

人与生物圈

Man and the Biosphere 双月刊 2020 · 1

Man and the Biosphere

专辑 走向海洋

海也者，能发人进取之雄心……
故久于海上者，能使其精神日以
勇猛，日以高尚。此古来濒海之
民，所以比于陆居者，活气较
胜，进取较锐，虽同一种族而能
忽成独立之国民也。

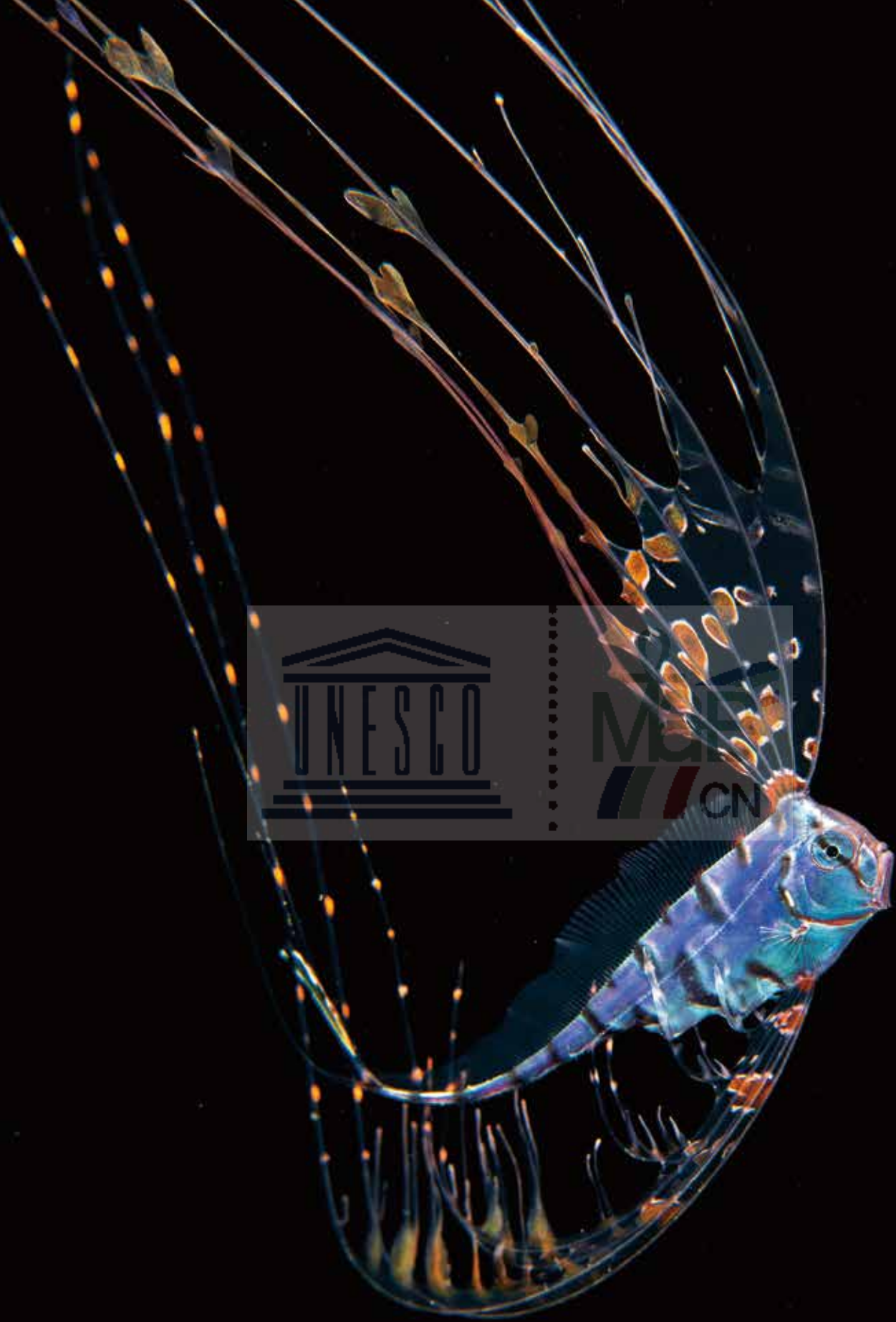
——梁启超

定价：16.00元
邮发代号：82-253
国际标准刊号：ISSN 1009-1661
国内统一刊号：CN11-4408/Q

ISSN 1009-1661



保护与开发从科研监测开始



雪震袖鱼。如果将鳍条包含在内，这种鱼类最长可达 80 厘米。它们成年后生活在上千米的深海，平时行为矜持优雅，安静地漂浮在水层中，之后轻甩“舞袖”缓慢旋转下降，直到沉入幽暗的海底。摄影 / 张帆

新时代中国海洋科技新作为

文 / 殷建平 吴园涛

作为人类生存环境的重要组成部分，海洋在调节气候变化、提供可再生资源和维持生态平衡中起着举足轻重的作用。人类对海洋战略地位及其价值的认识随海洋研究、开发和保护事业的发展而不断深化。纵观漫长的历史过程，两千多年前的古罗马哲学家西塞罗就预言：“谁控制了海洋，谁就控制了世界。”而今，海洋对人类社会的重要作用和价值，已从早期的“兴渔盐”“通舟楫”等，发展成为连接世界的大通道、人类社会赖以生存发展的战略空间和资源宝库。

世界海洋科技发展新态势

海兴则国强民富。进入 21 世纪，海洋科技服务于经济、社会发展和维护国家权益的目标更为突出和强化，国家需求已成为未来海洋科技发展的强大动力。海洋科技的发展、海洋能力的建设对国家海洋权益的强化作用日趋凸显。海洋蕴藏的巨量生物资源、能源资源以及各种战略性金属和非金属矿产资源，正成为各临海国家未来开发海洋的主要目标。与此同时，随着全球气候变化和人类活动对海洋的影响加剧，维持海洋的健康与可持续发展也成为全世界关注的焦点。

近年来，美国、欧盟、英国、日本、俄罗斯等相继推出了中长期海洋新战略和新计划，聚焦海上安全保障、海洋权益维护、海洋资源开发利用和海洋环境保护等工作，力图抢占深

海和远海科技的制高点。上述国家聚焦海洋的重点表现在：

其一，海洋高新技术发展加速推动深远海探测与开发能力的跨越式提升。海洋是人类对自身生活星球的最大认知短板，海洋观测技术是其中一个主要的制约因素。任何一个海洋强国的背后，都源于其占据了当时海洋高技术发展的制高点。人类社会正在快速进入信息化和智能化的时代，卫星遥感、遥控潜水器、自主无人潜水器和实时高速通信技术的发展，为构建覆盖全球的“空-天-陆-海-底”综合立体观测系统提供了可能；深潜器研制技术和声光电磁先进感知技术的快速发展，使得海底资源的探测、开发，以及深海生态系统的认知不断取得突破。数据采集能力的提升和计算机技术的快速发展，极大地推动了对海洋系统变化的模拟能力和海洋灾害的预测预警能力。

其二，海洋安全与权益维护成为海洋科技竞争的核心内容。随着陆地空间与资源的日益稀缺，国际上对海洋权益和海洋资源的竞争日趋激烈。海域划界、深海探测、资源开发、极地考察等对海洋特别是深海远海的认知能力和技术装备水平提出了更高要求，海洋科技将成为新一轮海洋发展竞争的重要支撑。海上交通运输是联通世界的主要途径



“蛟龙”号是中国第一台自行设计和自主集成研制的载人潜水器，2012年在7000米级海试中打破了世界同类潜水器最大下潜深度记录。相比国际上现有的大深度载人潜水器，“蛟龙”号有三项领先的技术，即：能稳定贴近海底自动巡航并实现精确悬停定位（由中国科学院沈阳自动化研究所攻关完成）；能开展高速数字化水声通信，可向母船传输文字、语言、图像（由中国科学院声学研究所攻关完成）；以充油银锌蓄电池供电，完全由我国自主研制。供图 / 中国科学院

之一，其安全受到气候、海洋环境和人为因素的多重影响，面临着严峻的挑战。发展健全的海洋环境信息感知、获取与传输能力，发展海洋灾害的预警预报与突发事件的监测能力，发展先进的海洋平台系统与安全运载能力，都将是海洋环境保障工作的核心内容。

其三，海洋科学研究不断向系统和大科学的方向集成深入。海洋科技发展是人类认知地球、认知海洋的客观需要和基础支撑。海洋作

为地球系统的重要组成部分，其拥有的巨大热容量、碳容量对全球气候及其变化起着重要的调节作用，是地球系统动力演化、气候与环境变化的主要驱动力和调节器。以地球生命系统为切入点，围绕海-气界面、海-陆界面和海-底界面，人类聚焦海洋物理过程、地质过程、生物地球化学和生态过程及其相互作用，从海洋系统的视角开展大气-水体-生物-岩石等多圈层相互作用的前沿综合性研究，是深刻认识海洋和研究气候全球变化及其影响的必然方向。

其四，支撑海洋绿色开发和保护是海洋科技发展永恒的主题。海洋是人类尚未完全开启的资源宝库，至今被人类开发利用的资源仅占其中很小一部分。海洋中的矿产、油气、渔业、生物医药等能源或资源将是未来人类赖以生存和实现可持续发展的必要物质基础。然而，随着海洋经济的发展，海洋生态环境保护任务日益繁重。当前，海洋环境日益恶化，海岸带与近海环境污染加剧，生态系统功能持续退化，渔业资源锐减，生态灾害频发，因此我们必须高度重视海洋生态环境的保护。依靠海洋科技创新、提高海洋资源开发能力、推动海洋经济向质量效益型转变已成为全球的共识，也是目前最为迫切的工作。

我国海洋科技发展存在的问题

自“十二五”以来，我国海洋科技取得了巨大进步，海洋领域正从近岸浅水向深海远洋拓展，由跟跑、并跑向领跑转变，能够更加自信地参与国际科技竞争。具体表现为深海大洋综合探测能力显著提升，海洋环境监测技术体系已初步构建，深海关键技术取得重大突破，海洋资源已实现近海的开发与利用，海洋科研

基地平台与人才队伍体系基本建成等。近些年来，我们取得了以“蛟龙号”载人深潜、万米深渊科考、天然气水合物试开采等为代表的一批重大成果，海洋领域论文尤其是高端论文发表总数也有了大幅提升。

然而作为一个海洋大国，我国的海洋科技总体水平仍较落后，海洋科技的原始创新不足，海洋安全、防灾减灾、海洋资源开发利用等领域的科技瓶颈问题未能得到有效解决，部分领域与世界先进水平还存在较大差距，建设海洋强国的道路仍面临严峻挑战。主要表现为：

其一，海洋领域重大原创理论和战略思想贡献极少。海洋基础理论研究水平和海洋原始创新能力是海洋科学研究的制高点，是海洋强国的显著性标志。青岛海洋试点国家实验室与新华（青岛）国际海洋资讯中心联合编制并发布的《全球海洋科技创新指数报告(2018)》认为，中国海洋科技创新能力已跻身世界前五，但毋庸讳言，环顾世界海洋领域的重大基础理论，基础模型、模式与方法等鲜有中国的贡献；有关未来海洋科技发展的战略研究与思考极度



由中科院沈阳自动化所研制并具有完全自主知识产权的“海翼”号水下滑翔机。2017年，其最大下潜深度达6329米，是当时世界上安全下潜深度最大的同类装备。水下滑翔机是一种通过调节自身浮力和姿态以实现水中滑行并收集水体信息的新型水下机器人，其功耗低且静音能力强，可对特定海域开展高精度大范围观测，是现有水下观测手段的有效补充。供图 / 中国科学院

缺乏；长期处于跟踪、模仿的阶段，产出的成果缺乏系统性和原创性。

其二，海洋认知水平与范围严重不足。早在 1978 年，我国就制定了“查清中国海、进军三大洋、登上南极洲”的海洋科技发展战略目标，这在当时极具前瞻性和内涵。但时至今日，我国更多地是实现了到达问题，仍未真正满足这一伟大目标的内在需求。例如，我们对南海形成与演化、三维精细地层结构、水动力环境、矿产与生物资源、生物多样性来源与变化趋势等还没有清晰的认识，南海一张图梦想尚未成真。对东太平洋和北冰洋等区域，我们涉足很少，对大西洋的了解近乎空白。对全球深 1000 米以上的海洋，我们的认知严重不足，极地海洋科学研究也缺乏更加系统的布局。海洋学研究仍缺乏对不同变量集的长期、实时、精准观测数据支撑。至今，跨部门的海洋数据共享问题始终没有解决，造成了资源的浪费并极大地限制了海洋科学认知的发展。

其三，海洋关键核心技术、装备自主研发能力与应用生态亟待提升或改善。在看到我国海洋技术与装备快速发展的同时，必须清醒地看到我们在关键核心技术与装备方面严重依赖国外，自主研发能力非常薄弱。我国海洋工程装备配套设备的国产化率不到 10%，其中核心配套设备更是不到 5%，以“科学号”为代表的新一代科考船的核心调查设备基本还依赖国外。总体来看，海洋装备发展缺乏统筹布局与顶层设计，研发体系不完善、重复建设、各自为战的局面比较突出。虽然一些海洋装备与设备的集成创新水平接近世界前列，但更多仍停留在集成装备样机的状态，关键核心技术研发力度不够，产业体系结构不健全，海洋传感器与新材料方面的短板十分突出。同时，也没有建立海洋探测 - 开发装备的标准化体系，严重影响生产规范化和产品的可靠性。尤其遗憾的是，自主技术与装备的应用生态没有建立起来，重“研”

轻“用”，市场化意识不足，造成一些技术滞留在科研单位，未能有效转化为创新生产力。另一方面，由于技术或产品缺乏用户，无法实现更新迭代，导致最终夭折。

其四，缺乏引领性的海洋大科学装置和重大的国际海洋计划。建设重大科学基础设施，是推进基础性、系统性、前沿性技术研究和技术研发，提升自主创新成果源头供给的重要工作。一直以来，海洋领域的重大科技基础设施主要体现为海洋科学调查船。近年来，我们在海洋卫星领域取得了较显著的进展，但缺乏整体、系统的全球海洋观测体系，缺乏针对海洋环境、生态等方面的大型模拟装置等，造成我国海洋科技界长期依赖国外海洋数据的局面，在海洋基础认知理论发展、跨学科的海洋模型和模拟技术研究方面始终无法实现突破。虽然我国是世界第二大经济体，但至今仍没有发起和推动与我国国家地位相称的国际海洋研究计划，制约了我国海洋科技的发展，也无法为全球提供优质的海洋公共服务产品。

其五，具有国际影响力的高层次人才不足。海洋科技人才队伍建设是海洋科技发展的关键。长期以来，我们一直把海洋科学作为地球科学的一个分支，制约了海洋学科的发展和人才队伍的建设。目前，我国的海洋科技人才队伍无论从数量还是质量方面都还不足以支撑海洋强国建设的需要，没有建立起健康和可预期的人才成长环境，也没有建立起有效的国际化高端海洋科技人才引进与保障机制。党的“十九大”以来，国内掀起的“全民下海”的热潮背后，更加凸显了海洋人才尤其是高层次人才队伍的供给不足。

新时代中国海洋科技发展思考

21 世纪以来，海洋战略地位的提升使世界各国均以崭新的姿态拥抱海洋，谋求新发展，全球正进入全面开发利用海洋的时代。由于社

会生产和生活空间快速向海洋推进，海洋空间利用正日益多样化，使得围绕海洋各类权益的国际竞争日趋激烈，全球海洋问题也在不断涌现且日趋严重，进而制约着人类社会和海洋的可持续发展。这是我国海洋强国建设必须面对和解决的问题，也是加快海洋科技创新的原因所在。

在看到我国海洋科技发展面临的问题的同时，也要清晰地看到，在新一轮的深海远海科技竞争方面，我国仍处于战略机遇期，与世界先进水平的差距并非不可逾越。新时代我国海洋科技发展需要强化顶层设计与统筹布局，聚焦海洋安全、资源开发、海洋命运共同体建设的国家重大需求，重点开展以下几方面的工作：

第一，加大海洋基础科学理论研究，深入了解地球系统中的海洋，系统认知深海大洋的气候与动力变化过程、深海极端生命过程、深渊与地球深部过程、海洋在地球系统中的作用等，实现我国海洋原创理论的突破，并引领海洋技术和装备的发展方向。

第二，加快推进空天、信息、材料领域的高技术力量下海，发展新一代的智能传感、观测技术与装备。全力推动新技术、新装备、新方法的研发、验证、集成与应用，产出海洋领域颠覆性技术成果，实现自主创新的突破。

第三，强化研用结合，强化海洋技术产业的应用生态链，确保自主研发传感器、产品和样机能够实现应用和迭代升级，真正解决国产化替代的难题。

第四，加快构建自主的涵盖空天、岸基、水面和水下的多维观测体系，提升持续和近实时的多尺度精准海洋监测能力，对海洋科学需要的不同变量集，能给予长期、实时、精准的观测数据支撑。

第五，重点围绕准确模拟和预测真实的海洋状态等海洋科学研究前沿问题开展合力攻关，充分应用大数据和人工智能等新技术，建立起中国自主的海洋现报和预报模式。

第六，加快建设海洋领域的重大科学基础设施，制定并实施国际海洋大科学研究计划，通过重大项目和计划的牵引，推动我国海洋科学研究的国际化步伐。

第七，打造优质的海洋事业发展环境，强化国际性海洋高层次人才的引进与使用，“聚天下英才而用之”。同时，加大青年科技人才的选拔与培养，壮大我国海洋科技创新的队伍。

第八，完善海洋领域创新体制机制，要强化资源合理配置与引导，避免“全民下海”冲动下的重复建设和盲目发展。充分结合国家创新体系建设，打造世界一流水平的海洋科技研发机构，建设世界海洋科技创新的新高地。

唐代诗人李白在其名篇《行路难》中写道：“长风破浪会有时，直挂云帆济沧海”。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。2019年，习总书记基于全球海洋治理的哲学思考，又创新性地提出了构建“海洋命运共同体”思想，认为建设和谐海洋、促进海洋和平繁荣发展是人类共同的价值追求和基本观念。在其指引下，我国的海洋科技事业将大有可为。

本文作者分别系中国科学院南海海洋研究所研究人员
中国科学院重大科技任务局研究人员

人与生物圈

《人与生物圈》杂志 • 1999 年 1 月创刊
双月刊 2020 年第 1 期
总第 121 期

主管单位 中国科学院
主办单位 中国人与生物圈国家委员会
出版 《人与生物圈》编辑部
名誉主编 许智宏 李文华
科学顾问 赵献英

总编辑 王 丁
执行副总编辑 罗娅萍
副总编辑 陈向军
图片总监 郭晓涛
编辑部主任 先义杰
本期责任编辑 先义杰
本期特约编辑 沈 园 张 帆
校 对 陆 霏 龙 虎
行政主管 马雪蓉
电脑制作 笑 韬 王 伟
印 务 李泽琦

本期特约顾问 周 滕 沈 刚 王东晓 赖鹏智
本期特约摄影师 张 帆

国际标准刊号 ISSN 1009-1661
国内统一刊号 CN 11-4408/Q
国内发行 北京报刊局
订 购 处 全国各地邮局
邮发代号 82-253
国外发行 中国国际图书贸易总公司
(北京 399 信箱, 100044)
国外发行代号 1383 BM

编辑部地址 北京市三里河路 52 号
邮政编码 100864
电 话 (010) 68597516
印 刷 北京新华印刷有限公司
出版时间 2020 年 3 月

公示 《人与生物圈》杂志新闻记者证持有者陈向军
(杂志副总编辑), 统一编号: K11440801000002
特此公示。
编辑部监督电话: (010) 68597516
中央新闻单位新闻记者证核发办公室电话:
(010) 83138953

法律顾问单位 北京市博人律师事务所



版权声明

作者向本刊所投稿件, 除有特殊声明, 凡一经采用, 即视同作者同意将稿件著作权中属于《著作权法》第十一条第(五)项至第(十七)项规定的权利全部转让给本刊。本刊对已采用的作品可继续无偿使用, 并决定使用的方式, 包括但不限于改编、汇编、展览、表演; 用于光盘、互联网、手机、可移动的平板电脑以及将来可能出现之任何传播形式; 并可翻译为外文或转换为繁体字及其他字体形式。本刊将一次性向作者支付稿费并视为受让上述权利的全部费用。来稿文责自负, 对于抄袭或涉密, 侵犯他人版权或其他权利的稿件, 本刊不承担连带责任; 对所投稿件, 本刊编辑有权根据本刊办刊要求对其进行适当删改或调整; 如作者不同意上述声明, 请在来稿时向本刊书面声明, 本刊将作适当处理。



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Man and
the Biosphere
Programme

联合国教科文组织发起的人与生物圈计划,
是关于人与环境关系的全球性科学计划。



1 供图 / 中国科学院



10 摄影 / 张帆



30 图 / © Randy Olson



24 摄影 / 陈亮



48 摄影 / Jonathan Freedman



56 绘图 / 龙虎



74 供图 / 徐奎栋

走向海洋专辑 · 走向海洋专辑 · 走向海洋专辑 · 走向海洋专辑



只为攀登
MADE TO CLIMB



发起于1971年联合国教科文组织人与生物圈计划
是关于人与环境关系的全球性科学计划

攀登品牌KAILAS凯乐石
支持人与生物圈计划在中国的实施与推广

践行生态文明 建设美丽中国

供图 / KAILAS

向海洋专辑 · 走向海洋专辑 · 走向海洋专辑 · 走向

CONTENTS

目录

卷首语

- | | | |
|----|----------------|---------|
| 1 | 新时代中国海洋科技新作为 | 殷建平 吴园涛 |
| | 生物多样性保护 | |
| 10 | 中外海洋保护策略 | 李桂菊 |
| 18 | 中国与公海保护地建设 | 陈冀良 |
| 20 | 用保护区挽救海洋生物多样性 | 邵广昭 |
| 24 | 让大海成为优良的实验室 | 蔡厚才 |
| 28 | 保护中国的海岛 | 付元宾 |
| 30 | 牡蛎礁——生态系统的工程师 | 大自然保护协会 |
| 33 | 中华白海豚考察实录 | 黄祥麟 |
| 38 | “龙兵”过境黄渤海 | 李永涛 |
| 40 | 南海鲸类救助 | 林明利 李松海 |
| 44 | 共创人—海共生新共识 | 杨松颖 |
| 46 | 国家海洋博物馆 | 黄克力 等 |
| | 资源利用 | |
| 48 | 海洋药物研发 | 杨帆 |
| 52 | 挖掘深海新酶基因资源 | 马富强 |
| 54 | 三十年后的海上城市 | 万波 梁园华 |
| 56 | 未来海底城市遐想 | 江永 |
| 58 | 暗夜海下 30 米 | 张帆 |
| | 科学研究 | |
| 62 | 东印度洋综合科学考察 | 李健 |
| 66 | 印度洋组网观测 | 周峰华 |
| 69 | 印度洋研究的科学意义 | 罗耀 |
| 72 | 透明海洋 | 潘刚 |
| 74 | 海山生命探秘 | 徐奎栋 |
| | 结束语 | |
| 80 | 闯海的勇气 | 向长生 |

封面故事



太平洋法属波利尼西亚 Huahine 岛的自然风光。法国、英国、美国等是老牌的海洋强国，拥有多处海外领土或属国，其海洋保护地面积往往占领海面积的 50% 以上。这些“巨无霸”的海洋保护地在全球海洋面积中占有一席之地，其中前 20 强总和约占 64%。鉴于它们是海洋保护的中坚力量，因此国际社会需要加强合作，以确保这些海洋保护地能发挥应有的价值。图 / ©Shutterstock-Damsea -WWF



发起于 1971 年的联合国教科文组织人与生物圈计划
是关于人与环境关系的全球性科学计划

Bestard 品牌支持
人与生物圈计划在中国的实施与推广

践行生态文明 建设美丽中国

四川松潘白羊保护区 摄影 / 中科万祥蔡延

向海洋专辑 · 走向海洋专辑 · 走向海洋专辑 · 走向



中外海洋保护策略

文 / 李桂菊 图 / 张帆



海洋覆盖了地球表面三分之二以上面积，拥有充满活力的生态系统，也保护了许多珍稀濒危的野生动植物。海洋的价值远不止生物多样性，它对人类的生存也至关重要，调节着全球的气候，产生我们呼吸所需的一半氧气，促进水循环并产生雨水和淡水。但是，随着海洋资源的过度利用和水体污染，这些功能已受到显著影响。例如，约三分之二的鱼类物种被过度捕捞，每年数十万只海洋哺乳动物、海鸟和海龟被捕获，数以千万计的鲨鱼殒命，约一半的珊瑚礁和红树林已经消失。目前，世界各地都在努力采取措施来改善和保护海洋环境，在此我们聚焦主要海洋国家和地区的海洋环境保护情况。

保护策略

美国——完善海洋生态环境现代化治理体系。美国海洋开发起步较早，因此海洋生态环境问题也最早暴露。二战后，美国在开发利用海洋资源的同时，开始关注海洋生态环境问题，重视海洋立法和执法、规划与战略行动计划的制定、管理体制的完善、科学技术的创新、人才培养和全民教育、区域合作等，基本形成了较完备的海洋生态环境现代化治理体系。

从近些年美国海洋科技发展战略规划中可以看出，其特别重视海洋生态环境的保护与治理，包括：生态系统的管理，海岸带和海洋空间的规划，对气候变化及海洋酸化的恢复力及适应性，区域生态系统的保护和恢复，陆地水质保护及可持续性管理，北极状况，海洋、海岸带及大湖区观测、绘图及基础设施建设等。其中针对海洋酸化的主要行动包括：设立相关研究基金，提高与海洋酸化有关的海岸带和海洋监测，确定海洋酸化对海洋生物资源的影响，开展有关珊瑚礁的研究，将遥感技术和现场观测技术应用于海洋酸化的研究等。

欧洲——注重泛欧海洋生态系统可持续发展。欧洲海洋局主要负责制定和实施该区域海

洋科技发展战略规划。例如，2001年发布的《第四次导航未来》为欧洲海洋研究描绘了蓝图，它阐述了未来的优先研究领域。紧接着又发布了欧盟深海和海底前沿计划、深海研究面临的挑战以及海洋生物技术战略研究及创新路线图等。其中，海洋生态可持续发展是这些战略和规划的主要内容之一。

在整体海洋发展战略中，欧洲关于海洋生态环境领域的关注点包括：从较为宏观的地球系统中海洋变化的角度来讲，重点关注海平面变化、海岸侵蚀、温度和盐度变化、冰融化、风暴频率及强度、变化的海洋层结、温盐环流变化、河道流量与营养负荷、海洋酸化、海洋脱氧及近海低氧、气候变化对海洋富营养化的影响、生物影响。具体来讲，就是要加强探测，以更好地评估气候变化对海洋和沿海地区的影响；人类活动对沿海和海洋生态系统的影响及其管理，通过更加生态有效的技术，更好地理解并减少这些活动的累积影响；生态系统的资源管理和空间规划方法；海洋生物多样性和生物技术等。

日本——重视可持续发展与参与国际海洋事务。由于四面环海，日本特别重视向海洋的扩展。基本的海洋开发战略行动表现在两个方面：一是重视海洋可持续开发利用；二是积极参与国际海洋事务，并以此为基础构建综合性的海洋政策体系。因此，日本在发展海洋经济时坚持实施可持续发展战略，重视海洋科技开发，加大海洋科技经费投入，同时推进海洋环境保护，开展并发展海洋经济的国际合作与交流，形成了以沿海旅游业、港口及海运业、海洋渔业、海洋油气业为支柱的海洋产业布局。在具体推进过程中，形成了包含科技、教育、环保、公共服务等不同层次的支撑体系，为海洋经济发展提供保障。

日本在海洋环境保护方面注重维持生物多样性，降低环境污染负荷，调查研究全球变暖

与气候变化预测及应对。在海岸带综合管理方面，注重推进具有地域特点的陆域和海域一体化综合管理，加强与陆地一体的海岸带管理、封闭海域的海岸带管理以及海岸带利用调整等。

澳大利亚 —— 保护海洋生物多样性和生态系统健康。澳大利亚每年有 570 多亿澳元的经济收入来自海洋，到 2025 年，这一数值预计将上升到 1400 多亿澳元。当前，气候变化对海洋及海岸生态系统和人类居住地产生的威胁愈演愈烈，如海洋酸化、日益频繁的极端事件、海平面上升（影响沿海和海洋基础设施）和海温升高（在热带北部地区尤甚）。在此情况下，澳大利亚海洋科学面临的六大挑战包括国家主权、环境安全和自然灾害、能源安全、粮食安全、生物多样性保护和生态系统健康、应对气候变化和资源的优化配置。

未来 10 年，澳大利亚在海洋生态系统领域的研究重点包括：揭示国家热带海洋生态系统的生物多样性及其连通性；预测生态系统对扰动的响应；理解多重压力对珊瑚礁生态系统的累积影响；提高环境风险评估能力；开发决策工具，有效和公平地对资源进行配置；为海洋监测和管理研发先进的工具和技术；了解濒危和受胁物种的动态及其脆弱性。

