荡等;提出了热带大气和海洋运动的半地转适应和发展理论,领导创建了中国第一个海洋环境数值预报业务

系统。近些年来,中国学者还提出了耦合大气、海洋、海冰等过程的耦合模式。耦合模式反应了中国模式发展的综合水平。世界气候研究计划(WCRP)与1997年开始推动耦合模式对比计划(CMIP),促进了地球系统模式的发展。从中国首个模式参加CMIP1,至今中国已有5个模式参与CMIP5<sup>[30]</sup>。

### (3) 极地和海冰研究

借助中国极地科学考察的大量调查数据、数值模拟,中国对南北极海冰变化、环流结构等的认识在近年来得到了极大的发展。2015年5月5日,中国首次发布了2005至2011年南极洲冰架崩解数据集,这是迄今人类对南极冰架崩解做出的较为精确和细致的度量。基于中国研制的地球系统模式FIO-ESM,中国学者多次参与了南北极海冰预测计划(SIPN和SIPN-South)。丁德文在工程海冰研究方面取得了显著成绩并出版了专著。

### (4) 厄尔尼诺-南方涛动研究

厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)是发生于赤道东太平洋地区的风场和海面温度震荡。ENSO期间,会在世界多地引起极端天气,如洪涝、干旱、台风多发等,严重影响世界经济和社会的稳定。ENSO由于其多变性,目前对其机制的认识、预测能力仍是世界研究的热点。陈大可等系统开发了ENSO预测模式,突破了限制ENSO预测水平和可预测性评估的关键瓶颈,系统阐释了海洋混合的物理机制,创建了一个新颖有效的垂向混合模型,为攻克湍流混合这一物理海洋学重大难题提供了新的理论和方法<sup>[31]</sup>。穆穆等提出的条件非线性最优扰动(CNOP)方法,解决了厄尔尼诺春季预报障碍,以及海洋热盐环流对淡水通量扰动的敏感性等问题。

### (5) 物理海洋其他研究方向

近年来,物理海洋和生物、生态、化学等学科间的交叉研究逐步受到重视。多学科交叉、多理论互鉴、多技术融合正成为新的研究前沿,特别是逐渐重视大尺度问题,与气候及长期气候变率有关的研究成为重点,这与“气候变异与可预测性研究计划”(CLIVAR)的最新战略目标吻合。陈显尧等重点关注海洋如何记忆气候长期变化的历史和如何调节气候长期变化的过程。2014年《科学》杂志以《行星中热量分配导致全球变暖的减缓与加速》为题刊发其研究成果。此外,在全球海平面变化及其机制<sup>[32]</sup>、海洋不同尺度变化(如PDO, ENSO等)对气候变异的影响及气候变化对海水性质的影响<sup>[33]</sup>、海洋大尺度变化及其机制<sup>[34]</sup>、全球极端气候事件研究、古气候研究等领域也

均出现了大量世界前沿的研究成果,被世界同行所重视。另外,海洋物理过程对海洋生态、渔业、海洋微生物、海洋污染、海洋微塑料的影响等研究也有大量成果发表在世界权威期刊。

### 3.2.2 海洋化学

新中国成立以来,海洋化学领域主要在人工海水配制,渤海、黄海、东海及南海海洋化学,台湾海峡上升流及生态系统研究,中国浅海有机地球化学,海藻资源化学利用等领域取得成果。其中《南海海洋化学研究》(2012年)、《北极海域海洋化学与碳通量考察》(2016)、《中国近海海洋图集 海洋化学》(2017)等著作具有代表性。进入21世纪以来,海洋化学领域产出不少创新成果。

#### (1) 海洋工程设施腐蚀研究与防护技术

侯保荣主持了中国近海腐蚀环境调查与研究,明确提出“海洋腐蚀环境”概念,建立了海洋腐蚀环境的理论体系,并致力于海洋浪花飞溅区防腐技术的研究与推广,研发了具有自主知识产权的复层矿脂包覆防腐体系,成功应用于重要设施关键部位的腐蚀防护,填补了中国相关技术领域空白。相关研究成果获得2002年度国家科学技术进步奖二等奖。

#### (2) 基于羟基自由基高级氧化快速杀灭海洋有害生物的技术研究

针对防控海洋外来生物入侵和保护近海海洋生态安全的国家战略需求,白敏冬等首次发现了大气压下持续微辉光放电的新科学现象,创建了大气压强电离放电高效制备羟基自由基的新方法,发明了基于模块化阵列式等离子体集成源的系列化高浓度羟基自由基产生装备,突破了羟基自由基工程化应用的瓶颈问题,在万吨级船舶上完成了羟基自由基快速、高效率、低成本、无潜在风险杀灭入侵生物的工程示范及技术推广应用。有关成果获2016年度国家技术发明奖二等奖。

#### (3) 改性黏土治理赤潮技术研究

2017年,俞志明等研发的改性黏土应急治理赤潮技术落地智利后,2018年在巴黎第18届全球有害藻华大会上,中美两国海洋研究机构签署了利用中国改性黏土技术应对佛罗里达沿海赤潮灾害的合作协议,标志着该技术已经达到国际领先水平,在全球赤潮治理领域起到引领作用,并在国际上得到了广泛应用。该成果已成为中国赤潮治理的国家标准。

#### (4) 大洋主控型边缘海碳循环理论研究

戴民汉等系统研究了中国近海与主要河口碳循环,揭示其CO<sub>2</sub>源汇格局、关键控制过程与机理。提

出物理-生物地球化学耦合诊断方法定量解析边缘海CO<sub>2</sub>源汇格局,建立了大洋主控型边缘海碳循环理论框架。

#### (5) 高浑浊河口的生物地球化学理论与物质循环模式

张经等在系统地研究中国河口中痕量元素与生源要素的行为的基础上,提出了高浑浊河口的生物地球化学理论与物质循环模式;剖析了痕量元素与生源要素通过大气沉降向中国海的输运特点,发现了它与初级生产过程之间的内在联系,为诊断大气沉降对西北太平洋边缘海的影响提供了一个参比体系;发展了边缘海的生源要素收支模式,揭示了中国海的生物地球化学过程的内在驱动机制和变化的特点。

### 3.2.3 海洋地质学

新中国成立以来,中国海洋地质学研究进步很快。特别是改革开放后,伴随着中国社会经济发展和维护国家海洋权益的需要,海洋地质学更是全面发展,取得了大量的调查和研究成果。

#### (1) 中国区域海洋地质研究总结

通过多次海洋地质调查研究,取得了丰富的研究成果,出版了一系列中国海洋地质学著作。其中,刘敏厚等编著的《黄海晚第四纪沉积》<sup>[35]</sup>,秦蕴珊主编的《黄海地质》<sup>[36]</sup>、《东海地质》<sup>[37]</sup>,刘昭蜀等著的《南海地质》<sup>[38]</sup>,金翔龙主编的《东海海洋地质》<sup>[39]</sup>,许东禹等著的《中国近海地质》<sup>[40]</sup>等一系列关于中国区域海洋地质学著作,较全面地总结了新中国成立70年来,特别是近30年来的科研成果。金庆焕对南海海洋地质和油气资源及天然气水合物资源进行了深入研究,出版了《南海地质与油气资源》、《天然气水合物概论》等专著。李家彪等系统地开展了中国边缘海地质研究,出版了《中国边缘海形成演化与资源效应》等专著。