加拿大 —— 健全海洋环境治理法律体系。加拿大拥有世界上最长的海岸线，达 24 万公里，占世界各国海岸线总长约 25%。随着工业化发展及沿海地区经济水平的提升，加拿大近海部分海域也面临着海洋环境污染、生境与生态系统发生改变和破坏的威胁。根据世界自然基金会的《加拿大生命星球报告》，在加拿大的三个沿海地区，所监测的海洋鱼类、鸟类、兽类和爬行类种群在 1970~2014 年平均减少了 9% 左右。在该国大西洋海域，鳕、鲑、鲈、鳕、金枪鱼等种群比同期下降了 38% 左右。为此，加拿大建立了以海洋环境治理法律为基础、以海洋执法为手段、以预防性和可持续发展为原

则的海洋生态安全治理模式，有效推动了具有国家特色的海洋生态安全模式的发展。

加拿大有着健全的海洋环境治理法律体系，19 世纪中叶就颁布了《渔业法》和《沿海渔业保护法》，到 1988 年又颁布了《环境保护法》。1996 年，加拿大颁布和实施了世界上第一部综合性海洋法律《海洋法》。从 2002 年开始，该国先后制定了一系列海洋可持续发展战略，都是由海洋部门组织发起，并由渔业和海洋部、环境部和国家公园管理局等共同组织实施。2016 年，加拿大启动了一项涉及 15 亿加元的国家海洋保护计划，这是该国政府在海洋保护领域有史以来最大的投资，以确保未来海洋更清洁、更健康和更安全。

海洋保护地

“海洋保护地”是在 1962 年的世界国家公园大会上首次提出的概念，但到 20 世纪末才受到较广泛关注，尤其是近 20 年来海洋保护地的建设在世界范围内日渐兴起。1970 年，全球有 27 个国家建立了 118 个海洋保护地，到 2017 年全球已建有 1.5 万个，面积超过 1850 万平方公里，占全球海洋总面积约 5.1%。2018 年，全球海洋保护地面积已增加到 7%，各国领海内海洋保护地的面积也增至 16.8% 左右。

美国 —— 国家海洋保护地体系包括自然遗产、文化遗产和可持续生产。

美国于 2009 年建立了国家海洋保护地体系，以统一协调和管理海洋保护地计划，解决常见的管理问题，并找出生态系统差距，保护重要自然和文化资源，以供国家有关部门采取行动。截至 2013 年 8 月，该体系包含 437 个位点，占地面积约 49 万平方公里，覆盖了美国约 4% 的专属经济区。在国家海洋保护地体系总面积中，约 77% 未被占用，主要是 Papahānaumokuākea 这一受严格保护的大型海洋保护地的建立所致。

全球海洋保护地速览

地球70%以上的表面由海洋占据。海洋有着高度多样的生态系统，它不仅提供了多种生态系统服务，同时还支撑着人类文明与生物多样性。

海洋保护地增长情况

2000年，海洋保护地面积约200万平方公里，占海洋表面积约0.7%。

当前，增加了10倍以上，约2800万平方公里，占海洋表面积约7.8%，数量约1.7万个。

这种增长来源于：

原有保护地面积扩展

如美国的帕帕哈瑙莫夸基亚国家级海洋保护区，其面积增量超过150万平方公里。

新开辟保护地

如皮特凯恩群岛海洋保护区，其面积超过80万平方公里，以及库克群岛海洋公园，面积为198万平方公里。

2000年至2009年，海洋保护地的数量和面积增长相对缓慢。2010年至今，海洋保护地面积迅速增长超过1400万平方公里。



领海内的海洋保护地

各国领海总面积占全球海洋表面积约39%，其中约18%的水域被划定为保护地。在占全球海洋表面积约61%的公海中，仅约1%是保护地。

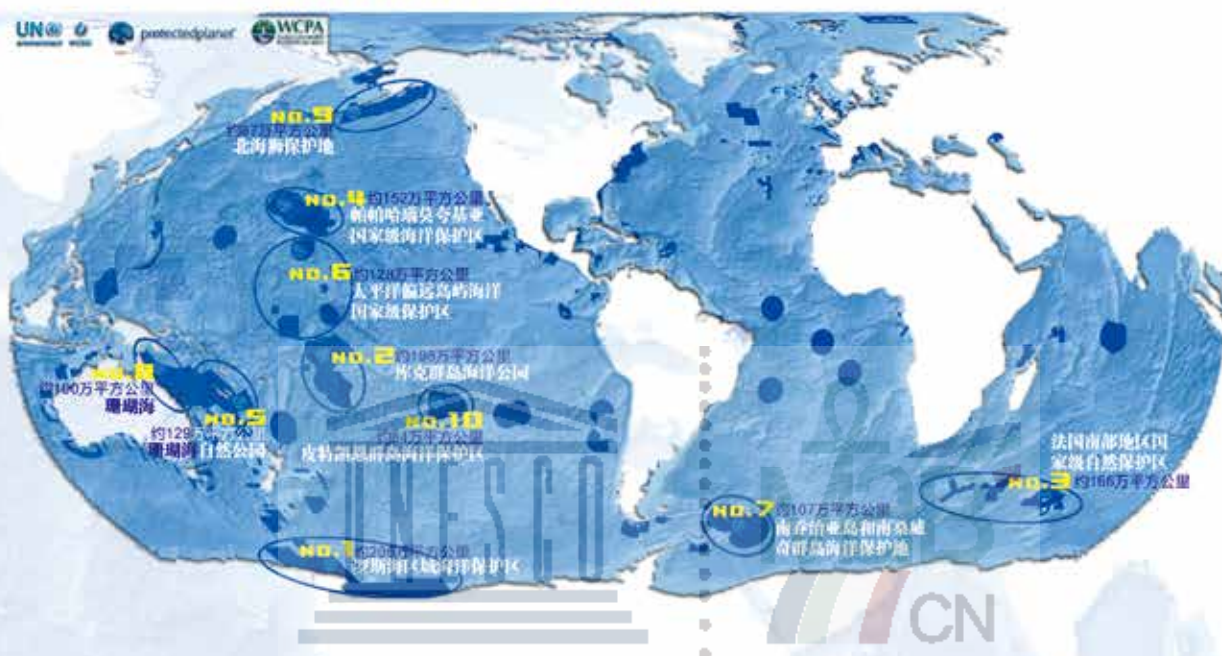
一些国家的海外领土或属国拥有大片领海。对于美国等国，海外领土或属国都被保护地包围。其他诸如南太平洋上的库克群岛，整个领海都被保护。当前海洋保护地面积大部分的增量都由这些海外领土或属国“巨无霸”海洋保护地的扩展或建立所致（新建立者面积一般超过10万平方公里）。2018年，美国、法国、英国的海外领土或属国海洋保护地面积占其领海表面面积的50%以上，而澳大利亚、库克群岛、新西兰和墨西哥在此方面约30%。

母国	海外领土或属国数量	母国、海外领土或属国海洋保护地面积	领海受保护比例	海外领土或属国海域受保护比例
美国	6个	约1215万平方公里	41%	44%
澳大利亚	4个	约908万平方公里	41%	16%
英国	15个	约677万平方公里	29%	60%
法国	12个	约972万平方公里	49%	24%
新西兰	1个	约443万平方公里	30%	0.01%
丹麦	2个	约263万平方公里	18%	4%
挪威	2个	约245万平方公里	0.84%	5%
荷兰	4个	约15万平方公里	27%	3%

大型海洋保护地面积分布

一些国家海外领土或国每个“巨无霸”海洋保护地都在全球海洋表面积中占有一席之地，其中前20强的总和约占64%。这些保护地是海洋保护的中坚力量，国际社会需要加强合作，以确保这些海洋保护地能发挥应有的价值。

全球表面积占前十的海洋保护地



全球海洋国家涉海省份海洋保护地情况

虽然全球海洋国家涉海省份海洋保护地总体发展趋势积极，现有海洋保护地空白区的存在或代表性的不足，都将削弱其保护效果。



美国国家海洋保护地体系主要包括：

自然遗产，即生物群落、栖息地、生态系统和过程，以及生态系统提供的服务，数量约占 83%。优先保护目标有：繁殖场和育苗场；生物生境；物种和（或）栖息地多样性丰富的地区；具有生态重要性的地质特征和持久 / 重复的海洋学特征；受威胁和濒危物种的关键栖息地；独特或稀有物种、栖息地和相关群落；迁徙物种所在地区；对生活史有重要意义的连通区域；提供可兼容的教育和研究机会的区域。

文化遗产，即能够反映国家海上历史、与海洋传统文化有联系、能够提供用途和价值的文化资源，数量约占 14%。优先保护目标有：国家历史古迹名录中列出的文化和历史资源；符合国家历史古迹名录资格或被州政府登记的文化和历史资源；对文化的身份和（或）生存至关重要的文化遗址；可能受到威胁的文化和历史遗址；可用于遗产旅游的文化和历史古迹；具有代表性的文化和历史遗迹。

可持续生产，即可再生生物资源及其栖息地，包括但不限于交配场、产卵场和育幼场，以及为尽量减少物种遭误捕而建立的区域，以及它们提供的社会、文化和经济价值及服务，数量约占 3%。优先保护目标：繁殖区，包括幼体种源地和育幼场；维持或恢复高度优先渔场的地区；重要的可采物种保持自然年龄 / 性别结构的觅食场；减轻受误捕影响的区域；提供可兼容的教育和研究机会的区域。

上述 21 个优先保护目标由国家海洋保护地体系的 437 个位点实现，约 89% 满足至少一项自然遗产优先保护目标，约 36% 至少达到一项文化遗产优先保护目标，约 63% 至少满足一项可持续生产优先保护目标。

欧洲 —— 《鸟类指令》、《栖息地指令》及欧洲生态网络。

欧洲区域海洋面积比陆地面积广大。2016

年，海洋保护地覆盖了大北海地区约 27% 面积，为本区域比例最高。相比之下，2012~2016 年唯一被指定的爱琴海 - 黎凡特海是海洋保护地覆盖率最低的地区，仅 3% 左右。到 2016 年底，欧洲约 11% 的海洋面积被指定为海洋保护地。在了解欧洲海洋保护地前，我们要明确几个关键的指令，包括《鸟类指令》《栖息地指令》以及“连贯的欧洲生态网络”（Natura 2000）。该网络包含：特别养护区指定用于实施《栖息地指令》，特殊保护区指定用于实施《鸟类指令》。2006 年，欧盟启动《生物多样性行动计划》，2011 年又启动了《生物多样性战略》，目标之一是全面实施《鸟类指令》和《栖息地指令》，包括在海洋环境中实现 Natura 2000。

澳大利亚 —— 大堡礁生态系统保护计划。

大堡礁是世界上最壮观的珊瑚礁群之一，长达 2300 多公里。近年来，大堡礁一直承受着气候变化等带来的生态压力，为此，联邦政府和昆士兰州政府于 2015 年联合公布了《大堡礁 2050 长期可持续计划》，包含生态系统的健康、生态多样性、遗产、水质、社区益处、经济益处、治理。同时，由联邦和地方两级政府以信托基金方式提供资金支持，并通过沿海湿地保护计划、水质保护计划、恢复和适应计划等落实行动以达成生态恢复和保护目的。

加拿大 —— 三大核心计划即海洋保护区、海洋野生动物保护区和国家海洋保育区。

加拿大十分重视海洋保护区的建设与发展，早在 1911 年，英属哥伦比亚省就建立了加拿大的第一个地方性海洋保护地 —— 斯特克纳省立公园。1923 年，第一个联邦级海洋保护地 —— 维多利亚港候鸟禁猎区成立。1955 年，该国建立了第一个真正意义上的海洋保护地 —— 马奎纳海洋公园，标志着加拿大海洋保护地建设新时代的开始。1986 年，加拿大联邦公园管理局批准了《国家海洋公园政策》，1994 年修订为《国家海洋保护区政策》，并于 2002 年正式颁布《国家海洋保护区法》，以保护海洋生物及其栖息地。

海洋保护地建设由联邦政府和地方政府共同负责。其中，联邦政府一般负责候鸟、海洋生物和大多数溯河洄游性鱼类以及低潮线以下领海与专属经济区海域的生境保护。联邦公园管理局将国家三大沿海及大湖地区划分为 29 个“海洋区”，建立了具有代表性的国家海洋保护地网络。目前，该管理局已完成安大略省佐治亚湾五寻国家海洋公园和魁北克省圣劳伦斯海洋公园的建设，并与英属哥伦比亚省签署了共同建设哈纳斯国家海洋保护区的协议。

目前，加拿大联邦海洋保护地网络由三大核心计划组成：依据《海洋法》建立的海洋保护区，主要保护重要的鱼类与海洋哺乳动物的栖息地、濒危海洋物种、生物多样性热点区；海洋野生动物保护区，重点保护多种野生动物，包括迁徙鸟类与濒危物种；国家海洋保育区，主要保护海洋自然与文化遗产。除了上述核心保护地外，具有海洋成分的候鸟禁猎区、国家野生动物保护区和国家公园也是联邦海洋保护地网络的重要内容。2019 年 4 月，加拿大政府宣布禁止在海洋保护地中开展任何涉及石油和天然气的活动，禁止采矿、倾倒泥石和底拖网捕鱼。联邦政府已承诺到 2020 年将海洋和沿海环境的保护面积提高到 10%。

我国的海洋生态环境保护策略

近年来，随着海洋资源开发力度的加大和沿海地区城市化进程的加快，我国海洋生态环境问题日益凸显。为此，我国政府逐渐调整战略方针，由大力发展海洋经济转变为注重海洋生态文明建设，采取了一系列措施治理海洋污染、修复海洋生态系统、保护生物多样性、处理相关突发事件等。目前，海洋生态治理初见成效，海洋生态环境状况有所好转。

我国海洋保护地主要有海洋自然保护区和海洋特别保护区（包含海洋公园）两种类型。《中华人民共和国海洋环境保护法》已明确了这两种保护地相应的法律地位和设立条件。海洋自

然保护区侧重于保护对象的珍稀性、自然性和原始性，以自然保护为重点，主要分为海洋生物物种、海洋和海岸生态系统、海洋自然遗迹和非生物资源等 3 种类型。海洋特别保护区以海洋资源的合理开发和持续利用为主旨，保护与开发并重，主要分为海洋公园、海洋生态保护区、海洋资源保护区和海洋特殊地理条件保护区等 4 种类型。

为加强管理，1995 年原国家海洋局印发了《海洋自然保护区管理办法》，并相继颁布了《海洋自然保护区管理技术规范》《海洋自然保护区类型及级别划分原则》《海洋自然保护区管理技术规范》《海洋特别保护区选划论证技术导则》等国家标准，以及《海洋特别保护区功能分区和总体规划编制技术导则》《海洋特别保护区分类分级标准》等行业标准。此外，针对国家级海洋保护地的管理，制定了《国家级海洋保护区规范化管理和建设指南》和《国家级海洋保护区监督检查办法（试行）》等，形成了相对完善的管理规章标准制度体系。

截至 2018 年年底，我国已经建立各类海洋保护地 271 处，总面积达 12.4 万平方公里，占国家管辖海域面积约 4.1%，基本覆盖沿海 11 个省级行政单位，初步形成了以海洋生物多样性保护为主线、海洋自然保护区和海洋特别保护区相结合的网络体系。

从我国海洋生态环境保护现状看，虽然已建成各类海洋保护地 300 多处，但保护面积与其他主要海洋国家相比还处于较低水平。此外，在海洋生态环境保护方面还存在很多挑战，包括保护与发展的矛盾、功能分区的不合理、保护对象的单一、保护成效不彰等，都制约了海洋生态环境保护功能的发挥，还需进一步从治理体系和治理能力等方面加以完善。

本文作者系中国科学院武汉文献情报中心研究人员



中国与公海保护地建设

文 / 陈冀俚

近 10 年来，海洋保护迅速成为全球环境治理的热点议题。作为一种综合性的管理工具，海洋保护地也受到了广泛的重视，其应用在世界各地也有很大的发展。根据世界自然保护联

盟（IUCN）最新统计资料，海洋保护地面积占海洋总面积的比例依然远远低于陆地，但是国家管辖内海域的保护比例又高于陆地，公海保护地的面积只占公海总面积的 1.2%。

中国在公海保护地领域至少可有以下作为：通过国内讨论和国际交流，建立自己的全球海洋保护愿景，并以此为基础制定自己的全球海洋战略；通过制度改革，鼓励和支持更多研究大型海洋生态系统的科学团队参与政策制定过程，借其力量建立更加精细的成本与效益核算体系，使谈判工作得到更多的科学支持；在谈判中走循序渐进、边做边学的路径，并结合预警方法，为大型公海保护地的设立、应对科学上的不确定性匹配灵活的管理策略；以更加积极的姿态开展国际科学合作，实现数据共享，建立政治互信。

因为发展阶段等各种原因，中国在历史上的几次国际海洋法编纂进程中没能实质性地参与。《国家管辖范围以外海域生物多样性养护与可持续利用》法律文书的谈判正好赶上中国在海洋领域跨越式发展的时机，国家第一次至少在硬实力上已有所准备。作为全球环境治理的新兴力量，中国已在相关的多边进程中发挥了关键的作用，特别是在气候变化领域，中国的领导力已获得了广泛认可。但是在公海保护地（尤其是大型者）建设讨论方面，中国扮演的角色是“一个谨慎的质疑者”，很少对保护地提案提出具体修改建议。

南极罗斯海保护地的谈判就是典型例子，中国在其中反映出的关切也与其在《国家管辖范围以外海域生物多样性养护与可持续利用》谈判中对区划管理工具的几项疑虑一致，这些疑虑包括：保护与利用的平衡，即担心限制利用将影响发展中国家的发展权益；科学依据是否充分，或者说基线数据量与保护地具体规划之间存在什么关系，这就涉及“预警原则”的应用；管理和科研计划是否合理可行，毕竟公海保护地位置偏远且面积广大，如何有效落实管理和监测，并确保有足够的科研工作可以支持未来的决策确实是一个巨大的挑战；保护地的设立应该有一定的时间限制。实际上，学界和政界都已充分讨论了这些问题，中国的态度之所以比较疑虑，可能主要还是因为该议题存

在一定的不确定性，决策者很难精确计算自己的成本和收益，因此会采取比较保守的态度。

21 世纪 30 年代，中国将加速迈向生态文明和海洋强国之路。它将如何在海洋保护的舞台上践行生态文明理念，通过具体的措施建议阐释人类命运共同体和海洋共同体的理念也备受瞩目与期待。在目前全球环境治理体系中，有三条主线进程在努力回应公海保护地建设这一问题，即《全球可持续发展目标》《生物多样性公约》《国家管辖范围以外海域生物多样性养护与可持续利用》。中国在此三大进程中的参与度，将直接影响下一个 10 年全球海洋保护的路径。

公海在全球公共领域的特殊性，导致只有少数国家才有能力实质性地参与相关决策，而该过程又以“代表全人类”的名义一以贯之，因此道义因素在此类公共领域主流话语权中的重要性更加突出。所以，在参与中如何妥善平衡国家利益与全人类的利益、短期利益与长期利益显得特别重要。作为后来者，中国建立自己话语权的途径可能首先是：在承认海洋保护这一主流话语的合理性前提下，在己方立场和表达中通过技术性手段融入本国的理念和利益，在经历一段时间的参与和学习后，适时尝试设置己方所关心的议程，引导制度的演进。

本文作者系创绿研究院研究人员



用保护区挽救海洋生物多样性

文、图 / 邵广昭

划设海洋保护区并落实管理，是挽救渔业资源枯竭及海洋生物多样性的最简单、最有效、最经济的方法。为了积极推动全球海洋保护区的建立，历次生物多样性公约缔约方会议、地球峰会、国际海洋保护区大会等重要国际会议纷纷根据专家的建议，研订了不同的规划目标及策略；到 2020 年，全球海洋应有 10% 的水域被纳入海洋保护区的范围。“海洋保护区在

各国所规划面积的比例”也在 2010 年被纳入《爱知目标》11 及 2015 年《联合国可持续发展目标》中，用来评估海洋保护工作的成效。目前相关各国家和地区均在努力推动，除增设海洋保护区的数量及面积外，还扩及公海及大洋、海底山、热泉、冷泉等各种不同生态系统，建立海洋保护区网络，扩大核心区（完全禁渔区或海洋保留区）在海洋保护区中所占的比例。迄今全球



台湾垦丁景观

海洋保护区的面积在各国专属经济海域所占的比例平均已达 15.9%。如将公海计入，已达 6.5%，预计到 2020 年将能达到 10% 的目标，到 2030 年预计要提高到 30%。

海洋保护区划设后更需要有效地管理。世界自然保护联盟（IUCN）关于海洋保护区的定义是：“在海岸或海洋中所有的动植物及其历

史与文化，借由法律或有效的管理来加以保护的地区。”换言之，应是需要有“法律”或“有效管理”。所谓的“法律”当然是民众要守法，如人人都守法就不需要靠管理去取缔非法，但如果人民不守法，就非靠“有效管理”不可。

海洋保护区迫切需要专门机构整合及推动。为了方便管理及满足不同的需求，全球对海洋保护区也做分区设计，从“禁止进入”“禁止采捕”“缓冲区”，到最宽松的“永续利用区”或“多功能使用区”，但都必须有一定比例的“完全禁渔区”。然而，全球海洋保护区的面积比虽已增加到 6.35%，但其中只有 1.89% 是完全禁渔区。反观台湾，即使最近才划设的“桃园观新藻礁野生动物重要栖息环境”的“核心区”都还允许传统的渔法作业；即使“中华白海豚野生动物重要栖息地”正式公告，也只能限制开发方案或栖息地破坏，对以捕食鱼类为生的中华白海豚却没有什么新的限渔措施；澎湖南方四岛中真正完全禁渔的比例不到 1%。换言之，在海洋保护区的定义或在计算面积比例大小方面去做争论已没有什么意义。未来只希望过去已划设的海洋保护区能够真正实行有效的管理，同时希望能划设更多真正完全禁渔的海域，这样才能真正发挥海洋保护区的功效。

各种海洋生态系统均需划设海洋保护区。各种不同的海洋栖息地均需有海洋保护区，才能保护不同栖息地中的所有物种。海洋保护区不局限于珊瑚礁生态系统，当然珊瑚礁是最适合发展潜水观光、生态旅游的海洋生态系统，但水质清澈的红树林、海草床、潟湖、藻礁、虫礁也有发展潜水旅游的潜力。在全球范围内，占海洋面积最大的沙泥底质或软底质海域的沿近海或专属经济区，以及占全球海洋面积 50% 以上的公海，虽不适合潜水旅游，但也都有许多独特的海洋生物，特别是大洋、深海（含热泉、冷泉、海山、深海珊瑚及蓝洞等未知生态系统）



停泊在台湾宜兰苏澳镇南方澳渔港的棒受网渔船。在台湾的沿海或近海，表层和中层具有洄游性及趋光性的鱼类资源丰富，渔民早就发展出以强力光源诱集并捞捕的作业方法，其中一种是“焚寄网”渔法。早期它以三艘船组成三角形船队共同作业，一艘是点燃多束火把吸引鱼群靠拢的“火船”，另两艘是在后两侧拖着渔网围捕的“罟船”。为节省人力物力成本，现代渔民将其改为单船作业，在船上挂满集鱼灯并张开网，称为“棒受网”渔法。在人类的聪明才智下，渔业捕捞工具与方法日新月异，渔获物的种类及数量也愈来愈多，这种毫无节制的行为使得海洋资源日渐匮乏。海洋保护区则如风暴中的宁静眼，是延续海洋生命的宝库，也是渔业可持续发展的源泉，值得推动与珍惜。
文、图 / 赖鹏智

的栖息地，都需要根据“预防原则”，在还没有惨遭人类破坏之前规划为海洋保护区加以严格保护。

海洋保护区须连成网络。将海洋保护区连成网络是另一项重要工作。主要是因为大多数海洋物种的卵及幼体具有漂浮性，且终其一生会漂流、扩散及洄游、播迁，所历经的距离及时间长短不同，也会经历各种不同的海洋生态系统或栖息地。当一处海洋保护区内的物种可能因某种自然或人为的灾害而急速灭绝时，仍有可能由来自邻近海洋保护区的族群获得补充。

关注公海保护区带来的影响。地球上 71% 的面积是海洋，其中 64% 是公海，故公海占地球面积的 45%，但全球公海保护区面积却不到 1%。其中 40% 的海域均已过度捕捞，大洋性的洄游鱼类因属跨域洄游，没有政治或地域性的疆界，因此公海的保育任务特别急迫却又十分棘手。过去十年来，IUCN 的《全球海洋与极地计划》一直在努力，就已有的国际公约及组织架构为基础保育公海生物的特性，如抑制破坏性的公海底拖网，建立“生态及生物显著的海区”的评选方法，找出最需要被保护的区域，并努力推动公海保护区的“希望之点”，如马尾藻海及 Costa Rica Dome 等。这方面的推动目前

笔者建议：一、增加海洋保护区的经费，充实相关人力物力，或建立全民检举机制等。二、做好陆地的保育及海岸整合管理。破坏渔业资源或海洋生物多样性的原因有很多，包括过度捕鱼、栖息地破坏、污染、外来物种入侵及气候变迁。管理有效的海洋保护区只能防止过渔及栖息地破坏，却阻止不了污染、外来物种入侵（压舱水、附着生物、浅海养殖的外来鱼种）及海洋噪音（船舶、震测、爆破、声呐、施工）等可能带来的伤害。三、加强海洋保育的教育倡导，包括推广海鲜指南，改变不当的海鲜文化；让大家都认识到海洋生物除了食用之外，还能在科学研究、生态旅游、仿生学、生计产业、生物质能源等方面创造更大的商机与财富。若民众均能守法，不侵入海洋保护区去捕捞，则也无从或无须再去取缔。

已取得进展，如联合国呼吁要控制公海底拖网，生物多样性公约的专家研讨会指定了7处位于东北大西洋公海的“具有重要生态或生物学意义的海洋区域”，以及南大洋一处应优先划为海洋保护区的区域。IUCN也在研拟一份海洋法的落实协议，通过国际保育组织来推动。

建立和公开海洋保护区数据库并实现全球接轨。许多国家和地区都有自己的海洋保护区系统、数据库及专属网站，公开所有资料，并定期出版国家或地区报告。如美国海洋与大气管理局网站可透过地理信息系统查询所有美国海洋保护区的地点、经营管理方式甚至生物监测资料等；《国家地理》杂志的海洋网站也汇总收录了全球各国海洋保护区的数目及所占领海面积的百分比。希望未来海洋保育的业务得到行政部门的重视。

海洋保护区未来努力方向：

第一，积极推动海洋保护区的划设，特别是完全禁渔区。涵盖不同的生态系统并连成网络，实现有效管理。还要包括其他类型的海洋

栖息地，如深海热泉、冷泉、海底山等多样性高或具特殊生物的热点区域。

第二，加强海洋生物多样性的调查研究、长期监测、数据库的整合开放。

第三，完成海洋保护区策略或行动计划，明确各海洋保护区管理及取缔的权责单位，充实人力物力，以及推动建立社区管理及全民检举的机制等。密切关注海洋生物多样性保育的全球动向，并配合相关各项内容及绩效指标（过度捕捞、栖息地破坏、污染、外来物种入侵）持续努力。

第四，有关管理及科研机构应积极健全、检讨、修订现有海洋生物多样性保护的规定，尽速研拟并通过有关海岸及海洋等新规定，推动海洋功能区划或海洋空间规划；加强海洋保护区的规划与管理。

本文作者系台湾海洋大学海洋生物研究所荣誉讲座教授
本文改编自作者《海洋保护区——台湾的现状与挑战》

原文刊载于《环境资讯电子报》（2020.3.13）



让大海成为优良的实验室

——南麂列岛探索人—海和谐之路

文 / 蔡厚才

我大学专业是海洋捕捞，毕业之后曾留校工作十多年，主要研究鱼类的行为。1990年9月，位于浙江温州的南麂列岛成为首批国家级海洋自然保护区，由于急需科研人员，我于1993年4月调到了阔别多年的家乡温州平阳县，踏上南麂列岛这块熟悉又陌生的土地。一路走来，每一步都与大海和渔民结下了不解之缘。

是捕捞还是保护

我的研究领域从海洋捕捞、鱼类行为、海水养殖，再到海洋自然保护，这与陆地上从狩猎到放牧、圈养，最后回归自然倒是殊途同归，只是时光在海上似乎慢了好几拍。初来保护区时我大部分时间都在岛上，经常深入渔村基层一线，与渔民同吃住、共干活，详细了解他们的实际需求并努力排忧解难，从此结下了深厚的友谊，岛上的渔民都习惯称呼我为“蔡老师”，经常要求我传授海洋和鱼类的知识，我也从他们身上学到了许多宝贵的经验，并了解到岛上发生的各种陈年旧事。