#### (2) 中国大陆边缘海形成演化及资源潜力研究

刘光鼎认为南海作为中国重要的边缘海,在中生代期间经历西部特提斯域的构造演化,形成主动大陆边缘,在新生代受太平洋域构造演化作用的影响在南北两侧出现陆缘共轭张裂,形成发育多个大型新生代盆地的被动大陆边缘,南海从主动大陆边缘转化为被动大陆边缘。在国家“973”计划支持下,高抒、李家彪等通过《中国边缘海的形成演化及重要资源的关键问题》项目研究,揭示了中国边缘海区地球物理场特征和莫霍面深度分布特征以及中国边缘海地壳属性,勾绘出中国海区前新生代残留盆地的分布范围,提出潮汕坳陷下白垩世海相烃源岩经历了二次生烃作用,

具有油气远景的地层。李家彪等通过国家“973”计划项目“南海大陆边缘动力学及油气资源潜力”研究揭示,南海大陆边缘应属非火山型大陆边缘,南海陆缘沉积盆地受构造演化、烃源岩、储集层、成藏组合和后期改造的影响存在南北差异,总体上“外油内气”呈环带分布,南海南部边缘盆地具有更优的油气勘探前景。

### (3) 大陆架及邻近海域勘查和资源远景评价研究

1980年起,金翔龙采用新的地球物理勘测系统,重点研究了冲绳海槽和东海陆架的地壳结构,对西太平洋沟、弧、盆体系中的冲绳海槽进行勘查,对海槽的地壳性质、上地壳层演化、断裂作用、第三纪以来的构造发展和海槽南、北段的构造差异提出了新观点,编制出1:200万比例尺的冲绳海槽构造图。“八五”期间,金翔龙主持完成“大陆架及邻近海域勘查和资源远景评价研究”,编绘中国大陆架及邻近海域基础环境系列图,评价中国大陆架及邻近海域的生物资源与矿产资源,建立了中国大陆架及邻近海域环境与资源信息库、划界数据与方法库,并按海洋法公约提出了大陆架与邻近海域的各种划界方案。

### (4) 南海深海过程演变研究

1999年,汪品先等设计并主持的ODP184航次的成功实施,使中国一举进入深海研究的国际前沿,开启了南海深部探测和资源勘探的捷径。2014年3月,汪品先主持了国际大洋发现计划(IODP)新十年首个航次(IODP349),在南海4000多米的深海进行了钻探,采获当年形成的南海大洋地壳的岩样,确定了南海最终形成的年龄为距今1600多万年前,并且终结了多年来的争论,确认南海东部海盆生成于3300万年前,消亡于1500万年前;西南部海盆生成于2360万年前,消亡于1600万年前。根据该研究计划,2012年“蛟龙”号下潜至3000m深海的破裂火山口,发现多金属结核密集分布区,为确定深海火山形成后的沉积覆盖历史提供了新的线索。在国家自然科学基金重大研究计划支持下,中国学者进行的“海底天然地震台阵观测实验”,探索了南海地质构造演化及海底深部结构;首次运用深拖磁测系统等装备,在接近南海海底的高度进行高分辨率磁异常测量,确定了海盆扩张的时间和过程。相关研究打破了关于海盆成因和气候演变传统认识,提出了与欧美同行关于南海海盆是大西洋海盆形成机制翻版的不同认识,认为西太平洋边缘海是“板缘裂谷”形成的系列,而非如大西洋海盆是板内裂谷。针对气候演变提出了“低纬驱动”的观点,指出高纬度区的冰盖大小变化和低纬

度区季风降雨的变化,驱动力的周期性有所不同等。

### (5) 南黄海陆架区科学钻探

中国实施的“大陆架科学钻探工程项目(CGS-CSDP)”,完成了南黄海陆架区科学钻探CS-DP-01孔的海上钻探作业,总进尺超过300.1m,总取芯率达到80%以上;对探讨中国(亚洲地区)新生代地质演化历史中的构造运动和地貌演化、陆架沉积物从源到汇、亚洲季风形成与演化、海陆变迁及其环境效应等具有里程碑意义。2015年9月,在黄海中部隆起打的CS-DP-02孔,于866m处钻获含油气岩芯10m。此次钻探也是在南黄海中古生界碳酸盐岩中首次发现油气显示。

### (6) 海岸带和海岛研究

海岸带与全球气候变化、海平面变化、陆架环境变迁、人类的生存与繁衍等环境因子密切相关。中国学者围绕海岛、海岸带的开发保护、防灾减灾以及综合管理等都有深入的研究。其中,王颖等专注海岸海洋地貌与沉积学研究,提出中国淤泥质潮滩的分带性,建立了贝壳堤-潮滩体系,总结潮滩动力环境的沉积与生态模式,分析中、新生代泥沙粉砂岩沉积环境,从中国主要河流对大陆架的沉积作用深入到河海体系相互作用、沉积物搬运与陆源通量、黄海辐射沙脊群形成演变等研究,系统阐明河流对淤泥海岸形成的作用及对大陆架沉积的影响,将海陆相互作用研究与全球变化相结合并应用于海岸工程建设之中。陈则实等编纂的《中国海湾志》是第一部分系统反映中国海湾基本自然环境要素为主的科学志书。李培英作为执行主编组织、编纂的《中国海岛志》是首部全方位反映中国海岛自然状况以及海岛社会、经济、人文的历史和现状的大型科学志书,为中国海岛的保护、利用和管理奠定了基础。

### (7) 海陆地质地球物理系列编图

1995年,刘光鼎主编完成了《中国海区及领域地质地球物理图册》,同年获得国家自然科学奖二等奖。2013年,刘光鼎主持完成了《中国海陆地质地球物理系列图》8种专题图件的编制。该1:500万系列图包括地质图、大地构造格架图、大地构造演化图、莫霍面深度图、空间重力异常图、布格重力异常图、磁力异常图、地震层析成像图。利用叠置法和透视法编制了海域地质图,用此方法可以在一张地质图上较充分地表现海区新近纪以下的盆地沉积地质内容。根据已有的资料和最新的研究成果,恢复了中国主要块体的古纬度,并探讨了中国大陆概要的构造演

化过程,并初步建立了中国海洋区域地质调查成果的数据库。

#### (8) 南极板块岩石圈三维整体格架研究

利用历经数年研发的新技术,通过对新数据的分析,中国科学家首次获得了南极大陆及周边海域高精度岩石圈三维结构,查明了南极大陆整体构造格架,认清了南极冰盖厚度与冰下地质的基本关系,解决了南极重要的基础地质问题,发现了 2 000 万年前俯冲到南极半岛之下的板片残余,揭示了东南极山系是冈瓦纳超大陆最后聚合形成时的缝合带,促进了全球板块构造理论体系的健全和发展。

### 3.2.4 海洋生物学

#### (1) 海洋生物多样性与生物区系研究

以曾呈奎、刘瑞玉、郑守仪、齐钟彦、吴宝玲和金德祥、倪达书等为核心组成的海洋生物分类学专业团队,从 1950 年至今,通过各种考察、调查,采集了数以十万计的海洋生物标本。全面开展了海洋生物分类学和物种多样性研究,发现了大量新物种,对中国海主要生物类群的种类、分布、区系及多样性状况与特点有了进一步了解,出版了包括海洋动物志、植物志在内的 50 多部专著。宋微波系统地完成了中国沿海以及南极地区纤毛虫的分类与区系研究,填补了西太及东亚海洋环境中纤毛虫多样性研究的空白,促进了全球海洋纤毛虫研究新格局的形成;在纤毛虫的细胞结构分化、模式构建领域,揭示了大量新的细胞分化-去分化新现象,首次建立了凯毛虫等大量代表性种属的个体发育模式,构成了国际相关领域近 20 年来的核心成果。1993 年,黄宗国主编的《中国海洋生物种类与分布》<sup>[41]</sup>,记录了 20 278 种生物的中文和拉丁文学名,并详细介绍了其分类和分布状况。2008 年,刘瑞玉主编的《中国海洋生物名录》,记录了 46 门 22 629 个现生物种的学名,并采用了国际上广泛接受的最新分类系统,澄清了历史上对一些物种分类学上的混淆,纠正了一些错误名称,充分反映了中国海洋生物分类与多样性研究所取得的重要进展。

黄宗国和林茂等编著的《中国海洋生物图集》于 2012 年出版。上卷《中国海洋物种多样性》收录了中国海洋生物 59 门类 28 000 余种;下卷《中国海洋生物图集》收入 18 000 余种物种形态图。这套丛书是中国大陆、台湾、香港 100 多位海洋生物专家,对近 100 年来中国海洋生物记录进行系统总结的集体结晶,全面完善和更新了中国海洋生物种类的名录信息。

#### (2) 生态健康养殖研究

在海洋动、植物的发育生物学、繁殖生物学、培育研究领域,童第周等在脊椎动物、鱼类和两栖动物的卵子发育能力研究方面有过独特的发现,从 20 世纪 50 年代开始,解决了文昌鱼的饲养、产卵和人工授精的技术。这些研究成果在当时是具有开创性的,为动物育种提出一个新的、可能的途径。60 年代,曾呈奎率先提出“海洋水产生农牧化”的科学理念,对中国海水增养殖业起了重大的推动作用。曾呈奎的藻类(海带和紫菜)养殖技术、赵法箴的对虾养殖技术、张福绥的贝类养殖技术、雷齐霖的鱼类养殖技术先后问世,使中国接连掀起了 4 次海水养殖浪潮。这一时期,曾呈奎领导的“海藻栽培原理的研究”获得 1979 年全国科学大会奖。赵法箴主持的“对虾工厂化全人工育苗技术”获得国家科学技术进步奖一等奖,“对虾人工配合饵料研制”获得国家科学技术进步奖二等奖。张福绥主持的“海湾扇贝引种、育苗、养殖研究及应用”获得国家科学技术进步奖一等奖。

进入 21 世纪后,中国又掀起了以海参、鲍鱼为代表的第 5 次海珍品养殖浪潮,至今海水养殖品种已达 50 多种。在海水养殖业中引入生态学的理念和方法,发展了多营养层次综合养殖,作为一种生态系统水平的适应性策略,在中国沿海取得了很好的发展,现今打造具有生态修复和资源增值功能的现代海洋牧场正逐具雏形,掀起了第 6 次海水养殖产业浪潮。

海水养殖业飞速发展的同时,养殖对象的抗病免疫、营养学、病害防治等研究对中国的水产养殖业健康发展起到了巨大作用。麦康森主持的“对虾和海参高效免疫增强剂的研制”、“高效环保渔用饲料配制技术开发与产业化示范”、“海水养殖鱼类营养研究和高效无公害饲料开发”等项目获得国家及多次省部级科技奖。

#### (3) 海洋药用生物资源开发与海洋药物研究

对海洋天然产物及药物的研究始于 20 世纪 80 年代,由管华诗等首创中国第一个海洋药物——藻酸双酯钠 PSS(西药)。藻酸双酯钠 PSS 是目前治疗高凝性疾病较为理想的一种海洋新药,已经成为中国乃至世界许多国家药店和医院的常备药和非处方药。20 世纪 90 年代后,中国对海洋药物和活性化合物的研究形成热潮,除藻酸双酯钠外,还成功研发上市了甘糖脂、海力特、降糖宁散、甘露醇烟酸酯、岩藻糖硫酸脂、多烯康和角鲨烯共 7 个海洋药物。迄今为止,中国已发现约 3 000 多个海洋小分子新活性化合物和近 300 个寡糖类化合物,在国际天然产物化合

物库中占有重要位置。2010年,管华诗及其团队获得2009年度国家技术发明奖一等奖。张偲主持的“南海生物活性萜类和生物碱的构效关系及其作用机制”和“海南岛红树植物的活性化合物及其化学生态学的研究”分离鉴定了900多个海洋生物化合物,发现了119个新化合物,筛选出了21个具有抗老年痴呆症、抗肿瘤、抗菌或抗动脉粥样硬化等生物活性化合物,完成了1个国家药准号新药“海珠口服液”和2个保健品的研制。

另外,部分酶制剂,如溶菌酶、蛋白酶、脂肪酶、酯酶等在开发和应用关键技术方面取得了重大突破,正进入产业化实施阶段。“氨基寡糖素”和“农乐1号”等生物农药及肥料已初步产业化。

#### (4) 海洋生物分子技术研究

进入21世纪,人类基因组草图绘制完成,开启了全基因组研究的先河。海洋生物研究也随之进入基因组时代。徐洵等首次将基因技术应用于海洋环境科学领域,解决了海洋病毒污染快速检测的难题;率先克隆了中国海水鱼类基因,成功地构建了首个拥有自主知识产权的海洋基因工程菌,并开拓性地将基因工程技术应用于海水养殖。包振民在扇贝种质资源、基因组学和发育进化生物学等领域开展了深入研究,绘制了扇贝全基因组精细图,阐明一批重要性状的决定基因和调控机理,开发了首个贝类BLUP遗传评估系统,建立了扇贝育种数量性状评估育种技术、分子标记育种技术、全基因组选择育种技术三大核心技术体系,育成5个扇贝优良品种,使中国的贝类遗传学和育种研究居国际前沿。中国专家还建立了皱纹盘鲍杂交育种的理论和方法体系,采用远距离地理群体间杂交技术培育出中国第一个海水养殖贝类新品种“大连1号”杂交鲍,构建了系统的杂交鲍苗种繁育技术工艺和适合于不同环境的养殖新模式,推动了中国鲍养殖产业的可持续发展。

在海洋生物全基因组测序与精细图谱构建方面,2012年多国科学家完成了11种海洋生物全基因组解析,其中绿海龟、半滑舌鳎、菊黄东方鲀、大黄鱼4种生物由中国科学家完成,最近又完成了刺参基因组测序和组装,使中国海洋生物测序物种数量居于世界前列且多数为经济种。

#### (5) 海洋生态灾害与生态系统演变研究

自20世纪80年代以来,中国近海的赤潮灾害性生态异常现象频繁发生,对这一海洋生态灾害的研究也逐渐从现象、过程发展到对生态学、海洋学机制的研究<sup>[42]</sup>。在“七五”和“九五”期间,中国开展了“中国

东南沿海赤潮发生机理研究”和“中国沿海典型增殖区有害赤潮发生动力学及防治机理研究”。这一阶段,中国学者对于赤潮生物分类学和生理生态学有了更加全面系统的认识,在甲藻的生活史、毒性毒理研究方面有所突破。2001年,国家重大基础研究规划项目(“973”计划项目)“中国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治”,重点从赤潮藻种的生物学特征与生态策略、富营养化过程和调控作用、关键物理过程的调控作用、有害赤潮的生态效应等角度,对东海大规模甲藻赤潮的形成机制、危害机理和预测防治等开展了深入研究,相关成果对提高中国应对赤潮灾害的应急处置能力有很大帮助。