保护区刚刚建立时，岛上的渔民与他们的祖祖辈辈一样，主要依靠捕鱼维持生计。那时

候用得最多的是定置张网，这是一种对渔业资源破坏十分严重的渔具，它的网目特别细密，后面的集鱼网囊的网目只有针眼那么大，网具成排用桩固定在海中，像一堵墙，一些游泳能力差的小鱼小虾以及各种幼仔鱼在潮流的冲击下，很容易就被挤压到网内成为牺牲品。这些渔获物品质很差，渔民们从中挑选出少量有价值的鱼虾蟹类出售给贩子，其余大量的小杂鱼就倒在山坡上晒成鱼粉，只能用作鸡鸭饲料。虽然渔民们也知道这种破坏性，但由于没有可替代的生计方式，只能年复一年地做着这种不得已的事。在渔业资源比较丰富的年代，由于渔民数量有限，这种生产方式尚可勉强存在，但如今近海生态环境恶化，渔业资源严重衰退，国家已明确规定禁渔期和禁渔区，保护区内早就应该取缔这种作业方式了。

南麂列岛渔民还有另一绝活“打岩头”。当地潮间带岩礁上生长着丰富的贝藻类，潮水退后就会显露出来，特别是农历初一、十五大潮前后，潮水会退得很低，露出大片的岩礁海滩，各种有经济价值的海洋生物都会现出真容，所以那段时间渔民最为忙碌，整天潮落而出潮涨



南麂列岛世界生物圈保护区辅助社区开展的深水网箱养殖。摄影 / 陈亮

而归，徒手采集，总是收获满满。对保护区而言，潮间带恰恰也是生态保护的主要地带，这样就很容易产生保护与发展的矛盾冲突。

生物圈理念来助力

为了加强潮间带的管理，兼顾生态保护和当地生产的平衡发展，保护区在依法对核心区和缓冲区进行严格保护的同时，还出台了实验区潮间带管理办法等制度，与当地社区和渔民合作，建立了共抓共管、群防群护的管护体制，让社区居民直接参与到保护区管理中。对核心区和缓冲区之外的潮间带经济型贝藻类，通过实行承包管理的方式，开展分段交替保护与采集，即一部分潮间带进行封礁保护，另一部分则允许采捕达到标准大小的贝藻类，隔年轮换，并规定在贝藻类繁殖季节停止采集，让各种生物有休养和繁育的机会，确保资源可持续利用。

1998 年南麂列岛成为世界生物圈保护区后，大家的保护理念明显转变，认可核心区、缓冲区和过渡区三级保护管理的理念，积极开展保护和发展相协调的实验，努力实现生物圈保护区“保护、发展和后勤支持”三大基本功能，

有意识地引导社区居民发展一些绿色的、可持续的、对资源依赖性较小的产业，改善其生产生活条件并能分享生态保护带来的红利。目前，通过发展海水养殖和旅游等产业，南麂列岛的经济结构已逐步从效益低的捕捞业向效益高的养殖业和旅游服务业转变，较理想地实现了保护与发展相协调的目标。

为了让科研工作为社区发展提供更好的指引，我们在与渔民的合作和服务中找准了研究方向，让大海成为最好的实验室，渔民也成了最好的科研伙伴。海岛渔民的生计要依托海产品，而从保护海洋生态平衡和维护生物多样性的角度，又要限制其过度捕捞行为，如何取得平衡？如果能够引导渔民从捕捞转向生态养殖，这也许是一个两全之策。我们把目光投向了当时国内刚刚兴起的深水网箱养鱼技术，并引进了当地第一组深水网箱。

大黄鱼产业的复兴

大黄鱼是南麂海域的特产，在市场上早已小有名气。由于长期的过度捕捞和环境破坏，野生大黄鱼已难觅踪影，尤其是 20 世纪 70 年

代针对石首鱼类的敲罟技术的出现，几乎给大黄鱼造成了灭顶之灾。科学研究发现，大黄鱼等石首鱼科种类在头部内耳中有几块耳石，对声音很敏感，尤其受不了次声波的冲击。利用这一习性，渔民用黄檀木敲击船梆发出沉闷的响声，使鱼受惊浮出水面而被捕。当时，市场上大黄鱼被贱卖，经历了瞬间的繁华后则是永久的沉寂，而在南麂海域存在千万年的大黄鱼汛，我们只能从老渔民的口述中模糊感受到昔日的景象。

为引导渔民走向生态养殖之路，我们指导开展了大黄鱼大围网和深水网箱养殖实践，并结合当地实际制订了一套大黄鱼养殖方案和技术标准，尝试通过增大网箱空间、减少人工投饵、不同海区交替养殖等手段，提高鱼肉品质，并避开台风等自然灾害的影响。在我们的帮助下，当地渔民收入大增，更可喜的是，这大大减少了破坏性捕捞对海洋生态造成的影响。

如今，南麂大黄鱼产业已形成规模，拥有大型浅海围网4个，深水网箱161个，年产值2.2亿元，开设经销门店50多家，供销网络遍布全国，成了生态保护和海岛振兴的金名片。现在社区养殖的大黄鱼还被认证为“有机鱼”，知名度越来越大，深受老百姓的欢迎。保护区大力支持企业创建地标性知名品牌，随着南麂列岛知名度的不断提高，这些品牌的作用明显，冠以“南麂”牌匾的海鲜楼、排档、酒店雨后春笋般遍布平阳的大街小巷，甚至发展到温州、杭州和上海等地。

大黄鱼生态养殖并非一帆风顺，孤悬东海的南麂列岛是台风年年光顾之地。2005年，“海棠”“麦莎”“泰利”“卡努”等强台风接连在浙闽沿海登陆，深水网箱在狂风巨浪的不断冲击下严重破损，网箱内的大黄鱼死的死，逃的逃，所剩无几，海面上漂荡着残破的网箱，渔民顿时陷入绝境。客观上讲，渔业养殖是一条良好的出路，既可以减少滥捕现象，保护生态平衡，



收入又很可观。接下来怎么办？我们鼓励渔民们利用残余的设备继续开展养殖，再从政策上争取保险等行业的支持，以此规避台风带来的风险。2013年，南麂列岛成为浙江省首批“渔业互助保险”试点之一。虽然后来也经历多次强台风袭击，但都因为有政策保险而得以恢复。

贝藻养殖与海洋牧场

除了大黄鱼养殖，南麂海域因特殊的地理环境优势已成为贝藻类的故乡，因而也非常适合发展碳汇渔业。保护区鼓励并指导社区居民养殖经济价值高、固碳能力强的贝藻类，如厚壳贻贝、牡蛎、紫菜、羊栖菜等优良品种，在提高效益的同时达到净化海水的目的。为了加强海洋生态环境修复，保护海洋生态和促进海洋生物资源的增殖，保护区投入近亿元资金，重点是铜藻场恢复、海洋牧场（人工鱼礁）建设、水仙物种资源恢复等项目。这些措施使得保护区生物种群数量明显上升，海洋生物资源得到有效恢复。

由于持续的过度捕捞和环境污染，特别是底拖网等杀伤性捕捞方式的高强度作业，沿海



南麂列岛世界生物圈保护区的社区。摄影 / 陈荣闯

的海洋生态平衡遭到严重破坏，导致了海底荒漠化、渔业资源衰退的后果，于是世界各国竞相投放人工鱼礁建设海洋牧场。人工鱼礁是吸引恋礁性鱼类栖息的重要手段，礁体可供它们躲避敌害、筑巢、产卵，鱼礁表面还可附着藻类和贝类，为鱼类提供食物，并间接起到净化水质和防止赤潮发生的作用。

在浙江省，南麂海域最早投放了人工鱼礁。早在 20 世纪 80 年代，当时的农业部就下达了浙南人工鱼礁研究项目，在南麂列岛的上马鞍海区投放了钢筋混凝土制多层翼船型自沉式人工鱼礁 4 座。进入 21 世纪，南麂海域又多次开展了大规模的人工鱼礁投放，改造报废渔船及其他船只，建设砣礁、钢质礁、轮胎礁、贝壳礁、海藻礁等，并增殖放流真鲷、黑鲷、大黄鱼等渔业资源。2016 年，南麂列岛被当时的农业部列为国家级海洋牧场示范区。

近年来，前来南麂列岛的游客人数有所增加，2018 年已超过 10 万人次。我们鼓励并引导社区居民发展渔家乐等休闲产业，培训当地渔民成为导游，让游客在其带领下开展海上垂

钓、采贝、环岛游、观看日出日落等一系列休闲游乐活动，进一步减少对渔业资源的依赖和破坏。生态旅游作为社区渔民的替代生计正显示出巨大的潜力。

探索人 - 海和谐之路

我们保护区以保护为根本，以可持续发展为最终目标，全面加强生态环境保护，做好绿色经济的文章，力争建成人与自然和谐发展的典范。目前，从事传统渔业生产的社区居民比例已经从 90% 降至 60%，即将近三分之一的居民实现了转产转业。鉴于南麂列岛在浙江省乃至全国海洋生态文明建设中具有重要地位，是我国一处重要的海洋生态岛，今后应充分考虑区域生态保护要求和现有产业发展基础，合理利用岛上的生物资源、旅游资源和世界生物圈保护区品牌，重点培育发展海洋生态旅游、海洋科普教育、现代海洋生态渔业等绿色产业，造福社区居民。我们希望，美丽的南麂列岛在不久的将来成为集生物多样性保护、旅游休闲度假、科研监测培训和绿色生产示范于一体的、人与自然和谐共处的生物圈保护区。

本文作者系南麂列岛国家海洋自然保护区管理局原总工程师

保护中国的海岛

文 / 付元宾

完善海岛生态红线管理制度，把那些具有重要价值的海岛纳入生态红线，并加强相关监管，确保处于红线内的海岛不受开发利用活动的影响；加强海岛生态环境监测监管，即充分利用卫星遥感等技术手段，加强海岛自然形态和开发利用状况的巡查，及时发现未经审批开发利用海岛的违法违规行为，为执法监管提供支撑；营造良好的社会氛围，即加强宣传，开展“美丽海岛”评价并定期向社会公布，引导更多人关心海岛，爱护海岛。

我国是世界上海岛较多的国家之一，达 1 万余个，它们就像一条美丽的珠链环绕在我国大陆周围，其中最大的海岛如台湾岛和海南岛的面积都超过 3.5 万平方公里，而最小的则只有几平方米。在我国海岛总数中，57% 处于距大陆 10 公里以内的近岸海域，这也是一般人站在岸边视力可及的范围。

海岛的多重价值

生态价值。由于海岛与大陆隔离，因此容易形成与大陆截然不同且特色鲜明的生态系统或者物种，比如在辽宁大连的蛇岛 - 老铁山世界生物圈保护区，面积不足 1 平方公里的蛇岛上

栖息着 2 万余条全球特有的蛇类——蛇岛蝮。浙江舟山的普陀岛作为佛教圣地而闻名天下，但很少有人知道岛上有一株普陀鹅耳枥，它也是自然界仅存的一株。

海岛还是很多野生动物繁殖和栖息的庇护场所。在辽宁盘锦的鸳鸯岛，每年春季都会迎来 100 余头斑海豹。在全球鸟类迁徙路线中，占据主要地位的东亚 - 澳大利西亚路线贯穿我国东部岛链，形成了为数众多的“鸟岛”。如辽宁庄河的形人坨子是黑脸琵鹭在国内唯一的繁殖地，每年前来光顾的个体维持在 100 只左右，占该物种全球总数的三十分之一。浙江舟山的

截至 2020 年 1 月，中国生物圈保护区网络（CBRN）成员单位已包含 25 家海洋类型保护地，即辽宁蛇岛-老铁山（也是世界生物圈保护区）、成山头海滨地貌、双台河口，河北昌黎黄金海岸，天津古海岸，山东黄河三角洲，江苏盐城（也是世界生物圈保护区）、大丰，上海崇明东滩、九段沙，浙江南麂列岛（也是世界生物圈保护区），广东南澎列岛、惠东海龟、内伶仃岛-福田、珠江口中华白海豚、淇澳-担杆岛、湛江红树林、雷州珍稀海洋生物、徐闻珊瑚礁、雷州乌石，广西山口（也是世界生物圈保护区）、合浦儒艮、北仑河口，海南大洲岛、三亚珊瑚礁。

五峙山列岛则是传说中的“神话之鸟”——中华凤头燕鸥的重要繁殖地。

邻国在海洋划界和海洋权益方面存在争议，也基本都是围绕海岛展开。

海岛是海山露出水面的部分，因此位于水下的岩礁的规模更为广大，它为鱼类觅食、产卵和栖息提供了重要场所。在礁体附近，常形成的上升流为鱼类带来了丰富的饵料，使得我国几乎所有重要渔场都是依托群岛形成。这里当然不得不提最重要的珊瑚礁岛。我国南海是世界珊瑚礁主要分布区之一，面积占全球的 13.5% 左右，它们不但绚丽多姿，而且还是全球初级生产力最高的生态系统之一。

景观价值。海岛把大海的辽阔壮美、山岩的逶迤多姿、潮滩的平远静谧、珊瑚的绚丽多彩完美地结合起来，形成了一幅幅美丽的海上画卷。曹操以“东临碣石，以观沧海”的雄壮诗篇刻画了碣石子然独立、卓尔不群的英姿，郭沫若先生则以“汪洋万顷青於靛，小屿珊瑚列画屏”的隽秀文字描摹出海王九岛巧夺天工、秀色天成的倩影。类似这样的美景其实还有很多，可以说海岛就是美丽海洋画卷上的点睛之笔，也就形成了丰富的旅游资源。

权益价值。这是最为至关重要的方面。我国是一个海洋大国，大陆海岸线长达 1.8 万公里，要在这万里海疆上划出我们的领海就要依据领海基点，而它们绝大多数都位于海岛上。根据联合国《海洋法公约》，一个领海基点海岛最多可以确定 1550 平方公里的领海和 43 万平方公里的专属经济区。多年来，我国和周边海上

如何保护海岛

尽管我国海岛的价值明显，但相关保护不尽人意，违法违规开发利用活动屡见不鲜，海岛生态环境保护面临严峻挑战。最严重的破坏方式莫过于炸岛炸礁、填海连岛和围海圈岛。炸岛炸礁会造成岛体的严重破坏甚至消失，因此对海岛生态环境的影响最为剧烈。历史上，这一行为一度非常猖獗，近年来随着生态环境保护力度的持续加大，它们在很大程度上已被杜绝，但是已留下了很多残破的海岛躯体，有的甚至已被“毁尸灭迹”。填海连岛和围海圈岛都是破坏海岛独立性的开发利用活动，它们使原来独立的海岛成为陆地的一部分，或者成为一汪死水中一个呆板的“盆景”。由于这些开发利用方式比炸岛炸礁更为“温和”，因此也更为普遍，放眼看去，岛已不岛、岛将不岛的情况俯拾皆是。在我国北方的一个县级市拥有的 100 多个海岛中，80% 以上都遭受过上述两种方式的侵害。

究其原因，还是监测体系不健全，监管不到位。“绿水青山就是金山银山”这一提法不但适用于陆地，对海洋保护也有重要启示。在我们看来，海岛就是海上的“青山”。为了加强保护，需要坚持保护优先、自然恢复为主的方针，减少人类活动的影响，让海岛回归“自然”的本义。

本文作者系生态环境部国家海洋环境监测中心
岛屿生态环境保护研究室主任、研究员



伯利兹的海藻养殖。图 / © Randy Olson

牡蛎礁 生态系统的工程师

文 / 大自然保护协会 (TNC) 中国项目

海鲜是全球超过 30 亿人的主要蛋白质来源，占人类饮食中动物蛋白的 16% 左右。目前，全球超过一半的海鲜来自水产养殖，水产养殖业每年产生的经济效益高达 2435 亿美元，已成为全球增长最快的食品生产方式（年增长约 6%）。未来随着全球人口的增长，预计人类对海鲜的需求将翻倍增加，水产养殖业也将持续保持增长，成为未来海鲜供应的重要保障。

水产养殖对环境的影响

除了生产美味的海鲜，水产养殖通常因其对环境的影响而受到人们的关注。过去 50 年来，快速发展的水产养殖业在一定程度上对环境带来了不利影响，如水体污染、生境退化、传染病以及对野生鱼类种群的冲击等。然而越来越

多的研究发现，并不是所有的水产养殖都如此，有时合理经营还能发挥正向的环境效益，例如修复性水产养殖。它是一种能为周围环境提供正向生态效益的水产养殖实践，这些生态效益包括减少水体污染、为其他水生生物提供栖息地、增加野生鱼类资源、减缓气候变化等。

贝类（如牡蛎和贻贝）及海藻（如龙须菜）在一定条件下可以成为修复性水产养殖的主角。一旦我们以正确的方式进行养殖，不仅可以产出美味的海鲜，而且还能促使它们成为河口或海湾天然的水体净化系统，为鱼类和虾蟹类等生物提供栖息地，从而在为人们提供优质海鲜的同时，促进沿海生态环境的改善与恢复。



TNC 在浙江三门县开展的牡蛎礁投放实践
摄影 / 董大正



位于香港后海湾的 TNC 牡蛎礁恢复项目建设现场
图 / ©Kyle Obermann



位于墨西哥湾鹈鹘角的人造牡蛎礁
图 / ©Carlton Ward Jr.



位于美国佐治亚州麦金托什县沿岸的天然牡蛎礁
图 / ©Erika Nortemann/TNC

牡蛎是滤食性动物，主要摄食水体中的浮游植物，同时将悬浮颗粒物等吸入体内。能够消化吸收的营养物质会形成自身组织和牡蛎壳，并将代谢废物以粪便的形式排出体外，而无法被消化吸收者则被裹在黏液里以假粪便的形式排出体外，沉积到水底。这种滤食特性有效地减少了水体中的悬浮颗粒物和浮游植物的含量，使水体变得澄清，水中的溶解氧增加，减少有害藻类爆发的风险，水质得到改善。不同种类的牡蛎滤水能力有所不同，平均来讲，一个健康的成年牡蛎每小时能过滤 4~5 升水，一天足以过滤一个浴缸的水量。在美国的切萨皮克湾，历史上庞大的牡蛎种群仅需 3~6 天即可完成对整个海湾水体的过滤。TNC 与合作伙伴的研究显示，每年每 10 万个养殖牡蛎能够从切萨皮克湾中移除 2.7 公斤的氮磷污染物。

中国是全球牡蛎养殖第一大国，约占世界牡蛎养殖总量的 80%。国内沿海各省基本都分布着大规模的牡蛎养殖区，2017 年全国牡蛎海水养殖面积超过 1300 平方公里。如果经营合理，国内牡蛎养殖所发挥的生态效益不容忽视，将对养殖区周边海域的水质提升产生积极作用。

我们的行动

修复性水产养殖无疑是一个令人振奋的消息。然而，要使得贝类和藻类在养殖过程中发挥显著的生态效益，需要考虑多个与养殖有关的因素，如物种、密度、布局、周围环境等。TNC 正在与养殖社区、政府以及学术机构合作，开展以贝类和藻类为基础的修复性水产养殖项目，以促进沿海生态环境的改善与恢复。

在美国，我们与弗吉尼亚海洋科学研究所、切萨皮克湾的养殖户合作，研究不同牡蛎养殖技术在改善切萨皮克湾水质方面发挥的作用。在墨西哥，我们与渔业社区合作开发可持续的海藻养殖项目，设计的养殖场不仅支持海藻生长，也将为当地重要的渔业资源——幼年龙虾和海螺提供栖息地。

台州市三门县位于浙江东南沿海三门湾畔，是全省海水养殖重点县，下辖的横渡镇铁强村是三门牡蛎的主产区，20 世纪这里曾经有丰富的牡蛎资源。由于各方面的原因，近年来当地的牡蛎栖息地发生了退化，湾区的水质也在逐渐恶化。我们联合三门县政府、中国水产学会和中国水产科学研究院东海水产研究所，为三门策划了以牡蛎养殖为基础的修复性水产方式，包括在滩涂养殖区投放不采收的牡蛎礁，提升浮筏养殖的环保替代材料，研究能够促使牡蛎生态效益最大化的养殖条件和布局。

牡蛎礁的修复

如上述所示，谈到牡蛎就不得不提及牡蛎礁。它是由牡蛎层层叠叠并不断附着在壳上生长形成的礁体。别看牡蛎礁不起眼，其实它们是河口和海湾重要的栖息地类型，默默地提供着各种各样的生态系统服务，例如为海洋生物提供栖身之所、净化水体、保护海岸线等。因此，牡蛎礁也被喻为“生态系统工程师”。

牡蛎礁是当今地球上受破坏最严重的海洋栖息地之一。我们发布的全球报告《濒临消失的贝类礁体》指出，仅仅在过去的两个世纪中，全球牡蛎礁退化了 85% 左右；在它们曾大量分布的北美洲、欧洲以及澳大利亚区域，多数已经消失，造成河口环境恶化及渔业资源退化等影响。牡蛎礁受到的主要威胁因素包括过度捕捞、水质恶化、病害和栖息地退化。

中国温带和亚热带海区的河口与海湾中也曾分布有丰富的牡蛎礁，如天津大神堂（渤海湾）、山东莱州湾、江苏海门小庙洪（蛎岬山）、福建深沪湾等地。由于渔业捕捞、海岸带开发、航运等威胁，我国天然牡蛎礁分布与生存状况严重退化。

牡蛎礁能修复吗？能。过去 20 年间，我们与政府、科研院校以及社区居民合作，在全球范围内开展了 150 多个牡蛎礁修复实践项目。

通过识别适宜的修复区域、设计与投放底质物、补充牡蛎幼苗等措施修复牡蛎礁，以改善水质、恢复渔业资源和防止海岸线侵蚀，增强海岸带对气候变化的适应性。

在美国，2006 年我们与合作企业共同设计了“牡蛎堡”作为牡蛎附着底质物，并成功应用于弗吉尼亚海岸带保护区的牡蛎礁修复实践。截至 2011 年，布设在保护区的牡蛎堡有 3000 个左右。现在，牡蛎堡也被用于马萨诸塞州、南卡罗来纳州和新泽西州的牡蛎礁修复项目。

在澳大利亚，我们与南澳大利亚政府、约克半岛委员会和阿德莱德大学等一道，在圣文森特湾投放石灰岩和本地牡蛎幼苗修复牡蛎礁，以恢复当地几乎已经灭绝的野生牡蛎种群。该修复项目占地 20 公顷，是美国以外最大规模的牡蛎礁修复项目。

在中国浙江三门县和香港，我们与合作伙伴一起，分别利用当地石材和混凝土杆开展了结合牡蛎养殖的牡蛎礁投放实践。这些牡蛎礁既能为周边养殖产业提供稳定的种苗资源，同时还能过滤水体和提供栖息地，增强了环境效益，促进了当地海岸带生物多样性的恢复。

以牡蛎壳修复牡蛎礁

事实上，牡蛎幼苗最喜欢附着的地方是天然的牡蛎壳。来源明确、经过自然紫外线杀菌的牡蛎壳可谓优秀的牡蛎礁修复底质物。在美国新奥尔良市的餐馆里，每年都会消费大量的牡蛎，吃剩的牡蛎壳往往都被遗弃。从 2014 年开始，路易斯安那州海岸线修复联盟在新奥尔良开展了从餐馆回收牡蛎壳的项目，到 2016 年，该项目已收集了超过 5000 吨牡蛎壳，参与的餐馆超过 26 家，是全美最大规模的牡蛎壳回收项目。这些回收的牡蛎壳有力地支持了路易斯安那州多处海岸带的牡蛎礁修复项目。



中华白海豚考察实录

文、图 / 黄祥麟

这是我参与中华白海豚考察工作的第 13 个年头。海上调查并不是什么浪漫的工作。严谨的考察，不是只有拍照和看海豚；所谓的中华白海豚考察，针对的不只是动物本身，还包含它们所生活的海域。除了拍照，还必须测量海洋环境特征。正如我在自己拍摄制作的纪录片《中华白海豚启示录》中所提及的那样：“这些信息可以帮助我们了解中华白海豚倾向于生活在什么样的环境。”通过记录中华白海豚出现的位点，我们可以了解它们的分布和栖息地利用模式，进一步结合环境特征，就可以知道中华白海豚的栖息地格局。

泰国 Donsak 海湾：自由的天堂

在我去过的中华白海豚栖息地之中，泰国南部素叻他尼的 Donsak 海湾是我印象最深刻的地方。与中国香港和台湾的栖息环境不同，这是一个没有遭受围填海和污染影响的世外桃源。

在 Donsak 海边，要想看到中华白海豚，人们不需长途跋涉，只要在往苏美岛的轮渡码头旁的停车场往海里看就是，甚至还能看到伊洛瓦底河豚在捕食。对我们科研工作者来说，站在岸上就可以开展动物的照相识别，即通过拍摄并比对影像，进而确认动物的身份信息，那

是一个非常难得的体验。在苏美岛 Khanom 海边，中华白海豚表现出独特的捕食行为，如将鱼类赶到空中，待后者筋疲力尽时再跳起来，从空中将其吃掉。“这种行为在泰国南部非常普遍。”泰国宋卡王子大学素叻他尼校区的 Suwat Jutapruet 博士说。

与中国许多乡村不一样的是，Donsak 的乡村环境要清洁得多，这也许是泰国普遍的情形。Suwat Jutapruet 博士说：“（在泰国）大多数人普遍有这样的认知，维护家园周围的环境与维持自家的环境是同样重要的。”很多时候我们谈环境保护，谈污染治理，谈垃圾清理，并提出了很多技术和法规，设计了很多课程，写了很多教案，实施了很多活动（如去海边捡垃圾），但我们常常忽略一个基本的问题：我们没有把周围的环境当作自己家里的环境。不妨想想，我们会在自己家里把没喝完的饮料瓶随手乱丢吗，我们会在自己的屋子里烧垃圾吗？对大部分人而言，我想答案是否定的。那么，为什么出了家门，这样的行为就变成“合理”“正常”“没什么大不了”的呢？

“把家周围的环境当做自己家里的环境来维护”，这听起来似乎是在唱高调，但在泰国南部的乡村，我们看到的是具体的实践。泰国南部能够做到，我们难道做不到吗？

香港：人类活动影响力之大

香港是我离开台湾后前往的第一个科研场所。看惯了台湾那些瘦瘦巴巴、黑漆漆的中华白海豚的我，在香港对它们的第一印象是“白白胖胖”。在几次海上考察后，我对它们的第二个印象是：“真好拍”。在台湾西海岸，我们在距动物差不多300米时就要把相机准备好，约100米时就要开始拍照，没办法，海豚就是不让我们靠近。在香港，我们可以在距离它们约50米的地方拍照。另一个和台湾的中华白海豚不同的特征是，香港的个体好像比较“活泼”，

有较多奇特的水面行为，更容易拍到一些精彩的照片。

在中华白海豚研究史上，香港也许不是发端之地，却是最早开始系统性研究这种动物生活史、生态、生境的地方。事实上，香港-珠江口水域的中华白海豚研究地位显赫，已经成为全球范围的信息中心，我们现阶段有关中华白海豚生活史、生活习性、食性的了解，甚至研究方法的建立，基本上都立足于香港从20世纪90年代到现在持续开展的考察研究结果。从2000年起，内地也陆续开展了中华白海豚的考察研究。事实上，就中华白海豚这个物种来说，中国已经是这个物种研究与保护的信息中心。

生活在整个香港-珠江口水域的中华白海豚是目前全球已知最大的种群，约2500只。按照种群生物学及保护生物学的理论，这么大的种群对人类活动和环境威胁应该有一定的抵抗力。但是，我们2012年发表的研究显示，该种群正以每年约2.5%的速率减少，照此趋势，半个世纪后种群量将只有现在的30%左右，损失惊人。

该研究是我关注中华白海豚保护的起点。在此之前，“我只是爱拍照”；之后除了拍照，我更多的时候希望进一步了解“是什么因素让这么大的一个种群呈现下降的趋势？”而另一个从2012年发表的研究中获得的经验是：我们根据考察结果下结论的时候，一定要特别谨慎小心，用“如临深渊、如履薄冰”来形容一点也不为过，特别是有关种群生存力和长期动态这一类会直接影响保护方向、决策、行动、目标等的结论。我们担心的不仅仅是“下错结论”那么简单，而是一旦错误的结论导致错误的保护方向和行动，甚至是忽略了保护的重要程度，最后造成的伤害是难以弥补的。至少，科学谨慎的结论可以避免制订不切实际的保护目标，例如一些地区所谓的“让中华白海豚数量倍增”。

生态环境部《2018年中国海洋生态环境状况公报》显示，当年监测的河口、海湾、滩涂湿地、珊瑚礁、红树林和海草床等海洋生态系统中，处于健康、亚健康和不健康的海洋生态系统分别占23.8%、71.4%和4.8%。

在香港工作获得的另一个经验是，我见证了人类活动是怎样在很短的时间内改变一个栖息环境。也正是在这里，我萌生了拍摄纪录片《中华白海豚启示录》的想法，希望从不同类型和受不同程度人类活动影响的栖息环境的角度，讨论中华白海豚的保护。在拍摄过程及随之开展的研究中，我们看到了很多人类活动，尤其是大型海洋工程和围填海活动对海洋环境、中华白海豚分布与栖息地利用的直接和间接影响。面对此情此景，我最常想到的一个问题是：“这些项目当初是怎么通过的？”