从2007年至今,在黄海海域连续暴发了大规模的黄海绿潮,对中国东部沿海的生态环境、水产养殖业和旅游业造成巨大的潜在威胁。经过持续努力,中国学者在黄海绿潮藻的物种鉴定、黄海绿潮浒苔的生活史与微观繁殖体研究、黄海绿潮浒苔的生理、生态学研究以及黄海绿潮的溯源等方面都取得了突破<sup>[43]</sup>。王宗灵等完成的“黄海大规模浒苔绿潮起源与发生机制”成果获2017年度海洋科学技术奖特等奖。

针对中国近海的水母灾害问题,在国家“973”计划项目支持下,孙松等以食物网相互关系研究为主线,开展水母生活史、理化环境对水母不同生活史阶段的调控机理、海洋环境演变和食物网变化对水母种群增长的调控作用、水母暴发的生态环境效应与成灾机理以及对近海海洋生态系统演变的影响及应对策略等方面的研究,提出了对水母旺发成灾机理的新认识<sup>[44]</sup>。

#### (6) 海洋生物地球化学过程研究

聚焦渤海、黄海、东海与南海及其邻近海域,中国学者系统研究揭示了海水、颗粒物、沉积物中化学物质的分布迁移转化特征及控制机制,在浮游生物、微生物在海洋生物地球化学循环中的作用、海洋颗粒物/沉积物的生态学功能等领域有重要的研究突破;通过对中国近海碳收支、调控机理及生态效应的综合多航次调查与分析研究、在碳的源汇格局及其调控过程、生物泵结构、海洋酸化生态效应等领域也取得了系统的创新成果。

研究发现,海洋惰性溶解有机物(RDOM)的储量与大气CO<sub>2</sub>总量相当,海洋RDOM碳库的变动与全球气候变化密切相关。2010年8月,焦念志提出了“海洋微型生物碳泵(MCP)”储碳新机制,阐释了微型生物产生RDOM的3种机制,揭示了微型生物生态过程在RDOM“碳汇”形成过程中的重要作用,为深入

了解海洋碳循环及其对全球变化的影响提供了新的认识<sup>[45]</sup>。

中国学者提出的基于蓝紫光波段的高浑浊水体大气校正算法已被纳入国际海洋水色协调组织(IOC-CG)静止轨道海洋水色观测报告(IOCCG Report 12)。基于这一成果,中国新一代水色卫星HY-1C、HY-1D增设2个紫外波段,用于近海浑浊水体大气的校正;在海洋酸化与LU辐射对浮游钙化藻类耦合效应所取得的成果,已被UNEP报告采用。

在黄海、东海生源硫的生产、分布,以及迁移变化与环境效应研究方面,通过对黄海、渤海、东海和南海多个航次调查,围隔实验和室内实验研究,结果表明:在水平分布上,海水上二甲基硫(DMS)、二甲基巯基丙酸(DMSP)由近岸向远海递减,与叶绿素 $a$ 的分布一致;在垂直分布上,两者的最大值一般出现在表层;表层海水中,DMS和DMSP呈现出明显的白天高、夜晚低,且呈现出季节和区域性差异。黄海、渤海DMSP主要来源于微型浮游植物(2~20 $\mu\text{m}$ ),而东海和南海DMSP主要来源于小型浮游植物(大于20 $\mu\text{m}$ );DMS的微生物降解是其主要的降解途径。

#### (7) 海洋生态系统动力学研究

海洋生态系统动力学以物理过程和生物过程相互作用和耦合为核心,研究生态系统的结构功能、演化及渔业资源变动。是全球变化和海洋可持续科学研究领域的重要内容。中国在此领域与国际计划同步,确定了以近海陆架为主的中国海洋生态系统动力学研究的发展目标,提出建立中国海洋生态系统基础知识体系的战略目标。自1997年起,苏纪兰、唐启升等推动中国的海洋生态系统动力学研究,在国家“973”、“863”计划和自然科学基金项目的支持下,初步建立了中国近海生态系统动力学理论体系;食物网资源关键种能量转换与可持续管理模型;浮游动物种群补充及微食物网的贡献;关键物理过程的生态作用;生源要素循环及水层-底栖系统耦合<sup>[46]</sup>。其中,孙松等通过“东黄海生态动力学与生物资源可持续利用”项目,研究发现中华哲水蚤在温带陆架浅海度夏策略,被认为是国际全球海洋生态动力学计划(GLOBEC)实施以来最具代表性的成果。

#### (8) 海洋生态修复

近年来,近海受损生境修复与生物资源养护开始成为全球研究前沿和热点。中国海洋生态修复研究工作起步较晚,但近几年发展迅速,取得了系列创新性成果。突破了珊瑚礁、海草床等受损修复的技术瓶颈,并在典型海区成功进行了工程示范;研发了新

型藻(鱼)礁,构建了受损生境高效修复技术,实现了从局部到系统修复的跨越。

### 3.3 海洋技术与装备

70年来,中国海洋技术与装备的研究从无到有、从引进到自主研发,取得了长足的发展。20世纪70年代,中国组织海洋仪器会展,研制和生产的海洋仪器设备达到130多项。为推动海水淡化技术的发展,中国召开了全国海水淡化科技工作会议,制订了《1975至1985年全国海水淡化科学技术发展规划》,在天津组建了“海水淡化与综合利用研究所”,并在一些科研院所设立了海洋淡化研究机构。1982年,中国在西沙建成了第一个电渗析海水淡化站。“七五”期间,中国开发了海洋资料浮标和深海潜标系统。

改革开放以来,国家“863”计划设立了海洋领域,先后研制成功6000m自容式温盐深自记仪、中国第一艘200m无人遥控潜水器“海龙一号”、第一艘1000m无缆水下机器人“探索者”号等一批海洋技术装备。“向阳红10号”大型远洋调查船研发成果获得1988年度国家科学技术进步奖特等奖。1988年8月,中国利用自主研发的仪器设备在南沙群岛永暑礁建成了“全球海平面联测”第74号站。

“九五”期间,中国膜法海水淡化技术研究取得重大突破。高从堦等完成的“国产反渗透装置及工程技术开发”获得1992年度国家科学技术进步奖一等奖。进入21世纪以来,中国自主研发的海洋技术与装备在海洋环境监测、海洋资源调查与开发、海洋工程建设、深海研究,以及海洋公益服务等方面得到了广泛的应用。李华军主持的“浅海导管架式海洋平台浪致过度振动控制技术的研究及工程应用”获得2004年度国家科学技术进步奖二等奖。“十一五”期间,中国开展了万吨级海水淡化技术研究及工程示范,先后建成单套1万t/d反渗透海水淡化工程和1.25万t/d低温多效海水淡化工程,相关技术达到国际先进水平。侯纯扬主持的“海水循环冷却技术研究与工程示范”获得2007年度国家科学技术进步奖二等奖。中国在近海油气勘探开发方面的科研工作也取得重大进展,其中“中国近海油气勘探开发科技创新体系建设”获得2010年度国家科学技术进步奖一等奖。

“十二五”以来,中国在蒸发器、蒸汽喷射泵、膜组器 and 高压泵等关键装备技术研究和产业化方面取得突破性进展,全面掌握反渗透和低温多效海水淡化技术,并达到或接近国际先进水平。中国自主研发了50余项海洋能新技术、新装置,并向实用化发展,