离开香港后，我陆续去了很多地方，包括前面提到的泰国 Donsak 海湾。在和几位台湾的海洋科学家交流时，我常听到的一句话是“离岸风电是现在台湾的政策”，潜台词是：旨在取代核电的离岸风电项目是现在台湾的最高政策，必须不计一切代价让它通过。这句话如果是从政府官员或技术人员口中说出来，那么没有什么可奇怪的，但如果从海洋科学家口中说出来，那就真的让人匪夷所思了。

如果要让我阐述对于台湾在中华白海豚栖息地发展离岸风电的过程中发生的各种光怪陆离事情上的想法，以及阐述我们在大型海洋工程和围填海项目评估过程中可能会犯的错误，《中华白海豚启示录》里一段船上的谈话也许能够说明：“未来 10 年，可能整个海面上会插满风机，我其实很难想象，那会是个什么样的画面……风机是绿色能源，它能减少二氧化碳的排放，能减轻环境变迁的冲击，是目前所知的最有效的手段之一……从我们科研工作者的角度来讲，任何事情没有绝对的善，也没有绝对的恶，当大家都说风机很好的时候，其实我

们要去思考另一个问题：风机的恶是不是被我们忽略了。过去开展围填海时，我们没有考虑它在未来造成的不可恢复的伤害。如果我们在离岸风电上还犯同样的错误，那么过去几十年得到的教训全都白费了”。

广西三娘湾及沙田：良好的资源与贫乏的人力

“这里的中华白海豚长得跟台湾的很像”，这是我来到广西三娘湾看到中华白海豚的第一印象。与台湾的情形不同，这里的中华白海豚比较容易靠近，可以让我们在相距 20 米甚至更近的地方拍照。但和香港相比，这里的个体似乎没那么活跃。倒不是说没有水面行为，它们也会跳跃，会以“站立”的姿势浮窥，但在大部分情况下，只要没有干扰，它们经常会缓慢地游动着，就像在泰国看到情形一样。

对广西沿海的中华白海豚而言，三娘湾及附近的大风江口海域是它们重要栖息环境的一部分。在中国许多的中华白海豚分布地中，广西沿海对该物种生存力的维系程度，不亚于甚至超过珠江口等栖息地。在厦门、台湾、香港-珠江口这些栖息地，早在 20 世纪八九十年代就已经开始了一连串的海岸开发活动。在广西，类似的开发活动主要发生在 2000 年以后。同时，主要的栖息环境如沙田的儒艮保护区、大风江口、北仑河口等地仍然维持着相对完整的状态。可见，广西沿海中华白海豚保护所面临的问题和其他地区很不一样。

从中国一直到泰国南部沿海，广西三娘湾和泰国南部的 Donsak 及 Khanom 地区是目前已知的、少数以中华白海豚为主要对象开展所谓生态旅游的地点。对于以野生动物为主角的



泰国栖息地



中国广西栖息地



中国台湾栖息地



中国香港栖息地

生态旅游活动，人们一直存在两种说法。其一，不管是观鲸或是观豚旅游，不可避免地会对动物的生活造成一定影响。试想，我们带着全家老小去饭馆吃饭，结果一帮国外游客在导游的带领下把我们里外围了几圈，美其名曰“观赏家庭成员的摄食行为，体验、认识、了解科研人员日常家庭生活与文化”，这顿饭还吃得下去吗？其二，生态旅游的发展，尤其是有本地民众如渔民参与的那一类，确实对野生动物和栖息环境的保护产生了相当大的贡献。在泰国南部，渔民在假日期间搭载游客出海观赏中华白海豚以及海岸风景，每趟耗费约 2 小时，一天的收入就相当于一周甚至一月的卖鱼收入。很多渔民因此放下过去的捕鱼行当，转而在周六日从事观豚旅游活动。一个最直接的影响是，渔业捕捞量（至少沿岸手工、生计型渔业的捕捞量）明显下降，渔业活动对中华白海豚、海草床、海龟等海洋物种的影响减轻了很多，而这是很多沿海海洋保护事业一直在努力的目标。

然而，生态旅游的从业门槛很高，特别是一旦朝产业化发展的时候，需要在解说、设施、行程三方面满足游客的需求，并减轻对自然环境、野生动物的影响，符合生态旅游的条件。其中，解说与行程设计方面往往需要经营者具备较高的文化教育水平，对于以渔民为运营主体的观豚旅游来说，单纯靠渔民本身很难满足生态旅游的所有条件，而以外来商业公司为主导的旅游产业又经常会与本地居民的生活脱节，甚至发展成单纯以营利为导向，追求游客量和收入的商业旅游形式，正如 20 世纪 90 年代发生在台湾东部的情形那样。

在中国许多渔民社区，普遍存在老龄化、低教育水平的现状，因为年轻人大多进城读书或工作。在三娘湾村，超过一半以上的渔民只有初中以下文化程度。这种年龄和教育上的特点，大幅限制了渔民发展生态旅游的能力，很难形成有深度的、能增加游客与生态保护连接

的关系，尽管三娘湾地区开展中华白海豚旅游已经超过 10 年。要让渔民转业开展可持续的生态旅游，首先要解决的是如何提高渔民的文化水平，使其达到足以独立运营生态旅游的程度，而不是一句“全部转业”就可以解决问题。

渔民人口老龄化带来的另一个问题是传统生物学知识的消失，不管是在台湾、香港、三娘湾还是沙田，有经验的渔民是我们海上调查、寻找、跟踪海豚的重要帮手，事实上，可持续的生态旅游、观豚旅游发展，极大程度上倚赖渔民本身对中华白海豚的传统生态学知识，而这些知识是外来的商业旅游公司甚至是研究团队难以取代的。然而，随着这些渔民的逐渐老去，他们所承载的宝贵生态学知识也随之消失。渔民是站在海洋保护第一线的人群，包含中华白海豚在内的众多海洋珍稀物种及其栖息环境的保护，不应该只是单纯地禁渔、限渔、强制性地转产转业，更应该去思考怎么让渔民、第一线的海域使用者、海洋管理人员参与保护工作。脱离了人民群众的保护只是纸面上的保护，所有成功的保护案例都有人民群众的共同参与。

台湾：在议题的变向中命运多舛

在这里，我有生以来第一次参加了中华白海豚考察，那是在 2006 年。我们的运气很好，一次就遇见了超过 20 头的个体在我们的船边绕来绕去，那也是我第一次在海上遇到那么大的一群中华白海豚。2016 年，我们在台中港外又一次撞了大运，一次遇见了 22 头个体。我同样站在船头，同样拿着相机，但心情却不像 10 年前那么激动。

在这 10 年的时间里，中华白海豚的保护在台湾西海岸曾经成为一个焦点话题，当时有关石化项目的争议正酣。然而随着争议的逐渐落幕，相关保护议题的热度也像离开了炭火的烤串很快退烧，除了极少数的保护团体还关注着中华白海豚的保护，大部分的人甚至不记得台

湾西海岸还有这么一群白色的海豚。

海洋珍稀物种及其生境的保护常常会陷入一个困境，那就是人们往往会关注最显而易见（但不见得最重要）的、最热门的问题（如海洋微塑料），却忽略不明显但有长期影响力的问题，缺乏宏观视野格局和整体行动规划，让保护行动更进一步局限于一地，局限于具体操作细节。过去 10 多年，台湾西海岸中华白海豚的保护行动仍然主要针对沿海渔业活动，然而一个根本而关键的问题是：即使我们能做到全面性的禁渔，中华白海豚的生存就能得到保障吗？

过去 40 年间，台湾西海岸经历了大规模的开发利用，极大地改变了沿海环境，形成了现在的中华白海豚的分布格局。更重要的，最近的研究显示，过去 30 年来台湾西海岸近海海洋初级生产力衰退了 50% 左右；同时，作为中华白海豚的核心栖息地，几个河口夏季的水温在过去 30 年间上升了 5 摄氏度以上。这些变化在很大程度上和当地的土地开发利用活动有关。这些因素并没有考虑进最近 10 年西海岸中华白海豚保护行动中，也就是说，目前基于渔业活动管理的保护方案实际上不足以确保中华白海豚生存；同样，单纯以禁渔和限渔为重点的海洋资源管理思维，不足以改变渔业资源枯竭趋势。中华白海豚保护行动的格局应该提高到区域层面，涵盖沿海环境及流域管理等内容。

不知不觉间，我在中华白海豚考察与科研道路上已经走过 13 年。在这条路上，如果说有什么“遗憾”，也许就是眼睁睁地看着生活在台湾的中华白海豚种群日渐凋零，看着一个个老朋友静静地躺在海滩上，最后成为博物馆里的骨架，自己面对这些情形却无能为力。也许就像我们的科研论文、照片和纪录片一样，有人为它们的曾经存在留下了一条记录，并告诉我们的后代：“从前，在台湾的西海岸，曾经有一群白色的海豚生活着”。

本文作者系广西科学院研究员



龙兵过境黄渤海

文、图 / 李永涛

“四十多年前，每逢五一前后，鲸鱼就会从南边经渤海海峡进入渤海，十一前后再经渤海海峡返回黄海，成群结队，一眼望不到边，溅起的浪花有十几米高，场面十分壮观。”当地的老渔民曾向我们这样描述，这也是古人所称的“龙兵过境”。据我们走访，黄渤海最后一次有记录的“龙兵过境”发生在 20 世纪 80 年代，从此以后，鲸类种群在渤海海峡销声匿迹，不知去向。目前，黄渤海常见的鲸类仅一种，即东亚江豚。

海里的江豚

提起江豚，人们首先想到的是长江里的“微笑天使”、长江生态系统的旗舰物种——长江江豚。近些年来，随着网络信息传播的飞速发展，网上时常会出现各种关于江豚误捕、买卖、死亡的消息，让人非常心痛。实际上，部分报道中的“江豚”不是长江江豚，而是其近亲东亚江豚或印度-太平洋江豚，后两者完全生活在

近海，偶尔能观察到部分个体在江河入海口处活动。东亚江豚主要分布在中国黄渤海、朝鲜半岛以及日本中南部，印度-太平洋江豚主要分布在中国南海、东南亚、印度洋沿岸至波斯湾，我国东海是二者的重叠过渡区。作为一种典型的近岸分布小型齿鲸，近些年来东亚江豚面临极大的生存压力，每年误捕和意外死亡事件频发，种群数量急剧下降。在日本海域，种群数量在 1978~2000 年下降了 70% 左右，在韩国海域，2004~2011 年也出现了类似的下降速率。据此，世界自然保护联盟 (IUCN) 已于 2017 年将其保护等级提升为“濒危”。

深入一线

我们要保护一个物种，首先需要解决三个最基本的问题，即“数量有多少”“分布在哪里”“威胁是什么”。就东亚江豚来说，目前没有一个问题可以得到科学的回答。造成上述局面的原因固然和研究者的兴趣密不可分，但

更主要的是受客观条件限制，一方面海上研究耗资巨大，没有强大的经费支撑根本无法负担大规模且长期的调查监测；另一方面，水生动物因长时间在水下生活，种群调查本就困难重重，尤其是东亚江豚体形小、无背鳍、出水快速且性情胆怯，更是增添了研究难度。然而，我们不能对其面临的生存压力熟视无睹，不要让它们重演白鱘豚和白鲟的悲剧。

从2011年开始，我们的团队在开展黄渤海渔业资源调查时，开始间断性地研究东亚江豚，收集渔业误捕误伤的标本，记录野外个体的出水点。这样一直到2018年，团队积累了大量数据并初步估算出渤海东亚江豚的种群数量为7883头。2018年，我们开始系统调查黄渤海东亚江豚群体。我之前主要在长江考察长江江豚，想当然地认为这两种动物的外形和习性差别不会很大，只不过海上的工作会难一些。4月初，我们在青岛海域开展了一次预考察，出发的第一天就遭遇了下马威，当时海况之差完全超出我的预料，5名队员中有2名直接吐得蜷缩在船舱里爬不起来，我和另外2名队员也头晕目眩，极其难受，根本无法站在船头集中精力观察，只得提前结束当天的考察。接下来几天的海况稍好，我们也逐渐适应了海上环境，但新的问题又来了。在长江里有堤岸作为参照，当我们使用望远镜扫描堤岸时会有意识地把观察范围拉近，聚焦到水面；可是海面上广阔无垠，没有明显的参考对象，一不留神就遨游天际了。就这样一周下来我们毫无收获。

当年5月24日至6月4日，我们开展了一次历时12天、航程1600余公里的正式考察，覆盖了从青岛到荣成近岸30米以内等深线区域。第一二天毫无收获，我一边安慰大家，一边思考到底是真没有动物还是由于海况不好导致观察漏掉率太高。第三天终于风平浪静，却碰上了5月份青岛常见的平流雾，能见度不足50米，这一天就在焦急的等待中过去了。第四天平

浪静，初升的太阳很快驱散了浓雾，就在考察船行驶到崂山湾海域时，一头江豚钻进了我们的视野，那一刻我欣喜若狂，举着望远镜的手不禁颤抖起来。这次考察共发现东亚江豚10次19头次，它们主要集中于青岛崂山湾和荣成桑沟湾。此外还发现瓶鼻海豚2次2头次。接下来1年多的时间里，我们的考察覆盖了青岛至连云港、长岛、莱州湾、辽东湾、渤海湾等除鸭绿江口以外的黄渤海所有近岸水域，基本掌握了东亚江豚的热点分布区，并在渤海黄河口水域展开了重点考察。下一步我们将针对东亚江豚在这些水域的空间分布、迁移规律、栖息地利用和种群受胁因素展开研究。

昨日如何重现

我们的考察印证了“黄渤海域常见的鲸类仅东亚江豚”这一事实，情况多少让人感到有些悲哀。实际上，虽然考察是针对东亚江豚而设计，但如果能看到其他多种鲸类出没则是我们更高的期盼。据文献资料记载，中国海域目前共记录到36种鲸类，其中须鲸10种，齿鲸26种。按自然海区论，渤海的种类最少，南海最多，自北部海区往南逐渐增多。渤海种类在区系组成上可视为黄海的一部分，黄海有29种，其中有23种进入渤海，这可能是由于渤海是一个较浅的内海所致。渤海海峡位于辽东半岛与山东半岛之间，该水域饵料丰富，是洄游性鱼类进出渤海的通道。“老铁山头入海深，黄海渤海自此分；西去急流如云海，南来薄雾应风生。”这首诗形象地描绘了渤海海峡壮观的自然景象。实际上，该水域更动人心魂的是本文开头提及的、古人所称的“龙兵过境”。据蓬莱史料记载，古时候常有鲸群在此处海域出现。尽管黄渤海记载的鲸类种类甚多，但由于过去长期的滥捕以及生存环境的恶化，有人认为相当一部分种类已在黄渤海绝迹。希望在生态文明理念日渐深入人心的情况下，随着海洋生态环境的改善，“龙兵过境”的景观在不远的将来重现。

本文作者系中国水产科学研究院黄海水产研究所研究人员

南海鲸类救助

文、图 / 林明利 李松海

我们研究发现，南海拥有丰富的鲸类资源，搁浅情形也较常见，但相关救助体系还未建立，亟需社会各界形成合力。

萌丫的故事

2019年6月6日傍晚，一头约3米长的雌性短肢领航鲸出现在海南三亚崖州湾水域并最终搁浅。附近村民发现后立刻报警，并协力将其送回大海。不幸的是，第二天下午这头领航鲸再次搁浅，而且奄奄一息。我们接到通知后迅速赶往现场开展紧急救助工作。由于该动物是第二次搁浅，身体极为虚弱，随时都有生命危险。因此，我们决定将它立刻转移到中国科学院深海科学与工程研究所（以下简称“深海所”）的鲸豚救护平台，并取名“萌丫”。

进入救护平台的网箱后，萌丫的健康状况还是很差。它处于昏迷状态，双眼无法睁开，全身发高烧，不能维持平衡，完全失去游动能力，有呛水窒息和刮伤的风险，需要潜水员24小时轮班看护。兽医检查发现，它的尾部边缘擦伤的坏死组织呈不断扩大趋势，而且腹部肿胀，推测腹腔存在积液或积气。血检发现，它血浆中钠离子和钾离子的浓度极高，说明已经严重脱水，电解质紊乱，肾、肝和心等脏器功能严重受损。据此，兽医团队为其紧急注射生理盐水、葡萄糖和抗生素，并掰开它的口灌喂饮用水和鱿鱼浆。经治疗和用药，萌丫的体温基本恢复正常，出现排泄和排气行为，说明身体机能得到一定程度的恢复。然而它的健康情况并未得到根本的改观，还是处于深度昏迷状态。搁浅3

天后（即6月10日凌晨），当医疗团队再次给萌丫开展用药、补水、输液等治疗操作时，它口吐胃液和未消化的食物，伴随身体剧烈摇摆和体温升高等症状，于当日早上6点左右停止了呼吸。

解剖结果显示，萌丫在搁浅之前没有遭受严重的内外伤，胃和肠道也没有塑料等垃圾。它一侧子宫膨大，且乳裂处乳腺导管内有黄白色液体流出，同时子宫内黏膜潮红充血，卵巢硬实坚挺，阴道脱出红肿，表明这是一头刚刚生过孩子的妈妈。结合萌丫生前的血检结果，我们推测刚分娩的它搁浅后，脱水及继发性感染引发氮质血症、电解质紊乱、败血症和各脏器衰竭等问题，并最终导致死亡。

萌丫的遗体随后被用于科学研究并制成标本。骨骼和皮质标本已陈列于深海所的鲸豚标本馆，并免费向公众开放。也许，以这种方式让萌丫和曾经关心、救助过它的人们再次见面，是它最好的归宿。

南海鲸类资源和搁浅情况

领航鲸的英文名为Pilot whale，包括两个种，一个是短肢领航鲸，广泛分布于全球热带和温带的深水或远海水域，在我国东海和南海均有分布；另一个是长肢领航鲸，主要栖息于寒冷或极地深水和远洋海域，在我国没有分布。萌丫即是短肢领航鲸，是一种较容易搁浅的鲸类。就在它搁浅的一个月里，广东湛江和茂名相继有多头短肢领航鲸搁浅。



来自蓝丝带海洋保护协会等社会各界的 100 多名志愿者努力挽救在海南三亚搁浅的短肢领航鲸“萌丫”。摄影 / 张桅

短肢领航鲸只是南海众多鲸类中的一员。鲸类是一个庞大的动物类群的统称，全球共有约 90 个现生物种，包括须鲸和齿鲸两大家族，其中须鲸 14 种，齿鲸 76 种，它们都具有胎生、哺乳、肺呼吸和体温恒定等哺乳动物的典型特征。由于地处热带且海况条件复杂，南海是我国鲸类生物多样性最丰富的海区，包含约 40 个种。遗憾的是，除搁浅信息的收集以及个别近岸物种（如中华白海豚）的生态学调查外，人类迄今为止对南海广袤海域的鲸类资源还缺乏了解。2019 年 5 月，我们在西沙附近海域执行了第一次针对南海远海和深潜鲸类的科考航次。在为期 14 天的考察期间，共目击 27 群次鲸类，其中可确定的物种至少有 7 个，分别为抹香鲸、柯氏喙鲸、短肢领航鲸、瑞氏海豚、热带斑海豚、条纹海豚和弗氏海豚。特别是我们发现了疑似的德氏中喙鲸，这是一种极为神秘的深潜鲸类。该物种由于栖息于深海，出水呼吸时间短，因此很难发现。目前全世界有关德氏中喙鲸的认识仅源自 7 个搁浅标本，还没有人在野外发现该物种并拍摄活体动物照片。如果我们最后确

认是德氏中喙鲸，那么这是该物种在我国海域的首次发现，也是全球第一次在野外拍摄到该物种的照片。这次科考活动表明，南海目前还拥有丰富的鲸类资源，特别是抹香鲸、瑞氏海豚、短肢领航鲸、疑似的德氏中喙鲸等珍稀鲸类都观察到刚出生不久的幼体，表明南海北部应是它们定居、繁育和生长的重要海域，在研究和保护上都具有非常重要的意义。

南海丰富的鲸类资源使得鲸类搁浅成为一个比较普遍的现象。据我们对新闻报道、网络视频和文献等资料的不完全统计，2000~2014 年，我国大陆南海沿岸各省份有关鲸类搁浅的报道共有 193 例 249 头动物。同期，香港搁浅次数为 448 次，数量 450 头；台湾搁浅次数为 726 次，数量 922 头。考虑到香港和台湾已建立起较为完善的搁浅记录体系，记录的信息比大陆要相对完整。因此，大陆南海沿岸的实际鲸类搁浅数据可能要远远大于上述 249 头的数据。我们初步分析发现以上总计的 1621 头鲸包括 29 个物种，其中印度 - 太平洋江豚、热带斑海豚和中



柯氏喙鲸



热带斑海豚



华白海豚最常发生搁浅，而蓝鲸、座头鲸、抹香鲸等大型珍稀物种也有搁浅记录。在海南省，30 余年间共记录到 100 多次搁浅事件，最近 3 年记录的搁浅次数为：2016 年 13 次，2017 年 7 次，2018 年 8 次。短肢领航鲸是海南常见的搁浅物种，最早的搁浅记录来自 1990 年，当时在西沙的一个海岛上发现了一具腐烂的尸体，后经骨骼鉴定为短肢领航鲸。另外 2001、2005、2008、2012、2013 和 2016 年在海南岛都有过短肢领航鲸的搁浅记录。

南海搁浅鲸类救助存在的问题和建议

导致鲸类搁浅的原因很多，包括自身疾病导致的生理机能紊乱、误入近岸浅水陌生环境、人类产生的高强度水下噪声的干扰等。相关救助很困难，能否成功主要取决于动物的健康情况和身体大小，以及资金、人员、场馆等软硬件条件是否到位。显然，这超过了目前我国大多数海洋馆或科研机构的能力。由于搁浅动物长时间离开海水将引起严重的生理应激反应，出现压迫和失水等问题，导致动物迅速死亡。因此，救护必须在科学指导下及时有序地进行，需要争分夺秒地与时间赛跑。萌丫的救助就是一典型案例，其中充满的经验教训包括：

专业救助设备如车、船的缺乏。为了将体重达 340 公斤的萌丫从沙滩移动到通车的路口，我们起初尝试通过人力搬运，但是需要十几名年轻男子竭尽全力才能抬得起它，挪动几步就累得气喘吁吁，几百米的路程就像天堑，最后

租赁一辆铲车才成功实现。从搁浅地点到深海所的救助平台还有 70 公里的路程。由于没有专业的救助车，我们只能租赁附近村民的一辆大货车，可它的后箱铁板较硬，而且没有喷淋设备，我们只好购买棉被和水桶，以减轻萌丫的体重压力并给皮肤洒水。另外，深海所的鲸豚救助平台虽已基本就位，但受经验和费用所限，平台的设计和维护还存在不少问题。相比之下，部分海洋馆在设备和平台方面更有优势，但它们毕竟是营利机构。最后，医疗设备更是缺乏。萌丫的血检等诊断工作都由医院免费承担，但光靠这种奉献精神显然不是长久之计。

专业救助人员不足。鲸类搁浅时就已遭受了严重的身心创伤，如果再受到人类围观或触摸，可能会因为紧张而出现摆尾和挣扎等应激行为，对动物自身和身边人们都会产生潜在的伤害。而死亡的鲸类一般都带有各种病原，有的可造成人 - 兽交叉感染，因此必须由专人负责相关处理工作。在萌丫第一次搁浅时，当地渔民在缺乏专业人员评估指导的情况下就将它匆忙推回大海。从后来的情况看，萌丫明显是生病后才搁浅的，第一次搁浅的不恰当处理可能导致了它的第二次搁浅，耽误了宝贵的救助时间。另外，在救助过程中，一些民众甚至不知道鲸类是哺乳动物，不知道它们用肺呼吸，在救助过程中没有为萌丫扶正身体，或在对其体表淋水过程中没有注意保护呼吸孔，导致动物呛水。同时，将短肢领航鲸直接推回浅海也是不正确的做法，毕竟它们生活于深海。



条纹海豚



瑞氏海豚



抹香鲸 摄影 / 张桅

数据库不完备。搁浅动物样品的采集与建档是开展鲸类生物学研究的基石，借此可开展物种鉴定、分布、种群数量、生长发育、性成熟年龄、孕期、生殖周期、寿命等基础研究工作。同时，统计因细菌、病毒、寄生虫和有毒物质引起的个体死亡原因和总体死亡率，可为鲸类资源的利用、保护以及管理措施的制定提供最基本的科学资料。鉴于此，美、英、日、韩等国和我国台湾和香港等地区对鲸类搁浅资料的收集和研究都比较重视，并先后于20世纪90年代建立了鲸类搁浅和意外死亡数据库。目前深海所已开展海南岛鲸类搁浅信息的采集、分析和数据整理工作，并建立起覆盖整个海南岛的鲸类搁浅记录专业数据库，但是还没有覆盖到其他省份。

鉴于南海海域辽阔，海岸线漫长，为及时有效地处理鲸类搁浅事件，我们建议在沿海各地设立一个相对完整的救助网络，包括：

渔政监督管理机构。它是鲸类搁浅事件的全面负责和协调机构。建议设立专门且公开的电话，便于收集渔民反映的搁浅信息；同时，及时将相关信息告知专业的救助机构和科研机构，并监督后期的救治和放归工作。

专业救助人员和机构。相关人员需要具备丰富的经验，能准确判断动物的健康情况，并做出放归大海、现场救助、转运到专业救助平台救治或者掩埋死亡个体等重要决定。另外，搁浅鲸类进入专业救助平台接受进一步医治时，

还需要专业的兽医团队能按时诊断动物的健康情况，找出病因并对症下药。潜水员和饲养员是鲸类救助过程中不可缺少的角色，主要承担动物的日常护理和管理。一般来说，刚搁浅的动物都会带伤，而且可能因较长时间离开海水，体能和生理机能或多或少都会遭受一定的创伤，刚进入救助平台的暂养网箱或水池时很难保持良好的游动能力。为避免它们呛水或刮伤，需要潜水员持续不断地在水下监护。在救助设备方面，需要配备现场救助工具，如可膨胀的救生筏、担架、吊链、防水帆布、铁铲、绳、喷水器等；运输工具如起重机、专业救助车和救助船；救助平台如暂养网箱、水池、配套的食物储存设备等；医疗保障设施如常用药物和医疗诊断设备等。

科研教育机构。在沿海各省选择一些有条件的科研院所具体负责某一地区鲸类搁浅事件的处理，包括救助技术支持、死亡原因分析和搁浅资料整理等。

社区民众。鲸类搁浅后，第一时间的救助工作最为重要。考虑到鲸类搁浅的特点和救助资源的有限性，应动员全社会力量特别是广大渔民和社区居民的参与。他们通常是第一手搁浅信息的来源。建议通过科普教育和举办培训班等方式，进一步提高沿海居民、警察和渔政工作人员等的环保意识和搁浅鲸类救助的技术水平。

本文作者系中国科学院深海科学与工程研究所研究人员

自由集群游弋在印度洋塞舌尔群岛海滨的黑鳍鲨。当前中国从官方到民间努力禁绝有关鲨鱼鱼翅的消费（例如“八项规定”），对全球鲨鱼种群的保护和恢复具有积极意义。
供图 / ©naturepl.com / Cheryl-Samantha Owen / WWF

共创人—海共生新共识

文 / 杨松颖

当前全球海洋面临巨大挑战，我们必须在全球范围内采取应对措施，否则海洋经济将被推向岌岌可危的悬崖，这关系到全人类的福祉，并直接影响到数以亿计依赖海洋以获得食物和工作的人们。国际社会需要在五大领域开展海洋保护工作，包括发展可持续渔业以保障海洋健康和人类福祉、与沿海社区合作以确保海洋的未来、保护有复原力的沿海生态环境、建立全球伙伴关系以解决海洋塑料问题、发展可持续的蓝色经济。我们期望透过这些行动，共同维护一个生机勃勃的海洋，以支持丰富的生物多样性、充足的食物保障和可持续的生计，实现自然环境和人类社会的稳定。

中国延绵的海岸线与广阔的海洋里蕴藏着丰富的生物多样性和栖息地。中华民族拥有得天独厚的海洋资源，几千年来不断得到开发利用，并发展出以中国为起点的海上丝绸之路，著名的航海家郑和七次下西洋，盛极一时。发展到现在，中国的海洋捕捞业与养殖业产量在全球首屈一指，“一带一路”也承载着海上丝

绸之路的历史任务，支持各国的经济发展。同时也要看到，由于过去忽略了环境保护的重要性，中国沿海生态环境已遭受一定程度的破坏和污染，渔业资源变得枯竭。自 20 世纪 50 年代至今，中国的海洋已经损失了 57% 的滨海湿地、73% 的红树林和 80% 的珊瑚礁，珍稀濒危海洋生物物种包括绿海龟、中华白海豚、斑海豹、黄唇鱼等的生存空间也受到巨大影响。在当前全球火热的海洋微塑料污染话题中，中国也首当其冲被国际社会关注。