部分技术达到了国际先进水平。4.1 MW 的江夏潮汐试验电站已稳定运行 30 多年,3.4 MW 模块化大型潮流能发电系统的首套兆瓦级机组并网发电,100 kW 鹰式波浪能发电装置和 60 kW 半直驱式水平轴潮流能发电装置累计发电量超过 3 万 kW·h 等,使中国成为世界上无数不多的掌握规模化开发利用海洋能技术的国家之一。中国自主建造的世界最先进首座超深水圆筒型海洋钻探储油平台“希望 1 号”成功交付使用,其技术成果“深海高稳性圆筒型钻探储油平台的关键设计与制造技术”获得 2011 年度国家科学技术进步奖一等奖。2012 年“海洋石油 981”深水半潜式钻井平台在南海首钻成功。实现了中国海洋油气资源开发从浅水到超深水的历史性跨越。该技术成果“超深水半潜式钻井平台研发与应用”获得 2014 年度国家科学技术进步奖特等奖。

2017 年 5 月,国家重大科技基础设施“国家海底科学观测网”立项,将在东海和南海的海底分别建立主要基于光电复合缆连接的海底科学观测网,实现从海底向海面的全方位、综合性、实时的高分辨率立体观测。

目前,中国自主研发、建造的海洋重要技术装备,如:海洋卫星、深海运载器、海洋浮标、海洋调查船等已进入了世界先进行列。

### 3.3.1 海洋卫星

20 世纪 80 年代以来,中国海洋卫星及其探测技术的研发与应用取得了令人瞩目的成就。潘德炉突破性地发展了中国海洋水色遥感反演算法、遥感卫星应用效果模拟仿真理论和技术,并创建了中国遥感卫星模拟仿真系统和海洋水色遥感应用技术系统;其主持完成的“近海复杂水体环境的卫星遥感关键技术研究及应用”获得 2013 年度国家科学技术进步奖二等奖,为提升卫星空间信息获取和综合应用能力以及卫星遥感装备的发展做出了突出贡献。蒋兴伟等提出了中国海洋卫星系列化发展规划,完成了海洋卫星地面应用系统建设,解决了卫星资料处理难题和海洋应用关键技术,推动海洋卫星遥感应用进入中国海洋主体业务。目前,中国已形成了以海洋一号(HY-1)系列卫星、海洋二号(HY-2)系列卫星及高分三号(GF-3)系列卫星为代表的海洋水色、海洋动力环境及海洋监视监测系列卫星,地面应用系统建设了北京、三亚、牡丹江站,实现了从单一型号向多个系列卫星组网、从试验应用向业务应用的跨越,建立起了具有优势互补的海洋遥感卫星观测体系,正发挥出显著的社会和经济效益<sup>[47]</sup>。

海洋一号卫星(HY-1、海洋水色卫星)系列,包括 2002 年发射的 HY-1A 卫星、2007 年发射的 HY-1B 卫星、2018 年发射的 HY-1C 卫星,重点对叶绿素浓度、海表温度、悬浮泥沙含量、可溶有机物、污染物及海岸带环境监测,并兼顾观测海冰冰情、海流特征、海面上空大气气溶胶等。

海洋二号卫星(HY-2、海洋动力环境卫星)系列,包括 2011 年发射的 HY-2A 卫星、2018 年发射的 HY-2B 卫星、以及 2018 年发射的中法海洋卫星(CFOSAT)卫星等,主要使命是监测和调查海洋动力环境,获得包括海面风场、海面高度、浪高、海流、海面温度等多种海洋动力环境参数,直接为灾害性海况预警预报提供实时遥感数据。尤其是中法海洋卫星的发射成功与应用,开启了中国海洋卫星领域对外合作的新篇章,入选 2018 年中国航天与海洋十大新闻、中国十大海洋科技进展。卫星发射当天,国家主席习近平同法国总统马克龙互致贺电。该星对中国获取全球海面波浪谱、海面风场、南北极海冰信息,进一步加强对海洋动力环境变化规律的科学认知,提高对巨浪、海洋热带风暴、风暴潮等灾害性海况预报的精度与时效等都具有重要科技支撑作用。

高分三号探海监测全能星(GF-3)于 2016 年发射,该卫星填补了中国自主高分辨率多极化合成孔径雷达遥感数据的空白,空间分辨率最高可达 1 m,是世界上成像模式最多的 C 波段多极化合成孔径雷达卫星。可应用于海洋环境监测、海洋目标监视、海域使用管理、海洋权益维护和防灾减灾等,并可对海洋进行全天时、全天候、近实时监视监测。

### 3.3.2 深海运载器

进入 21 世纪以来,中国围绕深海大洋调查观测,在前期工作积累的基础上,逐步形成了以载人潜水器、无人有缆潜水器以及无人自治航行器等适应多尺度、多环境和多学科联合的多类型海洋调查监测与观测平台。

#### (1) 载人潜水器

##### ① 载人潜水器——“蛟龙”号

2002 年,徐芑南主持的国家“863”计划“7 000 m 载人潜水器”重大专项正式启动,约 100 家单位联合攻关。2012 年 6 月,“蛟龙”号载人潜水器在马里亚纳海沟成功下潜最大深度 7 062 m,创造了作业型深海载人潜水器新世界纪录<sup>[48]</sup>。自 2013 年起,“蛟龙”号载人潜水器转入试验性应用阶段,先后在南海、东太平洋、西太平洋、西南印度洋等七大海区下潜,实现 100% 安全下潜。“蛟龙号载人潜水器研发与应用”获

得 2017 年度国家科学技术进步奖一等奖。

### ② 载人潜水器——“深海勇士”号

在“蛟龙”号载人潜水器研制与应用的基础上，“深海勇士”号载人潜水器攻克以浮力材料、深海锂电池、机械手为代表的深海核心技术及关键部件研发，为后续中国载人潜水器的谱系化建设打下基础。2017 年 6 月“深海勇士”号载人潜水器完成了海试，完成了 28 次下潜，验证了其高效的作业效率，2017 年 11 月中国船级社完成了对“深海勇士”号载人潜水器入级检验。

### (2) 无人潜水器

#### ① “海马”号无人有缆潜水器

在国家 863 计划支持下，“海马”号潜水器于 2014 年 4 月在南海通过海上验收，最大下潜深度 4 502 m。为中国迄今为止自主研发的下潜深度最大、国产化率最高的无人有缆遥控潜水器，是中国深海高技术领域继“蛟龙”号载人潜水器之后又一标志性成果。

#### ② “潜龙”系列无人无缆自治潜水器

继“潜龙一号”“潜龙二号”分别于 2013 年、2015 年下潜勘探试验成功后，2018 年 4 月 4 500 m 级的“潜龙三号”潜水器于南海成功进行了首次综合海试，下潜深度为 3 900 m。该潜器集成热液异常探测、温盐深探测、微地形地貌、海底照相等多种深海探测系统，将主要用于多金属硫化物等深海矿产资源的勘探作业。

#### ③ “海龙”系列无人有缆深海潜水器

“海龙三号”是中国自主研发的首台 6 000 m 勘查取样型无人缆控潜水器，配备虹吸式取样器、岩石切割机、沉积物保压取样器等设备，并搭载前视声呐等特种工具，具备自动避让障碍物、深海定位以及重型设备作业能力。“海龙 11000”潜水器是中国自主研发的万米级深海无人遥控潜水器，设计最大工作深度为 1.1 万 m。2018 年 9 月 10 日，“海龙 11000”潜水器在西北太平洋海山区完成 6 000 m 级大深度试验潜次，最大下潜深度 5 630 m，创造了中国无人有缆深海潜水器深潜纪录。

#### ④ “海斗”号无人潜水器

2016 年 6 月至 8 月，“海斗”号无人潜水器在马里亚纳海沟下潜深度突破万米，并成功获得了 2 条 9 000 m 级 (9 827 m 和 9 740 m) 和 2 条万米级 (10 310 m 和 10 767 m) 水柱的温盐深数据，创造了中国无人潜水器的最大下潜及作业深度纪录，使中国成为继日、美两国之后第 3 个拥有研制万米级无人潜水器能力的国家。

此外，中国自主研发的“海角”号和“天涯”号深渊着陆器、“原位实验”号深渊升降器等已应用于国内外深海海域探测，取得多项突破性成果。

### (3) 水下滑翔机

#### ① “海燕”系列水下滑翔机

该型滑翔机采用最新的混合推进技术，目前已形成工作深度为 200 m, 1 000 m, 4 000 m 和 10 000 m 的谱系化产品自主研发制造能力。2018 年“海燕-X”万米级水下滑翔机已在马里亚纳海沟完成了潜海测试，最深的潜水深度达到 8 213 m，刷新水下滑翔机最大下潜深度世界纪录。2018 年“海燕-L”水下滑翔机实现海上无故障运行 141 d，最大工作深度 1 010 m，连续剖面 734 个，续航里程 3 619 km，创造并保持了我国水下滑翔机海上工作时间最长、航程最远、观测剖面最多的新纪录。

#### ② “海翼”号滑翔机

2017 年 3 月，中国自主研发的“海翼”号水下滑翔机在马里亚纳海沟下潜深度达到 6 329 m，刷新了当年度水下滑翔机最大下潜深度世界纪录。该型滑翔机可以搭载温度、盐度、溶解氧、浊度、叶绿素、硝酸盐、ADCP、水听器海洋探测传感器，能满足多样化海洋观测应用需求。2018 年 7 月，“海翼”号深海滑翔机首次应用于中国北极科学考察。

### 3.3.3 海洋浮标

海洋浮标是海上连续、长期、自动观测多学科环境参数的重要平台，是弥补船舶调查和遥感观测不足的有效手段。

#### ① 锚系浮标

中国的锚系海洋浮标研制起步于 20 世纪 60 年代，代表性成果是 HFB-1 型海洋水文气象浮标。该浮标平台是中国在 1975–1984 年间研制的大型浮标。能在恶劣的海洋环境下对水文气象要素进行数据采集、处理，并以遥测方式及时向岸站发送实时观测资料，具有长期、定点、无人值守的特点，曾为中国海洋环境观测发挥了重要作用。1985 年至今，中国大型海洋浮标发展进入黄金时代，先后研制出了 FZF2-1 型 (后发展为 FZF2-2 型、FZF2-3 型、FZF3-1 型)、FZS2-1 型 (后发展为 FZS2-3 型) 和 FZF4-1 型等大型锚系海洋浮标，直径均为 10 m<sup>[49]</sup>。其中，“FZF2-1 型海洋浮标系统”、“FZF2-2 型海洋资料浮标系统”先后获得国家科学技术进步奖二等奖。FZF4-1 型浮标是中国研发的第四代海洋环境监测浮标，可以确保长时间、连续性、全天候的工作，每日定时测量并且发报出海流、海温、潮位、风速、气压等 20 多种水文气象

要素。目前,已在渤海、黄海、东海、南海,钓鱼岛海域和北极地区,中国布设逾100套10 m大型浮标<sup>[50]</sup>。2012年,中国自主集成研发的7000 m级深海气候观测系统“白龙”浮标正式布放安达曼海,这是中国唯一一个进入全球海洋观测系统的浮标,有助于提升中国参与全球天气和气候尺度的预报、预测能力。

### ② Argo 浮标

2002年初中国正式加入国际Argo计划,并成立中国Argo实时资料中心。目前,中国自主研发了COPEX型剖面浮标和HM2000型剖面浮标,其中COPEX型剖面浮标突破了定深温控技术、温盐深测量技术和浮标检测技术瓶颈,实现了剖面浮标部件近100%的国产化率,有效扭转了中国剖面浮标技术受制于人的局面;HM2000型剖面浮标首次运用中国北斗导航系统进行数据传输和定位,可在水中维持4~5年的存活周期,并已获国际组织认可。截至2018年底,中国共投放Argo浮标400个,其中自主研发的北斗剖面浮标30个。中国北斗剖面浮标数据中心的建立,使中国成为继美法之后第三个为全球Argo海洋观测网提供剖面浮标数据服务的国家。

### ③ 潜标系统

自2009年以来,中国在南海连续布放潜标观测系统,突破了沿缆往复稳定可靠运动控制和水下沿缆剖面测量等关键技术,实现了对环流、中尺度涡、内波、混合等多尺度海洋动力过程的长期观测。目前保持同时在位观测潜标42套,观测海域横跨吕宋海域、南海深海盆、南海东北部和西北部陆坡陆架区,成为目前世界上规模最大的区域海洋潜标观测网。2017年,中国首次建成西太平洋“深海实时传输潜标系统”,研发了无线水声通讯传输方案,实时传输水深400~4000 m的海水温度、盐度、环流、回声强度等数据资料,改变了传统潜标每年只能采集一次数据的问题,跻身世界海洋观测先进行列。

#### 3.3.4 海洋调查船

海洋调查船的发展历史印证着中国海洋科学技术发展的深度广度。自20世纪50年代以来,中国海洋调查船的尺寸吨位从小到大,调查能力从中国沿岸浅海延伸到深海大洋、南北两极,调查内容也从单一学科调查转化为多学科多技术多维度综合性科学考察。目前,中国拥有了“雪龙”号系列破冰科考船,“向阳红”号、“大洋”号、“科学”号、“东方红”号、“实验”号、“海洋地质”号等系列综合海洋科考船,以及“海大”号、“嘉庚”号等海洋科考船,其中大部分海洋调查船是近10年中国自主设计建造的。其中“科学”号

调查船是中国自主设计建造的新一代科学考察船的代表,该船于2011年11月30日下水,船总长99.8 m,型宽17.8 m,排水量约4600 t,最大航速超过15 kn。具有全球航行和全天候观测能力,总体技术水平和考察能力达到国际新建和在建综合调查船的同等水平。在其后相继建造的新“向阳红10”号、“向阳红1”号、“向阳红3”号等综合调查船都是在此船基础上创新建造的。“海洋六号”地质调查船是中国首艘以天然气水合物调查为主,集地震、地质调查等多项调查功能于一体的调查船,排水量4600 t,续航力15000 n mile,可在国际海域无限航区开展调查。“雪龙2”号极地破冰科考船是中国自主建造的首艘破冰船,是全球第一艘采用船艏、船艉双向破冰技术的极地科考破冰船,于2019年7月11日交付使用。船总长122.5 m,宽22.3 m,排水量约13990 t,航速12~15 kn,续航力20000 n mile,能以2~3 kn航速在冰厚1.5 m加0.2 m雪的环境中连续破冰航行。该船装备了国际先进的海洋调查和观测设备,实现了科考系统的高度集成和自洽,是第一艘获得中国船级社颁发智能符号的极地破冰科考船<sup>[51]</sup>,极大地提升了中国在极地洋区开展科学考察的能力。