随着中国生态文明建设新模式的不断推进，海洋相关部门制定了一系列涉及海洋生态文明的新举措和新政策。十八大以来，国家将海洋生态文明建设和海洋强国建设提到了前所未有的高度。在渔业发展的五年计划中，提出要促进传统渔业现代化、可持续水产养殖、海洋环境保护、可持续利用野生鱼类资源、控制渔船数量等，并引入新的海洋生态红线区体系，划定生态保护区与海岸线开发区之间的边界。除了出台各种海洋保护政策，国家也展现出对塑

中国需优化海洋事务管理体系、增强海洋保护地网络建设、严打非法渔业、加强鱼类增殖放流、开展生态修复；需要以兼顾公平的方式推动海洋生物资源利用的转型，例如建立环境友好的渔业补贴制度、支持小型生计渔业、发展环保水产养殖和休闲渔业；需努力帮助国内消费者选择以环保方式生产的水产品，从生态、环境及健康等角度造福全球和中国的资源环境和生物多样性，增强行业和消费者的福祉。

料问题的重视，从国门利剑禁止洋垃圾进口到建设无废城市试点、美丽乡村、垃圾分类等政策，均为国内与国际社会带来了新局面。在“一带一路”建设海上合作机制的设想中，“绿色发展”被确定为优先合作的重点。中国倡议“一带一路”沿线国家共同承担海洋生态环境保护职责，努力提供优质海洋生态系统服务，维护全球海洋生态安全。中国在这几年积极提出新的政策，如果能尽快有效落实的话，在其中取得的成果有助于其实现“负责任大国”愿景，并加快其建设海洋强国的进程。

中国除了在国家政策层面积极保护海洋，也和民间环保公益组织共同推动一线的保护工作。在此介绍中国与周边国家开展合作的案例——黄海生态区保护。黄海生态区被世界自然基金会（WWF）确定为全球最优先保护的 200 多个生态区之一，包括渤海、黄海和长江口，其滨海及河口湿地孕育着独特的生物多样性；这里还拥有丰富的渔业资源，是国内重要的水产品来源。同时，该地区也是中国海洋资源衰退最快的地区之一，约 6300 万公顷的滨海湿地被改造为农田，约 30% 的滩涂被开发成盐田；过度捕捞造成渔业资源快速枯竭，邻近地区生活污水与工业废水的排放导致赤潮频发等，对动植物的存活构成了严重威胁。

为保护黄海生态区濒临崩溃的滨海湿地生态系统，从 2002 年开始，我们在中国政府的支持下，集 WWF 中、日、韩三国专家的力量联合开展了“黄海生态区保护”项目，划定了区域内海洋哺乳类、鸟类、鱼类、软体类、藻类和近海岸带植物的重要分布区。为保护当地具有重要生态价值的栖息地，中、韩专家共同识

别了 23 个潜在的优先保护区。在中国，我们选取了辽宁省鸭绿江口滨海湿地国家级自然保护区。利用生态系统管理方法，我们分析了人类、鸟类和底栖生态的关联性，并根据研究结果制定了管理计划，既维持了滩涂的生态系统服务功能，也有效地管理了渔业资源，更广泛地提高了保护区的管理水平，实现了生物多样性保护和可持续资源利用的目的。除了黄海生态区保护项目以外，我们也致力于维护和创立海洋保护区网络，并积极开展渔业改进项目促进水产品可持续生产，使海洋生态系统更加健康完整，并使沿海居民的生活更加富足，支持海洋生态保护与人类经济发展达到平衡。

2020 年 10 月将举行《生物多样性公约》第十五次缔约方大会。这次活动对未来十年中国与全球海洋生态文明建设至关重要，渔业与水产养殖业的可持续发展、珍稀濒危海洋生物及其栖息地的保护、海洋污染问题的解决都将是不可回避的重要议题。

近年来，中国海洋生态环境状况虽已有所改善，局部区域的生态系统也在逐渐修复，但整体仍处于污染排放和环境风险的高峰期，中国海洋领域的发展仍未取得平衡，生态系统长期面临威胁。

2020 年是环境政策超级年，WWF 在全球发出倡议，希望团结政府、科学、商业、金融、民间机构与个人的力量，在海洋的层面共创一个“与自然共生的新共识”：到 2030 年，得到保护及实现可持续经营的海洋面积占全球 50%，其中海洋保护地达 30%；可持续渔业产量翻倍，并且达成海洋微塑料零排放的愿景。

本文作者系 WWF 世界自然基金会海洋保护项目专家



国家海洋博物馆

文、图 / 黄克力 陈祖愿 彭泳

放眼世界，各海洋大国强国都有自己的国家海洋博物馆，如英国国家海事博物馆、澳大利亚国家海事博物馆、德国汉堡国际海事博物馆等，它们凭借悠久的历史、丰富的藏品以及深厚的海洋文化底蕴，已成为展示国家综合海洋实力的有力代表，同时也是传承和发展本国海洋文明的重要文化载体。中国自古以来便是海洋大国，拥有数千年的海洋文明史，但海洋事业起步较晚，特别是国民海洋意识亟待培养和提升。因此，建设国家级海洋博物馆对我国海洋文化的传播、海洋意识的增强、海洋知识的普及都具有重要作用，同时对提升中国海洋文化软实力、推动海洋强国建设也有重要意义。

十八大以来，我国海洋事业发展取得了一系列重大成就，“海洋强国”战略、“21 世纪海上丝绸之路”倡议、“海洋命运共同体”理念等的提出，为我国海洋事业发展带来了新的历史机遇。经过多年的筹备，国家海洋博物馆于 2019 年 5 月 1 日在天津市启动试运行，仅 8 个月接待观众超过 130 万人次。该馆由自然资

源部与天津市人民政府共建共管，集收藏、展示、研究、教育于一体，是我国唯一的国家级综合性海洋博物馆。全馆占地面积约 15 万平方米，主体建筑面积约 8 万平方米，分为 3 层，展厅面积共 2.3 万平方米，分为海洋自然、海洋人文、海洋互动、海洋科技、海洋生态、高端合作等展区以及科普教育中心，同时设有商店、餐厅、影院、咖啡厅等公共服务设施。海洋自然展区包括“远古海洋”“今日海洋”“龙的时代”“航海发现之旅”等 4 个基本陈列展厅及 1 个临时展厅，展览总面积达 7000 余平方米，以地球、海洋、生命、人类及其相互依存共生的系统展示，揭示人 - 海和谐的真谛，引导观众更加了解海洋、热爱海洋和保护海洋。海洋人文展区包含“中华海洋文明”3 个篇章的基本陈列以及“无界 - 海上丝绸之路的故事”临时展览，主要展示中华民族与海共存，在认识海洋、开发海洋的过程中承载的宝贵文化遗产和精神。海洋科技展区包括“海洋文化主题空间”“从风帆到行轮”“海洋天文”等 3 个基本陈列，主要分类展示航海与船舶相关展品，兼顾船舶技术发展



史，促进观众了解各时期航海发展历史，宣传海洋文化。此外，还有海洋互动展区的“欢乐海洋主题空间”“筑梦极地”这两个展厅和海洋生态展区的活体展厅等内容，其中“筑梦极地”展厅重点展现我国近年来极地科考的卓越成就，通过实物展品和多元展示手段相结合，带给观众沉浸式的参观体验。

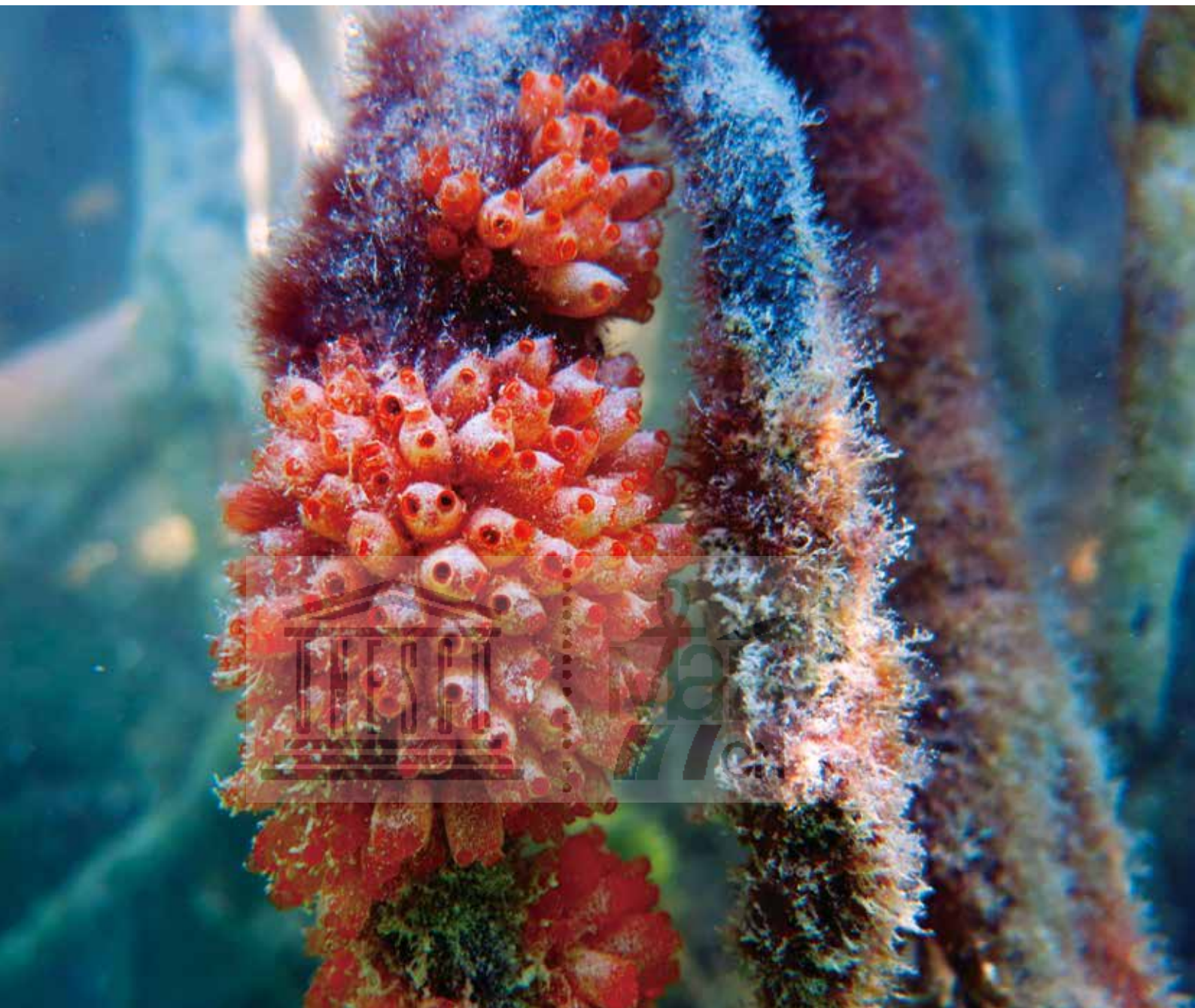
动议之初，专家建议国家海洋博物馆选址应当“临海近都”，以充分发挥其效能，天津因此获得了地利优势。已建成的国家海洋博物馆毗邻滨海新区南湾水域，当地海岸线相对自然完整。我们建成了木质栈道的亲水平台，并展出 752 导弹护卫艇、“大溪地号”帆船和“绿眉毛”百年海船等户外展品，以讲述海洋人文故事、展示海洋军事实力。

在完善展品的同时，国家海洋博物馆已建成近 3000 平方米的青少年海洋科普教育中心。为此组建了专业的研教团队，以公众的需求为导向，研发策划了一系列针对不同年龄段青少

年儿童的科普课程和馆校共建课程。我们运用“科普福船”“海博大讲堂”及科普短剧等丰富多彩的活动，拓宽科普教育的内容与形式，推动展教一体化，寓教于乐，增强青少年亲海、识海、护海意识。此外，围绕“世界海洋日”“国际博物馆日”“世界地球日”等主题，我们举办了相应的讲座、专题展览和教育推广活动，使观众成为海洋科学文化知识的学习者、研究者和传播者。

国家海洋博物馆的长远目标是建设一座与我国海洋大国地位相匹配的、全面展示我国海洋历史和海洋生态文化的综合性海洋博物馆，同时打造为国家公共文化基础设施的重要组成部分、权威的海洋文物收藏保护中心、海洋历史和海洋生态文化研究中心、海洋文化交流传播中心、海洋体验中心，以及国家级爱国主义教育基地、海洋意识教育基地和科普教育基地，促进中国海洋事业的繁荣昌盛。

本文作者系国家海洋博物馆研究人员



搏浪撷珍会有时，制得灵药谢众生

海洋药物研发

文 / 杨帆

人类对海洋的探索永无止境。海洋孕育着生命，同时也蕴含着治愈人类重大疾病的宝藏和机遇。浩瀚的大海是生物多样性的宝库，蕴藏着地球上还未被人类开发利用的丰富海洋生物及其天然产物资源。

特殊环境下的奇异生命体联系

海洋环境是一个开放且独特的生态系统，高盐、高压、局部高温或者低温、寡营养等恶劣的生存条件，使得海洋生物的生存竞争比陆地生物激烈得多，因此各种海洋动植物与微生物

物共生互作的现象非常普遍，它们相互适应、相互依存、协同进化，形成了一个特殊复杂而又奇妙的体系。对一些海洋低等生物而言，由于固定生长在海底，缺乏物理防护，在竞争附着基的同时还要对抗其他生物的附着和捕食，原始的进化地位和严酷的生境使其在长期演化过程中形成了复杂而强大的化学防御体系。基于特殊的生境和海洋生物体特殊的化学防御机制，它们的体内产生并积蓄了大量的特殊天然产物，这些“化学武器”常常具备新颖独特的化学结构及高效的生物活性，从而成为新药分子开发的重要源泉。在陆地资源日趋枯竭的今天，前瞻性地开展海洋药用资源的可持续开发和利用，对提升我国综合国力以及社会民生具有重大的意义。从另一角度看，作为海洋对人类的馈赠，研究海洋药物的同时也能更好地认识生命，认知我们人类自身。

海洋药物开发

20 世纪 60 年代，美国国立健康研究院率先提出“向海洋要药”的口号，正式拉开了海洋药物研发的序幕，各国化学家和生物学家纷纷“下海”，海洋药物领域得到了突飞猛进的发展，相关研究成果雨后春笋般涌现。截至 2018 年，研究人员已经从海绵、珊瑚、微生物等海洋生物中发现了约 3 万个天然产物，其中一半具有生物活性。这些天然产物不仅具有重要的生态学意义，也是创新药物研究的重要源泉。

截至 2019 年初，已有 13 个海洋药物经欧美等发达国家药品管理机构，如美国食品药品监督管理局（FDA）或欧洲药品管理局（EMA）批准上市，分别为抗生素头孢菌素 C、抗霍奇金淋巴瘤药 SGN-35、抗软组织肉瘤药 Et-743、降脂药 Lavoza、降三酰甘油药 Epanova、镇痛药齐考诺肽、抗癌药阿糖胞苷、抗病毒药阿糖腺苷、抗难治性乳腺癌药甲磺酸艾瑞布林、抗 B 细胞慢性淋巴细胞白血病药氟达拉滨、抗淋巴细胞性白血病药奈拉滨、抗病毒鼻喷剂卡拉胶以及抗结核药利福霉素，另外还有 40 余个候选药物

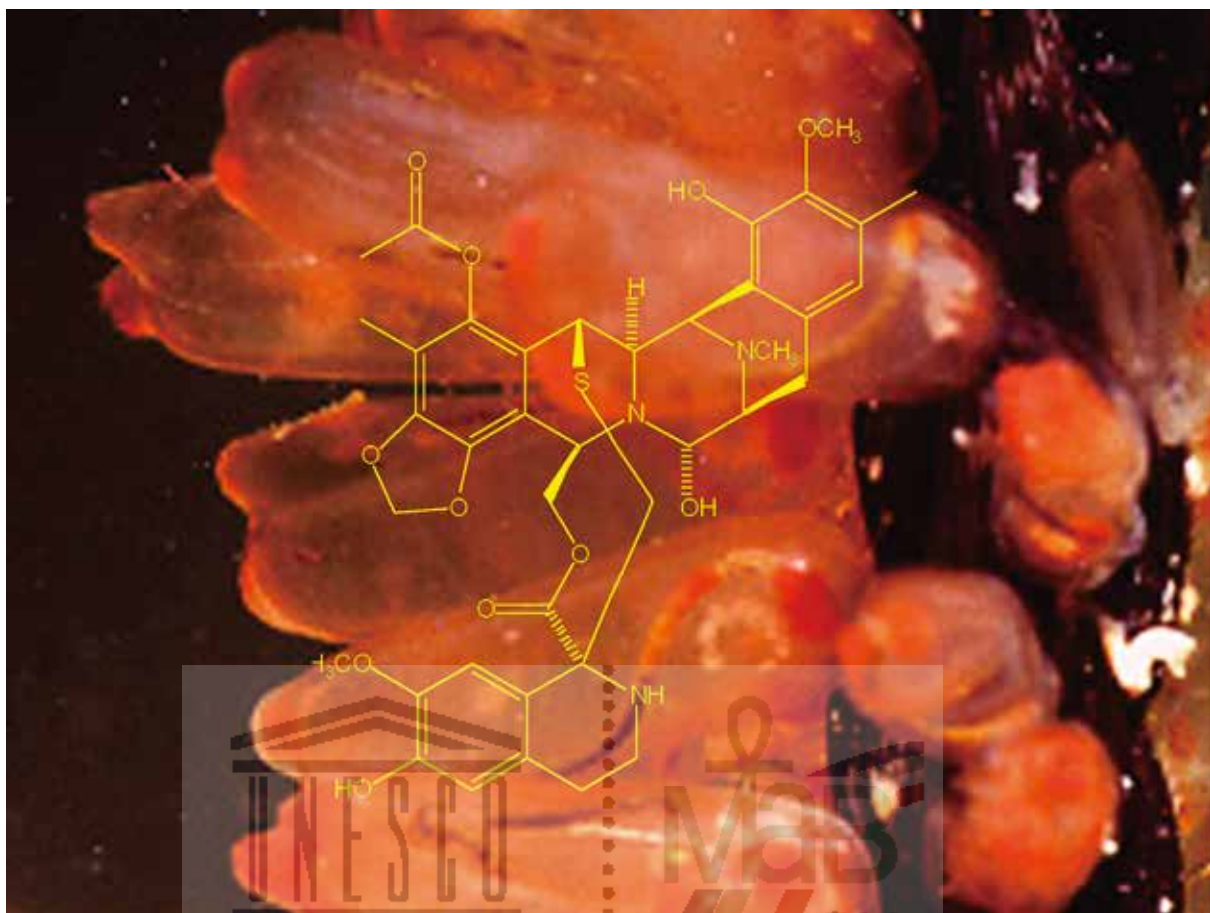
处于临床或临床前研究阶段。据统计，2016 年全球海洋药物的产值约 86 亿美元，显示出巨大的市场发展潜力。

阿糖胞苷是世界上第一个海洋药物，早在 20 世纪 30 年代，美国耶鲁大学的 Bergmann 和 Feeney 从海绵（*Cryptothia crypta*）中提取分离得到具有生物活性的核苷类化合物 Spongothymidine 和 Spongouridine，它们是阿糖胞苷与阿糖腺苷的先导化合物。而后阿糖胞苷实现了全合成，其在动物实验中抗白血病活性的研究也得到了报道。之后，有研究发现阿糖胞苷对急性粒细胞白血病具有相当显著的疗效并实现了商业化。阿糖胞苷于 1969 年被 FDA 批准用于白血病的治疗，它通过抑制细胞 DNA 的合成而干扰肿瘤细胞的增殖。阿糖胞苷的疗效和价值已经得到时间和市场的检验，至今仍用于临床。

技术的价值

随着科学技术的发展，海洋药物的发展也历经了几个阶段，但无论如何，药源始终是瓶颈。不同于陆生资源，海洋生物资源的采集条件更容易受限，养殖条件也更为苛刻。科学家即便从海洋生物中发现了具有药用潜力的化合物，却往往因为资源量的限制和活性物质含量的低微，结果难以继续进行深入研究。

伴随着物质分离纯化、波谱解析和潜水技术的飞速发展，人们已从海洋生物中发现了成百上千种具有显著生物活性的天然产物，其中一些展现出新的药理作用机制，从而帮助人们找到了许多新的治疗靶点，往日许多不治之症也得到了攻克。2010 年，治疗恶性乳腺癌的海洋药物上市，该药的实体分子艾瑞布林是源于 *Halichondria* 海绵的大环聚酮 Halichondrin B 的类似物，此药物与已发现的微管靶向抑制剂，如长春碱类、紫杉醇类化合物抗有丝分裂的机制不同，主要是通过改变微管动力学抑制细胞有丝分裂机制来发挥抗癌作用。该药物从发现



海洋天然产物正成为生物制药领域的新宠，加勒比海鞘是其中一个典型范例。它体内的共附生微生物能产生一种抗癌的新型化合物即 Et-743。由于产量低微，难以实现资源的可持续利用，因此加勒比海鞘成为当前不少海水养殖风投的对象。图源 / NOAA-Ocean Explorer

到成功上市历经 24 年。1986 年，日本名古屋大学的平田教授等为了研究其结构与药理机制，采集了 600 公斤的 *Halichondria* 海绵，因为含量低微，仅仅从中得到 12.5 毫克的药物前体 Halichondrin B，相当于从 12 个成人的体重中提取一粒米。由于 Halichondrin B 的化学结构极其复杂，当时这样的产量被认为无法应用于临床，后来得益于化学合成方法和其他技术的发展，该化合物也成功实现人工合成，全部操作总计 64 步，被认为是合成领域无人可及的“珠穆朗玛峰”，这也为该药的开发带来了曙光。2019 年，艾瑞布林获准进入中国市场，为我国的患者带来了福音。

Et-743：38 年的研发征途

如果说化学合成技术的发展为海洋药物的研发提供了利器，那么进入 21 世纪后，生物技

术的发展则为海洋药物研发进程增添了浓墨重彩的一笔。Et-743 是一种来源于海鞘的生物碱类化合物，即 Ecteinascidin 743（四氢异喹啉）的简写，它直接作用于肿瘤细胞 DNA 双螺旋间的沟槽，影响并抑制蛋白质的合成，从而抑制细胞的分裂和增殖，达到抑制肿瘤的作用。它由西班牙一家公司生产上市，并于 2007 年获得 EMA 的批准（商品名 Yondelis），用于治疗一种罕见的恶性肿瘤——软组织肉瘤。2009 年，该药物被批准和 DOXIL/Caelyx 联合用药治疗复发性卵巢癌。2015 年，经美国 FDA 批准，Yondelis 被用于治疗不可切除的或晚期脂肪肉瘤和平滑肌肉瘤。目前，Yondelis 已在 80 个国家销售，全球年收入已超过 1 亿美元。

早在 1969 年，人们从加勒比海鞘中发现了具有抗肿瘤活性强的成分，鉴于当时的分离和

结构解析手段有限，其提纯和结构鉴定在多次尝试后均以失败告终。直到 1990 年，Et-743 的第一篇文献才问世并被广泛引用，但是其立体构型仍然是一个悬而未决的问题。1992 年，美国伊利诺伊大学香槟分校的 Rinehart 等获得了 Et-743 相关氧化物的结晶，通过单晶衍射确定了其绝对构型。至此，在经历了几十年的摸索后，它的神秘面纱终于被揭开。

但是，原料供应成为开发 Et-743 首先遇到的难题。该药物在加勒比海鞘中含量极低，仅百万分之一。世界级化学合成大师 Corey 等在 1996 年完成了 Et-743 的化学合成，经过 40 多步总收获率仅 0.53%。有企业养殖了 250 吨的加勒比海鞘，以期从中提取足够的先导化合物，然而产量极低，仅 0.0000001%~0.000001%（占海鞘本体湿重），也就是说每吨原料只能提取不到 1 克药物，而且在运输、提取过程中必须配备有制冷设备以防止活性物质降解，故成本极大，不适合产业化发展。当时，Et-743 的开发被认为是不可能完成的任务，曾一度被搁置。

天无绝人之路，经过多次尝试，科学家发现加勒比海鞘体内的共附生微生物可能是 Et-743 的真正生产者。他们通过生物技术大量发酵荧光假单胞菌，使其产生关键中间体番红菌素 B，在此基础上利用化学半合成方法获得 Et-743。该法大大提高了产量，突破了药源瓶颈的限制并实现了商业化。Et-743 的成功上市是化学与生物学研究紧密结合的典范，从 1969 年活性物质的发现到 2007 年药品上市历时 38 年，标志着海洋药物发展道路上的一个“艰难的胜利”。

中国的海洋药物研发

我国的海洋用药由来已久，最早可以追溯到距今约 2000 年前的东汉时期。我国已知最早的药典《神农本草经》记载海洋药物 13 种，包括属于上品的牡蛎，中品的海藻、乌贼鱼骨、海蛤和文蛤，下品的大盐、卤碱、青琅、马刀、蟹和贝子等，许多记述成为传世之宝，如“海

藻疗瘰”是世界上最早有关海藻疗效的医疗记载。《本草纲目》等古代药学典籍收录的海洋生物来源的药物更是多达百余种。我国所辖的大片海域中蕴藏着丰富的资源，南海因其特殊的生态环境，被公认为全球海洋药物研究的热点地区。我国现代海洋药物的研发始于 20 世纪 80 年代中期，由中山大学的龙康侯教授领衔，虽然稍晚于欧美等发达国家，但是发展迅猛。

目前，由国家食品药品监督管理总局（CFDA）批准在国内上市的海洋药物有藻酸双酯钠、角鲨烯、甘糖酯、海力特、多烯康甘露醇烟酸酯等。值得一提的是，由中国海洋大学、中国科学院上海药物研究所及相关企业研制的褐藻来源的新药“甘露寡糖二酸”（GV-971）于 2019 年在我国获批，用于治疗阿尔兹海默症，成为全球第一个治疗脑疾病的海洋来源的新药，这也是产、学、研结合的典型案例，对我国海洋药物研发具有一定指导意义。

远大的前景

人类对海洋的探索远远不及太空。我们生活的大陆被海洋包围，生命和海洋紧密相关，人类社会和经济活动同样依赖海洋。在有限的空间和寡营养环境下生存的海洋生物不遗余力地产生这些“奇形怪状”的天然产物到底是为了什么，功能何在？这些问题有待解答。现今海洋药物研究已成为一门综合性的交叉学科，需要与药理学、合成化学、生物化学、化学生态学、基因/代谢工程学、微生物学等多方形成合力，打破学科界限协同攻关，拓展可利用生物资源，深度探索海洋天然产物的新功能。这些研究对挖掘海洋生物资源的利用潜力具有重要意义，也切合我国“提高海洋资源开发能力，发展海洋经济，保护海洋生态环境，维护国家海洋权益，建设海洋强国”的战略任务和重大需求。我们相信，随着科技的进步，更多沉睡在海底的药物分子终将浮出水面，造福人类。

本文作者系上海交通大学医学院附属仁济医院研究人员



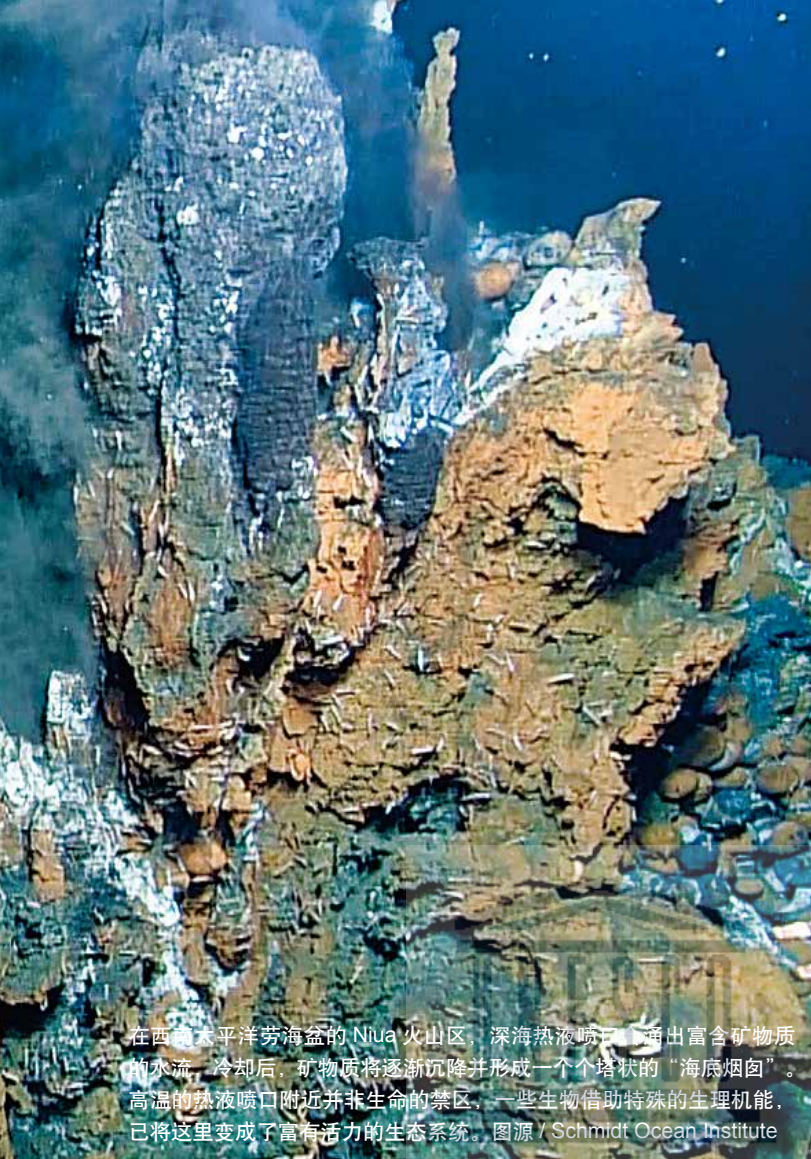
挖掘深海新酶基因资源

文 / 马富根

深海热液口，是幽深寒冷海床上的一口口巨型“压力锅”。它们温度高（200~400 摄氏度），压力大（水深 1000~3000 米），“锅”里的水为富含氢气、甲烷、硫化氢及各种金属离子的酸溶液（pH 为 2~3）。理论上，如果把地球上常见的动物扔到这些压力锅里，恐怕不一会就成一锅酥烂的肉汤了，尽管这锅肉汤的味道可能不怎么值得期待。然而让人难以想象的是，就在这些巨型压力锅中，却孕育着大量的微生物及动物，呈现出一派欣欣向荣的景象：各种细菌快速繁殖，病毒寄生其中，死的活的细菌堆积了厚厚一层，蠕虫、线虫悠悠摇曳，蛤蜊、贻贝密密麻麻，虾、螃蟹怡然自得——让人难以揣测它们究竟是“生的”还是“熟的”。对于压力锅里的小伙伴们来说，生命活动依赖的能量不是来自太阳，而是来自地热及化合物的化学能，其生物链的物质循环也自成体系，形成独立封闭的神奇生态系统。