2012年4月,中国组建了国家海洋调查船队。截至2019年,船队共有37艘成员船,主要承担国家海洋基础性、综合性和专项调查等任务,以及国家重大研究项目、国际重大海洋科学合作项目和政府间海洋合作项目涉及的调查任务。

近年来,伴随自动控制技术等关联学科的发展,针对复杂海域岛礁实施海洋调查测量等任务的无人艇研制取得突破,一批各型无人艇已在海洋测绘、环境监测、管线巡视以及影像采集中得到应用。在水下避障、姿态稳定、自主航行等方面都积累了自主创新成果。其中“复杂岛礁水域无人自主测量关键技术和装备”获得2016年度国家技术发明奖二等奖,“海洋智能无人艇平台技术”获得2016年度海洋科学技术奖特等奖。

## 4 结语

中国民主革命先行者孙中山先生曾指出:“国力之盛衰强弱,常在海而不在陆”。“海权兴,则国兴”。孙先生虽然正确地指出了海洋对一个国家的重要性,但在他那个时代是不可能实现海洋强国梦的。新中国成立后,特别是党的十八大作出“建设海洋强国”重大战略部署以来,在党中央的坚强领导下,中国才有可能真正建成海洋强国,实现百年来中华民族的海洋强国梦。

70年以来,沧桑巨变,硕果累累。从“起于累土”,到“九层之台”,中国海洋科学技术实现了跨越式发展,已成为建设海洋强国的重要支撑和动力。当前,中国进入了中国特色社会主义新时代。在新时代建设海洋强国的伟大征程中,努力推动中国海洋科学技术向“更深、更远、更新”领域进军,培育和创建海洋高新技术产业,加快海洋生态文明建设,促进海洋经济高质量发展,并使海洋科学技术总体水平进入世界先进行列,将是中国广大海洋科技工作者的神圣职责

和光荣使命。为此,广大海洋科技工作者要以习近平建设海洋强国重要论述为根本遵循,不忘初心,牢记使命,奋发图强,开拓创新,为建设海洋强国作出新的更大贡献!

**致谢:** 感谢严宏谟、杨文鹤给予的指导! 感谢徐承德、王文海、韩京云、尹丽萍、李瑞香、张德玉、韩国忠等收集资料和执笔!

### 参考文献:

- [1] 李乃胜. 中国海洋科学技术史研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.  
Li Naisheng. A Study on the History of Marine Science and Technology in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2010.
- [2] 徐渡. 1958–1960年: 全国海洋综合调查[J]. 海洋科学, 2010, 34(4): 109–110.  
Xu Du. 1958–1960: national marine comprehensive survey[J]. Marine Sciences, 2010, 34(4): 109–110.
- [3] 中国科学院南海海洋研究所. 南海海区综合调查研究报告[R]. 北京: 科学出版社, 1982: 1–230.  
South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Comprehensive investigation report in South China Sea[R]. Beijing: Science Press, 1982: 1–230.
- [4] 中国科学技术协会. 2014–2015海洋科学学科发展报告[R]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.  
China Association for Science and Technology. 2014–2015 Report on advances in marine science[R]. Beijing: China Science and Technology Press, 2016.
- [5] 赫崇本, 汪圆祥, 雷宗友, 等. 黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨[J]. 海洋与湖沼, 1959, 2(1): 11–15.  
He Chongben, Wang Yuanxiang, Lei Zongyou, et al. A preliminary study of the formation of Yellow Sea cold mass and its properties[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1959, 2(1): 11–15.
- [6] 管秉贤. 黄海冷水团的水温变化以及环流特征的初步分析[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(4): 255–284.  
Kwan Pinghsien. A preliminary study of the temperature variations and the characteristics of the circulation of the cold water mass of the Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1963, 5(4): 255–284.
- [7] 管秉贤. 南海暖流——广东外海一支冬季逆风流动的海流[J]. 海洋与湖沼, 1978, 9(2): 117–127.  
Kwan Pinghsien. The warm current in the South China Sea—A current flowing against the wind in winter in the open sea off Guangdong Province[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1978, 9(2): 117–127.
- [8] 吴日升, 李立. 南海上升流研究概述[J]. 台湾海峡, 2003, 22(2): 269–277.  
Wu Risheng, Li Li. Summarization of study on upwelling system in the South China Sea[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2003, 22(2): 269–277.
- [9] 吕新刚. 黄东海上升流机制数值研究[D]. 青岛: 中国科学院(海洋研究所), 2010.  
Lü Xin'gang. A numerical study on the mechanisms of the upwelling in the Yellow Sea and East China Sea[D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [10] Wei Zexun, Li Shujiang, Susanto R D, et al. An overview of 10-year observation of the South China Sea branch of the Pacific to Indian Ocean throughflow at the Karimata Strait[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 38(4): 1–11.
- [11] Fang Guohong, Susanto R D, Wirasantosa S, et al. Volume, heat, and freshwater transports from the South China Sea to Indonesian seas in the boreal winter of 2007–2008[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2010, 115(C12): C12020.
- [12] Wei Zexun, Fang Guohong, Susanto R D, et al. Tidal elevation, current, and energy flux in the area between the South China Sea and Java Sea[J]. Ocean Science, 2016, 12(2): 517–531.
- [13] 文圣常. 普遍风浪谱及其应用[J]. 山东海洋学院学报, 1960(1): 15–43.  
Wen Shengchang. Universal wind wave spectrum and its application[J]. Journal of Shandong College of Oceanology, 1960(1): 15–43.
- [14] 管长龙. 我国海浪理论及预报研究的回顾与展望[J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(4): 549–556.  
Guan Changlong. A review of history and prospect for study of sea wave theory and its forecast in China[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2000, 30(4): 549–556.
- [15] 方国洪, 郑文振, 陈宗镛, 等. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 北京: 海洋出版社, 1986.  
Fang Guohong, Zheng Wenzhen, Chen Zongyong, et al. Tide Analysis and Forecast[M]. Beijing: China Ocean Press, 1986.
- [16] 吕咸青, 方国洪. 渤海M<sub>2</sub>分潮的伴随模式数值实验[J]. 海洋学报, 2002, 24(1): 17–24.  
Lü Xianqing, Fang Guohong. Numerical experiments of the adjoint model for M<sub>2</sub> tide in the Bohai Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2002, 24(1): 17–24.

- [17] 吕咸青, 方国洪. 渤海开边界潮汐的伴随法反演[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(2): 113–120.  
Lü Xianqing, Fang Guohong. Inversion of the tides on the open boundary of the Bohai Sea by adjoint method[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(2): 113–120.
- [18] 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 Hui, Wan Liying, Qin Yinghao, et al. Development and application of the Chinese global operational oceanography forecasting system[J]. *Advances in Earth Science*, 2016, 31(10): 1090–1104.
- [19] Hu Dunxin, Wu Lixin, Cai Wenju, et al. Pacific western boundary currents and their roles in climate[J]. *Nature*, 2015, 522(7556): 299–308.
- [20] Wang Guojian, Cai Wenju, Gan Bolan, et al. Continued increase of extreme El Niño frequency long after 1.5 °C warming stabilization[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(8): 568–572.
- [21] Qiao Fangli, Yuan Yeli, Yang Yongzeng, et al. Wave-induced mixing in the upper ocean: distribution and application to a global ocean circulation model[J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(11): L11303.
- [22] Qiao Fangli, Yuan Yeli, Deng Jia, et al. Wave-turbulence interaction-induced vertical mixing and its effects in ocean and climate models[J]. *Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2016, 374(2065): 20150201.
- [23] Chen Sheng, Qiao Fangli, Huang Chuanjiang, et al. Deviation of wind stress from wind direction under low wind conditions[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2018, 123(12): 9357–9368.
- [24] Chen Sheng, Qiao Fangli, Jiang Wenzheng, et al. Impact of surface waves on wind stress under low to moderate wind conditions[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2019, 49(8): 2017–2028.
- [25] Zhao Biao, Qiao Fangli, Cavaleri L, et al. Sensitivity of typhoon modeling to surface waves and rainfall[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2017, 122(3): 1702–1723.
- [26] Fox-Kemper B, Adcroft A, Böning C W, et al. Challenges and prospects in ocean circulation models[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 65.
- [27] 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*, 2005, 27(2): 1–7.  
Yang Yongzeng, Qiao Fangli, Zhao Wei, et al. MASNUM ocean wave numerical model in spherical coordinates and its application[J]. *Haiyang Xuebao*, 2005, 27(2): 1–7.
- [28] Huang Chuanjiang, Qiao Fangli. Wave-turbulence interaction and its induced mixing in the upper ocean[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2010, 115(C4): C04026.
- [29] 赵伟, 宋振亚, 乔方利, 等. 基于非规则类矩形剖分的高效并行海浪数值模式[J]. *中国科学: 地球科学*, 2014, 44(5): 1049–1058.  
Zhao Wei, Song Zhenya, Qiao Fangli, et al. High efficient parallel numerical surface wave model based on an irregular quasi-rectangular domain decomposition scheme[J]. *Science China: Earth Science*, 2014, 44(5): 1049–1058.
- [30] 周天军, 邹立维, 吴波, 等. 中国地球气候系统模式研究进展: CMIP计划实施近20年回顾[J]. *气象学报*, 2014, 72(5): 892–907.  
Zhou Tianjun, Zou Liwei, Wu Bo, et al. Development of earth/climate system models in China: a review from the coupled model inter-comparison project perspective[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2014, 72(5): 892–907.
- [31] Chen Dake, Cane M A, Kaplan A, et al. Predictability of El Niño over the past 148 years[J]. *Nature*, 2004, 428(6984): 733–736.
- [32] Chen Xianyao, Tung K K. Varying planetary heat sink led to global-warming slowdown and acceleration[J]. *Science*, 2014, 345(6199): 897–903.
- [33] Qi Di, Chen Liqi, Chen Baoshan, et al. Increase in acidifying water in the western Arctic Ocean[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(3): 195–199.
- [34] Jing Zhao, Wu Lixin. Intensified diapycnal mixing in the midlatitude western boundary currents[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 7412.
- [35] 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉. 黄海晚第四纪沉积[M]. 北京: 海洋出版社, 1987.  
Liu Minhou, Wu Shiyong, Wang Yongji. Late Quaternary Deposit of the Yellow Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1987.
- [36] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 黄海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1989.  
Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, et al. Geology of the Yellow Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1989.
- [37] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 290.  
Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, et al. Geology of the East China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1987: 290.
- [38] 刘昭蜀, 赵焕庭, 范时清, 等. 南海地质[M]. 北京: 科学出版社, 2002.  
Liu Zhaoshu, Zhao Huanting, Fan Shiqing, et al. Geology of the South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [39] 金翔龙. 东海海洋地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1992: 524.  
Jin Xianglong. Marine Geology of the East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1992: 524.
- [40] 许东禹, 刘锡清, 张训华, 等. 中国近海地质[M]. 北京: 地质出版社, 1997.  
Xu Dongyu, Liu Xiqing, Zhang Xunhua, et al. China Offshore Geology[M]. Beijing: Geological Press, 1997.
- [41] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.  
Huang Zongguo. Marine Species and their Distribution in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008.
- [42] 周名江, 朱明远, 张经. 中国赤潮的发生趋势和研究进展[J]. *生命科学*, 2001, 13(2): 53, 54–59.

- Zhou Mingjiang, Zhu Mingyuan, Zhang Jing. Status of harmful algal blooms and related research activities in China[J]. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 2001, 13(2): 53, 54–59.
- [43] 李永祺. 中国区域海洋学——海洋环境生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.  
Li Yongqi. Regional Oceanography of China Seas—Marine Environmental Ecology[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [44] 孙松. 中国区域海洋学——生物海洋学[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.  
Sun Song. Regional Oceanography of China Seas—Biological Oceanography[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [45] Jiao Nianzhi, Herndl G J, Hansell D H, et al. The microbial carbon pump and the oceanic recalcitrant dissolved organic matter pool[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2011, 9(7): 555.
- [46] 唐启升. 中国区域海洋学——渔业海洋学[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.  
Tang Qisheng. Regional Oceanography of China Seas—Fisheries Oceanography[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [47] 林明森, 张有广, 袁欣哲. 海洋遥感卫星发展历程与趋势展望[J]. *海洋学报*, 2015, 37(1): 1–10.  
Lin Mingsen, Zhang Youguang, Yuan Xinzhe. The development course and trend of ocean remote sensing satellite[J]. *Haiyang Xuebao*, 2015, 37(1): 1–10.
- [48] 任玉刚, 刘保华, 丁忠军, 等. 载人潜水器发展现状及趋势[J]. *海洋技术学报*, 2018, 37(2): 114–122.  
Ren Yugang, Liu Baohua, Ding Zhongjun, et al. Research on the current status and development trend of manned submersibles[J]. *Journal of Ocean Technology*, 2018, 37(2): 114–122.
- [49] 赵聪蛟, 周燕. 国内海洋浮标监测系统研究概况[J]. *海洋开发与管理*, 2013, 30(11): 13–18.  
Zhao Congjiao, Zhou Yan. The monitoring system survey of domestic marine buoy[J]. *Ocean Development and Management*, 2013, 30(11): 13–18.
- [50] 李民, 盛岩峰, 袁新, 等. 国内大型海洋水文气象资料浮标的现状及发展方向[J]. *气象水文海洋仪器*, 2002(2): 1–4.  
Li Min, Sheng Yanfeng, Yuan Xin, et al. The actuality & development of domestic large oceanal information buoy[J]. *Meteorological, Hydrological and Marine Instruments*, 2002(2): 1–4.
- [51] 李尉尉, 王慧祺, 夏登文, 等. 中国海洋调查船现状及发展思考[J]. *海洋开发与管理*, 2012, 29(5): 41–43.  
Li Weiwei, Wang Huiqi, Xia Dengwen, et al. The thoughts on the current status and development of China ocean survey ship[J]. *Ocean Development and Management*, 2012, 29(5): 41–43.

## Marine science and technology development over the past 70 years in China

Chen Lianzeng<sup>1</sup>, Lei Bo<sup>2</sup>

(1. *Chinese Society for Oceanography, Beijing 100081, China*; 2. *South China Sea Bureau, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510310, China*)

**Abstract:** This paper focusses on the three aspects including marine survey, oceanographic research, marine technology and equipment. It sorts out and summarizes the milestone achievements of scientific and technological developments with international and domestic influence in the marine field in the past 70 years since the founding of the People's Republic of China. The substantial improvement of the marine scientific and technological strength serves as a crucial support for economic and social development and construction of a maritime power in China.

**Key words:** the 70<sup>th</sup> Anniversary of the Founding of the People's Republic of China; marine science and technology; achievements of development