支持这些生物在深海热液口生存的分子机制是什么？很大程度上取决于这些生物体中的蛋白质，尤其是负责各种催化反应的酶，它们具有极高的热稳定性，能在上百摄氏度的高温和高压环境中保持正确的空间结构和分子功能，从而保证生物体的代谢反应和生理功能的正常运转。我们知道，鸡蛋清就是一种蛋白质，在六七十摄氏度时会变性，失去生理功能。又如，我们煮肉的水温也就 100 摄氏度，能让几乎所有常见的蛋白质变性。然而，深海热液口的酶能在 200~400 摄氏度的温度下仍保持结构和功能，这一特性让人吃惊。

酶是高效环保的生物催化剂，在工业、医药、食品、环保、能源等领域都扮演着不可或缺的角色，其种类和数量一直都在快速增长。在目前发现的酶中，多数来自中温环境中的生物，它们是在温和的生理条件下经过亿万年进化而



在西南太平洋劳海盆的 Niua 火山区，深海热液喷口涌出富含矿物质的水流，冷却后，矿物质将逐渐沉降并形成一个个塔状的“海底烟囱”。高温的热液喷口附近并非生命的禁区，一些生物借助特殊的生理机能，已在这里变成了富有活力的生态系统。图源 / Schmidt Ocean Institute

来，在应用中往往存在稳定性差和催化效率不高等问题。此时，存在于深海热液口生物体中的酶就能大展身手了。首先，嗜热酶的高度耐热性克服了中温酶稳定性不足的问题，能在较高温度下发挥催化功能。根据范特霍夫规则，温度越高，化学反应越快，温度每增加 10 摄氏度，化学反应速率提高 2~4 倍。高温下进行催化反应，能够解决酶催化效率不高的问题。此外，根据酶分子进化理论，相比于中温酶，嗜热酶具有更高的可进化性，能够耐受其他性能提升带来的稳定性降低的抵消效应，是很好的酶分子改造起点，具有更高的应用潜力。

既然嗜热酶有这么好的应用前景，那么接下来的问题是，如何从深海热液口等环境微生物中获取新的酶资源？经典的方法是先在实验室中大量培养环境微生物，再从中鉴定相关酶的性质，并进一步获得其编码的 DNA 序列。这

种方法费时费力，新酶挖掘效率低，获取一个新酶基因需要耗时 2 个月左右。另外，由于绝大多数深海微生物无法进行实验室培养，也就难以通过传统的方法挖掘新酶基因。

近年来，得益于宏基因组、高通量测序及酶工程技术的进步，人们可以在不培养微生物的前提下对其中的编码基因进行研究。虽然难以对深海热泉微生物进行直接培养，但其环境的总基因组可以比较容易地获取。在获取宏基因组后，可以通过两种手段对其进行高效的新酶基因挖掘，从而同时获得几十乃至上百种新酶基因。

第一种是基于序列分析的手段。它利用高通量的新一代测序技术，对得到的宏基因组进行测序，并结合生物信息学开展序列分析，通过酶家族序列同源性鉴定出宏基因组中某一类酶的潜在基因序列，再通过分子生物学和生物化学方法合成这些基因，并在宿主中进行蛋白质表达和考察酶学性质，最终鉴定出具有独特性能的新酶基因。该手段的优点在于准确度及效率高，但依赖现有酶的序列信息，无法发现具有全新序列及功能的酶基因。

第二种是基于功能筛选的手段。它将宏基因组的基因片段直接构建到载体及表达宿主中进行蛋白质表达，再利用高通量筛选技术获得其中具有新功能的新酶资源。该手段的优点在于不需依赖目前已知的酶序列信息，就能发现具有全新序列及功能的新酶资源；缺点在于异源蛋白表达效率通常较低，会遗漏掉大部分未知基因，而异源蛋白表达技术的优化及体外转录翻译体系的应用，有望克服这一缺点。总体来说，上述两种手段各有优缺点，又互相补充。目前它们还处于技术开发和完善阶段，在不久的将来，有望为深海基因组资源宝库的开发提供强有力的工具。

本书作者系中国科学院苏州生物医学工程技术研究所研究人员

三十年后的海上城市

文 / 万波 梁园华

海上城市是最近讨论、研究和探索利用海洋空间的焦点，国内外专家设计和畅想的蓝图多种多样，发展的观点各不相同，国内目前重点研究未来城市的雏形——大型海上旅游设施。在此以现实工程水平为基础，从多角度谈谈我国未来 30 年海上城市的发展路线和模式。

场景想象

意愿。首先得有一大批人愿意在海上居住并有工作。可能许多人会说愿意，但这多数都是没有长期海上经历的人的一厢情愿，因为目前在大海上除了一望无际的海水和日出可供欣赏，可开展游泳、潜水、冲浪等旅游项目外，其他可供我们长期居住的条件还不具备。言下之意，短期旅游休闲可以实现，但长期生活是另一回事。正如我们去农村旅游，当时觉得生活很惬意，但随后还是要回到灯红酒绿和繁忙的城市。

费用。从现有的工程造价看，浅水自升式平台就与一线城市的平均房价相当。当然，将来模块化批量生产实现后，房价可能会进一步降低。但仅仅考虑房价还不够，还得兼顾物流费、

物业费 and 垃圾处理费等。目前海上平台生活物品供应的成本还远高于陆地，而且垃圾经粉碎和消毒处理后，还需在一定航速下排放。根据目前国家强制标准，长期固定在一地的设施，垃圾不能在固定地点长期排放。这不难理解，试想：如果长期在某一地排放垃圾，那蓝色的海水会变成什么样，海洋生物又会怎么样？

通信。有了良好的通信后，海上的居民通过互联网也可以开展陆地上的工作。然而，目前的海上通信基本上通过卫星完成，费用和速度还无法媲美陆上的光纤通信，也不如陆上的 4G 和 5G 通信。随着 5G 网络基站在海上铺设完成，这一问题有望得到大力解决。

系泊。从工程技术水平和造价的角度，目前还难以将海上设施长期系泊或固定在某一海域，尤其是在遭遇台风等恶劣海况下。再说，从国家发展大局考虑，当前似乎没有必要耗费巨大的人力和物力建设一座海上城市。

综合考虑，未来海上城市的长征路将可能

从海上工厂、海上居住平台、海上旅游综合体、旅游度假村的模式逐步探索前进。在渔船和渔业养殖区附近建立水产品加工厂，可以节省运输时间和费用，而且选址比陆地较容易。还有，那些不宜设立于陆上的工厂也可建在海上，如天然气液化厂和液化天然气接收站。一旦海上工厂达到一定规模，就会出现相应的居住平台，随之形成小社区。到那时，成规模的海上生活用品供应链和通信等生活设施，以及垃圾集中处理的环保设施就能配套。

当前技术水平

目前，几百人的中小型海上休闲设施及海洋渔业养殖工厂的建造技术基本成熟。渔业是海洋产业的重要内容之一，包括海水养殖和海洋捕捞等活动。海洋渔业在带动海洋经济及海洋其他产业发展方面正发挥着重要作用。《2018年中国海洋经济统计公报》显示，海洋渔业全年实现增加值4801亿元。我国海洋水产品内需旺盛，加上近海资源的稀缺，使得诸多企业从近海走向远海，从浅水走向深水。企业发展方向的转变，催生了海上渔业养殖设施的诞生。

与挪威等发达国家相比，我国海上先进的综合渔业养殖设施起步相对较晚，先进的适用于深海和远海养殖的整套渔业设备及高效经济的管理经验较缺乏。但就平台结构而言，我国设计制造能力较强，海洋油气钻采平台相关的经验大多数可以借鉴。例如，由于海上渔业养殖设施的机电设备繁多，所以即便平台结构已完成可行性论证，却往往因法律和规范所要求的轮机设备、消防、救生等设备的配备和设计问题而颇费周折，乃至影响整个平台的投入和制造周期。中船重工武船集团开创了一个范例。它曾为一家挪威公司制造渔业养殖设施，为将复杂的养殖过程变得简单准确，该集团在平台制造过程中融入了生物学、工学、电学、计算机、智能化等技术，安装了2万多个各类传感器、100多个水下水上监控设备、100多个生物光源。

目前，我国已能设计制造固定式和浮动式海上渔业养殖设施，并在专用的鱼类加工船、

海上旅游设施的设计和制造方面也有重大进步。如中集来福士海洋工程有限公司从2016年开始，已经在其龙口基地开始了海洋牧场平台产品建造，目前已经接到多座自升式海洋牧场平台订单，这些平台可广泛应用于水质观测、水产养殖、旅游休闲、垂钓娱乐等海上项目。现在，能承接大量游客的超大型旅游综合浮体也在研制中，国家和企业的积极性非常高，但关键技术还需突破，如系泊和美好环境的实现等。对于大型浮式海洋城市，目前国内外在规范标准方面尚无研究和积累，缺乏相关设计技术指导性文件和完整的规范体系，不能支撑此类平台的自主研发、设计与制造。

在海上设施的产品配套方面，目前海上风电及其集输、海上光伏发电、供应船、海上废物处理等设备技术相对成熟，但由于它们的规模有限，尚无能力强大且专用的废弃物处理设施。海上城市可能需要浮式风电实现电力供应。相较之下，旅游和养殖平台的风电或光伏发电设备多数可装设在相关平台上。在此方面，石油船业的供应船和军转民补给船技术均可借鉴。在海上交流方面，可利用高速船和水上飞机等载具实现。至于油污水处理和垃圾焚烧问题，相关设备技术已经成熟，而专门的垃圾处理设施在城市群形成后也可能出现。海上安防系统不可或缺，目前相关技术已基本研发成功且有小规模的应用，配置有三维视景。考虑到海上和陆上设施之间始终存在或多或少的联系，因此支持整个海上社区的陆上服务基站需要研制，目前已有一定进展。

大胆畅想

虽然我们理想中的海上城市不能一步实现，但从技术的角度考虑还是可以逐级而上。未来，3D打印、新材料、机器人、通信等技术的创新将会更进一步促进海上城市的发展进程，而水下空间站和水下采矿行为的出现，也会进一步增加海上城市的活力。归根结底，海上城市能否建成，一方面看现实需求的紧迫性，另一方面取决于科技攻关力度，需各界共同努力。

本文作者系中国船级社研究人员



未来海底城市遐想

文 / 江永 图 / 龙虎

人类在陆地城市已经生活了几千年，形成了高度发达的城市文明。人类自古以来也都有飞向天空的梦想，从嫦娥奔月到星球大战，层出不穷的太空城市设想不时出现在科幻书籍和影视大片中，吸引着人们的眼光。人类对海洋生活的幻想和认识也在逐渐变为现实，从海底龙宫到海底两万里，从未来水世界到水下度假村，海洋因其深邃和幽蓝而让人更为着迷。在未来某个时期，假如陆地环境不断恶化，太空又遥不可及，而海面的风起云涌又令我们承受不起，那么人类到底可以生活在哪里？答案也许是海底。

未来几十年，人类可能会像在陆地上一样生活在海底。在海底建立的城市规模可能不大，主要以科研探索和旅游为主，但是可长期居住。城市外部建有防水罩，内部则形成人类生存的环境，种满花草树木和养满动物。城市

之间由“水陆运载器”进行连接，不同城市之间的居民可以交流互访，也可以到达地面。城市的能量通过核能、潮汐能、波浪能等形式供给，也可以通过大陆向海洋传输。信息交流可通过先进的水中无线传输技术和海缆有线通信方式实现。大部分食物可在海底城市实现就地供给，也可通过大陆运送而来，淡水供应可直接经海水淡化实现。

很显然，人类想在海底生存发展，必然需要充足的能源供应、流畅的信息传递、良好的生态环境、快捷的出行交流、精准的环境监测等技术手段。

未来深海能源供给。海底城市发展需要大量的能源，海洋有条件提供充足的供给，因此就地取材加以利用会是必然的选择。通过海水提取核原料，同时小型的受控核聚变等技术发

展成熟，将会大大支撑未来海底城市的能源需求。波浪能、潮汐能、海流能、温差能等新能源技术实现就地取材，能量就地转化，为未来海底城市的发展提供能量补充。海底城市与海底发电站之间，不同的海底城市之间通过深海电缆连接以传递能源，或者通过高压深海电缆从陆上发电站向海底城市进行能源的输送，满足日常或应急需求。

未来海洋通信传输。生活在海底的人们可以很方便地进行海-陆通信以及海-海通信。海底光缆是连通陆地和海底世界最重要的基础设施与通信战略资源，在未来海底城市构建物理可靠、安全可信、灵活开放的高速海底光缆信息与能源传输主干网络，实现海洋信息和能源在海底的高效传输、汇聚、分发和交换处理。海底城市与各类移动式平台、运载器的信息通信与能源传输通过构建水声、蓝绿光、无线电、磁感应等无线、非接触式技术形成立体化、高机动、跨介质无线信息与能源传输接入扩展网络。通过主干海底光缆网络、无线接入扩展网络的高效融合，实现海洋固定网络与无线网络融合、信息传输与能源传输融合的一体化海洋信息组网。

未来海底的生态环境。人类生活在海底，必须有良好的生态环境，包括充足的食物和淡水，而所有这些的基础是海水淡化技术的普及和高效利用。在能源供给充足的基础上，大规模发展海底海水淡化系统，解决海底城市生存的必要基础，进而在实现淡水供给的基础上，解决海底城市食物自给等问题。在海底城市开发蓝色海洋粮仓的优良品种及生态农药、肥料，可满足粮食需求，保障海底和陆上城市食品安全。深海的海洋生物将会被较好地开发和认知，实现海洋生物与海底人类的和谐相处，共建海底生态圈。

未来海底运载工具。未来海底城市之间、海底城市与陆地之间交流频繁，人类走亲访友、学术交流和外出旅游等实现便利出行。大深度、

大功率、重型和快速运载工具层出不穷，深海空间站、深海水下潜艇、深海载人潜水器、水中巴士等实现固定化商业运行，就像乘坐公交车和打的一样便捷迅速，实现海陆之间的快速连通。海底城市之间建立有中继站，方便海底运载器充电和补给食物。非接触充电、通信接驳技术等将得到成熟应用，实现水下机器人远程机动和对接，保障交通中转。

未来海底监测系统。人类生活在海底，对周围环境的关注就像如今对天气预报的关注一样，每天起来看看有没有地震预警，有没有极端海流，海水温度有没有变化。未来海洋监测系统将整合物理、化学、生物等多套海洋参数，聚焦深海资源探测监测技术，将其转化成统一的数据格式，通过高感知度的海洋数据可视化分析及人机交互智能分析技术，充分感知和挖掘海洋大数据。同时，结合电子海图等海洋应用产品，准确识别和预测各种海洋现象，利用大数据手段分析现象的产生原因和运行机理，作出准确及时的应对决策，使未来海洋成为透明海洋和智慧海洋，保障未来海底人类生活的便利性和安全性。

人类社会发展到 21 世纪末，在取得繁荣进步的同时，若干生存危机可能日益显露，而“入地”“下海”“上天”是人类走出困境的三大出路，其中尤以海洋的潜力最大，是人类未来的希望。

未来可以预见，海洋探测、监视、大数据、资源勘探、通信等领域的竞争会越来越激烈。要想取得海洋控制权，打赢海洋战，需掌握海洋决策所需的核心设备和技术，做到海洋科技全部国产自主化。只有这样，才能在未来海洋经济战争中具有话语权，抢占经济及军事战争的制高点。我们需要通过未来海底城市场景预测，提出未来海洋发展重点方向，集中力量和资源进行攻关，极大提升我国海洋领域的研制能力并实现自主可控，使我国由海洋大国转变为海洋强国。



一种深海底栖虾类的幼体

暗夜海下 30 米

——一位黑水摄影师的自述

文、图 / 张帆

微小的生命就像点点星光，在幽暗的海水中闪烁着无尽的未知与神秘。对于许多看似熟悉的海洋生物，它们在幼体时期的形态与行为至今仍不为人知。另外，还有很多海洋生物一生都在大洋中过着浮游生活。过去几年来，我趁着夜幕降临，在海面下寻觅和拍摄各类浮游生物，这是至今为止很少有科学家与摄影师问津的领域，困难重重，收获也大。

充满挑战的拍摄

约 200 年前，人们发现许多海洋生物具有垂直迁移的习性，其证据直接而简单：夜晚渔获的种类比白天丰富。夜幕下的海洋极具魅力，生活在几十乃至数百米深处的动物会在夜间上浮至浅层觅食或繁衍后代，而此时它们的天敌也较少。对从事水下摄影的人来说，这一场景也成了我们大展身手的舞台。最近几年，我会乘船前往较深的海区，寻找和拍摄这些夜间活动的海洋生物。在潜水圈内，这类题材被称为黑水摄影（Black water photography），20 世纪 90 年代由美国摄影师 Joshua Lambus 首创。之所以称为“黑水”，是因为一切寻找与拍摄需要在夜晚幽暗的海水中进行。

黑水摄影一般操作步骤是：第一选地点，菲律宾、印度尼西亚、马尔代夫和美国等国家地区就有多处这样的“胜地”，它们位于热带或亚热带区域，软硬件条件有保障，多为各国潜水爱好者探索发现并在圈内分享交流而为人知。第二看时机。从圆月到四分之一圆月之间，拍摄状况会逐渐转好。根据经验，月光和潮汐是影响黑水拍摄的重要因素，满月的夜晚往往并不适合，要么光线太强，要么潮汐不理想，

海洋深层也几乎空无一物。接下来将船只驾驶到外海深处，如果当地有洋流经过会更好，因为它们会带来充沛的饵料资源，有可能吸引更多种类和数量的海洋生物，但尤其要注意安全并携带救生设备如浮力袋。第三布置设备，也就是从一个浮漂上坠下一根长长的缆绳（一般超过 30 米长），绳上不同深度标度处（如 10 米、20 米、30 米）挂有若干亮度很高的视频灯（视频灯）。受光照的刺激，一些海洋生物会表现飞蛾扑火般的习性，因此黑暗中明亮的灯光可以高效地将它们从周围海域吸引而来。你只需在灯光前静静等待，就会欣赏到光怪陆离的海洋生物从眼前经过的场景，如同走马灯。第一批访客往往是体型较小、游泳能力羸弱的浮游生物，它们是最忠实的“光粉”，即便很微弱的光源都能引起它们强烈的“兴趣”；接下来的访客依次是比较“强悍”的虾蟹幼体、水母、幼鱼之类。因此，日本学者也将黑水拍摄形象地称为“光陷阱”拍摄。

可见，布光是黑水拍摄的关键环节之一，以至于每次拍摄前，船工和潜水向导往往需要花费大量时间安装缆绳上的主光源。除此之外，摄影师还需自带多个灯具，如一个束光手电用来寻找目标，一个带红光视频灯和一个普通的视频灯用来完成对焦。由于每次潜水时间往往超过 90 分钟，因此还需有备用灯具。就这样，全副武装的摄影师始终在距光源 50 米范围内活动，潜水深度一般保持在距海面 30 米以内。在一片漆黑中拍摄时，必须随时留心自己所处深度，要频繁地查看电脑表，不能大于所使用气体的极限深度，也不能上升过快。拍摄时需保持冷静，即便碰到异常稀有的目标动物，如果

其上升或下降速度过快，摄影师也要学会放弃。由于拍摄位置水位较深而无法下锚，船只需伴随在浮漂周围，并时刻关注水下的情况。可见，黑水摄影这种艺术创作方式对相关人员潜水技巧和摄影技术都有很高要求。

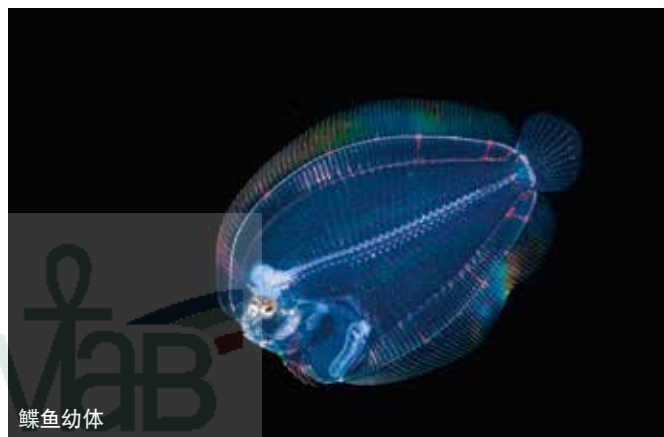
在技术之外，黑水摄影师还需具备高度的行业伦理素养。除了气泡不带走任何东西，这是我作为水下摄影师坚持的主要准则之一。尽管我也理解，一些学者因为研究目的会采集标本，并在船上或实验室等条件下拍摄，这样获得的影像确实更加清晰，但我始终认为这样缺少灵气。因此，我坚持在不干涉目标动物正常行为的条件下拍摄，这无疑给自己增加了难度。尤其是很多时候当目标动物的体长甚至不足 5 毫米时，要用到 2.5 倍以上的外置近摄镜，这就需要摄影师具有非常稳定的中性浮力及丰富的拍摄经验，从而能在保持悬浮的情况下，始终和随波逐流、尘埃一般的目标动物维持相对不变的距离。例如，一种翼足类动物幼体微小如沙粒，拍摄时需要特别谨慎地靠近，否则水体轻微的震荡会令它们瞬间收缩翼足，从当前水层中如自由落体般坠入深海，逃之夭夭。

非同寻常的体验

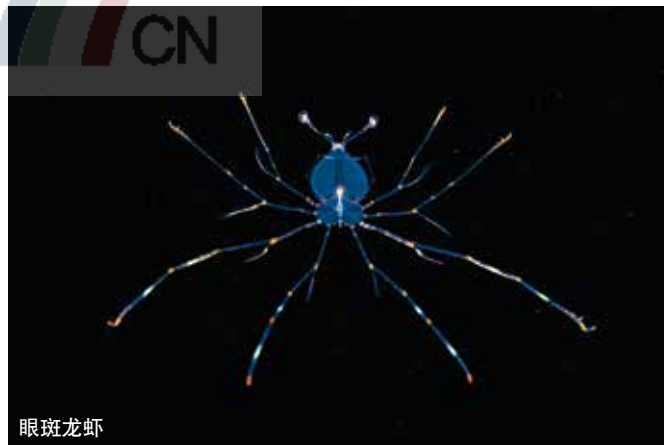
一次黑水拍摄可能一无所获，也可能碰到从未见过的奇妙生物，我想这也许就是夜晚拍摄浮游动物的魅力所在，因为你永远无法预料会遇到什么。几年前，在海南省三亚市和东方市的几处鱼市上，我从无人问津的杂鱼筐箩中翻看到很多海洋生物幼体，有透明的鲷鱼和形态似虾的蟹苗等。即便已经死去多时，这些海洋生物的眼睛依然浑圆明亮，等着目睹自己如何变成饲料泥，或者索性被无情地遗弃。就在这些筐箩中，船蛸雪白的壳体令我难忘。船蛸是头足纲中非常独特的一个家族，它们如同贝壳和章鱼的混合体，看起来十分奇幻，因其长相独特，故也被称为“纸鹦鹉螺”。其中一些种类成年后栖息在数百米深的海底，夜晚会游至海洋表层觅食。由于它们如同幽灵，以至于



锦葵船蛸



鲷鱼幼体



眼斑龙虾



大鳍武装鱿



本文作者在文莱海域下潜开展黑水拍摄

人类对其行为习性几乎一无所知，甚至没几个人目睹活体的真容。2016年12月下旬，我在菲律宾 Moalboal 的一片深 80~100 米的海域多次发现锦葵船蛸。它们大多攀附于海草或海洋垃圾上随波逐流。有趣的是，如果碰巧没有可捕捉的猎物，锦葵船蛸一般会快速倒退，逃向大海深处，导致拍摄难度变大。幸运的是，我在两星期的时间里获得了一些满意的照片。在此之前，我几乎没有看到其他摄影师拍摄过这个物种；自我之后，很多慕名而来的朋友却再无缘遇到，我想这也许和锦葵船蛸的繁殖具有季节性存在一定关系。

一些海洋生物的幼体在形态和行为上与成体截然不同。2019年，同样在 Moalboal，我远远地发现了一条尾甲鲈属的幼鱼，感觉它的下巴非常诡异。这会是生活在日本海域、下巴巨大且会变性的金黄突额隆头鱼吗，或者是一个

新物种？仔细观察后才明白，这家伙的下巴之所以巨大，其实是叼了一只水母。我至少花了15分钟跟踪，发现它始终叼着水母四处溜达，似乎没有咽下的打算。这真是一种有趣的行为，我一度以为它是在捕食水母，仔细观察照片后才意识到情况并非如此。其实，许多鲈科鱼类的幼鱼都会跟随水母游动，或隐藏于其触手之中，这样就可以利用水母有毒的刺细胞保护自己免受天敌攻击。看来，尾甲鲈属幼鱼与随身“携带”的水母或许也有类似的共生关系。

古罗马时期的哲学家老普林尼曾自信地宣布，对人类而言，海洋生物已经没有秘密，其物种名录已经整理归纳完毕——共 176 种。然而随着人类对海洋认知的逐渐深入，新的发现接连不断，因此探索发现的年代远未结束。夜晚漆黑的海水下相机快门丝丝的震颤，或许将为人类带来另一番惊喜。 



东印度洋综合科学考察

文 / 李健



安全工作负荷

供图 / 中国科学院东印度洋共享航次科考队



李健博士（左图）是我国首个横跨南海 - 东印度洋浮标 / 潜标长时间序列观测阵列主要的设计和建设者之一，为我国南海 - 印度洋观测系统的建设作出了重要贡献。他是我国高频地波雷达观测技术专家，解决了我国近岸海洋实时全天候观测的技术问题，并作为骨干成员参与建设我国第一个深水时间序列观测站——西沙站，该项成果入选 2015 年度中国海洋与湖沼十大科技进展。潘文亮博士（右图）自 2006 年起作为科研骨干负责了中国西沙、珠海、湛江、台山、三亚和斯里兰卡等地 30 多个海洋水文气象实时观测站的建设和维护，并参与了海洋观测网络的显示界面研发和监控电视墙的建设，实现了海洋水文和气象等多个关键要素的远程、无人、实时获取，极大地降低了我国海洋观测所需的投入。此外，他还承担了大量出海任务，多年来任首席科学家或科考队长负责了南海海域及印度洋 13 个以上科考航次。供图 / 中国科学院东印度洋共享航次科考队

印度洋北部与亚洲毗邻，随着季节更替，海陆热力差异造成气压梯度变化，加上气压带和风带的季节性移动，以致形成了世界上显著的热带季风气候，对我国季风系统乃至全球气候变化具有重要影响。实施印度洋海洋科学考察既能提高我国在亚洲季风系统研究中的预测水平，又能对“海上丝绸之路”的能源运输和航道安全保障提供基础支撑，为印度洋深层次合作开发提供战略储备。

基于国家整体战略布局与我们单位的科考任务定位，我们从“南海与毗连海域海洋环境要素和海洋生态要素”研究出发，持续为印度洋海域观测研究储备资源。2010 年，我们组织了一次东印度洋预考察。当年，国家自然科学基金委员会设立了“东印度洋共享航次”项目，随后每一年我们都组织开展了相关的综合科学考察。截至目前，国内参与考察的科教单位超过 20 多家，科考内容除东印度洋水文气象观测外，还包括生物、化学、地质、光学等众多领域。此外，当时的国家海洋局通过“国际间海洋观察”项目在此区域投放浮标系统，使印度洋成了中国大洋科考的前沿阵地。

在东印度洋科考中，我们牵头协调国内多家兄弟单位的优势学科和综合研究力量，加强东印度洋现场数据的长期积累，推动重大成果

产出，为科学研究提供现场试验和观测场所。同时，促进海洋科学研究的多学科交叉与整合，加强科学家间的交流与合作，推动东印度洋海洋环境动力变化过程及其生态效应的长期观测研究，重点解决东印度洋赤道海域和孟加拉湾南部海域的科学问题，实施物理、生物、化学和地质等多学科交叉的综合调查研究，获取调查区域环境参数及海洋样品。

目前，印度洋海 - 气相互作用是国际上大气与海洋科学研究相对薄弱但又热门的领域之一，也是我国气候预测的迫切需要。因此，我们将“东印度洋 - 南海环流及海气相互作用的研究与预测”作为首要科考内容之一，它涉及气象、物理、化学、地质、地理、生物、法律、国际政治等多学科。具体内容包括：主要流系演变规律，热带大气海洋耦合过程（气象要素观测），海洋混合与不同尺度的能量转换，中尺度过程，热带温跃层过程；南海 - 印度洋水体交换，需要开展海流、温度、盐度定点连续观测及漂流浮标观测；东印度洋环境与生态，需要研究海洋浮游生物在生态系统中的调控过程，东印度洋环流和中尺度涡旋，以及热带大洋海区生态系统结构、功能，种群动态及其对海洋动力环境的响应；典型海区生物多样性形成机制与生物资源可持续利用模式等；生物地球化学循环，即重要生源要素地区化学过程的相互作用，海

2019年4月21日，斯里兰卡首都科伦坡等地连续发生多起恐怖袭击事件，拟在印度洋执行科学考察任务的中国科学院南海海洋研究所的高级工程师李健（时年38岁，任第二航段首席科学家）、高级工程师潘文亮（时年35岁，任第二航段科考队长），以及自然资源部第一海洋研究所的助理研究员李大伟（时年30岁）、博士研究生王立伟（时年28岁）不幸遇难，另有4名队员受伤。这是我国处于蓬勃发展初期的海洋科学事业的重大损失。当月赴斯里兰卡考察前，李健博士在紧张的筹备工作中抽空为我刊撰写了本文，哪曾料到竟成他的绝笔。在袭击事件发生后的一周年之际，我刊登载本文及其他有关印度洋海洋科考的3篇文章，在缅怀逝者的同时，鼓励更多有为青年勇敢投身中国的海洋科学事业，挺进未知的深海大洋，造福区域广大人民。

洋动力过程对物质循环过程的作用，东印度洋与南海之间的物质交换过程；地质过程或古环境变化对海洋生物活动及其生态系影响的沉积记录，海洋生态系统对环境适应和对气候变化响应的历史过程，海底天然气水合物的地球物理指标和生物与地球化学指标等。

经过近10年的持续推进，东印度洋综合考察内容从单一的物理海洋学科的水文气象观测，逐步扩展到涵盖地质、生物、化学、生态与遥感等学科的综合研究。水文气象观测包括全站点温盐深观测、走航表层温盐观测、全程走航声学多普勒海流剖面测量仪观测、全程辐射通量观测和自动气象站观测、全球定位系统探空气球投放，以及在部分关键海域投放抛弃式深水温度计或抛弃式电导深水温度计进行加密观测，并在重要海域布放5套深海定点潜标系统。生物化学考察组以现场调查为主，实验室研究为辅，主要开展浮游生物群落及关键物种和功能群研究、初级生产力及其调控研究、氮循环相关过程研究、不同功能群与碳循环及碳沉降现场研究。此外，我们还采集相关的化学参数如营养盐、溶解氧、pH、总碱度等。现场取样工作主要依托温度-盐度-深度记录仪携带的水样采集器及浮游生物拖网。地质考察组的采样借助生物多联网、重力柱状样采样器、箱式采样器等设备，主要针对东印度洋海底表层沉积

物，并于2018年投放和回收了海底地震仪。

目前，我国科学家获取了东印度洋观测海域连续多年春季全水深的温度和盐度数据、海底表层样品、海水生化样品等，从而可以更加充分地研究东印度洋海域的海洋环境。2014年，我们开始布放深海潜标，首次获得了该海域深海洋流观测数据，填补了国际上对东印度洋中深层环流观测的空白，为我国大洋观测网建设和运行积累了宝贵经验。

“海上丝绸之路”预计将成为印度洋沿线国家经济发展主要支柱。我们需要面对海洋经济迅速发展的新形势，依托沿岸周边国家建立气候综合观测系统，这不仅是在原有的观测基础上进行“面”的拓展，而且要做到“点”的细化。因此，东印度洋科学考察将变更航次路线，以开展大气、海洋及其相互作用的综合观测研究；获取各种尺度的大气和海洋要素，以及制约其变化的物理、化学、生物因子等若干参数；加强常规观测与卫星遥感相结合，利用高分辨卫星进行连续监测，生成卫星遥感监测的气候变化时序产品，为研究这一区域的海-陆-气相互作用过程、区域气候变化对全球气候变化的响应及反馈作用提供科学数据。

本文作者生前系中国科学院南海海洋研究所研究人员

印度洋组网观测

文 / 周峰华

印度洋是世界第三大洋，渔业和油气等资源十分丰富。包括附属海区在内，印度洋总面积约 7411.8 万平方公里，占世界海洋总面积的 20% 左右。印度洋的平均深度仅次于太平洋，位居全球第二，包括附属海区的平均深度为 3839.9 米，不包括附属海时平均深度为 3872.4 米，最深处为 9074 米。印度洋西南以通过南非厄加勒斯角的经线同大西洋分界，东南以通过塔斯马尼亚岛东南角至南极大陆的经线与太平洋连接。印度洋北部为封闭的陆地，南面则以南纬 60 度为界，与南冰洋相连。印度洋气候具有明显的热带海洋性和季风性特征，由于北部与亚洲毗邻，随着季节更替，海陆热力差异造成气压梯度变化，加上气压带和风带的季节性移动，因此形成了世界上显著的热带季风气候。

印度洋北部受热带季风影响形成了特殊的季风环流。冬季（1 月），印度洋北部吹东北季风，受地球自转偏向力影响，孟加拉湾海水自东向西流，因受阿拉伯半岛阻碍转向西南流，称索马里季风洋流。它越过赤道，往东南与南赤道暖流部分海水相遇，在南纬 5~6 度形成自西向东的赤道逆流。夏季（7 月），南印度洋东南信风使南赤道暖流向西前进，在科摩罗群岛附近分为两股：一股南流称莫桑比克暖流；另一股北上，在西南季风的吹送下，向西北转向东北流。西南季风将索马里沿岸表层水吹走，深层冷水上泛，水温降至 27 摄氏度，称索马里寒流。

印度洋沿岸是全球海洋灾害频发的区域之一，沿岸国家相对欠发达的经济发展水平和落后的科研水平严重制约了当地抵御灾害的能力。

鉴于此，印度洋将是当前和今后一段时期内国际海洋灾害研究的重点海域。在区域范围内建立完善的海洋大气环境观测网，改进气候预报模式，提高预报分辨率及预报精度，不但能造福沿岸国家的广大人民，还将有助于提升我国海洋灾害研究的国际影响力。值得注意的是，印度洋也是历史上物理海洋现场观测资料最为匮乏的热带大洋，这一状况导致我国在该区域开展重大活动时，无法得到水文气象环境信息方面的有力保障。近年来，随着南亚国家经济的迅速发展，人类活动对海洋资源环境的影响更加严重而直接，一些破坏甚至不可逆。因此，需发展印度洋区域海-气综合观测网，提高区域定点、连续、实时、长期观测水平，获取有效的观测资料，服务上述各方面需求。

组网观测是科学研究的迫切需要

印度洋区域海-气相互作用是目前国际上大气与海洋科学研究的热点领域之一。由于缺少足够的、系统的、实时的监测资料和资料集成共享系统，我们至今对海-气相互作用以及对台风、暴雨、风暴潮和海浪机理的认识还不足。通过对印度洋的定点连续观测，我们可了解热带东印度洋上层海洋热状况，进而有助于预报东亚夏季风暴发的时间和强度。在夏季风暴发阶段，如果强化对热带东印度洋的海洋和大气过程的观测，就可进一步揭示季风暴发的完整过程，特别是认识季风暴发过程中孟加拉湾和赤道东印度洋海洋层化、海表温度、季节内震荡等过程及其关系。观测数据最终将用于研究热带东印度洋夏季风暴发时海洋的基本状态，并解释海-气相互作用过程如何影响季风的暴发。



在国家自然科学基金委员会“东印度洋共享航次”项目的支持下，中国科学院南海海洋研究所从2010~2020年初共组织完成了10次综合科学考察，国内参与单位超过20家，除获得大量有关东印度洋海洋气象动力过程、全球碳循环、海洋污染物、冷泉生物群落结构与生态环境、浮游有孔虫生态特征及其环境指示意义等的数据和样品，还为国家锻炼和培养了大批海洋科技人才，进一步体现了中国科学院中斯联合科教中心的建设价值。图中第一排为中斯中心主任王东晓研究员，第二排右一为匡疆博士。供图 / 中国科学院东印度洋共享航次科考队

东印度洋 - 南海环流及海 - 气相互作用的研究与预测，既是我国气候预测的迫切需要，又是国际上一个相对薄弱的研究领域。目前在全球所有业务化的数值预报中，以亚洲季风区的预报能力最为薄弱。国际气候模式比较结果表明，几乎所有气候模式在亚洲季风区的预报能力都很低，特别是在模拟和预报季风区降水方面存在许多问题与不足。观测事实和数值试验表明，亚洲季风系统大部分的季风变异来自当地的大气 - 暖流相互作用。若要改进模式模拟能力，提高季风区气象预报效果，迫切需要获取海 - 气热量、动量、淡水通量、海表温度等资料，以便建立海 - 气通量的耦合。因此，建立印度洋观测区海 - 气组网观测系统有利于深入研究海 - 气相互作用机理，有利于发展精细的（水平尺度为公里级的）大气 / 海洋数值预报系统，同时将有力促进各相关学科的发展。

组网观测对防灾减灾的价值

在世界范围内，受海洋灾害影响频度和程度最严重者优先包括印度洋周边国家，相关灾害种类多，影响范围广。例如，2004 年的海啸及 2016 年的强降雨都对斯里兰卡国内经济造成了重大创伤。随着海洋运输、资源开发、海洋渔业和海岛旅游的快速发展，各种海上突发事件也在日益增加。为满足海洋防灾减灾和应对突

发事件的需求，海洋观测迫切需要加强，以及及时有效地提供海洋观测数据和产品服务。

海洋是全球气候变化的关键因素，气候变化加剧了海平面上升、极端天气和气候事件等灾害的发生。为此，科学界需要加强气候变化敏感区的海洋观测，深化对全球气候变化的认识，提高海洋领域应对气候变化的能力。印度洋海区为全球热量中心，属于关键海洋现象和海洋过程的高发区域，需要保证在此获取有效的海洋科学试验观测资料。

“21 世纪海上丝绸之路”的重点是从中国沿海港口经南海至印度洋，再延伸至欧洲，其中在印度洋海域规划了多个重点港口节点，它们的安全对“一带一路”共建通畅、安全、高效的运输大通道起到至关重要的作用。从这一角度出发，“一带一路”沿线国家海洋灾害研究就显得尤为必要，而且它也能在这些国家提供海洋灾害预报预警，切实保障民生安全，扩大社会影响，有利于体现我国大国责任和形象。

组网观测事关区域可持续发展

海洋经济是“21 世纪海上丝绸之路”沿线国家经济发展支柱。面对海洋经济迅速发展的新形势，印度洋区域海洋观测现状已不适应沿

岸国家海洋资源开发、海上交通运输、海洋渔业、海岛旅游、海洋工程建设的需求，亟需进一步加强基础海洋环境要素观测和产品服务能力建设。另外，目前印度洋沿岸国家基本处于经济发展起步阶段，在海洋环境保护方面的进展相对缓慢。整体而言，沿岸国家的海域环境非常复杂，人类活动日益频繁。近 20 年来，随着经济的快速增长，海洋环境发生了很大的变化，出现了海上污染、海岸带生态退化、入海沉积物增多等问题。需要注意的是，我国南海海域与印度洋沿岸国家海域互联互通，关系密切，一方因破坏而产生的效应会传递到另一方。虽然印度洋的海域非常广阔，但是早期对海洋的利用偏重近海，随着科技的发展，当前开始向深海发展。在此情形下，对海洋资源环境的利用不仅需要相关各国政府做出正确的决策并采取环保的方式进行开发，同时还需要强大的海洋科技水平为开发利用活动保驾护航。

印度洋组网观测现状

目前，我们以中国科学院中斯联合科教中心（以下简称“中斯中心”）为依托，已初步形成海洋观测网基本框架，为我国在海外开展海洋观测、海洋防灾减灾、科学研究等发挥了排头兵作用。该观测网涵盖：岸基海洋观测系统，主要包括岸基海洋波浪潮位观测站、海洋自动气象站、季风观测站、岸基风廓线雷达站、岸基边界层海气通量塔等；离岸海洋观测系统，主要由大洋潜标阵列、调查断面等组成。目前，我们已建成业务化观测浮（潜）标 10 余个，主要布设在印度洋及赤道断面。此外，国家自然科学基金委员会资助开展了“东印度洋共享航次”项目，自 2010 年至今，我们每年前往印度洋海区开展海洋环境断面调查。

我们近期目标是：到 2020 年，建成以斯里兰卡为中心的印度洋区域海-气综合观测网，范围逐步覆盖泰国、马来西亚、马尔代夫、巴基斯坦等印度洋沿岸国家。网络覆盖范围由近岸向近海、中海、远海拓展，由水面向水下延伸，

实现岸基观测、离岸观测、大洋观测的有机结合，初步形成海洋环境立体观测能力。同时，建立完善网络综合保障体系和数据资源共享机制，进一步提升网络运行管理与服务水平。在应用上，基本满足防灾减灾、经济发展、综合管理、应对气候变化、环境保护、权益维护等涉及海洋的需求。

未来需要关注的科学问题

赤道东印度洋作为太平洋-印度洋暖池的一部分，是亚洲季风暴发和印度洋水汽进入东亚的主要通道。水平环流和上升流等导致的海水盐度的变化，影响上层海洋热力及动力结构的调整，进而通过海-气相互作用向季风环流发出反馈，影响包括我国在内的周边国家的季风降水。此外，上升流等还能通过影响东印度洋暖池热含量的方式，影响区域和全球气候变化。

环流的营养盐输送也会对生物地球化学循环和海洋生态系统产生重要影响。例如，上升流将营养盐从海洋底层输运至上层，调节着海洋的初级生产力并影响整个食物链。研究表明，东岸上升流面积虽不到海洋面积的 2%，却为超过 20% 的海洋鱼类提供了食物，这意味着印度洋沿岸生态系统对全球海洋生态系统的贡献不容忽视。上升流、边界流、中尺度涡流等在印度洋海洋生态系统和生物地球化学循环中扮演的角色仍需大量深入研究。

目前，温室气体的排放导致全球变暖，全球风场也随之变化，进而影响海洋环流、生物地球化学循环和海洋生态变异。自 1950 年至 2009 年，印度洋海表温度已增加 0.65 摄氏度，增长率居全球主要海盆之首。印度洋上空的 Walker 环流呈增长趋势，它和 Hadley 环流一起激发了印度洋季风的异常，导致印度洋海平面的非对称性变化。在全球变暖背景下，印度洋环流如何变化，其对海洋生态和人类生活有何影响，都需要我们以深入研究来回答。

本文作者系中国科学院南海海洋研究所研究人员



印度洋研究的科学意义

文 / 罗耀

海洋占地球表面积约 71%，其中 84% 的海洋水深超过 2000 米。深海巨大的热容量和碳储量是地球气候系统的调节器，对生物地球化学循环和水循环具有重要的调控作用。可以说，我们若要在中长期尺度上对地球气候系统加以预测，就需要加强深海大洋巨大热容量及热输送能力变化的观测，并探寻其中蕴含的机理。从这一角度出发，涉及印度洋的研究具有显著价值。

现实的迫切需求

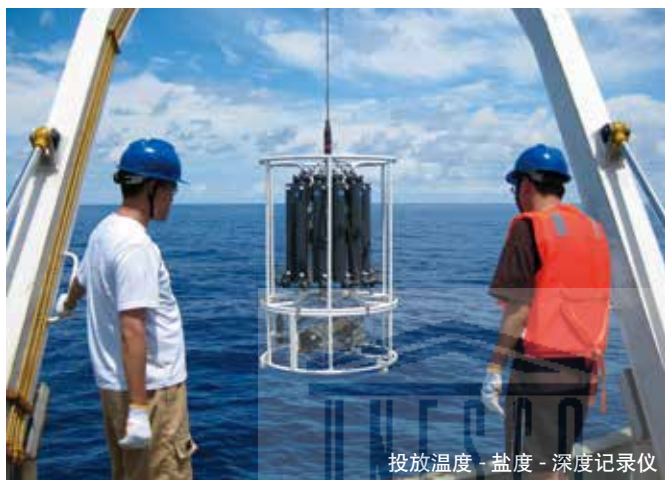
我国地处东亚季风区，水汽主要来自西太平洋、南海和印度洋，只要这些海域的水温出现变化，就会影响东亚地区水汽输送通道的变化。印度洋是全球海洋热量高度聚集的海域之

一，也是全球物质和能量交换最强烈的区域，其巨大的热惯性会对东亚和泛第三极地区气候变异产生重要影响（如降水量），从而间接影响我国粮食安全。而北印度洋区域的海 - 陆 - 气界面上的能量、动量和物质交换过程的异常，是影响我国大范围气象灾害的关键因素。统计显示，每年由于气象灾害造成的经济损失约占国民生产总值的 10%。因此，准确的季节至年尺度的气候预测，已经成为我国各行业部门制定社会经济发展计划所必需的依据。

目前，科学界对影响我国短期气候异常的关键物理过程认识不足，现有的短期气候模式研究远不能满足国家需求。开展印度洋海 - 陆 - 气相互作用及其对我国短期气候影响的研究，



投放浮标



投放温度 - 盐度 - 深度记录仪



投放生物拖网



施放探空气球

供图 / 中国科学院东印度洋共享航次科考队

对揭示相关物理海洋规律、改善我国短期气候预测水平、提高“海上丝绸之路”航道监测保障能力具有重要的科学意义和实际价值。

研究海 - 陆 - 气相互作用的科学意义

地球气候系统由大气圈、水圈、岩石圈、冰冻圈和生物圈组成，圈层之间的相互作用依赖于气候系统中的基本物理过程。导致气候变化和大气运动的最终能量来自太阳辐射，但直接驱动大气运动的能量约 70% 来自下垫面。海 - 陆 - 气界面上的相互作用是气候变化最直接的驱动力。在整个地球气候系统中，海洋和大气紧密相连，不可分割。大气运动影响海洋环流变化和海洋热量的再分配，而海洋向大气输送的能量和水汽也会改变大气的运动。云和降水是基本的气候要素，尽管全球大气储水量仅为气候系统总储水量的十万分之一，然而水分在海 - 陆 - 海 - 气和陆 - 气界面之间的循环量却大致相当。水分循环成为联系海 - 陆 - 气耦合系统的最为活跃的纽带，而与水分循环相伴随的相变潜热现象则是气候变化的另一重要驱动力。

可见，发生在海 - 陆 - 气界面上的能量、动量和水分交换是维持气候系统的基本物理过程，其变化是导致该系统异常的根本原因，主要表现在：第一，大气上界的净辐射通量在低纬地区盈余，在高纬地区亏损，为保持整个系统的能量平衡，在低纬与高纬之间需要很强的经向能量输送，而海洋环流在该输送方式中发挥着重要作用。第二，在太阳到达地球表面的辐射能中，有一半被表面蒸发潜能所平衡，而蒸发过程主要发生在海洋表面。显然，对发生在海 - 陆 - 气界面上的物理过程及其变化的理解水平和模拟能力，决定着气候预测的准确程度。由于对这些物理过程理解不足，迄今为止各国的季度和年际气候预测水平均不能满足经济发展需求。自 20 世纪 80 年代以来，海 - 陆 - 气相互作用的理论研究、数值模拟以及场地观测试验已成为各国气候研究的前沿领域之一。由于海 - 陆 - 气相互作用过程十分复杂，涉及的学科多样，

因此相关研究大大促成了多学科交叉的进程,并将在未来继续深入。

海-陆-气相互作用对气候变化具有极其重要的作用。“气候变率与可预测性”计划是“世界气候研究”计划四大核心内容之一,其第一个研究方向就是通过揭示全球海-陆-气系统中的相互作用过程,在世界范围内实现季度和年际尺度短期气候预测的业务化。“气候变率与可预测性”计划得到了世界各国的积极响应,美国、英国、德国、日本等都制定了各自的研究计划,投入巨资开展气候预测的理论和方法研究。印度等发展中国家也制定了研究计划,以解决印度季风的预测理论和方法等基础问题。

“世界气候研究”计划自 2001 年开始实施“协调强化观测期”试验,其核心内容之一的“亚洲季风计划”旨在揭示亚洲季风区包括海-陆-气相互作用在内的多圈层相互作用规律。在总结过去 25 年进展的基础上,“世界气候研究”计划于 2005 年制定了一个全新的战略框架,其目标是进一步认识海-陆-气耦合的物理学规律,促进地球气候系统变率和变化的分析及预测,以满足日益增长的、与社会经济发展密切相关的应用需求。其中,季风系统及相关的海-陆-气相互作用过程仍是核心研究主题之一。由此可见,研究北印度洋地区的海-陆-气相互作用过程及其气候影响,是当今国际气候研究重点关注的前沿。

北印度洋对我国短期气候的影响

在亚洲与印度洋交汇的海区,受季风环流调节的印度洋海-陆-气耦合模态的生命周期较短,具有显著的季节变化特征,云辐射和海温反馈过程激烈,影响水温变化的动力过程复杂,而处于青藏高原和印度洋强烈的海陆热力对比背景下的海-气相互作用过程,更是直接影响着亚洲季风的暴发与异常变化。在印度洋与太平洋交汇的海区,以赤道海洋斜温层、西太平洋-东印度洋大暖池区、Walker 环流和季风环流等

为背景,海-气相互作用把“厄尔尼诺-南方涛动”和亚澳季风系统的“对流层准两年振荡”活动中心紧密地联系在一起,调节着亚洲季风区的水汽和各种能量的输送。以北印度洋为中心的亚洲-印度洋-太平洋交汇地区的海-陆-气耦合系统的季节内振荡和年际振荡,则直接影响着季风的暴发、发展和我国的旱涝异常情况。东亚夏季风的暴发实际上开启了从印度洋经阿拉伯海、孟加拉湾、南海到我国大陆的水汽通道。随着西太平洋副热带高压和北太平洋流-涡的北移,频繁西移的台风也为我国带来了充沛的降水,其变化直接受以北印度洋为中心的海-陆-气相互作用过程的影响,与我国的旱涝变化密切相关,是影响我国短期气候变异的关键海-陆-气相互作用区。

印度洋环流与北向水汽传输

与太平洋和大西洋相似,热带印度洋上层海洋环流系统在纬向方向上主要由南北赤道流以及逆流和赤道潜流组成,在经向方向上主要包括西边界流在内的浅层经向翻转环流。然而与其他大洋不同的是,热带印度洋处于季风区,赤道区域不存在持续的赤道东风,且印度洋海域以北只延伸到北纬 20 度左右。此外,印度洋还通过印尼贯穿流和南海贯穿流等关键海洋通道与太平洋沟通,这些独特的地理特征和强劲的海面热动力表现,使得热带印度洋上层海洋环流系统明显区别于其他大洋。

印度洋浅层经向翻转环流特征独特,表现为:在太平洋和大西洋存在南北半球对称的副热带环流,而在印度洋是由跨赤道环流相关的翻转结构和位于南半球的副热带环流组成。不同于太平洋和大西洋准永恒的赤道纬向流和东部上升流,印度洋赤道流系、上升流呈显著的季节性和间歇性特征。这种洋流的复杂性使得印度洋经向、纬向、垂向环流体系特征尚不清楚,它们之间的动力和水源关系尚不明确,未来需进一步研究。

本文作者系中国科学院南海海洋研究所研究人员



透明海洋

文 / 潘刚 图 / 张帆

犹如对浩瀚星空的痴迷，人类对海洋深处的探索也从未止步。深海大洋作为一个非常复杂的系统，里面包含各种不同尺度的运动，承担海洋中能量与物质的输运。几百年来，在世界各国海洋科学家的共同努力下，人类对海洋有了一定的了解，但相关的认知依然非常有限。

在过去相当漫长的历史时期里，海洋的价值主要体现在渔盐之利和舟楫之便。第一次工业革命后，海洋开始更多地承载起新兴资本主义国家争夺海上空间、拓展海外殖民地的使命。二战前，西方资本主义国家对海洋的争夺主要局限于空间范畴，在战后则增加了资源的内容。工业化造成陆地资源的大量消耗和可开发量趋于减少，加上海洋科技的进步，为开发蕴藏丰富资源的海洋带来了契机，获取海洋空间及其资源成为争夺海洋控制权的基本主题。随着全

球环境恶化、气候变暖、海洋灾害频发等问题的日益突出，海洋的战略意义又在关系全球可持续发展的环境、气候等重大问题上得到了进一步的体现。

我国地处东亚季风区，水汽主要来自西太平洋、南海和印度洋，只要这些海域的表层温度有变化，就会影响东亚地区水汽输送通道。如果不深入研究这些水汽输送大动脉的动态，就无法预测我国气候的变化。如果可以构建以我国近海为基础并向深海大洋关键区域延伸的观测与预测系统，使其变得“透明”，就可更准确地把握该海区环境、气候、资源的变动情况。

“透明海洋”这一概念较早由中国科学院院士吴立新提出，指的是集成运用现代海洋观测探测、通讯和信息等技术，实时或准实时地获取

和评估特定海区不同空间尺度海洋资源环境信息,研究其多尺度变化及其气候资源效应机理,并以此为基础,预测未来一段时间内海洋资源、环境和气候的时空变化,实现海洋状态透明、过程透明和变化透明,为国家海洋事业发展提供全面准确的信息服务。“透明海洋”在空间上是一个拓展的概念,即以西太平洋-南海-印度洋观测系统和科研体系建设为基本载体,逐步实现从透明陆架海、透明南海、透明西太平洋、透明印度洋向南大洋和两极的拓展。此外,还将通过海洋观测和预测国际合作机制的构建,实现全球海洋观测体系的有机整合与协同发展,推动建立可持续、综合性的全球海洋观测系统,诊断、预测及应对未来全球海洋发展问题,维护全球海洋生态系统的可持续发展。

海洋观测科技是当前国际海洋领域竞争的焦点,沿海发达国家在此方面积极谋篇布局,以巩固竞争优势,保持领先地位。强化海洋观测能力建设,赶超国际领先水平,谋取海洋观测科技领域国际竞争领导者地位,是我国国家战略实施的重要目标之一,“透明海洋”建设为此提供了重要抓手。通过实施“透明海洋”科技创新工程,针对我国海洋观测科技领域短板,瞄准国际先进水平,集聚多方资源,强化政策扶持,争取在较短时间内突破一批关键技术难题,解决一些重大海洋科学问题,并以点带面,逐步实现海洋观测科技的全方位发展,培育形成国际竞争优势,使我国成为该领域强国。

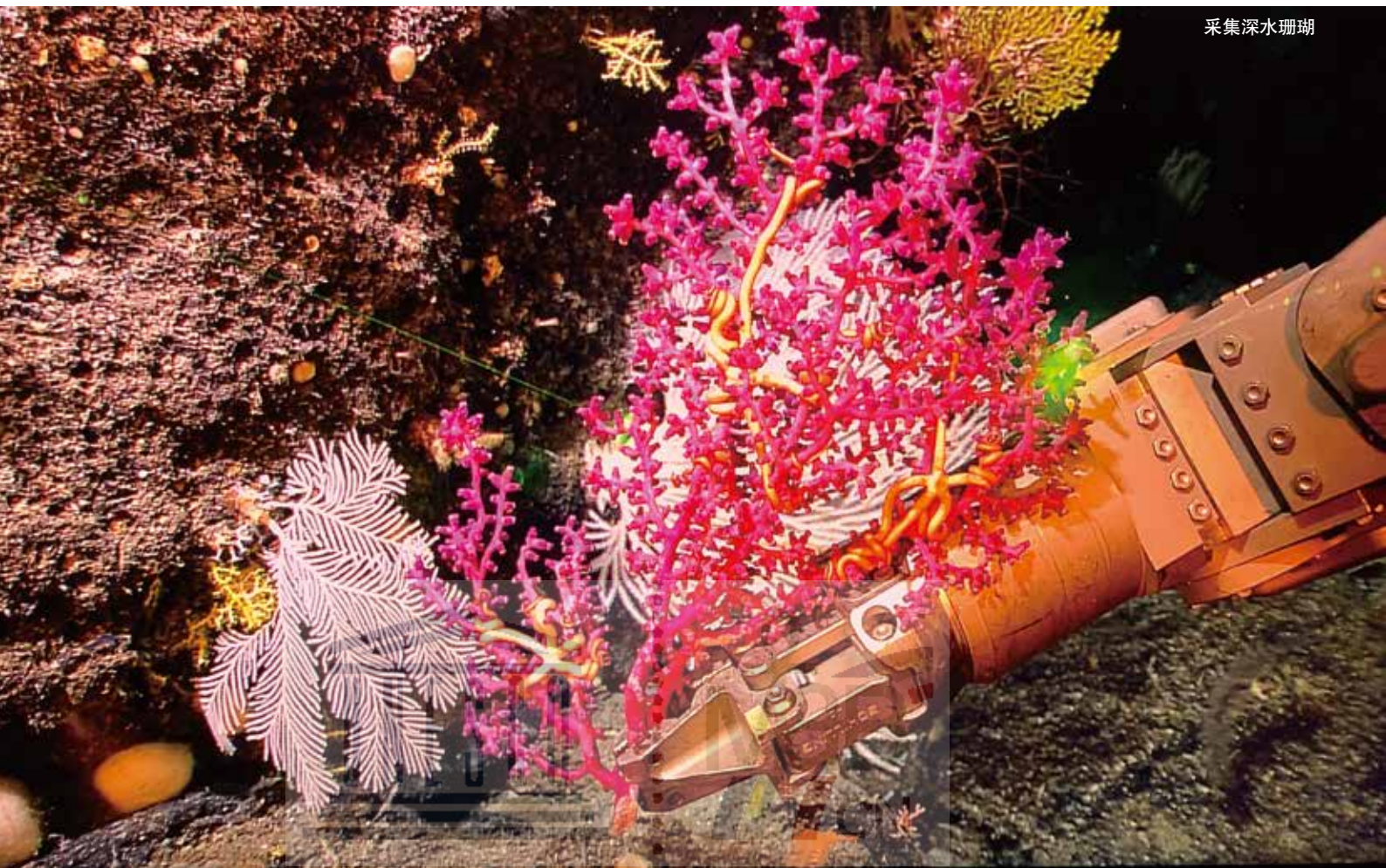
海洋观测工作非常复杂而且耗资巨大,在一定程度上体现了一个国家的经济实力。海洋观测系统包括水下移动平台、固定平台、卫星观测平台以及数据集成与产品四个组成部分。特别值得一提的是全球海洋 Argo 观测网,可以说是海洋观测史上一次革命性的进展。借助布设的一系列浮标,它首次让科学家在办公室就可以了解全球海洋 2000 米以内深度正在发生的变化。目前国际上正在酝酿第二轮 Argo 计划,准备向 2000 米以下的深海拓展。目前美国、日

本、法国等正在大力研发深海 Argo 浮标技术。2016 年 3 月,我国启动了国家重大科研仪器研制项目“面向全球深海大洋的智能浮标”,期望通过研发新型深海浮标技术,抢占新一轮深海竞争的制高点。该项目对推动我国深海大洋研究实现跨越式发展,把深海大洋尤其是关系到我国核心利益的西太平洋-南海-印度洋变“透明”具有重要作用。

从 2010 年开始,我国科学家开始在热带西太平洋和热带印度洋布设深海潜标。所谓深海潜标是一个从海底至海面的锚系观测系统:海底处由重力锚固定位置,海底至海面由缆绳贯穿,整条缆绳的不同深度上固定有观测设备及提供浮力的浮球,保证缆绳基本处于垂直状态,各设备可长时间观测不同深度的海洋水文要素。如今,该观测网已成功获取西太平洋和热带印度洋代表性海域连续多年的温度、盐度和洋流等数据。这些数据一方面将为探索研究热带西太平洋和印度洋环流的三维结构、暖池变异及其对气候变化的影响提供宝贵数据资料,提升我国海洋探测和深海科学研究能力;另一方面将加速提高我国海洋环境和气候预报能力,为保障国家海洋环境安全提供科学支撑。

2017 年 7 月,由同济大学和中国科学院声学研究所共同承担的国家“十二五”重大科技基础设施建设项目“国家海底科学观测网”开工建设。它将成为总体水平国际一流、综合指标国际先进的海底科学观测研究设施,为我国的海洋科学研究建立开放共享的重大科学平台,并服务于国防安全与国家权益、海洋资源开发、海洋灾害预测等多方面。2019 年 1 月,中国第 35 次南极考察队在南纬 52 度、东经 175 度的海域布放了我国首个西风带环境监测浮标。预计未来还将环绕西风带布放 5 个同样类型的浮标,形成南大洋“大圆环”,为建立新的大洋环流模型、评估极地水团对全球环境影响提供基础资料。

本文作者系中国科学院南海海洋研究所研究人员



海山生命探秘

文、图 / 徐奎栋

在陆地上，对于什么是“山”一直有争议，对其界定既与周边隆起的相对高度、大小、陡度等有关，又会根据实际应用情况而定（而且经常如此）。按英国地形测量局的定义，将陆地上相较周边有明显隆起且高度超过 610 米的地形地貌称之为“山”，再矮一些就是“小山”或“丘陵”。与陆地上的情况不同，对“海山”定义的争议较少，它通常指海面下高达千米以上的海底隆起，又称“海底山”。这些海底隆起如果永久性 or 阶段性地超出海面则成为岛或礁。据统计，全球的海山超过 3 万座，占据全球约 4.7% 的海底面积。海山因其高度超群，必

然处于深海中，海山、海丘及生活其间生物群落形成了深海中主要的生态系统景观。

海山缘何受到关注

从大航海时代开始，隐藏在洋面下不为人知的海山尤其是离水面较近的浅水海山，成为了水面船只和潜艇航行的重大安全威胁，因此相关测绘显得尤为必要。20 世纪末，人类在海山区发现了丰富的矿产资源。富钴铁锰结壳，简称富钴结壳，是出产在海山、岛屿斜坡及海底高地上潜在的海底矿产资源。除钴外，它还含有钛、镍、锌、铅、铂及稀土等多种金属元素，

资源潜力巨大，具有重要的战略储备价值。

相比之下，海山的生命世界却鲜为人知。由于地形和水文特殊，海山的生物量往往超过周边的深海平原。当洋流遇到海山时会形成上升流，使海底的营养盐涌升，促进了浮游生物的繁盛。此外，浮游动物昼夜垂直迁移的特性加之海山的地形，可以形成“地形诱捕”效应，从而富集生物。丰富的食物吸引了大量鱼类包括鲨鱼等顶级捕食者来海山觅食。因此，全球许多大洋渔场处于海山集中的区域，尤其是在南北纬中高纬度(30~60度)的海域，海山的大型鱼类的生物量可达相邻陆坡的4倍。已知有80多种经济鱼类生活于海山区域，年渔获量有200万~250万吨，还有多姿多彩的珊瑚等。鲸和海豚等大洋性哺乳动物以及鲨鱼在迁徙期间，常在海山觅食、繁衍和休息，海山由此被称为一些大洋鱼类和哺乳动物的“加油站”，或者可能是这些生物在大洋航行中的“路标”。

海山大多由海底火山喷发形成，以岩石底质为主，生物以附着或固着生活的滤食性物种占优势，如珊瑚和海绵。在平顶海山的顶部和海山相对平缓的地方，可见由有孔虫砂或珊瑚砂形成的生物沉积。海山不同的水深梯度和底质环境为底栖生物提供了多样化的生境，孕育了不同于一般深海的典型生物群落。深海大洋中分布众多且相对孤立的海山为生物的扩散和拓殖提供了依托，被认为是深海生命扩散分布的踏脚石。海山生物量和生产力往往超过周边深海，为生物提供了可靠的食物基础，为物种繁衍和演化提供了有利场所。海山较为独特的生物群落和生物多样性更使其受到了前所未有的关注，成为深海探索的一个主要生态系统。

深海生命的“孤岛”还是“绿洲”

早期的海山生物多样性研究发现，海山是底栖生物多样性非常独特的生境，不同于其周边的软底沉积层和一般深海生境的典型生物群落。而且，海山之间的生物群落构成很少重叠，

较低的物种重叠使海山看起来类似生物地理学上的“岛屿”，某种程度上类似陆地山。海山群或海山链被认为具有类似“岛屿群”或“岛链”的作用，导致高度本地化的物种分布和明显的物种形成。

依据麦克阿瑟-威尔逊的岛屿生物地理学理论，岛屿的隔离可导致两个种群的基因交流受阻。通常，隔离由生物扩散的屏障、适宜生境间的距离及生物的扩散能力决定。海山处于连通的深海大洋中，哪些因素可形成生物扩散的屏障？海山底栖生物的扩散分布主要靠幼体通过海流输运进行，许多研究开始关注海山特殊的水文动力，尤其是海山的柱状环流结构——泰勒柱对幼体的滞留和扩散分布的限制。但迄今泰勒柱仅在少数海山发现，而且通常持续的时间也仅为2天~6周。另外，某些相距较远的海山间的生物群落很相似，而距离近的却差异较大，推测可能受到多环境因素的作用所致。

岛屿尤其是远离大陆的孤岛，通常具有独特但较低的生物多样性，而海山则大为不同。海山的底质和与水深相关联的环境也出现在陆坡中。一些研究发现，海山和邻近的陆坡在生物构成上有较高的相似性。因此，海山的“孤岛假说”可能并不恰当。后来提出的“特有种假说”认为，海山生境特殊并形成隔离，生物多样性高且特有种多。但随着调查的深入，许多海山的特有种比例逐渐降低。调查和研究不足是问题根源所在。

新近提出的“绿洲假说”认为，在相对贫瘠的深海大洋中，海山如同沙漠绿洲，海山区水体的高生产力和高生物量，使得高有机碳输入至海底，进而形成海底高生物量和高生物多样性的格局。就数量而言，海山相较周边深海具有更高的生物量，这一点从许多海山的丰富的渔业资源和经常出现的海底“珊瑚林”和“海绵场”可以证实，深海绿洲之说无可非议。然而，沙漠绿洲除了高生物量，生物多样性并不



黑色岩石上的瘤状海绵 巨大海葵

高，在物种组成上与周边环境也不具有特异性，这一点与海山上发现有相当比例特有种的现象相悖。因此，海山的“绿洲假说”仅就海底的生物量而言能说得通。就水体中的浮游生物量而言，太平洋和大西洋中的一些海山并非明显高于周边深海，因此对于海山底如何形成了高生物量的现象还有待解释。

总体上，目前尚无一个假说能解释海山的生物多样性分布规律。不同海山往往具有不同的生境条件，生物群落组成差异较大。全球3万多座海山中，仅约1%的海山获得生物取样，调查比较充分的也就50多座而已。并且，早期的工作大多基于底栖拖网采集生物，真正通过深潜器和摄像机等进行样品和影像采集的海山很少。调查采样和研究的不足是造成目前种种假说存在漏洞的主要原因。要科学认识海山的生物群落特性及分布格局，仍需持续深入的调查研究。

海山脆弱生态系统及生物多样性保护

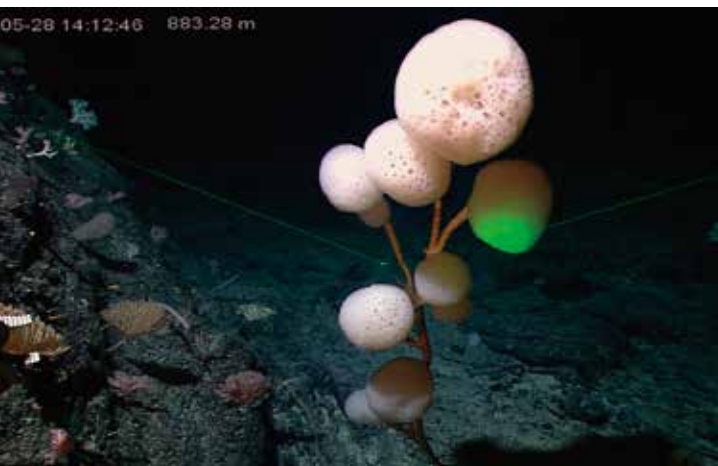
海山不仅是深海生物的聚居地，还是许多古老生物的避难所，某些早期被认为已在中生代灭绝的物种在海山上又重新被发现。例如，串管海绵是二叠纪和三叠纪时期主要的造礁生物，长期以来，人们认为这一类钙质海绵已经灭绝。然而就在1992年，有人在南太平洋新喀里多尼亚海域又发现了一种具有造礁能力的群体串管海绵，且主要分布在海山上。这些发现

对认识生命起源和演化无疑具有重要意义。

海山生物生长慢、生命周期长、繁殖力低，许多已生长了上百年。同位素测年分析发现，一株采自夏威夷附近海山400~500米水深的一株黑珊瑚已生长了4265年，堪称目前全球已知最“长寿”的生物。我们在马里亚纳海沟附近海山采集到一株柳珊瑚，测年显示其有1200岁。黑珊瑚和柳珊瑚在直径上每年才增加4~35微米。这样的生物一旦遭到伤害就很难恢复。

冷水珊瑚是海山最具多样性且数量最多的巨型动物类群，主要生活在距洋面200米深的海底。每个冷水珊瑚就像一棵树，可为蛇尾和铠甲虾等许多生物提供附着生境，是海山等深海生态系统的关键物种。冷水珊瑚及伴生的生物已被列入脆弱海洋生态系统，需要加以保护。

鉴于海山丰富的渔业和矿产资源，相关探测和开发活动日趋活跃。目前，过度捕捞已对海山生态系统造成了严重影响。大洋渔业底拖网作业往往会对深海海底的生物及生态系统造成显著影响，在一些受到底拖网作业影响的大西洋及西南太平洋海区，生态系统10年后都不能恢复。海山巨型动物多样性还与富钴结壳呈现出某种关联，在硬底及结壳较多的区域呈现更高的多样性。无论是以底拖网为主的渔业，还是未来的海底采矿作业，都会对海底环境和生物多样性产生巨大影响。



长茎海绵 刺蛛蟹

本世纪，国家管辖外海域（即公海）生物多样性保护问题受到国际社会的高度关注，公海保护地建设开始成为热点。公海约占全球海洋表面积的 2/3，许多海山都处于公海中。2004 年在马来西亚吉隆坡召开的《生物多样性公约》缔约方大会第 7 次会议上，将海山、热液喷口、冷水珊瑚和其他脆弱深海生态系统纳入议题。联合国启动了有关公海生物多样性养护与可持续利用的多轮谈判，议题包括公海基因资源获取和分享、公海保护地建设与生物多样性保护、环境影响评价等。我国需及早做出部署，开展相关法律制度的研究，掌握利益攸关海域的本底资料和科学认知，做好深海保护地选划的知识储备，维护国家深海大洋权益，增强在相关议题上的话语权。

工欲善其事，必先利其器

深海研究，须装备先行。我国已具备自主探测外太空的能力，但深海探测明显起步较晚，技术能力还相对不足，装备和探测能力还在持续建设中。自 2012 年来，随着我国自主建造的具有国际先进水平的综合科学考察船“科学”号正式交付使用，我国从技术装备上具备了深海多学科探测能力。以“蛟龙”号载人深潜器和以“发现”号无人深潜器为代表的水下机器人的下水使用，更使深海探测从基本要素的调查转入精细化的原位探测研究，逐步实现了将实验室搬到海底的梦想。

“下得去、看得见、取上来”是海山生物多样性研究的主要技术难点。深海研究不同于近海，在近海研究中适用的装备及知识经验，到了深海可能完全不适用。以深海底栖生物取样为例，在近海底栖生物调查中通行的拖网网具——小型阿氏网，到了深海就需要加大尺寸并缩小网眼，放置的绳长和拖网作业的时间还须根据底质和生物量的情况进行改变。海山地形的复杂性导致阿氏网几乎难以使用。新西兰研究者曾研发了一款适用于海山大型生物采样的底栖橇网，它类似雪橇，一旦遇阻可从另一头拉起，以避免设备丢失甚至缆绳损毁事故的发生。然而，在山石林立的海山开展拖网作业，也常常出现设备丢失的情况。

西太平洋的海山区域除具有平缓的山间地带外，还有沟壑和峡谷，隆起随处可见，峭壁甚至高达百米。在这种复杂的地形条件下，任何肉眼不可见情况下的设备投放及采样都存在极大风险。笔者曾于 2013 年带队开展西太平洋雅浦海山底栖生物采样，在 11 个站位进行的 25 次底栖拖网作业中，丢失橇网 2 具、大型阿氏网 1 具，损毁 2 具。因海山生物量少，某些站位尽管经受了多次底拖网作业，我们所获仍然甚少，总共才 48 号样品，且大多不完整，许多样品因岩石的挤压而破碎了。这时载人深潜器和无人深潜器等水下机器人就显得至关重要了。它们可在受控条件下自由穿梭于峭壁林立的山间，定点获取生物、岩石和沉积物样品，同时

获取海底的影像资料。这样不仅避免了重复采样，而且消除了底栖拖网对海底生态系统造成的破坏，最大限度地减少了对生态系统的影响。

但是，有了装备不等于有了探测技术平台，后者是设施的完备化与操控技术队伍的精细化结合形成的体系，能完成相应的探测任务，并能实现设备的维护和二次研发，使平台在使用中不断发展完善。以“发现”号无人深潜器为例，其原装采样装置无法实现自动化，在采样前须先用机械手将采样箱盖打开，采样后再将其封闭，结果不仅采样效率低，还易造成一些活动能力强的生物逃逸的情况；而且因采样箱体积小，故无法采集较大型的生物样品。针对这些问题，无人深潜器团队二次研发出一个更大的箱体和液压装置，实现了箱体开关的自动化，由此极大地提高了采样效率，使获得的生物和底质样品更加丰富多样，显著提升了海山生物多样性探测发现与研究能力。

2013~2017年，在中国科学院战略性先导科技专项（A类）“热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响”和国家科技基础资源调查专项“西太平洋典型海山生态系统科学调查”的支持下，我们利用我国新一代科考船“科学”号及其装备的“发现”号无人深潜器，对热带西太平洋雅浦-马里亚纳岛弧、卡罗琳洋脊和麦哲伦海山链的8座海山进行了多学科综合探测和取样，设备共下潜了63次（水下作业总时长约400小时），获得了1840号约600种巨型和大型底栖生物，以及2.2太字节（TB）的海底超高影像资料。初步研究发现了40多个巨型动物新种，另外还分离培养了8000多株细菌，含46个潜在细菌新种。这是我国迄今最大规模的海山生物多样性取样，获得了丰富的生物样品和影像等多学科数据，显著提高了人类对西太平洋海山生物多样性和生态系统的认识。

掌握关键数据，补齐短板

自20世纪80年代中期伊始，我国就开展

了以富钴结壳为主要对象的海山资源勘探活动。近年来，通过以“发现”号无人深潜器和“蛟龙”号载人深潜器为代表的海山探测，我们获得了可观的数据和样品，极大地提升了人类对海山生物多样性的认识。但总体上，海山探测区域以热带西太平洋为主，印度洋、中太平洋和南海为辅，研究报道主要集中在矿产资源勘探、地质学、地球物理和地球化学等方面。海山生物多样性研究近年来开始增多，但基本上还是以新种的报道为主，缺乏对海山生物群落和多样性格局的集成研究。

深海探测研究具有明显的多学科交叉特点，并受到探测能力和研究经费的限制。深海科考通常都有严格的时间和经费限制，在有限的时间内提高航次效率并安全高效地完成科考任务，就成为我们必须完成的功课。在复杂海况下，需要依赖深海探测经验和学识的积累，以便及时做出正确判断。例如，在何种海况下可以进行设备投放，何种情况下必须停住，遇到突发状况时如何应对，如何统筹兼顾科考项目使之更为高效。

对探测海区基础数据的掌握是制定和完成科考任务重要的一环。以海山探测为例，首先需要设定拟调查的目标，如果没有该海山的地形资料，则要在到达靶区后，先用深海多波束测深系统扫描，获得海山的地形图才可划设采样断面和采样点。因欠缺大洋深海的地形数据资料，我国科学家在选择未曾调查的海山时，只能依据国外如美国海洋与大气管理局、英国航道测量局网站的共享数据。但我们多次科考发现，共享数据与实测数据相差很大。

以2016年开展的雅浦海沟和马里亚纳海沟交联区的海山调查为例，航前通过船载的海图以及上述美、英机构的共享数据，我们选择了一座顶部距洋面约560米的海山作为靶区。但经多波束实测后发现，这座海山的顶部居然在洋面下1978米左右。邻近的另一座海山经地形

扫描后也发现与实际方位有较大偏移。这种情况并不罕见。在2018年开展的麦哲伦海山调查中,我们原计划调查浅水海山,并根据美国海洋与大气管理局网站提供的地形资料,选择了顶部距洋面约150米、200米和80~100米的3座海山。但实测后发现,它们中最浅的1座的顶部位于洋面下1200米左右,另外2座的相关数值分别为1300多米和1500多米。国际共享数据之所以“不靠谱”,主要是因为水深数据基本上都基于卫星测高并通过差值法获得,大都未经实测或者实测数据校正,导致误差很大。因此,我国亟待加强海底测绘,建立自主的海底地形数据库,为开展深海研究、保障航行安全夯实基础。

海山研究不易,获取的数据十分宝贵。我国已开展了大量规模不等的海山调查,但获取的数据呈封闭化、碎片化状态。随着国家管辖外海域生物多样性保护利用相关国际协定谈判的开展,国际上大多原本开放共享的海山生物多样性资料已难觅其踪。因此,亟待建立我国的海山环境与生物多样性综合数据库,形成信息门户平台和大数据集成分析数据源。基于多学科数据的集成分析,我们可开展数据挖掘工作,获得新的科学认知,促进科学发现。同时,相关平台和数据源的建立还可提供深海环境与生态系统评估服务,支撑政府决策,为我国在相关国际谈判中提供更多更有力的科学依据。

未来海山研究展望

水深超过1000米的深海占据了海洋约90%的表面积,孕育了极为多样的生境,为海洋生物的起源和演化创造了多样的条件。深海是人类认识海洋、经略海洋,解决生命起源、地球演化、气候变化等重大科学问题的前沿领域。深海蕴藏着丰富的油气、矿产、生物等战略资源,挺进深海大洋已成为国家的重大战略,我国以深海前沿科学和以资源开发与环境保护驱动的海山研究已经起步。

海山是一个多要素相互作用明显、生物群落相对特殊的深海生态系统。在海山复杂地形下,水文动力结构会产生较大变异,并影响物质和能量的输运,以及生物的扩散分布和多样性格局的形成。全球海山的生物多样性空间分布格局如何,什么因素驱动了相关格局的形成,不同海山间的生物如何连通交流?这些都是当今深海科学前沿中亟待回答的问题。深海平原被认为是深海生物多样性的一个主要储藏所,深海平原和陆坡到底是海山生物多样性的源还是汇,一直是科学界关注但又未能解答的问题。

当前,海山及其占主导的冷水珊瑚已成为深海脆弱生态系统保护关切的重点,国际上建设公海保护地的实践在加速。海山和海底隆起等海底高地是深海生物多样性丰富且相较独特的区域,也是未来设立公海保护地的优先区域。为此,我们一方面需开展目标区深海生物多样性的实地调查,获取相关本底资料,确定其生物多样性的特异性及脆弱性情况。另一方面,还需获知相邻海域的生物多样性异同及连通性信息,以科学应对公海保护地的设立。在宏观水平上,要结合大数据分析,从更大尺度上认识海山等深海区生物多样性分布格局。在微观水平上,要通过种群遗传结构分析获知生物的基因流和连通性。

未来海山系统探测研究首先应立足于国家重大需求,并结合国际科学前沿,开展多学科交叉融合研究,通过技术突破,带动关键科学问题的解决,取得具有国际影响力的原创成果。西太平洋是全球海山分布最密集、沟-弧-盆体系发育最充分、科学问题尤其突出的区域,对其开展相关多学科综合探测与研究,可为制定科学合理的深海环境和生物多样性保护计划、有效维护国家海洋权益、实现国家深海战略提供重要的科学支撑。

本文作者系中国科学院海洋研究所研究员

闯海的勇气

文 / 向长生

2017年5月，在我国国产大深度载人潜水器征名活动中，我的提议“勇士号”入选，打动评委的是我的备注：“中华民族挺进深海，需要氧气，更需要勇气。”作为该潜水器8年科技攻关的亲历者，我的这一思索由来已久。

黑格尔说道：“大海邀请人类从事征服、从事掠夺……平凡的土地，平凡的平原把人类束缚在土壤上，把他卷入无穷的依赖性里，但是大海却挟着人类超越了那些思想和行动的有限的圈子。”中华民族绝不是黑格尔所说的从事征服和掠夺的海洋人群，从全部的历史看，我们恰恰是被束缚在平凡的土地上、无穷地依赖于平凡的土地的黄土民族。在中华民族发展的历史长河中，虽有部分精英人士在相对较短的时期和局部的海洋区域中进行的开拓性事业，却远未把具有鲜明海洋特征的生活和思维方式固化为民族的主导文化。中华民族一路走来，面对汪洋大海的情感基调实则是畏惧而非征服。

毋庸置疑，深厚的全民海洋意识必须根植于深厚的海洋文化土壤之中。我们的海洋文化土壤是如此之薄，以至于在《二十四史》中难以嗅到些许海风的味道。进入21世纪，我们具备良好海洋意识的国民比例仍然非常低，全民族对海洋认识的基本面位于“鱼盐舟楫”，相当高比例的国民“近海不知海”。在建设海洋强国国家战略的指引下，站在时代前沿的精英阶层却普遍缺乏经略海洋空间的意识，科技战略的顶层设计者普遍缺乏对海洋战略地位的深刻理解，全民族强大的陆地思维或微弱的海洋思维恰恰是中华民族挺进海洋的最大障碍。

人类近代历史发展的经验已经充分证明：“强于世者必先盛于海洋，弱于世者必先衰于海洋”，人类近代历史发展的经验已经充分证明了这一点，近代强国无一不是因海而强。从传统的陆地国家和海洋大国走向海洋强国，是中华民族复兴的应有之义和国家强盛的必由之路。海洋将成为锤炼中华民族强健精神的砥石，将成为中华民族为全人类进步作出原创性和奠基性贡献的战略空间，也是中华民族再次勇立人类历史潮头的难得的机遇。约100年前，梁启超先生已经擘画出中华民族闯海而强的生动场景：“海也者，能发人进取之雄心……故久于海上者，能使其精神日以勇猛，日以高尚。此古来濒海之民，所以比于陆居者，活气较胜，进取较锐。”新时代，习近平总书记对建设海洋强国充满信心：“建设海洋强国，我一直有这样一个信念。”是的，中华民族需要向海图强，没有海洋强国，就无所谓的世界强国。

当人类迈入21世纪20年代，新的科技革命正在迅速而深刻地改变着人类与海洋的关系。人类掌握的科技能力使得曾经的闯海畏途快速变成轻松愉快的旅行，海洋科技领域革命性和颠覆性的原理和技术应用极可能改变未来世界格局。全球海洋科技的发展速度甚至快于我们对信息的消化速度。传统的陆地和空天高新技术力量加速挺进海洋，在某种程度上成为海洋科技发展的新兴模式和强劲动力，也在快速改变人类经略海洋的模式。当前，全球海洋科技的竞争正面临着“从水面到水下、从浅海到深海、从近海到远海、从机械化到智能化”的飞速转变，需要我国大批青年强力开拓，勇闯海洋。

本文作者系中国科学院深海技术创新研究院筹建办公室主任



二战时期被美军炸沉在西太平洋楚克环礁的日军护卫舰“桑港丸”，它是人类为争夺海洋控制权而诉诸武力的一个缩影。但是，正如中国《“一带一路”建设海上合作设想》所言，海洋是地球上最大的生态系统，也是人类生存和可持续发展的共同空间和宝贵财富。加强海上合作顺应了世界发展潮流与开放合作大势，是促进世界各国经济联系更趋紧密、互惠合作更加深入、发展空间更为广阔的必然选择，也是世界各国一道应对危机挑战、促进地区和平稳定的重要途径。摄影 / 张帆



加纳 Tema 港停泊的传统渔船。一些海洋产业如渔业捕捞和生态旅游要得到可持续发展，需要仰赖当地渔民世代相传的生物学和生态学知识，这是外来的商业公司甚至是研究团队难以取代的。然而，随着这些渔民的逐渐老去，他们所承载的这些传统知识也随之消失。渔民是站在海洋保护第一线的人群，众多珍稀物种及其栖息地的保护，不应该只是单纯地禁渔、限渔、强制性地转产转业，更应该去思考怎么让渔民、第一线海域使用者、海洋管理人员参与保护工作。既有经验教训表明，脱离了人民群众的保护只是纸面上的保护，所有成功的保护案例都有人民群众的共同参与。图 / ©Kyle LaFerriere-WWF-US